

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-155503

(P2020-155503A)

(43) 公開日 令和2年9月24日 (2020.9.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 27/146 (2006.01)	HO 1 L 27/146 A	4 M 1 1 8
HO 1 L 31/107 (2006.01)	HO 1 L 31/10 B	5 F 8 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2019-50629 (P2019-50629)  
 (22) 出願日 平成31年3月19日 (2019.3.19)

(71) 出願人 000003078  
 株式会社東芝  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号  
 (71) 出願人 317011920  
 東芝デバイス&ストレージ株式会社  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号  
 (74) 代理人 100108062  
 弁理士 日向寺 雅彦  
 (74) 代理人 100168332  
 弁理士 小崎 純一  
 (74) 代理人 100146592  
 弁理士 市川 浩  
 (74) 代理人 100157901  
 弁理士 白井 達哲

最終頁に続く

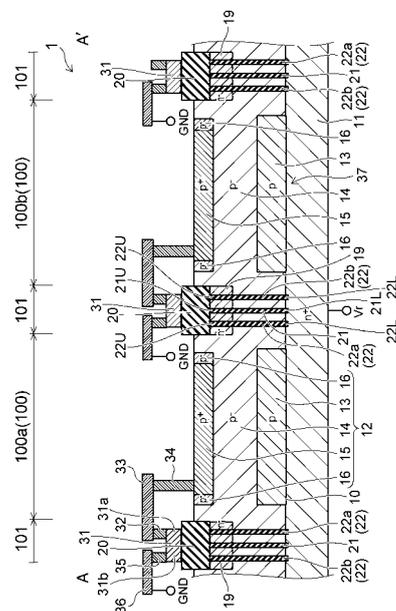
(54) 【発明の名称】 光検出装置

(57) 【要約】

【課題】 検出精度が高い光検出装置を提供する。

【解決手段】 光検出装置は、隣り合う第1セル及び第2セルが設定された光検出装置である。前記光検出装置は、第1導電形の第1半導体層と、前記第1半導体層上に設けられた第2導電形の第2半導体層と、前記第1セルと前記第2セルとの間に設けられ、前記第1半導体層及び前記第2半導体層とは異なる材料からなる第1部材と、前記第1部材と前記第1セルとの間に設けられ、前記第1半導体層及び前記第2半導体層とは異なる材料からなる第2部材と、前記第1部材と前記第2セルとの間に設けられ、前記第1半導体層及び前記第2半導体層とは異なる材料からなる第3部材と、を備える。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

隣り合う第 1 セル及び第 2 セルが設定された光検出装置であって、  
 第 1 導電形の第 1 半導体層と、  
 前記第 1 半導体層上に設けられた第 2 導電形の第 2 半導体層と、  
 前記第 1 セルと前記第 2 セルとの間に設けられ、前記第 1 半導体層及び前記第 2 半導体層とは異なる材料からなる第 1 部材と、  
 前記第 1 部材と前記第 1 セルとの間に設けられ、前記第 1 半導体層及び前記第 2 半導体層とは異なる材料からなる第 2 部材と、  
 前記第 1 部材と前記第 2 セルとの間に設けられ、前記第 1 半導体層及び前記第 2 半導体層とは異なる材料からなる第 3 部材と、  
 を備えた光検出装置。

10

## 【請求項 2】

前記第 1 部材、前記第 2 部材及び前記第 3 部材は、誘電体からなる請求項 1 記載の光検出装置。

## 【請求項 3】

前記第 1 部材の形状は、前記第 1 セル及び前記第 2 セルをそれぞれ囲む格子状である請求項 1 または 2 に記載の光検出装置。

## 【請求項 4】

前記第 2 部材は前記第 1 セルを囲み、前記第 3 部材は前記第 2 セルを囲む請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の光検出装置。

20

## 【請求項 5】

前記第 1 セル及び前記第 2 セルを含む断面において、前記第 1 部材、前記第 2 部材及び前記第 3 部材は周期的に配列されている請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載の光検出装置。

## 【請求項 6】

前記第 1 セルの中心と前記第 2 セルの中心とを結ぶ直線に対して、前記第 1 部材の両側面、前記第 2 部材の両側面及び前記第 3 部材の両側面が直交している請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載の光検出装置。

## 【請求項 7】

前記第 2 半導体層は、  
 前記第 1 半導体層に接した第 1 領域と、  
 前記第 1 領域上に設けられ、不純物濃度が前記第 1 領域の不純物濃度よりも低い第 2 領域と、  
 前記第 2 領域上に設けられ、不純物濃度が前記第 2 領域の不純物濃度よりも高い第 3 領域と、  
 を有し、  
 前記第 1 部材の下端、前記第 2 部材の下端、及び、前記第 3 部材の下端は、前記第 2 領域と前記第 3 領域の界面よりも下方に位置する請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の光検出装置。

30

40

## 【請求項 8】

前記第 1 部材の下端、前記第 2 部材の下端、及び、前記第 3 部材の下端は、前記第 1 半導体層と前記第 2 半導体層の界面よりも下方に位置する請求項 7 記載の光検出装置。

## 【請求項 9】

前記第 1 半導体層は、  
 第 1 領域と、  
 前記第 1 領域上に設けられ、不純物濃度が前記第 1 領域の不純物濃度よりも低い第 2 領域と、  
 前記第 2 領域上に設けられ、前記第 2 半導体層に接し、不純物濃度が前記第 2 領域の不純物濃度よりも高い第 3 領域と、

50

を有し、

前記第 1 部材の下端、前記第 2 部材の下端、及び、前記第 3 部材の下端は、前記第 3 領域と前記第 2 半導体層の界面よりも下方に位置する請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の光検出装置。

【請求項 10】

前記第 1 部材の下端、前記第 2 部材の下端、及び、前記第 3 部材の下端は、前記第 1 領域と前記第 2 領域の界面よりも下方に位置する請求項 9 記載の光検出装置。

【請求項 11】

前記第 1 部材と前記第 3 部材との間に設けられ、前記第 1 半導体層及び前記第 2 半導体層とは異なる材料からなる第 4 部材をさらに備えた請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 つに記載の光検出装置。

10

【請求項 12】

前記第 4 部材は前記第 2 セルを囲む請求項 11 記載の光検出装置。

【請求項 13】

前記第 1 セル及び前記第 2 セルのそれぞれについて、前記第 1 半導体層又は前記第 2 半導体層に接続された抵抗部材をさらに備えた請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 つに記載の光検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

実施形態は、光検出装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

従来より、微弱な光を検出する光検出装置として、複数のセルが配列され、セル毎にアパランシェフォトダイオード (APD) が設けられた SiPM (Silicon Photomultiplier: シリコン光電子増倍管) が開発されている。このような光検出装置においても、検出精度の向上が要求されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2018 - 121164 号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

