

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4649604号  
(P4649604)

(45) 発行日 平成23年3月16日(2011.3.16)

(24) 登録日 平成22年12月24日(2010.12.24)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L 27/14	(2006.01)	HO 1 L 27/14		Z
HO 1 L 31/12	(2006.01)	HO 1 L 31/12		B
HO 1 L 27/15	(2006.01)	HO 1 L 27/15		D

請求項の数 5 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2004-142537 (P2004-142537)	(73) 特許権者	504157024
(22) 出願日	平成16年5月12日(2004.5.12)		国立大学法人東北大学
(65) 公開番号	特開2005-327808 (P2005-327808A)		宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
(43) 公開日	平成17年11月24日(2005.11.24)	(74) 代理人	100077838
審査請求日	平成18年12月26日(2006.12.26)		弁理士 池田 憲保
		(72) 発明者	櫻庭 政夫
			宮城県仙台市太白区長町8丁目2-31-101
		(72) 発明者	山田 敦史
			宮城県仙台市太白区青山1丁目1-20
			サンライト青山102
		(72) 発明者	室田 淳一
			宮城県仙台市青葉区土樋1丁目6-23-403

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体デバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電気信号を光信号に変換する発光デバイスと、光信号を電気信号に変換する受光デバイスと、これら発光デバイスおよび受光デバイスを表面上に搭載配置した半導体基板とをシリコン系四族元素半導体又はこれらの複合物を主成分とする半導体材料で構成すると共に、前記発光デバイスと、前記受光デバイスとは、シリコン系四族元素の酸化物、窒化物、及び酸窒化物のいずれか一つによって形成された光伝送路によって接続されており、且つ、前記発光デバイス、前記受光デバイス、及び前記光伝送路を酸化膜で覆われたシリコン基板上に設けると共に、前記発光デバイス及び前記受光デバイスには、それぞれ2つの電極が形成されていることを特徴とする半導体デバイス。

【請求項2】

前記発光デバイスおよび前記受光デバイスの少なくとも一方は、p型半導体とn型半導体とを接合させたpn接合構造を有していることを特徴とする請求項1に記載の半導体デバイス。

【請求項3】

前記発光デバイスおよび前記受光デバイスの少なくとも一方は、p型半導体とn型半導体との間に不純物濃度  $10^{18} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$  以下の半導体層を設けたpin接合構造を有していることを特徴とする請求項1に記載の半導体デバイス。

【請求項4】

前記発光デバイスおよび前記受光デバイスの少なくとも一方は、組成比が1%以上異なる

る異種（ヘテロ）材料を接合させた構造を有することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一つに記載の半導体デバイス。

【請求項 5】

前記半導体基板には、シリコン集積回路が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一つに記載の半導体デバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体デバイスに係わり、特に四族元素半導体を用いた光半導体デバイスに関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

近年の半導体集積回路の高性能化にともない、光信号を伝送させる技術として、周期律表の二族及び六族の元素からなる二 六族化合物半導体、周期律表の三族及び五族の元素からなる三 五族化合物半導体が光デバイスとして採用されているが、四族元素半導体は実用化に至っていない。

【0003】

ここで、四族元素半導体とは、C、Si、Ge、Sn等の四族元素及びそれらの複合物を主成分とする半導体である。二 六族化合物半導体とは、二族元素（Zn、Cd等）と六族元素（O、S、Se、Te等）の化合物を主成分とする半導体である。三 五族化合物半導体とは、三族元素（B、Al、Ga、In等）と五族元素（N、P、As、Sb等）の化合物を主成分とする半導体である。

20

【0004】

【特許文献 1】特開 2001 - 144382 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし光デバイス材料として優れているとされる二 六族化合物半導体、三 五族化合物半導体は、シリコン集積回路のデバイス特性を変化させる要因となるために、シリコン集積回路製作においては排除されるべき材料とされている。したがって、光信号を扱う装置においては、シリコン集積回路を製作した後に、個別の発光・受光デバイスを実装することになるが、これらの実装技術の位置精度が高くないことから高集積化が困難な状況にある。

