

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年1月2日(02.01.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/005254 A1

(51) 国際特許分類:
G01R 33/20 (2006.01) *G01R 33/032* (2006.01)
G01N 24/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/023524

(22) 国際出願日: 2024年6月28日(28.06.2024)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2023-106764 2023年6月29日(29.06.2023) JP

(71) 出願人: 大日本印刷株式会社 (DAI NIPPON
PRINTING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1628001 東京

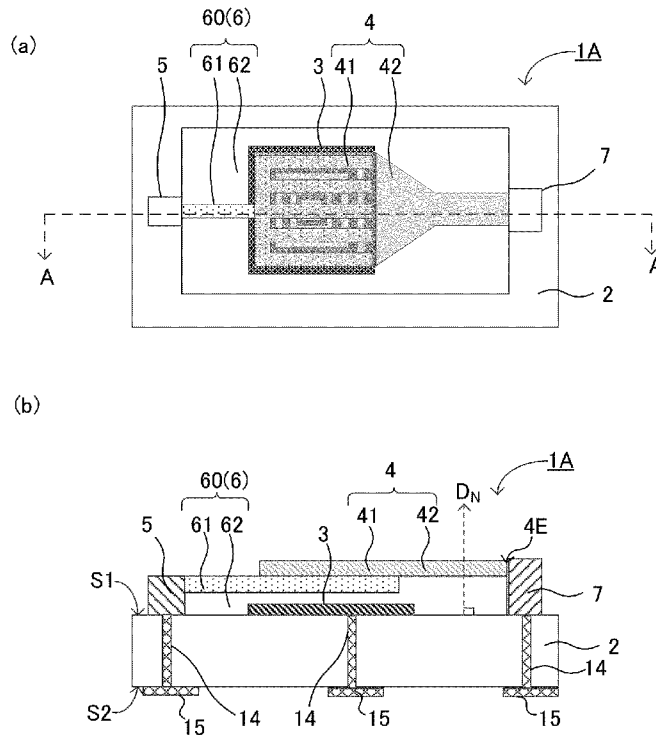
都新宿区市谷加賀町一丁目1番
1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 小川 健一(OGAWA, Kenichi); 〒1628001
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 大日本
印刷株式会社内 Tokyo (JP). 三好 徹(MIYOSHI,
Toru); 〒1628001 東京都新宿区市谷加賀町一丁
目1番1号 大日本印刷株式会社内 Tokyo (JP).
森脇 政仁(MORIWAKI, Nobuyoshi); 〒1628001
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 大
日本印刷株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山下 昭彦, 外(YAMASHITA, Akihiko
et al.); 〒1040031 東京都中央区京橋一丁目
16番10号 V P O京橋3階 東京セン
トラル特許事務所内 Tokyo (JP).

(54) Title: SOLID-STATE QUANTUM SENSOR MODULE AND SENSOR DEVICE

(54) 発明の名称: 固体量子センサモジュールおよびセンサ装置



(57) Abstract: The present disclosure provides a solid-state quantum sensor module comprising: a substrate that has a first main surface and a second main surface positioned on the opposite side from the first main surface; a solid-state element positioned on the first main surface side of the substrate and having a color center; a light guide plate positioned between the substrate and the solid-state element; a microwave field transmission antenna; a light source that is positioned on the first main surface side of the substrate and emits light containing a first wavelength in which the color center is excited

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

from a ground state to an excited state; and a photodetector that is positioned on the first main surface side of the substrate and detects photoluminescence which contains a second wavelength and which is emitted from the solid-state element. The solid-state element overlaps with the microwave field transmission antenna when viewed along the normal direction of the first main surface of the substrate, and the photodetector does not overlap with the microwave field transmission antenna when viewed along the normal direction of the first main surface of the substrate.

(57) 要約: 本開示は、第1主面および上記第1主面の反対側に位置する第2主面を有する基板と、上記基板の上記第1主面側に位置する、色中心を有する固体素子と、上記基板と上記固体素子との間に位置する導光板と、マイクロ波場送信用アンテナと、上記基板の上記第1主面側に位置し、上記色中心を基底状態から励起状態に励起する第1の波長を含む光を放出する光源と、上記基板の上記第1主面側に位置し、上記固体素子から放出される第2の波長を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器と、を備え、上記固体素子は、上記基板の上記第1主面の法線方向に沿って見た場合に、上記マイクロ波場送信用アンテナと重なり、上記光検出器は、上記基板の上記第1主面の法線方向に沿って見た場合に、上記マイクロ波場送信用アンテナと重ならない、固体量子センサモジュールを提供する。

明 細 書

発明の名称： 固体量子センサモジュールおよびセンサ装置

技術分野

[0001] 本開示は、固体量子センサモジュールおよびセンサ装置に関する。

背景技術

[0002] ダイヤモンドの結晶構造中において、結晶格子の炭素原子の位置に置き換わる形で入った窒素原子と、その窒素原子に隣接した位置に存在する空孔との対からなる複合欠陥（NV中心（Nitrogen Vacancy center））が知られている。ダイヤモンドの結晶構造には、NV中心以外にも、珪素-空孔中心（SiV中心）、スズ-空孔中心（SnV中心）等と呼ばれる複合欠陥が知られており、NV中心を含むこれらの複合欠陥は、色中心と呼ばれている。

[0003] NV中心は、電子が捕獲された状態（以下「NV⁻」と呼ぶ）においては、スピン三重項と呼ばれる状態を形成し、単一スピンとして振る舞う。NV⁻の単一スピンは外部の磁場に反応して変化し、このスピン状態の測定も室温下で可能であるため、NV中心を含むダイヤモンドは、磁場センサ装置、電場センサ装置等の材料として利用できる。

[0004] 特許文献1には、励振対象のカラーセンタを有する素子と、素子を挟んで設けられた一対の所定のカラーセンタ励振用アンテナと、一対のカラーセンタ励振用アンテナに周波数可変の高周波電流を供給する給電器とを備えるセンサが開示されている。

[0005] また、特許文献2には、基板と、基板上に配置された複数の格子点欠陥を含む電子スピン欠陥層と、マイクロ波場送信器と、光源と、電子スピン欠陥層の少なくとも一部を含み、電子スピン欠陥層を通る前記光を再循環させるように配置されている光共鳴器キャビティと、電子スピン欠陥層から放出されているフォトルミネッセンスを検出する光検出器と、電子スピン欠陥層に隣接して配置されている磁石と、を含む磁力計が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2022-98572号公報

特許文献2：特表2022-550046号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 色中心を有する固体素子を使用したセンサ装置は、例えば、NV中心を有するダイヤモンド素子と、マイクロ波場送信用アンテナと、ダイヤモンド素子を基底状態から励起状態に励起する緑色光を放出する光源、および赤色蛍光強度を観測する光検出器等を備える。従来のセンサ装置は、光検出器が基板上に集積されていない場合が多く、小型化が求められている。一方、小型化のために光検出器を基板上に集積するとマイクロ波場送信用アンテナのノイズによる悪影響を受ける場合がある。

[0008] 本開示は、上記事情に鑑みてなされたものであり、センサ装置の小型化を図ることが可能であり、かつ、光検出器に対するマイクロ波のノイズの影響を低減可能な固体量子センサモジュールを提供することを主目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本開示の一実施形態は、第1主面および上記第1主面の反対側に位置する第2主面を有する基板と、上記基板の上記第1主面側に位置する、色中心を有する固体素子と、上記基板と上記固体素子との間に位置する導光板と、マイクロ波場送信用アンテナと、上記基板の上記第1主面側に位置し、上記色中心を基底状態から励起状態に励起する第1の波長を含む光を放出する光源と、上記基板の上記第1主面側に位置し、上記固体素子から放出される第2の波長を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器と、を備え、上記固体素子は、上記基板の上記第1主面の法線方向に沿って見た場合に、上記マイクロ波場送信用アンテナと重なり、上記光検出器は、上記基板の上記第1主面の法線方向に沿って見た場合に、上記マイクロ波場送信用アンテナと重ならない、固体量子センサモジュールを提供する。

[0010] 本開示の他の実施形態は、上述の固体量子センサモジュールを備える、センサ装置を提供する。

発明の効果

[0011] 本開示は、センサ装置の小型化を図ることが可能であり、かつ、光検出器に対するマイクロ波のノイズの影響を低減可能な固体量子センサモジュールを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本開示の第1実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略上面図および概略断面図である。

[図2]NV中心を有するダイヤモンド素子の構造を模式的に示す図である。

[図3]ダイヤモンド量子センサの原理を説明するための図である。

[図4]ダイヤモンド量子センサで得られる光検出磁気共鳴スペクトルである。

[図5]本開示の第1実施形態における固体素子を例示する概略平面図である。

[図6]本開示の第1実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略平面図である。

[図7]本開示の第1実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図および固体素子の概略上面図である。

[図8]本開示の第1実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図である。

[図9]本開示の第1実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図および固体素子の概略上面図である。

[図10]本開示の第1実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略上面図である。

[図11]本開示の第1実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図である。

[図12]本開示の第1実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図である。

[図13]本開示の第1実施形態における固体量子センサモジュールを例示する

概略断面図、分解図、導光板および基板の概略上面図である。

[図14]本開示の第1実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図である。

[図15]本開示の第2実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略上面図、概略断面図および分解断面図である。

[図16]本開示の第2実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図および固体素子の概略上面図である。

[図17]本開示の第2実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図である。

[図18]本開示の第2実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図および固体素子の概略上面図である。

[図19]本開示の第2実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図である。

[図20]本開示の第2実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図である。

[図21]本開示の第3実施形態において用いるセンサ素子構造体の一例を示す概略上面図および概略断面図である。

[図22]本開示の第3実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図である。

[図23]本開示の第3実施形態におけるセンサ素子構造体の一例を示す概略断面図である。

[図24]本開示の第3実施形態におけるセンサ素子構造体の一例を示す概略断面図である。

[図25]本開示の第3実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図である。

[図26]本開示の第3実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図である。

[図27]本開示の第3実施形態における固体量子センサモジュールを例示する

概略断面図、分解断面図、導光板および基板の概略上面図である。

[図28]本開示の第3実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図および分解断面図である。

[図29]本開示の第3実施形態における固体量子センサモジュールを例示する概略断面図である。

発明を実施するための形態

[0013] 下記に、図面等を参照しながら本開示の実施の形態を説明する。ただし、本開示は多くの異なる態様で実施することが可能であり、下記に例示する実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。また、図面は説明をより明確にするため、実際の形態に比べ、各部の幅、厚さ、形状等について模式的に表わされる場合があるが、あくまで一例であって、本開示の解釈を限定するものではない。また、本明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には、同一の符号を付して、詳細な説明を適宜省略することがある。

[0014] 本明細書において、ある部材の上に他の部材を配置する態様を表現するにあたり、単に「上に」、あるいは「下に」と表記する場合、特に断りの無い限りは、ある部材に接するように、直上、あるいは直下に他の部材を配置する場合と、ある部材の上方、あるいは下方に、さらに別の部材を介して他の部材を配置する場合との両方を含むものとする。また、本明細書において、ある部材の面に他の部材を配置する態様を表現するにあたり、単に「面側に」または「面に」と表記する場合、特に断りの無い限りは、ある部材に接するように、直上、あるいは直下に他の部材を配置する場合と、ある部材の上方、あるいは下方に、さらに別の部材を介して他の部材を配置する場合との両方を含むものとする。

[0015] A. 固体量子センサモジュール

本願の発明者等は、光源および光検出器を、基板の第1主面側に集積させることにより、固体量子センサモジュールの小型化が可能であることを見出した。

[0016] 図1(a)は、本開示における第1実施形態の固体量子センサモジュールの一例を示す概略上面図であり、図1(b)は、図1(a)のA-A概略断面図である。なお、図1(b)において、マイクロ波場送信用アンテナのパターン形状は省略している。図15(a)は、本開示における第2実施形態の固体量子センサモジュールの一例を示す概略上面図であり、図15(b)は、図15(a)のA-A概略断面図であり、図15(c)は、図15(b)の分解断面図である。

[0017] 図1(a)、図1(b)、図15(a)～図15(c)に示すように、本開示の固体量子センサモジュール1A、1Bは、光源5および光検出器7を、基板2の第1主面S1上に集積することができるため、小型化を図ることができる。さらに、本開示によれば、基板2の第1主面S1の法線方向 D_N において基板2と固体素子4との間に位置する導光板6を含むことにより、光源5から放出された第1の波長を含む光（励起光）を、効率良く固体素子4に導くことができる。本開示の固体量子センサモジュールによれば、基板2の第1主面S1の法線方向 D_N に沿って見た場合に、光検出器7が、マイクロ波場送信用アンテナ3と重ならないことにより、光検出器7に対するマイクロ波のノイズの影響を低減することができる。さらに、固体素子4が、基板2の第1主面S1の法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ3と重なる位置にあることにより、マイクロ波場送信用アンテナからマイクロ波を効率良く色中心に照射することができる。以下、基板2の第1主面S1の法線方向 D_N を、単に法線方向 D_N ともいう。

[0018] 以下、本開示の固体量子センサモジュールについて、光源の位置によって第1実施形態および第2実施形態に分けて詳細に説明する。また、固体素子を有するセンサ素子構造体を用いた固体量子センサモジュールについて、第3実施形態として説明する。

[0019] A-1. 第1実施形態

図1(a)および図1(b)に示す第1実施形態の固体量子センサモジュール1Aは、第1主面S1および上記第1主面S1の反対側に位置する第2

主面 S 2 を有する基板 2 と、上記基板 2 の上記第 1 主面 S 1 側に位置する、色中心を有する固体素子 4 と、法線方向 D_N において上記基板 2 と上記固体素子 4 との間に位置する導光板 6 と、マイクロ波場送信用アンテナ 3 と、上記基板 2 の上記第 1 主面 S 1 側に位置し、上記色中心を基底状態から励起状態に励起する第 1 の波長を含む光を放出する光源 5 と、上記基板 2 の上記第 1 主面 S 1 側に位置し、上記固体素子 4 から放出される第 2 の波長を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器 7 と、を備えている。また、固体素子 4 は、基板 2 の第 1 主面 S 1 の法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ 3 と重なる位置にある。また、上記光検出器 7 は、上記基板 2 の上記第 1 主面 S 1 の法線方向 D_N に沿って見た場合に、上記マイクロ波場送信用アンテナ 3 と重ならない位置にある。さらに、本実施形態においては、光源 5 が、上記基板 2 の上記第 1 主面 S 1 の法線方向 D_N に沿って見た場合に、上記マイクロ波場送信用アンテナ 3 と重ならない位置にある。

[0020] 本実施形態の固体量子センサモジュール 1 A は、光源 5 が、法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ 3 と重ならない位置にあることにより、光源 5 に対するマイクロ波のノイズを低減することができ、高精度なセンシングが可能な固体量子センサモジュールとなる。

[0021] 本実施形態の固体量子センサモジュール 1 A において、マイクロ波場送信用アンテナ 3 は、法線方向 D_N に沿って見た場合に導光板 6 と重なる領域で、導光板 6 よりも法線方向 D_N において基板 2 側にあることが好ましい。この場合、基板 2 側から、マイクロ波場送信用アンテナ 3、導光板 6 および固体素子 4 がこの順に配置される。このような積層構造を有することにより、さらに効率良く、導光板 6 から固体素子 4 に第 1 の波長を含む光を導入できる。さらに、マイクロ波場送信用アンテナ 3 が基板 2 に隣接して設置されることで、貫通する貫通電極層 1 4 との接続が簡便となる。以下、本実施形態の固体量子センサモジュールの各構成について、詳細に説明する。

[0022] 1. 固体素子

図 1 (a) および図 1 (b) に示すように、本実施形態における色中心を

有する固体素子4は、基板2の上記第1主面S1側に位置する。さらに、基板2の第1主面S1の法線方向 D_N に沿って見た場合に、固体素子4は、マイクロ波場送信用アンテナ3と重なる位置にある。「法線方向 D_N に沿って見た場合に、固体素子4は、マイクロ波場送信用アンテナ3と重なる」とは、基板2の第1主面S1の法線方向 D_N に沿って見た場合に、固体素子4の少なくとも一部が、マイクロ波場送信用アンテナ3と重なることをいう。また、固体素子4は、法線方向 D_N において、導光板6の基板2側とは反対の面側に位置する。また、固体素子4は、法線方向 D_N において、マイクロ波場送信用アンテナ3の基板2側とは反対の面側に位置することが好ましい。

[0023] 図1(a)および図1(b)に示すように、法線方向 D_N に沿って見た場合に、固体素子4は、少なくとも一部が、導光板6と重なる位置にあることが好ましい。

[0024] 色中心を有する固体素子とは、固体状のイオン結晶中の点欠陥に電子や正孔が補足されたものである。色中心を有する固体素子に用いる材料としては、例えば、ダイヤモンド、炭化ケイ素(SiC)等が挙げられ、中でも、室温で優れたスピニコヒーレンス特性を持つ、ダイヤモンドが好ましい。色中心としては、ダイヤモンドの色中心、炭化ケイ素(SiC)の色中心が挙げられる。ダイヤモンドの色中心としては、窒素-空孔中心(NV中心)、珪素-空孔中心等が挙げられるが、NV中心が好ましい。

[0025] ここで、固体素子としてダイヤモンドの結晶を用い、色中心としてNV中心を用いた場合における、磁気センサの作動機構について、下記に詳述する。

図2は、NV中心を有するダイヤモンド素子の構造を模式的に示す図である。図2に示すように、NV中心は、ダイヤモンド格子中の炭素の置換位置に入った窒素(Nitrogen)と、この窒素に隣接する炭素原子が抜けた空孔(Vacancy)との対からなる複合不純物欠陥である。このNV中心は、中性電荷状態 NV^0 から電子を1個捕獲して -1 価の NV^- となると、磁気量子数 $m_s = -1, 0, +1$ の電子スピン3重項状態を形成する。

[0026] 図3は、NV⁻を有するダイヤモンド素子を備え、光検出磁気共鳴の原理により磁場強度等を計測するダイヤモンド量子センサの原理を説明するための図である。ダイヤモンド素子に積極的なマイクロ波照射を行わない状態で緑色光GL（波長約532nm）を照射すると、 $m_s = 0$ の状態から励起された電子はより長波長（637nm程度）の赤色蛍光RLを発することで元の $m_s = 0$ の状態に緩和する（経路A）。

[0027] 一方、この結晶に2.87GHz近傍のマイクロ波を照射すると、電子スピン共鳴により、電子を $m_s = 0$ の状態から $m_s = \pm 1$ の状態へ励起することができる。 $m_s = \pm 1$ の状態に上記緑色光を照射すると、電子の一部は赤色蛍光を発光する（経路B）一方で、電子の一部は無輻射遷移を経由して $m_s = 0$ の状態に緩和する（経路C）ことにより、発光に寄与しない。従って、NV中心の電子が電子スピン共鳴が生じる準位から励起された場合、赤色蛍光RLの輝度は低下する。

[0028] $m_s = \pm 1$ の状態は、無磁場下では縮退しているが、磁場がある場合はゼーマン分裂を起こし2準位に分裂する。この特徴を生かし、電子を $m_s = 0$ の状態から $m_s = \pm 1$ の状態へ励起するマイクロ波を掃引することで電子スピン共鳴（ESR:Electron Spin Resonance）により、共鳴準位を正確に計測することが可能となる。例えば、NV⁻に磁場が印加されている場合は、図4（a）に示されるように、赤色蛍光RLの輝度低下点が2点存在する光検出磁気共鳴スペクトルが得られる。外部磁場に影響され、 $m_s = \pm 1$ が広がると、2つのピークのエネルギー差（ここでは周波数の差 $\Delta f = f_2 - f_1$ ）が広がる（図4（b））。このように、2点の輝度低下点に対応するマイクロ波MWの周波数のスプリット $\Delta f (= f_2 - f_1)$ は、外部磁場に比例して大きくなる。そのため、赤色発光強度から外部磁場を計測することができる。

