

(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2008-66719

(P2008-66719A)

(43) 公開日 平成20年3月21日(2008.3.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 31/04 (2006.01)	HO 1 L 31/04 E	5 F 0 5 1
HO 1 L 21/363 (2006.01)	HO 1 L 21/363	5 F 1 0 3

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2007-208729 (P2007-208729)  
 (22) 出願日 平成19年8月10日 (2007.8.10)  
 (31) 優先権主張番号 特願2006-217948 (P2006-217948)  
 (32) 優先日 平成18年8月10日 (2006.8.10)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(出願人による申告) 平成18年度、科学技術振興機構 (文部科学省) 委託研究 (戦略的創造研究推進事業)、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 504171134  
 国立大学法人 筑波大学  
 茨城県つくば市天王台一丁目1番1  
 (74) 代理人 100107191  
 弁理士 長濱 範明  
 (72) 発明者 末益 崇  
 茨城県つくば市天王台一丁目1番1 国立  
 大学法人筑波大学内  
 Fターム(参考) 5F051 AA07 CB12 DA05  
 5F103 AA04 DD30 GG01 HH03 HH04  
 JJ01 LL04 PP03 RR05

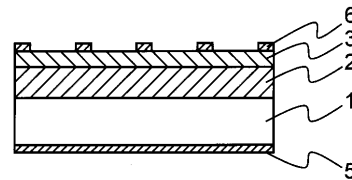
(54) 【発明の名称】 シリコンベースの高効率太陽電池およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】薄型でエネルギー変換効率が高いシリコンベースの太陽電池を提供すること。

【解決手段】少なくとも一方の表面がSiである基板1と、前記基板1のSi表面のうちの1つの表面上に配置されている、エピタキシャル成長により形成されたBa原子とSi原子とを含有するn型BaSi<sub>2</sub>層2と、前記n型BaSi<sub>2</sub>層2上に配置されている周期表13~15族に属する少なくとも1種の不純物原子とBa原子とSi原子とを含有するn<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層3と、前記n<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層3上に配置されている上部電極6と、前記基板1の一方の表面上に配置されている下部電極5と、を備えることを特徴とするシリコンベースの高効率太陽電池。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも一方の表面が Si である基板と、  
 前記基板の Si 表面のうちの 1 つの表面上に配置されている、エピタキシャル成長により形成された Ba 原子と Si 原子とを含有する n 型 BaSi<sub>2</sub> 層と、  
 前記 n 型 BaSi<sub>2</sub> 層上に配置されている周期表 13 ~ 15 族に属する少なくとも 1 種の不純物原子と Ba 原子と Si 原子とを含有する n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層と、  
 前記 n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層上に配置されている上部電極と、  
 前記基板の一方の表面上に配置されている下部電極と、  
 を備えることを特徴とするシリコンベースの高効率太陽電池。

10

## 【請求項 2】

前記 n 型 BaSi<sub>2</sub> 層と該 n 型 BaSi<sub>2</sub> 層が配置されている Si 表面との間に、周期表 9 ~ 10 族に属する少なくとも 1 種の金属原子と Si 原子とを含有する金属シリサイド層をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載のシリコンベースの高効率太陽電池。

## 【請求項 3】

前記下部電極が前記金属シリサイド層の一方の表面上に配置されていることを特徴とする請求項 2 に記載のシリコンベースの高効率太陽電池。

## 【請求項 4】

前記金属シリサイド層が Co 原子と Si 原子とを含有する CoSi<sub>2</sub> 層であることを特徴とする請求項 2 または 3 に記載のシリコンベースの高効率太陽電池。

20

## 【請求項 5】

前記 n 型 BaSi<sub>2</sub> 層および / または前記 n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層がさらに Sr 原子、Ca 原子および Mg 原子からなる群から選択される少なくとも 1 種のアルカリ土類金属原子を含むことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のうちのいずれか一項に記載のシリコンベースの高効率太陽電池。

## 【請求項 6】

前記 n 型 BaSi<sub>2</sub> 層の厚みが 0.2 ~ 1.0 μm であり、前記 n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層の厚みが 0.01 ~ 0.1 μm であることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のうちのいずれか一項に記載のシリコンベースの高効率太陽電池。

## 【請求項 7】

少なくとも一方の表面が Si である基板の Si 表面のうちの 1 つの表面に Ba 原子を導入して Si 原子と Ba 原子とを反応させてエピタキシャル成長により n 型 BaSi<sub>2</sub> 層を形成する工程と、

30

前記 n 型 BaSi<sub>2</sub> 層の表面に周期表 13 ~ 15 族に属する少なくとも 1 種の不純物原子と Ba 原子と Si 原子とを反応させて n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層を形成する工程と、

前記基板の一方の表面に下部電極を形成する工程と、

前記 n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層の表面に上部電極を形成する工程と、

を含むことを特徴とするシリコンベースの高効率太陽電池の製造方法。

## 【請求項 8】

前記 n 型 BaSi<sub>2</sub> 層を形成する工程において、前記基板の Si 表面のうちの 1 つの表面に Ba 原子を導入して Si 原子と Ba 原子とを反応させてエピタキシャル成長により n 型 BaSi<sub>2</sub> 極薄層を形成した後、さらに前記 n 型 BaSi<sub>2</sub> 極薄層上で Ba 原子と Si 原子とを反応させてエピタキシャル成長により前記 n 型 BaSi<sub>2</sub> 層を形成することを特徴とする請求項 7 に記載のシリコンベースの高効率太陽電池の製造方法。

40

## 【請求項 9】

少なくとも一方の表面が Si である基板の Si 表面のうちの 1 つの表面に周期表 9 ~ 10 族に属する金属原子を導入して Si 原子と前記金属原子とを反応させて金属シリサイド層を形成する工程と、

前記金属シリサイド層の表面に Si 極薄層を形成する工程と、

前記 Si 極薄層に Ba 原子を導入して Ba 原子と Si 原子とを反応させてエピタキシャ

50

ル成長によりn型BaSi<sub>2</sub>層を形成する工程と、

前記n型BaSi<sub>2</sub>層の表面に周期表13～15族に属する少なくとも1種の不純物原子とBa原子とSi原子とを反応させてn<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層を形成する工程と、

前記金属シリサイド層の一方の表面または前記基板の一方の表面に下部電極を形成する工程と、

前記n<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層の表面に上部電極を形成する工程と、  
を含むことを特徴とするシリコンベースの高効率太陽電池の製造方法。

【請求項10】

前記n型BaSi<sub>2</sub>層を形成する工程において、前記Si極薄層にBa原子を導入してSi原子とBa原子とを反応させてエピタキシャル成長によりn型BaSi<sub>2</sub>極薄層を形成した後、さらに前記n型BaSi<sub>2</sub>極薄層上でBa原子とSi原子とを反応させてエピタキシャル成長により前記BaSi<sub>2</sub>層を形成することを特徴とする請求項9に記載のシリコンベースの高効率太陽電池の製造方法。

