

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2014-519720

(P2014-519720A)

(43) 公表日 平成26年8月14日(2014.8.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 31/0687 (2012.01)	HO 1 L 31/06 3 1 0	5 F 1 5 1
HO 1 L 31/054 (2014.01)	HO 1 L 31/04 6 2 0	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2014-515909 (P2014-515909)  
 (86) (22) 出願日 平成24年6月12日 (2012.6.12)  
 (85) 翻訳文提出日 平成26年1月10日 (2014.1.10)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2012/042000  
 (87) 国際公開番号 W02012/173959  
 (87) 国際公開日 平成24年12月20日 (2012.12.20)  
 (31) 優先権主張番号 61/497, 172  
 (32) 優先日 平成23年6月15日 (2011.6.15)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 505005049  
 スリーエム イノベイティブ プロパティ  
 ズ カンパニー  
 アメリカ合衆国, ミネソタ州 55133  
 -3427, セント ポール, ポスト オ  
 フィス ボックス 33427, スリーエ  
 ム センター  
 (74) 代理人 100088155  
 弁理士 長谷川 芳樹  
 (74) 代理人 100128381  
 弁理士 清水 義憲  
 (74) 代理人 100162640  
 弁理士 柳 康樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 改善された変換効率を有する太陽電池

(57) 【要約】

改善された変換効率を示す太陽電池が開示される。具体的には、電流拡散層を含む多重 p n 接合太陽電池、並びにそのような太陽電池及び集光光学素子を含む集光型光起電力モジュールが、開示される。当該多重 p n 接合部は、概ね、III-V 半導体材料からなってもよく、一方で電流拡散層は、概ね、I-III-VI 半導体の材料からなってもよい。

【選択図】 図 2

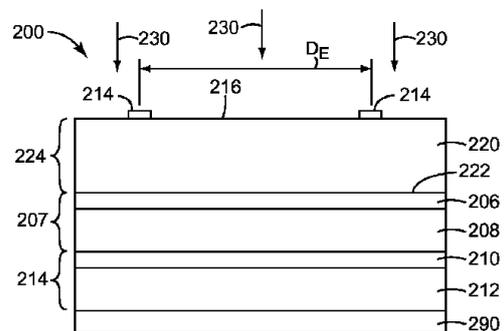


FIG. 2

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

多重接合太陽電池であって、

n ドープされた第 1 の III ~ V 半導体層及び p ドープされた第 1 の III ~ V 半導体層を備える第 1 の pn 接合部と、

前記第 1 の pn 接合部の下に位置付けられる第 2 の pn 接合部であって、n ドープされた第 2 の III ~ V 半導体層及び p ドープされた第 2 の III ~ V 半導体層を備える、第 2 の pn 接合部と、

第 1 の pn 接合部の上に位置付けられる電流拡散層であって、エピタキシャルな III ~ V 半導体層を備える、電流拡散層と、

前記第 1 の pn 接合部と反対側で前記電流拡散層に位置付けられた電極と、を備える、多重接合太陽電池。

10

## 【請求項 2】

前記電流拡散層が、 $2.8 \text{ eV}$  を超えるバンドギャップエネルギーを有する、請求項 1 に記載の多重接合太陽電池。

## 【請求項 3】

前記電流拡散層が、 $3.1 \text{ eV}$  を超えるバンドギャップエネルギーを有する、請求項 2 に記載の多重接合太陽電池。

## 【請求項 4】

前記電流拡散層が、 $3.4 \text{ eV}$  を超えるバンドギャップエネルギーを有する、請求項 3 に記載の多重接合太陽電池。

20

## 【請求項 5】

前記第 2 の pn 接合部の下に位置付けられる第 3 の pn 接合部を更に備える、請求項 1 に記載の多重接合太陽電池。

## 【請求項 6】

前記第 3 の pn 接合部が、Ge を含む、請求項 5 に記載の多重接合太陽電池。

## 【請求項 7】

n ドープされた前記第 1 の III ~ V 半導体層及び p ドープされた第 1 の III ~ V 半導体層が、(Al)GaInP を含む、請求項 1 に記載の多重接合太陽電池。

## 【請求項 8】

前記電流拡散層が、MgZnSSe 又は BeMgZnSe を含む、請求項 7 に記載の集光型光起電力電池構造。

30

## 【請求項 9】

n ドープされた前記第 1 の III ~ V 半導体層及び p ドープされた第 1 の III ~ V 半導体層が、InP 又は Al(Ga)InAs を含む、請求項 1 に記載の多重接合太陽電池。

## 【請求項 10】

前記電流拡散層が、CdMgZnSe、又は BeZnTe を含む、請求項 9 に記載の集光型光起電力電池構造。

## 【請求項 11】

n ドープされた前記第 2 の III ~ V 半導体層及び p ドープされた第 2 の III ~ V 半導体層が、Ga(In)As を含む、請求項 1 に記載の多重接合太陽電池。

40

## 【請求項 12】

前記 III ~ V 半導体層が、n ドープ又は p ドープされた前記第 1 の III ~ V 半導体層にほぼ格子整合している、請求項 1 に記載の多重接合太陽電池。

## 【請求項 13】

前記電極が、複数の離散的な線形電極部分を備え、それぞれの部分が少なくとも  $0.15 \text{ mm}$  の距離だけ最も近い隣接部分から離間配置される、請求項 1 に記載の多重接合太陽電池。

