

(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
2014 年 1 月 9 日(09.01.2014)



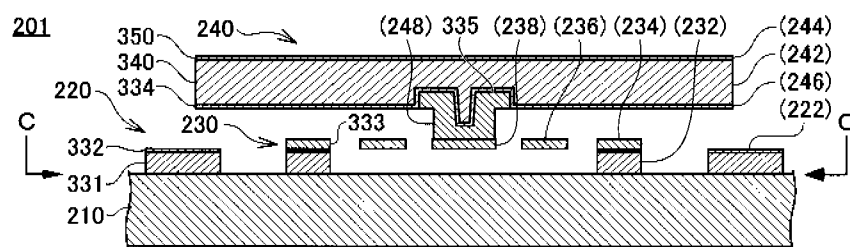
(10) 国際公開番号

WO 2014/006831 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 26/08 (2006.01) *B81B 3/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/003816
- (22) 国際出願日: 2013 年 6 月 19 日(19.06.2013)
- (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 2012-148813 2012 年 7 月 2 日(02.07.2012) JP
- (71) 出願人: 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目
1 2 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 鈴木 純児(SUZUKI, Junji); 〒1008331 東
京都千代田区有楽町一丁目 1 2 番 1 号 株式会
社ニコン内 Tokyo (JP). 鈴木 美彦(SUZUKI,
Yoshihiko); 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁
目 1 2 番 1 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 龍華国際特許業務法人(RYUKA IP LAW
FIRM); 〒1631522 東京都新宿区西新宿 1-6-
1 新宿エルタワー 2 2 階 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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,
SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: SPATIAL LIGHT MODULATOR AND EXPOSURE APPARATUS

(54) 発明の名称: 空間光変調器および露光装置



(57) Abstract: This spatial light modulator is provided with: a substrate; a fixed electrode disposed on the surface of the substrate; a connecting section, which has one end thereof connected to the surface; a movable section, which is connected to the other end of the connecting section, and which swings with respect to the substrate due to elastic deformation of the connecting section; a supporting post section, which extends in the thickness direction of the substrate with one end of the supporting post section connected to the movable section, and which integrally swings with the movable section; a reflecting member, which is connected to the other end of the supporting post section, and which has a reflecting surface that integrally swings with the movable section and the supporting post section; a movable electrode, which is disposed on the surface of the reflecting member, said surface facing the fixed electrode; and a conductor layer, which is disposed to the supporting post section with a film thickness larger than that of the movable electrode, and which electrically connects between the movable section and the movable electrode.

(57) 要約: 空間光変調器であって、基板と、基板の表面に配された固定電極と、表面に一端を連結された連結部と、連結部の他端に連結されて、連結部の弾性変形により基板に対して揺動する可動部と、可動部に一端を結合されて基板の厚さ方向に延在し、可動部と一体的に揺動する支柱部と、支柱部の他端に結合され、可動部および支柱部と一体的に揺動する反射面を有する反射部材と、反射部材において固定電極に対向する面に配された可動電極と、可動電極の膜厚よりも大きな膜厚を有して支柱部に配され、可動部および可動電極の間を電氣的に結合する導体層とを備える。

明 細 書

発明の名称：空間光変調器および露光装置

技術分野

[0001] 本発明は、空間光変調器および露光装置に関する。

背景技術

[0002] リソグラフィ技術により製造され、捩じりヒンジで支持されたミラーを静電力で駆動する空間光変調器がある（特許文献1参照）。

〔特許文献1〕 特開平09-101467号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0003] 空間光変調器は、基板から浮いたミラーを支持する立体的な構造を有するので、製造過程において、基板からミラーに至る良好な電氣的結合が形成されない場合がある。

課題を解決するための手段

[0004] 本発明の第一態様によると、基板と、基板の表面に配された固定電極と、表面に一端を連結された連結部と、連結部の他端に連結されて、連結部の弾性変形により基板に対して揺動する可動部と、可動部に一端を結合されて基板の厚さ方向に延在し、可動部と一体的に揺動する支柱部と、支柱部の他端に結合され、可動部および支柱部と一体的に揺動する反射面を有する反射部材と、反射部材において固定電極に対向する面に配された可動電極と、可動電極の膜厚よりも大きな膜厚を有して支柱部に配され、可動部および可動電極の間を電氣的に結合する導体層とを備える空間光変調器が提供される。

