

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-207012
(P2004-207012A)

(43) 公開日 平成16年7月22日(2004.7.22)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 1 M 14/00	HO 1 M 14/00	5 F 0 5 1
HO 1 L 31/04	HO 1 L 31/04	5 H 0 3 2
	Z N M P	
	Z	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2002-374184 (P2002-374184)	(71) 出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(22) 出願日	平成14年12月25日 (2002.12.25)	(74) 代理人	100082762 弁理士 杉浦 正知
		(74) 代理人	100120640 弁理士 森 幸一
		(72) 発明者	戸木田 裕一 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	鈴木 祐輔 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

最終頁に続く

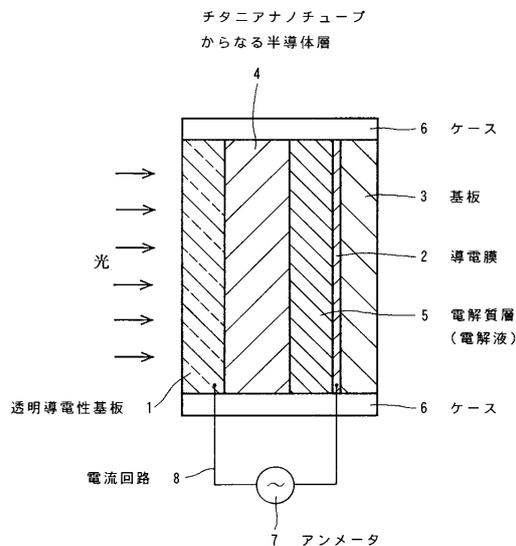
(54) 【発明の名称】 色素増感型光電変換装置およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 任意の増感色素を使用することができ、製造コストが安価でしかも光電変換効率が高い色素増感型光電変換装置およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 透明導電性基板 1 と対極の導電性基板 2、3 との間に半導体層 4 と電解質層 5 とが設けられる色素増感型光電変換装置において、半導体層 4 としてチタニアナノチューブからなるものを用い、そのチタニアナノチューブに増感色素を担持させる。チタニアナノチューブとしては好ましくは結晶型がアナターゼ型のものを用いる。この色素増感型光電変換装置を色素増感型太陽電池に用いる。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

チタニアナノチューブからなる半導体層を用い、
上記チタニアナノチューブに増感色素を担持させた
ことを特徴とする色素増感型光電変換装置。

【請求項 2】

上記増感色素として酸性置換基を有さない増感色素を用いたことを特徴とする請求項 1 記載の色素増感型光電変換装置。

【請求項 3】

上記チタニアナノチューブに少なくとも 2 種類の増感色素を担持させたことを特徴とする
請求項 1 記載の色素増感型光電変換装置。 10

【請求項 4】

上記増感色素間が会合していないことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の色素増感型光電変換装置。

【請求項 5】

上記チタニアナノチューブの直径が 5 nm 以上 80 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の色素増感型光電変換装置。

【請求項 6】

上記チタニアナノチューブの結晶型がアナターゼ型であることを特徴とする請求項 1 記載の色素増感型光電変換装置。 20

【請求項 7】

互いに対向する一対の電極間に上記半導体層と電解質層とが設けられていることを特徴とする請求項 1 記載の色素増感型光電変換装置。

【請求項 8】

透明導電性基板とこの透明導電性基板の対極をなす導電性基板との間に上記半導体層と上記電解質層とが設けられ、光電変換によって上記透明導電性基板と上記導電性基板との間に電気エネルギーを発生することを特徴とする請求項 1 記載の色素増感型光電変換装置。

【請求項 9】

上記透明導電性基板は透明導電膜を備えた透明基板であることを特徴とする請求項 8 記載の色素増感型光電変換装置。 30

【請求項 10】

色素増感型太陽電池として構成されていることを特徴とする請求項 8 または 9 記載の色素増感型光電変換装置。

【請求項 11】

チタニアナノチューブからなる半導体層を用い、
上記チタニアナノチューブに増感色素を担持させるようにした
ことを特徴とする色素増感型光電変換装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、色素増感型光電変換装置およびその製造方法に関し、特に、色素増感型太陽電池に適用して好適なものである。 40

【0002】

【従来の技術】

従来、化石燃料に代わるエネルギー源として、太陽光を利用する様々な太陽電池が開発されている。これまで最も広く用いられている太陽電池はシリコンを用いたもので、多数市販されている。これらは大別して、単結晶または多結晶のシリコンを用いた結晶シリコン系太陽電池と、非晶質（アモルファス）シリコン系太陽電池とに分けられる。

