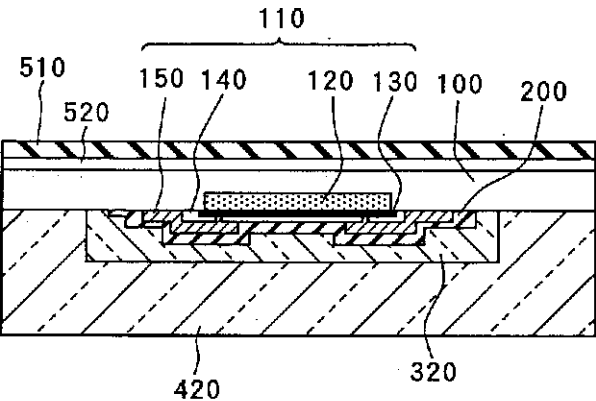


(51)Int.Cl. ⁶	Identification codes	FI		
H01L 27/148		H01L 27/14		B
29/762		29/76	301	E
21/339				
Request for examination: Not yet requested Number of claims: 16 OL (Total of 16 pages)				
(21) Application number	Japanese Patent Application H8-268548			
(22) Application date	October 9, 1996			
(71) Agent	000236436 Hamamatsu Photonics K. K. 1126-1 Ichino-cho, Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken			
(72) Inventor	Masaharu Muramatsu c/o Hamamatsu Photonics K. K., 1126-1 Ichino-cho, Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken			
(72) Inventor	Hiroshi Akabori c/o Hamamatsu Photonics K. K., 1126-1 Ichino-cho, Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken			
(74) Agent	Patent Attorney Yoshiki Hasegawa (and 3 others)			

(54) (Title of the invention) Back-illuminated light-receiving device and manufacturing method for the same

(57) (Abstract)
(Problem) Provide a back-illuminated light-receiving device that has reduced warpage and curvature, and that is protected by a firmly attached reinforcement.
(Means for solving) A glass body 420 having roughly the same thermal expansion coefficient as the material of the semiconductor slab 100, and which is firmly attached by both glass bonding to a glass layer 320 serving as adhesive on the dielectric film 200 that protects the light-receiving elements and by anodic bonding to the exposed portion of the semiconductor slab material, is provided on the side of a semiconductor slab 100 where light-receiving elements, including a charge readout component 110, are formed. As a result, the semiconductor slab 100 is reinforced by a glass body 420 having adequate mechanical strength, and is thereby protected against mechanical stress.



(Scope of patent claims)

(Claim 1) Back-illuminated light-receiving device in which a charge readout component having a one-dimensional or two-dimensional array is formed on one surface of a semiconductor slab composed primarily of silicon, and an accumulation layer formed by ion implantation and subsequent activation is provided on the back side opposite that where the aforesaid charge readout component is formed on the aforesaid semiconductor slab, and the energy of EM waves or charged particles entering from the back side of the aforesaid semiconductor slab is detected, which is furnished with:

A dielectric film formed on a first area of the surface of the aforesaid semiconductor slab including the aforesaid charge readout component;

A glass layer formed on at least the surface of the aforesaid dielectric film near the interface between the aforesaid first area and a second area on the surface of the aforesaid semiconductor slab enclosing the aforesaid first area;

A glass body that is connected to the aforesaid glass layer by glass bonding, and that is anodic bonded to the aforesaid semiconductor slab, and that additionally surrounds the aforesaid glass layer, the aforesaid dielectric film, and the aforesaid charge readout component, and has a thermal expansion coefficient roughly identical to that of the aforesaid semiconductor slab.

(Claim 2) Back-illuminated light-receiving device set forth in claim 1, characterized in that the aforesaid dielectric film is made of either one or both of SiN and/or SiO₂.

(Claim 3) Back-illuminated light-receiving device set forth in claim 1, characterized in that the aforesaid glass layer is made of one of either borophosphosilicate glass, phosphosilicate glass, borosilicate glass, or lead glass.

(Claim 4) Back-illuminated light-receiving device set forth in claim 1, characterized in that the aforesaid glass body is furnished with a recessed portion corresponding in shape to the convex form of the aforesaid dielectric film or the convex form of the aforesaid glass layer.

(Claim 5) Back-illuminated light-receiving device set forth in claim 1, characterized in that the top surface of the aforesaid dielectric film on the aforesaid glass layer is roughly parallel to the front surface of the aforesaid semiconductor slab.

(Claim 6) Back-illuminated light-receiving device set forth in claim 1, characterized in that the aforesaid glass layer is formed only on the surface of the aforesaid dielectric layer near the interface between the aforesaid first area and the aforesaid second area.

(Claim 7) Back-illuminated light-receiving device set forth in claim 1, characterized in that it is further furnished on the aforesaid second area with a frame component made of high-melting material, whose height from the aforesaid semiconductor slab is greater than the distance from the surface of the aforesaid semiconductor slab to the highest point of the aforesaid dielectric.

(Claim 8) Manufacturing method for back-illuminated light-receiving device furnished with: a first process in which a charge readout component is formed on a semiconductor substrate made primarily of silicon;

a second process in which a dielectric film is formed on a first area on the surface of the aforesaid semiconductor substrate including the aforesaid charge readout component;

a third process in which a glass layer is formed on at least the surface of the aforesaid dielectric film near the interface between the aforesaid first area and a second area on the surface of the aforesaid semiconductor substrate surrounding the aforesaid first area;

a fourth process in which a compound body is produced by mounting a glass body that, along with the aforesaid semiconductor substrate, surrounds the aforesaid glass layer, the aforesaid dielectric film, and the aforesaid charge readout component, and that has a thermal expansion coefficient roughly identical to that of

the aforesaid semiconductor substrate, onto the aforesaid semiconductor substrate, and then anodic bonding the exposed portion of the aforesaid semiconductor substrate to the aforesaid glass body;

a fifth process in which the aforesaid compound body is heat treated so as to glass bond the aforesaid glass layer to the aforesaid glass body;

a sixth process in which the back side of the aforesaid semiconductor substrate opposite that upon which the aforesaid charge readout component has been formed is machined so as to transform the aforesaid semiconductor substrate into a semiconductor slab; and

a seventh process in which ion implantation followed by activation are performed from the back side of the aforesaid semiconductor slab so as to form an accumulation layer.

(Claim 9) Manufacturing method for back-illuminated light-receiving device furnished with: a first process in which a charge readout component is formed on the semiconductor substrate;

a second process in which a dielectric film is formed on a first area on the surface of the aforesaid semiconductor substrate including the aforesaid charge readout component; a third process in which a glass layer is formed on at least an area on the surface of the glass body corresponding to the area near the interface between the aforesaid first area and a second area on the surface of the aforesaid semiconductor substrate surrounding the aforesaid first area;

a fourth process in which a compound body is produced by mounting a glass body having a thermal expansion coefficient roughly identical to that of the aforesaid semiconductor substrate on which the aforesaid glass layer is mounted onto the aforesaid semiconductor substrate, and anodic bonding the exposed portion of the aforesaid glass body to the exposed portion of the aforesaid semiconductor substrate;

a fifth process in which the aforesaid compound body is heat-treated to glass bond the aforesaid glass layer to the aforesaid glass body; a sixth process in which the back side of the aforesaid semiconductor substrate opposite that upon which the aforesaid charge readout component has been formed is machined so as to transform the aforesaid semiconductor substrate into a semiconductor slab; and

a seventh process in which ion implantation followed by activation are performed from the back side of the aforesaid semiconductor slab so as to form an accumulation layer.

(Claim 10) Manufacturing method for back-illuminated light-receiving device set forth in claim 8 or claim 9, characterized in that the aforesaid dielectric film is made of either one or both of SiN and/or SiO₂.

(Claim 11) Manufacturing method for back-illuminated light-receiving device set forth in claim 8 or claim 9, characterized in that the aforesaid glass layer is made of one of either borophosphosilicate glass, phosphosilicate glass, borosilicate glass, or lead glass.

(Claim 12) Manufacturing method for back-illuminated light-receiving device set forth in claim 8 or claim 9, characterized in that the aforesaid glass body is furnished with a recessed portion corresponding in shape to the convex form of the aforesaid dielectric film or the convex form of the aforesaid glass layer.

(Claim 13) [Manufacturing method for b]ack-illuminated light-receiving device set forth in claim 8, characterized in that an eighth process, in which the top surface of the aforesaid dielectric film of the aforesaid glass layer is made to be roughly parallel to the surface of the aforesaid semiconductor substrate, is further provided between the aforesaid third process and the aforesaid fourth process.

(Claim 14) Manufacturing method for back-illuminated light-receiving device set forth in claim 8, characterized in that the aforesaid third process is a process in which the aforesaid glass layer is formed only on the surface of the aforesaid dielectric film near the interface between the aforesaid first area and the aforesaid second area.

(Claim 15) Manufacturing method for back-illuminated light-receiving device set forth in claim 9, characterized in that the aforesaid third process is a process in which the aforesaid glass layer is formed on an area of the surface of the aforesaid glass body corresponding only to the surface of the aforesaid dielectric film near the interface between the aforesaid first area and the aforesaid second area.

(Claim 16) Manufacturing method for back-illuminated light-receiving device set forth in claim 8 or claim 9, characterized in that a ninth process, in which a frame component made of high-melting material, whose height from the aforesaid semiconductor substrate is greater than the distance from the surface of the aforesaid semiconductor substrate to the highest point of the aforesaid dielectric, is formed on the aforesaid second area, is further provided between the aforesaid second process and the aforesaid third process.

(Detailed description of the invention)

(0001)

(Technical field of the invention) The present invention relates to back-illuminated light-receiving devices which are applicable to applications involving illumination by energy rays with a large absorption coefficient such as ultraviolet rays, gamma rays, and charged particles, examples of which include back-illuminated charge coupled devices (CCD) and back-illuminated active pixel sensors (APS), and to a manufacturing method for this manner of back-illuminated light-receiving devices.

(0002)

(Prior art) There are three exemplary architectures used by practical CCD imaging devices: frame transfer (FT), full frame transfer (FFT), and interline transfer (IT). Among these, the method primarily used for measurement is full frame transfer.

(0003) A distinguishing feature of the full frame transfer architecture is the lack of an accumulation component and the large surface area occupied by the light receptor component, which results in a high light utilization rate, making this architecture ideally suited to low-light measurement. In contrast, because incident light is absorbed by a charge transfer electrode, sensitivity decreases markedly with regards to input with a large absorption coefficient such as light with a short wavelength.

(0004) In the classic structure for the light-receiving component of a full frame transfer CCD, the entire surface of the light-receiving component is covered with polysilicon electrodes, which are in turn is covered with a PSG film several μm thick to separate each electrode. Notably, polysilicon absorbs light with wavelengths up to 400 nm as well as electrons, and hence cannot be expected to provide high sensitivity.

(0005) In regards to photodetectors of this kind, one such type has a thin light-receiving component on the substrate measuring on the order of 15 μm to 20 μm , so that light can be illuminated from the back side. The photoelectric conversion component is provided under the gate oxide film, and the polysilicon electrodes cover the surface without gap, so although short-wavelength light is absorbed, there are no obstacles on the back side of the substrate apart from a thin oxide film, providing some sensitivity to short-wavelength light. Such a back-illuminated CCD has sensitivity to short-wavelength light of approximately 200 nm, and can also be applied to electron bombarded CCD imaging devices. Because such devices are able to make use of the intensifying action of the signal charge produced by electron bombardment, they have the potential to serve as high-sensitivity imaging devices.

(0006) The reason why it is necessary to perform thinning in back-

illuminated light-receiving devices such as back-illuminated CCD is as follows.

(0007) As described above, in a back-illuminated light-receiving device, light enters from the back side of the substrate, on the opposite side from the front side where the charge reading component, etc. are formed. Typically in a CCD, the thickness of the silicon substrate is 400-600 μm . In contrast, the majority of 200-300 nm light with a large absorption coefficient (ultraviolet light) is absorbed at a shallow depth from the incidence plane. Concretely, in the case of a silicon substrate, most incident light is absorbed at a depth of no greater than 0.01 μm from the incidence plane.

(0008) Consequently, most photoelectrons produced near the back side surface will end up being lost due to recombination in the course of being diffused to the potential well of the CCD on the front side. Even if a small number of these do reach the potential well, the signals will have become mixed in the course of diffusing through that long distance of several 100 μm , resulting in a pronounced decrease in resolution.

(0009) Furthermore, in a back-illuminated light-receiving device, in addition to thinning the light-receiving component, it is necessary to form a layer called an accumulation layer on the back side incidence surface, and to create a potential slope. FIG. 13 is a diagram illustrating accumulation. In FIG. 13, the left side of the drawing represents the back side and the right side of the drawing represents the front side. An oxide film 920 serving as a protective film is formed on the back side of the substrate 910.

(0010) However, the oxide film 920 necessarily has its own oxide film charge and interface state density, each of which act to deplete the back side of the substrate 910. In short, from the perspective of the potential profile, electron potential decreases moving towards the oxide film 920 on the back side, as indicated by the solid line in FIG. 13, i.e. photoelectrons produced at a shallow depth from the back side surface are unable to attain the potential well of the CCD, and wind up being pushed toward the interface between the back side oxide film 920 and the silicon, where they await their fate of recombination. Consequently, after thinning the light-receiving component and oxidizing the back side, the back side of the substrate 910 near the back side oxide film 920 is placed in the accumulation state, resulting in a potential profile of the kind indicated by the dashed line in FIG. 13. This enables photoelectrons produced at a shallow depth from the back side surface to efficiently attain the potential well of the CCD on the back side.

(0011) The formation of an accumulation layer can be achieved by ion implantation of boron into the back side oxide film 920, followed by activation of the implanted atoms by heat treatment at 800 $^{\circ}\text{C}$ or greater.

(0012) In this way, thinned back-illuminated devices have very good performance, but are frail on a standalone basis due to having been thinned, and hence require some form of mechanical reinforcement.

(0013) A practical example of a thinned back-illuminated light-receiving device of this kind is a so-called back side CCD (hereinafter referred to as prior art example 1), in which only the light-receiving component on the back side is thinned, and the area around it is a "frame portion" that retains the original thickness of the substrate. The "frame portion" provides the device with its mechanical strength.

(0014) Alternately, a method of protecting a thinned silicon substrate and preventing it from folding is to affix a second silicon substrate to a first silicon substrate prior to thinning, and then subsequently to thin the first silicon substrate. With this approach, if voids are present in the light-receiving device, the protective functionality will be impaired, and the void segments will swell in size, causing problems with focusing. For this reason, a method has been proposed to avoid the occurrence of voids (hereinafter referred to as prior art example 2).

(0015) This method entails first superimposing the mirrored surface of a first silicon substrate over the mirrored surface of a second silicon substrate at room temperature. In this state, the first silicon substrate is free to move relative to the second silicon substrate. Next, a weight of several 100 g is placed over one location on the edge of the superimposed silicon substrates.

(0016) This causes a minute amount of deformation that brings the silicon substrates into contact and commences bonding. Subsequently, bonding proceeds at a rate of several cm/sec until finally the substrates are entirely bonded together. The mechanism for this adhesion has to do with hydrogen bonds and intermolecular force, and the strength of the bond is weak.

(0017) Subsequently, to avoid the formation of voids, heat treatment is performed at 1100 °C, forming Si-O bonds which provide adhesion of significant bond strength.

(0018) Additionally, a method has been proposed for preventing the occurrence of voids by using borosilicate glass (BSG) or borophosphosilicate glass (BPSG) as the adhesive when adjoining the silicon substrates (Japanese Unexamined Patent Application Publication S53-114361; hereinafter referred to as prior art example 3).

(0019) This method prevents the occurrence of voids by creating a path to enable the escape of air, which is the cause of voids.

(0020) In short, this method entails forming a vertical and horizontal V-shaped groove in the adjoining surfaces of both silicon substrates, and, after superimposing the silicon substrates with BSG or BPSG interposed there between, heating to at least the softening temperature of BSG or BPSG (900-1000 °C) while applying force to the silicon substrates (for example, by placing a weight thereupon), and then cooling. During the course of this adhesion process, trapped air is pushed into the nearby V-shaped grooves, preventing the occurrence of voids.

(0021) Additionally, a method has been proposed that entails depositing (coating) BSG prior to thinning the silicon substrate, and using the coating as reinforcement (Japanese Examined Patent Application Publication H6-93448; referred to as prior art example 4).

(0022) With this method, BSG is used as the coating material due to the fact that it adheres and hardens on the surface of the die when melted, contains roughly 18-28% silicon as a ratio by weight, and has nearly the same thermal expansion coefficient as the die (silicon). BSG is pulverized and mixed with a vehicle of nitrocellulose and solvent (liquid form for coat formation) before being applied to the surface of the die in paste form. After evening out the thickness, heat treatment is performed for 60 minutes at 360 °C, and the vehicle is removed. Next, heat treatment is performed at 700-950 °C, pulverized glass is melted, and the melted glass is adhered to the surface of the die.

(0023)

(Problem to be solved by the invention) Due to the fact that back-illuminated light-receiving devices and existing methods of

reinforcement or protection that are capable of being applied to back-illuminated light-receiving devices are configured in the manner described above, the following problems exist.

(0024) In the back side-type back-illuminated light-receiving device in prior art example 1, the thinned portion is prone to incurring damage during the manufacturing process, such as during semiconductor processing or assembly. In short, the thinned portion can become damaged simply from having something brush up against it, or from a stream of water hitting too hard against the thinned portion during rinsing.

(0025) Additionally, because the thinned portion is physically very frail, this limits how much of an area is able to be thinned, i.e. limits the light-receiving area. Concretely, 13 mm × 13 mm (corresponding to a 1024 channel × 1024 channel CCD at 12 μm pitch) is the limit; this method cannot be applied to light-receiving devices with a larger area than this.

(0026) Furthermore, due to the fact that the thinned portion is 15-20 μm in thickness, and several μm of protective film (silicon oxide film (SiO₂ film), nitride film (SiN film), etc.) and metal trace are present on the side where the charge readout component has been formed, stress from the difference with the thermal expansion coefficient of the silicon that is the main component of the substrate causes the thinned portion, i.e. the light-receiving surface, to warp significantly.