[0005] 本発明の第二態様によると、基板と、基板の表面に配された固定電極と、表面に一端を連結された連結部と、連結部の他端に連結されて、連結部の弾性変形により基板に対して揺動する可動部と、半導体層を含み、可動部と一体的に揺動する反射面を有する反射部材と、前途半導体層に隣接する金属層と、半導体層および金属層をオーミック接合するオーミック接合部とを備え

る空間光変調器が提供される。

[0006] 本発明の第三態様によると、基板と、基板の表面に一端を連結された連結部と、連結部の他端に連結されて、連結部の弾性的な捩じれ変形により連結部を揺動軸として基板に対して揺動する可動部と、可動部と一体的に揺動する反射部材と、反射部材において表面に対向する面に配された可動電極と、表面において、連結部および可動部に遮られることなく可動電極に対向する領域に配された固定電極とを備える空間光変調器が提供される。

[0007] 本発明の第四態様として、上記空間光変調器を備える露光装置が提供される。

[0008] 上記の発明の概要は、本発明の必要な特徴の全てを列挙したものではない。また、これらの特徴群のサブコンビネーションも発明となり得る。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]空間光変調器 100の外観を示す模式図である。

[図2]空間光変調素子 200 単独の外観を示す斜視図である。

[図3]空間光変調素子 200 の分解斜視図である。

[図4]空間光変調素子 200 の断面図である。

[図5]空間光変調素子 200 の断面図である。

[図6]空間光変調素子 200 の断面図である。

[図7]空間光変調素子 200 の断面図である。

[図8]製造過程における空間光変調素子 200 の断面図である。

[図9]製造過程における空間光変調素子 200 の断面図である。

[図10]製造過程における空間光変調素子 200 の断面図である。

[図11]製造過程における空間光変調素子 200 の断面図である。

[図12]製造過程における空間光変調素子 200 の断面図である。

[図13]製造過程における空間光変調素子 200 の断面図である。

[図14]製造過程における空間光変調素子 200 の断面図である。

[図15]製造過程における空間光変調素子 200 の断面図である。

[図16]製造過程における空間光変調素子 200 の断面図である。

[図17]製造過程における空間光変調素子200の断面図である。

[図18]製造過程における空間光変調素子200の断面図である。

[図19]製造過程における空間光変調素子200の断面図である。

[図20]製造過程における空間光変調素子200の断面図である。

[図21]製造過程における空間光変調素子200の断面図である。

[図22]製造過程における空間光変調素子200の断面図である。

[図23]空間光変調素子201の断面図である。

[図24]製造過程における空間光変調素子201の断面図である。

[図25]製造過程における空間光変調素子201の断面図である。

[図26]製造過程における空間光変調素子201の断面図である。

[図27]製造過程における空間光変調素子201の断面図である。

[図28]製造過程における空間光変調素子201の断面図である。

[図29]製造過程における空間光変調素子201の断面図である。

[図30]空間光変調素子201の断面図である。

[図31]製造過程における空間光変調素子202の断面図である。

[図32]製造過程における空間光変調素子202の断面図である。

[図33]製造過程における空間光変調素子202の断面図である。

[図34]製造過程における空間光変調素子202の断面図である。

[図35]製造過程における空間光変調素子202の断面図である。

[図36]空間光変調素子202の断面図である。

[図37]製造過程における空間光変調素子203の断面図である。

[図38]製造過程における空間光変調素子203の断面図である。

[図39]製造過程における空間光変調素子203の断面図である。

[図40]製造過程における空間光変調素子203の断面図である。

[図41]空間光変調素子203の断面図である。

[図42]空間光変調素子204の断面図である。

[図43]空間光変調素子205の断面図である。

[図44]空間光変調素子206の断面図である。

[図45]露光装置400の模式図である。

[図46]露光装置400における空間光変調器100の動作を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は請求の範囲に係る発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

[0011] 図1は、空間光変調器100の外観を示す模式的斜視図である。空間光変調器100は、基板210および反射部240を備える。

[0012] 複数の反射部240は、基板210上に二次元的に配列されてマトリクスを形成する。反射部240のそれぞれは、一辺数 μm から百数十 μm 程度の正方形の反射面を有し、基板210に対して個別に揺動する空間光変調素子200の一部をなす。

