

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3657143号
(P3657143)

(45) 発行日 平成17年6月8日(2005.6.8)

(24) 登録日 平成17年3月18日(2005.3.18)

(51) Int. Cl.⁷

H01L 31/04

F I

H01L 31/04

E

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願平11-120568	(73) 特許権者	000005049 シャープ株式会社 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(22) 出願日	平成11年4月27日(1999.4.27)	(74) 代理人	100065248 弁理士 野河 信太郎
(65) 公開番号	特開2000-312017(P2000-312017A)	(72) 発明者	高本 達也 埼玉県戸田市新曽南3丁目17番35号株式会社ジャパンエナジー中央研究所内
(43) 公開日	平成12年11月7日(2000.11.7)	(72) 発明者	栗田 博 埼玉県戸田市新曽南3丁目17番35号株式会社ジャパンエナジー中央研究所内
審査請求日	平成15年9月9日(2003.9.9)	(72) 発明者	安居院 高明 埼玉県戸田市新曽南3丁目17番35号株式会社ジャパンエナジー中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 太陽電池及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ゲルマニウム基板と、
該ゲルマニウム基板上に形成されたバッファ層と、
該バッファ層の上に形成された第1導電型の第1の $In_xGa_{1-x}As$ 層と、
該第1の $In_xGa_{1-x}As$ 層上にpn接合を構成すべく形成された第2導電型の第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層
とから少なくともなり、前記第1及び第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層中の In の組成 x が、
 $0.005 < x < 0.015$ の範囲の値であり、格子不整合率が $-0.05\% \sim +0.05\%$ の範囲内であることを特徴とする太陽電池。

10

【請求項2】

前記バッファ層は、 $GaAs$ 層と、該 $GaAs$ 層の上に形成された In の組成 x が、
 $0.005 < x < 0.015$ の範囲の値の $In_xGa_{1-x}As$ 層からなることを特徴とする
請求項1記載の太陽電池。

【請求項3】

前記第1及び第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層中の In の組成 x が、 $0.007 < x < 0.014$ の範囲の値であることを特徴とする請求項1又は2に記載の太陽電池。

【請求項4】

前記pn接合をボトムセルとし、該ボトムセルの上に、前記第1及び第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層よりも禁制帯幅の大きな半導体から構成された他のpn接合からなるトップセル

20

が形成されたことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項記載の太陽電池。

【請求項5】

前記ゲルマニウム基板上に、更に他のpn接合を形成すべく前記ゲルマニウム基板と反対導電型のゲルマニウム層が形成され、該更に他のpn接合を基板側セルとしたことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項記載の太陽電池。

【請求項6】

ゲルマニウム基板上にGaAsバッファ層をエピタキシャル成長する工程と、
GaAsバッファ層の上に $In_xGa_{1-x}As$ バッファ層をエピタキシャル成長する工程と、

該 $In_xGa_{1-x}As$ バッファ層の上に第1導電型の第1の $In_xGa_{1-x}As$ 層をエピタキシャル成長する工程と、

該第1の $In_xGa_{1-x}As$ 層の上に第2導電型の第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層をエピタキシャル成長する工程と、

とから少なくともとなり、前記 $In_xGa_{1-x}As$ バッファ層、第1及び第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層中の In の組成 x が、 $0.005 < x < 0.015$ の範囲の値であり、格子不整合率が $-0.05\% \sim +0.05\%$ の範囲内であることを特徴とする太陽電池の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、人工衛星等の電源として用いられるような高効率の太陽電池に係り、特にIII-V族間化合物半導体（以下において「III-V族化合物半導体」と略記する。）を用いた太陽電池及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

地球の温暖化の問題と関連し、深刻なエネルギー問題に直面している人類にとって、太陽電池は、化石燃料に代わるクリーンなエネルギー源として注目されている。しかしながら、太陽電池が実用化できるか否かはそのコスト・パフォーマンスに依存するところ極めて大である。即ち、太陽電池においては生産単価をいかに安くするかは極めて重要な点である。

【0003】

GaAs等のIII-V族化合物半導体を用いた太陽電池は高効率であるという特徴を有するものの、III-V族化合物半導体基板の価格が極めて高いという問題を内在している。例えば、GaAs基板は、大きさやそのグレードにもよるが、1枚数万円乃至10万円以上する極めて高価な半導体基板である。そこで、比較的安価で、且つ機械的強度の強いGe基板を用い、この上にIII-V族化合物半導体をヘテロエピタキシャル成長したIII-V族化合物半導体太陽電池が注目されている。

【0004】

従来、Ge基板上にヘテロエピタキシャル成長したIII-V族化合物半導体太陽電池としては、GaAs/Geヘテロエピタキシャル成長太陽電池が知られている。さらに、このGaAs/Geヘテロエピタキシャル成長太陽電池の上にさらにGaAsに格子整合し、且つGaAsよりも禁制帯幅 E_g が広いInGaP太陽電池を積層したタンデム構造太陽電池も知られている。GaAs/Geヘテロエピタキシャル成長太陽電池およびGaAs/InGaPタンデム構造太陽電池は、Ge基板上に、有機金属気相成長(MOCVD)法等の方法にてヘテロエピタキシャル成長される。このヘテロエピタキシャル成長においては、単元素半導体であるGe基板の表面格子と、GaとAsからなる表面格子との間の格子不整合によるアンチフェイズドメイン等の相分離層の形成が問題となる。このような、相分離層の形成を回避するために、Ge基板の表面にGaAs層を成長させる際には、先ず、600以下の低温で $0.1\mu m$ 程度の薄さの低温バッファ層を成長させ、さらに通常の成長温度(700程度)まで昇温し、比較的厚い(2~3 μm)GaAsバッ

10

20

30

40

50

ァ層を成長する。そして、これらの、低温バッファ層及び比較的厚いGaAsバッファ層を形成してから所望のGaAs太陽電池を構成するために必要な所定の積層構造、或いはGaAs/InGaPタンデム太陽電池を構成する積層構造を成長する。

【0005】

この場合、Ge/GaAsヘテロ界面で発生する転位や欠陥は、上記の薄い低温バッファ層や比較的厚いGaAsバッファ層により低減されると考えられていた。しかしながら、現実には、良好なGe/GaAsヘテロエピタキシャル成長は得られていない。即ち、

(i) GaAsとGeの格子定数の違いから生じるミスフィット転位、

(ii) GaAsとGeの熱膨張係数の違いが冷却中に発生する転位、

を除去するのは困難であった。従来、バッファ層として歪み超格子層等が用いられ、若干の転位低減の効果が示されたが、大きな改善には成らなかった。上記(i)のミスフィット転位は、Ge基板に対して0.08%程度の格子不整合率を有するGaAs層の厚さがおよそ0.3~0.5 μm を超える厚さになると、内部歪みを緩和するために発生するものと考えられる。このため、太陽光を有効に吸収するために、2~3 μm 以上の厚さを必要とするGaAs太陽電池層においては、ミスフィット転位の発生を防止するのは困難である。また、(ii)の成長温度から室温に冷却する際に発生する転位等は、熱膨張係数の違い(Ge: $5.5 \times 10^6 \text{ K}^{-1}$ 、GaAs: $6.0 \times 10^6 \text{ K}^{-1}$)によるもので発生を完全に防止するのは困難である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は上記の欠点を除去するものであり、安価で機械的強度の強いGe基板上にヘテロエピタキシャル成長した高い変換効率の太陽電池を提供することを目的とする。

