

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7128200号  
(P7128200)

(45)発行日 令和4年8月30日(2022.8.30)

(24)登録日 令和4年8月22日(2022.8.22)

(51)国際特許分類		F I			
H 0 1 L	31/10 (2006.01)	H 0 1 L	31/10		A
G 0 2 B	6/12 (2006.01)	G 0 2 B	6/12	3 0 1	
H 0 1 L	31/0232(2014.01)	H 0 1 L	31/02		C

請求項の数 25 (全16頁)

(21)出願番号	特願2019-552454(P2019-552454)	(73)特許権者	390009531 インターナショナル・ビジネス・マシ ンズ・コーポレーション INTERNATIONAL BUSI NESS MACHINES CORPO RATION アメリカ合衆国10504 ニューヨー ク州 アーモンク ニュー オーチャード ロード New Orchard Road, A rmonk, New York 105 04, United States of America
(86)(22)出願日	平成30年4月10日(2018.4.10)	(74)代理人	100112690 弁理士 太佐 種一
(65)公表番号	特表2020-513155(P2020-513155 A)		
(43)公表日	令和2年4月30日(2020.4.30)		
(86)国際出願番号	PCT/IB2018/052487		
(87)国際公開番号	WO2018/189666		
(87)国際公開日	平成30年10月18日(2018.10.18)		
審査請求日	令和2年9月9日(2020.9.9)		
(31)優先権主張番号	15/486,810		
(32)優先日	平成29年4月13日(2017.4.13)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 急速溶融成長光検出器

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

基板上に延び、導波路材料を含む導波路と、

前記導波路上に形成され、光信号の入射部から離れたところに前記導波路を露出する開口部を有する絶縁層と、

前記絶縁層上に形成されるとともに前記導波路と接触するように前記開口部内に形成された光検出器層であって、前記開口部における第1の端部と前記開口部から遠位の第2の端部とを有し、前記導波路材料とゲルマニウムとの傾斜材料であり、前記傾斜材料の導波路材料部分が前記第1の端部における最大から前記第2の端部における最小まで変化し、前記傾斜材料のゲルマニウム部分が前記第1の端部における最小から前記第2の端部における最大まで変化する、光検出器層と、

10

前記第2の端部における光検出器領域と、

前記第2の端部における前記光検出器層から角度を成して延び、前記光検出器領域に形成される欠陥の欠陥ゲッタ領域である光検出器層延長部と、  
を含む、光検出器。

## 【請求項2】

前記光検出器層延長部が、前記光検出器領域のいずれの部分も含まない、請求項1に記載の光検出器。

## 【請求項3】

前記光検出器層延長部がL形である、請求項1又は2に記載の光検出器。

20

## 【請求項 4】

前記光検出器層延長部が湾曲している、請求項 1 又は 2 に記載の光検出器。

## 【請求項 5】

前記光検出器層及び前記光検出器層延長部が共面である、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の光検出器。

## 【請求項 6】

前記導波路材料がシリコンを含む、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の光検出器。

## 【請求項 7】

前記光検出器層が前記第 1 の端部において、前記第 2 の端部の前記光検出器層の幅より広い幅を有する、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の光検出器。

10

## 【請求項 8】

前記光検出器層延長部が、前記光検出器層から一方向にのみ角度を成して延びる、請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の光検出器。

## 【請求項 9】

基板上に延び、シリコンを含む導波路と、

前記導波路上に形成され、光信号の入射部から離れたところに前記導波路を露出する開口部を有する絶縁層と、

前記絶縁層上に形成されるとともに前記導波路と接触するように前記開口部内に形成される線形光検出器層であって、前記開口部における第 1 の端部と前記線形光検出器層の末端における第 2 の端部とを有し、前記シリコンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、前記傾斜材料のシリコン部分が前記第 1 の端部における最大から前記第 2 の端部における最小まで変化し、前記傾斜材料のゲルマニウム部分が前記第 1 の端部における最小から前記第 2 の端部における最大まで変化する、線形光検出器層と、

20

前記線形光検出器層の前記末端における光検出器と、

前記線形光検出器層の前記末端から角度を成して延び、前記光検出器に形成される欠陥の欠陥ゲッタ領域である光検出器層延長部と、  
を含む、光検出器。

## 【請求項 10】

前記光検出器層延長部が、前記線形光検出器層から一方向にのみ角度を成して延びる、請求項 9 に記載の光検出器。

30

## 【請求項 11】

前記光検出器層延長部が、前記線形光検出器層から二方向に角度を成して延びる、請求項 9 に記載の光検出器。

## 【請求項 12】

前記光検出器層延長部が、前記線形光検出器層と平行かつ離間した部分を含む、請求項 9 から 11 のいずれか一項に記載の光検出器。

## 【請求項 13】

前記光検出器層延長部が湾曲している、請求項 9 から 12 のいずれか一項に記載の光検出器。

## 【請求項 14】

前記光検出器層及び前記光検出器層延長部が共面である、請求項 9 から 13 のいずれか一項に記載の光検出器。

40

## 【請求項 15】

前記光検出器層が前記第 1 の端部において、前記第 2 の端部の前記光検出器層の幅より広い幅を有する、請求項 9 から 14 のいずれか一項に記載の光検出器。

## 【請求項 16】

基板上に延び、シリコンを含む導波路と、

前記導波路上に形成され、光信号の入射部から離れたところに前記導波路を露出する開口部を有する絶縁層と、

前記絶縁層上に形成されるとともに前記導波路と接触するように前記開口部内に形成さ

50

れる光検出器層であって、前記開口部における第 1 の端部と、前記光検出器層内に形成された光検出器領域における第 2 の端部とを有し、前記シリコンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、前記傾斜材料のシリコン部分が前記第 1 の端部における最大から前記第 2 の端部における最小まで変化し、前記傾斜材料のゲルマニウム部分が前記第 1 の端部における最小から前記第 2 の端部における最大まで変化する、光検出器層と、

前記光検出器層と共面になるように、前記光検出器層の前記第 2 の端部から角度を成して延び、前記光検出器領域に形成される欠陥の欠陥ゲッタ領域である光検出器層延長部と、を含む、光検出器。

