

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7232978号
(P7232978)

(45)発行日 令和5年3月6日(2023.3.6)

(24)登録日 令和5年2月24日(2023.2.24)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 J 1/02 (2006.01) G 0 1 J 1/02 C
G 0 1 J 1/02 R

請求項の数 20 (全71頁)

(21)出願番号	特願2018-201387(P2018-201387)	(73)特許権者	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(22)出願日	平成30年10月26日(2018.10.26)	(74)代理人	100106116 弁理士 鎌田 健司
(65)公開番号	特開2019-105624(P2019-105624 A)	(74)代理人	100131495 弁理士 前田 健児
(43)公開日	令和1年6月27日(2019.6.27)	(72)発明者	川崎 隆志 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
審査請求日	令和3年10月7日(2021.10.7)	(72)発明者	高橋 宏平 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2017-236574(P2017-236574)	(72)発明者	反保 尚基
(32)優先日	平成29年12月11日(2017.12.11)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 赤外線センサおよび赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

赤外線センサであって、
 凹部を有するベース基板、
 ボロメータ赤外線受光部、および
 ペルチェ素子、
 を具備し、
 ここで、
 前記ボロメータ赤外線受光部は、
 赤外線の吸収により抵抗が変化する抵抗変化層、
 前記抵抗変化層に電氣的に接続されているボロメータ第1梁、および
 前記抵抗変化層に電氣的に接続されているボロメータ第2梁、
 を具備しており、
 前記ペルチェ素子は、前記ボロメータ赤外線受光部および前記凹部の間に挟まれてお
 り、
 前記赤外線は前記ボロメータ赤外線受光部の表側の面に照射され、
 前記ペルチェ素子は、p型半導体材料から形成されているペルチェ第1梁およびn型
 半導体材料から形成されているペルチェ第2梁を具備しており、
 前記ペルチェ素子は、前記ボロメータ赤外線受光部の裏側の面に接しており、
 前記ボロメータ第1梁の一端、前記ボロメータ第2梁の一端、前記ペルチェ第1梁の

10

20

一端、および前記ペルチェ第2梁の一端は、前記ベース基板に接続されており、

前記ボロメータ赤外線受光部、前記ペルチェ素子、前記ボロメータ第1梁、前記ボロメータ第2梁、前記ペルチェ第1梁、および前記ペルチェ第2梁は、前記ベース基板の上部で懸架されており、

前記ボロメータ第1梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第1フォノニック結晶構造を具備し、

前記ボロメータ第2梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第2フォノニック結晶構造を具備し、

前記ペルチェ第1梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第3フォノニック結晶構造を具備し、かつ

前記ペルチェ第2梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第4フォノニック結晶構造を具備する、

赤外線センサ。

【請求項2】

請求項1に記載の赤外線センサであって、

前記第1フォノニック結晶構造は、平面視の前記ボロメータ第1梁における、前記ボロメータ第1梁の一端および前記抵抗変化層の一端の間の第1区間に設けられており、

前記第2フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ボロメータ第2梁における、前記ボロメータ第2梁の一端および前記抵抗変化層の他端の間の第2区間に設けられており、

前記第3フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第1梁における、前記ペルチェ第1梁の一端および前記抵抗変化層の一端の間の第3区間に設けられており、

前記第4フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第2梁における、前記ペルチェ第2梁の一端および前記抵抗変化層の他端の間の第4区間に設けられている。

【請求項3】

請求項1に記載の赤外線センサであって、

前記第1フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第1周期で規則的に配列されており、

前記第2フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第2周期で規則的に配列されており、

前記第3フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第3周期で規則的に配列されており、

前記第4フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第4周期で規則的に配列されている。

【請求項4】

請求項3に記載の赤外線センサであって、

前記第1周期、前記第2周期、前記第3周期、および前記第4周期の各々の値は等しい。

【請求項5】

請求項1に記載の赤外線センサであって、

前記ペルチェ第1梁の他端が前記ペルチェ第2梁の他端に接続されて、前記ペルチェ第1梁および前記ペルチェ第2梁の間に界面が形成されており、

前記界面は、前記抵抗変化層および前記凹部の間に挟まれている。

【請求項6】

請求項1に記載の赤外線センサであって、

前記ペルチェ第1梁の他端は、前記ペルチェ第2梁の他端に接続されておらず、

前記ペルチェ第1梁は、前記ペルチェ第2梁に第1配線によって電氣的に接続されており、

前記第1配線は、前記抵抗変化層および前記凹部の間に挟まれている。

【請求項7】

請求項5に記載の赤外線センサであって、

平面視において、前記抵抗変化層は面積が等しい4つの領域を有し、

10

20

30

40

50

前記界面は、少なくとも2つの前記領域に接する。

【請求項8】

請求項3に記載の赤外線センサであって、

前記ポロメータ第1梁、前記ポロメータ第2梁、前記ペルチェ第1梁、および前記ペルチェ第2梁は、それぞれ、第1ドメイン、第2ドメイン、第3ドメイン、および第4ドメインを含み、

前記第1ドメイン、前記第2ドメイン、前記第3ドメイン、および前記第4ドメインは、それぞれ、前記第1フォノンニック結晶構造、前記第2フォノンニック結晶構造、前記第3フォノンニック結晶構造、および前記第4フォノンニック結晶構造を含み、

前記ポロメータ第1梁、前記ポロメータ第2梁、前記ペルチェ第1梁、および前記ペルチェ第2梁は、それぞれ、第5ドメイン、第6ドメイン、第7ドメイン、および第8ドメインを含み、

前記第5ドメインにおいて、第5周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第5フォノンニック結晶構造が形成されており、

前記第6ドメインにおいて、第6周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第6フォノンニック結晶構造が形成されており、

前記第7ドメインにおいて、第7周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第7フォノンニック結晶構造が形成されており、

前記第8ドメインにおいて、第8周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第8フォノンニック結晶構造が形成されており、

平面視において、前記第1ドメインは、前記第5ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第2ドメインは、前記第6ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第3ドメインは、前記第7ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第4ドメインは、前記第8ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記第5周期の値は、前記第1周期の値よりも大きく、

前記第6周期の値は、前記第2周期の値よりも大きく、

前記第7周期の値は、前記第3周期の値よりも大きく、かつ

前記第8周期の値は、前記第4周期の値よりも大きい。

【請求項9】

請求項8に記載の赤外線センサであって、

前記第1ドメインにおいて、前記第1ドメインに前記第1周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第1周期とは異なる第9周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第2ドメインにおいて、前記第2ドメインに前記第2周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第2周期とは異なる第10周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第3ドメインにおいて、前記第3ドメインに前記第3周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第3周期とは異なる第11周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第4ドメインにおいて、前記第4ドメインに前記第4周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第4周期とは異なる第12周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第5ドメインにおいて、前記第5ドメインに前記第5周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第5周期とは異なる第13周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第6ドメインにおいて、前記第6ドメインに前記第6周期で規則的に配列された

10

20

30

40

50

前記複数の貫通孔同士の間、前記第 6 周期とは異なる第 1 4 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 7 ドメインにおいて、前記第 7 ドメインに前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 7 周期とは異なる第 1 5 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、かつ

前記第 8 ドメインにおいて、前記第 8 ドメインに前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 8 周期とは異なる第 1 6 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されている。

【請求項 1 0】

請求項 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 2 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 3 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 4 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 5 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 6 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、および前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数の各々は、5 つ以上である。

【請求項 1 1】

請求項 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 ドメイン、前記第 2 ドメイン、前記第 3 ドメイン、前記第 4 ドメイン、前記第 5 ドメイン、前記第 6 ドメイン、前記第 7 ドメイン、および前記第 8 ドメインの各々を構成する周期構造の単位格子は、正方格子、六方格子、長方格子、または面心長方格子のいずれかである。

【請求項 1 2】

請求項 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期、前記第 2 周期、前記第 3 周期、前記第 4 周期、前記第 5 周期、前記第 6 周期、前記第 7 周期、および前記第 8 周期の各々の値は、1 nm 以上かつ 300 nm 以下である。

【請求項 1 3】

請求項 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 1 周期の値で除した値、前記第 2 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 2 周期の値で除した値、前記第 3 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 3 周期の値で除した値、前記第 4 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 4 周期の値で除した値、前記第 5 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 5 周期の値で除した値、前記第 6 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 6 周期の値で除した値、前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 7 周期の値で除した値、および前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 8 周期の値で除した値の各々は、0.5 以上かつ 0.9 以下である。

【請求項 1 4】

請求項 1 に記載の赤外線センサであって、

前記ポロメータ第 1 梁、前記ポロメータ第 2 梁、前記ペルチェ第 1 梁、および前記ペルチェ第 2 梁は、それぞれ、第 1 ドメイン、第 2 ドメイン、第 3 ドメイン、および第 4 ドメインを含み、

前記第 1 ドメインは、第 1 周期で規則的に配列された複数の第 1 サブドメインを具備し、

前記第 2 ドメインは、第 2 周期で規則的に配列された複数の第 2 サブドメインを具備し、

前記第 3 ドメインは、第 3 周期で規則的に配列された複数の第 3 サブドメインを具備し、

10

20

30

40

50

前記第 4 ドメインは、第 4 周期で規則的に配列された複数の第 4 サブドメインを具備し、

前記複数の第 1 サブドメインの各々は、第 5 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第 2 サブドメインの各々は、第 6 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第 3 サブドメインの各々は、第 7 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、かつ

前記複数の第 4 サブドメインの各々は、第 8 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されている。

10

【請求項 15】

請求項 14 に記載の赤外線センサであって、

前記ボロメータ第 1 梁は、第 5 ドメインをさらに含み、

前記ボロメータ第 2 梁は、第 6 ドメインをさらに含み、

前記ペルチェ第 1 梁は、第 7 ドメインをさらに含み、

前記ペルチェ第 2 梁は、第 8 ドメインをさらに含み、

前記第 5 ドメインは、第 9 周期で規則的に配列された複数の第 5 サブドメインを具備し、

前記第 6 ドメインは、第 10 周期で規則的に配列された複数の第 6 サブドメインを具備し、

20

前記第 7 ドメインは、第 11 周期で規則的に配列された複数の第 7 サブドメインを具備し、

前記第 8 ドメインは、第 12 周期で規則的に配列された複数の第 8 サブドメインを具備し、

前記複数の第 5 サブドメインの各々は、第 13 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第 6 サブドメインの各々は、第 14 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第 7 サブドメインの各々は、第 15 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

30

前記複数の第 8 サブドメインの各々は、第 16 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

平面視において、前記第 1 ドメインは、前記第 5 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 2 ドメインは、前記第 6 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 3 ドメインは、前記第 7 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 4 ドメインは、前記第 8 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

40

前記第 9 周期の値は、前記第 1 周期の値よりも大きく、

前記第 10 周期の値は、前記第 2 周期の値よりも大きく、

前記第 11 周期の値は、前記第 3 周期の値よりも大きく、かつ、

前記第 12 周期の値は、前記第 4 周期の値よりも大きい。

【請求項 16】

赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、以下を具備する：

(a) 以下を具備する前記赤外線センサを用意する工程、

凹部を有するベース基板、

前記ボロメータ赤外線受光部、および

ペルチェ素子、

50

を具備し、
 ここで、
 前記ボロメータ赤外線受光部は、
 赤外線の吸収により抵抗が変化する抵抗変化層、
 前記抵抗変化層に電氣的に接続されているボロメータ第1梁、および
 前記抵抗変化層に電氣的に接続されているボロメータ第2梁、
 を具備しており、
 前記ペルチェ素子は、前記ボロメータ赤外線受光部および前記凹部の間に挟まれてお
 り、
 前記赤外線は前記ボロメータ赤外線受光部の表側の面に照射され、
 前記ペルチェ素子は、p型半導体材料から形成されているペルチェ第1梁およびn型
 半導体材料から形成されているペルチェ第2梁を具備しており、
 前記ペルチェ素子は、前記ボロメータ赤外線受光部の裏側の面に接しており、
 前記ボロメータ第1梁の一端、前記ボロメータ第2梁の一端、前記ペルチェ第1梁の
 一端、および前記ペルチェ第2梁の一端は、前記ベース基板に接続されており、
 前記ボロメータ赤外線受光部、前記ペルチェ素子、前記ボロメータ第1梁、前記ボロ
 メータ第2梁、前記ペルチェ第1梁、および前記ペルチェ第2梁は、前記ベース基板の上
 部で懸架されており、
 前記ボロメータ第1梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第1フォ
 ノニック結晶構造を具備し、
 前記ボロメータ第2梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第2フォ
 ノニック結晶構造を具備し、
 前記ペルチェ第1梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第3フォノ
 ニック結晶構造を具備し、かつ
 前記ペルチェ第2梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第4フォノ
 ニック結晶構造を具備し、
 (b) 前記ボロメータ赤外線受光部に前記赤外線を入射させる工程、
 (c) 前記ボロメータ赤外線受光部に入射していた前記赤外線を遮断する工程、および
 (d) 前記ペルチェ第1梁および前記ペルチェ第2梁に電流を印加し、前記ボロメータ
 赤外線受光部を冷却する工程。

10

20

30

【請求項17】

請求項16に記載の赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、
 前記第1フォノニック結晶構造は、平面視の前記ボロメータ第1梁における、前記ボ
 ロメータ第1梁の一端および前記抵抗変化層の一端の間の第1区間に設けられており、
 前記第2フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ボロメータ第2梁における、前
 記ボロメータ第2梁の一端および前記抵抗変化層の他端の間の第2区間に設けられており、
 前記第3フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第1梁における、前記
 ペルチェ第1梁の一端および前記抵抗変化層の一端の間の第3区間に設けられており、
 前記第4フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第2梁における、前記
 ペルチェ第2梁の一端および前記抵抗変化層の他端の間の第4区間に設けられている。

40

【請求項18】

請求項16に記載の赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、
 前記第1フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第1周期で規則的に配列され
 ており、
 前記第2フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第2周期で規則的に配列され
 ており、
 前記第3フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第3周期で規則的に配列され
 ており、
 前記第4フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第4周期で規則的に配列され
 ている。

50

【請求項 19】

請求項 18 に記載の赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、前記第 1 周期、前記第 2 周期、前記第 3 周期、および前記第 4 周期の各々の値は等しい。

【請求項 20】

請求項 16 に記載の赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、前記ペルチェ第 1 梁の他端が前記ペルチェ第 2 梁の他端に接続されて、前記ペルチェ第 1 梁および前記ペルチェ第 2 梁の間に界面が形成されており、前記界面は、前記抵抗変化層および前記凹部の間に挟まれている。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本開示は、赤外線センサおよび赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 は、梁を用いてベース基板から熱型赤外線受光部を離間させる構造を開示している。この構造は、赤外線受光部をベース基板から熱的に絶縁させることを目的としている。この構造を有する熱型赤外線センサでは、梁の断熱性能が高いほど赤外線の検出感度が向上する。

【0003】

20

特許文献 2 および非特許文献 1 は、薄膜の熱伝導率を減少させる、複数の貫通孔により構成される周期構造を開示している。この周期構造では、平面視の薄膜において、ナノメートルのオーダー（1 nm から 1000 nm の領域）内の周期で規則的に貫通孔が配列されている。この周期構造は、フォノン結晶構造の一種である。このタイプのフォノン結晶構造は、貫通孔の配列を構成する最小単位を単位格子とする周期構造である。

【0004】

薄膜の熱伝導率は、例えば、特許文献 1 に開示されているように、多孔質化により低減できる。多孔質化により薄膜に導入された空隙が、薄膜の熱伝導率を減少させるためである。一方、フォノン結晶構造によれば、薄膜を構成する母材自身の熱伝導率が低減可能である。このため、単なる多孔質化に比べて、熱伝導率のさらなる低減が期待される。

30

【0005】

絶縁体および半導体において、熱は、主として、フォノンと呼ばれる格子振動によって運ばれる。絶縁体または半導体から構成される材料の熱伝導率は、材料が有するフォノンの分散関係により決定される。フォノンの分散関係とは、周波数と波数との関係、またはバンド構造を意味している。絶縁体および半導体において、熱を運ぶフォノンは、100 GHz から 10 THz の幅広い周波数帯域に及ぶ。この周波数帯域は、熱の帯域である。材料の熱伝導率は、熱の帯域にあるフォノンの分散関係により定められる。

【0006】

上述のフォノン結晶構造によれば、貫通孔の周期構造によって、材料が有するフォノンの分散関係が制御可能である。即ち、フォノン結晶構造によれば、材料、例えば薄膜の母材、の熱伝導率そのものが制御可能である。とりわけ、フォノン結晶構造によるフォニックバンドギャップ（PBG）の形成は、材料の熱伝導率を大きく低減させうる。PBG 内にフォノンは存在できない。このため、熱の帯域に位置する PBG は、熱伝導のギャップとなりうる。また、PBG 以外の周波数帯域においても、フォノンの分散曲線の傾きが PBG によって小さくなる。傾きの低減はフォノンの群速度を低下させ、熱伝導速度を低下させる。これらの点は、材料の熱伝導率の低減に大きく寄与する。

40

【0007】

このようなフォノン結晶構造を、赤外線受光部を支持する梁に導入することにより、赤外線センサの検出感度を向上させることが出来る。

【先行技術文献】

50

【特許文献】

【0008】

【文献】特開2012-63359号公報

米国特許出願公開第2017/0069818号明細書

【非特許文献】

【0009】

【文献】M. Nomura et al. , “ Impeded thermal transport in Simultiscale hierarchical architectures with phononic crystal nanostructures ” , Physical Review B 91 , 205422 (2015) . 10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

梁の断熱性能を高めることで、赤外線センサの検出感度を向上させることができる。しかし、それと同時に赤外線受光部の温度変化が遅くなり、赤外線センサの応答速度が低下するという課題がある。

【0011】

そこで、赤外線センサの応答速度を向上させる手段として、例えば、特許文献1に開示されている赤外線センサにおいて、ベース基板に接続された梁の形状を有するペルチェ素子を赤外線受光部に接するように配置することが考えられる。ペルチェ素子を用いて赤外線受光部から局所的に熱を吸い出すことで、赤外線の入射によって上昇した赤外線受光部の温度を低下させる。しかし、ペルチェ素子を導入することで、赤外線受光部およびベース基板の間における熱コンダクタンスが増加するため、赤外線の検出感度の低下を招く。

20

【0012】

また、半導体基板上にモノリシックに梁の形状を有するペルチェ素子を作製する場合、シリコンプロセスで使用されている半導体材料を使用する必要がある。この場合、通常使用される半導体材料（例えば、SiやSiGe）はペルチェ効果が低いため、十分な吸熱機能を得ることが困難である。

【0013】

本開示の目的は、優れた検出感度および優れた応答速度を両立することができる赤外線センサおよび当該赤外線センサの赤外線受光部を冷却する方法を提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0014】

本開示の赤外線センサは、
 凹部を有するベース基板、
 ボロメータ赤外線受光部、および
 ペルチェ素子、
 を具備し、
 ここで、
 前記ボロメータ赤外線受光部は、
 赤外線の吸収により抵抗が変化する抵抗変化層、
 前記抵抗変化層に電氣的に接続されているボロメータ第1梁、および
 前記抵抗変化層に電氣的に接続されているボロメータ第2梁、
 を具備しており、
 前記ペルチェ素子は、前記ボロメータ赤外線受光部および前記凹部の間に挟まれており、
 前記赤外線は前記ボロメータ赤外線受光部の表側の面に照射され、
 前記ペルチェ素子は、p型半導体材料から形成されているペルチェ第1梁およびn型半導体材料から形成されているペルチェ第2梁を具備しており、
 前記ペルチェ素子は、前記ボロメータ赤外線受光部の裏側の面に接しており、

40

50

前記ボロメータ第1梁の一端、前記ボロメータ第2梁の一端、前記ペルチェ第1梁の一端、および前記ペルチェ第2梁の一端は、前記ベース基板に接続されており、

前記ボロメータ赤外線受光部、前記ペルチェ素子、前記ボロメータ第1梁、前記ボロメータ第2梁、前記ペルチェ第1梁、および前記ペルチェ第2梁は、前記ベース基板の上部で懸架されており、

前記ボロメータ第1梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第1フォノニック結晶構造を具備し、

前記ボロメータ第2梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第2フォノニック結晶構造を具備し、

前記ペルチェ第1梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第3フォノニック結晶構造を具備し、

前記ペルチェ第2梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第4フォノニック結晶構造を具備する。

【発明の効果】

【0015】

本開示による赤外線センサにおいて、抵抗変化層およびベース基板を離間させているボロメータ第1梁、ボロメータ第2梁、ペルチェ第1梁、およびペルチェ第2梁の各々は、フォノニック結晶構造を備える。これにより、抵抗変化層およびベース基板の間における熱コンダクタンスが大幅に抑制される。この結果、赤外線の優れた検出感度を実現できる。

【0016】

さらに、ペルチェ素子として機能するペルチェ第1梁およびペルチェ第2梁の各々は、フォノニック結晶を備えるため、シリコンプロセスで用いられるペルチェ効果が低い半導体材料（例えば、SiまたはSiGe）をペルチェ第1梁およびペルチェ第2梁の材料として用いた場合でも、赤外線の吸収に伴って上昇したボロメータ赤外線受光部の温度を十分に低下させることができる。本開示の構成によってペルチェ効果を高められる理由は、フォノニック結晶構造をペルチェ第1梁およびペルチェ第2梁の各々に導入することで、ペルチェ第1梁およびペルチェ第2梁を構成する材料の電気伝導率は変化しないまま、熱伝導率だけを低減することが出来るためである。すなわち、フォノニック結晶構造では、電子輸送に依存する電気伝導率は変化せず、フォノン輸送に依存する熱伝導率だけが変化するためである。優れたペルチェ効果によって、ボロメータ赤外線受光部を短時間で冷却することができる。これにより、赤外線センサの応答速度を向上することができる。

【0017】

本開示は、優れた検出感度および優れた応答速度を両立することができる赤外線センサおよび当該赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法を提供する。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1A】図1Aは、実施形態1の赤外線センサ1Aの一例の模式的な平面図を示す。

【図1B】図1Bは、図1Aの1B-1B線における、実施形態1の赤外線センサ1Aの断面の模式図を示す。

【図1C】図1Cは、図1Aの1C-1C線における、実施形態1の赤外線センサ1Aの断面の模式図を示す。

【図1D】図1Dは、実施形態1の赤外線センサ1Aの別の一例の断面図を示す。

【図2】図2は、実施形態1の赤外線センサ1Aの別の一例の模式的な平面図を示す。

【図3】図3は、実施形態1の赤外線センサ1Aのまた別の一例の模式的な平面図を示す。

【図4A】図4Aは、実施形態1の赤外線センサ1Aにおける抵抗変化層201上の界面103の配置図の一例の模式図を示す。

【図4B】図4Bは、実施形態1の赤外線センサ1Aにおける抵抗変化層201上の界面103の配置図の別の一例の模式図を示す。

【図5A】図5Aは、実施形態1の赤外線センサ1Aにおける抵抗変化層201上の界面103の配置図のまた別の一例の模式図を示す。

10

20

30

40

50

【図 5 B】図 5 B は、本開示の実施形態 1 の赤外線センサ 1 A における抵抗変化層 2 0 1 上の界面 1 0 3 の配置図のさらにまた別の一例の模式図を示す。

【図 6 A】図 6 A は、フォノンニック結晶構造を構成する周期構造の単位格子の一例の模式図を示す。

【図 6 B】図 6 B は、フォノンニック結晶構造を構成する周期構造の単位格子の別の一例の模式図を示す。

【図 6 C】図 6 C は、フォノンニック結晶構造を構成する周期構造の単位格子のまた別の一例の模式図を示す。

【図 6 D】図 6 D は、フォノンニック結晶構造を構成する周期構造の単位格子のさらにまた別の一例の模式図を示す。

10

【図 7 A】図 7 A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A における抵抗変化層 2 0 1、絶縁膜 2 0 2、赤外線吸収層 2 0 3、および梁 1 0 1 b の付近の模式的な拡大図の一例を示す。

【図 7 B】図 7 B は、図 7 A のフォノンニック結晶構造の領域 7 B の拡大図である。

【図 8 A】図 8 A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A における抵抗変化層 2 0 1、絶縁膜 2 0 2、赤外線吸収層 2 0 3、および梁 1 0 1 b の付近の模式的な拡大図の別の一例を示す。

【図 8 B】図 8 B は、図 8 A のフォノンニックドメイン 9 1 の拡大図を示す。

【図 8 C】図 8 C は、図 8 A のフォノンニックドメイン 9 2 の拡大図を示す。

【図 8 D】図 8 D は、図 8 A のフォノンニックドメイン 9 3 の拡大図を示す。

【図 9 A】図 9 A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A における抵抗変化層 2 0 1、絶縁膜 2 0 2、赤外線吸収層 2 0 3、および梁 1 0 1 b の付近の模式的な拡大図のまた別の一例を示す。

20

【図 9 B】図 9 B は、図 9 A の第 2 周期構造 2 6 a の拡大図を示す。

【図 9 C】図 9 C は、図 9 A の第 2 周期構造 2 6 b の拡大図を示す。

【図 1 0 A】図 1 0 A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A における赤外線受光部 1 2 A および梁 1 0 1 b の付近の模式的な拡大図のさらにまた別の一例を示す。

【図 1 0 B】図 1 0 B は、図 1 0 A のミクロ周期構造 2 7 a の拡大図を示す。

【図 1 0 C】図 1 0 C は、図 1 0 A のミクロ周期構造 2 7 b の拡大図を示す。

【図 1 1】図 1 1 は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A において、波長の長いフォノンに対してはサブフォノンニックドメイン 2 8 a が一つの大きな貫通孔と同様にして機能することを説明するための梁の拡大図を示す。

30

【図 1 2 A】図 1 2 A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

【図 1 2 B】図 1 2 B は、図 1 2 A の 1 2 B - 1 2 B 線における断面の模式図を示す。

【図 1 3 A】図 1 3 A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

【図 1 3 B】図 1 3 B は、図 1 3 A の 1 3 B - 1 3 B 線における断面の模式図を示す。

【図 1 3 C】図 1 3 C は、図 1 3 A の 1 3 C - 1 3 C 線における断面の模式図を示す。

【図 1 3 D】図 1 3 D は、複数の貫通孔 1 8 が形成された領域 1 0 1 1 b の拡大図を示す。

【図 1 4 A】図 1 4 A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

40

【図 1 4 B】図 1 4 B は、図 1 4 A の 1 4 B - 1 4 B 線における断面の模式図を示す。

【図 1 4 C】図 1 4 C は、図 1 4 A の 1 4 C - 1 4 C 線における断面の模式図を示す。

【図 1 4 D】図 1 4 D は、図 1 4 A の 1 4 D - 1 4 D 線における断面の模式図を示す。

【図 1 4 E】図 1 4 E は、図 1 4 A の 1 4 E - 1 4 E 線における断面の模式図を示す。

【図 1 5 A】図 1 5 A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

【図 1 5 B】図 1 5 B は、図 1 5 A の 1 5 B - 1 5 B 線における断面の模式図を示す。

【図 1 5 C】図 1 5 C は、図 1 5 A の 1 5 C - 1 5 C 線における断面の模式図を示す。

【図 1 6 A】図 1 6 A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A を製造する方法の一例を説明す

