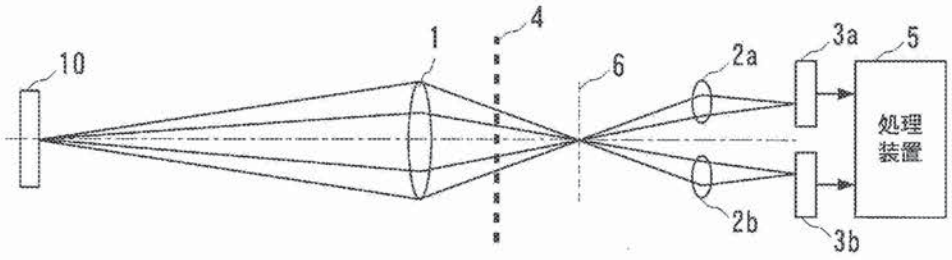
[Claim 5]
A splitting step of dividing light from a condensing optical system collecting light from an object into 2 by 2 separator lenses, and a mask arranged between the condensing optical system and the separator lens or between the separator lens and an imaging element, and having an encoding opening having a shape self-interphase function approximated to a delta function. A distance measuring method comprising : a light receiving step of individually receiving light separated by 2 separator lenses and collected ; and a step of determining a distance between the object and the image pickup element based on a distance between centers of gravity of 2 images obtained by the 2 image pickup elements, the light receiving step being individually received by the 1 dimensional or 2 dimensional image pickup element 2.

[Claim 6]
The distance measuring method according to claim 5, wherein the processing step includes the step of detecting the center of gravity of the 2 images obtained by the 2 imaging elements. Based on the detection result of the image centroid position detecting step, a center-of-gravity interval calculating step of calculating an interval between the centroids of the 2 images obtained by the 2 imaging devices and a storage means of storing the distance between the center of gravity of the 2 images and the distance between the object and the focal position of the condensing optical system in advance are referred to. A distance measuring method comprising : obtaining from the storage means a value of a distance between an object and a focal point of a condensing optical system corresponding to an interval of a center of gravity calculated in the center-of-gravity interval calculating step ; and determining a distance between an object and an imaging element.

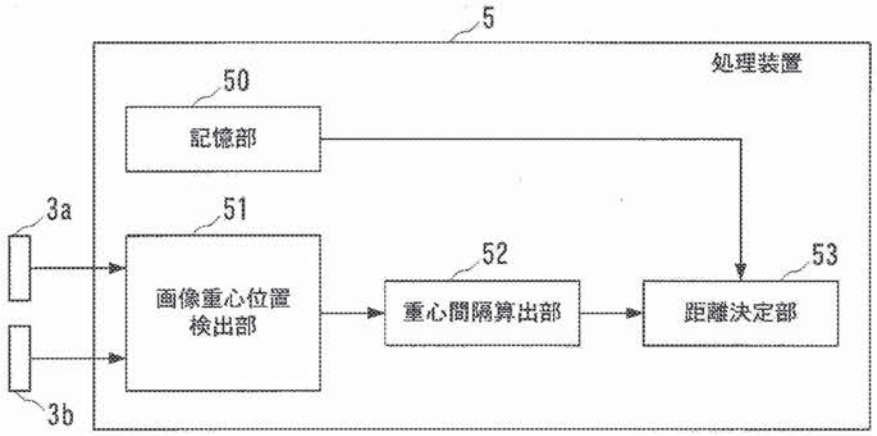
[Claim 7]
The distance measuring method according to claim 5 or 6, further comprising the step of projecting light into a monitoring space in which an object of interest is supposed to be present.

[Claim 8]
In the distance measuring method according to any one of claims 5 to 7, further, the condensing optical system includes a variable focus mechanism, and the storing means stores a relationship between a distance between the centers of gravity of the 2 images and a distance between the object and the focal point in advance for each focal length of the condensing optical system, and the distance determining step includes the step of determining the distance. The distance measuring method according to claim 1, wherein a distance corresponding to an interval of the center of gravity calculated in the center of gravity interval calculating step is determined by using a relationship corresponding to a current focal length of the condensing optical system among the relationships stored in the storing means for each focal length of the condensing optical system.

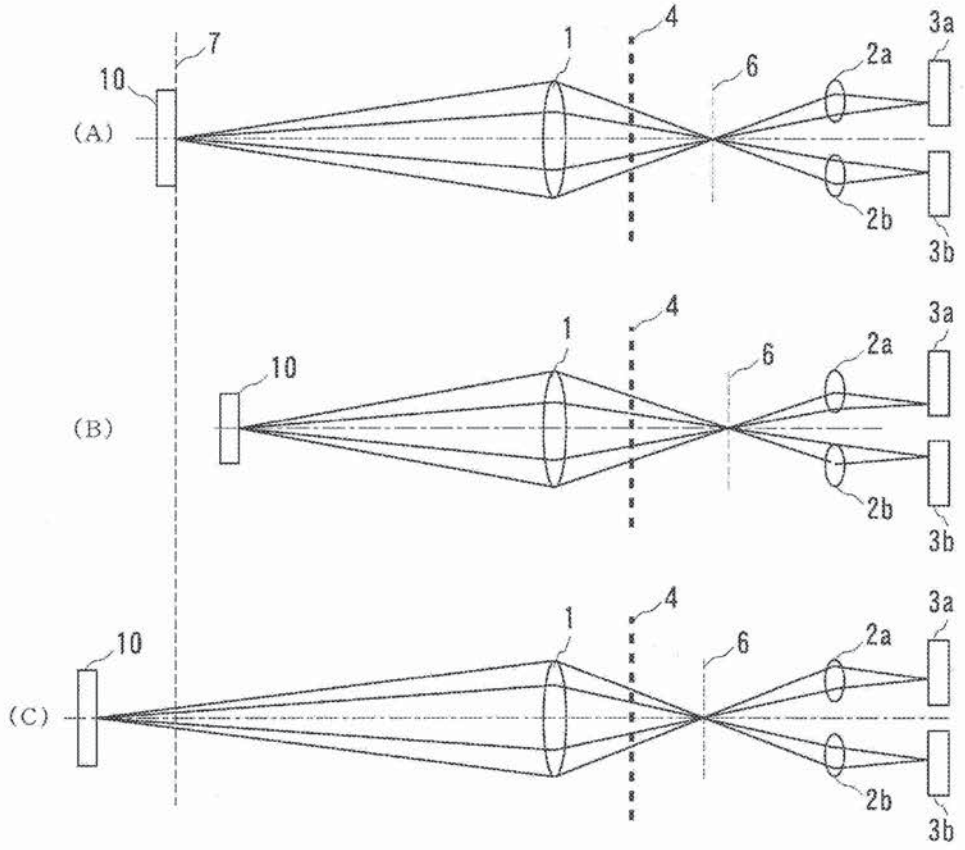
【書類名】図面
【図１】


10
1
4
6
2a
3a
5
処理
装置
2b
3b

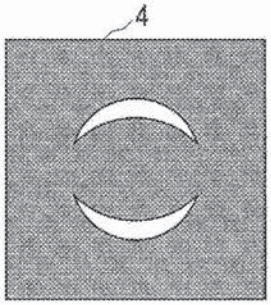
【図２】


5
処理装置
50
記憶部
3a
51
52
53
画像重心位置
検出部
重心間隔算出部
距離決定部
3b

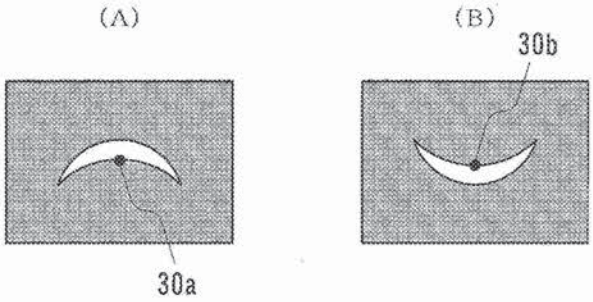
【図３】



【図４】



【図５】



[Document Name]Abstract
[Abstract]
[Problem]To reduce the amount of calculation by making it difficult to be affected by the surface state of an object.
[Means for solving]A distance sensor includes a condensing optical system 1 for collecting light from an object 10 2 separator lenses 2 a, 2 b for separately forming the light from the condensing optical system 1 into 2 light beams, and 1 dimensional or 2 dimensional imaging elements 3 a, 3 b divided by the separator lenses 2 a, 2 b and individually receiving the collected light. 2 This device is provided with a mask 4 which is arranged between a condensing optical system 1 and a separator lens 2 a, 2 b and has an encoding opening in which a self-interphase function in the shape of an opening through which light passes is approximated to a delta function, and a processing device 5 which determines a distance between an object 10 and the imaging elements 3 a, 3 b on the basis of an interval between the centers of gravity of 2 images obtained by the imaging elements 3 a, 3 b.
[Selected drawing]Fig.1

Electronic Acknowledgement Receipt	
EFS ID:	39759268
Application Number:	16046643
International Application Number:	
Confirmation Number:	1720
Title of Invention:	OPTICAL IMAGING SYSTEM WITH A PLURALITY OF SENSE CHANNELS
First Named Inventor/Applicant Name:	Angus Pacala
Customer Number:	20350
Filer:	William Leland Shaffer/LaRenda Meyer
Filer Authorized By:	William Leland Shaffer
Attorney Docket Number:	103033-P001USC2-1096583
Receipt Date:	18-JUN-2020
Filing Date:	26-JUL-2018
Time Stamp:	13:42:11
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	no

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1		P001USC2-1096583-IDS.pdf	185999 a09f1370440698dc98f7f45cbbabd819732f0db5	yes	4

	Multipart Description/PDF files in .zip description		
	Document Description	**Start**	**End**
	Information Disclosure Statement (IDS) Form (SB08)	3	4
	Transmittal Letter	1	2

Warnings:					
Information:					
2	Foreign Reference	JP2015-137987.pdf	1296252 5e2319b587bce1a853024c93fa2d618424e0a4a7	no	14
Warnings:					
Information:					
		Total Files Size (in bytes):	1482251		

This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.

New Applications Under 35 U.S.C. 111
If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.
National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371
If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.
New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office
If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)		
	Application Number	16/046,643
	Filing Date	July 26, 2018
	First Named Inventor	Angus Pacala
	Art Unit	2414
	Examiner Name	LEE, John R.
	Attorney Docket Number	103033-P001USC2-1096583

U.S. PATENTS

Examiner Initial*	Cite No	Patent Number	Kind Code[1]	Issue Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages, Columns, Lines, Where Relevant Passages or Relevant Figures Appear

U.S. PATENT APPLICATION PUBLICATIONS

Examiner Initial*	Cite No	Publication Number	Kind Code[1]	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages, Columns, Lines, Where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1.	2010149389	A1	07-17-2010	Goto	
	2.	2013044187	A1	02-27-2013	Hammes, et al.	
	3.	2012141104	A1	06-07-2012	DeLuca	

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

Examiner Initial*	Cite No	Foreign Document Number[3]	Country Code[2]	Kind Code[4]	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages, Columns, Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear	T[5]
	4.	2015136100	WO	A2	2015-09-17	Mesa Imaging AG		

NON-PATENT LITERATURE DOCUMENTS

Examiner Initials*	Cite No	Include name of the author (in CAPITAL LETTERS), title of the article (when appropriate), title of the item (book, magazine, journal, serial, symposium, catalog, etc.), date, page(s), volume-issue number(s), publisher, city and/or country where published.	T[5]
	5.	China National Intellectual Property Administration, Office Action received in Chinese application No. CN201780015714.1, mailed June 28, 2020, 10 pages.	X

EXAMINER SIGNATURE

Examiner Signature		Date Considered	

*EXAMINER: Initial if reference considered, whether or not citation is in conformance with MPEP 609. Draw line through a citation if not in conformance and not considered. Include copy of this form with next communication to applicant.

PTO/SB/08a (01-10)
Approved for use through 07/31/2012. OMB 0651-0031
U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it contains a valid OMB control number.

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)		
	Application Number	16/046,643
	Filing Date	July 26, 2018
	First Named Inventor	Angus Pacala
	Art Unit	2414
	Examiner Name	LEE, John R.
	Attorney Docket Number	103033-P001USC2-1096583

[1] See Kind Codes of USPTO Patent Documents at www.USPTO.GOV or MPEP 901.04. [2] Enter office that issued the document, by the two-letter code (WIPO Standard ST.3). [3] For Japanese patent documents, the indication of the year of the reign of the Emperor must precede the serial number of the patent document.[4] Kind of document by the appropriate symbols as indicated on the document under WIPO Standard ST.16 if possible. [5] Applicant is to place a check mark here if English language translation is attached.

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
17 September 2015 (17.09.2015)

WIPO | PCT

(10) International Publication Number
WO 2015/136100 A2

(51) International Patent Classification:
G01S 7/497 (2006.01)

(21) International Application Number:
PCT/EP2015/055358

(22) International Filing Date:
13 March 2015 (13.03.2015)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:

61/953,089	14 March 2014 (14.03.2014)	US
61/981,235	18 April 2014 (18.04.2014)	US
61/987,045	1 May 2014 (01.05.2014)	US
62/001,858	22 May 2014 (22.05.2014)	US
62/006,989	3 June 2014 (03.06.2014)	US

(71) Applicant: **MESA IMAGING AG** [CH/CH]; Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich (CH).

(72) Inventors: **KUBACKI, Jens**; c/o Mesa Imaging AG, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich (CH). **LEWIS, Jim**; c/o Mesa Imaging AG, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich (CH). **VAELLO, Bruno**; c/o MESA Imaging AG, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich (CH). **LEHMANN, Michael**; c/o MESA Imaging AG, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich (CH). **BEER, Stephan**; c/o Mesa Imaging AG, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich (CH). **BUETTGEN, Bernhard**; c/o Mesa Imaging AG, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich (CH). **CALERO, PÉREZ, Daniel**; c/o Mesa Imaging AG, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich (CH). **HALLAL, Bassam**; c/o Mesa Imaging AG, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich (CH).

(74) Agents: **SCHLEY, Jan-Malte** et al.; Peterreins Schley, Patent- und Rechtsanwälte, Soeltlstrasse 2a, 81545 Munich (DE).

(81) Designated States *(unless otherwise indicated, for every kind of national protection available)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States *(unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), European (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

[Continued on next page]

(54) Title: OPTOELECTRONIC MODULES OPERABLE TO RECOGNIZE SPURIOUS REFLECTIONS AND TO COMPENSATE FOR ERRORS CAUSED BY SPURIOUS REFLECTIONS

(57) Abstract: Optoelectronic modules are operable to distinguish between signals indicative of reflections from an object of interest and signals indicative of a spurious reflection. Various modules are operable to recognize spurious reflections and, in some cases, also to compensate for errors caused by spurious reflections.

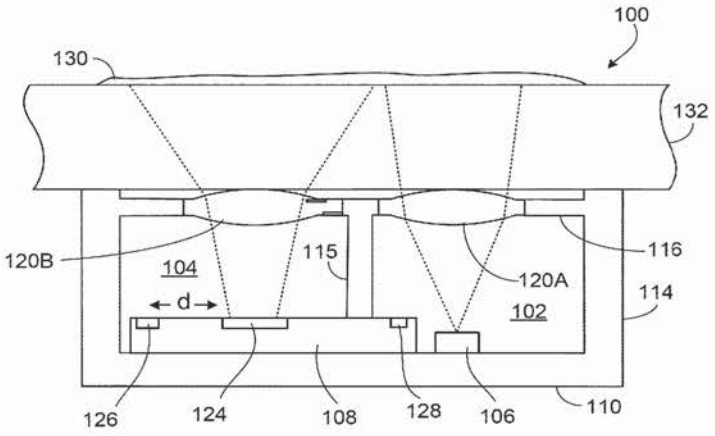


FIG. 1

WO 2015/136100 A2

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:

— *without international search report and to be republished upon receipt of that report (Rule 48.2(g))*

OPTOELECTRONIC MODULES OPERABLE TO RECOGNIZE SPURIOUS REFLECTIONS AND TO COMPENSATE FOR ERRORS CAUSED BY SPURIOUS REFLECTIONS

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

[0001] This application claims the benefit of priority of the following U.S. Provisional Patent Applications: Serial No. 61/953,089 filed on March 14, 2014; Serial No. 61/981,235 filed on April 18, 2014; Serial No. 61/987,045, filed on May 1, 2014; Serial No. 62/001,858, filed on May 22, 2014; and Serial No. 62/006,989, filed on June 3, 2014. The contents of the prior applications are incorporated herein by reference.

TECHNICAL FIELD

[0002] The present disclosure relates to modules that provide optical signal detection.

BACKGROUND

[0003] Some handheld computing devices such as smart phones can provide a variety of different optical functions such as one-dimensional (1D) or three-dimensional (3D) gesture detection, 3D imaging, time-of-flight or proximity detection, ambient light sensing, and/or front-facing two-dimensional (2D) camera imaging.

[0004] Time-of-flight (TOF) sensors, for example, can be used to detect the distance to an object. In general, TOF systems are based on the phase-measurement technique of emitted intensity-modulated light, which is reflected by a scene. The reflected light is imaged onto a sensor, and the photo-generated electrons are demodulated in the sensor. Based on the phase information, the distance to a point in the scene for each pixel is determined by processing circuitry associated with the sensor.

[0005] Additionally, TOF-based systems can provide depth and/or distance information via a pulse-measurement technique. The pulse-measurement technique employs an emitter and sensor as above; however, distance is determined by tallying the time for emitted light to reflect back onto the sensor.

[0006] In some cases, however, a smudge (e.g., a fingerprint or dirt) on the transmissive window (e.g., cover glass) of the host device can produce spurious signals, which may compromise the accuracy of the distance calculations. For example, light reflected by the cover glass and/or the smudge may be incident on the sensor. Such light typically will have a phase shift that differs from the phase shift of light reflected by the object of interest. The different phase shifts can result in an inaccurate determination of the distance to the object.

SUMMARY

[0007] The present disclosure describes optoelectronic modules operable to distinguish between signals indicative of reflections from an object of interest and signals indicative of a spurious reflection. In particular, as described below, various modules are operable to recognize spurious reflections and, in some cases, also to compensate for errors caused by spurious reflections.

[0008] For example, in one aspect, an optoelectronic module includes a light emitter to generate light to be emitted from the module, spatially distributed light sensitive elements arranged to detect light from the emitter that is reflected by an object outside the module, and one or more dedicated spurious-reflection detection pixels. In some implementations, the optoelectronic module further includes circuitry operable to use a signal from the one or more dedicated spurious-reflection detection pixels to correct for a spurious reflection. For example, in some cases, the circuitry can use a signal from the one or more dedicated spurious-reflection detection pixels to factor out a component of light reflected by a smudge present on a transmissive cover from a component of light detected by the spatially distributed light sensitive elements.

[0009] In some instances, the modules includes a reflector to direct a spurious light reflected by a smudge, a transmissive cover or other component to the dedicated spurious-reflection detection pixels. Likewise, in some cases, the module includes a light guide to direct light from a transmissive cover of a host device within which the module is disposed to the dedicated spurious-reflection detection pixels.

[0010] In accordance with another aspect, an optoelectronic module includes a light emission chamber and a light detection chamber. A first passive optical element is disposed over the light emission chamber, and a second passive optical element is disposed over the light detection chamber. A light emitter in the light emission chamber is operable to emit light toward the first passive optical element. Demodulation pixels in the light detection chamber are arranged to detect light from the emitter that is reflected by an object outside the module. Further, one or more spurious-reflection detection pixels also are in the light detection chamber. One or more light absorbing regions are provided in or on the second passive optical element and are substantially non-transparent to light at a wavelength emitted by the light emitter.

[0011] In some implementations, the light absorbing regions define a narrow straight path from a predefined area on a surface of a transmissive cover of a host device to the one or more spurious-reflection detection pixels. In some instances, the light absorbing regions are arranged to block emitter light reflected from one or more pre-defined areas of the transmissive cover from reaching the demodulation pixels. Further, in some implementations, there may be one or more light redirecting elements in or on the second passive optical element arranged to redirect at least some light impinging on the second passive optical element toward the spurious-reflection detection pixels and away from the demodulation pixels. In some cases, there may be one or more light redirecting elements in or on the first passive optical element arranged to redirect at least some emitter light impinging on the first passive optical element toward a pre-defined are.

[0012] In another aspect, an optoelectronic module includes a light emitter operable to emit light out of the module and demodulation pixels arranged to detect emitter light that is reflected by an object outside the module back into the module. The module further includes one or more combined spurious-reflection detection-reference pixels, as well as processing circuitry to correct for spurious reflections and to compensate for thermal drift based on signals from the one or more combined spurious-reflection detection-reference pixels. For example, in some implementations, the processing circuitry is configured to

correct for spurious reflections based at least in part on signals from the one or more combined spurious-reflection detection-reference pixels and also is configured to compensate for thermal drift based at least in part on phase shifts in the signals from the one or more combined spurious-reflection detection-reference pixels.

[0013] Another aspect describes a method of operating an optoelectronic module comprising demodulation pixels. The method includes emitting light from the module toward an object outside the module at a first modulation frequency, detecting, in the demodulation pixels, light reflected from the object at the first modulation frequency, emitting light from the module toward the object outside the module at a second modulation frequency and detecting, in the demodulation pixels, light reflected from the object at the second modulation frequency. The method further includes identifying a component in the signals detected by the demodulation pixels, wherein the component is caused by a reflection from a smudge on a cover glass, or a reflection from the cover glass, from a filter, or from another optical or non-optical element in the optoelectronic module or host device in which the optoelectronic module is disposed. The method includes subtracting out the component so as to determine a phase shift and amplitude resulting from light reflected by the object.

[0014] Other aspects, features and advantages will be readily apparent from the following detailed description, the accompanying drawings, and the claims.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0015] FIG. 1 illustrates an example of a TOF sensor module.

[0016] FIG. 2 is a flow chart showing a method of compensating for spurious reflections.

[0017] FIG. 3 is another example of a TOF sensor module.

[0018] FIG. 4 is yet another example of a TOF sensor module.

[0019] FIG. 5 illustrates a further example of a TOF sensor module.

[0020] FIG. 6 illustrates an example of a TOF sensor module.

[0021] FIG. 7 illustrates another example of a TOF sensor module.

[0022] FIG. 8 illustrates a further example of a TOF sensor module.

[0023] FIG. 9 illustrates yet another example of a TOF sensor module.

[0024] FIG. 10 illustrates a further example of a TOF sensor module.

[0025] FIG. 11 is an example of a phasor diagram based on TOF measurements using two different modulation frequencies.

DETAILED DESCRIPTION

[0026] FIG. 1 illustrates an example of an optoelectronic module 100 that includes a light emission channel 102 and a light detection channel 104. A light emitter 106 (i.e., an illumination source) and a TOF sensor 108 are mounted on a first side of a printed circuit board (PCB) 110, which forms the bottom side of the module housing. The light emitter 106 can be operable to generate coherent, directional, spectrally defined light emission with minimal divergence relative to the emission axis (e.g., in the range of 10 to 20 degrees). Examples of the light emitter 106 are a laser diode or a vertical cavity surface emitting laser (VCSEL).

[0018] A spacer 114 is attached to the first side of the PCB 110 and separates the PCB 110 from an optics member 116. The spacer 114 can be composed of a material (e.g., epoxy resin) and have a thickness such that it is substantially non-transparent to wavelengths of light detectable by the TOF sensor 108. An interior wall 115 of the spacer 114 provides optical isolation between the module's two chambers (i.e., the light emission chamber (channel) 102 and the light detection chamber (channel) 104).

[0019] The optics member 116 includes a respective passive optical element (e.g., a lens) 120A, 120B for each channel 102, 104. Light from the emitter 106 is directed out of the module 100 and, if reflected by an object back toward the module's detection channel 104, can be sensed by the TOF sensor 108.

[0020] The TOF sensor 108 includes an array of spatially distributed light sensitive elements (e.g., pixels), as well as logic and other electronics to read and process the pixel signals. The pixels can be implemented, for example, in a single integrated semiconductor chip (e.g., a CCD or CMOS sensor). The emitter 106 and the TOF sensor

108 can be connected electrically to the PCB 110, for example, by conductive pads or wire bonds. The PCB 110, in turn, can be connected electrically to other components within a host device (e.g., a smart phone). The TOF sensor 108 is operable to resolve distance based on the known speed of light by measuring the time-of-flight of a light signal between the sensor and the subject for each point of an object. The circuitry in the TOF sensor 108 can use signals from the pixels to calculate, for example, the time the light has taken to travel from the emitter to an object of interest and back to the focal plane array.

[0021] The TOF sensor 108 can be implemented, for example, as an integrated sensor chip. As shown in FIG. 1, the TOF sensor 108 includes active demodulation detection pixels 124, one or more dedicated "spurious reflection detection" pixels 126 and one or more reference pixels 128. Although the number and arrangement of the demodulation detection pixels 124 can vary depending on the implementation, in some implementations, the demodulation detection pixels are in a 3x3 array. In some cases, the spurious-reflection detection pixels may be referred to as smudge detection pixels. Each spurious-reflection detection pixel 126 can be implemented, for example, as a CCD pixel or a photodiode. The demodulation detection pixels 124 provide the primary signals for determining the proximity of an object outside the module. The demodulation detection pixels 124 preferably are centered below the light detection channel lens 120B. The center optical emission axis of the emitter 106 preferably is aligned with the emitter channel lens 120A. Signals sensed by the spurious-reflection detection pixel(s) 126 can be used to correct for spurious reflections such as from a smudge (i.e., a blurred or smeared mark such as a fingerprint or dirt) 130 on the transmissive cover (e.g., a cover glass) 132 of a host device (e.g., a smart phone or other handheld computing device). In some implementations, signals sensed by the spurious-reflection detection pixel(s) 126 can be used to correct for spurious reflections resulting from other direct reflections such as from the cover glass, from a filter, or from other optical/non-optical components in the optoelectronic module or host device. If such corrections are not performed, the TOF sensor may produce a spurious output signal, which can compromise the accuracy of the proximity data collected. A small amount of light from the emitter 106 can be reflected,

for example, by the lens 120A back toward the reference pixel(s) 128. Signals from the reference pixel(s) 128 can be used to compensate for thermal drift and/or to provide a zero distance measurement.

[0027] The sensor's processing circuitry can be implemented, for example, as one or more integrated circuits in one or more semiconductor chips with appropriate digital logic and/or other hardware components (e.g., read-out registers; amplifiers; analog-to-digital converters; clock drivers; timing logic; signal processing circuitry; and/or a microprocessor). The processing circuitry may reside in the same semiconductor chip as the sensor 108 or in one or more other semiconductor chips.

[0028] In the example of FIG. 1, an interior wall 115 of the spacer 114 provides optical isolation between the module's two chambers (i.e., the light emission channel 102 and the light detection channel 104). The reference pixel(s) 128 are located in the emitter chamber 102, whereas the demodulation detection pixels 124 and the dedicated spurious-reflection detection pixel(s) 126 are located in the detection chamber 104. The interior wall 115 prevents emitter light, which is reflected, for example, back into the emission chamber 102 by the lens 120A, from impinging on the demodulation detection pixels 124.

[0029] In some of the examples described here, it is assumed that spurious reflections may be caused by a smudge on the cover glass of the host device. However, the modules and techniques described below also can be applicable to spurious reflections resulting from other direct reflections such as from the cover glass, from a filter, or from other optical/non-optical components in the optoelectronic module or host device.

[0030] Preferably, the spurious-reflection detection pixel(s) 126 should be positioned relative to the demodulation detection pixels 124 such that, in the absence of a smudge on cover 132 of the host device, the spurious-reflection detection pixel 126 senses, at most, a signal representing only a relatively low optical intensity of light reflected by an object in a scene outside the module 100. In contrast, when a smudge 130 is present on the surface

of the cover 132 of the host device, the smudge may redirect some of the light reflected by the external object toward the spurious-reflection detection pixel(s) 126 such that they sense a significantly higher optical intensity. For example, the spurious-reflection detection pixel 126 can be positioned on the sensor 108 a sufficient lateral distance (d) from the demodulation detection pixels 124 such that, in the absence of a smudge on cover 132 of the host device, the spurious-reflection detection pixel 126 senses, at most, only a relatively low optical intensity of light reflected by an object in a scene outside the module 100. On the other hand, a smudge 130 on the surface of the cover 132 of the host device can cause some of the light reflected by the external object to be redirected toward the spurious-reflection detection pixel 126 such that it senses a significantly higher optical intensity.

[0031] The optical intensity sensed by the spurious-reflection detection pixel 126 can be used by the sensor's processing circuitry to determine whether a smudge is present on the cover glass 132 and to determine how much light (i.e., amplitude and phase) collected by the active pixels 124 is due to the smudge rather than the object of interest. For example, as illustrated by FIG. 2, during each TOF frame, the sensor's control circuitry can initiate an intensity (DC) measurement of the light sensed by the spurious-reflection detection pixel 126 (block 200). Based at least in part on the output of the spurious-reflection detection pixel, the sensor's processing circuitry then can determine whether a smudge is present on the cover glass 132 (block 202). In particular, in some implementations, a high intensity sensed by the spurious-reflection detection pixel 126 in combination with a TOF sensor output of about zero (i.e., cover glass level) indicates the presence of an object on the surface of the cover glass 132. On the other hand, a high intensity sensed by the spurious-reflection detection pixel 126 in combination with a TOF measurement greater than zero indicates the presence of a smudge. Further, the intensity sensed by the spurious-reflection detection pixel 126 is proportional to the magnitude of the smudge vector. As the phase of the smudge vector is available to the sensor's processing circuitry, the processing circuitry can use vector subtraction to compensate for the distance error caused by the smudge (block 204). For example, the intensity of the light reflected by the smudge 130 can be measured by the spurious reflection pixel 126.

Assuming that the path length to the smudge 130 is known to the sensor's processing circuitry, the phase also can be determined (e.g., as part of a calibration process). If the magnitude of the light on the spurious-reflection detection pixel 126 is known, the magnitude of the light component incident on the active pixels 124 that is a result of reflection from the smudge 130 can be inferred by the sensor's processing circuitry. The phase of the light component that is a result of the reflection from the smudge 130 can be factored out of the measured signals obtained from the active pixels 124.

[0032] In some implementations, as indicated by FIG. 3, the optoelectronic module includes a reflector 140 to direct light reflected by a smudge 130 toward the spurious-reflection detection pixel(s) 126. The reflector 140 can be positioned, for example, in the vicinity of the spurious-reflection detection pixel 126 just below the transmissive cover 132 of the host device. The presence of the reflector 140 can enhance sensing by the spurious-reflection detection pixel 126 by controlling the specific reflection angles at which reflected light is detected. Thus, in the absence of a smudge 130, light 134 from the emitter 106 can reach an object 135 outside the module and can be reflected by the object 135 for sensing by the demondulation detection pixels 124. The presence of a smudge 130 can cause some of the emitter light 136 to be reflected back into the module. The reflector 130 can re-direct some of that reflected light toward the spurious-reflection detection pixel 126. The sensor's processing circuitry can use the change (i.e., increase) in intensity sensed by the spurious-reflection detection pixel 126 to determine that there is a smudge 130 on the transmissive cover 132 and/or to compensate for a distance error caused by the smudge.

[0033] In some cases, emitter light reflected by a smudge 130 on the transmissive cover 132 results in multiple internal reflections 142 off opposing inner surfaces 132A, 132B of the cover as shown in FIG. 4. Such light 142 may be reflected, for example, by internal reflection within the transmissive cover 132. Some of the reflected light 142, however, will pass, for example, through the sensor-side surface 132A of the cover 132. This light 144 can be directed to the spurious-reflection detection pixel(s) 126 by a light guide 146 coupled between the surface 132A and the pixel 126. Thus, in the absence of a smudge

130, light 134 from the emitter 106 can reach an object 135 outside the module and can be reflected by the object 135 for sensing by the demondulation detection pixels 124. The presence of a smudge 130 can cause some of the emitter light 136, 142 to be reflected back into the module. The light guide 146 can guide such light 144 to the spurious-reflection detection pixel 126. The sensor's processing circuitry can use the change (i.e., increase) in intensity sensed by the spurious-reflection detection pixel 126 to determine that there is a smudge 130 on the transmissive cover 132 and/or to compensate for a distance error caused by the smudge.

[0034] FIG. 5 illustrates another implementation of an optoelectronic module that can facilitate enhanced detection of a smudge 130, for example, on the cover glass 132 of the host device. In this example, a smudge detection area 160 is defined on the object-side (i.e., exterior) surface 162 of the cover glass 132. The pre-specified smudge detection area 160 lies, for example, near the edge of the field of illumination (FOI) of the light emitter 106 (e.g., a VCSEL), outside the field of view (FOV) of the TOF's demodulation detection pixels 124. As further illustrated in FIG. 5, one or more light absorbing regions 164 are provided in or on the material of the detection channel passive optical element 120B so as to leave only a relatively narrow straight path 166 from the smudge detection area 160 of the cover glass 132 to the spurious-reflection detection pixel(s) 126. The light absorbing regions are substantially non-transparent (i.e., opaque) to light at a wavelength emitted by the light emitter Although the example of FIG. 5 shows two such light absorbing regions 164, other implementations may include only a single light absorbing region, whereas some implementations may have more than two light absorbing regions in the material of the detection channel passive optical element 120B. If the light emitter 106 emits, for example, light in the infra-red (IR) range, each light absorbing region 164 can be formed as an IR-absorbing region, for example, by laser blackening specified regions of the passive optical element 120B or by depositing a thin coating of black chrome on the specified areas of the passive optical element 120B.

[0035] FIG. 6 illustrates an optoelectronic module 200 that can help block at least some light 170 reflected by a smudge 130 on the cover glass 132 of the host device, or light

172 reflected by the cover glass itself, and prevent the reflected light from impinging on the demodulation detection pixels 124. The module 200 includes a passive optical element (e.g., a lens) 120A that intersects the optical emission path 174, and a passive optical element 120B (e.g., a lens) that intersects the optical detection path 176. In the illustrated example, both passive optical elements 120A, 120B rest on the surface of a transparent substrate 178. In other implementations, the passive optical elements 120A, 120B may be part of an optics member as shown, for example, in FIG. 1.

[0036] As further illustrated in FIG. 6, the passive optical element 120B for the detection channel includes one or more light absorbing regions 180 that absorb light at the wavelength(s) emitted by the emitter 106. In some instances, each light absorbing region 180 is formed as an IR-absorbing region, for example, by laser blackening specified regions of the passive optical element 120B or by depositing a thin coating of black chrome on specified areas of the passive optical element 120B. The light absorbing regions 180 can be positioned on the passive optical element 120B so as to intersect, and effectively block, light 170 reflected by the smudge and/or light 172 reflected by the cover glass 132 that otherwise would impinge on the demodulation detection pixels 124. On the other hand, the passive optical element 120B can direct some parts 182 of the light reflected by the smudge 130 toward the spurious-reflection detection pixels 126. Likewise, light reflected by an object 135 in a scene outside the module 200 can be reflected along paths (e.g., path 176) that pass through the passive optical element 120B and impinge on the demodulation detection pixels 124.

[0037] FIG. 7 illustrates an optoelectronic module 202 that includes one or more light redirecting elements 190 that can redirect some of the light 192, 194 impinging on the detection channel's passive optical element 120B toward the spurious-reflection detection pixels 126 and away from the sensor 108 (i.e., away from the demodulation detection pixels 124). In particular, as shown in FIG. 7, the surface of the optical element 120B for the detection channel can have one or more passive optical elements 190, such as refractive or diffractive lenses, that redirect the light 192, 194 toward the spurious-reflection detection pixels 126. In some implementations, the passive optical elements

190 are integrated within the optical element 120B. The light redirecting elements 190 can be positioned on the passive optical element 120B so as to intersect light 192 reflected by the smudge and/or light 194 reflected by the cover glass 132 that otherwise might impinge on the demodulation detection pixels 124. On the other hand, light reflected by an object 135 in a scene outside the module 200 can be reflected along paths (e.g., path 176) that pass through the passive optical element 120B and impinge on the sensor's demodulation detection pixels 124.

[0038] FIG. 8 illustrates another optoelectronic module 204 in which the emitter channel's passive optical element 120A has one or more light redirecting elements 196 that can redirect some of the emitter light 174 toward a particular region 133 on the outer surface 132B of the cover glass 132. Each light redirecting element 196 can be, for example, a passive optical element such as a refractive or diffractive element. In some implementations, the light directing elements 190 are integrated within the optical element 120B. If a smudge 130 is present on the surface 132B of the cover glass 132, light 198 reflected by the smudge 130 at the particular region 133 of the cover glass surface passes through the passive optical element 120B, which directs the light 198 toward the spurious-reflection detection pixels 126. Preferably, the spurious-reflection detection pixel(s) 126 are located at a sufficiently large lateral distance from the sensor 108 such that the light incident on the spurious-reflection detection pixel(s) 126 is based only (or at least primarily) on light reflected by the smudge 130 and not light reflected by the object 135. The detection channel's passive optical element 120B should be designed to direct the light 198 from the smudge 130 at the proper angle so that the light 198 impinges on the spurious-reflection detection pixel(s) 126.

[0039] In some instances, one or more of the features described in the foregoing examples may be combined in a single module. FIG. 9 illustrates one such example of a module 206 in which the emitter channel optical element 122A includes a light directing element 196 as described in connection with FIG. 8 and the detection channel optical element 122B includes a light absorbing region 180 as described in connection with FIG. 7. Modules includes other combinations of the various features described in this

disclosure can be provided to improve the modules' ability to distinguish between signals indicative of reflections from an object interest and signals indicative of a spurious reflections.

[0040] As described above, the modules can include one or more dedicated spurious-reflection detection pixels 126 that are separate from the demodulation detection pixels 124. As also described, the modules also may include one or more dedicated reference pixels 128 that can be used to compensate for thermal drift/or and to provide a zero distance measurement (see, e.g., FIG. 1). In some implementations, however, the module can include pixels that serve as combined reference and spurious-reflection detection pixels. An example is illustrated in FIG. 10, which includes one or more pixels 126A whose output can be used by the sensor's processing circuitry to correct for spurious reflections such as from a smudge and also to compensate for thermal drift/or and to provide a zero distance measurement. For example, signals from the pixels 126A can be used to determine both amplitude and phase during calibration of the module. During subsequent operation, changes in amplitude of the detected signals of the pixels 126A can indicate the presence of the smudge and can be used to correct for spurious reflections caused by the smudge. Likewise, phase shifts in the detected signals of the pixels 126A can be used to compensate for thermal drift.

[0041] In some implementations, instead of, or in addition to, dedicated smudge pixels, signals obtained from the demodulation detection pixels 124 can be used to determine the wave component (i.e., amplitude, phase) that is caused by reflection from a smudge 130 on the surface of the cover glass 132. To do so, the wave component caused by the smudge reflection can be estimated, for example, by repeating measurements at two different modulation frequencies. Assuming the distance between the smudge 130 and the emitter 106 is known to the module's processing circuity (e.g., based on a previously stored value in memory and/or calibration of the module), the additional wave component resulting from the presence of the smudge 130 can be determined by the processing circuity. Any such additional wave component would be common to signals detected by the demodulation detection pixels 124 at both modulation frequencies. The additional

wave component caused by the smudge 130 can be eliminated (i.e., subtracted out) through known vector manipulation techniques, and the wave components resulting from light reflected by the object of interest outside the module can be calculated. The resulting phase shift then can be used to calculate the distance to the object 135.

FIG. 11 is an example of a phasor diagram 300 illustrating the various light components in which two different modulation frequencies are used as described above. In FIG. 11, 302 is the wave component (i.e., vector representing amplitude, phase) caused by reflection from the smudge, 304 is the wave component caused by light reflected from the object at the low modulation frequency, 306 is the wave component that represents the sum of the light reflected both by the object and by the smudge at the low modulation frequency, 308 is the wave component caused by light reflected from the object at the high modulation frequency, and 310 is the wave component that represents the sum of the light reflected both by the object and by the smudge at the high modulation frequency. The wave components (i.e., phasors) 302, 304, 306, 308, and 310 in FIG. 11 are rotated by a phase corresponding to the known distance of the smudge measured at the respective modulation frequency. In the phasor diagram 300, the two phasors 306, 310 (representing the received light signal at low and high demodulation frequencies, respectively) lie on a circle whose center corresponds to the amplitude of the smudge component. Thus, vector manipulation can be used to eliminate the wave component caused by the smudge.

[0042] In some implementations, it can be advantageous to increase the difference between the applied modulation frequencies. Further, it some cases, the lower frequency can be replaced by two DC measurements (i.e., switching the illumination on and off, respectively).

[0043] As previously described, the foregoing modules and techniques can be applicable to correction of errors caused by spurious reflections resulting from reflections from the cover glass, from a filter, or from other optical/non-optical components in the optoelectronic module or host device.

[0044] The modules described here can be integrated advantageously into devices such as smart phones, tablets, and other host devices in which space is at a premium.

[0045] Various modifications can be made to the foregoing examples. Further, features from the different examples can, in some instances, be integrated in the same module. Other implementations are within the scope of the claims.

What is claimed is:

1. An optoelectronic module comprising:

a light emitter to generate light to be emitted from the module;

a plurality of spatially distributed light sensitive elements arranged to detect light from the emitter that is reflected by an object outside the module; and

one or more dedicated spurious-reflection detection pixels.

2. The optoelectronic module of claim 1 wherein the light emitter is disposed in a first chamber of the module and the spatially distributed light sensitive elements and one or more dedicated spurious-reflection detection pixels are disposed on a second chamber of the module.

3. The optoelectronic module of claim 1 including circuitry operable to use a signal from the one or more dedicated spurious-reflection detection pixels to correct for a spurious reflection.

4. The optoelectronic module of claim 3 including circuitry operable to use a signal from the one or more dedicated spurious-reflection detection pixels to factor out a component of light reflected by a smudge present on a transmissive cover from a component of light detected by the spatially distributed light sensitive elements.

5. The optoelectronic module of claim 1 including circuitry operable to use output signals from the one or more dedicated spurious-reflection detection pixels to determine whether a smudge is present on a glass cover of a host device in which the module is disposed.

6. The optoelectronic module of any one of claims 1-5 wherein the spatially distributed light sensitive elements are demodulation pixels, the module further including processing circuitry operable to determine a distance to an object outside the module based at least in part on signals from the demodulation pixels.

7. The optoelectronic module of claim 1 further including a reflector to direct a spurious light reflected by a smudge, a transmissive cover or other component to the one or more dedicated spurious-reflection detection pixels.

8. The optoelectronic module of claim 7 wherein the module is disposed within a host device that includes a transmissive cover, and wherein the reflector is disposed so to direct light reflected by a smudge on the transmissive cover to the one or more dedicated spurious-reflection detection pixels.

9. The optoelectronic module of claim 1 further including a light guide to direct light from a transmissive cover of a host device within which the module is disposed to the one or more dedicated spurious-reflection detection pixels.

10. The optoelectronic module of claim 9 wherein the light guide is disposed to receive light reflected by a smudge on a surface of the transmissive cover and reflected internally within the transmissive cover, and to guide the received light to the one or more dedicated spurious-reflection detection pixels.

11. An optoelectronic module comprising:

a light emission chamber and a light detection chamber;

a first passive optical element disposed over the light emission chamber and a second passive optical element disposed over the light detection chamber;

a light emitter in the light emission chamber operable to emit light toward the first passive optical element;

a plurality of demodulation pixels in the light detection chamber arranged to detect light from the emitter that is reflected by an object outside the module;

one or more spurious-reflection detection pixels in the light detection chamber; and

one or more light absorbing regions in or on the second passive optical element for defining a narrow straight path from a predefined area on a surface of a transmissive cover of a host device to the one or more spurious-reflection detection pixels, wherein the

one or more light absorbing regions are substantially non-transparent to light at a wavelength emitted by the light emitter.

12. The optoelectronic module of claim 11 including a plurality of the light absorbing regions in or on the second passive optical element.

13. The optoelectronic module of claim 12 wherein a first one of the light absorbing regions is on a surface of the second passive optical element facing the demodulation pixels, and a second one of the light absorbing regions is on a surface of the second passive optical element facing away the demodulation pixels.

14. The optoelectronic module of claim 11 wherein the light emitter is operable to emit infra-red light and wherein the one or more light absorbing regions are substantially non-transparent to the infra-red light.

15. The optoelectronic module of claim 11 wherein each of the one or more light absorbing regions comprises a black chrome coating.

16. The optoelectronic module of claim 11 wherein each of the one or more light absorbing regions is a laser blackened region of the second passive optical element.

17. An optoelectronic module comprising:

a light emission chamber and a light detection chamber;

a first passive optical element disposed over the light emission chamber and a second passive optical element disposed over the light detection chamber;

a light emitter in the light emission chamber operable to emit light toward the first passive optical element;

a plurality of demodulation pixels in the light detection chamber arranged to detect light from the emitter that is reflected by an object outside the module;

one or more spurious-reflection detection pixels in the light detection chamber; and

one or more light absorbing regions in or on the second passive optical element arranged to block emitter light reflected from one or more pre-defined areas of a transmissive cover of a host device from reaching the demodulation pixels.

18. The optoelectronic module of claim 17 wherein the one or more light absorbing regions are disposed so as to allow emitter light reflected by an object outside the module back toward the module to pass through the second passive optical element to the demodulation pixels.

19. The optoelectronic module of claim 17 wherein each of the one or more light absorbing regions comprises a black chrome coating.

20. The optoelectronic module of claim 17 wherein each of the one or more light absorbing regions is a laser blackened region of the second passive optical element.

21. An optoelectronic module comprising:

a light emission chamber and a light detection chamber;

a first passive optical element disposed over the light emission chamber and a second passive optical element disposed over the light detection chamber;

a light emitter in the light emission chamber operable to emit light toward the first passive optical element;

a plurality of demodulation pixels in the light detection chamber arranged to detect emitter light that is reflected by an object outside the module back into the module;

one or more spurious-reflection detection pixels in the light detection chamber; and

one or more light redirecting elements in or on the second passive optical element arranged to redirect at least some light impinging on the second passive optical element toward the one or more spurious-reflection detection pixels and away from the demodulation pixels.

.

22. The optoelectronic module of claim 21 wherein each of the light redirecting elements is a diffractive or refractive element.

23. An optoelectronic module comprising:

a light emission chamber and a light detection chamber;

a first passive optical element disposed over the light emission chamber and a second passive optical element disposed over the light detection chamber;

a light emitter in the light emission chamber operable to emit light toward the first passive optical element;

a plurality of demodulation pixels in the light detection chamber arranged to detect emitter light that is reflected by an object outside the module back into the module;

one or more spurious-reflection detection pixels in the light detection chamber; and

one or more light redirecting elements in or on the first passive optical element arranged to redirect at least some emitter light impinging on the first passive optical element toward a pre-defined are.

24. The optoelectronic module of claim 23 wherein each of the light redirecting elements is arranged to redirect at least some of the emitter light toward a particular respective region of a transmissive cover of a host device in which the module is disposed.

25. The optoelectronic module of claim 23 wherein each of the light redirecting elements is a refractive or diffractive element.

26. An optoelectronic module comprising:

a light emitter operable to emit light out of the module;

a plurality of demodulation pixels arranged to detect emitter light that is reflected by an object outside the module back into the module;

one or more combined spurious-reflection detection-reference pixels; and

processing circuitry to correct for spurious reflections and to compensate for thermal drift based on signals from the one or more combined spurious-reflection detection-reference pixels.

27. The optoelectronic module of claim 26 wherein the processing circuitry is configured to:

correct for spurious reflections based at least in part on signals from the one or more combined spurious-reflection detection-reference pixels; and

compensate for thermal drift based at least in part on phase shifts in the signals from the one or more combined spurious-reflection detection-reference pixels.

28. A method of operating an optoelectronic module comprising demodulation pixels, the method comprising:

emitting light from the module toward an object outside the module at a first modulation frequency;

detecting, in the demodulation pixels, light reflected from the object at the first modulation frequency;

emitting light from the module toward the object outside the module at a second modulation frequency;

detecting, in the demodulation pixels, light reflected from the object at the second modulation frequency;

identifying a component in the signals detected by the demodulation pixels, wherein the component is caused by a reflection from a smudge on a cover glass, or a reflection from the cover glass, from a filter, or from another optical or non-optical element in the optoelectronic module or host device in which the optoelectronic module is disposed; and

subtracting out the component so as to determine a phase shift and amplitude resulting from light reflected by the object.

29. The method of claim 28 including using vector manipulation to subtract out the phase shift caused by the reflection from the smudge or by the reflection from the cover glass,

from the filter, or from the other optical or non-optical element in the optoelectronic module or host device in which the optoelectronic module is disposed.

30. The method of claim 28 further including determining a distance to the object based at least in part on the phase shift resulting from light reflected by the object.