[0029] 図5（a）、図5（b）、図5（c）および図5（d）は、本実施形態における固体素子の一例を示す概略平面図であり、マイクロ波場送信用アンテナ3を共に示している。図5（a）、図5（b）および図5（c）に示すように、固体素子4は、発光領域41と、発光領域41と光検出器との間の領

域である接続領域42と、を有することが好ましい。また、図5(d)に示すように、固体素子4は、発光領域41および接続領域42以外の他の領域43を有していてもよい。発光領域41は、法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ3の領域と重なる領域である。なお、マイクロ波場送信用アンテナ3の領域とは、例えば、後述する平面状に形成されたループアンテナ等の導電パターンを有する場合、導電パターンを含む領域をいう。

[0030] 本実施形態の固体素子は、図5(a)に示すように、平板状であってもよい。この場合、光源5から光検出器7に向かう方向 D_1 に延在する平板状であることが好ましい。また、図5(b)、図5(c)および図5(d)に示すように、固体素子4は、光源5から光検出器7に向かう方向 D_1 に延在する1つまたは複数のラインパターン4pを有することが好ましい。中でも、固体素子4は、ラインパターン4pを複数有することが好ましい。以下、本実施形態における固体素子4の各ラインパターン4pの構造を、第1フォトリックキャビティ構造とも称する。特に、固体素子における発光領域41に上記第1フォトリックキャビティ構造を有することが好ましい。このような第1フォトリックキャビティ構造を有することにより、空気との屈折率差により、第2の波長を含むフォトルミネッセンスを効率的に光検出器側に供給することができる。そして、第1フォトリックキャビティ構造を有する固体素子4と、導光板6との組み合わせにより、水平方向に効率的に光を出し入れすることができ、法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ3から離れた位置に、光源5と光検出器7とを配置することができる。

[0031] 図5(b)、図5(c)および図5(d)に示すように、固体素子4は、複数のラインパターン4pから構成されるパターン群Cを有することが好ましい。

[0032] 図6(a)および図6(b)は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略平面図である。図6(a)に示すように、本実施形

態における固体素子4は、パターン群Cを複数有していてもよい。この場合、図6(a)に示すように、固体素子4は、各々のパターン群Cと接続する接続領域42を複数有していてもよく、固体量子センサモジュール1Aは複数の光検出器7を有していても良い。

[0033] 図6(a)に示す各パターン群Cは、複数のラインパターン4pを有しているため、製造工程で欠陥を生じた場合には、フォトルミネッセンスの回収が困難となる場合がある。図6(b)に示すように、本実施形態における固体素子4は、バスキャビティBによって独立した複数のパターン群Cに区分けされていてもよい。固体素子4がこのようなバスキャビティBを有することによって、ラインパターンの欠陥によるフォトルミネッセンスの回収ロスを低減できる。

[0034] 上記1つまたは複数のラインパターン（第1フォトニックキャビティ構造）やバスキャビティは、従来公知の方法で形成することができ、例えば、平板状の固体素子（ダイヤモンド）に対してエッチング加工を施すことにより形成することができる。

[0035] 図7(a)は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図7(b)は、図7(a)における固体素子4の概略上面図である。図7(a)および図7(b)に示すように、本実施形態における固体素子4は、各ラインパターン4pが、フォトニクスミラー構造を有することが好ましい。フォトニクスミラー構造を有することにより、第2の波長を含むフォトルミネッセンスの強度を増幅させることができ、高感度なセンシングが可能となる。フォトニクスミラー構造とは、複数の誘電体などを周期的に設置した構造により光の透過や反射を制御し、光を閉じ込め、共振させることにより増幅させることが可能な構造である限り特に限定されず、例えば、光と物質の量子相互作用ハンドブック（株式会社エヌ・ティー・エス）やフォトニック結晶入門（森北出版株式会社）に開示されている。

[0036] 一例として、具体的には、図7(b)に示すように、D1方向における固体素子4（ラインパターン4p）の光源5側に、周期的に位置するn1個の

空隙（ n_1 は 5 以上の整数である）からなる空隙群 O_1 を配置し、 D_1 方向における固体素子 4 のラインパターン 4 p の光検出器 7 側にも、周期的に位置する n_2 個の空隙（ n_2 は、2 以上、かつ、 n_1 よりも小さい整数）からなる空隙群 O_2 を配置することが好ましい。このように空隙を配置することにより、光源側の空隙群 O_1 と光検出器側の空隙群 O_2 とが第 2 の波長を含む光を反射し、この空隙群間 d で光を共振させ、増幅させることができる。また、固体素子の光検出器側の空隙群の空隙数 n_2 を固体素子の光源側の空隙群の空隙数 n_1 よりも小さくすることにより、光検出器側の空隙群が半透過ミラーのように働き、光検出器に向かって光を進行しやすくすることができる。空隙群 O_1 および空隙群 O_2 は、少なくとも空隙群間 d が発光領域 4 1 に位置するように形成されていることが好ましい。空隙群 O_1 および空隙群 O_2 は、発光領域 4 1 に形成されていてもよい。空隙群 O_2 は、接続領域 4 2 に形成されていてもよい。空隙群 O_1 は、発光領域 4 1 および接続領域 4 2 以外の領域（図 5（d）における領域 4 3）に形成されていてもよい。

[0037] このような空隙群間 d の光学距離は、例えば、（第 2 の波長 $\lambda_2 / 2$ ）の n_3 倍（ n_3 は整数である）とすることが好ましい。第 2 の波長を含む光の共振が生じ易いためである。なお、光学距離とは、物理的な距離にその媒質の屈折率を乗じた値である。

[0038] 空隙群中の空隙間の距離や、空隙サイズについては、制御する光波長（第 2 の波長 λ_2 ）とフォトニックキャビティ材料（すなわち、固体素子材料）の誘電率や透過率等の物性値からシミュレーション等により、制御する光の半波長（第 2 の波長 $\lambda_2 / 2$ ）の光学距離以下で適宜設定される。

[0039] 空隙の形成方法としては、例えば、固体素子（例えば、ダイヤモンド）上に金属層を積層し、金属層をパターンニングして得られた金属パターンをマスクとして、酸素プラズマ等のドライエッチングを行うことによって形成される。マスクとして積層された金属パターンは空隙形成後にウェットエッチング等により除去されてもよい。

[0040] 図 8 は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略

断面図である。図8に示すように、本実施形態における固体素子4は、光検出器側の端部4Eが、曲率を有することが好ましい。ここで、「光検出器側の端部が、曲率を有する」とは、光検出器側の端部4Eが、法線方向とは垂直方向において光検出器側に凸の形状で湾曲していることをいう。固体素子から出た光を凸レンズによって収束光とすることができ、第2の波長を含む光を光検出器7に導入しやすくなるためである。

[0041] 図9(a)は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図9(b)は、図9(a)における固体素子の概略上面図である。図9に示すように、本実施形態における固体素子4は、光検出器に向かう方向D1に沿って、所定の間隔で並んで位置する複数の色中心(図9においてはNV)を有することが好ましい。また、固体素子4の各ラインパターン4pが、所定の間隔で並んで位置する複数の色中心(NV)を有することがより好ましい。所定の間隔で並んで位置する複数の色中心を有することにより、第2の波長を含む光が弱め合うことを抑制でき、発光量を増幅することができる。上記所定の間隔(光学距離)は、第2の波長 λ_2 の $n \times 4$ 倍であることが好ましい。上記 $n \times 4$ は、0.6から1.4が好ましく、より好ましくは0.8から1.2であってもよい。所定の間隔で並んで位置する複数の色中心は、発光領域41に配置されていることが好ましい。所定の間隔で並んで位置する複数の色中心は、接続領域42に配置されていてもよい。図9に示すように、所定の間隔で並んで位置する複数の色中心は、上述した空隙群O1および空隙群O2との間に配置されていることが好ましい。

[0042] 色中心を所定の間隔で配置する方法としては、従来公知の方法を使用することができる。ダイヤモンドにNV中心を人為的に形成するためには、例えば、ダイヤモンド中に窒素原子と同時に空孔を導入させる。窒素原子を導入する方法には、ダイヤモンドを準備した後、イオン注入法を利用する方法が利用されている。イオン注入法では、イオンビームの集束技術とイオン量の制御性の向上より、所望の位置に、窒素原子を所望の量でダイヤモンド中に導入できる。イオン注入法は、通常数十kVから数千kVに加速されたイオ

ンが照射されるため、窒素と同時に空孔も導入される。あるいは、ダイヤモンド合成時に窒素を導入しあらかじめ窒素ドーピングされたダイヤモンドに対し、電子線を制御して照射する方法が利用される。

[0043] 本実施形態において、固体素子の厚さは、特に限定されず、50 nm以上であり、100 nm以上であってもよく、150 nm以上であってもよい。一方、上記厚さは、例えば、1000 μ m以下であり、100 μ m以下であってもよく、1 μ m以下であってもよい。

[0044] 2. マイクロ波場送信用アンテナ

本実施形態における固体量子センサモジュールは、固体素子にマイクロ波場を与えるために、マイクロ波場送信用アンテナを含む。図1 (b) に示すように、法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ3は、固体素子4の少なくとも一部と重なる位置にある。さらに、マイクロ波場送信用アンテナ3は、法線方向 D_N において、固体素子4よりも基板2側に位置することが好ましい。本実施形態においては、マイクロ波場送信用アンテナ3は、基板2の表面に位置してもよいし、基板2内に位置してもよいし、基板2と導光板6との間に位置してもよい。マイクロ波場送信用アンテナ3は、例えば、金属層を含む。金属層の材料としては、導電性に優れていれば特に制限はなく、例えば、金、銀、銅、鉄、ニッケル、クロム等の金属の他に合金でもよい。金属層は、パターン形状を有していてもよい。本実施形態におけるマイクロ波場送信用アンテナ3の金属層の形状としては、ループ状、マイクロストリップアンテナと呼ばれるパッチ状、ストライプ状等が挙げられる。また、本実施形態におけるマイクロ波場送信用アンテナとして、第2実施形態において詳述する透過アンテナを使用することもできる。

[0045] 本実施形態においては、光検出器および光源にマイクロ波が直接曝されないように、主に垂直方向にマイクロ波を送信する金属層形状を有することが好ましい。このような形状としては、平面状に形成されたループアンテナやマイクロストリップアンテナが挙げられる。

[0046] 本実施形態における固体量子センサモジュールは、マイクロ波場送信用ア

ンテナにマイクロ波源信号を供給する、マイクロ波場制御回路を含んでもよい。マイクロ波場制御回路は、マイクロ波場送信用アンテナに電氣的に接続してもよい。マイクロ波源信号のマイクロ波周波数は、例えば、約 2 GHz 以上、約 4 GHz 以下である。

[0047] 3. 光源

本実施形態における固体量子センサモジュールは、基板の第 1 主面側に位置し、固体素子における色中心を基底状態から励起状態に励起する第 1 の波長を含む光を放出する光源を備える。図 1 (a) および図 1 (b) に示すように、本実施形態において、光源 5 は、第 1 の波長を含む光を導光板 6 の面内方向に向けて放出可能な位置であり、かつ、法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ 3 と重ならない位置に配置される。

[0048] 光源から放出される光は、固体素子内の 1 つ又は複数の色中心を基底状態から励起状態に励起する、第 1 の波長を含む。第 1 の波長は、後述する色中心によって放出される第 2 の波長とは異なる。第 1 の波長は、固体素子における色中心を励起するために、例えば、約 532 nm であってもよい。

[0049] 光源は、例えば、発光ダイオード、レーザー等が挙げられる。

[0050] 4. 導光板

本実施形態における固体量子センサモジュールは、基板と固体素子との間に位置し、光源から放出された第 1 の波長を含む光を固体素子に導く導光板を備える。本実施形態において、導光板は、導光板の面方向に光を伝播する光導波路であってもよいし、上下方向に光を拡散させる拡散板であってもよい。

[0051] (1) 光導波路

図 1 (a) および図 1 (b) に示すように、本実施形態において、導光板 6 は、コア層 61 およびコア層 61 とは屈折率が異なるクラッド層 62 を有する光導波路 60 であることが好ましい。クラッド層は、コア層用の凹部を備える第 1 クラッド層と、第 1 クラッド層の凹部に配置されたコア層を封止する第 2 クラッド層とを有していてもよい。クラッド層の屈折率は、コア層

の屈折率よりも低いことが好ましく、コア層に入った光は、クラッド層との境界で内側に全反射しながら伝わっていく。

[0052] コア層およびクラッド層としては、いずれも、熱または光により硬化する硬化性樹脂組成物の硬化物を含むことが好ましい。硬化性樹脂組成物の硬化物としては、例えば、電離放射線硬化性樹脂組成物の硬化物、熱硬化性樹脂組成物の硬化物が挙げられる。電離放射線硬化性樹脂組成物としては、例えば、紫外線硬化性樹脂組成物、電子線硬化性樹脂組成物が挙げられる。紫外線硬化性樹脂組成物の材料としては、例えば、ウレタンアクリレート、オリゴエステルアクリレート、トリメチロールプロパントリアクリレート、ネオペンチルグリコールジアクリレート、エポキシアクリレート、ポリエステルアクリレート、ポリエーテルアクリレート、メラミンアクリレート等のアクリロイル基をもつ重合性オリゴマーもしくはモノマー、又は、これらオリゴマー、モノマーとアクリル酸、アクリルアミド、アクリロニトリル、スチレン等の重合性ビニル基を含む単官能もしくは多官能モノマーとを配合したもの等に、光重合開始剤、増感剤もしくは所望の添加剤を添加したものが挙げられる。

[0053] 光導波路は、コア層およびクラッド層を支持する樹脂基材を含んでもよい。樹脂基材フィルムとしては、例えば、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリカーボネート（PC）などで形成されている。なお、樹脂基材は、光導波路の製造段階では必要となるが、実際に使用するときには取り除いてもよい。

[0054] 図10は、本実施形態における固体量子センサモジュールの概略上面図である。図10においては、固体素子4は省略している。図10に示すように、コア層61は、1つのライン状の本体コア部61aと、途中にある分岐部にて2以上の分岐コア部（61b、61c、61d、61e、61f）に分岐している分岐構造を有することが好ましい。分岐コア部は、所定間隔を隔てて配置されており、クラッド層62は、5つ配置された分岐コア部をまとめて包み込んでいることが好ましい。

[0055] 光導波路は、上述した固体素子の発光領域と重なる領域に、上記分岐コア部を有することが好ましい。固体素子に効率良く第1の波長の光を導入できるためである。

[0056] (2) 拡散板

拡散板としては、一般的に拡散板として用いられるものであれば特に限定されるものではないが、例えば、メタクリル酸スチレン共重合体、メタクリル酸メチルスチレン共重合体、アクリロニトリルスチレン共重合体、ポリカーボネート（PC）、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリスチレン等から形成されるものを用いることができる。

[0057] また、本発明に用いられる拡散板としては、粒子を含有していても良い。例えば、シリカおよびアルミナ等の無機系粒子、アクリル樹脂、スチレン樹脂、ポリテトラフルオロエチレンおよびポリフルオロビニリデン等のフッ素樹脂粒子およびシリコン樹脂粒子等が挙げられる。これらの粒子は、1種単独で用いても良く、2種以上を組み合わせ用いても良い。粒子の平均粒径は、散乱性の点から0.8 μm 以上10 μm 以下の範囲内であることが好ましい。粒子の含有量は、適宜調節すれば良い。

[0058] (3) その他

本実施形態における導光板は、上記光導波路および上記拡散板の両方の機能を有していてもよい。例えば、法線方向 D_N に沿って見た場合に、光源から固体素子の発光領域の光源側の端部までの間は、上記光導波路により第1の波長を含む光を伝播し、発光領域と重なる領域では拡散板を使用することにより、上方に位置する固体素子への光の導入が容易となる。

[0059] 5. 光検出器

本実施形態における固体量子センサモジュールは、基板の第1主面側に位置し、固体素子から放出される第2の波長を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器を備える。フォトルミネッセンスは、第2の波長として、色中心の放出波長に対応する光の1つ又は複数の波長（例えば、約637 nmの波長）を含んでもよい。

[0060] 図1(b)に示すように、光検出器7は、光検出器7の検出面が、固体素子4の端部4Eと対向するように配置されることが好ましい。また、光検出器7と固体素子4とは、直接接触していてもよい。

[0061] 6. 基板

本実施形態における固体量子センサモジュールは、基板を備える。基板は、上述した光源、光検出器、固体素子、導光板およびマイクロ波場送信用アンテナ等の構成部材を支持する部材である。

[0062] 基板の材質としては、例えば、有機材料であってもよく、無機材料であってもよく、有機材料および無機材料を含有する複合材料であってもよい。本実施形態においては、中でも、基板が無機材料を含有する材質であることが好ましく、無機材料であることが特に好ましい。

[0063] 基板の材質としては、例えば無機材料基板の場合、ガラス基板、セラミック基板、樹脂基板、シリコン基板、石英基板、およびサファイア基板等の無機材料からなる基板を挙げることができる。本実施形態において、基板はガラス基板またはシリコン基板であることが好ましい。基板がガラス基板である場合、用いられるガラスとしては、例えば、ソーダライムガラス、無アルカリガラス、石英ガラス等を挙げることができる。また、基板が樹脂基板である場合、用いられる樹脂としては、例えば、ポリイミドを挙げることができる。また、基板が複合材料基板である場合は、例えば、ガラスエポキシ基板を挙げることができる。

[0064] 図1(b)に示すように、基板2は、法線方向 D_N に貫通する貫通孔を有していても良い。貫通孔の内壁には、貫通電極層14が配置されている。また、基板2の第2主面 S_2 側には導電層15が設けられていてもよく、例えば、上記基板2は、導電層15と、上記光源5、上記光検出器7および上記マイクロ波場送信用アンテナ3との間が、上記基板2の貫通孔内に形成された貫通電極層14により電氣的に接続されているものであってもよい。

[0065] 貫通電極層および導電層の材料は、導電性を有する材料であれば特に限定されないが、例えば、金属単体、合金、金属化合物の金属材料が挙げられる

。金属材料に含まれる金属元素としては、例えば、クロム、マンガン、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ガリウム、ゲルマニウム、ヒ素、ルテニウム、ロジウム、パラジウム、銀、カドミウム、インジウム、スズ、アンチモン、オスミウム、イリジウム、白金、金、水銀、タリウム、鉛、ビスマス、モリブデン、チタン、タングステン、タンタル、アルミニウムが挙げられる。中でも、銅、金、銀、白金、ロジウム、スズ、アルミニウム、ニッケル、クロム等の金属単体、または、これらの金属元素の少なくとも一種を含む合金が好ましい。

[0066] 7. その他

(1) 反射層

図11(a)および図11(b)は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図11(a)に示すように、本実施形態における固体量子センサモジュール1Aは、固体素子4の導光板6側に位置する面と反対の面側に第1の波長を含む光を反射する第1反射層8aを備えることが好ましい。さらに、マイクロ波場送信用アンテナ3の導光板6側に位置する面と反対の面側に、第1の波長を含む光を反射する第2反射層8bを備えることが好ましい。特に、導光板6が上述した拡散板である場合、第1反射層8aおよび第2反射層8bを配置することが好ましい。基板2がガラス基板である場合、第2反射層8bは、図11(b)に示すように、基板2の第2主面S2側に位置してもよい。このような反射層を配置することにより、第1の波長を含む光が、固体素子に導入されずに漏れ出ることを抑制できる。

[0067] 反射層としては、第1の波長を含む光を反射する層であれば特に限定されないが、例えば、金属蒸着膜が挙げられる。反射層の厚みは、第1の波長を含む光に対して、所望の反射率が得られる厚みであれば特に限定されるものではなく、適宜設定される。

[0068] (2) 第1波長選択フィルタおよび第2光波長選択フィルタ

図12は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概

略断面図である。図 1 2 に示すように、本実施形態の固体量子センサモジュール 1 A は、導光板 6 内に、第 1 の波長を含む光を選択的に透過する第 1 光波長選択フィルタ 9 a を備えることが好ましい。第 1 の波長を含む光以外の非所望の波長の光を抑制でき、センシングを高効率化、高感度化できる。第 1 光波長選択フィルタは、導光板 6 と光源 5 との間に位置してもよい。