## 【請求項 14】

50

前記電極と前記電流拡散層との間に位置付けられる透明な導体を更に備える、請求項 1 に記載の多重接合太陽電池。

【請求項 15】

前記電流拡散層が、 $n$ ドープされた前記第 1 の半導体層上でエピタキシャルに成長させられる、請求項 1 に記載の多重接合太陽電池。

【請求項 16】

前記電流拡散層が、 $MgZnSSe$ 、 $BeMgZnSe$ 、 $CdMgZnSe$ 、又は  $BeZnTe$  を含む、請求項 15 に記載の集光型光起電力電池構造。

【請求項 17】

前記電流拡散層が、 $100$  オーム / 平方未満のシート抵抗を有する、請求項 1 に記載の集光型光起電力電池構造。 10

【請求項 18】

前記電流拡散層が、 $10$  オーム / 平方未満のシート抵抗を有する、請求項 1 に記載の集光型光起電力電池構造。

【請求項 19】

請求項 1 に記載の多重接合太陽電池を備える、集光型光起電力モジュール。

【請求項 20】

集光型光起電力モジュールであって、  
太陽光を集光させることができる光学素子と、  
多重接合太陽電池と、を備え、

20

前記光学素子が、入射太陽光を受光し、 $100\text{ sun}$  を超える強度を有する光が前記多重接合太陽電池に入射するように、前記入射太陽光を前記多重接合太陽電池に集束し、

前記多重接合太陽電池が、エピタキシャルな  $III-V$  半導体の  $pn$  接合部と、エピタキシャルな  $II-VI$  半導体の電流拡散層とを備え、前記  $III-V$  半導体の電流拡散層が、前記光学素子からの集束させられた光が前記電流拡散層に入射するように、前記  $III-V$  半導体の  $pn$  接合部と前記光学素子との間に位置付けられる、集光型光起電力モジュール。

【請求項 21】

前記光学素子が、レンズを含む、請求項 20 に記載の集光型光起電力モジュール。

【請求項 22】

前記光学素子が、フレネルレンズを含む、請求項 20 に記載の集光型光起電力モジュール。 30

【請求項 23】

前記光学素子が、ミラーを含む、請求項 20 に記載の集光型光起電力モジュール。

【請求項 24】

$150\text{ sun}$  を超える強度を有する光が、前記多重接合太陽電池に入射する、請求項 20 に記載の集光型光起電力モジュール。

【請求項 25】

$200\text{ sun}$  を超える強度を有する光が、前記多重接合太陽電池に入射する、請求項 20 に記載の集光型光起電力モジュール。 40

【請求項 26】

前記多重接合太陽電池が、 $35\%$  を超える効率で入射太陽光をエネルギーに変換する、請求項 20 に記載の集光型光起電力モジュール。

【請求項 27】

前記  $III-V$  半導体の  $pn$  接合部が、 $Ge$ 、 $Ga(In)As$ 、又は  $(Al)GaInP$  を含む、請求項 20 に記載の集光型光起電力モジュール。

【請求項 28】

前記  $II-VI$  半導体の電流拡散層が、 $MgZnSSe$  又は  $BeMgZnSe$  を含む、請求項 27 に記載の集光型光起電力モジュール。

【請求項 29】

50

III ~ V半導体のpn接合部が、InP、GaInAs、GaInAsP、又はAl(Ga)InAsを含む、請求項20に記載の集光型光起電力モジュール。

【請求項30】

前記III ~ VI半導体の電流拡散層が、CdMgZnSe、又はBeZnTeを含む、請求項29に記載の集光型光起電力モジュール。

【請求項31】

前記III ~ VI半導体の電流拡散層が、MgZnSse、BeMgZnSse、CdMgZnSe、又はBeZnTeを含む、請求項20に記載の集光型光起電力モジュール。

【請求項32】

前記光学素子に向く前記III ~ VI半導体の電流拡散層の表面に位置付けられる電極であって、不透明である電極を更に備える、請求項20に記載の集光型光起電力モジュール。

10

【請求項33】

前記電極が、複数の相互接続された線形電極セグメントを更に備え、それぞれのセグメントが少なくとも0.15mmの距離だけ最も近い隣接セグメントから離間配置される、請求項32に記載の集光型光起電力モジュール。

【請求項34】

前記電極と前記電流拡散層との間に位置付けられる透明な導体を更に備える、請求項32に記載の多重接合太陽電池。

【請求項35】

前記電流拡散層が、100オーム/平方未満のシート抵抗を有する、請求項32に記載の多重接合太陽電池。

20

【請求項36】

前記電流拡散層が、10オーム/平方未満のシート抵抗を有する、請求項32に記載の多重接合太陽電池。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書は、改善された変換効率を示す太陽電池に関する。具体的には、本明細書は、電流拡散層を含む多重pn接合太陽電池、並びにそのような太陽電池及び集光光学素子を含む集光型光起電力モジュールに関する。