50

るための模式的な平面図を示す。

【図 1 6 B】図 1 6 B は、図 1 6 A の 1 6 B - 1 6 B 線における断面の模式図を示す。

【図 1 6 C】図 1 6 C は、図 1 6 A の 1 6 C - 1 6 C 線における断面の模式図を示す。

【図 1 7 A】図 1 7 A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

【図 1 7 B】図 1 7 B は、図 1 7 A の 1 7 B - 1 7 B 線における断面の模式図を示す。

【図 1 7 C】図 1 7 C は、図 1 7 A の 1 7 C - 1 7 C 線における断面の模式図を示す。

【図 1 8 A】図 1 8 A は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D の一例の模式的な平面図を示す。

【図 1 8 B】図 1 8 B は、図 1 8 A の 1 8 B - 1 8 B 線における、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D の断面の模式図を示す。

10

【図 1 8 C】図 1 8 C は、図 1 8 A の 1 8 C - 1 8 C 線における、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D の断面の模式図を示す。

【図 1 8 D】図 1 8 D は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D の別の一例の断面図を示す。

【図 1 9】図 1 9 は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D の別の一例の模式的な平面図を示す。

【図 2 0】図 2 0 は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

【図 2 1 A】図 2 1 A は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

【図 2 1 B】図 2 1 B は、図 2 1 A の 2 1 B - 2 1 B 線における断面の模式図を示す。

【図 2 1 C】図 2 1 C は、図 2 1 A の 2 1 C - 2 1 C 線における断面の模式図を示す。

20

【図 2 2 A】図 2 2 A は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

【図 2 2 B】図 2 2 B は、図 2 2 A の 2 2 B - 2 2 B 線における断面の模式図を示す。

【図 2 2 C】図 2 2 C は、図 2 2 A の 2 2 C - 2 2 C 線における断面の模式図を示す。

【図 2 3 A】図 2 3 A は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

【図 2 3 B】図 2 3 B は、図 2 3 A の 2 3 B - 2 3 B 線における断面の模式図を示す。

【図 2 3 C】図 2 3 C は、図 2 3 A の 2 3 C - 2 3 C 線における断面の模式図を示す。

【図 2 4 A】図 2 4 A は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

30

【図 2 4 B】図 2 4 B は、図 2 4 A の 2 4 B - 2 4 B 線における断面の模式図を示す。

【図 2 5 A】図 2 5 A は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

【図 2 5 B】図 2 5 B は、図 2 5 A の 2 5 B - 2 5 B 線における断面の模式図を示す。

【図 2 5 C】図 2 5 C は、図 2 5 A の 2 5 C - 2 5 C 線における断面の模式図を示す。

【図 2 6 A】図 2 6 A は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D を製造する方法の一例を説明するための模式的な平面図を示す。

【図 2 6 B】図 2 6 B は、図 2 6 A の 2 6 B - 2 6 B 線における断面の模式図を示す。

【図 2 6 C】図 2 6 C は、図 2 6 A の 2 6 C - 2 6 C 線における断面の模式図を示す。

【図 2 7 A】図 2 7 A は、実施形態 3 の赤外線センサ 1 F の一例の模式的な平面図を示す。

40

【図 2 7 B】図 2 7 B は、図 2 7 A の 2 7 B - 2 7 B 線における、実施形態 3 の赤外線センサ 1 F の断面の模式図を示す。

【図 2 7 C】図 2 7 C は、図 2 7 A の 2 7 C - 2 7 C 線における、実施形態 3 の赤外線センサ 1 F の断面の模式図を示す。

【図 2 7 D】図 2 7 D は、実施形態 3 の赤外線センサ 1 F の別の一例の断面図を示す。

【図 2 8】図 2 8 は、実施形態 3 の赤外線センサ 1 F の別の一例の模式的な平面図を示す。

【図 2 9】図 2 9 は、実施形態 3 の赤外線センサ 1 F のまた別の一例の模式的な平面図を示す。

【図 3 0 A】図 3 0 A は、実施形態 4 の赤外線センサ 1 I の一例の模式的な平面図を示す。

【図 3 0 B】図 3 0 B は、図 3 0 A の 3 0 B - 3 0 B 線における、実施形態 4 の赤外線セ

50

ンサ 1 I の断面の模式図を示す。

【図 3 0 C】図 3 0 C は、図 3 0 A の 3 0 C - 3 0 C 線における、実施形態 4 の赤外線センサ 1 I の断面の模式図を示す。

【図 3 0 D】図 3 0 D は、実施形態 4 の赤外線センサ 1 I の別の一例の断面図を示す。

【図 3 1 A】図 3 1 A は、実施形態 4 の赤外線センサ 1 I の別の一例の模式的な平面図を示す。

【図 3 1 B】図 3 1 B は、図 3 1 A の 3 1 B - 3 1 B 線における、赤外線センサ 1 I の断面の模式図を示す。

【図 3 2 A】図 3 2 A は、実施例 1 による赤外線センサの梁 1 0 2 a、1 0 2 b に電流が流されたときの時間応答試験の結果を示すグラフである。

10

【図 3 2 B】図 3 2 B は、図 3 2 A の点線で囲まれた部分 B の拡大図である。

【図 3 2 C】図 3 2 C は、実施例 1 による赤外線センサの梁 1 0 2 a、1 0 2 b に電流が流されなかったときの時間応答試験の結果を示すグラフである。

【図 3 2 D】図 3 2 D は、図 3 2 C の点線で囲まれた部分 D の拡大図である。

【図 3 2 E】図 3 2 E は、比較例 1 による赤外線センサの梁 1 0 2 a、1 0 2 b に電流が流されなかったときの時間応答試験の結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 9】

以下本開示の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。特開 2 0 1 7 - 2 2 3 6 4 4 号公報、特開 2 0 1 7 - 2 2 3 6 4 4 号公報に対応する米国特許出願 2 0 1 5 / 4 9 7 3 5 3、および中国出願 2 0 1 7 1 0 2 7 4 2 5 9 . 9 は本願に参照として援用される。

20

【0 0 2 0】

(実施形態 1)

実施形態 1 の赤外線センサ 1 A が図 1 A ~ 図 1 C に示される。図 1 B には、図 1 A の赤外線センサ 1 A の断面 1 B - 1 B が示される。図 1 C には、図 1 A の赤外線センサ 1 A の断面 1 C - 1 C が示される。赤外線センサ 1 A は、ポロメータ赤外線センサである。

【0 0 2 1】

赤外線センサ 1 A は、凹部 3 2 を有するベース基板 1 1、ポロメータ赤外線受光部 1 2 A、ペルチェ素子 1 2 P を備える。また、赤外線センサ 1 A は、電極パッド 1 3 a、1 3 b、1 5 a、1 5 b、および第 2 配線 1 4 a、1 4 b、1 4 c、1 4 d を備える。電極パッド 1 3 a、1 3 b、1 5 a、1 5 b、および第 2 配線 1 4 a、1 4 b、1 4 c、1 4 d は、ベース基板 1 1 上に設けられている。

30

【0 0 2 2】

ポロメータ赤外線受光部 1 2 A は、赤外線の吸収により抵抗が変化する抵抗変化層 2 0 1、抵抗変化層 2 0 1 に電氣的に接続されている梁 1 0 1 a、および抵抗変化層 2 0 1 に電氣的に接続されている梁 1 0 1 b を備える。なお、梁 1 0 1 a および梁 1 0 1 b は、それぞれ、ポロメータ第 1 梁およびポロメータ第 2 梁とも称される。また、ポロメータ赤外線受光部 1 2 A は、抵抗変化層 2 0 1 の上に形成された絶縁膜 2 0 2、および絶縁膜 2 0 2 の上に形成された赤外線吸収層 2 0 3 を備える。ポロメータ赤外線受光部 1 2 A は膜の形状を有する。ポロメータ赤外線受光部 1 2 A が設けられた面は、ポロメータ赤外線受光部 1 2 A の表側の面と称される。また、抵抗変化層 2 0 1 が設けられた面は、ポロメータ赤外線受光部 1 2 A の裏側の面と称される。

40

【0 0 2 3】

ペルチェ素子 1 2 P は、p 型半導体材料から形成されている梁 1 0 2 a および n 型半導体材料から形成されている梁 1 0 2 b を備える。なお、梁 1 0 2 a および梁 1 0 2 b は、それぞれ、ペルチェ第 1 梁およびペルチェ第 2 梁とも称される。また、ペルチェ素子 1 2 P は、第 1 配線 1 6 および絶縁膜 1 7 を備える。

【0 0 2 4】

図 1 A および図 1 B に示されるように、梁 1 0 1 a の一端および梁 1 0 1 b の一端は、

50

ベース基板 11 に接続されている。また、梁 101 a の他端および梁 101 b の他端は、抵抗変化層 201 に接続されている。また、梁 101 a、101 b は、それぞれ、第 2 配線 14 a、14 b と電氣的に接続されている。第 2 配線 14 a、14 b は、それぞれ、電極パッド 13 a、13 b に電氣的に接続されている。

【0025】

図 1 A および図 1 C に示されるように、梁 102 a の一端および梁 102 b の一端は、ベース基板 11 に接続されている。また、梁 102 a の他端は梁 102 b の他端に接続され、界面 103 が形成されている。界面 103 を跨ぐように、梁 102 a、102 b を電氣的に接続する第 1 配線 16 が梁 102 a、102 b の上に形成されている。さらに、第 1 配線 16 を覆うように、絶縁膜 17 は、第 1 配線 16、梁 102 a、および梁 102 b

10

【0026】

図 1 A ~ 図 1 C に示されるように、ベース基板 11 は、赤外線受光部 12 A が設けられた上面 31 に凹部 32 を有する。

【0027】

平面視において、赤外線受光部 12 A の面積に比べて凹部 32 の面積は大きい。また、平面視において、赤外線受光部 12 A は、凹部 32 の外縁に囲まれている。なお、本明細書において、「平面視」とは、対象物の主面に垂直な方向から対象物を視ることを意味する。また、「主面」とは、最も広い面積を有する面を意味する。本実施形態では、主面は上面 31 である。

20

【0028】

ベース基板 11 が凹部 32 を有する理由は、抵抗変化層 201、絶縁膜 202、および赤外線吸収層 203 に蓄積される熱を逃げにくくするためである。当該技術分野においてよく知られているように、このように熱を逃げにくくすることで赤外線センサの検出感度が向上する。

【0029】

図 1 B に示されるように、凹部 32 は、赤外線受光部 12 A および梁 101 a、101 b と、ベース基板 11 との間に位置している。図 1 C に示されるように、ペルチェ素子 12 P は、ポロメータ赤外線受光部 12 A および凹部 32 の間に挟まれている。また、ペルチェ素子 12 P は、ポロメータ赤外線受光部 12 A を冷却するために、ポロメータ赤外線受光部 12 A の裏側の面に接している。具体的には、絶縁膜 17 は、抵抗変化層 201 に接している。界面 103 は、抵抗変化層 201 および凹部 32 の間に挟まれている。絶縁膜 17 は、抵抗変化層 201、ならびに梁 102 a および梁 102 b の間に挟まれている。ポロメータ赤外線受光部 12 A、ペルチェ素子 12 P、梁 101 a、101 b、102 a、102 b は、ベース基板 11 の上部で懸架されている。当該技術分野においてよく知られているように、ポロメータ赤外線受光部 12 A をこのように懸架することで赤外線センサの検出感度が向上する。

30

【0030】

梁 101 a、101 b は、赤外線吸収層 203 に入射した赤外線の検出信号を読み出すために用いられる。

40

【0031】

梁 101 a、101 b は、導電性を有する材料からなる。導電性を有する材料は、例えば、金属および半導体である。より好ましくは、導電性を有する材料は、半導体である。これは、金属において熱を運ぶ媒体は、フォノンではなく、主として自由電子であるためである。半導体は、例えば、Si または Ge といった単一元素の半導体、SiN、SiC、SiGe、GaAs、InAs、InSb、InP、GaN、または AlN といった化合物半導体、並びに Fe₂O₃、VO₂、TiO₂、または SrTiO₃ といった酸化物半導体である。

50

【 0 0 3 2 】

梁 1 0 1 a および梁 1 0 1 b の各々は、ベース基板 1 1 に対する抵抗変化層 2 0 1 の断熱性能を高めるために、規則的に配列された複数の貫通孔から構成されたフォノンニック結晶構造を有している。フォノンニック結晶構造は、平面視の梁 1 0 1 a におけるベース基板 1 1 に接続された梁 1 0 1 a の一端および抵抗変化層 2 0 1 の一端の間の区間 1 1 1 a、ならびに平面視の梁 1 0 1 b におけるベース基板 1 1 に接続された梁 1 0 1 b の一端および抵抗変化層 2 0 1 の他端の間の区間 1 1 1 b に設けられていることが望ましい。フォノンニック結晶構造の詳細は後述される。

【 0 0 3 3 】

梁 1 0 2 a、1 0 2 b は、熱電対を構成し、ペルチェ素子 1 2 P として機能する。すなわち、梁 1 0 2 a、1 0 2 b は、赤外線受光部 1 2 A で発生した熱を吸熱するために用いられる。界面 1 0 3 がペルチェ素子 1 2 P の冷接点に対応する。梁 1 0 2 a、1 0 2 b の一方は、p 型半導体材料からなる。梁 1 0 2 a、1 0 2 b の他方は、n 型半導体材料からなる。p 型半導体材料および n 型半導体材料は、例えば、シリコンプロセスで使用されるシリコン系半導体材料（例えば、Si または SiGe）であることが望ましい。

10

【 0 0 3 4 】

界面 1 0 3 の上に第 1 配線 1 6 が設けられている理由は、梁 1 0 2 a、1 0 2 b の間に電流を流しやすくするためである。第 1 配線 1 6 がなくても、ペルチェ素子 1 2 P は機能するが、ペルチェ素子 1 2 P は第 1 配線 1 6 を有することが望ましい。

【 0 0 3 5 】

なお、図 1 D に示されるように、界面 1 0 3 を有さないペルチェ素子 1 2 P が用いられる場合、梁 1 0 2 a を梁 1 0 2 b に電氣的に接続する第 1 配線 1 6 は必須である。この場合、第 1 配線 1 6 が、ペルチェ素子 1 2 P の冷接点に対応する。図 1 D に示されるように、第 1 配線 1 6 は、抵抗変化層 2 0 1 および凹部 3 2 の間に挟まれている。

20

【 0 0 3 6 】

赤外線センサ 1 A は、複数の界面 1 0 3 を有することが望ましい。複数の界面 1 0 3 は、抵抗変化層 2 0 1 の面内に分散して配置されていることが望ましい。これは、ペルチェ効果によって吸熱される領域は、界面 1 0 3 近傍の局所領域に限られるからである。したがって、複数の界面 1 0 3 が抵抗変化層 2 0 1 の上に分散して配置された構成では、より均一に抵抗変化層 2 0 1、絶縁膜 2 0 2、および赤外線吸収層 2 0 3 を冷却することができる。図 4 A および図 4 B に示されるように、この構成として、抵抗変化層 2 0 1 の平面が 4 つの均等な領域に分割されたときに、少なくとも 2 つの領域に複数の界面 1 0 3 が存在することが好ましい。なお、図 4 A および図 4 B では、第 1 配線 1 6、絶縁膜 1 7、絶縁膜 2 0 2 および赤外線吸収層 2 0 3 は省略されている。

30

【 0 0 3 7 】

また、図 5 A および図 5 B に示されるように、赤外線受光部 1 2 A の平面が複数の領域に均等に分割されたときに、少なくとも 2 つの領域に渡って一つの界面 1 0 3 が配置されてもよい。この構成により、効率的に赤外線受光部 1 2 A からの吸熱が可能になる。なお、図 5 A および図 5 B では、第 1 配線 1 6、絶縁膜 1 7、絶縁膜 2 0 2 および赤外線吸収層 2 0 3 は省略されている。

40

【 0 0 3 8 】

梁 1 0 2 a および梁 1 0 2 b の各々は、ベース基板 1 1 に対する抵抗変化層 2 0 1 の断熱性能を高めるために、規則的に配列された複数の貫通孔から構成されたフォノンニック結晶構造を有している。フォノンニック結晶構造は、平面視の梁 1 0 2 a におけるベース基板 1 1 に接続された梁 1 0 2 a の一端および抵抗変化層 2 0 1 の一端の間の区間 1 1 2 a、ならびに平面視の梁 1 0 2 b におけるベース基板 1 1 に接続された梁 1 0 2 b の一端および抵抗変化層 2 0 1 の他端の間の区間 1 1 2 b に設けられていることが望ましい。

【 0 0 3 9 】

ベース基板 1 1 は、典型的には、半導体から構成される。半導体は、例えば、Si である。Si から構成されるベース基板 1 1 の上面 3 1 には、酸化膜が形成されていてもよい

50

。酸化膜は、例えば、 SiO_2 膜である。

【0040】

抵抗変化層201は、抵抗温度係数の大きい材料、例えば、アモルファスSiや酸化バナジウム、またはプラチナから構成される。絶縁膜202は、例えば、 SiN から構成される。赤外線吸収層203の材料は、金属（例えば、Ti、Cr、Au、Al、Cu、またはNi）または窒化物（例えば、 TiN または SiN ）であることが望ましい。これら以外にも、赤外線吸収層203の材料として、酸化物（例えば、 SiO ）を用いてもよい。

【0041】

第1配線16は、例えば、ドーパされた半導体、または金属から構成される。金属は、例えば、Alである。

【0042】

第2配線14a、14b、14c、14dは、例えば、ドーパされた半導体、または金属から構成される。金属は、例えば、Alである。

【0043】

絶縁膜17は、抵抗変化層201をペルチェ素子12Pから電気的に絶縁するために設けられている。絶縁膜17は、例えば、 SiN から構成される。

【0044】

電極パッド13a、13b、15a、15bは、例えば、Alから構成される。

【0045】

電極パッド13a、13bは、梁101a、101bに電流を印加する信号処理回路（不図示）に電気的に接続される。なお、当該信号処理回路はベース基板11の上に設けられていてもよいし、ベース基板11の外部に設けられていてもよい。

【0046】

電極パッド15a、15bは、ペルチェ素子12Pに電流を印加する信号処理回路（不図示）に電気的に接続される。なお、当該信号処理回路はベース基板11の上に設けられていてもよいし、ベース基板11の外部に設けられていてもよい。

【0047】

以下の説明は、梁101a、101b、102a、102bの各々が有するフォノンニック結晶構造に関する。梁101bが有するフォノンニック結晶構造を例にとり、その詳細が以下に説明される。なお、この説明は、梁101a、102a、102bにも共通する。

【0048】

フォノンニック結晶構造の一例が図7Aおよび図7Bに示される。図7Aは、実施形態1の赤外線センサ1Aにおける抵抗変化層201、絶縁膜202、赤外線吸収層203、および梁101bの付近の模式的な拡大図の一例を示す。図7Bは、図7Aのフォノンニック結晶構造の領域7Bの拡大図である。梁101bは、例えば、10nm以上500nm以下の厚さを有する薄膜である。梁101bは、平面視において、長方形である。梁101bの長辺の方向は、抵抗変化層201および第2配線14bを結ぶ方向、即ち、赤外線センサ1Aにおけるマクロな熱の伝達方向、と一致している。梁101bには、梁101bの厚さ方向に延びる複数の貫通孔18が設けられている。梁101bが有するフォノンニック結晶構造は、複数の貫通孔18が面内方向に規則的に配列された二次元フォノンニック結晶構造である。このように、フォノンニック結晶構造は、複数の貫通孔18により構成される周期構造を備える。

【0049】

フォノンニック結晶領域であるドメインは、複数の貫通孔18の配列の周期をPとして、平面視において、例えば、 $25P^2$ 以上の面積を有する領域である。ここで、図7Bに示されるように、周期Pは、平面視において隣接する貫通孔18間の中心間距離により定められる。

【0050】

フォノンニック結晶構造によってフォノンの分散関係を制御するには、ドメインは、少なくとも $25P^2$ 以上の面積を有していてもよい。平面視において正方形のドメインでは、

10

20

30

40

50

5 × P 以上の周期とすることで、25 P² 以上の面積が確保可能である。

【0051】

貫通孔18の配列の周期Pは、例えば、1 nm以上300 nm以下である。これは、熱を運ぶフォノンの波長が、主として、1 nmから300 nmの範囲に及ぶためである。梁101a、101b、102a、102bに配列された各貫通孔18の周期は、互いに異ならせてもよいし、同一でもよい。

【0052】

図7Bに示される貫通孔18の開口の形状は円である。複数の貫通孔18の直径Dは、周期Pに対する比D/Pにより表して、例えば、D/P = 0.5である。比D/P < 0.5である場合、梁101bにおける空隙率が過度に低下して、熱伝導率が十分に低下しないことがある。ここで、比D/Pの上限は、隣接する貫通孔18同士が接しないために、例えば、0.9未満である。貫通孔18の開口の形状は平面視において円でなくてもよい。この場合、直径Dは、開口の面積と同じ面積を有する仮想の円の直径により定められる。

10

【0053】

規則的に配列された複数の貫通孔18により構成される単位格子19の種類は、例えば、正方格子(図6A)、六方格子(図6B)、長方格子(図6C)、及び面心長方格子(図6D)である。ただし、単位格子19の種類は、これらの例に限定されない。フォノンニック結晶構造を構成する単位格子19の種類は梁101bの全域に渡って一種類であっても良く、数種類であっても良い。

【0054】

以下、フォノンニック結晶構造の例が示される。梁101bが有するフォノンニック結晶構造を例にとり、その詳細が以下に説明される。なお、この説明は、梁101a、102a、102bにも共通する。

20

【0055】

図8Aは、実施形態1の赤外線センサ1Aにおける抵抗変化層201、絶縁膜202、赤外線吸収層203、および梁101bの付近の模式的な拡大図の別の一例を示す。この例では、梁101bは3つのフォノンニックドメイン21a、21b、21cを含む。

【0056】

図8B、図8C、および、図8Dは、それぞれ、フォノンニックドメイン21aの一部91、フォノンニックドメイン21bの一部92、およびフォノンニックドメイン21cの一部93の拡大図を示す。図8Bに示されるように、フォノンニックドメイン21aは、径D₁および周期P₁を有する。図8Cに示されるように、フォノンニックドメイン21bは、径D₂および周期P₂を有する。図8Dに示されるように、フォノンニックドメイン21cは、径D₃および周期P₃を有する。この例では、D₁ < D₂ < D₃、およびP₁ < P₂ < P₃が満たされる。すなわち、図8Aに示されるように、赤外線受光部12A側からベース基板11側に向かう方向に沿って、貫通孔18の直径が増大し、かつ、複数の貫通孔18の配列の周期が増大するように配置される。

30

【0057】

一例として、周期P₁は50 nm以下であり、周期P₂は50 nmより大きく、150 nm以下であり、かつ周期P₃は150 nmより大きく、300 nm以下であってもよい。

40

【0058】

他の例として、周期P₁は50 nm以下であり、周期P₂は100 nm以上150 nm以下であり、かつ周期P₃は200 nm以上300 nm以下であってもよい。

【0059】

赤外線センサ1Aでは、赤外線を受光した際、抵抗変化層201、絶縁膜202および赤外線吸収層203の温度が上昇し、梁101bにおいて温度勾配が発生する。このとき、抵抗変化層201側が高温、ベース基板11側が低温となる。このため、梁101bにおいて、抵抗変化層201側における熱の帯域の周波数が、ベース基板11側における熱の帯域の周波数よりも高くなる。したがって、抵抗変化層201側のPBGを高周波に、ベース基板11側のPBGを低周波にするように、すなわち、抵抗変化層201からベー

50

基板 11 に向かって貫通孔 18 の周期が増大するように構成することで、より優れた断熱性能が得られる。

【0060】

なお、フォニックドメインの数は多ければ多いほど断熱効果は高まる。これは、複数のフォニックドメインの間において複数の貫通孔 18 の周期構造が異なれば、梁 101b は異なる複数のフォノン分散を持ち、隣り合うフォニックドメインの間では、フォノン群速度のミスマッチによって界面熱抵抗が発生するためである。隣り合うフォニックドメインを配列する間隔は周期的でも良いし、ランダムでも良い。

【0061】

図 9A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1A における抵抗変化層 201、絶縁膜 202、赤外線吸収層 203、および梁 101b の付近の模式的な拡大図のまた別の一例を示す。この例では、梁 101b は、フォニックドメイン 21a、21b によって構成されている。フォニックドメイン 21a、21b の各々は、一つの周期構造を構成する複数の貫通孔 18 同士の間隙に、この周期構造とは異なる周期構造を含む。

10

【0062】

具体的には、フォニックドメイン 21a は、直径 D_1 の複数の貫通孔 18 が周期 P_1 で配列された第 1 周期構造 25a の間隙の中に、直径 D_2 の複数の貫通孔 18 が周期 P_2 (図 9B 参照) で配列されたもう一つの第 2 周期構造 26a が存在する階層構造からなるマルチ周期構造を含む。フォニックドメイン 21b は、直径 D_3 の複数の貫通孔 18 が周期 P_3 で配列された第 1 周期構造 25b の間隙の中に、直径 D_4 の複数の貫通孔 18 が周期 P_4 (図 9C 参照) で配列されたもう一つの第 2 周期構造 26b が存在する階層構造からなるマルチ周期構造を含む。このように複数の周期構造を一つのフォニックドメイン内に形成することで、複数の PBG を一度に形成することができる。さらに、複数の PBG で熱の帯域を挟み込むように周期構造を形成すれば、バンド端効果によって熱の帯域のフォノンの群速度を低下させることができる。これにより、さらなる熱伝導率の低減効果が得られる。

20

【0063】

図 9A に示される例でも、図 8A に示される例と同様に、隣り合うフォニックドメイン間では異なる周期構造を有する。具体的には、梁 101b では、抵抗変化層 201 側からベース基板 11 側に向かう方向に沿って、第 1 周期構造 25a、25b および第 2 周期構造 26a、26b の周期が増大するように配置される。すなわち、 $P_1 < P_3$ 、かつ $P_2 < P_4$ が満たされる。なお、少なくとも $P_1 < P_3$ または $P_2 < P_4$ のいずれかが満たされれば、上述の図 8A に示される例と同様な効果を得ることができる。

