

(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2020-4774

(P2020-4774A)

(43) 公開日 令和2年1月9日(2020.1.9)

| (51) Int.Cl. |       |           | F I    |       |   | テーマコード (参考) |  |  |
|--------------|-------|-----------|--------|-------|---|-------------|--|--|
| HO 1 L       | 31/08 | (2006.01) | HO 1 L | 31/08 | Z | 2 G 0 6 5   |  |  |
| HO 1 L       | 31/10 | (2006.01) | HO 1 L | 31/10 | H | 5 F 8 4 9   |  |  |
| GO 1 J       | 1/02  | (2006.01) | GO 1 J | 1/02  | B |             |  |  |
|              |       |           | GO 1 J | 1/02  | R |             |  |  |

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2018-120057 (P2018-120057)  
 (22) 出願日 平成30年6月25日 (2018. 6. 25)

(71) 出願人 000236436  
 浜松ホトニクス株式会社  
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1  
 (74) 代理人 100088155  
 弁理士 長谷川 芳樹  
 (74) 代理人 100113435  
 弁理士 黒木 義樹  
 (74) 代理人 100140442  
 弁理士 柴山 健一  
 (74) 代理人 100148013  
 弁理士 中山 浩光  
 (72) 発明者 廣畑 徹  
 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1  
 浜松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

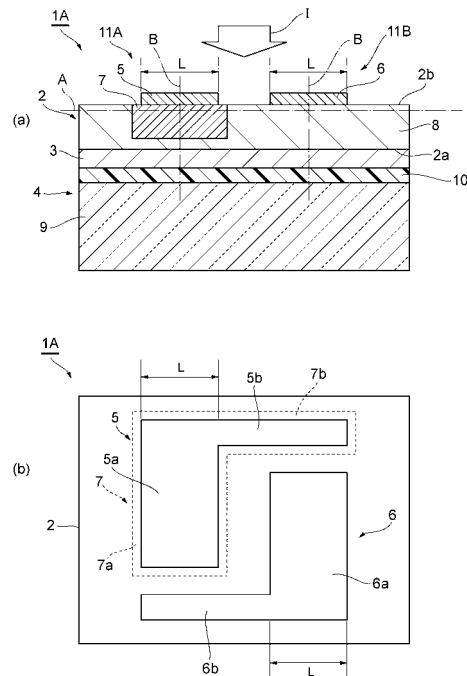
(54) 【発明の名称】 光検出器

(57) 【要約】

【課題】 金属電極層間の短絡を防止できると共に製造工程を容易化でき、製造歩留まりの向上が図られる光検出器を提供する。

【解決手段】 光検出器 1 A は、半導体層 2 の一方向 2 a に設けられた金属層 3 と、半導体層 2 の他方向 2 b に互いに離間して設けられた第 1 の金属電極層 5 及び第 2 の金属電極層 6 と、を備え、第 1 の M I M 共振器 1 1 A 及び第 2 の M I M 共振器 1 1 B の接合方向 B が半導体層 2 における p n 接合の方向 A と交差し、第 1 の M I M 共振器 1 1 A 及び第 2 の M I M 共振器 1 1 B の共振器長 L は、半導体層 2 の吸収端波長よりも長い波長を有する入射光 I によって表面プラズモンが励起され、且つ表面プラズモンの共振により形成される電場によってフォノンが励起される長さとなっている。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

半導体層と、  
前記半導体層の一方面に設けられた金属層と、  
前記半導体層の他方面に互いに離間して設けられた第 1 の金属電極層及び第 2 の金属電極層と、を備え、

前記半導体層は、p 型及び n 型の一方の導電性を有して前記第 1 の金属電極層に接する第 1 の半導体層と、p 型及び n 型の他方の導電性を有して前記第 2 の金属電極層に接する第 2 の半導体層と、を含み、

前記金属層と前記半導体層と前記第 1 の金属電極層とによって構成される第 1 の MIM 共振器の接合方向、及び前記金属層と前記半導体層と前記第 2 の金属電極層とによって構成される第 2 の MIM 共振器の接合方向は、前記半導体層における pn 接合又は pin 接合の方向と交差し、

前記第 1 の金属電極層と前記半導体層との密着幅によって規定される前記第 1 の MIM 共振器の共振器長、及び前記第 2 の金属電極層と前記半導体層との密着幅によって規定される前記第 2 の MIM 共振器の共振器長は、前記半導体層の吸収端波長よりも長い波長を有する入射光によって表面プラズモンが励起され、且つ前記表面プラズモンの共振により形成される電場によってフォノンが励起される長さとなっている光検出器。

## 【請求項 2】

前記第 1 の半導体層は、前記第 1 の金属電極層に接する部分において、前記半導体層の厚さ方向の一部のみに設けられ、

前記半導体層の残余の部分は、前記第 2 の半導体層となっている請求項 1 記載の光検出器。

## 【請求項 3】

前記第 1 の半導体層のキャリア濃度は、前記第 2 の半導体層のキャリア濃度よりも小さくなっている請求項 2 記載の光検出器。

## 【請求項 4】

前記半導体層の厚さ方向から見て、前記第 1 の金属電極層の形成領域が前記第 1 の半導体層の形成領域よりも内側に位置している請求項 2 又は 3 記載の光検出器。

## 【請求項 5】

前記第 1 の半導体層は、前記第 1 の金属電極層に接する部分において、前記半導体層の厚さ方向の一部のみに設けられ、

前記第 2 の半導体層は、前記第 2 の金属電極層に接する部分において、前記半導体層の厚さ方向の一部のみに設けられ、

前記半導体層の残余の部分は、高抵抗ベース層となっている請求項 1 記載の光検出器。

## 【請求項 6】

前記第 1 の半導体層と前記第 2 の半導体層とが互いに離間している請求項 5 記載の光検出器。

## 【請求項 7】

前記第 1 の半導体層と前記第 2 の半導体層とが互いに接している請求項 6 記載の光検出器。

## 【請求項 8】

前記半導体層の厚さ方向から見て、前記第 1 の金属電極層の形成領域が前記第 1 の半導体層の形成領域よりも内側に位置し、前記第 2 の金属電極層の形成領域が前記第 2 の半導体層の形成領域よりも内側に位置している請求項 5 ~ 7 のいずれか一項記載の光検出器。

## 【請求項 9】

前記金属層側に保持部が設けられている請求項 1 ~ 8 のいずれか一項記載の光検出器。

## 【請求項 10】

前記金属層側に保持部が設けられ、

前記保持部と前記高抵抗ベース層とが SOI 基板によって構成されている請求項 5 ~ 8

10

20

30

40

50

のいずれか一項記載の光検出器。

【請求項 1 1】

前記半導体層の厚さ方向から見て、前記第 1 の M I M 共振器及び前記第 2 の M I M 共振器がそれぞれ櫛歯状に設けられている請求項 1 ~ 1 0 のいずれか一項記載の光検出器。

