

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3423279号
(P3423279)

(45)発行日 平成15年7月7日(2003.7.7)

(24)登録日 平成15年4月25日(2003.4.25)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

H 0 1 L 31/04

H 0 1 L 31/04

D

請求項の数 8 (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2000-265227(P2000-265227)

(22)出願日 平成12年9月1日(2000.9.1)

(65)公開番号 特開2002-76391(P2002-76391A)

(43)公開日 平成14年3月15日(2002.3.15)

審査請求日 平成12年9月1日(2000.9.1)

(73)特許権者 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 平本 昌宏

大阪府高槻市日吉台一番町10-45

(72)発明者 横山 正明

兵庫県西宮市柏堂西町10-9

(74)代理人 100085464

弁理士 野口 繁雄

審査官 濱田 聖司

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 有機半導体薄膜太陽電池

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 有機半導体層を金属電極で挟み込んだ有機半導体薄膜太陽電池において、

前記有機半導体層は2種類の有機半導体からなる複合膜であり、一方の有機半導体が結晶微粒子状態となり、他方の有機半導体がアモルファス状態となっており、前記一方の有機半導体の結晶微粒子の表面を前記他方の有機半導体のアモルファス層が覆った微細構造となっていることを特徴とする太陽電池。

【請求項2】 前記有機半導体層は異種有機半導体界面における電子移動効果、又は光生成した電子-ホール対の空間的分離促進効果によって、大きな光電流を生じることのできる構造となっている請求項1に記載の太陽電池。

【請求項3】 前記有機半導体層はp-n接合を形成する

有機半導体異種接合が全体に張り巡らされた構造を持ち全体が光キャリア生成に活性に働く構造である請求項1に記載の太陽電池。

【請求項4】 前記有機半導体は光電導性有機半導体を含む請求項1から3のいずれかに記載の太陽電池。

【請求項5】 前記有機半導体はp型有機半導体とn型有機半導体を含む請求項1から4のいずれかに記載の太陽電池。

【請求項6】 前記有機半導体層はフタロシアニン顔料とペリレン顔料との共蒸着薄膜である請求項5に記載の太陽電池。

【請求項7】 前記有機半導体層を挟み込む金属電極は互いに仕事関数の異なる金属からなる請求項1から6のいずれかに記載の太陽電池。

【請求項8】 前記有機半導体層をn型、p型の有機又

は無機の半導体層でサンドイッチ状に挟み込み、前記金属電極はそれらの半導体層の外側に配置するとともに、前記金属電極の材質は接している前記半導体層とオーミック接合をとれる金属からなるようにした請求項1から7のいずれかに記載の太陽電池。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光電変換機能を有する有機半導体薄膜を組み込んだ太陽電池に関するものである。

【0002】

【従来の技術】本発明者らは、新しい固体太陽電池として、2種の有機半導体の共蒸着薄膜を電極で挟み込んだ構造の有機半導体薄膜太陽電池を提案している(M. Hiramoto, H. Fujiwara, and M. Yokoyama, Applied Physics Letters, 58, 1062 (1991)参照)。そこで用いられている有機半導体の共蒸着薄膜は、2種の異なった有機半導体を同一基板に同時に蒸着して作製されたものであるが、その蒸着時の基板温度は特に制御することなく、室温で蒸着されたものである。そのため、得られた共蒸着薄膜の微細な複合構造は全く制御されていない。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】そのような有機共蒸着膜を組み込んだ太陽電池においては、共蒸着薄膜の光電変換能力が有機材料同士の微細な混合状態によって決定的な影響を受けることがわかってきた。しかし、これまでは、どのような混合状態であるか全く未解明のまま、単に共蒸着の各有機材料成分の単独薄膜と両者の共蒸着膜の示す光電変換能力を比較評価してきたに過ぎなかった。すなわち、従来の基板温度が室温のもとで作製された有機共蒸着薄膜は、光キャリア生成に最適な混合状態で使用されているとはとても考えられず、本来可能であるはずの非常に高い光電変換能力が引き出せていない虞れがある。

【0004】上述した微細構造の制御されていない有機半導体薄膜太陽電池に対し、本発明は有機半導体層を組み込んだ太陽電池において、その有機半導体層の微細な混合状態を積極的に制御することによって光電変換能力を向上させて高い光電エネルギー変換効率を実現することを目的とするものである。

【0005】

【課題を解決するための手段】高い光電エネルギー変換効率を実現するように有機半導体層の光電変換能力を向上させるために、本発明では、その有機半導体層は2種類の有機半導体からなる複合膜であり、一方の有機半導体が結晶微粒子状態となり、他方の有機半導体がアモルファス状態となって、一方の有機半導体の結晶微粒子の表面を他方の有機半導体のアモルファス層が覆った微細構造となっているように微細構造を制御する。複数種類の有機半導体からなる有機半導体層を作製する1つの方