30

【0064】

例えば、周期 P_1 は 150 nm 以下であり、かつ周期 P_3 は 200 nm 以上 300 nm 以下であってもよい。例えば、周期 P_2 は 150 nm 以下であり、かつ周期 P_4 は 200 nm 以上 300 nm 以下であってもよい。

【0065】

なお、図 9A では、一つのフォニックドメイン内に 2 種類の周期構造が形成されているが、一つのフォニックドメインを構成する周期構造は 3 種類以上であってもよい。例えば、直径 D_1 の複数の貫通孔が周期 P_1 で配列された第 1 周期構造 25a の間隙の中に、直径 D_2 の貫通孔が周期 P_2 で配列された第 2 周期構造 26a が存在し、さらに第 2 周期構造 26a の間隙に、もう一つの第 3 周期構造が存在する構造でもよい。

40

【0066】

図 10A は、実施形態 1 の赤外線センサ 1A における抵抗変化層 201、絶縁膜 202、赤外線吸収層 203、および梁 101b の付近の模式的な拡大図のさらにまた別の一例を示す。この例では、梁 101b は、フォニックドメイン 21a、21b によって構成されている。フォニックドメイン 21a は、直径 D_1 の複数の貫通孔 18 が周期 P_{s1} (図 10B 参照) で配列することで形成される複数のマイクロ周期構造 27a を含む。フォニックドメイン 21b は、直径 D_2 の複数の貫通孔 18 が周期 P_{s2} (図 10C 参照) で配

50

列することで形成される複数のマイクロ周期構造 27 b を含む。この例では、 $D_1 = D_2$ 、かつ $P_{s1} = P_{s2}$ が満たされる。マイクロ周期構造 27 a、27 b はそれぞれ、サブフォノンニックドメイン 28 a、28 b と称される。

【0067】

フォノンニックドメイン 21 a を構成するサブフォノンニックドメイン 28 a は、一様な形状からなり、周期 P_{m1} の間隔で配列され、マクロ周期構造 29 a を形成している。同様に、フォノンニックドメイン 21 b を構成するサブフォノンニックドメイン 28 b は、一様な形状からなり、周期 P_{m2} の間隔で配列され、マクロ周期構造 29 b を形成している。なお、サブフォノンニックドメイン 28 a、28 b の形状は、一様であれば円形でも良く、三角形や四角形、六角形などの多角形でも良い。

10

【0068】

サブフォノンニックドメイン 28 a の一辺の長さ L_s (図 10 A 参照) が、フォノンニックドメイン 21 a の全体の形状に対して十分に小さい場合、例えば、本実施形態において、 $L_s / \text{梁 } 101 \text{ b の幅 } W < 0.2$ の場合、波長の長いフォノンに対して、一つのサブフォノンニックドメイン 28 a は、図 11 の模式的に示されるように一つの大きな貫通孔として機能する。このため、サブフォノンニックドメイン 28 a は、波長の長いフォノンに対してフォノンニック結晶構造として断熱性能を発揮する。サブフォノンニックドメイン 28 b もサブフォノンニックドメイン 28 a と同様の効果を有する。

【0069】

一方、波長の短いフォノンに対しては、サブフォノンニックドメイン 28 a 内のマイクロ周期構造 27 a が断熱性能を発揮する。マイクロ周期構造 27 b もマイクロ周期構造 27 a と同様の効果を有する。

20

【0070】

マイクロ周期構造 27 a を構成する複数の貫通孔 18 の周期 P_{s1} は、 $P_{s1} / L_s > 0.1$ を満たす必要がある。これは、 $P_{s1} / L_s > 0.1$ の場合、長い波長のフォノンはマイクロ周期構造 27 a によって散乱され、フォノンニック結晶構造として機能しないためである。

【0071】

このように複数の周期構造を一つのフォノンニックドメイン内に形成することで、複数の P B G を一度に形成することができる。複数の P B G で熱の帯域を挟み込むように周期構造を形成することで、バンド端効果によって熱の帯域のフォノンの群速度を低下させることができる。これにより、さらなる熱伝導率の低減効果が得られる。

30

【0072】

図 10 A に示される例でも、図 8 A に示される例と同様に、隣り合うフォノンニックドメイン間では異なる周期構造を有する。具体的には、梁 101 b では、図 10 A に示すように、抵抗変化層 201 側からベース基板 11 側に向かう方向に沿って、マクロ周期構造 29 a、29 b の周期が増大するように配置される。すなわち、 $P_{m1} < P_{m2}$ が満たされる。この条件が満たされなくても、 $P_{s1} < P_{s2}$ が満たされれば、上述の図 8 A に示される例と同様な効果を得ることができる。

【0073】

マイクロ周期構造 27 a、27 b のそれぞれの周期 P_{s1} 、 P_{s2} は、1 nm から 300 nm の範囲内であることが好ましい。一方、マクロ周期構造 29 a、29 b のそれぞれの周期 P_{m1} 、 P_{m2} は、マイクロ周期構造 27 a、27 b のそれぞれの周期 P_{s1} 、 P_{s2} に応じて、10 nm から 3000 nm であることが好ましい。

40

【0074】

サブフォノンニックドメイン 28 a、28 b のそれぞれを構成するマイクロ周期構造 27 a、27 b では、5 周期分以上の複数の貫通孔が整列している必要がある。すなわち、5 つ以上の貫通孔 18 を設ける必要がある。この条件はサブフォノンニックドメイン 28 a、28 b のそれぞれによって形成されるマクロ周期構造 29 a、29 b にも当てはまる。

【0075】

フォノンニックドメイン 21 a、21 b の形状は円形でも多角形でも良い。

50

【0076】

実施形態1の赤外線センサ1Aの製造方法の一例が以下に説明される。

【0077】

まず、Silicon On Insulator (SOI) ウエハ111が用意される。図12Aおよび図12Bに示されるように、SOIウエハ111は、下部のSi層501、中間のSiO₂層502、および上部のSi層503からなる積層構造を有する。

【0078】

SOIウエハ111の代わりに、半導体基板(例えばSi基板)の上に、ポリイミドまたはSiO₂からなる犠牲層が形成され、犠牲層の上に厚みが10~500nmのSi薄膜またはSiGe薄膜が形成された積層構造を用いてもよい。

10

【0079】

次に、図13A~図13Cに示されるように、フォトリソグラフィおよびイオン注入により、梁101aとなる領域1011a、梁101bとなる領域1011b、梁102aとなる形成する領域1021a、および梁102bとなる領域1021bにイオンがドーピングされる。このとき、領域1021a、1021bには互いに異なるドーピング処理が行われる。なお、領域1011a、1011b、1021a、1021bは、四角の外形を有する領域Rに含まれている。

【0080】

次に、SOIウエハ111は、熱処理に供される。これにより、ドーピング処理において注入されたイオンが活性化される。

20

【0081】

次に、複数の貫通孔18が、領域1011a、1011b、1021a、1021bにおいて、周期的に形成される。一例として、複数の貫通孔18が形成された領域1011bの拡大図が図13Dに示される。なお、図13A~図13Cにおいては、貫通孔18の図示は省略されている。100nmから300nmの周期構造を有する貫通孔の作製には電子線リソグラフィが用いられる。1nmから100nmの周期構造を有する貫通孔の作製にはブロック共重合体リソグラフィが用いられる。このようにして、フォノンニック結晶構造が形成される。

【0082】

次に、図14A~図14Eに示されるように、フォトリソグラフィおよびエッチングにより、領域1011a、1011b、1021a、1021bを除いた領域R(図13A)のSi層503が除去され、梁101a、101b、102a、102bを形成する。

30

【0083】

次に、図15A~図15Cに示されるように、フォトリソグラフィ、エッチング、および公知の薄膜形成方法(例えば、スパッタリング、蒸着、または化学気相成長法(CVD))を用いて、第2配線14a、14b、14c、14dおよび電極パッド13a、13b、15a、15bが形成される。これと並行して、同様の手法を用いて、梁102a、102bを電氣的に接続する第1配線16が形成される。そして、フォトリソグラフィおよび公知の薄膜形成方法により、第1配線16を覆うようにSiNからなる絶縁膜17が形成される。

40

【0084】

次に、図16A~図16Cに示されるように、フォトリソグラフィおよび公知の薄膜形成方法により抵抗変化層201、絶縁膜202、および赤外線吸収層203が積層され、赤外線受光部12Aを形成する。Ti、TiN、またはSiNからなる赤外線吸収層203が用いられる場合、さらに赤外線吸収層203の上にSiの保護膜を形成してもよい。これは、次の工程において、気相フッ酸エッチングから赤外線吸収層203を保護するためである。

【0085】

最後に、図17A~図17Cに示されるように、気相フッ酸エッチングによってSOIウエハ111の中間のSiO₂層502が部分的に除去される。

50

【0086】

以上のようにして、実施形態1による赤外線センサ1Aが作製される。

【0087】

実施形態1の赤外線センサ1Aの動作が以下に説明される。動作は2段階に分かれる。

【0088】

第1段階では、梁101a、101bを介して、赤外線吸収層203に入射した赤外線の強度が測定される。具体的には、まず、信号処理回路によって、電極パッド13a、13bおよび第2配線14a、14bを介して定電圧が梁101a、101bに印加され、抵抗変化層201に流れる電流量が信号処理回路によって監視される。次に、赤外線吸収層203に赤外線が入射すると、赤外線吸収層203によって赤外線が吸収される。これにより、赤外線吸収層203、赤外線吸収層203と熱的に接触している絶縁膜202、および抵抗変化層201の温度が上昇する。その結果、抵抗変化層201の温度変化に対応して抵抗変化層201の電気抵抗が変化する。この時の抵抗変化層201の電気抵抗の変化に伴う電流量の変化が信号処理回路において測定され、赤外線の強度が算出される。

10

【0089】

後述されるように、実施例1による赤外線センサの梁101a、101b、102a、102bの各々はフォノン結晶構造を有し、実施例1による赤外線センサは優れた検出感度を有する(図32A参照)。一方、比較例1による赤外線センサの梁101a、101b、102a、102bの各々はフォノン結晶構造を有さず、その検出感度は実施例1による赤外線センサのそれよりも劣っている(図32E参照)。なお、図32Aに示されるグラフの縦軸は、信号処理回路において測定された電流値を示す。電流値が大きいほど、検出感度は高い。このように、梁101a、101b、102a、102bの各々にフォノン結晶構造を設けてその断熱性能を高めることで、赤外線センサ1Aの検出感度を高めることができる。

20

【0090】

次に、第2段階に移行する。

【0091】

第2段階では、抵抗変化層201、絶縁膜202、および赤外線吸収層203がペルチェ素子12Pを用いて冷却され、赤外線の入射に伴って上昇した抵抗変化層201、絶縁膜202、および赤外線吸収層203の温度が環境温度まで戻される。抵抗変化層201、絶縁膜202、および赤外線吸収層203を冷却するために、信号処理回路によって、電極パッド15a、15bおよび第2配線14c、14dを介して梁102a、102bにパルス状の電流が印加される。その結果、ペルチェ効果によって、抵抗変化層201、絶縁膜202、および赤外線吸収層203が冷却される。これにより、赤外線受光部12Aの温度を環境温度まで瞬時に冷却することが可能になる。後述されるように、赤外線を遮断後に実施例1による赤外線センサのペルチェ素子12Pに電流を印加することで、立ち下り時間、すなわち、冷却時間が大幅に短縮される(図32Bおよび図32D参照)。従って、ペルチェ素子12Pによる冷却により、赤外線センサ1Aの応答速度を大幅に高めることができる。

30

【0092】

なお、フォノン結晶構造を有する梁102a、102bが優れた断熱性能を有するものの、上述のペルチェ効果が得られる理由は以下の通りである。

40

【0093】

熱は、フォノンと呼ばれる格子振動、または伝導電子によって運ばれる。梁102a、102bにおいてフォノン結晶構造が設けられているため、格子振動による熱の伝導は抑制されている。一方で、フォノン結晶構造は、単純に空隙が増えることにより、伝導電子による熱の伝導をごくわずかに抑制するに過ぎない。このため、梁102a、102bに電流を印加することで上述のペルチェ効果が得られる。

【0094】

以上のようにして、赤外線センサ1Aは動作する。

50

【0095】

赤外線センサ1Aの変形例である赤外線センサ1Bは、図2に示されるように、梁101aおよび梁102aを物理的に接続する絶縁部401a、ならびに梁101bおよび梁102bを物理的に接続する絶縁部401bをさらに備える。これにより、抵抗変化層201、絶縁膜202、および赤外線吸収層203を中空に維持するための機械強度を高めることができる。なお、絶縁部401a、401bは、絶縁材料から構成されている。このため、梁101aおよび梁102aの間、ならびに梁101bおよび梁102bの間の電氣的な絶縁が確保される。

【0096】

赤外線センサ1Aの別の变形例である赤外線センサ1Cは、図3に示されるように、梁101a、101b、102a、102b以外にも梁104a、104bをさらに備える。これにより、抵抗変化層201、絶縁膜202、および赤外線吸収層203を中空に維持するための機械強度を高めることができる。

10

【0097】

(実施形態2)

実施形態2の赤外線センサ1Dが図18A~図18Cに示される。図18Bには、図18Aの赤外線センサ1Dの断面18B-18Bが示される。図18Cには、図18Aの赤外線センサ1Dの断面18C-18Cが示される。赤外線センサ1Dは、ボロメータ赤外線センサである。

【0098】

赤外線センサ1Dは、実施形態1の赤外線センサ1Aとは異なり、ベース基板11の上面31に配置された支柱34a、34b、34c、34dをさらに備える。ベース基板11は、凹部32を有していない。支柱34a、34b、34c、34dは、ベース基板11の上面31から離れる方向に延びている。梁101a、101b、102a、102bの各々の一端部は、それぞれ、支柱34a、34b、34c、34dに電氣的に接続されている。

20

【0099】

抵抗変化層201、絶縁膜202、赤外線吸収層203は、梁101a、101b、102a、102bによって、ベース基板11とは離間した状態で支持されている。図18Bに示されるように、ボロメータ赤外線受光部12A、梁101a、および梁101bは、支柱34a、34bによってベース基板11の上部で懸架されている。また、図18Cに示されるように、ペルチェ素子12P、梁102a、および梁102bは、支柱34cおよび支柱34dによってベース基板11の上部で懸架されている。当該技術分野においてよく知られているように、これらをこのように懸架することで赤外線センサの検出感度が向上する。

30

【0100】

梁101aは、支柱34aを介して第2配線14aと電氣的に接続されている。梁101bは、支柱34bを介して第2配線14bと電氣的に接続されている。梁102aは、支柱34cを介して第2配線14cと電氣的に接続されている。梁101dは、支柱34dを介して第2配線14dと電氣的に接続されている。

40

【0101】

界面103は、第1配線16および絶縁膜17を介して抵抗変化層201と熱的に接続されている。

【0102】

支柱34a、34b、34c、34dは、導電性材料から構成される。導電性材料は、例えば、金属である。支柱34a、34b、34c、34dの各々を構成する金属は、例えば、Cu、およびAlである。

【0103】

赤外線センサ1Dは、ベース基板11の上面31に赤外線反射膜をさらに有していてもよい。この形態では、赤外線センサ1Dの検出感度をさらに高めることができる。赤外線

50

反射膜を構成する材料は、例えば、Al、およびAuである。

【0104】

フォニック結晶構造は、平面視の梁101aにおける支柱34aおよび抵抗変化層201の一端の間の区間111a、平面視の梁101bにおける支柱34bおよび抵抗変化層201の他端の間の区間111b、平面視の梁102aにおける支柱34cおよび抵抗変化層201の一端の間の区間112a、ならびに平面視の梁102bにおける支柱34dおよび抵抗変化層201の他端の間の区間112bに設けられていることが望ましい。

【0105】

実施形態2の赤外線センサ1Dにおけるその他の構成は、好ましい態様を含め、実施形態1の赤外線センサ1Aにおける対応する構成と同様である。また、実施形態2の赤外線センサ1Dの動作は、実施形態1の赤外線センサ1Aの動作と同じである。

10

【0106】

実施形態2の赤外線センサ1Dの製造方法の一例が以下に説明される。

【0107】

まず、ベース基板11として、半導体基板が用意される。半導体基板は、例えば、Siから構成される。

【0108】

次に、図20に示されるように、電極パッド13a、13b、15a、15b、および第2配線14a、14b、14c、14dがベース基板11の上面31に形成される。電極パッド13a、13b、15a、15b、および第2配線14a、14b、14c、14dの形成には、スパッタリング法、または蒸着法といった薄膜形成手法、およびフォトリソグラフィ法といったパターン形成手法を含む公知の方法が利用可能である。電極パッド13a、13b、15a、15b、および第2配線14a、14b、14c、14dと共に、赤外線反射膜がベース基板11の上面31に形成されてもよい。

20

【0109】

次に、図21A～図21Cに示されるように、ベース基板11の上面31に犠牲層504および梁層505a、505bが順に形成される。犠牲層504は、電極パッド13a、13b、15a、15b、および第2配線14a、14b、14c、14dを覆うように形成される。犠牲層504は、典型的には、樹脂から構成される。犠牲層504の厚さとして、製造する赤外線センサ1Dにおける梁101a、101b、102a、102bおよびベース基板11の離間距離が選択可能である。樹脂は、例えば、ポリイミドである。犠牲層504は、例えば、CVD法、スパッタリング法、またはスピニング法といった公知の薄膜形成手法により形成できる。梁層505aを構成する材料は、例えば、n型Siである。梁層505bを構成する材料は、例えば、p型Siである。梁層505a、505bは、CVD法およびフォトリソグラフィにより形成できる。梁層505a、505bの各々の厚さは、例えば、10nm以上500nm以下である。

30

【0110】

次に、図22A～図22Cに示されるように、複数の貫通孔18が、領域1011a、1011b、1021a、1021bにおいて、周期的に形成される。なお、図22A～図22Cにおいては、複数の貫通孔18の図示は省略されている。複数の貫通孔18の形成方法は上述の通りである。

40

【0111】

次に、図23A～図23Cに示されるように、フォトリソグラフィおよびエッチングにより、領域1011a、1011b、1021a、1021bを除いた領域の梁層505a、505bが除去され、梁101a、101b、102a、102bを形成する。

【0112】

次に、図24Aおよび図24Bに示されるように、フォトリソグラフィおよびエッチングにより、梁102a、102bを電氣的に接続する第1配線16が形成される。そして、フォトリソグラフィおよび公知の薄膜形成方法により、第1配線16を覆うようにSiNからなる絶縁膜17が形成される。

50

【 0 1 1 3 】

次に、図 2 5 A ~ 図 2 5 C に示されるように、支柱 3 4 a、3 4 b、3 4 c、3 4 d が形成される。支柱 3 4 a、3 4 b、3 4 c、3 4 d の形成には、支柱 3 4 a、3 4 b、3 4 c、3 4 d を形成する空間を確保するための選択的エッチング、および確保した空間に支柱 3 4 a、3 4 b、3 4 c、3 4 d を形成するためのスパッタリング法、または蒸着法といった薄膜形成手法が利用可能である。

【 0 1 1 4 】

次に、図 2 6 A ~ 図 2 6 C に示されるように、抵抗変化層 2 0 1、絶縁膜 2 0 2、および赤外線吸収層 2 0 3 が形成される。抵抗変化層 2 0 1、絶縁膜 2 0 2、および赤外線吸収層 2 0 3 の各々の構成および形成方法は上記の通りである。

10

【 0 1 1 5 】

最後に、選択的エッチングによって犠牲層 5 0 4 が除去される。

【 0 1 1 6 】

以上のようにして、図 1 8 A ~ 図 1 8 C に示される実施形態 2 の赤外線センサ 1 D が得られる。

【 0 1 1 7 】

上述のペルチェ素子 1 2 P の代わりに、図 1 8 D に示されるように、界面 1 0 3 を有さないペルチェ素子 1 2 P を用いることができる。この場合、第 1 配線 1 6 が、ペルチェ素子 1 2 P の冷接点に対応する。第 1 配線 1 6 は、絶縁膜 1 7 を介して、抵抗変化層 2 0 1 と熱的に接続されている。

20

【 0 1 1 8 】

赤外線センサ 1 D の変形例である赤外線センサ 1 E は、図 1 9 に示されるように、梁 1 0 4 a、1 0 4 b をさらに備える。これにより、抵抗変化層 2 0 1、絶縁膜 2 0 2、および赤外線吸収層 2 0 3 を中空に維持するための機械強度を高めることができる。

【 0 1 1 9 】

(実施形態 3)

実施形態 3 の赤外線センサ 1 F が図 2 7 A ~ 図 2 7 C に示される。図 2 7 B には、図 2 7 A の赤外線センサ 1 F の断面 2 7 B - 2 7 B が示される。図 2 7 C には、図 2 7 A の赤外線センサ 1 F の断面 2 7 C - 2 7 C が示される。赤外線センサ 1 F は、ポロメータ赤外線センサである。

30

【 0 1 2 0 】

赤外線センサ 1 F の赤外線受光部 1 2 B は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D の赤外線受光部 1 2 A とは異なり、梁 1 0 1 a の上に形成された薄膜 3 0 1 a、および梁 1 0 1 b の上に形成された薄膜 3 0 1 b をさらに備える。なお、薄膜 3 0 1 a および薄膜 3 0 1 b は、それぞれ、ポロメータ第 1 薄膜およびポロメータ第 2 薄膜とも称される。

【 0 1 2 1 】

赤外線センサ 1 F のペルチェ素子 2 1 P は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D のペルチェ素子 1 2 P とは異なり、梁 1 0 2 a の上に形成された薄膜 3 0 2 a、および梁 1 0 2 b の上に形成された薄膜 3 0 2 b をさらに備える。なお、薄膜 3 0 2 a および薄膜 3 0 2 b は、それぞれ、ペルチェ第 1 薄膜およびペルチェ第 2 薄膜とも称される。

40

【 0 1 2 2 】

薄膜 3 0 1 a、3 0 1 b、3 0 2 a、3 0 2 b の各々の一端部は、それぞれ、支柱 3 4 a、3 4 b、3 4 c、3 4 d に電氣的に接続されている。

【 0 1 2 3 】

薄膜 3 0 1 a の他端および 3 0 1 b の他端は、抵抗変化層 2 0 1 に接続されている。

【 0 1 2 4 】

薄膜 3 0 2 a の他端は薄膜 3 0 2 b の他端に接続され、界面 1 0 4 が形成されている。界面 1 0 4 を跨ぐように、薄膜 3 0 2 a、3 0 2 b を電氣的に接続する第 1 配線 1 6 が薄膜 3 0 2 a、3 0 2 b の上に形成されている。さらに、第 1 配線 1 6 を覆うように、絶縁膜 1 7 が第 1 配線 1 6、および薄膜 3 0 2 a、3 0 2 b の上に形成されている。

50

【 0 1 2 5 】

抵抗変化層 2 0 1、絶縁膜 2 0 2、および赤外線吸収層 2 0 3 は、梁 1 0 1 a、1 0 1 b、1 0 2 a、1 0 2 b および薄膜 3 0 1 a、3 0 1 b、3 0 2 a、3 0 2 b によって、ベース基板 1 1 とは離間した状態で支持されている。図 2 7 B および図 2 7 C に示されるように、断面視において、抵抗変化層 2 0 1、絶縁膜 2 0 2、および赤外線吸収層 2 0 3 および梁 1 0 1 a、1 0 1 b、1 0 2 a、1 0 2 b が、支柱 3 4 a、3 4 b、3 4 c、3 4 d によってベース基板 1 1 の上部で懸架されている。

【 0 1 2 6 】

梁 1 0 1 a、1 0 1 b、1 0 2 a、1 0 2 b の各々は絶縁材料からなる。

【 0 1 2 7 】

薄膜 3 0 1 a、3 0 1 b は、赤外線受光部 1 2 B に入射した赤外線の検出信号を読み出すために用いられる。

【 0 1 2 8 】

薄膜 3 0 1 a、3 0 1 b は、導電性を有する材料からなる。導電性を有する材料は、例えば、熱伝導率の低い金属（例えば、Ti または Ti N）および半導体である。より好ましくは、導電性を有する材料は、不純物が添加された Si または Si Ge といった半導体である。

【 0 1 2 9 】

薄膜 3 0 1 a、3 0 1 b の各々は、フォノン結晶構造を有している。フォノン結晶構造は、平面視の薄膜 3 0 1 a における、支柱 3 4 a および抵抗変化層 2 0 1 の一端の間の区間 3 1 1 a、ならびに平面視の薄膜 3 0 1 b における、支柱 3 4 b および抵抗変化層 2 0 1 の他端の間の区間 3 1 1 b に設けられていることが望ましい。

【 0 1 3 0 】

薄膜 3 0 1 a、3 0 1 b の各々の材料として金属が用いられる場合は、フォノン結晶構造による断熱効果が現れにくい。この場合、断熱効果を得るために、厚さを 1 0 n m 以下にすることが望ましい。

【 0 1 3 1 】

薄膜 3 0 2 a、3 0 2 b は、熱電対を構成し、ペルチェ素子として機能する。すなわち、薄膜 3 0 2 a、3 0 2 b は、赤外線受光部 1 2 B で発生した熱を吸熱するために用いられる。界面 1 0 4 がペルチェ素子の冷接点に対応する。界面 1 0 4 は、第 1 配線 1 6 および絶縁膜 1 7 を介して抵抗変化層 2 0 1 と熱的に接続されている。薄膜 3 0 2 a、3 0 2 b の一方は、p 型半導体材料からなる。薄膜 3 0 2 a、3 0 2 b の他方は、n 型半導体材料からなる。p 型半導体材料および n 型半導体材料の各々は、シリコンプロセスで使用されるシリコン系半導体材料（例えば、Si または Si Ge）であることが望ましい。

【 0 1 3 2 】

薄膜 3 0 2 a、3 0 2 b の各々は、フォノン結晶構造を有している。フォノン結晶構造は、平面視の薄膜 3 0 2 a における、支柱 3 4 c および抵抗変化層 2 0 1 の一端の間の区間 3 1 2 a、ならびに平面視の薄膜 3 0 2 b における、支柱 3 4 d および抵抗変化層 2 0 1 の他端の間の区間 3 1 2 b に設けられていることが望ましい。

【 0 1 3 3 】

実施形態 3 の赤外線センサ 1 F におけるその他の構成は、好ましい態様を含め、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D における対応する構成と同様である。また、実施形態 3 の赤外線センサ 1 F の動作は、梁 1 0 1 a、1 0 1 b の代わりに薄膜 3 0 1 a、薄膜 3 0 1 b が赤外線の検出信号を読み出すこと、梁 1 0 2 a、1 0 2 b の代わりに薄膜 3 0 2 a、薄膜 3 0 2 b がペルチェ素子として機能することを除いて、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A の動作と同じである。