[0013] 図示のように、反射部240が相互に異なる揺動を生じて傾斜した状態で空間光変調器100に光を反射させると、反射光に照度分布が生じる。よって、反射部240の揺動を制御することにより、反射光に様々な照度分布を形成できる。

[0014] 図2は、単一の空間光変調素子200を取り出して示す斜視図である。空間光変調素子200は、基板210の上に2層に積層された構造物を有する。

[0015] 基板210上の構造物の下層側は、遮蔽板222および支柱224を含む遮蔽部220を有する。遮蔽板222は、空間光変調素子200の四辺に沿って配される。支柱224は、基板210上に遮蔽板222を支持する。これにより、遮蔽板222は、空間光変調素子200を包囲した状態で基板210に対して固定され、空間光変調器100において隣接する空間光変調素子200との電磁的な干渉を防止する。

[0016] また、図1に示した空間光変調器100において複数の空間光変調素子200を隣接して配置した場合に、遮蔽板222は、相互に隣接する反射部2

４０の間から基板２１０に向かって入り込む光を遮断できる。これにより、照射光による基板２１０の加熱を抑制できる。

[0017] 基板２１０上の構造物の上層側は、支持層２４２、反射層２４４および可動電極２４６を含む反射部２４０を有する。支持層２４２は図中上面に平坦面を有して、反射層２４４を支持する。可動電極２４６は、支持層２４２の図中下面に配される。反射部２４０は、基板２１０に対して全体に揺動自在に、基板２１０から支持される。

[0018] 図３は、空間光変調素子２００の構造を示す模式的な分解斜視図である。図１および図２と共通の要素には同じ参照番号を付して重複する説明を省く。

[0019] 空間光変調素子２００は、基板２１０、遮蔽部２２０、ジンバル部２３０および反射部２４０を備える。遮蔽部２２０およびジンバル部２３０は、基板２１０の上面に固定される。反射部２４０は、ジンバル部２３０に対して取り付けられる。

[0020] 基板２１０上には、互いに同じ形状を有する２対の固定電極２１２、２１４が配される。基板２１０は、例えばシリコン単結晶により形成され、固定電極２１２、２１４に駆動電力を供給するＣＭＯＳ回路を含む。固定電極２１２、２１４は、金属等の導電性材料により形成され、基板２１０の四辺と平行に、基板２１０の中心に対して対称に配される。

[0021] 遮蔽部２２０は、基板２１０の四辺に沿って配された遮蔽板２２２と、遮蔽板２２２を支持する支柱２２４とを有する。遮蔽板２２２は、固定電極２１２、２１４が配された領域の外側において、基板２１０の四辺に沿って配される。また、支柱２２４は、基板２１０の表面において、固定電極２１２、２１４が配された領域よりも外側において、基板２１０の四隅に配される。

[0022] なお、空間光変調素子２００における基板２１０は、空間光変調器１００を形成する基板２１０の一部である。よって、基板２１０は図示のような形状を有するわけではないが、単一の空間光変調素子２００に着目した場合、

当該空間光変調素子 200 が占有する基板 210 の形状は、図示のように、反射部 240 よりも僅かに大きな矩形になる。

[0023] ジンバル部 230 は、支柱 232、固定枠 234、可動枠 236 および揺動部 238 を有して、基板 210 の表面において固定電極 212、214 が配された領域の内側に配される。支柱 232 は、ジンバル部 230 自体の四隅において、固定枠 234 を基板 210 に対して固定する。

[0024] 可動枠 236 は、固定枠 234 と同心に固定枠 234 の内側に配され、振り軸部 235 により固定枠 234 に結合される。可動枠 236 は、振り軸部 235 の弾力的な振り変形により、固定枠 234 に対して揺動する。

[0025] 揺動部 238 は、固定枠 234 および可動枠 236 と同心に可動枠 236 の内側に配され、振り軸部 237 により可動枠 236 に結合される。揺動部 238 は、振り軸部 237 の弾力的な振り変形により、可動枠 236 に対して揺動する。よって、可動枠 236 自体の揺動と、可動枠 236 に対する揺動部 238 の揺動とを組み合わせることにより、揺動部 238 を、基板 210 に対して任意の方向に傾けることができる。