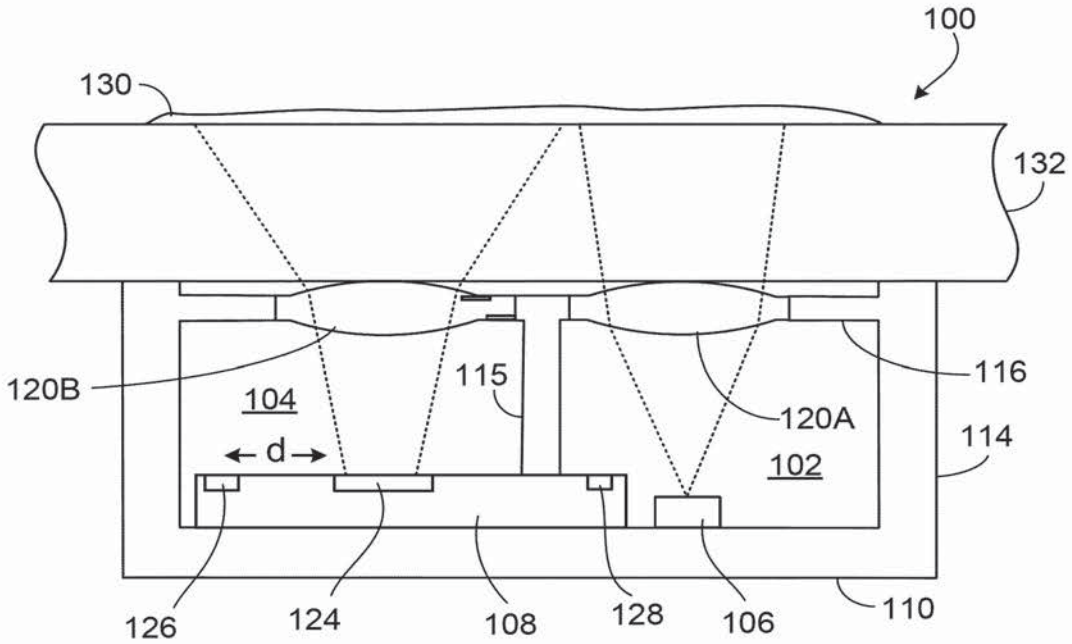

100
130
132
120B
104
d
115
120A
102
116
114
126
124
108
128
106
110

FIG. 1

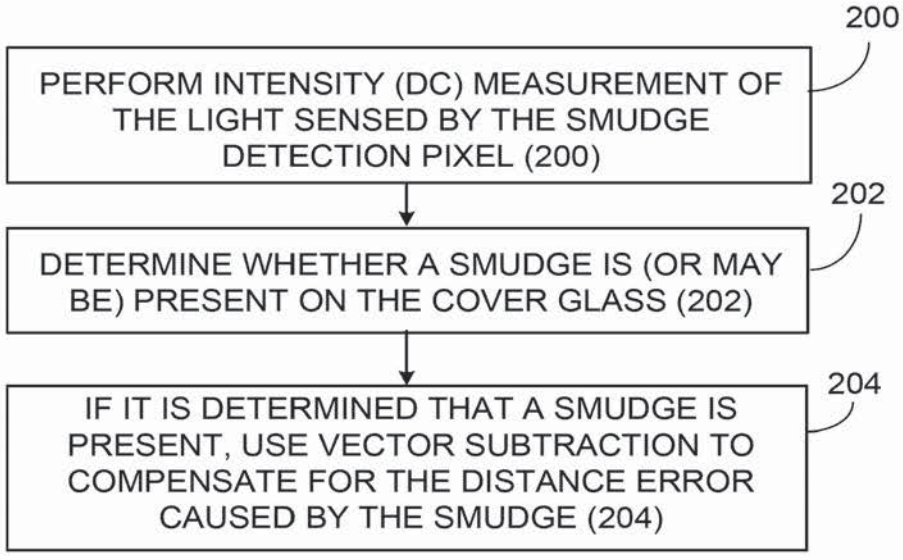

200
PERFORM INTENSITY (DC) MEASUREMENT OF THE LIGHT SENSED BY THE SMUDGE DETECTION PIXEL (200)
202
DETERMINE WHETHER A SMUDGE IS (OR MAY BE) PRESENT ON THE COVER GLASS (202)
204
IF IT IS DETERMINED THAT A SMUDGE IS PRESENT, USE VECTOR SUBTRACTION TO COMPENSATE FOR THE DISTANCE ERROR CAUSED BY THE SMUDGE (204)

FIG. 2

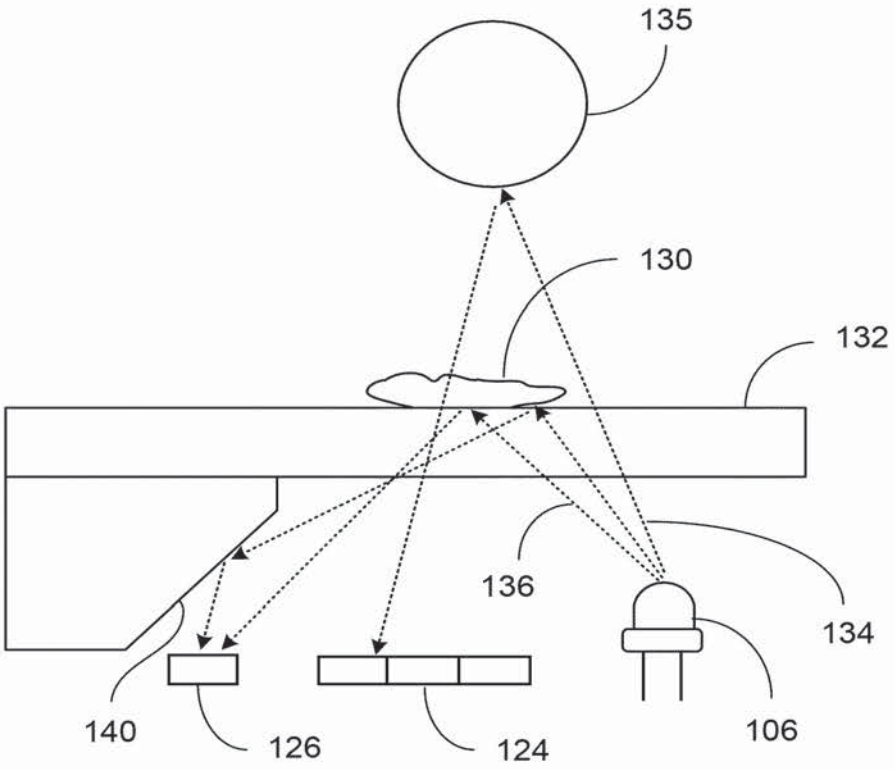


FIG. 3

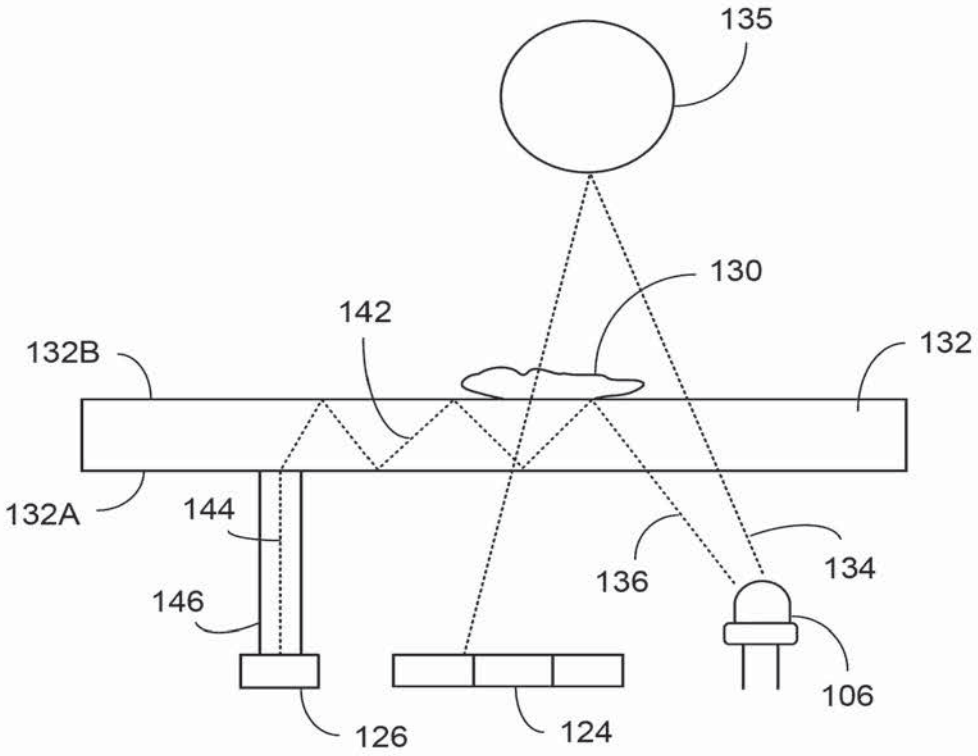


FIG. 4

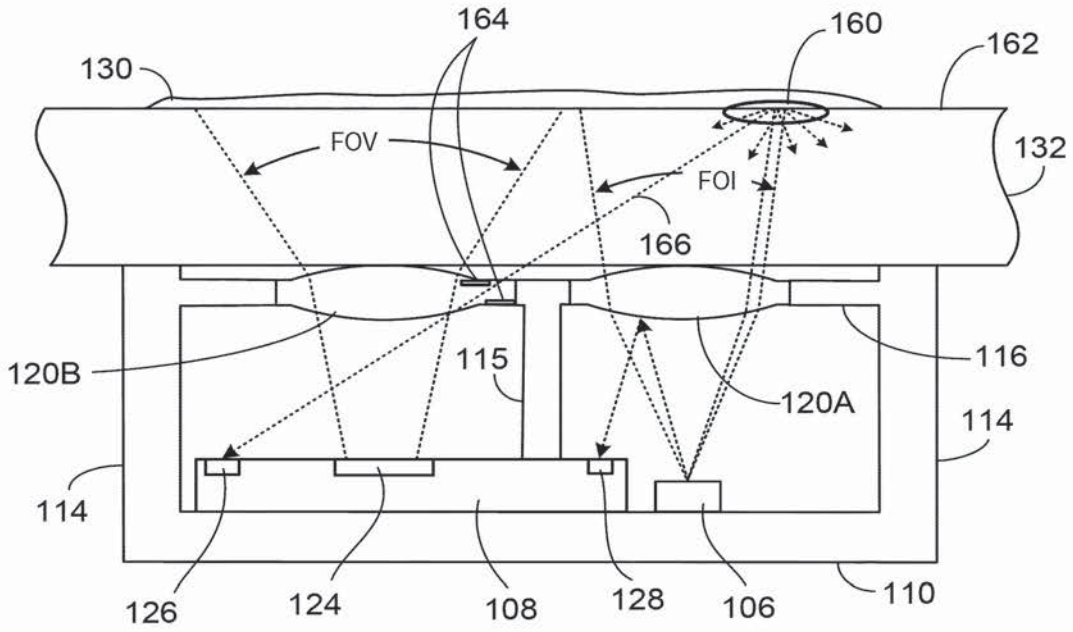

164
160
162
130
FOV
FOI
132
166
120B
115
116
120A
114
114
126
124
108
128
106
110

FIG. 5

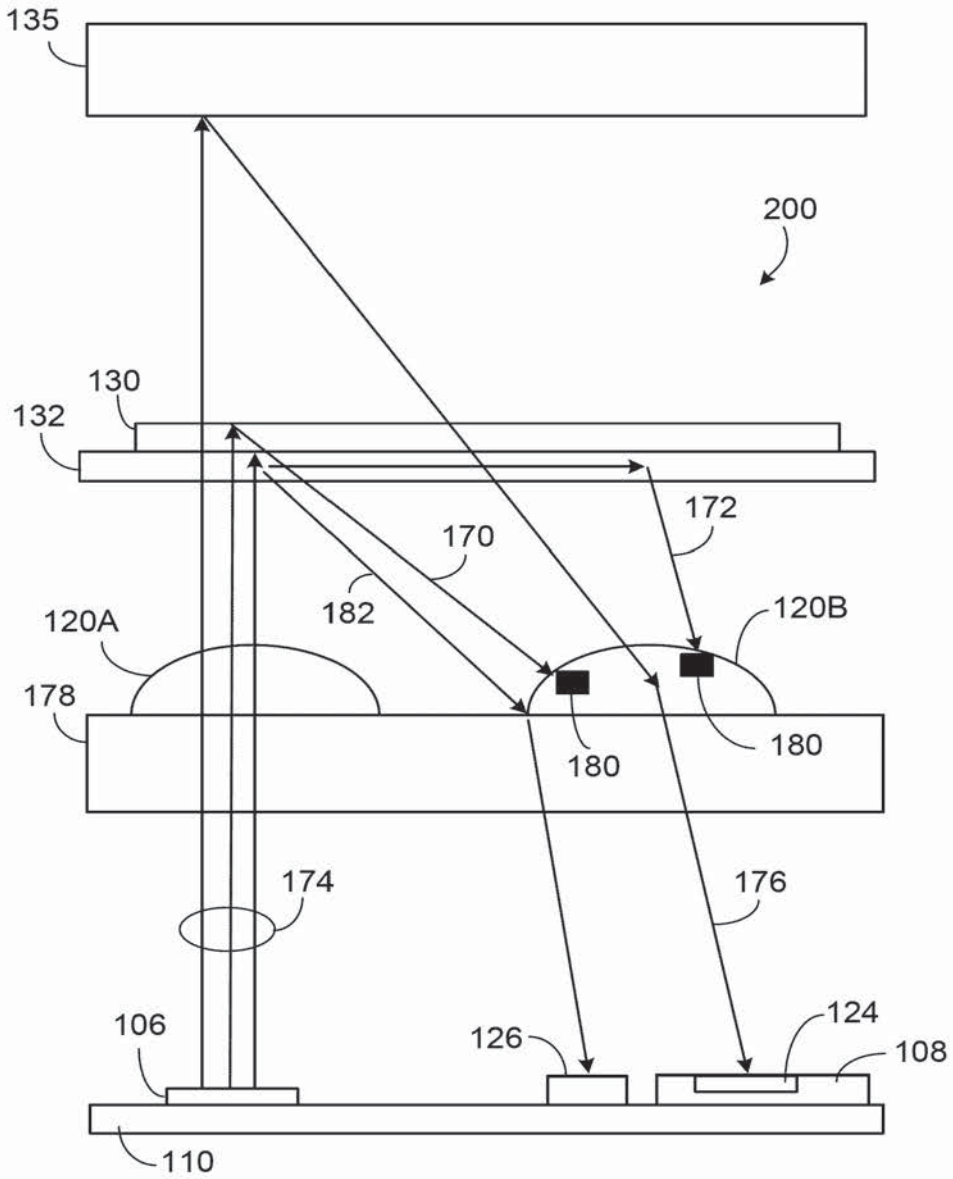

135
200
130
132
172
170
182
120A
120B
178
180
180
174
176
106
126
124
108
110

FIG. 6

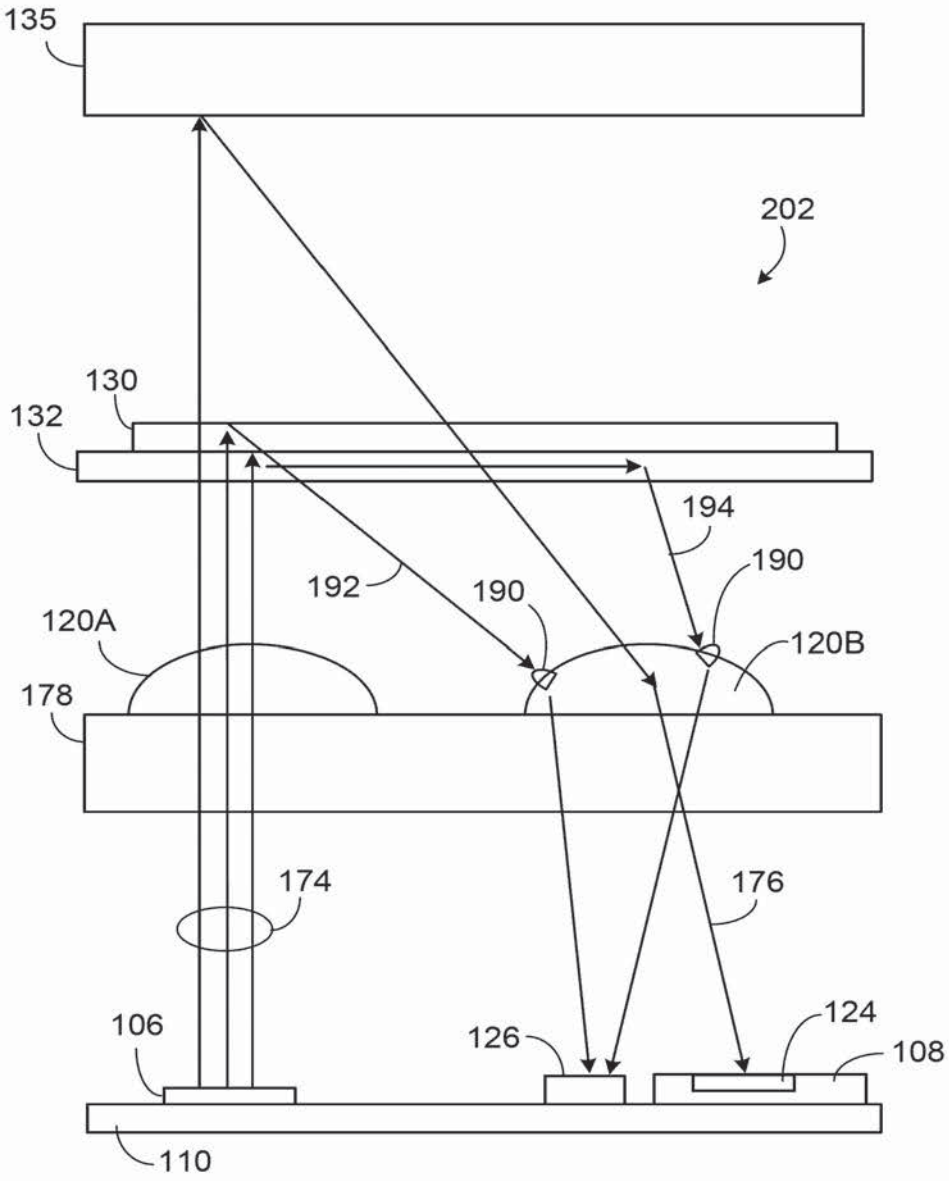

135
202
130
132
194
190
192
190
120A
120B
178
174
176
106
126
124
108
110

FIG. 7

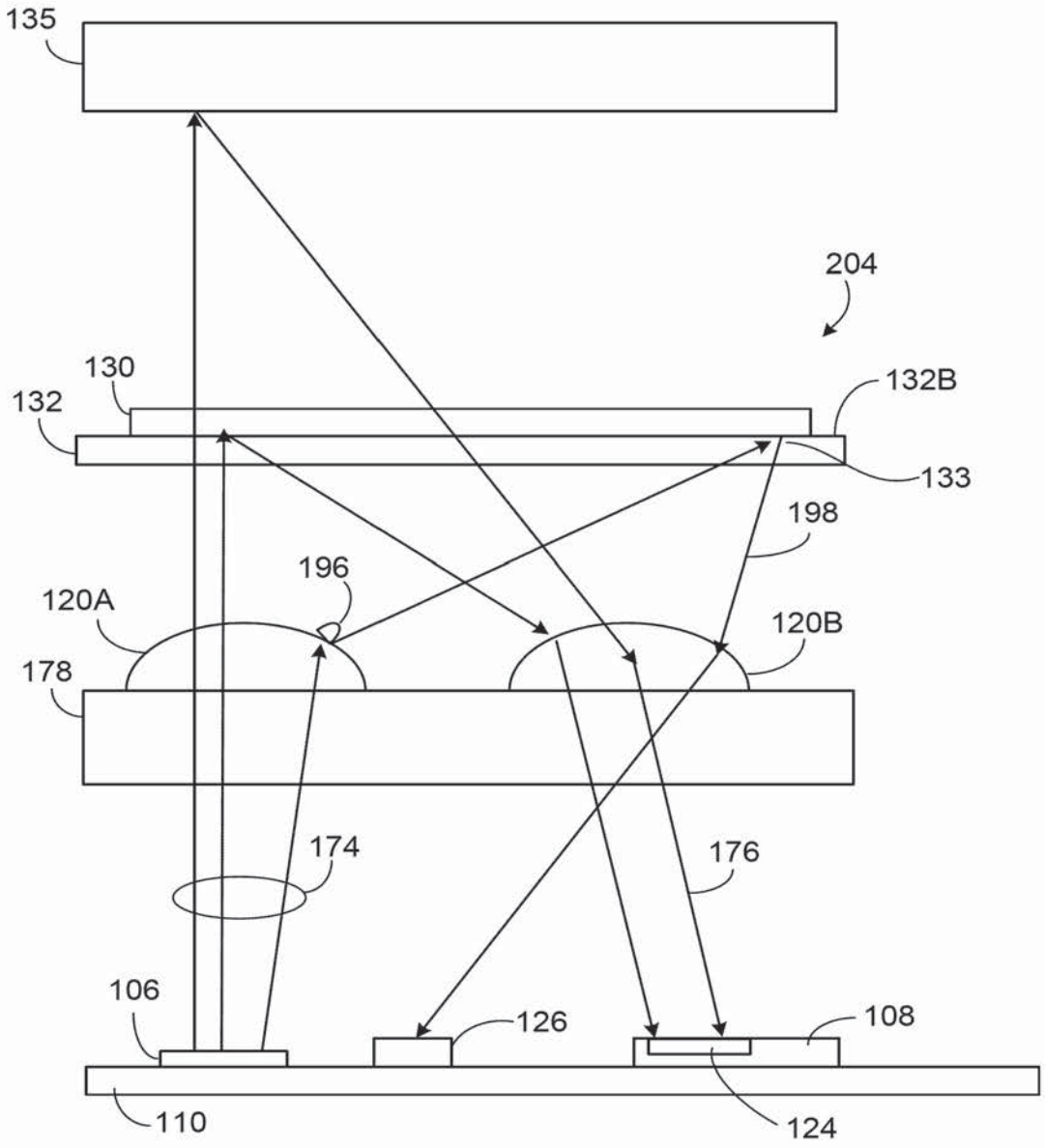

135
204
130
132
132B
133
198
196
120A
120B
178
174
176
106
126
108
110
124

FIG. 8

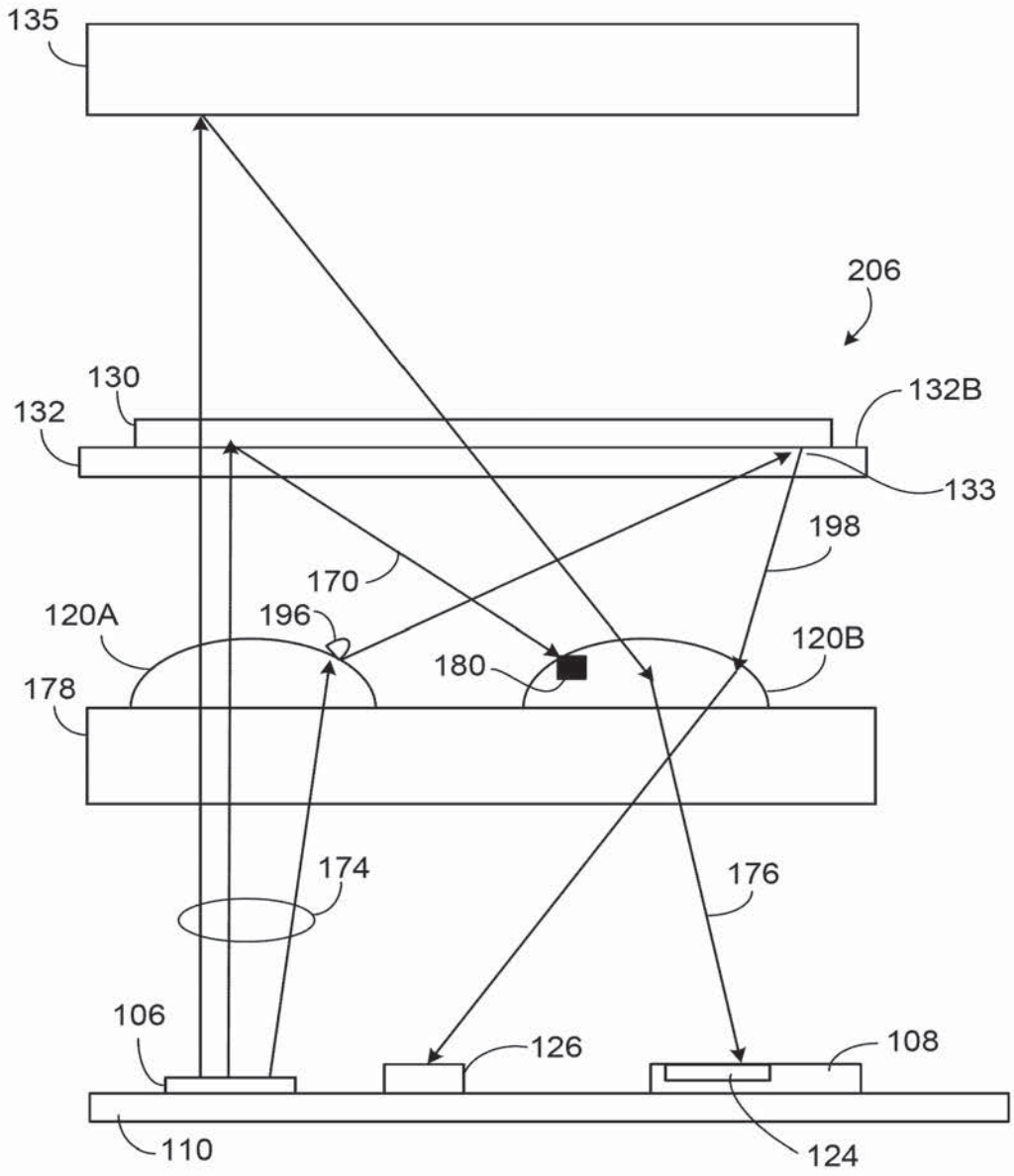

135
206
130
132
132B
133
198
170
120A
196
120B
180
178
174
176
106
126
108
110
124

FIG. 9

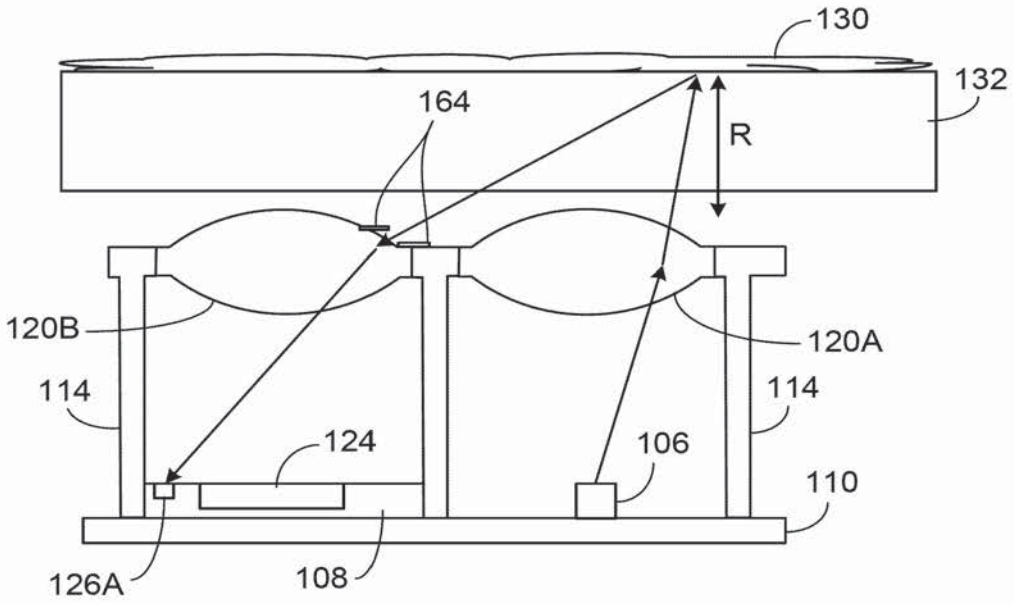


FIG. 10

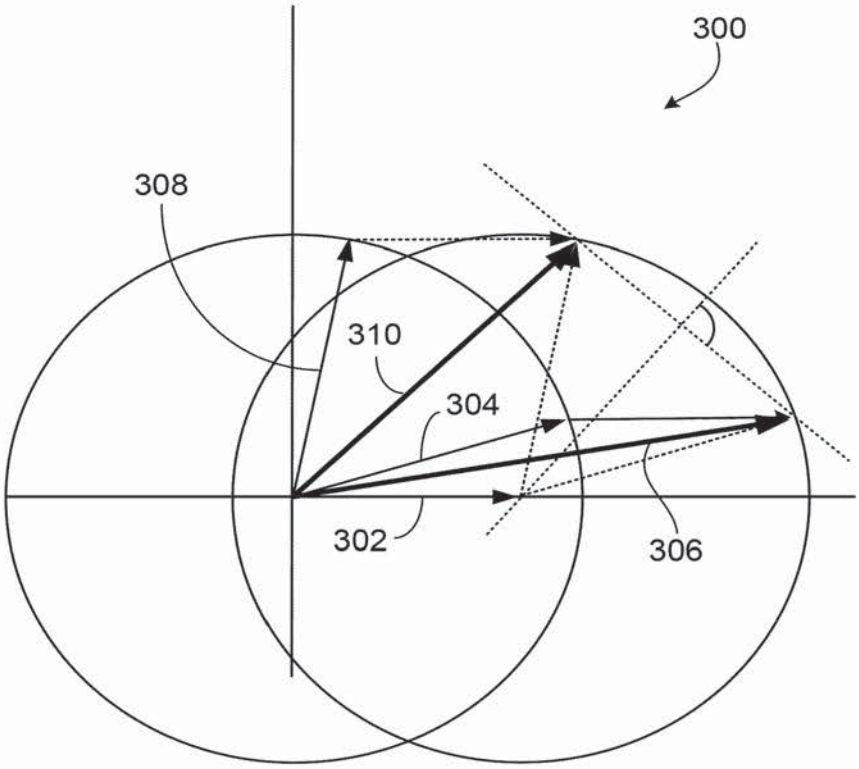


FIG. 11

Electronic Acknowledgement Receipt	
EFS ID:	40126286
Application Number:	16046643
International Application Number:	
Confirmation Number:	1720
Title of Invention:	OPTICAL IMAGING SYSTEM WITH A PLURALITY OF SENSE CHANNELS
First Named Inventor/Applicant Name:	Angus Pacala
Customer Number:	20350
Filer:	William Leland Shaffer/LaRenda Meyer
Filer Authorized By:	William Leland Shaffer
Attorney Docket Number:	103033-P001USC2-1096583
Receipt Date:	28-JUL-2020
Filing Date:	26-JUL-2018
Time Stamp:	15:15:35
Application Type:	Utility under 35 USC 111(a)

Payment information:

Submitted with Payment	no

File Listing:

Document Number	Document Description	File Name	File Size(Bytes)/ Message Digest	Multi Part /.zip	Pages (if appl.)
1		P001USC2-IDS.pdf	185182 70ed421acb10b2f584a26d1b67960531201 6c33f	yes	4

	Multipart Description/PDF files in .zip description				
	Document Description		**Start**	**End**	
	Transmittal Letter		1	2	
	Information Disclosure Statement (IDS) Form (SB08)		3	4	
Warnings:					
Information:					
2	Foreign Reference	WO2015136100A2.pdf	1194888 df041371d5cd5af11d64b83a8008b206bf770015	no	34
Warnings:					
Information:					
3	Non Patent Literature	CN_OfficeAction-with-translation.pdf	12510001 ff9f47c13899c7a60cf270b0bbb27ea1628ce623	no	22
Warnings:					
Information:					
		Total Files Size (in bytes):	13890071		

This Acknowledgement Receipt evidences receipt on the noted date by the USPTO of the indicated documents, characterized by the applicant, and including page counts, where applicable. It serves as evidence of receipt similar to a Post Card, as described in MPEP 503.

New Applications Under 35 U.S.C. 111

If a new application is being filed and the application includes the necessary components for a filing date (see 37 CFR 1.53(b)-(d) and MPEP 506), a Filing Receipt (37 CFR 1.54) will be issued in due course and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the filing date of the application.

National Stage of an International Application under 35 U.S.C. 371

If a timely submission to enter the national stage of an international application is compliant with the conditions of 35 U.S.C. 371 and other applicable requirements a Form PCT/DO/EO/903 indicating acceptance of the application as a national stage submission under 35 U.S.C. 371 will be issued in addition to the Filing Receipt, in due course.

New International Application Filed with the USPTO as a Receiving Office

If a new international application is being filed and the international application includes the necessary components for an international filing date (see PCT Article 11 and MPEP 1810), a Notification of the International Application Number and of the International Filing Date (Form PCT/RO/105) will be issued in due course, subject to prescriptions concerning national security, and the date shown on this Acknowledgement Receipt will establish the international filing date of the application.

I hereby certify that this correspondence is being filed via EFS-Web with the United States Patent and Trademark Office on July 28, 2020.

KILPATRICK TOWNSEND & STOCKTON LLP

By: /La Renda Meyer-Johnson/

PATENT
Attorney Docket No.: 103033-P001USC2-1096583
Client Ref. No.: P001USC2

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:	Confirmation No.: 1720
Angus Pacala	Examiner: LEE, John R.
Application No.: 16/046,643	Technology Center/Art Unit: 2878
Filed: July 26, 2018	
For: OPTICAL IMAGING SYSTEM WITH A PLURALITY OF SENSE CHANNELS	INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT
Customer No.: 20350	

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Commissioner:

The references cited on attached form PTO/SB/08A are being called to the attention of the Examiner. In accordance with the provisions of 37 CFR §1.98(a)(2), copies of any cited U.S. Patents and U.S. Patent Application Publications are not provided. Copies of the references are enclosed.

It is respectfully requested that the cited references be expressly considered during the prosecution of this application, and the references be made of record therein and appear among the "references cited" on any patent to issue therefrom.

As provided for by 37 CFR §1.97(g) and (h), no inference should be made that the information and references cited are prior art merely because they are in this statement and no

representation is being made that a search has been conducted or that this statement encompasses all the possible relevant information.

This Information Disclosure Statement is being filed *before* the mailing date of the first Office Action on the merits.

Applicant believes that no fee is required for submission of this statement. However, if any additional fees are due for the submission of this Information Disclosure Statement, please deduct those fees from Deposit Account No. 20-1430.

Respectfully submitted,

/ William L. Shaffer /

William L. Shaffer
Registration No. 37,234

KILPATRICK TOWNSEND & STOCKTON LLP

Attachment

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)		
	Application Number	16/046,643
	Filing Date	July 26, 2018
	First Named Inventor	Angus Pacala
	Art Unit	2414
	Examiner Name	
	Attorney Docket Number	103033-1096583

U.S. PATENTS

Examiner Initial*	Cite No	Patent Number	Kind Code [1]	Issue Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages, Columns, Lines, Where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	1.	5188286		Feb 23, 1993	PENCE IV	
	2.	5268748		Dec 7, 1993	Van Hijningen et al.	
	3.	6043873		Mar 28, 2000	Ramer et al.	
	4.	6104516		Aug 15, 2000	MAJIMA	
	5.	7683962		Mar 23, 2010	BORDER et al.	
	6.	7873601		Jan 18, 2011	Kushwah	
	7.	7876456		Jan 25, 2011	SESKO	
	8.	8504529		Aug 6, 2013	Zheng et al.	
	9.	9330464		May 3, 2016	Ackerman et al.	
	10.	10557750		Feb 11, 2020	Pacala et al.	

U.S. PATENT APPLICATION PUBLICATIONS

Examiner Initial*	Cite No	Publication Number	Kind Code [1]	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages, Columns, Lines, Where Relevant Passages or Relevant Figures Appear
	11.	20050046850		Mar 3, 2005	Chow	
	12.	20080218612		Sep 11, 2008	Border et al.	
	13.	20100250700		Sep 30, 2010	O'Brien et al.	
	14.	20110022566		Jan 27, 2011	Beaverson et al.	
	15.	20110283113		Nov 17, 2011	Moffat et al.	
	16.	20110320865		Dec 29, 2011	Jain et al.	
	17.	20130110779		May 2, 2013	Taylor et al.	
	18.	20130111262		May 2, 2013	Taylor et al.	
	19.	20140006354		Jan 2, 2014	Parkison et al.	
	20.	20150124094		May 7, 2015	LOONG et al.	
	21.	20150186287		Jul 2, 2015	Kass	
	22.	20170038459		Feb 9, 2017	Kubacki et al.	
	23.	20170303829		Oct 26, 2017	Cohen et al.	
	24.	20180038959		Feb 8, 2018	Akatsu et al.	
	25.	20180152691		May 31, 2018	Pacala et al.	

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

Examiner Initial*	Cite No	Foreign Document Number [3]	Country Code [2]	Kind Code [4]	Publication Date	Name of Patentee or Applicant of cited Document	Pages, Columns, Lines where Relevant Passages or Relevant Figures Appear	T [5]
	26.	07318325	JP		Dec 8, 1995	Matsushita Electric Works Ltd.		

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)		
	Application Number	16/046,643
	Filing Date	July 26, 2018
	First Named Inventor	Angus Pacala
	Art Unit	2414
	Examiner Name	
	Attorney Docket Number	103033-1096583

	27.	101563595	CN		Oct 21, 2009	Koninkl Philips Electronics NV		
	28.	2010128122	JP		Jun 10, 2010	Olympus Corp		
	29.	2012055966	WO		May 3, 2012	Max-Planck-Gesellschaft Zur Foerderung Der Wissenschaften E.V.		
	30.	2615566	EP		Jul 17, 2013	Nexenta Systems, Inc.		
	31.	103234527	CN		Aug 7, 2013	Nanjing University of Science And Technology		
	32.	2013181912	JP		Sep 12, 2013	Seiko Epson Corp.		
	33.	2015137987	JP		Jul 30, 2015	Azbil Corp.		
	34.	2015163074	WO		Oct 29, 2015	SHARP KABUSHIKI KAISHA		
	35.	2016534346	JP		Nov 4, 2016	Google Inc.		
	36.	2017212835	AU		Jun 27, 2019	Ouster, Inc.		

NON-PATENT LITERATURE DOCUMENTS			
Examiner Initials*	Cite No	Include name of the author (in CAPITAL LETTERS), title of the article (when appropriate), title of the item (book, magazine, journal, serial, symposium, catalog, etc.), date, page(s), volume-issue number(s), publisher, city and/or country where published.	T[5]
	37.	15/419,053 , "Corrected Notice of Allowability", March 12, 2018, 8 pages	
	38.	Application No 15/419,053 , Notice of Allowance, Mailed On January 26, 2018, 12 pages	
	39.	15/934,338 , "Corrected Notice of Allowability", January 13, 2020, 2 pages	
	40.	Application No 15/934,338 , Non-Final Office Action, Mailed On May 15, 2019, 16 pages	
	41.	Application No 15/934,338 , Notice of Allowance, Mailed On September 17, 2019, 10 pages	
	42.	AU2017212835 , "First Examination Report", September 24, 2018, 5 pages	
	43.	AU2017212835 , "Notice of Acceptance", February 28, 2019, 3 pages	
	44.	AU2017212835 , "Second Examination Report", October 24, 2018, 3 pages	

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)		
	Application Number	16/046,643
	Filing Date	July 26, 2018
	First Named Inventor	Angus Pacala
	Art Unit	2414
	Examiner Name	
	Attorney Docket Number	103033-1096583

	45.	CONTINI et al., "Time-Domain Diffuse Optics: Towards Next Generation Devices", Proceedings SPIE Diffuse Optical Imaging V, Volume 9538, July 10, 2015, 95380A page	
	46.	Application No EP17745102.8 , Extended European Search Report, Mailed On September 9, 2019, 6 pages	
	47.	Application No EP17745102.8 , Office Action, Mailed On July 16, 2020, 4 pages	
	48.	Application No EP17745102.8 , Office Action, Mailed On March 6, 2020, 5 pages	
	49.	Application No JP2018-559175 , Notice of Decision to Grant, Mailed On August 11, 2020, 1 page	
	50.	Application No JP2018-559175 , Office Action, Mailed On December 23, 2019, 6 pages	
	51.	Application No PCT/US2017/015683 , International Preliminary Report on Patentability, Mailed On August 9, 2018, 12 pages	
	52.	Application No PCT/US2017/015683 , International Search Report and Written Opinion, Mailed On April 17, 2017, 12 pages	
	53.	Application No RU2018130989 , Office Action, Mailed On April 27, 2020, 21 pages	
	54.	Application No SG11201806442Y , Written Opinion, Mailed On January 28, 2020, 9 pages	
	55.	Application No TH1801004505 , Office Action, Mailed On August 6, 2019, 2 pages	
	56.	YANG et al., "Wavelength Tuning of Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers by an Internal Device Heater", IEEE Photonics Technology Letters, Volume 20, Issue 20, October 15, 2008, pp. 1679 - 1681	
	57.	Application No ZA2018/05645 , Notice of Allowance, Mailed On September 3, 2019, 1 page	

EXAMINER SIGNATURE			
Examiner Signature		Date Considered	
*EXAMINER: Initial if reference considered, whether or not citation is in conformance with MPEP 609. Draw line through a citation if not in conformance and not considered. Include copy of this form with next communication to applicant.			

INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT BY APPLICANT (Not for submission under 37 CFR 1.99)		
	Application Number	16/046,643
	Filing Date	July 26, 2018
	First Named Inventor	Angus Pacala
	Art Unit	2414
	Examiner Name	
	Attorney Docket Number	103033-1096583

[1] See Kind Codes of USPTO Patent Documents at www.USPTO.GOV or MPEP 901.04. [2] Enter office that issued the document, by the two-letter code (WIPO Standard ST.3). [3] For Japanese patent documents, the indication of the year of the reign of the Emperor must precede the serial number of the patent document.
[4] Kind of document by the appropriate symbols as indicated on the document under WIPO Standard ST.16 if possible. [5] Applicant is to place a check mark here if English language translation is attached.

I hereby certify that this correspondence is being filed via EFS-Web with the United States Patent and Trademark Office on September 3, 2020.

KILPATRICK TOWNSEND & STOCKTON LLP

By: /La Renda Meyer-Johnson/

PATENT
Attorney Docket No.: 103033-1096583-P001USC2
Client Ref. No.: P001USC2

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:	Confirmation No.: 1720
Angus Pacala	Examiner: Not yet assigned
Application No.: 16/046,643	Technology Center/Art Unit: 2414
Filed: July 26, 2018	
For: OPTICAL IMAGING SYSTEM WITH A PLURALITY OF SENSE CHANNELS	INFORMATION DISCLOSURE STATEMENT
Customer No.: 20350	

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Commissioner:

The references cited on attached form PTO/SB/08A are being called to the attention of the Examiner. In accordance with the provisions of 37 CFR §1.98(a)(2), copies of any cited U.S. Patents and U.S. Patent Application Publications are not provided. Copies of the remaining cited references are provided.

It is respectfully requested that the cited references be expressly considered during the prosecution of this application, and the references be made of record therein and appear among the "references cited" on any patent to issue therefrom.

As provided for by 37 CFR §1.97(g) and (h), no inference should be made that the information and references cited are prior art merely because they are in this statement and no

representation is being made that a search has been conducted or that this statement encompasses all the possible relevant information.

This Information Disclosure Statement is being filed before the mailing date of the first Office Action on the merits.

Applicant believes that no fee is required for submission of this statement. However, if any additional fees are due for the submission of this Information Disclosure Statement, please deduct those fees from Deposit Account No. 20-1430.

Respectfully submitted,

/David B. Raczkowski/

David Raczkowski
Registration No. 52,145

KILPATRICK TOWNSEND & STOCKTON LLP

Attachment

PATENT COOPERATION TREATY

From the
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

To: LESTER J. VINCENT
BLAKELY SOKOLOFF TAYLOR & ZAFMAN LLP
1279 OAKMEAD PARKWAY
SUNNYVALE, CA 94085

PCT

WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

(PCT Rule 43*bis*.1)

Date of mailing *(day/month/year)*	17 APR 2017
Applicant's or agent's file reference 10176P002PCT	**FOR FURTHER ACTION** See paragraph 2 below

International application No.	International filing date *(day/month/year)*	Priority date *(day/month/year)*
PCT/US2017/015683	30 January 2017	29 January 2016

International Patent Classification (IPC) or both national classification and IPC
IPC(8) - G01Q 40/00; G01N 21/01; G01N 21/17; G11B 7/125 (2017.01)
CPC - G01Q 40/00; G01N 21/01; G01N 21/17; G11B 7/125 (2017.02)

Applicant OUSTER, INC.

1. This opinion contains indications relating to the following items:

- ☒ Box No. I Basis of the opinion
- ☐ Box No. II Priority
- ☐ Box No. III Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- ☐ Box No. IV Lack of unity of invention
- ☒ Box No. V Reasoned statement under Rule 43*bis*.1(a)(i) with regard to novelty, inventive step and industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- ☐ Box No. VI Certain documents cited
- ☐ Box No. VII Certain defects in the international application
- ☐ Box No. VIII Certain observations on the international application

2. **FURTHER ACTION**

If a demand for international preliminary examination is made, this opinion will be considered to be a written opinion of the International Preliminary Examining Authority ("IPEA") except that this does not apply where the applicant chooses an Authority other than this one to be the IPEA and the chosen IPEA has notified the International Bureau under Rule 66.1*bis*(b) that written opinions of this International Searching Authority will not be so considered.

If this opinion is, as provided above, considered to be a written opinion of the IPEA, the applicant is invited to submit to the IPEA a written reply together, where appropriate, with amendments, before the expiration of 3 months from the date of mailing of Form PCT/ISA/220 or before the expiration of 22 months from the priority date, whichever expires later.

For further options, see Form PCT/ISA/220.

Name and mailing address of the ISA/US	Date of completion of this opinion	Authorized officer
Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300	15 March 2017	Blaine R. Copenheaver PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/237 (cover sheet) (January 2015)

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Box No. I Basis of this opinion

1. With regard to the **language**, this opinion has been established on the basis of:

☒ the international application in the language in which it was filed.

☐ a translation of the international application into _____ which is the language of a translation furnished for the purposes of international search (Rules 12.3(a) and 23.1(b)).

2. ☐ This opinion has been established taking into account the **rectification of an obvious mistake** authorized by or notified to this Authority under Rule 91 (Rule 43*bis*.1(a)).

3. ☐ With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the international application, this opinion has been established on the basis of a sequence listing:

a. ☐ forming part of the international application as filed:

☐ in the form of an Annex C/ST.25 text file.

☐ on paper or in the form of an image file.

b. ☐ furnished together with the international application under PCT Rule 13*ter*.1(a) for the purposes of international search only in the form of an Annex C/ST.25 text file.

c. ☐ furnished subsequent to the international filing date for the purposes of international search only:

☐ in the form of an Annex C/ST.25 text file (Rule 13*ter*.1(a)).

☐ on paper or in the form of an image file (Rule 13*ter*.1(b) and Administrative Instructions, Section 713).

4. ☐ In addition, in the case that more than one version or copy of a sequence listing has been filed or furnished, the required statements that the information in the subsequent or additional copies is identical to that forming part of the application as filed or does not go beyond the application as filed, as appropriate, were furnished.

5. Additional comments:

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Box No. V **Reasoned statement under Rule 43*bis*.1(a)(i) with regard to novelty, inventive step and industrial applicability; citations and explanations supporting such statement**

1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-26	YES
	Claims	None	NO
Inventive step (IS)	Claims	12-15	YES
	Claims	1-11, 16-26	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-26	YES
	Claims	None	NO

2. Citations and explanations:

Claims 1-3, 6, 7, and 10 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of SHARP (hereinafter Sharp).

Regarding claim 1, Border discloses a calibration system (col. 1, lines 56-67, col. 7, lines 30-67, discussing a calibration system for an active or a dual lens rangefinder system) comprising:
an aperture layer defining a first calibration aperture (col. 12, lines 51-67, col. 22, lines 1-9, discussing an adjustable aperture [calibration apertures] and shutter assembly [not shown] in each lens 3, 4 is used to control the exposure to image sensors 12 and 14, wherein either of the apertures may be considered a calibration aperture);
a lens layer comprising a first calibration lens substantially axially aligned with the first calibration aperture (col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [creating a lens layer wherein one of the lenses is a first calibration lenses] and each associated image sensor 614 and 618 [pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B illustrating a layered structure having a lens layer, a filter layer, and a pixel layer);
an optical filter adjacent the lens layer opposite the aperture layer (col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 and each associated image sensor 614 and 618 are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels);
a pixel layer adjacent the optical filter opposite the lens layer(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [the lens layer] and each associated image sensor 614 and 618 [first and second pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels), the pixel layer comprising a first calibration pixel substantially axially aligned with the first calibration lens (see Fig. 16B illustrating the alignment of the lens, filter and pixel), wherein the first calibration pixel is constructed to detect light power of an illumination source configured to output a band of wavelengths of light as a function of a parameter (col. 2, lines 20-47, wherein it is known in the art that an analog photoelectric signal is generated by each optical sensor corresponding to the light intensity at the portion of the image which is incident on the sensor and the offset information x is used to calculate the distanced to the scene by triangulation. The calculated distance d to the scene is used to guide the positioning [i.e., calibration] of an adjustable focus lens to produce the best image quality). Border also discusses environmental conditions such as temperature and humidity can cause the distance portion of a distance sensor, such as a rangefinder, to change by a significant percentage (col. 2, lines 58-67).
Border, however, lacks teaching using a first regulator configured to modify the parameter of the illumination source based on a light power detected by the first calibration pixel.
Sharp, however, discusses an optical sensing device (para. 14, 32, 33, Figs. 4, 7, discussing optical sensor system 1 including a light emitting laser 10 and a photodiode detector 40, wherein the laser 10 has a front surface 20 for emitting a second front light and a rear surface for emitting a first rear light and wherein the lights are detected by photodiode light detectors) and teaches using a first regulator configured to modify the parameter of the illumination source based on a light power detected by the first calibration element (para. 14-15, 29, 32-37, discussing the system includes an environmental parameter calculation unit that calculates an environmental parameter, as an index of an environment around the light emitting device, by employing a value of one or both of the first and second emission lights detected by the emission light detectors such that when the environmental parameter, such as temperature, humidity or gas concentration, has changed, a change rate of intensity of the first emission light is smaller than a change rate of intensity of the second emission light; paras. 161-162, 166, wherein a temperature regulator regulates a temperature of the optical system and keeps it at a preset temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a temperature regulator as taught by Sharp in the system of Border in order to maintain the temperature of the system at a preset temperature to ensure accuracy of sensor readings is maintained (Sharp, paras. 166, 218).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case **the space in any of the preceding boxes is not sufficient.**
Continuation of:

Regarding claim 2, Border discloses the calibration system of claim 1 further comprising a sensing circuit, the sensing circuit comprising:
a sense aperture defined in the aperture layer (col. 12, lines 51-67, col. 22, lines 1-9, discussing an adjustable aperture and shutter assembly [not shown] in each lens 3, 4 is used to control the exposure to image sensors 12 and 14, wherein one of the apertures may be considered a calibration aperture and the other a sense aperture);
a sense lens substantially axially aligned with the sense aperture (col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [creating a lens layer wherein one of the lenses is a first calibration lens and the other is a sensor lens aligned with a corresponding sense aperture [not shown]] and each associated image sensor 614 and 618 [one a calibration pixel, the other a sense pixel] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter layer for both lens components] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B illustrating a layered structure having a lens layer, a filter layer, and a pixel layer); and
a sense pixel substantially aligned with the sense lens(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [creating a lens layer wherein one of the lenses is a first calibration lens and the other is a sensor lens aligned with a corresponding sense aperture [not shown]] and each associated image sensor 614 and 618 [one a calibration pixel, the other a sense pixel] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter layer for both lens components] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B illustrating a layered structure having a lens layer, a filter layer, and a pixel layer).

Regarding claim 3, Border discloses the calibration system of claim 2 wherein the sensing circuit shares the optical filter that is adjacent the lens layer opposite the aperture layer (see Fig. 16B, wherein the filter layer is between the pixel layer and the lens layer).

Regarding claim 6, Border lacks teaching the calibration system of claim 1 wherein the first regulator comprises a temperature regulator, the temperature regulator being configured to modify a temperature of the illumination source based on the light power detected by the first calibration pixel.
Sharp, however, discusses an optical sensing device (para. 14, discussing optical sensor system including a light emitting device that generates first emission light for use in a predetermined application, the light emitting device further generating second emission light, wherein the optical sensor system further includes an emission light detector that detects the second emission light) and teaches the first regulator comprises a temperature regulator, the temperature regulator being configured to modify a temperature of the illumination source based on the light power detected by the first calibration pixel (para. 14-15, 29, discussing the system includes an environmental parameter calculation unit that calculates an environmental parameter, as an index of an environment around the light emitting device, by employing a value of one or both of the first and second emission lights detected by the emission light detectors such that when the environmental parameter, such as temperature, humidity or gas concentration, has changed, a change rate of intensity of the first emission light is smaller than a change rate of intensity of the second emission light; paras. 161-162, 166, wherein a temperature regulator regulates a temperature of the optical system and keeps it at a preset temperature; para. 237, wherein the oscillation threshold [duty cycle] of the source can be reduced and power saving can be realized). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a temperature regulator as taught by Sharp in the system of Border in order to maintain the temperature of the system at a preset temperature to ensure accuracy of sensor readings is maintained (Sharp, paras. 166, 218).

Regarding claim 7, Border lacks teaching the calibration system of claim 1 wherein the first regulator modifies a duty cycle of the illumination source.
Sharp, however, discusses an optical sensing device (para. 14, discussing optical sensor system including a light emitting device that generates first emission light for use in a predetermined application, the light emitting device further generating second emission light, wherein the optical sensor system further includes an emission light detector that detects the second emission light) and teaches the first regulator modifies a duty cycle of the illumination source (para. 237, wherein the oscillation threshold [duty cycle] of the source can be reduced and power saving can be realized). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a temperature regulator to modify the duty cycle of the source as taught by Sharp in the system of Border in order to maintain the temperature of the system at a preset temperature to ensure accuracy of sensor readings is maintained (Sharp, paras. 166, 218).

Regarding claim 10, Border discloses the calibration system of claim 1 wherein the aperture layer further defines a second calibration aperture (col. 12, lines 51-67, col. 22, lines 1-9, discussing an adjustable aperture [calibration apertures] and shutter assembly [not shown] in each lens 3, 4 is used to control the exposure to image sensors 12 and 14, wherein either of the apertures may be considered a calibration aperture), the lens layer comprises a second calibration lens axially offset from the second calibration aperture(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [creating a lens layer with first and second calibration lenses] and each associated image sensor 614 and 618 [pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B illustrating a layered structure having a lens layer, a filter layer, and a pixel layer), the pixel layer comprises a second calibration pixel aligned with a ray extending through the second aperture and the second calibration lens(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [the lens layer] and each associated image sensor 614 and 618 [first and second pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels).
Border lacks teaching the first regulator is configured to modify the parameter of the illumination source based on a light power detected by the first calibration pixel and the second calibration pixel.
Sharp, however, discusses an optical sensing device (para. 14, 32, 33, Figs. 4, 7, discussing optical sensor system 1 including a light emitting laser 10 and a photodiode detector 40, wherein the laser 10 has a front surface 20 for emitting a second front light and a rear surface for emitting a first rear light and wherein the lights are detected by photodiode light detectors) and teaches using a first regulator configured to modify the parameter of the illumination source based on a light power detected by the first and second calibration elements (para. 14-15, 29, 32-37, discussing the system includes an environmental parameter calculation unit that calculates an environmental parameter, as an index of an environment around the light emitting device, by employing a value of one or both of the first and second emission lights detected by the emission light detectors such that when the environmental parameter, such as temperature, humidity or gas concentration, has changed, a change rate of intensity of the first emission light is smaller than a change rate of intensity of the second emission light; paras. 161-162, 166, wherein a temperature regulator regulates a temperature of the optical system and keeps it at a preset temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a temperature regulator as taught by Sharp in the system of Border in order to maintain the temperature of the system at a preset temperature to ensure accuracy of sensor readings is maintained (Sharp, paras. 166, 218).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case the space in any of the preceding boxes is not sufficient.
Continuation of:

Claims 4 and 9 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of SHARP (hereinafter Sharp) and Loong et al (hereinafter Loong).

