

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7310010号
(P7310010)

(45)発行日 令和5年7月18日(2023.7.18)

(24)登録日 令和5年7月7日(2023.7.7)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 31/10 (2006.01)

H 0 1 L 31/10 A

H 0 1 L 27/146 (2006.01)

H 0 1 L 27/146 A

請求項の数 19 (全83頁)

(21)出願番号	特願2022-513328(P2022-513328)	(73)特許権者	519358748
(86)(22)出願日	令和2年8月27日(2020.8.27)		アーティラックス・インコーポレイテッ ド
(65)公表番号	特表2022-539433(P2022-539433 A)		アメリカ合衆国・カリフォルニア・9 4 0 2 5・メンロー・パーク・ジェファー ソン・ドライブ・1 0 1
(43)公表日	令和4年9月8日(2022.9.8)	(74)代理人	100108453
(86)国際出願番号	PCT/US2020/048292		弁理士 村山 靖彦
(87)国際公開番号	WO2021/041742	(74)代理人	100110364
(87)国際公開日	令和3年3月4日(2021.3.4)		弁理士 実広 信哉
審査請求日	令和4年4月11日(2022.4.11)	(74)代理人	100133400
(31)優先権主張番号	62/899,153		弁理士 阿部 達彦
(32)優先日	令和1年9月12日(2019.9.12)	(74)代理人	100133400
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(72)発明者	ル・イエン・チェン
(31)優先権主張番号	62/892,551		アメリカ合衆国・カリフォルニア・9 4 0 2 5・メンロー・パーク・ジェファー
(32)優先日	令和1年8月28日(2019.8.28)		最終頁に続く
	最終頁に続く		

(54)【発明の名称】 低暗電流による光検出装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

光検出デバイスを備える光検出装置であって、前記光検出デバイスは、
第1の表面、および、前記第1の表面と対向する第2の表面を有するキャリア伝導層と、
前記キャリア伝導層と接触しており、光学信号を受信し、前記光学信号に応答して光キ
ャリアを発生させるように構成される吸収領域であって、
前記吸収領域は、第1のドーパントでドーピングされ、第1の伝導型および第1のピークド
ーピング濃度を有し、
前記キャリア伝導層は、第2のドーパントでドーピングされ、第2の伝導型および第2のピ
ークドーピング濃度を有し、
前記キャリア伝導層は、前記吸収領域の材料と異なる材料を含み、
前記キャリア伝導層は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために前記吸収領域と
接触しており、
前記キャリア伝導層の前記第2のピークドーピング濃度に対する前記吸収領域の前記第
1のピークドーピング濃度の比が10以上である、吸収領域と、
前記キャリア伝導層の前記第1の表面上に形成され、前記キャリア伝導層に電氣的に結
合される第1の電極であって、前記吸収領域から分離され、前記光キャリアの一部分を収
集するように構成される、第1の電極と、
前記キャリア伝導層の前記第1の表面上に形成され、前記吸収領域に電氣的に結合され
る第2の電極と、を備え、

前記吸収領域は、第 1 の表面と、前記第 1 の表面と対向する第 2 の表面と、前記第 1 の表面と前記第 2 の表面との間の 1 つまたは複数の側面とを備え、前記第 1 の電極と前記吸収領域の前記 1 つまたは複数の側面との間の最短距離が $0.1\ \mu\text{m}$ から $20\ \mu\text{m}$ の間である、光検出装置。

【請求項 2】

前記キャリア伝導層は、前記吸収領域から分離される第 1 のドープ領域を備え、前記第 1 のドープ領域は、前記吸収領域の伝導型と異なる伝導型を有し、前記第 1 のドープ領域は、前記第 2 のピークドーピング濃度より高い第 3 のピークドーピング濃度を有する第 3 のドーパントでドーパされ、前記第 1 の電極は前記第 1 のドープ領域と電氣的に結合される、請求項 1 に記載の光検出装置。

10

【請求項 3】

前記キャリア伝導層は、前記第 2 のドーパントを有する伝導領域を備え、前記伝導領域は $5\ \mu\text{m}$ 未満の深さを有し、前記伝導領域は、前記光キャリアの一部分を前記吸収領域から前記第 1 のドープ領域へと運搬するために、前記第 1 のドープ領域と前記吸収領域との間に形成される、請求項 2 に記載の光検出装置。

【請求項 4】

前記キャリア伝導層は基板であり、前記吸収領域の少なくとも一部は前記基板に埋め込まれる、請求項 3 に記載の光検出装置。

【請求項 5】

前記吸収領域の前記第 1 の表面、前記第 2 の表面、および／または前記 1 つもしくは複数の側面の少なくとも一部が前記キャリア伝導層と接触している、請求項 1 に記載の光検出装置。

20

【請求項 6】

前記吸収領域は段階的なドーピングプロファイルでドーパされる、請求項 1 に記載の光検出装置。

【請求項 7】

前記吸収領域の少なくとも 50% は、 $1 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ 以上の前記第 1 のドーパントのドーピング濃度でドーパされる、請求項 1 に記載の光検出装置。

【請求項 8】

前記吸収領域と前記キャリア伝導層との間の前記ヘテロ界面における前記第 1 のドーパントのドーピング濃度が $1 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ 以上である、請求項 1 に記載の光検出装置。

30

【請求項 9】

前記第 1 のドーパントの前記第 1 の伝導型と前記第 2 のドーパントの前記第 2 の伝導型とは異なり、前記ヘテロ界面における前記キャリア伝導層のドーピング濃度に対する前記吸収領域のドーピング濃度の比が 10 以上である、請求項 1 に記載の光検出装置。

【請求項 10】

前記キャリア伝導層において、前記吸収領域と接触している第 2 のドープ領域をさらに備え、前記第 2 のドープ領域は、前記第 1 の伝導型と同じ伝導型を有し、前記第 1 のピークドーピング濃度より高い第 4 のピークドーピング濃度を有する第 4 のドーパントでドーパされ、前記第 2 の電極は前記第 2 のドープ領域に電氣的に結合される、請求項 1 に記載の光検出装置。

40

【請求項 11】

前記第 2 のドープ領域の一部が前記吸収領域によって覆われ、前記吸収領域は幅を有し、前記吸収領域によって覆われた前記第 2 のドープ領域の幅が前記吸収領域の前記幅の半分以上である、請求項 10 に記載の光検出装置。

【請求項 12】

前記キャリア伝導層は、前記光学信号を前記吸収領域へと結合するために、前記キャリア伝導層の定められた領域を通じて伝搬する前記光学信号を案内および制限するように構成される導波路をさらに含む、請求項 1 に記載の光検出装置。

【請求項 13】

50

光検出デバイスを備える光検出装置であって、前記光検出デバイスは、
第1の表面、および、前記第1の表面と対向する第2の表面を有するキャリア伝導層と、
前記キャリア伝導層と接触しており、光学信号を受信し、前記光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域であって、

前記吸収領域は、第1のドーパントでドーピングされ、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度を有し、

前記キャリア伝導層は、第2のドーパントでドーピングされ、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有し、

前記キャリア伝導層は、前記吸収領域の材料と異なる材料を含み、

前記キャリア伝導層は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために前記吸収領域と接触しており、

前記キャリア伝導層の前記第2のピークドーピング濃度に対する前記吸収領域の前記第1のピークドーピング濃度の比が10以上である、吸収領域と、

前記吸収領域に電氣的に結合され、前記キャリア伝導層に部分的に形成される1つまたは複数のスイッチであって、

1つまたは複数の多重スイッチの各々が、前記第1の表面上に形成され、前記吸収領域から分離される制御電極および読み出し電極を備える、1つまたは複数のスイッチと、

前記第1の表面上に形成され、前記吸収領域に電氣的に結合される電極とを備える、光検出装置。

【請求項14】

前記1つまたは複数のスイッチの前記制御電極および前記読み出し電極は、前記吸収領域の1つの側に配置される、請求項13に記載の光検出装置。

【請求項15】

前記キャリア伝導層は、前記吸収領域から分離される第1のドーピング領域および前記第2のドーパントを有する伝導領域を備え、前記第1のドーピング領域は、前記吸収領域の伝導型と異なる伝導型を有し、前記第1のドーピング領域は、前記第2のピークドーピング濃度より高い第3のピークドーピング濃度を有する第3のドーパントでドーピングされ、前記伝導領域は5 μm未満の深さを有し、前記伝導領域は、前記光キャリアの一部分を前記吸収領域から前記第1のドーピング領域へと運搬するために、前記第1のドーピング領域と前記吸収領域との間に形成される、請求項13に記載の光検出装置。

【請求項16】

前記吸収領域は、第1の表面と、前記第1の表面と対向する第2の表面と、前記第1の表面と前記第2の表面との間の1つまたは複数の側面とを備え、前記第1の表面、前記第2の表面、および／または前記1つもしくは複数の側面の少なくとも一部が前記キャリア伝導層と接触している、請求項13に記載の光検出装置。

【請求項17】

前記吸収領域の少なくとも50%は、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上の前記第1のドーパントのドーピング濃度でドーピングされる、請求項13に記載の光検出装置。

【請求項18】

前記キャリア伝導層において、前記吸収領域と接触している第2のドーピング領域をさらに備え、前記第2のドーピング領域は、前記第1の伝導型と同じ伝導型を有し、前記第1のピークドーピング濃度より高い第4のピークドーピング濃度を有する第4のドーパントでドーピングされ、前記電極は前記第2のドーピング領域に電氣的に結合される、請求項13に記載の光検出装置。

【請求項19】

前記第1のドーパントの前記第1の伝導型と前記第2のドーパントの前記第2の伝導型とは異なり、前記少なくとも1つのヘテロ界面における前記キャリア伝導層のドーピング濃度に対する前記吸収領域のドーピング濃度の比が10以上である、請求項13に記載の光検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2019年8月28日に出願された米国仮特許出願第62/892,551号、2019年9月12日に出願された米国仮特許出願第62/899,153号、2019年10月31日に出願された米国仮特許出願第62/929,089号、2020年7月20日に出願された米国仮特許出願第63/053,723号の利益を主張し、それらの特許出願は各々がその全体において本明細書に参照により組み込まれている。

【背景技術】

【0002】

光検出器が、光学信号を検出し、その光学信号を、他の回路によってさらに処理され得る電気信号へと変換するために、使用され得る。光検出器は、消費家電製品、イメージセンサ、高速光学受信器、データ通信、直接／間接飛行時間（TOF）測距または撮像センサ、医療デバイス、および多くの他の適切な用途において使用され得る。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0003】

本開示は概して、光検出装置、および光検出装置を備えるイメージシステムに関する。

【0004】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は、第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントを含む吸収領域と、吸収領域を支持する基板とを備え、基板は、第1のピークドーピング濃度より小さい第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントを含み、吸収領域は、基板の材料と異なる材料を含む。

【0005】

本開示の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は光検出デバイスを備え、光検出デバイスは、第1の表面および第2の表面を有するキャリア伝導層と、キャリア伝導層と接触しており、光学信号を受信し、光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域であって、吸収領域は、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、吸収領域の材料と異なる材料を含み、キャリア伝導層は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために吸収領域と接触しており、吸収領域のドーピング濃度と、少なくとも1つのヘテロ界面におけるキャリア伝導領域のドーピング濃度との間の比が10以上である、吸収領域と、キャリア伝導層の同じ側の上に形成される第1の電極および第2の電極とを備える。

【0006】

本開示の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は光検出デバイスを備え、光検出デバイスは、第1の表面および第2の表面を有するキャリア伝導層と、キャリア伝導層と接触しており、光学信号を受信し、光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域であって、吸収領域は、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、吸収領域の材料と異なる材料を含み、キャリア伝導層は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために吸収領域と接触しており、吸収領域のドーピング濃度と、少なくとも1つのヘテロ界面におけるキャリア伝導領域のドーピング濃度との間の比が10以上であるか、または、吸収領域の第1のピークドーピング濃度と、キャリア伝導領域の第2のピークドーピング濃度との間の比が10以上である、吸収領域と、キャリア伝導層において、吸収領域と接触している第2のドーピング領域であって、第1の伝導型と同じ伝導型を有し、第1のピークドーピング濃度より高い第4のピークドーピング濃度を有する第4のドーパントでドーピングされる、第2のドーピング領域とを備える。

【0007】

本開示の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は光検出デバイスを備え、光検出デバイスは、第1の表面および第2の表面を有するキャリア伝導層と、キャリア伝導層と接触しており、光学信号を受信し、光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域とを備え、吸収領域は、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、吸収領域の材料と異なる材料を含み、キャリア伝導層は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために吸収領域と接触しており、吸収領域のドーピング濃度と、少なくとも1つのヘテロ界面におけるキャリア伝導領域のドーピング濃度との間の比が10以上であり、吸収領域の第1のピークドーピング濃度と、キャリア伝導領域の第2のピークドーピング濃度との間の比が10以上であり、吸収領域の少なくとも50%は、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上の第1のドーパントのドーピング濃度でドーピングされる。

10

【0008】

本開示の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は光検出デバイスを備え、光検出デバイスは、第1の表面および第2の表面を有するキャリア伝導層と、キャリア伝導層と接触しており、光学信号を受信し、光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域であって、吸収領域は、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、吸収領域の材料と異なる材料を含み、キャリア伝導層は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために吸収領域と接触しており、吸収領域の第1のピークドーピング濃度とキャリア伝導領域の第2のピークドーピング濃度との間の比が10以上である、吸収領域と、キャリア伝導層の第1の表面上に形成され、キャリア伝導層に電気的に結合される第1の電極であって、吸収領域から分離され、光キャリアの一部分を収集するように構成される、第1の電極と、キャリア伝導層の第1の表面上に形成され、吸収領域に電気的に結合される第2の電極とを備える。

20

【0009】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は光検出デバイスを備え、光検出デバイスは、第1の表面および第2の表面を有する基板と、基板の第1の表面上で、光学信号を受信し、光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域であって、吸収領域は、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントでドーピングされ、基板は、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントでドーピングされ、基板は、吸収領域の材料と異なる材料を含み、基板は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために吸収領域と接触しており、吸収領域の第1のピークドーピング濃度と基板の第2のピークドーピング濃度との間の比が10以上であるか、または、吸収領域のドーピング濃度と、少なくとも1つのヘテロ界面における基板のドーピング濃度との間の比が10以上である、吸収領域と、基板の第1の表面上に形成され、基板に電気的に結合される第1の電極であって、吸収領域から分離され、光キャリアの一部分を収集するように構成される、第1の電極と、基板の第1の表面上に形成され、吸収領域に電気的に結合される第2の電極とを備える。本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は光検出デバイスを備え、光検出デバイスは、光学信号を受信し、光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域であって、吸収領域は、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントでドーピングされる、吸収領域と、吸収領域上に、第1の表面、および、第1の表面と対向する第2の表面を有する保護層であって、保護層は、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントでドーピングされ、保護層は、吸収領域の材料と異なる材料を含み、保護層は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために吸収領域と接触しており、吸収領域の第1のピークドーピング濃度と保護層の第2のピークドーピング濃度との間の比が10以上であるか、または、吸収領域のドー

30

40

50

ピング濃度と、少なくとも1つのヘテロ界面における保護層のドーピング濃度との間の比が10以上である、保護層と、保護層の第1の表面上に形成され、保護層に電氣的に結合される第1の電極であって、吸収領域から分離され、光キャリアの一部分を収集するように構成される、第1の電極と、保護層の第1の表面上に形成され、吸収領域に電氣的に結合される第2の電極とを備える。

【0010】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は光検出デバイスを備え、光検出デバイスは、第1の表面および第2の表面を有するキャリア伝導層と、キャリア伝導層と接触しており、光学信号を受信し、光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域であって、吸収領域は、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、吸収領域の材料と異なる材料を含み、キャリア伝導層は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために吸収領域と接触しており、吸収領域のドーピング濃度と、少なくとも1つのヘテロ界面におけるキャリア伝導層のドーピング濃度との間の比が10以上であるか、または、吸収領域の第1のピークドーピング濃度と、キャリア伝導層の第2のピークドーピング濃度との間の比が10以上である、吸収領域と、吸収領域に電氣的に結合され、キャリア伝導層に部分的に形成される1つまたは複数のスイッチであって、1つまたは複数のスイッチの各々は、第1の表面上に形成され、吸収領域から分離される制御電極および読み出し電極を備える、1つまたは複数のスイッチと、第1の表面上に形成され、吸収領域に電氣的に結合される電極とを備える。

【0011】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は光検出デバイスを備え、光検出デバイスは、第1の表面および第2の表面を有するキャリア伝導層と、キャリア伝導層と接触しており、光学信号を受信し、光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域であって、吸収領域は、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、吸収領域の材料と異なる材料を含み、キャリア伝導層は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために吸収領域と接触しており、吸収領域のドーピング濃度と、少なくとも1つのヘテロ界面におけるキャリア伝導層のドーピング濃度との間の比が10以上であるか、または、吸収領域の第1のピークドーピング濃度と、キャリア伝導層の第2のピークドーピング濃度との間の比が10以上である、吸収領域と、吸収領域に電氣的に結合され、キャリア伝導層に部分的に形成される1つまたは複数のスイッチであって、1つまたは複数のスイッチの各々は、キャリア伝導層の同じ側に形成される制御電極および読み出し電極を備える、1つまたは複数のスイッチと、キャリア伝導層において、吸収領域と接触している第2のドーピング領域であって、第1の伝導型と同じ伝導型を有し、第1のピークドーピング濃度より高い第4のピークドーピング濃度を有する第4のドーパントでドーピングされる、第2のドーピング領域と、第2のドーピング領域に電氣的に結合される電極とを備える。

【0012】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は光検出デバイスを備え、光検出デバイスは、第1の表面および第2の表面を有するキャリア伝導層と、キャリア伝導層と接触しており、光学信号を受信し、光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域であって、吸収領域は、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントでドーピングされ、キャリア伝導層は、吸収領域の材料と異なる材料を含み、キャリア伝導層は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために吸収領域と接触しており、吸収領域のドーピング濃度と、少なくとも1つのヘテロ界面におけるキャリア伝導層のドーピング濃度との間の比が10

以上であるか、または、吸収領域の第1のピークドーピング濃度と、キャリア伝導層の第2のピークドーピング濃度との間の比が10以上である、吸収領域と、吸収領域に電氣的に結合され、キャリア伝導層に部分的に形成される1つまたは複数のスイッチとを備える。光検出装置は、それぞれのスイッチへと電氣的に1つまたは複数の読み取り回路をさらに備え、1つまたは複数の読み取り回路は、転送トランジスタとコンデンサとの間に電圧制御トランジスタを備える。

【0013】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は、伝導型でドーパされ、第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントを含む吸収領域と、吸収領域と接触しているキャリア伝導層とを備え、キャリア伝導層は、伝導型でドーパされ、第1のピークドーピング濃度より低い第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントを含む伝導領域を備え、キャリア伝導層は、吸収領域の材料と異なる材料を含む、またはそのような材料から成り、伝導領域は5 μm 未満の深さを有する。

10

【0014】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は、第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントでドーパされた吸収領域と、伝導型を有する第1の接触領域と、第1の接触領域の伝導型と異なる伝導型を有する第2の接触領域と、第1の接触領域の伝導型と同じ伝導型を有し、第1の接触領域と第2の接触領域との間に一部がある電荷領域と、吸収領域を支持する基板とを備え、基板は、第1のピークドーピング濃度より小さい第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントを含み、吸収領域は、基板の材料と異なる材料を含む。

20

【0015】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は、基板と、基板によって支持され、第1の伝導型を有する第1のドーパントでドーパされた吸収領域と、第1の伝導型と異なる伝導型を各々が有し、基板に形成される複数の第1の接触領域と、吸収領域に形成され、第1の伝導型と同じ伝導型を有する第2のドーパ領域と、第1の伝導型と同じ伝導型を各々が有し、基板に形成される複数の第3の接触領域とを備え、第1の接触領域は第1の平面に沿って配置され、第3の接触領域は、第1の平面と異なる第2の平面に沿って配置される。ある実施形態では、複数の増倍領域が複数の第3の接触領域と複数の第1の接触領域との間に形成される。

30

【0016】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は、吸収領域と、伝導型を有する第1の接触領域と、吸収領域における、第1の接触領域の伝導型と異なる伝導型を有する第2の接触領域と、第1の接触領域の伝導型と同じ伝導型を有する電荷領域であって、第1の接触領域より第2の接触領域に近い、電荷領域と、吸収領域を支持する基板とを備え、電荷領域および第1の接触領域は基板に形成される。光検出装置は、増倍が基板において起こる位置を修正するために、基板と一体化される修正要素をさらに備える。

【0017】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は、基板と、基板によって支持される吸収領域と、伝導型を有し、基板に形成される第1の接触領域と、吸収領域に形成され、第1の接触領域の伝導型と異なる伝導型を有する第2の接触領域と、基板に形成され、第1の接触領域の伝導型と同じ伝導型を有する電荷領域とを備え、電荷領域の深さは第1の接触領域の深さより小さい。ある実施形態では、電荷領域の深さは第2の接触領域の深さと第1の接触領域の深さとの間である。

40

【0018】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は光検出デバイスを備え、光検出デバイスは、第1の表面および第2の表面を有する基板と、基板の第1の表面上に、光学信号を受信し、光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域とを備え、吸収領域は、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度

50

を有する第1のドーパントでドーブされ、基板は、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントでドーブされ、基板は、吸収領域の材料と異なる材料を含み、基板は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために吸収領域と接触しており、吸収領域のドーピング濃度と、少なくとも1つのヘテロ界面における基板のドーピング濃度との間の比が10以上であるか、または、吸収領域の第1のピークドーピング濃度と、基板の第2のピークドーピング濃度との間の比が10以上であり、基板は、光学信号を吸収領域へと結合するために、基板の定められた領域を通じて伝搬する光学信号を案内および制限するように構成される導波路をさらに備える。

【0019】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は光検出デバイスを備え、光検出デバイスは、第1の表面および第2の表面を有するキャリア伝導層と、キャリア伝導層と接触しており、光学信号を受信し、光学信号に応答して光キャリアを発生させるように構成される吸収領域であって、吸収領域は、第1の伝導型および第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントでドーブされ、キャリア伝導層は、第2の伝導型および第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントでドーブされ、キャリア伝導層は、吸収領域の材料と異なる材料を含み、キャリア伝導層は、少なくとも1つのヘテロ界面を形成するために吸収領域と接触しており、吸収領域のドーピング濃度と、少なくとも1つのヘテロ界面におけるキャリア伝導層のドーピング濃度との間の比が10以上である、吸収領域と、吸収領域に電氣的に結合され、キャリア伝導層に部分的に形成されるN個のスイッチとを備える。光検出装置は、互いと異なり、光検出デバイスに電氣的に結合されるY個の制御信号をさらに含み、 $Y \leq N$ であり、Yは正の整数である。制御信号の各々は、光検出デバイスのスイッチのうちの1つまたは複数を制御する。

【0020】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は、第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントを含む吸収領域と、吸収領域を支持する基板とを備え、基板は、第1のピークドーピング濃度より低い第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントを含み、吸収領域は、基板の材料のバンドギャップより小さいバンドギャップを有する材料を含み、埋め込み電界領域が、基板と吸収領域との間の境界面を横切り、基板における埋め込み電界領域の第1の幅が、暗電流が大部分において基板から発生させられるように、吸収領域における埋め込み電界領域の第2の幅より大きい。

【0021】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は、光学信号を受信し、第1の極性および第2の極性を有する光キャリアを発生させるように構成される吸収領域と、第1の極性を有する光キャリアの一部分を吸収領域から受信するように構成される軽度ドーブ領域と、第1の極性を有する光キャリアの一部分を軽度ドーブ領域から受信し、第2の極性を有する電気信号を発生させるように構成されるゲイン構成要素とを備え、ゲイン構成要素によって発生させられる第2の極性を有する電気信号の電荷の数が、吸収領域によって発生させられる光キャリアの電荷の数より多い。

【0022】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は、第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパント型でドーブされる吸収領域であって、光学信号を受信し、第1の極性および第2の極性を有する光キャリアを発生させるように構成される、吸収領域と、第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパント型でドーブされ、第1の極性を有する光キャリアの一部分を吸収領域から受信する軽度ドーブ領域であって、第1のドーパント型は第2のドーパント型と異なる、軽度ドーブ領域と、第1の極性を有する光キャリアの一部分を軽度ドーブ領域から受信し、第2の極性を有する電気信号を発生させるように構成されるゲイン構成要素とを備え、軽度ドーブ領域の第2のピークドーピング濃度に対する吸収領域の第1のピークドーピング濃度の比が10以上であり、ゲイン構成要素によって発生させられる第2の極性を有する電気信号の電荷の数が、吸収領域によって発生させられる光キャリアの電荷の数より多い。

【0023】

本開示の他の実施形態によれば、ゲイン構成要素を有する光検出装置によって受信される光キャリアを増幅するための方法が提供される。方法は、第1の型を有する光キャリアおよび第2の型を有する光キャリアを発生させるために、吸収領域において光学信号を受信するステップと、第1の型の光キャリアをゲイン領域へと操縦するステップと、第2の型を有する増幅された電気信号を発生させるステップとを含み、増幅された電気信号を発生させるステップは、第1の電圧をゲイン構成要素のエミッタ電極に印加するステップと、順方向バイアスが、ゲイン構成要素のエミッタ領域とゲイン構成要素の軽度ドープ領域との間のpn接合を横切って作り出されるように、および、逆方向バイアスが、ゲイン構成要素のコレクタ領域とゲイン構成要素の軽度ドープ領域との間のpn接合を横切って作り出されるように、第2の電圧をゲイン構成要素のコレクタ電極に印加するステップと、エミッタ領域と軽度ドープ領域との間の順方向バイアスを増加させるために、ゲイン構成要素の軽度ドープ領域における第1の型のキャリアを受信するステップと、コレクタ領域によってエミッタ領域から放出される第2の型のキャリアを、増幅された電気信号として収集するステップとを含む。

10

【0024】

本開示の他の実施形態によれば、光検出装置が提供される。光検出装置は、光学信号を受信し、第1の極性および第2の極性を有する光キャリアを発生させるように構成される吸収領域と、第1の極性を有する光キャリアの一部分を吸収領域から受信するように構成される基板と、吸収領域に電気的に結合され、基板に少なくとも部分的に形成される1つまたは複数のスイッチとを備え、スイッチの各々は、第1の極性を有する光キャリアの一部分を受信し、第2の極性を有する電気信号を発生させるように構成されるゲイン構成要素を備え、ゲイン構成要素によって発生させられる第2の極性を有する電気信号の電荷の数が、吸収領域によって発生させられる光キャリアの電荷の数より多い。

20

【0025】

本開示の実施形態によれば、撮像システムが提供される。撮像システムは、光線を放出することができる送信ユニットと、光検出装置を備えるイメージセンサを備える受信ユニットとを備える。

【0026】

本開示のこれらの目的および他の目的は、様々な図および図面で示されている好ましい実施形態の以下の詳細な記載を読んだ後、当業者には疑いなく明らかとなる。

30

【0027】

前述の態様、および本出願の付随する利点の多くは、添付の図面と併せて理解されるとき、以下の詳細な記載を参照することでより良く理解されることになるように、より容易に理解されることになる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1A】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。

【図1B】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。

【図1C】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。

40

【図1D】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。

【図2A】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。

【図2B】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。

【図2C】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。

【図2D】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。

【図2E】ある実施形態による光検出装置の回路の概略図である。

【図2F】ある実施形態による光検出装置の回路の概略図である。

【図3A】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。

【図3B】ある実施形態による図3AにおけるA-A'の線に沿っての断面図である。

【図4A】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。

50

- 【図 4 B】ある実施形態による図 4 A における A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 4 C】ある実施形態による図 4 A における B - B ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 5 A】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 5 B】ある実施形態による図 5 A における A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 5 C】ある実施形態による図 5 A における B - B ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 6 A】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 6 B】ある実施形態による図 6 A における A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 6 C】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 6 D】ある実施形態による図 6 C における A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 6 E】ある実施形態による図 6 C における B - B ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 6 F】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 6 G】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 7 A】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 7 B】ある実施形態による図 7 A における A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 7 C】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 7 D】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 7 E】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 8 A】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 8 B】ある実施形態による図 8 A における A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 8 C】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 8 D】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 8 E】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 9 A】ある実施形態による光検出装置の回路の概略図である。
- 【図 9 B】ある実施形態による光検出装置の回路の概略図である。
- 【図 10 A】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。
- 【図 10 B】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 10 C】ある実施形態による図 10 B における A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 10 D】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 10 E】ある実施形態による図 10 D における A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 10 F】ある実施形態による図 10 D における B - B ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 10 G】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。
- 【図 10 H】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。
- 【図 10 I】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。
- 【図 11 A】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。
- 【図 11 B】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 11 C】ある実施形態による図 11 B における A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 11 D】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 11 E】ある実施形態による図 11 D における A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 12 A】ある実施形態による光検出デバイスの吸収領域の断面図である。
- 【図 12 B】ある実施形態による光検出デバイスの吸収領域の断面図である。
- 【図 12 C】ある実施形態による光検出デバイスの吸収領域の断面図である。
- 【図 13 A】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 13 B】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 14 A】ある実施形態による光検出デバイスの一部分の断面図である。
- 【図 14 B】ある実施形態による光検出デバイスの第 2 のドープ領域 108 を通る線に沿っての断面図である。
- 【図 14 C】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 14 D】ある実施形態による図 14 C における A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 14 E】ある実施形態による図 14 C における B - B ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 14 F】ある実施形態による光検出デバイスの断面図である。

10

20

30

40

50

- 【図 1 4 G】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 1 4 H】ある実施形態による図 1 4 Gにおける A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 1 4 I】ある実施形態による図 1 4 Gにおける B - B ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 1 4 J】ある実施形態による光検出デバイスの上面図である。
- 【図 1 4 K】ある実施形態による図 1 4 Jにおける A - A ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 1 4 L】ある実施形態による図 1 4 Jにおける B - B ' の線に沿っての断面図である。
- 【図 1 5 A】2つの端子を伴うゲイン構成要素の例の図である。
- 【図 1 5 B】2つの端子を伴うゲイン構成要素の例の図である。
- 【図 1 5 C】2つの端子を伴うゲイン構成要素の例の図である。
- 【図 1 5 D】2つの端子を伴うゲイン構成要素の例の図である。
- 【図 1 6 A】3つの端子を伴うゲイン構成要素の例の図である。
- 【図 1 6 B】3つの端子を伴うゲイン構成要素の例の図である。
- 【図 1 6 C】3つの端子を伴うゲイン構成要素の例の図である。
- 【図 1 6 D】3つの端子を伴うゲイン構成要素の例の図である。
- 【図 1 7 A】CMOS イメージセンサとして使用できる光検出装置の例の図である。
- 【図 1 7 B】CMOS イメージセンサとして使用できる光検出装置の例の図である。
- 【図 1 7 C】CMOS イメージセンサとして使用できる光検出装置の例の図である。
- 【図 1 8 A】CMOS イメージセンサとして使用できる光検出装置の例の図である。
- 【図 1 8 B】CMOS イメージセンサとして使用できる光検出装置の例の図である。
- 【図 1 8 C】CMOS イメージセンサとして使用できる光検出装置の例の図である。
- 【図 1 9 A】ゲインを伴う光検出装置の図である。
- 【図 1 9 B】ゲインを伴う光検出装置の図である。
- 【図 2 0 A】ゲインを伴う光検出装置の例の上面図である。
- 【図 2 0 B】ゲインを伴う光検出装置の例の上面図である。
- 【図 2 1】ゲインを伴う光検出装置の図である。
- 【図 2 2 A】ゲインを伴う光検出装置の例の上面図である。
- 【図 2 2 B】ゲインを伴う光検出装置の例の上面図である。
- 【図 2 3 A】ゲインを伴う光検出装置の例の上面図である。
- 【図 2 3 B】ゲインを伴う光検出装置の他の例の上面図である。
- 【図 2 4 A】ゲインを伴う光検出装置の例の上面図である。
- 【図 2 4 B】ゲインを伴う光検出装置の他の例の上面図である。
- 【図 2 5 A】光検出デバイスの一部分の断面図である。
- 【図 2 5 B】光検出デバイスの一部分の断面図である。
- 【図 2 5 C】光検出デバイスの一部分の断面図である。
- 【図 2 6 A】ある実施形態による光検出デバイスの制御領域の例の図である。
- 【図 2 6 B】ある実施形態による光検出デバイスの制御領域の例の図である。
- 【図 2 6 C】ある実施形態による光検出デバイスの制御領域の例の図である。
- 【図 2 6 D】ある実施形態による光検出デバイスの制御領域の例の図である。
- 【図 2 7 A】撮像システムの例の実施形態のブロック図である。
- 【図 2 7 B】例の受信ユニットまたは制御装置のブロック図である。
- 【発明を実施するための形態】

【0029】

本明細書で使用されているように、「第 1 の」、「第 2 の」、「第 3 の」、「第 4 の」、および「第 5 の」などの用語は、様々な要素、構成要素、領域、層、および／または区域を記載しており、これらの要素、構成要素、領域、層、および／または区域はこれらの用語によって限定されるべきではない。これらの用語は、1つの要素、構成要素、領域、層、または区域を他のものから区別するために使用されるだけであり得る。「第 1 の」、「第 2 の」、「第 3 の」、「第 4 の」、および「第 5 の」などの用語は、本明細書で使用されるとき、文脈によって明確に指示されていない場合、順序または順番の意味を含んでいない。「光検出」、「光感知」、「光線検出」、「光線感知」といった用語、および任