法は、それらの有機半導体を共通の基板に同時に蒸着させる共蒸着法である。その共蒸着法では、蒸着時の基板温度を冷却又は加熱により制御することによって、得られる有機半導体層の微細な混合状態を制御できることがわかった。

【0006】本発明において一の有機半導体の結晶微粒子表面を他の有機半導体のアモルファス層が覆った微細構造の有機半導体層を太陽電池に組み込んだことにより、高い効率の光電エネルギー変換を行なうことができるようになる。

【0007】

【0008】

【発明の実施の形態】そのような微細構造の有機半導体層は、異種有機半導体界面における電子移動効果、又は光生成した電子-ホール対の空間的分離促進効果によって、大きな光電流を生じるのに好都合な構造である。また、そのような微細構造の有機半導体層はp-n接合を形成する有機半導体異種接合が全体に張り巡らされた構造を持ち全体が光キャリア生成に活性に働く構造であることが好ましい。

【0009】本発明において有機半導体層に用いられる有機半導体として、光電導性有機半導体(光照射によってキャリアを発生出来る有機半導体)を用いるのが好ましい。特に、p型性を示す有機半導体(p型有機半導体)とn型性を示す有機半導体(n型有機半導体)の組み合わせが望ましい。本発明で使用する主な有機半導体を図2に例示する。

【0010】n型有機半導体には、ペリレン顔料とその誘導体(窒素原子に付いている置換基の異なる誘導体は多種知られており、例えば、t-BuPh-PTC, PhEt-PTCなどがあり、高い光電変換能を持つIm-PTCもある。)、ナフタレン誘導体(ペリレン顔料のペリレン骨格がナフタレンになっているもので、例えばNTCDA)、C60等が挙げられる。

【0011】p型有機半導体には、フクロシアニン顔料とその誘導体(中心に種々の金属をもつMPc、金属をもたないH₂Pcや、周りに種々の置換基の付いたもの)、キナクリドン顔料(DQ)、ボルフィリン、メロシアニン等とその誘導体が挙げられる。また、2種類の有機半導体を混合する場合、一方が光電導性有機半導体で、他方がTPDのようなキャリア輸送剤という組み合わせも好ましい。有機半導体層の好ましい一例は、フクロシアニン顔料とペリレン顔料との共蒸着薄膜である。

【0012】その有機半導体層を挟み込む金属電極は互いに仕事関数の異なる金属からなることが好ましい。有機半導体層を複数層で構成することもできる。その場合、有機半導体層をn型、p型の有機又は無機の半導体層でサンドイッチ状に挟み込み、金属電極はそれらの半導体層の外側に配置するとともに、その金属電極の材質は接している半導体層とオーミック接合をとれる金属か

らなるような構造することが好ましい。

【0013】

【実施例】次に、本発明について図面を参照して説明する。図1は本発明の太陽電池の一実施例を示す概略断面図であり、有機半導体層を単層で用いた場合のセル構造を示している。1は有機半導体層であり、メタルフリーフタロシアニン顔料(H_2Pc)とペリレン顔料($Me-P TC$)からなる混合比率1:1の共蒸着薄膜である。ここでは、有機半導体層1の膜厚は150nmであるが、膜厚は変えることができる。有機半導体層1の一方の面には半透明金蒸着膜(膜厚20nm)からなる金属電極2が形成されており、有機半導体層1の他方の面には金属電極3として透明電極であるITO(indium tin oxide)蒸着膜(膜厚は約60nm)が形成されている。金属電極3としてのITO蒸着膜は透明ガラス基板(図示略)上に蒸着により形成されたものである。

【0014】このような構造の有機半導体薄膜太陽電池は、透明ガラス基板上に金属電極3としてITO蒸着膜を形成し、その上にメタルフリーフタロシアニン顔料とペリレン顔料とを基板温度を所定の温度に制御しながら同時に蒸着して形成し、さらにその上に金属電極2として金蒸着膜を形成することにより作製することができる。

【0015】この実施例の太陽電池の性能を評価するために、自然の太陽光に代えて擬似太陽光(100mW/cm², AM1.5)を照射する。太陽光はITO透明電極3側から照射する。反対側の電極2としてこの実施例の金のように反射率の高い金属を用いれば、有機半導体層1を通り抜けた光がその電極2で反射して有機半導体層1側に戻るので、出力を大きくする上で有利である。なお、擬似太陽光は白色光であるが、セル特性評価には光電流の波長依存性も測定するので、電極2側又は電極3側から単色光による照射も行なう。