30

【背景技術】

【0002】

化石燃料に対する代替エネルギー源を求めて、地熱エネルギー、水力発電エネルギー、水素、バイオ燃料、及び風力エネルギーを含む、いくつかの選択肢が探求されている。しかし、益々魅力的になっている選択肢は太陽エネルギーの利用である。光起電力太陽電池は、入射太陽光を捕獲し、吸収された光子を電池を通して流れる電子及びホールに変換し、電流を発生させ、電気を生成するように使用されてもよい。残念ながら、エネルギー変換のための光起電力電池の使用に対する1つの主要な歴史的欠点は、そのような電池のエネルギー効率である。失われる入射太陽光からのエネルギーは、光起電力電池の反射オフ、熱力学的損失、電池の内部量子効率、及び電池の導電効率に帰される場合がある。最も初期の光起電力電池は、入射太陽光からのエネルギーの約1~2%のみを変換した。単一pn接合シリコンウェハからなる現代の太陽電池は、約15~25%の最大変換効率を得ることができる。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかし、主要な最近の進歩は、この領域でなされている。複数のpn接合部、並びにIII ~ VI半導体等の他の結晶質材料からなる多重太陽電池に光束を集光させるために光学素子を使用して、研究者は、およそ40%の変換効率を得ている。当技術分野において、

50

そのような太陽電池の変換効率を引き続き改善する解決法を提供する大きな必要性がある。

【課題を解決するための手段】

【0004】

一態様において、本明細書は、多重接合太陽電池に関する。多重接合太陽電池は、第1のpn接合部、第1のpn接合部の下に位置付けられる第2のpn接合部、第1のpn接合部の上に位置付けられる電流拡散層、及び第1のpn接合部と反対側で電流拡散層上に位置付けられる電極を含む。第1のpn接合部は、nドープされた第1のIII-V半導体層及びpドープされた第1のIII-V半導体層を含む。第2のpn接合部は、nドープされた第2のIII-V半導体層及びpドープされた第2のIII-V半導体層を含む。電流拡散層は、III-V半導体層であり、 $2.8\text{ eV}$ 、 $3.1\text{ eV}$ 、又は $3.4\text{ eV}$ を超えるバンドギャップエネルギーを有してもよい。少なくともいくつかの実施形態において、多重接合太陽電池は、第2のpn接合部の下に位置付けられる第3のpn接合部を更に含んでもよい。多重接合太陽電池は、電極と電流拡散層との間に位置付けられる透明な導体も含んでもよい。いくつかの実施形態において、多重接合太陽電池は、集光型光起電力モジュールの部分である。

10

【0005】

別の態様において、本明細書は、太陽光及び多重接合太陽電池を集光させることができる光学素子を含む、集光型光起電力電池構造に関する。光学素子は、入射太陽光を受光し、 $100\text{ sun}$ を超え、若しくは潜在的に $150\text{ sun}$ を超え、又は更に $200\text{ sun}$ を超える強度を有する光が多重接合太陽電池に入射するように、前記入射太陽光を多重接合太陽電池に集束する。多重接合太陽電池は、光学素子からの集束される光が電流拡散層に入射するように、エピタキシャルなIII-V半導体のpn接合部及びIII-V半導体のpn接合部と光学素子との間に位置付けられるエピタキシャルなIII-V半導体の電流拡散層を含む。いくつかの実施形態において、光学素子は、フレネルレンズ又は潜在的にはミラー等のレンズであってもよい。多重接合太陽電池は、電流拡散層の表面上に電極を更に含んでもよい。いくつかの実施形態において、多重接合太陽電池は、電極と電流拡散層との間に透明な導体を含んでもよい。

20

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】多重接合太陽電池の断面図。

【図2】本明細書による多重接合太陽電池の断面図。

【図3】本明細書による多重接合太陽電池の断面図。

【図4】本明細書による多重接合太陽電池の断面図。

【図5】本明細書による多重接合太陽電池の断面図。

【図6】本明細書による集光型光起電力電池構造の断面図。

【図7】本明細書による集光型光起電力電池構造の断面図。

【発明を実施するための形態】

【0007】

上に集光された光が入射する複数のpn接合部を有する多重光起電力太陽電池は、変換効率のかつて経験されたことのない水準を達成している。これらの電池は、 $200\text{ sun}$ を超える強度にある光を受光してもよい。ゆえに、そのような電池における電流密度は、 $3\text{ Amp/cm}^2$ 超であってもよい。残念ながら、これらの電池においての変換効率の高められた水準にも関わらず、金属電極（「電極抵抗」）と関連付けられた寄生抵抗及び光源に最も近い半導体層中の横方向の電流の流れを有する寄生抵抗（「広がり抵抗」）は、電池の効率をなお、顕著に低下させ、電池の性能を変換の理論的に可能な水準未満に保持する。太陽電池の表面の電極を合わせてより近くに離間配置することが広がり抵抗を低減する場合がある一方で、これは、顕著により多くの表面区域のシャドーイング、したがって、アクティブ領域の太陽電池に入り、使用可能なエネルギーに変換され得るより少ない光をもたらし得る。

40

50

## 【0008】

光源に最も近いpn接合半導体層の厚さを増加させることは、広がり抵抗を低減し得るが、典型的に、短波長光に対する変換効率を低下させる犠牲を払う。ITO ( $In_2O_3$ : $SnO_3$ ) 又はZnO:Al等、電極のための透明な導体を付加することは、概ね、これらの材料がスパッタコーティング等の典型的手段によって堆積させられるとき、導体は、上面半導体層への低抵抗接触を形成しないため、残念ながら、実現可能な解決法ではない。III~V半導体層の表面は、その高さが大部分、適用される導体から独立する、従来の透明な導体が適用されるとき、ショットキー障壁が形成されるようにフェルミ準位を固定する。良好に設計された電池において、直列抵抗による損失は、500sunの強度で6%の効率の低下の原因となり得る。