【0007】

また、本発明の他の目的は、安価で機械的強度が強く、且つ変換効率の高い多接合型太陽電池を提供することである。

【0008】

本発明のさらに他の目的は、Ge基板を用いたヘテロエピタキシャル成長時に、ヘテロエピタキシャル成長層と基板との界面における結晶欠陥や界面近傍での高抵抗層の生成を回避できる太陽電池の製造方法を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明は、ゲルマニウム(Ge)基板と、このゲルマニウム基板上に形成されたバッファ層と、このバッファ層の上に形成された第1導電型の第1の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層と、この第1の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層上にpn接合を構成すべく形成された第2導電型の第2の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層とから少なくともなり、第1及び第2の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層中のInの組成xが、0.005 \times 0.015の範囲の値である太陽電池であることを第1の特徴とする。ここで、「第1導電型」と「第2導電型」は互いに反対導電型であり、一方がn型ならば他方はp型である。Inの組成xは、好ましくは0.007 \times 0.014の範囲の値とすれば良く、 $x = 0.01$ が最も好ましい。

【0010】

本発明の第1の特徴においては、有効に太陽光を電気エネルギーに変換するために、第1及び第2の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層の内の少なくとも一方を2~3 μm の厚さ、若しくはこれ以上の厚さに形成した場合においても、Inの組成xを0.005~0.015の割合で第1及び第2の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層中に添加することにより、格子不整合率が-0.05%~+0.05%の範囲内にできる。Inの組成xを、 $x = 0.01$ とすれば、格子不整合率は、ほぼ零とみなすことが可能な程度の極僅かな値となる。このように第1及び第2の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層の格子定数をGe基板の格子定数に極めて近い値にして、整合させているので、ヘテロ接合固有のミスフィット転位の発生を防止することが出来る。また、GaAs層にInを添加することにより、熱膨張係数をGe基板に近づける効果もある。従って、本発明の第1の特徴により、太陽電池の変換効率を低下させる要因である転位や

10

20

30

40

50

欠陥の発生を防止でき、高い変換効率の太陽電池を安価で機械的強度の強いGe基板上に作製できるようになる。

【0011】

本発明の第1の特徴において、バッファ層を、GaAs層と、このGaAs層の上に形成されたInの組成xが、 $0.005 < x < 0.015$ の範囲の値の $In_xGa_{1-x}As$ 層から構成することが好ましい。GaAs層からなるバッファ層は、 $0.1\mu m$ 程度の薄さの比較的低温で形成した膜とすることにより、単元素半導体であるGe基板の表面格子と、GaとAsからなる表面格子との間の格子不整合によるアンチフェイズドメイン等の相分離層の形成を回避できる。また、Inの組成xが、 $0.005 < x < 0.015$ の範囲の値の $In_xGa_{1-x}As$ 層からなるバッファ層を形成することにより、原子レベルの界面の平坦性と、 $In_xGa_{1-x}As$ 層の格子定数とGe基板の格子定数との整合を可能とする。 $In_xGa_{1-x}As$ バッファ層の格子不整合率が $-0.05\% \sim +0.05\%$ の範囲内のできるので、 $In_xGa_{1-x}As$ バッファ層の厚さを $2 \sim 3\mu m$ 以上にしても、ミスフィット転位や欠陥が発生することもないので、この上に結晶の完全性の高い良好な第1及び第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層が成長でき、良好な表面モフォロジーと、高い開放電圧 V_{OC} 及び高い変換効率（発電効率）を得ることが出来る。

10

【0012】

さらに、本発明の第1の特徴において、上記のpn接合をボトムセルとし、このボトムセルの上に、第1及び第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層よりも禁制帯幅Egの大きな半導体から構成された他のpn接合からなるトップセルを形成してもよい。このような、多接合型の太陽電池とすれば、トップセルとボトムセルとで波長分担することができるので、変換効率（発電効率）を30%以上の高効率にし、しかも低コストの太陽電池が提供できる。

20

【0013】

さらに、本発明の第1の特徴において、ゲルマニウム基板上に、更に他のpn接合を形成すべくゲルマニウム基板と反対導電型のゲルマニウム層を形成し、この更に他のpn接合を基板側セルとして、多接合型太陽電池とすることも可能である。基板側セル、トップセルとボトムセルとで波長分担することにより、さらに高い変換効率を得ることが出来る。第1及び第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層はGaAsより禁制帯幅Egが小さいため、多接合型太陽電池においては、基板側セル、ボトムセル、トップセルと順次禁制帯幅Egが広がるように、構成材料を選択することが容易となる。このように、構成材料の選択の自由度を高くし、且つ、実質的な発電に寄与できる波長スペクトル帯域を増大できる。

30

【0014】

本発明の第2の特徴は、

(イ)ゲルマニウム(Ge)基板上にGaAsバッファ層をエピタキシャル成長する工程と、

(ロ)このGaAsバッファ層の上に $In_xGa_{1-x}As$ バッファ層をエピタキシャル成長する工程と、

(ハ)この $In_xGa_{1-x}As$ バッファ層の上に第1導電型の第1の $In_xGa_{1-x}As$ 層をエピタキシャル成長する工程と、

(ニ)この第1の $In_xGa_{1-x}As$ 層の上に第2導電型の第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層をエピタキシャル成長する工程と、

40

とから少なくともとなり、 $In_xGa_{1-x}As$ バッファ層、第1及び第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層中のInの組成xが、 $0.005 < x < 0.015$ の範囲の値である太陽電池の製造方法であることである。本発明の第2の特徴に係るエピタキシャル成長は、MOCVD法、化学ビーム・エピタキシー(CBE)法、分子線エピタキシー(MBE)法、原子層エピタキシー(ALE)法あるいは分子層エピタキシー(MLE)法等を用いることが出来る。例えば、MOCVD法の場合は、GaAsバッファ層を 600 程度の比較的低温で形成すれば、Ge基板とGaAsバッファ層との間のアンチフェイズドメイン等の相分離層の形成を回避できる。また、 $In_xGa_{1-x}As$ バッファ層、第1及び第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層のエピタキシャル成長は、GaAsバッファ層（低温バッファ層）の基板温度より