10

20

30

40

50

意の他の同様の用語は、相互に置き換え可能に使用できる。

【0030】

「上方」、「上」、および「下」などの空間的の記載は、他に明示されていない場合、図に示された配向に関連して指示されている。本明細書において使用されている空間的な記載は、図示の目的のためだけであること、および、本明細書に記載されている構造の実用的な実施は、そのような配置によって本開示の実施形態の長所に反しないという前提で任意の配向または様態で空間的に配置できることは、理解されるべきである。

【0031】

本明細書で使用されているように、「真性」という用語は、半導体材料が意図的にドーパントを添加していないことを意味する。

【0032】

図1Aは、ある実施形態による光検出デバイス100aの断面図を示している。光検出デバイス100aは、吸収領域10と、吸収領域10を支持する基板20とを備える。ある実施形態では、吸収領域10は基板20に全体的に埋め込まれる。ある実施形態では、吸収領域10は基板20に部分的に埋め込まれる。ある実施形態では、光検出デバイス100aは、吸収領域10と、吸収領域10と異なる材料を含む、またはそのような材料から成るキャリア伝導層との間に、少なくとも1つのヘテロ界面を備える。ある実施形態では、キャリア伝導層は基板20である。例えば、ある実施形態では、基板20は、第1の表面21と、第1の表面21と対向する第2の表面22とを備える。ある実施形態では、吸収領域10は、第1の表面11と、第2の表面12と、1つまたは複数の側面13とを備える。第2の表面12は、吸収領域10の第1の表面11と基板20の第2の表面22との間にある。側面13は、吸収領域10の第1の表面11と吸収領域10の第2の表面12との間にある。吸収領域10の第1の表面11、第2の表面12、および側面13のうちの少なくとも1つは、基板20と少なくとも部分的に直接的に接触しており、したがって、ヘテロ界面は吸収領域10と基板20との間に形成される。

【0033】

ある実施形態では、吸収領域10は伝導型でドーブされ、第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントを含む。ある実施形態では、吸収領域10は、例えば入射光線といった光学信号を電気信号へと変換するように構成される。ある実施形態では、光学信号は、基板20の第1の表面21から吸収領域10に入る。ある実施形態では、光学信号は、基板20の第2の表面22から吸収領域10に入る。ある実施形態では、吸収領域10は、光学窓を含む光線遮蔽体（図示されていない）によって定められる吸収の領域ARを備える。吸収の領域ARは、光学窓を通じて入ってくる光学信号を受信する仮想的な領域である。

【0034】

ある実施形態では、ある実施形態では基板20であるキャリア伝導層は、伝導型でドーブされ、光検出デバイス100aの暗電流を低減するために第1のピークドーピング濃度より低い第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントを含み、これは光検出デバイス100aの信号対雑音比、感度、ダイナミックレンジ特性を向上させることができる。

【0035】

ある実施形態では、第1のピークドーピング濃度は $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。ある実施形態では、第1のピークドーピング濃度は $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。ある実施形態では、第1のピークドーピング濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。ある実施形態では、第2のピークドーピング濃度に対する第1のピークドーピング濃度の比は、光検出デバイス100aが低暗電流をさらに達成することができるように10以上である。ある実施形態では、第2のピークドーピング濃度に対する第1のピークドーピング濃度の比は、光検出デバイス100aが低暗電流と高量子効率とを同時にさらに達成することができるように100以上である。ある実施形態では、基板20の伝導型はp型またはn型である。ある実施形態では、基

10

20

30

40

50

板 20 の伝導型が、例えばホウ素 (B) および／またはガリウム (Ga) をドーパントとして用いる p 型である場合、第 2 のピークドーピング濃度は、光検出デバイス 100a が低暗電流と高量子効率とを同時に達成することができるように、 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。ある実施形態では、基板 20 の伝導型が、例えばリン (P) および／またはヒ素 (As) をドーパントとして用いる n 型のものである場合、第 2 のピークドーピング濃度は、光検出デバイス 100a が低暗電流と高量子効率とを同時に達成することができるように、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。

【0036】

ある実施形態では、ある実施形態では基板 20 であるキャリア伝導層の伝導型が、吸収領域 10 の第 1 のピークドーピング濃度より低い基板 20 の第 2 のピークドーピング濃度を有することで、吸収領域 10 の伝導型と異なるとき、空乏領域が基板 20 と吸収領域 10 との間のヘテロ界面を横切る。光検出デバイスが動作中であるとき、空乏領域の主要な部分は基板 20 にある。別の言い方をすれば、基板 20 における空乏領域の第 1 の幅が吸収領域 10 における空乏領域の第 2 の幅より大きい。ある実施形態では、第 2 の幅に対する第 1 の幅の比は 10 より大きい。ある実施形態では、埋め込み電界領域が基板 20 と吸収領域 10 との間のヘテロ界面を横切り、暗電流が大部分において基板 20 から発生させられるように、基板 20 における埋め込み電界領域の第 1 の幅が吸収領域 10 における埋め込み電界領域の第 2 の幅より大きい。そのため、光検出デバイスはより低い暗電流を達成することができる。ある実施形態では、基板 20 であるキャリア伝導層のバンドギャップが吸収領域 10 のバンドギャップより大きい。

【0037】

ある実施形態では、吸収領域 10 の第 1 のピークドーピング濃度より低い基板 20 の第 2 のピークドーピング濃度を有することで、基板 20 が p 型のものであり、吸収領域 10 が p 型のものであるときなど、ある実施形態では基板 20 であるキャリア伝導層の伝導型が、吸収領域 10 の伝導型と同じであるとき、吸収領域 10 を横切る電界を低減させることができ、延いては、基板 20 を横切る電界を増加させることができる。つまり、吸収領域 10 を横切る電界と基板 20 を横切る電界との間の差が存在する。結果として、光検出デバイスの暗電流はさらに低くなる。ある実施形態では、基板 20 であるキャリア伝導層のバンドギャップが吸収領域 10 のバンドギャップより大きい。

【0038】

ある実施形態では基板 20 であるキャリア伝導層は、吸収領域 10 から分離された第 1 のドープ領域 102 を備える。第 1 のドープ領域 102 は伝導型でドープされ、第 3 のピークドーピング濃度を有する第 3 のドーパントを含む。第 1 のドープ領域 102 の伝導型は吸収領域 10 の伝導型と異なる。ある実施形態では、第 3 のピークドーピング濃度は第 2 のピークドーピング濃度より高い。ある実施形態では、第 1 のドープ領域 102 の第 3 のピークドーピング濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ と $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。

【0039】

ある実施形態では、吸収領域 10 の少なくとも 50% が、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上の第 1 のドーパントのドーピング濃度でドープされる。別の言い方をすると、吸収領域 10 の少なくとも半分以上が、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上のドーピング濃度を有する第 1 のドーパントで意図的にドープされる。例えば、吸収領域 10 の厚さに対する吸収領域 10 におけるドーピング領域の深さの比が $1/2$ 以上である。ある実施形態では、吸収領域 10 の少なくとも 80% が、光検出デバイスの暗電流をさらに低減するために、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上のドーピング濃度を有する第 1 のドーパントで意図的にドープされる。例えば、吸収領域 10 の厚さに対する吸収領域 10 におけるドーピング領域の深さの比が $4/5$ 以上である。

【0040】

ある実施形態では、キャリア伝導層は第 2 のドーパントでかなりドープされ得る。例えば、ある実施形態では基板 20 であるキャリア伝導層の少なくとも 50% が、 1×10^{12}

cm^{-3} 以上の第2のドーパントのドーピング濃度を有する。別の言い方をすると、キャリア伝導層の少なくとも半分が、 $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 以上のドーピング濃度を有する第2のドーパントで意図的にドーピングされる。例えば、基板20の厚さに対する基板20におけるドーピング領域の深さの比が $1/2$ 以上である。ある実施形態では、キャリア伝導層の少なくとも80%が、 $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 以上のドーピング濃度を有する第2のドーパントで意図的にドーピングされる。例えば、基板20の厚さに対する基板20におけるドーピング領域の深さの比が $4/5$ 以上である。

【0041】

ある実施形態では、キャリア伝導層は第2のドーパントで局部的にドーピングされる。例えば、ある実施形態では基板20であるキャリア伝導層は、伝導領域201を含む。伝導領域201の少なくとも一部が第1のドーピング領域102と吸収領域10との間にある。ある実施形態では、伝導領域201は、吸収領域10から発生させられて第1のドーピング領域102に向けて移動するキャリアの経路を制限するために、吸収領域10および第1のドーピング領域102と部分的に重ねられる。ある実施形態では、伝導領域201は、基板20の第1の表面21に対して実質的に垂直な方向D1に沿って基板20の第1の表面21から測定される深さを有する。深さは、第2のドーパントのドーピングプロファイルが $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ の間の濃度などの特定の濃度に達する位置までである。ある実施形態では、伝導領域201の深さは、キャリアをより良好に効率的に運搬するために、 $5 \mu\text{m}$ より小さい。ある実施形態では、伝導領域201は第1のドーピング領域102全体と重ねられてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は吸収領域10の幅より大きい幅を有する。

【0042】

ある実施形態では、第1のドーパントと第2のドーパントとは異なり、例えば、第1のドーパントはホウ素であり、第2のドーパントはリンである。ある実施形態では、吸収領域10と、ある実施形態では基板20であるキャリア伝導層との間のヘテロ界面における第1のドーパントのドーピング濃度は、 $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上である。ある実施形態では、ヘテロ界面における第1のドーパントのドーピング濃度は、 $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ との間、または、 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ との間であり得る。ある実施形態では、ヘテロ界面における第2のドーパントのドーピング濃度は、ヘテロ界面における第1のドーパントのドーピング濃度より低い。ある実施形態では、ヘテロ界面における第2のドーパントのドーピング濃度は $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ との間である。

【0043】

ある実施形態では、ヘテロ界面における第1のドーパントのドーピング濃度が十分が高いため、ヘテロ界面において発生する境界面の暗電流を低減することができる。結果として、境界面の組み合わせ速度が低減でき、延いては、ヘテロ界面における暗電流がより低くなり得る。ある実施形態では、ヘテロ界面における第2のドーパントのドーピング濃度がヘテロ界面における第1のドーパントのドーピング濃度より低いため、吸収領域10において発生するバルク暗電流も低減される。ある実施形態では、光検出デバイス100aは、 10^4cm/s より低い境界面の再組み合わせ速度を有し得る。

【0044】

ある実施形態では、ヘテロ界面における第2のドーパントのドーピング濃度に対する第1のドーパントのドーピング濃度の比は、光検出デバイス100aがヘテロ界面における低暗電流と高量子効率とを同時に達成できるように10以上である。ある実施形態では、ヘテロ界面における第2のドーパントのドーピング濃度に対する第1のドーパントのドーピング濃度の比は、光検出デバイス100aがヘテロ界面におけるさらなる低暗電流と高量子効率とを同時に示すことができるように100以上である。

【0045】

ある実施形態では、第2のドーパントは吸収領域10にあり得るが、熱拡散または注入残存などのため、吸収領域10の外側に存在してもよい。ある実施形態では、第1のドー

パントは、ある実施形態では基板 20 であるキャリア伝導層にあり得るが、熱拡散または注入残存などのため、基板領域 20 の外側に存在してもよい。

【0046】

ある実施形態では、第 1 のドーパントは、その場成長、イオン注入、および／または熱拡散など、任意の適切な過程によって吸収領域 10 に導入され得る。

【0047】

ある実施形態では、第 2 のドーパントは、その場成長、イオン注入、および／または熱拡散など、任意の適切な過程によって基板 20 に導入され得る。

【0048】

ある実施形態では、吸収領域 10 は、第 1 の材料または第 1 の材料の複合材料によって作られる。ある実施形態では基板 20 であるキャリア伝導層は、第 2 の材料または第 2 の材料の複合材料によって作られる。第 2 の材料または第 2 の材料の複合材料は第 1 の材料または第 1 の材料の複合材料と異なる。例えば、ある実施形態では、第 2 の材料または第 2 の材料の複合材料の元素の組み合わせが、第 1 の材料または第 1 の材料の複合材料における元素の組み合わせと異なる。

【0049】

ある実施形態では、ある実施形態では基板 20 であるキャリア伝導層のバンドギャップが吸収領域 10 のバンドギャップより大きい。ある実施形態では、吸収領域 10 は、半導体材料を含む、または半導体材料から成る。ある実施形態では、基板 20 は、半導体材料を含む、または半導体材料から成る。ある実施形態では、吸収領域 10 は、III-V 族半導体材料を含む、または III-V 族半導体材料から成る。ある実施形態では、基板 20 は、III-V 族半導体材料を含む、または III-V 族半導体材料から成る。III-V 族半導体材料は、限定されることはないが、GaAs/AlAs、InP/InGaAs、GaSb/InAs、または InSb を含み得る。例えば、ある実施形態では、吸収領域 10 は、InGaAs を含む、または InGaAs から成り、基板 20 は、InP を含む、または InP から成る。ある実施形態では、吸収領域 10 は、IV 族元素を含む半導体材料を含む、または、IV 族元素を含む半導体材料から成る。例えば、Ge、Si、または Sn である。ある実施形態では、吸収領域 10 は、 $\text{Si}_x\text{Ge}_y\text{Sn}_{1-x-y}$ を含む、または $\text{Si}_x\text{Ge}_y\text{Sn}_{1-x-y}$ から成り、ここで、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq x + y \leq 1$ である。ある実施形態では、吸収領域 10 は、 $\text{Ge}_{1-a}\text{Sn}_a$ を含む、または $\text{Ge}_{1-a}\text{Sn}_a$ から成り、ここで、 $0 \leq a \leq 0.1$ である。ある実施形態では、吸収領域 10 は、 $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ を含む、または $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ から成り、ここで、 $0 \leq x \leq 1$ である。ある実施形態では、真性ゲルマニウムから成る吸収領域 10 は、吸収領域の形成の間に形成される材料欠陥のため、p 型のものであり、ここで、欠陥密度は $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ までである。ある実施形態では、ある実施形態では基板 20 であるキャリア伝導層は、IV 族元素を含む半導体材料を含む、または、IV 族元素を含む半導体材料から成る。例えば、Ge、Si、または Sn である。ある実施形態では、基板 20 は、 $\text{Si}_x\text{Ge}_y\text{Sn}_{1-x-y}$ を含む、または $\text{Si}_x\text{Ge}_y\text{Sn}_{1-x-y}$ から成り、ここで、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq x + y \leq 1$ である。ある実施形態では、基板 20 は、 $\text{Ge}_{1-a}\text{Sn}_a$ を含む、または $\text{Ge}_{1-a}\text{Sn}_a$ から成り、ここで、 $0 \leq a \leq 0.1$ である。ある実施形態では、基板 20 は、 $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ を含む、または $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ から成り、ここで、 $0 \leq x \leq 1$ である。ある実施形態では、真性ゲルマニウムから成る基板 20 は、吸収領域の形成の間に形成される材料欠陥のため、p 型のものであり、ここで、欠陥密度は $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ までである。例えば、ある実施形態では、吸収領域 10 は、Ge を含む、または Ge から成り、基板 20 は、Si を含む、または Si から成る。

【0050】

ある実施形態では、吸収領域 10 の伝導型は p 型である。ある実施形態では、第 1 のドーパントは III 族元素である。ある実施形態では、基板 20 の伝導型は n 型であり、第 2 のドーパントは V 族元素である。

【0051】

ある実施形態では、光検出デバイスは、第1のドープ領域102に電氣的に結合された第1の電極30を備える。第1の電極30は吸収領域10から分離される。抵抗接触が、第1の電極30の材料および第1のドープ領域102の第3のピークドーピング濃度に応じて、第1の電極30と第1のドープ領域102との間に形成され得る。ある実施形態では、第1の電極30と吸収領域の側面13のうちの1つとの間の最短距離dが0.1 μmと20 μmとの間であり得る。ある実施形態では、第1の電極30と吸収領域の側面13のうちの1つとの間の最短距離dは0.1 μmと5 μmとの間であり得る。ある実施形態では、距離は0.5 μmと3 μmとの間であり得る。第1の電極30と側面13との間の距離dが20 μmより大きい場合、光検出デバイス100aの速さはより小さくなる。第1の電極30と側面13との間の距離dが0.1 μmより小さい場合、光検出デバイスの暗電流を増加させることができる。

10

【0052】

ある実施形態では、光検出デバイス100aは、吸収領域10において、吸収領域10の第1の表面11の近くに、第2のドープ領域108を備える。第2のドープ領域108は、吸収領域10の伝導型と同じ伝導型でドープされている。ある実施形態では、第2のドープ領域108は、第1のピークドーピング濃度より高い第4のピークドーピング濃度を有する第4のドーパントを含む。例えば、第2のドープ領域108の第4のピークドーピング濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ と $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。ある実施形態では、第2のドープ領域108は、方向D1に沿って第1のドープ領域102上に配置されない。

20

【0053】

ある実施形態では、光検出デバイス100aは、第2のドープ領域108に電氣的に結合された第2の電極60をさらに備える。抵抗接触が、第2の電極60の材料および第2のドープ領域108の第4のピークドーピング濃度に応じて、第2の電極60と第2のドープ領域108との間に形成され得る。第2の電極60は、吸収領域10の第1の表面11上にある。

【0054】

ある実施形態では、キャリア伝導層は、第1の表面と、第1の表面21と対向する第2の表面とを備える。第1の電極30と第2の電極60とは両方ともキャリア伝導層の第1の表面上に配置される。つまり、第1の電極30と第2の電極60とは、ある実施形態では基板20であるキャリア伝導層の同じ側の上に配置され、これは、その後の後部の製作過程にとって有益である。

30

【0055】

第1のドープ領域102および第2のドープ領域108は半導体接触領域であり得る。ある実施形態では、第1のドープ領域102および第2のドープ領域108に電氣的に結合される回路に応じて、第1のドープ領域102および第2のドープ領域108の一方によって収集される第1の型を伴うキャリアをさらに処理することができ、他方のドープ領域によって収集される第2の型を伴うキャリアを除去することができる。そのため、光検出デバイスは、向上した信頼性と量子効率とを有し得る。

40

【0056】

ある実施形態では、吸収領域10は段階的なドーピングプロファイルでドープされる。ある実施形態では、段階的なドーピングプロファイルの最大濃度は第2のドーパントの第2のピークドーピング濃度より高い。ある実施形態では、段階的なドーピングプロファイルの最小濃度は第2のドーパントの第2のピークドーピング濃度より高い。ある実施形態では、段階的なドーピングプロファイルは、吸収領域10の第1の表面11から、または、第2のドープ領域108から、吸収領域10の第2の表面12へと段階的であり得る。ある実施形態では、段階的なドーピングプロファイルは、キャリアの移動方向に応じて、徐々に減少／増加し得る、または、階段状に減少／増加し得る。ある実施形態では、段階的なドーピングプロファイルの濃度は、キャリアの移動方向に応じて、第1の表面11か

50

ら、または、吸収領域 10 の第 2 のドーピング領域 108 から、吸収領域 10 の第 2 の表面 12 へと徐々に減少／増加させられる。ある実施形態では、段階的なドーピングプロファイルの濃度は、キャリアの移動方向に応じて、吸収領域 10 の第 1 の表面 11 または第 2 のドーピング領域 108 の中心から、吸収領域 10 の第 2 の表面 12 および側面 13 へと徐々に径方向へと減少／増加させられる。例えば、吸収領域 10 が基板 20 全体にわたる場合、第 1 のドーピング領域 102 が n 型のものであるときに電子などの第 1 の型を伴うキャリアは、第 1 の表面 11 から第 2 の表面 12 へ方向に実質的に沿って、吸収領域 10 において移動し、例えばホウ素などの第 1 のドーパントの段階的なドーピングプロファイルの濃度は、第 1 の表面 11 から、または、吸収領域 10 の第 2 のドーピング領域 108 から、吸収領域 10 の第 2 の表面 12 へと徐々に減少させられる。ある実施形態では、段階的なドーピングプロファイルの濃度は、キャリアの移動方向に応じて、第 1 の表面 11 の縁、または吸収領域 10 の第 2 のドーピング領域 108 から、吸収領域 10 の側面 13 へと徐々に横方向に減少／増加させられる。

10

【0057】

ある実施形態では、光検出デバイスの暗電流は、例えば 1×10^{-12} A 未満といった、約数 pA 以下である。

【0058】

図 1B は、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図 1B における光検出デバイス 100b は、図 1A における光検出デバイス 100a と同様である。違いが以下に記載されている。

20

【0059】

光検出デバイス 100b は、基板 20 に別の第 1 のドーピング領域 104 をさらに備える。第 1 のドーピング領域 104 は、図 1A において記載されているような第 1 のドーピング領域 102 と同様である。第 1 のドーピング領域 104 は吸収領域 10 から分離される。伝導領域 201 の少なくとも一部が第 1 のドーピング領域 104 と吸収領域 10 との間にもある。ある実施形態では、伝導領域 201 は、吸収領域 10 から発生させられて第 1 のドーピング領域 104 に向けて移動する第 1 の型を伴うキャリアの経路を制限するために、吸収領域 10 および第 1 のドーピング領域 104 と部分的に重ねられる。

【0060】

ある実施形態では、2つの第 1 のドーピング領域 104、102 は互いから分離されている。ある実施形態では、2つの第 1 のドーピング領域 104、102 は、例えば輪といった連続した領域であり得る。光検出デバイス 100b は、第 1 のドーピング領域 104 に電氣的に結合された第 3 の電極 40 をさらに備える。ある実施形態では、第 1 の電極 30 および第 3 の電極 40 は同じ回路に電氣的に結合され得る。

30

【0061】

ある実施形態では、光検出デバイス 100b の暗電流は、例えば 1×10^{-12} A 未満といった、約数 pA 以下である。

【0062】

比較例による光検出デバイスが、図 1B における光検出デバイス 100b の構造と実質的に同じ構造を備える。違いは、比較例の光検出デバイスでは、吸収領域 10 のドーピング濃度が基板 20 の第 2 のピークドーピング濃度以下であり、ヘテロ界面における第 2 のドーパントのドーピング濃度が、ヘテロ界面における第 1 のドーパントのドーピング濃度以上であることである。

40

【0063】

比較例による光検出デバイス、および光検出デバイス 100b の詳細が、表 1 および表 2 に列記されている。

【0064】

50

【表 1】

表1. 比較例による光検出デバイスの詳細

吸収領域の伝導型	p型、
第1のピークドーピング濃度	$1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
基板の伝導型	n型
第2のピークドーピング濃度	$1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
基準暗電流	100%

10

【0065】

【表 2】

表2. 光検出デバイス100bの詳細

吸収領域の伝導型	p型、
第1のピークドーピング濃度	表3参照
基板の伝導型	n型
第2のピークドーピング濃度	$1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
暗電流	表3参照

20

【0066】

表3を参照すると、比較例と比べて、光検出デバイス100bにおける吸収領域10の第1のピークドーピング濃度が基板20の第2のピークドーピング濃度より高いため、光検出デバイス100bは、例えば少なくとも2倍より低いといった、より低い暗電流を有し得る。

【0067】

【表 3】

30

表3. 異なる実施形態による光検出デバイス100bの暗電流vs第1のピークドーピング濃度

第1のピークドーピング濃度	暗電流 (比較例における基準暗電流との比較)
1.00E+16	42%
1.00E+17	0.29%
1.00E+18	0.0052%
1.00E+19	0.001%

40

【0068】

比較例による別の光検出デバイスが、図1Bにおける光検出デバイス100bの構造と実質的に同じ構造を備える。違いは、比較例の別の光検出デバイスでは、吸収領域10のドーピング濃度が基板20の第2のピークドーピング濃度以下であり、ヘテロ界面における第2のドーパントのドーピング濃度が、ヘテロ界面における第1のドーパントのドーピング濃度以上であることである。比較例による別の光検出デバイス、および光検出デバイス100bの詳細が、表4および表5に列記されている。

【0069】

50

【表 4】

表4. 比較例による別の光検出デバイスの詳細

吸収領域の伝導型	p型、
第1のピークドーピング濃度	$1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
基板の伝導型	p型
第2のピークドーピング濃度	$1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
基準暗電流	100%

10

【0070】

【表 5】

表5. 光検出デバイス100bの詳細

吸収領域の伝導型	p型
第1のピークドーピング濃度	表6参照
基板の伝導型	p型
第2のピークドーピング濃度	$1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
暗電流	表6参照

20

【0071】

表6を参照すると、別の比較例と比べて、光検出デバイス100bにおける吸収領域10の第1のピークドーピング濃度が基板20の第2のピークドーピング濃度より高いため、光検出デバイス100bは、例えば少なくとも20倍より低いといった、より低い暗電流を有し得る。

【0072】

【表 6】

30

表6. 異なる実施形態による光検出デバイス100bの暗電流vs第1のピークドーピング濃度

第1のピークドーピング濃度	暗電流 (比較例における基準暗電流との比較)
1.00E+16	4.6%
1.00E+17	0.1%
1.00E+18	0.01%
1.00E+19	0.0017%

40

【0073】

図1Cは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図1Cにおける光検出デバイス100cは、図1Aにおける光検出デバイス100aと同様である。違いが以下に記載されている。

【0074】

基板20は、基礎部分20aと、基礎部分20aによって支持された上方部分20bとを備える。上方部分20bは、基礎部分20aの幅より小さい幅を有する。吸収領域10は、基板20の上方部分20bによって支持されている。伝導領域201は上方部分20bにある。第1のドーピング領域102は基礎部分20aにある。第1のドーピング領域102は

50

基板 20 の上方部分 20 b の幅より大きい幅を有し、したがって、第 1 のドーピング領域 102 の一部は上方部分 20 b によって覆われていない。第 2 のドーピング領域 108 は、方向 D1 に沿って第 1 のドーピング領域 102 上に配置されており、伝導領域 201 は第 1 のドーピング領域 102 と第 2 のドーピング領域 108 との間にある。例えば電子といった吸収領域 10 から発生させられた第 1 の型を伴うキャリアが、方向 D1 に沿って、伝導領域 201 を通じて第 1 のドーピング領域 102 に向けて移動する。

【0075】

ある実施形態では、第 1 の電極 30 は、光検出デバイスの上面図からの輪など、任意の適切な形であり得る。ある実施形態では、光検出デバイス 100 c は、第 1 のドーピング領域 102 に電氣的に結合され、互いから分離された 2 つの第 1 の電極 30 を備える。ある実施形態では、第 1 の電極 30 は吸収領域 10 の反対側に配置される。

10

【0076】

ある実施形態では、第 2 のドーピング領域 108 および第 1 のドーピング領域 102 に印加される逆方向バイアス電圧に基づいて、衝突イオン化が起こる場合、光検出デバイス 100 c は、線形モード（逆方向バイアス電圧 < 降伏電圧）またはガイガーモード（逆方向バイアス電圧 > 降伏電圧）で動作させられるアバランシェフォトダイオードであり得、吸収領域 10 と第 1 のドーピング領域 102 との間における伝導領域 201 の一部分は増倍領域であり得る。そのため、増倍領域は、吸収領域 10 から発生させられる 1 つまたは複数のキャリアを受信することに対応して、1 つまたは複数の追加の電荷キャリアを発生させることができる。

20

【0077】

図 1 D は、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図 1 D における光検出デバイス 100 d は、図 1 C における光検出デバイス 100 c と同様である。違いが以下に記載されている。

【0078】

光検出デバイス 100 d は、基板 20 の上方部分 20 b において電荷層 202 をさらに備える。電荷層 202 は、吸収領域 10 と直接的に接触している、または、吸収領域 10 の一部分と重ねられている。電荷層 202 は、吸収領域 10 の伝導型と同じ伝導型のものである。例えば、吸収領域 10 の伝導型が p である場合、電荷層 202 の伝導型は p である。電荷層 202 が、伝導領域 201 の第 2 のピークドーピング濃度より高く、吸収領域 10 の第 1 のピークドーピング濃度より低いピークドーピング濃度を伴う。ある実施形態では、電荷層 202 は 10 nm から 500 nm の間の厚さを伴う。電荷層は、吸収領域 10 を横切る電界を低減することができ、それによって、伝導領域 201 を横切る電界を増加させることができる。つまり、吸収領域 10 を横切る電界と伝導領域 201 を横切る電界との間の差が存在する。結果として、光検出デバイス 100 d の速さおよび反応性もより高くなり、光検出デバイス 100 d の暗電流もより小さくなる。

30

【0079】

図 2 A は、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図 2 A における光検出デバイス 200 a は、図 1 A における光検出デバイス 100 a と同様である。違いが以下に記載されている。第 2 のドーピング領域 108 が基板 20 にある。別の言い方をすると、第 2 のドーピング領域 108 の第 4 のピークドーピング濃度が基板 20 に位置する。ある実施形態では、第 2 のドーピング領域 108 は、基板 20 の第 1 の表面 21 の下方にあり、吸収領域 10 と直接的に接触しており、例えば、第 2 のドーピング領域 108 は、吸収領域 10 の側面 13 のうちの 1 つと接触してもよく、または、側面 13 のうちの 1 つと重ねられてもよい。結果として、吸収領域 10 から発生させられるキャリアは、吸収領域 10 から、吸収領域 10 と基板 20 との間のヘテロ界面を通じて、第 2 のドーピング領域 108 に向けて移動することができる。第 2 の電極 60 は、基板 20 の第 1 の表面 21 上にある。

40

【0080】

吸収領域 10 の代わりに基板 20 に第 2 のドーピング領域 108 を有することで、第 2 の電極 60 と第 1 の電極 30 とは両方とも基板 20 の第 1 の表面 21 の上方に形成され得る。

50

そのため、第2の電極60と第1の電極30との間の高さの差を縮小することができ、それによって、その後の製作過程がこの設計から恩恵を受けることになる。他にも、光学信号を吸収する吸収領域10の面積をより大きくすることができる。

【0081】

図2Bは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図2Bにおける光検出デバイス200bは、図2Aにおける光検出デバイス200aと同様である。違いが以下に記載されている。第2のドープ領域108は、吸収領域10の第2の表面12とも接触し得る、または、第2の表面12とも重ねられ得る。

【0082】

図2Cは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図2Cにおける光検出デバイス200cは、図2Bにおける光検出デバイス200bと同様である。違いが以下に記載されている。吸収領域10は基板20全体にわたる。第2のドープ領域108の一部が吸収領域10によって覆われる。ある実施形態では、吸収領域10によって覆われる第2のドープ領域108の幅w2が $0.2\mu\text{m}$ より大きくなり得る。ある実施形態では、吸収領域10は幅w1を有する。幅w2は $0.5w1$ 以下である。この設計によって、2つの異なる型のキャリアが、吸収領域10から第1のドープ領域102へと、および、吸収領域10から第2のドープ領域108へと、障害なくそれぞれ移動することができる。

【0083】

図2Dは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図2Dにおける光検出デバイス200dは、図2Aにおける光検出デバイス200aと同様である。違いが以下に記載されている。吸収領域10は基板20に全体的に埋め込まれている。ある実施形態では、第1のドーパントの段階的なドーピングプロファイルは、第2のドープ領域108の近くの側面13から、伝導領域201の近くの側面13へと徐々に横方向に減少させられる。図2Eは、ある実施形態による光検出装置の概略図を示している。光検出装置200eは、ピクセル（符号付けされていない）と、ピクセルに電気的に結合されるカラムバスとを備える。ピクセルは、光検出デバイスと、光検出デバイスおよびカラムバスに電気的に結合される読み取り回路（符号付けされていない）とを備える。光検出デバイスは、例えば図1Aにおける光検出デバイス100aといった、図1A～図1Dおよび図2A～図2Dにおけるいずれかの光検出デバイスであり得る。ある実施形態では、読み取り回路（符号付けされていない）とカラムバスとは、他の基板に製作されてもよく、ダイ／ウェーハ接合または積み重ねを介して光検出デバイスと一体化／一括実装されてもよい。ある実施形態では、光検出装置200eは、読み取り回路と光検出デバイスとの間に接合層（図示されていない）を備える。接合層は、酸化物、半導体、金属、または合金など、任意の適切な材料を含み得る。

【0084】

ある実施形態では、読み取り回路は、第1の型を伴う収集されたキャリアを処理するために、第1のドープ領域102または第2のドープ領域108に電気的に結合され得、また、供給電圧または接地電圧が、第1の型と反対の第2の型を伴う他方のキャリアを除去するために、他方のドープ領域に印加され得る。

【0085】

例えば、第1のドープ領域102がn型のものであり、第2のドープ領域108がp型のものである場合、読み取り回路は、さらなる適用に向けて収集された電子を処理するために、第1のドープ領域102に電気的に結合でき、接地電圧が、正孔を除去するために第2のドープ領域108に印加され得る。他の例について、読み取り回路は、さらなる処理に向けて収集された正孔を処理するために、第2のドープ領域108に電気的に結合されてもよく、供給電圧が、電子を除去するために第1のドープ領域102に印加されてもよい。