[0069] 図 1 2 に示すように、本実施形態の固体量子センサモジュール 1 A は、固体素子 4 内に、第 2 の波長を含む光を選択的に透過する第 2 光波長選択フィルタ 9 b を備えることが好ましい。第 2 の波長を含む光以外の非所望の波長の光を抑制でき、センシングを高効率化、高感度化できる。第 2 光波長選択フィルタは、固体素子 4 と光検出器 7 との間に位置してもよい。

[0070] 第 1 波長選択フィルタおよび上記第 2 波長選択フィルタとしては、それぞれ、第 1 の波長を含む光および第 2 の波長を含む光を選択的に透過するものであれば特に限定されず、公知のものをを用いることができる。例えば、第 1 波長選択フィルタは、第 1 の波長を含む光（例えば、緑色光）を透過し、第 1 の波長を含む光以外の光を反射するように構成され、第 2 波長選択フィルタは、第 2 の波長を含む光（例えば、赤色光）を透過し、第 2 の波長を含む光以外の光を反射するように構成される。第 1 波長選択フィルタおよび上記第 2 波長選択フィルタは、例えば、多層膜を有する。選択的に透過するとは、目的の波長を含む特定の波長範囲の光の透過率が、特定の波長範囲外の光の透過率に比べて高いことをいう。第 1 波長選択フィルタは、第 1 の波長 $\pm 50 \text{ nm}$ の波長帯域の透過率が 70% 以上であることが好ましく、80% 以上であることがより好ましい。第 2 波長選択フィルタは、第 2 の波長 $\pm 50 \text{ nm}$ の波長帯域の透過率が 70% 以上であることが好ましく、80% 以上であることがより好ましい。

[0071] (3) 遮蔽部

本実施形態における固体量子センサモジュールは、マイクロ波場送信用アンテナから放出されるマイクロ波を遮蔽する遮蔽部を有することが好ましい。遮蔽部は、マイクロ波場送信用アンテナを囲うように位置することが好ま

しい。遮蔽部は、基板内および導光板内の少なくとも一方に位置することが好ましい。遮蔽部を有することにより、光検出器および光源等の電子部品を、マイクロ波場送信用アンテナから放出されるマイクロ波のノイズに直接曝されることを抑制することができる。

[0072] 遮蔽部は、例えば、金属材料から構成される。金属材料としては、マイクロ波を遮蔽可能な材料であればよく、例えば、アルミニウム、クロム、銅、銀、チタン、金等の金属材料を用いることができる。

[0073] 図13(a)は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図13(b)は、図13(a)に示す固体量子センサモジュールの分解図である。図13(c)は、図13(b)に示す導光板6の上面図であり、図13(d)は、図13(b)に示す基板2およびアンテナ3を、法線方向 D_N に沿って見た場合の上面図である。

[0074] 図13(a)～図13(d)に示す固体量子センサモジュールは、基板2内に、第1遮蔽部10aを有し、導光板6内に第2遮蔽部10bを有する。このように基板内および導光板内の両方に遮蔽部を有することにより、遮蔽効果を向上させることができる。

[0075] (4) フォトニックワイヤボンディング

図14(a)は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図14(a)に示すように、本実施形態においては、光検出器7と固体素子4とは、ポリマー導波路11（フォトニックワイヤボンド、PWB）により接続されていてもよい。ポリマー導波路の形状は、構成要素の実際の位置に適合されるように3Dプリンタ等により製造可能なため、接続される光学部品の高精度の位置合わせを必要としないために好ましい。ポリマー導波路の材料としては、従来公知のものを使用することができる。

[0076] (5) 遮光壁

図14(b)は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図14(b)に示すように、固体量子センサモジュ

ール 1 A は、外部からの光を遮断する遮光壁 1 2 を備えることが好ましい。遮光壁を備えることにより、高感度なセンシングが可能となる。遮光壁の材料としては、遮光性を有し、かつ、非磁性体であることが好ましい。非磁性体とは、磁化され難い材料のことである。このような材料としては、例えば、アルミニウム、銅、スレンレス等の金属材料やカーボン、酸化クロム等が挙げられる。

[0077] (6) 参照用光検出器

本実施形態における固体量子センサモジュールは、第 1 の波長を含む光を検出する参照用光検出器を備えることが好ましい。参照用光検出器を備えることにより、光源からの第 1 の波長を含む光の強度を一定に制御しながら測定することが可能となるため、高精度なセンシングが可能となる。

[0078] (7) ヒーター素子

図 1 4 (b) に示すように、本実施形態における固体量子センサモジュール 1 A は、遮光壁 1 2 および基板 2 に囲われた位置に、ヒーター素子 1 3 を備えることが好ましい。ヒーター素子 1 3 は、基板 2 の第 1 主面側に位置することが好ましい。ヒーター素子 1 3 により遮光壁 1 2 内の温度環境を一定に制御することで、温度環境による光検出磁気共鳴スペクトルのシフトを抑制でき、高精度なセンシングが可能となる。

[0079] (8) 永久磁石

本実施形態における固体量子センサモジュールは、永久磁石を含んでも良い。永久磁石は、固体素子に隣接して位置してもよい。永久磁石は、ゼーマン効果を引き起こし、 $m_s = \pm 1$ スピン副準位の縮退を解くように設けられている。

[0080] (9) 他の部材

本実施形態における固体量子センサモジュールは、例えば、アンプ、A/D 変換部等の IC (集積回路) 等の各種電子部品を有していてもよい。

[0081] A-2. 第 2 実施形態

図 1 5 (a)、図 1 5 (b) および図 1 5 (c) に示す第 2 実施形態の固

体量子センサモジュール 1 B は、第 1 主面 S 1 および上記第 1 主面 S 1 の反対側に位置する第 2 主面 S 2 を有する基板 2 と、上記基板 2 の上記第 1 主面 S 1 側に位置する、色中心を有する固体素子 4 と、法線方向 D_N において上記基板 2 と上記固体素子 4 との間に位置する導光板 6 と、マイクロ波場送信用アンテナ 3 と、上記基板の上記第 1 主面 S 1 側に位置し、上記色中心を基底状態から励起状態に励起する第 1 の波長を含む光を放出する光源 5 と、上記基板の上記第 1 主面 S 1 側に位置し、上記固体素子 4 から放出される第 2 の波長を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器 7 と、を備えている。

また、固体素子 4 は、基板 2 の第 1 主面 S 1 の法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ 3 と重なる。また、上記光検出器 7 は、上記基板 2 の上記第 1 主面 S 1 の法線方向 D_N に沿って見た場合に、上記マイクロ波場送信用アンテナ 3 と重ならない位置にある。さらに、本実施形態においては、マイクロ波場送信用アンテナ 3 が、第 1 の波長を含む光を透過可能な透過アンテナであり、光源 5 は、基板 2 の第 1 主面 S 1 の法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ 3 と重なり、光源 5 とマイクロ波場送信用アンテナ 3 とが重なる領域で、法線方向 D_N において、導光板 6 が、光源 5 とマイクロ波場送信用アンテナ 3 との間に位置する。

[0082] 本実施形態によれば、光源、導光板およびマイクロ波場送信用アンテナを重ねて配置するため、固体量子センサモジュールの更なる小型化を図ることができる。さらに、光源から発せられた光が厚さ方向に伝播するため、光源からの光を効率良く固体素子に導入することができる。

[0083] また、第 2 実施形態の固体量子センサモジュール 1 B は、光源 5 とマイクロ波場送信用アンテナ 3 とが重なる領域で、基板 2 側から、光源 5、導光板 6、マイクロ波場送信用アンテナ 3 および固体素子 4 を、この順に有することが好ましい。これにより、マイクロ波場送信用アンテナからマイクロ波をさらに効率良く色中心に照射することができる。以下、本実施形態の固体量子センサモジュールの各構成について、詳細に説明する。

[0084] 1. 固体素子

図15(a)、図15(b)および図15(c)に示すように、本実施形態における固体素子4は、基板2の第1主面S1側に位置し、導光板6の基板2側の面と反対の面側に位置する。また、固体素子4は、法線方向 D_N において、マイクロ波場送信用アンテナ3の基板2側の面と反対の面側に位置することが好ましい。また、固体素子4は、法線方向 D_N において、光源5の基板2側の面と反対の面側に位置する。本実施形態の固体量子センサモジュール1Bは、法線方向 D_N から見た場合に光源5とマイクロ波場送信用アンテナ3とが重なる領域において、基板2、光源5、導光板6、マイクロ波場送信用アンテナ3および固体素子4を、法線方向 D_N においてこの順に有することが好ましい。

[0085] 本実施形態における固体素子の材料および形状等の特徴は、第1実施形態における固体素子と同様とすることができる。

[0086] 例えば、図16(a)および図16(b)に示すように、本実施形態における固体素子4は、ラインパターン状の各ラインパターン4pが、フォトリソミラー構造を有することが好ましい。

[0087] 図17に示すように、本実施形態における固体素子4は、光検出器側の端部4Eが、曲率を有することが好ましい。

[0088] 図18(a)および図18(b)に示すように、本実施形態における固体素子4は、光検出器に向かう方向D1に沿って、所定の間隔で並んで位置する複数の色中心(図18においてはNV)を有することが好ましい。また、固体素子4の各ラインパターン4pが、光検出器に向かう方向D1に沿って、所定の間隔で並んで位置する複数の色中心(図18においてはNV)を有することがより好ましい。

[0089] 2. マイクロ波場送信用アンテナ

本実施形態における固体量子センサモジュールは、固体素子にマイクロ波場を与えるために、マイクロ波場送信用アンテナを含む。図15に示すように、本実施形態におけるマイクロ波場送信用アンテナ3は、法線方向 D_N において、固体素子4よりも基板2側に位置することが好ましい。本実施形態に

においては、マイクロ波場送信用アンテナ 3 は、光源 5 と、固体素子 4 との間に位置してもよい。

[0090] 本実施形態におけるマイクロ波場送信用アンテナとしては、第 1 の波長を含む光を透過可能な透過アンテナであることが好ましい。このような透過アンテナとしては、例えば、透明基材と、金属細線からなる金属層とを有する。これにより、金属細線からなる光不透過の導電部と透光性窓部を併せ持つアンテナとなる。金属細線の材料としては、導電性に優れていれば特に制限はなく、例えば、金、銀、銅、鉄、ニッケル、クロム等の金属の他に合金でもよい。

[0091] 透過アンテナの金属層のパターン形状には特に制限はないが、例えば、ストライプ状、あるいはメッシュ状、あるいは、ランダムな網目状であってもよいが、開口率は透明性の観点から 80% 以上であることが好ましい。開口率とは、全体面積（金属細線からなる光不透過の導電部と透光性窓部の合計面積）に占める透光性窓部の面積の割合である。

[0092] 本実施形態における固体量子センサモジュールは、マイクロ波場制御回路を含んでいてもよい。マイクロ波場制御回路としては、第 1 実施形態と同様の内容である。

[0093] 3. 光源

本実施形態における固体量子センサモジュールは、固体素子 4 における色中心を基底状態から励起状態に励起する第 1 の波長を含む光を放出する光源を備える。図 15 に示すように、本実施形態においては、光源 5 は、第 1 の波長を含む光を導光板 6 に向けて放出可能な位置であり、導光板 6 を挟んでマイクロ波場送信用アンテナ 3 と対向する位置に配置されている。すなわち、法線方向 D_N において、導光板 6 が、光源 5 とマイクロ波場送信用アンテナ 3 との間に位置している。光源の他の特徴としては、第 1 実施形態と同様の内容である。

[0094] 4. 導光板

本実施形態における固体量子センサモジュールは、光源から放出された第

1 の波長を含む光を固体素子に導く導光板を備える。本実施形態においては、導光板は、上方に位置する固体素子に光を導くことが求められるため、拡散板であることが好ましい。また、本実施形態において、図 15 (c) に示すように、導光板 6 は光源 5 を配置可能な凹部を有していても良い。拡散板の他の特徴としては、第 1 実施形態で説明した拡散板と同様の内容である。

[0095] 5. 光検出器

本実施形態における固体量子センサモジュールは、基板の第 1 主面側に位置し、固体素子から放出される第 2 の波長を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器を備える。光検出器の他の特徴としては、第 1 実施形態と同様の内容である。

[0096] 6. 基板

本実施形態における固体量子センサモジュールは、基板を備える。基板は、上述した光源、光検出器、固体素子、導光板およびマイクロ波場送信用アンテナ等の構成部材を支持する部材である。基板としては、第 1 実施形態で説明した基板と同様の内容である。

[0097] 7. その他

(1) 反射層

図 19 は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図 19 に示すように、本実施形態の固体量子センサモジュール 1 B は、固体素子 4 の導光板 6 側に位置する面と反対の面側に第 1 の波長を含む光を反射する第 1 反射層 8 a を備えることが好ましい。このような反射層を配置することにより、固体素子からの第 1 の波長を含む光の漏れを抑制できる。反射層の他の特徴としては、第 1 実施形態で説明した反射層と同様の内容である。

[0098] (2) 第 2 光波長選択フィルタ

図 19 に示すように、本実施形態の固体量子センサモジュール 1 B は、固体素子 4 内に、第 2 の波長を含む光を選択的に透過する第 2 光波長選択フィルタ 9 b を備えることが好ましい。第 2 光波長選択フィルタ 9 b は、固体素

子4と光検出器7との間に位置していてもよい。

[0099] 上記第2波長選択フィルタとしては、第2の波長を含む光を選択的に透過するものであれば特に限定されず、第1実施形態で説明した第2波長選択フィルタと同様のものを用いることができる。

[0100] (3) フォトニックワイヤボンディング

図20(a)は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図20(a)に示すように、本実施形態において、光検出器7と固体素子4とは、ポリマー導波路11(フォトニックワイヤボンド、PWB)により接続されていてもよい。ポリマー導波路としては、第1実施形態と同様のものを使用することができる。

[0101] (4) 遮光壁およびヒーター素子

図20(b)は、本実施形態における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図20(b)に示すように、固体量子センサモジュール1Bは、外部からの光を遮断する遮光壁12を備えることが好ましい。図20(b)に示すように、本実施形態における固体量子センサモジュール1Bは、遮光壁12および基板2に囲われた位置に、ヒーター素子13を備えることが好ましい。遮光壁およびヒーター素子としては、第1実施形態と同様のものを使用することができる。

[0102] (5) その他

本実施形態における固体量子センサモジュールは、参照用光検出器および永久磁石等の他の部材を有していてもよい。参照用光検出器および永久磁石としては、第1実施形態と同様のものを使用することができる。

[0103] A-3. 第3実施形態

本実施形態における固体量子センサモジュールは、上述した第1実施形態および第2実施形態の固体素子の代わりに、固体素子を有するセンサ素子構造体を備える形態である。

[0104] 図21(a)は、本実施形態におけるセンサ素子構造体の一例を示す概略上面図であり、図21(b)は、図21(a)のA-A概略断面図である。

図21(a)および図21(b)に示すように、センサ素子構造体50は、第1光学機能層52、色中心を有する固体素子53および第2光学機能層54を、厚さ方向 D_T において、この順に有する。センサ素子構造体50は、第1光学機能層52が基板2側となるように配置される。センサ素子構造体50の厚さ方向 D_T は、通常、基板2の上記第1主面S1の法線方向 D_N と一致する。

[0105] 固体素子53は、第1の波長の光を含む励起光によって色中心を基底状態から励起状態に励起し、第2の波長の光を含むフォトルミネッセンスを放出する。第1光学機能層52は、固体素子53から放出される第2の波長の光を反射し、第2光学機能層54は、上記第2の波長の光を透過および反射することを特徴とする。さらに、本開示においては、固体素子53は、厚さ方向 D_T に延びる溝Xによって互いに孤立した複数の素子部53pを有する。以下、本実施形態における固体素子53の各素子部53pの構造を、第2フォトリソニックキャビティ構造とも称する。

[0106] 本開示のセンサ素子構造体であれば、固体素子が所定の第2フォトリソニックキャビティ構造を有することにより、固体素子から放出される第2の波長の光を含むフォトルミネッセンスを、効率的に第2光学機能層側に進行させることができる。また、固体素子が、第2の波長の光を反射する第1光学機能層と、第2の波長の光を透過および反射する第2光学機能層との間に位置することにより、第1光学機能層と第2光学機能層との間で第2の波長の光を共振させ、増幅させることができるとともに、第2光学機能層から放出しやすくすることができる。したがって、放出するフォトルミネッセンスの強度を向上させることができるセンサ素子構造体となる。

[0107] 従って、本開示の固体量子センサモジュールによれば、上述したセンサ素子構造体を備えるため、高感度なセンシングが可能な固体量子センサモジュールとなる。以下、上記第1実施形態の固体量子センサモジュールにおいて、固体素子の代わりに、上述したセンサ素子構造体を有する態様を第1態様、上記第2実施形態の固体量子センサモジュールにおいて、固体素子の代わ

りに、上述したセンサ素子構造体を有する態様を第2態様として詳述する。

[0108] A-3-1. 第1態様

図22は、本開示の第3実施形態における第1態様の固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。なお、図22および後述する固体量子センサモジュールの概略断面図においては、センサ素子構造体50の溝Xは省略している。本開示の固体量子センサモジュール1Cは、第1主面S1および上記第1主面S1の反対側に位置する第2主面S2を有する基板2と、上記基板2の上記第1主面S1側に位置する、固体素子53を含むセンサ素子構造体50と、上記基板2と上記センサ素子構造体50との間に位置する導光板6と、マイクロ波場送信用アンテナ3と、基板2の第1主面S1側に位置し、固体素子53における色中心を基底状態から励起状態に励起する第1の波長を含む励起光を上記導光板6に向けて放出する光源5と、基板2の第1主面S1側に位置し、第2の波長の光を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器7と、を備える。

[0109] また、第1実施形態と同様に、固体素子53は、基板2の第1主面S1の法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ3と重なる。また、上記光検出器7は、上記基板2の上記第1主面S1の法線方向 D_N に沿って見た場合に、上記マイクロ波場送信用アンテナ3と重ならない位置にある。さらに、本態様においては、光源5が、上記基板2の上記第1主面S1の法線方向 D_N に沿って見た場合に、上記マイクロ波場送信用アンテナ3と重ならない位置にある。

[0110] 以下、本態様の固体量子センサモジュールの各構成について、詳細に説明する。

[0111] 1. センサ素子構造体

図22に示すように、本態様の固体量子センサモジュール1Cにおいて、センサ素子構造体50は、第1光学機能層52が基板2側となるように配置されている。センサ素子構造体50は、基板2の第1主面S1側に位置し、導光板6の基板2側の面と反対の面側に位置する。またセンサ素子構造体5

0は、法線方向 D_N において、マイクロ波場送信用アンテナ3の基板2側の面と反対の面側に位置することが好ましい。図22に示すように、法線方向 D_N に沿って見た場合に、センサ素子構造体50は、少なくとも一部が、導光板6と重なる位置にあることが好ましい。さらに、法線方向 D_N に沿って見た場合に、センサ素子構造体50は、少なくとも固体素子53が、マイクロ波場送信用アンテナ3と重なる位置にあり、全てが重複する位置にあってもよい。

[0112] (1) 固体素子

固体素子の種類としては、上述した第1実施形態における固体素子の種類と同じであるため、ここでの説明は省略する。

[0113] 本開示においては、固体素子53が、厚さ方向 D_T において、第1光学機能層52および第2光学機能層54の間に位置することにより、第1光学機能層と第2光学機能層との間で光を共振させ、増幅させることができる。

[0114] このような固体素子の厚さ T 。(光学距離)は、例えば、(第2の波長 λ_2 / 2)の n_1 倍(n_1 は整数である)とすることが好ましい。なお、光学距離とは、物理的な距離にその媒質の屈折率を乗じた値である。第2の波長の光の共振が生じ易いためである。 n_1 は1以上であり、第2フォトニックキャビティ材料(すなわち、固体素子の材料)の誘電率や透過率等の物性値からシミュレーション等により適宜設定される。