10

## 【0009】

ゆえに、多重接合太陽電池、及びそのような太陽電池を使用して、広がり抵抗を最小化し得る集光型光起電力モジュールを提供することは、非常に所望であろう。本明細書は、太陽と太陽電池内の複数のpn接合部との間にIII~V半導体層を提供することによる、そのような解決法を記載する。III~V半導体層は、太陽電池のIII~V表面でエピタキシャルに成長させられ、電流拡散層として機能する。層は、高バンドギャップエネルギーと透過性である一方、多重接合太陽電池全体で横方向に流れる電流に対する低シート抵抗を電極に提供し、III~V/III~Vヘテロ界面で低い電気抵抗を有することによって、変換損失を最小化するように機能する。

20

## 【0010】

図1は、当技術分野で現在使用される変換三重接合太陽電池100の例示を提供する。三重接合太陽電池100は、nドーパされた層102及びpドーパされた層104からなる第1のpn接合部103、nドーパされた層106及びpドーパされた層108からなる第2のpn接合部107、並びにnドーパされた層110及びpドーパされた層112からなる第3のpn接合部111を含んでもよい。nドーパされた層102、106、110、及びpドーパされた層104、108、112は、いずれの適切な材料からなってもよく、少なくともいくつかの場合、III~V半導体材料からなってもよい。典型的に、これらの接合部は、モノリシックに製作され、高濃度ドーパされたトンネル接合部によって直列に接続される。底面pn接合部の下に、この場合には、第3のpn接合部111及びpドーパされた第3の層112下に背後電極190がある。三重接合太陽電池の1つの典型的構造は、R. R. King, 40% Efficient Metamorphic GaInP/GaInAs/Ge Multijunction Solar Cells, Applied Physics Letters 90, 183516 (2007)に見られ得る。nドーパされた層102の表面116に位置付けられるのは、相互接続されたセグメントからなる電極114である。上述のように残念ながら、図1に例示される構造において、電極部分は、非常に近い距離 $D_E$ で共に離間配置されなければならない。これは、電極部分114が広がり抵抗及び層102中での電流損失を低減するように、共に近くで離間配置されなければならないためである。残念ながら、電極114が不透明な材料からなる場合、電極は位置付けられる表面116の部分に影を落とし、したがって、より少ない入射太陽光が使用可能エネルギーに変換されることを可能にすることは勿論である。また、簡潔に言及されたように、電極114用に透明な電極を使用することは、ITO等の通常使用される透明な電極材料が表面116との低抵抗の接触を形成しないため、実行可能な解決法ではない。

30

40

## 【0011】

図1の構造に関連付けられた問題への1つの潜在的な解決法は、図2の構造によって例示される。図2は、本明細書による多重接合太陽電池200を提供する。多重接合太陽電池は、nドーパされた第1のIII~V半導体層202及びpドーパされた第1のIII~V半導体層204を含む、第1のpn接合部203を含む。少なくともいくつかの実施形態において、nドーパされた第1の半導体層及びpドーパされた第1の半導体層は、(Al)GaInPからなってもよい。ここにおいて、合金における任意の要素を示すため

50

に、括弧が使用される、すなわち、GaInPは、(Al)GaInPの1つの組成物である。この記載された明細書全体において材料組成物に使用されるとき、括弧は、任意の要素を含意することを理解されたい。他の実施形態において、nドーパされた第1の半導体層及びpドーパされた第1の半導体層は、InP又はAl(Ga)InAsからなってもよい。多重接合太陽電池は、(入射光と反対の)電池内の第1のpn接合部203の下に位置付けられる、第2のpn接合部207を更に含む。第2のpn接合部207は、nドーパされた第2のIII-V半導体層206及びpドーパされた第2のIII-V半導体層208を含む。少なくともいくつかの実施形態において、nドーパされた第2の半導体層及びpドーパされた第2の半導体層は、Ga(In)Asからなってもよい。

#### 【0012】

図2に例示されるのは、太陽電池に必ずしも含まれないが、nドーパされた第3のIII-V半導体層210及びpドーパされた第3のIII-V半導体層212からなる第3のpn接合部211であってもよい。含まれる場合、nドーパされた第3の半導体層及びpドーパされた第3の半導体層は、例えば、ゲルマニウムからなってもよい。多重接合太陽電池200は、相互接続されたセグメントからなる電極214も含む。しかし、図1に例示される実施形態と異なり、本明細書は、(入射光230の側面の)第1のpn接合部203の上に電流拡散層220を提供する。電流拡散層は、界面222の層202上でエピタキシャルに成長させられる、III-V半導体層からなる。電流拡散層は、電極214のセグメントによって吸収される前に、電流が太陽電池の横方向の範囲に渡って低い抵抗で流れることを可能にする。層220の有効な電流拡散は、電極214のセグメントが図1に例示される、先に使用された実施形態におけるよりはるかに大きい距離 $D_E$ で離間配置されることを可能にし、したがって、太陽電池の表面218に影を落とされることによる損失を低下させる。断面図から示されるが、電極214のセグメントは、その長さが図2のページ内又はページ外へと延在する離散的な線形電極セグメントとして理解されてもよい。セグメントのそれぞれは、少なくとも0.1mm、又は少なくとも0.15mm、又は潜在的に更に0.20mmまでの距離 $D_E$ によって最も近い隣接セグメントから離間配置されてもよい。十分に低いシート抵抗を供給するために、電流拡散層220が典型的に1マイクロメートルを超え、いくつかの実施形態において10マイクロメートルを超える、相当に実質的厚さ224を有することが重要である。