50

高い温度、たとえば650 ~ 700 とすればよい。

【0015】

本発明の第2の特徴において、Inの組成xが、0.005 x 0.015の範囲の値となるようにすることにより、格子不整合率が-0.05% ~ +0.05%の範囲内に行ける。このように第1及び第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層の格子定数をGe基板の格子定数に極めて近い値にして、整合させているので、ヘテロ接合固有のミスフィット転位の発生を防止することが出来る。また、GaAs層にInを添加することにより、熱膨張係数をGe基板に近づける効果もある。従って、本発明の第2の特徴に係る太陽電池の製造方法より、ヘテロ界面におけるミスフィット転位や欠陥の発生を防止でき、高い変換効率を有し、しかも安価で機械的強度の強い太陽電池が製造できるようになる。

10

【0016】

【発明の実施の形態】

次に、図面を参照して、本発明の第1及び第2の実施の形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。ただし、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。また図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることはもちろんである。

【0017】

(第1の実施の形態)

図1は本発明の第1の実施の形態に係る単一接合型 $Ga_{0.99}In_{0.01}As$ 太陽電池の構造を示す。図1に示すように、本発明の第1の実施の形態に係る単一接合型 $Ga_{0.99}In_{0.01}As$ 太陽電池は、厚さ150 ~ 350 μm 程度で、[011]方向に5 ~ 9°オフした(100)面を有するGe基板21上に、厚さ0.05 μm ~ 0.1 μm 以下程度の薄い低温GaAsバッファ層22を介して、厚さ2 ~ 3 μm 程度の比較的厚い $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ バッファ層23を堆積し、さらに、 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ 太陽電池層を配置している。 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ バッファ層23は、p型(Znドープ)で不純物密度 $5 \times 10^{18} cm^{-3}$ の層である。

20

【0018】

一方、 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ 太陽電池層は、下から、p型 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ 裏面電界(Back Surface Field)層24、本発明の第1の $In_xGa_{1-x}As$ 層となるp型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ ベース層25、本発明の第2の $In_xGa_{1-x}As$ 層となるn型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ エミッタ層26、n型AlInP窓層27および $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ コンタクト層2が順に堆積され、構成されている。

30

【0019】

p型 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ 裏面電界層24は、厚さ0.05 μm ~ 0.1 μm で、Znドープの不純物密度 $2 \times 10^{18} cm^{-3}$ の層である。p型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ ベース層25は、厚さ2.5 μm ~ 3.5 μm で、Znドープの不純物密度 $1 \times 10^{17} cm^{-3}$ の層である。n型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ エミッタ層26は、厚さ0.05 μm ~ 0.2 μm で、Siドープの不純物密度 $2 \times 10^{18} cm^{-3}$ の層である。また、n型AlInP窓層27は、厚さ0.03 μm ~ 0.1 μm の層で、 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ コンタクト層2は、厚さ0.2 μm ~ 0.5 μm の層である。そして、 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ コンタクト層28の上に表面電極(Au-Ge/Ni/Au)30が、凹部の底部に露出した $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ バッファ層23の上に裏面電極(Au-Zn/Au)29が配置されている。

40

【0020】

図1に示すようなn型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ エミッタ層26およびp型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ ベース層25からなるpn接合半導体太陽電池においては、n型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ エミッタ層26を光入射側とし、その下層のp型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ ベース層25で吸収された光子は1対の正孔-電子を生成し、このうち少数キャリアである電子は拡散で移動し、p-n界面の空乏層まで到達すると空乏層の大きな電界によってn型 $In_{0.01}G$

50

$\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ エミッタ層 26 に流れ込み、電流となる。ところが p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ベース層 25 で生じた電子のうちには拡散によって裏面電極 29 に入り込むものもあり、それらはもはや p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ベース層 25 に戻ることはできず、いずれ多数キャリアである正孔と結合し消滅して、電流とはならない。このような裏面再結合損失を防ぐために、 p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ベース層 25 で生じた少数キャリア（電子）をなるべく裏面電極 29 に近付けないように p 型 InGaP 裏面電界層 24 が p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ベース層 25 の下に設けてある。 p 型 InGaP 裏面電界層 24 は p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ベース層 25 で生じた少数キャリアに対してバンド障壁として作用する。裏面電界層ベース層としては、ベース層材料の $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ よりも禁制帯幅 E_g が大きく、同じく少数キャリアに対して障壁となる InGaP が用いられる。このような裏面電界層によって p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ベース層 25 の伝導帯が裏面電界層 24 との界面で急激に上昇し、少数キャリアである電子はこの障壁によって跳ね返され、それ以上奥には行かない。なお、ベース層 25 と同じ材料の $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ でドーピング濃度を高くして少数キャリアに対して障壁となるようにしても良いが、この方法で、少数キャリアに対して十分な障壁を得るためには、裏面電界層のドーピング濃度をきわめて高くする必要がある。このことは、単一接合型太陽電池の場合にはあまり問題とならないが、高出力電圧を得るために太陽電池を直列（タンデム）接続した積層型の太陽電池の上部セル裏面電界層として高濃度ドーピング層を用いた場合、その層で高濃度多数キャリアによる赤外光吸収が起き、大きなエネルギー損失となるので好ましくない。

10

【0021】

図 8 は図 1 に示す本発明の第 1 の実施の形態に係る単一接合型 $\text{Ga}_{0.99}\text{In}_{0.01}\text{As}$ 太陽電池と比較するための GaAs 太陽電池の構造を示す。 Ge 基板 21 上の第 1 層には、図 1 と同様な低温 GaAs バッファ層 22 が $0.1\ \mu\text{m}$ 配置され、その上に、比較的厚い（ $2\sim 3\ \mu\text{m}$ ） GaAs バッファ層 13（ p 型 Zn ドープ $5 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ ）が配置されている。そして、 GaAs バッファ層 13 のうへに、 GaAs 太陽電池層を配置している。 GaAs 太陽電池層は、下から p 型 $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 裏面電界層 14（ Zn ドープ $2 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ ）、 p 型 GaAs ベース層 15（ Zn ドープ $1 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ ）、 n 型 GaAs エミッタ層 16（ Si ドープ $2 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ ）、および、 n 型 AlInP 窓層 27 から構成される。また、図 1 と同様に、表面電極 30（ Au-Ge/Ni/Au ）が GaAs コンタクト層 18 上に、裏面電極 29（ Au-Zn/Au ）が、 GaAs バッファ層 13 上に配置されている。

20

30

【0022】

図 2（a）は図 8 に示した比較用の GaAs 太陽電池の表面モフォロジーを、図 2（c）は本発明による $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池の表面モフォロジーを示す。図 2（a）に示すように、比較用の GaAs 太陽電池の表面にはミスフィット転位に起因する格子状のうねり模様が観察されるが、本発明による $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池の表面には格子状のうねり模様は観察されなかった。