【0016】図3はITO電極3側から擬似太陽光を照射したときの光電流-電圧($J-V$)特性である。この図の第1象限が太陽光照射によって発生した光電流と電圧を表している。 $V=0V$ のときの光電流を短絡光電流 J_{sc} 、 $J=0mA/cm^2$ のときの電圧を開放端電圧 V_{oc} という。図中に示した共蒸着膜堆積時の基板温度が低くなるほど光電流量が大きくなっていくことが分かる。

【0017】図4に短絡光電流 J_{sc} の共蒸着膜堆積時基板温度依存性を示す。基板温度-167℃で作製した場合、室温作製に比べて約15倍にあたる0.46mA/cm²に達した。

【0018】図5に J_{sc} の光電流量子収率の照射光波長依存性を示す。量子収率は共蒸着膜に吸収されたフォトン数に対するセルを流れた短絡光電流の電子数を表している。光電流量子収率は1.0(すなわち100%)が最大の効率となる。量子収率は、基板温度-16

7℃で作製した場合、最大値を示した波長(600nm)で15%が得られた。一方、室温作製では約1%に過ぎない。共蒸着単独膜の太陽電池としては、量子収率15%は非常に大きな値である。

【0019】10倍以上の光電流の増大は共蒸着薄膜の微細構造に密接な関係がある。図6に基板冷却下で作製した共蒸着薄膜の極微細構造の模式図を示す。10-20nm程度の大きさの $Me-P TC$ 微結晶がアモルファス状の H_2Pc 分子によって均一に覆われている構造と考えられる。大きな光電流が得られた理由は、 $Me-P TC$ 微結晶の表面をアモルファス状の H_2Pc が覆うことで接触面積の大きな界面が形成され、高効率の光キャリア生成が起こり、かつ、光生成した電子とホールを別々に取り出せるルートが形成されたためと考えられる。

【0020】図7に基板温度を制御した共蒸着薄膜で作ることができる微細構造を概略的に示す。まず、室温で作製した共蒸着薄膜は、図7(a)に示すように、2つの顔料分子が分子レベルで微細に混合したアモルファス構造であると考えられる。分子レベル混合の場合、 H_2Pc と $Me-P TC$ 分子間の接触は図7の3つの構造の中で最も多く、異種分子間の電子移動効果(後述)によって光キャリア生成効率は100%近いと考えられるが、生成した電子とホールを別々に空間的に分離して取り出せるルートが無く、せっかく生成した電子とホールが電極にたどり着くまでに容易に出会い、再結合によって消滅してしまう確率が非常に高い。そのために、室温で作製した共蒸着膜の光電流量子収率は1%の低い値であったと考えられる。

【0021】冷却下(-167℃)で作製した共蒸着膜は、図7(b)に示すように、結晶微粒子とアモルファス層との混合状態になっている。この場合、先に述べたように、異種分子間の接触の多さと、電子とホールの空間分離取り出しとが両立している。高温(50℃以上)で作製した共蒸着膜は、図7(c)に示すように、結晶微粒子同士の混合となっている。この場合は、異種分子の接触は3つの構造の中で最も少ないが、電子とホールとの空間分離取り出しには有利と考えられる。以上のことから、図7(b)の微細構造が最も効率が高いと推定される。図4で、短絡光電流が基板温度50℃で増大の兆候があるのは、図7(c)の微細構造の場合も良い効率が得られる可能性を示している。

【0022】共蒸着膜を用いた太陽電池においては、 H_2Pc と $Me-P TC$ の組み合わせに限らず、結晶性又はアモルファス性の強い分子を組み合わせる図7の構造を自由に作製し、光電変換能力の最大化を図っていくことが可能である。また、共蒸着比率1:1が最も高い効率を与えるというものでなく、各構造に応じた比率の最適化も必要である。

【0023】有機半導体層が高い光電変換能力を示す原理について、これまでの議論と重複するところもある

が、以下にまとめる。第1に、以下に述べる異種分子間（有機／有機界面）の電子移動によって光キャリア生成効率が向上する効果があげられる。図8は光キャリア生成が効率よく起こる2つの有機半導体分子の組合わせのエネルギー関係を示した図である。7、8は有機半導体分子AのHOMO（最高占有分子軌道）とLUMO（最低非占有分子軌道）準位、9と10は有機半導体分子BのHOMO（最高占有分子軌道）とLUMO（最低非占有分子軌道）準位とする。11は有機半導体分子Aの光励起、12は有機半導体分子Bから有機半導体分子Aへの電子移動、13は電子のエネルギーを示す。また、黒丸は電子、白丸は電子が励起された後に残された空孔（ホール）である。