#### 【0013】

電極214は、III-V半導体層に低抵抗のオーム接触を提供する。III-V半導体がn型であるとき、電極214は、半導体と接触する、Ti等の比較的低い仕事関数の金属層を含んでもよい。III-V半導体がp型であるとき、電極214は、半導体と接触する、Pd等の比較的高い仕事関数の金属層を含んでもよい。どちらの場合においても、電極214の残部は、Al、Cu、Ag、及びAu等、優れた電気導電性を有する金属又は合金を含んでもよい。電極214の厚さは、許容損害を提供するように選択されるべきである。電極セグメントの間のより大きな分離のために、それぞれのセグメント内の電流は増加させられ、そのために電極の厚さは、結果的に、増加させられるべきである。したがって、スケールに合わせ示されないが、図2~7の目下記載される太陽電池の電極(例えば、214)の厚さは、従来技術のそれ(例えば図1、電極114)より実質的に大きくあるべきである。

#### 【0014】

多重接合太陽電池200は、電極214と共に電池から電流を引くための後側電極290を更に含む。後側電極290は、入射太陽光から反対側の多重接合太陽電池の表面にあるため、連続層であっても、又は電極214として分割されてもよい。後側電極290は、太陽電池並びにリフレクタ及びヒートシンクのための経路にオーム接触を提供する。電極は、金属、又は金、銀、アルミニウム、ニッケル、チタン、クロム、プラチナ、パラジウム、ロジウム、レニウム、ルテニウム、タングステン、インジウム、並びにそれらの混合体及び合金を含む金属合金を含むが、これらに限定されない、当技術分野において既知の適切な導電性材料のいずれの種類であってもよい。電極はITOなどの透明な導電性酸

10

20

30

40

50

化物で形成することもできる。電極 214 及び 290 は、典型的に、順次、AC 回路に電力を提供するインバータ等の外部負荷又は回路に dc 電力を提供するように使用されてもよい。

#### 【0015】

電流拡散層 220 は、概ね、ワイドバンドギャップ III-V 半導体の材料から作製されてもよい。電流拡散層 220 の構造に成長させられる特に好適な III-V 半導体の材料は、MgZnSse、BeMgZnSse、CdMgZnSse、又は BeZnTe である場合がある。これらの III-V 半導体の材料の選択は、pn 接合部（例えば、203）を構成する III-V 半導体材料の結晶構造があれば、特に有効である場合がある。III-V 半導体層は、ヘテロ界面全体での電流の流れに対する障壁を呈する可能性のある、ヘテロ界面でのトラップ電荷を最小化するために、最小のヘテロ界面での結晶学的欠陥（例えば、転位）を伴う III-V 表面でエピタキシャルに成長させられることが好ましい。これは、III-V 半導体層に対してほぼ格子整合している（又は換言すれば、n ドープ及び p ドープされた第 1 の半導体層 202、204、又は接合部 203 に対して格子整合している）III-V 半導体の電流拡散層 220 を成長させることによって達成されてもよい。例えば、MgZnSse 又は BeMgZnSse は、GaAs 又は Ge 基板上で成長させられた (Al)GaInP に対して格子整合して成長させられてもよい。同様に、CdMgZnSse 又は BeZnTe は、InP、又は InP 基板上で成長させられた Al(Ga)InAs に対して格子整合して成長させられてもよい。

10

#### 【0016】

電流拡散層は、また、相当に高く、太陽スペクトルのほとんどを透明にするバンドギャップエネルギーを有するものとして理解されてもよい。例えば、いくつかの実施形態において、電流拡散層は、2.8 eV を超え、又は 3.1 eV を超え、及び潜在的に 3.4 eV を超えるバンドギャップエネルギーを有してもよい。III-V 半導体の電流拡散層のエピタキシャルな成長によって利用可能な結晶学的欠陥の低い濃度は、高いキャリア移動度及び低い電荷トラッピングを提供することによって高い導電性も可能にする。低いシート抵抗は、適切な不純物を伴う III-V 半導体層をドープすることによって得られる。MgZnSse、BeZnMgSe、及び CdMgZnSse を含む特定の III-V 半導体は、浅い準位ドナーと n 型ドープすることによって高い導電性を得ることができる。ゆえに、少なくともいくつかの実施形態において、電流拡散層 220 は、ドープされてもよい。Cl 及び Al が好ましい浅い準位ドナーであるが、選択肢としては、F、Br、I、Ga 及び In が挙げられる。BeZnTe を含む特定の III-V 半導体は、浅い準位アクセプタと p 型ドープすることによって高い導電性を得ることができ、N が好ましい浅い準位アクセプタであるが、選択肢としては、P、As、及び Cu が挙げられる。最適なドーパント濃度は、典型的には、 $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  ~  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$  の範囲である。より高い濃度で、キャリア移動度における減少は、達成し得る導電性を限定する。適切なドーピング及び厚さを使用することによって、III-V 半導体の電流拡散層のシート抵抗は、100 オーム / 平方未満、又は 10 オーム / 平方未満までになる場合がある。いくつかの実施形態において、潜在的障壁が、ヘテロ界面における伝導又は価電子帯オフセットのために存在する。そのようなヘテロ障壁の電気抵抗は、ヘテロ障壁を通る量子力学的トンネリングを促進する III-V 付近の III-V 半導体層の中の非常に高いドーパント濃度によって軽減される。III-V エピタキシャルな層をドープする更なる論述は、その全てが本明細書に参照によって組み込まれる、共同所有される米国特許第 5,248,631 号に見出され得る。