【請求項 17】

前記光検出器層延長部が、前記光検出器領域のいずれの部分も含まない、請求項 16 に記載の光検出器。

10

【請求項 18】

前記光検出器層延長部が、前記光検出器層から一方向にのみ角度を成して延びる、請求項 16 又は 17 に記載の光検出器。

【請求項 19】

前記光検出器層延長部が、前記光検出器層から二方向に角度を成して延びる、請求項 16 から 17 のいずれか一項に記載の光検出器。

【請求項 20】

前記光検出器層延長部が、前記光検出器層と平行かつ離間した部分を含む、請求項 16 から 18 のいずれか一項に記載の光検出器。

20

【請求項 21】

前記光検出器層が前記第 1 の端部において、前記第 2 の端部の前記光検出器層の幅より広い幅を有する、請求項 16 から 20 のいずれか一項に記載の光検出器。

【請求項 22】

基板上に延び、主部分に接合する入力部分を有し、前記入力部分が前記主部分に対して角度を成している、導波路と、

前記導波路上に形成され、光信号の入射部から離れたところに前記導波路の前記主部分を露出する開口部を有する絶縁層と、

前記絶縁層上に形成されるとともに前記導波路の前記主部分と接触するように前記開口部内に形成される光検出器層であって、前記開口部における第 1 の端部と、前記第 1 の端部から離間した第 2 の端部とを有し、シリコンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、前記傾斜材料のシリコン部分が前記第 1 の端部における最大から前記第 2 の端部における最小まで変化し、前記傾斜材料のゲルマニウム部分が前記第 1 の端部における最小から前記第 2 の端部における最大まで変化する、光検出器層と、を含む、

30

前記導波路の前記主部分は、前記導波路の前記主部分が前記導波路の前記入力部分と接合するところから前記光検出器層の下を前記開口部を通り越して延び、前記入力部分は、前記光検出器層の下から外方に突き出し、前記光検出器層の延長部部分は、前記導波路の前記主部分が前記導波路の入力部分と接合するところを通り越して前記第 2 の端部まで延びており、

40

前記導波路の前記入力部分が前記導波路の前記主部分と接合するところから始まって前記第 1 の端部に向かって延びる、前記光検出器層内に形成された光検出器領域をさらに含み、

前記延長部部分が前記接合するところを通り越して前記第 2 の端部まで延びる距離が、前記光検出器領域に形成される欠陥が最小限になるように決定され、前記欠陥が前記延長部部分に存在して前記光検出器領域には存在しない、光検出器。

【請求項 23】

前記光検出器層の前記延長部部分が、前記光検出器領域のいずれの部分も含まない、請求項 22 に記載の光検出器。

50

## 【請求項 2 4】

基板上に延び、主部分に接合する入力部分を有し、前記入力部分が前記主部分に対して角度を成している、シリコン導波路と、

前記導波路上に形成され、光信号の入射部から離れたところにシリコンシードを露出する開口部を有する絶縁層と、

前記絶縁層上に形成されるとともに前記シリコンシードと接触するように前記開口部内に形成される光検出器層であって、前記開口部における第 1 の端部と、前記第 1 の端部から離間した第 2 の端部とを有し、前記シリコンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、前記傾斜材料のシリコン部分が前記第 1 の端部における最大から前記第 2 の端部における最小まで変化し、前記傾斜材料のゲルマニウム部分が前記第 1 の端部における最小から前記第 2 の端部における最大まで変化する、光検出器層と、  
を含み、

前記導波路の前記主部分は、前記導波路の前記主部分が前記導波路の前記入力部分と接合するところから前記光検出器層の下を前記第 2 の端部を通り越して延び、前記入力部分は、前記光検出器層の下から外方に突き出し、前記光検出器層の一部分は、前記導波路の前記主部分が前記導波路の入力部分と接合するところを通り越して前記第 1 の端部まで延びており、

前記第 2 の端部よりも手前において、前記導波路の前記主部分の上に、前記光検出器層内に形成された光検出器領域であって、欠陥が前記第 2 の端部に存在して当該光検出器領域には存在しない光検出器領域をさらに含む、  
光検出器。

## 【請求項 2 5】

前記シリコンシードが前記導波路から切り離されている、請求項 2 4 に記載の光検出器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0 0 0 1】

本例示的实施形態は、光電子デバイスに関し、より具体的には光信号を電気信号に変換する導波路光検出器に関する。

## 【背景技術】

## 【0 0 0 2】

光通信システムにおいて、光導波路は、システムの一方の端にある光源、例えばレーザによって生成された光信号をシステム他端にある検出器、例えば光検出器に案内するための伝送チャネルを提供する。活性領域である光検出器材料は、伝送された光信号の光子からエネルギーを吸収し、これに反応して、電荷キャリア、例えば電子及び正孔を励起する。逆バイアス電圧を印加すると、励起された電荷キャリアは、光検出器上のコンタクトに引き寄せられ、それにより光信号に対応する電流を発生させる。このようにして、光検出器は、光信号を電気信号に変換する。

## 【0 0 0 3】

ゲルマニウムは、シリコン上で成長するその潜在能力ゆえに、光検出器にふさわしい選択肢である。

## 【0 0 0 4】

格子定数は、結晶格子内の単位セル間の距離を意味する。ゲルマニウムの格子定数は、シリコンの格子定数と完全に一致しているわけではなく、ゲルマニウムの格子定数はシリコンの格子定数よりわずかに大きい。ゲルマニウムとシリコンの格子定数間の不一致は、結晶を成長させるための通常のエピタキシャル成長（「EPI」）技術の使用に関して課題を提起する。現在、シリコン基板上に単結晶ゲルマニウムフィルムを作製するための 2 つの主要な方法が大いに研究されている。1 つの方法は、バッファ層、及び選択的エピタキシャル成長（「SEG」）後の後処理の使用である。第 2 の方法は、急速溶融成長（「RMG」）技術の使用である。これら 2 つの方法の間では、RMG プロセスの方がより良いプロセス適合性を有するが、構築できる構造に制限がある。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 5 】