実施形態の目的は、検出精度が高い光検出装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

実施形態に係る光検出装置は、隣り合う第 1 セル及び第 2 セルが設定された光検出装置である。前記光検出装置は、第 1 導電形の第 1 半導体層と、前記第 1 半導体層上に設けられた第 2 導電形の第 2 半導体層と、前記第 1 セルと前記第 2 セルとの間に設けられ、前記第 1 半導体層及び前記第 2 半導体層とは異なる材料からなる第 1 部材と、前記第 1 部材と前記第 1 セルとの間に設けられ、前記第 1 半導体層及び前記第 2 半導体層とは異なる材料からなる第 2 部材と、前記第 1 部材と前記第 2 セルとの間に設けられ、前記第 1 半導体層及び前記第 2 半導体層とは異なる材料からなる第 3 部材と、を備える。

40

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図 1】第 1 の実施形態に係る光検出装置を示す平面図である。

【図 2】第 1 の実施形態に係る光検出装置を示す一部拡大平面図である。

【図 3】図 2 に示す A - A' 線による断面図である。

【図 4】第 1 の実施形態に係る光検出装置の素子分離領域を示す一部拡大断面図である。

50

【図 5】第 1 の実施形態に係る光検出装置を示す回路図である。

【図 6】第 1 の実施形態に係る光検出装置の動作を示す断面図である。

【図 7】第 1 の実施形態の変形例に係る光検出装置を示す断面図である。

【図 8】第 2 の実施形態に係る光検出装置を示す断面図である。

【図 9】第 2 の実施形態に係る光検出装置の動作を示す断面図である。

【図 10】第 2 の実施形態の変形例に係る光検出装置を示す断面図である。

【図 11】( a ) は第 3 の実施形態に係る光検出装置を示す平面図であり、( b ) は ( a ) に示す B - B ' 線による断面図である。

【図 12】第 4 の実施形態に係る光検出装置を示す平面図である。

【図 13】第 5 の実施形態に係る光検出装置を示す平面図である。

10

【図 14】( a ) 及び ( b ) は、横軸に二次光子の波長をとり、縦軸に素子分離領域における光の反射率をとって、第 1 の試験例における光の反射率のシミュレーション結果を示すグラフである。

【図 15】( a ) 及び ( b ) は、横軸に二次光子の波長をとり、縦軸に素子分離領域における光の反射率をとって、第 1 の試験例における光の反射率のシミュレーション結果を示すグラフである。

【図 16】横軸に二次光子の波長をとり、縦軸に素子分離領域における光の反射率をとって、第 2 の試験例における光の反射率のシミュレーション結果を示すグラフ及び表である。

【図 17】横軸に二次光子の波長をとり、縦軸に素子分離領域における光の反射率をとって、第 2 の試験例における光の反射率のシミュレーション結果を示すグラフ及び表である。

20

【発明を実施するための形態】

【0007】

< 第 1 の実施形態 >

以下、第 1 の実施形態について説明する。

図 1 は、本実施形態に係る光検出装置を示す平面図である。

図 2 は、本実施形態に係る光検出装置を示す一部拡大平面図である。

図 3 は、図 2 に示す A - A ' 線による断面図である。

図 4 は、本実施形態に係る光検出装置の素子分離領域を示す一部拡大断面図である。

30

図 5 は、本実施形態に係る光検出装置を示す回路図である。

なお、各図は模式的なものであり、適宜省略及び強調されている。また、図間において、構成要素の縦横比等は必ずしも整合していない。後述する他の図についても同様である。

本実施形態に係る光検出装置 1 は、例えば SiPM である。

【0008】

図 1 に示すように、本実施形態に係る光検出装置 1 においては、複数のセル 100 が設けられている。複数のセル 100 は、例えば、マトリクス状に配列されている。セル 100 間には素子分離領域 101 が設けられている。一例では、光検出装置 1 には数十から数千個のセル 100 が設けられている。上方から見て、セル 100 の形状は矩形、例えば、正方形であり、セル 100 の一辺の長さは数十～百  $\mu\text{m}$  程度である。上方から見て、素子分離領域 101 の形状は各セル 100 を囲む格子状である。光検出装置 1 に設けられた複数のセル 100 のうち、隣り合う 2 つのセル 100 を「セル 100 a」及び「セル 100 b」ともいう。

40

【0009】

図 2 及び図 3 に示すように、光検出装置 1 においては、導電形が  $n^+$  形の  $n^+$  形基板 11 が設けられている。 $n^+$  形基板 11 は、例えば、単結晶のシリコン基板である。 $n^+$  形基板 11 上には、導電形が p 形の p 形半導体層 12 が設けられている。p 形半導体層 12 は、例えば、シリコンのエピタキシャル層である。 $n^+$  形基板 11 と p 形半導体層 12 との接触面は、pn 界面 10 となっている。

50

## 【0010】

本実施形態においては、 $n^+$ 形基板11からp形半導体層12に向かう方向を「上」といい、p形半導体層12から $n^+$ 形基板11に向かう方向を「下」というが、この表記は便宜的なものであり、重力の方向とは無関係である。また、「上」及び「下」を総称して「垂直方向」ともいう。本明細書において「上方から見て」との記載は、上から下に向かう方向の視線による観察を意味している。

## 【0011】

p形半導体層12においては、p形領域13、 $p^-$ 形領域14、 $p^+$ 形領域15及び $p^-$ 形領域16が設けられている。このうち、p形領域13、 $p^+$ 形領域15、 $p^-$ 形領域16はセル100内のみで設けられており、素子分離領域101には設けられていない。p形領域13は $n^+$ 形基板11に接している。 $p^-$ 形領域14は $n^+$ 形基板11上及びp形領域13上に設けられており、p形領域13を覆っており、 $n^+$ 形基板11及びp形領域13に接している。 $p^+$ 形領域15は $p^-$ 形領域14上に設けられており、 $p^-$ 形領域14に接し、p形半導体層12の上面に露出している。 $p^-$ 形領域16は $p^+$ 形領域15を囲む枠状に設けられており、 $p^+$ 形領域15及び $p^-$ 形領域14に接している。このため、セル100の中央部においては、下から上に向かって、 $n^+$ 形基板11、p形領域13、 $p^-$ 形領域14及び $p^+$ 形領域15がこの順に配列されている。

10

## 【0012】

本明細書において、「 $p^+$ 形」は導電形がp形であって「p形」よりも不純物濃度が高いことを意味し、「 $p^-$ 形」は導電形がp形であって「p形」よりも不純物濃度が低いことを意味する。同様に、「 $n^+$ 形」は導電形がn形であって「n形」よりも不純物濃度が高いことを意味し、「 $n^-$ 形」は導電形がn形であって「n形」よりも不純物濃度が低いことを意味する。また、「不純物濃度」とは、半導体材料の導電性に寄与する不純物の濃度をいい、同じ部分にドナーとなる不純物とアクセプタとなる不純物の双方が含まれている場合は、それらの相殺分を除いた実効的な濃度をいう。

20

## 【0013】

素子分離領域101においては、p形半導体層12上に絶縁膜20が設けられており、絶縁膜20の直下には $n^-$ 形領域19が設けられている。 $n^-$ 形領域19は絶縁膜20に接し、 $n^+$ 形基板11からは隔離している。そして、絶縁膜20と $n^+$ 形基板11との間に、1枚の板状部材21及び2枚の板状部材22が設けられている。1枚の板状部材21及び2枚の板状部材22は、隣り合う2つのセル100aとセル100bとの間に配置されている。以下の説明においては、板状部材21及び22を総称して、単に「板状部材」ともいう。