[0026] なお、揺動部 238 は、振り軸部 235、237 の弾性変形により揺動する。よって、可動枠 236 を固定枠 234 に対して揺動させる振り軸部 235 と、揺動部 238 を可動枠 236 に対して揺動させる振り軸部 237 とは、同じ材料、同じ形状および同じ寸法で形成されていることが好ましい。これにより、揺動部 238 を揺動させる場合の負荷が安定し、空間光変調素子 200 の制御性が向上される。

[0027] 反射部 240 は、可動電極 246 が設けられた支持層 242 の下面中央に、支柱 248 を有する。上端を支持層 242 に結合された支柱 248 の下端は、ジンバル部 230 の揺動部 238 に結合される。これにより、反射部 240 を、基板 210 に対して任意の方向に傾けることができる状態で、基板 210 上に支持できる。

[0028] なお、上記空間光変調素子 200 において、ジンバル部 230 は、基板 210 に対して、遮蔽部 220 と同じ高さに配される。よって、リソグラフィ

技術により空間光変調素子 200 を製造する場合は、ジンバル部 230 と遮蔽部 220 とを並行して形成できる。

[0029] 遮蔽部 220 は電磁遮蔽機能をもたせる目的で、また、ジンバル部 230 は、基板 210 上の回路と可動電極とを電氣的に導通させる目的で、いずれも導体により形成することが好ましい。よって、遮蔽部 220 およびジンバル部 230 は、TiAl 合金等の金属のように導電性材料により形成することが好ましい。

[0030] 一方、反射部 240 の支持層 242 は、剛性が高く軽量であることが好ましい。よって、例えば、薄膜として体積させた酸化物、窒化物、炭化物により形成できる。更に、アモルファスシリコンにより支持層 242 を形成してもよい。アモルファスシリコンは、厚い薄膜を低温で成膜できるので、既存の構造物にダメージを与えることなく、軽量でありながら曲げ剛性の高い支持層 242 を形成できる。

[0031] 反射層 244 は、支持層 242 上に薄膜として積層した金属膜、誘電体多層膜等により形成できる。反射層 244 を形成する場合は、下地となる支持層 242 の表面を予め鏡面研磨して高精度に平坦化してもよい。

[0032] 可動電極 246 は、金属等の伝導体材料により形成できる。支持層 242 をアモルファスシリコンにより形成した場合には、それ自体を可動電極 246 とすることもできるが、更に、可動電極 246 を金属により形成することにより、電極としての電氣的特性を向上させることができる。また、可動電極 246 を金属製とすることにより、反射部 240 を反らせる原因となる熱応力を支持層 242 の表裏でバランスさせ、反射部 240 の変形を抑制できる。

[0033] 図 4 は、空間光変調素子 200 の模式的断面図であり、図 3 に示した A-A 断面を示す。図 3 と共通の要素には同じ参照番号を付して重複する説明を省く。

[0034] 空間光変調素子 200 の基板 210 上において、遮蔽板 222 は、固定電極 214 よりも縁側に配される。また、ジンバル部 230 は、固定電極 21

4 よりも、基板 2 1 0 の中心寄りに配される。

[0035] よって、遮蔽板 2 2 2、固定枠 2 3 4、可動枠 2 3 6 等が、基板 2 1 0 と垂直な方向について固定電極 2 1 4 と重なることはない。これにより、固定電極 2 1 4 は、図中上方に位置する可動電極 2 4 6 に対して全面で対向する。

[0036] 図 5 は、空間光変調素子 2 0 0 の模式的断面図であり、図 4 と同じ断面において、図中左側に位置する、固定電極 2 1 4 の一方に駆動電力を供給した状態を示す。駆動電力を印加された固定電極 2 1 4 と可動電極 2 4 6 との間には静電力が作用し、可動電極 2 4 6 と共に、反射部 2 4 0 が固定電極 2 1 4 に向かって引きつけられる。これにより、捩じり軸部 2 3 5 が変形して、反射部 2 4 0 は全体に揺動する。

[0037] 図 6 は、空間光変調素子 2 0 0 の模式的断面図であり、図 3 に示した B-B 断面を示す。図 3 と共通の要素には同じ参照番号を付して重複する説明を省く。

