

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5794974号

(P5794974)

(45) 発行日 平成27年10月14日(2015.10.14)

(24) 登録日 平成27年8月21日(2015.8.21)

(51) Int.Cl. F I
 H O 1 L 31/0687 (2012.01) H O 1 L 31/06 3 1 O
 H O 1 L 31/0693 (2012.01) H O 1 L 31/06 3 2 O

請求項の数 10 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2012-500800 (P2012-500800)	(73) 特許権者	500520743
(86) (22) 出願日	平成22年2月4日(2010.2.4)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公表番号	特表2012-521090 (P2012-521090A)		The Boeing Company
(43) 公表日	平成24年9月10日(2012.9.10)		アメリカ合衆国、60606-2016
(86) 国際出願番号	PCT/US2010/023171		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(87) 国際公開番号	W02010/107522	(74) 代理人	100109726
(87) 国際公開日	平成22年9月23日(2010.9.23)		弁理士 園田 吉隆
審査請求日	平成25年2月4日(2013.2.4)	(74) 代理人	100101199
(31) 優先権主張番号	12/404,795		弁理士 小林 義敦
(32) 優先日	平成21年3月16日(2009.3.16)	(72) 発明者	フェッツァー, クリストファー エム.
(33) 優先権主張国	米国 (US)		アメリカ合衆国、カリフォルニア 91354, ヴァレンシア, デイドリームウェイ 28017
前置審査			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 太陽電池内のトンネル接合の高濃度ドーブ層

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 p / n 型の半導体材料のトンネルダイオード (3 0 2) の第 1 層 (3 0 6) と ;
 前記第 1 p / n 型の半導体材料と同様の p / n 型のドーピングを有するデルタドーブ層 (4 0 4) であって、前記第 1 層 (3 0 6) よりも実質的に薄く、前記第 1 層 (3 0 6) のドーパント濃度よりも実質的に高いドーパント濃度に達しており、且つ前記第 1 層 (3 0 6) の上に堆積している前記デルタドーブ層 (4 0 4) と ;

前記トンネルダイオード (3 0 2) の前記第 1 層 (3 0 6) 、及び前記デルタドーブ層 (4 0 4) と相補の関係にある第 2 p / n 型の半導体材料の前記トンネルダイオード層 (3 0 2) の第 2 層 (3 0 4) であって、前記デルタドーブ層 (4 0 4) 上にエピタキシャル成長させた前記第 2 層 (3 0 4) と ;

前記トンネルダイオード (3 0 2) によって電気的に接続された少なくとも 2 つの光起電性のサブセル (1 0 2 、 1 0 4) と

を備え、さらに前記デルタドーブ層 (4 0 4) と前記第 2 層 (3 0 4) との間に、前記第 1 p / n 型の半導体材料の追加層を更に備え、前記デルタドーブ層 (4 0 4) と第 2 層 (3 0 4) との間に、前記追加層以外の層を更に備えない、多接合太陽電池 (4 0 0) 。

【請求項 2】

第 1 p / n 型の半導体材料のトンネルダイオード (3 0 2) の第 1 層 (3 0 6) と ;
 前記第 1 p / n 型の半導体材料と相補の関係にある第 2 p / n 型のドーピングを有するデルタドーブ層 (4 0 4) であって、前記第 1 層 (3 0 6) よりも実質的に薄く、前記第

10

20

1層(306)のドーパント濃度よりも実質的に高いドーパント濃度に達しており、且つ前記第1層(306)の上に堆積している前記デルタドープ層(404)と；

前記第2 p / n型の半導体材料の前記トンネルダイオード(302)の第2層(304)であって、前記デルタドープ層(404)上にエピタキシャル成長させた前記第2層(304)と；

前記トンネルダイオード(302)によって電氣的に接続された少なくとも2つの光起電性のサブセル(102、104)と

を備え、さらに前記第1層(306)と前記デルタドープ層(404)との間に、前記第2 p / n型の半導体材料の追加層を更に備え、第1層(306)と前記デルタドープ層(404)との間に、前記追加層以外の層を更に備えない、多接合太陽電池(400)。

10

【請求項3】

基板(106)と；

前記基板(106)の上にエピタキシャル成長させた第1の光起電性のサブセル(104)と；

前記トンネルダイオード(302)の前記第2層(304)の上にエピタキシャル成長させた第2の光起電性のサブセル(102)と

を更に備え；前記トンネルダイオード(302)の前記第1層(306)が、第1の光起電性のサブセル(104)の上にエピタキシャル成長させたものである、請求項1に記載の多接合太陽電池。

【請求項4】

20

複数の光起電性のサブセル(104、102)を更に備え、前記複数の光起電性のサブセルの各々が、デルタドープ層(404)を有するトンネルダイオード(302)によって分離されている、請求項1から3のいずれか一項に記載の多接合太陽電池。

【請求項5】

前記デルタドープ層(404)内の前記ドーパント濃度が前記第1層(306)の前記ドーパント濃度の略10倍高い、請求項1ないし4のいずれか一項に記載の多接合太陽電池。

【請求項6】

前記デルタドープ層(404)の前記ドーパント濃度が 10^{20} cm^{-3} よりも高い、請求項1ないし4のいずれか一項に記載の多接合太陽電池。

30

【請求項7】

前記デルタドープ層(404)の幅が略20オングストロームである、請求項1ないし4のいずれか一項に記載の多接合太陽電池。

【請求項8】

前記トンネルダイオード(302)が、前記第1の光起電性のサブセル(104)と等しいか、又は前記第1の光起電性のサブセル(104)よりも大きいバンドギャップを有する材料を含んでいる、請求項3に記載の多接合太陽電池。

【請求項9】

前記トンネルダイオード(302)が、砒化ガリウム、砒化ガリウムインジウム、リン化ガリウムインジウム、及び砒化アルミニウムガリウムから成るグループから選択される半導体材料を含んでいる、請求項1ないし8のいずれか一項に記載の多接合太陽電池。

40

【請求項10】

前記第1の光起電性のサブセル(104)及び前記第2の光起電性のサブセル(102)がn - o n - pサブセルであり；

前記第1層(306)、第2層(304)及び前記デルタドープ層(404)の第1または第2 p / n型がn型であるときは、ドープ材料がⅢⅤ族又はⅤⅢ族の元素から選択されたドナー型の半導体材料であり、p型であるときはドープ材料がⅢⅢ族、ⅢⅤ族、又はⅤ族の元素から選択されたアクセプタ型の半導体材料である、請求項3に記載の多接合太陽電池。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本明細書において記載される主題の実施形態は概して、隣接する太陽電池の間の相互接続トンネル接合の電気特性を改良する方法、及び改良された相互接続トンネル接合を有する多接合太陽電池に関する。

【背景技術】

【0002】

多接合太陽電池は、特定の向きに配置される電流発生 p - n 接合ダイオード又はサブセルの積層体である。電氣的に直列接続される場合、1つのサブセル内で発生する電流は、直列に並んだ次のサブセルに流れる。サブセルの間の相互接続トンネル接合の電気特性は、多接合太陽電池の総合効率に影響する。