30

## 【0014】

板状部材の光の屈折率は、 $n^+$ 形基板11及びp形半導体層12の光の屈折率とは異なる。板状部材は、 $n^+$ 形基板11及びp形半導体層12の材料とは異なる材料からなり、例えば誘電体からなる。誘電体とは導電性よりも誘電性が優位な物質であり、絶縁体である。本実施形態においては、板状部材は、例えば、シリコン酸化物からなる。なお、板状部材21の材料と板状部材22の材料は異なってもよい。板状部材21の上端21U及び板状部材22の上端22Uは、絶縁膜20に接している。板状部材21の下端21L及び板状部材22の下端22Lは、 $n^+$ 形基板11内に位置している。すなわち、下端21L及び22Lは、pn界面10よりも下方に位置している。

40

## 【0015】

板状部材21の形状は、複数のセル100をそれぞれ囲む格子状である。板状部材22の形状は、1つのセル100を囲む枠状である。板状部材22は、板状部材21とセル100との間に配置されている。換言すれば、板状部材21は、複数のセル100をそれぞれ囲んだ複数の板状部材22を、さらにその外側から囲む。板状部材22のうち、セル100aを囲む板状部材22を「板状部材22a」ともいい、セル100bを囲む板状部材22を「板状部材22b」ともいう。

## 【0016】

50

隣り合う2つのセル100を含む断面、例えば、図3及び図4に示すようなセル100a及びセル100bを含む断面において、板状部材22a、板状部材21、板状部材22bは、周期的に配列されている。また、セル100aの中心とセル100bの中心とを結ぶ仮想的な直線201に対して、板状部材21の両側面21c及び21d、板状部材22aの両側面22c及び22d、板状部材22bの両側面22e及び22fは直交している。なお、直線201はpn界面10に平行である。セル100の中心とは、例えば、上方から見てセル100の重心をいい、例えば、セル100の形状が矩形である場合には、対角線の交点をいう。

【0017】

図4に示すように、板状部材21の厚さを $t_{21}$ とし、板状部材22の厚さを $t_{22}$ とする。厚さ $t_{21}$ 及び $t_{22}$ を総称して厚さ $t$ という。また、板状部材に入射する波長を $\lambda$ とし、この光に対する板状部材の屈折率を $n_1$ とする。更に、 $m_1$ を0以上の整数とする。この場合、厚さ $t$ は、概ね、以下の数式1を満たす。

10

【0018】

【数1】

$$t = \frac{m_1 \lambda}{2n_1} + \frac{\lambda}{4n_1}$$

20

【0019】

板状部材がシリコン酸化物( $\text{SiO}_2$ )により形成されている場合、屈折率 $n_1$ は1.457である。光の波長 $\lambda$ を900nmとすると、 $t = 308m_1 + 154$  [nm]である。例えば、 $m_1$ が0である場合は、 $t = 154$  [nm]である。したがって、厚さ $t$ は154nm程度とする。板状部材の厚さ $t$ は一定であることが好ましいが、図6に例示するように、下にいくほど薄いテーパ形状であってもよい。また、板状部材21の厚さ $t_{21}$ と板状部材22の厚さ $t_{22}$ は異なってもよい。例えば、板状部材21と板状部材22で材料を異ならせた場合は、それぞれの材料の屈折率に基づいて、上記数式1にしたがって好適な厚さ $t$ を算出する。このとき、板状部材21と板状部材22とで、整数 $m_1$ の値を異ならせてもよい。

30

【0020】

また、p形領域14における板状部材21と板状部材22との間の部分14aの幅を $d$ とする。また、上述の光に対するp形領域14の屈折率を $n_2$ とする。更に、 $m_2$ を0以上の整数とする。この場合、幅 $d$ は、概ね、以下の数式2を満たす。

【0021】

【数2】

$$d = \frac{m_2 \lambda}{2n_2} + \frac{\lambda}{4n_2}$$

40

【0022】

p形領域14がシリコン(Si)により形成されている場合、屈折率 $n_2$ は3.882である。光の波長 $\lambda$ を900nmとすると、 $t = 116m_2 + 58$  [nm]である。例えば、 $m_2$ が0である場合は、 $t = 58$  [nm]である。したがって、幅 $d$ は58nm程度とする。幅 $d$ は一定であることが好ましいが、板状部材の厚さ $t$ が下にいくほど薄くなる場合には、幅 $d$ は下にいくほど厚くなる。また、幅 $d$ は、p形領域14の部分14a毎に異なってもよい。

【0023】

図3に示すように、絶縁膜20上には、例えばポリシリコンからなる抵抗部材31が設

50

けられている。抵抗部材 31 の一方の端部 31a は、コンタクト 32、配線 33 及びコンタクト 34 を介して、 $p^+$  形領域 15 に接続されている。抵抗部材 31 の他方の端部 31b は、コンタクト 35 及び配線 36 を介して接地電位 GND に接続される。また、 $n^+$  形基板 11 には、正の電源電位  $V_r$  が印加される。

#### 【0024】

これにより、セル 100 においては、 $n^+$  形基板 11 と  $p$  形半導体層 12 により、アバランシェフォトダイオード (APD) 37 が形成される。この結果、図 5 に示すように、セル 100 においては、抵抗部材 31 と APD 37 が直列に接続される。光検出装置 1 においては、セル 100 が並列に接続される。

#### 【0025】

次に、本実施形態に係る光検出装置の動作について説明する。

図 6 は、本実施形態に係る光検出装置の動作を示す断面図である。

図 6 に示すように、光検出装置 1 の  $n^+$  形基板 11 に正の電源電位  $V_r$  を印加し、抵抗部材 31 (図 3 参照) を介して  $p^+$  形領域 15 に接地電位 GND を印加すると、APD 37 に逆バイアス電圧が印加され、 $pn$  界面 10 を起点として空乏層 (図示せず) が広がる。

#### 【0026】

この状態で、セル 100 に光子 202 が入射すると、電子  $e$  と正孔  $h$  の対が発生し、電子  $e$  は  $n^+$  形基板 11 に向かって流れ、正孔  $h$  は  $p^+$  形領域 15 に向かって流れる。これにより、APD 37 に順方向電流が流れ、APD 37 がアバランシェ降伏する。この結果、APD 37 においてアバランシェ電流が発生し、このアバランシェ電流が抵抗部材 31 に流れ、抵抗部材 31 の両端部間に電位差が生じる。光検出装置 1 は抵抗部材 31 の両端部間の電位差を検出することにより、セル 100 に光子 202 が入射したことを検出する。

