

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5487449号
(P5487449)

(45) 発行日 平成26年5月7日(2014.5.7)

(24) 登録日 平成26年3月7日(2014.3.7)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L 31/04	(2014.01)	HO 1 L 31/04		F
HO 1 L 31/06	(2012.01)	HO 1 L 31/04		A

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2010-169323 (P2010-169323)	(73) 特許権者	801000027
(22) 出願日	平成22年7月28日(2010.7.28)		学校法人明治大学
(65) 公開番号	特開2012-33538 (P2012-33538A)		東京都千代田区神田駿河台1-1
(43) 公開日	平成24年2月16日(2012.2.16)	(73) 特許権者	301023238
審査請求日	平成25年6月3日(2013.6.3)		独立行政法人物質・材料研究機構
			茨城県つくば市千現一丁目2番地1
		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100108578
			弁理士 高橋 詔男
		(72) 発明者	小椋 厚志
			神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1
			学校法人明治大学 生田校舎内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 太陽電池

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

一方の面を第一導電型層、他方の面を第二導電型層としてなる光電変換部と、前記第一導電型層を覆うように配された第一パッシベーション層および前記第二導電型層を覆うように配された第二パッシベーション層と、前記第一導電型層上に配された第一電極および前記第二導電型層上に配された第二電極と、を少なくとも備えた太陽電池であって、

前記第一パッシベーション層および前記第二パッシベーション層は、同じ構成元素からなり、前記構成元素として、金属元素および半金属元素の中から選択される2つの元素と、酸素および/または窒素とを含み、かつ、前記金属元素および半金属元素の中から選択される2つの元素の組成比が、前記第一パッシベーション層および前記第二パッシベーション層において異なる、ことを特徴とする太陽電池。

10

【請求項2】

前記金属元素および半金属元素が、以下の元素群 であることを特徴とする請求項1に記載の太陽電池。

前記元素群 は、アルミニウム(A l)、イットリウム(Y)、ハフニウム(H f)、ランタン(L a)、シリコン(S i)、チタン(T i)、ジルコニウム(Z r)、マグネシウム(M g)、ゲルマニウム(G e)、ルテチウム(L u)、およびストロンチウム(S r)である。

【請求項3】

前記第一導電型層をn型半導体層、前記第二導電型層をp型半導体層とした場合、

20

前記第一パッシベーション層は正の固定電荷を、前記第二パッシベーション層は負の固定電荷を、それぞれ有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の太陽電池。

【請求項 4】

前記第一パッシベーション層および前記第二パッシベーション層は、C - V 特性のグラフにおいてフラットバンド (Vfb) が観測されるものであり、かつ、Hf と Al と O から構成される場合、Hf と Al との比において Al が主体の組成域では、負の固定電荷に対応して前記 Vfb が正の値をもち、Hf の割合が増すにつれ、その組成域で前記 Vfb が負の方向にシフトする薄膜である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の太陽電池。

【請求項 5】

前記第一パッシベーション層および前記第二パッシベーション層は、C - V 特性のグラフにおいてフラットバンド (Vfb) が観測されるものであり、かつ、Hf と Y と O から構成される場合、Hf と Y との比において Hf が主体の組成域では、負の固定電荷に対応して前記 Vfb が正の値をもち、Y の割合が増すにつれ、その組成域で前記 Vfb が負の方向にシフトする薄膜である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の太陽電池。

【請求項 6】

前記第一パッシベーション層および前記第二パッシベーション層は、C - V 特性のグラフにおいてフラットバンド (Vfb) が観測されるものであり、かつ、Al と Y と O から構成される場合、Al と Y との比において Al が主体の組成域では、負の固定電荷に対応して前記 Vfb が正の値をもち、Y の割合が増すにつれ、その組成域で前記 Vfb が負の方向にシフトする薄膜である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の太陽電池。

【請求項 7】

前記光電変換部が、無機半導体、有機半導体または化合物半導体からなる結晶である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の太陽電池。

【請求項 8】

前記光電変換部が、無機半導体、有機半導体または化合物半導体からなる薄膜である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の太陽電池。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、太陽電池のパッシベーション膜に関する。

【背景技術】

【0002】

太陽光を利用したクリーンエネルギー生成技術として、太陽電池には近年一層多くの期待が集まっている。

結晶またはアモルファスのシリコンを用いた太陽電池の一般的な構成は、例えば結晶シリコンを基板とした場合は、当該基板中にドナーまたはアクセプターとなる不純物をそれぞれ、一方の側と他方の側にドーピングすることにより p n 接合を形成し、各導電型層に電極を設けたものが挙げられる。

【0003】

太陽電池の低コスト化のためにシリコン基板には薄型化が求められているが、この際、表面再結合速度を低減することが重要となる。

特許文献 1 には、p n 接合を形成したシリコン基板表面において、p 型層および n 型層の上に異なる元素からなるパッシベーション膜をそれぞれ形成することによって、表面再結合速度を減少させ、変換効率を高めた太陽電池が開示されている。具体的には、シリコン基板の片面に p 型層および n 型層からなる p n 接合を形成し、p 型層上に酸化珪素膜または酸化アルミニウム膜からなる第 1 パッシベーション膜、n 型層上に窒化珪素膜からなる第 2 パッシベーション膜を形成することによって変換効率を高めている。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

しかしながら、異なる構成元素（元素組成）を有するパッシベーション膜をp型層およびn型層を覆うようにそれぞれ形成するためには、異なる成膜装置を使用する必要があり、製造コストが高価になる問題がある。例えば、酸化珪素膜の成膜には900の酸素雰囲気下でシリコン基板を加熱処理するオープン装置が必要であり、窒化珪素膜の成膜にはプラズマCVD装置が必要であり、酸化アルミニウムの成膜には蒸着装置が必要である（特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献1】特開2008-10746号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、単一の成膜装置によって、同じ構成元素からなるパッシベーション膜を2つの導電型層上に形成することにより、変換効率の向上を図った太陽電池の提供を課題とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明の請求項1に記載の太陽電池は、一方の面を第一導電型層、他方の面を第二導電型層としてなる光電変換部と、前記第一導電型層を覆うように配された第一パッシベーション層および前記第二導電型層を覆うように配された第二パッシベーション層と、前記第一導電型層上に配された第一電極および前記第二導電型層上に配された第二電極と、を少なくとも備えた太陽電池であって、前記第一パッシベーション層および前記第二パッシベーション層は、同じ構成元素からなり、前記構成元素として、金属元素および半金属元素の中から選択される2つの元素と、酸素および/または窒素とを含み、かつ、前記金属元素および半金属元素の中から選択される2つの元素の組成比が、前記第一パッシベーション層および前記第二パッシベーション層において異なる、ことを特徴とする。

本発明の請求項2に記載の太陽電池は、請求項1において、前記金属元素および半金属元素が、以下の元素群であることを特徴とする。

前記元素群は、アルミニウム（Al）、イットリウム（Y）、ハフニウム（Hf）、ランタン（La）、シリコン（Si）、チタン（Ti）、ジルコニウム（Zr）、マグネシウム（Mg）、ゲルマニウム（Ge）、ルテチウム（Lu）、およびストロンチウム（Sr）である。

