

(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
2018年7月12日(12.07.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/128128 A1

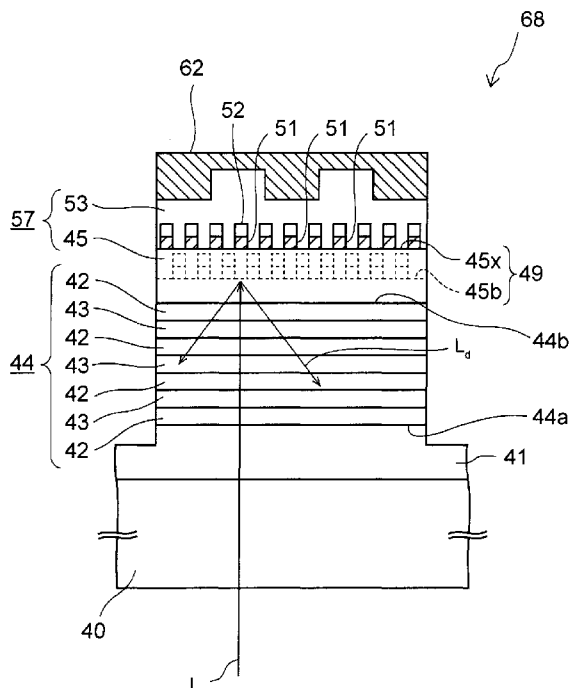
- (51) 国際特許分類:
H01L 31/10 (2006.01) *H01L 27/146* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/046676
- (22) 国際出願日: 2017年12月26日(26.12.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2017-001228 2017年1月6日(06.01.2017) JP
- (71) 出願人: 富士通株式会社(FUJITSU LIMITED)
[JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 山下 裕泰(YAMASHITA, Hiroyasu);
〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 下田 憲次(SHIMODA, Kenji);
〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,

(54) Title: LIGHT DETECTOR AND IMAGING DEVICE

(54) 発明の名称: 光検知器及び撮像装置



(57) Abstract: [Problem] To improve photoelectric conversion efficiency. [Solution] A light detector 68 that has: a photoelectric conversion layer 44 that has a first main surface 44a at which light enters and a second main surface 44b that faces the first main surface 44a, and that performs photoelectric conversion on light; a first diffraction grating 49 that is provided with alternating pluralities of first surfaces 45b that are formed on a second main surface 44b side and extend like stripes in a first direction D_1 and second surfaces 45x that are at a different height than the first surfaces 45b and extend like stripes in the first direction D_1 ; pluralities of metal wires 51 that are respectively provided, at intervals, on the first surfaces 45b and the second surfaces 45x and extend along the first direction D_1 or a second direction D_2 that is orthogonal to the first direction D_1 ; and a second diffraction grating 62 that is formed above the first diffraction grating 49 and has formed therein, at intervals, a plurality of grooves 62a that extend in the second direction D_2 .

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)）

(57) 要約：【課題】光電変換効率を高めること。【解決手段】光が入射する第1の主面44aと、第1の主面44aに相対する第2の主面44bとを有し、光に対して光電変換を行う光電変換層44と、第2の主面44b側に形成され、第1の方向D₁にストライプ状に延びる第1の面45bと、第1の面45bと高低差があり、かつ第1の方向D₁にストライプ状に延びる第2の面45xとが交互に複数設けられた第1の回折格子49と、第1の面45bと第2の面45xの各々に間隔をおいて複数設けられ、かつ、第1の方向D₁と、第1の方向D₁に直交する第2の方向D₂のいずれかに沿って延びる金属線51と、第1の回折格子49の上に形成され、第2の方向D₂に延びる複数の溝62aが間隔をおいて形成された第2の回折格子62とを有する光検知器68による。

明 細 書

発明の名称：光検知器及び撮像装置

技術分野

[0001] 本発明は、光検知器及び撮像装置に関する。

背景技術

[0002] 光電変換を行う光検知器には様々なタイプのものがある。なかでも、QWIP(Quantum Well Infrared Photodetector)は、量子井戸層に形成された人工準位間の遷移を利用して赤外線を検知するデバイスであり、赤外線を高い感度で検知することができる。

[0003] また、QWIPを発展させたQDIP(Quantum Dot Infrared Photodetector)も光検知器の一例である。QDIPは、電子が束縛される量子ドットを形成し、その束縛状態間の遷移を利用して高い感度で赤外線を検出することができる。

[0004] そして、これらQWIPやQDIP等をアレイ状に配列したFPA(Focal Plane Array)を撮像装置に使用することにより、赤外線用の高感度の撮像装置を作製することができる。

[0005] なお、QWIPやQDIP等の他に、太陽電池も光検知器の一例として挙げられる。

[0006] 前述のQWIP、QDIP、及び太陽電池等の光検知器は、光電変換効率を高めるという点で改善の余地がある。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：国際公開第2010／021073号

特許文献2：特開平9－55532号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 一つの側面では、本発明は、光電変換効率を高めることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 一つの側面では、光が入射する第1の主面と、前記第1の主面に相對する第2の主面とを有し、前記光に対して光電変換を行う光電変換層と、前記第2の主面側に形成され、第1の方向にストライプ状に延びる第1の面と、前記第1の面と高低差があり、かつ前記第1の方向にストライプ状に延びる第2の面とが交互に複数設けられた第1の回折格子と、前記第1の面と前記第2の面の各々に間隔をおいて複数設けられ、かつ、前記第1の方向と、前記第1の方向に直交する第2の方向のいずれかに沿って延びる金属線と、前記第1の回折格子の上に形成され、前記第2の方向に延びる複数の溝が間隔をおいて形成された第2の回折格子とを有する光検知器が提供される。

発明の効果

[0010] 一つの側面では、第1の回折格子に設けた金属線が延びる方向を、第1の面や第2の面が延びる第1の方向と、その第1の方向に直交する第2の方向のいずれかとすることにより、入射した光からTE波とTM波のいずれかを生成することができる。

[0011] TE波は光電変換層の内部に閉じ込められやすいため、光電変換層における光路長が長くなり、光電変換層における光電変換効率を高めることができる。

[0012] また、光電変換層の構造によってはTM波によって光電変換効率が高められる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図1は、検討に使用したQWIPの断面図である。

[図2]図2は、量子井戸層によって吸収され易い電界成分について説明するための模式断面図である。

[図3]図3は、検討に使用したQDIPの断面図である。

[図4]図4は、回折格子の作用について説明するための断面図である。

[図5]図5は、TM波について説明するための斜視図である。

[図6]図6は、TE波について説明するための斜視図である。

[図7]図7は、光の閉じ込め効果について説明するための模式断面図である。

[図8]図8は、光の反射角と反射率との関係について調査して得られた図である。

[図9]図9(a)、(b)は、第1実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図(その1)である。

[図10]図10(a)、(b)は、第1実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図(その2)である。

[図11]図11(a)、(b)は、第1実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図(その3)である。

[図12]図12(a)、(b)は、第1実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図(その4)である。

[図13]図13(a)、(b)は、第1実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図(その5)である。

[図14]図14(a)、(b)は、第1実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図(その6)である。

[図15]図15は、第1実施形態に係る第1の回折格子の斜視図である。

[図16]図16は、第1実施形態において、金属線を形成した後の第1の回折格子の斜視図である。

[図17]図17は、第1実施形態に係る第2の回折格子の斜視図である。

[図18]図18は、第1実施形態に係る光検知器の動作について説明するための模式断面図である。

[図19]図19は、第1実施形態において、光の偏光状態により第1の回折格子がどのように振る舞うのかを模式的に説明するための斜視図である。

[図20]図20は、第1実施形態において、第1の回折格子を透過した光が第2の回折格子で回折する様子を示す斜視図である。

[図21]図21(a)、(b)は、第2実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図(その1)である。

[図22]図22(a)、(b)は、第2実施形態に係る光検知器の製造途中の

断面図（その２）である。

[図23]図 2 3（a）、（b）は、第 2 実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図（その 3）である。

[図24]図 2 4（a）、（b）は、第 2 実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図（その 4）である。

[図25]図 2 5（a）、（b）は、第 2 実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図（その 5）である。

[図26]図 2 6（a）、（b）は、第 2 実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図（その 6）である。

[図27]図 2 7 は、第 2 実施形態に係る第 1 の回折格子の斜視図である。

[図28]図 2 8 は、第 2 実施形態に係る第 2 の回折格子の斜視図である。

[図29]図 2 9 は、第 2 実施形態に係る光検知器の動作について説明するための模式断面図である。

[図30]図 3 0 は、第 2 実施形態において、光の偏光状態により第 1 の回折格子がどのように振る舞うのかを模式的に説明するための斜視図である。

[図31]図 3 1 は、第 2 実施形態において、第 1 の回折格子を透過した光が第 2 の回折格子で回折する様子を示す斜視図である。

[図32]図 3 2（a）、（b）は、第 3 実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図（その 1）である。

[図33]図 3 3（a）、（b）は、第 3 実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図（その 2）である。

[図34]図 3 4（a）、（b）は、第 3 実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図（その 3）である。

[図35]図 3 5（a）、（b）は、第 3 実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図（その 4）である。

[図36]図 3 6（a）、（b）は、第 3 実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図（その 5）である。

[図37]図 3 7（a）、（b）は、第 3 実施形態に係る光検知器の製造途中の

断面図（その６）である。

[図38]図３５（a）、（b）は、第３実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図（その７）である。

[図39]図３９は、第３実施形態に係る第１の回折格子の斜視図である。

[図40]図４０は、第３実施形態に係る第２の回折格子の斜視図である。

[図41]図４１は、第３実施形態に係る光検知器の動作について説明するための模式断面図である。

[図42]図４２は、第４実施形態に係る撮像装置の構成図である。

[図43]図４３は、第４実施形態に係る撮像素子の斜視図である。

[図44]図４４は、第４実施形態に係る撮像装置の機能ブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

[0014] 本実施形態の説明に先立ち、本願発明者が検討した事項について説明する。

[0015] 前述のように光検知器にはQWIPやQDIP等がある。以下に、それらについて説明する。

[0016] 図１は、検討に使用したQWIPの断面図である。

[0017] このQWIP 1 は、GaAs基板等の基板２と、その上に形成された光電変換層３とを有する。

[0018] 光電変換層３は、基板２を介して入射した光Lに対して光電変換を行う機能を有しており、この例では障壁層４と量子井戸層５とを交互に積層してなる積層膜を光電変換層３として使用する。

[0019] 障壁層４の材料としては量子井戸層５の材料よりもバンドギャップが広い化合物半導体が使用される。これにより、量子井戸層５に人工準位が形成され、キャリアとなる電子が量子井戸層５に閉じ込められる。このように人工準位を形成し得る材料は特に限定されない。例えば、障壁層４としてAlGaAs層を形成し、量子井戸層５としてn型のGaAs層を形成することで人工準位を形成し得る。

- [0020] また、この光電変換層 3 の上にはオーミックコンタクト層 6 として光 L を透過する GaAs 層が形成され、更にその上には光 L を回折させるための回折格子 7 が設けられる。
- [0021] 回折格子 7 は、金層等の金属層であって、その下面には複数の溝 7 a が設けられる。
- [0022] なお、各々の溝 7 a は、基板 2 の法線方向 n に直交する方向 D に沿って延びており、その表面が光 L を反射する反射面となる。このように一次元的に延びた溝 7 a を備えた回折格子 7 は、一次元グレーティングとも呼ばれる。
- [0023] また、回折格子 7 は QWIP 1 の電極を兼ねており、基板 2 の上に形成された電極層 9 との間に電圧 V が印加される。
- [0024] このような QWIP 1 によれば、量子井戸層 5 に光 L が入射することで量子井戸層 5 に束縛されている電子が光 L を吸収して励起される。
- [0025] そして、このように励起された電子が量子井戸 5 の束縛を脱し、電圧 V によって回折格子 7 に集められる。これにより電極層 9 と回折格子 7 との間に光電流が流れ、その光電流を電流計 10 で測定することで、光 L の強度を示す光信号を得ることができる。
- [0026] なお、QWIP 1 において検知の対象となる光 L は、波長が $3\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ 程度の中～長波長の赤外線である。
- [0027] また、この例のように回折格子 7 を設けることで、以下のように量子井戸層 5 によって吸収されやすい方向の電界成分を持った回折光 L_d を得ることができる。
- [0028] 図 2 は、量子井戸層 5 によって吸収され易い電界成分について説明するための模式断面図である。

[0029] QWIP 1 においては、量子井戸が形成するサブバンド準位間の電子の遷移が光吸収に利用される。この場合、量子力学的な選択則により、基板 2 の法線方向 n に平行な電界成分を持つ光のみが各量子井戸層 5 によって吸収される。

[0030] 図 2 の例では、回折格子 7 の溝 7 a が延びる方向 D に直交する方向の電界 E を持った光 L_1 と、その方向 D と同じ方向の電界 E を持った光 L_2 の各々が、法線方向 n に沿って QWIP 1 に入射する場合を示している。

[0031] 光 L_1 の電界 E は法線方向 n に対して直交しているため、光 L_1 は各量子井戸層 5 において殆ど吸収されない。

[0032] 一方、光 L_1 が回折格子 7 で回折して得られた回折光 L_{d1} は、その電界 E が法線方向 n に平行な成分 E_1 を有するため、各量子井戸構造 5 によって吸収される。

[0033] なお、光 L_2 については、回折格子 7 で得られる回折光 L_2 が法線方向 n に平行な電界成分を持たないため、回折格子 7 の有無にかかわらず各量子井戸層 5 において吸収されない。

[0034] 以上のように、この QWIP 1 においては、回折格子 7 を設けたことにより光 L_1 の回折光 L_{d1} が各量子井戸層 5 において吸収されるようになるものの、偏光方向が光 L_1 のそれと垂直な光 L_2 は各量子井戸層 5 において吸収されないという問題がある。

[0035] 次に、QDIP について説明する。

[0036] 図 3 は、検討に使用した QDIP の断面図である。

[0037] この QDIP 2 1 は、GaAs 基板等の基板 2 2 と、その上に形成された光電変換層 2 3 とを有する。

[0038] このうち、光電変換層 2 3 は、中間層 2 4 と量子ドット 2 5 とを交互に積層してなる積層膜であって、基板 2 2 を介して入射した光 L に対して光電変換を行う。

- [0039] 中間層 24 と量子ドット 25 の材料の組み合わせは様々である。ここでは、障壁層 4 として AlGaAs 層を形成すると共に、量子ドット 25 の材料として InAs を使用する。
- [0040] 更に、この光電変換層 23 の上にはオーミックコンタクト層 26 として GaAs 層が形成され、更にその上には光 L を回折させるための回折格子 27 が設けられる。
- [0041] 回折格子 27 は、図 1 の例と同様に一次元グレーティングであって、溝 27a が形成された金層である。
- [0042] 溝 27a は、光 L を反射する反射面として機能し、基板 22 の法線方向 n に直交する方向 D に沿って延びる。
- [0043] そして、回折格子 27 は、QDIP 1 の電極を兼ねており、基板 22 の上に形成された電極層 29 との間に電圧 V が印加される。
- [0044] このような QDIP 21 によれば、量子ドット 25 に光 L が入射することで、量子ドット 5 に形成される束縛状態間で電子が遷移し、光 L が量子ドット 25 に吸収される。そして、遷移によって量子ドット 25 の束縛を脱した電子が電圧 V によって回折格子 27 に集められる。これにより電極層 29 と回折格子 27 との間に光電流が流れ、その光電流を電流計 10 で測定することで、光 L の強度を示す光信号を得ることができる。
- [0045] なお、QDIP 21 において検知の対象となる光 L は、波長が $3\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ 程度の中～長波長の赤外線である。
- [0046] ここで、量子ドット 25 は、法線方向 n に平行な電界を持つ光と、法線方向 n に垂直な方向の電界を持つ光のどちらも吸収することができる。
- [0047] 但し、量子力学的選択側により、量子ドット 25 における光吸収は、主に励起準位に対応した量子閉じ込めの方向と同じ方向の電界成分を持った光が

入射した際に起こる。そのため、法線方向 n に垂直な方向の量子閉じ込めに対応した励起準位への電子遷移を利用した光吸収は、法線方向 n に垂直な方向の電界成分を持つ光に対して良く起こり、当該方向の電界成分が小さくなるほど光吸収が起こり難くなる。

[0048] 法線方向 n に沿って基板 22 から入射した光 L は、法線方向 n に垂直な方向の電界を持つため、回折格子 27 においてその電界の方向を変えなくても量子ドット 25 に吸収される。

[0049] 但し、以下の理由により回折格子 27 を設けた方が QDIP 21 における光電変換効率が高められる。

[0050] 図 4 は、回折格子 27 の作用について説明するための断面図である。

[0051] 図 4 の例では、回折格子 27 の溝 27a が延びる方向 D に垂直な方向の電界 E を持った光 L_1 と、その方向 D と同じ方向の電界 E を持った光 L_2 の各々が、法線方向 n に沿って QDIP 21 に入射する場合を示している。

[0052] 光 L_1 と光 L_2 のどちらも法線方向 n に垂直な電界 E を有しているため量子ドット 25 において吸収される。

[0053] 但し、光 L_1 が回折格子 27 で回折して得られた回折光 L_{d1} は、元の光 L_1 と比べて法線方向 n に垂直な電界成分 E_1 の大きさが小さくなるため、量子ドット 25 において吸収され難くなる。

[0054] この場合であっても、回折光 L_{d1} が光電変換層 23 内で反射を繰り返すことで回折光 L_{d1} の光路長が長くなる。その結果、量子ドット 25 において回折光 L_{d1} が吸収される機会を増やすことができ、QDIP 21 における光電変換効率を高めることができる。

[0055] なお、光 L_2 が回折格子 27 で回折して得られた回折光 L_{d2} については、回折の

前後で法

線方向 n に垂直な電界 E の大きさが変わらないため、量子ドット 25 において吸収され難くなることはない。

[0056] 以上のように、QDIP 21 においては、入射した光の光路長が回折格子 27 によって長くなり、それにより光電変換効率を高めることができる。

[0057] ところで、光はその偏光状態に応じてTE波とTM波とに分けられる。以下に、TM波とTE波について説明する。

[0058] 図5は、TM波について説明するための斜視図である。

[0059] 図5においては、波数ベクトル k の光 L が結晶表面 S に斜めに入射する場合を想定してい

る。なお、結晶表面 S は、各基板 1、21 の表面に平行な任意の面である。

[0060] 図5に示すように、TM波は、磁界ベクトル H が結晶表面 S に平行な光として定義される。

[0061] 光の電界ベクトル E は磁界ベクトル H に直交するため、結晶表面 S に斜めに入射するTM波

においては、法線方向 n に沿った電界ベクトル E の成分は0ではない。また、図2を参照して説明したように、QWIPにおいては、法線方向 n に平行な電界成分を持つ光のみが量子井戸層5によって吸収される。

[0062] よって、TM波は、QWIPの光電変換効率を高めるのに適した光であるということになる。

[0063] 一方、図6は、TE波について説明するための斜視図である。

[0064] なお、図6において、図5で説明したのと同じ要素には図5におけるのと同じ要素を付し、以下ではその説明を省略する。

[0065] 図6に示すように、TE波は、電界ベクトル E が結晶表面 S に平行な光として定義される。

[0066] 次に、TM波とTE波の各々の閉じ込め効果について説明する。

[0067] 図7は、光の閉じ込め効果について説明するための模式断面図である。

[0068] この例では、GaAs層等の結晶層30から真空に向かって光Lが伝搬する場合を示してい

る。この場合、結晶層30の表面において光Lが反射することになるが、反射によって結

晶層30の内部に留まる光Lが多いほど、その光Lの閉じ込め効率は高いと言う。

[0069] 本願発明者は、光Lの反射角 θ と、結晶層30の表面における光Lの反射率との関係について調査した。なお、結晶層30としては屈折率が3.3のGaAs層を採用した。

[0070] その調査結果を図8に示す。

[0071] 図8に示すように、TM波においては、反射角が 0° から増大すると反射率が一旦低くなるため、結晶層30から光が漏れ出てしまう。

[0072] 一方、TE波においては、反射角が 0° から増大するにつれて反射率も増大するため、結晶層30から光が漏れ難い。

[0073] この結果から、TM波よりもTE波の方が光の閉じ込め効果が良好であることが明らかとなった。

[0074] 前述のように、QDIP21（図3参照）においては、光電変換層23の内部において光が反射を繰り返すことで光電変換効率が高められる。そして、図8の結果によれば、反射の際に光が外部に漏れないようにするには、QDIP21内で反射を繰り返す光をTE波とするのが好ましい。

[0075] 以上の結果から、QDIPにおいてはTE波によって光電変換効率が高められ、QWIPにおいてはTM波によって光電変換効率が高められることが明らかとなった。

[0076] 以下に、入射する光の偏光の向きを問わずにTE波やTM波を作り、光電変換効率を高めることが可能な各実施形態について説明する。

[0077] （第1実施形態）

本実施形態に係る光検知器について、その製造工程を追いながら説明する。

- [0078] 本実施形態では、以下のようにして光検知器としてQWIPを製造する。
- [0079] 図9～図14は、本実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図である。
これらの図においては、第1断面とこれに直交する第2断面とを併記する。
- [0080] まず、図9(a)に示すように、赤外線に対して透明なGaAsを材料とするGaAs基板を基板40として用意する。そして、その基板40の上に、MOVPE(Metal Organic Vapor Phase Epitaxy)法により第1のオーミックコンタクト層41としてn型のGaAs層を1 μm 程度の厚さに形成する。なお、第1のオーミックコンタクト層41にドーパされるn型不純物は例えばシリコンであり、その濃度は $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度である。
- [0081] 次に、図9(b)に示すように、第1のオーミックコンタクト層41の上にMOVPE法で障壁層42と量子井戸層43とを交互に複数積層し、これらの積層膜を光電変換層44とする。
- [0082] 光電変換層44を形成する各層の材料は特に限定されない。本実施形態では、障壁層42として $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 層を40 nm程度の厚さに形成すると共に、量子井戸層43としてn型のGaAs層を5 nm程度の厚さに形成する。なお、量子井戸層43にドーパされるn型不純物は、例えば濃度が $4 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 程度のシリコンである。
- [0083] また、障壁層42の層数は21層とし、量子井戸層43の層数は20層とする。
- [0084] このようにして形成された光電変換層44は、検知の対象となる光が入射する第1の主面44aと、その第1の主面44aに相対する第2の主面44bとを有する。
- [0085] そして、第1の主面44aから入射した光に対して光電変換層44において光電変換が行われ、その光電変換効率を高めるための回折格子が以下の工程で第2の主面44b側に形成される。
- [0086] なお、光電変換層44において光電変換される光は、波長が3 μm ～10 μm 程度の中～長波長の赤外線である。

- [0087] 次に、図10(a)に示すように、光電変換層44の第2の主面44bの上にシリコンが $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度の濃度でドーピングされたn型のGaAs層をMOVPE法で $1.5 \mu\text{m}$ 程度の厚さに形成し、そのGaAs層を第1の半導体層45とする。
- [0088] 続いて、図10(b)に示すように、第1の半導体層45の上にフォトリソを塗布し、それを露光、現像することにより第1のレジスト層47を形成する。
- [0089] そして、第1のレジスト層47をマスクにしながら第1の半導体層45をドライエッチングすることにより、第1の半導体層45の表面45xに複数の第1の溝45aを間隔をおいて形成する。
- [0090] これにより、光電変換層44の第2の主面44b側に、第1の溝45aの底面45bと表面45xとを備えた第1の回折格子49が作製されたことになる。底面45bと表面45xは、それぞれ第1の面と第2の面の一例であって、これらの面の高低差によって光が回折する。
- [0091] 第1の溝45aの大きさは、このように光を回折させる程度に微細であれば特に限定されない。本実施形態では、第1の溝45aの深さ Z_1 を $0.75 \mu\text{m}$ とし、その幅 W_1 を $2.5 \mu\text{m}$ とする。また、隣接する第1の溝45aの間隔 P_1 は、例えば $2.5 \mu\text{m}$ である。
- [0092] この後に、第1のレジスト層47を除去する。
- [0093] 図15は、本工程を終了した後の第1の回折格子49の斜視図である。
- [0094] 図15に示すように、底面45bと表面45xの各々は、基板40の法線方向nに直交する第1の方向 D_1 に沿ってストライプ状に延びると共に、第1の方向 D_1 と法線方向nの各々に直交する第2の方向 D_2 に沿って交互に複数設けられる。
- [0095] なお、図9～図14における第1断面は第1の方向 D_1 に垂直な切断面で切断した断面に相当し、第2断面は第2の方向 D_2 に垂直な切断面で切断した断面に

相当する。

[0096] 次に、図11(a)に示すように、第1の回折格子49の表面45xと底面45bの各々に蒸着法で金属層を0.25 μm 程度の厚さに形成し、更にリフトオフ法でその金属層を線状にパターンニングすることにより複数の金属線51を間隔をおいて形成する。

[0097] 各金属線51の幅やそれらの間隔は特に限定されない。この例では、各金属線51の幅Aを0.25 μm 程度にし、隣接する金属線51同士の間隔Bを0.25 μm 程度とする。

[0098] 図16は、本工程を終了した後の第1の回折格子49の斜視図である。

[0099] 図16に示すように、各金属線51は第2の方向D₂に沿って延びる。

[0100] 後述のように、微細な間隔をおいて設けられた各金属線51は、光をその偏光の向きに応じて透過させたり反射させたりする。このような機能を有する各金属線51はワイヤーグリッド偏光子とも呼ばれる。

[0101] 次に、図11(b)に示すように、基板40の上側全面にCVD(Chemical Vapor Deposition)法で酸化シリコン層52を100nm程度の厚さに形成した後、その酸化シリコン層52をパターンニングして金属線51の上にのみ残す。