【0003】

従来、太陽電池には、単結晶または多結晶のシリコン、すなわち結晶シリコンが多く用い 50

られてきた。

しかしながら、この結晶シリコン系太陽電池では、光（太陽）エネルギーを電気エネルギーに変換する性能を表す光電変換効率が、アモルファスシリコン系太陽電池に比べて高いものの、結晶成長に多くのエネルギーと時間とを要するため生産性が低く、コスト面で不利であった。

【0004】

また、アモルファスシリコン系太陽電池は、結晶シリコン系太陽電池と比べて光吸収性が高く、基板の選択範囲が広い、大面積化が容易である等の特徴があるが、光電変換効率が結晶シリコン系太陽電池より低い。さらに、アモルファスシリコン系太陽電池は、生産性は結晶シリコン系太陽電池に比べて高いが、製造に真空プロセスが必要であり、エネルギー負担は未だに大きい。

10

また、これらの太陽電池は、ガリウム、砒素、シランガス等の毒性の高い材料を使用することから、環境汚染の面でも問題がある。

【0005】

一方、上記のような問題を解決する方法として、有機材料を用いた太陽電池も長く検討されてきたが、多くは、光電変換効率が1%程度と低く、実用化には至らなかった。

その中で、非特許文献1で発表された色素増感型太陽電池は、現在までに10%という高い光電変換効率が実現可能であることが示されており、かつ、安価に製造することができると考えられることから注目されている。この色素増感型太陽電池は、増感色素にルテニウム錯体を用いて分光増感した多孔質チタニア（酸化チタン、 TiO_2 ）膜を光電極（半

20

導体電極とも称される）とする湿式太陽電池、すなわち電気化学光電池である。

【非特許文献1】

Nature Vol.353, p.737,1991

【0006】

なお、近年、特殊なナノメートルサイズのチューブ状のチタニアが春日らによって開発されている（特許文献1、2）。また、カーボンナノチューブに代表されるナノメートルサイズの空孔内は、特殊なポテンシャル場を有しており、強い吸着エネルギーを有することが知られている（非特許文献2）。

【特許文献1】

特開平10-152323号公報

30

【特許文献2】

特開2002-241129号公報

【非特許文献2】

Journal of the Society of Inorganic Materials, Japn 8, 418-427 (2001)

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述の従来色素増感型太陽電池に用いられる増感色素は、多孔質チタニアに吸着させて使用することから、カルボン酸等の酸性置換基を有する必要があるが、これが使用することのできる増感色素の種類を制限してきた。ここで、増感色素を多孔質チタニアに担持させるのに酸性置換基が必要な理由は、多孔質チタニアの表面の吸着エネルギーが増感色素を吸着させるには弱いことから、増感色素に静電相互作用を付与しなければならぬためである。

40

【0008】

また、酸性置換基を増感色素に導入するため、増感色素の製造コストが高く、ひいては色素増感型太陽電池の製造コストが高くならざるを得なかった。

さらに、酸性置換基を増感色素に導入すると、その酸性置換基を介した増感色素同士の会合が起きやすくなって光励起電子の分子間消光現象が発生し、これが半導体層への励起電子の注入効率の低下をもたらし、増感色素の導入による光電変換効率の向上の効果を十分に得ることができなかった。

50

【0009】

このように、従来の色素増感型太陽電池では、増感色素が酸性置換基を有するため、使用することのできる増感色素の種類が制限されるだけでなく、増感色素の製造が煩雑であることにより製造コストが高く、光電変換効率の向上も制限されていたため、実用化が困難であるという課題を有していた。

【0010】

従って、この発明が解決しようとする課題は、任意の増感色素を使用することができ、製造コストが安価でしかも光電変換効率が高い色素増感型光電変換装置およびその製造方法を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、従来技術が有する上記の課題を解決すべく鋭意検討を行った結果、増感色素として酸性置換基を有さないものの使用を可能とするためには、半導体層にチタニアナノチューブを用いることが最も有効であることを見出し、この発明を案出するに至ったものである。

【0012】

すなわち、上記課題を解決するために、この発明は、チタニアナノチューブからなる半導体層を用い、そのチタニアナノチューブに増感色素を担持させたことを特徴とする色素増感型光電変換装置である。