本発明の請求項3に記載の太陽電池は、請求項1または2において、前記第一導電型層をn型半導体層、前記第二導電型層をp型半導体層とした場合、前記第一パッシベーション層は正の固定電荷を、前記第二パッシベーション層は負の固定電荷を、それぞれ有することを特徴とする。

本発明の請求項4に記載の太陽電池は、請求項1～3のいずれか一項において、前記第一パッシベーション層および前記第二パッシベーション層は、C-V特性のグラフにおいてフラットバンド（Vfb）が観測されるものであり、かつ、HfとAlとOから構成される場合、HfとAlとの比においてAlが主体の組成域では、負の固定電荷に対応して前記Vfbが正の値をもち、Hfの割合が増すにつれ、その組成域で前記Vfbが負の方向にシフトする薄膜である、ことを特徴とする。

本発明の請求項5に記載の太陽電池は、請求項1～3のいずれか一項において、前記第一パッシベーション層および前記第二パッシベーション層は、C-V特性のグラフにおいてフラットバンド（Vfb）が観測されるものであり、かつ、HfとYとOから構成される場合、HfとYとの比においてHfが主体の組成域では、負の固定電荷に対応して前記Vfbが正の値をもち、Yの割合が増すにつれ、その組成域で前記Vfbが負の方向にシフトする薄膜である、ことを特徴とする。

10

20

30

40

50

本発明の請求項 6 に記載の太陽電池は、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項において、前記第一パッシベーション層および前記第二パッシベーション層は、C - V 特性のグラフにおいてフラットバンド (Vfb) が観測されるものであり、かつ、A1 と Y と O から構成される場合、A1 と Y との比において A1 が主体の組成域では、負の固定電荷に対応して前記 Vfb が正の値をもち、Y の割合が増すにつれ、その組成域で前記 Vfb が負の方向にシフトする薄膜である、ことを特徴とする。

本発明の請求項 7 に記載の太陽電池は、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項において、前記光電変換部が、無機半導体、有機半導体または化合物半導体からなる結晶である、ことを特徴とする。

本発明の請求項 8 に記載の太陽電池は、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項において、前記光電変換部が、無機半導体、有機半導体または化合物半導体からなる薄膜である、ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明の太陽電池によれば、2つの導電型層上に、同じ構成元素からなるパッシベーション膜を形成するので、単一の装置で成膜することができる。

また、本発明の太陽電池によれば、当該パッシベーション膜と各導電型層の界面における表面再結合速度を低減することができる。この結果、本発明の太陽電池の変換効率を高められる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図 1】本発明にかかる太陽電池の一例の概略構成図

【図 2】試料薄膜 S1 の C - V 特性を示すグラフ

【図 3】試料薄膜の概略構成図

【図 4】試料薄膜 S1 のキャリアライフタイムを示すグラフ

【図 5】試料薄膜 S2 の C - V 特性を示すグラフ

【図 6】試料薄膜 S2 のキャリアライフタイムを示すグラフ

【図 7】試料薄膜 S2 の μ - PCD マッピング

【図 8】試料薄膜 S3 の C - V 特性を示すグラフ

【図 9】試料薄膜 S4 の組成 Vfb 特性を示すグラフ

【図 10】本発明にかかる太陽電池の一例の概略構成図

【図 11】本発明にかかる太陽電池のパッシベーション膜の形成に用いる成膜装置の一例の概略図

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明について詳細に説明する。

【0011】

本発明にかかる太陽電池の実施形態例として、図 1 に示す概略構成図のように、一方の面を第一導電型層 1、他方の面を第二導電型層 2 としてなる光電変換部と、第一導電型層 1 を覆うように配された第一パッシベーション層 3 および第二導電型層 2 を覆うように配された第二パッシベーション層 4 と、第一導電型層 1 上に配された第一電極 5 および第二導電型層 2 上に配された第二電極 6 と、を少なくとも備えた太陽電池 10 が挙げられる。

【0012】

第一パッシベーション層 3 の第一電極 5 に対応する位置は開口しており、第一電極 5 と第一導電型層 1 とが導通している。同様に、第二パッシベーション層 4 の第二電極 6 に対応する位置は開口しており、第二電極 6 と第二導電型層 2 とが導通している。

【0013】

太陽電池 10 において、第一パッシベーション層 3 および第二パッシベーション層 4 は、同じ構成元素からなる。

前記構成元素は、金属元素および半金属元素の中から選択される 2 つの元素と、酸素お

10

20

30

40

50

よび/または窒素とを含み、かつ、前記金属元素および半金属元素の中から選択される2つの元素の組成比が、前記第一パッシベーション層および前記第二パッシベーション層において異なる。

【0014】

本発明の太陽電池において、前記金属元素および半金属元素が以下の元素群であることが好ましい。当該パッシベーション膜と各導電型層の界面における表面再結合速度をより低減することができる。

【0015】

前記元素群は、アルミニウム(A1)、イットリウム(Y)、ハフニウム(Hf)、ランタン(La)、シリコン(Si)、チタン(Ti)、ジルコニウム(Zr)、マグネシウム(Mg)、ゲルマニウム(Ge)、ルテチウム(Lu)、およびストロンチウム(Sr)である。

10

【0016】

第一パッシベーション層3と第二パッシベーション層4とは、各層を構成する元素は同じであるが、その元素組成比が異なるために、各層の有する固定電荷が異なるものとなる。

固定電荷は、元素組成比を調整することで制御できる。つまり、パッシベーション層3、4の固定電荷を導電型層1、2の固定電荷と反対の固定電荷とすることによって、各導電型層における表面再結合速度を低減し、当該太陽電池の変換効率を高められる。

【0017】

20

すなわち、第一導電型層1がn型半導体層である場合、第一パッシベーション層3は正の固定電荷とすれば、第一導電型層1と第一パッシベーション層3との界面における表面再結合速度を低減できるので、好ましい。この結果、光起電力によって生じる電子を、第一導電型層1からより効率的に、第一電極5に取り出せる。

【0018】

第二導電型層2がp型半導体層である場合、第二パッシベーション層4は負の固定電荷とすれば、第二導電型層2と第二パッシベーション層4との界面における表面再結合速度を低減できるので、好ましい。この結果、光起電力によって生じる正孔を、第二導電型層2からより効率的に、第二電極6に取り出せる。

【0019】

30

前記元素群のうち、特にアルミニウム(A1)、イットリウム(Y)、ハフニウム(Hf)の中から2つの元素を選択し、元素組成比を調整することが好ましい。第一パッシベーション層3と第二パッシベーション層4が有する固定電荷をそれぞれ正と負に制御することがより容易にできる。

【0020】

本発明にかかる太陽電池において、第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4の膜厚は特に制限されず、例えば4nm~30nmの範囲の膜厚とすればよい。

【0021】

以下では、本発明にかかる太陽電池を、第一導電型層1がn型半導体層であり、第二導電型層2がp型半導体層である場合を説明するが、本発明はこれに限定されない。つまり、本発明にかかる太陽電池は、第一導電型層1がp型半導体層であり、第二導電型層2がn型半導体層であってもよい。