【0086】

ある実施形態では、読み取り回路は、リセットゲート、ソースフォロワ、および選択ゲ

ートから成る3つのトランジスタ構成、追加の転送ゲートを含む4つのトランジスタ構成、または、収集された電荷を処理するための任意の適切な回路であり得る。例えば、読み取り回路は、転送トランジスタ171Aと、リセットトランジスタ141Aと、リセットトランジスタ141Aに結合されたコンデンサ150Aと、ソースフォロワ142Aと、行選択トランジスタ143Aとを備える。コンデンサ150Aの例は、限定されることはないが、浮遊拡散コンデンサ、金属-酸化物-金属(MOM)コンデンサ、金属-絶縁体-金属(MIM)コンデンサ、および金属-酸化物-半導体(MOS)コンデンサを含む。

【0087】

転送トランジスタ171Aは、キャリアを光検出デバイス100aからコンデンサ150Aへと転送する。別の言い方をすれば、転送トランジスタ171Aは、切替信号TG1に応じて光電流IA1を出力するように構成されている。切替信号TG1が転送トランジスタ171Aをオンするとき、光電流IA1が発生させられる。

【0088】

開始において、リセット信号RSTは、VDDへの出力電圧VOU1をリセットする。次に、切替信号TG1が転送トランジスタ171Aをオンするとき、光電流IA1が発生させられ、コンデンサ150Aにおける出力電圧VOU1は、切替信号TG1がトランジスタ171Aをオフにするまで低下する。

【0089】

別のある実施形態では、読み取り回路は、他の基板に製作されてもよく、ダイ/ウェーハ接合または積み重ねを介して光検出デバイス100aと一体化/一括実装されてもよい。

【0090】

ある実施形態では、光検出装置は、1秒間あたり1000フレーム(1000fps)以下のフレームレートで動作させられるCMOSイメージセンサである。

【0091】

図2Fは、ある実施形態による光検出装置の回路の概略図を示している。光検出装置200fは、図2Eにおける光検出装置200eと同様である。違いが以下に記載されている。

【0092】

光検出装置200fの読み取り回路は、転送トランジスタ171Aとコンデンサ150Aとの間に電圧制御トランジスタ130Aをさらに備える。電圧制御トランジスタ130Aは電流バッファとして構成される。明確には、電圧制御トランジスタ130Aの出力端子がコンデンサ150Aの入力端子に結合され、電圧制御トランジスタ130Aの入力端子がトランジスタ171Aの出力端子に結合される。電圧制御トランジスタ130Aの制御端子は制御電圧VC1に結合される。

【0093】

電圧制御トランジスタ130Aが転送トランジスタ171Aとコンデンサ150Aとの間に結合されるため、転送トランジスタ171Aの出力端子とコンデンサ150Aの入力端子とは分離されている。電圧制御トランジスタ130Aが閾値下または飽和領域で動作させられるとき、転送トランジスタ171Aの出力端子は、光検出デバイス100aによって発生させられる暗電流を低減するために、定電圧VA1において制御されまたはこの出力端子にバイアスがかけられ得る。

【0094】

図3Aは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図3Bは、ある実施形態による図3AにおけるA-A'の線に沿っての断面図を示している。光検出デバイスは、吸収領域10と、吸収領域10を支持する基板20とを備える。吸収領域10は、図1Aにおいて記載されているような吸収領域10と同様である。基板20は、図1Aにおいて記載されているような基板20と同様である。図3Aにおける光検出デバイス300aと図1Aにおける光検出デバイス100aとの間の違いは、以下に記載されている。光検出デバイス300aは、吸収領域10に電氣的に結合されており、ある実施形態では基板20であるキャリア伝導層に部分的に形成されている第1のスイッチ(符号付けされ

10

20

30

40

50

ていない) および第2のスイッチ(符号付けされていない)を備える。第1のスイッチは、制御電極340aを備える制御領域C1を備える。第1のスイッチは、制御電極340aから分離された読み出し電極330aをさらに備える。第2のスイッチは、制御電極340bを備える制御領域C2を備える。第2のスイッチは、制御電極340bから分離された読み出し電極330bをさらに備える。ある実施形態では、読み出し電極330a、330bおよび制御電極340a、340bは、基板20の第1の表面21上に形成され、吸収領域10から分離される。ある実施形態では、読み出し電極330aと読み出し電極330bとは、吸収領域10の反対側に配置される。ある実施形態では、制御電極の一方と吸収領域の1つまたは複数の側面との間の最短距離が $0.1\mu\text{m}$ と $20\mu\text{m}$ の間である。

【0095】

ある実施形態では、光検出装置は、前述されているような光検出デバイス300aを備えるピクセルを備え、ピクセルは、例えば第1の制御信号および第2の制御信号といった2つの制御信号をさらに含み、それらの制御信号は、吸収領域10における吸収した光子によって発生させられる電子または正孔の移動方向を制御するために、制御領域C1、C2をそれぞれ制御する。ある実施形態では、第1の制御信号は第2の制御信号と異なる。例えば、電圧が使用されるとき、制御信号のうちの一方に、他方の制御信号に対してバイアスがかけられる場合、電界が、吸収領域10におけるのと同様に制御電極340a、340bのすぐ下の2つの部分の間において作り出され、吸収領域10における自由キャリアが、電界の方向に応じて、読み出し電極330b、330aのすぐ下の部分のうちの一方に向けてドリフトする。ある実施形態では、第1の制御信号は第1の位相を含み、第2の制御信号は第2の位相を含み、ここで、第1の制御位相は第2の制御位相と重ねられない。ある実施形態では、第1の制御信号は電圧値Vで固定され、第2の制御信号は電圧値 $V \pm \Delta V$ の間で行き来する。ある実施形態では、 ΔV は、例えば0Vと3Vとの間で動作させられる正弦波信号、クロック信号、またはパルス信号といった、変化する電圧信号によって発生させられる。バイアス値の方向が、吸収領域10から発生させられるキャリアのドリフト方向を決定する。制御信号は変調信号である。

【0096】

ある実施形態では、第1のスイッチは読み出し電極330aの下に第1のドープ領域302aを備える。第2のスイッチは読み出し電極330bの下に第1のドープ領域302bを備える。ある実施形態では、第1のドープ領域302a、302bは、吸収領域10の伝導型と異なる伝導型のものである。ある実施形態では、第1のドープ領域302a、302bは、ドーパントと、ピークドーパント濃度を伴うドーパントプロファイルとを含む。ある実施形態では、第1のドープ領域302a、302bのピークドーピング濃度は第2のピークドーピング濃度より高い。ある実施形態では、第1のドープ領域302a、302bのピークドーパント濃度は、読み出し電極330a、330bの材料と基板20の材料とに依存し、例えば、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ と $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。第1のドープ領域302a、302bは、2つの制御信号の制御に基づいて、吸収領域10から発生させられる第1の型を伴うキャリアを収集するためのキャリア収集領域である。

【0097】

ある実施形態では、キャリアの復調およびキャリアの収集など、吸収機能およびキャリア制御機能は、吸収領域10と、ある実施形態では基板20であるキャリア伝導層とでそれぞれ動作する。

【0098】

ある実施形態では、光検出デバイス300aは、図1Aにおける第2のドープ領域108および第2の電極60とそれぞれ同様である第2のドープ領域108および第2の電極60を備え得る。第2のドープ領域108は、光検出デバイスの動作の間に第1のドープ領域302a、302bによって収集されない、第1の型と反対の第2の型のキャリアを除去するためのものである。ある実施形態では、制御電極340aは、第2の電極60を

通過する軸に関して、制御電極 340b と対称である。ある実施形態では、読み出し電極 330a は、第 2 の電極 60 を通過する軸に関して、読み出し電極 330b と対称である。制御電極 340a、340b、読み出し電極 330a、330b、および第 2 の電極 60 は、すべてキャリア伝導層の第 1 の表面上に配置される。つまり、制御電極 340a、340b、読み出し電極 330a、330b、および第 2 の電極 60 は、ある実施形態では基板 20 であるキャリア伝導層の同じ側の上にある。

【0099】

ある実施形態では、光検出デバイス 300a の基板 20 は、図 1A に記載されているような伝導領域 201 と同様の伝導領域 201 を備える。違いが以下に記載されている。ある実施形態では、光検出デバイス 300a の断面図から、伝導領域 201 の幅が、2つの読み出し電極 330a、330b の間の距離より大きくなり得る。ある実施形態では、伝導領域 201 は第 1 のドープ領域 302a、302b 全体と重ねられる。ある実施形態では、伝導領域 201 の幅は、2つの読み出し電極 330a、330b の間の距離より小さくでき、2つの制御電極 340a、340b の間の距離より大きくできる。ある実施形態では、伝導領域 201 は、第 1 のドープ領域 302a の一部分および第 1 のドープ領域 302b の一部分と重ねられる。伝導領域 201 が第 1 のドープ領域 302a の一部分および第 1 のドープ領域 302b の一部分と重ねられるため、吸収領域 10 から発生させられる第 1 の型を伴うキャリアは、伝導領域 201 に制限させることができ、2つの制御信号の制御に基づいて、第 1 のドープ領域 302a、302b の一方に向けて移動することができる。例えば、第 1 のドープ領域 302a、302b が n 型のものである場合、伝導領域 201 は n 型のものであり、第 2 のドープ領域 108 は p 型であり、吸収領域 10 から発生させられる電子は、伝導領域 201 において制限され、2つの制御信号の制御に基づいて、第 1 のドープ領域 302a、302b の一方に向けて移動することができ、正孔は、第 2 のドープ領域 108 に向けて移動することができ、回路によってさらに除去され得る。

【0100】

ある実施形態では、光検出装置は、複数の繰り返しのピクセルを含むピクセル配列を備える。ある実施形態では、ピクセル配列は、ピクセルの一次元または二次元の配列であり得る。

【0101】

比較例による光検出デバイスが、図 3A における光検出デバイス 300a の構造と実質的に同じ構造を備え、違いは、比較例の光検出デバイスでは、吸収領域 10 のドーピング濃度が基板 20 の第 2 のピークドーピング濃度以下であり、ヘテロ界面における第 2 のドーパントのドーピング濃度が、ヘテロ界面における第 1 のドーパントのドーピング濃度以上であることである。

【0102】

比較例による光検出デバイス、および光検出デバイス 300a の詳細が、表 7 および表 8 に列記されている。

【0103】

【表 7】

表7. 比較例による光検出デバイスの詳細

吸収領域の伝導型	p型
第1のピークドーピング濃度	$1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
基板の伝導型	n型
第2のピークドーピング濃度	$1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
基準光電流	$1 \times 10^{-6} \text{ A}$

【0104】

【表 8】

表8. 光検出デバイス300aの詳細

吸収領域の伝導型	p型
第1のピークドーピング濃度	$1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$
基板の伝導型	n型
第2のピークドーピング濃度	$1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
光電流	表10参照

10

【0105】

表9および表10を参照すると、比較例と比べて、光検出デバイス300aにおける吸収領域10の第1のピークドーピング濃度が基板20の第2のピークドーピング濃度より高いため、光検出デバイス300aは、例えば少なくとも100倍より低いといった、より低い暗電流を有し得る。

【0106】

【表 9】

表9. 比較例の結果

測定された電流	0Vにおける第2の電極60	3.2Vにおける制御電極330b	3.3Vにおける読み出し電極340b
入射光線なし	~L	~L	~D
入射光線あり	~L	~L	~P

単位： 任意の単位

20

【0107】

【表 10】

表10. 光検出デバイス300aの結果

測定された電流	0Vにおける第2の電極60	3.2Vにおける制御電極330b	3.3Vにおける読み出し電極340b
入射光線なし	~10L	~10L	~0.01D
入射光線あり	~10L	~10L	~0.9P

単位： 任意の単位

40

【0108】

ある実施形態では、電圧が第2の電極60に印加され得る。ある実施形態では、第2の電極60に印加される電圧は、第2のドープ領域108と制御領域C1、C2との間の漏れ電流を低下させることができる。ある実施形態では、電圧は、光検出デバイス300aを動作させるときの制御電極340aに印加される電圧と制御電極340bに印加される電圧との間である。

【0109】

図4Aは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図4Bは、ある

50

実施形態による図 4 A における A - A ' の線に沿っての断面図を示している。図 4 C は、ある実施形態による図 4 A における B - B ' の線に沿っての断面図を示している。図 4 A における光検出デバイス 4 0 0 a は、図 3 A における光検出デバイス 3 0 0 a と同様である。違いが以下に記載されている。

【 0 1 1 0 】

図 4 A および図 4 B を参照すると、第 2 のドーピング領域 1 0 8 が基板 2 0 にある。別の言い方をすると、第 2 のドーピング領域 1 0 8 の第 4 のピークドーピング濃度が基板 2 0 に位置する。第 2 のドーピング領域 1 0 8 は、基板 2 0 の第 1 の表面 2 1 の下方にあり、吸収領域 1 0 と直接的に接触しており、例えば、第 2 のドーピング領域 1 0 8 は、吸収領域 1 0 の側面 1 3 のうちの 1 つと接触してもよく、または、側面 1 3 のうちの 1 つと重ねられてもよい。結果として、第 1 のドーピング領域 3 0 2 a、3 0 2 b によって収集されない第 2 の型を伴うキャリアは、吸収領域 1 0 から、吸収領域 1 0 と基板 2 0 との間のヘテロ界面を通じて、第 2 のドーピング領域 1 0 8 に向けて移動することができる。

10

【 0 1 1 1 】

例えば、第 1 のドーピング領域 3 0 2 a、3 0 2 b が n 型のものである場合、伝導領域 2 0 1 は n 型のものであり、第 2 のドーピング領域 1 0 8 は p 型であり、吸収領域 1 0 から発生させられる電子は、伝導領域 2 0 1 において制限され、2 つの制御信号の制御に基づいて、第 1 のドーピング領域 3 0 2 a、3 0 2 b の一方に向けて移動することができ、正孔は、吸収領域 1 0 と基板 2 0 との間のヘテロ界面を通じて第 2 のドーピング領域 1 0 8 に向けて移動することができ、回路によってさらに除去され得る。

20

【 0 1 1 2 】

第 2 の電極 6 0 は、基板 2 0 の第 1 の表面 2 1 上にある。吸収領域 1 0 の代わりに基板 2 0 に第 2 のドーピング領域 1 0 8 を有することで、第 2 の電極 6 0、読み出し電極 3 3 0 a、3 3 0 b、および制御電極 3 4 0 a、3 4 0 b はすべて基板 2 0 の第 1 の表面 2 1 の上方において同一平面上に形成され得る。そのため、第 2 の電極 6 0 および 4 つ電極 3 3 0 a、3 3 0 b、3 4 0 a、3 4 0 b のうちの任意の 2 つの間の高さの差を縮小することができ、それによって、その後の製作過程がこの設計から恩恵を受けることになる。他にも、光学信号を吸収する吸収領域 1 0 の面積をより大きくすることができる。

【 0 1 1 3 】

図 5 A は、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図 5 B は、ある実施形態による図 5 A における A - A ' の線に沿っての断面図を示している。図 5 C は、ある実施形態による図 5 A における B - B ' の線に沿っての断面図を示している。図 4 A における光検出デバイス 5 0 0 a は、図 4 A における光検出デバイス 4 0 0 a と同様である。違いが以下に記載されている。読み出し電極 3 3 0 a、3 3 0 b および制御電極 3 4 0 a、3 4 0 b は吸収領域 1 0 の同じ側に配置され、これは、キャリアが吸収領域 1 0 から側面 1 3 のうちの 1 つを通じて外に移動させられるため、光検出デバイス 4 0 0 a のコントラスト比を向上させる。ある実施形態では、方向 Y に沿っての読み出し電極 3 3 0 a、3 3 0 b の間の距離は、方向 Y に沿っての制御電極 3 4 0 a、3 4 0 b の間の距離より大きくできる。ある実施形態では、方向 Y に沿っての読み出し電極 3 3 0 a、3 3 0 b の間の距離は、方向 Y に沿っての制御電極 3 4 0 a、3 4 0 b の間の距離と実質的に同じであり得る。

30

40

【 0 1 1 4 】

図 6 A は、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図 6 B は、ある実施形態による図 6 A における A - A ' の線に沿っての断面図を示している。図 6 A における光検出デバイス 6 0 0 a は、図 5 A における光検出デバイス 5 0 0 a と同様であり、例えば、読み出し電極 3 3 0 a、3 3 0 b および制御電極 3 4 0 a、3 4 0 b は吸収領域 1 0 の同じ側に配置されている。違いが以下に記載されている。

【 0 1 1 5 】

図 6 A および図 6 B を参照すると、第 2 のドーピング領域 1 0 8 が基板 2 0 にある。別の言い方をすると、第 2 のドーピング領域 1 0 8 の第 4 のピークドーピング濃度が基板 2 0 に位置

50

する。第2のドーピング領域108は、基板20の第1の表面21の下方にあり、吸収領域10と直接的に接触しており、例えば、第2のドーピング領域108は、吸収領域10の側面13のうちの1つと接触してもよく、または、側面13のうちの1つと重ねられてもよい。結果として、第1のドーピング領域302a、302bによって収集されない第2の型を伴うキャリアは、吸収領域10から、吸収領域10と基板20との間のヘテロ界面を通じて、第2のドーピング領域108に向けて移動することができる。第2の電極60は、基板20の第1の表面21上にある。吸収領域10は、第2の電極60と電極330a、330b、340a、340bとの間にある。

【0116】

吸収領域10の代わりに基板20に第2のドーピング領域108を有することで、第2の電極60および4つの電極330a、330b、340a、340bはすべて基板20の第1の表面21の上方において同一平面上に形成され得る。そのため、第2の電極60および4つ電極330a、330b、340a、340bのうちの任意の2つの間の高さの差を縮小することができ、それによって、その後の製作過程がこの設計から恩恵を受けることになる。他にも、光学信号を吸収する吸収領域10の面積をより大きくすることができる。

【0117】

ある実施形態では、伝導領域201は第1のドーピング領域302a、302b全体と重ねられ得る。

【0118】

図6Cは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図6Dは、ある実施形態による図6CにおけるA-A'の線に沿っての断面図を示している。図6Eは、ある実施形態による図6CにおけるB-B'の線に沿っての断面図を示している。図6Cにおける光検出デバイス600cは、図6Aにおける光検出デバイス600aと同様であり、違いが以下に記載されている。光検出デバイス600cは、吸収領域10と基板20との間のヘテロ界面の少なくとも一部を覆うために、吸収領域10と第1のドーピング領域302a、302bとの間に制限領域180をさらに備える。制限領域180は、第1のドーピング領域302a、302bの伝導型と異なる伝導型を有する。ある実施形態では、制限領域180は、ピークドーピング濃度を有するドーパントを含む。ピークドーピング濃度は $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。伝導領域201は、光キャリアを吸収領域10から第1のドーピング領域302a、302bに向けて移動させるために、伝導領域201の一部を吸収領域10と直接的に接触させたままにするように、制限領域180を通じて形成される通路181を有する。つまり、通路181は制限領域180によって覆われていない。ある実施形態では、制限領域180のピークドーピング濃度は伝導領域201の第2のピークドーピング濃度より低い。ある実施形態では、制限領域180のピークドーピング濃度は伝導領域201の第2のピークドーピング濃度より高い。例えば、光検出デバイスが電子を収集するように構成されるとき、制限領域180はp型のものであり、第1のドーピング領域302a、302bはn型のものである。光キャリアが吸収領域10から発生させられた後、正孔は第2のドーピング領域108および第2の電極60を通じて除去され、電子は、制限領域180によって制限され、吸収領域10と基板20との間のヘテロ界面全体から外へ移動する代わりに、吸収領域10から通路181を通じて第1のドーピング領域302a、302bの一方に向けて移動する。したがって、光検出デバイス600cは、吸収領域10と第1のドーピング領域302a、302bとの間に制限領域180を含めることで、向上した復調コントラストを有し得る。

【0119】

図6Fは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図6Fにおける光検出デバイス600fは、図6Cにおける光検出デバイス600cと同様である。違いは、吸収領域10の他の側面13から外へ移動する代わりに、キャリアをさらに制限して吸収領域10の側面13のうちの1つにおいて通路181を通過させるために、制限領域180が吸収領域10の2つの他の側面13を覆うように延長させられていることである。

。ある実施形態では、制限領域 180 のピークドーピング濃度は第 2 のドーブ領域 108 のピークドーピング濃度より低い。ある実施形態では、制限領域 180 および第 2 のドーブ領域 108 は、異なるマスクを使用することなど、2 つの異なる製作処理ステップによって形成される。

【0120】

図 6 G は、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図 6 G における光検出デバイス 600 g は、図 6 F における光検出デバイス 600 f と同様である。違いは、第 2 のドーブ領域 108 が図 6 F に記載されている制限領域 180 として機能できることである。別の言い方をすれば、第 2 のドーブ領域 108 は、第 1 のドーブ領域 302 a、302 b によって収集されないキャリアを除去することと、吸収領域 10 から収集されるキャリアを、吸収領域 10 の他の側面 13 から外へ移動させる代わりに、側面 13 のうちの 1 つにおいて通路 181 を通じて第 1 のドーブ領域 302 a、302 b の一方に向けて制限することとの両方が可能である。

【0121】

図 7 A は、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図 7 B は、ある実施形態による図 7 A における A-A' の線に沿っての断面図を示している。光検出デバイス 700 a は、図 3 A における光検出デバイス 300 a と同様である。違いが以下に記載されている。ある実施形態では、光検出デバイスは、吸収領域 10 に電氣的に結合され、基板 20 に部分的に形成される N 個のスイッチを備え、ここで、N は 3 より大きい整数である。例えば、N は 3、4、5 などであり得る。ある実施形態では、光検出装置のピクセルは、互いと異なる Y 個の制御信号をさらに含み、ここで、 $3 \leq Y \leq N$ であり、Y は正の整数であり、制御信号の各々は、光検出デバイス 700 a の制御領域のうちの 1 つまたは複数を制御する。ある実施形態では、制御信号の各々は位相を含み、制御信号のうちの 1 つの位相は、制御信号のうちの他の制御信号の位相と重ねられない。図 7 A および図 7 B を参照すると、ある実施形態では、光検出デバイス 700 a は、吸収領域 10 に電氣的に結合され、基板 20 に部分的に形成される 4 個のスイッチ（符号付けされていない）を備える。スイッチの各々は、制御電極 340 a、340 b、340 c、340 d を備える制御領域 C1、C2、C3、C4 を備える。スイッチの各々は、制御電極 340 a、340 b、340 c、340 d から分離された読み出し電極 330 a、330 b、330 c、330 d を備える。ある実施形態では、読み出し電極 330 a、330 b、330 c、330 d および制御電極 340 a、340 b、340 c、340 d は、基板 20 の第 1 の表面 21 上に形成され、吸収領域 10 から分離される。

【0122】

ある実施形態では、4 個のスイッチは 4 つの側面 13 にそれぞれ配置される。

【0123】

ある実施形態では、スイッチの各々は、読み出し電極 330 a、330 b、330 c、330 d の下に第 1 のドーブ領域（図示されていない）を含み、第 1 のドーブ領域は、図 3 A に記載されているような第 1 のドーブ領域 302 a、302 b と同様である。

【0124】

ある実施形態では、光検出装置のピクセルは、吸収領域 10 によって発生させられる電子または正孔の移動方向を制御するように、制御領域 C1、C2、C3、C4 をそれぞれ制御するための 4 つの制御信号を含む。例えば、電圧が使用されるとき、制御領域 C1 を制御する制御信号に、他の制御信号に対してバイアスがかけられる場合、電界が、吸収領域 10 におけるのと同様に制御電極 340 a、340 b、340 c、340 d のすぐ下の 4 つの部分の間において作り出され、吸収領域 10 における自由キャリアが、電界の方向に応じて、読み出し電極 330 a、330 b、330 c、330 d の下の第 1 のドーブ領域のうちの 1 つに向けてドリフトする。ある実施形態では、制御信号の各々が、互いの位相によって重ねられない位相を有する。

【0125】

ある実施形態では、伝導領域 201 は、長方形または正方形など、任意の適切な形であ

10

20

30

40

50

り得る。

【0126】

図7Cは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。光検出デバイス700cは、図7Aにおける光検出デバイス700aと同様である。違いが以下に記載されている。読み出し電極330a、330b、330c、330dの配置と制御電極340a、340b、340c、340dの配置とは異なる。例えば、4個のスイッチが吸収領域10の4つの角にそれぞれ配置される。

【0127】

図7Dは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。光検出デバイス700dは、図7Aにおける光検出デバイス700aと同様である。違いが以下に記載されている。光検出デバイス700dは、吸収領域10に電氣的に結合され、基板20に部分的に形成される8個のスイッチ（符号付けされていない）を備える。同様に、スイッチの各々は、制御電極340a、340b、340c、340d、340e、340f、340g、340hを含む制御領域（符号付けされていない）を備え、制御電極340a、340b、340c、340d、340e、340f、340g、340hから分離された読み出し電極330a、330b、330c、330d、330e、330f、330g、330hを備える。

【0128】

ある実施形態では、光検出装置は、前述されているような光検出デバイス700dを備えるピクセルを備え、ピクセルは、互いと異なり、光検出デバイス700dの多重スイッチを制御する複数の制御信号を含む。つまり、同じピクセルにおいて、制御信号の数はスイッチの数より小さい。例えば、ピクセルは、互いと異なる2つの制御信号を含むことができ、制御信号の各々はスイッチのうちの2つを制御する。例えば、制御電極340aと制御電極340bとは、同じ制御信号に電氣的に結合され、同じ制御信号によって制御され得る。ある実施形態では、ピクセルは、それぞれのスイッチを制御する複数の制御信号を含み得る。つまり、同じピクセルにおいて、制御信号の数はスイッチの数と等しい。例えば、光検出装置のピクセルは、互いと異なり、光検出デバイス700dのそれぞれのスイッチを制御する8つの制御信号を含む。

【0129】

図7Eは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。光検出デバイス700eは、図7Dにおける光検出デバイス700dと同様である。違いが以下に記載されている。読み出し電極330a、330b、330c、330d、330e、330f、330g、330hの配置と制御電極340a、340b、340c、340d、340e、340f、340g、340hの配置とは異なる。例えば、8個のスイッチのうちの1つおきのスイッチが吸収領域10の4つの角にそれぞれ配置される。伝導領域201は、限定されることはないが、八角形であり得る。

【0130】

図8Aは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図8Bは、ある実施形態による図8AにおけるA-A'の線に沿っての断面図を示している。図8Aにおける光検出デバイス800aは、図7Aにおける光検出デバイス700aと同様である。違いが以下に記載されている。第2のドープ領域108が基板20にある。別の言い方をすると、第2のドープ領域108の第4のピークドーピング濃度が基板20に位置する。ある実施形態では、第2のドープ領域108は、互いから分離され、吸収領域10と直接的に接触している複数の小領域108a、108b、108c、108dを備え、例えば、小領域108a、108b、108c、108dは、吸収領域10の側面13の少なくとも一部と接触し得る、または重ねられ得る。結果として、吸収領域10から発生させられ、第1のドープ領域によって収集されないキャリアは、吸収領域10から、吸収領域10と基板20との間のヘテロ界面を通じて、小領域108a、108b、108c、108dのうちの1つまたは複数に向けて移動することができる。ある実施形態では、収集されるキャリアの経路が吸収領域10から第1のドープ領域のうちの1つに向けて移動するの

10

20

30

40

50

を妨げるのを回避するために、小領域 108 a、108 b、108 c、108 d が吸収領域 10 と任意のスイッチの第 1 のドープ領域との間にない。例えば、ある実施形態では、吸収領域 10 から小領域 108 a、108 b、108 c、108 d のうちの 1 つまたは複数に向けて移動する正孔の経路と、吸収領域 10 から第 1 のドープ領域のうちの 1 つに向けて移動する電子の経路とが異なるように、小領域 108 a、108 b、108 c、108 d は吸収領域 10 の 4 つの角にそれぞれ配置され、4 個のスイッチは 4 つの側面 13 にそれぞれ配置される。

【0131】

ある実施形態では、第 2 の電極 60 は、小領域 108 a、108 b、108 c、108 d にそれぞれ電氣的に結合される副電極 60 a、60 b、60 c、60 d を備える。副電極 60 a、60 b、60 c、60 d は基板 20 の第 1 の表面 21 上に配置される。

10

【0132】

吸収領域 10 の代わりに基板 20 に第 2 のドープ領域 108 を有することで、副電極 60 a、60 b、60 c、60 d、読み出し電極 330 a、330 b、330 c、330 d、および制御電極 340 a、340 b、340 c、340 d はすべて基板 20 の第 1 の表面 21 の上方において同一平面上にあり得る。そのため、副電極 60 a、60 b、60 c、60 d、読み出し電極 330 a、330 b、330 c、330 d、および制御電極 340 a、340 b、340 c、340 d のうちの任意の 2 つの間の高さの差を縮小することができ、それによって、その後の製作過程がこの設計から恩恵を受けることになる。他にも、光学信号を吸収する吸収領域 10 の面積をより大きくすることができる。

20

【0133】

図 8 C は、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図 8 C における光検出デバイス 800 c は、図 8 A における光検出デバイス 800 a と同様である。違いが以下に記載されている。読み出し電極 330 a、330 b、330 c、330 d の配置と制御電極 340 a、340 b、340 c、340 d の配置とは異なり、副電極 60 a、60 b、60 c、60 d の配置は異なり、小領域 108 a、108 b、108 c、108 d の配置は異なる。例えば、4 個のスイッチが吸収領域 10 の 4 つの角にそれぞれ配置され、小領域 108 a、108 b、108 c、108 d および副電極 60 a、60 b、60 c、60 d が吸収領域 10 のそれぞれの側面 13 に配置される。

【0134】

30

図 8 D は、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。光検出デバイス 800 d は、図 8 A における光検出デバイス 800 a と同様である。違いが以下に記載されている。光検出デバイス 800 d は、吸収領域 10 に電氣的に結合され、基板 20 に部分的に形成される 8 個のスイッチ（符号付けされていない）を備え、これは、図 7 D における光検出デバイス 700 d と同様である。光検出装置のピクセルは、図 7 D に記載されているような複数の制御信号も含む。

【0135】

図 8 E は、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。光検出デバイス 800 e は、図 8 D における光検出デバイス 800 d と同様である。違いが以下に記載されている。読み出し電極 330 a、330 b、330 c、330 d、330 e、330 f、330 g、330 h の配置と制御電極 340 a、340 b、340 c、340 d、340 e、340 f、340 g、340 h の配置とは異なり、副電極 60 a、60 b、60 c、60 d の配置は異なり、小領域 108 a、108 b、108 c、108 d の配置は異なる。例えば、8 個のスイッチのうちの 1 つおきのスイッチが吸収領域 10 の 4 つの角にそれぞれ配置され、小領域 108 a、108 b、108 c、108 d および副電極 60 a、60 b、60 c、60 d が吸収領域 10 のそれぞれの側面 13 に配置される。

40

【0136】

図 9 A は、ある実施形態による光検出装置の概略図を示している。光検出装置 900 a は、ピクセル（符号付けされていない）と、ピクセルに電氣的に結合されるカラムバスとを備える。ピクセルは、光検出デバイスと、光検出デバイスおよびカラムバスに電氣的に

50

結合される複数の読み取り回路（符号付けされていない）とを備える。光検出デバイスは、図3A～図3B、図4A～図4C、図5A～図5C、図6A～図6G、図7A～図7E、および図8A～図8Eに記載されているような任意の光検出デバイスであり得る。例えば、図3Bにおける光検出デバイス300aは図9Aに示されている。読み取り回路の各々は、図2Eに記載されているような読み取り回路と同様である。違いが以下に記載されている。読み取り回路の各々は、第1の型のキャリアを処理するために、光検出デバイスのスイッチのそれぞれの第1のドープ領域に電氣的に結合される。例えば、第1のドープ領域がn型のものである場合、読み取り回路は、さらなる用途のために、それぞれの第1のドープ領域から収集された電子を処理する。

【0137】

読み取り回路の数はスイッチの数と同じである。つまり、光検出デバイスは、吸収領域10に電氣的に結合され、基板20に部分的に形成されたN個のスイッチを備え、光検出装置のピクセルは、光検出デバイスに電氣的に結合されたZ個の読み取り回路をさらに備え、ここで、 $Z = N$ である。例えば、図3A～図3B、図4A～図4C、図5A～図5C、図6A～図6Gにおける光検出デバイスのスイッチの数は4個であり、読み取り回路の数は2個である。他の例については、図7A～図7C、および図8A～図8Cにおける光検出デバイスのスイッチの数は2個であり、読み取り回路の数は4個である。他の例については、図7D～図7E、および図8D～図8Eにおける光検出デバイスのスイッチの数は8個であり、読み取り回路の数は8個である。

【0138】

図9Bは、ある実施形態による光検出装置の概略図を示している。光検出装置900bは、図9Aにおける光検出装置900aと同様である。違いが以下に記載されている。図2Fに記載されているような読み取り回路と同様に、光検出装置900bの読み取り回路は、光検出デバイス300aの第1／第2のスイッチとコンデンサ150Aとの間に電圧制御トランジスタ130Aをさらに備える。

