

(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
2024年8月8日(08.08.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/161890 A1

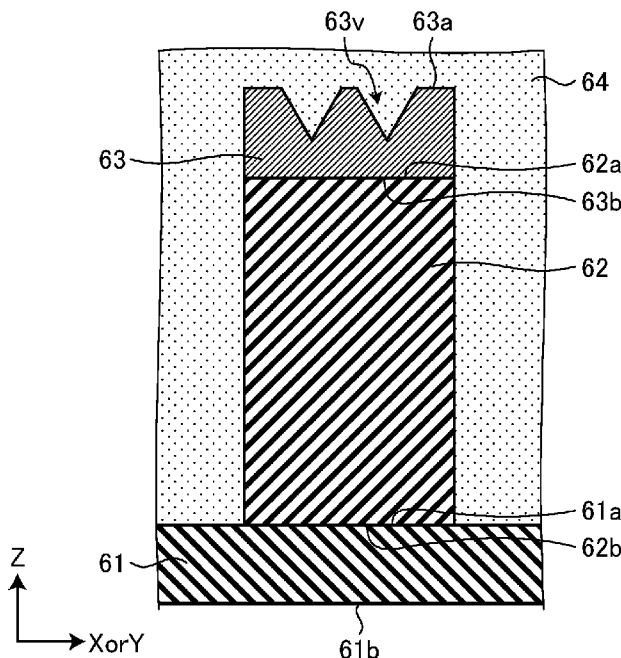
- (51) 国際特許分類:
H01L 27/146 (2006.01) G02B 5/18 (2006.01)
G02B 1/113 (2015.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/047168
- (22) 国際出願日: 2023年12月28日(28.12.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2023-015269 2023年2月3日(03.02.2023) JP
- (71) 出願人: ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社(SONY SEMICONDUCTOR SOLUTIONS CORPORATION) [JP/JP]; 〒2430014

神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 Kanagawa (JP).

- (72) 発明者: 竹内 幸一 (TAKEUCHI, Koichi); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 平田 瑛子(HIRATA, Akiko); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 納土 晋一郎(NUUDO, Shinichiro); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 水口 徹也(MIZUGUCHI, Tetsuya); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP).

(54) Title: PHOTODETECTOR

(54) 発明の名称: 光検出器



(57) Abstract: This photodetector comprises a photoelectric conversion section and an optical layer provided to cover the photoelectric conversion section, the optical layer including: a plurality of pillars arranged along a planar direction of the layer so as to guide at least light to be detected of incident light to the photoelectric conversion section; and a reflection suppressing film provided on at least one of an upper surface and a lower surface of the pillars, the reflection suppressing film having a non-planar portion including at least one of a recessed portion and a bulging portion.



ーションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 松谷 弘康(MATSUGAI, Hiroyasu); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 小島 尚(KOJIMA, Takashi); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 小林 勇気(KOBAYASHI, Yuuki); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 横地 界斗(YOKOCHI, Kaito); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 川島 聡(KAWASHIMA, Satoshi); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 齊藤 廣志(SAITO, Hiroshi); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 長谷川 賢太(HASEGAWA, Kenta); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP).

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

- (74) 代理人: 弁理士法人酒井国際特許事務所 (SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎ノ門ダイビルイースト Tokyo (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, 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).

(57) 要約：光検出器は、光電変換部と、光電変換部を覆うように設けられた光学層と、を備え、光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーと、ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面上に設けられた反射抑制膜と、を含み、反射抑制膜は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部を有する。

明 細 書

発明の名称：光検出器

技術分野

[0001] 本開示は、光検出器に関する。

背景技術

[0002] 例えば特許文献1に開示されるように、光の波長よりも小さい寸法を有する複数の微細な構造体を面方向に並べて配置することで、入射した光の向きを制御する技術が知られている。構造体は、例えば面方向と直交する方向に延在する柱状形状又はこれをベースとする形状を有するので、本開示では「ピラー」とも称する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特表2020-537193号公報

特許文献2：特開2018-98641号公報

特許文献3：特開2018-195908号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：S. Basu, B. J. Lee, Z. M. Zhang, “Infrared Radiative Properties of Heavily Doped Silicon at Room Temperature”, Article in Journal of Heat Transfer Vol.132, Feb. 2010

非特許文献2：Muhammad Ajmal Khan, Porponth Sichanugrist, Shinya Kato & Yasuaki Ishikawa, “Theoretical investigation about the optical characterization of cone-shaped pin-Si nanowire for top cell application”, Energy Science and Engineering 2016;4(6): 383-393

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ピラー及びその周辺構造に屈折率境界面が存在することから、光反射が問

題となる。

[0006] 本開示の一側面は、光反射を抑制する。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示の一側面に係る光検出器は、光電変換部と、光電変換部を覆うように設けられた光学層と、を備え、光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーと、ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面上に設けられた反射抑制膜と、を含み、反射抑制膜は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部を有する。

[0008] 本開示の一側面に係る光検出器は、光電変換部と、光電変換部を覆うように設けられた光学層と、を備え、光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、ピラーは、ピラー高さ方向に進むにつれて連続的に変化する断面積を有し、ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面は、曲面である。

[0009] 本開示の一側面に係る光検出器は、光電変換部と、光電変換部を覆うように設けられた光学層と、を備え、光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、ピラーの上面は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部を有する。

[0010] 本開示の一側面に係る光検出器は、光電変換部と、光電変換部を覆うように設けられた光学層と、を備え、光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーと、ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面上に設けられた反射抑制膜と、を含み、反射抑制膜の屈折率は、ピラーに近づくにつれて当該ピラーの屈折率に近づくように勾配を有する。

[0011] 本開示の一側面に係る光検出器は、光電変換部と、光電変換部を覆うように設けられた光学層と、を備え、光学層は、入射光のうちの少なくとも検出

対象の光を光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、ピラーは、ピラーの下面を含む非変質層と、ピラーの上面を含み、非変質層の屈折率とは異なる屈折率を有する変質層と、を含む。

[0012] 本開示の一側面に係る光検出器は、光電変換部と、光電変換部を覆うように設けられた第1の光学層と、第1の光学層を覆うように設けられた第2の光学層と、を備え、第1の光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、第2の光学層は、第1の光学層の平均屈折率とは異なる平均屈率を有するように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含む。

[0013] 本開示の一側面に係る光検出器は、光電変換部と、前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、を備え、前記光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーと、前記ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面上に設けられたエッチングストッパ層と、を含み、前記エッチングストッパ層の上面及び下面の少なくとも一方の面は、凹凸形状を有する。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]光検出器100の概略構成の例を示す図である。

[図2]画素2の回路構成の例を示す図である。

[図3]画素アレイ部1の概略構成の例を示す図である。

[図4]光学層6の概略構成の例を示す図である。

[図5]光学層6の概略構成の例を示す図である。

[図6]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。

[図7]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。

[図8]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。

[図9]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。

[図10]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。

[図11]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。

[図12]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。

[図13]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。

[図14]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。

[図15]製造方法の例を示す図である。

[図16]製造方法の例を示す図である。

[図17]製造方法の例を示す図である。

[図18]製造方法の例を示す図である。

[図19]製造方法の例を示す図である。

[図20]製造方法の例を示す図である。

[図21]製造方法の例を示す図である。

[図22]製造方法の例を示す図である。

[図23]製造方法の例を示す図である。

[図24]製造方法の例を示す図である。

[図25]製造方法の例を示す図である。

[図26]製造方法の例を示す図である。

[図27]製造方法の例を示す図である。

[図28]製造方法の例を示す図である。

[図29]製造方法の例を示す図である。

[図30]製造方法の例を示す図である。

[図31]製造方法の例を示す図である。

[図32]製造方法の例を示す図である。

[図33]製造方法の例を示す図である。

[図34]製造方法の例を示す図である。

[図35]製造方法の例を示す図である。

[図36]製造方法の例を示す図である。

[図37]製造方法の例を示す図である。

[図38]製造方法の例を示す図である。

[図39]製造方法の例を示す図である。

[図40]製造方法の例を示す図である。

- [図41]製造方法の例を示す図である。
- [図42]製造方法の例を示す図である。
- [図43]製造方法の例を示す図である。
- [図44]製造方法の例を示す図である。
- [図45]製造方法の例を示す図である。
- [図46]製造方法の例を示す図である。
- [図47]製造方法の例を示す図である。
- [図48]製造方法の例を示す図である。
- [図49]製造方法の例を示す図である。
- [図50]2段形成されたピラー62の例を示す図である。
- [図51]2段形成されたピラー62の例を示す図である。
- [図52]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図53]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図54]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図55]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図56]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図57]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図58]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図59]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図60]複数のピラー62の最大幅及び高さの例を示す図である。
- [図61]ピラー62の配列の例を示す図である。
- [図62]ピラー62の断面形状の例を示す図である。
- [図63]製造方法の例を示す図である。
- [図64]製造方法の例を示す図である。
- [図65]製造方法の例を示す図である。
- [図66]製造方法の例を示す図である。
- [図67]製造方法の例を示す図である。
- [図68]製造方法の例を示す図である。

- [図69]製造方法の例を示す図である。
- [図70]製造方法の例を示す図である。
- [図71]製造方法の例を示す図である。
- [図72]製造方法の例を示す図である。
- [図73]製造方法の例を示す図である。
- [図74]製造方法の例を示す図である。
- [図75]製造方法の例を示す図である。
- [図76]製造方法の例を示す図である。
- [図77]製造方法の例を示す図である。
- [図78]製造方法の例を示す図である。
- [図79]製造方法の例を示す図である。
- [図80]製造方法の例を示す図である。
- [図81]製造方法の例を示す図である。
- [図82]光学層6の多層化の例を示す図である。
- [図83]充填材64及びその周辺構造の例を示す図である。
- [図84]光学機能の設計の例を示す図である。
- [図85]光学機能の設計の例を示す図である。
- [図86]光学機能の設計の例を示す図である。
- [図87]光学機能の設計の例を示す図である。
- [図88]光学機能の設計の例を示す図である。
- [図89]光学機能の設計の例を示す図である。
- [図90]光学機能の設計の例を示す図である。
- [図91]光学機能の設計の例を示す図である。
- [図92]光学機能の設計の例を示す図である。
- [図93]位相差ライブラリの例を示す図である。
- [図94]遮光膜52の例を示す図である。
- [図95]遮光膜52の例を示す図である。
- [図96]遮光膜52の例を示す図である。

- [図97]遮光膜52の例を示す図である。
- [図98]遮光膜52の例を示す図である。
- [図99]素子分離部ESの例を示す図である。
- [図100]素子分離部ESの例を示す図である。
- [図101]素子分離部ESの例を示す図である。
- [図102]素子分離部ESの例を示す図である。
- [図103]素子分離部ESの例を示す図である。
- [図104]素子分離部ESの例を示す図である。
- [図105]半導体基板3の上面3aの形状の例を示す図である。
- [図106]半導体基板3の上面3aの形状の例を示す図である。
- [図107]半導体基板3の上面3aの形状の例を示す図である。
- [図108]半導体基板3の上面3aの形状の例を示す図である。
- [図109]レンズ10の例を示す図である。
- [図110]レンズ10の例を示す図である。
- [図111]レンズ10の例を示す図である。
- [図112]レンズ10の例を示す図である。
- [図113]レンズ10の例を示す図である。
- [図114]クロストーク抑制の例を示す図である。
- [図115]クロストーク抑制の例を示す図である。
- [図116]クロストーク抑制の例を示す図である。
- [図117]クロストーク抑制の例を示す図である。
- [図118]光電変換部21の分割の例を示す図である。
- [図119]光電変換部21の分割の例を示す図である。
- [図120]カラーフィルタ13の例を示す図である。
- [図121]カラーフィルタ13の例を示す図である。
- [図122]カラーフィルタ13の例を示す図である。
- [図123]他のフィルタの例を示す図である。
- [図124]他のフィルタの例を示す図である。

- [図125]他のフィルタの例を示す図である。
- [図126]他のフィルタの例を示す図である。
- [図127]他のフィルタの例を示す図である。
- [図128]光学層6の多層化の変形例を示す図である。
- [図129]比較例を示す図である。
- [図130]比較例を示す図である。
- [図131]光学層6の概略構成の例を示す図である。
- [図132]反射率の例を示す図である。
- [図133]最適化したピラー中体積率 α の例を示す図である。
- [図134]最適化した凹部の深さ d の例を示す図である。
- [図135]光学層6の概略構成の例を示す図である。
- [図136]反射率の例を示す図である。
- [図137]最適化したピラー中体積率 α の例を示す図である。
- [図138]最適化した凹部の深さ d の例を示す図である。
- [図139]非平坦部62v及びその周辺構造の形状の例を示す図である。
- [図140]非平坦部62v及びその周辺構造の形状の例を示す図である。
- [図141]非平坦部62v及びその周辺構造の形状の例を示す図である。
- [図142]非平坦部62v及びその周辺構造の形状の例を示す図である。
- [図143]非平坦部62v及びその周辺構造の形状の例を示す図である。
- [図144]非平坦部62v及びその周辺構造の形状の例を示す図である。
- [図145]非平坦部62v及びその周辺構造の形状の例を示す図である。
- [図146]非平坦部62v及びその周辺構造の形状の例を示す図である。
- [図147]非平坦部62v及びその周辺構造の形状の例を示す図である。
- [図148]非平坦部62v及びその周辺構造の形状の例を示す図である。
- [図149]製造方法の例を示す図である。
- [図150]製造方法の例を示す図である。
- [図151]製造方法の例を示す図である。
- [図152]製造方法の例を示す図である。

- [図153]製造方法の例を示す図である。
- [図154]製造方法の例を示す図である。
- [図155]製造方法の例を示す図である。
- [図156]製造方法の例を示す図である。
- [図157]製造方法の例を示す図である。
- [図158]製造方法の例を示す図である。
- [図159]製造方法の例を示す図である。
- [図160]製造方法の例を示す図である。
- [図161]製造方法の例を示す図である。
- [図162]製造方法の例を示す図である。
- [図163]製造方法の例を示す図である。
- [図164]製造方法の例を示す図である。
- [図165]製造方法の例を示す図である。
- [図166]製造方法の例を示す図である。
- [図167]製造方法の例を示す図である。
- [図168]製造方法の例を示す図である。
- [図169]製造方法の例を示す図である。
- [図170]製造方法の例を示す図である。
- [図171]製造方法の例を示す図である。
- [図172]製造方法の例を示す図である。
- [図173]製造方法の例を示す図である。
- [図174]製造方法の例を示す図である。
- [図175]製造方法の例を示す図である。
- [図176]製造方法の例を示す図である。
- [図177]製造方法の例を示す図である。
- [図178]製造方法の例を示す図である。
- [図179]製造方法の例を示す図である。
- [図180]製造方法の例を示す図である。

- [図181]製造方法の例を示す図である。
- [図182]製造方法の例を示す図である。
- [図183]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図184]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図185]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図186]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図187]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図188]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図189]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図190]光学層6の概略構成の例を示す図である。
- [図191]非特許文献1を引用する図である。
- [図192]非特許文献2を引用する図である。
- [図193]光学層6の概略構成の例を示す図である。
- [図194]ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。
- [図195]製造方法の例を示す図である。
- [図196]製造方法の例を示す図である。
- [図197]製造方法の例を示す図である。
- [図198]製造方法の例を示す図である。
- [図199]製造方法の例を示す図である。
- [図200]製造方法の例を示す図である。
- [図201]製造方法の例を示す図である。
- [図202]製造方法の例を示す図である。
- [図203]製造方法の例を示す図である。
- [図204]製造方法の例を示す図である。
- [図205]製造方法の例を示す図である。
- [図206]製造方法の例を示す図である。
- [図207]製造方法の例を示す図である。
- [図208]製造方法の例を示す図である。

- [図209]製造方法の例を示す図である。
- [図210]製造方法の例を示す図である。
- [図211]製造方法の例を示す図である。
- [図212]比較例を示す図である。
- [図213]光学層6の概略構成の例を示す図である。
- [図214]光学層6の概略構成の例を示す図である。
- [図215]平均屈折率の算出の例を示す図である。
- [図216]変形例を示す図である。
- [図217]変形例を示す図である。
- [図218]変形例を示す図である。
- [図219]変形例を示す図である。
- [図220]変形例を示す図である。
- [図221]光学層6の概略構成の例を示す図である。
- [図222]エッチングストップパ層67の概略構成の例を示す図である。
- [図223]エッチングストップパ層67の概略構成の例を示す図である。
- [図224]エッチングストップパ層67-1とピラー62及び充填材64との界面及びその周辺の概略構成の例を示す図である。
- [図225]エッチングストップパ層67-1とピラー62及び充填材64との界面及びその周辺の概略構成の例を示す図である。
- [図226]エッチングストップパ層67-1の上面67a及び下面67bの形状の組合せの例を示す図である。
- [図227]光学層6の概略構成の例を示す図である。
- [図228]製造方法の例を示す図である。
- [図229]製造方法の例を示す図である。
- [図230]製造方法の例を示す図である。
- [図231]製造方法の例を示す図である。
- [図232]製造方法の例を示す図である。
- [図233]製造方法の例を示す図である。

[図234]製造方法の例を示す図である。

[図235]製造方法の例を示す図である。

[図236]製造方法の例を示す図である。

[図237]製造方法の例を示す図である。

[図238]製造方法の例を示す図である。

[図239]製造方法の例を示す図である。

[図240]製造方法の例を示す図である。

[図241]製造方法の例を示す図である。

[図242]製造方法の例を示す図である。

[図243]製造方法の例を示す図である。

[図244]実施例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下に、本開示の実施形態について図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の各実施形態において、同一の要素には同一の符号を付することにより重複する説明を省略する場合がある。異なる実施形態どうしの間で重複する符号が異なる意味に用いられてもよく、その場合は、その実施形態中の説明に従って解釈されてよい。

[0016] 以下に示す項目順序に従って本開示を説明する。

0. 光検出器の例
1. 第1実施形態
2. 第2実施形態
3. 第3実施形態
4. 第4実施形態
5. 第5実施形態
6. 第6実施形態
7. 第7実施形態
8. むすび

[0017] 0. 光検出器の例

開示される技術の1つは、光検出器である。以下では、光検出器が撮像装置である場合を例に挙げて説明する。なお、撮像装置における撮像及び画像は、矛盾の無い範囲において撮影及び映像を含む意味に解されてよく、また、それらの用語は適宜読み替えられてよい。

[0018] 図1は、光検出器100の概略構成の例を示す図である。光検出器100は、画素アレイ部1と、垂直駆動部101と、カラム信号処理部102と、制御部103とを含む。便宜上、画素アレイ部1に対するXYZ系も図示される。X軸方向及びY軸方向(XY平面方向)は、アレイ方向に相当する。X軸方向を、水平方向、行(ライン)方向等とも称する。Y軸方向を、垂直方向、列(カラム)方向等とも称する。

[0019] 画素アレイ部1は、複数の画素2を含む。複数の画素2は、行方向及び列方向に2次元状(例えば2次元格子状)に並んで配置される。画素2は、光電変換部を含んで構成され、入射した光の光量に応じた電圧信号を生成して出力する。出力される電圧信号を、画素信号と称する。画素2は、光電変換部による受光、電圧信号への変換等のための回路(画素回路)も含んで構成される。画素2からの画素信号は、信号線VLを介してカラム信号処理部102に送られる。

[0020] 垂直駆動部101は、信号線HLを介して、画素アレイ部1に接続される。画素アレイ部1の行ごとに、1又は2以上の信号線HLが、垂直駆動部101から画素アレイ部1内を延在し、同じ行に位置する画素2に共通に接続される。垂直駆動部101は、信号線HLを介して、対応する画素2に制御信号を供給する。

[0021] カラム信号処理部102は、信号線VLを介して、画素アレイ部1に接続される。画素アレイ部1の列ごとに、1つの信号線VLが、カラム信号処理部102から画素アレイ部1内を延在し、同じ列に位置する画素2に共通に接続される。カラム信号処理部102は、画素アレイ部1の列ごとに、各画素2からの画像信号を処理する。処理の一例は、AD(Analog to Digital)変換処理等である。処理後の画像信号が、画像信号として出力される。

- [0022] 制御部103は、光検出器100の全体を制御する。例えば、制御部103は、垂直駆動部101を制御するための制御信号を生成し、垂直駆動部101に供給する。このための信号線を、信号線L31と称し図示する。また、制御部103は、カラム信号処理部102を制御するための制御信号を生成し、カラム信号処理部102に供給する。このための信号線を、信号線L32と称し図示する。
- [0023] 図2は、画素2の回路構成の例を示す図である。この例では、3本の信号線HLが画素2に接続される。各信号線HLを区別できるように、信号線HL__TR、信号線HL__RST及び信号線HL__SELと称し図示する。電源線Vddも図示される。
- [0024] 画素2は、光電変換部21と、画素回路とを含む。画素回路の構成要素として、電荷保持部22及びトランジスタ23～トランジスタ26が例示される。ここでは、トランジスタ23～トランジスタ26は、いずれもFET（電界効果トランジスタ）であるものとする。FETは、MOSFETであってもよい。
- [0025] 以降の説明において、トランジスタのドレイン及びソースを、電流端子とも称する。ゲートを、制御端子とも称する。2つの要素どうしの中にトランジスタが接続されるとは、一方の電流端子（ドレイン及びソースの一方）が一方の要素に接続され、他方の電流端子（ドレイン及びソースの他方）が他方の要素に接続されることを意味するものとする。
- [0026] 光電変換部21は、受光光量に応じた電荷を発生して蓄積する。例示される光電変換部21は、アノードが接地されたフォトダイオードである。
- [0027] 電荷保持部22は、光電変換部21に蓄積された電荷を保持する。電荷保持部22の例は、浮遊拡散容量（Floating Diffusion）、コンデンサ等である。
- [0028] トランジスタ23は、光電変換部21と電荷保持部22との間に接続され、光電変換部21に蓄積された電荷を電荷保持部22に転送する転送トランジスタである。トランジスタ23の制御端子は、信号線HL__TRに接続さ

れる。信号線HL__TRからの制御信号によって、トランジスタ23のオン及びオフ（導通状態及び非導通状態）が制御される。

[0029] トランジスタ24は、電荷保持部22と電源線Vddとの間に接続され、電荷保持部22の電荷を電源線Vddに排出するリセットトランジスタである。トランジスタ24の制御端子は、信号線HL__RSTに接続される。信号線HL__RSTからの制御信号によって、トランジスタ24のオン及びオフが制御される。なお、トランジスタ23をオンにすることで、トランジスタ24が光電変換部21にも接続されるので、光電変換部21に蓄積された電荷も電源線Vddに排出できる。

[0030] トランジスタ25は、電源線Vddとトランジスタ26との間に接続される。トランジスタ25の制御端子は、電荷保持部22に接続される。トランジスタ25は、電荷保持部22が保持する電荷の量、すなわち光電変換部21で発生した電荷の量に応じた電圧を出力する。

[0031] トランジスタ26は、トランジスタ25と信号線VLとの間に接続され、トランジスタ25の出力電圧を信号線VLに選択的に出現させる選択トランジスタである。この信号線VLに出現する電圧が、画素信号である。トランジスタ26の制御端子は、信号線HL__SELに接続される。信号線HL__SELからの制御信号によって、トランジスタ26のオン及びオフが制御される。

[0032] 図3は、画素アレイ部1の概略構成の例を示す図である。側面視したとき（X軸方向又はY軸方向にみたとき）の画素アレイ部1の一部の断面が模式的に示される。画素アレイ部1は、半導体基板3と、固定電荷膜4と、絶縁層5と、光学層6と、配線層7と、絶縁層8と、支持基板9とを含む。基板、膜及び層の面方向がXY平面方向（X軸方向及びY軸方向）に相当し、厚さ方向がZ軸方向に相当する。Z軸正方向を、上方向等と呼ぶこともある。Z軸負方向を、下方向等と呼ぶこともある。なお、矛盾の無い範囲において、層及び膜は互いに読み替えられてよい。

[0033] なお、図3の右側に示される部分は、光電変換部21を含む画素2が配置

された有効領域である。図3の左側に示される部分は、そのような画素2が配置されていない無効領域（有効領域外の領域）である。画素アレイ部1に入射する光を、入射光と称し白抜き矢印で模式的に示す。入射光は、下方（Z軸負方向）に沿って進むものとする。

[0034] 半導体基板3には、画素2の回路の構成要素の少なくとも一部が形成される。半導体基板3の材料の例は、Si、SiGe、InGaAs等である。半導体基板3に形成される構成要素として、図3には、光電変換部21が例示される。

[0035] 半導体基板3の上面（Z軸正方向側の面）を、上面3aと称し図示する。半導体基板3の下面（Z軸負方向側の面）を、下面3bと称し図示する。画素アレイ部1に入射した光は、半導体基板3の上面3aから半導体基板3内に入射して光電変換部21に到達する。なお、半導体基板3の下面3b上に後述の配線層7が設けられるので、半導体基板3の下面3bが半導体基板3の表面（おもてめん）であり、半導体基板3の上面3aが半導体基板3の裏面（りめん）であるともいえる。光検出器100（図1）は、裏面照射型の光検出器、撮像装置等とも呼べる。

[0036] 光電変換部21についてさらに述べる。この例では、光電変換部21は、半導体基板3の厚さ方向（Z軸方向）のほぼ全域にわたるように形成される。光電変換部21は、例えば、n型半導体領域と、半導体基板3の上面3a及び下面3bの両面に臨むように形成されたp型半導体領域とを含むpn接合型のフォトダイオード（PD）である。

[0037] p型半導体領域は、暗電流抑制のための正孔電荷蓄積領域を兼ねている。各画素2は、分離領域31により分離される。分離領域31は、p型半導体領域で形成され、例えば接地される。先に図2を参照して説明したトランジスタ23～トランジスタ26は、半導体基板3の下面3b側に形成されたp型半導体ウェル領域に、n型のソース領域及びドレイン領域を形成し、両領域間における半導体基板3の下面3bにゲート絶縁膜を介してゲート電極を形成して構成される。

- [0038] 半導体基板 3 の上面 3 a 上には、固定電荷膜 4、絶縁層 5 及び光学層 6 がこの順に設けられる。半導体基板 3 の上面 3 a が固定電荷膜 4、絶縁層 5 及び光学層 6 に対向しているともいえる。
- [0039] 固定電荷膜 4 は、酸素のダイポールによる負の固定電荷を有し、ピニングを強化する役割を果たす。固定電荷膜 4 の材料の例は、酸化物又は窒化物である。酸化物又は窒化物は、Hf、Al、ジルコニウム、Ta 及び Ti の少なくとも 1 つを含んでよい。また、酸化物又は窒化物は、ランタン、セリウム、ネオジウム、プロメチウム、サマリウム、ユウロピウム、ガドリニウム、テルビウム、ジスプロシウム、ホルミウム、ツリウム、イッテルビウム、ルテチウム及びイットリウムの少なくとも 1 つを含んでよい。固定電荷膜 4 の材料の別の例は、酸窒化ハフニウム又は酸窒化アルミニウム等である。固定電荷膜 4 には、絶縁性が損なわれない量のシリコンや窒素が添加されていてもよい。耐熱性等を向上させることができる。固定電荷膜 4 は、膜厚を制御し、或いは、多層積層することで、屈折率の高い Si 基板等である半導体基板 3 に対する反射抑制膜の役割を兼ね備えるように構成されてよい。
- [0040] 絶縁層 5 は、半導体基板 3 及び固定電荷膜 4 と光学層 6 と絶縁するとともに、半導体基板 3 及び固定電荷膜 4 を保護する。この例では、絶縁層 5 は、絶縁膜 5 1 と、遮光膜 5 2 と、絶縁膜 5 3 とを含む。絶縁膜 5 1 及び絶縁膜 5 3 の材料の例は、SiO₂ 等である。
- [0041] 絶縁膜 5 1 は、その上に遮光膜 5 2 を設けるための下地層でもある。
- [0042] 遮光膜 5 2 は、絶縁膜 5 1 上に設けられる。遮光膜 5 2 は、隣り合う画素 2 (の光電変換部 2 1) どうしの境界領域に配置され、隣接する画素 2 から漏れ込む迷光を遮蔽する。遮光膜 5 2 は、光を遮光する材料を含んで構成される。遮光性が強く、かつ微細加工、例えばエッチングで精度よく加工できる材料が用いられてよい。材料の例は、Al、W、銅等の金属材料である。遮光膜 5 2 は、そのような金属材料を含む金属膜で形成されてよい。他にも、銀、金、白金、Mo、Cr、Ti、ニッケル、鉄及びテルル等、また、これらを含む合金等が、遮光膜 5 2 の材料として用いられてよい。これらの材

料を複数積層して構成することもできる。下地の絶縁膜5 1との密着性を高めるために、遮光膜5 2の下にバリアメタル、例えば、Ti、Ta、W、Co、Mo、或いはそれらの合金、或いはそれらの窒化物、或いはそれらの酸化物、或いはそれらの炭化物が設けられてもよい。

[0043] 遮光膜5 2は、光学的黒レベルを決定する画素の遮光を兼ねたり、周辺回路領域へのノイズ防止のための遮光を兼ねたりしてもよい。遮光膜5 2は、加工中の蓄積電荷によるプラズマダメージで破壊されないように接地されていることが望ましい。接地構造は画素配列内に形成してもよいが、導体の全てが電氣的に繋がるようにしたうえで、図3の左側に示されるように、画素2の有効領域外の領域で接地されてもよい。

[0044] 絶縁膜5 3は、絶縁膜5 1及び遮光膜5 2を覆うように設けられる。絶縁膜5 3は、平坦化の役割も果たす。

[0045] 光学層6は、この例では固定電荷膜4及び絶縁層5を挟んで、半導体基板3の光電変換部2 1を覆うように設けられる。光学層6の構成要素として、図3には、複数のピラー6 2が示される。光学層6の詳細は後述する。

[0046] 半導体基板3の下面3 b上には、配線層7、絶縁層8及び支持基板9がこの順に設けられる。半導体基板3の下面3 bが配線層7、絶縁層8及び支持基板9と対向しているともいえる。

[0047] 配線層7は、画素2により生成された画像信号を伝達する。また、配線層7は、画素2の回路に印加される信号の伝達をさらに行う。具体的には、配線層7は、信号線HL及び電源線V d d（図1及び図2）を構成する。配線層7と回路との間は、ビアプラグにより接続される。また、配線層7は多層で構成され、各配線層の層間もビアプラグにより接続される。配線層7の材料の例は、Al、Cu等の金属材料である。ビアプラグの材料の例は、W、Cu等の金属材料である。配線層7の絶縁には、例えば、シリコン酸化膜等が用いられる。

[0048] 絶縁層8は、配線層7を支持基板9から絶縁する。種々の公知の材料が用いられてよい。

- [0049] 支持基板 9 は、画素アレイ部 1 の製造工程において半導体基板 3 等を補強して支持する。支持基板 9 の材料の例は、シリコン等である。支持基板 9 は、プラズマ接合、或いは、接着材料で半導体基板 3 と張り合わされてよい。支持基板 9 は、ロジック回路を含むように構成されてよい。基板間に接続ビアを形成することで、様々な周辺回路機能を縦積みし、チップサイズを縮小することができる。
- [0050] 光学層 6 についてさらに説明する。光学層 6 は、入射した光の位相等を制御する。光学層 6 は、光制御部、光位相制御部等とも呼べる。
- [0051] 図 4 及び図 5 は、光学層 6 の概略構成の例を示す図である。なお、図 5 には、平面視したとき（Z 軸方向にみたとき）の光学層 6 のピラー 6 2 を含む部分の断面が模式的に示される。
- [0052] 光学層 6 は、反射抑制膜 6 1 と、複数のピラー 6 2 と、反射抑制膜 6 3 と、充填材 6 4 と、保護膜 6 5 とを含む。反射抑制膜 6 1 の上面及び下面を、上面 6 1 a 及び下面 6 1 b と称し図示する。ピラー 6 2 の上面及び下面を、上面 6 2 a 及び下面 6 2 b と称し図示する。反射抑制膜 6 3 の上面及び下面を、上面 6 3 a 及び下面 6 3 b と称し図示する。
- [0053] 反射抑制膜 6 1 は、ピラー 6 2 と絶縁層 5 との間、より具体的には、絶縁層 5 上に設けられるとともにピラー 6 2 の下面 6 2 b 上に設けられる。反射抑制膜 6 1 の上面 6 1 a は、ピラー 6 2 の下面 6 2 b 及び充填材 6 4 と面接触する。この面は、反射抑制膜 6 1 とピラー 6 2 との間の屈折率境界面になり、また、反射抑制膜 6 1 と充填材 6 4 との間の屈折率境界面になる。
- [0054] 反射抑制膜 6 1 は、ピラー 6 2 の下面 6 2 b 及びその近傍での光反射を抑制する。例えば、反射抑制膜 6 1 は、絶縁層 5 の屈折率とピラー 6 2 の屈折率との間の屈折率を有する。検出対象の光の媒質中の波長を λ とすると、反射抑制膜 6 1 は、 $\lambda / 4 n$ (n はその媒質の屈折率) 又はその整数倍の厚さを有してよい。このような反射抑制膜 6 1 を設けることで、ピラー 6 2 の下面 6 2 b 及びその近傍での光反射を抑制することができる。反射抑制膜 6 1 の材料の例は、SiN 等である。

- [0055] ピラー62は、入射光、より具体的には検出対象光の波長よりも短い寸法を有する微細な構造体である。ピラー62は、柱状形状又はこれをベースとする形状を有するように加工され、光学層6の厚さ方向に延在する。ピラー62の材料の例は、アモルファスシリコン等である。
- [0056] 複数のピラー62は、入射光のうちの検出対象の光を光電変換部21（図3）に導くように、光学層6の面方向に例えば間隔をあけて並んで配置される。検出対象の光は、可視光であってもよいし、不可視光であってもよい。可視光の例は、赤色光、緑色光、青色光等である。不可視光の例は、赤外光（IR）等であり、より特定的には近赤外光（NIR）であってよい。
- [0057] 複数のピラー62は、光学層6に光学機能を与える。光学機能の例は、光の向きを制御する機能であり、より具体的には、プリズム機能、レンズ機能等である。プリズム機能は、入射光に含まれる光を波長ごとに分離したり、そのうちの検出対象の光を光電変換部21に導いたり（方向付けたり）する機能であり、スプリッタ機能、色分離機能、フィルタ機能等とも呼べる。レンズ機能は、光を光電変換部21に集光する機能（集光機能）である。
- [0058] 各ピラー62は、光学層6を通過する光に局所的な位相差を与えるように設計される。ピラー62の設計の例は、ピラー62の寸法の設計、ピラー62の形状の設計、ピラー62の配置の設計等である。ピラー62の寸法の例は、ピラー62の幅（X軸方向の長さ、Y軸方向の長さ）、ピラー62の高さ（Z軸方向の長さ）等である。ピラー62の形状の例は、ピラー62を平面視したとき（Z軸方向にみたとき）の形状、ピラー62を側面視したとき（X軸方向、Y軸方向にみたとき）の形状等である。形状は、断面形状であってもよい。ピラー62の配置は、ピラー62の平面レイアウト等であり、例えば隣り合うピラー62どうしの間隔（ピラーピッチ）を含む。
- [0059] 例えばピラー62がその周辺領域の屈折率（例えば充填材64の屈折率）よりも高い屈折率を有する場合には、ピラー62の占める割合が大きい部分の実効屈折率が高くなり、ピラー62の占める割合が小さい部分の実効屈折率が低くなる。実効屈折率が高い部分を通過する光の位相が、実効屈折率が

低い部分を通過する光の位相よりも遅れる。光の位相遅延量を異ならせることで、光の向きを制御することができる。

[0060] 反射抑制膜63は、ピラー62の上面62a上に設けられる。反射抑制膜63の下面63bは、ピラー62の上面62aと面接触する。この面は、反射抑制膜63とピラー62との間の屈折率境界面になる。

[0061] 反射抑制膜63は、ピラー62の上面62a及びその近傍での光反射を抑制する。例えば、反射抑制膜63は、ピラー62の屈折率と、反射抑制膜63の上方領域（この例では充填材64）の屈折率との間の屈折率を有する。反射抑制膜63は、 $\lambda/4n$ （ n はその媒質の屈折率）又はその整数倍の厚さを有してよい。このような反射抑制膜63を設けることで、ピラー62の上面62a及びその近傍での光反射を抑制することができる。反射抑制膜63の材料の例は、SiN等である。反射抑制膜63は、LTO膜（Low Temperature Oxide、例えば酸化シリコン膜）等であってもよい。

[0062] 充填材64は、ピラー62どうしの間（隙間）を埋めるように設けられ、また、反射抑制膜61、ピラー62、及び反射抑制膜63を覆うように設けられる。ピラー倒れ（ピラー62の倒壊）を抑制したり、組み立て工程におけるテープ残りを抑制したりすることができる。充填材64の材料の例は、樹脂等である。充填材64の屈折率は、反射抑制膜61、ピラー62、反射抑制膜63それぞれの屈折率よりも低くてよい。充填材64は、例えば反射抑制膜63の上面63aと面接触し、この面は、充填材64と反射抑制膜63との間の屈折率境界面になる。

[0063] 保護膜65は、充填材64上に設けられる。例えば、後工程におけるPAD開口のPADレジスト剥離時に充填材64がダメージを受けることを回避できる。保護膜65の材料は、SiO₂等の無機材料であってもよい。その場合の保護膜65は、無機保護膜とも呼べる。

[0064] 充填材64においてピラー62（より具体的には反射抑制膜63）と保護膜65との間に位置する部分の厚さ、及び、保護膜65の厚さは、それらの屈折率及び検出対象の光の波長を考慮して、例えば、フレネル係数法等を用

いて、全体で反射波が打ち消し合うように設計されてよい。

[0065] なお、充填材 6 4 は無くてもよい。その場合は、例えば、反射抑制膜 6 1、ピラー 6 2 及び反射抑制膜 6 3 の周辺材は、空気（空気領域）であってよい。矛盾の無い範囲において、充填材 6 4 は、周辺材、空気（空気領域）等に適宜読み替えられてよい。また、保護膜 6 5 が無くてもよい。

[0066] 以上で説明した構成を備える光学層 6 においては、ピラー 6 2 及びその周辺構造に屈折率境界面が存在することから、光反射が問題となる。光反射を抑制するための具体的な技術が、この後で説明する第 1 実施形態～第 6 実施形態として説明される。

[0067] 1. 第 1 実施形態

第 1 実施形態では、反射抑制膜 6 3 及び反射抑制膜 6 1 の少なくとも一方の形状を工夫することで光反射を抑制する。

[0068] <反射抑制膜 6 3 の形状の例>

図 6～図 9 は、ピラー 6 2 及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。以下では、ピラー 6 2、反射抑制膜 6 3 及び充填材 6 4 それぞれの屈折率のうち、充填材 6 4 の屈折率が最も低く、ピラー 6 2 の屈折率が最も高いものとする。換言すると、反射抑制膜 6 3 は、ピラー 6 2 の屈折率よりも低い屈折率を有し、一方で、充填材 6 4 の屈折率よりも高い屈折率を有する。

[0069] 反射抑制膜 6 3 は、上面 6 3 a に非平坦部 6 3 v を有する。非平坦部 6 3 v は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む。非平坦部 6 3 v は、反射抑制膜 6 3 の厚さ方向にみたとき（Z 軸方向にみたとき）の断面積が、上方（Z 軸正方向）に進むにつれて、徐々に小さくなる形状を有する。徐々に小さくなるとは、段階的に小さくなること、又は、連続的に小さくなることを意味してよい。反射抑制膜 6 3 がその上方領域の屈折率、より具体的にこの例では充填材 6 4 の屈折率よりも高い屈折率を有するので、実効屈折率は、上方領域に近づくにつれてその上方領域の屈折率に近づくように徐々に変化する。これにより、反射抑制膜 6 3 の上面 6 3 a 及びその近傍での光反射を抑制することができる。

[0070] 非平坦部63vが有する凹部の形状は、図6に示されるようなピラミッド形状であってもよいし、図7に示されるような矩形体形状であってもよい。これらに限らず、任意の形状が非平坦部63vの形状であってもよい。図8には、任意形状の一例が示される。

[0071] 非平坦部63vの高さ（Z軸方向の長さ）、例えば凹部の深さは、検出対象の光の波長で低反射となるように設計されてよい。波長 λ を材料の屈折率で除算した値（ λ ／屈折率）以下となるように、非平坦部63vの高さが設計されてよい。例えば検出対象の光が赤外光の場合、非平坦部63vは、400nm以下の高さを有してよい。光反射の抑制効果がさらに高められる。

[0072] 反射抑制膜63は、複数の非平坦部63vを有してよい。その場合、各非平坦部63vは、互いに異なる高さを有してもよい。また、図9の（A）～（C）に示されるように、反射抑制膜63は、その断面積が大きくなるにつれて、より多くの数の非平坦部63vを含んでよい。或いは、図9の（D）に示されるように、反射抑制膜63は、1つの大きな非平坦部63vを含んでもよい。

[0073] <反射抑制膜61の形状の例>

図10～図13は、ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。反射抑制膜61、ピラー62及び充填材64それぞれの屈折率のうち、充填材64の屈折率が最も低く、ピラー62の屈折率が最も高いものとする。換言すると、反射抑制膜61は、ピラー62の屈折率よりも低い屈折率を有し、一方で、充填材64の屈折率よりも高い屈折率を有する。

[0074] 反射抑制膜61は、上面61aに、より具体的には上面61aのうちのピラー62ではなくの充填材64と接触している面に、非平坦部61vを有する。非平坦部61vは、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む。非平坦部61vは、反射抑制膜61の断面積が、上方に進むにつれて徐々に小さくなる形状を有する。反射抑制膜63がその上方領域（この例では充填材64）の屈折率よりも高い屈折率を有するので、実効屈折率は、上方領域に近づくにつれてその上方領域の屈折率に近づくように徐々に変化する。これにより、

反射抑制膜 6 1 の上面 6 1 a 及びその近傍での光反射を抑制することができる。

[0075] 非平坦部 6 1 v が有する凹部の形状は、図 1 0 に示されるようなピラミッド形状であってもよいし、図 1 1 に示されるような矩形体形状であってもよい。これらに限らず、任意の形状が非平坦部 6 1 v の形状であってもよい。図 1 2 には、任意形状の一例が示される。図 1 3 の (A) に示される例では、平面視したときに (Z 軸負方向にみたときに)、矩形形状を有する複数の非平坦部 6 1 v が、反射抑制膜 6 3 の周辺すなわちピラー 6 2 の周辺に位置している。図 1 3 の (B) に示される例では、円形形状を有する非平坦部 6 1 v が、反射抑制膜 6 3 の周辺すなわちピラー 6 2 の周辺に位置している。

[0076] 先に説明した反射抑制膜 6 3 の非平坦部 6 3 v と同様に、反射抑制膜 6 1 の非平坦部 6 1 v の高さ、例えば凹部の深さは、検出対象の光の波長で低反射となるように設計されてよい。また、反射抑制膜 6 1 は複数の非平坦部 6 1 v を有してよく、その場合、各非平坦部 6 1 v は互いに異なる高さを有してもよい。

[0077] 上述の図 1 0 ~ 図 1 2 に示される例では、非平坦部 6 1 v が充填材 6 4 で埋められている。その分、反射抑制膜 6 1 と充填材 6 4 との密着性を向上させることができる。非平坦部 6 1 v は、ピラー 6 2 の下面 6 2 b の近傍に設けられてよい。ピラー 6 2 の根元付近での充填材 6 4 の密着性を向上させることで、ピラー倒れの抑制効果をさらに高めることができる。

[0078] <反射抑制膜 6 3 の形状及び反射抑制膜 6 1 の形状の例>

図 1 4 は、ピラー 6 2 及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。反射抑制膜 6 3 が非平坦部 6 3 v を有するとともに、反射抑制膜 6 1 が非平坦部 6 1 v を有する。反射抑制膜 6 3 の上面 6 3 a 及びその近傍での光反射並びに反射抑制膜 6 1 の上面 6 1 a 及びその近傍での光反射の両方を抑制することができる。

[0079] <製造方法の例>

図 1 5 ~ 図 4 9 は、製造方法の例を示す図である。

- [0080] 図15～図30には、非平坦部63vを有する反射抑制膜63及びその周辺構造の製造方法の例が示される。フォトレジストPR、フォトレジストPR下に位置する反射抑制膜BARC、上層膜LTO、塗布型のカーボン膜IX及び下層膜LTOを用いた多層レジストプロセスが用いられる。薄いレジストPRで形成されたパターンが、被エッチング膜をエッチングする時のマスクとして十分な厚さ及びエッチング耐性を有する下層膜(上層LTO、カーボン膜IX)に転写される。次に、この下層膜(カーボン膜IX)をマスクとして、下地の被エッチング膜(下層LTO)が精度良く加工される。
- [0081] 図15～図22には、非平坦部63vが比較的大きい場合の製造方法の例が示される。ピラー62の材料を、ピラー材料62mと称する。反射抑制膜63の材料を、反射抑制膜材料63mと称する。
- [0082] 図15に示されるように、反射抑制膜材料63m上に、下層膜LTO、カーボン膜IX、上層膜LTO及び反射抑制膜BARCが順に積層される。リソグラフィにより、反射抑制膜BARC上にフォトレジストPRが形成(塗布等)される。
- [0083] 図16に示されるように、反射抑制膜BARC及び上層膜LTOが、フォトレジストPRのパターンに合わせて加工される。例えばドライエッチングが用いられる。
- [0084] 図17に示されるように、カーボン膜IXが非平坦部を有するように、カーボン膜IXが加工(例えばテーパ加工)される。例えばドライエッチングが用いられる。下層膜LTOは、ハードマスクとして機能する。
- [0085] 図18に示されるように、上層膜LTOが除去される。
- [0086] 図19に示されるように、非平坦部の形状がカーボン膜IXの形状に反映されるように、エッチバックが行われる。
- [0087] 図20に示されるように、ピラー形成用のフォトレジストPRが配置される。
- [0088] 図21に示されるように、ピラー材料62m及び反射抑制膜材料63mがフォトレジストPRの形状に合わせて加工され、ピラー62及び反射抑制膜

- 63が得られる。例えばドライエッチングが用いられる。
- [0089] 図22に示されるように、フォトレジストPRがアッシングされる。非平坦部63vを有する反射抑制膜63及びその周辺構造が得られる。
- [0090] 図23～図30には、非平坦部63vが比較的小さい場合の製造方法の例が示される。基本的なプロセスは先に説明した図15～図22と同様であるので、説明は省略する。なお、図23におけるフォトレジストPRのリソグラフィには、例えばDSA（自己組織化）リソグラフィが用いられてよい。より細かいパターンニングが可能である。
- [0091] 図31～図38は、非平坦部61vを有する反射抑制膜61及びその周辺構造の製造方法の例を示す図である。反射抑制膜61の材料を、反射抑制膜材料61mと称する。
- [0092] 図31及び図32に示される例では、非平坦部61vを得るために、エッチングが用いられる。
- [0093] 図31に示されるように、反射抑制膜材料61m、ピラー62及び反射抑制膜63を覆うようにカーボン膜IXが設けられ、その上に、膜LTO、反射抑制膜BARCが順に積層される。リソグラフィにより、反射抑制膜BARC上にフォトレジストPRが形成（塗布等）される。
- [0094] 図32に示されるように、フォトレジストPRの形状が反射抑制膜材料61mに反映されるように、例えばドライエッチングが行われる。非平坦部61vを有する反射抑制膜61及びその周辺構造が得られる。
- [0095] 図33～図38に示される例では、非平坦部61vを得るために、デポジット吸着及び転写が用いられる。
- [0096] 図33に示されるように、反射抑制膜材料61mを含むウエハが準備される。図34に示されるように、反射抑制膜材料61mがウエハ上にランダムにデポジット付着（例えば吸着等）される。例えば材料がSiを含む場合には、SiH₄等のデポジットガスが用いられる。
- [0097] 図35に示されるように、デポジットが転写され、非平坦部61vを有する反射抑制膜61が得られるように反射抑制膜材料61mが加工される。

- [0098] 図36に示されるように、反射抑制膜61上にピラー材料62mが成膜されて平坦化され、その上に、反射抑制膜材料63m、下層膜LTO、カーボン膜IX及び上層膜LTOが成膜される。
- [0099] 図37に示されるように、さらに反射抑制膜BARCが設けられ、その上にフォトレジストPRが形成される。
- [0100] 図38に示されるように、フォトレジストPRの形状に合わせたピラー62及び反射抑制膜63が得られるように、例えばドライエッチングが行われる。非平坦部61vを有する反射抑制膜61及びその周辺構造が得られる。
- [0101] 上述のデポジット吸着及び転写を用いる代わりに、希ガスによるスパッタリングが用いられてもよい。例えば、上述の図34及び図35に示されるプロセスに代えて、反射抑制膜材料61mを含むウエハに希ガスが照射される。ウエハ上にランダムな非平坦部が形成されることで、図35と同様に、非平坦部61vを有する反射抑制膜61が得られる。希ガスの例は、Heガス、Arガス等である。
- [0102] 図39～図49には、非平坦部63vを有する反射抑制膜63、非平坦部61vを有する反射抑制膜61及びその周辺構造の製造方法の例がしめされる。
- [0103] 図39～図44に示される例では、非平坦部63v及び非平坦部61vを得るために、デポジット吸着及び転写が用いられる。前提として、先に説明した図15及び図16のプロセスが完了しているものとする。
- [0104] 図39に示されるように、カーボン膜IXが、上層膜LTOの形状に合わせて加工される。
- [0105] 図40に示されるように、上層膜LTOが除去される。
- [0106] 図41に示されるように、カーボン膜IX及び上層膜LTOの形状に合わせて、反射抑制膜材料63mが加工される。
- [0107] 図42に示されるように、カーボン膜IXが除去される。
- [0108] 図43に示されるように、反射抑制膜材料63m及び反射抑制膜材料61m（例えばSi等）が、ランダムにデポジット付着される。

- [0109] 図44に示されるように、デポジットが転写され、非平坦部63vを有する反射抑制膜63が得られるように反射抑制膜材料63mが加工され、また、非平坦部61vを有する反射抑制膜61が得られるように反射抑制膜材料61mが加工される。非平坦部63vを有する反射抑制膜61、非平坦部61vを有する反射抑制膜61及びその周辺構造が得られる。
- [0110] 上述のデポジット吸着及び転写を用いる代わりに、希ガスによるスパッタリングが用いられてもよい。例えば、上述の図43及び図44に示されるプロセスに代えて、次に説明する図45及び図46のプロセスが採用されてよい。
- [0111] 図45に示される例では、先に説明した図42のプロセス後、ピラー62を得るように加工が行われるとともに上層膜LTOが除去される。図46に示されるように、希ガスが照射され、反射抑制膜材料61m及び反射抑制膜材料63m上にランダムな非平坦部が形成される。非平坦部63vを有する反射抑制膜63、非平坦部61vを有する反射抑制膜61及びその周辺構造が得られる。
- [0112] 図47～図49に示される例でも、デポジット吸着及び転写が用いられる。前提として、先に説明した図33～図35のプロセスが完了しているものとする。
- [0113] 図47に示されるように、反射抑制膜61上に、ピラー材料62m、反射抑制膜材料63m、下層膜LTO、カーボン膜IX及び上層膜LTOが成膜される。それらの形状には、反射抑制膜61の非平坦部61vの形状が反映される。
- [0114] 図48に示されるように、さらに反射抑制膜BARCが設けられ、その上にフォトレジストPRが形成される。
- [0115] 図49に示されるように、フォトレジストPRの形状に合わせたピラー62及び反射抑制膜63が得られるように、例えばドライエッチングが行われる。非平坦部63vを有する反射抑制膜63、非平坦部61vを有する反射抑制膜61及びその周辺構造が得られる。

[0116] 上述の図45及び図46のプロセスに代えて、反射抑制膜材料61mを含むウエハに希ガスが照射されてもよい。ウエハ上にランダムな凹部が形成されることで、図46と同様に、非平坦部63vを有する反射抑制膜63、非平坦部61vを有する反射抑制膜61及びその周辺構造が得られる。

[0117] 一実施形態において、2段構成（2層構成）を有するピラー62が形成されてよい。図50及び図51を参照して説明する。

[0118] 図50及び図51は、2段構成を有するピラー62の例を示す図である。ピラー62における1段目の部分を、ピラー62Lと称する。2段目の部分を、ピラー62Uと称する。ピラー62Lが形成された後で、その上にピラー62Uが形成される。ピラー62Uは、ピラー62Lよりも小さい幅（例えば断面積）を有する。ピラー62Lとピラー62Uとの境界に段差stが形成され、それによって凹凸が生じる。凹凸によって界面反射が抑制され得るので、光反射の抑制効果がさらに高められる。なお、図51には、段差stを含む部分を平面視したときのピラー62が模式的に示される。

[0119] <小結>

以上で説明した第1実施形態に係る技術は、例えば次のように特定される。開示される技術の1つは、光検出器100である。図1～図14等を参照して説明したように、光検出器100は、光電変換部21と、光電変換部21を覆うように設けられた光学層6と、を備える。光学層6は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部21に導くように、層の面方向（XY平面方向）に並んで配置された複数のピラー62と、ピラー62の上面62a及び下面62bの少なくとも一方の面上に設けられた反射抑制膜（反射抑制膜63、反射抑制膜61）と、を含む。反射抑制膜は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部（非平坦部63v、非平坦部61v）を有する。これにより、反射抑制膜の上面（反射抑制膜63の上面63a、反射抑制膜61の上面61a）及びその近傍での光反射を抑制することができる。

[0120] 図6～図8及び図10～図12等を参照して説明したように、反射抑制膜

(反射抑制膜 6 3、反射抑制膜 6 1) は、その上方領域の屈折率よりも高い屈折率を有し、反射抑制膜の非平坦部 (非平坦部 6 3 v、非平坦部 6 1 v) は、反射抑制膜の厚さ方向 (Z 軸方向) にみたときの断面積が、上方 (Z 軸正方向) に進むにつれて徐々に小さくなる形状を有してよい。実効屈折率が上方領域の屈折率に近づくように徐々に変化するので、光反射を抑制することができる。

[0121] 図 6、図 7、図 10 及び図 11 等を参照して説明したように、非平坦部 (非平坦部 6 3 v、非平坦部 6 1 v) は、凹部を含み、凹部の形状は、ピラミッド形状及び矩形体形状の少なくとも一方を含んでよい。例えばこのような非平坦部を有する反射抑制膜を用いることで、光反射を抑制することができる。

[0122] 図 6～図 14 等を参照して説明したように、検出対象の光は、赤外光を含み、非平坦部 (非平坦部 6 3 v、非平坦部 6 1 v) は、400 nm 以下の高さ (例えば凹部の深さ) を有してよい。これにより、赤外光の光反射を好適に抑制することができる。

[0123] 図 6～図 9 等を参照して説明したように、光学層 6 は、ピラー 6 2 の上面 6 2 a 上に設けられた反射抑制膜 6 3 を含んでよい。これにより、反射抑制膜 6 3 の上面 6 3 a 及びその近傍での光反射を抑制することができる。

[0124] 図 10～図 13 等を参照して説明したように、光学層 6 は、ピラー 6 2 の下面 6 2 b 上に設けられた反射抑制膜 6 1 を含んでよい。これにより、反射抑制膜 6 1 の上面 6 1 a 及びその近傍での光反射を抑制することができる。

[0125] 図 14 等を参照して説明したように、光学層 6 は、ピラー 6 2 の上面 6 2 a 上に設けられた反射抑制膜 6 3 と、ピラー 6 2 の下面 6 2 b 上に設けられた反射抑制膜 6 1 とを含んでよい。これにより、反射抑制膜 6 3 の上面 6 3 a 及びその近傍での光反射並びに反射抑制膜 6 1 の上面 6 1 a 及びその近傍での光反射の両方の光反射を抑制することができる。

[0126] 2. 第 2 実施形態

第 2 実施形態では、ピラー 6 2 の形状を工夫することで光反射を抑制する

。また、それ以外のさまざまな工夫も用いられる。

[0127] 課題について述べる。画素2ごとに光の入射角度が異なる場合に、ピラー62に対して設けられた反射抑制膜の膜厚等の設計が難しくなるという課題が残る。この後で説明するように、ピラー62自体の形状を工夫することで、課題に対処することができる。

[0128] <ピラー62の形状の第1の例>

図52～図54は、ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。図52に示される例では、充填材64及び保護膜65が無く、ピラー62の周辺材は空気である。図53に示される例では、充填材64及び保護膜65が存在し、ピラー62の周辺材は充填材64である。

[0129] 複数のピラー62は、あたかもモスアイ構造を構成するような形状を有して配置される。ピラー62は、メタアトム等と呼ぶこともできる。ピラー62は、ピラー高さ方向（Z軸方向）に進むにつれて連続的に変化する断面積（Z軸方向にみたときの面積）を有する。

[0130] 図54に示されるように、ピラー62の上端部を、上端部621と称する。ピラー62の下端部を、下端部622と称する。上端部621は、ピラー62において上面62aを含む部分である。下端部622は、ピラー62において下面62bを含む部分である。ピラー62の上面62a及び下面62bのうちの少なくとも一方の面は、曲面である。曲面は、XY平面に沿って延在する平坦面を有しない面（非平坦面）である。言い換えると、ピラー62の上面62a及び下面62bのうちの少なくとも一方の面は曲率を有する。

[0131] 図52～図54に示される例では、ピラー62の上面62aは、曲面である。ピラー62の下面62bは、平坦面である。ピラー62は、下面62bを基端とし、上面62aを先端とする釣り鐘形状を有するともいえる。ピラー62は、上面62aに近づくにつれて単調減少する断面積を有する。換言すると、ピラー62は、下面61bに近づくにつれて単調増加する断面積を有する。

- [0132] 図54の右側には、光学層6におけるピラー62の下面62bと同じ高さの位置から上面62aと同じ高さの位置までの各位置の実効屈折率が模式的に示される。実効屈折率は、ピラー62の上方領域（空気領域又は充填材64）の屈折率に徐々に近づくように変化する。ここでの徐々に近づくとは、連続的に近づくことを意味してよい。これにより、ピラー62の上面62a及びその近傍での光反射を抑制することができる。光検出感度をさらに向上させたり、撮像におけるフレアを抑制したりすることもできる。
- [0133] ピラー62の周辺材が空気の場合、空気の屈折率が低いことから、ピラー62を通過した光と通過しなかった光との間の位相差が得られ易い。反射抑制の観点からも有利である。また、同じ体積で比較すると、ピラー62が釣り鐘形状を有することで、例えば円柱形状を有する場合よりも、下面62bの面積が大きくなる。その分、ピラー62の設置面積が大きくなり、ピラー62の剥がれ耐性が向上する。
- [0134] 再び図53を参照して、充填材64及び保護膜65について改めて述べる。充填材64は、複数のピラー62の間を埋めるように設けられる。充填材64は、透明な充填材料である。充填材64の屈折率は、ピラー62の屈折率とある程度離れていることが望ましい。例えば、充填材64は、ピラー62の屈折率と0.3以上異なる（例えば0.3以上低い）屈折率を有してよい。充填材64は、有機材料であってよい。
- [0135] 保護膜65は、充填材64を覆うように設けられる。例えば充填材64が有機材料の場合のPAD加工時におけるレジストミキシングへの対策として、保護膜65が設けられてよい。保護膜65の材料の例は、SiO₂等である。
- [0136] 充填材64の屈折率及び保護膜65の屈折率は、ある程度近いことが望ましい。例えば、両者の屈折率差は0.1以下であってよい。屈折率差が生じる場合には、光反射を最小化するように、保護膜65は、 $\lambda/4n$ （ n はその媒質の屈折率）又はその整数倍の厚さを有してよい。
- [0137] 充填材64及び保護膜65を設けることにより、例えば、組立のBGR工

程で表面を保護したテープを剥がす際の耐性が高まり、接着剤残渣のリスクも軽減する。信頼性の観点でも、落下衝撃の耐性が向上し、パッシベーション効果も期待できる。

[0138] <ピラー62の形状の第2の例>

図55及び図56は、ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。この例では、ピラー62の上面62aは、平坦面である。ピラー62の下面62bは、曲面である。ピラー62は、上面62aを基端とし、下面62bを先端とする釣り鐘形状を有するともいえる。ピラー62は、下面61baに近づくにつれて単調減少する断面積を有する。換言すると、ピラー62は、上面61aに近づくにつれて単調増加する断面積を有する。

[0139] この例では、ピラー62は、絶縁層5内まで延在する。具体的に、光学層6は、基部層620をさらに含む。基部層620は、複数のピラー62の各々の上面62a上に共通に設けられる。基部層620の材料はピラー62の材料と同じであってよい。基部層620は、 $\lambda/4n$ (n はその媒質の屈折率) 又はその整数倍の厚さを有してよい。そこでの光反射が最小化される。ピラー62は、基部層620から絶縁層5の絶縁膜53内まで延在する。絶縁膜53の屈折率は、ピラー62の屈折率とは異なっており、例えばピラー62の屈折率よりも低い。

[0140] 光学層6における実効屈折率は、ピラー62の下方領域（この例では絶縁膜53）の屈折率に徐々に近づくように変化する。これにより、ピラー62の下面62b及びその近傍での光反射を抑制することができる。

[0141] 基部層620とその上方領域との間に屈折率境界面が生じる。そこでの光反射を抑制するために、さらなる層が設けられてよい。図57を参照して説明する。

[0142] 図57は、ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。光学層6は、追加層66をさらに含む。追加層66は、基部層620上に設けられる。

[0143] 追加層66は、反射抑制膜を含んでよく、その場合の追加層66は、各々

が異なる屈折率を有する複数の膜を含んでよい。複数の膜として、図57には、Z軸正方向に順に積層された第1の膜661、第2の膜662及び第3の膜663が例示される。各膜は、基部層620の屈折率と、追加層66の上方領域の屈折率との間の屈折率を有する。第1の膜661の屈折率が基部層620の屈折率に最も近く、第3の膜663の屈折率が基部層620の屈折率から最も離れている。屈折率を段階的に変化させることで、光反射を抑制することができる。

[0144] 一実施形態において、追加層66に含まれる膜は、入射光のうちの検出対象の光だけを通過させるバンドパスフィルタであってよい。不要な光の光電変換部21への入射を抑制することができる。

[0145] <ピラー62の形状の第3の例>

図58及び図59は、ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。この例では、ピラー62の上面62a及び下面62bはいずれも曲面である。ピラー62は、上面62a及び下面62bの一方の面から他方の面に近づくにつれて（Z軸方向に進むにつれて）単調増加して単調減少する断面積を有する。ピラー62の上面62a及びその近傍での光反射並びにピラー62の下面62b及びその近傍での光反射の両方を抑制することができる。

[0146] 図59に示される例では、光学層6は、エッチングストッパ層67をさらに含む。ピラー62の上端部621及び下端部622は、エッチングストッパ層67を挟んで互いに反対側に位置する。エッチングストッパ層67を利用してその上部を加工することで、ピラー62の加工が行い易くなる。エッチングストッパ層67の材料は、検出対象の光を透過させる透明材料であってよい。エッチングストッパ層67は、 $\lambda/4n$ （ n はその媒質の屈折率）の整数倍の厚さを有してよい。そこでの光反射が最小化される。

[0147] <ピラー62の高さの設計の例>

先にも述べたように、各ピラー62の寸法等が設計される。一実施形態において、ピラー62の最大幅に合わせてピラー62の高さが設計されてよい。

。図60を参照して説明する。

[0148] 図60は、複数のピラー62の最大幅及び高さの例を示す図である。図60の(A)には、上面62aが曲面であるいくつかのピラー62が例示される。図60の(B)には、下面62bが曲面であるいくつかのピラー62が例示される。図60の(C)には、上面62a及び下面62bがいずれも曲面であるいくつかのピラー62が示される。

[0149] ピラー62の最大幅を、最大幅Wと称する。最大幅Wは、ピラー62において最も幅が大きい部分のその幅である。ピラー62の高さを、高さHと称する。複数のピラー62のうちの少なくとも一部のピラー62どうしは、互いに異なる最大幅Wを有する。複数のピラー62のうち、最も大きい最大幅Wを有するピラー62を、ピラー62Aと称し図示する。最も小さい最大幅Wを有するピラー62を、ピラー62Bと称し図示する。

[0150] ピラー62Aの最大幅Wを、最大幅WAと称し図示する。ピラー62Aの高さHを、高さHAと称し図示する。ピラー62Bの最大幅Wを、最大幅WBと称し図示する。ピラー62Bの高さHを、高さHBと称し図示する。この例では、ピラー62Aの高さHAは、ピラー62Bの高さHBよりも大きい($HA > HB$)。

[0151] 他のピラー62も含めて一般化すると、ピラー62は、最大幅Wが大きいほど高さHが大きくなるように設計される。最大幅Wが大きいピラー62は、大きな位相遅延を与えることを目的としている。そのピラー62の高さHを大きくすることで、大きな位相遅延がさらに得られ易くなる。反対にいうと、ピラー62は、最大幅Wが小さいほど高さHが小さくなるように設計される。最大幅Wが小さいピラー62は、小さな位相遅延を与えることを目的としている。そのピラー62の高さHを小さくすることで、小さな位相遅延がさらに得られ易くなる。また、最大幅が小さいピラー62ほど倒れやすくなるが、高さを小さくすることでそのリスクを軽減することができる。

[0152] <ピラー62の材料の例>

検出対象の光が近赤外光の場合のピラー62の材料の例は、アモルファス

シリコン (a-Si)、多結晶シリコン (Poly-Si)、ゲルマニウム等である。ピラー62は、200nm以上の高さを有してよい。近赤外光の制御に適した光学層6を得ることができる。

[0153] 検出対象の光が可視光の場合のピラー62の材料の例は、酸化チタン、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、窒化シリコン、酸化シリコン、窒化酸化シリコン、炭化シリコン、酸化炭化シリコン、窒化炭化シリコン、酸化ジルコニウム等である。2つ以上の材料が用いられてよく、その場合、ピラー62は、各材料を含む層が積層された積層構造体であってもよい。ピラー62は、300nm以上の高さを有してよい。可視光の制御に適した光学層6を得ることができる。

[0154] <ピラー62の配置の例>

図61は、ピラー62の配列の例を示す図である。各ピラー62の断面積が最も大きい部分の平面レイアウトが示される。図61の(A)に示される例では、各ピラー62は正方断面形状を有し、複数のピラー62は正方配列される。図61の(B)に示される例では、各ピラー62は円形断面形状を有し、複数のピラー62は六方最密配置される。なお、各ピラー62の断面形状は、八角形形状等であってもよい。例えばこのように複数のピラー62を配置することで、高い充填率が得られる。

[0155] <ピラー62の断面形状の例>

図62は、ピラー62の断面形状の例を示す図である。ピラー62の断面積が最も大きい部分のいくつかの断面形状が示される。ピラー62の断面形状は、実効屈折率の制御に加えて、偏光成分の異方性制御、面積率に依存した反射成分、プロセス加工性、パターン倒れ耐性といったさまざまな観点から設計される。

[0156] 図62の(1)~(3)には、偏光制御の等方性に優れた断面形状として、円形形状、正八角形形状及び円環形状(リング形状)が例示される。図62の(4)~(8)には、偏光視点で、水平及び垂直或いは45度及び135度方向の軸に対して4回対称性、ミラー反転対象性を有する断面形状、具

体的には、正方形形状、正方環形状、十字形状、X形状及び正方ひし形形状が例示される。

[0157] 図62の(9)～(21)には、偏光視点で一軸性の特性を発揮する断面形状が例示される。図62の(9)～(20)に示される断面形状は、上述の(1)～(8)の形状をベースとして得られるものである。例えば図62の(12)には、長辺及び短辺を有する長方形形状が例示される。また、図62の(21)には、L字形状が例示される。

[0158] 図62の(22)及び(23)には、図62の(12)のバリエーションが例示される。具体的に、図62の(12)に示される形状において、さらに短辺を短くする(断面を細くする)ような場合には、ピラー62が倒れにくくなるように、補助パターンが配置される。図62の(22)及び(23)に示される例では、長辺の一部から短手方向に延在する部分が補助パターンに相当する。

[0159] 同じ断面積で比較すると、図62の(3)、(5)、(11)、(13)、(17)、(19)に示されるような環状形状であれば、ピラー62の倒れリスクを回避して小さな実効屈折率差を付与することができる。また、同じピラーピッチで比較すると、図62の(4)又は(5)に示されるような断面形状を有するピラー62を正方配列したり、図62の(1)～(3)に示されるような断面形状を有するピラー62をハニカム配置したりすることで、ピラー62の充填率を高めて位相差を与えやすくすることができる。

[0160] <製造方法の例>

図63～図81は、製造方法の例を示す図である。とくに説明がある場合を除き、半導体基板3は、Si(シリコン)半導体基板であるものとする。遮光膜52の材料を、遮光膜材料52mと称する。絶縁膜53の材料を、絶縁膜材料53mと称する。

[0161] 図63～図74には、ピラー62の上面62aが曲面である場合の製造方法の例が示される。

[0162] 図63に示されるように、所望の不純物を半導体基板3の下面3b側から

、フォトレジストPRをマスクにしてイオン注入することで形成する。半導体基板3の下面3bの各画素に対応する領域には、それぞれ分離領域31接するp型半導体ウェル領域を形成し、このp型半導体ウェル領域内に画素回路のトランジスタ（例えば図2のトランジスタ23～トランジスタ26）を形成する。各トランジスタは、それぞれソース領域及びドレイン領域と、ゲート絶縁膜と、ゲート電極とにより形成される。さらに、半導体基板3の下面3bの上部（この例ではZ軸負方向側）には、SiO₂膜等の層間絶縁膜を間に介してアルミニウム、銅等から構成された配線層が形成される。半導体基板3の下面3bに形成されたトランジスタと配線層の間には、貫通ビアが形成され、画素2を駆動するために電氣的に接続される。配線の上にはSiO₂膜等の層間絶縁膜が積層され、この層間絶縁膜をCMP（化学的機械研磨）で平坦化して配線層の表面を略平坦面にし、貫通ビアで下層配線と接続しながら、その上に配線を形成してすることを繰り返し、各層の配線を順次形成する。

[0163] 図64に示されるように、半導体基板3を上下反転させて、支持基板9にプラズマ接合等で貼り合わせる。半導体基板3を上面3a側（裏面側）から、例えば、ウェットエッチング、ドライエッチング等で薄肉化を進める。

[0164] 図65に示されるように、例えばCMPで、半導体基板3を所望の厚さまで薄肉化する。半導体基板3の厚さは、検出対象の光の波長領域に応じて調整される。一例について述べると、可視光領域だけに対応する場合の半導体基板3は、例えば2～6μmの範囲の厚さを有してよい。近赤外線領域にも対応する場合の半導体基板3は、例えば3～15μmの範囲の厚さを有してよい。

[0165] 図66に示されるように、固定電荷膜4を、CVD、スパッタリング、或いはALD（原子層蒸着（Atomic Layer Deposition））により形成する。ALDを採用した場合には、原子層レベルで良好なカバレッジが得られ、固定電荷膜4の成膜中に界面準位を低減するシリコン酸化膜を同時に形成することができる。固定電荷膜4は、膜厚を制御し、或いは、多層積層すること

で、屈折率の高い半導体基板 3 (Si 半導体基板) に対する反射抑制膜の役割を兼ね備えてよい。絶縁膜 5 1 は、例えば ALD で成膜した SiO₂ であってよく、薄くするとブリスター現象による膜剥がれが発生しやすくなるため、20 nm 以上の厚さ、より好ましくは 50 nm 以上の厚さを有してよい。

[0166] 遮光膜 5 2 は、前述した材料を CVD、スパッタリング等を用いて成膜する。金属を電氣的に浮いた状態で加工するとプラズマダメージが発生するリスクがある。これに対処するために、図 6 7 に示されるように、無効領域 (有効領域の外側の領域) で、例えば数 μ m 幅のフォトリソ PR の抜きパターンを転写し、異方性エッチング、ウェットエッチング等で溝形成して半導体基板 3 の上面 3 a を露出させる。

[0167] 図 6 8 に示されるように、遮光膜材料 5 2 m を、半導体基板 3 に接地させて成膜する。接地される半導体基板 3 の領域は、例えば p 型半導体領域としてグランド電位にしておく。遮光膜材料 5 2 m は、複数積層して構成し、例えば、チタン、窒化チタン、或いはそれらの積層膜を絶縁膜 5 1 に対する密着層としてもよい。或いは、チタン、窒化チタン、或いはそれらの積層膜のみを、遮光膜材料 5 2 m 使用することもできる。また、遮光膜材料 5 2 m は、画像信号の黒レベルを算出するための画素である黒レベル算出画素 (不図示) の遮光膜、或いは、周辺回路の誤動作を防ぐための遮光膜を兼ねることもできる。

[0168] 図 6 9 に示されるように、遮光膜材料 5 2 m に対して、例えば、光電変換部 2 1 に光を導くための開口部、さらには、パッド部、スクライブライン部等にレジストの抜きパターンを形成する。異方性エッチング等により遮光膜材料 5 2 m を部分的に除去し、必要に応じて薬液洗浄で残渣を除去する。遮光膜 5 2 が得られる。

[0169] 図 7 0 に示されるように、遮光膜 5 2 の上に絶縁膜 5 3 を、例えば SiO₂ を CVD、スパッタリング等を用いて成膜する。CMP で平坦化した上で、例えば CVD を用いて、反射抑制膜 6 1 を (例えば SiN を 125 nm)

成膜し、ピラー材料62m、例えばアモルファスシリコンを800nm成膜する。

[0170] 図71の(A)に示されるように、リソグラフィ工程で、ピラー形状(この例では異なる幅を有し、上に凸の釣り鐘形状)を有するフォトレジストPRを形成する。なお、図71の(B)には、フォトレジストPRの平面レイアウトが模式的に示される。フォトレジストPRの形状は、リソグラフィ工程で転写した後に熱リフローで形成してもよく、グレースケールリソグラフィ技術が用いられてもよい。ナノインプリントで形成してもよく、釣り鐘形状は金型の離型に有利である。

[0171] 図72に示されるように、フォトレジストPRをマスクにして、ピラー材料62mを転写加工する。上面62aが曲面であるピラー62が得られる。フォトレジストPRの選択比が不十分である場合には、レジストパターンをハードマスク、例えばSiO₂に一度転写して、ハードマスク越しにエッチングするハードマスクプロセスで加工してもよい。なお、ピラー62の下方に位置する反射抑制膜61は、エッチング時のエッチングストップ層としても機能し得る。

[0172] 次に、レジスト残りや加工残渣を除去するため、Wet薬液洗浄を行う。薬液洗浄後、通常の振り切り乾燥では、薬液乾燥時に表面張力のアンバランスでピラー倒れのリスクが高くなってしまう。その対策として、表面張力の弱いIPAに置換してから乾燥させてもよく、さらには、超臨界洗浄を用いてもよい。

[0173] 図73に示されるように、ピラー62どうしの中に充填材64を形成する。充填材64として、ピラー62との屈折率差が大きい透明材料を用いる。充填材64は、例えばフッ素含有シロキサン系樹脂を回転塗布することによって形成されてよい。これにより、組立時の保護テープを剥がす際のピラー62の破損や接着剤残りの不良を回避し、市場における落下衝撃による故障モードを回避することができる。

[0174] 図74に示されるように、充填材64の最上部に、保護膜65、例えばS

SiO₂を設けてよい。これにより、PAD加工時のレジスト剥離による充填材64のダメージを回避することができる。

[0175] 図75～図80には、ピラー62の下面62bが曲面である場合の製造方法の例が示される。前提として、先に説明した図69までのプロセスが完了しているものとする。

[0176] 図75に示されるように、遮光膜52の上に絶縁膜材料53mを、例えば、SiO₂をCVD、スパッタリング等を用いて成膜し、CMPで平坦化する。平坦化後の残膜の厚さは、ピラー62の高さ以上となるようにする。

[0177] 図76に示されるように、リソグラフィ工程で幅（例えば径）の異なるホール形状のフォトリソレジストPRレジストを形成する。なお、図76の(B)には、フォトリソレジストPRの平面レイアウトが模式的に示される。

[0178] 図77に示されるように、フォトリソレジストPRをマスクにして、ピラー形状（この例では異なる幅を有し、下に凸の釣り鐘形状）に対応する空隙部を有する絶縁膜53が得られるように、絶縁膜材料53mをドライエッチングで加工する。具体的には、デポリッチ条件で先細りするように加工する。或いは、先に説明した図76のプロセスの段階で、グレースケールリソグラフィ、ナノインプリント等を用いて同様の形状をフォトリソレジストPRに形成してからドライエッチングで転写加工してもよい。そして、レジスト残りや加工残渣を除去するため、Wet薬液洗浄を行う。

[0179] 図78に示されるように、ピラー材料62mをCVD、スパッタリング等で成膜し、CMPで平坦化する。下面62bが曲面であるピラー62が得られる。

[0180] 図79～図81には、ピラー62の上面62a及び下面62bのいずれもが曲面である場合の製造方法の例が示される。先に説明した図78までのプロセスが完了しているものとする。

[0181] 図79に示されるように、リソグラフィ工程で、ピラー形状（この例では異なる幅を有し、上に凸の釣り鐘形状）を有するフォトリソレジストPRを形成

する。なお、図79の(B)には、フォトリソストPRの平面レイアウトが模式的に示される。フォトリソストPRの形状は、リソグラフィ工程で転写した後に熱リフローで形成してもよく、グレースケールリソグラフィ技術が用いられてもよい。ナノインプリントで形成してもよく、釣り鐘形状は金型の離型に有利である。

[0182] 図80に示されるように、フォトリソストPRをマスクにして、ピラー材料62mを釣り鐘状に転写加工する。そして、レジスト残りや加工残渣を除去するため、Wet薬液洗浄を行う。薬液洗浄後、通常の振り切り乾燥では、薬液乾燥時に表面張力のアンバランスでピラー62の倒れのリスクが高くなってしまう。その対策として、表面張力の弱いIPAに置換してから乾燥させてもよく、さらには、超臨界洗浄を用いてもよい。上面62a及び下面62bのいずれもが曲面であるピラー62が得られる。

[0183] 図81に示されるように、ピラー62どうしの中に充填材64を形成する。充填材64は透明であり、ピラー62との屈折率差が大きい材料を用いる。充填材64は、例えばフッ素含有シロキサン系樹脂を回転塗布することによって形成されてよい。これにより、組立時の保護テープを剥がす際のピラー62の破損や接着剤残りの不良を回避し、市場における落下衝撃による故障モードを回避することができる。充填材64の最上部に、保護膜65、例えばSiO₂を設けてよい。これにより、PAD加工時のレジスト剥離による充填材64のダメージを回避することができる。

[0184] <光学層6の多層化の例>

図82は、光学層6の多層化の例を示す図である。画素アレイ部1は、積層された複数の光学層6、この例では2つの光学層6を含む。第1の光学層6を、光学層6-1と称し図示する。第2の光学層6を、光学層6-2と称し図示する。絶縁層5上に、光学層6-1及び光学層6-2がこの順に設けられる。光学層6-1は、反射抑制膜61と、複数のピラー62と、充填材64とを含む。光学層6-2は、反射抑制膜61と、複数のピラー62と、充填材64と、保護膜65とを含む。

[0185] 複数の光学層6を用いた多層構造（多段構成）とすることで、1つの光学層6だけを用いた単層構造（1段構成）の場合よりも、ピラー62の高さを低くすることができる。例えば、We t 洗浄のピラー倒れ等のためにピラー62の高背化が困難な場合に有効である。また、単層構造の場合は、単一波長を前提としてピラー62を設計することになるが、多層構造とすることで、各層のピラー62の設計を変えて組み合わせることで、波長の広帯域化、マルチスペクトル化等が可能になる。偏光制御を実現することも可能になる。

[0186] <充填材64の形状の例>

図83は、充填材64及びその周辺構造の例を示す図である。この例では、充填材64は、画素2ごとに、ボックス形状を有する。各画素2のピラー62を覆う充填材64どうしの上にギャップ（例えば空気領域）が設けられ、その部分は充填材64とは異なる屈折率を有する。屈折率差を利用したレンズ機能が得られる。例えば、隣り合う画素2どうしの境界付近の光を、対応する画素2に導くことができる。混色の抑制、光検出の感度の向上等の効果が期待できる。製造方法の一例について述べると、ピラー62及び充填材64を形成した後、レジストマスクに異方性エッチングで加工し、洗浄後、保護膜65を成膜する。

[0187] <光学機能の設計の例>

先にも述べたように、複数のピラー62は、レンズ機能を光学層6に与えたり、プロズム機能を光学層6に与えたりする。そのような光学機能の設計の例について説明する。

[0188] 図84～図92は、光学機能の設計の例を示す図である。図84～図87には、プリズム機能を含む光学機能の設計の例が示される。step1、step2及びstep3に分けて説明する。

[0189] <step1>

画素2ごとの位相差マップを導出する。図84に示されるように、ある画素2に入射する光の波長を λ とし、入射角度を θ とし、画素ピッチをD、画

素2内のピラー62の位置をxとする。この場合、垂直入射に必要な位相差は、下記の式(1)のように求まる。

[数1]

$$\Delta\varphi_{pri}(x) = \frac{x \cdot \sin\theta - D \cdot \sin\theta}{\lambda} \quad \dots(1)$$

[0190] 各画素2についての位相差を求めることで、例えば図85に示されるような位相差マップが得られる。例示される位相差マップは、10×10個のピラー62それぞれの位相差を 2π で規格化した値を、ピラー62の位置に対応付けて記述する(マッピングする)。

[0191] ここでは理解を容易にするためにX軸方向のプリズム角についてのみ述べたが、2次元に拡張することで、任意の方位のプリズム角に対応する位相差マップを作成することができる。なお、プリズム機能の設計は、ピラー62どうしの間で相対的な位相差が得られればよいので、定数の不定性が許容される。

[0192] <step 2>

位相差ライブラリを導出する。ピラー62のピッチ、高さ、屈折率、消衰係数、形状、ピラー62の近傍の膜構成等を考慮して、例えば図86に示されるような位相差ライブラリを作成する。例示される位相差ライブラリは、ピラー径と、位相差と対応付けて記述する(紐づける)。

[0193] 位相差ライブラリに示される値は、FDTD、RCWA等の光学シミュレーションで算出されたものであってもよいし、実験的に求めたものであってもよい。なお、位相差を α とすると、位相差 α の光は、 $\alpha + 2\pi \times N$ (Nは整数)と等価である。すなわち、 $2\pi + \phi$ の位相差が必要な場合でも、 ϕ の位相差だけを付与すればよい。このような等価な位相への置き換えを「 2π 折り返し」とも称する。

[0194] <step 3>

ピラー62のレイアウトを導出する。位相差ライブラリを参照することで、位相差マップに示される位相差をピラー62の径に置き換える。リソグラ

フィの解像力、高アスペクト比のピラー62のピラー倒れ等、さまざまな要因によるプロセス限界の制約を受けるので、それらをデザインルールとして規定し、デザインルールを満足するように設計する。具体的には、位相差に対し、定数項の調整(一律オフセット処理)、 2π 折り返し等を実施する。例えば、図87の(A)において太線で示される領域の値を 2π で折り返し、図87の(B)に示される位相差マップを得る。この位相差マップに示される位相差を、位相差ライブラリを参照してピラー径に置き換えることで、図87の(C)に示されるようなピラー62のレイアウトが得られる。

[0195] なお、上述の 2π 折り返し処理等だけではデザインルールを満足しない場合は、 2π 以外での強制折り返し(対処1)、強制丸め処理(対処2)等を実施してよい。対処2は、デザインルール外のパターンに対し、デザインルール内の最も近い位相のピラー径に近似して丸める処理である。なお、対処1は、折り返し部分で散乱が発生し迷光が生じる可能性はある。

[0196] 図88～図92には、プリズム機能及びレンズ機能の両方の機能を含む光学機能の設計の例が示される。

[0197] 図88には、光制御が模式的に示される。検出対象の光の主光線を、主光線Lと称し図示する。光学層6への主光線Lの入射角度を、主光線入射角CRAと称し図示する。複数のピラー62を含む光学層6は、主光線Lの向きを垂直方向(Z軸負方向)に近づけるとともに、光電変換部21に集光する。

[0198] 図89には、平面レイアウトにおける画角Vと、光検出器100が備え得るモジュールレンズのイメージサークルCとの関係が模式的に示される。画角Vの中央及びイメージサークルCの中央は、いずれも同じ位置に位置している。主光線入射角CRAは、画角Vの端部から中央部に近づくにつれて大きくなる。

[0199] 画素2ごとに、主光線入射角CRAに応じた偏光(プリズム角)を与えるプリズム機能、及び、画素2の中心に集光させるレンズ機能の両方の機能が得られるように、ピラー62が設計される。結論を先に述べると、例えば、

図90に示されるようなピラー62のレイアウトが得られる。図90の(A)、(B)、(C)及び(D)には、主光線入射角CRAが0度、10度、20度及び30度の場合のピラー62のレイアウトが示される。異なる主光線入射角CRAに応じた異なるピラー62のレイアウトが得られる。

[0200] 具体的な設計においては、先の説明と同様に、位相差マップ及び位相差ライブラリが用いられる。プリズム機能及びレンズ機能の両方を与える位相差マップは、プリズム機能を与える位相差マップ（プリズム位相差マップ）と、レンズ機能を与える位相差マップ（レンズ位相差マップ）とを合成することで得られる。

[0201] レンズ機能を与える位相差マップは、想定するレンズ形状及び屈折率が既知であれば、各ピラー62の位置に対応するレンズ厚と検出対象の光の波長 λ から算出することができる。具体的に、図91に示されるように、ピラー62の位置(x、y)に対して、レンズ厚 $T(x, y)$ の関数を与える。レンズの屈折率を n_1 とし、レンズの上方領域（例えば空気領域）の屈折率を n_2 とすると、必要な位相差は、下記の式(2)のように求まる。

[数2]

$$\Delta\varphi_{lens}(x, y) = \frac{T(x, y)}{(n_1 - n_2)\lambda} \quad \dots(2)$$

[0202] 各画素2についての位相差を求めることで、レンズ位相差マップが得られる。なお、このマップは、FDTD、RCWA等の光学シミュレーションを用いて算出してもよく、実験的に求めてもよい。

[0203] プリズム位相差マップ及びレンズ位相差マップを合成することで、プリズム機能及びレンズ機能の両方の機能を与える位相差マップが得られる。例えば図92に示されるように、プリズム位相差マップ及びレンズ位相差マップの対応するピラー62の位相差を単純に加算することで、プリズム機能及びレンズ機能の両方の機能を与える位相差マップが得られる。得られた位相差マップに示される位相差を、位相差ライブラリを参照してピラー径に置き換えることで、ピラー62のレイアウトが得られる。

[0204] なお、レンズ位相差マップだけを用いてレンズ機能だけを設計することも当然に可能である。

[0205] より一般化すると、各画素2にある機能を持たせた光学素子を搭載しようとしたときの幾何学的形状を与えることが出来れば、その形状を位相差マップに焼き直すことが可能である。位相差ライブラリを用いることで、位相差をピラー62に素子化してその機能を実現することができる。さらには、そのように設計した複数の位相差マップを合成して、複数の機能を同時実現させることができる。

[0206] <ピラー62の高さの設計の例>

ピラー62の高さは、検出対象の光の波長、ピラー62／周辺材の屈折率、ピラー62の形状、高さ等で規定される位相差ライブラリに対し、プロセスで加工できるピラー径の範囲で、 2π 以上位相を回せる高さに設定することが望ましい。一例について、図93を参照して説明する。

[0207] 図93は、位相差ライブラリの例を示す図である。ピラー62の材料がアモルファスシリコンであり、ピラーピッチが350nmである場合の位相差ライブラリが例示される。ピラー62の高さ（ピラー高さ）が600nm、700nm及び800nmの場合のピラー径と位相差との関係が記述される。例えばプロセス加工限界がピラー径250nm（0.25 μ m）の場合、ピラー62の高さは800nmに設定するとよい。

[0208] <位相の折り返し箇所の例>

位相の折り返しによって、散乱が発生し、迷光を生じる可能性がある。また、画素2ごとに面積率が異なると、反射成分(感度ロス)が変わってしまう。これに対処するように、例えば、画素単位で位相が折り返されてよい。反射率ばらつきを抑制することができる。また、画素内で位相を折り返す場合には、画素中心で位相が折り返されてよい。クロストークを抑制することができる。

[0209] <反射抑制膜61の厚さの例>

これまでも述べたが、ピラー62の下面62bが平坦面である場合の反射

抑制膜 61 は、反射波の位相が打ち消し合う厚さ、すなわち $\lambda / 4n$ (n はその媒質の屈折率) 又はその整数倍の厚さを有してよい。例えば、波長 λ が 940 nm であり、反射抑制膜 61 の材料が SiN でありその屈折率が約 1.9 の場合には、反射抑制膜 61 の厚さは約 125 nm であってよい。ただし、多層膜の干渉効果、斜入射特性がさらに考慮されてよく、光学シミュレーション、実測等に基づいてさらに最適化されてよい。なお、反射抑制膜 61 は、ピラー 62 の下にのみ残るようにエッチング加工されてもよい。

[0210] <充填材 64 の材料の例>

充填材 64 の材料は、有機材料であってもよいし、無機材料であってもよい。

[0211] 有機材料の例は、シロキサン系樹脂、スチレン系樹脂、アクリル系樹脂、スチレン-アクリル共重合系樹脂等である。いずれかの樹脂の F 含有材料、いずれかの樹脂にそれよりも低い屈折率のビーズを内填する材料であってもよい。例えばピラー 62 の加工後に回転塗布される。

[0212] 無機材料の例は、酸化シリコン、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、炭化シリコン、酸化炭化シリコン、窒化炭化シリコン、酸化ジルコニウム等である。これらのうちのいくつかの無機材料が積層された積層構造を反射抑制膜 61 が有してもよい。例えば、先に無機材料を成膜してからレジストマスクにピラー 62 の形状を加工し、その後、ピラー 62 が埋め込まれる。CP 処理の後で保護膜 65 が形成される。

[0213] <遮光膜 52 の構成の例>

絶縁層 5 に含まれる遮光膜 52 について、図 94 ~ 図 98 を参照して説明する。

[0214] 図 94 ~ 図 98 は、遮光膜 52 の例を示す図である。図 94 に示されるように、絶縁層 5 の遮光膜 52 は、光電変換部 21 と光学層 6 との間に設けられる。遮光膜 52 は、光電変換部 21 の少なくとも一部に対向する開口部 520 を有する。例えば、Z 軸方向にみたときに、開口部 520 は、光電変換

部 2 1 と重なっている。光学層 6 を通過した光は、遮光膜 5 2 の開口部 5 2 o を介して光電変換部 2 1 に到達する。

[0215] 図 9 5 ~ 図 9 8 には、遮光膜 5 2 の平面レイアウトのいくつかの例が示される。黒基準画素を、画素 2 x と称し図示する。有効画素を、これまでと同様に画素 2 と称し図示する。

[0216] 図 9 5 に示される例では、画素 2 及び画素 2 x のいずれについても、画素間に遮光膜 5 2 が設けられる。画素間遮光によるクロストークの抑制が可能である。合わせて黒基準画素も遮光される。

[0217] 図 9 6 に示される例では、画素 2 間には遮光膜 5 2 は設けられない。画素間遮光を無くすことで、光検出器 1 0 0 の検出感度を向上させることができる。画素境界の迷光は、これまで説明した複数のピラー 6 2 を含む光学層 6 によって抑制されている。

[0218] 図 9 7 に示される例では、複数の画素 2 が像面位相差画素を含むように、遮光膜 5 2 が設けられる。この例では、像面位相差画素は、2 種類の像面位相差画素を含む。第 1 の像面位相差画素を、像面位相差画素 2 d 1 と称し図示する。第 2 の像面位相差画素を、像面位相差画素 2 d 2 と称し図示する。

[0219] 遮光膜 5 2 が有する開口部 5 2 o のうち、像面位相差画素 2 d 1 の光電変換部 2 1 に対向する開口部 5 2 o を、開口部 5 2 o 1 (第 1 の開口部) と称し図示する。像面位相差画素 2 d 2 の光電変換部 2 1 に対向する開口部 5 2 o を、開口部 5 2 o 2 (第 2 の開口部) と称し図示する。開口部 5 2 o 1 及び開口部 5 2 o 2 は、像面位相差画素 2 d 1 の光電変換部 2 1 及び像面位相差画素 2 d 2 の光電変換部 2 1 の互いに異なる部分に対向する。それぞれの画素 2 で、遮光膜 5 2 における開口部 5 2 o 1 及び開口部 5 2 o 2 の重心が異なっているとみえる。

[0220] 遮光膜 5 2 で視差の異なる画素 2 を形成することで、像面位相差画素 2 d 1 及び像面位相差画素 2 d 2 が得られる。それぞれで得られる像のずれ量から被写体距離を算出し、カメラレンズの高速フォーカス処理や測距(センシング)を行えるようになる。交換式カメラの場合、レンズ毎に画角端の入射角度

が変わるため、それぞれの角度に合わせて像面位相差画素を備える必要がある。従来技術のOCL（オンチップレンズ）では、画素2ごとに瞳補正を変えることが出来ず、遮光膜52の開口部52oの開口サイズが狭くなる画素2が発生し感度が低下するという問題があった。複数のピラー62を含む光学層6を用いれば、どの入射角に対しても画素中心に集光できるので、開口サイズが狭くなる画素2が発生することを防ぐことができる。

[0221] 図98に示される例では、遮光膜52が有する開口部52oは、ピンホールである。検出対象の光は、近赤外光を含んでよい。ピラー62の材料の例は、先にも述べたように、アモルファスシリコン、多結晶シリコン、ゲルマニウム等である。一実施形態において、ピンホールの開口率は、25%以下であってよい。なお、複数の2の全部ではなく、一部の画素2に対向する開口部52oだけがピンホールであってもよい。

[0222] 光閉じ込みによる検出感度の向上、チップ反射抑制、フレア感度抑制等の効果が得られる。近赤外光を絞るためには高屈材料が必要となるが、屈折率差の大きい平面上の界面が存在すると強い光反射が生じ得る。これまで説明した上面62aが曲面となる形状を有するピラー62を用いることで、実効屈折率が下がり、光反射を抑制することができる。

[0223] ピンホールに対し集光ポイントを合わせることで、検出感度が向上する。一方、画素2ごとにピラー62の設計を変えてデフォーカスさせることで、低感度画素と高感度画素を生成し、高ダイナミックレンジ（HDR）を実現することもできる。画素2ごとにピンホールサイズを変えてもHDRを実現できる。

[0224] <素子分離部の例>

ピラー62による光制御は、微細構造による光の位相/波面制御ともいえるが、不連続な物質界面で微視的な迷光が発生する可能性が残る。この迷光が画素間のクロストークにならないように、素子分離が強化されてよい。図99～図104を参照して説明する。

[0225] 図99～図104は、素子分離部ESの例を示す図である。画素2どうし

の間の領域の一部が示される。画素アレイ部1は、素子分離部ESを含む。素子分離部ESは、隣り合う画素2どうし、より具体的には隣り合う光電変換部21どうしを、光学的に分離したり電氣的に分離したりする。素子分離部ESは、少なくとも半導体基板3の上面3aから、半導体基板3内において隣り合う光電変換部21どうしの間を延在するように設けられる。素子分離部ESは、例えば、分離領域31、固定電荷膜4、絶縁膜51及び遮光膜52等を含むことによって実現される。

[0226] 図99に示される例では、固定電荷膜4及び絶縁膜51だけを介して、半導体基板3の直上に遮光膜52が設けられる。半導体基板3側では、イオン注入（インプランテーション）によるポテンシャルにより、電荷クロストークが軽減される。半導体基板3に突入した迷光のクロストークの抑制の問題は残り得るが、半導体基板3に対する加工ダメージが低く、暗時特性で有利となる。

[0227] 図100に示される例では、半導体基板3が深くトレンチ加工或いは貫通される。固定電荷膜4で側壁のピニングが強化され、絶縁膜51が埋め込まれる。上述の図99の構成よりも電荷クロストークが強化され、半導体基板3と絶縁膜51の屈折率差で迷光の一部を自画素の光電変換部21に戻すことができる。工程数が増え、トレンチ加工による界面ダメージで暗時特性が悪くなる可能性はあり得る。

[0228] 図101に示される例では、半導体基板3が微細な幅（例えば100nm以下）でトレンチ加工される。側壁に固定電荷膜4を形成する際にトレンチ上部を閉塞させることで、空隙31gが形成される。上述の図100の絶縁膜51よりも屈折率差が大きく界面反射が起こりやすくなり、迷光の自画素閉じ込め効果を高めることができる。閉塞性のばらつきが大きいという問題は残り得る。

[0229] 図102に示される例では、半導体基板3は浅くトレンチ加工される（例えば100nm～400nm程度）。固定電荷膜4及び絶縁膜51が設けられたうえで、遮光膜52の一部が半導体基板3内に延在する。上述の図99の構

成よりも、画素間遮光と半導体基板 3 の間のクロストーク経路を遮断することが可能となる。加工によるダメージやコンタミネーションによる暗時特性悪化の可能性はあり得る。

[0230] 図 103 に示される例では、半導体基板 3 は、深くトレンチ加工或いは貫通される。固定電荷膜 4 で側壁のピニングが強化され、絶縁膜 5 1 が埋め込まれる。絶縁膜 5 1 の隙間に遮光膜 5 2 が埋め込まれる。上述の図 100 の構成よりも、遮光膜 5 2 で迷光が吸収されるので、クロストークが抑制される。迷光の自画素戻り成分が少なくなって感度が若干低下し、加工ダメージやコンタミネーションによる暗時特性悪化の可能性はあり得る。

[0231] 図 104 に示される例では、線幅の細い深堀トレンチと、それより線幅の太い浅く形成したトレンチに対し、固定電荷膜 4 で側壁のピニングが強化され、絶縁膜 5 1 が埋め込まれる。浅いトレンチにのみ遮光膜 5 2 が埋め込まれる。上述の図 99 の構成よりも、遮光膜 5 2 と半導体基板 3 の間のクロストーク経路を遮断した上で、深い位置での半導体基板 3 内の電荷クロストーク抑制を強化し、深い位置でも迷光の自画素閉じ込め効果を発揮できる。上述の図 103 の構成で生じ得る感度低下を軽減することもできる。工程数増と加工ダメージやコンタミネーションによる暗時特性悪化の可能性はあり得る。

[0232] <半導体基板 3 の上面 3 a の形状の例>

上述のように素子分離を強化するため、他の迷光も抑制されることになる。次に説明するように、半導体基板 3 の受光面側の境界に相当する上面 3 a の形状をさらに工夫（加工等）することで、入射した光を斜めに方向付け、それによって検出感度を向上できる相乗効果を享受できる。

[0233] 図 105 ~ 図 108 は、半導体基板 3 の上面 3 a の形状の例を示す図である。各図の (B) には、半導体基板 3 の上面 3 a の特徴的な部分を平面視したとき (Z 軸負方向にみたとき) の構成が示される。半導体基板 3 の上面 3 a は、凹凸形状を有する。

[0234] 図 105 に示される例では、半導体基板 3 の上面 3 a は、周期的な凹凸形

状（モスアイ構造とも呼べる）を有し、それによって回折・散乱構造を与える。凹凸形状が回折格子として機能するので、入射した光の高次成分が斜め方向に回折し、それによって光電変換部 21 内の光路長を長くとることでき、とくに近赤外光の検出感度を向上させることができる。

[0235] この回折・散乱構造は、例えば AKB を用いた Si (111) 面のウェットエッチングを利用することで形成される四角錐を適用することができる。これに限らず、回折・散乱構造を、ドライエッチングにより形成してもよい。さらには、深さ方向に断面積が変わる形状とすることにより、反射が抑制され、感度も若干向上する。

[0236] 図 106 に示される例では、半導体基板 3 の上面 3a は、光電変換部 21 の中央を X 軸方向に延在する凹部及び Y 軸方向に延在する凹部を有し、それによって光分岐部（光分岐構造）を与える。酸化膜埋め込みした浅い溝で光を分岐させ角度をつけることで、0 次光が減少し、検出感度の向上効果が期待できる。光分岐部は、光電変換部 21 のトップ部に対してトレンチを形成し、固定電荷膜 4、及び絶縁膜 51 例えば SiO₂ を ALD 等で埋め込んで形成される。光分岐部は、入射光側から見た場合、90 度の角度でクロスさせて設けることができる。このとき、クロスさせる角度は 90 度に限定されない。

[0237] 図 107 に示される例では、半導体基板 3 の上面 3a は、上述の図 106 の構成に加えて、さらに、X 軸方向及び Y 軸方向の間の方向（斜め方向）に延在する 4 つの凹部を有する。図 108 に示される例では、半導体基板 3 の上面 3a は、X 軸方向及び Y 軸方向に網目状に延在する延在する複数の凹部を有する。クロスさせた光分岐部に対して、さら別の光分岐部が設けられることになる。この光分岐部のトレンチ溝に対する固定電荷膜 4、絶縁膜 51 の埋め込みは、先に述べた素子分離部の埋め込みと同時に行われてよい。工程の削減が可能である。

[0238] <レンズとの組み合わせ>

複数のピラー 62 を含む光学層 6 の光学機能は、プリズム機能及びレンズ

機能を含むことができるが、位相差が必要になる。ピラー62の高さの制約で位相差の折り返しが必要になる場合、折り返し部の散乱による迷光の問題が残り得る。これに対処するために、レンズがさらに設けられてよい。レンズをレンズ10と称し、図109～図113を参照して説明する。

- [0239] 図109～図113は、レンズ10の例を示す図である。画素アレイ部1は、レンズ10をさらに含む。
- [0240] 図109及び図110に示される例では、レンズ10は、光学層6を挟んで光電変換部21とは反対側に設けられる。より具体的に、レンズ10は、光学層6上に設けられたオンチップレンズである。レンズ10の材料の例は、スチレン系樹脂、アクリル系樹脂、スチレン-アクリル系樹脂、シロキサン系樹脂等の有機材料である。これらの有機材料、また、ポリイミド系樹脂に、酸化チタン粒子を分散させて構成することもできる。レンズ10の材料は、窒化シリコン、酸窒化シリコン等の無機材料であってもよい。レンズ10の表面には、反射を抑制するための、レンズ10とは異なる屈折率の材料膜が配置されてもよい。近赤外光用途の場合には、アモルファスシリコン、多結晶シリコン、ゲルマニウム等の材料が用いられてもよい。
- [0241] 図109に示される例では、光学層6の光学機能は、プリズム機能は含む一方で、レンズ機能は含まない。例えば、主光線Lを光電変換部21に略垂直に導くプリズム機能に特化して設計される。主光線Lを光電変換部21に集光するレンズ機能は、レンズ10によって与えられる。光学層6においては、画角内で必要な位相差を減らし、極力折り返しが発生しないようにすることができる。また、例えば光学層6の上にレンズ10を設けることで、画素境界の折り返しに当たる光量を減らし、迷光を軽減することもできる。
- [0242] 図110に示される例では、遮光膜52の開口部52oは、先に述べたようなピンホールである。レンズパワーを強くして光をより絞ることで、ピンホール径を小さくすることができる。ピンホール径を小さくできれば、近赤外光の閉じ込め効果、フレア感度抑制効果を高めることができる。このレンズパワーを強めるために、光学層6の光学機能は、プリズム機能及びレンズ

機能を含み、さらにレンズ10によるレンズ機能も上乘せされる。ピラー62の画素境界に光が当たることによる迷光を軽減すべく、レンズ10に瞳補正が加えられてもよい。

[0243] なお、図110に例示される遮光膜52は、積層された2種類の遮光膜を含む。第1の遮光膜を、遮光膜521と称し図示する。第2の遮光膜を、遮光膜522と称し図示する。材料の一例について述べると、遮光膜521の材料がアルミニウムであり、遮光膜522の材料がタングステンであってよい。これに関連して、図111の(A)には、遮光膜522を含む部分の平面レイアウトが模式的に示される。図111の(B)には、遮光膜521を含む部分の平面レイアウトが模式的に示される。

[0244] 図110に戻り、配線層7は、配線71を含む。これに関連して、図111の(C)には、配線71を含む部分の平面レイアウトが模式的に示される。配線71は、光電変換部21と対向するようにXY平面方向に延在する。半導体基板3を透過した光が配線71で反射して半導体基板3の光電変換部21に入射することで、光検出の感度を向上させることができる。

[0245] 図112及び図113に示される例では、レンズ10は、光電変換部21と光学層6との間に設けられたインナーレンズである。材料等は上述のオンチップレンズと同様であってよい。このレンズ10は、断面形状が矩形になるボックスレンズであってもよい。矩形であっても、ボックスレンズ間の材料との屈折率差で波面を曲げてレンズ作用をもたらすことが可能である。

[0246] <クロストーク抑制構成(遮光壁、クラッド部)の例>

光学層6と半導体基板3との距離を離して高背化する場合、例えば、ピンホール構造に集光ポイントを合わせたり、或いは、光学層6を多層化したりする際に、光学層6と半導体基板3との間のクロストーク経路が広くなり、特性劣化の問題が生じ得る。これに対処するために、次に説明するような遮光壁又はクラッド部が設けられてよい。

[0247] 図114～図117は、クロストーク抑制の例を示す図である。画素アレイ部1の絶縁層5は、光学層6からの光を(この例では固定電荷膜4を介し

て) 半導体基板 3 に導く導光部の一例ともいえる。

[0248] 図 1 1 4 及び図 1 1 5 に示される例では、絶縁層 5 は、遮光壁 1 1 を含む。遮光壁 1 1 は、隣り合う画素 2 の光電変換部 2 1 どうしの間の境界に対応する位置に設けられる。例えば、Z 軸方向にみたときに、遮光壁 1 1 は、隣り合う光電変換部 2 1 どうしの境界と重なっている。

[0249] 図 1 1 4 に示される例では、遮光壁 1 1 は、絶縁膜 5 3 を遮光膜 5 2 までトレンチ加工し、遮光材料、例えばタングステンを埋めこんで CMP して形成される。遮光壁 1 1 は、遮光膜 5 2 から反射抑制膜 6 1 まで延在する。このような遮光壁 1 1 を設けることで、半導体基板 3 と光学層 6 との間のクロストーク経路を遮断することができる。

[0250] 図 1 1 5 に示される例では、遮光壁 1 1 の上端は、光学層 6 からは離間している。遮光壁 1 1 の上端部のケラレが低減される。クロストークが若干悪化するが、検出感度の低下を抑制することができる。

[0251] 図 1 1 6 及び図 1 1 7 に示される例では、絶縁層 5 は、クラッド部 1 2 を含む。上述の遮光壁 1 1 と同様に、クラッド部 1 2 は、隣り合う画素 2 の光電変換部 2 1 どうしの間の境界に対応する位置に設けられる。クラッド部 1 2 は、周囲部分、より具体的には、絶縁層 5 におけるクラッド部 1 2 以外の他の部分、例えば絶縁膜 5 3 の屈折率よりも低い屈折率を有する。

[0252] 図 1 1 6 に示される例では、クラッド部 1 2 は、遮光膜 5 2 上から光学層 6 下まで延在する。遮光壁による光の吸収がなくなる分、検出感度の低下を抑制することができる。ただしクロストークの遮断性は低下し得る。なお、クラッド部 1 2 は空隙部であってよく、絶縁膜 5 3 の成膜で閉塞させてもよい。

[0253] 図 1 1 7 に示される例では、クラッド部 1 2 は、遮光膜 5 2 上から光学層 6 上まで延在する。光学層 6 も跨ぐクラッド部 1 2 を設けることで、導波路効果を高めることが出来る。構造の脆弱性の可能性はあり得る。

[0254] <光電変換部 2 1 の分割の構成の例>

1 つの画素 2 の光電変換部 2 1 を複数に分割して差を持たせることで、そ

れぞれで得られる像のずれ量から被写体距離を算出し、カメラレンズの高速フォーカス処理や測距を行えるようになる。画像生成信号処理の際には、画素2の出力加算でS/Nを向上させたり、視差の異なる像をシフト加算してボケ量を軽減させたりしてよい。図118及び図119を参照して説明する。

[0255] 図118及び図119は、光電変換部21の分割の例を示す図である。1つの画素2に含まれる光電変換部21は、分割された複数の光電変換部21である。なお、複数の画素2のうちの一部の画素2の光電変換部21だけが分割されていてもよい。

[0256] 図119には、光電変換部21の平面レイアウトのいくつかの例が模式的に示される。図119の(A)に示される例では、1つの画素2が、平面視したときの左右（例えばX軸方向において）2分割された光電変換部21、すなわち2つの光電変換部21を含む。縦縞コントラストの被写体に対して測距可能である。図119の(B)に示される例では、1つの画素2が、平面視したときの上下左右（Y軸方向及びX軸方向）4分割された光電変換部21、すなわち4つの光電変換部21を含む。縦縞、横縞、どちらに対しても測距可能となる。当然ながら、光電変換部21の分割の態様は、図119に示される例に限られない。

[0257] また、画素2内の素子分離部ESは、先に図99～図104を参照して説明したようなさまざまな構成を備えてよい。工程数を増やせば、画素2内の素子分離と、画素間の素子分離を異なる組み合わせとすることも可能である。

[0258] <カラーフィルタの構成の例>

光学層6は、原則的に波長に依存して設計が変わるため、極力単一波長を対象とすることが望ましい。例えばセンシングにおいて、Activeに単色のIR-LEDを投光して反射してくる光を検知する場合等に適している。一方、広帯域連続波長の光源に基づく被写体を撮像する場合、そのままでは設計が困難になるが、画素2内にフィルタを設けて波長帯域を制限するこ

とで、光学層6の設計解を見出しやすくなる。フィルタの一例はカラーフィルタであり、カラーフィルタ13と称し図120～図122を参照して説明する。

- [0259] 図120～図122は、カラーフィルタ13の例を示す図である。画素アレイ部1は、カラーフィルタ13を含む。カラーフィルタ13は、画素2の対応する色の光、例えば赤色（R）光、緑色（G）光及び青色（B）光のいずれかの光を通過させる。図において、異なる色に対応するカラーフィルタ13は、異なるハッチングで示される。カラーフィルタ13は、例えば一般的な顔料、染料等を含んで構成される。
- [0260] 図120に示される例では、カラーフィルタ13は、光電変換部21と光学層6との間、より具体的には光学層6の下方に位置する絶縁層5中に設けられる。これにより、波長範囲を狭くすることが可能となり、光の制御性を高めることができる。光学層6の光学機能は、プリズム機能及びレンズ機能を含んでよい。なお、この場合のピラー62は、画素2が対応する色ごとに異なるように設計される。
- [0261] 図121に示される例では、カラーフィルタ13は、光学層6を挟んで光電変換部21とは反対側、より具体的には光学層6上に設けられる。カラーフィルタ13は、斜入射に対して透過スペクトルの変動が少ないため、このような構成が可能となる。この構成の場合、画角端の斜入射光に対しカラーフィルタ13の上に、オンチップレンズであるレンズ10を設けて瞳補正を掛けてもよい。画素間遮光による感度ロスを軽減することができる。
- [0262] 図122には、カラーフィルタ13の配列（平面レイアウト）のいくつかの例が示される。図122の（A）に示される配列は、RGBの3原色からなるベイヤ配列である。図122の（B）に示される配列は、カラーフィルタ13が設けられない画素を含むGRB-W配列である。図122の（C）に示される配列は、2×2画素加算、個別出力等が可能なQuad-Bayer配列である。図122の（D）に示される配列は、45度回転させた配列で解像度を向上させるクリアピッド配列である。例えば補色系配列であつ