#### 【0027】

このとき、セル 100 内においては、アバランシェ降伏によって発生した電子 - 正孔対が再結合することにより、二次光子 203 が発生する。二次光子 203 が素子分離領域 101 に入射すると、周期的に配列された 3 枚の板状部材、すなわち、板状部材 22、板状部材 21 及び板状部材 22 により干渉されて反射される。これにより、二次光子 203 が素子分離領域 101 を透過することを抑制できる。この結果、あるセル 100 内で発生した二次光子 203 が、素子分離領域 101 を越えて隣のセル 100 に漏洩することを抑制でき、セル 100 間のクロストークを抑制できる。すなわち、セル 100 a のみに光子 202 が入射したときに、セル 100 a において発生した二次光子 203 が隣のセル 100 b に入射し、セル 100 b においてアバランシェ降伏を誘発し、光を誤検出することを抑制できる。したがって、光検出装置 1 は検出精度が高い。

#### 【0028】

< 第 1 の実施形態の変形例 >

次に、第 1 の実施形態の変形例について説明する。

図 7 は、本変形例に係る光検出装置を示す断面図である。

#### 【0029】

図 7 に示すように、本変形例に係る光検出装置 1 a においては、板状部材 21 及び 22 が  $n^+$  形基板 11 に到達しておらず、 $n^+$  形基板 11 から離隔している。すなわち、下端 21L 及び 22L は、 $pn$  界面 10 よりも上方に位置している。但し、板状部材 21 及び 22 の下端 21 及び 22b は、 $p^-$  形領域 14 と  $p^+$  形領域 15 との界面よりは下方に位置している。

#### 【0030】

APD 37 に逆バイアス電圧が印加されたときに発生する空乏層は、最大で  $p^-$  形領域 14 と  $p^+$  形領域 15 との界面付近まで到達する。このため、板状部材 21 及び 22 が  $p^-$  形領域 14 と  $p^+$  形領域 15 との界面よりも下方まで延出していれば、空乏層内で発生した二次光子を反射する効果が得られる。本変形例に係る光検出装置 1 a は、板状部材 2

10

20

30

40

50

1及び22が浅いため、製造が容易である。本変形例における上記以外の構成、動作及び効果は、第1の実施形態と同様である。

#### 【0031】

<第2の実施形態>

次に、第2の実施形態について説明する。

図8は、本実施形態に係る光検出装置を示す断面図である。

#### 【0032】

図8に示すように、本実施形態に係る光検出装置2においては、導電形が $p^+$ 形の $p^+$ 形基板41が設けられている。 $p^+$ 形基板41は、例えば、単結晶のシリコン基板である。 $p^+$ 形基板41上には、導電形が $p^-$ 形の $p^-$ 形領域42が設けられている。 $p^-$ 形領域42は、例えば、シリコンのエピタキシャル層である。 $p^+$ 形基板41及び $p^-$ 形領域42は、セル100及び素子分離領域101の双方に設けられている。

10

#### 【0033】

セル100において、 $p^-$ 形領域42上には、導電形が $p$ 形の $p$ 形領域43が設けられている。また、素子分離領域101において、 $p^-$ 形領域42上には、導電形が $p^-$ 形の $p^-$ 形領域44が設けられている。 $p^+$ 形基板41、 $p^-$ 形領域42、 $p$ 形領域43及び $p^-$ 形領域44により、 $p$ 形半導体層45が形成されている。

#### 【0034】

セル100において、 $p$ 形領域43上には、導電形が $n^+$ 形の $n^+$ 形半導体層46が設けられている。 $n^+$ 形半導体層46は $p$ 形領域43及び $p^-$ 形領域42に接している。このため、セル100の中央部においては、下から上に向かって、 $p^+$ 形基板41、 $p^-$ 形領域42、 $p$ 形領域43及び $n^+$ 形半導体層46がこの順に配列されている。 $n^+$ 形半導体層46と $p$ 形領域43との界面、及び、 $n^+$ 形半導体層46と $p^-$ 形領域42との界面が、 $pn$ 界面50となっている。これにより、セル100においては、 $n^+$ 形半導体層46と、 $p$ 形領域43及び $p^-$ 形領域42により、アバランシェフォトダイオード(APD)51が形成される。

20

#### 【0035】

素子分離領域101においては、絶縁膜20が設けられている。 $p^-$ 形領域44は絶縁膜20に接している。 $p^+$ 形基板41と絶縁膜20の間には、板状部材21及び22が設けられている。板状部材21及び22の構成は、第1の実施形態と同様である。板状部材21の下端21L及び板状部材22の下端22Lは、 $p^+$ 形基板41内に位置している。すなわち、下端21L及び22Lは、 $p^+$ 形基板41と $p^-$ 形領域42との界面よりも下方に位置している。

30

#### 【0036】

次に、本実施形態に係る光検出装置2の動作について説明する。

図9は、本実施形態に係る光検出装置の動作を示す断面図である。

図9に示すように、光検出装置2の $p^+$ 形基板41に接地電位GNDを印加し、抵抗部材31(図8参照)を介して $n^+$ 形半導体層46に正の電源電位 $V_r$ を印加すると、APD51に逆バイアス電圧が印加され、 $pn$ 界面50を起点として空乏層(図示せず)が広がる。

40

#### 【0037】

この状態で、セル100に光子202が入射すると、電子 $e$ と正孔 $h$ の対が発生し、電子 $e$ は $n^+$ 形半導体層46に向かって流れ、正孔 $h$ は $p^+$ 形基板41に向かって流れる。これにより、APD51に順方向電流が流れ、APD51がアバランシェ降伏する。これにより、光検出装置2はセル100に光子202が入射したことを検出する。

#### 【0038】

このとき、セル100内においては、アバランシェ降伏によって発生した電子-正孔対が再結合することにより、二次光子203が発生する。但し、二次光子203が発生する位置は空乏層内であり、空乏層は $pn$ 界面50を起点として広がるため、光検出装置2において二次光子203が発生する位置は、第1の実施形態に係る光検出装置1(図6参照

50

）において二次光子 203 が発生する位置よりも上方である。二次光子 203 は、素子分離領域 101 に設けられた板状部材 22、板状部材 21 及び板状部材 22 により干渉されて反射されるため、隣のセル 100 には漏洩しにくい。このため、光検出装置 2 は検出精度が高い。本実施形態における上記以外の構成、動作及び効果は、第 1 の実施形態と同様である。

#### 【0039】

< 第 2 の実施形態の変形例 >

次に、第 2 の実施形態の変形例について説明する。

図 10 は、本変形例に係る光検出装置を示す断面図である。

#### 【0040】

図 10 に示すように、本変形例に係る光検出装置 2 a においては、板状部材 21 及び 22 が p<sup>+</sup> 形基板 41 に到達しておらず、p<sup>+</sup> 形基板 41 から離隔している。但し、板状部材 21 及び 22 の下端 21L 及び 22L は、p 形領域 43 と n<sup>+</sup> 形半導体層 46 の pn 界面 50 よりは下方に位置している。

10

#### 【0041】

APD 51 に逆バイアスが印加されたときに発生する空乏層は、pn 界面 50 を起点として発生するため、板状部材 21 及び 22 が pn 界面 50 よりも下方まで延出していれば、空乏層内で発生した二次光子を反射する効果が得られる。本変形例に係る光検出装置 2 a は、板状部材 21 及び 22 が浅いため、製造が容易である。本変形例における上記以外の構成、動作及び効果は、第 2 の実施形態と同様である。