R M G 技術では、単結晶ゲルマニウムをシリコン上で直接成長させない。むしろ、ポリゲルマニウム又はアモルファスゲルマニウムを、下にあるシリコン層への開口部（「シード窓」）を有する絶縁体上に堆積させる。ポリゲルマニウム又はアモルファスゲルマニウムを取り囲むように窒化物などの絶縁体が堆積される。R M G 法は、堆積されたポリゲルマニウム又はアモルファスゲルマニウムを囲む絶縁体によって形成されたマイクロるつぼを必要とし、これは、アニール処理したときにゲルマニウムの熔融及び再結晶を生じさせる。

## 【 0 0 0 6 】

C M O S 適合プロセスシーケンスにおける光学検出器は、R M G ゲルマニウム光検出器を用いて安価に達成することができる。R M G 光検出器は、シリコン適合性プロセスで構築されているが、幾つかの難題がある。

10

## 【 0 0 0 7 】

1つの難題は、シリコンシード領域がゲルマニウム光検出器を汚染し、その結果、純粋な結晶性ゲルマニウム光検出器ではなくシリコンゲルマニウム検出器がもたらされるということである。この結果、光検出器の応答性を損なうことがある。

## 【 0 0 0 8 】

別の難題は、ゲルマニウム光検出器の熔融及びその後の再結晶が、光検出器の端部付近において光検出器の収率及び応答性に影響を及ぼす欠陥の形成を生じさせることがあることである。

20

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 9 】

したがって、当該技術分野において上記課題に対処する必要がある。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 1 0 】

第1の態様から見て、本発明は、基板上に延び、導波路材料を含む導波路と、導波路上に形成され、導波路を露出する開口部を有する絶縁層と、絶縁層上に形成されるとともに導波路と接触するように開口部内に形成された光検出器層であって、開口部における第1の端部と開口部から遠位の第2の端部とを有し、導波路材料とゲルマニウムとの傾斜材料であり、傾斜材料の導波路材料部分が第1の端部における最大から第2の端部における最小まで変化し、傾斜材料のゲルマニウム部分が第1の端部における最小から第2の端部における最大まで変化する、光検出器層と、第2の端部における光検出器領域と、第2の端部における光検出器層から角度を成して延びる光検出器層延長部と、を含む、光検出器を提供する。

30

## 【 0 0 1 1 】

さらなる態様から見て、本発明は、基板上に延び、シリコンを含む導波路と、導波路上に形成され、導波路を露出する開口部を有する絶縁層と、絶縁層上に形成されるとともに導波路と接触するように開口部内に形成される線形光検出器層であって、開口部における第1の端部と線形光検出器層の末端における第2の端部とを有し、シリコンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、傾斜材料のシリコン部分が第1の端部における最大から第2の端部における最小まで変化し、傾斜材料のゲルマニウム部分が第1の端部における最小から第2の端部における最大まで変化する、線形光検出器層と、線形光検出器層の末端における光検出器と、線形光検出器層の末端から角度を成して延びる光検出器層延長部と、を含む、光検出器を提供する。

40

## 【 0 0 1 2 】

さらなる態様から見て、本発明は、基板上に延び、シリコンを含む導波路と、導波路上に形成され、導波路を露出する開口部を有する絶縁層と、絶縁層上に形成されるとともに導波路と接触するように開口部内に形成される光検出器層であって、開口部における第1の端部と、光検出器層内に形成された光検出器領域における第2の端部とを有し、シリコ

50

ンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、傾斜材料のシリコン部分が第1の端部における最大から第2の端部における最小まで変化し、傾斜材料のゲルマニウム部分が第1の端部における最小から第2の端部における最大まで変化する、光検出器層と、光検出器層と共面になるように、光検出器層から角度を成して延びる光検出器層延長部と、を含む、光検出器を提供する。

【0013】

さらなる態様から見て、本発明は、基板上に延び、主部分に接合する入力部分を有し、入力部分が主部分に対して角度を成している、導波路と、導波路上に形成され、導波路の主部分を露出する開口部を有する絶縁層と、絶縁層上に形成されるとともに導波路の主部分と接触するように開口部内に形成される光検出器層であって、開口部における第1の端部と、第1の端部から離間した第2の端部とを有し、シリコンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、傾斜材料のシリコン部分が第1の端部における最大から第2の端部における最小まで変化し、傾斜材料のゲルマニウム部分が第1の端部における最小から第2の端部における最大まで変化する、光検出器層と、を含み、導波路の主部分は、導波路の主部分が導波路の入力部分と接合するところから光検出器層の下を開口部を通り越して延び、入力部分は、光検出器層の下から外方に突き出し、光検出器層の延長部部分は、導波路の主部分が導波路の入力部分と接合するところを通り越して第2の端部まで延びており、導波路の入力部分が導波路の主部分と接合するところから始まって第1の端部に向かって延びる、光検出器層内に形成された光検出器領域をさらに含む、光検出器を提供する。

10

【0014】

さらなる態様から見て、本発明は、基板上に延び、主部分に接合する入力部分を有し、入力部分が主部分に対して角度を成している、シリコン導波路と、導波路上に形成され、シリコンシードを露出する開口部を有する絶縁層と、絶縁層上に形成されるとともに導波路のシリコンシードと接触するように開口部内に形成される光検出器層であって、開口部における第1の端部と、第1の端部から離間した第2の端部とを有し、シリコンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、傾斜材料のシリコン部分が第1の端部における最大から第2の端部における最小まで変化し、傾斜材料のゲルマニウム部分が第1の端部における最小から第2の端部における最大まで変化する、光検出器層と、を含み、導波路の主部分は、導波路の主部分が導波路の入力部分と接合するところから光検出器層の下を第2の端部を通り越して延び、入力部分は、光検出器層の下から外方に突き出し、光検出器層の一部分は、導波路の主部分が導波路の入力部分と接合するところを通り越して第1の端部まで延びており、第2の端部において、導波路の主部分の上に、光検出器層内に形成された光検出器領域をさらに含む、光検出器を提供する。