【 0 1 3 4 】

当業者は、実施形態 2 の赤外線センサ 1 D の製造方法の記載を参照することにより、実施形態 3 による赤外線センサ 1 F を容易に製造することができる。

【 0 1 3 5 】

10

20

30

40

50

上述のペルチェ素子 2 1 P の代わりに、図 2 7 D に示されるように、界面 1 0 4 を有さないペルチェ素子を用いることができる。この場合、第 1 配線 1 6 が、ペルチェ素子の冷接点に対応する。第 1 配線 1 6 は、絶縁膜 1 7 を介して、抵抗変化層 2 0 1 と熱的に接続されている。

【 0 1 3 6 】

赤外線センサ 1 F の変形例である赤外線センサ 1 G は、図 2 8 に示されるように、梁 1 0 1 a および梁 1 0 2 a を物理的に接続する絶縁部 4 0 1 a、および梁 1 0 1 b および梁 1 0 2 b を物理的に接続する絶縁部 4 0 1 b をさらに備える。これにより、抵抗変化層 2 0 1、絶縁膜 2 0 2、および赤外線吸収層 2 0 3 を中空に維持するための機械強度を高めることができる。なお、絶縁部 4 0 1 a、4 0 1 b は、絶縁材料から構成されている。このため、梁 1 0 1 a および梁 1 0 2 a の間、並びに梁 1 0 1 b および梁 1 0 2 b の間の電氣的な絶縁が確保される。

10

【 0 1 3 7 】

赤外線センサ 1 F の別の変形例である赤外線センサ 1 H は、図 2 9 に示されるように、梁 1 0 4 a、1 0 4 b をさらに備える。これにより、抵抗変化層 2 0 1、絶縁膜 2 0 2、および赤外線吸収層 2 0 3 を中空に維持するための機械強度を高めることができる。

【 0 1 3 8 】

(実施形態 4)

実施形態 4 の赤外線センサ 1 I が図 3 0 A ~ 図 3 0 C に示される。図 3 0 B には、図 3 0 A の赤外線センサ 1 I の断面 3 0 B - 3 0 B が示される。図 3 0 C には、図 3 0 A の赤外線センサ 1 I の断面 3 0 C - 3 0 C が示される。赤外線センサ 1 I は、サーモパイル赤外線センサである。

20

【 0 1 3 9 】

赤外線センサ 1 I の赤外線受光部 1 2 C は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A の赤外線受光部 1 2 A とは異なり、梁 1 0 1 a、1 0 1 b、赤外線吸収層 2 0 3、第 1 配線 1 6 a、絶縁膜 1 7 a を備える。

【 0 1 4 0 】

梁 1 0 1 a の一端および梁 1 0 1 b の一端は、ベース基板 1 1 に接続されている。梁 1 0 1 a の他端は梁 1 0 1 b の他端に接続され、界面 1 0 3 a が形成されている。赤外線センサ 1 I は、第 1 配線 1 6 a および絶縁膜 1 7 a をさらに備える。第 1 配線 1 6 a は、界面 1 0 3 a を跨ぐように梁 1 0 1 a、1 0 1 b の上に形成されている。第 1 配線 1 6 a は、梁 1 0 1 a、1 0 1 b を電氣的に接続している。絶縁膜 1 7 a は、第 1 配線 1 6 a、梁 1 0 1 a、および梁 1 0 1 b の上に形成されている。

30

【 0 1 4 1 】

梁 1 0 1 a、1 0 1 b は、赤外線吸収層 2 0 3 に入射した赤外線の検出信号を読み出すために用いられる。梁 1 0 1 a、1 0 1 b の一方は、p 型半導体材料からなる。梁 1 0 1 a、1 0 1 b の他方は、n 型半導体材料からなる。なお、梁 1 0 1 a および梁 1 0 1 b は、それぞれ、サーモパイル第 1 梁およびサーモパイル第 2 梁とも称される。

【 0 1 4 2 】

赤外線センサ 1 I のペルチェ素子 1 2 P は、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A のペルチェ素子 1 2 P と同じ構成を有する。

40

【 0 1 4 3 】

実施形態 4 の赤外線センサ 1 I におけるその他の構成は、好ましい態様を含め、実施形態 1 の赤外線センサ 1 A における対応する構成と同様である。

【 0 1 4 4 】

実施形態 4 の赤外線センサ 1 I の動作が以下に説明される。

【 0 1 4 5 】

赤外線吸収層 2 0 3 に赤外線が入射すると、赤外線吸収層 2 0 3 によって赤外線が吸収される。これにより、赤外線受光部 1 2 B、および絶縁膜 1 7 a を介して赤外線吸収層 2 0 3 と熱的に接触している梁 1 0 1 a、1 0 1 b の温度が上昇する。その結果、梁 1 0 1

50

a、101bでは、赤外線吸収層203からベース基板11に向かう方向に温度差が生じる。これにより、梁101a、101bでは、ゼーベック効果による起電力が生じる。生じた起電力が、電極パッド13a、13bに接続された信号処理回路で測定され、赤外線の検出強度が算出される。

【0146】

この後、ペルチェ素子によって赤外線吸収層203が冷却される。この冷却方法は、実施形態1の赤外線センサ1Aの冷却方法と同じである。

【0147】

以上のようにして、赤外線センサ1Iは動作する。

【0148】

当業者は、実施形態1の赤外線センサ1Aの製造方法の記載を参照することにより、実施形態4による赤外線センサ1Iを容易に製造することができる。

【0149】

上述のペルチェ素子12Pの代わりに、図30Dに示されるように、界面103bを有さないペルチェ素子12Pを用いることができる。この場合、第1配線16bが、ペルチェ素子の冷接点に対応する。第1配線16bは、絶縁膜17bを介して、抵抗変化層201と熱的に接続されている。

【0150】

赤外線センサ1Iの変形例である赤外線センサ1Jは、図31Aおよび図31Bに示されるように、絶縁層222、梁101c、101d、102c、102d、102e、102f、102g、102h、102i、102j、102k、102l、および第1配線16c、16d、16e、16f、16g、16h、16i、16j、16k、16l、16m、16nをさらに備える。

【0151】

絶縁層222は、例えば、Siからなる。

【0152】

第1配線16a、16c、16d、16f、16h、16j、16l、16nは、絶縁層222の上に形成されている。

【0153】

赤外線吸収層203は絶縁層222の上に形成されている。

【0154】

梁101a、101b、101c、101d、102a、102b、102c、102d、102e、102f、102g、102h、102i、102j、102k、102lの各々の一端は絶縁層222に接続されている。

【0155】

梁101a、101b、101c、101d、102a、102b、102c、102d、102e、102f、102g、102h、102i、102j、102k、102lの各々の他端はベース基板11に接続されている。

【0156】

梁101a、101b、101c、101dは、第1配線16a、16b、16cによって電氣的に直列に接続されている。梁101a、101cおよび梁101b、101dの各々の一方は、p型半導体材料からなる。梁101a、101cおよび梁101b、101dの各々の他方は、n型半導体材料からなる。

【0157】

梁101a、101b、101c、101d、102a、102b、102c、102d、102e、102f、102g、102h、102i、102j、102k、102lの各々は、フォノンニック結晶構造を有している。

【0158】

梁102a、102b、102c、102d、102e、102f、102g、102h、102i、102j、102k、102lは、第1配線16d、16e、16f、1

10

20

30

40

50

6 g、16 h、16 i、16 j、16 k、16 l、16 m、16 nによって電氣的に直列に接続されている。梁102 a、102 c、102 e、102 g、102 i、102 kおよび梁102 b、102 d、102 f、102 h、102 j、102 lの各々の一方は、p型半導体材料からなる。梁102 a、102 c、102 e、102 g、102 i、102 kおよび梁102 b、102 d、102 f、102 h、102 j、102 lの各々の他方は、n型半導体材料からなる。第1配線16 d、16 f、16 h、16 j、16 l、16 nは、ペルチェ素子の冷接点に対応する。赤外線吸収層203は、絶縁層222を介して間接的に冷却される。赤外線センサ1Jは複数の冷接点を有するため、より優れた冷却効果を有する。

【0159】

(実施例1)

実施例1による赤外線センサは、実施形態1の赤外線センサ1Aと同様の構成を有していた。

【0160】

半導体プロセスを用いて、実施例1による赤外線センサが以下のようにして作製された。

まず、SOIウエハ111(信越化学工業株式会社製)が購入された。図12Aおよび図12Bに示されるように、SOIウエハ111は、厚みが625 μm の下部のSi層501、厚みが2 μm の中間のSiO₂層502および厚みが150nmの上部のSi層503からなる積層構造を有していた。

【0161】

次に、図13A~図13Cに示されるように、フォトリソグラフィーおよびイオン注入により、梁101aとなる領域1011a、梁101bとなる領域1011b、梁102aとなる領域1021a、および梁102bとなる領域1021bの各々に後述されるイオンがドーブされた。なお、領域1011a、1011b、1021a、1021bは四角の外形を有する領域Rに含まれている。領域1011a、1011bの各々は、20keVの加速電圧、 9.3×10^{14} 原子/cm²のドーズ量でホウ素(B)によりドーブされた。一方で、領域1021aは、20keVの加速電圧、 9.3×10^{14} 原子/cm²のドーズ量でホウ素によりドーブされた。領域1021bは、55keVの加速電圧、 9.0×10^{14} 原子/cm²のドーズ量でリンによりドーブされた。そして、SOIウエハ111は、1000の窒素雰囲気下で5分間、熱処理に供された。

【0162】

次に、直径が80nmの複数の貫通孔18が、領域1011a、1011b、1021a、1021bにおいて、電子線リソグラフィーおよびエッチングにより、100nm毎に周期的に形成された。図13Dは、複数の貫通孔18が形成された領域1011bの拡大図を示す。このようにして、フォノンニック結晶構造が形成された。周期100nmに対する貫通孔18の直径80nmの比は0.8であった。

【0163】

次に、図14A~図14Eに示されるように、フォトリソグラフィーおよびエッチングにより、領域1011a、1011b、1021a、1021bを除いた領域R(図13A)のSi層503が除去され、梁101a、101b、102a、102bを形成した。梁101a、101bの各々は、1 μm の幅W1および14 μm の長さL1を有していた。ペルチェ素子として機能する梁102a、102bの各々は、1 μm の幅W2および16 μm の長さL2を有していた。

【0164】

次に、図15A~図15Cに示されるように、フォトリソグラフィーおよびスパッタリングにより100nmの厚みを有するAlからなる第2配線14a、14b、14c、14d、および100nmの厚みを有するAlからなる電極パッド13a、13b、15a、15bが形成された。これと並行して、フォトリソグラフィーおよびスパッタリングにより梁102a、102bを電氣的に接続する厚み100nmのAlからなる第1配線16が形成された。そして、フォトリソグラフィーおよびスパッタリングにより、第1配線

10

20

30

40

50

16を覆うように厚み30nmのSiNからなる絶縁膜17が形成された。

【0165】

次に、図16A~図16Cに示されるように、フォトリソグラフィーおよびスパッタリングにより、アモルファスSiからなる抵抗変化層201、SiNからなる絶縁膜202、およびCrからなる赤外線吸収層203が積層され、赤外線受光部12Aを形成した。赤外線受光部12Aは、12μm×12μmの大きさを有していた。抵抗変化層201は200nmの厚みを有していた。絶縁膜202は30nmの厚みを有していた。赤外線吸収層203は5nmの厚みを有していた。

【0166】

最後に、図17A~図17Cに示されるように、気相フッ酸エッチングによってSiO₂層502が部分的に除去された。このようにして、実施例1による赤外線センサが作製された。

10

【0167】

(実施例2)

電子線リソグラフィーの代わりにブロック共重合体リソグラフィーを用いて、直径が27.2nmの貫通孔18が34nm毎に周期的に形成されたことを除いては、実施例1と同様に、赤外線センサが作製された。周期34nmに対する貫通孔18の直径27.2nmの比は、実施例1と同様に0.8であった。従って、実施例1および実施例2において、空隙率は等しい。ここで、空隙率とは、平面視における複数の貫通孔18の面積の総和が領域1011a、1011b、1021aまたは1021bの面積に占める割合を意味する。例えば、領域1011aの面積をS1(図13A)、領域1011aに形成された貫通孔18の個数をn1、および各貫通孔18の面積をs1(図7B)とすると、空隙率は、n1×s1/S1によって算出される。

20

【0168】

(比較例1)

貫通孔18が形成されなかったことを除いては、実施例1と同様のプロセスを用いて赤外線センサが作製された。

【0169】

(ペルチェ素子の性能)

実施例1、2および比較例1による赤外線センサのペルチェ効果の性能が検証された。3mAの定常電流を梁102a、102bに流すことにより赤外線受光部12Aを冷却しながら、2Vの定常電圧が梁101a、101bに印加された。このときの抵抗変化層201を流れる電流が測定され、その抵抗変化から赤外線受光部12Aの温度が算出された。冷却前の赤外線受光部12Aの温度は25.0であった。

30

【0170】

表1は実施例1、2および比較例1の結果を示す。

【0171】

【表1】

40

	フォノン結晶の周期(nm)	赤外線受光部の温度(°C)
比較例1	なし	20.6
実施例1	100	13.5
実施例2	34	-2.0

【0172】

表1から明らかなように、実施例1および2による赤外線センサのペルチェ効果は、比較例1による赤外線センサのペルチェ効果よりも優れている。また、ペルチェ素子として

50

機能する梁 102 a、102 b の各々がフォノン結晶を有する場合、フォノン結晶の周期が小さくなるにつれて、ペルチェ素子の冷却性能を高められることがわかる。

【0173】

(時間応答試験)

実施例 1 および比較例 1 による赤外線センサが時間応答試験に供された。時間応答試験において、まず、信号処理回路によって、電極パッド 13 a、13 b および第 2 配線 14 a、14 b を介して定電圧が梁 101 a、101 b に印加され、抵抗変化層 201 に流れる電流量が信号処理回路によって監視された。次に、赤外線が赤外線受光部 12 A に 5 ms 間照射された。この後、赤外線が遮断された。これと同時に 25 μ A のパルス電流が梁 102 a、102 b に印加され始めた直後に、25 μ A のパルス電流が梁 102 a、102 b に 0.010 ms 間印加された。

10

【0174】

図 32 A は、実施例 1 による赤外線センサの梁 102 に電流が印加されたときの時間応答試験の結果を示すグラフである。図 32 B は、図 32 A の点線で囲まれた部分 B の拡大図である。図 32 C は、実施例 1 による赤外線センサの梁 102 に電流が印加されなかったときの時間応答試験の結果を示すグラフである。図 32 D は、図 32 C の点線で囲まれた部分 D の拡大図である。図 32 E は、比較例 1 による赤外線センサの梁 102 に電流が印加されなかったときの時間応答試験の結果を示すグラフである。

【0175】

図 32 A および図 32 E から明らかなように、実施例 1 による赤外線センサの抵抗変化層 201 の電流値は、比較例 1 による赤外線センサの抵抗変化層 201 の電流値よりも大きい。すなわち、フォノン結晶を有する実施例 1 による赤外線センサは、フォノン結晶を有さない比較例 1 による赤外線センサよりも優れた検出感度を有する。

20

【0176】

また、図 32 B および図 32 D から明らかなように、梁 102 a、102 b を流れるパルス電流によって、立下り時間が 0.4 ms から 0.015 ms まで大幅に減少する。ここで、赤外線の遮断時の時刻を t_0 、時刻 t_0 における電流値を I_0 、赤外線の遮断後、電流値が $I_0 \times \exp(-1)$ になる時刻を t_1 とする。立下り時間は、 $t_1 - t_0$ で定義される。第 1 の赤外線の遮断後に立下り時間が短ければ、次に赤外線受光部 12 A に入射する第 2 の赤外線を、第 1 の赤外線の遮断後から短時間で正確に検出し始めることができる。

30

【0177】

以上から、ペルチェ素子を用いて赤外線受光部 12 A を冷却することにより、赤外線センサの応答速度(すなわち、第 1 の赤外線の遮断後から第 2 の赤外線を正確に検出し始めるまでの時間の長さ)を向上することができる。

【産業上の利用可能性】

【0178】

本開示の構成において、優れた検出感度および優れた応答速度を両立することができる赤外線センサを提供することができる。

40

【0179】

上記の開示内容から導出される発明は以下の通りである。

【0180】

(項目 A 1)

赤外線センサであって、

ベース基板、

ボロメータ赤外線受光部、および

ペルチェ素子、

前記ベース基板から離れる方向に延びている第 1 支柱

前記ベース基板から離れる方向に延びている第 2 支柱、

50

前記ベース基板から離れる方向に延びている第3支柱、および
 前記ベース基板から離れる方向に延びている第4支柱、
 を具備し、
 ここで、
 前記ポロメータ赤外線受光部は、
 赤外線の吸収により抵抗が変化する抵抗変化層、
 前記抵抗変化層に電氣的に接続されているポロメータ第1梁、および
 前記抵抗変化層に電氣的に接続されているポロメータ第2梁、
 を具備しており、
 前記赤外線は前記ポロメータ赤外線受光部の表側の面に照射され、
 前記ペルチェ素子は、p型半導体材料から形成されているペルチェ第1梁およびn型
 半導体材料から形成されているペルチェ第2梁を具備しており、
 前記ペルチェ素子は、前記ポロメータ赤外線受光部の裏側の面に接しており、
 前記ポロメータ第1梁の一端部、前記ポロメータ第2梁の一端部、前記ペルチェ第1
 梁の一端部、および前記ペルチェ第2梁の一端部は、それぞれ、前記第1支柱、前記第2
 支柱、前記第3支柱、および前記第4支柱に接続されており、
 前記ポロメータ赤外線受光部、前記ポロメータ第1梁、および前記ポロメータ第2梁
 は、前記第1支柱および前記第2支柱によって前記ベース基板の上部で懸架されており、
 前記ペルチェ素子、前記ペルチェ第1梁、および前記ペルチェ第2梁は、前記第3支
 柱および前記第4支柱によって前記ベース基板の上部で懸架されており、
 前記ポロメータ第1梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第1フォ
 ノニック結晶構造を具備し、
 前記ポロメータ第2梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第2フォ
 ノニック結晶構造を具備し、
 前記ペルチェ第1梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第3フォノ
 ニック結晶構造を具備し、かつ
 前記ペルチェ第2梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第4フォノ
 ニック結晶構造を具備する、
 赤外線センサ。
 【0181】
 (項目A2)
 項目A1に記載の赤外線センサであって、
 前記第1フォノニック結晶構造は、平面視の前記ポロメータ第1梁における、前記第
 1支柱および前記抵抗変化層の一端の間の第1区間に設けられており、
 前記第2フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ポロメータ第2梁における、前
 記第2支柱および前記抵抗変化層の他端の間の第2区間に設けられており、
 前記第3フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第1梁における、前記
 第3支柱および前記抵抗変化層の一端の間の第3区間に設けられており、
 前記第4フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第2梁における、前記
 第4支柱および前記抵抗変化層の他端の間の第4区間に設けられている。
 【0182】
 (項目A3)
 項目A1に記載の赤外線センサであって、
 前記第1フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第1周期で規則的に配列され
 ており、
 前記第2フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第2周期で規則的に配列され
 ており、
 前記第3フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第3周期で規則的に配列され
 ており、
 前記第4フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第4周期で規則的に配列され

10

20

30

40

50

ている。

【0183】

(項目A4)

項目A3に記載の赤外線センサであって、

前記第1周期、前記第2周期、前記第3周期、および前記第4周期の各々の値は等しい。

【0184】

(項目A5)

項目A1に記載の赤外線センサであって、

前記ペルチェ第1梁の他端が前記ペルチェ第2梁の他端に接続されて、前記ペルチェ第1梁および前記ペルチェ第2梁の間に界面が形成されており、

前記界面は、前記抵抗変化層に熱的に接続されている。

10

【0185】

(項目A6)

項目A1に記載の赤外線センサであって、

前記ペルチェ第1梁の他端は、前記ペルチェ第2梁の他端に接続されておらず、

前記ペルチェ第1梁は、前記ペルチェ第2梁に第1配線によって電氣的に接続されており、

前記第1配線は、前記抵抗変化層と熱的に接続されている。

【0186】

(項目A7)

項目A5に記載の赤外線センサであって、

平面視において、前記抵抗変化層は面積が等しい4つの領域を有し、

前記界面は、少なくとも2つの前記領域に接する。

20

【0187】

(項目A8)

項目A3に記載の赤外線センサであって、

前記ボロメータ第1梁、前記ボロメータ第2梁、前記ペルチェ第1梁、および前記ペルチェ第2梁は、それぞれ、第1ドメイン、第2ドメイン、第3ドメイン、および第4ドメインを含み、

前記第1ドメイン、前記第2ドメイン、前記第3ドメイン、および前記第4ドメインは、それぞれ、前記第1フォニック結晶構造、前記第2フォニック結晶構造、前記第3フォニック結晶構造、および前記第4フォニック結晶構造を含み、

前記ボロメータ第1梁、前記ボロメータ第2梁、前記ペルチェ第1梁、および前記ペルチェ第2梁は、それぞれ、第5ドメイン、第6ドメイン、第7ドメイン、および第8ドメインを含み、

前記第5ドメインにおいて、第5周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第5フォニック結晶構造が形成されており、

前記第6ドメインにおいて、第6周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第6フォニック結晶構造が形成されており、

前記第7ドメインにおいて、第7周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第7フォニック結晶構造が形成されており、

前記第8ドメインにおいて、第8周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第8フォニック結晶構造が形成されており、

平面視において、前記第1ドメインは、前記第5ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第2ドメインは、前記第6ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第3ドメインは、前記第7ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第4ドメインは、前記第8ドメインおよび前記抵抗変化層

30

40

50

の間に挟まれており、

- 前記第 5 周期の値は、前記第 1 周期の値よりも大きく、
- 前記第 6 周期の値は、前記第 2 周期の値よりも大きく、
- 前記第 7 周期の値は、前記第 3 周期の値よりも大きく、かつ
- 前記第 8 周期の値は、前記第 4 周期の値よりも大きい。

【 0 1 8 8 】

(項目 A 9)

項目 A 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 ドメインにおいて、前記第 1 ドメインに前記第 1 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 1 周期とは異なる第 9 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

10

前記第 2 ドメインにおいて、前記第 2 ドメインに前記第 2 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 2 周期とは異なる第 10 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 3 ドメインにおいて、前記第 3 ドメインに前記第 3 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 3 周期とは異なる第 11 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 4 ドメインにおいて、前記第 4 ドメインに前記第 4 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 4 周期とは異なる第 12 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

20

前記第 5 ドメインにおいて、前記第 5 ドメインに前記第 5 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 5 周期とは異なる第 13 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 6 ドメインにおいて、前記第 6 ドメインに前記第 6 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 6 周期とは異なる第 14 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 7 ドメインにおいて、前記第 7 ドメインに前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 7 周期とは異なる第 15 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、かつ

前記第 8 ドメインにおいて、前記第 8 ドメインに前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 8 周期とは異なる第 16 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されている。

30

【 0 1 8 9 】

(項目 A 1 0)

項目 A 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 2 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 3 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 4 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 5 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 6 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、および前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数の各々は、5 つ以上である。

40

【 0 1 9 0 】

(項目 A 1 1)

項目 A 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 ドメイン、前記第 2 ドメイン、前記第 3 ドメイン、前記第 4 ドメイン、前記第 5 ドメイン、前記第 6 ドメイン、前記第 7 ドメイン、および前記第 8 ドメインの各々を構成する周期構造の単位格子は、正方格子、六方格子、長方格子、または面心長方格子のいずれかである。

【 0 1 9 1 】

(項目 A 1 2)

50

項目 A 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期、前記第 2 周期、前記第 3 周期、前記第 4 周期、前記第 5 周期、前記第 6 周期、前記第 7 周期、および前記第 8 周期の各々の値は、1 nm 以上かつ 300 nm 以下である。

【0192】

(項目 A 13)

項目 A 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 1 周期の値で除した値、前記第 2 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 2 周期の値で除した値、前記第 3 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 3 周期の値で除した値、前記第 4 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 4 周期の値で除した値、前記第 5 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 5 周期の値で除した値、前記第 6 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 6 周期の値で除した値、前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 7 周期の値で除した値、および前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 8 周期の値で除した値の各々は、0.5 以上かつ 0.9 以下である。

【0193】

(項目 A 14)

項目 A 1 に記載の赤外線センサであって、

前記ポロメータ第 1 梁、前記ポロメータ第 2 梁、前記ペルチェ第 1 梁、および前記ペルチェ第 2 梁は、それぞれ、第 1 ドメイン、第 2 ドメイン、第 3 ドメイン、および第 4 ドメインを含み、

前記第 1 ドメインは、第 1 周期で規則的に配列された複数の第 1 サブドメインを具備し、

前記第 2 ドメインは、第 2 周期で規則的に配列された複数の第 2 サブドメインを具備し、

前記第 3 ドメインは、第 3 周期で規則的に配列された複数の第 3 サブドメインを具備し、

前記第 4 ドメインは、第 4 周期で規則的に配列された複数の第 4 サブドメインを具備し、

前記複数の第 1 サブドメインの各々は、第 5 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォニック結晶から形成されており、

前記複数の第 2 サブドメインの各々は、第 6 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォニック結晶から形成されており、

前記複数の第 3 サブドメインの各々は、第 7 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォニック結晶から形成されており、かつ

前記複数の第 4 サブドメインの各々は、第 8 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォニック結晶から形成されている。

【0194】

(項目 A 15)

項目 A 14 に記載の赤外線センサであって、

前記ポロメータ第 1 梁は、第 5 ドメインをさらに含み、

前記ポロメータ第 2 梁は、第 6 ドメインをさらに含み、

前記ペルチェ第 1 梁は、第 7 ドメインをさらに含み、

前記ペルチェ第 2 梁は、第 8 ドメインをさらに含み、

前記第 5 ドメインは、第 9 周期で規則的に配列された複数の第 5 サブドメインを具備し、

前記第 6 ドメインは、第 10 周期で規則的に配列された複数の第 6 サブドメインを具備し、

10

20

30

40

50

前記第 7 ドメインは、第 1 1 周期で規則的に配列された複数の第 7 サブドメインを具備し、

前記第 8 ドメインは、第 1 2 周期で規則的に配列された複数の第 8 サブドメインを具備し、

前記複数の第 5 サブドメインの各々は、第 1 3 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第 6 サブドメインの各々は、第 1 4 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第 7 サブドメインの各々は、第 1 5 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第 8 サブドメインの各々は、第 1 6 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