(0027) Prior-art example 2 is applicable when the entirety of the adjoining surface is mirrored, but is not applicable in the case of a back-illuminated light-receiving device, as the visibly uneven surface on which the charge reading component has been formed would need to be used as the adjoining surface.

(0028) Furthermore, the high temperature of 1100 °C required during joining is not feasible after having already completed the semiconductor treatment process and the metal tracing process.

(0029) In prior art example 3, two structures are conceivable: one in which the V-shaped grooves are shut off from the outside air (closed air lock), and one in which the V-shaped grooves are open to the outside air (open air lock).

(0030) In the case of a closed air lock, the air in the V-shaped grooves will expand during heat treatment, making voids unavoidable. In contrast, with an open air lock, chemicals or liquid rinse will enter into the air holes of the V-shaped grooves during chemical rinsing prior to adhesion or during a later process, and will leak out to the exterior during the subsequent heat treatment process, adversely impacting the performance of the device. In short, this method is problematic whether the air lock is closed or open.

(0031) Furthermore, when thinning is performed, some amount of unevenness is produced at the location where the V-shaped groove was formed. This makes it challenging to produce a light-receiving surface with the appropriate shape (nearly flat).

(0032) In prior art example 4, "suppression of warpage" and "adhesion" are meant to be achieved by adjusting the silicon content in the glass; however, findings obtained by the inventors through experiment have shown it to be challenging to achieve both "suppression of warpage" and "adhesion" simply by adjusting the content of silicon in the glass. In short, under conditions minimizing warpage, it is impossible to achieve strong adhesion to the die, which is made primarily of silicon. Meanwhile, it is necessary to accept some small degree of warpage in order to attain sufficiently strong adhesion.

(0033) Furthermore, applying a coating material to the die before removing the vehicle causes a reduction in the volume of the coating material. This means that it is impossible to minimize warpage even if the thermal expansion coefficient of the coating material is made to exactly match that of the silicon.

(0034) The present invention was devised in view of the aforesaid, having as its objective to provide a back-illuminated light-receiving device that has reduced warpage and curvature, and that is protected by a firmly attached reinforcement.

(0035) Another objective of the present invention is to provide a manufacturing method for back-illuminated light-receiving device that makes it possible to manufacture a back-illuminated light-receiving device that has reduced warpage and curvature, and that is protected by a firmly attached reinforcement.

(0036)

(Means for solving the problem) The back-illuminated light-receiving device in claim 1 is a back-illuminated light-receiving device in which a charge readout component having a one-dimensional or two-dimensional array is formed on one surface of a semiconductor slab composed primarily of silicon, and an accumulation layer formed by ion implantation and subsequent activation is provided on the back side opposite that where the charge readout component is formed on the semiconductor slab, and the energy of EM waves or charged particles entering from the back side of the semiconductor slab is detected, characterized in that it is furnished with:

(a) a dielectric film formed on a first area of the surface of the semiconductor slab including the charge readout component; (b) A glass layer formed on at least the surface of the aforesaid dielectric film near the interface between the first area and a second area on the surface of the aforesaid semiconductor slab enclosing the first area; (c) A glass body that is connected to the glass layer by glass bonding, and that is anodic bonded to the semiconductor slab, and that additionally surrounds the glass layer, the dielectric film, and the charge readout component, and has a thermal expansion coefficient roughly identical to that of the semiconductor slab.

(0037) Here, SiN film or SiO₂ film can be used as the dielectric film.

(0038) Additionally, for the material of the glass layer, it is acceptable to use borophosphosilicate glass (BPSG), phosphosilicate glass (PSG), borosilicate glass (BSG), or lead glass.

(0039) In the back-illuminated light-receiving device in claim 1, the semiconductor slab is furnished, on the side where the light-receiving elements, including the charge readout component, are

formed, with a glass body that is firmly attached by glass bonding to the glass layer serving as the adhesive on the dielectric film that protects the light-receiving elements, as well as being fastened by anodic bonding at the location where the semiconductor slab material is exposed, and that has roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor slab material. As a result, the semiconductor slab is reinforced by the glass body, which has more than adequate mechanical strength, thereby protecting it against mechanical stress.

10 (0040) In the back-illuminated light-receiving device in claim 1, the glass body is firmly attached by glass bonding to the glass layer, as well as having roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor slab, such that the glass layer imparts adequate strength to the attachment between the glass body and the semiconductor slab, thereby preventing both warpage and curvature due to temperature change.

(0041) The back-illuminated light-receiving device in claim 4 is the back-illuminated light-receiving device set forth in claim 1, characterized in that the glass body is furnished with a recessed portion corresponding in shape to the convex form of the dielectric film or the convex form of the glass layer.

20 (0042) Because the back-illuminated light-receiving device in claim 4 is furnished with a glass body having a recessed portion corresponding in shape to the convex form of the dielectric film or the glass layer, which corresponds to a convexity relative to the plane of the surface on the surface of the semiconductor slab lacking the dielectric film or glass layer, it is possible to reduce the amount of force applied to the semiconductor slab by the joining of the semiconductor slab to the glass body. Consequently, it is possible to prevent destruction of the semiconductor slab.

(0043) The back-illuminated light-receiving device in claim 5 is the back-illuminated light-receiving device in claim 1, characterized in that the surface of the glass layer facing the top of the dielectric film is roughly parallel to the front surface of the semiconductor slab.

30 (0044) The shape of the surface of the glass body that comes into contact with the glass layer is generally machined to have a planar shape. Consequently, in order to secure as much adhesion surface as possible so as to achieve a firm union, it is preferred that the surface of the glass layer facing the top of the dielectric film be given a planar shape.

(0045) In the back-illuminated light-receiving device in claim 5, because the surface of the glass layer facing the top of the dielectric film is given a planar shape that is roughly parallel to the surface of the semiconductor slab, an ideal way of achieving sufficient adhesion surface is to machine the surface of the glass body that comes in contact with the glass layer so as to be roughly parallel to the surface of the glass body that comes in contact with the semiconductor slab.

(0046) The back-illuminated light-receiving device in claim 6 is the back-illuminated light-receiving device in claim 1, characterized in that the glass layer is formed only on the surface of the dielectric layer near the interface between the first area and the second area.

(0047) In the back-illuminated light-receiving device in claim 6, because the glass layer is formed only on the surface near the edge of the dielectric film, and the inner area is intentionally left as an air layer, this makes it possible to prevent randomly occurring voids. Moreover, because any occurring air layers are very shallow, the viscosity of air acts to good effect to protect the semiconductor slab by adhering thereto in the manner of adhesive by dint of the viscosity of air.

(0048) The back-illuminated light-receiving device in claim 7 is the back-illuminated light-receiving device in claim 1, characterized in that it is further furnished on the second area with a frame component made of high-melting material, whose height from the semiconductor slab is greater than the distance from the surface of the semiconductor slab to the highest point of the dielectric.

(0049) In the back-illuminated light-receiving device in claim 7, because a frame made of high-melting material is provided, it is possible to prevent lateral movement of the material that forms the glass layer, which occurs due to softening of the material that forms the glass layer when performing heat treatment to glass bond the glass layer to the glass body. This ensures that the glass layer is of adequate thickness, thereby effectively ensuring the strength of the glass bond.

(0050) The manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 8 is furnished with: (a) a first process in which a charge readout component is formed on a semiconductor substrate made primarily of silicon; (b) a second process in which a dielectric film is formed on a first area on the surface of the semiconductor slab including the charge readout component; (c) a third process in which a glass layer is formed on at least the surface of the dielectric film near the interface between the first area and a second area on the surface of the semiconductor substrate surrounding the first area; (d) a fourth process in which a compound body is produced by mounting a glass body that surrounds the glass layer, the dielectric film, and the charge readout component, and that has a thermal expansion coefficient roughly identical to that of the semiconductor substrate, onto the semiconductor substrate, and then anodic bonding the exposed portion of the semiconductor substrate to the glass body; (e) a fifth process in which the compound body is heat treated so as to glass bond the glass layer to the glass body; (f) a sixth process in which the back side of the semiconductor substrate opposite that upon which the charge readout component has been formed is machined so as to transform the semiconductor substrate into a semiconductor slab; and (g) a seventh process in which ion implantation followed by activation are performed from the back side of the semiconductor slab so as to form an accumulation layer.

(0051) In the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 8, first, a charge readout component is formed on a semiconductor substrate made primarily of silicon (first process), after which a dielectric film is formed on a first area of the surface of the semiconductor substrate including the charge readout component (second process), whereupon a glass layer is formed on at least the surface of the dielectric film near the interface between the first area and a second area on the surface of the semiconductor substrate surrounding the first area (third process).

(0052) Next, a glass body surrounding the glass layer, the dielectric film, and the charge readout component and having roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor substrate is placed on the semiconductor substrate, and the glass body is anodic bonded to the exposed portions of the semiconductor substrate, producing a compound body (fourth process). This results in a temporary bond between the semiconductor substrate and the glass body, but the fact that the semiconductor substrate has not yet been thinned at this point ensures that it has adequate strength to prevent destruction.

(0053) Next, the compound body is heat-treated to glass-bond the glass layer to the glass body (fifth process). As a result, a strong and permanent bond is created between the semiconductor substrate and the glass body by means of the glass layer. Because the semiconductor substrate has roughly the same thermal expansion coefficient as the glass body, after glass bonding, there will effectively be no residual stress even after returning to room temperature.

(0054) Next, the back side of the semiconductor substrate opposite that upon which the charge readout component has been formed is machined, transforming the semiconductor substrate into a semiconductor slab (sixth process), after which ion implantation and then activation are performed from the back side of the semiconductor slab, forming an accumulation layer (seventh process).

(0055) In this way, because the semiconductor slab has no residual stress, and reinforcement is provided by a glass body that possesses adequate mechanical strength, it is possible to manufacture a back-illuminated light-receiving device made from a semiconductor slab that is protected from mechanical stress.

(Claim 9) The manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 9 is furnished with: (a) a first process in which a charge readout component is formed on the semiconductor substrate; (b) a second process in which a dielectric film is formed on a first area on the surface of the aforesaid semiconductor slab including the charge readout component; (c) a third process in which a glass layer is formed on at least an area on the surface of the glass body corresponding to the area near the interface between the first area and a second area on the surface of the semiconductor substrate surrounding the first area; (d) a fourth process in which a compound body is produced by mounting a glass body having a thermal expansion coefficient roughly identical to that of the semiconductor substrate on which the glass layer is mounted onto the semiconductor substrate, and anodic bonding the exposed portion of the glass body to the exposed portion of the semiconductor substrate;

(e) a fifth process in which the compound body is heat-treated to glass bond the glass layer to the glass body; (f) a sixth process in which the back side of the semiconductor substrate opposite that upon which the charge readout component has been formed is machined so as to transform the semiconductor substrate into a semiconductor slab; and (g) a seventh process in which ion implantation followed by activation are performed from the back side of the semiconductor slab so as to form an accumulation layer.

(0057) In the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 9, first, a charge readout component is formed on a semiconductor substrate made primarily of silicon (first process), after which a dielectric film is formed on a first area on the surface of the semiconductor slab including the charge readout component (second process).

(0058) Next, instead of forming a glass layer on the dielectric film as in the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 8, a glass layer is formed on the glass body side (third process).

(0059) Next, the glass body on which the glass layer was just formed, which encloses the dielectric film and the charge readout component and has roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor substrate, is mounted on the semiconductor substrate, and a compound body is produced by anodic bonding the glass body to the exposed portions of the semiconductor substrate (fourth process). This results in a temporary bond between the semiconductor substrate and the glass body, but the fact that the semiconductor substrate has not yet been thinned at this point ensures that it has adequate strength to prevent destruction.

(0060) Next, the compound body is heat-treated to glass-bond the glass layer to the glass body (fifth process). As a result, a strong and permanent bond is created between the semiconductor substrate and the glass body by means of the glass layer. Because the semiconductor substrate has roughly the same thermal expansion coefficient as the glass body, after glass bonding, there will effectively be no residual stress even after returning to room temperature.

(0061) Next, the back side of the semiconductor substrate opposite that upon which the charge readout component has been formed is machined, transforming the semiconductor substrate into a semiconductor slab (sixth process), after which ion implantation and then activation are performed from the back side of the semiconductor slab, forming an accumulation layer (seventh process).

(0062) Thus, with the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 9, as in the case of the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 8, because the semiconductor slab has no residual stress, and reinforcement is provided by a glass body that possesses adequate mechanical strength, it is possible to manufacture a back-illuminated light-receiving device made from a semiconductor slab that is protected from mechanical stress.

(0063) With the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 8 or claim 9, it is possible to use SiN film or SiO₂ film for the dielectric film.

(0064) Additionally, it is possible to use borophosphosilicate glass (BPSG), phosphosilicate glass (PSG), borosilicate glass (BSG), or lead glass as the material for the glass layer.

(0065) The manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 12 is the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 8 or claim 9, characterized in that the glass body is furnished with a recessed portion corresponding in shape to the convex form of the dielectric film or the convex form of the glass layer.

(0066) Because the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 12 is furnished with a glass body having a recessed portion corresponding in shape to the convex form of the dielectric film or the glass layer, which corresponds to a convexity relative to the plane of the surface on the surface of the semiconductor slab lacking the dielectric film or glass layer, it is possible to reduce the amount of force applied to the semiconductor slab by the anodic bonding of the semiconductor slab to the glass body. This consequently reduces the amount of force applied to the semiconductor slab after thinning the semiconductor substrate, thereby making it possible to prevent destruction during the manufacturing process, which is ideal for the manufacture of the back-illuminated light-receiving device in claim 4.

(0067) The manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 13 is the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 8, characterized in that an eighth process, in which the top surface of the aforesaid dielectric film of the glass layer is made to be roughly parallel to the surface of the semiconductor substrate, is further provided between the third process and the fourth process.

(0068) With the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 13, the surface of the glass layer facing the top of the dielectric film is given a planar shape parallel to the surface of the semiconductor substrate prior to anodic bonding so the glass body can be given adequate contact area for mounting on the semiconductor substrate by machining the shape of the surface of the glass body that comes into contact with the glass layer in such a way as to be roughly parallel to the surface of the glass body that comes into contact with the semiconductor substrate. This makes it possible to achieve adequate bonding area for glass bonding, thereby creating a strong bond, which is ideal for manufacturing the back-illuminated light-receiving device in claim

5.

(0069) The manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 14 is the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 8, characterized in that the third process is a process in which the glass layer is formed only on the surface of the dielectric film near the interface between the first area and the second area.

(0070) With the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 14, it is possible to form a glass layer only on the surface near the edge of the dielectric film, and to intentionally leave the interior as an air layer, thereby avoiding the occurrence of voids, which is ideal for manufacturing the back-illuminated light-receiving device in claim 6.

(0071) The manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 15 is the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 9, characterized in that the third process is a process in which the glass layer is formed on an area of the surface of the glass body corresponding only to the surface of the dielectric film near the interface between the first area and the second area.

(0072) With the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 15, it is possible to prevent the occurrence of random voids because the glass layer is formed only on the surface near the edge of the dielectric film, and the interior is intentionally left as an air layer, which is ideal for manufacturing the back-illuminated light-receiving device in claim 6.

(0073) Moreover, because the air layer formed by the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 14 and claim 15 is very shallow, the viscosity of air acts to good effect to protect the semiconductor slab by adhering thereto in the manner of adhesive by dint of the viscosity of air.

(0074) The manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 16 is the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 8 or claim 9, characterized in that a ninth process, in which a frame component made of high-melting material, whose height from the semiconductor substrate is greater than the distance from the surface of the semiconductor substrate to the highest point of the dielectric, is formed on the second area, is further provided between the second process and the third process.

(0075) With the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device in claim 16, a frame component made of high-melting material is formed in a ninth process, thereby preventing lateral movement of the material that forms the glass layer, which occurs due to softening of the material that forms the glass layer when performing heat treatment to glass bond the glass layer to the glass body. This consequently ensures that the glass layer is of adequate thickness, thereby effectively ensuring the strength of the glass bond, which is ideal for manufacturing the back-illuminated light-receiving device in claim 7.

(0076)

(Embodiment of the invention) Embodiments of the back-illuminated light-receiving device and manufacturing method for back-illuminated light-receiving device of the present invention will be described below with reference to the attached drawings. Note that when describing the drawings, identical components will be referenced with the same symbols, and will not be described again so as to avoid repetition.

(0077) (Embodiment 1) FIG. 1 is a configuration drawing of the back-illuminated light-receiving device of the present invention. As shown in FIG. 1, this device is furnished with (a) a charge readout component 110 formed on the surface of a semiconductor slab 100; (b) a dielectric film 200 formed on an area on the surface of the semiconductor slab 100 including the charge readout component 110; (c) a glass layer 310 formed in such a way as to surround the dielectric film 200; (d) a glass body 410 having roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor slab 100, and being glass-bonded to the glass layer 310 and anodic bonded to the semiconductor slab 110 in such a way as to surround the glass layer 310; (e) a high impurity concentration layer (accumulation layer) 520 formed by performing ion implantation followed by heat treatment; and (f) an insulation film 510 formed on the surface of the accumulation layer 520.

(0078) The charge readout component 110 is furnished with a charge coupled device (CCD) 120 as well as a polysilicon electrode 130 formed on the CCD 120, interlayer insulation film 140, and metal trace 150, etc.

(0079) SiN film or SiO₂ film is suitable for use as the dielectric film 200.

(0080) BPSG, PSG, BSG, or lead glass is suitable the material for the glass layer 310.

(0081) In the back-illuminated light-receiving device in this embodiment, the semiconductor slab 100 is furnished, on the side where the light-receiving elements, including the charge readout component 110, are formed, with a glass body 410 that is firmly attached by glass bonding to the glass layer 310 serving as the adhesive on the dielectric film 200 that protects the light-receiving elements, as well as being fastened by anodic bonding at the location where the material of the semiconductor slab 100 is exposed, and that has roughly the same thermal expansion coefficient as the material of the semiconductor slab 100. As a result, the semiconductor slab 100 is reinforced by the glass body 410, which has more than adequate mechanical strength, thereby protecting it against mechanical stress.