【0024】単一の有機半導体分子のみの場合、励起状態は励起された分子内に局在化し、励起電子とホールは強いクーロン引力で束縛されたフレンケル型の励起子を形成しているため、通常はほとんどの励起状態が失活して、光電流となる自由な電子とホールが生成する効率は非常に低い。それに対して、2種の有機半導体分子が組み合わせられ、エネルギー関係が図8に示した関係になっている場合、有機半導体分子Aを光励起した時は有機半導体分子Bから電子移動12が起こるため、有機半導体分子Aの励起状態にある電子はもはや失活できなくなる。その結果、有機半導体分子Aに電子が、有機半導体分子Bに空孔（ホール）ができて（電荷移動（CT）型励起子）、電子とホールが分離されるため、自由な電子とホールの生成効率が大きく向上する。図には示していないが、有機半導体分子Bが励起された場合はLUMO準位10に励起された電子が有機半導体分子AのLUMO準位8に電子移動するため、同様に有機半導体分子Aに電子が、有機半導体分子Bにホールが分離される。

【0025】なお、実施例のMe-PTC（有機半導体分子A）とH₂Pc（有機半導体分子B）との組合わせの場合は、Me-PTCのHOMO準位はH₂PcのHOMO準位よりも低いが、Me-PTCのLUMO準位がH₂PcのLUMO準位よりも少し高いエネルギー位置にあるため、Me-PTC励起では電子移動効果が起こるが、H₂Pc励起では電子移動があまり起こらない可能性がある。図5の400-600nmのMe-PTCの吸収域では光電流量子収率が大きいのに、600nmより長波長のH₂Pcのみの吸収領域で量子収率があまり大きくないのはこの原因による可能性がある。

【0026】以上説明したように、電子移動による光キャリア生成の増感効果が起こるためには、有機半導体分子AのHOMO準位が有機半導体分子BのHOMO準位よりも低いエネルギー位置にあること、及び、有機半導体分子AのLUMO準位が有機半導体分子BのLUMO準位よりも低いエネルギー位置にあることが必要で、異種の有機半導体分子を組み合わせる共蒸着化に当たって、高い光キャリア生成効率を得るにはこのエネルギー

的関係を満たした有機半導体分子種の組合わせを選ぶことが望ましい。

【0027】以上は分子レベルの議論であったが、ここでエネルギー構造について有機半導体分子の集合体である半導体とみなした立場からの議論を行なう。有機半導体分子A（Me-PTC）と有機半導体分子B（H₂Pc）が微結晶化又はアモルファス化して分子集団として存在する時（図7（b）又は（c））、Me-PTCはn型半導体、H₂Pcはp型半導体の挙動を示すため、両者の界面にpn接合が形成されると捉えることができる。

【0028】図9はp型有機半導体とn型有機半導体が、分子レベル（図7（a））でなく、ある程度の大きさを持つ集団として微細に混合した複合構造をもつ有機半導体層（図7（b）、（c））のエネルギー構造を模式的に表わした図である。14はp型有機半導体、15はn型有機半導体、16は太陽光、17は異種有機pn接合界面で光生成した電子-ホール対、18はp型有機半導体中を輸送される光生成ホール、19はn型有機半導体中を輸送される光生成電子、20は伝導帯（分子としてみればLUMO準位）、21は価電子帯（分子としてみればHOMO準位）、22は電子のエネルギーである。図7（b）、（c）の有機半導体層は、n型有機半導体とp型有機半導体がお互いに入り組んだ微細構造を持ち、両者の界面に形成されるpn接合が共蒸着薄膜全体に張り巡らされたエネルギー構造を持つ。照射された太陽光は有機半導体6又は有機半導体7で吸収され、接合界面で電子-ホール対17を光生成する。光生成電子19はn型有機半導体15側に、光生成ホール18はp型有機半導体14側に分離されて別々に輸送される。なお、図7（a）に示される構造は新物質であり、p型でもn型でもないi（intrinsic）層ととらえることができる。

【0029】第2に共蒸着薄膜全体が光キャリア生成に活性に働くことがあげられる。すなわち、金属又は無機半導体と有機半導体の間の単純な接合を持つ従来の有機太陽電池では、接合のごく近傍の活性層でしか有機半導体の光キャリア生成が起こらず、接合から遠く離れた有機半導体層は光吸収してもキャリアを生成しないためにdeadlayerとなり、結果として薄膜全体としての光キャリア生成効率は非常に低い値となっていた。しかし、本発明の有機半導体層においては、異種分子接合（pn接合）が膜全体に張り巡らされた構造のため、deadlayerがなく、膜全体が光キャリア生成に対して活性に働き、膜で吸収された光すべてがキャリア生成に寄与するため、大きな光電流が得られる効果がある。

【0030】図10に、基板温度-167℃で作製した有機共蒸着膜を用いた太陽電池セルについて、Au電極側およびITO電極側から照射した場合のJ_{sc}の波長依存性を、同一セルに用いた共蒸着膜の吸収スペクトル