【0023】

図 2（b）は $x = 0.007$ の場合の表面モフォロジーであり、図 2（d）および（e）はそれぞれ $x = 0.014$ および $x = 0.02$ の場合の表面モフォロジーである。格子不整合率は $x = 0$ において -0.08% 、 $x = 0.007$ において -0.03% 、 $x = 0.01$ において 0% 、 $x = 0.014$ において $+0.05\%$ 、 $x = 0.02$ において $+0.10\%$ である。 In 組成 x が、 $0.007 \leq x \leq 0.014$ の範囲において良好な表面モフォロジーが得られることがわかる。より詳細な検討によれば、第 1 の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層 25 及び第 2 の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層 26 中の In の組成 x が、 $0.005 \leq x \leq 0.015$ の範囲の値で、良好な表面モフォロジーが得られることがわかる。

40

【0024】

図 3 は、図 8 に示した比較用の GaAs 太陽電池（従来技術）および図 1 の本発明による $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池の分光感度特性を示す。図 3 の分光感度特性の比較より、 GaAs に In を添加し、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ とすることで、禁制帯幅 E_g は、 1.4

50

2 eVから1.40 eVに変化するため、光吸収端は873 nmから885 nmに変化し、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池は、より長波長側で感度を持つようになることがわかる。

【0025】

図4(a)は、図8の比較用のGaAs太陽電池(従来技術)および図1の本発明による $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池の光照射下での電流電圧特性を示す。そして、図4(b)は従来技術に係るGaAs太陽電池と第1の実施の形態に係る $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池の特性を比較する表である。図4(b)に示すように、GaAs太陽電池の短絡電流 J_{SC} は、 22.12 mA/cm^2 であるのに対し $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池の短絡電流 J_{SC} は、 23.01 mA/cm^2 であり、本発明の第1の実施の形態に係る $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池の構造の採用により、短絡電流 J_{SC} が約 1 mA/cm^2 程度増加することが理解できる。また、曲線因子(フィルファクタ)は80.9%から83.31%に増大している。

10

【0026】

ここで、注目すべき点は、図4において、GaAs太陽電池の開放電圧 V_{OC} が0.983 Vであるのに対し、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池の開放電圧 V_{OC} が0.997 Vであり、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池の開放電圧 V_{OC} がGaAs太陽電池の開放電圧 V_{OC} より向上している点である。これこそ、本発明による顕著な効果である。

【0027】

$\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ はGaAsより禁制帯幅 E_g が小さいため、理論上の開放電圧 V_{OC} はGaAsの方が大きくなるはずである。この理論上の予測に反して、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池の開放電圧 V_{OC} が、GaAs太陽電池の開放電圧 V_{OC} より向上した理由を説明するためには、結晶学的原因を考慮しなければならない。即ち、従来技術に係るGaAs太陽電池はミスフィット転位が多く、開放電圧 V_{OC} が低かったが、本発明の第1の実施の形態に係る $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池はミスフィット転位が顕著に減少しているため、禁制帯幅 E_g が小さくなったにもかかわらず、その開放電圧 V_{OC} が向上していると考えることが出来る。実際、Ge上に作製されたGaAs太陽電池層には、図2(a)に示した表面モフォロジーからもわかるように、ミスフィット転位が存在し、開放電圧 V_{OC} が低下する要因となっている。一方、Ge上のIn組成 x が、 $0.007 < x < 0.014$ の範囲の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 太陽電池の場合、図2(b)乃至(d)に示すような良好な表面モフォロジーが得られ、転位が殆ど存在しない。即ち、Ge上の $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池においては、良好な結晶性が得られているため、高い開放電圧 V_{OC} が得られたものと考えられる。結果として、Ge基板上に作製したGaAs太陽電池(反射防止膜形成せず)の変換効率は17.6%であったが、GaAsにInを添加した $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ 太陽電池では変換効率19.1%が得られた。

20

30

【0028】

本発明の第1の実施の形態に係る単一接合型太陽電池は以下に示すような製造方法で製造できる。

【0029】

(a)まず、600程度程度の比較的低温で、MOCVD法、CBE法、MBE法、ALE法あるいはMLE法等を用いて、Ge基板21の上に低温バッファ層22を堆積する。たとえば、MOCVDは常圧MOCVDでも減圧MOCVDでも可能であるが、望ましくは、たとえば6.7~10 kPaに保持された減圧MOCVD法、さらに望ましくは縦型減圧MOCVD法によるのがよい。III族の原料ガスとしてはトリエチルガリウム(TEG)、トリメチルガリウム(TMG)など、V族の原料ガスとしてはアルシン(AsH_3)或いはターシャリー・ブチル・アルシン($(\text{C}_4\text{H}_9)_3\text{AsH}_2$; TBA)などを用いればよい。

40

【0030】

(b)次に、低温バッファ層22の上に、p型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ バッファ層23、p型InGaP表面電界層24、p型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ベース層25、n型 $\text{In}_{0.01}\text{G}$

50

$a_{0.99}As$ エミッタ層 26、 n 型 $AlInP$ 窓層 27、 n 型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ コンタクト層 28 の多層連続エピタキシャル成長を行う。この多層連続エピタキシャル成長は、上記と同様に、MOCVD 法、CBE 法、MBE 法、ALE 法あるいは MLE 法等を用いれば良い。たとえば、上記の低温バッファ層 2 の成長と同じ、 $26.7 \sim 10 kPa$ に保持された縦型減圧 MOCVD 法によればよい。 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ バッファ層 23、 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ ベース層 25、 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ エミッタ層 26 を成長するためには、III 族の原料ガスとしてはトリメチルインジウム (TMI: $In(CH_3)_3$) 及び TEG など、V 族の原料ガスとしては AsH_3 、TBA などを用いればよい。 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ 裏面電界層 24 を成長するためには、III 族の原料ガスとして TMI 及び TEG など、V 族の原料ガスとしてはフォスフィン (PH_3) 或いはターシャリー・ブチル・フォスフィン ($(C_4H_9)PH_2$; TBP) などを用いればよい。また、 $AlInP$ 窓層 27 を成長するためには、III 族の原料ガスとして、トリメチルアルミニウム (TMA: $Al(CH_3)_3$)、TMI など、V 族の原料ガスとして PH_3 或いは TBP などを用いればよい。さらに、 n 型のドーパントガスとしては、モノシラン (SiH_4)、ジシラン (Si_2H_6)、あるいはジエチルセレン (DESe)、ジエチルテルル (DETe) 等を用いればよいが、モノシランが好ましい。 p 型のドーパントガスとしてはジエチル亜鉛 (DEZn) あるいは TMG からのカーボンを用いてもよい。これらの原料ガスおよびドーパントガスはマスフローコントローラ等を用いて $6.7 kPa \sim 10 kPa$ の減圧に制御された反応管中に導入される。V 族の原料ガスと III 族の原料ガスとの比、いわゆる V/III 比は、たとえば $20 \sim 200$ 程度で行えばよい。成長時の基板温度は、低温バッファ層 22 の基板温度より高い温度、たとえば $650 \sim 700$ とすればよい。特に、図 4 に示したように高い FF の値を得るためには、 p 型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ ベース層 25、 n 型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ エミッタ層 26 等の連続エピタキシャル成長の基板温度は 700 が好ましい。