【0139】

図10Aは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。光検出デバイスは、吸収領域10と、吸収領域10を支持する基板20とを備える。吸収領域10は、図1Aにおいて記載されているような吸収領域10と同様である。基板20は、図1Aにおいて記載されているような基板20と同様である。図10Aにおける光検出デバイス1000aと図1Aにおける光検出デバイス100aとの間の違いは、以下に記載されている。ある実施形態では、光検出デバイス1000aは、吸収領域10から分離された第1の接触領域204を基板20においてさらに備える。光検出デバイス1000aは、第2の接触領域103を吸収領域10にさらに備える。

【0140】

ある実施形態では、第2の接触領域103は伝導型のものである。第1の接触領域204は、第2の接触領域103の伝導型と異なる伝導型のものである。ある実施形態では、第2の接触領域103は、吸収領域10の第1のピークドーピング濃度より高いピークドーピング濃度を有するドーパントを含み、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲であり得る。ある実施形態では、第1の接触領域204は、基板20の第2のドーパントの第2のピークドーピング濃度より高いピークドーピング濃度を有するドーパントを含み、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲であり得る。ある実施形態では、第2の接触領域103は、基板20の第1の表面21に対して実質的に垂直な方向D1に沿って第1の接触領域204上に配置されない。

【0141】

光検出デバイスは、第1の接触領域204に結合される第1の電極140と、第2の接触領域103に結合される第2の電極160とを備える。第2の電極160は、吸収領域10の第1の表面11上にある。第1の電極140は、基板20の第1の表面21上にある。ある実施形態では、光検出デバイス1000aの基板20は、図1Aに記載されているような伝導領域201と同様の伝導領域201を備える。

【0142】

ある実施形態では、光検出デバイス1000aは、基板20において第3の接触領域208をさらに備える。ある実施形態では、第3の接触領域208は第2の接触領域103と第1の接触領域204との間にある。第3の接触領域208は、第2の接触領域103の伝導型と同じ伝導型のものである。第3の接触領域208は、第1の接触領域204の伝導型と異なる伝導型を含む。ある実施形態では、第3の接触領域208は、伝導領域201の第2のピークドーピング濃度より高いピークドーピング濃度を有するドーパントを含み、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ と $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。

【0143】

ある実施形態では、基板20の第1の表面21と、ピークドーパント濃度を有する第1の接触領域204の場所との間の距離が、30nmより小さい。ある実施形態では、基板20の第1の表面21と、ピークドーパント濃度を有する第3の接触領域208の場所との間の距離が、30nmより小さい。

10

【0144】

ある実施形態では、第3の接触領域208は伝導領域201と全体的に重ねられ得る。第3の接触領域208と第1の接触領域204とは両方とも基板20の第1の表面21の下方にある。

【0145】

ある実施形態では、光検出デバイスは、第3の接触領域208に電氣的に結合された第3の電極130をさらに備える。第3の電極130と第1の電極140とは基板20の第1の表面21において同一平面上に形成され、したがって、第3の電極130と第1の電極140との間の高さの差を縮小させることができ、これはその後の製作過程に恩恵を与える。

20

【0146】

光検出デバイス1000aは、光検出デバイス1000aに電氣的に結合される回路、および／または、光検出デバイス1000aの動作方法に応じて、ロックインピクセルまたはアバランシェフォトトランジスタであり得る。

【0147】

例えば、光検出デバイス1000aがロックインピクセルとして供する場合、第3の接触領域208および第1の接触領域204はスイッチと見なすことができる。読み取り回路は、第1の電極140を通じて第1の接触領域204に電氣的に結合され、変調信号である制御信号が、スイッチのオンオフ状態を制御するために第3の電極130を通じて第3の接触領域208に電氣的に結合され、電圧または接地が、第1の接触領域204によって収集されないキャリアを除去するために、第2の接触領域103に印加されてもよい。ロックインピクセルは間接TOFシステムに含まれ得る。

30

【0148】

ある実施形態では、光検出デバイス1000aがアバランシェフォトトランジスタとして供する場合、第3の接触領域208と第1の接触領域204との間の、キャリアが通過する基板20の一部または伝導領域201の一部は、光検出デバイス1000aの動作の間、増倍領域Mとして供する。増倍領域では、光キャリアは衝突イオン化を通じて追加の電子および正孔を発生させ、これがアバランシェ増倍の連鎖反応を開始させる。結果として、光検出デバイス1000aはゲインを有する。ある実施形態では、基板20は吸収領域10を支持し、同時にキャリアをアバランシェ増倍で増幅することができる。ある実施形態では、第3の接触領域208は電荷領域であり得る。アバランシェフォトトランジスタは直接TOFシステムに含まれ得る。

40

【0149】

図10Aにおける電子を収集することができる光検出デバイス1000aを動作させるための方法は、第1の全電流を発生させ、第1の電極140と第3の電極130との間に逆方向バイアスがかけられたpn接合を形成するために、第1の電圧を第1の電極140に印加し、第2の電圧を第2の電極160に印加し、第3の電圧を第3の電極130に印

50

加するステップと、第1の全電流より大きい第2の全電流を発生させるために、吸収領域10において入射光線を受信するステップとを含む。

【0150】

ある実施形態では、第1の電圧は第2の電圧より大きい。ある実施形態では、第3の電圧は第1の電圧と第2の電圧との間である。

【0151】

ある実施形態では、第1の全電流は第1の電流と第2の電流とを含む。第1の電流は第1の電極140から第3の電極130へと流れる。第2の電流は第1の電極140から第2の電極160へと流れる。

【0152】

ある実施形態では、第2の全電流は第3の電流を含む。第3の電流は第1の電極140から第2の電極160へと流れる。

【0153】

ある実施形態では、第2の全電流は第3の電流と第4の電流とを含む。第4の電流は第1の電極140から第3の電極130へと流れる。

【0154】

ある実施形態では、第1の電極に印加される第2の電圧は、例えば0ボルトである。

【0155】

ある実施形態では、第3の電圧は、光キャリアを、吸収領域10から、増倍領域へと、つまり、基板20の一部へと、または、第3の接触領域208と第1の接触領域204との間の伝導領域201の一部へと掃引するために選択され得る。ある実施形態では、第2の電圧と第3の電圧との間の電圧差は、光キャリアを増倍するように、吸収領域10から基板20における増倍領域への光キャリアの移動を容易にするために、第1の電圧と第3の電圧との間の電圧差より小さい。例えば、第2の電極160に印加される第2の電圧が0ボルトであるとき、第3の電極130に印加される第3の電圧は1Vであり、第1の電極140に印加される第1の電圧は7Vであり得る。

【0156】

ある実施形態では、第1の電圧と第3の電圧との間の電圧差は光検出デバイス1000aのアバランシェ降伏電圧より小さく、そのアバランシェ降伏電圧において、光検出デバイス1000aは、増倍領域を線形モードで動作させるために、アバランシェ増倍の連鎖反応を開始させる。

【0157】

ある実施形態では、第1の電圧と第3の電圧との間の電圧差は光検出デバイス1000aのアバランシェ降伏電圧より大きく、そのアバランシェ降伏電圧において、光検出デバイス1000aは、増倍領域をガイガーモードで動作させるために、アバランシェ増倍の連鎖反応を開始させる。

【0158】

ある実施形態では、第1の接触領域204によって収集されたキャリアは、光検出デバイス1000aに電氣的に結合された回路によってさらに処理され得る。

【0159】

ある実施形態では、第1の接触領域204によって収集されなかったキャリアは、第2の接触領域103に向けて移動することができ、光検出デバイス1000aに電氣的に結合された回路によってさらに除去され得る。

【0160】

同様に、吸収領域10、およびある実施形態では基板20であるキャリア伝導層の濃度および材料の設計によって、光検出デバイス1000aはより低い暗電流を有し得る。

【0161】

図10Bは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図10Cは、ある実施形態による図10BにおけるA-A'の線に沿っての断面図を示している。図10Bにおける光検出デバイス1000bは、図10Aにおける光検出デバイス1000aと

10

20

30

40

50

同様である。違いが以下に記載されている。好ましくは、光検出デバイス1000bはアバランシェフォトトランジスタとして供する。光検出デバイス1000bは、基板20と一体化された修正要素203をさらに備える。修正要素203は、増倍が基板20において起こる位置を修正するためのものである。ある実施形態では、修正要素203の抵抗は、増倍が基板20において起こる位置を修正するように、基板20の抵抗より高い。したがって、より多くのキャリアが、最も強い電界が位置し、アバランシェ増倍ゲインを増加させる場所を通過することができる。

【0162】

例えば、修正要素203は、基板20の第1の表面21に形成されたトレンチである。トレンチは、キャリアが基板20の定められた領域を通過するのを阻止することができ、それによって、キャリアが通過する基板20における領域を縮小する。トレンチは深さを有し、基板20の厚さに対する深さの比は10%から90%の間であり得る。第1の接触領域204は、第1の電極140に電氣的に結合されるように、トレンチにおいて露出される。ある実施形態では、トレンチの幅は、第1の接触領域204の幅に対して、より大きくてもよく、実質的に等しくてもよく、またはより小さくてもよい。ある実施形態では、トレンチの幅は、キャリアを第1の接触領域204の隣の高電界領域を通過させるように、第1の接触領域204の幅より大きくなり得る。

【0163】

修正要素203によって、例えば電子といったキャリアは、第1の接触領域204の隣の領域など、最も強い電界が位置する増倍領域を通過させられ、これによってアバランシェ増倍ゲインを増加させる。

【0164】

ある実施形態では、第1の電極140はトレンチに形成される。高さの差は、第3の電極130と第1の電極140との間である。

【0165】

ある実施形態では、伝導領域201は、第3の接触領域208から分離され得るか、第3の接触領域208の一部と重ねられ得るか、第3の接触領域208全体と重ねられ得るか、トレンチの角と接し得るか、または、第1の接触領域204と部分的に重ねられ得る。

【0166】

ある実施形態では、絶縁材料がトレンチに充填され得る。

【0167】

図10Dは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図10Eは、ある実施形態による図10DにおけるA-A'の線に沿っての断面図を示している。図10Fは、ある実施形態による図10DにおけるB-B'の線に沿っての断面図を示している。図10Dにおける光検出デバイス1000dは、図10Bにおける光検出デバイス1000bと同様である。違いが以下に記載されている。ある実施形態では、基板20の第1の表面21と、ピークドーパント濃度を有する第3の接触領域208の場所との間の距離が、30nmより大きい。ある実施形態では、光検出デバイス1000dは、基板20の第1の表面21に形成され、第3の接触領域208を露出させる凹部205をさらに備える。第3の電極130は、第3の接触領域208に電氣的に結合されるために、凹部205に形成される。基板20の第1の表面21と、ピークドーパント濃度を有する第3の接触領域208の場所との間の距離が、30nmより大きくなるため、第3の接触領域208と第1の接触領域204との間の距離がより短くなり、これは、より多くのキャリアに最も強い電界が位置する場所を通過させるように、キャリアの移動経路をさらに制限する。したがって、アバランシェ増倍ゲインがさらに向上させられる。ある実施形態では、絶縁材料が凹部205に充填され得る。第1の電極は相互接続部またはプラグを備え得る。

【0168】

図10Gは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図10Gにおける光検出デバイス1000gは、図10Dにおける光検出デバイス1000dと同様である。違いが以下に記載されている。ある実施形態では、光検出デバイス1000gは、

複数の第3の接触領域208と、複数の第1の接触領域204とを備える。第3の接触領域208と複数の第1の接触領域204とは千鳥配置になっている。この設計によって、複数の増倍領域が複数の第3の接触領域208と複数の第1の接触領域204との間に形成でき、光検出デバイス1000dと比較して、より均一な電界プロファイルを提供する。また、キャリアは、基板20の第1の表面21に対して実質的に垂直な方向D1に沿って主にドリフトし、これは、垂直方向の移動距離が通常はより短くなるため、光検出デバイス1000gの速さを増加させる。

【0169】

ある実施形態では、第2の接触領域103は、基板20の第1の表面21に対して実質的に垂直な方向D1に沿って第1の接触領域204上に配置される。ある実施形態では、2つの最も外側の第3の接触領域208の間の最大距離d2が伝導領域201の幅w3より大きく、これは、吸収領域10から発生させられたキャリアを、基板20における他の望ましくない領域へと移動させる代わりに、複数の第3の接触領域208と複数の第1の接触領域204との間の複数の増倍領域を通過させる。

【0170】

ある実施形態では、複数の第3の接触領域208は互いから分離され得る。ある実施形態では、複数の第1の接触領域204は互いから分離され得る。ある実施形態では、複数の第3の接触領域208は連続した領域であり得る。ある実施形態では、複数の第1の接触領域204は連続した領域であり得る。

【0171】

ある実施形態では、第1の接触領域204は、第1の平面（図示されていない）の上からの視界において、互いと噛み合った配置であり得る。ある実施形態では、第3の接触領域208は、第1の平面と異なる第2の平面（図示されていない）の上からの視界において、互いと噛み合った配置であり得る。

【0172】

ある実施形態では、1つまたは複数の第3の電極130は、別の平面から切り取られた光検出デバイス1000gの別の断面図から、ビアなどの任意の適切な構造を通じて第3の接触領域208に電氣的に結合され得る。ある実施形態では、1つまたは複数の第1の電極140は、別の平面から切り取られた光検出デバイス1000gの別の断面図から、ビアなどの任意の適切な構造を通じて第1の接触領域204に電氣的に結合され得る。

【0173】

図10Hは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図10Hにおける光検出デバイス1000hは、図10Aにおける光検出デバイス1000aと同様である。違いが以下に記載されている。

【0174】

光検出デバイス1000hは、基板20において、伝導領域201と部分的に重ねられ得る中間ドープ領域210をさらに備える。中間ドープ領域210は、第3の接触領域208の伝導型と同じ伝導型のものである。中間ドープ領域210は、第3の接触領域208のピークドーピング濃度より低いピークドーピング濃度を有するドーパントを含み、例えば、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。

【0175】

光検出デバイス1000hは、基板20に下方ドープ領域212をさらに備える。下方ドープ領域212は、第1の接触領域204の伝導型と同じ伝導型のものである。下方ドープ領域212は、第1の接触領域204のピークドーピング濃度より低いピークドーピング濃度を有するドーパントを含み、例えば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。

【0176】

中間ドープ領域210は、基板20の第1の表面21に対して実質的に垂直な方向に沿って、下方ドープ領域212と第2の接触領域103との間にある。ある実施形態では、下方ドープ領域212のピークドーピング濃度が存在する位置は、中間ドープ領域210

のピークドーピング濃度が存在する位置より深い。

【0177】

ある実施形態では、第3の接触領域208の深さは第1の接触領域204の深さより小さい。深さは、基板20の第1の表面21に対して実質的に垂直な方向に沿って基板20の第1の表面21から測定される。深さは、ドーパントのドーパントプロファイルが $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ などの特定の濃度に達する位置までである。

【0178】

増倍領域Mが、光検出デバイス1000hの動作の間、下方ドープ領域212と中間ドープ領域210との間に形成され得る。増倍領域Mは、1つまたは複数の電荷キャリアを中間ドープ領域210から受信し、1つまたは複数の追加の電荷キャリアを発生させるように構成される。増倍領域Mは、第1の表面21に対して直角であり、吸収領域10において発生させられる1つまたは複数のキャリアからの1つまたは複数の追加の電荷キャリアの発生には十分である厚さを有する。増倍領域Mの厚さは、例えば100～500ナノメートル（nm）の間の範囲であり得る。厚さは、アバランシェ降伏に達するための増倍領域Mの電圧降下を決定することができる。例えば、100 nmの厚さは、増倍領域Mにおいてアバランシェ降伏に達するために必要とされる約5～6ボルトの電圧降下に相当する。他の例では、300 nmの厚さは、増倍領域Mにおいてアバランシェ降伏に達するために必要とされる約13～14ボルトの電圧降下に相当する。

【0179】

ある実施形態では、第3の接触領域208の形、第1の接触領域204の形、第3の電極130の形、および第1の電極140の形は、限定されることはないが、輪であり得る。

【0180】

図10Cにおける光検出デバイス1000bと比較して、光検出デバイス1000hにおける増倍領域Mが基板20のバルク領域に形成でき、これは、図10Cにおいて記載されたトレンチ表面に存在し得る欠陥を回避する。結果として、暗電流がさらに低減される。さらに、第3の電極130と第1の電極140との間の高さの差を縮小することができ、それによって、その後の製作過程がこの設計から恩恵を受けることになる。

【0181】

図10Iは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図10Iにおける光検出デバイス1000iは、図10Hにおける光検出デバイス1000hと同様である。違いが以下に記載されている。基板20は、基礎部分20aと、上方部分20bと、中間部分20cとを備える。中間部分20cは基礎部分20aと上方部分20bとの間にある。吸収領域10、第2の接触領域103、および伝導領域201は上方部分20bにある。第3の接触領域208は中間部分20cにある。第1の接触領域204は基礎部分20aにある。上方部分20bは、中間部分20cの幅より小さい幅を有し、第3の接触領域208は第3の電極130に電氣的に結合されるように露出される。中間部分20cは、基礎部分20aの幅より小さい幅を有し、第1の接触領域204は第1の電極140に電氣的に結合されるように露出される。

【0182】

中間ドープ領域210は中間部分20cにある。下方ドープ領域212は基礎部分20aにある。図10Cにおける光検出デバイス1000bと比較して、光検出デバイス1000hにおける増倍領域Mが中間部分20cのバルク領域に形成でき、これは、図10Cにおいて記載されたトレンチ表面に存在し得る欠陥を回避する。結果として、暗電流がさらに低減される。

【0183】

図11Aは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図11Aにおける光検出デバイス1100aは、図10Aにおける光検出デバイス1000aと同様である。違いが以下に記載されている。

【0184】

第2の接触領域103が基板20にある。別の言い方をすると、第2の接触領域103

10

20

30

40

50

のピークドーピング濃度が基板 20 に位置する。ある実施形態では、第 2 の接触領域 103 は、基板 20 の第 1 の表面 21 の下方にあり、吸収領域 10 と直接的に接触しており、例えば、第 2 の接触領域 103 は、第 3 の接触領域 208 および／または第 1 の接触領域 204 の反対である吸収領域 10 の側面 13 のうちの 1 つと接触してもよく、または、側面 13 のうちの 1 つと重ねられてもよい。結果として、吸収領域 10 から発生させられるキャリアは、吸収領域 10 から、吸収領域 10 と基板 20 との間のヘテロ界面を通じて、第 2 の接触領域 103 に向けて移動することができる。第 2 の電極 160 は、基板 20 の第 1 の表面 21 上にある。

【0185】

吸収領域 10 の代わりに基板 20 に第 2 の接触領域 103 を有することで、第 2 の電極 160、第 1 の電極 140、および第 3 の電極 130 はすべて基板 20 の第 1 の表面 21 の上方において同一平面上に形成され得る。そのため、第 2 の電極 160、第 3 の電極 130、および第 1 の電極 140 のうちの任意の 2 つの間の高さの差を縮小することができ、それによって、その後の製作過程がこの設計から恩恵を受けることになる。他にも、光学信号を吸収する吸収領域 10 の面積をより大きくすることができる。

【0186】

図 11B は、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図 11C は、ある実施形態による図 11B における A-A' の線に沿っての断面図を示している。図 11B における光検出デバイス 1100b は、図 11A における光検出デバイス 1100a と同様である。違いが以下に記載されている。光検出デバイス 1100b は、基板 20 と一体化された修正要素 203 をさらに備える。修正要素 203 は、図 10B および図 10C に記載されているように、修正要素 203 と同様である。

【0187】

図 11D は、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図 11E は、ある実施形態による図 11D における A-A' の線に沿っての断面図を示している。図 11D における B-B' の線に沿っての断面図は、図 10F と同じである。図 11D における光検出デバイス 1100d は、図 11B における光検出デバイス 1100b と同様である。違いが以下に記載されている。第 3 の接触領域 208 は、図 10D および図 10E における第 3 の接触領域 208 と同様である。加えて、光検出デバイス 1100d は、図 10D および図 10F に記載されているような凹部 205 と同様の凹部 205 をさらに備え、第 3 の電極 130 は、第 3 の接触領域 208 に電氣的に結合されるために、凹部 205 に形成される。

【0188】

図 12A は、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図 12A における光検出デバイス 1200a は、図 10C における光検出デバイス 1000b と同様である。違いが以下に記載されている。光検出デバイスの断面図から、光検出デバイス 1200a は、2 つの第 3 の接触領域 208 と、2 つの第 1 の接触領域 204 と、2 つの第 3 の電極 130 と、2 つの第 1 の電極 140 とを備える。第 3 の接触領域 208 は吸収領域 10 の 2 つの反対側に配置され、2 つの第 3 の電極 130 はそれぞれの第 3 の接触領域 208 に電氣的に結合される。第 1 の接触領域 204 は吸収領域 10 の 2 つの反対側に配置され、第 1 の電極 140 はそれぞれの第 1 の接触領域 204 に電氣的に結合される。第 3 の接触領域 208 同士の間隔は第 1 の接触領域 204 の間隔より小さい。基板 20 は、基板 20 の定められた領域を通過する入射光学信号を案内および／または制限するために、吸収領域 10 と関連付けられた導波路 206 をさらに備える。例えば、導波路 206 は、2 つのトレンチ 207 によって定められた隆起であり得る。隆起は吸収領域 10 の幅より大きい幅を有する。入射光学信号は隆起 206 に沿って制限されて伝搬することができる。トレンチは、図 10B および図 10C において言及されたトレンチと同様であり得、図 10B および図 10C において言及されたような修正要素 203 であってもよい。例えば、キャリアは、トレンチの各々の角の近くの領域など、最も強い電界が位置する増倍領域を通過させられ、これによってアバランシェ増倍ゲインを増加させる。図 10B およ

10

20

30

40

50

び図10Cと同様に、第1の接触領域204の各々は、それぞれの第1の電極140に電氣的に結合されるために、それぞれのトレンチ206において露出される。

【0189】

図12Bは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図12Bにおける光検出デバイス1200bは、図12Aにおける光検出デバイス1100aと同様である。違いが以下に記載されている。第3の接触領域208は、図10Dおよび図10Eにおける第3の接触領域208と同様である。例えば、基板20の第1の表面21と、ピークドーパント濃度を有する第3の接触領域208の各々の場所との間の距離が、30nmより大きい。

【0190】

図12Cは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図12Cにおける光検出デバイス1200cは、図10Gにおける光検出デバイス1000gと同様である。違いが以下に記載されている。光検出デバイス1200cは、基板20と一体化された導波路206をさらに備え、導波路206は、図12Aに記載された導波路206と同様である。

【0191】

図13Aは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。光検出デバイスは、吸収領域10と、吸収領域10を支持する基板20とを備える。吸収領域10は、図1Aにおいて記載されているような吸収領域10と同様である。基板20は、図1Aにおいて記載されているような基板20と同様である。図13Aにおける光検出デバイス1300aと図1Aにおける光検出デバイス100aとの間の違いは、以下に記載されている。

【0192】

光検出デバイス1300aは、コレクタ領域1302と、コレクタ領域1302と分離されたエミッタ領域1304とを備える。ある実施形態では、コレクタ領域1302は吸収領域10にある。エミッタ領域1304は、吸収領域10の外側にあり、基板20にある。コレクタ領域1302は、吸収領域10から発生した増幅した光キャリアを収集するためのものである。コレクタ領域1302は伝導型のものである。エミッタ領域1304は、コレクタ領域1302の伝導型と同じ伝導型のものである。吸収領域10の伝導型はコレクタ領域1302の伝導型と同じである。例えば、吸収領域10の伝導型はp型であり、コレクタ領域1302の伝導型およびエミッタ領域1304の伝導型はp型である。ある実施形態では、コレクタ領域1302は、ドーパントを含み、吸収領域10の第1のピークドーピング濃度より高いピークドーパント濃度を伴うドーパントプロファイルを有し、例えば、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲であり得る。

【0193】

ある実施形態では、エミッタ領域1304は、ドーパントを含み、基板20の第2のドーパントの第2のピークドーピング濃度より高いピークドーパント濃度を伴うドーパントプロファイルを有し、例えば、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲であり得る。

【0194】

光検出デバイス1300aは、コレクタ領域1302に電氣的に結合された第1の電極1330と、エミッタ領域1304に電氣的に結合された第2の電極1340とを備える。第1の電極1330はコレクタ電極として供する。第2の電極1340はエミッタ電極として供する。

【0195】

ある実施形態では、図1Aに記載されている伝導領域と同様に、伝導領域（図示されていない）が、ある実施形態では基板20であるキャリア伝導層に形成され得る。伝導領域201はエミッタ領域1304と吸収領域10との間にある。ある実施形態では、伝導領域201は、吸収領域10から発生させられてエミッタ領域1304に向けて移動するキャリアの経路を制限するために、吸収領域10およびエミッタ領域1304と部分的に重

10

20

30

40

50

ねられる。ある実施形態では、伝導領域 201 は、基板 20 の第 1 の表面 21 に対して実質的に垂直な方向に沿って基板 20 の第 1 の表面 21 から測定される深さを有する。深さは、第 2 のドーパントのドーパントプロファイルが $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ などの特定の濃度に達する位置までである。

【0196】

同様に、吸収領域 10、およびある実施形態では基板 20 であるキャリア伝導層の濃度および材料の設計によって、光検出デバイス 1300a はより低い暗電流を有し得る。

【0197】

ある実施形態では、光検出デバイス 1300a を動作させるための方法が、吸収領域 10 と基板 20 との間に逆方向バイアスがかけられた PN 接合を発生させ、基板 20 とエミッタ領域 1304 との間に順方向バイアスがかけられた PN 接合を発生させるステップと、増幅した光電流を発生させるために吸収領域 10 において入射光線を受信するステップとを含む。

【0198】

例えば、光検出デバイス 1300a は、p ドープのエミッタ領域 1304 と、n ドープの基板 20 と、p ドープの吸収領域 10 と、p ドープのコレクタ領域 1302 とを備え得る。p ドープのエミッタ領域 1304 と n ドープの基板 20 との間の PN 接合には、正孔電流が n ドープの基板 20 へと放出されるように順方向バイアスがかけられる。p ドープの吸収領域 10 と n ドープの基板 20 との間の PN 接合には、放出された正孔電流が第 1 の電極 1330 によって収集されるように逆方向バイアスがかけられる。光線（例えば、940 nm、1310 nm、または任意の適切な波長における光線）が光検出デバイス 1300a に入射したとき、電子および正孔を含む光キャリアは吸収領域 10 において発生させられる。光で発生した正孔は第 1 の電極 1330 によって収集される。光で発生した電子は n ドープの基板 20 に向けて方向付けられ、これは、電荷の中立性のため、順方向バイアスを増加させる。増加した順方向バイアスは、第 1 の電極 1330 によって収集された正孔電流をさらに増加させ、光検出デバイス 1300a によって発生させられた増幅した正孔電流をもたらす。

【0199】

したがって、コレクタ領域 1302 によって収集された第 2 の電気信号は、吸収領域 10 によって発生させられた第 1 の電気信号より大きく、それによって、光検出デバイス 1300a はゲインを伴い、延いては向上した信号対雑音比を伴う。

【0200】

ある実施形態では、正孔を収集することができる光検出デバイス 1300a を動作させるための方法が、第 2 の電極 1340 から第 1 の電極 1330 へと流れる第 1 の電流を発生させるために、第 1 の電圧 V1 を第 1 の電極 1330 に印加し、第 2 の電圧 V2 を第 2 の電極 1340 に印加するステップであって、第 2 の電圧 V2 は第 1 の電圧 V1 より高い、ステップと、吸収領域 10 が入射光線から光キャリアを発生させた後、第 2 の電極 1340 から第 1 の電極 1330 へと流れる第 2 の電流を発生させるために、吸収領域 10 において入射光線を受信するステップであって、第 2 の電流は第 1 の電流より大きい、ステップとを含む。

【0201】

ある実施形態では、正孔を収集することができる光検出デバイス 1300a を動作させるための方法が、エミッタ領域 1304 と基板 20 との間に順方向バイアスを形成して第 1 の正孔電流を形成するために、第 2 の電圧 V2 を第 2 の電極 1340 に印加し、基板 20 と吸収領域 10 との間に逆方向バイアスを形成して第 1 の正孔電流の一部分を収集するために、第 1 の電圧を第 1 の電極 1330 に印加するステップであって、第 2 の電圧 V2 は第 1 の電圧 V1 より高い、ステップと、電子および正孔を含む光キャリアを発生させるために吸収領域 10 において入射光線を受信するステップと、第 2 の正孔電流を発生させるために光キャリアの正孔の一部分を増幅させるステップと、コレクタ領域 1302 によって第 2 の正孔電流の一部分を収集するステップであって、第 2 の正孔電流は第 1 の正孔

電流より大きい、ステップとを含む。

【0202】

図13Bは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図13Bにおける光検出デバイス1300bは、図13Aにおける光検出デバイス1300aと同様である。違いが以下に記載されている。光検出デバイスは、基礎領域1308と、基礎領域1308に電氣的に結合された第3の電極1360とをさらに備える。第3の電極1360は基礎電極として供する。ある実施形態では、基礎領域1308はコレクタ領域1302とエミッタ領域1304との間にある。基礎領域1308は、コレクタ領域1302の伝導型と異なる伝導型のものである。ある実施形態では、基礎領域1308は基板20にある。

10

【0203】

ある実施形態では、基礎領域1308は、ドーパントを含み、基板20の第2のドーパントの第2のピークドーピング濃度より高いピークドーパント濃度を伴うドーパントプロファイルを有し、例えば、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲であり得る。

【0204】

第3の電極1360は、基礎接触領域1308にバイアスをかけるためのものである。ある実施形態では、第3の電極1360は、反対の型を伴い、光検出デバイス1300bの動作の間に第1の電極1330によって収集されない光キャリアを除去するためのものである。例えば、光検出デバイス1300bが、回路などによってさらに処理される正孔を収集するように構成される場合、第3の電極1360は電子を除去するためのものである。そのため、光検出デバイス1300bは向上した信頼性を有し得る。

20

【0205】

ある実施形態では、正孔を収集することができる光検出デバイス1300bを動作させるための方法が、エミッタ領域1304と基板20との間に順方向バイアスを形成して第1の正孔電流を形成するために、第2の電圧V2を第2の電極1340に印加し、基板20と吸収領域10との間に逆方向バイアスを形成して第1の正孔電流の一部分を収集するために、第1の電圧を第1の電極1330に印加するステップであって、第2の電圧V2は第1の電圧V1より高い、ステップと、光検出デバイスの基礎接触領域1308に電氣的に結合される第3の電極60に第3の電圧を印加するステップと、電子および正孔を含む光キャリアを発生させるために吸収領域10において入射光線を受信するステップと、第2の正孔電流を発生させるために光キャリアの正孔の一部分を増幅させるステップと、コレクタ領域1302によって第2の正孔電流の一部分を収集するステップとを含み、第3の電圧V3は第1の電圧V1と第2の電圧V2との間である。

30

【0206】

逆方向バイアスが、コレクタ領域1302と基礎領域1308との間のpn接合を横切って形成され、順方向バイアスが、エミッタ領域1304と基礎領域1308との間のpn接合を横切って形成される。ある実施形態では、第3の電圧V3を第3の電極1360に印加するステップと、第1の電圧V1を第1の電極1330に印加し、第2の電圧V2を第2の電極1340に印加するステップとは、同時に動作させられる。

40

【0207】

ある実施形態では、第3の電極1360、第1の電極1330、および第2の電極1340の配置と、基礎領域1308、コレクタ領域1302、およびエミッタ領域1304の配置とは異なり得る。例えば、ある実施形態では、第2の電極1340は第1の電極1330と第3の電極1360との間にある。エミッタ領域1304はコレクタ領域1302と基礎領域1308との間にある。

【0208】

図14Aは、ある実施形態による光検出デバイスの一部分の断面図を示している。光検出デバイスは、以前に記載されているいずれかの光検出デバイスであり得る。光検出デバイスは、吸収領域10の第1の表面11上に保護層1400をさらに備える。ある実施形

50

態では、保護層 1400 は基板 20 の第 1 の表面 21 の一部分をさらに覆い、読み出し電極 330a、330b および制御電極 340a、340b は、保護層 1400 の第 1 の表面 1401 上にあってもよいし、第 1 の表面 1401 上になくてもよい。ある実施形態では、吸収領域 10 は基板 20 の第 1 の表面 21 から突出させられ、保護層 1400 は、基板 20 から露出された吸収領域 10 の側面 13 をさらに覆う。つまり、保護層 1400 は、図 14B に示されているように、吸収領域 10 および基板 20 に共形で形成され得る。ある実施形態では、第 2 の電極 60 は、読み出し電極 330a、330b および制御電極 340a、340b が形成され得る保護層 1400 の表面より高い保護層 1400 の表面に形成される。ある実施形態では、制御電極 340a、340b、読み出し電極 330a、330b、および第 2 の電極 60 は、すべてキャリア伝導層の第 1 の表面上に配置される。つまり、制御電極 340a、340b、読み出し電極 330a、330b、および第 2 の電極 60 は、ある実施形態では保護層 1400 であるキャリア伝導層の同じ側の上にあり、これは、その後の後部の製作過程にとって有益である。