とあわせて示す。光電流の山と谷は吸収の山と谷とほぼ一致しており、ITO電極とAu電極のどちら側から光照射しても、光電流波長依存性の形は変わらない。これは上に述べたように、deadlayerがなく共蒸着膜全体が光キャリア生成に対して活性に働いていることを実際に確認できた結果である。Au電極との接合界面近傍のみキャリア生成を起こしている場合は、Au側照射時は吸収と光電流のスペクトルの形は一致するが、ITO側照射時はマスキング効果（ITO近傍で吸収された光は光電流を発生しないため、吸収の強いところで光電流が小さく、吸収の弱いところでAu界面近くまで光が侵入するため光電流が大きい）のために、吸収スペクトルの山が光電流のスペクトルの谷となる、吸収強度と光電流量がひっくり返った関係になるはずである。ITO電極との界面近傍のみキャリア生成を起こす場合は上に述べたのと逆になるはずである。なお、Au側照射の光電流がITO側照射の場合の約1/5であるのは、Au電極の透過率が約20%であるためである。

【0031】第3に、生成したフリーな電子とホールが空間的に分離されて輸送されるために、両者の再結合が抑制され、薄膜全体としての最終的な光キャリア生成効率、すなわち光電流量を高める効果があげられる。この効果は、先に議論したように図7(a)の構造では不利であり、図7(b), (c)の微細構造で顕著に現れる。これは、基板温度室温での作製に比べて基板温度低温での作製の共蒸着膜の光電流量が10倍以上になった主たる原因であると考えられる。

【0032】次に内蔵電界に関する議論を行なう。有機共蒸着膜を太陽電池として用いるためには、電池のなかに組み込まれた内蔵電界によって光電流を得ることが必要である。実施例のセルは、Auがプラスの光起電力を示し（図3参照）、開放端電圧(V_{oc})の値はAuとITOと仕事関数の差0.2V（注：大気中の仕事関数の実測値は、Auが4.9 eV、ITOが4.7 eV。）に近く、内蔵電界は電極金属の接触電位差に由来するものと考えられる。また、ITO電極、Au電極どちら側から光照射しても光キャリア生成が同等に起こるのは（図10の結果参照）、図11(a)に示したように共蒸着薄膜内にほぼ均一に内蔵電界がかかっていることを意味していると考えられる。実施例の内蔵電界は0.2Vという小さな値であり、これはかなり大きくすることができる。このような小さな内蔵電界にもかかわらず、15%近い短絡光電流量子収率が得られたということは、内蔵電界増大による光電流量増大の大きな余地がある。図3の光電流-電圧特性は以上の意味において全く最適化されていない初歩的結果にすぎない。

【0033】内蔵電界を大きくするには、仕事関数（フェルミレベル）の差の大きな材料で有機共蒸着膜をはさむことが必要である（図11(b)）。第1の方法は、電極に用いる金属の組み合わせとして仕事関数差の大きな

ものを選択することである。具体的には、図1のセル構造で、金属電極2として仕事関数の大きな（小さな）金属、金属電極3として仕事関数の小さな（大きな）金属を用いることである。ただし、片方の金属は太陽光を吸収しないITOのような透明電極であることが望ましい。

【0034】第2の方法はフェルミレベルの異なるp型とn型の半導体で有機共蒸着膜をはさんだ図12のような構造とすることである。23は有機半導体層、24がn型半導体、25がp型半導体、26が透明電極、27が金属電極、28が太陽光である。例えば、n型、p型半導体としてMe-PTCと H_2Pc の単独層を用いることが考えられるが、一般的には、n型層24とp型層25として、n型、p型有機半導体、n型、p型無機半導体、金属の中から自由に選んで組み合わせて用いればよい。電極26の金属はn型層24とオーミック接合と形成するものが望ましい。電極27の金属はp型層25とオーミック接合を形成するものが望ましい。電極26側から太陽光を照射する場合は、電極26は透明電極であることが望ましく、また、n型層24の層も可視域に吸収を持たず光キャリア生成効率の良い共蒸着層23になるべく多くのフォトンが吸収されるようにすることが望ましい。

【0035】共蒸着の膜厚は入射太陽光のほとんどを吸収でき、かつ、光キャリア生成量子収率の低下しない膜厚に最適化する必要がある。膜厚を大きくすると、光をすべて吸収できるようになり光の利用効率（吸収率）は向上するが、内蔵電界強度は減少するため光キャリア生成効率が減少する可能性が高く、トレードオフの関係があるため最適化は必要である。