てもよく、原色系と補色系を兼ね備えてもよい。或いは、有機材料からなる赤外線吸収膜、特定波長領域の赤外線透過膜等を備えてもよく、さらには、それらを縦構造に積層して備えてもよく、これらに限定するものではない。

[0263] <他のフィルタの構成の例>

上記のカラーフィルタ13以外のさまざまなフィルタが用いられてもよい。図123～図127を参照して説明する。

[0264] 図123～図127は、他のフィルタの例を示す図である。図123に示される例では、画素アレイ部1は、表面プラズモンフィルタ14を含む。表面プラズモンフィルタ14は、表面プラズモン共鳴を利用して光のフィルタリング効果を得る光学素子であり、金属製の導体薄膜が基材として使用される。表面プラズモン共鳴の効果を効率良く得るには、導体薄膜の表面の電気抵抗を極力低くする必要がある。この金属製の導体薄膜としては、電気抵抗が低く、加工の容易なアルミニウムまたはその合金を用いられることが多い（例えば特許文献2を参照）。

[0265] 表面プラズモンフィルタ14は、斜め入射に対して透過率スペクトルが変わってしまうことが知られている。図123に示されるように、光学層6を表面プラズモンフィルタ14の上部に設け、0度入射のスペクトルのピーク波長に対し、カメラレンズからの入射光が垂直入射するように光学層6を設計するのが望ましい。

[0266] 図124に示される例では、画素アレイ部1は、GMR (Guided Mode Resonance) フィルタ15を含む。GMRフィルタ15は、回折格子とクラッド・コア構造を組み合わせることにより、狭い波長帯域（狭帯域）の光のみを透過することが可能な光学フィルタである。より具体的な構成等については、例えば特許文献3を参照されたい。導波路で生ずる導波モードと回折光の共鳴を利用するもので、光の利用効率が高く、シャープな共鳴スペクトルが得られる。

[0267] GMRフィルタ15は、斜め入射に対して透過率スペクトルが変わってしまうことが知られている。図124に示されるように、光学層6をGMRフ

フィルタ 15 の上部に設け、0 度入射のスペクトルのピーク波長に対し、カメラレンズからの入射光が垂直入射するように光位相制御部を設計するが望ましい。

[0268] 図 125 に示される例では、画素アレイ部 1 は、積層フィルタ 16 を含む。図 126 には、積層フィルタ 16 の拡大構成が模式的に示される。積層フィルタ 16 は、異なる屈折率を有する膜が積層されたフィルタである。積層フィルタ 16 は、バンドパスフィルタであってもよいし、ファブリペロー干渉フィルタであってもよい。

[0269] 光の干渉効果により、屈折率の異なる膜の膜厚を制御して交互積層し、特定の透過／反射スペクトルを持たせることができる。また、周期性を乱す疑似的な欠陥層を設定することで狭帯域のスペクトルを設計することも可能である。ただし、光が斜め入射すると実効膜厚が変わってしまうことに起因して、スペクトルが短波長シフトしてしまう。例えば図 127 に示されるように、角度に応じてピーク波長がシフトしていく。図 127 には、角度を 0 度から 35 度まで 5 度ずつ変えた場合の波長 λ に対する透過率 T がグラフで示される。

[0270] このような積層フィルタ 16 に対しては、図 125 に示されるように、光学層 6 を積層フィルタ 16 よりも上方に設け、0 度入射のスペクトルのピーク波長に対し、カメラレンズからの入射光が垂直入射するように光位相制御部を設計するが望ましい。

[0271] なお、上記の表面プラズモンフィルタ 14、GMR フィルタ 15 及び積層フィルタ 16 が、所望のスペクトルが得られるように縦方向に積層され、その上に光学層 6 が設けられてもよい。

[0272] <光学層 6 の多層化の変形例>

図 128 は、光学層 6 の多層化の変形例を示す図である。先に説明した図 82 の構成と比較して、光学層 6-1 と光学層 6-2 との間に別の要素が設けられる。図 128 に示される例では、絶縁膜 10a で覆われたレンズ 10 (インナーレンズ) が、光学層 6-1 と光学層 6-2 との間に設けられる。

レンズ10以外にも、これまで説明した絶縁層5（導光部）より具体的には、遮光膜52、ピンホールである開口部520等、また、遮光壁11、クラッド部12、カラーフィルタ13、表面プラズモンフィルタ14、GMRフィルタ15、積層フィルタ16等が、別の要素として、光学層6-1と光学層6-2との間に設けられてよい。

[0273] <小結>

以上で説明した第2実施形態に係る技術は、例えば次のように特定される。開示される技術の1つは、光検出器100（例えば撮像装置）である。図1～図5及び図52～図60等を参照して説明したように、光検出器100は、光電変換部21と、光電変換部21を覆うように設けられた光学層6と、を備える。光学層6は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部21に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含む。ピラー62は、ピラー高さ方向（Z軸方向）に進むにつれて連続的に変化する断面積を有し、ピラー62の上面62a及び下面62bの少なくとも一方の面は、曲面である。これにより、ピラー62の上面62a及び下面62bの少なくとも一方の面及びその近傍での光反射を抑制することができる。

[0274] 図60等を参照して説明したように、複数のピラー62のうちの少なくとも一部のピラー62どうしは、互いに異なる最大幅を有し、複数のピラー62のうち、最も大きい最大幅WAを有するピラー62Aの高さHAは、最も小さい最大幅WBを有するピラー62Bの高さH2よりも大きくてよい。大きな位相遅延を与えることを目的とするピラー62Aの高さHAを大きくすることで、大きな位相遅延がさらに得られ易くなる。小さな位相遅延を与えることを目的としているピラー62Bの高さHBを小さくすることで、小さな位相遅延がさらに得られ易くなる。また、最大幅が小さいピラー62ほど倒れやすくなるが、高さを小さくすることでそのリスクを軽減することができる。

[0275] 図4、図5及び図84～図92等を参照して説明したように、複数のピラー62は、レンズ機能を光学層6に与えてよい。これにより、入射光に含ま

れる光を波長ごとに分離したり、そのうちの検出対象の光を光電変換部 2 1 に導いたり（方向付けたり）することができる。ピラー 6 2 は、プリズム機能を光学層 6 に与えてよい。これにより、光を光電変換部 2 1 に集光することができる。複数のピラー 6 2 は、レンズ機能及びプリズム機能を光学層 6 に与えてもよい。

[0276] 図 5 2 ~ 図 5 4 等を参照して説明したように、ピラー 6 2 の上面 6 2 a は、曲面であり、ピラー 6 2 の下面 6 2 b は、平坦面であり、ピラー 6 2 は、上面 6 2 a に近づくにつれて単調減少する断面積を有してよい。例えばこのような構成により、ピラー 6 2 の上面 6 2 a 及びその近傍での光反射を抑制することができる。

[0277] 図 5 5 ~ 図 5 7 等を参照して説明したように、ピラー 6 2 の上面 6 2 a は、平坦面であり、ピラー 6 2 の下面は、曲面であり、ピラー 6 2 は、下面 6 2 b に近づくにつれて単調減少する断面積を有してよい。例えばこのような構成により、ピラー 6 2 の下面 6 2 b 及びその近傍での光反射を抑制することができる。

[0278] 図 5 8 及び図 5 9 等を参照して説明したように、ピラー 6 2 の上面 6 2 a 及び下面 6 2 b は、いずれも曲面であってよい。その場合のピラー 6 2 は、上面 6 2 a 及び下面 6 2 b の一方の面から他方の面に近づくにつれて単調増加して単調減少する断面積を有してよい。例えばこのような構成により、ピラー 6 2 の上面 6 2 a 及びその近傍での光反射並びにピラー 6 2 の下面 6 2 b 及びその近傍での光反射の両方を抑制することができる。

[0279] 図 4 及び図 5 3 等を参照して説明したように、光学層 6 は、複数のピラー 6 2 の間を埋めるように設けられた充填材 6 4 を含んでよい。充填材 6 4 は、ピラー 6 2 の屈折率と 0.3 以上異なる屈折率を有してよい。光学層 6 は、充填材 6 4 を覆うように設けられた保護膜 6 5 を含んでよい。例えば、ピラー倒れを抑制したり、組み立て工程におけるテープ残りを抑制したりすることができる。

[0280] 図 5 7 等を参照して説明したように、ピラー 6 2 の上面 6 2 a は、平坦面

であり、ピラー62の下面62bは、曲面であり、光学層6は、複数のピラー62の各々の上面62a上に共通に設けられた基部層620を含み、光学層6は、基部層620上に設けられた追加層66を含み、追加層66は、各々が異なる屈折率を有する複数の膜（例えば第1の膜661、第2の膜662、第3の膜663）を含んでよい。膜は、反射抑制膜又はバンドパスフィルタであってよい。光反射をさらに抑制したり、不要な光の光電変換部21への入射を抑制したりすることができる。

[0281] 図82等を参照して説明したように、光検出器100は、積層された複数の光学層6を備えてよい。これにより、単層構造の場合よりも、ピラー62の高さを低くすることができる。例えば、Wet洗浄のピラー倒れ等のためにピラー62の高背化が困難な場合に有効である。また、各層のピラー62の設計を変えて組み合わせることで、波長の広帯域化、マルチスペクトル化等が可能になる。偏光制御を実現することも可能になる。

[0282] ピラーの材料は、アモルファスシリコン、多結晶シリコン及びゲルマニウムの少なくとも1つを含み、ピラー62は、200nm以上の高さを有してよい。これにより、近赤外光の制御に適した光学層6を得ることができる。

[0283] ピラー62の材料は、酸化チタン、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、窒化シリコン、酸化シリコン、窒化酸化シリコン、炭化シリコン、酸化炭化シリコン、窒化炭化シリコン及び酸化ジルコニウムの少なくとも1つを含み、ピラー62は、300nm以上の高さを有してよい。これにより、可視光の制御に適した光学層6を得ることができる。

[0284] 図94～図98等を参照して説明したように、光検出器100（の例えば画素アレイ部1）は、光電変換部21と光学層6との間に設けられ、光電変換部21の少なくとも一部に対向する開口部52oを有する遮光膜52を備えてよい。これにより、例えば迷光を遮断するとともに、光を光電変換部21に導くことができる。遮光膜52が有する開口部52oは、開口率が25%以下のピンホールであってよい。これにより、光閉じ込めによる検出感度の向上、チップ反射抑制、フレア感度抑制等の効果が得られる。光検出器1

00（の例えば画素アレイ部1）は、各々が光電変換部21を含む複数の画素2を備え、複数の画素2は、像面位相差画素2d1（第1の像面位相差画素）及び像面位相差画素2d2（第2の像面位相差画素）を含み、遮光膜52は、像面位相差画素2d1の光電変換部21及び像面位相差画素2d2の光電変換部21の互いに異なる部分に対向する開口部52o1（第1の開口部）及び開口部52o2（第2の開口部）を有してよい。これにより、像面位相差画素2d1及び像面位相差画素2d2それぞれで得られる像のずれ量から被写体距離を算出し、カメラレンズの高速フォーカス処理や測距を行えるようになる。

[0285] 図99～図104等を参照して説明したように、光検出器100（の例えば画素アレイ部1）は、複数の光電変換部21を含み、光学層6と対向する上面3aを有する半導体基板3と、少なくとも半導体基板3の上面3aから、半導体基板3内において隣り合う光電変換部21どうしの間を延在するように設けられた素子分離部ESと、を備えてよい。これにより、素子分離を強化することができる。

[0286] 図109～図113等を参照して説明したように、光検出器100（の例えば画素アレイ部1）は、光学層6を挟んで光電変換部21とは反対側、及び、光電変換部21と光学層6との間の少なくとも一方に設けられたレンズ10を備えてよい。これにより、例えば光学層6において必要な位相差を減らすことができる。

[0287] 図118及び図119等を参照して説明したように、光検出器100（の例えば画素アレイ部1）は、各々が光電変換部21を含む複数の画素2を備え、複数の画素2のうちの少なくとも一部の画素2の光電変換部21は、分割された複数の光電変換部21であってよい。これにより、複数の光電変換部21それぞれで得られる像のずれ量から被写体距離を算出し、カメラレンズの高速フォーカス処理や測距を行えるようになる。

[0288] 図105～図108等を参照して説明したように、光検出器100（の例えば画素アレイ部1）は、複数の光電変換部21を含み、光学層6と対向す

る上面 3 a を有する半導体基板 3 を備え、半導体基板 3 の上面 3 a は、凹凸形状を有してよい。これにより、入射した光を斜めに方向付け、検出感度を向上することができる。

[0289] 図 3 及び図 1 1 4 ~ 図 1 1 7 等を参照して説明したように、光検出器 1 0 0 (の例えば画素アレイ部 1) は、複数の光電変換部 2 1 を含む半導体基板 3 と、半導体基板 3 と光学層 6 との間に設けられた導光部 (例えば絶縁層 5) と、を備え、導光部は、複数の光電変換部 2 1 のうちの隣り合う光電変換部 2 1 どうしの境界に対応する位置に設けられた遮光壁 1 1 を含んでよい。或いは、導光部は、複数の光電変換部 2 1 うちの隣り合う光電変換部 2 1 どうしの間の境界に対応する位置に設けられ、導光部の他の部分よりも低い屈折率を有するクラッド部 1 2 (空隙部でもよい) を含んでよい。これにより、光学層 6 と半導体基板 3 との間のクロストーク経路に起因して生じ得るクロストークを抑制することができる。

[0290] 図 1 2 0 ~ 図 1 2 6 等を参照して説明したように、光検出器 1 0 0 (の例えば画素アレイ部 1) は、光学層 6 を挟んで光電変換部 2 1 とは反対側、及び、光電変換部 2 1 と光学層 6 との間の少なくとも一方に設けられたフィルタを含み、フィルタは、カラーフィルタ 1 3、異なる屈折率を有する膜が積層されたバンドパスフィルタ (積層フィルタ 1 6 の一例)、異なる屈折率を有する膜が積層されたファブリペロー干渉フィルタ (積層フィルタ 1 6 の一例)、表面プラズモンフィルタ 1 4、及び GMR フィルタ 1 5 の少なくとも 1 つを含んでよい。このようなフィルタを用いて波長帯域を制限することで、例えば光学層 6 の設計解を見出し易くすることができる。

[0291] 図 9 4 ~ 図 9 8、図 1 1 4 ~ 図 1 1 7、図 1 2 0 ~ 図 1 2 6 及び図 1 2 8 等を参照して説明したように、光検出器 1 0 0 (の例えば画素アレイ部 1) は、光学層 6 - 1 (第 1 の光学層) と、光学層 6 - 2 (第 2 の光学層) と、光学層 6 - 1 及び光学層 6 - 2 の間に設けられた別の要素と、を備え、別の要素は、光電変換部 2 1 の少なくとも一部に対向する開口部 5 2 o を有する遮光膜 5 2、レンズ 1 0、複数の光電変換部 2 1 のうちの隣り合う光電変換

部 2 1 どうしの境界に対応する位置に設けられた遮光壁 1 1、複数の光電変換部 2 1 のうちの隣り合う光電変換部 2 1 どうしの間の境界に対応する位置に設けられ、周囲部分よりも低い屈折率を有するクラッド部 1 2、カラーフィルタ 1 3、異なる屈折率を有する膜が積層されたバンドパスフィルタ（積層フィルタ 1 6 の一例）、異なる屈折率を有する膜が積層されたファブリペロー干渉フィルタ（積層フィルタ 1 6 の一例）、表面プラズモンフィルタ 1 4、及び GMR フィルタ 1 5 の少なくとも 1 つを含んでよい。例えばこのような多層構成の光学層 6 と各種の要素との組み合わせも可能である。

[0292] 3. 第 3 実施形態

第 3 実施形態では、ピラー 6 2 の形状を工夫することで光反射を抑制する。まず、課題について、図 1 2 9 及び図 1 3 0 を参照して説明する。

[0293] 図 1 2 9 及び図 1 3 0 は、比較例を示す図である。図 1 2 9 には、隣り合う 2 つのピラー 6 2 及びその周辺構造の断面が模式的に示される。一方のピラー 6 2 を、ピラー 6 2 A と称し図示する。他方のピラー 6 2 を、ピラー 6 2 B と称し図示する。ピラー 6 2 A 及びピラー 6 2 B は、互いに異なるサイズ（例えば幅）を有する。ピラー 6 2 A 及びピラー 6 2 B をとくに区別しない場合は、単にピラー 6 2 と呼ぶ。なお、この第 3 実施形態で述べるピラー 6 2 A 及びピラー 6 2 B は、先の第 2 実施形態で説明した図 6 0 のピラー 6 2 A 及びピラー 6 2 B とは区別して解されてよい。

[0294] ピラー 6 2 A 上に設けられた反射抑制膜 6 3 を、反射抑制膜 6 3 A と称し図示する。ピラー 6 2 B 上に設けられた反射抑制膜 6 3 を、反射抑制膜 6 3 B と称し図示する。これらをとくに区別しない場合は、単に反射抑制膜 6 3 と呼ぶ。反射抑制膜 6 3 のサイズ（例えば幅）は、ピラー 6 2 のサイズに依存する。

[0295] ピラー 6 2 の屈折率を、屈折率 n_1 と称する。反射抑制膜 6 3 の屈折率を、屈折率 n_2 と称する。反射抑制膜 6 3 の厚さを、厚さ d_{63} と称する。ピラー 6 2 及び反射抑制膜 6 3 の周辺材、この例では充填材 6 4 の屈折率を、屈折率 n_0 と称する。屈折率 n_0 、屈折率 n_2 及び屈折率 n_1 がこの順に高くなるよう

に設計される ($n_0 < n_2 < n_1$)。ピラーピッチは、検出対象の光の波長よりも短い。光からみて、複数のピラー62が配置された部分全体（ピクセル）の実効屈折率は、平均的な値になる。

[0296] 光学層のうち、Z軸方向においてピラー62が位置する領域の実効屈折率を、実効屈折率 $E n e_1$ と称する。反射抑制膜63が位置する領域の実効屈折率を、実効屈折率 $E n e_2$ と称する。実効屈折率 $E n e_1$ は、ピラー62のサイズによって異なる。実効屈折率 $E n e_2$ も同様である。具体的に、ピラー62Aが位置する領域の実効屈折率を、実効屈折率 $E n e_1 A$ と称し図示する。ピラー62Bが位置する領域の実効屈折率 $E n e_1$ を、実効屈折率 $E n e_1 B$ と称する。実効屈折率 $E n e_1 A$ 及び実効屈折率 $E n e_1 B$ は、互いに異なる値である。また、反射抑制膜63Aが位置する領域の実効屈折率を、実効屈折率 $E n e_2 A$ と称する。反射抑制膜63Bが位置する領域の実効屈折率 $E n e_2$ を、実効屈折率 $E n e_2 B$ と称する。実効屈折率 $E n e_2 A$ 及び実効屈折率 $E n e_2 B$ は、互いに異なる値である。

[0297] 反射抑制を最大化する条件（反射防止条件）は、垂直入射の場合、以下の式（3）のようになる。

[数3]

$$E n e_2 = \sqrt{E n e_1 n_0} \quad d_{63} = \frac{\lambda}{4 E n e_2} \quad \dots (3)$$

[0298] 従って、斜め入射の場合も含めて、一様な反射抑制膜63では十分な反射条件を得られないという問題がある。また、適切な屈折率の材料が無い場合があるという問題もある。具体的に、図130には、以下の条件に対して最大反射率が最小になるように最適化したときの周辺材（例えば充填材64）及び反射抑制膜63界面での反射率（%）が、グラフで示される。垂直入射であっても、反射率は最大で約0.8%に至る。

波長 λ : 940 nm

入射角 : 0度（垂直入射）

屈折率 n_0 : 1.4

屈折率 n_1 : 3.6

屈折率 n_2 : 2.0

ピラーピッチ : 350 nm

ピラー径 : 130 nm ~ 260 nm

最適化した反射抑制膜 63 の厚さ d_{63} : 142 nm

[0299] 上述の課題が本実施形態によって対処される。この後で説明するように、ピラー 62 の上面 62 a の形状を工夫することで、ピラー 62 ごとに最適な反射条件を得ることができ、それによって光反射が抑制される。

[0300] <実施例 1 >

図 131 は、光学層 6 の概略構成の例を示す図である。ピラー 62 A の上面 62 a を、上面 62 a A と称し図示する。ピラー 62 B の上面 62 a を、上面 62 a B と称し図示する。これらをとくに区別しない場合は、単に上面 62 a と呼ぶ。

[0301] 図 131 に示される例では、ピラー 62 の上面 62 a 上に反射抑制膜 63 は設けられない。ピラー 62 の上面 62 a は、充填材 64 で覆われている。先にも述べたように、充填材 64 は周辺材の一例であり、矛盾の無い範囲において、充填材 64 及び周辺材は適宜読み替えられてよい。

[0302] ピラー 62 の上面 62 a は、非平坦部 62 v を有する。上面 62 a が非平坦面であるともいえるし、上面 62 a が非平坦形状を規定する面であるともいえる。非平坦部 62 v は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む。

[0303] ピラー 62 A の上面 62 a A が有する非平坦部 62 v を、非平坦部 62 v A と称し図示する。ピラー 62 B の上面 62 a B が有する非平坦部 62 v を、非平坦部 62 v B と称し図示する。これらをとくに区別しない場合は、単に非平坦部 62 v と呼ぶ。

[0304] 図 131 に示される例では、非平坦部 62 v の凹部の深さ方向（Z 軸負方向）にみたときの凹部の断面積は、どの深さ位置でも同じである。凹部内の側面が垂直に（Z 軸方向に）延在しているともいえる。

[0305] 光学層 6 のうち、ピラー 62 における非平坦部 62 v 以外の部分（非平坦

部 6 2 v の底面よりも下方の部分) が位置する領域の実効屈折率を、実効屈折率 n_{e1} と称する。ピラー 6 2 の非平坦部 6 2 v が位置する領域の実効屈折率を、実効屈折率 n_{e2} と称する。

[0306] 具体的に、ピラー 6 2 A に対応する実効屈折率 n_{e1} 及び実効屈折率 n_{e2} を、実効屈折率 n_{e1A} 及び実効屈折率 n_{e2A} と称し図示する。ピラー 6 2 B に対応する実効屈折率 n_{e1} 及び実効屈折率 n_{e2} を、実効屈折率 n_{e1B} 及び実効屈折率 n_{e2B} と称し図示する。これらをとくに区別しない場合は、単に実効屈折率 n_{e1} 及び実効屈折率 n_{e2} と呼ぶ。

[0307] 実効屈折率 n_{e2} は、屈折率 n_0 と実効屈折率 n_{e1} との間の値を有する。この例では、屈折率 n_0 、実効屈折率 n_{e2} 及び実効屈折率 n_{e1} の順に高くなる ($n_0 < n_{e2} < n_{e1}$)。光学層 6 においては、Z 軸負方向に進むにつれて、各領域の実効屈折率が、屈折率 n_0 、実効屈折率 n_{e2} 、実効屈折率 n_{e1} の順に変化する。実効屈折率を 3 段階に段階的に変化させる (この例では高くする) ことで、ピラー 6 2 の上面 6 2 a 及びその近傍での光反射を抑制することができる。

[0308] ピラー 6 2 において非平坦部 6 2 v の凹部が占める体積の比率を、ピラー中体積率 α と称する。ピラー 6 2 A において非平坦部 6 2 v A の凹部が占めるピラー中体積率 α を、ピラー中体積率 αA と称する。ピラー 6 2 B において非平坦部 6 2 v B の凹部が占めるピラー中体積率 α を、ピラー中体積率 αB と称する。これらをとくに区別しない場合は、単にピラー中体積率 α と呼ぶ。ピラー中体積率 α を調整することで、実効屈折率 n_{e2} を調整することができる。

[0309] 非平坦部 6 2 v の凹部の深さ (Z 軸方向の長さ) を、凹部の深さ d と称する。非平坦部 6 2 v A の凹部の深さを、凹部の深さ $d A$ と称し図示する。非平坦部 6 2 v B の凹部の深さを、凹部の深さ $d B$ と称し図示する。これらをとくに区別しない場合は、単に凹部の深さ d と呼ぶ。凹部の深さ d を調整することで、実効屈折率 n_{e2} を調整することができる。

[0310] ピラー 6 2 ごとにピラー中体積率 α を調整したり、凹部の深さ d を調整し

たりすることで、ピラー62ごとに実効屈折率 n_e を調整して最適な反射条件を得ることができる。従って、高い光反射抑制効果を得ることができる。

[0311] 例えば、ピラー62のサイズによって、ピラー62ごとのピラー中体積率 α が調整されてよい。その場合、ピラー中体積率 α_A と、ピラー中体積率 α_B とは、互いに異なっていてよい。なお、ピラー中体積率 α は、ピラー62のサイズによらず一定であってもよく、その場合のピラー中体積率 α_A とピラー中体積率 α_B とは同じであってよい。

[0312] 例えば、ピラー62のサイズによって、非平坦部62vの凹部の深さ d が調整されてよい。その場合、非平坦部62vAの凹部の深さ d_A と、非平坦部62vBの凹部の深さ d_B とは、互いに異なっていてよい。なお、非平坦部62vの凹部の深さ d は、ピラー62のサイズによらず一定であってもよく、その場合の非平坦部62vAの凹部の深さ d_A と非平坦部62vBの凹部の深さ d_B とは同じであってよい。

[0313] なお、検出対象の光の波長領域が複数存在する場合（例えばRGBの場合）には、波長領域ごとに、各ピラー62に対応するピラー中体積率 α 、凹部の深さ d が調整されてよい。

[0314] 図132は、反射率の例を示す図である。以下の条件に対して最大反射率が最小になるように近似計算で最適化したときの周辺材（例えば充填材64）との界面での反射率が、グラフで示される。先に説明した比較例の場合、非平坦部62v無しの場合、非平坦部62vありでピラー中体積率 α 及び凹部の深さ d がいずれも可変の場合、非平坦部62vありでピラー中体積率 α が可変で凹部の深さ d が固定の場合、非平坦部62vありでピラー中体積率 α 及び凹部の深さ d がいずれも固定の場合のそれぞれの反射率が示される。

波長 λ : 940 nm

入射角 : 0度（垂直入射）

屈折率 n_0 : 1.4（高分子）

屈折率 n_1 : 3.6（アモルファスシリコン）

ピラーピッチ：350 nm

ピラー径：130 nm～260 nm

[0315] ピラー62の上面62aが非平坦部62vを有することで、反射率が大幅に低減される。ピラー中体積率 α 、凹部の深さdを固定する場合でも、反射率を0.04%以下に抑制することができ、十分な効果が得られる。図133及び図134も参照して説明する。

[0316] 図133は、最適化したピラー中体積率 α の例を示す図である。ピラー中体積率 α 及び深さdが固定及び可変のいずれであっても、最適なピラー中体積率 α はそれほど大きくは変わらない。ピラー中体積率 α を固定した場合でも十分な効果が得られる。

[0317] 図134は、最適化した凹部の深さdの例を示す図である。ピラー中体積率 α 及び深さdが固定及び可変のいずれであっても、最適な凹部の深さdはそれほど大きくは変わらない。凹部の深さdを固定した場合でも十分な効果が得られる。

[0318] <実施例2>

一実施形態において、ピラー62の上面62aと充填材64との間に膜（中間膜）が設けられてよい。図135～図138を参照して説明する。

[0319] 図135は、光学層6の概略構成の例を示す図である。光学層6は、中間膜62fを含む。中間膜62fは、ピラー62の上面62aの非平坦部62vの凹部を埋めるように、ピラー62の上面62a上に設けられる。中間膜62f上に充填材64が設けられる。中間膜62fの屈折率を、屈折率 n_3 と称する。中間膜62fの屈折率 n_3 は、充填材64の屈折率 n_0 よりも大きく、ピラー62の屈折率 n_1 よりも小さい（ $n_1 > n_3 > n_0$ ）。

[0320] ピラー62Aの上面62aA上に設けられた中間膜62fを、中間膜62fAと称し図示する。ピラー62Bの上面62aB上に設けられた中間膜62fを、中間膜62fBと称し図示する。

[0321] 光学層6において、中間膜62fが位置する領域の実効屈折率を、実効屈折率 n_{e3} と称する。具体的に、中間膜62fAが位置する領域の実効屈折率

n_{e3} を、実効屈折率 $n_{e3}A$ と称し図示する。中間膜 62fB が位置する周辺領域の実効屈折率 n_{e3} を、実効屈折率 $n_{e3}B$ と称し図示する。

[0322] 実効屈折率 n_{e3} は、屈折率 n_0 と実効屈折率 n_{e2} との間の値である。この例では、屈折率 n_0 、実効屈折率 n_{e3} 、実効屈折率 n_{e2} 及び実効屈折率 n_{e1} の順に高くなる ($n_0 < n_{e3} < n_{e2} < n_{e1}$)。光学層 6 においては、Z 軸負方向に進むにつれて、各領域の実効屈折率が、屈折率 n_0 、実効屈折率 n_{e3} 、実効屈折率 n_{e2} 及び実効屈折率 n_{e1} の順に変化する。実効屈折率を 4 段階に段階的に変化させる (この例では高くする) ことで、光反射をさらに抑制することができる。なお、中間膜 62f は、加工の観点から選択されてもよい (加工の自由度が増す)。

[0323] 図 136 は、反射率の例を示す図である。以下の条件に対して最大反射率が最小になるように近似計算で最適化したときの周辺材 (例えば充填材 64) との界面での反射率 (%) が、グラフで示される。この場合も、反射率が大幅に低減される。なお、比較例での反射抑制膜 63 の厚さは、142 nm である。非平坦部 62v 及び中間膜 62f ありでピラー中体積率 α 及び凹部の深さ d がいずれも可変の場合の中間膜 62f の厚さは、135 nm である。非平坦部 62v 及び中間膜 62f ありでピラー中体積率 α が可変で凹部の深さ d が固定の場合の中間膜 62f の厚さは、135 nm である。非平坦部 62v 及び中間膜 62f ありでピラー中体積率 α 及び凹部の深さ d がいずれも固定の場合の中間膜 62f の厚さは、134 nm である。

波長 λ : 940 nm

入射角 : 0 度 (垂直入射)

屈折率 n_0 : 1.4 (高分子)

屈折率 n_1 : 3.6 (アモルファスシリコン)

屈折率 n_3 : 2.0 (Si₃N₄)

ピラーピッチ : 350 nm

ピラー径 : 130 nm ~ 260 nm

[0324] ピラー中体積率 α 、凹部の深さ d を固定する場合でも、反射率を 0.04

%以下に抑制することができ、十分な効果が得られる。図137及び図138も参照して説明する。

[0325] 図137は、最適化したピラー中体積率 α の例を示す図である。ピラー中体積率 α 及び深さ d が固定及び可変のいずれであっても、最適なピラー中体積率 α はそれほど大きくは変わらない。ピラー中体積率 α を固定した場合でも十分な効果が得られる。

[0326] 図138は、最適化した凹部の深さ d の例を示す図である。ピラー中体積率 α 及び深さ d が固定及び可変のいずれであっても、最適な凹部の深さ d はそれほど大きくは変わらない。凹部の深さ d を固定した場合でも十分な効果が得られる。

[0327] <実施例3>

非平坦部62vの形状のいくつかの例について、図139～図141を参照して説明する。

[0328] 図139～図141は、非平坦部62v及びその周辺構造の形状の例を示す図である。なお、ピラー62A及びピラー62Bは区別せず、単にピラー62として説明する。他の部分についても同様である。各図の(B)には、平面視したとき(Z軸方向にみたとき)の非平坦部62vを含む部分の断面が模式的に示される。Z軸方向に進むにつれて、実効屈折率が段階的に変化する。

[0329] 図139に示される例では、非平坦部62vの凹部の深さ方向(Z軸負方向)にみたときの凹部の断面積は、深さ方向に進むにつれて段階的に減少する。凹部が階段形状を有するともいえる。

[0330] 図140に示される例では、非平坦部62vの凹部の断面積は、深さ方向に進むにつれて連続的に減少する。凹部内がテーパ形状を有するともいえる。

[0331] 図141に示される例では、光学層6は、薄膜62gを含む。薄膜62gは、非平坦部62vの凹部内(例えば底面上)及びピラー62の側面62c上に設けられる。充填材64は、ピラー62及び薄膜62gを覆うように設

けられる。充填材 64 は、薄膜 62g で覆われた凹部を埋めるように、凹部内に位置する薄膜 62g 上にも設けられる。薄膜 62g の屈折率は、先に述べた中間膜 62f の屈折率と同様であってよい。薄膜 62g で多層化することで、実効屈折率がさらに段階的に変化する。

[0332] なお、充填材 64 ではなく後述の上層膜（図 143 等の上層膜 68）が、薄膜 62g で覆われた凹部を埋めるように設けられてもよい。

[0333] <実施例 4>

非平坦部 62v のさらなる形状のいくつかの例について、図 142～図 148 を参照して説明する。

[0334] 図 142～図 148 は、非平坦部 62v 及びその周辺構造の形状の例を示す図である。Z 軸方向に進むにつれて、実効屈折率が段階的に変化する。

[0335] 図 142 に示される例では、非平坦部 62v の凸部の高さ方向（Z 軸正方向）にみたときの凸部の断面積は、高さ方向に進むにつれて段階的に減少する。凸部が階段形状を有するともいえる。

[0336] 図 143 に示される例では、充填材 64 は、隣り合うピラー 62 どうしの間に、ピラー 62 の側面 62c に沿って設けられる。充填材 64 の上面を、上面 64a と称し図示する。この例では、充填材 64 の上面 64a は、非平坦部 64v を有する。非平坦部 64v は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む。より具体的な形状は、これまで説明したピラー 62 の非平坦部 62v と同様であってよい。

[0337] 光学層 6 は、上層膜 68 を含む。上層膜 68 は、ピラー 62 及び充填材 64 を覆うように設けられる。具体的に、上層膜 68 は、ピラー 62 の非平坦部 62v の凹部及び充填材 64 の非平坦部 64v の凹部を埋めるように、ピラー 62 の上面 62a 上及び充填材 64 の上面 64a 上に設けられる。上層膜 68 の材料は、充填材 64 とは異なる材料であってよく、互いの屈折率は異なっていてよい。例えば、上層膜 68 の屈折率、充填材 64 の屈折率及びピラー 62 の屈折率がこの順に高くなる。

[0338] 図 144 に示される例では、光学層 6 は、異種膜 62h を含む。異種膜 6

2 h は、充填材 6 4 の屈折率とピラー 6 2 の屈折率との間の屈折率を有してよい。異種膜 6 2 h は、非平坦部 6 2 v の凹部を埋めるように設けられる。なお、異種膜 6 2 h は無くてもよく、その場合、凹部は空隙である（空洞を有する）。

[0339] 図 1 4 5 及び図 1 4 6 に示される例では、ピラー 6 2 の上面 6 2 a 上に、中間膜 6 2 f が設けられる。中間膜 6 2 f の上面 6 2 f a が、非平坦部 6 2 f v を有する。非平坦部 6 2 f v の形状は、先に説明した非平坦部 6 2 v の形状と同様であってよく、説明は繰り返さない。充填材 6 4 は、非平坦部 6 2 f v を埋めるように設けられる。

[0340] 図 1 4 7 に示される例では、中間膜 6 2 f の非平坦部 6 2 f v は、開口部 6 2 f o を有する。開口部 6 2 f o は、ピラー 6 2 の上面 6 2 a が有する非平坦部 6 2 v の凹部と連通している。

[0341] 図 1 4 8 に示される例では、ピラー 6 2 の上面 6 2 a 上に、中間膜 6 2 f が設けられる。中間膜 6 2 f の上面 6 2 f a は、非平坦部 6 2 f v を有する。充填材 6 4 は、隣り合うピラー 6 2 及び中間膜 6 2 f どうしの上に、ピラー 6 2 の側面 6 2 c 及び中間膜 6 2 f の側面 6 2 f c に沿って設けられる。上層膜 6 8 が、中間膜 6 2 f の非平坦部 6 2 f v の凹部及び充填材 6 4 の非平坦部 6 4 v の凹部を埋めるように、中間膜 6 2 f の上面 6 2 f a 上及び充填材 6 4 の上面 6 4 a 上に設けられる。

[0342] <製造方法の例>

図 1 4 9 ~ 図 1 8 2 は、製造方法の例を示す図である。各図の (A) には、平面視したとき (Z 軸方向にみたとき) の特徴部分の断面が模式的に示される。各図の (B) には、側面視したとき (Y 軸方向にみたとき) の特徴部分の断面が示される。

[0343] <実施例 5 >

図 1 4 9 ~ 図 1 5 4 には、ピラー中体積率 α 及び凹部の深さ d が可変な非平坦部 6 2 v を得ることのできる製造方法の例が示される。

[0344] 図 1 4 9 に示されるように、基板上、この例では反射抑制膜 6 1 上に、ピ

ラー材料62mを成膜し、その上にフォトレジストPRを形成する。例えばナノインプリントリソグラフィ技術を用いて、ピラー領域のフォトレジストPR中に、面積率、深さが異なるホールパターンPRhpを形成する。

[0345] 図150に示されるように、フォトレジストPRをマスクとするドライエッチングを行い、ピラー材料62mの上部に、面積率、深さが異なるホールパターン62hpを形成する。

[0346] 図151に示されるように、フォトレジストPRを除去した後で、ハードマスクHMを成膜する。

[0347] 図152に示されるように、ハードマスクHMの上に、光リソグラフィ技術を用いて、ピラー形状に合わせたパターンを有するフォトレジストPRを形成する。

[0348] 図153に示されるように、フォトレジストPRをマスクとするドライエッチングを行い、さらに、ハードマスクHMをマスクとするドライエッチングを行う。上面62aが非平坦部62vを有するピラー62が得られる。

[0349] 図154に示されるように、ハードマスクHMを除去した後で、ピラー62を覆うように充填材64を成膜する。

[0350] <実施例6>

図155～図162には、ピラー中体積率 α が可変な非平坦部62vを得ることのできる製造方法の例が示される。

[0351] 図155に示されるように、基板上、この例では反射抑制膜61の上に、ピラー材料62m及びハードマスクHMを成膜する。その上に、中性材N（具体的にはPS-r-PMMA）を例えば8nm程度の厚さで塗布し、さらに、自己組織化材S（具体的にはPS-b-PMMA）を例えば60nm程度の厚さで塗布する。

[0352] 図156に示されるように、ピラー材料62mの上部のうち、非平坦部を形成しない領域に、マスクMを通して例えば波長193nmの光を照射する。照射される光が、図156の(B)において白矢印で模式的に示される。光照射された領域の自己組織化材S中のPSどうしが架橋する。

- [0353] 図157に示されるように、N₂雰囲気下で例えば約250度の温度で5分程度、基板をベークする。これにより架橋していない自己組織化材Sは、PSと円柱状のPMMAに相分離する。図157の(C)には、自己組織化材S中のPMMA及びPSが模式的に示される。例えば、PMMAの径は26nm程度であり、PMMAどうしの間隔は40nm程度である。
- [0354] その後、全面に例えば波長172nmのUV光を照射する。これによりPSは完全に架橋し、PMMAは切断する。
- [0355] 図158に示されるように、IPAである有機現像液で、PMMAだけを完全除去する。これにより微細ホールアレイShaが形成される。
- [0356] 図159に示されるように、ドライエッチングにより、ハードマスクHMに微細ホールアレイMhaを形成する。このときエッチング条件により、所望するホール径になるように調整する。その後、自己組織化材S及び中性材Nを除去する。
- [0357] 図160に示されるように、ハードマスクHMをマスクとしてドライエッチングを行い、ピラー材料62mの上部に、微細ホールアレイ62mhaを形成する。
- [0358] 図161に示されるように、ハードマスクHM2を上部に成膜する。その後、光リソグラフィ技術を用いて、ピラー形状に合わせたパターンを有するフォトレジストPRを形成する。
- [0359] 図162に示されるように、先に図153及び図154等を参照して説明したプロセスと同様のプロセスにより、ピラー62を形成し、さらに充填材64を形成する。微細ホールアレイ62mhaが非平坦部62vになり、上面62aが非平坦部62vを有するピラー62が得られる。
- [0360] <実施例7>
- 図163及び図164には、ピラー中体積率 α が可変な非平坦部62vを得ることのできる製造方法の例が示される。
- [0361] 図163に示されるように、基板上、この例では反射抑制膜61上に、ピラー材料62m及びハードマスクHMを成膜する。非平坦部を形成しない領

域をガイドパターンGで覆う。ガイドパターンGが無い領域に、中性材Nを塗布し、自己組織化材Sを塗布する。塗布厚さは前述と同様であってよい。

[0362] 図164に示されるように、自己組織化プロセスにより、ガイドパターンGが開口された領域だけ相分離させる。先に図158～図162等を参照して説明したプロセスと同様のプロセスにより、上面62aが非平坦部62vを有するピラー62が得られる。

[0363] <実施例8>

図165～図169には、一様な凹凸パターンを有する非平坦部62vを得ることのできる製造方法の例が示される。前提として、先に説明した図155のプロセスが完了しているものとする。

[0364] 図165に示されるように、自己組織化プロセスにより、相分離パターンを形成する。

その後、UV照射、有機現像で微細ホールアレイShaを形成する。

[0365] 図166に示されるように、自己組織化プロセスで形成した微細ホールアレイShaを、ドライエッチングでハードマスクHMに転写する。さらにピラー材料62mに転写する。その後、自己組織化材S自、ハードマスクHMを除去する。ピラー材料62mの上部には、微細ホールアレイ62mhaが形成される。

[0366] 図167に示されるように、ハードマスクHMを上部に成膜する。その後、光リソグラフィ技術を用いて、ピラー形状に合わせたパターンを有するフォトレジストPRを形成する。

[0367] 図168に示されるように、フォトレジストPRをマスクとしてハードマスクHMをドライエッチングし、さらに、ハードマスクHMをマスクとしてピラー材料62mをドライエッチングする。微細ホールアレイ62mhaが非平坦部62vになり、上面62aが非平坦部62vを有するピラー62が得られる。

[0368] 図169に示されるように、ハードマスクHMを除去した後で、充填材64を成膜する。

[0369] <実施例 9>

図 170～図 172 には、一様な凹凸パターンを有する非平坦部 62v を得ることのできる製造方法の例が示される。

[0370] 図 170 に示されるように、基板上、この例では反射抑制膜 61 上に、ピラー材料 62m を成膜する。その後、Ar プラズマで表面を粗くし、凹凸層 CC を形成する。

[0371] 図 171 に示されるように、ALD 技術を用いて、ALD 膜 A を形成する。

[0372] 図 172 に示されるように、ALD 膜 A をエッチバックし、ピラー材料 62m の上部の凸部を露出させる。なお、図 172 の (C) には、その部分の拡大図が模式的に示される。その後、残った ALD 膜 A をマスクとして、ピラー材料 62m をエッチングすることで、ピラー材料 62m の上部に微細ホールアレイを形成する。その後のプロセスはこれまでと同様であるので説明は省略する。

[0373] <実施例 10>

図 173 には、一様な凹凸パターンを有する非平坦部 62v を得ることのできる製造方法の例が示される。基板上、この例では反射抑制膜 61 上に、ピラー材料 62m 及びハードマスク HM を成膜する。その上に、ナノ粒子 NP を散布する。ナノ粒子 NP をマスクとして、ハードマスク HM をエッチングすることで、ピラー材料 62m の上部に微細ホールアレイを形成する。その後のプロセスはこれまでと同様であるので説明は省略する。

[0374] <実施例 11>

図 174 及び図 175 には、上層反射抑制膜、より具体的には、非平坦部 62fv を有しピラー 62 の上面 62a 上に設けられる中間膜 62f を得ることのできる製造方法の例が示される。

[0375] 図 174 に示されるように、基板上、この例では反射抑制膜 61 上に、リソグラフィ技術及びドライエッチング技術を用いて、ピラー 62 を形成する。このとき、中間膜 62f のパターンをマスクにする。周辺からのデポジシ

オンが多い条件でエッチングすることにより、そのパターンの上部に非平坦部を形成する。上部はデポジションが少なく、エッチングされやすいことを利用する。上面62faが非平坦部62fvを有する中間膜62fが得られる。

[0376] 図175に示されるように、充填材64を成膜する。

[0377] <実施例12>

図176及び図177には、上面62faが非平坦部62fvを有する中間膜62f及び上面62aが非平坦部62vを有するピラー62を得ることのできる製造方法の例が示される。前提として、先に説明した図174のプロセスが完了しているものとする。

[0378] 図176に示されるように、中間膜62fのパターンをエッチバックし、さらに中間膜62fをマスクとして、ピラー62をドライエッチングする。上面62faが非平坦部62fvを有する中間膜62f、及び、上面62aが非平坦部62vを有するピラー62が得られる。この例では、非平坦部62fv及び非平坦部62vはいずれもテーパ形状を有する。

[0379] 図177に示されるように、充填材64を成膜する。

[0380] <実施例13>

図178～図181には、断面積が段階的に変化する（階段状の）非平坦部62vを得ることのできる製造方法の例が示される。

[0381] 図178に示されるように、ピラー材料62mの上に、ハードマスクHM及びハードマスクHM2を成膜する。その後、光リソグラフィ技術を用いて、ピラー形状に合わせたパターンを有するフォトレジストPRを形成する。フォトレジストPRをマスクとして、ハードマスクHM2をドライエッチングする。

[0382] 図179に示されるように、ハードマスクHM2のパターンをマスクとして、ハードマスクHMを異方的にドライエッチングする。その後、ハードマスクHM2を等方的にエッチングする。

[0383] 図180に示されるように、異方的なエッチング及び等方的なエッチング

を繰り返し、ハードマスクHMをエッチバックすることで、階段状のハードマスクHMが得られる。

[0384] 図181に示されるように、ハードマスクHMをマスクとして、ピラー材料62mをドライエッチングする。上面62aが非平坦部62vを有するピラー62が得られる。その後、充填材64を成膜する。

[0385] <実施例14>

図182には、断面積が段階的に変化する（階段状の）非平坦部62vを得ることのできる製造方法の例が示される。

[0386] 図182に示されるように、ピラー材料62mを形成した後で、周辺に犠牲層SSを形成する。その後、先に図180等を参照して説明したように、階段状のハードマスクHMを形成する。ハードマスクHMをマスクとして、異方的にピラー材料62mをエッチングすることで、その上部が階段状になる。その後で犠牲層SSを除去し、さらに充填材64を成膜することで、先に説明した図181と同様に、上面62aが非平坦部62vを有するピラー62が得られる。

[0387] <小結>

以上で説明した第3実施形態に係る技術は、例えば次のように特定される。開示される技術の1つは、光検出器100である。図1～図5及び図131、図135及び図139～図148等を参照して説明したように、光検出器100は、光電変換部21と、光電変換部21を覆うように設けられた光学層6と、を備える。光学層6は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部21に導くように、層の面方向（XY平面方向）に並んで配置された複数のピラー62を含む。ピラー62の上面62aは、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部62vを有する。これにより、実効屈折率を段階的に変化させて、ピラー62の上面62a及びその近傍での光反射を抑制することができる。

[0388] 図135及び図145～図148等を参照して説明したように、光学層6は、非平坦部62vの凹部を埋めるようにピラー62の上面62a上に設け

られた中間膜62fを含んでよい。これにより、実効屈折率をさらに段階的に変化させて、光反射をさらに抑制することができる。

[0389] 図148等を参照して説明したように、光学層6は、ピラー62の上面62a上に設けられた中間膜62fと、中間膜上に設けられた上層膜68と、を含んでよい。例えばこのような構成によっても実効屈折率を段階的に変化させて、光反射を抑制することができる。

[0390] 図144等を参照して説明したように、非平坦部62vの凹部は、異種膜62hで埋められているか又は空隙であってよい。例えばこのような構成によっても実効屈折率を段階的に変化させて、光反射を抑制することができる。

[0391] 図129及び図131等を参照して説明したように、複数のピラー62のうちの少なくとも一部のピラー62どうしは、互いに異なるサイズを有し、互いに異なるサイズを有するピラー62それぞれにおいて非平坦部62vの凹部が占める体積の比率は、互いに異なってもよいし、同じであってよい。また、互いに異なるサイズを有するピラー62それぞれにおける非平坦部62vの凹部の深さは、互いに異なってもよいし、同じであってもよい。ピラー62ごとにピラー中体積率 α を調整したり、凹部の深さdを調整したりすることで、ピラー62ごとに実効屈折率 n_e^2 を調整して最適な反射条件を得ることができる。従って、高い光反射抑制効果を得ることができる。

[0392] 図131等を参照して説明したように、非平坦部62vの凹部の深さ方向（Z軸負方向）にみたときの凹部の断面積は、どの深さ位置でも同じであってよい。図139等を参照して説明したように、凹部の断面積は、深さ方向に進むにつれて段階的に減少してもよい。図140等を参照して説明したように、凹部の断面積は、深さ方向に進むにつれて連続的に減少してもよい。図142等を参照して説明したように、非平坦部62vの凸部の高さ方向（Z軸正方向）にみたときの前記凸部の断面積は、高さ方向に進むにつれて段階的に減少してよい。例えばこのような断面形状を有する非平坦部62vを

ピラー62の上面62aが有することで、光反射を抑制することができる。

[0393] 図143等を参照して説明したように、光学層6は、複数のピラー62の間を埋めるように設けられた充填材64と、ピラー62及び充填材を覆うように設けられた上層膜68と、を含んでよい。充填材64の上面64aは、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部64vを有し、上層膜68は、ピラー62の非平坦部62vの凹部及び充填材64の非平坦部64vの凹部を埋めるように、ピラー62の上面62a上及び充填材64の上面64a上に設けられてよい。例えばこのような構成によっても光反射を抑制することができる。

[0394] 図141等を参照して説明したように、光学層6は、非平坦部62vの凹部内及びピラー62の側面62c上に設けられた薄膜62gを含んでよい。薄膜62gは、非平坦部62vの凹部を埋めるように設けられ、光学層6は、薄膜62gで覆われた非平坦部62vの凹部を埋めるように設けられた充填材64又は上層膜を含んでよい。例えばこのような構成によっても光反射を抑制することができる。

[0395] 4. 第4実施形態

第4実施形態では、反射膜の材料、組成を工夫することで光反射を抑制する。

[0396] 図183は、ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。光学層6は、反射抑制膜69を含む。この例では、反射抑制膜69は、ピラー62の上面62a上に設けられる。反射抑制膜69の上面を、上面69aと称し図示する。反射抑制膜69の下面を、下面69bと称し図示する。反射抑制膜69の下面69bは、ピラー62の上面62aと面接触する。なお、必須ではないが、一点鎖線で仮想的に示されるように、反射抑制膜69の上面69a上にさらにLTO膜が設けられてもよい。

[0397] 反射抑制膜69は、先に図4等を参照して説明した反射抑制膜63（材料が例えばSiN）の代わりに設けられてよい。反射抑制膜69の材料は、TiO₂を含む。

- [0398] TiO_2 がSiNの屈折率に近い屈折率を有するので、 TiO_2 を材料とする反射抑制膜69をピラー62の上面62a上に設けることでも光反射を抑制することができる。反射抑制膜69の厚さは、反射抑制膜63と同様の手法により設計されてよい。また、例えばピラー62の材料がアモルファスシリコンの場合は、加工選択比が得られ易く、反射抑制膜69をそのままハードマスクとして用いることもできる。
- [0399] さらに反射抑制膜63を追加の反射抑制膜として用いることで、屈折率を段階的に変化させ、光反射をさらに抑制することができる。図184～図186を参照して説明する。
- [0400] 図184～図186は、ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。光学層6は、反射抑制膜69だけで反射抑制膜63も含む。
- [0401] 図184に示される例では、反射抑制膜63は、反射抑制膜69の上面69a上に設けられる。反射抑制膜69は、ピラー62と反射抑制膜63との間に設けられる。反射抑制膜69の上面69aは、反射抑制膜63の下面63bと面接触する。反射抑制膜69の下面69bは、ピラー62の上面62aと面接触する。
- [0402] 図184に右側には、光学層6における反射抑制膜63の上面63aと同じ高さの位置からピラー62の下面62bと同じ高さの位置までの各位置の実効屈折率が模式的に示される。反射抑制膜69の屈折率は、反射抑制膜63の屈折率とピラー62の屈折率との間の値である。屈折率が2段階に分けて徐々に変化する。このような屈折率勾配を与えることで、光反射を抑制することができる。
- [0403] 図185に示される例では、反射抑制膜69は、ピラー62の下面62b上に設けられる。反射抑制膜63は、ピラー62の上面62a上に設けられる。反射抑制膜69の上面69aは、ピラー62の下面62bと面接触する。反射抑制膜69の下面69bは、反射抑制膜61の上面61aと面接触する。屈折率が2段階に分けて徐々に変化する。このような屈折率勾配を与えることで、光反射を抑制することができる。

- [0404] 図186に示される例では、ピラー62の上面62a及び下面62bの両方の面上に、反射抑制膜69が設けられる。ピラー62の上面62a上に設けられた反射抑制膜69の上面69aに、反射抑制膜63が設けられる。屈折率が4段階に分けて徐々に変化する。より滑らかな屈折率勾配を与えることで、光反射をさらに抑制することができる。
- [0405] 上記では、材料にTiO₂を含む反射抑制膜69を用いて光反射を抑制する手法について説明した。別の手法について、図187～図189を参照して説明する。
- [0406] 図187～図189は、ピラー62及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。反射抑制膜61及び反射抑制膜63の少なくとも一方の屈折率を連続的に変化させることで、光反射をさらに抑制することができる。
- [0407] 図187に示される例では、ピラー62の上面62a上に設けられた反射抑制膜63の屈折率が、厚さ方向（Z軸方向）に進むにつれて連続的に変化する。具体的に、反射抑制膜63の屈折率は、ピラー62に近づくにつれてピラー62の屈折率に近づくように勾配を有する。この例では、反射抑制膜63の屈折率は、ピラー62の屈折率よりも低い。反射抑制膜63の屈折率は、ピラー62に近づくにつれて高くなるように勾配を有する。ピラー62の上面62aにおける光反射はほとんど生じない。光反射をさらに抑制することができる。
- [0408] 反射抑制膜63の材料は、窒素を含んでよい。上述のような屈折率勾配を有する反射抑制膜63における窒素含有量は、ピラー62側（ピラー62との界面）から徐々に多くなる。そのような反射抑制膜63は、例えば、SiNxの成膜時のガス流量を徐々に変更することで得られる。SiNxを成膜する際に、ピラー62側から徐々に窒素含有量が多くなるように、すなわち、徐々に屈折率が下がるように反射抑制膜63を形成する。
- [0409] 反射抑制膜63の上面63aの反射を打ち消すために、反射抑制膜63の上方領域は空気領域であってよい。反射抑制膜63が充填材64で覆われてもよく、その場合は、例えばLTO層（ハードマスク）の屈折率を充填材6

4の屈折率よりも高くして、LTO層の厚さを調整してもよい。

[0410] 図188に示される例では、ピラー62の下面62b上に設けられた反射抑制膜61の屈折率が、厚さ方向に進むにつれて連続的に変化する。具体的に、反射抑制膜61の屈折率は、ピラー62に近づくにつれてピラー62の屈折率に近づくように勾配を有する。この例では、反射抑制膜61の屈折率は、ピラー62の屈折率よりも低い。反射抑制膜61の屈折率は、ピラー62に近づくにつれて低くなるように勾配を有する。ピラー62の下面62bにおける光反射はほとんど生じない。光反射をさらに抑制することができる。

[0411] 反射抑制膜61の材料は、窒素を含んでよい。上述のような屈折率勾配を有する反射抑制膜61における窒素含有量は、ピラー62側から徐々に多くなる。そのような反射抑制膜63は、例えば、SiNxの成膜時のガス流量を徐々に変更することで得られる。SiNxを成膜する際に、ピラー62側から徐々に窒素含有量が多くなるように、すなわち、徐々に屈折率が下がるように反射抑制膜61を形成する。

[0412] 図189に示される例では、ピラー62の上面62a上に設けられた反射抑制膜63の屈折率、及び、ピラー62の下面62b上に設けられた反射抑制膜61の屈折率の両方が、先に述べた勾配を有する。光反射をさらに抑制することができる。

[0413] 一実施形態において、反射抑制膜63の材料がSiNからSiOxに変更されてよい。反射抑制膜63の材料は、酸素を含み、反射抑制膜63における酸素含有量は、ピラー62側から徐々に多くなる。成膜時のガス流量を徐々に変更することで、屈折率に勾配を持たせることができる。ピラー62上にSiOxを成膜する際に、ピラー62側から徐々に酸素含有量が多くなるように、すなわち、徐々に屈折率が下がるように反射抑制膜63を形成する。このような構成によっても光反射を抑制することができる。

[0414] さらにメリットもある。例えば、反射抑制膜63の上面63aを覆うように充填材64（図4等）が設けられても、充填材64がSiO2と同様の

屈折率を有するので、反射抑制膜63の上面63aでの光反射はほとんど生じない。表面SiO_xを加工用ハードマスクとして用いることもできる。

[0415] 一実施形態において、反射抑制膜61の材料がSiNからSiO_xに変更されてよい。反射抑制膜61の材料は、酸素を含み、反射抑制膜61における酸素含有量は、ピラー62側から徐々に多くなる。成膜時のガス流量を徐々に変更することで、屈折率に勾配を持たせることができる。ピラー62下にSiO_xを成膜する際に、ピラー62側から徐々に酸素含有量が多くなるように、すなわち、徐々に屈折率が下がるように反射抑制膜61を形成する。このような構成によっても光反射を抑制することができる。

[0416] さらにメリットもある。例えば、反射抑制膜61の上面61aを覆うように充填材64（図4等）が設けられても、充填材64がSiO₂と同様の屈折率を有するので、反射抑制膜61の上面61aでの光反射はほとんど生じない。表面SiO_xを加工用ハードマスクとして用いることもできる。

[0417] 当然ながら、反射抑制膜63及び反射抑制膜61の両方の材料が、上述のようにSiNからSiO_xに変更されてもよい。光反射をさらに抑制することができる。

[0418] 一実施形態において、反射抑制膜63の材料がSiNからSiNyOz + SiNxに変更されてよい。反射抑制膜63の材料は、窒素及び酸素を含み、反射抑制膜63における窒素含有量及び酸素含有量は、ピラー62側から徐々に多くなる。成膜時に酸素及び窒素の量を徐々に変更することで、屈折率に勾配を持たせることができる。ピラー62上にSiNxを成膜する際に、ピラー62側から徐々に窒素含有量が多くなるように、すなわち、徐々に屈折率が下がるように形成する。さらに、SiNx上にSiNyOzを成膜する際に、SiNx界面から徐々に酸素含有量が多くなるように、すなわち徐々に屈折率が下がるように形成する。このような構成によっても光反射を抑制することができる。

[0419] 一実施形態において、反射抑制膜61の材料がSiNからSiNyOz + SiNxに変更されてよい。反射抑制膜61の材料は、窒素及び酸素を含み

、反射抑制膜61における窒素含有量及び酸素含有量は、ピラー62側から徐々に多くなる。成膜時に酸素及び窒素の量を徐々に変更することで、屈折率に勾配を持たせることができる。ピラー62下にSiNxを成膜する際に、ピラー62側から徐々に窒素含有量が多くなるように、すなわち徐々に屈折率が下がるように形成する。さらに、ピラー62下にSiNyOzを成膜する際に、SiNx界面から徐々に酸素含有量が多くなるように、すなわち徐々に屈折率が下がるように形成する。このような構成によっても光反射を抑制することができる。

[0420] 当然ながら、反射抑制膜63及び反射抑制膜61の両方の材料が、上述のようにSiNからSiNyOz+SiNxに変更されてもよい。

[0421] <小結>

以上で説明した第4実施形態に係る技術は、例えば次のように特定される。開示される技術の1つは、光検出器100である。図1～図5及び図183～図186等を参照して説明したように、光検出器100は、光電変換部21と、光電変換部21を覆うように設けられた光学層6と、を備える。光学層6は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部21に導くように、層の面方向(XY平面方向)に並んで配置された複数のピラー62と、ピラー62の上面62a及び下面62bの少なくとも一方の面上に設けられた反射抑制膜69と、を含む。反射抑制膜69の材料は、TiO2を含む。これにより、材料がSiNの場合と同様に、光反射を抑制することができる。

[0422] 図186等を参照して説明したように、反射抑制膜69は、ピラー62の上面62a及び下面62bの両方の面上に設けられてよい。これにより、光反射をさらに抑制することができる。

[0423] 図184及び図186等を参照して説明したように、光学層6は、反射抑制膜69の上面69a上に設けられた反射抑制膜63(追加の反射抑制膜)を含み、反射抑制膜63の材料は、SiNを含んでよい。これにより、屈折率を段階的に変化させ、光反射をさらに抑制することができる。

[0424] 図1～5及び図187～図189等を参照して説明した光検出器100も、開示される技術の1つである。光検出器100は、光電変換部21と、光電変換部21を覆うように設けられた光学層6と、を備える。光学層6は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部21に導くように、層の面方向（XY平面方向）に並んで配置された複数のピラー62と、ピラー62の上面62a及び下面62bの少なくとも一方の面上に設けられた反射抑制膜（反射抑制膜63、反射抑制膜61）と、を含む。反射抑制膜の屈折率は、ピラー62に近づくにつれてピラー62の屈折率に近づくように勾配を有する。例えば、反射抑制膜の屈折率は、ピラー62の屈折率よりも低く、反射抑制膜の屈折率は、ピラー62に近づくにつれて高くなるように勾配を有してよい。言い換えると、反射抑制膜の屈折率は、断面視においてピラー62側で高くなっている。このような構成によっても光反射を抑制することができる。

[0425] 図187～図189等を参照して説明したように、反射抑制膜（反射抑制膜63、反射抑制膜61）の材料は、窒素及び酸素の少なくとも一方を含み、反射抑制膜におけるそれらの含有量は、ピラー62側から徐々に多くなってよい。例えばこのようにして、屈折率が勾配を有する反射抑制膜を得ることができる。

[0426] 5. 第5実施形態

第5実施形態では、ピラー62の組成を工夫することで光反射を抑制する。

[0427] 図190は、光学層6の概略構成の例を示す図である。ピラー62は、非変質層623と、変質層624とを含む。ピラー高さ方向（Z軸方向）において、非変質層623及び変質層624は互いに接続している。

[0428] 非変質層623は、これまで説明したピラー62の材料（アモルファスシリコン等）で構成される部分である。非変質層623の屈折率は、これまで説明したピラー62の屈折率と同じである。この例では、非変質層623は、ピラー62の下面62bを含む部分である。

- [0429] 変質層624は、ピラー62の他の部分すなわち非変質層623の屈折率とは異なる屈折率を有する。この例では、変質層624は、ピラー62の上面62aを含む部分であり、非変質層623と変質層624との間に位置している。
- [0430] 変質層624は、非変質層623の屈折率とは異なる屈折率を有する。変質層624の屈折率は、非変質層623の屈折率と、充填材64の屈折率との間の値であってよい。ピラー高さ方向（Z軸方向）において屈折率が徐々に（この例では段階的に）変化するので、光反射が抑制される。
- [0431] 変質層624は、 $\lambda/4n$ （ n はその媒質の屈折率）の整数倍の厚さを有してよい。そこでの光反射が最小化され得る。実際には、多層膜の干渉効果、斜入射特性を考慮して、光学シミュレーション或いは実測で最適化することが望ましい。
- [0432] 非変質層623及び変質層624は、ピラー62の材料であるアモルファスシリコンの一部に、ホウ素等をイオン注入（イオンインプランテーション）することで得られる。ピラー62のうち、イオンが注入されている部分が変質層624になり、イオンが注入されていない部分が非変質層623になる。
- [0433] ドーズ（Dose）量を変えることで、屈折率の微調整が可能である。例えば、P型シリコンの屈折率の濃度依存性が知られている。非特許文献1及び非特許文献2で示されるように知られている。図191は、非特許文献1を引用する図である。図192は、非特許文献2を引用する図である。
- [0434] 一実施形態において、光学層6は、複数の非変質層623を含んでもよい。図193を参照して説明する。
- [0435] 図193は、光学層6の概略構成の例を示す図である。ピラー62は、積層された複数の変質層624を含む。複数の変質層624として、図193には、3つの変質層624が例示される。各変質層624を区別できるように、変質層624-1、変質層624-2及び変質層624-3と称し図示する。非変質層623上に、変質層624-1、変質層624-2及び変質

層 6 2 4 - 3 がこの順に積層される。

[0436] 複数の変質層 6 2 4 の各々は、ピラー高さ方向（Z軸方向）において変質層 6 2 4 の屈折率が徐々に変化するように、互いに異なる屈折率を有する。非変質層 6 2 3 の近くに位置する変質層 6 2 4 ほど、非変質層 6 2 3 の屈折率に近い屈折率を有する。図 1 9 3 に示される例では、変質層 6 2 4 - 1 ~ 変質層 6 2 4 - 3 のうちの変質層 6 2 4 - 1 の屈折率が、非変質層 6 2 3 の屈折率に最も近い。変質層 6 2 4 - 3 の屈折率は、充填材 6 4 の屈折率に最も近い。変質層 6 2 4 - 2 の屈折率は、変質層 6 2 4 - 1 の屈折率と変質層 6 2 4 - 3 の屈折率との間の値である。

[0437] 上述のような複数の変質層 6 2 4 が設けられることで、ピラー高さ方向（Z軸方向）において、屈折率をより滑らかに変化させることができる。光反射をさらに抑制することができる。

[0438] 一実施形態において、ピラー 6 2 は、その上部だけでなく側部にも変質層 6 2 4 を含んでよい。変質層 6 2 4 は、含むピラー 6 2 の側面 6 2 c も含むように形成されてよい。図 1 9 4 を参照して説明する。

[0439] 図 1 9 4 は、ピラー 6 2 及びその周辺構造の概略構成の例を示す図である。変質層 6 2 4 は、ピラー 6 2 の側部にも設けられる。変質層 6 2 4 は、ピラー 6 2 の上面 6 2 a 及び側面 6 2 c を含む部分である。これにより、光反射の抑制効果をさらに高めることができる。

[0440] <製造方法>

図 1 9 5 ~ 図 2 1 1 は、製造方法の例を示す図である。ピラー材料 6 2 m は、アモルファスシリコンであってもよいし、 TiO_x であってもよい。

[0441] 図 1 9 5 ~ 図 1 9 8 には、単一の変質層 6 2 4 を有するピラー 6 2 を得るための製造方法の例が示される。

[0442] 図 1 9 5 に示されるように、反射抑制膜 6 1 上に、ピラー材料 6 2 m を成膜する。

[0443] 図 1 9 6 に示されるように、ピラー材料 6 2 m の上面からイオン注入する。ピラー材料 6 2 m の上部が変質する。

- [0444] 図197に示されるように、リソグラフィ、ドライエッチング及び洗浄を行うことで、非変質層623及び変質層624を含むピラー62が得られる。
- [0445] 図198に示されるように、ピラー62どうし間を埋めるとともに反射抑制膜61及びピラー62を覆うように、充填材64を設ける。
- [0446] 図199～図204には、複数の変質層624を有するピラー62を得るための製造方法の例が示される。前提として、先に説明した図195のプロセスが完了しているものとする。
- [0447] 図199に示されるように、ピラー材料62mの上面よりも深い位置にイオン注入する。
- [0448] 図200～図202に示されるように、Dose量及び注入深さを変えながら、ピラー材料62mの上面に至るまで、複数回のイオン注入を行う。
- [0449] 図203に示されるように、リソグラフィ、ドライエッチング及び洗浄を行うことで、非変質層623及び複数の変質層624を含むピラー62が得られる。
- [0450] 図204に示されるように、ピラー62どうし間を埋めるとともに反射抑制膜61及びピラー62を覆うように、充填材64を設ける。
- [0451] 図205～図207には、上部及び側部に変質層624を含むピラー62を得るための製造方法の例が示される。前提として、先に説明した図195のプロセスが完了しているものとする。
- [0452] 図205に示されるように、リソグラフィ、ドライエッチング及び洗浄を行うことで、ピラー62の形状を有するようにピラー材料62mを加工する。
- [0453] 図206に示されるように、斜めイオン注入により、ピラー材料62mの上部及び側部を変質させる。非変質層623及び変質層624を含むピラー62が得られる。なお、斜めイオン注入の代わりに、プラズマドーピングが用いられてもよい。
- [0454] 図207に示されるように、ピラー62どうし間を埋めるとともに反射抑

制膜 6 1 及びピラー 6 2 を覆うように、充填材 6 4 を設ける。

[0455] 図 2 0 8 ~ 図 2 1 1 には、固相拡散を用いて、上部及び側部に変質層 6 2 4 を含むピラー 6 2 を得るための製造方法の例が示される。前提として、先に説明した図 2 0 5 のプロセスが完了しているものとする。

[0456] 図 2 0 8 に示されるように、ピラー材料 6 2 m を覆うように、ALD (Atomic Layer Deposition) を用いて、ピラー材料 6 2 m を覆う膜を生成する。生成された膜を、ALD 膜 A と称し図示する。

[0457] 図 2 0 9 に示されるように、Laser ANL で拡散する。ピラー材料 6 2 m における ALD 膜 A 近くの部分すなわち上部及び側部が変質し、変質層 6 2 4 になる。非変質層 6 2 3 及び変質層 6 2 4 を含むピラー 6 2 が得られる。

[0458] 図 2 1 0 に示されるように、ALD 膜 A を剥離する。

[0459] 図 2 1 1 に示されるように、ピラー 6 2 どうし間を埋めるとともに反射抑制膜 6 1 及びピラー 6 2 を覆うように、充填材 6 4 を設ける。

[0460] <小結>

以上で説明した第 5 実施形態に係る技術は、例えば次のように特定される。開示される技術の 1 つは、光検出器 1 0 0 である。図 1 ~ 図 5、図 1 9 0、図 1 9 3 及び図 1 9 4 等を参照して説明したように、光検出器 1 0 0 は、光電変換部 2 1 と、光電変換部 2 1 を覆うように設けられた光学層 6 と、を備える。光学層 6 は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部 2 1 に導くように、層の面方向 (X Y 平面方向) に並んで配置された複数のピラー 6 2 を含む。ピラー 6 2 は、ピラー 6 2 の下面 6 2 b を含む非変質層 6 2 3 と、ピラーの 6 2 の上面 6 2 a を含み、非変質層 6 2 3 の屈折率とは異なる屈折率を有する変質層 6 2 4 と、を含む。これにより、ピラー高さ方向に屈折率を徐々に変化させて、光反射を抑制することができる。

[0461] 図 1 9 0 等を参照して説明したように、変質層 6 2 4 は、ピラー 6 2 のうち、イオンが注入されている部分であり、非変質層 6 2 3 は、ピラー 6 2 のうち、イオンが注入されていない部分であってよい。例えばこのようにして

、互いに異なる屈折率を有する非変質層 6 2 3 及び変質層 6 2 4 を得ることができる。

[0462] 図 1 9 3 等を参照して説明したように、ピラー 6 2 は、各々が異なる屈折率を有し、積層された複数の変質層 6 2 4 を含んでよい。複数の変質層 6 2 4 のうち、非変質層 6 2 3 の近くに位置する変質層 6 2 4 ほど、非変質層 6 2 3 の屈折率に近い屈折率を有してよい。これにより、屈折率をより滑らかに変化させ、光反射をさらに抑制することができる。

[0463] 図 1 9 4 等を参照して説明したように、変質層 6 2 4 は、ピラー 6 2 の側面 6 2 c も含んでよい。これにより、光反射をさらに抑制することができる。

[0464] 6. 第 6 実施形態

第 6 実施形態では、複数の光学層 6 を用いることで光反射を抑制する。まず、課題について、図 2 1 2 を参照して説明する。

[0465] 図 2 1 2 は、比較例を示す図である。ピラー 6 2 の屈折率を、屈折率 n_1 と称する。反射抑制膜 6 3 の屈折率を、屈折率 n_2 と称する。充填材 6 4 の屈折率を、屈折率 n_3 と称する。充填材 6 4 の上方領域の屈折率を、屈折率 n_0 とする。反射抑制膜 6 3 の屈折率 n_2 は、ピラー 6 2 の屈折率 n_1 と充填材 6 4 の屈折率 n_3 との間の値（例えば平均値 = $(n_3 + n_1) / 2$ ）である。反射抑制膜 6 3 の厚さは、例えば $\lambda / 4$ である。ピラー 6 2 ごとに幅（例えば径）が異なるので、同じ反射抑制膜 6 3 を設けても反射抑制の効果が低いという課題がある。本実施形態では、複数の光学層 6 を用いることで課題に対処する。

[0466] 図 2 1 3 及び図 2 1 4 は、光学層 6 の概略構成の例を示す図である。複数の光学層 6、この例では 2 つの光学層 6 が積層される（光学層 6 の積層は 2 つには限定されない）。第 1 の光学層 6（1 段目の光学層 6）を、光学層 6 - 1 と称し図示する。第 2 の光学層 6（2 段目の光学層 6）を、光学層 6 - 2 と称し図示する。これらをとくに区別しない場合は、単に光学層 6 と呼ぶ。

- [0467] 図214に示されるように、光学層6-1のピラー62と光学層6-2のピラー62との間にさらに反射抑制膜61が設けられてもよい。この反射抑制膜61は、図214に示されるように光学層6-2の構成要素であってよい。なお、このような反射抑制膜61が無い上述の図213の構成の方が、光学層6-2の平均屈折率（後述の平均屈折率平均屈折率 n_{2ave} ）の計算において反射抑制膜61を考慮しなくてよいので、反射抑制設計を容易に行える可能性が高まる。
- [0468] 光学層6-1は、光電変換部21を覆うように設けられる。光学層6-1は、これまで説明した光制御機能を有するように構成される。光学層6-2は、光学層6-2を覆うように設けられる。光学層6-2は、反射抑制層として機能するように構成される。
- [0469] 光学層6-1の平均屈折率（実効屈折率ともいえる）を、平均屈折率 n_{1ave} と称する。光学層6-2の平均屈折率を、平均屈折率 n_{2ave} と称する。これらをとくに区別しない場合は、単に平均屈折率と呼ぶ。なお、理解を容易にするために、ここでは、平均屈折率は、ピラー62及び充填材64の部分の平均屈折率であるものとする。
- [0470] 光学層6-2の平均屈折率 n_{2ave} は、光学層6-1の平均屈折率 n_{1ave} とは異なる値、より具体的には、屈折率 n_0 と、光学層6-1の平均屈折率 n_{1ave} との間の値である。さらにいうと、この例では、平均屈折率 n_{2ave} は、屈折率 n_0 よりも高く、平均屈折率 n_{1ave} よりも低い（ $n_0 < n_{2ave} < n_{1ave}$ ）。平均屈折率 n_{2ave} は、屈折率 n_0 と平均屈折率 n_{1ave} との平均値であってもよい（ $n_{2ave} = (n_0 + n_{1ave}) / 2$ ）。このような光学層6-2を光学層6-1上に設けることで、光学層6のZ軸方向における各位置の平均屈折率を段階的に変化させ、光反射を抑制することができる。なお、光学層6-2の厚さは、検出対象の光の波長よりも小さくて（例えば $\lambda / 4$ であって）よい。
- [0471] 平均屈折率は、例えば、対象範囲内の各要素の屈折率を各要素の体積で重み付け平均することによって算出される。具体的に、光学層6におけるピラ

— 6 2（屈折率 n_1 ）の体積を体積 V_1 とし、充填材 6 4（屈折率 n_3 ）の体積を体積 V_3 とすると、光学層 6 の平均屈折率は、以下の式（4）のように算出される。

[数4]

$$\text{平均屈折率} = \frac{V_1 \times n_1 + V_3 \times n_3}{V_1 + V_3} \quad \dots(4)$$

[0472] 光学層 6 中のピラー 6 2 の体積 V_1 を調整することで、所望の平均屈折率を得ることができる。ピラー 6 2 の体積 V_1 は、ピラー 6 2 の幅、高さ等を変えることで調整できる。光学層 6 における平均屈折率の算出対象の範囲は、さまざまに定められてよい。いくつかの例について、図 2 1 2 を参照して説明する。

[0473] 図 2 1 5 は、平均屈折率の算出の例を示す図である。図 2 1 5 の（A）に示される例では、ピラーピッチごとに、平均屈折率が算出される。ピラーピッチと同じ長さの範囲内の各要素の屈折率が、各要素の体積で重み付け平均される。例えば上記の式（4）を用いて、光学層 6-1 の平均屈折率 $n_{1 \text{ ave}}$ 及び光学層 6-2 の平均屈折率 $n_{2 \text{ ave}}$ が算出される。図 2 1 5 の（B）に示される例では、波長ピッチごとに、平均屈折率が算出される。検出対象の光の媒質中の波長と同じ長さの範囲内の各要素の屈折率が、各要素の体積で重み付け平均される。図 2 1 5 の（C）に示される例では、画素ピッチごとに、平均屈折率が算出される。画素ピッチと同じ長さの範囲内の各要素の屈折率が、各要素の体積で重み付け平均される。

[0474] 一実施形態において、光学層 6-2 のピラー 6 2 は、光学層 6-1 の対応するピラー 6 2 の幅（径、断面積等でもよい）とは異なる幅、例えば光学層 6-1 の対応するピラー 6 2 の幅よりも小さい幅を有してよい。例えばこのようにして、平均屈折率 $n_{1 \text{ ave}}$ とは異なる平均屈折率 $n_{2 \text{ ave}}$ を得ることができる。平均屈折率 $n_{2 \text{ ave}}$ を平均屈折率 $n_{1 \text{ ave}}$ よりも低くすることもできる（ $n_{2 \text{ ave}} < n_{1 \text{ ave}}$ ）。なお、対応する光学層 6-1 のピラー 6 2 とは、例えばピラー高さ方向（Z 軸方向）にみたときに、その

光学層 6-2 のピラー 6 2 と少なくとも一部が重なるように位置する光学層 6-1 のピラー 6 2 であってよい。

[0475] 複数の光学層 6 のいくつかの変形例について、図 2 1 6 ~ 図 2 1 9 を参照して説明する。

[0476] 図 2 1 6 ~ 図 2 2 0 は、変形例を示す図である。図 2 1 6 に示される例では、光学層 6-2 のピラー 6 2 の上面 6 2 a 上に、反射抑制膜 6 3 (屈折率 n_2) が設けられる。これにより、光反射の抑制効果をさらに高めることができる。

[0477] 図 2 1 7 に示される例では、光学層 6-2 のピラー 6 2 の材料は、光学層 6-1 のピラー 6 2 の材料とは異なっている。光学層 6-2 のピラー 6 2 の屈折率は、屈折率 n_1 と屈折率 n_3 との間の値であってよく、この例では屈折率 n_2 である。屈折率の異なるピラー材料を用いることで、例えば光学層 6-1 の平均屈折率 $n_{1\text{ave}}$ 及び光学層 6-2 の平均屈折率 $n_{2\text{ave}}$ の設計の幅を広げることができる。

[0478] 図 2 1 8 に示される例では、光学層 6-2 の反射抑制膜 6 1 は、上方 (Z 軸正方向) に向かって延在する延在部 6 1 p を有する。延在部 6 1 p が、これまで説明したピラー 6 2 として機能する。この例では、充填材 6 4 は設けられない。隣り合う延在部 6 1 p どうしの間は、空隙であってよい。

[0479] 図 2 1 9 に示される例では、光学層 6-2 の複数のピラー 6 2 は、互いに異なる材料を福で構成された 2 種類のピラー 6 2 を含む。一方の材料を含んで構成されるピラー 6 2 の屈折率は、これまでも述べた屈折率 n_1 である。他方の材料を含んで構成されるピラー 6 2 の屈折率を、屈折率 n_4 と称しする。屈折率 n_4 は、屈折率 n_3 より低くてよい ($n_4 < n_3$)。2 種類のピラー材料を用いることで、光学層 6-2 の平均屈折率 $n_{2\text{ave}}$ の設計の幅を広げることができる。

[0480] 図 2 2 0 に示される例では、光学層 6-2 において、一部の隣り合うピラー 6 2 どうしの間は、充填材 6 4 が無い領域 (屈折率 n_0) が設けられる。この部分は、例えば空隙部である。屈折率 n_0 は屈折率 n_3 よりも低い ($n_0 < n_3$)。

$0 < n_3$)。屈折率 n_0 の領域をも利用することで、光学層 6-2 の平均屈折率 $n_{2\text{ave}}$ の設計の幅をさらに広げることができる。

[0481] <小結>

以上で説明した第 6 実施形態に係る技術は、例えば次のように特定される。開示される技術の 1 つは、光検出器 100 である。図 1～図 5 及び図 213～図 220 等を参照して説明したように、光検出器 100 は、光電変換部 21 と、光電変換部 21 を覆うように設けられた光学層 6-1 (第 1 の光学層) と、光学層 6-1 を覆うように設けられた光学層 6-2 (第 2 の光学層) と、を備える。光学層 6-1 は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部 21 に導くように、層の面方向 (XY 平面方向) に並んで配置された複数のピラー 62 を含む。光学層 6-2 は、光学層 6-1 の平均屈折率 $n_{1\text{ave}}$ とは異なる平均屈折率 $n_{2\text{ave}}$ を有するように、層の面方向に並んで配置された複数のピラー 62 を含む。これにより、光学層 6-2 を、光学層 6-1 を覆う反射抑制層として機能させ、光反射を抑制することができる。

[0482] 図 213 及び図 214 等を参照して説明したように、光学層 6-2 の平均屈折率 $n_{2\text{ave}}$ は、光学層 6-2 の上方領域の屈折率 n_0 と、光学層 6-1 の平均屈折率 $n_{1\text{ave}}$ との間の値であってよい。例えば、光学層 6-2 の平均屈折率 $n_{2\text{ave}}$ は、光学層 6-2 の上方領域の屈折率 n_0 と、光学層 6-1 の平均屈折率 $n_{1\text{ave}}$ との平均値であってよい。光学層 6-2 の平均屈折率 $n_{2\text{ave}}$ は、光学層 6-1 の平均屈折率 $n_{1\text{ave}}$ よりも低くてよい。例えばこのような構成により、光反射を抑制することができる。

[0483] 図 213 及び図 214 等を参照して説明したように、光学層 6-2 のピラー 62 は、光学層 6-1 の対応するピラー 62 の幅よりも小さい幅を有してよい。これにより、例えば、光学層 6-2 の平均屈折率 $n_{2\text{ave}}$ を、光学層 6-1 の平均屈折率 $n_{1\text{ave}}$ よりも低くすることができる。

[0484] 図 216 等を参照して説明したように、光学層 6-2 は、ピラー 62 の上面 62a 上に設けられた反射抑制膜 63 を含んでよい。これにより、光反射

をさらに抑止することができる。

[0485] 図217等を参照して説明したように、光学層6-2のピラー材料は、光学層6-1のピラー材料とは異なっていてよい。これにより、例えば、光学層6-1の平均屈折率 $n_{1\text{ave}}$ 及び光学層6-2の平均屈折率 $n_{2\text{ave}}$ の設計の幅を広げることができる。

[0486] 図219等を参照して説明したように、光学層6-2の複数のピラー62は、互いに異なる材料を含んで構成された2種類のピラー62（屈折率 n_1 のピラー62、屈折率 n_4 のピラー62）を含んでよい。これにより、例えば、光学層6-2の平均屈折率 $n_{2\text{ave}}$ の設計の幅を広げることができる。

[0487] 7. 第7実施形態

第7実施形態では、エッチングストップパ層の形状を工夫することで光反射を抑制する。

[0488] 図221は、光学層6の概略構成の例を示す図である。光学層6は、2つの光学層6と、2つのエッチングストップパ層67とを含む。

[0489] 2つの光学層6のうちの第1の光学層6を、光学層6-1と称し図示する。第2の光学層6を、光学層6-2と称し図示する。光学層6-1及び光学層6-2のそれぞれが、これまで説明したように、複数のピラー62と、複数のピラー62の間を埋めるように設けられた充填材64とを含む。ピラー62の上面62a及び下面62b、また、充填材64の上面64aは、これまでと同様の符号を付して図示する。さらに、充填材64の下面を、下面64bと称し図示する。

[0490] 2つのエッチングストップパ層67のうちの第1のエッチングストップパ層67を、エッチングストップパ層67-1と称し図示する。第2のエッチングストップパ層67を、エッチングストップパ層67-2と称し図示する。

[0491] なお、光学層6-1及び光学層6-2をとくに区別しない場合は、単に光学層6と呼ぶ。同様に、エッチングストップパ層67-1及びエッチングストップパ層67-2をとくに区別しない場合は、単にエッチングストップパ層67

と呼ぶ。エッチングストップパ層 67 の上面（Z 軸正方向側の面）を、上面 67 a と称し図示する。エッチングストップパ層 67 の下面（Z 軸負方向側の面）を、下面 67 b と称し図示する。

[0492] 光学層 6-2 は、光学層 6-1 と半導体基板 3 の光電変換部 21（図 1）との間に位置する。エッチングストップパ層 67-1 は、光学層 6-1 と光学層 6-2 との間に位置する。エッチングストップパ層 67-2 は、光学層 6-2 を挟んでエッチングストップパ層 67-1 とは反対側に位置する。Z 軸正方向に、絶縁層 5、エッチングストップパ層 67-2、光学層 6-2、エッチングストップパ層 67-1 及び光学層 6-1 がこの順に積層される。

[0493] エッチングストップパ層 67 は、ピラー 62 の上面 62 a 及び下面 62 b の少なくとも一方の面上に設けられる。エッチングストップパ層 67 は、充填材 64 の上面 64 a 及び下面 64 b の少なくとも一方の面上にも設けられる。

[0494] 具体的に、図 221 に示される例では、エッチングストップパ層 67-1 は、光学層 6-1 のピラー 62 の下面 62 b 上及び充填材 64 の下面 64 b 上に設けられ、また、光学層 6-2 のピラー 62 の上面 62 a 上及び充填材 64 の上面 64 a 上に設けられる。エッチングストップパ層 67-2 は、光学層 6-2 のピラー 62 の下面 62 b 上及び充填材 64 の下面 64 b 上に設けられる。

[0495] これまでも説明したように、ピラー 62 は、充填材 64 の屈折率よりも高い屈折率を有する。ピラー 62 の屈折率を、高屈折率とも称する。例えばピラー 62 の材料が TiO の場合の屈折率は、2.47 程度であり得る。充填材 64 の屈折率を、低屈折率とも称する。例えば充填材 64 の材料が TEOS の場合の屈折率は、1.47 程度であり得る。エッチングストップパ層 67 は、ピラー 62 の屈折率とは異なる屈折率を有し、また、充填材 64 の屈折率とも異なる屈折率を有する。

[0496] 互いに異なる屈折率を有するエッチングストップパ層 67 とピラー 62 との接触面、また、エッチングストップパ層 67 と充填材 64 との接触面が、屈折率境界面になる。この界面での光反射を抑制するために、次に説明するよう

に、エッチングストップパ層67の形状が工夫される。図222を参照して説明する。

[0497] 図222は、エッチングストップパ層67の概略構成の例を示す図である。エッチングストップパ層67の上面67a及び下面67bの少なくとも一方の面は、凹凸形状を有する。

[0498] 図222の(A)に示される例では、エッチングストップパ層67の上面67aが、凹凸形状を有する。エッチングストップパ層67は、基部670と、複数の突出部671とを含む。基部670は、一定の厚さを有してXY平面方向に延在する。突出部671は、基部670から上方(Z軸正方向)に向かって突出する。基部670及び複数の突出部671によって、凹凸形状が規定される。

[0499] Z軸方向における突出部671の長さを、高さ671hと称する。XY平面方向における突出部671の長さを、幅671wと称する。隣り合う突出部671どうし間の距離を、ピッチ671pと称する。図222の(A)に示される例では、複数の突出部671が等間隔で配置され、ピッチ671pは一定である(均一pitch)。

[0500] 高さ671hやピッチ671pは、例えば光の回折が生じないような小さな値に設定されてよい。数値の一例は、約40nmである。

[0501] 図222の(B)に示される例では、エッチングストップパ層67の下面67bが、凹凸形状を有する。複数の突出部671は、基部670から下方(Z軸正方向)に向かって突出する。

[0502] エッチングストップパ層67の上面67a及び下面67bの両方の面が凹凸形状を有する場合は、上記の図222の(A)及び(B)の構成が組み合わされる。すなわち、エッチングストップパ層67は、基部670から上方に突出する複数の突出部671と、基部670から下方に突出する複数の突出部671とを含む。

[0503] ピッチ671pは均一でなくてもよい。一例について、図223を参照して説明する。

- [0504] 図223は、エッチングストップ層67の概略構成の例を示す図である。例えば図223の(A)に示されるように、エッチングストップ層67の上面67aにおいて、凹凸形状を規定する複数の突出部671のピッチ671pがランダムに設計されてよい。図223の(B)に示されるように、エッチングストップ層67の下面67bにおいて、凹凸形状を規定する複数の突出部671のピッチ671pがランダムに設計されてよい。当然ながら、図223の(A)及び(B)を組み合わせた構成も可能である。
- [0505] 例えば上記のような凹凸形状を、エッチングストップ層67の上面67a及び下面67bの少なくとも一方が有する。以下では、エッチングストップ層67-1及びエッチングストップ層67-2のうちのエッチングストップ層67-1が、凹凸形状を有するものとする。とくに光学層6-1及び光学層6-2のような2層構造を採用する場合に、それらの間に位置するエッチングストップ層67-1と、光学層6-1及び光学層6-2それぞれとの界面における光反射が問題となり得るが、その光反射を抑制することができる。
- [0506] 具体的に、凹凸形状を有するエッチングストップ層67-1に、ピラー62及び充填材64(図221)が面接触する。図224及び図225を参照して説明する。
- [0507] 図224及び図225は、エッチングストップ層67-1とピラー62及び充填材64との界面及びその周辺の概略構成の例を示す図である。
- [0508] 図224に示される例では、エッチングストップ層67-1の上面67aが、凹凸形状を有する。すなわち、エッチングストップ層67-1は、基部670から上方に突出する複数の突出部671を含む。
- [0509] 図224の(A)に示されるように、光学層6-1のピラー62は、エッチングストップ層67-1の複数の突出部671の間を埋めるように(凹部を埋めるように)、エッチングストップ層67-1の上面67a上に設けられる。図224の(B)に示されるように、光学層6-1の充填材64は、エッチングストップ層67-1の複数の突出部671の間を埋めるように、

エッチングストップパ層67-1の上面67a上に設けられる。

[0510] 図225に示される例では、エッチングストップパ層67-1の下面67bが、凹凸形状を有する。すなわち、エッチングストップパ層67-1は、基部670から下方に突出する複数の突出部671を含む。

[0511] 図225の(A)に示されるように、光学層6-2のピラー62は、エッチングストップパ層67-1の複数の突出部671の間を埋めるように、エッチングストップパ層67-1の下面67b上に設けられる。図225の(B)に示されるように、光学層6-2の充填材64は、エッチングストップパ層67-1の複数の突出部671の間を埋めるように、エッチングストップパ層67-1の下面67b上に設けられる。

[0512] 一実施形態において、エッチングストップパ層67とピラー62との境界面における凹凸形状と、エッチングストップパ層67と充填材64との界面における凹凸形状とが、互いに相違してよい。凹凸形状の相違の例は、それぞれの凹凸形状における複数の突出部671の高さ671hの相違、幅671wの相違、ピッチ671pの相違等である。例えば、エッチングストップパ層67とピラー62（高屈折率）との間の界面での光反射を抑制するための凹凸形状と、エッチングストップパ層67と充填材64（低屈折率）との間の界面での光反射を抑制するための凹凸形状とを、個別に最適化して設計することができる。

[0513] これまで説明したような凹凸形状をエッチングストップパ層67-1が有することで、ピラー62との界面部分、また、充填材64との界面部分における実行屈折率を徐々に変化させ、光反射を抑制することができる。すなわち、エッチングストップパ層67-1とピラー62との界面部分の実効屈折率は、上下方向（Z軸方向）において、エッチングストップパ層67-1の屈折率と、ピラー62の屈折率との間で徐々に変化する。これにより、エッチングストップパ層67-1とピラー62との界面における光反射を抑制することができる。また、エッチングストップパ層67-1と充填材64との界面部分の実効屈折率は、上下方向において、エッチングストップパ層67-1の屈折率

と、充填材64の屈折率との間で徐々に変化する。これにより、エッチングストップ層67-1と充填材64との界面における光反射を抑制することができる。

[0514] エッチングストップ層67-1の上面67a及び下面67bと、それらが有する形状とのさまざまな組み合わせが可能である。図226を参照して説明する。

[0515] 図226は、エッチングストップ層67-1の上面67a及び下面67bの形状の組合せの例を示す図である。エッチングストップ層67-1の上面67a及び下面67bの各々の形状は、均一Pitchの凹凸形状、ランダムPitchの凹凸形状、及び、平坦形状のいずれかであってよい。均一Pitchの凹凸形状は、一定のピッチ671p(図222)を有する凹凸形状である。ランダムPitchの凹凸形状は、ランダムなピッチ671p(図223)を有する凹凸形状である。平坦形状は、例えば突出部671が無い基部670だけの形状である。

[0516] 上述の3種類の形状が、エッチングストップ層67-1の上面67a及び下面67bの少なくとも一方が凹凸形状を有する範囲内で、任意に組み合わせられる。例えば図226に示されるような組合せ1~組合せ8の8通りの組み合わせが可能である。

[0517] 上記の光学層6によれば、エッチングストップ層67とピラー62及び充填材64それぞれとの界面及びその近傍での光反射を抑制することができる。低反射構造が得られる分、 Q_e (光検出効率)を改善できる可能性が高まる。

[0518] また、エッチングストップ層67と、ピラー62及び充填材64それぞれとが、凹凸形状によって勘合するように設けられる。それぞれの密着性が向上するので、例えば製造プロセス中や信頼性試験等における膜はがれに対して強くなる等、信頼性を向上させることができる。

[0519] <凹凸形状の範囲の例>

エッチングストップ層67の上面67a及び下面67bの少なくとも一方

の面は、全体にわたって凹凸形状を有してもよいし、一部だけに凹凸形状を有してもよい。図227も参照して説明する。

[0520] 図227は、光学層6の概略構成の例を示す図である。絶縁層5の下方に位置する固定電荷膜4及び半導体基板3も図示される。絶縁層5に含まれるカラーフィルタ13として、カラーフィルタ13R、カラーフィルタ13G及びカラーフィルタ13Bも図示される。カラーフィルタ13Rは、赤色光を通過させる。カラーフィルタ13Gは、緑色光を通過させる。カラーフィルタ13Bは、青色光を通過させる。また、半導体基板3に含まれる光電変換部21も図示される。各光電変換部21は、対応する色のカラーフィルタ13によって覆われている。

[0521] 光学層6は、OPB（オプティカルブラック）領域を含み、そこに含まれる光電変換部を、光電変換部21Bと称し図示する。OPB領域は、光電変換部21Bに光が入射していないときの画素信号レベルを得るために用いられる。光電変換部21Bは、光電変換部21と同様の構成を備えてよい。OPB領域において、絶縁層5は、光電変換部21Bを覆うように設けられた遮光膜17（例えば金属膜）を含む。また、遮光膜17での光反射を抑制するために、カラーフィルタ13R、カラーフィルタ13G及びカラーフィルタ13Bが遮光膜17を覆うように設けられる。

[0522] 光電変換部21及び光電変換部21Bのうち、光電変換部21は遮光されていない光電変換部であり、光電変換部21Bは遮光された光電変換部であるといえる。

[0523] エッチングストッパ層67の上面67a及び下面67bのさまざまな箇所に凹凸形状が存在してよい。例えば、エッチングストッパ層67の上面67a及び下面67bの少なくとも一方の面は、全体にわたって凹凸形状を有してよい。反対に、面の一部だけが凹凸形状を有してもよい。図227に示される例では、エッチングストッパ層67-1の上面67aは、その一部において凹凸形状を有し、そうでない部分において平坦形状を有する。

[0524] 一実施形態において、エッチングストッパ層67の上面67a及び下面6

7 bの少なくとも一方の面は、光電変換部21及び光電変換部21Bの一方と対向する部分において、凹凸形状を有してよい。すなわち、エッチングストップ層67の上面67a及び下面67bの少なくとも一方は、遮光されていない光電変換部21に対応する部分においてのみ凹凸形状を有してもよく、また、遮光された光電変換部21Bに対応する部分（すなわちOPB領域）においてのみ凹凸形状を有してもよい。エッチングストップ層67の上面67a及び下面67bの少なくとも一方の面は、光電変換部21のうちのさらに特定の光電変換部21に対応する部分においてのみ凹凸形状を有してもよく、また、OPB領域の一部に対応する部分においてのみ凹凸形状を有してもよい。

[0525] <製造方法の例>

図228～図243は、製造方法の例を示す図である。エッチングストップ層67の材料を、エッチングストップ材料67mと称する。

[0526] <上面67a、均一Pitch>

図228～図234には、エッチングストップ層67-1の上面67aが均一Pitchの凹凸形状を有する場合の製造方法の例が示される。前提として、絶縁層5上に順に積層されたエッチングストップ層67-2及び光学層6-2までの構成が得られているものとする。

[0527] 図228に示されるように、光学層6-2を覆うようにエッチングストップ材料67mが設けられる（例えば成膜される）。

[0528] 図229に示されるように、DSAリソグラフィ用のフォトレジストPRが、エッチングストップ材料67m上に設けられる。このフォトレジストPRは、エッチングストップ層67-1に持たせようとする凹凸形状に合わせてパターンニングされる。隣り合う突出部どうしの間隔（先に説明したピッチ671pに相当）は、回折が生じない小さな間隔に設定され得る。

[0529] 図230に示されるように、DSAリソグラフィにより、エッチングストップ材料67mが、均一な凹凸形状を有するように加工される。同図に拡大して示されるように、均一Pitchの凹凸形状が得られる。その後、エッ

チングストップ材料 67 m 上に充填材 64 が設けられる。ピラー 62 に対応する空隙部（リセス等とも呼べる）が得られるように、充填材 64 の材料がドライエッチング等によって加工され、また、洗浄される。

[0530] 図 231 に示されるように、充填材 64 の材料の加工後も、凹凸形状が転写される。その加工時に、エッチングストップ材料 67 m のうち、とくに充填材 64 の材料で覆われていない部分も加工され、エッチングストップ層 67-1 が得られる。充填材 64 の材料で覆われていない部分では、突出部 671 が細くなる等して、隣り合う突出部 671 どうしの間の距離（ピッチ 671 p に相当）が拡大される。この部分の凹凸形状と、他の部分の凹凸形状とが、互いに相違する。

[0531] 図 232 に示されるように、充填材 64 及びエッチングストップ層 67-1 を覆うように、ピラー材料 62 m が設けられる（例えば成膜される）。エッチングストップ層 67-1 の上面 67 a は、基部 670 及び複数の突出部 671 によって規定される凹凸形状を有する。エッチングストップ層 67-1 とその上のピラー材料 62 m との界面における凹凸形状と、エッチングストップ層 67-1 とその上の充填材 64 との界面における凹凸形状とは、互いに相違する。それぞれの凹凸形状は、この例では、均一 Pitch の凹凸形状である。

[0532] 図 233 に示されるように、ピラー材料 62 m が CMP によって平坦化される。複数のピラー 62 及びそれらの間を埋めるように設けられた充填材 64 を含む光学層 6-1 が得られる。

[0533] なお、図 234 に示されるように、光学層 6-1 を覆うように反射抑制膜 63 がさらに設けられてよい（例えば成膜されてよい）。光反射抑制効果をさらに高めることができる。

[0534] なお、エッチングストップ層 67-1 の上面 67 a が凹凸形状を有することで、例えば上述のピラー材料 62 m の成膜、CMP 及び反射抑制膜 63 の成膜（図 232～図 234）のプロセスにおいて、膜応力由来や CMP 由来の剥がれに対する耐性が向上するメリットもある。

[0535] <上面67a、ランダムPitch>

図235～図238には、エッチングストップ層67-1の上面67aがランダムPitchの凹凸形状を有する場合の製造方法の例が示される。前提として、先に説明した図228と同様の構成が得られているものとする。

[0536] 図235に示されるように、エッチングストップ材料67mの上面（Z軸正方向側の面）に対して、例えばHe/Arプラズマ照射を含むスパッタリングが行われる。種々の公知の加工装置、成膜装置等が用いられてよい。同図に拡大して示されるように、エッチングストップ材料67mにランダムな凹凸が形成される。その後、エッチングストップ材料67m上に充填材64が設けられる。ピラー62に対応する空隙部が得られるように、充填材64の材料がドライエッチング等によって加工され、また、洗浄される。

[0537] 図236に示されるように、充填材64の材料の加工後も、凹凸形状が転写される。その加工時に、エッチングストップ材料67mのうち、とくに充填材64の材料で覆われていない部分も加工され、エッチングストップ層67-1が得られる。充填材64の材料で覆われていない部分では、突出部671が細くなる等して、隣り合う突出部671どうしの間の距離（ピッチ671pに相当）が拡大される。この部分の凹凸形状と、他の部分の凹凸形状とが、互いに相違する。

[0538] 図237に示される工程はオプションであり、任意選択的に用いられてよい。この工程では、さらなるスパッタリングが行われ、それによって、エッチングストップ層67-1において充填材64の材料で覆われていない部分の突出部671どうしの間の距離がさらに拡大する。また、充填材64の上面64aのラフネスが増加し得る。

[0539] 上述の図236又は図237の工程の後、図238に示されるように、充填材64及びエッチングストップ層67-1を覆うように、ピラー材料62mが設けられる（例えば成膜される）。エッチングストップ層67-1の上面67aは、基部670及び複数の突出部671によって規定される凹凸形状を有する。エッチングストップ層67-1とその上のピラー材料62mと

の界面における凹凸形状と、エッチングストップ層67-1とその上の充填材64との界面における凹凸形状とは、互いに相違する。それぞれの凹凸形状は、この例では、ランダムPitchの凹凸形状である。

[0540] その後は、先に説明した図233及び図234と同様に、ピラー材料62mがCMPによって平坦化され、反射抑制膜63が設けられる。

[0541] <下面67b、均一Pitch>

図239～図241には、エッチングストップ層67-1の下面67bが均一Pitchの凹凸形状を有する場合の製造方法の例が示される。前提として、絶縁層5上に順に積層されたエッチングストップ層67-2、並びに、ピラー材料62m及び充填材64の材料までの構成が得られているものとする。充填材64の材料を、充填材材料64mとも称する。

[0542] 図239に示されるように、DSAリソグラフィ用のフォトレジストPRが、光学層6-2のピラー材料62m及び充填材材料64mを覆うように、光学層6-2上に設けられる。このフォトレジストPRは、エッチングストップ層67-1に持たせようとする凹凸形状に合わせてパターンニングされる。隣り合う突出部どうしの間隔（先に説明したピッチ671pに相当）は、回折が生じない小さな間隔に設定され得る。

[0543] 図240に示されるように、DSAリソグラフィにより、光学層6-2のピラー材料62m及び充填材材料64mが、均一な凹凸形状を有するように加工され、ピラー62及び充填材64が得られる。同図に拡大して示されるように、均一Pitchの凹凸形状が得られる。

[0544] このとき、エッチングレートの差分により、ピラー62の上面62aにおける凹凸形状と、充填材64の上面64aにおける凹凸形状とが異なるように（例えば凹凸深さが異なるように）、それらが加工される。例えば、充填材材料64mがTEOSであり、ピラー材料62mがTiOである場合、CFガスを用いれば充填材64を深くエッチングすることができ、Clガスを用いればピラー62を深くエッチングすることができる。ドライエッチングの条件を使い分けることで、ピラー62及び充填材64のどちらを深くエッ

チングするのかが選択することができる。

[0545] 図241に示されるように、エッチングストップ層67-1が、光学層6-2のピラー62及び充填材64を覆うように、光学層6-2上に設けられる。エッチングストップ層67-1の下面67bは、基部670及び複数の突出部671によって規定される凹凸形状を有する。エッチングストップ層67-1と光学層6-2のピラー62との界面における凹凸形状と、エッチングストップ層67-1と光学層6-2の充填材64との界面における凹凸形状とは、互いに相違する。それぞれの凹凸形状は、この例では、均一Pitchの凹凸形状である。

[0546] 図には現れないが、エッチングストップ層67-1上に光学層6-1や反射抑制膜63を設けることで、エッチングストップ層67-1の下面67bが凹凸形状を有する光学層6が得られる。エッチングストップ層67-1の上面67aにも凹凸形状を持たせる場合は、先に説明した図229～図234と同様の工程が用いられてよい。

[0547] <下面67b、ランダムPitch>

図242及び図243には、エッチングストップ層67-1の下面67bがランダムPitchの凹凸形状を有する場合の製造方法の例が示される。前提として、絶縁層5上に順に積層されたエッチングストップ層67-2、並びに、ピラー材料62m及び充填材材料64mまでの構成が得られているものとする。

[0548] 図242に示されるように、ピラー材料62m及び充填材材料64mの上面に対して、例えばHe/Arプラズマ照射を含むスパッタリングが行われる。同図に拡大して示されるように、ランダムな凹凸形状を有するピラー62及び充填材64が得られる。このとき、エッチングレートの差分により、ピラー62の上面62aにおける凹凸形状と、充填材64の上面64aにおける凹凸形状とが異なるように（例えば凹凸深さが異なるように）、それらが加工される。

[0549] 図243に示されるように、エッチングストップ層67-1が、光学層6

− 2 のピラー 6 2 及び充填材 6 4 を覆うように、光学層 6 − 2 上に設けられる。エッチングストップ層 6 7 − 1 の下面 6 7 b は、基部 6 7 0 及び複数の突出部 6 7 1 によって規定される凹凸形状を有する。エッチングストップ層 6 7 − 1 と光学層 6 − 2 のピラー 6 2 との界面における凹凸形状と、エッチングストップ層 6 7 − 1 と光学層 6 − 2 の充填材 6 4 との界面における凹凸形状とは、互いに相違する。それぞれの凹凸形状は、この例では、ランダム Pitch の凹凸形状である。

[0550] <実施例>

図 2 4 4 は、実施例を示す図である。これまで説明した構成をベースとする光学層 6 の構成の一例が模式的に示される。

[0551] ピラー 6 2 は、無機膜であってよく、具体的には、TiO、SiN、SiON、c-Si、p-Si、a-Si、GaP、GaN、GaAs、SiC 等であってよい。これらが任意に組み合わせられてピラー 6 2 として用いられてもよい。

[0552] 充填材 6 4 も、無機膜であってよく、具体的には、SiO、Air 等であってよい。これらが組み合わせられて充填材 6 4 として用いられてもよい。

[0553] 各層の厚さ（各膜の膜厚）は、例えば 100 nm ~ 2000 nm 程度であってよい。平面視したときのピラー 6 2 の径は、80 nm ~ 800 nm 程度であってよい。

[0554] 反射抑制膜 6 3 の材料の例は、SiN、SiO 等であるが、これに限定されない。反射抑制膜 6 3 は、単層構造を有してもよいし、積層構造を有してもよい。

[0555] エッチングストップ層 6 7 の材料の例は、SiN、SiON、HfO、ALO 等である。

[0556] 光学層 6 は、これまで説明したように光電変換部 2 1 を含む半導体基板 3 上に設けられて用いられてもよい。光学層 6 が光検出器 1 0 0 等のセンサに組み入れられて（一体化されて）用いられるともいえる。光検出器 1 0 0 以外の各種のセンサへの適用も可能である。

[0557] 光学層6は、ガラス基板等の上に設けられてもよい。光学層6によるプリズム機能、レンズ機能等を備える素子（デバイス等）として完結して扱うこともできる。

[0558] <小結>

以上で説明した第7実施形態に係る技術は、例えば次のように特定される。開示される技術の1つは、光検出器100である。図1～図5及び図221～図227及び図244等を参照して説明したように、光検出器100は、光電変換部21と、光電変換部21を覆うように設けられた光学層6と、を備える。光学層6は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を光電変換部21に導くように、層の面方向（XY平面方向）に並んで配置された複数のピラー62と、ピラー62の上面62a及び下面62bの少なくとも一方の面上に設けられたエッチングストップ層67と、を含む。エッチングストップ層67の上面67a及び下面67bの少なくとも一方の面は、凹凸形状を有する。これにより、ピラー62とエッチングストップ層67との間の界面（及びその近傍）における光反射を抑制することができる。

[0559] 図221～図225及び図227等を参照して説明したように、光学層6は、複数のピラー62の間を埋めるように設けられた充填材を64含み、エッチングストップ層67とピラー62との界面における凹凸形状と、エッチングストップ層67と充填材64との界面における前記凹凸形状とは、互いに相違していてよい。例えば、エッチングストップ層67は、凹凸形状を規定する複数の突出部671を含み、凹凸形状の相違は、複数の突出部671の高さ671h、幅671w及びピッチ671pの少なくとも1つの相違を含んでよい。それぞれの凹凸形状を個別に最適化して設計することができる。

[0560] 図221～図227等を参照して説明したように、光学層6は、光学層6-1（第1の光学層）と、光学層6-1と光電変換部21との間に位置する光学層6-2（第2の光学層）と、を含み、エッチングストップ層67は、光学層6-1と光学層6-2との間に位置するエッチングストップ層67-

1（第1のエッチングストップ層）と、光学層6-2を挟んでエッチングストップ層67-1とは反対側に位置するエッチングストップ層67-2（第2のエッチングストップ層）と、を含み、エッチングストップ層67-1及びエッチングストップ層67-2のうちの少なくともエッチングストップ層67-1の上面67a及び下面67bの少なくとも一方の面が、凹凸形状を有してよい。エッチングストップ層67-1の上面67a及び下面67bの両方の面が、凹凸形状を有してもよい。とくに、光学層6-1及び光学層6-2のような2層構造を採用する場合に問題となり得る、エッチングストップ層67-1と、光学層6-1及び光学層6-2それぞれとの界面における光反射を抑制することができる。

[0561] 図227等を参照して説明したように、エッチングストップ層67の上面67a及び下面67bの少なくとも一方の面は、全体にわたって凹凸形状を有してよい。光電変換部21は、遮光されていない光電変換部21と、遮光された光電変換部21Bと、を含み、エッチングストップ層67の上面67a及び下面67bの少なくとも一方の面は、遮光されていない光電変換部21及び遮光された光電変換部21Bの一方の光電変換部と対向する部分において、凹凸形状を有してよい。例えばこのように、エッチングストップ層67のさまざまな範囲に凹凸形状を持たせ、その部分での光反射を抑制することができる。

[0562] 8. むすび

以上、本開示の実施形態について説明した。これまで説明したさまざまな技術によって、光反射を抑制することができる。なお、本開示に記載された効果は、あくまで例示であって、開示された内容に限定されない。他の効果があってもよい。

[0563] 本開示の技術的範囲は、上述の実施形態そのままに限定されるものではなく、本開示の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。また、異なる実施形態及び変形例にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。

[0564] なお、開示される技術は以下のような構成も取ることができる。

(1)

光電変換部と、
前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、
を備え、
前記光学層は、
入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、
層の面方向に並んで配置された複数のピラーと、
前記ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面上に設けられた反射抑制
膜と、
を含み、
前記反射抑制膜は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部を有す
る、
光検出器。