(0082) In the back-illuminated light-receiving device in this embodiment, the glass body 410 is firmly attached by glass bonding to the glass layer 310, and the glass body 410 also has roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor slab 100, such that the glass layer 310 imparts adequate strength to the attachment between the glass body 410 and the semiconductor slab 100, thereby preventing both warpage and curvature due to temperature change.

(0083) The back-illuminated light-receiving device in this embodiment is manufactured as follows. FIG. 2 and FIG. 3 are manufacturing process drawings of the back-illuminated light-receiving device in this embodiment.

(0084) First, after forming a charge readout component 110 on a semiconductor substrate 101 made primarily of silicon, a dielectric film 200 is formed around the charge readout component 110 (see FIG. 2 (a)). The dielectric film 200 and metal trace are removed from the outer edge of the charge readout component 110 to expose the semiconductor substrate 101.

(0085) Next, a glass layer 310 is formed surrounding the dielectric film 200 (see FIG. 2 (b)). For the material of the glass layer 310, bonding glass such as BPSG, for example, can be deposited to a thickness of roughly 3 μm.

(0086) Next, a glass body 410 having roughly the same thermal

expansion coefficient as the semiconductor substrate 101 is placed on the semiconductor substrate 101 in such a way as to enclose the glass layer 310, and the exposed portions of the semiconductor substrate 101 are anodic bonded to the glass body 410 (FIG. 2 (c)). (0087) A suitable thickness for the glass body 410 is 0.5 mm to 1 mm. Concretely, borosilicate glass containing alkali metal such as CORNING #7740 or the like is ideally suited to this purpose. The thermal expansion coefficient of CORNING #7740 is 3.4×10^{-6} , which is a close match to the thermal expansion coefficient of silicon (3×10^{-6}).

(0088) Note that the glass body 410 is furnished, by means of etching, with a recessed portion corresponding in shape to the convex shape into which the glass layer 310 is formed on the semiconductor substrate 101, but may alternately be affixed in a flat shape by making use of the elastic deformation of the glass body and the elastic deformation of the semiconductor substrate 101.

(0089) The semiconductor substrate 101 and the glass body 410 are anodic bonded by means of an anodic bonding device, but because anodic bonding is performed at a low temperature of no greater than 400 °C, the glass layer 310 does not melt. Consequently, at this point in time, the glass layer 310 and the glass body 410 are not yet glass bonded. Additionally, although the glass body 410 accumulates a charge of on the order of 500 V during anodic bonding, this does not cause destruction of the gate oxide film of the CCD 120 of the charge readout component 110.

(0090) In this way, a temporary bond is formed between the semiconductor substrate 101 and the glass body 410, but the fact that the semiconductor substrate 101 has not yet been thinned at this point ensures that it has adequate strength to prevent destruction.

(0091) Next, heat treatment is performed to glass-bond the glass layer 310 to the glass body 410 (see FIG. 3 (a)). If the glass layer is made of BPSG, a suitable temperature for heating is 800-900 °C.

(0092) Due to the presence of an anodic bond on the edge thereof, force acts on the glass layer 310 in such a way as to press it toward the glass body 410, establishing a strong bond. Furthermore, there is no need to use a weight or the like during heat treatment. If anodic bonding is not performed, it is necessary to use a weight or the like to apply pressure; however, as the surface area increases, it becomes difficult to apply pressure uniformly, increasing the likelihood of warping or curvature occurring, in some extreme cases even leading to partial failure to establish a glass bond.

(0093) In this way, a strong and permanent bond is created between the semiconductor substrate 101 and the glass body 410 by means of the glass layer 310. Because the semiconductor substrate has roughly the same thermal expansion coefficient as the glass body, after glass bonding, there will effectively be no residual stress even after returning to room temperature.

(0094) Next, the back side of the semiconductor substrate 101 opposite that upon which the charge readout component 110 has been formed is machined, transforming the semiconductor substrate 101 into a semiconductor slab 100 (see FIG. 3 (b)). Next, after growing an oxide film 510 on the back side of the semiconductor slab 100, ion implantation followed by high-temperature annealing is performed, forming an accumulation layer (P⁺ layer) 520 (see FIG. 3 (c)).

(0095) In this way, because the semiconductor slab 100 has no residual stress, and reinforcement is provided by a glass body that possesses adequate mechanical strength, it is possible to manufacture a back-illuminated light-receiving device that is protected from mechanical stress.

(0096) (Embodiment 2) FIG. 4 is a configuration drawing of the back-illuminated light-receiving device of the present invention. As shown in FIG. 4, this device differs from embodiment 1 in that the glass layer 320 has been flattened, and there is essentially no air layer between the glass layer 320 and glass body 420, which is made of the same material as the glass body 410 in embodiment 1. (0097) In this embodiment, as in the case of embodiment 1, SiN film or SiO₂ film is suitable for use as the dielectric film 200, and GPSC, PSG, BSG, or lead glass is suitable for use as the material for the glass layer 320.

(0098) In the back-illuminated light-receiving device in this embodiment, as in the case of embodiment 1, the semiconductor slab 100 is furnished, on the side where the light-receiving elements, including the charge readout component 110, are formed, with a glass body 420 that is firmly attached by glass bonding to the glass layer 320 serving as the adhesive on the dielectric film 200 that protects the light-receiving elements, as well as being fastened by anodic bonding at the location where the material of the semiconductor slab 100 is exposed, and that has roughly the same thermal expansion coefficient as the material of the semiconductor slab 100. As a result, the semiconductor slab 100 is reinforced by the glass body 420, which has more than adequate mechanical strength, thereby protecting it against mechanical stress. (0099) In the back-illuminated light-receiving device in this embodiment, as in the case of embodiment 1, the glass body 420 is firmly attached by glass bonding to the glass layer 320, and the glass body 420 also has roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor slab 100, such that the glass layer 320 imparts adequate strength to the attachment between the glass body 420 and the semiconductor slab 100, thereby preventing both warpage and curvature due to temperature change.

(0100) The back-illuminated light-receiving device in this embodiment is manufactured as follows. FIG. 5 and FIG. 6 are manufacturing process drawings of the back-illuminated light-receiving device in this embodiment.

(0101) First, as in the case of embodiment 1, after forming a charge readout component 110 on a semiconductor substrate 101 made primarily of silicon, a dielectric film 200 is formed around the charge readout component 110 (see FIG. 5 (a)), after which a glass layer 320 is formed around the dielectric film 200 (see FIG. 5 (b)).

(0102) Next, the glass layer 310 is flattened into a glass layer 320 (see FIG. 5 (c)). Flattening can be performed in a suitable manner using either chemical, mechanical, or polishing technology.

(0103) Next, a glass body 420 having roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor substrate 101 is placed on the semiconductor substrate 101 in such a way as to enclose the glass layer 320, and the exposed portions of the semiconductor substrate 101 are anodic bonded to the glass body 420 (FIG. 5 (d)).

(0104) As in the case of embodiment 1, a suitable thickness for the glass body 420 is 0.5 mm to 1 mm. Concretely, borosilicate glass containing alkali metal such as CORNING #7740 or the like is ideally suited to this purpose. Note that the glass body 420 is furnished, by means of etching, with a recessed portion corresponding in shape to the convex shape into which the glass

layer 320 is formed on the semiconductor substrate 101, toward the aim of achieving a good fit with the glass layer 320.

(0105) As in the case of embodiment 1, at this point in time, the glass layer 320 and the glass body 420 are not yet glass bonded, and additionally, although the glass body 420 accumulates a charge of on the order of 500 V during anodic bonding, this does not cause destruction of the gate oxide film of the CCD 120 of the charge readout component 110.

(0106) In this way, a temporary bond is formed between the semiconductor substrate 101 and the glass body 420, but the fact that the semiconductor substrate 101 has not yet been thinned at this point ensures that it has adequate strength to prevent destruction.

(0107) Next, heat treatment is performed to glass-bond the glass layer 320 to the glass body 420 (see FIG. 6 (a)). As in the case of embodiment 1, due to the presence of an anodic bond on the edge thereof, force acts on the glass layer 320 in such a way as to press it toward the glass body 420, establishing a strong bond. Furthermore, the increased bond area between the glass layer 320 and the glass body 420 results in an extremely strong bond. Furthermore, as in the case of embodiment 1, there is no need to use a weight or the like during heat treatment.

(0108) In this way, a strong and permanent bond is created between the semiconductor substrate 101 and the glass body 420 by means of the glass layer 320. Because the semiconductor substrate 101 has roughly the same thermal expansion coefficient as the glass body 420, after glass bonding, there will effectively be no residual stress even after returning to room temperature.

(0109) Next, the back side of the semiconductor substrate 101 opposite that upon which the charge readout component 110 has been formed is machined, transforming the semiconductor substrate 101 into a semiconductor slab 100 (see FIG. 6 (b)). Next, after growing an oxide film 510 on the back side of the semiconductor slab 100, ion implantation followed by high-temperature annealing is performed, forming an accumulation layer (P⁺ layer) 520 (see FIG. 6 (c)).

(0110) In this way, because the semiconductor slab 100 has no residual stress, and reinforcement is provided by a glass body that possesses adequate mechanical strength, it is possible to manufacture a back-illuminated light-receiving device that is protected from mechanical stress.

(0111) (Embodiment 3) FIG. 7 is a configuration drawing of the back-illuminated light-receiving device of the present invention. As shown in FIG. 7, this device differs from embodiment 1 in that a glass layer 330 is formed only near the edge of the dielectric film 200, and an air layer is actively provided between the glass layer 330 and the glass body 430, which is made of the same material as the glass body 410 in embodiment 1.

(0112) In this embodiment, too, as in the case of embodiment 1, SiN film or SiO₂ film is suitable for use as the dielectric film 200, and GPSG, PSG, BSG, or lead glass is suitable for use as the material for the glass layer 330.

(0113) In the back-illuminated light-receiving device in this embodiment, as in the case of embodiment 1, the semiconductor slab 100 is furnished, on the side where the light-receiving elements, including the charge readout component 110, are formed, with a glass body 430 that is firmly attached by glass bonding to the glass layer 330 serving as the adhesive on the dielectric film 200 that protects the light-receiving elements, as well as being fastened by anodic bonding at the location where the material of the semiconductor slab 100 is exposed, and that has roughly the same thermal expansion coefficient as the material of the semiconductor slab 100. As a result, the semiconductor slab 100 is reinforced by the glass body 430, which has more than adequate mechanical strength, thereby providing protection from mechanical stress.

(0114) In the back-illuminated light-receiving device in this embodiment, as in the case of embodiment 1, the glass body 430 is firmly attached by glass bonding to the glass layer 330, and the glass body 430 also has roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor slab 100, such that the glass layer 330 imparts adequate strength to the attachment between the glass body 430 and the semiconductor slab 100, thereby preventing both warpage and curvature due to temperature change.

(0115) The back-illuminated light-receiving device in this embodiment is manufactured as follows. FIG. 8 and FIG. 9 are manufacturing process drawings of the back-illuminated light-receiving device in this embodiment.

(0116) First, as in the case of embodiment 1, a charge readout component 110 is formed on a semiconductor substrate 101 made primarily of silicon, after which a dielectric film 200 is formed around the charge readout component 110 (see FIG. 8 (a)), and then a glass layer 330 is formed near the edge of the dielectric film 200 (see FIG. 8 (b)).

(0117) Next, a glass body 430 having roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor substrate 101 is placed on the semiconductor substrate 101 in such a way as to enclose the glass layer 330 and the dielectric film 200, and the exposed portions of the semiconductor substrate 101 are anodic bonded to the glass body 430 (FIG. 8 (c)).

(0118) As in the case of embodiment 1, a suitable thickness for the glass body 430 is 0.5 mm to 1 mm. Concretely, borosilicate glass containing alkali metal such as CORNING #7740 or the like is ideally suited to this purpose. Note that the glass body 430 is furnished, by means of etching, with a recessed portion corresponding in shape to the convex shape into which the glass layer 330 is formed on the semiconductor substrate 101.

(0119) As in the case of embodiment 1, at this point in time, the glass layer 330 and the glass body 430 are not yet glass bonded, and additionally, although the glass body 430 accumulates a charge of on the order of 500 V during anodic bonding, this does not cause destruction of the gate oxide film of the CCD 120 of the charge readout component 110.

(0120) In this way, a temporary bond is formed between the semiconductor substrate 101 and the glass body 430, but the fact that the semiconductor substrate 101 has not yet been thinned at this point ensures that it has adequate strength to prevent destruction.

(0121) Next, heat treatment is performed to glass-bond the glass layer 330 to the glass body 430 (see FIG. 9 (a)). As in the case of embodiment 1, due to the presence of an anodic bond on the edge thereof, force acts on the glass layer 330 in such a way as to press it toward the glass body 430, establishing a strong bond. Furthermore, because the air layer formed between the dielectric film 200 and the glass body 430 is very shallow, the viscosity of air acts has the same effect as if adhesive had been applied. Providing an air layer on the interior in this way also makes it possible to prevent the occurrence of random voids.

(0122) In this way, a strong and permanent bond is created between the semiconductor substrate 101 and the glass body 430 by means of the glass layer 330 and the air layer. Because the semiconductor substrate 101 has roughly the same thermal expansion coefficient as the glass body 430, after glass bonding, there will effectively be no residual stress even after returning to room temperature.

(0123) Next, the back side of the semiconductor substrate 101 opposite that upon which the charge readout component 110 has been formed is machined, transforming the semiconductor substrate 101 into a semiconductor slab 100 (see FIG. 9 (b)). Next, after growing an oxide film 510 on the back side of the semiconductor slab 100, ion implantation followed by high-temperature annealing is performed, forming an accumulation layer (P⁺ layer) 520 (see FIG. 9 (c)).

(0124) In this way, because the semiconductor slab 100 has no residual stress, and reinforcement is provided by a glass body that possesses adequate mechanical strength, it is possible to manufacture a back-illuminated light-receiving device that is protected from mechanical stress.

(0125) (Embodiment 4) FIG. 10 is a configuration drawing of the back-illuminated light-receiving device of the present invention. As shown in FIG. 10, this device differs from embodiment 2 in that a frame component 342 made of high-melting material and formed on the edge of the dielectric film 200 is provided, and in that a glass layer 341 is formed on the interior of the frame component.

(0126) In this embodiment, too, as in the case of embodiment 1, SiN film or SiO₂ film is suitable for use as the dielectric film 200, and GPSG, PSG, BSG, or lead glass is suitable for use as the material for the glass layer 341. Furthermore, SiO₂ is suitable for use as the material for the frame component 342.

(0127) In the back-illuminated light-receiving device in this embodiment, as in the case of embodiment 1, the semiconductor slab 100 is furnished, on the side where the light-receiving elements, including the charge readout component 110, are formed, with a glass body 440 that is firmly attached by glass bonding to the glass layer 341 serving as the adhesive on the dielectric film 200 that protects the light-receiving elements, as well as being fastened by anodic bonding at the location where the material of the semiconductor slab 100 is exposed, and that has roughly the same thermal expansion coefficient as the material of the semiconductor slab 100. As a result, the semiconductor slab 100 is reinforced by the glass body 440, which has more than adequate mechanical strength, thereby providing protection from mechanical stress.

(0128) In the back-illuminated light-receiving device in this embodiment, as in the case of embodiment 1, the glass body 440 is firmly attached by glass bonding to the glass layer 341, and the glass body 440 also has roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor slab 100, such that the glass layer 341 imparts adequate strength to the attachment between the glass body 440 and the semiconductor slab 100, thereby preventing both warpage and curvature due to temperature change.

(0129) The back-illuminated light-receiving device in this embodiment is manufactured as follows. FIG. 11 and FIG. 12 are manufacturing process drawings of the back-illuminated light-receiving device in this embodiment.

(0130) First, as in the case of embodiment 1, a charge readout component 110 is formed on a semiconductor substrate 101 made primarily of silicon, after which a dielectric film 200 is formed around the charge readout component 110 (see FIG. 11 (a)). A frame component 342 made of high-melting material is then formed (see FIG. 11 (b)), after which a glass layer 341 is formed on the interior of the frame component 342 (see FIG. 11 (c)).

(0131) Next, a glass body 440 having roughly the same thermal expansion coefficient as the semiconductor substrate 101 is placed on the semiconductor substrate 101 in such a way as to enclose the glass layer 341 and the frame component 342, and the exposed portions of the semiconductor substrate 101 are anodic bonded to the glass body 440 (FIG. 11 (d)).

(0132) As in the case of embodiment 1, a suitable thickness for the glass body 440 is 0.5 mm to 1 mm. Concretely, borosilicate glass containing alkali metal such as CORNING #7740 or the like is ideally suited to this purpose. Note that the glass body 440 is furnished, by means of etching, with a recessed portion corresponding in shape to the convex shape into which the glass layer 341 and the frame component 342 are formed on the semiconductor substrate 101.

(0133) As in the case of embodiment 1, at this point in time, the glass layer 341 and the glass body 440 are not yet glass bonded, and additionally, although the glass body 440 accumulates a charge of on the order of 500 V during anodic bonding, this does not cause destruction of the gate oxide film of the CCD 120 of the charge readout component 110.

(0134) In this way, a temporary bond is formed between the semiconductor substrate 101 and the glass body 440, but the fact that the semiconductor substrate 101 has not yet been thinned at this point ensures that it has adequate strength to prevent destruction.

(0135) Next, heat treatment is performed to glass-bond the glass layer 341 to the glass body 440 (see FIG. 12 (a)). As in the case of embodiment 1, due to the presence of an anodic bond on the edge thereof, force acts on the glass layer 341 in such a way as to press it toward the glass body 440, establishing a strong bond. Furthermore, flow of the material of the glass layer 341 is prevented by the frame component 342.

(0136) In this way, a strong and permanent bond is created between the semiconductor substrate 101 and the glass body 440 by means of the glass layer 341. Because the semiconductor substrate 101 has roughly the same thermal expansion coefficient as the glass body 440, after glass bonding, there will effectively be no residual stress even after returning to room temperature.