[0038] 空間光変調素子 2 0 0 の基板 2 1 0 上において、遮蔽板 2 2 2 は、固定電極 2 1 2 よりも縁側に配される。また、ジンバル部 2 3 0 は、固定電極 2 1 2 よりも、基板 2 1 0 の中心寄りに配される。

[0039] よって、遮蔽板 2 2 2、固定枠 2 3 4、可動枠 2 3 6 等が、基板 2 1 0 と垂直な方向について固定電極 2 1 2 と重なることはない。これにより、固定電極 2 1 2 は、図中上方に位置する可動電極 2 4 6 に対して全面で対向する。

[0040] 図 7 は、空間光変調素子 2 0 0 の模式的断面図であり、図 6 と同じ断面において、図中左側に位置する、固定電極 2 1 2 の一方に駆動電力を供給した状態を示す。駆動電力を印加された固定電極 2 1 2 と可動電極 2 4 6 との間には静電力が作用し、可動電極 2 4 6 と共に、反射部 2 4 0 が固定電極 2 1 2 に向かって引きつけられる。これにより、捩じり軸部 2 3 7 が変形して、反射部 2 4 0 は全体に揺動する。

[0041] 上記のように、空間光変調素子 2 0 0 においては、固定電極 2 1 2、2 1

4のいずれかに駆動電力を印加することにより、反射部240を揺動させることができる。また、固定電極212、214のうち、互いに隣接する一对の固定電極212、214に同時に駆動電力を印加することにより、反射部240の傾き方向を任意に変化させることができる。これにより、空間光変調素子200は、反射部240の反射層244の基板210に対する傾きを電氣的に制御できる。

[0042] また、静電力により駆動する空間光変調素子200においては、固定電極212、214および可動電極246の間隔を、両者が直接に接触し得る間隔よりも広くして、可動電極246が固定電極212、214側に固着するプルイン現象を回避する。空間光変調素子200においては、可動電極246が、基板210から離れた反射部240のした面に配されているので、プルイン現象が生じるまでのマージンが大きい。換言すれば、プルイン現象が生じることなく反射部240を揺動させることができる範囲が広がる。

[0043] 更に、空間光変調素子200においては、捩じり軸部235、237の各々が、固定電極212、214および可動電極246の間に形成される電界の外に配される。よって、静電力の捩じり軸部235、237に対する影響が抑制され、捩じり軸部235、237に吊られた可動枠236、揺動部238および反射部240が静電力により引き下げられることが抑制される。

[0044] また更に、空間光変調素子200においては、基板210の外縁近傍に配された固定電極212、214により反射部240を駆動するので、固定電極212、214に印加した駆動電力により反射部240を効率よく駆動できる。更に、互いに同じ形状と面積を有する固定電極212、214が対称に配されるので、固定電極212、214相互の駆動条件が等しく、反射部240を制御性よく駆動できる。

[0045] 再び図1を参照すると、空間光変調器100においては、個々の空間光変調素子200に印加する駆動電力を制御することにより、複数の反射部240の傾きを個別に制御できる。また、個々の空間光変調素子200において、隣接する他の空間光変調素子200との電磁的な相互干渉を遮蔽部220

が遮断するので、個々の空間光変調素子 200 の動作が安定する。よって、空間光変調器 100 に反射させることにより任意の照射パターンを形成できるので、空間光変調器 100 を、可変光源、露光装置、画像表示装置、光スイッチ等として使用できる。

[0046] 図 8 から図 24 までは、空間光変調素子 200 の製造過程を示す断面図である。

[0047] なお、図 8 から図 23 までは、図 3 に矢印 C で示す断面により描かれている。このため、これらの図に示す断面には、遮蔽部 220 およびジンバル部 230 の支柱 224、232 が現れているが、基板 210 上の固定電極 212、214 およびジンバル部 230 の捩じり軸部 235、237 は現れていない。

[0048] また、図 8 から図 22 までは作製過程を示すので、空間光変調素子 200 において対応する要素が、図 7 までとは異なる形状で含まれている場合がある。そこで、作製過程を示す各図では各要素に固有の参照番号を付与して説明し、図 23 において空間光変調素子 200 が完成した段階で空間光変調素子 200 の要素との対応関係を説明する。