(2)

前記反射抑制膜は、その上方領域の屈折率よりも高い屈折率を有し、
前記反射抑制膜の前記非平坦部は、前記反射抑制膜の厚さ方向にみたとき
の断面積が、上方に進むにつれて徐々に小さくなる形状を有する、

(1)に記載の光検出器。

(3)

前記非平坦部は、前記凹部を含み、
前記凹部の形状は、ピラミッド形状及び矩形体形状の少なくとも一方を含
む、

(1)又は(2)に記載の光検出器。

(4)

前記検出対象の光は、赤外光を含み、
前記非平坦部は、400nm以下の高さを有する、

(1)～(3)のいずれかに記載の光検出器。

(5)

前記光学層は、前記ピラーの上面上に設けられた前記反射抑制膜を含む、
(1) ~ (4) のいずれかに記載の光検出器。

(6)

前記光学層は、前記ピラーの下面上に設けられた前記反射抑制膜を含む、
(1) ~ (5) のいずれかに記載の光検出器。

(7)

前記光学層は、
前記ピラーの上面上に設けられた前記反射抑制膜と、
前記ピラーの下面上に設けられた前記反射抑制膜と、
を含む、
(1) ~ (6) のいずれかに記載の光検出器。

(8)

光電変換部と、
前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、
を備え、
前記光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、
前記ピラーは、ピラー高さ方向に進むにつれて連続的に変化する断面積を有し、
前記ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面は、曲面である、
光検出器。

(9)

前記複数のピラーのうちの少なくとも一部のピラーどうしは、互いに異なる最大幅を有し、
前記複数のピラーのうち、最も大きい最大幅を有するピラーの高さは、最も小さい最大幅を有するピラーの高さよりも大きい、

(8) に記載の光検出器。

(10)

前記複数のピラーは、レンズ機能を前記光学層に与える、

(8) 又は (9) に記載の光検出器。

(11)

前記複数のピラーは、プリズム機能を前記光学層に与える、

(8) ~ (10) のいずれかに記載の光検出器。

(12)

前記複数のピラーは、レンズ機能及びプリズム機能を前記光学層に与える

、

(8) ~ (11) のいずれかに記載の光検出器。

(13)

前記ピラーの上面は、曲面であり、

前記ピラーの下面は、平坦面であり、

前記ピラーは、上面に近づくにつれて単調減少する断面積を有する、

(8) ~ (12) のいずれかに記載の光検出器。

(14)

前記ピラーの上面は、平坦面であり、

前記ピラーの下面は、曲面であり、

前記ピラーは、下面に近づくにつれて単調減少する断面積を有する、

(8) ~ (12) のいずれかに記載の光検出器。

(15)

前記ピラーの上面及び下面は、いずれも曲面である、

(8) ~ (12) のいずれかに記載の光検出器。

(16)

前記ピラーは、前記上面及び前記下面の一方の面から他方の面に近づくにつれて単調増加して単調減少する断面積を有する、

(15) に記載の光検出器。

(17)

前記光学層は、前記複数のピラーの間を埋めるように設けられた充填材を

含む、

(8) ~ (16) のいずれかに記載の光検出器。

(18)

前記充填材は、前記ピラーの屈折率と0.3以上異なる屈折率を有する、
(17) に記載の光検出器。

(19)

前記光学層は、前記充填材を覆うように設けられた保護膜を含む、
(17) 又は(18) に記載の光検出器。

(20)

前記ピラーの上面は、平坦面であり、
前記ピラーの下面は、曲面であり、
前記光学層は、前記複数のピラーの各々の上面上に共通に設けられた基部層を含み、

前記光学層は、前記基部層上に設けられた追加層を含み、
前記追加層は、各々が異なる屈折率を有する複数の膜を含む、
(17) 又は(18) に記載の光検出器。

(21)

前記膜は、反射抑制膜又はバンドパスフィルタである、
(20) に記載の光検出器。

(22)

積層された複数の前記光学層を備える、
(8) ~ (21) のいずれかに記載の光検出器。

(23)

前記ピラーの材料は、アモルファスシリコン、多結晶シリコン及びゲルマニウムの少なくとも1つを含み、

前記ピラーは、200nm以上の高さを有する、
(8) ~ (22) のいずれかに記載の光検出器。

(24)

前記ピラーの材料は、酸化チタン、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、窒化シリコン、酸化シリコン、窒化酸化シリコン、炭化シリコン、酸化炭化シリコン、窒化炭化シリコン及び酸化ジルコニウムの少なくとも1つを含み、

前記ピラーは、300nm以上の高さを有する、

(8)～(22)のいずれかに記載の光検出器。

(25)

前記光電変換部と前記光学層との間に設けられ、前記光電変換部の少なくとも一部に対向する開口部を有する遮光膜を備える、

(8)～(24)のいずれかに記載の光検出器。

(26)

前記遮光膜が有する前記開口部は、開口率が25%以下のピンホールである、

(25)に記載の光検出器。

(27)

各々が前記光電変換部を含む複数の画素を備え、

前記複数の画素は、第1の像面位相差画素及び第2の像面位相差画素を含み、

前記遮光膜は、前記第1の像面位相差画素の光電変換部及び前記第2の像面位相差画素の光電変換部の互いに異なる部分に対向する第1の開口部及び第2の開口部を有する

(25)に記載の光検出器。

(28)

複数の前記光電変換部を含み、前記光学層と対向する上面を有する半導体基板と、

少なくとも前記半導体基板の前記上面から、前記半導体基板内において隣り合う光電変換部どうしの間を延在するように設けられた素子分離部と、

を備える、

(8) ~ (27) のいずれかに記載の光検出器。

(29)

前記光学層を挟んで前記光電変換部とは反対側、及び、前記光電変換部と前記光学層との間の少なくとも一方に設けられたレンズを備える、

(8) ~ (28) のいずれかに記載の光検出器。

(30)

各々が前記光電変換部を含む複数の画素を備え、

前記複数の画素のうちの少なくとも一部の画素の前記光電変換部は、分割された複数の光電変換部である、

(8) ~ (29) のいずれかに記載の光検出器。

(31)

複数の前記光電変換部を含み、前記光学層と対向する上面を有する半導体基板を備え、

前記半導体基板の前記上面は、凹凸形状を有する、

(8) ~ (30) のいずれかに記載の光検出器。

(32)

複数の前記光電変換部を含む半導体基板と、

前記半導体基板と前記光学層との間に設けられた導光部と、

を備え、

前記導光部は、前記複数の光電変換部のうちの隣り合う光電変換部どうしの境界に対応する位置に設けられた遮光壁を含む、

(8) ~ (31) のいずれかに記載の光検出器。

(33)

複数の前記光電変換部を含む半導体基板と、

前記半導体基板と前記光学層との間に設けられた導光部と、

を備え、

前記導光部は、前記複数の光電変換部のうちの隣り合う光電変換部どうしの間の境界に対応する位置に設けられ、前記導光部の他の部分よりも低い屈

折率を有するクラッド部を含む、

(8) ~ (31) のいずれかに記載の光検出器。

(34)

前記クラッド部は、空隙部である、

(33) に記載の光検出器。

(35)

前記光学層を挟んで前記光電変換部とは反対側、及び、前記光電変換部と前記光学層との間の少なくとも一方に設けられたフィルタを備え、

前記フィルタは、

カラーフィルタ、

異なる屈折率を有する膜が積層されたバンドパスフィルタ、

異なる屈折率を有する膜が積層されたファブリペロー干渉フィルタ、

表面プラズモンフィルタ、

及び

GMR (Guided Mode Resonance) フィルタ

の少なくとも1つを含む、

(8) ~ (34) のいずれかに記載の光検出器。

(36)

第1の前記光学層と、

第2の前記光学層と、

前記第1の光学層及び前記第2の光学層の間に設けられた別の要素と、

を備え、

前記別の要素は、

光電変換部の少なくとも一部に対向する開口部を有する遮光膜、

レンズ、

前記複数の光電変換部のうちの隣り合う光電変換部どうしの境界に対応する位置に設けられた遮光壁、

前記複数の光電変換部のうちの隣り合う光電変換部どうしの間の境界に対

応する位置に設けられ、周囲部分よりも低い屈折率を有するクラッド部、
カラーフィルタ、
異なる屈折率を有する膜が積層されたバンドパスフィルタ、
異なる屈折率を有する膜が積層されたファブリペロー干渉フィルタ、
表面プラズモンフィルタ、
及び
GMR (Guided Mode Resonance) フィルタ
の少なくとも1つを含む、
(8) ~ (35) のいずれかに記載の光検出器。

(37)

光電変換部と、
前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、
を備え、
前記光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部
に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、
前記ピラーの上面は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部を有
する、
光検出器。

(38)

前記光学層は、前記非平坦部の凹部を埋めるように前記ピラーの前記上面
上に設けられた中間膜を含む、
(37) に記載の光検出器。

(39)

前記光学層は、
前記ピラーの前記表面上に設けられた中間膜と、
前記中間膜上に設けられた上層膜と、
を含む、
(37) 又は (38) に記載の光検出器。

(40)

前記非平坦部の凹部は、異種膜で埋められているか又は空隙である、

(37) ~ (39) のいずれかに記載の光検出器。

(41)

前記複数のピラーのうちの少なくとも一部のピラーどうしは、互いに異なるサイズを有し、

前記互いに異なるサイズを有するピラーそれぞれにおいて前記非平坦部の凹部が占める体積の比率は、互いに異なっている、

(37) ~ (40) のいずれかに記載の光検出器。

(42)

前記複数のピラーのうちの少なくとも一部のピラーどうしは、互いに異なるサイズを有し、

前記互いに異なるサイズを有するピラーそれぞれにおいて前記非平坦部の凹部が占める体積の比率は、同じである、

(37) ~ (40) のいずれかに記載の光検出器。

(43)

前記複数のピラーのうちの少なくとも一部のピラーどうしは、互いに異なるサイズを有し、

前記互いに異なるサイズを有するピラーそれぞれにおける前記非平坦部の凹部の深さは、互いに異なっている、

(37) ~ (42) のいずれかに記載の光検出器。

(44)

前記複数のピラーのうちの少なくとも一部のピラーどうしは、互いに異なるサイズを有し、

前記互いに異なるサイズを有するピラーそれぞれにおける前記非平坦部の凹部の深さは、同じである、

(37) ~ (42) のいずれかに記載の光検出器。

(45)

前記非平坦部の凹部の深さ方向にみたときの前記凹部の断面積は、どの深さ位置でも同じである、

(37) ~ (44) のいずれかに記載の光検出器。

(46)

前記非平坦部の凹部の深さ方向にみたときの前記凹部の断面積は、深さ方向に進むにつれて段階的に減少する、

(37) ~ (44) のいずれかに記載の光検出器。

(47)

前記非平坦部の凹部の深さ方向にみたときの前記凹部の断面積は、深さ方向に進むにつれて連続的に減少する、

(37) ~ (44) のいずれかに記載の光検出器。

(48)

前記非平坦部の凸部の高さ方向にみたときの前記凸部の断面積は、高さ方向に進むにつれて段階的に減少する、

(37) ~ (47) のいずれかに記載の光検出器。

(49)

前記光学層は、

前記複数のピラーの間を埋めるように設けられた充填材と、

前記ピラー及び充填材を覆うように設けられた上層膜と、

を含む、

(37) ~ (48) のいずれかに記載の光検出器。

(50)

前記充填材の上面は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部を有し、

前記上層膜は、前記ピラーの非平坦部の凹部及び前記充填材の非平坦部の凹部を埋めるように、前記ピラーの上面上及び前記充填材の上面上に設けられる、

(49) に記載の光検出器。

(51)

前記光学層は、前記非平坦部の凹部内及び前記ピラーの側面上に設けられた薄膜を含む、

(37) ~ (50) のいずれかに記載の光検出器。

(52)

前記薄膜は、前記非平坦部の凹部を埋めるように設けられ、

前記光学層は、前記薄膜で覆われた前記非平坦部の凹部を埋めるように設けられた充填材又は上層膜を含む、

(51) に記載の光検出器。

(53)

光電変換部と、

前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、

を備え、

前記光学層は、

入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーと、

前記ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面上に設けられた反射抑制膜と、

を含み、

前記反射抑制膜の材料は、 TiO_2 を含む、

光検出器。

(54)

前記反射抑制膜は、前記ピラーの上面及び下面の両方の面上に設けられる、

(53) に記載の光検出器。

(55)

前記光学層は、前記反射抑制膜の上面上に設けられた追加の反射抑制膜を含み、

前記追加の反射抑制膜の材料は、SiNを含む、

(53) 又は (54) に記載の光検出器。

(56)

光電変換部と、

前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、

を備え、

前記光学層は、

入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーと、

前記ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面上に設けられた反射抑制膜と、

を含み、

前記反射抑制膜の屈折率は、前記ピラーに近づくにつれて当該ピラーの屈折率に近づくように勾配を有する、

光検出器。

(57)

前記反射抑制膜の屈折率は、前記ピラーの屈折率よりも低く、

前記反射抑制膜の屈折率は、前記ピラーに近づくにつれて高くなるように勾配を有する、

(56) に記載の光検出器。

(58)

前記反射抑制膜の材料は、窒素を含み、

前記反射抑制膜における窒素含有量は、前記ピラー側から徐々に多くなる

、

(57) に記載の光検出器。

(59)

前記反射抑制膜の材料は、酸素を含み、

前記反射抑制膜における酸素含有量は、前記ピラー側から徐々に多くなる

、
(57) 又は (58) に記載の光検出器。

(60)

前記反射抑制膜の材料は、窒素及び酸素を含み、
前記反射抑制膜における窒素含有量及び酸素含有量は、前記ピラー側から
徐々に多くなる、

(57) ~ (59) のいずれかに記載の光検出器。

(61)

光電変換部と、
前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、
を備え、
前記光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部
に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、
前記ピラーは、
前記ピラーの下面を含む非変質層と、
前記ピラーの上面を含み、前記非変質層の屈折率とは異なる屈折率を有す
る変質層と、
を含む、
光検出器。

(62)

前記変質層は、前記ピラーのうち、イオンが注入されている部分であり、
前記非変質層は、前記ピラーのうち、前記イオンが注入されていない部分
である、

(61) に記載の光検出器。

(63)

前記ピラーは、各々が異なる屈折率を有し、積層された複数の前記変質層
を含む、

(61) 又は (62) に記載の光検出器。

(64)

前記複数の変質層のうち、前記非変質層の近くに位置する変質層ほど、前記非変質層の屈折率に近い屈折率を有する、

(63)に記載の光検出器。

(65)

前記変質層は、前記ピラーの側面も含む、

(61)～(64)のいずれかに記載の光検出器。

(66)

光電変換部と、

前記光電変換部を覆うように設けられた第1の光学層と、

前記第1の光学層を覆うように設けられた第2の光学層と、

を備え、

前記第1の光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、

前記第2の光学層は、前記第1の光学層の平均屈折率とは異なる平均屈折率を有するように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含む、

光検出器。

(67)

前記第2の光学層のピラーは、前記第1の光学層の対応するピラーの幅よりも小さい幅を有する、

(66)に記載の光検出器。

(68)

前記第2の光学層の平均屈折率は、前記第2の光学層の上方領域の屈折率と、前記第1の光学層の平均屈折率との間の値である、

(66)又は(67)に記載の光検出器。

(69)

前記第2の光学層の平均屈折率は、前記第2の光学層の上方領域の屈折率と、前記第1の光学層の平均屈折率との平均値である、

(68)に記載の光検出器。

(70)

前記第2の光学層の平均屈折率は、前記第1の光学層の平均屈折率よりも低い、

(68)又は(69)に記載の光検出器。

(71)

前記第2の光学層は、前記ピラーの表面上に設けられた反射抑制膜を含む、

(66)～(70)のいずれかに記載の光検出器。

(72)

前記第2の光学層のピラー材料は、前記第1の光学層のピラー材料とは異なっている、

(66)～(71)のいずれかに記載の光検出器。

(73)

前記第2の光学層の複数のピラーは、互いに異なる材料を含んで構成された2種類のピラーを含む、

(66)～(72)のいずれかに記載の光検出器。

(74)

光電変換部と、

前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、

を備え、

前記光学層は、

入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーと、

前記ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面上に設けられたエッチングストップ層と、

を含み、

前記エッチングストップ層の上面及び下面の少なくとも一方の面は、凹凸

形状を有する、

光検出器。

(75)

前記光学層は、前記複数のピラーの間を埋めるように設けられた充填材を含み、

前記エッチングストップ層と前記ピラーとの界面における前記凹凸形状と、前記エッチングストップ層と前記充填材との界面における前記凹凸形状とは、互いに相違している、

(74)に記載の光検出器。

(76)

前記エッチングストップ層は、前記凹凸形状を規定する複数の突出部を含み、

前記凹凸形状の相違は、前記複数の突出部の高さ、幅及びピッチの少なくとも1つの相違を含む、

(75)に記載の光検出器。

(77)

前記光学層は、

第1の光学層と、

前記第1の光学層と前記光電変換部との間に位置する第2の光学層と、

を含み、

前記エッチングストップ層は、

前記第1の光学層と前記第2の光学層との間に位置する第1のエッチングストップ層と、

前記第2の光学層を挟んで前記第1のエッチングストップ層とは反対側に位置する第2のエッチングストップ層と、

を含み、

前記第1のエッチングストップ層及び前記第2のエッチングストップ層のうち少なくとも前記第1のエッチングストップ層の上面及び下面の少なく

とも一方の面が、凹凸形状を有する、

(74) ~ (76) のいずれかに記載の光検出器。

(78)

前記第1のエッチングストップ層の上面及び下面の両方の面が、凹凸形状を有する、

(77) に記載の光検出器。

(79)

前記エッチングストップ層の上面及び下面の少なくとも一方の面は、全体にわたって凹凸形状を有する、

(74) ~ (78) のいずれかに記載の光検出器。

(80)

前記光電変換部は、

遮光されていない光電変換部と、

遮光された光電変換部と、

を含み、

前記エッチングストップ層の上面及び下面の少なくとも一方の面は、前記遮光されていない光電変換部及び前記遮光された光電変換部の一方の光電変換部と対向する部分において、凹凸形状を有する、

(74) ~ (78) のいずれかに記載の光検出器。

符号の説明

- [0565]
- 1 画素アレイ部
 - 2 画素
 - 2 1 光電変換部
 - 2 2 電荷保持部
 - 2 3 トランジスタ
 - 2 4 トランジスタ
 - 2 5 トランジスタ
 - 2 6 トランジスタ

- 3 半導体基板
 - 3 a 上面
 - 3 b 下面
 - 3 1 分離領域
- 4 固定電荷膜
- 5 絶縁層
 - 5 1 絶縁膜
 - 5 2 遮光膜
 - 5 2 1 遮光膜
 - 5 2 2 遮光膜
 - 5 3 絶縁膜
- 6 光学層
 - 6 1 反射抑制膜
 - 6 1 a 上面
 - 6 1 b 下面
 - 6 1 v 非平坦部
 - 6 2 ピラー
 - 6 2 a 上面
 - 6 2 b 下面
 - 6 2 c 側面
 - 6 2 f 中間膜
 - 6 2 g 薄膜
 - 6 2 h 異種膜
 - 6 2 v 非平坦部
 - 6 2 0 基部層
 - 6 2 1 上端部
 - 6 2 2 下端部
 - 6 2 3 非変質層

- 6 2 4 変質層
 - 6 3 反射抑制膜
 - 6 3 a 上面
 - 6 3 b 下面
 - 6 3 v 非平坦部
 - 6 4 充填材
 - 6 4 a 上面
 - 6 4 v 非平坦部
 - 6 5 保護膜
 - 6 6 追加層
 - 6 6 1 第1の膜
 - 6 6 2 第2の膜
 - 6 6 3 第3の膜
 - 6 7 エッチングストップパ層
 - 6 8 上層膜
 - 6 9 反射抑制膜
 - 6 9 a 上面
 - 6 9 b 下面
- 7 配線層
- 8 絶縁層
- 9 支持基板
- 1 0 レンズ
- 1 1 遮光壁
- 1 2 クラッド部
- 1 3 カラーフィルタ
 - 1 3 R カラーフィルタ
 - 1 3 G カラーフィルタ
 - 1 3 B カラーフィルタ

- 1 4 表面プラズモンフィルタ
- 1 5 GMRフィルタ
- 1 6 積層フィルタ
- 1 7 遮光膜
- 1 0 0 光検出器

請求の範囲

- [請求項1] 光電変換部と、
前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、
を備え、
前記光学層は、
入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーと、
前記ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面上に設けられた反射抑制膜と、
を含み、
前記反射抑制膜は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部を有する、
光検出器。
- [請求項2] 前記反射抑制膜は、その上方領域の屈折率よりも高い屈折率を有し、
、
前記反射抑制膜の前記非平坦部は、前記反射抑制膜の厚さ方向にみたときの断面積が、上方に進むにつれて徐々に小さくなる形状を有する、
請求項1に記載の光検出器。
- [請求項3] 前記非平坦部は、前記凹部を含み、
前記凹部の形状は、ピラミッド形状及び矩形体形状の少なくとも一方を含む、
請求項1に記載の光検出器。
- [請求項4] 前記検出対象の光は、赤外光を含み、
前記非平坦部は、400nm以下の高さを有する、
請求項1に記載の光検出器。
- [請求項5] 前記光学層は、前記ピラーの上面に設けられた前記反射抑制膜を含む、

請求項 1 に記載の光検出器。

[請求項6] 前記光学層は、前記ピラーの下面上に設けられた前記反射抑制膜を含む、

請求項 1 に記載の光検出器。

[請求項7] 前記光学層は、
前記ピラーの上面上に設けられた前記反射抑制膜と、
前記ピラーの下面上に設けられた前記反射抑制膜と、
を含む、

請求項 1 に記載の光検出器。

[請求項8] 光電変換部と、
前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、
を備え、

前記光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、

前記ピラーは、ピラー高さ方向に進むにつれて連続的に変化する断面積を有し、

前記ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面は、曲面である、
光検出器。

[請求項9] 前記複数のピラーのうちの少なくとも一部のピラーどうしは、互いに異なる最大幅を有し、

前記複数のピラーのうち、最も大きい最大幅を有するピラーの高さは、最も小さい最大幅を有するピラーの高さよりも大きい、

請求項 8 に記載の光検出器。

[請求項10] 前記複数のピラーは、レンズ機能を前記光学層に与える、
請求項 8 に記載の光検出器。

[請求項11] 前記複数のピラーは、プリズム機能を前記光学層に与える、
請求項 8 に記載の光検出器。

- [請求項12] 前記複数のピラーは、レンズ機能及びプリズム機能を前記光学層に与える、
請求項8に記載の光検出器。
- [請求項13] 前記ピラーの上面は、曲面であり、
前記ピラーの下面は、平坦面であり、
前記ピラーは、上面に近づくにつれて単調減少する断面積を有する、
請求項8に記載の光検出器。
- [請求項14] 前記ピラーの上面は、平坦面であり、
前記ピラーの下面は、曲面であり、
前記ピラーは、下面に近づくにつれて単調減少する断面積を有する、
請求項8に記載の光検出器。
- [請求項15] 前記ピラーの上面及び下面は、いずれも曲面である、
請求項8に記載の光検出器。
- [請求項16] 前記ピラーは、前記上面及び前記下面の一方の面から他方の面に近づくにつれて単調増加して単調減少する断面積を有する、
請求項15に記載の光検出器。
- [請求項17] 前記光学層は、前記複数のピラーの間を埋めるように設けられた充填材を含む、
請求項8に記載の光検出器。
- [請求項18] 前記充填材は、前記ピラーの屈折率と0.3以上異なる屈折率を有する、
請求項17に記載の光検出器。
- [請求項19] 前記光学層は、前記充填材を覆うように設けられた保護膜を含む、
請求項17に記載の光検出器。
- [請求項20] 前記ピラーの上面は、平坦面であり、
前記ピラーの下面は、曲面であり、

前記光学層は、前記複数のピラーの各々の上面上に共通に設けられた基部層を含み、

前記光学層は、前記基部層上に設けられた追加層を含み、

前記追加層は、各々が異なる屈折率を有する複数の膜を含む、

請求項 17 に記載の光検出器。

[請求項21] 前記膜は、反射抑制膜又はバンドパスフィルタである、

請求項 20 に記載の光検出器。

[請求項22] 積層された複数の前記光学層を備える、

請求項 8 に記載の光検出器。

[請求項23] 前記ピラーの材料は、アモルファスシリコン、多結晶シリコン及びゲルマニウムの少なくとも1つを含み、

前記ピラーは、200 nm以上の高さを有する、

請求項 8 に記載の光検出器。

[請求項24] 前記ピラーの材料は、酸化チタン、酸化ニオブ、酸化タンタル、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、窒化シリコン、酸化シリコン、窒化酸化シリコン、炭化シリコン、酸化炭化シリコン、窒化炭化シリコン及び酸化ジルコニウムの少なくとも1つを含み、

前記ピラーは、300 nm以上の高さを有する、

請求項 8 に記載の光検出器。

[請求項25] 光電変換部と、

前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、

を備え、

前記光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、

前記ピラーの上面は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部を有する、

光検出器。

- [請求項26] 前記光学層は、前記非平坦部の凹部を埋めるように前記ピラーの前記上面上に設けられた中間膜を含む、
請求項25に記載の光検出器。
- [請求項27] 前記光学層は、
前記ピラーの前記上面上に設けられた中間膜と、
前記中間膜上に設けられた上層膜と、
を含む、
請求項25に記載の光検出器。
- [請求項28] 前記非平坦部の凹部は、異種膜で埋められているか又は空隙である、
、
請求項25に記載の光検出器。
- [請求項29] 前記複数のピラーのうちの少なくとも一部のピラーどうしは、互いに異なるサイズを有し、
前記互いに異なるサイズを有するピラーそれぞれにおいて前記非平坦部の凹部が占める体積の比率は、互いに異なっている、
請求項25に記載の光検出器。
- [請求項30] 前記複数のピラーのうちの少なくとも一部のピラーどうしは、互いに異なるサイズを有し、
前記互いに異なるサイズを有するピラーそれぞれにおいて前記非平坦部の凹部が占める体積の比率は、同じである、
請求項25に記載の光検出器。
- [請求項31] 前記複数のピラーのうちの少なくとも一部のピラーどうしは、互いに異なるサイズを有し、
前記互いに異なるサイズを有するピラーそれぞれにおける前記非平坦部の凹部の深さは、互いに異なっている、
請求項25に記載の光検出器。
- [請求項32] 前記複数のピラーのうちの少なくとも一部のピラーどうしは、互いに異なるサイズを有し、

前記互いに異なるサイズを有するピラーそれぞれにおける前記非平坦部の凹部の深さは、同じである、

請求項 25 に記載の光検出器。

[請求項33] 前記非平坦部の凹部の深さ方向にみたときの前記凹部の断面積は、どの深さ位置でも同じである、

請求項 25 に記載の光検出器。

[請求項34] 前記非平坦部の凹部の深さ方向にみたときの前記凹部の断面積は、深さ方向に進むにつれて段階的に減少する、

請求項 25 に記載の光検出器。

[請求項35] 前記非平坦部の凹部の深さ方向にみたときの前記凹部の断面積は、深さ方向に進むにつれて連続的に減少する、

請求項 25 に記載の光検出器。

[請求項36] 前記非平坦部の凸部の高さ方向にみたときの前記凸部の断面積は、高さ方向に進むにつれて段階的に減少する、

請求項 25 に記載の光検出器。

[請求項37] 前記光学層は、
前記複数のピラーの間を埋めるように設けられた充填材と、
前記ピラー及び充填材を覆うように設けられた上層膜と、
を含む、

請求項 25 に記載の光検出器。

[請求項38] 前記充填材の上面は、凹部及び凸部の少なくとも一方を含む非平坦部を有し、

前記上層膜は、前記ピラーの非平坦部の凹部及び前記充填材の非平坦部の凹部を埋めるように、前記ピラーの上面上及び前記充填材の上面上に設けられる、

請求項 37 に記載の光検出器。

[請求項39] 前記光学層は、前記非平坦部の凹部内及び前記ピラーの側面上に設けられた薄膜を含む、

請求項 25 に記載の光検出器。

[請求項40] 前記薄膜は、前記非平坦部の凹部を埋めるように設けられ、
前記光学層は、前記薄膜で覆われた前記非平坦部の凹部を埋めるように設けられた充填材又は上層膜を含む、
請求項 39 に記載の光検出器。

[請求項41] 光電変換部と、
前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、
を備え、
前記光学層は、
入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーと、
前記ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面上に設けられた反射抑制膜と、
を含み、
前記反射抑制膜の屈折率は、前記ピラーに近づくにつれて当該ピラーの屈折率に近づくように勾配を有する、
光検出器。

[請求項42] 前記反射抑制膜の屈折率は、前記ピラーの屈折率よりも低く、
前記反射抑制膜の屈折率は、前記ピラーに近づくにつれて高くなるように勾配を有する、
請求項 41 に記載の光検出器。

[請求項43] 前記反射抑制膜の材料は、窒素を含み、
前記反射抑制膜における窒素含有量は、前記ピラー側から徐々に多くなる、
請求項 42 に記載の光検出器。

[請求項44] 前記反射抑制膜の材料は、酸素を含み、
前記反射抑制膜における酸素含有量は、前記ピラー側から徐々に多くなる、

請求項42に記載の光検出器。

[請求項45]

前記反射抑制膜の材料は、窒素及び酸素を含み、
前記反射抑制膜における窒素含有量及び酸素含有量は、前記ピラー側から徐々に多くなる、
請求項42に記載の光検出器。

[請求項46]

光電変換部と、
前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、
を備え、
前記光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、
前記ピラーは、
前記ピラーの下面を含む非変質層と、
前記ピラーの上面を含み、前記非変質層の屈折率とは異なる屈折率を有する変質層と、
を含む、
光検出器。

[請求項47]

前記変質層は、前記ピラーのうち、イオンが注入されている部分であり、
前記非変質層は、前記ピラーのうち、前記イオンが注入されていない部分である、
請求項46に記載の光検出器。

[請求項48]

前記ピラーは、各々が異なる屈折率を有し、積層された複数の前記変質層を含む、
請求項46に記載の光検出器。

[請求項49]

前記複数の変質層のうち、前記非変質層の近くに位置する変質層ほど、前記非変質層の屈折率に近い屈折率を有する、
請求項48に記載の光検出器。

- [請求項50] 前記変質層は、前記ピラーの側面も含む、
請求項46に記載の光検出器。
- [請求項51] 光電変換部と、
前記光電変換部を覆うように設けられた第1の光学層と、
前記第1の光学層を覆うように設けられた第2の光学層と、
を備え、
前記第1の光学層は、入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、
前記第2の光学層は、前記第1の光学層の平均屈折率とは異なる平均屈折率を有するように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーを含み、
光検出器。
- [請求項52] 前記第2の光学層のピラーは、前記第1の光学層の対応するピラーの幅よりも小さい幅を有する、
請求項51に記載の光検出器。
- [請求項53] 前記第2の光学層の平均屈折率は、前記第2の光学層の上方領域の屈折率と、前記第1の光学層の平均屈折率との間の値である、
請求項51に記載の光検出器。
- [請求項54] 前記第2の光学層の平均屈折率は、前記第2の光学層の上方領域の屈折率と、前記第1の光学層の平均屈折率との平均値である、
請求項53に記載の光検出器。
- [請求項55] 前記第2の光学層の平均屈折率は、前記第1の光学層の平均屈折率よりも低い、
請求項53に記載の光検出器。
- [請求項56] 前記第2の光学層は、前記ピラーの上面上に設けられた反射抑制膜を含む、
請求項51に記載の光検出器。

- [請求項57] 前記第2の光学層のピラー材料は、前記第1の光学層のピラー材料とは異なっている、
請求項51に記載の光検出器。
- [請求項58] 前記第2の光学層の複数のピラーは、互いに異なる材料を含んで構成された2種類のピラーを含む、
請求項51に記載の光検出器。
- [請求項59] 光電変換部と、
前記光電変換部を覆うように設けられた光学層と、
を備え、
前記光学層は、
入射光のうちの少なくとも検出対象の光を前記光電変換部に導くように、層の面方向に並んで配置された複数のピラーと、
前記ピラーの上面及び下面の少なくとも一方の面上に設けられたエッチングストップ層と、
を含み、
前記エッチングストップ層の上面及び下面の少なくとも一方の面は、凹凸形状を有する、
光検出器。
- [請求項60] 前記光学層は、前記複数のピラーの間を埋めるように設けられた充填材を含み、
前記エッチングストップ層と前記ピラーとの界面における前記凹凸形状と、前記エッチングストップ層と前記充填材との界面における前記凹凸形状とは、互いに相違している、
請求項59に記載の光検出器。
- [請求項61] 前記エッチングストップ層は、前記凹凸形状を規定する複数の突出部を含み、
前記凹凸形状の相違は、前記複数の突出部の高さ、幅及びピッチの少なくとも1つの相違を含む、

請求項60に記載の光検出器。

[請求項62]

前記光学層は、

第1の光学層と、

前記第1の光学層と前記光電変換部との間に位置する第2の光学層と、

を含み、

前記エッチングストッパ層は、

前記第1の光学層と前記第2の光学層との間に位置する第1のエッチングストッパ層と、

前記第2の光学層を挟んで前記第1のエッチングストッパ層とは反対側に位置する第2のエッチングストッパ層と、

を含み、

前記第1のエッチングストッパ層及び前記第2のエッチングストッパ層のうちの少なくとも前記第1のエッチングストッパ層の上面及び下面の少なくとも一方の面が、凹凸形状を有する、

請求項59に記載の光検出器。

[請求項63]

前記第1のエッチングストッパ層の上面及び下面の両方の面が、凹凸形状を有する、

請求項62に記載の光検出器。

[請求項64]

前記エッチングストッパ層の上面及び下面の少なくとも一方の面は、全体にわたって凹凸形状を有する、

請求項59に記載の光検出器。

[請求項65]

前記光電変換部は、

遮光されていない光電変換部と、

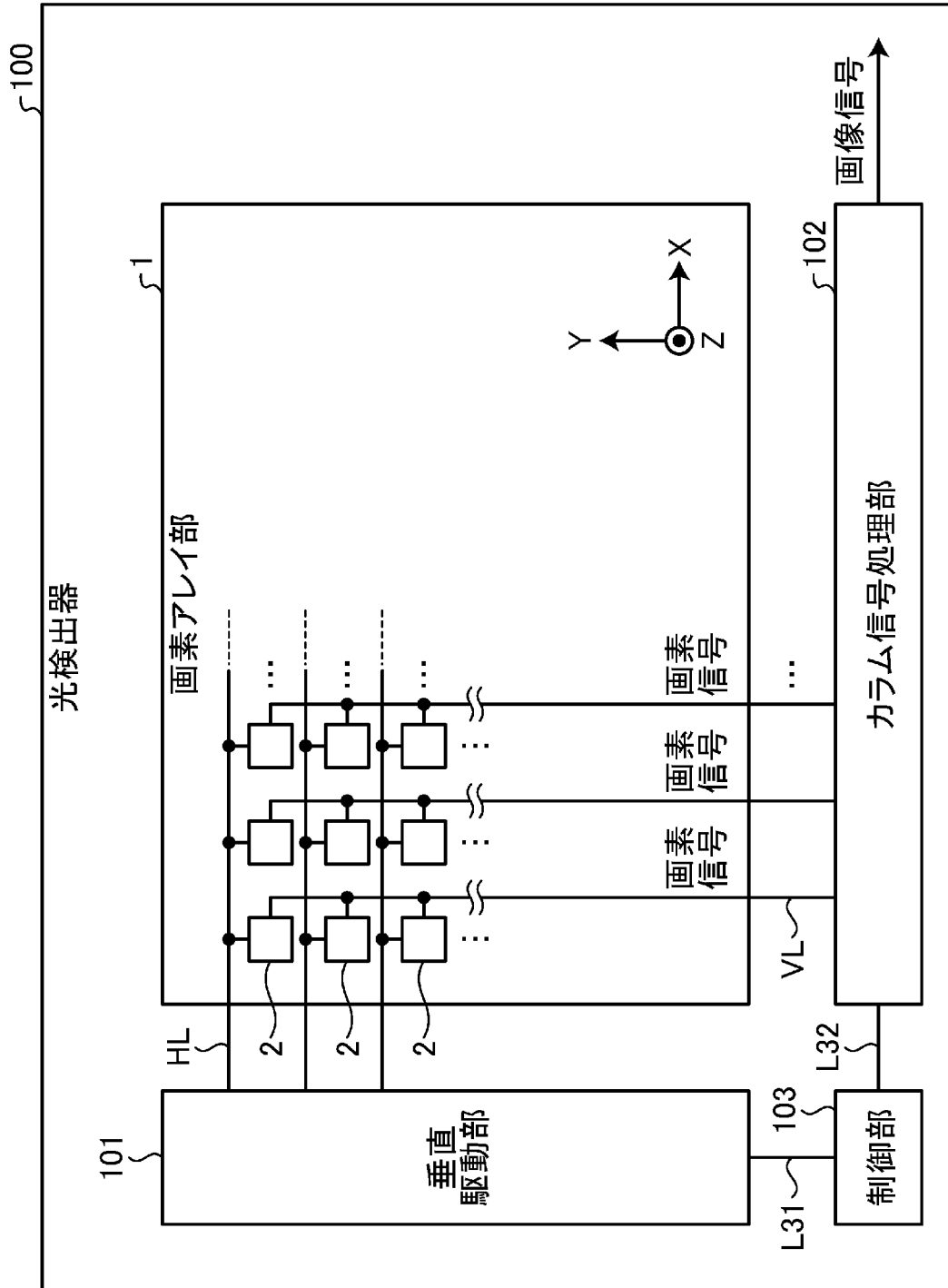
遮光された光電変換部と、

を含み、

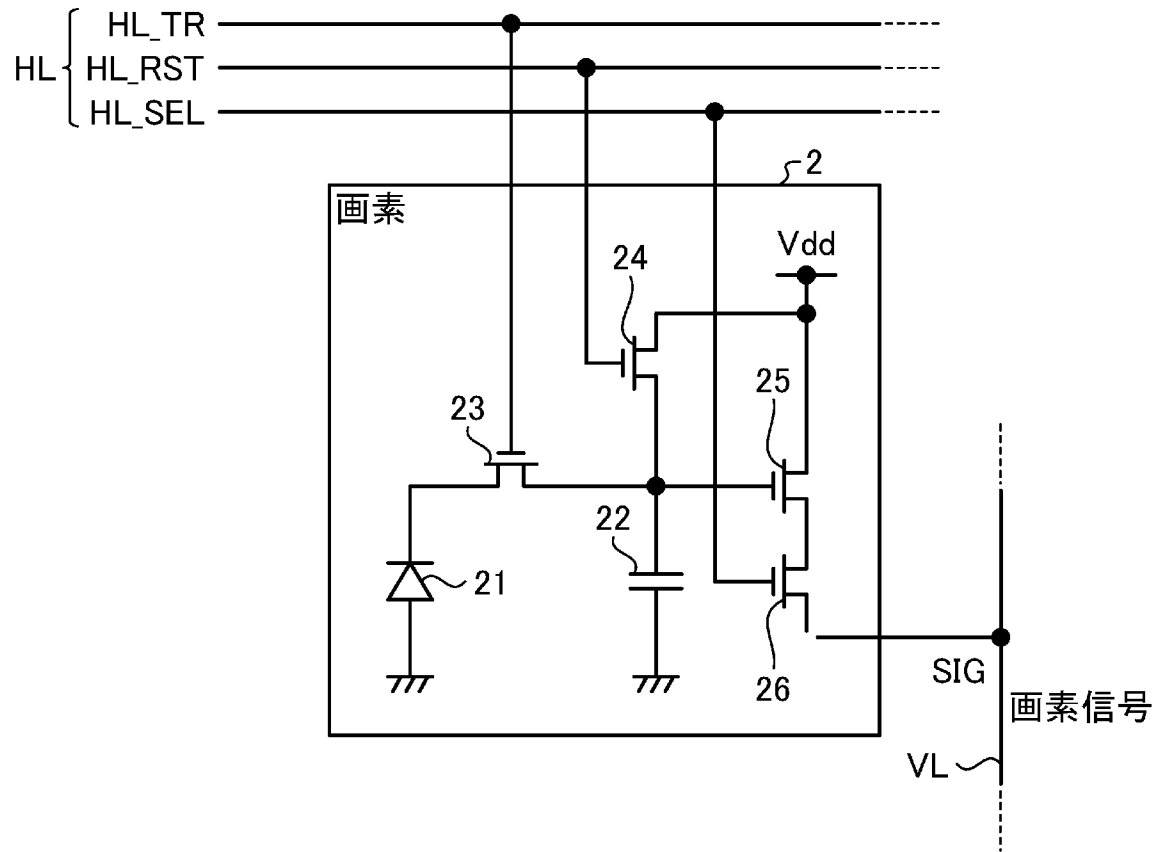
前記エッチングストッパ層の上面及び下面の少なくとも一方の面は、前記遮光されていない光電変換部及び前記遮光された光電変換部の

一方の光電変換部と対向する部分において、凹凸形状を有する、
請求項 5 9 に記載の光検出器。

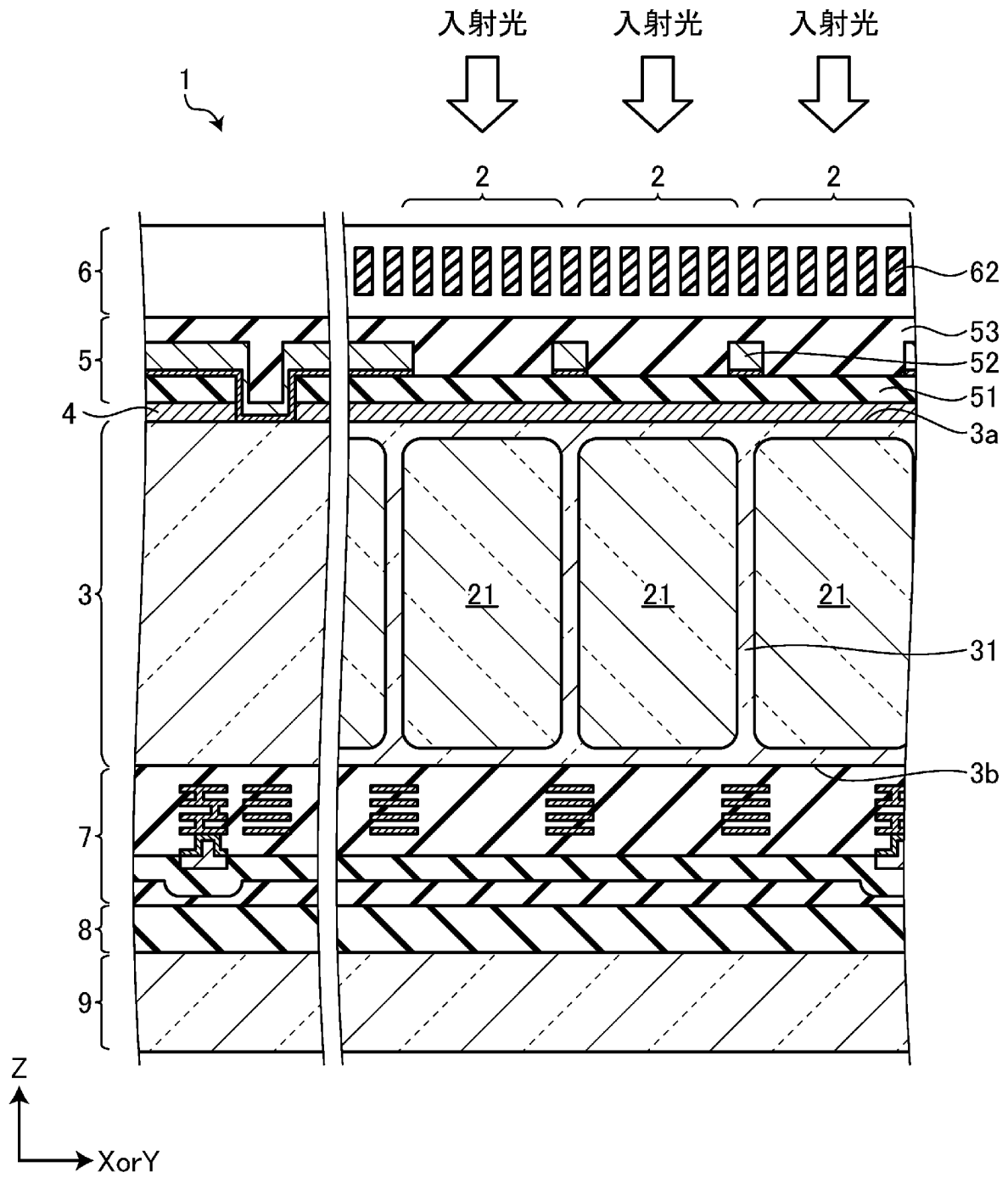
[図1]



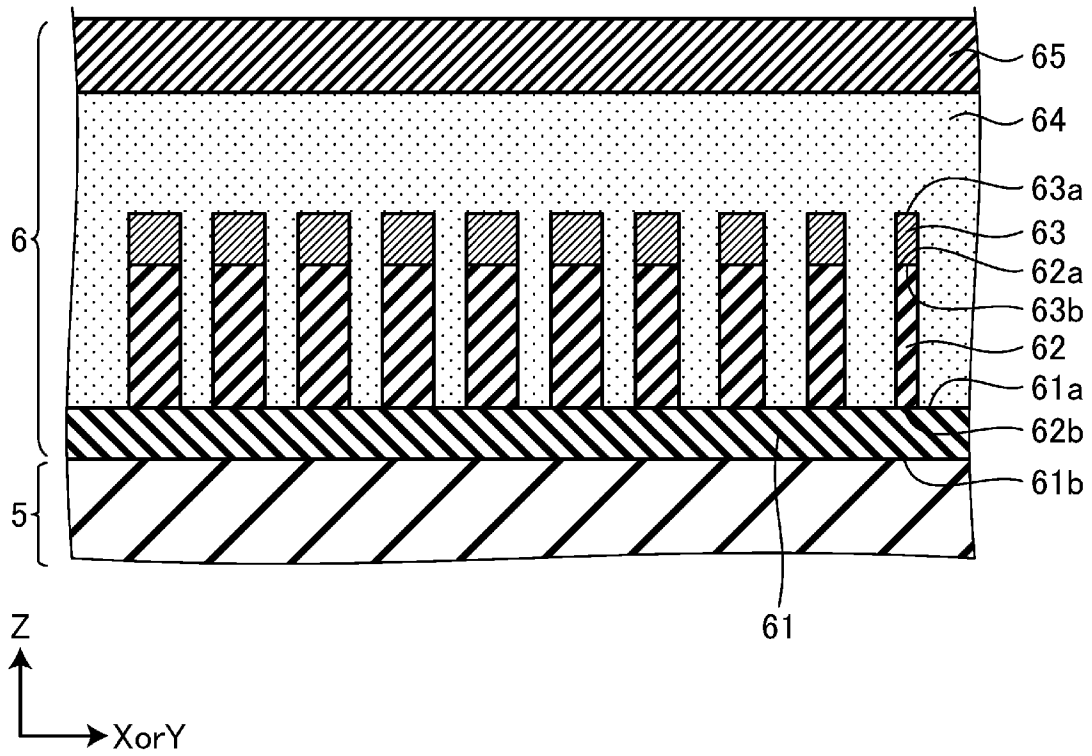
[図2]



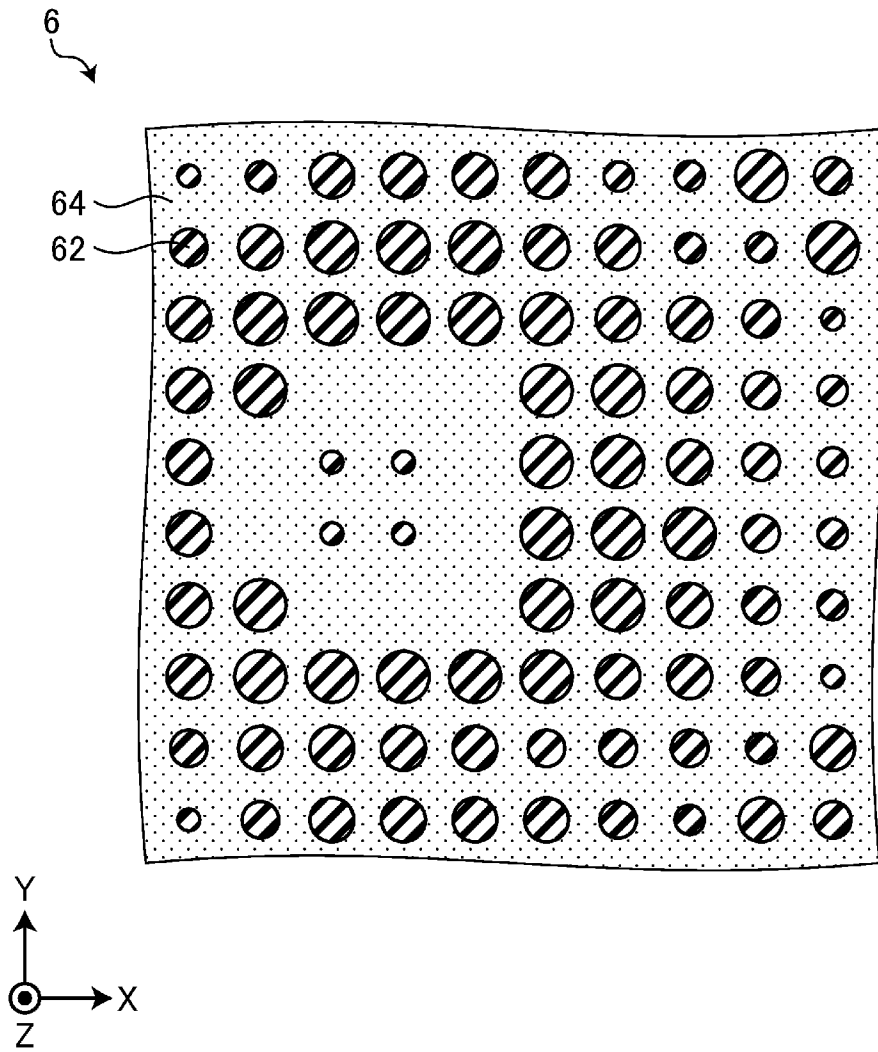
[図3]



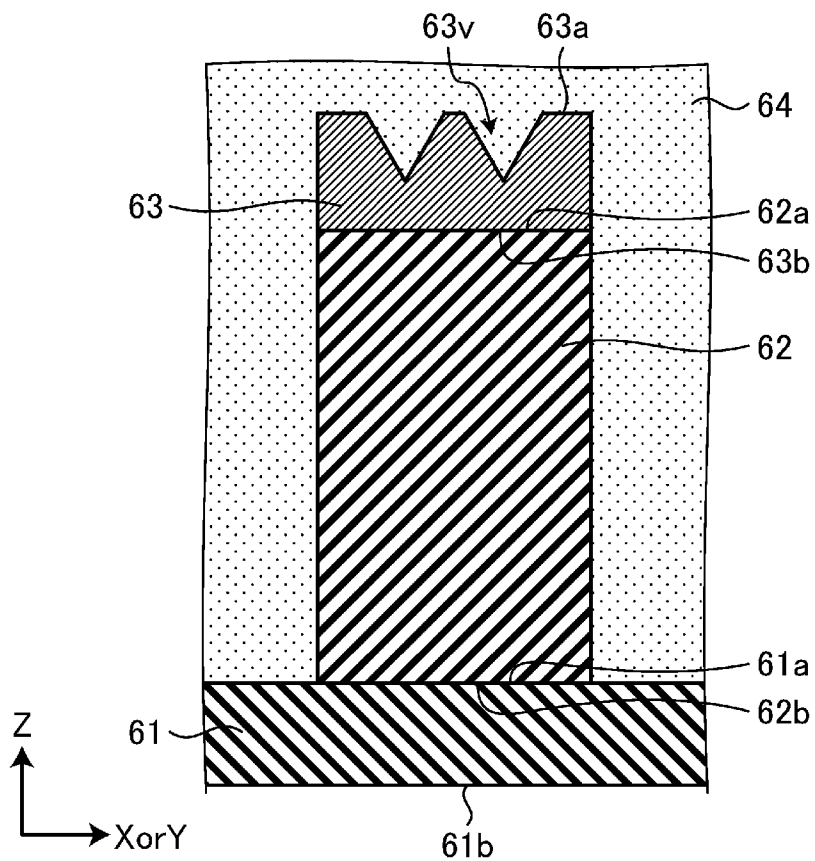
[図4]



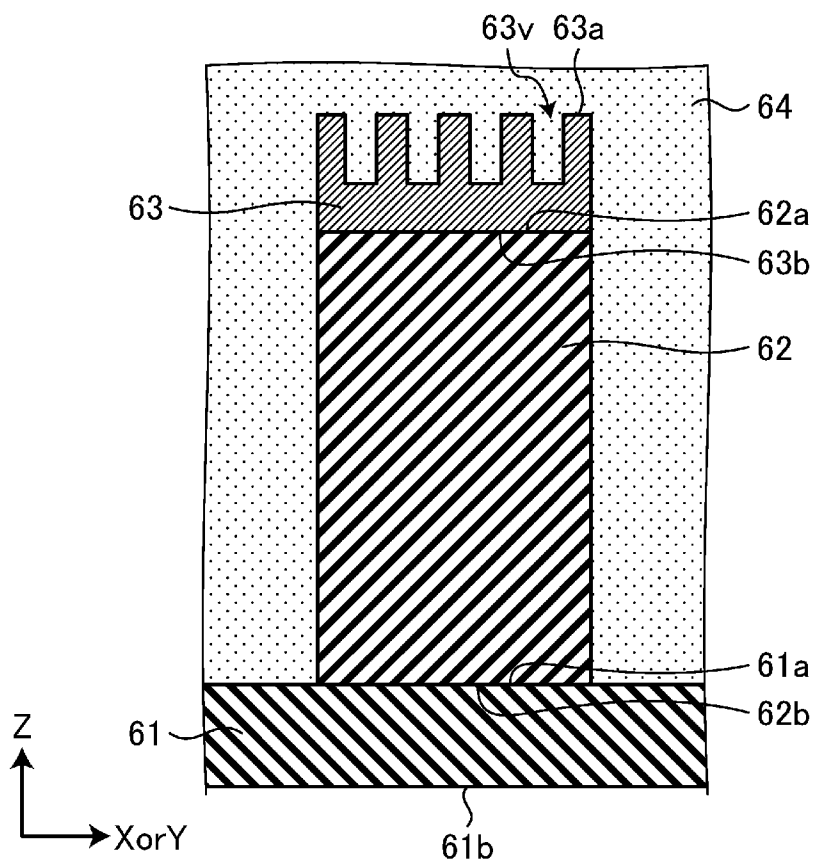
[図5]



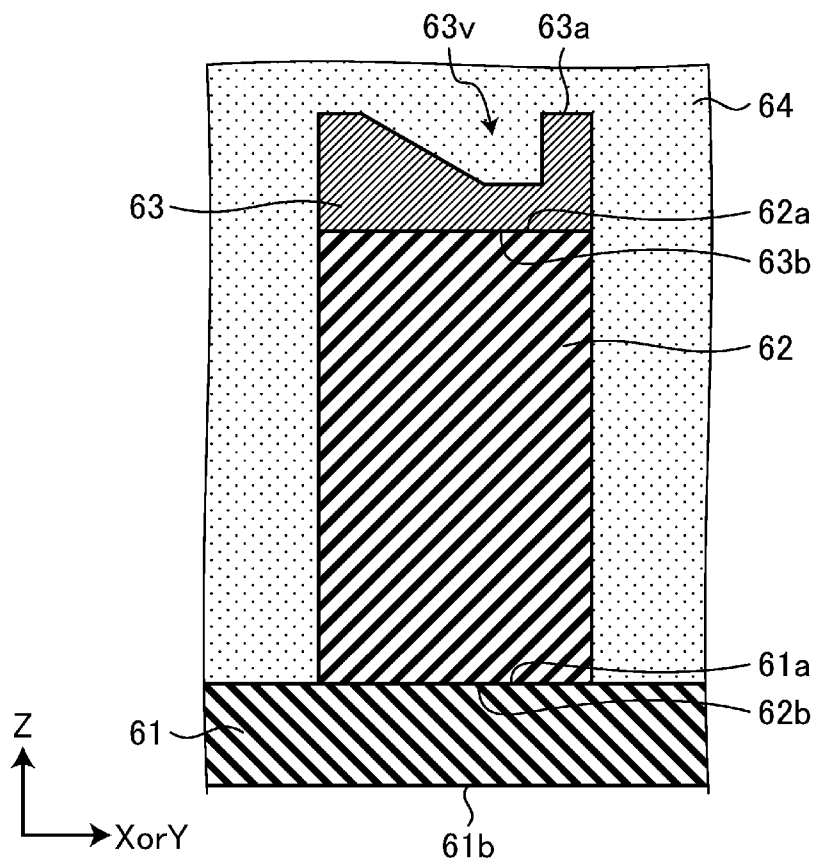
[図6]



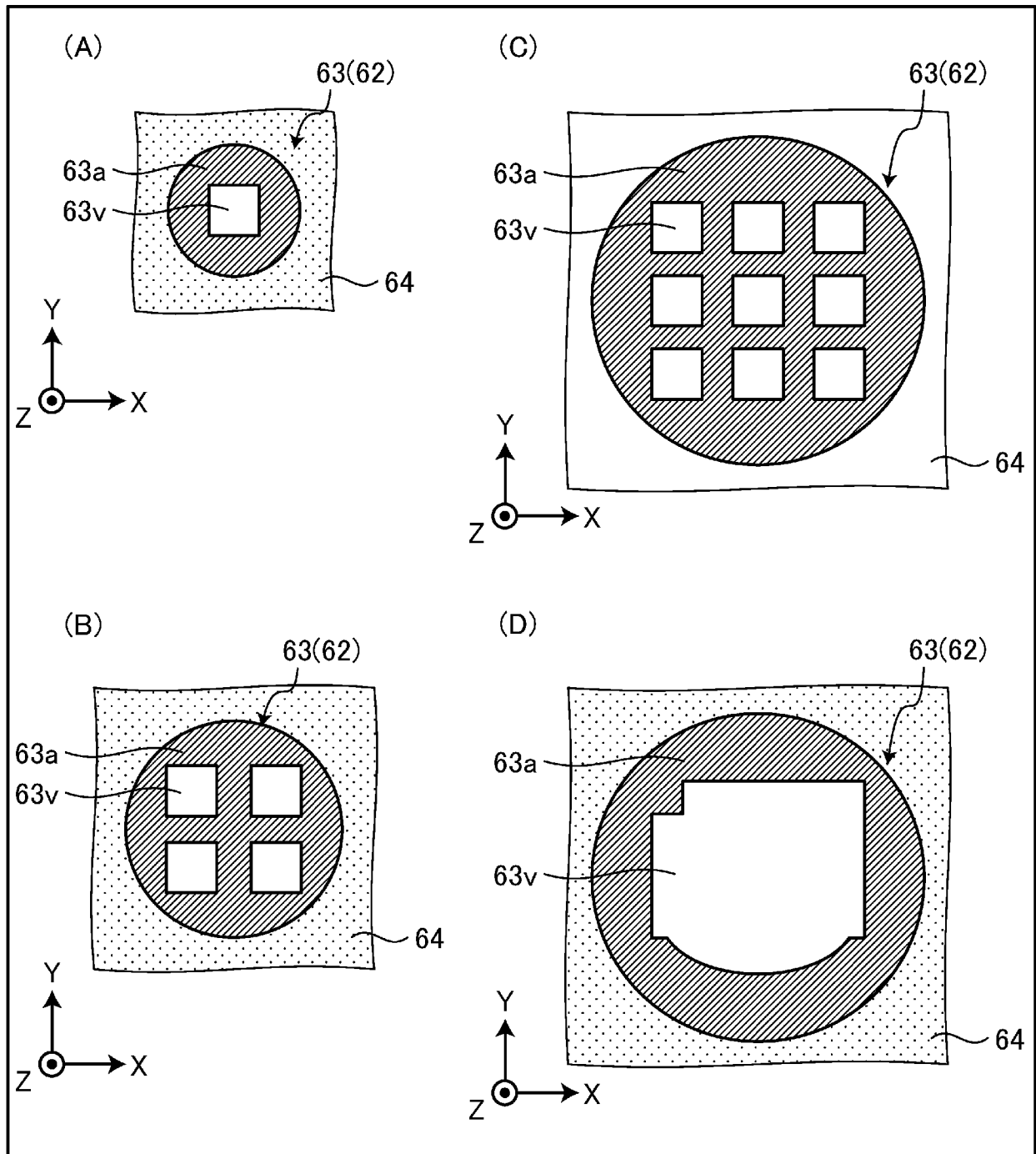
[図7]



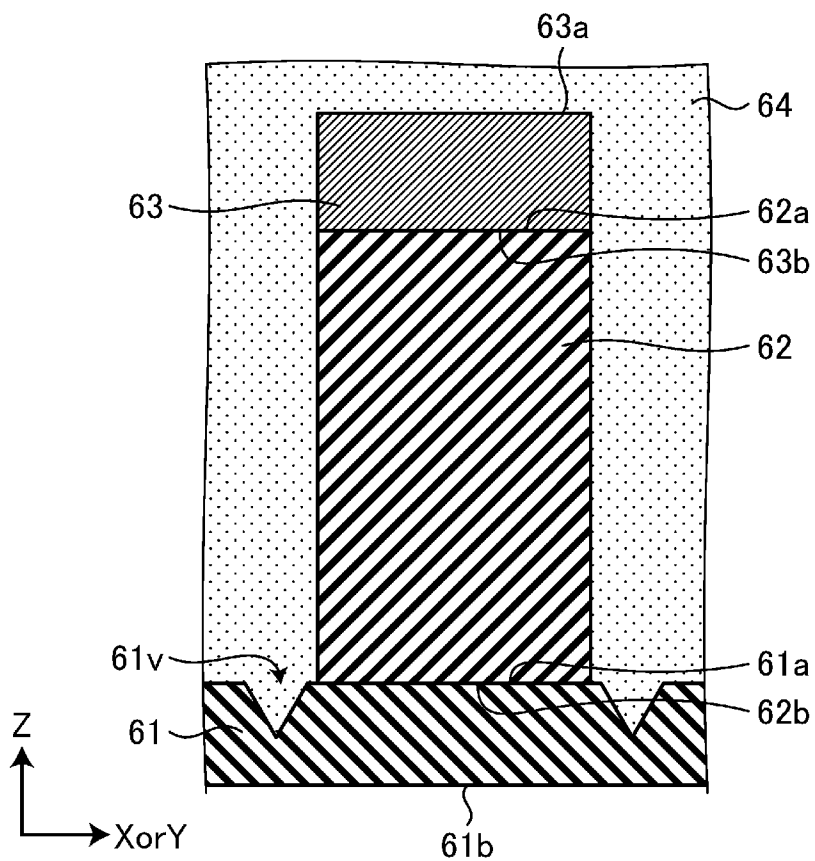
[図8]



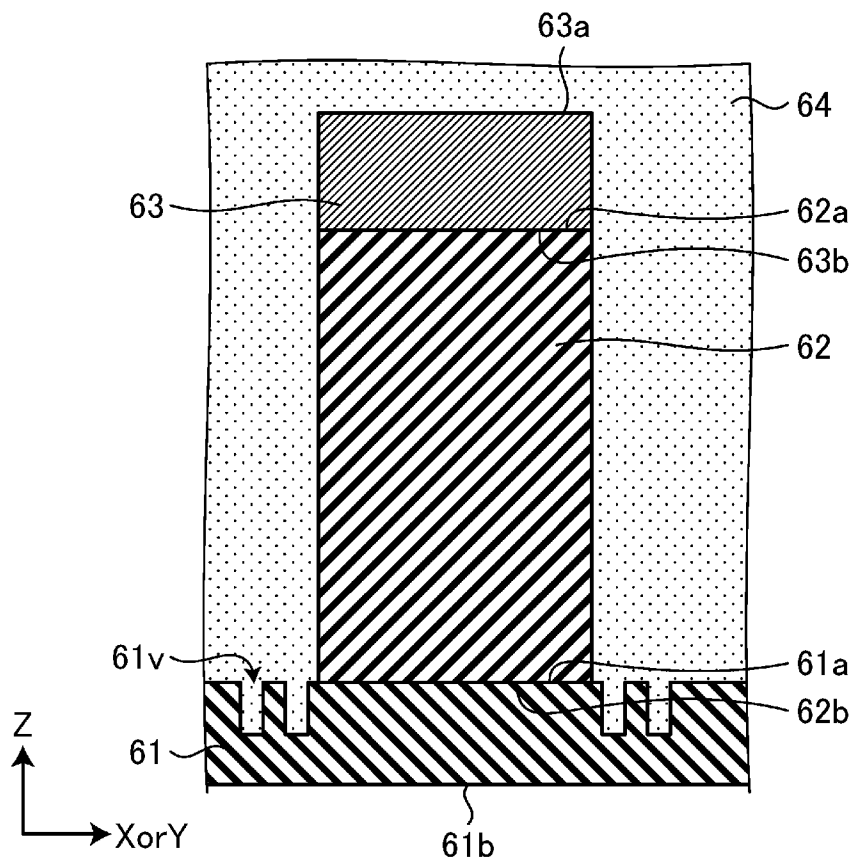
[図9]



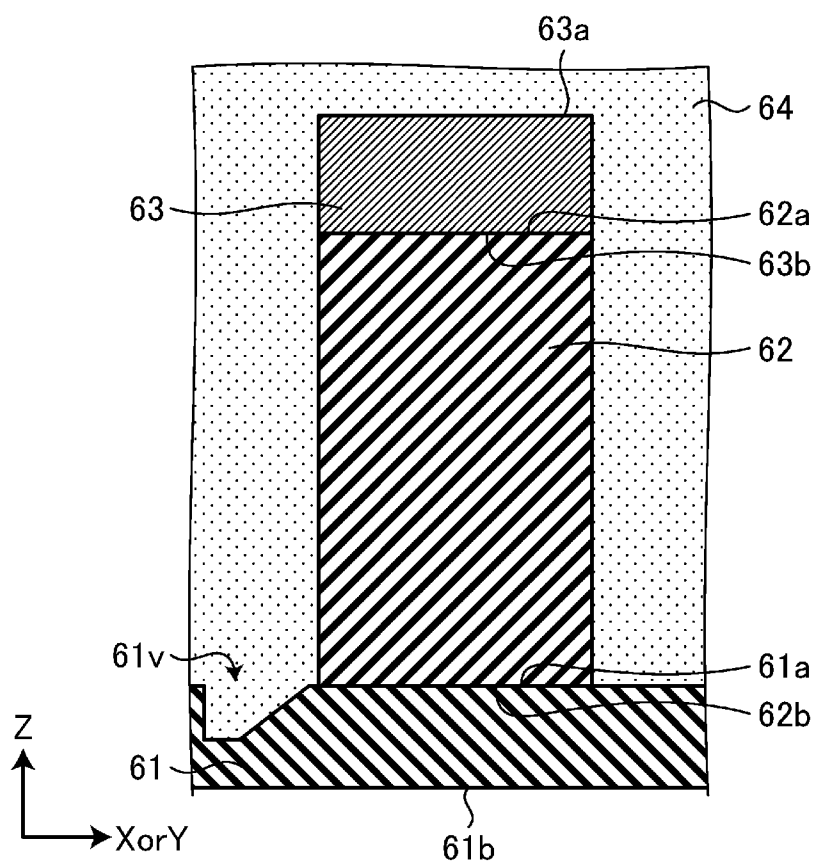
[図10]



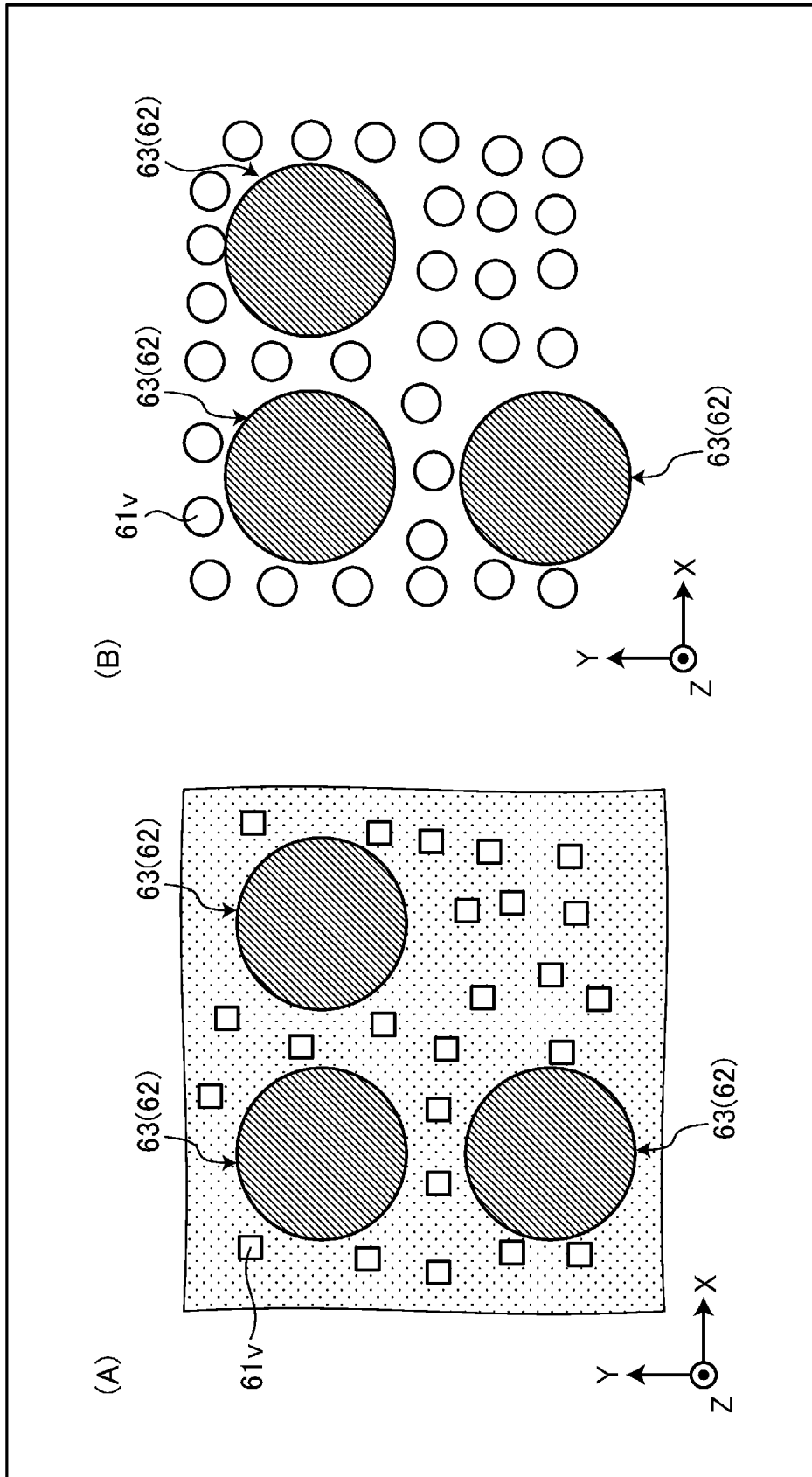
[図11]



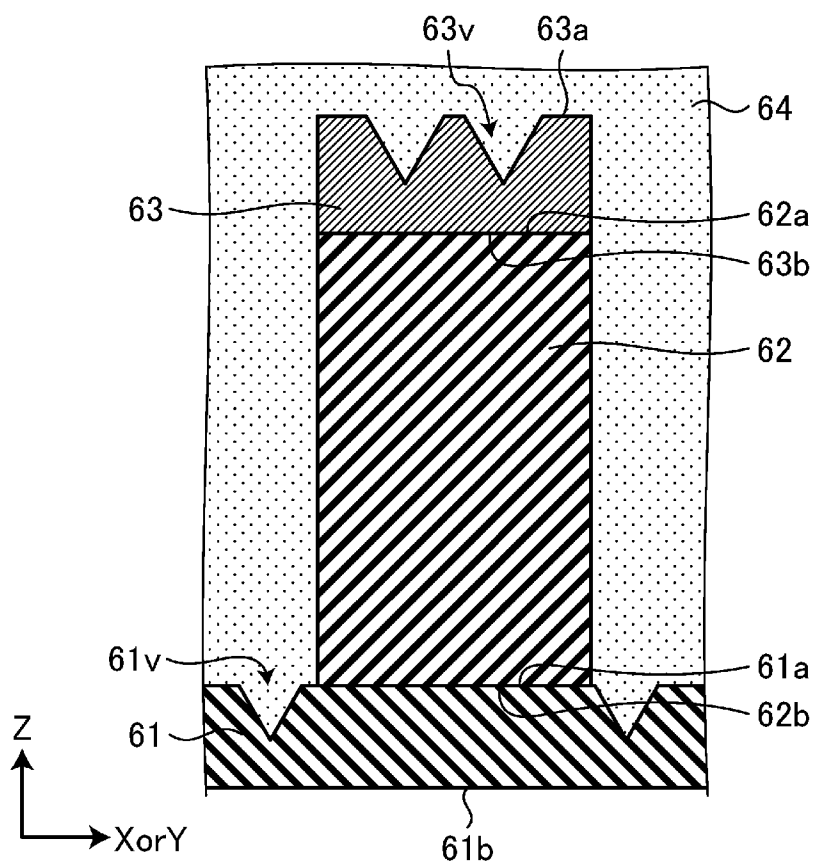
[図12]



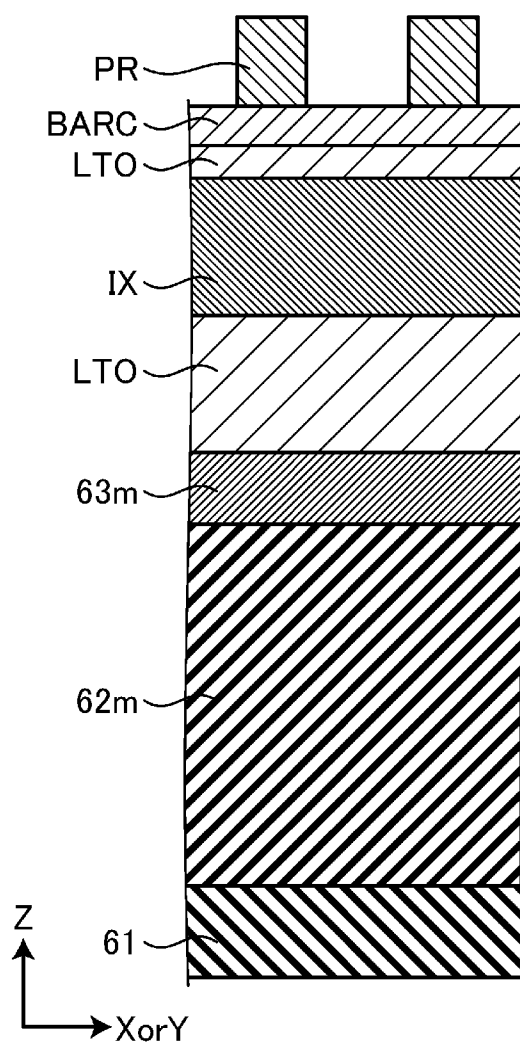
[図13]



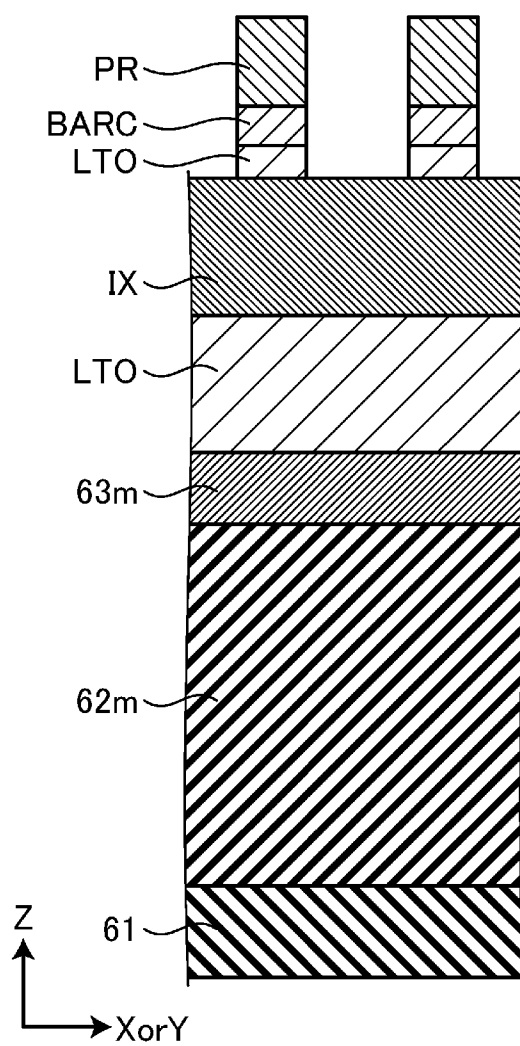
[図14]



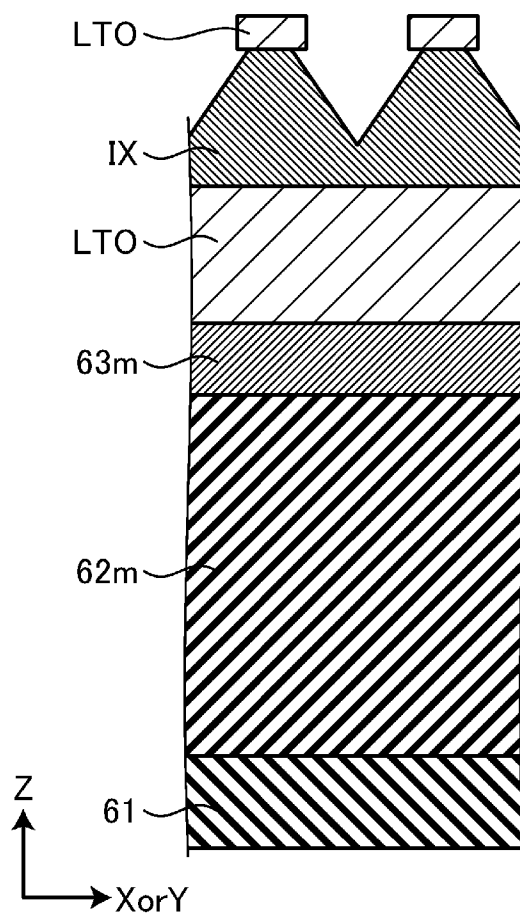
[図15]



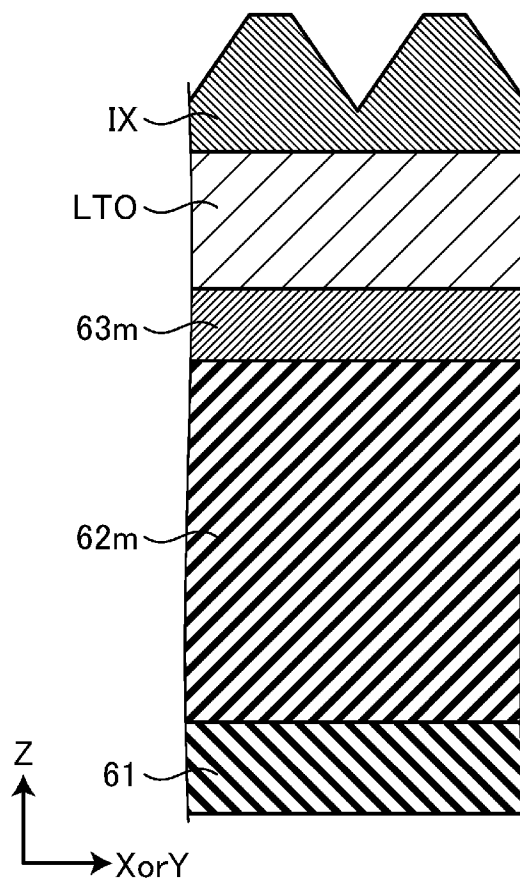
[図16]



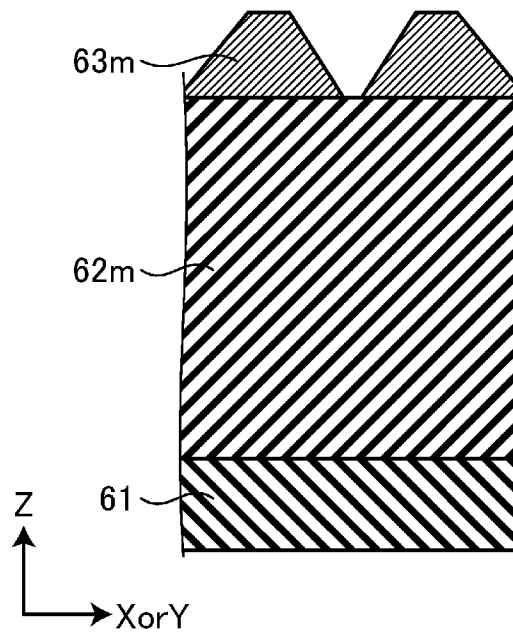
[図17]



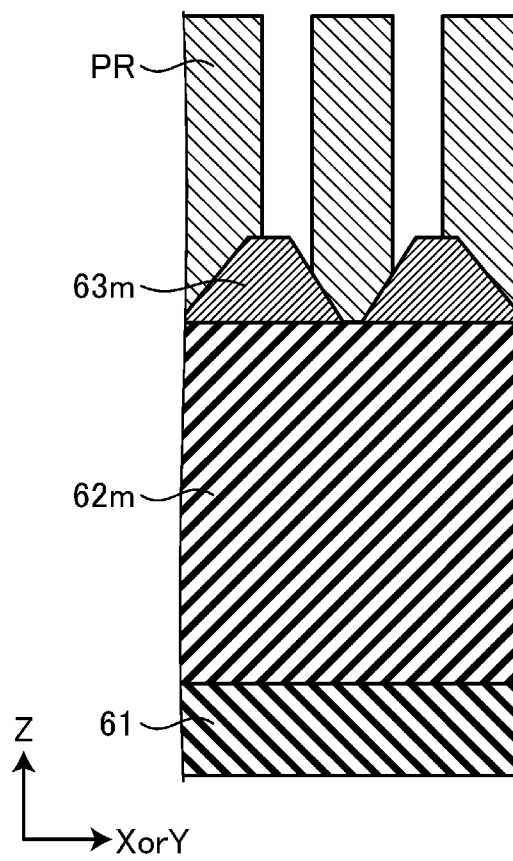
[図18]



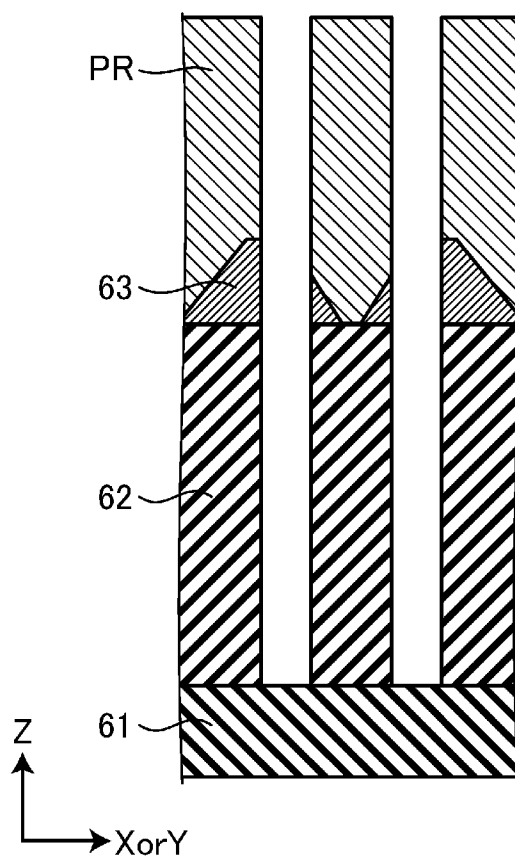
[図19]



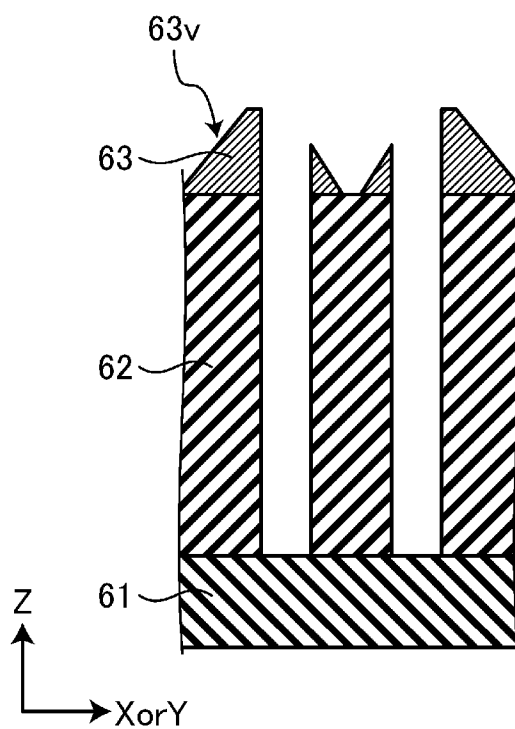
[図20]



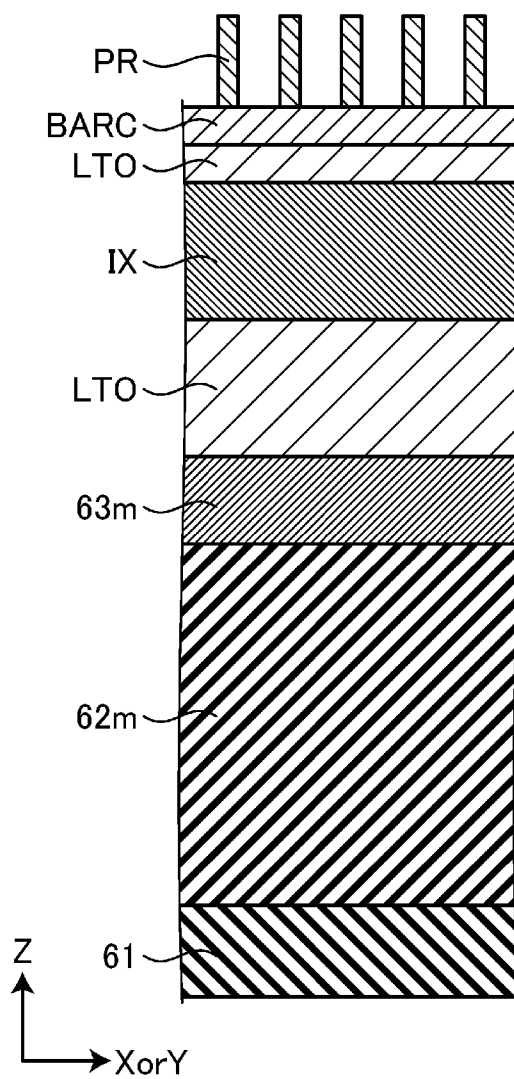
[図21]



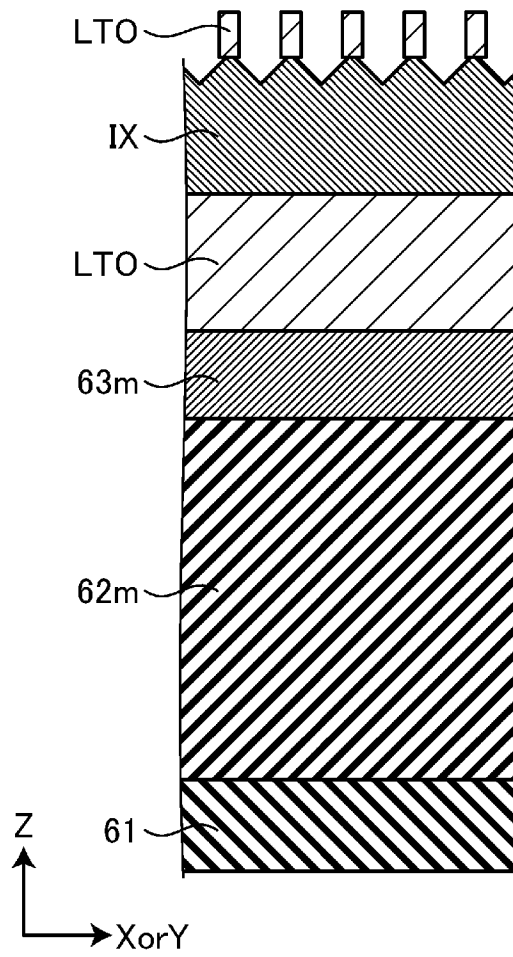
[図22]



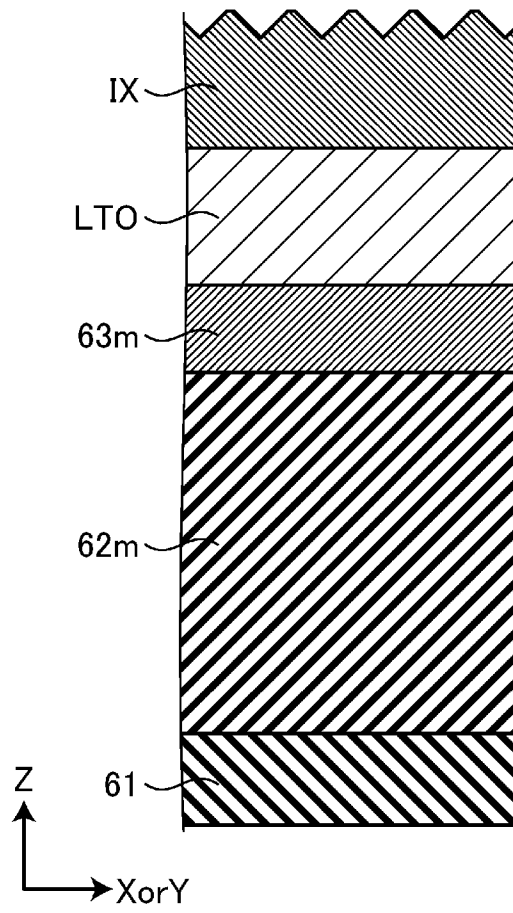
[図23]



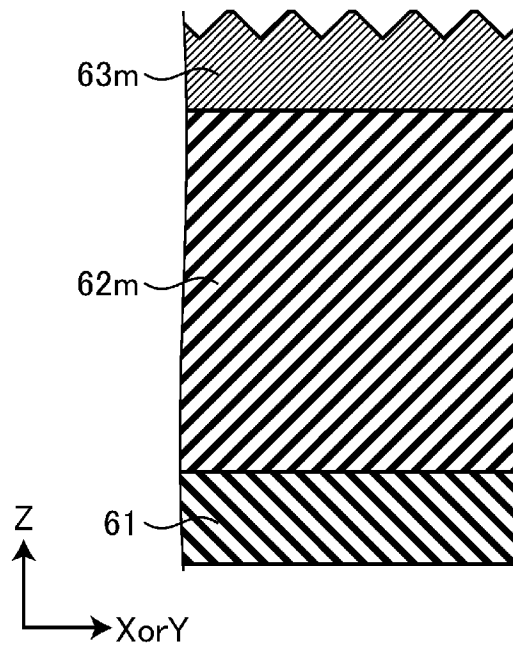
[図25]



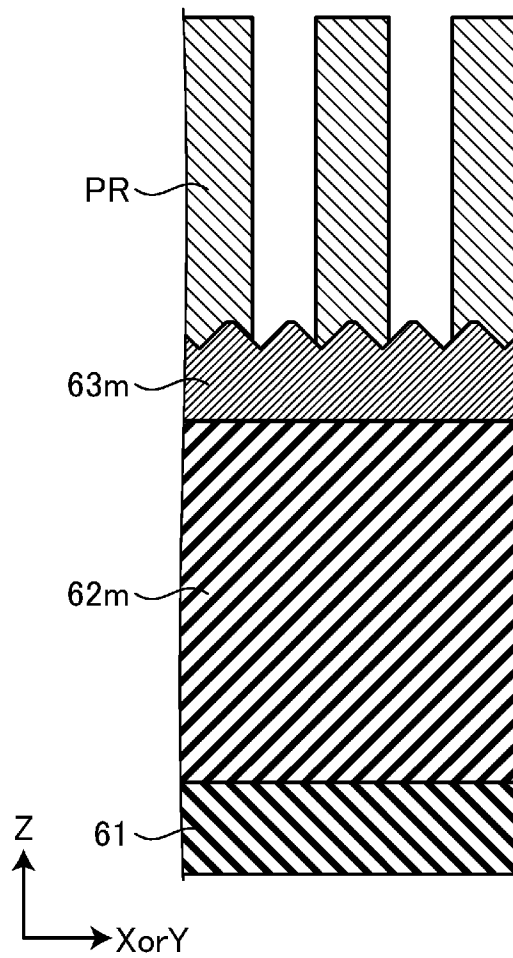
[図26]



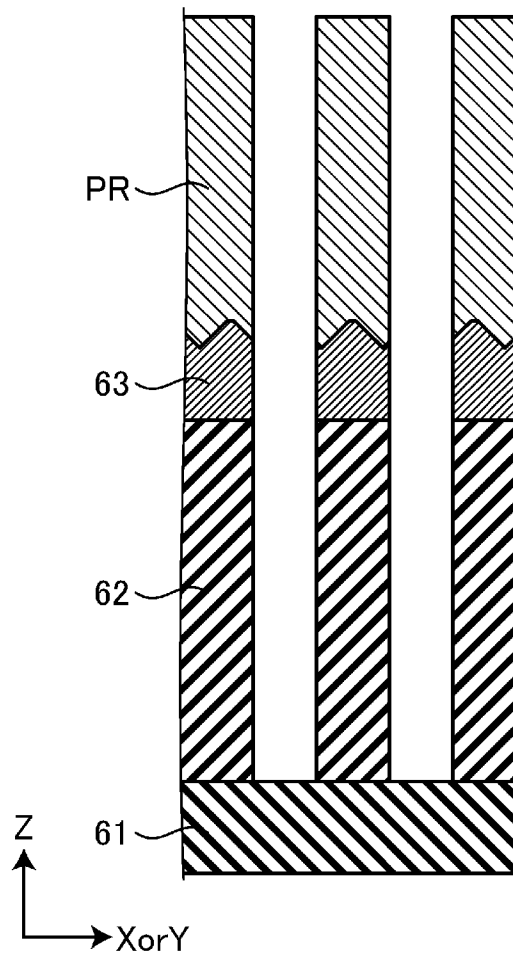
[図27]



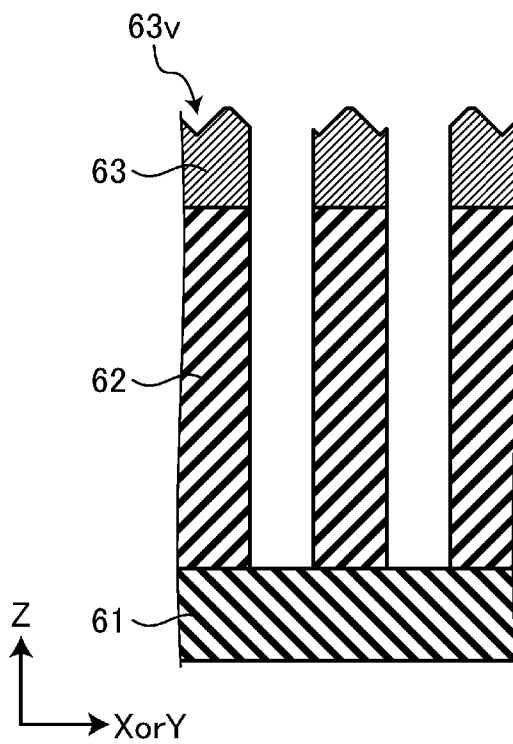
[図28]



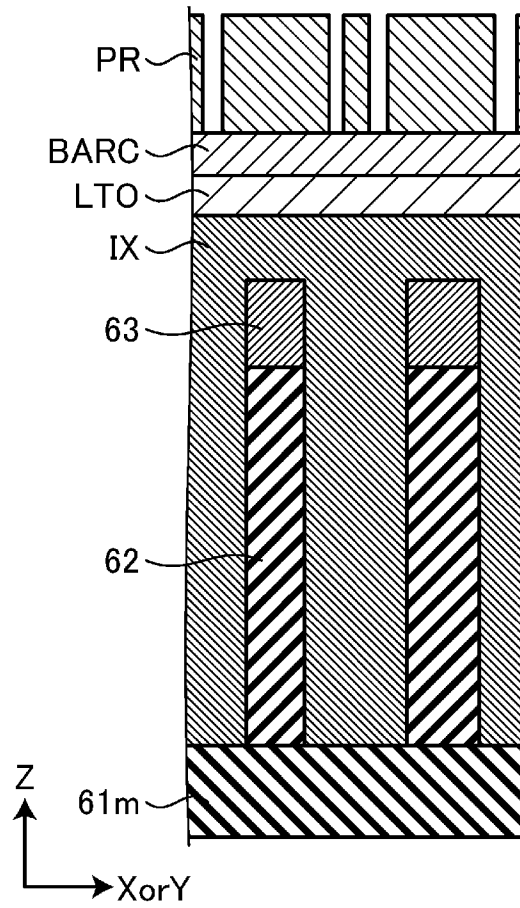
[図29]



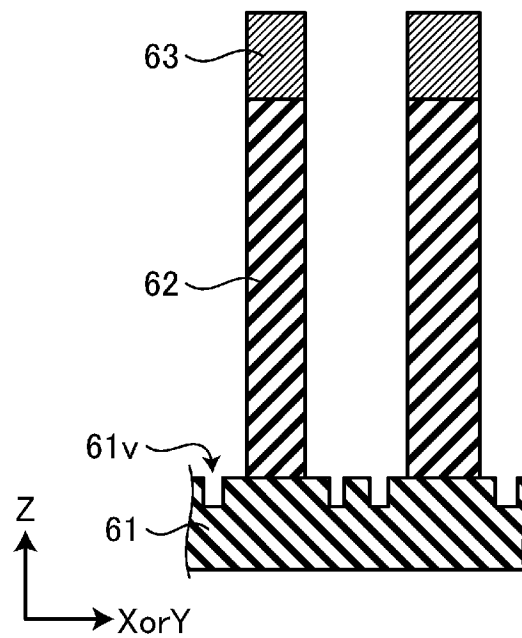
[図30]



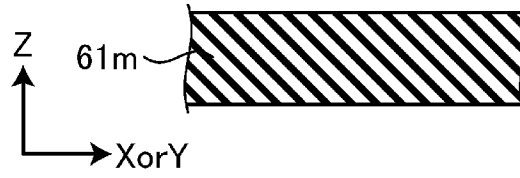
[図31]



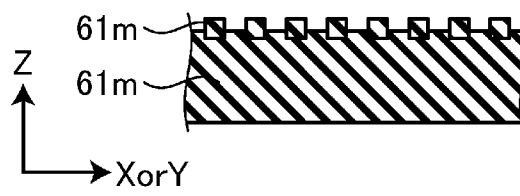
[図32]



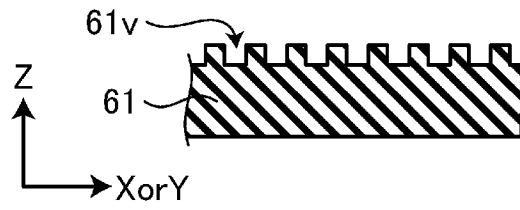
[図33]



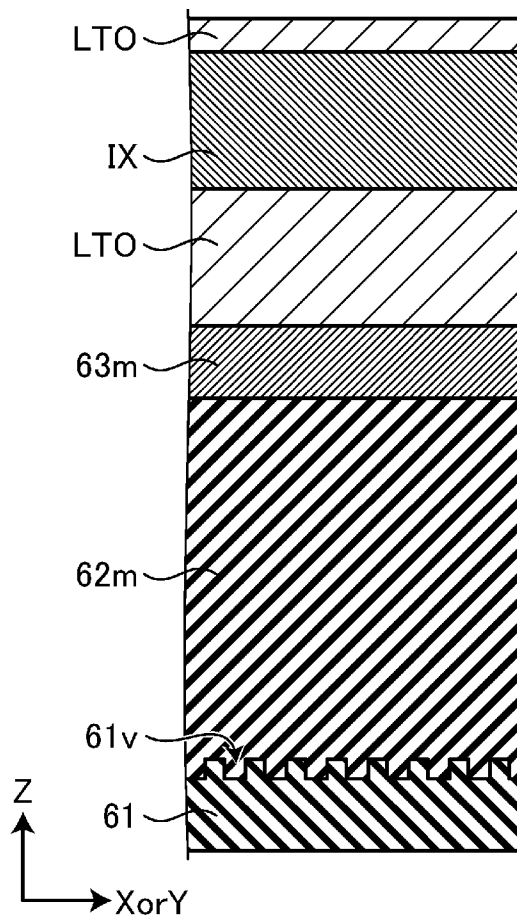
[図34]



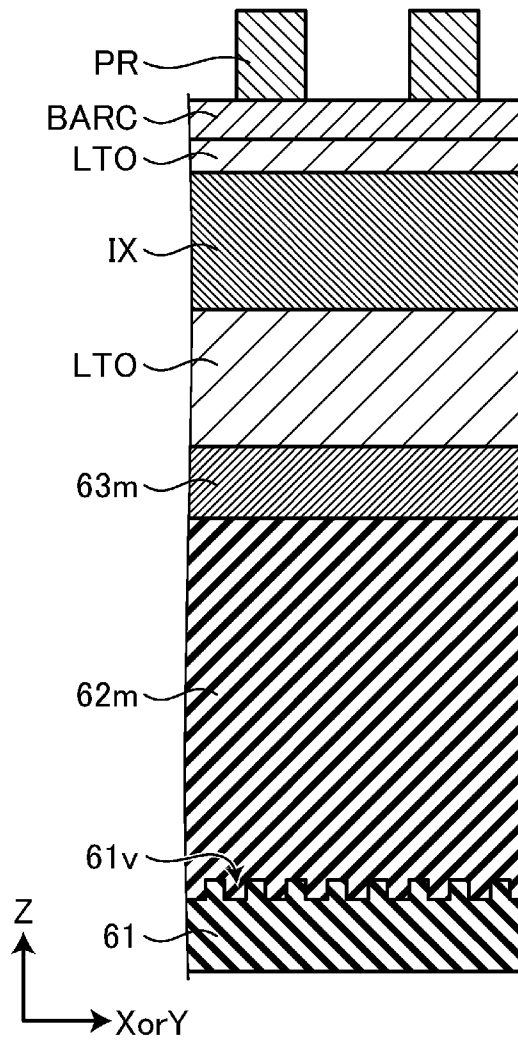
[図35]



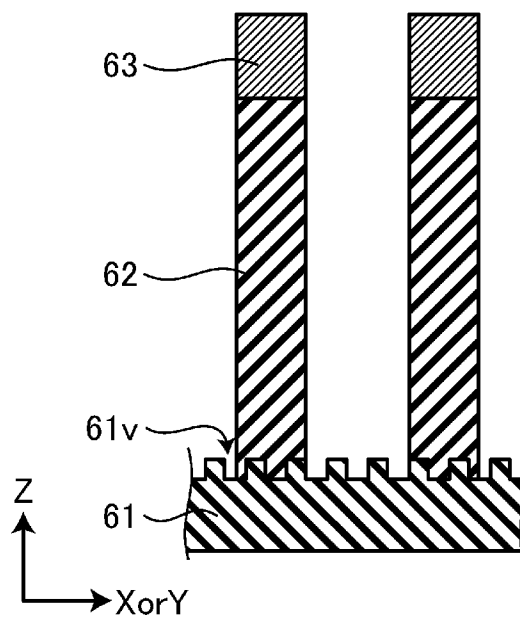
[図36]



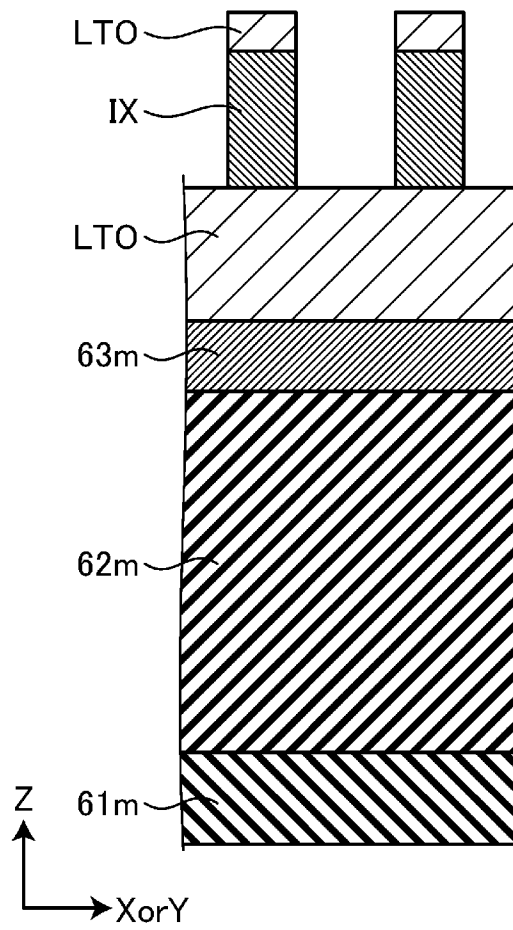
[図37]



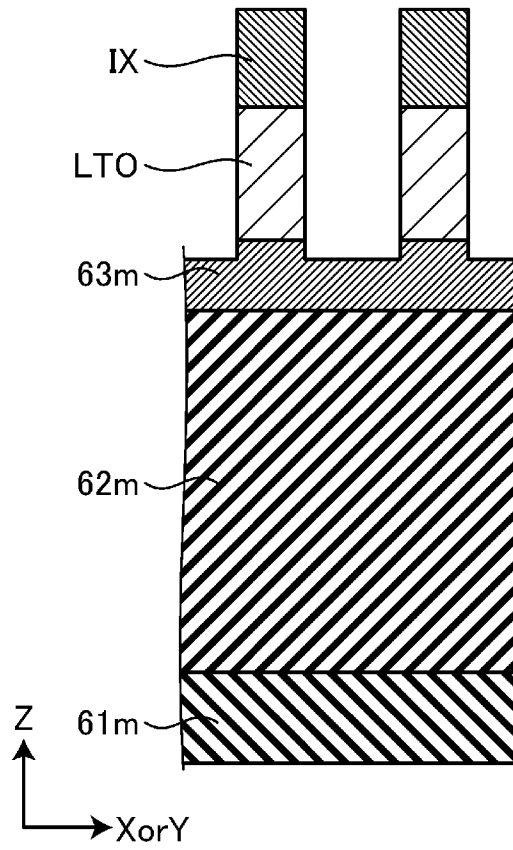
[図38]



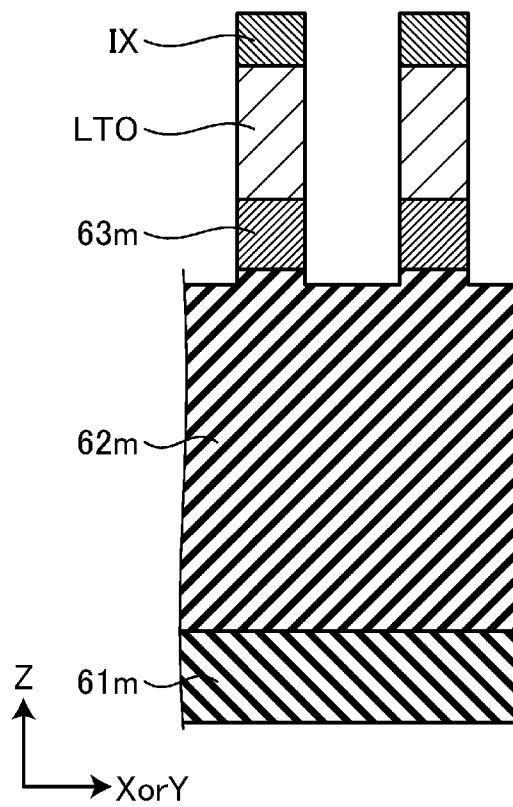
[図39]



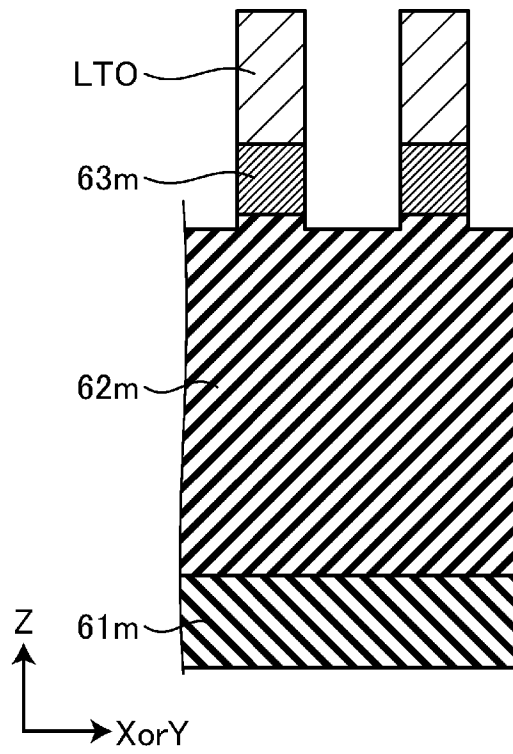
[図40]



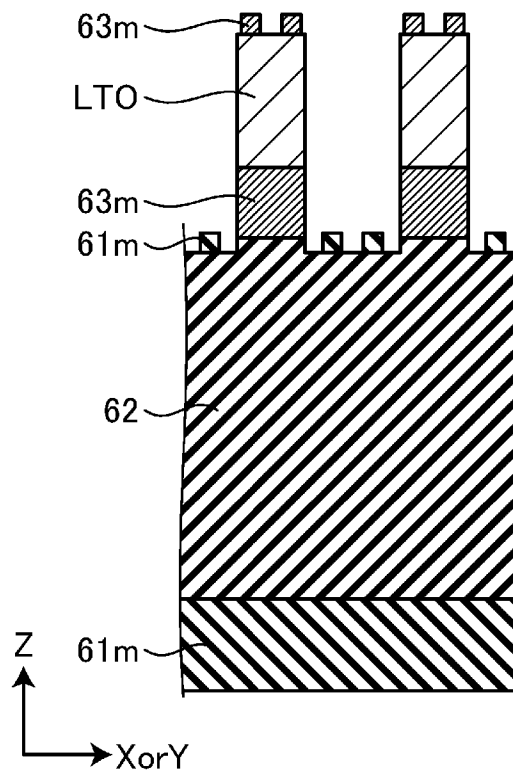
[図41]