(0137) Next, the back side of the semiconductor substrate 101 opposite that upon which the charge readout component 110 has been formed is machined, transforming the semiconductor substrate 101 into a semiconductor slab 100 (see FIG. 12 (b)). Next, after growing an oxide film 510 on the back side of the semiconductor slab 100, ion implantation followed by high-temperature annealing is performed, forming an accumulation layer (P⁺ layer) 520 (see FIG. 12 (c)).

(0138) In this way, because the semiconductor slab 100 has no residual stress, and reinforcement is provided by a glass body that

possesses adequate mechanical strength, it is possible to manufacture a back-illuminated light-receiving device that is protected from mechanical stress.

(0139) The present invention is not limited to the above-described embodiments, and may be altered variously. For example, in the above-described embodiments 1-3, a glass layer is formed on the surface of the dielectric film before performing anodic bonding of the semiconductor substrate and the glass body, after which glass bonding is performed by heat treatment; however, it is also possible to form a glass layer on the glass body before performing anodic bonding of the semiconductor substrate and the glass body, and to then perform glass bonding by heat treatment. This method is also suitable for manufacturing the back-illuminated light-receiving device of the present invention.

(0140)

(Effect of the invention) As described in detail above, according to the back-illuminated light-receiving device of the present invention, a glass body having roughly the same thermal expansion coefficient as the material of the semiconductor slab, and which is firmly attached by both glass bonding to a glass layer serving as adhesive on the dielectric film that protects the light-receiving elements and by anodic bonding to the exposed portion of the semiconductor slab material, is provided on the side of a semiconductor slab where the light-receiving elements, including the charge readout component, are formed, as a result of which the semiconductor slab is reinforced by a glass body having adequate mechanical strength, which both imparts protection against mechanical stress as well as reducing warping and bending, and makes it possible to realize a back-illuminated light-receiving device that is protected by a firmly attached reinforcement.

(0141) Additionally, according to the manufacturing method for back-illuminated light-receiving device of the present invention, a temporary bond is first formed by anodic bonding the semiconductor substrate to a glass body serving as reinforcement, after which a firm bond is created by glass bonding the glass layer serving as adhesive on the dielectric film that protects the light-receiving elements, which makes it possible to manufacture the back-illuminated light-receiving device of the present invention, which is protected by firmly attached reinforcement, while suppressing the occurrence of warping and bending.

(Brief description of the drawings)

(FIG. 1) Configuration drawing of the back-illuminated light-receiving device in embodiment 1 of the present invention.

(FIG. 2) Manufacture process (first half) drawing of the back-illuminated light-receiving device in embodiment 1 of the present invention.

(FIG. 3) Manufacture process (second half) drawing of the back-illuminated light-receiving device in embodiment 1 of the present invention.

(FIG. 4) Configuration drawing of the back-illuminated light-receiving device in embodiment 2 of the present invention.

(FIG. 5) Manufacture process (first half) drawing of the back-illuminated light-receiving device in embodiment 2 of the present invention.

(FIG. 6) Manufacture process (second half) drawing of the back-illuminated light-receiving device in embodiment 2 of the present invention.

(FIG. 7) Configuration drawing of the back-illuminated light-receiving device in embodiment 3 of the present invention.

(FIG. 8) Manufacture process (first half) drawing of the back-

illuminated light-receiving device in embodiment 3 of the present invention.

(FIG. 9) Manufacture process (second half) drawing of the back-illuminated light-receiving device in embodiment 3 of the present invention.

(FIG. 10) Configuration drawing of the back-illuminated light-receiving device in embodiment 4 of the present invention.

(FIG. 11) Manufacture process (first half) drawing of the back-illuminated light-receiving device in embodiment 4 of the present invention.

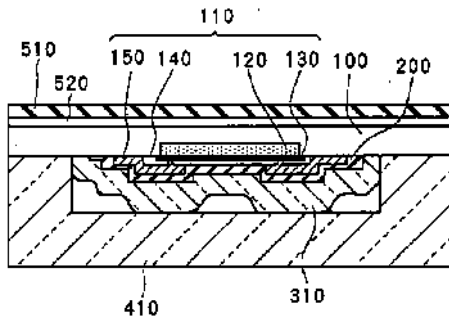
(FIG. 12) Manufacture process (second half) drawing of the back-illuminated light-receiving device in embodiment 4 of the present invention.

(FIG. 13) Diagram illustrating accumulation.

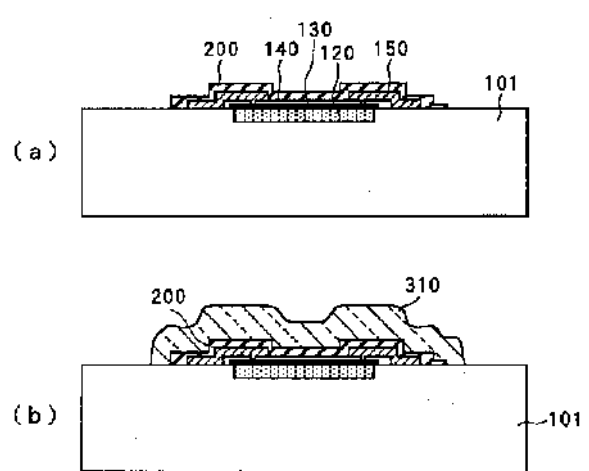
(Description of the symbols)

100: semiconductor slab, 101: semiconductor substrate, 110: charge readout component, 200: dielectric film, 310, 320, 330, 341: glass layer, 342: frame component, 410, 420, 430, 440: glass body, 510: oxide film, 520: accumulation layer.

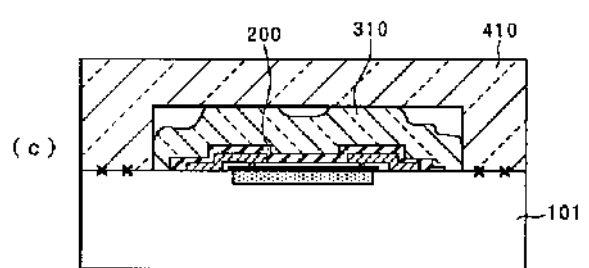
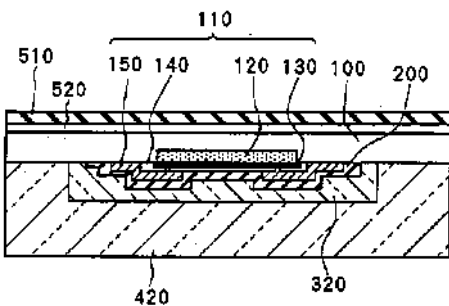
(FIG. 1)



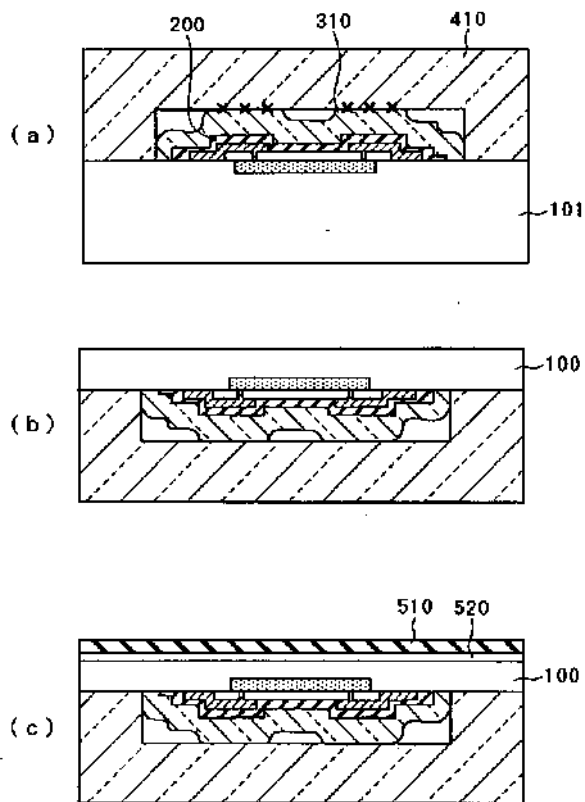
(FIG. 2)



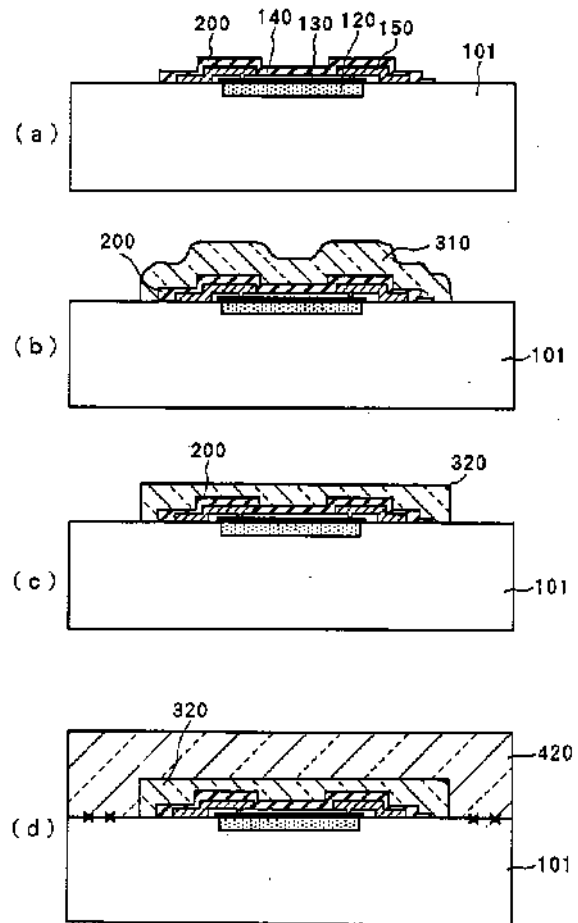
(FIG. 4)



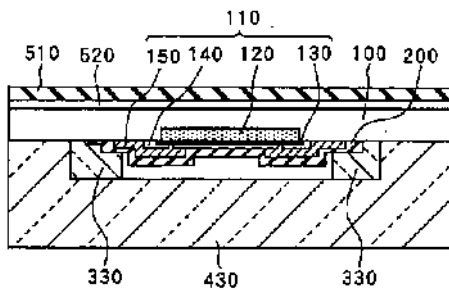
(FIG. 3)



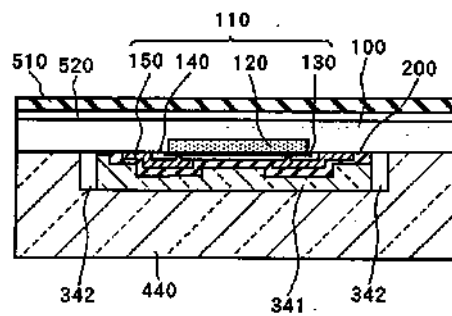
(FIG. 5)



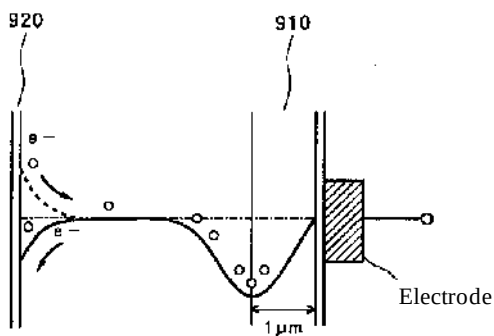
(FIG. 7)



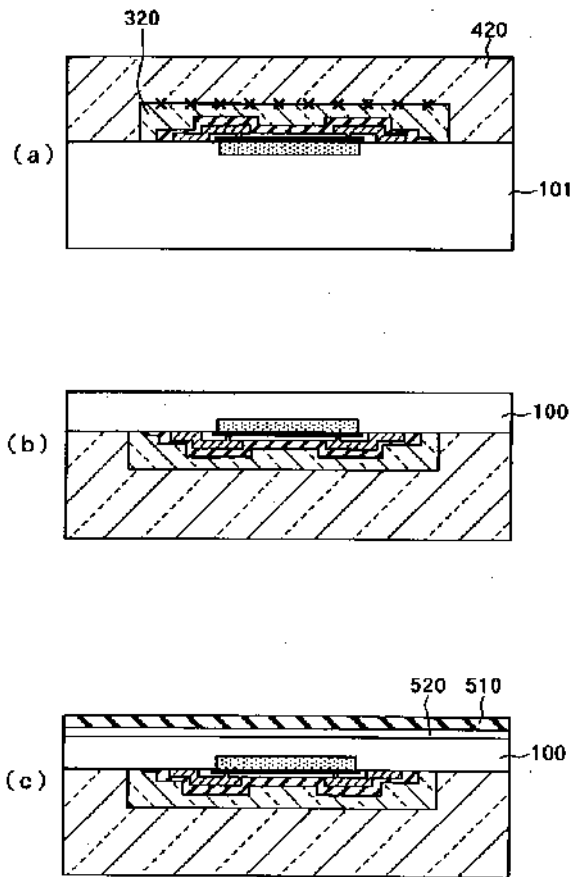
(FIG. 10)



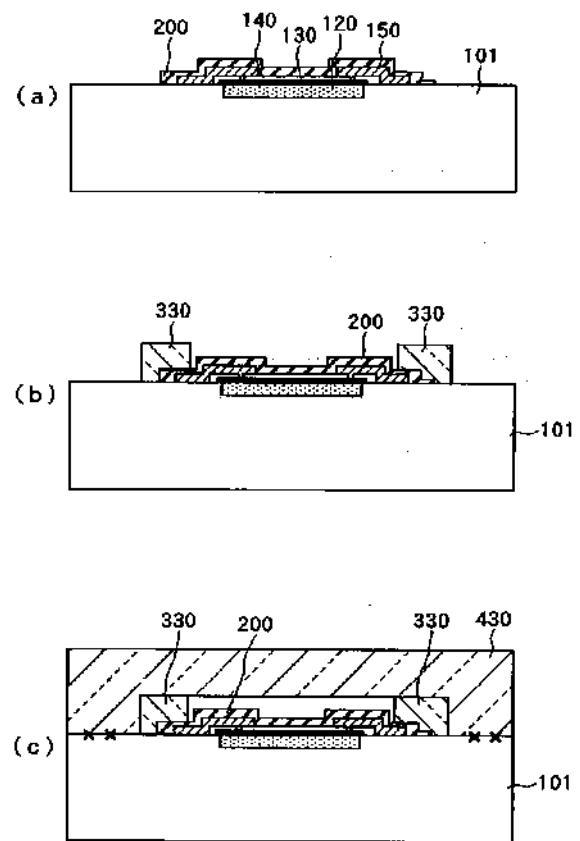
(FIG. 13)



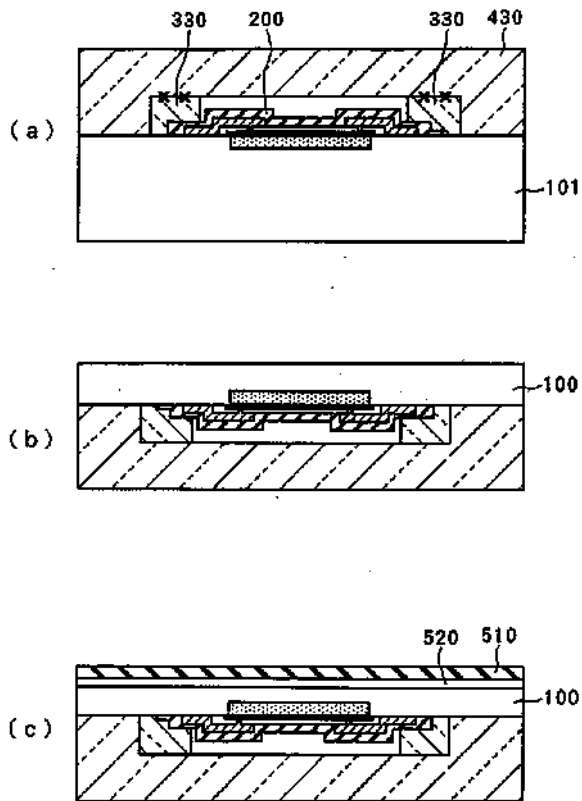
(FIG. 6)



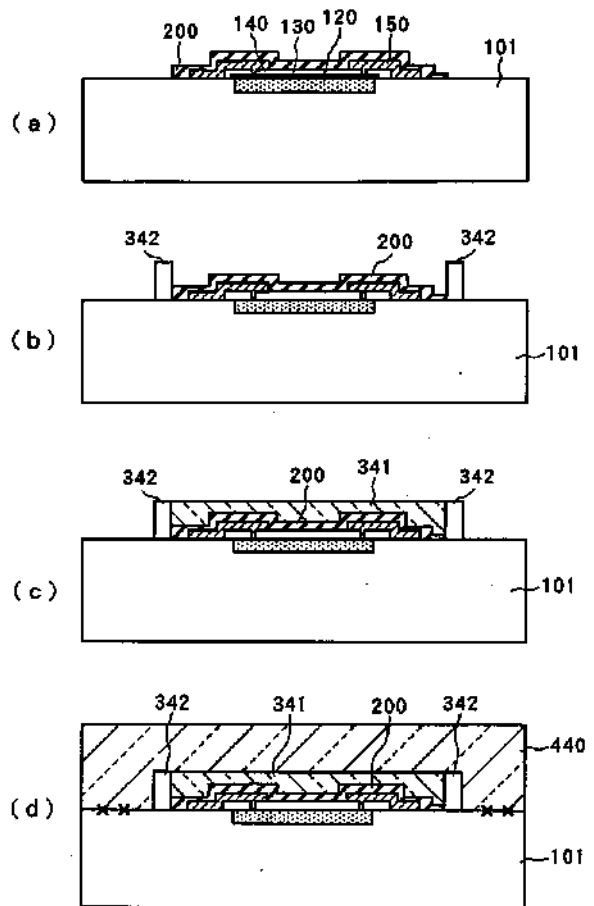
(FIG. 8)