【0036】共蒸着膜は太陽光スペクトルの全域に吸収を持つようにできるのが望ましい。すなわち有機半導体の組み合わせとして、同一の波長領域に吸収を持つものは望ましくなく、相補う波長域に吸収をもち可視域全体を網羅できる組み合わせが好ましい。実施例の共蒸着薄膜では、Me-PTCが400-600 nm、 H_2Pc が400 nmより短波長と550 nmより長波長に吸収を持ち、吸収は可視域全体に及んでおり（図10下図参照）、かなり良好な組み合わせである。なお、3つ以上の有機材料の組み合わせでスペクトル全域を網羅することも考えられる。

【0037】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、2種類の有機半導体からなる複合膜であって、一方の有機半導体が結晶微粒子状態となり、他方の有機半導体がアモルファス状態となって、一方の有機半導体の結晶微粒子の表面を他方の有機半導体のアモルファス層が覆った微細構造となっている有機半導体層を太陽電池に組み込んだので、高い効率の光電エネルギー変換を行なうことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】有機半導体層を単独で用いた本発明の第1の実施例のセル構造を示す概略断面図である。

【図2】本発明で使用する主な有機半導体を示す化学構造式である。

【図3】同実施例における光電流-電圧 ($J-V$) 特性である。

【図4】同実施例における短絡光電流 J_{sc} の基板温度依存性である。

【図5】同実施例における短絡光電流の光電流量子収率の照射光波長依存性を示す図である。

【図6】基板冷却下で作製した共蒸着薄膜の極微細構造を示す模式図である。

【図7】異種顔料共蒸着薄膜の極微細構造を模式的に描いた図であり、(a)は分子レベルの混合、(b)は結晶微粒子相とアモルファス相との混合、(c)は結晶微粒子同士の混合である。

【図8】高い光キャリア生成を示す2つの有機半導体分子のエネルギー関係を示した図である。

【図9】p型とn型有機半導体が微細に混合した有機半導体層(図7(b),(c))のエネルギー構造を模式的に表した図である。

【図10】基板温度-167°Cで作製した有機半導体層を用いたセルの短絡光電流の波長依存性と共蒸着膜の吸収スペクトルを示す図である。

【図11】共蒸着薄膜内の内蔵電界分布を示す図である。

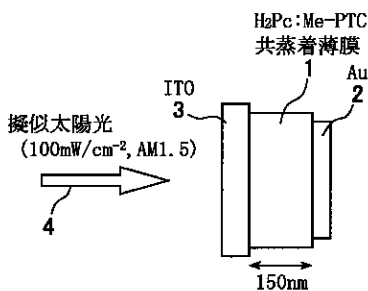
【図12】フェルミレベルの異なるp型とn型の半導体

で有機共蒸着膜をはさんだ3層構造セルの構造を示す概略断面図である。

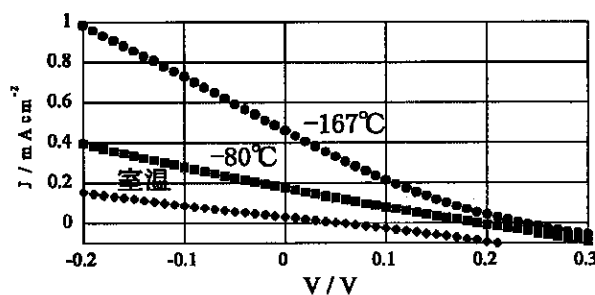
【符号の説明】

- 1, 23 有機半導体層
- 2, 3, 26, 27 金属電極
- 4, 16, 28 太陽光
- 7 有機半導体分子AのHOMO(最高占有分子軌道)準位
- 8 有機半導体分子AのLUMO(最低非占有分子軌道)準位
- 9 有機半導体分子BのHOMO(最高占有分子軌道)準位
- 10 有機半導体分子BのLUMO(最低非占有分子軌道)準位
- 11 有機半導体分子Aの光励起
- 12 有機半導体分子Bから有機半導体分子Aへの電子移動
- 13, 23 電子のエネルギー
- 14 p型有機半導体
- 15 n型有機半導体
- 17 異種有機pn接合界面で光生成した電子-ホール対
- 18 p型有機半導体中を輸送される光生成ホール
- 19 n型有機半導体中を輸送される光生成電子
- 20 伝導帯
- 21 価電子帯
- 24 n型半導体
- 25 p型半導体