[0102] 続いて、図12(a)に示すように、第1の半導体層45と酸化シリコン層52の上に第2の半導体層53としてMOVPE法によりn型のGaAs層を2 μm 程度の厚さに形成し、各半導体層45、53を第2のオーミックコンタクト層57とする。

[0103] このとき、各金属線51の上に第2の半導体層53を直接形成すると、その第2の半導体層53におけるGaAsの結晶性が悪くなるが、この例のように予め酸化シリコン層52を形成することで結晶性の良いGaAs層を形成することが可能となる。これについては、後述の各実施形態でも同様である。

[0104] なお、第2の半導体層53にドーパされるn型不純物は例えばシリコンであり、その濃度は $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度である。

- [0105] その後、第2の半導体層53の上面をCMP(Chemical Mechanical Polishing)法により研磨して平坦化する。
- [0106] 次に、図12(b)に示すように、第2のオーミックコンタクト層57の上にフォトリソを塗布し、それを露光、現像することにより第2のレジスト層59を形成する。
- [0107] 更に、第2のレジスト層59をマスクにしながら第2のオーミックコンタクト層57をドライエッチングすることにより、第2のオーミックコンタクト層57の表面に複数の凹凸を形成する。
- [0108] そのドライエッチングで使用するエッチングガスは特に限定されないが、本実施形態ではそのエッチングガスとして塩素ガスを使用する。
- [0109] 続いて、図13(a)に示すように、第2のオーミックコンタクト層57の上に第3のレジスト層60を形成する。
- [0110] そして、第3のレジスト層60をマスクにしながら、各オーミックコンタクト層41、57と光電変換層44をウエットエッチングし、第1のオーミックコンタクト層41に至る深さのホール61を形成する。
- [0111] そのウエットエッチングでは、例えばフッ酸をエッチング液として使用する。
- [0112] この後に、第3のレジスト層60は除去される。
- [0113] 次に、図13(b)に示すように、ホール61内と第2のオーミックコンタクト層57の上に蒸着法で金属層を形成し、それをリフトオフ法でパターニングすることにより第2の回折格子62と電極層63を形成する。その金属層は、例えば、金とゲルマニウムとの合金層と金層とがこの順に積層された積層膜である。
- [0114] このうち、電極層63は、第1のホール61を介して第1のオーミックコンタクト層41に接続されており、第2の回折格子62との間に電圧が印加される。
- [0115] その第2の回折格子62には、第2のオーミックコンタクト層57の凹凸を反映した複数の第2の溝62aが形成される。

- [0116] 第2の溝62aの大きさは、第1の溝45aと同程度であって、その深さ Z_2 は $0.75\mu\text{m}$ 程度であり、その幅 W_2 は $2.5\mu\text{m}$ 程度である。また、隣接する第2の溝62aの間隔 P_2 は、例えば $2.5\mu\text{m}$ である。
- [0117] 図17は、第2の回折格子62の斜視図である。
- [0118] 図17に示すように、第2の溝62aは、第1の方向 D_1 に直交する第2の方向 D_2 に沿って延びる。
- [0119] 次に、図14(a)に示すように、第2のオーミックコンタクト層57、第2の回折格子62、及び電極層63の各々の上に第4のレジスト層65を形成する。
- [0120] そして、その第4のレジスト層65をマスクにして各オーミックコンタクト層41、57と光電変換層44をドライエッチングすることにより素子分離溝66を形成し、素子分離溝66で複数の画素67を画定する。
- [0121] 次に、図14(b)に示すように、第4のレジスト層65を除去する。
- [0122] この後は、第2の回折格子62と電極層63の各々にインジウムバンプ69を接合し、本実施形態に係る光検知器68の基本構造を完成させる。
- [0123] その光検知器68は、平面視で複数の画素67がアレイ状に配列されたFPAである。
- [0124] 次に、光検知器68の動作について説明する。
- [0125] 図18は、光検知器68の動作について説明するための模式断面図である。
- [0126] この光検知器68はQWIPであって、第1のオーミックコンタクト層41よりも第2の回折格子62の電位が高くなるようにこれらの間に電圧が印加された状態で、基板40を介して検知対象の光 L が入射する。
- [0127] 光 L は、偏光状態に応じて第1の回折格子49と第2の回折格子62のいずれか一方で回折し、これにより回折光 L_d が生成される。そして、その回折光 L_d が量子井戸層43において吸収されることにより、量子井戸層43に束縛された電子が励起して第2の回折格子62側に移動し、光電流を得ることができる。

[0128] 光 L が第1の回折格子49で回折するか否かは光 L の偏光状態による。

[0129] 図19は、光 L の偏光状態により第1の回折格子49がどのように振る舞うのかを模式的に説明するための斜視図である。

[0130] 図19においては、第1の方向 D_1 に平行な電界 E を持った光 L_1 と、第2の方向 D_2 に平行な電界 E を持った光 L_2 の各々が、法線方向 n に沿って第1の回折格子49に入射する場合を示している。

[0131] 光 L_2 が第1の回折格子49に入射した場合には、光 L_2 の電界 E の方向と金属線51が延びる方向とが同じであるため、その電界 E によって金属線51内の電子が金属線51に沿って揺さぶられ、各金属線51によって光 L_2 が反射する。

[0132] よって、この場合には、第1の回折格子49は光 L_2 に対して回折格子として機能し、第1の溝45aによって光 L_2 の回折光 L_{d2} が生成される。

[0133] その回折光 L_{d2} は、第1の溝45aが延びる第1の方向 D_1 に垂直な面内を進行する。また、回折の前における光 L_2 の磁界 H の向きは第1の方向 D_1 に平行である。よって、回折の前後で磁界 H の向きは変わらず、回折光 L_{d2} は磁界 H の向きが各主面44a、44b（図18参照）に平行なTM波となる。

[0134] 一方、光 L_1 が第1の回折格子49に入射した場合には、光 L_1 の電界 E の方向と金属線51が延びる方向と直交しているため、金属線51内の電子は電界 E によって揺さぶられず、各金属線51の間を光 L_1 が通り抜けるようになる。

[0135] よって、この場合には、第1の回折格子49を光 L_1 が透過するようになり、光 L_1 は第2の回折格子62で回折されることになる。

[0136] 図20は、このように第1の回折格子49を透過した光 L_1 が第2の回折格子62で回折する様子を示す斜視図である。

[0137] 光 L_1 が第2の回折格子62に入射すると、第2の溝62aによって光 L_1 が回折して回折光 L_{d1} が生成される。

[0138] その回折光 L_{d1} は、第2の溝62aが延びる第2の方向 D_2 に垂直な面内を進行する。ま

た、回折の前における光 L_1 の磁界 H の向きは第2の方向 D_2 に平行である。よって、回折の

前後で磁界 H の向きは変わらず、回折光 L_{d2} は磁界 H の向きが各主面44a、44b（図1

8参照）に平行なTM波となる。

[0139] なお、回折光 L_{d1} の電界 E の方向は、金属線51（図19参照）が延びる第2の方向 D_2 に垂直であるため、回折光 L_{d1} は第1の回折格子49を透過して光電変換層44（図18参照）に入射し、量子井戸層43内の電子を励起する。

[0140] 以上のように、この光検知器68によれば、基板40に入射する光 L の偏光の向きを問わずにTM波を作ることができる。

[0141] 前述のように、TM波は、QWIPの光電変換効率を高めるのに適した光である。よって、本実施形態のように入射光の偏光状態の如何を問わずにTM波を生成することにより、光検知器68の光電変換効率を高めることが可能となる。

[0142] なお、光検知器68は前述のようにFPAであるが、光検知器68の使用用途は撮像用途

に限定されない。例えば、素子分離溝66で光電変換層44を画素67に分離せずに、光電変換層44で赤外線の有無を検知することにより、光検知器

68を人感センサとして使用してもよい。これについては後述の第2実施形態でも同様である。

[0143] (第2実施形態)

本実施形態に係る光検知器について、その製造工程を追いながら説明する。

[0144] 図21～図26は、本実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図である。

[0145] なお、図21～図26において、第1実施形態におけるのと同じ要素には第1実施形態におけるのと同じ符号を付し、以下ではその説明を省略する。

[0146] また、これらの図においては、第1実施形態と同様に第1断面とこれに直交する第2断面とを併記する。

[0147] 本実施形態では、以下のようにして光検知器としてQDIPを製造する。

[0148] まず、図21(a)に示すように、第1実施形態の図9(a)の工程を行うことにより、GaAsを材料とする基板40の上に第1のオーミックコンタクト層41が形成された構造を得る。

[0149] 第1実施形態で説明したように、第1のオーミックコンタクト層41としては、n型不純物としてシリコンが $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度の濃度にドーピングされたGaAs層を形成し得る。

[0150] 次に、図21(b)に示すように、第1のオーミックコンタクト層41の上に中間層71と量子ドット72とを交互に複数積層し、これらの積層膜を光電変換層73とする。

[0151] 光電変換層73の各層の成膜条件は特に限定されない。本実施形態では、MBE(Molecular Beam Epitaxy)法により中間層71としてn型の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 層を50nm程度の厚さに形成する。なお、中間層71にドーピングされるn型不純物は、例えば濃度が $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 程度のシリコンである。

[0152] また、量子ドット72は、MBE法において成長温度を470℃としながらIn

Asの原子層

を二層積層することにより形成される。そのように形成された量子ドット 7 2 は、直径が約 1.5 nm で高さが約 2 nm の円盤状となる。

[0153] 更に、光電変換層 7 3 の各層の積層数も特に限定されないが、この例では中間層 7 1 の層数を 21 層とし、量子ドット 7 2 の層数を 20 層とする。

[0154] このようにして形成された光電変換層 7 3 は、検知の対象となる光が入射する第 1 の主面 7 3 a と、その第 1 の主面 7 3 a に相対する第 2 の主面 7 3 b とを有する。

[0155] そして、第 1 の主面 7 3 a から入射した光に対して光電変換層 7 3 において光電変換が行われ、その光電変換効率を高めるための回折格子が以下の工程で第 2 の主面 7 3 b 側に形成される。

[0156] なお、光電変換層 7 3 において光電変換される光は、波長が $3\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ 程度の中～長波長の赤外線である。

[0157] 次に、図 2 2 (a) に示すように、光電変換層 7 3 の第 2 の主面 7 3 b の上に n 型の GaAs 層を MBE 法で $1.5\ \mu\text{m}$ 程度の厚さに形成し、その GaAs 層を第 1 の半導体層 4 5 とする。

[0158] 第 1 実施形態と同様に、その GaAs 層には n 型不純物としてシリコンが $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 程度の濃度でドーピングされる。

[0159] 次いで、図 2 2 (b) に示すように、第 1 実施形態と同様にして第 1 の半導体層 4 5 の

上に第 1 のレジスト層 4 7 を形成し、それをマスクにして第 1 の半導体層 4 5 をドライエッチングすることにより複数の第 1 の溝 4 5 a を形成する。

[0160] これにより、第 1 実施形態と同様に、光電変換層 7 3 の第 2 の主面 7 3 b 側に、第 1 の溝 4 5 a の底面 4 5 b と表面 4 5 x とを備えた第 1 の回折格子 4 9 が作製される。

[0161] 第 1 の溝 4 5 a の大きさは第 1 実施形態と同様であって、その深さ Z_1 は例えば $0.75\ \mu\text{m}$ であり、幅 W_1 は例えば $2.5\ \mu\text{m}$ である。また、隣接する第 1 の

溝 4 5 a の間隔 P_1 は、例えば $2.5 \mu\text{m}$ である。

[0162] この後に、第 1 のレジスト層 4 7 を除去する。

[0163] 次に、図 2 3 (a) に示すように、第 1 の回折格子 4 9 の表面 4 5 x の上に蒸着法で金属層を $0.25 \mu\text{m}$ 程度の厚さに形成し、更にリフトオフ法でその金属層を線状にパターンニングすることにより複数の金属線 5 1 を間隔をおいて形成する。

[0164] なお、第 1 実施形態と同様に、各金属線 5 1 の幅 A と、隣接する金属線 5 1 同士の間隔 B は、いずれも $0.25 \mu\text{m}$ 程度である。

[0165] 図 2 7 は、本工程を終了した後の第 1 の回折格子 4 9 の斜視図である。

[0166] 第 1 実施形態では第 2 の方向 D_2 に沿って延びるように各金属線 5 1 を形成したが、本実施形態では図 2 7 のように第 1 の溝 4 5 a の延在方向である第 1 の方向 D_1 に沿って延びるように各金属線 5 1 を形成する。

[0167] これらの金属線 5 1 は、光をその偏光の向きに応じて透過させたり反射させたりするワイヤーグリッド偏光子として機能する。

[0168] なお、図 2 1 ～図 2 6 における第 1 断面は第 1 の方向 D_1 に垂直な切断面で切断した断面であり、第 2 断面は第 2 の方向 D_2 に垂直な切断面で切断した断面である。

[0169] 続いて、図 2 3 (b) に示すように、第 1 実施形態と同様にして金属線 5 1 の上に酸化シリコン層 5 2 を形成する。

[0170] 次に、図 2 4 (a) に示すように、第 1 実施形態の図 1 2 (a) の工程を行うことにより、第 1 の半導体層 4 5 と酸化シリコン層 5 2 の上に第 2 の半導体層 5 3 として n 型の GaAs 層を形成し、各半導体層 4 5、5 3 を第 2 のオーミックコンタクト層 5 7 とする。

[0171] その後、第 2 の半導体層 5 3 の上面を CMP 法により研磨して平坦化する。

[0172] 続いて、図 2 4 (b) に示すように、第 2 のオーミックコンタクト層 5 7 の上に第 2 のレジスト層 5 9 を形成する。

[0173] そして、その第 2 のレジスト層 5 9 をマスクにしながら第 2 のオーミックコンタクト層 5 7 をドライエッチングすることにより、第 2 のオーミックコ

ンタクト層 57 の表面に複数の凹凸を形成する。そのドライエッチングでは、エッチングガスとして例えば塩素ガスを使用し得る。

[0174] その後、第 2 のレジスト層 59 を除去する。

[0175] 次に、図 25 (a) に示すように、第 2 のオーミックコンタクト層 57 の上に第 3 のレジスト層 60 を形成する。

[0176] そして、第 3 のレジスト層 60 をマスクにしながら、フッ酸をエッチング液として使用するウエットエッチングにより、各オーミックコンタクト層 41、57 と光電変換層 73 にホール 61 を形成する。

[0177] この後に、第 3 のレジスト層 60 は除去される。

[0178] 次に、図 25 (b) に示すように、ホール 61 内に電極層 63 を形成すると共に、第 2 のオーミックコンタクト層 57 の上に第 2 の回折格子 62 を形成する。

[0179] 第 1 実施形態と同様に、第 2 の回折格子 62 と電極層 63 は、金とゲルマニウムとの合金層と金層とがこの順に積層された積層膜をリフトオフ法でパターンニングすることにより形成される。

[0180] また、電極層 63 は、第 1 のホール 61 を介して第 1 のオーミックコンタクト層 41 に接続されており、第 2 の回折格子 62 との間に電圧が印加される。

[0181] そして、第 2 の回折格子 62 には、第 2 のオーミックコンタクト層 57 の凹凸を反映した複数の第 2 の溝 62 a が形成される。

[0182] 第 2 の溝 62 a の大きさは、第 1 の溝 45 a と同程度であって、その深さ L_2 は $0.75 \mu\text{m}$ 程度であり、その幅 W_2 は $2.5 \mu\text{m}$ 程度である。また、隣接する第 2 の溝 62 a の間隔 P_2 は、例えば $2.5 \mu\text{m}$ である。

[0183] 図 28 は、第 2 の回折格子 62 の斜視図である。

[0184] 図 28 に示すように、第 2 の溝 62 a は、第 1 実施形態と同様に第 1 の方向 D_1 に直交する第 2 の方向 D_2 に沿って延びる。

[0185] 次に、図 26 (a) に示すように、基板 40 の上側全面にフォトリソを塗布し、それを露光、現像することにより第 4 のレジスト層 65 を形成す

る。

[0186] そして、第4のレジスト層65をマスクにしながら各オーミックコンタクト層41、57と光電変換層73をドライエッチングすることにより、複数の画素67を画定する素子分離溝66を形成する。

[0187] 次に、図26(b)に示すように、第4のレジスト層65を除去する。

[0188] この後は、第2の回折格子62と電極層63の各々にインジウム bumps 69を接合し、本実施形態に係る光検知器80の基本構造を完成させる。

[0189] 第1実施形態と同様に、その光検知器80は、平面視で複数の画素67がアレイ状に配列されたFPAである。

[0190] 次に、その光検知器80の動作について説明する。

[0191] 図29は、光検知器80の動作について説明するための模式断面図である。

[0192] この光検知器80はQDIPであって、第1のオーミックコンタクト層41よりも第2の回折格子62の電位が高くなるようにこれらの間に電圧が印加された状態で、基板40を介して検知対象の光Lが入射する。

[0193] 光Lは、偏光状態に応じて第1の回折格子49と第2の回折格子62のいずれか一方で

回折し、これにより回折光 L_d が生成される。そして、その回折光 L_d が量子ドット72において吸収されることにより、量子ドット72に束縛された電子が励起して第2の回折格子62側に移動し、光電流を得ることができる。

[0194] 第1実施形態と同様に、光Lが第1の回折格子49で回折するか否かは光Lの偏光状態による。

[0195] 但し、本実施形態では、図27に示したように金属線51が延びる方向を第1の溝45aと同じ第1の方向 D_1 にしたため、第1の回折格子49の振る舞いが以下のように第1実施形態とは異なる。

[0196] 図30は、本実施形態において、光Lの偏光状態により第1の回折格子49がどのよう

に振る舞うのかを模式的に説明するための斜視図である。

- [0197] 図 19 と同様に、図 30 においては、第 1 の方向 D_1 に平行な電界 E を持った光 L_1 と、第 2 の方向 D_2 に平行な電界 E を持った光 L_2 の各々が、法線方向 n に沿って第 1 の回折格子 49 に入射する場合を示している。
- [0198] 光 L_1 が第 1 の回折格子 49 に入射した場合には、光 L_1 の電界 E の方向と金属線 51 が延びる方向とが同じであるため、その電界 E によって金属線 51 内の電子が金属線 51 に沿って揺さぶられ、各金属線 51 によって光 L_1 が反射する。
- [0199] よって、この場合には、第 1 の回折格子 49 は光 L_1 に対して回折格子として機能し、第 1 の溝 45 a によって光 L_1 の回折光 L_{d1} が生成される。
- [0200] その回折光 L_{d1} は、第 1 の溝 45 a が延びる第 1 の方向 D_1 に垂直な面内を進行する。また、回折の前における光 L_1 の電界 E の向きは第 1 の方向 D_1 に平行である。よって、回折の前後で電界 E の向きは変わらず、回折光 L_{d1} は電界 E の向きが各主面 73 a、73 b (図 29 参照) に平行な TE 波となる。
- [0201] 一方、光 L_2 が第 1 の回折格子 49 に入射した場合には、光 L_2 の電界 E の方向と金属線 51 が延びる方向と直交しているため、金属線 51 内の電子は電界 E によって揺さぶられず、各金属線 51 の間を光 L_2 が通り抜けるようになる。
- [0202] よって、この場合には、第 1 の回折格子 49 を光 L_2 が透過するようになり、光 L_2 は第 2 の回折格子 62 で回折されることになる。
- [0203] 図 31 は、このように第 1 の回折格子 49 を透過した光 L_2 が第 2 の回折格子 62 で回折する様子を示す斜視図である。
- [0204] 光 L_2 が第 2 の回折格子 62 に入射すると、第 2 の溝 62 a によって光 L_2 が回

折して回折光 L_{d2} が生成される。

[0205] その回折光 L_{d2} は、第2の溝62aが延びる第2の方向 D_2 に垂直な面内を進行する。ま

た、回折の前における光 L_2 の電界 E の向きは第2の方向 D_2 に平行である。よって、回折の

前後で電界 E の向きは変わらず、回折光 L_{d2} は電界 E の向きが各主面73a、73b（図2

9参照）に平行なTE波となる。

[0206] 以上のように、この光検知器80によれば、基板40に入射する光 L の偏光の向きを問

わずにTE波を作ることができる。

[0207] 図7を参照して説明したように、TE波は、TM波よりも光電変換層73等の結晶層内に留まり易く光路長が長くなるため、量子ドット72が光に曝される機会を増やすことができる。

[0208] そのため、本実施形態のように入射光の偏光状態の如何を問わずにTE波を生成することにより、光検知器80の光電変換効率を高めることが可能となる。

[0209] （第3実施形態）

本実施形態では、第1の回折格子49と第2の回折格子62を太陽電池に適用することにより、太陽電池における光電変換効率を高める。

[0210] 図32～図38は、本実施形態に係る光検知器の製造途中の断面図である。

[0211] なお、図32～図38において、第1実施形態や第2実施形態で説明したのと同じ要素にはこれらにおけるのと同じ符号を付し、以下ではその説明を省略する。

[0212] また、これらの図においては、第1実施形態や第2実施形態と同様に、第1断面とこれに直交する第2断面とを併記する。

[0213] まず、図32（a）に示すように、n型半導体基板81としてn型のGaAs基

板を用意する。なお、n型半導体基板 8 1 にドーピングするn型不純物は特に限定されず、例えばシリコンをn型半導体基板 8 1 に $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度の濃度にドーピングし得る。

[0214] そして、そのn型半導体基板 8 1 の上にp型半導体層 8 2 としてMOVPE法によりp型のGaAs層を500nm程度の厚さに形成し、n型半導体基板 8 1 とp型半導体層 8 2 を光電変換層 8 3 とする。

[0215] その光電変換層 8 3 においては、n型半導体基板 8 1 とp型半導体層 8 2 との間にpn接合が形成される。そして、そのpn接合に光が入射することにより光電変換層 8 3 に光電流が発生する。

[0216] また、光電変換層 8 3 は、相対する第 1 の主面 8 3 a と第 2 の主面 8 3 b とを有しており、このうちp型半導体層 8 2 側の第 1 の主面 8 3 a から光が入射する。

[0217] 次に、図 3 2 (b) に示すように、光電変換層 8 3 の第 1 の主面 8 3 a の上に蒸着法で金属層を200nm程度の厚さに形成した後、リフトオフ法によりその金属層をパターニングすることにより表面電極 8 4 を形成する。

[0218] その金属層は、例えば、金とゲルマニウムとの合金層と金層とがこの順に積層された積層膜である。

[0219] 続いて、図 3 3 (a) に示すように、光電変換層 8 3 の上下を逆にしてn型半導体基板

8 1 をパターニングすることにより、n型半導体基板 8 1 の表面 8 1 x に複数の第 1 の細

溝 8 1 a を形成する。そのパターニングで使用するエッチングガスは特に限定されないが

、例えば塩素ガスをエッチングガスとして使用し得る。

[0220] また、第 1 の細溝 8 1 a の大きさも特に限定されない。本実施形態では、第 1 の細溝 8 1 a の幅Aを100nm程度とし、隣接する第 1 の細溝 8 1 a 同士の間隔Bを100nm程度とする。また、第 1 の細溝 8 1 a の深さは例えば100nm程度である。

- [0221] なお、この例では表面 8 1 x に第 1 の領域 R_1 と第 2 の領域 R_2 を交互に複数設け、そのうちの第 1 の領域 R_1 にのみ第 1 の細溝 8 1 a を形成し、第 2 の領域 R_2 には第 1 の細溝 8 1 a を形成しない。
- [0222] その第 1 の領域 R_1 と第 2 の領域 R_2 の各々の幅 W_{R1} 、 W_{R2} は、いずれも 0.5 μm 程度である。
- [0223] 次に、図 3 3 (b) に示すように、n 型半導体基板 8 1 の表面 8 1 x にスパッタ法で白金層を 10 nm 程度の厚さに形成し、更にその上に電解メッキ法で金層を 200 nm 程度の厚さに形成して、その白金層と金層とを備えた金属層 8 5 で第 1 の細溝 8 1 a を埋め込む。
- [0224] その後に、図 3 4 (a) に示すように、CMP (Chemical Mechanical Polishing) 法により金属層 8 5 を研磨して表面 8 1 x から金属層 8 5 を除去し、第 1 の細溝 8 1 a 内にのみ金属層 8 5 を金属線 5 1 として残す。
- [0225] このようにして形成された各金属線 5 1 の幅は 100 nm 程度であり、隣接する金属線 5 1 同士の間隔は 100 nm 程度である。また、各金属線 5 1 の厚さは 100 nm 程度である。
- [0226] 次に、図 3 4 (b) に示すように、第 1 実施形態と同様にして金属線 5 1 の上に酸化シリコン層 5 2 を形成する。
- [0227] そして、図 3 5 (a) に示すように、n 型半導体基板 8 1 と酸化シリコン層 5 2 の上に MOVPE 法で n 型の GaAs 層形成し、その GaAs 層を n 型半導体層 8 6 とする。
- [0228] その後、n 型半導体層 8 6 の上面を CMP 法で研磨して平坦化する。
- [0229] 次に、図 3 5 (b) に示すように、n 型半導体層 8 6 をパターニングすることにより、第 2 の領域 R_2 における n 型半導体層 8 6 の上面 8 6 y に複数の第 2 の細溝 8 6 a を形成する。そのパターニングで使用するエッチングガスとしては、例えば塩素ガス