20

30

【0015】

上述及び後述の例示的な実施形態の種々の利点及び目的は、例示的な実施形態の態様に従って、基板上に延び、導波路材料を含む導波路と、導波路上に形成され、導波路を露出する開口部を有する絶縁層と、絶縁層上に形成されるとともに導波路と接触するように開口部内に形成された光検出器層であって、開口部における第1の端部と開口部から遠位の第2の端部とを有し、導波路材料とゲルマニウムとの傾斜材料であり、傾斜材料の導波路材料部分が第1の端部における最大から第2の端部における最小まで変化し、傾斜材料のゲルマニウム部分が第1の端部における最小から第2の端部における最大まで変化する、光検出器層と、第2の端部における光検出器領域と、第2の端部における光検出器層延長部から角度を成して延びる光検出器層延長部と、を含む、光検出器を提供することによって達成される。

40

【0016】

例示的な実施形態の別の態様によれば、基板上に延び、シリコンを含む導波路と、導波路上に形成され、導波路を露出する開口部を有する絶縁層と、絶縁層上に形成されるとともに導波路と接触するように開口部内に形成される線形光検出器層であって、開口部における第1の端部と線形光検出器層の末端における第2の端部とを有し、シリコンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、傾斜材料のシリコン部分が第1の端部における最大から第2

50

の端部における最小まで変化し、傾斜材料のゲルマニウム部分が第1の端部における最小から第2の端部における最大まで変化する、線形光検出器層と、線形光検出器層の末端における光検出器と、線形光検出器層の末端から角度を成して延びる光検出器層延長部と、を含む、光検出器が提供される。

【0017】

例示的な実施形態のさらなる態様によれば、基板上に延び、シリコンを含む導波路と、導波路上に形成され、導波路を露出する開口部を有する絶縁層と、絶縁層上に形成されるとともに導波路と接触するように開口部内に形成される光検出器層であって、開口部における第1の端部と、光検出器層内に形成された光検出器領域における第2の端部とを有し、シリコンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、傾斜材料のシリコン部分が第1の端部における最大から第2の端部における最小まで変化し、傾斜材料のゲルマニウム部分が第1の端部における最小から第2の端部における最大まで変化する、光検出器層と、光検出器層と共面になるように、光検出器層から角度を成して延びる光検出器層延長部と、を含む、光検出器が提供される。

10

【0018】

例示的な実施形態の別の態様によれば、基板上に延び、主部分に接合する入力部分を有し、入力部分が主部分に対して角度を成している、導波路と、導波路上に形成され、導波路の主部分を露出する開口部を有する絶縁層と、絶縁層上に形成されるとともに導波路の主部分と接触するように開口部内に形成される光検出器層であって、開口部における第1の端部と、第1の端部から離間した第2の端部とを有し、シリコンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、傾斜材料のシリコン部分が第1の端部における最大から第2の端部における最小まで変化し、傾斜材料のゲルマニウム部分が第1の端部における最小から第2の端部における最大まで変化する、光検出器層と、を含み、導波路の主部分は、導波路の主部分が導波路の入力部分と接合するところから光検出器層の下を開口部を通り越して延び、入力部分は、光検出器層の下から外方に突き出し、光検出器層の延長部部分は、導波路の主部分が導波路の入力部分と接合するところを通り越して第2の端部まで延びており、導波路の入力部分が導波路の主部分と接合するところから始まって第1の端部に向かって延びる、光検出器層内に形成された光検出器領域をさらに含む、光検出器が提供される。

20

【0019】

例示的な実施形態のさらに別の態様によれば、基板上に延び、主部分に接合する入力部分を有し、入力部分が主部分に対して角度を成している、シリコン導波路と、導波路上に形成され、シリコンシードを露出する開口部を有する絶縁層と、絶縁層上に形成されるとともに導波路のシリコンシードと接触するように開口部内に形成される光検出器層であって、開口部における第1の端部と、第1の端部から離間した第2の端部とを有し、シリコンとゲルマニウムとの傾斜材料であり、傾斜材料のシリコン部分が第1の端部における最大から第2の端部における最小まで変化し、傾斜材料のゲルマニウム部分が第1の端部における最小から第2の端部における最大まで変化する、光検出器層と、を含み、導波路の主部分は、導波路の主部分が導波路の入力部分と接合するところから光検出器層の下を第2の端部を通り越して延び、入力部分は、光検出器層の下から外方に突き出し、光検出器層の一部分は、導波路の主部分が導波路の入力部分と接合するところを通り越して第1の端部まで延びており、第2の端部において、導波路の主部分の上に、光検出器層内に形成された光検出器領域をさらに含む、光検出器が提供される。

30

40

【0020】

例示的な実施形態の特徴は新規であると考えられ、例示的な実施形態に特徴的な要素は、添付の特許請求の範囲に具体的に述べられている。図面は例示のみを目的としたものであり、縮尺通りに描かれていない。例示的な実施形態は、構成及び動作方法の両方において、添付の図面との組み合わせで解釈される以下の詳細な説明を参照することによって最もよく理解することができる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

50

【図 1】ゲルマニウム光検出器の実施形態の平面図である。

【図 2】矢印 2 - 2 の方向の図 1 のゲルマニウム光検出器の断面図である。

【図 3】図 1 の破線の矩形によって囲まれた図 1 のゲルマニウム光検出器の一部の拡大平面図である。

【図 4】ゲルマニウム光検出器の別の実施形態の平面図である。

【図 5】図 4 のゲルマニウム光検出器の改変版の平面図である。

【図 6】ゲルマニウム光検出器の別の実施形態の平面図である。

【図 7】ゲルマニウム光検出器の別の実施形態の平面図である。

【図 8】ゲルマニウム光検出器の別の実施形態の平面図である。

【図 9】ゲルマニウム光検出器の別の実施形態の平面図である。

10

【図 10】ゲルマニウム光検出器の別の実施形態の平面図である。

【図 11】ゲルマニウム光検出器の別の実施形態の平面図である。

【図 12】ゲルマニウム光検出器の別の実施形態の平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

例示的な実施形態にはいくつかの利点がある。1つの利点は、入射光から離れたところにシリコン・リッチ領域がある光検出器の作成である。別の利点は、光信号の入射部に近いゲルマニウム・リッチ領域である。さらなる利点は、光信号の経路外にある欠陥ゲッタ領域である。