10

【発明の概要】

【0003】

提供されるのは、多接合太陽電池のサブセル間の相互接続トンネル接合の電気特性を改良する方法、及び改良された相互接続トンネル接合を有する多接合太陽電池である。種々の実施形態では、当該方法、及び改良された相互接続トンネル接合は、狭いデルタドープ層を当該相互接続トンネル接合内に備え、当該デルタドープ層によって、多接合太陽電池のサブセル間の相互接続トンネル接合の電流処理容量を高めることができる。

【0004】

本開示の一つの態様では、多接合太陽電池が提供され、前記多接合太陽電池は：第 1 p / n 型の半導体材料のトンネルダイオードの第 1 層と；前記第 1 p / n 型の半導体材料と同様の p / n 型のドーピングを有するデルタドープ層であって、前記第 1 層よりも実質的に薄く、前記第 1 層のドーパント濃度よりも実質的に高いドーパント濃度に達しており、前記第 1 層の上に堆積している前記デルタドープ層と；前記トンネルダイオードの前記第 1 層、及び前記デルタドープ層と相補の関係にある第 2 p / n 型の半導体材料の前記トンネルダイオードの第 2 層であって、前記デルタドープ層の上にエピタキシャル成長させた前記第 2 層と；前記トンネルダイオードによって電氣的に接続される少なくとも 2 つの光起電性のサブセルとを備える。前記多接合太陽電池は更に、前記第 1 p / n 型の半導体材料の追加層を、前記デルタドープ層と前記第 2 層との間に備えることができる。前記多接合太陽電池の前記デルタドープ層は、相補の関係にある前記第 2 p / n 型の半導体材料と同様の p / n 型のドーピングを有することができる。前記多接合太陽電池は更に：相補の関係にある前記第 2 p / n 型の半導体材料の追加層を、前記第 1 層と前記デルタドープ層との間に備えることができる。前記多接合太陽電池は更に、基板と；前記基板の上にエピタキシャル成長させる第 1 の光起電性のサブセルと；前記トンネルダイオードの前記第 2 層の上にエピタキシャル成長させる第 2 の光起電性のサブセルとを備えることができ；前記トンネルダイオードの前記第 1 層は、第 1 の光起電性のサブセルの上に成長させる。前記多接合太陽電池は更に、複数の光起電性のサブセルを備えることができ、前記複数の光起電性のサブセルの各々は、デルタドープ層を有するトンネルダイオードによって分離される。

20

30

【0005】

40

前記デルタドープ層内の前記ドーパント濃度は、前記第 1 層の前記ドーパント濃度の略 10 倍高い。前記デルタドープ層の前記ドーパント濃度は 10^{20} cm^{-3} よりも高い。前記デルタドープ層の幅は略 20 オングストロームである。前記第 1 の光起電性のサブセルは、前記第 2 の光起電性のサブセルよりも小さいバンドギャップを有する半導体材料を含むことができる。前記第 1 の光起電性のサブセルは砒化ガリウムインジウムを含み、前記第 2 の光起電性のサブセルはリン化ガリウムインジウムを含む。前記トンネルダイオードは、前記第 1 の光起電性のサブセルと等しいか、又は前記第 1 の光起電性のサブセルよりも大きいバンドギャップを有する材料を含む。前記多接合太陽電池の前記トンネルダイオードは、砒化ガリウム、砒化ガリウムインジウム、リン化ガリウムインジウム、及び砒化アルミニウムガリウムから成るグループから選択される半導体材料を含む。前記第 1

50

の光起電性のサブセル及び前記第2の光起電性のサブセルはn - o n - pサブセルであり；前記第1層及び前記デルタドーブ層は、ⅡⅡ族、ⅡⅤ族、又はⅤ族のn型ドーブ半導体材料であり、前記第2層は、ⅡⅤ族又はⅤⅡ族のp型ドーブ半導体材料である。

【0006】

別の態様では、デルタドーブ相互接続トンネル接合を形成する方法が提供され、前記方法は：トンネルダイオードの第1層をエピタキシャル成長させる工程であって、前記第1層に第1ドーパントを使用する工程と；前記トンネルダイオードの前記第1層をエピタキシャル成長させる前記工程を中断する工程と；前記第1ドーパントと同じアクセプタ/ドナー型の第2ドーパントのデルタドーブ層を、前記トンネルダイオードの前記第1層の上に堆積させる工程であって、前記デルタドーブ層内の前記第2ドーパントが、前記トンネルダイオードの前記第1層内の前記第1ドーパントの濃度よりも実質的に高いドーパント濃度に達する工程と；前記トンネルダイオードの第2層をエピタキシャル成長させる工程であって、前記第2層に、前記第1ドーパント及び前記第2ドーパントと相補の関係にあるアクセプタ/ドナー型の第3ドーパントを使用する工程とを含む。デルタドーブ相互接続トンネル接合を形成する前記方法は更に：前記堆積させる工程の後に、追加層を、前記第1ドーパントを使用してエピタキシャル成長させる工程を含む。前記方法は更に：基板を用意する工程と；第1の光起電性のサブセルをエピタキシャル成長させる工程と；第2の光起電性のサブセルをエピタキシャル成長させる工程とを含み；前記第1の光起電性のサブセルは前記基板の上に成長させ、前記トンネルダイオードの前記第1層は前記第1の光起電性のサブセルの上に成長させ、前記第2の光起電性のサブセルは、前記トンネルダイオードの前記第2層の上に成長させる。前記第1の光起電性のサブセルは、前記第2の光起電性のサブセルよりも小さいバンドギャップを有する材料を含む。前記トンネルダイオードは、前記第1の光起電性のサブセルと等しいか、又は前記第1の光起電性のサブセルよりも大きいバンドギャップを有する材料を含む。前記デルタドーブ層内の前記ドーパント濃度は、前記トンネルダイオードの前記第1層内の前記第1ドーパントの前記濃度の略10倍高い。前記デルタドーブ層は、 10^{20} cm^{-3} よりも高いドーパント濃度を有する。前記デルタドーブ層の幅は略20オングストロームである。前記第1ドーパント及び前記第2ドーパントは、アクセプタ型の、且つⅡⅡ族、ⅡⅤ族、又はⅤ族のドーパントであり、前記第3ドーパントは、ドナー型の、且つⅡⅤ族又はⅤⅡ族のドーパントである。

【0007】

別の態様では、プロセスにより形成されるデルタドーブ層を有する相互接続トンネル接合を有する多接合太陽電池が提供され、前記プロセスは：(a)基板を用意する工程と；(b)第1の光起電性のサブセルを前記基板の上にエピタキシャル成長させる工程と；(c)トンネルダイオードの第1層を、前記第1の光起電性のサブセルの上にエピタキシャル成長させる工程であって、前記第1層に、前記第1の光起電性のサブセルの接合部分のアクセプタ/ドナー型のドーパントを使用する工程と；(d)前記トンネルダイオードの前記第1層をエピタキシャル成長させる前記工程を中断する工程と；(e)前記ドーパントと同じアクセプタ/ドナー型のデルタドーパントのデルタドーブ層を、前記トンネルダイオードの前記第1層の上に堆積させる工程であって、前記デルタドーブ層内の前記デルタドーパントが、前記トンネルダイオードの前記第1層内の前記ドーパントの濃度よりも実質的に高いデルタドーパント濃度に達する工程と；(f)前記トンネルダイオードの第2層を前記デルタドーブ層の上にエピタキシャル成長させる工程であって、前記第2層に、前記トンネルダイオードの前記第1層の前記ドーパントと相補の関係にある異なるアクセプタ/ドナー型のドーパントを使用する工程とを含む。前記多接合太陽電池は更に：(g)前記デルタドーブ層を堆積させる前記工程(e)の後で、且つ前記第2層をエピタキシャル成長させる前記工程(f)の前に、前記第1層の追加部分を、前記ドーパントを使用してエピタキシャル成長させる工程を含む。前記工程(e)は：(e)相補の関係にある前記ドーパントと同じアクセプタ/ドナー型のデルタドーパントのデルタドーブ層を、前記トンネルダイオードの前記第1層の上に堆積させる工程であって、前記デルタドーブ