[0049] まず、図 8 に示すように、平坦な基板 210 を用意する。基板 210 の材料としては、シリコン単結晶基板の他、化合物半導体基板、セラミックス基板等、平坦な表面を有する部材を広く使用できる。

[0050] なお、基板 210 には、固定電極 212、214 に駆動電力を供給する CMOS 回路が既に形成されているものとする。また、C-C 断面には現れない固定電極 212、214 は、基板 210 に既に形成されているものとする。

[0051] 固定電極 212、214 は、例えば、アルミニウム、銅等の金属を物理気相析出法、化学気相析出法、鍍金法等で基板 210 に堆積させることにより形成できる。また、基板 210 に堆積させた金属層は、レジストを用いて固定電極 212、214 の形状にパターニングできる。

[0052] 次に、図 9 に示すように、固定電極 212、214 が埋没する厚さまでレ

ジスト材を堆積させて、基板 210 上に第一犠牲層 311 が形成される。第一犠牲層 311 の厚さは、空間光変調素子 200 における遮蔽部 220 およびジンバル部 230 の支柱 224、232 の高さに対応する。第一犠牲層 311 は、スピンコート、スプレイコート等によりレジスト材を塗布してプリベイクすることにより形成できる。これにより、基板 210 の表面が平坦化される。

[0053] 続いて、図 10 に示すように、第一犠牲層 311 をパターニングする。第一犠牲層 311 は、塗布したレジスト材に対して、露光、現像、プリベイク、プリベイクを順次実行することによりパターニングできる。また、プラズマエッチング等のドライエッチング法により、レジスト材を加工してもよい。

[0054] パターニングにより、第一犠牲層 311 には、基板 210 の表面まで貫通するコンタクトホール 321 が形成される。コンタクトホール 321 は、遮蔽部 220 およびジンバル部 230 の支柱 224、232 が配される領域に形成される。

[0055] 次に、図 11 に示すように、金属を堆積させてコンタクトホール 321 を埋めることにより、遮蔽部 220 およびジンバル部 230 の支柱 224、232 の一部となる第一金属層 331 が形成される。第一金属層 331 は、例えば、TiAl 合金等の金属材料を、物理気相析出法、化学気相析出法、鍍金法等で堆積させることにより形成できる。

[0056] 次に、図 12 に示すように、第一金属層 331 および第一犠牲層 311 の表面全体に、第二金属層 332 が形成される。第二金属層 332 は、例えば、TiAl 合金等の金属材料を、物理気相析出法、化学気相析出法、鍍金法等で堆積させることにより形成できる。

[0057] 続いて、図 13 に示すように、第二金属層 332 がパターニングされる。第二金属層 332 のパターニング方法は、各種のドライエッチングまたはウェットエッチングを適宜選択できる。こうして、既存の第一金属層 331 の各パターンが積み増されると共に、図示の断面には現れない遮蔽板 222 が形成される。

- [0058] 次に、図１４に示すように、残された第二金属層３３２の間に露出した第一犠牲層３１１の表面に第二犠牲層３１２が堆積され、表面全体が平坦化される。第二犠牲層３１２も、スピコート、スプレイコート等によりレジスト材を塗布してプリベイクすることにより形成できる。
- [0059] 更に、図１５に示すように、第二金属層３３２および第二犠牲層３１２の表面全体に金属を堆積させて、ジンバル部２３０の固定枠２３４、可動枠２３６および揺動部２３８となる第三金属層３３３が形成される。第三金属層３３３は、例えば、ＴｉＡｌ合金等の金属材料を、物理気相析出法、化学気相析出法、鍍金法等で堆積させることにより形成できる。
- [0060] 続いて、図１６に示すように、第三金属層３３３がパターニングされる。これにより、ジンバル部２３０の固定枠２３４、可動枠２３６および揺動部２３８が形成される。第三金属層３３３のパターニング方法は、各種のドライエッチングまたはウェットエッチングを適宜選択できる。
- [0061] 続いて、図１７に示すように、第三金属層３３３および第二犠牲層３１２の表面全体が、第三犠牲層３１３により平坦化される。第三犠牲層３１３も、スピコート、スプレイコート等によりレジスト材を塗布してプリベイクすることにより形成できる。
- [0062] 第三金属層３３３の上方における第三犠牲層３１３の厚さは、空間光変調素子２００の反射部２４０における支柱２４８の高さに対応する。このため、第三犠牲層３１３は、第三金属層３３３の厚さよりも厚く堆積され、第三金属層３３３は、第三犠牲層３１３の内部に埋め込まれる。
- [0063] 次に、図１８に示すように、第三犠牲層３１３をパターニングして、第三金属層３３３の頂面に達するコンタクトホール３２２が形成される。コンタクトホール３２２は、空間光変調素子２００における反射部２４０の支柱２４８が形成される領域に設けられる。第三犠牲層３１３は、プラズマエッチング等のドライエッチング法によりパターニングできる。
- [0064] 続いて、図１９に示すように、第三犠牲層３１３の表面と、コンタクトホール３２２の内面および底面全体に金属を堆積させて、反射部２４０の可動