[0115] 本開示において、固体素子は、厚さ方向 D_T に延びる溝Xによって互いに孤立した複数の素子部53pを有する。このような複数の素子部53pを有することにより、溝X(空気)との屈折率差により、第2の波長の光を含むフォトルミネッセンスを効率的に第2光学機能層側に進行させることができる。

[0116] 本開示において、溝の形状および配置位置は、固体素子を複数の素子部に孤立させることが可能であれば特に限定されない。図21(b)に示すように、溝Xは、例えば、第2光学機能層54側の表面から、固体素子53および第1光学機能層52の界面まで形成されていてもよい。一方、第1光学機

能層にも溝Xが形成されていてもよい。図21(a)に示すように、平面視上、溝Xは、格子状であることが好ましい。

[0117] 素子部53pの平面視形状は特に限定されないが、例えば、矩形状、多角形状、円形状等が挙げられる。また、平面視における素子部のサイズは、例えば、50nm以上であり、100nm以上であることが好ましい。一方、素子部のサイズは、例えば、100 μ m以下であり、10 μ m以下であることが好ましい。素子部のサイズとは、素子部における最も長い長さをいい、図21(a)の場合、Wに該当する。

[0118] 図23は、本開示のセンサ素子構造体の一例を示す概略断面図である。図23に示すように、素子部53pは、厚さ方向D_Tに対して垂直な方向D_Lに延在し、厚さ方向D_Tに沿って所定の間隔T₁を空けて並んで位置する、複数の色中心層(図23においてはNV)を有することが好ましい。

[0119] 所定の間隔で並んで位置する複数の色中心層を有することにより、第2の波長の光が弱め合うことを抑制でき、発光量を増幅することができる。上記所定の間隔T₁(光学距離)は、第2の波長 λ_2 のn₂倍(n₂は正の数である)であることが好ましい。上記n₂としては、0.6以上、1.4以下が好ましく、0.8以上、1.2以下がより好ましい。

[0120] 各素子部53pに含まれる色中心層の数は、例えば、2つ以上であり、5つ以上であってもよく、10以上であってもよい。一方、例えば、1000以下であり、500以下であってもよく、100以下であってもよい。

[0121] 色中心を所定の間隔で配置する方法としては、従来公知の方法を使用することができる。ダイヤモンドにNV中心を人為的に形成するためには、例えば、ダイヤモンド中に窒素原子と同時に空孔を導入させる。窒素原子を導入する方法には、ダイヤモンドを準備した後、イオン注入法を利用する方法が利用されている。イオン注入法では、イオンビームの集束技術とイオン量の制御性の向上より、所望の配置に、窒素原子を所望の量でダイヤモンド中に導入できる。イオン注入法は、通常数十kVから数千kVに加速されたイオンが照射されるため、窒素と同時に空孔も導入される。あるいは、ダイヤモ

ンド合成時に窒素を導入しあらかじめ窒素ドーピングされたダイヤモンドに対し、電子線を制御して照射する方法が利用される。

[0122] (2) 第1光学機能層

本態様における第1光学機能層は、第2の波長の光を反射する層である。また、第1光学機能層は、固体素子における色中心を基底状態から励起状態に励起する第1の波長の光を透過することが好ましい。

[0123] 第1光学機能層は、第2の波長の光の反射率が、70%以上であることが好ましく、90%以上であることがより好ましい。一方、第2の波長の光の反射率は、例えば、99.9%以下であり、95%以下であってもよい。また、第1の波長の光の透過率が、50%以上であることが好ましく、70%以上であることがより好ましい。

[0124] このような第1光学機能層は、屈折率が異なる複数種類の材料を交互に積層した多層膜で分布ブラッグ反射器 (DBR: Distributed Bragg Reflector) を構成することが好ましい。図21(b)に示すように、第1光学機能層52は、低屈折率層52aと高屈折率層52bとが交互に積層した多層膜であることが好ましい。

[0125] 多層膜に含まれる層としては、例えば、 SiO_2 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 MgO 、 Ta_2O_5 、 Al_2O_3 、 MgF_2 、 CaF_2 等の材料の何れかを組み合わせたものが挙げられる。中でも、低屈折率層として SiO_2 層を有し、高屈折率層として TiO_2 層を有することが好ましい。多層膜に含まれる層の種類および層数（低屈折率層と高屈折率層のペア数）を調整することで、反射率を制御することができる。多層膜に含まれる各層の厚さ（光学距離）は、第2の波長 $\lambda_2/4$ であることが好ましい。

[0126] (3) 第2光学機能層

本態様における第2光学機能層は、第2の波長 λ_2 の光を透過および反射する層である。このような第2光学機能層としては、例えば、上述した第1光学機能層の多層膜と同様の種類のものが挙げられる。第2光学機能層の多層膜に含まれる層数（低屈折率層と高屈折率層のペア数）は、第1光学機能層

の多層膜に含まれる層数（低屈折率層と高屈折率層のペア数）よりも少ないことが好ましい。第2光学機能層の反射率を、第1光学機能層の反射率よりも小さくすることができるためである。

[0127] 第2光学機能層は、第2の波長の光の反射率が、10%以上であることが好ましく、30%以上であることがより好ましい。一方、例えば、50%以下であることが好ましく、40%以下であることがより好ましい。また、第2の波長の光の透過率が、50%以上であることが好ましく、70%以上であることがより好ましい。一方、例えば、90%以下であることが好ましく、80%以下であることがより好ましい。

[0128] (4) 厚さ調整層

上述したように、本態様における固体素子の厚さ T_0 （光学距離）は、（第2の波長 $\lambda_2/2$ ）の n_1 倍（ n_1 は整数である）とすることが好ましい。一方、固体素子の厚さが上記厚さに満たない場合には、図24に示すように、本開示のセンサ素子構造体50は、固体素子53と第1光学機能層52との間、および、固体素子53と第2光学機能層54との間の少なくとも一方に、厚さ調整層55を備えることが好ましい。

[0129] 厚さ調整層55の厚さ（光学距離）は、上記固体素子の厚さとの合計の厚さが、（第2の波長 $\lambda_2/2$ ）の n_1 倍（ n_1 は整数である）となる厚さであることが好ましい。

[0130] 厚さ調整層の屈折率は、固体素子の屈折率と近いことが好ましい。固体素子の屈折率 n_0 に対する、厚さ調整層の屈折率 n_5 の比率（ n_5/n_0 ）は、例えば、1.5以下であり、1.3以下であることが好ましい。一方、例えば、0.65以上であり、0.75以上であってもよい。

[0131] 上記屈折率を有する厚さ調整層としては、例えば、 TiO_2 、 In_2O_3 、 SnO_2 、 Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 、 Ti_3O_5 、 TiO 等から構成される層であることが好ましい。

[0132] (5) 製造方法

センサ素子構造体の製造方法としては、特に限定されないが、例えば、上

記固体素子を準備する固体素子準備工程、上記固体素子の一方の面に上記第 1 光学調整層を配置し、他方の面に上記第 2 光学調整層を配置する配置工程、上記第 2 光学調整層側から、少なくとも上記固体素子と上記第 1 光学調整層との界面まで溝を形成する溝形成工程と、を有する。

[0133] 固体素子準備工程は、従来公知の方法により行うことができる。

[0134] 配置工程としては、例えば、固体素子上にスパッタリング成膜等により、第 1 光学調整層および第 2 光学調整層を積層し、配置する方法が挙げられる。第 1 光学調整層の配置および第 2 光学調整層の配置は、いずれを先に行ってもよい。

[0135] 溝形成工程は、従来公知の方法で行うことができ、例えば、反応性イオンエッチング等のドライエッチングによって第 2 光学調整層および固体素子に溝を形成することができる。

[0136] 2. 光源

光源については、上記第 1 実施形態における光源と同様である。

[0137] 3. マイクロ波場送信用アンテナ

本態様における固体量子センサモジュールは、固体素子にマイクロ波場を与えるために、マイクロ波場送信用アンテナを含む。図 22 に示すように、マイクロ波場送信用アンテナ 3 は、センサ素子構造体 50 よりも基板 2 側に位置する。

[0138] マイクロ波場送信用アンテナのその他の特徴としては、第 1 実施形態で説明した内容と同様である。

[0139] 4. 導光板

本態様における固体量子センサモジュールは、基板とセンサ素子構造体との間に位置し、光源から放出された第 1 の波長の光を含む励起光を固体素子に導く導光板を備える。本態様において、導光板は、導光板の面方向に光を伝播する光導波路であってもよいし、上下方向に光を拡散させる拡散板であってもよい。

[0140] 光導波路および拡散板としては、第 1 実施形態で説明した内容と同様であ

る。

[0141] 本態様における導光板は、上記光導波路および上記拡散板の両方の機能を有していてもよい。例えば、法線方向 D_N に沿って見た場合に、光源側の端部からセンサ素子構造体の端部までの間は、上記光導波路により第1の波長を含む光を伝播し、センサ素子構造体と重複する領域では拡散板を使用することにより、上方に位置するセンサ素子構造体への光の導入が容易となる。

[0142] 5. 光検出器

本態様における固体量子センサモジュールは、図22に示すように、基板2の第1主面 S_1 側に位置し、センサ素子構造体50から放出される第2の波長の光を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器7を備える。フォトルミネッセンスは、第2の波長として、NV中心の放出波長に対応する光の1つ又は複数の波長（例えば、約637nmの波長）を含んでもよい。

[0143] 図22に示すように、光検出器7は、法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ3と重ならない位置に配置される。光検出器7は検出面を少なくとも上面に有することが好ましい。

[0144] 6. 反射ミラー

図22に示すように、本態様における固体量子センサモジュール1Cは、センサ素子構造体50から放出されたフォトルミネッセンスを反射して、検出器7に向けて進行させる反射ミラー16を備えることが好ましい。反射ミラーは、金属または非金属から構成される部材や、金属または非金属から構成される反射層を備える部材が挙げられる。金属または非金属材料としては、非磁性体材料であることが好ましく、例えば、アルミニウム（Al）、錫（Sn）、銀（Ag）、金（Au）、チタン（Ti）、クロム（Cr）やこれらの合金、あるいはこれらの酸化物、窒化物、酸化窒化物を使用することができる。

[0145] 反射ミラーの配置位置としては、少なくとも、センサ素子構造体から放出されたフォトルミネッセンスを反射して、検出器に向けて進行させることが可能な位置であれば、特に限定されない。フォトルミネッセンスは、センサ

素子構造体から上向きに放出されるため、反射ミラーは、少なくともセンサ素子構造体の上方に配置されることが好ましい。また、図22に示すように、センサ素子構造体50を覆うように基板2の第1面S1上に配置されることが好ましい。

[0146] 反射ミラーは、外部からの光を遮断可能なものであってもよい。すなわち、反射ミラーは、後述する遮光壁としての機能を有していてもよい。この場合、本態様における固体量子センサモジュールは、反射ミラーおよび基板に囲われた位置に、後述するヒーター素子を有していてもよい。

[0147] 7. 基板

基板としては、第1実施形態で説明した内容と同様である。

[0148] 8. その他

(1) 反射層

図25(a)および図25(b)は、本態様における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図25(a)に示すように、本態様における固体量子センサモジュール1Cは、マイクロ波場送信用アンテナ3の導光板6側に位置する面と反対の面側に、第1の波長の光を反射する反射層19を備えることが好ましい。特に、導光板6が上述した拡散板である場合、反射層19を配置することが好ましい。基板2がガラス基板である場合、反射層19は、図25(b)に示すように、基板2の第2主面S2側に位置していてもよい。このような反射層を配置することにより、第1の波長の光が、固体素子に導入されずに漏れ出ることを抑制できる。

[0149] 反射層としては、第1の波長を含む光を反射する層であれば特に限定されないが、例えば、金属蒸着膜が挙げられる。反射層の厚みは、第1の波長を含む光に対して、所望の反射率が得られる厚みであれば特に限定されるものではなく、適宜設定される。

[0150] (2) 波長選択フィルタ

図26は、本開示における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図26に示すように、本態様の固体量子センサモジュール1C

は、導光板 6 内に、第 1 の波長の光を選択的に透過する波長選択フィルタ 20 を備えることが好ましい。波長選択フィルタは、導光板 6 と光源 5 との間に位置してもよい。

[0151] 波長選択フィルタとしては、第 1 の波長の光を選択的に透過するものであれば特に限定されず、公知のものを用いることができる。

[0152] (3) 遮蔽部

本態様における固体量子センサモジュールは、マイクロ波場送信用アンテナから放出されるマイクロ波を遮蔽する遮蔽部を備えることが好ましい。遮蔽部は、マイクロ波場送信用アンテナを囲うように位置することが好ましい。遮蔽部は、基板内および導光板内の少なくとも一方に位置することが好ましい。遮蔽部を備えることにより、光検出器および光源等の電子部品を、マイクロ波場送信用アンテナから放出されるマイクロ波のノイズに直接曝されることを抑制することができる。遮蔽部の材料としては、第 1 実施形態における遮蔽部の材料を用いることができる。

[0153] 図 27 (a) は、本態様における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図 27 (b) は、図 27 (a) に示す固体量子センサモジュールの分解図である。図 27 (c) は、図 27 (b) に示す導光板 6 の上面図であり、図 27 (d) は、図 27 (b) に示す基板 2 およびマイクロ波場送信用アンテナ 3 を、法線方向 D_N に沿って見た場合の上面図である。

[0154] 図 27 (a) ~ 図 27 (d) に示す固体量子センサモジュールは、基板 2 内に、第 1 遮蔽部 21 a を有し、導光板 6 内に第 2 遮蔽部 21 b を備える。このように基板内および導光板内の両方に遮蔽部を備えることにより、遮蔽効果を向上させることができる。

[0155] (4) 他の部材

固体量子センサモジュールは、外部からの光を遮断する遮光壁、第 1 の波長を含む光を検出する参照用光検出器、ヒーター素子および永久磁石のいずれか 1 以上を備えることが好ましい。遮光壁、参照用光検出器、ヒーター素子および永久磁石については、第 1 実施形態に記載した内容と同様である。

また、本態様における固体量子センサモジュールは、例えば、アンプ、A/D変換部等のIC（集積回路）等の各種電子部品を有していてもよい。

[0156] A-3-2. 第2態様

図28は、本開示の第3実施形態における固体量子センサモジュールの第2態様を示す概略断面図である。本開示の固体量子センサモジュール1Cは、第1主面S1および上記第1主面S1の反対側に位置する第2主面S2を有する基板2と、上記基板2の上記第1主面S1側に位置する、固体素子53を含むセンサ素子構造体50と、上記基板2と上記センサ素子構造体50との間に位置する導光板6と、マイクロ波場送信用アンテナ3と、基板2の第1主面S1側に位置し、固体素子53における色中心を基底状態から励起状態に励起する第1の波長を含む励起光を上記導光板6に向けて放出する光源5と、基板2の第1主面S1側に位置し、第2の波長の光を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器7と、を備える。

[0157] また、第2実施形態と同様に、固体素子53は、基板2の第1主面S1の法線方向 D_N に沿って見た場合に、マイクロ波場送信用アンテナ3と重なる。また、上記光検出器7は、上記基板2の上記第1主面S1の法線方向 D_N に沿って見た場合に、上記マイクロ波場送信用アンテナ3と重ならない位置にある。さらに、第2実施形態と同様に、マイクロ波場送信用アンテナ3が、第1の波長を含む光を透過可能な透過アンテナであり、法線方向 D_N において、導光板6が、光源5とマイクロ波場送信用アンテナ3との間に位置する。

[0158] 本態様によれば、光源、導光板およびマイクロ波場送信用アンテナを重ねて配置するため、固体量子センサモジュールの更なる小型化を図ることができる。さらに、光源からの光を効率良くセンサ素子構造体に導入することができる。以下、本態様の固体量子センサモジュールの各構成について、詳細に説明する。

[0159] 以下、本態様の固体量子センサモジュールの各構成について、詳細に説明する。

[0160] 1. センサ素子構造体

図28に示すように、本態様においてセンサ素子構造体50は、基板2の第1主面S1側に位置し、導光板6の基板2側の面と反対の面側に位置する。また、センサ素子構造体50は、法線方向 D_N において、マイクロ波場送信用アンテナ3の基板2側の面と反対の面側に配置される。また、センサ素子構造体50は、法線方向 D_N において、光源5の基板2側の面と反対の面側に位置する。本態様の固体量子センサモジュール1Cは、法線方向 D_N において、基板2、光源5、導光板6、マイクロ波場送信用アンテナ3およびセンサ素子構造体50を、この順に備えることが好ましい。

[0161] 本態様におけるセンサ素子構造体の上記以外の特徴としては、上述した第1態様におけるセンサ素子構造体と同様の内容であるため、ここでの説明は省略する。

[0162] 2. マイクロ波場送信用アンテナ

本態様における固体量子センサモジュールは、固体素子にマイクロ波場を与えるために、マイクロ波場送信用アンテナを含む。図28に示すように、本態様におけるマイクロ波場送信用アンテナ3は、センサ素子構造体50よりも基板2側に配置される。本態様においては、マイクロ波場送信用アンテナ3は、光源5と、センサ素子構造体50との間に配置されていてもよい。

[0163] 本態様におけるマイクロ波場送信用アンテナとしては、第1の波長の光を透過可能な透過アンテナであることが好ましい。このような透過アンテナとしては、例えば、透明基材と、金属細線からなる金属層とを備える。これにより、金属細線からなる光不透過の導電部と透光性窓部を併せ持つアンテナとなる。金属細線の材料およびパターン形状としては、第2実施形態に記載した内容と同様である。

[0164] 本態様における固体量子センサモジュールは、マイクロ波場制御回路を含んでいてもよい。マイクロ波場制御回路としては、第1実施形態と同様の内容である。

[0165] 3. 光源

本態様における固体量子センサモジュールは、固体素子における色中心を

基底状態から励起状態に励起する第1の波長の光を含む励起光を放出する光源を備える。図28(a)に示すように、本態様においては、光源5は、導光板6を挟んでマイクロ波場送信用アンテナ3と対向する位置に配置されている。すなわち、法線方向 D_N において、導光板6が、光源5とマイクロ波場送信用アンテナ3との間に位置している。光源の他の特徴としては、第1実施形態と同様の内容である。

[0166] 4. 導光板

本態様における固体量子センサモジュールは、光源から放出された第1の波長の光を含む励起光をセンサ素子構造体に導く導光板を備える。本態様においては、導光板は、上方に位置するセンサ素子構造体に光を導くことが求められるため、拡散板であることが好ましい。また、本態様において、図28(b)に示すように、導光板6は光源5を配置可能な凹部を有していても良い。拡散板の他の特徴としては、第1実施形態で説明した拡散板と同様の内容である。

[0167] 5. 光検出器

本態様における固体量子センサモジュールは、基板の第1主面側に配置され、第2の波長の光を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器を備える。光検出器の他の特徴としては、第1態様と同様の内容である。

[0168] 6. 反射ミラー

図28(a)に示すように、本態様における固体量子センサモジュール1Cは、センサ素子構造体50から放出されたフォトルミネッセンスを反射して、検出器に向けて進行させる反射ミラー16を備えることが好ましい。反射ミラーとしては、第1態様で説明した基板と同様の内容である。

[0169] 7. 基板

本態様における固体量子センサモジュールは、基板を備える。基板は、上述した光源、光検出器、センサ素子構造体、導光板およびマイクロ波場送信用アンテナ等の構成部材を支持する部材である。基板としては、第1態様で説明した基板と同様の内容である。

[0170] 8. その他

(1) 反射層

図29は、本態様における固体量子センサモジュールの一例を示す概略断面図である。図29に示すように、本態様の固体量子センサモジュール1Cは、導光板6のセンサ素子構造体50側の面とは反対の面側に、第1の波長を含む光を反射する反射層19を備えることが好ましい。このような反射層を備えることにより、導光板6からの第1の波長を含む光の漏れを抑制できる。反射層の他の特徴としては、第1態様で説明した反射層と同様の内容である。

[0171] (2) 遮光壁およびヒーター素子

本態様における固体量子センサモジュールは、外部からの光を遮断する遮光壁を備えることが好ましい。また、本実施形態における固体量子センサモジュールは、遮光壁および基板に囲われた位置に、ヒーター素子を備えることが好ましい。遮光壁およびヒーター素子としては、第1態様と同様のものを使用することができる。