【0209】

保護層 1400 は、アモルファスシリコン、ポリシリコン、エピタキシャルシリコン、酸化アルミニウム（例えば Al_xO_y ）、酸化シリコン（例えば Si_xO_y ）、Ge 酸化物（例えば Ge_xO_y ）、ゲルマニウムシリコン（例えば $GeSi$ ）、窒化ケイ素族（例えば Si_xN_y ）、high-k 材料（例えば HfO_x 、 ZnO_x 、 LaO_x 、 $LaSiO_x$ ）、およびそれらの組み合わせを含み得る。保護層 1400 の存在は様々な効果を有し得る。例えば、保護層 1400 は、吸収領域 10 への表面保護層として供することができ、これは、吸収領域 10 の露出された表面において起こった欠陥によって発生させられる暗電流または漏れ電流を低減することができる。ある実施形態では、保護層 1400 は 20 nm から 100 nm の間の厚さを有し得る。図 14B は、ある実施形態による光検出デバイスの第 2 のドープ領域 108 を通る線に沿っての断面図を示している。ある実施形態では、第 2 のドープ領域 108 または第 2 の接触領域 103 などの吸収領域 10 におけるドープ領域の一部が、保護層 1400 の対応する一部分に形成され得る。つまり、第 2 のドープ領域 108 または第 2 の接触領域 103 などのドープ領域のドーパントは、吸収領域 10 とそれぞれの電極との間の保護層 1400 の対応する部分にあり得る。

【0210】

図 14C は、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図 14D は、ある実施形態による図 14C における A-A' の線に沿っての断面図を示している。図 14E は、ある実施形態による図 14C における B-B' の線に沿っての断面図を示している。図 14C における光検出デバイス 1400c は、図 3A における光検出デバイス 300a と同様である。違いが以下に記載されている。吸収領域 10 は完全に基板 20 に埋め込まれている。光検出デバイス 1400c は吸収領域 10 および基板 20 に保護層 1400 を備え、保護層 1400 は、図 14A に記載されている保護層 1400 と同様である。ある実施形態では、保護層 1400 の厚さは 100 nm から 500 nm の間であり得る。読み出し電極 330a、330b および制御電極 340a、340b は、保護層 1400 の第 1 の表面 1401 上にあり、吸収領域 10 から分離される。ある実施形態では、読み出し電極 330a、330b、制御電極 340a、340b、および第 2 の電極 60 は、保護層 1400 において同一平面上に形成され、そのため、電極同士の間の高さの差は縮小され得る。キャリア伝導層は基板 20 の代わりに保護層 1400 にある。つまり、ヘテロ界面が保護層 1400 と吸収領域 10 との間にある。ある実施形態では、吸収領域 10 の第 1 の表面 11 は保護層 1400 と少なくとも部分的に直接的に接触しており、そのため、ヘテロ界面が吸収領域 10 と保護層 1400 との間に形成される。基板 20 は、真性であり得、図 1A における記載に限定されなくてもよい。

【0211】

ある実施形態では、第 2 のドープ領域 108 は、図 3A に記載されている第 2 のドープ領域 108 と同様である。違いが以下に記載されている。第 2 のドープ領域 108 は保護層 1400 および吸収領域 10 にある。ある実施形態では、第 2 のドープ領域 108 は、

第2の型を伴うキャリアを案内して、第2の電極60に向けて移動させるように、および、回路によってさらに除去させるように、保護層1400の厚さ以上の深さを有する。深さは、保護層1400の第1の表面1401に対して実質的に垂直な方向に沿って保護層1400の第1の表面1401から測定される。深さは、第4のドーパントのドーパントプロファイルが $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ などの特定の濃度に達する位置までである。

【0212】

図1Aにおける光検出デバイス100aと同様に、ある実施形態では、吸収領域10と、ある実施形態では保護層1400であるキャリア伝導層との間のヘテロ界面における第1のドーパントのドーピング濃度は、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。ある実施形態では、ヘテロ界面における第1のドーパントのドーピング濃度は、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ との間、または、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。ある実施形態では、ヘテロ界面における第2のドーパントのドーピング濃度は、ヘテロ界面における第1のドーパントのドーピング濃度より低い。ある実施形態では、ヘテロ界面における第2のドーパントのドーピング濃度は $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ との間である。

【0213】

ある実施形態では、第1のドーパントの段階的なドーピングプロファイルの濃度は、第1のドーピング領域302a、302bがn型のものである場合には電子などのキャリアの移動を容易にするように、第2の表面12から吸収領域10の第1の表面11へと徐々に低減させられる。

【0214】

ある実施形態では、第1のスイッチ（符号付けされていない）および第2のスイッチ（符号付けされていない）は、ある実施形態では保護層1400であるキャリア伝導層に部分的に形成される。ある実施形態では、第1のドーピング領域302a、302bは保護層1400にある。ある実施形態では、第1のドーピング領域302a、302bの第3のピークドーピング濃度は保護層1400にある。

【0215】

ある実施形態では、第1のドーピング領域302a、302bの各々の深さは保護層1400の厚さより小さい。深さは、保護層1400の第1の表面1401から、ドーパントプロファイルが $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ などの特定の濃度に達する位置まで測定される。

【0216】

ある実施形態では、キャリアの復調およびキャリアの収集など、吸収機能およびキャリア制御機能は、吸収領域10と、ある実施形態では保護層1400であるキャリア伝導層とでそれぞれ動作する。

【0217】

ある実施形態では、伝導領域201は、ある実施形態では保護層1400であるキャリア伝導層に形成され得る。伝導領域201は、図3Aに記載されている伝導領域201と同様であり得、そのような伝導領域201は、保護層1400における第1のドーピング領域302a、302bの一部分と重ねられる。違いが以下に記載されている。ある実施形態では、伝導領域201は、第1の型を伴うキャリアを制限および案内して、第1のドーピング領域302a、302bの一方に向けて移動させるように、保護層1400の厚さ以上の深さを有する。深さは、保護層1400の第1の表面1401に対して実質的に垂直な方向に沿って保護層1400の第1の表面1401から測定される。深さは、第2のドーパントのドーパントプロファイルが $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ などの特定の濃度に達する位置までである。

【0218】

ある実施形態では、吸収領域10の幅が、2つの制御電極340a、340bの間の距離より小さく、これは、2つの制御電極340a、340bの間の漏れ電流を低減することができる。図14Fは、ある実施形態による光検出デバイスの断面図を示している。図14Fにおける光検出デバイス1400fは、図14Eにおける光検出デバイス1400

eと同様である。違いが以下に記載されている。吸収領域10は基板20に部分的に埋め込まれている。保護層1400は、吸収領域10の露出された側面13を覆うために、吸収領域10および基板20に共形で形成される。伝導領域201は、吸収領域10を包囲することができる、または、吸収領域10の表面の全部と重ねることができ、つまり、吸収領域10の第1の表面11、第2の表面12、および全部の側面13と重ねることができる。

【0219】

ある実施形態では、第1のドープ領域302a、302bの各々の深さは保護層1400の厚さより大きい。深さは、保護層1400の第1の表面1401から、ドーパントプロファイルが $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ などの特定の濃度に達する位置まで測定される。ある実施形態では、第1のドープ領域302a、302bの各々の深さは保護層1400の厚さより小さい。深さは、保護層1400の第1の表面1401から、ドーパントプロファイルが $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ などの特定の濃度に達する位置まで測定される。

【0220】

図14Gは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図14Hは、ある実施形態による図14GにおけるA-A'の線に沿っての断面図を示している。図14Iは、ある実施形態による図14GにおけるB-B'の線に沿っての断面図を示している。図14Gにおける光検出デバイス1400gは、図14Cにおける光検出デバイス1400cと同様である。違いが以下に記載されている。第2のドープ領域108が基板20にある。別の言い方をすると、第2のドープ領域108の第4のピークドーピング濃度が基板20に位置する。ある実施形態では、第2のドープ領域108は、保護層1400の第1の表面1401の下方にあり、吸収領域10と直接的に接触しており、例えば、第2のドープ領域108は、吸収領域10の側面13のうちの1つと接触してもよく、または、側面13のうちの1つと重ねられてもよい。結果として、吸収領域10から発生させられるキャリアは、吸収領域10から、吸収領域10と基板20との間のヘテロ界面を通じて、第2のドープ領域108に向けて移動することができる。第2の電極60は、保護層1400の第1の表面1401上にある。

【0221】

図14Jは、ある実施形態による光検出デバイスの上面図を示している。図14Kは、ある実施形態による図14JにおけるA-A'の線に沿っての断面図を示している。図14Lは、ある実施形態による図14JにおけるB-B'の線に沿っての断面図を示している。図14Jにおける光検出デバイス1400jは、図14Gにおける光検出デバイス1400gと同様である。違いが以下に記載されている。ある実施形態では、伝導領域201の幅は2つの制御電極340a、340bの間の距離より小さい。第2のドープ領域108は吸収領域10の少なくとも一部分を包囲することができる。第2のドープ領域108は、吸収領域10における光で発生した電荷が基板20に達するのを阻止することができ、これは、光検出デバイス1400jの光で発生したキャリアの収集効率を増加させる。第2のドープ領域108は、基板20における光で発生した電荷が吸収領域10に達するのを阻止することもでき、これは、光検出デバイス1400jの光で発生したキャリアの速さを増加させる。第2のドープ領域108は、吸収領域10の材料と同じ材料、基板20の材料と同じ材料、吸収領域10の材料と基板20の材料との組み合わせの材料、または、吸収領域10の材料および基板20の材料と異なる材料を含み得る。ある実施形態では、第2のドープ領域108の形は、限定されることはないが輪であり得る。ある実施形態では、第2のドープ領域108は、光検出装置の2つの隣接するピクセルの間のクロストークを低減することができる。ある実施形態では、第2のドープ領域108は、基板20の第1の表面21に達するように延びる。

【0222】

図15Aは、2つの端子を伴うゲイン構成要素1500aを示している。ゲイン構成要素1500aは、軽度ドープ領域1510（例えばn領域であり、例えば $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）と、エミッタ領域1520と、コレクタ領域1530とを備える。

【0223】

コレクタ領域1530はキャリアを収集するためのものであり、コレクタ電極(C)に結合される。コレクタ領域1530は、重度pドープ($p++$ 、例えば $1e18 \sim 1e21 \text{ cm}^{-3}$)などの伝導型のものである。エミッタ領域1520はキャリアを放出するためのものであり、エミッタ電極(E)に結合される。エミッタ領域1520は、重度pドープ($p++$)などの伝導型のものである。

【0224】

軽度ドープ領域1510、エミッタ領域1520、コレクタ領域1530の材料はケイ素、ゲルマニウム、ケイ素-ゲルマニウム、またはIII-V材料であり得る。

【0225】

ゲイン構成要素1500aによって受信される光キャリアを増幅するための方法が、第1の電圧(例えば、正の電圧)をエミッタ電極Eに印加するステップと、第2の電圧(例えば、接地)をコレクタ電極Cに印加するステップであって、それによって、順方向バイアスが、エミッタ領域1520と軽度ドープ領域1510との間のpn接合を横切って作り出され、逆方向バイアスが、電気信号(例えば、正孔電流)をエミッタから収集するためにコレクタ領域1530と軽度ドープ領域1510との間のpn接合を横切って作り出される、ステップと、エミッタ領域1520と軽度ドープ領域1510との間の順方向バイアスを増加させる、軽度ドープ領域1510において第1の型のキャリア(例えば、ゲイン構成要素1500aの外側からの電子)を受信するステップと、増幅した電気信号(例えば、増幅した正孔電流)として、コレクタ領域1530によってエミッタ領域1520から放出される第2の型のキャリア(例えば、正孔)を収集するステップとを含む。

【0226】

結果として、ゲイン構成要素は、軽度ドープ領域における受信したキャリアに基づいて、増幅した電気信号をコレクタ領域に提供し、これは信号対雑音比を向上させる。

【0227】

図15Bは、エミッタ領域1520が中度ドープ領域1540(例えば $n+$ 領域であり、例えば $1e16 \sim 1e19 \text{ cm}^{-3}$)によって包囲されているゲイン構成要素1500bの別の実施を示している。

【0228】

図15Cは、コレクタ領域1530が中度ドープ領域1540(例えば $n+$ 領域であり、例えば $1e16 \sim 1e19 \text{ cm}^{-3}$)によって包囲されているゲイン構成要素1500cの別の実施を示している。

【0229】

図15Dは、エミッタ領域1520およびコレクタ領域1530が中度ドープ領域(例えば $n+$ 領域であり、例えば $1e16 \sim 1e19 \text{ cm}^{-3}$)によって包囲されているゲイン構成要素1500dの別の実施を示している。

【0230】

図16Aは、3つの端子を伴うゲイン構成要素1600aを示している。ゲイン構成要素1600aは、軽度ドープ領域1610(例えば、 n 領域)と、エミッタ領域1620と、基礎領域1640と、コレクタ領域1630とを備える。

【0231】

コレクタ領域1630はキャリアを収集するためのものであり、コレクタ電極(C)に結合される。コレクタ領域1630は、重度pドープ($p++$)などの伝導型のものである。基礎領域1640は基礎電極(B)に結合され、重度nドープ($n++$)などの伝導型のものである。エミッタ領域1620はキャリアを放出するためのものであり、エミッタ電極(E)に結合される。エミッタ領域1620は、重度pドープ($p++$)などの伝導型のものである。

【0232】

軽度ドープ領域1610、エミッタ領域1620、基礎領域1640、およびコレクタ領域1630の材料はケイ素、ゲルマニウム、ケイ素-ゲルマニウム、またはIII-V

10

20

30

40

50

材料であり得る。

【0233】

ゲイン構成要素によって受信される光キャリアを増幅するための方法が、順方向バイアスがかけられたpn接合を形成するために、エミッタ電極Eと基礎電極Bとの間に第1の電圧差を確立するステップと、逆方向バイアスがかけられたpn接合を形成するために、コレクタ電極Cと基礎電極Bとの間に第2の電圧差を確立するステップと、軽度ドープ領域1610において第1の型のキャリア（例えば、ゲイン構成要素1600aの外側からの電子）を受信するステップと、別の順方向バイアスがかけられたpn接合を形成するために、第1の電圧差を増加させるステップと、増幅した電気信号として、コレクタ領域1630によってエミッタ領域1620から放出される第2の型のキャリア（例えば、正孔）を収集するステップとを含む。

10

【0234】

結果として、ゲイン構成要素1600aは、軽度ドープ領域1610における受信したキャリアに基づいて、増幅した電気信号をコレクタ領域1630に提供し、これは信号対雑音比を向上させる。

【0235】

図16Bは、エミッタ領域1620および基礎領域1640が中度ドープ領域1650（例えば、n+領域）によって包囲されているゲイン構成要素1600bの別の実施を示している。

20

【0236】

図16Cは、コレクタ領域1630および基礎領域1640が中度ドープ領域1650（例えば、n+領域）によって包囲されているゲイン構成要素1600cの別の実施を示している。

【0237】

図16Dは、エミッタ領域1620、基礎領域1640、およびコレクタ領域1630が中度ドープ領域1650（例えば、n+領域）によって包囲されているゲイン構成要素1600dの別の実施を示している。

【0238】

図17Aは、軽度ドープ領域1710（例えば、n-Si）と、吸収領域1720（例えば、p-Ge）と、ゲイン構成要素1730（例えば、Si）とを備えるCMOSイメージセンサ1700a（または光検出装置）を示している。ゲイン構成要素1730は、図15A～図15Dおよび図16A～図16Dに記載されているような2つの端子または3つの端子のゲイン構成要素であり得る。

30

【0239】

吸収領域1720または軽度ドープ領域1710は、III-V族の半導体材料（例えば、InGaAs、GaAs/AlAs、InP/InGaAs、GaSb/InAs、またはInSb）、IV族の元素（例えば、Ge、Si、またはSn）を含む半導体材料、 $Si_xGe_ySn_{1-x-y}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)、 $Ge_{1-a}Sna$ ($0 \leq a \leq 0.1$)、または $Ge_{1-x}Si_x$ ($0 \leq x \leq 0.1$)などの化合物であり得る。

【0240】

ある実施形態では、軽度ドープ領域1710（例えば、n-Si）のバンドギャップが吸収領域1720（例えば、p-Ge）のバンドギャップより大きい。ゲイン構成要素1730は、増幅した電気信号を発生させるために光キャリアを収集するためのものである。吸収領域1720は、第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントを含む。軽度ドープ領域1710は、CMOSイメージセンサ1700aの暗電流を低減させるために（例えば、10pA未満）、第1のピークドーピング濃度より小さい第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントを含む。

40

【0241】

第1のピークドーピング濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ との間であり得る。ある実施形態では、第2のピークドーピング濃度に対する第1のピークドーピン

50

グ濃度の比は、CMOSイメージセンサ1700aが低暗電流（例えば、10pA以下）および高量子効率を示すように、10以上である。吸収領域1720は階調ドーピングプロファイルを有することができ、第1のピークドーピングは、吸収領域1720と軽度ドーピング領域1710との間の境界面から遠くにある。

【0242】

吸収領域1720は、電圧（例えば、接地）に結合された重度ドーピング領域1722（例えば、p++）を備え得る。軽度ドーピング領域1710は第1の型の光キャリア（例えば、電子）を受信することができ、重度ドーピング領域1722は第2の型の光キャリア（例えば、正孔）を受信することができる。

【0243】

ゲイン構成要素1730によって受信された光キャリアを増幅するための方法が、第1の型および第2の型（例えば、電子および正孔）を有する光キャリアを発生させるために、吸収領域1720（例えば、p-Ge）において光信号を受信するステップと、第1の型の光キャリア（例えば、電子）をゲイン領域1730へと操縦するステップと、第2の型（例えば、正孔）を有する増幅した電気信号を発生させるステップとを含む。

【0244】

それによって、CMOSイメージセンサ1700aは、光学信号に基づいて、増幅した電気信号を提供し、信号対雑音比を向上させる。

【0245】

ある実施では、光線吸収領域は異なる材料1750（例えば、ポリSi）によって、（点線で示されているように）覆われ得る。

【0246】

図17BはCMOSセンサ1700bの実施を示しており、光線吸収領域1720は軽度ドーピング領域1710に部分的に埋め込まれている。

【0247】

図17CはCMOSセンサ1700cの実施を示しており、光線吸収領域1720は軽度ドーピング領域1710に完全に埋め込まれている。

【0248】

図17Aと同様に、図18Aは、軽度ドーピング領域1810（例えば、n-Si）と、吸収領域1820（例えば、p-Ge）と、ゲイン構成要素1830（例えば、Si）とを備えるCMOSイメージセンサ1800aを示している。ゲイン構成要素1830は、図15A～図15Dおよび図16A～図16Dに記載されているような2つの端子または3つの端子のゲイン構成要素であり得る。

【0249】

軽度ドーピング領域1810は、電圧（例えば、接地）に結合された重度ドーピング領域1822（例えば、p++）を備え得る。軽度ドーピング領域1810は、第1の型の光キャリア（例えば、電子）と第2の型の光キャリア（例えば、正孔）との両方を受信することができる。第1の型の光キャリアがゲイン構成要素1830へと方向付けられる一方で、第2の型の光キャリアは重度ドーピング領域1822によって収集される。

【0250】

ゲイン構成要素1830によって受信された光キャリアを増幅するための方法が、第1の型および第2の型（例えば、電子および正孔）を有する光キャリアを発生させるために、吸収領域1820（例えば、p-Ge）において光信号を受信するステップと、第1の型の光キャリア（例えば、電子）をゲイン領域1830へと操縦するステップと、第2の型（例えば、正孔）を有する増幅した電気信号を発生させるステップとを含む。

【0251】

それによって、CMOSイメージセンサ1800aは、光学信号に基づいて、増幅した電気信号を提供し、信号対雑音比を向上させる。

【0252】

ある実施では、光線吸収領域1820は異なる材料（例えば、ポリSi）によって、（

10

20

30

40

50

点線で示されているように) 覆われ得る。

【0253】

図18BはCMOSセンサ1800bの実施を示しており、光線吸収領域は軽度ドーブ領域1810に部分的に埋め込まれている。

【0254】

図18CはCMOSセンサ1800cの実施を示しており、光線吸収領域は軽度ドーブ領域1810に完全に埋め込まれている。

【0255】

図19Aは、ゲインを伴う光検出装置1900aを示している。光検出装置1900aは、軽度ドーブ領域1910(例えば、 $n-Si$)と、吸収領域1920(例えば、 $p-Ge$)と、2つのゲイン構成要素1930aおよび1930bと、制御端子(M1およびM2)と各々が結合される2つの制御領域1940aおよび1940b($p++$ として示されているが、非ドーブまたは軽度ドーブされ得る)とを備える。ゲイン構成要素1930a、1930bは、図15A~図15Dおよび図16A~図16Dに記載されているような2つの端子または3つの端子のゲイン構成要素であり得る。

【0256】

吸収領域1920または軽度ドーブ領域1910は、III-V族の半導体材料(例えば、 $InGaAs$ 、 $GaAs/AlAs$ 、 $InP/InGaAs$ 、 $GaSb/InAs$ 、または $InSb$)、IV族の元素(例えば、 Ge 、 Si 、または Sn)を含む半導体材料、 $Si_xGe_ySn_{1-x-y}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$)、または $Ge_{1-a}Sna$ ($0 \leq a \leq 0.1$)などの化合物であり得る。

【0257】

ある実施形態では、軽度ドーブ領域1910(例えば、 $n-Si$)のバンドギャップが吸収領域1920(例えば、 $p-Ge$)のバンドギャップより大きい。ゲイン構成要素1930a、1930bは、増幅した電気信号を発生させるために光キャリアを収集するためのものである。吸収領域1920は、第1のピークドーピング濃度を有する第1のドーパントを含む。軽度ドーブ領域1910は、光検出装置1900aの暗電流を低減させるために(例えば、10pA未満)、第1のピークドーピング濃度より小さい第2のピークドーピング濃度を有する第2のドーパントを含む。

【0258】

第1のピークドーピング濃度および第2のピーク濃度は、図17Aに記載されている例と同様であり得る。

【0259】

吸収領域1920は、電圧 V_0 (例えば、接地)に結合された重度ドーブ領域1922(例えば、 $p++$)を備え得る。軽度ドーブ領域1910は第1の型の光キャリア(例えば、電子)を受信することができ、重度ドーブ領域1922は第2の型の光キャリア(例えば、正孔)を受信することができる。

【0260】

制御信号M1およびM2は、第1の型の光キャリアをゲイン構成要素1930aまたは1930bの一方に向けて操縦することができる。

【0261】

ゲイン構成要素によって受信された光キャリアを増幅するための方法が、第1の型および第2の型(例えば、電子および正孔)を有する光キャリアを発生させるために、吸収領域1920(例えば、 $p-Ge$)において光信号を受信するステップと、第1の型の光キャリア(例えば、電子)をゲイン領域1930aまたは1930bへと操縦するステップと、第2の型(例えば、正孔)を有する増幅した電気信号を発生させるステップとを含む。

【0262】

それによって、光検出装置1900aは、光学信号に基づいて、増幅した電気信号を提供し、信号対雑音比を向上させる。

【0263】

ある実施では、光線吸収領域 1920 は異なる材料（例えば、ポリ Si）によって覆われ得る（ここでは図示されていない）。

【0264】

ある実施では、光線吸収領域 1920 は、軽度ドープ領域 1910 に、部分的に（例えば、図 17B に示されているような吸収領域 1720 と同様に）、または、完全に（例えば、図 17C に示されているような吸収領域 1720 と同様に）、埋め込まれ得る。

【0265】

図 19B は、ゲインを伴う光検出装置 1900b を示している。光検出装置 1900b は、エミッタ信号（E）が、キャリアを操縦するために、および、キャリアを増幅するために使用され得るように、制御領域がエミッタ領域と組み合わせられることを除いて、図 19A における光検出装置 1900a と同様である。

【0266】

図 20A は、図 19A または図 19B に記載されているものなど、ゲインを伴う光検出装置 2000a の例の上面図を示しており、軽度ドープ領域は基板 2010 である。

【0267】

図 20B は、図 19A または図 19B に記載されているものなど、ゲインを伴う光検出装置 2000b の例の上面図を示しており、基板 2010 は、真性（例えば、i-Si）、軽度 p ドープ（p-Si）、または軽度 n ドープ（n-Si）であり得る。軽度ドープ領域 2012（例えば、n-Si）は、注入、拡散、または他の適切な製作方法によって、基板 2010 に形成され得る。ある実施では、吸収領域 2020 の一部分（例えば、p-Ge）が、軽度ドープ領域 2012 ではない基板 2010 の領域に形成され得る。吸収領域 2020 は、吸収領域 2020 と基板 2010 との間に形成される軽度ドープ経路 2030（例えば、n-Si）を通じて、軽度ドープ領域 2012 に結合され得る。吸収領域 2020 によって発生させられる光キャリア（例えば、電子）は、吸収領域 2020 から軽度ドープ領域 2012 へとドリフトすることができ、そのため、ゲイン構成要素のうちの 1 つが、制御信号に基づいて、増幅した電気信号を生成することができる。したがって、光検出装置 2000b は、真性、軽度 p ドープ、または軽度 n ドープで基板に形成され得る。

【0268】

図 21 は、ゲインを伴う光検出装置 2100a を示す。光検出装置 2100a は、基板 2150（例えば、n-Si、p-Si、または真性 Si）に形成された軽度ドープ領域 2110（例えば、n-Si）と、吸収領域 2120（例えば、p-Ge）と、2 つのゲイン構成要素 2130a および 2130b と、制御端子（M1 および M2）と各々が結合される 2 つの制御領域 2140a および 2140b（p++ として示されているが、非ドープまたは軽度ドープされ得る）とを備える。ゲイン構成要素 2130a、2130b は、図 15A～図 15D および図 16A～図 16D に記載されているような 2 つの端子または 3 つの端子のゲイン構成要素であり得る。

【0269】

したがって、光検出装置 2100a は、真性、軽度 p ドープ、または軽度 n ドープで基板 2150 に形成され得る。

【0270】

吸収領域 2120 または軽度ドープ領域 2110 は、図 19A に記載されているような材料を用いて形成され得る。

【0271】

ある実施形態では、軽度ドープ領域 2110 は、2 つの制御領域 2140a および 2140b と部分的または完全に重なり得る。

【0272】

吸収領域は、電圧 V0（例えば、接地）に結合された重度ドープ領域 2122（例えば、p++）を備え得る。軽度ドープ領域 2110 は第 1 の型の光キャリア（例えば、電子）を受信することができ、重度ドープ領域 2122 は第 2 の型の光キャリア（例えば、正

10

20

30

40

50

孔)を受信することができる。

【0273】

制御信号M1およびM2は、図19Aを参照して記載されているように、第1の型の光キャリアをゲイン構成要素2130aまたは2130bの一方に向けて操縦する。

【0274】

ある実施では、光線吸収領域2120は異なる材料(例えば、ポリSi)によって覆われ得る(ここでは図示されていない)。

【0275】

ある実施では、光線吸収領域2120は、軽度ドープ領域2110に、部分的に(例えば、図17Bに示されているような吸収領域1720と同様に)、または、完全に(例えば、図17Cに示されているような吸収領域1720と同様に)、埋め込まれ得る。

【0276】

ある実施では、図19Bと同様に、エミッタ信号(E)が、キャリアを操縦するために、および、キャリアを増幅させるために使用できるように、制御領域2140aおよび2140bはエミッタ領域と組み合わせられ得る。

【0277】

図22Aは、図21に記載されている光検出装置2100aなど、ゲインを伴う光検出装置2200aの例の上面図を示しており、図22Bは、図21に記載されている光検出装置2100aなど、ゲインを伴う光検出装置2200bの例の上面図を示しており、吸収領域2120(例えば、p-Ge)の一部分が、軽度ドープ領域2110ではない基板2150の領域に形成され得る。軽度ドープ領域2110(例えば、n-Si)は、注入、拡散、または他の適切な製作方法によって、基板2150に形成され得る。吸収領域2120は、吸収領域2120と基板2150との間に形成される軽度ドープ経路2230(例えば、n-Si)を通じて、軽度ドープ領域2110に結合され得る。吸収領域2120によって発生させられる光キャリア(例えば、電子)は、吸収領域2120から軽度ドープ領域2110へとドリフトすることができ、そのため、ゲイン構成要素のうちの1つが、制御信号に基づいて、増幅した電気信号(例えば、正孔電流)を生成することができる。

【0278】

図23Aは、ゲインを伴う光検出装置2300aの例の上面図を示しており、図18A~図18Cと同様に、重度ドープ領域2322(例えば、p++)が、吸収領域2320(例えば、p-Ge)の代わりに軽度ドープ領域2310(例えば、n-Si)に形成される。軽度ドープ領域2310は、第1の型の光キャリア(例えば、電子)と第2の型の光キャリア(例えば、正孔)との両方を受信することができる。第1の型の光キャリアが制御信号2340aまたは2340bに基づいてゲイン構成要素2330aまたは2330bへと方向付けられる一方で、第2の型の光キャリアは重度ドープ領域2322によって収集される。

【0279】

図23Bは、図23Aと同様であるゲインを伴う光検出装置2300bの他の例の上面図を示しているが、吸収領域2320(例えば、p-Ge)の一部分が、軽度ドープ領域2310でない基板2312の領域に形成され得る。吸収領域2320は、吸収領域2320と基板2312との間に形成される軽度ドープ経路2350(例えば、n-Si)を通じて、軽度ドープ領域2310に結合され得る。吸収領域2320によって発生させられる光キャリア(例えば、電子)は、吸収領域2320から軽度ドープ領域2310へとドリフトすることができ、そのため、ゲイン構成要素2330aまたは2330bのうちの1つが、制御信号2340aまたは2340bに基づいて、増幅した電気信号(例えば、正孔電流)を生成することができる。

【0280】

図24Aは、図22Aと同様である、ゲインを伴う光検出装置2400aの例の上面図を示しているが、重度ドープ領域2422(例えば、p++)が、光線吸収領域2420

10

20

30

40

50

(例えば、 $p-Ge$)の外側に形成される(図18A～図18Cに示されたものと同様)。吸収領域2420の一部分(例えば、 $p-Ge$)が、軽度ドープ領域2410ではない基板2450の領域に形成され得る。軽度ドープ領域2410は、ゲイン構成要素2430aおよび2430bに隣接する2つの制御領域2440aおよび2440b(例えば、 $p++$)と部分的に重なることができる。吸収領域2420によって発生させられる光キャリア(例えば、電子)は、吸収領域2420から軽度ドープ領域2410へとドリフトすることができ、そのため、ゲイン構成要素2430aまたは2430bのうちの1つが、制御信号に基づいて、増幅した電気信号(例えば、正孔電流)を生成することができる。

【0281】

図24Bは、図22Bと同様である、ゲインを伴う光検出装置2400bの他の例の上面図を示しているが、重度ドープ領域2422(例えば、 $p++$)が、光線吸収領域2420(例えば、 $p-Ge$)の外側に形成される(図18A～図18Cに示されたものと同様)。吸収領域2420は、吸収領域2420と基板2450との間に形成される軽度ドープ経路2460(例えば、 $n-Si$)を通じて、軽度ドープ領域2410に結合され得る。吸収領域2420によって発生させられる光キャリア(例えば、電子)は、吸収領域2420から軽度ドープ領域2410へとドリフトすることができ、そのため、ゲイン構成要素2430aまたは2430bのうちの1つが、制御信号2440aおよび2440bに基づいて、増幅した電気信号(例えば、正孔電流)を生成することができる。

【0282】

図25A～図25Cは、ある実施形態による光検出デバイスの一部分の断面図を示している。光検出デバイスは、先に記載されているいずれかの実施形態と実質的に同じ構造を備え得る。ある実施形態では、先の記載において明確に言及されていない場合、図25Aを参照すると、吸収領域10は全体が基板20の第1の表面21にあり得る。図25Bを参照すると、吸収領域10は基板20に部分的に埋め込まれ得る。つまり、側面の各々の一部が基板20と接触している。図25Cを参照すると、吸収領域10は基板20に全体的に埋め込まれ得る。つまり、側面が基板20と接触している。

【0283】

図26A～図26Dは、ある実施形態による光検出デバイスの制御領域C1、C2、C3、C4の例を示している。光検出デバイスは、先に記載されているいずれかの実施形態と実質的に同じ構造を備え得る。

【0284】

図26Aを参照すると、ある実施形態では、制御電極340は、真性領域が制御電極340の真下にある基板20の第1の表面21上にあり得る。制御電極340は、基板20の材料、または保護層の材料、および／または、制御電極340の材料、および／または、基板20もしくは保護層1400のドーパントもしくは欠陥レベルを含む様々な因子に応じて、ショットキー接触、抵抗接触、または、それらの2つの間の中間の特性を有する組み合わせの形成をもたらす得る。制御電極340は制御電極340a、340b、340c、340dのいずれか1つであり得る。

【0285】

図26Bを参照すると、ある実施形態では、スイッチの制御領域は、制御電極340の下に、基板20においてドープ領域303をさらに備える。ある実施形態では、ドープ領域303は、第1のドープ領域302a、302bの伝導型と異なる伝導型のものである。ある実施形態では、ドープ領域303はドーパントとドーパントプロファイルとを含む。ドープ領域303のピークドーパント濃度は、制御電極340の材料、および／または、基板20の材料、および／または、基板20のドーパントもしくは欠陥レベルに依存し、例えば、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の間である。ドープ領域303は、制御電極340と、ショットキー接触、抵抗接触、または、それらの組み合わせを形成する。ドープ領域は、制御信号の制御に基づいて吸収領域10から発生させられるキャリアを復調するためのものである。制御電極340は制御電極340a、340b、340c、340dのいずれか1つであり得る。