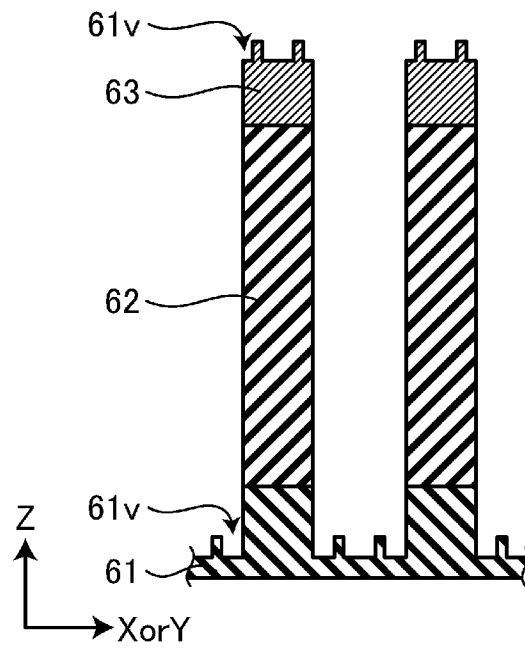
[図42]



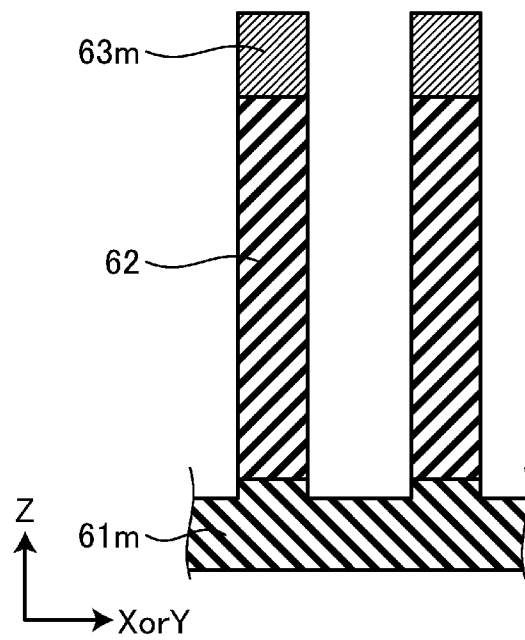
[図43]



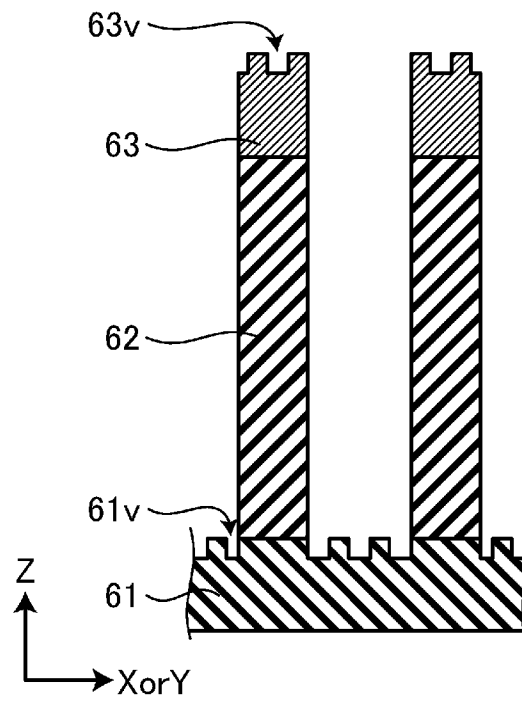
[図44]



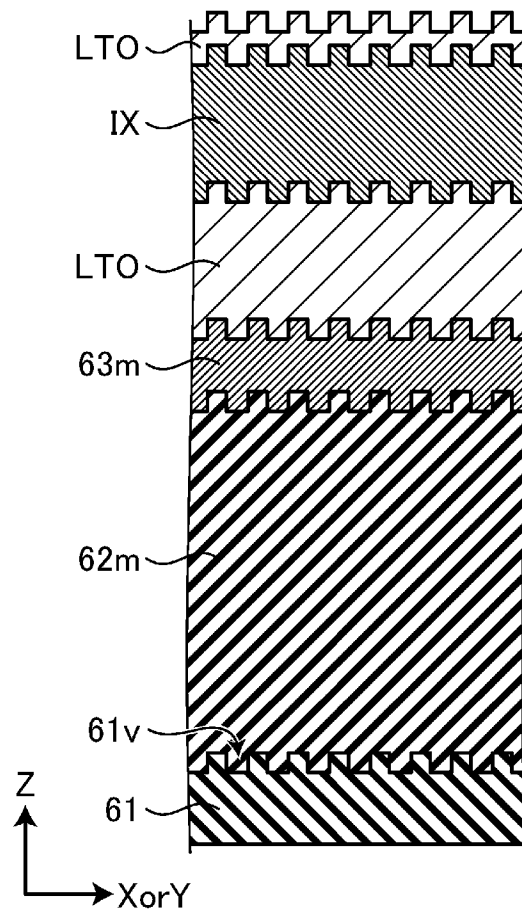
[図45]



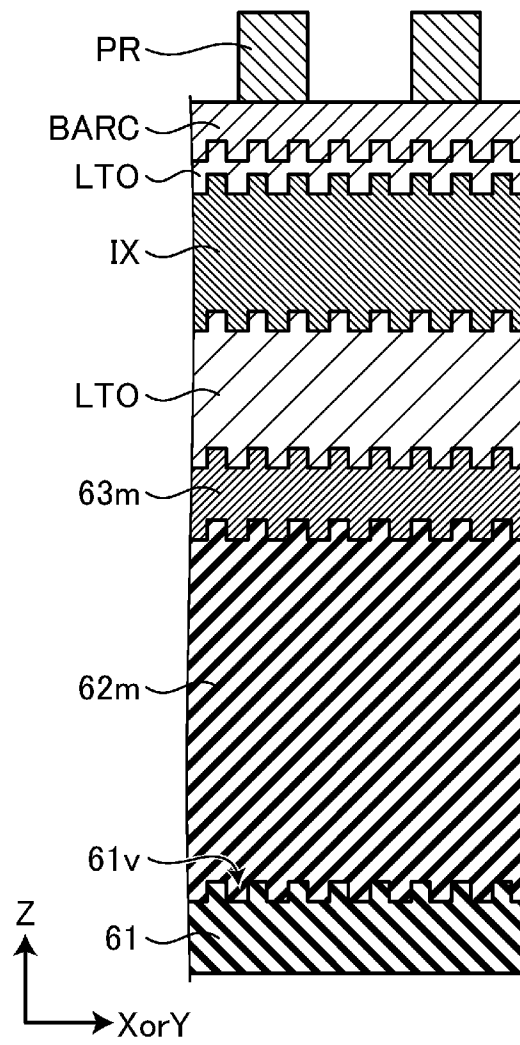
[図46]



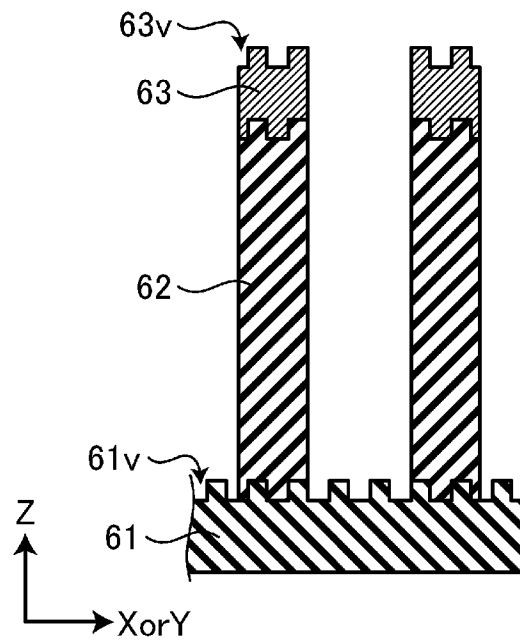
[図47]



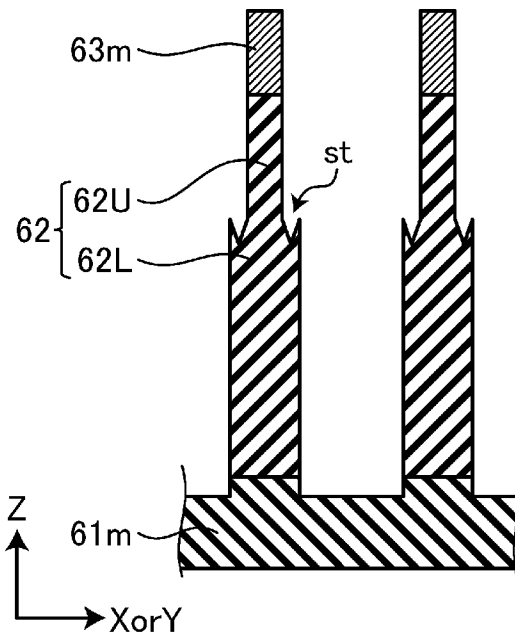
[図48]



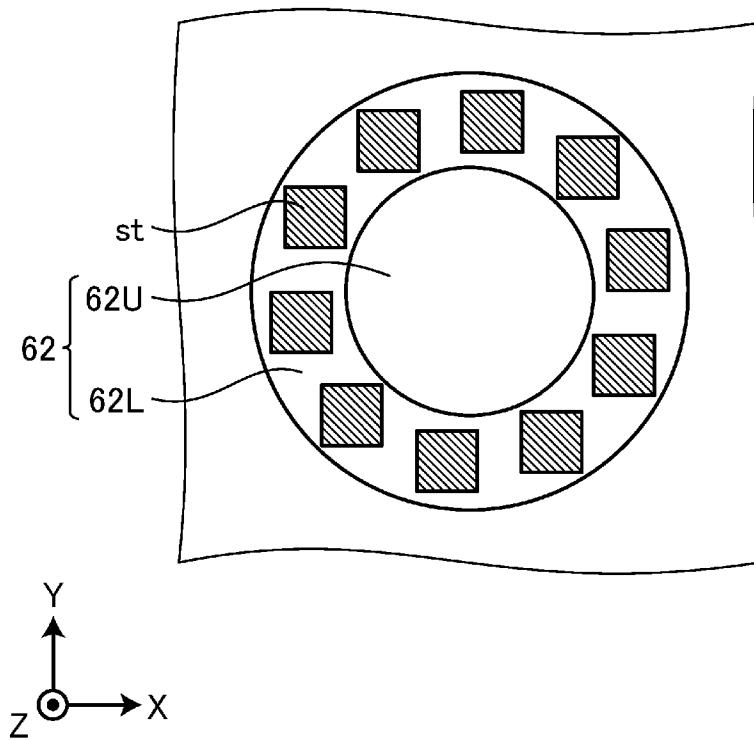
[図49]



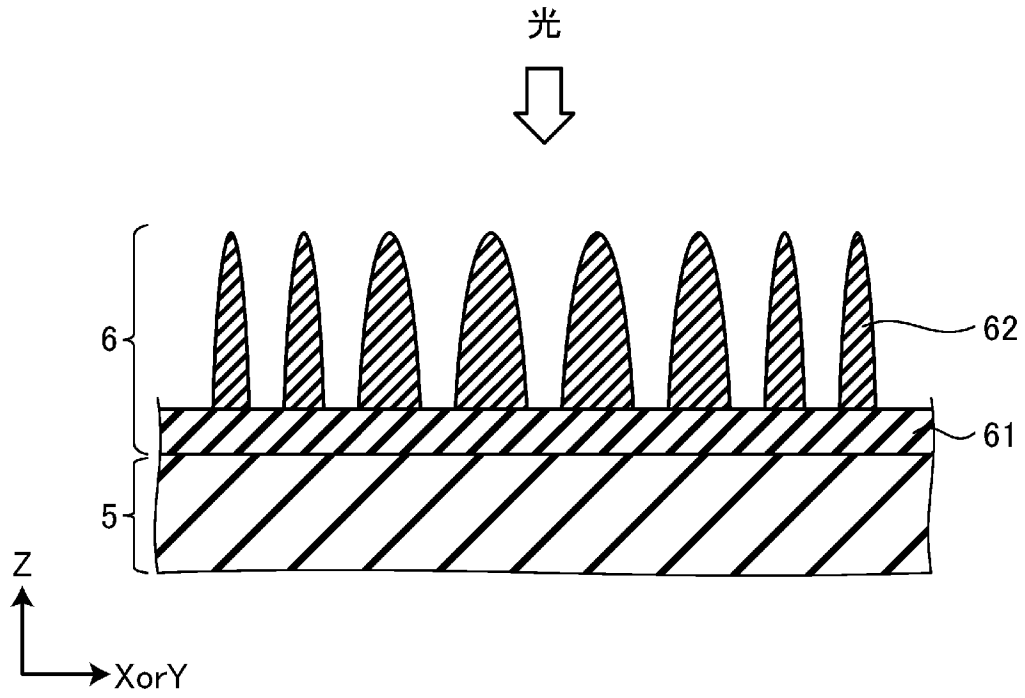
[図50]



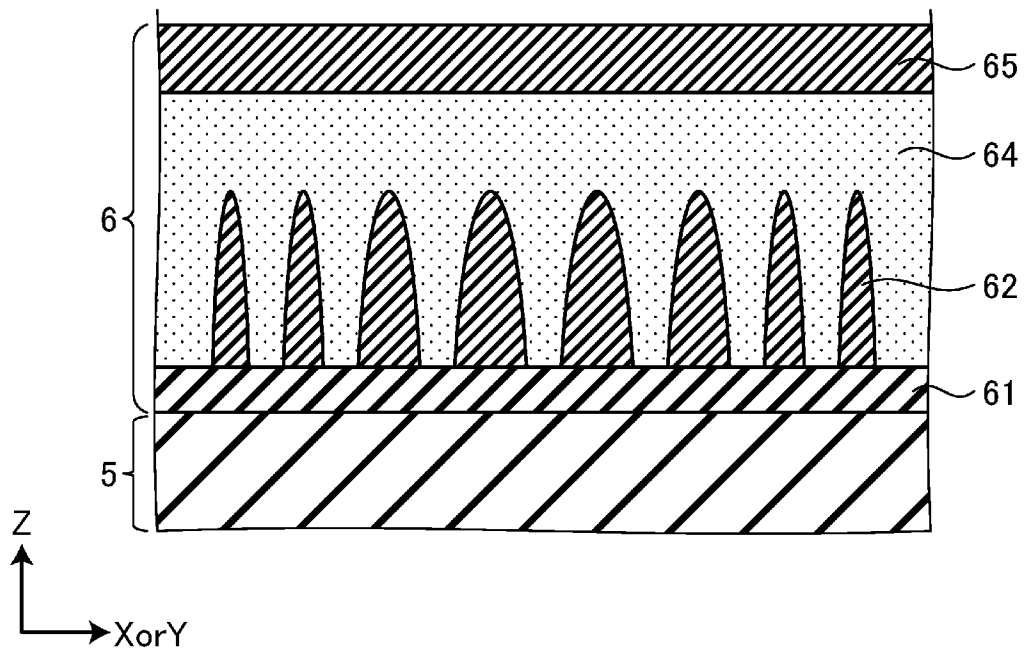
[図51]



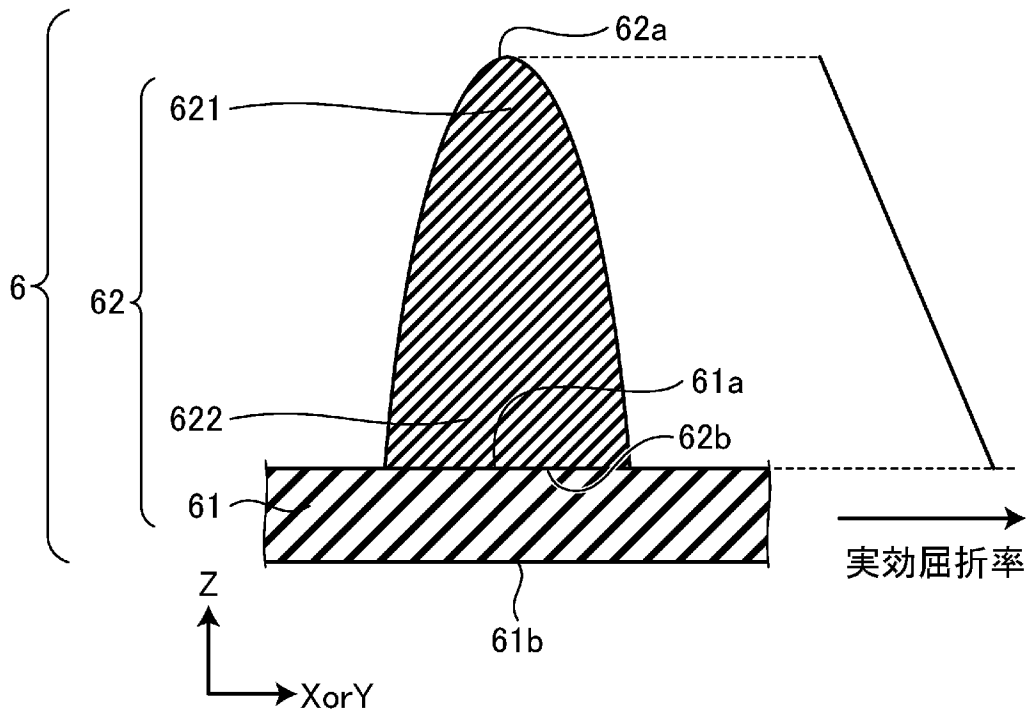
[図52]



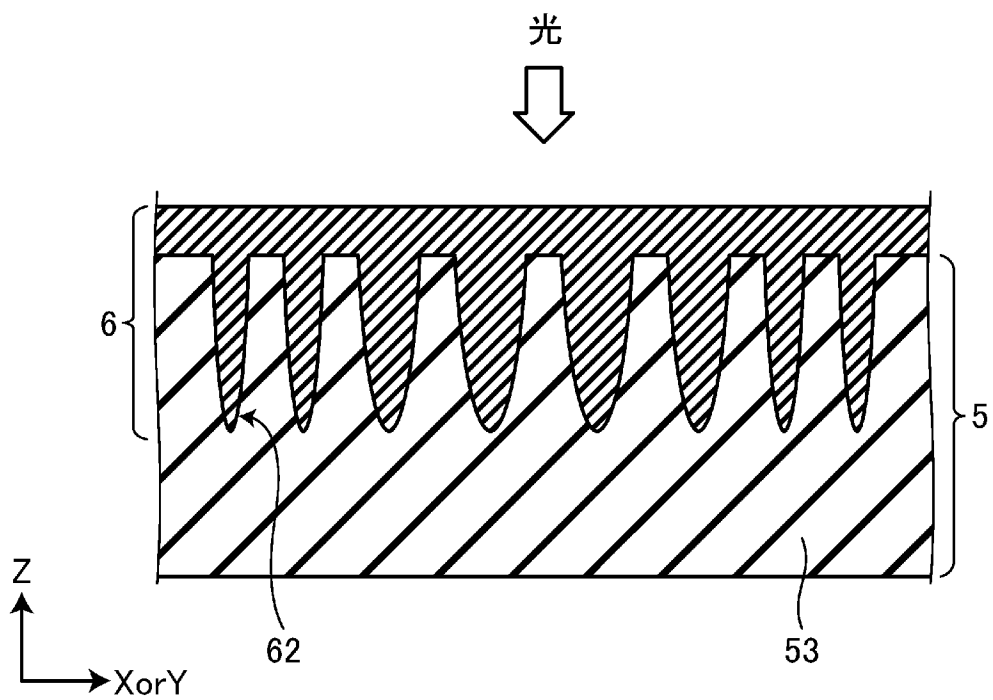
[図53]



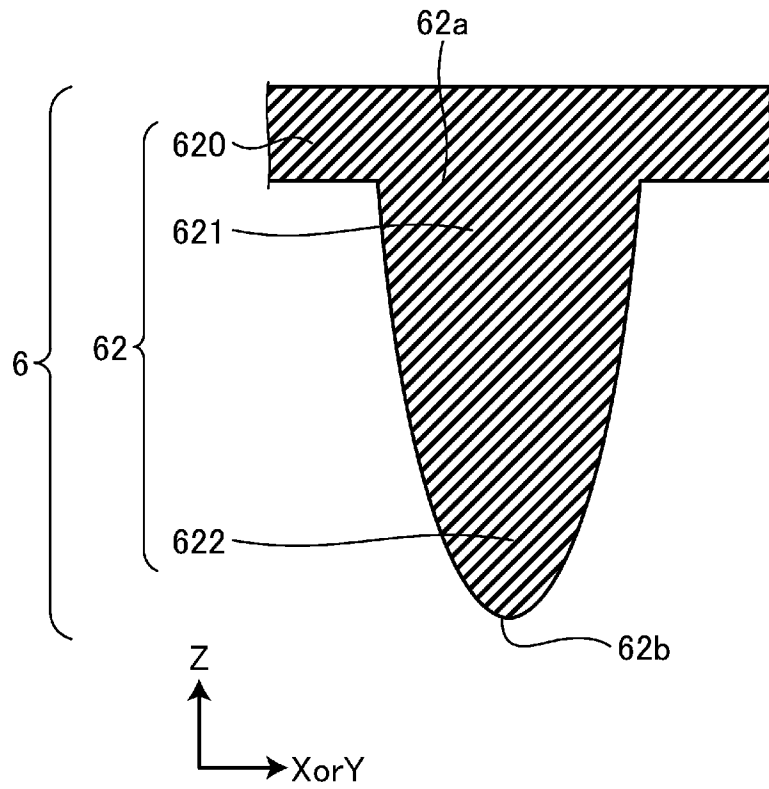
[図54]



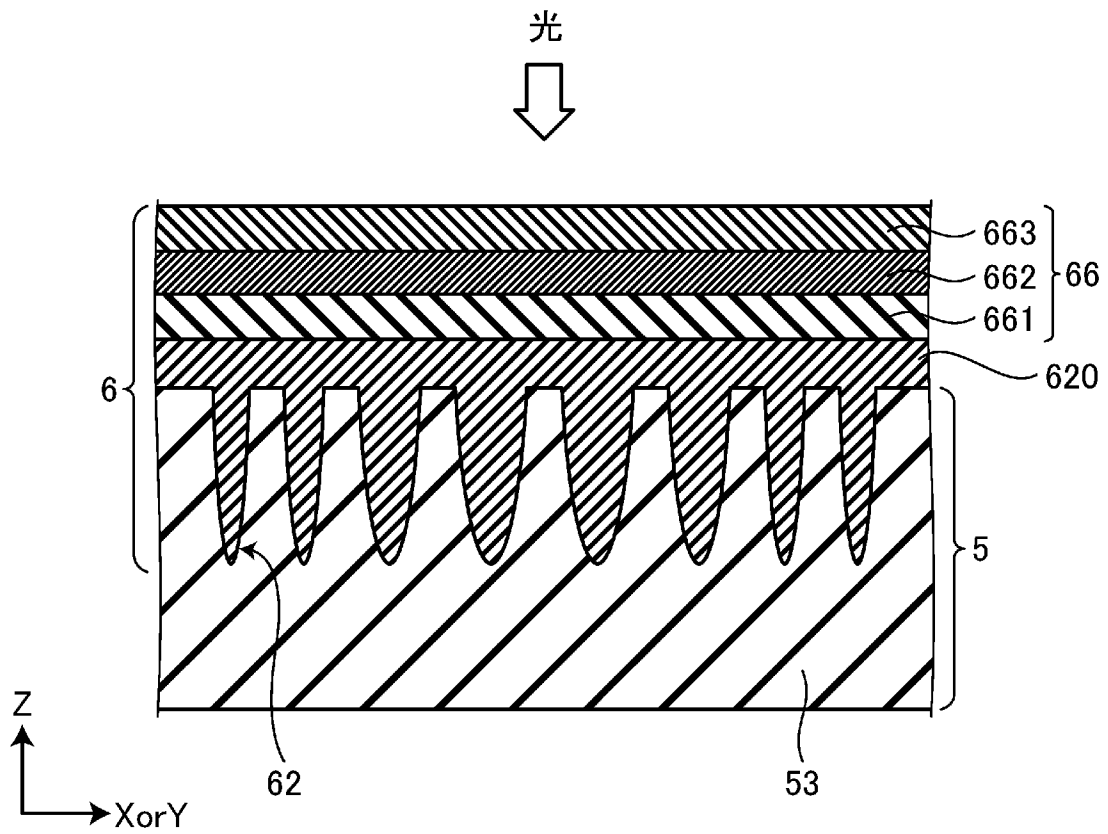
[図55]



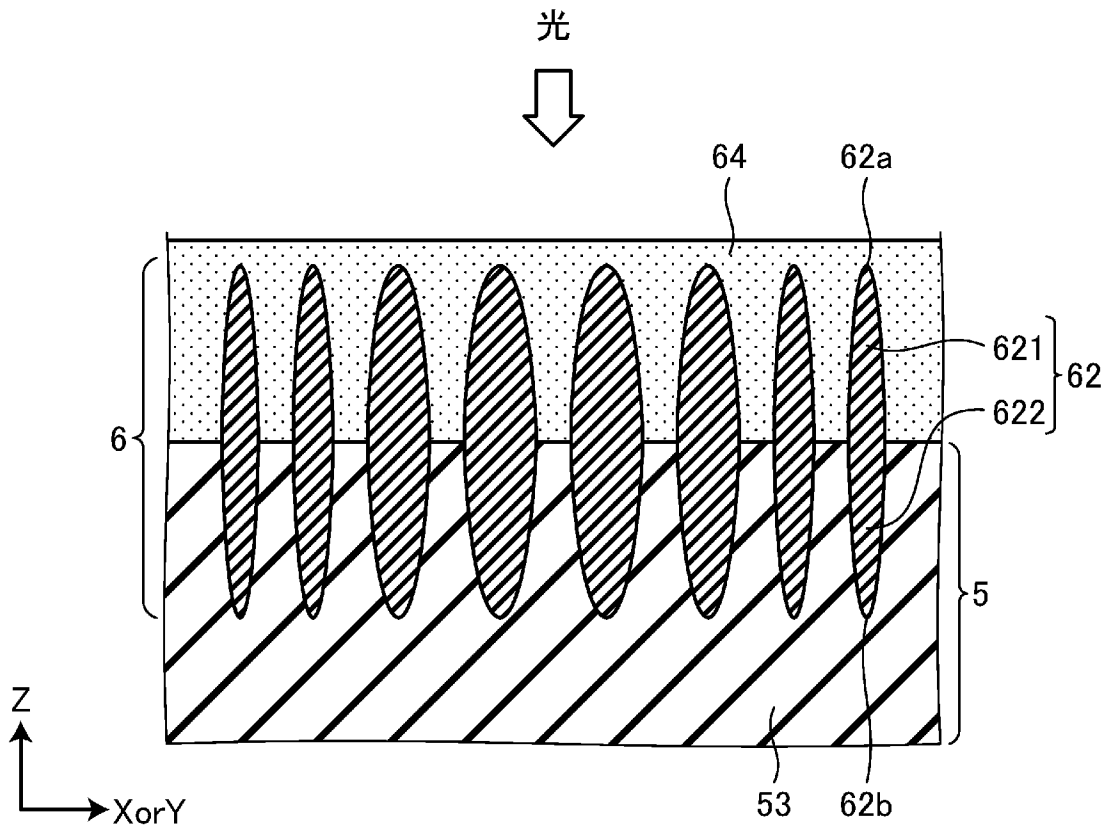
[図56]



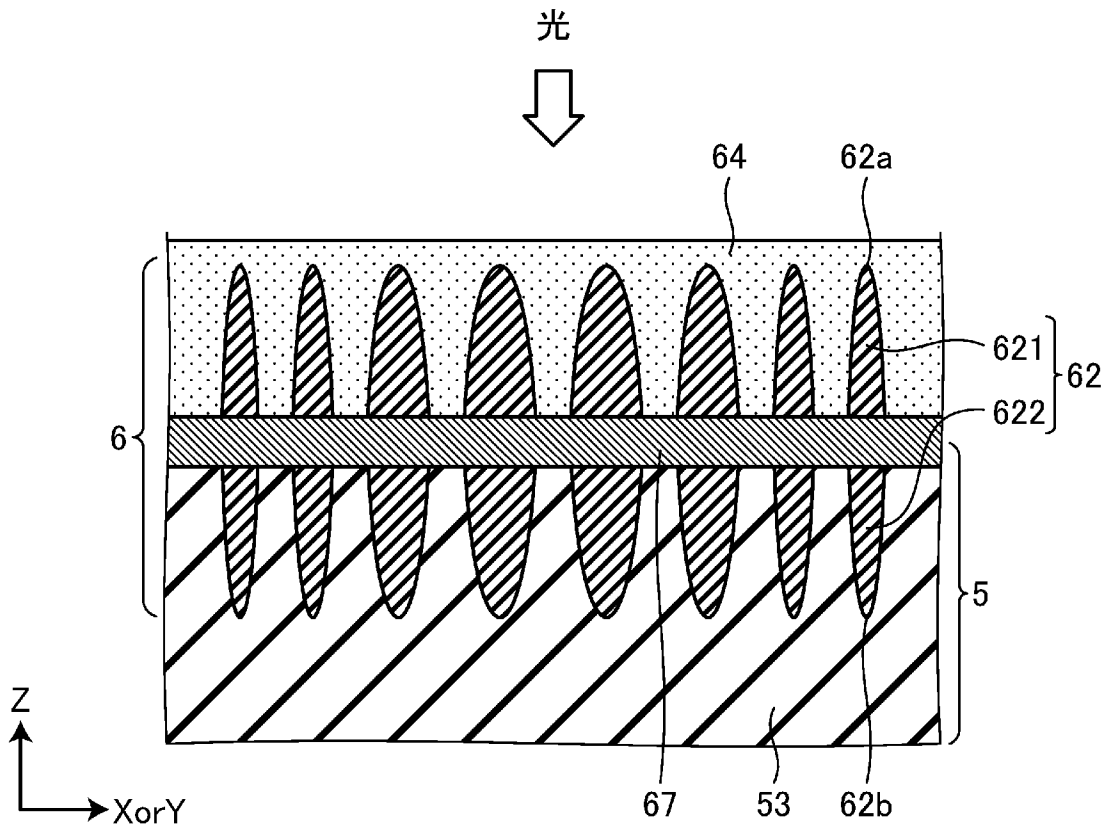
[図57]



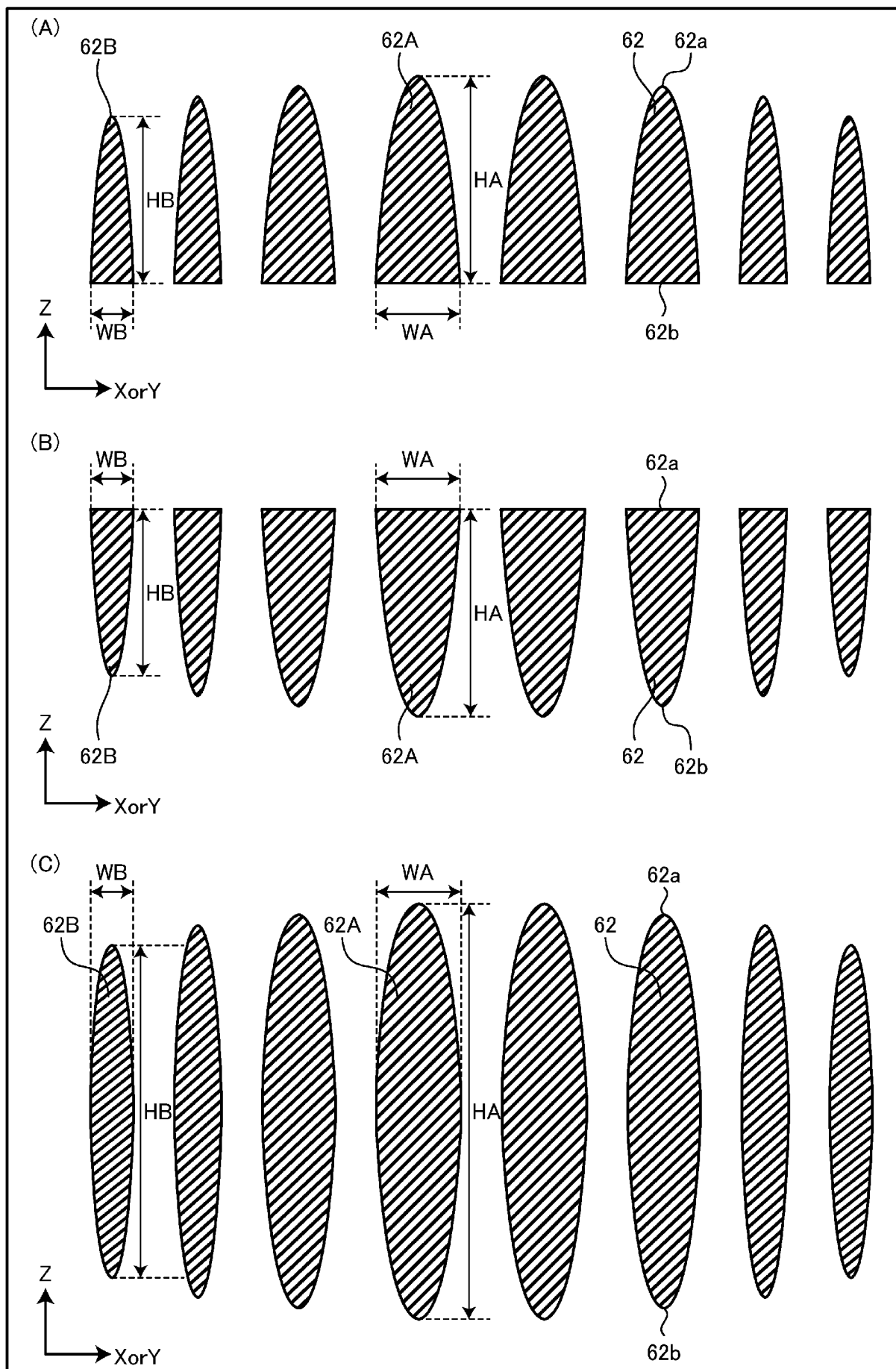
[図58]



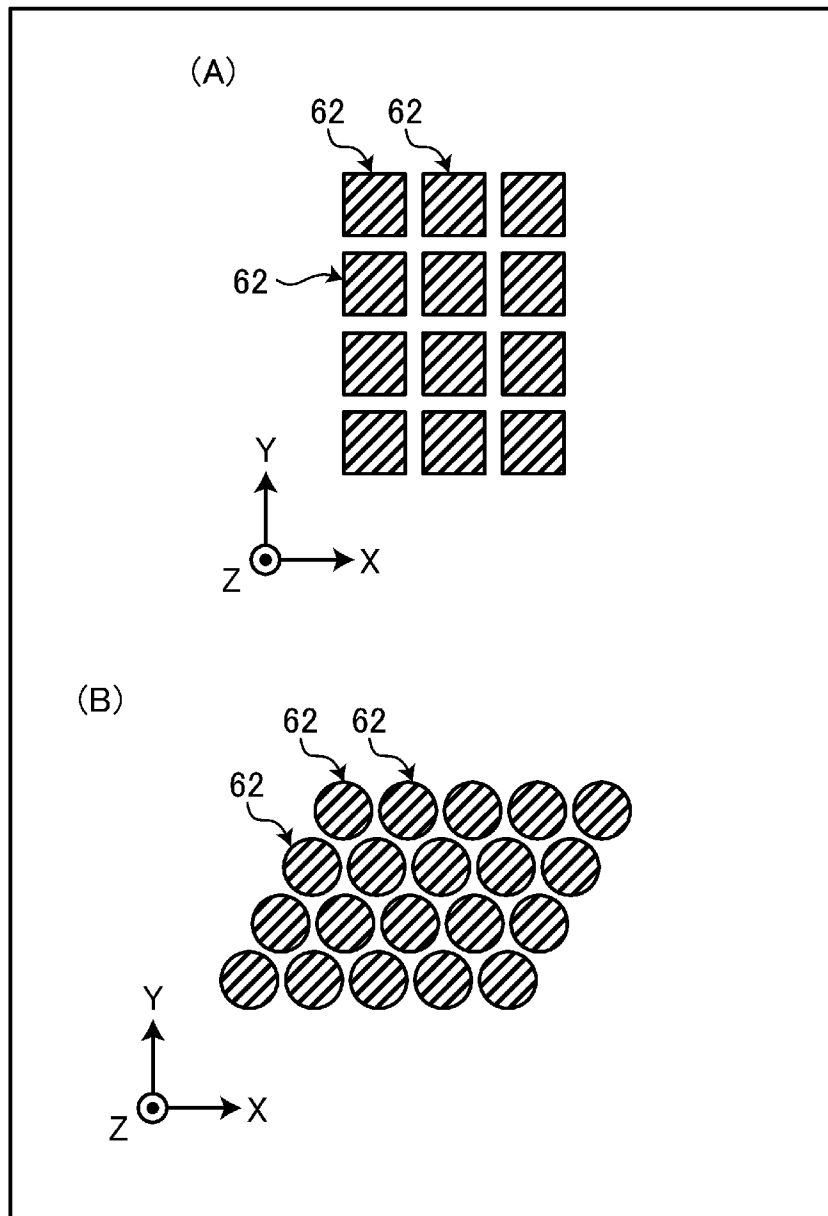
[図59]



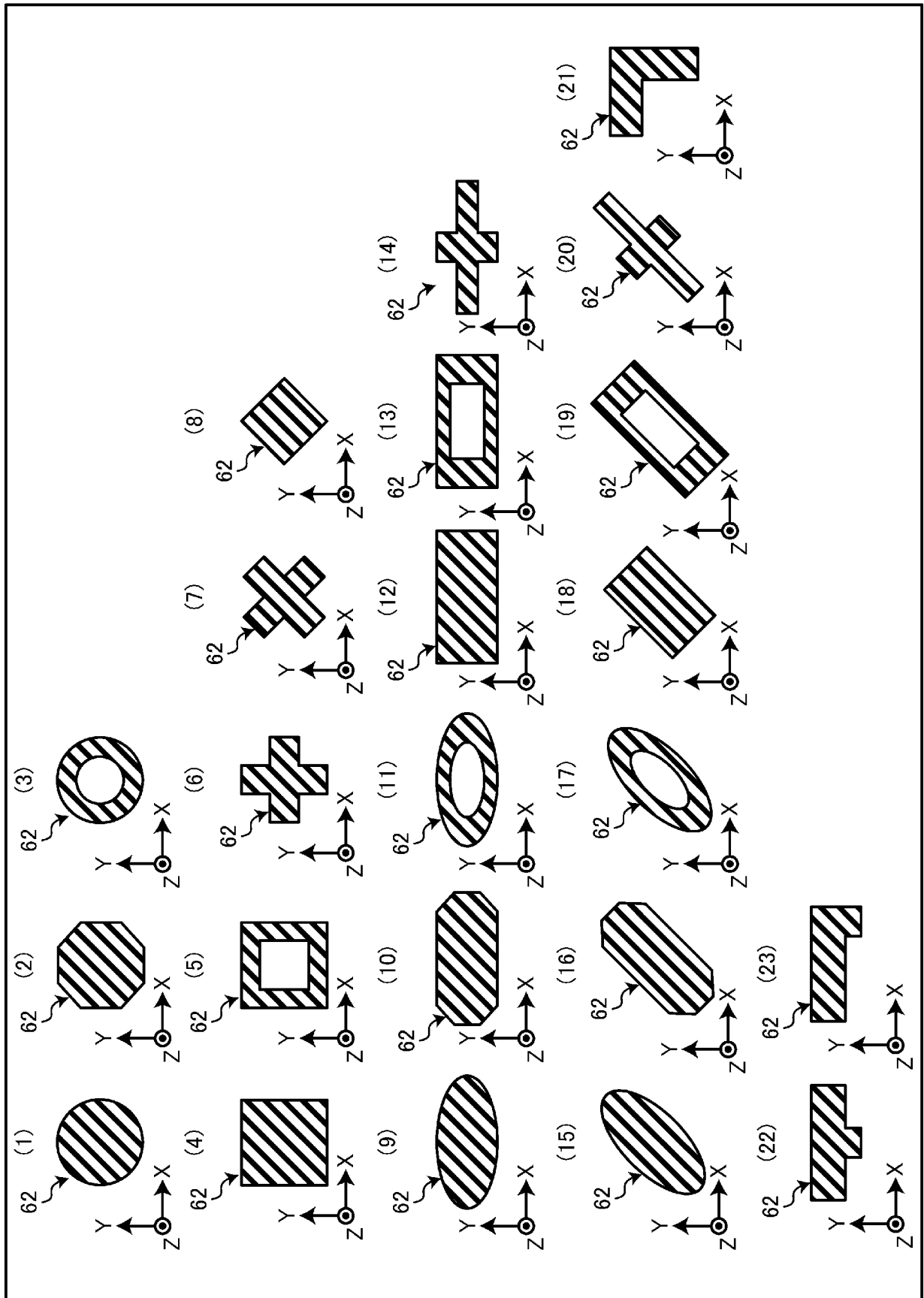
[図60]



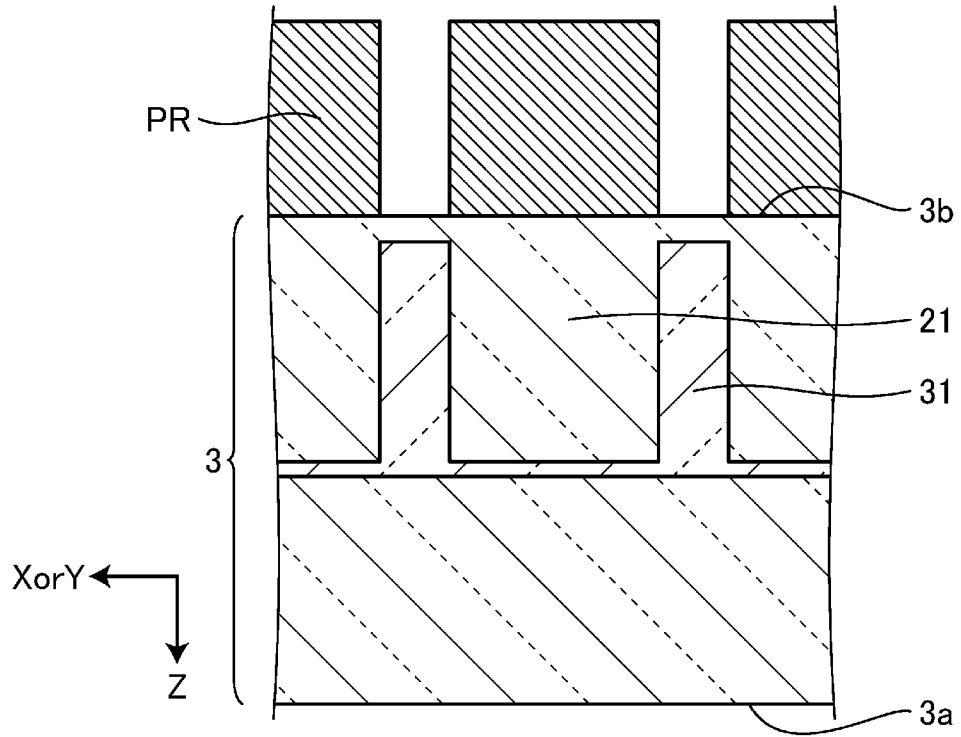
[図61]



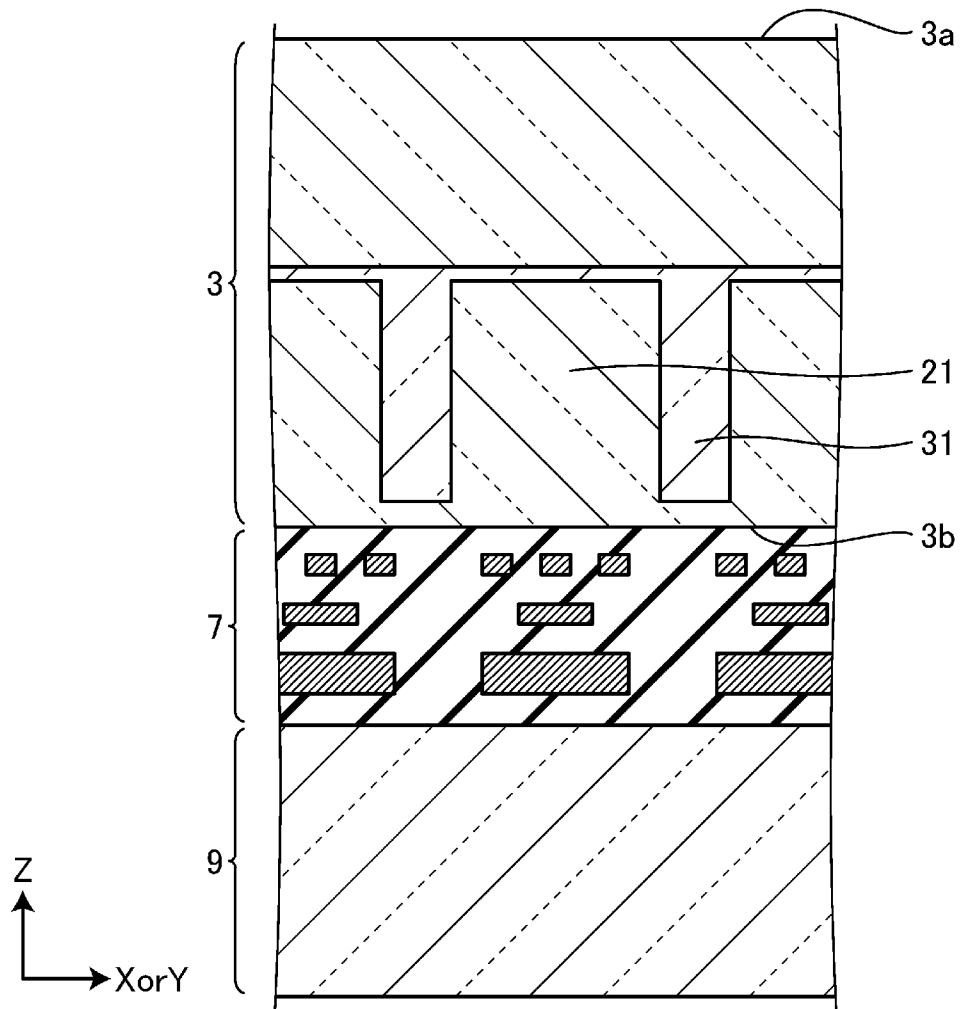
[図62]



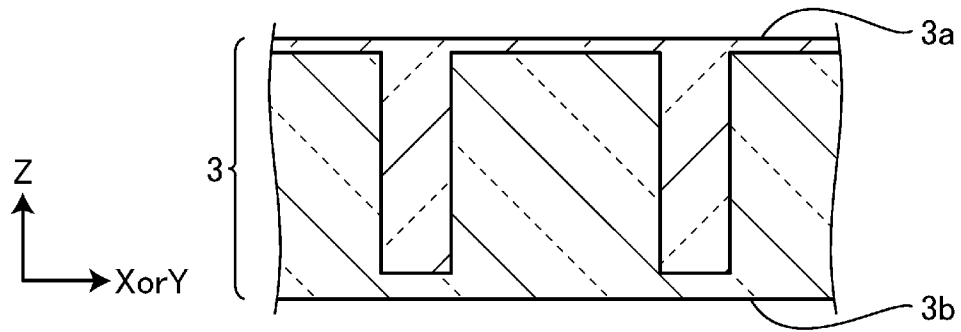
[図63]



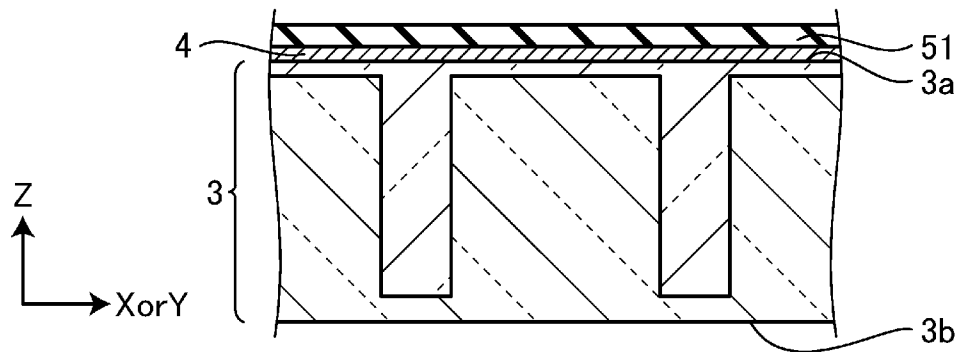
[図64]



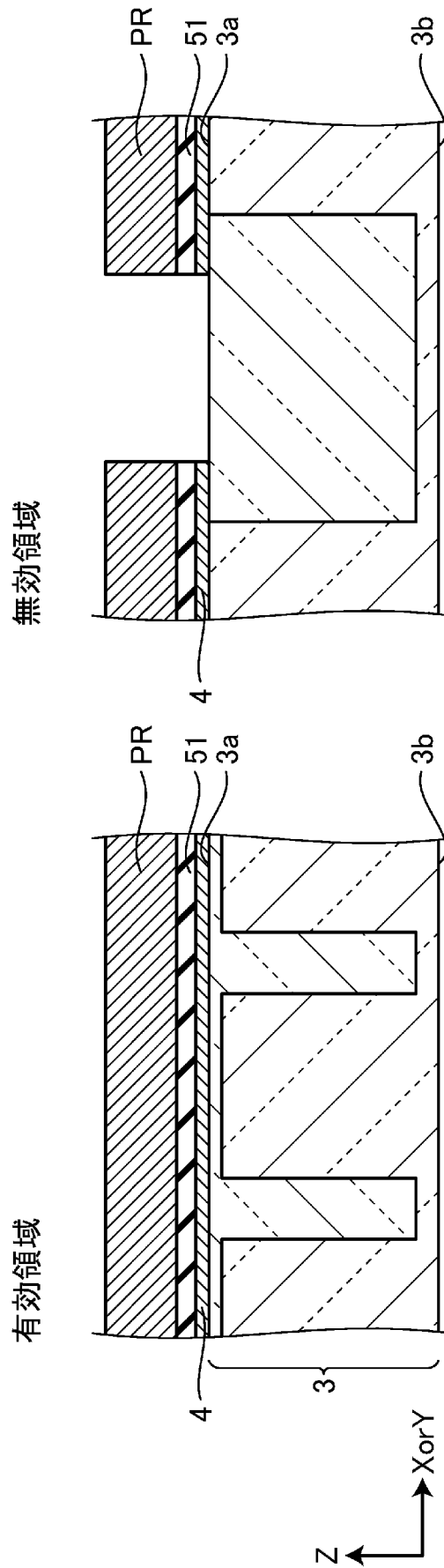
[図65]



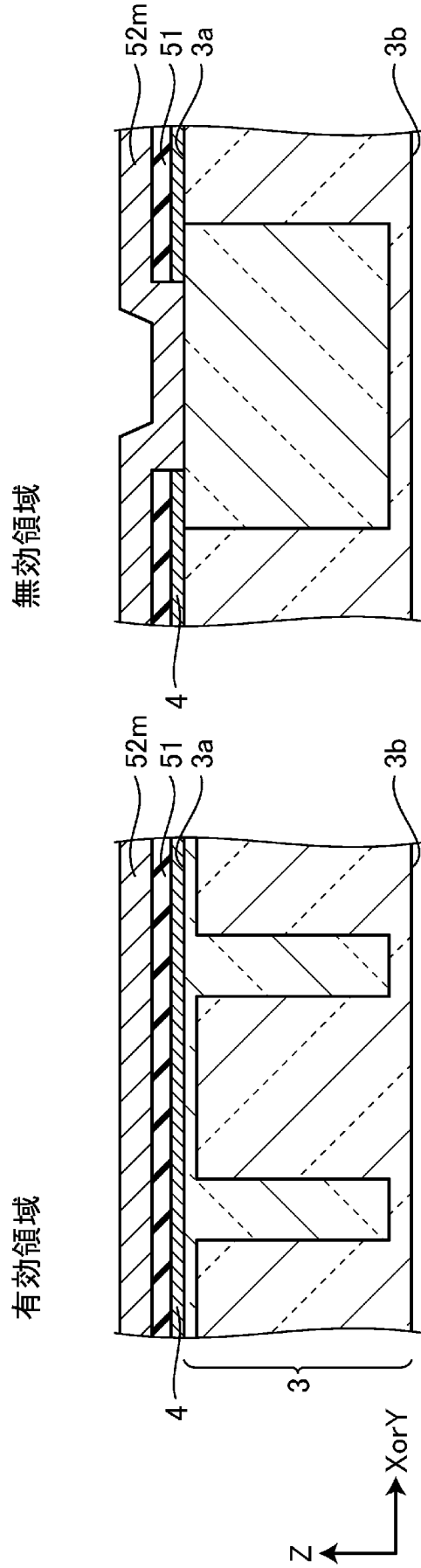
[図66]



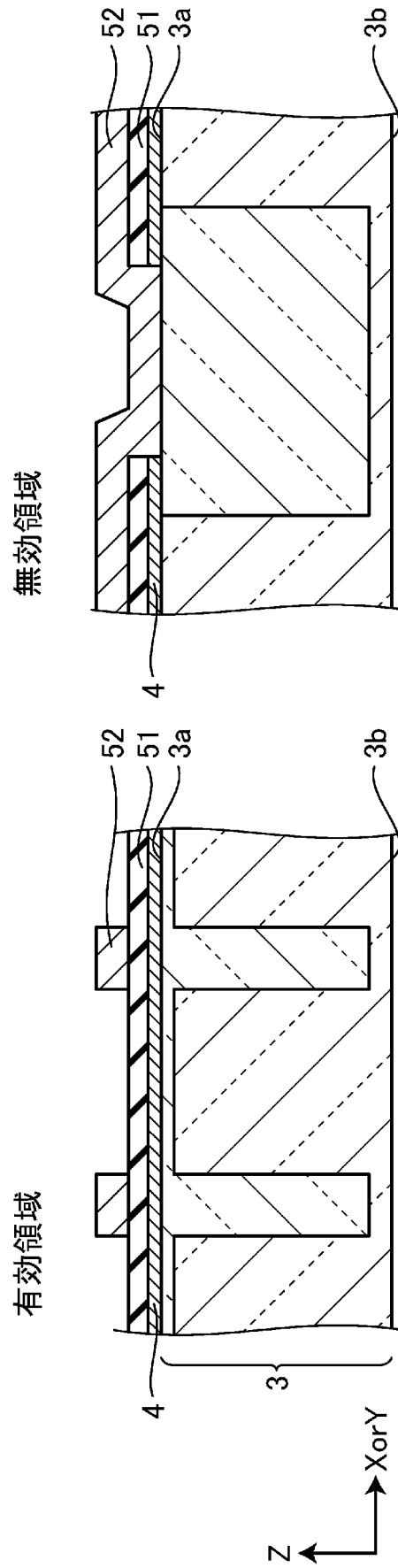
[図67]



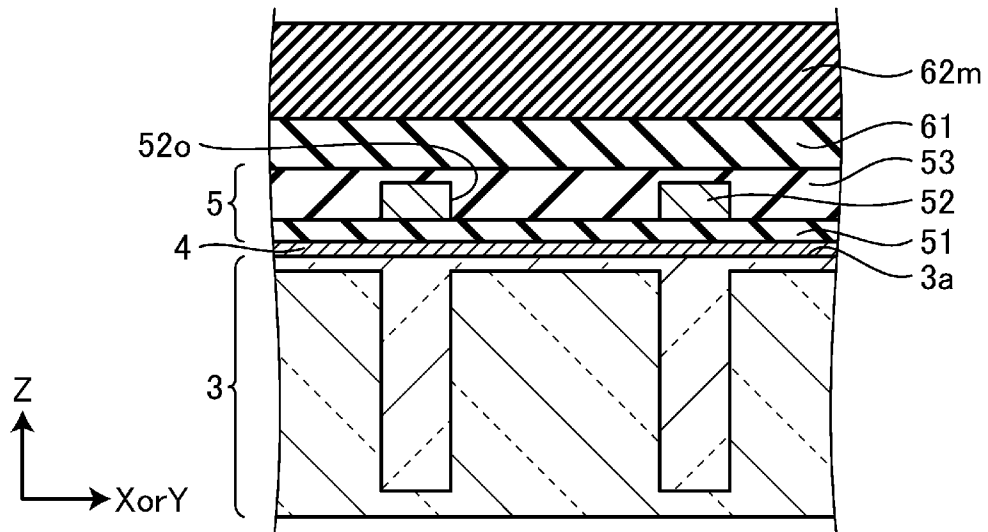
[図68]



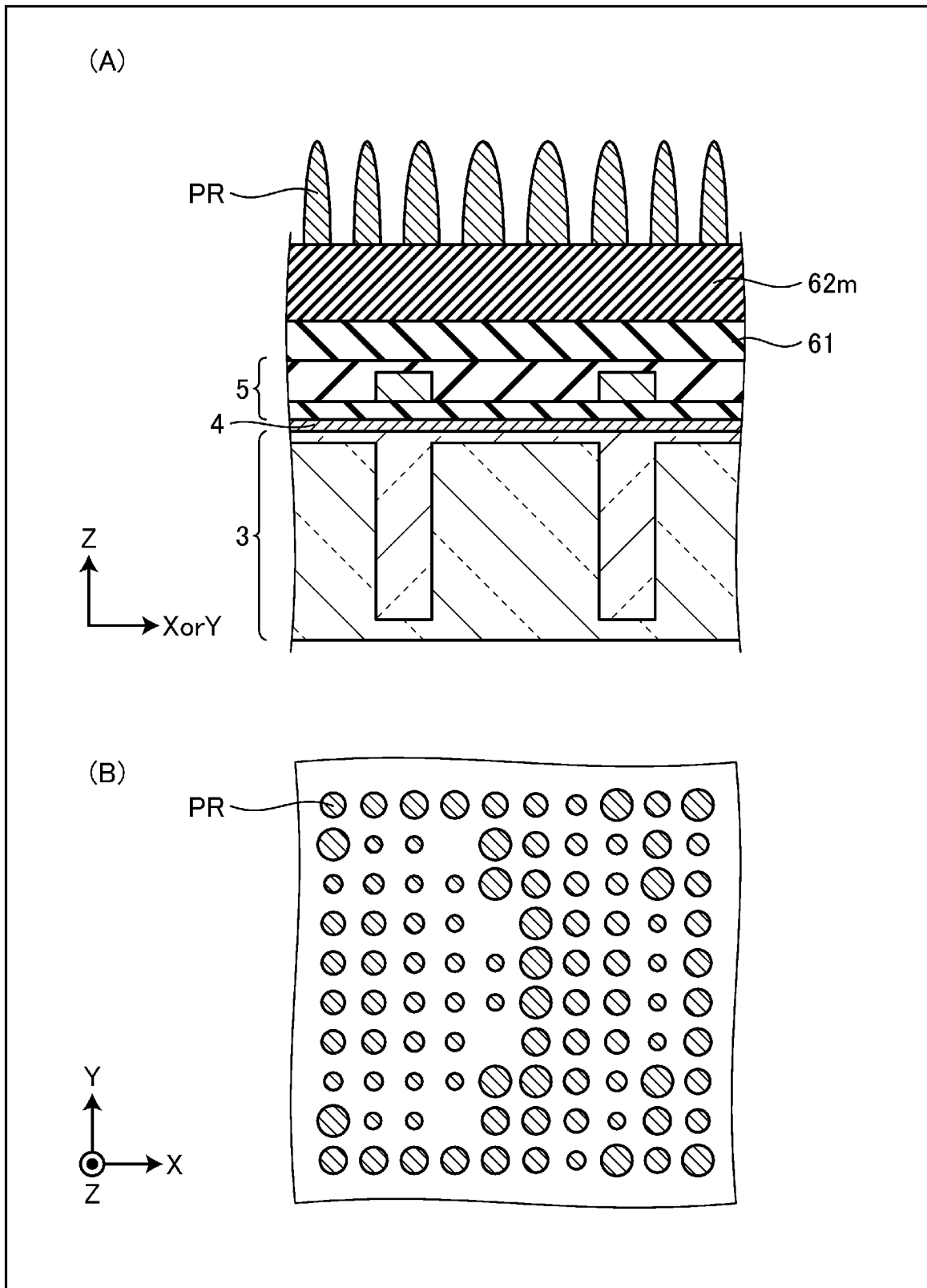
[図69]



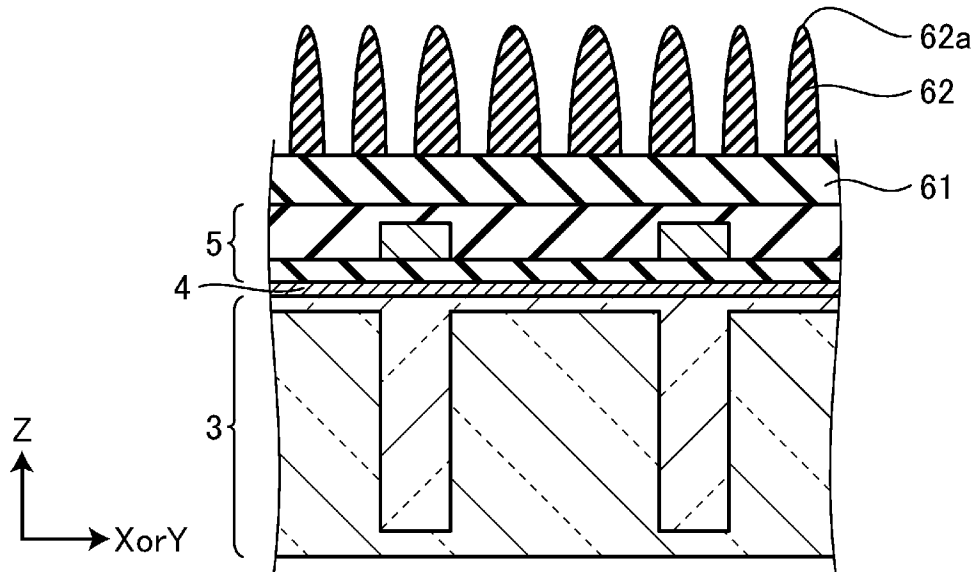
[図70]



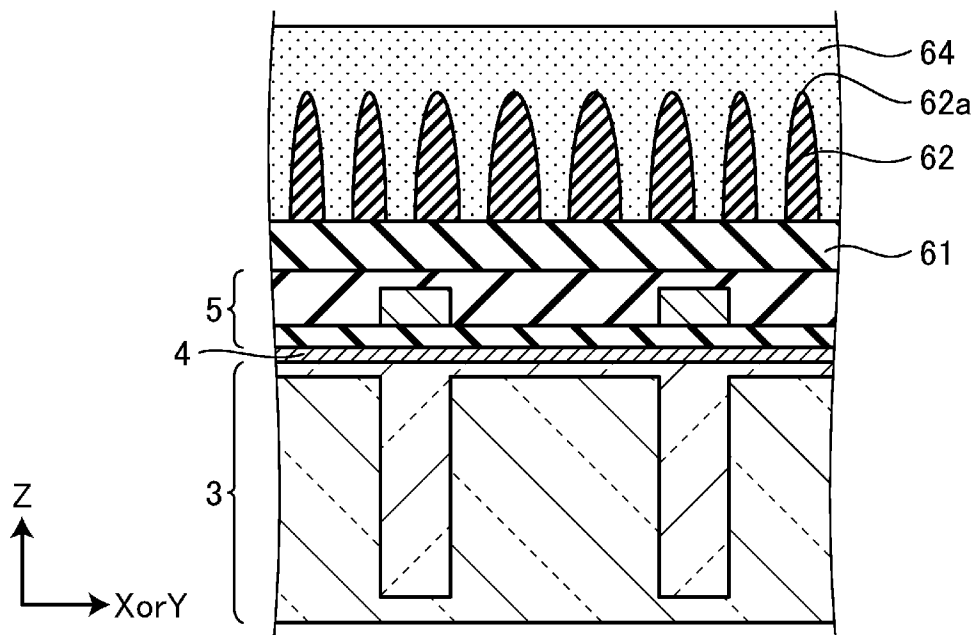
[図71]



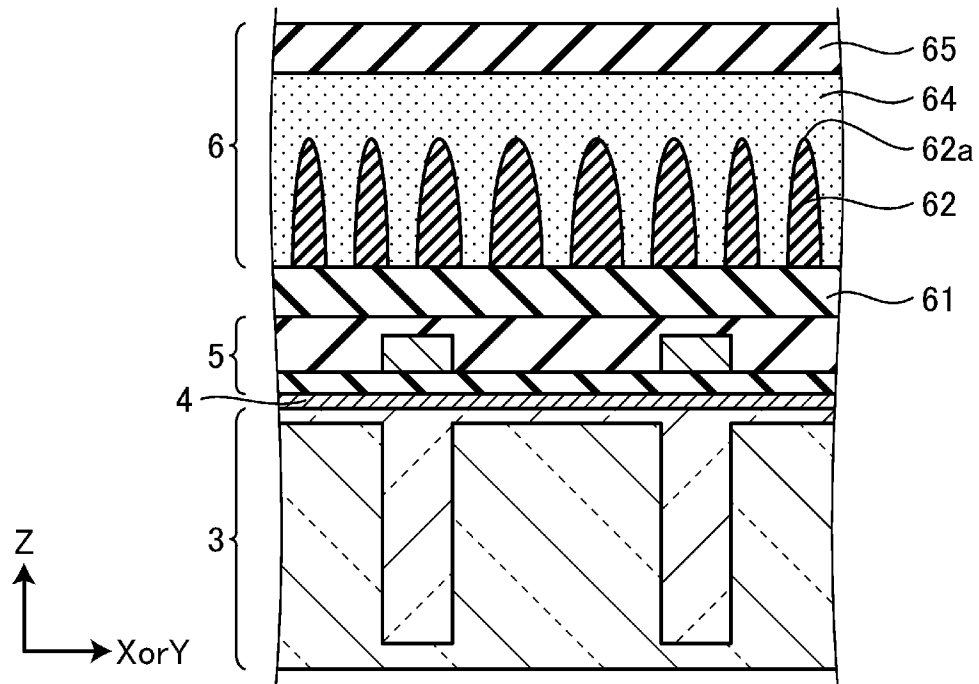
[図72]



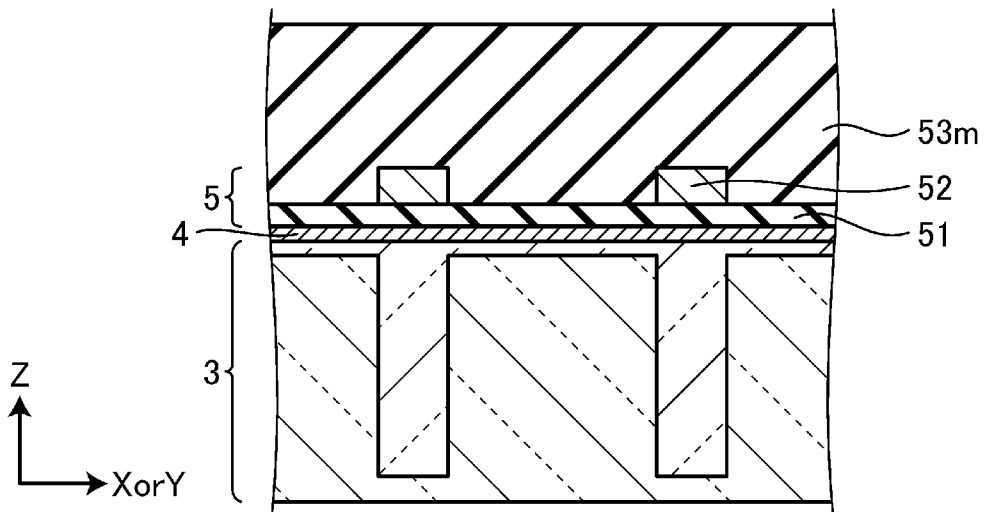
[図73]



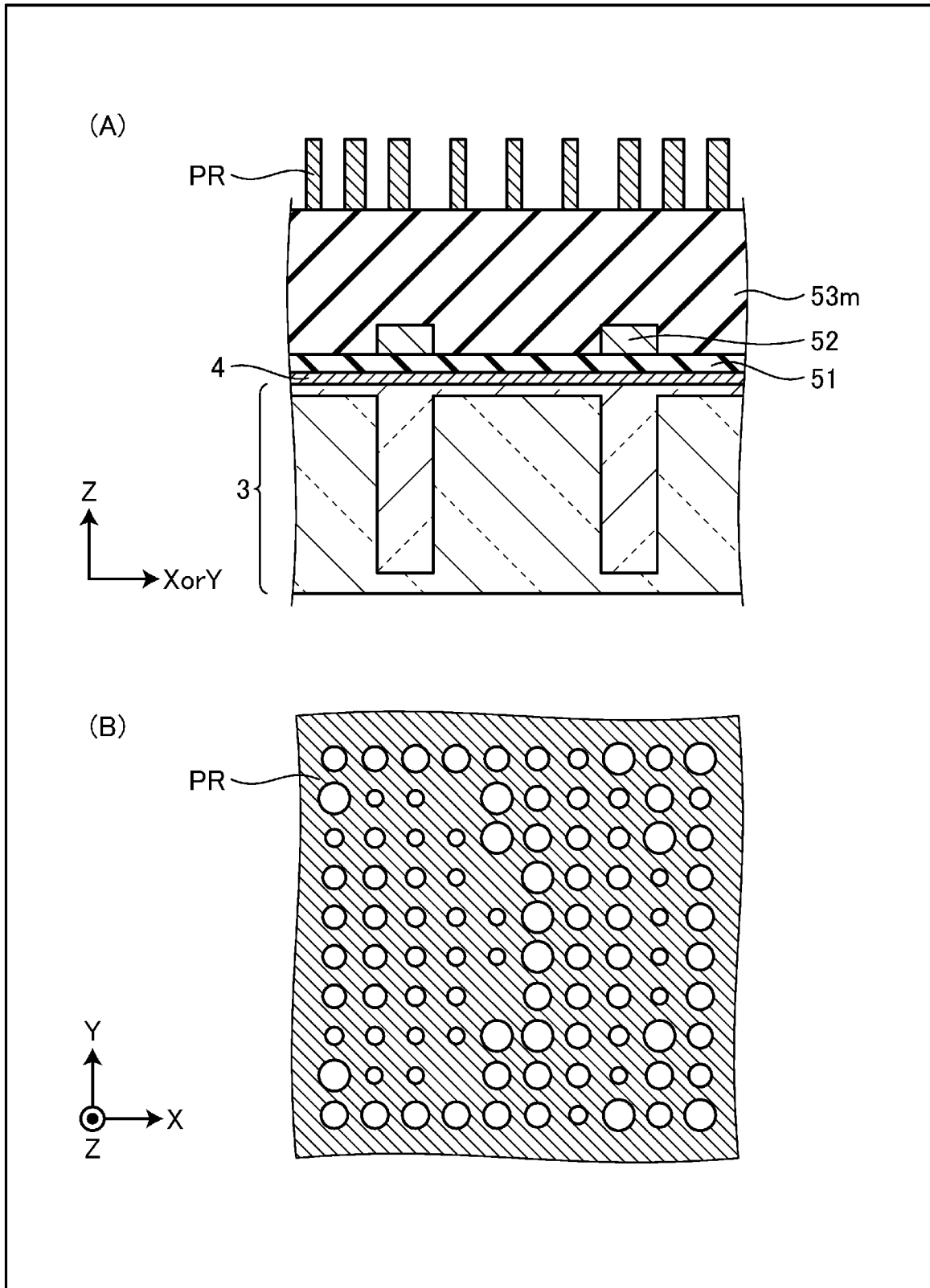
[図74]



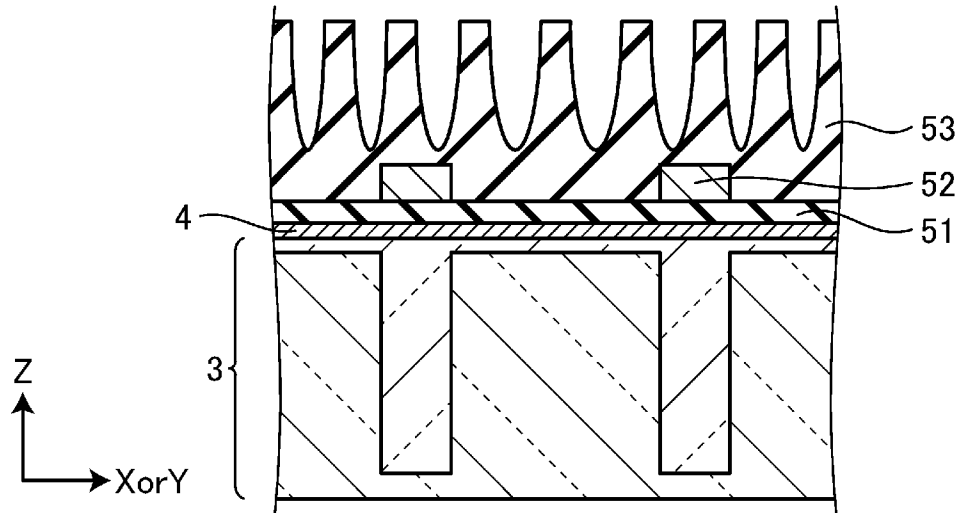
[図75]



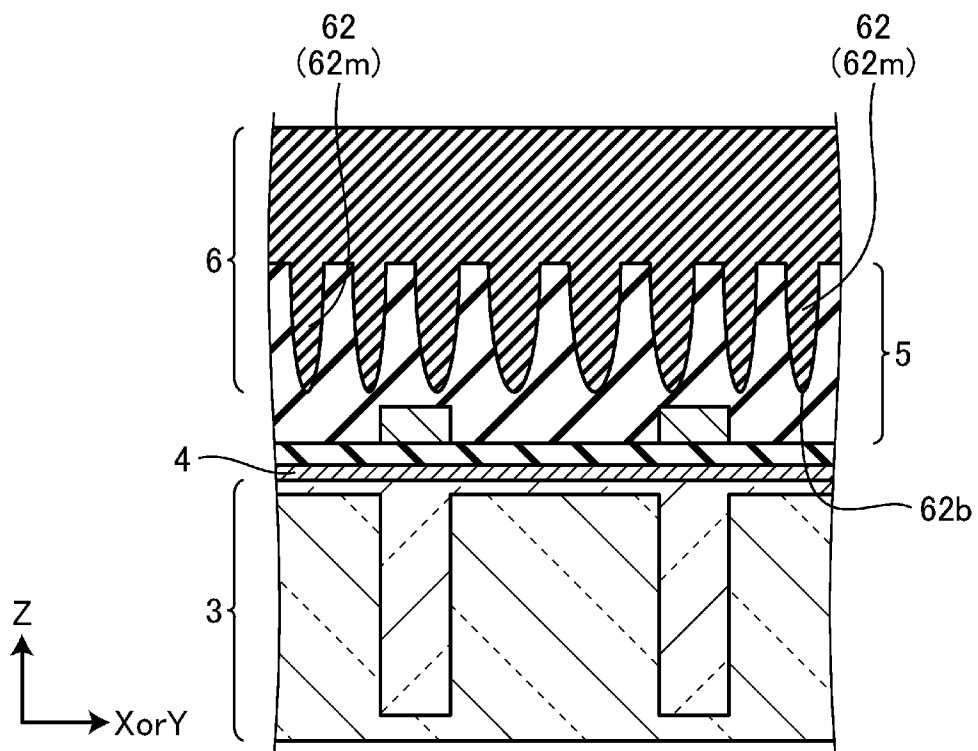
[図76]



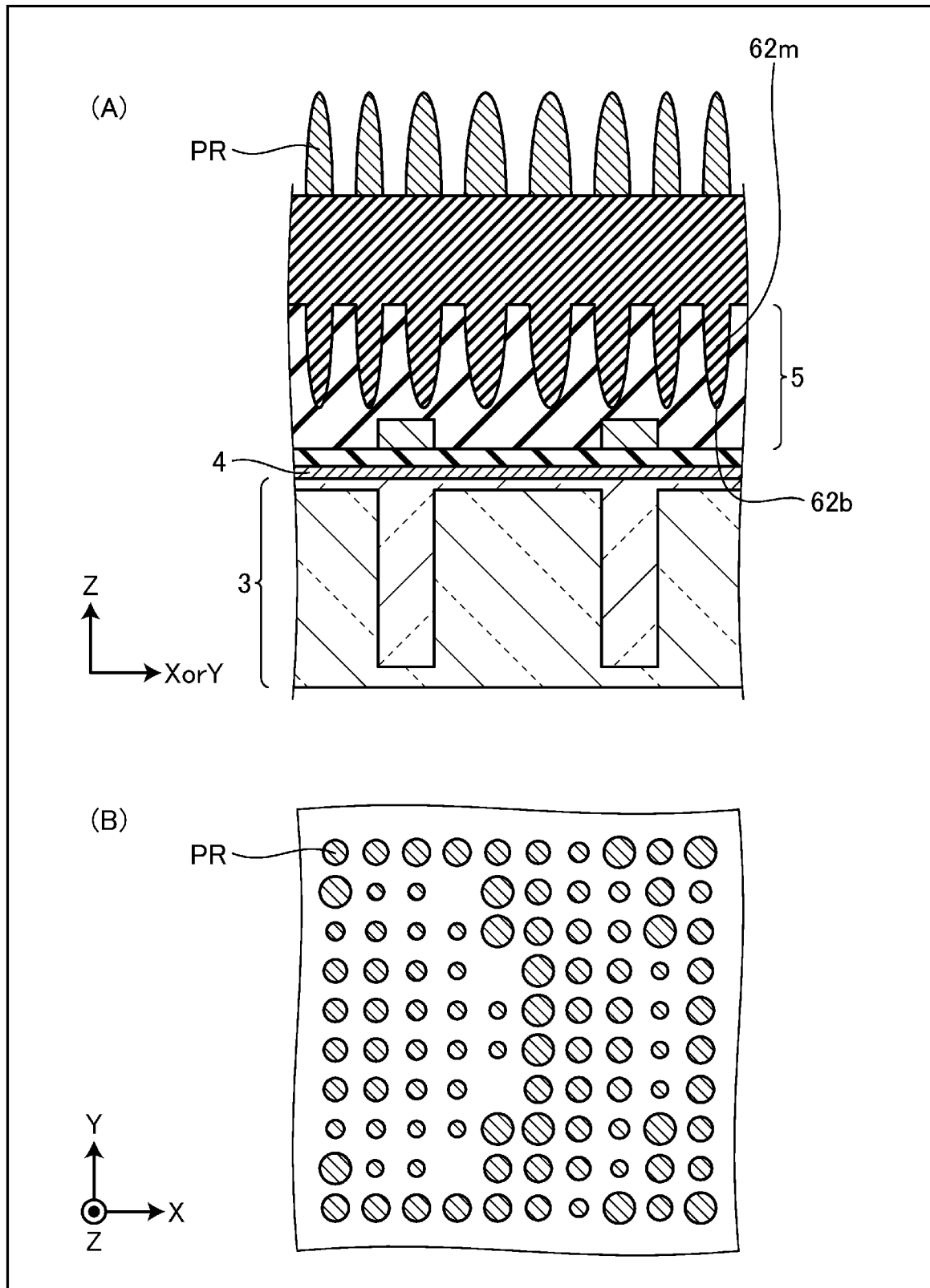
[図77]



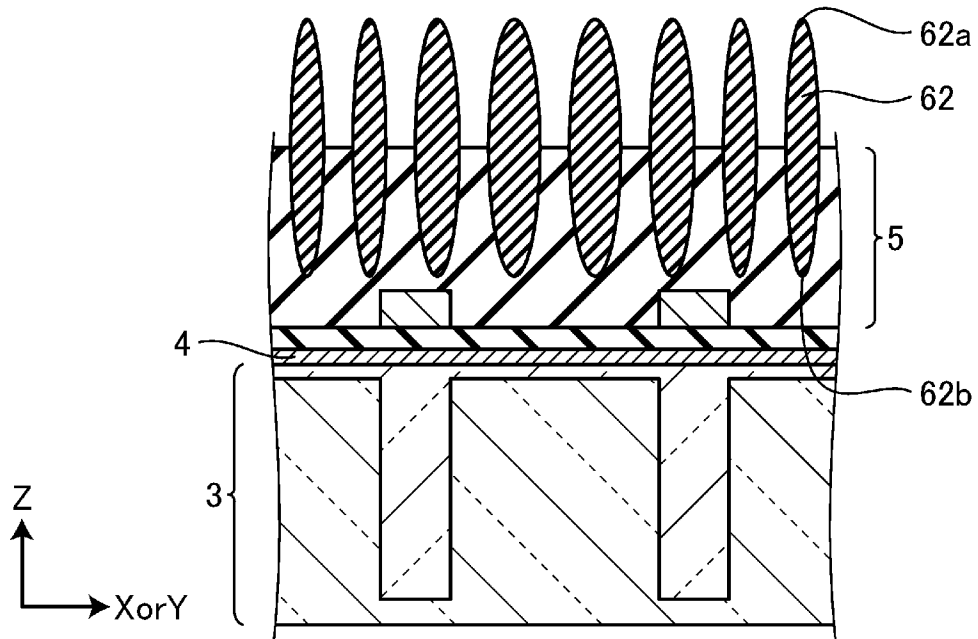
[図78]



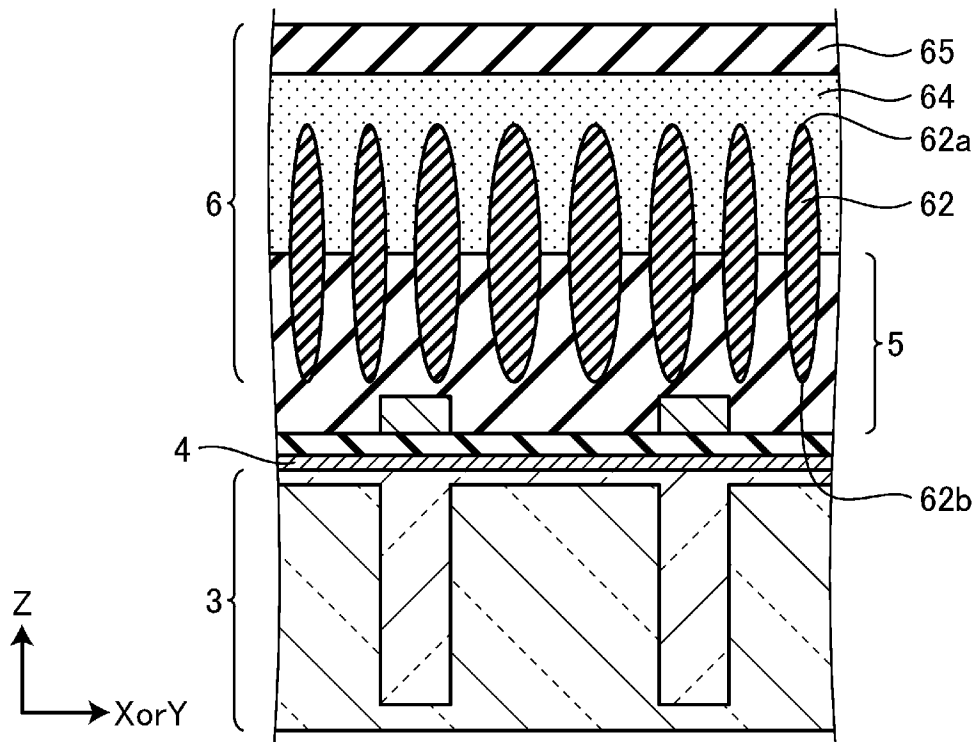
[図79]



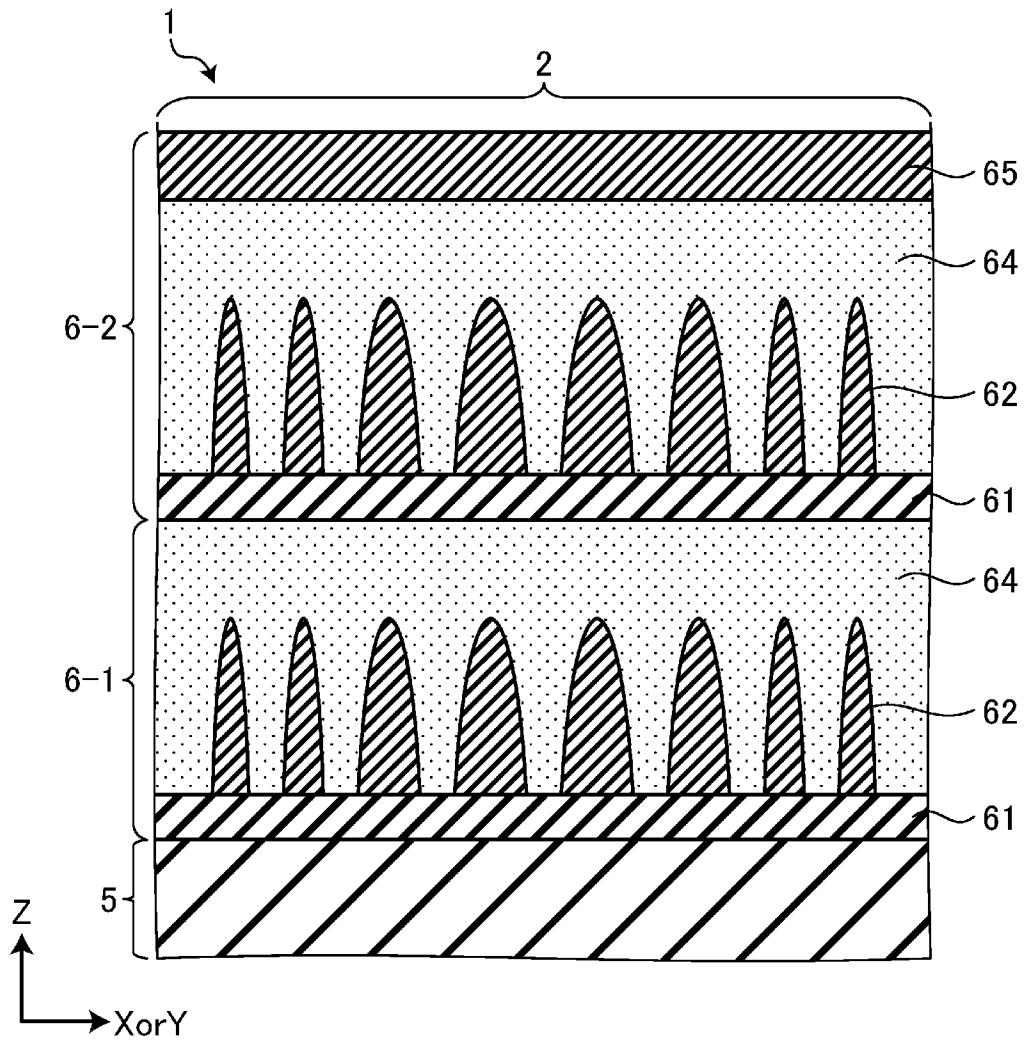
[図80]



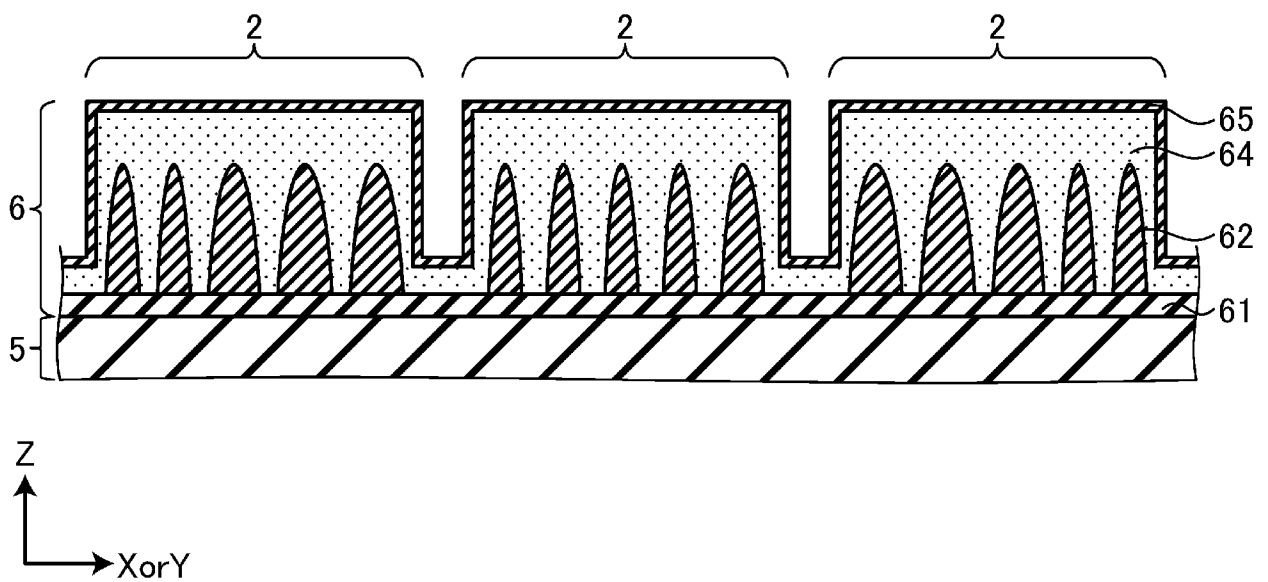
[図81]



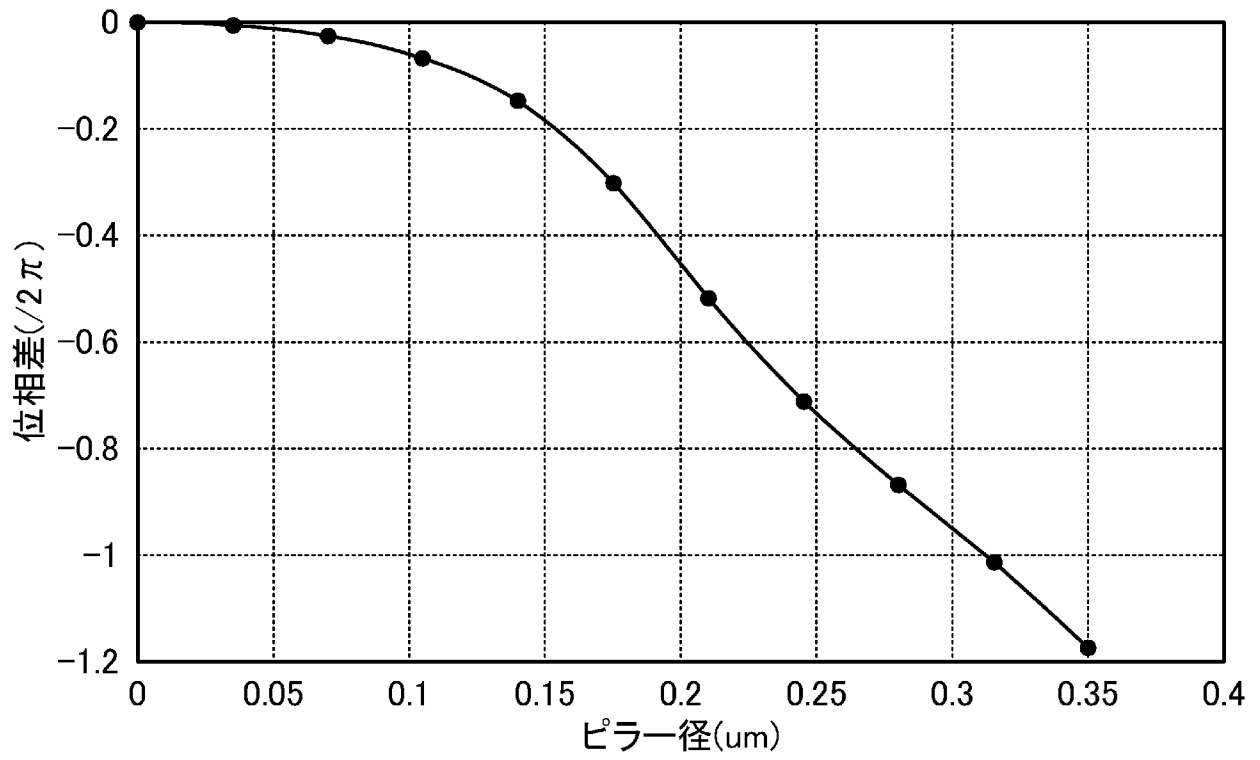
[図82]



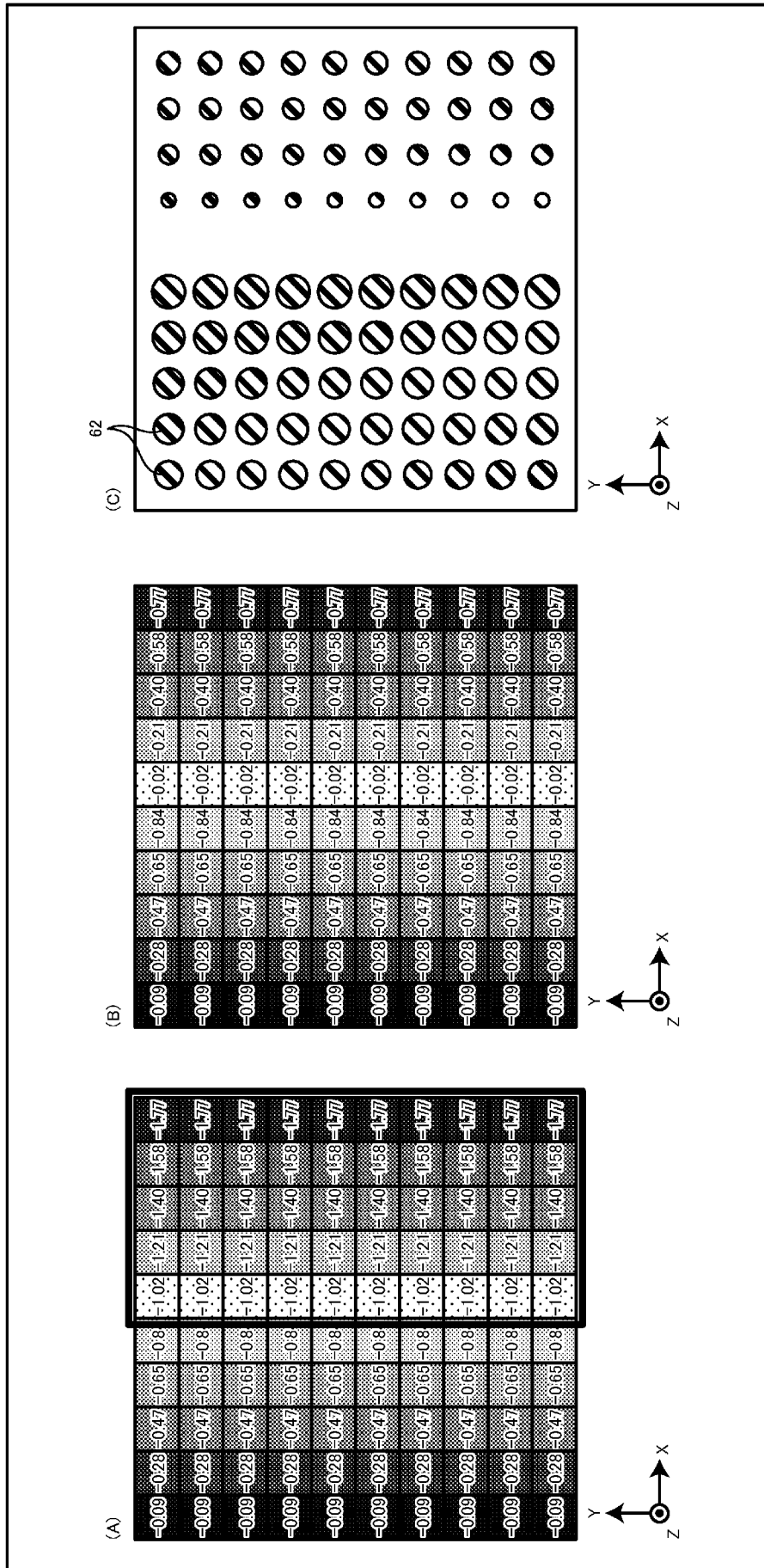
[図83]



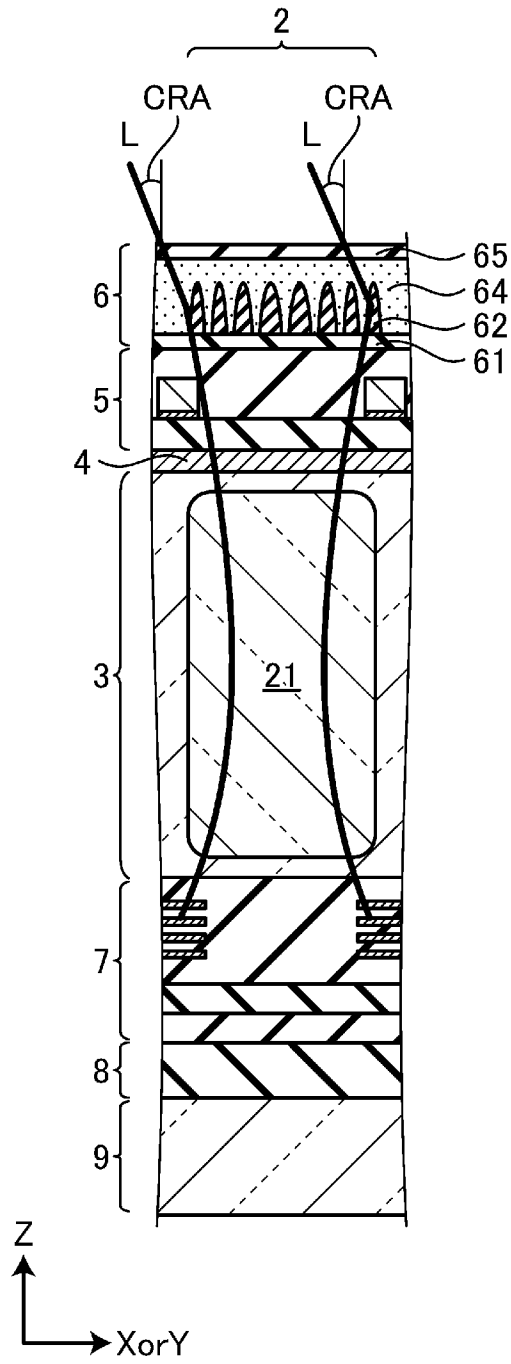
[図86]



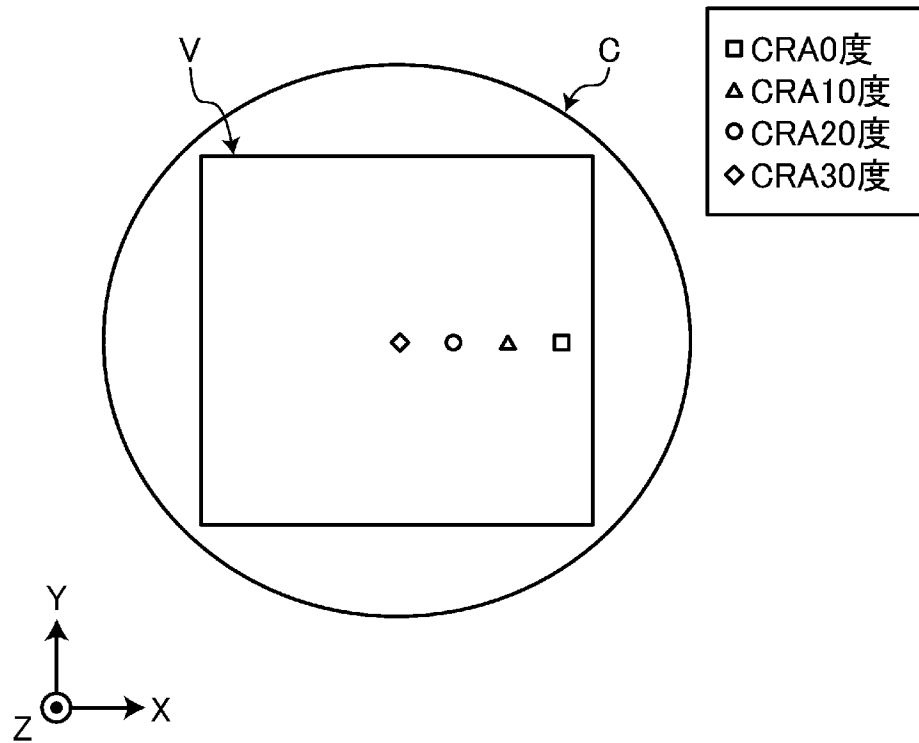
[図87]



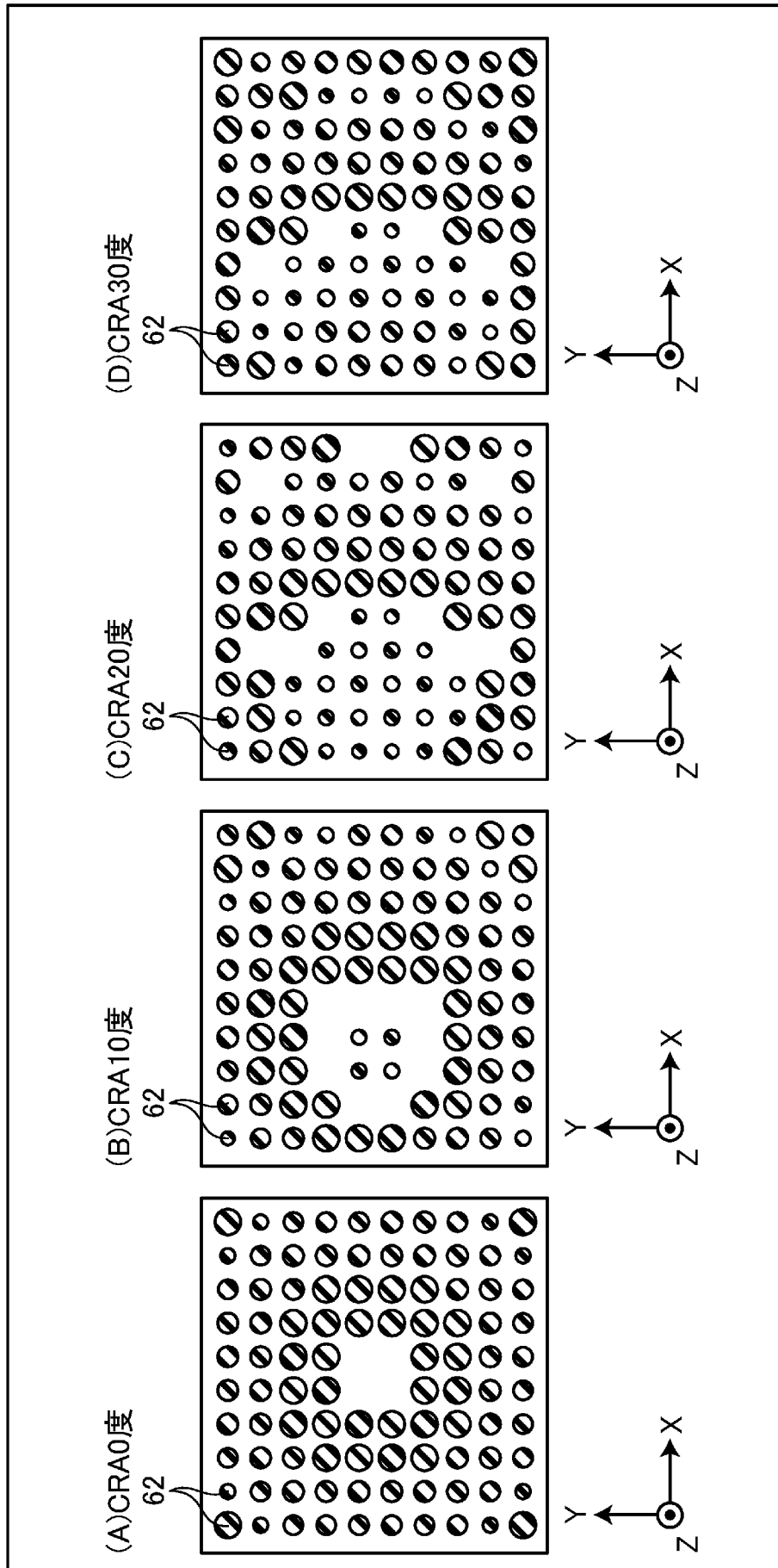
[図88]



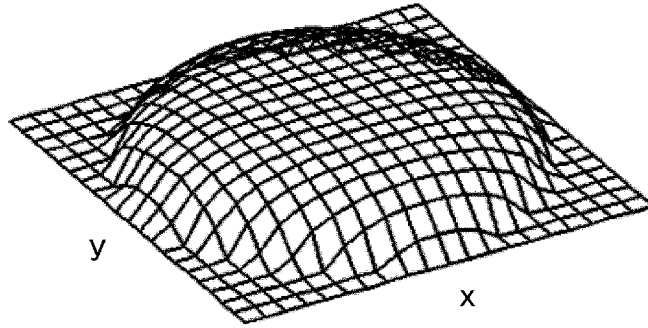
[図89]



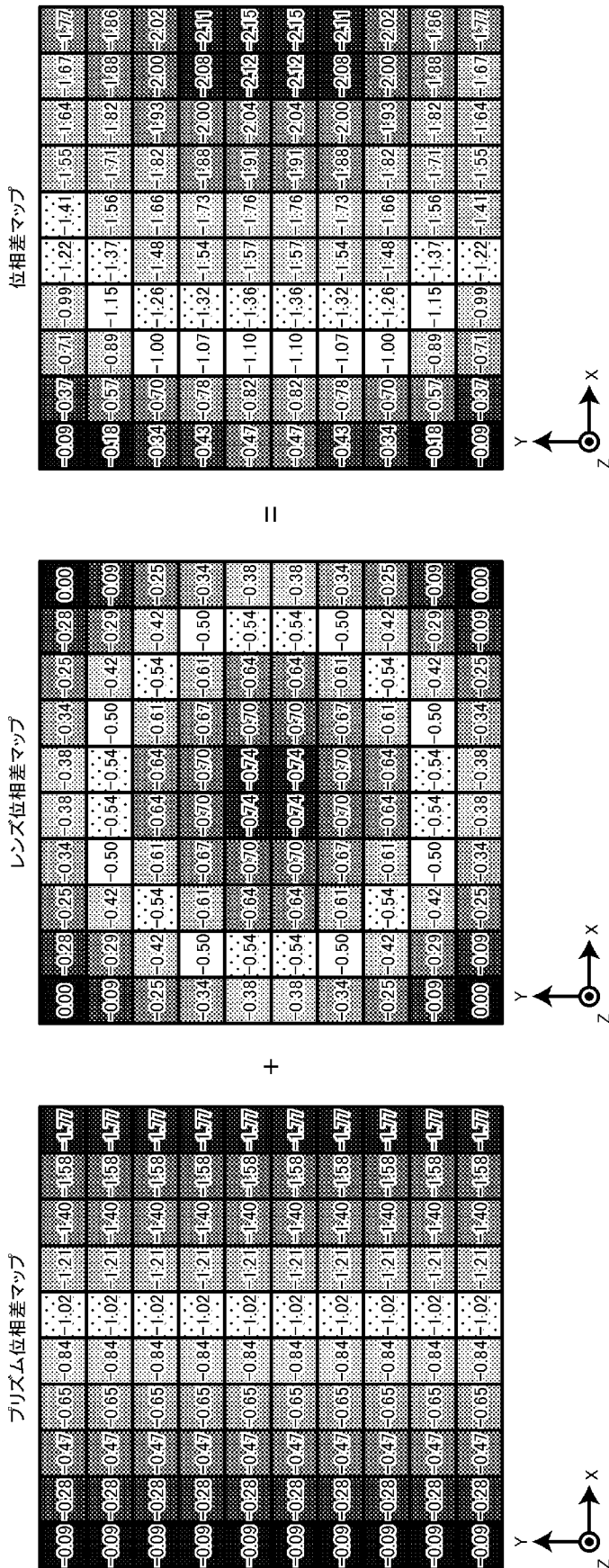
[図90]



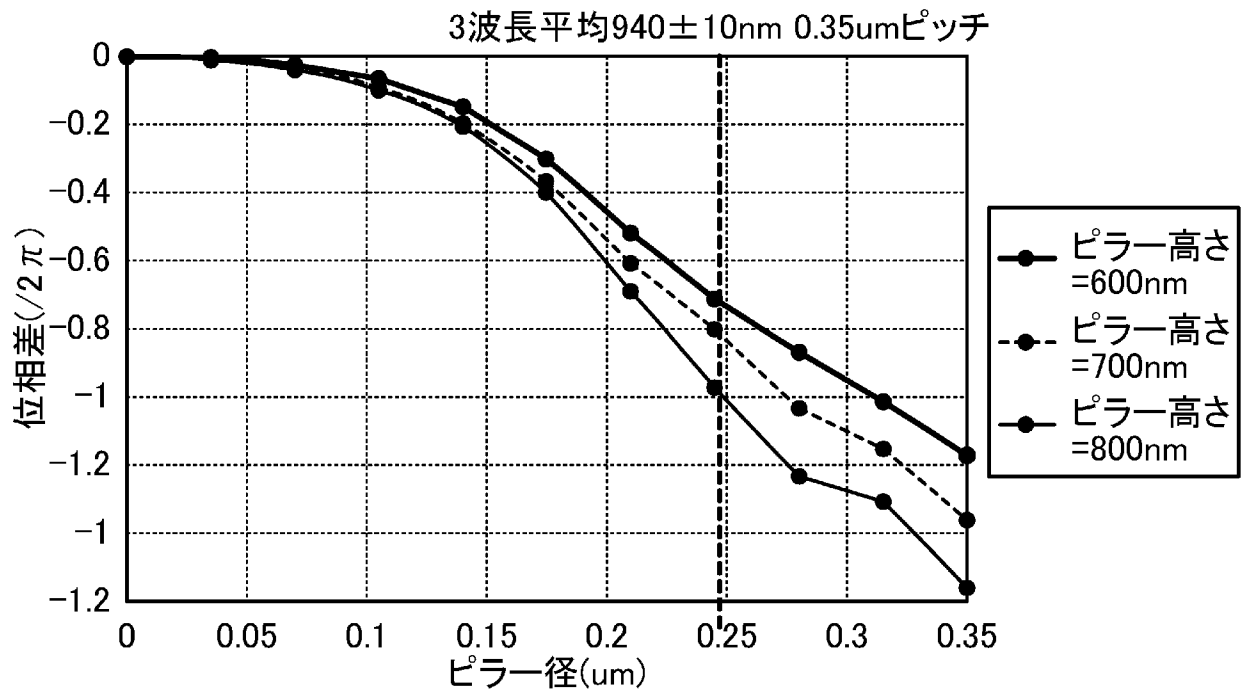
[図91]