【請求項 1 2】

前記半導体層の厚さ方向から見て、前記第 1 の M I M 共振器及び前記第 2 の M I M 共振器が渦巻状に設けられている請求項 1 ~ 1 0 のいずれか一項記載の光検出器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光検出器に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、金属層と半導体層との界面における表面プラズモンを利用する光検出器が知られている。例えば特許文献 1 に記載の光検出器は、第 1 の金属層と、第 1 の金属層上に積層された半導体層と、半導体層上に積層された第 2 の金属層とを有する積層構造体を備えている。この積層構造体は、いわゆる Metal - Insulator - Metal ( M I M ) 共振器を構成し、I 層としての半導体層は、導電型が p 型の半導体層と導電型が n 型の半導体層との積層体によって構成されている。

【0003】

積層構造体では、光入射によって生じた表面プラズモンが有する局在電場によって半導体層のフォノンが励起される。励起されたフォノンの多段階励起によって半導体層内での電子遷移が可能となり、半導体層内で光吸収が生じる。これが光電子として外部に取り出されることで、半導体層の吸収端波長よりも長い波長の光検出が実現されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特許第 5 9 5 2 1 0 8 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述のような光検出器においては、半導体層の厚さをナノオーダー程度で形成する必要がある。このため、光検出器の製造歩留まりを高める観点から、半導体層を挟む金属電極層間の短絡をより確実に防止するための工夫を施すことが好ましい。また、光検出器の製造歩留まりを高める観点からは、製造工程を容易化する工夫も必要となる。

【0006】

本発明は、上記課題の解決のためになされたものであり、金属電極層間の短絡を防止できると共に製造工程を容易化でき、製造歩留まりの向上が図られる光検出器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題の解決のため、本発明の一側面に係る光検出器は、半導体層と、半導体層の一方面に設けられた金属層と、半導体層の他方面に互いに離間して設けられた第 1 の金属電極層及び第 2 の金属電極層と、を備え、半導体層は、p 型及び n 型の一方の導電型を有して第 1 の金属電極層に接する第 1 の半導体層と、p 型及び n 型の他方の導電型を有して第 2 の金属電極層に接する第 2 の半導体層と、を含み、金属層と半導体層と第 1 の金属電極層とによって構成される第 1 の M I M 共振器の接合方向、及び金属層と半導体層と第 2 の金属電極層とによって構成される第 2 の M I M 共振器の接合方向は、半導体層における p n 接合又は p i n 接合の方向と交差し、第 1 の金属電極層と半導体層との密着幅によって規定される第 1 の M I M 共振器の共振器長、及び第 2 の金属電極層と半導体層との密着幅

10

20

30

40

50

によって規定される第2のMIM共振器の共振器長は、半導体層の吸収端波長よりも長い波長を有する入射光によって表面プラズモンが励起され、且つ表面プラズモンの共振により形成される電場によってフォノンが励起される長さとなっている。

【0008】

この光検出器では、第1のMIM共振器及び第2のMIM共振器の接合方向が半導体接合におけるpn接合又はpin接合の方向と交差している。このため、この光検出器では、第1のMIM共振器を構成する第1の金属電極層と、第2のMIM共振器を構成する第2の金属電極層とをいずれも半導体層の他方面に設ける構成を採用し得る。第1の金属電極層と第2の金属電極層とが同一面に設けられることで、第1の金属電極層及び第2の金属電極層のパターニングが容易となり、短絡が生じる可能性が抑えられると共に、製造工程の容易化が図られる。

10

【0009】

また、第1の半導体層は、第1の金属電極層に接する部分において、半導体層の厚さ方向の一部のみに設けられ、半導体層の残余の部分は、第2の半導体層となってもよい。このような半導体層は、イオン注入により容易に形成することができる。

【0010】

上記の構成において、第1の半導体層のキャリア濃度は、第2の半導体層のキャリア濃度よりも小さくなっていてもよい。この場合、第1の半導体層の十分な領域を空乏層とすることが可能となり、入射光の光電変換効率を向上できる。

【0011】

上記の構成において、半導体層の厚さ方向から見て、第1の金属電極層の形成領域が第1の半導体層の形成領域よりも内側に位置していてもよい。これにより、第1の金属電極層と第2の半導体層との接触を防止できる。

20

【0012】

また、第1の半導体層は、第1の金属電極層に接する部分において、半導体層の厚さ方向の一部のみに設けられ、第2の半導体層は、第2の金属電極層に接する部分において、半導体層の厚さ方向の一部のみに設けられ、半導体層の残余の部分は、高抵抗ベース層となってもよい。このような半導体層は、イオン注入により容易に形成することができる。また、この構成によれば、第1の金属電極層と第2の金属電極層とが金属層を介して短絡してしまうことを防止できる。

30

【0013】

上記の構成において、第1の半導体層と第2の半導体層とが互いに離間していてもよい。この場合、半導体層においてPIN構造が形成されるため、PIN構造のIに相当する高抵抗ベース層を介して空乏層の拡がりを助長することが可能となる。

【0014】

上記の構成において、第1の半導体層と第2の半導体層とが互いに接していてもよい。この場合、第1の半導体層に対応する第1の金属電極層と、第2の半導体層に対応する第2の金属電極層とを半導体層の他方面上で密に配置することができる。したがって、光検出器の小型化及びアレイ化の点で有意となる。

【0015】

上記の構成において、半導体層の厚さ方向から見て、第1の金属電極層の形成領域が第1の半導体層の形成領域よりも内側に位置し、第2の金属電極層の形成領域が第2の半導体層の形成領域よりも内側に位置していてもよい。これにより、第1の金属電極層と第2の半導体層及び高抵抗ベース層との接触を防止でき、第2の金属電極層と第1の半導体層及び高抵抗ベース層との接触を防止できる。

40

【0016】

また、金属層側に保持部が設けられていてもよい。これにより、金属層、半導体層、第1の金属電極層、及び第2の金属電極層の層厚が薄い場合でもこれらの構成を好適に保持できる。

【0017】

50

また、金属層側に保持部が設けられ、保持部と高抵抗ベース層とがSOI基板によって構成されていてもよい。SOI基板を用いることにより、上記構成を有する光検出器を容易に製造できる。

【0018】

また、半導体層の厚さ方向から見て、第1のMIM共振器及び第2のMIM共振器がそれぞれ櫛歯状に設けられていてもよい。この場合、光電変換領域を増加させることができるので、光検出器の受光感度を向上できる。