10

20

30

40

50

【0286】

図26Cを参照すると、ある実施形態では、スイッチの制御領域は、基板20と制御電極340との間に誘電体層350をさらに備える。誘電体層350は、制御電極340から基板20への直接的な電流伝導を防止するが、制御電極340への電圧の印加にตอบสนองして、電界を基板20内に確立させることができる。例えば制御領域C1、C2の間といった、制御領域のうちの2つの間の確立された電界は、基板20内の電荷キャリアを誘引または反発することができる。制御電極340は制御電極340a、340b、340c、340dのいずれか1つであり得る。

【0287】

図26Dを参照すると、ある実施形態では、スイッチの制御領域は、制御電極340の下に、基板20においてドープ領域303をさらに備え、基板20と制御電極340との間に誘電体層350も備える。制御電極340は制御電極340a、340b、340c、340dのいずれか1つであり得る。

【0288】

ある実施形態では、読み出し電極の真下のキャリア伝導層の領域は真性であり得る。例えば、スイッチの各々の読み出し電極の真下の基板の領域は真性であり得る。他の例について、スイッチの各々の読み出し電極の真下の保護層の領域は真性であり得る。読み出し電極は、基板20の材料、または保護層1400の材料、または保護層の材料、および／または、読み出し電極の材料、および／または、基板20もしくは保護層1400のドーパントもしくは欠陥レベルを含む様々な因子に応じて、ショットキー接触、抵抗接触、または、それらの2つの間の中間の特性を有する組み合わせの形成をもたらし得る。

【0289】

ある実施形態では、誘電体層350は、限定されることはないが、 SiO_2 を含み得る。ある実施形態では、誘電体層350は、限定されることはないが、 Si_3N_4 、 SiO_N 、 SiN_x 、 SiO_x 、 GeO_x 、 Al_2O_3 、 Y_2O_3 、 TiO_2 、 HfO_2 、または ZrO_2 を含むhigh-k材料を含み得る。ある実施形態では、誘電体層350は、限定されることはないが、非晶質Si、多結晶Si、結晶性Si、ゲルマニウム-シリコン、またはそれらの組み合わせといった半導体材料を含み得る。

【0290】

ある実施形態では、光検出デバイスの伝導領域201は任意の適切な設計であり得る。例として図3A～図3B、図4A～図4C、図5A～図5C、図6A～図6G、図7A～図7E、図8A～図8E、図14C～図14Lにおける光検出デバイスの伝導領域201を挙げると、伝導領域201の幅は制御電極340a、340bの間の距離より小さくできる。ある実施形態では、伝導領域201は、図26Bおよび図26Dに記載されている2つのドープ領域303のどの部分とも重ねられなくてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は、図26Bおよび図26Dに記載されている2つのドープ領域303の一部分と重ねられてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は、図26Bおよび図26Dに記載されているドープ領域303全体と重ねられてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は第1のドープ領域302a、302bの各々のどの部分とも重ねられなくてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は第1のドープ領域302a、302bの各々の一部分と重ねられてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は第1のドープ領域302a、302b全体と重ねられてもよい。

【0291】

他の例として図10Aおよび図11Aにおける光検出デバイスの伝導領域201を挙げると、伝導領域201は、第3の接触領域208のどの部分とも重ねられなくてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は第3の接触領域208の一部分と重ねられてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は第3の接触領域208全体と重ねられてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は第1の接触領域204のどの部分とも重ねられなくてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は第1の接触領域204の一部分と重ねられてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は第1の接触領域204全体と重ねられ

10

20

30

40

50

てもよい。

【0292】

他の例として図1A～図1Dおよび図2A～図2Fにおける光検出デバイスの伝導領域201を挙げると、伝導領域201は、第1のドープ領域102のどの部分とも重ねられなくてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は第1のドープ領域102の一部分と重ねられてもよい。ある実施形態では、伝導領域201は第1のドープ領域102全体と重ねられてもよい。

【0293】

ある実施形態では、例えば図1A～図11E、図13～図26Dにおける光検出デバイスといった、先に言及したいずれかの光検出デバイスは、基板20の定められた領域を通過する入射光学信号を案内および／または制限するために、図12A～図12Cに記載した導波路206と同様の導波路を含み得る。図27Aは、撮像システムの例の実施形態のブロック図である。撮像システムは、撮像モジュールと、検出された物体の三次元モデルを再構築するように構成されたソフトウェアモジュールとを備え得る。撮像システムまたは撮像モジュールは、モバイルデバイス（例えば、スマートフォン、タブレット、車両、ドローンなど）、モバイルデバイスのための補助機器（例えば、ウェアラブルデバイス）、車両および固定施設（例えば、工場）におけるコンピュータシステム、ロボットシステム、監視システム、または、任意の他の適切なデバイスおよび／もしくはシステムにおいて実施され得る。

【0294】

撮像モジュールは、送信ユニットと、受信ユニットと、制御装置とを備える。動作の間、送信ユニットは、放出光線を目標物体に向けて放出することができる。受信ユニットは、目標物体から反射した反射光線を受信することができる。制御装置は、少なくとも送信ユニットおよび受信ユニットを駆動することができる。ある実施では、受信ユニットおよび制御装置は、システムオンアチップ（SoC）などの1つの半導体チップにおいて実施される。ある場合には、送信ユニットは、III-V基板におけるレーザーエミッタチップ、およびSi基板におけるSiレーザードライバチップなど、2つの異なる半導体チップによって実施される。

【0295】

送信ユニットは、1つもしくは複数の光線源、1つもしくは複数の光線源を制御する制御回路、および／または、1つもしくは複数の光線源から放出される光線进行操作するための光学構造を備え得る。ある実施形態では、光線源は、光検出装置において吸収領域によって吸収され得る1つまたは複数のLEDまたはVCSELが放出する光線を含み得る。例えば、1つまたは複数のLEDまたはVCSELは、570nm、670nm、または任意の他の適用可能な波長など、可視波長範囲内のピーク波長（例えば、人の目に対して視認可能である波長）を伴う光線を放出することができる。他の例について、1つまたは複数のLEDまたはVCSELは、850nm、940nm、1050nm、1064nm、1310nm、1350nm、1550nm、または任意の他の適用可能な波長など、可視波長範囲を超えるピーク波長を伴う光線を放出することができる。

【0296】

ある実施形態では、光線源からの放出光線は、1つまたは複数の光学構造によって平行にさせられ得る。例えば、光学構造は1つまたは複数のコリメーティングレンズを備え得る。

【0297】

受信ユニットは、先に言及したようないずれかの実施形態による1つまたは複数の光検出装置を備え得る。受信ユニットは、制御回路を制御するための制御回路、および／または、目標物体から反射した光線を1つもしくは複数の光検出装置に向けて操作するための光学構造をさらに備え得る。ある実施では、光学構造は、平行になった光線を受信し、平行になった光線を1つまたは複数の光検出装置に向けて焦点を合わせる1つまたは複数のレンズを備える。

【0298】

ある実施形態では、制御装置は、タイミング発生器および処理ユニットを備える。タイミング発生器は基準クロック信号を受信し、放出光線を変調するための送信ユニットにタイミング信号を提供する。タイミング信号は、光キャリアの収集を制御するための受信ユニットにも提供される。処理ユニットは、受信ユニットによって発生および収集される光キャリアを処理し、目標物体の未加工データを決定する。処理ユニットは、制御回路、光検出装置から出力された情報を処理するための1つもしくは複数の信号処理装置、および／または、目標物体の未加工データを決定するための命令を保存し得る、もしくは、目標物体の未加工データを保存し得るコンピュータ保存媒体を備え得る。例として、i-Tofセンサにおける制御装置は、送信ユニットによって放出された光線と、受信ユニットによって受信された光線との間の位相差を用いて、2つの点の間の距離を決定する。

10

【0299】

ソフトウェアモジュールは、顔認証、視標追跡、ジェスチャ認識、三次元モデル走査／動画記録、動作追跡、自律車両、および／または拡張／仮想現実などの用途で実行するために実施され得る。

【0300】

図27Bは、例の受信ユニットまたは制御装置のブロック図を示している。ここで、イメージセンサ配列（例えば、 240×180 ）が、図3A～図8E、図14C～図14Lを参照して記載されている光検出デバイスのいずれかの実施を用いて実施され得る。位相固定ループ（PLL）回路（例えば、整数NのPLL）が、変調および復調のためのクロック信号（例えば、4位相システムクロック）を発生させることができる。ピクセル配列および外部照明ドライバへと送る前に、これらのクロック信号は、プリセット積分時間および異なる動作モードのために、タイミング発生器によってゲートおよび／または条件付けされ得る。プログラム可能遅延線が、クロック信号を遅らせるために、照明ドライバ経路に加えられ得る。

20

【0301】

電圧調整器がイメージセンサの動作電圧を制御するために使用できる。例えば、複数の電圧領域がイメージセンサのために使用され得る。温度センサが、深さ較正および電力制御の可能性のある使用のために実施され得る。

【0302】

光検出装置の読み取り回路は、イメージセンサ配列の光検出デバイスの各々をカラムアナログデジタル変換器（ADC）へと橋渡しし、ADC出力は、出力インターフェースに達する前に、信号処理装置によってデジタル領域においてさらに処理および積分され得る。記憶装置が、信号処理装置による出力を保存するために使用され得る。ある実施では、出力インターフェースは、2レーン、 1.2 Gb/s D-PHY MIPI送信器を用いて、または、低速度／低コストのシステムのためにCMOS出力を用いて、実施され得る。

30

【0303】

アイ・スクエアド・シー（I2C）インターフェースが、本明細書に記載されている機能ブロックのすべてにアクセスするために使用されてもよい。

【0304】

ある実施形態では、本開示における光検出装置は、ピクセル上に光学素子（図示されていない）をさらに備える。ある実施形態では、本開示における光検出装置は、複数のピクセル上に複数の光学素子（図示されていない）をさらに備える。光学素子は、吸収の領域へと入れるために、入ってくる光学信号を収束させる。ある実施形態では、光学素子はレンズを備える。

40

【0305】

ある実施形態では、p型ドーパントはIII族元素を含む。ある実施形態では、p型ドーパントはホウ素である。ある実施形態では、n型ドーパントはV族元素を含む。ある実施形態では、n型ドーパントはリンである。

【0306】

50

本開示において、明確に言及されていない場合、吸収領域は、850 nm、940 nm、1050 nm、1064 nm、1310 nm、1350 nm、1550 nm、または任意の適切な波長範囲など、800 nm以上の不可視波長範囲にピーク波長を有する光子を吸収するように構成される。ある実施形態では、吸収領域は、光学信号を受信し、光学信号を電気信号へと変換する。吸収領域は、限定されることはないが、円筒形、直角プリズムなど、任意の適切な形であり得る。

【0307】

本開示において、明確に言及されていない場合、吸収領域は、検出される光子の波長、および吸収領域の材料に応じた厚さを有する。ある実施形態では、吸収領域がゲルマニウムを含み、800 nm以上の波長を有する光子を吸収するように設計される場合、吸収領域は0.1 μ m以上の厚さを有する。ある実施形態では、吸収領域がゲルマニウムを含み、800 nmから2000 nmの間の波長を有する光子を吸収するように設計される場合、吸収領域は0.1 μ mから2.5 μ mの間の厚さを有する。ある実施形態では、吸収領域は、より大きな量子効率のために1 μ mから2.5 μ mの間の厚さを有する。ある実施形態では、吸収領域は、ブランケットエピタキシ、選択的エピタキシ、または他の適切な技術を用いて成長させられ得る。

【0308】

本開示において、明確に言及されていない場合、光線遮蔽体は、吸収領域において吸収の領域の位置を定めるための光学窓を有する。別の言い方をすれば、光学窓は、入射光学信号を吸収領域へと入らせ、吸収の領域を定めるためのものである。ある実施形態では、光線遮蔽体は、入射光線が基板の第2の表面から吸収領域に入るとき、吸収領域から離れた基板の第2の表面にある。ある実施形態では、光学窓の形は、光学窓の上方の視界から、楕円形、円形、長方形、正方形、菱形、八角形、または任意の他の適切な形であり得る。

【0309】

本開示において、明確に言及されていない場合、同じピクセルにおいてスイッチのうちの1つの第1のドープ領域によって収集されるキャリアの型と、他のスイッチの第1のドープ領域によって収集されるキャリアの型とは同じである。例えば、光検出装置が電子を収集するように構成される場合、第1のスイッチがオンされて第2のスイッチがオフされるとき、第1のスイッチにおける第1のドープ領域は、吸収領域から発生させられる光キャリアの電子を収集し、第2のスイッチがオンされて第1のスイッチがオフされるとき、第2のスイッチにおける第1のドープ領域も、吸収領域から発生させられる光キャリアの電子を収集する。

【0310】

本開示において、明確に言及されていない場合、第1の電極、第2の電極、読み出し電極、および制御電極は金属または合金を含む。例えば、第1の電極、第2の電極、読み出し電極、および制御電極はAl、Cu、W、Ti、Ta-TaN-Cuスタック、またはTi-TiN-Wスタックを含む。

【0311】

ある実施形態では、明確に言及されていない場合、本開示において示されている断面図は、光検出装置または光検出デバイスの任意の可能な切断線に沿っての断面図であり得る。

【0312】

本明細書において使用され、他に定められていないとき、「実質的」および「約」という用語は、小さい変化を記載および説明するために使用されている。事象または状況と併せて使用されるとき、この用語は、事象または状況が正確に起こる例に加えて、事象または状況が近い類似で起こる例も網羅し得る。例えば、数値と併せて使用されるとき、この用語は、 $\pm 5\%$ 以下、 $\pm 4\%$ 以下、 $\pm 3\%$ 以下、 $\pm 2\%$ 以下、 $\pm 1\%$ 以下、 $\pm 0.5\%$ 以下、 $\pm 0.1\%$ 以下、または $\pm 0.05\%$ 以下など、数値の $\pm 10\%$ 以下の変化の範囲を網羅し得る。

【0313】

本開示は好ましい実施形態の観点から例を用いて記載されているが、本開示がそれに限

10

20

30

40

50

定されないことは理解されるものである。それどころか、様々な変更ならびに同様の構成および手順を包含するように意図されており、そのため、添付の請求項の範囲は、このような変更ならびに同様の構成および手順のすべてを網羅するように、最も広い解釈が与えられるべきである。

【0314】

当業者は、本開示の教示を保持しつつ、デバイスおよび方法の数々の変更および修正を行うことができることに容易に気付くことになる。したがって、上記の開示は、添付の請求項の範囲および境界のみによって限定されるとして解釈されるべきである。

【符号の説明】

【0315】

- 10 吸収領域
- 11 第1の表面
- 12 第2の表面
- 13 側面
- 20 基板
- 20a 基礎部分
- 20b 上方部分
- 20c 中間部分
- 21 第1の表面
- 22 第2の表面
- 30 第1の電極
- 40 第3の電極
- 60 第2の電極、第3の電極
- 60a、60b、60c、60d 副電極
- 100a、100b、100c、100d、200a、200b、200c、200d、300a、400a、500a、600a、600c、600f、600g、700a、700c、700d、700e、800a、800c、800d、800e、1000a、1000b、1000d、1000g、1000h、1000i、1100a、1100b、1100d、1200a、1200b、1200c、1300a、1300b、1400c、1400f、1400g、1400j 光検出デバイス
- 102、104 第1のドープ領域
- 103 第2の接触領域
- 108 第2のドープ領域
- 108a、108b、108c、108d 小領域
- 130 第3の電極
- 130A 電圧制御トランジスタ
- 140 第1の電極
- 141A リセットトランジスタ
- 142A ソースフォロワ
- 143A 行選択トランジスタ
- 150A コンデンサ
- 160 第2の電極
- 171A 転送トランジスタ
- 180 制限領域
- 181 通路
- 200e、200f 光検出装置
- 201 伝導領域
- 202 電荷層
- 203 修正要素
- 204 第1の接触領域

10

20

30

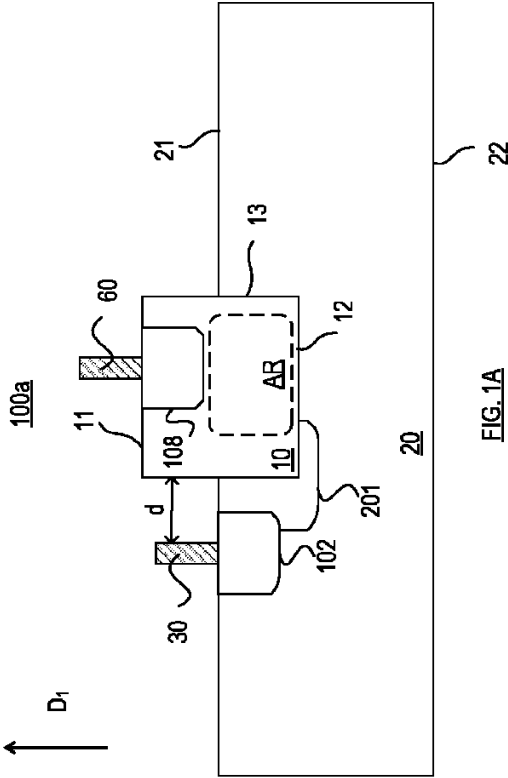
40

50

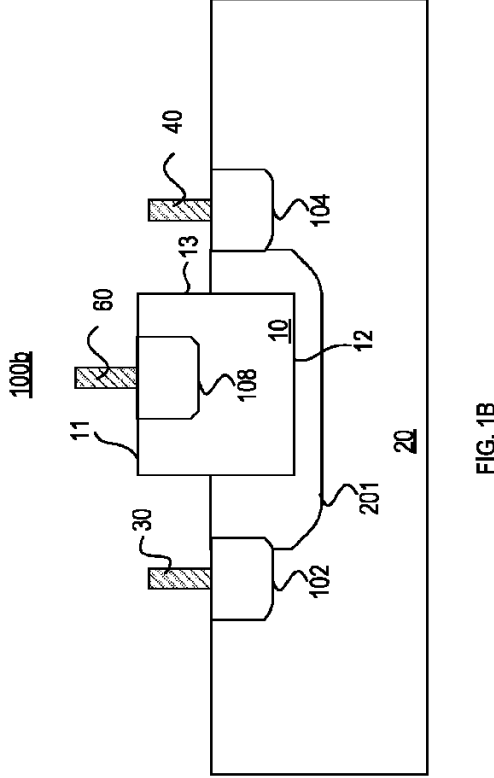
205	凹部	
206	導波路、隆起、トレンチ	
208	第3の接触領域	
210	中間ドーブ領域	
212	下方ドーブ領域	
302a、302b	第1のドーブ領域	
303	ドーブ領域	
330a、330b、330c、330d、330e、330f、330g、330h	読み出し電極	
340、340a、340b、340c、340d、340e、340f、340g、340h	制御電極	10
350	誘電体層	
900a、900b	光検出装置	
1302	コレクタ領域	
1304	エミッタ領域	
1308	基礎接触領域	
1330	第1の電極	
1340	第2の電極	
1360	第3の電極	
1400	保護層	20
1401	第1の表面	
1500a、1500b、1500c、1500d	ゲイン構成要素	
1510	軽度ドーブ領域	
1520	エミッタ領域	
1530	コレクタ領域	
1540	中度ドーブ領域	
1600a、1600b、1600c、1600d	ゲイン構成要素	
1610	軽度ドーブ領域	
1620	エミッタ領域	
1630	コレクタ領域	30
1640	基礎領域	
1650	中度ドーブ領域	
1700a、1700b、1700c、1800a、1800b、1800c	CMOSイメージセンサ	
1710、1810	軽度ドーブ領域	
1720、1820	吸収領域	
1722、1822	重度ドーブ領域	
1730、1830	ゲイン構成要素、ゲイン領域	
1750	材料	
1900a、1900b	光検出装置	40
1910	軽度ドーブ領域	
1920	吸収領域	
1922	重度ドーブ領域	
1930a、1930b	ゲイン構成要素、ゲイン領域	
1940a、1940b	制御領域	
2000a、2000b	光検出装置	
2010	基板	
2020	吸収領域	
2030	軽度ドーブ経路	
2100a	光検出装置	50

2 1 1 0	軽度ドーピング領域	
2 1 3 0 a、2 1 3 0 b	ゲイン構成要素	
2 1 4 0 a、2 1 4 0 b	制御領域	
2 1 5 0	基板	
2 3 0 0 a	光検出装置	
2 3 1 0	軽度ドーピング領域	
2 3 1 2	基板	
2 3 2 0	吸収領域	
2 3 2 2	重度ドーピング領域	
2 3 3 0 a、2 3 3 0 b	ゲイン構成要素	10
2 3 4 0 a、2 3 4 0 b	制御信号	
2 4 0 0 a、2 4 0 0 b	光検出装置	
2 4 1 0	軽度ドーピング領域	
2 4 2 0	光線吸収領域	
2 4 2 2	重度ドーピング領域	
2 4 3 0 a、2 4 3 0 b	ゲイン構成要素	
2 4 4 0 a、2 4 4 0 b	制御領域、制御信号	
2 4 5 0	基板	
2 4 6 0	軽度ドーピング経路	
A R	吸収の領域	20
B	基礎電極	
C	コレクタ電極	
C 1、C 2、C 3、C 4	制御領域	
d	第 1 の電極 3 0 と側面 1 3 との間の最短距離、第 1 の電極 3 0 と側面 1 3 との間の距離	
D 1	第 1 の表面 2 1 に対して実質的に垂直な方向	
E	エミッタ電極、エミッタ信号	
I A 1	光電流	
M	増倍領域	
M 1、M 2	制御端子、制御信号	30
T G 1	切替信号	
V A 1	定電圧	
V C 1	制御電圧	
V O U T 1	出力電圧	
V 0	電圧	
w 1	吸収領域 1 0 の幅	
w 2	第 2 のドーピング領域 1 0 8 の幅	
Y	方向	