がある。

- [0230] 第2の細溝86aの大きさは特に限定されない。例えば、第2の細溝86aの幅Aは100nm程度であり、隣接する第2の細溝86a同士の間隔Bは100nm程度である。また、第2の細溝86aの深さは例えば100nm程度である。
- [0231] 更に、第1の細溝81aと第2の細溝86aの各々の底面同士の間隔Dは、例えば0.45 μ m程度である。
- [0232] なお、第2の細溝86aは第2の領域R₂のみに形成され、第1の領域R₁には第2の細溝86aを形成しない。
- [0233] そして、図36(a)に示すように、n型半導体層86の上面86yにスパッタ法で白金層を10nm程度の厚さに形成し、更にその上に電解メッキ法で金層を200nm程度の厚さに形成して、その白金層と金層とを備えた金属層85で第2の細溝86aを埋め込む。
- [0234] その後に、図36(b)に示すように、CMP法により金属層85を研磨して上面86yから金属層85を除去し、第2の細溝86a内にのみ金属層85を金属線51として残す。
- [0235] 図34(a)で形成した金属線51と同様に、本工程で形成した各金属線51の幅は100nm程度であり、隣接する金属線51同士の間隔は100nm程度である。また、各金属線51の厚さは100nm程度である。
- [0236] ここまでの工程により、光電変換層83の第2の主面83b側に、表面に複数の金属線51が形成された第1の回折格子49が作製されたことになる。
- [0237] 図39は、その第1の回折格子49の斜視図である。
- [0238] 図39に示すように、その第1の回折格子49には、互いに高低差のある

第1の面87aと第2の面87bとが交互に複数設けられる。

[0239] このうち、第1の面87aは、n型半導体層86の下面86xのうち、前述の第1の領域 R_1 （図35（b）参照）に位置する面であり、基板80の法線方向nに直交する第1の方向 D_1 にストライプ状に延びる。また、第2の面87bは、n型半導体層86の上面86yのうち、前述の第2の領域 R_2 （図35（b）参照）に位置する面であり、第1の方向 D_1 にストライプ状に延びる。

[0240] そして、前述の金属線51は、第1の面87aと第2の面87bの各々に形成されており、これらの面87a、87bを除いた下面86xと上面86yには金属線51は形成されない。

[0241] 更に、各金属線51は、これらの面87a、87bの各々において第1の方向 D_1 に沿って延びるように形成される。これらの金属線51は、第2実施形態と同様に、光をその偏光の向きに応じて透過させたり反射させたりするワイヤグリッド偏光子として機能する。

[0242] なお、図32～図38における第1断面は第1の方向 D_1 に垂直な切断面で切断した断面であり、第2断面は第2の方向 D_2 に垂直な切断面で切断した断面である。

[0243] 続いて、図37（a）に示すように、図34（b）の工程と同様にして金属線51の上に酸化シリコン層52を形成する。

[0244] 次いで、図37（b）に示すように、n型半導体層86と酸化シリコン層52の上にMOVPE法でn型のGaAs層を2 μ m程度の厚さに形成し、そのGaAs層をn型半導体層88とする。

[0245] その後、n型半導体層88の表面をCMP法で研磨して平坦化する。

[0246] 次に、図38（a）に示すように、n型半導体層88の上に第2のレジスト層90を形成する。

- [0247] そして、第2のレジスト層90をマスクにしながらn型半導体層88をドライエッチングすることにより、n型半導体層88に複数の凹凸を形成する。そのドライエッチングで
使用し得るエッチングガスとしては、例えば塩素ガスがある。
- [0248] その後、第2のレジスト層90を除去する。
- [0249] 次に、図38(b)に示すように、n型半導体層88の上に金属層を蒸着法で200nm
程度の厚さに形成し、その金属層を第2の回折格子62とする。
- [0250] 金属層の材料は特に限定されないが、この例では金とゲルマニウムとの合金層と金層とがこの順に積層された積層膜を金属層として形成する。
- [0251] 第1実施形態と同様に、このように形成された第2の回折格子62には、n型半導体層
88の凹凸を反映した複数の第2の溝62aが形成される。
- [0252] 第2の溝62aの大きさは特に限定されないが、その深さ Z_2 は例えば0.4
5 μm とし
得る。また、第2の溝62aの幅 W_2 は0.5 μm 程度であり、隣接する第2の
溝62aの
間隔 P_2 は、例えば0.5 μm である。
- [0253] なお、第2の回折格子62は、光電変換層83で発生した光電流を取り出すための裏面電極としての機能も兼ねる。
- [0254] 図40は、第2の回折格子62の斜視図である。
- [0255] 図40に示すように、第2の溝62aは、第1実施形態と同様に第1の方向 D_1 に直交する第2の方向 D_2 に沿って延びる。
- [0256] 以上により、本実施形態に係る光検知器89（図38(b)参照）の基本構造が完成する。
- [0257] 次に、この光検知器89の動作について説明する。
- [0258] 図41は、光検知器89の動作について説明するための模式断面図である

。

[0259] この光検知器 8 9 は、前述のように太陽電池であって、p型半導体層 8 2 を介して光 L が入射する。そして、その光 L によって p 型半導体層 8 2 と n 型半導体基板 8 1 との間の pn 接合で光電流が発生し、表面電極 8 4 や第 2 の回折格子 6 2 からその光電流が取り出される。

[0260] また、光検知器 8 9 に入射した光 L は、その偏光状態に応じて第 1 の回折格子 4 9 と第 2 の回折格子 6 2 のいずれか一方で回折する。

[0261] 本実施形態では、図 3 9 に示したように、第 2 実施形態と同様に金属線 5 1 が延びる方向を第 1 の方向 D_1 にしたため、第 2 実施形態と同じ理由によって光 L の偏光状態の如何を問わずに各回折格子 4 9、6 2 で発生した回折光 L_d は TE 波となる。

[0262] TE 波は、前述のように TM 波よりも光電変換層 8 3 等の結晶層内に留まりやすく光路長が長い。よって、p 型半導体層 8 2 と n 型半導体基板 8 1 との間の pn 接合がその TM 波に曝される機会が多くなり、光検知器 8 9 における光電変換効率を高めることが可能となる。

[0263] (第 4 実施形態)

本実施形態では、第 1 実施形態と第 2 実施形態で説明した各光検知器を利用した撮像装置について説明する。

[0264] 図 4 2 は、本実施形態に係る撮像装置の構成図である。

[0265] 図 4 2 に示すように、この撮像装置 1 0 0 は、筐体 1 0 1 とその中に収容された撮像ユニット 1 0 2 とを有する。

[0266] このうち、筐体 1 0 1 には被写体を撮像するための撮像レンズ 1 0 3 が固定されており、その撮像レンズ 1 0 3 の後段に撮像ユニット 1 0 2 が設けられる。

[0267] 撮像ユニット 1 0 2 は、撮像レンズ 1 0 3 の焦点面に結像した被写体の光学像を電気信号に変換するユニットであって、ハウジング 1 0 6 とその前面

に固定された光学窓 107 とを有する。

[0268] 光学窓 107 は、撮像レンズ 103 が集光した光を透過する平板である。

[0269] また、ハウジング 106 には、被写体の光学像を取得する撮像素子 110 として、第 1 実施形態に係る光検知器 68 と第 2 実施形態に係る光検知器 80 のいずれかが収容される。

[0270] その撮像素子 110 は、波長が $3\ \mu\text{m}$ ~ $10\ \mu\text{m}$ 程度の中～長波長の赤外線を受光し、その赤外線の強度に応じた光電流を画素ごとに出力する素子であり、ノイズの発生を防ぐためにペルチェ素子等の冷却器 111 により冷却される。

[0271] なお、このように冷却したときに光学窓 107 や撮像素子 110 の表面に結露が発生しないようにするために、ハウジング 106 の内部は真空排気されている。

[0272] 更に、ハウジング 106 の内部には、撮像素子 110 の光電流を画素ごとに読み出してそれを光信号 S_1 として出力する読み出し回路 112 も設けられる。

[0273] 図 43 は、撮像素子 110 の斜視図である。

[0274] 図 43 に示すように、撮像素子 110 は、平面内において画素 67 がアレイ状に配列された FPA である。

[0275] そして、その撮像素子 110 は、インジウムバンプ 69 を介して回路基板 113 に接続されており、回路基板 113 に設けられた読み出し回路 112 と電氣的に接続される。

[0276] 図 44 は、この撮像装置 100 の機能ブロック図である。

[0277] 図 44 に示すように、読み出し回路 112 の後段には、信号処理部 115 と記憶部 116 が設けられる。

[0278] このうち、読み出し回路 112 は、前述のように撮像素子 110 から出力された光電流 S_0 を画素ごとに読み出し、その光電流 S_0 の大きさを示す光信号 S_1 を出力する。

[0279] そして、信号処理部 115 は、その光信号 S_1 に対して画素 67 (図 40 参照

）ごとに感度補正等の補正を行い、その補正を加味した画像信号 S_2 を出力する。

[0280] また、記憶部 116 は、補正を行うための補正係数を記憶する。例えば、感度補正を行う場合には、各々の画素 67 の感度のばらつきを相殺するための補正係数を記憶部 116 が記憶し、信号処理部 115 が記憶部 116 からその補正係数を読み出す。そして、信号処理部 115 がその補正係数に光信号 S_1 を乗じることにより画像信号 S_2 を出力する。

[0281] 以上説明した本実施形態によれば、撮像素子 110 として第 1 実施形態に係る光検知器 68 と第 2 実施形態に係る光検知器 80 のいずれかを用いる。これらの光検知器 68、80 は、前述のように第 1 の回折格子 49 と第 2 の回折格子 62 によって光電変換効率が高められているため、撮像素子 110 で被写体を高感度に撮像することができる。

[0282] 以上説明した各実施形態に関し、更に以下の付記を開示する。

[0283] （付記 1） 光が入射する第 1 の主面と、前記第 1 の主面に相対する第 2 の主面とを有し、前記光に対して光電変換を行う光電変換層と、

前記第 2 の主面側に形成され、第 1 の方向にストライプ状に延びる第 1 の面と、前記第 1 の面と高低差があり、かつ前記第 1 の方向にストライプ状に延びる第 2 の面とが交互に複数設けられた第 1 の回折格子と、

前記第 1 の面と前記第 2 の面の各々に間隔をおいて複数設けられ、かつ、前記第 1 の方向と、前記第 1 の方向に直交する第 2 の方向のいずれかに沿って延びる金属線と、

前記第 1 の回折格子の上に形成され、前記第 2 の方向に延びる複数の溝が間隔をおいて形成された第 2 の回折格子と、

を有する光検知器。

[0284] （付記 2） 前記光電変換層は、交互に積層された量子井戸層と障壁層とを有し、

前記金属線は、前記第 2 の方向に沿って延びることを特徴とする付記 1 に記載の光検知器。

[0285] (付記 3) 前記光電変換層は、交互に積層された量子ドットと中間層とを有し、

前記金属線は、前記第 1 の方向に沿って延びることを特徴とする付記 1 に記載の光検知器。

[0286] (付記 4) 前記光電変換層の前記第 2 の主面の上に形成され、前記第 1 の面と前記第 2 の面とを備えた第 1 の半導体層と、

前記第 1 の半導体層の上に形成された第 2 の半導体層とを有し、

前記第 2 の回折格子が前記第 2 の半導体層の上に形成されたことを特徴とする付記 2 又は付記 3 に記載の光検知器。

[0287] (付記 5) 前記金属線の上に形成された酸化シリコン層を更に有し、

前記第 2 の半導体層が前記酸化シリコン層の上に形成されたことを特徴とする付記 4 に記載の光検知器。

[0288] (付記 6) 前記光電変換層は、第 1 の導電型の半導体基板と、前記半導体基板の上に形成された第 2 の導電型の半導体層とを有し、

前記金属線は、前記第 1 の方向に沿って延びることを特徴とする付記 1 に記載の光検知器。

[0289] (付記 7) 平面内にアレイ状に配列され、受光した光の強度に応じた光電流を出力する複数の画素と、

前記光電流を読み出す読み出し回路とを有し、

前記画素は、

前記光が入射する第 1 の主面と、前記第 1 の主面に相対する第 2 の主面とを有し、前記光に対して光電変換を行う光電変換層と、

前記第 2 の主面側に形成され、第 1 の方向にストライプ状に延びる第 1 の面と、前記第 1 の面と高低差があり、かつ前記第 1 の方向にストライプ状に延びる第 2 の面とが交互に

複数設けられた第 1 の回折格子と、

前記第 1 の面と前記第 2 の面の各々に間隔をおいて複数設けられ、かつ、前記第 1 の方向と、前記第 1 の方向に直交する第 2 の方向のいずれかに沿っ

て延びる金属線と、

前記第1の回折格子の上に形成され、前記第2の方向に延びる複数の溝が間隔をおいて形成された第2の回折格子と、

を有することを特徴とする撮像装置。

符号の説明

[0290] 1…QWIP、2、22、40…基板、3、23、44、73、83…光電変換層、4、42…障壁層、5、43…量子井戸層、6、26…オーミックコンタクト層、7、27…回折格子、7a、27a…溝、9、29…電極層、10…電流計、24…中間層、25…量子ドット、21…QDIP、30…結晶層、44a、73a、83a…第1の主面、44b、73b、83b…第2の主面、45…第1の半導体層、45a…第1の溝、45b…底面、45x…表面、47…第1のレジスト層、49…第1の回折格子、51…金属線、52…酸化シリコン層、53…第2の半導体層、57…第2のオーミックコンタクト層、59…第2のレジスト層、60…第3のレジスト層、61…ホール、62…第2の回折格子、62a…第2の溝、63…電極層、65…第4のレジスト層、66…素子分離溝、67…画素、68、80、89…光検知器、69…インジウムバンプ、71…中間層、72…量子ドット、81…n型半導体基板、81a…第1の溝、81x…表面、82…p型半導体層、84…表面電極、85…金属層、86…n型半導体層、86a…第2の溝、86x…下面、86y…上面、87a…第1の面、87b…第2の面、88…n型半導体層、90…第2のレジスト層、100…撮像装置、101…筐体、102…撮像ユニット、103…撮像レンズ、106…ハウジング、107…光学窓、110…撮像素子、111…冷却器、112…読み出し回路、113…回路基板、115…信号処理部、116…記憶部。

請求の範囲

- [請求項1] 光が入射する第1の主面と、前記第1の主面に相対する第2の主面とを有し、前記光に対して光電変換を行う光電変換層と、
前記第2の主面側に形成され、第1の方向にストライプ状に延びる第1の面と、前記第1の面と高低差があり、かつ前記第1の方向にストライプ状に延びる第2の面とが交互に複数設けられた第1の回折格子と、
前記第1の面と前記第2の面の各々に間隔をおいて複数設けられ、かつ、前記第1の方向と、前記第1の方向に直交する第2の方向のいずれかに沿って延びる金属線と、
前記第1の回折格子の上に形成され、前記第2の方向に延びる複数の溝が間隔をおいて形成された第2の回折格子と、
を有する光検知器。
- [請求項2] 前記光電変換層は、交互に積層された量子井戸層と障壁層とを有し、
前記金属線は、前記第2の方向に沿って延びることを特徴とする請求項1に記載の光検知器。
- [請求項3] 前記光電変換層は、交互に積層された量子ドットと中間層とを有し、
前記金属線は、前記第1の方向に沿って延びることを特徴とする請求項1に記載の光検知器。
- [請求項4] 前記光電変換層の前記第2の主面の上に形成され、前記第1の面と前記第2の面とを備えた第1の半導体層と、
前記第1の半導体層の上に形成された第2の半導体層とを有し、
前記第2の回折格子が前記第2の半導体層の上に形成されたことを特徴とする請求項2又は請求項3に記載の光検知器。
- [請求項5] 前記金属線の上に形成された酸化シリコン層を更に有し、
前記第2の半導体層が前記酸化シリコン層の上に形成されたことを

特徴とする請求項 4 に記載の光検知器。

[請求項6]

前記光電変換層は、第 1 の導電型の半導体基板と、前記半導体基板の上に形成された第 2 の導電型の半導体層とを有し、

前記金属線は、前記第 1 の方向に沿って延びることを特徴とする請求項 1 に記載の光検知器。

[請求項7]

平面内にアレイ状に配列され、受光した光の強度に応じた光電流を出力する複数の画素と、

前記光電流を読み出す読み出し回路とを有し、

前記画素は、

前記光が入射する第 1 の主面と、前記第 1 の主面に相対する第 2 の主面とを有し、前記光に対して光電変換を行う光電変換層と、

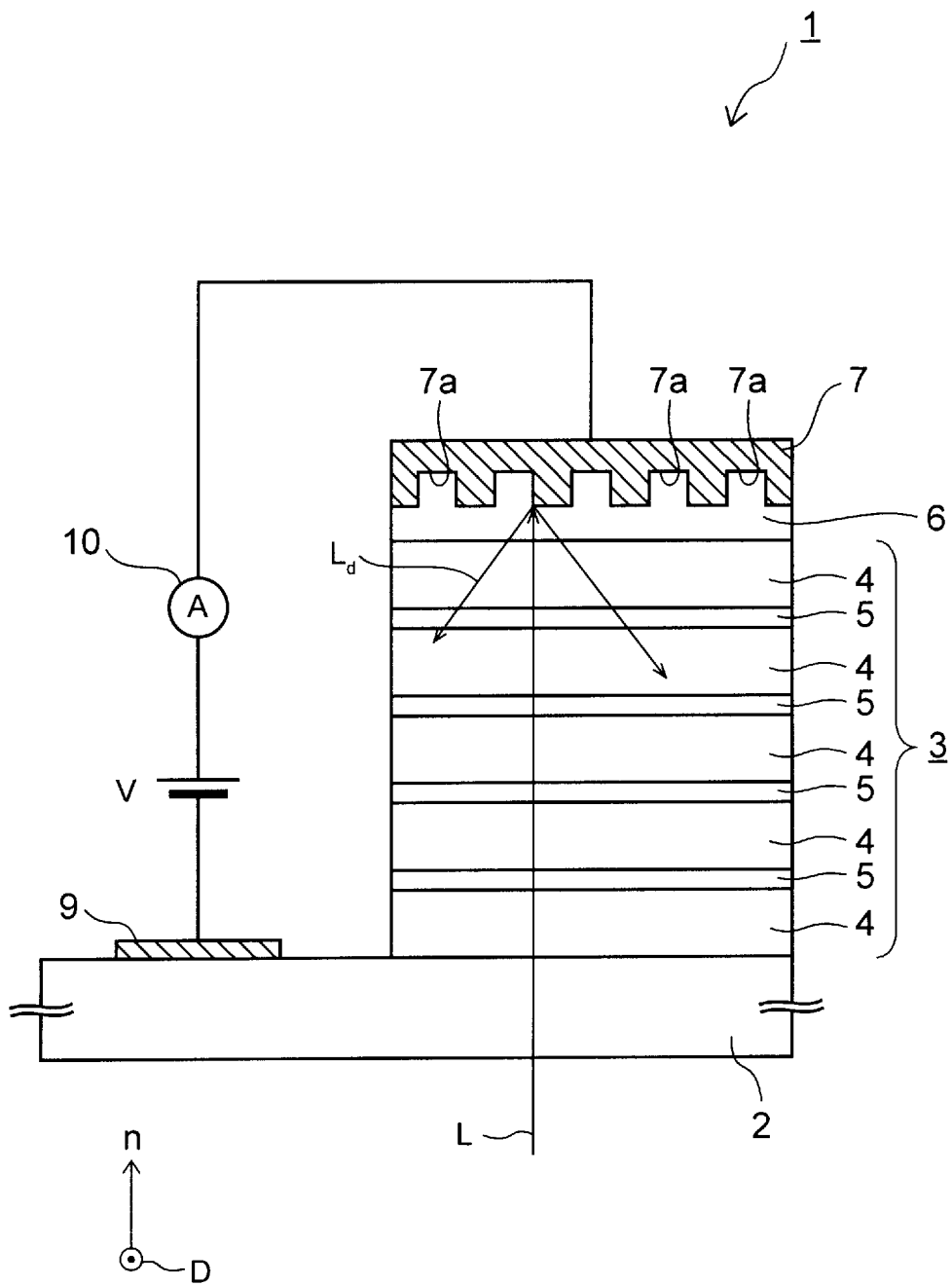
前記第 2 の主面側に形成され、第 1 の方向にストライプ状に延びる第 1 の面と、前記第 1 の面と高低差があり、かつ前記第 1 の方向にストライプ状に延びる第 2 の面とが交互に複数設けられた第 1 の回折格子と、

前記第 1 の面と前記第 2 の面の各々に間隔をおいて複数設けられ、かつ、前記第 1 の方向と、前記第 1 の方向に直交する第 2 の方向のいずれかに沿って延びる金属線と、

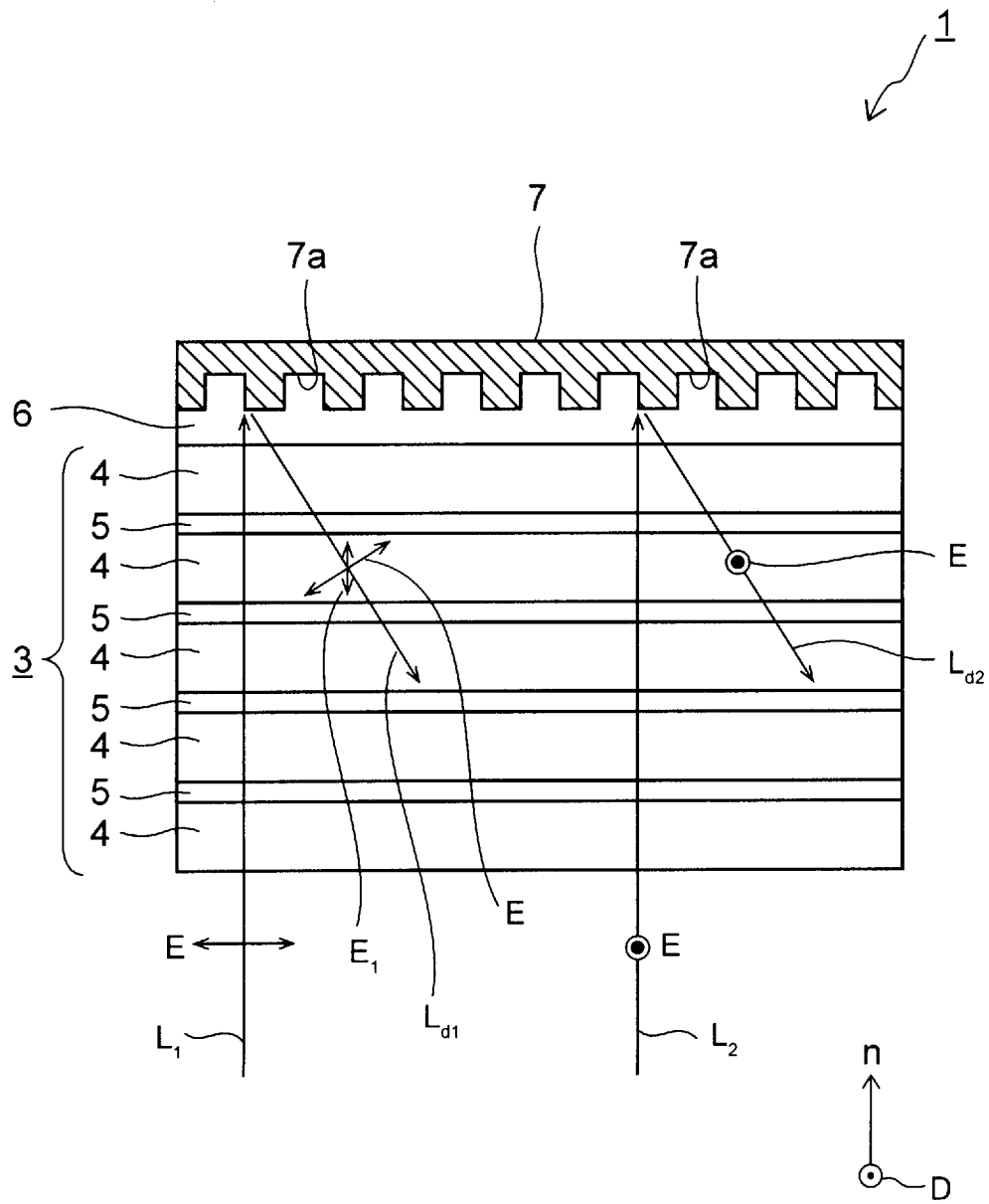
前記第 1 の回折格子の上に形成され、前記第 2 の方向に延びる複数の溝が間隔をおいて形成された第 2 の回折格子と、

を有することを特徴とする撮像装置。

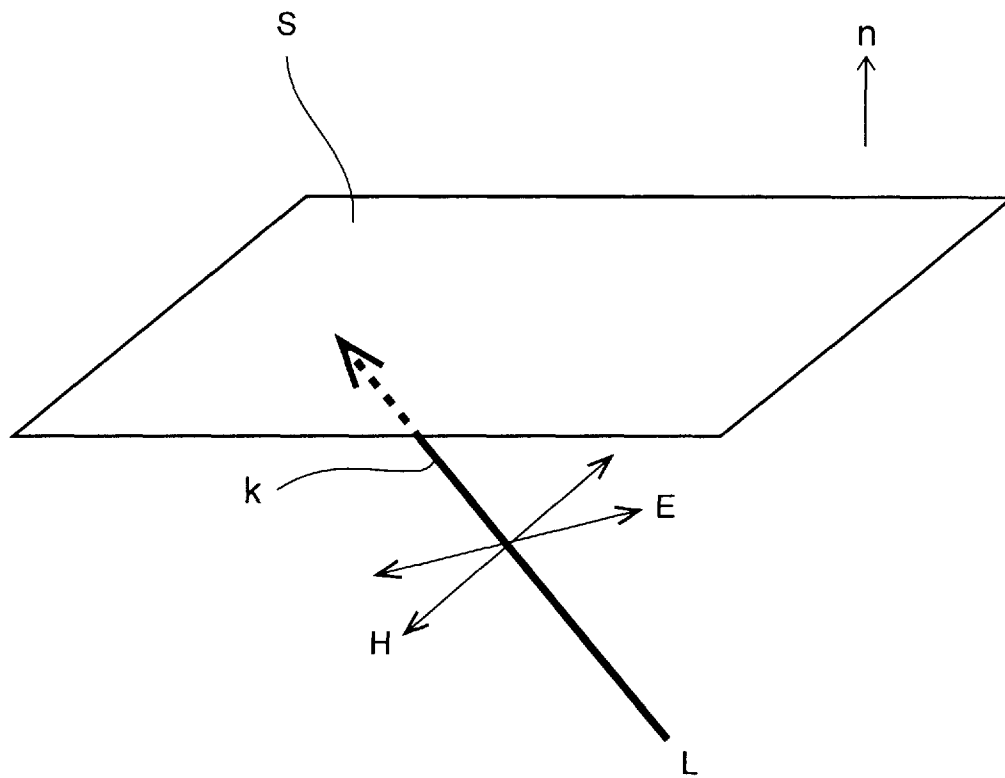
[図1]