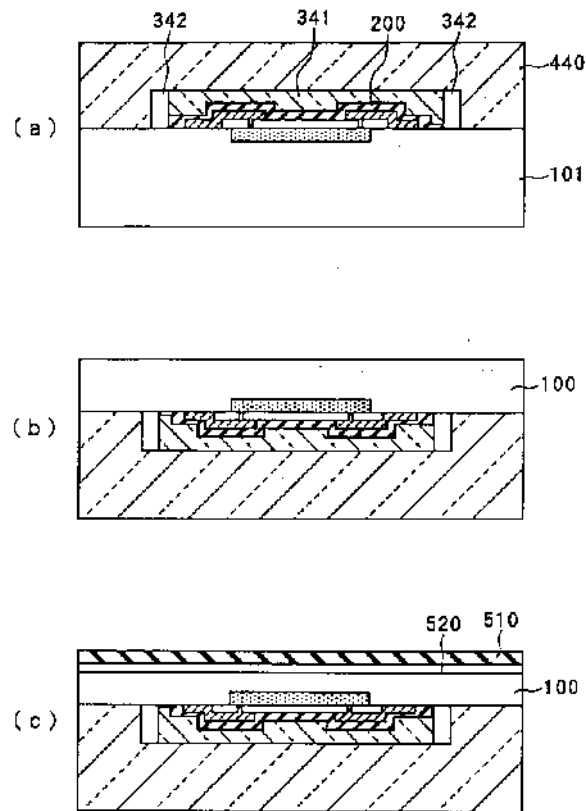
(FIG. 9)



(FIG. 11)



(FIG. 12)



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 シリコンを主材とする半導体薄板の一方の表面に、1 次元あるいは 2 次元的な配列を有する電荷読み出し部が形成されるとともに、前記半導体薄板の前記電荷読み出し部の形成面に対する裏面に、イオン注入後に活性化されて形成されたアキュムレーション層を備え、前記半導体薄板の裏面から入射する電磁波あるいは荷電粒子のエネルギーを検出する裏面照射型受光デバイスであって、前記電荷読み出し部を含む前記半導体薄板の表面の第 1 の領域上に形成された誘電体膜と、少なくとも、前記第 1 の領域を取り囲む前記半導体薄板の表面の第 2 の領域と前記第 1 の領域との境界付近の前記誘電体膜の表面上に形成されたガラス層と、前記ガラス層とガラス接合して接続されるとともに、前記半導体薄板と陽極接合され、前記ガラス層、前記誘電体膜、および前記電荷読み出し部を取り囲む、前記半導体薄板と略同一の熱膨張率を有するガラス体と、を備える裏面照射型受光デバイス。

【請求項 2】 前記誘電体膜は、 SiN および SiO_2 のいずれか一つまたは両方からなる、ことを特徴とする請求項 1 記載の裏面照射型受光デバイス。

【請求項 3】 前記ガラス層は、硼リン硅酸ガラス、リン硅酸ガラス、硼硅酸ガラス、および、鉛ガラスのいずれか 1 つからなる、ことを特徴とする請求項 1 記載の裏面照射型受光デバイス。

【請求項 4】 前記ガラス体は、前記誘電体膜の凸形状または前記ガラス層の凸形状に応じた凹部を備える、ことを特徴とする請求項 1 記載の裏面照射型受光デバイス。

【請求項 5】 前記ガラス層の前記誘電体膜の上部の表面は前記半導体薄板の表面と略平行である、ことを特徴とする請求項 1 記載の裏面照射型受光デバイス。

【請求項 6】 前記ガラス層は、前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との境界付近の前記誘電体膜の表面上にのみ前記ガラス層が形成されている、ことを特徴とする請求項 1 記載の裏面照射型受光デバイス。

【請求項 7】 前記第 2 の領域上には高融点物質からなり、前記誘電体層の前記半導体薄板の表面からの最高点よりも高い前記半導体薄板の表面からの高さを有する枠部を更に備える、ことを特徴とする請求項 1 記載の裏面照射型受光デバイス。

【請求項 8】 シリコンを主材とする半導体基板に電荷読み出し部を形成する第 1 の工程と、前記電荷読み出し部を含む前記半導体基板の表面の第 1 の領域上に誘電体膜を形成する第 2 の工程と、少なくとも、前記第 1 の領域を取り囲む前記半導体基板の表面の第 2 の領域と前記第 1 の領域との境界付近の前記誘電体膜の表面上にガラス層を形成する第 3 の工程と、

前記半導体基板とともに前記ガラス層、前記誘電体膜、および前記電荷読み出し部を取り囲む、前記半導体基板と略同一の熱膨張率を有するガラス体を前記半導体基板に搭載し、前記半導体基板の露出部と前記ガラス体を陽極接合して、複合体を形成する第 4 の工程と、前記複合体を加熱処理し、前記ガラス層と前記ガラス体とをガラス接合させる第 5 の工程と、前記電荷読み出し部の形成面に対する前記半導体基板の裏面を加工して、前記半導体基板を半導体薄板とする第 6 の工程と、前記半導体薄板の裏面側からイオン注入を行い、活性化して、アキュムレーション層を形成する第 7 の工程と、を備える裏面照射型受光デバイスの製造方法。

【請求項 9】 半導体基板に電荷読み出し部を形成する第 1 の工程と、

前記電荷読み出し部を含む前記半導体基板の表面の第 1 の領域上に誘電体膜を形成する第 2 の工程と、少なくとも、前記第 1 の領域を取り囲む前記半導体基板の表面の第 2 の領域と前記第 1 の領域との境界付近の領域に応じた、ガラス体の表面の領域上にガラス層を形成する第 3 の工程と、

前記ガラス層が形成された、前記半導体基板と略同一の熱膨張率を有するガラス体を前記半導体基板に搭載し、前記半導体基板の露出部と前記ガラス体の露出部を陽極接合して、複合体を形成する第 4 の工程と、

前記複合体を加熱処理し、前記ガラス層と前記ガラス体とをガラス接合させる第 5 の工程と、

前記電荷読み出し部の形成面に対する前記半導体基板の裏面を加工して、前記半導体基板を半導体薄板とする第 6 の工程と、

前記半導体薄板の裏面側からイオン注入を行い、活性化して、アキュムレーション層を形成する第 7 の工程と、

を備える裏面照射型受光デバイスの製造方法。

【請求項 10】 前記誘電体膜は、 SiN および SiO_2 のいずれか一つまたは両方からなる、ことを特徴とする請求項 8 または請求項 9 記載の裏面照射型受光デバイスの製造方法。

【請求項 11】 前記ガラス層は、硼リン硅酸ガラス、リン硅酸ガラス、硼硅酸ガラス、および、鉛ガラスのいずれか 1 つからなる、ことを特徴とする請求項 8 または請求項 9 記載の裏面照射型受光デバイスの製造方法。

【請求項 12】 前記ガラス体は、前記誘電体膜の凸形状または前記ガラス層の凸形状に応じた凹部を備える、ことを特徴とする請求項 8 または請求項 9 記載の裏面照射型受光デバイスの製造方法。

【請求項 13】 前記第 3 の工程と前記第 4 の工程との間に、前記ガラス層の前記誘電体膜の上部の表面は前記半導体基板の表面と略平行とする第 8 の工程を更に備え

る、ことを特徴とする請求項 8 記載の裏面照射型受光デバイス。

【請求項 1 4】 前記第 3 の工程は、前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との境界付近の前記誘電体膜の表面上にのみ前記ガラス層を形成する工程である、ことを特徴とする請求項 8 記載の裏面照射型受光デバイスの製造方法。

【請求項 1 5】 前記第 3 の工程は、前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との境界付近の前記誘電体膜の表面上にのみ前記ガラス層を形成する工程である、ことを特徴とする請求項 9 記載の裏面照射型受光デバイスの製造方法。

【請求項 1 6】 前記第 2 の工程と前記第 3 の工程との間に、前記第 2 の領域上に、高融点物質からなり、前記誘電体層の前記半導体基板の表面からの最高点よりも高い前記半導体基板の表面からの高さを有する枠部を形成する第 9 の工程を更に備える、ことを特徴とする請求項 8 または請求項 9 記載の裏面照射型受光デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】本発明は、紫外線や γ 線、あるいは、荷電粒子線などの吸収係数が大きなエネルギー線の照射に対して有効な、裏面照射型電荷結合デバイス (Charge Coupled Device; CCD) や裏面照射型アクティブピクセルセンサ (Active Pixel Sensor; APS) といった裏面照射型受光デバイスおよびこうした裏面照射型受光デバイスの製造方法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】一般に、実用的な CCD 撮像デバイスとしては、フレーム転送 (FT)、フルフレーム転送 (FFT)、インターライン転送 (IT) の三方式が代表的であり、このうち計測用としては、主にフル・フレーム転送方式が用いられる。

【0 0 0 3】フルフレーム転送方式の特長は、蓄積部が無く、受光部の面積を大きくできるので、光の利用率が高く、微弱光の計測に適していることである。一方、入射光が電荷転送用電極に吸収されるので、吸収係数の大きな入力、例えば、波長の短い光に関しては感度低下が著しい。

【0 0 0 4】典型的なフルフレーム転送方式の CCD の受光部の構造では、ポリシリコン電極が隙間無く受光部の表面を覆い、また、各電極の分離のため、厚さが数 μm にも及ぶ PSG 膜が重ねられている。特に、ポリシリコンは、400 nm 以下の波長の光や電子を吸収してしまうので、高感度を期待することができない。

【0 0 0 5】このような光検出器に関しては、基板の受光部を 15 μm から 20 μm 程度に薄くして、光を裏面から照射するようにしたものがある。光電変換部はゲート酸化膜の下に設けられて、ポリシリコン電極が隙間無

く覆い、短波長光を吸収してしまうが、基板の裏面には薄い酸化膜の他に障害物はなく、短波長光に対して高感度が期待できる。この裏面照射型 CCD は 200 nm 程度の短波長光まで感度があり、更に電子衝撃型 CCD 撮像デバイスにも応用される。このデバイスは電子衝撃により生じる信号電荷の増倍作用を利用できるので、高感度撮像デバイスとして期待される。

【0 0 0 6】裏面照射型 CCD などの裏面照射型受光デバイスにおける薄型化の必要性は、以下の通りである。

【0 0 0 7】上述のように、裏面照射型受光デバイスは、電荷読み取り部などが形成されている基板の表面とは反対の裏面が光の入射面となる。通常、CCD では、シリコン基板の厚さは 400 ~ 600 μm である。一方、吸収係数の大きな、波長が 200 ~ 300 nm の光 (紫外線) は、その殆どが入射面から僅かに入り込んだ位置で吸収されてしまう。具体的には、シリコン基板の場合には、入射面から 0.01 μm の深さまでで、入射光の殆どが吸収されてしまう。

【0 0 0 8】したがって、裏面付近で発生した光電子は、表面にある CCD のポテンシャル井戸にまで拡散するまでの間で、その殆どが再結合により失われてしまう。また、ポテンシャル井戸にまで到達したとしても、数 100 μm という長い道のりを拡散している間に、信号同士が混じり合い、解像度を著しく低下させることになる。

【0 0 0 9】また、裏面照射型の受光デバイスでは、受光部の薄型化に加えて、裏面入射面にアキュムレーション層と称する層が形成され、ポテンシャルのスロープが形成されることが必要である。図 1 3 は、アキュムレーションの説明図である。図 1 3 において、図面に向かって左側が裏面、右側が表面を表している。基板 910 の裏面には、保護膜である酸化膜 920 が成長されている。

【0 0 1 0】しかし、酸化膜 920 には酸化膜電荷や界面準位が必ず存在し、これらはいずれも基板 910 の裏面を空乏化させるように働く。即ちポテンシャルプロファイルでみれば、図 1 3 中の実線で示したように裏面の酸化膜 920 に近づくにしたがって電子に対するポテンシャルが低くなり、即ち裏面から浅いところで生じた光電子は CCD のポテンシャル井戸には行くことができず、裏面酸化膜 920 とシリコンの界面に押しやられ再結合するのを待つ運命となる。したがって、受光部を薄形化し裏面を酸化後、裏面酸化膜 920 に近い基板 910 の裏面をアキュムレーション状態にし、図 1 3 中の点線で示したようなポテンシャルプロファイルにする。これにより、裏面の浅いところで生じた光電子も効率よく表面側の CCD のポテンシャル井戸に到達することができる。

【0 0 1 1】アキュムレーション層の形成は、裏面酸化膜 920 にボロンをイオン注入し、これを 800 °C 以

上で熱処理して注入原子の活性化を行うことで達成される。

【0012】以上のように、薄形化裏面照射型デバイスは、非常に優れた性能を有するが、薄板化されているが故に単体では機械的強度が脆弱であり、何等かの機械的補強が必要となる。

【0013】こうした、薄形化裏面照射型受光デバイスの実用的な形態として、裏面の受光部のみを薄形化し、その周囲は基板の元々の厚さを維持して残した「枠部分」を有する、いわゆるバックサイド型のCCD（以後、従来例1と呼ぶ）がある。そして、「枠部分」によってデバイスとしての機械的な強度を保つ。

【0014】また、薄形化したシリコン基板の保護やたわみを生じさせない方法として、薄形化される前に、第1のシリコン基板に第2のシリコン基板を貼り合わせ、その後に第1のシリコン基板を薄形化する方式がある。こうした方式では、受光デバイスにおいてボイドが存在すると、保護機能が低下するとともに、ボイド部分が膨らんだ形となり、フォーカス合せにおいて問題を生じる。そのため、ボイドの発生を避けることのできる方法が提案されている（以後、従来例2と呼ぶ）。

【0015】この方法は、まず、室温で、鏡面化された第1のシリコン基板の表面と鏡面化された第2のシリコン基板の表面とを重ね合わせる。この状態では、第1のシリコン基板と第2のシリコン基板とは互いに浮遊した状態にある。次に、重ね合わせたシリコン基板の周辺の一箇所を数100gの重さで押えつける。

【0016】この結果、僅かに変形が生じて、シリコン基板同士が接触し、結合が開始する。この後、数cm/secの速度で結合が進行し、最終的に基板全体が結合される。以上の接着の機構は、水素結合および分子間力であり、結合力は小さい。

【0017】その後、ボイドの形成を避けるために、1100℃程度で熱処理し、Si-O結合を形成して結合力の大きな接着を実現する。

【0018】また、シリコン基板同士の貼り合わせに、接着剤として、硼硅酸ガラス(BSG)や硼リン硅酸ガラス(BPSG)を使用し、ボイドを発生させない方法が提案されている（特開昭53-114361号公報；以後、従来例3と呼ぶ）。

【0019】この方法は、ボイドの原因となる空気の逃げ道を作っておくことにより、ボイドの発生を回避するものである。

【0020】すなわち、双方のシリコン基板の貼り合わせ面に、縦横にV溝を形成しておき、BSGやBPSGを介してシリコン基板を重ねた後、シリコン基板間に力を加えた状態（例えば、重りを乗せる）で、BSGやBPSGの軟化温度（900～1000℃）以上の温度に加熱して冷却する。この接着工程において、閉じ込められた空気は近くのV溝に入り込むので、ボイドは発生し

ない。

【0021】また、シリコン基板の薄形化の前に、BSGの堆積（コーティング）を行い、コーティングを補強材として使用する方法が提案されている（特公平6-93448号公報；以後、従来例4と呼ぶ）。

【0022】この方法では、コーティング材料として、溶融するとダイ前面に固着硬化する、重量比が約18～28%の硅素を含み、ダイ（シリコン）と略同一の熱膨張率を有するBSGを使用する。そして、BSGを粉碎してニトロセルローズと溶媒とのビヒクル（塗膜形成用の液状体）に混ぜて、ペースト状にしてダイ前面に注ぐ。そして、厚みを均一とした後に、360℃で60分間の熱処理を施して、ビヒクルを飛ばす。次に、700～950℃で熱処理して、粉碎ガラスを溶融し、溶融ガラスをダイ前面に固着させる。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】従来の裏面照射型受光デバイスや裏面照射型受光デバイスで採用の可能性のある補強や保護の方法は上記のように構成されるので、以下のような問題があった。

【0024】従来例1のバックサイド型の裏面照射型受光デバイスでは、薄形化した部分が、製造工程の半導体処理や組み立てなどで破損しやすい。すなわち、薄形化部に物が接触する場合は勿論のこと、水洗い時においても、薄形化部に強く水流があたると破損を生じることがある。

【0025】また、薄形化部は物理的に非常に脆弱なので、薄形化された部分、すなわち、受光面積が制限される。具体的には、13mm×13mm（12μmピッチで、1024チャンネル×1024チャンネルのCCDに相当）が限度であり、これより大面積の受光デバイスには適用できない。

【0026】更に、薄形化部は15～20μmの膜厚であり、電荷読み出し部が形成されている側には、数μmの保護膜（シリコン酸化膜（SiO₂膜）や窒化膜（SiN膜）など）や金属配線が存在するので、基板の主材であるシリコンとの熱膨張率の差による応力により、薄形化部、すなわち、受光面が大きいたわむことになる。

【0027】従来例2は、貼り合わせ面が全面にわたって鏡面化している場合には有効であるが、電荷読み取り部が形成されて、無視できない凹凸がある側を貼り合わせ面とすることを必須とする裏面照射型受光デバイスには適用できない。

【0028】また、貼り合わせにあたって必要とされる1100℃もの高温は、半導体処理プロセスや金属配線プロセスが終了した後にあっては、とても許容できるものではない。

【0029】従来例3では、V溝を外気と遮断した構造（閉気孔）とするか、外気と通じた構造（開気孔）とするかが考えられる。

【0030】閉気孔とした場合には、熱処理時にV溝中の空気が膨張するので、ボイドの発生が避けられない。一方、開気孔とした場合には、貼り合わせ前の薬品洗浄や後工程での薬品洗浄時に、薬品やリンス液がV溝の空孔部に入り込み、その後の熱処理工程で外部に出て、デバイスの特性に悪影響を及ぼす。すなわち、閉気孔および開気孔のいずれを採用しても、問題を生じることになる。