10

【請求項11】

前記n型BaSi<sub>2</sub>層を形成する工程においてエピタキシャル成長させる際に、さらにSr原子、Ca原子およびMg原子からなる群から選択される少なくとも1種のアルカリ土類金属原子を反応させることを特徴とする請求項8または10に記載のシリコンベースの高効率太陽電池の製造方法。

【請求項12】

前記n<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層を形成する工程においてエピタキシャル成長させる際に、さらにSr原子、Ca原子およびMg原子からなる群から選択される少なくとも1種のアルカリ土類金属原子を反応させることを特徴とする請求項7～11のうちのいずれか一項に記載のシリコンベースの高効率太陽電池の製造方法。

20

【請求項13】

前記n型BaSi<sub>2</sub>層の厚みが0.2～1.0μmであり、前記n<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層の厚みが0.01～0.1μmであることを特徴とする請求項7～12のうちのいずれか一項に記載のシリコンベースの高効率太陽電池の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、シリコンベースの高効率太陽電池およびその製造方法に関し、より詳しくは、BaSi<sub>2</sub>系半導体を用いたシリコンベースの高効率太陽電池およびその製造方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

従来の太陽電池の95%以上はSi素材の半導体がいわれている。しかしながら、Si半導体は禁制帯幅が1.1eVであり、従来の太陽電池では十分なエネルギー変換効率を得られていない。また、Si半導体は光吸収係数が小さく、十分な光吸収効率を得るためには100μm以上の厚みが必要であり、太陽電池の薄型化には不向きであった。

【0003】

太陽電池のエネルギー変換効率を向上させるためにシリコンベースの半導体の禁制帯幅を拡げることが試みられている。特開2005-294810号公報(特許文献1)には、BaSi<sub>2</sub>にSr原子、Ca原子、Mg原子などのアルカリ土類金属原子をドーブした混晶半導体薄膜が開示されている。特に、アルカリ土類金属原子としてSr原子をドーブした混晶半導体薄膜は光吸収係数が大きく、禁制帯幅が約1.4eVであることが開示されている。

40

【特許文献1】2005-294810号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

50

本発明は、上記従来技術の有する課題に鑑みてなされたものであり、薄型でエネルギー変換効率が高いシリコンベースの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】

【0005】

本発明者は、上記目的を達成すべく鋭意研究を重ねた結果、 $BaSi_2$ 系半導体に特定の原子をドーピングすることにより $BaSi_2$ 系半導体の電子密度を高めることができ、その結果、この高電子密度の $BaSi_2$ 系半導体を備える太陽電池が高いエネルギー変換効率を示すことを見出し、本発明を完成するに至った。

【0006】

すなわち、本発明のシリコンベースの高効率太陽電池は、少なくとも一方の表面がSiである基板と、前記基板のSi表面のうちの1つの表面上に配置されている、エピタキシャル成長により形成されたBa原子とSi原子とを含有するn型 $BaSi_2$ 層と、前記n型 $BaSi_2$ 層上に配置されている周期表13～15族に属する少なくとも1種の不純物原子とBa原子とSi原子とを含有する $n^+$ 型 $BaSi_2$ 層と、前記 $n^+$ 型 $BaSi_2$ 層上に配置されている上部電極と、前記基板の一方の表面上に配置されている下部電極と、を備えることを特徴とするものである。

10

【0007】

本発明のシリコンベースの高効率太陽電池は、前記n型 $BaSi_2$ 層と該n型 $BaSi_2$ 層が配置されているSi表面との間に、周期表9～10族に属する少なくとも1種の金属原子とSi原子とを含有する金属シリサイド層をさらに備えることが好ましい。

20

【0008】

前記下部電極は前記金属シリサイド層の一方の表面上に配置されていることが好ましい。前記金属シリサイド層はCo原子とSi原子とを含有する $CoSi_2$ 層であることが好ましい。

【0009】

前記n型 $BaSi_2$ 層および/または前記 $n^+$ 型 $BaSi_2$ 層はさらにSr原子、Ca原子およびMg原子からなる群から選択される少なくとも1種のアルカリ土類金属原子を含むことが好ましい。

【0010】

前記n型 $BaSi_2$ 層の厚みは $0.2 \sim 1.0 \mu m$ であることが好ましく、前記 $n^+$ 型 $BaSi_2$ 層の厚みは $0.01 \sim 0.1 \mu m$ であることが好ましい。

30

【0011】

本発明のシリコンベースの高効率太陽電池の第一の製造方法は、少なくとも一方の表面がSiである基板のSi表面のうちの1つの表面にBa原子を導入してSi原子とBa原子とを反応させてエピタキシャル成長によりn型 $BaSi_2$ 層を形成する工程と、前記n型 $BaSi_2$ 層の表面に周期表13～15族に属する少なくとも1種の不純物原子とBa原子とSi原子とを反応させて $n^+$ 型 $BaSi_2$ 層を形成する工程と、前記基板の一方の表面に下部電極を形成する工程と、前記 $n^+$ 型 $BaSi_2$ 層の表面に上部電極を形成する工程と、を含むことを特徴とするものである。

40

【0012】

前記第一の製造方法では、前記n型 $BaSi_2$ 層を形成する工程において、前記基板のSi表面のうちの1つの表面にBa原子を導入してSi原子とBa原子とを反応させてエピタキシャル成長によりn型 $BaSi_2$ 極薄層を形成した後、さらに前記n型 $BaSi_2$ 極薄層上でBa原子とSi原子とを反応させてエピタキシャル成長により前記n型 $BaSi_2$ 層を形成することが好ましい。

【0013】

本発明のシリコンベースの高効率太陽電池の第二の製造方法は、少なくとも一方の表面がSiである基板のSi表面のうちの1つの表面に周期表9～10族に属する金属原子を導入してSi原子と前記金属原子とを反応させて金属シリサイド層を形成する工程と、前記金属シリサイド層の表面にSi極薄層を形成する工程と、前記Si極薄層にBa原子を

50

導入してBa原子とSi原子とを反応させてエピタキシャル成長によりn型BaSi<sub>2</sub>層を形成する工程と、前記n型BaSi<sub>2</sub>層の表面に周期表13～15族に属する少なくとも1種の不純物原子とBa原子とSi原子とを反応させてn<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層を形成する工程と、前記金属シリサイド層の一方の表面または前記基板の一方の表面に下部電極を形成する工程と、前記n<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層の表面に上部電極を形成する工程と、を含むことを特徴とするものである。

【0014】

前記第二の製造方法では、前記n型BaSi<sub>2</sub>層を形成する工程において、前記Si極薄層にBa原子を導入してSi原子とBa原子とを反応させてエピタキシャル成長によりn型BaSi<sub>2</sub>極薄層を形成した後、さらに前記n型BaSi<sub>2</sub>極薄層上でBa原子とSi原子とを反応させてエピタキシャル成長により前記BaSi<sub>2</sub>層を形成することが好ましい。