Regarding claim 4, Border lacks teaching the calibration system of claim 1 further comprising:
a bulk transmitting optic and a bulk receiving optic, wherein the illumination source is offset behind the bulk transmitting optic.
LOONG, however, discusses an optical sensor system having a plurality of optoelectronic devices (abstract) and teaches a bulk transmitting optic and a bulk receiving optic (para. 12, 19, discussing a master lens 12 [bulk transmitting and receiving optic] positioned to observe, for example, a panoramic field of view of an area and is configured to focus an image 16 of an object 18 in the field of view 14 onto a focal plane 20. In other words, the master lens 12 may be characterized as defining the focal plane 20). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to include a bulk transmitting and receiving optic as taught by Loong in the system of Border to define a focal plane (Loong, para. 12, 19).
Modified Border lacks teaching wherein the illumination source is offset behind the bulk transmitting optic.
Sharp, however, teaches an illumination source is offset behind a transmitting surface (see Figs. 4, 7, wherein laser illumination source 10 is positioned behind a transmitting surface 20 so as to illuminate the target in front thereof). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to position the light as taught by Sharp in the device of modified Border in order to enable illumination of both a front and back area, relative to the illumination source (Sharp, para. 34).

Regarding claim 9, modified Border lacks teaching the calibration system of claim 1 further comprising a diffuser adjacent the optical filter opposite the lens layer.
Loong, however, discusses an optical sensor system having a light source and a light sensor (para. 14, 32, 33, discussing optical sensor system 1 including a light emitting laser 10 and a photodiode detector 40, wherein the laser 10 has a front surface 20 for emitting a second light and a rear surface for emitting a first light and wherein the light is detected by the photodiode light detector) and teaches a diffuser adjacent the optical filter opposite the lens layer (para. 20, wherein an optical diffuser 22 located at or proximate to the focal plane 20 of the master lens 12. In general, the diffuser 22 is configured to display the image 16 of the object 18 in the field of view 14 that comes from the master lens 12 so a plurality of optoelectronic devices 24 can each be arranged to view all or part of a viewing area 26 defined by the diffuser 22). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a diffuser as taught by Loong in conjunction with the lens of modified Border so a plurality of optoelectronic devices such as pixels, can each be arranged to view all or part of a viewing area defined by the diffuser (Loong, para. 20).

Claims 5 and 11 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of SHARP (hereinafter Sharp) and Sesko.

Regarding claim 5, Border lacks teaching the calibration system of claim 1 further comprising an optical bypass extending from the illumination source to the first calibration aperture.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches an optical bypass extending from an illumination source to a first calibration aperture (col. 8, lines 1-46, discussing FIG. 1, the bypass mechanism 135 comprises a bypass reflector 136 [e.g., a mirror]. During normal operation, the bypass reflector 136 is positioned out of the optical path, e.g., at the position "N". For certain error compensation factor determination operations described further below, or other calibration operations, the bypass reflector 136 is positioned in the optical path, e.g., at the position "B", to reflect broadband light output from the aperture 195 back through the aperture 195, nominally without altering the relative intensities of the various wavelengths included within the broadband light). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use an optical bypass as taught by Sesko in the system of Border in order to determine an error compensation factor needed to ensure accuracy of the sensor readings (Sesko, col. 8, lines 1-46).

Regarding claim 11, Border lacks teaching the method of claim 1o further comprising an optical bypass extending from the illumination source to the first calibration aperture and the second calibration aperture.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches an optical bypass extending from the illumination source to an calibration aperture (col. 8, lines 1-46, discussing FIG. 1, the bypass mechanism 135 comprises a bypass reflector 136 [e.g., a mirror]. During normal operation, the bypass reflector 136 is positioned out of the optical path, e.g., at the position "N". For certain error compensation factor determination operations described further below, or other calibration operations, the bypass reflector 136 is positioned in the optical path, e.g., at the position "B", to reflect broadband light output from the aperture 195 back through the aperture 195, nominally without altering the relative intensities of the various wavelengths included within the broadband light). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use an optical bypass as taught by Sesko in the system of Border in order to determine an error compensation factor needed to ensure accuracy of the sensor readings (Sesko, col. 8, lines 1-46).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case the space in any of the preceding boxes is not sufficient.
Continuation of:

Claim 8 lacks an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of SHARP (hereinafter Sharp) and Pence, IV (hereinafter Pence).

Regarding claim 8, modified Border lacks teaching the calibration system of claim 1 wherein the first regulator modifies the parameter of the illumination source based on piezoelectric effects.
Pence, however, discusses temperature regulators (abstract) and teaches a first regulator modifies the parameter of the illumination source based on piezoelectric effects (col. 2, lines 25-31, discussing expansion of a material produced by heat is employed to produce a stress on a piezoelectric on the material and the resulting signal from the piezoelectric is employed in control of a thermoelectric cooler for the material; col. 5, lines 62-67, wherein FIG. 7, the difference in expansion of the active and passive substrate materials 60 and 63 provides piezoelectric signals for control of a single or plurality of thermoelectric coolers which in turn regulate the cooling). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a piezoelectric material as taught by Pence in the system of modified Border so as to produce an immediate cooling change in the device proportional to the signal from the piezoelectric material (Pence, col. 2, line 60-col. 3, line 10).

Claims 16 and 26 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of Sesko.

Regarding Claim 16, Border discloses a calibration method (col. 1, lines 56-67, col. 7, lines 30-67, discussing a calibration system for an active or a dual lens rangefinder system) comprising: obtaining a first light power detected by a first calibration pixel axially aligned with a first calibration lens axially aligned with a first calibration aperture(col. 2, lines 20-47, wherein it is known in the art that an analog photoelectric signal is generated by each optical sensor corresponding to the light intensity at the portion of the image which is incident on the sensor and the offset information x is used to calculate the distanced to the scene by triangulation. The calculated distance d to the scene is used to guide the positioning [i.e., calibration] of an adjustable focus lens to produce the best image quality; col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [the lens layer] and each associated image sensor 614 and 618 [first and second pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B illustrating the alignment of the lens, filter and pixel); obtaining more light detected by one or more additional calibration pixels, respectively(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [the lens layer] and each associated image sensor 614 and 618 [first and second pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels), each additional calibration pixel being axially offset from a corresponding calibration lens axially offset from a corresponding calibration aperture by a unique offset distance(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [the lens layer] and each associated image sensor 614 and 618 [first and second pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B wherein the first lens with associated pixels and filters are offset from the second lens association) and based on the first light power and the additional light powers, tuning an illumination source configured to output a band of wavelengths of light as a function of a parameter by actuating a regulator coupled to the illumination source, or tuning an optical filter (col. 12, lines 1-13, discussing using the data collected to reduce exposure issues introduced by use of a flash; col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 and each associated image sensor 614 and 618 are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; col. 13, lines 43-45, wherein the size, resolution, color filter array, spectral sensitivity and aspect ratio of the image sensors 12 and 14 can be different [i.e., tuning the optical filter]).
Border lacks teaching more than one light power.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Regarding claim 26, Border discloses the calibration method of claim 16 further comprising tuning a center wavelength of the optical filter by angle tuning (col. 12, lines 1-13, discussing using the data collected to reduce exposure issues introduced by use of a flash; col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 and each associated image sensor 614 and 618 are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; col. 13, lines 43-45, wherein the size, resolution, color filter array, spectral sensitivity and aspect ratio of the image sensors 12 and 14 can be different [i.e., angle tuning the optical filter]).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case the space in any of the preceding boxes is not sufficient.
Continuation of:

Claims 17, 18, and 22-24 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of Sesko and Majima.

Regarding claim 17, Border lacks teaching the calibration method of claim 16 wherein the illumination source is configured to output the band of wavelengths of light in a distribution pattern centered at a central wavelength, and wherein the central wavelength is varied by changing the temperature of the illumination source based on the first light power and the additional light powers.
Majima, however, discusses a laser light source and temperature regulator (col. 3, lines 45-55) and teaches an illumination source is configured to output the band of wavelengths of light in a distribution pattern centered at a central wavelength, and wherein the central wavelength is varied by changing the temperature of the illumination source based on the first light power and the additional light powers (col. 3, lines 45-55, discussing to use the temperature control in, for example, a laser, which controls its lasing wavelength by the current control, not only for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the laser and a change in the exterior temperature but also for a control of changing the lasing wavelength and that hence the wavelength control can be flexibly performed). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to vary wavelength relative to temperature as taught by Majima in the method of Border in order for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the laser and a change in the exterior temperature (Majima, col. 3, lines 45-65).

Regarding Claim 18, modified Border lacks teaching the calibration method of claim 17 further comprising determining whether a central wavelength of the illumination source during an active period is greater than a central wavelength of the illumination source during a sampling period based on the first light power and the additional light powers, and wherein the regulator maintains, decreases or increases the temperature of the illumination source based on the determination.
Majima, discussing a wavelength-changeable light source (col. 5, lines 50-60) teaches a central wavelength of the illumination source during an active period is greater than a central wavelength of the illumination source during a sampling period based on the light powers, and wherein the regulator maintains, decreases or increases the temperature of the illumination source based on the determination (col. 13, lines 55-67, wherein the module has characteristics that the wavelength shifts to a longer wavelength side as the current increases and as the temperature rises and wherein the lasing wavelength before and after the wavelength shift control is set at a center of the wavelength-changeable range which can be obtained by the current, but this lasing wavelength may be set at any place in the wavelength changeable range; col. 6, lines 41-44, wherein the wavelength of the DFB-LD module 201 shifts toward a longer [greater] wavelength side as the current increases and as the temperature rises; col. 6, line 61-col. 7, line 38, wherein a temperature controller [regulator] controls the temperature of the module to a set temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to vary wavelength relative to temperature as taught by Majima in the method of Border in order for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the laser and a change in the exterior temperature (Majima, col. 3, lines 45-65).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Regarding claim 22, Border lacks teaching the calibration method of claim 18 wherein if the first light power is greater than one of the additional light powers, it is determined that the central wavelength of the illumination source during the active period is either matched to or is greater than the central wavelength of the illumination source during the sampling period.
Majima, discussing a wavelength-changeable light source (col. 5, lines 50-60) teaches the central wavelength of the illumination source during the active period is either matched to or is greater than the central wavelength of the illumination source during the sampling period (col. 13, lines 55-67, wherein the module has characteristics that the wavelength shifts to a longer wavelength side as the current increases [i.e., increased power] and as the temperature rises and wherein the lasing wavelength before and after the wavelength shift control is set at a center of the wavelength-changeable range which can be obtained by the current; this lasing wavelength may be set at any place in the wavelength changeable range; col. 6, lines 41-44, wherein the wavelength of the DFB-LD module 201 shifts toward a longer [greater] wavelength side as the current increases and as the temperature rises; col. 6, line 61-col. 8, line 40, wherein a temperature controller [regulator] controls the temperature of the module to a set temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to vary wavelength relative to temperature as taught by Majima in the method of Border in order for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the laser and a change in the exterior temperature (Majima, col. 3, lines 45-65).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case **the space in any of the preceding boxes is not sufficient.**
Continuation of:

Regarding claim 23, Border lacks teaching the calibration method of claim 18 wherein if the first light power is less than a first threshold value or if a difference between the first light power and one of the additional light powers is less than a second threshold value, it is determined that the central wavelength of the illumination source is low and the regulator increases the central wavelength of the illumination source.
Majima, discussing a wavelength-changeable light source (col. 5, lines 50-60) teaches the central wavelength of the illumination source is low and the regulator increases the central wavelength of the illumination source (col. 13, lines 55-67, wherein the module has characteristics that the wavelength shifts to a longer wavelength side as the current increases [i.e., increased power] and as the temperature rises and wherein the lasing wavelength before and after the wavelength shift control is set at a center of the wavelength-changeable range which can be obtained by the current; this lasing wavelength may be set at any place in the wavelength changeable range; col. 6, lines 41-44, wherein the wavelength of the DFB-LD module 201 shifts toward a longer [greater] wavelength side as the current increases and as the temperature rises; col. 6, line 61-col. 8, line 40, wherein a temperature controller [regulator] controls the temperature of the module to a set temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to vary wavelength relative to temperature as taught by Majima of one or more light sources in the method of Border in order for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the source laser[s] (Majima, col. 3, lines 45-65).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Regarding claim 24, Border lacks teaching the calibration method of claim 18 wherein if one of the additional light powers is greater than the first light power, it is determined that the central wavelength of the illumination source during the active period is less than the central wavelength of the illumination source during the sampling period and the regulator decreases the central wavelength of the illumination source.
Majima, discussing a wavelength-changeable light source (col. 5, lines 50-60) teaches the central wavelength of the illumination source during the active period is less than the central wavelength of the illumination source during the sampling period and the regulator decreases the central wavelength of the illumination source (col. 13, lines 55-67, wherein the module has characteristics that the wavelength shifts to a longer wavelength side as the current increases [i.e., increased power] and as the temperature rises and wherein the lasing wavelength before and after the wavelength shift control is set at a center of the wavelength-changeable range which can be obtained by the current; this lasing wavelength may be set at any place in the wavelength changeable range; col. 6, lines 41-44, wherein the wavelength of the DFB-LD module 201 shifts toward a longer [greater] wavelength side as the current increases and as the temperature rises; col. 6, line 61-col. 8, line 40, wherein a temperature controller [regulator] controls the temperature of the module to a set temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to vary wavelength relative to temperature as taught by Majima of one or more light sources in the method of Border in order for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the source laser[s] (Majima, col. 3, lines 45-65).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Claims 19, 21, and 25 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of Sesko and SHARP (hereinafter Sharp).

Regarding claim 19, Border lacks teaching the calibration method of claim 16 wherein the regulator modifies a duty cycle of the illumination source in order to tune the illumination source.
Sharp, however, discusses an optical sensing device (para. 14, discussing optical sensor system including a light emitting device that generates first emission light for use in a predetermined application, the light emitting device further generating second emission light, wherein the optical sensor system further includes an emission light detector that detects the second emission light) and teaches the first regulator modifies a duty cycle of the illumination source (para. 237, wherein the oscillation threshold [duty cycle] of the source can be reduced and power saving can be realized). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a temperature regulator to modify the duty cycle of the source as taught by Sharp in the system of Border in order to maintain the temperature of the system at a preset temperature to ensure accuracy of sensor readings is maintained (Sharp, paras. 166, 218).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case the space in any of the preceding boxes is not sufficient.
Continuation of:

Regarding Claim 21, modified Border lacks teaching the calibration method of claim 16 wherein the regulator is actuated to maintain a peak incident photon count per unit time based on the first light power and the additional light powers.
Sharp, however, teaches regulator is actuated to maintain a peak incident photon count per unit time based on the light power (para. 93-99, discussing when the injection current is larger than the oscillation threshold 80, photons are amplified up to a sufficient number inside the resonator, and laser oscillation occurs. As a result, laser light is emitted from the semiconductor laser. When the injection current is larger than the oscillation threshold 80, the light emission intensity of the semiconductor laser is large. When the injection current is larger than the oscillation threshold 80, the light emission intensity of the semiconductor laser is substantially proportional to the injection current. The oscillation efficiency is determined by the control and arithmetic device which controls light power or intensity based on light readings). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to base the photon count on the light power as taught by Sharp in the method of modified Border in order to calculate and control environmental parameters of the device on the basis of the light intensity (Sharp, para. 101).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Regarding claim 25, Border lacks teaching the calibration method of claim 16 wherein obtaining the first light power comprises calculating a first photon count of photons and obtaining the one or more additional light powers comprises calculating one or more photon count of photons, respectively.
Sharp, however, teaches calculating a photon count of photons (para. 93-99, discussing when the injection current is larger than the oscillation threshold 80, photons are amplified up to a sufficient number inside the resonator, and laser oscillation occurs. As a result, laser light is emitted from the semiconductor laser. When the injection current is larger than the oscillation threshold 80, the light emission intensity of the semiconductor laser is large. When the injection current is larger than the oscillation threshold 80, the light emission intensity of the semiconductor laser is substantially proportional to the injection current. The oscillation efficiency is determined by the control and arithmetic device which controls light power or intensity based on light readings). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to base the photon count on the light power as taught by Sharp in the method of modified Border in order to calculate and control environmental parameters of the device on the basis of the light intensity (Sharp, para. 101).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Claim 20 lacks an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of Sesko and Pence, IV (hereinafter Pence).

Regarding claim 2o, Border lacks teaching the calibration method of claim 16 wherein the regulator modifies the parameter of the illumination source based on piezoelectric effects.
Pence, however, discusses temperature regulators (abstract) and teaches a first regulator modifies the parameter of the illumination source based on piezoelectric effects (col. 2, lines 25-31, discussing expansion of a material produced by heat is employed to produce a stress on a piezoelectric on the material and the resulting signal from the piezoelectric is employed in control of a thermoelectric cooler for the material; col. 5, lines 62-67, wherein FIG. 7, the difference in expansion of the active and passive substrate materials 60 and 63 provides piezoelectric signals for control of a single or plurality of thermoelectric coolers which in turn regulate the cooling). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a piezoelectric material as taught by Pence in the system of modified Border so as to produce an immediate cooling change in the device proportional to the signal from the piezoelectric material (Pence, col. 2, line 60-col. 3, line 10).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case the space in any of the preceding boxes is not sufficient.
Continuation of:

Claims 12-15 meet the criteria set out in PCT Article 33(2)-(3), because the prior art does not teach or fairly suggest:

Regarding claim 12, the prior art of record, individually or in combination, does not teach or fairly suggest the calibration system of claim 1 wherein the aperture layer further defines one or more additional calibration apertures including at least a second calibration aperture, a third calibration aperture and a fourth calibration aperture, wherein the lens layer comprises one or more additional calibration lenses including at least a second calibration lens, a third calibration lens and a fourth calibration lens, wherein each pair of calibration aperture and calibration lens is offset by a unique distance with respect to the others such that each calibration lens outputs light toward the optical filter at a unique nominal angle with respect to the others, wherein the pixel layer further comprises one or more additional calibration pixels including at least a second calibration pixel aligned with a ray extending through the second aperture and the second calibration lens, a third calibration pixel aligned with a ray extending through the third aperture and the third calibration lens, and a fourth calibration pixel aligned with a ray extending through the fourth aperture, and wherein the first regulator is configured to modify the parameter of the illumination source based on a light power detected by the first calibration pixel and the additional calibration pixels.

Claims 13 and 14 depend from claim 12, and therefore meet the criteria set out in PCT Article 33(2)-(3) for at least the same reasons as claim 12.

Regarding claim 15, the prior art of record, individually or in combination, does not teach or fairly suggest the calibration system of claim 1 further comprising another illumination source, wherein each illumination source is configured to output a different band of wavelengths of light as a function of the parameter; and a second calibration aperture, a second calibration lens, a second calibration pixel and a second regulator are provided for the other illumination source, wherein the second regulator is controlled independent of the first regulator.

Claims 1-26 meet the criteria set out in PCT Article 33(4), and thus have industrial applicability because the subject matter claimed can be made or used in industry.

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY
(Chapter I of the Patent Cooperation Treaty)

(PCT Rule 44*bis*)

Applicant's or agent's file reference 103033-1058448 (000210PC)	**FOR FURTHER ACTION**	See item 4 below
International application No. PCT/US2017/015683	International filing date *(day/month/year)* 30 January 2017 (30.01.2017)	Priority date *(day/month/year)* 29 January 2016 (29.01.2016)
International Patent Classification (8th edition unless older edition indicated) See relevant information in Form PCT/ISA/237		
Applicant OUSTER, INC.		

1. This international preliminary report on patentability (Chapter I) is issued by the International Bureau on behalf of the International Searching Authority under Rule 44 *bis*.1(a).

2. This REPORT consists of a total of 11 sheets, including this cover sheet.

   In the attached sheets, any reference to the written opinion of the International Searching Authority should be read as a reference to the international preliminary report on patentability (Chapter I) instead.

3. This report contains indications relating to the following items:

☒	Box No. I	Basis of the report
☐	Box No. II	Priority
☐	Box No. III	Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
☐	Box No. IV	Lack of unity of invention
☒	Box No. V	Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
☐	Box No. VI	Certain documents cited
☐	Box No. VII	Certain defects in the international application
☐	Box No. VIII	Certain observations on the international application

4. The International Bureau will communicate this report to designated Offices in accordance with Rules 44*bis*.3(c) and 93*bis*.1 but not, except where the applicant makes an express request under Article 23(2), before the expiration of 30 months from the priority date (Rule 44*bis* .2).

	Date of issuance of this report 31 July 2018 (31.07.2018)
The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No. +41 22 338 82 70	Authorized officer Athina Nickitas-Etienne e-mail: pct.team4@wipo.int

Form PCT/IB/373 (January 2004)

PATENT COOPERATION TREATY

From the
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

To: LESTER J. VINCENT
BLAKELY SOKOLOFF TAYLOR & ZAFMAN LLP
1279 OAKMEAD PARKWAY
SUNNYVALE, CA 94085

PCT

WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

(PCT Rule 43*bis*.1)

Date of mailing *(day/month/year)*	17 APR 2017
Applicant's or agent's file reference 10176P002PCT	**FOR FURTHER ACTION** See paragraph 2 below

International application No.	International filing date *(day/month/year)*	Priority date *(day/month/year)*
PCT/US2017/015683	30 January 2017	29 January 2016

International Patent Classification (IPC) or both national classification and IPC
IPC(8) - G01Q 40/00; G01N 21/01; G01N 21/17; G11B 7/125 (2017.01)
CPC - G01Q 40/00; G01N 21/01; G01N 21/17; G11B 7/125 (2017.02)

Applicant OUSTER, INC.

1. This opinion contains indications relating to the following items:

- ☒ Box No. I Basis of the opinion
- ☐ Box No. II Priority
- ☐ Box No. III Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- ☐ Box No. IV Lack of unity of invention
- ☒ Box No. V Reasoned statement under Rule 43*bis*.1(a)(i) with regard to novelty, inventive step and industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- ☐ Box No. VI Certain documents cited
- ☐ Box No. VII Certain defects in the international application
- ☐ Box No. VIII Certain observations on the international application

2. **FURTHER ACTION**

If a demand for international preliminary examination is made, this opinion will be considered to be a written opinion of the International Preliminary Examining Authority ("IPEA") except that this does not apply where the applicant chooses an Authority other than this one to be the IPEA and the chosen IPEA has notified the International Bureau under Rule 66.1*bis*(b) that written opinions of this International Searching Authority will not be so considered.

If this opinion is, as provided above, considered to be a written opinion of the IPEA, the applicant is invited to submit to the IPEA a written reply together, where appropriate, with amendments, before the expiration of 3 months from the date of mailing of Form PCT/ISA/220 or before the expiration of 22 months from the priority date, whichever expires later.

For further options, see Form PCT/ISA/220.

Name and mailing address of the ISA/US	Date of completion of this opinion	Authorized officer
Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300	15 March 2017	Blaine R. Copenheaver PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/237 (cover sheet) (January 2015)

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Box No. I Basis of this opinion

1. With regard to the **language**, this opinion has been established on the basis of:

   ☒ the international application in the language in which it was filed.

   ☐ a translation of the international application into _____ which is the language of a translation furnished for the purposes of international search (Rules 12.3(a) and 23.1(b)).

2. ☐ This opinion has been established taking into account the **rectification of an obvious mistake** authorized by or notified to this Authority under Rule 91 (Rule 43*bis*.1(a)).

3. ☐ With regard to any **nucleotide and/or amino acid sequence** disclosed in the international application, this opinion has been established on the basis of a sequence listing:

   a. ☐ forming part of the international application as filed:

      ☐ in the form of an Annex C/ST.25 text file.

      ☐ on paper or in the form of an image file.

   b. ☐ furnished together with the international application under PCT Rule 13*ter*.1(a) for the purposes of international search only in the form of an Annex C/ST.25 text file.

   c. ☐ furnished subsequent to the international filing date for the purposes of international search only:

      ☐ in the form of an Annex C/ST.25 text file (Rule 13*ter*.1(a)).

      ☐ on paper or in the form of an image file (Rule 13*ter*.1(b) and Administrative Instructions, Section 713).

4. ☐ In addition, in the case that more than one version or copy of a sequence listing has been filed or furnished, the required statements that the information in the subsequent or additional copies is identical to that forming part of the application as filed or does not go beyond the application as filed, as appropriate, were furnished.

5. Additional comments:

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Box No. V **Reasoned statement under Rule 43*bis*.1(a)(i) with regard to novelty, inventive step and industrial applicability; citations and explanations supporting such statement**

1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-26	YES
	Claims	None	NO
Inventive step (IS)	Claims	12-15	YES
	Claims	1-11, 16-26	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-26	YES
	Claims	None	NO

2. Citations and explanations:

Claims 1-3, 6, 7, and 10 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of SHARP (hereinafter Sharp).

Regarding claim 1, Border discloses a calibration system (col. 1, lines 56-67, col. 7, lines 30-67, discussing a calibration system for an active or a dual lens rangefinder system) comprising:
an aperture layer defining a first calibration aperture (col. 12, lines 51-67, col. 22, lines 1-9, discussing an adjustable aperture [calibration apertures] and shutter assembly [not shown] in each lens 3, 4 is used to control the exposure to image sensors 12 and 14, wherein either of the apertures may be considered a calibration aperture);
a lens layer comprising a first calibration lens substantially axially aligned with the first calibration aperture (col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [creating a lens layer wherein one of the lenses is a first calibration lenses] and each associated image sensor 614 and 618 [pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B illustrating a layered structure having a lens layer, a filter layer, and a pixel layer);
an optical filter adjacent the lens layer opposite the aperture layer (col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 and each associated image sensor 614 and 618 are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels);
a pixel layer adjacent the optical filter opposite the lens layer(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [the lens layer] and each associated image sensor 614 and 618 [first and second pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels), the pixel layer comprising a first calibration pixel substantially axially aligned with the first calibration lens (see Fig. 16B illustrating the alignment of the lens, filter and pixel), wherein the first calibration pixel is constructed to detect light power of an illumination source configured to output a band of wavelengths of light as a function of a parameter (col. 2, lines 20-47, wherein it is known in the art that an analog photoelectric signal is generated by each optical sensor corresponding to the light intensity at the portion of the image which is incident on the sensor and the offset information x is used to calculate the distanced to the scene by triangulation. The calculated distance d to the scene is used to guide the positioning [i.e., calibration] of an adjustable focus lens to produce the best image quality). Border also discusses environmental conditions such as temperature and humidity can cause the distance portion of a distance sensor, such as a rangefinder, to change by a significant percentage (col. 2, lines 58-67).
Border, however, lacks teaching using a first regulator configured to modify the parameter of the illumination source based on a light power detected by the first calibration pixel.
Sharp, however, discusses an optical sensing device (para. 14, 32, 33, Figs. 4, 7, discussing optical sensor system 1 including a light emitting laser 10 and a photodiode detector 40, wherein the laser 10 has a front surface 20 for emitting a second front light and a rear surface for emitting a first rear light and wherein the lights are detected by photodiode light detectors) and teaches using a first regulator configured to modify the parameter of the illumination source based on a light power detected by the first calibration element (para. 14-15, 29, 32-37, discussing the system includes an environmental parameter calculation unit that calculates an environmental parameter, as an index of an environment around the light emitting device, by employing a value of one or both of the first and second emission lights detected by the emission light detectors such that when the environmental parameter, such as temperature, humidity or gas concentration, has changed, a change rate of intensity of the first emission light is smaller than a change rate of intensity of the second emission light; paras. 161-162, 166, wherein a temperature regulator regulates a temperature of the optical system and keeps it at a preset temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a temperature regulator as taught by Sharp in the system of Border in order to maintain the temperature of the system at a preset temperature to ensure accuracy of sensor readings is maintained (Sharp, paras. 166, 218).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case **the space in any of the preceding boxes is not sufficient.**
Continuation of:

Regarding claim 2, Border discloses the calibration system of claim 1 further comprising a sensing circuit, the sensing circuit comprising:
a sense aperture defined in the aperture layer (col. 12, lines 51-67, col. 22, lines 1-9, discussing an adjustable aperture and shutter assembly [not shown] in each lens 3, 4 is used to control the exposure to image sensors 12 and 14, wherein one of the apertures may be considered a calibration aperture and the other a sense aperture);
a sense lens substantially axially aligned with the sense aperture (col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [creating a lens layer wherein one of the lenses is a first calibration lens and the other is a sensor lens aligned with a corresponding sense aperture [not shown]] and each associated image sensor 614 and 618 [one a calibration pixel, the other a sense pixel] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter layer for both lens components] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B illustrating a layered structure having a lens layer, a filter layer, and a pixel layer); and
a sense pixel substantially aligned with the sense lens(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [creating a lens layer wherein one of the lenses is a first calibration lens and the other is a sensor lens aligned with a corresponding sense aperture [not shown]] and each associated image sensor 614 and 618 [one a calibration pixel, the other a sense pixel] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter layer for both lens components] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B illustrating a layered structure having a lens layer, a filter layer, and a pixel layer).

Regarding claim 3, Border discloses the calibration system of claim 2 wherein the sensing circuit shares the optical filter that is adjacent the lens layer opposite the aperture layer (see Fig. 16B, wherein the filter layer is between the pixel layer and the lens layer).

Regarding claim 6, Border lacks teaching the calibration system of claim 1 wherein the first regulator comprises a temperature regulator, the temperature regulator being configured to modify a temperature of the illumination source based on the light power detected by the first calibration pixel.
Sharp, however, discusses an optical sensing device (para. 14, discussing optical sensor system including a light emitting device that generates first emission light for use in a predetermined application, the light emitting device further generating second emission light, wherein the optical sensor system further includes an emission light detector that detects the second emission light) and teaches the first regulator comprises a temperature regulator, the temperature regulator being configured to modify a temperature of the illumination source based on the light power detected by the first calibration pixel (para. 14-15, 29, discussing the system includes an environmental parameter calculation unit that calculates an environmental parameter, as an index of an environment around the light emitting device, by employing a value of one or both of the first and second emission lights detected by the emission light detectors such that when the environmental parameter, such as temperature, humidity or gas concentration, has changed, a change rate of intensity of the first emission light is smaller than a change rate of intensity of the second emission light; paras. 161-162, 166, wherein a temperature regulator regulates a temperature of the optical system and keeps it at a preset temperature; para. 237, wherein the oscillation threshold [duty cycle] of the source can be reduced and power saving can be realized). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a temperature regulator as taught by Sharp in the system of Border in order to maintain the temperature of the system at a preset temperature to ensure accuracy of sensor readings is maintained (Sharp, paras. 166, 218).

Regarding claim 7, Border lacks teaching the calibration system of claim 1 wherein the first regulator modifies a duty cycle of the illumination source.
Sharp, however, discusses an optical sensing device (para. 14, discussing optical sensor system including a light emitting device that generates first emission light for use in a predetermined application, the light emitting device further generating second emission light, wherein the optical sensor system further includes an emission light detector that detects the second emission light) and teaches the first regulator modifies a duty cycle of the illumination source (para. 237, wherein the oscillation threshold [duty cycle] of the source can be reduced and power saving can be realized). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a temperature regulator to modify the duty cycle of the source as taught by Sharp in the system of Border in order to maintain the temperature of the system at a preset temperature to ensure accuracy of sensor readings is maintained (Sharp, paras. 166, 218).

Regarding claim 10, Border discloses the calibration system of claim 1 wherein the aperture layer further defines a second calibration aperture (col. 12, lines 51-67, col. 22, lines 1-9, discussing an adjustable aperture [calibration apertures] and shutter assembly [not shown] in each lens 3, 4 is used to control the exposure to image sensors 12 and 14, wherein either of the apertures may be considered a calibration aperture), the lens layer comprises a second calibration lens axially offset from the second calibration aperture(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [creating a lens layer with first and second calibration lenses] and each associated image sensor 614 and 618 [pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B illustrating a layered structure having a lens layer, a filter layer, and a pixel layer), the pixel layer comprises a second calibration pixel aligned with a ray extending through the second aperture and the second calibration lens(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [the lens layer] and each associated image sensor 614 and 618 [first and second pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels).
Border lacks teaching the first regulator is configured to modify the parameter of the illumination source based on a light power detected by the first calibration pixel and the second calibration pixel.
Sharp, however, discusses an optical sensing device (para. 14, 32, 33, Figs. 4, 7, discussing optical sensor system 1 including a light emitting laser 10 and a photodiode detector 40, wherein the laser 10 has a front surface 20 for emitting a second front light and a rear surface for emitting a first rear light and wherein the lights are detected by photodiode light detectors) and teaches using a first regulator configured to modify the parameter of the illumination source based on a light power detected by the first and second calibration elements (para. 14-15, 29, 32-37, discussing the system includes an environmental parameter calculation unit that calculates an environmental parameter, as an index of an environment around the light emitting device, by employing a value of one or both of the first and second emission lights detected by the emission light detectors such that when the environmental parameter, such as temperature, humidity or gas concentration, has changed, a change rate of intensity of the first emission light is smaller than a change rate of intensity of the second emission light; paras. 161-162, 166, wherein a temperature regulator regulates a temperature of the optical system and keeps it at a preset temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a temperature regulator as taught by Sharp in the system of Border in order to maintain the temperature of the system at a preset temperature to ensure accuracy of sensor readings is maintained (Sharp, paras. 166, 218).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case the space in any of the preceding boxes is not sufficient.
Continuation of:

Claims 4 and 9 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of SHARP (hereinafter Sharp) and Loong et al (hereinafter Loong).

Regarding claim 4, Border lacks teaching the calibration system of claim 1 further comprising:
a bulk transmitting optic and a bulk receiving optic, wherein the illumination source is offset behind the bulk transmitting optic.
LOONG, however, discusses an optical sensor system having a plurality of optoelectronic devices (abstract) and teaches a bulk transmitting optic and a bulk receiving optic (para. 12, 19, discussing a master lens 12 [bulk transmitting and receiving optic] positioned to observe, for example, a panoramic field of view of an area and is configured to focus an image 16 of an object 18 in the field of view 14 onto a focal plane 20. In other words, the master lens 12 may be characterized as defining the focal plane 20). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to include a bulk transmitting and receiving optic as taught by Loong in the system of Border to define a focal plane (Loong, para. 12, 19).
Modified Border lacks teaching wherein the illumination source is offset behind the bulk transmitting optic.
Sharp, however, teaches an illumination source is offset behind a transmitting surface (see Figs. 4, 7, wherein laser illumination source 10 is positioned behind a transmitting surface 20 so as to illuminate the target in front thereof). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to position the light as taught by Sharp in the device of modified Border in order to enable illumination of both a front and back area, relative to the illumination source (Sharp, para. 34).

Regarding claim 9, modified Border lacks teaching the calibration system of claim 1 further comprising a diffuser adjacent the optical filter opposite the lens layer.
Loong, however, discusses an optical sensor system having a light source and a light sensor (para. 14, 32, 33, discussing optical sensor system 1 including a light emitting laser 10 and a photodiode detector 40, wherein the laser 10 has a front surface 20 for emitting a second light and a rear surface for emitting a first light and wherein the light is detected by the photodiode light detector) and teaches a diffuser adjacent the optical filter opposite the lens layer (para. 20, wherein an optical diffuser 22 located at or proximate to the focal plane 20 of the master lens 12. In general, the diffuser 22 is configured to display the image 16 of the object 18 in the field of view 14 that comes from the master lens 12 so a plurality of optoelectronic devices 24 can each be arranged to view all or part of a viewing area 26 defined by the diffuser 22). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a diffuser as taught by Loong in conjunction with the lens of modified Border so a plurality of optoelectronic devices such as pixels, can each be arranged to view all or part of a viewing area defined by the diffuser (Loong, para. 20).

Claims 5 and 11 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of SHARP (hereinafter Sharp) and Sesko.

Regarding claim 5, Border lacks teaching the calibration system of claim 1 further comprising an optical bypass extending from the illumination source to the first calibration aperture.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches an optical bypass extending from an illumination source to a first calibration aperture (col. 8, lines 1-46, discussing FIG. 1, the bypass mechanism 135 comprises a bypass reflector 136 [e.g., a mirror]. During normal operation, the bypass reflector 136 is positioned out of the optical path, e.g., at the position "N". For certain error compensation factor determination operations described further below, or other calibration operations, the bypass reflector 136 is positioned in the optical path, e.g., at the position "B", to reflect broadband light output from the aperture 195 back through the aperture 195, nominally without altering the relative intensities of the various wavelengths included within the broadband light). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use an optical bypass as taught by Sesko in the system of Border in order to determine an error compensation factor needed to ensure accuracy of the sensor readings (Sesko, col. 8, lines 1-46).

Regarding claim 11, Border lacks teaching the method of claim 1o further comprising an optical bypass extending from the illumination source to the first calibration aperture and the second calibration aperture.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches an optical bypass extending from the illumination source to an calibration aperture (col. 8, lines 1-46, discussing FIG. 1, the bypass mechanism 135 comprises a bypass reflector 136 [e.g., a mirror]. During normal operation, the bypass reflector 136 is positioned out of the optical path, e.g., at the position "N". For certain error compensation factor determination operations described further below, or other calibration operations, the bypass reflector 136 is positioned in the optical path, e.g., at the position "B", to reflect broadband light output from the aperture 195 back through the aperture 195, nominally without altering the relative intensities of the various wavelengths included within the broadband light). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use an optical bypass as taught by Sesko in the system of Border in order to determine an error compensation factor needed to ensure accuracy of the sensor readings (Sesko, col. 8, lines 1-46).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case the space in any of the preceding boxes is not sufficient.
Continuation of:

Claim 8 lacks an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of SHARP (hereinafter Sharp) and Pence, IV (hereinafter Pence).

Regarding claim 8, modified Border lacks teaching the calibration system of claim 1 wherein the first regulator modifies the parameter of the illumination source based on piezoelectric effects.
Pence, however, discusses temperature regulators (abstract) and teaches a first regulator modifies the parameter of the illumination source based on piezoelectric effects (col. 2, lines 25-31, discussing expansion of a material produced by heat is employed to produce a stress on a piezoelectric on the material and the resulting signal from the piezoelectric is employed in control of a thermoelectric cooler for the material; col. 5, lines 62-67, wherein FIG. 7, the difference in expansion of the active and passive substrate materials 60 and 63 provides piezoelectric signals for control of a single or plurality of thermoelectric coolers which in turn regulate the cooling). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a piezoelectric material as taught by Pence in the system of modified Border so as to produce an immediate cooling change in the device proportional to the signal from the piezoelectric material (Pence, col. 2, line 60-col. 3, line 10).

Claims 16 and 26 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of Sesko.

Regarding Claim 16, Border discloses a calibration method (col. 1, lines 56-67, col. 7, lines 30-67, discussing a calibration system for an active or a dual lens rangefinder system) comprising: obtaining a first light power detected by a first calibration pixel axially aligned with a first calibration lens axially aligned with a first calibration aperture(col. 2, lines 20-47, wherein it is known in the art that an analog photoelectric signal is generated by each optical sensor corresponding to the light intensity at the portion of the image which is incident on the sensor and the offset information x is used to calculate the distanced to the scene by triangulation. The calculated distance d to the scene is used to guide the positioning [i.e., calibration] of an adjustable focus lens to produce the best image quality; col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [the lens layer] and each associated image sensor 614 and 618 [first and second pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B illustrating the alignment of the lens, filter and pixel); obtaining more light detected by one or more additional calibration pixels, respectively(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [the lens layer] and each associated image sensor 614 and 618 [first and second pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels), each additional calibration pixel being axially offset from a corresponding calibration lens axially offset from a corresponding calibration aperture by a unique offset distance(col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 [the lens layer] and each associated image sensor 614 and 618 [first and second pixels] are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; see Fig. 16B wherein the first lens with associated pixels and filters are offset from the second lens association) and based on the first light power and the additional light powers, tuning an illumination source configured to output a band of wavelengths of light as a function of a parameter by actuating a regulator coupled to the illumination source, or tuning an optical filter (col. 12, lines 1-13, discussing using the data collected to reduce exposure issues introduced by use of a flash; col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 and each associated image sensor 614 and 618 are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; col. 13, lines 43-45, wherein the size, resolution, color filter array, spectral sensitivity and aspect ratio of the image sensors 12 and 14 can be different [i.e., tuning the optical filter]).
Border lacks teaching more than one light power.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Regarding claim 26, Border discloses the calibration method of claim 16 further comprising tuning a center wavelength of the optical filter by angle tuning (col. 12, lines 1-13, discussing using the data collected to reduce exposure issues introduced by use of a flash; col. 23, lines 54-57, Fig. 16B, wherein each lens 612 and 616 and each associated image sensor 614 and 618 are mounted to a substrate 620 with an IR cut filter 622 [optical filter] in between to reduce the incidence of IR radiation on the image pixels; col. 13, lines 43-45, wherein the size, resolution, color filter array, spectral sensitivity and aspect ratio of the image sensors 12 and 14 can be different [i.e., angle tuning the optical filter]).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case the space in any of the preceding boxes is not sufficient.
Continuation of:

Claims 17, 18, and 22-24 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of Sesko and Majima.

Regarding claim 17, Border lacks teaching the calibration method of claim 16 wherein the illumination source is configured to output the band of wavelengths of light in a distribution pattern centered at a central wavelength, and wherein the central wavelength is varied by changing the temperature of the illumination source based on the first light power and the additional light powers.
Majima, however, discusses a laser light source and temperature regulator (col. 3, lines 45-55) and teaches an illumination source is configured to output the band of wavelengths of light in a distribution pattern centered at a central wavelength, and wherein the central wavelength is varied by changing the temperature of the illumination source based on the first light power and the additional light powers (col. 3, lines 45-55, discussing to use the temperature control in, for example, a laser, which controls its lasing wavelength by the current control, not only for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the laser and a change in the exterior temperature but also for a control of changing the lasing wavelength and that hence the wavelength control can be flexibly performed). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to vary wavelength relative to temperature as taught by Majima in the method of Border in order for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the laser and a change in the exterior temperature (Majima, col. 3, lines 45-65).

Regarding Claim 18, modified Border lacks teaching the calibration method of claim 17 further comprising determining whether a central wavelength of the illumination source during an active period is greater than a central wavelength of the illumination source during a sampling period based on the first light power and the additional light powers, and wherein the regulator maintains, decreases or increases the temperature of the illumination source based on the determination.
Majima, discussing a wavelength-changeable light source (col. 5, lines 50-60) teaches a central wavelength of the illumination source during an active period is greater than a central wavelength of the illumination source during a sampling period based on the light powers, and wherein the regulator maintains, decreases or increases the temperature of the illumination source based on the determination (col. 13, lines 55-67, wherein the module has characteristics that the wavelength shifts to a longer wavelength side as the current increases and as the temperature rises and wherein the lasing wavelength before and after the wavelength shift control is set at a center of the wavelength-changeable range which can be obtained by the current, but this lasing wavelength may be set at any place in the wavelength changeable range; col. 6, lines 41-44, wherein the wavelength of the DFB-LD module 201 shifts toward a longer [greater] wavelength side as the current increases and as the temperature rises; col. 6, line 61-col. 7, line 38, wherein a temperature controller [regulator] controls the temperature of the module to a set temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to vary wavelength relative to temperature as taught by Majima in the method of Border in order for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the laser and a change in the exterior temperature (Majima, col. 3, lines 45-65).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Regarding claim 22, Border lacks teaching the calibration method of claim 18 wherein if the first light power is greater than one of the additional light powers, it is determined that the central wavelength of the illumination source during the active period is either matched to or is greater than the central wavelength of the illumination source during the sampling period.
Majima, discussing a wavelength-changeable light source (col. 5, lines 50-60) teaches the central wavelength of the illumination source during the active period is either matched to or is greater than the central wavelength of the illumination source during the sampling period (col. 13, lines 55-67, wherein the module has characteristics that the wavelength shifts to a longer wavelength side as the current increases [i.e., increased power] and as the temperature rises and wherein the lasing wavelength before and after the wavelength shift control is set at a center of the wavelength-changeable range which can be obtained by the current; this lasing wavelength may be set at any place in the wavelength changeable range; col. 6, lines 41-44, wherein the wavelength of the DFB-LD module 201 shifts toward a longer [greater] wavelength side as the current increases and as the temperature rises; col. 6, line 61-col. 8, line 40, wherein a temperature controller [regulator] controls the temperature of the module to a set temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to vary wavelength relative to temperature as taught by Majima in the method of Border in order for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the laser and a change in the exterior temperature (Majima, col. 3, lines 45-65).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case **the space in any of the preceding boxes is not sufficient.**
Continuation of:

Regarding claim 23, Border lacks teaching the calibration method of claim 18 wherein if the first light power is less than a first threshold value or if a difference between the first light power and one of the additional light powers is less than a second threshold value, it is determined that the central wavelength of the illumination source is low and the regulator increases the central wavelength of the illumination source.
Majima, discussing a wavelength-changeable light source (col. 5, lines 50-60) teaches the central wavelength of the illumination source is low and the regulator increases the central wavelength of the illumination source (col. 13, lines 55-67, wherein the module has characteristics that the wavelength shifts to a longer wavelength side as the current increases [i.e., increased power] and as the temperature rises and wherein the lasing wavelength before and after the wavelength shift control is set at a center of the wavelength-changeable range which can be obtained by the current; this lasing wavelength may be set at any place in the wavelength changeable range; col. 6, lines 41-44, wherein the wavelength of the DFB-LD module 201 shifts toward a longer [greater] wavelength side as the current increases and as the temperature rises; col. 6, line 61-col. 8, line 40, wherein a temperature controller [regulator] controls the temperature of the module to a set temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to vary wavelength relative to temperature as taught by Majima of one or more light sources in the method of Border in order for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the source laser[s] (Majima, col. 3, lines 45-65).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Regarding claim 24, Border lacks teaching the calibration method of claim 18 wherein if one of the additional light powers is greater than the first light power, it is determined that the central wavelength of the illumination source during the active period is less than the central wavelength of the illumination source during the sampling period and the regulator decreases the central wavelength of the illumination source.
Majima, discussing a wavelength-changeable light source (col. 5, lines 50-60) teaches the central wavelength of the illumination source during the active period is less than the central wavelength of the illumination source during the sampling period and the regulator decreases the central wavelength of the illumination source (col. 13, lines 55-67, wherein the module has characteristics that the wavelength shifts to a longer wavelength side as the current increases [i.e., increased power] and as the temperature rises and wherein the lasing wavelength before and after the wavelength shift control is set at a center of the wavelength-changeable range which can be obtained by the current; this lasing wavelength may be set at any place in the wavelength changeable range; col. 6, lines 41-44, wherein the wavelength of the DFB-LD module 201 shifts toward a longer [greater] wavelength side as the current increases and as the temperature rises; col. 6, line 61-col. 8, line 40, wherein a temperature controller [regulator] controls the temperature of the module to a set temperature). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to vary wavelength relative to temperature as taught by Majima of one or more light sources in the method of Border in order for suppression of influences of a change in the ambient or environmental temperature due to heat generation in the source laser[s] (Majima, col. 3, lines 45-65).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Claims 19, 21, and 25 lack an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of Sesko and SHARP (hereinafter Sharp).

Regarding claim 19, Border lacks teaching the calibration method of claim 16 wherein the regulator modifies a duty cycle of the illumination source in order to tune the illumination source.
Sharp, however, discusses an optical sensing device (para. 14, discussing optical sensor system including a light emitting device that generates first emission light for use in a predetermined application, the light emitting device further generating second emission light, wherein the optical sensor system further includes an emission light detector that detects the second emission light) and teaches the first regulator modifies a duty cycle of the illumination source (para. 237, wherein the oscillation threshold [duty cycle] of the source can be reduced and power saving can be realized). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a temperature regulator to modify the duty cycle of the source as taught by Sharp in the system of Border in order to maintain the temperature of the system at a preset temperature to ensure accuracy of sensor readings is maintained (Sharp, paras. 166, 218).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case the space in any of the preceding boxes is not sufficient.
Continuation of:

Regarding Claim 21, modified Border lacks teaching the calibration method of claim 16 wherein the regulator is actuated to maintain a peak incident photon count per unit time based on the first light power and the additional light powers.
Sharp, however, teaches regulator is actuated to maintain a peak incident photon count per unit time based on the light power (para. 93-99, discussing when the injection current is larger than the oscillation threshold 80, photons are amplified up to a sufficient number inside the resonator, and laser oscillation occurs. As a result, laser light is emitted from the semiconductor laser. When the injection current is larger than the oscillation threshold 80, the light emission intensity of the semiconductor laser is large. When the injection current is larger than the oscillation threshold 80, the light emission intensity of the semiconductor laser is substantially proportional to the injection current. The oscillation efficiency is determined by the control and arithmetic device which controls light power or intensity based on light readings). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to base the photon count on the light power as taught by Sharp in the method of modified Border in order to calculate and control environmental parameters of the device on the basis of the light intensity (Sharp, para. 101).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Regarding claim 25, Border lacks teaching the calibration method of claim 16 wherein obtaining the first light power comprises calculating a first photon count of photons and obtaining the one or more additional light powers comprises calculating one or more photon count of photons, respectively.
Sharp, however, teaches calculating a photon count of photons (para. 93-99, discussing when the injection current is larger than the oscillation threshold 80, photons are amplified up to a sufficient number inside the resonator, and laser oscillation occurs. As a result, laser light is emitted from the semiconductor laser. When the injection current is larger than the oscillation threshold 80, the light emission intensity of the semiconductor laser is large. When the injection current is larger than the oscillation threshold 80, the light emission intensity of the semiconductor laser is substantially proportional to the injection current. The oscillation efficiency is determined by the control and arithmetic device which controls light power or intensity based on light readings). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to base the photon count on the light power as taught by Sharp in the method of modified Border in order to calculate and control environmental parameters of the device on the basis of the light intensity (Sharp, para. 101).
Border lacks teaching additional light powers.
Sesko, however, discusses a point sensor having both calibration and sensing circuits (col. 8, lines 20-25) the system having an aperture 195, a lens 150, and light detectors 162 in an array 163 (col. 6, line 50-col. 7, line 7, col. 8, lines 1-11) and teaches using two or more light powers (col. 14, lines 6-19, wherein alternative light source 164' may be a standardized or reference light source, provided so that raw intensity profiles from the light sources 164 and 164' may be acquired and compared, as a means of calibrating the light source 164, and/or the wavelength detector 162; see Fig. 1, light source 164 and 164'). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use two or more light sources as taught by Sesko in the method of Border in order to acquire intensity profiles and compare them for use in calibration of the device (Sesko, col. 14, lines 6-19).

Claim 20 lacks an inventive step under PCT Article 33(3) as being obvious over Border et al. (hereinafter Border) in view of Sesko and Pence, IV (hereinafter Pence).

Regarding claim 2o, Border lacks teaching the calibration method of claim 16 wherein the regulator modifies the parameter of the illumination source based on piezoelectric effects.
Pence, however, discusses temperature regulators (abstract) and teaches a first regulator modifies the parameter of the illumination source based on piezoelectric effects (col. 2, lines 25-31, discussing expansion of a material produced by heat is employed to produce a stress on a piezoelectric on the material and the resulting signal from the piezoelectric is employed in control of a thermoelectric cooler for the material; col. 5, lines 62-67, wherein FIG. 7, the difference in expansion of the active and passive substrate materials 60 and 63 provides piezoelectric signals for control of a single or plurality of thermoelectric coolers which in turn regulate the cooling). It would have been obvious to one of ordinary skill in the art at the time of the invention to use a piezoelectric material as taught by Pence in the system of modified Border so as to produce an immediate cooling change in the device proportional to the signal from the piezoelectric material (Pence, col. 2, line 60-col. 3, line 10).

WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

International application No.
PCT/US2017/015683

Supplemental Box

In case the space in any of the preceding boxes is not sufficient.
Continuation of:

Claims 12-15 meet the criteria set out in PCT Article 33(2)-(3), because the prior art does not teach or fairly suggest:

Regarding claim 12, the prior art of record, individually or in combination, does not teach or fairly suggest the calibration system of claim 1 wherein the aperture layer further defines one or more additional calibration apertures including at least a second calibration aperture, a third calibration aperture and a fourth calibration aperture, wherein the lens layer comprises one or more additional calibration lenses including at least a second calibration lens, a third calibration lens and a fourth calibration lens, wherein each pair of calibration aperture and calibration lens is offset by a unique distance with respect to the others such that each calibration lens outputs light toward the optical filter at a unique nominal angle with respect to the others, wherein the pixel layer further comprises one or more additional calibration pixels including at least a second calibration pixel aligned with a ray extending through the second aperture and the second calibration lens, a third calibration pixel aligned with a ray extending through the third aperture and the third calibration lens, and a fourth calibration pixel aligned with a ray extending through the fourth aperture, and wherein the first regulator is configured to modify the parameter of the illumination source based on a light power detected by the first calibration pixel and the additional calibration pixels.

Claims 13 and 14 depend from claim 12, and therefore meet the criteria set out in PCT Article 33(2)-(3) for at least the same reasons as claim 12.

Regarding claim 15, the prior art of record, individually or in combination, does not teach or fairly suggest the calibration system of claim 1 further comprising another illumination source, wherein each illumination source is configured to output a different band of wavelengths of light as a function of the parameter; and a second calibration aperture, a second calibration lens, a second calibration pixel and a second regulator are provided for the other illumination source, wherein the second regulator is controlled independent of the first regulator.

Claims 1-26 meet the criteria set out in PCT Article 33(4), and thus have industrial applicability because the subject matter claimed can be made or used in industry.

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 10 月 29 日 (29.10.2015)

W 画PO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2015/163074 A1

(51) 国際特許分類：
G01N 21/41 (2006.01) G01N 21/17 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2015/058921

(22) 国際出願日： 2015 年 3 月 24 日 (24.03.2015)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2014-088332 2014 年 4 月 22 日 (22.04.2014) JP

(71) 出願人：シャープ株式会社 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒 5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町 22 番 22 号 Osaka (JP).

(72) 発明者：佐藤 隆信 (SATO, Takanobu). 岩田 昇 (IWATA, Noboru). 北澤 田鶴子 (KITAZAWA, Tazuko).

(74) 代理人：特許業務法人 HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK (HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK); 〒 5300041 大阪府大阪市北区天神橋 2 丁目北 2 番 6 号 大和南森町ビル Osaka (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

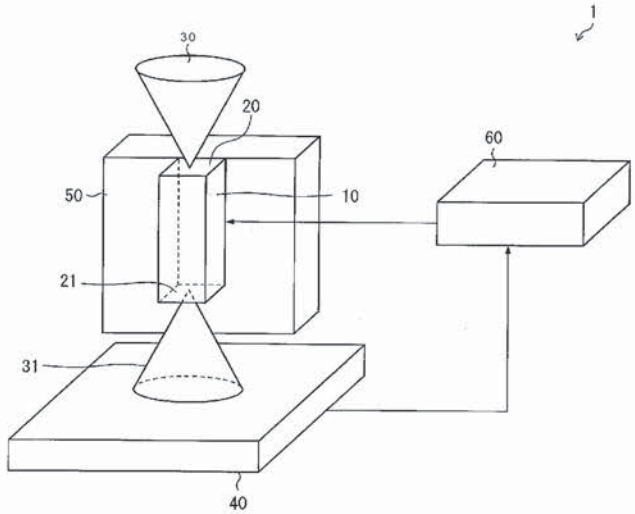
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：
— 国際調査報告 (条約第 21 条 (3))

(54) Title: OPTICAL SENSOR SYSTEM, OPTICAL-TYPE GAS SENSOR SYSTEM, MICROP ARTICLE SENSOR SYSTEM, LIGHT-EMITTING DEVICE, AND IMAGE PRINTING DEVICE

(54) 発明の名称：光学センサシステム、光学式ガスセンサシステム、微粒子センサシステム、発光装置、および画像印刷装置

図 1



(57) Abstract: Provided is an opucal sensor system which is useable as an ordinary light source, and with which it is possible to calculate an environmental parameter. Rear surface-emitted light (31) emitted fi"om the rear surface (21) of a semiconductor laser (10) is used by a control computation device (60) to calculate an environmental parameter, whereas front surface-emitted light (30) emitted from the front surface (20) is used for a different application than the calculation of the environmental parameter.

(57) 要約：通常の光源として使用可能であるとともに、環境パラメータを算出可能な光学センサシステムを提供する。半導体レーザー (10) のリア面 (21) から出射されるリア面出射光 (31) は、制御演算装置 (60) が環境パラメータを算出するために使用される一方、フロント面 (20) から出射されるフロント面出射光 (30) は、環境パラメータの算出とは異なる用途に使用される。

W 201 /163 74 1

明 細 書

発明の名称 :

光学センサシステム、光学式ガスセンサシステム、微粒子センサシステム、発光装置、および画像印刷装置

技術分野

[0001] 本発明は、光学センサシステム、光学式ガスセンサシステム、微粒子センサシステム、発光装置、および画像印刷装置に関するものである。

背景技術

[0002] 半導体レーザーは、コヒーレントで指向性が高いレーザー光を出射することが可能であり、かつ、小型で安価であることから、様々な応用用途に使用されている。

[0003] 半導体レーザーは、2枚の対向するミラー面と、2枚のミラー面の間に設置された導波路とから構成される。半導体レーザーに電流を注入すると、導波路内に光子が発生する。発生した光子は、2枚のミラー面に反射されることによって、繰り返し導波路内を往復しながら、連鎖的に光子数を増やし、共振状態に至る。2つのミラー面の反射率には差があり、反射率が低い(透過率が高い)ミラー面から、強いレーザー光が出射される。一般的に、この強いレーザー光が様々な応用用途に使用されている。

[0004] 一方、反射率が高い(透過率が低い)ミラー面からも、比較的弱い出力を有するレーザー光が出射されている。この弱いレーザー光は、一般的に、全く使用されないか、あるいは、反射率が低いミラー面から出射されるレーザー光の出力の参考情報として使用されるのみである。後者の場合、反射率が高いミラー面から出射されるレーザー光は、フォトダイオードによってモニタリングされる。

[0005] 半導体レーザーから出射されるレーザー光を様々な応用用途に使用するためには、半導体レーザーを取り巻く環境の状態を表す環境パラメータ(温度、湿度、ガス濃度など)を把握することが極めて重要である。

[0006] 例えば、特許文献１には、封止した半導体レーザーと同一の収納容器内に設置された湿度センサによって、収納容器内の湿度を継続的にモニタすることにより、半導体レーザーの劣化状況を予測したり、突発的な故障を回避したりする技術が開示されている。

[0007] また、特許文献２～４には、半導体レーザーの周辺、または、半導体レーザーが搭載された装置の周辺の温度および湿度を、温度センサおよび湿度センサによってモニタすることで、半導体レーザに結露が発生するか否かを判定したり、結露が発生することを回避したりする技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献１：日本国特許公報　特開平１１―１７２３０号公報（１９９９年１月２２日公開）」

特許文献２：日本国特許公報　特開昭６１－７９２８５号広報（１９８６年４月２２日公開）」

特許文献３：日本国特許公報　特開２００９―２０４９３５号広報（２００９年９月１０日公開）」

特許文献４：日本国特許公報　特開２０１３－１１７７３６号広報（２０１３年６月１３日公開）」

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、特許文献！～４に記載された上記の技術では、環境パラメータを測定するための各種センサが高コストであるという問題がある。また、半導体レーザーが搭載された装置内に、各種センサを設置するためのスペースが必要であるので、装置の小型化が困難であるという問題もある。

[0010] 本発明は上記に鑑みてなされたものであり、その目的は、通常の光源として使用可能であるとともに、環境パラメータを算出可能な光学センサシステムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[001 1] 上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る光学センサシステムは、所定の用途に使用される第１の発光を生成する発光デバイスを備えた光学センサシステムであって、上記発光デバイスは、第２の発光をさらに生成し、上記第２の発光を検出する発光検出部と、上記発光検出部によって検出された上記第２の発光の検出値を用いて、上記発光デバィスの周囲の環境の指標である環境パラメータを算出する環境パラメータ算出部と、を備えている。

[001 2] また、本発明の他の態様に係る光学センサシステムは、第１の発光および第２の発光を生成する発光デバイスを備えた光学センサシステムであって、上記第２の発光を検出する発光検出部と、上記発光検出部によって検出された上記第２の発光の検出値を用いて、上記発光デバィスの周囲の環境の指標である環境パラメータを算出する環境パラメータ算出部と、を備えており、上記発光デバイスは、上記第１の発光を出射する第１の発光面と、上記第２の発光を出射する第２の発光面とを備えており、上記第１の発光面および上記第２の発光面は、上記環境パラメータが変化したとき、上記第１の発光の強度の変化率が、上記第２の発光の強度の変化率よりも小さくなるように構成されている。

発明の効果

[001 3] 本発明の一態様によれば、通常の光源として使用可能であるとともに、環境パラメータを算出可能である。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の実施形態１に係る光学センサシステムの概略構成を示す模式図である。

[図2]本発明の実施形態１に係る光学センサシステムが備えた半導体レーザーから出射されるフロント面出射光およびリア面出射光の各強度と、湿度との関係を示す実験データである。

[図3]本発明の実施形態２に係る光学センサシステムの概略構成を示す模式図

である。

[図4]本発明の実施形態3に係る光学センサシステムの概略構成を示す模式図である。

[図5]典型的な半導体レーザーの発振特性を示す模式図であり、半導体レーザーに対する注入電流の電流値と、半導体レーザーの発光強度との関係を示すグラフである。

[図6]（a）および（b）は、本発明の実施形態3に係る光学センサシステムが備えた半導体レーザーから出射されるリア面出射光の発振閾値と、温度および湿度との関係を示す実験データであり、（c）および（d）は、同じリア面出射光の微分効率と、温度および湿度との関係を示す実験データである。

[図7]本発明の実施形態5に係る光学式ガスセンサシステムの概略構成を示す模式図である。

[図8]本発明の実施形態6に係る微粒子センサシステムの概略構成を示す模式図である。

[図9]本発明の実施形態6に係る微粒子センサシステムを備えた空気清浄機の概略構成を示す模式図である。

[図10]本発明の実施形態7に係る発光装置の概略構成を示す模式図である。

[図11]本発明の実施形態8に係る画像印刷装置の概略構成を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[001 5] 以下、本発明の実施形態について説明する。

[001 6] 実施形態1〕

本発明の一実施形態に係る光学センサシステム1に関して、図1、図2を参照して説明する。光学センサシステム1は、半導体レーザー10（発光デバイス）を備え、様々な応用用途に使用することが可能なレーザー光を出射する。また、光学センサシステム1は、環境パラメータを検出することができる。環境パラメータとは、光学センサシステム1の環境の指標となるパラ

メータのことである。環境パラメータは、例えば、光学センサシステム１の周囲の環境における温度、湿度、またはガス濃度である。

[001 7] 本実施形態では、光学センサシステム１は、環境パラメータとして、湿度を検出する。換言すれば、本実施形態では、湿度が、光学センサシステム１によるセンシングの対象となる。

[001 8] [光学センサシステム１の構成]

図１は、光学センサシステム１の概略構成を示す模式図である。図１に示すように、光学センサシステム１は、半導体レーザー１０、フォトダイオード4０（発光検出部）、サブマウント5０、および制御演算装置６０（環境パラメータ算出部）を備えている。

[001 9] 半導体レーザー１０は、電流を注入されることによって、レーザー光を出射する素子である。一般的に、半導体レーザーは、小型かつ安価であるため、本発明の光学センサシステム１の光源として好適である。図１に示すように、半導体レーザー１０は、フロント面２０（第２の発光面）およびリア面２１（第１の発光面）を備えている。フロント面２０およびリア面２１は、どちらもミラー面である。フロント面２０とリア面２１との間には、導波路（図示せず）が形成されている。

[0020] フロント面２０は、リア面２１と比較して、反射率がより低く、透過率がより高い。そのため、フロント面２０から出射されるフロント面出射光３０（第１の発光）は、リア面２１から出射されるリア面出射光３１（第２の発光）よりも強度が大きい。フロント面３０から出射される強いフロント面出射光３０は、様々な応用用途に使用される。なお、光学センサシステム１は、半導体レーザー１０の代わりに、別の光源（例えば、蛍光灯、ＬＥＤ、ＨＩＤランプ）を備えていてもよい。この構成では、別の光源は、１つの発光面から2種類の光（フロント面出射光３０、リア面出射光３１）を順に出射してもよい。あるいは、別の光源は、１つの発光面から出射された１本の光を２種類の光に分岐させてもよい。

[0021] 半導体レーザー１０に注入された電流は、導波路内で光子を発生させる。

発生した光子は、フロント面２０およびリア面２１で反射することによって、導波路内を繰り返し往復しながら、連鎖的に、導波路内の光子数を増大させ、共振状態に至る。導波路内の光子が共振状態になったとき、フロント面２０およびリア面２１から、フロント面出射光３０およびリア面出射光３１が出射される。

[0022] フロント面２０から出射されたフロント面出射光３０は、レーザー光源として、様々な用途に使用される。また、リア面２１から出射されたリア面出射光３１は、フォトダイオード４０に入射する。

[0023] フォトダイオード４０は、入射したリア面出射光３１を検出して、その検出値を電気信号（電流信号または電圧信号）に変換する素子である。フォトダイオード４０は、リア面出射光３１から変換された電気信号を、制御演算装置６０に送信する。なお、光学センサシステム１では、フォトダイオード４０を、リア面出射光３１の強度を評価可能な別の手段で代用することができる。

[0024] サブマウント５０は、半導体レーザー１０を固定するとともに、半導体レーザー１０が発生させる熱を外部に逃がす役割を持つ。サブマウント５０の材料として、一般的に、窒化アルミニウムなどの熱伝導性の高いセラミックス材料が使用される。一般的に、半導体レーザー１０は、Ａｕ＿Ｓｎ合金ハンダなどのハンダ材料を介して、サブマウント５０に接合される。

[0025] 制御演算装置６０は、半導体レーザー１０を制御する。また、フォトダイオード４０から受信した電気信号の振幅（リア面出射光３１の強度）から、環境パラメータ（湿度）を算出する。制御演算装置６０は、例えば、記憶装置（図示せず）に予め記憶された湿度と光強度との関係に基づいて、湿度を算出してもよい。制御演算装置６０は、複数のチップおよびマイコンで構成することができる。制御演算装置６０として、パソコンなどの汎用演算装置が使用されてもよい。制御演算装置６０による環境パラメータの算出方法の一例を、以下で説明する。

[0026] [環境パラメータの算出方法１]

制御演算装置６０による環境パラメータ（湿度）の算出方法の一例を説明する。まず、制御演算装置６０は、半導体レーザー１０に定電流（ＡＣＣ）を注入することによって、半導体レーザー１０を発光させる。半導体レーザー１０の発光の強度が安定した後、フォトダイオード４０から受信した電気信号に基づいて、リア面出射光３１の強度を評価する。制御演算装置６０は、リア面出射光３１の強度を評価した後、すぐに半導体レーザー１０を消灯する。そして、得られた評価値から、記憶装置（図示せず）に予め記憶された湿度と光強度との関係（例えば、図２に示す実験データ）に基づいて、湿度を算出する。

[0027] ここで、半導体レーザー１０は、発光時間が長いほど、発熱量が増大し、寿命が短くなる。そのため、環境パラメータの算出方法において、半導体レーザー１０の発光時間は短いことが好ましい。

[0028] また、環境パラメータの算出方法において、制御演算装置６０は、半導体レーザー１０を定電流（ＡＣＣ）で駆動する必要はない。制御演算装置６０は、リア面出射光３１の強度が一定となるように、半導体レーザー１０を定出力（ＡＰＣ）で駆動してもよい。この構成では、制御演算装置６０は、リア面出射光３１の強度が略一定となったとき、半導体レーザー１０への注入電流の電流値に基づいて、湿度を算出する。

[0029] 以上のように、光学センサシステム１の構成によれば、フロント面出射光３０を、通常のレーザー光源として、様々な用途に使用することができるだけでなく、フロント面出射光３０とともに出射されるリア出射光３１の強度に基づいて、環境パラメータを算出することができる。

[0030] [湿度とレーザー光の強度との関係]

ここでは、実験結果を用いて、半導体レーザー１０の周辺の湿度と、半導体レーザー１０から出力されるフロント面出射光３０およびリア面出射光３１の各強度とが、どのような関係を持つのかを説明する。

[0031] 実験では、光記録装置用の半導体レーザー１０を使用した。この半導体レーザー１０は、発振波長６６０ｎｍ、最大出力１５０ｍＷを有する。この半

導体レーザー１０のフロント面２０の導波路側における反射率、リア面２１の導波路側における反射率は、それぞれ、約６％（透過率は約９４％）、約９０％（透過率は約１０％）に設計されている。

[0032] 半導体レーザー１０の各端面における反射率は、端面に成膜される多層膜ミラーの多層構造によって規定される。多層構造を構成する材料の屈折率や層数によって、端面の反射率が異なる。

[0033] 反射率が低く、透過率が高いフロント面２０から出射するフロント面出射光３０は、反射率が高く、透過率が低いリア面２１から出射するリア面出射光３１よりも強度が高い。光記録装置において、フロント面出射光３０は、光記憶媒体に情報を記録したり、光記憶媒体から情報を再生したりするために使用される。

[0034] 図２は、湿度の変化に対するフロント面出射光３０およびリア面出射光３１の各強度の変化を表す実験データである。

[0035] 図２に示すように、湿度とリア面出射光３１の強度とは、ほぼ比例関係を有している。湿度が２３％から６２％に増加したとき、リア面出射光３１の強度は、約８．７％増加する。前述の制御演算装置６０は、リア面出射光３１の強度と湿度との間の比例関係を利用することで、リア面出射光３１の強度から、湿度を算出することができる。

[0036] 一方、図２に示すように、フロント面出射光３０の強度は、湿度によらず略一定（強度の最大値と最小値との差は約０．３５％）である。フロント面出射光３０の強度の変化量（０．３５％）は、リア面出射光３１の強度の変化量（８．７％）の１／２０以下である。そのため、フロント面出射光３０は、湿度の変化による影響を考慮することなく、光記録媒体に対する情報の記録または再生などの様々な用途に活用することができる。

[0037] ここで、湿度の変化に対して、フロント面出射光３０およびリア面出射光３１が上記のような応答を示す原理は、以下のように説明される。

[0038] 半導体レーザー１０の周辺の湿度が変化すると、フロント面２０およびリア面２１の表側（外部に露出している側の面）に吸着している水分量が変化

する。その結果、フロント面２０およびリア面２１の屈折率が変化する。フロント面２０およびリア面２１の屈折率が変化したことによって、各面の透過率および反射率が変化する。

[0039] ところが、前述したように、フロント面２０は、透過率が高く（約９４％）なるように設計されている。そのため、湿度が変化することによって、フロント面２０の透過率が少しだけ変化したとき、フロント面出射光３０の強度はあまり変化しない。すなわち、湿度が変化したとき、リア面出射光３１の強度の変化率は小さい。一方、前述したように、リア面２１は、透過率が低く（約１０％）なるように設計されている。そのため、湿度が変化することによって、リア面２１の透過率が少しだけ変化したとき、リア面出射光３１の強度は大きく変化する。すなわち、湿度が変化したとき、リア面出射光３１の強度の変化率は大きい。

[0040] なお、湿度の変化に対するリア面出射光３１の強度の変化率を大きくするためには、リア面２１が、より高い反射率を有するように設計されていることが好ましい。しかしながら、あまりに高い反射率を有するリア面２１の設計は困難になる。また、そのような高い反射率を有するリア面２１を備えた半導体レーザー１０の製造コストも高騰する。従って、リア面２１は、リア面２１の設計の容易さや半導体レーザー１０のコストの低さの観点から、８５％以上の反射率を有していれば十分である。

[0041] 〔実施形態２〕

本発明の他の実施形態について、図３を用いて説明する。なお、説明の便宜上、前記実施形態にて説明した部材と同じ機能を有する部材については、同じ符号を付記し、その説明を省略する。

[0042] 半導体レーザー１０の強度は、発熱または劣化などの要因に依存して変化する。半導体レーザー１０の強度が、これらの要因によって変化した場合、フロント面出射光３０およびリア面出射光３１の各強度も変化する。

[0043] 前記実施形態１で説明した環境パラメータの算出方法１では、上記の要因に依存してリア面出射光３１の強度が変化することを考慮していない。その

ため、上記の要因によって変化したリア面出射光３１の強度に基づいて湿度（環境パラメータ）が算出された場合、湿度の算出値に誤差が生じる可能性がある。

[0044] 一方で、フロント面出射光３０の強度は、湿度には依存しない（図２参照）。そのため、フロント面出射光３０の強度は、上記の要因のみに依存すると考えられる。

[0045] そこで、本実施形態では、フロント面出射光３０の強度を用いて、リア面出射光３１の強度を補正する構成を説明する。本構成によれば、発熱または劣化などの要因に起因するリア面出射光３１の強度変化が環境パラメータの算出精度に与える影響を低減し、環境パラメータの誤差を抑制することができる。

[0046] [光学センサシステム２の構成]

図３は、本実施形態に係る光学センサシステム２の概略構成を示す模式図である。図３に示すように、光学センサシステム２は、半導体レーザー１０、フォトダイオード４０、第２のフォトダイオード４１（第２の検出部）、サブマウント５０、および制御演算装置２６０を備えている。

[0047] 第２のフォトダイオード４１は、前記実施形態１で説明したフォトダイオード４０と同様に、第２のフォトダイオード４１に入射したレーザー光を検出し、その検出値を電気信号に変換する。図３に示すように、第２のフォトダイオード４１には、半導体レーザー１０のフロント面２０から出射されたフロント面出射光３０が入射する。第２のフォトダイオード４１は、フロント面出射光３０の検出値を電気信号（電流信号または電圧信号）に変換して、その電気信号を制御演算装置２６０に送信する。

[0048] 制御演算装置２６０は、半導体レーザー１０を制御する。また、フォトダイオード４０および第２のフォトダイオード４１から、それぞれ電気信号を受信する。制御演算装置２６０は、複数のチップおよびマイコンで構成することができる。制御演算装置２６０として、パソコンなどの汎用演算装置が使用されてもよい。

[0049] 制御演算装置２６０は、第２のフォトダイオード４１で検出された電気信号の振幅から、フロント面出射光３０の強度を評価する。また、フォトダイオード４０で検出された電気信号の振幅から、リア面出射光３１の強度を評価する。その後、フロント面出射光３０の強度に基づいて、リア面出射光３１の強度を補正する。そして、制御演算装置２６０は、補正されたリア面出射光３１の強度に基づいて、環境パラメータ（湿度）を算出する。制御演算装置２６０による環境パラメータの算出方法の例を、以下で説明する。

[0050] [環境パラメータの算出方法２]

本方法では、フロント面出射光３０の強度で割ったリア面出射光３１の強度と湿度との間の関係が予め評価される。

[0051] 制御演算装置２６０は、半導体レーザー１０に一定量の電流を注入することによって、半導体レーザー１０を発光させる。半導体レーザー１０の発光の強度が安定した後、制御演算装置２６０は、フォトダイオード４０から受信した電気信号に基づき、リア面出射光３１の強度を評価する。また、第２のフォトダイオード４１から受信した電流信号に基づき、フロント面出射光３０の強度を評価する。制御演算装置２６０は、フロント面出射光３０の強度を評価した後、半導体レーザー１０を消灯する。

[0052] 次に、制御演算装置２６０は、リア面出射光３１の強度とフロント面出射光３０の強度との比を算出する。発熱または劣化などの要因に依存して、半導体レーザー１０の強度が変化したとき、フロント面出射光３０の強度、およびリア面出射光３１の強度は、同じ割合で変化する。従って、リア面出射光３１の強度をフロント面出射光３０の強度で割ることによって、リア面出射光３１の強度から、上記の要因に起因する変化が除去される。これにより、湿度のみに依存するリア面出射光３１の強度が得られる。

[0053] 制御演算装置２６０は、上記の関係（フロント面出射光３０の強度で割ったリア面出射光３１の強度と湿度との間の関係）を参照して、フロント面出射光３０の強度で割られたリア面出射光３１の強度に基づいて、環境パラメータ（湿度）を算出する。

[0054] [環境パラメータの算出方法３]

制御演算装置２６０は、例えば、以下の方法で、環境パラメータ（湿度）を算出する。

[0055] 本方法では、フロント面出射光３０の強度が所定値である場合におけるリア面出射光３１の強度と湿度との間の関係が予め評価される。

[0056] 制御演算装置２６０は、半導体レーザー１０に電流を注入することによって、半導体レーザー１０を発光させ、第２のフォトダイオード4１から受信した電気信号から、フロント面出射光３０の強度を評価する。制御演算装置２６０は、フロント面出射光３０の強度が上記所定値になるように、半導体レーザー１０への注入電流の電流値を制御する。

[0057] 制御演算装置２６０は、フロント面出射光３０の強度が所定値となったとき、フォトダイオード4０から受信した電気信号から、リア面出射光３１の強度を評価する。そして、リア面出射光３１の強度を評価した後、すぐに半導体レーザー１０を消灯する。

[0058] 次に、制御演算装置２６０は、リア面出射光３１の強度と湿度との間の上記関係（フロント面出射光３０の強度が所定値である場合におけるリア面出射光３１の強度と湿度との間の関係）を参照して、リア面出射光３１の強度に基づいて、湿度を算出する。

[0059] 上記の２つの方法によれば、環境パラメータ（湿度）以外の要因のみに依存するフロント面出射光３０の強度によって、リア面出射光３１の強度が補正される。これにより、リア面出射光３１の強度が、環境パラメータ（湿度）以外の要因（半導体レーザー１０の発熱や劣化）に依存しなくなる。従って、制御演算装置２６０は、環境パラメータのみに依存するリア面出射光３１の強度に基づいて、環境パラメータを精度よく算出することができる。

[0060] 実施形態３〕

本発明のさらに他の実施形態について、図4を用いて説明する。なお、説明の便宜上、前記実施形態にて説明した部材と同じ機能を有する部材については、同じ符号を付記し、その説明を省略する。

[0061] 本実施形態では、光学センサシステム３が、環境パラメータとして、ガス濃度を算出する。すなわち、本実施形態では、ガス濃度がセンシングの対象となる。

[0062] 図４は、本実施形態に係る光学センサシステム３の概略構成を示す模式図である。図４に示すように、光学センサシステム３は、半導体レーザー１０、フォトダイオード４０、サブマウント５０、制御演算装置３６０、およびガス感応膜７０を備えている。

[0063] ガス感応膜７０は、特定の種類のガス濃度に依存して変化する光学特性（レーザー光の屈折率または透過率）を有する薄膜である。図４に示すように、ガス感応膜７０は、半導体レーザー１０のリア面２１上に配置されている。特定のガス濃度に依存して、ガス感応膜７０の屈折率または透過率が変化する。そのため、特定のガス濃度に依存して、ガス感応膜７０を透過するリア面出射光３１の強度が増減する。

[0064] ガス感応膜７０の材料として、例えば、空気中のＶＯＣ (Volatile Organic Compounds) ガスを吸収することによって膨張（膨潤）し、屈折率が変化する各種高分子材料を使用することができる。あるいは、特定のガスと酸化還元反応または触媒反応を生じ、屈折率や透過率が変化する各種酸化物材料または触媒材料を使用してもよい。

[0065] ガス感応膜７０は、特定のガス濃度に依存して、ガス感応膜７０を透過するリア出射光３１の強度を変化させることができるならば、その材料および形状は制限されない。

[0066] なお、湿度の変化に伴うリア出射光３１の強度の変化を抑制するために、リア面２１とガス感応膜７０との間には、水分を遮断する水分遮断膜が設けられることが好ましい。水分遮断膜として、例えば、ＳｉＮ薄膜やＡｌＮ薄膜などの窒化物薄膜を使用することができる。

[0067] 制御演算装置３６０は、半導体レーザー１０を制御する。また、フォトダィオード４０から、リア面出射光３１の強度を表す電気信号を受信し、受信した電気信号から、環境パラメータ (ガス濃度）を算出する。制御演算装置

３６０は、複数のチップおよびマイコンで構成することができる。制御演算装置３６０として、パソコンなどの汎用演算装置が使用されてもよい。制御演算装置３６０は、例えば、記憶装置（図示せず）に予め記憶されたガス濃度と光強度との関係に基づいて、湿度を算出してもよい。

[0068] 上記の構成によれば、環境パラメータとして、特定のガス濃度を算出することができる。

[0069] 〔実施形態４〕

本発明のさらに他の実施形態について、図５～図６を用いて説明する。なお、説明の便宜上、前記実施形態にて説明した部材と同じ機能を有する部材については、同じ符号を付記し、その説明を省略する。

[0070] 前記実施形態１～３では、１つの環境パラメータ（湿度またはガス濃度）が算出される例を説明した。本実施形態では、リア面出射光３１の強度から算出される発振閾値および微分効率に基づいて、複数の環境パラメータ（温度および湿度）が算出される例を説明する。なお、本実施形態に係る光学センサシステム１は、実施形態１で説明した光学センサシステム１（図１参照）と同じ構成を有する。

[0071] [発振効率８０と微分効率８１]

まず、発振閾値８０および微分効率８１に関して、図５を参照して説明する。図５は、参考に係る半導体レーザーの発光特性（注入電流と発光強度との関係）を示す模式図である。本実施形態に係る光学センサシステム１が備えた半導体レーザー１０も、参考に係る半導体レーザーと同様の発光特性を有する。

[0072] 図５に示すように、参考に係る半導体レーザーの発光特性は、概略的に、発振閾値８０を境界として、２つの領域に分類される。半導体レーザーへの注入電流が発振閾値８０よりも小さい場合、半導体レーザーの共振器（導波路および２枚のミラー面）内において、光子数が十分に増幅されないので、レーザー発振が生じない。そのため、半導体レーザーから、レーザー光は出射されず、ＬＥＤと同様の原理に基づいて生成された光のみが出射される。

従って、注入電流が発振閾値８０よりも小さい場合、半導体レーザーの発光の強度は小さい。

[0073] 一方、注入電流が発振閾値８０よりも大きい場合、共振器内において、光子数が十分に増幅され、レーザー発振が生じる。その結果、半導体レーザーから、レーザー光が出射される。注入電流が発振閾値８０よりも大きい場合、半導体レーザーの発光の強度は大きい。注入電流が発振閾値８０よりも大きい場合、半導体レーザーの発光の強度は、注入電流にほぼ比例する。すなわち、半導体レーザーの発光の強度と注入電流との関係は、直線式で表すことができる。その直線式の切片を発振閾値８０として定義するのが一般的である。また、同じ直線式の傾き (単位注入電流あたりの発光強度の増加量）は、微分効率８１と呼ばれる。

[0074] [発振効率８０および微分効率８１の算出方法]

ここでは、半導体レーザー１０から出射されるリア面出射光３１の発振効率８０および微分効率８１の算出方法を説明する。発振効率８０および微分効率８１は、制御演算装置３６０によって算出される。なお、制御演算装置３６０の代わりに、ユーザが、発振効率８０および微分効率８１を算出してもよい。

[0075] まず、制御演算装置３６０は、発振閾値８０よりも十分に大きな電流値（第１の電流値）の電流を半導体レーザー１０に注入することによって、半導体レーザー１０からレーザー光を出射させる。

[0076] 制御演算装置３６０は、半導体レーザー１０の発光の強度が安定した後、フォトダイオード40から受信した電気信号に基づき、リア面出射光３１の強度 (第１の強度）を評価する。そして、第１の強度と、第１の電流値との対応関係を、記憶装置 (図示せず）に記憶する。制御演算装置３６０は、リア面出射光３１の強度の評価が完了した後、すぐに、半導体レーザー１０を消灯する。

[0077] 次に、制御演算装置６０は、発振閾値８０よりも十分に大きく、かつ、第１の電流値とは異なる電流値 (第２の電流値）の電流を半導体レーザー１０

に注入する。制御演算装置３６０は、半導体レーザー１０の発光の強度が安定した後、フォトダイオード４０から受信した電気信号に基づき、リア面出射光３１の強度（第２の強度）を評価する。そして、第２の強度と、第２の電流値との対応関係を、記憶装置に記憶する。

[0078] 制御演算装置３６０は、以上の動作を繰り返すことによって、リア面出射光３１の強度（第１の強度、第２の強度、ｅｔｃ）と、半導体レーザー１への注入電流の電流値（第１の電流値、第２の電流値、ｅｔｃ）との対応関係を示す複数のデータを取得する。そして、制御演算装置３６０は、得られた複数のデータに対して、最小二乗フィッティング処理を行うことによって、リア面出射光３１の強度と、半導体レーザー１０への注入電流との関係を表す直線式を算出する。算出された直線式の切片が発振閾値８０であり、傾きが微分効率８１である。

[0079] なお、上記の算出方法は一例である。制御演算装置３６０は、別の算出方法によって、発振閾値８０および微分効率８１を算出してもよい。

[0080] 制御演算装置３６０は、算出した発振閾値８０および微分効率８１を用いて、リア面出射光３１の強度に基づいて、環境パラメータ（温度および湿度）を算出する。

[0081] [環境パラメータの算出方法４]

制御演算装置３６０は、例えば、以下の方法で、環境パラメータ（温度および湿度）を算出する。

[0082] 図６の（ａ）～（ｄ）は、リア面出射光３１の発振閾値８０および微分効率８１の温度依存性および湿度依存性を示す実験データである。

[0083] 図６の（ａ）、図６の（ｂ）は、ぞれぞれ、発振閾値８０の温度依存性、湿度依存性を示している。図６の（ａ）に示すように、温度が上昇するとともに、発振閾値８０は単調に上昇する。また、図６の（ｂ）に示すように、発振閾値８０は、湿度にほとんど依存しない。

[0084] 制御演算装置３６０は、図６の（ａ）に示す発振閾値８０の温度依存性に基づいて、温度を算出する。

[0085] 図６の（ｃ）、図６の（ｄ）は、それぞれ、微分効率８１の温度依存性、湿度依存性を示している。図６の（ｃ）に示すように、微分効率８１は、温度が上昇するとともに、ほぼ線形的に低下する。また、図６の（ｃ）に示すように、微分効率８１は、湿度が上昇するとともに、ほぼ線形的に低下する。

[0086] 制御演算装置３６０は、先に算出された温度と、図６の（ｄ）（あるいは、図６の（ｃ））に示す微分効率８１の湿度依存性とに基づいて、湿度を算出する。

[0087] なお、制御演算装置３６０は、湿度を算出する際、光学センサシステム１に搭載された温度センサ（図示せず）によって検出される温度を利用してもよい。

[0088] 上記の構成によれば、制御演算装置３６０は、複数の環境パラメータ（温度および湿度）を算出することができる。そのため、制御演算装置３６０を備えた光学センサシステム１は、前記実施形態１の制御演算装置６０を備えた光学センサシステム１と比較して、付加価値が向上する。

[0089] 〔実施形態５〕

次に、本発明のさらに他の実施形態について、図７を用いて説明する。なお、説明の便宜上、前記実施形態にて説明した部材と同じ機能を有する部材については、同じ符号を付記し、その説明を省略する。

[0090] 本実施形態では、前記実施形態１に係る光学センサシステム１を備えた光学式ガスセンサシステム１００に関して説明する。光学式ガスセンサシステム１００は、特定のガス濃度をセンシングする装置である。光学式ガスセンサシステム１００は、光学センサシステム１の代わりに、前記実施形態３に係る光学センサシステム３を備えていてもよい。

[0091] 図７は、本実施形態に係る光学式ガスセンサシステム１００の概略構成を示す模式図である。図７に示すように、光学式ガスセンサシステム１００は、光学センサシステム１、ガス反応体１１０、レンズ１２０Ａ、１２０Ｂ、光検出器１３０（透過光検出部）、および制御演算装置１４０（ガス検出部

）を備えている。

[0092] ガス反応体１１０は、光学式ガスセンサシステム１００の周辺に存在する特定のガス濃度に依存して変化する光学特性を有する構造体である。ガス反応体１１０は、例えば、ガス濃度の変化に応じて、屈折率または透過率が変化する構造体であってもよい。あるいは、ガス反応体１１０は、ガス濃度が変化したとき、反射率または複屈折率を変化させたり、ガス反応体１１０に入射する光（フロント出射光３０´）に波長シフトを生じさせたりする構造体であってもよい。

[0093] ガス反応体１１０の材料として、例えば、空気中のＶＯＣガスを吸収することによって膨張（膨潤）し、屈折率が変化する各種高分子材料を使用することができる。あるいは、特定のガスと酸化還元反応または触媒反応を生じ、屈折率や透過率が変化する各種酸化物材料または触媒材料を使用することができる。

[0094] ガス反応体１１０は、特定のガス濃度に依存して、ガス反応体１１０を透過するフロント出射光３０´の強度を変化させることができるならば、その材料および形状は制限されない。

[0095] レンズ１２０Ａは、光学センサシステム１から出射されるフロント出射光３０を平行化する。レンズ１２０Ａによって平行化されたフロント出射光３０´は、ガス反応体１１０に入射する。レンズ１２０Ｂは、ガス反応体１１０を透過した透過光１５０を、光検出器１３０に集光する。

[0096] 光検出器１３０は、レンズ１２０Ｂにより集光された透過光１５０を検出するデバイスである。光検出器１３０として、例えば、フォトダイオードまたはＣｄＳセルなど、種々の光電変換デバイスを使用することができる。光検出器１３０は、透過光１５０の検出値を電気信号（電流信号または電圧信号）に変換して、制御演算装置１４０に送信する。

[0097] 制御演算装置１４０は、光学センサシステム１を制御する。また、光検出器１３０から受信した電気信号に基づいて、特定のガス濃度を算出する。制御演算装置１４０は、複数のチップおよびマイコンで構成することができる

。また、制御演算装置１４０として、パソコンなどの汎用演算装置を使用してもよい。あるいは、制御演算装置１４０は、光学センサシステム１の制御演算装置６０とともに、一つの装置を構成していてもよい。以下に、制御演算装置１４０の動作を説明する。

[0098] [制御演算装置１４０の動作]

制御演算装置１４０は、光学センサシステム１を制御することによって、半導体レーザー１０を発光させる。これにより、光学センサシステム１からフロント面出射光３０が出射される。光学センサシステム１から出射されたフロント面出射光３０は、レンズ１２０Ａによって平行化され、ガス反応体１１０に入射する。

[0099] ガス反応体１１０に入射したフロント面出射光３０´の一部（透過光１５０）は、ガス反応体１１０を透過する。ここで、ガス反応体１１０の光学特性（屈折率または透過率）は、特定のガス濃度によって変化するため、透過光１５０の強度は、特定のガス濃度に依存して変化する。透過光１５０は、レンズ１２０Ｂによって集光されて、光検出器１３０に入射する。

[0100] 光検出器１３０は、入射した透過光１５０を検出し、透過光１５０の検出値を電気信号に変換する。そして、変換した電気信号を制御演算装置１４０に送信する。

[0101] 制御演算装置１４０は、光検出器１３０から受信した電気信号の振幅から、透過光１５０の強度を評価する。そして、透過光１５０の強度と、特定のガス濃度との関係を参照し、評価した透過光１５０の強度に基づいて、特定のガス濃度を算出する。

[0102] 一方、光学センサシステム１の制御演算装置６０は、前記実施形態１で説明したように、リア面出射光３１の強度から、温度、湿度、またはガス濃度などの環境パラメータを算出する。なお、前記実施形態３のように、制御演算装置６０がガス濃度を算出する構成では、ガス反応膜７０（図４参照）が反応するガスと、ガス反応体１１０が反応するガスとは、互いに異なるガスであってよい。

[01 03] ここで、ガス反応体１１０が、温度または湿度などに敏感に反応する光学特性を有する場合、温度または湿度が変化することによって、光検出器１３０に検出される透過光１５０の強度が変化する。すなわち、光検出器１３０に検出された透過光１５０の強度は、ガス濃度だけでなく、温度または湿度にも依存する。そのため、透過光１５０の強度に基づいて算出されるガス濃度に誤差（ノイズ）が生じる。

[01 04] そこで、制御演算装置１４０は、光学センサシステム１によって算出される温度または湿度に基づいて、透過光１５０の強度に基づいて算出されたガス濃度を補正してもよい。上記の構成では、制御演算装置１４０は、ガス濃度をより精度よく算出することができる。上記の構成では、予め、温度または湿度が所定値である場合におけるガス濃度と透過光１５０の強度との関係が求められる。

[01 05] 制御演算装置１４０は、まず、ガス濃度が一定値のままで、温度または湿度が所定値から光学センサシステム１によって算出される温度または湿度に変化した場合における透過光１５０の強度の変化量を算出する。上記変化量は、光学センサシステム１によって算出される温度または湿度に依存する。

[01 06] その後、制御演算装置１４０は、光検出器１３０に検出された透過光１５０の強度から、上記変化量を減算する。減算後の透過光１５０の強度は、ガス濃度のみに依存する。

[01 07] 最後に、制御演算装置１４０は、上記関係（温度または湿度が所定値である場合におけるガス濃度と透過光１５０の強度との関係）を参照することによって、減算後の透過光１５０の強度に基づいて、ガス濃度を算出する。

[01 08] 以上のように、光学式ガスセンサシステム１００は、特定のガス濃度をセンシングすることができるだけでなく、光学センサシステム１によって、温度、湿度、またはガス濃度などの環境パラメータをセンシングすることができる。すなわち、光学ガスセンサシステム１００は、マルチセンシングデバイスである。

[01 09] そのため、光学ガスセンサシステム１００は、特定のガス濃度をセンシン

グすることしかできない従来の光学式ガスセンサシステムに比べて、高い付加価値を有する。また、光学ガスセンサシステム１００は、環境パラメータをセンシングするためのセンサを追加で備える必要がある従来の光学式ガスセンサシステムと比較して、部品の数を減少させることができる。そのため、光学ガスセンサシステム１００は、部品のコスト、部品の輸送コスト、および部品の組立コストを低減することができる。

[01 10] なお、別の実施形態では、光学式ガスセンサシステム１００は、ガス反応体１１０の代わりに、任意のサンプルを設置可能なサンプルホルダを備えていてもよい。サンプルホルダは、図７におけるガス反応体１１０の位置に配置される。この構成では、光学式ガスセンサシステム１００を、サンプルの透過率を測定する透過率測定装置として利用することができる。

[01 11] 実施形態６〕

本発明のさらに他の実施形態について、図８を用いて説明する。なお、説明の便宜上、前記実施形態にて説明した部材と同じ機能を有する部材については、同じ符号を付記し、その説明を省略する。

[01 12] 本実施形態では、前記実施形態１に係る光学センサシステム１を備えた微粒子センサシステム２００に関して説明する。微粒子センサシステム２００は、空中に浮遊する微粒子 (ホコリ）を検出する装置である。なお、微粒子センサシステム２００は、光学センサシステム１の代わりに、前記実施形態３に係る光学センサシステム３を備えていてもよい。

[01 13] [微粒子センサシステム２００の構成]

図８は、本実施形態に係る微粒子センサシステム２００の概略構成を示す模式図である。図８に示すように、微粒子センサシステム２００は、光学センサシステム１、レンズ２１０、光検出器２２０ (散乱光検出部）、および制御演算装置２３０ (微粒子検出部）を備えている。

[01 14] レンズ２１０は、光学センサシステム１から出射されるフロント出射光３０を平行化する。レンズ２１０によって平行化されたフロント出射光３０'は、検出領域２４０に入射する。

[01 15] 検出領域２４０内に微粒子２５０が浮遊している場合、検出領域２４０に入射したフロント面出射光３０'の一部が、微粒子２５０によって散乱されることにより、散乱光２６０が発生する。発生した散乱光２６０の少なくとも一部は、光検出器２２０に入射する。

[01 16] 光検出器２２０は、入射した散乱光２６０を検出する。そして、光検出器２２０は、散乱光２６０の検出値を電気信号（電流信号または電圧信号）に変換して、変換した電気信号を制御演算装置２３０に送信する。光検出器２２０として、例えば、フォトダイオードまたはＣｄＳセルなど、種々の光電変換デバイスを使用することができる。

[01 17] 制御演算装置２３０は、制御演算装置２３０は、光学センサシステム１を制御する。また、光検出器２２０から受信した電気信号の振幅に基づいて、散乱光２６０の強度を評価する。そして、評価した散乱光２６０の強度に基づいて、検出領域２４０中に微粒子２５０が存在するか否かを判定する。制御演算装置２３０は、例えば、散乱光２６０の強度が所定値以上である場合に、検出領域２４０中に微粒子２５０が含まれると判定してもよい。

[01 18] 制御演算装置２３０は、検出領域２４０中に微粒子２５０が存在する場合、散乱光２６０の強度に基づいて、検出領域２４０に含まれる微粒子２５０の含有量を算出（評価）する。

[01 19] 制御演算装置２３０は、複数のチップおよびマイコンで構成することができる。また、制御演算装置２３０として、パソコンなどの汎用演算装置を使用してもよい。あるいは、制御演算装置２３０は、光学センサシステム１の制御演算装置６０とともに、一つの装置を構成していてもよい。

[01 20] 光学センサシステム１の制御演算装置６０は、前記実施形態１で説明したように、リア面出射光３１の強度に基づいて、温度、湿度、またはガス濃度などの環境パラメータを算出する。制御演算装置６０が、環境パラメータを算出するために、半導体レーザー１０を発光させたとき、発光の一部または全てが、フロント面出射光３０´として、検出領域２４０に入射する。

[01 21] 制御演算装置２３０は、検出領域２４０における微粒子２５０の含有量を

評価する際、上記フロント面出射光３０´（すなわち、制御演算装置６０が、環境パラメータを算出するために、半導体レーザー１０を発光させたとき、検出領域２４０に入射するフロント面出射光３０´）を利用することが好ましい。この構成では、半導体レーザー１０が１度発光している間に、制御演算装置６０によって、環境パラメーが算出されるとともに、制御演算装置２３０によって、検出領域２４０における微粒子２５０の含有量が評価される。

[0122] そのため、制御演算装置６０および制御演算装置２３０が、半導体レーザー１０を何度も発光させる必要がない。また、半導体レーザー１０の累積発光時間が抑制される。その結果、半導体レーザー１０、光学センサシステム１、および微粒子センサシステム２００の寿命が伸びる。また、微粒子センサシステム２００の消費電力が低減される。

[0123] 以上のように、微粒子センサシステム２００は、空中（検出領域２４０）に浮遊する微粒を検出することができるだけでなく、光学センサシステム１によって、温度、湿度、またはガス濃度などの環境パラメータを算出することができる。すなわち、微粒子センサシステム２００は、空気の質および安全に関する複数の対象をセンシングすることが可能なマルチセンシングデバイスである。

[0124] そのため、微粒子センサシステム２００は、空中に浮遊する微粒子を検出することしかできない従来の微粒子センサシステムに比べて、高い付加価値を有する。また、微粒子センサシステム２００は、環境パラメータをセンシングするためのセンサを追加で備える必要がないので、従来の微粒子センサシステムに比べて、部品の点数を低減することができる。その結果、微粒子センサシステム２００は、部品のコスト、部品の輸送コスト、および部品の組立コストを低減することができる。

[0125] なお、別の実施形態では、微粒子センサシステム２００は、検出領域２４０内に、任意のサンプルを設置可能なサンプルホルダを備えていてもよい。この構成では、微粒子センサシステム２００を、サンプルホルダに設置され

たサンプルの透過率を測定する透過率測定装置として利用することができる。

[0126] [空気清浄機２０１の構成]

図９を用いて、前述した微粒子センサシステム２００を備えた空気清浄機２０１の一例を説明する。図９は、空気清浄機２０１の概略構成を示す模式図である。

[0127] 図９に示すように、空気清浄機２０１は、微粒子センサシステム２００、空気清浄フィルタ２７０、空気取込口２８０、および空気吹出口２９０を備えている。

[0128] 空気清浄フィルタ２７０は、空気取込口２８０を通って空気清浄機２０１に流入した空気に含まれる微粒子およびガス等の汚染物質を取り除く。空気清浄フィルタ２７０は、例えば、ＨＥＰＡフィルタ（High Efficiency Particulate Air Filter）であってよい。空気清浄フィルタ２７０は、空気清浄機２０１に流入した空気に水を噴射したり、空気を水に潜らしたりすることによって、その空気を清浄化してもよい。空気清浄フィルタ２７０を通過することによって清浄化された空気は、空気吹出口２９０に送出される。

[0129] 空気取込口２８０は、周辺の空気を空気清浄機２０１内に取込み、取り込んだ空気を空気清浄フィルタ２７０に供給する。

[0130] 空気吹出口２９０は、空気清浄フィルタ２７０を通過することによって汚染物質を取り除かれた空気を、空気清浄機２０１の外部に吹き出す。

[0131] なお、空気清浄機２０１は、加湿機能および除湿機能を有していてもよい。この構成では、空気清浄機２０１は、微粒子センサシステム２００に搭載された光学センサシステム１によって算出される湿度（環境パラメータ）に基づいて、加湿能力および除湿能力の高さを制御してもよい。

[0132] また、空気清浄機２０１は、微粒子センサシステム２００によって検出された微粒子の量に基づいて、空気清浄能力の高さを制御してもよい。あるいは、空気清浄機２０１は、微粒子センサシステム２００によって検出された微粒子の量、または、光学センサシステム１によって算出された環境パラメ

—タを表示部 (図示せず) に表示することによって、空気の状態および安全性を利用者に通知してもよい。

[01 33] 上記のいずれの構成においても、空気清浄機２０１は、微粒子センサシステム２００または光学センサシステム１によるセンシングの結果のみに基づいて動作する。そのため、微粒子センサシステム２００は、上記の動作を実現するために、複数のセンサを備える必要がない。従って、微粒子センサシステム２００は、複数のセンサを備えた従来の微粒子センサシステムに比べて、部品の点数を低減するとともに、部品のコスト、部品の輸送コスト、および部品の組立コストを低減することができる。

[01 34] 実施形態７〕

本発明のさらに他の実施形態について、図１０を用いて説明する。なお、説明の便宜上、前記実施形態にて説明した部材と同じ機能を有する部材については、同じ符号を付記し、その説明を省略する。

[01 35] 本実施形態では、前記実施形態１に係る光学センサシステム１を備えた発光装置３００に関して説明する。発光装置３００は、光学センサシステム１が備えた半導体レーザー１０が生成したレーザー光を外部に出射する装置である。発光装置３００は、光学センサシステム１によって算出される環境パラメータの結果に基づいて、半導体レーザー１０の発光条件を制御する。なお、発光装置３００は、光学センサシステム１の代わりに、前記実施形態３に係る光学センサシステム３を備えていてもよい。

[01 36] 図１０は、本実施形態に係る発光装置３００の概略構成を示す模式図である。図１０に示すように、発光装置３００は、光学センサシステム１、ケース３１０、温度調整器３２０、および制御演算装置３３０ (発光条件制御部) を備えている。

[01 37] 光学センサシステム１は、環境パラメータ (温度、湿度、ガス濃度) を算出して、算出した環境パラメータを制御演算装置３３０に送信する。

[01 38] ケース３１０は、光学センサシステム１全体を保護する。ケース３１０は、特に、光学センサシステム１が備えた半導体レーザー１０を保護する。ケ

—ス３１０は、一般的に、樹脂、金属、ガラス等で構成される。ケース３１０には、半導体レーザー１０から出射されるフロント面出射光３０をケース３１０の外部に引き出すための窓が設けられている。外部に引き出されたフロント面出射光３０は、様々な応用用途に使用される。

[01 39] ここで、半導体レーザー１０は、大気開放された状態で使用される品種と、湿度を含まない純窒素または純空気中に封止された状態で使用される品種とに分類される。半導体レーザー１０が、大気開放された状態で使用される品種である場合、ケース３１０は封止される必要がない。上記の場合、ケース３１０の内部は大気開放される。