40

一般に、太陽電池は半導体の一種であるから、C-V特性のグラフにおいてフラットバンド(Vfb)が観測されることは周知である。本発明にかかる太陽電池のC-V特性のグラフにおいても同様にフラットバンド(Vfb)が観測される。

【0022】

<HfとA1とOから構成されるパッシベーション層>

第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4は、C-V特性のグラフにおいてフラットバンド(Vfb)が観測されるものであり、かつ、HfとA1とOから構成される場合、HfとA1との比においてA1が主体の組成域では、負の固定電荷に対応し

50

て前記 V_{fb} が正の値をもち、 Hf の割合が増すにつれ、その組成域で前記 V_{fb} が負の方向にシフトする薄膜であることが好ましい。

このような薄膜では、例えば第一パッシベーション層 3 における Al と Hf との組成比を $Al < Hf$ とすることによって、当該第一パッシベーション層 3 の固定電荷を正側に大きくすることができる。同様に、例えば第二パッシベーション層 4 では、 $Al > Hf$ とすることによって、当該第二パッシベーション層 4 の固定電荷を負側に大きくすることができる。

【0023】

前記 Hf と Al と O から構成される第一パッシベーション層 3 および第二パッシベーション層 4 としては、例えばアルミニウム酸化物 (Al_2O_x) とハフニウム酸化物 (HfO_y) とをそれぞれ特定の割合で混在させた薄膜が挙げられる。ここで、前記酸化物の組成式における O の下付き文字 x および y は、それぞれ独立に任意の正の数である。

この場合、前記「 Al が主体の組成域」とは、「 Al_2O_x が主体の組成域」を意味する。また、前記「 Hf の割合を増すにつれ、」とは、「 HfO_y の割合を増すにつれ、」を意味する。

このような薄膜は、例えば Al_2O_3 からなるターゲットおよび HfO_2 からなるターゲットを使用した PLD 法 (Pulsed Laser Deposition 法)、またはスパッタ法、CVD 法等によって成膜することができる。

【0024】

第一パッシベーション層 3 および第二パッシベーション層 4 における、 Al_2O_x と HfO_y との組成比は、例えば図 2 に示す $C-V$ 特性のグラフにおける V_{fb} のシフトする程度に基づいて、所望の割合に設定することができる。

【0025】

図 2 の $C-V$ 特性グラフは、図 3 に示す構成の試料薄膜 S1 の P1 ~ P5 の位置で測定して得られたデータをプロットしたものである。また、得られたデータを表 1 に示す。

前記試料薄膜 S1 は、 SiO_2 薄膜を形成したシリコン基板 (p-Si) 上に、 Al_2O_x 100% の領域 (P1) ~ HfO_y 100% の領域 (P5) へ、2 つの化合物の組成比が漸次変化するように形成されたものである。

【0026】

10

20

【表 1】

Voltage(V)	P1		P2		P3		P4		P5	
	C/Co		C/Co		C/Co		C/Co		C/Co	
	電圧掃 引方向 正⇒負	電圧掃 引方向 負⇒正	電圧掃 引方向 正⇒負	電圧掃 引方向 負⇒正	電圧掃 引方向 正⇒負	電圧掃 引方向 負⇒正	電圧掃 引方向 正⇒負	電圧掃 引方向 負⇒正	電圧掃 引方向 正⇒負	電圧掃 引方向 負⇒正
2.08	0.044	0.043	0.039	0.038	0.038	0.037	0.037	0.037	0.034	0.034
1.92	0.044	0.043	0.039	0.038	0.038	0.037	0.037	0.037	0.034	0.034
1.76	0.044	0.042	0.039	0.038	0.038	0.037	0.038	0.036	0.035	0.034
1.60	0.044	0.042	0.039	0.038	0.038	0.037	0.037	0.036	0.034	0.034
1.44	0.044	0.042	0.039	0.038	0.038	0.036	0.037	0.036	0.034	0.034
1.28	0.043	0.041	0.039	0.038	0.038	0.036	0.037	0.036	0.034	0.033
1.12	0.039	0.040	0.038	0.037	0.037	0.036	0.035	0.035	0.033	0.033
0.96	0.031	0.034	0.034	0.037	0.035	0.035	0.031	0.034	0.029	0.031
0.80	0.040	0.031	0.030	0.035	0.029	0.034	0.028	0.030	0.027	0.028
0.64	0.086	0.041	0.041	0.030	0.039	0.030	0.037	0.027	0.036	0.027
0.48	0.192	0.086	0.097	0.030	0.096	0.029	0.080	0.032	0.080	0.037
0.32	0.381	0.172	0.256	0.044	0.226	0.047	0.166	0.060	0.226	0.071
0.16	0.551	0.325	0.464	0.096	0.429	0.108	0.349	0.118	0.436	0.167
0.00	0.698	0.497	0.641	0.221	0.595	0.232	0.553	0.237	0.627	0.355
-0.16	0.789	0.649	0.762	0.409	0.730	0.413	0.719	0.422	0.754	0.555
-0.32	0.842	0.759	0.828	0.588	0.807	0.592	0.805	0.633	0.820	0.714
-0.48	0.875	0.824	0.866	0.729	0.851	0.728	0.851	0.763	0.859	0.798
-0.64	0.897	0.863	0.890	0.810	0.879	0.808	0.880	0.829	0.884	0.846
-0.80	0.912	0.889	0.908	0.855	0.899	0.853	0.899	0.867	0.902	0.876
-0.96	0.925	0.907	0.921	0.885	0.914	0.883	0.914	0.891	0.916	0.897
-1.12	0.934	0.921	0.931	0.905	0.925	0.903	0.925	0.909	0.926	0.912
-1.28	0.942	0.932	0.939	0.920	0.934	0.917	0.935	0.922	0.935	0.925
-1.44	0.949	0.940	0.947	0.931	0.942	0.929	0.942	0.932	0.943	0.934
-1.60	0.955	0.948	0.953	0.940	0.949	0.939	0.949	0.941	0.949	0.942
-1.76	0.960	0.954	0.958	0.948	0.955	0.946	0.955	0.948	0.955	0.949
-1.92	0.964	0.959	0.963	0.954	0.960	0.953	0.960	0.954	0.960	0.955
-2.08	0.969	0.964	0.967	0.960	0.965	0.959	0.965	0.960	0.965	0.961

10

20

30

【0027】

試料薄膜 S1 は、可動マスクと Al_2O_3 からなるターゲット (Target A) および HfO_2 からなるターゲット (Target B) を使用した、コンビナトリアル PLD 成膜法によって形成できる。

具体的には、酸素雰囲気下 (1.0×10^{-5} Torr)、シリコン基板温度を 300 とし、KrF エキシマレーザ (波長 248 nm、エネルギー密度 $0.5 J/cm^2$) を、 HfO_2 (ターゲット純度 98%) および Al_2O_3 (ターゲット純度 99.99%) に対して、繰り返し周波数 5 Hz で照射し、組成傾斜膜として形成する方法が例示できる。