【0013】

この発明はまた、チタニアナノチューブからなる半導体層を用い、そのチタニアナノチューブに増感色素を担持させるようにしたことを特徴とする色素増感型光電変換装置の製造方法である。

【0014】

この発明において、チタニアナノチューブに担持させる増感色素としては、増感作用を示すものであれば特に制限はなく、酸性置換基の有無を問わない。具体的には、増感色素の種類として、例えば、ローダミンB、ローズベンガル、エオシン、エリスロシン等のキサンテン系色素、キノシアニン、クリプトシアニン等のシアニン系色素、フェノサフラニン、カプリブルー、チオシン、メチレンブルー等の塩基性染料、クロロフィル、亜鉛ポルフィリン、マグネシウムポルフィリン等のポルフィリン系化合物、その他アゾ色素、フタロシアニン化合物、クマリン系化合物、ルビピリジン錯化合物、アントラキノン系色素、多環キノ系色素等が挙げられる。この中でも、ルテニウム(Ru)ピピリジン錯化合物は量子収率が高く特に好ましいが、これに限定されるものではなく、単独もしくは2種類以上混合して用いることができる。また、これらの増感色素に酸性基を付けたものを用いてもよい。

【0015】

増感色素のチタニアナノチューブへの担持方法に特に制限は無く、例えば上記増感色素をアルコール類、ニトリル類、ニトロメタン、ハロゲン化炭化水素、エーテル類、ジメチルスルホキシド、アミド類、N-メチルピロリドン、1,3-ジメチルイミダゾリジノン、3-メチルオキサゾリジノン、エステル類、炭酸エステル類、ケトン類、炭化水素、水等の溶媒に溶解させ、これにチタニアナノチューブを浸漬し、もしくは色素溶液をチタニアナノチューブからなる半導体層に塗布する方法が一般的である。また、増感色素分子がチタニアナノチューブに対して大幅に過剰に担持された場合、光エネルギーによって励起された電子がチタニアナノチューブに注入されず、電解質を還元するためエネルギーロスの原因となる。従って、増感色素分子はチタニアナノチューブに対して単分子吸着が理想的な状態であり、必要に応じて担持させる温度や圧力を変化させることが可能である。増感色素同士の間隔を低減する目的でデオキシコール酸等のカルボン酸類を添加しても良い。また、紫外線吸収剤を併用することもできる。

10

20

30

40

50

【0016】

過剰に担持された増感色素の除去を促進する目的で、増感色素が担持されたチタニアナノチューブに対し、アミン類を用いて表面を処理しても良い。アミン類の例としてはピリジン、4-tert-ブチルピリジン、ポリビニルピリジン等が挙げられ、これらが液体の場合は、そのまま用いても良いし、有機溶媒に溶解して用いても良い。

【0017】

チタニアナノチューブの直径は、増感色素を担持させることが可能である限り特に制限されないが、典型的には5nm以上80nm以下である。チタニアナノチューブの結晶型は好適にはアナターゼ型である。

【0018】

色素増感型光電変換装置においては、一般的に、互いに対向する一对の電極間に、増感色素を担持したチタニアナノチューブからなる半導体層と電解質層とが設けられる。より具体的には、透明導電性基板とこの透明導電性基板の対極をなす導電性基板との間に半導体層と電解質層とが設けられ、光電変換によって透明導電性基板と導電性基板との間に電気エネルギーを発生する。

【0019】

透明導電性基板は、導電性または非導電性の透明支持基板上に透明導電膜を形成したものであっても、全体が導電性の透明基板であっても良い。この透明支持基板の材質は特に制限されず、透明であれば種々の基材を用いることができる。この透明支持基板は、光電変換装置外部から侵入する水分やガスの遮断性、耐溶剤性、耐候性等に優れているものが好ましく、具体的には、石英、ガラス等の透明無機基板、ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレンナフタレート、ポリカーボネート、ポリスチレン、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリフェニレンサルファイド、ポリフッ化ビニリデン、テトラアセチルセルロース、ブロム化フェノキシ、アラミド類、ポリイミド類、ポリスチレン類、ポリアリレート類、ポリスルホン類、ポリオレフィン類等の透明プラスチック基板が挙げられるが、これらに限定されるものではない。この透明支持基板としては、加工性、軽量性等を考慮すると、透明プラスチック基板を用いるのが好ましい。また、この透明支持基板の厚さは特に制限されず、光の透過率、光電変換装置内部と外部との遮断性等によって自由に選択することができる。