30

【0006】

一方、高品質シリコン結晶薄膜成長技術や、四族ヘテロ構造形成、超高濃度不純物導入技術の進展とともにシリコン系四族半導体材料による光デバイスが期待されている。最も大規模化技術が進展しているシリコン系四族半導体材料による光デバイスが実現すると、シリコン半導体と組み合わせることで新機能の実現が可能となるが、シリコン系四族半導体材料による光デバイスは実現されていない。

【0007】

40

本願の課題は、より高度な情報処理装置の実現のため、シリコン集積回路と同一シリコン基板上にシリコン系四族半導体材料を用いた発光デバイス、受光デバイスを製作集積し、二 六族化合物半導体及び三 五族化合物半導体を用いずに光により情報伝達を可能とする半導体デバイスを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の半導体デバイスは、電気信号を光信号に変換する発光デバイスと、光信号を電気信号に変換する受光デバイスと、これら発光デバイスおよび受光デバイスを表面上に搭載配置した半導体基板とを、同一主成分の半導体材料で構成したことを特徴とする。

【0009】

50

本発明の半導体デバイスは、電気信号を光信号に変換する発光デバイスと、光信号を電気信号に変換する受光デバイスと、これら発光デバイスおよび受光デバイス間を光接続するための導光手段とを、同一半導体基板上に配置したことを特徴とする。

【0010】

本発明の半導体デバイスにおいては、前記発光デバイス、前記受光デバイス、および前記半導体基板は四族の元素の少なくとも一つまたはそれらの複合物を主成分として構成されていることを特徴とする。

【0011】

本発明の半導体デバイスにおいては、前記発光デバイスおよび前記受光デバイスの少なくとも一方は、p型半導体とn型半導体とを接合させたpn接合構造を有していることを特徴とする。

10

【0012】

本発明の半導体デバイスにおいては、前記発光デバイスおよび前記受光デバイスの少なくとも一方は、p型半導体とn型半導体との間に不純物濃度  $10^{18} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$  以下の半導体層を設けたpin接合構造を有していることを特徴とする。

【0013】

本発明の半導体デバイスにおいては、前記発光デバイスおよび前記受光デバイスの少なくとも一方は、組成比が1%以上異なる異種（ヘテロ）材料を接合させた構造を有することを特徴とする。

【0014】

本発明の半導体デバイスにおいては、前記導光手段は、四族元素半導体の窒化物、酸化物、または酸窒化物を含むことを特徴とする。

20

【0015】

本発明の半導体デバイスにおいては、前記発光デバイスおよび前記受光デバイスを、光信号を伝送するための透明材料薄膜により光学的に結合させたことを特徴とする。

【0016】

本発明の半導体デバイスにおいては、前記発光デバイスおよび前記受光デバイスを、光信号を伝送するための透明材料の細線により光学的に結合させたことを特徴とする。

【0017】

本発明の半導体デバイスにおいては、前記透明材料は、シリコン系四族元素の酸化物あるいは窒化物あるいは酸窒化物であることを特徴とする。

30

【0018】

本発明の半導体デバイスにおいては、前記半導体基板には、シリコン集積回路が形成されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0019】

本願発明の半導体デバイスは、二六族化合物半導体や三五族化合物半導体を用いずに、シリコン集積回路と同一シリコン基板上にシリコン系四族半導体材料を用いた発光デバイス、受光デバイスを製作集積化する。シリコン系四族半導体材料を使うことから、シリコン集積回路とともに成熟してきた集積化技術をそのまま利用できる。その結果、光デバイスをシリコン集積回路と同等の高集積化することが可能となり、光により情報伝達を可能とする半導体デバイスにより高度な情報処理装置が実現できる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、本発明の半導体装置及びその製造方法について、図を参照して説明する。

【実施例1】

【0021】

本発明をその実施例1について詳細に説明する。図1に本発明の半導体デバイスの概略俯瞰図、図2、図3に半導体デバイスの製作工程における断面図、図4に発光/受光デバイスにおける電流相関図、図5に光伝送路と関連した半導体デバイスの構成図、図6に半