[0172] (3) その他

本態様における固体量子センサモジュールは、参照用光検出器および永久磁石等の他の部材を備えていてもよい。参照用光検出器および永久磁石としては、第1態様と同様のものを使用することができる。

[0173] B. センサ装置

本開示においては、上述した固体量子センサモジュールを備える、センサ装置を提供する。本開示におけるセンサ装置は、上述した固体量子センサモジュールを備えるため小型化を図ることが可能となる。

[0174] 1. 固体量子センサモジュール

本開示における固体量子センサモジュールは、上述した第1実施形態、第2実施形態および第3実施形態の固体量子センサモジュールである。

[0175] 2. その他

本開示におけるセンサ装置は、光源、マイクロ波場送信用アンテナおよび

光検出器を制御する制御部を備えることが好ましい。また、光検出器により得られた光測定信号を処理するデータ処理部を有していてもよい。

[0176] 3. 用途

本開示において、センサ装置としては、磁場を測定する測定装置であることが好ましい。一方、色中心電子スピンを測定対象と相互作用させることにより、磁場だけでなく測定対象の様々な情報を調べることができる。色中心の電子スピン状態は、測定対象からの電場、測定対象の温度、測定対象に加わっている力学的ストレス（圧力）などの力学量、といった様々な要因によって変化するため、検出された相互作用後の電子スピン状態のデータを適切に処理することにより、測定対象の電場、温度、力学量などについても調べることができる。

[0177] なお、本開示は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例示であり、本開示の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本開示の技術的範囲に包含される。

[0178] すなわち、本開示においては、以下の発明を提供できる。

[0179] [1]

第1主面および前記第1主面の反対側に位置する第2主面を有する基板と、
、
前記基板の前記第1主面側に位置する、色中心を有する固体素子と、
前記基板と前記固体素子との間に位置する導光板と、
マイクロ波場送信用アンテナと、
前記基板の前記第1主面側に位置し、前記色中心を基底状態から励起状態に励起する第1の波長を含む光を放出する光源と、
前記基板の前記第1主面側に位置し、前記固体素子から放出される第2の波長を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器と、を備え、
前記固体素子は、前記基板の前記第1主面の法線方向に沿って見た場合に、前記マイクロ波場送信用アンテナと重なり、

前記光検出器は、前記基板の前記第 1 主面の法線方向に沿って見た場合に、前記マイクロ波場送信用アンテナと重ならない、固体量子センサモジュール。

[0180] [2]

前記光源は、前記基板の前記第 1 主面の法線方向に沿って見た場合に、前記マイクロ波場送信用アンテナと重ならない、[1] に記載の固体量子センサモジュール。

[0181] [3]

前記マイクロ波場送信用アンテナは、前記基板の前記第 1 主面の法線方向に沿って見た場合に前記導光板と重なる領域で、前記導光板よりも前記法線方向において前記基板側にある、[2] に記載の固体量子センサモジュール。

[0182] [4]

前記マイクロ波場送信用アンテナが、前記第 1 の波長を含む光を透過可能な透過アンテナであり、前記光源は、前記基板の前記第 1 主面の法線方向に沿って見た場合に、前記マイクロ波場送信用アンテナと重なり、

前記光源と前記マイクロ波場送信用アンテナとが重なる領域で、前記導光板が、前記法線方向において、前記光源と前記マイクロ波場送信用アンテナとの間に位置する、[1] に記載の固体量子センサモジュール。

[0183] [5]

前記固体量子センサモジュールは、前記光源と前記マイクロ波場送信用アンテナとが重なる領域で、前記基板側から、前記光源、前記導光板、前記マイクロ波場送信用アンテナおよび前記固体素子を、この順に有する、[4] に記載の固体量子センサモジュール。

[0184] [6]

前記固体素子が、前記光検出器に向かう方向に延在するラインパターンを有する、[1] から [5] までのいずれかに記載の固体量子センサモジュール。

[0185] [7]

前記固体素子が、複数の前記ラインパターンから構成されるパターン群を有する、[6] に記載の固体量子センサモジュール。

[0186] [8]

前記固体素子における前記ラインパターンが、フォトリソミラー構造を有する、[6] または [7] に記載の固体量子センサモジュール。

[0187] [9]

前記固体素子の前記光検出器側の端部が、曲率を有する、[1] から [8] までのいずれかに記載の固体量子センサモジュール。

[0188] [1 0]

前記固体素子における前記ラインパターンが、前記光検出器に向かう方向に沿って、所定の間隔を空けて並んで位置する複数の前記色中心を有する、[6] から [8] までのいずれかに記載の固体量子センサモジュール。

[0189] [1 1]

前記光検出器と、前記固体素子とが、フォトリソワイヤボンディングにより接続されている、[1] から [1 0] までのいずれかに記載の固体量子センサモジュール。

[0190] [1 2]

前記固体素子が、前記パターン群を複数有する、[7] に記載の固体量子センサモジュール。

[0191] [1 3]

前記固体素子は、NV 中心を有するダイヤモンドである、[1] から [1 2] までのいずれかに記載の固体量子センサモジュール。

[0192] [1 4]

前記固体素子の前記導光板側に位置する面と反対の面側および前記マイクロ波場送信用アンテナの前記導光板側に位置する面と反対の面側の少なくとも一方に位置し、前記第 1 の波長を含む光を反射する反射層を備える、[3] に記載の固体量子センサモジュール。

[0193] [1 5]

前記固体素子の前記導光板側に位置する面と反対の面側に位置し、前記第 1 の波長を含む光を反射する反射層を備える、[4] に記載の固体量子センサモジュール。

[0194] [1 6]

前記固体量子センサモジュールは、前記導光板内に、または、前記導光板と前記光源との間に、前記第 1 の波長を含む光を選択的に透過する第 1 光波長選択フィルタを備える、[1] から [1 5] までのいずれかに記載の固体量子センサモジュール。

[0195] [1 7]

前記固体量子センサモジュールは、前記固体素子内に、または、前記固体素子と前記光検出器との間に、前記第 2 の波長を含む光を選択的に透過する第 2 光波長選択フィルタを備える、[1] から [1 6] までのいずれかに記載の固体量子センサモジュール。

[0196] [1 8]

前記固体量子センサモジュールは、前記固体素子を含むセンサ素子構造体を有し、

前記センサ素子構造体は、前記基板側から、第 1 光学機能層、前記固体素子、および第 2 光学機能層を、厚さ方向において、この順に備え、

前記固体素子は、前記厚さ方向に延びる溝によって、互いに孤立した複数の素子部を有し、

前記第 1 光学機能層は、前記第 2 の波長の光を反射し、

前記第 2 光学機能層は、前記第 2 の波長の光を透過および反射する、[1] から [1 7] までのいずれかに記載の固体量子センサモジュール。

[0197] [1 9]

前記基板および前記導光板の少なくとも一方は、前記マイクロ波場送信用アンテナから放出されるマイクロ波を遮蔽する遮蔽部を有する、[1] から [1 8] までのいずれかに記載の固体量子センサモジュール。

[0198] [20]

[1] から [19] までのいずれかに記載の固体量子センサモジュールを備える、センサ装置。

符号の説明

[0199] 1 A、1 B、1 C… 固体量子センサモジュール

2 … 基板

3 … マイクロ波場送信用アンテナ

4 … 固体素子

4 p… ラインパターン

5 … 光源

6 … 導光板

7 … 光検出器

8 a, 8 b, 19… 反射層

9 a, 9 b, 20… 波長選択フィルタ

10 a, 10 b, 21 a, 21 b… 遮蔽部

11… ポリマー導波路

12… 遮光壁

14… 貫通電極層

15… 導電層

16… 反射ミラー

41… 発光領域

42… 接続領域

50… センサ素子構造体

52… 第1光学機能層

52 a…低屈折率層

52 b…高屈折率層

53… 固体素子

54… 第2光学機能層

- 5 5 … 厚さ調整層
- 6 0 … 光導波路
- 6 1 … コア層
- 6 2 … クラッド層
- B … バスキャビティ
- C … パターン群
- O 1, O 2 … 空隙群

請求の範囲

- [請求項1] 第1主面および前記第1主面の反対側に位置する第2主面を有する基板と、
前記基板の前記第1主面側に位置する、色中心を有する固体素子と、
、
前記基板と前記固体素子との間に位置する導光板と、
マイクロ波場送信用アンテナと、
前記基板の前記第1主面側に位置し、前記色中心を基底状態から励起状態に励起する第1の波長を含む光を放出する光源と、
前記基板の前記第1主面側に位置し、前記固体素子から放出される第2の波長を含むフォトルミネッセンスを検出する光検出器と、を備え、
前記固体素子は、前記基板の前記第1主面の法線方向に沿って見た場合に、前記マイクロ波場送信用アンテナと重なり、
前記光検出器は、前記基板の前記第1主面の法線方向に沿って見た場合に、前記マイクロ波場送信用アンテナと重ならない、固体量子センサモジュール。
- [請求項2] 前記光源は、前記基板の前記第1主面の法線方向に沿って見た場合に、前記マイクロ波場送信用アンテナと重ならない、請求項1に記載の固体量子センサモジュール。
- [請求項3] 前記マイクロ波場送信用アンテナは、前記基板の前記第1主面の法線方向に沿って見た場合に前記導光板と重なる領域で、前記導光板よりも前記法線方向において前記基板側にある、請求項2に記載の固体量子センサモジュール。
- [請求項4] 前記マイクロ波場送信用アンテナが、前記第1の波長を含む光を透過可能な透過アンテナであり、前記光源は、前記基板の前記第1主面の法線方向に沿って見た場合に、前記マイクロ波場送信用アンテナと重なり、

前記光源と前記マイクロ波場送信用アンテナとが重なる領域で、前記導光板が、前記法線方向において、前記光源と前記マイクロ波場送信用アンテナとの間に位置する、請求項 1 に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項5] 前記固体量子センサモジュールは、前記光源と前記マイクロ波場送信用アンテナとが重なる領域で、前記基板側から、前記光源、前記導光板、前記マイクロ波場送信用アンテナおよび前記固体素子を、この順に有する、請求項 4 に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項6] 前記固体素子が、前記光検出器に向かう方向に延在するラインパターンを有する、請求項 1 に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項7] 前記固体素子が、複数の前記ラインパターンから構成されるパターン群を有する、請求項 6 に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項8] 前記固体素子における前記ラインパターンが、フォトリソミラー構造を有する、請求項 6 に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項9] 前記固体素子の前記光検出器側の端部が、曲率を有する、請求項 1 に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項10] 前記固体素子における前記ラインパターンが、前記光検出器に向かう方向に沿って、所定の間隔を空けて並んで位置する複数の前記色中心を有する、請求項 6 に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項11] 前記光検出器と、前記固体素子とが、フォトリソワイヤボンディングにより接続されている、請求項 1 に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項12] 前記固体素子が、前記パターン群を複数有する、請求項 7 に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項13] 前記固体素子は、NV 中心を有するダイヤモンドである、請求項 1 に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項14] 前記固体素子の前記導光板側に位置する面と反対の面側および前記マイクロ波場送信用アンテナの前記導光板側に位置する面と反対の面

側の少なくとも一方に位置し、前記第1の波長を含む光を反射する反射層を備える、請求項3に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項15] 前記固体素子の前記導光板側に位置する面と反対の面側に位置し、前記第1の波長を含む光を反射する反射層を備える、請求項4に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項16] 前記固体量子センサモジュールは、前記導光板内に、または、前記導光板と前記光源との間に、前記第1の波長を含む光を選択的に透過する第1光波長選択フィルタを備える、請求項1に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項17] 前記固体量子センサモジュールは、前記固体素子内に、または、前記固体素子と前記光検出器との間に、前記第2の波長を含む光を選択的に透過する第2光波長選択フィルタを備える、請求項1に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項18] 前記固体量子センサモジュールは、前記固体素子を含むセンサ素子構造体を有し、

前記センサ素子構造体は、前記基板側から、第1光学機能層、前記固体素子、および第2光学機能層を、厚さ方向において、この順に備え、

前記固体素子は、前記厚さ方向に延びる溝によって、互いに孤立した複数の素子部を有し、

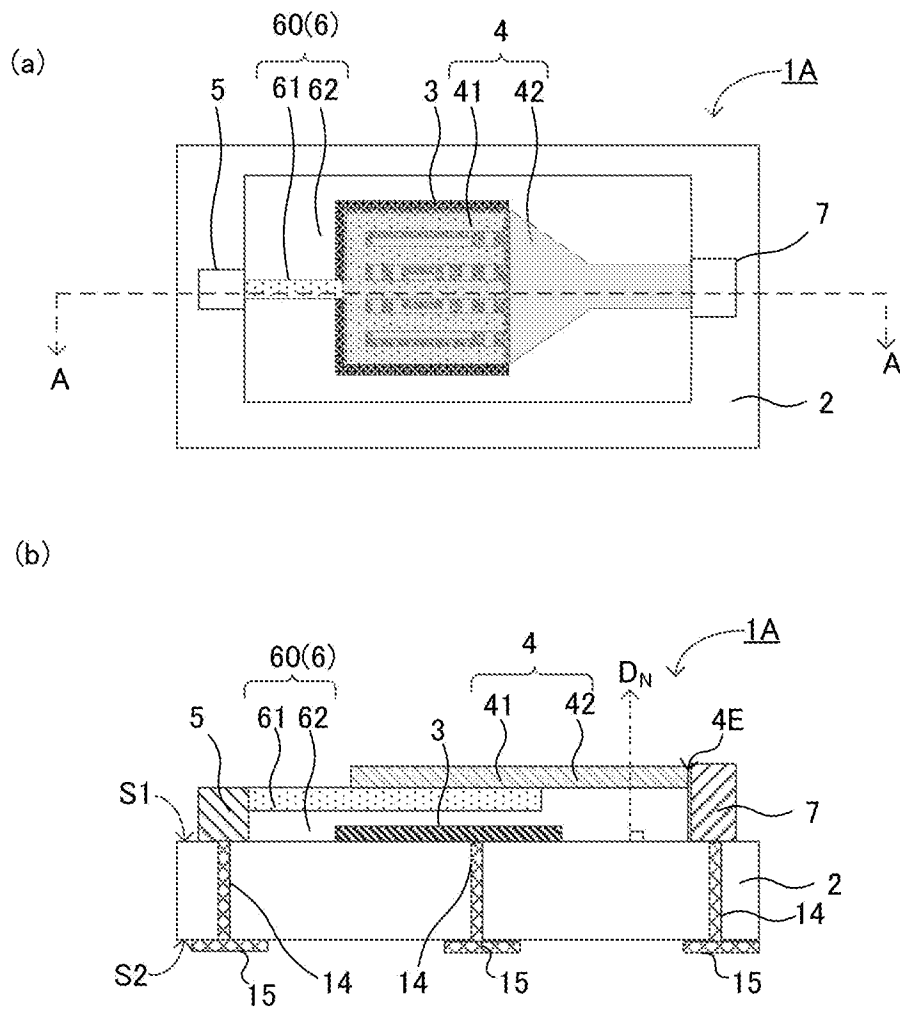
前記第1光学機能層は、前記第2の波長の光を反射し、

前記第2光学機能層は、前記第2の波長の光を透過および反射する、請求項1に記載の固体量子センサモジュール。

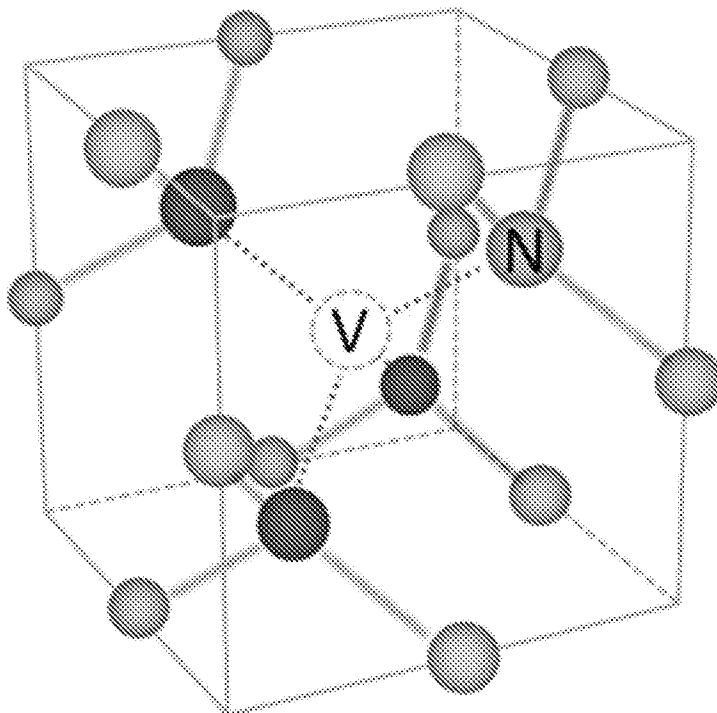
[請求項19] 前記基板および前記導光板の少なくとも一方は、前記マイクロ波場送信用アンテナから放出されるマイクロ波を遮蔽する遮蔽部を有する、請求項1に記載の固体量子センサモジュール。

[請求項20] 請求項1から請求項19までのいずれかの請求項に記載の固体量子センサモジュールを備える、センサ装置。

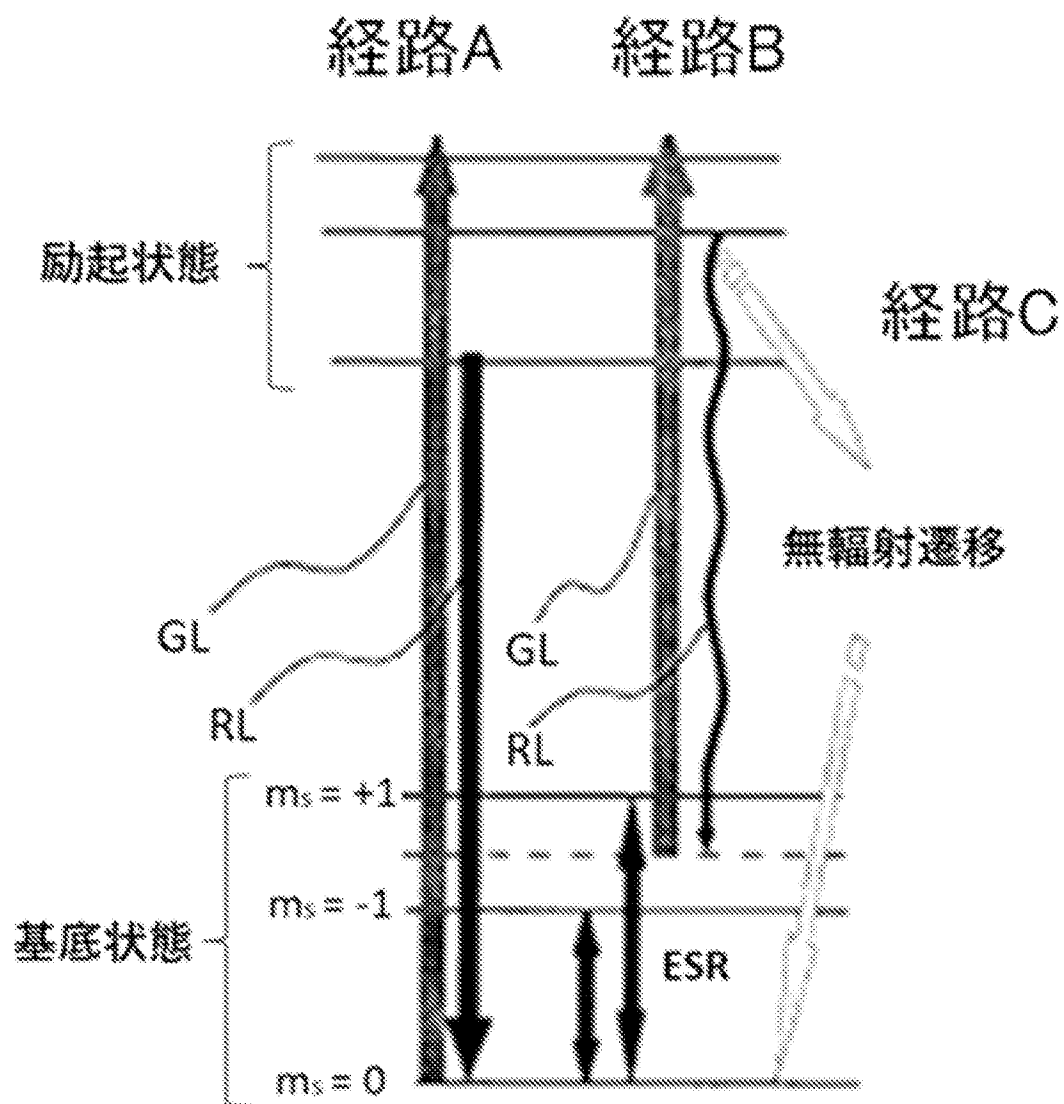
[図1]