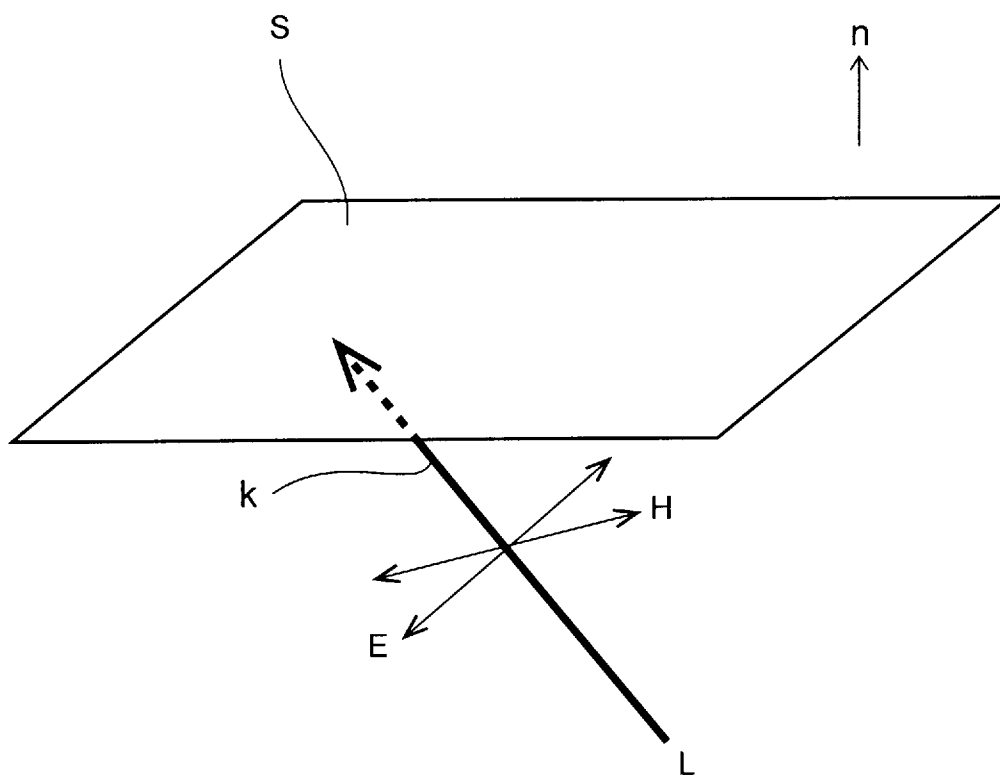
[図2]



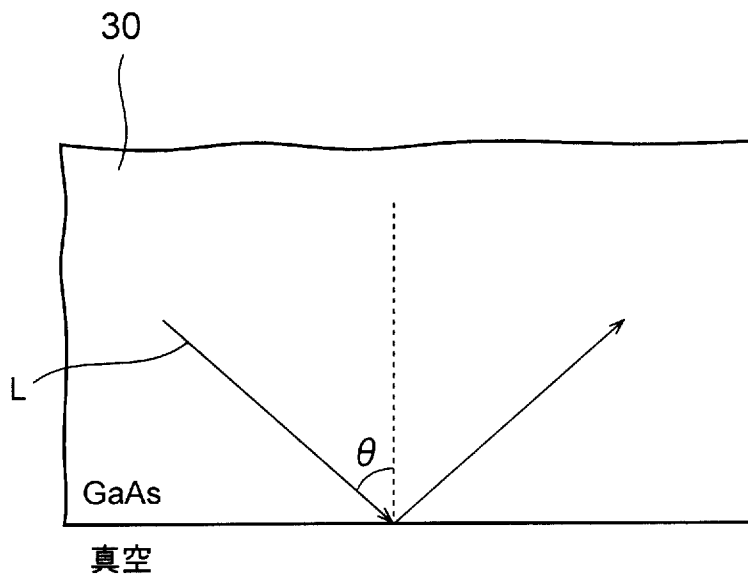
[図5]



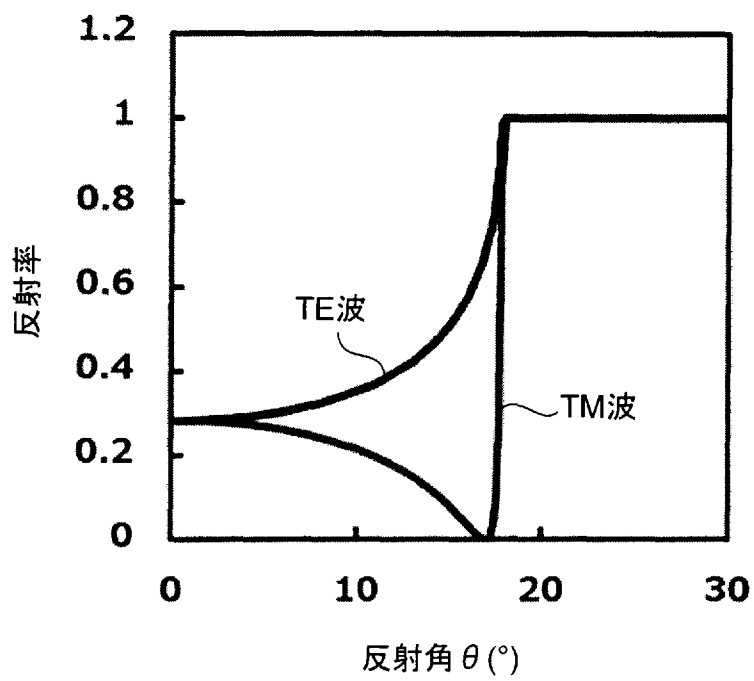
[図6]

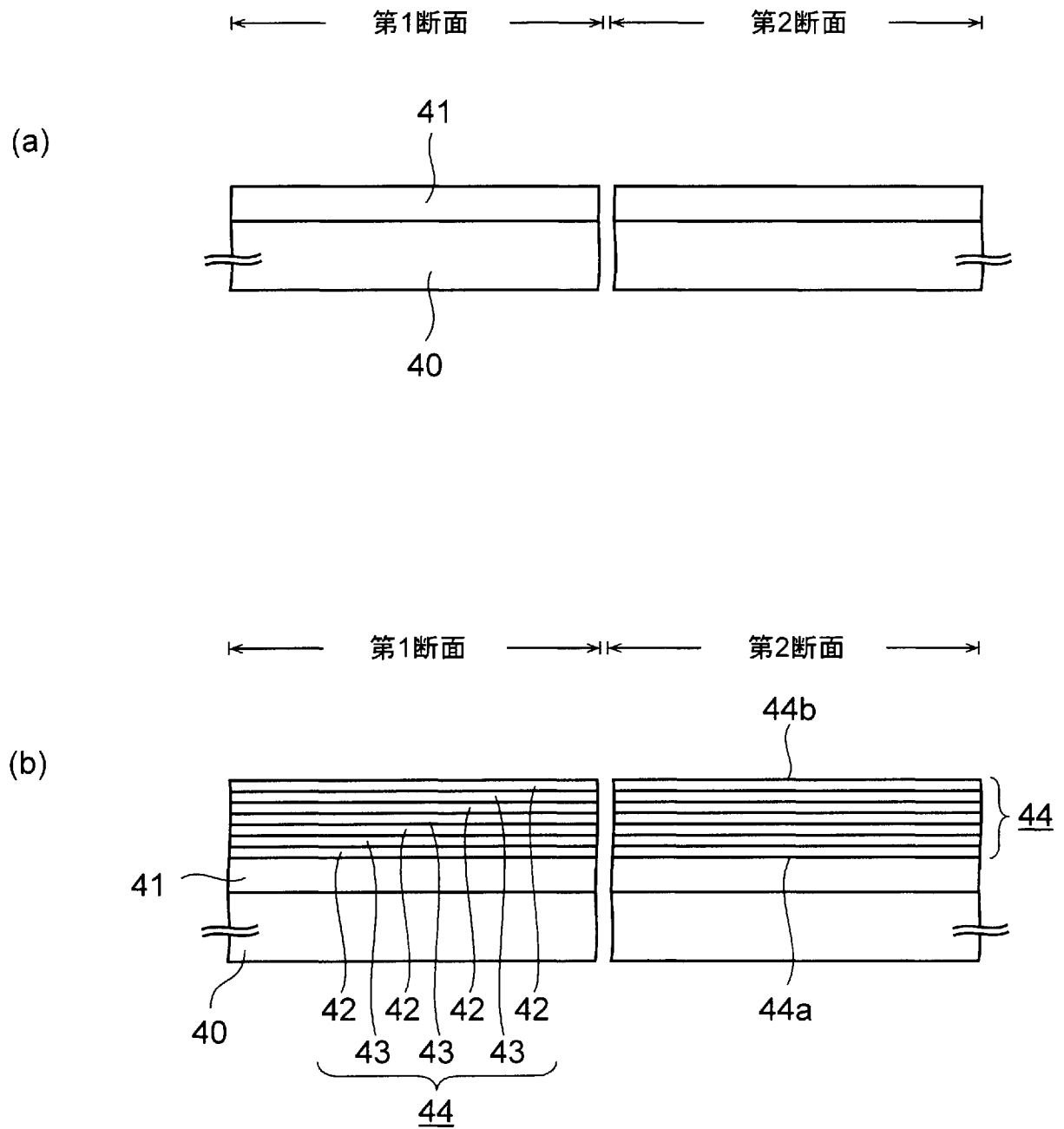


[図7]

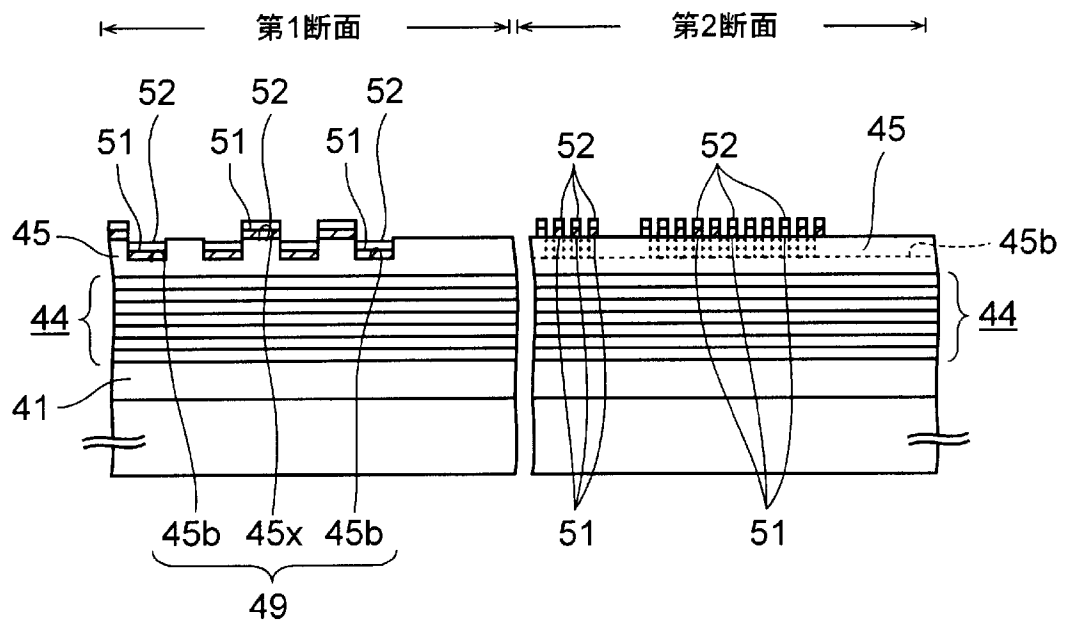
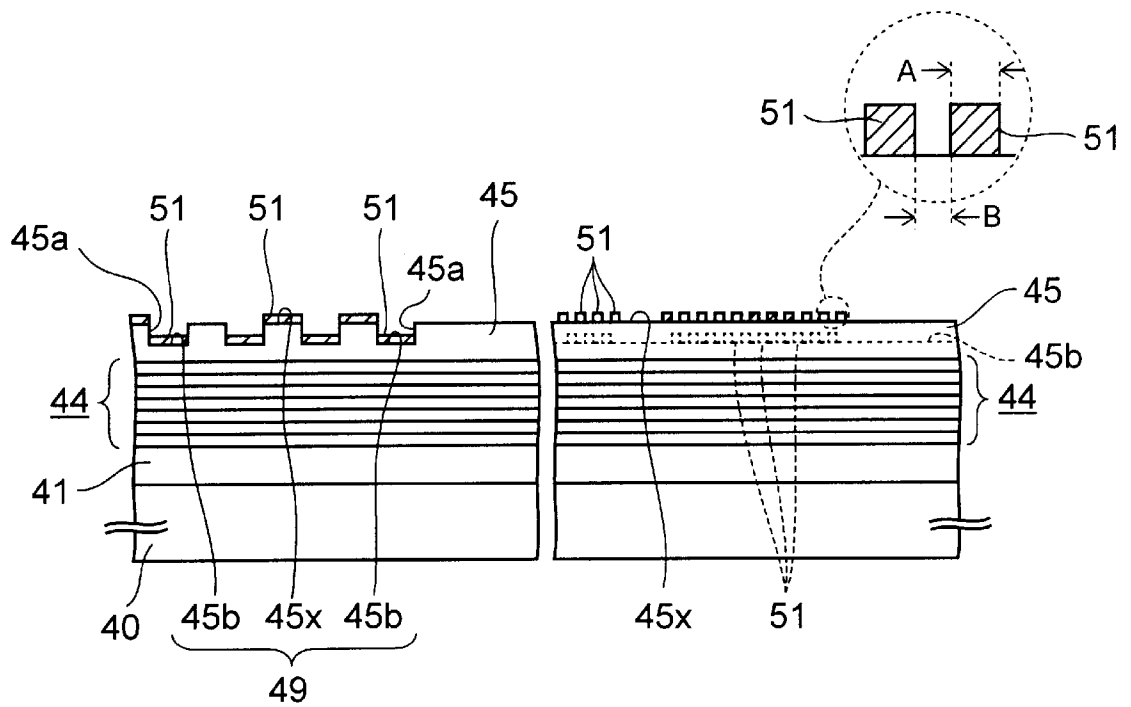


[図8]

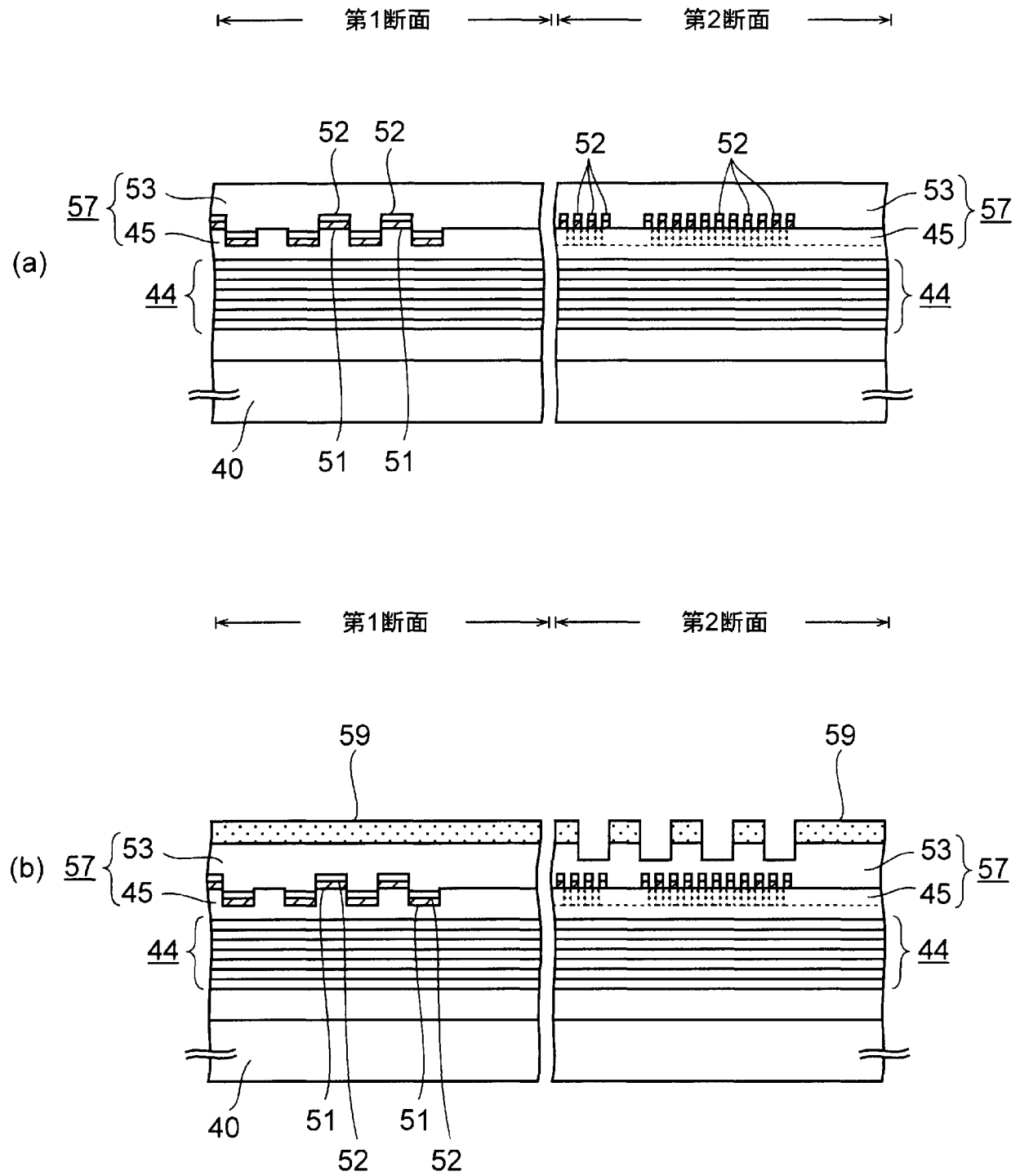




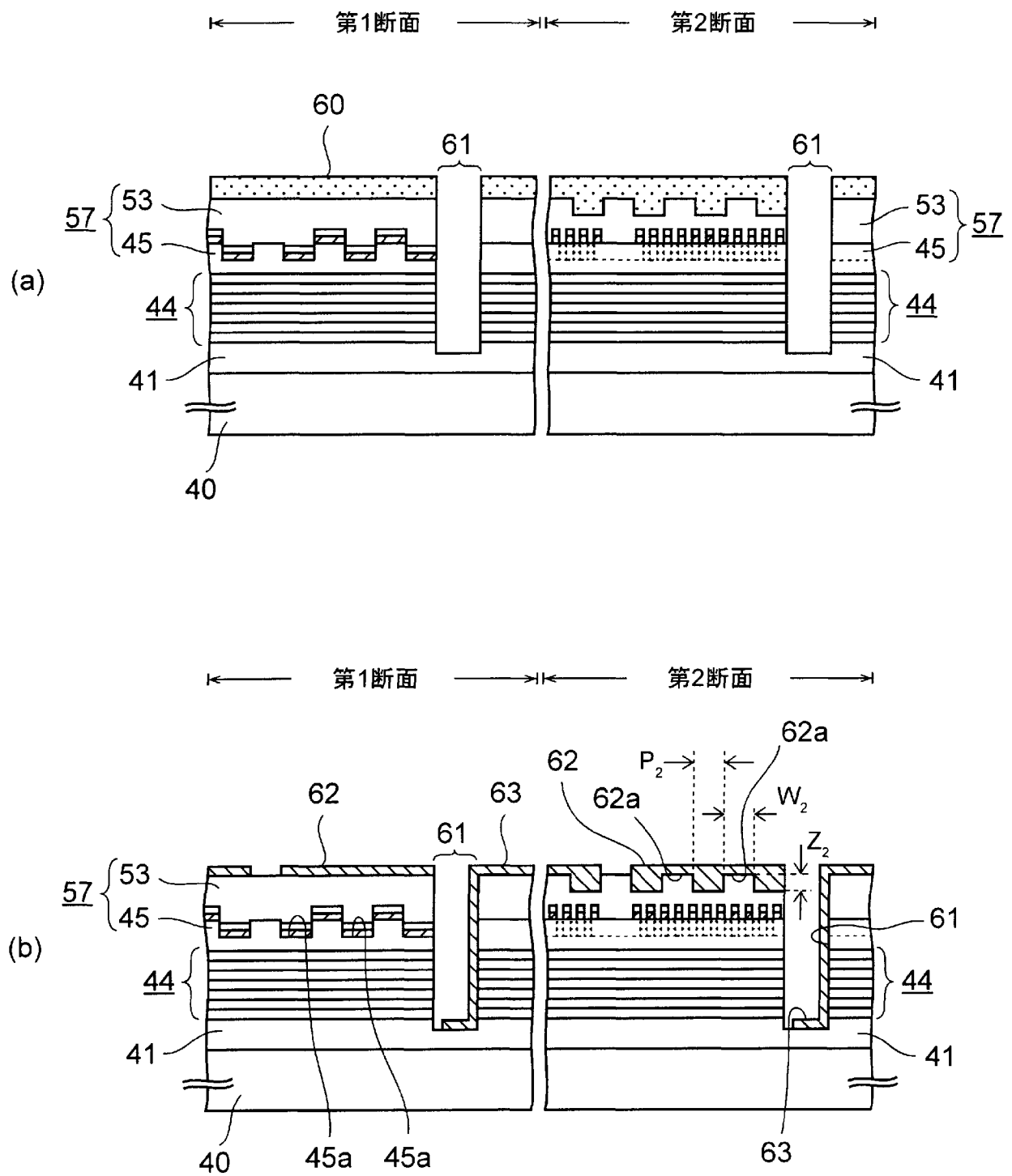
← 第1断面 → 第2断面 →



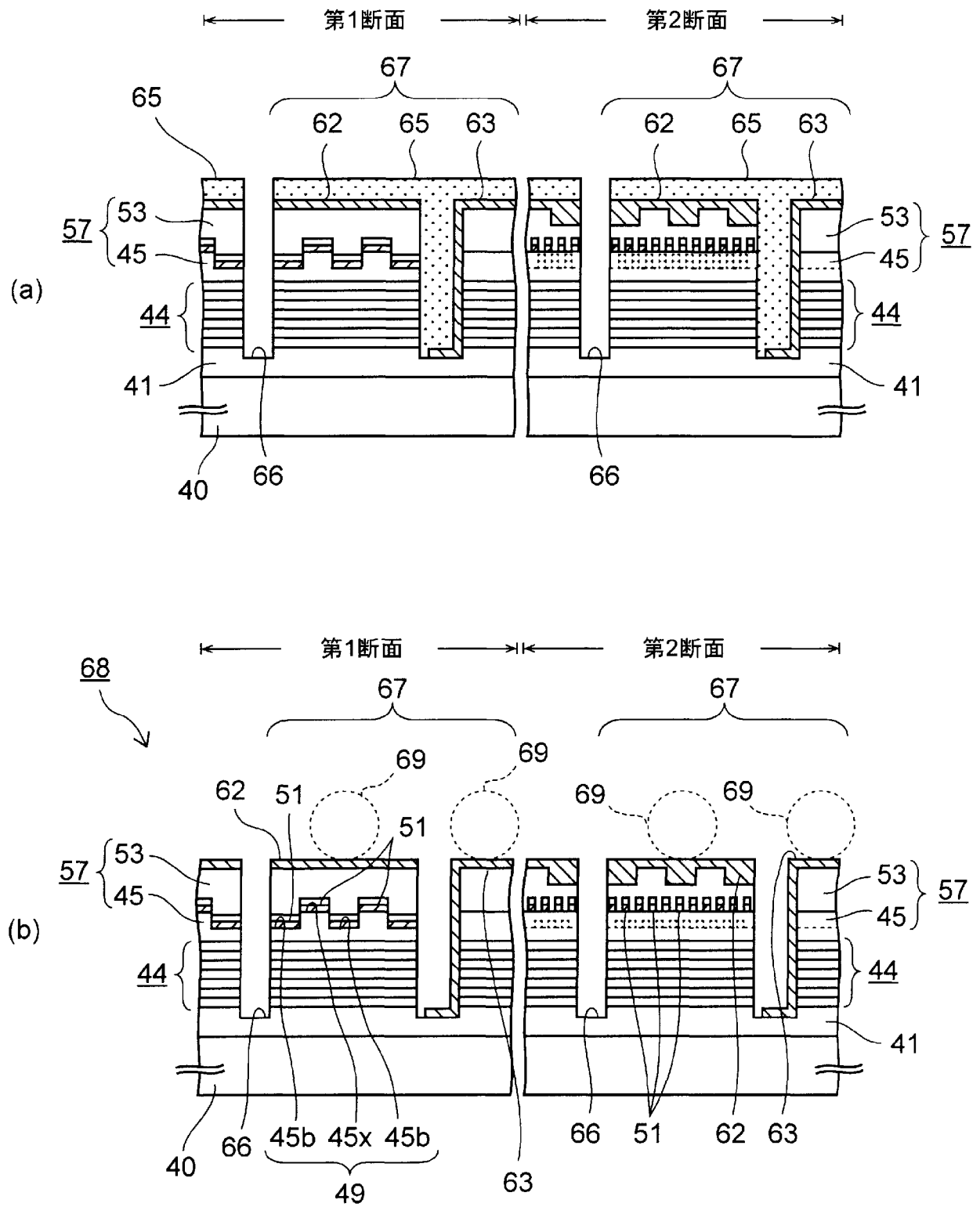
[図12]