50

導体デバイスの接合構造図を示す。

【 0 0 2 2 】

図 1 に示すように、シリコン集積回路製作プロセスを利用して、シリコン結晶基板（図示せず）上にシリコンを主成分とする材料を用いて発光デバイス 9、受光デバイス 10、両デバイス 9, 10 を光結合する光伝送路 4 を製作した。図 2、図 3 に示すように、対向する発光・受光デバイスは電気的絶縁のために酸化膜薄膜 2 で覆われたシリコン基板 1 の上に製作した。その結果、発光デバイス 9 に電流を流すことにより、受光デバイス 10 の電流が大きく増加することを見出した（図 4）。

【 0 0 2 3 】

図 2 において、シリコン基板 1 の上に、膜厚 1000 nm の酸化膜 2 を成膜し、さらに酸化膜 2 上に、膜厚約 300 nm で不純物濃度  $10^{18} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$  以下のシリコン層 3 を成長させる。フォトリソグラフィ及びエッチングにより発光デバイス 9 及び受光デバイス 10 となるべきパターンを形成する。さらに、透明材料としてシリコン窒化膜を約 200 nm 成膜し、それぞれのデバイスを接続するように光伝送路 4 を 3  $\mu\text{m}$  幅としてパターンニングする。本実施例においては光伝送路 4 を窒化膜により形成しているが酸化膜あるいは酸窒化膜により形成することもできる。

【 0 0 2 4 】

図 3 において、発光・受光デバイスとなるように、光伝送路 4 に自己整合させて、P 型及び n 型不純物をイオン注入し、P 型不純物領域 5、及び n 型不純物領域 6 を形成する。全面に絶縁膜としてリンドープ酸化膜 7 を成膜し、コンタクトホールを開口し、P 型不純物領域 5、及び n 型不純物領域 6 にそれぞれの電極 8 を形成する。これらの電極は 1% シリコンを含む Al により形成した。このように形成された発光デバイス 9 と、受光デバイス 10 と、を図 1 に示すように配置し、2 つのデバイス間を透明なシリコン窒化物細線の光伝送路 4 で接続する。このとき発光デバイス 9 と受光デバイス 10 との間隔は 240  $\mu\text{m}$  離れている。これらの発光デバイス 9 と、受光デバイス 10 と、光伝送路 4 との配置関係を模式的に図 5 に示す。図 5 (A) は、発光デバイス 9 と受光デバイス 10 との間に光伝送路 4 がない場合であり、図 5 (B) は、発光デバイス 9 と受光デバイス 10 とが光伝送路 4 により結合された場合である。

【 0 0 2 5 】

図 5 のように配置されたデバイスにおいて発光デバイス 9 に電圧を印加し、半導体間に電流を流し、このとき受光デバイス 10 における流れる電流を測定する。これらの電流値の関係を図 4 に示す。図 4 において、A グループの各点は、発光デバイス 9 と受光デバイス 10 との間隔は 240  $\mu\text{m}$  で、デバイス間には光伝送路 4 がない場合（図 5 (A)）である。B グループの各点 (B) は、光伝送路 4 がある場合（図 5 (B)）である。光伝送路 4 がない場合 (A グループ) においては受光デバイスにおいては信号電流が検出されなかった。光伝送路 4 が在る場合 (B グループ) には、発光デバイスの電流に比例した信号電流が受光デバイスにおいて検出され、発光デバイスの信号が受光デバイスに受信できた。導光手段である光伝送路 4 により信号が伝送されていることが確認できた。このときの受光デバイスの印加電圧は -1 V である。

【 0 0 2 6 】

この結果は、発光効率が低すぎて発光デバイス材料には不向きであると考えられていたシリコン系四族元素半導体においても光デバイス間を光伝送路で結合させることで光信号による情報伝送が可能であることを意味している。従って、シリコン系四族元素半導体において、光デバイスと大規模シリコン集積回路とを同一シリコン基板上に製作することで、より高度な情報処理装置が実現できる。