20

#### 【0042】

< 第 3 の実施形態 >

次に、第 3 の実施形態について説明する。

図 11 (a) は本実施形態に係る光検出装置を示す平面図であり、(b) は (a) に示す B-B' 線による断面図である。

図 11 (a) 及び (b) においては、セル 100 内の詳細な構成は図示を省略している。

#### 【0043】

図 11 (a) 及び (b) に示すように、本実施形態に係る光検出装置 3 は、第 1 の実施形態に係る光検出装置 1 (図 1 ~ 図 6 参照) と比較して、板状部材 21 の替わりに相互に離隔した 2 枚の板状部材 23 が設けられている点が異なっている。板状部材 23 の形状は棒状であり、それぞれ板状部材 22 を囲み、したがって、板状部材 22 を介してセル 100 を囲んでいる。板状部材 23 のうち、板状部材 22 a 及びセル 100 a を囲む板状部材 23 を「板状部材 23 a」ともいい、板状部材 22 b 及びセル 100 b を囲む板状部材 23 を「板状部材 23 b」ともいう。

30

#### 【0044】

板状部材 23 の組成は、板状部材 22 の組成と略同じである。また、板状部材 23 の上端及び下端の垂直方向における位置も、板状部材 22 の上端及び下端の位置と略同じである。このため、光検出装置 3 においては、隣り合うセル 100 間に 4 枚の板状部材が配置されている。隣り合う 2 つのセル 100 を含む断面において、板状部材 22、板状部材 23、板状部材 23、及び、板状部材 22 は、周期的に配列されている。例えば、セル 100 a とセル 100 b との間には、板状部材 22 a、板状部材 23 a、板状部材 23 b 及び板状部材 22 b が、この順に周期的に配列されている。

40

#### 【0045】

本実施形態によれば、隣り合うセル 100 間に 4 枚の板状部材を配置し、周期的に配列させることにより、二次光子を効果的に干渉させて、反射効率をより向上させることができる。この結果、二次光子の隣のセル 100 への漏洩をより効果的に抑制し、検出精度をより向上させることができる。本実施形態における上記以外の構成、動作及び効果は、第 1 の実施形態と同様である。

#### 【0046】

50

なお、第1及び第2の実施形態においては、隣り合うセル100間に3枚の板状部材を配置する例を示し、本実施形態においては、隣り合うセル100間に4枚の板状部材を配置する例を示したが、本発明はこれには限定されず、隣り合うセル100間に5枚以上の板状部材を配置してもよい。また、各板状部材の形状は棒状としてもよく格子状としてもよい。

#### 【0047】

<第4の実施形態>

次に、第4の実施形態について説明する。

図12は、本実施形態に係る光検出装置を示す平面図である。

図12においては、セル100内及び素子分離領域101内の構成は図示を省略している。

10

#### 【0048】

図12に示すように、本実施形態に係る光検出装置4においては、上方から見て、セル100の形状が八角形である。セル100の形状は、例えば、正方形の角部を斜辺にした形状である。本実施形態における上記以外の構成、動作及び効果は、第1の実施形態と同様である。

#### 【0049】

<第5の実施形態>

次に、第5の実施形態について説明する。

図13は本実施形態に係る光検出装置を示す平面図である。

図13においては、セル100内及び素子分離領域101内の構成は図示を省略している。

20

#### 【0050】

図13に示すように、本実施形態に係る光検出装置5においては、上方から見て、セル100の形状が六角形であり、例えば、ハニカム状に配列されている。これにより、上方から見て、セル100の単位面積当たりの端縁の長さを短くすることができる。この結果、光検出装置5におけるセル100の面積比率を高めることができ、光の検出精度をより一層向上させることができる。本実施形態における上記以外の構成、動作及び効果は、第1の実施形態と同様である。

#### 【0051】

なお、前述の第1～第3の実施形態においては、上方から見て、セル100の形状が四角形である例を示し、第4の実施形態においては、セル100の形状が八角形である例を示し、第5の実施形態においては、セル100の形状が六角形である例を示したが、セル100の形状はこれらには限定されない。セル100の形状は任意の形状とすることができ、例えば、多角形、円形又は楕円形とすることができ、また、前述の各実施形態は、任意に組み合わせて実施することができる。例えば、第2の実施形態で説明したような空乏層がセルの上部に形成されるような光検出装置において、第3の実施形態で説明したように、隣り合うセル間に板状部材を4枚配置してもよく、第4及び第5の実施形態で説明したような平面レイアウトを採用してもよい。

30

#### 【0052】

<第1の試験例>

次に、第1の試験例について説明する。

図14(a)及び(b)、図15(a)及び(b)は、横軸に二次光子の波長をとり、縦軸に素子分離領域における光の反射率をとって、本試験例における光の反射率のシミュレーション結果を示すグラフである。

40

#### 【0053】

まず、シミュレーションの共通条件について説明する。

光検査装置の構成は、図4に示すように、3本又は4本の板状部材が周期的に配列されている構成を想定した。板状部材の厚さ $t$ は板状部材間及び板状部材内で均一であるものとし、板状部材間の半導体層の幅 $d$ も均一であるものとした。板状部材はシリコン酸化物

50

からなり、半導体層はシリコンからなるものとした。シリコン酸化物の屈折率  $n_1$  は 1.457 とし、シリコンの屈折率  $n_2$  は 3.882 とした。

【0054】

二次光子 203 の入射方向が直線 201 に対してなす角度と  $[\text{°}]$  とした。直線 201 は、板状部材の両側面に対して直交する直線である。また、各条件において、板状部材の厚さ  $t$  及び半導体層の部分 14a の幅  $d$  が設計値どおりの場合、すなわち、誤差が 0% である場合を実線で示し、設計値 + 10% の場合、すなわち、実際のサイズが設計値よりも 10% 大きくなった場合を一点鎖線で示し、設計値 - 10% の場合、すなわち、実際のサイズが設計値よりも 10% 小さくなった場合を破線で示す。

【0055】

次に、個別のシミュレーション条件及び結果について説明する。

図 14 (a) 及び (b) は、板状部材の厚さ  $t$  が 154 nm であり、半導体層の部分 14a の幅  $d$  が 58 nm であり、角度  $\theta$  が  $0^\circ$  である場合を示す。これらの厚さ  $t$  及び幅  $d$  の値は、光の波長  $\lambda$  が 900 nm であり、整数  $m_1$  及び  $m_2$  が 0 であるときに、上述の数式 1 及び 2 を満たすような値である。図 14 (a) は板状部材が 3 枚である場合を示し、図 14 (b) は板状部材が 4 枚である場合を示す。