層内の前記デルタドーパントが、前記トンネルダイオードの前記第2層内の相補の関係にある前記ドーパントの濃度よりも実質的に高いデルタドーパント濃度に達する工程である。多接合太陽電池が提供され、前記工程(d)、(e)、及び(f)は：(d)前記トンネルダイオードの第2層を、前記トンネルダイオードの前記第1層の上にエピタキシャル成長させる工程であって、前記第2層に、前記トンネルダイオードの前記第1層の前記ドーパントと相補の関係にある異なるアクセプタ/ドナー型のドーパントを使用する工程であり；(e)前記トンネルダイオードの前記第2層をエピタキシャル成長させる前記工程を中断する工程であり；(f)相補の関係にある前記ドーパントと同じアクセプタ/ドナー型のデルタドーパントのデルタドーブ層を、前記トンネルダイオードの前記第2層の上に堆積させる工程であって、前記デルタドーブ層内の前記デルタドーパントが、前記トンネルダイオードの前記第2層内の相補の関係にある前記ドーパントの濃度よりも実質的に高いデルタドーパント濃度に達する工程である。前記第1の光起電性のサブセルは、前記第2の光起電性のサブセルよりも小さいバンドギャップを有する半導体材料を含む。多接合太陽電池が提供され、前記トンネルダイオードは、前記第1の光起電性のサブセルと等しいか、又は前記第1の光起電性のサブセルよりも大きいバンドギャップを有する半導体材料を含む。前記デルタドーブ層内の多接合太陽電池デルタドーパント濃度は、前記トンネルダイオードの前記第1層内の前記ドーパントの前記濃度の略10倍高い。前記デルタドーブ層は、 10^{20} cm^{-3} を上回るデルタドーパント濃度を有する。前記デルタドーブ層の幅は略20オングストロームである。前記ドーパントは、アクセプタ型の、且つII族、IV族、又はV族のドーパントであり、相補の関係にある前記ドーパントは、ドナー型の、且つIV族又はVI族のドーパントである。

10

20

【0008】

説明される特徴、機能、及び利点は、本発明の種々の実施形態において個々に達成することができる、又は更に他の実施形態において組み合わせることができ、これらの実施形態に関する更なる詳細は、以下の記述及び図面を参照しながら理解することができる。

【0009】

添付の図は、太陽電池内のトンネル接合に対応する高濃度ドーブ層に関するシステム及び方法の種々の実施形態を描いている。各図に関する簡単な説明は、以下に与えられる。各図において同じ参照番号が付された構成要素は、同じ、又は機能的に同様の構成要素を指している。更に、参照番号の最も左側の桁は、参照番号が初めて現われる図面を指している。

30

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、太陽電池システム及び方法におけるトンネル接合に対応する高濃度ドーブ層の一つの実施形態における多接合太陽電池の2つのサブセルのバンドギャップを示している。

【図2】図2は、太陽電池システム及び方法におけるトンネル接合に対応する高濃度ドーブ層の一つの実施形態における多接合太陽電池の2つのサブセルの間の逆バイアス接合を示している。

【図3】図3は、太陽電池システム及び方法におけるトンネル接合に対応する高濃度ドーブ層の一つの実施形態における多接合太陽電池の2つのサブセルの間の相互接続トンネル接合を示している。

40

【図4】図4は、多接合太陽電池の2つのサブセルの間のデルタドーブ層を、太陽電池システム及び方法におけるトンネル接合に対応する高濃度ドーブ層内に有する相互接続トンネル接合を示している。

【図5】図5は、デルタドーブ層及び対応するドーパント濃度を、太陽電池システム及び方法におけるトンネル接合に対応する一つの実施形態の高濃度ドーブ層内に有する相互接続トンネル接合を示している。

【図6】図6は、デルタドーブ層を有する相互接続トンネル接合を、太陽電池システム及び方法におけるトンネル接合に対応する一つの実施形態の高濃度ドーブ層内に有する多接

50

合太陽電池を形成する製造プロセスのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下の詳細な記述は、本質的に単なる例示に過ぎず、且つ本発明の実施形態を、又はこのような実施形態の適用及び使用を限定するものではない。更に、前掲の技術分野、背景、要約、又は以下の詳細な記述に提示されるいずれの明示的な理論又は暗示的な理論にも拘束されるものではない。

【0012】

多接合太陽電池は、順に重ねた多数のサブセルにより構成され、各サブセルは、電流発生 $p-n$ 接合ダイオードである。光がサブセルに入射すると、バンドギャップ E_g のエネルギー、又はバンドギャップ E_g に近いエネルギーを有する光子が $p-n$ 接合に吸収され、 $p-n$ 接合により電流に変換される。バンドギャップよりも小さいエネルギーを有する光子は、サブセルを通して、下部サブセルに流れ込むのに対し、バンドギャップよりも大きいエネルギーを有する光子は普通、余剰熱に変換される。比較的大きいバンドギャップを有する最上部サブセル、及び連続的に小さくなるバンドギャップを有する下部サブセルを使用することにより、光の利用可能なスペクトルのうちのより広いスペクトルを各サブセルにおいて利用して電気に変換することができる。各サブセル内の材料を選択することにより、下部サブセルにおいて利用することができるエネルギーを決定することができる。

【0013】

例示のために、且つ説明を簡単にするために、以下の図及び記述では、2つのセルを有する多接合太陽電池について記載するが、本明細書において記載されるシステム及び方法は、1個、2個、3個、又は多数個のセルを有する太陽電池に同じように適用することができる。2セル型多接合太陽電池への限定を暗に意味するものではない、又は意図するものではない。

【0014】

次に、図1を参照するに、一つの非限定的な例では、リン化ガリウムインジウム ($GaInP$) から成る上部セル102と、砒化ガリウムインジウム ($GaInAs$) から成る下部セル104とを有する2セル型太陽電池100が示される。これらのセル102、104は、ゲルマニウム (Ge) 基板を開始材料としてエピタキシャル成長させ、 p 型 $GaInAs$ 層、 n 型 $GaInAs$ 層、及び n 型 $GaInP$ 層を堆積させる。入射光108は、2セル型太陽電池100の上部セル102に誘導される。光108の一部は反射120される。光108の一部は上部セル102に入射し、吸収され、熱110に変換され、特に上部セル102の $GaInP$ 材料のバンドギャップ $E_g > 1.87 eV$ よりも大きいエネルギーを有する光108の高エネルギー光子112が吸収され、熱に変換される。上部セル102内の $GaInP$ 材料のバンドギャップ $E_g > 1.87 eV$ に近いエネルギーを有する高エネルギー光子112は、 $GaInP$ 材料内の電子によって吸収される。追加エネルギーにより、 $GaInP$ 結晶格子の価電子帯に詰まった電子が、高エネルギー伝導帯に移動することができ、2セル型太陽電池100の電流発生に寄与する自由電子118を生成する。低エネルギー光子114は、実質的に小さいエネルギーしか有していないので $GaInP$ 材料内の電子118を自由にすることができず、上部セル102を通過して下部セル104に流入する。バンドギャップは $1.87 eV$ であるとして示されているが、 $GaInP$ のバンドギャップは約 $1.75 eV \sim 1.90 eV$ まで変化し得る。