【0019】

また、半導体層の厚さ方向から見て、第1のMIM共振器及び第2のMIM共振器が渦巻状に設けられていてもよい。この場合、光電変換領域を増加させることができるので、光検出器の受光感度を向上できる。また、共振器の向きが限定されないので、無偏光の入射光の検出が可能となる。

10

【発明の効果】

【0020】

この光検出器では、金属電極層間の短絡を防止できると共に製造工程を容易化でき、製造歩留まりの向上が図られる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】第1実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。

【図2】第1実施形態に係る光検出器の製造工程の一例を示す概略図である。

20

【図3】図2の後続の工程の一例を示す概略図である。

【図4】第2実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。

【図5】第3実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。

【図6】第4実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。

【図7】第5実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。

【図8】第6実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。

【図9】第3実施形態の変形例に係る光検出器の構成を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、図面を参照しながら、本発明の一側面に係る光検出器の好適な実施形態について詳細に説明する。

30

[第1実施形態]

【0023】

図1は、第1実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。図1(a)は断面図であり、図1(b)は平面図である。同図に示すように、光検出器1Aは、半導体層2と、金属層3と、保持部4と、第1の金属電極層5と、第2の金属電極層6とを備えている。本実施形態では、半導体層2の一方面2a側に金属層3及び保持部4が設けられており、半導体層2の他方面2b側に第1の金属電極層5及び第2の金属電極層6が設けられている。光検出器1Aでは、第1の金属電極層5及び第2の金属電極層6が設けられている面が入射光Iの入射面となっている。

40

【0024】

光検出器1Aでは、半導体層2の吸収端波長(バンドギャップを超えるエネルギーを有する光の波長)よりも長い波長の光が入射光Iとして入射した場合に、当該入射光Iによって表面プラズモンが励起され、当該表面プラズモンの共振により形成される電場によってフォノンが励起される。このため、光検出器1Aでは、入射光Iの光子エネルギーに加え、フォノンの多段階励起による光子振動エネルギーを利用することができ、半導体層2内での電子遷移が可能となる。光検出器1Aでは、半導体層2内で生じた光吸収が光電子として外部に取り出されることで、半導体層2の吸収端波長よりも長い波長の光検出が実現される。ここでは、検出対象である入射光Iの波長が1550nmである場合を想定し、光検出器1Aの各構成要素の寸法等を例示する。

50

## 【0025】

半導体層2は、第1の半導体層7と、第2の半導体層8とを有している。第1の半導体層7は、導電型がp型のSiからなる半導体領域であり、第2の半導体層8は、導電型がn型のSiからなる半導体領域である。本実施形態では、n型のSiの一部をp型のSiにすることで、第1の半導体層7及び第2の半導体層8が形成されている。具体的には、図1(a)に示すように、第1の半導体層7は、第2の半導体層8へのイオン注入によって第1の金属電極層5に接する部分において半導体層2の厚さ方向の一部のみに設けられており、半導体層2の残余の部分は、第2の半導体層8となっている。また、第1の半導体層7は、図1(b)に示すように、平面視において、半導体層2の一側に位置する長方形部分7aと、長方形部分7aの隅から半導体層2の他側に向かって延びる延出部分7bとを有している。第1の半導体層7と第2の半導体層8との界面では、pn接合が形成されている。このpn接合の方向Aは、発生したキャリアの主な移動方向であり、第1の金属電極層5と第1の半導体層7との接触面と、第2の金属電極層6と第2の半導体層8との接触面をつなぐ方向である。本実施形態では、pn接合の方向Aは、半導体層2の面内方向と一致している。

10

## 【0026】

第2の半導体層8の厚さ(半導体層2の厚さ)は、例えば100nmとなっており、第1の半導体層7の厚さは、例えば70nmとなっている。また、第1の半導体層7のキャリア濃度は、第2の半導体層8のキャリア濃度よりも小さくなっている。例えば第1の半導体層7のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となっており、第2の半導体層8のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となっている。

20

## 【0027】

金属層3は、例えばAu、Al、Pt、Ag等の金属によって形成されている。金属層3は、電極としては用いられない層であり、半導体層2の一方面2a側の全面にわたって設けられている。金属層3の厚さは、例えば50nm程度となっている。

## 【0028】

保持部4は、厚さの小さい半導体層2、金属層3、第1の金属電極層5、及び第2の金属電極層6を保持する部分である。本実施形態では、保持部4は、ガラス基板9によって構成されている。保持部4の厚さは、半導体層2等と比較して十分に大きく、例えば0.2mm程度となっている。保持部4と金属層3とは、接着層10によって互いに強固に結合されている。接着層10を構成する接着材料としては、例えばエポキシ樹脂等の接着剤、ベンゾシクロブテン等の有機系樹脂、水ガラス等の無機樹系脂、ハンダ等の金属を用いることができる。

30

## 【0029】

第1の金属電極層5は、光検出器1Aのアノードとして機能する金属電極層である。また、第2の金属電極層6は、光検出器1Aのカソードとして機能する金属電極層である。第1の金属電極層5及び第2の金属電極層6は、例えばAu、Al、Pt、Ag等の金属によって形成されている。第1の金属電極層5及び第2の金属電極層6の厚さは、例えば50nm程度となっている。第1の金属電極層5は、第1の半導体層7の形成領域に対応して半導体層2の他方面2b上に設けられ、第1の半導体層7との間でオーミック接合を形成している。

40

## 【0030】

本実施形態では、第1の金属電極層5は、図1(b)に示すように、平面視において、第1の金属電極層5は、半導体層2の一側に位置する長方形部分5aと、長方形部分5aの隅から半導体層の他側に向かって延びる延出部分5bとを有し、第1の半導体層7よりも一回り小さい相似形状を有している。これにより、第1の金属電極層5の形成領域は、半導体層2の厚さ方向から見て、第1の半導体層7の形成領域よりも内側に位置している。すなわち、第1の半導体層7の形成領域の全ての縁は、第1の金属電極層5の全ての縁よりも外側に張り出した状態となっている。なお、光検出器1Aの感度の確保の観点からは、第1の金属電極層5の縁からの第1の半導体層7の縁の張出幅は、入射光Iの波長未

50

満となっていることが好ましい。

【0031】

第2の金属電極層6は、第2の半導体層8の形成領域に対応して、第1の半導体層7と離間した状態で半導体層2の他方面2b上に設けられ、第2の半導体層8との間でオーミック接合を形成している。第2の金属電極層6は、第1の金属電極層5と同様、図1(b)に示すように、平面視において、半導体層2の他側に位置する長方形部分6aと、長方形部分6aの隅から半導体層の一侧に向かって伸びる延出部分6bとを有している。第2の金属電極層6は、半導体層2の他方面2b上において、第1の金属電極層5と点対称に配置されている。第2の金属電極層6の長方形部分6aは、半導体層2の他側において第1の金属電極層5の長方形部分5aと平行に設けられている。第2の金属電極層6の延出部分6bは、第1の金属電極層5の延出部分5bと平行かつ反対向きに延在している。