10

【0015】

前記第一および第二の製造方法の前記n型BaSi<sub>2</sub>層を形成する工程においてエピタキシャル成長させる際に、さらにSr原子、Ca原子およびMg原子からなる群から選択される少なくとも1種のアルカリ土類金属原子を反応させることが好ましい。

【0016】

前記第一および第二の製造方法の前記n<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層を形成する工程においてエピタキシャル成長させる際に、さらにSr原子、Ca原子およびMg原子からなる群から選択される少なくとも1種のアルカリ土類金属原子を反応させることが好ましい。

20

【0017】

前記第一および第二の製造方法において、前記n型BaSi<sub>2</sub>層の厚みを0.2～1.0μmにすることが好ましく、前記n<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層の厚みを0.01～0.1μmにすることが好ましい。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、電子密度の高いBaSi<sub>2</sub>系n<sup>+</sup>型半導体を形成することができ、薄型でエネルギー変換効率が高いシリコンベースの太陽電池を得ることが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、以下の説明および図面中、同一または相当する要素には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

30

【0020】

まず、本発明のシリコンベースの高効率太陽電池について説明する。本発明のシリコンベースの高効率太陽電池は、図1および図2に示すように、少なくとも一方の表面がSiである基板1(Si表面は図示なし。他の図面も同様。)と、前記基板1のSi表面のうちの1つの表面上に配置されている、エピタキシャル成長により形成されたBa原子とSi原子とを含有するn型BaSi<sub>2</sub>層2と、前記n型BaSi<sub>2</sub>層2上に配置されている周期表13～15族に属する少なくとも1種の不純物原子とBa原子とSi原子とを含有するn<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層3と、前記n<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層3上に配置されている上部電極6と、前記基板1の一方の表面上に配置されている下部電極5と、を備えることを特徴とするものである。前記下部電極5は、図1に示すように、前記基板1のn型BaSi<sub>2</sub>層2が配置されている面と反対側の表面上に配置されていてもよいし、図2に示すように、前記基板1のn型BaSi<sub>2</sub>層2が配置されている表面上に配置されていてもよい。

40

【0021】

なお、本発明において、「n型」の半導体とは電子密度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満のものを意味し、「n<sup>+</sup>型」の半導体とは電子密度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上のものを意味する。

【0022】

50

また、本発明のシリコンベースの高効率太陽電池は、図3および図4に示すように、前記n型BaSi<sub>2</sub>層2とこのn型BaSi<sub>2</sub>層2が配置されているSi表面との間に、周期表9~10族に属する少なくとも1種の金属原子とSi原子とを含有する金属シリサイド層4をさらに備えることが好ましい。前記n型BaSi<sub>2</sub>層2を前記金属シリサイド層4上に形成すると結晶品質のよいn型BaSi<sub>2</sub>層2が形成でき、金属シリサイドの仕事関数とBaSi<sub>2</sub>の電子親和力の差が大きいため、開放電圧が大きな太陽電池を得ることができる。

#### 【0023】

また、下部電極5は前記金属シリサイド層4の一方の表面上または前記基板1の一方の表面上に配置される。具体的には、下部電極5は、前記基板1の金属シリサイド層4が配置されている面と反対側の表面上に配置されていてもよいし(図3)、前記基板1の金属シリサイド層4が配置されている表面上に配置されていてもよい(図面なし)。また、前記金属シリサイド層4のn型BaSi<sub>2</sub>層2が配置されている表面上に配置されていてもよいし(図4)、前記金属シリサイド層4のn型BaSi<sub>2</sub>層2が配置されている面と反対側の表面上に配置されていてもよい(図面なし)。これらのうち、電極との接触抵抗を含めた太陽電池の全体の直接抵抗の低減の観点から、下部電極5は前記金属シリサイド層4の一方の表面上に配置されていることが好ましい。

10

#### 【0024】

本発明のシリコンベースの高効率太陽電池は例えば以下の方法により製造できる。図5には下記製造方法の各工程終了時に得られる太陽電池材料または太陽電池の断面図を示す。

20

#### 【0025】

本発明のシリコンベースの高効率太陽電池の第一の製造方法では、先ず、少なくとも一方の表面がSiである基板1のSi表面のうちの1つの表面にBa原子を導入する。前記基板1は、全体がSiであってもよいが、経済的な観点からガラス基板などの安価な基材の表面にSi層を形成した基板が好ましい。また、前記Ba原子が導入されるSi表面は、結晶品質のよいn型BaSi<sub>2</sub>層2が形成できる点でSi(111)表面であることがより好ましい。ガラス基板などの基材の表面にSi(111)層を形成する方法としては、Oliver Nast and Stuart R. Wenham, Journal of Applied Physics, Vol. 88, 124 (2000)に記載の方法が挙げられる。導入されたBa原子は前記Si表面近傍のSi原子と反応してn型BaSi<sub>2</sub>極薄層を形成する。このn型BaSi<sub>2</sub>極薄層の厚みは通常10~20nmである。

30

#### 【0026】

Ba原子の導入方法としては、従来公知の原子導入方法を採用できるが、液相エピタキシー法、気相エピタキシー法、分子線エピタキシー法などの従来公知のエピタキシー法が好ましい。これらのうち、400~600に加熱した基板1のSi表面にBa原子を超高真空下(好ましくは0.001~0.01mPa)で蒸着させ、Ba原子とSi原子とを反応させてエピタキシャル成長させる方法(熱反応堆積エピタキシー法(RDE法))がより好ましい。この方法により格子欠陥の少ない結晶を得ることができる。Ba原子の蒸着速度は1~2nm/分であることが好ましい。

40

#### 【0027】

第一の製造方法では、前記n型BaSi<sub>2</sub>極薄層をそのままn型BaSi<sub>2</sub>層2として使用してもよいし、前記n型BaSi<sub>2</sub>極薄層上でSi原子とBa原子とを反応させてエピタキシャル成長により厚肉のn型BaSi<sub>2</sub>層2を形成してもよい。前記n型BaSi<sub>2</sub>層2の厚みは0.2~1.0μmであることが好ましい。n型BaSi<sub>2</sub>層2の厚みが上記下限未満になると太陽光を十分に吸収できない傾向にある。他方、上記上限を超えるとn型BaSi<sub>2</sub>層に内蔵電場の無い中性領域が存在するため、光照射によって生じた電子・正孔対の大部分が再結合により消滅してしまう傾向にある。