【0056】

図 14 (a) 及び (b) に示すように、上記条件において、厚さ  $t$  及び幅  $d$  が設計値どおりの場合 (0%) には、波長  $\lambda$  が概ね 700 nm 以上 1100 nm 以下の範囲で、反射率が 0.95 以上となった。また、厚さ  $t$  及び幅  $d$  が設計値 + 10% の場合及び設計値 - 10% の場合を含めても、板状部材が 3 枚の場合 (図 14 (a)) は、波長  $\lambda$  が概ね 730 nm 以上 1080 nm 以下の範囲で反射率が 0.8 以上となり、板状部材が 4 枚の場合 (図 14 (b) 参照) は、波長  $\lambda$  が概ね 740 nm 以上 1120 nm 以下の範囲で反射率が 0.8 以上となった。

【0057】

図 15 (a) 及び (b) は、板状部材の厚さ  $t$  が 154 nm であり、半導体層の部分 14a の幅  $d$  が 174 nm であり、角度  $\theta$  が  $0^\circ$  である場合を示す。これらの厚さ  $t$  及び幅  $d$  の値は、光の波長  $\lambda$  が 900 nm であり、整数  $m_1$  が 0 であり、整数  $m_2$  が 1 であるときに、上述の数式 1 及び 2 を満たすような値である。図 15 (a) は板状部材が 3 枚である場合を示し、図 15 (b) は板状部材が 4 枚である場合を示す。

【0058】

図 15 (a) 及び (b) に示すように、上記条件の場合、厚さ  $t$  及び幅  $d$  が設計値どおりの場合 (0%) には、波長  $\lambda$  が概ね 770 nm 以上 920 nm 以下の範囲で、反射率が 0.95 以上となった。また、厚さ  $t$  及び幅  $d$  が設計値 + 10% の場合及び設計値 - 10% の場合を含めると、板状部材が 3 枚の場合 (図 15 (a)) は、波長  $\lambda$  が概ね 790 nm 以上 950 nm 以下の範囲で反射率が 0.8 以上となり、板状部材が 4 枚の場合 (図 15 (b) 参照) は、波長  $\lambda$  が概ね 790 nm 以上 950 nm 以下の範囲で反射率が 0.8 以上となった。

【0059】

このように、本試験例によれば、二次光子の中心波長 900 nm 付近で良好な反射率が得られ、隣のセル 100 への透過が抑制されることが確認された。特に、上記数式 1 及び 2 において、整数  $m_1$  及び  $m_2$  が 0 である場合には、広い波長範囲で高い反射率が得られた。また、寸法の変動に対する依存性も少なかった。

【0060】

< 第 2 の試験例 >

次に、第 2 の試験例について説明する。

図 16 及び図 17 は、横軸に二次光子の波長をとり、縦軸に素子分離領域における光の反射率をとって、本試験例における光の反射率のシミュレーション結果を示すグラフ及び表である。

【0061】

10

20

30

40

50

本試験例においては、板状部材の厚さ  $t$  を  $154\text{ nm}$  とし、半導体層の部分  $14a$  の幅  $d$  を  $58\text{ nm}$  とし、角度  $\theta$  を  $0 \sim 45^\circ$  の範囲で変化させた。他の条件は、第1の試験例と同様である。図16は板状部材が3枚である場合を示し、図17は板状部材が4枚である場合を示す。

【0062】

図16及び図17に示すように、二次光子が板状部材に入射する角度  $\theta$  が  $0 \sim 45^\circ$  の範囲で変化しても、概ね  $650\text{ nm}$  以上  $1050\text{ nm}$  以下の波長範囲で、反射率が  $0.5$  以上となった。このように、角度  $\theta$  がばらついていても、隣のセルへの二次光子の漏洩を抑制する効果が確認された。

【0063】

以上説明した実施形態によれば、検出精度が高い光検出装置を実現することができる。

【0064】

以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明及びその等価物の範囲に含まれる。

【符号の説明】

【0065】

1、1a、2、2a、3、4、5：光検出装置

10：pn界面

11： $n^+$ 形基板

12：p形半導体層

13：p形領域

14： $p^-$ 形領域

14a：部分

15： $p^+$ 形領域

16： $p^-$ 形領域

19： $n^-$ 形領域

20：絶縁膜

21、22、22a、22b、23、23a、23b：板状部材

21U、22U：上端

21L、22L：下端

21c、21d、22c、22d、22e、22f：側面

31：抵抗部材

31a、31b：端部

32：コンタクト

33：配線

34、35：コンタクト

36：配線

37：アパランシェフオトダイオード (APD)

41： $p^+$ 形基板

42： $p^-$ 形領域

43：p形領域

44： $p^-$ 形領域

45：p形半導体層

46： $n^+$ 形半導体層

50：pn界面

51：アパランシェフオトダイオード (APD)

10

20

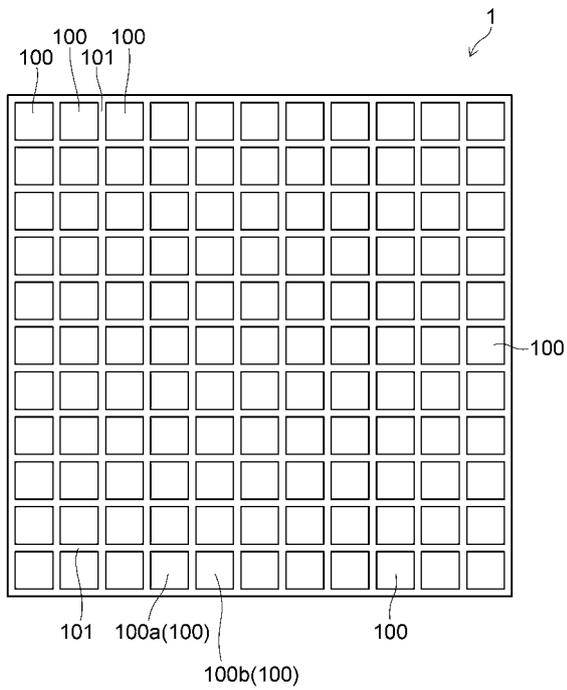
30

40

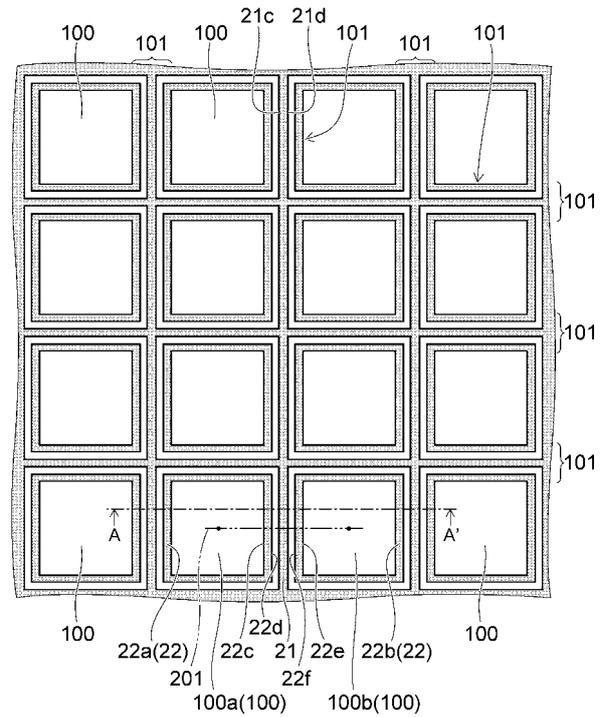
50

- 100、100a、100b：セル
- 101：素子分離領域
- 201：直線
- 202：光子
- 203：二次光子
- d、da：幅
- e：電子
- GND：接地電位
- h：正孔
- t、t21、t22：厚さ
- Vr：電源電位
- θ：角度
- λ：波長