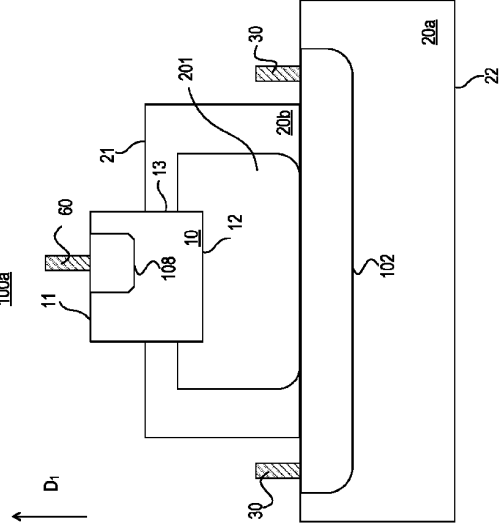
【図面】
【図 1 A】



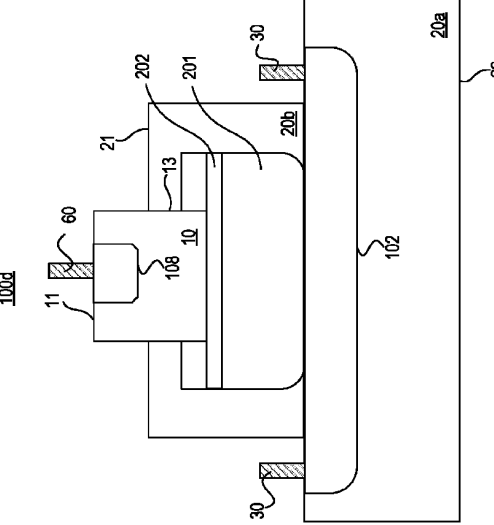
【図 1 B】



【図 1 C】



【図 1 D】



10

20

30

40

50

【図 2 A】

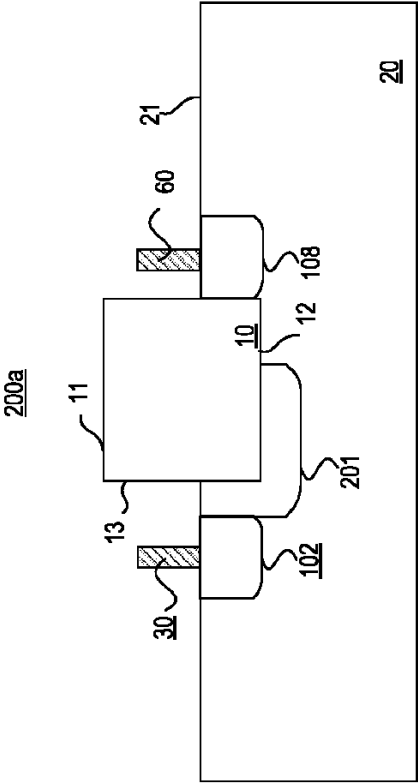


FIG. 2A

【図 2 B】

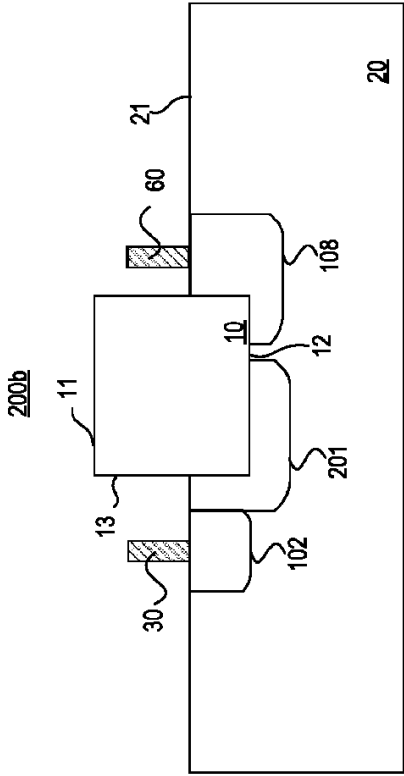


FIG. 2B

【図 2 C】

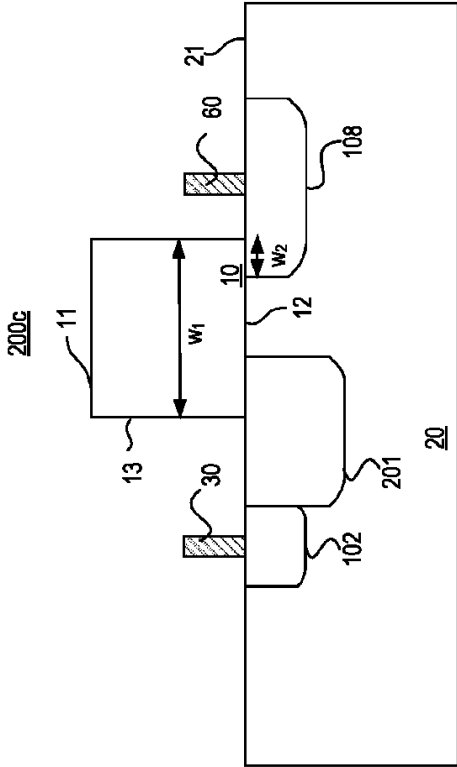


FIG. 2C

【図 2 D】

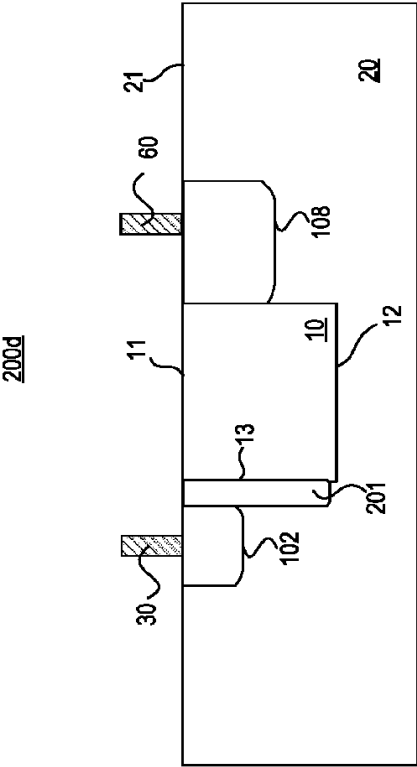


FIG. 2D

10

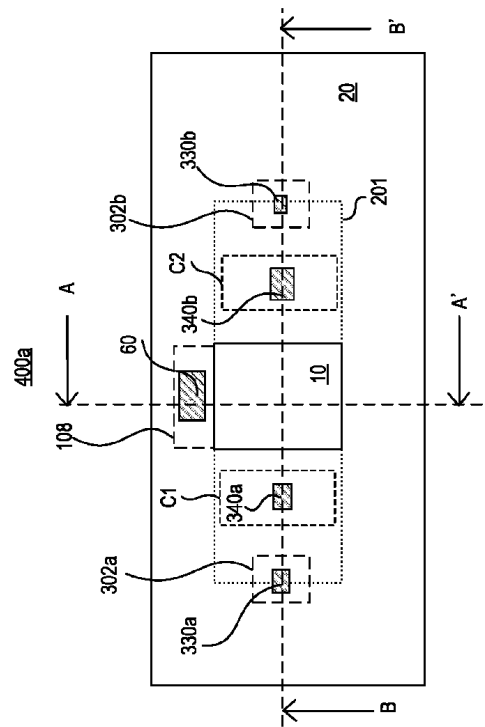
20

30

40

50

【図 4 A】



【図 4 B】

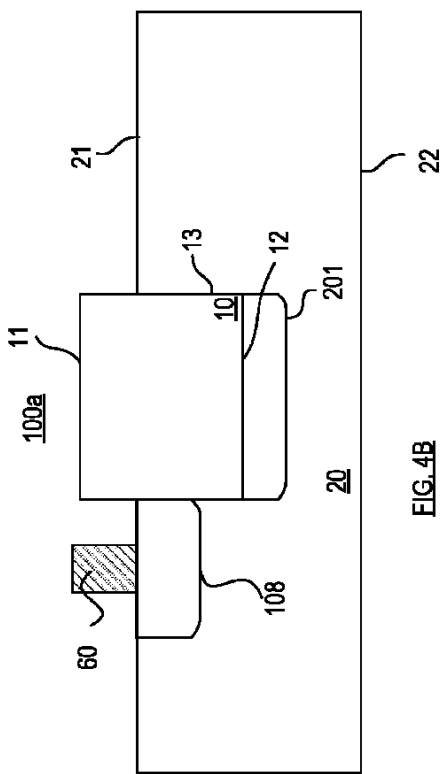


FIG. 4A

FIG. 4B

【図 4 C】

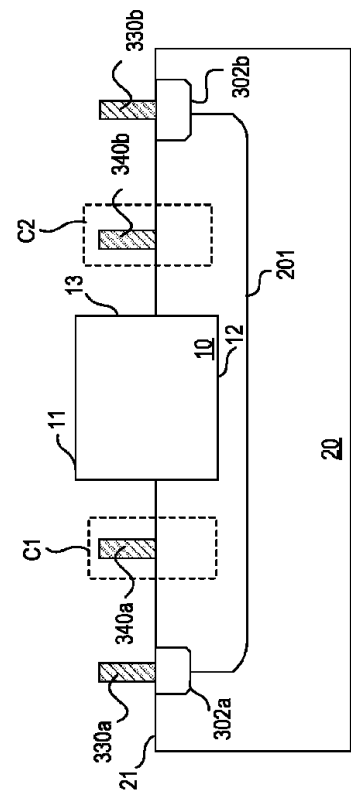


FIG. 4C

【図 5 A】

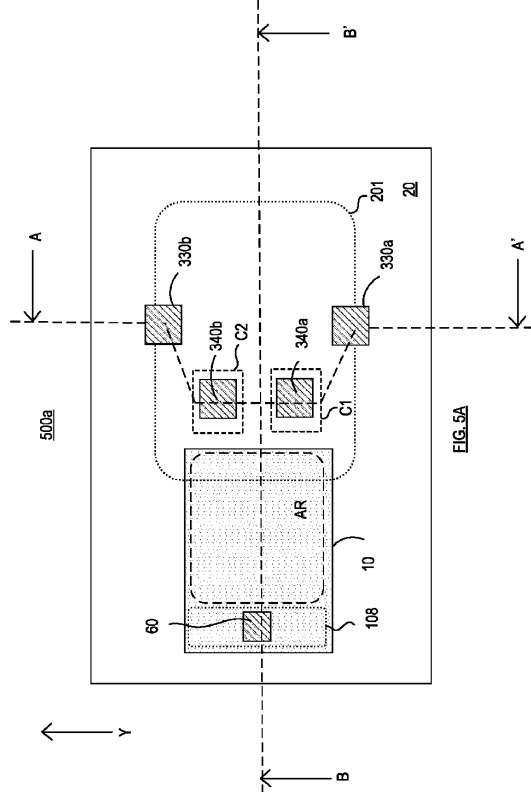


FIG. 5A

10

20

30

40

50

【図 5 B】

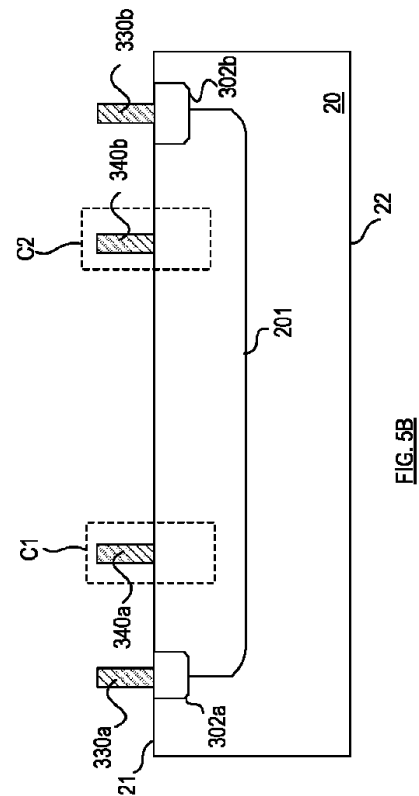


FIG. 5B

【図 5 C】

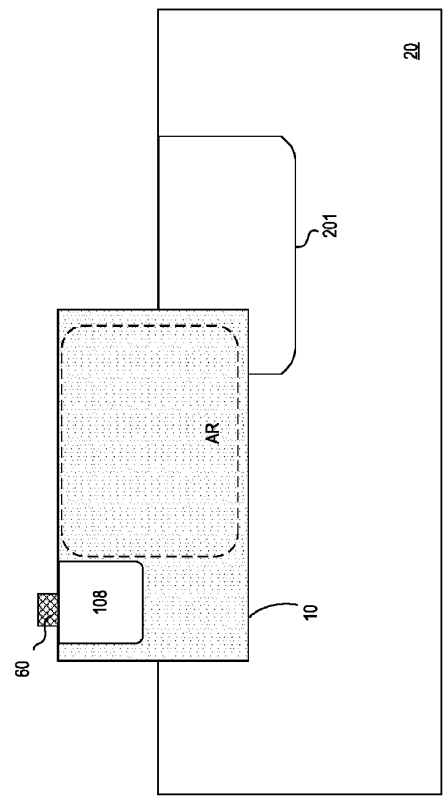


FIG. 5C

【図 6 A】

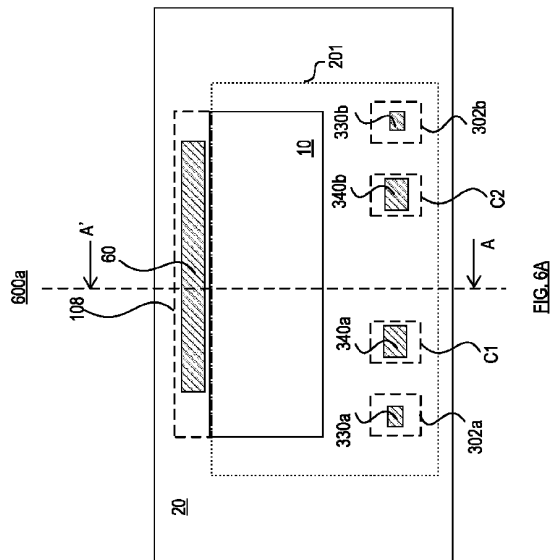


FIG. 6A

【図 6 B】

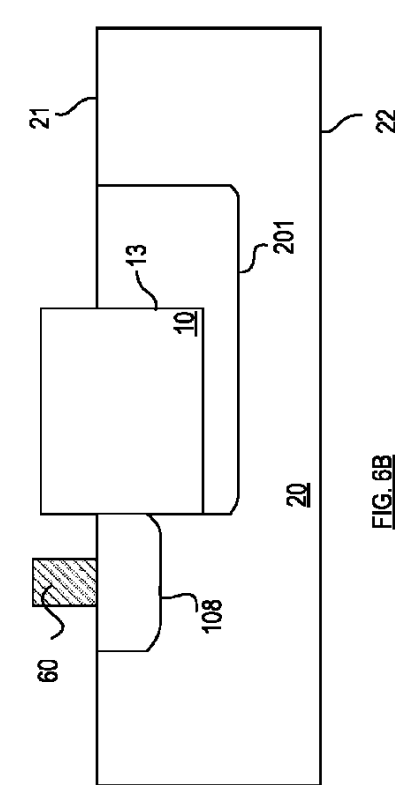


FIG. 6B

10

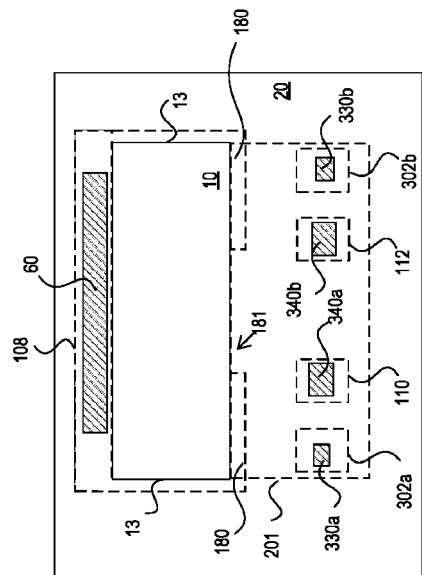
20

30

40

50

【図 6 G】



【図 7 A】

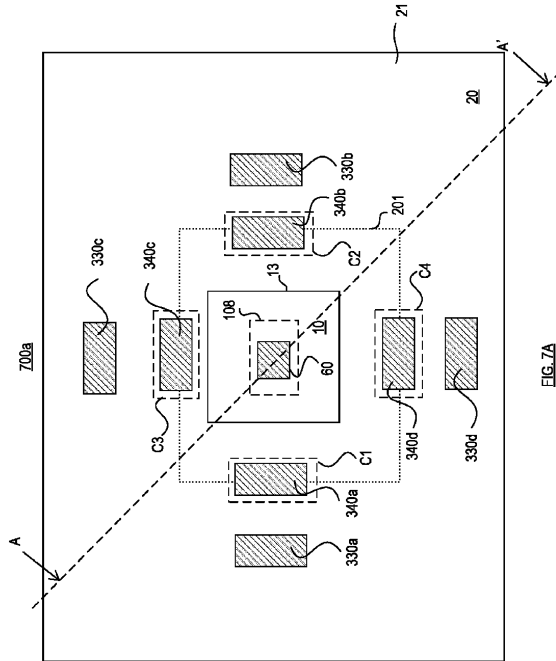
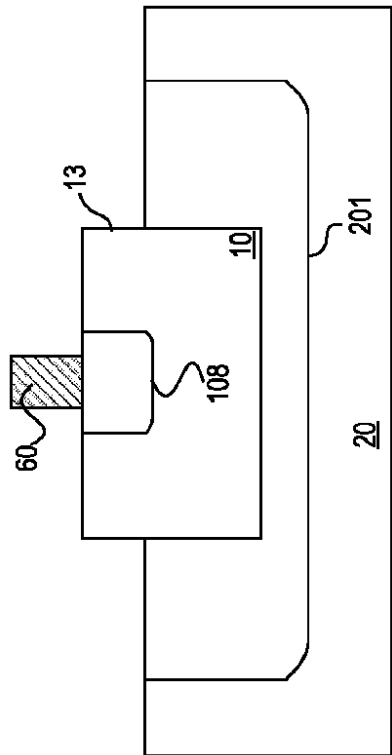


FIG. 6G

FIG. 7A

【図 7 B】



【図 7 C】

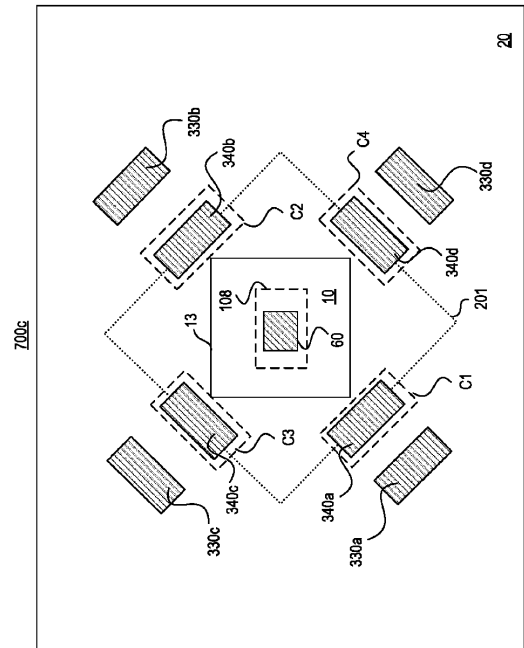


FIG. 7B

FIG. 7C

10

20

30

40

50

【図 7 D】

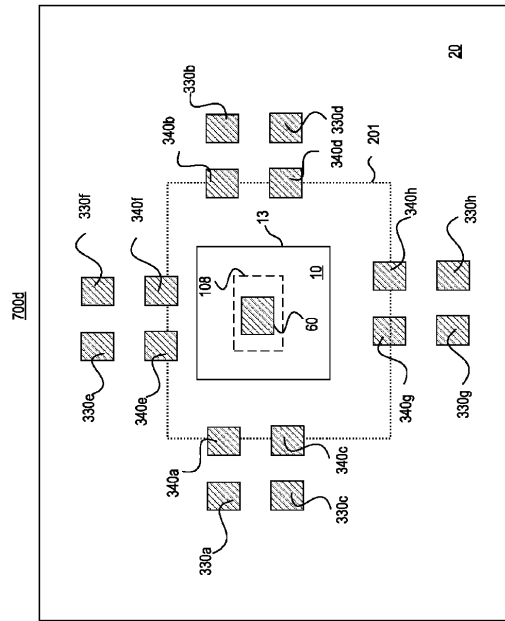


FIG. 7D

【図 7 E】

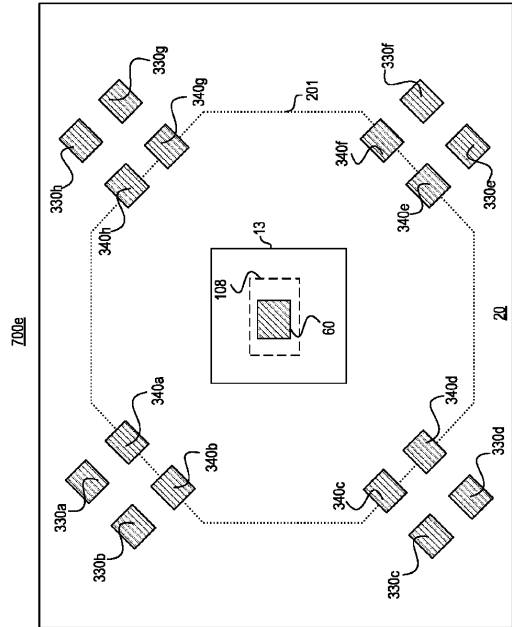


FIG. 7E

【図 8 A】

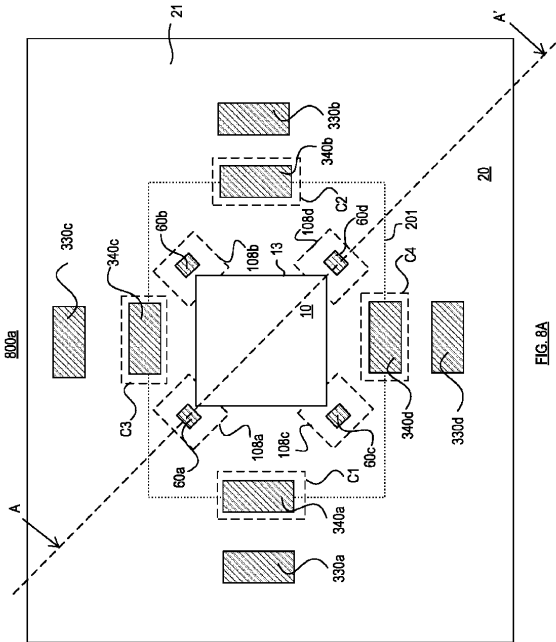


FIG. 8A

【図 8 B】

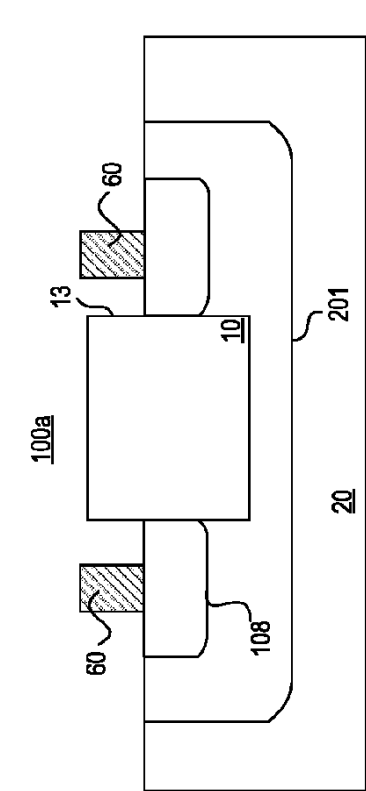


FIG. 8B

10

20

30

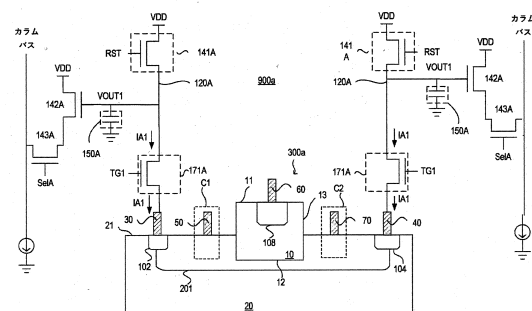
40

50

【図 8 D】



【図 9 A】



【図 10 A】

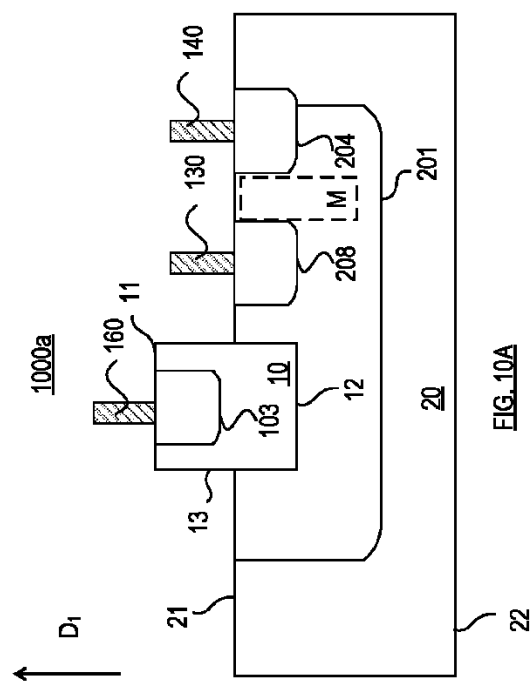


FIG. 10A

【図 10 C】

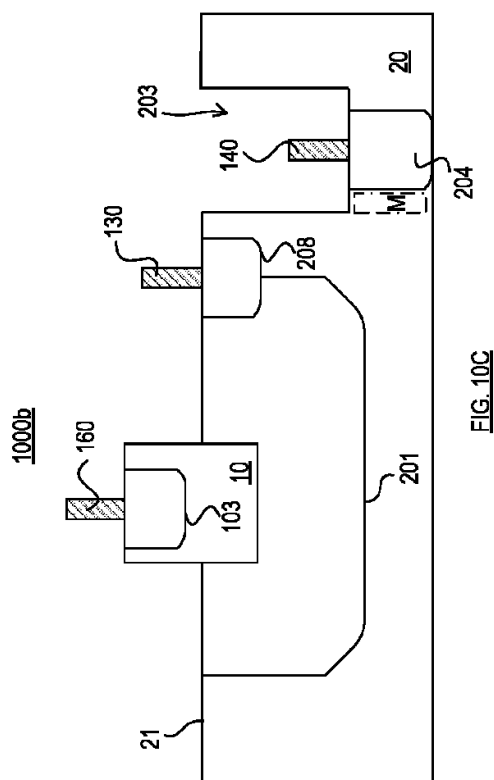
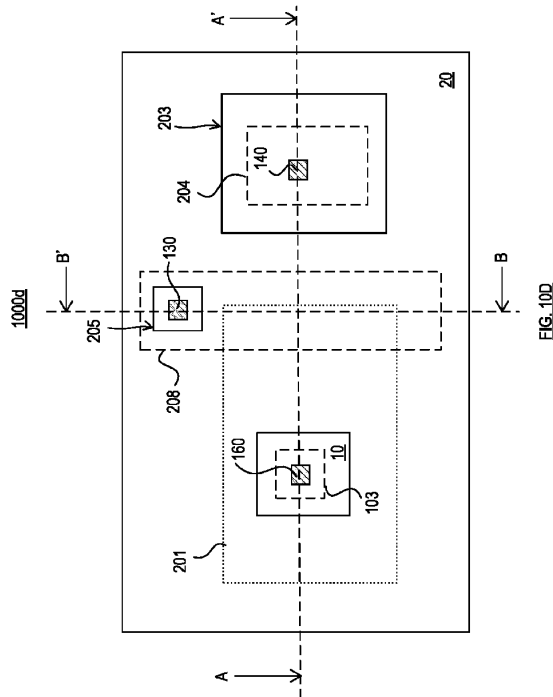