平面視において、前記第 1 ドメインは、前記第 5 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 2 ドメインは、前記第 6 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 3 ドメインは、前記第 7 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 4 ドメインは、前記第 8 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記第 9 周期の値は、前記第 1 周期の値よりも大きく、

前記第 1 0 周期の値は、前記第 2 周期の値よりも大きく、

前記第 1 1 周期の値は、前記第 3 周期の値よりも大きく、かつ、

前記第 1 2 周期の値は、前記第 4 周期の値よりも大きい。

【 0 1 9 5 】

(項目 A 1 6)

赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、以下を具備する：

(a) 以下を具備する前記赤外線センサを用意する工程、

凹部を有するベース基板、

前記ボロメータ赤外線受光部、および

ペルチェ素子、

前記ベース基板から離れる方向に延びている第 1 支柱

前記ベース基板から離れる方向に延びている第 2 支柱、

前記ベース基板から離れる方向に延びている第 3 支柱、および

前記ベース基板から離れる方向に延びている第 4 支柱、

を具備し、

ここで、

前記ボロメータ赤外線受光部は、

赤外線の吸収により抵抗が変化する抵抗変化層、

前記抵抗変化層に電氣的に接続されているボロメータ第 1 梁、および

前記抵抗変化層に電氣的に接続されているボロメータ第 2 梁、

を具備しており、

前記赤外線は前記ボロメータ赤外線受光部の表側の面に照射され、

前記ペルチェ素子は、p 型半導体材料から形成されているペルチェ第 1 梁および n 型半導体材料から形成されているペルチェ第 2 梁を具備しており、

前記ペルチェ素子は、前記ボロメータ赤外線受光部の裏側の面に接しており、

前記ボロメータ第 1 梁の一端部、前記ボロメータ第 2 梁の一端部、前記ペルチェ第 1 梁の一端部、および前記ペルチェ第 2 梁の一端部は、それぞれ、前記第 1 支柱、前記第 2 支柱、前記第 3 支柱、および前記第 4 支柱に接続されており、

前記ボロメータ赤外線受光部、前記ボロメータ第 1 梁、および前記ボロメータ第 2 梁

10

20

30

40

50

は、前記第 1 支柱および前記第 2 支柱によって前記ベース基板の上部で懸架されており、
 前記ペルチェ素子、前記ペルチェ第 1 梁、および前記ペルチェ第 2 梁は、前記第 3 支柱
 および前記第 4 支柱によって前記ベース基板の上部で懸架されており、
 前記ポロメータ第 1 梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 1 フォ
 ノニック結晶構造を具備し、
 前記ポロメータ第 2 梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 2 フォ
 ノニック結晶構造を具備し、
 前記ペルチェ第 1 梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 3 フォノ
 ニック結晶構造を具備し、かつ
 前記ペルチェ第 2 梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 4 フォノ
 ニック結晶構造を具備し、
 (b) 前記ポロメータ赤外線受光部に前記赤外線を入射させる工程、
 (c) 前記ポロメータ赤外線受光部に入射していた前記赤外線を遮断する工程、および
 (d) 前記ペルチェ第 1 梁および前記ペルチェ第 2 梁に電流を印加し、前記ポロメータ
 赤外線受光部を冷却する工程。

【 0 1 9 6 】

(項目 A 1 7)

項目 A 1 6 に記載の赤外線センサのポロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、
 前記第 1 フォノニック結晶構造は、平面視の前記ポロメータ第 1 梁における、前記ポ
 ロメータ第 1 梁の他端および前記抵抗変化層の一端の間の第 1 区間に設けられており、
 前記第 2 フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ポロメータ第 2 梁における、前
 記ポロメータ第 2 梁の他端および前記抵抗変化層の他端の間の第 2 区間に設けられており、
 前記第 3 フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第 1 梁における、前記
 ペルチェ第 1 梁の他端および前記抵抗変化層の一端の間の第 3 区間に設けられており、
 前記第 4 フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第 2 梁における、前記
 ペルチェ第 2 梁の他端および前記抵抗変化層の他端の間の第 4 区間に設けられている。

【 0 1 9 7 】

(項目 A 1 8)

項目 A 1 6 に記載の赤外線センサのポロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、
 前記第 1 フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第 1 周期で規則的に配列され
 ており、
 前記第 2 フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第 2 周期で規則的に配列され
 ており、
 前記第 3 フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第 3 周期で規則的に配列され
 ており、
 前記第 4 フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第 4 周期で規則的に配列され
 ている。

【 0 1 9 8 】

(項目 A 1 9)

項目 A 1 8 に記載の赤外線センサのポロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、
 前記第 1 周期、前記第 2 周期、前記第 3 周期、および前記第 4 周期の各々の値は等しい。

【 0 1 9 9 】

(項目 A 2 0)

項目 A 1 6 に記載の赤外線センサのポロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、
 前記ペルチェ第 1 梁の他端が前記ペルチェ第 2 梁の他端に接続されて、前記ペルチェ
 第 1 梁および前記ペルチェ第 2 梁の間に界面が形成されており、
 前記界面は、前記抵抗変化層および前記凹部の間に挟まれている。

【 0 2 0 0 】

(項目 B 1)

赤外線センサであって、

10

20

30

40

50

ベース基板、
 ボロメータ赤外線受光部、および
 ペルチェ素子、
 前記ベース基板から離れる方向に延びている第1支柱
 前記ベース基板から離れる方向に延びている第2支柱、
 前記ベース基板から離れる方向に延びている第3支柱、および
 前記ベース基板から離れる方向に延びている第4支柱、
 を具備し、
 ここで、
 前記ボロメータ赤外線受光部は、
 赤外線の吸収により抵抗が変化する抵抗変化層、
 第1絶縁材料から形成されているボロメータ第1梁、
 第2絶縁材料から形成されているボロメータ第2梁、
 前記ボロメータ第1梁の上に形成されたボロメータ第1薄膜、および
 前記ボロメータ第2梁の上に形成されたボロメータ第2薄膜、
 を具備しており、
 前記ボロメータ第1薄膜は、前記抵抗変化層に電氣的に接続されており、
 前記ボロメータ第2薄膜は、前記抵抗変化層に電氣的に接続されており、
 前記赤外線は前記ボロメータ赤外線受光部の表側の面に照射され、
 前記ペルチェ素子は、
 第3絶縁材料から形成されているペルチェ第1梁、
 第4絶縁材料から形成されているペルチェ第2梁、
 前記ペルチェ第1梁の上に形成されたペルチェ第1薄膜、および
 前記ペルチェ第2梁の上に形成されたペルチェ第2薄膜、
 を具備しており、
 前記ペルチェ第1薄膜は、p型半導体材料から形成されており、
 前記ペルチェ第2薄膜は、n型半導体材料から形成されており、
 前記ペルチェ素子は、前記ボロメータ赤外線受光部の裏側の面に接しており、
 前記ボロメータ第1梁の一端部および前記ボロメータ第1薄膜の一端部は、前記第1
 支柱に接続されており、
 前記ボロメータ第2梁の一端部および前記ボロメータ第2薄膜の一端部は、前記第2
 支柱に接続されており、
 前記ペルチェ第1梁の一端部および前記ペルチェ第1薄膜の一端部は、前記第3支柱
 に接続されており、
 前記ペルチェ第2梁の一端部および前記ペルチェ第2薄膜の一端部は、前記第4支柱
 に接続されており、
 前記ボロメータ赤外線受光部、前記ボロメータ第1梁、前記ボロメータ第1薄膜、前
 記ボロメータ第2梁、および前記ボロメータ第2薄膜は、前記第1支柱および前記第2支
 柱によって前記ベース基板の上部で懸架されており、
 前記ペルチェ素子、前記ペルチェ第1梁、前記ペルチェ第1薄膜、前記ペルチェ第2
 梁、および前記ペルチェ第2薄膜は、前記第3支柱および前記第4支柱によって前記ベー
 ス基板の上部で懸架されており、
 前記ボロメータ第1薄膜は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第1フ
 ォニック結晶構造を具備し、
 前記ボロメータ第2薄膜は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第2フ
 ォニック結晶構造を具備し、
 前記ペルチェ第1薄膜は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第3フォ
 ニック結晶構造を具備し、かつ
 前記ペルチェ第2薄膜は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第4フォ
 ニック結晶構造を具備する、

10

20

30

40

50

赤外線センサ。

【0201】

(項目B2)

項目B1に記載の赤外線センサであって、

前記第1フォノンニック結晶構造は、平面視の前記ポロメータ第1薄膜における、前記第1支柱および前記抵抗変化層の一端の間の第1区間に設けられており、

前記第2フォノンニック結晶構造は、前記平面視の前記ポロメータ第2薄膜における、前記第2支柱および前記抵抗変化層の他端の間の第2区間に設けられており、

前記第3フォノンニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第1薄膜における、前記第3支柱および前記抵抗変化層の一端の間の第3区間に設けられており、

前記第4フォノンニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第2薄膜における、前記第4支柱および前記抵抗変化層の他端の間の第4区間に設けられている。

10

【0202】

(項目B3)

項目B1に記載の赤外線センサであって、

前記第1フォノンニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第1周期で規則的に配列されており、

前記第2フォノンニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第2周期で規則的に配列されており、

前記第3フォノンニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第3周期で規則的に配列されており、

前記第4フォノンニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第4周期で規則的に配列されている。

20

【0203】

(項目B4)

項目B3に記載の赤外線センサであって、

前記第1周期、前記第2周期、前記第3周期、および前記第4周期の各々の値は等しい。

【0204】

(項目B5)

項目B1に記載の赤外線センサであって、

前記ペルチェ第1薄膜の他端が前記ペルチェ第2薄膜の他端に接続されて、前記ペルチェ第1薄膜および前記ペルチェ第2薄膜の間に界面が形成されており、

前記界面は、前記抵抗変化層と熱的に接続されている。

30

【0205】

(項目B6)

項目B1に記載の赤外線センサであって、

前記ペルチェ第1薄膜の他端は、前記ペルチェ第2薄膜の他端に接続されておらず、

前記ペルチェ第1薄膜は、前記ペルチェ第2薄膜に第1配線によって電気的に接続されており、

前記第1配線は、前記抵抗変化層と熱的に接続されている。

40

【0206】

(項目B7)

項目B5に記載の赤外線センサであって、

平面視において、前記抵抗変化層は面積が等しい4つの領域を有し、

前記界面は、少なくとも2つの前記領域に接する。

【0207】

(項目B8)

項目B3に記載の赤外線センサであって、

前記ポロメータ第1薄膜、前記ポロメータ第2薄膜、前記ペルチェ第1薄膜、および前記ペルチェ第2薄膜は、それぞれ、第1ドメイン、第2ドメイン、第3ドメイン、およ

50

び第 4 ドメインを含み、

前記第 1 ドメイン、前記第 2 ドメイン、前記第 3 ドメイン、および前記第 4 ドメインは、それぞれ、前記第 1 フォノンニック結晶構造、前記第 2 フォノンニック結晶構造、前記第 3 フォノンニック結晶構造、および前記第 4 フォノンニック結晶構造を含み、

前記ポロメータ第 1 薄膜、前記ポロメータ第 2 薄膜、前記ベルチェ第 1 薄膜、および前記ベルチェ第 2 薄膜は、それぞれ、第 5 ドメイン、第 6 ドメイン、第 7 ドメイン、および第 8 ドメインを含み、

前記第 5 ドメインにおいて、第 5 周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 5 フォノンニック結晶構造が形成されており、

前記第 6 ドメインにおいて、第 6 周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 6 フォノンニック結晶構造が形成されており、

10

前記第 7 ドメインにおいて、第 7 周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 7 フォノンニック結晶構造が形成されており、

前記第 8 ドメインにおいて、第 8 周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 8 フォノンニック結晶構造が形成されており、

平面視において、前記第 1 ドメインは、前記第 5 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 2 ドメインは、前記第 6 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 3 ドメインは、前記第 7 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

20

前記平面視において、前記第 4 ドメインは、前記第 8 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記第 5 周期の値は、前記第 1 周期の値よりも大きく、

前記第 6 周期の値は、前記第 2 周期の値よりも大きく、

前記第 7 周期の値は、前記第 3 周期の値よりも大きく、かつ

前記第 8 周期の値は、前記第 4 周期の値よりも大きい。

【 0 2 0 8 】

(項目 B 9)

項目 B 8 に記載の赤外線センサであって、

30

前記第 1 ドメインにおいて、前記第 1 ドメインに前記第 1 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 1 周期とは異なる第 9 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 2 ドメインにおいて、前記第 2 ドメインに前記第 2 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 2 周期とは異なる第 10 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 3 ドメインにおいて、前記第 3 ドメインに前記第 3 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 3 周期とは異なる第 11 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 4 ドメインにおいて、前記第 4 ドメインに前記第 4 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 4 周期とは異なる第 12 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

40

前記第 5 ドメインにおいて、前記第 5 ドメインに前記第 5 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 5 周期とは異なる第 13 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 6 ドメインにおいて、前記第 6 ドメインに前記第 6 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 6 周期とは異なる第 14 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 7 ドメインにおいて、前記第 7 ドメインに前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 7 周期とは異なる第 15 周期で規則的に配列された

50

複数の貫通孔が形成されており、かつ

前記第 8 ドメインにおいて、前記第 8 ドメインに前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 8 周期とは異なる第 16 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されている。

【0209】

(項目 B 1 0)

項目 B 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 2 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 3 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 4 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 5 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 6 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、および前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数の各々は、5 つ以上である。

10

【0210】

(項目 B 1 1)

項目 B 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 ドメイン、前記第 2 ドメイン、前記第 3 ドメイン、前記第 4 ドメイン、前記第 5 ドメイン、前記第 6 ドメイン、前記第 7 ドメイン、および前記第 8 ドメインの各々を構成する周期構造の単位格子は、正方格子、六方格子、長方格子、または面心長方格子のいずれかである。

20

【0211】

(項目 B 1 2)

項目 B 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期、前記第 2 周期、前記第 3 周期、前記第 4 周期、前記第 5 周期、前記第 6 周期、前記第 7 周期、および前記第 8 周期の各々の値は、1 nm 以上かつ 300 nm 以下である。

【0212】

(項目 B 1 3)

項目 B 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 1 周期の値で除した値、前記第 2 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 2 周期の値で除した値、前記第 3 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 3 周期の値で除した値、前記第 4 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 4 周期の値で除した値、前記第 5 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 5 周期の値で除した値、前記第 6 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 6 周期の値で除した値、前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 7 周期の値で除した値、および前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 8 周期の値で除した値の各々は、0.5 以上かつ 0.9 以下である。

30

【0213】

(項目 B 1 4)

項目 B 1 に記載の赤外線センサであって、

前記ポロメータ第 1 梁、前記ポロメータ第 2 梁、前記ペルチェ第 1 梁、および前記ペルチェ第 2 梁は、それぞれ、第 1 ドメイン、第 2 ドメイン、第 3 ドメイン、および第 4 ドメインを含み、

前記第 1 ドメインは、第 1 周期で規則的に配列された複数の第 1 サブドメインを具備し、

前記第 2 ドメインは、第 2 周期で規則的に配列された複数の第 2 サブドメインを具備し、

前記第 3 ドメインは、第 3 周期で規則的に配列された複数の第 3 サブドメインを具備

40

50

し、

前記第 4 ドメインは、第 4 周期で規則的に配列された複数の第 4 サブドメインを具備

し、

前記複数の第 1 サブドメインの各々は、第 5 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第 2 サブドメインの各々は、第 6 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第 3 サブドメインの各々は、第 7 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、かつ

前記複数の第 4 サブドメインの各々は、第 8 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されている。

10

【 0 2 1 4 】

(項目 B 1 5)

項目 B 1 4 に記載の赤外線センサであって、

前記ポロメータ第 1 梁は、第 5 ドメインをさらに含み、

前記ポロメータ第 2 梁は、第 6 ドメインをさらに含み、

前記ベルチェ第 1 梁は、第 7 ドメインをさらに含み、

前記ベルチェ第 2 梁は、第 8 ドメインをさらに含み、

前記第 5 ドメインは、第 9 周期で規則的に配列された複数の第 5 サブドメインを具備

し、

20

前記第 6 ドメインは、第 10 周期で規則的に配列された複数の第 6 サブドメインを具備し、

前記第 7 ドメインは、第 11 周期で規則的に配列された複数の第 7 サブドメインを具備し、

前記第 8 ドメインは、第 12 周期で規則的に配列された複数の第 8 サブドメインを具備し、

前記複数の第 5 サブドメインの各々は、第 13 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第 6 サブドメインの各々は、第 14 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

30

前記複数の第 7 サブドメインの各々は、第 15 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第 8 サブドメインの各々は、第 16 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

平面視において、前記第 1 ドメインは、前記第 5 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 2 ドメインは、前記第 6 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 3 ドメインは、前記第 7 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

40

前記平面視において、前記第 4 ドメインは、前記第 8 ドメインおよび前記抵抗変化層の間に挟まれており、

前記第 9 周期の値は、前記第 1 周期の値よりも大きく、

前記第 10 周期の値は、前記第 2 周期の値よりも大きく、

前記第 11 周期の値は、前記第 3 周期の値よりも大きく、かつ、

前記第 12 周期の値は、前記第 4 周期の値よりも大きい。

【 0 2 1 5 】

(項目 B 1 6)

赤外線センサのポロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、以下を具備する：

(a) 以下を具備する前記赤外線センサを用意する工程、

50

赤外線センサであって、

ベース基板、

前記ポロメータ赤外線受光部、および

ペルチェ素子、

前記ベース基板から離れる方向に延びている第 1 支柱

前記ベース基板から離れる方向に延びている第 2 支柱、

前記ベース基板から離れる方向に延びている第 3 支柱、および

前記ベース基板から離れる方向に延びている第 4 支柱、

を具備し、

ここで、

前記ポロメータ赤外線受光部は、

赤外線の吸収により抵抗が変化する抵抗変化層、

第 1 絶縁材料から形成されているポロメータ第 1 梁、

第 2 絶縁材料から形成されているポロメータ第 2 梁、

前記ポロメータ第 1 梁の上に形成されたポロメータ第 1 薄膜、および

前記ポロメータ第 2 梁の上に形成されたポロメータ第 2 薄膜、

を具備しており、

前記ポロメータ第 1 薄膜は、前記抵抗変化層に電氣的に接続されており、

前記ポロメータ第 2 薄膜は、前記抵抗変化層に電氣的に接続されており、

前記赤外線は前記ポロメータ赤外線受光部の表側の面に照射され、

前記ペルチェ素子は、

第 3 絶縁材料から形成されているペルチェ第 1 梁、

第 4 絶縁材料から形成されているペルチェ第 2 梁、

前記ペルチェ第 1 梁の上に形成されたペルチェ第 1 薄膜、および

前記ペルチェ第 2 梁の上に形成されたペルチェ第 2 薄膜、

を具備しており、

前記ペルチェ第 1 薄膜は、p 型半導体材料から形成されており、

前記ペルチェ第 2 薄膜は、n 型半導体材料から形成されており、

前記ペルチェ素子は、前記ポロメータ赤外線受光部の裏側の面に接しており、

前記ポロメータ第 1 梁の一端部および前記ポロメータ第 1 薄膜の一端部は、前記第 1 支柱に接続されており、

前記ポロメータ第 2 梁の一端部および前記ポロメータ第 2 薄膜の一端部は、前記第 2 支柱に接続されており、

前記ペルチェ第 1 梁の一端部および前記ペルチェ第 1 薄膜の一端部は、前記第 3 支柱に接続されており、

前記ペルチェ第 2 梁の一端部および前記ペルチェ第 2 薄膜の一端部は、前記第 4 支柱に接続されており、

前記ポロメータ赤外線受光部、前記ポロメータ第 1 梁、前記ポロメータ第 1 薄膜、前記ポロメータ第 2 梁、および前記ポロメータ第 2 薄膜は、前記第 1 支柱および前記第 2 支柱によって前記ベース基板の上部で懸架されており、

前記ペルチェ素子、前記ペルチェ第 1 梁、前記ペルチェ第 1 薄膜、前記ペルチェ第 2 梁、および前記ペルチェ第 2 薄膜は、前記第 3 支柱および前記第 4 支柱によって前記ベース基板の上部で懸架されており、

前記ポロメータ第 1 薄膜は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 1 フォニック結晶構造を具備し、

前記ポロメータ第 2 薄膜は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 2 フォニック結晶構造を具備し、

前記ペルチェ第 1 薄膜は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 3 フォニック結晶構造を具備し、かつ

前記ペルチェ第 2 薄膜は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 4 フォ

10

20

30

40

50

ノニック結晶構造を具備し、

(b) 前記ボロメータ赤外線受光部に前記赤外線を入射させる工程、

(c) 前記ボロメータ赤外線受光部に入射していた前記赤外線を遮断する工程、および

(d) 前記ペルチェ第1薄膜および前記ペルチェ第1薄膜に電流を印加し、前記ボロメータ赤外線受光部を冷却する工程。

【0216】

(項目B17)

項目B16に記載の赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、

前記第1フォノニック結晶構造は、平面視の前記ボロメータ第1薄膜における、前記第1支柱および前記抵抗変化層の一端の間の第1区間に設けられており、

前記第2フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ボロメータ第2薄膜における、前記第2支柱および前記抵抗変化層の他端の間の第2区間に設けられており、

前記第3フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第1薄膜における、前記第3支柱および前記抵抗変化層の一端の間の第3区間に設けられており、

前記第4フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第2薄膜における、前記第4支柱および前記抵抗変化層の他端の間の第4区間に設けられている。

【0217】

(項目B18)

項目B16に記載の赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、

前記第1フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第1周期で規則的に配列されており、

前記第2フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第2周期で規則的に配列されており、

前記第3フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第3周期で規則的に配列されており、

前記第4フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第4周期で規則的に配列されている。

【0218】

(項目B19)

項目B18に記載の赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、

前記第1周期、前記第2周期、前記第3周期、および前記第4周期の各々の値は等しい。

【0219】

(項目B20)

項目B16に記載の赤外線センサのボロメータ赤外線受光部を冷却する方法であって、

前記ペルチェ第1薄膜の他端が前記ペルチェ第2薄膜の他端に接続されて、前記ペルチェ第1薄膜および前記ペルチェ第2薄膜の間に界面が形成されており、

前記界面は、前記抵抗変化層と熱的に接続されている。

【0220】

(項目C1)

赤外線センサであって、

凹部を有するベース基板、

サーモパイル赤外線受光部、および

ペルチェ素子、

を具備し、

ここで、

前記サーモパイル赤外線受光部は、

赤外線吸収層、

前記赤外線吸収層に熱的に接続されており、かつ第1p型半導体材料から形成されているサーモパイル第1梁、および

前記赤外線吸収層に熱的に接続されており、かつ第1n型半導体材料から形成され

10

20

30

40

50

ているサーモパイル第 2 梁、

を具備しており、

前記ペルチェ素子は、前記サーモパイル赤外線受光部および前記凹部の間に挟まれており、

前記赤外線は前記サーモパイル赤外線受光部の表側の面に照射され、

前記ペルチェ素子は、第 2 p 型半導体材料から形成されているペルチェ第 1 梁および第 2 n 型半導体材料から形成されているペルチェ第 2 梁を具備しており、

前記ペルチェ素子は、前記サーモパイル赤外線受光部の裏側の面に接しており、

前記サーモパイル第 1 梁の一端、前記サーモパイル第 2 梁の一端、前記ペルチェ第 1 梁の一端、および前記ペルチェ第 2 梁の一端は、前記ベース基板に接続されており、

10

前記サーモパイル赤外線受光部、前記ペルチェ素子、前記サーモパイル第 1 梁、前記サーモパイル第 2 梁、前記ペルチェ第 1 梁、および前記ペルチェ第 2 梁は、前記ベース基板の上部で懸架されており、

前記サーモパイル第 1 梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 1 フォノニック結晶構造を具備し、

前記サーモパイル第 2 梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 2 フォノニック結晶構造を具備し、

前記ペルチェ第 1 梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 3 フォノニック結晶構造を具備し、かつ

前記ペルチェ第 2 梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 4 フォノニック結晶構造を具備する。

20

【 0 2 2 1 】

(項目 C 2)

項目 C 1 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 フォノニック結晶構造は、平面視の前記サーモパイル第 1 梁における、前記サーモパイル第 1 梁の一端および前記赤外線吸収層の一端の間の第 1 区間に設けられており、

前記第 2 フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記サーモパイル第 2 梁における、前記サーモパイル第 2 梁の一端および前記赤外線吸収層の他端の間の第 2 区間に設けられており、

30

前記第 3 フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第 1 梁における、前記ペルチェ第 1 梁の一端および前記赤外線吸収層の一端の間の第 3 区間に設けられており、

前記第 4 フォノニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第 2 梁における、前記ペルチェ第 2 梁の一端および前記赤外線吸収層の他端の間の第 4 区間に設けられている、赤外線センサ。

【 0 2 2 2 】

(項目 C 3)

項目 C 1 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第 1 周期で規則的に配列されており、

40

前記第 2 フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第 2 周期で規則的に配列されており、

前記第 3 フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第 3 周期で規則的に配列されており、

前記第 4 フォノニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第 4 周期で規則的に配列されている、

赤外線センサ。

【 0 2 2 3 】

(項目 C 4)

項目 C 3 に記載の赤外線センサであって、

50

前記第 1 周期、前記第 2 周期、前記第 3 周期、および前記第 4 周期の各々の値は等しい。

【 0 2 2 4 】

(項目 C 5)

項目 C 1 に記載の赤外線センサであって、

前記ペルチェ第 1 梁の他端が前記ペルチェ第 2 梁の他端に接続されて、前記ペルチェ第 1 梁および前記ペルチェ第 2 梁の間に界面が形成されており、

前記界面は、前記赤外線吸収層および前記凹部の間に挟まれている。

【 0 2 2 5 】

(項目 C 6)

項目 C 1 に記載の赤外線センサであって、

前記ペルチェ第 1 梁の他端は、前記ペルチェ第 2 梁の他端に接続されておらず、

前記ペルチェ第 1 梁は、前記ペルチェ第 2 梁に第 1 配線によって電氣的に接続されており、

前記第 1 配線は、前記赤外線吸収層および前記凹部の間に挟まれている。

【 0 2 2 6 】

(項目 C 7)

項目 C 5 に記載の赤外線センサであって、

平面視において、前記赤外線吸収層は面積が等しい 4 つの領域を有し、

前記界面は、少なくとも 2 つの前記領域に接する。

【 0 2 2 7 】

(項目 C 8)

項目 C 3 に記載の赤外線センサであって、

前記サーモパイル第 1 梁、前記サーモパイル第 2 梁、前記ペルチェ第 1 梁、および前記ペルチェ第 2 梁は、それぞれ、第 1 ドメイン、第 2 ドメイン、第 3 ドメイン、および第 4 ドメインを含み、