40

【0028】

その後、Pt からなるゲート電極を、直径 0.1 mm の円形マスクを使用して、高さ 50 nm となるように、マグネトロンスパッタ法 (アルゴン雰囲気: $3.6 cm^3/min$) で形成すればよい。

【0029】

図 3 は試料薄膜の概略構成図を示し、シリコン基板 (p-Si) 上の SiO_2 上に試料薄膜 S1 を設け、さらにその上にゲート電極を等間隔に P1 ~ P5 の 5 箇所設けたものである。試料薄膜 S1 は、コンビナトリアル PLD 成膜法により薄膜を形成しているため、図 3 においては試料薄膜 S1 上の左側 (P1) が A (Al_2O_3) 100% であり、右側 (

50

P5)がB(HfO_y)100%となっている。したがって、P2ではA:B組成比=75:25、P3ではA:B組成比=50:50、P4ではA:B組成比=25:75となっている。なお、ゲート電極を設けたのは試料薄膜S1のC-V特性を測定するためである。

【0030】

図2のC-V特性グラフでは、膜中の固定電荷を反映してヒステリシスが存在する。P1(A₁₋₂O_x100%)では膜中の負の固定電荷に対応してV_{fb}が正の値を持つ。P2~P4では、HfO_yの組成比が増すにつれてV_{fb}が負の方向へシフトしている。P4のV_{fb}は、P5のV_{fb}よりも負の方向にシフトしている。

【0031】

試料薄膜S1の表面におけるキャリアライフタイムを測定した結果を図4に示す。

【0032】

図2および図4の結果から、n型導電層上の第一パッシベーション層3におけるA₁₋₂O_xとHfO_yとの組成比は、

A₁₋₂O_x:HfO_y=50:50~99.9:0.1が好ましく、

A₁₋₂O_x:HfO_y=60:40~90:10がより好ましく、

A₁₋₂O_x:HfO_y=60:40~75:25がさらに好ましい。

上記範囲の組成比とすることにより、当該第一パッシベーション層3における表面再結合速度を低減し、当該太陽電池の変換効率を高められる。

【0033】

また、図2および図4の結果から、p型導電層上の第二パッシベーション層4におけるA₁₋₂O_xとHfO_yとの組成比は、

A₁₋₂O_x:HfO_y=50:50~0.1:99.9が好ましく、

A₁₋₂O_x:HfO_y=40:60~10:90がより好ましく、

A₁₋₂O_x:HfO_y=40:60~25:75がさらに好ましい。

上記範囲の組成比とすることにより、当該第二パッシベーション層4における表面再結合速度を低減し、当該太陽電池の変換効率を高められる。

【0034】

上記範囲の組成比を有する、Al、Hf、Oからなる第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4をそれぞれ形成することによって、本発明にかかる太陽電池10の変換効率を高めることができる。

当該第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4は、前述のPLD法によって形成できる。この際、例えば図11に示す成膜装置が適用可能である。

【0035】

図11に示す、本発明にかかる太陽電池のパッシベーション膜の形成に用いる成膜装置60では、エキシマレーザー51をTargetA52またはTargetB53に照射してプルーム54を発生させる。光電変換部57(基板)の一方の面をプルーム54側に向けて、可動マスク55を光電変換部57とプルーム54との間に挿入し、可動マスク55の開口部56の動きを制御することによって、光電変換部57の一方の面に第一パッシベーション層を形成できる。次に、光電変換部57の他方の面をプルーム54側に向けることによって、第一パッシベーション層と同様の方法で、第二パッシベーション層を前記他方の面に形成できる。なお、図11では、成膜室58内の雰囲気は、真空ポンプP、ガス流入口G等により適宜調整される。基板温度の調整はヒーター(不図示)で調整される。

このような成膜装置を用いれば、ターゲットを交換し、可動マスクの動き(図中では両方矢印で示す)を制御することによって、同一の元素からなり、異なる元素組成比を有する第一パッシベーション層および第二パッシベーション層を、単一の成膜装置によって形成できる。

【0036】

<HfとYとOから構成されるパッシベーション層>

第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4は、C-V特性のグラフに

10

20

30

40

50

においてフラットバンド (Vfb) が観測されるものであり、かつ、HfとYとOから構成される場合、HfとYとの比においてHfが主体の組成域では、負の固定電荷に対応して前記Vfbが正の値をもち、Yの割合が増すにつれ、その組成域で前記Vfbが負の方向にシフトする薄膜であることが好ましい。

このような薄膜では、例えば第一パッシベーション層3におけるHfとYとの組成比を $Hf < Y$ とすることによって、当該第一パッシベーション層3の固定電荷を正側に大きくすることができる。同様に、例えば第二パッシベーション層4では、 $Hf > Y$ とすることによって、当該第二パッシベーション層4の固定電荷を負側に大きくすることができる。

【0037】

前記HfとYとOから構成される第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4としては、例えばハフニウム酸化物 (HfO_y) とイットリウム酸化物 (Y_2O_z) とをそれぞれ特定の割合で混在させた薄膜が挙げられる。ここで、前記酸化物の組成式におけるOの下付き文字yおよびzは、それぞれ独立に任意の正の数である。

この場合、前記「Hfが主体の組成域」とは、「 HfO_y が主体の組成域」を意味する。また、前記「Yの割合を増すにつれ、」とは、「 Y_2O_z の割合を増すにつれ、」を意味する。

このような薄膜は、例えば HfO_2 からなるターゲットおよび Y_2O_3 からなるターゲットを使用したPLD法 (Pulsed Laser Deposition法)、またはスパッタ法、CVD法等によって成膜することができる。

【0038】

第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4における、 HfO_y と Y_2O_z との組成比は、例えば図5に示すC-V特性のグラフにおけるVfbのシフトする程度に基づいて、所望の割合に設定することができる。

【0039】

図5が示す試料薄膜S2のC-V特性グラフは、図3に示す構成の試料薄膜S2のP1~P5の位置で測定して得られたデータをプロットしたものである。また、得られたデータを表2に示す。

前記試料薄膜S2は、 SiO_2 薄膜を形成したシリコン基板上に、 HfO_y 100%の領域 (P1) ~ Y_2O_z 100%の領域 (P5) へ、2つの化合物の組成比が漸次変化するよう形成されたものである。