レンズ厚 $T(x,y)$ 

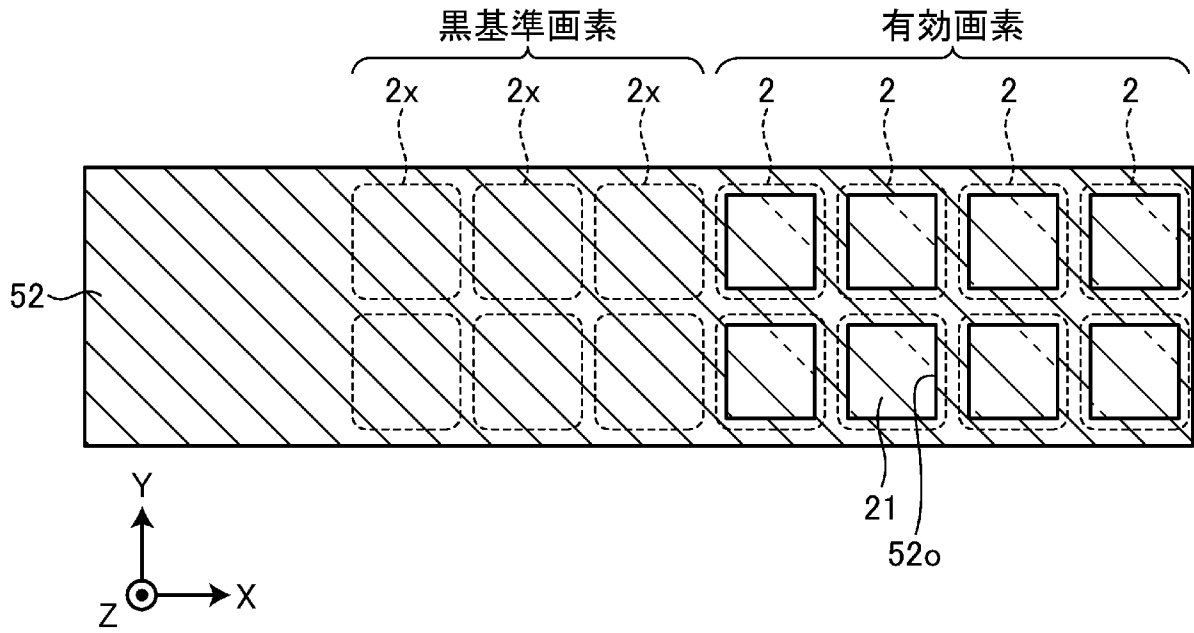
[図92]



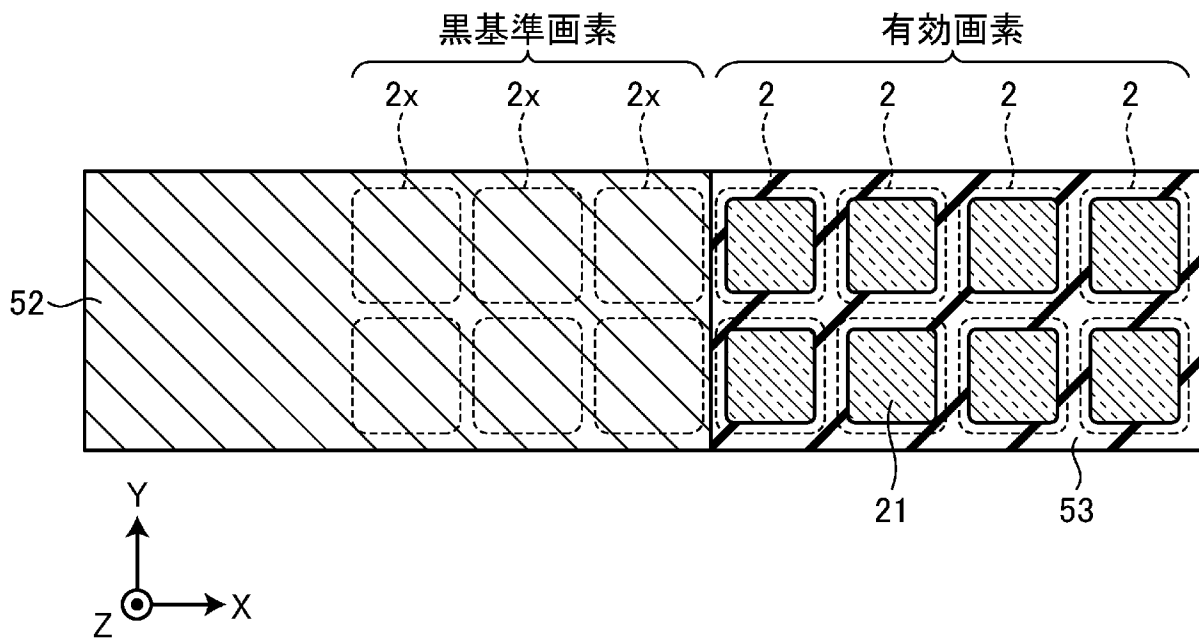
[図93]



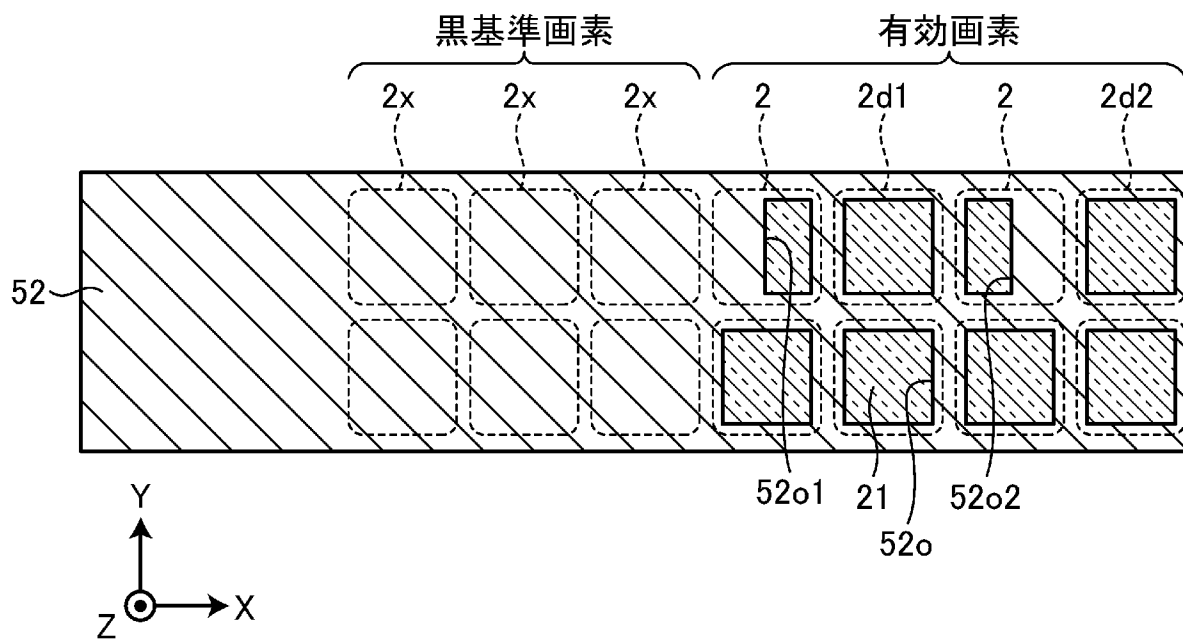
[図95]



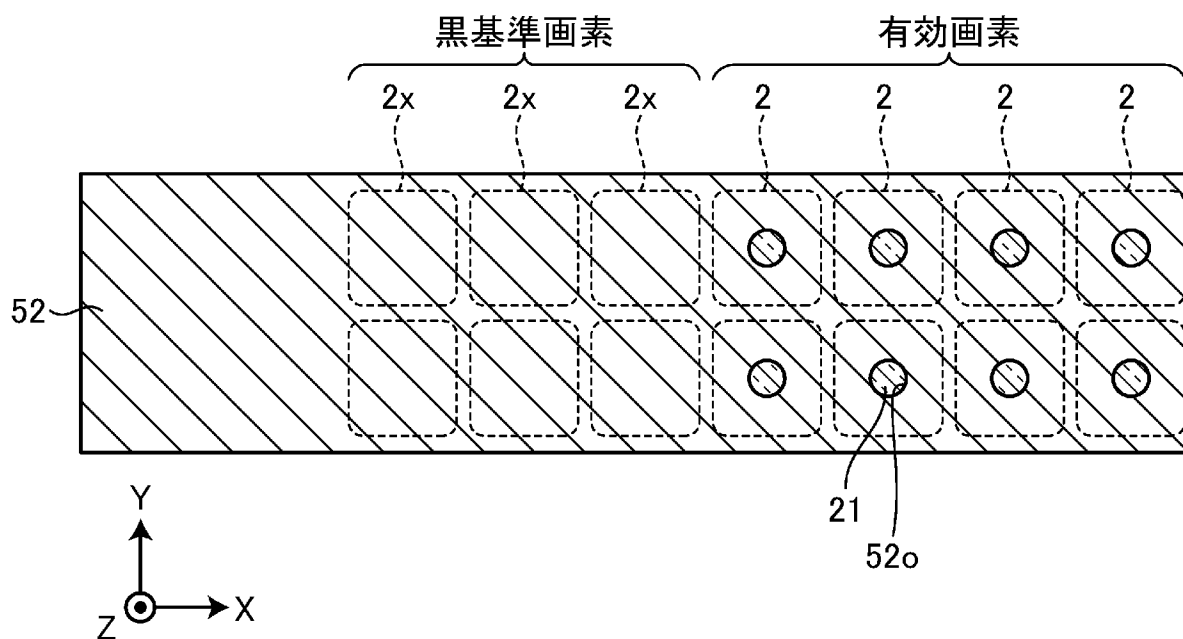
[図96]



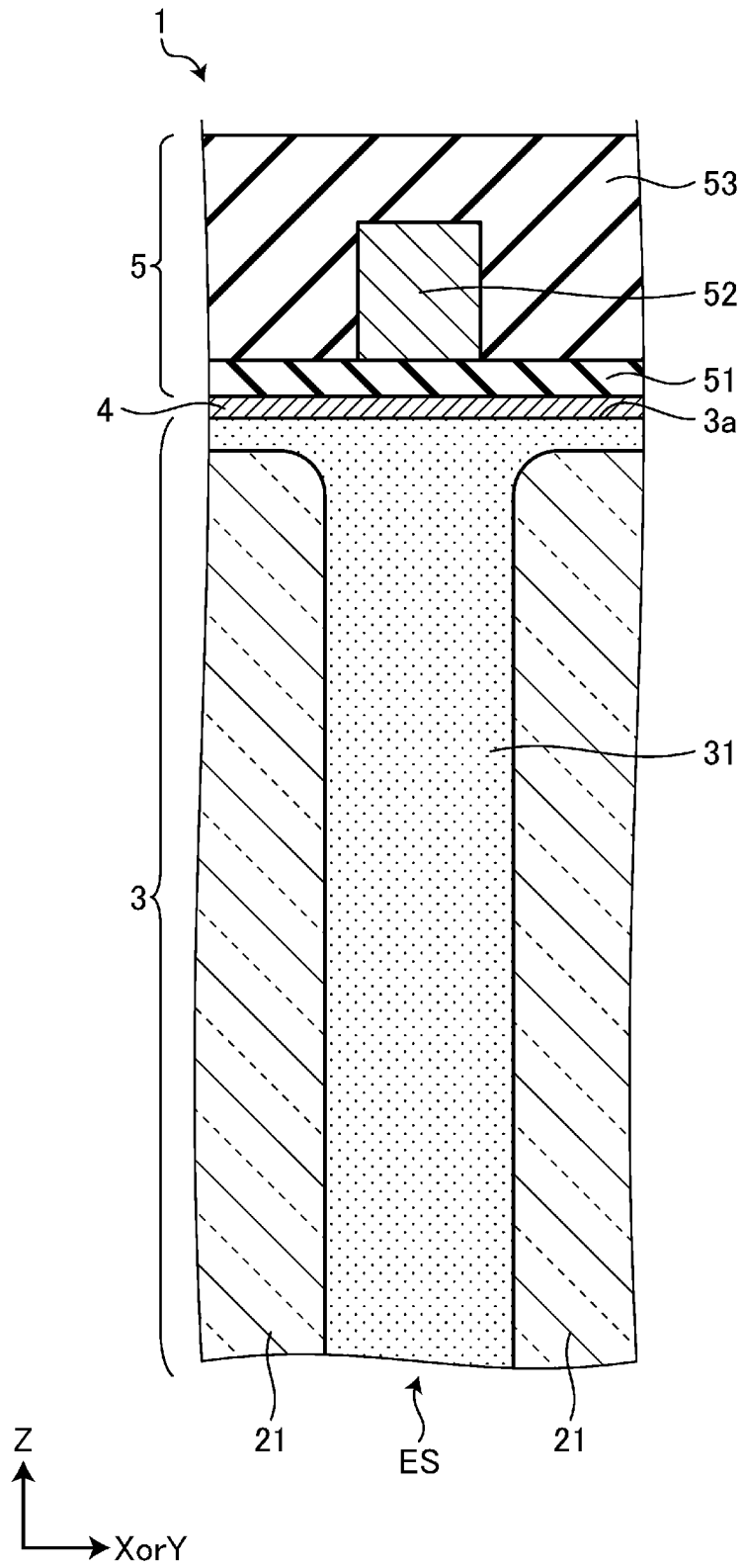
[図97]



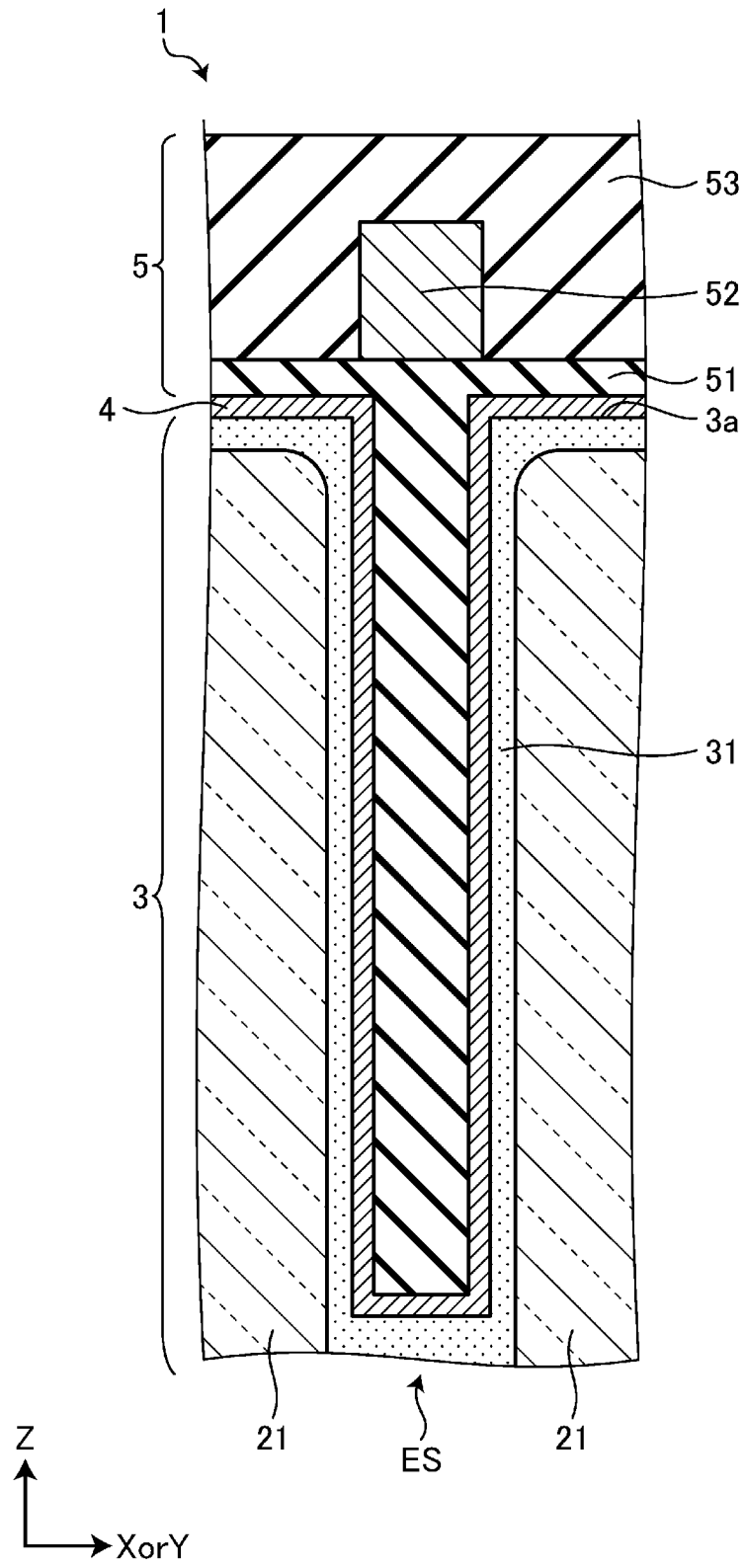
[図98]



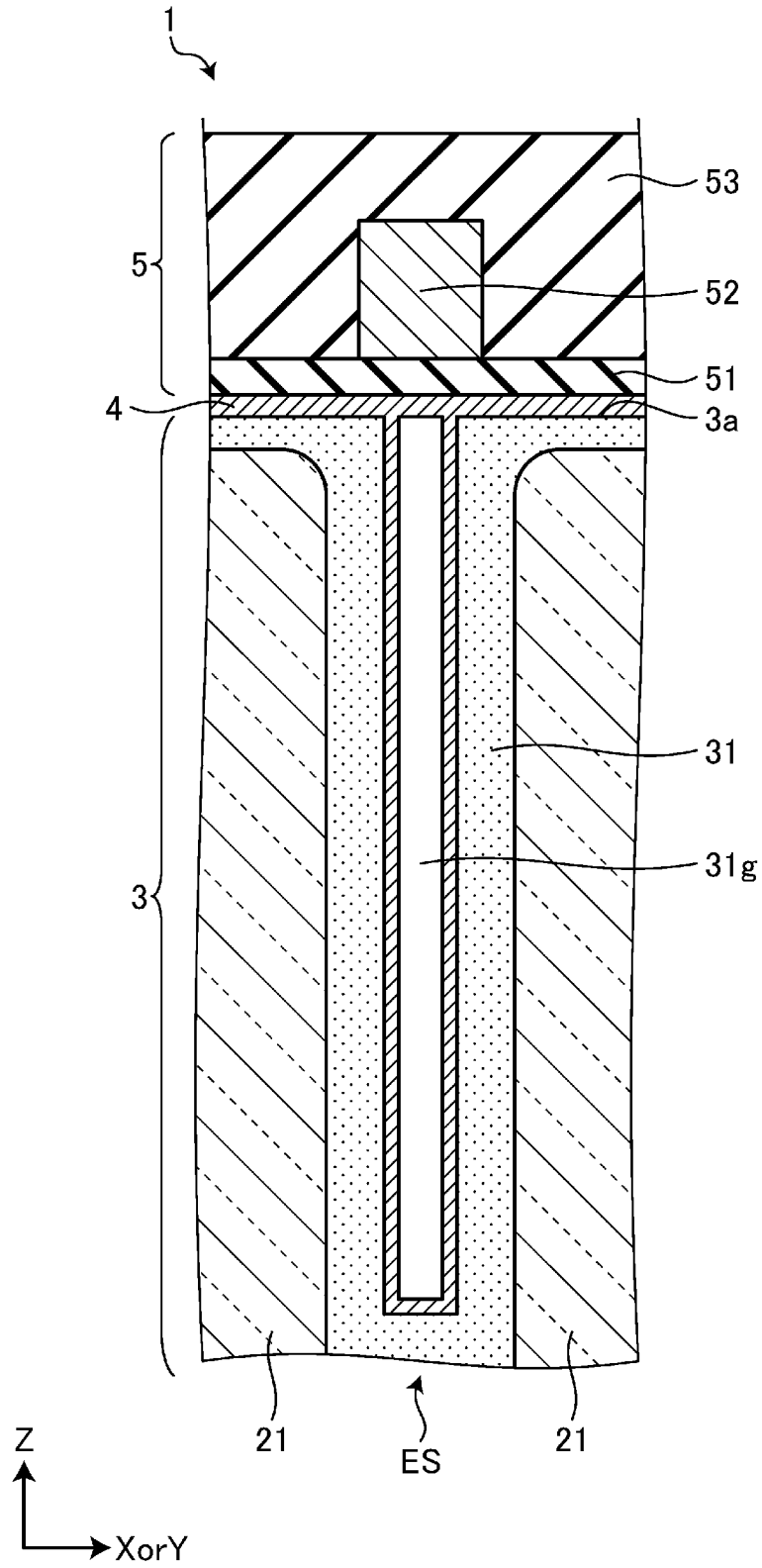
[図99]



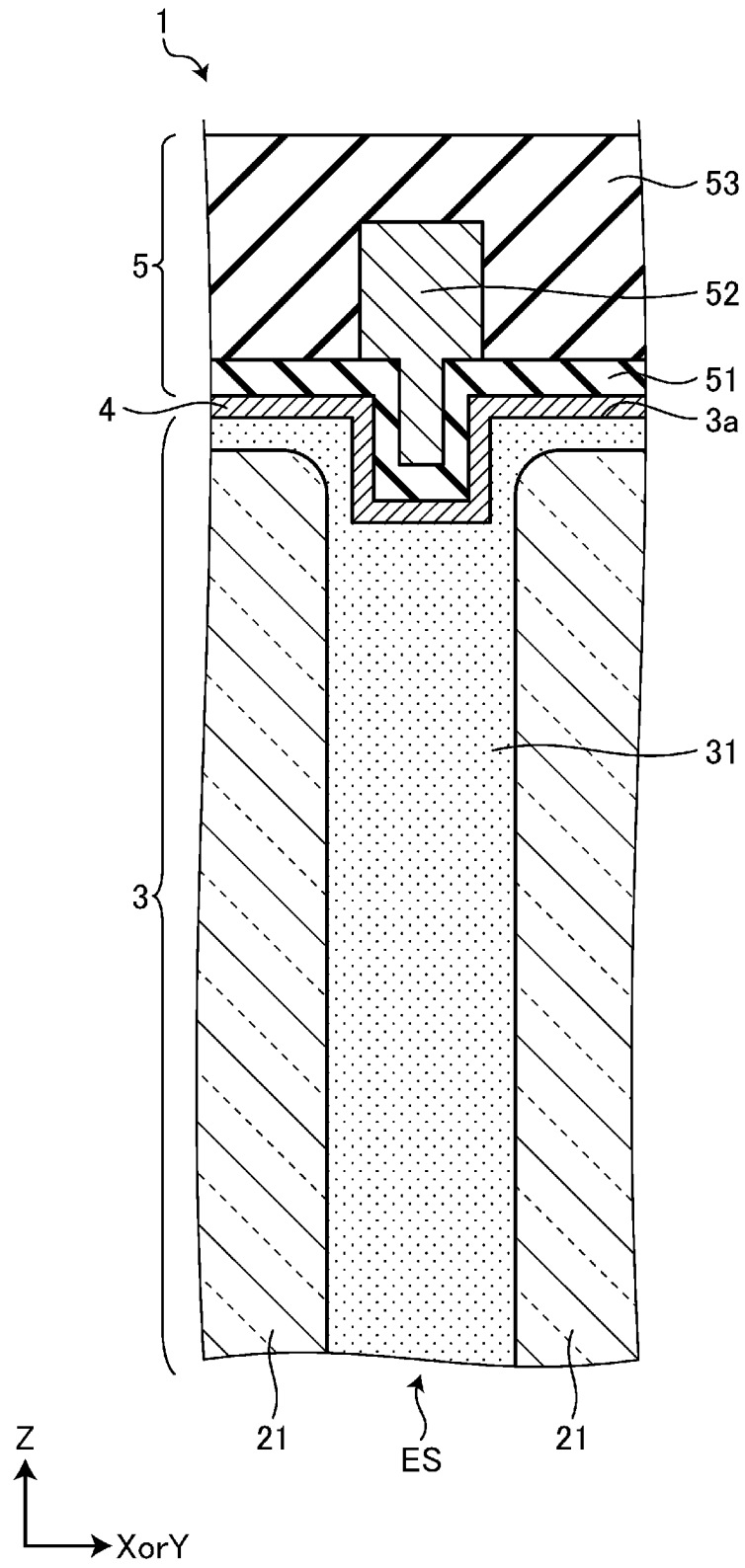
[図100]



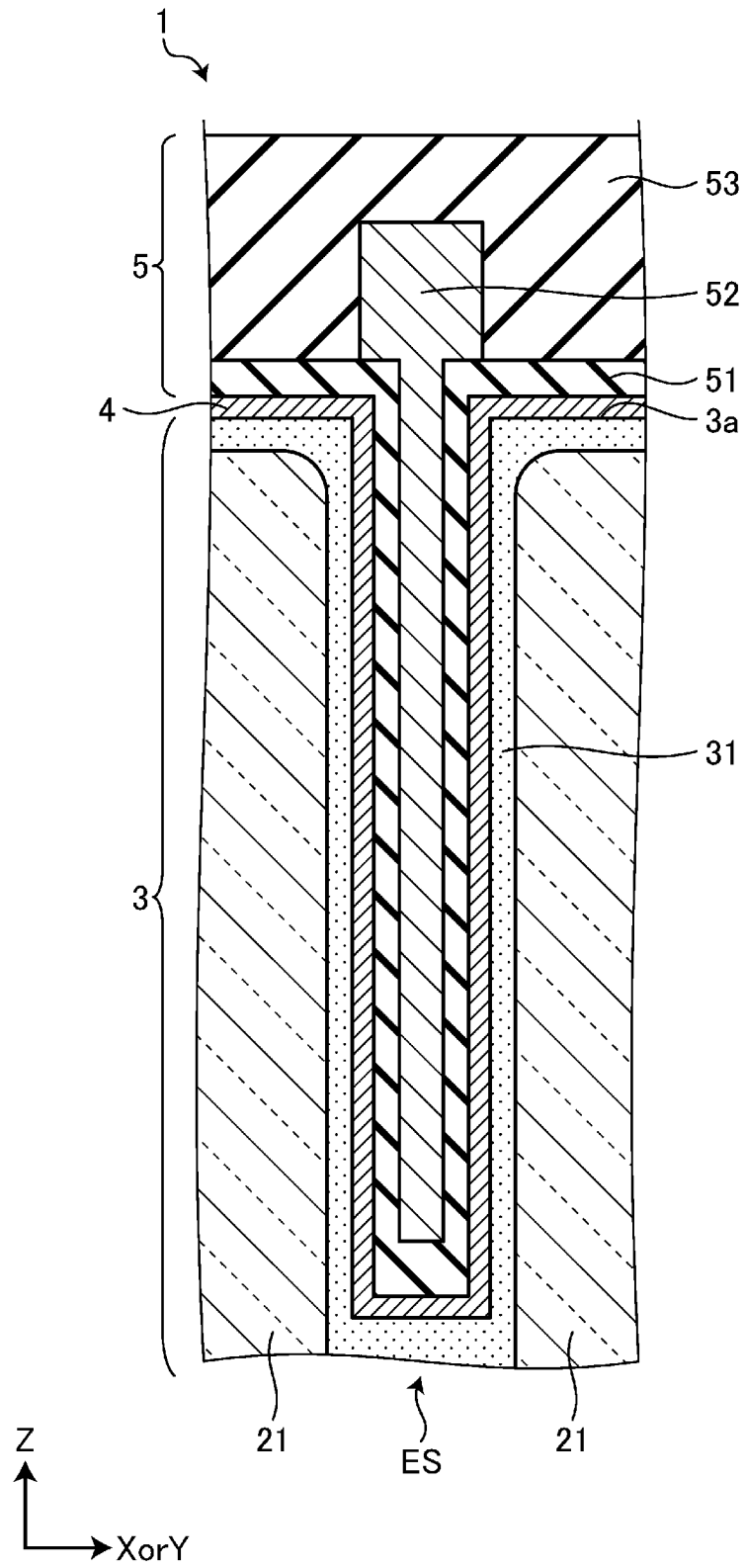
[図101]



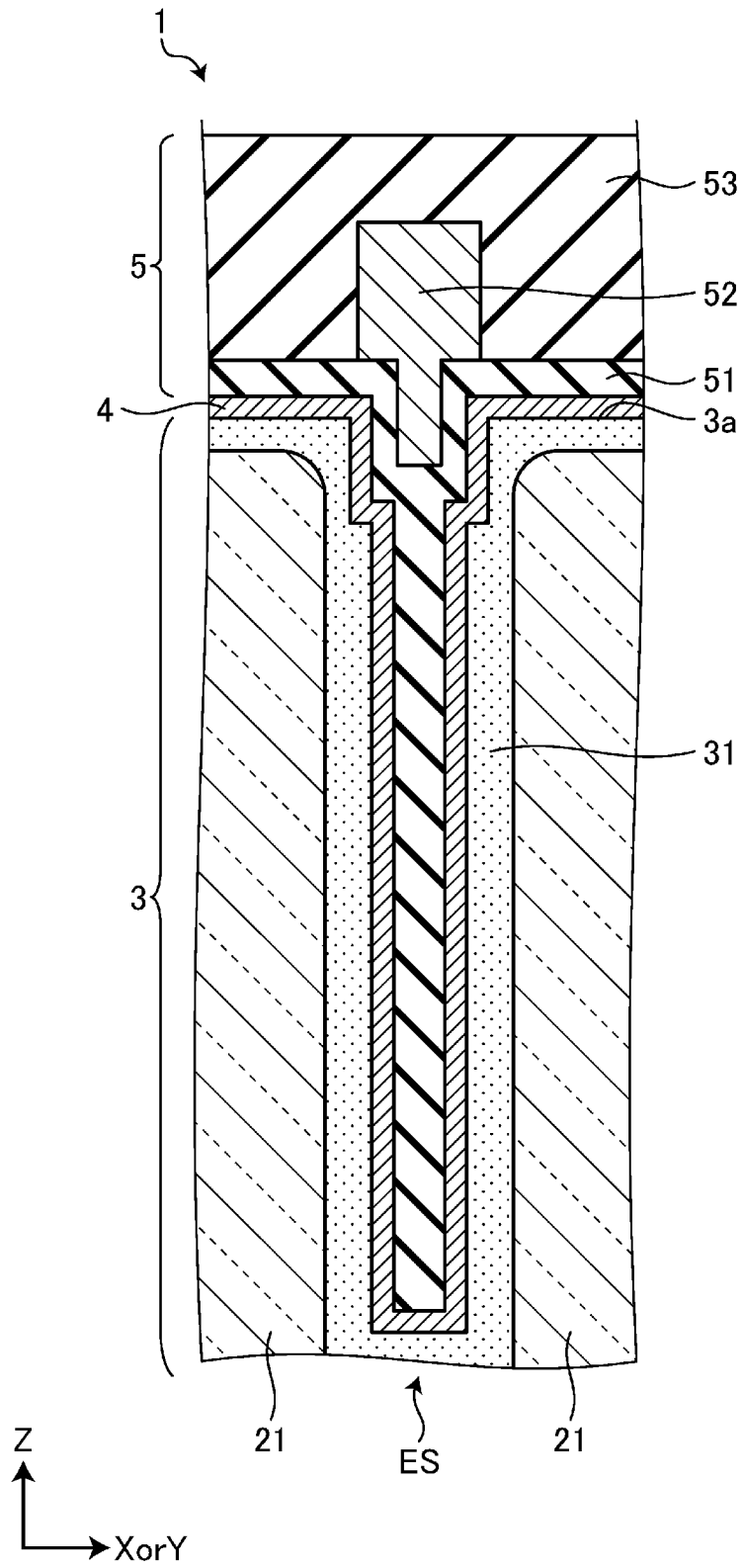
[図102]



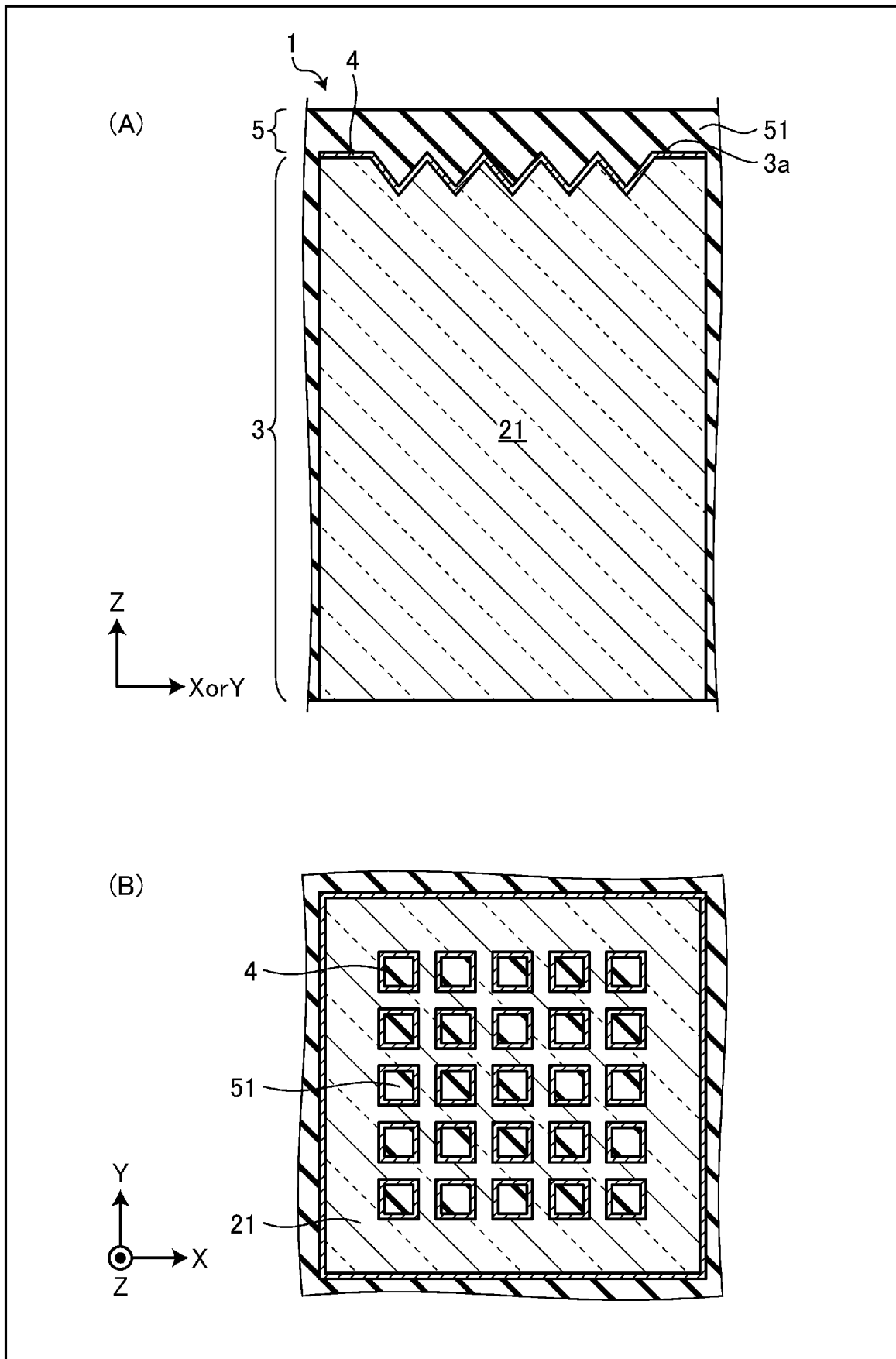
[図103]



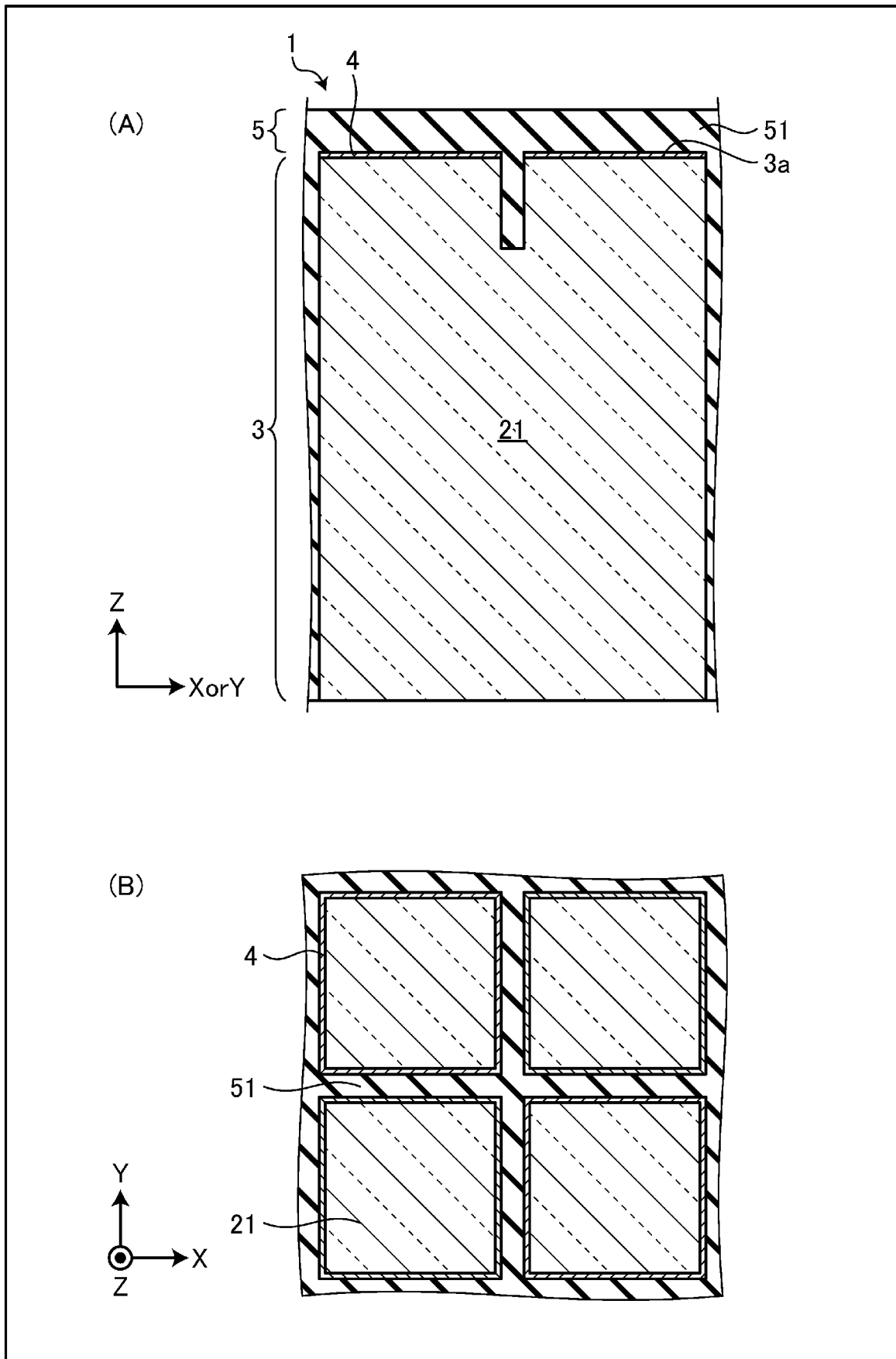
[図104]



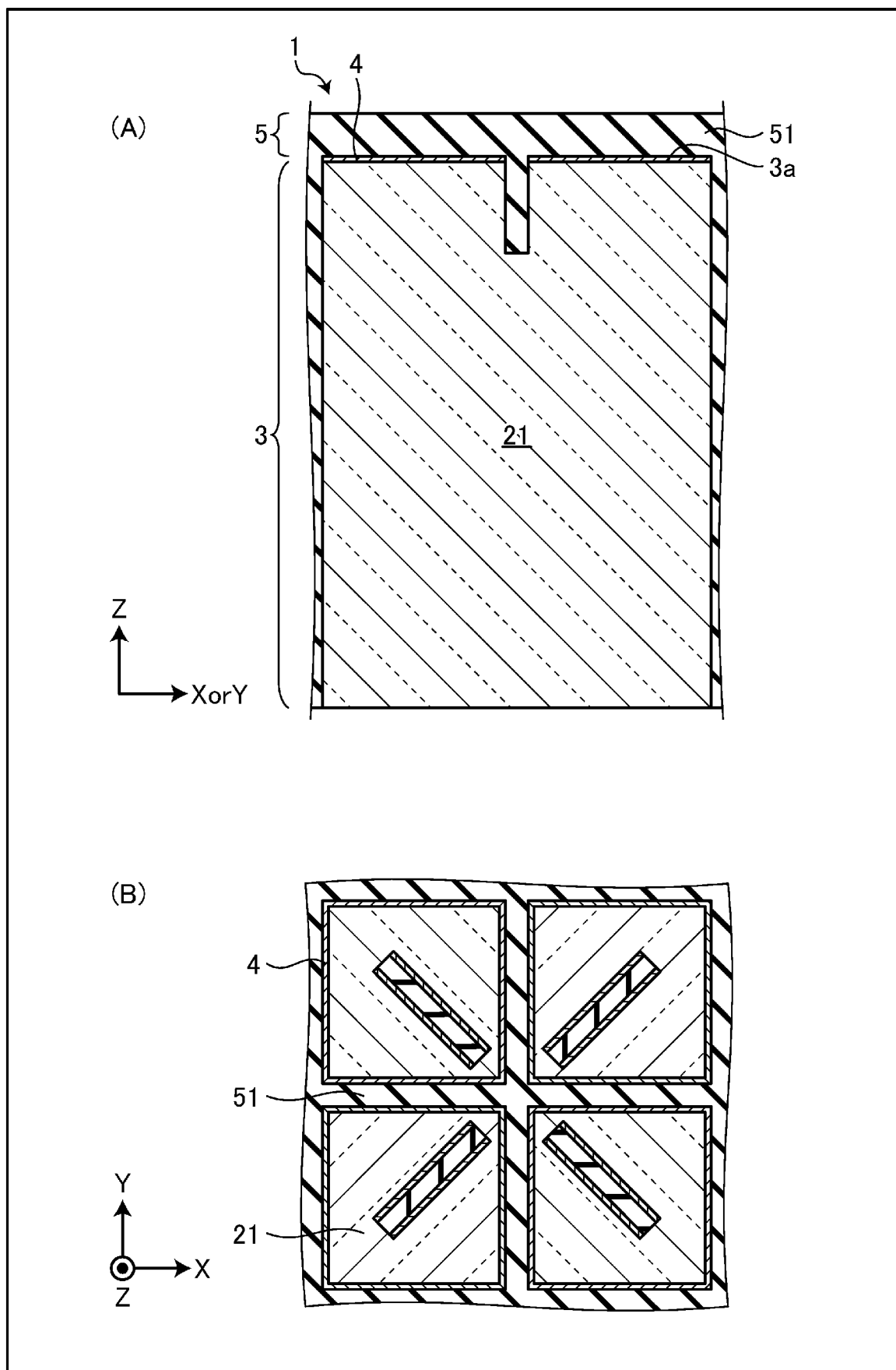
[図105]



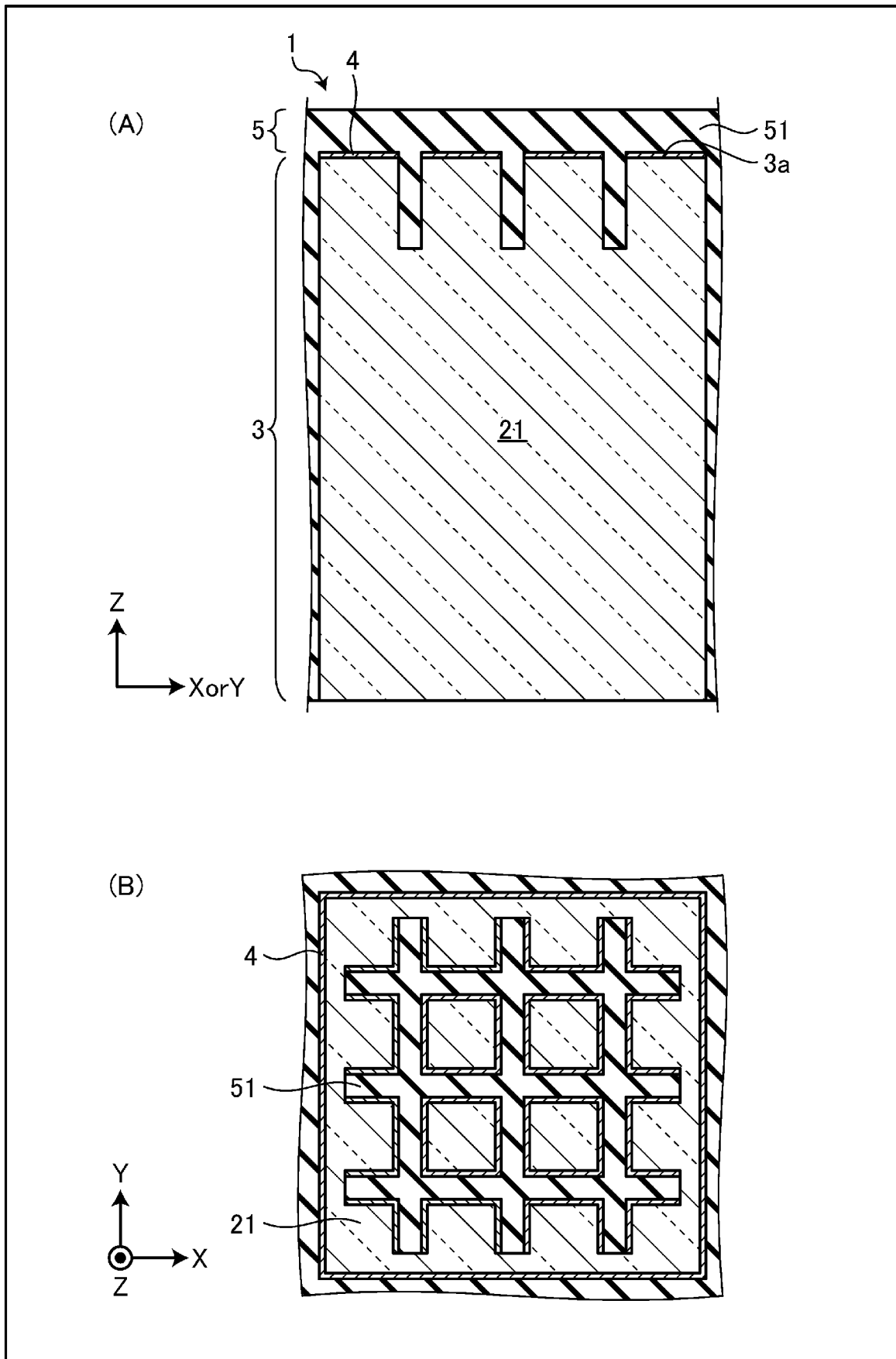
[図106]



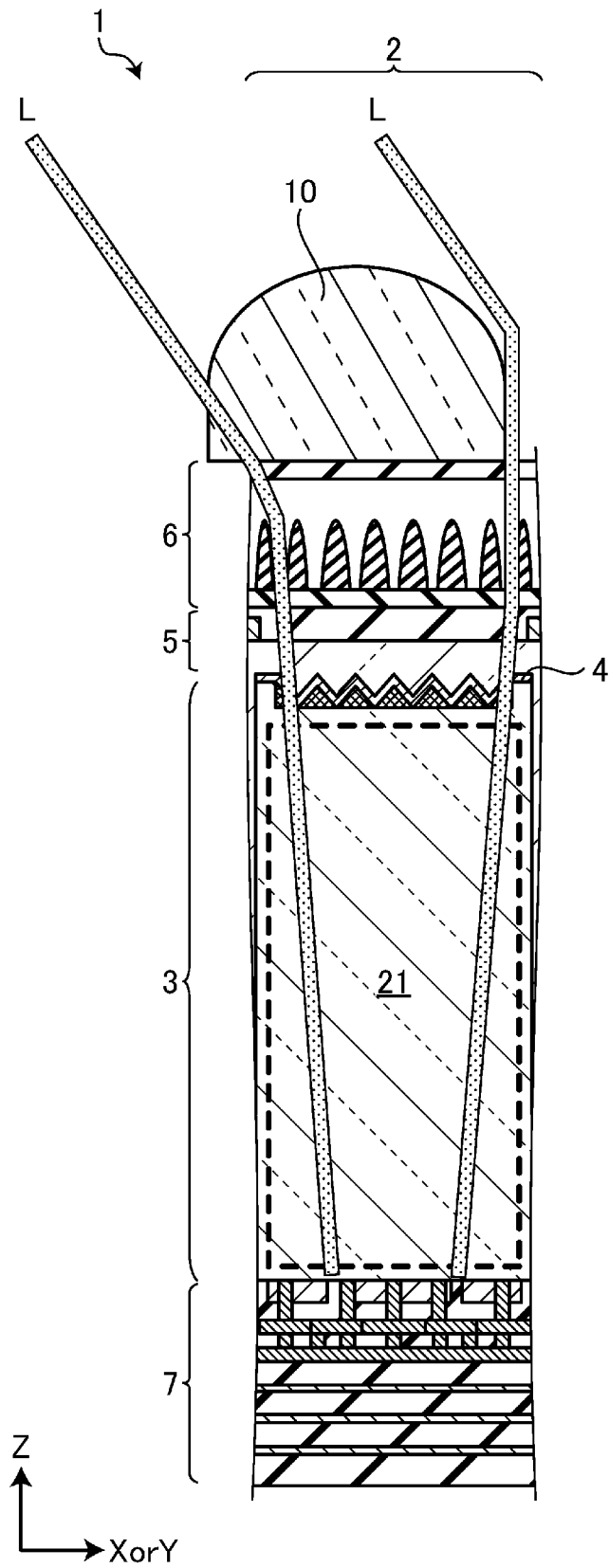
[図107]



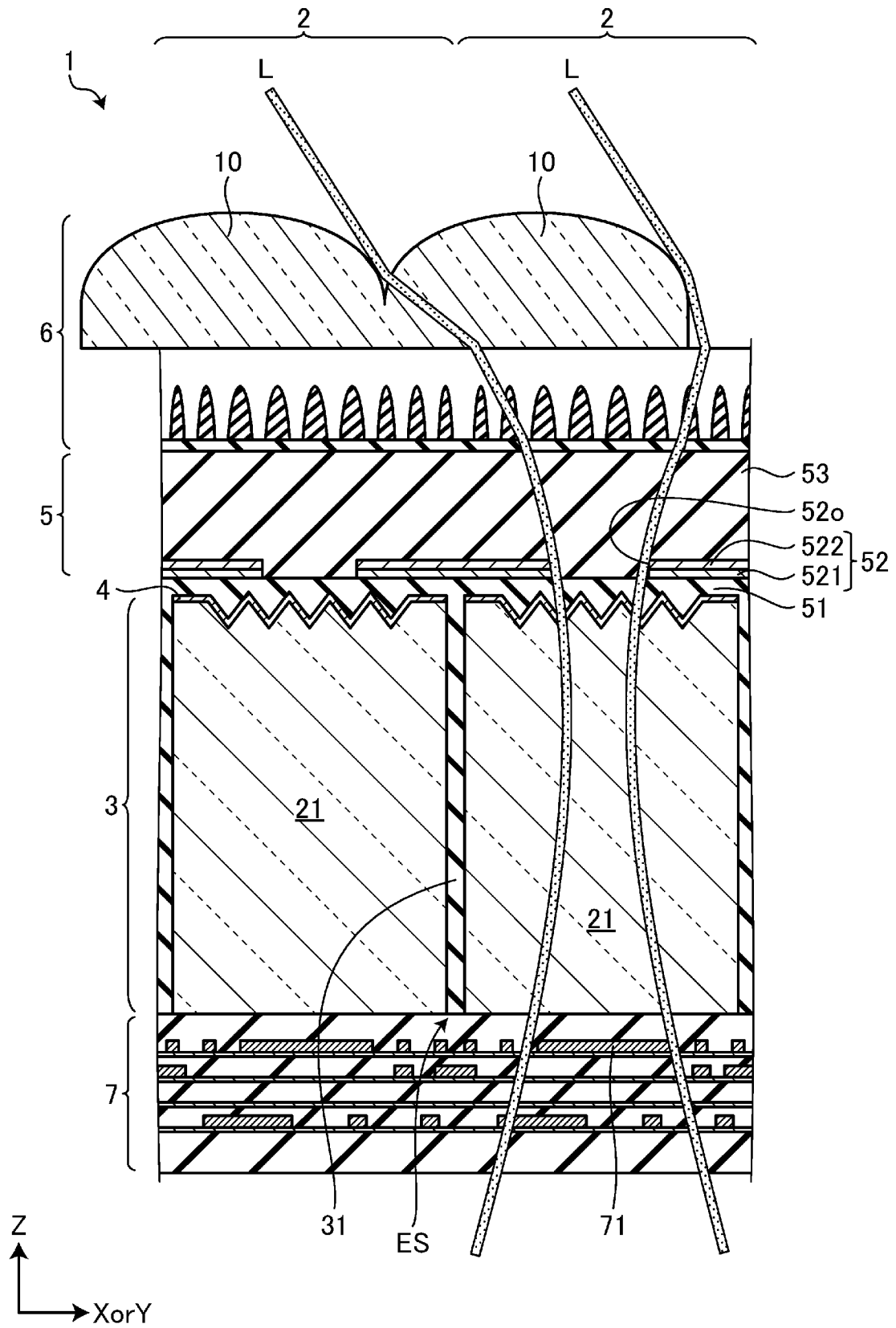
[図108]



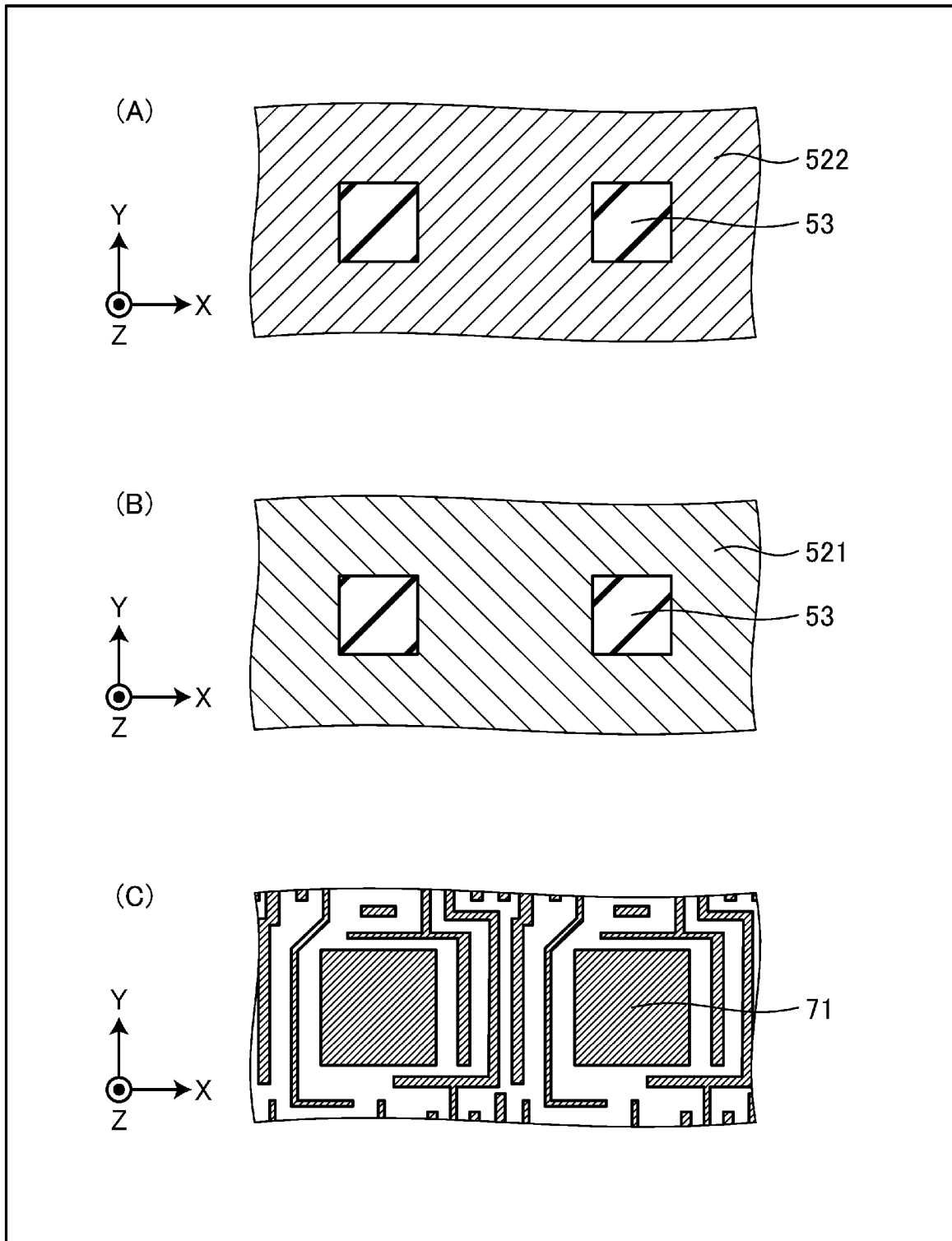
[図109]



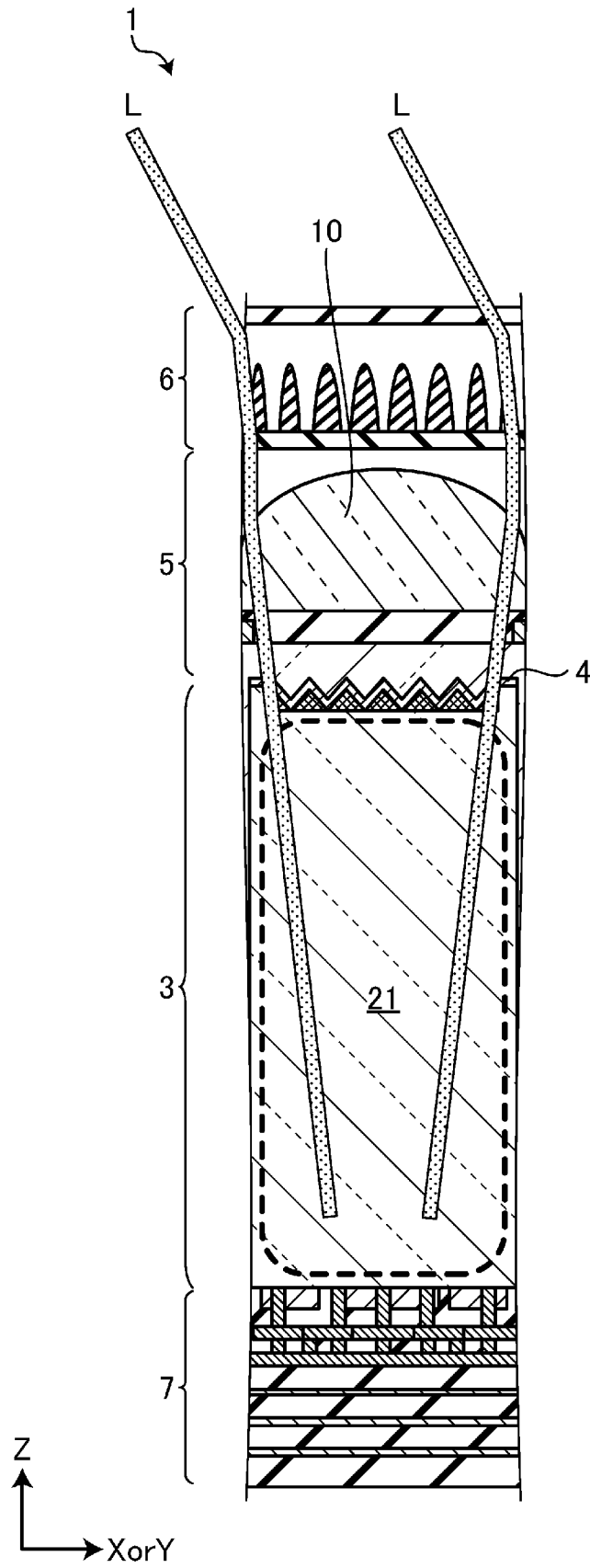
[図110]



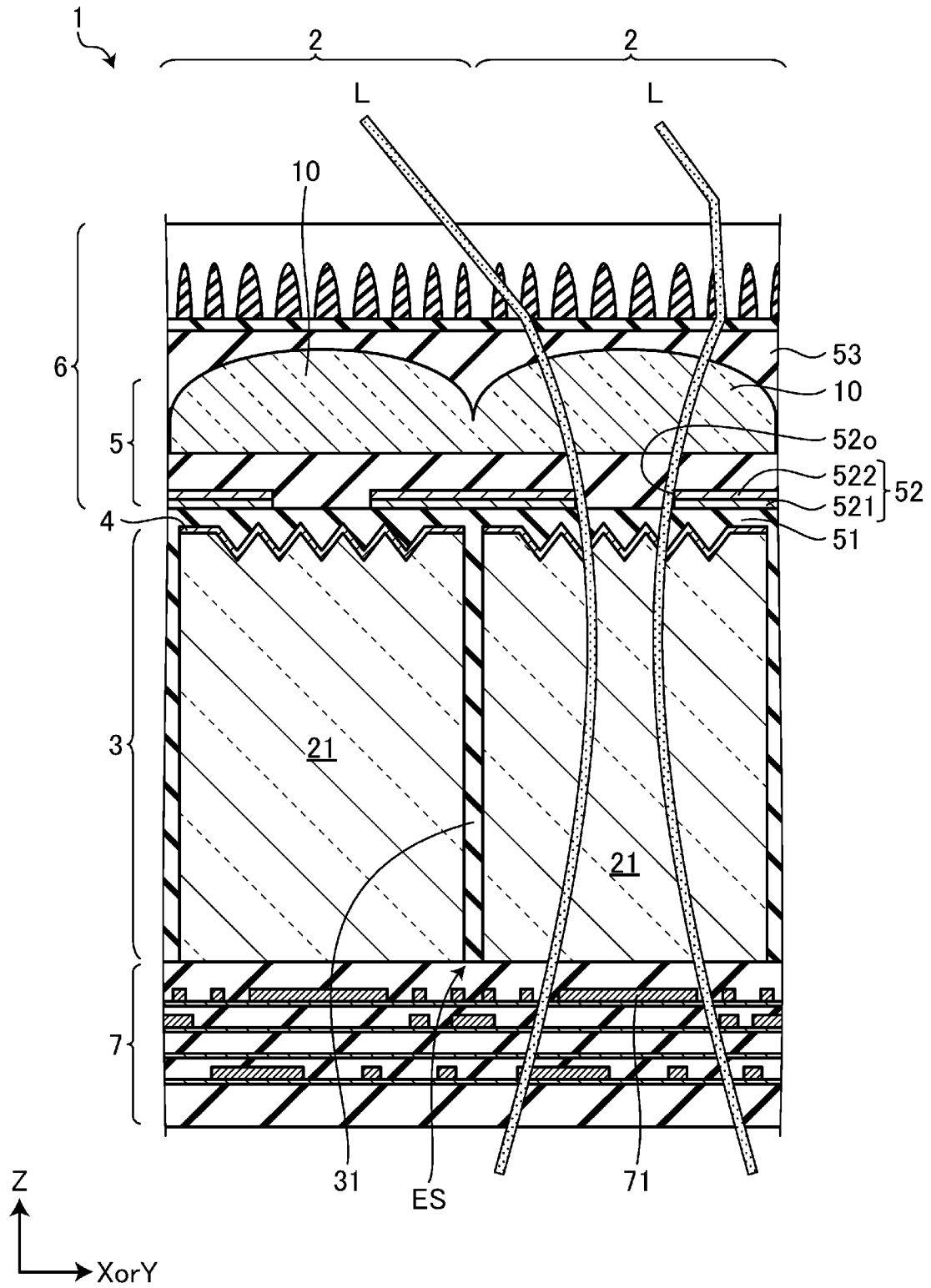
[図111]



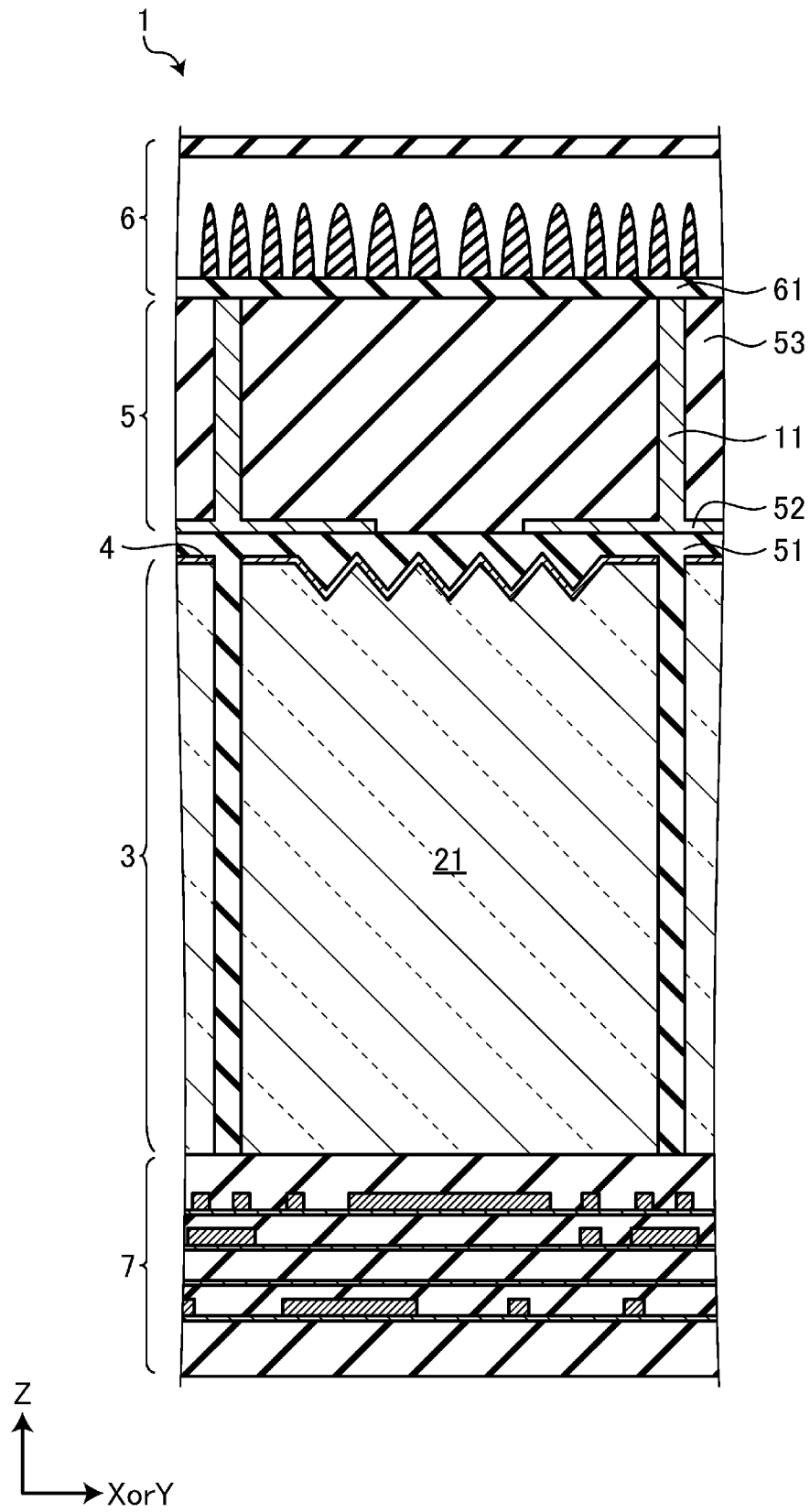
[図112]



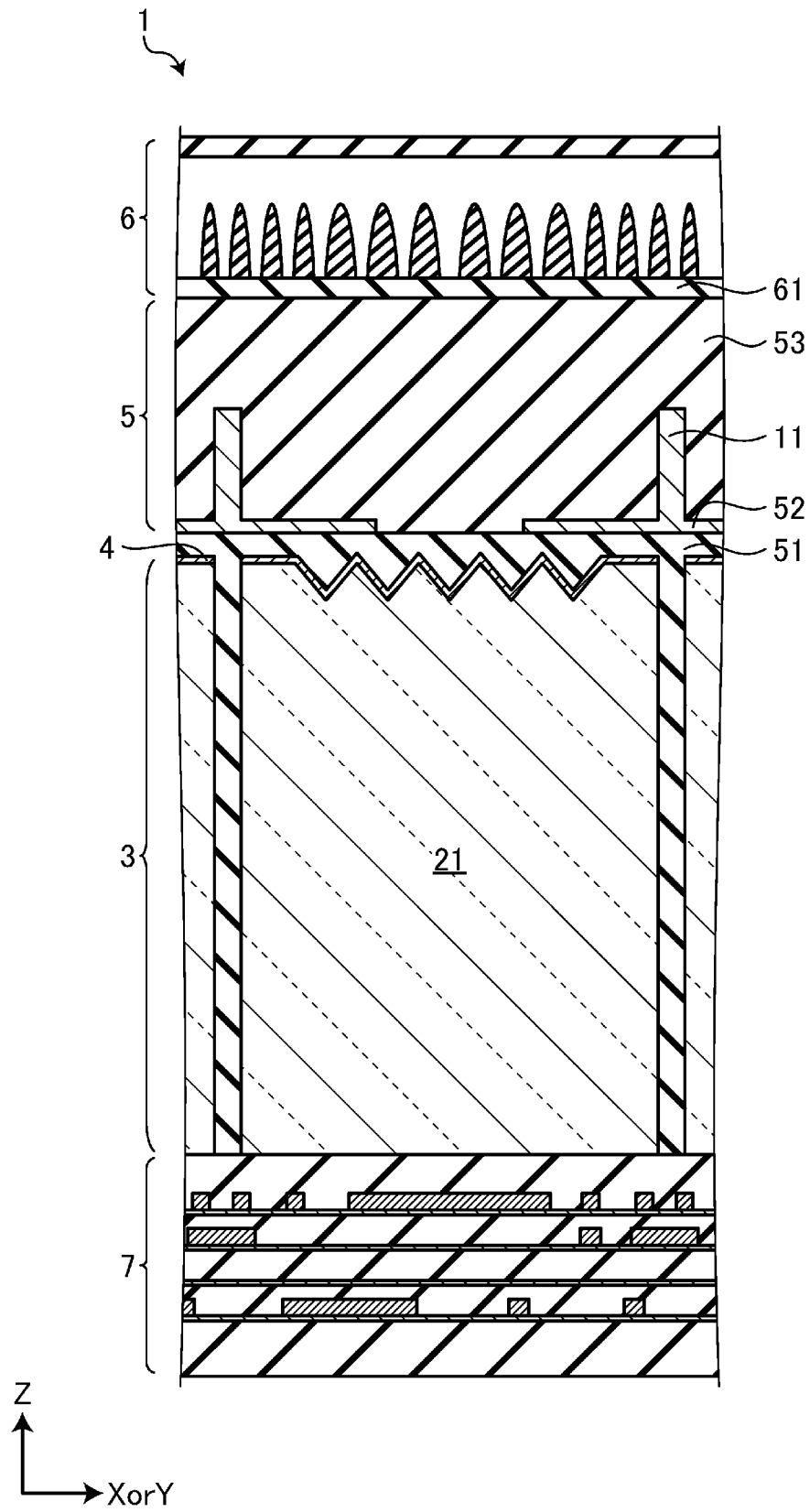
[図113]



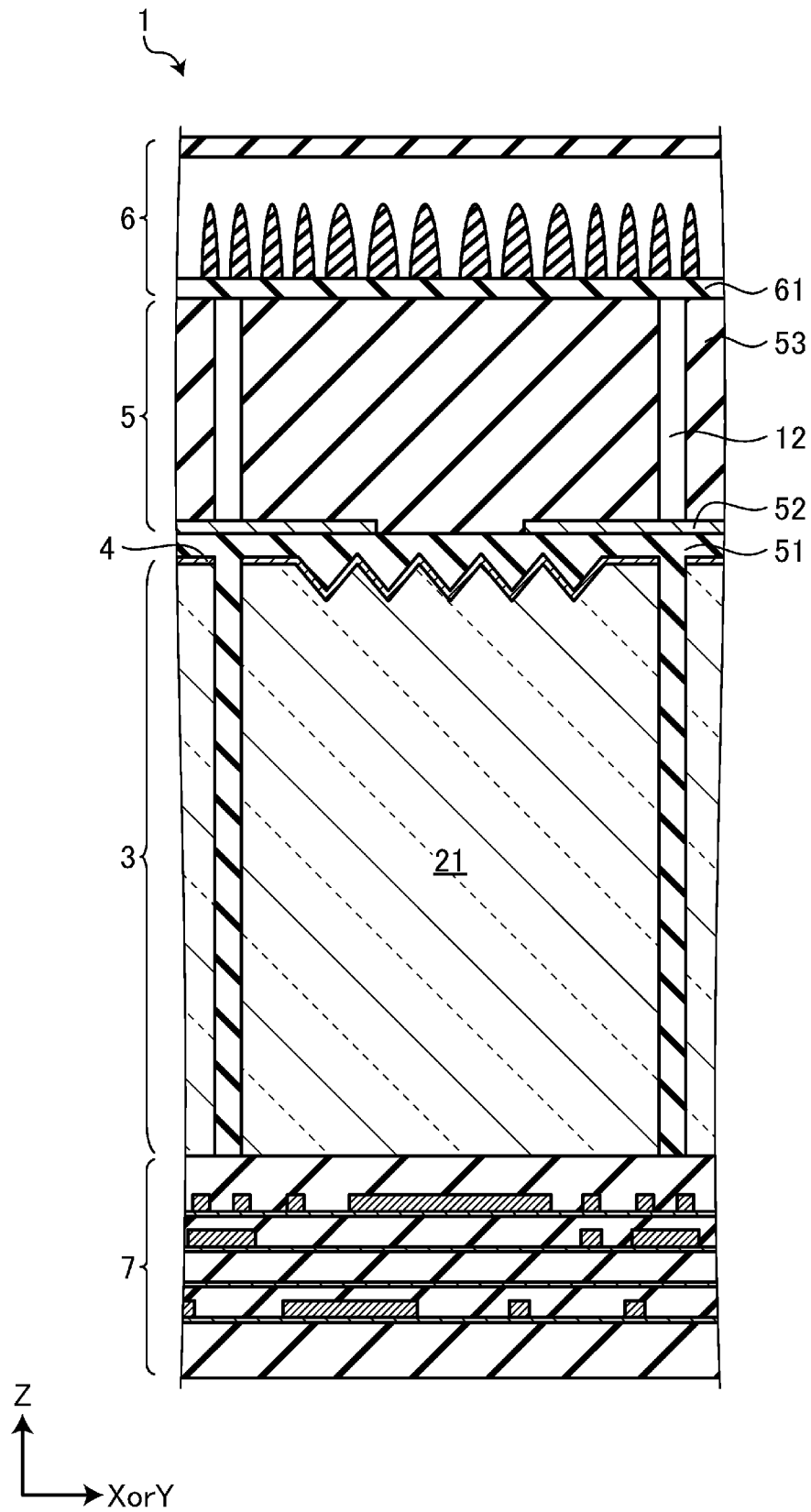
[図114]



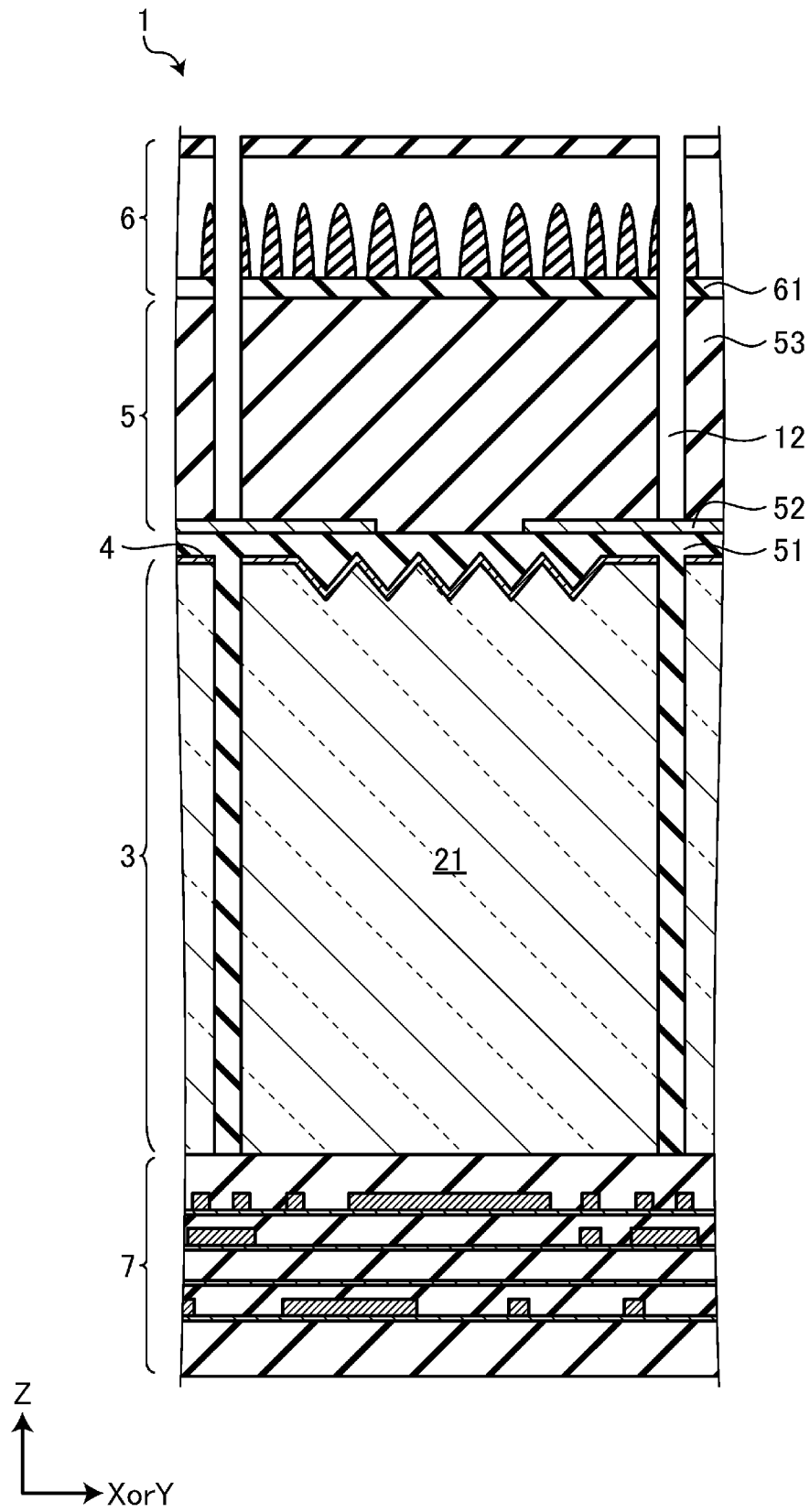
[図115]



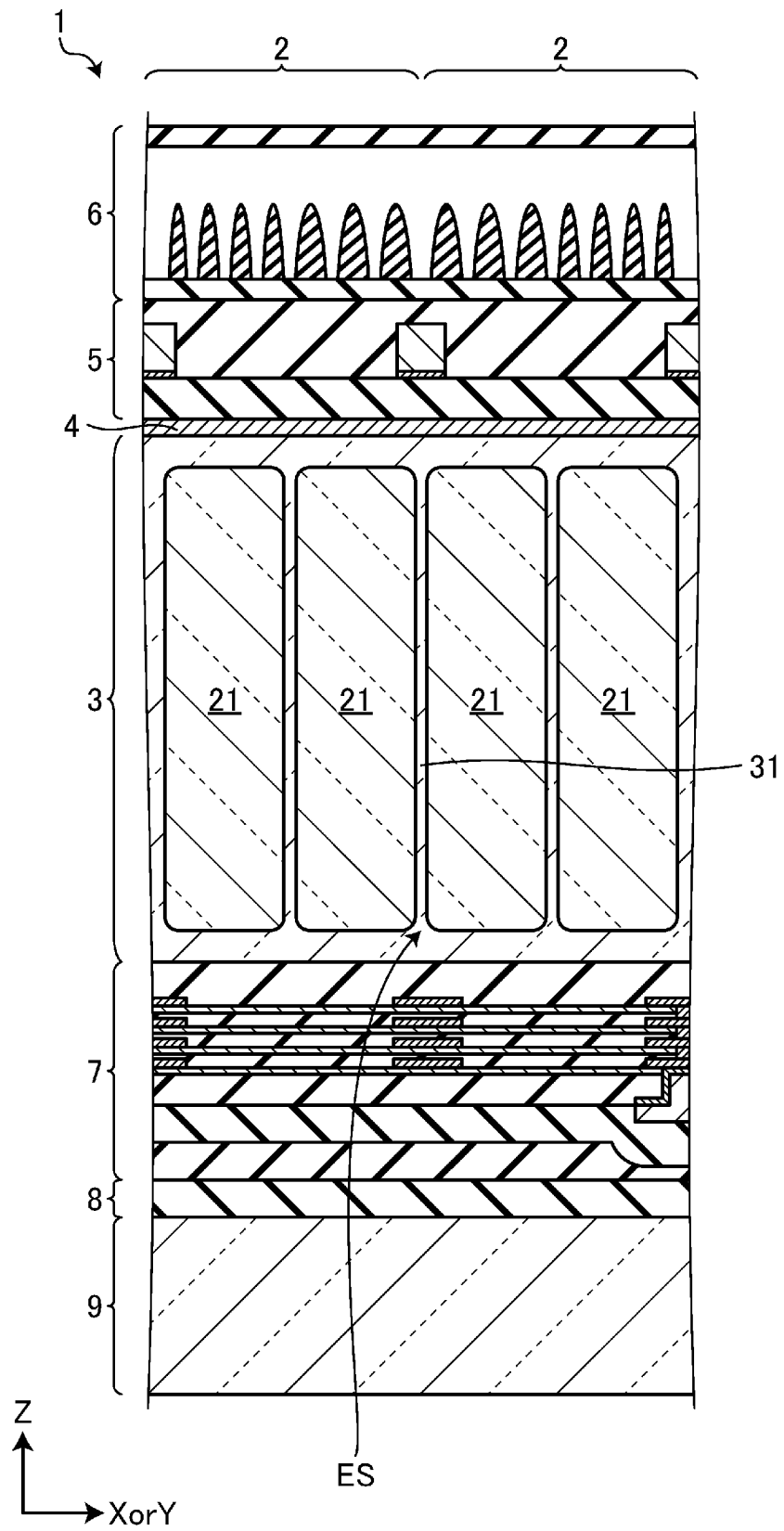
[図116]



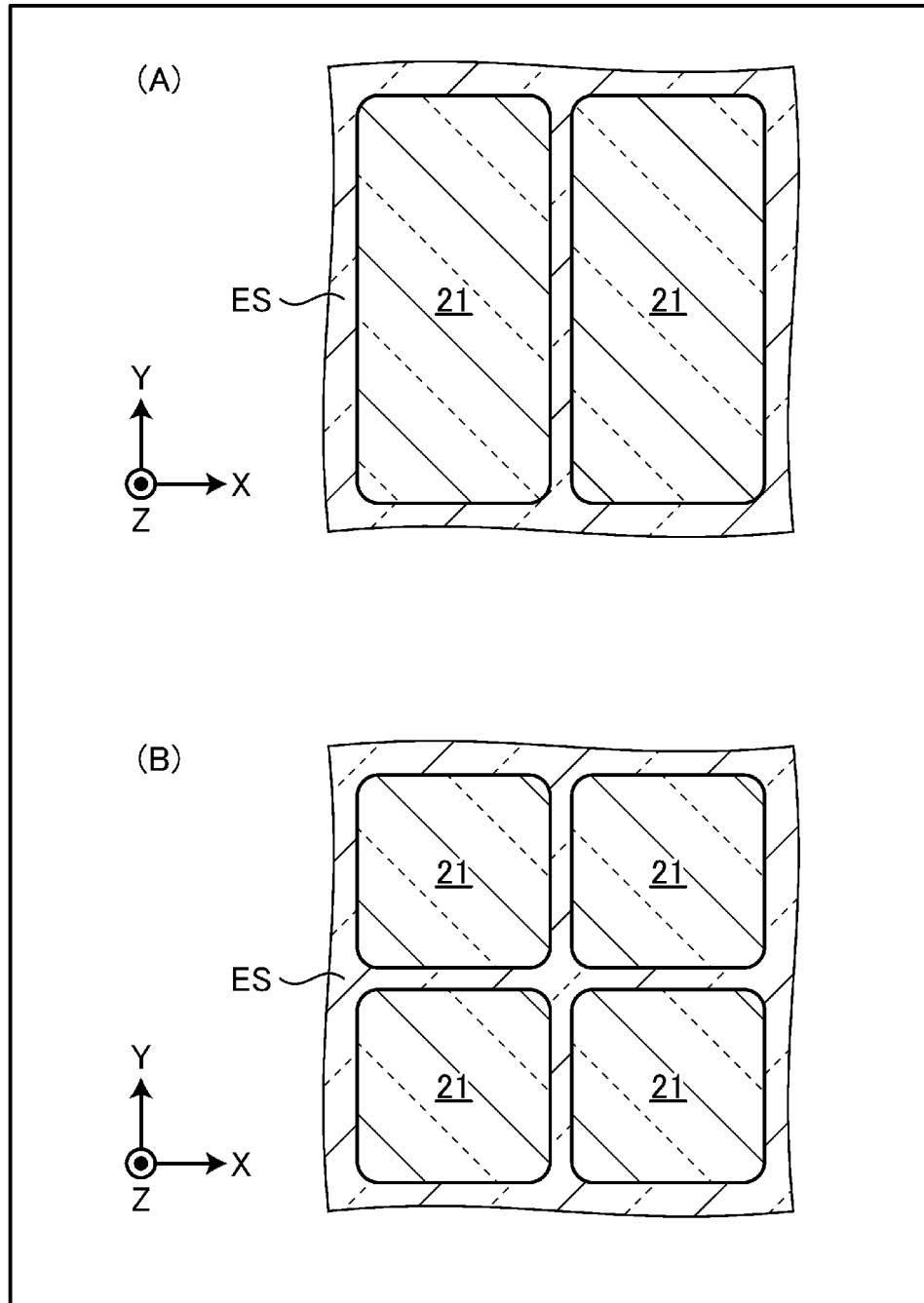
[図117]



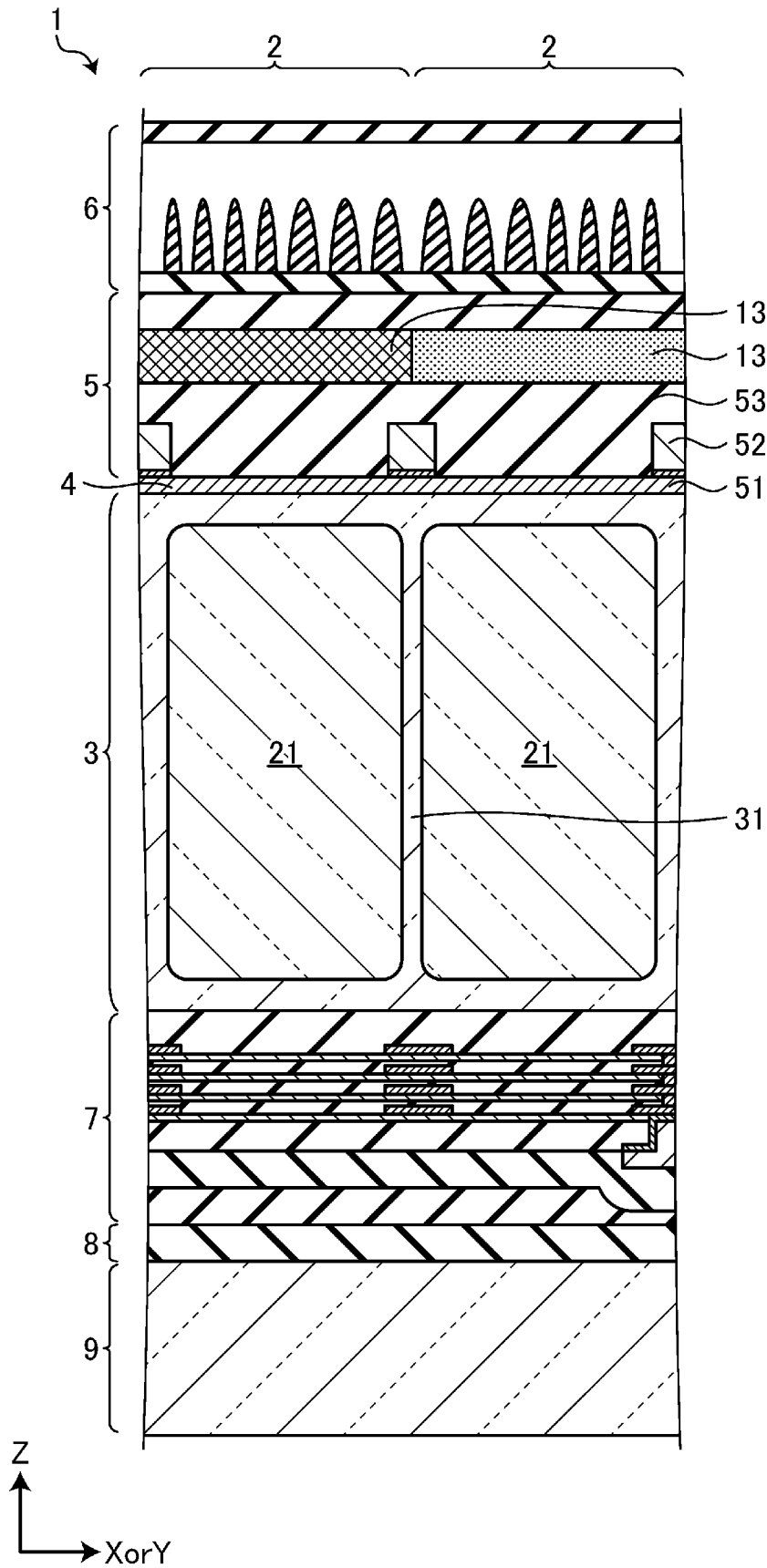
[図118]



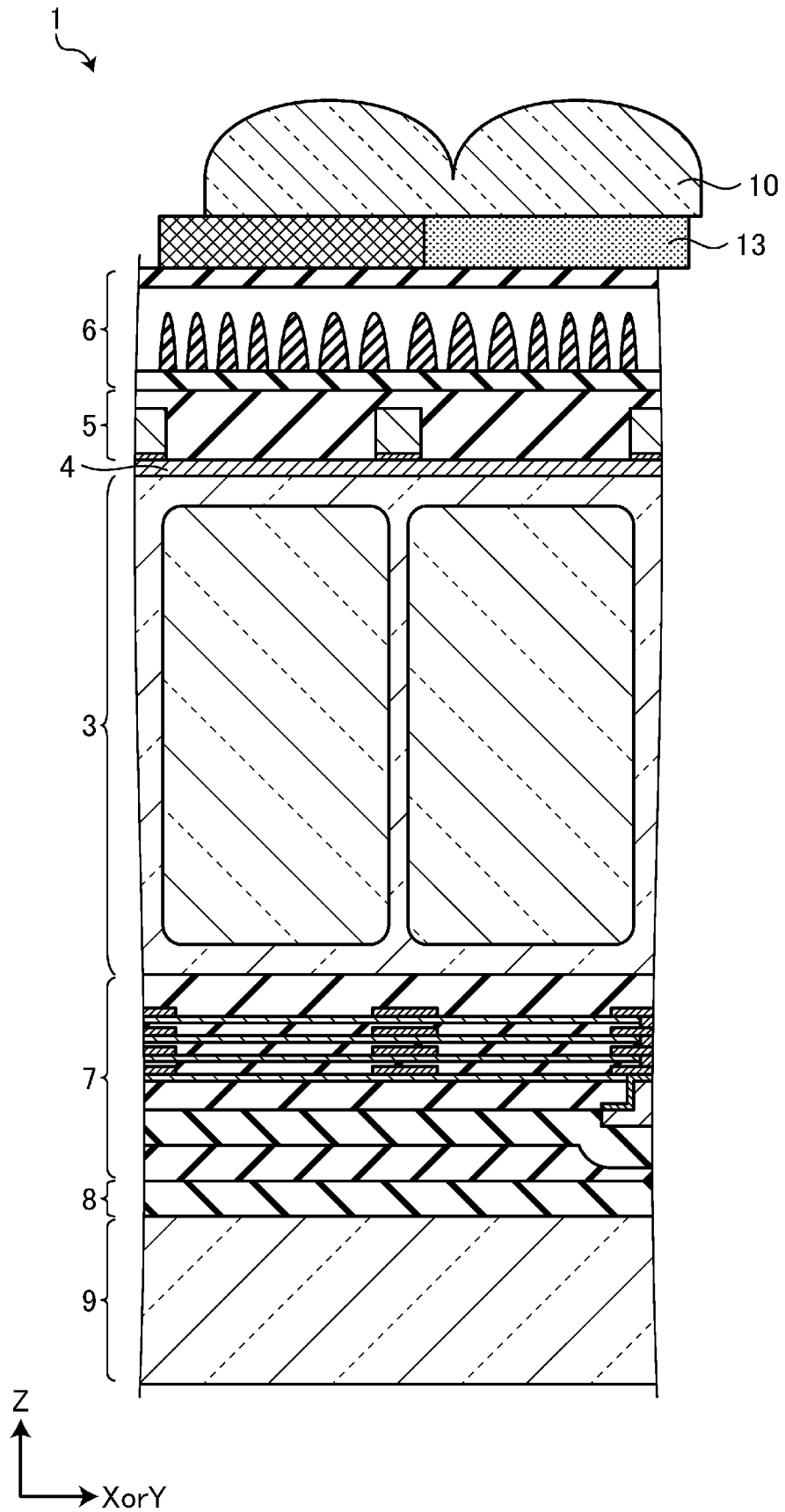
[図119]



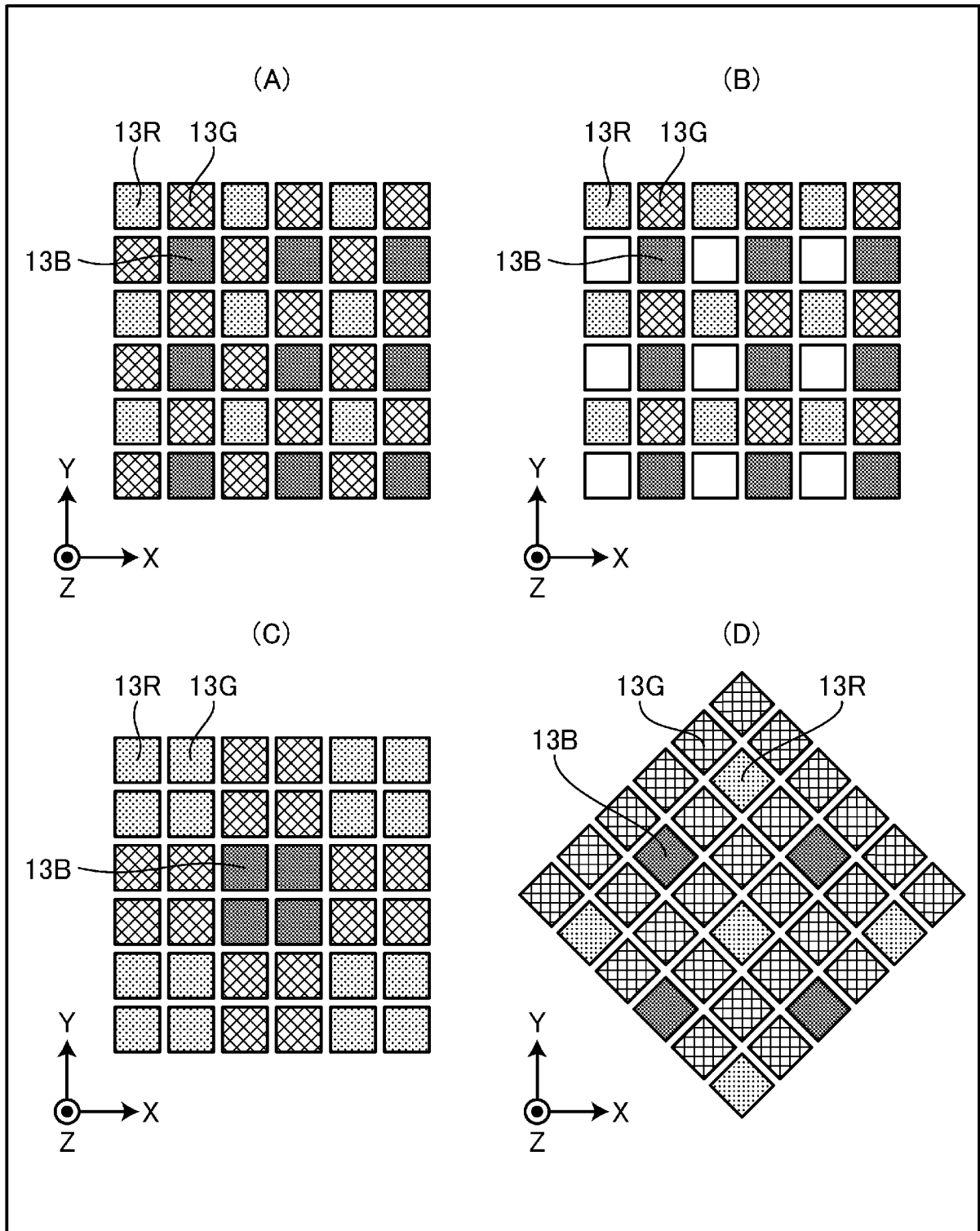
[図120]



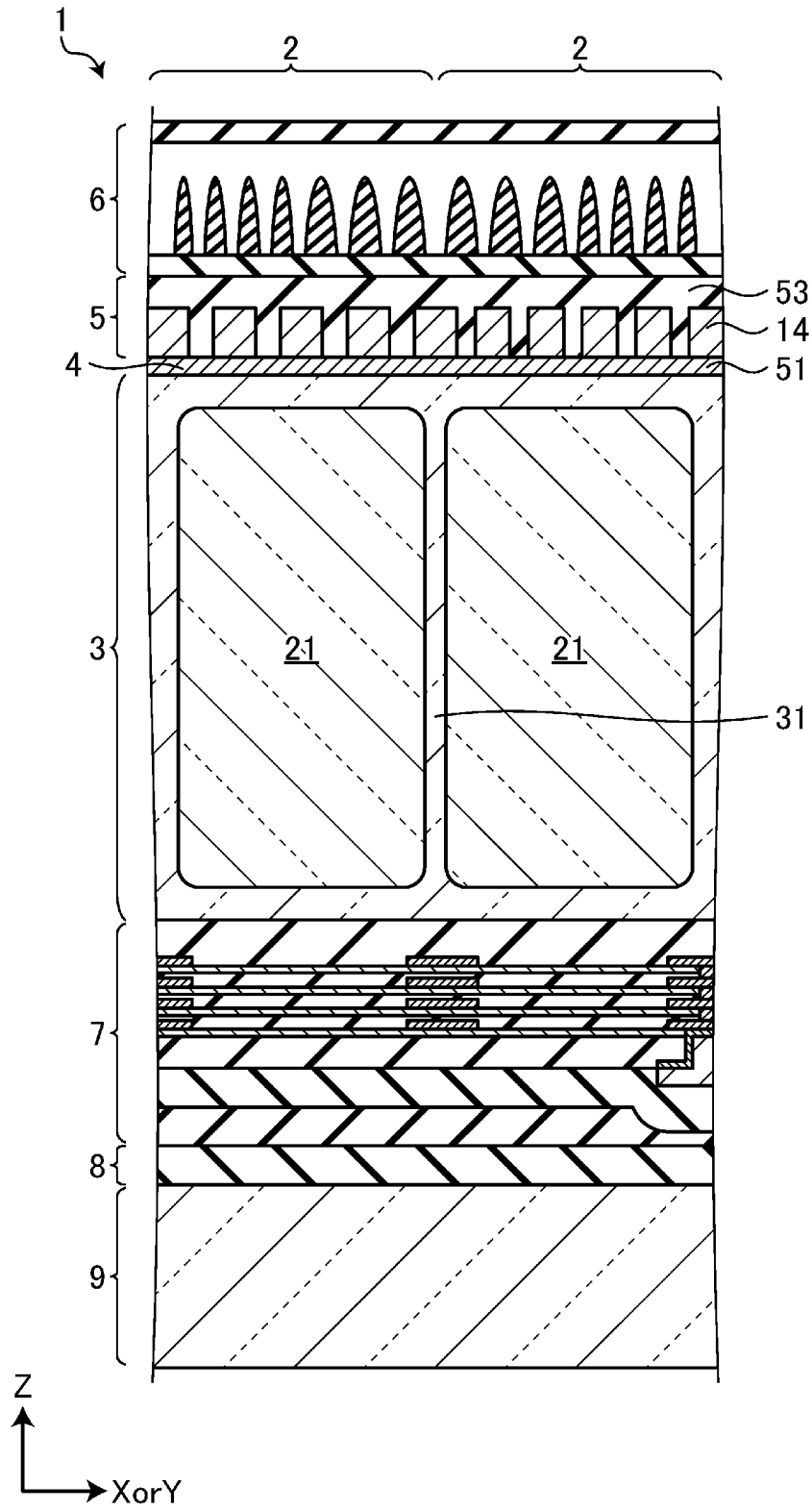
[図121]



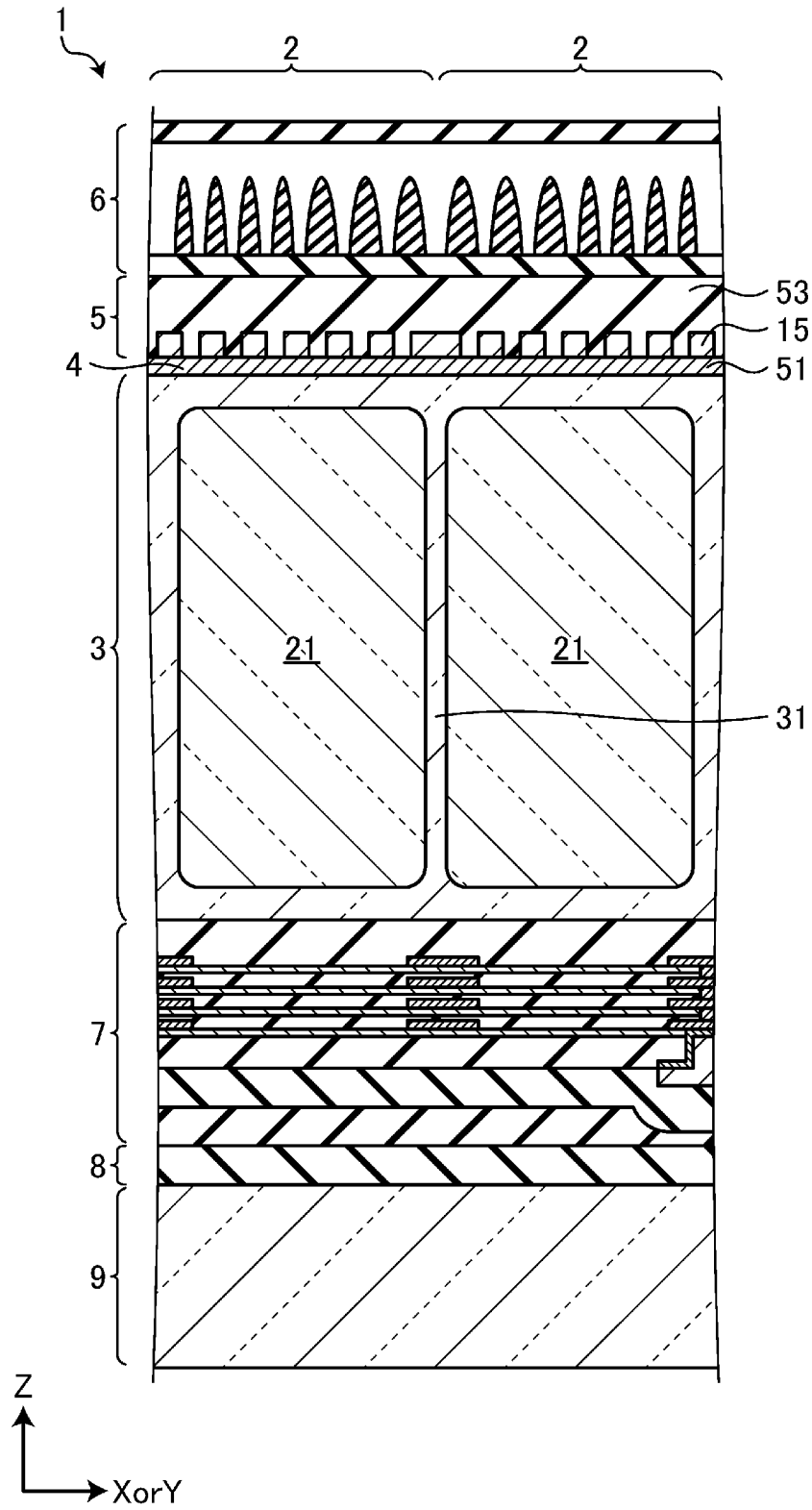
[図122]



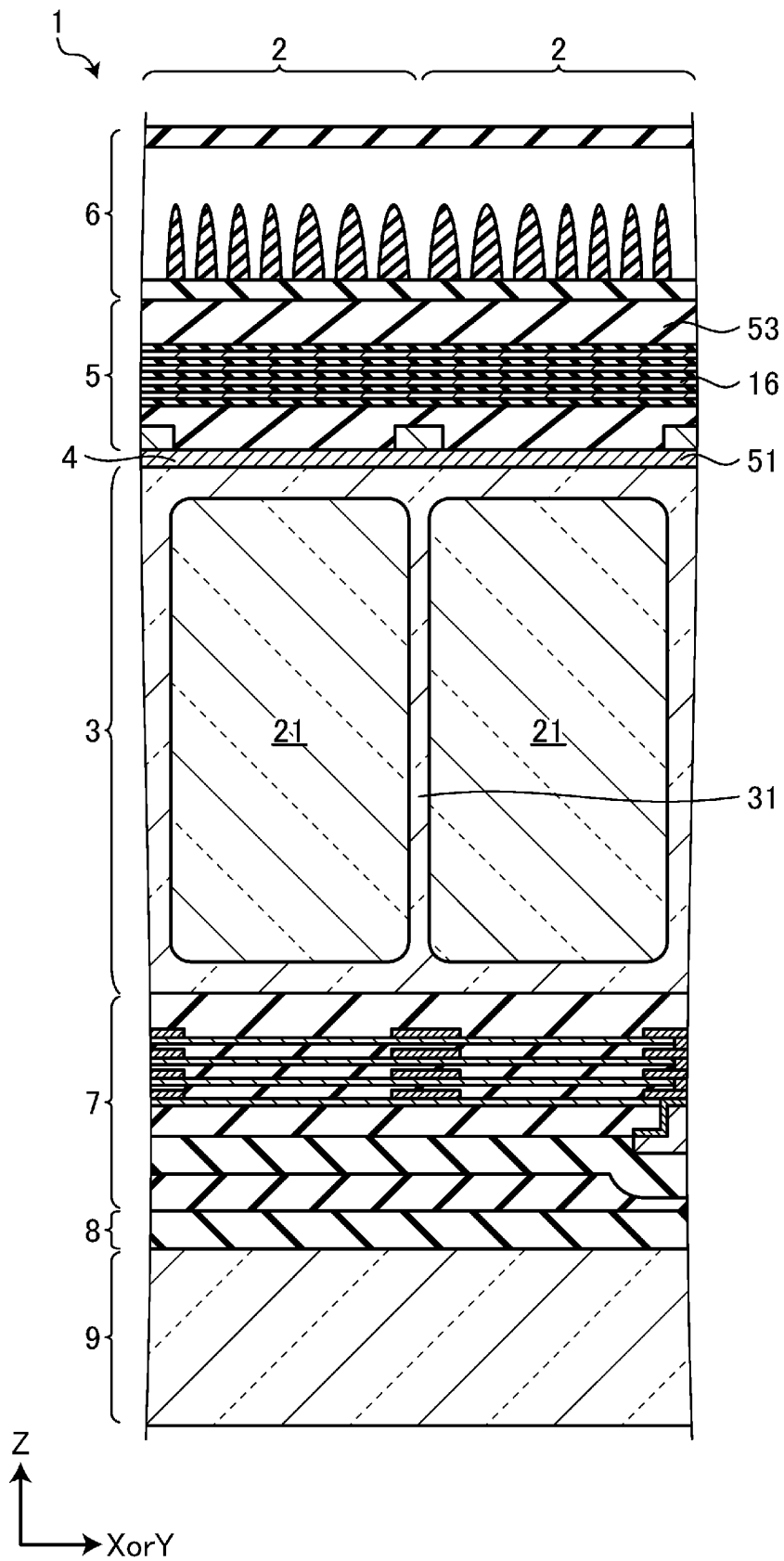
[図123]



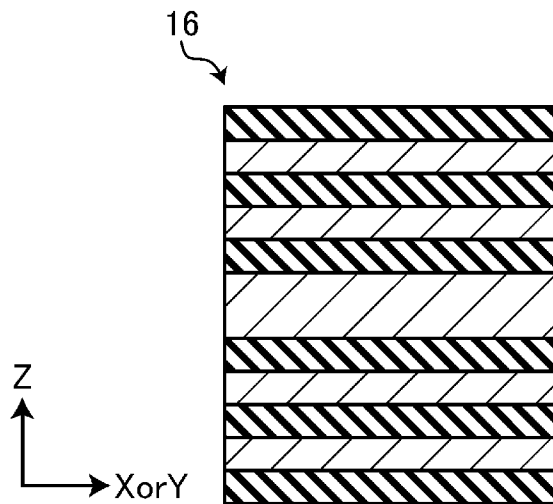
[図124]



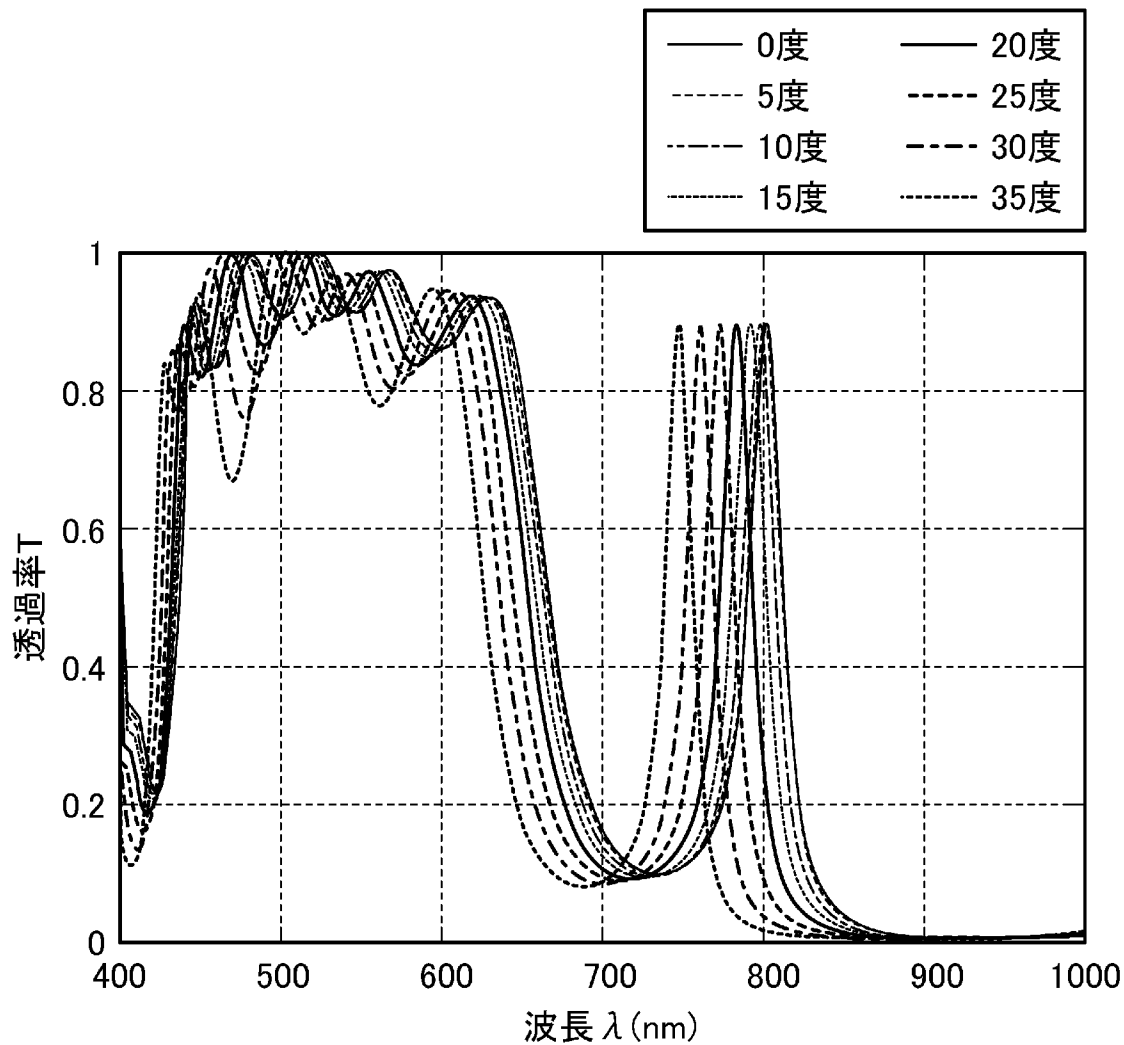
[図125]