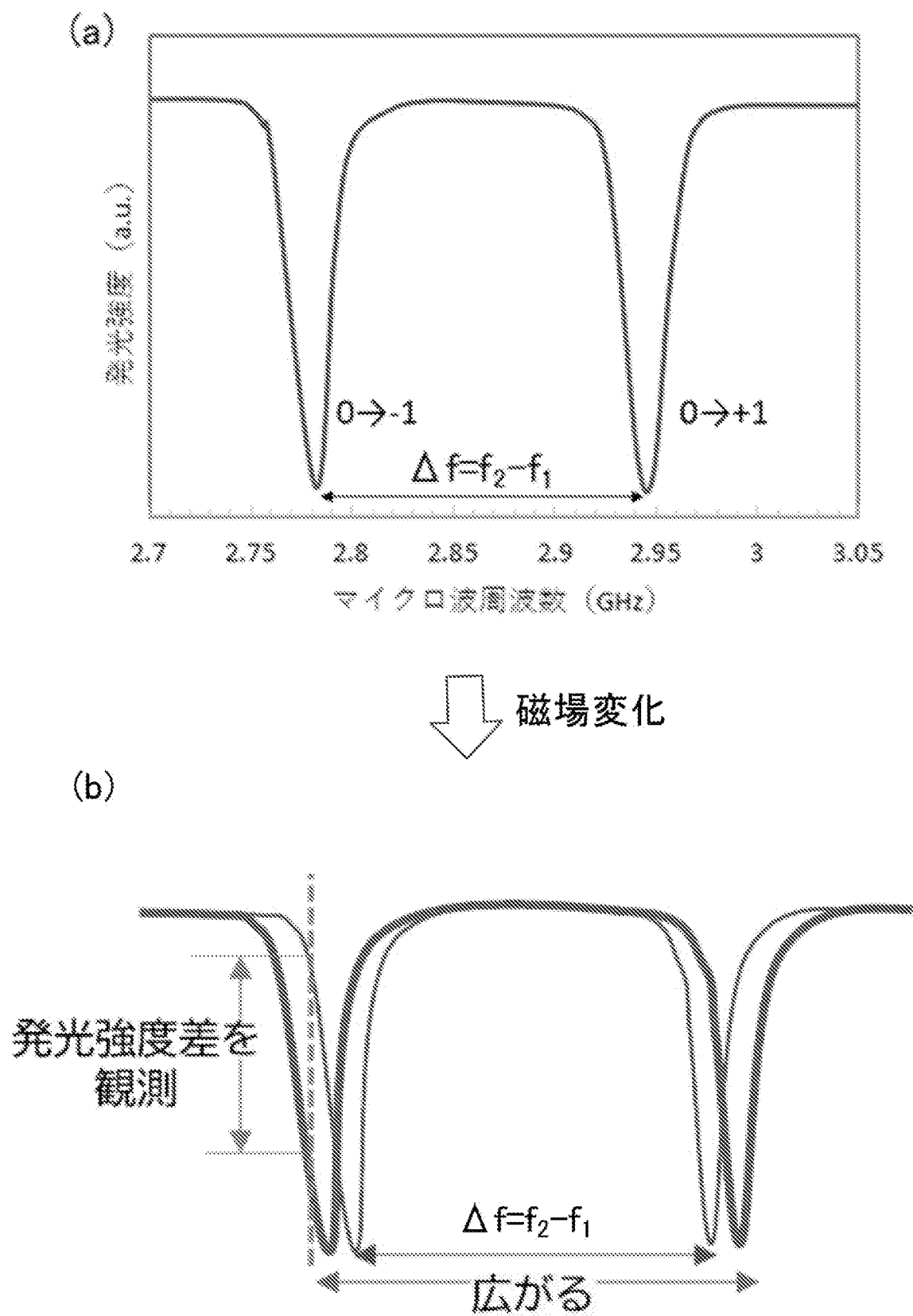
[図2]



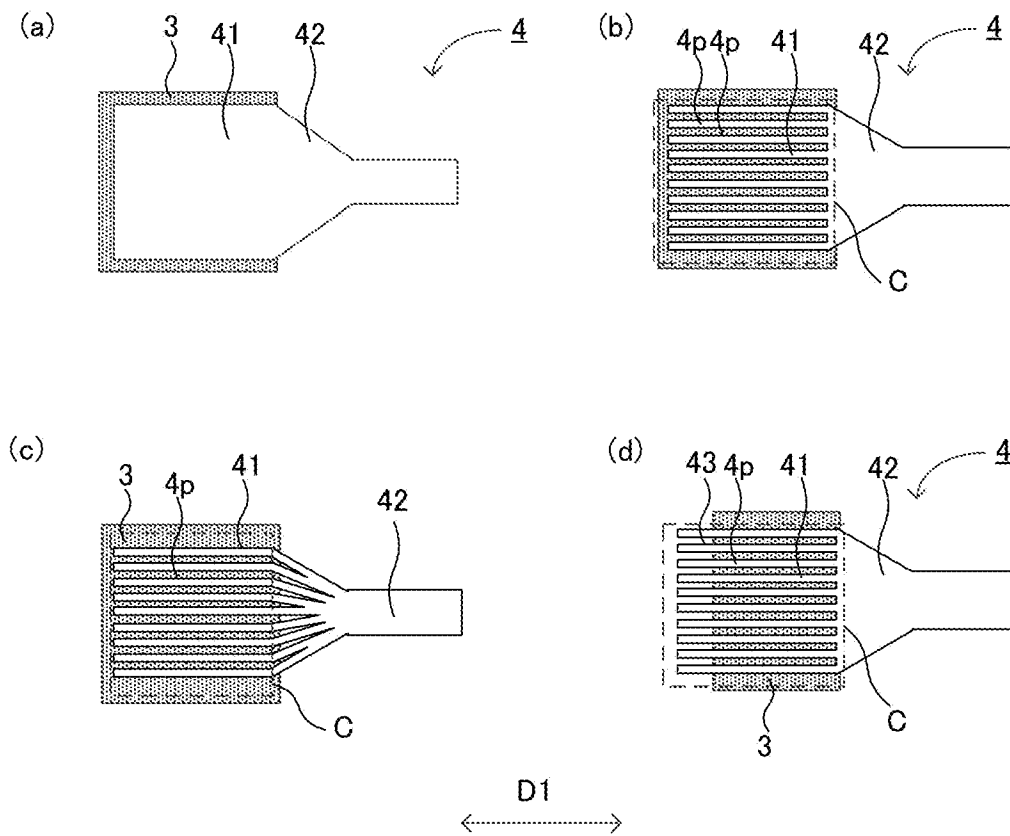
[図3]



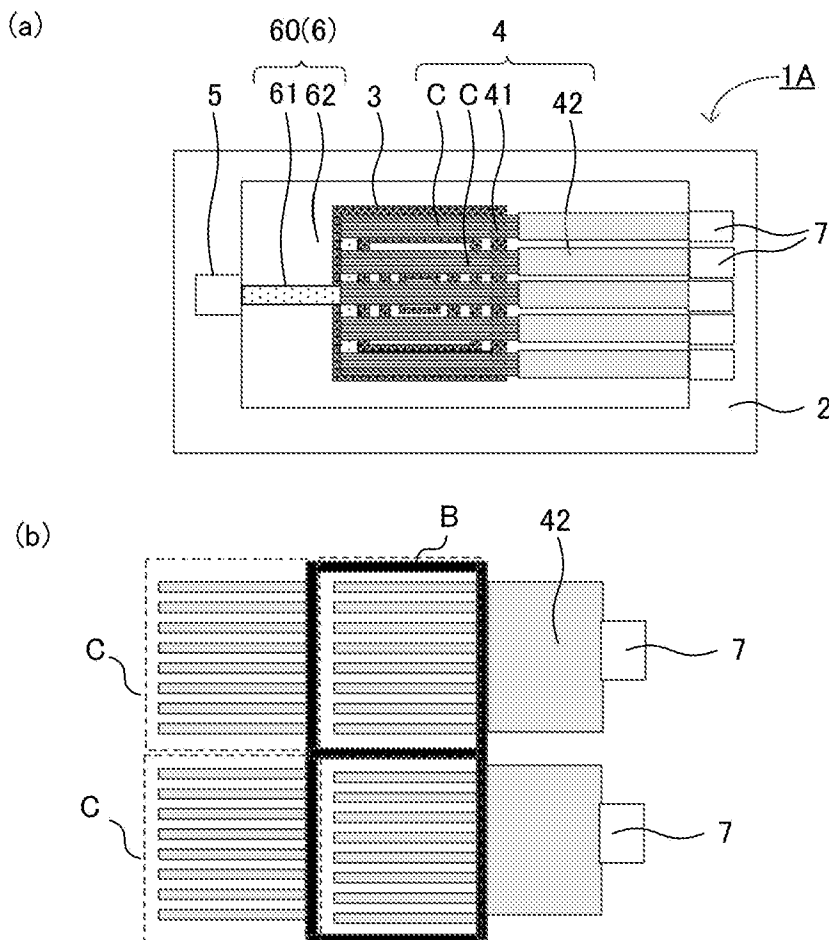
[図4]



[図5]

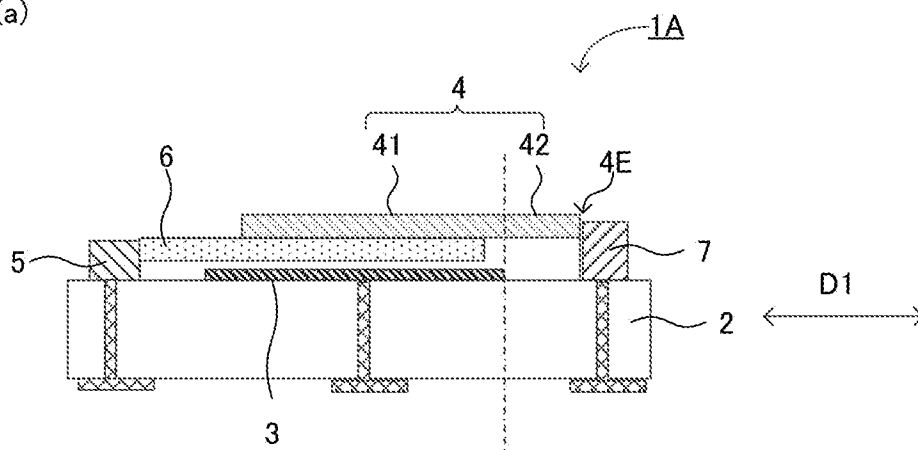


[図6]

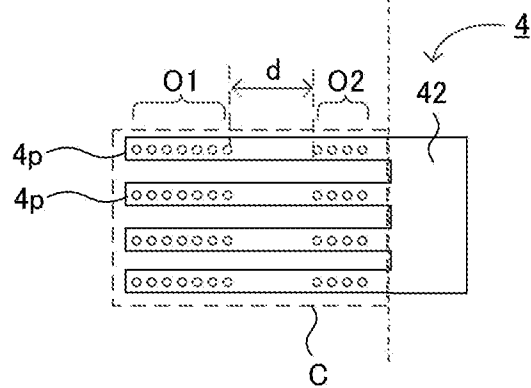


[図7]

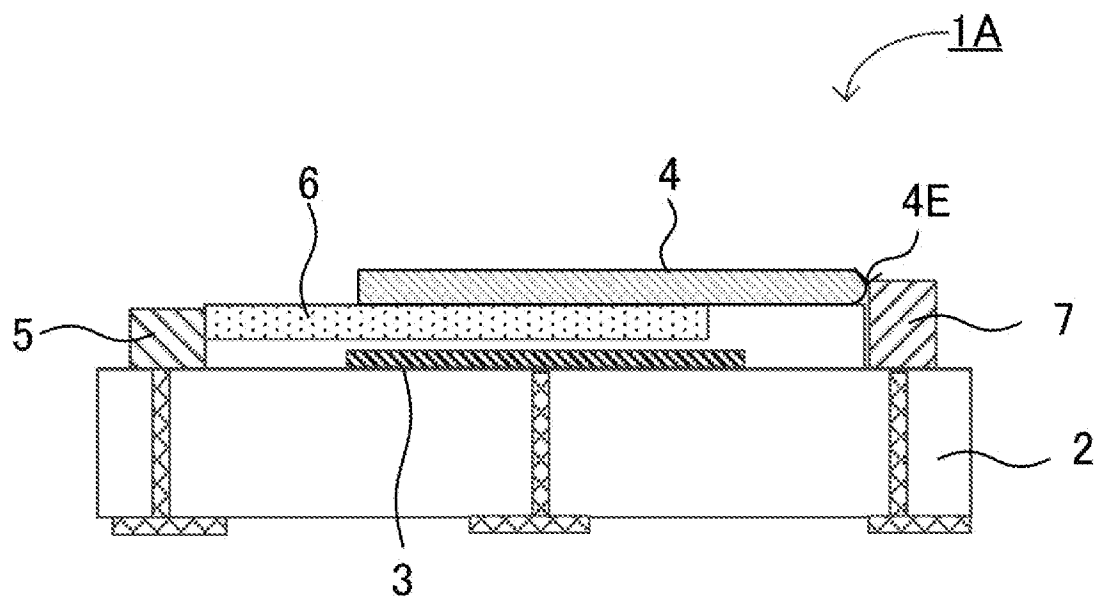
(a)



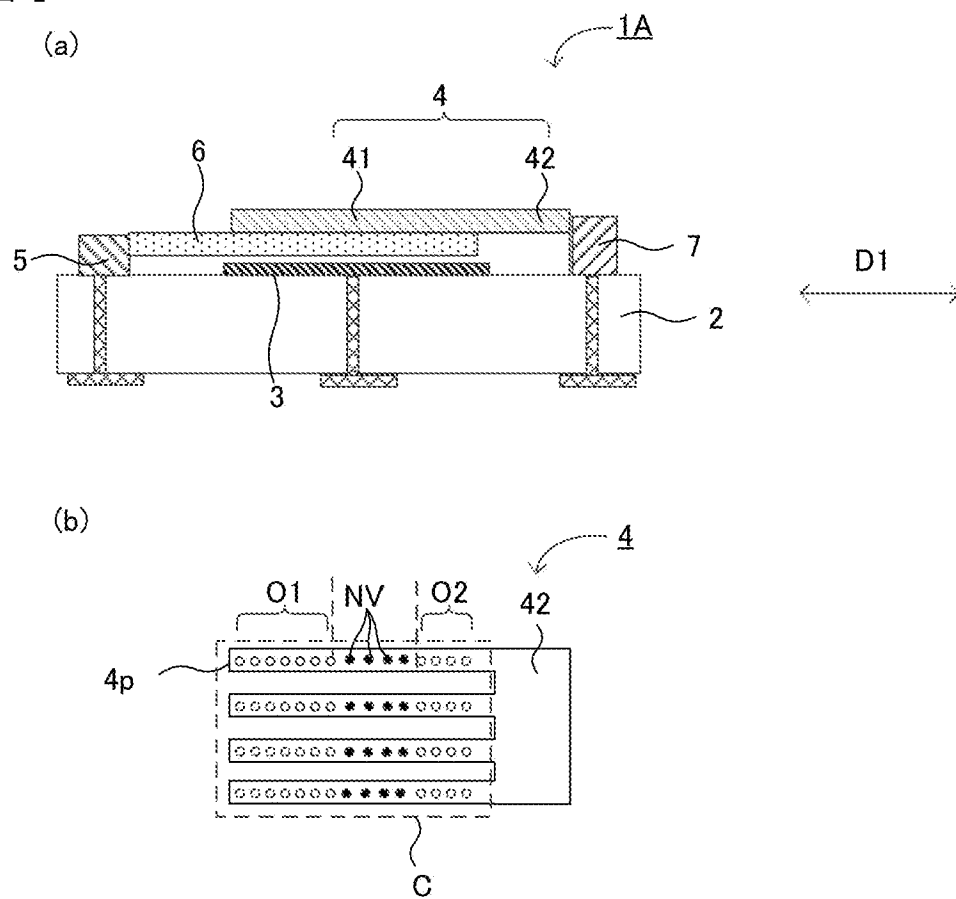
(b)



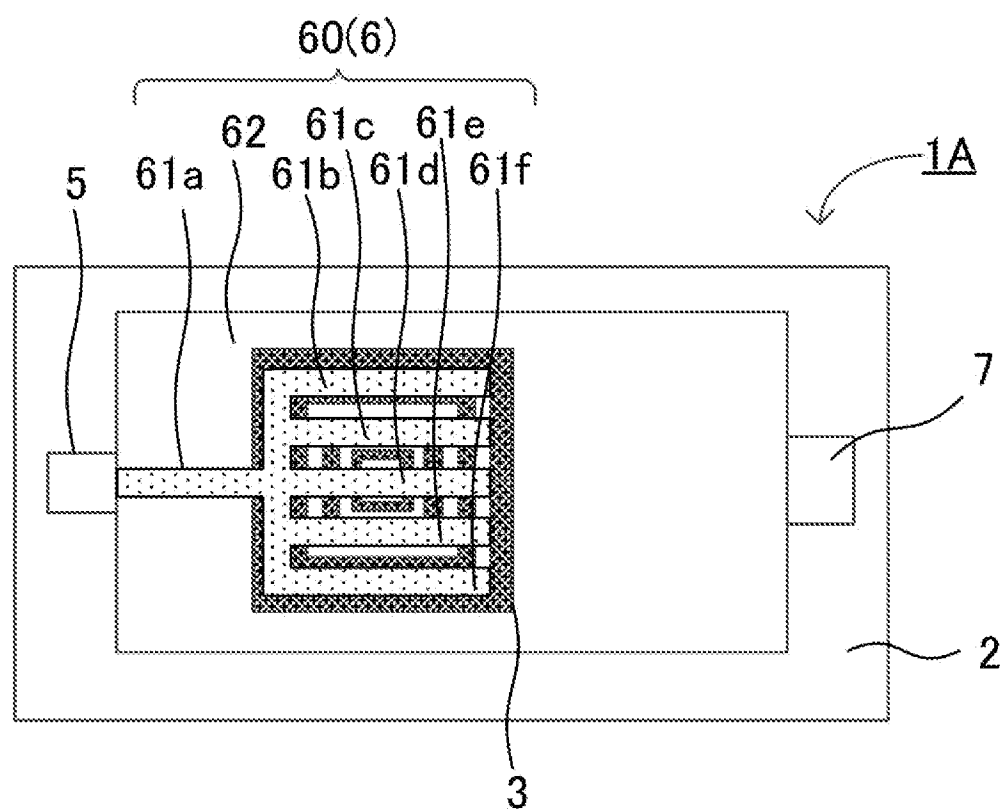
[図8]