【実施例 2】

【 0 0 2 7 】

本発明の実施例 2 について説明する。図 6 に半導体デバイスの接合構造図を示す。ここでも、シリコン系四族半導体材料を用いていることは、図 1 ~ 3 と同様である。実施例 2 においては、さらに発光効率を向上させるために、シリコン集積回路に適用可能な接合と

10

20

30

40

50

するものである。

【0028】

図6(A)はp型半導体21とn型半導体22とによるpn型である。図6(B)はp型半導体21とn型半導体22との間に不純物濃度 $10^{18} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以下の半導体23を介在させたpin型であり、実施例1と同様の構造である。図6(C)はp型半導体21と、p型半導体21と組成比が1%以上異なる異種(ヘテロ)材料のn型半導体24とによるpnヘテロ型である。図6(D)はn型半導体22と、n型半導体22と組成比が1%以上異なる異種(ヘテロ)材料のp型半導体25とによるpnヘテロ型である。図6(E)はp型半導体21と、n型半導体22との間に、半導体26を介在させたダブルヘテロ型である。この半導体26はp型半導体21及びn型半導体22とは組成比が1%以上異なる異種(ヘテロ)材料のp型半導体あるいはn型半導体あるいは不純物濃度 $10^{18} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以下の半導体である。

10

【0029】

上記した接合においても、シリコン系四族元素半導体を使った光による情報伝送が可能である。光により情報伝達を可能とする半導体デバイスにより高度な情報処理装置が実現できる。

【0030】

本願によれば、シリコン集積回路と同一シリコン基板上にシリコン系四族半導体材料を用いた発光デバイス、受光デバイスを製作集積化する。シリコン系四族半導体材料を使うことから、シリコン集積回路とともに成熟してきた集積化技術をそのまま利用できる。その結果、光デバイスをシリコン集積回路と同等の高集積化することが可能となり、光により情報伝達を可能とする半導体デバイスが得られる。

20

【0031】

以上本願発明を実施例に基づき具体的に説明したが、本願発明は前記実施例に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】本発明における半導体デバイスの概略俯瞰図である。

【図2】本発明の半導体デバイスの工程(その1)における断面図である。

30

【図3】本発明の半導体デバイスの工程(その2)における断面図である。

【図4】本発明における発光/受光デバイスにおける電流相関図である。

【図5】本発明における光伝送路と関連した半導体デバイスの構成図である。

【図6】本発明における半導体デバイスの接合構造図である。

【符号の説明】

【0033】

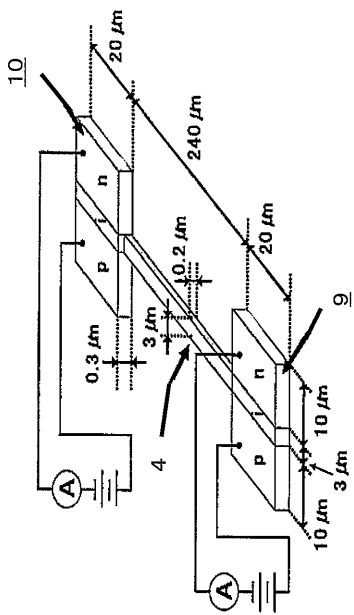
- 1 シリコン基板
- 2 酸化膜
- 3 シリコン層
- 4 透明材料(光伝送路)
- 5 p型半導体
- 6 n型半導体
- 7 絶縁膜(リンドープ酸化膜)
- 8 電極
- 9 発光デバイス
- 10 受光デバイス
- 21 p型半導体
- 22 n型半導体
- 23 不純物濃度 $10^{18} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以下の半導体
- 24 n型半導体