【0015】

下部セル104では、光108の一部は、この場合も同じように吸収され、熱110に変換され、特に下部セル104の $GaInAs$ 材料のバンドギャップ $E_g > 1.39 eV$ よりも大きいエネルギーを有する低エネルギー光子114が吸収され、熱に変換される。下部セル104内の $GaInP$ 材料のバンドギャップ $E_g > 1.39 eV$ に近いエネルギーを有する低エネルギー光子114は、自由電子118に変換される。残りの光子116は基板106に流入し、この基板では、残りの光子116は普通、熱110に変換される

。バンドギャップは 1.39 eV であるとして示されているが、 GaInP のバンドギャップは約 $1.35 \text{ eV} \sim 1.43 \text{ eV}$ まで変化し得る。

【0016】

各セル102、104は、電流を発生するp-n接合ダイオードから成る。これらのp-n接合ダイオードは、n-on-p型接合ダイオード、又はp-on-n型接合ダイオードとすることができる。次に、図2を参照するに、n-on-p型接合ダイオード200から成る2つの積層セルを示している。各セル102、104は、n型ドープ層202及びp型ドープ層204から成る。電流は、各セル内でnからpの方向に、矢印Iで示すように発生し、n-on-p型接合ダイオード200から成る2つの積層セルの上部の電気接続V+、及び基板106の電気接続V-を通して収集される。両方のセル102、104内のp-n接合の方向を同じ方向にすることにより、上部セル102で発生する電流が下部セルを通過し、各セル102、104は、自由電子118の電圧を増幅する。

10

【0017】

しかしながら、上部セル102のp型ドープ層204と下部セルのn型ドープ層202との間の電圧差によって、自由電子118が非常に欠乏する空乏領域208を有する逆バイアス接合206が形成される。p-n接合の電圧-電流グラフ210に示すように、正常動作電圧の場合、ほんの僅かな量のリーク電流212しか、逆バイアス接合206を横切って流れることができない。

【0018】

次に、図3を参照するに、逆バイアス接合206の電流伝達能力を高めるために、相互接続トンネル接合(interconnecting tunnel junction)又はICTJ302を上部セル102と下部セル104との間にエピタキシャル成長させて多接合太陽電池300を形成する。多接合太陽電池300内のICTJ302は、 GaInAs 、 GaInP 、又は AlGaAs から成る高濃度ドープp+型層304、及び GaInAs 、 GaInP 、又は AlGaAs から成る高濃度ドープn+型層306を含む。量子力学的プロセスを経て、高濃度ドープICTJ302によって、電子は空乏領域208を横切って突き抜けることができるので、或る量のトンネル電流308が、トンネル接合の電圧-電流グラフ310に示すように、電圧に比例する逆バイアス接合206を横切って流れることができる。

20

【0019】

ICTJ302は、上部セル102と下部セル104との間を流れる大量の電流を流すように構成される。ICTJ302は、光学的に透過であるので、出来る限り多くの光108を、上部セル102と下部セル104との間を通過させることができる。製造歩留まりを最大にするために、ICTJ302の構造は、大量生産プロセスに良く見られる僅かな変動による影響を受け易いようにはなっていない。光透過性を高めるために、ICTJ302は薄く、且つ普通、下部セルに等しい、又は下部セルよりも大きいバンドギャップ E_g を有するようにして、光108、特に低エネルギー光子114(図1に示す)が捕獲されるのを回避することができ、捕獲されない場合に、これらの光子は下部セル104内で自由電子118に変換されることになる。しかしながら、ICTJ302の薄さに関する要求、及びバンドギャップ E_g に関する要求によって、ICTJ302に導入することができるドーパントの量、又は意図的に導入することができる不純物の量(N_A また N_D) が制限される。これらの制限によって今度は、ピークトンネル電流が、近似関係式に従って制限される：

30

40

$$J_{peak} \propto \exp\left(-\frac{E_g^{3/2}}{\sqrt{N_A N_D / (N_A + N_D)}}\right)$$

上式では、 J_{peak} は、ICTJ302を量子トンネル現象によりトンネリングする電子の容積とエネルギーの積であり、 E_g は、ICTJ302を成長させるために使用される材料のバンドギャップであり、 N_A は、高濃度ドープp+型層304のアクセプタドー

50

パント濃度であり、 N_D は、高濃度ドーブ $n +$ 型層306のドナー濃度である。ドーパント濃度を低くし、且つバンドギャップを大きくすると、ICTJ302内を流れ得るピークトンネル電流が小さくなることに注目されたい。

【0020】

陸上用途では、入射光108を多接合太陽電池300に集中させ、且つ集光させる。集中照射をこのように強くすると、ICTJ302を流れる電流が大きくなる。ピーク伝達容量 J_{peak} を超える場合、ニ電流312、又は逆バイアス接合206を横切って流れるトンネル電流308の量の急激な減少は、トンネル接合の電圧 - 電流グラフ310に示すように変化する。集光器用途では、光108の強度は、2000 suns (照射強度の単位: sun)、又は2000 x AM1.5と等価であるとして行うことができ、地球表面に達する太陽放射のスペクトル及び振幅の指数とすることができる。これは、30 A/cm²の最小 J_{peak} に対応する。ICTJ302は、薄い150 Å (150 オングストローム) の層 (約20原子層) として成長させるので、このような薄層へのドーピングレベルを良好にモニタリングして、正しいドーパント濃度が確実に達成されるようにする。しかしながら、ドーピングレベルは、製造中に変化し得るので、100 A/cm²の J_{peak} に対応する設計基準を使用して、正しい歩留まりを製造プロセス中に確保する。

【0021】

しかしながら、薄い150 Å (150 オングストローム) の層 (約20原子層) のICTJ302をエピタキシャル成長させることは難しい。通常の製造プロセスでは、約20原子層を20インチ径基板全体に何百万回も堆積させる。10%の厚さバラツキが標準的に要求される。従って、ICTJ302の厚さは、製造中に、20インチ径基板の全領域に亘って、わずかに又は2原子層の精度で制御される必要がある。更に、ドーパントのピーク量 (N_A また N_D) は、ドーピング対象の材料のバンドギャップ E_g に反比例する。これにより、 N_A また N_D ドーパント濃度は、材料が1.8 ~ 1.9 eVのバンドギャップを有する場合には約 10^{19} cm⁻³ に、材料が1.4 eVのバンドギャップを有する場合には約 10^{20} cm⁻³ に制限される。

【0022】

より小さいバンドギャップを有する材料を使用すると、許容されるドーピングレベルが高くなるが、より小さいバンドギャップを有する材料の光透過性が低くなる。光透過性が低くなると、下部セル104において利用することができる光108の量、及び透過させて下部セル104に到達させる光子のエネルギーの両方が小さくなるので、多接合太陽電池300のエネルギー生成能力及びエネルギー生成効率が低下する。