【0020】

透明導電性基板の表面抵抗は低いほど好ましい。具体的には、透明導電性基板の表面抵抗は500 / 以下が好ましく、100 / がさらに好ましい。透明支持基板上に透明導電膜を形成する場合、その材料としては公知のものを使用可能であり、具体的には、インジウム-スズ複合酸化物(ITO)、フッ素ドーピングITO(FTO)、SnO₂等が挙げられるが、これらに限定されるものではなく、これらを2種類以上組み合わせ用いることができる。また、透明導電性基板の表面抵抗を低減し、集電効率を向上させる目的で、透明導電性基板上に導電性の高い金属の配線をパターンニングすることも可能である。色素増感型光電変換装置は、典型的には、色素増感型太陽電池として構成される。

【0021】

上述のように構成されたこの発明によれば、チタニアナノチューブからなる半導体層を用いるため、エタノール等の溶媒に増感色素を溶かした溶液にこの半導体層を接触させた場合、その増感色素は、毛細管現象によりチタニアナノチューブの内部に速やかに侵入する。その後、溶媒を除去するとチタニアナノチューブ内に増感色素が残り、チューブ内部特有のポテンシャル場により、増感色素はチタニアナノチューブ内に安定に留まることができる。このため、増感色素に特殊な酸性置換基を導入する必要が無い。

【0022】

また、チタニアナノチューブの比表面積は270m²/gと、一般的に色素増感型太陽電池で用いられている多孔質チタニアのアナターゼ結晶の比表面積(50m²/g)よりも飛躍的に大きくなることから、吸着する増感色素の量も増大し、光電変換効率を大幅に向上させることができる。

10

20

30

40

50

【0023】

また、増感色素に酸性置換基を導入する必要がないことから、増感色素間の会合を抑えることができ、光励起電子の分子間消光現象を抑制し、効率よくチタニアナノチューブに励起電子を注入することができることから、光電変換効率を向上させることができる。

【0024】

さらに、増感色素に酸性置換基を導入する必要がないことから、増感色素の製造プロセスが簡単になってその製造コストを大きく引き下げることが可能になるだけでなく、酸性置換基導入の制約が無くなることにより、未知の新規な増感色素の導入も容易になり、増感色素の選択の幅が大きく広がる。

【0025】

【発明の実施の形態】

以下、この発明の一実施形態について図面を参照しながら説明する。

この一実施形態による色素増感型光電変換装置においては、増感色素を担持したチタニアナノチューブからなる半導体層が用いられる。このチタニアナノチューブの直径は約5～80nmであり、長さは通常50～150nmである。このチタニアナノチューブの壁厚は通常2～10nmである。また、このチタニアナノチューブの結晶型はアナターゼ型である。

【0026】

チタニアナノチューブは、例えば公知の方法（特開平10-152323号公報、特開2002-241129号公報）を参考にして、チタニア粉末をアルカリ処理することにより得ることができる。

【0027】

アルカリ処理は、通常、水酸化ナトリウム濃度13～65wt%、温度18～180の条件下で、1～50時間、チタニア粉末を浸漬して行う。ここで、水酸化ナトリウム濃度が13wt%未満ではチューブの形成に時間がかかりすぎ、65wt%を超えるとチューブ状のものが生成されにくくなる。また、18より低い温度では生成のための反応時間が長くなり、160を超えるとチューブ状のものが生成されにくくなる。このアルカリ処理は、望ましくは、水酸化ナトリウム濃度18～55wt%、温度50～120の条件下で、さらに望ましくは、水酸化ナトリウム濃度30～50wt%、温度50～120の条件下で、2～20時間行う。

【0028】

また、チタニアナノチューブからなる半導体層は、例えば公知の方法（「色素増感太陽電池の最新技術」（シーエムシー））を参考にして、エタノール溶液に分散させたチタニアナノチューブを粘結剤であるポリエチレンオキサイド（PEO）と混合し、遊星ボールミルで均一化後、この混合物を例えばフッ素ドーパ導電性ガラス基板（シート抵抗30 / ）にスクリーン印刷し、450で焼成することによって作製することができる。

【0029】

任意の増感色素をチタニアナノチューブからなる半導体層に担持させるには、例えば、増感色素をジメチルホルムアミド等の適当な溶媒に溶解し、この溶液中にチタニアナノチューブからなる半導体層を浸漬し、この半導体層のチタニアチューブ内に色素が十分に含浸されて十分に吸着するまで放置した後、これを取り出して必要に応じて洗浄後、乾燥を施す。