[0140] —方、半導体レーザー１０が、封止された状態で使用される品種である場合、ケース３１０は厳密に封止される。上記の場合、ケース３１０の内部は、純窒素または純空気で充満される。

[0141] 温度調整器３２０は、光学センサシステム１の温度と、予め定められた設定温度とが一致するように、光学センサシステム１の温度を調整する。また、光学センサシステム１から発生する熱を外部に排出する。光学センサシステム１の設定温度は、使用者によって設定されてもよいし、制御演算装置３２０によって設定されてもよい。温度調整器３２０は、例えば、ペルチェ素子またはフィンで構成されていてもよい。温度調整器３２０は、ペルチェ素子で構成されている場合、光学センサシステム１の温度を厳密に制御することができる。温度調整器３２０は、光学センサシステム１の温度を、環境の温度以下に冷却することができる。光学センサシステム１の温度が環境の温度以下となったとき、光学センサシステム１に結露が発生する可能性がある。

[0142] 制御演算装置３３０は、光学センサシステム１を制御する。また、光学センサシステム１から受信した環境パラメータ（周辺パラメータ）に基づいて、温度調整器３２０の設定温度、および半導体レーザー１０の発光条件を制御する。制御演算装置３３０は、複数のチップおよびマイコンで構成することができる。また、制御演算装置３３０として、パソコンなどの汎用演算装

置を使用してもよい。あるいは、制御演算装置３３０は、光学センサシステム１の制御演算装置６０とともに、一つの装置を構成していてもよい。

[0143] 通常、半導体レーザー１０は、高湿度な環境下で使用されることを想定して製造されていない。そのため、半導体レーザー１０は、高湿度な環境で使用された場合、故障する可能性が極めて高い。また、光学センサシステム１の温度が露点を下回った場合、光学センサシステム１に結露が発生する可能性がある。光学センサシステム１に結露が発生し、半導体レーザー１０に水滴が付着した場合、その水滴が、半導体レーザー１０を故障させる原因となる。制御演算装置３３０は、これらの問題を解決する様に動作する。以下に、制御演算装置３３０の動作を説明する。

[0144] [制御演算装置３３０の動作]

制御演算装置３３０の動作は、半導体レーザー１０の品種、および、ケース３１０の封止の有無によって異なる。より詳細には、制御演算装置３３０の動作は、 (1) 半導体レーザー１０が、純窒素や純空気中に封止された状態で使用される品種であり、ケース３１０が封止されている場合と、 (2) 半導体レーザー１０が、大気開放された状態で使用される品種であり、ケース３１０が封止されていない場合との間で異なる。

[0145] ((1)の場合における制御演算装置３３０の動作)

まず、上記 (1) の場合における制御演算装置３３０の動作を説明する。この場合、制御演算装置３３０は、光センサシステム１によって検出される湿度の高さに基づいて、ケース３１０に封止破れがあるか否かを判定する。また、光センサシステム１によって算出される湿度が所定の上限値よりも大きい場合、半導体レーザー１０の発光を停止する。以下で、制御演算装置３３０の動作をより詳細に説明する。

[0146] 制御演算装置３３０は、光学センサシステム１を制御することによって、半導体レーザー１０を発光させる。制御演算装置３３０が半導体レーザー１０を発光させている間、光学センサシステム１は、光学センサシステム１の周辺における湿度 (環境パラメータ) を検出する。光学センサシステム１は

、検出した湿度を制御演算装置３３０に通知する。

[0147] ここで、ケース３１０に封止破れが発生していないとき、ケース３１０の内部では、湿度が低い状態が保たれる。一方、ケース３１０に封止破れが発生しているとき、大気（ケース３１０の外部）に含まれる湿気がケース３１０の内部に流入する。そのため、ケース３１０に封止破れが発生しているとき、光学センサシステム１によって検出される湿度は高くなる。

[0148] 制御演算装置３３０は、光学センサシステム１から通知された湿度が所定の上限値以下である場合、半導体レーザー１０の発光を継続する。一方、制御演算装置３３０は、光学センサシステム１から通知された湿度が所定の上限値よりも高い場合、半導体レーザー１０の発光を停止する。

[0149] これにより、制御演算装置３３０は、高湿度な環境で半導体レーザー１０が発光し続けることを防止することができる。その結果、半導体レーザー１０が故障する可能性が低減される。

[0150] なお、発光装置３００は、表示装置を備え、ケース３１０に封止破れが発生した旨を表示装置に表示してもよい。この構成では、発光装置３００は、ケース３１０を再封止すること、および、ケース３１０の各部品を交換することなどを、使用者に促すことができる。

[0151] （（２）の場合における制御演算装置３３０の動作）

次に、上記（２）の場合における制御演算装置３３０の動作を説明する。この場合、制御演算装置３３０は、光学センサシステム１に結露が発生することを防止する。以下で、制御演算装置３３０の動作をより詳細に説明する。なお、温度調整器３２０は、ペルチェ素子で構成されているとする。

[0152] 制御演算装置３３０は、光学センサシステム１を制御することによって、半導体レーザー１０を発光させる。制御演算装置３３０が半導体レーザー１０を発光させている間、光学センサシステム１は、リア面出射光３１を利用して、光学センサシステム１の周辺における湿度（環境パラメータ）を検出する。光学センサシステム１は、検出した湿度を制御演算装置３３０に通知する。

[01 53] 制御演算装置３３０は、光学センサシステム１から通知された湿度と、温度調整器３２０の設定温度とに基づいて、光学センサシステム１に結露が発生する温度（露点）を算出する。制御演算装置３３０は、温度調整器３２０の設定温度が露点を上回っている場合、半導体レーザー１０の発光を継続する一方、温度調整器３２０の設定温度が露点を下回っている場合、半導体レーザー１０の発光を停止する。

[01 54] これにより、制御演算装置３３０は、光学センサシステム１に結露が発生することを防止することができる。その結果、半導体レーザー１０が故障する可能性が低減される。

[01 55] あるいは、制御演算装置３３０は、温度調整器３２０の設定温度が露点を下回っている場合、温度調整器３２０の設定温度を上昇させてもよい。これにより、光学センサシステム１の温度が上昇するので、光学センサシステム１に結露が発生し難くなる。

[01 56] 以上のように、発光装置３００は、光学センサシステム１によって算出される環境パラメータに基づいて、半導体レーザー１０の発光条件を制御する。これにより、半導体レーザー１０が故障したり、光学センサシステム１に結露が発生したりすることを防止することができる。

[01 57] また、発光装置３００は、湿度を検出する湿度センサを備える必要がない。従って、発光装置３００は、湿度センサを備えた従来の発光装置に比べて、部品の点数を低減するとともに、部品のコスト、部品の輸送コスト、および部品の組立コストを低減することができる。

[01 58] なお、光学センサシステム１は、環境パラメータとして、湿度ではなく、半導体レーザー１０の故障の原因となる腐食性ガス（オゾンまたは塩素など）のガス濃度を検出してもよい。この構成では、演算制御装置３３０は、光学センサシステム１によって検出された腐食性ガスのガス濃度の高さに基づいて、半導体レーザー１０の発光条件を制御する。

[01 59] 〔実施形態８〕

本発明のさらに他の実施形態について、図１１を用いて説明する。なお、

説明の便宜上、前記実施形態にて説明した部材と同じ機能を有する部材については、同じ符号を付記し、その説明を省略する。

[01 60] 本実施形態では、前記実施形態１に係る光学センサシステム１を備えた画像印刷装置４００に関して説明する。画像印刷装置４００は、印刷用紙Ｐに画像を印刷する画像印刷機能を有する装置である。画像印刷装置４００は、光学センサシステム１によって算出される環境パラメータに基づいて、画像の印刷条件を制御する。ここで、印刷条件とは、画像を印刷する際における画像印刷装置４００の動作または状態を規定する条件のことである。印刷条件の具体例を後述する。なお、画像印刷装置４００は、光学センサシステム１の代わりに、前記実施形態３に係る光学センサシステム３を備えていてもよい。

[01 61] 図１１は、本実施形態に係る画像印刷装置４００の概略構成を示す模式図である。図１１に示すように、画像印刷装置４００は、光学センサシステム１、感光ドラム４１０、帯電ユニット４２０、トナーユニット４３０、給紙ユニット４４０、定着ユニット４５０、レンズ４６０Ａ・４６０Ｂ、および制御演算装置４７０（条件制御部）を備えている。

[01 62] 光学センサシステム１は、前記実施形態４で説明したように、半導体レーザー１０への注入電流の電流値とリア面出射光３１の強度との間の関係を用いて、複数の環境パラメータ（温度、湿度等）を算出する。

[01 63] 感光ドラム４１０の表面には、帯電した感光シートが貼付されている。帯電した感光シートは、光学センサシステム１からフロント面出射光３０´を照射されることによって除電される。感光シートの材料として、光を照射されることによって電気伝導性が変化する物質（有機感光体（ＯＰＣ）またはセレンなど）が利用される。感光ドラム４１０の感光シートにフロント面出射光３０´が照射されたとき、感光シートの電気伝導性が上昇する。すると、感光シートの表面に蓄積した電荷は、感光シートの外部へと流出する。感光シートにおいて、光を照射されなかった領域は帯電したままである一方、光を照射された領域は非帯電の状態に変化する。その結果、感光シートにお

いて、光を照射されなかった領域は、電荷で描かれた静電潜像を形成する。

[01 64] 帯電ユニット420は、感光ドラム410の表面に貼付された感光シートを帯電させる。一般的に、感光シートを帯電させるために、コロナ放電方式が利用される。帯電ユニット420は、コロナ放電方式を利用する場合、針状電極に高電圧を印加することによって、コロナ放電を引き起こし、感光シートに添加する電荷を発生させる。

[01 65] トナーユニット430は、感光ドラム410の感光シートに形成された静電潜像を現像する。一般的に、静電潜像を現像するために、磁気ブラシ現像方式が利用される。トナーユニット430は、磁気ブラシ現像方式を利用する場合、トナー粒子と磁性体粉末（キャリア）とを混合することによって、トナー粒子をキャリアに付着させた後、磁力によって、トナー粒子が付着したキャリアをブラシ状に立たせる。そして、ブラシ状のキャリアで、感光ドラム410の感光シートを擦る。すると、キャリアに付着したトナー粒子は、感光シートに形成された静電潜像を構成する電荷と結合する。これにより、静電潜像が現像される。

[01 66] 給紙ユニット440は、2つのローラーを備えており、ローラーを回転させることによって、ローラーの間に挟まれた印刷用紙Pを感光ドラム410に向けて送出する。休止ユニット440から感光ドラム410に向けて送出された印刷用紙Pは、感光ドラム410の感光シートと接触する。すると、感光ドラム410の感光シートに付着したトナー粒子が印刷用紙Pに移動する。これにより、感光ドラム410の感光シートに描かれた画像（現像された静電潜像）が印刷用紙Pに転写される。

[01 67] 定着ユニット450は、ローラーおよびヒーターを備えており、ローラーによって印刷用紙Pを押さえつけながら、ヒーターによって印刷用紙Pを加熱することによって、トナー粒子を印刷用紙に固定（定着）させる。

[01 68] レンズ460Aは、光学センサシステム1から出射されるフロント面出射光30を平行化する。レンズ460Bは、レンズ460Aによって平行化されたフロント面出射光30'を集光をする。レンズ460Bによって集光さ

れたフロント面出射光３０´は、感光ドラム４１０の感光シートに入射する。

[0169] 制御演算装置４７０は、画像印刷装置４００が備えた各ユニットおよび光学センサシステム１を制御する。また、外部から受信した画像データを処理したり、光学センサシステム１から環境パラメータを受信したりする。制御演算装置４７０は、複数のチップおよびマイコンで構成することができる。また、制御演算装置４７０として、パソコンなどの汎用演算装置を使用してもよい。あるいは、制御演算装置４７０は、光学センサシステム１の制御演算装置６０とともに、一つの装置を構成していてもよい。

[0170] [制御演算装置４７０の動作]

制御演算装置４７０は、外部から画像データを受信したとき、以下の手順で、画像を印刷用紙Ｐに印刷する。

[0171] まず、制御演算装置４７０は、感光ドラム４１０に向けて印刷用紙Ｐを送出するように、給紙ユニット４４０を制御する。また、帯電ユニット４２０に、感光ドラム４１０の感光シートを帯電させる。

[0172] 続いて、制御演算装置４７０は、光学センサシステム１に、フロント面出射光３０を出射させる。このとき、制御演算装置４７０は、受信した画像データに従って、フロント面出射光３０の出射方向を制御することにより、感光ドラム４１０の感光シートに静電潜像を描く。

[0173] その後、制御演算装置４７０は、トナーユニット４３０に、感光ドラム４１０の感光シートに描かれた静電潜像を現像させる。給紙ユニット４４０によって送出された印刷用紙Ｐと感光ドラム４１０とが接触することによって、感光ドラム４１０の感光シートに描かれた画像は、印刷用紙Ｐに転写される。最後に、制御演算装置４７０は、印刷用紙Ｐに転写された画像を印刷用紙Ｐに定着させるように、定着ユニット４５０を制御する。

[0174] 上記の手順において、制御演算装置４７０は、光学センサシステム１によって算出された環境パラメータ（温度、湿度等）に基づいて、印刷条件を調整することができる。

[01 75] 例えば、感応ドラム４１０の感光シートの材料として使用される有機感光体やセレンの最適な露光量は、湿度および温度によって異なる。そこで、制御演算装置４７０は、光学センサシステム１によって算出された温度および湿度の少なくとも一方に基づいて、感光シートの露光量を調整してもよい。

[01 76] その他にも、制御演算装置４７０は、光学センサシステム１によって算出される環境パラメータに基づいて、様々な印刷条件を調整してよい。制御演算装置４７０が調整することができる印刷条件には、（１）感光ドラム４１０の感光シートの帯電量、（２）感光シートから印刷用紙Ｐに転写された画像を印刷用紙Ｐに定着させる際における画像の加熱温度、および、（３）画像印刷装置４００が備えた各ローラーの回転速度などが含まれる。

[01 77] これにより、制御演算装置４７０は、印刷の品質を向上させるとともに、紙詰まり等の問題が発生する可能性を低減することができる。

[01 78] 画像印刷装置４００は、環境パラメータ（温度、湿度）を検出するためのセンサを備える必要がない。従って、画像印刷装置４００は、環境パラメータ（温度、湿度）を検出するためのセンサを備えた従来の画像印刷装置と比べて、部品の点数を低減するとともに、部品のコスト、部品の輸送コスト、および部品の組立コストを低減することができる。

[01 79] なお、制御演算装置４７０は、画像の印刷濃度を調整することができるように構成されていてもよい。画像の印刷濃度は、感光ドラム４１０の感光シートの露光量に依存して変化する。半導体レーザー１０が、パルス幅変調（ＰＷＭ；Pulse Amplitude Modulation）法を用いて駆動される場合、制御演算装置４７０は、半導体レーザー１０に一定の注入電流を注入しながら、フロント面出射光３０のパルス幅を調整するように演算装置６０に制御することによって、感光ドラム４１０の感光シートの露光量を簡単に調整することができる。

[01 80] 従って、フロント面出射光３０の応用用途の観点では、半導体レーザー１０から出射されるレーザー光は、パルス幅変調されることが好ましい。

[01 81] しかしながら、制御演算装置４７０が、パルス幅変調法を用いて、半導体

レーザー１０を一定の注入電流で駆動する場合、制御演算装置６０は、半導体レーザー１０への注入電流とリア面出射光３１の強度との関係を求めることができない。

[01 82] 従って、リア面出射光３１の用途（環境パラメータの算出）の観点では、半導体レーザー１０から出射されるレーザー光は、パルス振幅変調されない（すなわち、半導体レーザー１０はアナログ波を出射する）ことが好ましい。

[01 83] このように、フロント面出射光３０の用途と、リア面出射光３１の用途との間で、半導体レーザ―１０の最適な駆動方法が異なる場合、用途ごとに最適な駆動方法が選択されることが好ましい。すなわち、制御演算装置４７０が、フロント面出射光３０を用いて、感光ドラム４１０の感光シートを感光させるとき、制御演算装置６０は、パルス幅変調法を用いて、半導体レーザ―１０を駆動する。一方、制御演算装置６０が、リア面出射光３１を用いて、環境パラメータを算出するとき、制御演算装置６０は、アナログ変調法を用いて、半導体レ―ザ―１０を駆動する。

[01 84] なお、フロント面出射光３０の用途と、リア面出射光３１の用途との間で、半導体レ―ザ―１０の最適な発光条件が異なる場合も、用途ごとに最適な発光条件が選択されることが好ましい。ここで、発光条件には、発光デバィスが生成する発光の出力に影響する様々な要因が含まれる。選択可能な発光条件の具体例としては、制御温度、注入電流値、駆動方式（連続発振、パルス発振など）、変調方式（アナログ変調、ＰＷＭ変調、ＰＡＭ変調など）が挙げられる。

[01 85] まとめ〕

本発明の態様１に係る光学センサシステム（１～３）は、所定の用途に使用される第１の発光（フロント面出射光３０）を生成する発光デバイス（半導体レーザー１０）を備えた光学センサシステムであって、上記発光デバィスは、第２の発光（リア面出射光３１）をさらに生成し、上記第２の発光を検出する発光検出部（フォトダイオード４０）と、上記発光検出部によって

検出された上記第２の発光の検出値を用いて、上記発光デバイスの周囲の環境の指標である環境パラメータを算出する環境パラメータ算出部（制御演算装置６０）と、を備えている。

[01 86] 上記の構成によれば、第２の発光を検出する発光検出部の検出値から、環境パラメータが算出される。従って、環境パラメータを検出するためのセンサを追加で備える必要がないので、光学センサシステムの小型化および低コスト化を実現することができる。環境パラメータは、例えば、温度、湿度、およびガス濃度のうちの少なくとも１つであってよい。算出された環境パラメータは、光学センサシステムの様々な動作に活用される。

[01 87] 一方、光学センサシステムから出射された第１の発光は、環境パラメータの算出とは異なる様々な用途に使用される。それゆえ、第１の発光を通常の光源として使用可能であるとともに、第２の発光で環境パラメータを算出可能な光学センサシステムを提供することができる。

[01 88] 本発明の態様２に係る光学センサシステムは、上記態様１において、上記発光デバイスが生成する発光の出力に影響する要因を発光条件と呼ぶとき、上記環境パラメータ算出部が上記環境パラメータを算出する際における上記発光デバイスの発光条件と、外部に出射された上記第１の発光が上記所定の用途に使用される際における上記発光条件とが異なっていてもよい。

[01 89] 上記の構成によれば、環境パラメータが算出されるときと、第１の発光が所定の用途に使用されるときとにおいて、それぞれ、最適な発光デバイスの発光条件を選択することができる。発光デバィスは半導体レーザーであってよい。半導体レーザーは、小型かつ安価であるため、本発明に係る光学センサシステムの光源として好適である。

[01 90] 本発明の態様３に係る光学センサシステムは、上記態様１において、上記環境パラメータ算出部が上記環境パラメータを算出する際における上記発光デバイスの発光の少なくとも一部が、上記第１の発光として、上記所定の用途に利用されてもよい。

[01 91] 上記の構成によれば、発光デバイスを１回発光させている間に、第２の発

光を用いて、環境パラメータを算出するとともに、第１の発光を、所定の用途に利用することができる。そのため、発光デバイスを複数回発光させる構成と比較して、発光デバイスの累積発光時間を減少させるとともに、光学センサシステムの寿命を延ばすことができる。さらに、光学センサシステムの消費電力を低減することができる。

[01 92] 本発明の態様４に係る光学センサシステムは、上記態様１～３のいずれかにおいて、上記環境パラメータ算出部は、複数の上記環境パラメータを算出してもよい。

[01 93] 上記の構成によれば、複数の環境パラメータを算出することができるため、１つの環境パラメータを算出する構成と比較して、光学センサシステムの付加価値を向上させることができる。

[01 94] 本発明の態様５に係る光学センサシステムは、上記態様１～４のいずれかにおいて、上記環境パラメータ算出部は、上記発光デバイスに一定量の電流が注入されたとき、上記発光検出部によつて検出される上記第２の発光の検出値に基づいて、上記環境パラメータを算出してもよい。

[01 95] 上記の構成によれば、一定量の電流が注入された発光デバイスから出射される第２の発光の強度に基づいて、環境パラメータが算出される。従って、簡素な構成を持つ安価な光学センサシステムを提供することができる。

[01 96] 本発明の態様６に係る光学センサシステムは、上記態様１～５のいずれかにおいて、上記発光デバイスはレーザー光源を含んでおり、上記環境パラメータ算出部は、上記第２の発光の検出値と上記レーザー光源の発振閾値との間の対応関係を参照することによって、上記発光検出部によつて検出される上記第２の発光の検出値から、上記レーザー光源の発振閾値を算出し、算出した上記発振閾値に基づいて、上記環境パラメータを算出してもよい。

[01 97] 上記の構成によれば、発光デバイスの発光の発振閾値に基づいて、環境パラメータが算出される。そのため、発振閾値（発振条件）が特異的に変化した場合であっても、変化後の発振閾値に基づいて、環境パラメータを高精度に算出することができる。

[01 98] 本発明の態様 7 に係る光学センサシステムは、上記態様 1 ～ 6 のいずれかにおいて、上記発光デバイスはレーザー光源を含んでおり、上記環境パラメータ算出部は、上記第 2 の発光の検出値と上記レーザー光源の発振閾値との間の対応関係を参照することによって、上記発光検出部によつて検出される上記第 2 の発光の検出値から、上記レーザー光源の微分効率を算出し、算出した上記微分効率に基づいて、上記環境パラメータを算出してもよい。

[01 99] 上記の構成によれば、発光デバイスの発光の微分効率に基づいて、環境パラメータが算出される。そのため、微分効率（発振条件）が特異的に変化した場合であっても、変化後の微分効率に基づいて、環境パラメータを高精度に算出することができる。

[0200] 本発明の態様 8 に係る光学センサシステムは、上記態様 1 ～ 7 のいずれかにおいて、上記環境パラメータは、温度、湿度、およびガス濃度のうち、少なくともいずれか 1 つであってもよい。

[0201] 上記の構成によれば、光学センサシステムの多くの動作に活用し得る温度や湿度を、環境パラメータとして算出することができる。また、発光デバイスの動作や信頼性に影響する特定のガス濃度を、環境パラメータとして算出することができる。

[0202] 本発明の態様 9 に係る光学センサシステムは、第 1 の発光および第 2 の発光を生成する発光デバイスを備えた光学センサシステムであって、上記第 2 の発光を検出する発光検出部と、上記発光検出部によって検出された上記第 2 の発光の検出値を用いて、上記発光デバイスの周囲の環境の指標である環境パラメータを算出する環境パラメータ算出部と、を備えており、上記発光デバイスは、上記第 1 の発光を出射する第 1 の発光面と、上記第 2 の発光を出射する第 2 の発光面とを備えており、上記第 1 の発光面および上記第 2 の発光面は、上記環境パラメータが変化したとき、上記第 1 の発光の強度の変化率が、上記第 2 の発光の強度の変化率よりも小さくなるように構成されている。

[0203] 上記の構成によれば、第 2 の発光は、環境パラメータの変化に起因する強

度の変化率が比較的大きい。そのため、第２の発光の強度に基づいて、高感度に環境パラメータを評価することができる。一方、第１の発光は、環境パラメータの変化に起因する強度の変化率が比較的小さい。そのため、第１の発光は、通常の光源として、様々な用途に使用することができる。ゆえに、環境パラメータを算出可能であるとともに、光源としても使用可能である、付加価値の高い光学センサシステムを提供することができる。

[0204] 本発明の態様１０に係る光学センサシステムは、上記態様９において、上記第１の発光面および上記第２の発光面は、上記環境パラメータが変化したとき、上記第１の発光の強度の変化率が、上記第２の発光の強度の変化率の１／２０以下となるように構成されていてもよい。

[0205] 上記の構成によれば、環境パラメータが変化したとき、第２の発光の強度の変化率は、第１の発光の強度の変化率の１／２０以下である。よって、第２の発光は、環境パラメータの変化に高感度で応答する。そのため、第２の発光の強度に基づいて、環境パラメータを精度よく算出することができる。一方、第１の発光の強度は、環境パラメータの変化によらずほとんど一定である。そのため、第１の発光は、環境パラメータが変化した場合であっても、第２の用途に問題なく使用することができる。

[0206] 本発明の態様１１に係る光学センサシステムは、上記態様９または１０において、上記第１の発光面は、上記発光デバイスの内部側の反射率が８５％以上であってもよい。

[0207] 上記の構成によれば、第１の発光面の反射率が高いため、発光デバイスの発振閾値を低下させるとともに、システムの省電力化を実現することができる。

[0208] また、環境パラメータが変化したとき、第２の発光の強度は大きく変化する。なぜならば、第１の発光面の反射率が大きいことは、第１の発光面の透過率が小さいことを意味する。そのため、環境パラメータが変化したとき、第１の発光面の透過率は大きく変化し、その結果、第２の発光の強度も大きく変化する。すなわち、第２の発光は、環境パラメータの変化に高感度で応

答する。ゆえに、第２の発光の強度に基づいて、環境パラメータを精度よく算出することができる。

[0209] 本発明の態様１２に係る光学センサシステムは、上記態様１～１１のいずれかにおいて、上記第１の発光を検出する第２の検出部をさらに備え、上記環境パラメータ算出部は、上記第２の検出部による上記第１の発光の検出値に基づいて、上記環境パラメータの算出結果を補正してもよい。

[021 0] 上記の構成によれば、第１の発光の検出値に基づいて、環境パラメータの算出結果が補正される。ここで、第２の発光の強度は、環境パラメータだけでなく、発光デバイスの出力にも依存する。一方、前述のように、第１の発光の強度は、環境パラメータにほとんど依存しない。第１の発光の強度は、発光デバイスの出力にのみ依存する。

[021 1] 発光デバィスの出力が変化することによって、第２の発光の強度が変化したとき、第２の発光の強度から算出される環境パラメータは、発光デバイスの出力の変化に起因する誤差を含む。しかしながら、上記の構成によれば、環境パラメータの算出結果から、発光デバィスの出力の変化に起因する誤差を除去するように、第１の発光の強度によって、環境パラメータの算出結果を補正することができる。ゆえに、補正された高精度な環境パラメータを得ることができる。

[021 2] 本発明の態様１３に係る光学センサシステムは、上記態様１２において、上記環境パラメータ算出部は、上記第２の検出部によつて検出される上記第１の発光の検出値が略一定となるように、上記発光デバイスの発光を制御してもよい。

[021 3] 上記の構成によれば、第１の発光の検出値が略一定となるように、発光デバイスの発光が制御される。そのため、第１の発光を第２の用途に安定して使用することができる。また、第１の発光の検出値 (すなわち強度)が略一定に保たれることによって、第２の発光の強度も略一定に保たれる。そのため、発光デバイスの出力が変化した場合であっても、第２の発光の強度が保たれるので、第２の発光の強度に基づいて、環境パラメータを高精度で算出

することができる。

[0214] 本発明の態様１４に係る光学式ガスセンサシステム（１００）は、上記態様１～１３のいずれかの光学センサシステムと、上記第１の発光が照射される位置に配置され、特定の種類のガスに反応して光学特性が変化するガス反応体（１１０）と、上記ガス反応体を透過した上記第１の発光の透過光を検出する透過光検出部（１３０）と、上記透過光検出部によって検出される上記透過光の検出値から、上記ガス反応体の上記光学特性の変化を測定することにより、環境に含まれる上記ガスを検出するガス検出部（１４０）と、を備えていてもよい。

[021 5] 上記の構成によれば、特定の種類のガスを検出するとともに、環境パラメータを算出することもできる多機能な光学式ガスセンサシステムを提供することができる。

[021 6] 本発明の態様１５に係る光学式ガスセンサシステムは、上記態様１４において、上記ガス検出部は、上記環境パラメータ算出部による上記環境パラメータの算出値に基づいて、上記ガスの検出結果を補正してもよい。

[021 7] 上記の構成によれば、環境パラメータの算出値に基づいて、ガス反応体によるガスの検出結果が補正される。そのため、環境パラメータが変化することによって、ガス反応体の光学特性が変化した場合であっても、環境パラメータの変化による影響を除去するように、ガスの検出結果を補正することができる。従って、ガスを高精度で検出することができる。また、環境パラメータを測定するためのセンサを備える必要がないため、光学センサシステムのコストを抑制することができる。

[021 8] 本発明の態様１６に係る微粒子センサシステム（２００）は、上記態様１～１３のいずれかの光学センサシステムと、上記第１の発光が微粒子（２５０）に散乱されることにより発生した散乱光（２６０）を検出する散乱光検出部（２２０）と、上記散乱光検出部による上記散乱光の検出値に基づいて、環境に含まれる上記微粒子を検出する微粒子検出部（制御演算装置２３０）と、を備えている。

[021 9] 上記の構成によれば、ほこり等の微粒子を検出するとともに、環境パラメータを算出することもできる多機能な微粒子センサシステムを提供することができる。

[0220] 本発明の態様１７に係る発光装置 (３００) は、上記態様１～１３のいずれかの光学センサシステムを備え、上記発光デバイスが生成する発光の出力に影響する要因を発光条件と呼ぶとき、上記環境パラメータ算出部による上記環境パラメータの算出値に基づいて、上記発光デバイスの発光条件を制御する発光条件制御部 (３３０) をさらに備えている。

[0221] 上記の構成によれば、環境パラメータの算出値に基づいて、発光デバイスの故障の原因となる結露またはガスが発生したか (または発生する可能性があるか) 否かを判定し、その判定結果に基づいて、発光デバイスの発光条件を変更することができる。発光デバィスの故障の原因となる結露またはガスが発生しているとき、発光デバイスは、故障の原因が解消されるまで発光しないように制御されてもよい。また、環境パラメータを測定するためのセンサを備える必要がないので、発光装置のコストを抑制することができる。

[0222] 本発明の態様１８に係る画像印刷装置 (４００) は、上記態様１～１３のいずれかの光学センサシステムを備え、上記第１の発光を用いて静電潜像を形成し、形成された上記静電潜像を現像することによつて得られる画像を印刷する画像印刷機能を有する画像印刷装置であって、上記発光デバイスが生成する発光の出力に影響する要因を発光条件と呼び、上記画像を印刷する際における上記画像印刷装置の動作または状態を規定する条件を印刷条件と呼ぶとき、上記環境パラメータ算出部による上記環境パラメータの算出値に基づいて、上記発光デバィスの発光条件および上記画像の上記印刷条件のうちの少なくとも一方を制御する条件制御部 (制御演算装置４７０) を備えている。

[0223] 上記の構成によれば、第１の発光を用いて、画像の静電潜像を形成するとともに、第２の発光を用いて、環境パラメータが算出される。また、環境パラメータの算出値に基づいて、発光条件および印刷条件のうちの少なくとも

—方が制御される。そのため、環境パラメータに依存する発光条件および印刷条件を制御するために、環境パラメータを測定するためのセンサを備える必要がないので、画像印刷装置のコストを抑制することができる。環境パラメータに依存する印刷条件には、印刷用紙上における画像の印刷位置、印刷用紙の送り速度、および、印刷用紙にトナーを定着させる際の加熱温度などが含まれる。

[0224] 本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

産業上の利用可能性

[0225] 本発明は、光源を備えた光学センサシステムに利用することができる。

符号の説明

[0226]
1 光学センサシステム
2 光学センサシステム
3 光学センサシステム
10 半導体レーザー (発光デバイス)
20 フロント面 (第2の発光面)
21 リア面 (第1の発光面)
30 フロント面出射光 (第1の発光)
31 リア面出射光 (第2の発光)
40 フォトダイオード (発光検出部)
41 第2のフォトダイオード (第2の検出部)
60 制御演算装置 (環境パラメータ算出部)
80 発振閾値
81 微分効率
100 光学式ガスセンサシステム
110 ガス反応体

１３０　光検出器（透過光検出部）

１４０　制御演算装置（ガス検出部）

１５０　透過光

２００　微粒子センサシステム

２２０　光検出器（散乱光検出部）

２３０　制御演算装置（微粒子検出部）

２５０　微粒子

２６０　散乱光

３００　発光装置

３３０　制御演算装置（発光条件制御部）

４００　画像印刷装置

４７０　制御演算装置（条件制御部）

請求の範囲

[請求項1] 所定の用途に使用される第１の発光を生成する発光デバイスを備えた光学センサシステムであって、

上記発光デバイスは、第２の発光をさらに生成し、

上記第２の発光を検出する発光検出部と、

上記発光検出部によって検出された上記第２の発光の検出値を用いて、上記発光デバィスの周囲の環境の指標である環境パラメータを算出する環境パラメータ算出部と、を備えたことを特徴とする光学センサシステム。

[請求項2] 上記発光デバイスが生成する発光の出力に影響する要因を発光条件と呼ぶとき、

上記環境パラメータ算出部が上記環境パラメータを算出する際における上記発光デバイスの発光条件と、外部に出射された上記第１の発光が上記所定の用途に使用される際における上記発光条件とが異なることを特徴とする請求項１に記載の光学センサシステム。

[請求項3] 上記環境パラメータ算出部が上記環境パラメータを算出する際における上記発光デバイスの発光の少なくとも一部が、上記第１の発光として、上記所定の用途に利用されることを特徴とする請求項１に記載の光学センサシステム。

[請求項4] 上記環境パラメータ算出部は、複数の上記環境パラメータを算出することを特徴とする請求項１～３のいずれか１項に記載の光学センサシステム。

[請求項5] 上記環境パラメータ算出部は、上記発光デバイスに一定量の電流が注入されたとき、上記発光検出部によって検出される上記第２の発光の検出値に基づいて、上記環境パラメータを算出することを特徴とする請求項１～４のいずれか１項に記載の光学センサシステム。

[請求項6] 上記発光デバイスはレーザー光源を含んでおり、

上記環境パラメータ算出部は、上記第２の発光の検出値と上記発光

デバイスの発振閾値との間の対応関係を参照することによって、上記発光検出部によって検出される上記第２の発光の検出値から、上記レーザー光源の発振閾値を算出し、算出した上記発振閾値に基づいて、上記環境パラメータを算出することを特徴とする請求項１～５のいずれか１項に記載の光学センサシステム。

[請求項7] 上記発光デバイスはレーザー光源を含んでおり、

上記環境パラメータ算出部は、上記第２の発光の検出値と上記発光デバイスの発振閾値との間の対応関係を参照することによって、上記発光検出部によって検出される上記第２の発光の検出値から、上記レーザー光源の微分効率を算出し、算出した上記微分効率に基づいて、上記環境パラメータを算出することを特徴とする請求項１～６のいずれか１項に記載の光学センサシステム。

[請求項8] 上記環境パラメータは、温度、湿度、およびガス濃度のうち、少なくともいずれか１つであることを特徴とする請求項１～７のいずれか１項に記載の光学センサシステム。

[請求項9] 第１の発光および第２の発光を生成する発光デバイスを備えた光学センサシステムであって、

上記第２の発光を検出する発光検出部と、

上記発光検出部によって検出された上記第２の発光の検出値を用いて、上記発光デバイスの周囲の環境の指標である環境パラメータを算出する環境パラメータ算出部と、を備えており、

上記発光デバイスは、上記第１の発光を出射する第１の発光面と、上記第２の発光を出射する第２の発光面とを備えており、

上記第１の発光面および上記第２の発光面は、上記環境パラメータが変化したとき、上記第１の発光の強度の変化率が、上記第２の発光の強度の変化率よりも小さくなるように構成されていることを特徴とする光学センサシステム。

[請求項10] 上記第１の発光面および上記第２の発光面は、上記環境パラメータ

が変化したとき、上記第１の発光の強度の変化率が、上記第２の発光の強度の変化率の１／２０以下となるように構成されていることを特徴とする請求項９に記載の光学センサシステム。

[請求項11] 上記第１の発光面は、上記発光デバイスの内部側の反射率が８５％以上であることを特徴とする請求項９または１０に記載の光学センサシステム。

[請求項12] 上記第１の発光を検出する第２の検出部をさらに備え、

上記環境パラメータ算出部は、上記第２の検出部による上記第１の発光の検出値に基づいて、上記環境パラメータの算出結果を補正することを特徴とする請求項１～１１のいずれか１項に記載の光学センサシステム。

[請求項13] 上記環境パラメータ算出部は、上記第２の検出部によつて検出される上記第１の発光の検出値が略一定となるように、上記発光デバイスの発光を制御することを特徴とする請求項１２に記載の光学センサシステム。

[請求項14] 請求項１～１３のいずれか１項に記載の光学センサシステムと、

上記第１の発光が照射される位置に配置され、特定の種類のガスに反応して光学特性が変化するガス反応体と、

上記ガス反応体を透過した上記第１の発光の透過光を検出する透過光検出部と、

上記透過光検出部によって検出される上記透過光の検出値から、上記ガス反応体の上記光学特性の変化を測定することにより、環境に含まれる上記ガスを検出するガス検出部と、を備えたことを特徴とする光学式ガスセンサシステム。

[請求項15] 上記ガス検出部は、上記環境パラメータ算出部による上記環境パラメータの算出値に基づいて、上記ガスの検出結果を補正することを特徴とする請求項１４に記載の光学式ガスセンサシステム。

[請求項16] 請求項１～１３のいずれか１項に記載の光学センサシステムと、

上記第１の発光が微粒子に散乱されることにより発生した散乱光を検出する散乱光検出部と、

上記散乱光検出部による上記散乱光の検出値に基づいて、環境に含まれる上記微粒子を検出する微粒子検出部と、を備えたことを特徴とする微粒子センサシステム。

[請求項17] 請求項１～１３のいずれか１項に記載の光学センサシステムを備え、

上記発光デバイスが生成する発光の出力に影響する要因を発光条件と呼ぶとき、

上記環境パラメータ算出部による上記環境パラメータの算出値に基づいて、上記発光デバイスの発光条件を制御する発光条件制御部、をさらに備えたことを特徴とする発光装置。

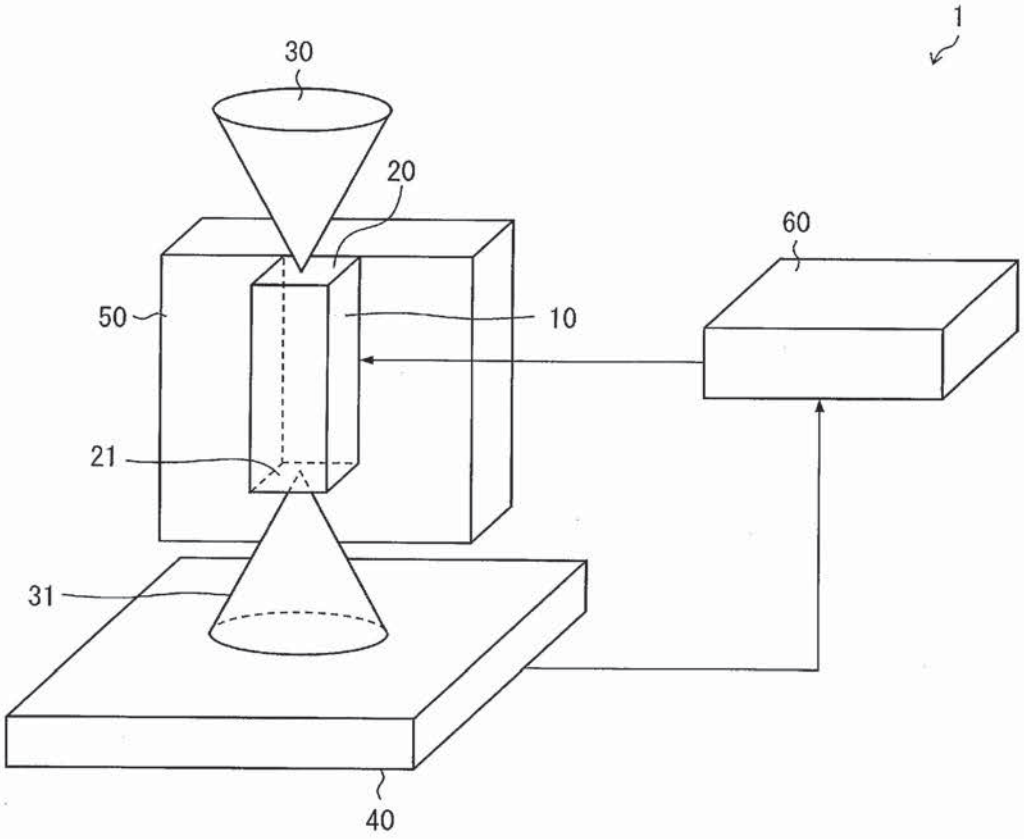
[請求項18] 請求項１～１３のいずれか１項に記載の光学センサシステムを備え、上記第１の発光を用いて静電潜像を形成し、形成された上記静電潜像を現像することによって得られる画像を印刷する画像印刷機能を有する画像印刷装置であって、

上記発光デバイスが生成する発光の出力に影響する要因を発光条件と呼び、上記画像を印刷する際における上記画像印刷装置の動作または状態を規定する条件を印刷条件と呼ぶとき、

上記環境パラメータ算出部による上記環境パラメータの算出値に基づいて、上記発光デバィスの発光条件および上記画像の上記印刷条件のうちの少なくとも一方を制御する条件制御部を備えたことを特徴とする画像印刷装置。

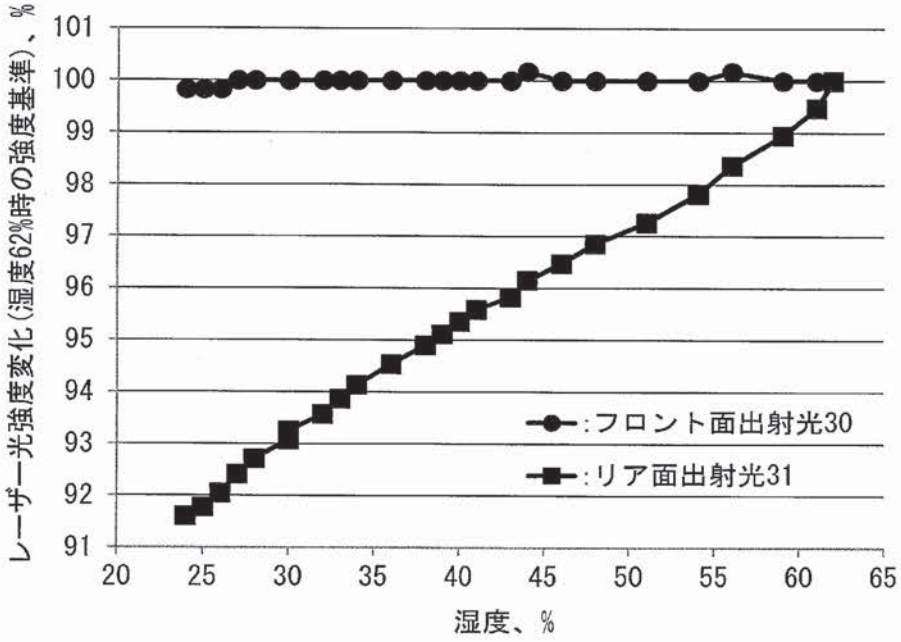
[図1]

図 1



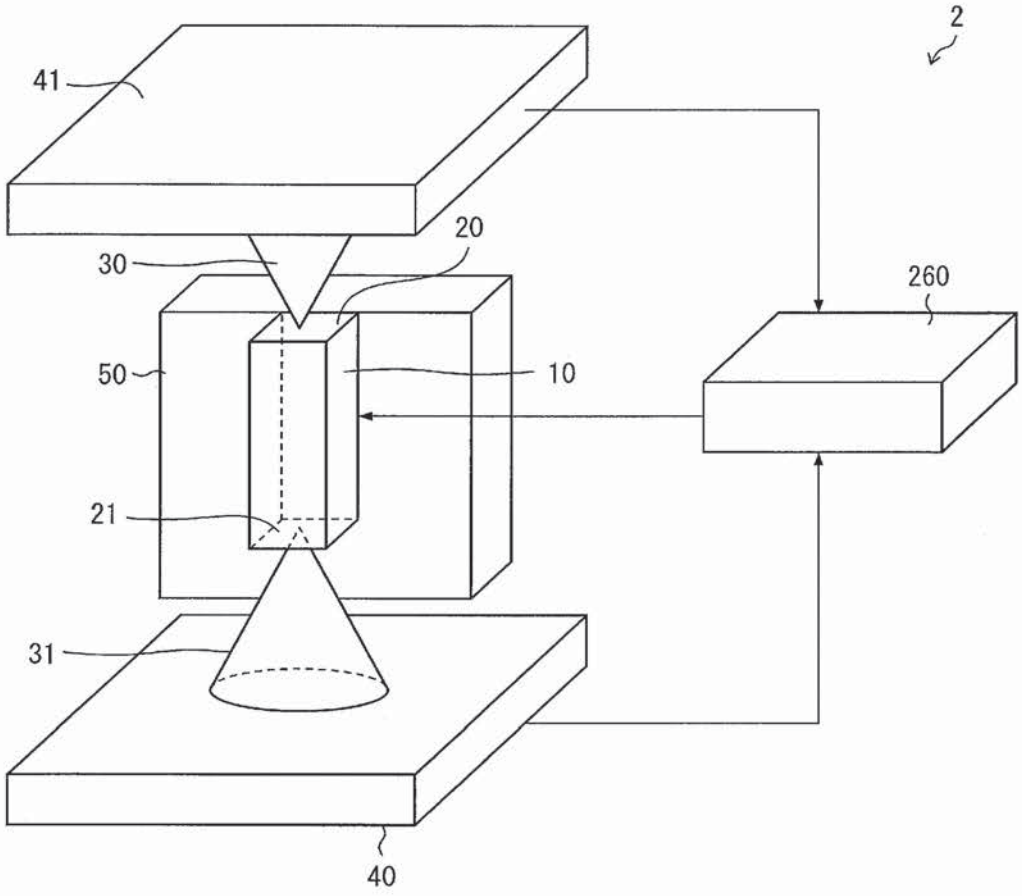
[図2]

図 2


レーザー光強度変化(湿度62%時の強度基準)、%
101
100
99
98
97
96
95
94
93
92
91
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
湿度、%
:フロント面出射光30
:リア面出射光31

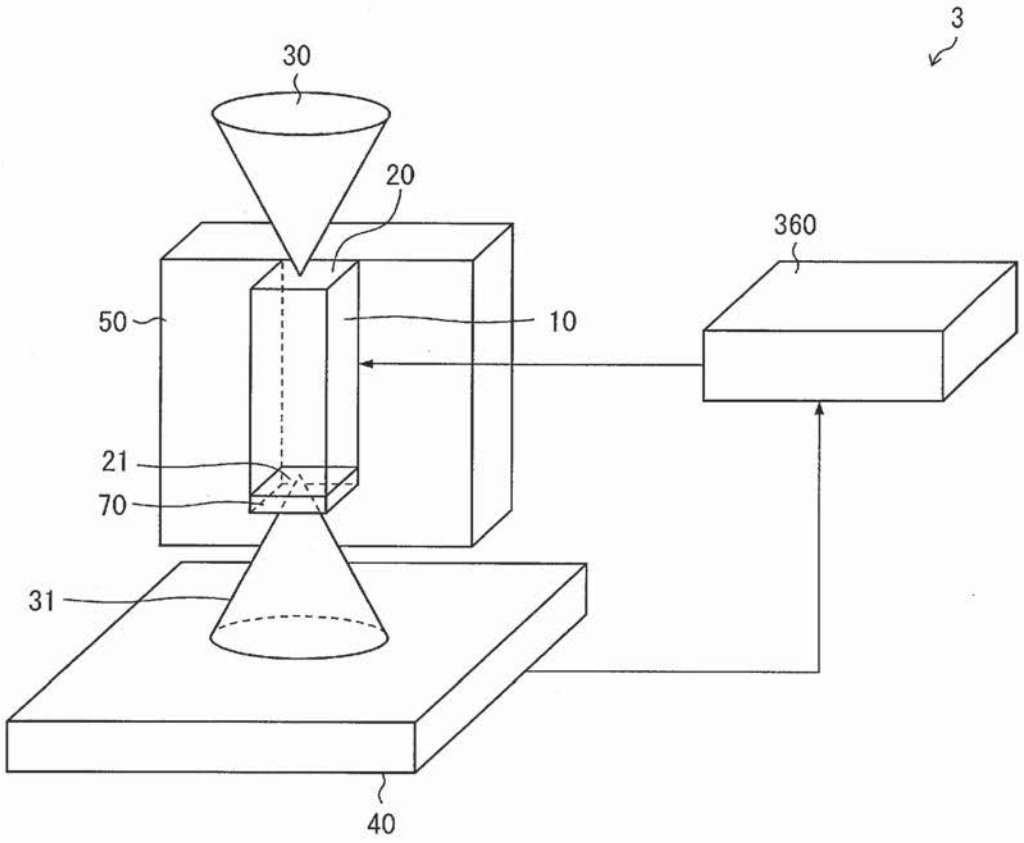
[図3]

図 3



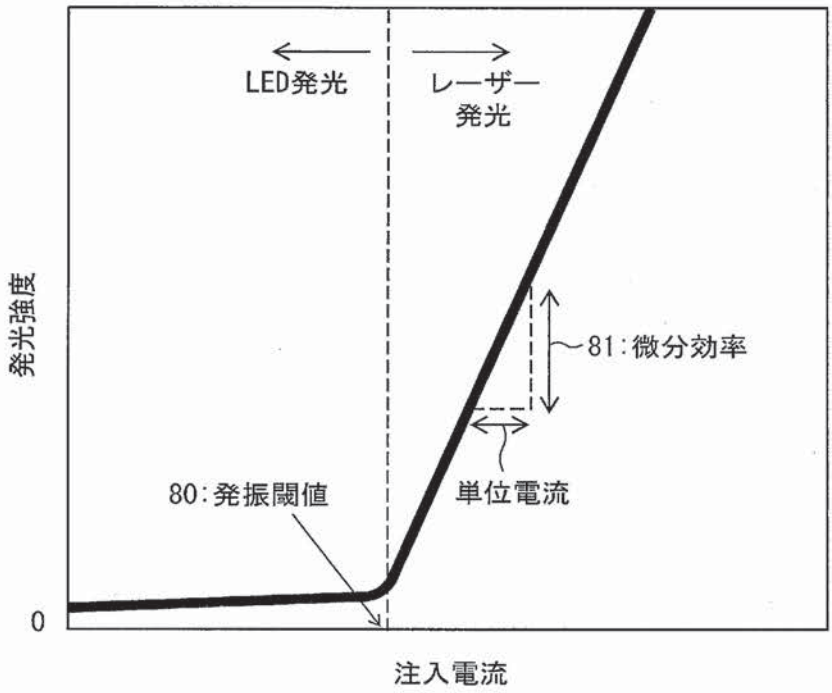
[図4]