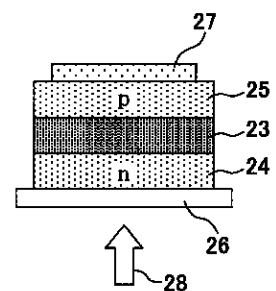
【図1】



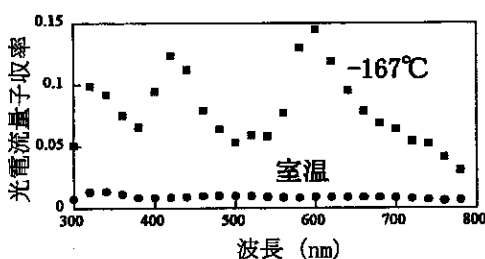
【図3】



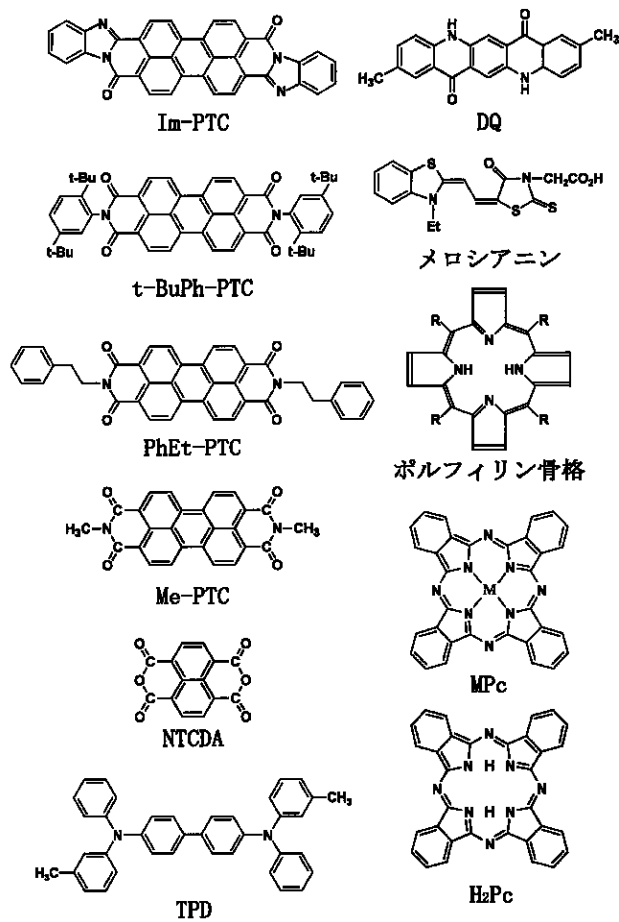
【図12】



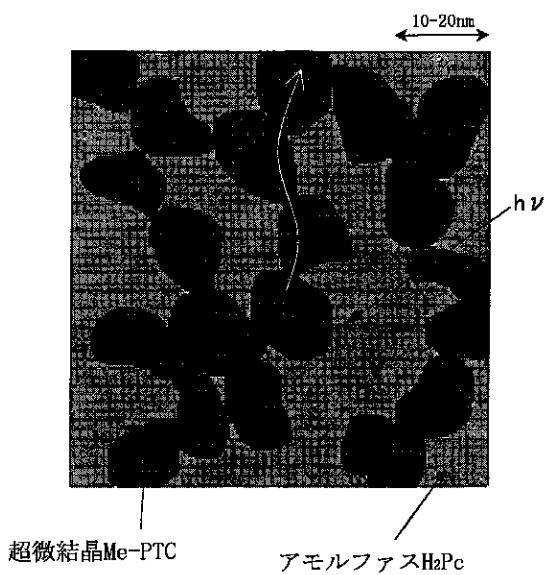
【図5】



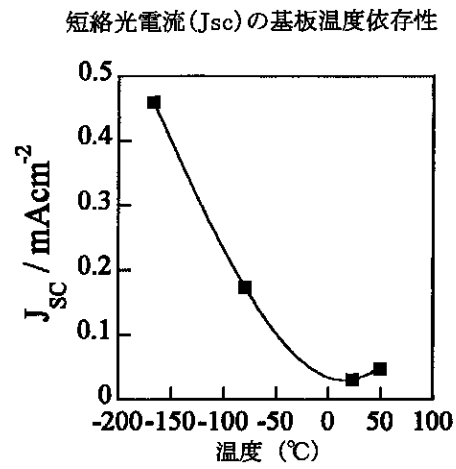
【図2】



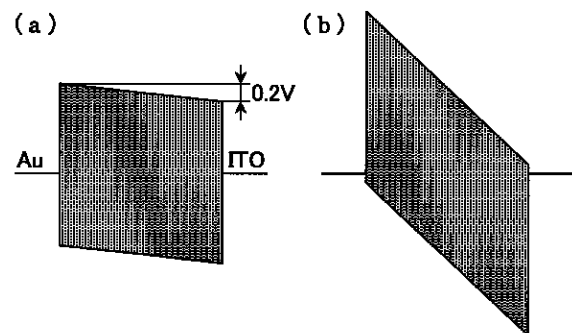
【図6】



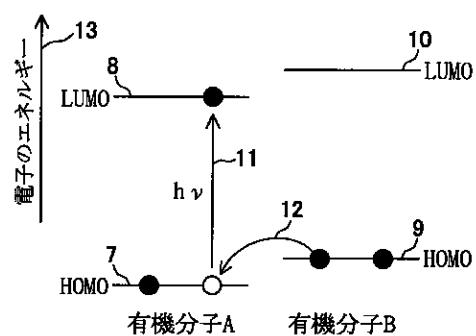
【図4】



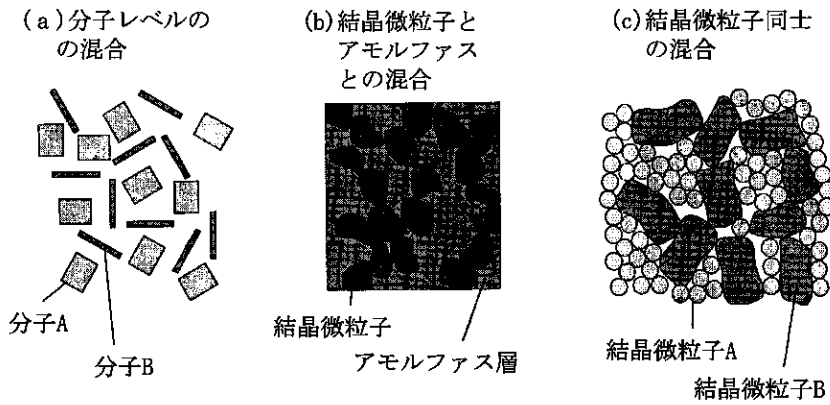
【図11】



【図8】

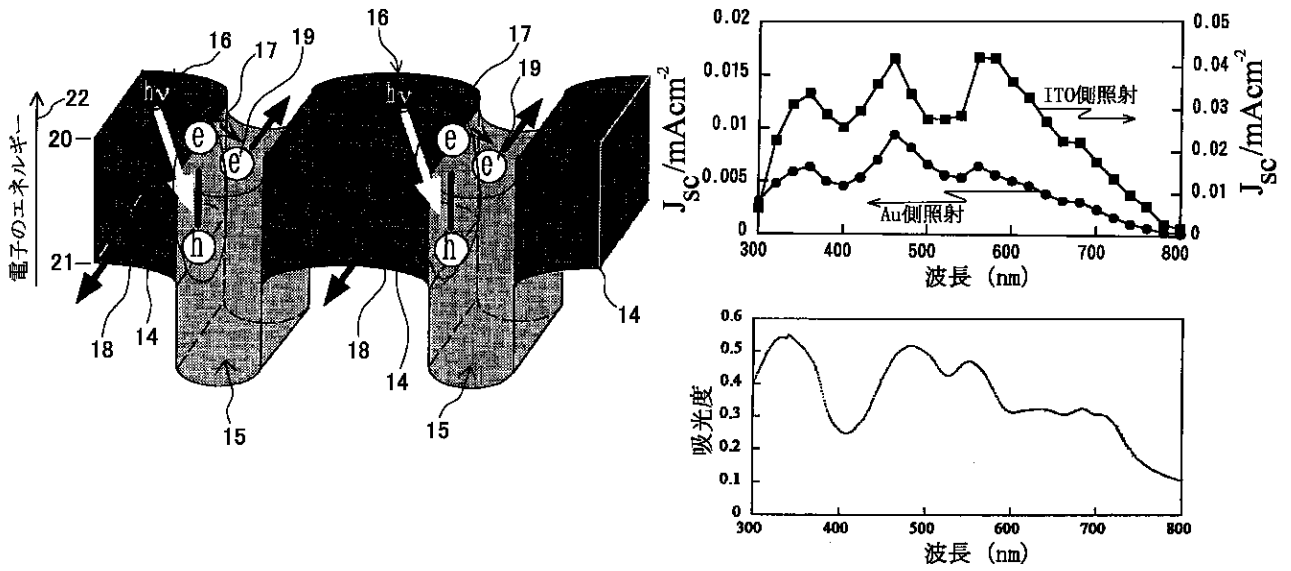


【図7】



【図9】

【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 平3-285367 (JP, A)
特開 平4-72680 (JP, A)
特開 平6-177410 (JP, A)
特開 平6-37341 (JP, A)
特開 平9-74217 (JP, A)
特開 平7-7019 (JP, A)
特開2002-76027 (JP, A)
Hiramoto et al., "Three-layered organic solar cell with a photoactive interlayer of codeposited pigments", Applied Physics Letters, Vol. 58, No. 10, p. 1062-1064

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
H01L 31/04 - 31/078