【図1】

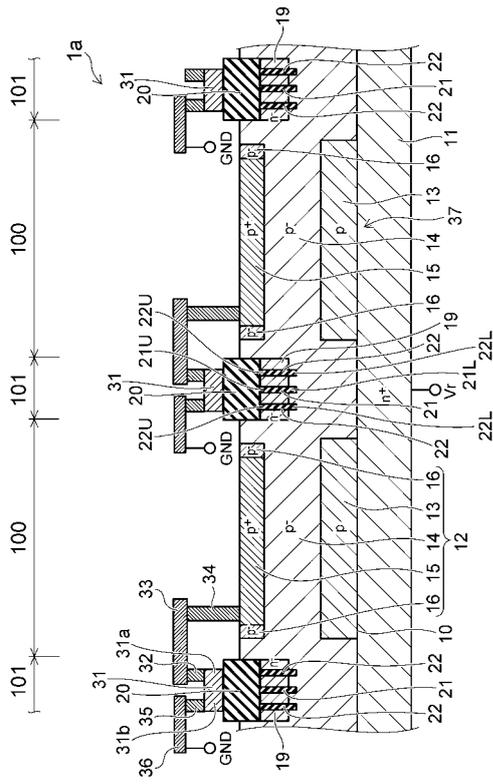


【図2】

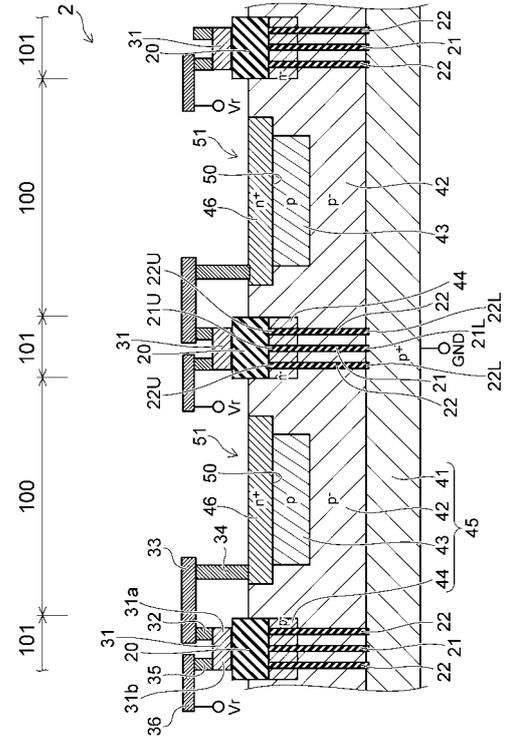




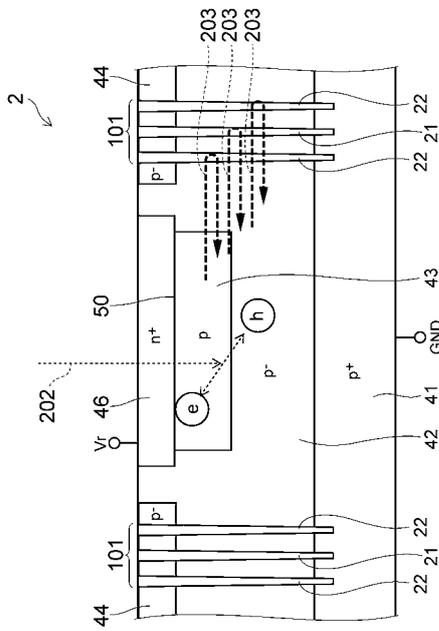
【 図 7 】



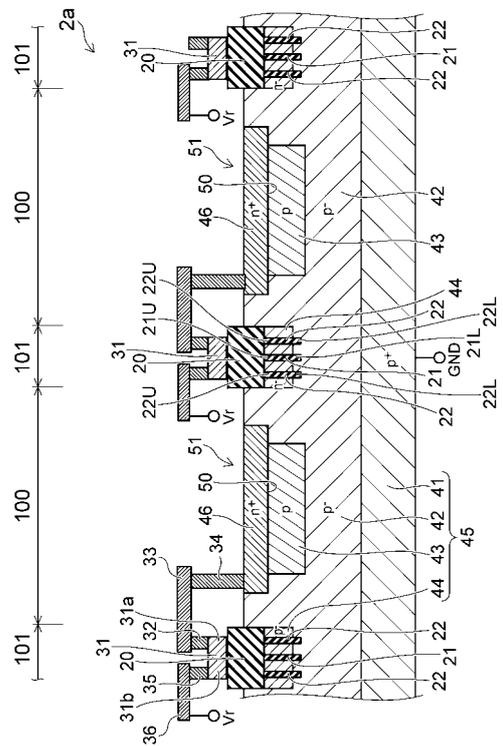
【 図 8 】



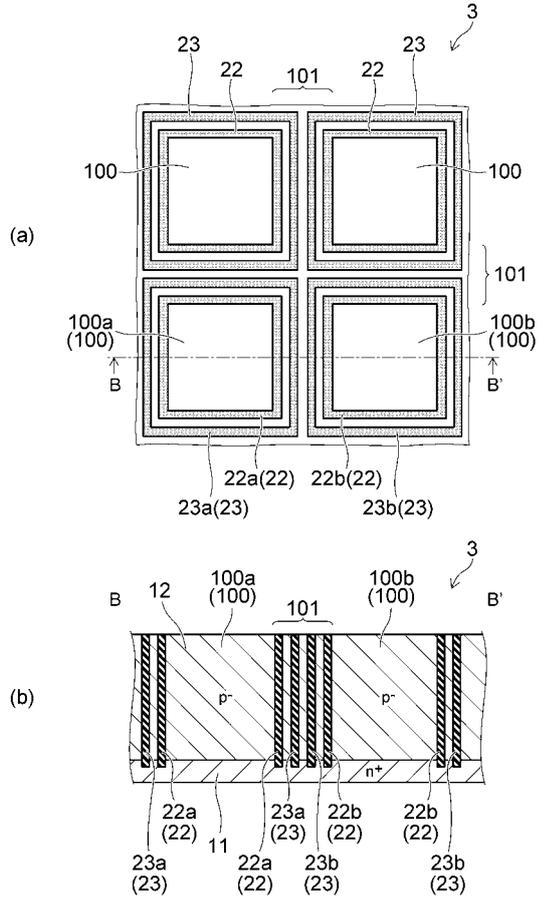
【 図 9 】



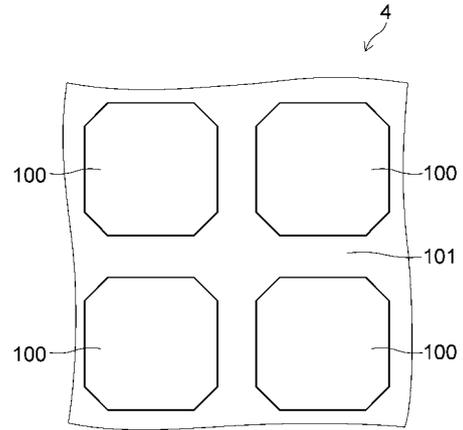
【 図 10 】



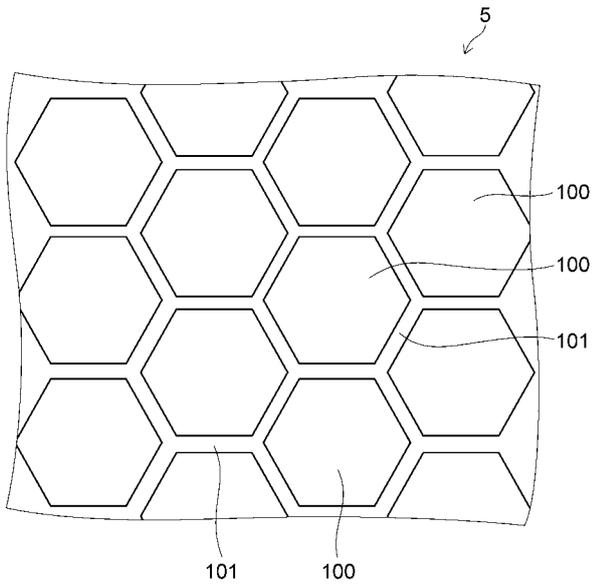
【図 1 1】



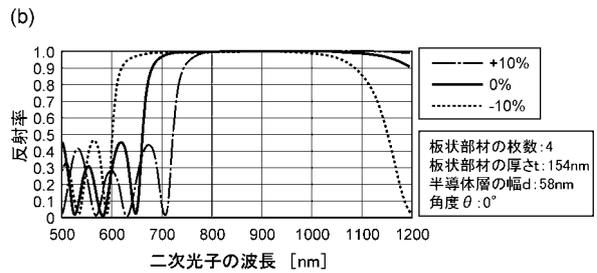
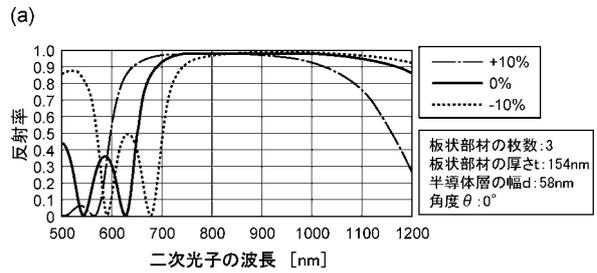
【図 1 2】



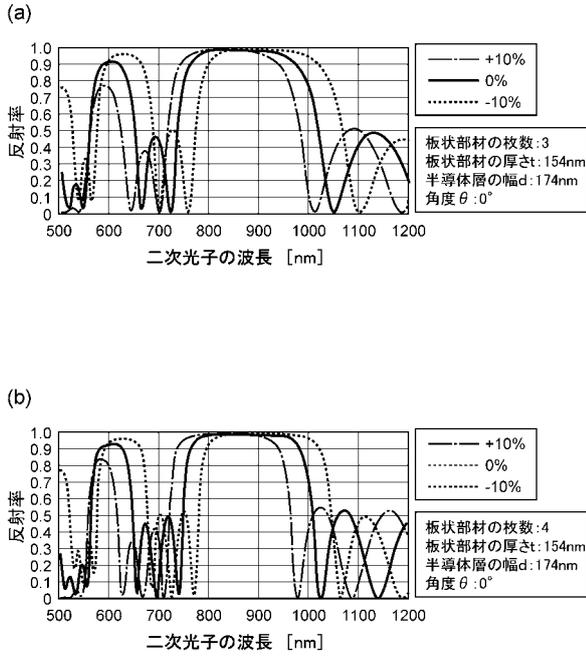
【図 1 3】



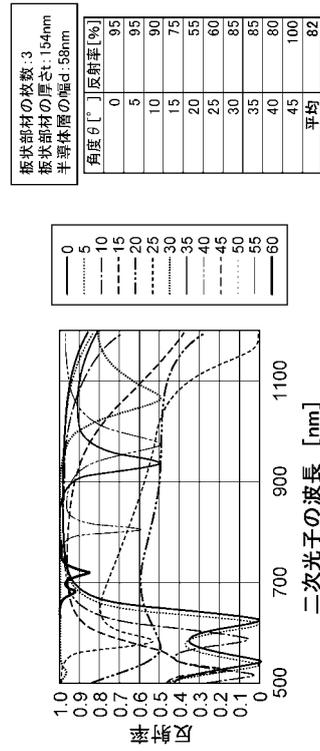