【0023】

20

図面をより詳細に参照し、特に図 1 を参照すると、ゲルマニウム光検出器 10 の実施形態の平面図である。ゲルマニウム光検出器 10 は、通常はシリコンである導波路 12 を含み、矢印 14 で示される入力信号は、右側からゲルマニウム光検出器 10 に入ってくる。光検出器層 16 は、シード窓 18 を通して、下にある導波路 12 と接触する。破線の楕円 16A で示される光検出器層 16 の右側は、光検出器ダイオードを含む。窒化物などの絶縁体 20 が光検出器層 16 を囲む。ゲルマニウム光検出器 10 を囲むのは酸化物（図示せず）であってもよい。

【0024】

ゲルマニウム光検出器 10（又は後述の実施形態のいずれか）の形成は、CMOS（相補型金属酸化膜半導体）製造ラインにおいて行うことができる。CMOS プロセスによって形成される例示的な実施形態は、ゲルマニウムの汚染及び欠陥の形成に関する従来技術の難題を最小限にすることが見いだされた。

30

【0025】

ここで図 2 を参照すると、図 1 の矢印 2 - 2 の方向で見たゲルマニウム光検出器 10 の断面図である。ゲルマニウム光検出器 10 は、シリコンなどの半導体基部 22 と、それに続く、埋込酸化物層 24、導波路 12、窒化物などの絶縁体層 26、光検出器層 16、及び絶縁体 20 の上に形成することができる。光検出器層 16 は、シード窓 18 を通って延びて導波路 12 に接触する部分 28 を有する。

【0026】

ゲルマニウム光検出器 10 は、埋込酸化物層 24 上に導波路 12 を形成し、次いで絶縁体 26 を形成することを含むプロセスによって形成することができる。絶縁体 26 内にシード窓 18 を形成することができる。その後、ポリゲルマニウム又はアモルファスゲルマニウムを、シード窓 18 を含めて堆積し、次いでパターン付けすることにより、光検出器層 16 を形成することができる。限定ではなく例示の目的で、光検出器層 16 は、1 μm から 5 μm の範囲、例えば 2.5 μm 幅の、図 1 に示されるような幅 40 を有することができる。ゲルマニウム光検出器層 16 を絶縁体 20 によって封入し、次いで RMG プロセスに従って少なくともゲルマニウムの融点まで加熱することができる。

40

【0027】

RMG プロセスの結果として、シリコンとゲルマニウムの傾斜が形成される。シリコンのモル分率は、シード窓 18 において最高であり、徐々に減少して、光検出器ダイオード

50

16Aにおいてゼロ又はゼロ近くなる。逆に、ゲルマニウムのモル分率は、シード窓において最低であり、徐々に増大して、光検出器ダイオード16Aにおいて100%又は100%近くなる。好ましくは、光検出器ダイオード16Aの左の縁部16Bにおけるゲルマニウムのモル分率は、少なくとも95%になるべきである。

#### 【0028】

光検出器層16は、1つ又は複数の光検出器層延長部30をさらに含む。限定ではなく例示の目的で、光検出器層延長部は、1 $\mu$ mから10 $\mu$ m、例えば3 $\mu$ mの長さの、図1で示される長さ42を有することができる。光検出器延長部30の利点は、通常は光検出器層16の端部16Cで形成されることがある欠陥が、ここでは光検出器層延長部30内へ押しやられることである。したがって、光検出器ダイオード16A内の光検出器層16がここでは欠陥を有さないの、光検出器ダイオード16Aの収率及び応答性が改善される。

10

#### 【0029】

ここで図3を参照すると、図1の矩形21内の光検出器ダイオード16Aがより詳細に示されている。光検出器ダイオード16Aの1つの部分32は、nドープすることができ金属コンタクト34が形成され、他方、第2の部分36は、pドープすることができ、金属コンタクト38が形成される。RMGプロセス後、光検出器ダイオード16Aのドーピングのために絶縁体20を随意に除去して、ドーピング注入エネルギーを最小化することができる。絶縁体20をそのまま残す場合、金属コンタクト34は、絶縁体20を通して局所的にエッチングし、次いで金属コンタクト34のための金属を堆積することによって形成することができる。

20

#### 【0030】

光検出器層16の側部から角度を成して離れた光検出器層延長部30も、より詳細に示されている。光検出器層延長部30は、光検出器層16に対して垂直なものとして示されているが、それより小さい又は大きい角度の延長部を形成することもできる。破線は、光検出器層16が終わり、光検出器層延長部30が始まることを示している。

#### 【0031】

ここで図4を参照すると、ゲルマニウム光検出器400の別の例示的な実施形態が示されており、これは、ゲルマニウム光検出器400が、異なる光検出器層延長部402を有すること以外は、ゲルマニウム光検出器10と同様である。光検出器層延長部402は、光検出器層16の側部から角度を成して離れた光検出器層延長部部分404と、光検出器層延長部部分404の側部から角度を成して離れた光検出器層延長部部分406とを含む。1つの実施形態において、光検出器層延長部部分406は、光検出器層16と平行にすることができる。

30

#### 【0032】

ここで図5を参照すると、ゲルマニウム光検出器400が改変されて、ここではゲルマニウム光検出器400'となっており、光検出器層延長部部分406は、ここでは長さを増大して光検出器層延長部部分406'として示されている。

#### 【0033】

ゲルマニウム光検出器400、400'の利点は、ゲルマニウムの再結晶中のいかなる欠陥も、ゲルマニウム光検出器層16の端部16Cをさらに越えて光検出器層延長部402内へ押しやられることである。

40

#### 【0034】

ここで図6を参照すると、ゲルマニウム光検出器500の別の例示的な実施形態が示されており、これは、ゲルマニウム光検出器500が、異なる光検出器層延長部502を有すること以外は、ゲルマニウム光検出器10と同様である。光検出器層延長部502は、光検出器層16の側部から角度を成して離れた光検出器層延長部部分504と、光検出器層延長部部分504の側部から角度を成して離れた光検出器層延長部部分506とを含む。1つの実施形態において、光検出器層延長部部分506は、光検出器層16と平行にすることができる。ゲルマニウム光検出器500は、光検出器層延長部部分506の側部か

50

ら角度を成して離れたものとする事ができる付加的な光検出器層延長部 508 を含むことができる。

【0035】

ゲルマニウム光検出器 500 の利点は、ゲルマニウムの再結晶中のいかなる欠陥も、ゲルマニウム光検出器層 16 の端部 16C をさらに越えて光検出器層延長部 502 内へ押しやられることである。

