

(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2014-49510
(P2014-49510A)

(43) 公開日 平成26年3月17日(2014.3.17)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
H01L 31/04 (2014.01) H01L 31/04 ZNMZ 5F151
B82Y 30/00 (2011.01) B82Y 30/00

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2012-189338 (P2012-189338)
 (22) 出願日 平成24年8月30日 (2012.8.30)

(71) 出願人 000005119
 日立造船株式会社
 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番8
 9号
 (71) 出願人 504132272
 国立大学法人京都大学
 京都府京都市左京区吉田本町36番地1
 (74) 代理人 110001298
 特許業務法人森本国際特許事務所
 (72) 発明者 平岡 和志
 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目7番8
 9号 日立造船株式会社内
 (72) 発明者 松田 一成
 京都府宇治市五ヶ庄 国立大学法人京都大
 学 エネルギー理工学研究所内
 最終頁に続く

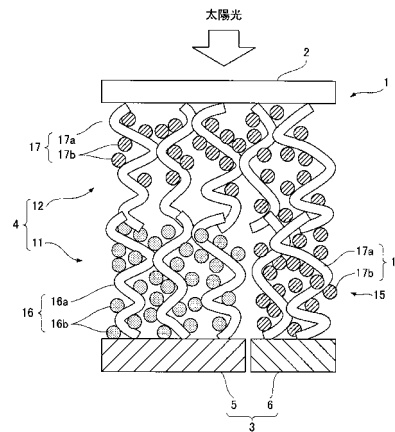
(54) 【発明の名称】 CNT太陽電池

(57) 【要約】

【課題】 太陽光の入射側の電極を不要にし得るCNT太陽電池を提供する。

【解決手段】 太陽光の入射側に配置される透光性部材2と、太陽光の入射側とは反対側に配置されて正の電極部5及び負の電極部6からなる電極部材3と、これら透光性部材2と電極部材3との間に配置されると共にカーボンナノチューブ群よりなる発電層4とを具備し、上記発電層4を、電極部材2側に配置されると共に正の電極部5に導通されたp型の第1カーボンナノチューブ層11、及び透光性部材2側に配置されると共に一部が導電部材15を介して負の電極部6に導通されたn型の第2カーボンナノチューブ層12により構成したものを。

【選択図】 図1



- 1 太陽電池
- 2 透光性部材
- 3 電極部材
- 4 発電層
- 5 正の電極部
- 6 負の電極部
- 11 第1カーボンナノチューブ層
- 12 第2カーボンナノチューブ層
- 15 導電部材
- 16 p型カーボンナノチューブ
- 16a カーボンナノチューブ
- 16b p型ドーパント
- 17 n型カーボンナノチューブ
- 17a カーボンナノチューブ
- 17b n型ドーパント

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光の入射側に配置される透光性部材と、光の入射側とは反対側に配置される電極部材と、これら透光性部材と電極部材との間に配置されるとともにカーボンナノチューブよりなる発電層とを具備し、

上記電極部材を正の電極部と負の電極部とから構成し、

上記発電層を、

上記透光性部材側に配置されるとともに n 型カーボンナノチューブと p 型カーボンナノチューブとが混合されてなる混合カーボンナノチューブ層と、この混合カーボンナノチューブ層と正の電極部との間に配置される p 型カーボンナノチューブ層と、上記混合カーボンナノチューブ層と負の電極部との間に配置される n 型カーボンナノチューブ層とから構成したことを特徴とする CNT 太陽電池。

10

【請求項 2】

光の入射側に配置される透光性部材と、光の入射側とは反対側に配置される電極部材と、これら透光性部材と電極部材との間に配置されるとともにカーボンナノチューブよりなる発電層とを具備し、

上記電極部材を正の電極部と負の電極部とから構成し、

上記発電層を、

電極部材側に配置されるとともに一方の電極部に導通された p 型または n 型の第 1 カーボンナノチューブ層、および透光性部材側に配置されるとともに一部が他方の電極部に導通された n 型または p 型の第 2 カーボンナノチューブ層により構成したことを特徴とする CNT 太陽電池。

20

【請求項 3】

光の入射側に配置される透光性部材と、光の入射側とは反対側に配置される電極部材と、これら透光性部材と電極部材との間に配置されるとともにカーボンナノチューブよりなる発電層とを具備し、

上記電極部材を正の電極部と負の電極部とから構成し、

上記発電層を、

電極部材側に配置されるとともに一方の電極部に導通された p 型または n 型の第 1 カーボンナノチューブ層、および透光性部材側に配置された n 型または p 型の第 2 カーボンナノチューブ層により構成し、

30

さらに上記第 2 カーボンナノチューブ層と同一極性の電極部の表面に絶縁層を配置するとともに当該電極部と第 2 カーボンナノチューブ層とを電気的に接続する導電部材を設けたことを特徴とする CNT 太陽電池。

【請求項 4】

第 1 カーボンナノチューブ層と第 2 カーボンナノチューブ層との間に、i 型の第 3 カーボンナノチューブ層を、または n 型カーボンナノチューブおよび p 型カーボンナノチューブが混在された第 3 カーボンナノチューブ層を配置したことを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の CNT 太陽電池。

【請求項 5】

光の入射側に配置される透光性部材と、光の入射側とは反対側に配置されるとともに正の電極部および負の電極部からなる電極部材と、これら透光性部材と電極部材との間に配置されたカーボンナノチューブ層とから構成し、

上記カーボンナノチューブ層を p 型になし、

上記正の電極部として、カーボンナノチューブと電気陰性度が略等しい金属を用いるとともに、

上記負の電極部として、カーボンナノチューブより電気陰性度が小さい金属を用いたことを特徴とする CNT 太陽電池。

40

【請求項 6】

カーボンナノチューブと電気陰性度が略等しい金属として、Au, Cu, Pd および P

50

tのうちいずれかを用いたことを特徴とする請求項5に記載のCNT太陽電池。

【請求項7】

カーボンナノチューブより電気陰性度が小さい金属として、Cs, Ba, Ca, K, Li, Mg, NaおよびRbのうちいずれかを用いたことを特徴とする請求項5に記載のCNT太陽電池。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、カーボンナノチューブ(CNT)を用いた太陽電池に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、カーボンナノチューブ(CNT)を用いた太陽電池が提案されているが、この種の太陽電池においては、太陽光の入射方向には電極が必要とされている。したがって、太陽光の入射側に設けられる電極は、透明のものが用いられるか、または太陽光を通過させ得るように櫛型電極が用いられていた(例えば、特許文献1参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2011-44511号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来のカーボンナノチューブを用いた太陽電池では、透明電極が用いられているため、抵抗値が高く電力損失が大きいとともに、電極材料が高価であるという問題がある。また、櫛型電極の場合には、電極そのものに太陽光が遮蔽されるので、発電効率が低下するという問題がある。

【0005】

そこで、本発明は、太陽光の入射側の電極を不要にし得るCNT太陽電池を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するため、本発明の請求項1に係るCNT太陽電池は、光の入射側に配置される透光性部材と、光の入射側とは反対側に配置される電極部材と、これら透光性部材と電極部材との間に配置されるとともにカーボンナノチューブ(群)よりなる発電層とを具備し、

上記電極部材を正の電極部と負の電極部とから構成し、

上記発電層を、

上記透光性部材側に配置されるとともにn型カーボンナノチューブとp型カーボンナノチューブとが混合されてなる混合カーボンナノチューブ層と、この混合カーボンナノチューブ層と正の電極部との間に配置されるp型カーボンナノチューブ層と、上記混合カーボンナノチューブ層と負の電極部との間に配置されるn型カーボンナノチューブ層とから構成したものである。

【0007】

また、本発明の請求項2に係るCNT太陽電池は、光の入射側に配置される透光性部材と、光の入射側とは反対側に配置される電極部材と、これら透光性部材と電極部材との間に配置されるとともにカーボンナノチューブ(群)よりなる発電層とを具備し、

上記電極部材を正の電極部と負の電極部とから構成し、

上記発電層を、

電極部材側に配置されるとともに一方の電極部に導通されたp型またはn型の第1カーボンナノチューブ層、および透光性部材側に配置されるとともに一部が他方の電極部に導

10

20

30

40

50

通された n 型または p 型の第 2 カーボンナノチューブ層により構成したものである。

【0008】

また、本発明の請求項 3 に係る CNT 太陽電池は、光の入射側に配置される透光性部材と、光の入射側とは反対側に配置される電極部材と、これら透光性部材と電極部材との間に配置されるとともにカーボンナノチューブ（群）よりなる発電層とを具備し、