【0040】

10

20

30

【表 2】

Voltage (V)	P1		P2		P3		P4		P5	
	C/Co		C/Co		C/Co		C/Co		C/Co	
	電圧掃 引方向 正⇒負	電圧掃 引方向 負⇒正	電圧掃 引方向 正⇒負	電圧掃 引方向 負⇒正	電圧掃 引方向 正⇒負	電圧掃 引方向 負⇒正	電圧掃 引方向 正⇒負	電圧掃 引方向 負⇒正	電圧掃 引方向 正⇒負	電圧掃 引方向 負⇒正
2.08	0.037	0.036	0.035	0.035	0.033	0.033	0.011	0.011	0.041	0.041
1.92	0.037	0.036	0.035	0.035	0.033	0.033	0.011	0.011	0.041	0.041
1.76	0.038	0.036	0.035	0.035	0.033	0.033	0.012	0.012	0.041	0.041
1.60	0.038	0.036	0.035	0.034	0.033	0.033	0.012	0.012	0.041	0.041
1.44	0.038	0.036	0.035	0.034	0.033	0.033	0.013	0.013	0.041	0.040
1.28	0.038	0.036	0.035	0.034	0.033	0.033	0.014	0.014	0.041	0.040
1.12	0.038	0.036	0.035	0.034	0.032	0.032	0.015	0.015	0.041	0.040
0.96	0.037	0.036	0.034	0.034	0.032	0.032	0.016	0.016	0.041	0.040
0.80	0.030	0.034	0.028	0.033	0.029	0.032	0.017	0.017	0.040	0.038
0.64	0.028	0.030	0.031	0.031	0.031	0.031	0.019	0.019	0.035	0.033
0.48	0.053	0.026	0.065	0.026	0.063	0.028	0.022	0.022	0.034	0.034
0.32	0.149	0.037	0.162	0.030	0.164	0.029	0.029	0.028	0.070	0.069
0.16	0.356	0.090	0.355	0.061	0.356	0.054	0.053	0.053	0.139	0.129
0.00	0.550	0.228	0.553	0.143	0.548	0.120	0.105	0.102	0.296	0.222
-0.16	0.711	0.429	0.717	0.301	0.712	0.252	0.219	0.194	0.519	0.426
-0.32	0.799	0.618	0.802	0.512	0.798	0.443	0.413	0.369	0.688	0.607
-0.48	0.847	0.750	0.849	0.696	0.846	0.648	0.608	0.570	0.778	0.752
-0.64	0.877	0.821	0.879	0.795	0.877	0.770	0.744	0.729	0.833	0.816
-0.80	0.898	0.862	0.898	0.847	0.897	0.833	0.823	0.820	0.886	0.861
-0.96	0.913	0.888	0.913	0.879	0.912	0.870	0.871	0.870	0.907	0.904
-1.12	0.925	0.906	0.925	0.900	0.924	0.895	0.905	0.903	0.903	0.906
-1.28	0.934	0.920	0.934	0.916	0.934	0.912	0.924	0.924	0.911	0.938
-1.44	0.942	0.931	0.942	0.928	0.942	0.925	0.938	0.940	0.915	0.944
-1.60	0.949	0.940	0.949	0.938	0.949	0.935	0.948	0.951	0.946	0.955
-1.76	0.955	0.948	0.955	0.946	0.954	0.944	0.956	0.959	0.933	0.960
-1.92	0.960	0.954	0.960	0.952	0.960	0.951	0.963	0.967	0.943	0.958
-2.08	0.965	0.960	0.965	0.958	0.964	0.957	0.968	0.972	0.980	0.964

10

20

30

【0041】

試料薄膜 S 2 は、可動マスクと HfO_2 からなるターゲット (Target A) および Y_2O_3 からなるターゲット (Target B) を使用した、コンビナトリアル PLD 成膜法によって形成できる。

具体的には、酸素雰囲気下 ($1.0 \times 10^{-5} \text{ Torr}$)、シリコン基板温度を 300 とし、KrF エキシマレーザ (波長 248 nm 、エネルギー密度 0.5 J/cm^2) を、 HfO_2 (ターゲット純度 98.0%) に対しては繰り返し周波数 5 Hz で、 Y_2O_3 (ターゲット純度 99.9%) に対しては繰り返し周波数 3 Hz で照射し、組成傾斜膜として形成する方法が例示できる。

40

その後、Pt からなるゲート電極を、直径 0.1 mm の円形マスクを使用して、高さ 50 nm となるように、マグネトロンスパッタ法 (アルゴン雰囲気: $3.6 \text{ cm}^3/\text{min}$) で形成すればよい。

【0042】

図 3 は試料薄膜の概略構成図を示し、シリコン基板 (p-Si) 上の SiO_2 上に試料薄膜 S 2 を設け、さらにその上にゲート電極を等間隔に P 1 ~ P 5 の 5 箇所設けたものである。試料薄膜 S 2 は、コンビナトリアル PLD 成膜法により薄膜を形成しているため、図 3 においては試料薄膜 S 2 上の左側 (P 1) が A (HfO_y) 100% であり、右側 (P 5) が B (Y_2O_z) 100% となっている。したがって、P 2 では A : B 組成比 = 75

50

: 25、P3ではA:B組成比=50:50、P4ではA:B組成比=25:75となっている。なお、ゲート電極を設けたのは試料薄膜S2のC-V特性を測定するためである。

【0043】

図5のC-V特性グラフでは、膜中の固定電荷を反映してヒステリシスが存在する。P1(HfO_y100%)では膜中の負の固定電荷に対応してVfbが正の値を持つ。P2~P4ではAl₂O₃の組成比が増すにつれてVfbが負の方向へシフトしている。P4のVfbは、P5のVfbよりも負の方向にシフトしている。

【0044】

試料薄膜S2の表面におけるキャリアライフタイムを測定した結果を図6に示す。 10

試料薄膜S2の上面から見た場合の、表面におけるμPCDマッピングを図7に示す。

【0045】

図5~7の結果から、n型導電層上の第一パッシベーション層3におけるHfO_yとY₂O_zとの組成比は、

HfO_y:Y₂O_z=40:60~0.1:99.9が好ましく、

HfO_y:Y₂O_z=30:70~10:90がより好ましく、

HfO_y:Y₂O_z=25:75~15:85がさらに好ましい。

上記範囲の組成比とすることにより、当該第一パッシベーション層3における表面再結合速度を低減し、当該太陽電池の変換効率を高められる。 20

【0046】

また、図5~7の結果から、p型導電層上の第二パッシベーション層4におけるHfO_yとY₂O_zとの組成比は、

HfO_y:Y₂O_z=50:50~99.9:0.1が好ましく、

HfO_y:Y₂O_z=60:40~90:10がより好ましく、

HfO_y:Y₂O_z=65:35~75:25がさらに好ましい。

上記範囲の組成比とすることにより、当該第二パッシベーション層4における表面再結合速度を低減し、当該太陽電池の変換効率を高められる。

【0047】

上記範囲の組成比を有する、Hf、Y、Oからなる第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4をそれぞれ形成することによって、本発明にかかる太陽電池10の変換効率を高めることができる。 30

当該第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4は、前述のPLD法によって形成できる。この際、例えば図11に示す成膜装置が適用可能である。

【0048】

<AlとYとOから構成されるパッシベーション層>

第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4は、C-V特性のグラフにおいてフラットバンド(Vfb)が観測されるものであり、かつ、AlとYとOから構成される場合、AlとYとの比においてAlが主体の組成域では、負の固定電荷に対応して前記Vfbが正の値をもち、Yの割合が増すにつれ、その組成域で前記Vfbが負の方向にシフトする薄膜であることが好ましい。 40