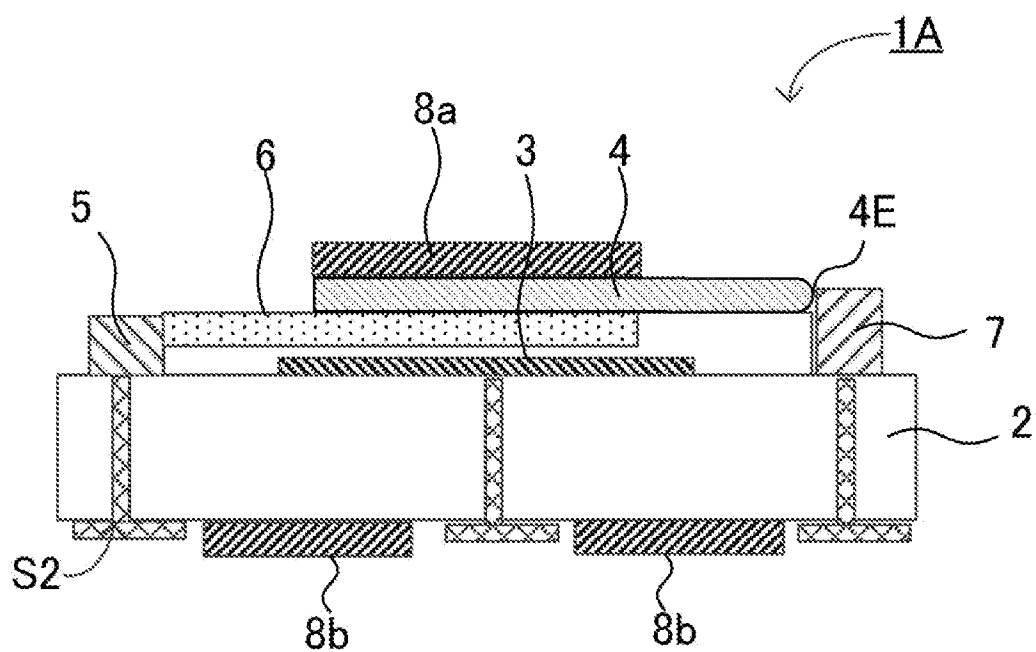
[図9]



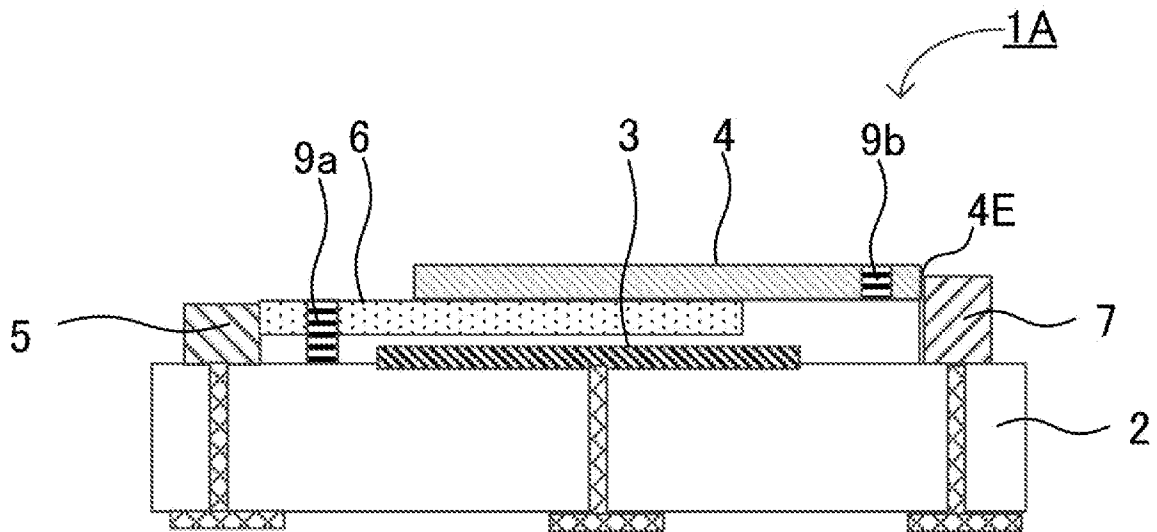
[図10]



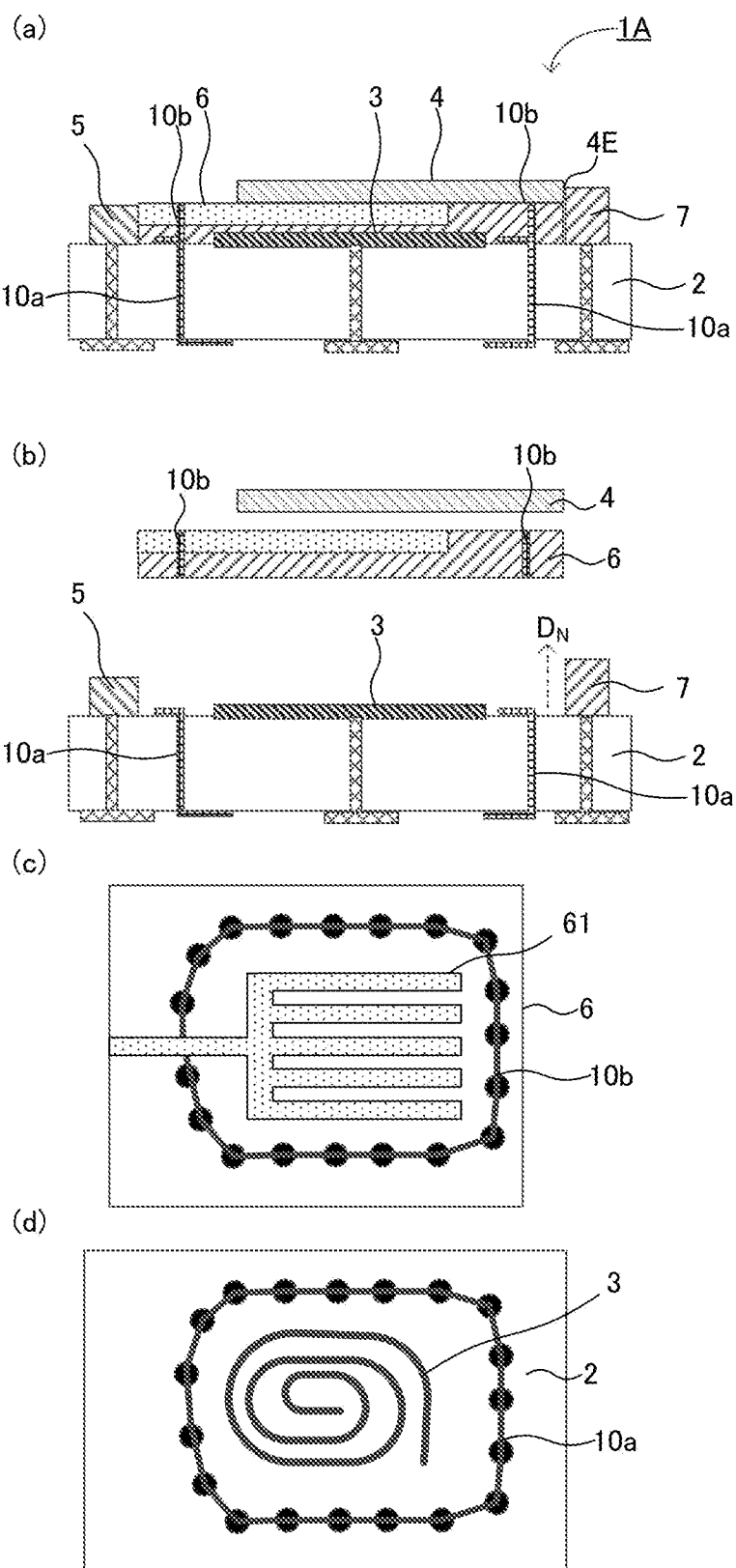
(a)



[図12]

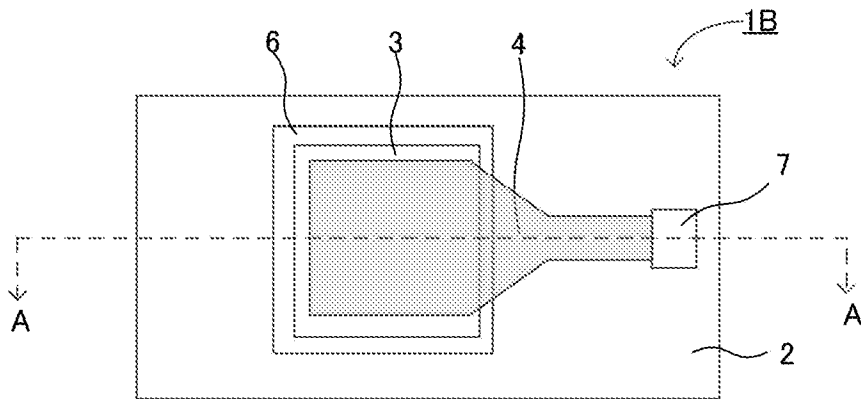


[図13]

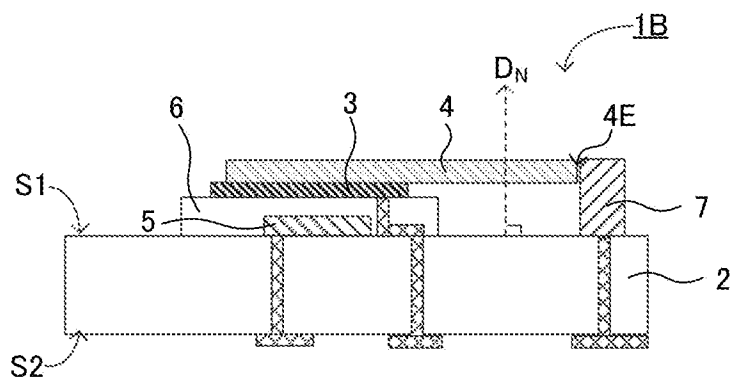


[図15]

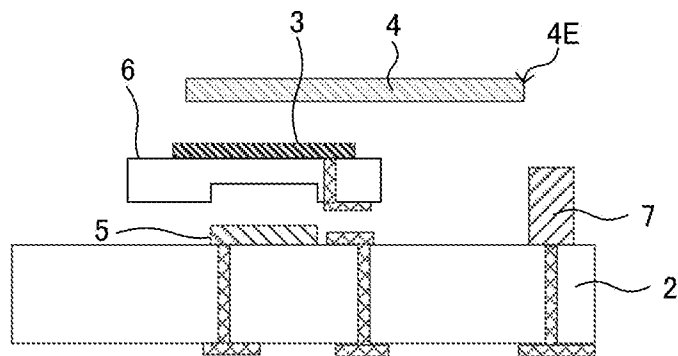
(a)



(b)

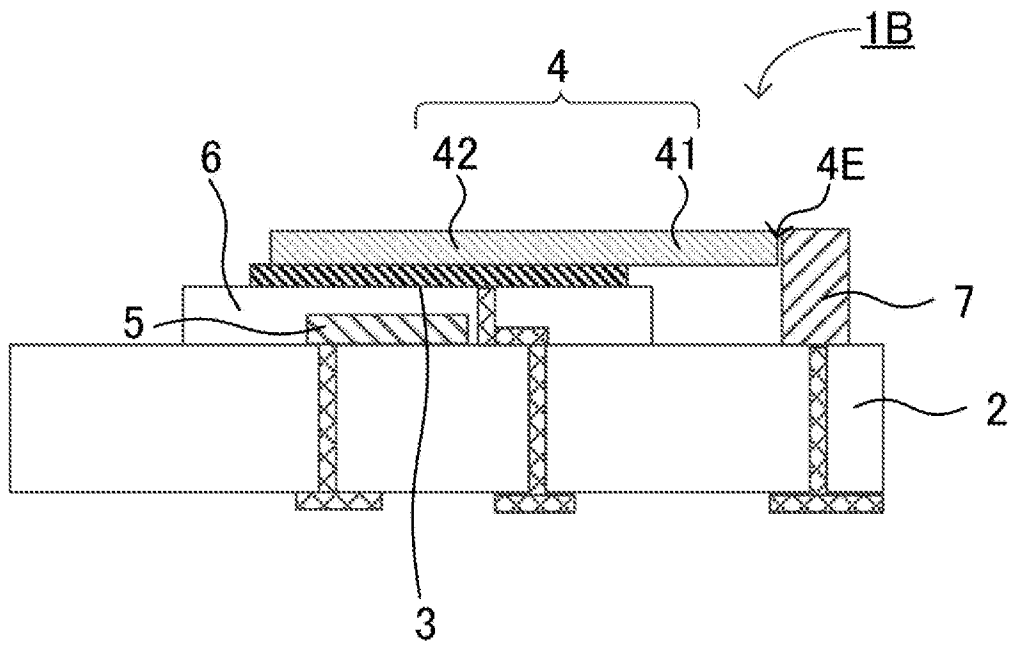


(c)

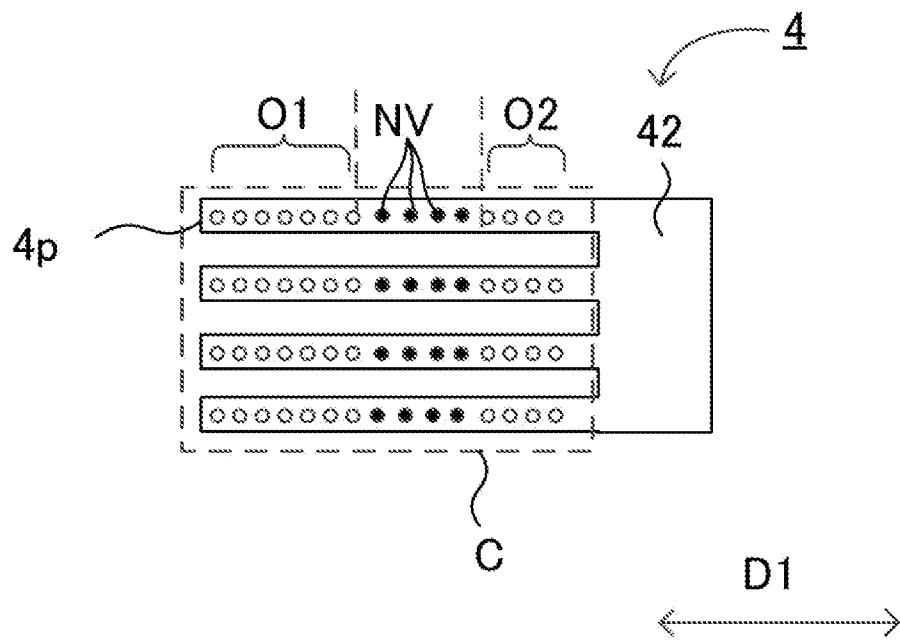


[図18]

(a)

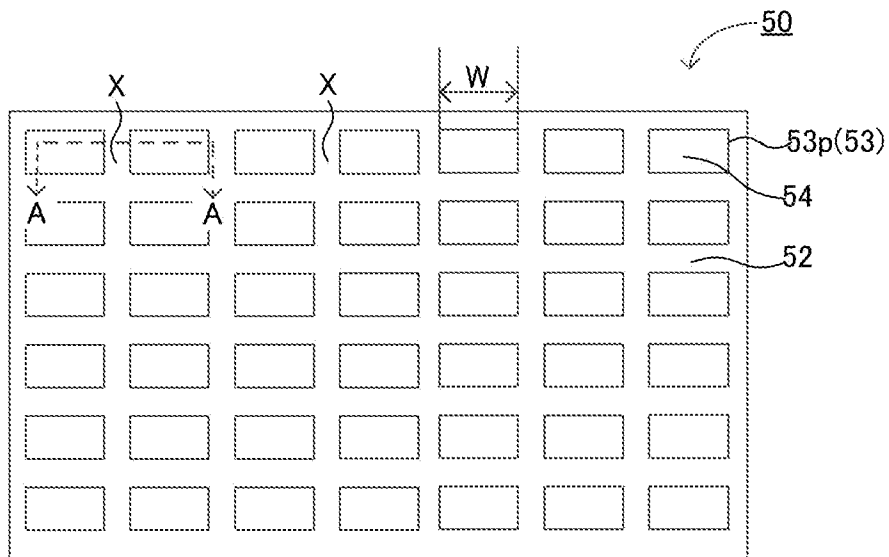


(b)

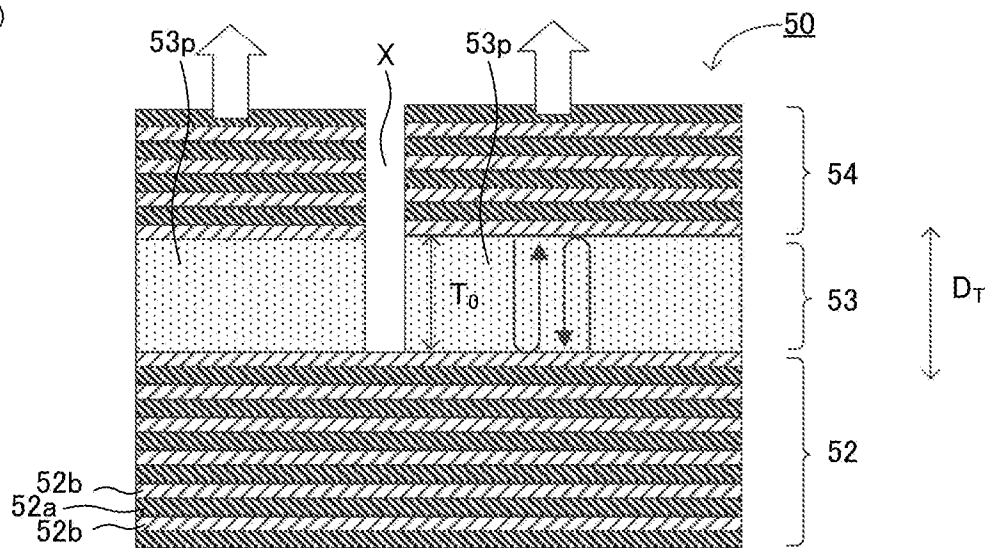


[図21]

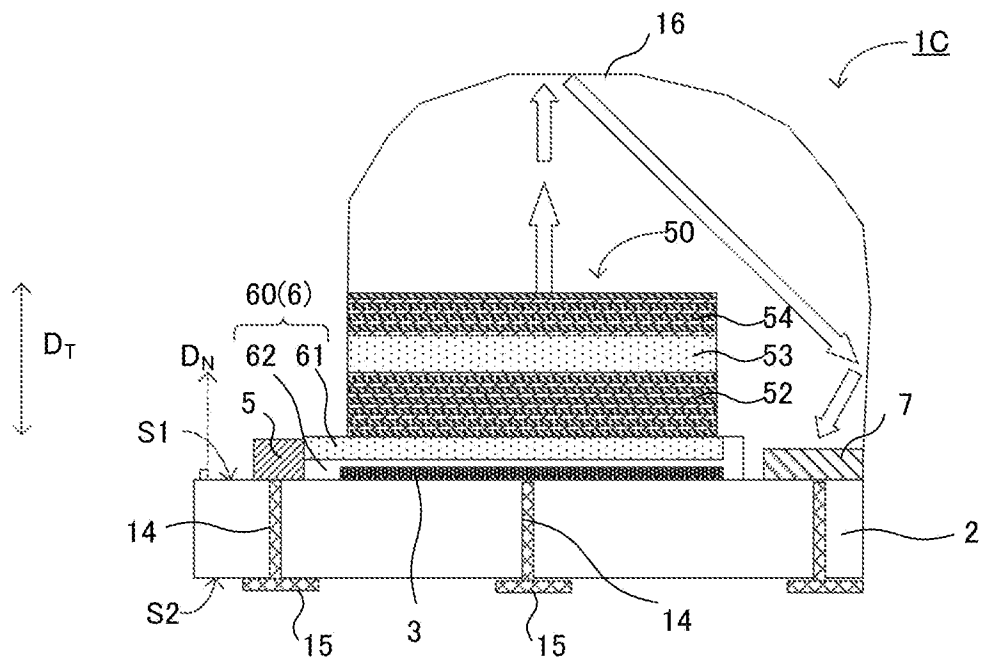
(a)