上記電極部材を正の電極部と負の電極部とから構成し、

上記発電層を、

電極部材側に配置されるとともに一方の電極部に導通された p 型または n 型の第 1 カーボンナノチューブ層、および透光性部材側に配置された n 型または p 型の第 2 カーボンナノチューブ層により構成し、

さらに上記第 2 カーボンナノチューブ層と同一極性の電極部の表面に絶縁層を配置するとともに当該電極部と第 2 カーボンナノチューブ層とを電氣的に接続する導電部材を設けたものである。

【0009】

また、本発明の請求項 4 に係る CNT 太陽電池は、請求項 2 または 3 に記載の CNT 太陽電池における発電層の第 1 カーボンナノチューブ層と第 2 カーボンナノチューブ層との間に、i 型の第 3 カーボンナノチューブ層を、または n 型カーボンナノチューブおよび p 型カーボンナノチューブが混在された第 3 カーボンナノチューブ層を配置したものである。

【0010】

また、本発明の請求項 5 に係る CNT 太陽電池は、光の入射側に配置される透光性部材と、光の入射側とは反対側に配置されるとともに正の電極部および負の電極部からなる電極部材と、これら透光性部材と電極部材との間に配置されたカーボンナノチューブ層とから構成し、

上記カーボンナノチューブ層を p 型になし、

上記正の電極部として、カーボンナノチューブと電気陰性度が略等しい金属を用いるとともに、

上記負の電極部として、カーボンナノチューブより電気陰性度が小さい金属を用いたものである。

【0011】

また、本発明の請求項 6 に係る CNT 太陽電池は、請求項 5 に記載の太陽電池におけるカーボンナノチューブと電気陰性度が略等しい金属として、Au, Cu, Pd および Pt のうちいずれかを用いたものである。

【0012】

さらに、本発明の請求項 7 に係る CNT 太陽電池は、請求項 5 に記載の太陽電池におけるカーボンナノチューブより電気陰性度が小さい金属として、Cs, Ba, Ca, K, Li, Mg, Na および Rb のうちいずれかを用いたものである。

【発明の効果】

【0013】

上記各太陽電池の構成によると、正の電極部および負の電極部、つまり電極部材を発電層の一方の表面に配置したので、従来、必要とされた透明電極または櫛型電極などが不要となり、製造コストの低減化を図ることができる。

【0014】

また、透明電極を必要としないので、その分、電力損失も少なくなるとともに、櫛型電極のように、電極そのものに太陽光が遮蔽されることがないので、発電効率が低下するのを防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図 1】本発明の実施例 1 に係る太陽電池の概略構成を示す断面図である。

【図 2】本発明の実施例 1 に係る太陽電池の変形例の概略構成を示す断面図である。

10

20

30

40

50

- 【図3】本発明の実施例2に係る太陽電池の概略構成を示す断面図である。
 【図4】本発明の実施例2に係る太陽電池の変形例の概略構成を示す断面図である。
 【図5】本発明の実施例3に係る太陽電池の概略構成を示す断面図である。
 【図6】本発明の実施例3に係る太陽電池の変形例の概略構成を示す断面図である。
 【図7】本発明の実施例4に係る太陽電池の概略構成を示す断面図である。
 【図8】本発明の実施例4に係る太陽電池の変形例の概略構成を示す断面図である。
 【図9】本発明の実施例5に係る太陽電池の概略構成を示す断面図である。
 【図10】本発明の実施例6に係る太陽電池の概略構成を示す断面図である。
 【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明の実施例に係るCNT太陽電池について説明する。

このCNT太陽電池は、主として、電極部材と透光性部材との間にカーボンナノチューブよりなる発電層が配置されたものであり、以下、複数の実施例について説明する。なお、以下の説明において、「カーボンナノチューブ」という語句には、「群」という意味も含むものであるが、「群」を強調する場合に「カーボンナノチューブ群」と呼ぶものとする。また、下記に示す各実施例での説明に用いた太陽電池に係る図面の番号に対応する特許請求の範囲に係る主要な請求項の番号を示すと以下のようになる。請求項1に係る太陽電池に対応するのは図10であり、請求項2に係る太陽電池に対応するのは図1および図2であり、請求項3に係る太陽電池に対応するのは図5および図6であり、請求項4に係る太陽電池に対応するのは図3、図4、図7および図8であり、請求項5に係る太陽電池は図9である。

【実施例1】

【0017】

本発明の実施例1に係るCNT太陽電池を図面に基づき説明する。

図1に示すように、この太陽電池1は、太陽光の入射側に配置される窓部材としての透光性部材(SiO₂、ガラスなどの透明基板が用いられる)2と、太陽光の入射側とは反対側(裏面側)に配置される電極部材3と、これら透光性部材2と電極部材3との間に配置されるとともに垂直配向性のカーボンナノチューブよりなる発電層4とから構成されている。

【0018】

上記電極部材3は正の電極部5と負の電極部6とから構成されており、これら両電極部5、6の材料としては、例えばAg, Au, Cu, In, Pdなどのうち、いずれかの金属が用いられる。

【0019】

上記発電層4は、電極部材3側に配置されるとともに正の電極部5に導通されたp型の第1カーボンナノチューブ層11、および透光性部材2側に配置されるとともに一部が負の電極部6に導電部材15を介して導通されたn型の第2カーボンナノチューブ層12とから構成されている。上記導電部材15は、負の電極部6側に配置されるとともに、第2カーボンナノチューブ層12と同じn型のカーボンナノチューブにより構成されている。

【0020】

ところで、p型の第1カーボンナノチューブ層11を構成するp型カーボンナノチューブ16としては、p型ドーパント16bを垂直配向性のカーボンナノチューブ16aの表面に付着させて担持(表面担持)されたものが用いられる。

【0021】

上記p型ドーパントとしては、化合物としてのF₄TCNQ(フッ素化テトラシアノキノジメタン)若しくはカーボンナノチューブ16aより電気陰性度が大きい元素(例えば、Cl, F, Oなど)が用いられ、または酸としてのHNO₃, H₂SO₄, HClなどが用いられる。なお、これらのドーパントは、粒状物または液状のものがカーボンナノチューブの表面に担持される。

【0022】

10

20

30

40

50

また、n型の第2カーボンナノチューブ層12を構成するn型カーボンナノチューブ17としては、n型ドーパント17bを垂直配向性のカーボンナノチューブ17aの表面に付着させて担持(表面担持)されたものが用いられる。

【0023】

さらに、上記導電部材15としては、上記第2カーボンナノチューブ層12と同じもの、すなわちn型ドーパント17bが垂直配向性のカーボンナノチューブ17aの表面に付着させて担持(表面担持)されてなるn型カーボンナノチューブ17が用いられる。

【0024】

上記各n型ドーパント17bとしては、カーボンナノチューブより電気陰性度が小さい金属、例えばBa, Ca, Cs, Fr, K, Li, Mg, Na, Rb, Srなどのうち、

10

【0025】

そして、太陽電池1を製造する場合、垂直配向性のカーボンナノチューブにより形成された層状のカーボンナノチューブ群の一方の表面に且つ正の電極部5および負の電極部6に対応する領域にドーピングを行う。具体的には、マスクを用いて、層状のカーボンナノチューブ群の表面にp型ドーパントおよびn型ドーパントを担持させて第1カーボンナノチューブ層11および導電部材15を形成する。

【0026】

次に、第1カーボンナノチューブ層11および導電部材15に対応する表面に金属材料を蒸着させて、金属電極としての正の電極部5および負の電極部6を形成する。これにより、第1カーボンナノチューブ層11および導電部材15の表面(裏面に相当)に電極部材(電極層ともいえる)3が形成されたことになる。

20

【0027】

次に、上記層状のカーボンナノチューブ群とは別に用意された垂直配向性のカーボンナノチューブにより形成された層状のカーボンナノチューブ群の全表面に、n型ドーパントを担持させて第2カーボンナノチューブ層12を形成する。

【0028】

次に、上記第1カーボンナノチューブ層11の電極部材3とは反対側の他方の表面に第2カーボンナノチューブ層12を載置し貼り合わせることにより、発電層4を形成する。

そして、この第2カーボンナノチューブ層12の表面に、窓部材である透光性部材2を載置すれば、基本構成としての太陽電池1が得られる。

30

【0029】

この太陽電池1において、p型の第1カーボンナノチューブ層11とn型の第2カーボンナノチューブ層12とのpn接合界面で電荷分離した電子は、導電部材15を介して負の電極部6に移動されて取り出される。一方、正孔については、p型の第1カーボンナノチューブ層11を経て正の電極部5から取り出される。