このような薄膜では、例えば第一パッシベーション層3におけるAlとYとの組成比をAl<Yとすることによって、当該第一パッシベーション層3の固定電荷を正側に大きくすることができる。同様に、例えば第二パッシベーション層4では、Al>Yとすることによって、当該第二パッシベーション層4の固定電荷を負側に大きくすることができる。

【0049】

前記AlとYとOから構成される第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4としては、例えば酸化アルミニウム(Al₂O_x)と酸化イットリウム(Y₂O_z)とをそれぞれ特定の割合で混在させた薄膜が挙げられる。ここで、前記酸化物の組成式における0の下付き文字xおよびzは、それぞれ独立に任意の正の数である。この場合、 50

前記「Alが主体の組成域」とは、「 Al_2O_x が主体の組成域」を意味する。また、前記「Yの割合を増すにつれ、」とは、「 Y_2O_z の割合を増すにつれ、」を意味する。

このような薄膜は、例えば Al_2O_3 からなるターゲットおよび Y_2O_3 からなるターゲットを使用したPLD法(Pulsed Laser Deposition法)、またはスパッタ法、CVD法等によって成膜することができる。

【0050】

第一パッシベーション層3および第二パッシベーション層4における、 Al_2O_x と Y_2O_z との組成比は、例えば図8に示すC-V特性のグラフにおけるVfbのシフトする程度に基づいて、所望の割合に設定することができる。

【0051】

図8に示す試料薄膜S3のC-V特性グラフは、図3に示す構成の試料薄膜S3のP1~P5の位置で測定して得られたデータをプロットしたものである。また、得られたデータを表3に示す。

前記試料薄膜S3は、 SiO_2 薄膜を形成したシリコン基板の上に、 Al_2O_x 100%の領域(P1)~ Y_2O_z 100%の領域(P5)へ、2つの化合物の組成比が漸次変化するように形成されたものである。

【0052】

【表3】

Voltage (V)	P1		P2		P3		P4		P5	
	C/Co		C/Co		C/Co		C/Co		C/Co	
	電圧掃引方向 正⇒負	電圧掃引方向 負⇒正	電圧掃引方向 正⇒負	電圧掃引方向 負⇒正	電圧掃引方向 正⇒負	電圧掃引方向 負⇒正	電圧掃引方向 正⇒負	電圧掃引方向 負⇒正	電圧掃引方向 正⇒負	電圧掃引方向 負⇒正
2.08	0.032	0.031	0.031	0.029	0.032	0.032	0.035	0.036	0.037	0.037
1.92	0.032	0.031	0.031	0.030	0.032	0.032	0.035	0.036	0.037	0.037
1.76	0.032	0.031	0.031	0.029	0.032	0.032	0.035	0.036	0.037	0.037
1.60	0.031	0.031	0.030	0.029	0.032	0.032	0.035	0.036	0.037	0.037
1.44	0.031	0.031	0.031	0.029	0.032	0.032	0.035	0.036	0.037	0.037
1.28	0.030	0.030	0.031	0.030	0.032	0.032	0.035	0.036	0.037	0.036
1.12	0.029	0.029	0.030	0.029	0.032	0.032	0.035	0.036	0.037	0.036
0.96	0.028	0.028	0.029	0.028	0.031	0.032	0.034	0.035	0.037	0.035
0.80	0.031	0.028	0.028	0.027	0.030	0.030	0.032	0.034	0.034	0.033
0.64	0.042	0.032	0.029	0.026	0.028	0.028	0.029	0.030	0.030	0.029
0.48	0.072	0.044	0.039	0.029	0.032	0.027	0.032	0.030	0.034	0.030
0.32	0.156	0.069	0.062	0.040	0.050	0.034	0.058	0.038	0.074	0.054
0.16	0.332	0.129	0.127	0.059	0.089	0.055	0.102	0.064	0.141	0.099
0.00	0.497	0.271	0.313	0.101	0.229	0.083	0.267	0.096	0.335	0.154
-0.16	0.644	0.445	0.509	0.236	0.466	0.171	0.501	0.193	0.549	0.319
-0.32	0.747	0.596	0.650	0.442	0.626	0.392	0.651	0.424	0.687	0.534
-0.48	0.809	0.713	0.750	0.599	0.735	0.574	0.754	0.600	0.780	0.679
-0.64	0.850	0.790	0.810	0.716	0.806	0.703	0.818	0.723	0.837	0.776
-0.80	0.878	0.839	0.851	0.793	0.848	0.786	0.857	0.799	0.872	0.834
-0.96	0.899	0.872	0.880	0.841	0.878	0.839	0.885	0.846	0.895	0.871
-1.12	0.914	0.894	0.899	0.873	0.899	0.872	0.904	0.878	0.913	0.896
-1.28	0.925	0.910	0.914	0.895	0.914	0.894	0.918	0.900	0.926	0.912
-1.44	0.935	0.923	0.926	0.911	0.926	0.911	0.929	0.915	0.936	0.926
-1.60	0.943	0.934	0.937	0.924	0.936	0.926	0.939	0.928	0.944	0.937
-1.76	0.950	0.943	0.944	0.936	0.945	0.936	0.947	0.939	0.952	0.946
-1.92	0.955	0.949	0.951	0.944	0.952	0.944	0.953	0.947	0.958	0.952
-2.08	0.961	0.955	0.957	0.951	0.957	0.952	0.960	0.953	0.963	0.959

【0053】

試料薄膜 S 3 は、可動マスクと Al_2O_3 からなるターゲット (Target A) および Y_2O_3 からなるターゲット (Target B) を使用した、コンビナトリアル PLD 成膜法によって形成できる。

具体的には、酸素雰囲気下 (1.0×10^{-5} Torr)、シリコン基板温度を 300 とし、KrF エキシマレーザ (波長 248 nm、エネルギー密度 $0.5 J/cm^2$) を、 Al_2O_3 (ターゲット純度 99.99%) に対しては繰り返し周波数 5 Hz で、 Y_2O_3 (ターゲット純度 99.9%) に対しては繰り返し周波数 3 Hz で照射し、組成傾斜膜として形成する方法が例示できる。

【0054】

本発明において、前記組成傾斜膜の形成後、熱処理を行ない、試料薄膜 S 4 としてもよい。熱処理の方法としては例えば酸素雰囲気下の RTA (Rapid Thermal Annealing) 処理が挙げられる。PLD によって形成した前記組成傾斜膜は、酸素雰囲気にて成膜を行っているが、酸化物の組成が若干変化していることがある。特に、絶縁膜自体が酸素欠損状態になっていることが考えられ、前記 RTA 処理によって、前記酸素欠損を補うことができる。

【0055】

前記 RTA の具体的な手段として、PLD によって形成した前記組成傾斜膜を酸素雰囲気 ($N_2 + O_2$ [5%]) の加熱炉の中に入れて 10 分放置し、その後、700 で 1 時間の熱処理を行い、十分に加熱炉内が冷めた後に、熱処理後の組成傾斜膜を取り出し、試料薄膜 S 4 とすればよい。