前記第 1 ドメイン、前記第 2 ドメイン、前記第 3 ドメイン、および前記第 4 ドメインは、それぞれ、前記第 1 フォノンニック結晶構造、前記第 2 フォノンニック結晶構造、前記第 3 フォノンニック結晶構造、および前記第 4 フォノンニック結晶構造を含み、

前記サーモパイル第 1 梁、前記サーモパイル第 2 梁、前記ペルチェ第 1 梁、および前記ペルチェ第 2 梁は、それぞれ、第 5 ドメイン、第 6 ドメイン、第 7 ドメイン、および第 8 ドメインを含み、

前記第 5 ドメインにおいて、第 5 周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 5 フォノンニック結晶構造が形成されており、

前記第 6 ドメインにおいて、第 6 周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 6 フォノンニック結晶構造が形成されており、

前記第 7 ドメインにおいて、第 7 周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 7 フォノンニック結晶構造が形成されており、

前記第 8 ドメインにおいて、第 8 周期で規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第 8 フォノンニック結晶構造が形成されており、

平面視において、前記第 1 ドメインは、前記第 5 ドメインおよび前記赤外線吸収層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 2 ドメインは、前記第 6 ドメインおよび前記赤外線吸収層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 3 ドメインは、前記第 7 ドメインおよび前記赤外線吸収層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第 4 ドメインは、前記第 8 ドメインおよび前記赤外線吸収層の間に挟まれており、

前記第 5 周期の値は、前記第 1 周期の値よりも大きく、

前記第 6 周期の値は、前記第 2 周期の値よりも大きく、

前記第 7 周期の値は、前記第 3 周期の値よりも大きく、かつ

10

20

30

40

50

前記第 8 周期の値は、前記第 4 周期の値よりも大きい。

【 0 2 2 8 】

(項目 C 9)

項目 C 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 ドメインにおいて、前記第 1 ドメインに前記第 1 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 1 周期とは異なる第 9 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 2 ドメインにおいて、前記第 2 ドメインに前記第 2 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 2 周期とは異なる第 10 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 3 ドメインにおいて、前記第 3 ドメインに前記第 3 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 3 周期とは異なる第 11 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 4 ドメインにおいて、前記第 4 ドメインに前記第 4 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 4 周期とは異なる第 12 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 5 ドメインにおいて、前記第 5 ドメインに前記第 5 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 5 周期とは異なる第 13 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 6 ドメインにおいて、前記第 6 ドメインに前記第 6 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 6 周期とは異なる第 14 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、

前記第 7 ドメインにおいて、前記第 7 ドメインに前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 7 周期とは異なる第 15 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されており、かつ

前記第 8 ドメインにおいて、前記第 8 ドメインに前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔同士の間、前記第 8 周期とは異なる第 16 周期で規則的に配列された複数の貫通孔が形成されている。

【 0 2 2 9 】

(項目 C 1 0)

項目 C 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 2 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 3 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 4 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 5 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 6 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数、および前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の数の各々は、5 つ以上である。

【 0 2 3 0 】

(項目 C 1 1)

項目 C 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 ドメイン、前記第 2 ドメイン、前記第 3 ドメイン、前記第 4 ドメイン、前記第 5 ドメイン、前記第 6 ドメイン、前記第 7 ドメイン、および前記第 8 ドメインの各々を構成する周期構造の単位格子は、正方格子、六方格子、長方格子、または面心長方格子のいずれかである。

【 0 2 3 1 】

(項目 C 1 2)

項目 C 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期、前記第 2 周期、前記第 3 周期、前記第 4 周期、前記第 5 周期、前記第 6 周期、前記第 7 周期、および前記第 8 周期の各々の値は、1 nm 以上かつ 300 nm 以下である。

10

20

30

40

50

【 0 2 3 2 】

(項目 C 1 3)

項目 C 8 に記載の赤外線センサであって、

前記第 1 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 1 周期の値で除した値、前記第 2 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 2 周期の値で除した値、前記第 3 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 3 周期の値で除した値、前記第 4 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 4 周期の値で除した値、前記第 5 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 5 周期の値で除した値、前記第 6 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 6 周期の値で除した値、前記第 7 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 7 周期の値で除した値、および前記第 8 周期で規則的に配列された前記複数の貫通孔の直径の値を前記第 8 周期の値で除した値の各々は、0.5 以上かつ 0.9 以下である。

10

【 0 2 3 3 】

(項目 C 1 4)

項目 C 1 に記載の赤外線センサであって、

前記サーモパイル第 1 梁、前記サーモパイル第 2 梁、前記ペルチェ第 1 梁、および前記ペルチェ第 2 梁は、それぞれ、第 1 ドメイン、第 2 ドメイン、第 3 ドメイン、および第 4 ドメインを含み、

前記第 1 ドメインは、第 1 周期で規則的に配列された複数の第 1 サブドメインを具備し、

20

前記第 2 ドメインは、第 2 周期で規則的に配列された複数の第 2 サブドメインを具備し、

前記第 3 ドメインは、第 3 周期で規則的に配列された複数の第 3 サブドメインを具備し、

前記第 4 ドメインは、第 4 周期で規則的に配列された複数の第 4 サブドメインを具備し、

前記複数の第 1 サブドメインの各々は、第 5 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノン結晶から形成されており、

前記複数の第 2 サブドメインの各々は、第 6 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノン結晶から形成されており、

30

前記複数の第 3 サブドメインの各々は、第 7 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノン結晶から形成されており、かつ

前記複数の第 4 サブドメインの各々は、第 8 周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノン結晶から形成されている。

【 0 2 3 4 】

(項目 C 1 5)

項目 C 1 4 に記載の赤外線センサであって、

前記サーモパイル第 1 梁は、第 5 ドメインをさらに含み、

前記サーモパイル第 2 梁は、第 6 ドメインをさらに含み、

40

前記ペルチェ第 1 梁は、第 7 ドメインをさらに含み、

前記ペルチェ第 2 梁は、第 8 ドメインをさらに含み、

前記第 5 ドメインは、第 9 周期で規則的に配列された複数の第 5 サブドメインを具備し、

前記第 6 ドメインは、第 10 周期で規則的に配列された複数の第 6 サブドメインを具備し、

前記第 7 ドメインは、第 11 周期で規則的に配列された複数の第 7 サブドメインを具備し、

前記第 8 ドメインは、第 12 周期で規則的に配列された複数の第 8 サブドメインを具備し、

50

前記複数の第5サブドメインの各々は、第13周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第6サブドメインの各々は、第14周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第7サブドメインの各々は、第15周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

前記複数の第8サブドメインの各々は、第16周期で規則的に配列された複数の貫通孔を具備するフォノンニック結晶から形成されており、

平面視において、前記第1ドメインは、前記第5ドメインおよび前記赤外線吸収層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第2ドメインは、前記第6ドメインおよび前記赤外線吸収層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第3ドメインは、前記第7ドメインおよび前記赤外線吸収層の間に挟まれており、

前記平面視において、前記第4ドメインは、前記第8ドメインおよび前記赤外線吸収層の間に挟まれており、

前記第9周期の値は、前記第1周期の値よりも大きく、

前記第10周期の値は、前記第2周期の値よりも大きく、

前記第11周期の値は、前記第3周期の値よりも大きく、かつ、

前記第12周期の値は、前記第4周期の値よりも大きい。

【0235】

(項目C16)

赤外線センサのサーモパイル赤外線受光部を冷却する方法であって、以下を具備する：

(a) 以下を具備する前記赤外線センサを用意する工程、

凹部を有するベース基板、

前記サーモパイル赤外線受光部、および

ペルチェ素子、

を具備し、

ここで、

前記サーモパイル赤外線受光部は、

赤外線吸収層、

前記赤外線吸収層に熱的に接続されており、かつ第1p型半導体材料から形成されているサーモパイル第1梁、および

前記赤外線吸収層に熱的に接続されており、かつ第1n型半導体材料から形成されているサーモパイル第2梁、

を具備しており、

前記ペルチェ素子は、前記サーモパイル赤外線受光部および前記凹部の間に挟まれており、

赤外線は前記サーモパイル赤外線受光部の表側の面に照射され、

前記ペルチェ素子は、第2p型半導体材料から形成されているペルチェ第1梁および第2n型半導体材料から形成されているペルチェ第2梁を具備しており、

前記ペルチェ素子は、前記サーモパイル赤外線受光部の裏側の面に接しており、

前記サーモパイル第1梁の一端、前記サーモパイル第2梁の一端、前記ペルチェ第1梁の一端、および前記ペルチェ第2梁の一端は、前記ベース基板に接続されており、

前記サーモパイル赤外線受光部、前記ペルチェ素子、前記サーモパイル第1梁、前記サーモパイル第2梁、前記ペルチェ第1梁、および前記ペルチェ第2梁は、前記ベース基板の上部で懸架されており、

前記サーモパイル第1梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第1フォノンニック結晶構造を具備し、

前記サーモパイル第2梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第2フ

10

20

30

40

50

フォニック結晶構造を具備し、

前記ペルチェ第1梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第3フォニック結晶構造を具備し、かつ

前記ペルチェ第2梁は、規則的に配列された複数の貫通孔から構成された第4フォニック結晶構造を具備し、

(b) 前記サーモパイル赤外線受光部に前記赤外線を入射させる工程、

(c) 前記サーモパイル赤外線受光部に入射していた前記赤外線を遮断する工程、および

(d) 前記ペルチェ第1梁および前記ペルチェ第2梁に電流を印加し、前記サーモパイル赤外線受光部を冷却する工程。

【0236】

10

(項目C17)

項目C16に記載の赤外線センサのサーモパイル赤外線受光部を冷却する方法であって、

前記第1フォニック結晶構造は、平面視の前記サーモパイル第1梁における、前記サーモパイル第1梁の一端および前記抵抗変化層の一端の間の第1区間に設けられており、

前記第2フォニック結晶構造は、前記平面視の前記サーモパイル第2梁における、前記サーモパイル第2梁の一端および前記抵抗変化層の他端の間の第2区間に設けられており、

前記第3フォニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第1梁における、前記ペルチェ第1梁の一端および前記抵抗変化層の一端の間の第3区間に設けられており、

前記第4フォニック結晶構造は、前記平面視の前記ペルチェ第2梁における、前記ペルチェ第2梁の一端および前記抵抗変化層の他端の間の第4区間に設けられている。

20

【0237】

(項目C18)

項目C16に記載の赤外線センサのサーモパイル赤外線受光部を冷却する方法であって、

前記第1フォニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第1周期で規則的に配列されており、

前記第2フォニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第2周期で規則的に配列されており、

前記第3フォニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第3周期で規則的に配列されており、

前記第4フォニック結晶構造の前記複数の貫通孔は、第4周期で規則的に配列されている。

30

【0238】

(項目C19)

項目C18に記載の赤外線センサのサーモパイル赤外線受光部を冷却する方法であって、前記第1周期、前記第2周期、前記第3周期、および前記第4周期の各々の値は等しい。

【0239】

(項目C20)

項目C16に記載の赤外線センサのサーモパイル赤外線受光部を冷却する方法であって、

前記ペルチェ第1梁の他端が前記ペルチェ第2梁の他端に接続されて、前記ペルチェ第1梁および前記ペルチェ第2梁の間に界面が形成されており、

前記界面は、前記抵抗変化層および前記凹部の間に挟まれている。

40

【符号の説明】

【0240】

1A、1B、1C、1D、1E、1F、1G、1H、1I、1J 赤外線センサ

11 ベース基板

12A、12B (ボロメータ) 赤外線受光部

12C (サーモパイル) 赤外線受光部

12P ペルチェ素子

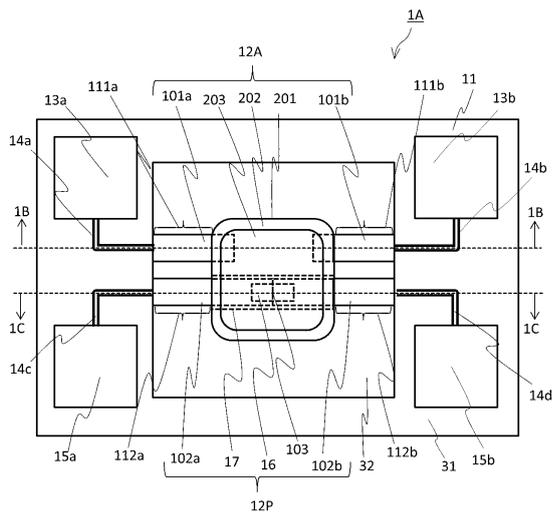
13a、13b 電極パッド

50

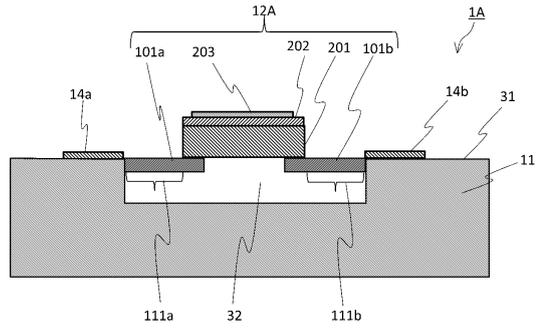
1 4 a、1 4 b、1 4 c、1 4 d	第 2 配線	
1 5 a、1 5 b	電極パッド	
1 6、1 6 a、1 6 b、1 6 c、1 6 d、1 6 e、1 6 f、1 6 g、1 6 h、1 6 i、 1 6 j、1 6 k、1 6 l、1 6 m、1 6 n	第 1 配線	
1 7、1 7 a、1 7 b	絶縁膜	
1 8	貫通孔	
1 9	単位格子	
2 1 a、2 1 b、2 1 c	フォノンニックドメイン	
2 1 P	ペルチェ素子	
2 5 a、2 5 b	第 1 周期構造	10
2 6 a、2 6 b	第 2 周期構造	
2 7 a、2 7 b	マイクロ周期構造	
2 8 a、2 8 b	サブフォノンニックドメイン	
2 9 a、2 9 b	マクロ周期構造	
3 1	上面	
3 2	凹部	
3 4 a、3 4 b、3 4 c、3 4 d	支柱	
9 1、9 2、9 3	フォノンニックドメイン	
1 0 1 a、1 0 1 b、1 0 1 c、1 0 1 d	梁	
1 0 2 a、1 0 2 b、1 0 2 c、1 0 2 d、1 0 2 e、1 0 2 f、1 0 2 g、1 0 2 h 、1 0 2 i、1 0 2 j、1 0 2 k、1 0 2 l	梁	20
1 0 3	界面	
1 0 4 a、1 0 4 b	梁	
1 1 1	ウエハ	
1 1 1 a、1 1 1 b、1 1 2 a、1 1 2 b	区間	
2 0 1	抵抗変化層	
2 0 2	絶縁膜	
2 0 3	赤外線吸収層	
2 2 2	絶縁層	
3 0 1 a、3 0 1 b、3 0 2 a、3 0 2 b	薄膜	30
3 1 1 a、3 1 1 b、3 1 2 a、3 1 2 b	区間	
4 0 1 a、4 0 1 b	絶縁部	
4 0 4	犠牲層	
5 0 1	Si 層	
5 0 2	SiO ₂ 層	
5 0 3	Si 層	
5 0 4	犠牲層	
5 0 5 a、5 0 5 b	梁層	
1 0 1 1 a、1 0 1 1 b、1 0 2 1 a、1 0 2 1 b	領域	40