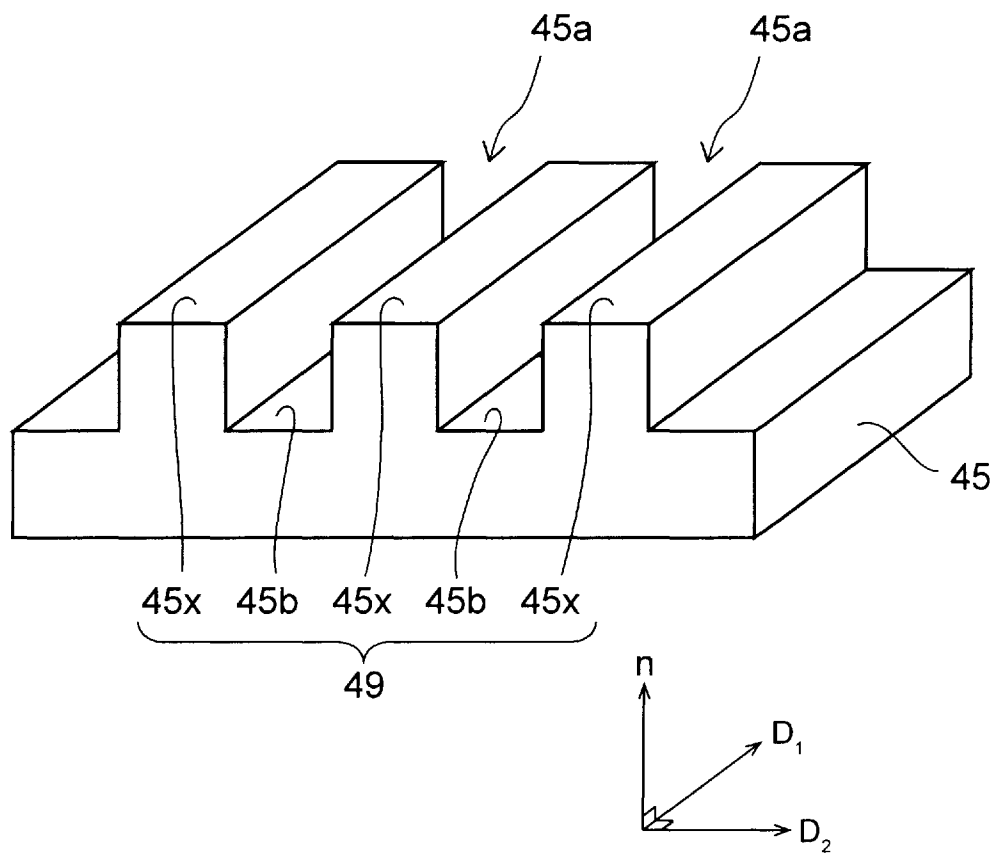
[図13]



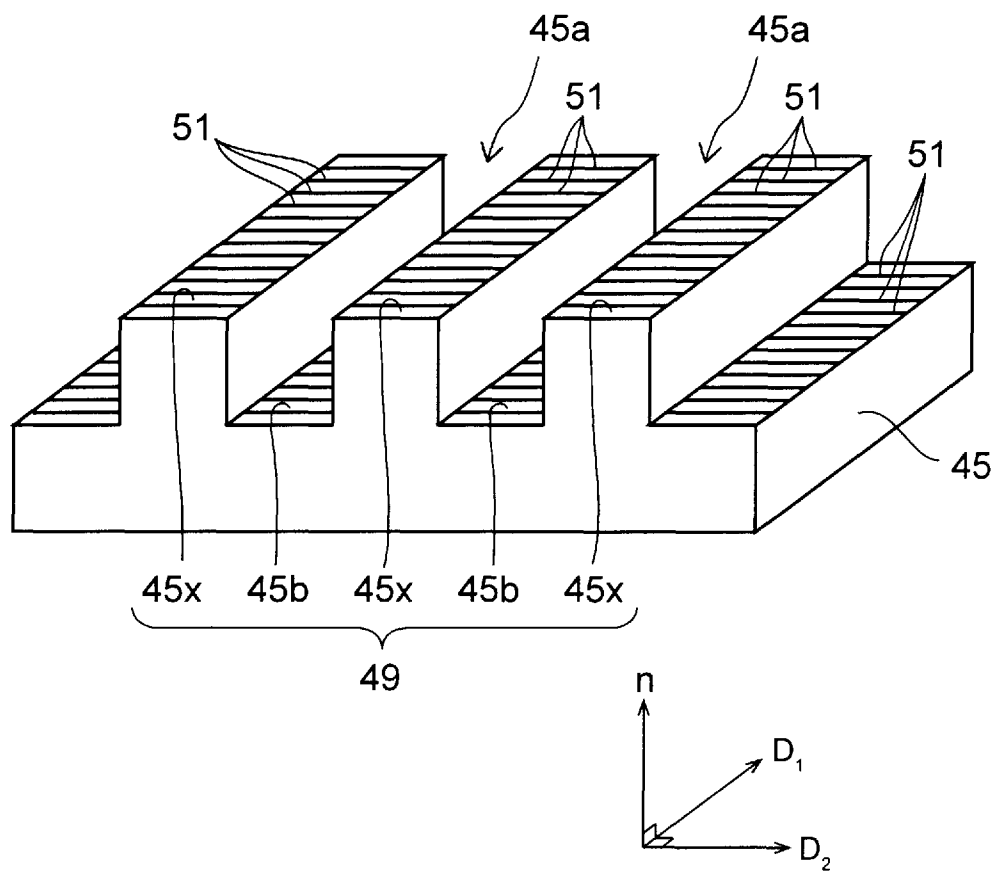
[図14]



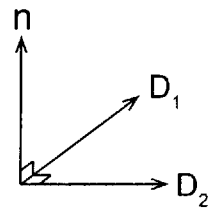
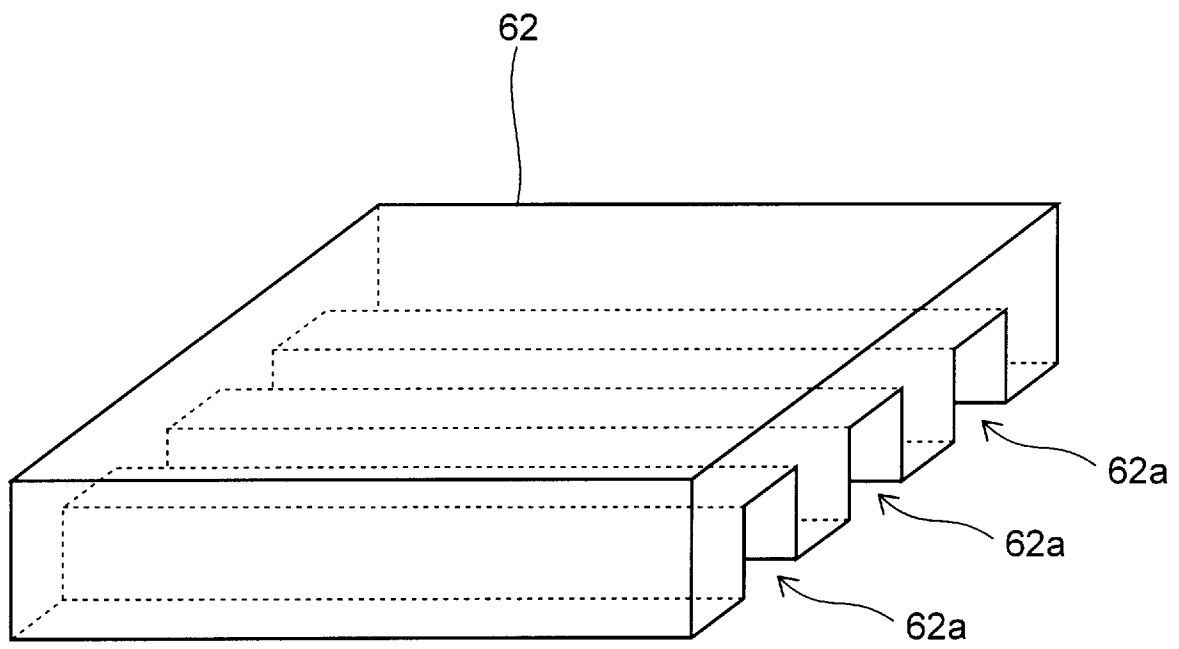
[図15]



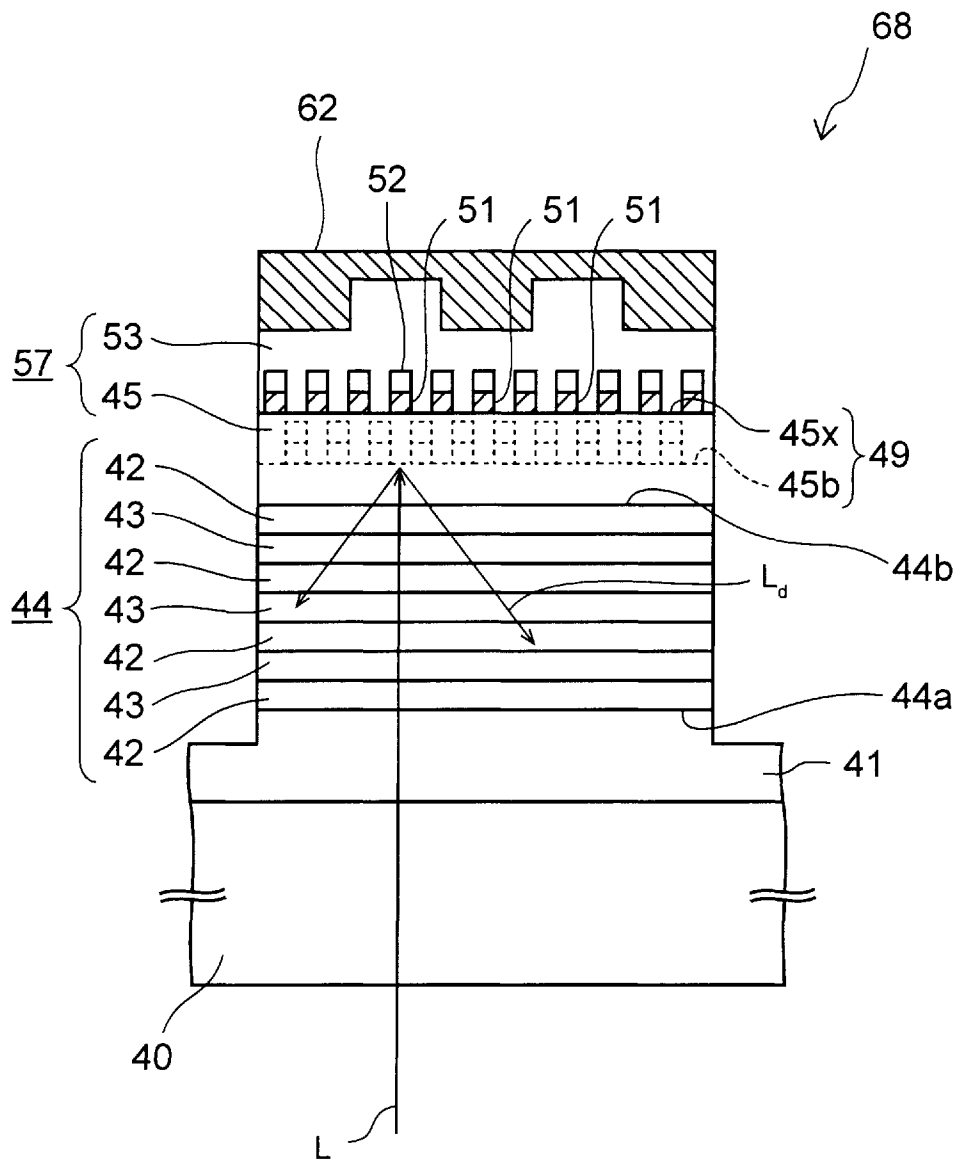
[図16]



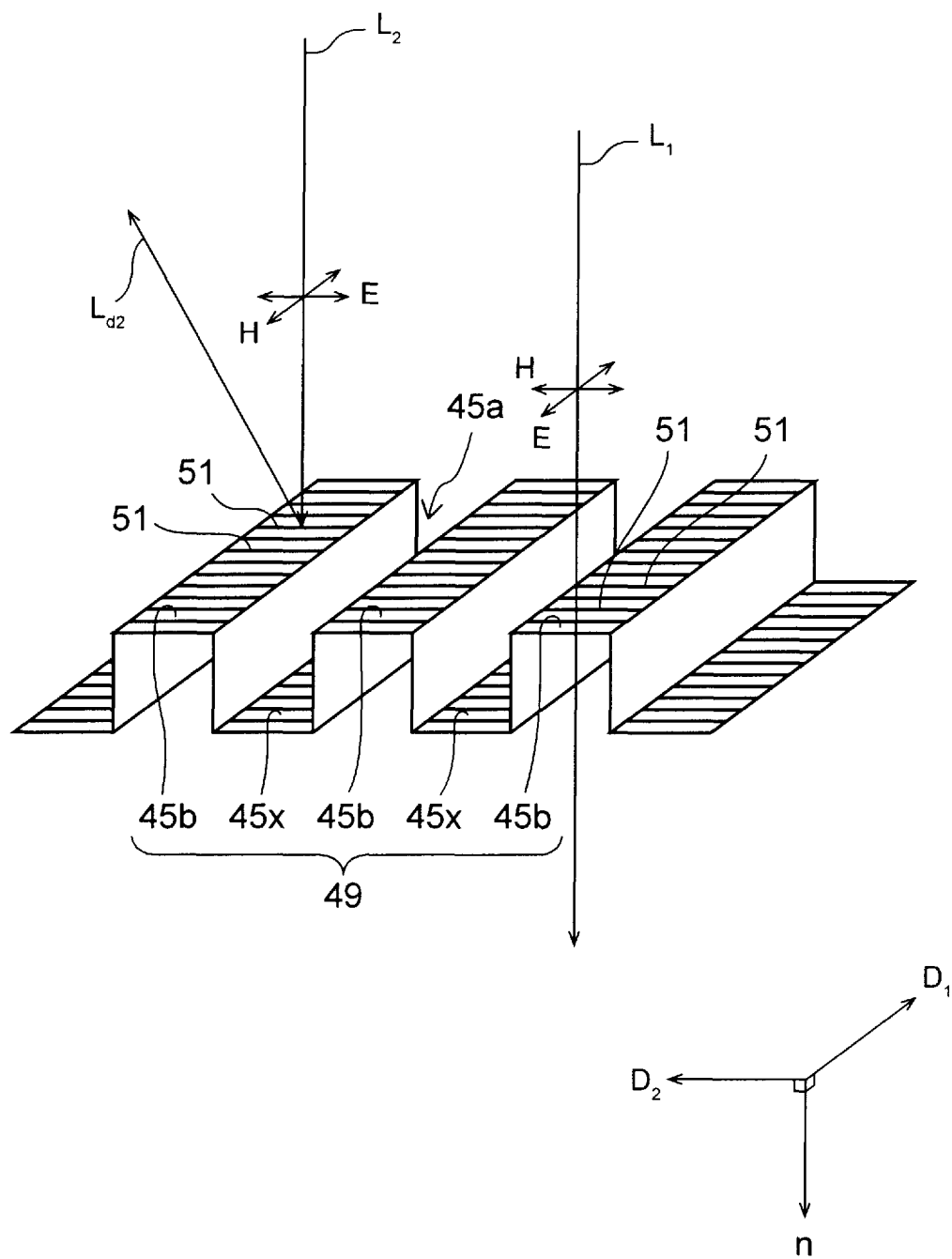
[図17]



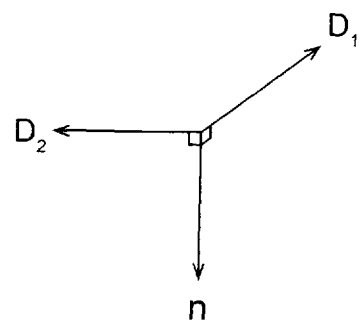
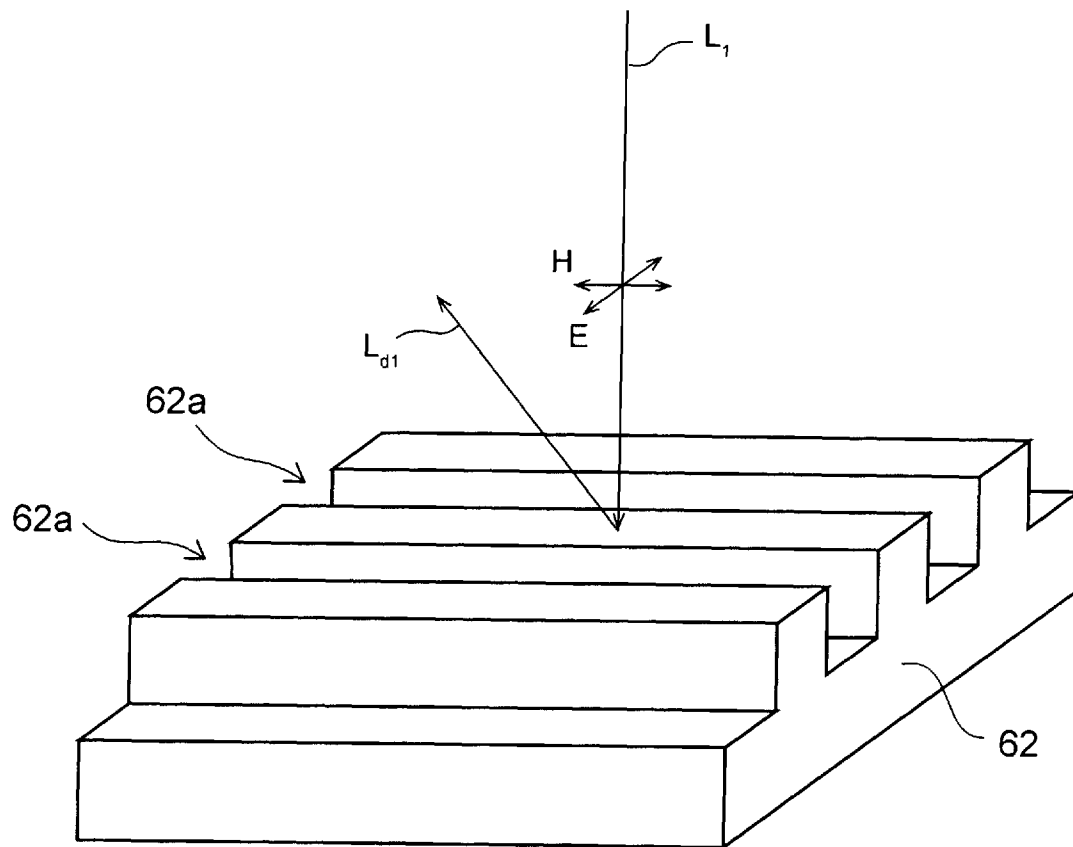
[図18]



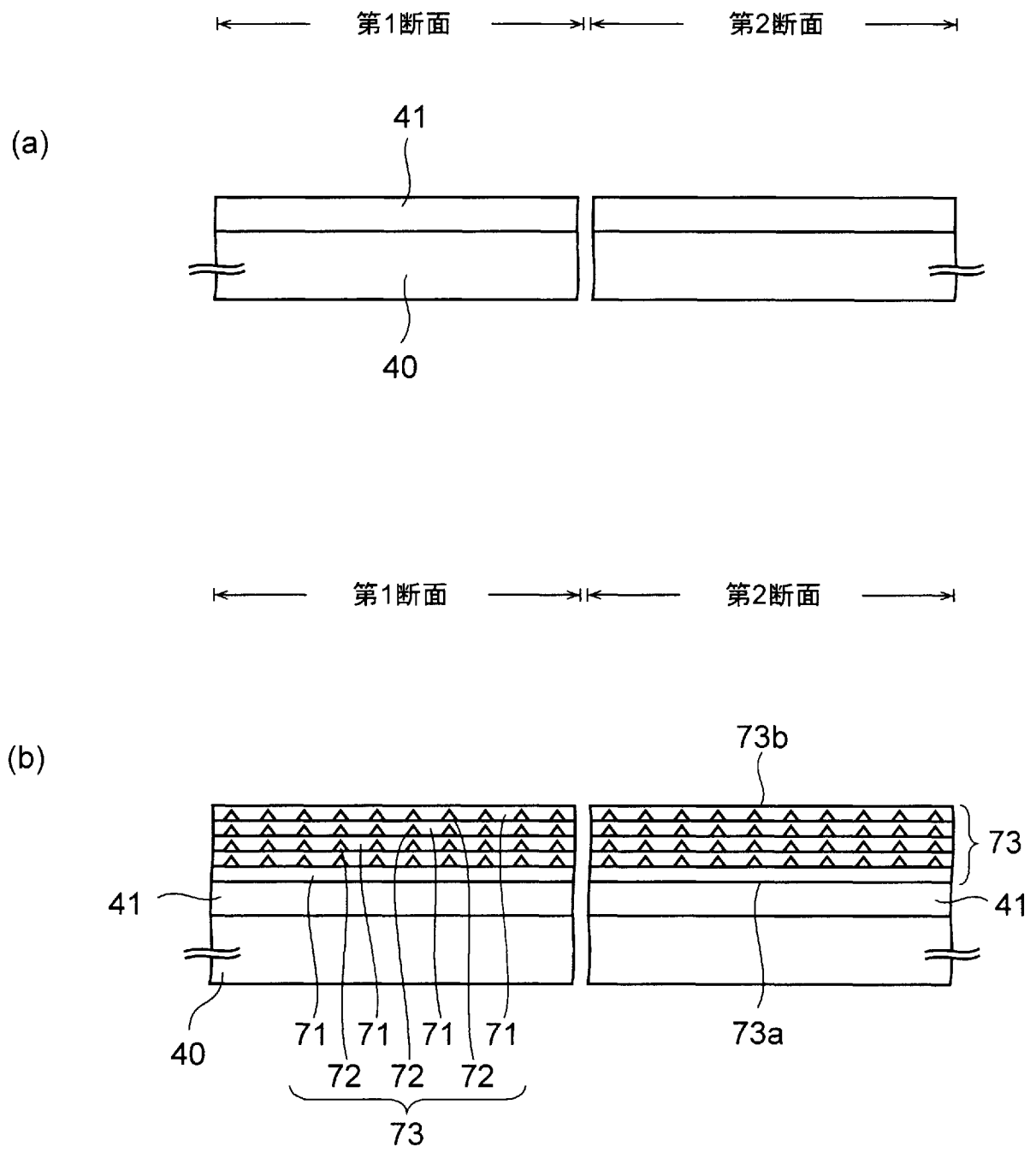
[図19]



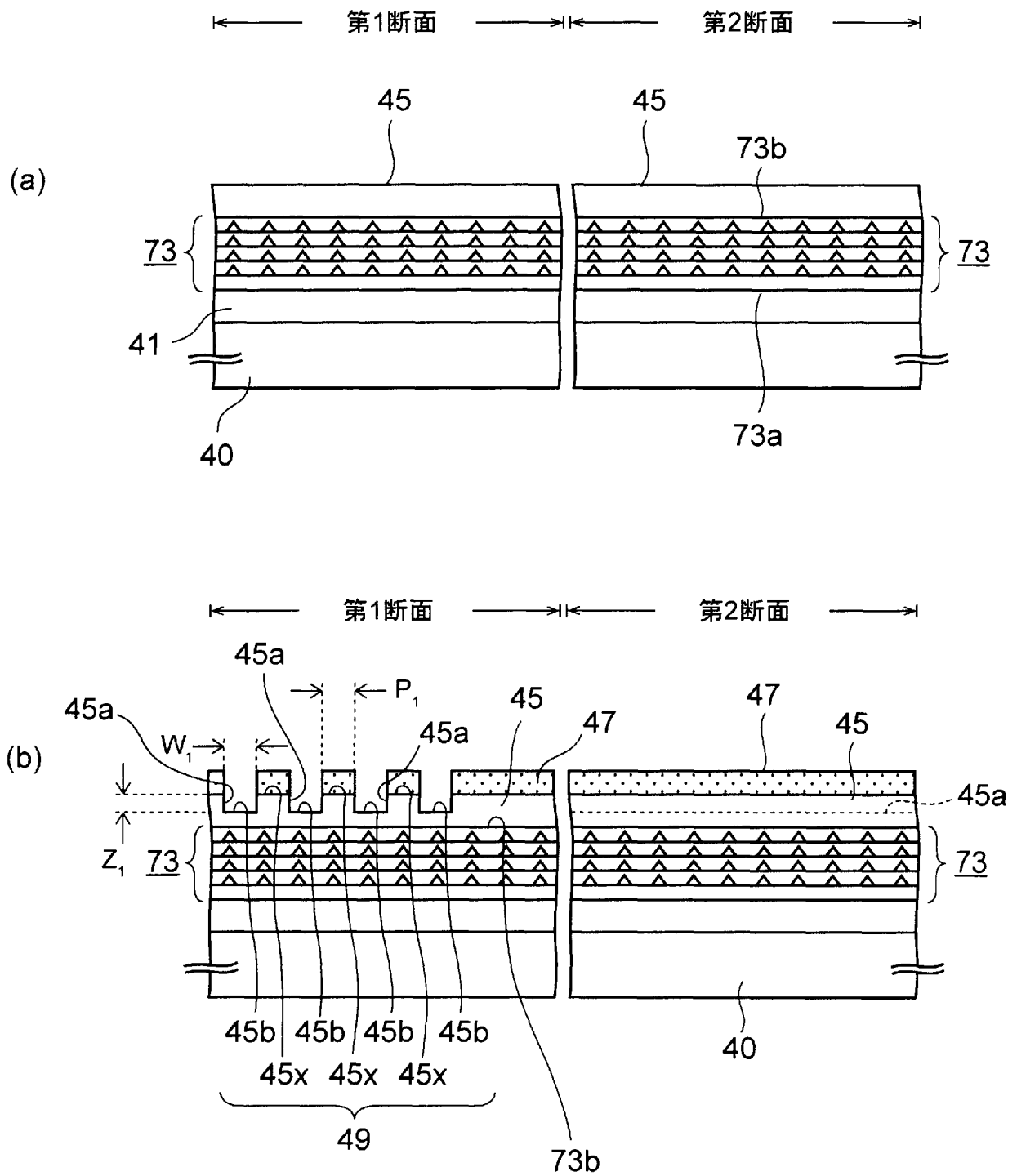
[図20]