【0031】また、薄形化を行った場合に、V溝が形成された部分は、多かれ少なかれ凹凸を生じることになる。したがって、受光面として適切な形状（略平面）を実現することが困難である。

【0032】従来例4では、ガラス中の珪素の含有量を調整することによって、「反りの抑制」と「固着」とを実現するが、発明者らが実験によって得た知見によれば、ガラス中の珪素の含有量の調整では、「反りの抑制」と「固着」とを両立することは困難である。すなわち、反りを最小とする条件では、シリコンを主材とするダイに強固に固着させることはできない。一方、十分に強固に固着させるには、ある程度の反りの発生を甘受しなければならない。

【0033】また、ダイにコーティング材料を塗布後、ビヒクルを飛ばすのであるから、塗布材の体積は減少する。したがって、コーティング材料の熱膨張率とシリコンの熱膨張率が一致していても、反りを小さく保つことは不可能である。

【0034】本発明は、上記を鑑みてなされたものであり、反りや湾曲が低減され、かつ、強固に固着された補強材によって保護された裏面照射型受光デバイスを提供することを目的とする。

【0035】また、本発明は、反りや湾曲の発生を抑制しつつ、強固に固着された補強材によって保護された裏面照射型受光デバイスを製造する裏面照射型受光デバイスの製造方法を提供することを目的とする。

【0036】

【課題を解決するための手段】請求項1の裏面照射型受光デバイスは、シリコンを主材とする半導体薄板の一方の表面に、1次元あるいは2次元的な配列を有する電荷読み出し部が形成されるとともに、半導体薄板の電荷読み出し部の形成面に対する裏面に、イオン注入後に活性化されて形成されたアキュームレーション層を備え、半導体薄板の裏面から入射する電磁波あるいは荷電粒子のエネルギーを検出する裏面照射型受光デバイスであって、

(a) 電荷読み出し部を含む半導体薄板の表面の第1の領域上に形成された誘電体膜と、(b) 少なくとも、第1の領域を取り囲む前記半導体薄板の表面の第2の領域と第1の領域との境界付近の前記誘電体膜の表面上に形成されたガラス層と、(c) ガラス層とガラス接合して接続されるとともに、半導体薄板と陽極接合され、ガラス層、誘電体膜、および電荷読み出し部を取り囲む、半

導体薄板と略同一の熱膨張率を有するガラス体とを備えることを特徴とする。

【0037】ここで、誘電体膜として、SiN膜またはSiO₂膜とすることができる。

【0038】また、ガラス層の材料として、硼リン珪酸ガラス(BPSG)、リン珪酸ガラス(PSG)、硼珪酸ガラス(BSG)、または、鉛ガラスを採用することができる。

【0039】請求項1の裏面照射型受光デバイスでは、半導体薄板は、電荷読み出し部を含む受光素子が形成された側で、受光素子を保護する誘電体膜上の接着剤としてのガラス層とガラス接合で強固に固着されるとともに、半導体薄板材料が露出された部分では陽極接合で固着された、半導体薄板材料と熱膨張率が略一致するガラス体を備える。この結果、半導体薄板は充分な機械的強度を有するガラス体によって補強され、機械的なストレスに対して保護されることになる。

【0040】請求項1の裏面照射型受光デバイスでは、ガラス層とガラス接合で強固に固着されるとともに、ガラス体が半導体薄板と略同一の熱膨張率を有するので、ガラス層を介して充分な接着力で半導体薄板とガラス体とが接合されるとともに、温度変化による反り、湾曲が発生しない。

【0041】請求項4の裏面照射型受光デバイスは、請求項1の裏面照射型受光デバイスにおいて、ガラス体が、誘電体膜の凸形状またはガラス層の凸形状に応じた凹部を備えることを特徴とする。

【0042】請求項4の裏面照射型受光デバイスは、半導体薄板の表面の誘電体膜やガラス層が形成されていない面がなす平面を基準として凸部に該当する誘電体膜やガラス層の凸形状に応じた凹部をガラス体が備えるので、半導体薄板とガラス体との接合状態において、半導体薄板にかかる力を低減することができる。したがって、半導体薄板の破壊を防止できる。

【0043】請求項5の裏面照射型受光デバイスは、請求項1の裏面照射型受光デバイスにおいて、ガラス層の誘電体膜の上部の表面が半導体薄板の表面と略平行であることを特徴とする。

【0044】ガラス層と接触するガラス体の表面の形状は、一般に、平面状に加工される。したがって、強固に接合するため、接合面積を確保するには、ガラス層の誘電体膜の上部の表面が平面状であることが好ましい。

【0045】請求項5の裏面照射型受光デバイスでは、ガラス層の誘電体膜の上部の表面が半導体薄板の表面と略平行な平面状とするので、ガラス層と接触するガラス体の表面の形状を、半導体薄板と接触するガラス体の表面と略平行に加工することにより、好適に接合面積を確保することができる。

【0046】請求項6の裏面照射型受光デバイスは、請求項1の裏面照射型受光デバイスにおいて、ガラス層

が、第 1 の領域と第 2 の領域との境界付近の誘電体膜の表面上にのみガラス層が形成されていることを特徴とする。

【0047】請求項 6 の裏面照射型受光デバイスでは、誘電体膜の外周付近の表面上にのみガラス層を形成し、内側を意図的に空気層としているので、ランダムなボイドの発生を避けることができる。なお、発生する空気層は非常に薄いので、空気粘性が効果的に作用し、あたかも接着剤で貼り付けられたように、空気粘性で貼り付けられ、半導体薄板が保護される。

【0048】請求項 7 の裏面照射型受光デバイスは、請求項 1 の裏面照射型受光デバイスにおいて、第 2 の領域上には高融点物質からなり、誘電体層の半導体薄板の表面からの最高点よりも高い半導体薄板の表面からの高さを有する枠部を更に備えることを特徴とする。

【0049】請求項 7 の裏面照射型受光デバイスでは、高融点物質からなる枠部を備えるので、ガラス層とガラス体とのガラス接合を行う場合の加熱処理時におけるガラス層の形成材料の軟化に伴う、ガラス層の形成材料の横方向への移動が防止される。したがって、ガラス層の厚みの好適に確保され、結果的にガラス接合が確実になされる。

【0050】請求項 8 の裏面照射型受光デバイスの製造方法は、(a) シリコンを主材とする半導体基板に電荷読み出し部を形成する第 1 の工程と、(b) 電荷読み出し部を含む半導体薄板の表面の第 1 の領域上に誘電体膜を形成する第 2 の工程と、(c) 少なくとも、第 1 の領域を取り囲む半導体薄板の表面の第 2 の領域と第 1 の領域との境界付近の誘電体膜の表面上にガラス層を形成する第 3 の工程と、(d) ガラス層、誘電体膜、および電荷読み出し部を取り囲む、半導体基板と略同一の熱膨張率を有するガラス体を半導体基板に搭載し、半導体基板の露出部とガラス体を陽極接合して、複合体を形成する第 4 の工程と、(e) 複合体を加熱処理し、ガラス層とガラス体とをガラス接合させる第 5 の工程と、(f) 電荷読み出し部の形成面に対する半導体基板の裏面を加工して、半導体基板を半導体薄板とする第 6 の工程と、

(g) 半導体薄板の裏面側からイオン注入を行い、活性化して、アキュムレーション層を形成する第 7 の工程とを備える。

【0051】請求項 8 の裏面照射型受光デバイスの製造方法では、まず、シリコンを主材とする半導体基板に電荷読み出し部を形成 (第 1 の工程) した後、電荷読み出し部を含む半導体基板の表面の第 1 の領域上に誘電体膜を形成し (第 2 の工程)、引き続き、少なくとも、第 1 の領域を取り囲む半導体基板の表面の第 2 の領域と第 1 の領域との境界付近の誘電体膜の表面上にガラス層を形成する (第 3 の工程)。

【0052】次に、ガラス層、誘電体膜、および電荷読み出し部を取り囲む、半導体基板と略同一の熱膨張率を

有するガラス体を半導体基板に搭載し、半導体基板の露出部とガラス体を陽極接合して、複合体を形成する (第 4 の工程)。この結果、半導体基板とガラス体とが仮接合されるが、このときは半導体基板は薄板化されていないので十分な強度を有しており、破壊されることはない。

【0053】次いで、複合体を加熱処理し、ガラス層とガラス体とをガラス接合させる (第 5 の工程)。この結果、半導体基板とガラス体とは、ガラス層を介して強固に本接合される。半導体基板とガラス体とは略同一の熱膨張率を有するので、ガラス接合後、室温状態になっても応力の残留は実質的に存在しない。

【0054】引き続き、電荷読み出し部の形成面に対する半導体基板の裏面を加工して、半導体基板を半導体薄板とし (第 6 の工程)、その後、半導体薄板の裏面側からイオン注入を行い、活性化して、アキュムレーション層を形成する (第 7 の工程)。

【0055】こうして、半導体薄板に応力が残留せず、また、十分な機械的強度を有するガラス体によって補強され、機械的なストレスに対して保護された半導体薄板からなる裏面照射型受光デバイスが製造される。

【0056】請求項 9 の裏面照射型受光デバイスの製造方法は、(a) 半導体基板に電荷読み出し部を形成する第 1 の工程と、(b) 電荷読み出し部を含む前記半導体薄板の表面の第 1 の領域上に誘電体膜を形成する第 2 の工程と、(c) 少なくとも、第 1 の領域を取り囲む半導体薄板の表面の第 2 の領域と第 1 の領域との境界付近の領域に応じた、ガラス体の表面の領域上にガラス層を形成する第 3 の工程と、(d) ガラス層が形成された、半導体基板と略同一の熱膨張率を有するガラス体を半導体基板に搭載し、半導体基板の露出部とガラス体の露出部を陽極接合して、複合体を形成する第 4 の工程と、

(e) 複合体を加熱処理し、ガラス層とガラス体とをガラス接合させる第 5 の工程と、(f) 電荷読み出し部の形成面に対する半導体基板の裏面を加工して、半導体基板を半導体薄板とする第 6 の工程と、(g) 半導体薄板の裏面側からイオン注入を行い、活性化して、アキュムレーション層を形成する第 7 の工程とを備える。

【0057】請求項 9 の裏面照射型受光デバイスの製造方法では、まず、シリコンを主材とする半導体基板に電荷読み出し部を形成 (第 1 の工程) した後、電荷読み出し部を含む半導体薄板の表面の第 1 の領域上に誘電体膜を形成する (第 2 の工程)。

【0058】引き続き、請求項 8 の裏面照射型受光デバイスの製造方法の誘電体膜上でのガラス層の形成に代えて、ガラス体側にガラス層を形成する (第 3 の工程)。

【0059】次に、誘電体膜、および電荷読み出し部を取り囲む、ガラス層が形成された、半導体基板と略同一の熱膨張率を有するガラス体を半導体基板に搭載し、半導体基板の露出部とガラス体を陽極接合して、複合体を

形成する（第 4 の工程）。この結果、半導体基板とガラス体とが仮接合されるが、このときは半導体基板は薄板化されていないので十分な強度を有しており、破壊されることはない。

【0060】次いで、複合体を加熱処理し、ガラス層とガラス体とをガラス接合させる（第 5 の工程）。この結果、半導体基板とガラス体とは、ガラス層を介して強固に本接合される。半導体基板とガラス体とは略同一の熱膨張率を有するので、ガラス接合後、室温状態になっても応力の残留は実質的に存在しない。

【0061】引き続き、電荷読み出し部の形成面に対する半導体基板の裏面を加工して、半導体基板を半導体薄板とし（第 6 の工程）、その後、半導体薄板の裏面側からイオン注入を行い、活性化して、アキュムレーション層を形成する（第 7 の工程）。

【0062】請求項 9 の裏面照射型受光デバイスの製造方法も、請求項 8 の裏面照射型受光デバイスの製造方法と同様に、半導体薄板に応力が残留せず、また、十分な機械的強度を有するガラス体によって補強され、機械的なストレスに対して保護された半導体薄板からなる裏面照射型受光デバイスが製造される。

【0063】請求項 8 または請求項 9 の裏面照射型受光デバイスの製造方法では、誘電体膜として、SiN 膜または SiO₂ 膜とすることができる。

【0064】また、ガラス層の材料として、硼リン硅酸ガラス（BPSG）、リン硅酸ガラス（PSG）、硼硅酸ガラス（BSG）、または、鉛ガラスを採用することができる。

【0065】請求項 1 2 の裏面照射型受光デバイスの製造方法は、請求項 8 または請求項 9 の裏面照射型受光デバイスの製造方法において、ガラス体が、誘電体膜の凸形状またはガラス層の凸形状に応じた凹部を備えることを特徴とする。

【0066】請求項 1 2 の裏面照射型受光デバイスの製造方法では、半導体薄板の表面の誘電体膜やガラス層が形成されていない面がなす平面を基準として凸部に該当する誘電体膜やガラス層の凸形状に応じた凹部をガラス体が備えるので、半導体薄板とガラス体との陽極接合時において、半導体薄板にかかる力を低減することができる。したがって、半導体基板を薄板化後の半導体薄板に係る力が低減され、製造工程における破壊を防止でき、請求項 4 の裏面照射型受光デバイスを好適に製造できる。

【0067】請求項 1 3 の裏面照射型受光デバイスの製造方法は、請求項 8 の裏面照射型受光デバイスの製造方法において、第 3 の工程と第 4 の工程との間に、ガラス層の前記誘電体膜の上部の表面は半導体基板の表面と略平行とする第 8 の工程を更に備えることを特徴とする。

【0068】請求項 1 3 の裏面照射型受光デバイスの製造方法では、陽極接合に先立って、ガラス層の誘電体膜

の上部の表面が半導体基板の表面と略平行な平面状とするので、ガラス層と接触するガラス体の表面の形状を、半導体基板と接触するガラス体の表面と略平行に加工することにより、ガラス体の半導体基板への搭載時に好適に接触面積を確保することができる。したがって、ガラス接合による接合面積を確保することが可能となり、強固な接合が可能であり、請求項 5 の裏面照射型受光デバイスを好適に製造できる。

【0069】請求項 1 4 の裏面照射型受光デバイスの製造方法は、請求項 8 の裏面照射型受光デバイスの製造方法において、第 3 の工程が、第 1 の領域と第 2 の領域との境界付近の誘電体膜の表面上にのみガラス層を形成する工程であることを特徴とする。

【0070】請求項 1 4 の裏面照射型受光デバイスの製造方法では、誘電体膜の外周付近の表面上にのみガラス層を形成し、内側を意図的に空気層としているので、ランダムなボイドの発生を避けることができ、請求項 6 の裏面照射型受光デバイスを好適に製造できる。

【0071】請求項 1 5 の裏面照射型受光デバイスの製造方法は、請求項 9 の裏面照射型受光デバイスの製造方法において、第 3 の工程が、第 1 の領域と第 2 の領域との境界付近の誘電体膜の表面上にのみ応じたガラス体の表面の領域にガラス層を形成する工程であることを特徴とする。

【0072】請求項 1 5 の裏面照射型受光デバイスの製造方法では、誘電体膜の外周付近の表面上にのみガラス層を形成し、内側を意図的に空気層としているので、ランダムなボイドの発生を避けることができ、請求項 6 の裏面照射型受光デバイスを好適に製造できる。

【0073】なお、請求項 1 4 および請求項 1 5 の裏面照射型受光デバイスの製造方法で発生する空気層は非常に薄いので、空気粘性が効果的に作用し、あたかも接着剤で貼り付けられたように、空気粘性で貼り付けられ、半導体薄板が保護される。

【0074】請求項 1 6 の裏面照射型受光デバイスの製造方法は、請求項 8 または請求項 9 の裏面照射型受光デバイスの製造方法において、第 2 の工程と第 3 の工程との間に、第 2 の領域上に、高融点物質からなり、誘電体層の半導体基板の表面からの最高点よりも高い半導体基板の表面からの高さを有する枠部を形成する第 9 の工程を更に備えることを特徴とする。

【0075】請求項 1 6 の裏面照射型受光デバイスの製造方法では、高融点物質からなる枠部を第 9 の工程で形成するので、ガラス層とガラス体とのガラス接合を行う場合の加熱処理時におけるガラス層の形成材料の軟化に伴う、ガラス層の形成材料の横方向への移動が防止される。したがって、ガラス層の厚みの好適に確保され、結果的にガラス接合が確実になされ、請求項 7 の裏面照射型受光デバイスを好適に製造できる。

【0076】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の裏面照射型受光デバイスおよび裏面照射型受光デバイスの製造方法の実施の形態を説明する。なお、図面の説明にあたって同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0077】（第1実施形態）図1は、本発明の裏面照射型受光デバイスの構成図である。図1に示すように、このデバイスは、（a）半導体薄板100の表面に形成された電荷読み出し部110と、（b）電荷読み出し部110を含む半導体薄板100の表面の領域上に形成された誘電体膜200と、（c）誘電体膜200を取り囲んで形成されたガラス層310と、（d）ガラス層310とガラス接合して接続されられるとともに、半導体薄板110と陽極接合され、ガラス層310を取り囲む、半導体薄板100と略同一の熱膨張率を有するガラス体410と、（e）イオン注入と、引き続いて行われた熱処理で形成された高不純物濃度層（アキュムレーション層）520と、（f）アキュムレーション層520の表面に形成された絶縁膜510とを備える。

【0078】電荷読み出し部110は、電荷結合デバイス（CCD）120、並びに、CCD120上に形成されたポリシリコン電極130、層間絶縁膜140、および、金属配線150などを備える。

【0079】誘電体膜200としては、SiN膜またはSiO₂膜を好適に採用とすることができる。

【0080】また、ガラス層310の材料として、BPSG、PSG、BSG、または、鉛ガラスを好適に採用できる。

【0081】本実施形態の裏面照射型受光デバイスでは、半導体薄板100は、電荷読み取り部110を含む受光素子が形成された側で、受光素子を保護する誘電体膜200上の接着剤としてのガラス層310とガラス接合で強固に固着されるとともに、半導体薄板100の材料が露出された部分では陽極接合で固着された、半導体薄板100の材料と熱膨張率が略一致するガラス体410を備える。この結果、半導体薄板100は充分な機械的強度を有するガラス体410によって補強され、機械的なストレスに対して保護されることになる。