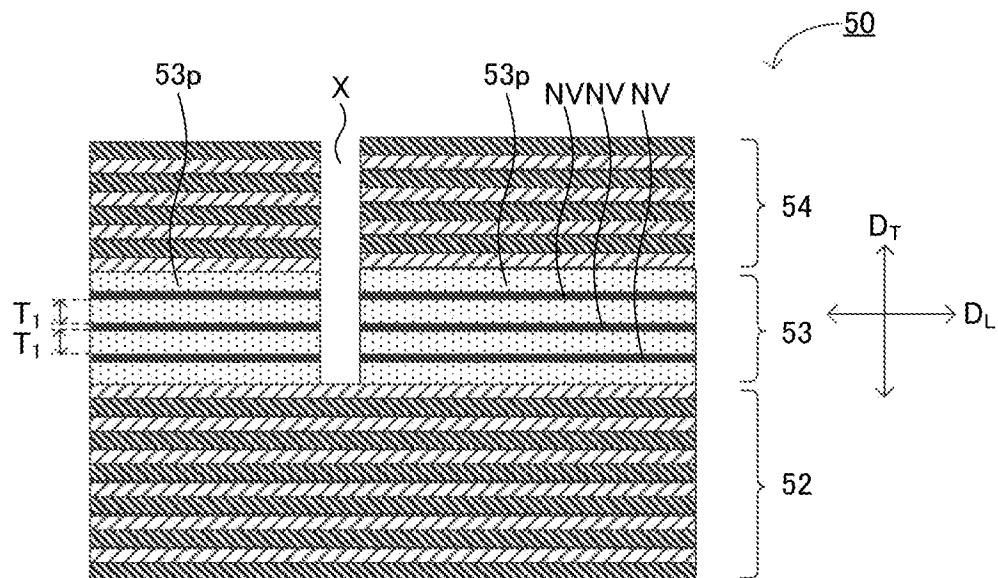
(b)



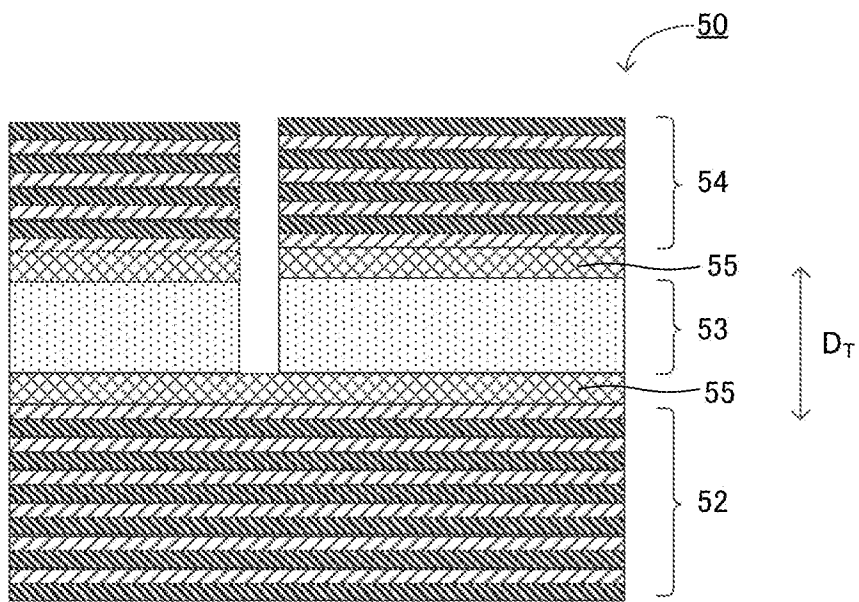
[図22]



[図23]

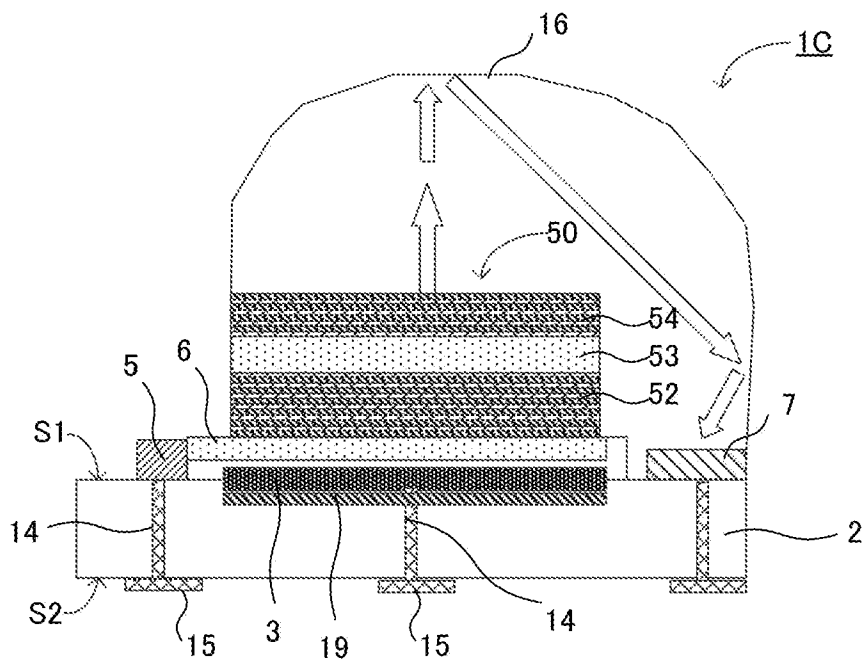


[図24]

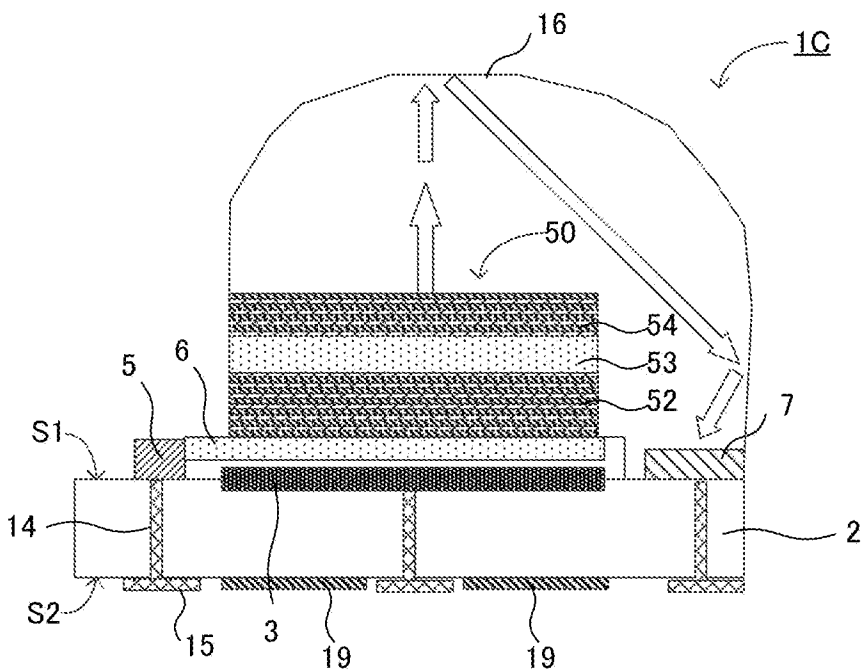


[図25]

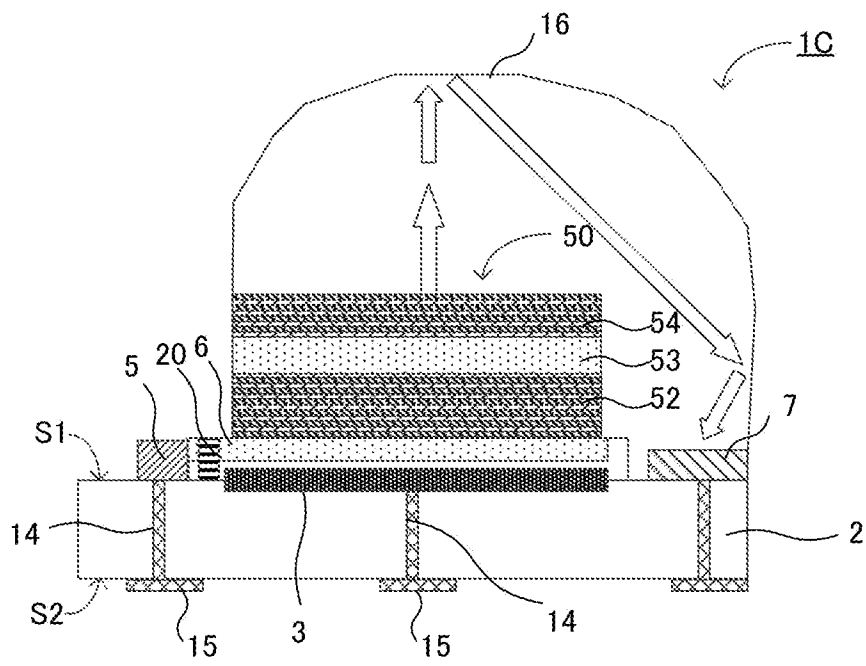
(a)



(b)

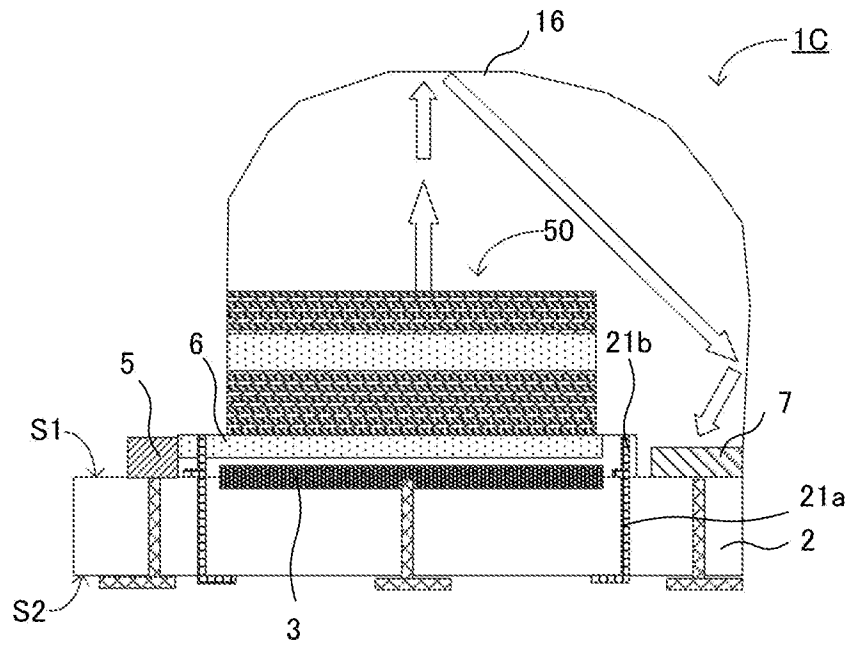


[図26]

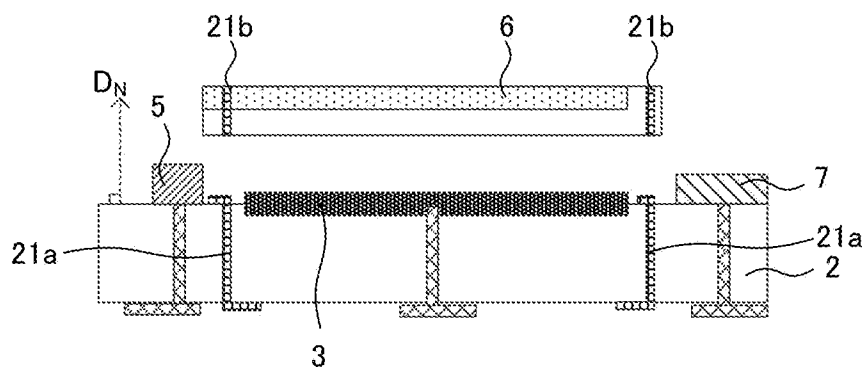


[図27]

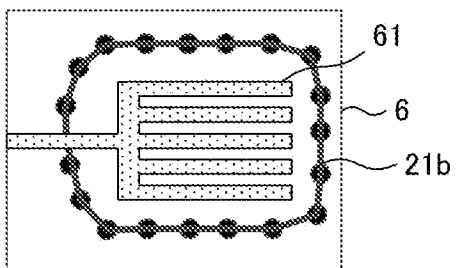
(a)



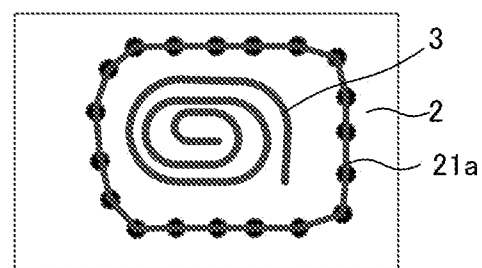
(b)



(c)

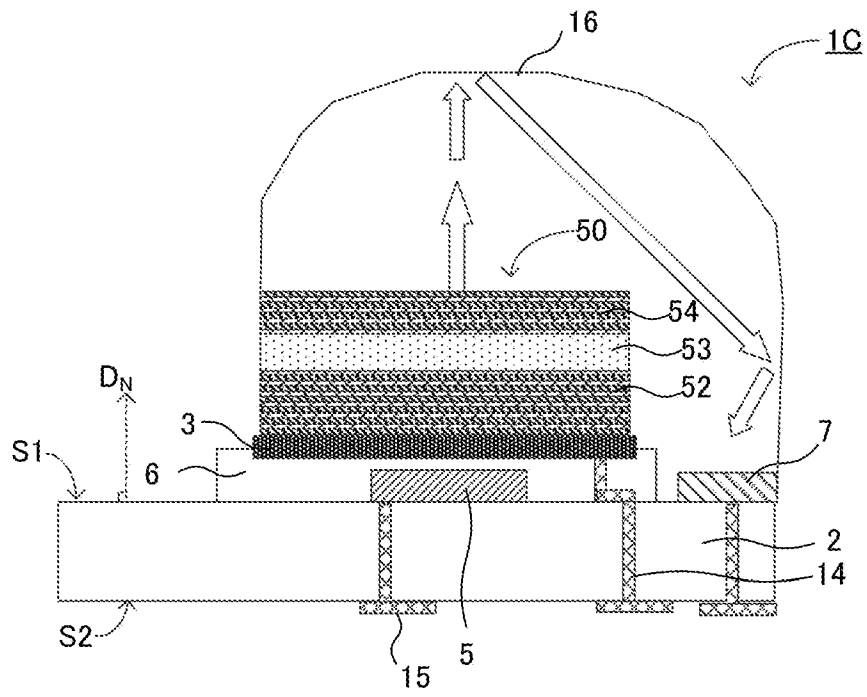


(d)

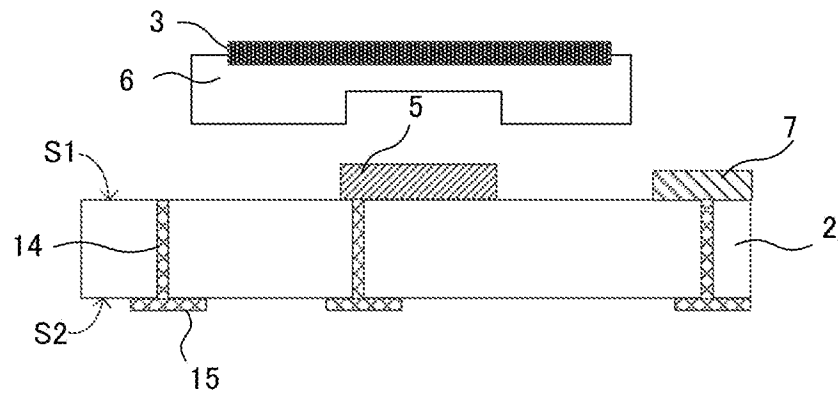


[図28]

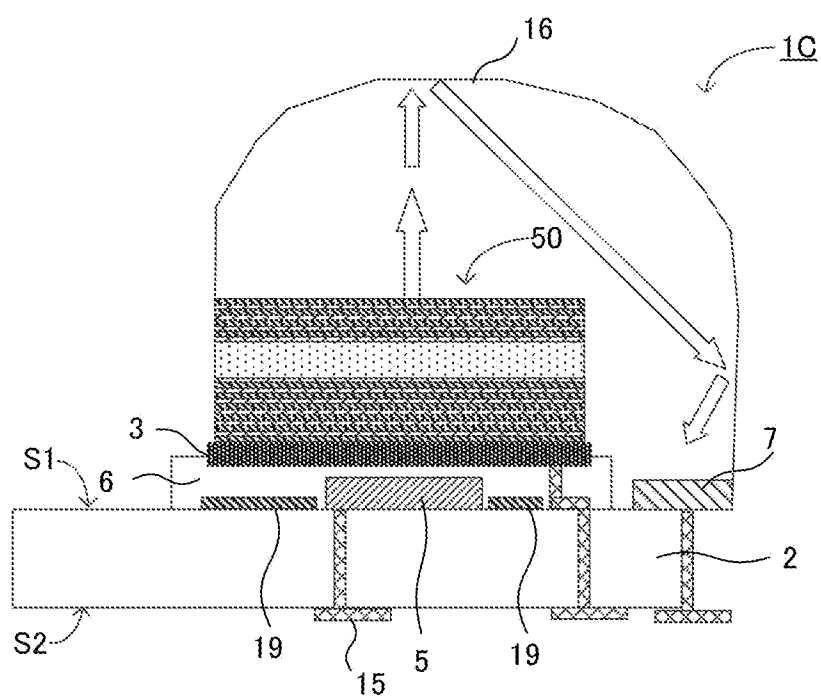
(a)



(b)



[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/023524

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01R 33/20 (2006.01)i; G01N 24/00 (2006.01)i; G01R 33/032 (2006.01)i FI: G01R33/20; G01N24/00 E; G01R33/032 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01R33/20; G01N24/00; G01R33/032 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2018/155504 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 30 August 2018 (2018-08-30) paragraphs [0001]-[0141], fig. 1-32	1-3, 6, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 20
A		4, 5, 7-10, 12, 15, 18
Y	JP 2022-550046 A (X DEVELOPMENT LLC) 30 November 2022 (2022-11-30) paragraphs [0001]-[0089], fig. 1-8	1-3, 6, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 20
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 19 July 2024		Date of mailing of the international search report 06 August 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/023524

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2018/155504	A1	30 August 2018	US	2020/0057117	A1	paragraphs [0001]-[0219], fig. 1-32
				EP	3588117	A1	
				EP	3629044	A1	
				CN	110325869	A	
JP	2022-550046	A	30 November 2022	WO	2021/067587	A1	paragraphs [0001]-[0096], fig. 1-8
				US	2021/0103010	A1	
				US	2023/0341481	A1	
				CN	114502947	A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

G01R 33/20(2006.01)i; G01N 24/00(2006.01)i; G01R 33/032(2006.01)i

FI: G01R33/20; G01N24/00 E; G01R33/032

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

G01R33/20; G01N24/00; G01R33/032

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報

1922 - 1996年

日本国公開実用新案公報

1971 - 2024年

日本国実用新案登録公報

1996 - 2024年

日本国登録実用新案公報

1994 - 2024年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2018/155504 A1（住友電気工業株式会社） 30.08.2018（2018 - 08 - 30） [0001]-[0141], 図1-図32	1-3, 6, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 20
A		4, 5, 7-10, 12, 15, 18
Y	JP 2022-550046 A（エックス デベロップメント エルエルシー） 30.11.2022（2022 - 11 - 30） [0001]-[0089], 図1-図8	1-3, 6, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 20

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

19.07.2024

国際調査報告の発送日

06.08.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)

〒100-8915

日本国

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

越川 康弘 2S 9605

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/023524

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2018/155504	A1	30.08.2018	US	2020/0057117	A1	
				[0001]-[0219], 図1-図32			
				EP	3588117	A1	
				EP	3629044	A1	
				CN	110325869	A	

JP	2022-550046	A	30.11.2022	WO	2021/067587	A1	
				[0001]-[0096], 図1-図8			
				US	2021/0103010	A1	
				US	2023/0341481	A1	
				CN	114502947	A	