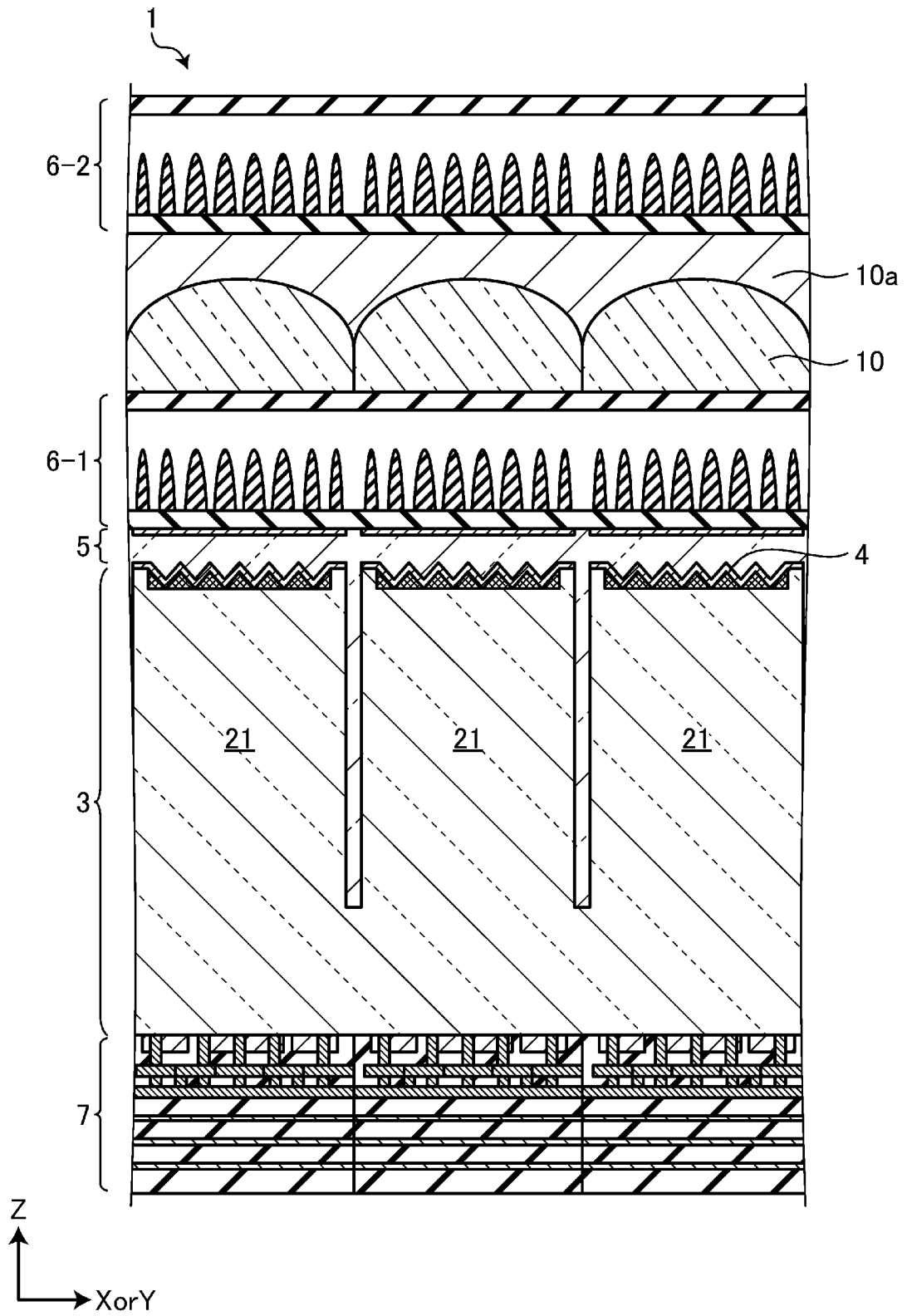
[図126]



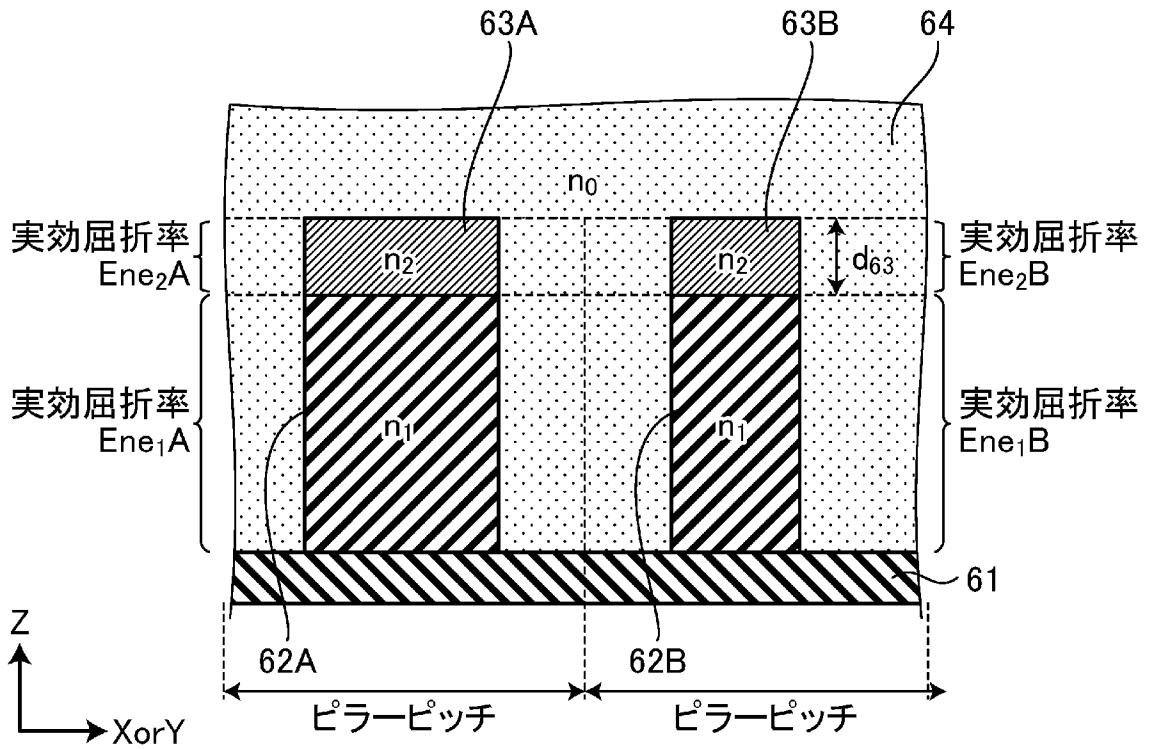
[図127]



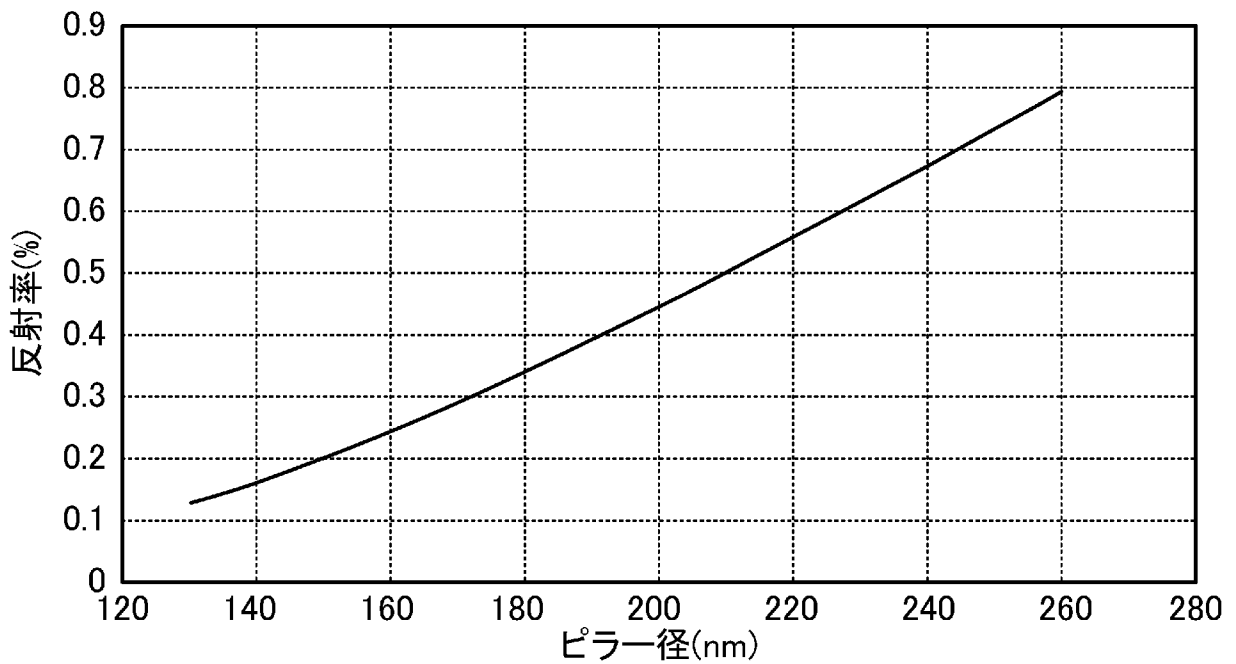
[図128]



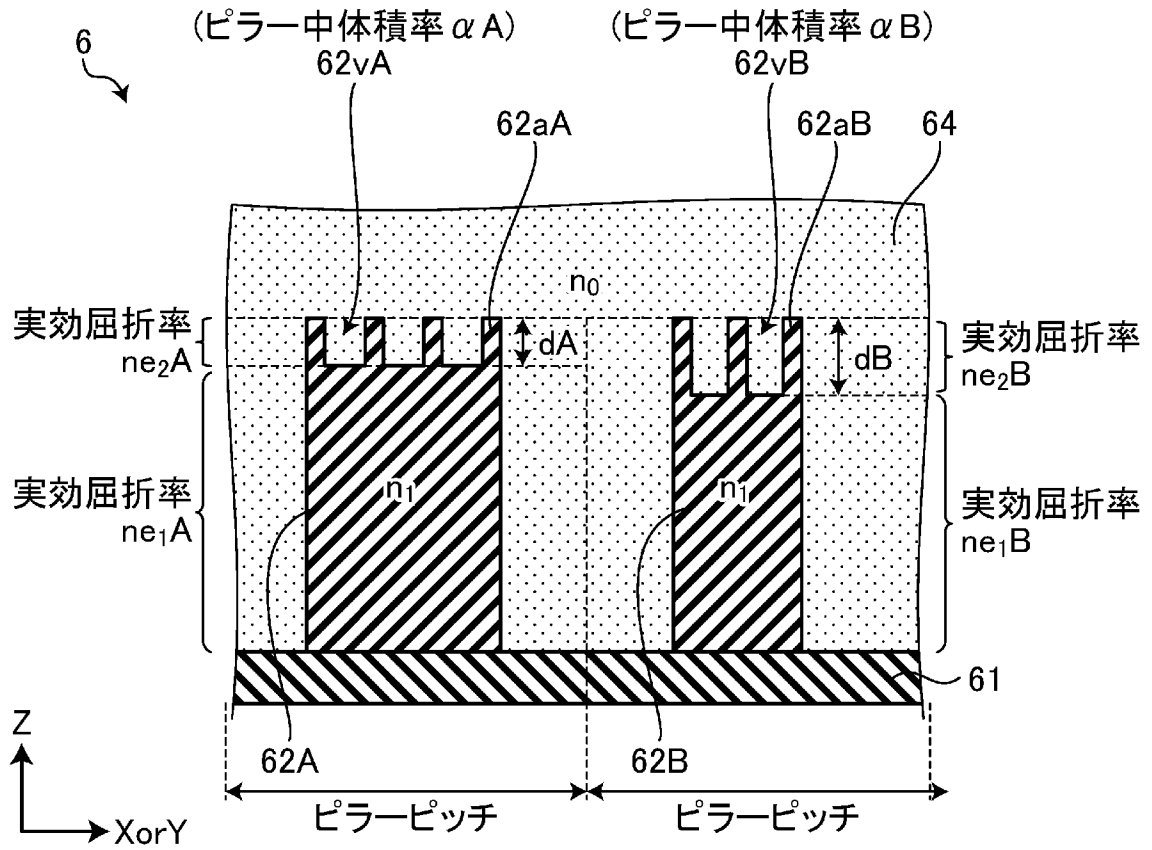
[図129]



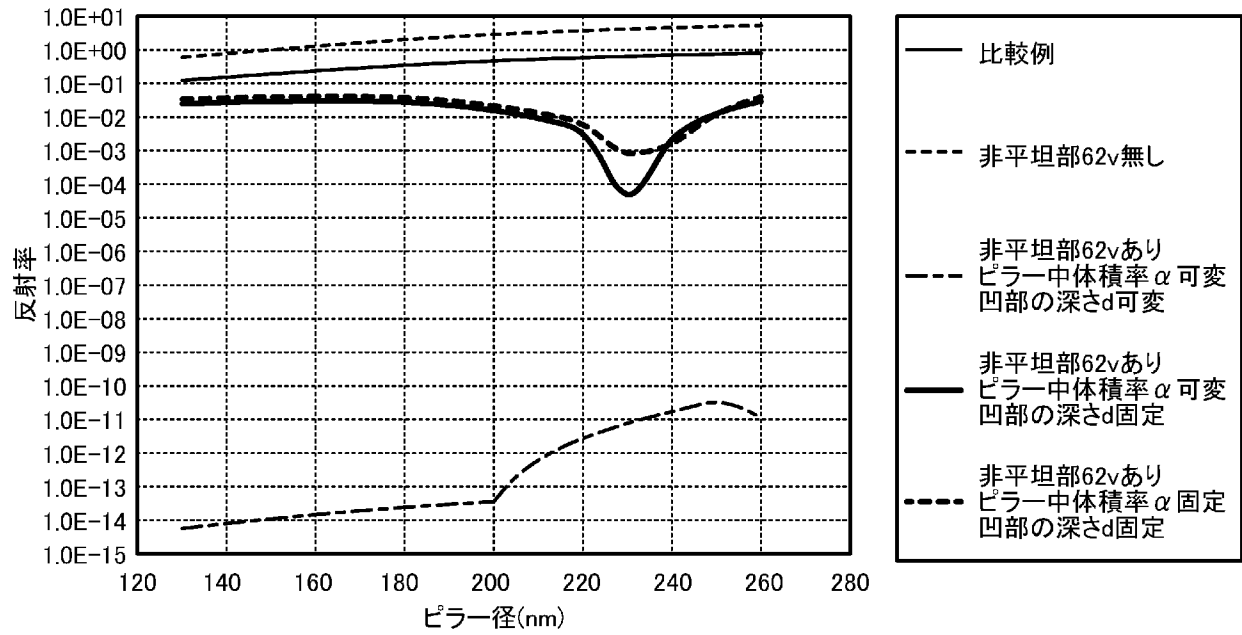
[図130]



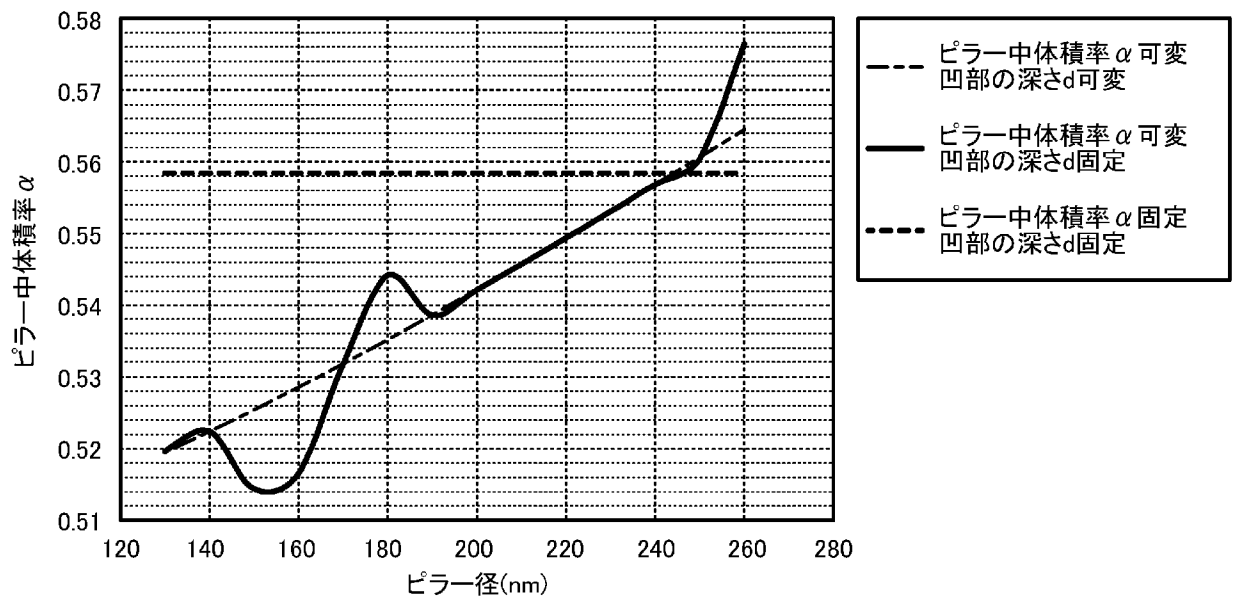
[図131]



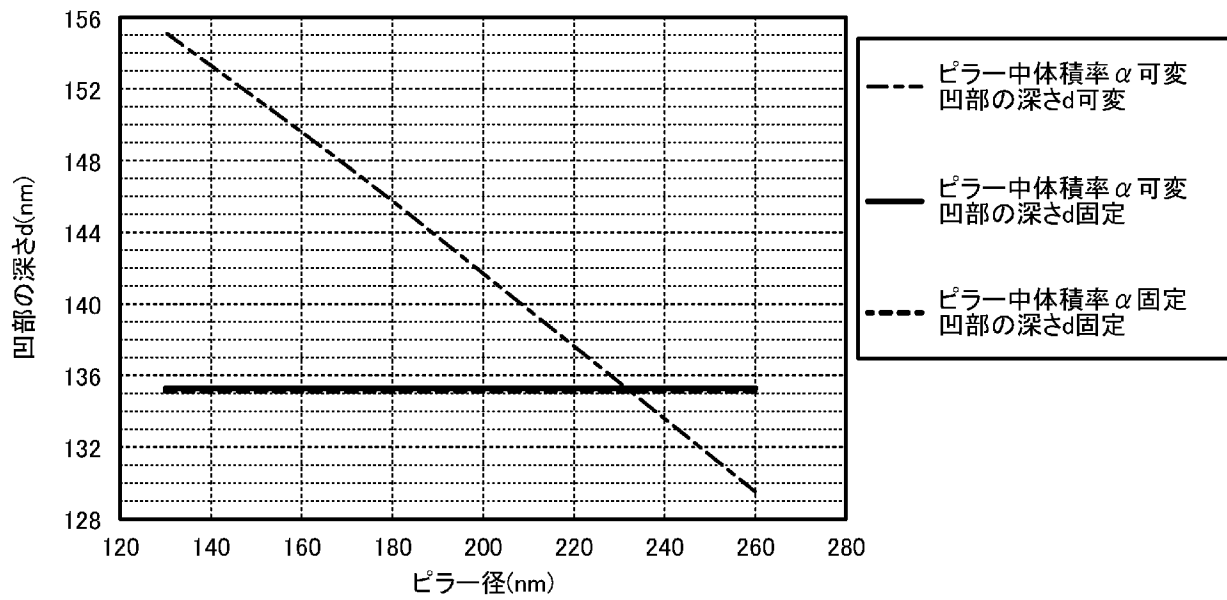
[図132]



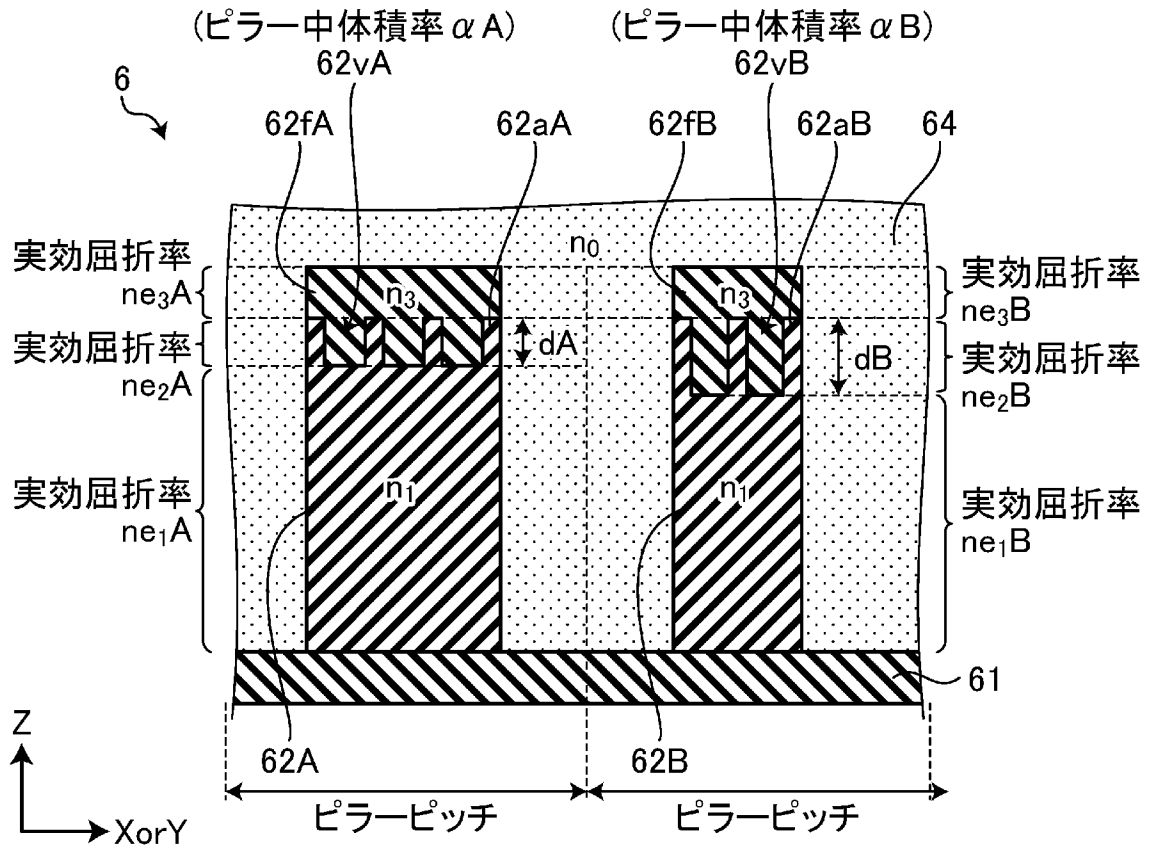
[図133]



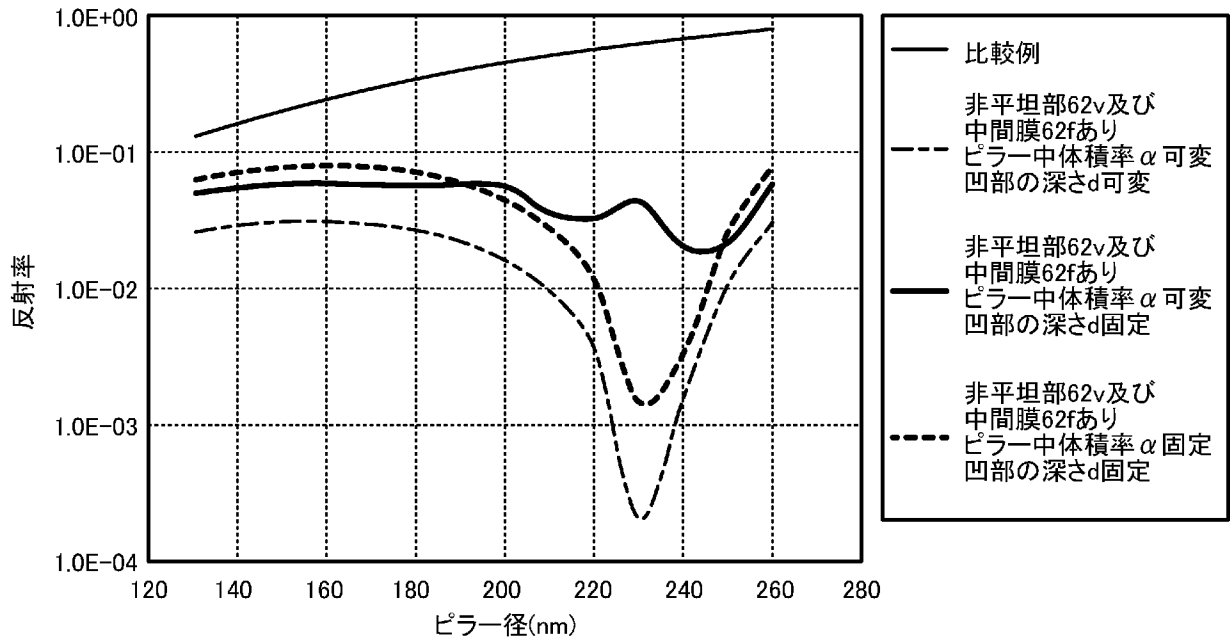
[図134]



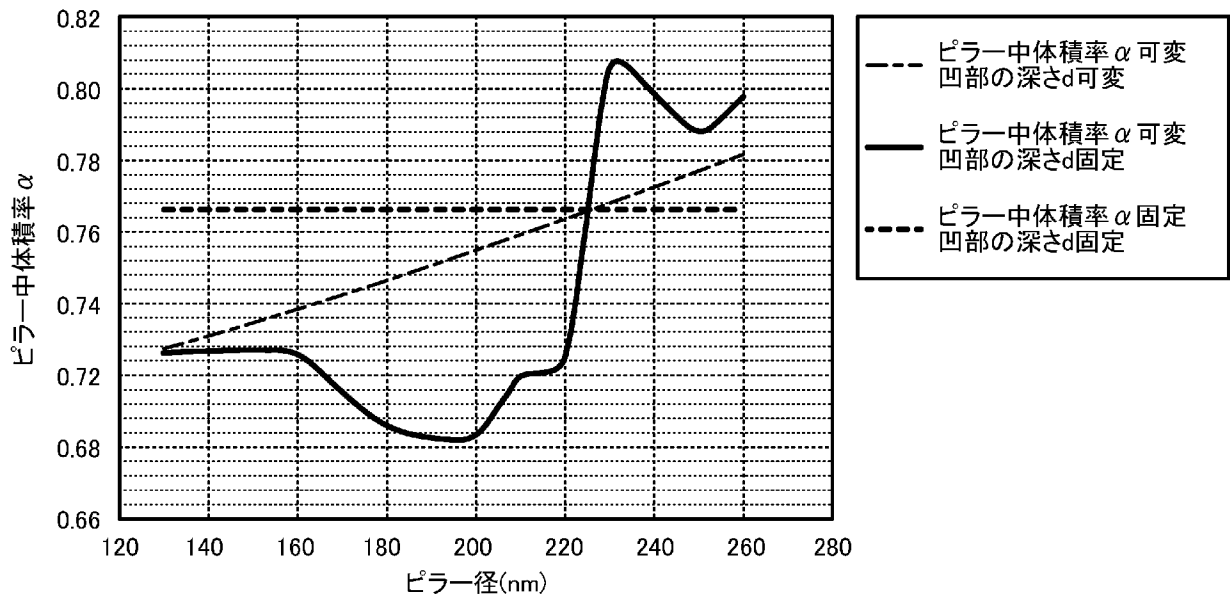
[図135]



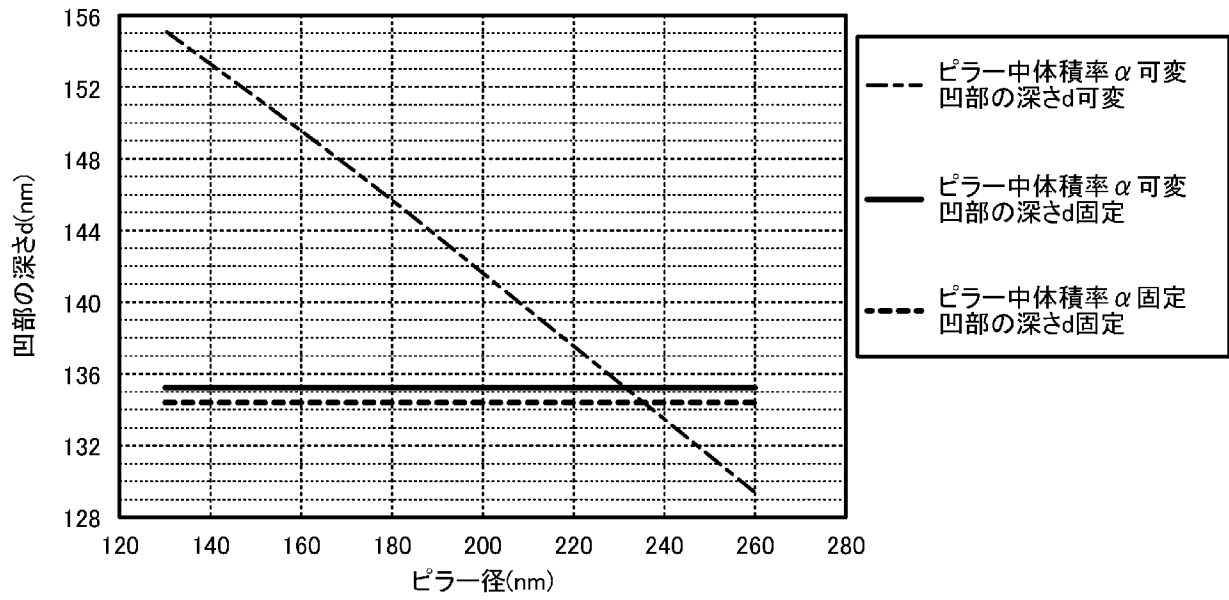
[図136]



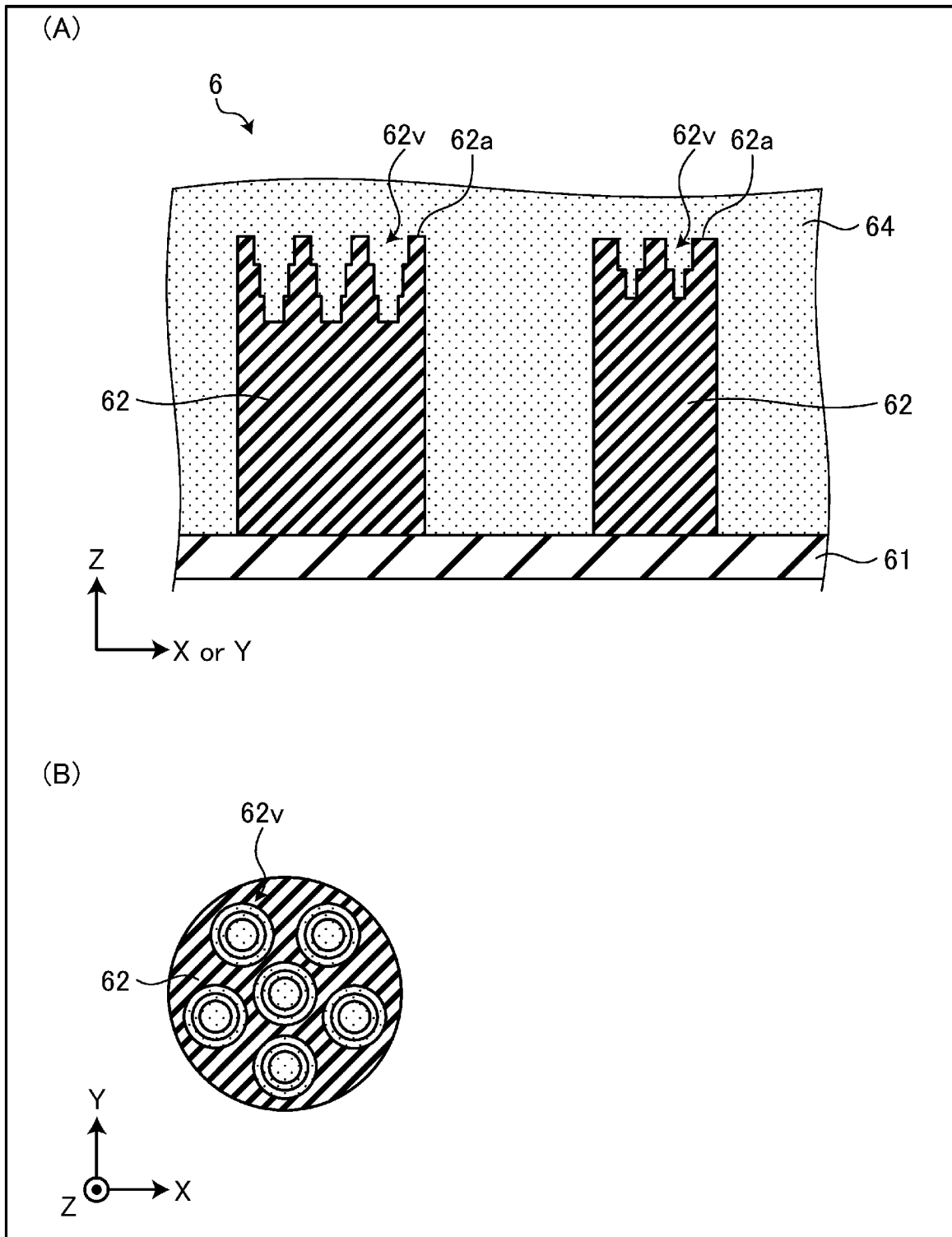
[図137]



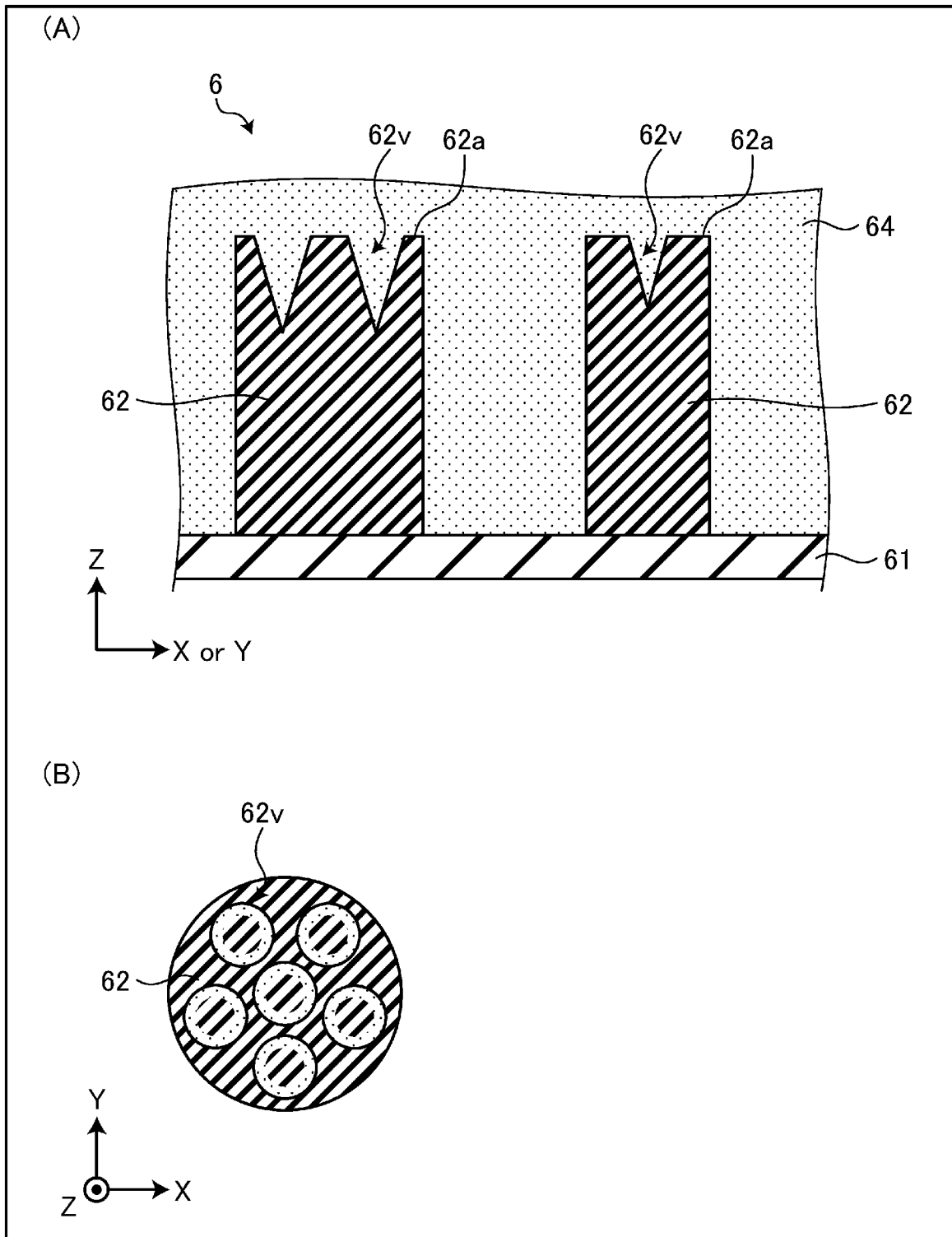
[図138]



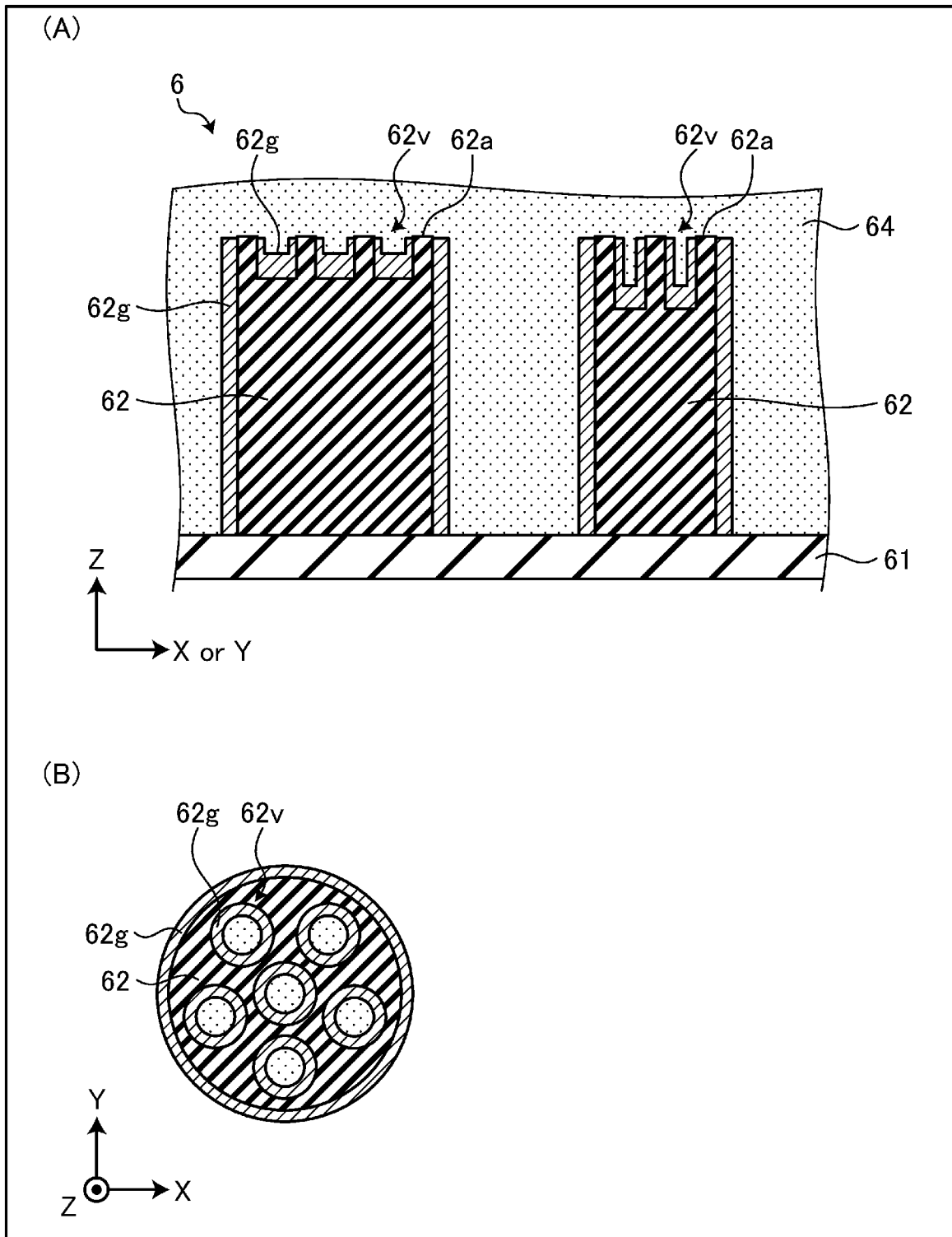
[図139]



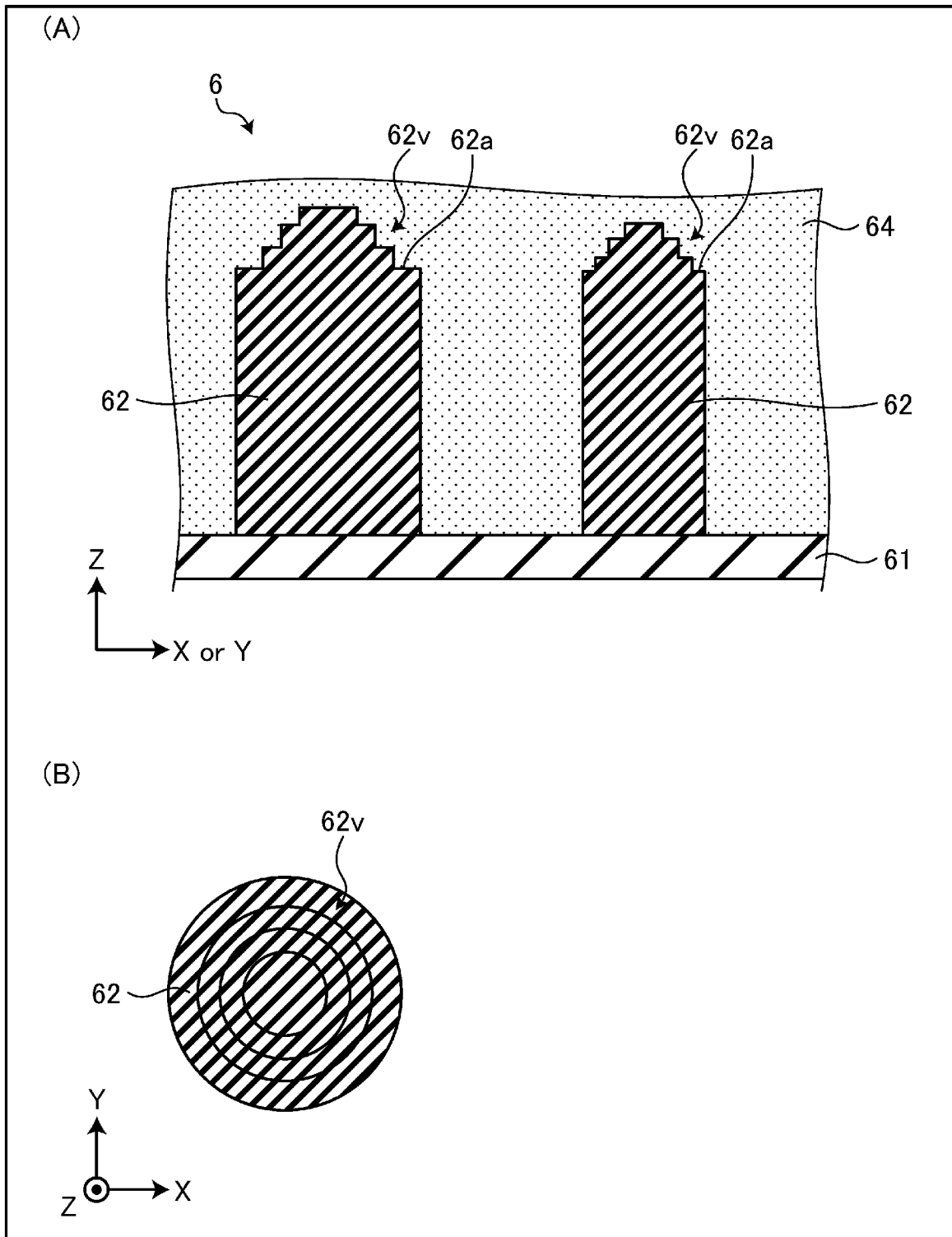
[図140]



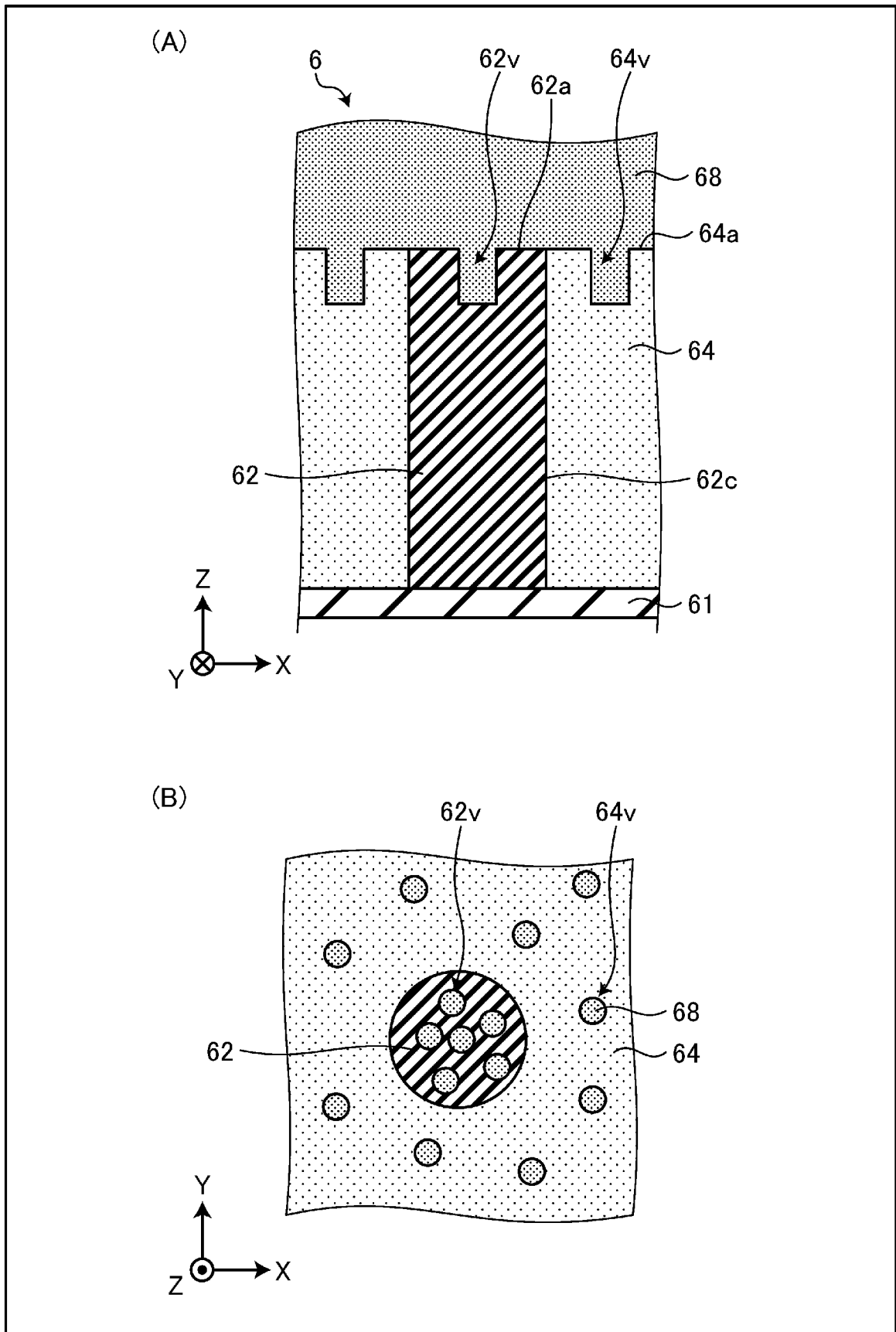
[図141]



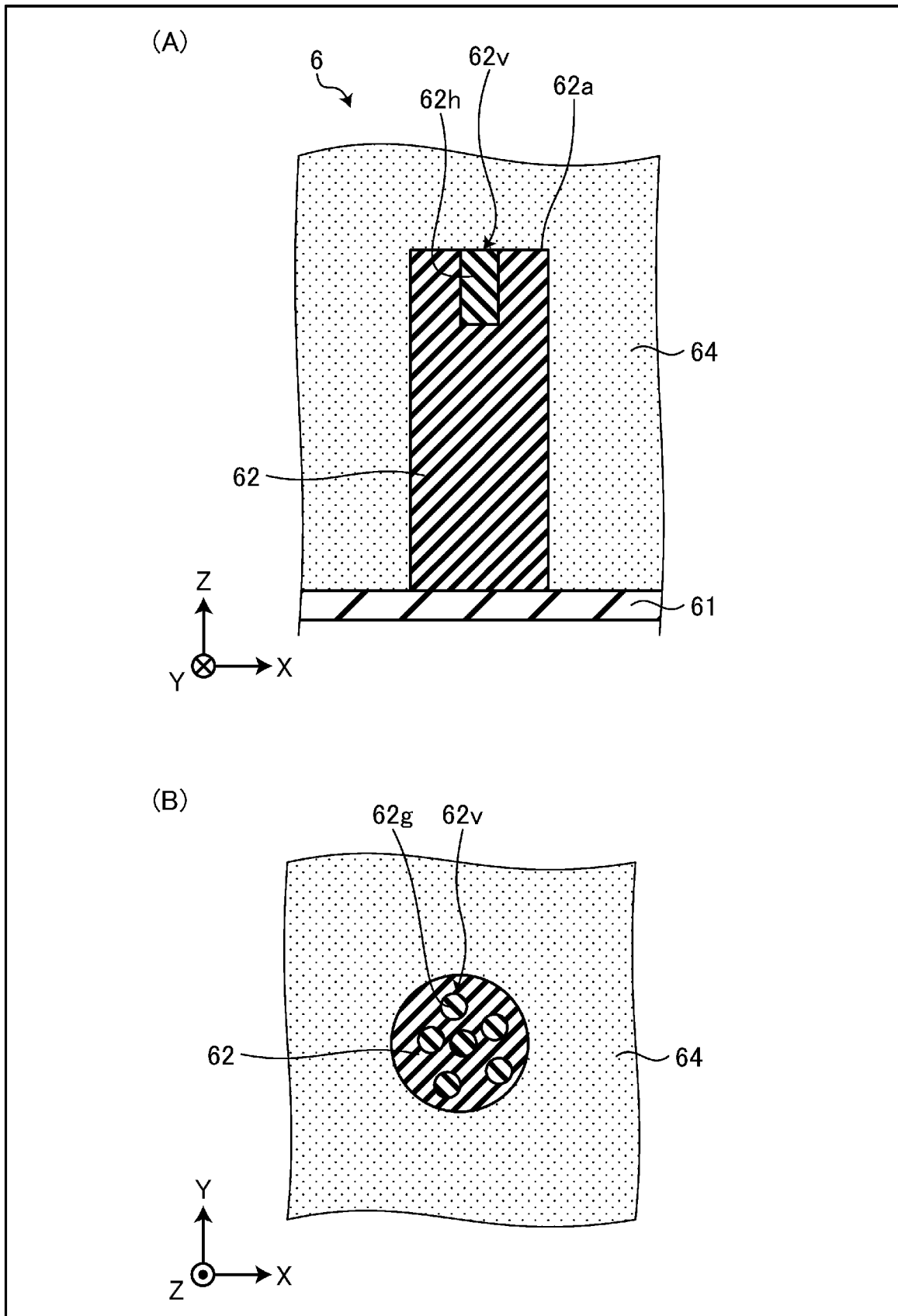
[図142]



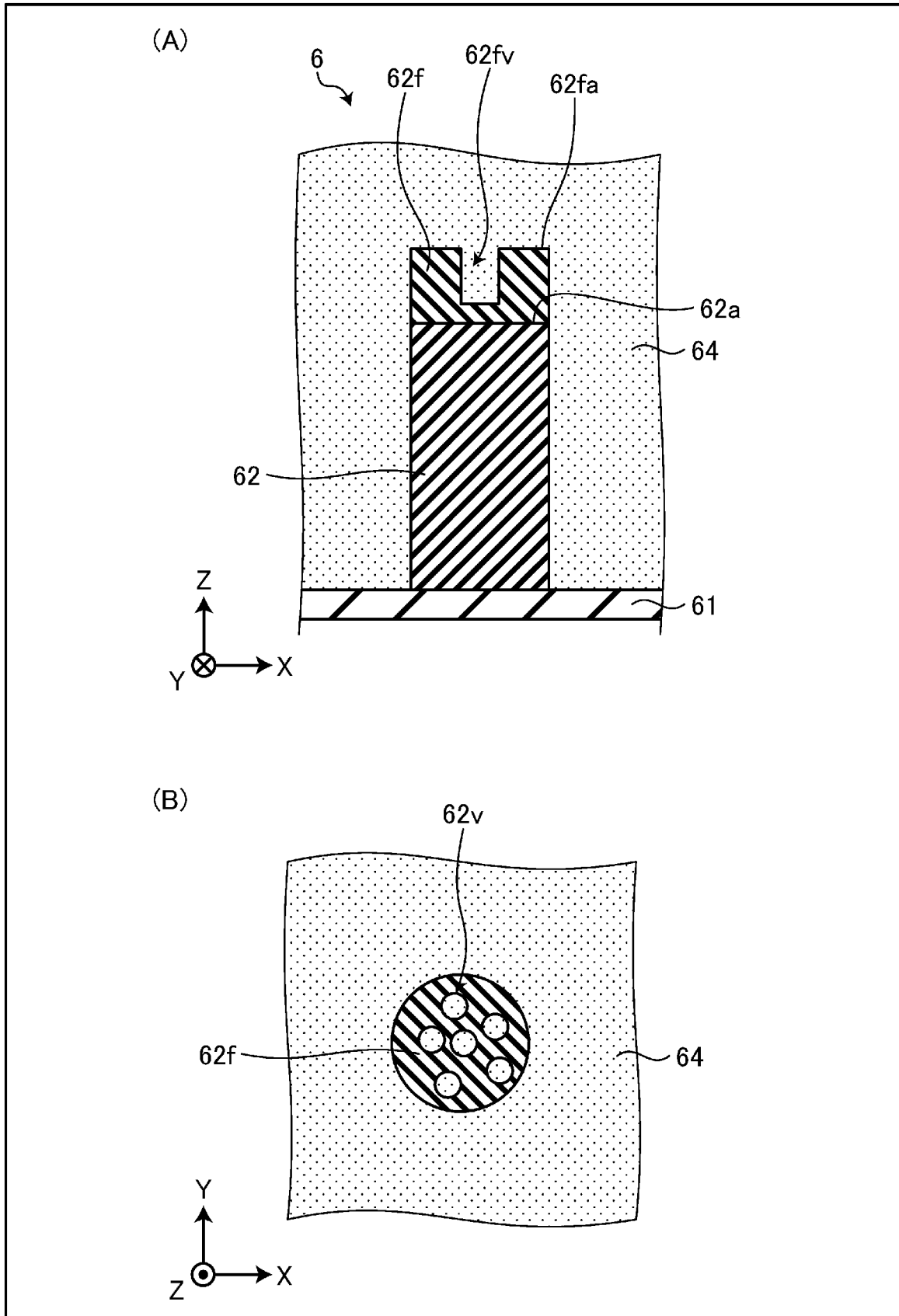
[図143]



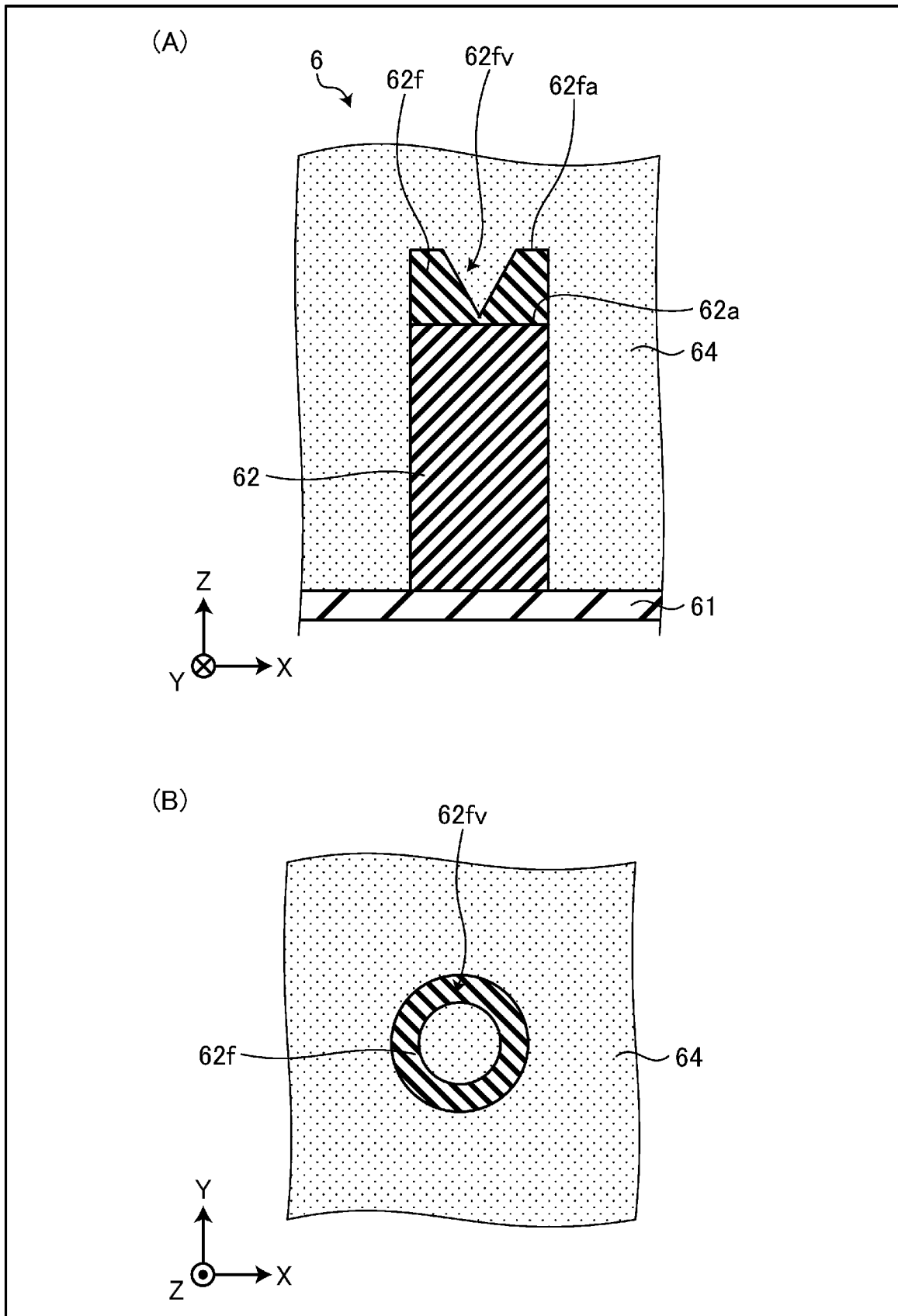
[図144]



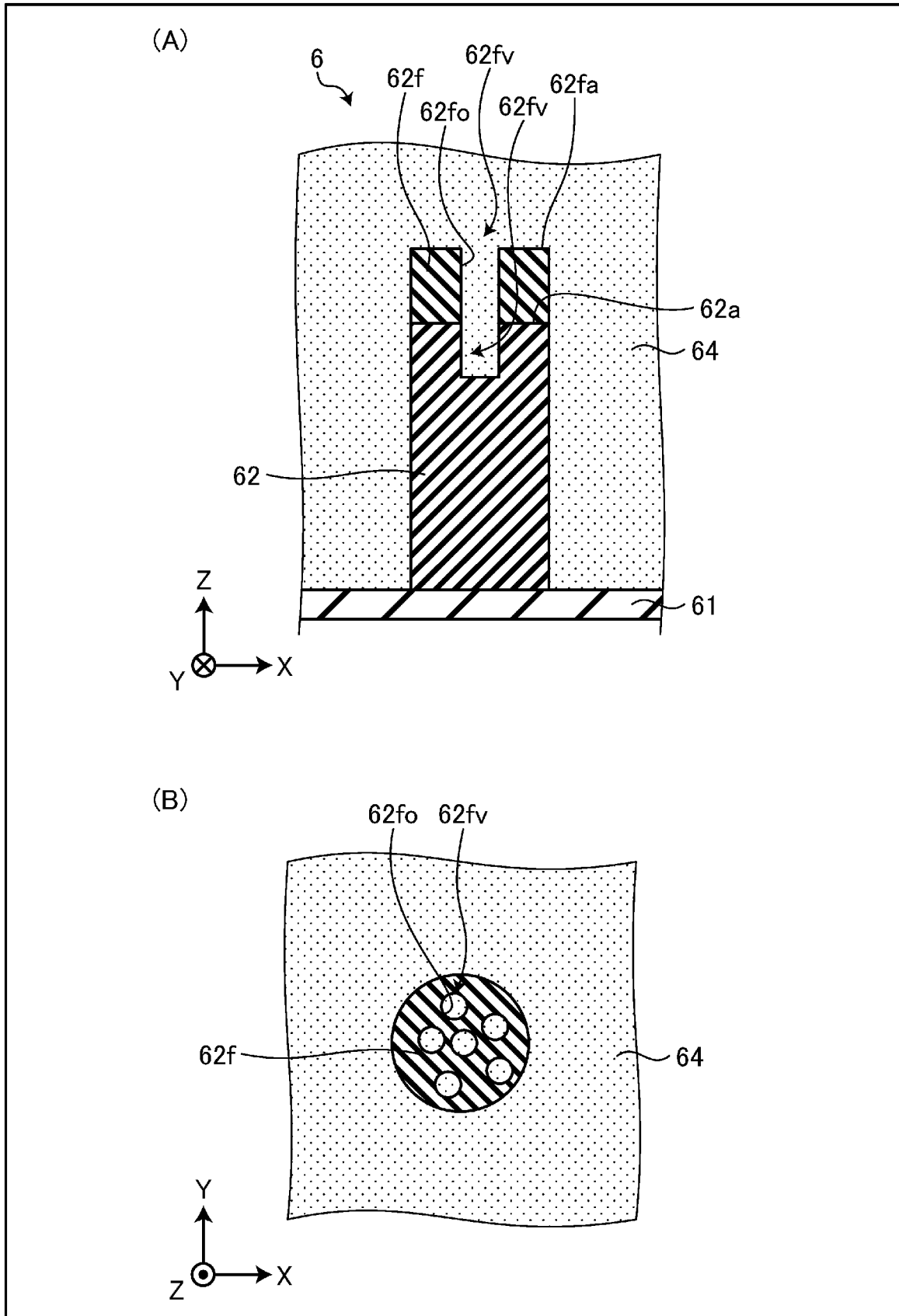
[図145]



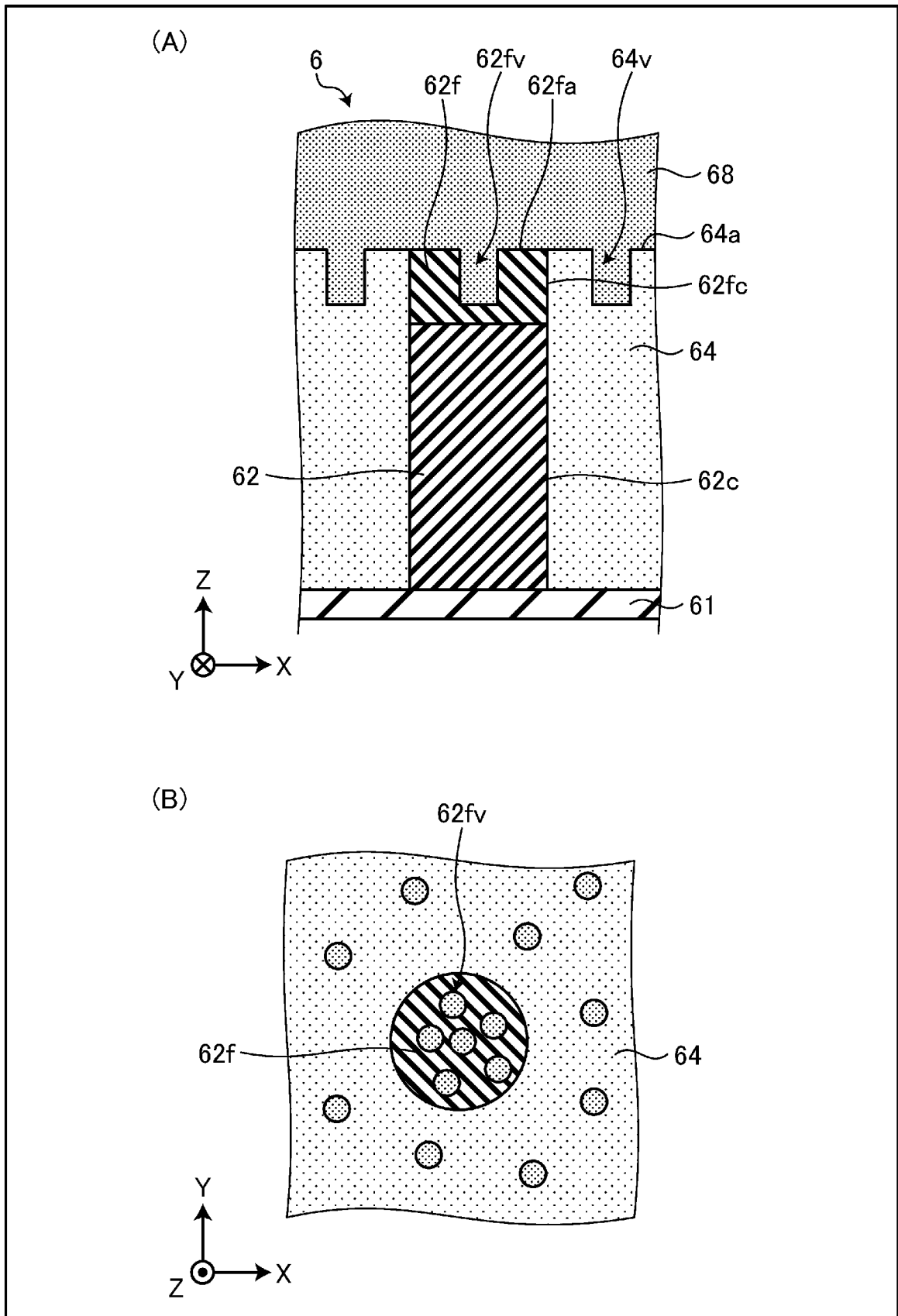
[図146]



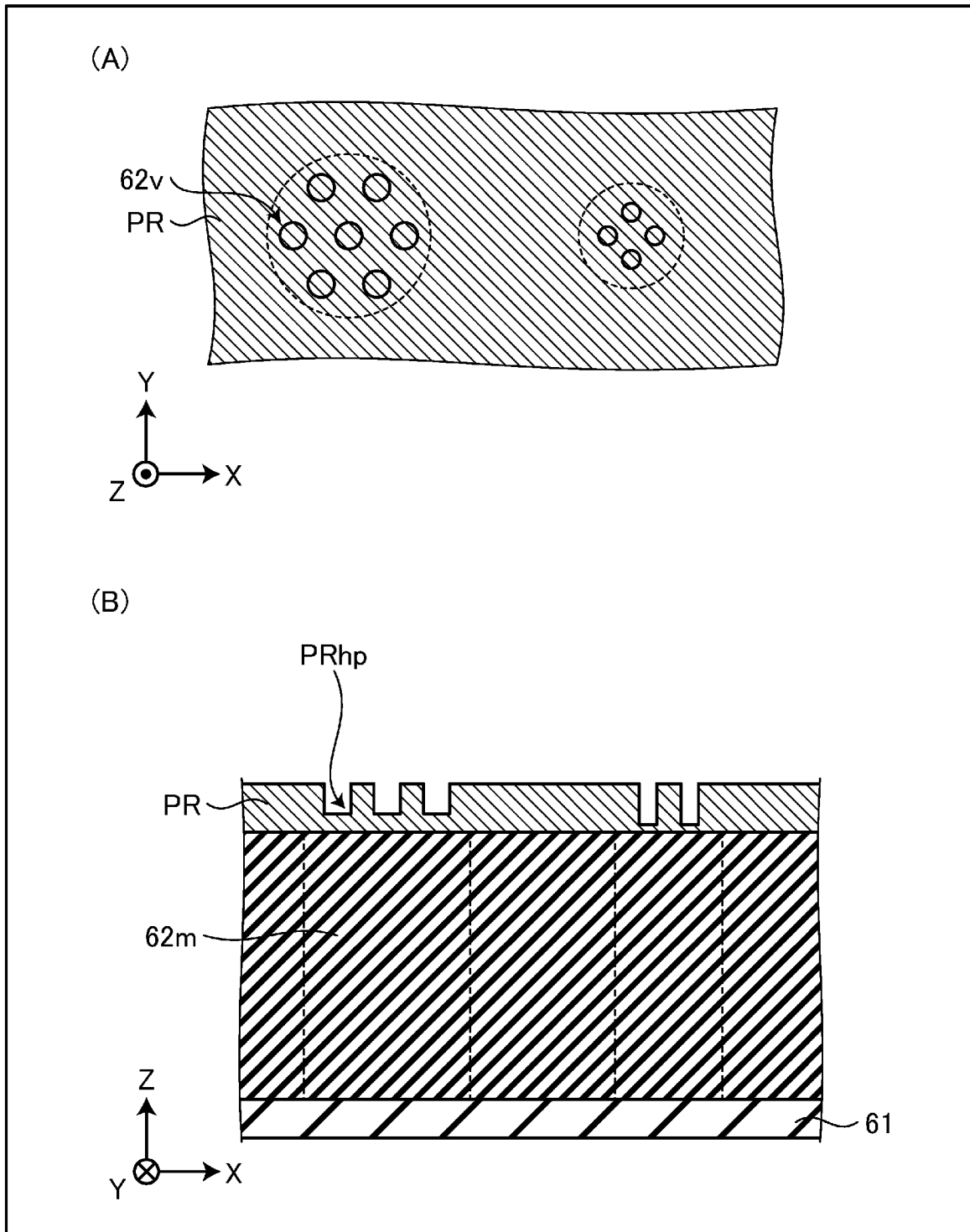
[図147]



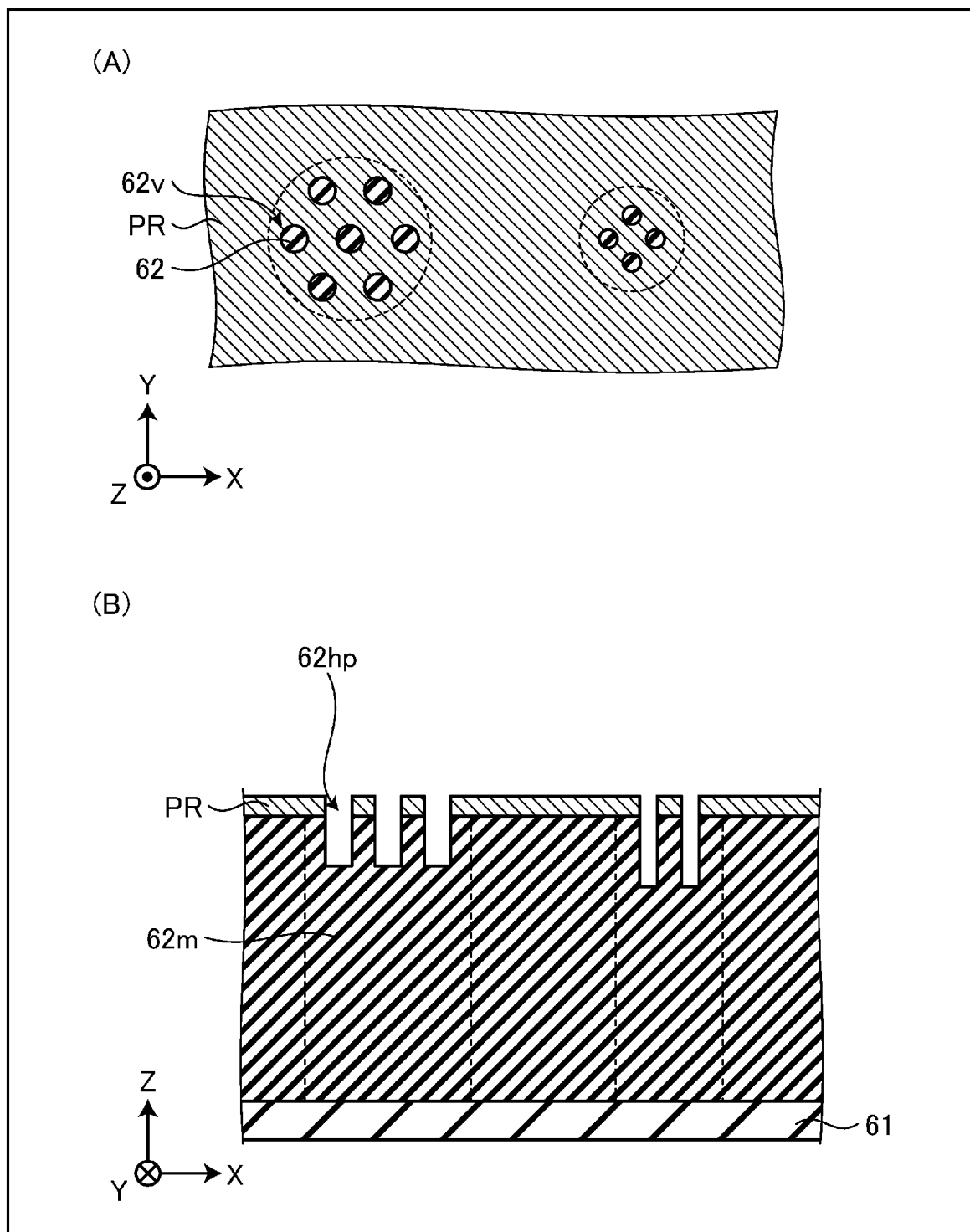
[図148]



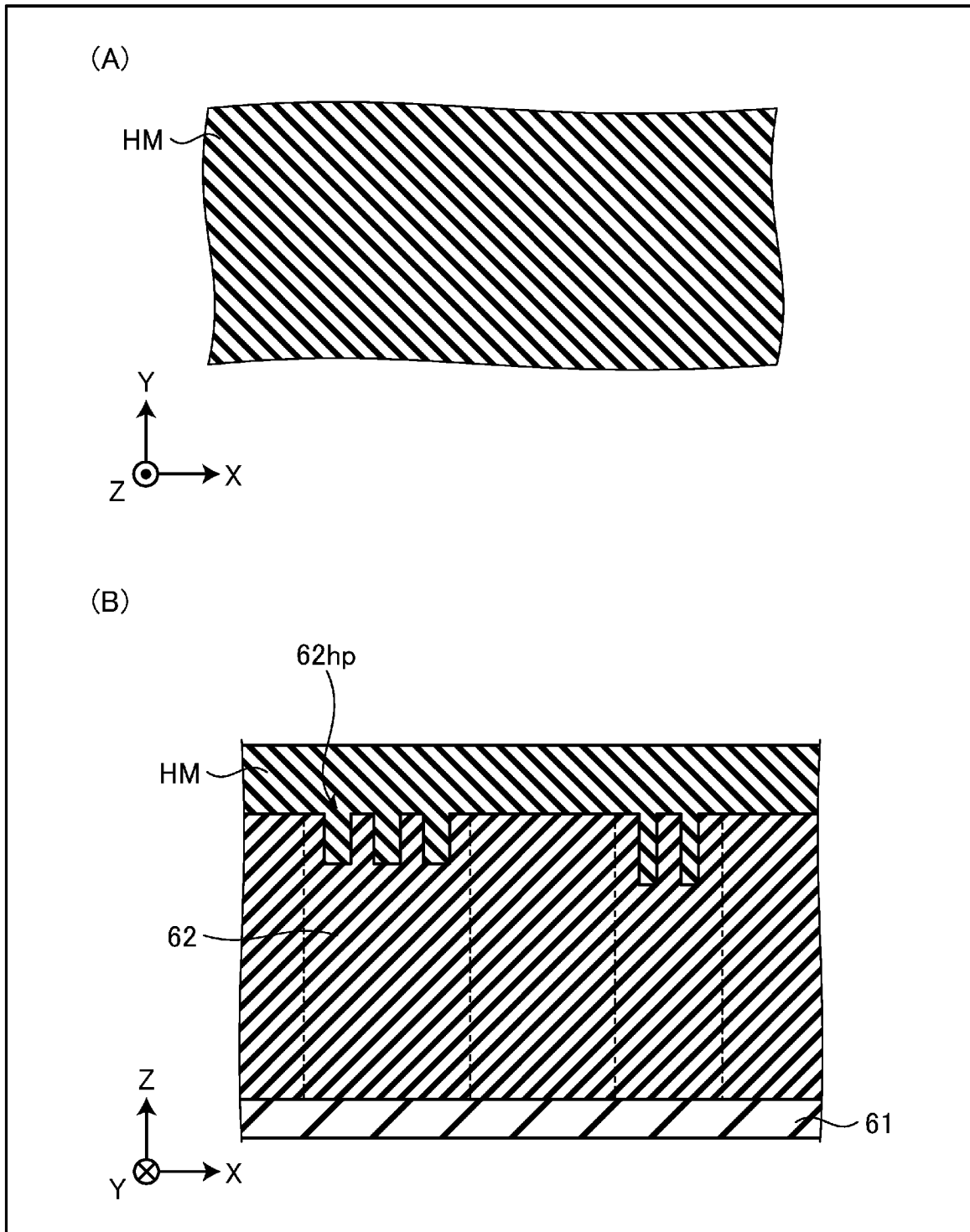
[図149]



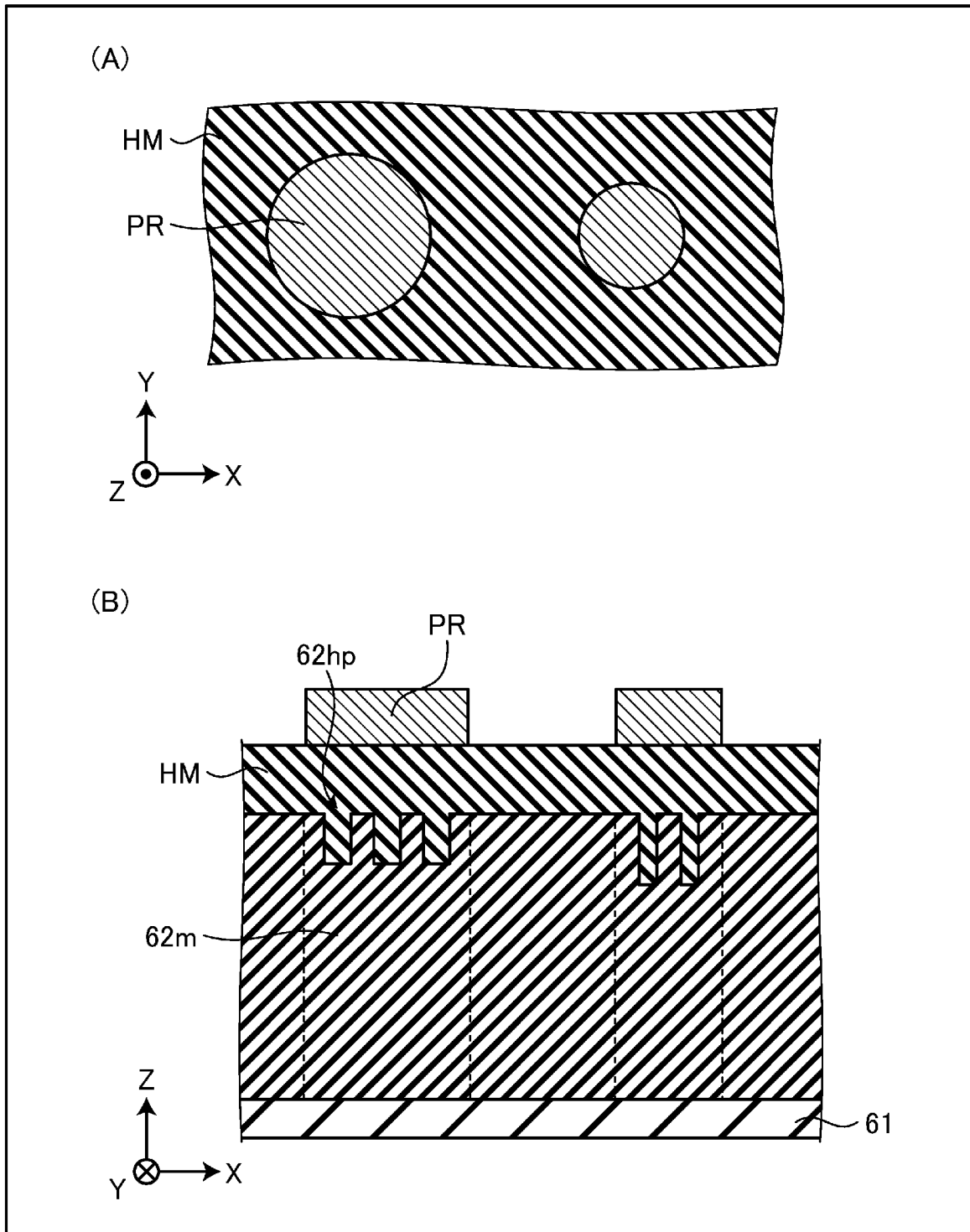
[図150]



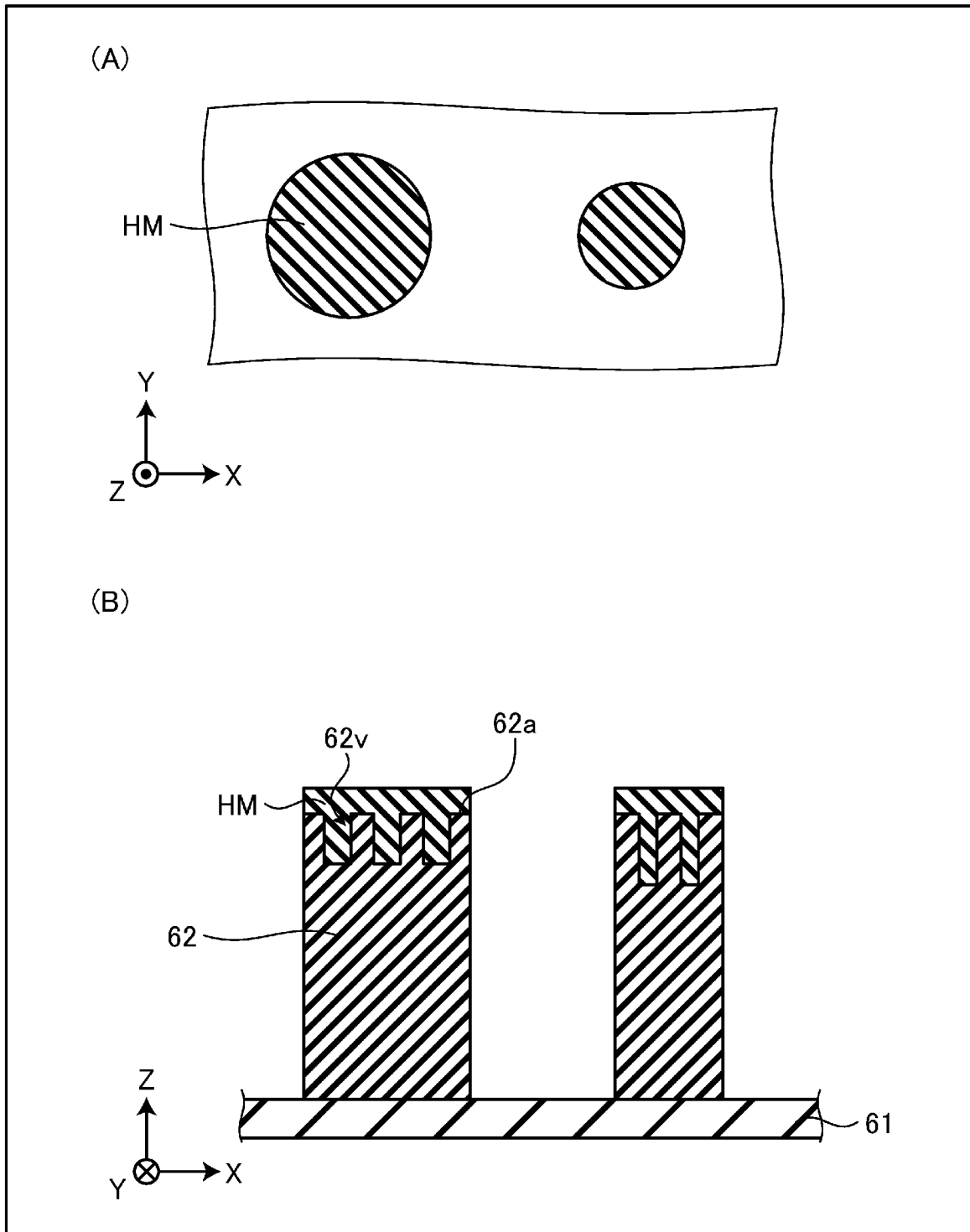
[図151]



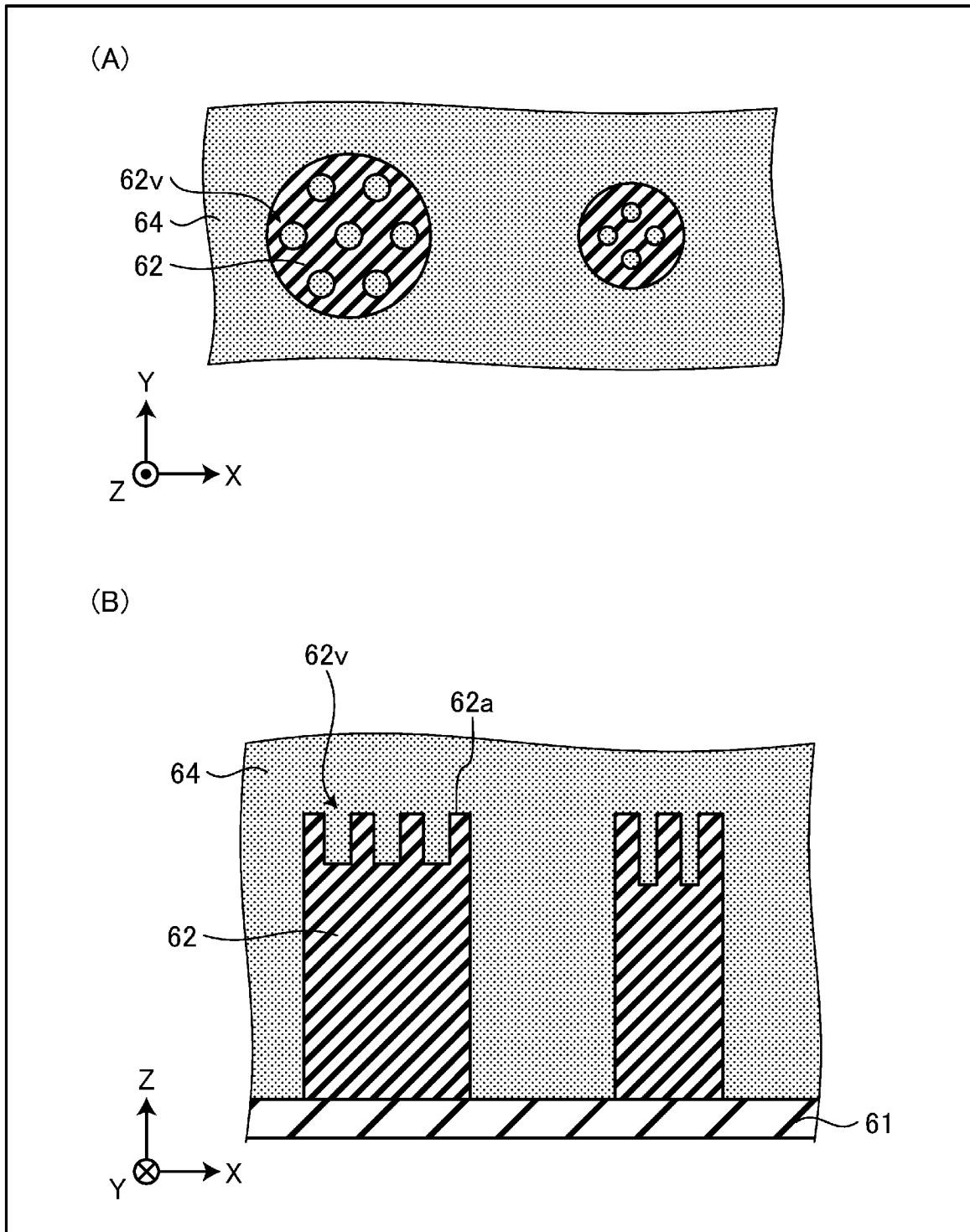
[図152]



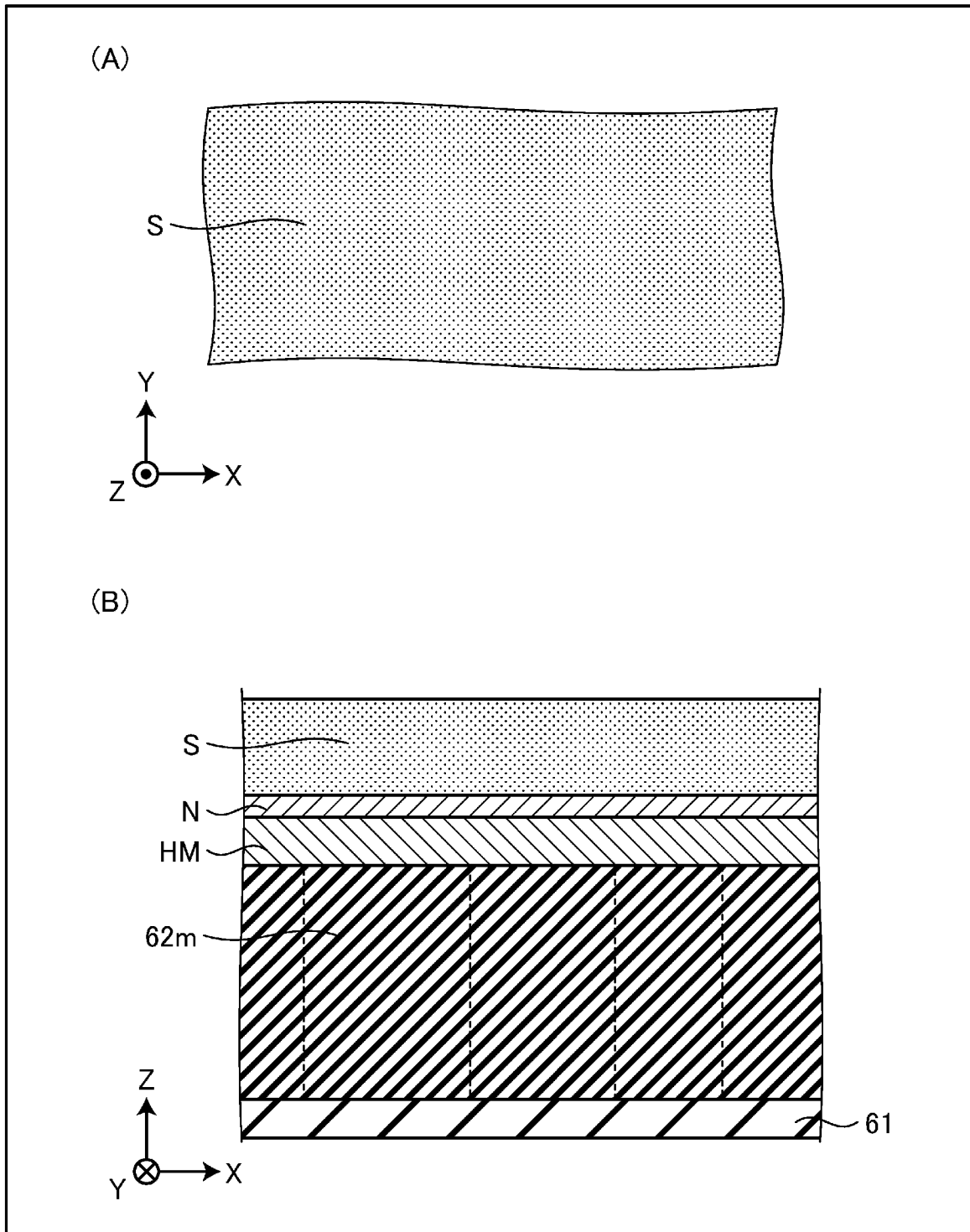
[図153]



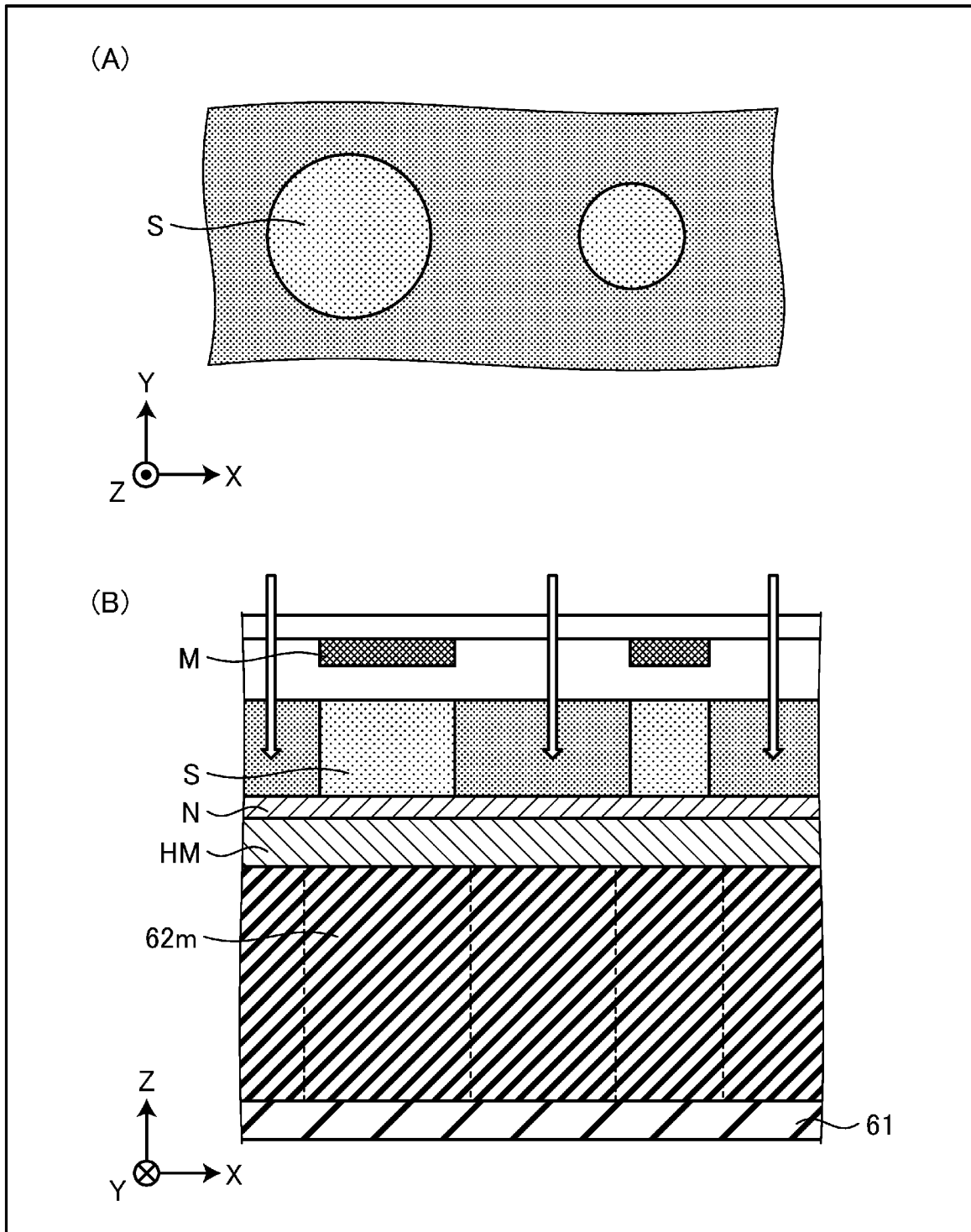
[図154]



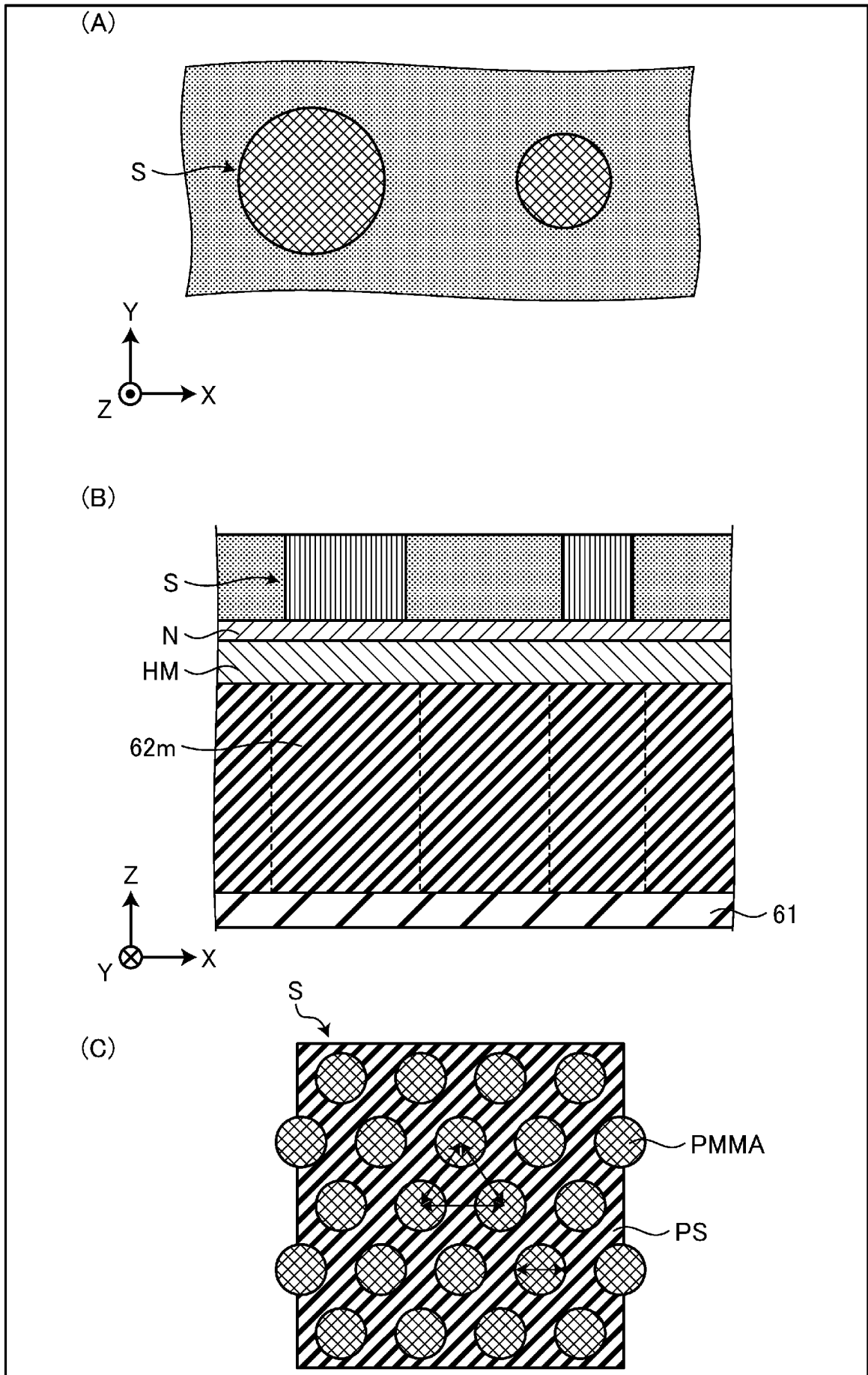
[図155]



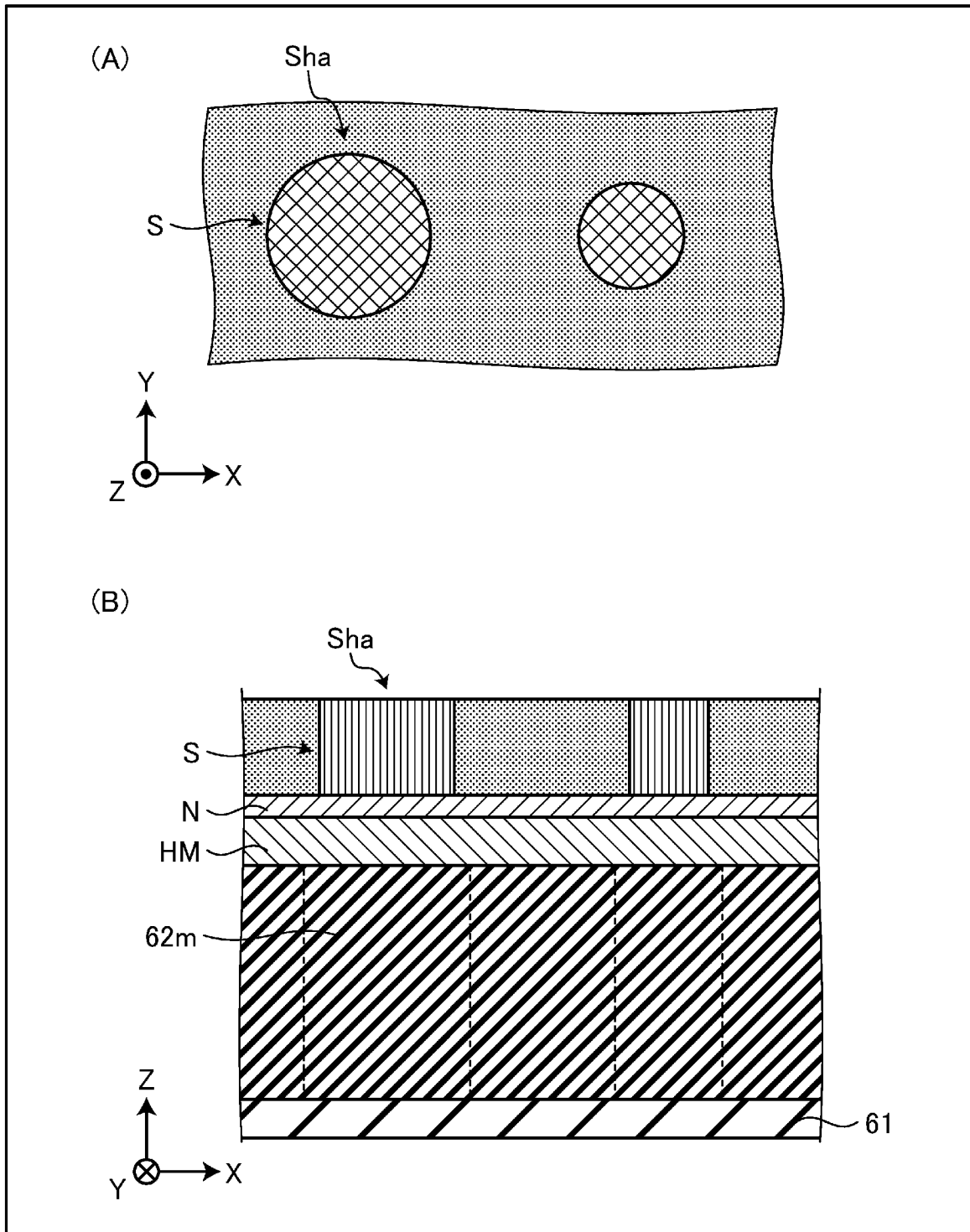
[図156]



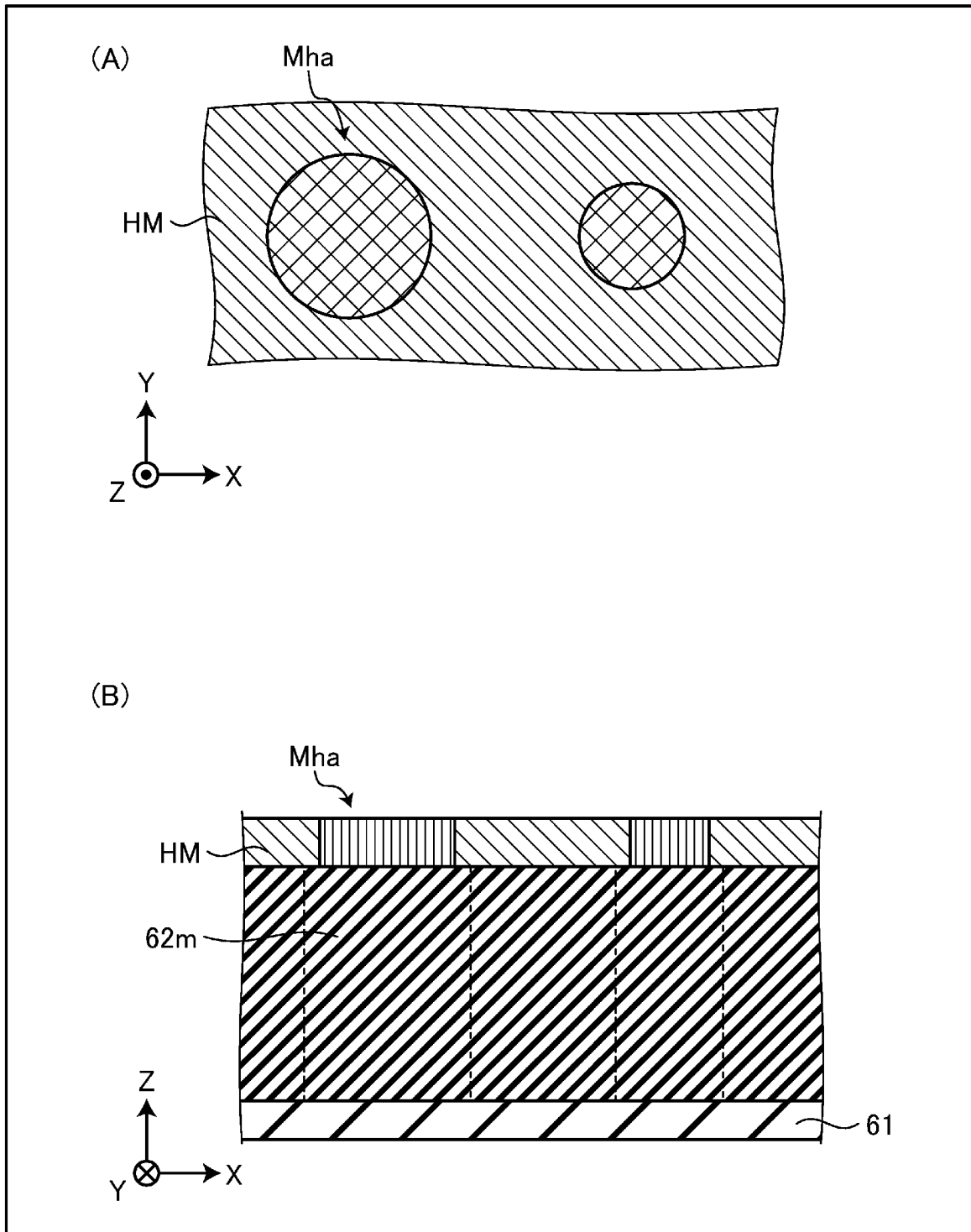
[図157]