【0082】本実施形態の裏面照射型受光デバイスでは、ガラス体410がガラス層310とガラス接合で強固に固着されるとともに、ガラス体410が半導体薄板100と略同一の熱膨張率を有するので、ガラス層310を介して充分な接着力で半導体薄板100とガラス体410とが接着されるとともに、温度変化による反り、湾曲が発生しない。

【0083】本実施形態の裏面照射型受光デバイスは、以下のようにして製造される。図2および図3は、本実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程図である。

【0084】まず、シリコンを主材とする半導体基板101に電荷読み出し部110を形成した後、電荷読み出

し部110を取り囲んで誘電体膜200を形成する（図2（a）参照）。電荷読み出し部110の外周部は、誘電体膜200や金属配線は除去し、半導体基板101を露出させる。

【0085】引き続き、誘電体膜200を取り囲んでガラス層310を形成する（図2（b）参照）。例えば、ガラス層310の材料として、接合用ガラスであるBPSGを約3μmの厚みで堆積することが好適である。

【0086】次に、ガラス層310を取り囲む、半導体基板101と略同一の熱膨張率を有するガラス体410を半導体基板101に搭載し、半導体基板101の露出部とガラス体410を陽極接合する（図2（c）参照）。

【0087】ガラス体410の厚みは、0.5mmから1mmが適している。具体的には、コーニング社の#7740などのアルカリ金属を含む硼硅酸ガラスが好適である。コーニング社の#7740は、熱膨張係数が 3.4×10^{-6} であり、シリコンの熱膨張係数（ $= 3 \times 10^{-6}$ ）によく一致している。

【0088】なお、ガラス体410は半導体基板101上のガラス層310の形成部の凸形状に応じた凹部をエッチングにより設けているが、平坦なままでもガラス体の弾性変形と半導体基板101の弾性変形によって貼り付けることは可能である。

【0089】陽極接合装置を用いて、半導体基板101とガラス体410とを陽極接合するが、陽極接合は400℃以下の低温で行われるので、ガラス層310は溶融しない。したがって、この時点ではガラス層310とガラス体410とのガラス接合はなされない。また、陽極接合時には、ガラス体410は500V程度に帯電させられるが、電荷読み出し部110のCCD120のゲート酸化膜が破壊されることはない。

【0090】以上、半導体基板101とガラス体410とが仮接合されるが、このときは半導体基板101は薄板化されていないので充分な強度を有しており、破壊されることはない。

【0091】次いで、加熱処理し、ガラス層310とガラス体410とをガラス接合させる（図3（a）参照）。ガラス層がBPSGから成る場合には、800～900℃に加熱することが好適である。

【0092】陽極接合が外周部にあるので、ガラス層310にはガラス体410に押し付けられる力が働くので、接合は強固なものとなる。また、加熱処理にあたって、重り等の必要がない。陽極接合を行わない場合には、重り等により押え付ける必要があるが、面積が大きくなると均一な力で押え付けることは困難であり、反りやたわみが生じ、極端な場合にはガラス接合が行われない部分を生じる。

【0093】以上、半導体基板101とガラス体410とは、ガラス層310を介して強固に本接合される。半

導体基板 101 とガラス体 310 とは略同一の熱膨張率を有するので、ガラス接合後、室温状態になっても応力の残留は実質的に存在しない。

【0094】引き続き、電荷読み出し部 110 の形成面に対する半導体基板 101 の裏面を加工して、半導体基板 101 を半導体薄板 100 とする (図 3 (b) 参照)。そして、半導体薄板 100 の裏面に酸化膜 510 を成長させた後、イオン注入および高温アニール処理を行い、アキュームレーション層 (P⁺ 層) 520 を形成する (図 3 (c) 参照)。

【0095】こうして、半導体薄板 100 に応力が残留せず、また、十分な機械的強度を有するガラス体によって補強され、機械的なストレスに対して保護された裏面照射型受光デバイスが製造される。

【0096】(第 2 実施形態) 図 4 は、本発明の裏面照射型受光デバイスの構成図である。図 4 に示すように、このデバイスは、第 1 実施形態と比較して、ガラス層 320 が平坦化され、ガラス層 320 と第 1 実施形態のガラス体 410 と同様の材料から成るガラス体 420 との間に空気層が実質的に存在しない点異なる。

【0097】本実施形態においても、第 1 実施形態と同様に、誘電体膜 200 としては、SiN 膜または SiO₂ 膜を好適に採用とすることができ、また、ガラス層 320 の材料として、BPSG、PSG、BSG、または、鉛ガラスを好適に採用できる。

【0098】本実施形態の裏面照射型受光デバイスでは、第 1 実施形態と同様に、半導体薄板 100 は、電荷読み出し部 110 を含む受光素子が形成された側で、受光素子を保護する誘電体膜 200 上の接着剤としてのガラス層 320 とガラス接合で強固に固着されるとともに、半導体薄板 100 の材料が露出された部分では陽極接合で固着された、半導体薄板 100 の材料と熱膨張率が略一致するガラス体 420 を備える。この結果、半導体薄板 100 は十分な機械的強度を有するガラス体 420 によって補強され、機械的なストレスに対して保護されることになる。

【0099】本実施形態の裏面照射型受光デバイスでは、第 1 実施形態と同様に、ガラス体 420 がガラス層 320 とガラス接合で強固に固着されるとともに、ガラス体 420 が半導体薄板 100 と略同一の熱膨張率を有するので、ガラス層 320 を介して十分な接着力で半導体薄板 100 とガラス体 420 とが接着されるとともに、温度変化による反り、湾曲が発生しない。

【0100】本実施形態の裏面照射型受光デバイスは、以下のようにして製造される。図 5 および図 6 は、本実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程図である。

【0101】まず、第 1 実施形態と同様に、シリコンを主材とする半導体基板 101 に電荷読み出し部 110 を形成した後、電荷読み出し部 110 を取り囲んで誘電体膜 200 を形成し (図 5 (a) 参照)、引き続き、誘電

体膜 200 を取り囲んでガラス層 320 を形成する (図 5 (b) 参照)。

【0102】次に、ガラス層 310 を平坦化してガラス層 320 とする (図 5 (c) 参照)。平坦化には、ケミカル・メカニカル・ポリッシング技術を好適に用いることができる。

【0103】引き続き、ガラス層 320 を取り囲む、半導体基板 101 と略同一の熱膨張率を有するガラス体 420 を半導体基板 101 に搭載し、半導体基板 101 の露出部とガラス体 420 を陽極接合する (図 5 (d) 参照)。

【0104】第 1 実施形態と同様に、ガラス体 420 の厚みは、0.5mm から 1mm が適している。具体的には、コーニング社の #7740 などのアルカリ金属を含む硼硅酸ガラスが好適である。なお、ガラス体 420 は半導体基板 101 上のガラス層 320 の形成部の凸形状に応じた凹部をエッチングにより設け、ガラス層 320 との密着を図っている。

【0105】第 1 実施形態と同様に、この時点ではガラス層 320 とガラス体 420 とのガラス接合はなされず、また、陽極接合時には、ガラス体 420 は 500V 程度に帯電させられるが、電荷読み出し部 110 の CCD120 のゲート酸化膜が破壊されることはない。

【0106】以上、半導体基板 101 とガラス体 420 とが仮接合されるが、このときは半導体基板 101 は薄板化されていないので十分な強度を有しており、破壊されることはない。

【0107】次いで、加熱処理し、ガラス層 320 とガラス体 420 とをガラス接合させる (図 6 (a) 参照)。第 1 実施形態と同様に、陽極接合が外周部にあるので、ガラス層 320 にはガラス体 420 に押し付けられる力が働くので、接合は強固なものとなる。更に、ガラス層 320 とガラス体 420 との接合面積が大きくなるので、非常に強固な接合がなされる。また、第 1 実施形態と同様に、加熱処理にあたって、重り等の必要がない。

【0108】以上、半導体基板 101 とガラス体 420 とは、ガラス層 320 を介して強固に本接合される。半導体基板 101 とガラス体 420 とは略同一の熱膨張率を有するので、ガラス接合後、室温状態になっても応力の残留は実質的に存在しない。

【0109】引き続き、電荷読み出し部 110 の形成面に対する半導体基板 101 の裏面を加工して、半導体基板 101 を半導体薄板 100 とする (図 6 (b) 参照)。そして、半導体薄板 100 の裏面に酸化膜 510 を成長させた後、イオン注入および高温アニール処理を行い、アキュームレーション層 (P⁺ 層) 520 を形成する (図 6 (c) 参照)。

【0110】こうして、半導体薄板 100 に応力が残留せず、また、十分な機械的強度を有するガラス体によ

て補強され、機械的なストレスに対して保護された裏面照射型受光デバイスが製造される。

【0111】（第3実施形態）図7は、本発明の裏面照射型受光デバイスの構成図である。図7に示すように、このデバイスは、第1実施形態と比較して、ガラス層330が誘電体膜200の外周部付近にのみ形成されるとともに、ガラス層330と第1実施形態のガラス体410と同様の材料から成るガラス体430との間に空気層が積極的に設けられている点が異なる。

【0112】本実施形態においても、第1実施形態と同様に、誘電体膜200としては、SiN膜またはSiO₂膜を好適に採用とすることができ、また、ガラス層330の材料として、BPSG、PSG、BSG、または、鉛ガラスを好適に採用できる。

【0113】本実施形態の裏面照射型受光デバイスでは、第1実施形態と同様に、半導体薄板100は、電荷読み取り部110を含む受光素子が形成された側で、受光素子を保護する誘電体膜200上の接着剤としてのガラス層330とガラス接合で強固に固着されるとともに、半導体薄板100の材料が露出された部分では陽極接合で固着された、半導体薄板100の材料と熱膨張率が略一致するガラス体430を備える。この結果、半導体薄板100は十分な機械的強度を有するガラス体430によって補強され、機械的なストレスに対して保護されることになる。

【0114】本実施形態の裏面照射型受光デバイスでは、第1実施形態と同様に、ガラス体430がガラス層330とガラス接合で強固に固着されるとともに、ガラス体430が半導体薄板100と略同一の熱膨張率を有するので、ガラス層330を介して十分な接着力で半導体薄板100とガラス体430とが接着されるとともに、温度変化による反り、湾曲が発生しない。

【0115】本実施形態の裏面照射型受光デバイスは、以下のようにして製造される。図8および図9は、本実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程図である。

【0116】まず、第1実施形態と同様に、シリコンを主材とする半導体基板101に電荷読み出し部110を形成した後、電荷読み出し部110を取り囲んで誘電体膜200を形成し（図8（a）参照）、引き続き、誘電体膜200の外周部付近にガラス層330を形成する（図8（b）参照）。

【0117】次に、ガラス層330および誘電体膜200を取り囲む、半導体基板101と略同一の熱膨張率を有するガラス体430を半導体基板101に搭載し、半導体基板101の露出部とガラス体430を陽極接合する（図8（c）参照）。

【0118】第1実施形態と同様に、ガラス体430の厚みは、0.5mmから1mmが適している。具体的には、コーニング社の#7740などのアルカリ金属を含む硼硅酸ガラスが好適である。なお、ガラス体430は

半導体基板101上のガラス層330の形成部の凸形状に応じた凹部をエッチングにより設けている。

【0119】第1実施形態と同様に、この時点ではガラス層330とガラス体430とのガラス接合はなされず、また、陽極接合時には、ガラス体430は500V程度に帯電させられるが、電荷読み出し部110のCCD120のゲート酸化膜が破壊されることはない。

【0120】以上、半導体基板101とガラス体430とが仮接合されるが、このときは半導体基板101は薄板化されていないので十分な強度を有しており、破壊されることはない。

【0121】次いで、加熱処理し、ガラス層330とガラス体430とをガラス接合させる（図9（a）参照）。第1実施形態と同様に、陽極接合が外周部にあるので、ガラス層330にはガラス体430に押し付けられる力が働くので、接合は強固なものとなる。更に、誘電体膜200とガラス体430とで挟まれた空気層は非常に薄いので、空気の粘性により、接着剤で貼り付けたと同様の効果が発生する。また、空気層を内部に設けることにより、ランダムなボイドの発生を避けることができる。

【0122】以上、半導体基板101とガラス体430とは、ガラス層330および空気層を介して強固に本接合される。半導体基板101とガラス体430とは略同一の熱膨張率を有するので、ガラス接合後、室温状態になっても応力の残留は実質的に存在しない。

【0123】引き続き、電荷読み出し部110の形成面に対する半導体基板101の裏面を加工して、半導体基板101を半導体薄板100とする（図9（b）参照）。そして、半導体薄板100の裏面に酸化膜510を成長させた後、イオン注入および高温アニール処理を行い、アキュームレーション層（P⁺層）520を形成する（図9（c）参照）。

【0124】こうして、半導体薄板100に応力が残留せず、また、十分な機械的強度を有するガラス体によって補強され、機械的なストレスに対して保護された裏面照射型受光デバイスが製造される。

【0125】（第4実施形態）図10は、本発明の裏面照射型受光デバイスの構成図である。図10に示すように、このデバイスは、第2実施形態と比較して、誘電体膜200の外周に形成された、高融点物質からなる枠部342が設けられ、ガラス層341が枠部の内側に形成される点がことなる。

【0126】本実施形態においても、第1実施形態と同様に、誘電体膜200としては、SiN膜またはSiO₂膜を好適に採用とすることができ、また、ガラス層341の材料として、BPSG、PSG、BSG、または、鉛ガラスを好適に採用できる。また、枠部342の材料としては、SiO₂ガラスを好適に採用できる。

【0127】本実施形態の裏面照射型受光デバイスで

は、第 1 実施形態と同様に、半導体薄板 100 は、電荷読み取り部 110 を含む受光素子が形成された側で、受光素子を保護する誘電体膜 200 上の接着剤としてのガラス層 341 とガラス接合で強固に固着されるとともに、半導体薄板 100 の材料が露出された部分では陽極接合で固着された、半導体薄板 100 の材料と熱膨張率が略一致するガラス体 440 を備える。この結果、半導体薄板 100 は十分な機械的強度を有するガラス体 440 によって補強され、機械的なストレスに対して保護されることになる。

【0128】本実施形態の裏面照射型受光デバイスでは、第 1 実施形態と同様に、ガラス体 440 がガラス層 341 とガラス接合で強固に固着されるとともに、ガラス体 440 が半導体薄板 100 と略同一の熱膨張率を有するので、ガラス層 341 を介して十分な接着力で半導体薄板 100 とガラス体 440 とが接着されるとともに、温度変化による反り、湾曲が発生しない。

【0129】本実施形態の裏面照射型受光デバイスは、以下のようにして製造される。図 11 および図 12 は、本実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程図である。

【0130】まず、第 1 実施形態と同様に、シリコンを主材とする半導体基板 101 に電荷読み出し部 110 を形成した後、電荷読み出し部 110 を取り囲んで誘電体膜 200 を形成する（図 11 (a) 参照）。そして、高融点材料からなる枠部 342 を形成し（図 11 (b) 参照）、引き続き、枠部 342 の内側にガラス層 341 を形成する（図 11 (c) 参照）。

【0131】次に、ガラス層 341 および枠部 342 を取り囲む、半導体基板 101 と略同一の熱膨張率を有するガラス体 440 を半導体基板 101 に搭載し、半導体基板 101 の露出部とガラス体 440 を陽極接合する（図 11 (d) 参照）。

【0132】第 1 実施形態と同様に、ガラス体 440 の厚みは、0.5mm から 1mm が適している。具体的には、コーニング社の #7740 などのアルカリ金属を含む硼硅酸ガラスが好適である。なお、ガラス体 440 は半導体基板 101 上のガラス層 341 および枠部 342 の形成部の凸形状に応じた凹部をエッチングにより設けている。

【0133】第 1 実施形態と同様に、この時点ではガラス層 341 とガラス体 440 とのガラス接合はなされず、また、陽極接合時には、ガラス体 440 は 500V 程度に帯電せられるが、電荷読み出し部 110 の CCD 120 のゲート酸化膜が破壊されることはない。

【0134】以上、半導体基板 101 とガラス体 440 とが仮接合されるが、このときは半導体基板 101 は薄板化されていないので十分な強度を有しており、破壊されることはない。

【0135】次いで、加熱処理し、ガラス層 341 とガ

ラス体 440 とをガラス接合させる（図 12 (a) 参照）。第 1 実施形態と同様に、陽極接合が外周部にあるので、ガラス層 341 にはガラス体 440 に押し付けられる力が働くので、接合は強固なものとなる。更に、ガラス層 341 の材料の流動が枠部 342 で制限される。

【0136】以上、半導体基板 101 とガラス体 440 とは、ガラス層 341 を介して強固に本接合される。半導体基板 101 とガラス体 440 とは略同一の熱膨張率を有するので、ガラス接合後、室温状態になっても応力の残留は実質的に存在しない。

【0137】引き続き、電荷読み出し部 110 の形成面に対する半導体基板 101 の裏面を加工して、半導体基板 101 を半導体薄板 100 とする（図 12 (b) 参照）。そして、半導体薄板 100 の裏面に酸化膜 510 を成長させた後、イオン注入および高温アニール処理を行い、アキュームレーション層（P⁺ 層）520 を形成する（図 12 (c) 参照）。

【0138】こうして、半導体薄板 100 に応力が残留せず、また、十分な機械的強度を有するガラス体によって補強され、機械的なストレスに対して保護された裏面照射型受光デバイスが製造される。

【0139】本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、変形が可能である。例えば、上記の第 1～3 実施形態では、誘電体膜の表面にガラス層を形成後、半導体基板とガラス体とを陽極接合し、引き続いて、加熱処理によるガラス接合を行っているが、ガラス体の表面にガラス層を形成後、半導体基板とガラス体とを陽極接合し、引き続いて、加熱処理によるガラス接合を行うことが可能である。この場合にも、本発明の裏面照射型受光デバイスを好適に製造することができる。