【0030】

なお、p型の第1カーボンナノチューブ層11とn型の導電部材15とのpn接合界面でも正孔および電子が発生するが、それぞれ正の電極部5および負の電極部6から取り出される。

40

【0031】

上記太陽電池1の構成によると、正の電極部5および負の電極部6、つまり電極部材3を発電層4の一方の表面(片側、裏面)に配置したので、従来、必要とされた透明電極または櫛型電極などが不要となり、製造コストの低減化を図ることができる。

【0032】

また、透明電極を必要としないので、その分、電力損失も少なくなるとともに、櫛型電極のように、電極そのものに太陽光が遮蔽されることがないので、発電効率が低下するのを防止することができる。

【0033】

なお、上述の説明では、ドーピングに際し、ドーパントをカーボンナノチューブの表面

50

に担持させるようにしたが、ドーパントをカーボンナノチューブに内包（格子置換でもよい）させるようにしてもよい。内包させる方法としては、カーボンナノチューブにイオン注入する方法や、開口処理したカーボンナノチューブとドーパントを高真空中で保持し内包した後、開口部を閉じる方法などがある。

【0034】

また、上述の発電層4の形成に際し、2つの層状のカーボンナノチューブ群を貼り合わせるようにしたが、例えば正の電極部5および負の電極部6の表面に、それぞれドーパントがドーピングされたカーボンナノチューブを塗布することにより、第1カーボンナノチューブ層11および導電部材15を形成し、そしてこの表面に、ドーパントがドーピングされたカーボンナノチューブを塗布することにより、第2カーボンナノチューブ層12を形成するようにしてもよい。

10

【0035】

ところで、上述の実施例1に係る発電層4については、電極部材3側の第1カーボンナノチューブ層11をp型にするとともに、透光性部材2側の第2カーボンナノチューブ層12および電極部材3側の導電部材15をn型にしたが、図2に示すように、太陽電池1の発電層4として、電極部材3側の第1カーボンナノチューブ層11をn型にするとともに、透光性部材2側の第2カーボンナノチューブ層12をおよび電極部材3側の導電部材15をp型にしてもよい。勿論、この場合の導電部材15については、p型ドーパント16bが垂直配向性のカーボンナノチューブ16aの表面に付着させて担持（表面担持）されてなるp型カーボンナノチューブ16が用いられる。

20

【実施例2】

【0036】

以下、本発明の実施例2に係るCNT太陽電池を図面に基づき説明する。

上記実施例1に係るCNT太陽電池においては、発電層を、第1カーボンナノチューブ層と第2カーボンナノチューブ層とから構成したが、本実施例2に係るCNT太陽電池の発電層は、第1カーボンナノチューブ層と第2カーボンナノチューブ層との間に、第3カーボンナノチューブ層を配置したものであり、そしてこの第3カーボンナノチューブ層として、真性半導体としてのi型カーボンナノチューブを用いたものと、n型カーボンナノチューブおよびp型カーボンナノチューブを混在（混合）したものとがある。なお、本実施例2では、この第3カーボンナノチューブ層以外の構成については、実施例1のものと同一であるため、同一の構成部材については、同一の部材番号を付してその説明を省略する。

30

(1)まず、i型カーボンナノチューブを用いたものについて説明する。

【0037】

図3に示すように、太陽電池1の発電層4として、第1カーボンナノチューブ層11と第2カーボンナノチューブ層12との間に、真性半導体としての、つまりドーパントが添加されないi型カーボンナノチューブ18よりなるi型の第3カーボンナノチューブ層13が配置されたものである。

【0038】

この太陽電池1の構成を概略的に説明すると、以下のようになる。

40

この太陽電池1は、光の入射側に配置される透光性部材2と、光の入射側とは反対側に配置される電極部材3と、これら透光性部材2と電極部材3との間に配置されるとともにカーボンナノチューブよりなる発電層4とを具備し、

上記電極部材3を正の電極部5と負の電極部6とから構成し、

上記発電層4を、

電極部材3側に配置されるとともに正の電極部5に導通されたp型の第1カーボンナノチューブ層11、透光性部材2側に配置されたn型の第2カーボンナノチューブ層12、および上記第1カーボンナノチューブ層11と第2カーボンナノチューブ層12との間に配置されたi型の第3カーボンナノチューブ層13とから構成し、

さらに上記第2カーボンナノチューブ層12と同一極性である負の電極部6と第2カー

50

ボンナノチューブ層 1 2 とを電氣的に接続する p 型カーボンナノチューブ 1 6 からなる導電部材 1 5 を設けたものである。

【 0 0 3 9 】

この構成によると、上記実施例 1 に係る太陽電池の効果に加えて、さらに、i 型部分を設けたので、pn 接合とする場合よりも電位勾配が緩やかにしかもその範囲が長くなるため（pn 接合の場合、電位勾配が急峻で短い範囲しかないので、この短い範囲で吸収した光しか利用できない）、すなわち太陽光を吸収できる範囲が長くなるため、太陽光の持つエネルギーの変換効率の向上を図ることができる。

(2) 次に、n 型カーボンナノチューブと p 型カーボンナノチューブとが混在したもの（変形例）について説明する。

【 0 0 4 0 】

図 4 に示すように、CNT 太陽電池 1 の発電層 4 として、第 1 カーボンナノチューブ層 1 1 と第 2 カーボンナノチューブ層 1 2 との間に、n 型カーボンナノチューブ群 1 7 と p 型カーボンナノチューブ群 1 6 とが混在されてなる第 3 カーボンナノチューブ層 1 4 が配置されたものである。

【 0 0 4 1 】

この CNT 太陽電池の概略的な構成を説明すると、以下のようになる。

この太陽電池 1 は、光の入射側に配置される透光性部材 2 と、光の入射側とは反対側に配置される電極部材 3 と、これら透光性部材 2 と電極部材 3 との間に配置されるとともにカーボンナノチューブよりなる発電層 4 とを具備し、

上記電極部材 3 を正の電極部 5 と負の電極部 6 とから構成し、

上記発電層 4 を、

電極部材 3 側に配置されるとともに負の電極部 6 に導通された n 型の第 1 カーボンナノチューブ層 1 1、透光性部材 2 側に配置された p 型の第 2 カーボンナノチューブ層 1 2、および上記第 1 カーボンナノチューブ層 1 1 と第 2 カーボンナノチューブ層 1 2 との間に配置された且つ n 型カーボンナノチューブ 1 7 および p 型カーボンナノチューブ 1 6 が混在されてなる第 3 カーボンナノチューブ層 1 4 とから構成し、

さらに上記第 2 カーボンナノチューブ層 1 2 と同一極性である正の電極部 5 と第 2 カーボンナノチューブ層 1 2 とを電氣的に接続する導電部材 1 5 を設けたものである。

【 0 0 4 2 】

この構成によると、上記実施例 1 に係る太陽電池の効果に加えて、n 型カーボンナノチューブと p 型カーボンナノチューブとの混在部分が存在するため発電効率の向上が図られる。

【 0 0 4 3 】

なお、上記 (1) および (2) で説明した発電層 4 におけるカーボンナノチューブ群の極性を、それぞれ逆になるように配置してもよい。

上記発電層 4 の製造方法については、実施例 1 で説明した製造方法において、電極部材 3 の表面に第 1 カーボンナノチューブ層 1 1 を形成した後、n 型カーボンナノチューブ群 1 7 と p 型カーボンナノチューブ群 1 6 とが混在されてなる第 3 カーボンナノチューブ層 1 4 を重ねて配置し、さらにこの第 3 カーボンナノチューブ層 1 4 の表面に p 型カーボンナノチューブ群 1 7 を重ねることにより、第 2 カーボンナノチューブ層 1 2 を形成することにより得られる。

【 実施例 3 】

【 0 0 4 4 】

以下、本発明の実施例 3 に係る CNT 太陽電池を図面に基づき説明する。

図 5 に示すように、この太陽電池 2 1 は、太陽光の入射側に配置される窓部材としての透光性部材 (SiO_2 、ガラスなどの透明基板が用いられる) 2 2 と、太陽光の入射側とは反対側 (裏面側) に配置される電極部材 2 3 と、これら透光性部材 2 2 と電極部材 2 3 との間に配置されるとともにカーボンナノチューブよりなる発電層 2 4 とから構成されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

上記電極部材 2 3 は正の電極部 2 5 と負の電極部 2 6 とから構成されており、これら両電極部 2 5 , 2 6 の材料としては、例えば A g , A u , C u , I n , P d などのうち、いずれかの金属が用いられる。