10

【0032】

上述した金属層3、半導体層2、第1の金属電極層5、及び第2の金属電極層6は、いわゆるMetal-Insulator-Metal(MIM)共振器を構成している。光検出器1Aでは、金属層3、半導体層2、及び第1の金属電極層5が第1のMIM共振器11Aを構成している。また、光検出器1Aでは、金属層3、半導体層2、及び第2の金属電極層6が第2のMIM共振器11Bを構成している。第1のMIM共振器11A及び第2のMIM共振器11Bの接合方向Bは、金属層3、半導体層2、第1の金属電極層5、及び第2の金属電極層6の並ぶ方向であり、半導体層2の厚さ方向と一致し、第1の半導体層7と第2の半導体層8との間のpn接合の方向Aと交差(直交)している。

20

【0033】

第1のMIM共振器11Aの共振器長Lは、第1の半導体層7に密着している第1の金属電極層5の密着幅で規定される。また、第2のMIM共振器11Bの共振器長Lは、第2の半導体層8に密着している第2の金属電極層6の密着幅で規定される。ここでは、第1の金属電極層5の長方形部分5aの短手方向の幅及び第2の金属電極層6の長方形部分6aの短手方向の幅が共振器長Lと一致する。第1のMIM共振器11Aの共振器長Lと第2のMIM共振器11Bの共振器長Lとは、互いに等しくなっている。

【0034】

共振器長Lは、半導体層の吸収端波長よりも長い波長を有する入射光Iによって表面プラズモンが励起され、且つ表面プラズモンの共振により形成される電場によってフォノンが励起される長さとなっている。光検出器1Aでは、第1のMIM共振器11A及び第2のMIM共振器11Bの共振器長Lは、励起される表面プラズモンの波長 $p$ の $1/2$ の整数倍となっている。なお、第1のMIM共振器11Aの共振器長L及び第2のMIM共振器11Bの共振器長L、すなわち、第1の半導体層7に密着している第1の金属電極層5の密着幅及び第2の半導体層8に密着している第2の金属電極層6の密着幅は、半導体層2の他方面2bの面内方向において一定の長さにはわたって保たれる必要がある。

30

【0035】

第1のMIM共振器11A及び第2のMIM共振器11Bでの表面プラズモンの波長 $p$ の目安としては、下記式(1)がある。式(1)中、 $n$ は第1の半導体層7及び第2の半導体層8の屈折率、 $W$ は第1の半導体層7及び第2の半導体層8の幅(長方形部分7a、8aの短手方向の幅)、 $d$ は第1の金属電極層5及び第2の金属電極層6への入射光Iの表皮深さ、 $\lambda_0$ は入射光Iの波長である。

40

【数1】

$$\lambda_p = \frac{\lambda_0}{n \sqrt{1 + \frac{2d}{W}}}$$

... (1)

【0036】

50

図1の例では、第1のMIM共振器11A及び第2のMIM共振器11Bの共振器長Lは、190nmであり、波長1550nmの光の共鳴に対応する。このとき、第1のMIM共振器11Aによって第1の半導体層7内に発生する電場は、第1の半導体層7の幅方向の両端で最大となり、幅方向の中心部でゼロとなる。したがって、第1の半導体層7で発生する電場は、95nm程度の領域で最大からゼロまで急峻に変化していることになる。

【0037】

また、上述したように、第1の半導体層7のキャリア濃度は、第2の半導体層8のキャリア濃度よりも小さくなっている。具体的には、第2の半導体層8のキャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となっているのに対し、第1の半導体層7のキャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となっている。この場合、空乏層をpn接合の界面から第1の半導体層7の幅方向に約110nmにわたって形成できる。

10

【0038】

図2は、光検出器の製造工程の一例を示す概略図である。また、図3は、その後続の工程の一例を示す概略図である。光検出器1Aを作製する場合、まず、図2(a)に示すように、SOI(Silicon on Insulator)基板12を準備する。SOI基板12は、高抵抗のSiからなる半導体層13と、絶縁層14と、n型のSiからなる半導体層15とを有する基板である。次に、蒸着等によってSOI基板12の半導体層15上に金属層3を形成する。さらに、保持部4となるガラス基板9を用意し、図2(b)に示すように、接着層10によって金属層3上に保持部4を結合する。

20

【0039】

保持部4の結合後、図3(a)に示すように、研削或いはエッチングによりSOI基板12を薄化する。このとき、SOI基板12の半導体層13及び絶縁層14(図2(a)及び図2(b)参照)を薄化により除去し、半導体層15のみを残存させる。そして、イオン注入により、半導体層15におけるn型のSiの一部をp型のSiにすることで、図3(b)に示すように、第1の半導体層7及び第2の半導体層8を形成し、半導体層2を得る。この後、蒸着等によって半導体層2上に第1の金属電極層5及び第2の金属電極層6をパターン形成し、図1に示した光検出器1Aを得る。

【0040】

以上説明したように、光検出器1Aでは、第1のMIM共振器11A及び第2のMIM共振器11Bの接合方向Bが第1の半導体層7及び第2の半導体層8のpn接合の方向Aと交差している。このため、光検出器1Aでは、第1のMIM共振器11Aを構成する第1の金属電極層5と、第2のMIM共振器11Bを構成する第2の金属電極層6とをいずれも半導体層2の他方面2bに設ける構成を採用し得る。第1の金属電極層5と第2の金属電極層6とが半導体層2の他方面2bにおいて同一面に設けられることで、第1の金属電極層5及び第2の金属電極層6のパターニングが容易となり、短絡が生じる可能性が抑えられる。また、光検出器1Aでは、SOI基板12などを用いることで製造工程の容易化が図られる。したがって、光検出器1Aでは、製造歩留まりの向上が図られる。

30

【0041】

また、光検出器1Aでは、第1の金属電極層5に接する部分において、第1の半導体層7が半導体層2の厚さ方向の一部のみに設けられ、半導体層2の残余の部分が第2の半導体層8となっている。このような半導体層2は、第2の半導体層8で構成した半導体層へのイオン注入により容易に形成することができる。

40

【0042】

また、光検出器1Aでは、第1の半導体層7のキャリア濃度が第2の半導体層8のキャリア濃度よりも小さくなっている。これにより、第1の半導体層7の十分な領域を空乏層とすることが可能となり、入射光Iの光電変換効率を向上できる。