【0023】

より大きいバンドギャップを有する材料を使用すると、透過性が高くなるが、ICTJ302を形成するためには、ドーピングレベルを厳密に制御して、30 A/cm²の最小 J_{peak} ~ 100 A/cm²の J_{peak} を達成する必要がある。ICTJ302の層にドーピングする直接的な方法は、Te、Se、及びSのようなVI族ドーパントのバルクドーピング特性が、ドーピング前に設定される必要がある液体表面原子層濃度、及びバルク混合物の全体溶解度が存在することにより制限されるので制限される。これらの製造上の制約により、ピーク濃度が制限され、ICTJ302の層を薄く信頼性良く成長させる方法が制限される。C、Si、Ge、及びSnのようなIV族ドーパントは、合計ドーパント濃度を打ち消すドナー及びアクセプタの両方として作用して、これらのドーパントの活性化率を、約 10^{18} cm⁻³ の濃度 ~ 10^{19} cm⁻³ の低濃度の範囲に制限する。Zn、Cd、及びHgのようなII族ドーパントは、格子内を移動し易く、後続のエピタキシャルプロセス中に高濃度領域から遠ざかるように拡散する。これにより、II族ドーパントを使用して、ICTJ302をエピタキシャル成長させるために必要な高ドーパント濃度を達成するという適用可能性が低くなる。

【0024】

次に、図4を参照するに、デルタドーブ層を有する多接合太陽電池400が示される。デルタドーブ層を有する多接合太陽電池400は、上部セル102及び下部セル104と

10

20

30

40

50

、デルタドーブ層を有する相互接続トンネル接合、又は ドープICTJ402とを備える。 ドープ層404は、約20オングストロームの幅を持ち、且つ 10^{20} cm^{-3} のピークドーパント濃度を有する薄い高濃度ドーブ層である。 とは、ディラックデルタ関数に近い ドープ層のドーピングプロファイルの形状を指している。ディラックデルタ関数又は は、1点で無限大になり、他の全ての点でゼロになる関数である。 ドープ層404は、 ドープICTJ402内に配置され、実効 N_A また N_D ドーパント部分に加わって、 ドープICTJ402層のピークトンネル電流を大きくする。 ドープ層404は、 ドープICTJ402のトンネル電流伝達能力を、約2倍だけ、 ドープ層404を持たない図3のICTJ302よりも大きくする。これは、 ドーブトンネル接合の電圧 - 電流グラフ408にも示され、このグラフは、逆バイアス ドープICTJ402に 10
 対応する ドーブトンネル電流406が、 ドープ層404を持たないICTJ302に対応するトンネル電流308を表わす曲線よりも約2倍の急勾配になることを示している。

【0025】

次に、図5を参照するに、 ドープICTJ402が拡大図で示されている。高濃度ドーブp+型層304及び高濃度ドーブn+型層306が接合して、逆バイアス接合206を形成する。n型 ドープ層502は、高濃度ドーブn+型層306内で、高濃度ドーブp+型層304にごく接近するように変位している。n型 ドープ層502を、高濃度ドーブp+型層304に接近するように配置することにより、電子が逆バイアス接合206を横切って移動する必要がある距離を短くし、電子が逆バイアス接合206を横切る前に 20
 再結合する機会を減らして、ピークトンネル電流密度を増やしている。ドーパント濃度のグラフ504は、 ドープICTJ402内のpドーパント濃度506、nドーパント濃度508、及びn型 ドープ濃度510に関連するドーパント濃度レベルの概略を示している。n型 ドープ濃度510の一部は、 ドープ層の幅が狭いことによって濃度の測定が難しくなっているので、点線で示すように推定される。

【0026】

別の実施形態では、n型 ドープ層502は、高濃度ドーブp+型層304にじかに隣接する。他の実施形態では、n型 ドープ層502は、高濃度ドーブn+型層306内の中心に位置し、下部セル104により接近する方向に変位し、下部セル104と高濃度ドーブn+型層306との間に配置される。別の実施形態では、 ドープICTJ402は 30
 、p型 ドープ層（図示せず）を高濃度ドーブp+型層304内に含む。更に別の実施形態では、 ドープICTJ402は、高濃度ドーブp+型層304内のp型 ドープ層、及び高濃度ドーブn+型層306内のn型 ドープ層502の両方を利用する。別の実施形態では、ICTJ302は、下部セル104と基板106との間に配置される。更に別の実施形態では、 ドープICTJ402は、下部セル104と基板106との間に配置される。他の実施形態では、一つ以上の ドープICTJ302、及び/又は一つ以上の ドープICTJ402は、デルタドーブ層を有する多接合太陽電池400内の隣接するセルの間に配置されるか、又はセルと、これらには限定されないが、電気接続ポイント及び電気接続層を含む他の構造との間に配置される。

【0027】

これまでの図及び記述では、各セル102、104を、n-on-p型接合ダイオードであるとして、 ドープICTJ402をp-on-nトンネル接合であるとして示してきたが、これは例示のために過ぎない。他の実施形態では、複数のセル102、104を設け、各セル102、104を隣接するセル102、104から ドープICTJ402によって分離される。他の実施形態では、デルタドーブ層を有する多接合太陽電池400は、p-on-n型接合ダイオードである複数のセル102、104を備え、各セル102、104を隣接するセル102、104から、n-on-pトンネル接合である ドープICTJ402によって分離される。

【0028】

種々の実施形態では、 ドープICTJ402及び各セル102、104の隣接部分は 50

、同じp/n型のドーピングを有し、これらの隣接部分の両方にアクセプタ型 N_A ドーパントを使用するか、又はこれらの隣接部分の両方にドナー型 N_D ドーパントを使用するかのいずれかである。 ドープIC TJ 402の非隣接部分は、相補の関係にあるp/n型のドーピングを有する。例えば、セル102、104の隣接部分がp型半導体材料である場合、 ドープIC TJ 402の隣接部分もp型半導体材料であり、これらの隣接部分の両方が、アクセプタ型 N_A ドーパントを含む。 ドープIC TJ 402の他方の部分は、相補の関係にあるn型半導体材料であり、ドナー型 N_D ドーパントを含む。 ドープIC TJ 402及びセル102、104の隣接部分には、同じアクセプタ/ドナー型ドーパントを使用するが、一つの実施形態では、 ドープIC TJ 402及びセル102、104の隣接部分には、同じドーパントを使用し、別の実施形態では、 ドープIC TJ 402及びセル102、104の隣接部分には、異なるドーパントを使用する。一つの実施形態では、 ドープIC TJ 402及びセル102、104の隣接部分には、同じ母体半導体材料を使用する。一つの実施形態では、 ドープIC TJ 402及びセル102、104の隣接部分には、異なる母体半導体材料を使用する。一つの実施形態では、 ドープIC TJ 402の両方の部分には、同じ母体半導体材料を使用する。一つの実施形態では、これらの部分は、異なる母体半導体材料から成る。