【 0 0 4 6 】

上記発電層 2 4 は、電極部材 2 3 側に配置された n 型の第 1 カーボンナノチューブ層 3 1 および透光性部材 2 2 側に配置された p 型の第 2 カーボンナノチューブ層 3 2 から構成されており、当然ながら、n 型の第 1 カーボンナノチューブ層 3 1 は負の電極部 2 6 に電氣的に導通され、p 型の第 2 カーボンナノチューブ層 3 2 は正の電極部 2 5 に電氣的に導通されている。

10

【 0 0 4 7 】

すなわち、負の電極部 2 6 は第 1 カーボンナノチューブ層 3 1 に直接に接触されるとともに、正の電極部 2 5 と第 2 カーボンナノチューブ層 3 2 とは、第 1 カーボンナノチューブ層 3 1 を挿通され且つ表面に絶縁処理が施された導電部材 3 5 を介して電氣的に導通されている。

【 0 0 4 8 】

この導電部材 3 5 は、正の電極部 2 5 の表面に所定間隔おきに立設されて当該電極部 2 5 と第 2 カーボンナノチューブ層 3 2 とを電氣的に接続するための複数の導電性の金属ピン（電極ピンともいえる）3 5 a と、第 1 カーボンナノチューブ層 3 1 に対応する上記各金属ピン 3 5 a の外周面に形成された絶縁膜 3 5 b とから構成されている。勿論、金属ピン 3 5 a に形成される絶縁膜 3 5 b については、第 1 カーボンナノチューブ層 3 1 の厚さよりも長くされており、当然ながら、金属ピン 3 5 a の先端は絶縁膜 3 5 b よりも突出されている。

20

【 0 0 4 9 】

また、正の電極部 2 5 と第 1 カーボンナノチューブ層 3 1 とが導通しないように、正の電極部 2 5 の表面には絶縁膜 2 7 が配置されている。

この構成により、両カーボンナノチューブ層 3 1 , 3 2 による p n 接合部（接合領域）は電極部材 2 3 の全面に亘って形成されることになる。なお、この p n 接合部は、p 型カーボンナノチューブ 3 6 と n 型カーボンナノチューブ 3 7 とが互いに重なり合うバルクヘテロ構造にしてもよい。

30

【 0 0 5 0 】

ところで、n 型の第 1 カーボンナノチューブ層 3 1 を構成する n 型カーボンナノチューブ 3 7 としては、垂直配向性のカーボンナノチューブ 3 7 a に n 型ドーパント 3 7 b が内包されたものが用いられる。

【 0 0 5 1 】

この n 型ドーパント 3 7 b としては、カーボンナノチューブより電気陰性度が小さい金属、例えば B a , C a , C s , F r , K , L i , M g , N a , R b , S r などのうち、いずれかの金属が用いられる。

【 0 0 5 2 】

また、p 型の第 2 カーボンナノチューブ層 3 2 を構成する p 型カーボンナノチューブ 3 6 としては、垂直配向性のカーボンナノチューブ 3 6 a に p 型ドーパント 3 6 b が内包されたものが用いられる。

40

【 0 0 5 3 】

この p 型ドーパントとしては、化合物としての F 4 T C N Q（フッ素化テトラシアノキノジメタン）若しくはカーボンナノチューブより電気陰性度が大きい元素（例えば、C l , F , O など）が用いられ、または酸としての H N O ₃ , H ₂ S O ₄ , H C l などが用いられる。

【 0 0 5 4 】

なお、ドーパントをカーボンナノチューブに内包させる方法としては、カーボンナノチューブにイオン注入する方法や、開口処理したカーボンナノチューブとドーパントを高真

50

空中で保持し内包した後、開口部を閉じる方法などがある。

【0055】

そして、太陽電池21を製造する場合、垂直配向性のカーボンナノチューブ37aにn型ドーパント37bが内包されてなるn型カーボンナノチューブ群37と、同じく垂直配向性のカーボンナノチューブ36aにp型ドーパント36bが内包されてなるp型カーボンナノチューブ群36とを予め得ておく。

【0056】

また、正の電極部25および負の電極部26を用意する。このとき、正の電極部25については、その表面に、外周面に絶縁膜35bが形成されるとともに先端部が絶縁膜35bから突出した(先端部が露出した)金属ピン35aが多数立設されたものを用意する。

10

【0057】

次に、正の電極部25と負の電極部26とが並置されてなる電極部材23の表面に、n型カーボンナノチューブ37を塗布して、n型の第1カーボンナノチューブ層31を形成する。このとき、金属ピン35bの先端部は第1カーボンナノチューブ層31から上方に突出した状態にされている。

【0058】

次に、この第1カーボンナノチューブ層31の表面にp型カーボンナノチューブ36を重ねることにより、p型の第2カーボンナノチューブ層32を形成する。

したがって、この状態では、第2カーボンナノチューブ層32と正の電極部25とは導電部材35により互いに電氣的に導通されている。

20

【0059】

そして、最後に、窓部材である透光性部材22を載置すれば、基本構成としての太陽電池21が得られる。

この太陽電池21において、n型の第1カーボンナノチューブ層31とp型の第2カーボンナノチューブ層32とのpn接合界面で電荷分離した電子は、第1カーボンナノチューブ層31を介して負の電極部26から取り出される。一方、正孔については、導電部材35を介して正の電極部25から取り出される。

【0060】

上記太陽電池21の構成によると、上記実施例1と同様に、正の電極部25および負の電極部26、つまり電極部材23を発電層24の一方の表面(片側、裏面)に配置したので、従来、必要とされた透明電極または櫛型電極などが不要となり、製造コストの低減化を図ることができる。

30

【0061】

また、透明電極を必要としないので、その分、電力損失も少なくなるとともに、櫛型電極のように、電極そのものに太陽光が遮蔽されることがないので、発電効率が低下するのを防止することができる。

【0062】

さらに、第1カーボンナノチューブ層31と第2カーボンナノチューブ層32とを全面に亘って対向させるようにしたので、pn接合面を広くすることができ、したがって発電効率が向上する。

40

【0063】

なお、上述の説明では、ドーピングに際し、ドーパントをカーボンナノチューブに内包させるようにしたが、ドーパントをカーボンナノチューブの表面に付着させて担持(表面担持)させるようにしてもよい。

【0064】

ところで、上述の実施例3に係る発電層24については、電極部材23側の第1カーボンナノチューブ層31をn型にするとともに、透光性部材22側の第2カーボンナノチューブ層32をp型にしたが、図6に示すように、太陽電池21の発電層24として、電極部材23側の第1カーボンナノチューブ層31をp型にするとともに、透光性部材22側の第2カーボンナノチューブ層32をn型にしてもよい。

50

【実施例 4】

【0065】

以下、本発明の実施例 4 に係る CNT 太陽電池を図面に基づき説明する。

上記実施例 3 に係る CNT 太陽電池においては、発電層を、第 1 カーボンナノチューブ層と第 2 カーボンナノチューブ層とから構成したが、本実施例 4 に係る CNT 太陽電池の発電層は、第 1 カーボンナノチューブ層と第 2 カーボンナノチューブ層との間に、第 3 カーボンナノチューブ層を配置したものであり、そしてこの第 3 カーボンナノチューブ層として、真性半導体としての i 型カーボンナノチューブを用いたものと、n 型カーボンナノチューブおよび p 型カーボンナノチューブを混在（混合）したものとがある。なお、本実施例 4 では、この第 3 カーボンナノチューブ層以外の構成については、実施例 3 のものと同一であるため、同一の構成部材については、同一の部材番号を付してその説明を省略する。

10

(1) まず、i 型カーボンナノチューブを用いたものについて説明する。

【0066】

図 7 に示すように、太陽電池 21 の発電層 24 として、第 1 カーボンナノチューブ層 31 と第 2 カーボンナノチューブ層 32 との間に、真性半導体としての、つまりドーパントが添加されない i 型カーボンナノチューブ 38 よりなる i 型の第 3 カーボンナノチューブ層 33 が配置されたものである。当然ながら、導電部材 35 は当該第 3 カーボンナノチューブ層 33 を挿通して設けられる。

【0067】

20

この太陽電池 21 の構成を概略的に説明すると、以下のようになる。

この太陽電池 21 は、光の入射側に配置される透光性部材 22 と、光の入射側とは反対側に配置される電極部材 23 と、これら透光性部材 22 と電極部材 23 との間に配置されるとともにカーボンナノチューブよりなる発電層 24 とを具備し、

上記電極部材 23 を正の電極部 25 と負の電極部 26 とから構成し、

上記発電層 24 を、

電極部材 23 側に配置されるとともに負の電極部 26 に導通された n 型の第 1 カーボンナノチューブ層 31、透光性部材 22 側に配置された p 型の第 2 カーボンナノチューブ層 32、および上記第 1 カーボンナノチューブ層 31 と第 2 カーボンナノチューブ層 32 との間に配置された i 型の第 3 カーボンナノチューブ層 33 とから構成し、