チタニアナノチューブからなる半導体層に担持させる増感色素は1種類でも複数種類でもよい。

【0030】

この一実施形態による色素増感型光電変換装置においては、透明導電性基板とこの透明導電性基板の対極をなす導電性基板との間に、上記のチタニアナノチューブからなる半導体層と電解質層とが設けられている。そして、透明導電性基板を透過して光が入射したとき、光電変換によって上記の透明導電性基板と対極の導電性基板との間に電気エネルギーを発生することができる。

10

20

30

40

50

【0031】

この一実施形態による色素増感型光電変換装置は、典型的には、色素増感型太陽電池として構成される。図1はこの色素増感型太陽電池を示す。

図1に示すように、この色素増感型湿式太陽電池においては、透明導電性基板1と、この透明導電性基板1の対極をなす導電膜2を有する基板3との間に、増感色素を担持したチタニアナノチューブからなる半導体層4と電解質層5とが設けられており、これらがケース6によって保護されている。透明導電性基板1と導電膜2とは導線で互いに接続されており、アンメータ7付きの電流回路8が形成されている。

【0032】

増感色素を担持したチタニアナノチューブからなる半導体層4は、例えば、増感色素を担持したチタニアナノチューブがその外壁面で結合したバンドル構造を有する。また、増感色素は、チタニアナノチューブの内部のほか、その外壁面やバンドル構造のチューブ間空隙内部に担持され得る。図2に、増感色素を担持したチタニアナノチューブを模式的に示す。

増感色素を担持したチタニアナノチューブからなる半導体層4の形状は、特に制約されるものではなく、膜状、板状、柱状、円筒状等の各種の形状であってよい。

【0033】

透明導電性基板1は、透明導電膜を備えた透明基板であっても、全体が透明性および導電性を備えた基板であってもよい。透明導電膜を備えた透明基板としては、例えば、ガラスやポリエチレンテレフタレート(PET)等のプラスチック基板等の耐熱基板上に、酸化インジウム、酸化錫、酸化錫インジウム等の薄膜を形成したものが用いられ、全体が透明性および導電性を備えた基板としては例えばフッ素ドーブした導電性ガラス基板等が用いられる。この透明導電性基板1の厚さは特に限定されるものではないが、通常0.3~5mm程度である。

【0034】

対極である導電膜2としては、アルミニウム、銀、錫、インジウム等の従来の太陽電池における対極として公知なものを任意に用いることができるが、 I_3^- - イオン等の酸化型レドックスイオンの還元反応を促進する触媒能を持った白金、ロジウム、ルテニウム、酸化ルテニウム、カーボン等がより好ましい。これらの金属膜は導電材料表面に、物理蒸着または化学蒸着することによって形成するのが好ましい。

【0035】

半導体層4と導電膜2との間に介挿される電解質層5としては、従来より太陽電池の電解質層として使用されていたものの中から任意に用いることができる。このようなものとして、例えばヨウ素とヨウ化カリウムとをポリプロピレンカーボネート25重量%と炭酸エチレン75重量%との混合溶媒に溶解させたものが挙げられる。

【0036】

この色素増感型太陽電池の動作メカニズムは次のとおりである。

透明導電性基板1側に太陽光が入射すると、その光エネルギーによって半導体層4中のチタニアナノチューブに担持された増感色素が励起され、電子が発生する。上述のように、透明導電性基板1と導電膜2とは電流回路8によって接続されているので、発生した電子は半導体層4中のチタニアナノチューブを通じて導電膜2へ流れる。これによって、透明導電性基板1と導電膜2との間から電気エネルギーを取り出すことができる。

【0037】

上記のような構造を有する色素増感型太陽電池は、透明導電性基板1側から擬似太陽光(AM(Air Mass)1.5、 100 mW/cm^2)を照射すると、例えば10.0%以上の高い光電変換効率で発電することが可能である。この光電変換効率は、半導体層4の厚さ、半導体層4の状態、増感色素の吸着状態、電解質層5の種類等に左右されるので、これらの最適条件を選ぶことにより、さらに向上させることができる。

【0038】

この色素増感型太陽電池によれば、チタニアナノチューブからなる半導体層4を用いるた

め、エタノール等の溶媒に任意の増感色素を溶かした溶液にこの半導体層4を浸漬すると、増感色素は、毛細管現象によりチタニアナノチューブの内部に速やかに侵入する。その後、溶媒を除去するとチタニアナノチューブ内に増感色素が残り、チューブ内部特有のポテンシャル場により、増感色素はチタニアナノチューブ内に安定に留まることができ、増感色素に特殊な酸性置換基を導入する必要が無い。