#### 【0028】

50

エピタキシャル成長させる方法としては、液相エピタキシー法、気相エピタキシー法、分子線エピタキシー法などの従来公知のエピタキシー法が挙げられる。これらのうち、超高真空下（好ましくは $0.001 \sim 0.01 \text{ mPa}$ ）で、 $400 \sim 600$  に加熱した前記 $n$ 型 $\text{BaSi}_2$ 極薄層に直接 $\text{Ba}$ 原子と $\text{Si}$ 原子とを同時に照射して蒸着させ、 $\text{Ba}$ 原子と $\text{Si}$ 原子とを反応させる方法（分子線エピタキシー法（MBE法））が好ましい。この方法により格子欠陥の少ない結晶を得ることができる。各原子の蒸着速度比（ $\text{Ba} : \text{Si}$ ）は $1.0 \sim 2.0 \text{ nm/分} : 0.5 \sim 1.0 \text{ nm/分}$ であることが好ましい。

【0029】

また、第一の製造方法では、前記 $n$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層2に $\text{Sr}$ 原子、 $\text{Ca}$ 原子および $\text{Mg}$ 原子からなる群から選択される少なくとも1種のアルカリ土類金属原子を含有させることが好ましい。前記 $n$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層2に前記アルカリ土類金属原子を含有させると $n$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層2の禁制帯幅を拡大させることができ、光電変換効率に優れた太陽電池を得ることができる。

10

【0030】

また、前記 $n$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層2中の $\text{Ba}$ 原子 $1 \text{ mol}$ に対する前記アルカリ土類金属原子の含有量は約 $1 \text{ mol}$ であることが好ましい。前記アルカリ土類金属原子の含有量が上記下限未満になると禁制帯幅が太陽電池としてふさわしい値（ $1.4 \text{ eV}$ ）にまで拡大しない傾向にある。他方、上記上限を超えると $n$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層2の結晶品質が低下する傾向にある。

【0031】

20

前記 $n$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層2に前記アルカリ土類金属原子を含有させる方法としては、例えば、エピタキシャル成長させる際に $\text{Ba}$ 原子および $\text{Si}$ 原子に加えて前記アルカリ土類金属原子を同時に照射して蒸着させ、 $\text{Ba}$ 原子と $\text{Si}$ 原子と前記アルカリ土類金属原子とを反応させてエピタキシャル成長させる方法が挙げられる。各原子の蒸着速度比（ $\text{Ba} : \text{Si} : \text{アルカリ土類金属}$ ）は $1.0 \sim 2.0 \text{ nm/分} : 0.5 \sim 1.0 \text{ nm/分} : 1.0 \sim 2.0 \text{ nm/分}$ であることが好ましい。

【0032】

図5(a)は、このようにして得られた $n$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層2を基板1の $\text{Si}$ 表面上に備える太陽電池材料の断面図である。

【0033】

30

次に、この $n$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層2の表面に周期表13～15族に属する少なくとも1種の不純物原子と $\text{Ba}$ 原子と $\text{Si}$ 原子とを反応させて $n^+$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層3を形成する。 $\text{BaSi}_2$ 層に前記不純物原子をドーピングすることにより、より電子密度の高い $n^+$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層3を形成することができ、電極と太陽電池の接触抵抗が小さいため、直列抵抗による光電変換効率の低下を抑制した太陽電池を得ることができる。また、この観点から $\text{Sb}$ 原子、 $\text{Ga}$ 原子をドーピングすることが好ましい。

【0034】

前記 $n^+$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層3中の $\text{Si}$ 原子 $1 \text{ mol}$ に対する前記不純物原子の含有量は $0.1 \sim 3 \text{ mmol}$ であることが好ましく、 $1 \sim 3 \text{ mmol}$ であることがより好ましい。不純物原子の含有量が上記下限未満になると電極と太陽電池の接触抵抗が大きくなる傾向にある。他方、上記上限を超えると $n^+$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層の結晶品質が低下する傾向にある。

40

【0035】

前記 $n^+$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層3の厚みは $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ であることが好ましい。 $n^+$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層3の厚みが上記下限未満になると電極と太陽電池の接触抵抗が大きくなる傾向にある。他方、上記上限を超えると太陽電池表面で太陽光が反射され、光電変換効率が低下する傾向にある。

【0036】

前記不純物原子をドーピングする方法としては、前記 $n$ 型 $\text{BaSi}_2$ 層2の表面に周期表13～15族に属する少なくとも1種の不純物原子と $\text{Ba}$ 原子と $\text{Si}$ 原子とを蒸着させる方法が挙げられる。特に、超高真空下（好ましくは $0.001 \sim 0.01 \text{ mPa}$ ）で、 $40$

50

0 ~ 600 に加熱した前記 n 型 BaSi<sub>2</sub> 層 2 に Ba 原子と Si 原子と前記不純物原子とを直接、同時に照射して蒸着させ、Ba 原子と Si 原子と前記不純物原子とを反応させる方法が好ましい。この方法により格子欠陥の少ない結晶を得ることができる。各原子の蒸着速度比 (Ba : Si : 不純物) は 1.0 ~ 2.0 nm / 分 : 0.5 ~ 1.0 nm / 分 : 0.0001 ~ 0.001 nm / 分であることが好ましい。

【0037】

また、第一の製造方法では、前記 n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 3 に Sr 原子、Ca 原子および Mg 原子からなる群から選択される少なくとも 1 種のアルカリ土類金属原子を含有させることが好ましい。前記 n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 3 に前記アルカリ土類金属原子を含有させると n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 3 の禁制帯幅を拡大させることができ、光電変換効率に優れた太陽電池を得ることができる。

10

【0038】

また、前記 n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 3 中の Ba 原子 1 mol に対する前記アルカリ土類金属原子の含有量は約 1 mol であることが好ましい。前記アルカリ土類金属原子の含有量が上記下限未満になると禁制帯幅が太陽電池としてふさわしい値 (1.4 eV) にまで拡大しない傾向にある。他方、上記上限を超えると n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 3 の結晶品質が低下する傾向にある。

【0039】

前記 n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 3 に前記アルカリ土類金属原子を含有させる方法としては、例えば、Ba 原子、Si 原子および前記不純物原子を蒸着させる際にこれらの原子に加えて前記アルカリ土類金属原子を同時に照射して蒸着させ、Ba 原子と Si 原子と前記不純物原子と前記アルカリ土類金属原子とを反応させる方法が挙げられる。各原子の蒸着速度比 (Ba : Si : 不純物 : アルカリ土類金属) は 1.0 ~ 2.0 nm / 分 : 0.5 ~ 1.0 nm / 分 : 0.0001 ~ 0.001 nm / 分 : 1.0 ~ 2.0 nm / 分であることが好ましい。

20

【0040】

図 5 (b) は、このようにして得られた n 型 BaSi<sub>2</sub> 層 2 および n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 3 を基板 1 の Si 表面上に備える太陽電池材料の断面図である。