【0036】

ここで図 7 を参照すると、ゲルマニウム光検出器 600 の別の例示的な実施形態が示されており、これは、ゲルマニウム光検出器 600 が、異なる光検出器層延長部 602 を有すること以外は、ゲルマニウム光検出器 10 と同様である。光検出器層延長部 602 は、光検出器層 16 の一方の側部から湾曲して離れている。限定ではなく例示の目的で、光検出器層延長部 602 は、 $1\ \mu\text{m}$  から  $10\ \mu\text{m}$ 、例えば  $5\ \mu\text{m}$  だけ、一方の側 44 に偏向することができる。

10

【0037】

ゲルマニウム光検出器 600 の利点は、ゲルマニウムの再結晶中のいかなる欠陥も、ゲルマニウム光検出器層 16 の端部 16C をさらに越えて光検出器層延長部 602 内へ押しやられることである。

【0038】

前述のゲルマニウム光検出器 10、400、400'、500 はすべて、光検出器層 16 の両側から角度を成して離れた光検出器層延長部 30、402、402'、502 を有していた。光検出器層延長部 30、402、402'、502 が、ゲルマニウム光検出器 600 の光検出器層延長部 602 の場合のように片側のみから角度を成して離れることは、例示的な実施形態の範囲内である。図 8 のゲルマニウム光検出器 700 は、そうした例の一つであり、光検出器層延長部 702 は、延長部 502 が光検出器層 16 の両側から角度を成して離れたゲルマニウム光検出器 500 と比べて、光検出器層 16 の片側のみから角度を成して離れている。

20

【0039】

ここで図 9 を参照すると、ゲルマニウム光検出器 800 の別の例示的な実施形態が示されており、これは、ゲルマニウム光検出器 800 が、シード窓 18 の近くに光検出器層 16 の幅広部分 16D を有すること以外は、ゲルマニウム光検出器 10 と同様である。限定ではなく例示の目的で、光検出器層 16 は、 $0.5\ \mu\text{m}$  から  $3\ \mu\text{m}$  の範囲、例えば  $1.0\ \mu\text{m}$  幅の、図 9 に示されるような幅 40 を有することができる。さらに、限定ではなく例示の目的で、幅広部分 16D は、光検出器層 16 の幅 40 の 1.5 倍から 5 倍、例えば 3 倍の、図 9 に示されるような最大幅 46 を有することができる。幅広部分 16D は、シード窓 18 から幅広部分 16D が光検出器層 16 と交わるところまで徐々に先細になっていることに留意されたい。

30

【0040】

ゲルマニウム光検出器 800 の利点は、ゲルマニウムの再結晶中のいかなる欠陥も、ゲルマニウム光検出器層 16 の端部 16C をさらに越えて光検出器層延長部 30 内へ押しやられることである。ゲルマニウム光検出器 800 の別の利点は、光検出器層 16 の幅広部分 16D が光検出器ダイオード 16A 内のゲルマニウムのモル分率の増大を助けることである。

40

【0041】

ここで図 10 を参照すると、ゲルマニウム光検出器 900 の別の例示的な実施形態が示されており、これは、ゲルマニウム光検出器 900 が、シード窓 18 の近くに光検出器層 16 の別の幅広部分 16E を有すること以外は、ゲルマニウム光検出器 800 と同様である。限定ではなく例示の目的で、光検出器層 16 は、 $0.5\ \mu\text{m}$  から  $3\ \mu\text{m}$  の範囲、例えば  $1.0\ \mu\text{m}$  幅の、図 10 に示されるような幅 40 を有することができる。さらに、限定ではなく例示の目的で、幅広部分 16E は、光検出器層 16 の幅 40 の 1.5 倍から 5 倍、例えば 3 倍の、図 10 に示されるような最大幅 48 を有することができる。ゲルマニウ

50

μ光検出器 900 の幅広部分 16 E は、シード窓付近では均一の幅を有し、次いで光検出器層 16 の主部分に向かって徐々に先細になっていることに留意されたい。

【0042】

ゲルマニウム光検出器 900 の利点は、ゲルマニウムの再結晶中のいかなる欠陥も、ゲルマニウム光検出器層 16 の端部 16 C をさらに越えて光検出器層延長部 30 内へ押しやられることである。ゲルマニウム光検出器 900 の別の利点は、光検出器層 16 の幅広部分 16 E が光検出器ダイオード 16 A 内のゲルマニウムのモル分率の増大を助けることである。

【0043】

ここで図 11 を参照すると、ゲルマニウム光検出器 1000 の別の例示的な実施形態が示されており、これはゲルマニウム光検出器 10 と同様であるが、いくつかの点で異なる。ゲルマニウム光検出器 1000 は、ゲルマニウム光検出器 10 に関して前述した光検出器層延長部を有していないことに留意されたい。ゲルマニウム光検出器 1000 の入力光 14 を有する導波路 12 は、光検出器層 16 の下で側部から角度を成し、その後、光検出器層 16 の下を、シード窓 18 を通り越して進むことにも、さらに留意されたい。導波路 12 は、光検出器層 16 の端部 16 C の左側の点において光検出器層 16 の下に進む。導波路 12 が光検出器層 16 の下で角度を成すところと、光検出器層 16 の端部 16 C との間の距離は、領域 16 A 内で欠陥が最小限になるように、経験的に決定することができる。この距離は、ゲルマニウム光検出器 10 を形成するのに用いられるプロセスの欠陥形成の詳細に依存する。

【0044】

ゲルマニウム光検出器 1000 の利点は、欠陥が光検出器層 16 の端部 16 C に存在し、光検出器ダイオード 16 A を含む光検出器層 16 の部分には存在しないことである。その結果、光検出器ダイオード 16 A は高応答性及び低欠陥領域になる。