【0039】

また、チタニアナノチューブの比表面積は $270\text{ m}^2/\text{g}$ と、一般的に色素増感型太陽電池で用いられている多孔質チタニアのアナターゼ結晶の比表面積($50\text{ m}^2/\text{g}$)よりも飛躍的に大きくなることから、吸着する増感色素の量も増大し、光電変換効率を大幅に向上させることができる。

10

【0040】

また、増感色素に酸性置換基を導入する必要がないことから、増感色素間の会合を抑えることができ、光励起電子の分子間消光現象を抑制し、効率よくチタニアナノチューブに励起電子を注入することができることから、光電変換効率を向上させることができる。すなわち、図2に示すように、チタニアナノチューブに担持された増感色素は会合することなく、互いに離れた位置に吸着しているため、増感色素に光が入射することにより発生する光励起電子の分子間消光現象が抑制される。比較のために、図3に、半導体層に多孔質チタニア薄膜を用いた従来の色素増感型太陽電池において、その多孔質チタニア薄膜に増感色素が担持された様子を模式的に示す。図3に示すように、増感色素同士が会合して集合体を形成していることが分かる。

20

【0041】

さらに、増感色素に酸性置換基を導入する必要がないことから、増感色素の製造プロセスが簡単になり、増感色素の製造コストを大きく引き下げることが可能になるだけでなく、酸性置換基導入の制約がはずれたことにより、未知の新規な増感色素の導入も容易になる。

【0042】

【実施例】

以下、この発明の具体的な実施例について説明するが、この発明は以下の実施例に限定されるものではない。

【0043】

30

実施例

特開平10-152323号公報を参考にしてチタニアナノチューブの作製を次のように行った。市販の結晶チタニア(平均粒径: 20 nm 、比表面積: $50\text{ m}^2/\text{g}$)を40wt%の水酸化ナトリウム水溶液に浸漬し、密閉容器で110℃で20時間反応させた。

【0044】

次に、荒川裕則「色素増感太陽電池の最新技術」(シーエムシー)p.45-47(2001)を参考にしてチタニアナノチューブペーストの作製を次のように行った。チタニアナノチューブの含有量が11wt%になるようにしてエタノール溶液に分散させ、この溶液に分子量が50万のPEOを添加し、遊星ボールミルで均一に混合し、増粘したチタニアナノチューブペーストを得た。

40

【0045】

得られたチタニアナノチューブペーストをスクリーン印刷法でフッ素ドーパ導電性ガラス基板(シート抵抗 $30\ \Omega/\square$)上に $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ の大きさに塗布した後、450℃に30分間保持し、チタニアナノチューブペーストを導電性ガラス基板上で焼結し、チタニアナノチューブ膜を形成した。

【0046】

そして、酸性置換基を持たない色素として5,10,15,20-テトラフェニルポルフィリン亜鉛錯体(ZnTPP)を $5 \times 10^{-4}\text{ M}$ でジメチルホルムアミドに溶解して調製した溶液中に、上記のチタニアナノチューブ膜を浸漬し、80℃において12時間放置した後、アルゴン雰囲気下でメタノール洗浄し、乾燥した。同様に、酸性置換基を持たない色

50

素としてシス - ビス (2 , 2 ' - ビピリジン) - ジシアネートルテニウム (N) をそれぞれ 5×10^{-4} M でジメチルホルムアミドに溶解して調製した溶液中に、上記のチタニアナノチューブ膜を浸漬し、80 °C において12時間放置した後、アルゴン雰囲気下でメタノール洗浄し、乾燥した。

【0047】

また、酸性基置換を持つ色素として5 , 10 , 15 , 20 - テトラキス - (4 - カルボキシフェニル) ポルフィリン (ZnTCPP) を 5×10^{-4} M でエタノールに溶解して調製した溶液中に、上記のチタニアナノチューブ膜を浸漬し、80 °C において12時間放置した後、アルゴン雰囲気下でメタノール洗浄し、乾燥した。同様に、酸性基置換を持つ色素としてシス - ビス ((4 , 4 ' - ジカルボン酸) 2 , 2 ' - ビピリジン) - ジシアネートルテニウム (N3) をそれぞれ 5×10^{-4} M でエタノールに溶解して調製した溶液中に、上記のチタニアナノチューブ膜を浸漬し、80 °C において12時間放置した後、アルゴン雰囲気下でメタノール洗浄し、乾燥した。