【0031】

(c) 次に、このように連続エピタキシャル成長による多層構造を堆積した Ge 基板 21 を反応管より取り出し、リフトオフのためのフォトレジストを塗布し、フォトリソグラフィにより所定のパターンを形成し、その上から Au-Ge/Ni/Au 膜を真空蒸着する。たとえば $100 nm$ の Au-Ge ($12 wt\%$)、 $20 nm$ の Ni、 $70 nm$ の Au 膜を EB 蒸着法にて形成する。その後フォトレジストを除去すれば、図 1 に示すように表面電極 30 のパターンが形成される。平面図を省略しているが上部電極は楕状のストライプ等有効に太陽光が導入できる所定の平面パターン形状にすればよい。リフトオフ法を用いず、通常フォトリソグラフィで、KI/I₂ 溶液等のエッチャントでエッチングしても図 1 に示す表面電極 30 のパターンは得られるが、リフトオフ法の方が簡便である。その後、水素ガス (H_2) 雰囲気中あるいは窒素ガス (N_2) 等の不活性ガス雰囲気中で $350 \sim 450$ 等の基板温度で電極のシンタリングを行う。たとえば、 350 で数秒程度のシンタリングが好ましい。この上に Au メッキ層を電解メッキを用いて選択的に形成し、表面電極 30 を完成させる。

【0032】

(d) 次に表面電極 30 をマスクとして用いて n 型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ コンタクト層 28 をエッチングし、 n 型 $AlInP$ 窓層 27 を露出させる。さらにこの露出した n 型 $AlInP$ 窓層 27 および表面電極 30 の上に CVD 法により厚さ $0.3 \mu m \sim 1 \mu m$ のシリコン酸化膜 (SiO_2 膜) を堆積する。そして、この SiO_2 膜の上にフォトレジストを塗布し、裏面電極 29 を取り出し用凹部を形成するための開口部を有したパターンを形成する。このフォトレジストをマスクとして SiO_2 膜を反応性イオンエッチング (RIE) 等によりパターニングし、裏面電極 29 取り出し用凹部のエッチングマスクを形成する (あるいは SiO_2 膜を用いずフォトレジストのマスクのみでもよい)。そしてこの SiO_2 膜又はフォトレジストをマスクとして $NH_4OH : H_2O_2 : H_2O$ 溶液 (たとえば $1 : 1 : 10$ または $2 : 1 : 50$ 溶液) 及び HCl 溶液を用いて、 $n-In_{0.01}Ga_{0.99}As$ コンタクト層 28、 n 型 $AlInP$ 窓層 27、 n 型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ エミッタ

10

20

30

40

50

層 26、p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ベース層 25、p 型 InGaP 裏面電界層 24 をエッチング除去し、p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ バッファ層 23 の一部を露出させる。p 型 InGaP 裏面電界層 24 はエッチングストッパーとして機能し、 $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ の溶液のエッチングにより p 型 InGaP 裏面電界層 24 が露出する。あるいは BCl_3 、 SiCl_4 等のエッチングガスを用いて RIE 法でエッチングしてもよい。さらにハロゲン化水素系のエッチャント ($\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{HCl}:\text{H}_3\text{PO}_4$ 、 $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}$ または $\text{HBr}:\text{H}_3\text{PO}_4$ 等) を用いて p 型 InGaP 裏面電界層 24 を選択的にエッチングする。このハロゲン化水素系のエッチャントによるエッチングでは p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ バッファ層 23 はエッチングストッパーとして機能し、p 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ バッファ層 23 が露出する。p 型 InGaP 裏面電界層 24 のエッチングのためには p 型裏面電界層 24 の上部にエッチング用マスクパターンをフォトリソグラフィ法で形成する方法を用いてもよい。あるいはフォトリソグラフィ法を用いずに、凹部側壁のサイドウォールを形成し、自己整合的にエッチングしてもよい。

10

【0033】

(e) 次に裏面電極 29 用の $\text{Au}-\text{Zn}$ 膜をリフトオフ法を用いて所定部分にのみ真空蒸着する。p 型 InGaP 裏面電界層 24 をエッチングする際に用いたフォトレジスト等をリフトオフ用のマスクパターンとして再び用いてもよい。 $\text{Au}-\text{Zn}$ 膜を所定部分に形成後、 Au メッキ膜を選択メッキ法 (電解メッキ) により $\text{Au}-\text{Zn}$ 膜の上部のみに堆積し裏面電極 29 を完成させる。

【0034】

20

上記の製造工程において、さらに、n 型 AlInP 窓層 27 の上にリフトオフ法を用いて ZnS 膜および MgF_2 膜をスパッタリングもしくは真空蒸着により堆積し反射防止膜を形成してもよい。本発明の第 1 の実施の形態に係る太陽電池は基板裏面に電極を形成していない。したがって図 1 に示す構造の太陽電池にカバーガラス装着後、精密な制御を用いなくてもセル裏面の研磨やエッチングによる除去が可能である。またセル裏面の除去後に裏面電極を形成する工程等のプロセスを必要としないため、軽量化のための工程が容易の構造であり、宇宙用の太陽電池として好適である。

【0035】

なお、基板裏面に電極を形成しても良い。p 型 Ge に対する電極材料としては、インジウム (In) 等、n 型 Ge に対する電極材料としては、 $\text{Au}-\text{Ge}$ 等を用いることができる。この場合は、表面側にパターンニングするフォトリソグラフィ工程を省略出来る利点がある。

30

【0036】

(第 2 の実施の形態)

図 5 は本発明の第 2 の実施の形態に係る多接合型太陽電池の模式的な断面図である。1 つの pn 接合のみを有したいわゆる単一接合型太陽電池の変換効率 (発電効率) は、その半導体材料の禁制帯幅 E_g によって決まるある理論限界を持つ。このため、どのような半導体材料を用いても地上での太陽光照射条件下では、30% 程度の変換効率 (発電効率) が限界であろうということが判明している。したがって、単一接合型太陽電池よりも高い変換効率 (発電効率) を得ることを目的として異なる波長特性を有した 2 個以上の太陽電池を積層した種々の多接合型太陽電池が考案されている。

40

【0037】

多接合型太陽電池の最も簡単なものが 2 接合 (タンデム型) 太陽電池である。2 接合太陽電池は、光の入射してくる側の太陽電池 (トップセル) と反対側の太陽電池 (ボトムセル) の 2 つの太陽電池が重ねられた構成であり、一般にトップセルの半導体材料の禁制帯幅 E_{g1} はボトムセルの半導体材料の禁制帯幅 E_{g2} よりも大きく設定されている。トップセルで E_{g1} よりも大きなエネルギーを持つ光子を吸収し、トップセルを透過してきた光の E_{g2} と E_{g1} の間のエネルギーを持つ光子をボトムセルで吸収させようとするためである。 E_{g2} と E_{g1} 組み合わせを適当に選択することにより、高い変換効率 (発電効率) を実現できる。