【0029】

次に、図6を参照するに、一つの実施形態では、 ドープIC TJ製造プロセスは、Ge基板106を用意する(602)ことにより始まる。Ge基板106の上に、n-on-p GaInAs下部セル104をエピタキシャル成長させる(604)。下部セル104が完成した後、 ドープIC TJ 402の高濃度ドープn+型GaInAs層306のエピタキシャル成長を開始する(606)。次に、成長工程606を約1分間だけ中断し、 Si_2H_6 流を 4.5×10^{-2} マイクロモル/分の流量で、合計ドーズ量 4.5×10^{-2} マイクロモルだけ蒸気雰囲気下で、或る量の PH_3 と一緒に堆積させて、 ドープ層404を形成する(608)。任意工程として、高濃度ドープn+型層306の残りの部分を成長させ続ける(610)。次に、高濃度ドープp+型GaInAs層304をエピタキシャル成長させる(612)。最後に、n-on-p GaInP上部セル102をエピタキシャル成長させる(614)。

【0030】

一つの実施形態では、 Si_2H_6 ではなく、 Si_2H_4 を使用する。一つの実施形態では、セル102、104はp-on-nセルであり、 ドープIC TJ 402はn-on-pトンネル接合である。一つの実施形態では、 ドープ層404は、高濃度ドープp+型GaInAs層304をエピタキシャル成長させる工程612中に堆積させる(608)。一つの実施形態では、堆積工程608において、 ドープ層404を、シリコン層を当業者に公知の如く、堆積させる他の方法及びプロセス工程を使用して形成する。

【0031】

他の実施形態では、Pドーパントの各Pドーパントは、II、IV、又はV族元素のうちの1つの族の元素から選択され、Nドーパントの各Nドーパントは、IV族又はVI族元素のうちの1つの族の元素から選択される。更に別の実施形態では、基板、サブセル、及びトンネル接合材料は、半導体材料からそれぞれ選択され、これらの半導体材料は、結晶、多結晶を含むゲルマニウム、シリコンと、二セレン化銅インジウム(CIS)、テルル化カドミウム(CdTe)を含むアモルファスシリコン、多結晶薄膜と、薄膜シリコンと、砒化ガリウムインジウム(GaInAs)及びリン化ガリウムインジウム(GaInP)を含む結晶薄膜とを含む。他の実施形態では、基板、サブセル、及びトンネル接合材料は、合金GaAs、InAs、GaP、InP、AlAs、AlP、AlGaInP、AlGaP、AlInP、GaInP、AlInAs、AlGaInAs、GaInAs、GaAsP、GaInAsP、GaAsSb、GaInAsSb、AlInSb、AlGaSb、GaInNAs、GaInNAsSb、GaInNP、GaInNAs、SiGe、Ge、ErP、ErAs、ErGaAs、ErInAsから選択される。

【0032】

図面に示され、且つ上に記述される本発明の実施形態は、添付の請求項の範囲内で実施することができる多くの実施形態の例示である。ドープ相互接続トンネル接合の多くの他の構成は、開示されるアプローチを利用して考案することができると考えられる。本出願人は、本願から発生する特許の範囲が添付の請求項の範囲によってのみ制限されるものであると考える。

また、本願は以下に記載する態様を含む。

(態様 1)

第 1 p / n 型の半導体材料のトンネルダイオードの第 1 層 (3 0 4) と；

前記第 1 p / n 型の半導体材料と同様の p / n 型のドーピングを有するデルタドープ層 (4 0 4) であって、前記第 1 層よりも実質的に薄く、前記第 1 層のドーパント濃度よりも実質的に高いドーパント濃度に達しており、且つ前記第 1 層の上に堆積している前記デルタドープ層 (4 0 4) と；

前記トンネルダイオードの前記第 1 層 (3 0 4)、及び前記デルタドープ層 (4 0 4) と相補の関係にある第 2 p / n 型の半導体材料の前記トンネルダイオード層の第 2 層 (3 0 6) であって、前記デルタドープ層 (4 0 4) 上にエピタキシャル成長させた前記第 2 層 (3 0 6) と；

前記トンネルダイオードによって電氣的に接続された少なくとも 2 つの光起電性のサブセル (1 0 2、1 0 4) と

を備える多接合太陽電池 (4 0 0)。

(態様 2)

前記デルタドープ層と前記第 2 層との間に、前記第 1 p / n 型の半導体材料の追加層を更に備えている、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態様 3)

前記デルタドープ層 (4 0 4) が、相補の関係にある前記第 2 p / n 型の半導体材料と同様の p / n 型のドーピングを有している、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態様 4)

前記第 1 層と前記デルタドープ層 (4 0 4) との間に、相補の関係にある前記第 2 p / n 型の半導体材料の追加層を更に備えている、態様 3 に記載の多接合太陽電池。

(態様 5)

基板と；

前記基板 (1 0 6) の上にエピタキシャル成長させた第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) と；

前記トンネルダイオード (4 0 2) の前記第 2 層 (3 0 4) の上にエピタキシャル成長させた第 2 の光起電性のサブセル (1 0 2) と

を更に備え；前記トンネルダイオード (4 0 2) の前記第 1 層 (3 0 6) が、第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) の上にエピタキシャル成長させたものである、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態様 6)

複数の光起電性のサブセル (1 0 4、1 0 2) を更に備え、前記複数の光起電性のサブセルの各々が、デルタドープ層 (4 0 4) を有するトンネルダイオード (4 0 2) によって分離されている、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態様 7)

前記デルタドープ層 (4 0 4) 内の前記ドーパント濃度が前記第 1 層の前記ドーパント濃度の略 1 0 倍高い、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態様 8)

前記デルタドープ層 (4 0 4) の前記ドーパント濃度が 10^{20} cm^{-3} よりも高い、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態様 9)

前記デルタドープ層 (4 0 4) の幅が略 2 0 オングストロームである、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態 様 1 0)

前記第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) が、前記第 2 の光起電性のサブセル (1 0 2) よりも小さいバンドギャップを有する半導体材料を含んでいる、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態 様 1 1)

前記第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) が砒化ガリウムインジウムを含み、前記第 2 の光起電性のサブセル (1 0 2) がリン化ガリウムインジウムを含んでいる、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態 様 1 2)

前記トンネルダイオード (4 0 2) が、前記第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) と等しいか、又は前記第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) よりも大きいバンドギャップを有する材料を含んでいる、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態 様 1 3)

前記トンネルダイオード (4 0 2) が、砒化ガリウム、砒化ガリウムインジウム、リン化ガリウムインジウム、及び砒化アルミニウムガリウムから成るグループから選択される半導体材料を含んでいる、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態 様 1 4)

前記第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) 及び前記第 2 の光起電性のサブセル (1 0 2) が $n - o n - p$ サブセルであり、前記第 1 層及び前記デルタドープ層 (4 0 4) が III 族、 IV 族、又は V 族の n 型ドープ半導体材料であり、前記第 2 層が IV 族又は VI 族の p 型ドープ半導体材料である、態様 1 に記載の多接合太陽電池。

(態 様 1 5)

デルタドープ相互接続トンネル接合 (4 0 2) を形成する方法であって：

トンネルダイオードの第 1 層をエピタキシャル成長させる工程 (6 0 4) であって、前記第 1 層に第 1 ドーパントを使用する工程 (6 0 4) と；

前記トンネルダイオードの前記第 1 層をエピタキシャル成長させる前記工程を中断する工程 (6 0 6) と；

前記第 1 ドーパントと同じアクセプタ/ドナー型の第 2 ドーパントのデルタドープ層を、前記トンネルダイオードの前記第 1 層の上に堆積させる工程 (6 0 8) であって、前記デルタドープ層内の前記第 2 ドーパントが、前記トンネルダイオードの前記第 1 層内の前記第 1 ドーパントの濃度よりも実質的に高いドーパント濃度に達する工程 (6 0 8) と；