【図 1 4】



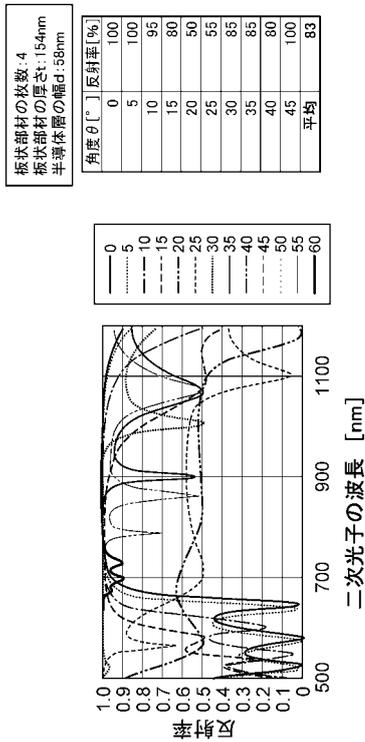
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



## フロントページの続き

(74)代理人 100172188

弁理士 内田 敬人

(74)代理人 100197538

弁理士 竹内 功

(72)発明者 安田 健介

東京都港区芝浦一丁目1番1号 東芝デバイス&ストレージ株式会社内

(72)発明者 戸田 順之

東京都港区芝浦一丁目1番1号 東芝デバイス&ストレージ株式会社内

(72)発明者 河原 慎二

東京都港区芝浦一丁目1番1号 東芝デバイス&ストレージ株式会社内

(72)発明者 山浦 和章

東京都港区芝浦一丁目1番1号 東芝デバイス&ストレージ株式会社内

(72)発明者 山本 武志

東京都港区芝浦一丁目1番1号 東芝デバイス&ストレージ株式会社内

Fターム(参考) 4M118 AA10 AB01 BA09 CA03 CA20 FA06 FA07 FA26 FA28 GA08

GD15

5F849 AB03 BA01 BA17 BB03 CB01 EA04 EA05 GA04 XB15 XB38