50

【0038】

図5に示すように本発明の第2の実施の形態に係る多接合型太陽電池層2は、厚さ150~350 μm 程度で、5~9°オフした(100)面のGe基板21上に、厚さ0.1 μm の低温GaAsバッファ層22を介して、厚さ2~3 μm 、不純物密度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ バッファ層23を堆積し、その上に、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ボトムセル1と、 $\text{InGaP}/\text{AlGaAs}$ トンネル接合層2と、 InGaP トップセル3とを順次堆積した2接合太陽電池である。この2接合太陽電池は、トンネル接合を含めて、pn接合を3つ有することになる。

【0039】

ここで $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ボトムセル1は $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ バッファ層23の上に、p型 $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$ 裏面電界層24を配置し、更にその上に、厚み3 μm 、不純物密度 $2.0 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のp型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ベース層(第1の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層)25、その上部に設けられた厚み0.1 μm 、不純物密度 $2.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ エミッタ層(第2の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層)26、さらにその上部の厚み0.05 μm 、不純物密度 $1.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のn型 AlInP 窓層27とを配置している。n型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ エミッタ層26とp型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ベース層25とで第1のpn接合が形成されている。

【0040】

$\text{InGaP}/\text{AlGaAs}$ トンネル接合層2は下部セル($\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ボトムセル)1の最上層であるn型 AlInP 窓層27の上部に形成された厚み15nm、不純物密度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上(たとえば $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$)の $n^{++}\text{InGaP}$ 層31と、厚み15nm、不純物密度 1.0×10^{19} の $p^{++}\text{AlGaAs}$ 層32と第2のpn接合から構成されている。

【0041】

そして $\text{InGaP}/\text{AlGaAs}$ トンネル接合層2の上部には厚み30nm、不純物密度 $1.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp型 AlInP 裏面電界層41、厚み0.55~1.5 μm 、不純物密度 $1.5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のp型 InGaP ベース層42;厚み50 μm 、不純物密度 $2.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn型 InGaP エミッタ層43、および厚み30 μm 、不純物密度 $2.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn型 AlInP 窓層44がこの順に堆積された InGaP トップセル3が形成されている。このn型 InGaP エミッタ層36とp型 InGaP ベース層35とで第3のpn接合が形成されている。この場合、 InGaP 太陽電池層は比較的薄いため、格子定数に厳しい制限は要求されないが、 $\text{In}_{0.496}\text{Ga}_{0.504}\text{P}$ の組成になるようにすることが望ましい。

【0042】

InGaP トップセル3の上部の一部にはオーミックコンタクト用の厚み0.3 μm のn型GaAsコンタクト層45が形成され、その上部にはAu-Ge/Ni/Au膜およびその上のAu膜からなる表面電極30が形成されている。また、 InGaP トップセル3及び $\text{InGaP}/\text{AlGaAs}$ トンネル接合層2を貫通し、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ボトムセル1の一部、即ち、n型 AlInP 窓層27、n型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ エミッタ層26、p型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ ベース層25、p型 InGaP 裏面電界層24をエッチング除去した凹部が形成され、この凹部の底部に露出した $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ バッファ層23の上に裏面電極(Au-Zn/Au)29が配置されている。

【0043】

図6はボトムセルをGaAs、トップセルを $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{As}$ とする従来技術の2接合太陽電池と、図5に示した本発明の第2の実施の形態に係る2接合太陽電池の特性を比較する表である。図6に示すように、開放電圧 V_{OC} が2.357Vから2.389Vに増大している。これは、図5に示した本発明の第2の実施の形態に係る2接合太陽電池の構造とすることで、ミスフィット転位が減少したためであると考えられる。

【0044】

また、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{As}$ はGaAsより禁制帯幅 E_g が小さいため、2接合太陽電池

10

20

30

40

50

においては、トップセルの材料の選択の自由度が向上し、実質的な発電に寄与できる波長スペクトル帯域を増大でき、高い変換効率（発電効率）を実現できる。このため、図6に示すように、反射防止膜を形成した場合の変換効率（発電効率）は、27.31%から30.90%に増大している。さらに、図5に示した本発明の第2の実施の形態に係る2接合太陽電池の構造とすることで、短絡電流 J_{sc} は、13,73 mA/cm²から15.20 mA/cm²に増大し、曲線因子（フィルファクタ）は84.4%から85.1%に増大していることが分かる。

【0045】

また、本発明の第2の実施の形態に係る太陽電池はGe基板21を用いているので、放射線照射による基板の高抵抗化の問題も生じない。さらにGe基板21の裏面には裏面電極がないため、太陽電池完成後裏面の加工が自由にできる。したがってメカニカル積層型太陽電池を構成せず、単体で用いた場合は、Ge基板21の裏面の研磨等により軽量化も容易に出来る。つまり、本発明の第2の実施の形態に係る太陽電池は耐放射線特性が良好であり、かつ軽量にできるため、人工衛星搭載等の宇宙用途に好適である。

10

【0046】

（その他の実施の形態）

上記のように、本発明は第1及び第2の実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなろう。

【0047】

本発明の第2の実施の形態ではpn接合を3つ有する多接合型太陽電池について述べたが、InGaP/InGaAs2接合型（タンデム型）太陽電池と他の太陽電池をさらに重ねたpn接合を5つ以上有する多接合太陽電池においても本発明は有効であることは明らかである。

20

【0048】

たとえば図7に示すようにp型Ge基板51の上にn型Ge層52をエピタキシャル成長し、第4のpn接合を形成し、基板側セル5を構成してもよい。基板側セル5の上にはn⁺型低温バッファ層53を介してn⁺⁺型In_{0.01}Ga_{0.99}As層54が形成されている。n⁺⁺型In_{0.01}Ga_{0.99}As層54の上にはp⁺⁺型In_{0.01}Ga_{0.99}As層55が形成され、n⁺⁺型In_{0.01}Ga_{0.99}As層54とp⁺⁺型In_{0.01}Ga_{0.99}As層55とで基板側トンネル接合（第5のpn接合）4が形成されている。そしてこのp⁺⁺型In_{0.01}Ga_{0.99}As層55の上にボトムセル1のp型InGaP裏面電界層24が形成され、In_{0.01}Ga_{0.99}Asボトムセル1と、InGaP/AlGaAsトンネル接合層2と、InGaAlPトップセル3とを順次堆積した3接合太陽電池である。この3接合太陽電池は、2つのトンネル接合を含めて、pn接合を5つ有することになる。