【0056】

その後、Pt からなるゲート電極を、直径 0.1 mm の円形マスクを使用して、高さ 50 nm となるように、マグネトロンスパッタ法 (アルゴン雰囲気: $3.6 cm^3/min$) で形成すればよい。

【0057】

図 3 は試料薄膜の概略構成図を示し、シリコン基板 (p-Si) 上の SiO_2 上に試料薄膜 S 3 を設け、さらにその上にゲート電極を等間隔に P 1 ~ P 5 の 5 箇所設けたものである。試料薄膜 S 3 は、コンビナトリアル PLD 成膜法により薄膜を形成しているため、図 3 においては試料薄膜 S 1 上の左側 (P 1) が A (Al_2O_x) 100% であり、右側 (P 5) が B (Y_2O_z) 100% となっている。したがって、P 2 では A : B 組成比 = 75 : 25、P 3 では A : B 組成比 = 50 : 50、P 4 では A : B 組成比 = 25 : 75 となっている。なお、ゲート電極を設けたのは試料薄膜 S 3 の C - V 特性を測定するためである。

【0058】

図 8 の C - V 特性グラフでは、膜中の固定電荷を反映してヒステリシスが存在する。P 1 (Al_2O_x 100%) では膜中の負の固定電荷に対応して Vfb が正の値を持つ。P 2 ~ P 4 では、 Y_2O_z の組成比が増すにつれて Vfb が負の方向へシフトしている。P 4 の Vfb は、P 5 の Vfb よりも負の方向にシフトしている。

【0059】

図 9 に示す、試料薄膜 S 4 の組成と Vfb の関係を示すグラフでは P 1 ~ P 2 の間で膜中の負の固定電荷に対応して Vfb が正の最大となり、P 4 付近で膜中の正の固定電荷に対応して Vfb が負の最大となっている。

また、図 9 の破線は電圧の掃引方向が正から負の場合の Vfb の値、実線は電圧の掃引方向が負から正の場合の Vfb の値を示す。

【0060】

図 8 および図 9 の結果から、n 型導電層上の第一パッシベーション層 3 における Al_2O_x と Y_2O_z との組成比は、

$Al_2O_x : Y_2O_z = 40 : 60 \sim 0.1 : 99.9$ が好ましく、

$Al_2O_x : Y_2O_z = 35 : 65 \sim 10 : 90$ がより好ましく、

$Al_2O_x : Y_2O_z = 30 : 70 \sim 20 : 80$ がさらに好ましい。

上記範囲の組成比とすることにより、当該第一パッシベーション層 3 における表面再結合速度を低減し、当該太陽電池の変換効率を高められる。

【0061】

また、図 8 および図 9 の結果から、p 型導電層上の第二パッシベーション層 4 における Al_2O_x と Y_2O_z との組成比は、

$Al_2O_x : Y_2O_z = 60 : 40 \sim 99.9 : 0.1$ が好ましく、

$Al_2O_x : Y_2O_z = 70 : 30 \sim 99.9 : 0.1$ がより好ましく、

$Al_2O_x : Y_2O_z = 80 : 20 \sim 90 : 10$ がさらに好ましい。

上記範囲の組成比とすることにより、当該第二パッシベーション層 4 における表面再結合速度を低減し、当該太陽電池の変換効率を高められる。

10

【0062】

上記範囲の組成比を有する、Al、Y、O からなる第一パッシベーション層 3 および第二パッシベーション層 4 をそれぞれ形成することによって、本発明にかかる太陽電池 10 の変換効率を高めることができる。

当該第一パッシベーション層 3 および第二パッシベーション層 4 は、前述の PLD 法によって形成できる。この際、例えば図 11 に示す成膜装置が適用可能である。

【0063】

本発明にかかる太陽電池の構成としては、図 10 に示す太陽電池 20 の構成も例示できる。図 10 の太陽電池 20 は、一方の面を第一導電型層 11、他方の面を第二導電型層 12 としてなる光電変換部と、第一導電型層 11 を覆うように配された第一パッシベーション層 13 および第二導電型層 12 を覆うように配された第二パッシベーション層 14 と、第一導電型層 11 上に配された第一電極 5 および第二導電型層 12 上に配された第二電極 16 と、を少なくとも備える。

20

第二導電型層 12 の表面には、裏面電界効果を得るために第二導電型層と同じ導電型の不純物をドーピングした高濃度不純物拡散領域 17 が設けられている。高濃度不純物拡散領域 17 の表面には第二パッシベーション層 14 が除かれた開口部があり、高濃度不純物拡散領域 17 と第二電極 16 とが直接コンタクトしている。

【0064】

以上で説明した太陽電池 10, 20 は、その光電変換部が、無機半導体、有機半導体または化合物半導体からなる結晶であってもよいし、無機半導体、有機半導体または化合物半導体からなる薄膜であってもよい。

30

例えば、第一導電型層 11 が結晶シリコン基板に P (リン) をドーピングした n 型導電層であり、第二導電型層 12 が結晶シリコン基板に B (ボロン) をドーピングした p 型導電層である場合が挙げられる。

以上に示した実施例においては、Al, Y, および Hf から選ばれる 2 種の元素の酸化物を含むパッシベーション層を例示したが、本発明におけるパッシベーション膜はこれらに何ら限定されることなく、前記金属元素および半金属元素の中から選択される 2 つの元素の酸化物を含むものであってもよく、また、前記金属元素および半金属元素の中から選択される 2 つの元素の窒化物を含むものであってもよい。また、前記金属元素および半金属元素の中から選択される 2 つの元素の酸化物及び窒化物の両方を含むものであってもよい。

40

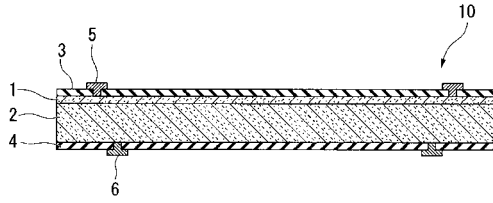
【符号の説明】

【0065】

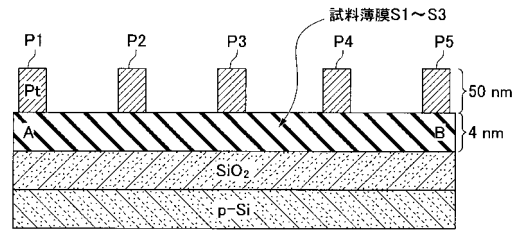
1 ... 第一導電型層、2 ... 第二導電型層、3 ... 第一パッシベーション層、4 ... 第二パッシベーション層、5 ... 第一電極、6 ... 第二電極、10 ... 太陽電池、11 ... 第一導電型層、12 ... 第二導電型層、13 ... 第一パッシベーション層、14 ... 第二パッシベーション層、15 ... 第一電極、16 ... 第二電極、17 ... 高濃度不純物拡散領域、20 ... 太陽電池、51 ... エキシマレーザ、52 ... TargetA、53 ... TargetB、54 ... プルーム、55 ... 可動マスク、56 ... 開口部、57 ... 光電変換部、58 ... 成膜室、P ... 真空ポンプ、G ... ガス流入口、60 ... 成膜装置。