【0043】

また、光検出器1Aでは、半導体層2の厚さ方向から見て、第1の金属電極層5の形成領域が第1の半導体層7の形成領域よりも内側に位置している。これにより、第1の金属

50

電極層 5 と第 2 の半導体層 8 との接触を防止できる。

【 0 0 4 4 】

また、光検出器 1 A では、金属層 3 側にガラス基板 9 による保持部 4 が設けられている。これにより、層厚が薄い金属層 3、半導体層 2、第 1 の金属電極層 5、及び第 2 の金属電極層 6 を好適に保持できる。

[ 第 2 実施形態 ]

【 0 0 4 5 】

図 4 は、第 2 実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。図 4 ( a ) は断面図であり、図 4 ( b ) は平面図である。同図に示すように、第 2 実施形態に係る光検出器 1 B は、半導体層 2 の構成が第 1 実施形態と相違している。

10

【 0 0 4 6 】

より具体的には、光検出器 1 B の半導体層 2 では、p 型の Si の一部を n 型の Si にすることで、第 1 の半導体層 7 及び第 2 の半導体層 8 が形成されている。具体的には、図 4 ( a ) に示すように、第 2 の半導体層 8 は、第 1 の半導体層 7 へのイオン注入によって第 2 の金属電極層 6 に接する部分において半導体層 2 の厚さ方向の一部のみに設けられており、半導体層 2 の残余の部分は、第 1 の半導体層 7 となっている。

【 0 0 4 7 】

第 2 の半導体層 8 は、図 4 ( b ) に示すように、平面視において、半導体層 2 の他側に位置する長方形部分 8 a と、長方形部分 8 a の隅から半導体層 2 の一側に向かって延びる延出部分 8 b とを有している。第 2 の金属電極層 6 の形成領域は、半導体層 2 の厚さ方向から見て、第 2 の半導体層 8 の形成領域よりも内側に位置している。すなわち、第 2 の半導体層 8 の形成領域の全ての縁は、第 2 の金属電極層 6 の全ての縁よりも外側に張り出した状態となっている。

20

【 0 0 4 8 】

本実施形態では、第 2 の半導体層 8 のキャリア濃度は、第 1 の半導体層 7 のキャリア濃度よりも小さくなっている。例えば第 1 の半導体層 7 のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  となっており、第 2 の半導体層 8 のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  となっている。このような光検出器 1 B においても、第 1 実施形態と同様の作用効果が奏され、製造歩留まりの向上が図られる。

[ 第 3 実施形態 ]

30

【 0 0 4 9 】

図 5 は、第 3 実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。図 3 ( a ) は断面図であり、図 3 ( b ) は平面図である。同図に示すように、第 3 実施形態に係る光検出器 1 C は、半導体層 2 の構成が第 1 実施形態と更に相違している。

【 0 0 5 0 】

より具体的には、光検出器 1 B の半導体層 2 では、高抵抗の Si からなる高抵抗ベース層 1 6 の一部を p 型の Si 及び n 型の Si とすることで、第 1 の半導体層 7 及び第 2 の半導体層 8 が形成されている。具体的には、図 5 ( a ) に示すように、第 1 の半導体層 7 は、高抵抗ベース層 1 6 へのイオン注入によって第 1 の金属電極層 5 に接する部分において半導体層 2 の厚さ方向の一部のみに設けられており、第 2 の半導体層 8 は、高抵抗ベース層 1 6 へのイオン注入によって第 2 の金属電極層 6 に接する部分において半導体層 2 の厚さ方向の一部のみに設けられている。半導体層 2 の残余の部分は、高抵抗ベース層 1 6 となっている。高抵抗ベース層 1 6 の例としては、例えば真性半導体が挙げられる。

40

【 0 0 5 1 】

本実施形態では、半導体層 2 において、第 1 の半導体層 7 と第 2 の半導体層 8 とは、互いに離間した状態となっている。これにより、第 1 の半導体層 7 と第 2 の半導体層 8 との間には、高抵抗ベース層 1 6 が介在し、第 1 の半導体層 7 と高抵抗ベース層 1 6 との界面、及び第 2 の半導体層 8 と高抵抗ベース層 1 6 との界面では、pin 接合が形成されている。pin 接合の方向 A は、第 1 実施形態における pn 接合の方向 A と同じであり、半導体層 2 の面内方向と一致し、第 1 の MIM 共振器 1 1 A 及び第 2 の MIM 共振器 1 1 B の

50

接合方向 B に交差（直交）している。

【 0 0 5 2 】

第 1 の金属電極層 5 の形成領域は、第 1 実施形態と同様に、半導体層 2 の厚さ方向から見て、第 1 の半導体層 7 の形成領域よりも内側に位置している。また、第 2 の金属電極層 6 の形成領域は、第 2 実施形態と同様に、半導体層 2 の厚さ方向から見て、第 2 の半導体層 8 の形成領域よりも内側に位置している。これにより、第 1 の金属電極層 5 と第 2 の半導体層 8 及び高抵抗ベース層 1 6 との接触を防止でき、第 2 の金属電極層 6 と第 1 の半導体層 7 及び高抵抗ベース層 1 6 との接触を防止できる。例えば真性半導体である高抵抗ベース層 1 6 に対して第 1 の金属電極層 5 及び第 2 の金属電極層 6 を接触させないことで、光検出器としての機能を十分に発揮させることができる。なお、本実施形態では、第 1 の半導体層 7 のキャリア濃度と第 2 の半導体層 8 のキャリア濃度が互いに等しくなっている。例えば第 1 の半導体層 7 のキャリア濃度及び第 2 の半導体層 8 のキャリア濃度は、いずれも  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  となっている。

10

【 0 0 5 3 】

このような光検出器 1 C においても、第 1 実施形態と同様の作用効果が奏され、製造歩留まりの向上が図られる。また、光検出器 1 C の構成によれば、第 1 の金属電極層 5 と第 2 の金属電極層 6 とが金属層 3 を介して短絡してしまうことを防止できる。このような構成は、第 1 の金属電極層 5 及び第 2 の金属電極層 6 と金属層 3 との間の半導体層（ここでは、高抵抗ベース層 1 6）が薄い場合に特に有意である。さらに、光検出器 1 C では、半導体層 2 において第 1 の半導体層 7 と第 2 の半導体層 8 とが互いに離間している。これにより、半導体層 2 において P I N 構造が形成されるため、P I N 構造の I に相当する高抵抗ベース層 1 6 を介して空乏層の拡がりを助長することが可能となる。

20

[ 第 4 実施形態 ]

【 0 0 5 4 】

図 6 は、第 4 実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。図 6 ( a ) は断面図であり、図 6 ( b ) は平面図である。同図に示すように、第 4 実施形態に係る光検出器 1 D は、保持部 4 の構成が主として第 1 実施形態と更に相違している。