30

さらに上記第 2 カーボンナノチューブ層 32 と同一極性である正の電極部 25 の表面に絶縁層 27 を配置するとともに当該正の電極部 25 と第 2 カーボンナノチューブ層 32 とを電氣的に接続する導電部材 35 を設けたものである。

【0068】

この構成によると、上記実施例 3 に係る太陽電池の効果に加えて、さらに、i 型部分を設けたので、pn 接合とする場合よりも電位勾配が緩やかにしかもその範囲が長くなるため（pn 接合の場合、電位勾配が急峻で短い範囲しかないので、この短い範囲で吸収した光しか利用できない）、すなわち太陽光を吸収できる範囲が長くなるため、太陽光の持つエネルギーの変換効率の向上を図ることができる。

(2) 次に、n 型カーボンナノチューブと p 型カーボンナノチューブとが混在したもの（変形例）について説明する。

40

【0069】

図 8 に示すように、CNT 太陽電池 21 の発電層 24 として、第 1 カーボンナノチューブ層 31 と第 2 カーボンナノチューブ層 32 との間に、n 型カーボンナノチューブ群 37 と p 型カーボンナノチューブ群 36 とが混在されてなる第 3 カーボンナノチューブ層 34 が配置されたものである。勿論、上記と同様に、導電部材 35 は当該第 3 カーボンナノチューブ層 34 を挿通して設けられる。

【0070】

この CNT 太陽電池の概略的な構成を説明すると、以下のようになる。

この太陽電池 21 は、光の入射側に配置される透光性部材 22 と、光の入射側とは反対

50

側に配置される電極部材 2 3 と、これら透光性部材 2 2 と電極部材 2 3 との間に配置されるとともにカーボンナノチューブよりなる発電層 2 4 とを具備し、

上記電極部材 2 3 を正の電極部 2 5 と負の電極部 2 6 とから構成し、

上記発電層 2 4 を、

電極部材 2 3 側に配置されるとともに負の電極部 2 6 に導通された n 型の第 1 カーボンナノチューブ層 3 1、透光性部材 2 2 側に配置された p 型の第 2 カーボンナノチューブ層 3 2、および上記第 1 カーボンナノチューブ層 3 1 と第 2 カーボンナノチューブ層 3 2 との間に配置された且つ n 型カーボンナノチューブ 3 7 および p 型カーボンナノチューブ 3 6 が混在されてなる第 3 カーボンナノチューブ層 3 4 とから構成し、

さらに上記第 2 カーボンナノチューブ層 3 2 と同一極性である正の電極部 2 5 の表面に絶縁層 2 7 を配置するとともに当該正の電極部 2 5 と第 2 カーボンナノチューブ層 3 2 とを電氣的に接続する導電部材 3 5 を設けたものである。

【0071】

この構成によると、上記実施例 3 に係る太陽電池の効果に加えて、n 型カーボンナノチューブと p 型カーボンナノチューブとの混在部分が存在するため発電効率の向上が図られる。

【0072】

なお、上記(1)および(2)で説明した発電層 2 4 については、透光性部材 2 2 側に p 型のカーボンナノチューブ層 3 2 を配置するとともに、電極部材 2 3 側に n 型のカーボンナノチューブ層 3 1 を配置したが、逆に、すなわち透光性部材 2 2 側に n 型のカーボンナノチューブ層を配置するとともに、電極部材 2 3 側に p 型のカーボンナノチューブ層を配置してもよい。

【0073】

上記発電層 2 4 の製造方法については、実施例 3 で説明した製造方法において、電極部材 2 3 の表面に第 1 カーボンナノチューブ層 3 1 を形成した後、i 型カーボンナノチューブ群 3 8 よりなる第 3 カーボンナノチューブ層 3 3、または n 型カーボンナノチューブ群 3 7 と p 型カーボンナノチューブ群 3 6 とが混在されてなる第 3 カーボンナノチューブ層 3 4 を重ねて配置し、さらにこの第 3 カーボンナノチューブ層 3 4 の表面に p 型カーボンナノチューブ群 3 6 を重ねることにより、p 型の第 2 カーボンナノチューブ層 3 2 を形成することにより得られる。

【実施例 5】

【0074】

以下、本発明の実施例 5 に係る CNT 太陽電池を図面に基づき説明する。

図 9 に示すように、この太陽電池 4 1 は、太陽光の入射側に配置される窓部材としての透光性部材 (SiO₂、ガラスなどの透明基板が用いられる) 4 2 と、太陽光の入射側とは反対側 (裏面側) に配置される電極部材 4 3 と、これら透光性部材 4 2 と電極部材 4 3 との間に配置されるとともにカーボンナノチューブよりなるカーボンナノチューブ層 4 4 とから構成されている。

【0075】

上記カーボンナノチューブ層 4 4 は p 型にされており、このカーボンナノチューブ層 4 4 を構成する p 型カーボンナノチューブ 5 1 としては、垂直配向性のカーボンナノチューブ 5 1 a に p 型ドーパント 5 1 b が内包されたものが用いられる。

【0076】

この p 型ドーパントとしては、化合物としての F₄TCNQ (フッ素化テトラシアノキノジメタン) 若しくはカーボンナノチューブ 5 1 a より電気陰性度が大きい元素 (例えば、Cl, F, O など) が用いられ、または酸としての HNO₃, H₂SO₄, HCl など が用いられる。なお、内包させる方法としては、カーボンナノチューブにイオン注入する方法や、開口処理したカーボンナノチューブとドーパントを高真空中で保持し内包した後、開口部を閉じる方法などがある。

【0077】

10

20

30

40

50

上記電極部材 4 3 は正の電極部 4 5 と負の電極部 4 6 とから構成されている。

正の電極部 4 5 の材料としては、カーボンナノチューブ 5 1 a と電気陰性度が略等しい金属、例えば Au, Cu, Pd, Pt などのうち、いずれかの金属が用いられる。

【0078】

また、負の電極部 4 6 の材料としては、カーボンナノチューブ 5 1 a より電気陰性度が小さい金属、例えば Cs, Ba, Ca, K, Li, Mg, Na, Rb などのうち、いずれかの金属が用いられ、しかも、この負の電極部 4 6 には、上記カーボンナノチューブ層 4 4 を形成するカーボンナノチューブ 5 1 a の一部が混入されている。

【0079】

このように、負の電極部 4 6 の材料として、電気陰性度がカーボンナノチューブ 5 1 a よりも小さい金属を用いたので、カーボンナノチューブ層 4 4 の当該負の電極部 4 6 に混入しているカーボンナノチューブ 5 1 a が n 型になり、したがってこの部分では、カーボンナノチューブ 5 1 a 自身に p n 接合が形成されたことになる。

10

【0080】

上記太陽電池 4 1 において、p 型のカーボンナノチューブ層 4 4 と負の電極部 4 6 に混入されたカーボンナノチューブ 5 1 a との境界部分である p n 接合界面で電荷分離した電子は、負の電極部 4 6 から取り出され、一方、正孔については、カーボンナノチューブ層 4 4 を介して正の電極部 4 5 から取り出される。

【0081】

ここで、上記太陽電池 4 1 の製造方法について簡単に説明しておく。

20

この太陽電池 4 1 を製造する場合、垂直配向性のカーボンナノチューブ 5 1 a に p 型ドーパント 5 1 b が内包されてなる p 型カーボンナノチューブ 5 1 を層状にしたものを予め得ておく。

【0082】

そして、この層状にされた p 型カーボンナノチューブ群 5 1 の表面の一部に蒸着などにより正の電極部 4 5 を形成するとともに、残りの部分に蒸着などにより負の電極部 4 6 を形成する。この負の電極部 4 6 を形成する際に、p 型カーボンナノチューブ群 5 1 の一部が混入するように形成される。このようにして、正の電極部 4 5 と負の電極部 4 6 とからなる電極部材 4 3 の表面にカーボンナノチューブ層 4 4 が形成される。

【0083】

30

次に、このカーボンナノチューブ層 4 4 の電極部材 4 3 とは反対側の表面に窓部材である透光性部材 4 2 を載置すれば、基本構成としての太陽電池 4 1 が得られる。

上記太陽電池 4 1 の構成によると、上記実施例 1 と同様に、正の電極部 4 5 および負の電極部 4 6、つまり電極部材 4 3 をカーボンナノチューブ層 4 4 の一方の表面（片側、裏面）に配置したので、従来、必要とされた透明電極または櫛型電極などが不要となり、製造コストの低減化を図ることができる。