30

【0049】

ここでIn_{0.01}Ga_{0.99}Asボトムセル1は、p型In_{0.49}Ga_{0.51}P裏面電界層24、p型In_{0.01}Ga_{0.99}Asベース層（第1のIn_xGa_{1-x}As層）25、n型In_{0.01}Ga_{0.99}Asエミッタ層（第2のIn_xGa_{1-x}As層）26、n型AlInP窓層27とから構成されている。InGaP/AlGaAsトンネル接合層2は下部セルn⁺⁺InGaP層31と、p⁺⁺AlGaAs層32とのpn接合から構成されている。InGaAlPトップセル3は、p型AlInP裏面電界層41、p型InGaAlPベース層42、n型InGaAlPエミッタ層43、およびn型AlInP窓層44とから構成されている。

40

【0050】

InGaPトップセル3の上部の一部にはオーミックコンタクト用のn型InGaAsコンタクト層45が形成され、その上部にはAu-Ge/Ni/Au膜およびその上のAu膜からなる表面電極30が形成されている。また、p型Ge基板51の裏面に裏面電極（Au-Zn/Au）29が配置されている。

【0051】

50

図7に示すように、3接合太陽電池においては、第1及び第2の実施の形態と同様に、ミスフィット転位が減少しているため、高い開放電圧 V_{OC} を得ることが出来る。

【0052】

また、 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ は $GaAs$ より禁制帯幅 E_g が小さいため、多接合型太陽電池においては、基板側セル5、 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ ボトムセル1、 $InGaAlP$ トップセル3と順次禁制帯幅 E_g が広がるように、構成材料の選択の自由度が向上し、また、実質的な発電に寄与できる波長スペクトル帯域を増大できる。従って、より高い変換効率(発電効率)を実現できる。

【0053】

このように、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【0054】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、安価で機械的強度が強く、且つ変換効率の高い太陽電池が提供できる。

【0055】

また、本発明によれば、安価で機械的強度が強く、且つ変換効率の高い多接合型太陽電池が作製できる。このタンデム接合では順に禁制帯幅 E_g が大きくなる組み合わせを容易に選ぶことができる。

【0056】

さらに、本発明によれば安価な Ge 基板を用いたヘテロエピタキシャル成長において、ヘテロエピタキシャル成長層と基板との界面における結晶欠陥や界面近傍での高抵抗層の生成が回避された太陽電池の製造方法を提供することが出来る。が容易となる。

【0057】

さらに、本発明によれば、安価かつ高変換効率の太陽電池の設計およびその製造が容易となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る単一接合型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ 太陽電池の構造を示す模式的な断面図である。

【図2】従来技術に係る $GaAs$ 太陽電池および本発明の $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ 太陽電池の表面モフォロジーの比較を示す図である。

【図3】従来技術に係る $GaAs$ 太陽電池および本発明の $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ 太陽電池の分光感度特性の比較を示す図である。

【図4】従来技術に係る $GaAs$ 太陽電池および本発明の $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ 太陽電池の電流電圧特性の比較を示す図である。

【図5】本発明の第2の実施の形態に係る多接合型太陽電池の構造を示す模式的な断面図である。

【図6】従来技術に係る多接合型太陽電池と本発明の第2の実施の形態に係る多接合型太陽電池の特性を比較する図である。

【図7】本発明の他の実施の形態に係る3接合型太陽電池の構造を示す模式的な断面図である。

【図8】従来技術に係る単一接合型太陽電池の構造を示す模式的な断面図である。

【符号の説明】

- 1 ボトムセル
- 2 トンネル接合層(上側トンネル接合層)
- 3 トップセル
- 4 基板側トンネル接合層
- 5 基板側セル
- 13 p型 $GaAs$ バッファ層

10

20

30

40

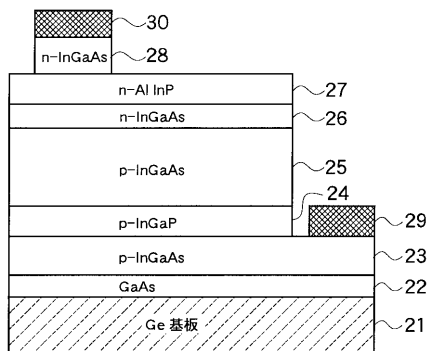
50

- 14, 24 p型InGaP裏面電界層
- 15 p型GaAsベース層
- 16 n型GaAsエミッタ層
- 18, 45 n型GaAsコンタクト層
- 21 Ge基板
- 22 低温GaAsバッファ層
- 23 p型In_{0.01}Ga_{0.99}Asバッファ層
- 25 p型In_{0.01}Ga_{0.99}Asベース層(第1のIn_xGa_{1-x}As層)
- 26 n型In_{0.01}Ga_{0.99}Asエミッタ層(第2のIn_xGa_{1-x}As層)
- 27, 44 n型AlInP窓層
- 28 n型In_{0.01}Ga_{0.99}Asコンタクト層
- 29 裏面電極
- 30 表面電極
- 31 n⁺⁺-InGaP層
- 32 p⁺⁺-AlGaAs層
- 41 p型AlInP裏面電界層
- 42 p型InGaPベース層
- 43 n型InGaPエミッタ層
- 52 n型Ge層
- 53 n⁺型低温GaAsバッファ層
- 54 n⁺⁺-In_{0.01}Ga_{0.99}As層
- 55 p⁺⁺-In_{0.01}Ga_{0.99}As層

10

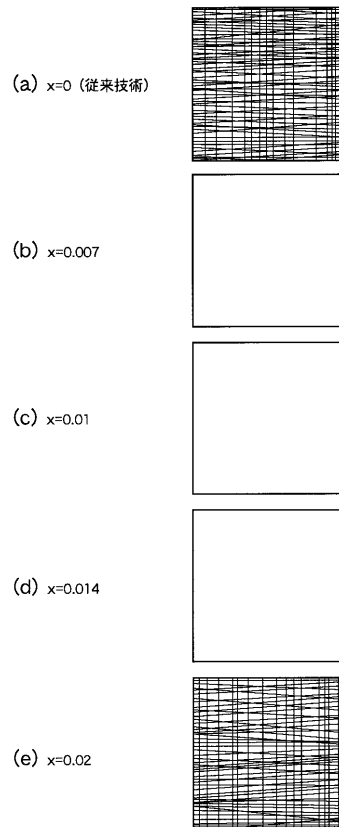
20

【図1】

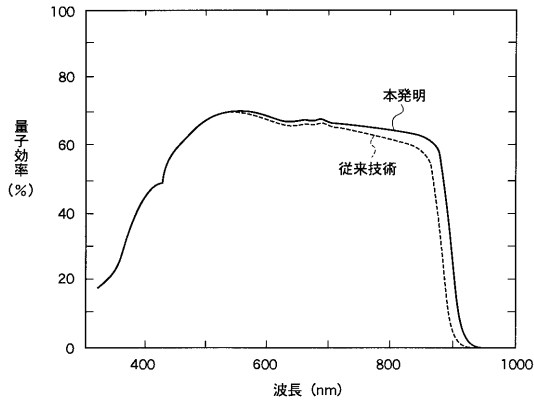


- 22: 低温GaAsバッファ層
- 23: p型In_{0.01}Ga_{0.99}Asバッファ層
- 24: p型InGaP裏面電界層
- 25: p型In_{0.01}Ga_{0.99}Asベース層
- 26: n型In_{0.01}Ga_{0.99}Asエミッタ層
- 27: n型AlInP窓層
- 28: n型In_{0.01}Ga_{0.99}Asコンタクト層
- 29: 裏面電極
- 30: 表面電極