【図面】

【図 1 A】

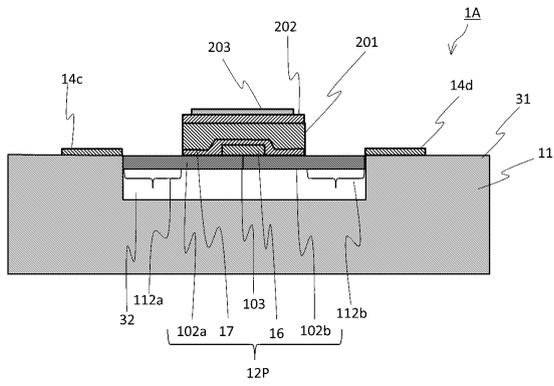


【図 1 B】

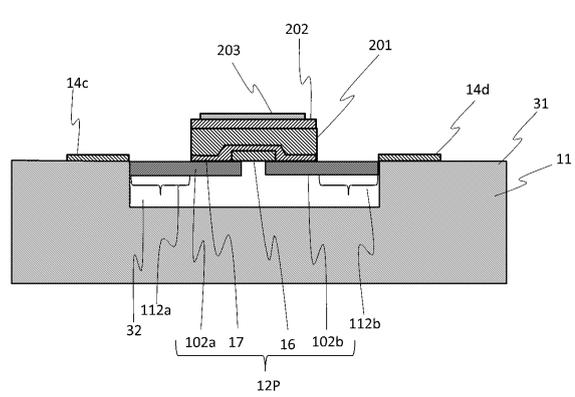


10

【図 1 C】



【図 1 D】



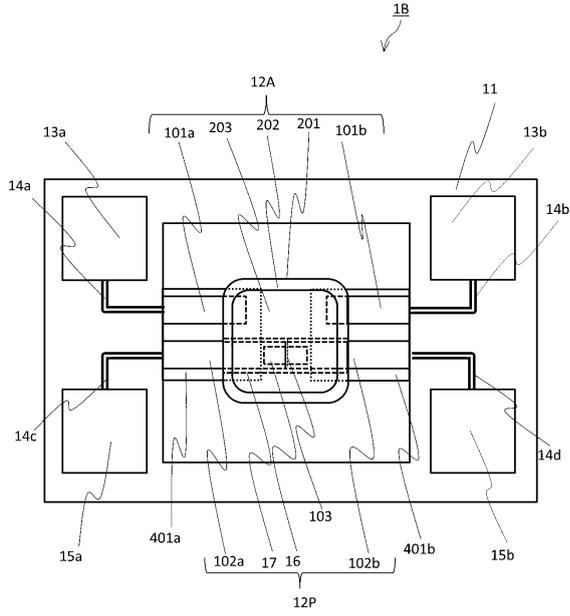
20

30

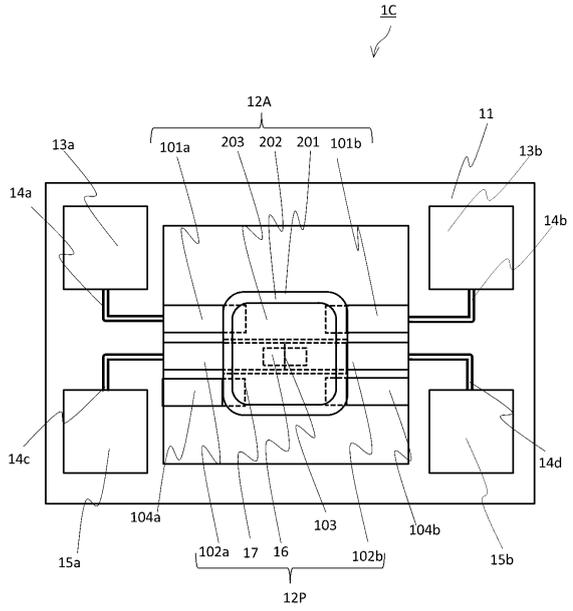
40

50

【 図 2 】

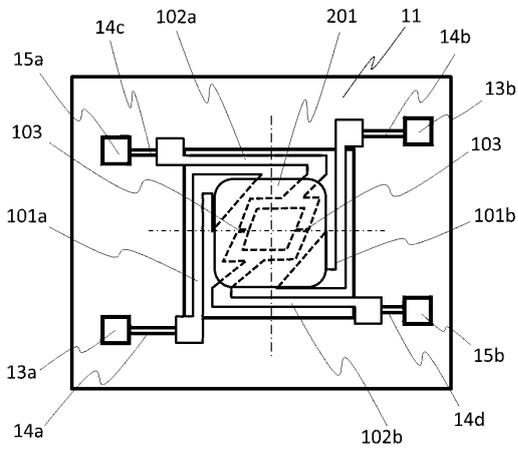


【 図 3 】

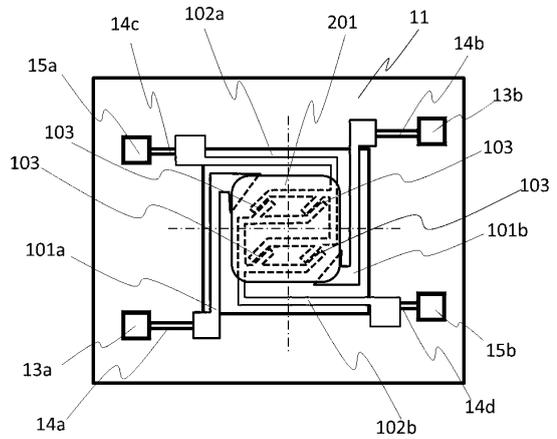


10

【 図 4 A 】



【 図 4 B 】



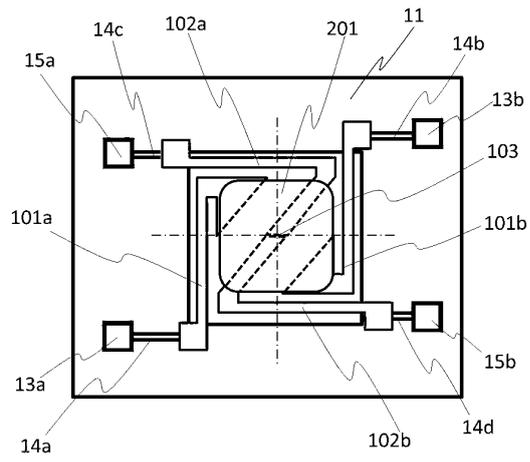
20

30

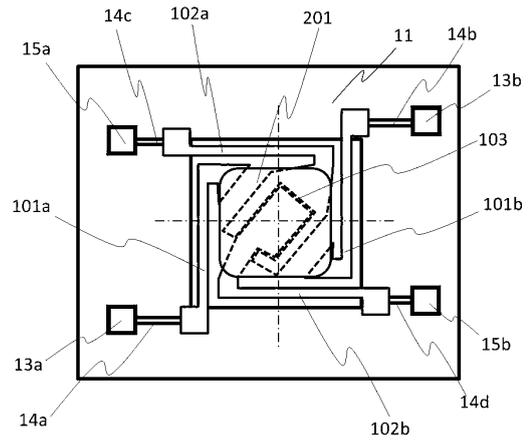
40

50

【図 5 A】

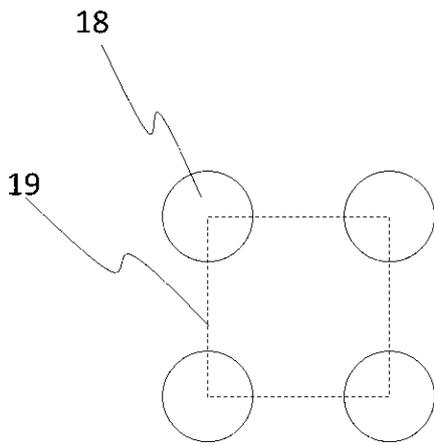


【図 5 B】

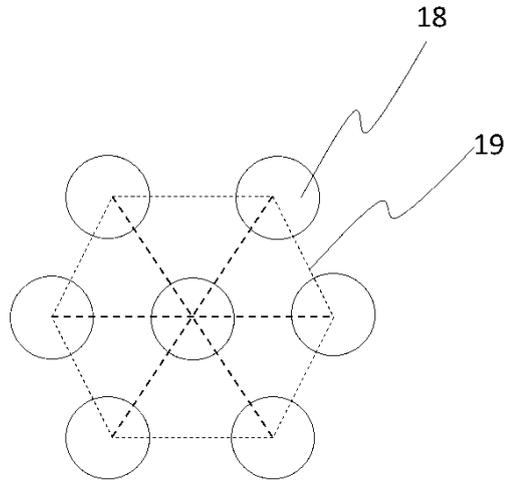


10

【図 6 A】



【図 6 B】



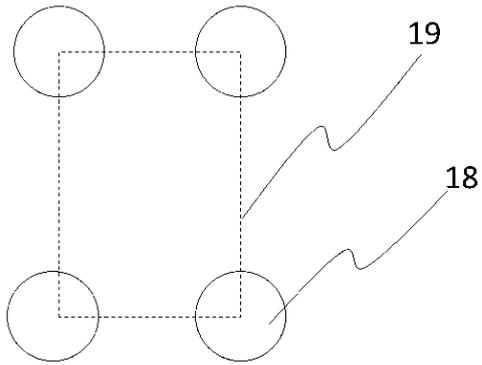
20

30

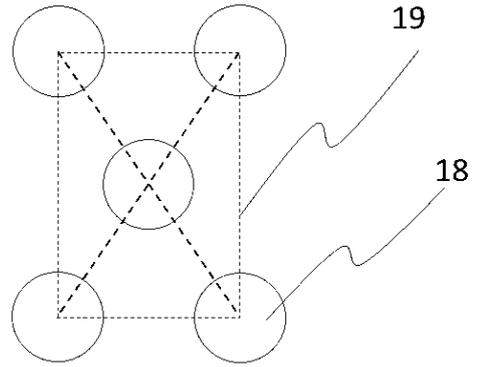
40

50

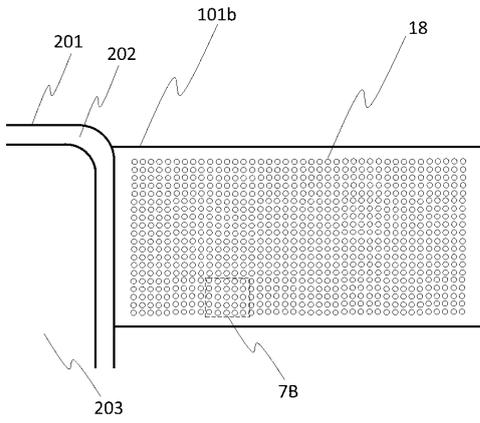
【図 6 C】



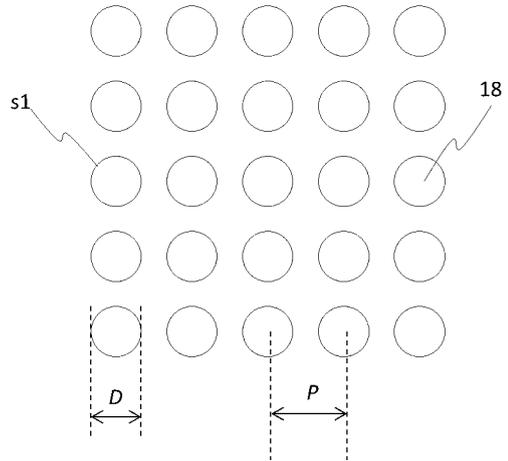
【図 6 D】



【図 7 A】



【図 7 B】



10

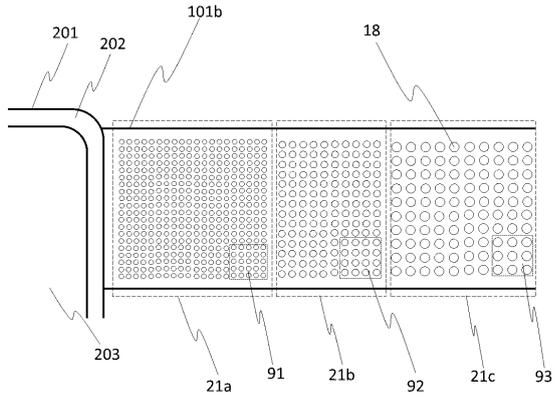
20

30

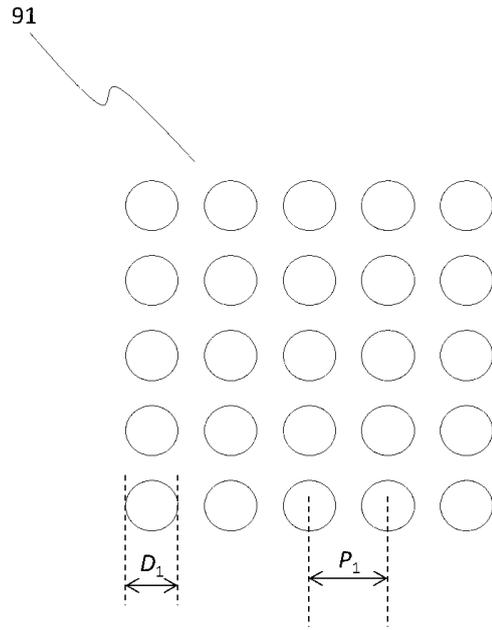
40

50

【 8 A 】



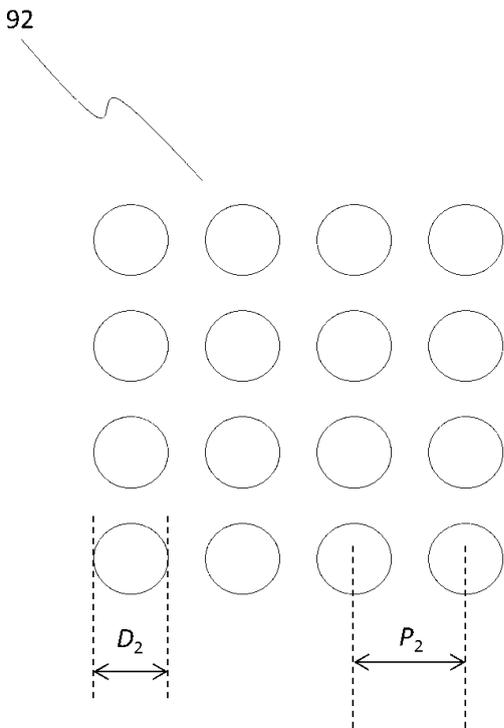
【 8 B 】



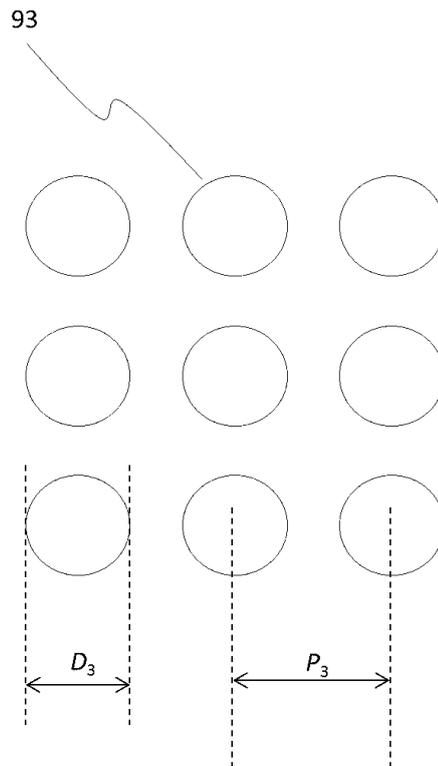
10

20

【 8 C 】



【 8 D 】

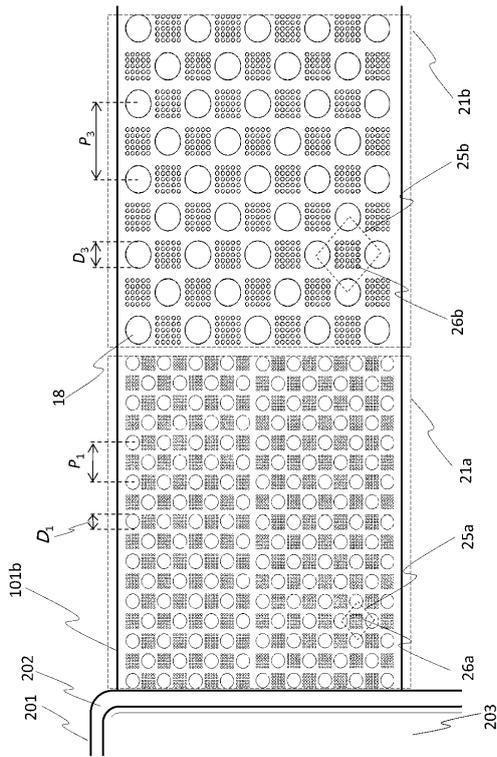


30

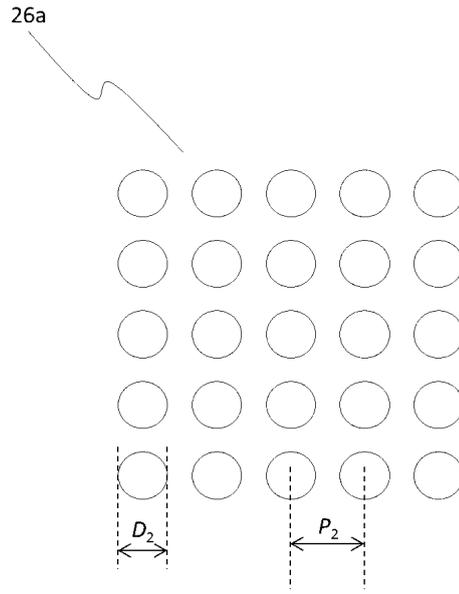
40

50

【 9 A 】



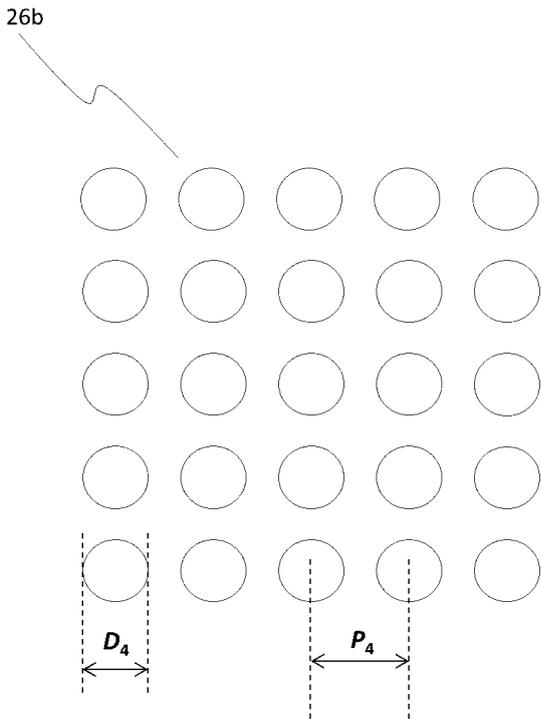
【 9 B 】



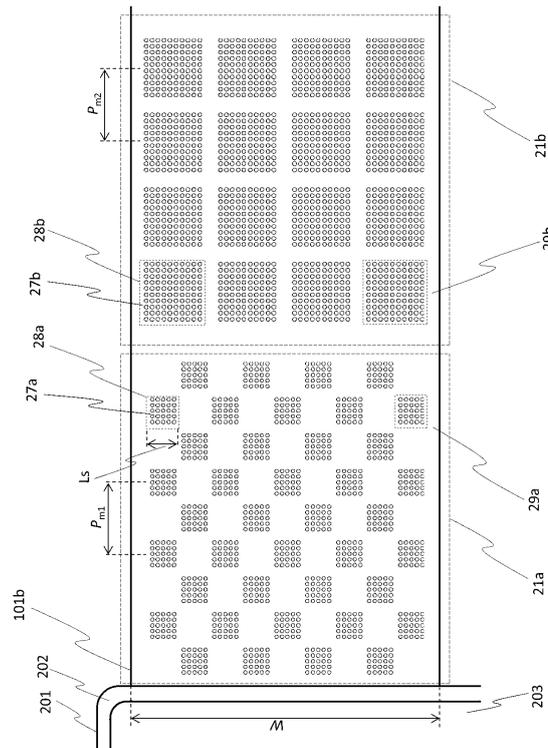
10

20

【 9 C 】



【 10 A 】

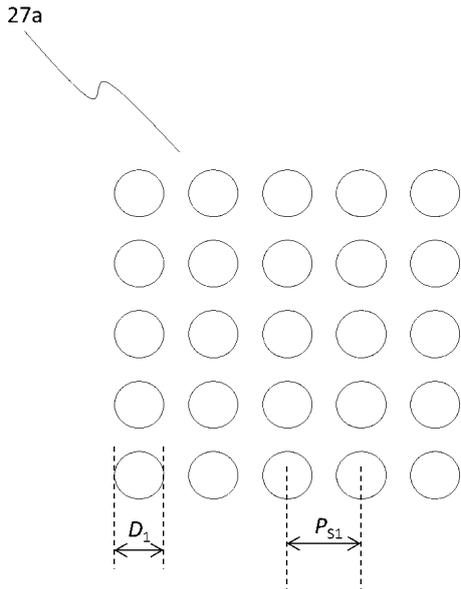


30

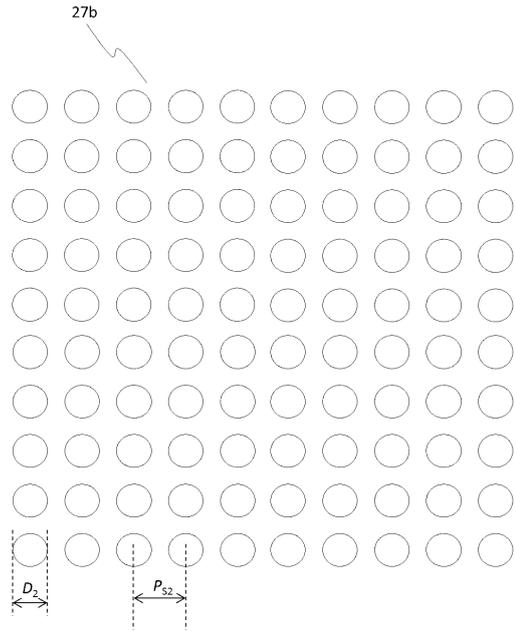
40

50

【 1 0 B】



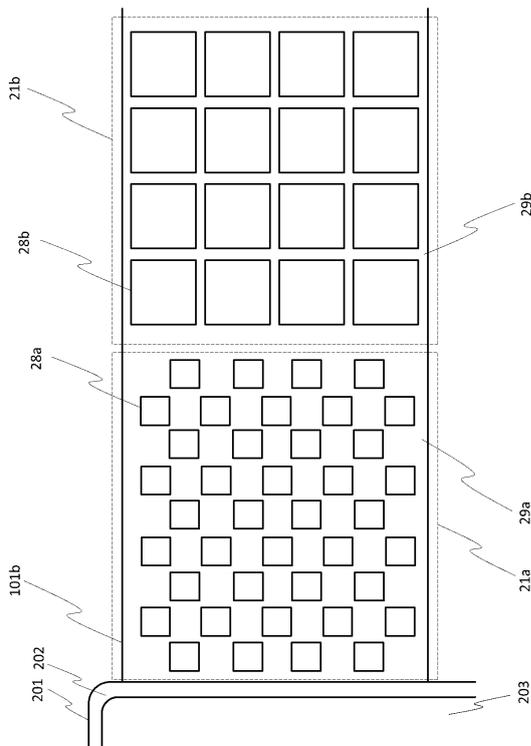
【 1 0 C】



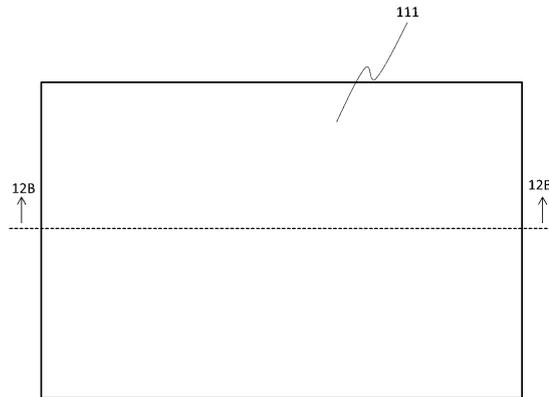
10

20

【 1 1】



【 1 2 A】

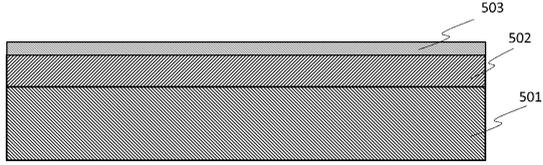


30

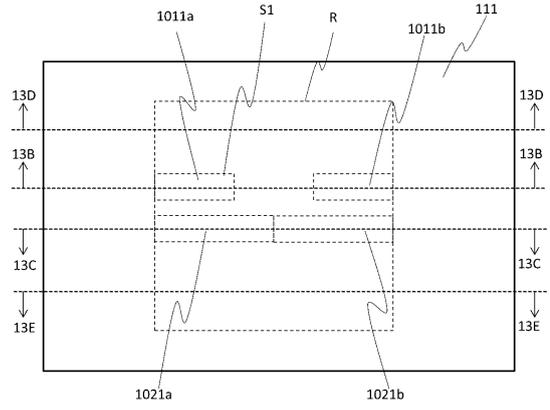
40

50

【図 1 2 B】

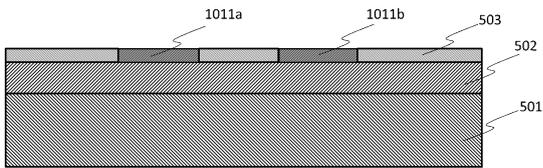


【図 1 3 A】

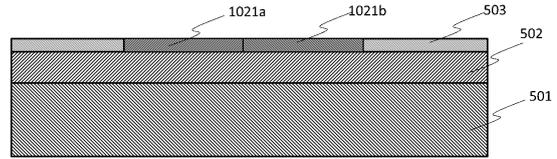


10

【図 1 3 B】

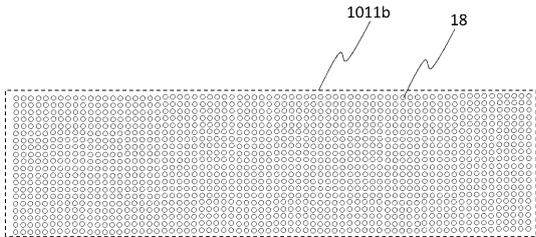


【図 1 3 C】

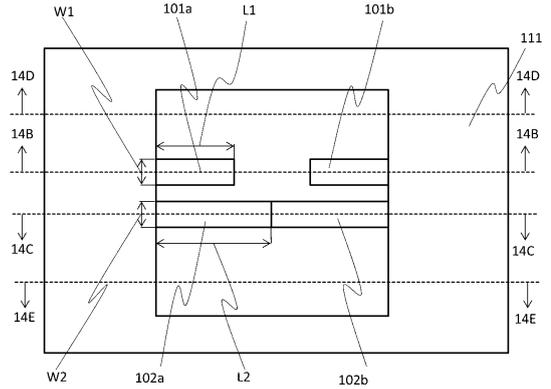


20

【図 1 3 D】



【図 1 4 A】

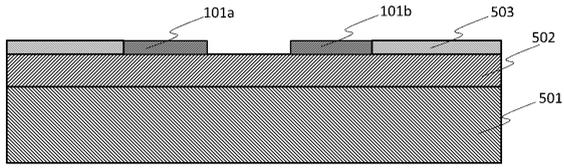


30

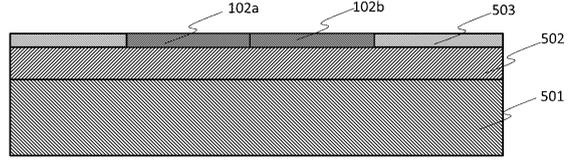
40

50

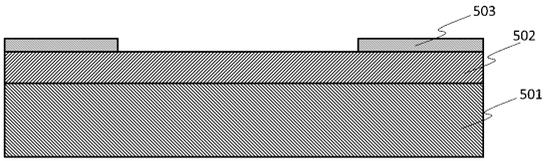
【図 14 B】



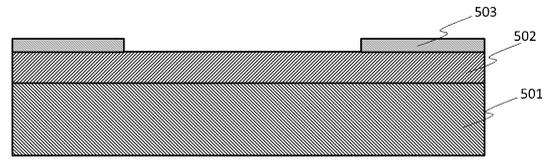
【図 14 C】



【図 14 D】

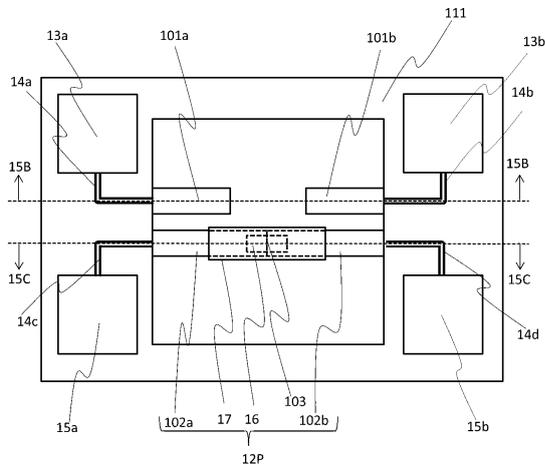


【図 14 E】

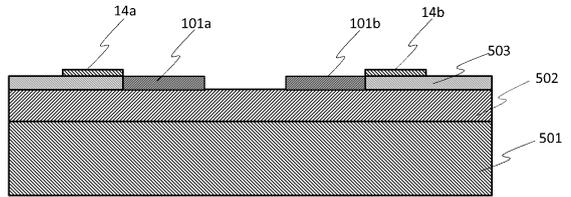


10

【図 15 A】



【図 15 B】



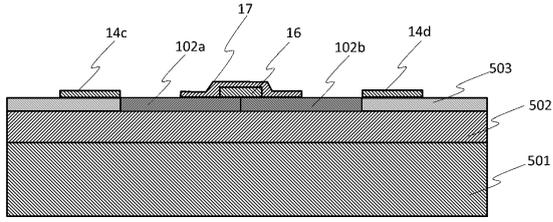
20

30

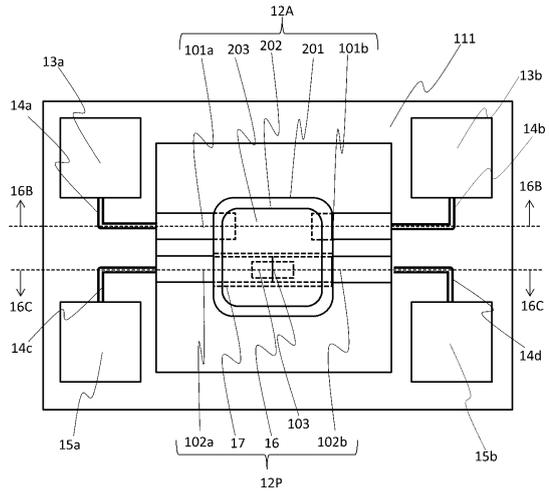
40

50

【図 15 C】

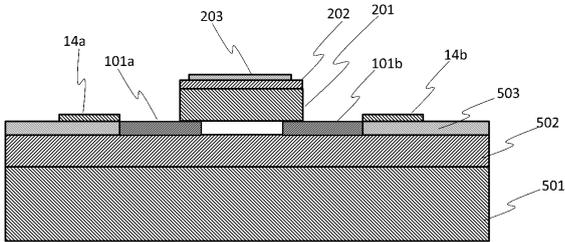


【図 16 A】

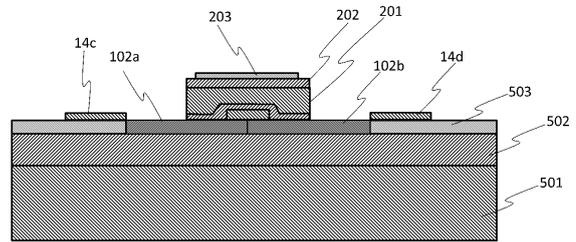


10

【図 16 B】



【図 16 C】



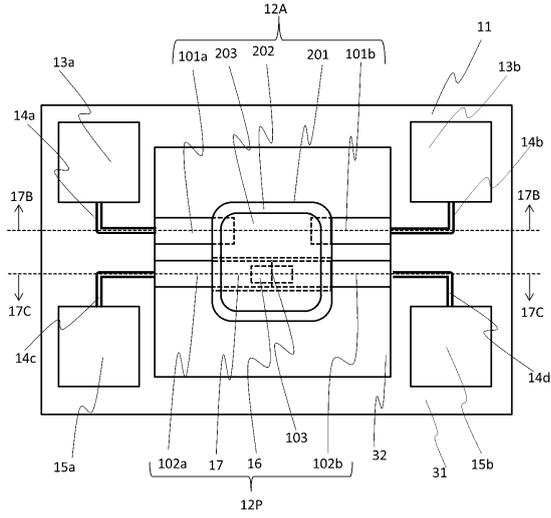
20

30

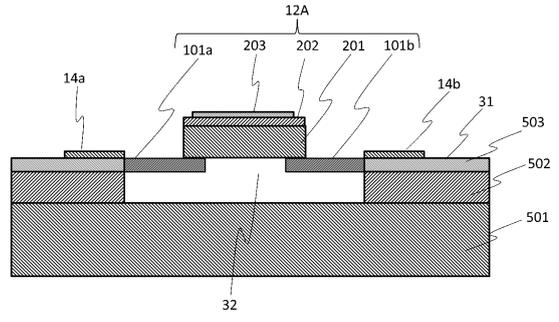
40

50

【図 17 A】

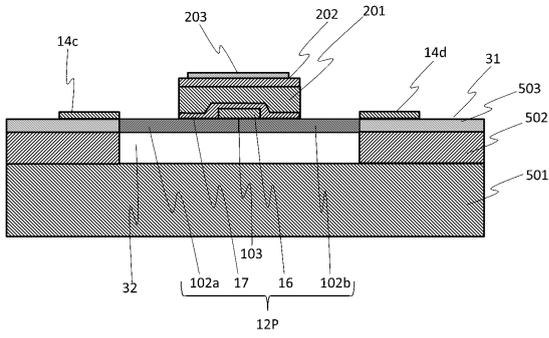


【図 17 B】

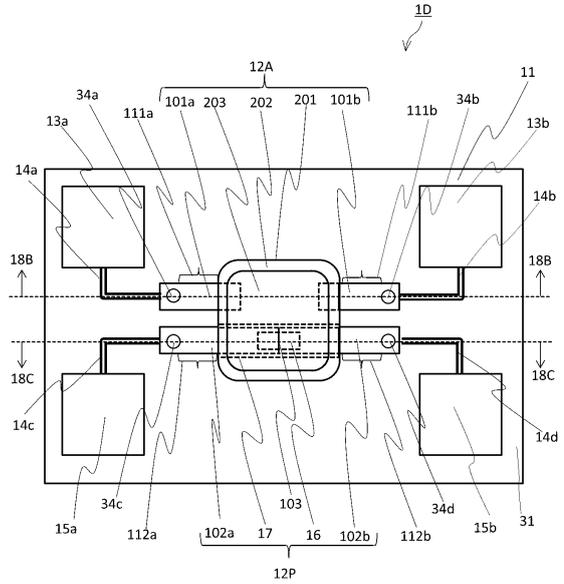


10

【図 17 C】



【図 18 A】



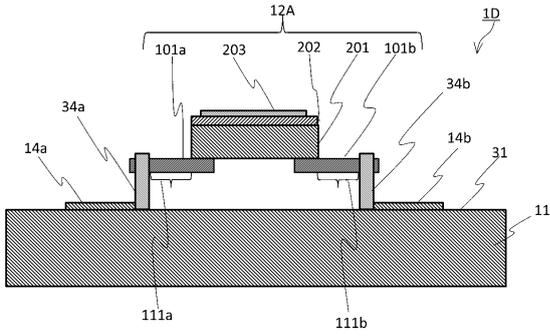