【 0 0 5 5 】

より具体的には、光検出器 1 D では、保持部 4 がガラス基板 9 ではなく、S O I 基板 1 2 の半導体層 1 3 及び絶縁層 1 4 ( 図 2 ( a ) 参照 ) を用いて構成されている。半導体層 2 の一方面 2 a には、少なくとも第 1 の半導体層 7、第 1 の金属電極層 5、第 2 の半導体層 8、及び第 2 の金属電極層 6 と対向するように金属層 3 が設けられている。また、半導体層 2 の一方面 2 a には、金属層 3 を囲むように絶縁層 1 4 が設けられており、絶縁層 1 4 上に半導体層 1 3 が設けられている。この半導体層 1 3 の厚さは、ガラス基板 9 の場合と同様に、半導体層 2 等と比較して十分に大きく、例えば 0 . 2 mm 程度となっている。

30

【 0 0 5 6 】

このような光検出器 1 D を製造する場合、S O I 基板 1 2 を用い、例えばイオン注入による第 1 の半導体層 7 及び第 2 の半導体層 8 の形成、蒸着による第 1 の金属電極層 5 及び第 2 の金属電極層 6 のパターン形成の後、半導体層 2 の一方面 2 a が露出するように半導体層 1 3 及び絶縁層 1 4 の中央部分を薄化する。その後、半導体層 2 の一方面 2 a に金属層 3 を蒸着することにより、光検出器 1 D を得る。

40

【 0 0 5 7 】

このような光検出器 1 D においても、第 1 実施形態と同様の作用効果が奏され、製造歩留まりの向上が図られる。また、ガラス基板 9 に代えて S O I 基板 1 2 の一部をそのまま保持部 4 として用いることにより、光検出器 1 D を容易に製造することができる。なお、図 6 に例示した半導体層 2 では、第 3 実施形態と同様に、高抵抗の S i からなる高抵抗ベース層 1 6 の一部を p 型の S i 及び n 型の S i とすることで第 1 の半導体層 7 及び第 2 の半導体層 8 が形成されているが、半導体層 2 の構成は、第 1 実施形態と同様に n 型の S i の一部を p 型の S i としたものであってもよく、第 2 実施形態と同様に、p 型の S i の一部を n 型の S i としたものであってもよい。

50

## [ 第 5 実施形態 ]

## 【 0 0 5 8 】

図 7 は、第 5 実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。図 7 ( a ) は断面図であり、図 7 ( b ) は平面図である。同図に示すように、第 5 実施形態に係る光検出器 1 E は、第 1 の M I M 共振器 1 1 A 及び第 2 の M I M 共振器 1 1 B の形状が第 1 実施形態と更に相違している。

## 【 0 0 5 9 】

光検出器 1 E では、半導体層の厚さ方向から見て、第 1 の M I M 共振器 1 1 A 及び第 2 の M I M 共振器 1 1 B がそれぞれ櫛歯状に設けられている。より具体的には、図 7 ( b ) に示すように、第 1 の M I M 共振器 1 1 A において、第 1 の半導体層 7 の長方形部分 7 a 及び延出部分 7 b の対、及び第 1 の金属電極層 5 の長方形部分 5 a 及び延出部分 5 b の対が連続して設けられている。また、第 2 の M I M 共振器 1 1 B において、第 2 の半導体層 8 の長方形部分 8 a 及び延出部分 8 b の対、及び第 2 の金属電極層 6 の長方形部分 6 a 及び延出部分 6 b の対が連続して設けられている。第 1 の M I M 共振器 1 1 A における長方形部分 5 a , 7 a と第 2 の M I M 共振器 1 1 B における長方形部分 6 a , 8 a とは、交互に配置されている。

## 【 0 0 6 0 】

このような光検出器 1 E においても、第 1 実施形態と同様の作用効果が奏され、製造歩留まりの向上が図られる。また、光電変換領域を増加させることができるので、受光感度を向上できる。なお、図 7 に例示した半導体層 2 では、第 3 実施形態と同様に、高抵抗の S i からなる高抵抗ベース層 1 6 の一部を p 型の S i 及び n 型の S i とすることで第 1 の半導体層 7 及び第 2 の半導体層 8 が形成されているが、半導体層 2 の構成は、第 1 実施形態と同様に n 型の S i の一部を p 型の S i としたものであってもよく、第 2 実施形態と同様に p 型の S i の一部を n 型の S i としたものであってもよい。

## [ 第 6 実施形態 ]

## 【 0 0 6 1 】

図 8 は、第 6 実施形態に係る光検出器の構成を示す概略図である。図 8 ( a ) は断面図であり、図 8 ( b ) は平面図である。同図に示すように、第 6 実施形態に係る光検出器 1 F は、第 1 の M I M 共振器 1 1 A 及び第 2 の M I M 共振器 1 1 B の形状が第 1 実施形態と更に相違している。

## 【 0 0 6 2 】

光検出器 1 F では、半導体層の厚さ方向から見て、第 1 の M I M 共振器 1 1 A 及び第 2 の M I M 共振器 1 1 B がそれぞれ渦巻状に設けられている。より具体的には、図 8 ( b ) に示すように、第 1 の M I M 共振器 1 1 A において、第 1 の半導体層 7 の長方形部分 7 a 及び第 1 の金属電極層 5 の長方形部分 5 a が半導体層 2 の一側に配置され、第 1 の半導体層 7 の延出部分 7 b 及び第 1 の金属電極層 5 の延出部分 5 b が半導体層 2 の中央部分で時計回りに渦巻状をなしている。また、第 2 の M I M 共振器 1 1 B において、第 2 の半導体層 8 の長方形部分 8 a 及び第 2 の金属電極層 6 の長方形部分 6 a が半導体層 2 の他側に配置され、第 2 の半導体層 8 の延出部分 8 b 及び第 2 の金属電極層 6 の延出部分 6 b が、第 1 の半導体層 7 の延出部分 7 b 及び第 1 の金属電極層 5 の延出部分 5 b と交互に並ぶように、半導体層 2 の中央部分で時計回りに渦巻状をなしている。この構成では、第 1 の M I M 共振器 1 1 A の共振器長 L は、渦巻状をなす第 1 の金属電極層 5 の延出部分 5 b の幅と一致し、第 2 の M I M 共振器 1 1 B の共振器長 L は、渦巻状をなす第 2 の金属電極層 6 の延出部分 6 b の幅と一致する。

## 【 0 0 6 3 】

このような光検出器 1 F においても、第 1 実施形態と同様の作用効果が奏され、製造歩留まりの向上が図られる。また、光電変換領域を増加させることができるので、受光感度を向上できる。さらに、この構成では、共振器の向きが限定されないので、無偏光の入射光 I の検出が可能となる。なお、図 8 に例示した半導体層 2 では、第 3 実施形態と同様に、高抵抗の S i からなる高抵抗ベース層 1 6 の一部を p 型の S i 及び n 型の S i とするこ