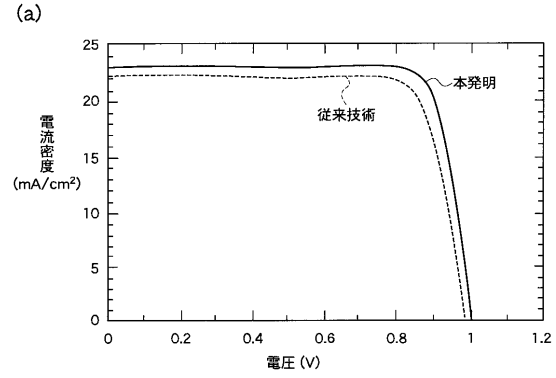
【図2】



【 図 3 】



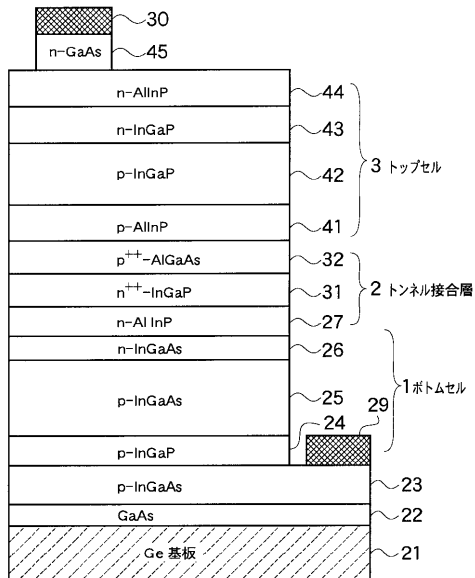
【 図 4 】



(b)

		従来技術	本発明
開放電圧	Voc(V)	0.983	0.997
短絡電流	Jsc(mA/cm ²)	22.12	23.01
曲線因子(フィル・ファクタ)	FF(%)	80.9	83.3
変換効率	η (%)	17.58	19.10

【 図 5 】

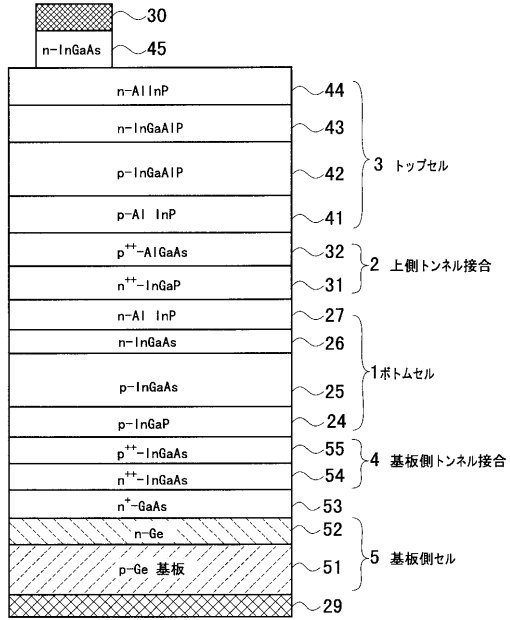


- 22: 低温GaAsバッファ層
- 23: p型In_{0.01}Ga_{0.99}Asバッファ層
- 24: p型InGaP裏面電界層
- 25: p型In_{0.01}Ga_{0.99}Asベース層
- 26: n型In_{0.01}Ga_{0.99}Asエミッタ層
- 27: n型AlInP窓層
- 29: 裏面電極
- 30: 表面電極
- 31: n⁺⁺-InGaP層
- 32: p⁺⁺-AlGaAs層
- 41: p型AlInP裏面電界層
- 42: p型InGaPベース層
- 43: n型InGaPエミッタ層
- 44: n型AlInP窓層
- 45: n型GaAsコンタクト層

【 図 6 】

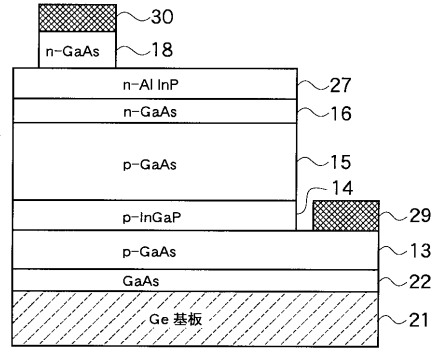
		従来技術	本発明
ボトムセル		GaAs	In _{0.01} Ga _{0.99} As
トップセル		In _{0.48} Ga _{0.52} P	In _{0.49} Ga _{0.51} P
開放電圧	Voc(V)	2.357	2.389
短絡電流	Jsc(mA/cm ²)	13.73	15.20
曲線因子(フィル・ファクタ)	FF(%)	84.4	85.1
変換効率	η (%)	27.31	30.90

【 図 7 】



- 23: p型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ バッファ層
- 24: p型 $InGaP$ 裏面電界層
- 25: p型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ ベース層
- 26: n型 $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ エミッタ層
- 27: n型 $AlInP$ 窓層
- 29: 裏面電極
- 30: 表面電極
- 31: n+- $InGaP$ 層
- 32: p+- $AlGaAs$ 層
- 41: p型 $AlInP$ 裏面電界層
- 42: p型 $InGaP$ ベース層
- 43: n型 $InGaP$ エミッタ層
- 44: n型 $AlInP$ 窓層
- 45: n型 $GaAs$ コンタクト層
- 52: n型 Ge 層
- 53: 低温 $GaAs$ バッファ層
- 54: n+- $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ 層
- 55: p+- $In_{0.01}Ga_{0.99}As$ 層

【 図 8 】



- 13: p型 $GaAs$ バッファ層
- 14: p型 $InGaP$ 裏面電界層
- 15: p型 $GaAs$ ベース層
- 16: n型 $GaAs$ エミッタ層
- 18: n型 $GaAs$ コンタクト層
- 22: 低温 $GaAs$ バッファ層
- 27: n型 $AlInP$ 窓層
- 29: 裏面電極
- 30: 表面電極

フロントページの続き

(72)発明者 池田 英治

埼玉県戸田市新首南3丁目17番35号株式会社ジャパンエナジー中央研究所内

審査官 柏崎 康司

(56)参考文献 特開平07-231108(JP,A)

特開平04-137768(JP,A)

特開昭58-127386(JP,A)

特開昭58-119676(JP,A)

特開昭56-112764(JP,A)

実開平03-020454(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 31/04