【0041】

次に、この太陽電池材料に従来公知の方法により電極を形成する。具体的には、前記太陽電池材料の基板 1 の一方の表面に下部電極 5 を形成し、前記 n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 3 の表面に上部電極 6 を形成する。これらの電極はいずれの順序で形成してもよい。図 5 (c) は、前記基板 1 の n 型 BaSi<sub>2</sub> 層 2 が配置されている面と反対側の表面に下部電極 5 を備える太陽電池材料の断面図であり、図 5 (d) は、前記基板 1 の n 型 BaSi<sub>2</sub> 層 2 が配置されている面と反対側の表面に下部電極 5 を備える、本発明の太陽電池の断面図である。また、下部電極 5 は、図 2 に示すように、前記基板 1 の n 型 BaSi<sub>2</sub> 層 2 が配置されている表面に形成してもよい。前記上部電極 6 および下部電極 5 としては、従来公知の太陽電池に用いられる銀電極などの金属電極が好ましい。

30

【0042】

また、本発明のシリコンベースの高効率太陽電池が、図 3 および図 4 に示すように、金属シリサイド層を備える場合には例えば以下の方法によって製造できる。図 6 には下記製造方法の各工程終了時に得られる太陽電池材料または太陽電池の断面図を示す。

40

【0043】

本発明のシリコンベースの高効率太陽電池の第二の製造方法では、先ず、少なくとも一方の表面が Si である基板 1 の Si 表面のうちの 1 つの表面に周期表 13 ~ 15 族に属する金属原子を導入する。前記基板 1 は、全体が Si であってもよいが、経済的な観点からガラス基板などの安価な基材の表面に Si 層を形成した基板が好ましい。また、前記金属原子が導入される Si 表面は Si (111) 表面であることがより好ましい。Si (111) 表面に前記金属原子を導入すると結晶品質のよい金属シリサイド層 4 が形成でき、さらに結晶品質のよい n 型 BaSi<sub>2</sub> 層 2 が形成できる。導入された前記金属原子は前記 S

50



i 表面近傍の Si 原子と反応して金属シリサイド層 4 を形成する。このように基板 1 の Si 表面上に金属シリサイド層 4 を形成すると前記金属シリサイド層 4 上に形成される n 型 BaSi<sub>2</sub> 層 2 の結晶品質が良好となり、金属シリサイドの仕事関数と BaSi<sub>2</sub> の電子親和力の差が大きいため、開放電圧が大きな太陽電池を得ることができる。また、この観点から前記金属シリサイドのうち、BaSi<sub>2</sub> に近似の格子定数を有する金属シリサイドが好ましく、CoSi<sub>2</sub> がより好ましい。

【0044】

前記金属シリサイド層 4 の厚みは 10 ~ 40 nm であることが好ましい。金属シリサイド層 4 の厚みが上記下限未満になると金属シリサイドの抵抗が大きくなり、太陽電池の光電変換効率が低下する傾向にある。他方、上記上限を超えると金属シリサイドの結晶品質が低下し、その上の n 型 BaSi<sub>2</sub> 層 2 の結晶の質の低下を招く傾向にある。

10

【0045】

前記金属原子の導入方法としては、従来公知の原子導入方法を採用できるが、液相エピタキシー法、気相エピタキシー法、分子線エピタキシー法などの従来公知のエピタキシー法が好ましい。これらのうち、室温で基板 1 の Si 表面に前記金属を超高真空下（好ましくは 0.001 ~ 0.01 mPa）で蒸着させ、例えば 600 ~ 700 で 5 分間アニールすることにより前記金属原子と Si 原子とを反応させてエピタキシャル成長させる方法（反応堆積エピタキシー法（RDE 法））がより好ましい。この方法により格子欠陥の少ない結晶を得ることができる。前記金属の蒸着速度は 1 ~ 2 nm / 分であることが好ましい。

20

【0046】

図 6 (a) は、このようにして得られた金属シリサイド層 4 を基板 1 の Si 表面上に備える太陽電池材料の断面図である。

【0047】

次に、この金属シリサイド層 4 の表面に Si 極薄層 2a を形成する。この Si 極薄層 2a をテンプレートとして後述する BaSi<sub>2</sub> 層を形成することにより結晶性の n 型 BaSi<sub>2</sub> 層 2 を前記金属シリサイド層 4 上に形成することができる。一方、前記 Si 極薄層 2a を形成せずに金属シリサイド層 4 上に直接 BaSi<sub>2</sub> 層を形成するとアモルファスの BaSi<sub>2</sub> 層が形成される。

【0048】

前記 Si 極薄層 2a の厚みは 10 ~ 15 nm であることが好ましい。Si 極薄層 2a の厚みが上記下限未満になると後述する n 型 BaSi<sub>2</sub> 極薄層が薄くなる傾向にある。他方、上記上限を超えると n 型 BaSi<sub>2</sub> 極薄層が厚くなり、結晶品質が低下する傾向にある。

30

【0049】

Si 極薄層 2a の形成方法としては、従来公知の Si 薄膜形成方法を採用できるが、液相エピタキシー法、気相エピタキシー法、分子線エピタキシー法などの従来公知のエピタキシー法が好ましい。これらのうち、超高真空下（好ましくは 0.001 ~ 0.01 mPa）で、500 ~ 600 に加熱した前記金属シリサイド層 4 に直接 Si 原子を照射して蒸着させ、Si 原子を堆積させる方法（分子線エピタキシー法（MBE 法））がより好ましい。この方法により格子欠陥の少ない結晶を得ることができる。Si 原子の蒸着速度は 0.5 ~ 1.0 nm / 分であることが好ましい。

40

【0050】

図 6 (b) は、このようにして得られた Si 極薄層 2a および金属シリサイド層 4 を基板 1 の Si 表面上に備える太陽電池材料の断面図である。

【0051】

次に、この Si 極薄層 2a に Ba 原子を導入する。導入された Ba 原子は前記 Si 極薄層 2a 中の Si 原子と反応して n 型 BaSi<sub>2</sub> 極薄層を形成する。この n 型 BaSi<sub>2</sub> 極薄層の厚みは 10 ~ 20 nm であることが好ましい。Ba 原子の導入方法としては前記第一の製造方法と同様の方法が好ましく、格子欠陥の少ない結晶を得ることができる点で反

50

応堆積エピタキシー法（RDE法）がより好ましい。

【0052】

第二の製造方法においても前記第一の製造方法の場合と同様に、前記n型BaSi<sub>2</sub>極薄層をそのままn型BaSi<sub>2</sub>層2として使用してもよいし、前記n型BaSi<sub>2</sub>極薄層上でSi原子とBa原子とを反応させてエピタキシャル成長により厚肉のn型BaSi<sub>2</sub>層2を形成してもよい。また、前記n型BaSi<sub>2</sub>層2における厚み、エピタキシャル成長方法、アルカリ土類金属原子の含有についても前記第一の製造方法の場合と同様である。