とで第1の半導体層7及び第2の半導体層8が形成されているが、半導体層2の構成は、第1実施形態と同様にn型のSiの一部をp型のSiとしたものであってもよく、第2実施形態と同様にp型のSiの一部をn型のSiとしたものであってもよい。

【変形例】

【0064】

本発明は、上記実施形態に限られるものではない。例えば上記各実施形態において、金属層3と半導体層2の一方面2aとの間に絶縁層を形成してもよい。このような絶縁層を設けることで、第1の金属電極層5と第2の金属電極層6とが金属層3を介して短絡することを防止できる。絶縁層は、例えばSiO<sub>2</sub>などによって形成され得る。

【0065】

また、例えば第3実施形態では、半導体層2において第1の半導体層7と第2の半導体層8とが互いに離間しているが、例えば図9に示すように、半導体層2において第1の半導体層7と第2の半導体層8とが互いに接しているもよい。この場合、第1の半導体層7に対応する第1の金属電極層5と、第2の半導体層8に対応する第2の金属電極層6とを半導体層2の他方面2b上で密に配置することができる。したがって、光検出器の小型化及びアレイ化の点で有意となる。半導体層2において第1の半導体層7と第2の半導体層8とが互いに接する構成は、第4実施形態～第6実施形態に適用してもよい。

【符号の説明】

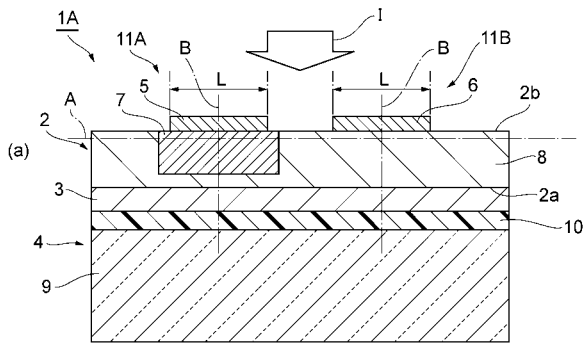
【0066】

1A～1F...光検出器、2...半導体層、2a...一方面、2b...他方面、3...金属層、4...保持部、5...第1の金属電極層、6...第2の金属電極層、7...第1の半導体層、8...第2の半導体層、11A...第1のMIM共振器、11B...第2のMIM共振器、12...SOI基板、16...高抵抗ベース層、A...pn接合又はpin接合の方向、B...MIM共振器の接合方向、I...入射光。

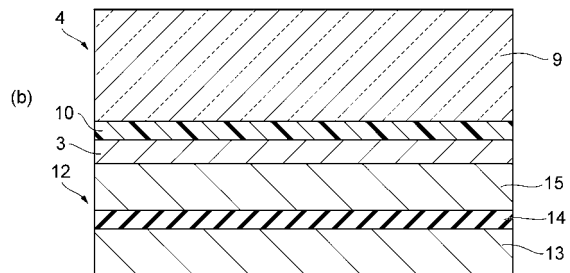
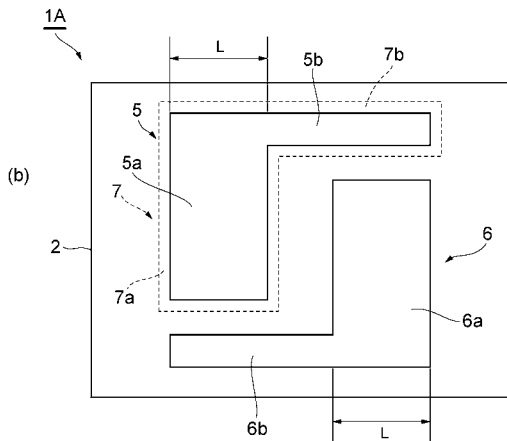
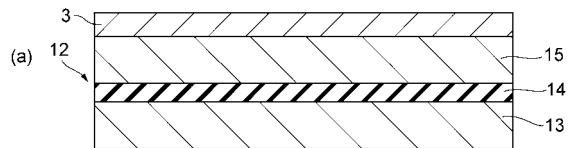
10