40

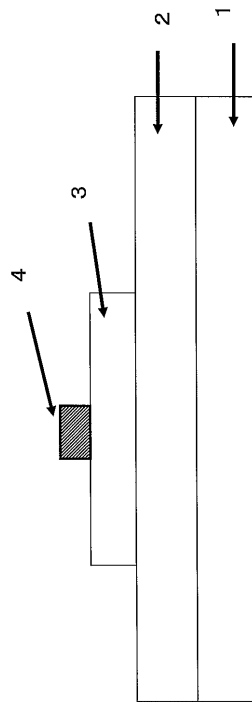
50

- 2 5 p 型半導体
- 2 6 半導体

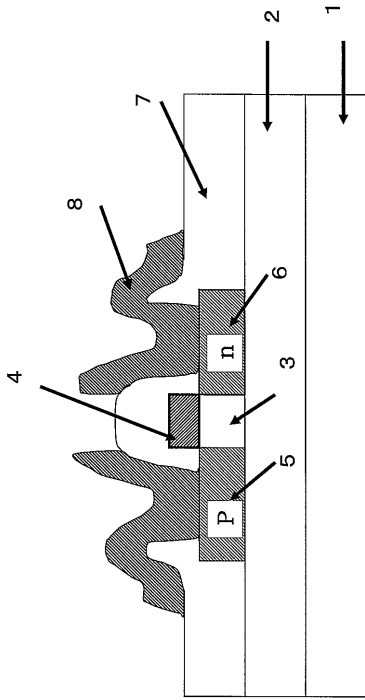
【 図 1 】



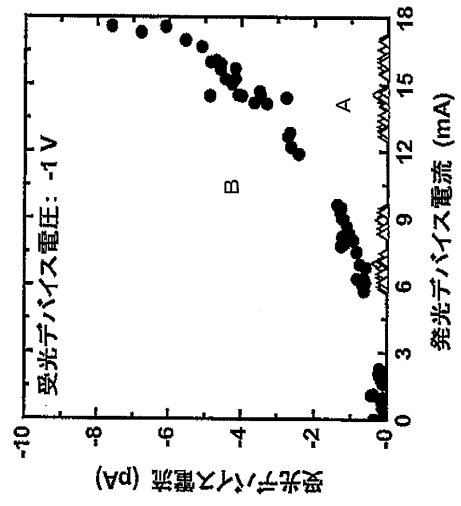
【 図 2 】



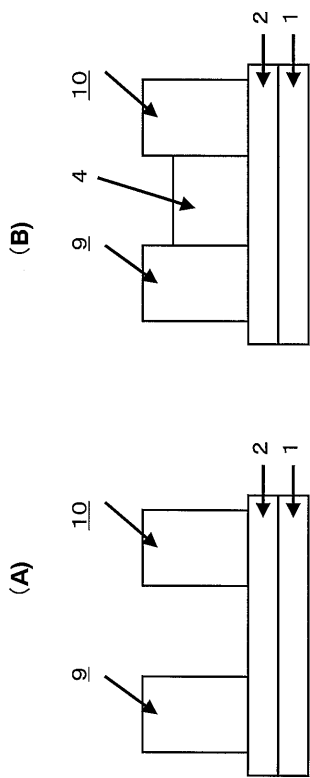
【 図 3 】



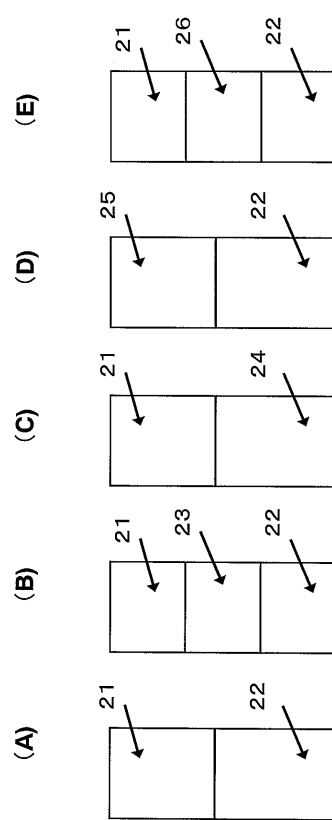
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



---

フロントページの続き

審査官 栗野 正明

- (56)参考文献 特開平11-046014(JP,A)  
特開平03-191572(JP,A)  
特開平05-218384(JP,A)  
特開2003-031790(JP,A)  
特開平06-097499(JP,A)  
特開平06-097420(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01L 27/14  
H01L 27/15  
H01L 31/12