20

30

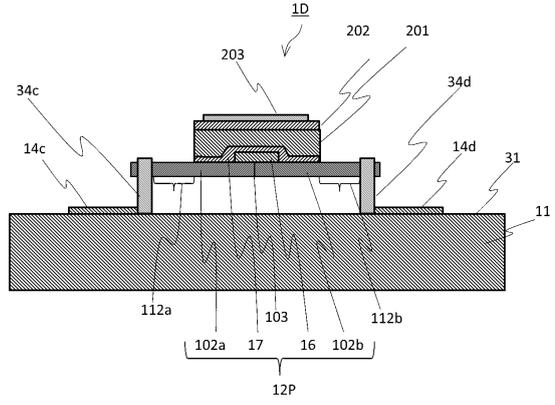
40

50

【図 18 B】

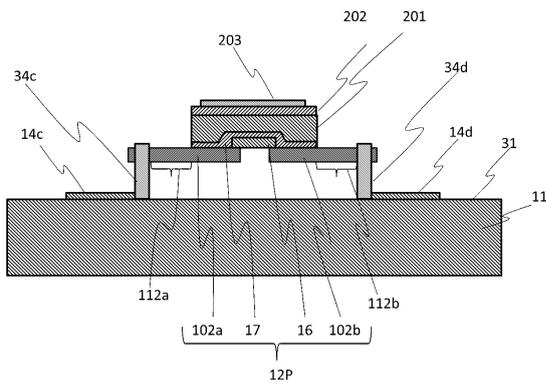


【図 18 C】

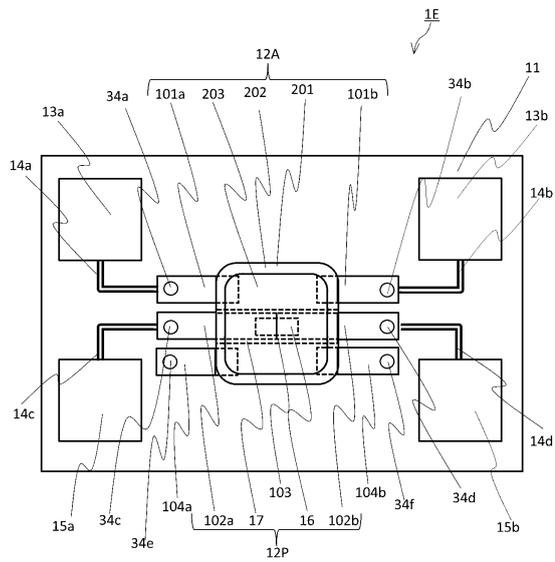


10

【図 18 D】



【図 19】



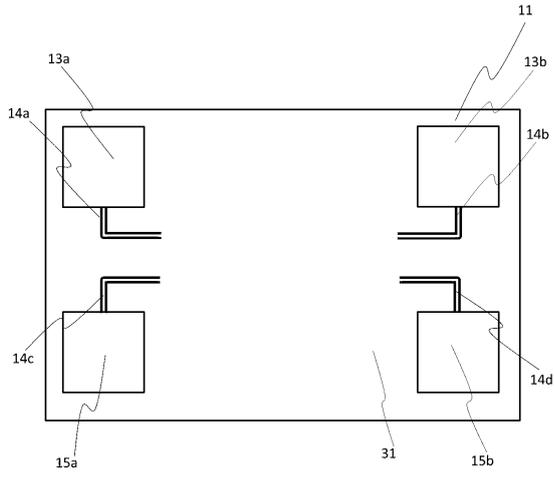
20

30

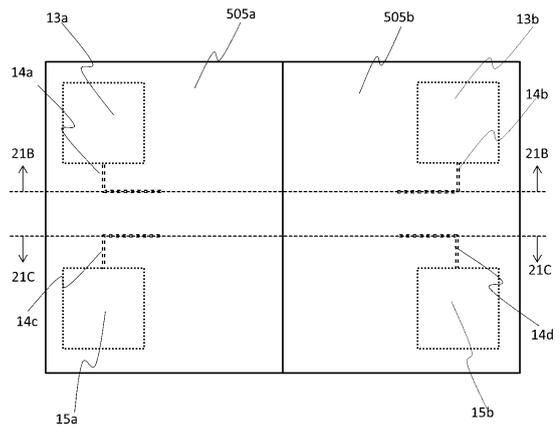
40

50

【 2 0 】

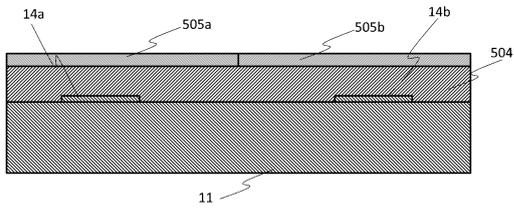


【 2 1 A 】

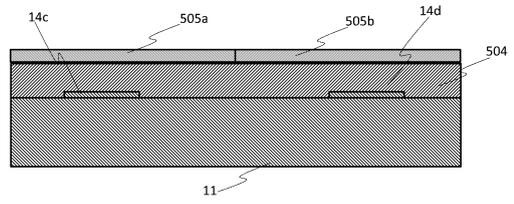


10

【 2 1 B 】



【 2 1 C 】



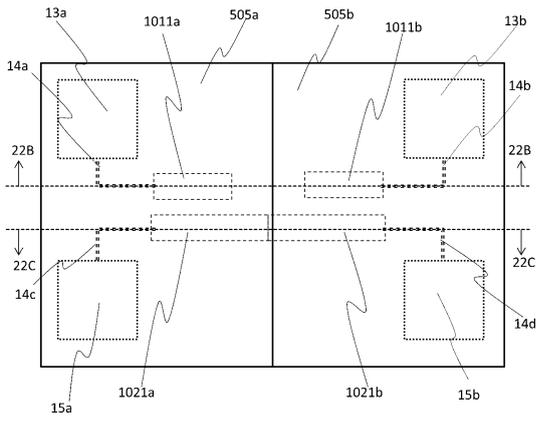
20

30

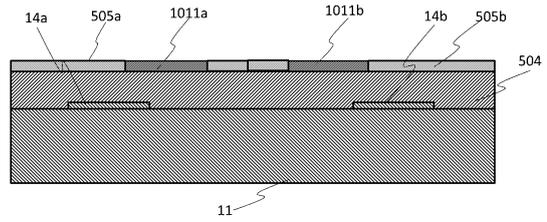
40

50

【図 2 2 A】

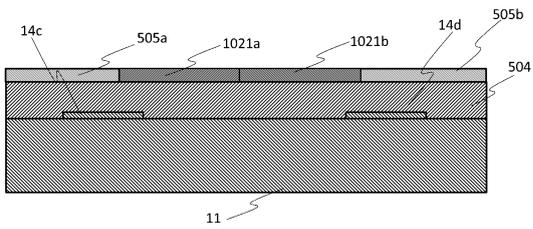


【図 2 2 B】

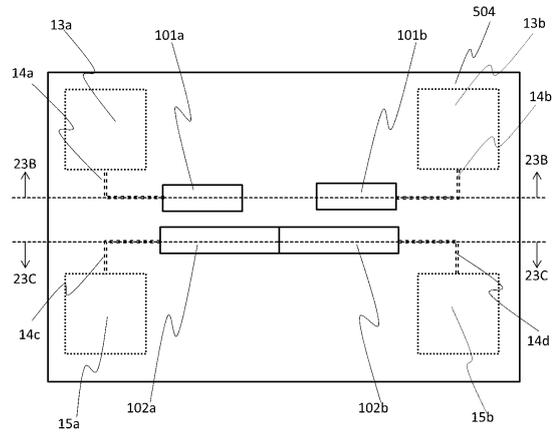


10

【図 2 2 C】



【図 2 3 A】



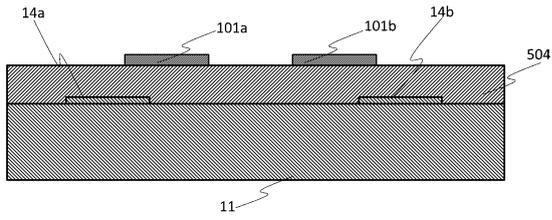
20

30

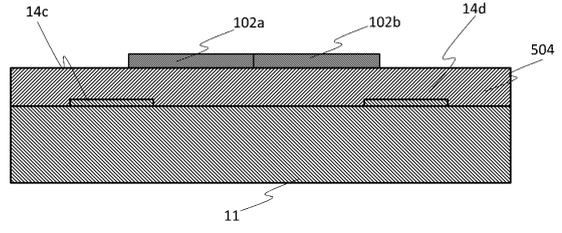
40

50

【図 2 3 B】

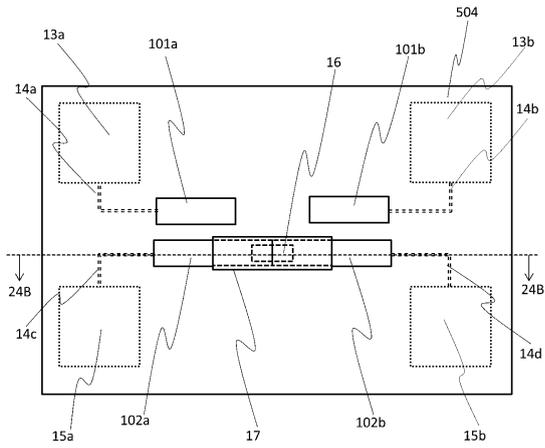


【図 2 3 C】

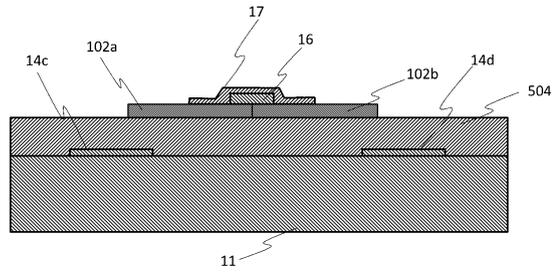


10

【図 2 4 A】

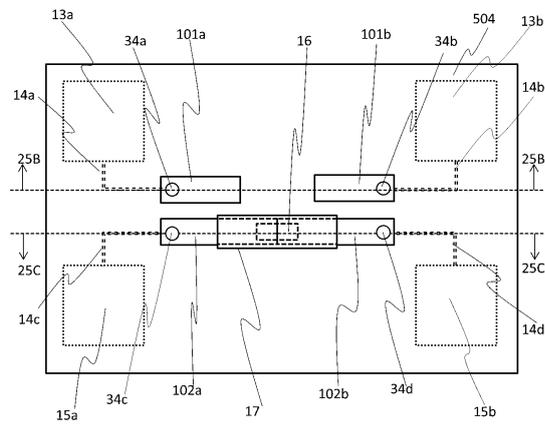


【図 2 4 B】

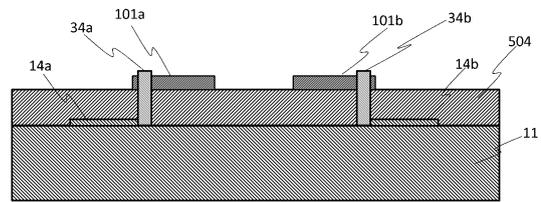


20

【図 2 5 A】



【図 2 5 B】

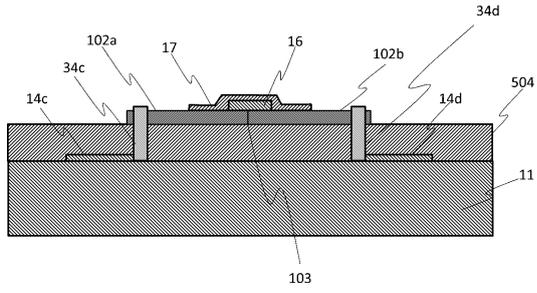


30

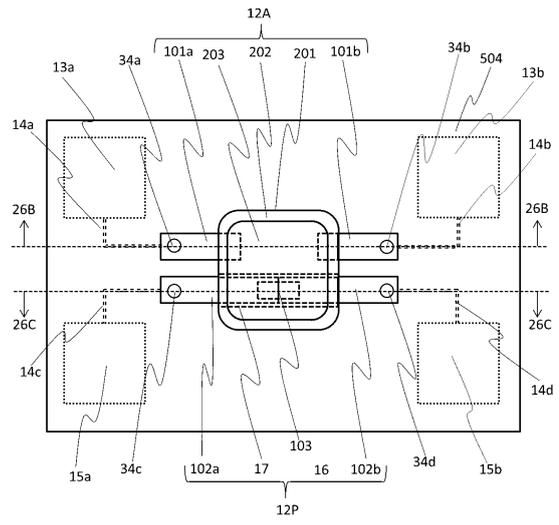
40

50

【図 25 C】

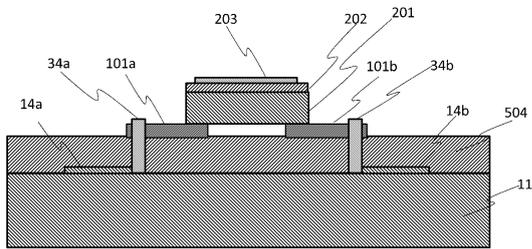


【図 26 A】

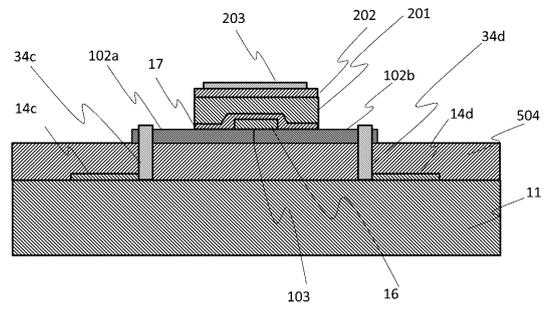


10

【図 26 B】



【図 26 C】



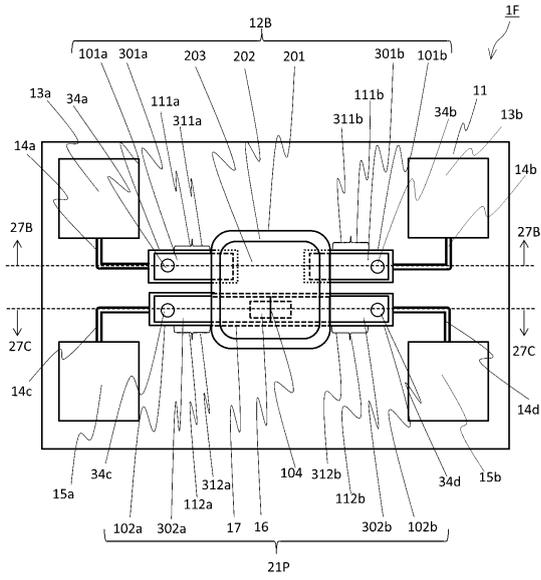
20

30

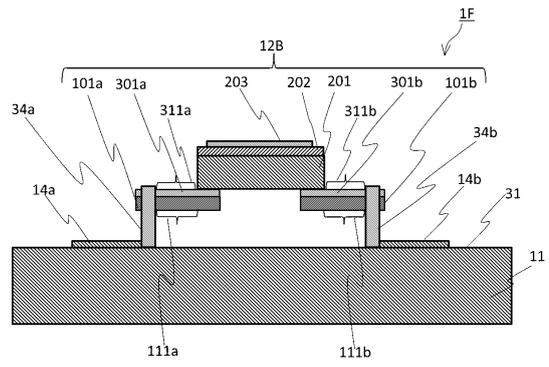
40

50

【図 27 A】

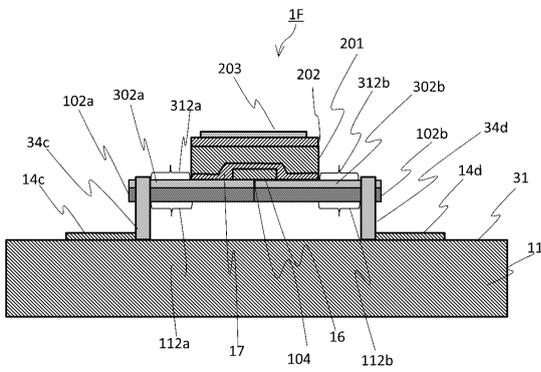


【図 27 B】

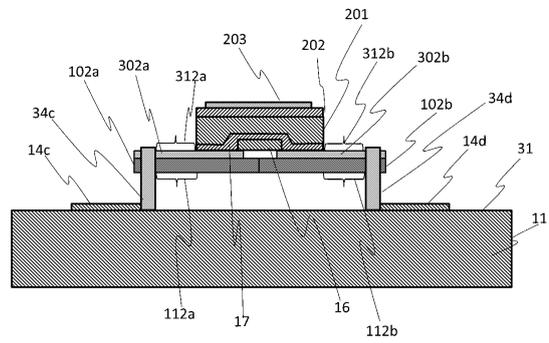


10

【図 27 C】



【図 27 D】



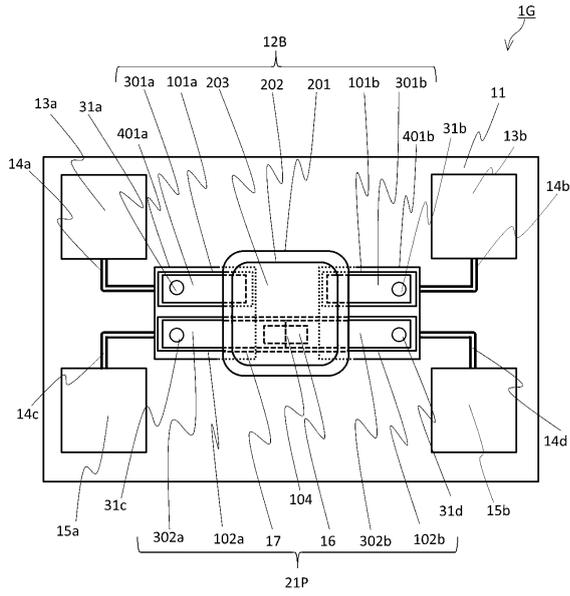
20

30

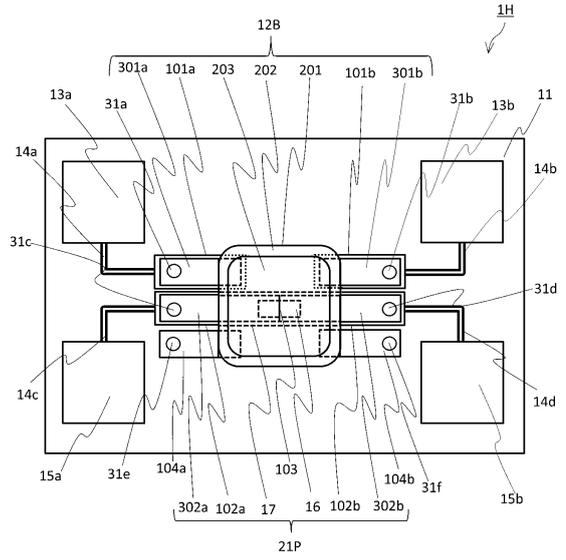
40

50

【 28 】

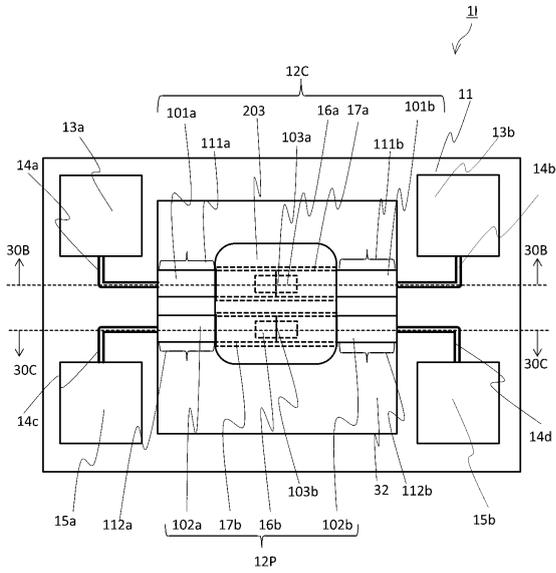


【 29 】

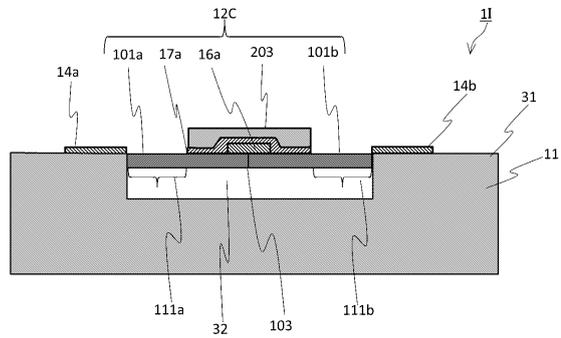


10

【 30 A 】



【 30 B 】



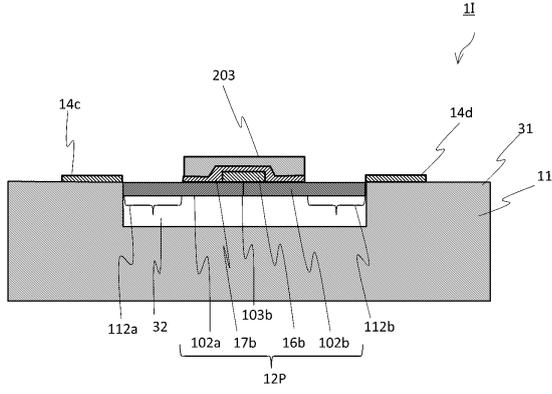
20

30

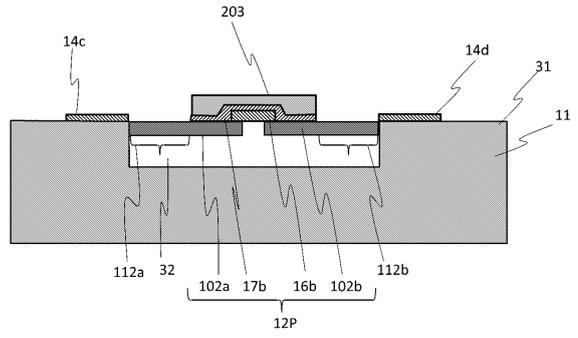
40

50

【図30C】

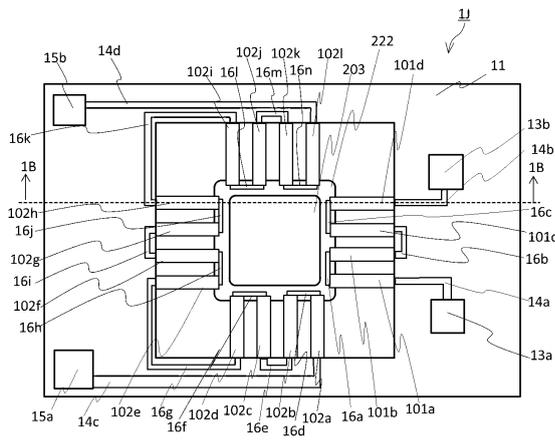


【図30D】

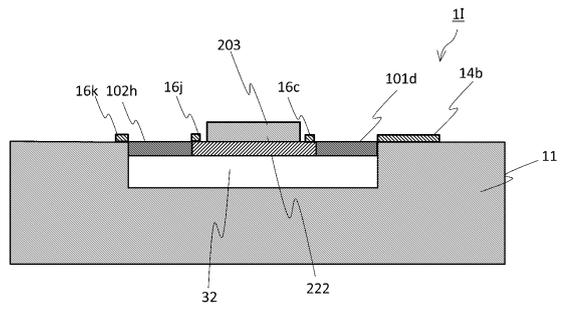


10

【図31A】



【図31B】



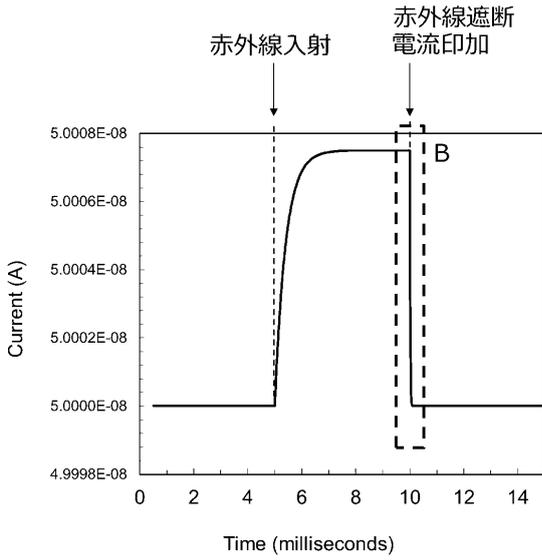
20

30

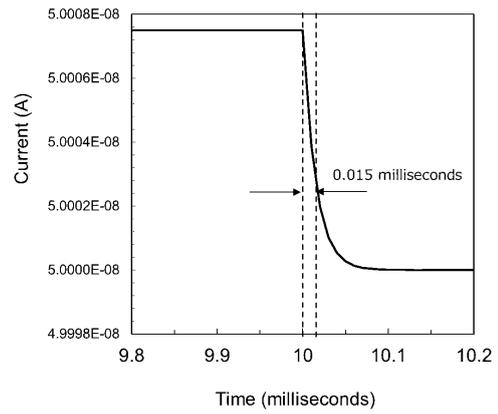
40

50

【 図 3 2 A 】

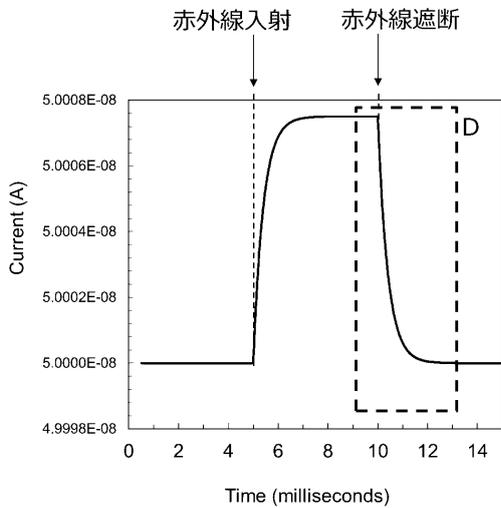


【 図 3 2 B 】

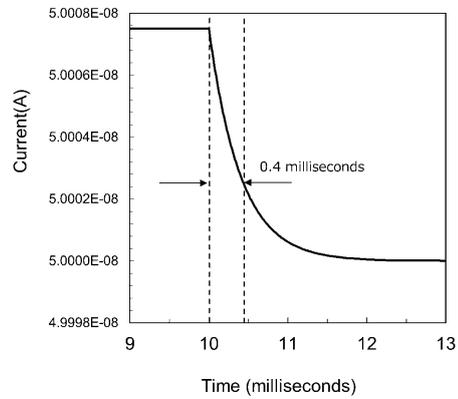


10

【 図 3 2 C 】



【 図 3 2 D 】



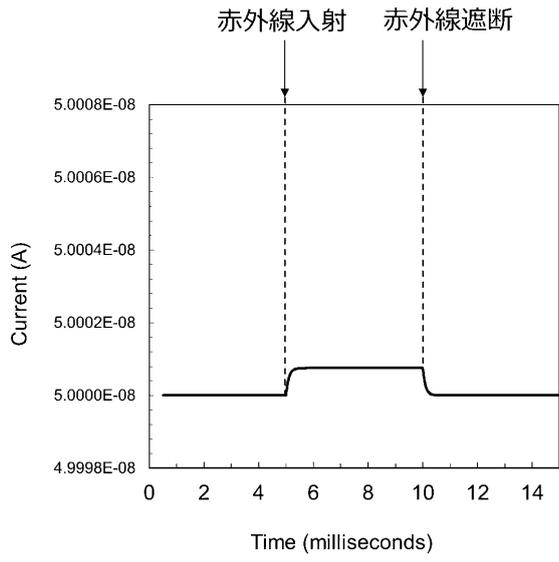
20

30

40

50

【 図 3 2 E 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(72)発明者 内藤 康幸
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
審査官 平田 佳規
(56)参考文献 特開2017-223644(JP, A)
米国特許出願公開第2017/0069818(US, A1)
国際公開第2012/054777(WO, A2)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01J 1/02
G01J 1/42 - G01J 1/46
G01J 5/02
G01J 5/20 - G01J 5/24
G01J 5/48
G01K 7/22 - G01K 7/25
H01C 7/02 - H01C 7/22
H01L 27/14 - H01L 27/148
H01L 37/00
H04N 5/30 - H04N 5/378