20

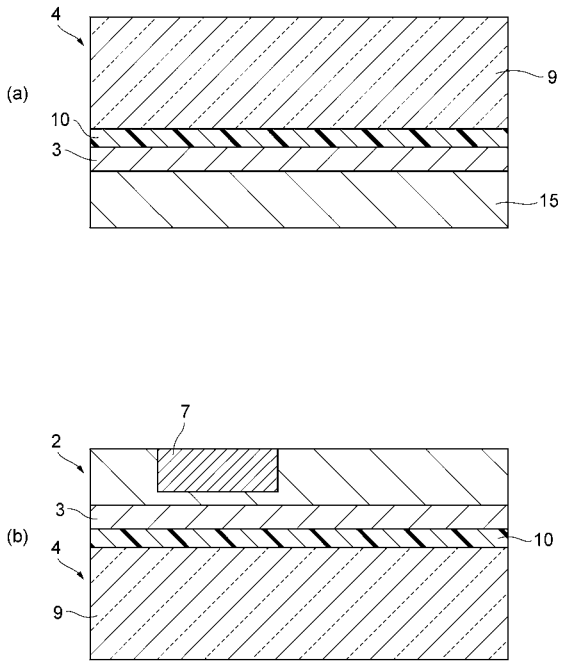
【図1】



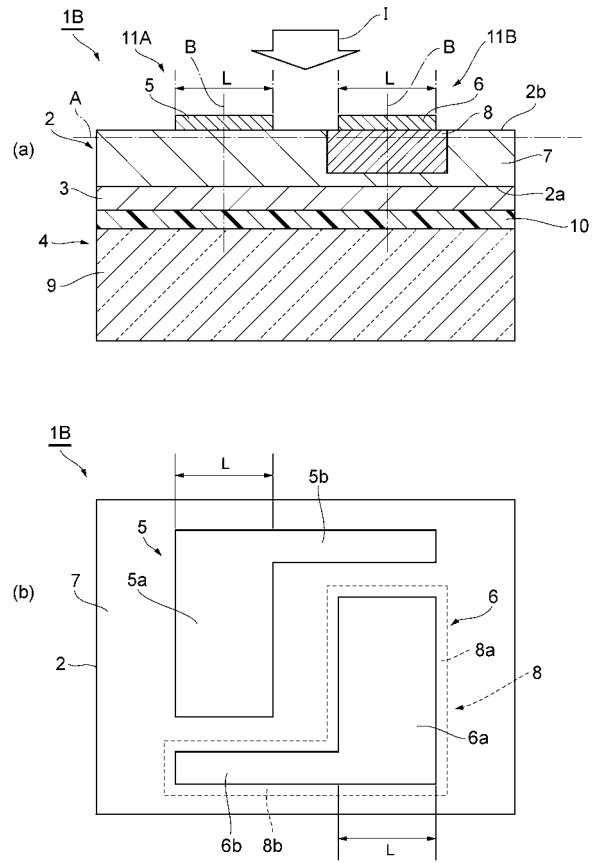
【図2】



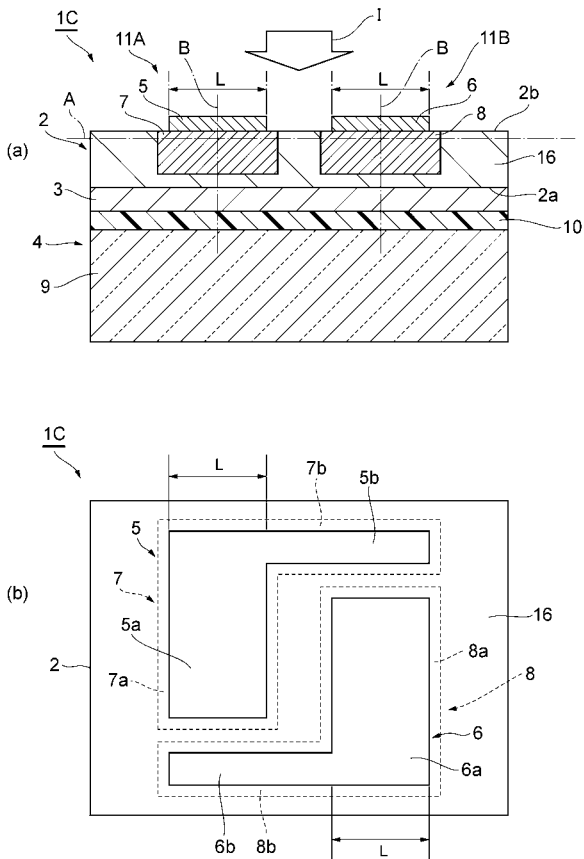
【 図 3 】



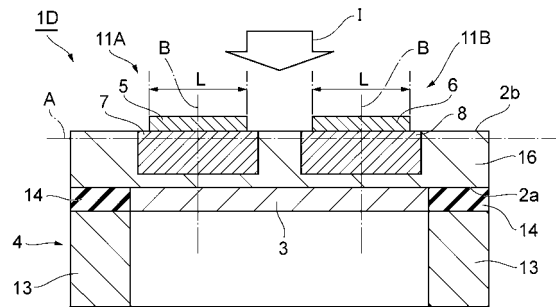
【 図 4 】



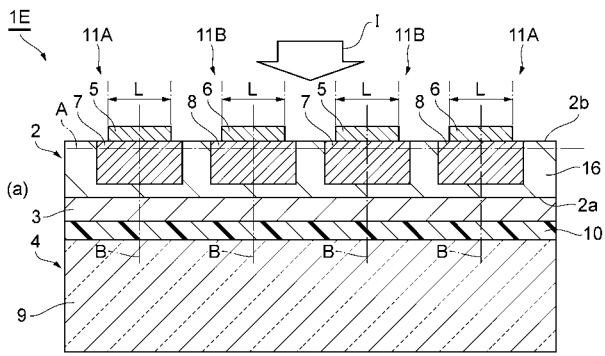
【 図 5 】



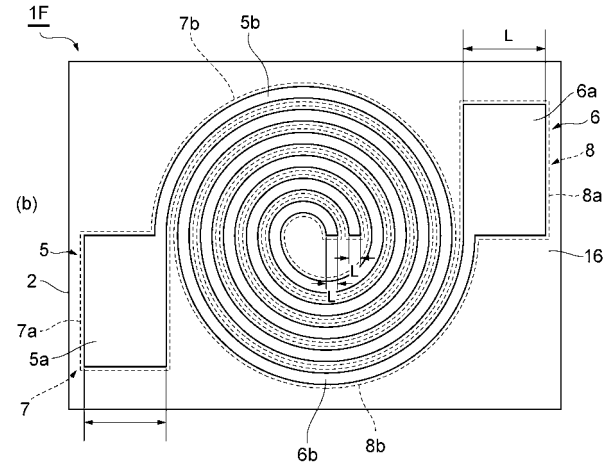
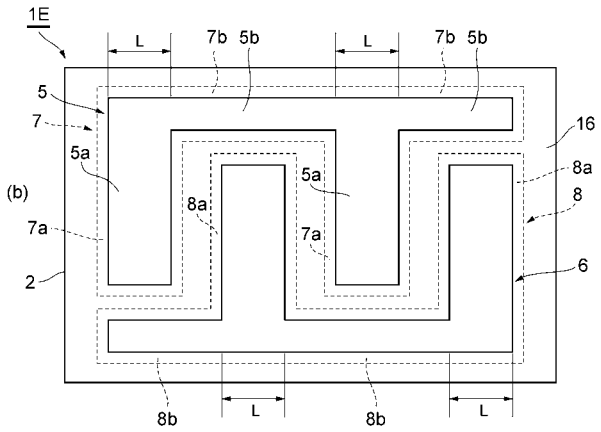
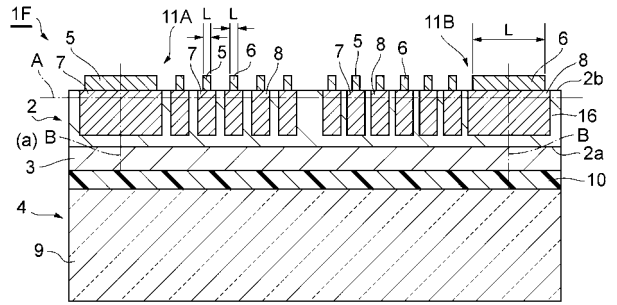
【 図 6 】



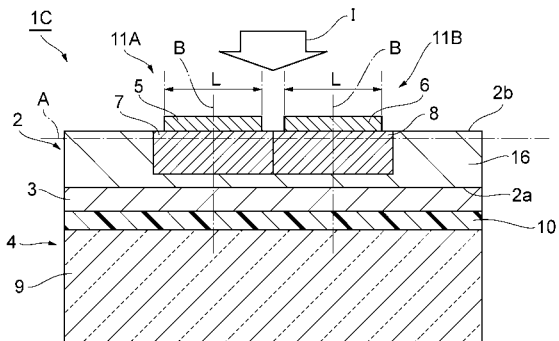
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 藤原 弘康

静岡県浜松市東区市野町1 1 2 6 番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

Fターム(参考) 2G065 AA04 AB02 BA09 BA14 BA40

5F849 AA02 AA04 AA20 AB02 CB06 CB10 CB15 EA11 FA05 FA12

GA05 HA15 XB04 XB15