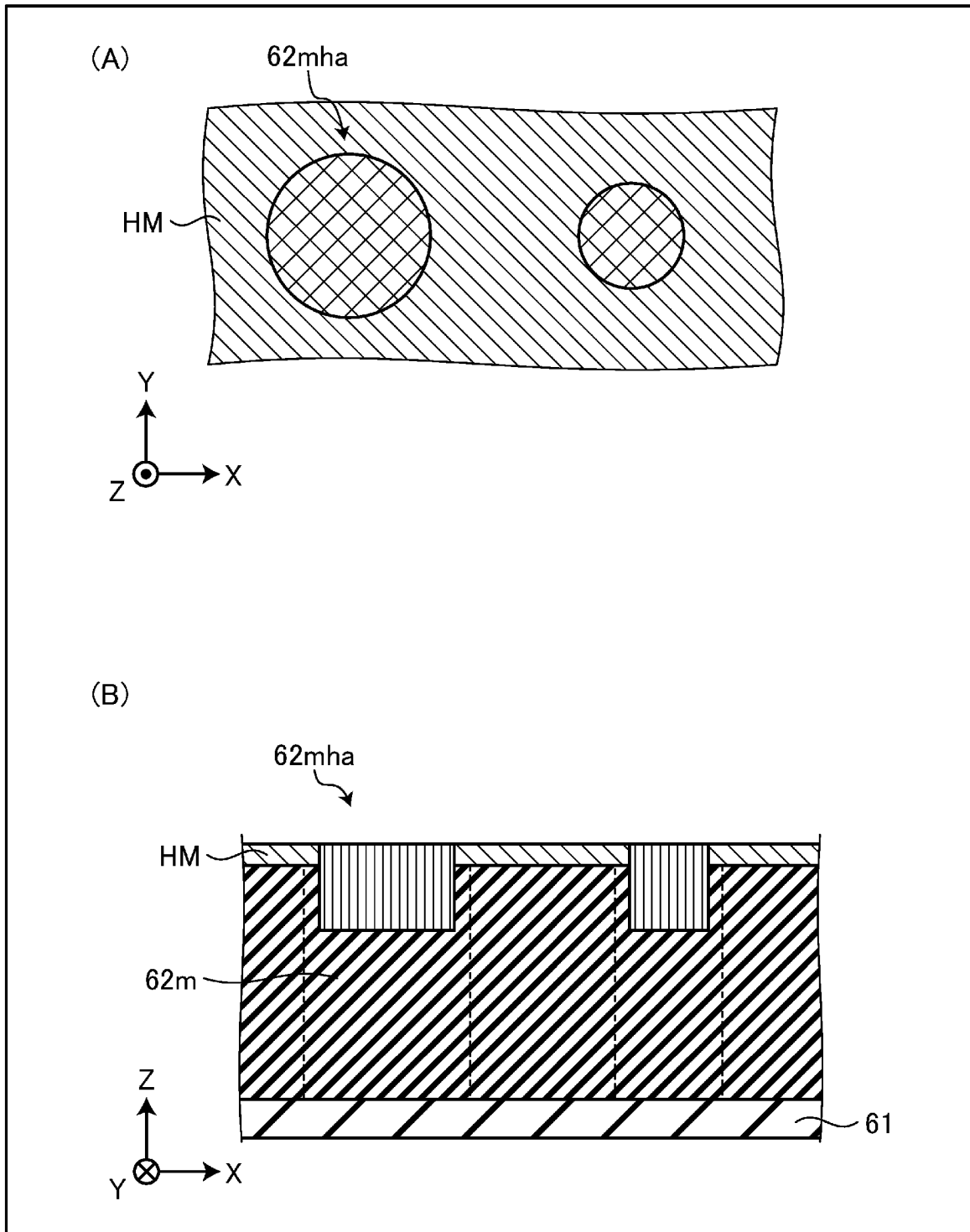
[図158]



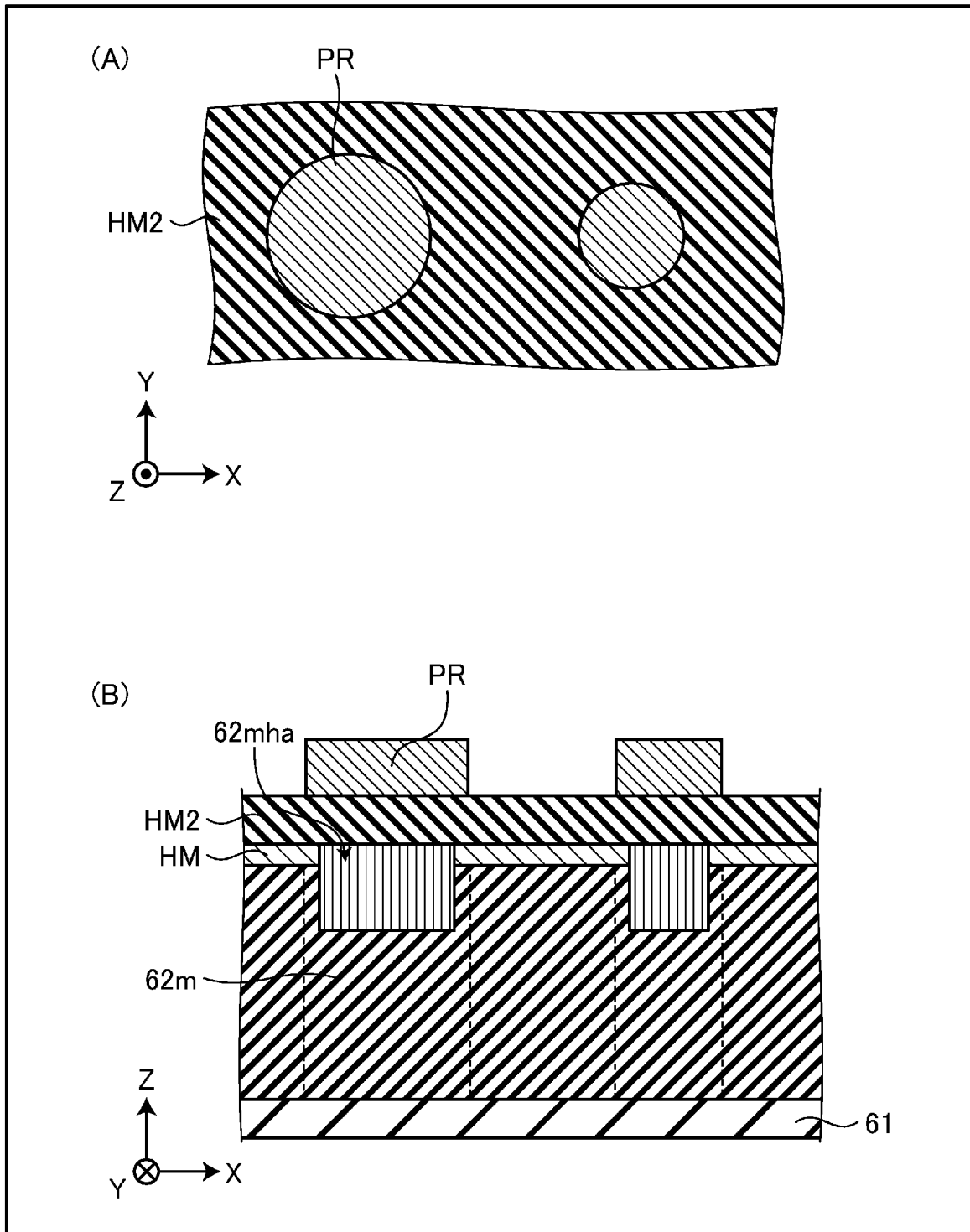
[図159]



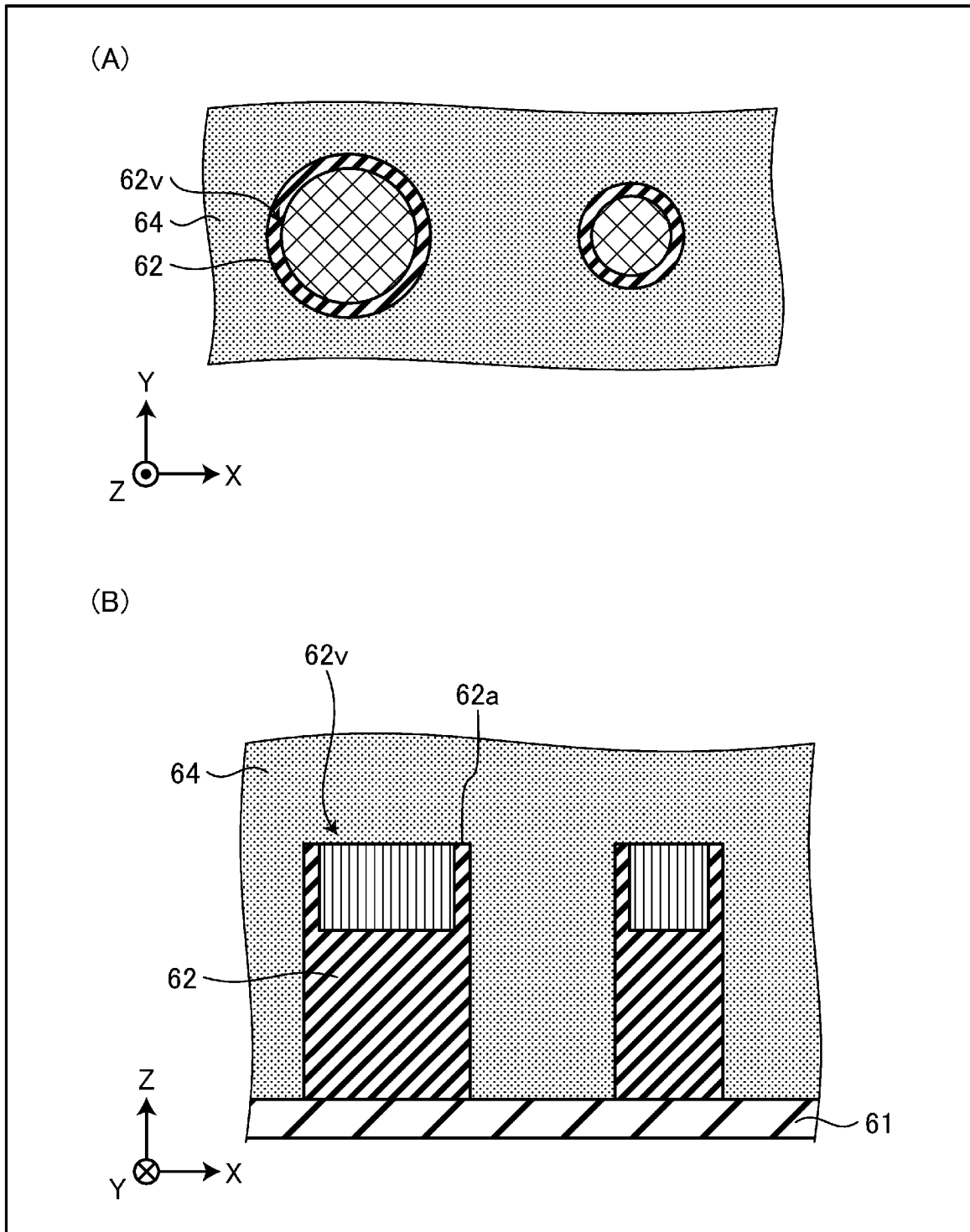
[図160]



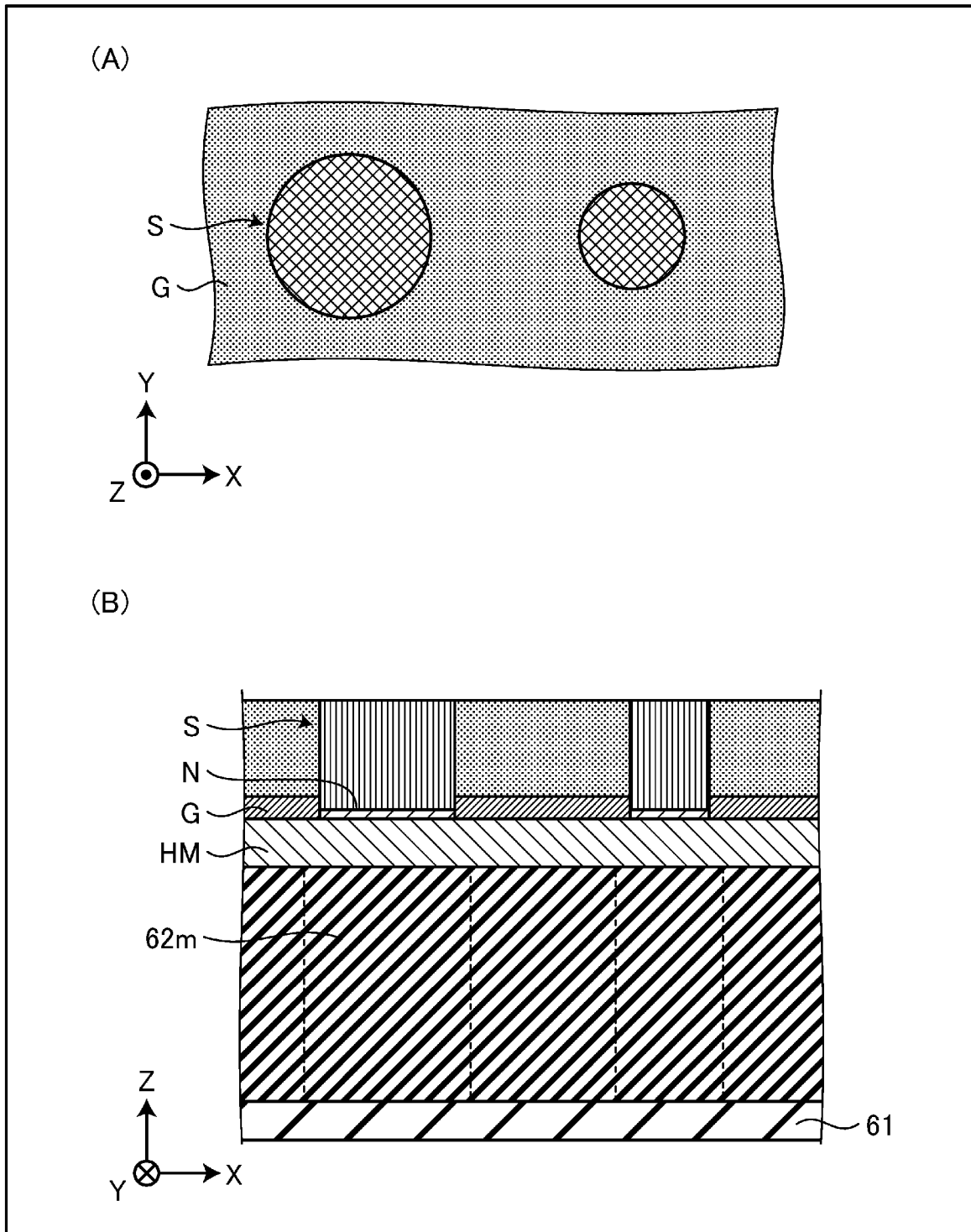
[図161]



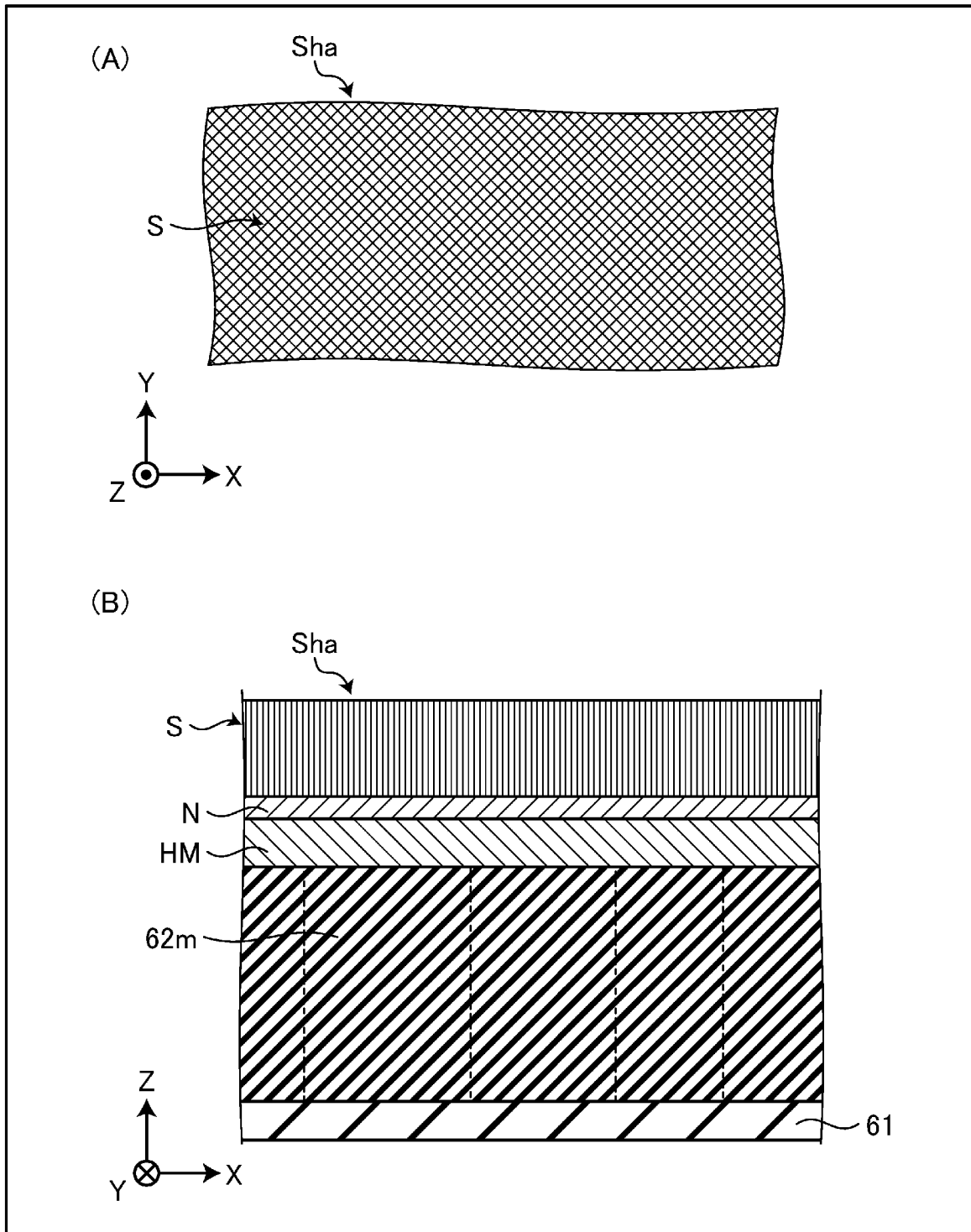
[図162]



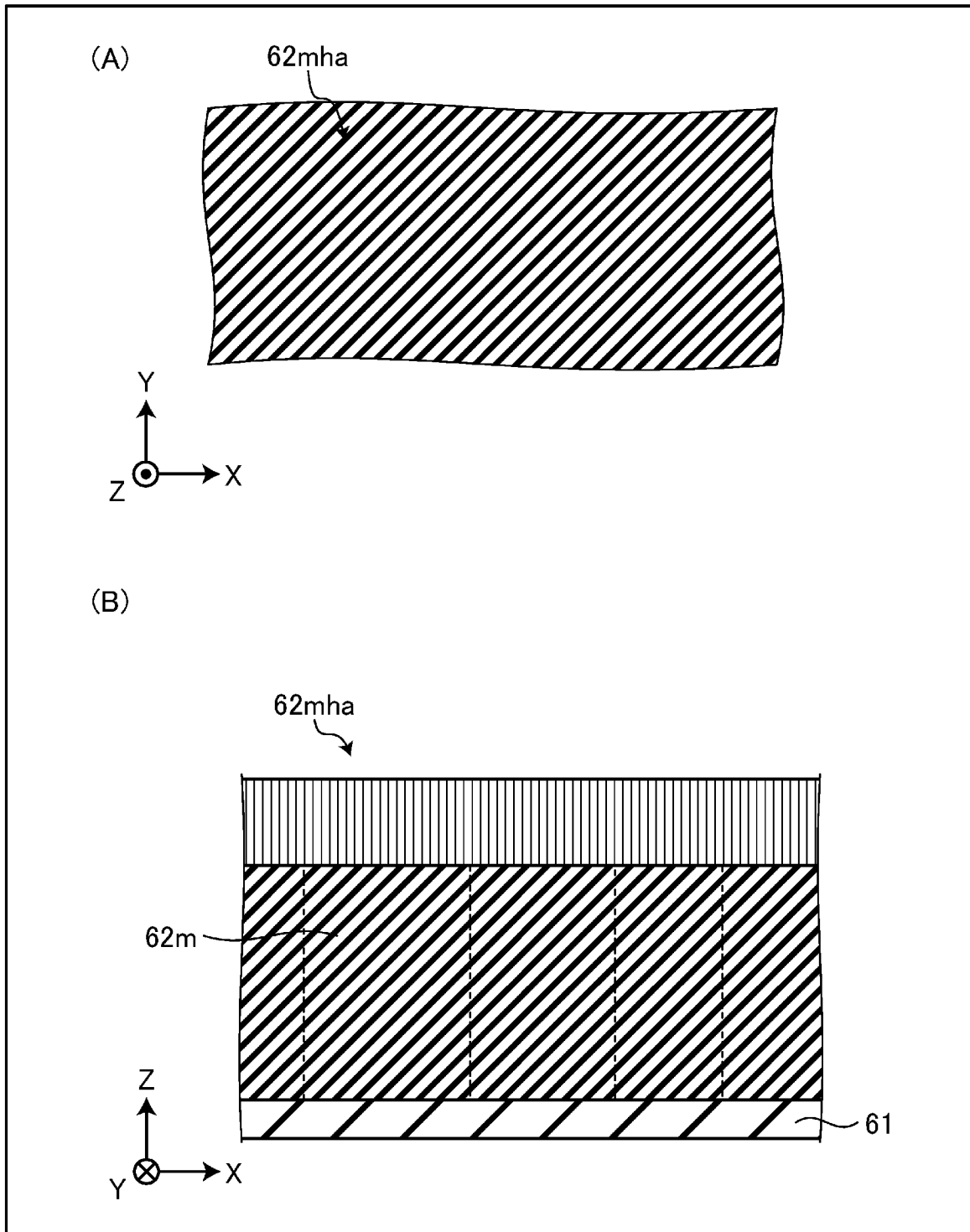
[図164]



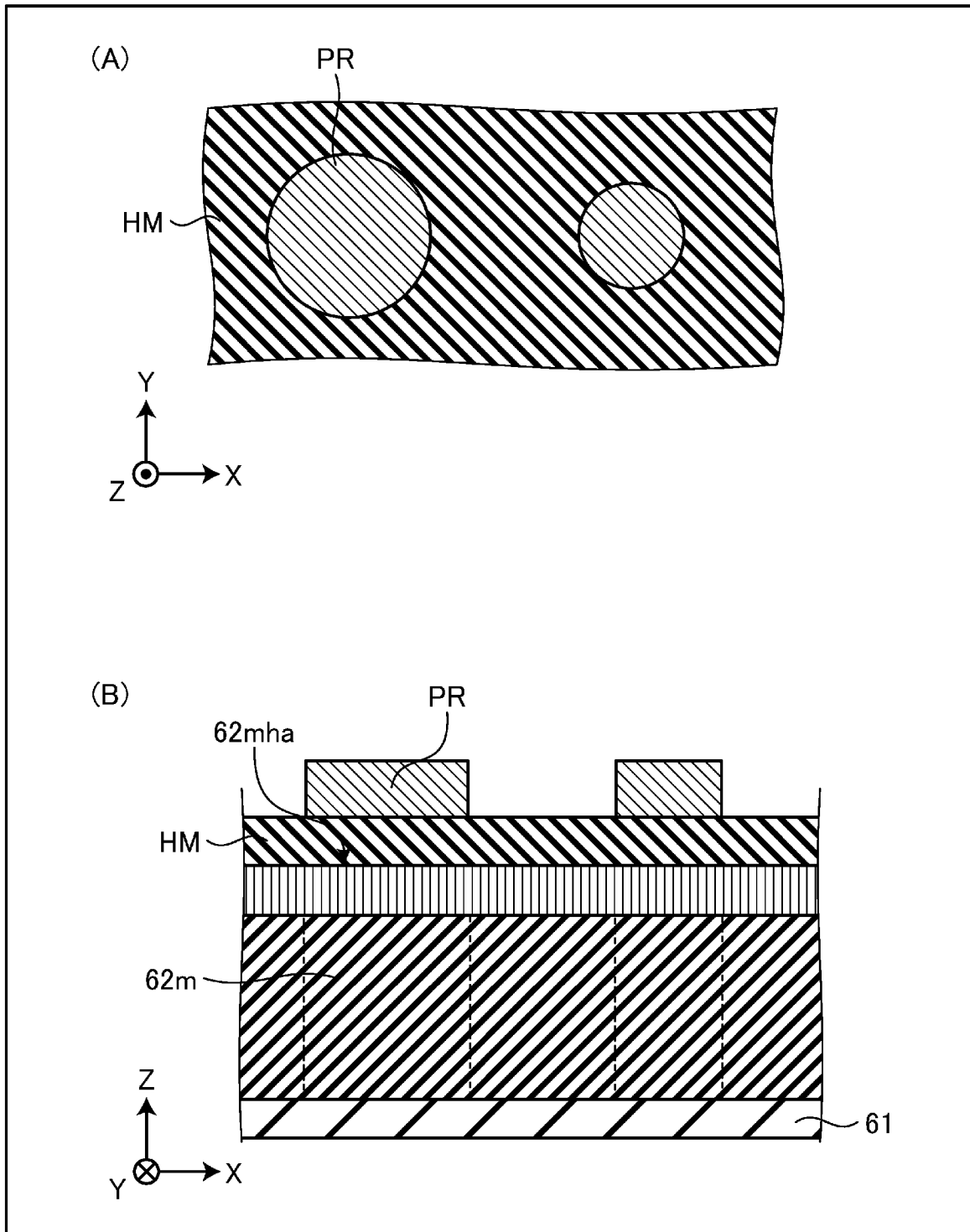
[図165]



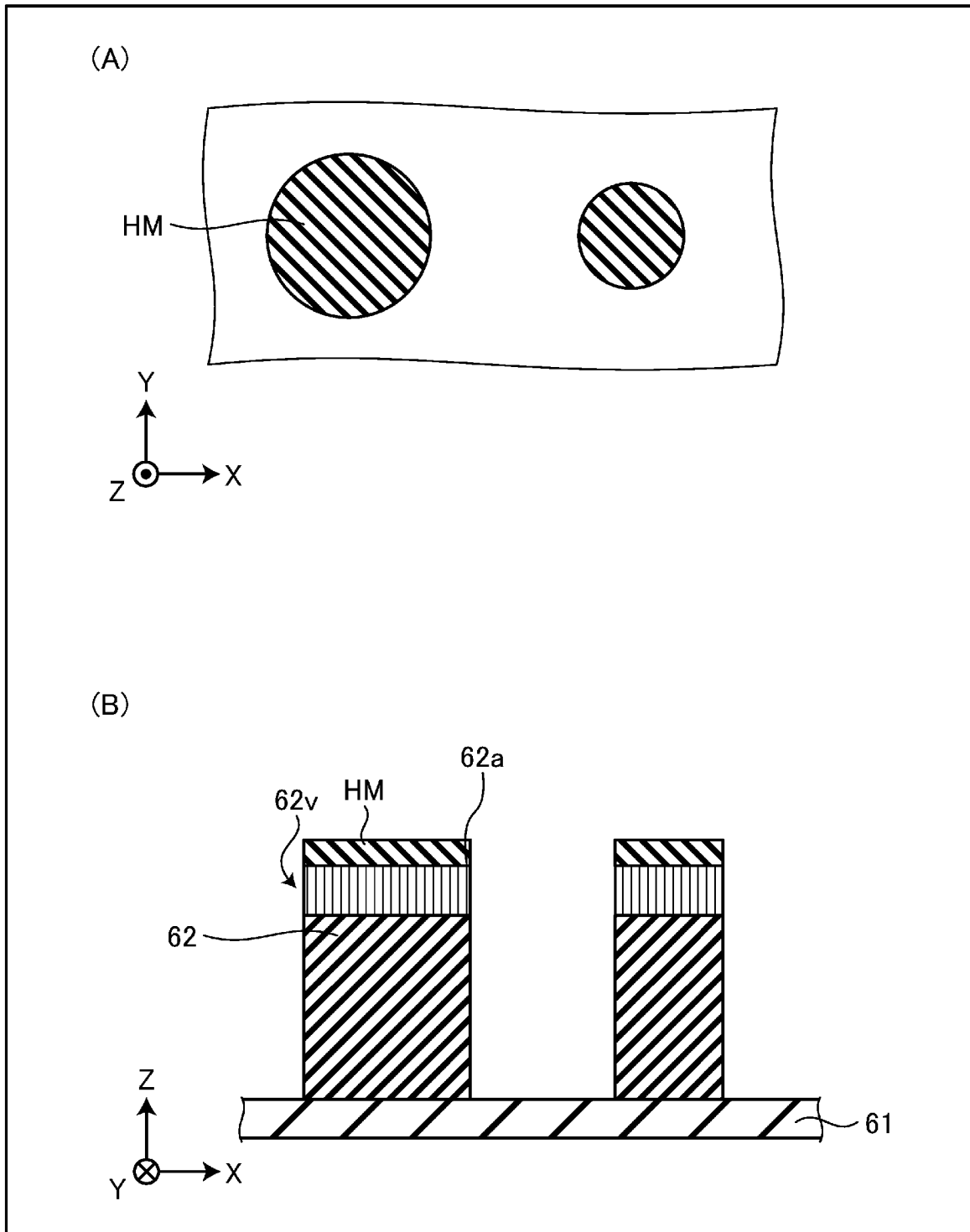
[図166]



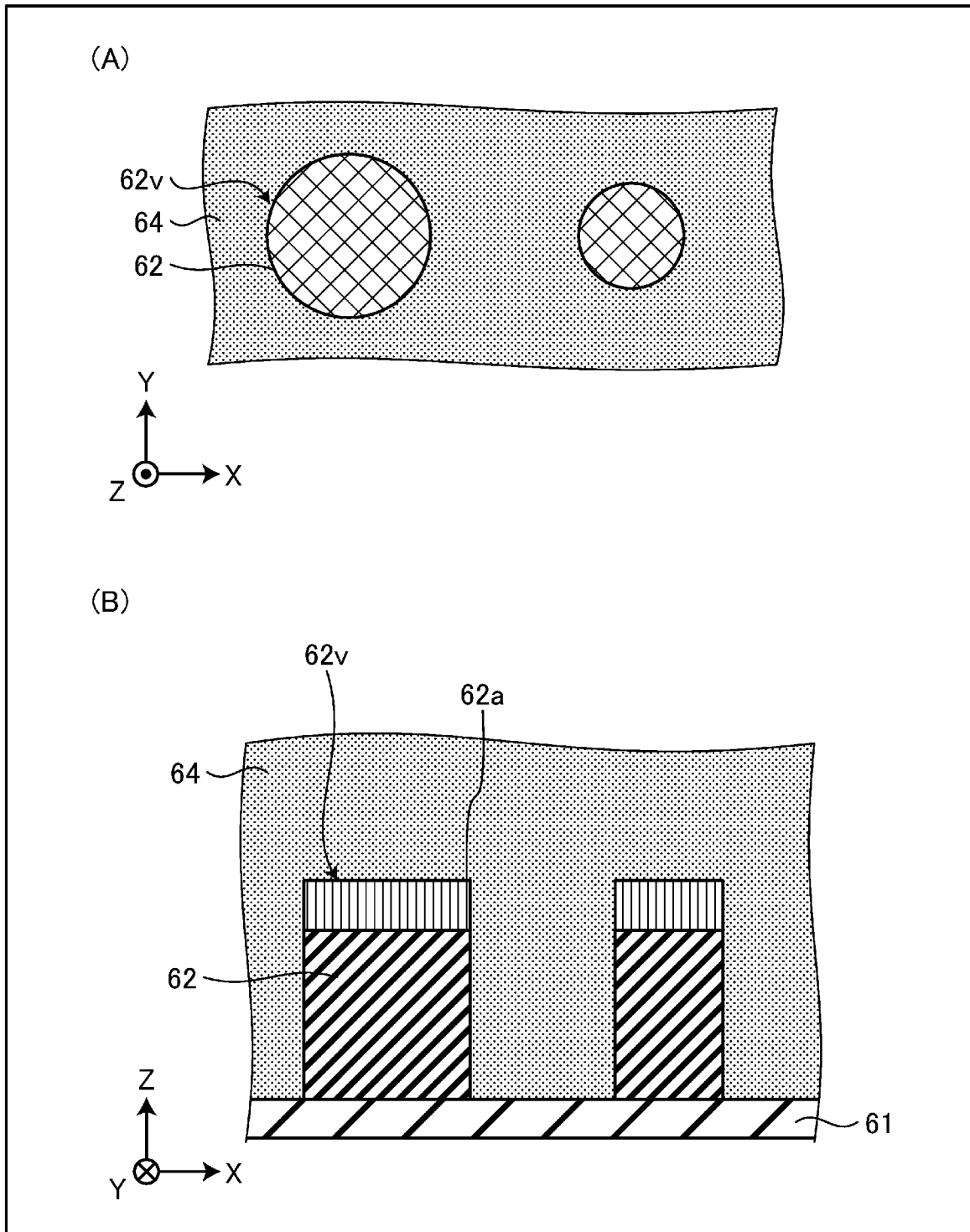
[図167]



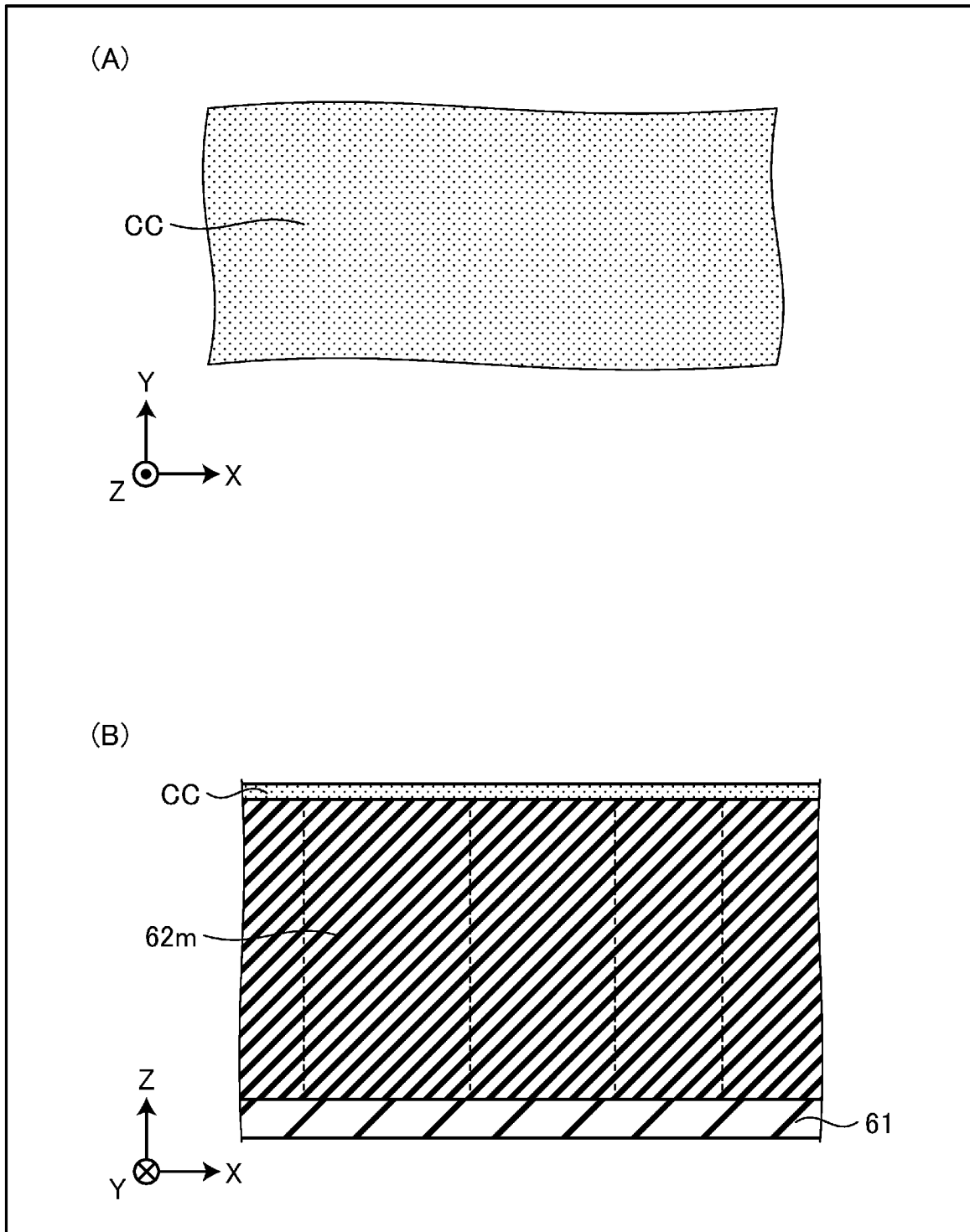
[図168]



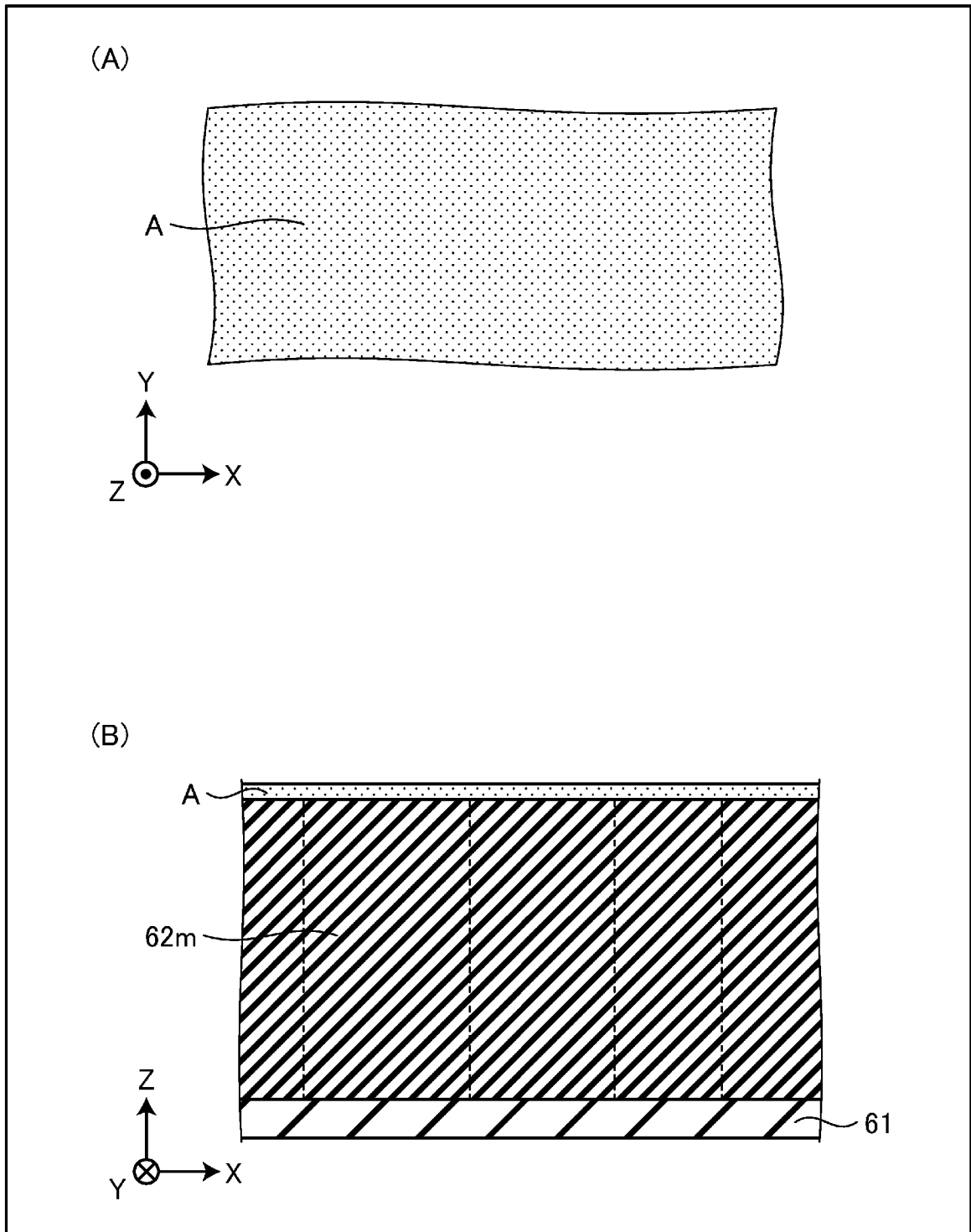
[図169]



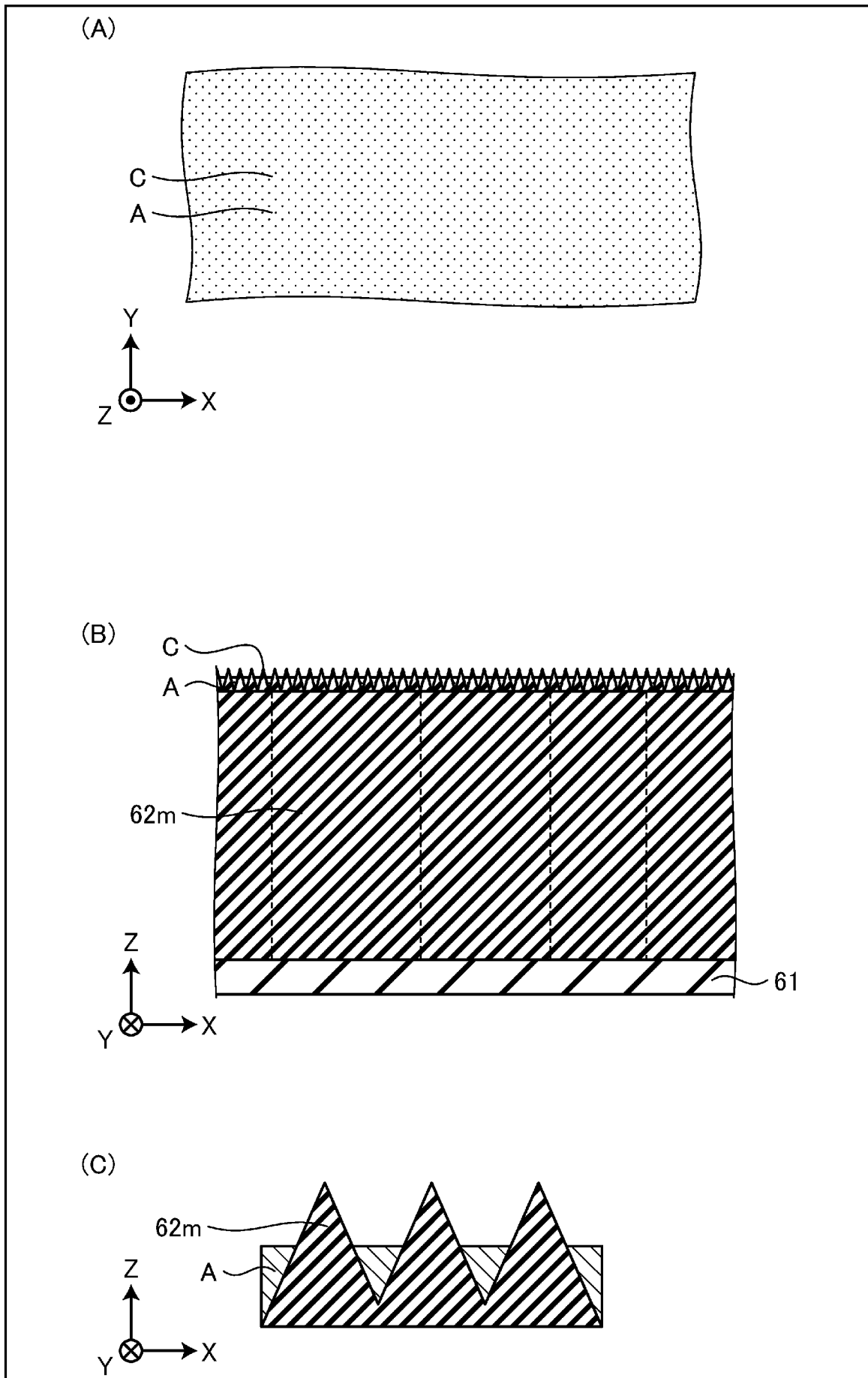
[図170]



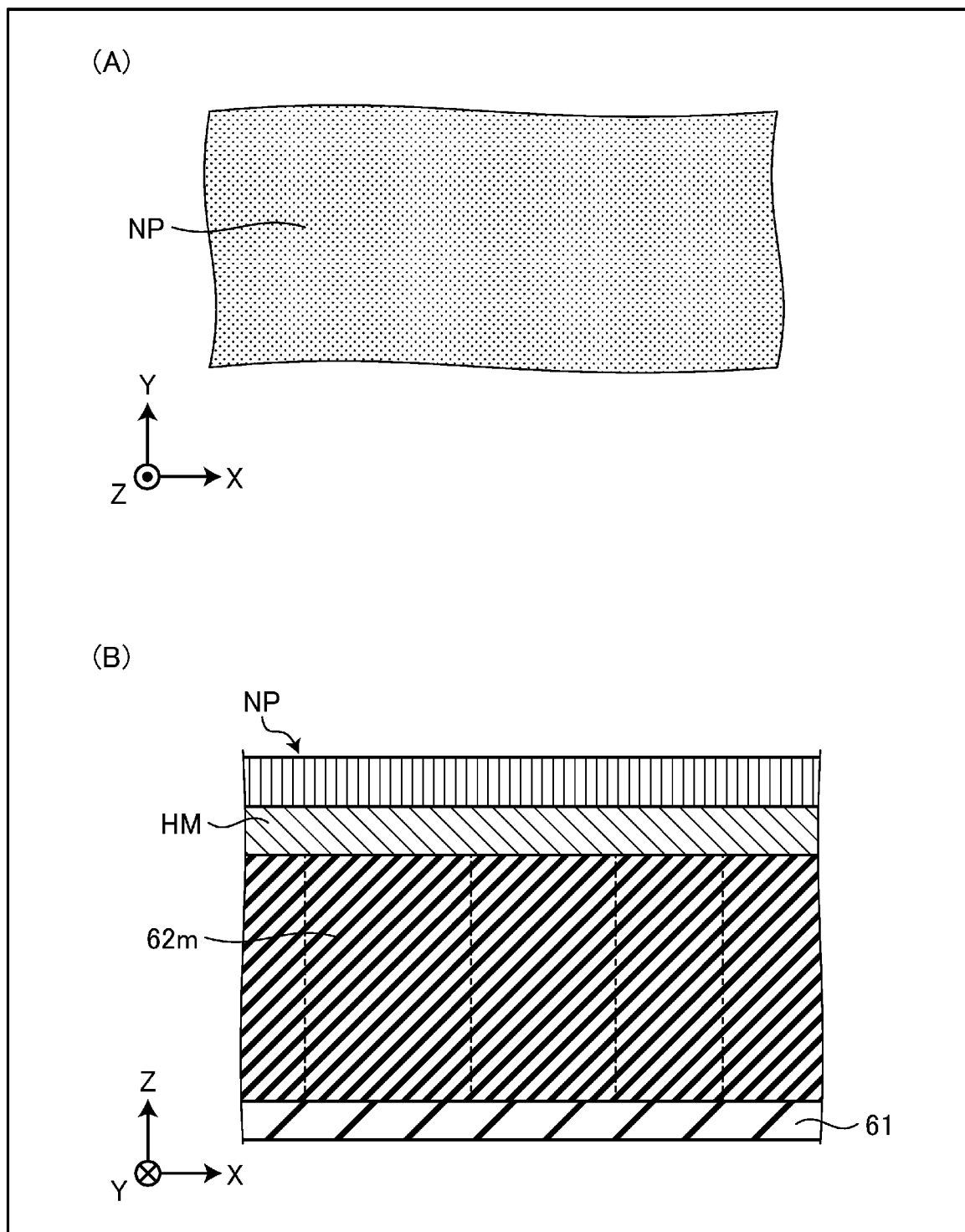
[図171]



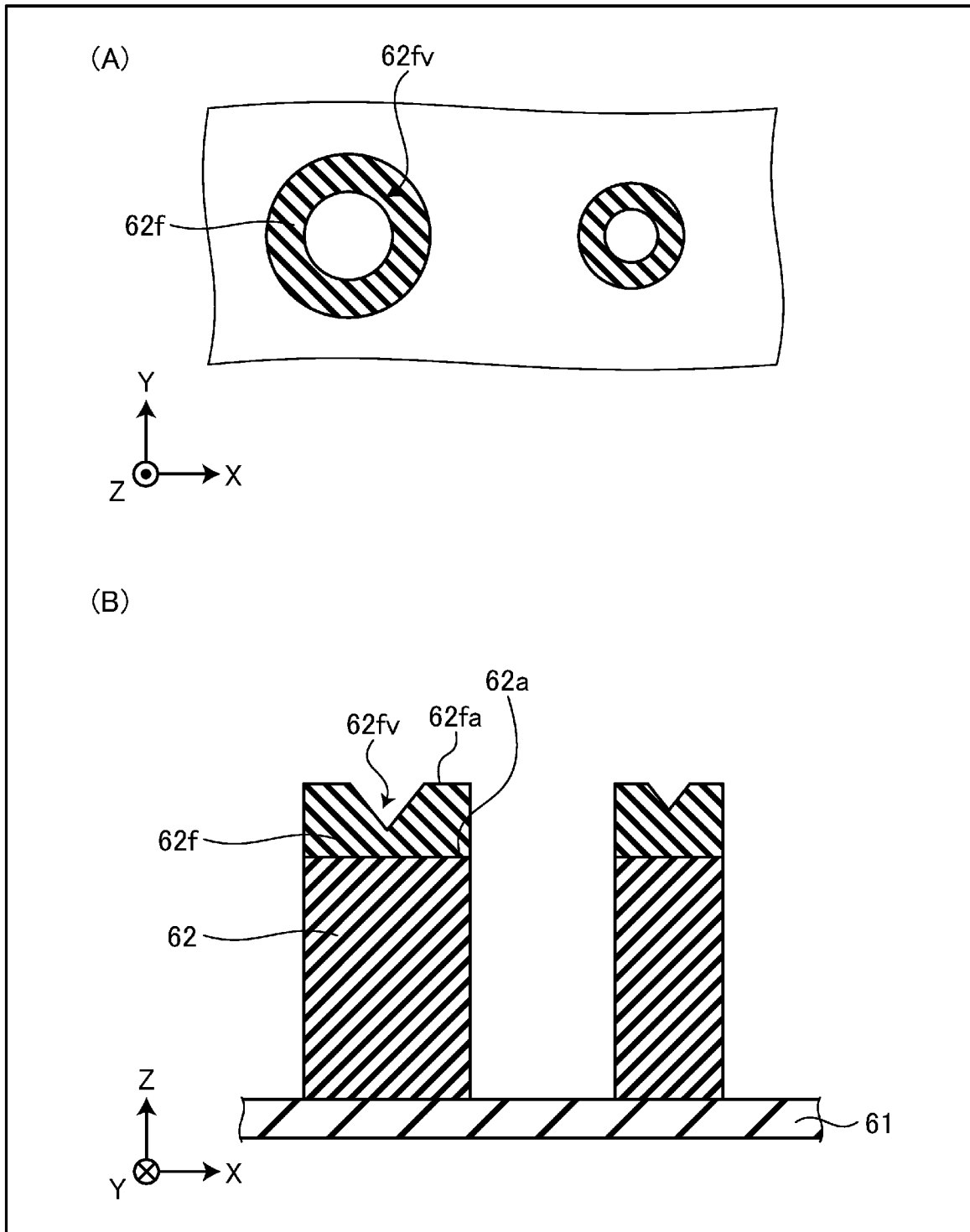
[図172]



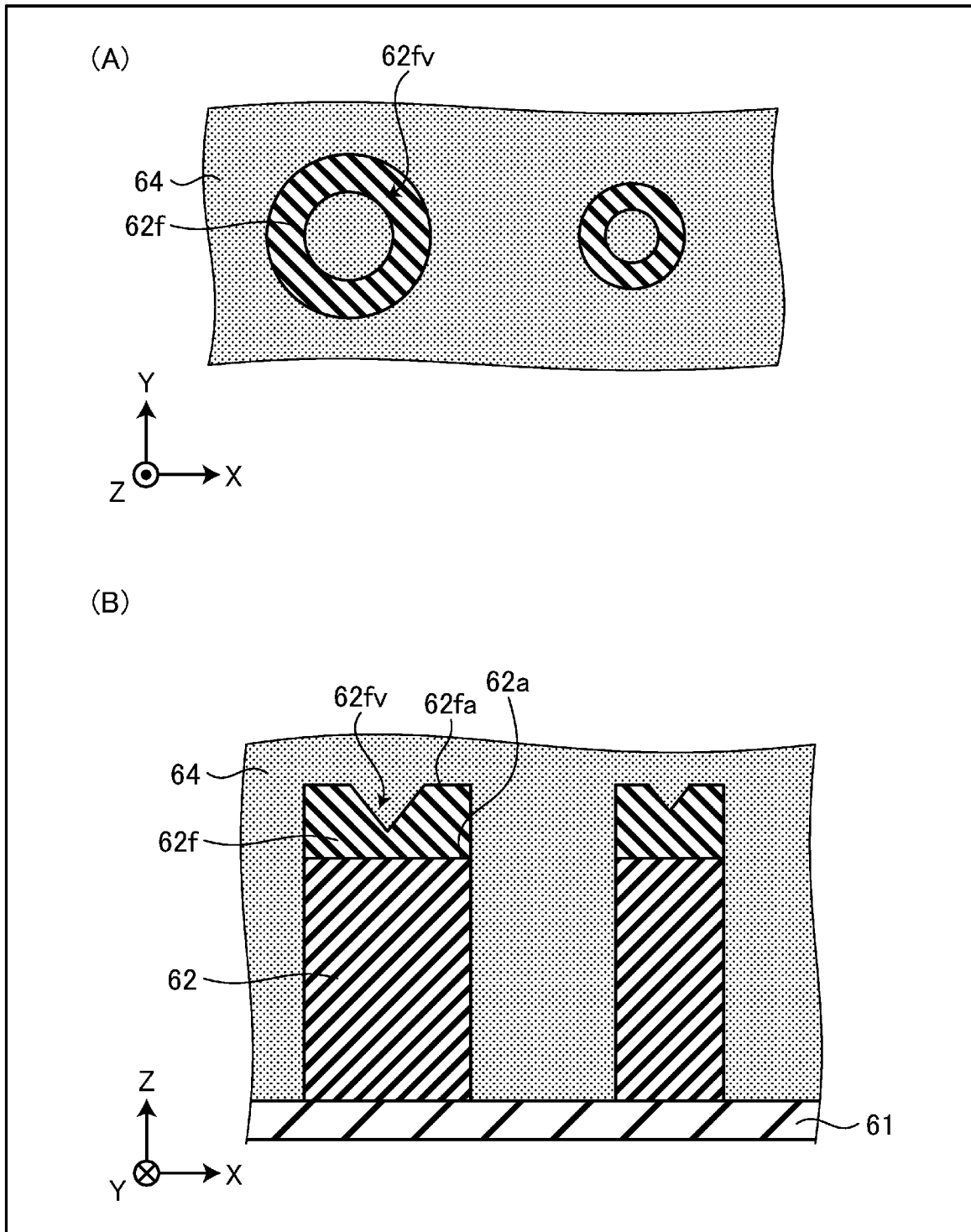
[図173]



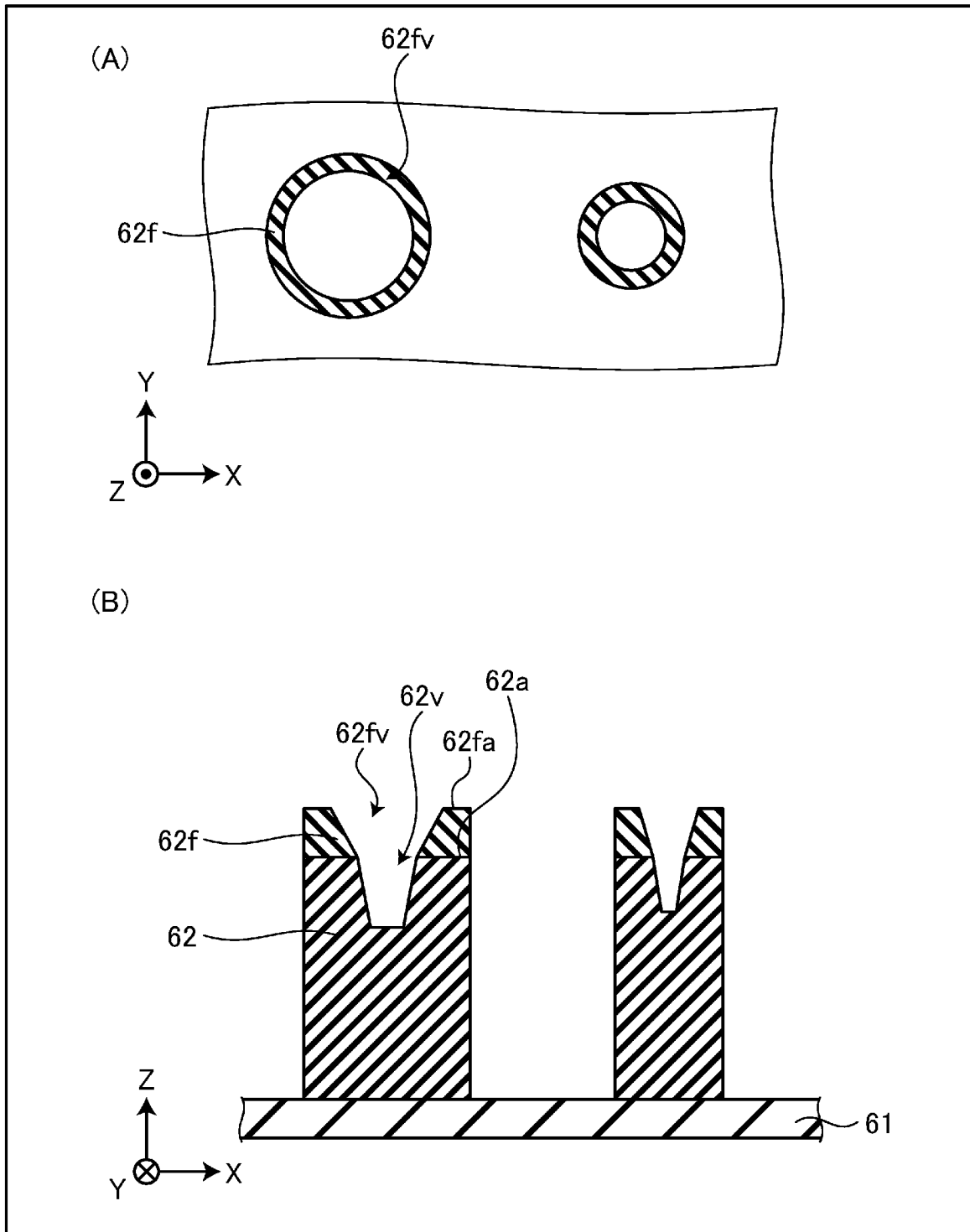
[図174]



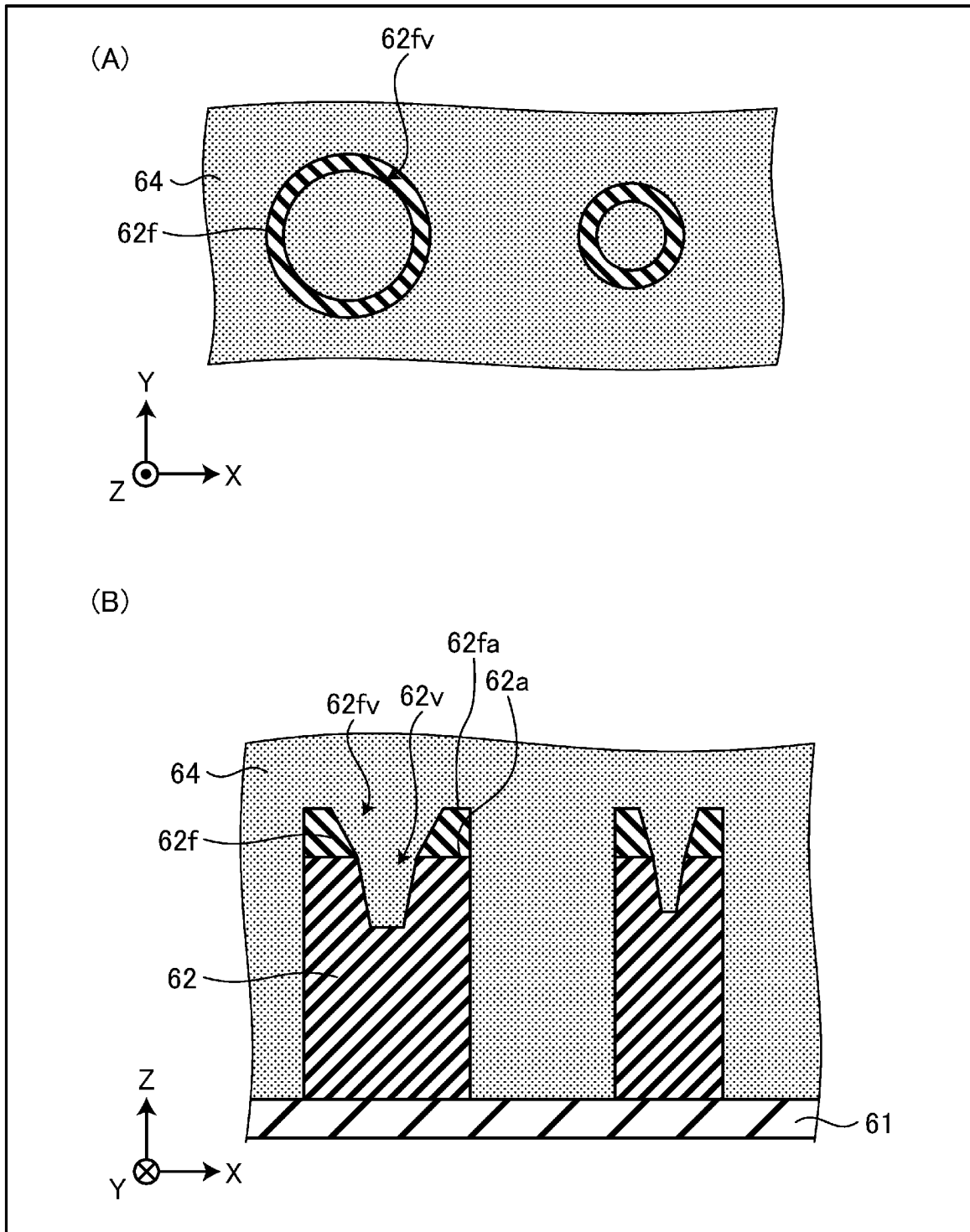
[図175]



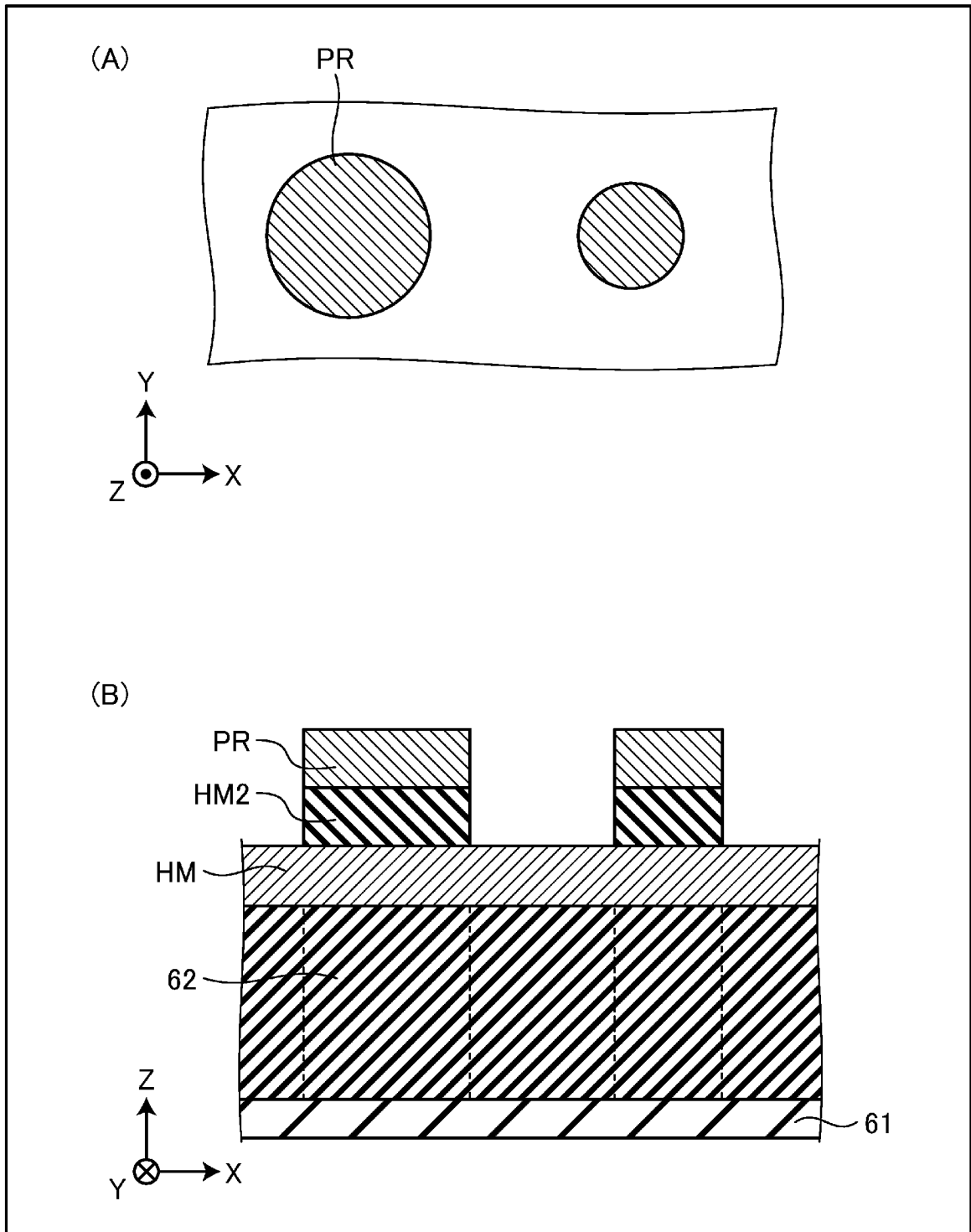
[図176]



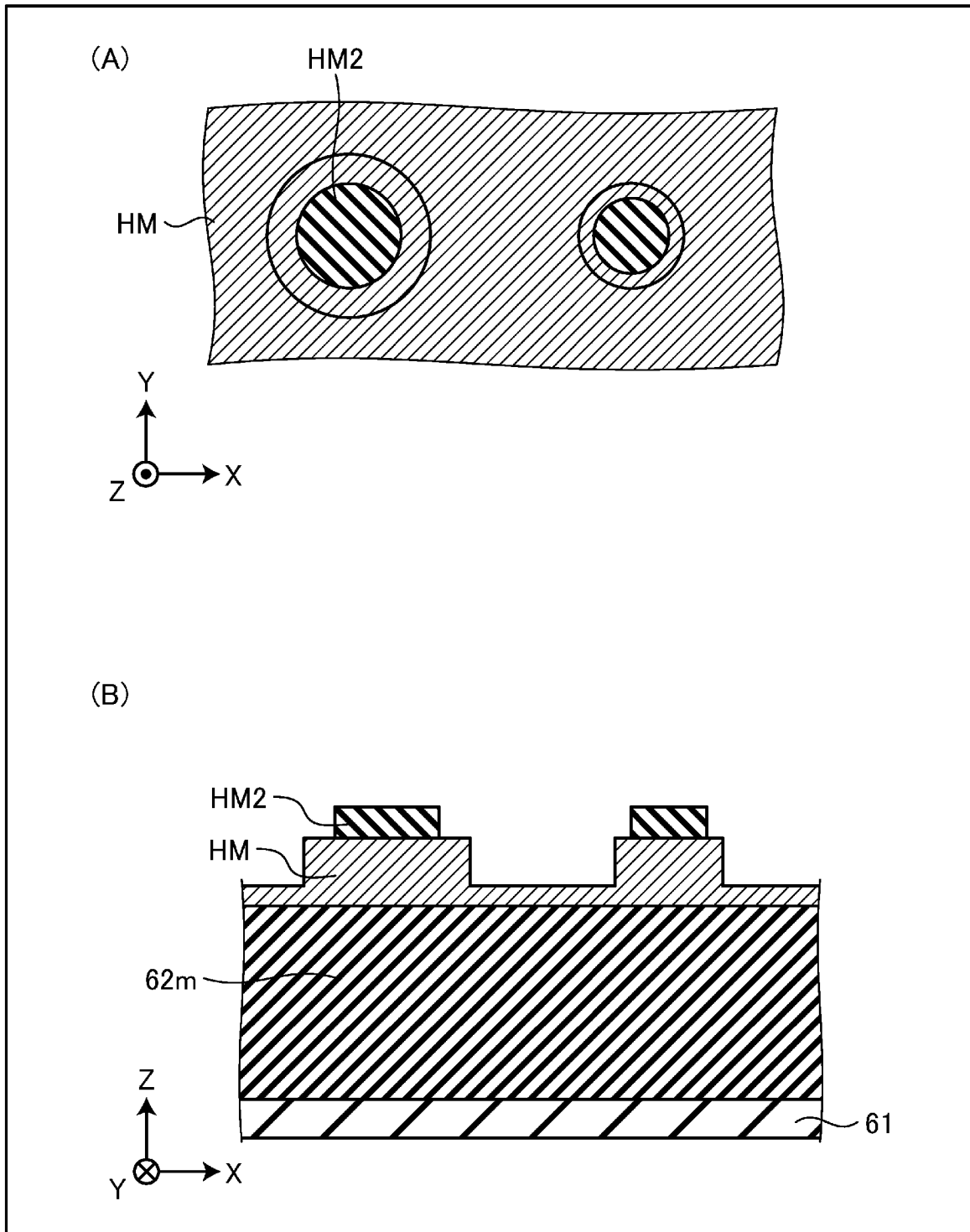
[図177]



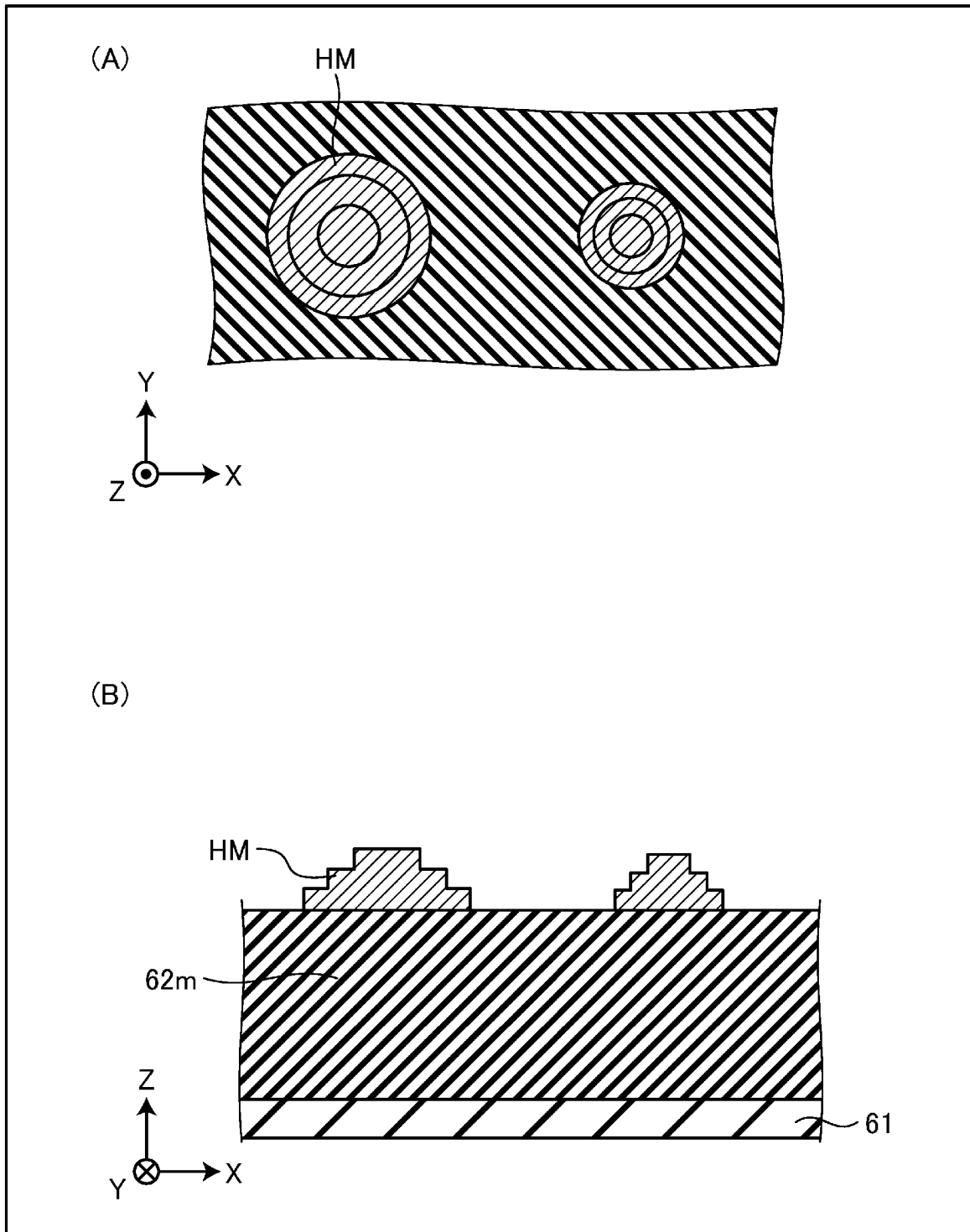
[図178]



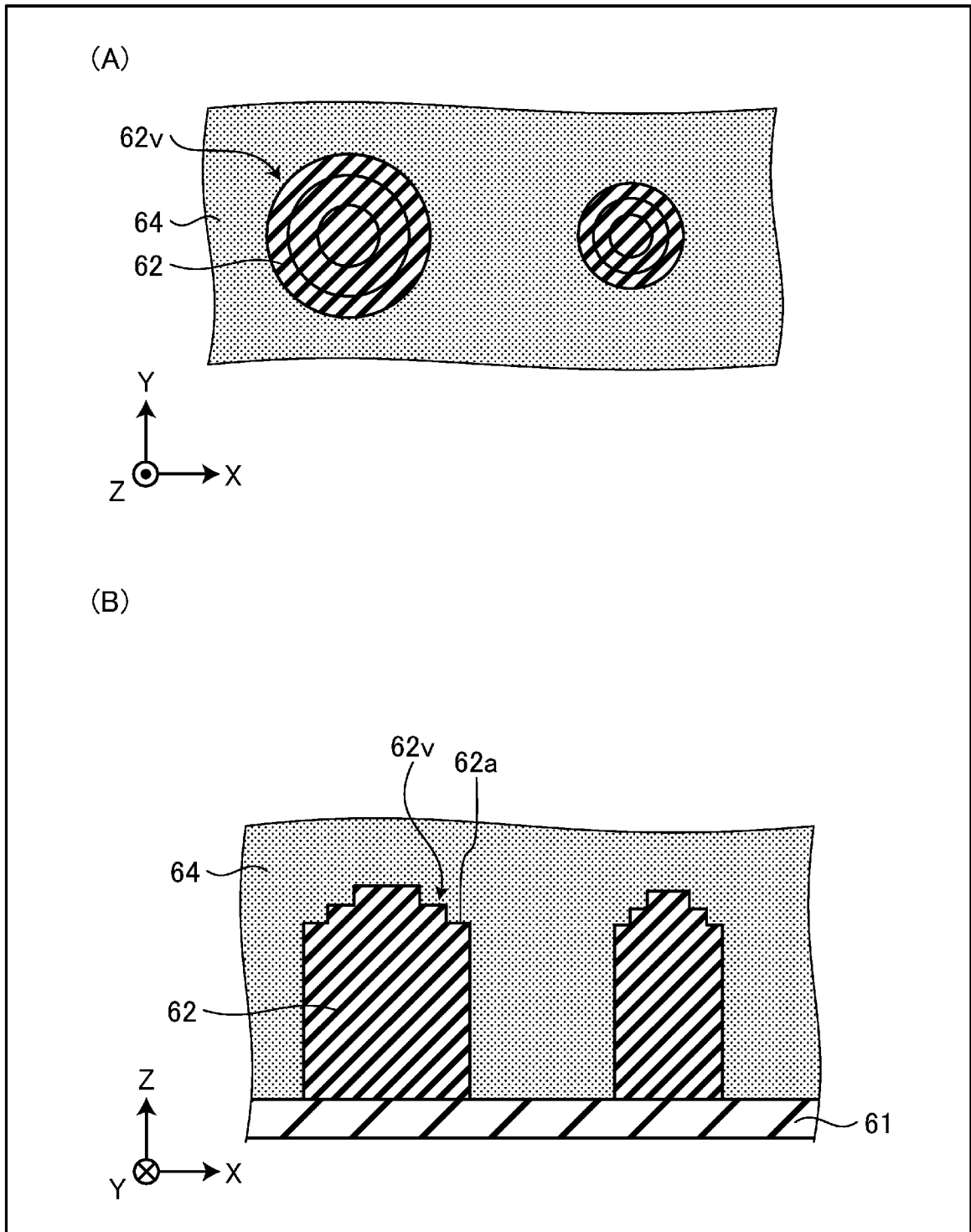
[図179]



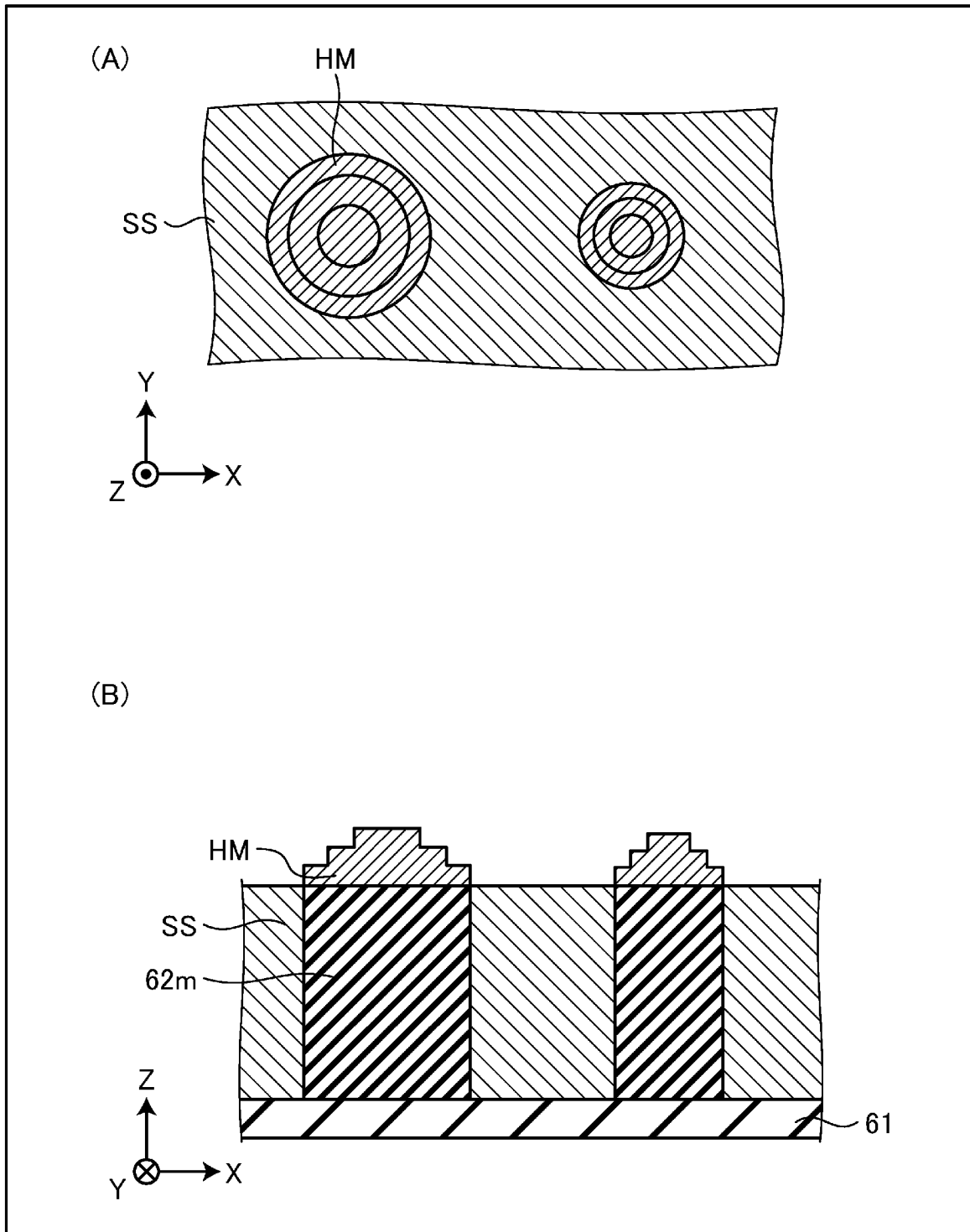
[図180]



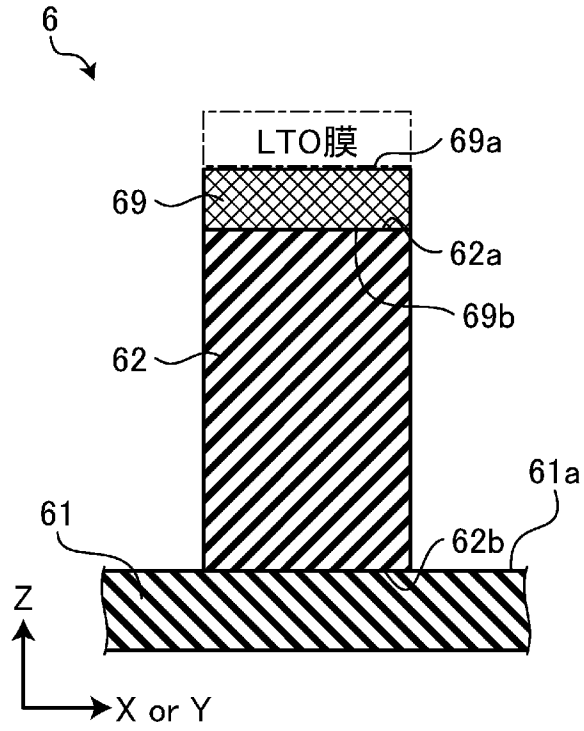
[図181]



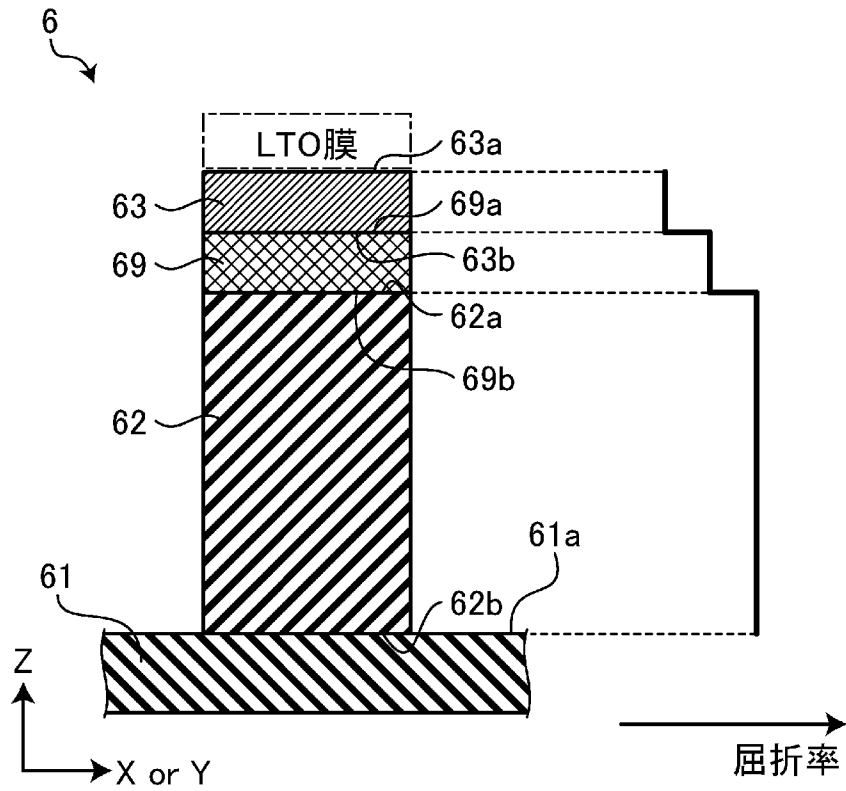
[図182]



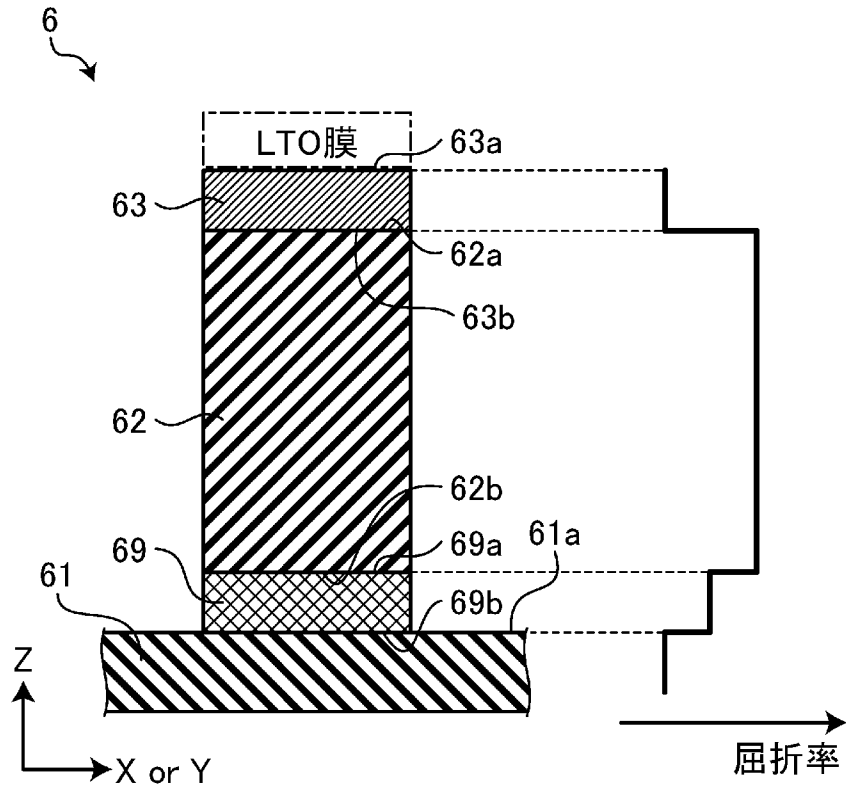
[図183]



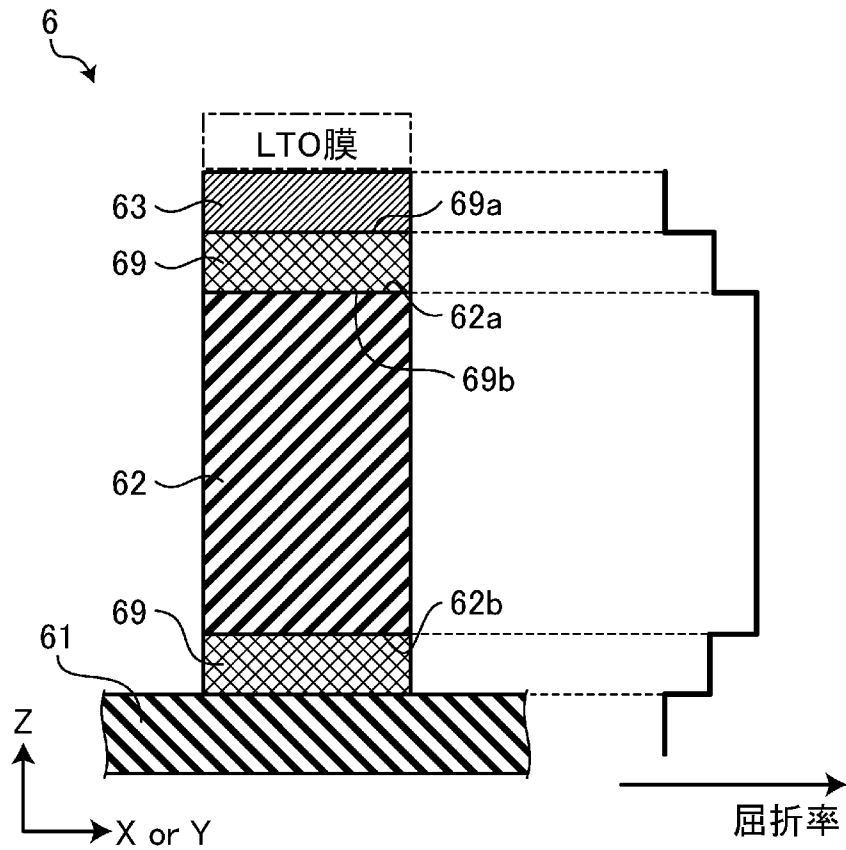
[図184]



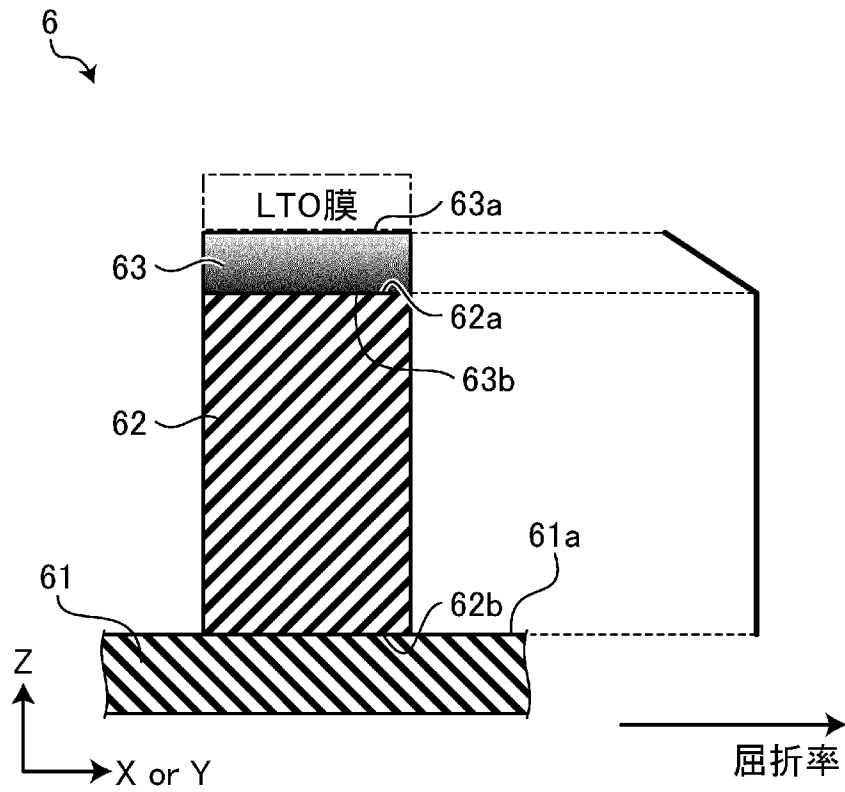
[図185]



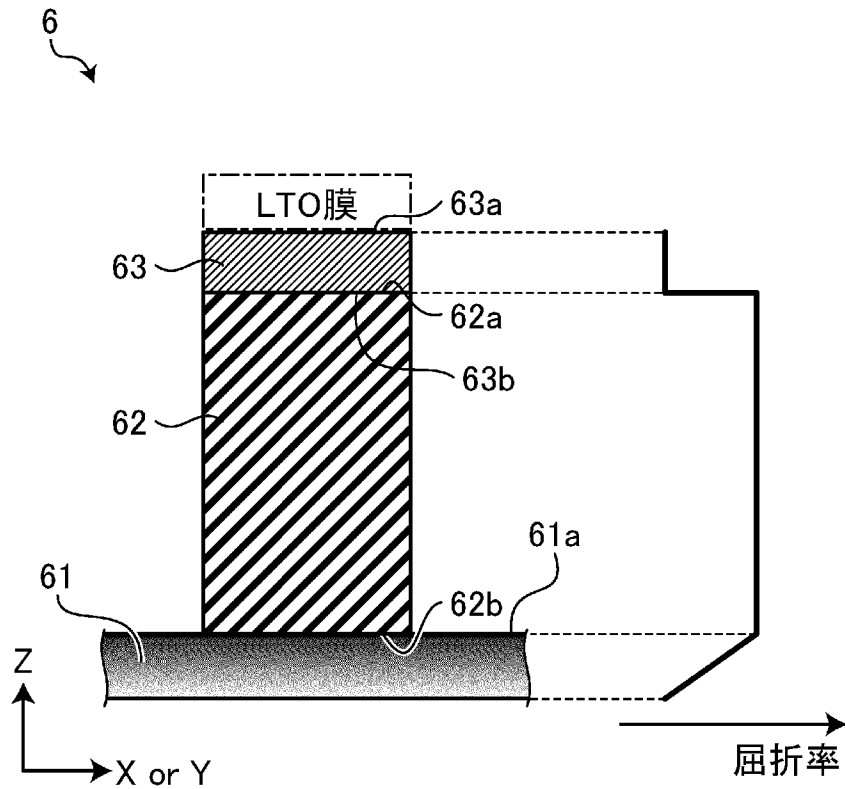
[図186]



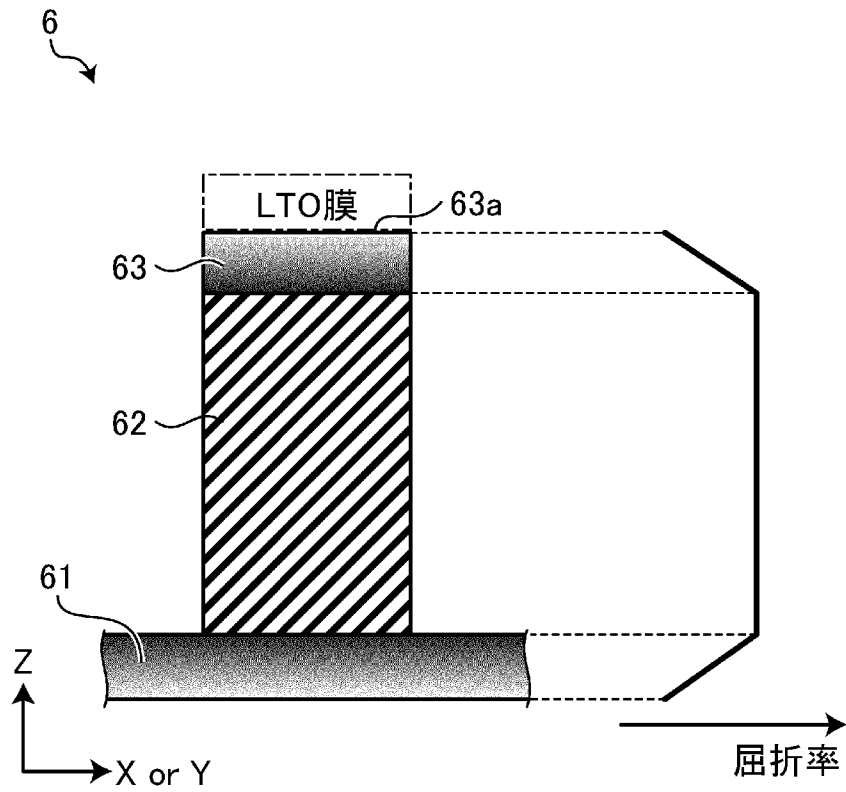
[図187]



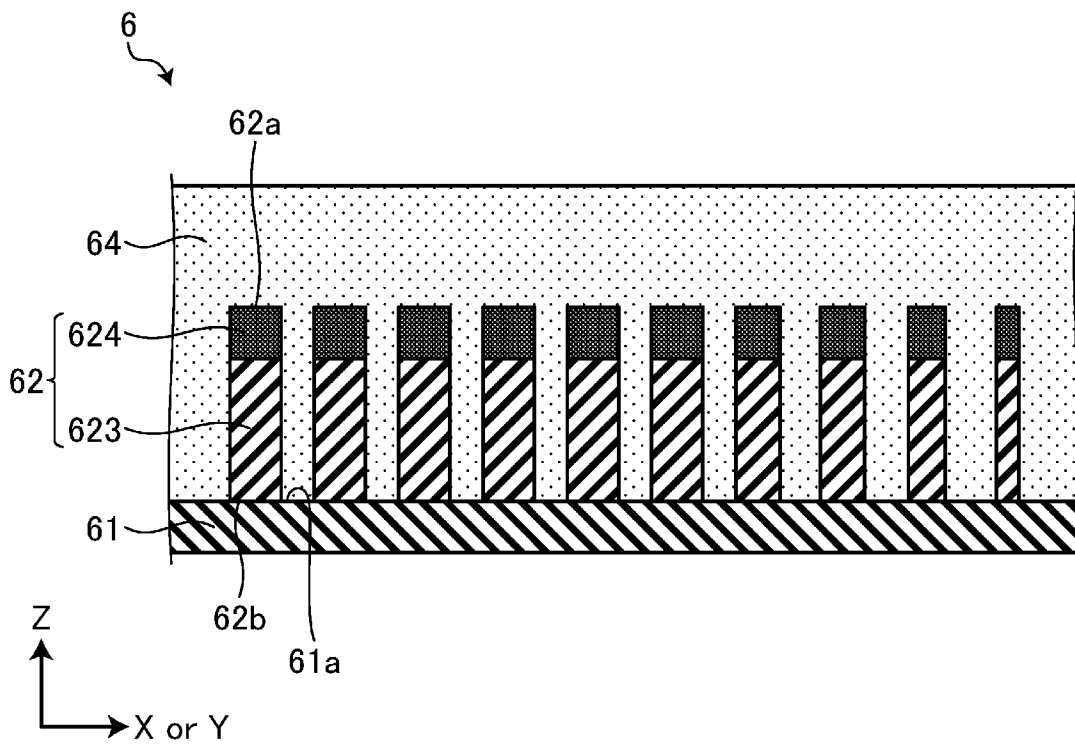
[図188]



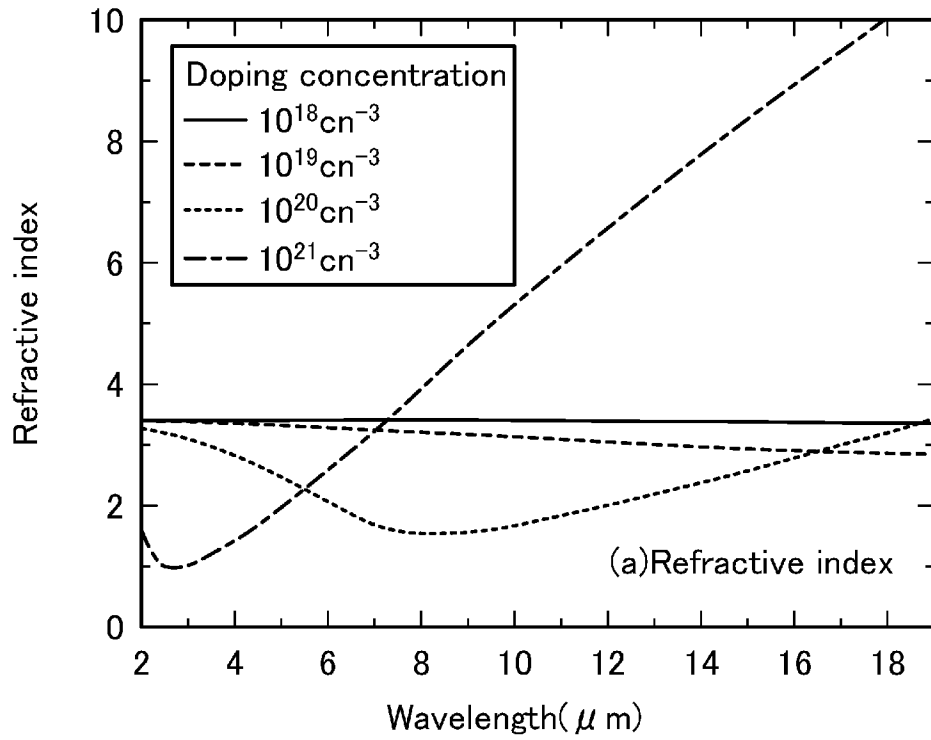
[図189]



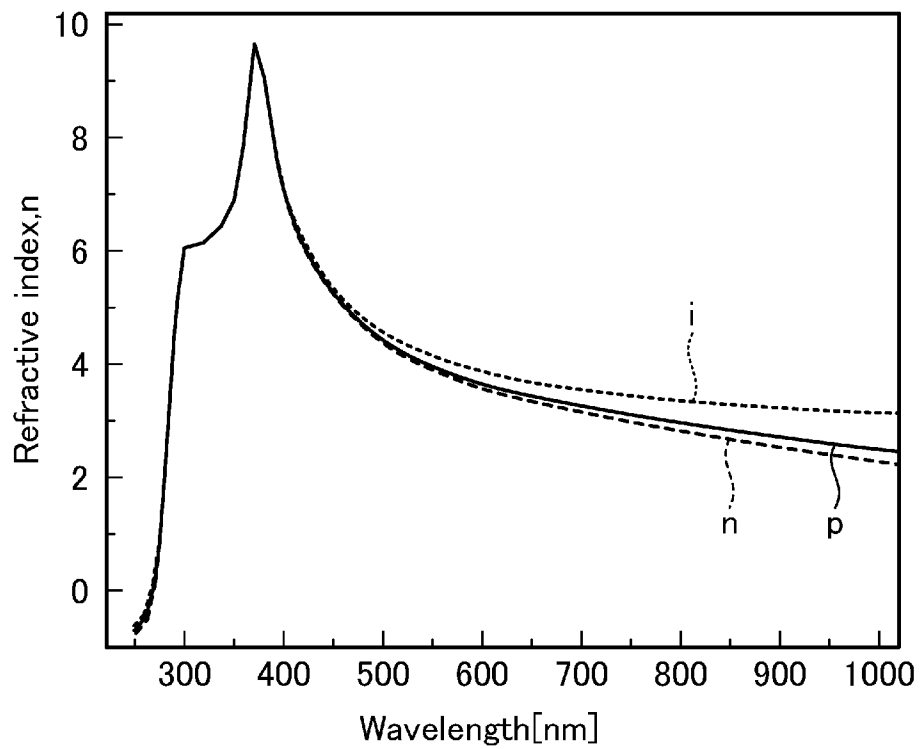
[図190]



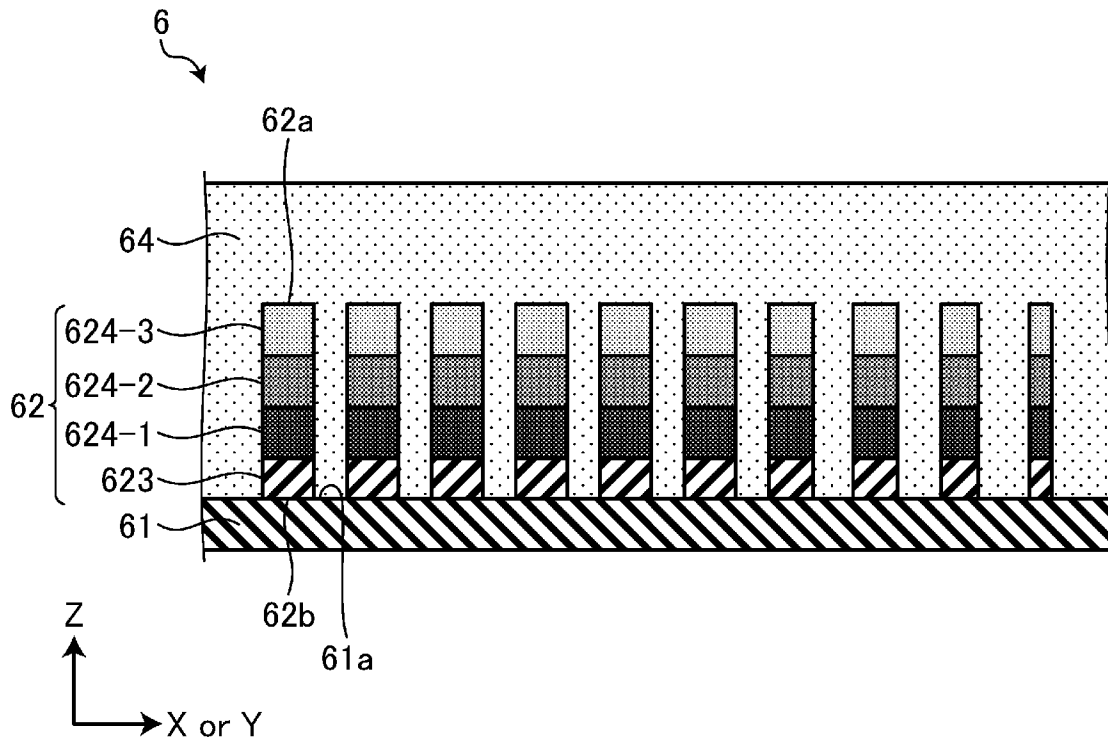
[図191]



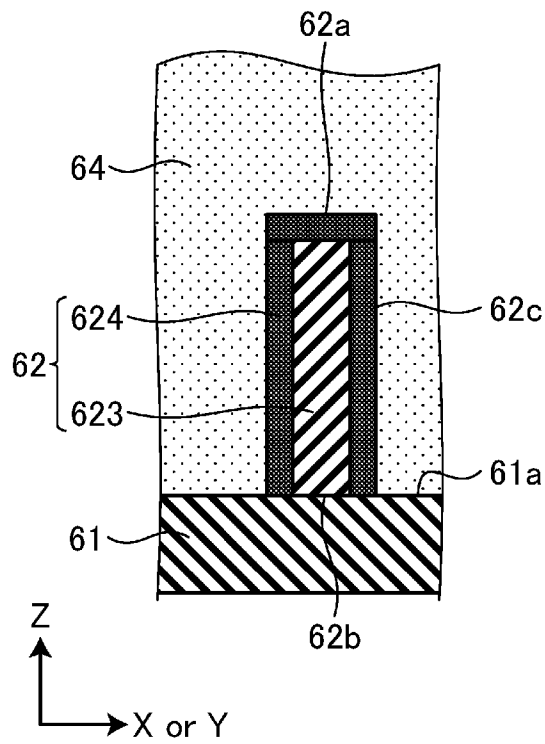
[図192]



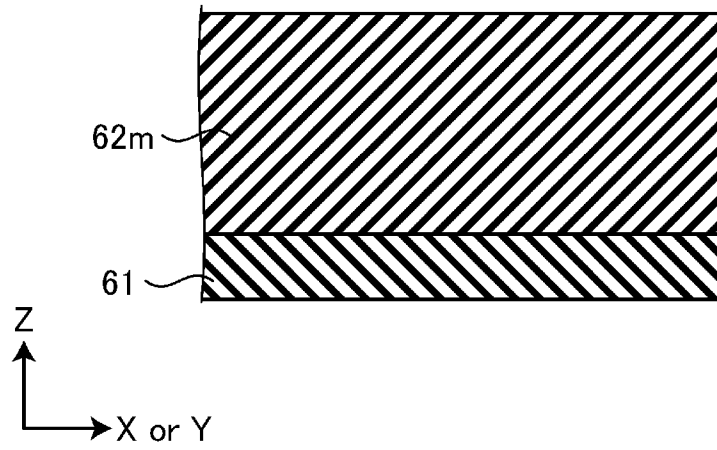
[図193]



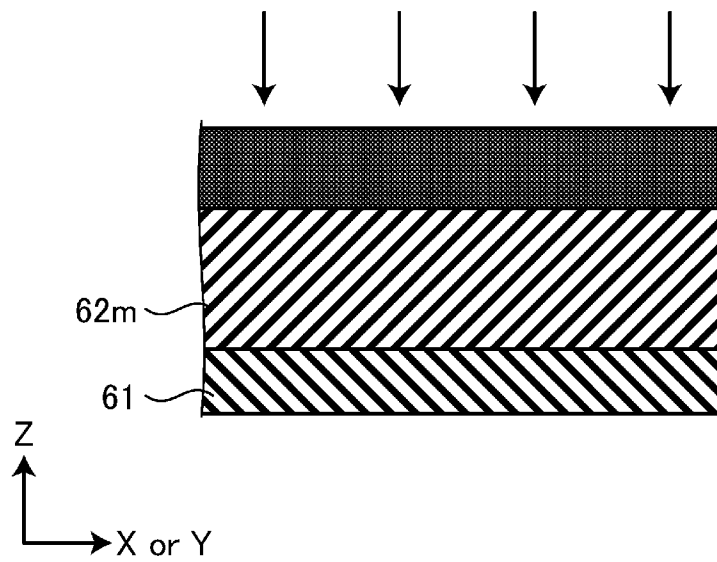
[図194]



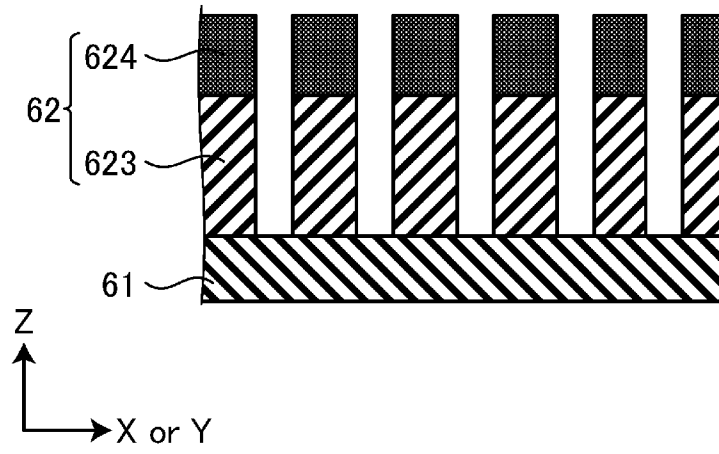
[図195]



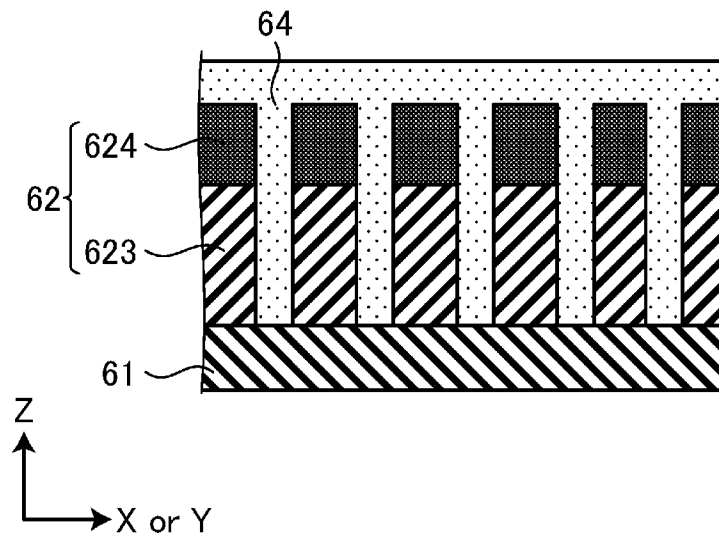
[図196]