20

30

40

#### 【0017】

簡潔に言及されたように、本明細書の多重接合太陽電池は、第 3 の pn 接合部を含む必要がない。例えば、図 3 の多重接合太陽電池 300 は、n ドープされた第 1 の III-V 半導体層 202 及び p ドープされた第 1 の III-V 半導体層 204 を伴う第 1 の pn 接合部 203 と、n ドープされた第 2 の III-V 半導体層 206 及び p ドープされた第 2 の III-V 半導体層 208、並びに電流拡散層 220 及び電極 214 を伴う第 2 の pn

50

接合部 207 とを含む。しかし、第 2 の pn 接合部 207 の下の第 3 の pn 接合部は、太陽電池 300 内に存在しない。金属の後側電極 290 は、典型的に、II-VI 電流スプレッド層と反対側の太陽電池の表面を覆う。後側電極は、太陽電池へのオーム接触、並びにヒートシンクのための経路を提供する。多くの実施形態において、基板 280 は、太陽電池の pn 接合部を支持し、接合部から後側接点 290 へと電気及び熱を伝導する。一実施例において、第 1 の pn 接合部 202 は、InP 又は Al(Ga)InAs から構成され、第 2 の pn 接合部 207 は、GaInAs(P) を含み、これらの両方が InP 基板 280 上で成長させられる。エピタキシャルな II-VI 半導体の電流拡散層は、n 型 CdMgZnSe 又は p 型 BeZnTe を含む。後側接点 290 は、概ね、図 2 に関して記載されたそれと類似の電極であってもよい。

10

#### 【0018】

別の実施形態において、図 4 に例示されるように、多重接合太陽電池は、電流拡散層と電極との間に別個の層を含んでもよい。多重接合太陽電池 400 は、図 2 に例示される積層として互いに同じ相関で、第 1 の pn 接合部 403、第 2 の pn 接合部 407、電流拡散層 420、及び恐らくは第 3 の pn 接合部 411 を含む。しかし、電極 414 を電流拡散層の表面に直接配置するよりは、むしろ透明な導体 426 が、電極 414 と電流拡散層 420 との間に位置付けられる。後側電極 490 は、図 2 の電極 290 と同様に、多重接合太陽電池の反対側に存在する。ほとんどの III-VI 半導体と異なり、いくつかの III-VI 半導体は、遊離面において強いフェルミ準位ピンングを示さない。ゆえに、エピタキシャルな III-VI と ITO ( $In_2O_3$ :  $SnO_3$ ) 又は ZnO: Al 等の従来の (非エピタキシャルな) 透明な導体との間に低い抵抗の界面を製作することが可能である。III-VI エピタキシャルな電流拡散層の頂面に従来の透明な導体を付加することは、電流拡散による損失を更に減少させるように補助し得る。

20

#### 【0019】

別の企図される多重接合太陽電池は、図 5 に例示される。多重接合太陽電池 500 は、p ドープされた第 3 の半導体層 512 及び n ドープされた第 3 の層 511 からなる第 3 の pn 接合 511 を含んでもよい。n ドープされた第 3 の層は、p ドープされた第 2 の層 508 及び p ドープされた第 2 の層 506 の下に積層されてもよく、これらは第 2 の pn 接合部 507 を構成する。しかし、第 2 の pn 接合部 507 の上に、別個の電流拡散層と共に別個の pn 接合部はない。むしろ、p ドープされた第 1 の半導体層 504 は、n ドープされた第 2 の半導体層 506 上に位置付けられる。p ドープされた第 1 の層 504 上に位置付けられるのは、n ドープされた第 1 の電流拡散層 532 である。これらの 2 つの層は、pn 接合部 533 を形成する。上記の実施形態の多くにおいて、電流拡散層、例えば 220 は、p ドープされてもよい。しかし、これらの他の実施形態における pn 接合部は、例えば、別個の n 及び p ドープされた III-VI 半導体層から構成されるであろう。ここにおいて、pn 接合部を構成する n ドープされた層は、実際には III-VI 材料であり、問題の電流拡散層としても機能する。太陽電池 660 は、入射太陽光に向く前側電極 514 及び電池の反対側表面の後側電極 590 も含む。

30

#### 【0020】

勿論、有効に適切に機能するために、本明細書の多重接合太陽電池は、概ね、入射太陽光を集光し、小さい電池に導きもする大きな装置の部分にされなければならない。1 つのそのような装置は、図 6 の集光型光起電力電池構造 600 によって例示される。集光型光起電力電池構造 600 は、部分的に光学素子 640 からなる。光学素子は、多重接合太陽電池 660 の位置と反対側の表面で入射太陽光 650 を受光するように位置付けられる。光学素子は、光を集光し、それを小さい表面 (すなわち、多重接合太陽電池 660 の表面) に向かって集束するように使用される、いずれの適切なレンズであってもよい。例えば、レンズは、図 6 に示されるそのような凸レンズであってもよく、又はフレネルレンズ、平凸レンズ等であってもよい。いずれの適切なレンズも使用されてもよい。加えて、単一の光学素子 640 として示されるが、光学素子 640 は、潜在的に異なる形状を有するレンズを伴う複数の部分要素レンズからなってもよい。