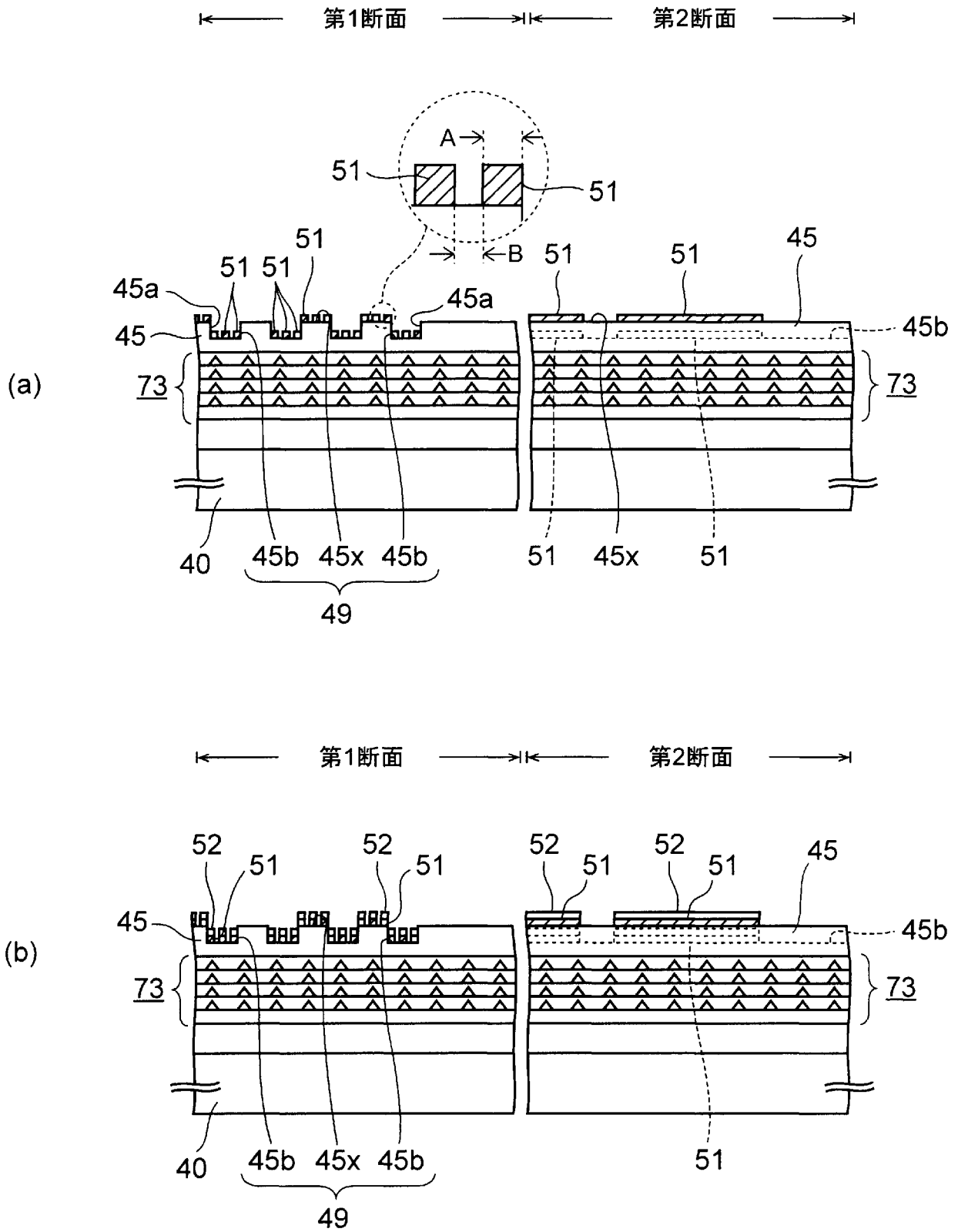
[図21]



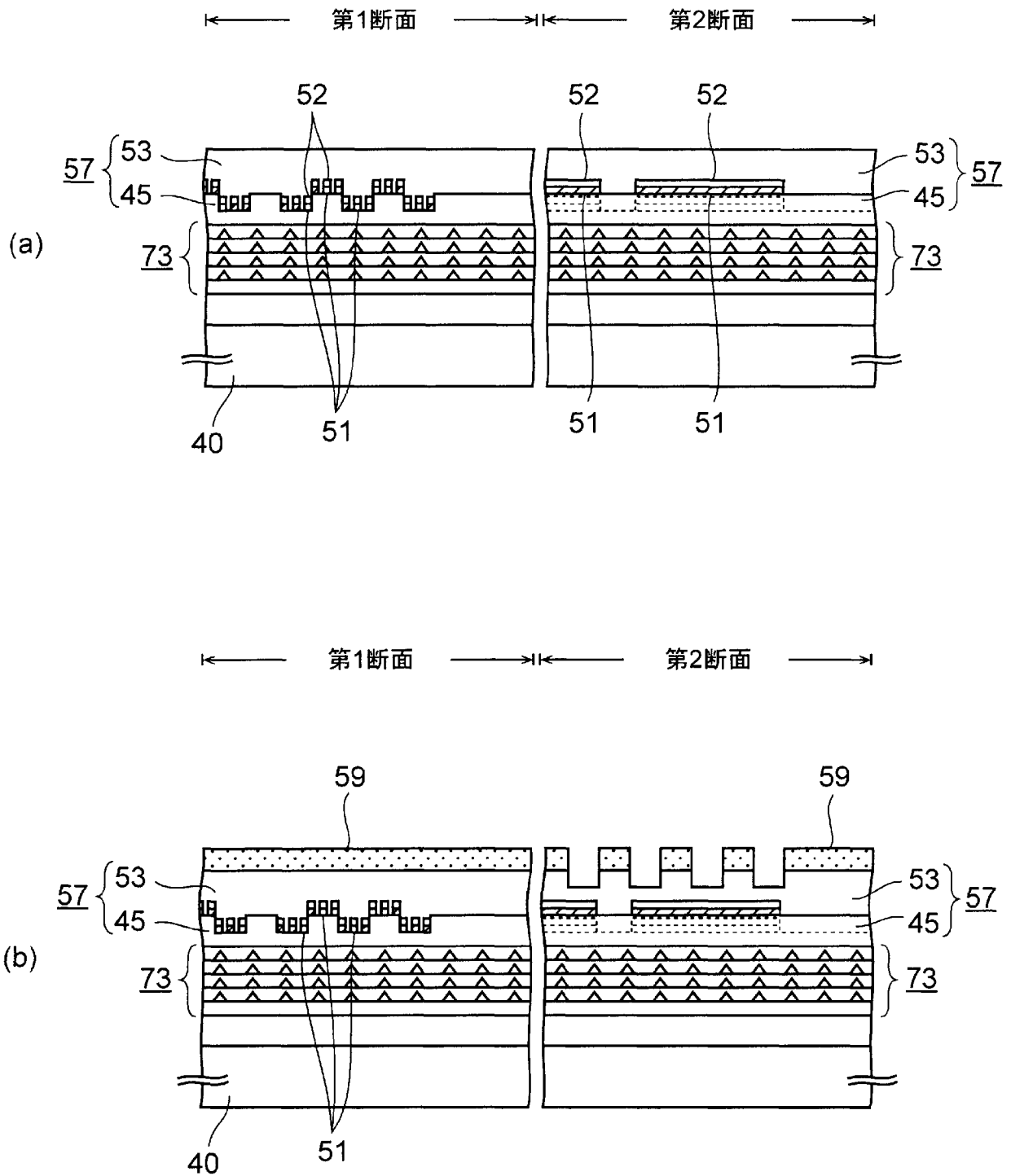
[図22]



[図23]



[図24]



[図25]

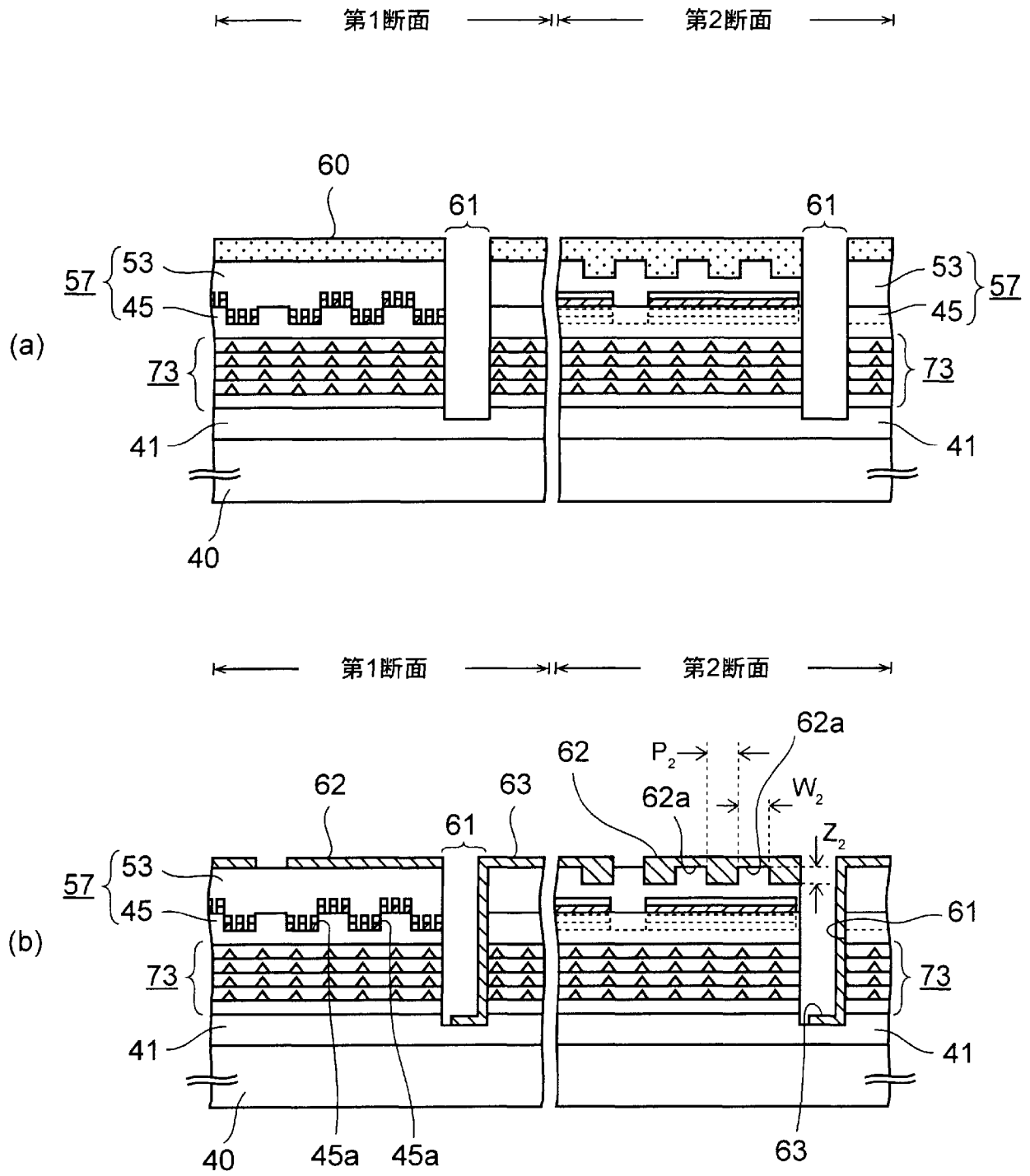
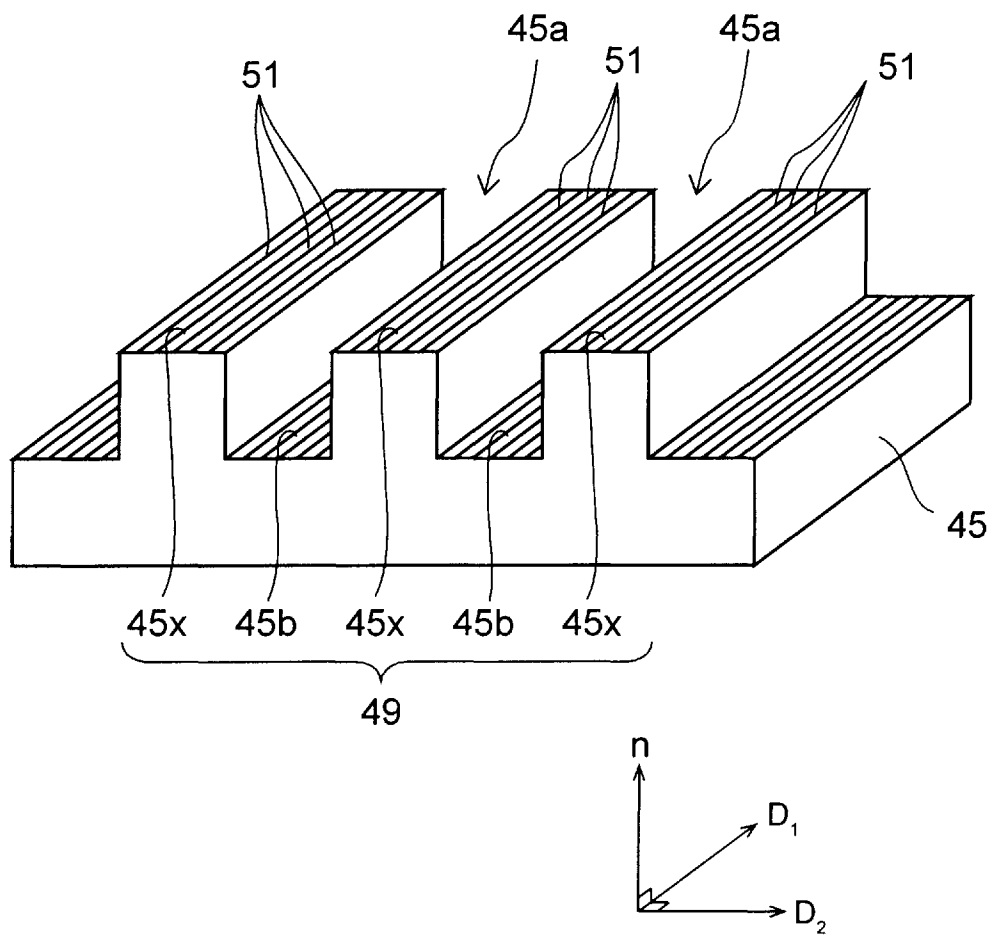
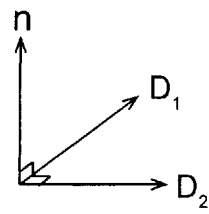
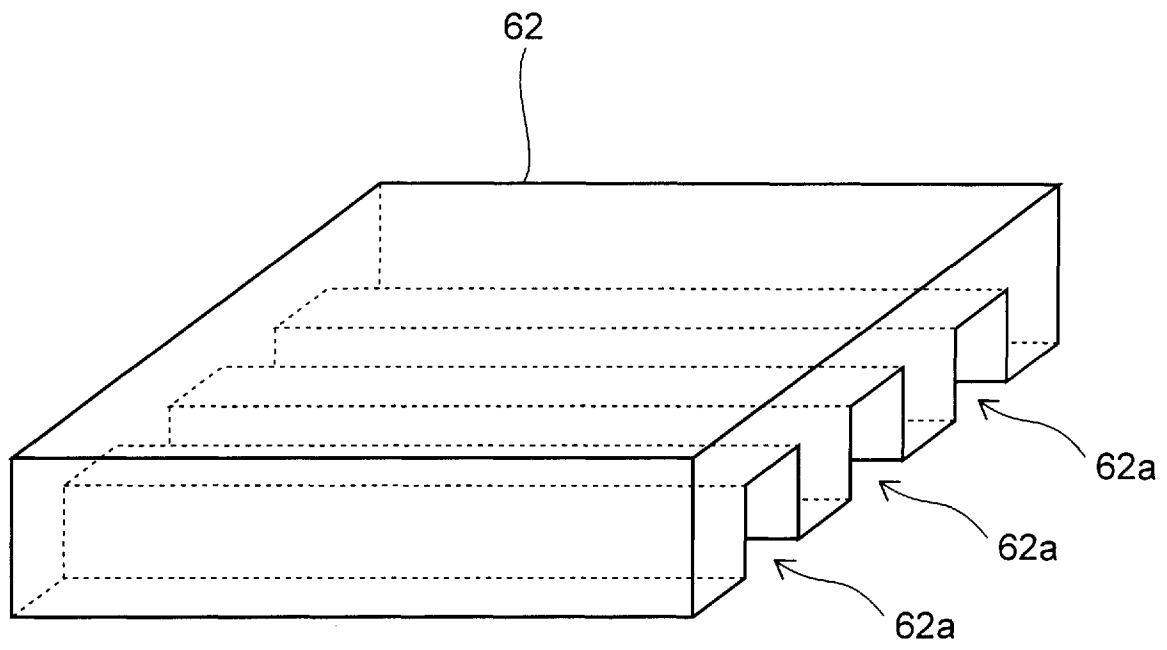


Figure 1 consists of two cross-sectional views, (a) and (b), of a semiconductor device. Both views show a central region 67 and a base 41. In (a), the central region 67 is divided into three parts: 62, 65, and 63. The base 41 is shown with a layer 40 on top. The central region 67 is surrounded by a layer 57, which is further divided into layers 53 and 45. The base 41 is also divided into layers 73 and 41. In (b), the central region 67 is divided into three parts: 62, 65, and 63. The base 41 is shown with a layer 40 on top. The central region 67 is surrounded by a layer 57, which is further divided into layers 53 and 45. The base 41 is also divided into layers 73 and 41. The central region 67 is further divided into layers 69 and 51. The base 41 is also divided into layers 45b, 45x, and 45b. The central region 67 is further divided into layers 69 and 51. The base 41 is also divided into layers 45b, 45x, and 45b.

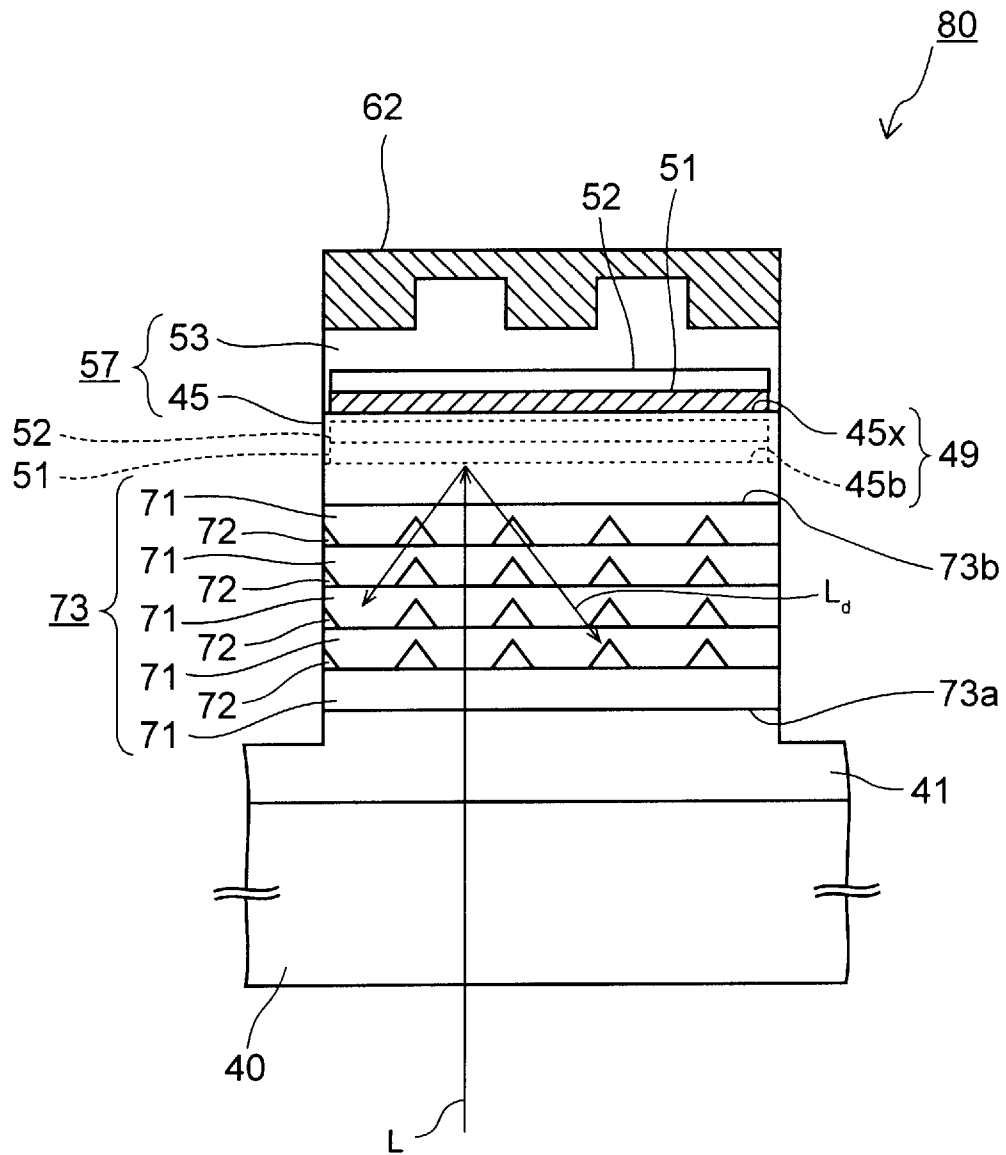
[図27]



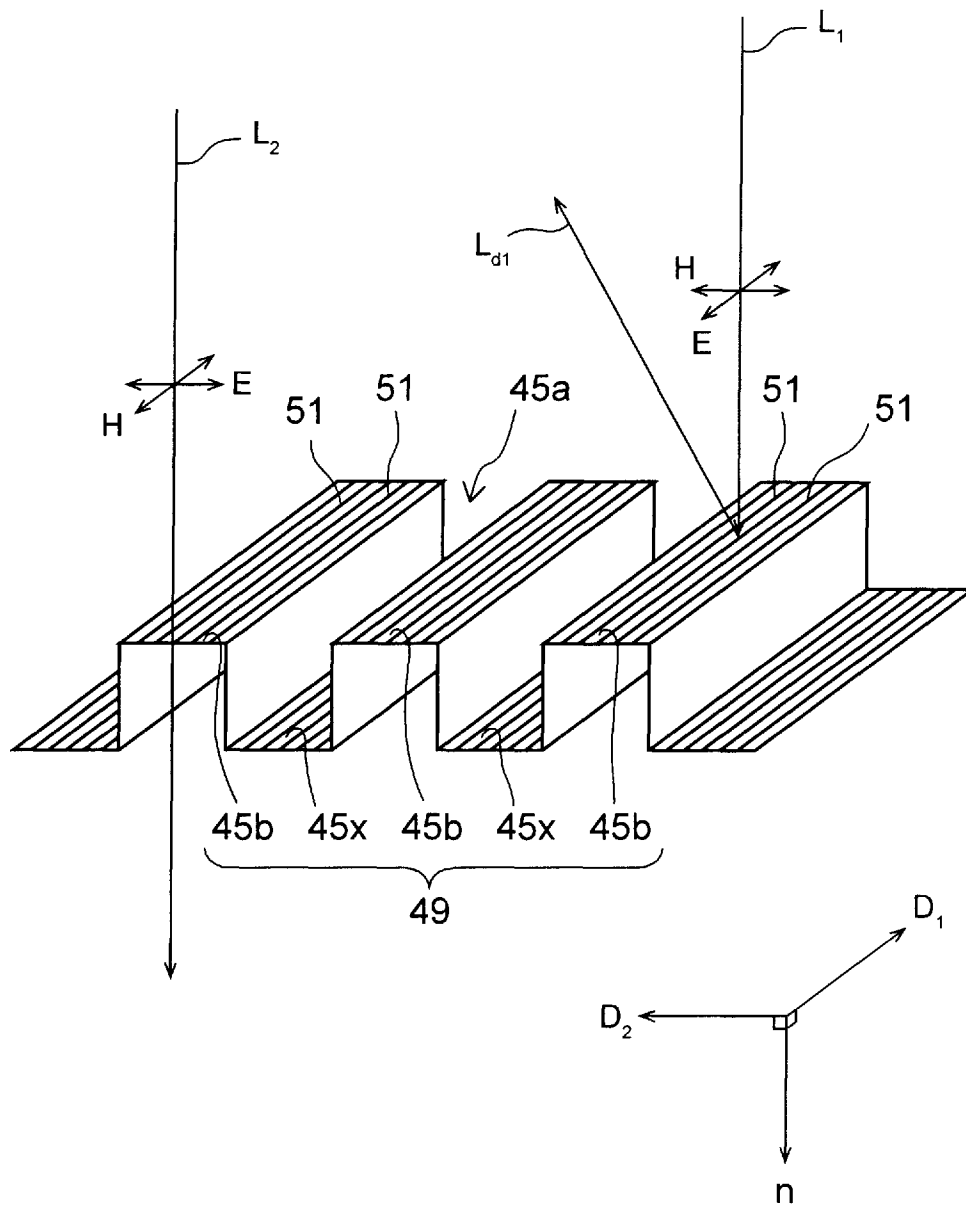
[図28]