図 4



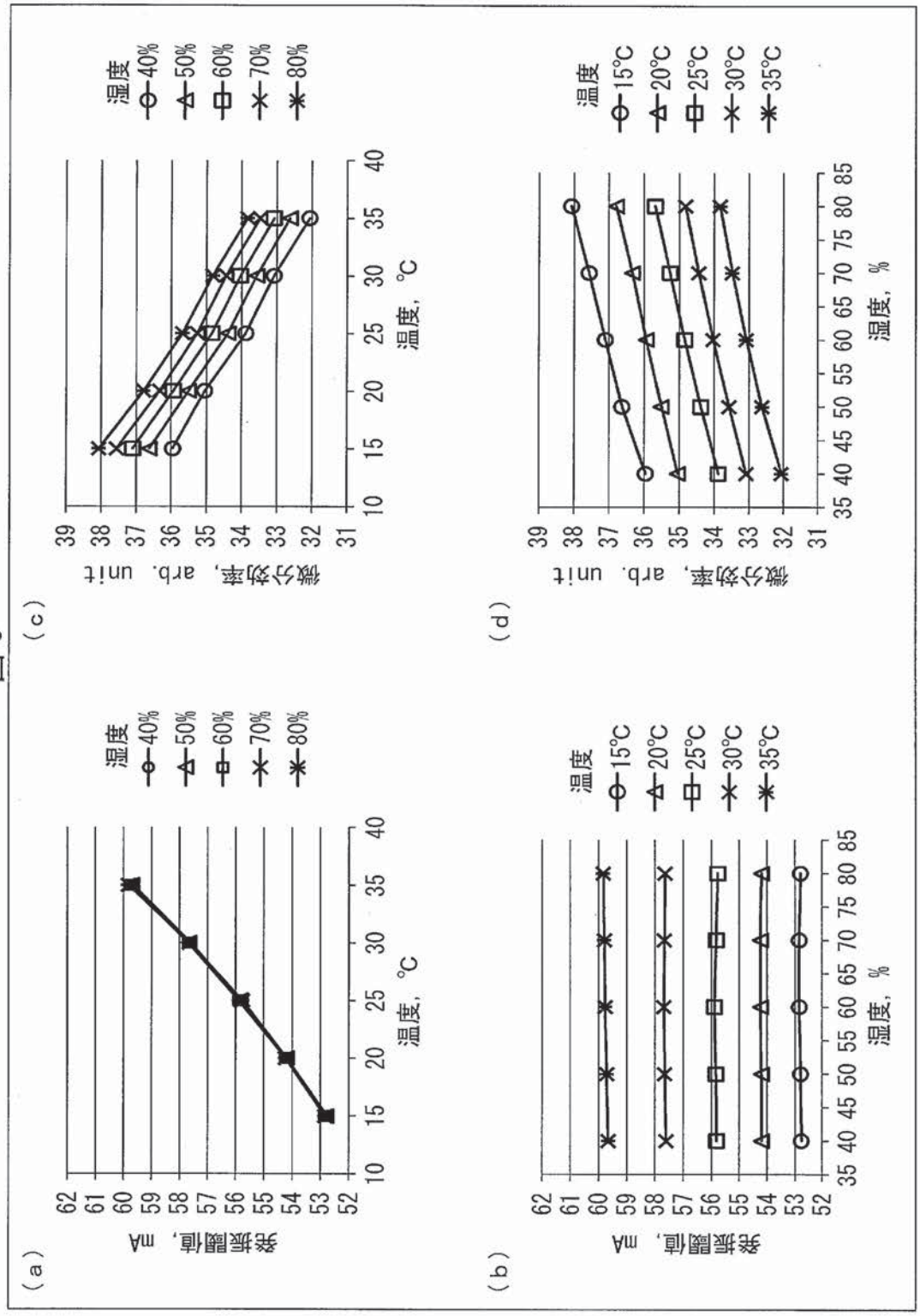
[図5]

図 5



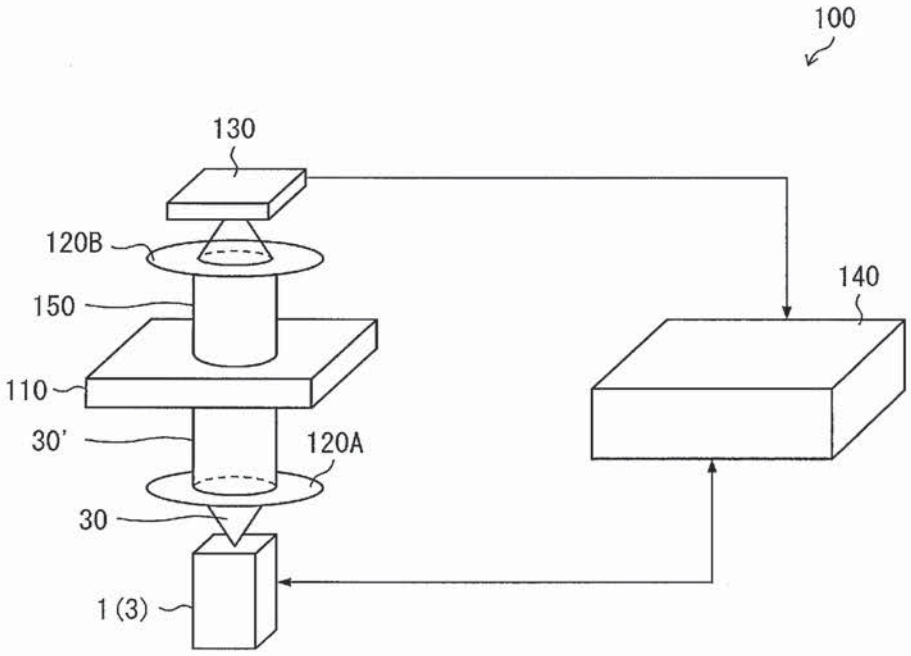
[図6]

図 6


(a)
発振閾値, mA
温度, ℃
湿度
40%
50%
60%
70%
80%
(b)
発振閾値, mA
湿度, %
温度
15℃
20℃
25℃
30℃
35℃
(c)
微分効率, arb. unit
温度, ℃
湿度
40%
50%
60%
70%
80%
(d)
微分効率, arb. unit
湿度, %
温度
15℃
20℃
25℃
30℃
35℃

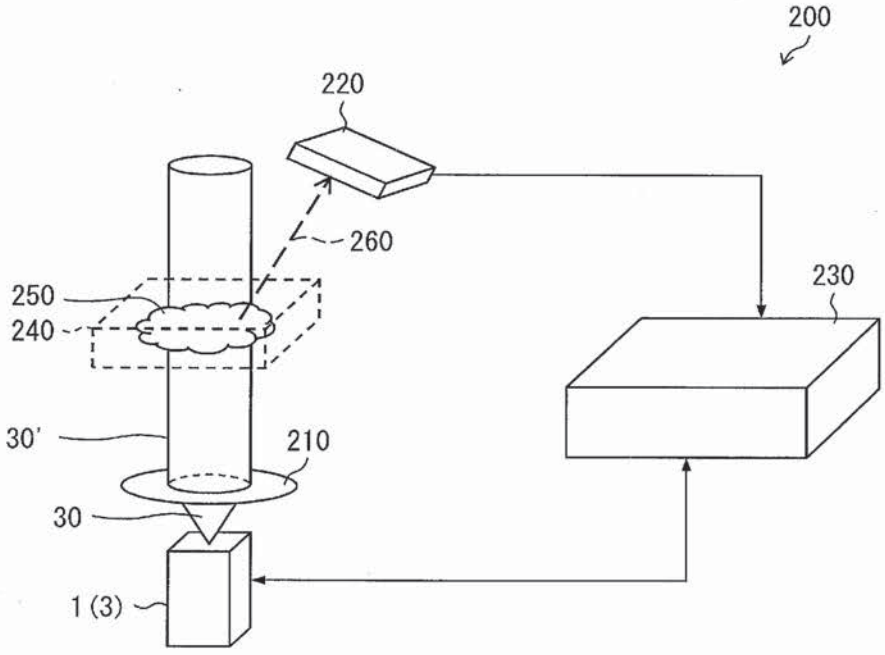
[図7]

図 7


100
130
120B
150
140
110
30'
120A
30
1 (3)

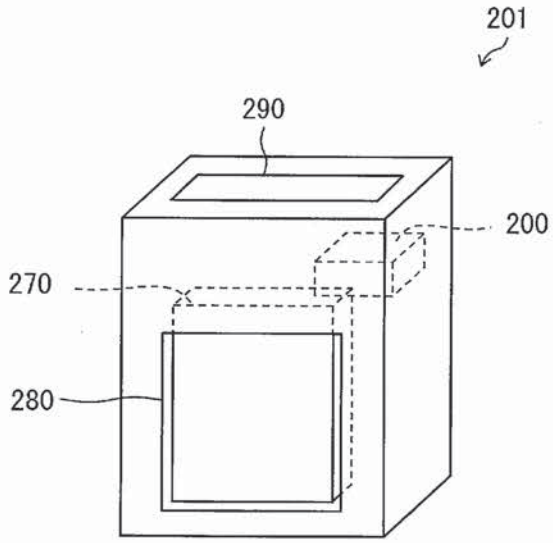
[図8]

図 8


200
220
260
230
250
240
30'
210
30
1 (3)

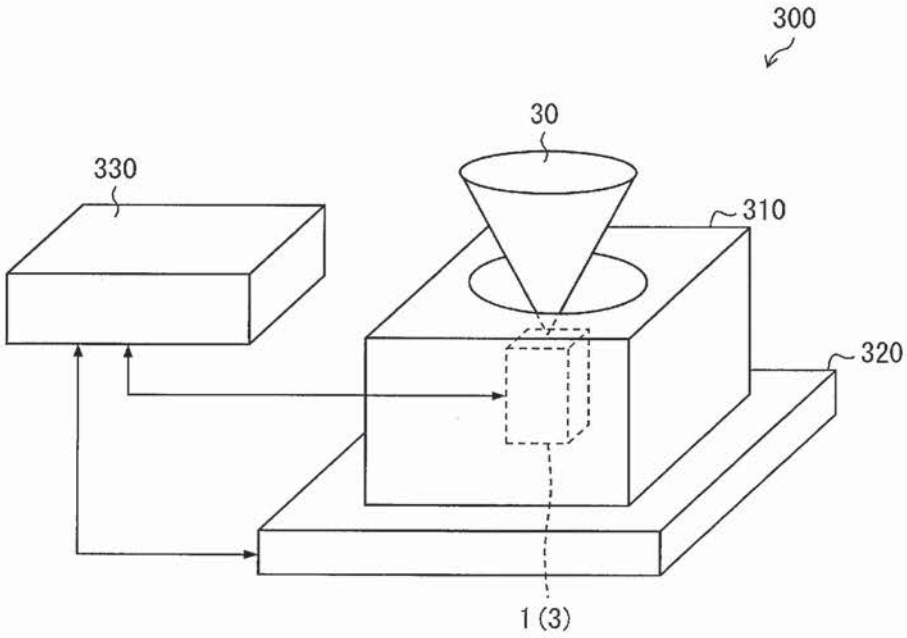
[図9]

図 9



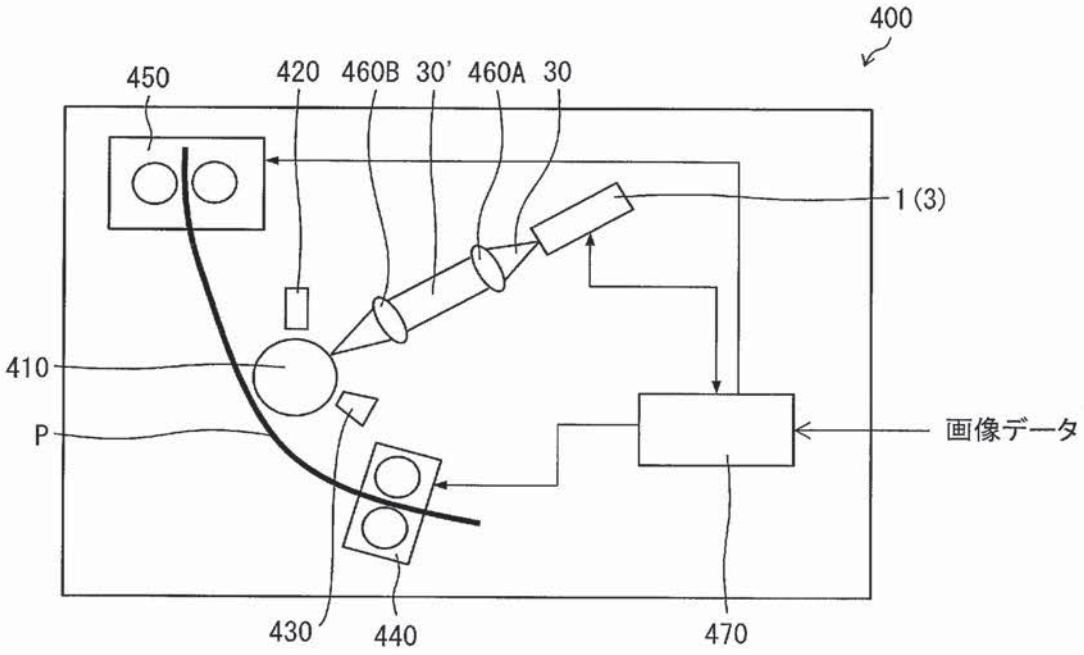
[図10]

図 10



[図11]

図 11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT / JP2015/058921

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N21/41(2006.01)i, G01N21/17(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N21/00-21/958

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2015 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6-66721 A (NOK Corp.), 11 March 1994 (11.03.1994), entire text; all drawings (Family: none)	1-18
X Y	JP 6-69607 A (The Furukawa Electric CO., Ltd.), 11 March 1994 (11.03.1994), entire text; all drawings (Family: none)	1,3 2,4-18
X Y	WO 2012/163681 A1 (XARION Laser Acoustics GmbH), 06 December 2012 (06.12.2012), entire text; all drawings & JP 2014-515114 A	1,3 2,4-18

[×] Further documents are listed in the continuation of Box C. [ ] See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
10 June 2015 (10.06.15)	23 June 2015 (23.06.15)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, JaDan	Authorized officer Telephone No.

Form PCTASA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT / JP2 015/ 058921

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 59-105568 A (NEC Corp .), 18 June 1984 (18.06.1984), entire text ; all drawings (Family : none)	1-18

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 2009)

国際調査報告

国際出願番号 PCT／JP2015／058921

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

IntCl. G01N2 1/41 (2006. 01) i, G01N2 1/17 (2006. 01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

IntCl. G01N21/00-2 1/958

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922－
日本国公開実用新案公報 1971－2 1
日本国実用新案登録公報 1996－2 1
日本国登録実用新案公報 1994－2019

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 6-6672 1 A (エヌオーケー株式会社) 1994. 03. 11, 全文全図 (ファミリーなし)	1-18
X Y	JP 6-69607 A (古河電気工業株式会社) 1994. 03. 11, 全文全図 (ファミリーなし)	1, 3 2, 4- 18
X Y	WO 2012/16368 1 A1 (クサリオン レーザー アコースティタス ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツング) 2012. 12. 06, 全文全図 & JP 2014-5 15114 A	1, 3 2, 4- 18

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であつて出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
10. 06. 2015	23. 06. 2015

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官 (権限のある職員)	
日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100－8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	森口 正治 電話番号 03－3581－1101 内線 3250	2W 9403

様式PCT/ISA／210 (第2ページ) (2009年7月)

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０５８９２１

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 59- 105568 A (日本電気株式会社) 1984. 06. 18, 全文全図 (ファミリーなし)	1- 18

様式ＰＣＴ／ＩＳＡＺ２１０（第２ページの続き）（２００９年７月）

(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103234527 B
(45)授权公告日 2015.06.24

(21)申请号 201310118562.1

(22)申请日 2013.04.07

(73)专利权人 南京理工大学
地址 210094 江苏省南京市孝陵卫200号

(72)发明人 李建欣 徐婷婷 孟鑫 孙宇声 张磊 沈燕 高金铭 周伟 马骏 郭仁慧 沈华 朱日宏

(74)专利代理机构 南京理工大学专利中心 32203
代理人 朱显国

(51)Int.Cl.
G01C 11/02(2006.01)
G01C 11/36(2006.01)

(56)对比文件
CN 203163728 U, 2013.08.28,
CN 102944305 A, 2013.02.27,
US 6031619 A, 2000.02.29,
Todor Georgiev etc..Using Focused Plenoptic Cameras for Rich Image Capture.《IEEE》.2011, 第50-61页.
Kathrin Berkner and Sapna Shroff. Optimization of Spectrally Coded Mask for Multi-modal Plenoptic Camera.《Optical Society of America》.2011, 第1-3页.
Lingfei Meng etc..Evaluation of Multispectral Plenoptic Camera.《SPIE》.2013, 第8660卷第86600D-1至86600D-7页.

审查员 张媛

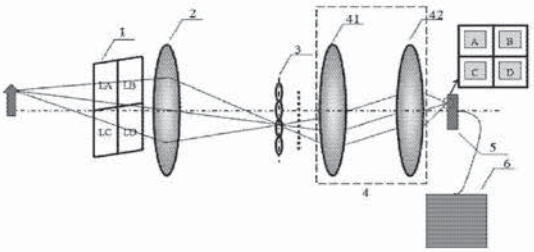
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54)发明名称

多光谱光场相机的成像方法

(57)摘要

本发明提供一种多光谱光场相机，包括沿光路方向顺次设置的滤光片阵列、成像主透镜、微透镜阵列、组合副透镜、探测器和信号处理系统；成像方法为：首先，在成像主透镜的光瞳面上放置滤光片阵列，采用孔径分割的方法引入目标各个光谱段的信息；其次，利用位于成像主透镜像面上的微透镜阵列对多光谱信息进行空间上的分离；并引入组合副透镜将微透镜焦平面二次转移到探测器光敏面上；最后信号处理系统对探测器得到的数据进行计算，提取得到不同波段光谱图像。本发明可以在同一时间获得全视野范围内每一像素的多光谱信息，实现动态多光谱成像，且系统结构稳固。



CN 103234527 B

1. 一种多光谱光场相机的成像方法，其特征在于，该多光谱光场相机包括沿光路方向顺次设置的滤光片阵列（1）、成像主透镜（2）、微透镜阵列（3）、组合副透镜（4）、探测器（5）和信号处理系统（6），其中滤光片阵列（1）由M×N片共平面的不同波段的滤光片构成，所有滤光片的尺寸均相同，M、N均为正整数，组合副透镜（4）包括沿光路方向顺次设置的第一透镜（41）和第二透镜（42），组合副透镜（4）将微透镜阵列（3）的后焦面二次转移到探测器（5）的靶面上；所述滤光片阵列（1）位于成像主透镜（2）的孔径光阑处，微透镜阵列（3）位于成像主透镜（2）的像面上，微透镜阵列（3）的后焦面与第一透镜（41）的前焦面重合，探测器（5）位于第二透镜（42）的后焦面上，信号处理系统（6）与探测器（5）相连；所有光学元件相对于基底同轴等高，即相对于光学平台或仪器底座同轴等高，成像方法包括以下步骤：

步骤一：来自目标各点的入射光经滤光片阵列（1），形成携带不同波段信息的光束并穿过成像主透镜（2），在成像主透镜（2）像面处的微透镜阵列（3）上成像，形成携带不同波段信息的像点，各个像点在微透镜阵列（3）后焦面的空间上分开；

步骤二：微透镜阵列（3）后焦面的各点光线射入第一透镜（41），穿过第一透镜（41）后以平行光的形式进入第二透镜（42），并在第二透镜（42）后焦面处的探测器（5）靶面上得到携带有不同波段信息的目标图像，并将携带有不同波段信息的目标图像转化为电信号进入信号处理系统（6）；

步骤三：信号处理系统（6）将收到的电信号转换为目标各点的不同波段光谱数据，对得到的不同波段光谱数据进行计算，提取得到不同波段光谱图像，从而获得多光谱视频。

2. 根据权利要求1所述的多光谱光场相机的成像方法，其特征在于，步骤三中所述对得到的不同波段光谱数据进行计算，提取得到不同波段光谱图像的具体过程为：目标各点的入射光经滤光片阵列（1）后入射到成像主透镜（2）上，经过成像主透镜（2）在微透镜阵列（3）的一个微透镜上形成像点，再经过组合副透镜（4）成像在探测器（5）的靶面上，形成一个像素单元；成像主透镜（2）的光瞳面对微透镜阵列（3）所成的像经过组合副透镜（4），成像在探测器（5）的靶面上，探测器（5）接收的图像是目标像与微透镜阵列（3）成像的叠加，把微透镜阵列（3）中的任意一个微透镜在探测器5的靶面上所成的像作为一个单元，则每个单元内部又可分为M×N个子单元，每个子单元对应一个波段，将每个单元中对应位置的子单元以原有相对位置关系组成该波段的光谱图像。

多光谱光场相机的成像方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光谱成像技术领域，特别是一种多光谱光场相机。

背景技术

[0002] 多光谱成像技术从20世纪70年代初开始发展，并随着对地观测、空间探测、军事、民事的需求而发展。自美国加州理工学院喷气推进实验室提出成像光谱仪的概念之后，当代多光谱遥感技术得到了迅速的发展。2000年，张淳民、相里斌和赵葆常等提出了时空混合调制偏振干涉成像光谱技术，提出了基于Savart偏光镜的稳态偏振干涉成像光谱仪和稳态大视场偏振干涉成像光谱仪相关技术，并进行了理论研究，以及实验装置到样机的研制工作，除了能获知目标的二维空间信息、一维光谱信息外，还能获得目标的偏振信息。

[0003] Gershun在1936年提出光场的概念，将其定义为光辐射在空间各个位置向各个方向的传播；20世纪六七十年代，Okoshi、Dudnikov等学者对IP技术进行了不断的改进，微透镜阵列在成像方面的作用也得以凸显；1995年，Berthon在光瞳面放置彩色滤光片，并在焦面上放置微透镜阵列，成功获得了彩色图像；1996年，Marc Levoy、Pat Hanrahan等人引入了四维光场理论；2005年，Ng，Levoy等人提出了光场照相机的一个典型代表—plenoptic照相机；之后，Ren Ng、Marc Levoy等人提出了新的想法，在相机光瞳面直接放置各种光学滤光片，使得一次曝光后，可以同时实现光谱、偏振状态和光强度的调制。

[0004] 然而现有的多光谱相机多采用分时探测的方法，利用旋转滤光片、调节液晶调制器或声光调制器，在一段时间内顺次采集多个谱段的图像信息，这种方法的缺点是仪器在工作过程中需要外界介入调节内部的运动部件以改变其工作谱段，其延时性导致无法实时探测，也无法对运动目标进行动态视频探测，并且仪器的机械结构复杂，可靠性和稳定性较低。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种能够对探测目标进行实时多光谱探测以及多光谱视频探测的多光谱光场相机。

[0006] 实现本发明目的的技术解决方案为：一种多光谱光场相机，包括沿光路方向顺次设置的滤光片阵列、成像主透镜、微透镜阵列、组合副透镜、探测器和信号处理系统，其中组合副透镜包括沿光路方向顺次设置的第一透镜和第二透镜，组合副透镜将微透镜阵列的后焦面二次转移到探测器的靶面上；所述滤光片阵列位于成像主透镜的孔径光阑处，微透镜阵列位于成像主透镜的像面上，微透镜阵列的后焦面与第一透镜的前焦面重合，探测器位于第二透镜的后焦面上，信号处理系统与探测器相连；所有光学元件相对于基底同轴等高，即相对于光学平台或仪器底座同轴等高。所述滤光片阵列1由M×N片共平面的不同波段的滤光片构成，所有滤光片的尺寸均相同，M、N均为正整数。

[0007] 基于所述多光谱光场相机的成像方法，包括以下步骤：

[0008] 步骤一：来自目标各点的入射光经滤光片阵列，形成携带不同波段信息的光束并

穿过成像主透镜，在成像主透镜像面处的微透镜阵列上成像，形成携带不同波段信息的像点，各个像点在微透镜阵列后焦面的空间上分开；

[0009] 步骤二：微透镜阵列后焦面的各点光线射入第一透镜，穿过第一透镜后以平行光的形式进入第二透镜，并在第二透镜后焦面处的探测器靶面上得到携带有不同波段信息的目标图像，并将携带有不同波段信息的目标图像转化为电信号进入信号处理系统；

[0010] 步骤三：信号处理系统将收到的电信号转换为目标各点的不同波段光谱数据，对得到的不同波段光谱数据进行计算，提取得到不同波段光谱图像，从而获得多光谱视频。

[0011] 本发明与现有技术相比，其显著优点：

[0012] （1）可获取全视野范围内每一像素的多光谱信息；

[0013] （2）可同时获取多个波段的光谱图像，实现动态多光谱成像；

[0014] （3）内部无运动部件，系统结构稳固。

[0015] 下面结合附图对本发明作进一步详细描述。

附图说明

[0016] 图 1 是本发明多光谱光场相机的光路结构示意图。

[0017] 图 2 是本发明多光谱光场相机的光谱提取示意图。

具体实施方式

[0018] 下面结合附图和具体实施例进一步说明本发明。

[0019] 结合图 1，本发明多光谱光场相机，包括沿光路方向顺次设置的滤光片阵列 1、成像主透镜 2、微透镜阵列 3、组合副透镜 4、探测器 5 和信号处理系统 6，其中组合副透镜 4 包括沿光路方向顺次设置的第一透镜 41 和第二透镜 42，组合副透镜 4 将微透镜阵列 3 的后焦面二次转移到探测器 5 的靶面上；所述滤光片阵列 1 位于成像主透镜 2 的孔径光阑处，微透镜阵列 3 位于成像主透镜 2 的像面上，微透镜阵列 3 的后焦面与第一透镜 41 的前焦面重合，探测器 5 位于第二透镜 42 的后焦面上，信号处理系统 6 与探测器 5 相连；所有光学元件相对于基底同轴等高，即相对于光学平台或仪器底座同轴等高。

[0020] 本发明多光谱光场相机，所述滤光片阵列 1 由 M×N 片共平面的不同波段的滤光片构成，所有滤光片的尺寸均相同，M、N 均为正整数。

[0021] 本发明多光谱光场相机的成像方法，包括以下步骤：

[0022] 步骤一：来自目标各点的入射光经滤光片阵列 1，形成携带不同波段信息的光束并穿过成像主透镜 2，在成像主透镜 2 像面处的微透镜阵列 3 上成像，形成携带不同波段信息的像点，各个像点在微透镜阵列 3 后焦面的空间上分开；

[0023] 步骤二：微透镜阵列 3 后焦面的各点光线射入第一透镜 41，穿过第一透镜 41 后以平行光的形式进入第二透镜 42，并在第二透镜 42 后焦面处的探测器 5 靶面上得到携带有不同波段信息的目标图像，并将携带有不同波段信息的目标图像转化为电信号进入信号处理系统 6；

[0024] 步骤三：信号处理系统 6 将收到的电信号转换为目标各点的不同波段光谱数据，对得到的不同波段光谱数据进行计算，提取得到不同波段光谱图像，从而获得多光谱视频，具体过程为：目标各点的入射光经滤光片阵列 1 后入射到成像主透镜 2 上，经过成像主透

镜 2 在微透镜阵列 3 的一个微透镜上形成像点，再经过组合副透镜 4 成像在探测器 5 的靶面上，形成一个像素单元；成像主透镜 2 的光瞳面对微透镜阵列 3 所成的像经过组合副透镜 4，成像在探测器 5 的靶面上，探测器 5 接收的图像是目标像与微透镜阵列 3 成像的叠加，把微透镜阵列 3 中的任意一个微透镜在探测器 5 的靶面上所成的像作为一个单元，则每个单元内部又可分为 M×N 个子单元，每个子单元对应一个波段，将每个单元中对应位置的子单元以原有相对位置关系组成该波段的光谱图像。

[0025] 实施例 1

[0026] 以 2×2 滤光片阵列 1 为例，对本发明做进一步详细描述。

[0027] 结合图 1，本发明多光谱光场相机，包括沿光路方向顺次设置的滤光片阵列 1、成像主透镜 2、微透镜阵列 3、组合副透镜 4、探测器 5 和信号处理系统 6，其中组合副透 镜 4 包括沿光路方向顺次设置的第一透镜 41 和第二透镜 42，组合副透镜 4 将微透镜阵列 3 的后焦面二次转移到探测器 5 的靶面上；所述滤光片阵列 1 由 2×2 片共平面的不同波段的滤光片构成，所有滤光片的尺寸均相同，从左上开始，沿着顺时针方向依次是波段为 400 ～ 450nm 的滤光片 LA、波段为 450 ～ 500nm 的滤光片 LB、波段为 500 ～ 550nm 的滤光片 LC、波段为 550 ～ 600nm 的滤光片 LD 的滤光片；所述滤光片阵列 1 位于成像主透镜 2 的孔径光阑处，微透镜阵列 3 位于成像主透镜 2 的像面上，微透镜阵列 3 的后焦面与第一透镜 41 的前焦面重合，探测器 5 位于第二透镜 42 的后焦面上，信号处理系统 6 与探测器 5 相连；所有光学元件相对于基底同轴等高，即相对于光学平台或仪器底座同轴等高。

[0028] 所述多光谱光场相机的工作过程为：来自目标各点的入射光经滤光片阵列 1，形成携带不同波段信息的光束并穿过成像主透镜 2，在成像主透镜 2 像面处的微透镜阵列 3 上成像，形成携带不同波段信息的像点，各个像点在微透镜阵列 3 后焦面的空间上分开；微透镜阵列 3 后焦面的各点光线射入第一透镜 41，穿过第一透镜 41 后以平行光的形式进入第二透镜 42，并在第二透镜 42 后焦面处的探测器 5 靶面上得到携带有不同波段信息的目标图像，并将携带有不同波段信息的目标图像转化为电信号进入信号处理系统 6；信号处理系统 6 将收到的电信号转换为目标各点的不同波段光谱数据，对得到的不同波段光谱数据进行计算，提取得到不同波段光谱图像，从而获得多光谱视频。

[0029] 结合图 2，本多光谱光场相机对探测器 5 接收的图像处理如下，以 N=2，M=2 为例：探测器 5 接收的图像是目标像与微透镜阵列成像的叠加，若把微透镜阵列 3 中的任意一个微透镜在探测器 5 的靶面上所成的像作为一个单元，如图 2 左图显示了第一单元、第二单元、第三单元、第四单元四个单元，每个单元内部又各自分为 A、B、C、D 四个子单元：A 子单元对应 400 ～ 450nm 波段，B 子单元对应 450 ～ 500nm 波段，C 子单元对应 500 ～ 550nm 波段，D 子单元对应 550 ～ 600nm 波段。因此，通过对子单元的顺序进行以下重新排列，可以得到四个完整的光谱图像：将每个单元中处于第一象限的子单元 A 以原有相对位置关系组成 400 ～ 450nm 波段的光谱图、第二象限的子单元 B 组成 450 ～ 500nm 波段的光谱图，第三象限的子单元 C 组成 500 ～ 550nm 波段的光谱图，第四象限的子单元 D 组成 550 ～ 600nm 波段的光谱图。

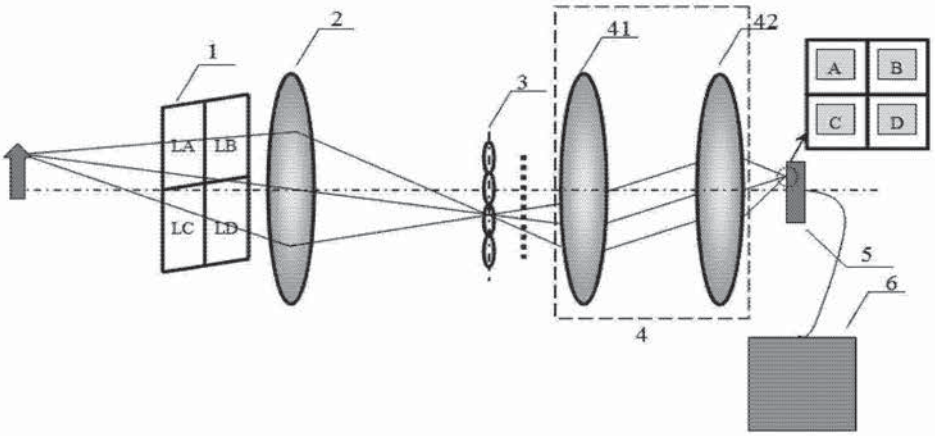

1
2
3
41
42
A
B
C
D
LA
LB
LC
LD
4
5
6

图 1

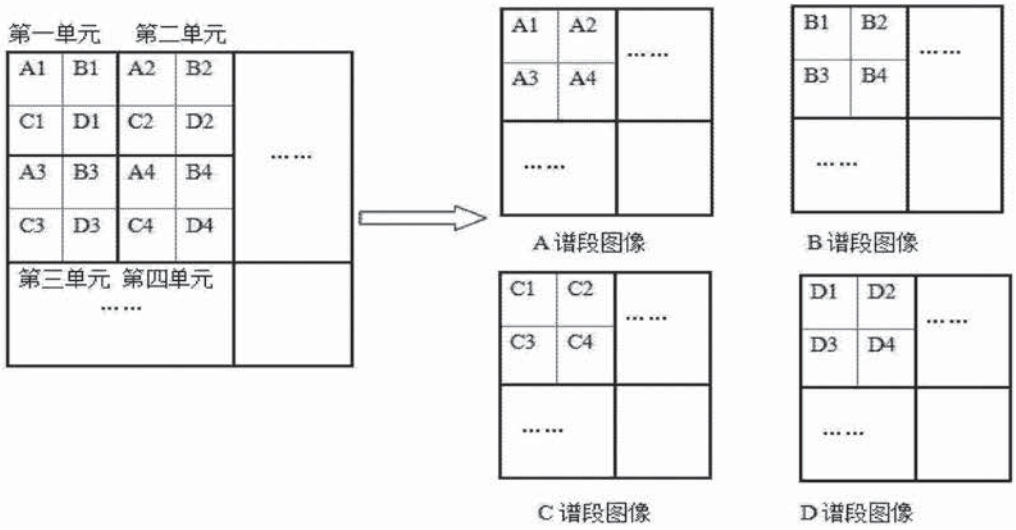

第一单元
第二单元
A1
B1
A2
B2
C1
D1
C2
D2
A3
B3
A4
B4
C3
D3
C4
D4
……
第三单元
第四单元
A谱段图像
B谱段图像
C谱段图像
D谱段图像

图 2

[Document Name]Abstract
[Abstract]
[Purpose]To measure displacement from a reference plane with high resolution.
[Constitution]A projected beam emitted from a light source l is deflected by a vibration mirror 2, and is irradiated onto an inspection object S through a projection lens 3, thereby scanning a projection spot. A light receiving lens 4 has an optical axis in a scanning plane of a projected beam, and photosensors Yl, Y2,. are arranged on an image plane of the light receiving lens 4. Further, the position of the projected beam is detected by photosensors X l, X 2,. Time when an image formation spot of as opposed to the thing S to be examined in the distance computing unit 10 passes one of the photosensors Yi, A time difference between a reference plane L 0 and a time at which a light beam is passed through a photosensor Xi corresponding to a photosensor Yi is obtained, and this time difference is converted into a displacement of the surface of an inspection object S with respect to a reference plane L 0.
[Selected drawing]Fig.l

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12) **公開特許公報**（Ａ）　(11)特許出願公開番号

特開平7－318325

(43)公開日　平成７年(1995)12月８日

(51)Int.Cl.[6]	識別記号	庁内整理番号	ＦＩ	技術表示箇所
Ｇ０１Ｂ　11/24	Ｃ			
Ｇ０１Ｃ　3/06	Ａ			

審査請求　未請求　請求項の数16　ＯＬ　（全 18 頁）

(21)出願番号　特願平6－113167

(22)出願日　平成６年(1994)５月26日

(71)出願人　000005832
松下電工株式会社
大阪府門真市大字門真1048番地

(72)発明者　吉村　一成
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72)発明者　中村　国法
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72)発明者　小牧　克次
大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

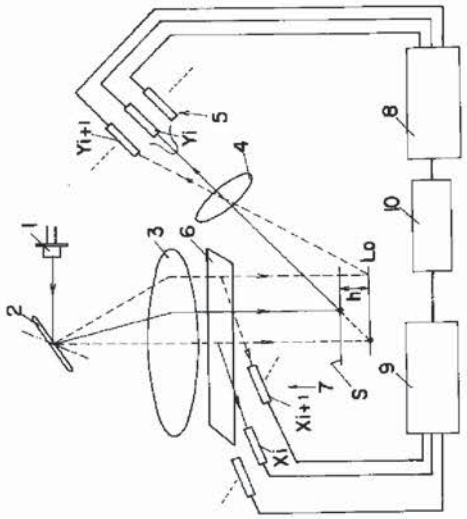
(74)代理人　弁理士　石田　長七　（外２名）

(54)【発明の名称】　形状検出方法およびその装置

(57)【要約】

【目的】基準平面からの変位を高分解能で計測する．

【構成】光源１から出射した投光ビームを振動ミラー２で偏向し、投光レンズ３を通して検査対象物Ｓに照射することにより、投光スポットを走査する。受光レンズ４は投光ビームの走査面内に光軸を有し、受光レンズ４の結像面上にはフォトセンサY_1，Y_2，……が配列される。また、投光ビームの位置はフォトセンサX_1，X_2，……により検出される。距離演算器１０は、検査対象物Ｓに対する結像スポットがいずれかのフォトセンサY_iを通過する時刻と、基準平面L_0についてそのフォトセンサY_iに対応付けられているフォトセンサX_iを投光ビームが通過する時刻との時間差を求め、この時間差を基準平面L_0に対する検査対象物Ｓの表面の変位に換算する。



【特許請求の範囲】

【請求項１】　スポット状の投光ビームを検査対象物の表面に照射して検査対象物の表面に投光スポットを形成するとともに投光スポットを一定方向に走査し、投光ビームの照射方向とは異なる方向の光軸を有する受光レンズを通して結像させた投光スポットの像である結像スポットの位置を多数個の光検出部を列設した検出器により検出し、光検出部の列設方向における幅寸法を同方向における結像スポットの幅以下に設定し、検査対象物に対する結像スポットがいずれかの光検出部を通過する時刻と、既定の基準平面について同じ光検出部に結像スポットを通過させる位置を投光ビームが通過する時刻との時間差を求め、この時間差を基準平面に対する検査対象物の表面の変位に換算することを特徴とする形状検出方法。

【請求項２】　検査対象物の表面で投光スポットを一定方向に走査する際に投光ビームにより形成される平面内に、受光レンズの光軸が含まれることを特徴とする請求項１記載の形状検出方法。

【請求項３】　検査対象物の表面で投光スポットを一定方向に走査する際に投光ビームにより形成される平面に直交し、かつ検査対象物の表面にほぼ直交する平面内に、受光レンズの光軸が含まれることを特徴とする請求項１記載の形状検出方法。

【請求項４】　投光ビームは光強度のピークを１つだけ持つ単峰形の強度分布を有し、検査対象物に対する結像スポットの光強度のピーク部分がいずれかの光検出部を通過する時刻と、既定の基準平面について同じ光検出部に結像スポットを通過させる位置を投光ビームの光強度のピーク部分が通過する時刻との時間差を求めることを特徴とする請求項１ないし請求項３のいずれかに記載の形状検出方法。

【請求項５】　光検出部を細長形に形成し、表面の一方向に筋目が形成された検査対象物について、受光レンズの結像平面上に形成された筋目の像の長手方向と光検出部の長手方向とを交差させることを特徴とする請求項１記載の形状検出方法。

【請求項６】　スポット状の投光ビームを発生する光源と、光源からの投光ビームを偏向走査して検査対象物の表面に投光スポットを形成するとともに投光スポットを一定方向に走査する偏向装置と、投光ビームの照射方向とは異なる方向の光軸を有する受光レンズを通して結像させた投光スポットの像である結像スポットの位置を検出する多数個の光検出部を列設し、かつ列設方向における幅寸法を同方向における結像スポットの幅以下に設定した第１の検出器と、偏向装置により走査された投光ビームを受光して投光ビームの走査位置を検出する多数個の光検出部を列設し、かつ列設方向における幅寸法を同方向における投光ビームの幅以下に設定した第２の検出器と、検査対象物に対する結像スポットが第１の検出器のいずれかの光検出部を通過する時刻と既定の基準平面について同じ光検出器に結像スポットを通過させるときの投光ビームの位置に設けた第２の検出器の光検出部を投光ビームが通過する時刻との時間差を求め、この時間差を基準平面に対する検査対象物の表面の変位に換算する距離演算器とを備えることを特徴とする形状検出装置。

【請求項７】　第１の検出器および第２の検出器は光検出部での受光強度に応じた出力を発生し、光源は投光ビームが光強度のピークを１つだけ持つ単峰形の強度分布を持つように構成され、距離演算器では検査対象物に対する結像スポットの光強度のピーク部分が第１の検出器のいずれかの光検出部を通過する時刻と、既定の基準平面について同じ光検出部に結像スポットの光強度のピーク部分を通過させるときの投光ビームの位置に設けた第２の検出器の光検出部を投光ビームの光強度のピーク部分が通過する時刻との時間差を求めることを特徴とする請求項６記載の形状検出装置。

【請求項８】　第１の検出器および第２の検出器は、それぞれ複数個のフォトセンサを個別の光検出部として備えることを特徴とする請求項６または請求項７記載の形状検出装置。

【請求項９】　第１の検出器および第２の検出器は、一直線上に配列された複数個のスリットをそれぞれ光検出部として備えるスリット板と、スリット板を通過した光の強度に応じた出力を発生するフォトセンサとから成ることを特徴とする請求項６または請求項７記載の形状検出装置。

【請求項１０】　検査対象物の表面で投光スポットを一定方向に走査する際に投光ビームにより形成される平面に直交し、かつ検査対象物の表面にほぼ直交する平面内に光軸が含まれるように受光レンズが配置され、第１の検出器のスリットの長手方向は、受光レンズの結像面内において投光スポットの走査に伴う結像スポットの移動方向と直交する方向に対して傾斜していることを特徴とする請求項９記載の形状検出装置。

【請求項１１】　フォトセンサは各スリット板に対して１個ずつ設けられて成ることを特徴とする請求項９記載の形状検出装置。

【請求項１２】　フォトセンサはスリット板の各スリットに一対一に対応して複数個設けられ、各フォトセンサの出力は個別に出力されることを特徴とする請求項９記載の形状検出装置。

【請求項１３】　フォトセンサはスリット板の各スリットに一対一に対応して複数個設けられ、各フォトセンサには配列方向において一定個数ごとに循環する識別子が付与されるとともに、同じ識別子が付与されたフォトセンサごとに一つの出力にまとめられて成ること特徴とする請求項９記載の形状検出装置。

【請求項１４】　受光レンズと第１の検出器との間に配

置され受光レンズを通る光線を分岐させるビームスプリッタと、ビームスプリッタにより分岐された光線の位置を検出する第３の検出器とを付加し、第３の検出器は、ビームスプリッタにより分岐された光線の結像スポットの移動方向に配列された複数個の受光面を有するフォトセンサを備え、受光面に一定個数ごとに循環する識別子を付与し、同じ識別子ごとに一つの出力が得られるようにフォトセンサを配置して成ることを特徴とする請求項１１記載の形状検出装置。

【請求項１５】　光源は低干渉性の投光ビームを出射することを特徴とする請求項６ないし請求項１４のいずれかに記載の形状検出装置。

【請求項１６】　第１の検出器に用いるスリット板のスリットの形状と投光ビームの断面形状とを一致させて成ることを特徴とする請求項６ないし請求項１４のいずれかに記載の形状検出装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【産業上の利用分野】本発明は、検査対象物の基準平面からの変位を計測する形状検出方法およびその装置に関するものである。

【０００２】

【従来の技術】従来より、検査対象物の表面にスポット状ないしスリット状の投光ビームを照射し、投光ビームにより検査対象物の表面に形成された光パターンの像を１次元ないし２次元の検出器により検出することによって、投光ビームの照射方向および検出器の上での光パターンの像の位置の関係から検査対象物の凹凸形状を計測する形状検出方法が知られている。

【０００３】たとえば、特開昭６２－２２８１０６号公報には、図２２に示すように、レーザ光源２１ａとシリンドリカルレンズ２１ｂとによりスリット状に形成した投光ビーム（以下、スリット光という）を、偏向装置としてのポリゴンミラー２２によってスリット光の長手方向と直交する方向に走査しながら検査対象物Ｓの表面に投射し、検査対象物Ｓの表面に形成された光パターンを、マトリクス状にフォトセンサを配列したフォトセンサアレイよりなる撮像装置２５の受光面に結像させる構成が記載されている。この構成では、定位置に設けたフォトセンサ２６をスリット光が通過する時点をスリット光の走査毎の基準位置とし、スリット光が基準位置を通過してからの経過時間によりスリット光の照射方向（偏向角）を認識するようになっている。したがって、上述のようにして求めた投光ビームの照射方向、撮像装置２５に形成された像の位置などの関係に基づいて三角測量法による演算を行なえば、撮像装置２５で像が形成されている各画素の視線と検査対象物Ｓの表面とが交差する部位について、既定の基準平面からの変位を計測することができるのである。

【０００４】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記構成では、既定の基準平面からの変位は、撮像装置２５において光パターンが結像している画素の位置に対応しているものであるから、光学系の配置と撮像装置２５における画素の配列ピッチとによって、基準平面からの変位の分解能が決定されることになる。ここに、撮像装置２５の画素の配列ピッチは一定であるから、視野を広くとれば分解能が低くなり、分解能を高くすれば視野が狭くなるのであって、視野と分解能とは相反した関係になっている。一般に画素の配列ピッチの小さい撮像装置２５は高価であり、従来構成では分解能または視野において制約を受けるものとなっている。

【０００５】本発明は上記問題点の解決を目的とするものであり、視野にかかわらず基準平面からの変位を高分解能で計測することができる形状検出方法およびその装置を提供しようとするものである。

【０００６】

【課題を解決するための手段】請求項１ないし請求項５の発明は上記目的を達成するための方法であって、請求項１の発明は、スポット状の投光ビームを検査対象物の表面に照射して検査対象物の表面に投光スポットを形成するとともに投光スポットを一定方向に走査し、投光ビームの照射方向とは異なる方向の光軸を有する受光レンズを通して結像させた投光スポットの像である結像スポットの位置を多数個の光検出部を列設した検出器により検出し、光検出部の列設方向における幅寸法を同方向における結像スポットの幅以下に設定し、検査対象物に対する結像スポットがいずれかの光検出部を通過する時刻と、既定の基準平面について同じ光検出部に結像スポットを通過させる位置を投光ビームが通過する時刻との時間差を求め、この時間差を基準平面に対する検査対象物の表面の変位に換算することを特徴とする。

【０００７】請求項２の発明は、請求項１の発明において、検査対象物の表面で投光スポットを一定方向に走査する際に投光ビームにより形成される平面内に、受光レンズの光軸が含まれることを特徴とする。請求項３の発明は、請求項１の発明において、検査対象物の表面で投光スポットを一定方向に走査する際に投光ビームにより形成される平面に直交し、かつ検査対象物の表面にほぼ直交する平面内に、受光レンズの光軸が含まれることを特徴とする。

【０００８】請求項４の発明では、請求項１ないし請求項３の発明において、投光ビームは光強度のピークを１つだけ持つ単峰形の強度分布を有し、検査対象物に対する結像スポットの光強度のピーク部分がいずれかの光検出部を通過する時刻と、既定の基準平面について同じ光検出部に結像スポットを通過させる位置を投光ビームの光強度のピーク部分が通過する時刻との時間差を求めることを特徴とする。

【０００９】請求項５の発明は、請求項１の発明におい

て、光検出部を細長形に形成し、表面の一方向に筋目が形成された検査対象物について、受光レンズの結像平面上に形成された筋目の像の長手方向と光検出部の長手方向とを交差させることを特徴とする。請求項６ないし請求項１６の発明は上記目的を達成するための装置であって、請求項６の発明は、スポット状の投光ビームを発生する光源と、光源からの投光ビームを偏向走査して検査対象物の表面に投光スポットを形成するとともに投光スポットを一定方向に走査する偏向装置と、投光ビームの照射方向とは異なる方向の光軸を有する受光レンズを通して結像させた投光スポットの像である結像スポットの位置を検出する多数個の光検出部を列設し、かつ列設方向における幅寸法を同方向における結像スポットの幅以下に設定した第１の検出器と、偏向装置により走査された投光ビームを受光して投光ビームの走査位置を検出する多数個の光検出部を列設し、かつ列設方向における幅寸法を同方向における投光ビームの幅以下に設定した第２の検出器と、検査対象物に対する結像スポットが第１の検出器のいずれかの光検出部を通過する時刻と既定の基準平面について同じ光検出器に結像スポットを通過させるときの投光ビームの位置に設けた第２の検出器の光検出部を投光ビームが通過する時刻との時間差を求め、この時間差を基準平面に対する検査対象物の表面の変位に換算する距離演算器とを備えることを特徴とする。

【００１０】請求項７の発明では、請求項６の発明において、第１の検出器および第２の検出器は光検出部での受光強度に応じた出力を発生し、光源は投光ビームが光強度のピークを１つだけ持つ単峰形の強度分布を持つように構成され、距離演算器では検査対象物に対する結像スポットの光強度のピーク部分が第１の検出器のいずれかの光検出部を通過する時刻と、既定の基準平面について同じ光検出部に結像スポットの光強度のピーク部分を通過させるときの投光ビームの位置に設けた第２の検出器の光検出部を投光ビームの光強度のピーク部分が通過する時刻との時間差を求めることを特徴とする。

【００１１】請求項８の発明では、請求項６または請求項７の発明において、第１の検出器および第２の検出器は、それぞれ複数個のフォトセンサを個別の光検出部として備えることを特徴とする。請求項９の発明では、請求項６または請求項７の発明において、第１の検出器および第２の検出器は、一直線上に配列された複数個のスリットをそれぞれ光検出部として備えるスリット板と、スリット板を通過した光の強度に応じた出力を発生するフォトセンサとから成ることを特徴とする。

【００１２】請求項１０の発明では、請求項９の発明において、検査対象物の表面で投光スポットを一定方向に走査する際に投光ビームにより形成される平面に直交し、かつ検査対象物の表面にほぼ直交する平面内に光軸が含まれるように受光レンズが配置され、第１の検出器のスリットの長手方向は、受光レンズの結像面内において投光スポットの走査に伴う結像スポットの移動方向と直交する方向に対して傾斜していることを特徴とする。

【００１３】請求項１１の発明では、請求項９の発明において、フォトセンサは各スリット板に対して１個ずつ設けられて成ることを特徴とする。請求項１２の発明では、請求項９の発明において、フォトセンサはスリット板の各スリットに一対一に対応して複数個設けられ、各フォトセンサの出力は個別に出力されることを特徴とする。

【００１４】請求項１３の発明では、請求項９の発明において、フォトセンサはスリット板の各スリットに一対一に対応して複数個設けられ、各フォトセンサには配列方向において一定個数ごとに循環する識別子が付与されるとともに、同じ識別子が付与されたフォトセンサごとに一つの出力にまとめられて成ること特徴とする。請求項１４の発明は、請求項１１の発明において、受光レンズと第１の検出器との間に配置され受光レンズを通る光線を分岐させるビームスプリッタと、ビームスプリッタにより分岐された光線の位置を検出する第３の検出器とを付加し、第３の検出器は、ビームスプリッタにより分岐された光線の結像スポットの移動方向に配列された複数個の受光面を有するフォトセンサを備え、受光面に一定個数ごとに循環する識別子を付与し、同じ識別子ごとに一つの出力が得られるようにフォトセンサを配置して成ることを特徴とする。

【００１５】請求項１５の発明では、請求項６ないし請求項１４の発明において、光源は低干渉性の投光ビームを出射することを特徴とする。請求項１６の発明は、請求項６ないし請求項１４の発明において、第１の検出器に用いるスリット板のスリットの形状と投光ビームの断面形状とを一致させて成ることを特徴とする。

【００１６】

【作用】請求項１の発明の方法によれば、検査対象物の表面で投光スポットを走査するとともに、多数の光検出部を列設した検出器によって結像スポットの位置を検出し、検査対象物に対する結像スポットがいずれかの光検出部を通過する時刻と、既定の基準平面について同じ光検出部に結像スポットを通過させる位置を投光ビームが通過する時刻との時間差を求め、この時間差を基準平面に対する検査対象物の表面の変位に換算することによって、基準平面に対する検査対象物の表面の変位を検出する分解能は、時間の測定精度により決定されることになり、従来のように検出器の画素ピッチに依存せず、同程度の画素ピッチを有する検出器を用いるとすれば、従来構成に比較して検査対象物の表面の変位に対する分解能を大幅に向上させることができる。すなわち、検出器の画素ピッチに依存することなく検査対象物の表面の変位について高い分解能を得ることができるから、視野も広くとることができる。さらに、結像スポットよりも光検出部の幅を小さくしているから、結像スポットが通過す

る時刻を正確に検出することができ、このことによっても変位の検出精度が高くなる。

【００１７】請求項２の発明の方法によれば、検査対象物の表面で投光スポットを一定方向に走査する際に投光ビームにより形成される平面内に、受光レンズの光軸が含まれるから、受光レンズの光軸を検査対象物の表面に対して傾けておけば、受光レンズの倍率が等倍（受光レンズは一般に収束レンズであるから倍率は等倍よりも小さい）であっても投光スポットの走査幅に対する受光レンズの結像面上での結像スポットの移動幅を小さくすることができ、結果的に、投光スポットの走査に伴う結像スポットの移動方向における長さが短い検出器を用いながらも広い視野を得ることができる。