【0084】

また、透明電極を必要としないので、その分、電力損失も少なくなるとともに、櫛型電極のように、電極そのものに太陽光が遮蔽されることがないので、発電効率が低下するのを防止することができる。

40

【実施例 6】

【0085】

本発明の実施例 6 に係る CNT 太陽電池を図面に基づき説明する。

図 10 に示すように、この太陽電池 6 1 は、太陽光の入射側に配置される窓部材としての透光性部材（SiO₂、ガラスなどの透明基板が用いられる）6 2 と、太陽光の入射側とは反対側（裏面側）に配置される電極部材 6 3 と、これら透光性部材 6 2 と電極部材 6 3 との間に配置されるとともに垂直配向性のカーボンナノチューブよりなる発電層 6 4 とから構成されている。

【0086】

上記電極部材 6 3 は正の電極部 6 5 と負の電極部 6 6 とから構成されており、これら両

50

電極部 65, 66 の材料としては、例えば Ag, Au, Cu, In, Pd などのうち、いずれかの金属が用いられる。

【0087】

上記発電層 64 は、透光性部材 62 側に配置されるとともに p 型カーボンナノチューブ 81 と n 型カーボンナノチューブ 82 とが混合されてなる混合カーボンナノチューブ層 71 と、この混合カーボンナノチューブ層 71 と電極部材 63 の正の電極部 65 との間に配置されるとともに p 型カーボンナノチューブ 76 からなる p 型カーボンナノチューブ層 72 と、上記混合カーボンナノチューブ層 71 と電極部材 63 の負の電極部 66 との間に配置されるとともに n 型カーボンナノチューブ 82 からなる n 型カーボンナノチューブ層 73 とから構成されている。

10

【0088】

上記混合カーボンナノチューブ層 71 を構成する p 型カーボンナノチューブ 81 としては、p 型ドーパント 81b を垂直配向性のカーボンナノチューブ 81a に内包させたものが用いられる。

【0089】

この p 型ドーパントとしては、化合物としての F4TCNQ (フッ素化テトラシアノキノジメタン) 若しくはカーボンナノチューブ 81a より電気陰性度が大きい元素 (例えば、Cl, F, O など) が用いられ、または酸としての HNO₃, H₂SO₄, HCl など が用いられる。

20

【0090】

また、n 型カーボンナノチューブ 82 としては、n 型ドーパント 82b を垂直配向性のカーボンナノチューブ 82a に内包させたものが用いられる。

この n 型ドーパント 82b としては、カーボンナノチューブより電気陰性度が小さい金属、例えば Ba, Ca, Cs, Fr, K, Li, Mg, Na, Rb, Sr などのうち、いずれかの金属が用いられる。

【0091】

なお、内包させる方法としては、カーボンナノチューブにイオン注入する方法や、開口処理したカーボンナノチューブとドーパントを高真空中で保持し内包した後、開口部を閉じる方法などがある。

30

【0092】

さらに、上記 p 型カーボンナノチューブ層 72 を構成する p 型カーボンナノチューブ 76 としては、p 型ドーパント 76b を垂直配向性のカーボンナノチューブ 76a の表面に付着させて担持 (表面担持) されたものが用いられる。

【0093】

この p 型ドーパント 76b としては、化合物としての F4TCNQ (フッ素化テトラシアノキノジメタン) 若しくはカーボンナノチューブ 76a より電気陰性度が大きい元素 (例えば、Cl, F, O など) が用いられ、または酸としての HNO₃, H₂SO₄, HCl などが用いられる。なお、これらのドーパントは、粒状物または液状のものがカーボンナノチューブの表面に担持される。

40

【0094】

また、上記 n 型カーボンナノチューブ層 73 を構成する n 型カーボンナノチューブ 77 としては、n 型ドーパント 77b を垂直配向性のカーボンナノチューブ 77a の表面に付着させて担持 (表面担持) されたものが用いられる。

【0095】

この n 型ドーパント 77b としては、カーボンナノチューブより電気陰性度が小さい金属、例えば Ba, Ca, Cs, Fr, K, Li, Mg, Na, Rb, Sr などのうち、いずれかの金属が用いられる。

【0096】

そして、太陽電池 61 を製造する場合、垂直配向性のカーボンナノチューブにより形成された層状のカーボンナノチューブ群の一方の表面に且つ正の電極部 65 および負の電極

50

部 6 6 に対応する領域にドーピングを行う。具体的には、マスクを用いて、層状のカーボンナノチューブ群の表面に p 型ドーパントおよび n 型ドーパントを担持させて p 型カーボンナノチューブ層 7 2 および n 型カーボンナノチューブ層 7 3 を形成する。

【 0 0 9 7 】

次に、p 型カーボンナノチューブ層 7 2 および n 型カーボンナノチューブ層 7 3 に対応する表面に金属材料を蒸着させて、金属電極としての正の電極部 6 5 および負の電極部 6 6 を形成する。これにより、電極部材（電極層ともいえる）6 3 が形成されたことになる。

【 0 0 9 8 】

次に、上記カーボンナノチューブ層 7 2 , 7 3 の電極部材 3 とは反対側の表面に、p 型カーボンナノチューブ 8 1 と n 型カーボンナノチューブ 8 2 とが混合されたものを塗布して、混合カーボンナノチューブ層 7 1 を形成し、発電層 6 4 を形成する。

【 0 0 9 9 】

そして、この混合カーボンナノチューブ層 7 1 の表面に、窓部材である透光性部材 6 2 を載置すれば、基本構成としての太陽電池 6 1 が得られる。

この太陽電池 6 1 において、混合カーボンナノチューブ層 7 1 における p 型カーボンナノチューブ 8 1 と n 型カーボンナノチューブ 8 2 との p n 接合界面で電荷分離した電子は、n 型カーボンナノチューブ層 7 3 を介して負の電極部 6 6 に移動されて取り出される。一方、正孔については、p 型カーボンナノチューブ層 7 2 を経て正の電極部 6 5 から取り出される。

【 0 1 0 0 】

上記太陽電池 6 1 の構成によると、正の電極部 6 5 および負の電極部 6 6 、つまり電極部材 6 3 を発電層 6 4 の一方の表面（片側、裏面）に配置したので、従来、必要とされた透明電極または櫛型電極などが不要となり、製造コストの低減化を図ることができる。

【 0 1 0 1 】

また、透明電極を必要としないので、その分、電力損失も少なくなるとともに、櫛型電極のように、電極そのものに太陽光が遮蔽されることがないので、発電効率が低下するのを防止することができる。

【 0 1 0 2 】

なお、上述の説明では、p 型カーボンナノチューブ層 7 2 および n 型カーボンナノチューブ層 7 3 の形成に際し、ドーパントをカーボンナノチューブの表面に担持させるようにしたが、混合カーボンナノチューブ層 7 1 の場合と同様に、ドーパントをカーボンナノチューブに内包（格子置換でもよい）させるようにしてもよい。また、混合カーボンナノチューブ層 7 1 についても、ドーパントをカーボンナノチューブの表面に担持させるようにしてもよい。

【 符号の説明 】

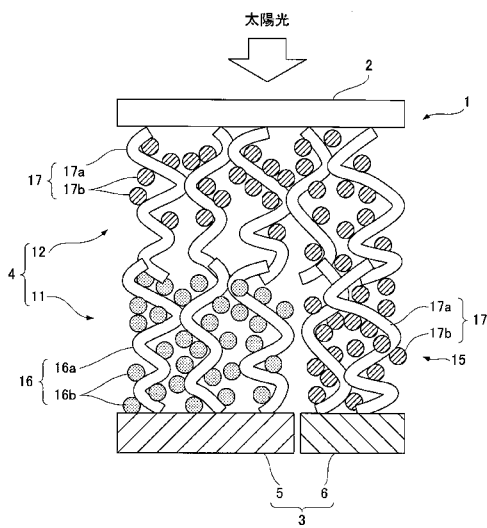
【 0 1 0 3 】

- | | | |
|-------|-----------------|----|
| 1 | 太陽電池 | |
| 2 | 透光性部材 | |
| 3 | 電極部材 | 40 |
| 4 | 発電層 | |
| 5 | 正の電極部 | |
| 6 | 負の電極部 | |
| 1 1 | 第 1 カーボンナノチューブ層 | |
| 1 2 | 第 2 カーボンナノチューブ層 | |
| 1 3 | 第 3 カーボンナノチューブ層 | |
| 1 4 | 第 3 カーボンナノチューブ層 | |
| 1 5 | 導電部材 | |
| 1 6 | p 型カーボンナノチューブ | |
| 1 6 a | カーボンナノチューブ | 50 |