前記トンネルダイオードの第 2 層をエピタキシャル成長させる工程 (6 1 2) であって、前記第 2 層に、前記第 1 ドーパント及び前記第 2 ドーパントと相補の関係にあるアクセプタ/ドナー型の第 3 ドーパントを使用する工程 (6 1 2) とを含む方法。

(態 様 1 6)

前記堆積させる工程の後に、前記第 1 ドーパントを使用して追加層をエピタキシャル成長させる工程 (6 1 0) を更に含む、態様 1 5 に記載の方法。

(態 様 1 7)

基板 (1 0 6) を用意する工程と；

第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) をエピタキシャル成長させる工程と；

第 2 の光起電性のサブセルをエピタキシャル成長させる工程 (6 1 4) とを更に含む、

前記第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) を前記基板 (1 0 6) の上に成長させ、前記トンネルダイオード (4 0 2) の前記第 1 層 (3 0 6) を前記第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) の上に成長させ、前記第 2 の光起電性のサブセル (1 0 2) を前記トンネルダイオード (3 0 4) の前記第 2 層の上に成長させる、態様 1 5 に記載の方法。

(態 様 1 8)

前記第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) が、前記第 2 の光起電性のサブセル (1 0 2) よりも小さいバンドギャップを有する材料を含む、態様 1 7 に記載の方法。

10

20

30

40

50

(態 様 1 9)

前記トンネルダイオード (4 0 2) が、前記第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) と等しいか、又は前記第 1 の光起電性のサブセル (1 0 4) よりも大きいバンドギャップを有する材料を含む、態様 1 8 に記載の方法。

(態 様 2 0)

前記デルタドープ層 (4 0 4) 内の前記ドーパント濃度が、前記トンネルダイオード (4 0 2) の前記第 1 層 (3 0 6) 内の前記第 1 ドーパントの前記濃度の略 1 0 倍高い、態様 1 5 に記載の方法。

(態 様 2 1)

前記デルタドープ層が 10^{20} cm^{-3} を上回るドーパント濃度を有する、態様 1 5 に記載の方法。

(態 様 2 2)

前記デルタドープ層 (4 0 4) の幅が略 2 0 オングストロームである、態様 1 5 に記載の方法。

(態 様 2 3)

前記第 1 ドーパント及び前記第 2 ドーパントは、アクセプタ型の、II 族、IV 族、又は V 族のドーパントであり、前記第 3 ドーパントは、ドナー型の、IV 族又は VI 族のドーパントである、態様 1 5 に記載の方法。

(態 様 2 4)

デルタドープ層 (4 0 4) を有する相互接続トンネル接合 (4 0 2) を有する多接合太陽電池であって、

(a) 基板を用意する工程 (6 0 2) と；

(b) 第 1 の光起電性のサブセルを前記基板の上にエピタキシャル成長させる工程 (6 0 4) と；

(c) トンネルダイオードの第 1 層を、前記第 1 の光起電性のサブセルの上にエピタキシャル成長させる工程 (6 0 6) であって、前記第 1 層に、前記第 1 の光起電性のサブセルの接合部分のアクセプタ/ドナー型のドーパントを使用する工程 (6 0 6) と；

(d) 前記トンネルダイオードの前記第 1 層をエピタキシャル成長させる前記工程を中断する工程と；

(e) 前記ドーパントと同じアクセプタ/ドナー型のデルタドーパントのデルタドープ層を、前記トンネルダイオードの前記第 1 層の上に堆積させる工程 (6 0 8) であって、前記デルタドープ層内の前記デルタドーパントが、前記トンネルダイオードの前記第 1 層内の前記ドーパントの濃度よりも実質的に高いデルタドーパント濃度に達する工程 (6 0 8) と；

(f) 前記トンネルダイオードの第 2 層を前記デルタドープ層の上にエピタキシャル成長させる工程 (6 1 2) であって、前記第 2 層に、前記トンネルダイオードの前記第 1 層の前記ドーパントと相補の関係にある異なるアクセプタ/ドナー型のドーパントを使用する工程 (6 1 2) と

を含むプロセスにより形成される多接合太陽電池。

(態 様 2 5)

(g) 前記デルタドープ層を堆積させる前記工程 (e) の後で、且つ前記第 2 層をエピタキシャル成長させる前記工程 (f) の前に、前記ドーパントを使用して前記第 1 層の追加部分をエピタキシャル成長させる工程 (6 1 4) を更に含む、態様 2 4 に記載の多接合太陽電池。

(態 様 2 6)

前記工程 (e) が：

(e) 相補の関係にある前記ドーパントと同じアクセプタ/ドナー型のデルタドーパントのデルタドープ層を、前記トンネルダイオードの前記第 1 層の上に堆積させる工程 (6 0 8) であって、前記デルタドープ層内の前記デルタドーパントが、前記トンネルダイオードの前記第 2 層内の前記相補の関係にあるドーパントの濃度よりも実質的に高いデルタ

10

20

30

40

50

ドーパント濃度に達する工程（６０８）である、態様２４に記載の多接合太陽電池。

（態様２７）

前記工程（ｃ）、（ｄ）、及び（ｅ）が：

（ｃ）前記トンネルダイオードの第２層を、前記トンネルダイオードの前記第１層の上にエピタキシャル成長させる工程（６０６）であって、前記第２層に、前記トンネルダイオードの前記第１層の前記ドーパントと相補の関係にある異なるアクセプタ／ドナー型のドーパントを使用する工程（６０６）；

（ｄ）前記トンネルダイオードの前記第２層をエピタキシャル成長させる前記工程を中断する工程；及び

（ｅ）相補の関係にある前記ドーパントと同じアクセプタ／ドナー型のデルタドーパントのデルタドーブ層を、前記トンネルダイオードの前記第２層の上に堆積させる工程（６０８）であって、前記デルタドーブ層内の前記デルタドーパントが、前記トンネルダイオードの前記第２層内の前記相補の関係にあるドーパントの濃度よりも実質的に高いデルタドーパント濃度に達する工程（６０８）である、

態様２４に記載の多接合太陽電池。

（態様２８）

前記第１の光起電性のサブセル（１０４）が、前記第２の光起電性のサブセル（１０２）よりも小さいバンドギャップを有する半導体材料を含む、態様２４に記載の多接合太陽電池。

（態様２９）

前記トンネルダイオード（４０２）が、前記第１の光起電性のサブセル（１０４）と等しいか、又は前記第１の光起電性のサブセル（１０４）よりも大きいバンドギャップを有する半導体材料を含む、態様２４に記載の多接合太陽電池。

（態様３０）

前記デルタドーブ層（４０４）内の前記デルタドーパント濃度が、前記トンネルダイオード（４０２）の前記第１層内の前記ドーパントの前記濃度の略１０倍高い、態様２４に記載の多接合太陽電池。