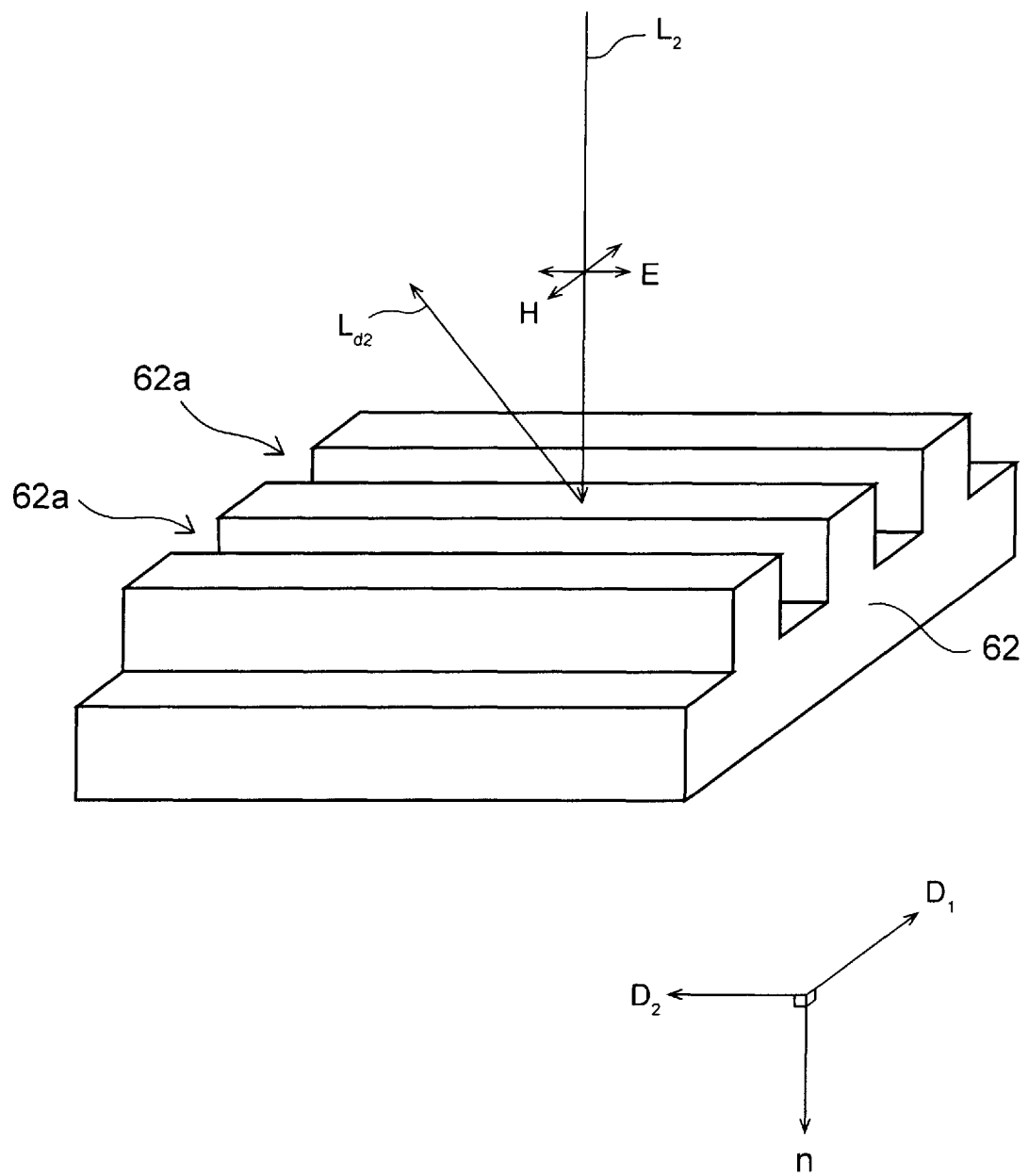
[図29]



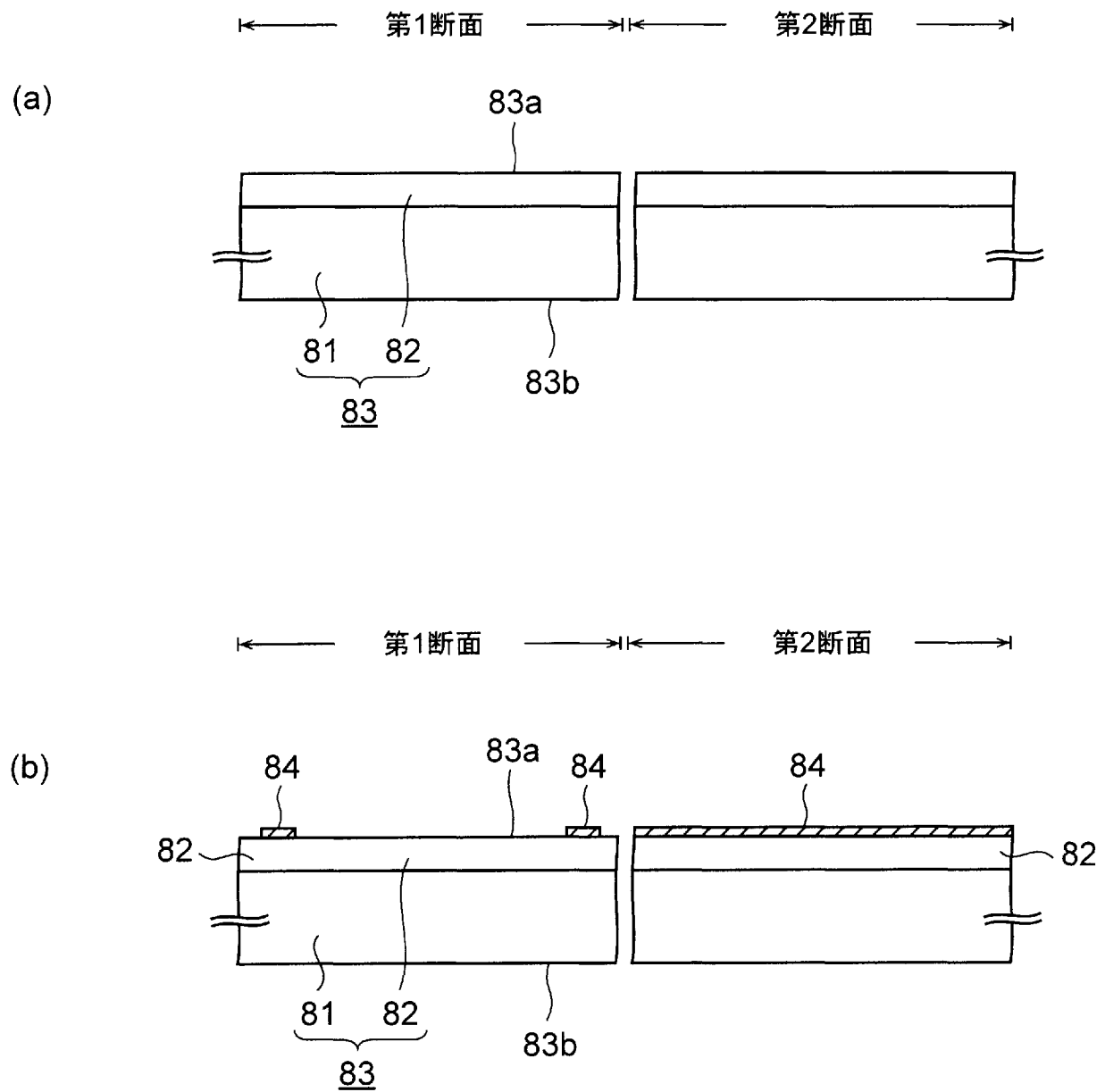
[図30]



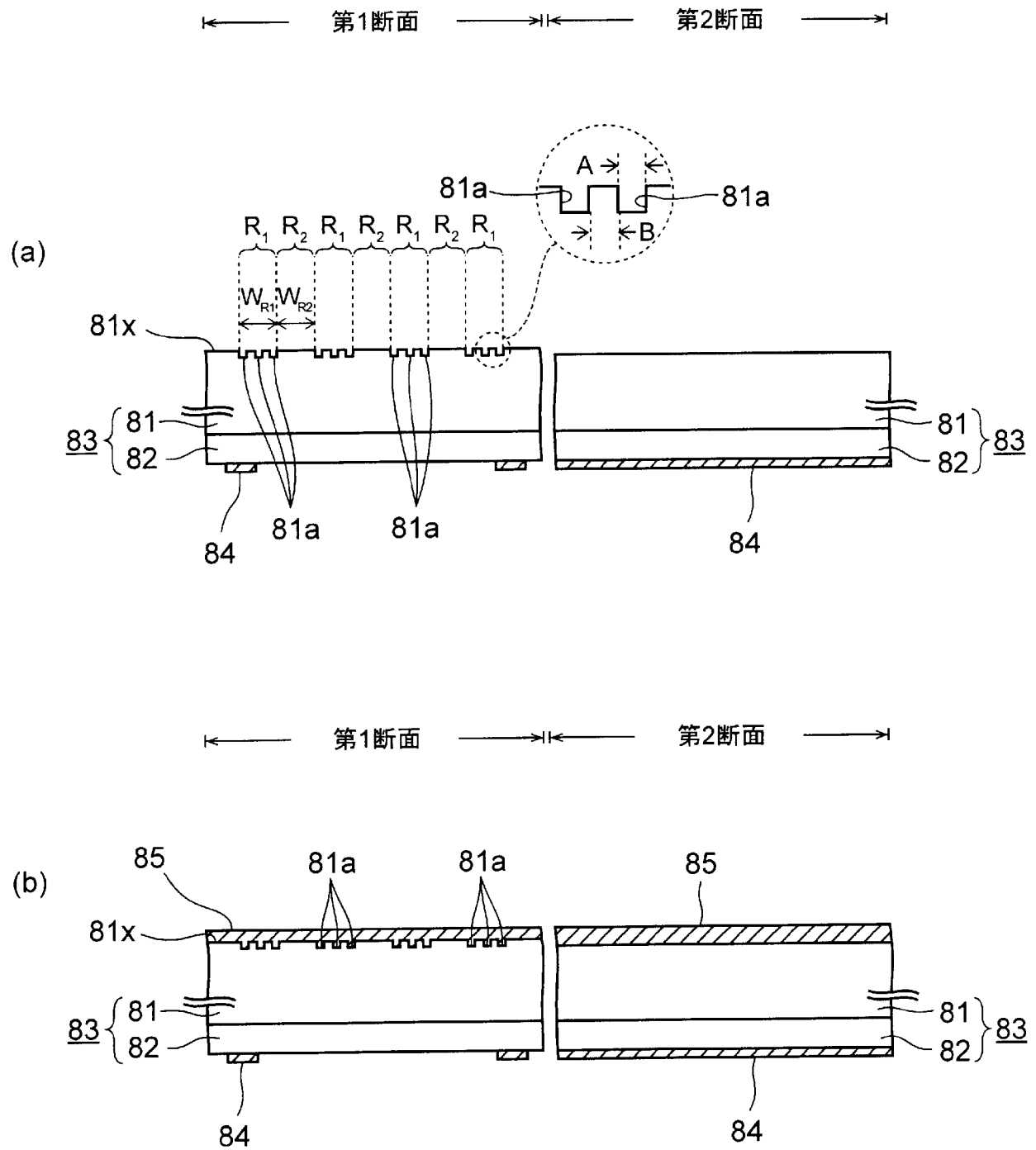
[図31]



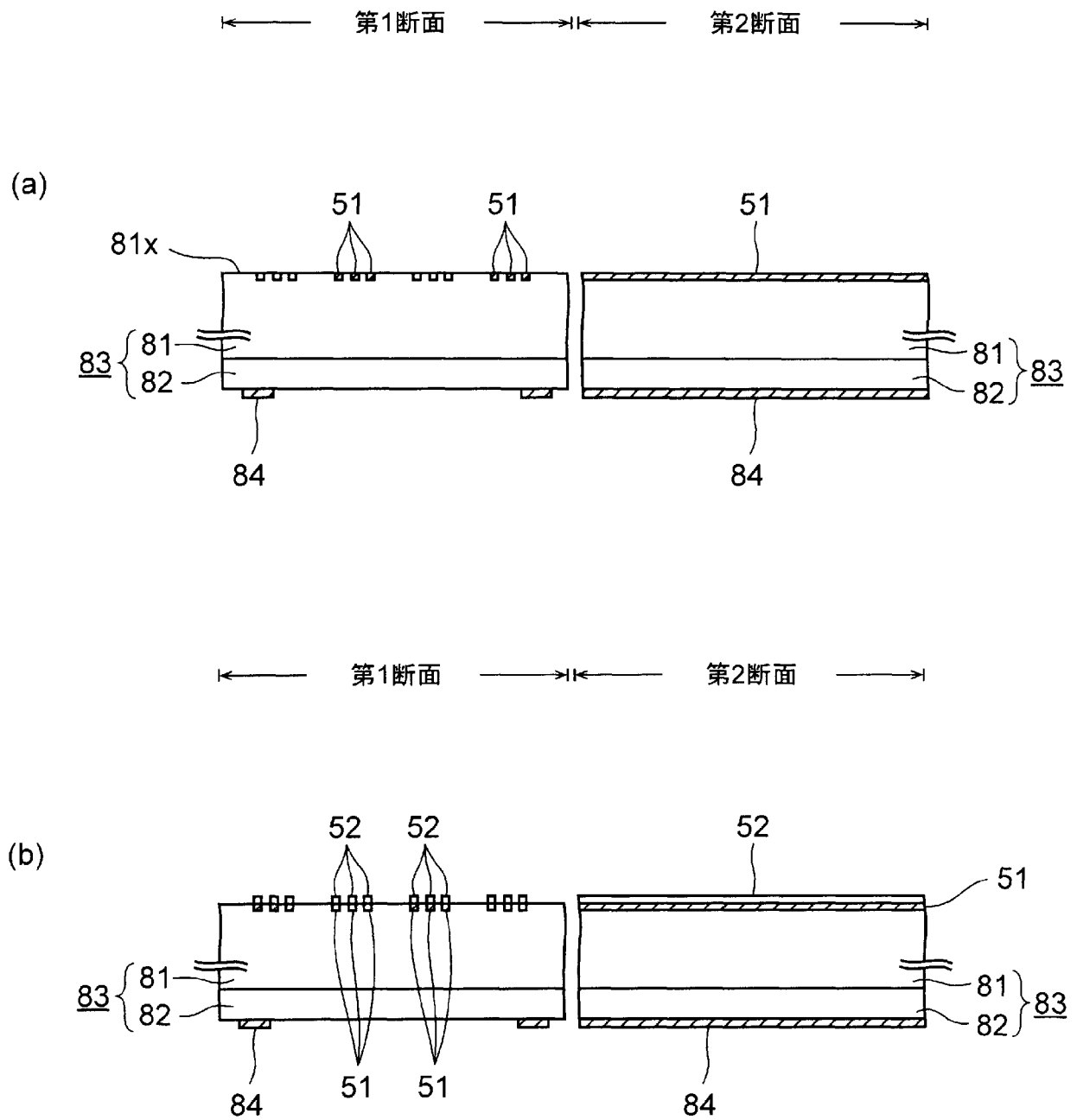
[図32]



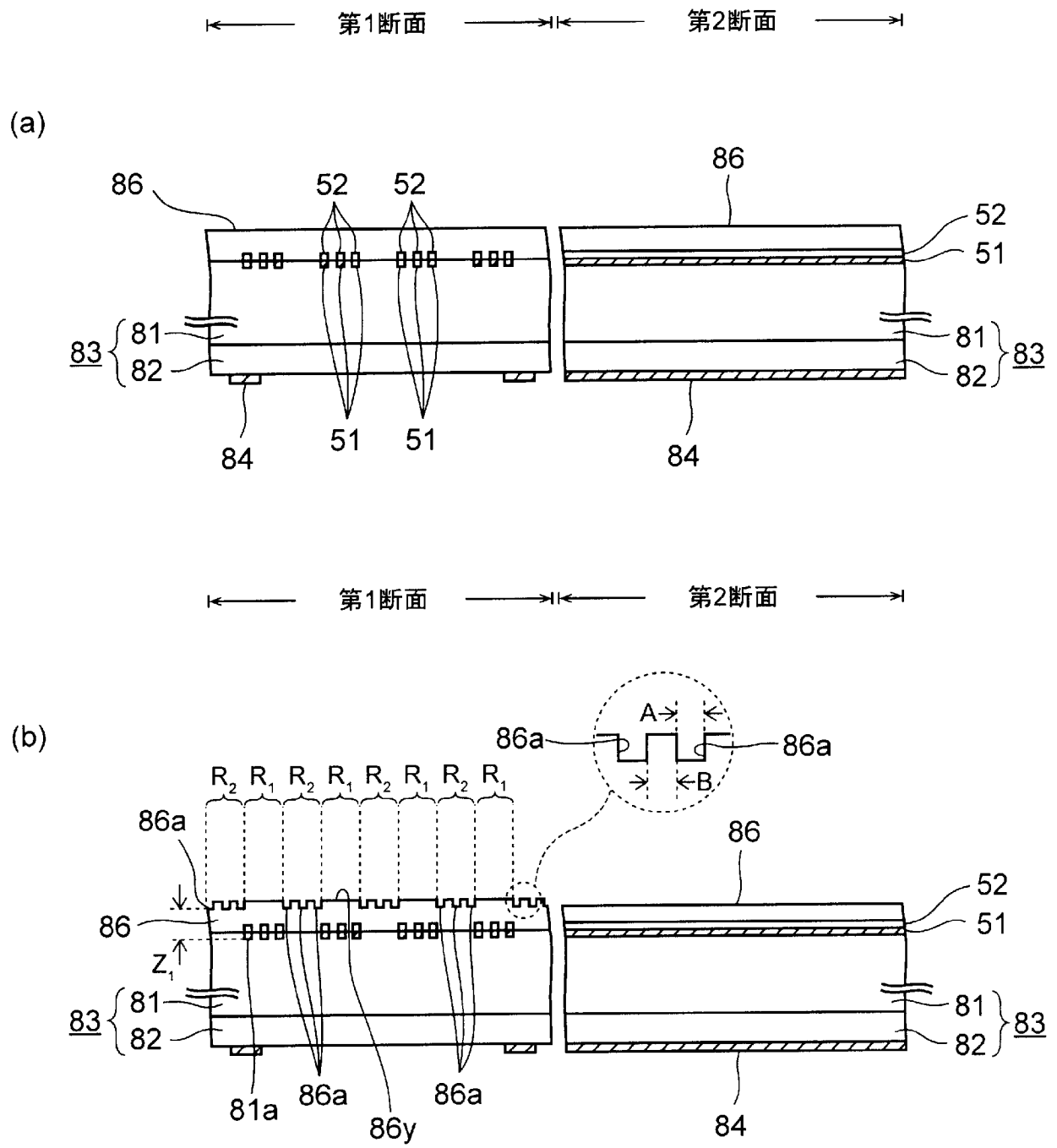
[図33]



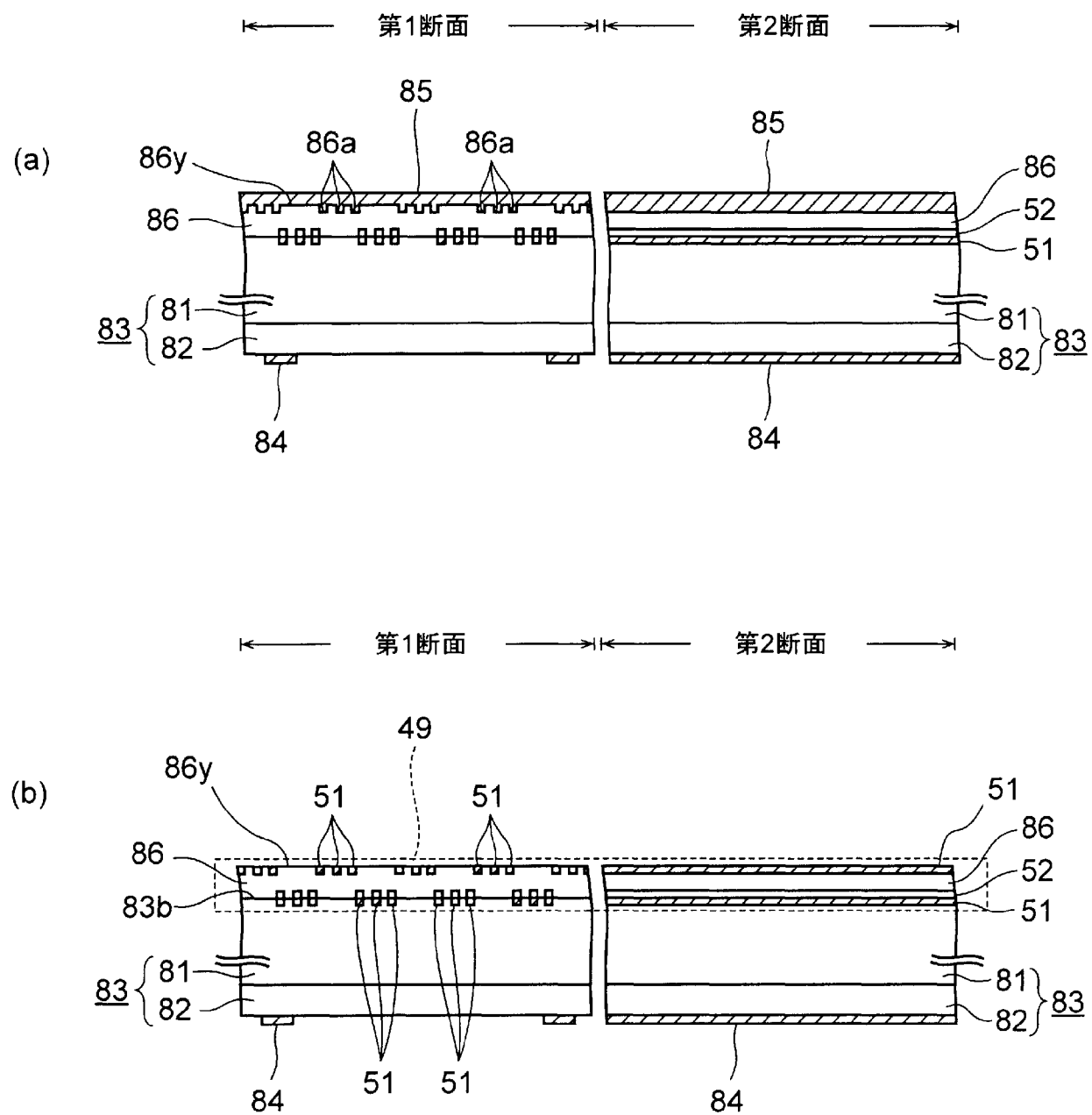
[図34]



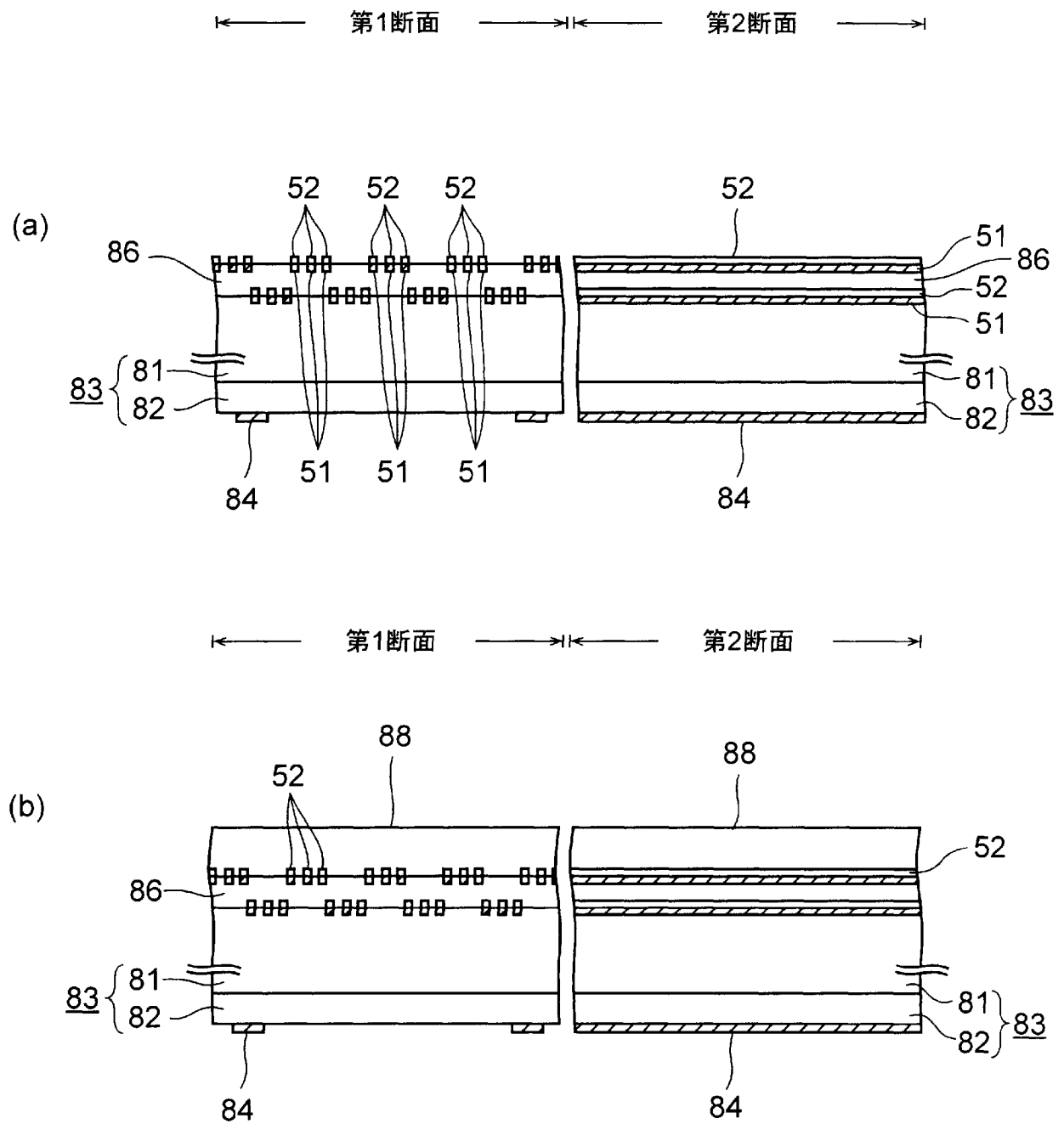
[図35]