【0053】

図6(c)は、このようにして得られた金属シリサイド層4およびn型BaSi<sub>2</sub>層2を基板1のSi表面上に備える太陽電池材料の断面図である。

10

【0054】

次に、前記第一の製造方法の場合と同様の観点から、前記n型BaSi<sub>2</sub>層2の表面に周期表13～15族に属する少なくとも1種の不純物原子とBa原子とSi原子とを含有するn<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層3を形成する。また、前記n<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層3における不純物原子の含有量、厚み、前記不純物原子のドーピング方法、アルカリ土類金属原子の含有についても前記第一の製造方法の場合と同様である。

【0055】

図6(d)は、このようにして得られた金属シリサイド層4、n型BaSi<sub>2</sub>層2およびn<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層3を基板1のSi表面上に備える太陽電池材料の断面図である。

20

【0056】

その後、前記第一の製造方法の場合と同様に、この太陽電池材料に電極を形成する。上部電極6は前記n<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層3の表面に形成し、下部電極5は前記金属シリサイド層4の一方の表面または前記基板1の一方の表面に形成する。これらの電極はいずれの順序で形成してもよい。図6(e)は、前記基板1の金属シリサイド層4が配置されている面と反対側の表面に下部電極5を備える太陽電池材料の断面図であり、図6(f)は、前記基板1の金属シリサイド層4が配置されている面と反対側の表面に下部電極5を備える、本発明の太陽電池の断面図である。また、下部電極5は、前記基板1の金属シリサイド層4が配置されている表面に形成してもよいし（図面なし）、前記金属シリサイド層4のn型BaSi<sub>2</sub>層2が配置されている表面に形成してもよいし（図4）、前記金属シリサイド層4のn型BaSi<sub>2</sub>層2が配置されている面と反対側の表面に形成してもよい（図面なし）。前記上部電極6および下部電極5としては、従来公知の太陽電池に用いられる銀電極などの金属電極が好ましい。

30

【0057】

このようにして得られた本発明のシリコンベースの高効率太陽電池は、高電子密度のn<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層3がn型BaSi<sub>2</sub>層2上に形成されているため、電極との接触抵抗が小さく、直列抵抗による光電変換効率の低下を抑制することができる。また、BaSi<sub>2</sub>の光吸収係数が大きい（Siの100倍）ことからn型BaSi<sub>2</sub>層2およびn<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層3の厚みを薄くしても十分に太陽光を吸収することができ、また、薄くすることによりSiの量を低減でき、さらに光吸収領域全域にわたって大きな内蔵電位を印加できる。さらに、n型BaSi<sub>2</sub>層2の結晶品質が高く、格子欠陥の密度が低いいため、基板1のSi表面または金属シリサイド層4とn型BaSi<sub>2</sub>層2との間で形成されるショットキー接合において大きな内蔵電位を得ることができる。これらにより本発明のシリコンベースの高効率太陽電池はエネルギー変換効率に優れたものとなる。

40

【実施例】

【0058】

以下、実施例および比較例に基づいて本発明をより具体的に説明するが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。なお、得られた太陽電池材料の特性は以下の方法により評価した。

【0059】

50

## ( 1 ) 反射高速電子線回折 ( R H E E D )

太陽電池材料の各層形成後の表面の結晶構造を反射高速電子線回折装置 ( A N E L V A 社製、型番 : V T - 5 8 0 - 0 1 7 ) により観察した。

## 【 0 0 6 0 】

## ( 2 ) X 線回折 ( X R D )

太陽電池材料の結晶構造を X 線回折 ( ( 株 ) リガク製 R I N T 2 0 0 0 シリーズ ) により観察した。

## 【 0 0 6 1 】

## ( 3 ) 伝導型およびキャリア密度

伝導型およびキャリア密度を H a l l 測定により評価した。電流源として ( 株 ) アドバンテスト製 R 6 2 4 0 A を用い、電圧計として ( 株 ) アドバンテスト製 R 6 4 4 1 D を用い、磁場発生源として電子磁気工業 ( 株 ) 製の直流電源装置を用い、室温で測定した。

10

## 【 0 0 6 2 】

## ( 4 ) 電流 - 電圧特性 ( 暗電流特性 )

得られた太陽電池の  $n^+$  型 B a S i <sub>2</sub> 層に対して C o S i <sub>2</sub> 層にカーブトレーサー装置 ( 菊水電子社製、型番 : 5 8 0 2 ) を用いて正極の電圧を - 9 V から + 9 V まで室温で印加し、流れた電流量を前記カーブトレーサー装置を用いて測定した。

## 【 0 0 6 3 】

## ( 実施例 1 )

図 7 に示す断面構造を有する太陽電池を作製した。結晶成長には分子線エピタキシー結晶成長装置 ( R I B E R 社製、型番 : M B E - 2 3 0 0 ) を使用した。まず、超高真空チャンパー内 ( 0 . 0 0 0 1 m P a ) で p 型の S i 基板 1 1 を 8 5 0 ° C で 3 0 分間加熱して基板表面の酸化膜を除去し、S i ( 1 1 1 ) 清浄表面を得た。次いで、室温で C o 分子を蒸着速度 2 n m / 分で前記 S i ( 1 1 1 ) 清浄表面に蒸着させ、前記 S i 基板 1 1 上に 7 n m 厚の C o 層を形成した。この基板を 7 0 0 ° C で 5 分間アニール処理して C o 原子と S i 原子とを反応させ、前記 S i 基板 1 1 上に 2 0 n m 厚の C o S i <sub>2</sub> 層 1 4 を形成した。C o S i <sub>2</sub> 層 1 4 形成後の太陽電池材料の R H E E D パターンを図 8 に示す。

20

## 【 0 0 6 4 】

次に、C o S i <sub>2</sub> 層 1 4 を形成した前記太陽電池材料を 5 9 0 ° C で加熱しながら S i 原子を蒸着速度 1 n m / 分で前記 C o S i <sub>2</sub> 層 1 4 の表面に蒸着させ、前記 C o S i <sub>2</sub> 層 1 4 上に 1 0 n m 厚の S i 極薄層を形成した。S i 極薄層形成後の太陽電池材料の R H E E D パターンを図 9 に示す。

30

## 【 0 0 6 5 】

次に、S i 極薄層を形成した前記太陽電池材料を 5 5 0 ° C で加熱ながら B a 原子を蒸着速度 1 . 5 n m / 分で前記 S i 極薄層の表面に蒸着させ、B a 原子と S i 原子とを反応させて前記 C o S i <sub>2</sub> 層 1 4 上に 2 0 n m 厚の B a S i <sub>2</sub> 極薄層を形成した。この B a S i <sub>2</sub> 極薄層の伝導型および電子密度を H a l l 測定により確認したところ、電子密度が  $8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  の n 型であった。また、この n 型 B a S i <sub>2</sub> 極薄層形成後の太陽電池材料の R H E E D パターンを図 1 0 に示す。