【0045】

ここで図 12 を参照すると、ゲルマニウム光検出器 1100 の別の例示的な実施形態が示されており、これはゲルマニウム光検出器 10 と同様であるが、いくつかの点で異なる。ゲルマニウム光検出器 1100 は、ゲルマニウム光検出器 10 に関して前述した光検出器層延長部を有していないことに留意されたい。ゲルマニウム光検出器 1100 の入力光 14 を有する導波路 12 は、光検出器層 16 の下で側部から角度を成し、その後、光検出器層 16 の下を進むことにも、さらに留意されたい。導波路 12 からの光の経路は、導波路 12 が光検出器層 16 の下で角度を成すところから光検出器層 16 の端部 16 C を通る。導波路 12 からの光は、シード窓 18 のところを通らない。この点に関して、導波路 12 は、シード窓 18 の下にある別の導波路 1102 と切り離されている。RMG プロセス中、光検出器層 16 は、前述の実施形態のように導波路 12 からではなく、導波路 1102 から再結晶する。さらに、光検出器ダイオード 16 A は、端部 16 C の手前において選択され、光検出器ダイオード 16 A が、高ゲルマニウムモル分率領域にあるように、しかし、欠陥が蓄積する可能性がある光検出器層 16 の端部 16 C よりも手前にあるようになっている。端部 16 C と光検出器ダイオード 16 A の位置との間の距離は、領域 16 A 内で欠陥が最小限になるように、経験的に決定することができる。

【0046】

ゲルマニウム光検出器 1100 の利点は、欠陥が光検出器層 16 の端部 16 C に存在し、光検出器ダイオード 16 A には存在しないことである。その結果、光検出器ダイオード 16 A は高応答性及び低欠陥領域になる。

【0047】

本開示を考慮すると、本発明の範囲から逸脱することなく、本明細書で具体的に説明された実施形態を越えた例示的な実施形態の他の変更を行うことができることが当業者には明らかである。したがって、このような変更は、添付の特許請求の範囲のみによって限定される本発明の範囲内であるとみなされる。