40

50

## 【0021】

光学素子640は、入射光650を受光し、多重接合太陽電池660の表面に集束された光630として、光を送る。光学素子640は、多重接合太陽電池の表面の単位区域毎の光束が光学素子640の表面よりもはるかに大きくなるように、多重接合太陽電池に到達すると、太陽光を大量に集光するべきである。実際には、多重接合太陽電池に到達する光630は、100sunを超える強度で、潜在的には150sunを超え、そして潜在的には200sunを超えるまでの強度で電池上に入射すべきである。

## 【0022】

多重接合太陽電池660は、上記の図2～5の太陽電池のいずれにも潜在的に対応することを理解されたい。図6に示されるように、多重接合太陽電池は、部分的に複数のエピタキシャルなIII～V半導体のpn接合部603、607、611からなる。電池は、更に、部分的に、III～V pn接合部603、607、611と光学素子640との間に位置付けられるエピタキシャルなII～VI半導体の電流拡散層620からなる。この位置付けは、光学素子640からの集束される光630が、pn接合部に到達する前に、電流拡散層620上に入射するような位置付けである。

10

## 【0023】

上記の太陽電池においてのように、多重接合太陽電池は、離散的な線形部分に分離され、光学素子640に向く電流拡散層620の表面に位置付けられる、電極614を含んでもよい。電極は、いくつかの実施形態において、不透明である場合がある。電極614の離散的な線形部分は、図2の電池と共に記載されたように、少なくとも0.1mm、又は少なくとも0.15mm、若しくは潜在的に0.20mmまでの距離によって離間配置されてもよい。必要に応じて、図4の太陽電池と共に示されたように、多重接合太陽電池660は、電極614と電流拡散層620との間に位置付けられる透明な導体626を含んでもよい。太陽電池500は、電池の反対側の表面に後側電極690も含む。

20

## 【0024】

多くの実施形態において、pn接合部603、607、611は、pドープ及びnドープされたIII～V半導体層又は層からなってもよい。これらの層は、Ge、Ga(In)As、(Al)GaInP、InP、GaInAs、GaInAsP、又はAl(Ga)InAsからなってもよい。電流拡散層620は、層がMgZnSse、BeMgZnSse、CdMgZnSse、又はBeZnTeからなってもよい場合、概ね、II～V半導体層であろう。

30

## 【0025】

いくつかの実施形態において、レンズは、図6に示されるように光を集光し、それを多重接合太陽電池に集束するために使用されてもよいが、他の構造も企図される。例えば、図7は、集光型光起電力電池構造の別の実施形態を例示する。この場合も、太陽光750は、光学素子740上に入射する。しかし、ここにおいては、光学素子はミラー740である。この構造では、ミラー740は、光を反射するだけでなく、多重接合太陽電池760の小さい表面区域上の集光された光730としてその集束も行うように、成形される。この実施形態は、要素が入射太陽光750を集光し、それを太陽電池に向かって向けることができる限り、企図される構造で光学素子として使用されてもよい、広いアレーの要素の例示を提示する。

40

## 【0026】

初期的に論じられたように、本明細書の多重接合太陽電池は、従来技術の多くよりも著しく効率的である。多重接合太陽電池は、35%を超え、37%を超え、そして潜在的に39%又は40%を超えるまでの効率で入射太陽光をエネルギーに変換し得る。例えば、高い集光性(400sunを超える)で、エピタキシャルなII～VI半導体の電流拡散層及び適切な電極を付加することは、3パーセント点(例えば、37%から40%へと)だけ電池効率を改善し得る。

## 【0027】

ほとんどの実施形態において、II～VI半導体の電流拡散層上への反射防止被覆は、

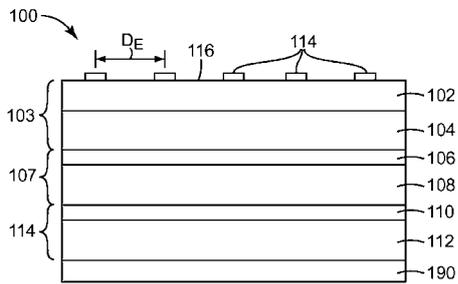
50

太陽光を太陽電池中に効率的に結合するために有用である。

【 0 0 2 8 】

本発明は、上記の特定の実施例及び実施形態に限定されるものと見做されるべきではなく、そのような実施形態は、本発明の様々な態様の説明を容易にするように詳細に記載されている。むしろ本発明は、添付される特許請求の範囲によって定義される本発明の趣旨及び範囲内に含まれる様々な改変形態、等価の工程、及び選択的装置を含む、本発明の全ての態様を包含するものと理解されたい。