【0140】

【発明の効果】以上、詳細に説明した通り、本発明の裏面照射型受光デバイスによれば、半導体薄板を、電荷読み取り部を含む受光素子が形成された側で、受光素子を保護する誘電体膜上の接着剤としてのガラス層とガラス接合で強固に固着されるとともに、半導体薄板の材料が露出された部分では陽極接合で固着された、半導体薄板の材料と熱膨張率が略一致するガラス体を備えるので、半導体薄板は十分な機械的強度を有するガラス体によって補強され、機械的なストレスに対して保護されることになり、反りや湾曲が低減され、かつ、強固に固着された補強材によって保護された裏面照射型受光デバイスを実現することができる。

【0141】また、本発明の裏面照射型受光デバイスの製造方法によれば、半導体基板の電荷読み取り部を含む受光素子が形成された側で、まず、陽極接合により半導体基板と補強材であるガラス体を仮接合後、受光素子を保護する誘電体膜上の接着剤としてのガラス層とガラス接合で強固に固着することとしたので、反りや湾曲の発生を抑制しつつ、強固に固着された補強材によって保護

21

された本発明の裏面照射型受光デバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 実施形態の裏面照射型受光デバイスの構成図である。

【図 2】 本発明の第 1 実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程（前半）図である。

【図 3】 本発明の第 1 実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程（後半）図である。

【図 4】 本発明の第 2 実施形態の裏面照射型受光デバイスの構成図である。

【図 5】 本発明の第 2 実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程（前半）図である。

【図 6】 本発明の第 2 実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程（後半）図である。

【図 7】 本発明の第 3 実施形態の裏面照射型受光デバイスの構成図である。

22

【図 8】 本発明の第 3 実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程（前半）図である。

【図 9】 本発明の第 3 実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程（後半）図である。

【図 10】 本発明の第 4 実施形態の裏面照射型受光デバイスの構成図である。

【図 11】 本発明の第 4 実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程（前半）図である。

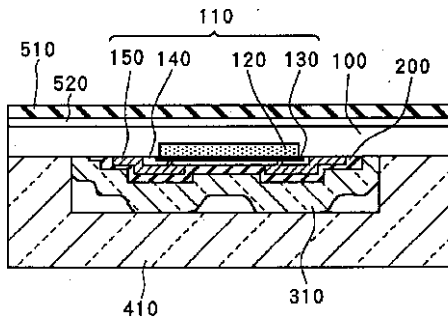
【図 12】 本発明の第 4 実施形態の裏面照射型受光デバイスの製造工程（後半）図である。

【図 13】 アキュムレーションの説明図である。

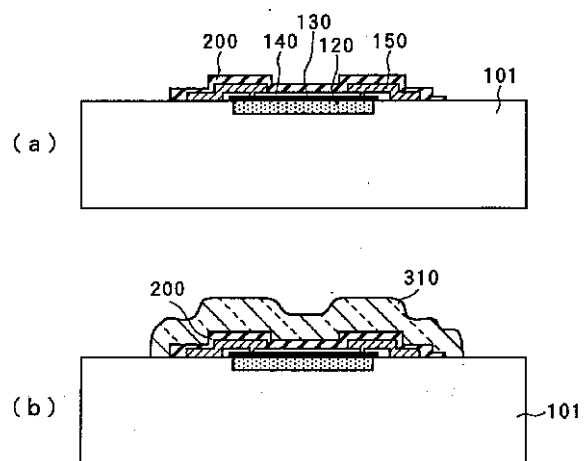
【符号の説明】

100…半導体薄板、101…半導体基板、110…電荷読み出し部、200…誘電体膜、310、320、330、341…ガラス層、342…枠部、410、420、430、440…ガラス体、510…酸化膜、520…アキュムレーション層。

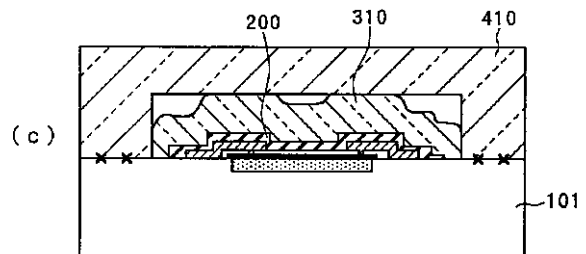
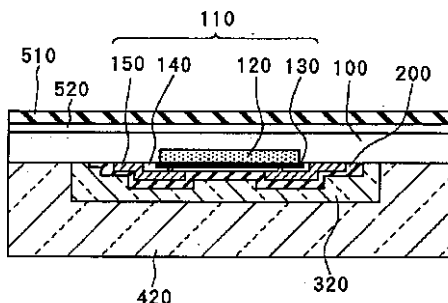
【図 1】



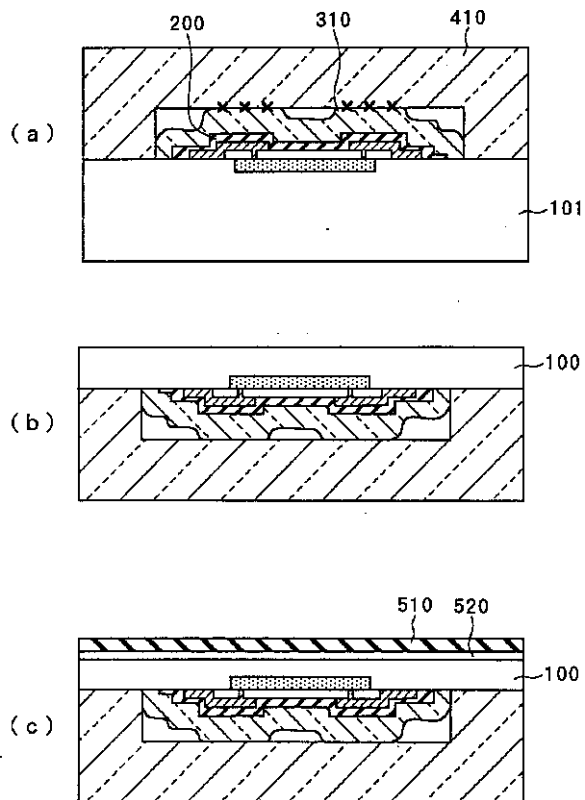
【図 2】



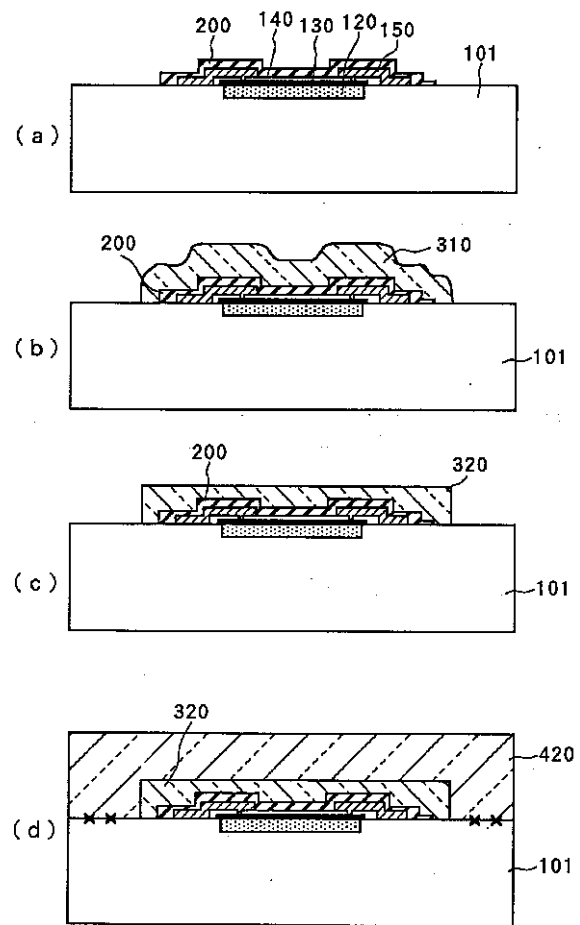
【図 4】



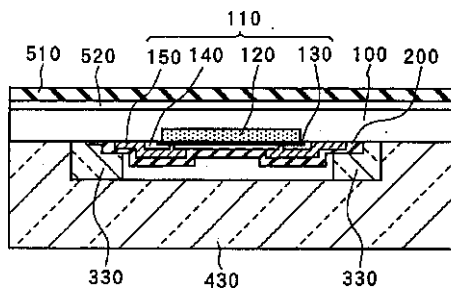
【図3】



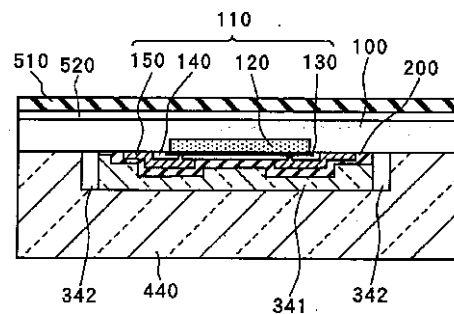
【図5】



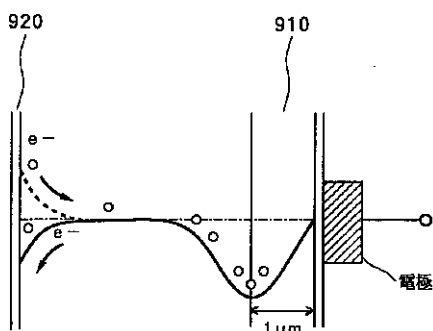
【図7】



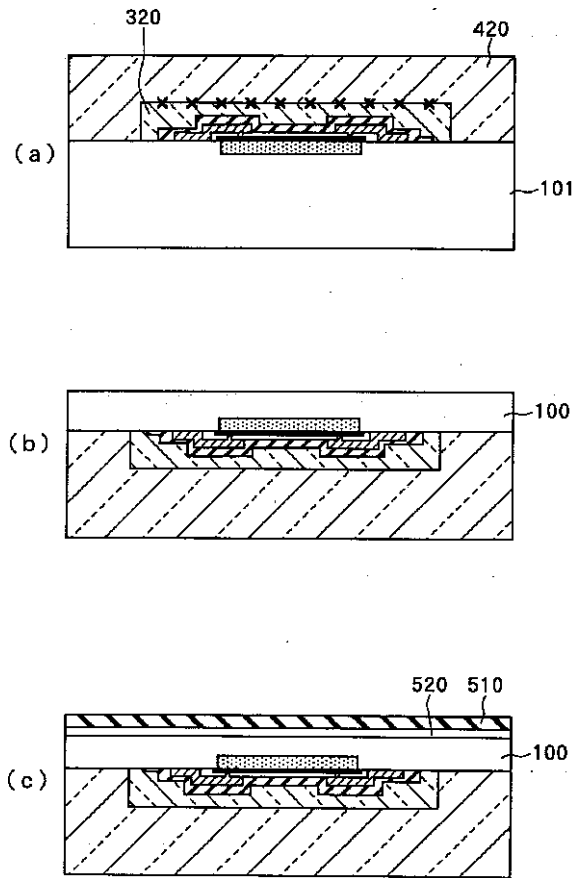
【図10】



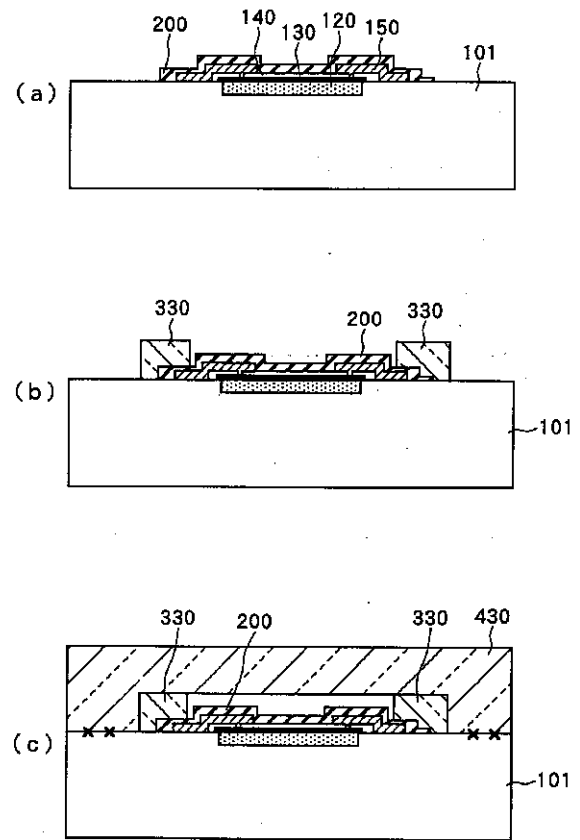
【図13】



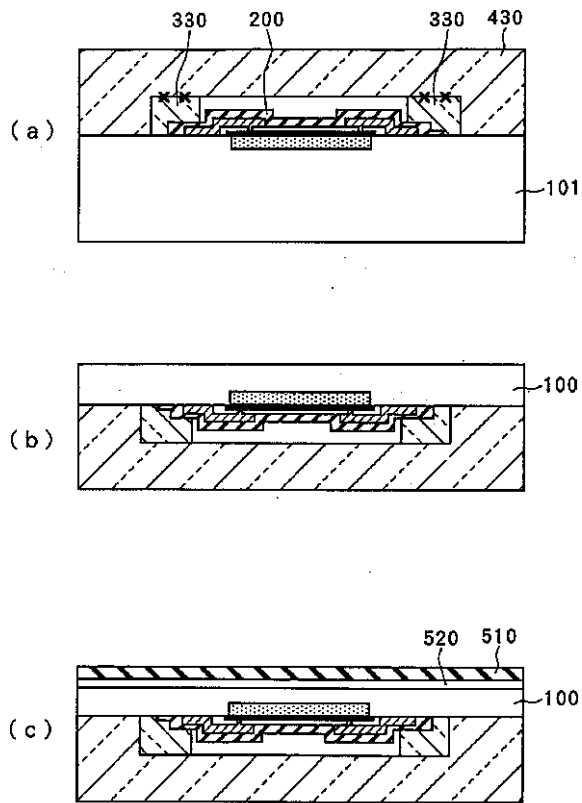
【図6】



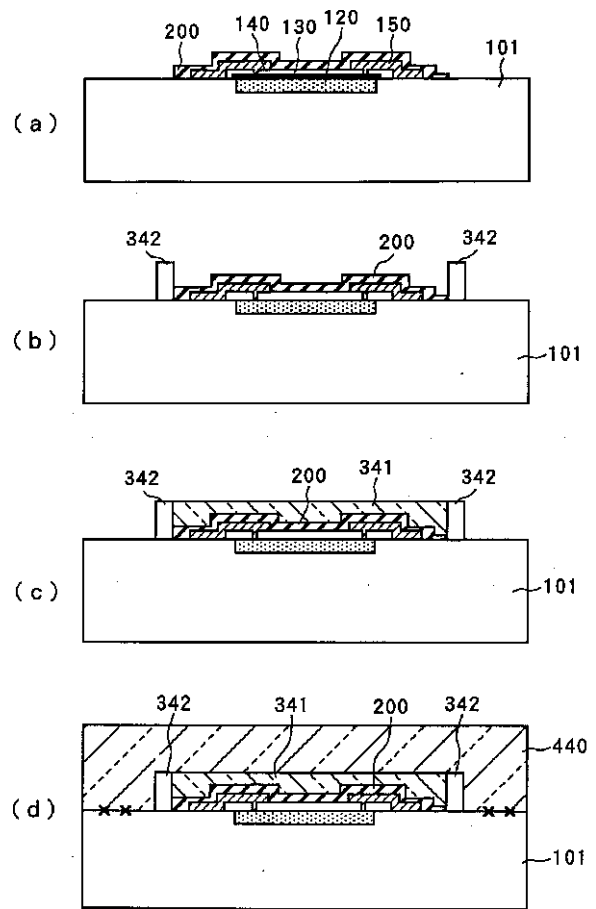
【図8】



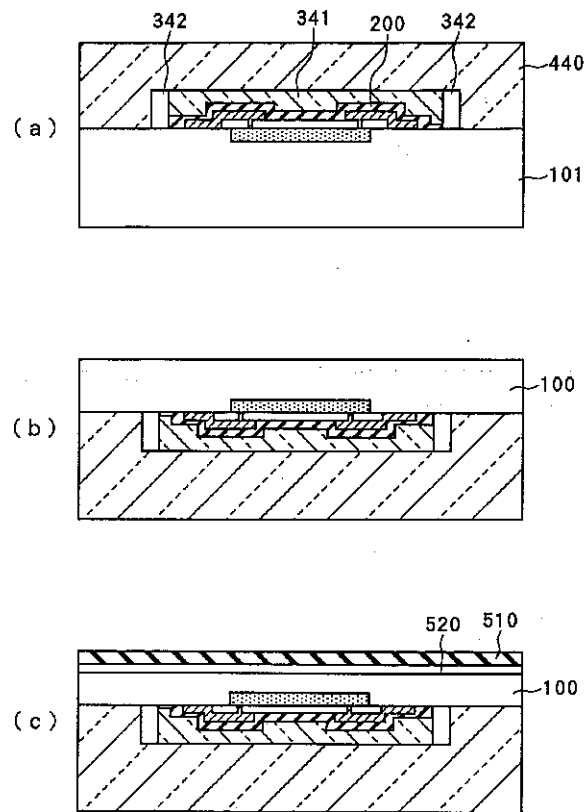
【図9】



【図11】



【図12】



I, Benjamin Ettinger, declare as follows:

1. I am over eighteen years of age and fully competent to make this affidavit. I have personal knowledge of the information contained in this affidavit, and it is true and accurate to the best of my knowledge.
2. I am a translator fluent in the Japanese and English languages. I provide this affidavit on behalf of TransPerfect.
3. I translated “JPH10-116977” from Japanese to English and attest that it is a true and accurate translation.

I hereby declare that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on the information and belief are believed to be true; I declare under penalty of perjury under the laws of the United States Of America that the foregoing is true and correct, and understand that willful false statements and the like are punishable by fine or imprisonment, or both pursuant to 18 U.S.C. 1001.

Benjamin Ettinger

LINGUIST NAME



Signature of Linguist