40

## 【 0 0 6 6 】

次に、前記 n 型 B a S i <sub>2</sub> 極薄層をテンプレートとして B a S i <sub>2</sub> 層を成長させた。具体的には、n 型 B a S i <sub>2</sub> 極薄層を形成した前記太陽電池材料を 6 0 0 ° C で加熱ながら B a 原子 ( 蒸着速度 1 . 5 n m / 分 ) と S i 原子 ( 蒸着速度 0 . 8 n m / 分 ) とを同時に前記 n 型 B a S i <sub>2</sub> 極薄層の表面に蒸着させ、B a 原子と S i 原子とを反応させて前記 C o S i <sub>2</sub> 層 1 4 上に 2 0 0 n m 厚の B a S i <sub>2</sub> 層を形成した。この B a S i <sub>2</sub> 層の伝導型および電子密度を H a l l 測定により確認したところ、電子密度が  $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  の n 型であった。この n 型 B a S i <sub>2</sub> 層 1 2 形成後の太陽電池材料の R H E E D パターンを図 1 1 に示す。

## 【 0 0 6 7 】

次に、n 型 B a S i <sub>2</sub> 層 1 2 を形成した前記太陽電池材料を 6 0 0 ° C で加熱ながら B a

50

原子（蒸着速度  $1.5 \text{ nm/分}$ ）と Si 原子（蒸着速度  $0.8 \text{ nm/分}$ ）と Sb 原子（蒸着速度  $0.001 \text{ nm/分}$ ）とを同時に前記 n 型 BaSi<sub>2</sub> 層 12 の表面に蒸着させ、Ba 原子と Si 原子と Sb 原子とを反応させて前記 n 型 BaSi<sub>2</sub> 層 12 上に  $20 \text{ nm}$  厚の Sb ドープ BaSi<sub>2</sub> 層を形成した。この Sb ドープ BaSi<sub>2</sub> 層の伝導型および電子密度を Hall 測定により確認したところ、電子密度が  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の n<sup>+</sup> 型であった。n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 13 形成後の太陽電池材料の RHEED パターンを図 12 に示す。また、n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 13 形成後の太陽電池材料の X 線回折パターンを図 13 に示す。

#### 【0068】

その後、図 7 に示すように、n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 13 形成後の太陽電池材料の CoSi<sub>2</sub> 層 14 表面上および n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層 13 表面上に銀ペーストにより上部電極 16 および下部電極 15 を形成して本発明の太陽電池を得た。この太陽電池の暗電流特性を室温で測定した。その結果を図 14 に示す。

10

#### 【0069】

上述したように n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層の電子密度は  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  であることから、BaSi<sub>2</sub> 層に Sb 原子をドープすることにより高電子密度の n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層が形成されたことが確認された。また、図 8 ~ 図 11 に示すように CoSi<sub>2</sub> 層、Si 極薄層、n 型 BaSi<sub>2</sub> 極薄層および n 型 BaSi<sub>2</sub> 層の RHEED パターンは全てストリーク状であり、また  $-2$  X 線回折測定では図 13 に示すように a 軸高配向であることから、これらの層はエピタキシャル成長により形成されたことが確認された。一方、図 12 に示すように n<sup>+</sup> 型 BaSi<sub>2</sub> 層の RHEED パターンはリング状であり、また  $-2$  X 線回折測定では図 13 に示すように a 軸配向が乱れているため、この層は多結晶であることが確認された。

20

#### 【0070】

このような結晶構造を有する太陽電池の暗電流特性は図 14 に示すように、順方向電流が大きく、逆方向電流が少ない明瞭な整流性を示し、本発明の太陽電池はエネルギー変換効率の高いものとして有効であることを確認した。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0071】

以上説明したように、本発明によれば、光吸収係数が大きい BaSi<sub>2</sub> 系半導体に周期表 13 ~ 15 族に属する少なくとも 1 種の不純物原子をドープすることによって電子密度の高い BaSi<sub>2</sub> 系半導体を形成することができる。

30

#### 【0072】

したがって、本発明のシリコンベースの太陽電池は、光吸収効係数が大きく、エネルギー変換効率が高いため、薄型の太陽電池などとして有用である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0073】

【図 1】本発明のシリコンベースの高効率太陽電池の断面図である。

【図 2】本発明のシリコンベースの高効率太陽電池の断面図である。

【図 3】本発明のシリコンベースの高効率太陽電池の断面図である。

40

【図 4】本発明のシリコンベースの高効率太陽電池の断面図である。

【図 5】(a) ~ (d) はそれぞれ、本発明のシリコンベースの高効率太陽電池の第一の製造方法における各工程終了時に得られる太陽電池材料または太陽電池の断面図である。

【図 6】(a) ~ (f) はそれぞれ、本発明のシリコンベースの高効率太陽電池の第二の製造方法における各工程終了時に得られる太陽電池材料または太陽電池の断面図である。

【図 7】実施例において作製した太陽電池の断面図である。

【図 8】実施例において作製した CoSi<sub>2</sub> 層形成後の太陽電池材料について RHEED 法により測定された層表面の結晶構造の状態を表す写真である。

【図 9】実施例において作製した Si 極薄層形成後の太陽電池材料について RHEED 法により測定された層表面の結晶構造の状態を表す写真である。

50

【図10】実施例において作製したn型BaSi<sub>2</sub>極薄層形成後の太陽電池材料についてRHEED法により測定された層表面の結晶構造の状態を表す写真である。

【図11】実施例において作製したn型BaSi<sub>2</sub>層形成後の太陽電池材料についてRHEED法により測定された層表面の結晶構造の状態を表す写真である。

【図12】実施例において作製したn<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層形成後の太陽電池材料についてRHEED法により測定された層表面の結晶構造の状態を表す写真である。

【図13】実施例において作製した太陽電池材料のX線回折パターンを示すグラフである。

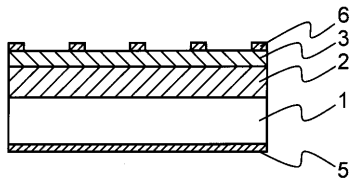
【図14】実施例において作製した太陽電池の暗電流特性を示すグラフである。

【符号の説明】

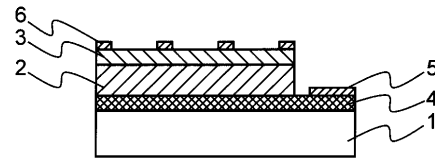
【0074】

1...基板；2、12...n型BaSi<sub>2</sub>層；2a...Si極薄層；3、13...n<sup>+</sup>型BaSi<sub>2</sub>層；4...金属シリサイド層；5、15...下部電極；6、16...上部電極；11...p型のSi基板；14...CoSi<sub>2</sub>層。