【００１８】請求項３の発明の方法によれば、投光スポットを一定方向に走査する際に投光ビームにより形成される平面に直交し、かつ検査対象物の表面にほぼ直交する平面内に、受光レンズの光軸が含まれるから、投光スポットの走査に伴う結像スポットの移動方向において、投光スポットの移動距離と結像スポットの移動距離とが比例関係になる。したがって、投光スポットの位置を一定の距離間隔ないし角度間隔で検出するものとすれば、結像スポットを検出する光検出部を等間隔に配置することが可能になり、結像スポットの位置を検出する検出器の構成が簡単になる。

【００１９】請求項４の発明の方法は、検出精度をさらに高める方法であって、投光ビームの光強度の分布を単峰性分布とし、かつ結像スポットの光強度のピーク部分が通過する時刻を求めるから、結像スポットが光検出部を通過する時刻を一層精度よく検出することができ、検査対象物の変位についての分解能が一層向上するのである。

【００２０】請求項５の発明の方法は、表面の一方向に筋目が形成された検査対象物に対し有効な方法であって、光検出部を細長形に形成し、受光レンズの結像平面上に形成された筋目の像の長手方向と光検出部の長手方向とを交差させるから、光検出部には複数本の筋目の像に交差することになる。この場合、光検出部において結像スポットが形成されている部位から投光スポットへの視線と投光ビームとの間に正反射条件が成立している面が筋目の一部に存在すると考えられるから、光検出部への入射光の一部が正反射光となって入射光量が増加することになる。すなわち、検出器への結像スポットの入射強度が大きくなって周囲光などの雑音成分との比を大きくとることができ、誤測定が少なくなるのである。

【００２１】請求項６の発明の装置は、請求項１の方法に対応する装置であって、光源から発生した投光ビームを偏向装置で走査し、かつ投光ビームと結像スポットとの位置をそれぞれ検出器で検出し、投光ビームが基準走査位置を通過する時刻と結像スポットが基準位置を通過する時刻との時間差を距離演算器において基準平面からの変位に換算するのである。ここに、投光ビームの位置と結像スポットとの位置をともに多数個の光検出部を列設した検出器で検出しているが、検査対象物の変位の測定精度は、投光ビームおよび結像スポットの通過時刻の検出精度および両時刻の時間差の測定精度により決まり、光検出部の配列ピッチには依存しないのであって、現状の技術レベルでも従来構成に比較して測定精度の大幅な向上が期待できるのである。

【００２２】請求項７の発明の装置によれば、投光ビームの光強度の分布を単峰性分布とし、かつ各検出器において光強度のピーク部分が光検出部を通過する時刻を検出するから、時刻の検出精度が向上し、結果的に検査対象物の変位の測定精度の向上につながるのである。請求項８ないし請求項１３の発明の装置は、検出器の望ましい実施態様であって、請求項８の発明の装置では、複数個のフォトセンサを個別の光検出部として備えた検出器を構成している。このような検出器を用いれば、各フォトセンサの出力を個別に識別することで、検査対象物の表面の変位の測定範囲を広くとることができる。

【００２３】請求項９の発明の装置によれば、フォトセンサの前方にスリット板を配置しているから、スリット板に形成されるスリットの幅を調節すれば光検出部の幅を調節することができ、投光ビームや結像スポットの通過時刻の検出精度を調節することが可能になる。すなわち、投光ビームや結像スポットの移動方向におけるスリットの幅を狭くすることで光検出部の幅を狭くすることができ、通過時刻の検出精度を高めることができる。スリットの幅は現状の技術レベルでもフォトセンサの幅よりも大幅に小さくすることが可能であって、検査対象物の変位の測定精度を高めるために、光検出部の幅を小さくする技術として有効である。

【００２４】請求項１０の発明の装置は、投光ビームの走査により形成される平面に直交し、かつ検査対象物の表面に略直交する平面内に受光レンズの光軸が含まれる場合の望ましい実施態様であって、第１の検出器のスリットの長手方向を受光レンズの結像面内で結像スポットの移動方向に直交する方向に対して傾けているから、実施例として後述するように、投光系と受光系とを上記関係に設定したときに、検査対象物の表面に変位があっても幅の狭いスリット上に結像スポットを位置させることが可能になる。

【００２５】請求項１１の発明の装置では、フォトセンサが各スリット板に対して１個ずつ設けられているから、フォトセンサの個数が少なく構成が簡単になる。請求項１２の発明の装置では、フォトセンサがスリット板の各スリットに一対一に対応するように複数個設けられ、各フォトセンサの出力は個別に識別されるので、スリットのピッチに対応する変位よりも大きな変位の計測が可能であって、変位の測定域を広くすることができるのである。

【００２６】請求項１３の発明の装置では、フォトセンサがスリット板の各スリットに一対一に対応するように複数個設けられ、フォトセンサには配列方向において一定個数ごとに循環する識別子が付与されるとともに、同じ識別子が付与されたフォトセンサごとに一つの出力にまとめられているから、すべてのフォトセンサを個別に識別する場合に比較するとフォトセンサの出力数が低減してフォトセンサの出力を処理する回路の構成が簡単になり、しかもスリットのピッチに対応する変位よりも大きな変位を計測することが可能である。

【００２７】請求項１４の発明の装置は、第１の検出器についてフォトセンサを１個だけ用いた構成を採用している場合において、第３の検出器によってスリットのピッチよりも長い範囲で位置の識別を可能としているから、比較的大きな変位まで計測が可能になるのである。請求項１５の発明の装置では、光源が低干渉性の投光ビームを出射するから、結像スポットに干渉によるスペックルパターンが形成されることがなく、結像スポットの受光強度を精度よく検出することができ、結果的に計測精度が高くなるのである。

【００２８】請求項１６の発明では、第１の検出器に用いるスリット板のスリットの形状と投光ビームの断面形状とを一致させているから、光源から出射された光を第１の検出器に無駄なく入射させることができる。すなわち、第１の検出器への光の入射量が多くなり、周囲光などの雑音成分との識別が容易になるのである。

【００２９】

【実施例】

（実施例１）本実施例では、図１に示すように、レーザ光源のようなスポット状の投光ビームを形成する光源１を備え、光源１から出射した光を偏向装置としての振動ミラー２により偏向した後、投光レンズ３を通して検査対象物Ｓに照射するように投光系を構成している。ここに、投光ビームは中心部の光強度がもっとも大きく、周辺ほど光強度が小さくなるように強度分布が単峰形に設定されている（たとえば、ガウス曲線や三角波形状等となるように強度分布が設定される）。このような強度分布は投光レンズ３で設定したり別途に透過率分布を制御したフィルタを設けることで実現される。

【００３０】図１に示した構成では、図２に示すように、光源１としてレーザ光源を用い、投光レンズ３で検査対象物Ｓの表面に投光ビームを収束させることによって強度分布がガウス曲線状となるように制御している。光源としてレーザ光源以外のものを用いる場合でも、図３に示すように、遮光板１３に形成したピンホールを光が通過するようにし、コリメートレンズ１４で平行光線束とした後に振動ミラー２で偏向し、さらに投光レンズ３で検査対象物Ｓの表面に投光ビームを収束させるようにすれば、ガウス曲線状の強度分布を得ることができる。

【００３１】振動ミラー２は、光源１からの投光ビームが投光レンズ３の光軸を通る位置を中心として一平面内で走査されるように往復振動する。投光レンズ３は凸レンズであって振動ミラー２への光源１からの投光ビームの照射位置に像焦点が一致するように配置される。すなわち、振動ミラー２と投光レンズ３とはテレセントリック光学系を構成しており、振動ミラー２で走査された投光ビームは振動ミラー２に対する光源１からの投光ビームの照射位置を中心として放射状に広がるが、投光レンズ３を通過することによって振動ミラー２の位置にかかわらず投光レンズ３の光軸に平行な投光ビームが得られるようになっている。したがって、検査対象物Ｓの表面が平面であれば、検査対象物Ｓの表面上の位置にかかわらず一定角度で投光ビームが照射されることになる。そこで本実施例では、検査対象物Ｓの表面に対して投光レンズ３の光軸を直交させることによって、投光ビームを検査対象物Ｓの表面に対して直交させ、検査対象物Ｓの表面に凹凸があっても凹凸による影が生じないように投光ビームを照射している。

【００３２】検査対象物Ｓの表面での反射光（拡散反射光）の反射光量は、投光ビームの照射によって形成された投光スポット内での検査対象物Ｓの表面の角度や反射率等によって変化し、この反射光は収束レンズである受光レンズ４を通して１次元の検出器５により受光される。受光レンズ４は、投光ビームにより検査対象物Ｓの表面に形成されるスポット像を、検出器５の受光面に結像させて検出器５の受光面に結像スポットを形成する。また、検出器５は、受光強度に応じた値の出力を発生する多数個のフォトセンサY_1，Y_2，……の受光面を一直線上に配列した構成を有し、表面が投光レンズ３から一定距離の平面である検査対象物Ｓの上で投光ビームを走査したときに結像スポットが移動する方向をフォトセンサY_1，Y_2，……の受光面の配列方向に一致させている。すなわち、検査対象物Ｓの表面に投射される投光ビームの走査平面内に、受光レンズ４の光軸が含まれるとともにフォトセンサY_1，Y_2，……の受光面が配列されるのである。フォトセンサY_1，Y_2，……としてはフォトダイオード、フォトマル等を用いており、結像スポットが形成される位置に直接配置したり、一端面がフォトダイオードやフォトマルに光結合された多数本の光ファイバの他端面を受光面として結像スポットが形成される位置で一直線上に配列したりする。また、各フォトセンサY_1，Y_2，……の受光面の幅寸法は、結像スポットの直径よりも小さくなるように設定されている。フォトセンサY_1，Y_2，……の受光面の配列ピッチは結像スポットの直径よりも大きく設定され、かつ投光ビームの走査方向において要求される分解能に応じて設定される。

【００３３】ここにおいて、結像スポットの直径よりも受光面の幅寸法を小さくしていることにより、狭い範囲

で微視的に見れば検査対象物Ｓの表面角度や反射率は一定になり、検査対象物Ｓの同一部分の表面からの反射光量は、検査対象物Ｓの表面の角度の影響や反射率を、投光ビームの光量に乗じた光量になり、結像スポットが各フォトセンサY_1，Y_2，……を通過する際の強度分布は、投光ビームの強度分布のまま維持される。このため、受光側での強度分布のピーク部分が通過する時間が、投光ビームの強度分布のピーク部分が通過する時間と同じになる。

【００３４】ところで、検査対象物Ｓの表面の３次元形状を計測するには、検査対象物Ｓの表面に対する投光ビームの照射位置を知る必要がある。そこで、本実施例では、投光レンズ３と検査対象物Ｓとの間にハーフミラーよりなるビームスプリッタ６を配置することによって投光ビームの一部を分岐し、分岐された投光ビームを検出器７に導くようになっている。検出器７は、検出器５と同様に受光強度に応じた出力を発生する多数個のフォトセンサX_1，X_2，……の受光面を一直線上に配列した構成を有している。受光面の配列方向は投光ビームの走査時に投光ビームが移動する方向に一致させてあり、ビームスプリッタ６の反射面が投光ビームを含む平面に対して４５°の角度で交差し、かつ交線が投光レンズ３の光軸に直交するものとすれば、受光面は上記交線と平行な一直線上に配列されることになる。フォトセンサX_1，X_2，……は、フォトダイオードやフォトマル等を用いて構成され、ビームスプリッタ６で分岐された投光ビームを直接ないし光ファイバを通して受光する。フォトセンサX_1，X_2，……の配列ピッチは、検査対象物Ｓとして投光ビームに直交する基準平面L_0を設定して基準平面L_0に照射する投光ビームを走査したときに、検出器５を構成する各フォトセンサY_1，Y_2，……の受光強度分布と検出器７を構成する各フォトセンサX_1，X_2，……の受光強度分布とが一致するように設定される。換言すれば、フォトセンサX_1，X_2，……とフォトセンサY_1，Y_2，……とは同数個設けられ、基準平面L_0に対して投光ビームが走査されているときには、受光強度がピークになるフォトセンサX_i，Y_iが一対一に対応するのである（図１ではフォトセンサX_iに対応する破線の投光ビームによって基準平面L_0に形成される投光スポットが、フォトセンサY_iに結像された状態として示してある）。

【００３５】いま、検出器５での受光強度に対応した信号を位置信号、検出器７での受光強度に対応した信号をタイミング信号と呼ぶことにすれば、基準平面L_0においては、図４に示すように、検出器５と検出器７との対応する各フォトセンサY_i，X_iについて、位置信号とタイミング信号との大きさがピークになるタイミングは一致することになる。すなわち、投光ビームの走査を開始した後にフォトセンサX_iから出力される位置信号がピークになるまでの時間をｔとすれば、投光ビームの走査開始からフォトセンサY_iから出力される位置信号がピークになるまでの時間もｔになる。また、検出器７の隣合うフォトセンサX_i，X_{i+1}について位置信号がピークになる時間間隔はＴになるように振動ミラー２の往復周期やフォトセンサX_1，X_2，……の配列ピッチが設定されている。

【００３６】上述のような構成において、検査対象物Ｓが基準平面L_0から投光レンズ３に向かって距離ｈだけ近づいたとし、投光ビームの走査方向が図１の右向きであったとする。基準平面L_0では、検出器７のフォトセンサX_iと検出器５のフォトセンサY_iとで位置信号およびタイミング信号がピークになるタイミングは一致するのであるが、距離ｈだけ変位したことによって、図４（ｂ）に破線で示すように、フォトセンサY_iで位置信号がピークになるタイミングは、フォトセンサX_iでタイミング信号がピークになるタイミングとは時間差Δｔだけ遅れることになる。すなわち、時間差Δｔの遅れは検査対象物Ｓが基準平面L_0に対して距離ｈだけ変位したことに起因するから、この時間差Δｔに基づいて距離ｈを求めることができるのである。しかるに、隣合うフォトセンサX_i，X_{i+1}について位置信号がピークになる時間間隔Ｔよりも時間差Δｔが小さい範囲であれば、検査対象物Ｓの表面について基準平面L_0から変位した距離ｈを求めることができるのである。

【００３７】位置信号およびタイミング信号の信号値がピークになるタイミングは、各検出器５，７に対応したピーク時刻検出器８，９により検出され、距離演算器１０ではピーク時刻の時間差Δｔに基づいて基準平面L_0から変位した距離ｈが求められる。このような構成を採用していることによって、時間差Δｔの検出精度を高めれば距離ｈを検出する分解能を高めることができるのであり、受光側に設けた受光光学系の倍率と受光素子の分解能とのみによって分解能が決定される従来構成のものと比較すれば、視野と分解能との相反する要求を満たすことができるのである。ここに、位置信号やタイミング信号がピークになるタイミングの検出精度は、投光ビームのビーム径とフォトセンサX_i，Y_iの受光面の幅との相対関係により決定されるのであり、ビーム径を小さくしフォトセンサX_i，Y_iの受光面の幅を小さくするほど検出精度が高くなる。さらに、投光ビームの強度分布を上述のように単峰形に設定してあるから、投光ビームの中心が最大強度になるように強度分布を設定しておけば、フォトセンサX_i，Y_iの出力である位置信号やタイミング信号がピークとなるのは、受光したビームの強度のピーク位置が各フォトセンサX_i，Y_iの中心に一致したときになる。したがって、投光ビームの強度分布を単峰形とすることで、分解能を一層高めることができるのである。図１におけるフォトセンサY_iの前方に結像スポットの強度分布を例示してある。

【００３８】ところで、上記構成では投光レンズ３の光

軸と受光レンズ４の光軸とが同一平面上に配置されているから、検査対象物Ｓの表面の変位に対して結像スポットが移動する方向は投光ビームの走査時に結像スポットが移動する方向に一致するのであり、検出器５において結像スポットの移動方向に直交する方向の幅寸法を小さくすることができるのである。その結果、投光ビームの２次反射によって複数個の結像スポットが形成されるような場合であっても、検出器には２次反射光がほとんど入射しなくなり、誤検出の可能性を低減できるのである。

【００３９】なお、上記構成では、振動ミラー２と投光レンズ３とによりテレセントリック光学系を構成しているが、上記説明より明らかなように、検査対象物Ｓへの投光ビームを検出器７の各フォトセンサX_1，X_2，……で受光するタイミングと、検出器５の各フォトセンサY_1，Y_2，……で受光するタイミングとを一致させればよいのであり、必ずしもテレセントリック光学系を構成する必要はない。

【００４０】（実施例２）実施例１では、投光スポットの強度分布をガウス曲線状としていたが、本実施例では、鋸波形状に設定した例を示す。図５に示すように、光源１にはレーザ光源以外のものを用いており、フィルタ１５を通すことによって、鋸波形状の強度分布を得た後に振動ミラー２に入射させ、投光レンズ３で検査対象物Ｓの表面に収束させるようにしてある。すなわち、フィルタ１５としては、透過率の分布が図６に示すように設定されたものを用いているのであって、中央線より下方では遮光し、中央線付近で透過率が略１００％で、中央線よりも上方では上に向かって透過率が定率で減少するように形成されている（図６における一点鎖線は透過率を示す）。

【００４１】本実施例は、投光スポットの強度分布が異なる点を除けば、実施例１と同様に動作する。すなわち、図７（ａ）に示すように、投光ビームの走査に伴って検出器７の各フォトセンサX_i，X_{i+1}，……から出力されるタイミング信号は時間Ｔの間隔で出力がピークになる。一方、検出器５のフォトセンサY_iから出力される位置信号は、図７（ｂ）に示すように、基準平面L_0に対する変位ｈによって基準平面L_0に対してピークとなる時刻（基準平面L_0に対してフォトセンサY_iから出力される位置信号は実線のように変化する）に対して時間差Δｔだけずれてピークになる（このとき位置信号は破線のように変化する）。したがって、時間差Δｔを距離演算器１０によって変位ｈに換算すれば、変位ｈを求めることができるのである。他の構成および動作は実施例１と同様である。

【００４２】ところで、本実施例では、投光スポットを鋸波形状の強度分布に設定しているが、三角波形状に設定する場合には、フィルタ１５として透過率を図８に示すような分布に設定したものを用いればよい。このフィルタ１５は、円形に形成されており、中心部の透過率が略１００％で周部に向かって透過率が定率で減少するように形成されている（図８における一点鎖線は透過率を示す）。

【００４３】（実施例３）実施例１では、投光レンズ３の光軸と検査対象物Ｓの表面に形成される走査線とを含む面内に光軸が含まれるように受光レンズ４を配置していたが、本実施例では、図９に示すように、投光レンズ３の光軸と走査線とを含む平面に対して投光レンズ３の光軸と受光レンズ４の光軸とを含む平面が直交するように受光レンズ４を配置した例を示す。また、検出器５のフォトセンサY_1，Y_2，……の受光面は細長い矩形状であって、受光レンズ４の光軸に直交する面内で、投光ビームの走査によって結像スポットが移動する方向すなわち走査線に平行な方向に対して、所定角度だけ傾いた方向に配列されている。いま、検出器５を構成するフォトセンサY_1，Y_2，……の受光面が走査線と平行に配列されているものとし、検査対象物Ｓについて走査線上で基準平面L_0よりも投光レンズ３に対して距離ｈだけ近い部位があると、そのときの結像スポットの位置はフォトセンサY_1，Y_2，……の受光面の配列方向に直交する方向に変位することになる。しかるに、本実施例ではフォトセンサY_1，Y_2，……の配列方向を走査線と平行な方向に対して所定角度だけ傾かせているから、距離ｈの変位に対して実施例１と同様に、フォトセンサY_1，Y_2，……に結像スポットが形成されるタイミングが基準平面L_0に投光ビームを照射した場合とは異なるタイミングになる。すなわち、図９における基準平面L_0の点P_0に投光ビームが照射されると検出器５の上での結像スポットの位置は点P_1になるが、距離ｈの変位によって投光ビームは点R_0に照射され、結像スポットは点R_1に形成されることになる。したがって、点P_1に結像スポットが形成されるときに位置信号をピークにするフォトセンサY_iは、距離ｈの変位があるときには、投光ビームが点Q_0に照射されて結像スポットが点Q_1に形成されたときに位置信号をピークにするのである。要するに、検出器７の各フォトセンサX_1，X_2，……と検出器５の各フォトセンサY_1，Y_2，……とは、図４で示したように、基準平面L_0の上での投光ビームの走査に対しては同じタイミングで受光強度がピークになるが、距離ｈの変位に対しては時間差Δｔだけタイミングにずれが生じ、この時間差Δｔに基づいて距離ｈを求めることができるのである。

【００４４】本実施例では、フォトセンサY_1，Y_2，……の配列方向に対して結像スポットの位置が変位するから、フォトセンサY_1，Y_2，……の受光面は、距離ｈの変位により結像スポットの位置がずれても受光できる程度に幅寸法を広く設定することが必要であるが、受光面の配列ピッチについては等間隔でよく、検出器５を容易に実現することができる。他の構成および動作につ

いては、実施例１と同様である。

【００４５】（実施例４）本実施例は、検査対象物Ｓの表面に多数の筋目が存在する場合についての例であって、実施例１と同様の構成を有しているが、図１０に示すように、検出器５におけるフォトセンサY_1，Y_2，……を細長形に形成し、かつ受光レンズ４の結像平面に形成される筋目の像に対して、各フォトセンサY_1，Y_2，……の長手方向を所定角度φだけ傾かせたものである。

【００４６】いま、検査対象物Ｓが金属の粗面のように微視的に見てほぼ一方向に筋目の形成された表面を有しているものとする。このような検査対象物Ｓでは、図１１に示すように、投光レンズ３と受光レンズ４との光軸を含む平面を筋目に略直交させたとすると、フォトセンサY_1，Y_2，……から受光レンズ４の中心を通して見た視線と投光ビームとの間で、各筋目に形成された微細な斜面の一部では正反射条件が成立する。そこで、上述のようにフォトセンサY_1，Y_2，……を傾けて配置し、受光レンズ４の結像平面上で複数本の筋目の像がフォトセンサY_1，Y_2，……に入射するようにしておくことで、フォトセンサY_1，Y_2，……で受光する結像スポットには正反射成分も含まれることになり、結果的に受光光量が増加することになる。このように、フォトセンサY_1，Y_2，……への入射光量が増加すれば、周囲光のような雑音成分と結像スポットとの識別が容易になり、検出精度の向上につながるのである。

【００４７】また、本実施例では、検出器５の各フォトセンサY_1，Y_2，……の受光面を細長い矩形状に形成するとともに筋目の方向に対して所定角度φだけ傾けて配置しているのであって、投光ビームの断面形状もフォトセンサY_1，Y_2，……の方向に長い楕円形とすることによって、複数本の筋目に跨がる結像スポットを得やすくし、かつ複数本の筋目の像を同時に１つのフォトセンサY_1，Y_2，……で受光することにより、筋目の像による光量変化が相殺されるようにしてある。なお、ここでの筋目の幅は、投光スポットの幅ないしフォトセンサY_1，Y_2，……の幅の５０分の１程度のものであり、筋目による変位そのものは検出されないようにしてある。また、フォトセンサY_1，Y_2，……の受光面の形状や投光ビームの断面形状については他の形状を採用してもよい。たとえば、図１２に示すように、フォトセンサY_1，Y_2，……の受光面の形状が細長い矩形状であるときに、投光ビームの断面形状も細長い矩形状として結像スポットの形状とフォトセンサY_1，Y_2，……の受光面の形状とを一致させれば、形状が不一致である場合に比較すると、フォトセンサY_1，Y_2，……での受光光量を大きくするという目的と変位の検出精度を高くするという目的とを同時に満たすことができるのである。他の構成および動作は実施例１と同様である。

【００４８】（実施例５）上述した各実施例では、検出器５，７をそれぞれ独立した複数個のフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……を配列して構成していたが、本実施例では、図１３に示すように、各検出器５，７が多数のスリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……を有したスリット板５ａ，７ａと、各スリット板５ａ，７ａを通過した光を受光する１個のフォトセンサ５ｂ，７ｂとにより構成された例を示す。検出器５，７としてこの構成を採用すれば、上記各実施例の検出器５，７のように多数のフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……を用いるものに比較して構成要素が少なく簡単な構造になり、また電気的接続も容易になるのである。各スリット板５ａ，７ｂにおけるスリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……は、それぞれ細長い形状に形成されるとともに互いに平行に形成されている。また、投光レンズ３の光軸と受光レンズ４の光軸とを含む面は、投光ビームの走査方向を含むように位置関係が設定されている。この位置関係は実施例１の構成に対応するものである。

【００４９】本実施例の構成では、各スリット板５ａ，７ａのスリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……の中心付近を光線が通過するときと、スリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……の端付近と光線が通過するときとでは、フォトセンサ５ｂ，７ｂでの受光光量に変化が生じるから、位置信号およびタイミング信号として実施例２と同様の出力を得ることができるのである。他の構成および動作については実施例１と同様である。

【００５０】（実施例６）本実施例では、図１４に示すように、検出器５，７を、実施例５と同様に、スリット板５ａ，７ａと、１個のフォトセンサ５ｂ，７ｂとにより構成した例を示す。ただし、投光レンズ３の光軸と受光レンズ４の光軸とを含む面は、投光ビームの走査方向に対して直交するように位置関係が設定されている。この位置関係は、実施例２の構成に対応するものであり、検出器５におけるスリットJ_1，J_2，……は、結像スポットの移動方向に対して所定角度で傾けてある。

【００５１】フォトセンサ５ｂ，７ｂの出力はそれぞれ実施例２の位置信号やタイミング信号と同様に扱うことができるから、実施例２と同様の動作によって検査対象物Ｓの変位を求めることができるのである。他の構成および動作は実施例２と同様である。

（実施例７）本実施例は、図１５に示すように、検出器５，７が、スリット板５ａ，７ａと、スリット板５ａ，７ａの各スリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……に対応した個別のフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……とで構成された例を示す。投光レンズ３の光軸と受光レンズ４の光軸とを含む面は、投光ビームの走査方向を含むように位置関係が設定されており、実施例１と同様の配置になっている。すなわち、実施例１の構成に対して、フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の前方にスリット板５ａ，７ｂを配置し

た構成になる。また、各フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の出力は、個別に識別できるように識別子が与えられている。

【００５２】上述のように、スリット板５ａ，７ａをフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の前方に配置することによって、各フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の受光面積を絞ることができ、結果的に位置信号やタイミング信号のピークの検出時点を急峻にして変位の検出精度を高めることができるのである。すなわち、スリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……の配列方向におけるスリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……の開口幅を、対応するフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の受光面の幅よりも小さく設定しておくことによって、投光ビームや結像スポットの最大強度付近でのみ受光面に光が入射するから、ピーク位置の検出精度が高くなるのである。ここに、スリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……の中心位置と対応するフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の受光面の中心位置とは一致させておくのが望ましい。

【００５３】また、上記各実施例のように検出器５，７において各フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……を識別しない場合には、検査対象物Ｓの基準平面L_0からの変位が、フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……ないしスリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……のピッチに対応する範囲内であれば測定が可能であるが、ピッチに対応する範囲を越える変位は測定することができないものである。そこで、本実施例では、各フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……に識別子を設定して、各フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の出力を個別に識別できるようにしているのであって、ピッチに対応する範囲を越える変位であっても識別が可能になるのである。すなわち、検出器５，７の対応するフォトセンサX_i，Y_iでのピークを検出する時間差Δｔを測定することが可能になり、検出器５，７の全体として位置信号やタイミング信号のピークの時間差Δｔを検出する構成に比較すると、変位の測定範囲が広範囲になるのである。さらに、実施例５の構成に比較すれば、各スリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……を通った光を個別のフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……で受光するから、同じ強度の光についてスリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……の位置によるフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……での受光強度の変化がなく、結果的に変位の検出精度が高くなるのである。他の構成および動作は実施例１と同様である。

【００５４】（実施例８）本実施例は、図１６に示すように、実施例７に示した検出器５，７を、実施例２における検出器５，７に置き換えたものである。すなわち、実施例２における各フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の受光面に対応するスリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……を有したスリット板５ａ，７ａをフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の前方に配置した構成を有している。検出器５に対応するスリット板５ａのスリットJ_1，J_2，……は、結像スポットの移動方向に対して所定角度で傾斜する。ここにおいて、スリットJ_1，J_2，……は細長い形状に形成されているが、フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の受光面については円形のものを用いている。また、実施例７と同様に各フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……に識別子を付与していることにより、変位の測定範囲が広範囲になっている。他の構成および動作については実施例２と同様である。

【００５５】（実施例９）実施例７の構成では、検出器５，７において、スリット板５ａ，７ａに設けたスリットI_1，I_2，……、J_1，J_2，……の個数と同数個のフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……を設け、かつ各フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の出力を個別に識別するものであったから、ピーク時刻検出器８，９に対して各フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の出力を個別に接続することになり、結線数が非常に多いという問題がある。

【００５６】そこで、本実施例では、図１７に示すように、フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の配列方向における一定個数ごとに同じ識別子を与え、同じ識別子を与えたフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の出力を一つにまとめてピーク時刻検出器８，９に接続することで結線数を削減してある。たとえば、識別子として０～７までの８個の識別子を循環的に付与し、同じ識別子同士のフォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……を並列に接続するのである。この構成によれば、フォトセンサX_1，X_2，……、Y_1，Y_2，……の配列ピッチの８倍の寸法に対応する変位までは識別することが可能であり、実施例７に比較すれば変位の測定範囲は狭くなるが、実施例１に比較すれば測定範囲が８倍になるのである。ここに、識別子の種類を８個としているが、変位の測定範囲に応じて識別子の個数を適宜変更してよいのはもちろんのことである。他の構成および動作は実施例７と同様である。なお、本実施例で示した検出器５，７は実施例８に適用してもよいのはいうまでもない。

【００５７】（実施例１０）本実施例は、図１８に示すように、実施例５の構成において、受光レンズ４とスリット板５ａとの間に、ハーフミラーよりなるビームスプリッタ１１を配置し、受光レンズ４を通過した光をビームスプリッタ１１により分岐するとともに、別に設けた検出器１２に導入するようにしてある。ここに、検出器１２は、ビームスプリッタ１１で分岐された光の結像スポットの移動方向に一面を配列した多数本の光ファイバ

１２ａと、光ファイバ１２ａの他面に結合されたフォトセンサ群１２ｂとにより構成されている。この検出器１２では、図１９に示すように、光ファイバ１２ａに対して一面が配列されている方向で循環する識別子を付与し、同じ識別子を付与した光ファイバ１２ａについては他端面を結束して一つのフォトセンサα_0～α_7に光結合してある。すなわち、実施例９と同様に、０～７の８個の識別子を光ファイバ１２ａに付与しているものとすれば、識別子の個数と同数の８個のフォトセンサα_0～α_7をフォトセンサ群１２ｂとして設け、各識別子の光ファイバ１２ａを対応するフォトセンサα_0～α_7に対して光結合するのである。また、各光ファイバ１２ａの配列ピッチはスリット板５ａに設けたスリットのピッチに一対一に対応させてある。

【００５８】上記構成では、光ファイバ１２ａの受光側の一端面の配列ピッチの８倍に対応する変位までは識別することが可能であり、しかも、識別子ごとに同じフォトセンサα_0～α_7でまとめて受光するから、実施例１の検出器５に比較してフォトセンサα_0～α_7の個数を大幅に削減することができるのである。また、光ファイバー１２ａに代えてフォトセンサY_1，Y_2，……を配列し、各フォトセンサY_1，Y_2，……に循環的な識別子を付与するとともに、同じ識別子を有するフォトセンサY_1，Y_2，……の出力同士を接続しても、上記実施例と同様の出力を得ることができる。他の構成および動作は実施例９と同様である。

【００５９】（実施例１１）本実施例は、図２０に示すように、実施例１０で用いたビームスプリッタ１１および検出器１２を実施例６の構成に適用したものであって、他の構成および動作については実施例１０と同様である。

（実施例１２）実施例５の構成において、光源１を変更したものであって、レーザ光源のように干渉性の高い光を出力する光源１を用いた場合には、検査対象物Ｓの表面での乱反射によって結像スポットにスペックルパターンが生じ、結像スポットの正確なピークを検出することができなくなる場合が生じるが、本実施例では光源１として干渉性の低い光を放射するものを用いることによって、この種の問題を解消しているのである。

【００６０】すなわち、光源１は、図２１に示すように、キセノンランプやスーパルミネッセントダイオードなどの発光源１ａと、発光源１ａからの光を反射して収束させる反射鏡１ｂと、反射鏡１ａによる光の収束点付近に配置されピンホールが形成されたピンホール板１ｃと、ピンホール板１ｃを通過した光を平行光線束とするコリメートレンズ１ｄとを備える。光源１としてこのような構成のものを採用すれば、干渉性の低い光を出力することができ、結像スポットにスペックルパターンが形成されないのである。他の構成および動作は実施例５と同様である。

【００６１】なお、実施例の各構成では、フォトセンサとしてフォトダイオードやフォトマルを用いているから、ＣＣＤを用いる場合に比較すると取込み時間（ＣＣＤカメラによる取込み時間は、３３msec ×（１画面視野）／（スリット光線幅）になる）を大幅に短縮することができ、結果的に検査対象物の表面の変位の測定に要する時間を短くすることができるのである。

【００６２】

【発明の効果】請求項１の発明は、検査対象物の表面で投光スポットを走査するとともに、多数の光検出部を列設した検出器によって結像スポットの位置を検出し、検査対象物に対する結像スポットがいずれかの光検出部を通過する時刻と、既定の基準平面について同じ光検出部に結像スポットを通過させる位置を投光ビームが通過する時刻との時間差を求め、この時間差を基準平面に対する検査対象物の表面の変位に換算するので、基準平面に対する検査対象物の表面の変位を検出する分解能は、時間の測定精度により決定されることになり、従来のように検出器の画素ピッチに依存せず、同程度の画素ピッチを有する検出器を用いるとすれば、従来構成に比較して検査対象物の表面の変位に対する分解能を大幅に向上させることができるという利点がある。さらに、結像スポットよりも光検出部の幅を小さくしているから、結像スポットが通過する時刻を正確に検出することができ、このことによっても変位の検出精度が高くなるという効果がある。

【００６３】請求項２の発明は、検査対象物の表面で投光スポットを一定方向に走査する際に投光ビームにより形成される平面内に、受光レンズの光軸が含まれるから、受光レンズの光軸を検査対象物の表面に対して傾けておけば、受光レンズの結像面上での結像スポットの移動幅を小さくすることができ、結果的に、投光スポットの走査に伴う結像スポットの移動方向における長さが短い検出器を用いながらも広い視野を得ることができるという効果につながる。

【００６４】請求項３の発明は、投光スポットを一定方向に走査する際に投光ビームにより形成される平面に直交し、かつ検査対象物の表面にほぼ直交する平面内に、受光レンズの光軸が含まれるから、投光スポットの走査に伴う結像スポットの移動方向において、投光スポットの移動距離と結像スポットの移動距離とが比例関係になる。すなわち、投光スポットの位置を一定の距離間隔ないし角度間隔で検出するものとすれば、結像スポットを検出する光検出部を等間隔に配置することが可能になり、結像スポットの位置を検出する検出器の構成が簡単になるという利点がある。

【００６５】請求項４の発明は、投光ビームの光強度の分布を単峰性分布とし、かつ結像スポットの光強度のピーク部分が通過する時刻を求めるから、結像スポットが光検出部を通過する時刻を一層精度よく検出することが

でき、検査対象物の変位についての分解能が一層向上するという利点がある。請求項５の発明は、表面の一方向に筋目が形成された検査対象物に対し有効な方法であって、光検出部を細長形に形成し、受光レンズの結像平面上に形成された筋目の像の長手方向と光検出部の長手方向とを交差させるから、光検出部には複数本の筋目の像に交差する。その結果、光検出部において結像スポットが形成されている部位から投光スポットへの視線と投光ビームとの間に筋目の一部で正反射条件が成立し、光検出部への入射光の一部が正反射光となって入射光量が増加し、周囲光などの雑音成分との比を大きくとることができ、誤測定が少なくなるという利点がある。

【００６６】請求項６の発明は、光源から発生した投光ビームを偏向装置で走査し、かつ投光ビームと結像スポットとの位置をそれぞれ検出器で検出し、投光ビームが基準走査位置を通過する時刻と結像スポットが基準位置を通過する時刻との時間差を距離演算器において基準平面からの変位に換算するので、投光ビームの位置と結像スポットとの位置をともに多数個の光検出部を列設した検出器で検出しているが、検査対象物の変位の測定精度は、投光ビームおよび結像スポットの通過時刻の検出精度および両時刻の時間差の測定精度により決まり、光検出部の配列ピッチには依存しないのであって、現状の技術レベルでも従来構成に比較して測定精度の大幅な向上が期待できるという利点がある。

【００６７】請求項７の発明は、投光ビームの光強度の分布を単峰性分布とし、かつ各検出器において光強度のピーク部分が光検出部を通過する時刻を検出するから、時刻の検出精度が向上し、結果的に検査対象物の変位の測定精度の向上につながるという利点がある。請求項８の発明は、複数個のフォトセンサを個別の光検出部として備えた検出器を構成しているので、この検出器を用いれば、各フォトセンサの出力を個別に識別することで、検査対象物の表面の変位の測定範囲を広くとることができるという利点がある。

【００６８】請求項９の発明は、フォトセンサの前方にスリット板を配置しているから、スリット板に形成されるスリットの幅を調節すれば光検出部の幅を調節することができ、投光ビームや結像スポットの通過時刻の検出精度を調節することが可能になるという効果を奏する。すなわち、投光ビームや結像スポットの移動方向におけるスリットの幅を狭くすることで光検出部の幅を狭くすることができ、通過時刻の検出精度を高めることができる。スリットの幅は現状の技術レベルでもフォトセンサの幅よりも大幅に小さくすることが可能であって、検査対象物の変位の測定精度を高めるために、光検出部の幅を小さくする技術として有効である。

【００６９】請求項１０の発明は、投光ビームの走査により形成される平面に直交し、かつ検査対象物の表面に略直交する平面内に受光レンズの光軸が含まれる場合の望ましい実施態様であって、第１の検出器のスリットの長手方向を受光レンズの結像面内で結像スポットの移動方向に直交する方向に対して傾けているから、投光系と受光系とを上記関係に設定したときに、検査対象物の表面に変位があっても幅の狭いスリット上に結像スポットを位置させることが可能になる。

【００７０】請求項１１の発明は、フォトセンサが各スリット板に対して１個ずつ設けられているから、フォトセンサの個数が少なく構成が簡単になるという効果を奏するのである。請求項１２の発明は、フォトセンサがスリット板の各スリットに一対一に対応するように複数個設けられ、各フォトセンサの出力は個別に識別されるので、スリットのピッチに対応する変位よりも大きな変位の計測が可能であって、変位の測定域を広くすることができるという効果がある。

【００７１】請求項１３の発明は、フォトセンサがスリット板の各スリットに一対一に対応するように複数個設けられ、フォトセンサには配列方向において一定個数ごとに循環する識別子が付与されるとともに、同じ識別子が付与されたフォトセンサごとに一つの出力にまとめられているから、すべてのフォトセンサを個別に識別する場合に比較するとフォトセンサの出力数が低減してフォトセンサの出力を処理する回路の構成が簡単になり、しかもスリットのピッチに対応する変位よりも大きな変位を計測することが可能であるという利点を有する。

【００７２】請求項１４の発明は、第１の検出器についてフォトセンサを１個だけ用いた構成を採用している場合において、第３の検出器によってスリットのピッチよりも長い範囲で位置の識別を可能としているから、比較的大きな変位まで計測が可能になるという利点を有する。請求項１５の発明は、光源が低干渉性の投光ビームを出射するから、結像スポットに干渉によるスペックルパターンが形成されることがなく、結像スポットの受光強度を精度よく検出することができ、結果的に計測精度が高くなるという効果がある。

【００７３】請求項１６は、第１の検出器に用いるスリット板のスリットの形状と投光ビームの断面形状とを一致させているから、光源から出射された光を第１の検出器に無駄なく入射させることができる。すなわち、第１の検出器への光の入射量が多くなり、周囲光などの雑音成分との識別が容易になるという利点を有する。

【図面の簡単な説明】

【図１】実施例１を示す全体構成図である。

【図２】実施例１において投光スポットの強度分布を制御する構成を示す概略構成図である。

【図３】実施例１において投光スポットの強度分布を制御する他の構成を示す概略構成図である。

【図４】実施例１の動作説明図である。

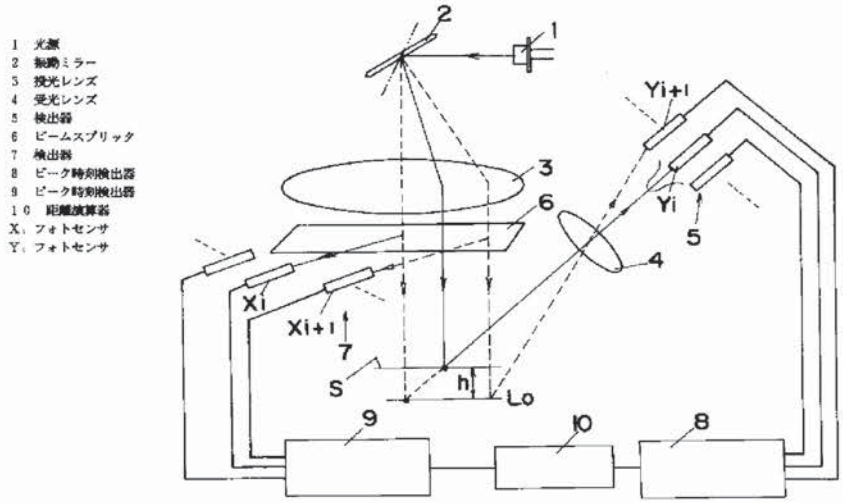
【図５】実施例２を示す全体構成図である。

【図６】実施例２に用いるフィルタの透過率の分布を示

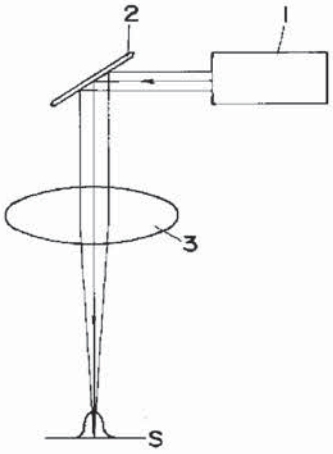
す図である。
【図７】実施例２の動作説明図である。
【図８】実施例２に用いる他のフィルタの透過率の分布を示す図である。
【図９】実施例３を示す全体構成図である。
【図１０】実施例４の動作説明図である。
【図１１】実施例４の比較例を示す説明図である。
【図１２】実施例４における投光ビームの他の断面形状を示す説明図である。
【図１３】実施例５を示す全体構成図である。
【図１４】実施例６を示す全体構成図である。
【図１５】実施例７を示す全体構成図である。
【図１６】実施例８を示す全体構成図である。
【図１７】実施例９を示す全体構成図である。
【図１８】実施例１０を示す全体構成図である。
【図１９】実施例１０に用いる検出器を示す構成図である。
【図２０】実施例１１を示す全体構成図である。
【図２１】実施例１２を示す全体構成図である。
【図２２】従来例を示す全体構成図である。
【符号の説明】

１　光源
２　振動ミラー
３　投光レンズ
４　受光レンズ
５　検出器
５ａ　スリット板
５ｂ　フォトセンサ
６　ビームスプリッタ
７　検出器
７ａ　スリット板
７ｂ　フォトセンサ
８　ピーク時刻検出器
９　ピーク時刻検出器
１０　距離演算器
１１　ビームスプリッタ
１２　検出器
I_i スリット
J_i スリット
X_i フォトセンサ
Y_i フォトセンサ