1 6 b	p 型ドーパント	
1 7	n 型カーボンナノチューブ	
1 7 a	カーボンナノチューブ	
1 7 b	n 型ドーパント	
1 8	n 型カーボンナノチューブ	
1 8 a	カーボンナノチューブ	
1 8 b	n 型ドーパント	
2 1	太陽電池	
2 2	透光性部材	
2 3	電極部材	10
2 4	発電層	
2 5	正の電極部	
2 6	負の電極部	
2 7	絶縁材	
3 1	第 1 カーボンナノチューブ層	
3 2	第 2 カーボンナノチューブ層	
3 3	第 3 カーボンナノチューブ層	
3 4	第 3 カーボンナノチューブ層	
3 5	導電部材	
3 5 a	金属ピン	20
3 5 b	絶縁膜	
3 6	p 型カーボンナノチューブ	
3 6 a	カーボンナノチューブ	
3 6 b	p 型ドーパント	
3 7	n 型カーボンナノチューブ	
3 7 a	カーボンナノチューブ	
3 7 b	n 型ドーパント	
3 8	i 型カーボンナノチューブ	
4 1	太陽電池	
4 2	透光性部材	30
4 3	電極部材	
4 4	カーボンナノチューブ層	
4 5	正の電極部	
4 6	負の電極部	
5 1	p 型カーボンナノチューブ	
5 1 a	カーボンナノチューブ	
5 1 b	p 型ドーパント	
6 1	太陽電池	
6 2	透光性部材	
6 3	電極部材	40
6 4	発電層	
6 5	正の電極部	
6 6	負の電極部	
7 1	混合カーボンナノチューブ層	
7 2	p 型カーボンナノチューブ層	
7 3	n 型カーボンナノチューブ層	
7 6	p 型カーボンナノチューブ	
7 6 a	カーボンナノチューブ	
7 6 b	p 型ドーパント	
7 7	n 型カーボンナノチューブ	50

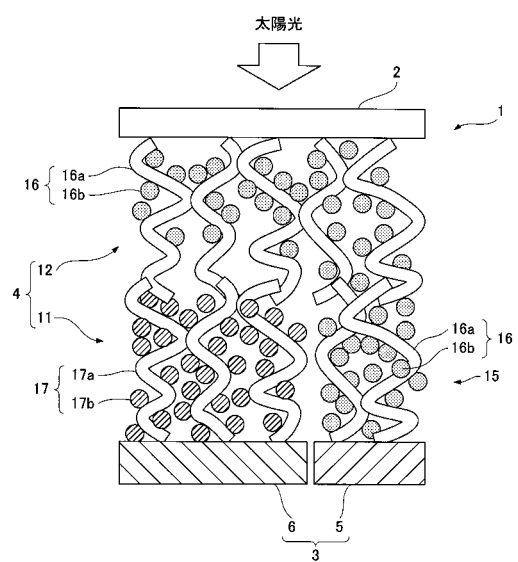
- 7 7 a カーボンナノチューブ
- 7 7 b n型ドーパント
- 8 1 p型カーボンナノチューブ
- 8 1 a カーボンナノチューブ
- 8 1 b p型ドーパント
- 8 2 n型カーボンナノチューブ
- 8 2 a カーボンナノチューブ
- 8 2 b n型ドーパント

【 図 1 】



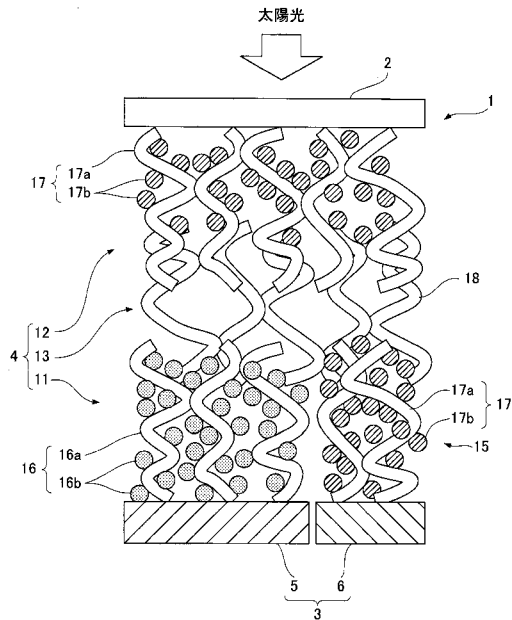
- 1 太陽電池
- 2 透光性部材
- 3 電極部材
- 4 発電層
- 5 正の電極部
- 6 負の電極部
- 11 第1カーボンナノチューブ層
- 12 第2カーボンナノチューブ層
- 15 導電部材
- 16 p型カーボンナノチューブ
- 16a カーボンナノチューブ
- 16b p型ドーパント
- 17 n型カーボンナノチューブ
- 17a カーボンナノチューブ
- 17b n型ドーパント

【 図 2 】



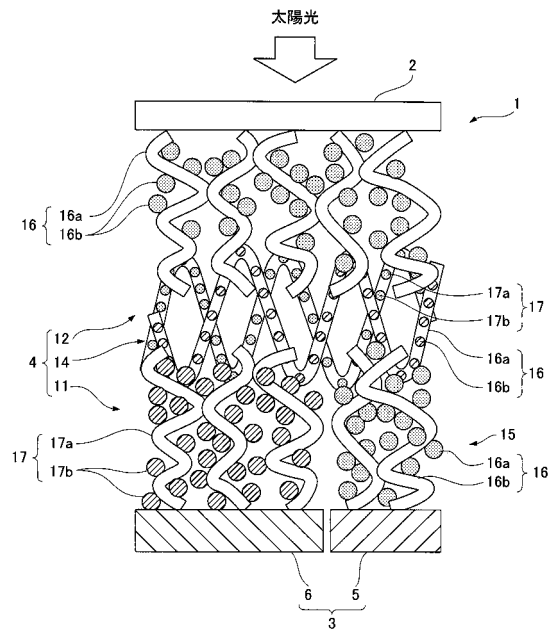
- 1 太陽電池
- 2 透光性部材
- 3 電極部材
- 4 発電層
- 5 正の電極部
- 6 負の電極部
- 11 第1カーボンナノチューブ層
- 12 第2カーボンナノチューブ層
- 15 導電部材
- 16 p型カーボンナノチューブ
- 16a カーボンナノチューブ
- 16b p型ドーパント
- 17 n型カーボンナノチューブ
- 17a カーボンナノチューブ
- 17b n型ドーパント

【 図 3 】

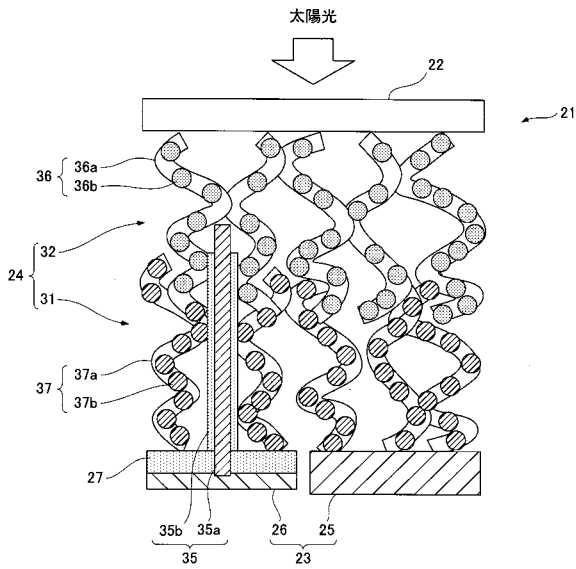


- | | |
|------------------|-----------------|
| 1 太陽電池 | 16 p型カーボンナノチューブ |
| 2 透光性部材 | 16a カーボンナノチューブ |
| 3 電極部材 | 16b p型ドーパント |
| 4 発電層 | 17 n型カーボンナノチューブ |
| 5 正の電極部 | 17a カーボンナノチューブ |
| 6 負の電極部 | 17b n型ドーパント |
| 11 第1カーボンナノチューブ層 | 18 i型カーボンナノチューブ |
| 12 第2カーボンナノチューブ層 | |
| 13 第3カーボンナノチューブ層 | |
| 15 導電部材 | |