10

【0048】

対極として、ITO付き基板上に、スパッタリング法により厚さ10 μ mの白金膜を付けたものを用いて、また電解質として、ヨウ素0.38gとヨウ化カリウム2.49gとの混合物を、プロピレンカーボネート25重量%と炭酸エチレン75重量%との混合物30gに溶解したものを、図1に示すような構造の色素増感型太陽電池を作製した。

【0049】

比較例

半導体層として通常の多孔質チタニア膜を用いた。チタニアペーストの作製は「色素増感太陽電池の最新技術」(シーエムシー)を参考にして次のように行った。125mlのチタンイソプロポキシドを750mlの0.1M硝酸水溶液に室温で攪拌しながらゆっくり滴下した。滴下が終了したら、80 °Cの恒温槽に移し、8時間攪拌する。これによって、白濁した半透明のゾル溶液が得られた。このゾル溶液を室温まで放冷し、ガラスフィルターでろ過した後、700mlにメスアップした。得られたゾル溶液をオートクレーブへ移し、220 °Cで12時間水熱処理を行った後、1時間超音波処理により分散処理した。次いで、この溶液をエバポレーターにより40 °Cで濃縮し、チタニアの含有量が11重量%になるように調製した。この濃縮ゾル溶液に分子量が50万のPEOを添加し、遊星ボールミルで均一に混合し、増粘したチタニアペーストを得た。

20

30

【0050】

得られたチタニアペーストをスクリーン印刷法でフッ素ドーパ導電性ガラス基板(シート抵抗30 Ω /sq)上に1cm \times 1cmの大きさで塗布した後、450 °Cに30分間保持し、チタニアペーストを導電性ガラス基板上で焼結し、多孔質チタニア膜を形成した。

【0051】

そして、酸性置換基を持たない色素として5 , 10 , 15 , 20 - テトラフェニルポルフィリン亜鉛錯体 (ZnTPP) を 5×10^{-4} M でジメチルホルムアミドに溶解して調製した溶液中に、上記の多孔質チタニア膜を浸漬し、80 °C において12時間放置した後、アルゴン雰囲気下でメタノール洗浄し、乾燥した。同様に、酸性置換基を持たない色素としてシス - ビス (2 , 2 ' - ビピリジン) - ジシアネートルテニウム (N) を 5×10^{-4} M でジメチルホルムアミドに溶解して調製した溶液中に、上記の多孔質チタニア膜を浸漬し、80 °C において12時間放置した後、アルゴン雰囲気下でメタノール洗浄し、乾燥した。

40

【0052】

また、酸性置換基を持つ色素として5 , 10 , 15 , 20 - テトラキス - (4 - カルボキシフェニル) ポルフィリン (ZnTCPP) を 5×10^{-4} M でエタノールに溶解して調製した溶液中に、上記の多孔質チタニア膜を浸漬し、80 °C において12時間放置した後、アルゴン雰囲気下でメタノール洗浄し、乾燥した。同様に、酸性置換基を持つ色素としてシス - ビス ((4 , 4 ' - ジカルボン酸) 2 , 2 ' - ビピリジン) - ジシアネートルテニウム (N3) を 5×10^{-4} M でエタノールに溶解して調製した溶液中に、上記の多孔質チ

50

タニア膜を浸漬し、80 において12時間放置した後、アルゴン雰囲気下でメタノール洗浄し、乾燥した。

【0053】

対極として、ITO付き基板の上に、スパッタリング法により厚さ10 μ mの白金膜を付けたものを用いて、また電解質として、ヨウ素0.38gとヨウ化カリウム2.49gとの混合物を、プロピレンカーボネート25重量%と炭酸エチレン75重量%との混合物30gに溶解したものをを用いて、図1に示すものと同様な構造の色素増感型太陽電池を作製した。

【0054】

上記のようにして作製した実施例および比較例の色素増感型太陽電池を擬似太陽光(A M 1.5、100mW/cm²)を光源に用いて動作させた。その結果を表1に示す。なお、表1において、短絡電流とは、対向電極間を短絡して測定した電流を意味し、開放電圧とは、対向電極間をオープンにして発生した電圧を意味し、また光電変換効率は、次式で表される。