（態様３１）

前記デルタドーブ層（４０４）が 10^{20} cm^{-3} を上回るデルタドーパント濃度を有している、態様２４に記載の多接合太陽電池。

（態様３２）

前記デルタドーブ層（４０４）の幅が略２０オングストロームである、態様２４に記載の多接合太陽電池。

（態様３３）

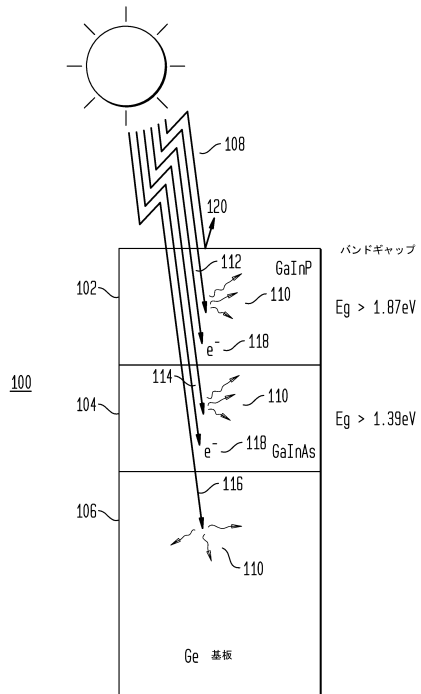
前記ドーパントがアクセプタ型のⅢ族、Ⅴ族、又はⅤ族のドーパントであり、相補の関係にある前記ドーパントがドナー型のⅢ族又はⅤ族のドーパントである、態様２４に記載の多接合太陽電池。

10

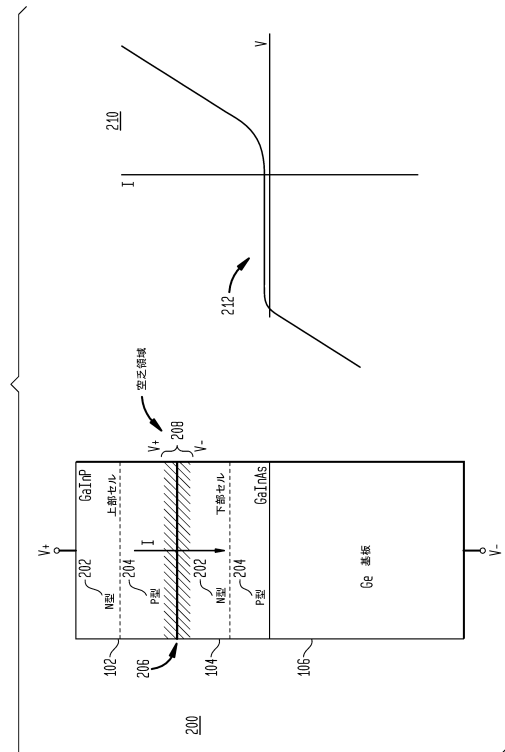
20

30

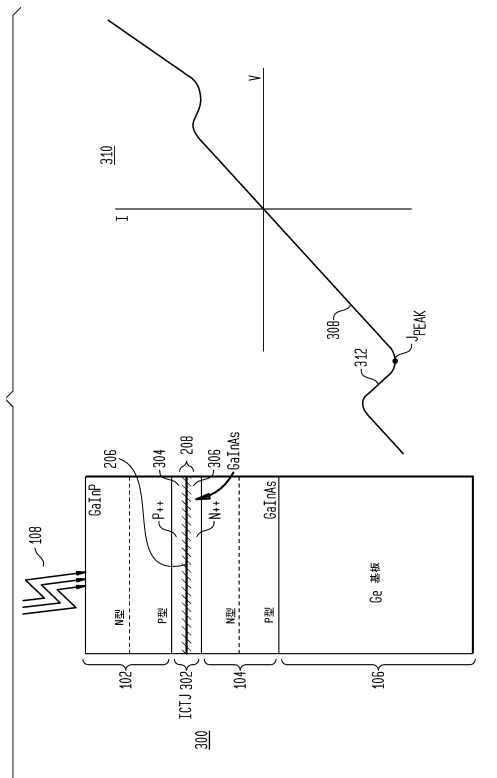
【図 1】



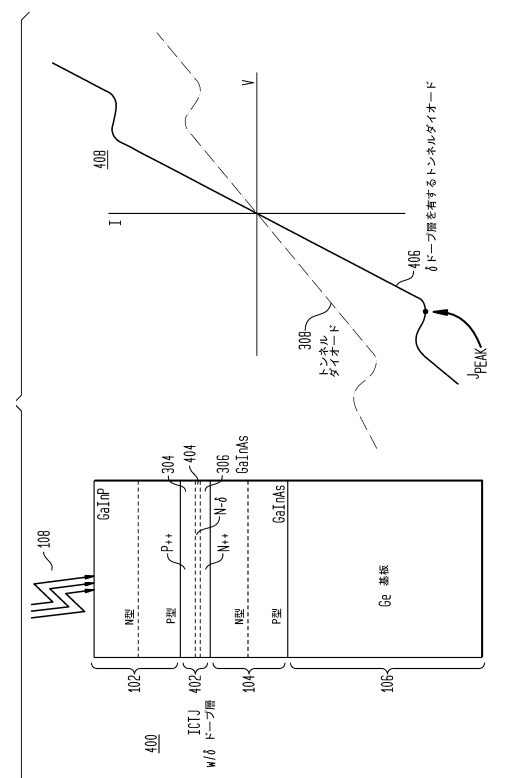
【図 2】



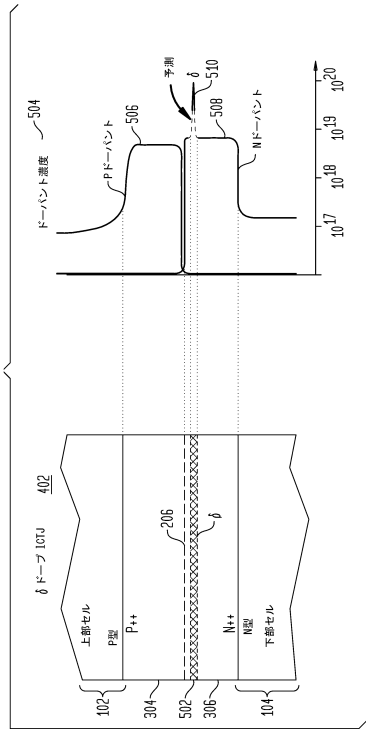
【図 3】



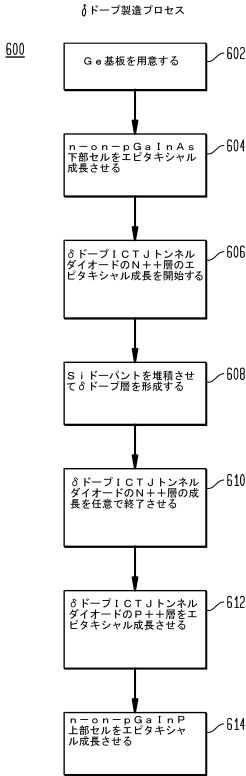
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

審査官 井上 徹

(56)参考文献 特開昭64-037060(JP,A)

特開平09-082995(JP,A)

RAGAY F W, APPLICATION OF -DOPING IN GAAS TUNNEL JUNCTIONS, ELECTRONICS LETTERS, 英国, IEE STEVENAGE, 1994年 1月 6日, V30 N1, P86-87

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 31/02 - 31/078、31/18 - 31/20、
51/42 - 51/48

H02S 10/00 - 50/15

JSTPlus/JST7580(JDreamIII)

IEEE Xplore