【 図 4 】

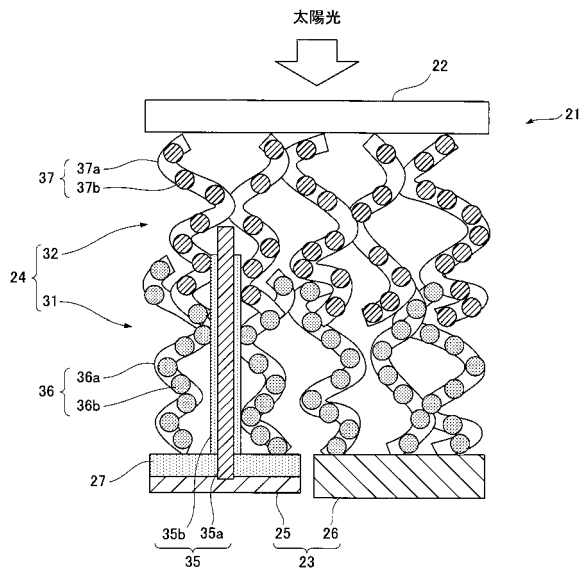


【 図 5 】

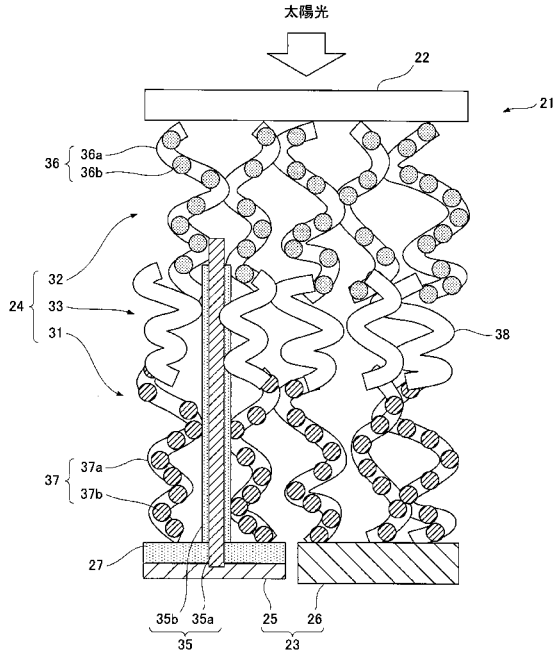


- | | |
|------------------|-----------------|
| 21 太陽電池 | 35 導電部材 |
| 22 透光性部材 | 35a 金属ピン |
| 23 電極部材 | 35b 絶縁膜 |
| 24 発電層 | 36 p型カーボンナノチューブ |
| 25 正の電極部 | 36a カーボンナノチューブ |
| 26 負の電極部 | 36b p型ドーパント |
| 27 絶縁材 | 37 n型カーボンナノチューブ |
| 31 第1カーボンナノチューブ層 | 37a カーボンナノチューブ |
| 32 第2カーボンナノチューブ層 | 37b n型ドーパント |

【 図 6 】

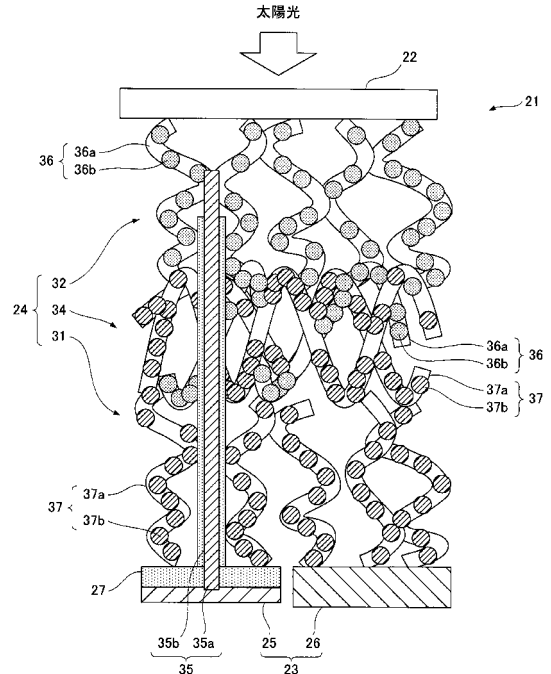


【図7】



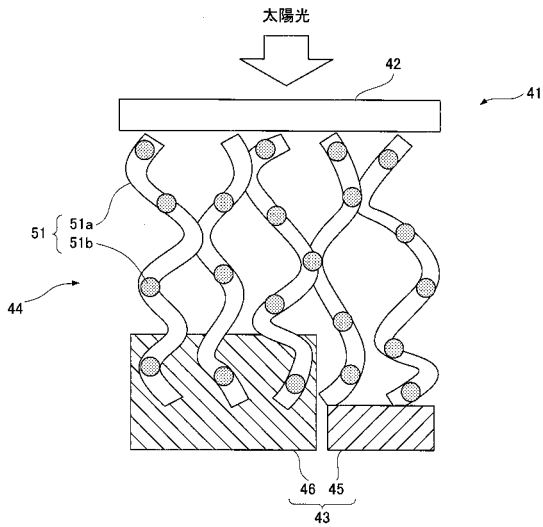
- | | |
|------------------|-----------------|
| 21 太陽電池 | 35 導電部材 |
| 22 透光性部材 | 35a 金属ピン |
| 23 電極部材 | 35b 絶縁膜 |
| 24 発電層 | 36 p型カーボンナノチューブ |
| 25 正の電極部 | 36a カーボンナノチューブ |
| 26 負の電極部 | 36b p型ドーパント |
| 27 絶縁材 | 37 n型カーボンナノチューブ |
| 31 第1カーボンナノチューブ層 | 37a カーボンナノチューブ |
| 32 第2カーボンナノチューブ層 | 37b n型ドーパント |
| 33 第3カーボンナノチューブ層 | 38 i型カーボンナノチューブ |

【図8】



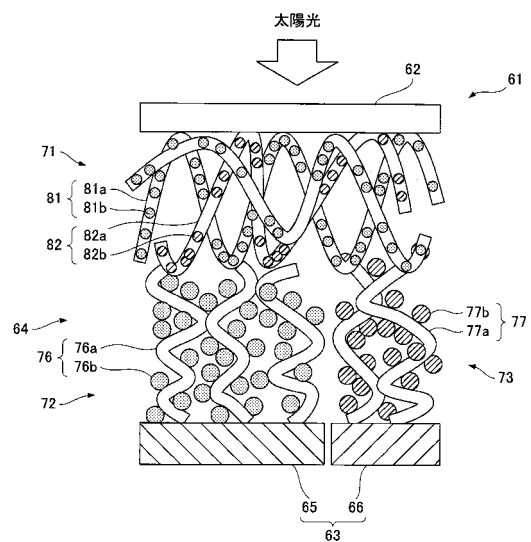
- | | |
|------------------|-----------------|
| 21 太陽電池 | 35 導電部材 |
| 22 透光性部材 | 35a 金属ピン |
| 23 電極部材 | 35b 絶縁膜 |
| 24 発電層 | 36 p型カーボンナノチューブ |
| 25 正の電極部 | 36a カーボンナノチューブ |
| 26 負の電極部 | 36b p型ドーパント |
| 27 絶縁材 | 37 n型カーボンナノチューブ |
| 31 第1カーボンナノチューブ層 | 37a カーボンナノチューブ |
| 32 第2カーボンナノチューブ層 | 37b n型ドーパント |
| 34 第3カーボンナノチューブ層 | |

【図9】



- | |
|-----------------|
| 41 太陽電池 |
| 42 透光性部材 |
| 43 電極部材 |
| 44 カーボンナノチューブ層 |
| 45 正の電極部 |
| 46 負の電極部 |
| 51 p型カーボンナノチューブ |
| 51a カーボンナノチューブ |
| 51b p型ドーパント |

【図10】



- | | |
|------------------|-----------------|
| 61 太陽電池 | 76 p型カーボンナノチューブ |
| 62 透光性部材 | 76a カーボンナノチューブ |
| 63 電極部材 | 76b p型ドーパント |
| 64 発電層 | 77 n型カーボンナノチューブ |
| 65 正の電極部 | 77a カーボンナノチューブ |
| 66 負の電極部 | 77b n型ドーパント |
| 71 混合カーボンナノチューブ層 | 81 p型カーボンナノチューブ |
| 72 p型カーボンナノチューブ層 | 81a カーボンナノチューブ |
| 73 n型カーボンナノチューブ層 | 81b p型ドーパント |
| | 82 n型カーボンナノチューブ |
| | 82a カーボンナノチューブ |
| | 82b n型ドーパント |

フロントページの続き

(72)発明者 宮内 雄平

京都府宇治市五ヶ庄 国立大学法人京都大学 エネルギー理工学研究所内

(72)発明者 毛利 真一郎

京都府宇治市五ヶ庄 国立大学法人京都大学 エネルギー理工学研究所内

Fターム(参考) 5F151 AA01 BA16 DA03 DA04 FA06 FA15 GA04