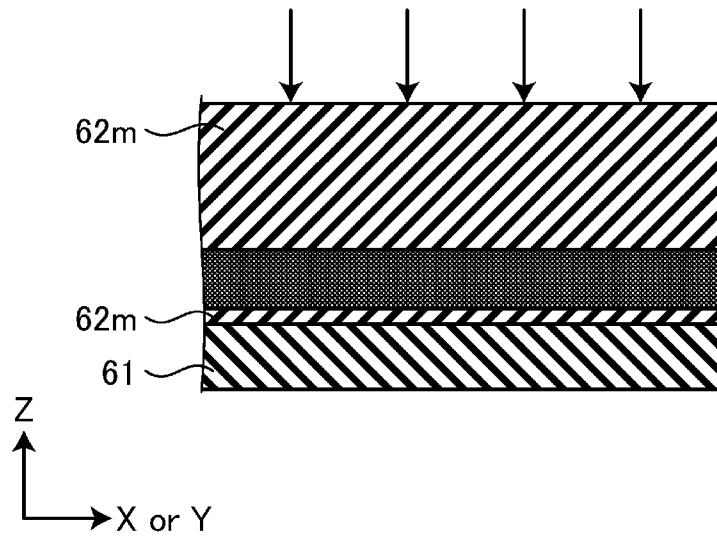
[図197]



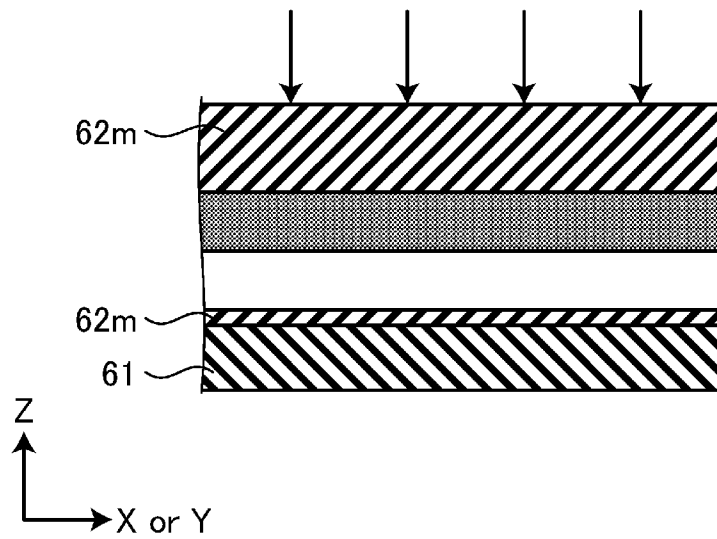
[図198]



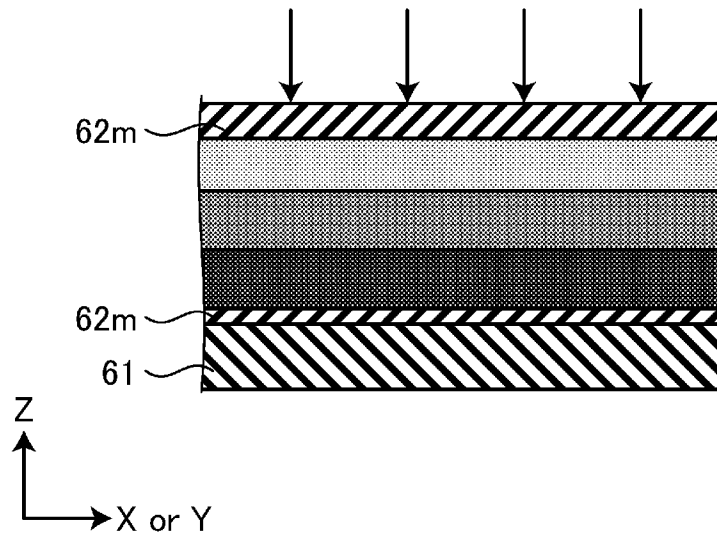
[図199]



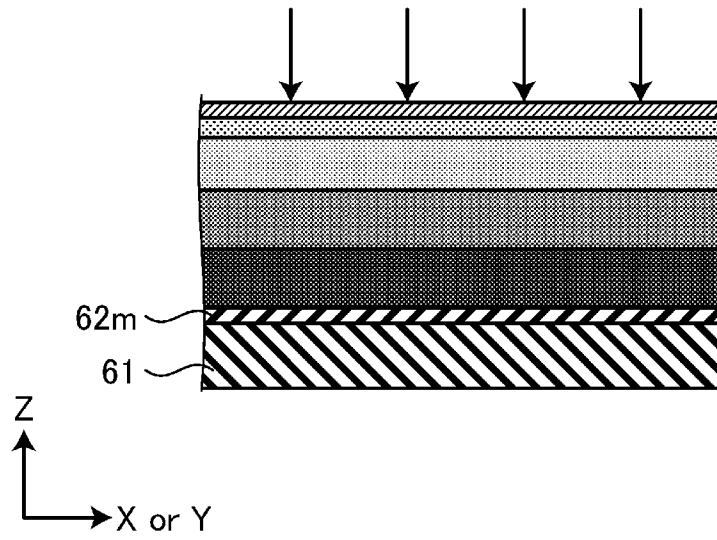
[図200]



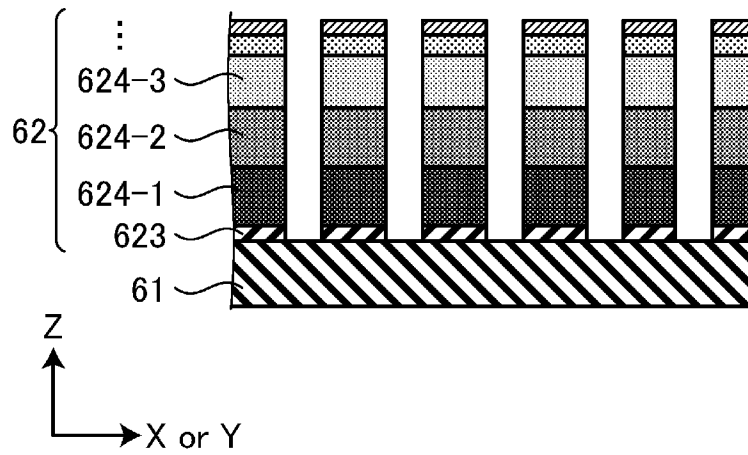
[図201]



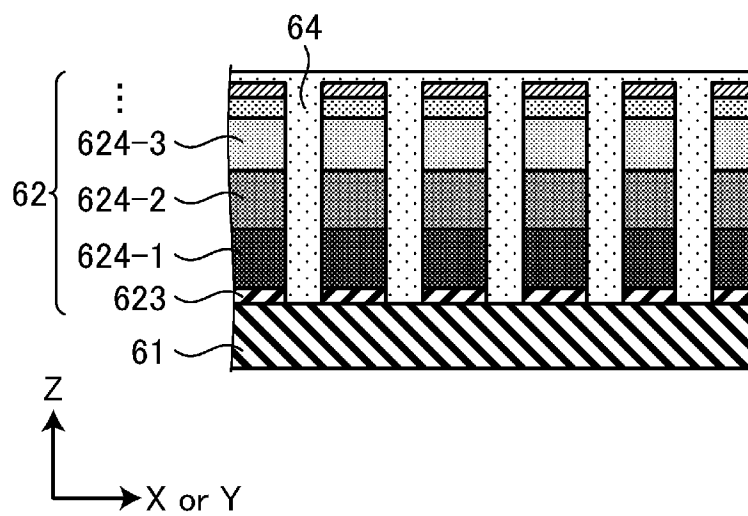
[図202]



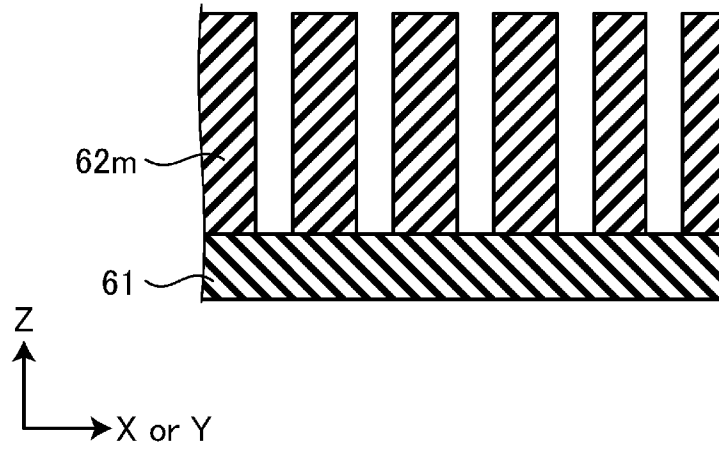
[図203]



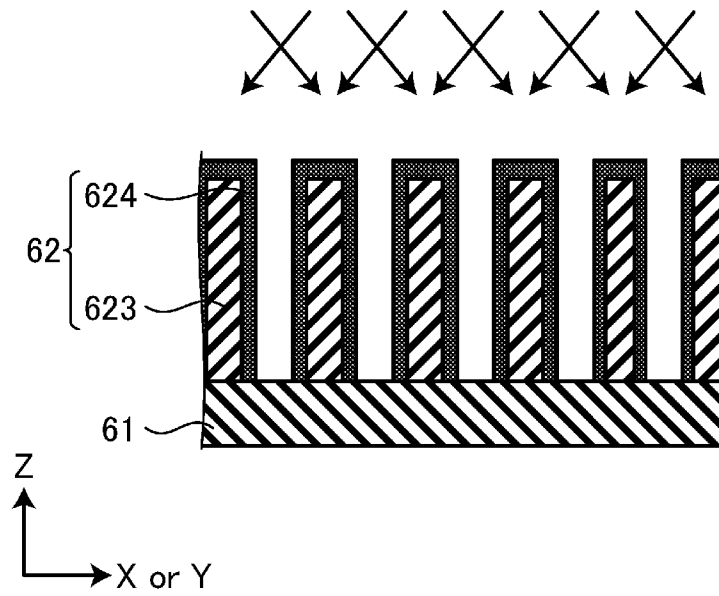
[図204]



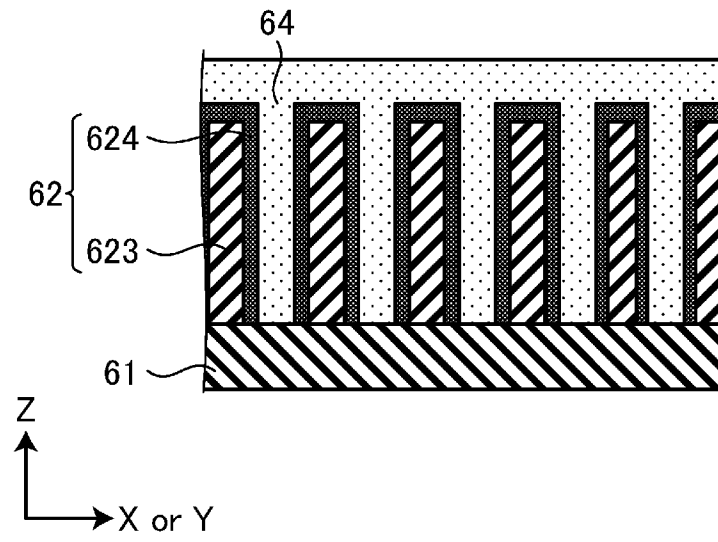
[図205]



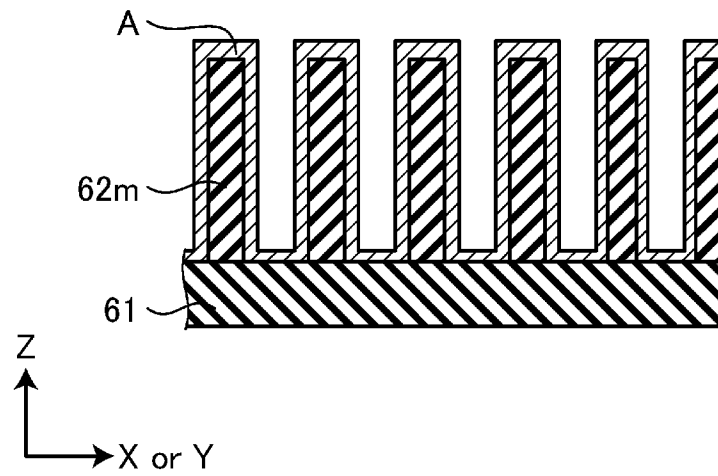
[図206]



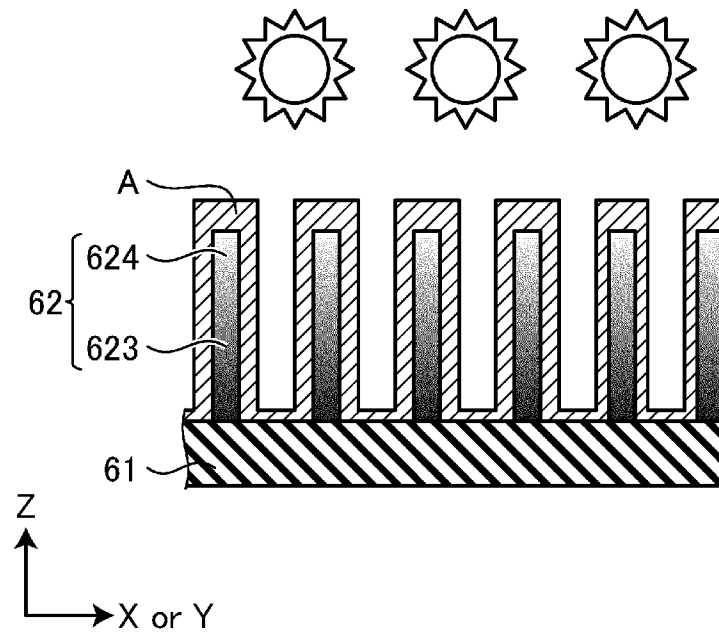
[図207]



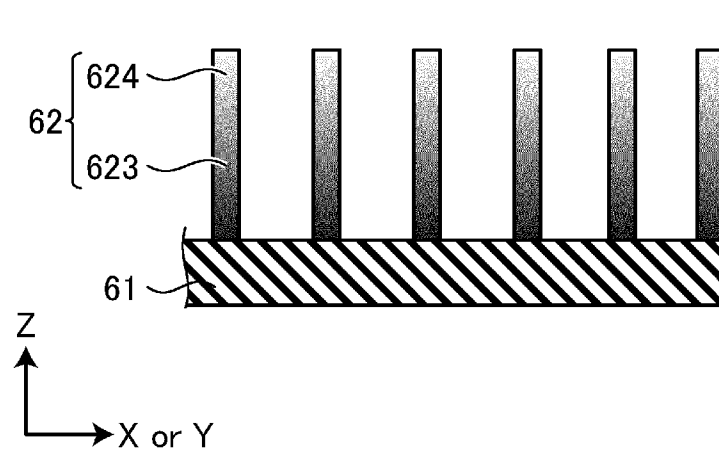
[図208]



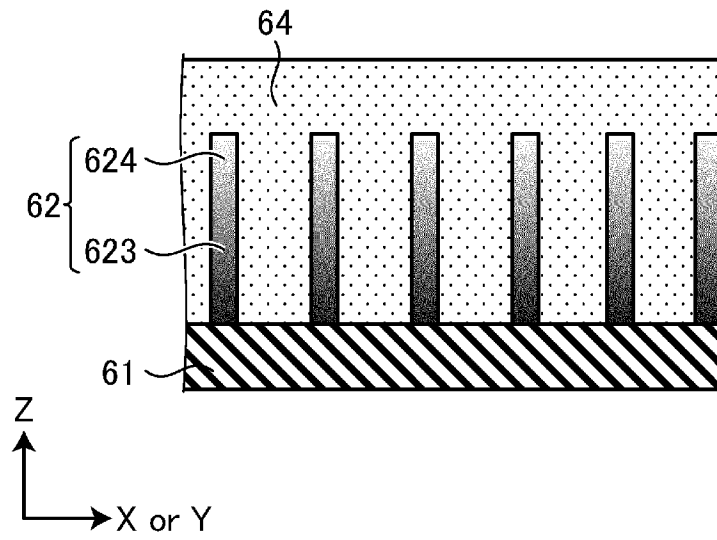
[図209]



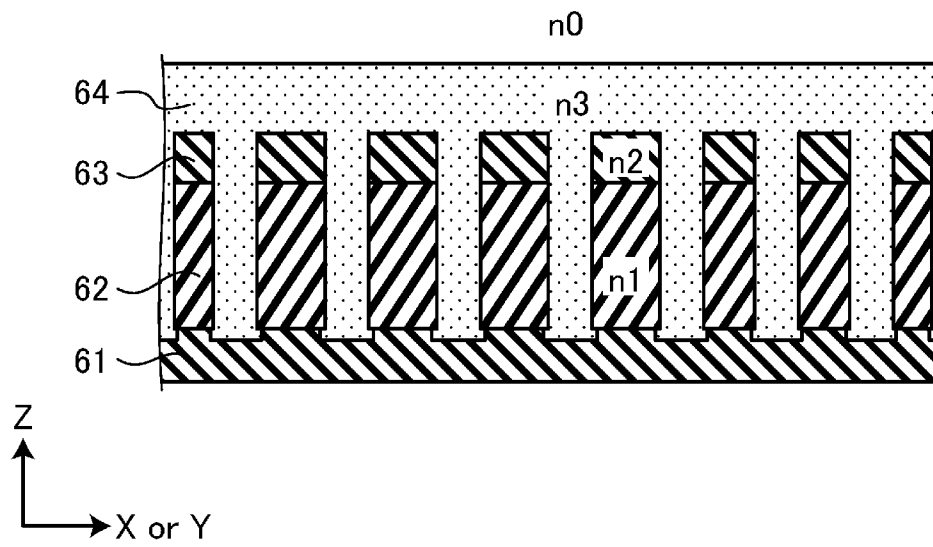
[図210]



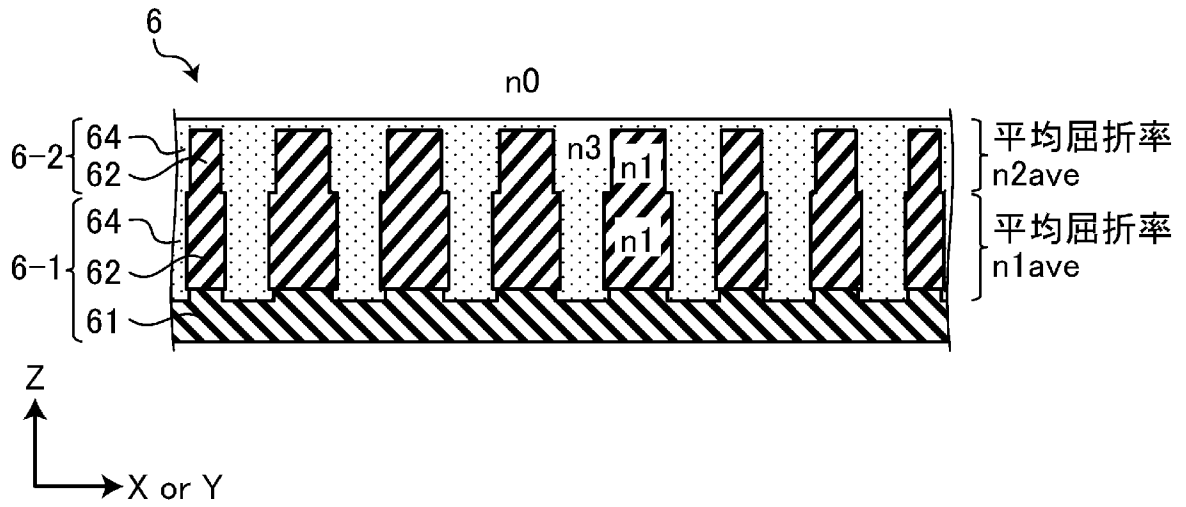
[図211]



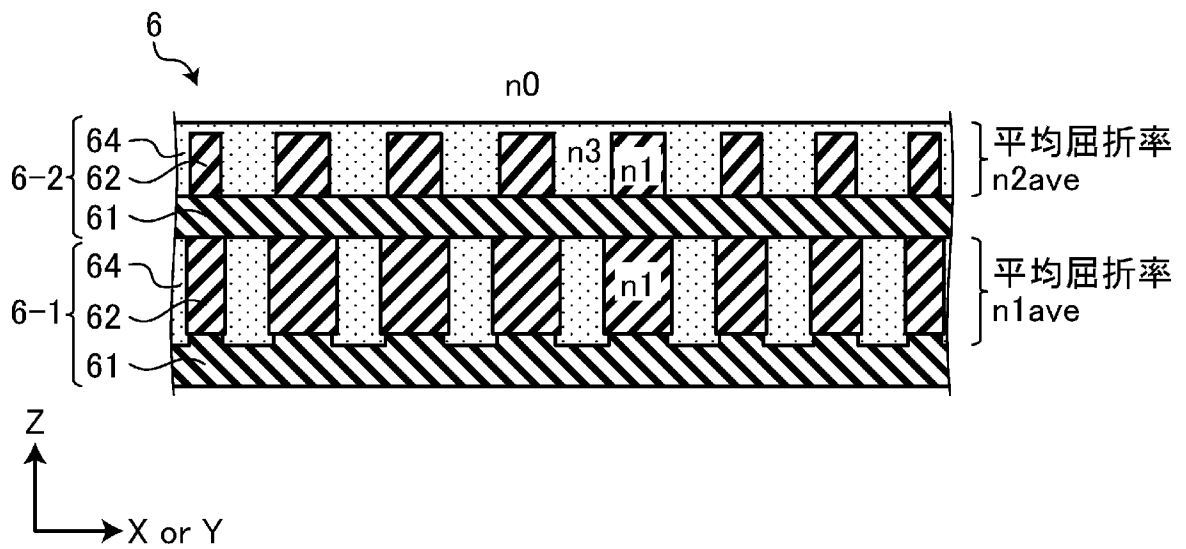
[図212]



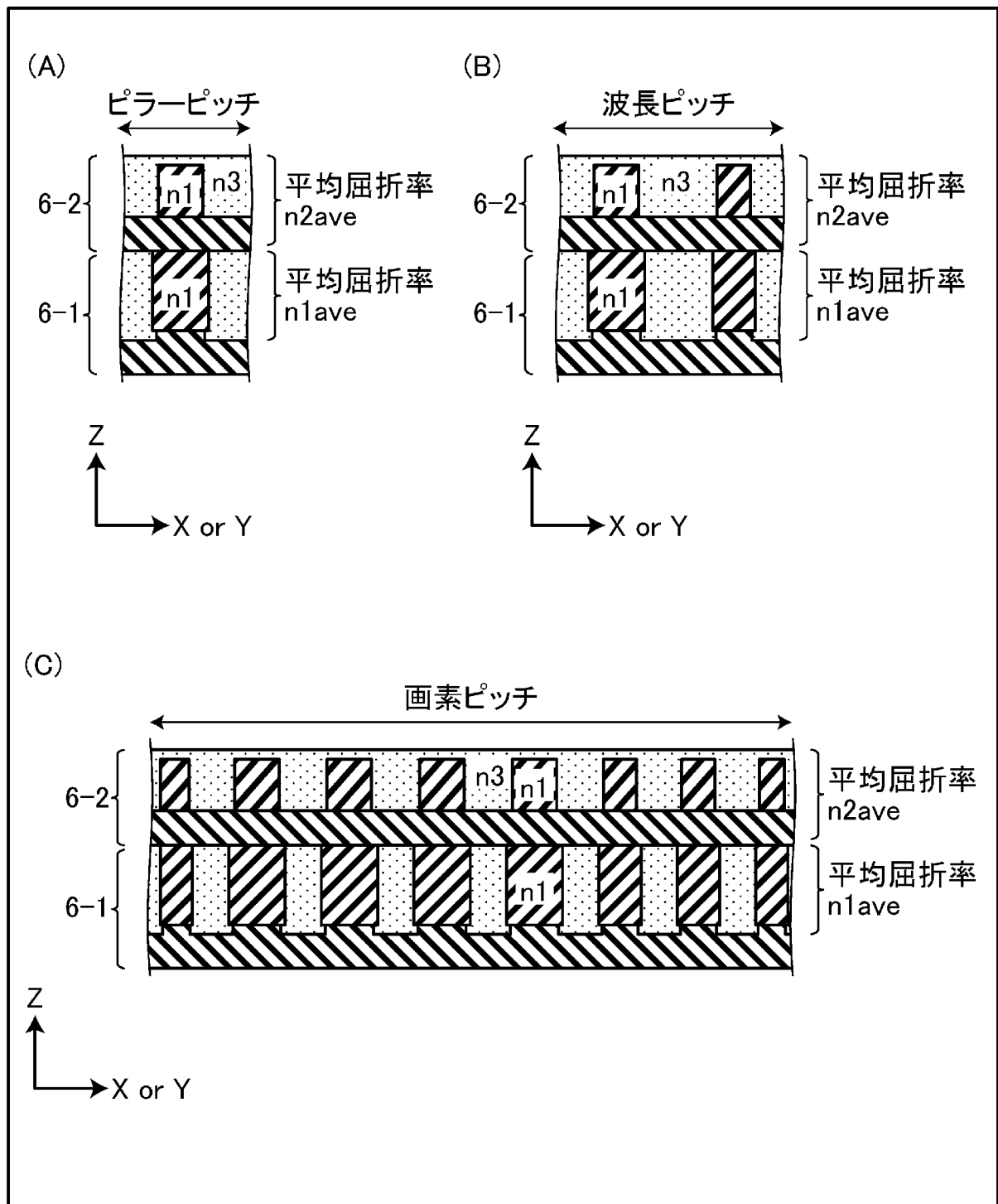
[図213]



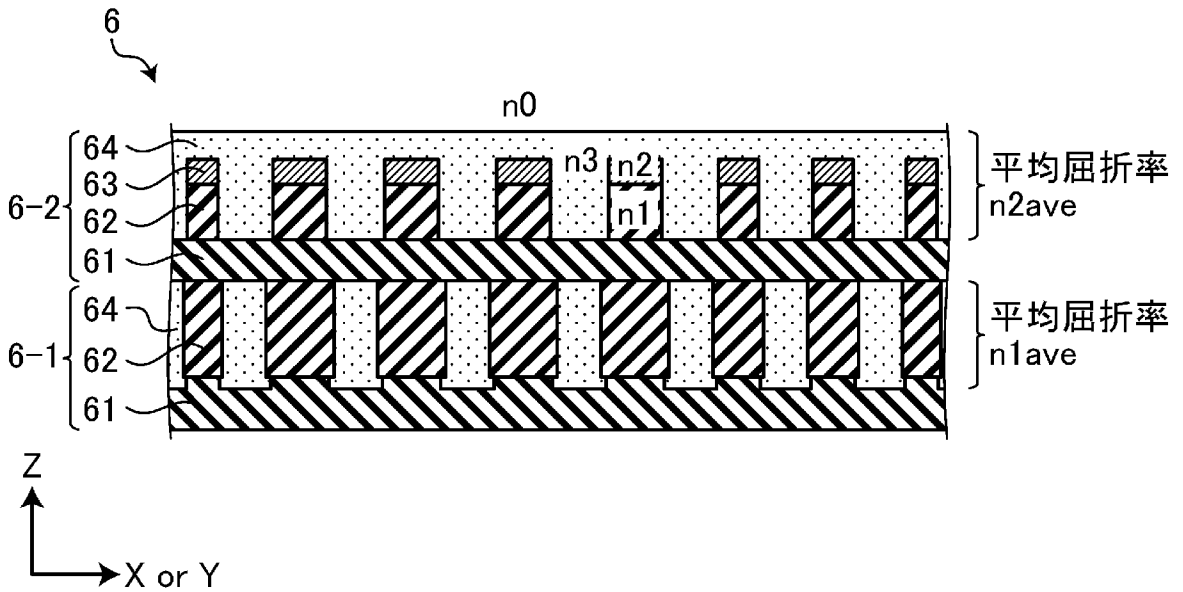
[図214]



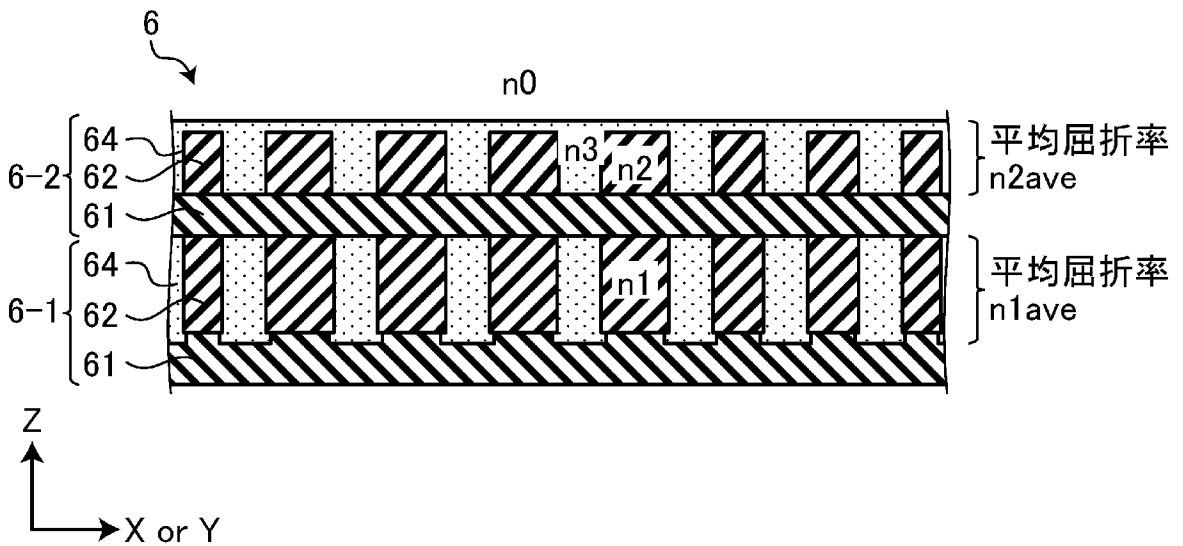
[図215]



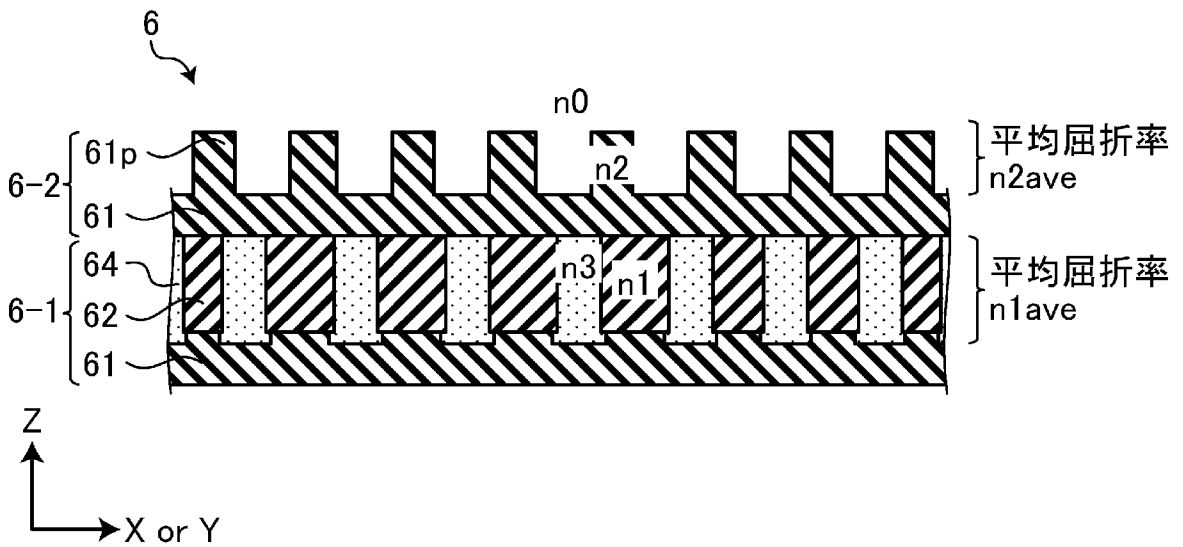
[図216]



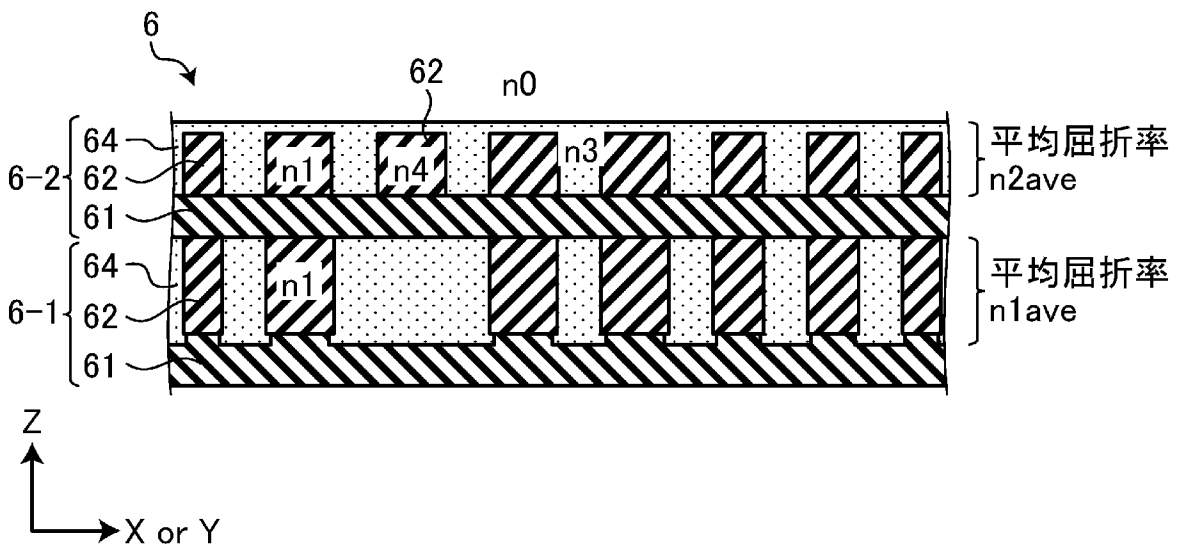
[図217]



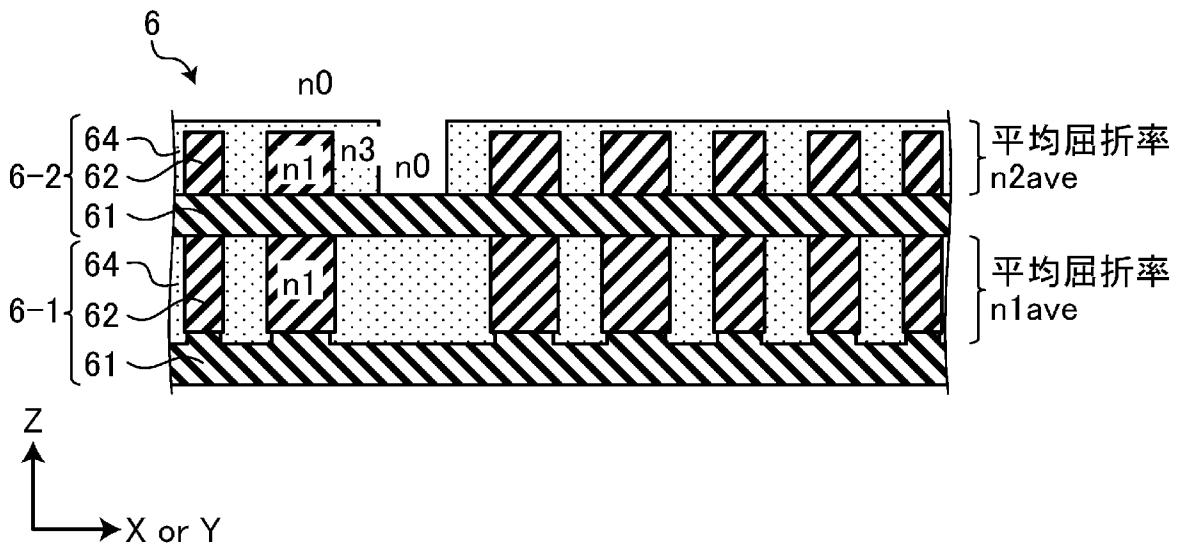
[図218]



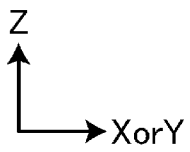
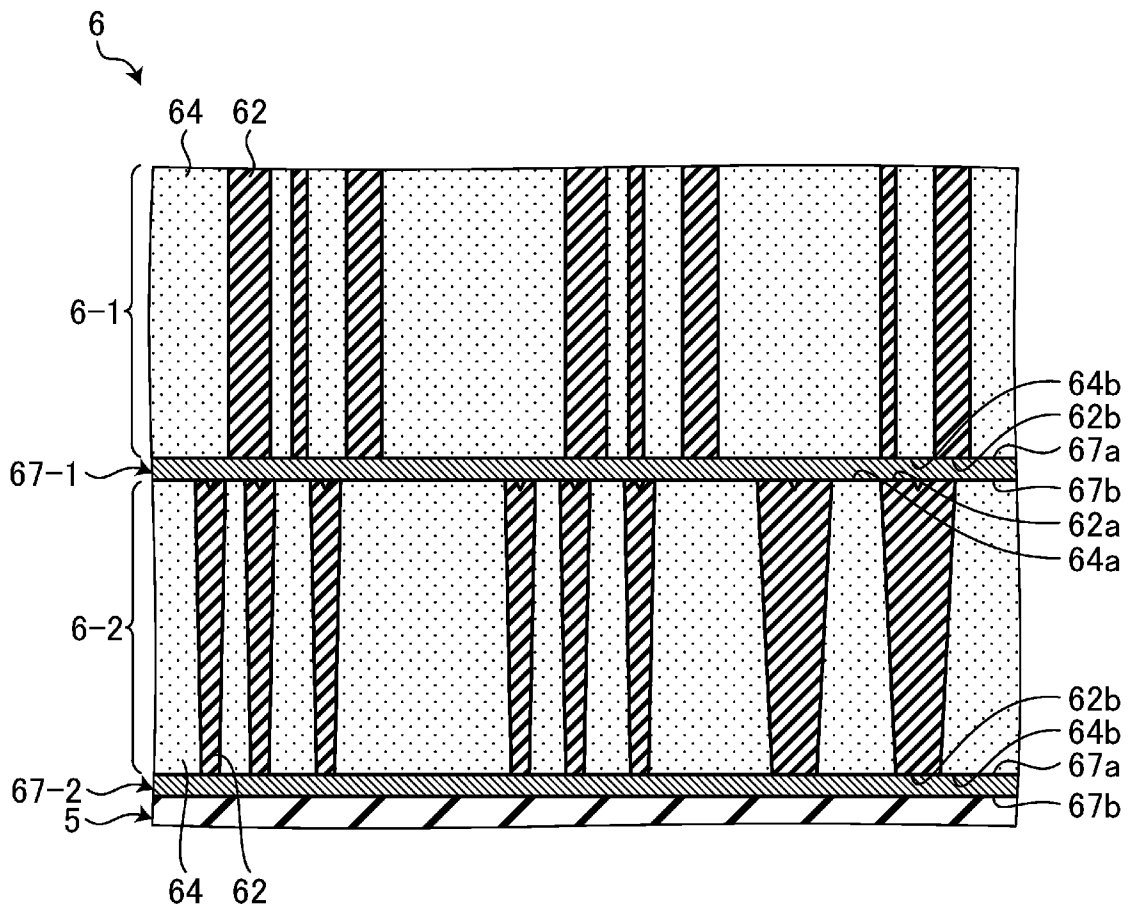
[図219]



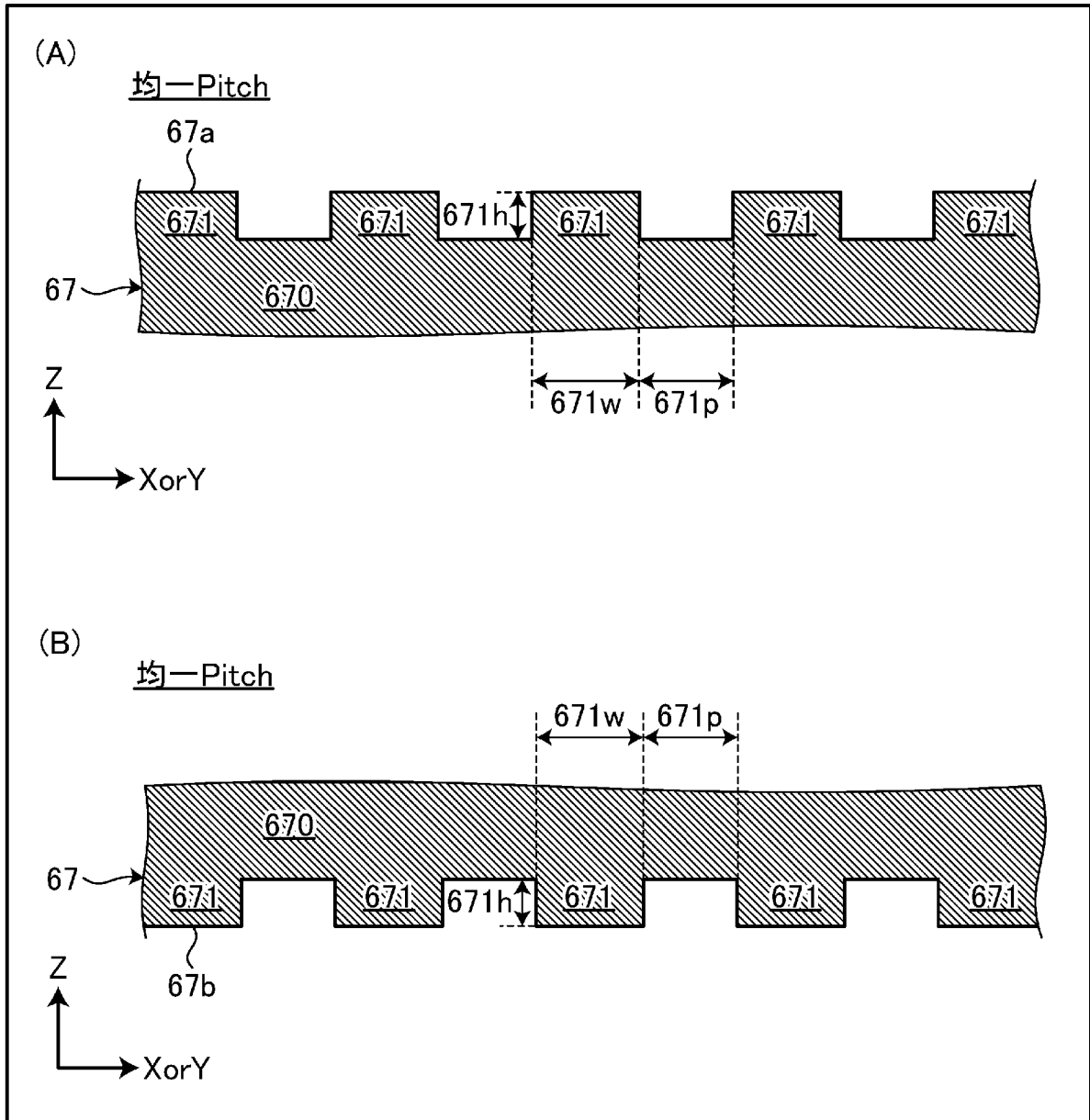
[図220]



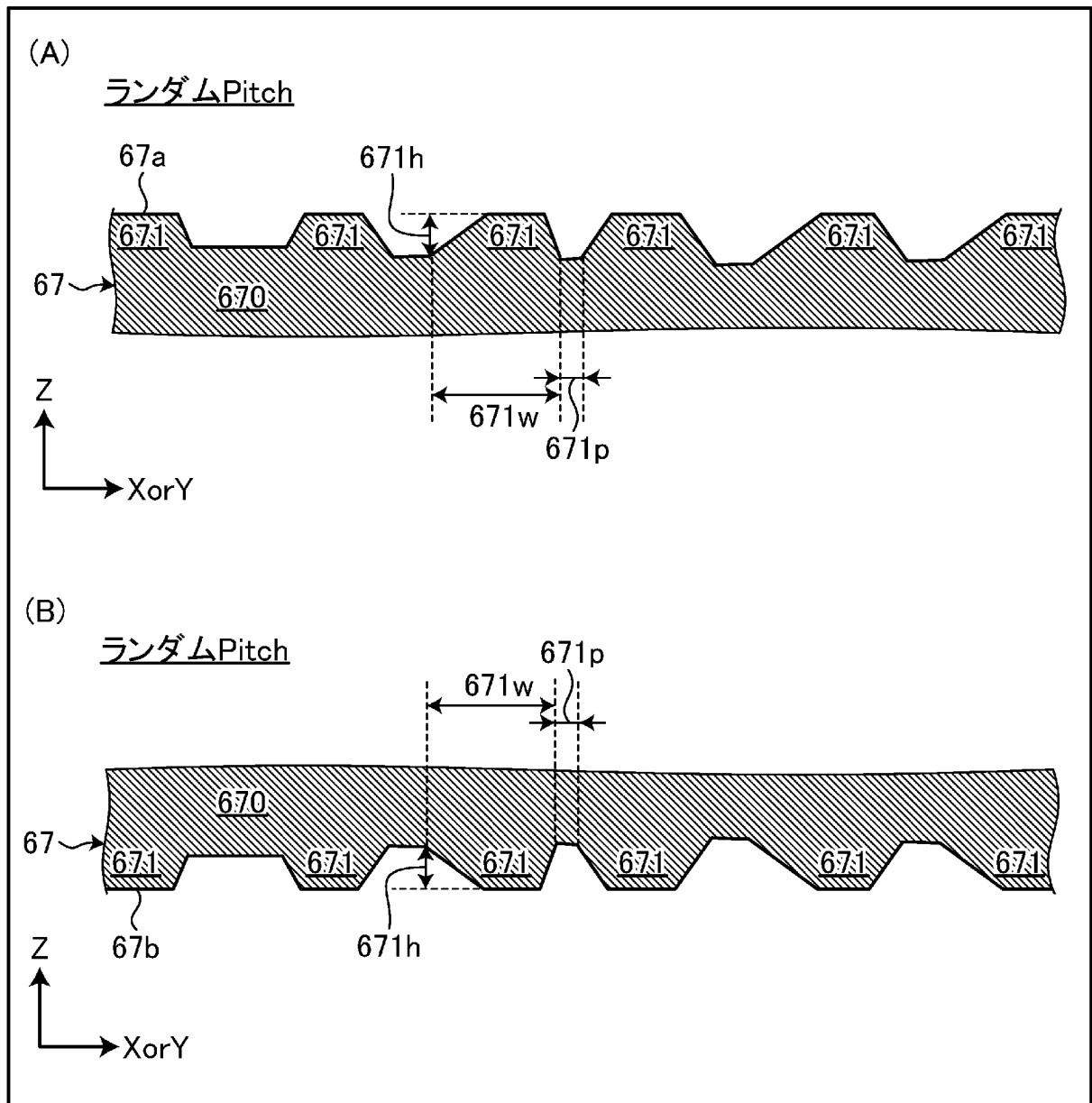
[図221]



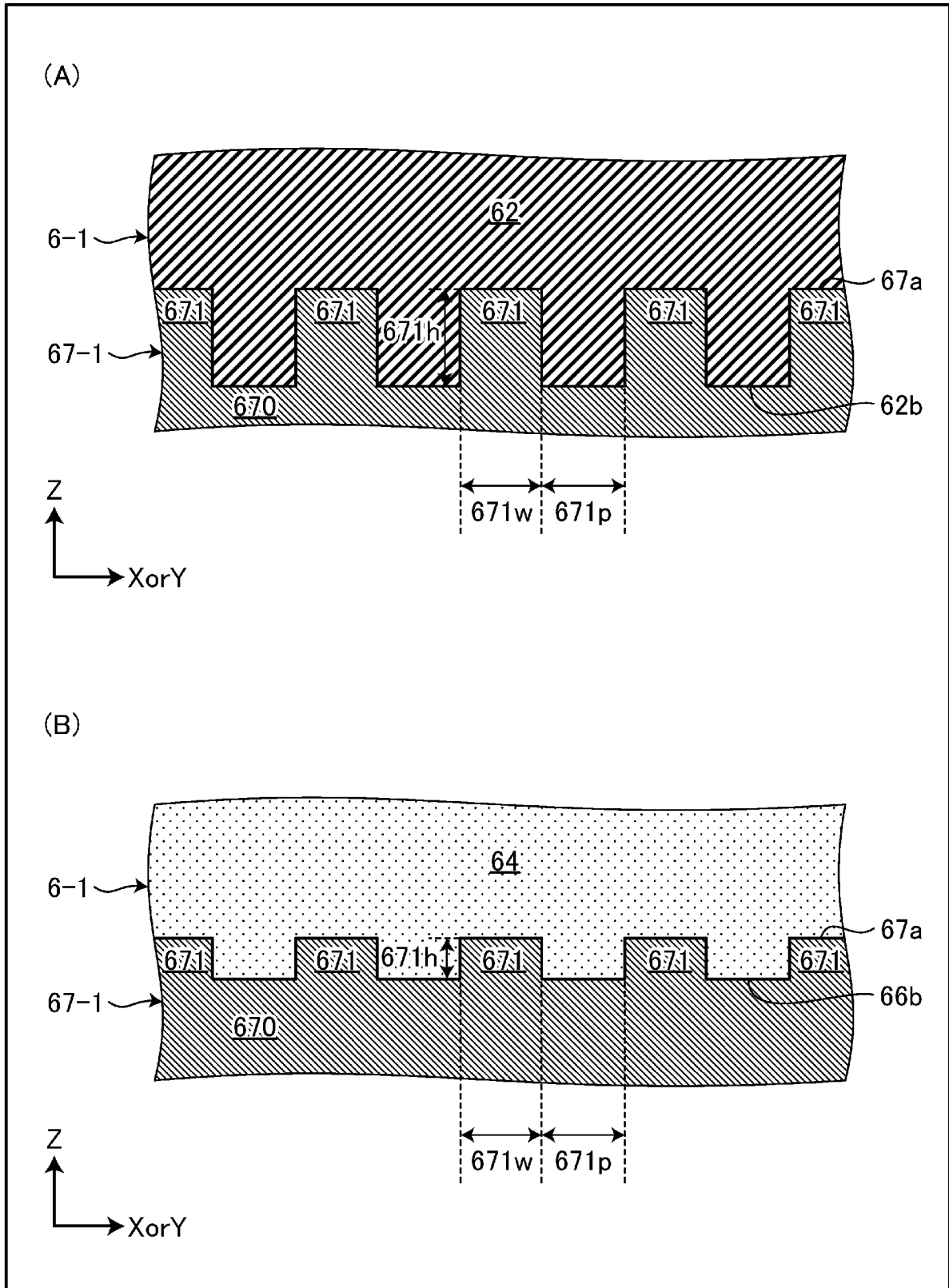
[図222]



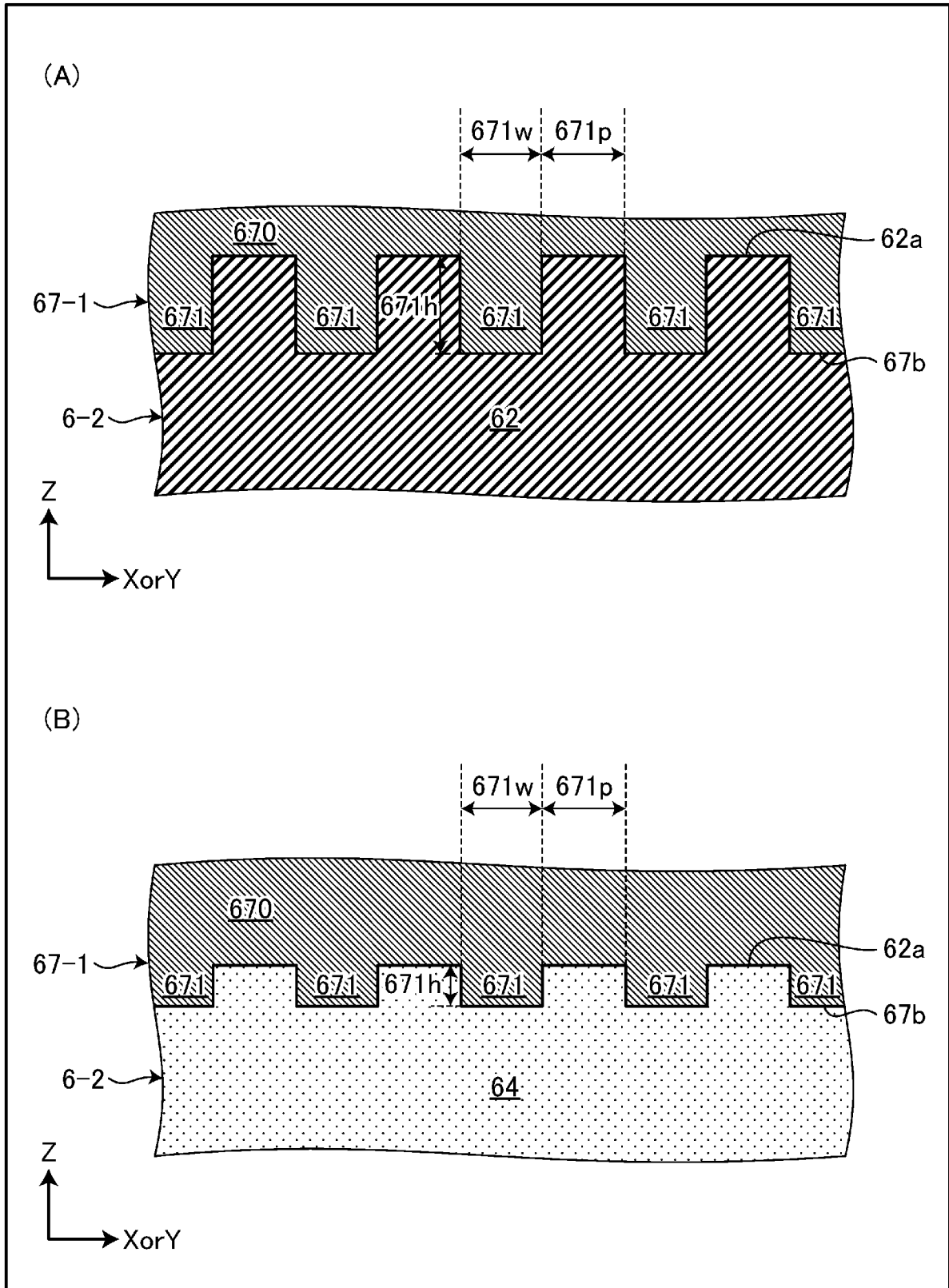
[図223]



[図224]



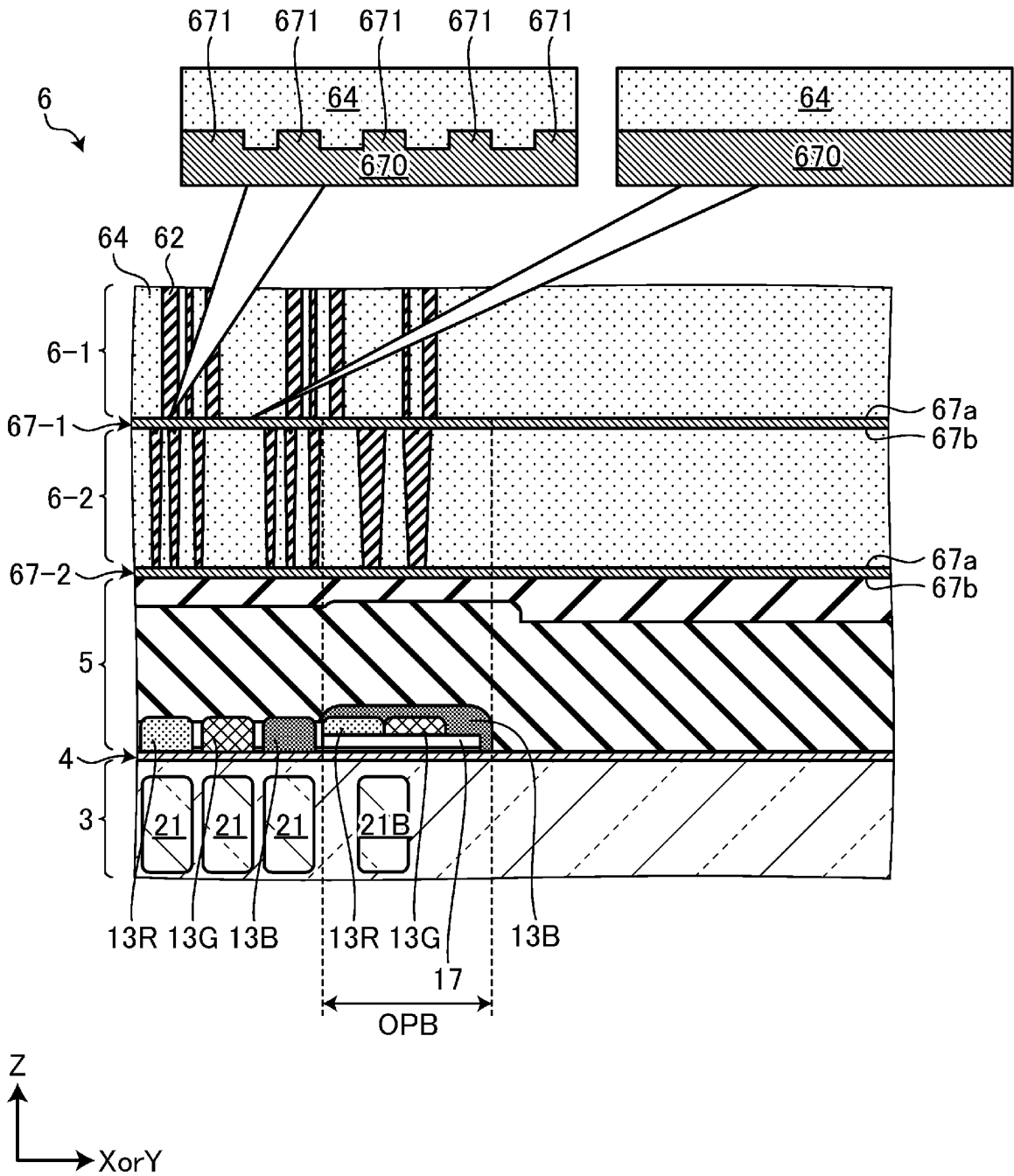
[図225]



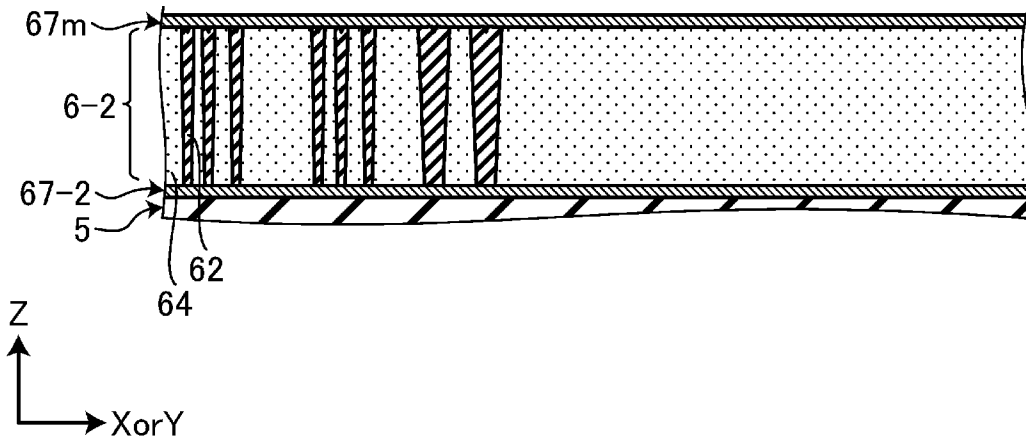
[図226]

	エッチングストップパ層67-1の 上面67a	エッチングストップパ層67-1の 下面67b
組合せ1	均一Pitchの凹凸形状	平坦形状
組合せ2	ランダムPitchの凹凸形状	平坦形状
組合せ3	平坦形状	均一Pitchの凹凸形状
組合せ4	平坦形状	ランダムPitchの凹凸形状
組合せ5	均一Pitchの凹凸形状	均一Pitchの凹凸形状
組合せ6	均一Pitchの凹凸形状	ランダムPitchの凹凸形状
組合せ7	ランダムPitchの凹凸形状	均一Pitchの凹凸形状
組合せ8	ランダムPitchの凹凸形状	ランダムPitchの凹凸形状

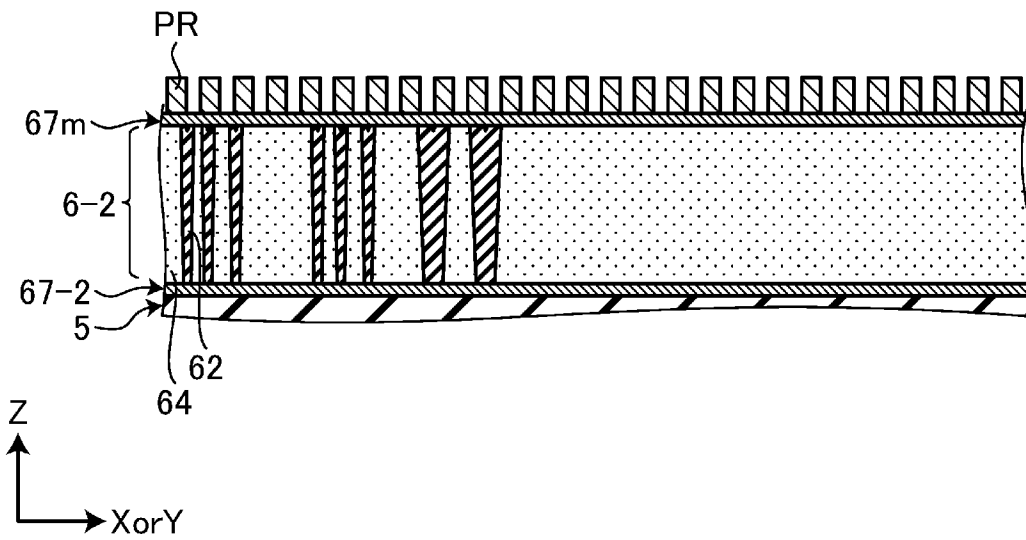
[図227]



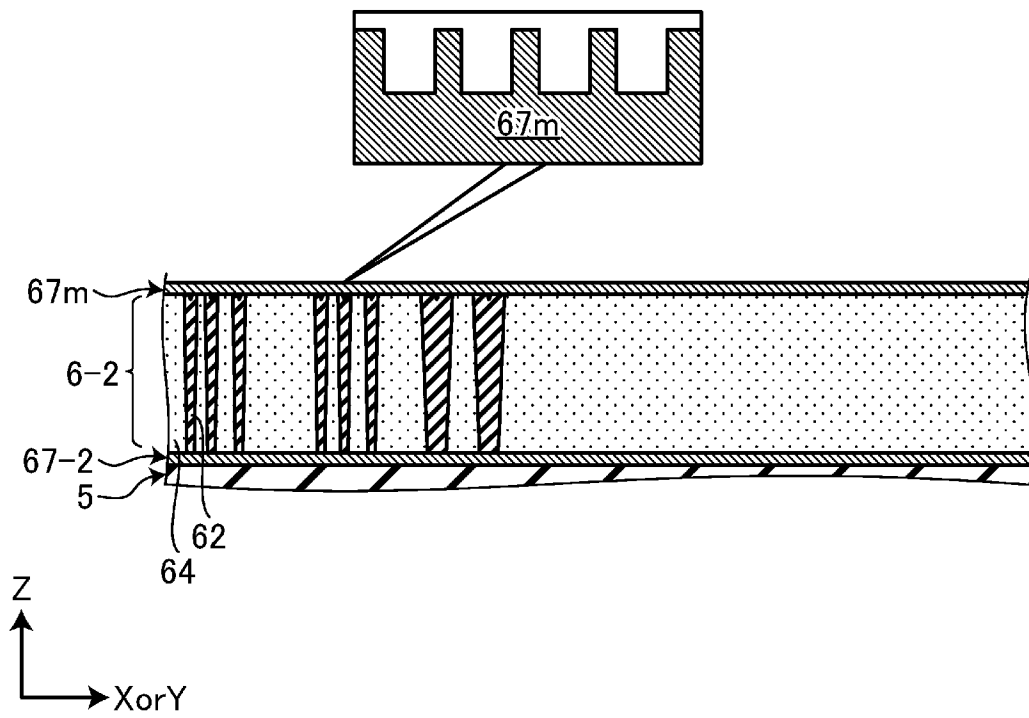
[図228]



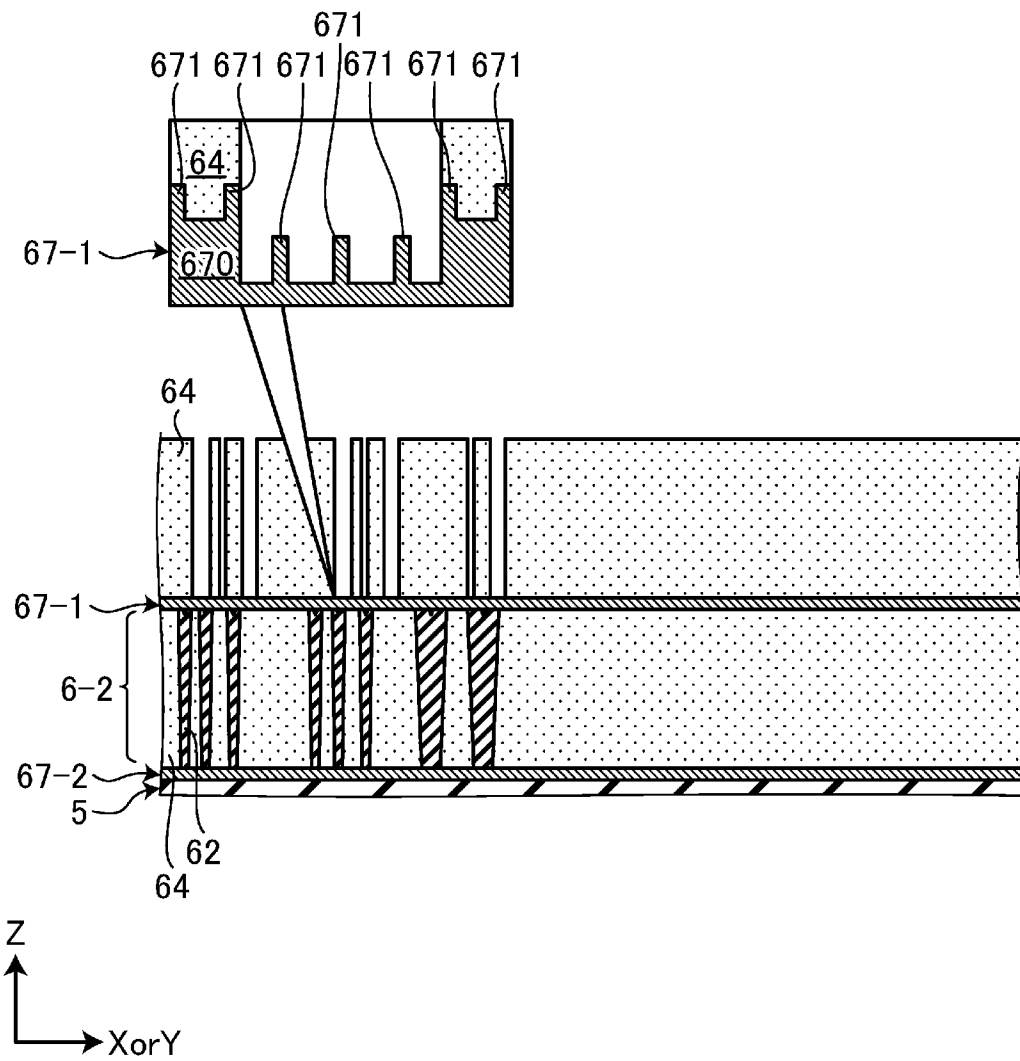
[図229]



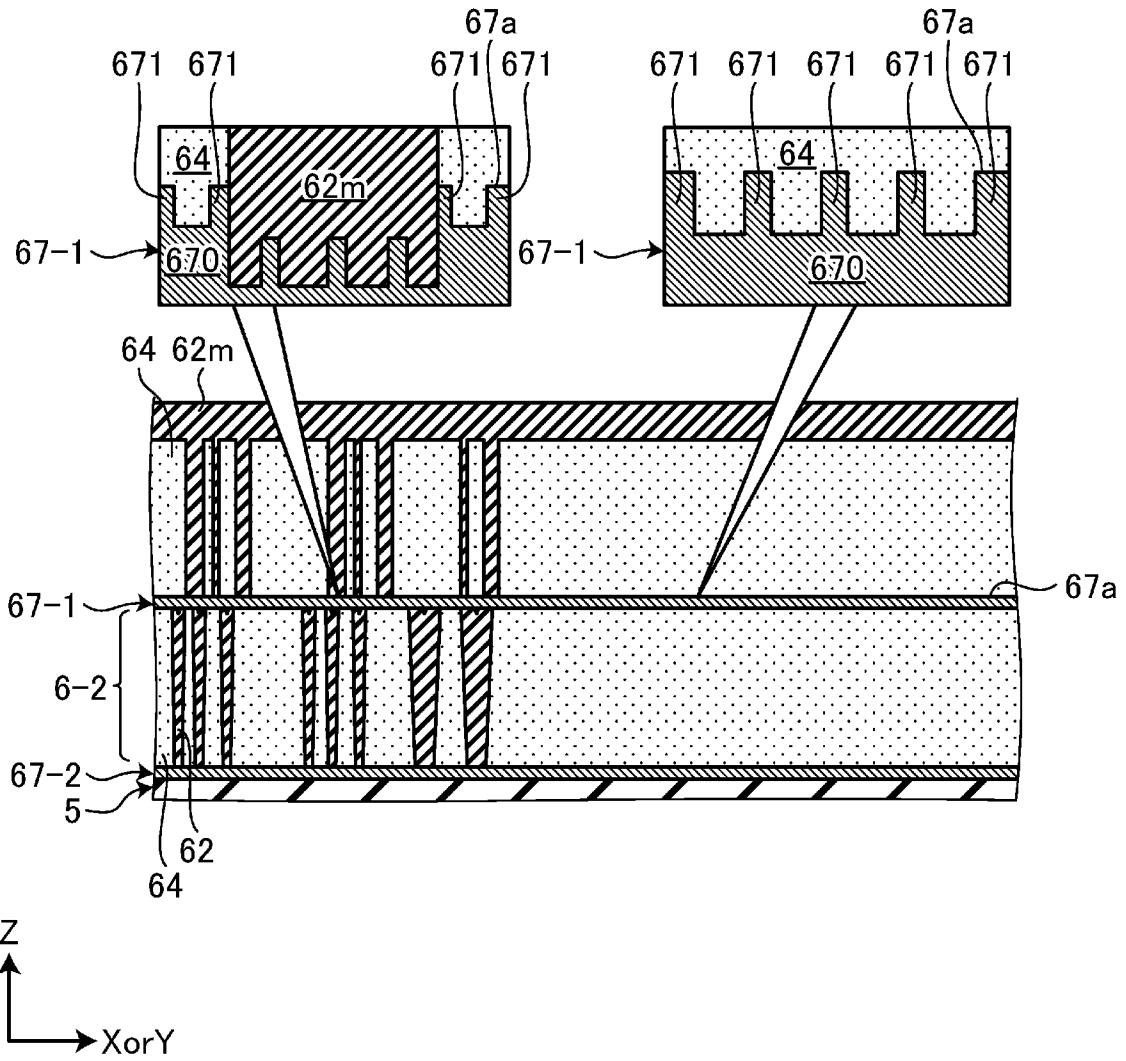
[図230]



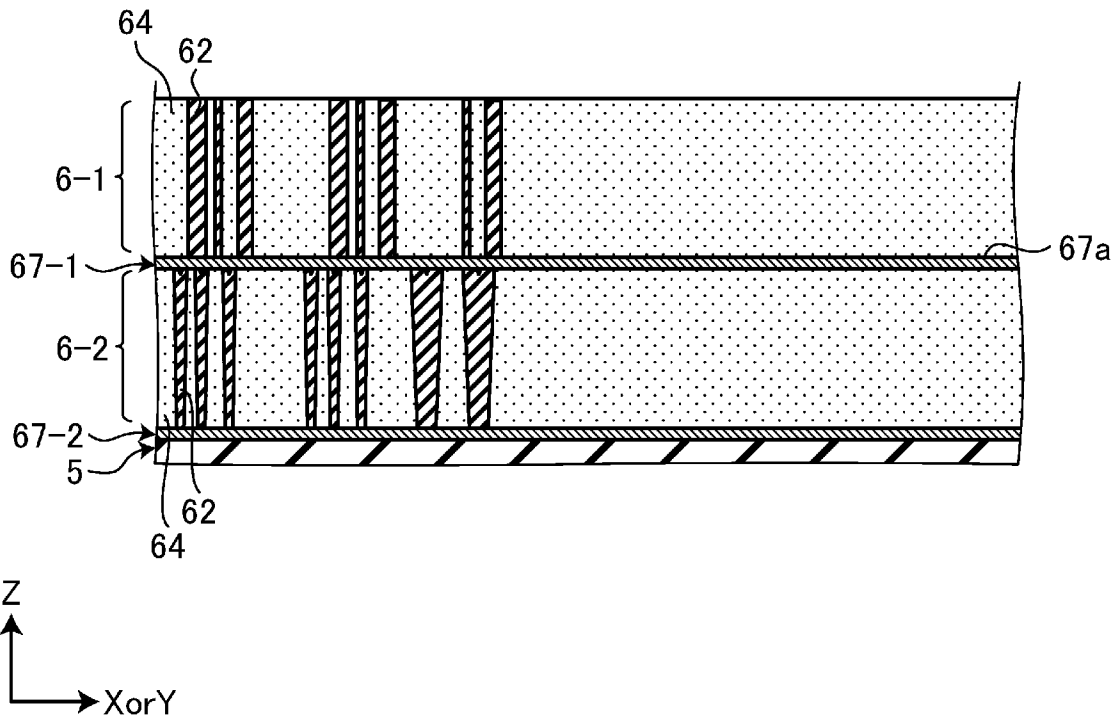
[図231]



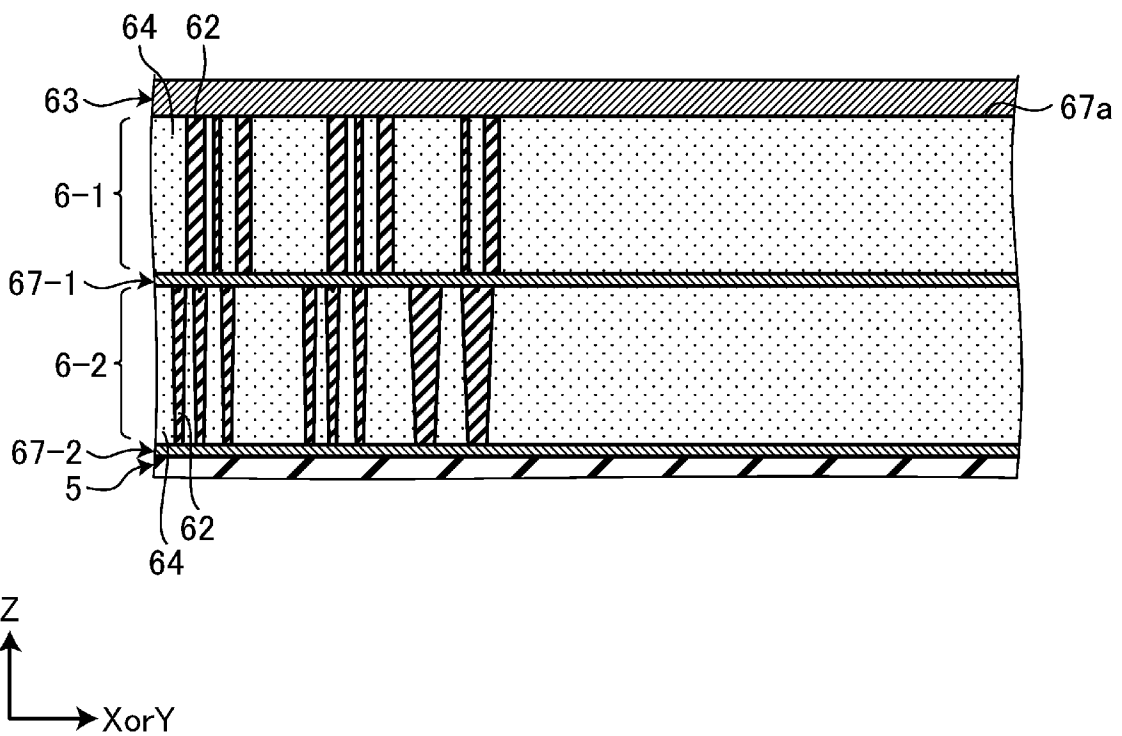
[図232]



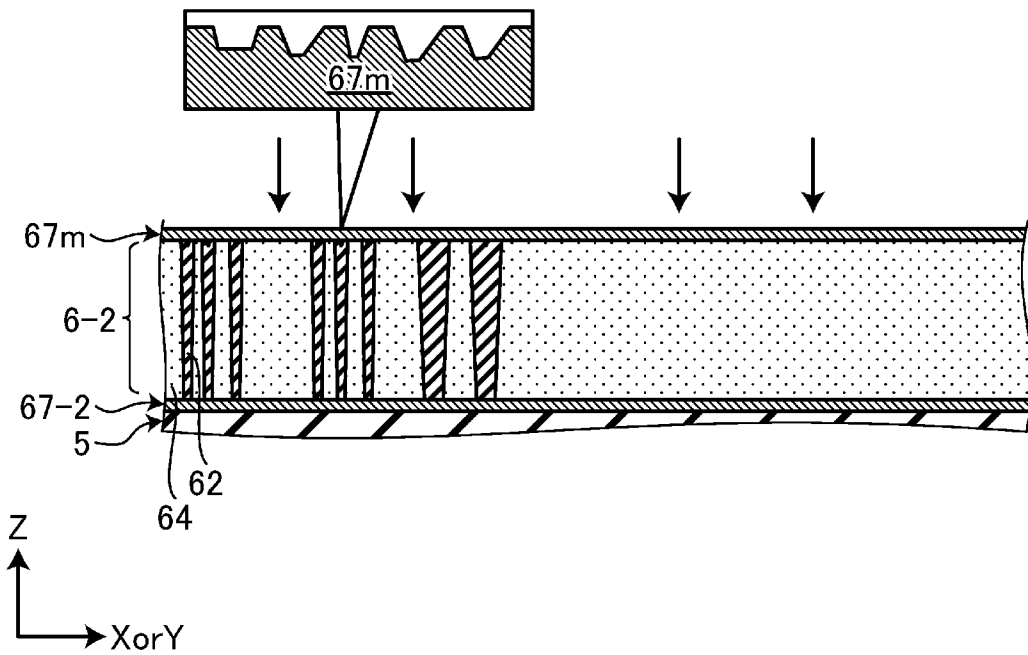
[図233]



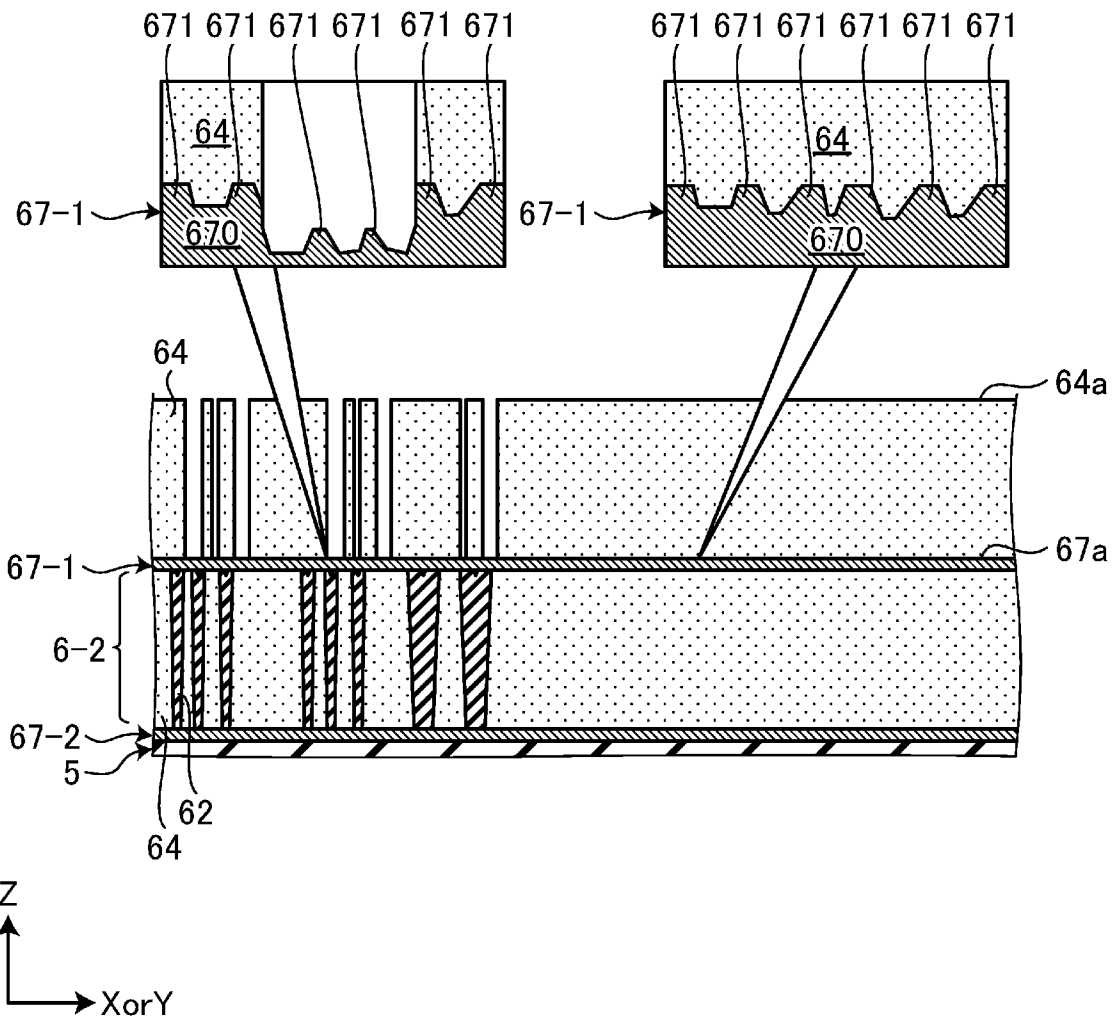
[図234]



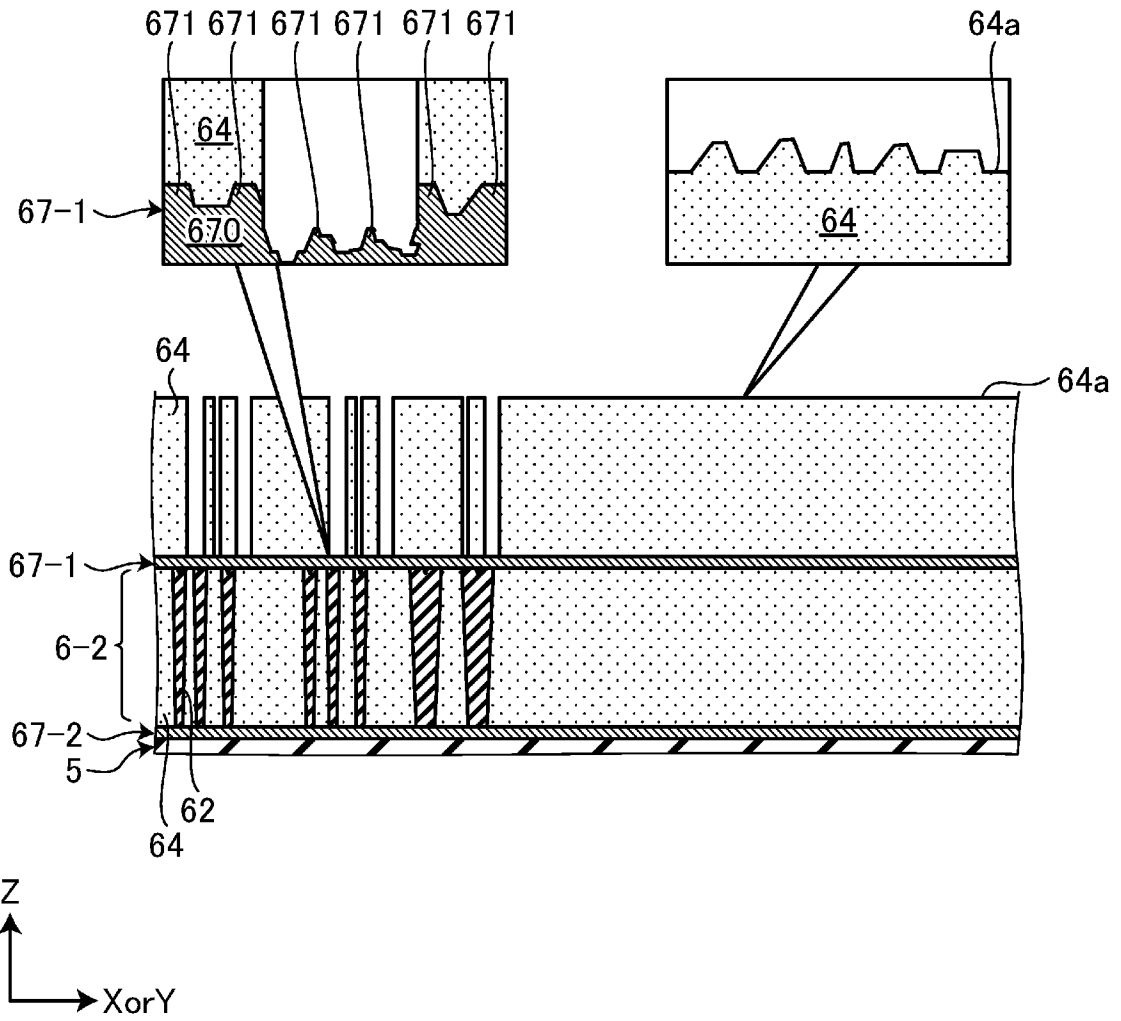
[図235]



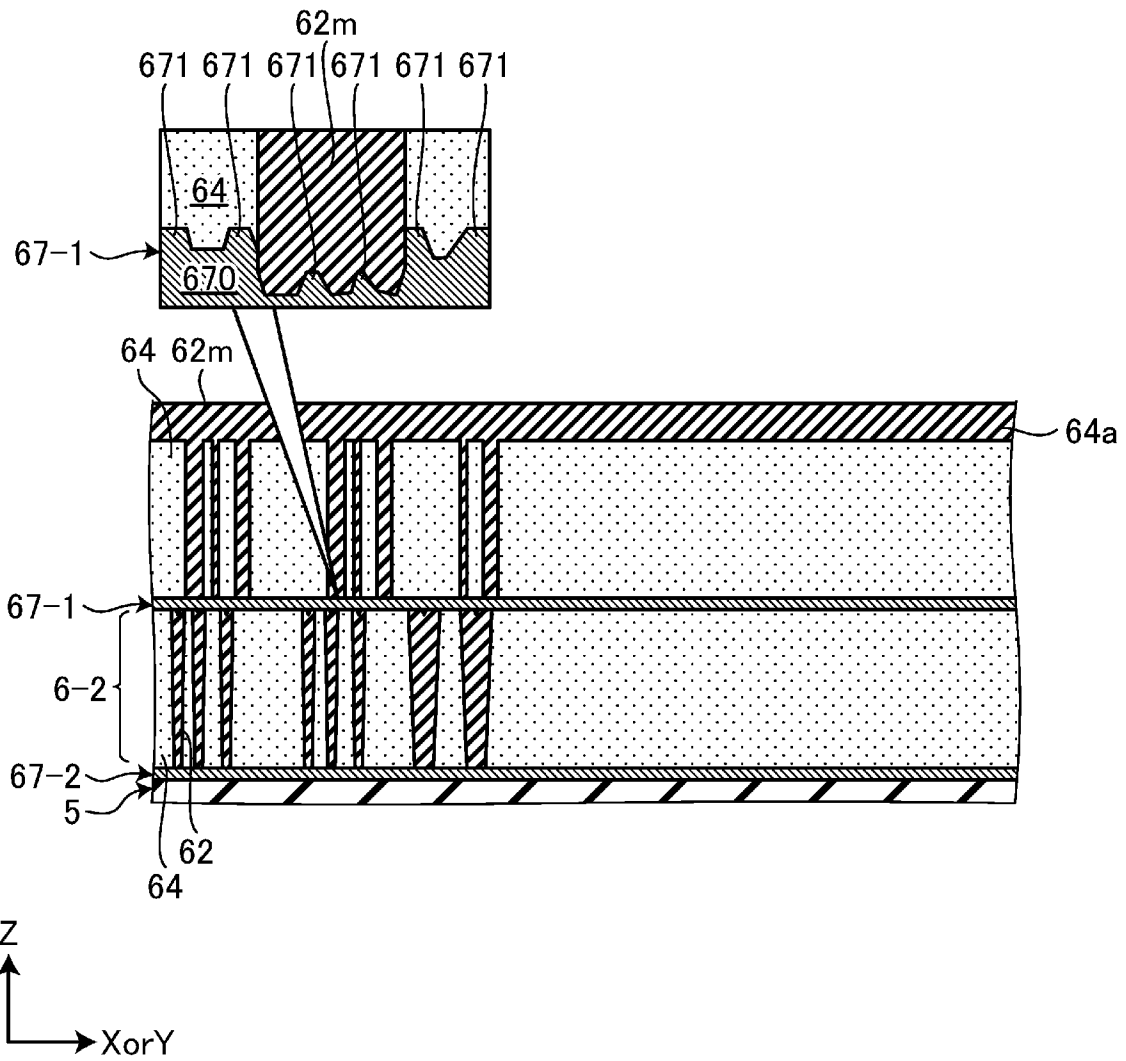
[図236]



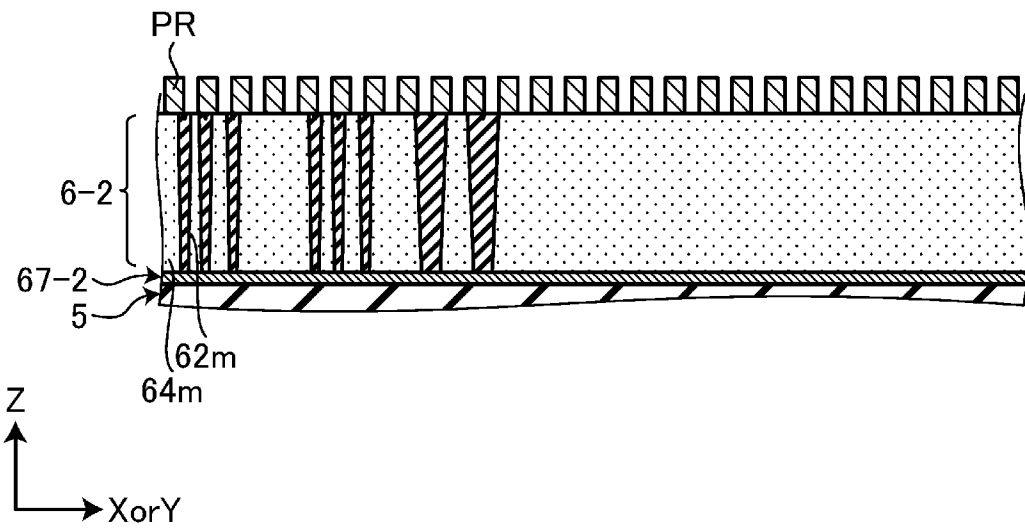
[図237]



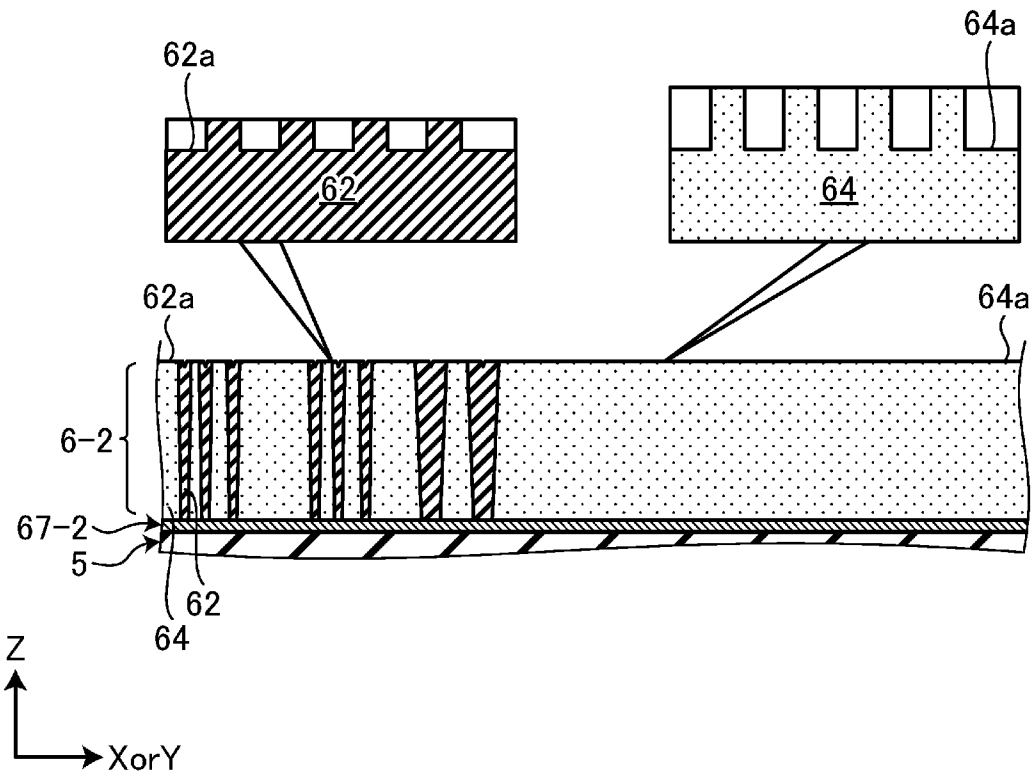
[図238]



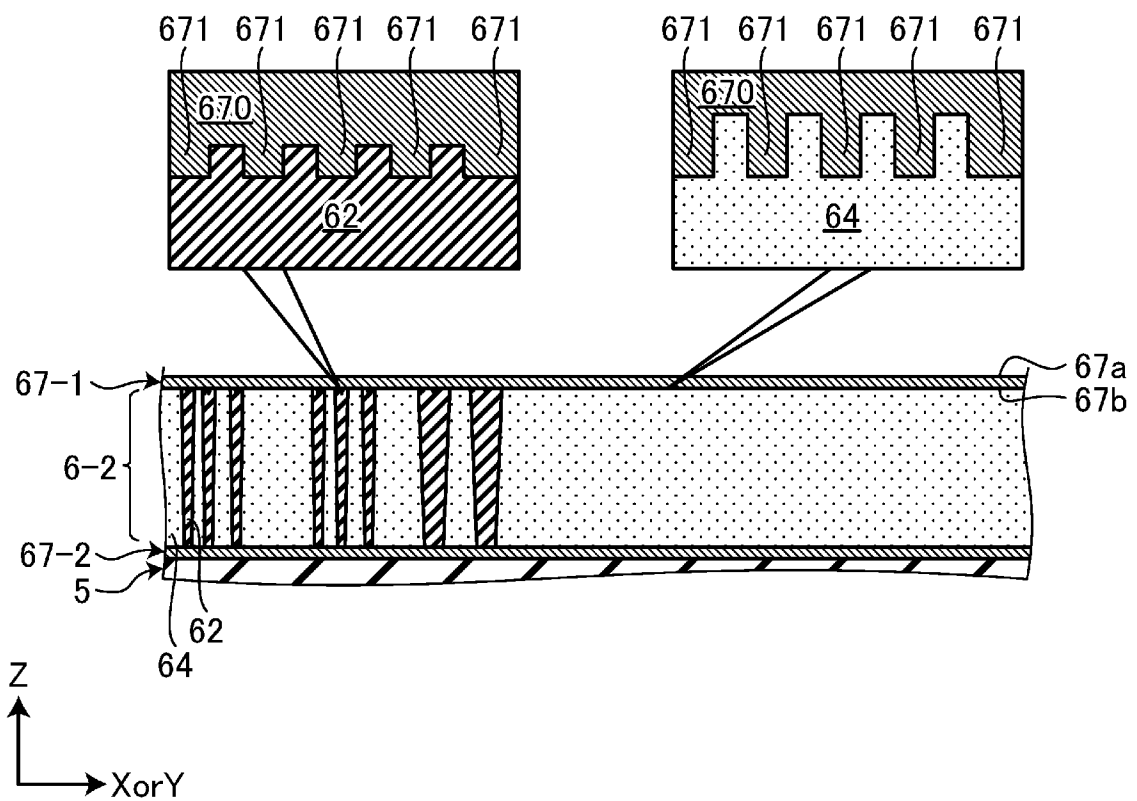
[図239]



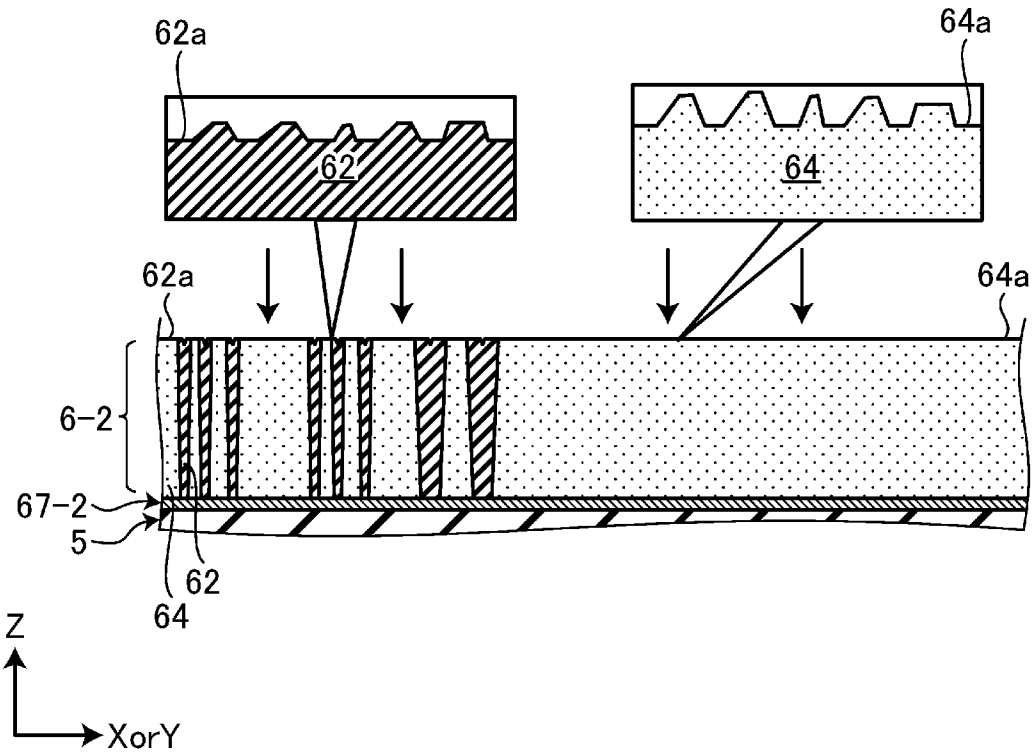
[図240]



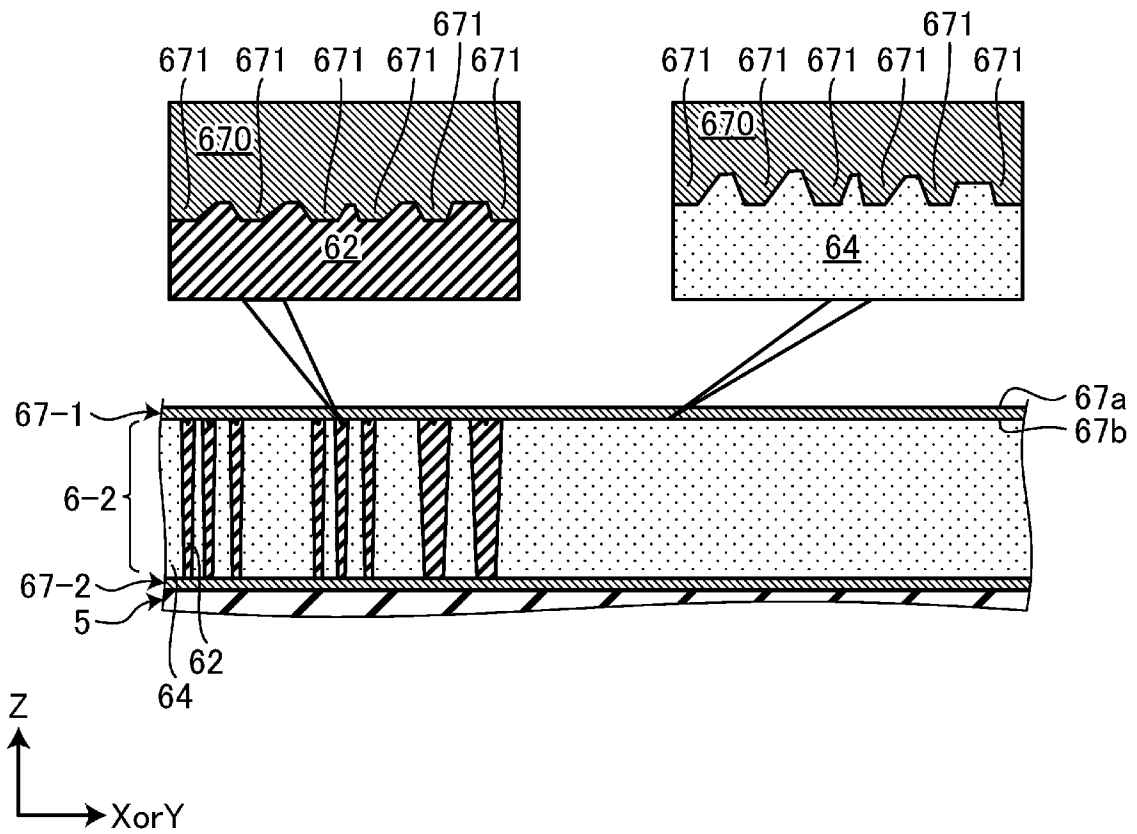
[図241]



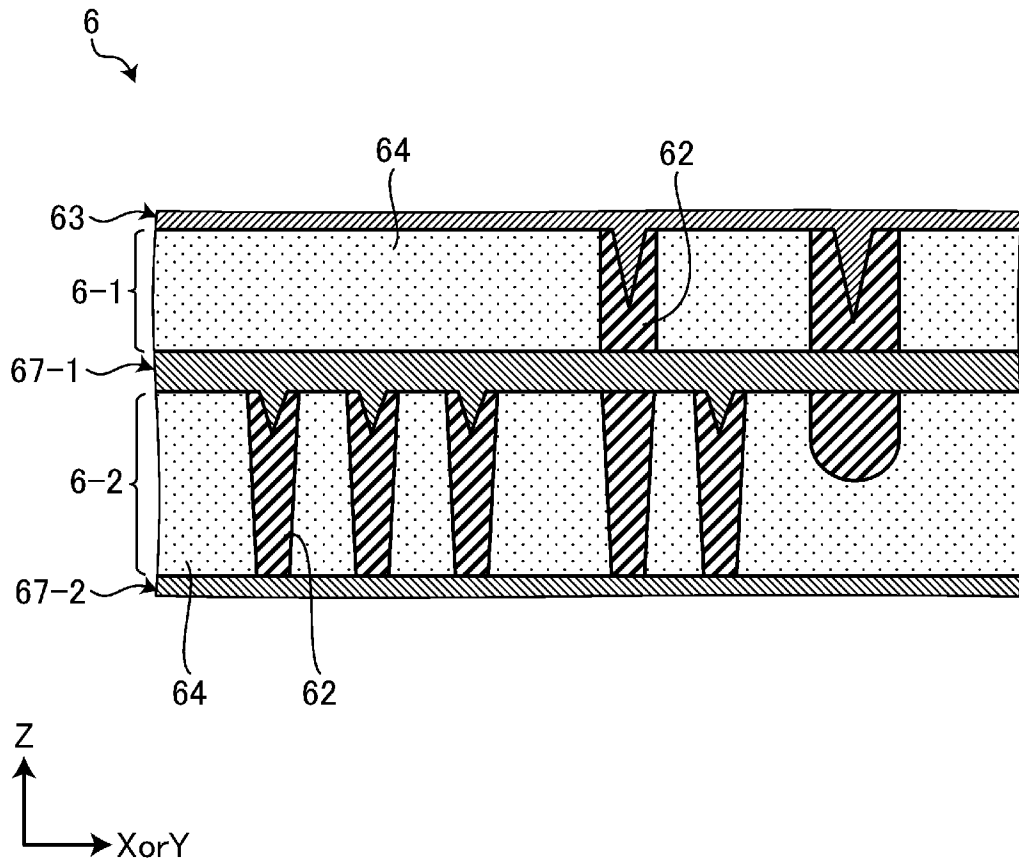
[図242]



[図243]



[図244]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/047168

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01L 27/146</i> (2006.01)i; <i>G02B 1/113</i> (2015.01)i; <i>G02B 5/18</i> (2006.01)i FI: H01L27/146 D; G02B1/113; G02B5/18		
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) H01L27/146; G02B1/113; G02B5/18		
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.
X Y A	JP 2009-266900 A (PANASONIC CORPORATION) 12 November 2009 (2009-11-12) paragraphs [0039]-[0085], fig. 1, 2, 6, 7	8, 10, 13, 24, 25, 28-30, 32-36 1-7, 11, 12, 14, 17-23, 26, 27, 37, 41-59, 62, 64, 65 9, 15, 16, 31, 38- 40, 60, 61, 63
Y	JP 2019-132905 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 08 August 2019 (2019-08-08) paragraphs [0018]-[0060], fig. 13, 14	1-7, 41-50, 56, 59, 62, 64, 65
Y	WO 2020/054571 A1 (DAI NIPPON PRINTING CO., LTD.) 19 March 2020 (2020-03-19) paragraphs [0060], [0080], fig. 8, 12	11, 12, 14
Y	JP 2020-537193 A (METALENZ, INC.) 17 December 2020 (2020-12-17) paragraphs [0122]-[0134], fig. 1G, 5	17-23, 26, 27, 37, 51-58, 62
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 15 March 2024		Date of mailing of the international search report 26 March 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

International application No.

PCT/JP2023/047168

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-328096 A (RICOH CO., LTD.) 20 December 2007 (2007-12-20) paragraph [0068], fig. 13	20, 21
Y	WO 2009/063636 A1 (PANASONIC CORPORATION) 22 May 2009 (2009-05-22) paragraphs [0033], [0034], fig. 15	41-45
Y	JP 2004-163892 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 10 June 2004 (2004-06-10) paragraphs [0027], [0028], fig. 2	46-50
Y	JP 2022-074089 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 17 May 2022 (2022-05-17) paragraphs [0074]-[0082], fig. 10	65

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/047168

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2009-266900	A	12 November 2009	(Family: none)	
JP	2019-132905	A	08 August 2019	(Family: none)	
WO	2020/054571	A1	19 March 2020	JP	2020-44670 A
JP	2020-537193	A	17 December 2020	US	2019/0064532 A1 paragraphs [0222]-[0231], fig. 1G, 5
				WO	2019/046827 A1
				EP	3676973 A1
				KR	10-2020-0047612 A
				CA	3074566 A
JP	2007-328096	A	20 December 2007	(Family: none)	
WO	2009/063636	A1	22 May 2009	US	2010/0046236 A1 paragraphs [0069], [0070], fig. 15
				CN	101578537 A
JP	2004-163892	A	10 June 2004	US	2006/0146408 A1 paragraphs [0049], [0050], fig. 2
				WO	2004/027464 A1
				EP	1542043 A1
				CA	2465085 A
				KR	10-2005-0053522 A
JP	2022-074089	A	17 May 2022	US	2022/0139994 A1 paragraphs [0123]-[0131], fig. 10
				EP	3993406 A1
				KR	10-2022-0058389 A
				CN	114447008 A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 27/146(2006.01)i; G02B 1/113(2015.01)i; G02B 5/18(2006.01)i FI: H01L27/146 D; G02B1/113; G02B5/18		
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）） H01L27/146; G02B1/113; G02B5/18 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
X Y A	JP 2009-266900 A (パナソニック株式会社) 12.11.2009 (2009 - 11 - 12) [0039]-[0085], 図1, 2, 6, 7	8, 10, 13, 24, 25, 28-30, 32-36 1-7, 11, 12, 14, 17-23, 26, 27, 37, 41-59, 62, 64, 65 9, 15, 16, 31, 38-40, 60, 61, 63
Y	JP 2019-132905 A (三菱電機株式会社) 08.08.2019 (2019 - 08 - 08) [0018]-[0060], 図13, 14	1-7, 41-50, 56, 59, 62, 64, 65
Y	WO 2020/054571 A1 (大日本印刷株式会社) 19.03.2020 (2020 - 03 - 19) [0060], [0080], 図8, 12	11, 12, 14
Y	JP 2020-537193 A (メタレンズ, インコーポレイテッド) 17.12.2020 (2020 - 12 - 17) [0122]-[0134], 図1G, 5	17-23, 26, 27, 37, 51-58, 62
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 “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 15. 03. 2024	国際調査報告の発送日 26. 03. 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） 加藤 俊哉 5F 9554 電話番号 03-3581-1101 内線 3516	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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	JP 2007-328096 A (株式会社リコー) 20.12.2007 (2007 - 12 - 20) [0068], 図13	20, 21
Y	WO 2009/063636 A1 (パナソニック株式会社) 22.05.2009 (2009 - 05 - 22) [0033]-[0034], 図15	41-45
Y	JP 2004-163892 A (住友電気工業株式会社) 10.06.2004 (2004 - 06 - 10) [0027]-[0028], 図2	46-50
Y	JP 2022-074089 A (三星電子株式会社) 17.05.2022 (2022 - 05 - 17) [0074]-[0082], 図10	65

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/JP2023/047168

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2009-266900 A	12.11.2009	(ファミリーなし)	
JP 2019-132905 A	08.08.2019	(ファミリーなし)	
WO 2020/054571 A1	19.03.2020	JP 2020-44670 A	
JP 2020-537193 A	17.12.2020	US 2019/0064532 A1 [0222]-[0231], FIGS. 1G, 5 WO 2019/046827 A1 EP 3676973 A1 KR 10-2020-0047612 A CA 3074566 A	
JP 2007-328096 A	20.12.2007	(ファミリーなし)	
WO 2009/063636 A1	22.05.2009	US 2010/0046236 A1 [0069]-[0070], FIG. 15 CN 101578537 A	
JP 2004-163892 A	10.06.2004	US 2006/0146408 A1 [0049]-[0050], FIG. 2 WO 2004/027464 A1 EP 1542043 A1 CA 2465085 A KR 10-2005-0053522 A	
JP 2022-074089 A	17.05.2022	US 2022/0139994 A1 [0123]-[0131], FIG. 10 EP 3993406 A1 KR 10-2022-0058389 A CN 114447008 A	