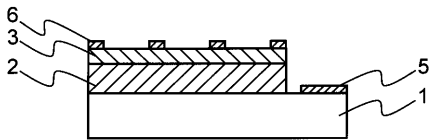
【図1】



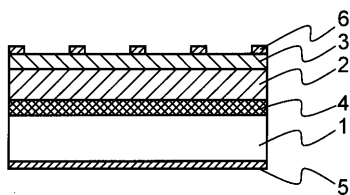
【図4】



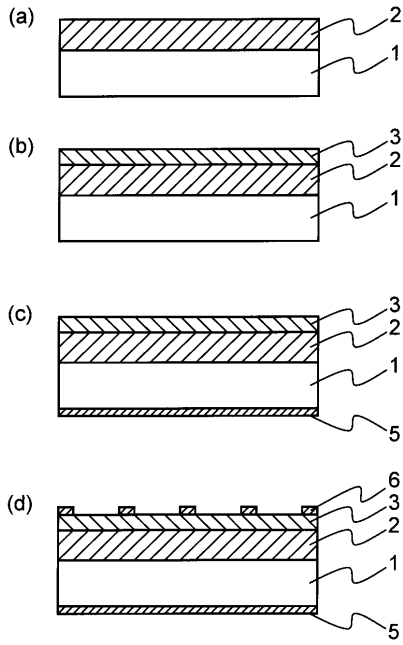
【図2】



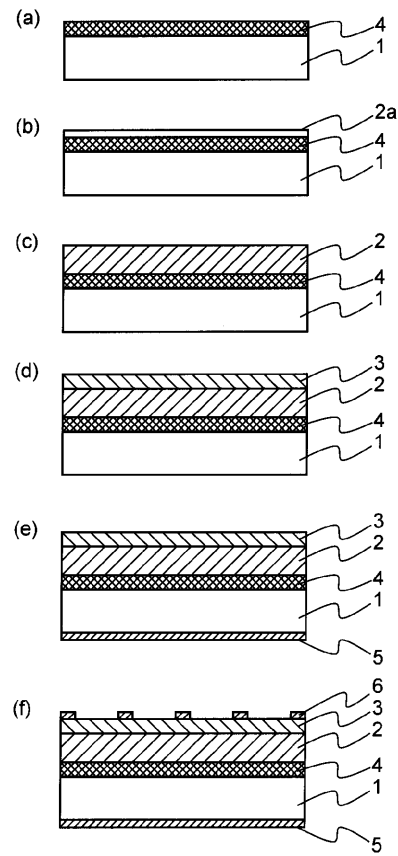
【図3】



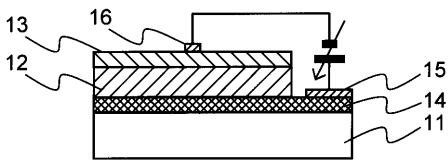
【 図 5 】



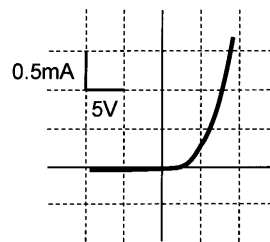
【 図 6 】



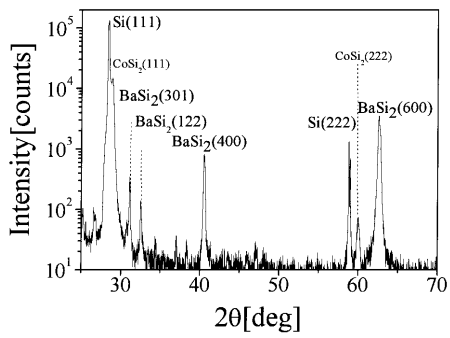
【 図 7 】



【 図 1 4 】



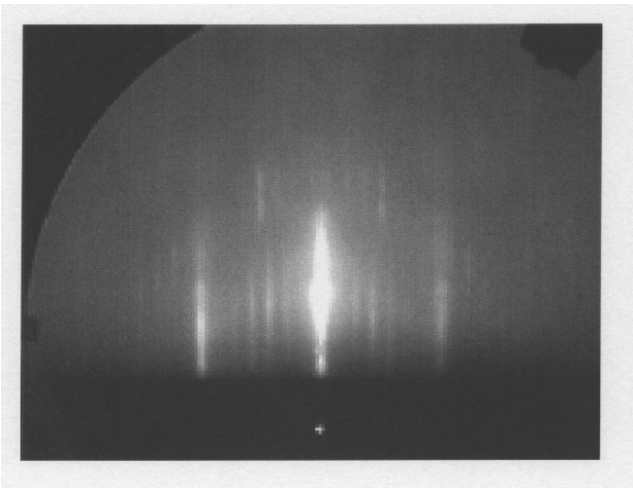
【 図 1 3 】



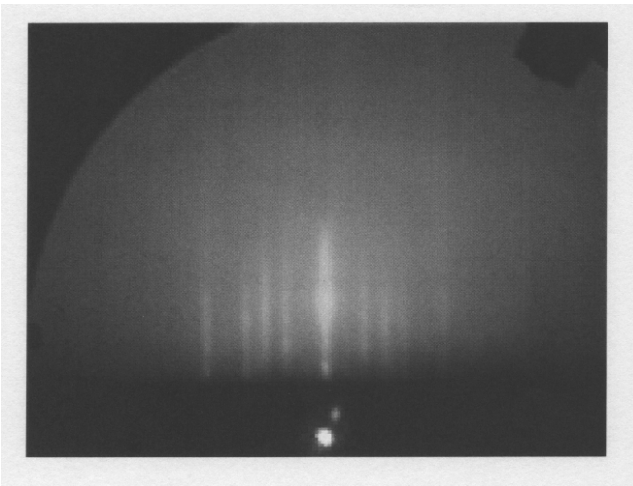
【 図 8 】



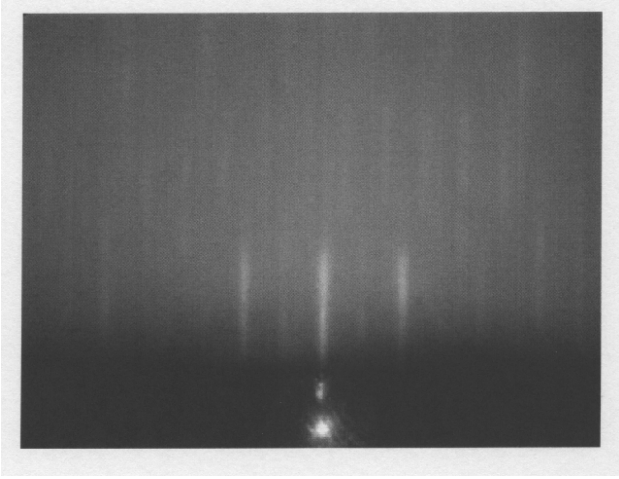
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