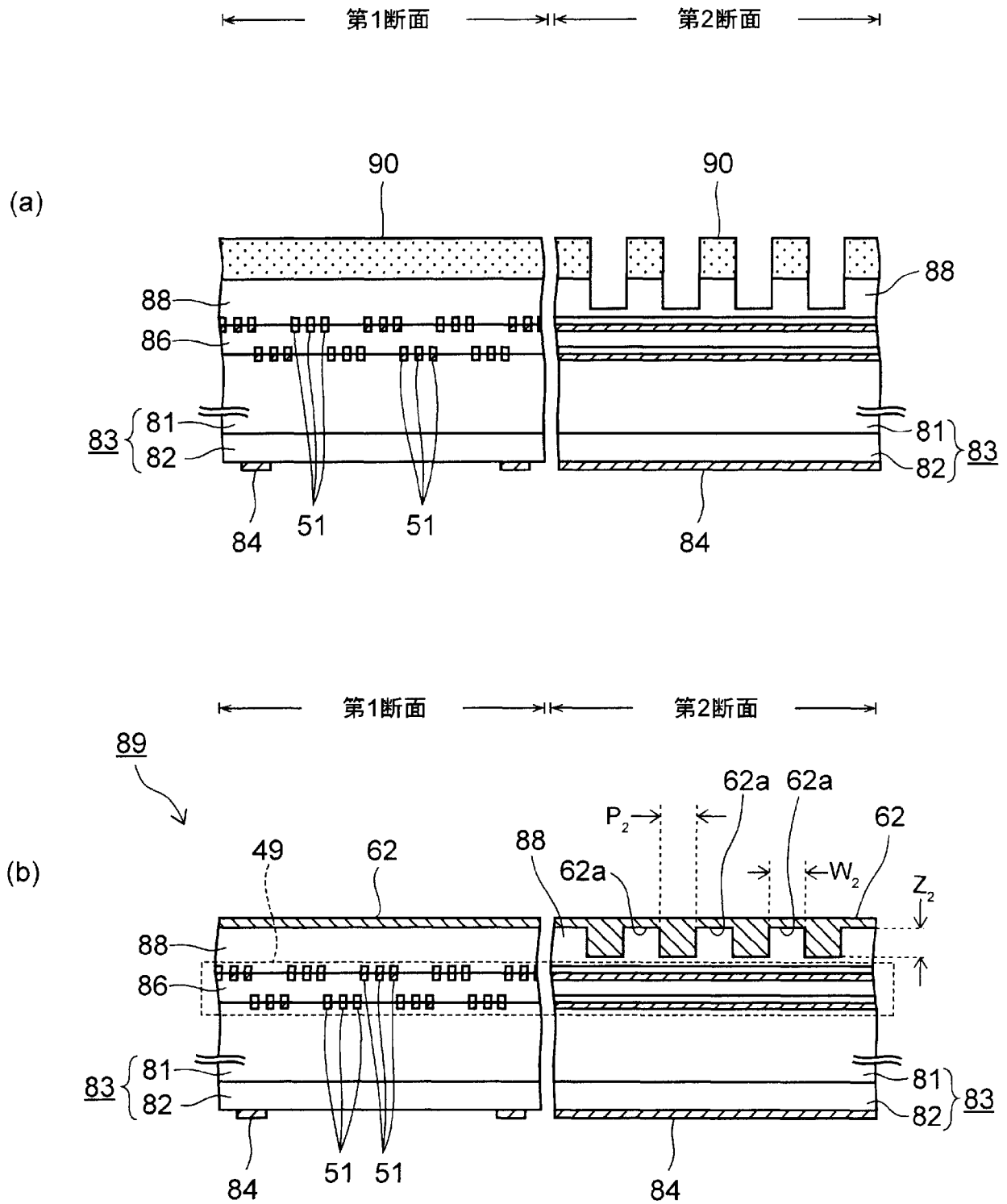
[図36]



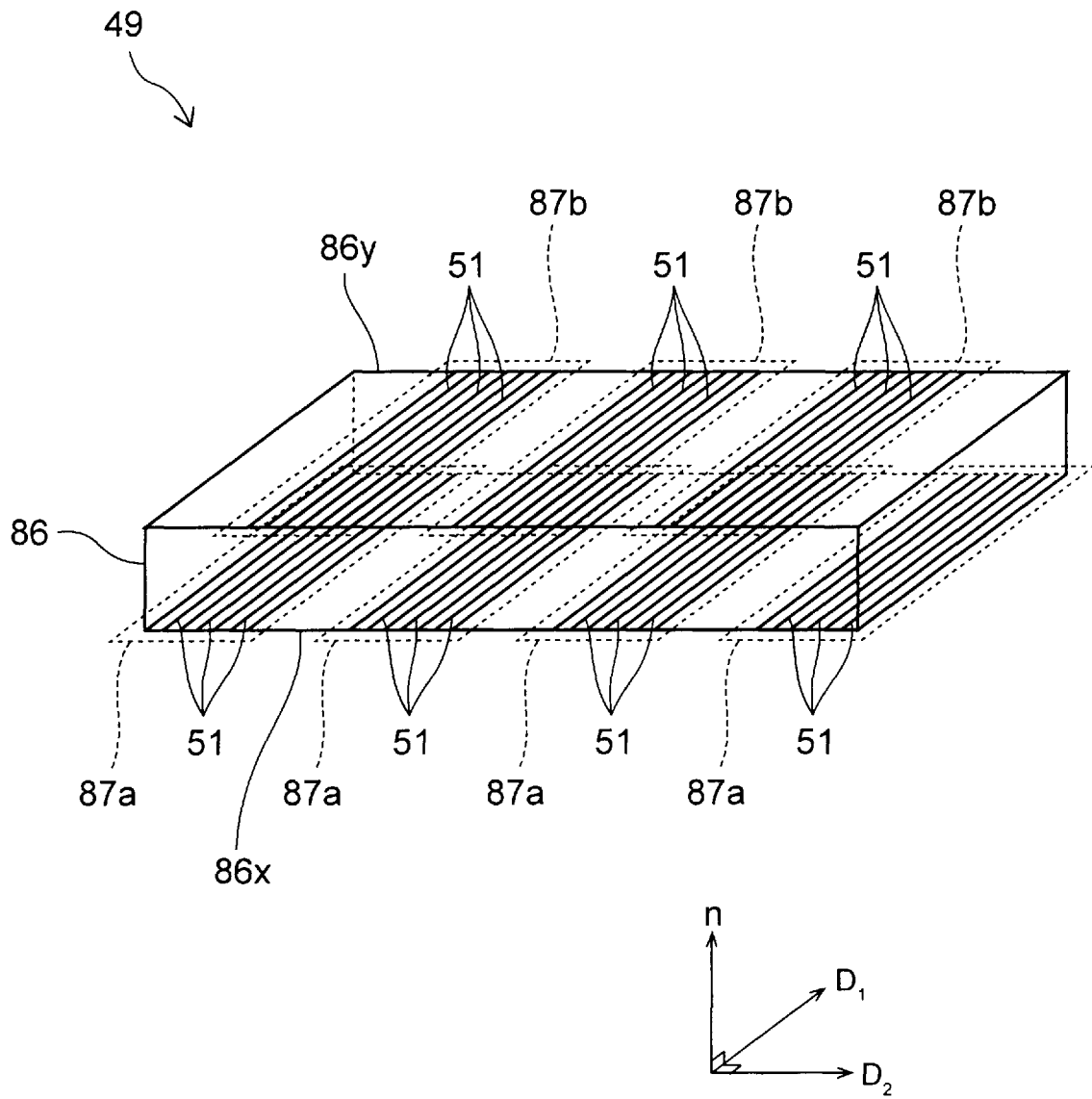
[図37]



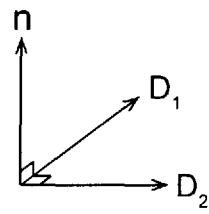
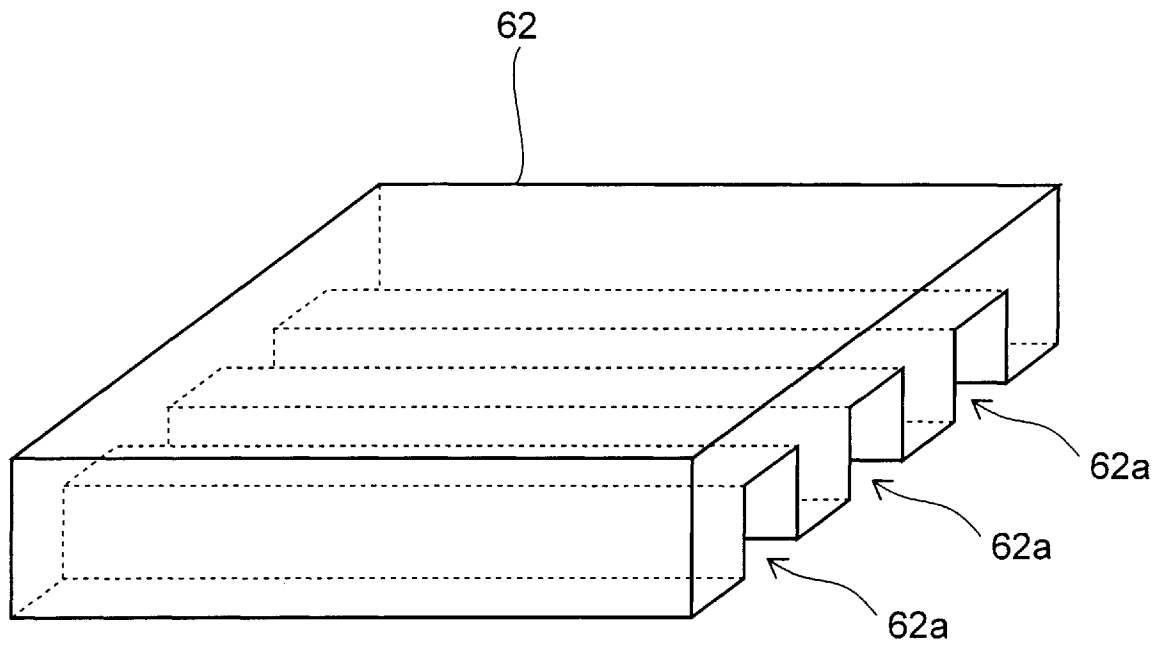
[図38]



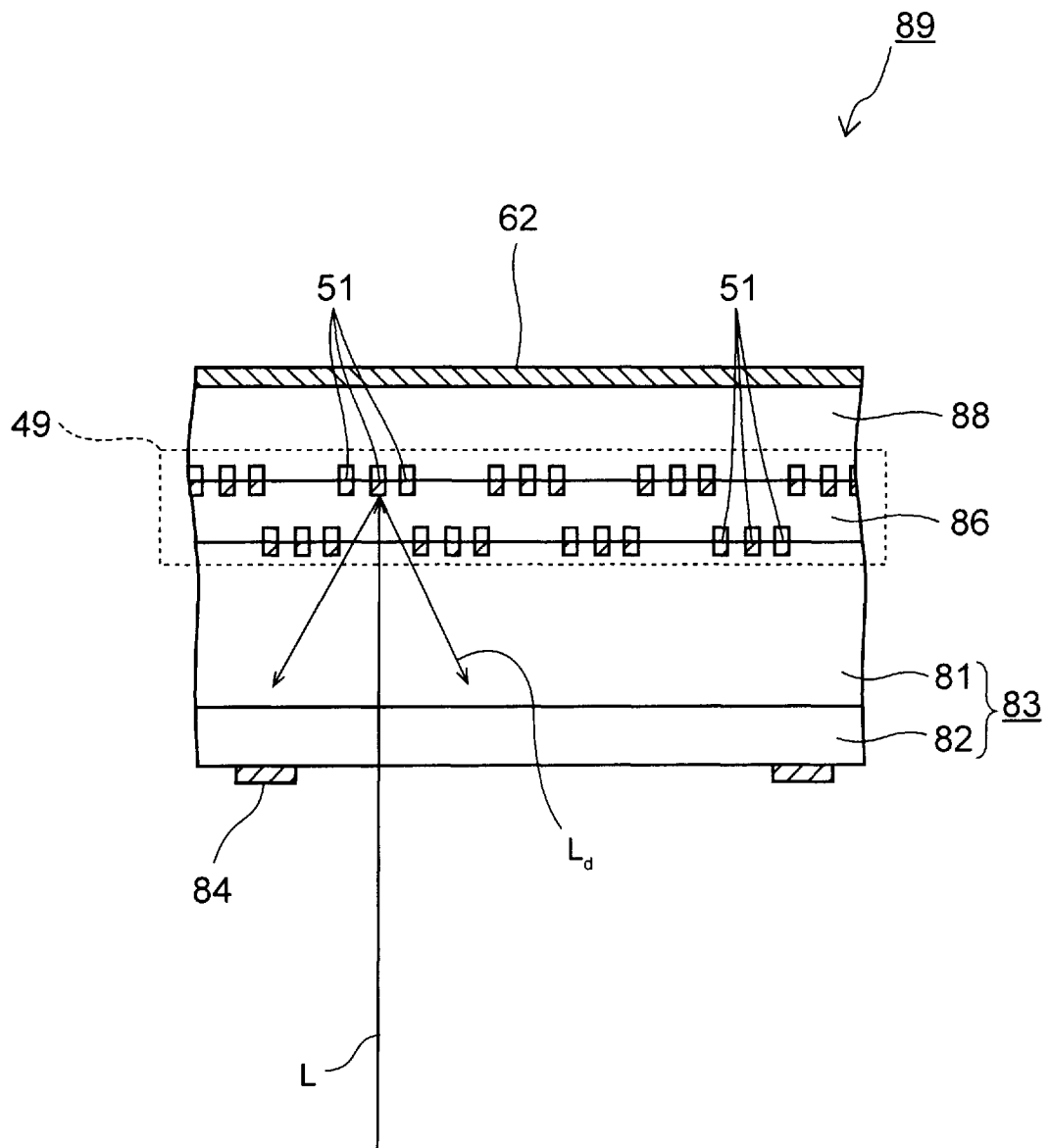
[図39]



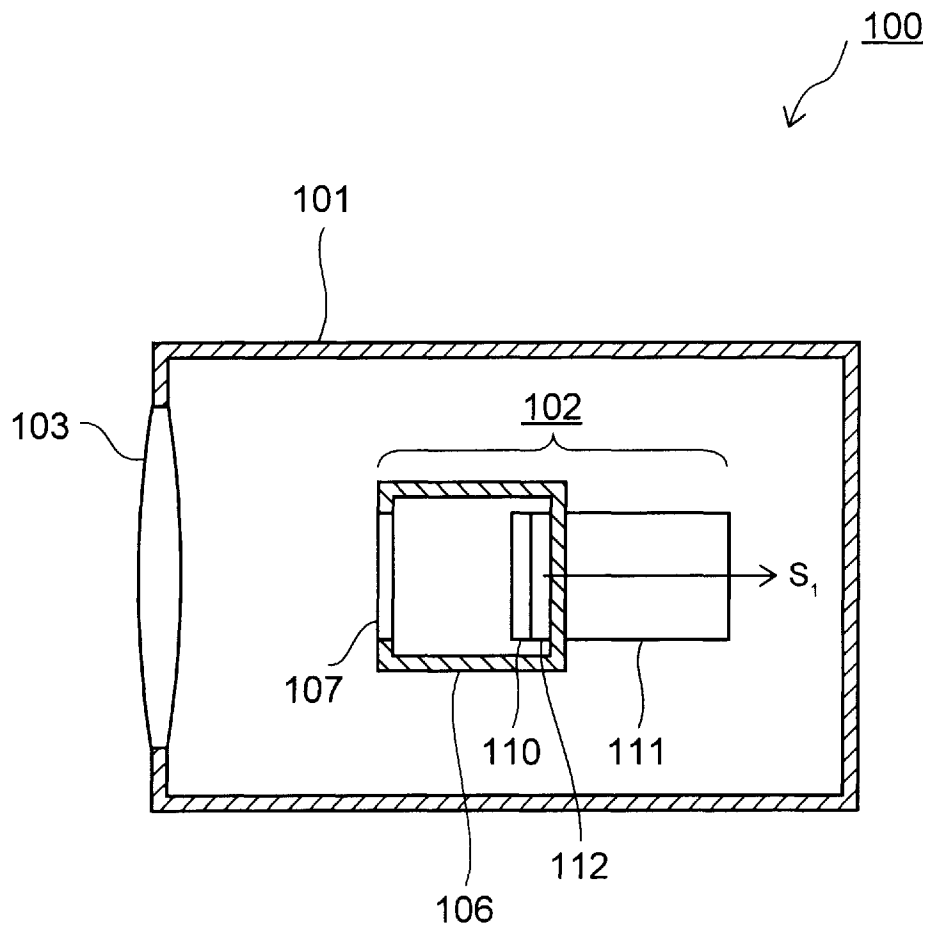
[図40]



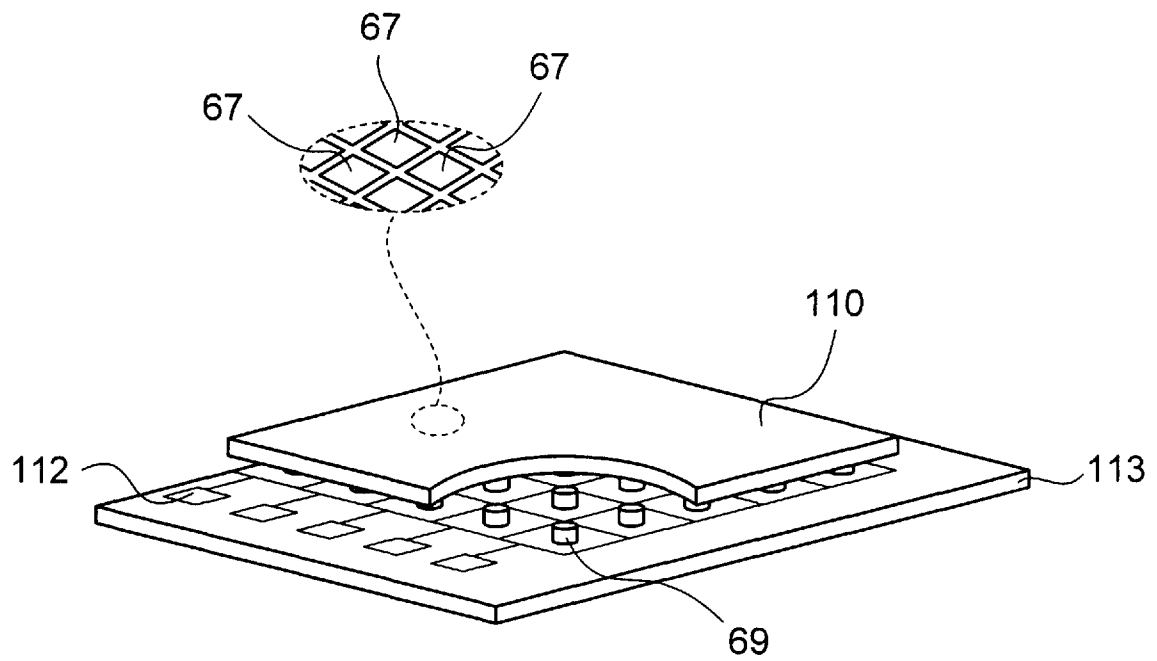
[図41]



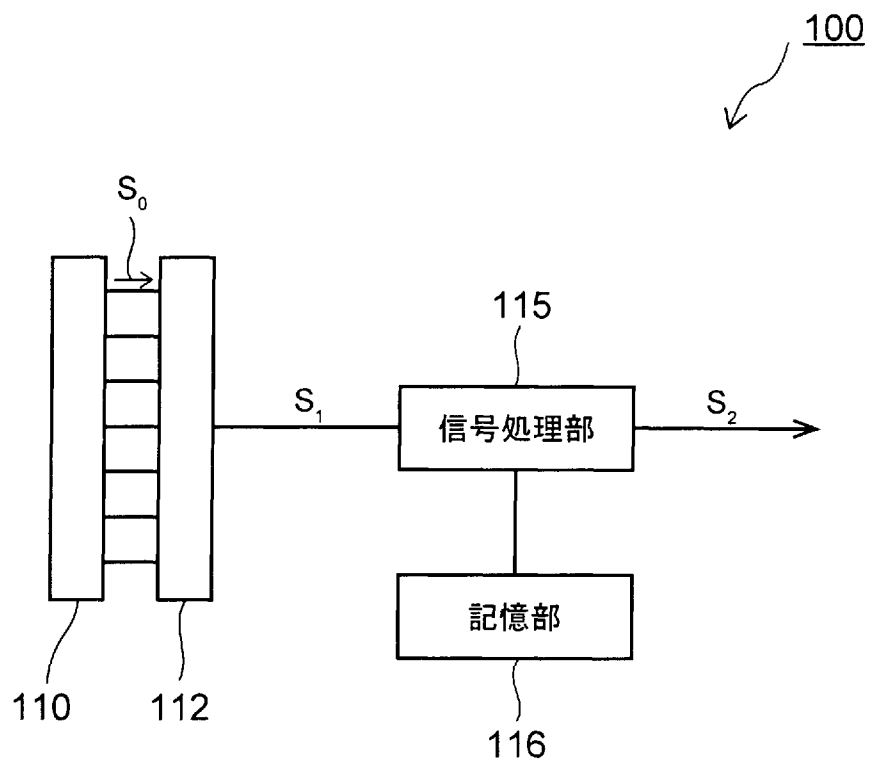
[図42]



[図43]



[図44]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/046676

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01L31/10 (2006.01) i, H01L27/146 (2006.01) i

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)

Int.Cl. H01L31/00-31/20, H01L27/14-27/148, G02B5/18, G02B5/30

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE Xplore, Scitation

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	APALKOV, V. et al., "Polarization sensitivity of quantum well infrared photodetector coupled to a metallic diffraction Grid", IEEE Journal of Quantum Electronics, 2010, vol. 46, pp. 877-883	1-7
A	US 7745815 B2 (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 29 June 2010 (Family: none)	1-7
A	US 6423980 B1 (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 23 July 2002 & WO 01/01494 A1 & EP 1192662 A1	1-7



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

"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

02 March 2018

Date of mailing of the international search report

20 March 2018

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/046676

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-254215 A (HITACHI, LTD.) 19 December 2013 (Family: none)	1-7
A	JP 9-172227 A (THOMSON-CSF) 30 June 1997 & US 5818066 A & EP 0776076 A1	1-7
A	JP 2010-114381 A (TECHNICAL RESEARCH & DEVELOPMENT INSTITUTE MINISTRY OF DEFENCE) 20 May 2010 (Family: none)	1-7
A	ANTONI, T. et al., "High contrast polarization sensitive quantum well infrared photodetectors", Applied Physics Letters, 2007, vol. 90, pp. 201107-1 to 201107-3	1-7
A	JP 2000-156513 A (FUJITSU LIMITED) 06 June 2000 & US 2002/0088943 A1	1-7
A	JP 2006-106758 A (LG ELECTRONICS INC.) 20 April 2006 & US 2006/0072194 A1 & EP 1645903 A1 & KR 20060030812 A	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L31/10(2006.01)i, H01L27/146(2006.01)i

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))

Int.Cl. H01L31/00-31/20, H01L27/14-27/148, G02B5/18, G02B5/30

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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)

IEEE Xplore, Scitation

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
A	APALKOV, Vadym et al., "Polarization Sensitivity of Quantum Well Infrared Photodetector Coupled to a Metallic Diffraction Grid", IEEE Journal of Quantum Electronics, 2010, Vol.46, p.877-883	1-7
A	US 7745815 B2 (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 2010.06.29, (ファミリーなし)	1-7
A	US 6423980 B1 (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 2002.07.23, & WO 01/01494 A1 & EP 1192662 A1	1-7

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、一般的技術水準を示すもの

「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矛盾するものではなく、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

02.03.2018

国際調査報告の発送日

20.03.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐竹 政彦

2 K

1132

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 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
A	JP 2013-254215 A (株式会社日立製作所) 2013. 12. 19, (ファミリーなし)	1-7
A	JP 9-172227 A (トムソン・シーエスエフ) 1997. 06. 30, & US 5818066 A & EP 0776076 A1	1-7
A	JP 2010-114381 A (防衛省技術研究本部長) 2010. 05. 20, (ファミリーなし)	1-7
A	ANTONI, Thomas et al., "High contrast polarization sensitive quantum well infrared photodetectors", Applied Physics Letters, 2007, Vol.90, p. 201107-1 - 201107-3	1-7
A	JP 2000-156513 A (富士通株式会社) 2000. 06. 06, & US 2002/0088943 A1	1-7
A	JP 2006-106758 A (エルジー電子株式会社) 2006. 04. 20, & US 2006/0072194 A1 & EP 1645903 A1 & KR 20060030812 A	1-7