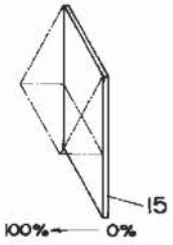
【図１】



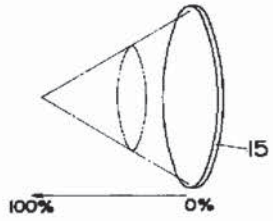
【図２】



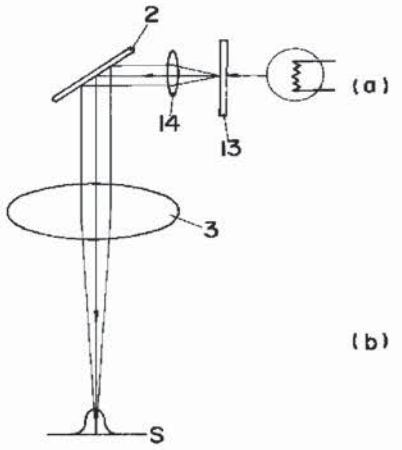
【図６】



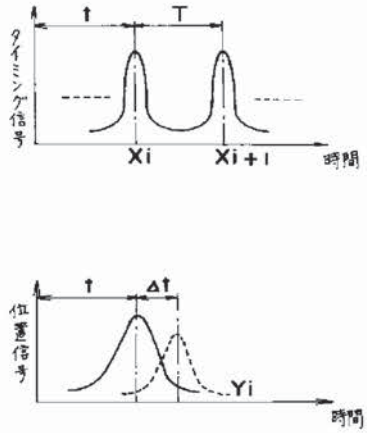
【図８】



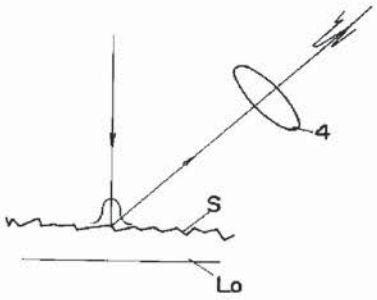
【図3】



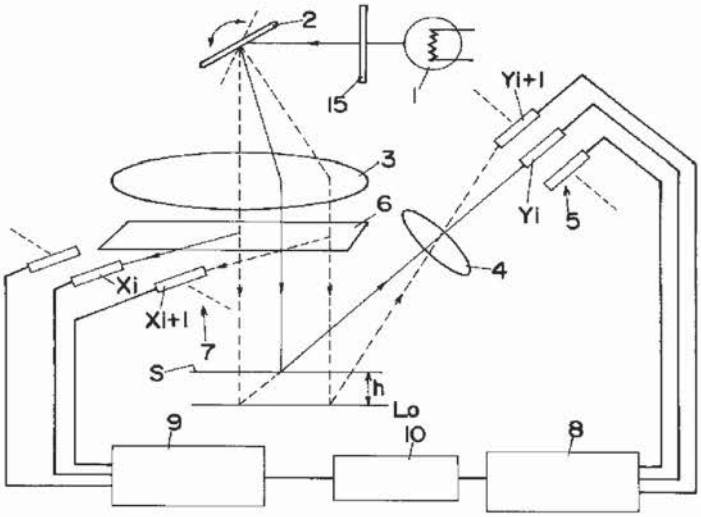
【図4】



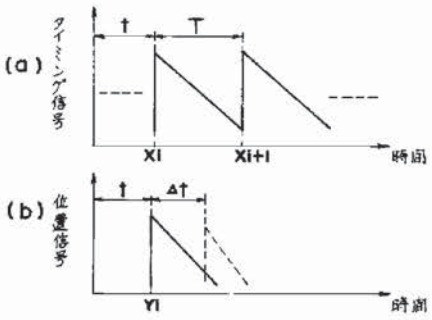
【図11】



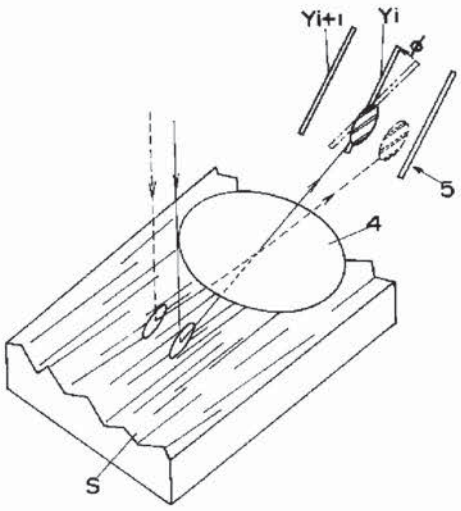
【図5】



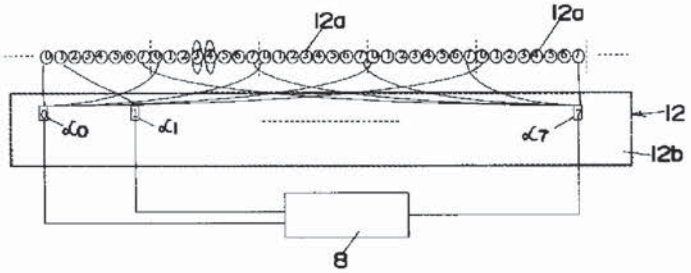
【図7】



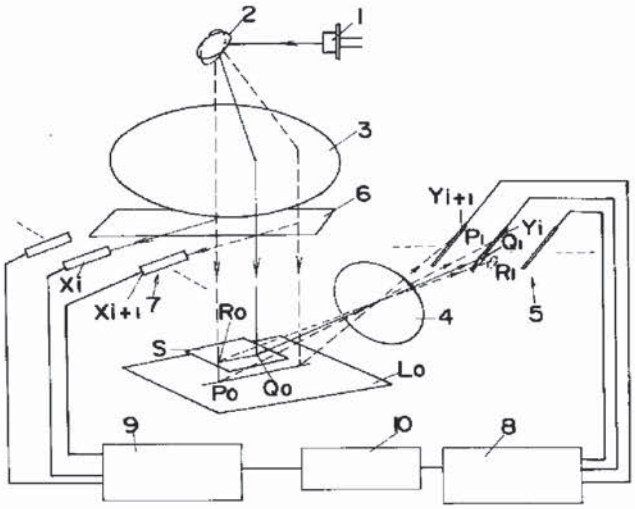
【図10】



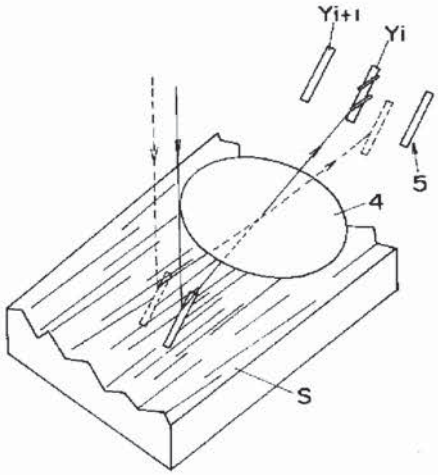
【図19】



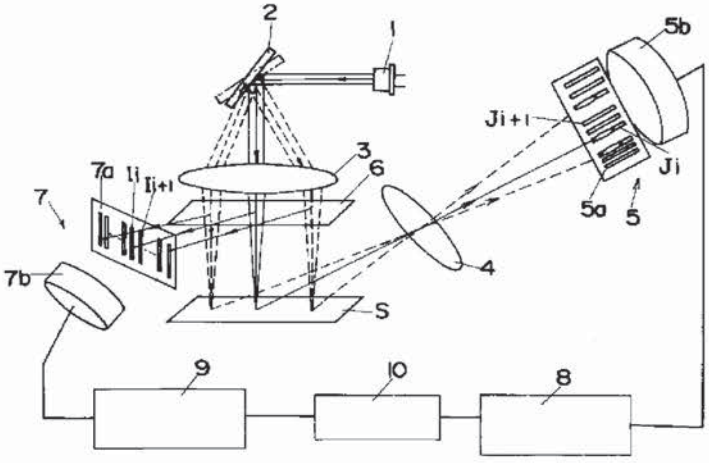
【図9】



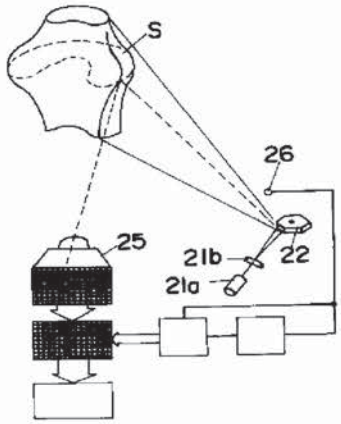
【図12】



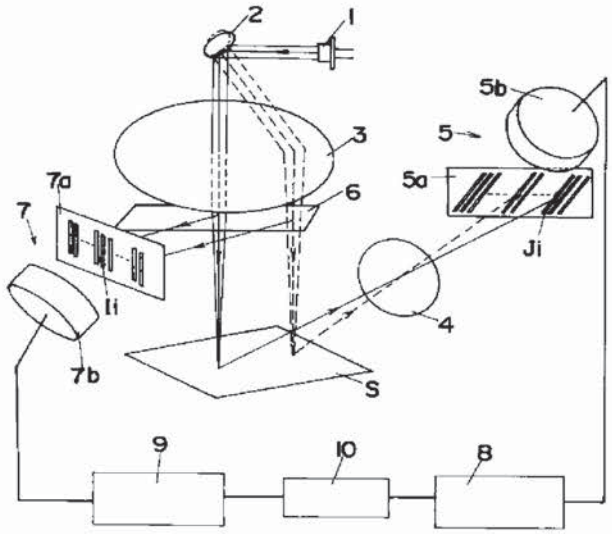
【図13】



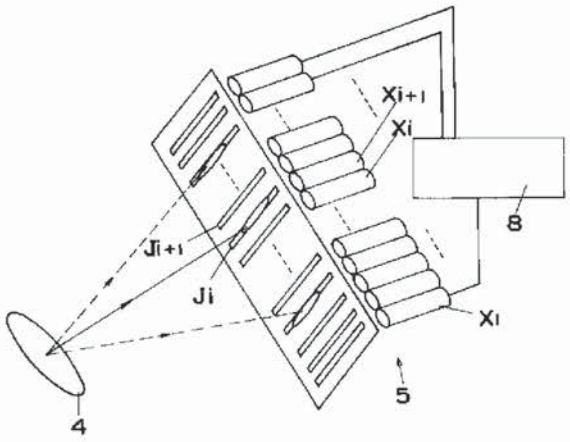
【図22】



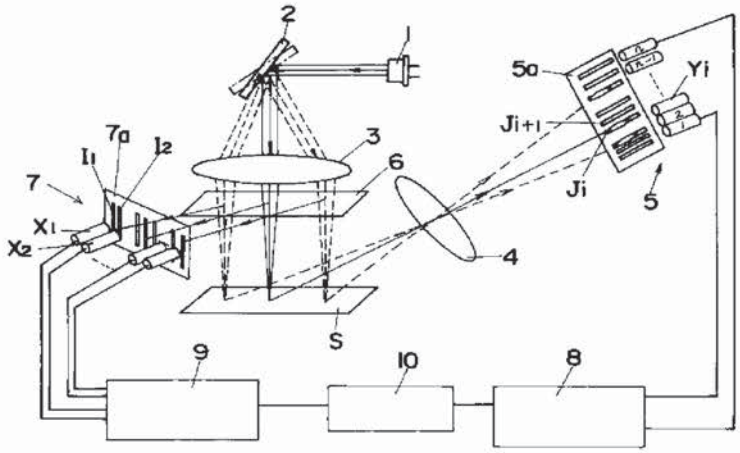
【図14】


2
1
5b
3
5
7a
6
5a
7
Ji
Ii
4
7b
S
9
10
8

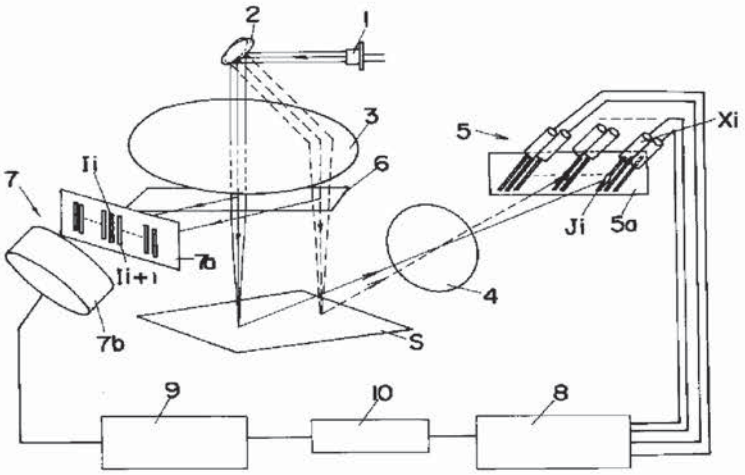
【図17】


Xi+1
Xi
8
Ji+1
Ji
Xl
4
5

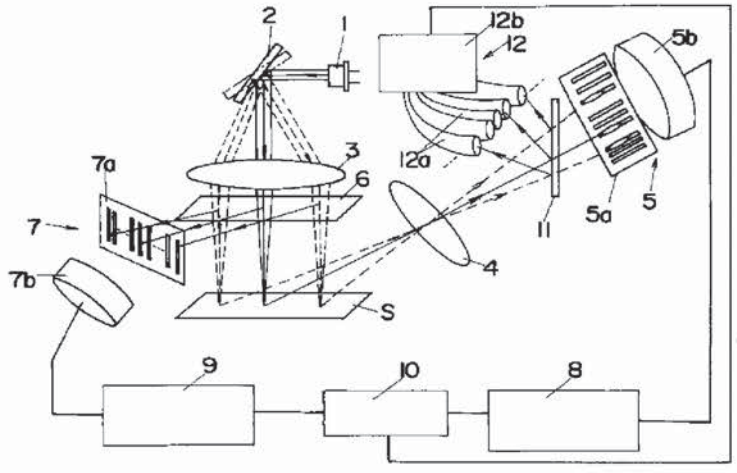
【図15】


2
1
5a
Yi
Ji+1
7a
I1
I2
3
6
7
Ji
5
X1
X2
4
S
9
10
8

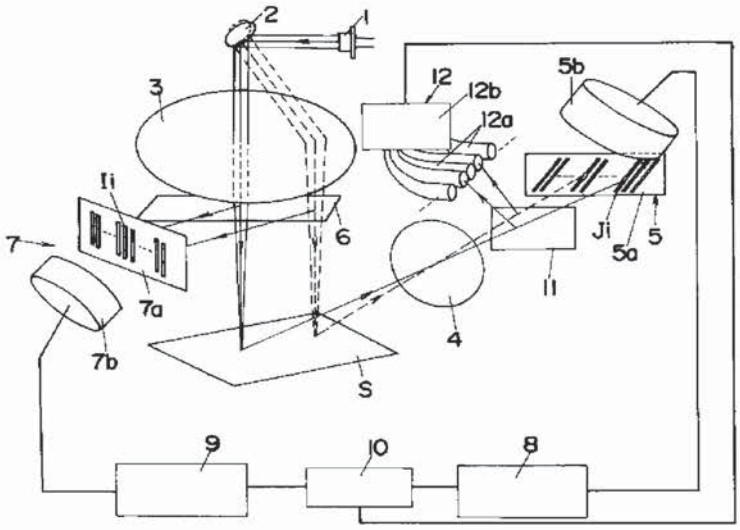
【図16】


2
1
3
5
Xi
6
7
Ii
Ii+1
7a
Ji
5a
4
7b
S
9
10
8

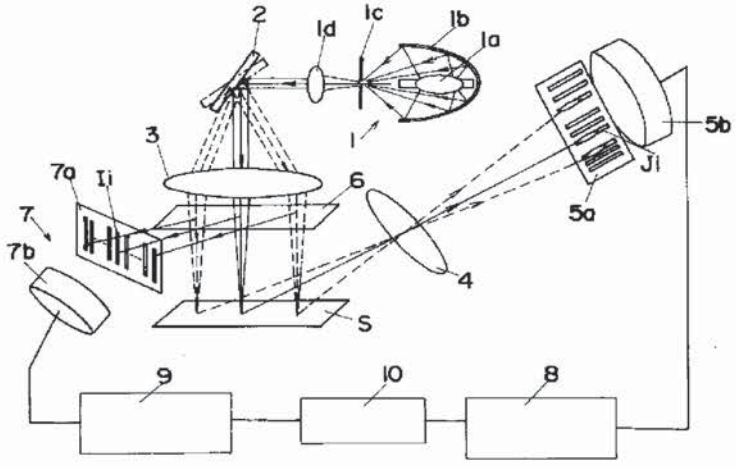
【図18】


2
1
12b
12
5b
12a
3
7a
6
7
5a
5
11
4
7b
S
9
10
8

【図20】


2
1
3
12
12b
12a
5b
Ii
6
7
7a
7b
Ji
5a
5
11
4
S
9
10
8

【図21】


2
1d
1c
1b
1a
1
3
5b
Ji
7a
Ii
6
7
7b
5a
4
S
9
10
8

(12) STANDARD PATENT (11) Application No. **AU 2017212835 B2**
(19) AUSTRALIAN PATENT OFFICE

(54) Title
Systems and methods for calibrating an optical distance sensor

(51) International Patent Classification(s)
G01N 21/01 (2006.01) ***G01Q 40/00*** (2010.01)
G01N 21/17 (2006.01) ***G11B 7/125*** (2006.01)

(21) Application No: **2017212835** (22) Date of Filing: **2017.01.30**

(87) WIPO No: **WO17/132691**

(30) Priority Data

(31) Number	(32) Date	(33) Country
62/289,004	**2016.01.29**	**US**

(43) Publication Date: **2017.08.03**
(44) Accepted Journal Date: **2019.03.14**

(71) Applicant(s)
Ouster, Inc.

(72) Inventor(s)
Pacala, Angus;Frichtl, Mark

(74) Agent / Attorney
FPA Patent Attorneys Pty Ltd, Level 43 101 Collins Street, Melbourne, VIC, 3000, AU

(56) Related Art
US 20150316473 A1

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
3 August 2017 (03.08.2017)

WIPO | PCT

(10) International Publication Number
WO 2017/132691 A1

(51) International Patent Classification:
G01Q 40/00 (2010.01) *G01N 21/17* (2006.01)
G01N 21/01 (2006.01) *G11B 7/125* (2012.01)

(21) International Application Number:
PCT/US2017/015683

(22) International Filing Date:
30 January 2017 (30.01.2017)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
62/289,004 29 January 2016 (29.01.2016) US

(71) Applicant: **OUSTER, INC.** [US/US]; 268 Clara Street, San Francisco, California 94107 (US).

(72) Inventors: **PACALA, Angus**; 268 Clara Street, San Francisco, California 94107 (US). **FRICHTL, Mark**; 268 Clara Street, San Francisco, California 94107 (US).

(74) Agents: **VINCENT, Lester J.** et al.; Blakely Sokoloff Taylor & Zafman LLP, 1279 Oakmead Parkway, Sunnyvale, California 94085 (US).

(81) Designated States *(unless otherwise indicated, for every kind of national protection available)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States *(unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), European (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:

— *with international search report (Art. 21(3))*

(54) **Title**: SYSTEMS AND METHODS FOR CALIBRATING AN OPTICAL DISTANCE SENSOR

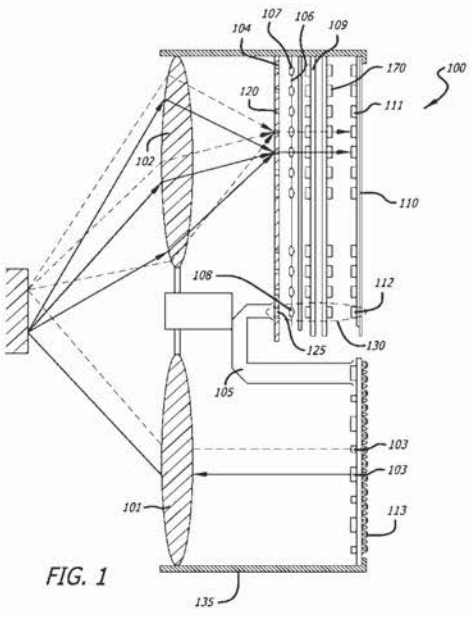


FIG. 1

(57) **Abstract**: A calibration system is provided including an aperture layer, a lens layer, an optical filter, a pixel layer and a regulator. The aperture layer defines a calibration aperture. The lens layer includes a calibration lens substantially axially aligned with the calibration aperture. The optical filter is adjacent the lens layer opposite the aperture layer. The pixel layer is adjacent the optical filter opposite the lens layer and includes a calibration pixel substantially axially aligned with the calibration lens. The calibration pixel detects light power of an illumination source that outputs a band of wavelengths of light as a function of a parameter. The regulator modifies the parameter of the illumination source based on a light power detected by the calibration pixel.

WO 2017/132691 A1

20172128335 21 Aug 2018

SYSTEMS AND METHODS FOR CALIBRATING AN OPTICAL DISTANCE SENSOR

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

[0001] This application claims the benefit of U.S. Provisional Patent Application No. 62/289,004 filed January 29, 2016.

TECHNICAL FIELD

[0002] This disclosure relates generally to the field of optical sensors and more specifically to a new and useful system and method for calibrating an optical distance sensor in the field of optical sensors.

BRIEF DESCRIPTION OF THE FIGURES

[0003] FIGURE 1 is a schematic representation of a system according to a first embodiment herein;

[0004] FIGURE 2A is a schematic representation according to a second embodiment herein;

[0005] FIGURES 2B, 2C, and 2D are graphical representations of the second embodiment herein ;

[0006] FIGURES 3A and 3B are schematic representations according to a third embodiment herein.

[0007] FIGURE 4 is a schematic representation according to a fourth embodiment herein.

SUMMARY

[0008] Disclosed herein is an optical system comprising: a receiver module comprising a bulk receiver optic, an aperture layer including a plurality of sense apertures, a lens layer including a plurality of sense lenses and a pixel layer including a plurality of sense pixels, wherein the aperture layer, the lens layer and the pixel layer are arranged to form a plurality of sensing circuits with each sensing circuit in the plurality of sensing circuits defining a discrete, non-overlapping field of view beyond a threshold distance in a field external to the optical system and including a sense aperture from the plurality of sense apertures, a sense lens from the plurality of sense lenses and a sense pixel from the plurality of sense pixels.

2017212835 16 Oct 2018

[0009] Also disclosed herein is an optical system for performing distance measurements, the optical system comprising: an emitter module comprising a bulk transmitter optic and an illumination source, and wherein the illumination source comprises a plurality of lasers, each laser in the plurality of lasers configured to project a discrete illuminating beam at an operating wavelength through the bulk transmitter optic into a field external to the optical system; and a receiver module comprising a bulk receiver optic, an aperture layer including a plurality of sense apertures, a lens layer including a plurality of sense lenses, a pixel layer including a plurality of sense pixels and an optical filter layer positioned between the bulk receiver optic and the plurality of sense pixels, the optical filter layer configured to pass a band of wavelengths of light including the operating wavelength while blocking light outside the band; wherein the aperture layer, the lens layer, the filter layer and the pixel layer are arranged to form a plurality of sensing circuits with each sensing circuit in the plurality of sensing circuits defining a discrete, non-overlapping field of view beyond a threshold distance in the field external to the optical system and including a sense aperture from the plurality of sense apertures, a sense lens from the plurality of sense lenses, an optical filter from the filter layer, and a sense pixel from the plurality of sense pixels.

[00010] Also disclosed herein is an optical system for performing distance measurements, the optical system comprising: a receiver module comprising a bulk receiver optic, an aperture layer including a plurality of apertures, a lens layer including a plurality of lenses, a pixel layer including a plurality of pixels and an optical filter layer positioned between the bulk receiver optic and the pixel layer, the receiver module further including a plurality of sensing circuits and at least one calibration channel, wherein each sensing circuit in the plurality of sensing circuits defines a discrete, non-overlapping field of view beyond a threshold distance in the field external to the optical system and wherein each sensing circuit in the plurality of sensing circuits and the at least one calibration channel includes an aperture from the plurality of apertures, a lens from the plurality of lenses, a filter from the filter layer and a pixel from the plurality of pixels; and an emitter module comprising a bulk transmitter optic and an illumination source comprising a plurality of optical emitters configured to output light at an operating wavelength as a function of a parameter, project a first portion of the light through the bulk

2017212835 16 Oct 2018

transmitter optic into a field ahead of the optical system and project a second portion of the light onto the pixel in the at least one calibration channel; and a regulator configured to modify the parameter of the plurality of optical emitters based on a light power detected by the pixel in the calibration channel.

[0009A] Reference to any prior art in the specification is not an acknowledgment or suggestion that this prior art forms part of the common general knowledge in any jurisdiction or that this prior art could reasonably be expected to be understood, regarded as relevant, and/or combined with other pieces of prior art by a skilled person in the art.

DESCRIPTION OF THE EMBODIMENTS

[0011] The following description of embodiments of the invention is not intended to limit the invention to these embodiments but rather to enable a person skilled in the art to make and use this invention. Variations, configurations, implementations, example implementations, and examples described herein are optional and are not exclusive to the variations, configurations, implementations, example implementations, and examples they describe. The invention described herein can include any and all permutations of these variations, configurations, implementations, example implementations, and examples.

1. System

[0012] As shown in FIGURE 1, in one embodiment, a calibration system 100 (e.g., for calibrating an optical distance sensor) includes: a bulk transmitting optic 101 and a bulk receiving optic 102. The system 100 may also include an illumination source 103 offset behind the bulk transmitting optic and configured to output a wavelength of light as a function of temperature; an aperture layer 104 arranged behind the bulk receiving optic and defining a sense aperture 120 and a calibration aperture 125; an optical bypass 105 extending from the illumination source behind the bulk transmitting optic to the calibration aperture; a lens layer 106 adjacent the aperture layer opposite the bulk receiving optic, comprising a sense lens 107 substantially axially aligned with the sense aperture, and comprising a calibration lens 108 substantially axially aligned with the calibration aperture; an optical filter 109 adjacent the lens layer opposite the aperture layer; a pixel layer 110 adjacent the

2017212835 16 Oct 2018

optical filter opposite the lens layer, comprising a sense pixel 111 substantially axially aligned with the sense lens, and comprising a calibration pixel 112 substantially axially aligned with the calibration lens; and a temperature regulator113 coupled to the illumination source and configured to modify a temperature of the illumination source based on a light power detected by the calibration pixel. In the embodiment of FIGURE 1, system 100 may also include diffuser 170 configured to guide light onto the photodetectors. In one embodiment,

2017212835 21 Aug 2018

the diffuser may be included in an optional converging lens layer arranged so as to converge light onto the photodetectors. The converging lens layer may be arranged between the optical filter and the photodetector. The converging lens layer may also comprise a micro-lens, a plurality of micro-lenses, a diffuser, or any other element capable of guiding light onto the photodetectors. In addition, in the embodiment of FIGURE 1, system 100 may be housed in a housing 135. Although various layers have been described in the foregoing embodiment as being adjacent to another layer, it will be appreciated that fewer or additional layers may be included. For example, it will be understood that additional aperture layers may be included between any two layers.

[0013] As shown in FIGURE 3A, system 300 is an embodiment of a variation of the system 100, where the system 300 may include: a bulk transmitting optic 301; a bulk receiving optic 302; an illumination source offset behind the bulk transmitting optic and configured to output a wavelength of light as a function of temperature; an aperture layer 304 defining a first calibration aperture and a second calibration aperture; an optical bypass 305 extending from the illumination source behind the bulk transmitting optic to the first calibration aperture and the second calibration aperture; a lens layer 306 adjacent the aperture layer opposite the optical bypass, comprising a first calibration lens substantially axially aligned with the first calibration aperture, and comprising a second calibration lens axially offset from the second calibration aperture; an optical filter 309 adjacent the lens layer opposite the aperture layer; a pixel layer adjacent the optical filter opposite the lens layer, comprising a first calibration pixel substantially axially aligned with the first calibration lens, and comprising a second calibration pixel aligned with a ray extending through the second aperture and the second calibration lens; and a temperature regulator 313 coupled to the illumination source and configured to modify a temperature of the illumination source based on a light power detected by the first calibration pixel and the second calibration pixel. System 300 also may include a second illumination source 350, in addition to illumination source 303.

2. Applications

[0014] In one embodiment, the system 100 functions as an image sensor that, when rotated about an axis parallel to a column of sense apertures, collects three-

2017212835 21 Aug 2018

dimensional distance data of a volume occupied by the system 100. Similarly, the system 100 can function as a static image sensor that collects two- or three-dimensional distance data of a space or volume in the field of view of the system 100. Generally, the system 100 can scan a volume to collect three-dimensional distance data that can then be reconstructed into a virtual three-dimensional representation of the volume, such as based on recorded times between transmission of an illuminating beam from the illumination source and detection of photons – likely originating from the illumination source – incident on the sense pixel, based on phase-based measurement techniques, or based on another distance measurement technique.

[0015] In one embodiment, the system 100 includes an illumination source, a calibration circuit 130, and a sensing circuit. The sensing circuit includes a sense aperture, a sense lens, and an optical filter that cooperate to pass only a relatively narrow band of wavelengths of light (e.g., a single target wavelength +/- 0.25 nanometers) to a corresponding sense pixel. Because the sensing circuit is configured to detect light in only a relatively narrow wavelength band, the system 100 can tune the illumination source to output light within this relatively narrow wavelength band. The illumination source can output a narrow band of wavelengths of light in a distribution pattern centered at a wavelength. The center frequency of the light source can be varied by changing the temperature of the illumination source (the preferred mode), though alternately it can be done by changing the duty cycle of the source, by using piezo effect, or any other means available. The calibration circuit can actively control the source temperature by a regulator – thermally coupled to the illumination source – in order to govern the center wavelength of light output by the illumination source. In particular, the calibration circuit can match the center wavelength of light output by the illumination source to the center wavelength passed and detected by the sensing circuit in order to substantially maximize the energy efficiency of any receiver system such as the system 100 (i.e., a ratio of light read by the sensing circuit to light output by the illumination source).

[0016] The optical filter in the sensing circuit may pass and reject light as a function of incident angle, and manufacturing defects may yield a lateral and/or longitudinal offset between the aperture layer and the lens layer such that the sense aperture

2017212835 21 Aug 2018

and the sense lens are not axially aligned and such that light output from the sense lens reaches the optical filter at an angle other than perpendicular to the optical filter. Misalignment between the aperture layer and the lens layer during manufacture may therefore yield a sensing circuit that passes and detects a center wavelength of light other than a nominal wavelength that the optical filter is configured to pass (i.e., a center wavelength that the optical filter passes for light incident on the optical filter at 90°), as shown in FIGURE 2B. Furthermore, such misalignment between aperture layers and lens layers may not be uniform from one unit of the system 100 to the next and may vary over time within a single unit of the system 100, such as due to ambient temperature and/or pressure. Similarly, illumination sources (e.g., bar diode lasers) may exhibit different output characteristics (e.g., variations in center or primary output wavelength at a particular operating temperature), even within a single batch of illumination sources, due to manufacturing defects.

[0017] Therefore, rather than implement an illumination source-specific center output wavelength versus temperature model and an empirically-determined target center wavelength for the aperture layer and lens layer stack, the system 100 can incorporate a calibration circuit – similar to the sensing circuit – and can actively modify an output of the temperature regulator based on light detected by the calibration circuit. In particular, the calibration circuit: can include a calibration aperture integrated in the same aperture layer as the sense aperture; can include a calibration lens integrated into the same lens layer as the sense lens; can share the optical filter (e.g., an optical filter layer) with the sensing circuit; and can include a calibration pixel integrated into the same pixel layer as the sensing circuit. The calibration circuit can therefore mimic manufacturing defects occurring in the sensing circuit such that tuning the illumination source to achieve peak incident light through the calibration circuit similarly tunes the illumination source to the sensing circuit. In particular, a unit of the system 100 can actively manipulate the temperature regulator to maintain peak incident photon count per unit time at the calibration pixel throughout operation, thereby matching the output of the illumination optic to both the calibration circuit and the sensing circuit and automatically compensating for substantially unique stacks of manufacturing

2017212835 21 Aug 2018

defects in the unit of the system 100 with a closed-loop feedback model common to a mass of units of the system 100.

[0018] Generally, peak incident photon count recorded by the calibration pixel may occur when the output wavelength of the illumination source is matched to the bulk peak-power wavelength of the calibration circuit. The calibration circuit and the sensing circuit share a common optical filter, include apertures defined by a common aperture layer, include lenses in a common lens layer, and are subject to common lateral and longitudinal offsets between apertures and lenses. Therefore, the bulk peak-power wavelength of the sensing circuit is substantially identical to the bulk peak-power wavelength of the calibration circuit. In order to increase (or substantially maximize) efficiency of the system 100 during operation, the system 100 can uniquely calibrate the illumination source to the sensing circuit by tuning the output wavelength of the illumination source to achieve a peak incident photon count per unit time at the calibration pixel. For example, the illumination source can output light at a center wavelength that varies proportionally with the temperature of the illumination source, and the system 100 can control the center output wavelength of the illumination source by actively manipulating heat flux of the temperature regulator coupled to the illumination source. Throughout operation, the system 100 can implement closed-loop feedback techniques to actively control the output of the temperature regulator – and therefore the center output wavelength of the illumination source – based on incident photon counts read from the calibration pixel such that the illumination source remains tuned to the sensing circuit over time despite changes in internal temperature, ambient temperature, ambient pressure, etc.

[0019] As shown in FIGURE 2A, in one embodiment, a system 200 can include multiple calibration circuits. The system 200 may include a bulk transmitting optic 201, a bulk receiving optic 202, an optical filter 209, a sense aperture 220, a sense lens 207, a sense pixel 211, illumination sources 203 and 250, and an optical bypass 205. These components may be structured similarly to the components described above in connection with FIGURE 1. In this variation, each calibration aperture and calibration lens (e.g., calibration apertures 225 and calibration lenses 208, or individually as calibration apertures 225-1, 225-2, 225-3, 225-4 and calibration lenses 208-1, 208-2, 208-3, 208-4) can be offset by a unique distance (e.g., distance

20172128335 21 Aug 2018

d_0, d_1, d_2, d_3, etc.) in the set such that the calibration lens outputs light toward the optical filter at a unique nominal angle (e.g., angle α_0, α_1, α_2, α_3, etc.) in the set. For example, the system 100 can include a first calibration aperture and lens set, a second calibration aperture and lens set, a third calibration aperture and lens set, and a fourth calibration aperture and lens set assembled at unique offset distances such that the first, second, third, and fourth calibration lens output light toward the optical filter at 0°, 1°, 2°, and 3° to the optical filter, respectively, as shown in FIGURES 2A and 2C. Thus, in one embodiment, calibration apertures can be offset from the calibration lenses. Of course, in other embodiments, any number of calibration circuits (e.g., set of calibration aperture, lens, pixel) may be included in the system. In this variation, the system 200 can read incident photon counts (or times between consecutive incident photons, etc.) from each of calibration pixels 212 (individually calibration pixels 212-1, 212-2, 212-3, 212-4) during a sampling period, determine if the center output wavelength of the illumination source is greater than or less than the center wavelength read by the calibration circuit (and therefore read by the sensing circuit) during the sampling period based on this set of incident photon counts, and then increase or decrease the temperature of the illumination source – via the temperature regulator – accordingly to improve alignment of center wavelengths output by the illumination source and read by the calibration circuit.

3. Sensing Circuit

[0020] As shown in FIGURES 1 and 4, in some embodiments, the sensing circuit of the system 100 (and system 400) may include: a bulk receiving optic (e.g., 102 and 402); an aperture layer arranged behind the bulk receiving optic and defining a sense aperture and a calibration aperture; a lens layer (e.g., 107 and 407) adjacent the aperture layer opposite the bulk receiving optic and defining a sense lens substantially axially aligned with the sense aperture; an optical filter (e.g., 109 and 409) adjacent the lens layer opposite the aperture layer; and a pixel layer (e.g., 111 and 411) adjacent the optical filter opposite the lens layer and including a sense pixel substantially axially aligned with the sense lens. Generally, the bulk receiving optic, sense aperture, sense lens, optical filter, and the sense pixel cooperate to collect light (e.g., ambient light and light output by the illumination source), to

2017212835 21 Aug 2018

collimate light, to reject all light outside of a narrow band of wavelengths including a center output wavelength of the illumination source, and to detect light reaching the sense pixel. The system 100 (e.g., a processor within the system 100) can thus transform an incident photon count, a time between incident photons, an incident photon time relative to an illumination beam output time, etc. into a position of a surface in a field of view of the sensing circuit. As shown in FIGURE 4, similar to system 100, system 400 may also include bulk transmitting optic 401, illumination sources 403 and 450, optical bypass 405, regulator 413 and calibration circuit 430. These components may be structured similarly to those described in connection with system 100 of FIGURE 1. As also shown in FIGURE 4, system 400 may include an aperture pitch distance 440.

[0021] In one implementation, the bulk receiving optic functions to project incident light rays from outside the system 100 toward a focal plane within the system 100. For example, the bulk receiving optic can define a converging lens and can include multiple lenses, such as one or more bi-convex lenses (shown in FIGURES 1 and 4) and/or plano-convex lenses, that cooperate to yield a total bulk focal length at or near the center wavelength of perpendicular light rays passed by the optical filter (i.e., the nominal operating wavelength of the system 100). The aperture layer includes a relatively thin opaque structure coincident the focal plane (i.e., offset from the bulk receiving optic behind the bulk focal length) and defining the sense aperture and a stop region around the sense aperture. The stop region of the aperture layer rejects (e.g., blocks, absorbs, reflects) incident light rays, and the sense aperture passes incident light rays toward the sense lens. For example, the aperture layer can define a sense aperture of diameter approaching a diffraction-limited diameter to maximize geometrical selectivity of the field of view of the sensing circuit.

[0022] In this implementation, the sense lens is characterized by a sense focal length, is offset from the focal plane by the sense focal length, collimates lights rays passed by the sense aperture, and passes collimated light rays into the optical filter. For example, the sense lens can include a converging lens characterized by a ray cone substantially matched to a ray cone of the bulk receiving optic and can be offset from the focal plane of the bulk receiving optic by a relatively short sense focal length to preserve the aperture of the bulk receiving optic and to collimate

2017212835 21 Aug 2018

light passed by the sense aperture. The optical filter receives collimated light – in a spectrum of wavelengths – from the sense lens, passes a relatively narrow band of wavelengths of light (e.g., the operating wavelength +/- 0.25 nanometers) to the sense pixel, and blocks light outside of this narrow wavelength band. For example, the optical filter can include a narrow optical bandpass filter.

[0023] For example, the illumination source can output light (predominantly) at a nominal wavelength of 900 nm, and the optical filter can define a planar optical bandpass filter configured to pass light (incident on the optical filter at an angle of 90°) between 899.95 nm and 900.05 nm and configured to block substantially all light (incident on the optical filter at an angle of 90°) outside of this band. The sense pixel functions to receive light (i.e., "photons") passed by the optical filter, to detect these incident photons, and to output a signal corresponding to a number or rate of detected photons. For example, the sense pixel can include an array of single-photon avalanche diode detectors ("SPADs"), and the sense pixel can output a single signal or a stream of signals corresponding to the count of photons incident on the pixel within a single sampling period picoseconds, nanoseconds, microseconds, or milliseconds in duration.

[0024] In one variation, the system 300 includes multiple sensing circuits 340 (or individually 340-1, 340-2, 340-3, and 340-4), including multiple sense aperture, sense lens, and sense pixel sets, as shown in FIGURES 3A and 3B. For example, the system 300 can include: a column of offset sense apertures 320 (individually 320-1, 320-2, etc.) arranged behind the single bulk receiving optic and defining discrete (i.e., non-overlapping beyond a threshold distance from the system 100) fields of view in a field ahead of the bulk receiving optic. In one embodiment, each of sense apertures 320 are respectively aligned with a corresponding sense lens. The system 300 may also include an illumination source that projects discrete illuminating beams at an operating wavelength into the field of view defined by each sense aperture; a column of sense lenses that collimate light rays passed by corresponding sense apertures; the optical filter that spans the column of sense lenses and selectively passes a relatively narrow band of wavelengths of light; and a set of sense pixels that detect incident photons, such as by counting incident photons or recording times between consecutive incident photons. In this example, the system 100 can selectively project illuminating beams into a field ahead of the system 100

2017212835 21 Aug 2018

according to an illumination pattern that substantially matches – in size and geometry across a range of distances from the system 100 – the fields of view of the sense apertures. In particular, the illumination source can illuminate substantially only surfaces in the field ahead of the system 100 that are within the fields of view of corresponding sense pixels such that minimal power output by the system 100 via the illumination source is wasted by illuminating surfaces in the field for which the sense pixels are blind. Therefore, the system 100 can achieve a relatively high ratio of output signal (i.e., illuminating beam power) to input signal (i.e., photons passed to an incident on the pixel array), particularly when the center output wavelength of the illumination source is matched to the center wavelength read by the sensing circuit.

[0025] In another variation, the system 100 includes a two-dimensional grid array of sensing circuits (i.e., sense aperture, sense lens, and sense pixel sets) and is configured to image a volume occupied by the system 100 in two dimensions per sampling period. In this variation, the system 100 can collect one-dimensional distance data (e.g., counts of incident photons within a sampling period and/or times between consecutive photons incident on sense pixels corresponding to known fields of view in the field) across a two-dimensional grid of sense pixels, and the system 100 can merge these one-dimensional distance data with known positions of the fields of view for each sense pixel to reconstruct a virtual three-dimensional representation of the field ahead of the system 100. For example, the aperture layer can define a 24-by-24 grid array of 200-μm-diameter sense apertures offset vertically and laterally by an aperture pitch distance of 300 μm, and the lens layer can include a 24-by-24 grid array of sense lenses offset vertically and laterally by a lens pitch distance of 300 μm. In this example, the pixel layer can include a 24-by-24 grid array of 300-μm-square sense pixels, wherein each sense pixel includes a 3x3 square array of nine 100-μm-square SPADs.

[0026] In one implementation, the bulk receiving optic, the aperture layer, the lens layer, the optical filter, and the diffuser are fabricated and then aligned with and mounted onto the pixel layer. In one example, the optical filter is fabricated by coating a fused silica substrate. Photoactive optical polymer is then deposited over the optical filter, a lens mold defining an array of lens forms placed over the photoactive optical polymer, and a UV light source activated to cure the photoactive

2017212835 21 Aug 2018

optical polymer into a pattern of lenses across the optical filter. Standoffs are similarly molded or formed across the optical filter via photolithography techniques. The aperture layer is separately fabricated by selectively metallizing a glass wafer and etching apertures into this metallic layer; the glass wafer is then bonded or otherwise mounted to these standoffs. In this example, the assembly is subsequently inverted, and a second set of standoffs is similarly fabricated across the optical filter opposite the lens layer. The pixel layer (e.g., a discrete image sensor) is aligned with and bonded to the second set of standoffs; the bulk receiving optic is similarly mounted over the aperture layer to complete the sensing circuit stack.

[0027] Alternatively, the bulk receiving optic, the aperture layer, the lens layer, and the optical filter, can be fabricated directly onto an un-diced semiconductor wafer – containing the sense pixel – via photolithography and wafer-level bonding techniques. However, the bulk receiving optic, the aperture layer, the lens layer, the optical filter, and the pixel layer can be fabricated and assembled in any other way and with any other method or technique.

4. Output Circuit

[0028] As shown in FIGURE 1, the system 100 includes an output circuit, including a bulk transmitting optic and an illumination source. In one implementation, the bulk transmitting optic: is substantially identical to the bulk receiving optic in material, geometry (e.g., focal length), thermal isolation, etc.; and is adjacent and offset laterally and/or vertically from the bulk receiving optic. In the implementation, the illumination source includes a monolithic VCSEL array of optical emitters arranged behind the bulk transmitting optic. In one example, the illumination source can include a bar diode laser defining a column of optical emitters characterized by an emitter pitch distance substantially identical to the sense aperture pitch distance; because the bar diode laser includes optical emitters fabricated on the same chip, the optical emitters can exhibit substantially similar output wavelength characteristics as a function of temperature. In this example, each optical emitter can output an illuminating beam of an initial diameter substantially identical to (or slightly greater than) the diameter of a corresponding sense aperture in the aperture layer, and the illumination source can be arranged

2017212835 21 Aug 2018

along the focal plane of the bulk transmitting optic such that each illuminating beam projected from the bulk transmitting optic into the field intersects and is of substantially the same size and geometry as the field of view of the corresponding sensing circuit at any distance from a system 400 (e.g., a variation of the system 100), as shown in FIGURE 4. Therefore, the illumination source and the bulk transmitting optic can cooperate to project substantially all output power into the fields of view of the sensing circuits with relatively minimal power wasted illuminating surfaces in space outside of the fields of view of the sensing circuits.

5. Calibration Circuit

[0029] As shown in FIGURE 1, the system 100 further includes a calibration circuit, including an optical bypass 105, a calibration aperture 125 defined in the aperture layer 104, a calibration lens 108 incorporated into the lens layer 106, an optical filter 109 shared with the sensing circuit (e.g., sense aperture 120, sense lens 107, sense pixel 111), and a calibration pixel 112 incorporated into the pixel layer 110. Generally, the optical bypass 105 functions to funnel some light rays output by the illumination source 103 to the calibration aperture 125; like the sense aperture 120, sense lens 107, and optical filter 109 in the sensing circuit, the calibration aperture 125, calibration lens 108, and optical filter 109 in the calibration circuit pass a substantially narrow wavelength band of light received from the optical bypass to the calibration pixel. Based on the number of incident photons, frequency of incident photons, or incident light power, etc. detected by the calibration pixel within a sampling period, the system 100 can determine whether and/or to what extent the center (or primary) output wavelength of the illumination source 103 is matched to an effective center (or primary) operating wavelength of the calibration circuit 130, and the system 100 can modify an output of the temperature regulator accordingly to shift the output wavelength of the illumination source to the effective operating wavelength of the calibration circuit 130.

[0030] Because the calibration aperture 125, the calibration lens 108, and the calibration pixel 112 are integrated into the same aperture layer 104, lens layer 106, and pixel layer 110 as the sense aperture 120, the sense lens 107, and the sense pixel 111 and because the calibration circuit 130 and the sensing circuit (e.g., sense aperture 120, sense lens 107, sense pixel 111) share the same optical filter 109, the

2017212835 21 Aug 2018

calibration circuit 130 can share substantially identical manufacturing defects (e.g., alignment defects) and can therefore exhibit substantially identical effective operating wavelengths. Furthermore, because the optical bypass passes some light from the same illumination source that illuminates the field of view of the sense channel, manipulation of the temperature regulator to match the output wavelength of the illumination source to the effective operating wavelength of the calibration circuit also matches the output wavelength of the illumination source to the effective operating wavelength of the sensing circuit, thereby increasing the power efficiency of the system 100.

[0031] Therefore: the calibration aperture can be formed into the aperture layer at substantially the same time and with substantially the same positional accuracy as the sense aperture; the calibration lens can be formed into the lens layer at substantially the same time and with substantially the same positional accuracy as the sense lens; and the calibration pixel can be incorporated into the pixel layer at substantially the same time and with substantially the same positional accuracy as the sense pixel, such as according to the methods and techniques described above. The optical filter can also define a singular or unitary structure that spans the calibration circuit and the sensing circuit, and the aperture layer, the lens layer, the optical filter, and the pixel layer – including both the calibration and sensing circuits – can be assembled as described above.

[0032] In one implementation, the bulk transmitting optic is arranged in plane with and laterally offset from the bulk receiving optic, and the optical bypass "siphons" light from one end of the illumination source behind the bulk transmitting optic to an adjacent region behind the bulk receiving optic and into the calibration aperture, as shown in FIGURES 1 and 4. For example, in the implementation described above in which the illumination source includes a bar diode laser with multiple optical emitters, the optical bypass can include a light pipe or an optical waveguide that extends from one end emitter on the bar diode laser and terminates over the calibration aperture behind the bulk receiving optic. However, the optical bypass can include any other structure and can function in any other way to communicate light from the illumination source into the calibration circuit.

2017212835 21 Aug 2018

6. Calibration

[0033] In the embodiment of FIGURE 2A, the system 200 further includes a temperature regulator 213 coupled to the illumination source and configured to modify a temperature of the illumination source based on a light power detected by the calibration pixel. Generally, at startup and/or during operation, the system 200 can read a number of incident photons, a frequency of incident photons, or an incident light power, etc. detected by the calibration pixel within a sampling period and can implement closed-loop feedback control techniques to modify the output of the temperature regulator – and therefore the temperature and the center (or primary) output wavelength of the illumination source –based on the output of the calibration pixel.

[0034] In one implementation, the system 200 further includes a temperature sensor 230 thermally coupled to the illumination source. In this implementation, upon startup, the system 200: ramps up the duty cycle (e.g., the heat output) of the temperature regulator and implements closed-loop feedback controls to hold the illumination source at a low operating temperature (e.g., 80°C); and stores an incident photon count (or frequency of incident photons, etc.) recorded by the calibration pixel over a sampling period while the illumination source is held at the low operating temperature. The system 200 then steps up the duty cycle of the temperature regulator to achieve discrete temperature steps (e.g., 0.5°C steps) from the low operating temperature to a high operating temperature (e.g., 85°C) at the illumination source; and stores an incident photon count recorded by the calibration pixel over a sampling period each temperature step within the operating temperature range. (The system 200 can also read incident photon counts from the calibration pixel over multiple sampling periods per temperature step and record a median or average photon count for the temperature step.) In this implementation, the system 200 can then identify a peak incident photon count read from the calibration pixel across the set of temperature steps, set a corresponding temperature of the illumination source as an initial target operating temperature, and adjust the duty cycle of the temperature regulator to achieve the initial target operating temperature.

[0035] In the foregoing implementation, throughout continued operation, the system can: read incident photon counts from the calibration pixel; detect

2017212835 21 Aug 2018

variations in the incident photon count read by the calibration pixel, such as beyond a threshold variance (e.g., 5%); and modify the output of the temperature regulator accordingly. The system can also: read the temperature of the illumination source from the temperature sensor at corresponding sampling periods; and determine whether to increase or decrease the duty cycle of the temperature regulator responsive to changes in the incident photon count on the calibration pixel based on changes in the temperature of the illumination optic. For example, if the incident photon count recorded by the calibration pixel drops across two or more sampling periods and the temperature sensor indicates that the temperature of the illumination source has also dropped, the system can increase the heat output of the temperature regulator and store temperatures of the illumination source as the incident photon count recorded by the configuration pixel increases. As the incident photon count reaches a peak value and then begins to decrease with increasing temperature of the illumination source, the system can identify a new target operating temperature of the illumination source corresponding to a peak incident photon count recorded by the calibration pixel during the temperature ramp and then reduce the output of the temperature regulator to achieve this new target operating temperature.

[0036] In another example, if the incident photon count recorded by the calibration pixel drops over two or more sampling periods and the temperature sensor indicates that the temperature of the illumination source increased over the same sampling periods, the system can reduce the heat output of the temperature regulator and store temperatures of the illumination source as the incident photon count recorded by the calibration pixel increases. As the recorded incident photon count reaches a peak value and then begins to decrease with decreasing temperature of the illumination source, the system can identify a new target operating temperature corresponding to a peak incident photon count recorded by the calibration pixel during the temperature drop and increase the output of the temperature regulator to achieve this new target operating temperature.

[0037] In yet another example, if the incident photon count recorded by the calibration pixel drops beyond the threshold variation over two or more sampling periods but no substantial temperature change is detected at the illumination source over the sampling periods, the system can ramp up the heat output of the

2017212835 21 Aug 2018

temperature regulator to achieve a one-step increase in temperature of the illumination source. If the incident photon count recorded by the calibration pixel increases in response to the increase in temperature of the illumination source, the system can: continue to increase the output of the temperature regulator until the incident photon begins to drop, determine a new (higher) target operating temperature corresponding to the new peak incident photon count recorded by the calibration pixel during this temperature ramp; and reduce the output of the temperature regulator to achieve this new target operating temperature, as in the foregoing example. However, if the incident photon count recorded by the calibration pixel decreases in response to the increase in temperature of the illumination source, the system can step down the heat output of the temperature regulator. As the incident photon count increases and then begins to decrease with the decrease in temperature of the illumination source, the system can: determine a new (lower) target operating temperature corresponding to a peak incident photon count recorded by the calibration pixel during this temperature drop; and increase the output of the temperature regulator to achieve this new target operating temperature, as in the foregoing example.

[0038] The system can therefore implement closed-loop feedback techniques to achieve an output of the temperature regulator that maintains the illumination source at a temperature corresponding to a center (or primary) output wavelength of the illumination source substantially matched to the effective operating wavelength of the sensing circuit based on a number of photons (or a frequency of photons, a time between consecutive photons, etc.) detected by the single calibration pixel.

[0039] In other implementations, the system can vary the output wavelength of the illumination source by: actively tuning an internal Fabrey-Perot cavity thickness in a laser, such as via a MEMS actuator or piezoelectric film within the cavity; actively tuning an external cavity length of a vertical external-cavity surface-emitting laser ("VECSEL"), such as with MEMS actuators. In still other implementations, the system can vary the transmit wavelength (e.g., passband center wavelength) of the receiver circuit by: actively tuning a center wavelength of a filter within the receiver circuit by angle tuning, such as by rotating the filter with a MEMS gimbal actuator; etc. Of course, in some embodiments, the system can vary the output

2017212835 21 Aug 2018

wavelength of the illumination source as discussed above in addition to varying the transmit wavelength of the receiver circuit. In the foregoing implementations, the system can implement closed-loop methods and techniques to actively and dynamically tune the output wavelength of the illumination source and/or the receiver circuit, as described herein.

7. Extended One-Dimensional Calibration Circuit

[0040] One variation of the system is illustrated in FIGURES 3A AND 3B as system 300. In this embodiment, system 300 includes a set of (e.g., four) calibration circuits per illumination optic, such as 330-0, 330-1, 330-2, 330-3. In this variation: calibration apertures (e.g., 325-0, 325-1, etc.) in the set of calibration circuits can be formed into the aperture layer at substantially the same time and with substantially the same positional accuracy as the sense aperture; calibration lenses in the set of calibration circuits can be formed into the lens layer at substantially the same time and with substantially the same positional accuracy as the sense lens; and calibration pixels in the set of calibration circuits can be incorporated into the pixel layer at substantially the same time and with substantially the same positional accuracy as the sense pixel, such as according to the methods and techniques described above. The optical filter can also define a singular or unitary structure that spans the set of calibration circuits and the sensing circuit, and the aperture layer, the lens layer, the optical filter, and the pixel layer – including both the calibration and sensing circuits – can be assembled as described above. Furthermore, in this variation, the optical bypass can siphon light from the illumination source into each calibration aperture in the set of calibration circuits, as shown in FIGURES 3A and 3B.

[0041] In this variation, calibration lenses can be positioned in the lens layer such that, when the aperture layer is assembled over the lens layer, select calibration aperture and calibration lens pairs are laterally and/or longitudinally offset. Because a particular calibration lens in the set of calibration circuits is thus deliberately offset from its paired calibration aperture in the assembly, the particular calibration lens can pass light – received from the aperture – toward the optical filter at a corresponding off-axis angle. In one example of a nominal assembly (i.e., an assembly in which a first calibration aperture and first calibration

2017212835 21 Aug 2018

lens are axially aligned) including four calibration circuits: the first calibration lens can be axially aligned with the first aperture to output light toward the optical filter at an angle of 0° from normal to the optical filter; a second calibration lens can be laterally offset from a second aperture by a first distance in order to output light toward the optical filter at an angle of 1° from normal to the optical filter; a third calibration lens can be laterally offset from a third aperture by a second distance greater than the first distance in order to output light toward the optical filter at an angle of 2° from normal to the optical filter; and a fourth calibration lens can be laterally offset from a fourth aperture by a third distance greater than the second distance in order to output light toward the optical filter at an angle of 3° from normal to the optical filter, as shown in FIGURES 2A and 2C.

[0042] In this variation, the system can execute a method for calibrating an optical distance sensor, including: calculating a first photon count of photons detected by a first calibration pixel axially aligned with a first calibration lens axially aligned with a first calibration aperture; calculating a second photon count of photons detected by a second calibration pixel axially offset from a second calibration lens axially offset from a second calibration aperture by a first offset distance; transforming the first photon count and the second photon count into a target temperature change at an illumination source; and actuating a temperature regulator coupled to the illumination source according to the target temperature change.

[0043] In particular, during operation, the system can read incident photon counts (or times between consecutive incident photons, etc.) from each calibration pixel, characterize a difference between the effective operating wavelength of the calibration circuit and the center (or primary) output wavelength of the illumination source during a sampling period based on a pattern of incident photon counts read from the calibration pixels, and then maintain, increase, or decrease the output of the temperature regulator accordingly, as shown in FIGURE 2C. In one implementation, if the first calibration circuit records an incident photon count greater than incident photon counts recorded by the other calibration circuits in the system, the system can determine that the center output wavelength of the illumination source is either matched to or is greater than the effective operating wavelength of the first calibration circuit. The system can then determine that the output wavelength of the illumination source is too low if the incident photon count

2017212835 21 Aug 2018

(or the incident photon frequency, etc.) recorded by the first calibration pixel is less than a present threshold value, if the incident photon count recorded by the fourth calibration pixel is less than a present threshold value, or if a difference or ratio between the incident photon counts read by the first and second calibration pixels is less than a preset threshold value, etc. and decrease the heat output of the temperature regulator accordingly, thereby decreasing the output wavelength of the illumination source. However, in this implementation, if the second calibration circuit records an incident photon count greater than the incident photon counts recorded by the other calibration circuits in the system, including the first calibration circuit, the system can determine that the center output wavelength of the illumination source is less than the effective operating wavelength of the first calibration circuit and increase the heat output of the temperature regulator at a first rate accordingly, thereby increasing the output wavelength of the illumination source. Furthermore, in this implementation, if the third calibration circuit records an incident photon count greater than the incident photon counts recorded by the other calibration circuits in the system, including the first and second calibration circuits, the system can determine that the center output wavelength of the illumination source is again less than the effective operating wavelength of the first calibration circuit and increase the heat output of the temperature regulator at a second rate greater than the first rate accordingly, thereby more rapidly increasing the output wavelength of the illumination source. The system can therefore actively adjust the output of the temperature regulator substantially in real-time based on incident photon counts recorded by the calibration pixels throughout operation.

[0044] Alternatively, the system can locally store a set of photon count templates (or lookup tables, etc.), wherein each photon count template includes absolute or relative incident photon count values for the set of calibration circuits at a particular absolute or relative difference between the effective operating wavelength of the sensing circuit and the center (or primary) output wavelength of the illumination source. The system can thus implement template matching techniques to match a set of incident photon counts recorded by the set of calibration pixels during a sampling period to a particular photon count template in the set of photon count templates and then modify the heat output of the illumination source accordingly, such as based on a heat output change target associated with the

2017212835 21 Aug 2018

matched photon count template. However, the system can implement any other method or technique to transform incident photon counts read by the set of calibration circuits during a sampling period into a new heat output target for the illumination source. The system can repeat this process for each sampling period (or each set of consecutive sampling periods) throughout operation to maintain alignment between the center output wavelength of the illumination source and effective operating wavelength of the sensing circuit.

8. Defect Compensation in Extended Calibration Circuit

[0045] In another example of the system that includes four calibration circuits realizing different light output angles at the optical filter, the lens layer can be misaligned with the aperture layer due to manufacturing defects or manufacturing limitations such that: the first calibration lens is offset from the first aperture by a first distance and thus outputs light toward the optical filter at an angle of -1° from normal to the optical filter; the second calibration lens is substantially axially aligned with the second aperture and thus outputs light toward the optical filter at an angle of 0° from normal to the optical filter; the third calibration lens is laterally offset from the third aperture by the first distance and thus outputs light toward the optical filter at an angle of 1° from normal to the optical filter; and the fourth calibration lens is laterally offset from the fourth aperture by a second distance greater than the first distance and thus outputs light toward the optical filter at an angle of 2° from normal to the optical filter, as shown in FIGURE 2D. In this example, the system can implement methods and techniques described above to adjust the heat output of the illumination source in order to substantially maximize the incident photon count (or incident photon frequency, etc.) recorded by the first calibration pixel per unit time. As described above, if the first and third calibration circuits record substantially similar incident photon counts that are also greater than incident photon counts recorded by the second and fourth calibration circuits, the system can determine that the center output wavelength of the illumination source is either matched to or is greater than the effective operating wavelength of the first calibration circuit, as shown in FIGURE 2D. The system can then determine that the output wavelength of the illumination source is too low if the incident photon count (or the incident photon frequency, etc.) recorded by the first