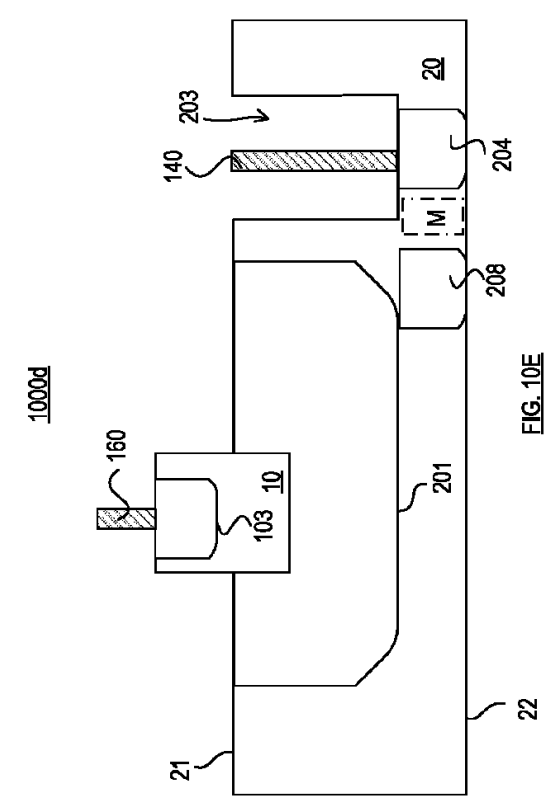
FIG. 10B

FIG. 10C

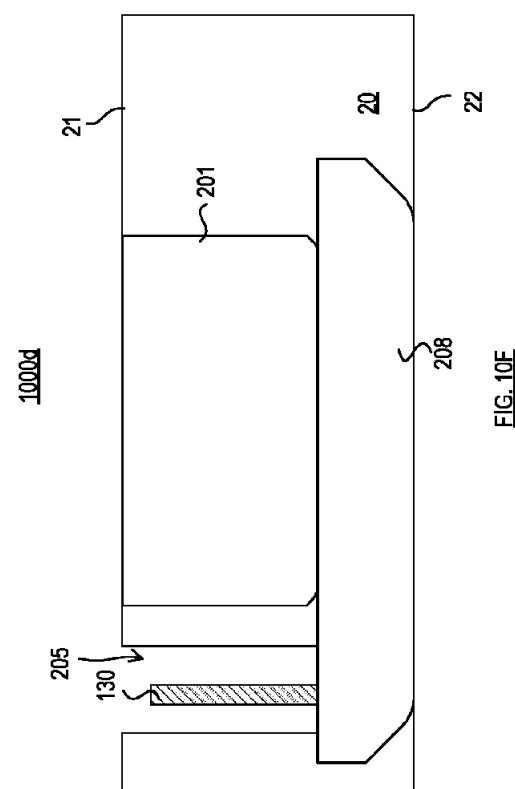
【図 10D】



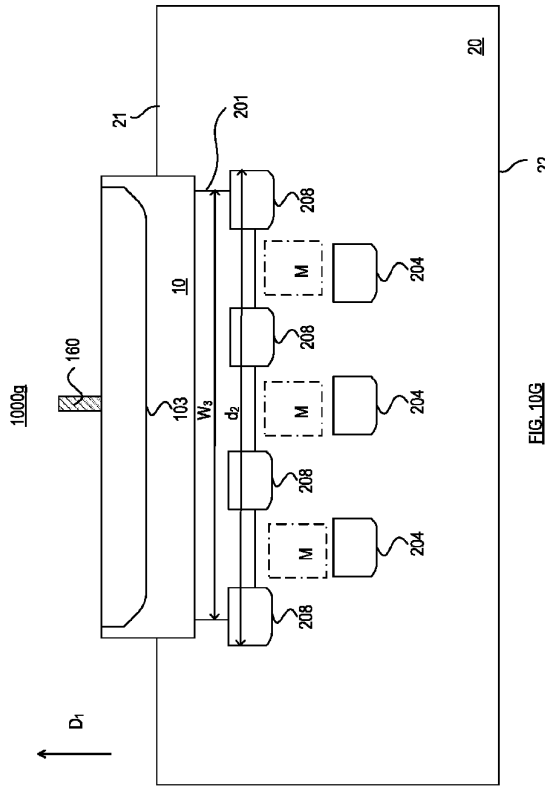
【図 10E】



【図 10F】



【図 10G】



10

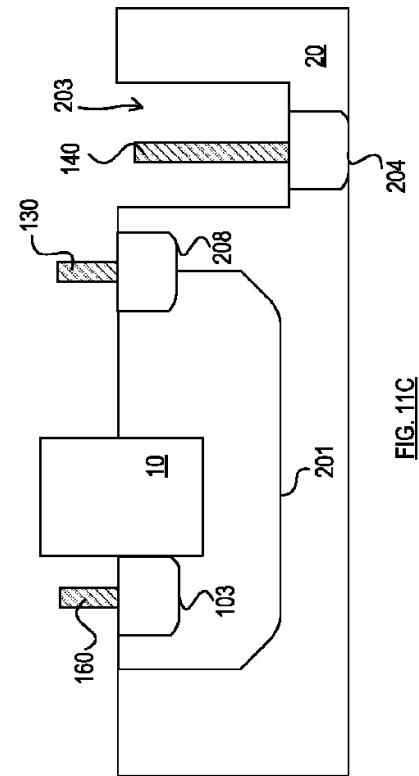
20

30

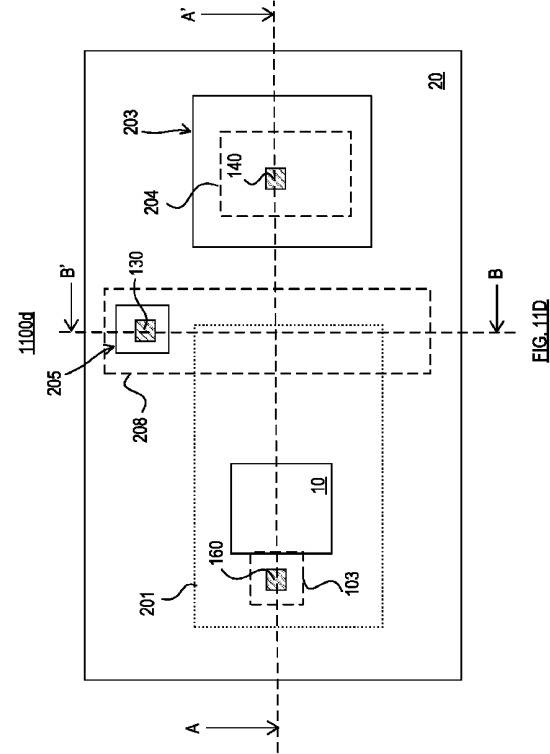
40

50

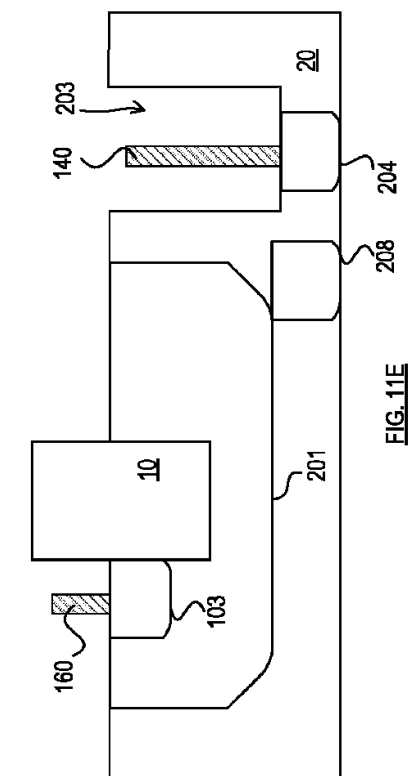
【図 1 1 C】



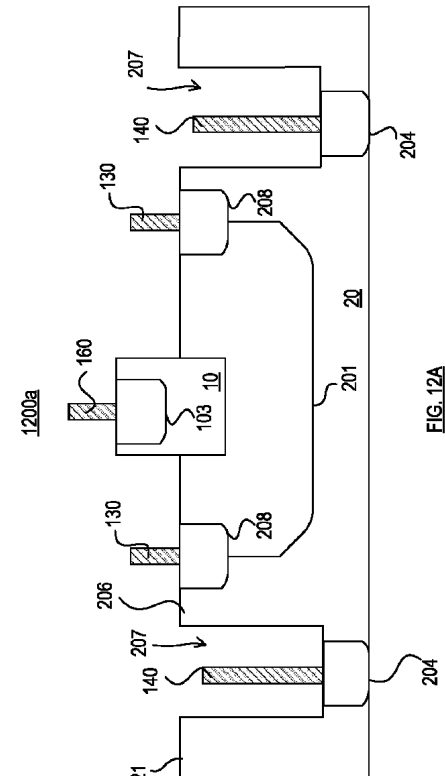
【図 1 1 D】



【図 1 1 E】



【図 1 2 A】



10

20

30

40

50

【図 1 4 A】

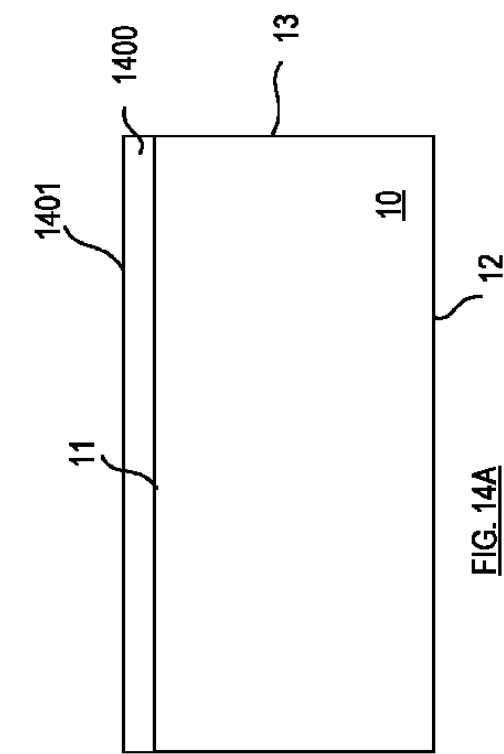


FIG. 14A

【図 1 4 B】

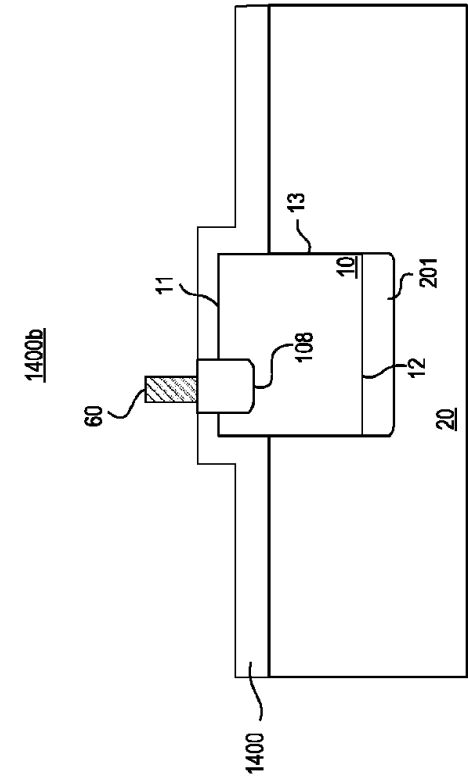


FIG. 14B

【図 1 4 C】

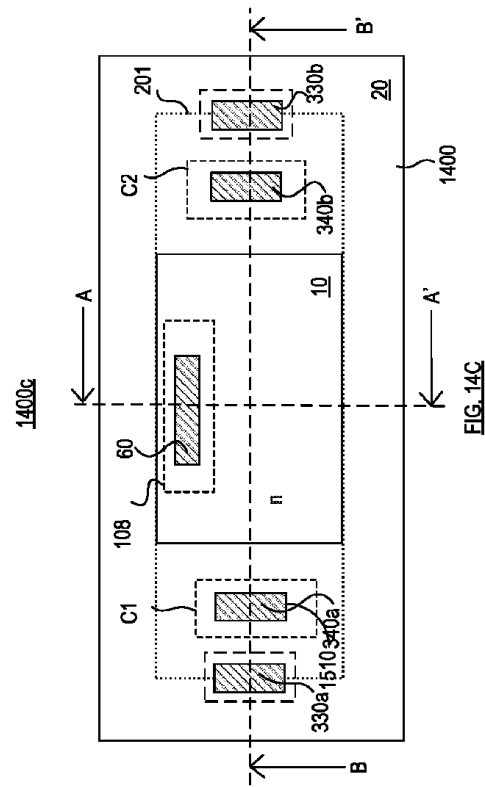


FIG. 14C

【図 1 4 D】

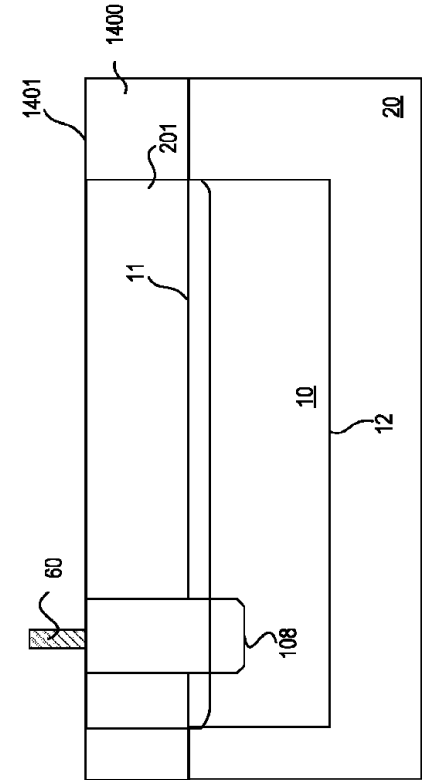


FIG. 14D

10

20

30

40

50

【図 1 4 E】

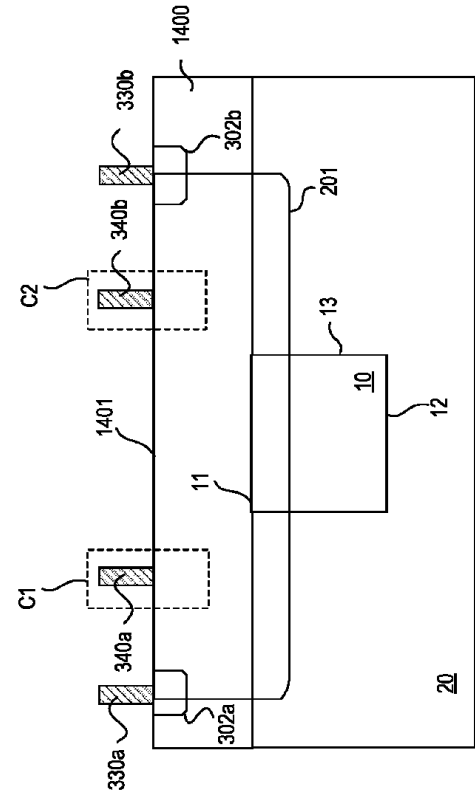


FIG. 14E

【図 1 4 F】

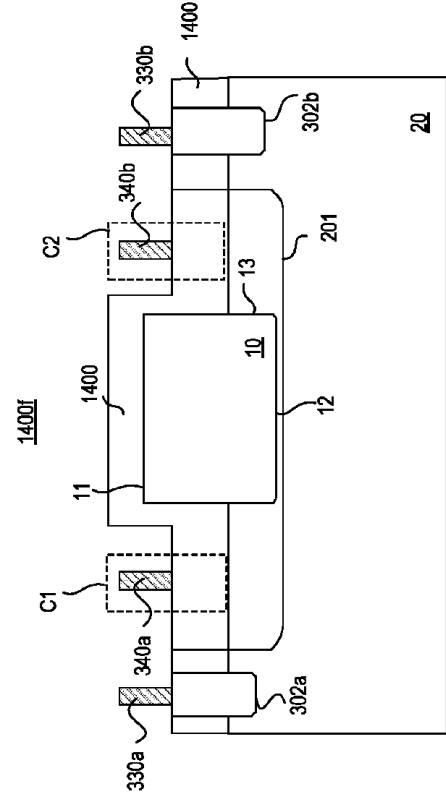


FIG. 14F

【図 1 4 G】

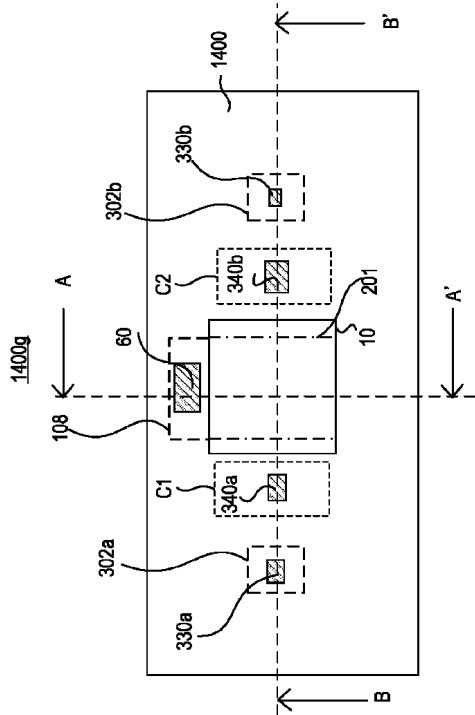


FIG. 14G

【図 1 4 H】

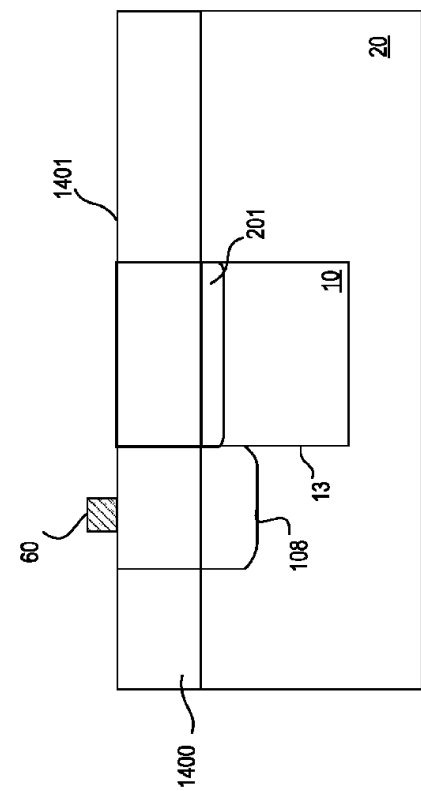


FIG. 14H

10

20

30

40

50

【図 1 4 I】

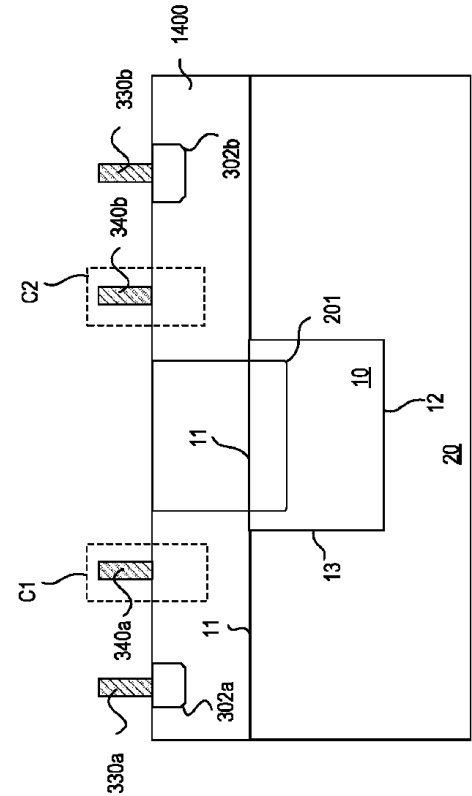


FIG. 14I

【図 1 4 J】

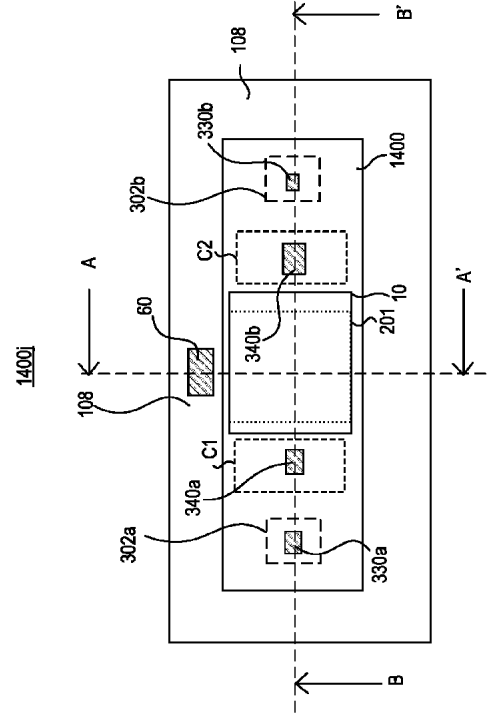


FIG. 14J

【図 1 4 K】

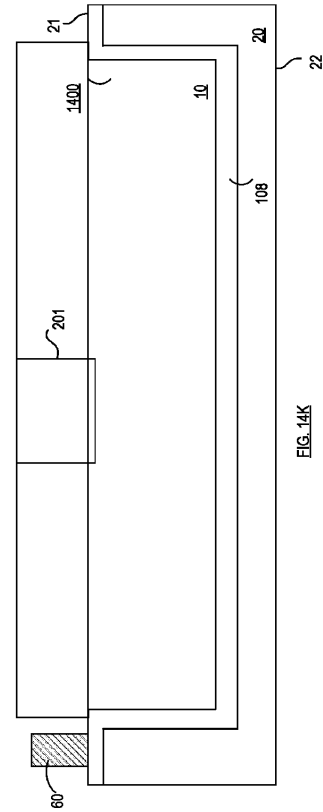


FIG. 14K

【図 1 4 L】

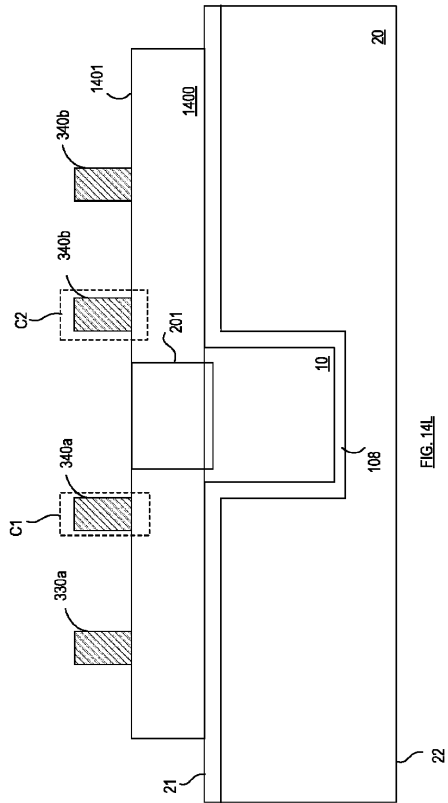


FIG. 14L

10

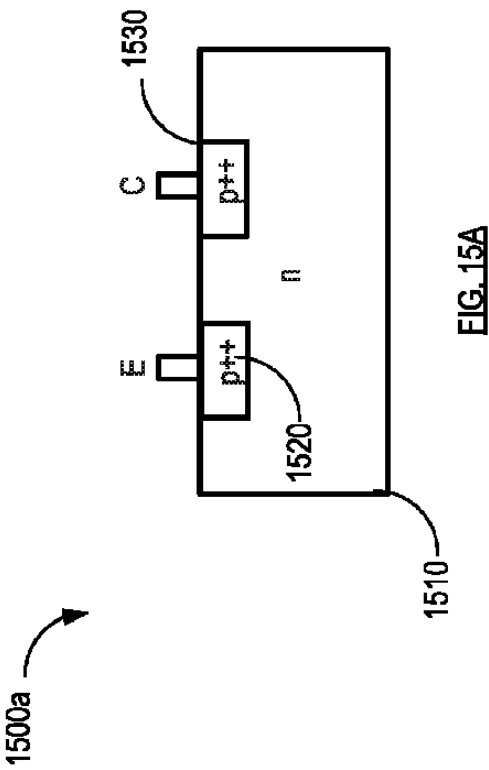
20

30

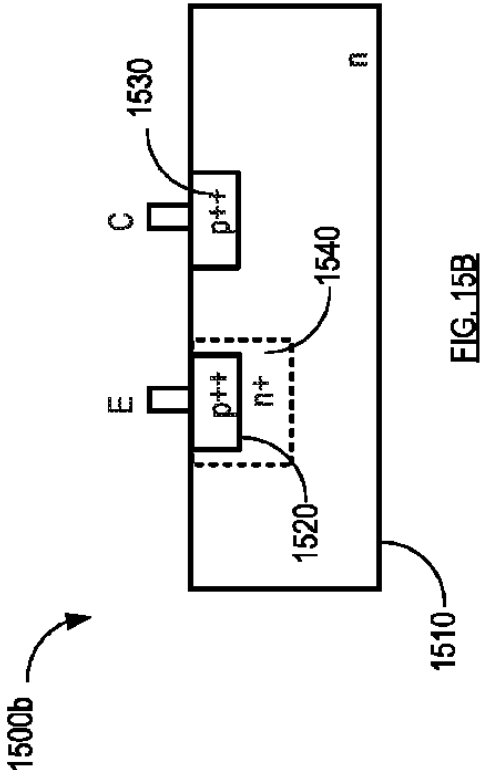
40

50

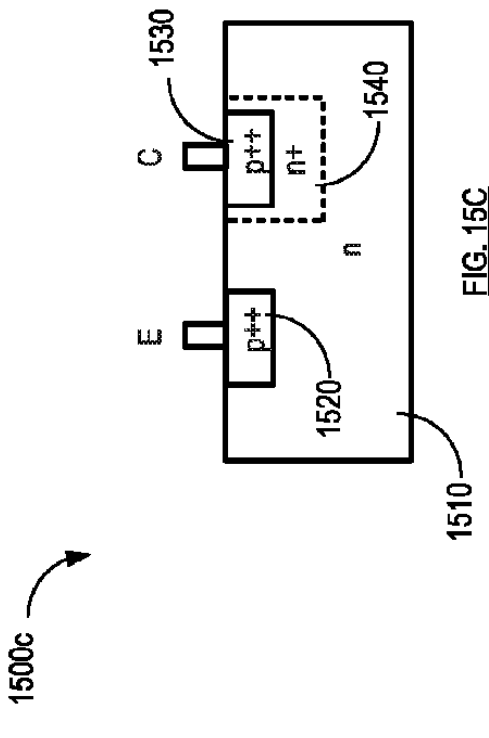
【図 15 A】



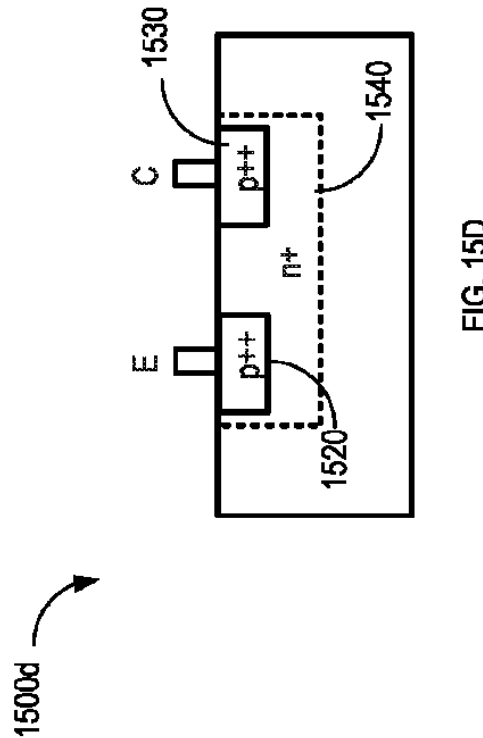
【図 15 B】



【図 15 C】



【図 15 D】



10

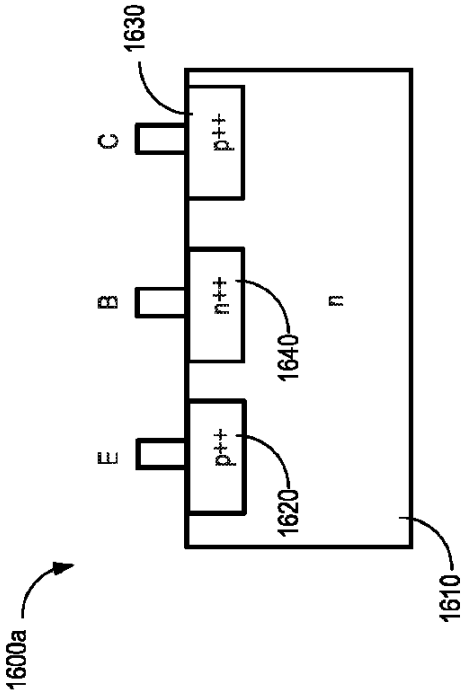
20

30

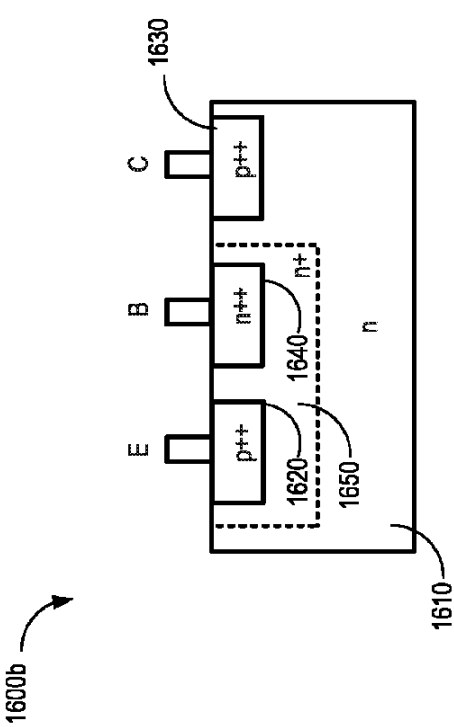
40

50

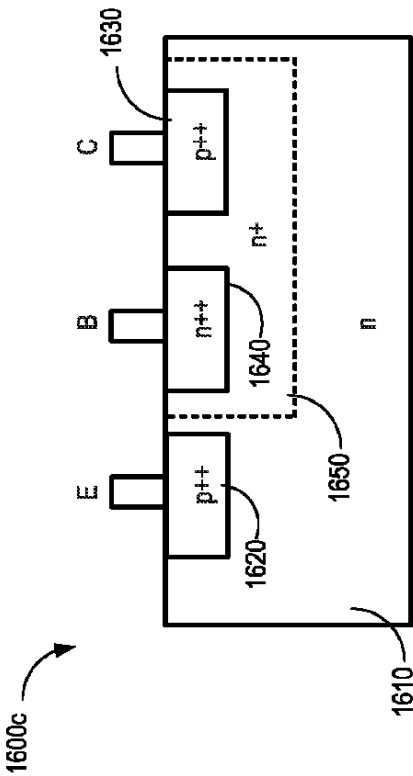
【図 16 A】



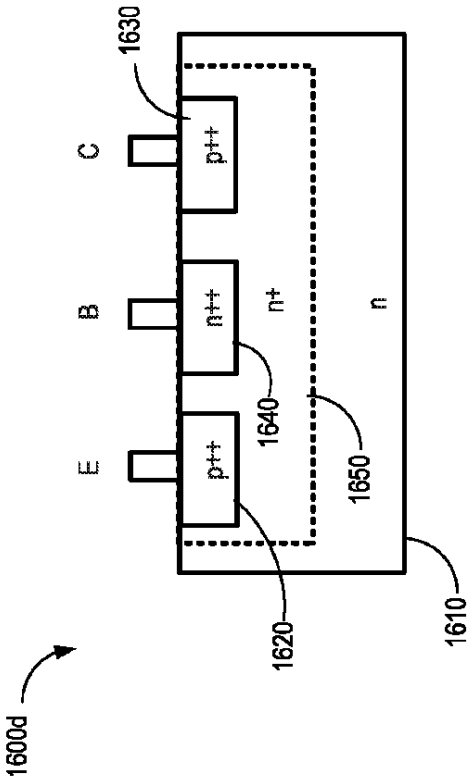
【図 16 B】



【図 16 C】



【図 16 D】



10

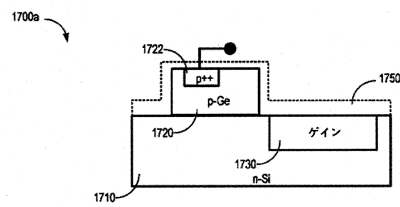
20

30

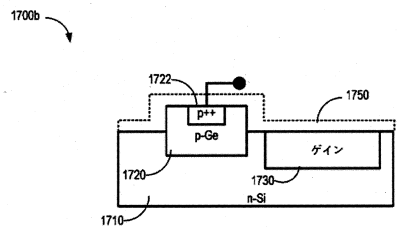
40

50

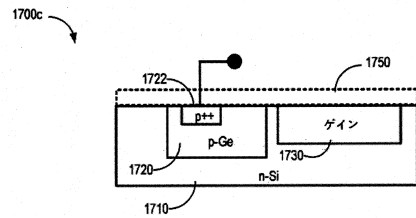
【図 17 A】



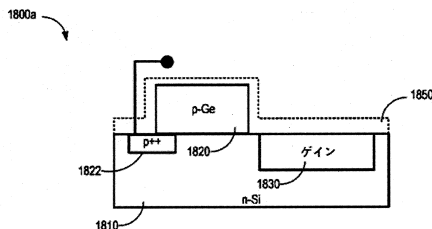
【図 17 B】



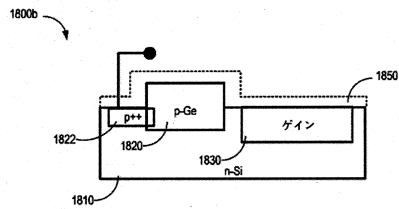
【図 17 C】



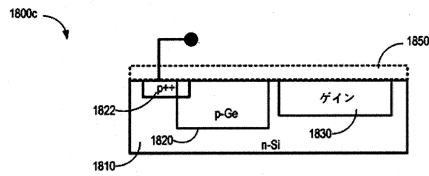
【図 18 A】



【図 18 B】



【図 18 C】



10

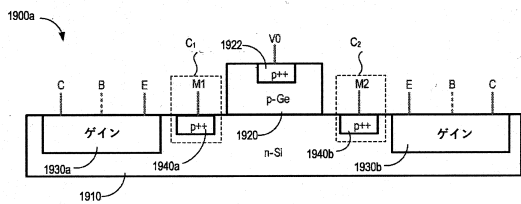
20

30

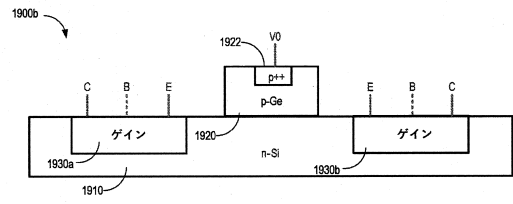
40

50

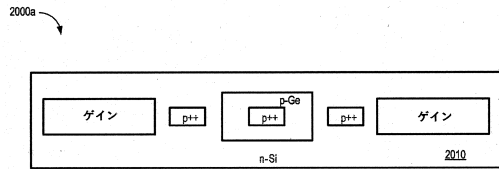
【図 19 A】



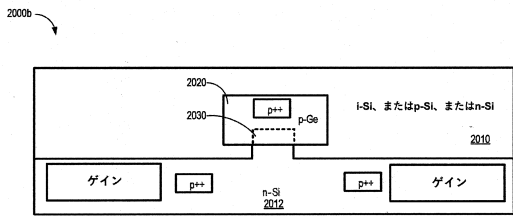
【図 19 B】



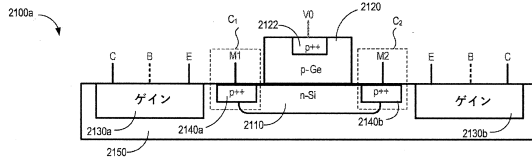
【図 20 A】



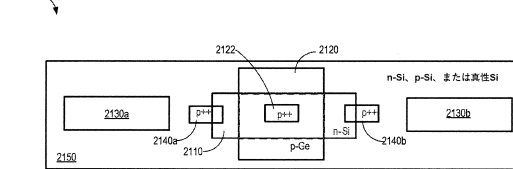
【図 20 B】



【図 21】



【図 22 A】



10

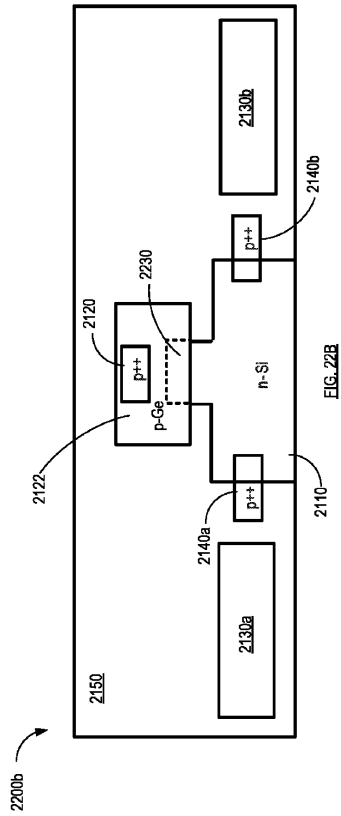
20

30

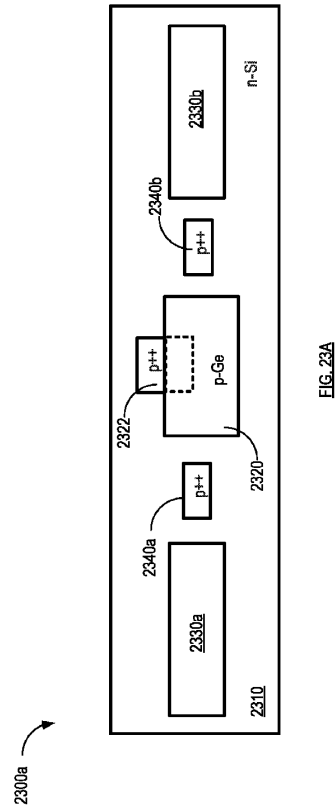
40

50

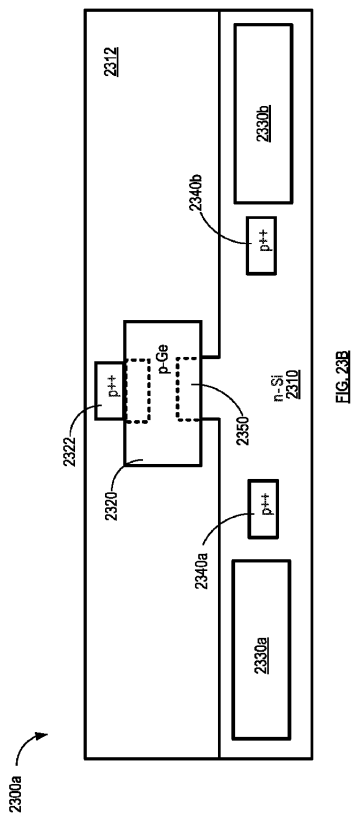
【図 2 2 B】



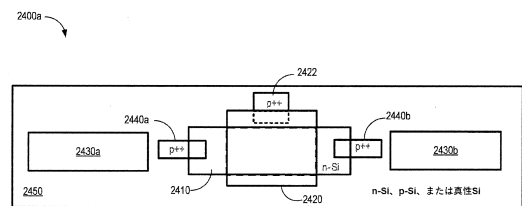
【図 2 3 A】



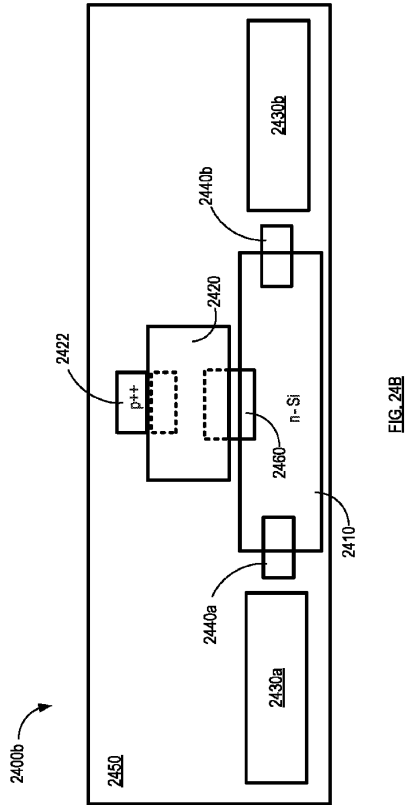
【図 23 B】



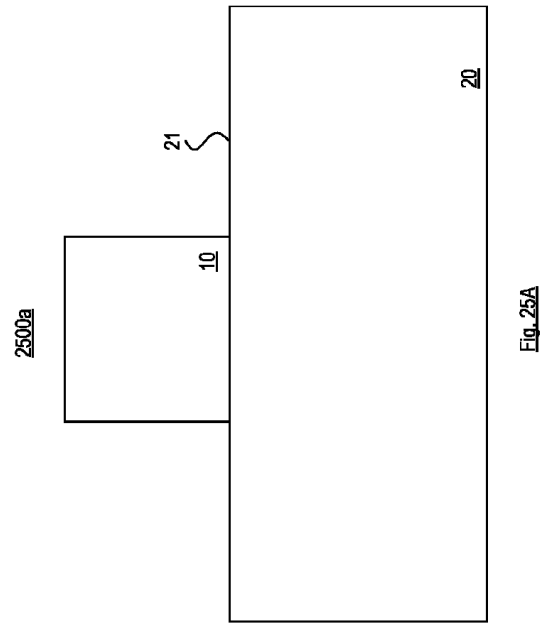
【図 24 A】



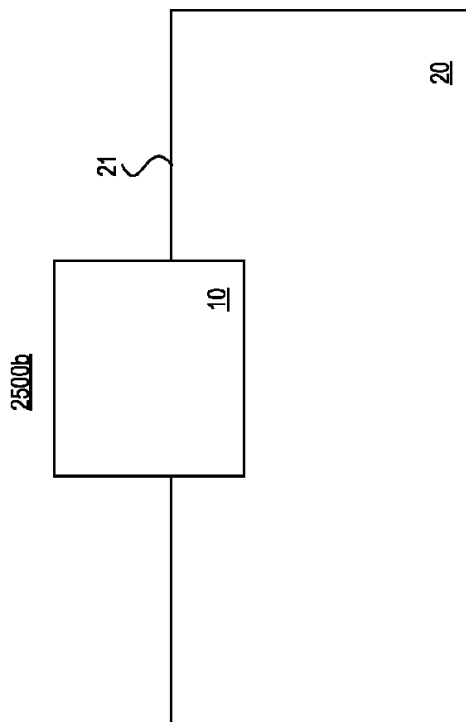
【図 2 4 B】



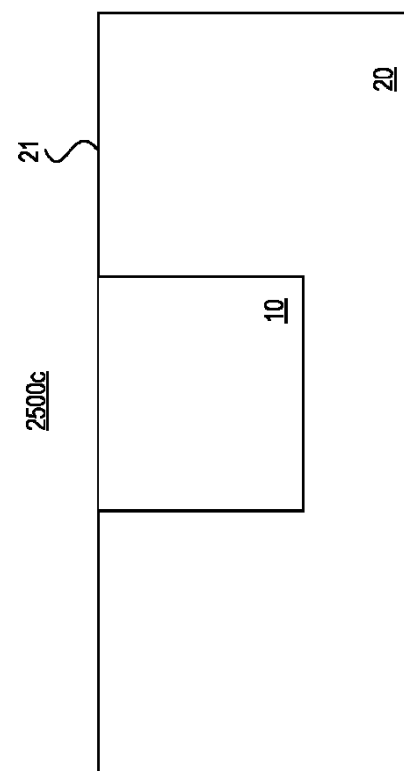
【図 25 A】



【図 25 B】



【図 25 C】



【図 2 6 A】

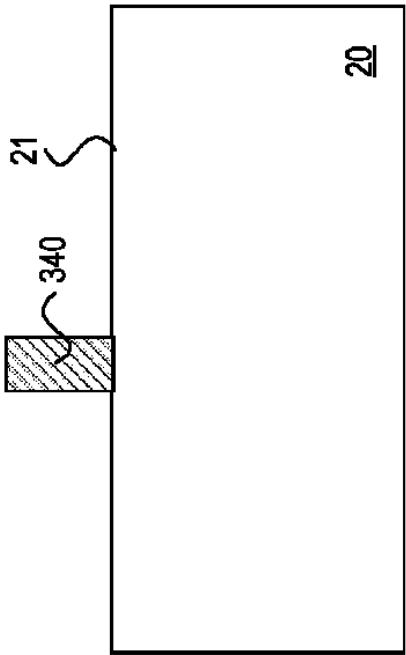


FIG. 26A

【図 2 6 B】

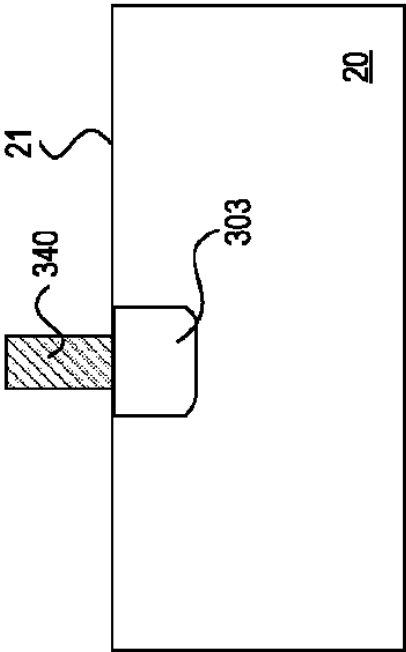


FIG. 26B

【図 2 6 C】

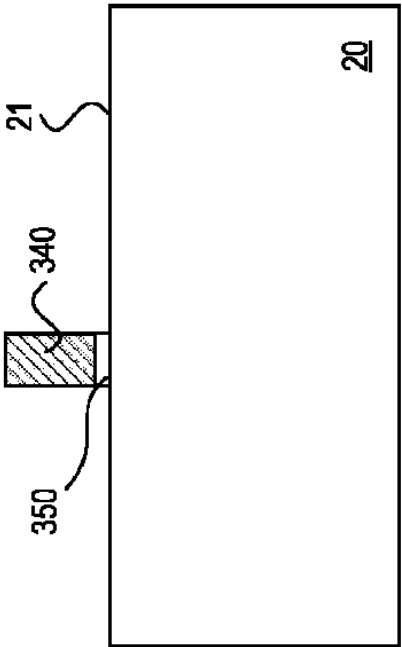


FIG. 26C

【図 2 6 D】

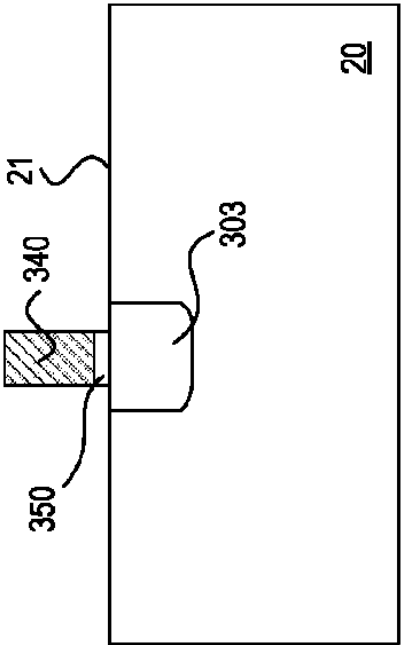


FIG. 26D

10

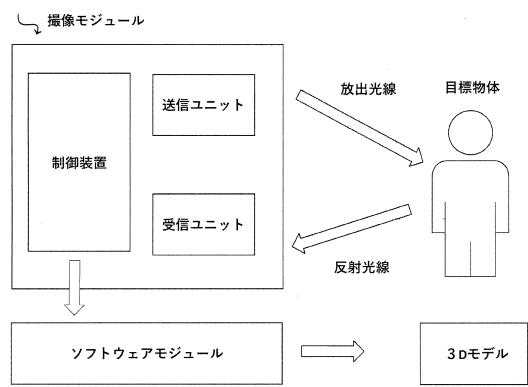
20

30

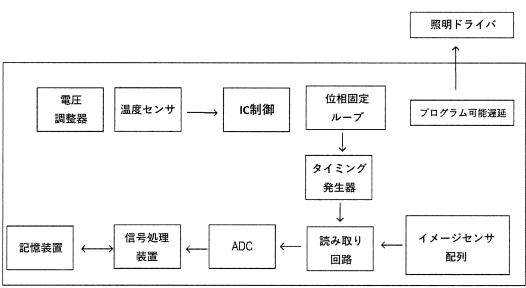
40

50

【図 27 A】



【図 27 B】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31)優先権主張番号 63/053,723

(32)優先日 令和2年7月20日(2020.7.20)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(31)優先権主張番号 62/929,089

(32)優先日 令和1年10月31日(2019.10.31)

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

早期審査対象出願

ソン・ドライブ・101

(72)発明者 ナ・ユン-チュン

アメリカ合衆国・カリフォルニア・95129・サン・ノゼ・トゥリパン・ドライブ・1028

審査官 桂城 厚

(56)参考文献 国際公開第2018/191539 (WO, A1)

特開2017-220581 (JP, A)

特開2011-211019 (JP, A)

特表2019-510365 (JP, A)

韓国公開特許第10-2006-0077183 (KR, A)

特開2007-150261 (JP, A)

欧州特許出願公開第00278408 (EP, A2)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 31/00-31/0392

H01L 31/08-31/119

H01L 31/18-31/20

H10K 30/00-30/89