【 図 1 】



先行技術

【 図 2 】

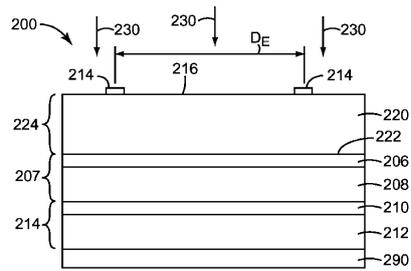


FIG. 2

【 図 3 】

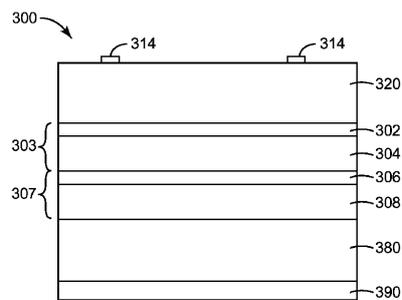


FIG. 3

【 図 4 】

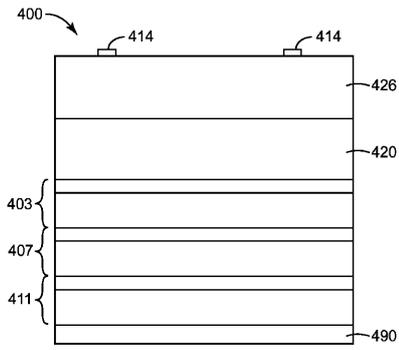


FIG. 4

【 図 6 】

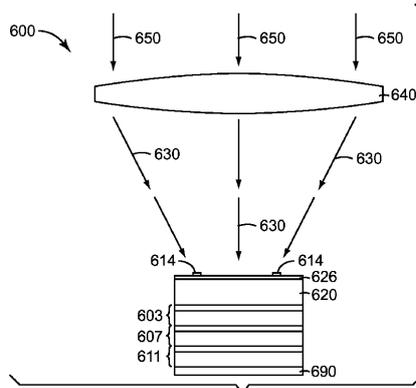


FIG. 6

【 図 5 】

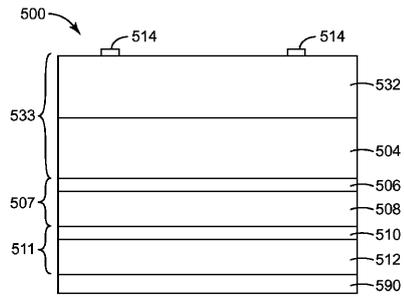


FIG. 5

【 図 7 】

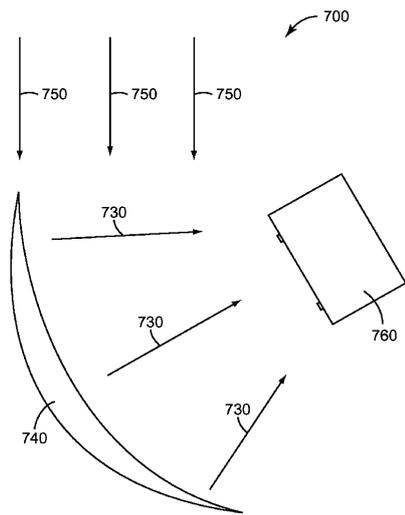


FIG. 7

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2012/042000
---

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. H01L31/0687 H01L31/0224 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011/005570 A1 (JAIN FAQUIR CHAND [US]) 13 January 2011 (2011-01-13) abstract; figures 4a,4b paragraphs [0003] - [0005], [0009], [0010], [0015], [0016], [0044], [0052] - [0054], [0099], [0100], [0121] - [0126]	1-23, 27-36
X	US 2010/301454 A1 (ZHANG YONG-HANG [US] ET AL) 2 December 2010 (2010-12-02)  abstract; figures 8a,9 paragraphs [0049], [0056], [0069], [0079], [0085], [0088], [0089], [0091], [0092], [0103] - [0106], [0111] - [0118], [0121]; tables 2,4  ----- -/--	1-5,9, 10, 12-26, 29-36
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 27 March 2013		Date of mailing of the international search report 05/04/2013
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Sagol, Bülent Erol

1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2012/042000

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>MAKSIMOV O ET AL: "Reflectance and photoluminescence characterization of BexZn1-xTe epilayers", THIN SOLID FILMS, ELSEVIER-SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH, vol. 467, no. 1-2, 22 November 2004 (2004-11-22), pages 88-92, XP004557032, ISSN: 0040-6090, DOI: 10.1016/J.TSF.2004.03.003 abstract; table 1 page 88</p> <p>-----</p>	1,9,10, 15,16, 20,29-31
A	<p>VIGUÉVIGUE F ET AL: "Evaluation of the Potential of ZnSe and Zn(Mg)BeSe Compounds for Ultraviolet Photodetection", IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, USA, vol. 37, no. 9, 1 September 2001 (2001-09-01), XP011052691, ISSN: 0018-9197 abstract; figures 1,2 page 1147 - page 1148</p> <p>-----</p>	8,16,28, 31
A	<p>HAASE M ET AL: "II-VI semiconductor color converters for efficient green, yellow, and red light emitting diodes", APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 96, no. 23, 11 June 2010 (2010-06-11), pages 231116-231116, XP012131483, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.3453447 abstract; figure 1 pages 231116-1</p> <p>-----</p>	10,16, 30,31

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/US2012/042000

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011005570	A1	13-01-2011	NONE
-----			
US 2010301454	A1	02-12-2010	US 2010301454 A1 02-12-2010
			WO 2009067347 A1 28-05-2009
-----			

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA

(72)発明者 ハーセ, マイケル, エー.

アメリカ合衆国, ミネソタ州, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 33427,  
スリーエム センター

Fターム(参考) 5F151 AA02 AA03 AA08 DA03 DA17 DA20 FA02 FA04 FA06 FA13

FA15 JA22 JA23