【0055】

光電変換効率(%) = (出力電気エネルギー / 入射する太陽光エネルギー) × 100

【0056】

【表1】

チタニア膜類	増感色素種	短絡電流 (mA)	開放電圧 (V)	光電変換効率 (%)
ナノチューブ	ZnTPP	5.0	0.6	1.8
ナノチューブ	N	17.2	0.75	10.2
ナノチューブ	ZnTCPP	4.8	0.5	1.44
ナノチューブ	N3	15.5	0.7	7.6
多孔質	ZnTPP	0.1	0.3	0.018
多孔質	N	0.12	0.28	0.016
多孔質	ZnTCPP	4.7	0.6	1.7
多孔質	N3	14.5	0.69	7.0

【0057】

以上、この発明の一実施形態について具体的に説明したが、この発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。例えば、上述の実施形態において挙げた数値、構造、形状、材料、原料、プロセスなどはあくまでも例に過ぎず、必要に応じてこれらと異なる数値、構造、形状、材料、原料、プロセスなどを用いてもよい。

【0058】

【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば、チタニアナノチューブからなる半導体層を用い、そのチタニアナノチューブに増感色素を担持させることにより、増感色素として任意のものを使用することができるようになる。そして、酸性置換基の導入が必須でなくなることにより増感色素の製造コストの低減を図ることができ、それによって色素増感型光電変換装置の製造コストの低減を図ることができる。さらに、チタニアナノチューブは比表面積が非常に大きく、また、酸性置換基を有さない増感色素の使用により増感色素間の会合

を抑えることができるため、色素増感型光電変換装置の光電変換効率の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施形態による色素増感型太陽電池を示す断面図である。

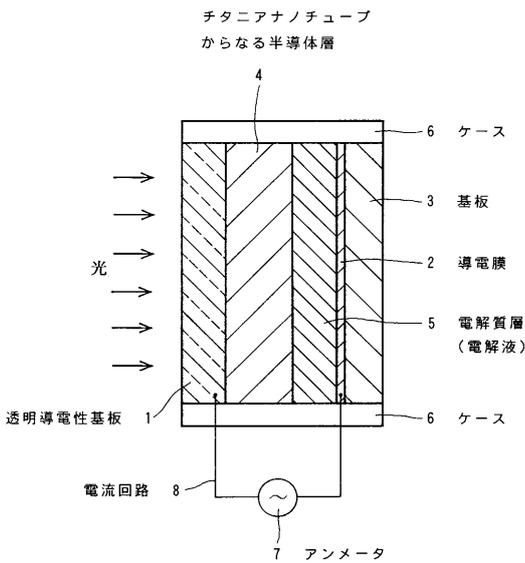
【図2】この発明の一実施形態による色素増感型太陽電池の半導体層を構成する増感色素担持チタニアナノチューブを模式的に示す略線図である。

【図3】従来の色素増感型太陽電池の半導体層を構成する増感色素担持多孔質チタニアを模式的に示す略線図である。

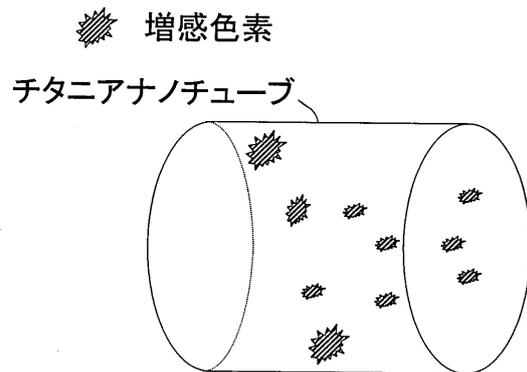
【符号の説明】

1 ... 透明導電性基板、2 ... 導電膜、3 ... 基板、4 ... チタニアナノチューブからなる半導体層、5 ... 電解質層、6 ... ケース、7 ... アンメータ、8 ... 電流回路

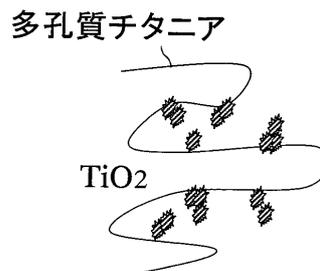
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 諸岡 正浩

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72)発明者 石橋 賢一

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72)発明者 野田 和宏

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

Fターム(参考) 5F051 AA14 BA11 CB11 CB12 CB13 CB30 DA20 FA03 FA04 FA06

GA02 GA03 GA20 KA09

5H032 AA06 AS06 AS16 CC16 EE02 EE07 EE16 HH04