50

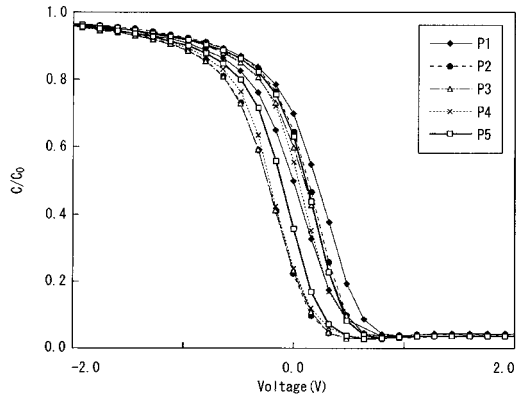
【 図 1 】



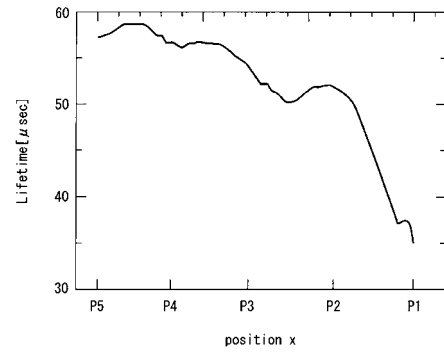
【 図 3 】



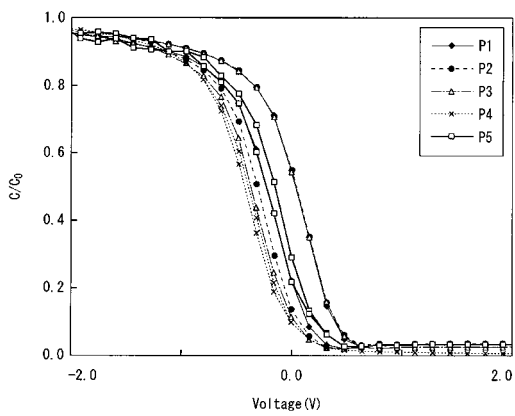
【 図 2 】



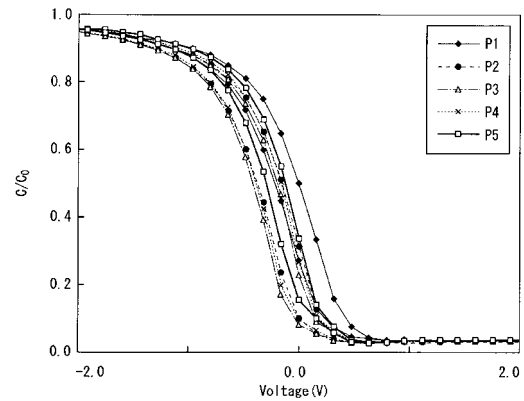
【 図 4 】



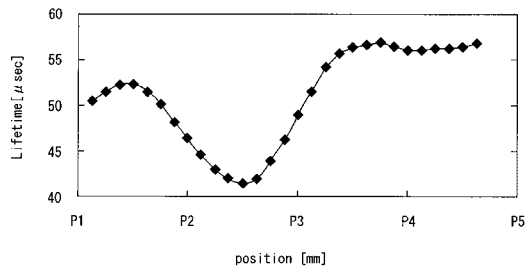
【 図 5 】



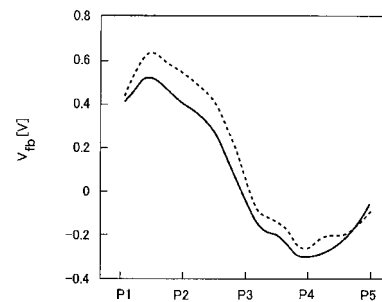
【 図 8 】



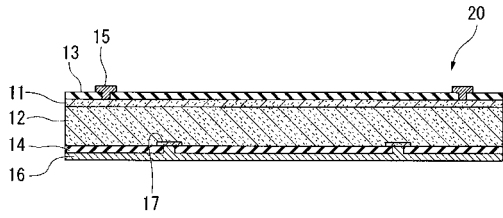
【 図 6 】



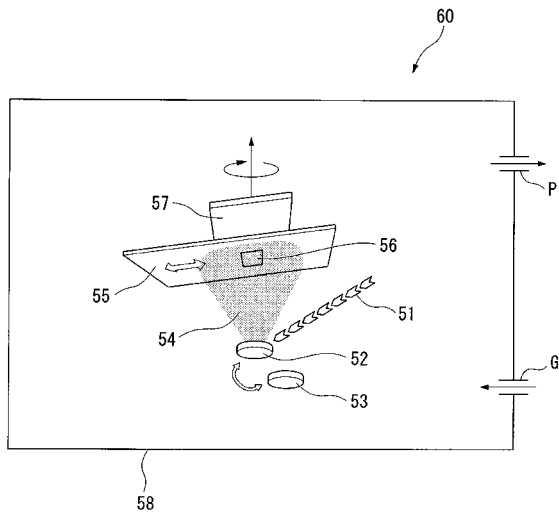
【 図 9 】



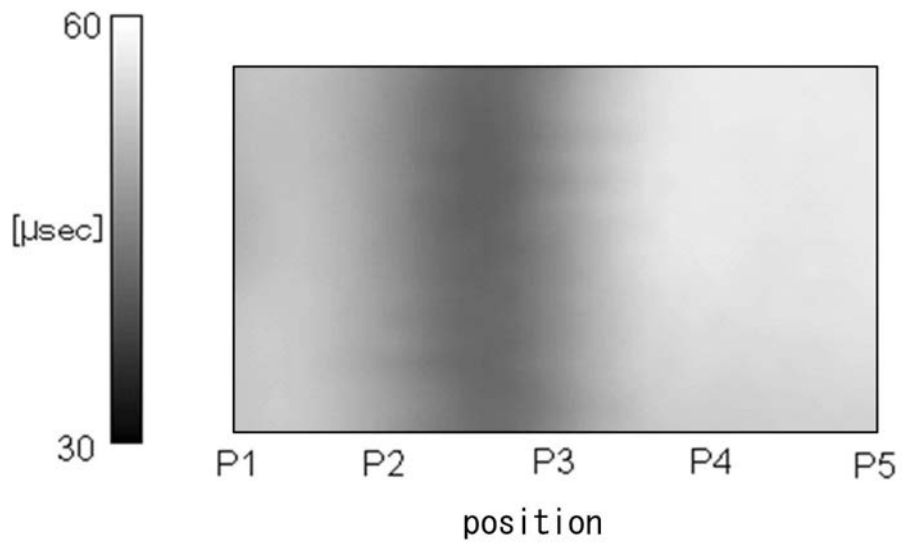
【図10】



【図11】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 知京 豊裕

茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立行政法人物質・材料研究機構内

審査官 眞壁 隆一

(56)参考文献 特開2008-010746(JP,A)

特開2010-067921(JP,A)

特許第4671002(JP,B2)

特開2004-221309(JP,A)

特開2005-217409(JP,A)

特開2011-114290(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 31/04 - 31/078