【符号の説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 4 8 】

1 0、4 0 0、4 0 0 '、5 0 0、6 0 0、7 0 0、8 0 0、9 0 0、1 0 0 0、1 1 0 0

: ゲルマニウム光検出器

1 2 : 導波路

1 4 : 入力信号

1 6 : 光検出器層

1 6 A : 光検出器ダイオード

1 8 : シード窓

2 0 : 絶縁体

2 2 : 半導体基部

2 4 : 埋込酸化物層

2 6 : 絶縁体層

2 8 : 部分

3 0、4 0 2、4 0 2 '、5 0 2、6 0 2、7 0 2 : 光検出器層延長部

4 0 4、4 0 6、4 0 6 '、5 0 6 : 光検出器層延長部部分

3 2、3 6 : 光検出器ダイオードの部分

3 4、3 8 : 金属コンタクト

【 図 面 】

【 図 1 】

【 図 2 】

10

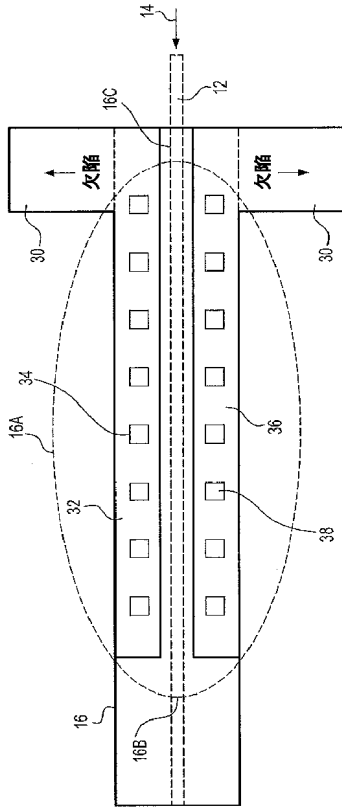
20

30

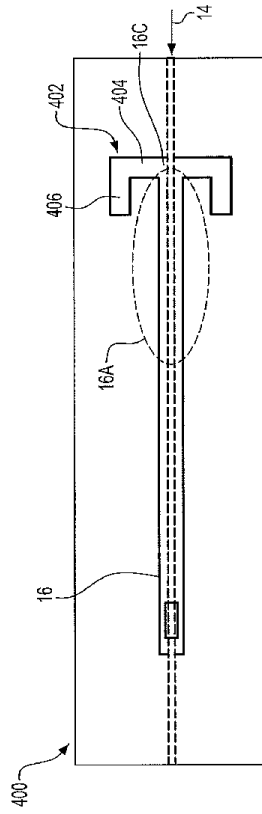
40

50

【図 3】



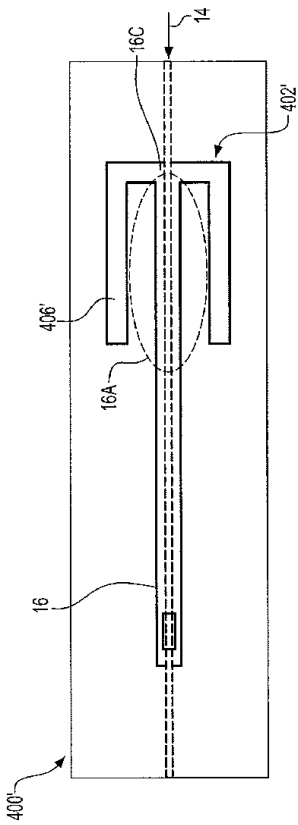
【図 4】



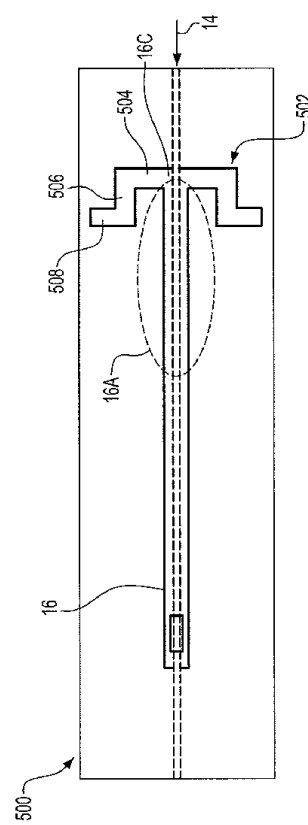
10

20

【図 5】



【図 6】

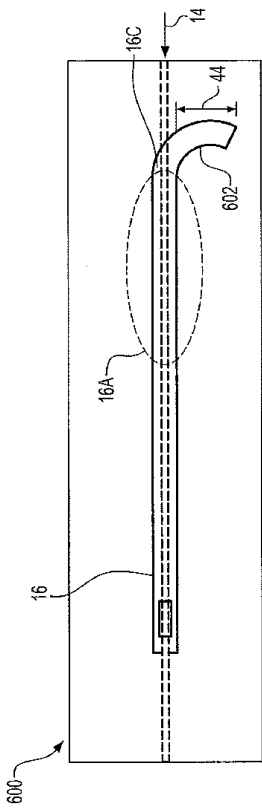


30

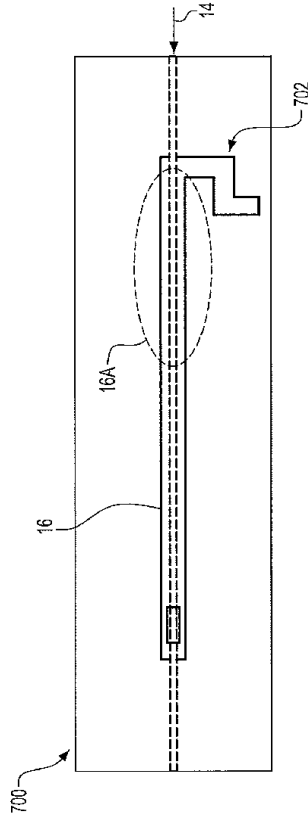
40

50

【 図 7 】



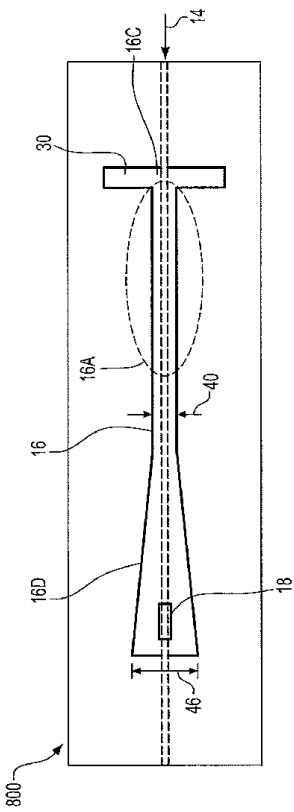
【 図 8 】



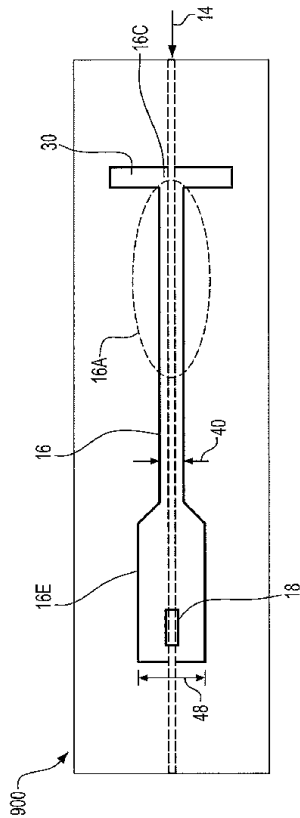
10

20

【 図 9 】



【 図 10 】

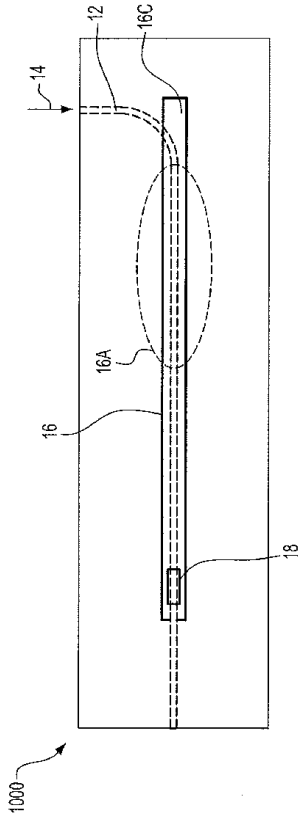


30

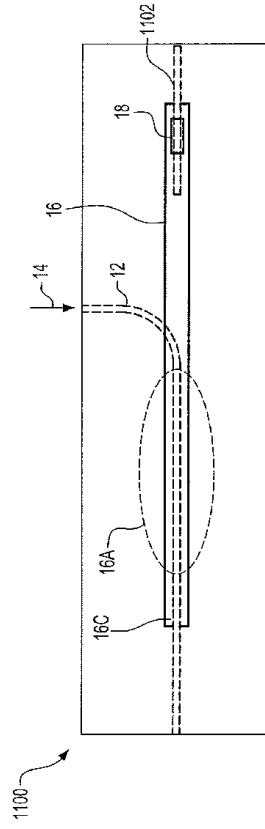
40

50

【図 1 1】



【図 1 2】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- (72)発明者 キーウラ、エドワード、ウィリアム  
アメリカ合衆国 1 2 6 0 1 ニューヨーク州 ボキブシー サウス・ロード 2 4 5 5
- (72)発明者 オーカット、ジェイソン  
アメリカ合衆国 1 0 5 9 8 ニューヨーク州 ヨークタウン・ハイツ キッチャワン・ロード 1 1 0 1
- (72)発明者 エリスモナガン、ジョン、ジョセフ  
アメリカ合衆国 1 2 6 0 1 ニューヨーク州 ボキブシー サウス・ロード 2 4 5 5
- 審査官 山本 元彦
- (56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 0 6 2 6 4 7 ( U S , A 1 )  
特表 2 0 1 3 - 5 2 9 8 5 4 ( J P , A )  
LITTLEJOHNS, C. G. et al. , Towards a fully functional integrated photonic-electronic platform via a single SiGe growth step , SCIENTIFIC REPORTS , 2016年01月19日 , Vol.6 , pp. 1 9425-1 - 19425-6
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
H 0 1 L 3 1 / 0 0 - 3 1 / 0 3 9 2  
H 0 1 L 3 1 / 0 8 - 3 1 / 1 1 9  
G 0 2 B 6 / 1 2 - 6 / 1 4  
J S T P l u s / J S T 7 5 8 0 ( J D r e a m I I I )  
I E E E X p l o r e