電極 2 4 6 となる第四金属層 3 3 4 が形成される。第四金属層 3 3 4 は、例えば、TiAl 合金等の金属材料を、物理気相析出法、化学気相析出法、鍍金法等で堆積させることにより形成できる。

[0065] 次に、図 2 0 に示すように、第四金属層 3 3 4 全体に、反射部 2 4 0 の支持層 2 4 2 となるアモルファスシリコン層 3 4 0 を堆積させる。アモルファスシリコン層 3 4 0 の形成方法は、各種の物理気相析出法、化学気相析出法から選択できる。なお、第三犠牲層 3 1 3 に形成されたコンタクトホール 3 2 2 は深いので、アモルファスシリコン層 3 4 0 の表面には、コンタクトホール 3 2 2 の形状に倣って陥没部が形成される場合がある。

[0066] 更に、図 2 1 に示すように、アモルファスシリコン層 3 4 0 の表面全体に反射層 2 4 4 となる反射膜 3 5 0 が形成される。反射膜 3 5 0 は、金属材料により形成してもよい。また、反射膜 3 5 0 は、誘電体多層膜により形成してもよい。反射膜 3 5 0 の形成方法は、各種の物理気相析出法、化学気相析出法から選択できる。

[0067] なお、反射膜 3 5 0 が形成される前に、アモルファスシリコン層 3 4 0 の表面を鏡面研磨してもよい。これにより、反射膜 3 5 0 表面の平坦性を向上させ、反射膜 3 5 0 における反射率を向上させることができる。

[0068] 続いて、図 2 2 に示すように、第四金属層 3 3 4、アモルファスシリコン層 3 4 0 および反射膜 3 5 0 を一括してトリミングする。トリミングは、プラズマエッチング等のドライエッチング法を好ましく利用できる。これにより、第四金属層 3 3 4 の縁部近傍に第三犠牲層 3 1 3 の表面が露出する。

[0069] 次に、図 2 3 に示すように、第三犠牲層 3 1 3 から第一犠牲層 3 1 1 までの犠牲層を除去して空間光変調素子 2 0 0 が完成する。第三犠牲層 3 1 3 から第一犠牲層 3 1 1 までの犠牲層は、直接または間接にすべて連続しているので、気体または液体を用いたエッチングにより一括して除去できる。

[0070] 上記のような過程を経て作製した空間光変調素子 2 0 0 において、可動電極 2 4 6 は、金属製のジンバル部 2 3 0 を通じて基板 2 1 0 の表面まで電氣的に結合される。よって、基板 2 1 0 上の回路を通じて、可動電極 2 4 6 を

基準電圧、例えば接地電位に結合される。これにより、可動電極 2 4 6 に対向して駆動電力を印加された固定電極 2 1 2、2 1 4 との間に安定した電界を形成できる。

[0071] また、空間光変調素子 2 0 0 において、それ自体が金属製の遮蔽部 2 2 0 が基板 2 1 0 上に形成される。よって、遮蔽部 2 2 0 は、基板 2 1 0 上の回路を通じて基準電圧、例えば接地電位に結合される。これにより、遮蔽部 2 2 0 は、外部からの電磁波の侵入を効果的に阻止できると共に、空間光変調素子 2 0 0 自体から外部への電磁波の放射も遮断する。よって、多くの空間光変調素子 2 0 0 を隣接して配置した空間光変調器 1 0 0 において、個々の空間光変調素子 2 0 0 の動作が安定する。

[0072] 更に、空間光変調素子 2 0 0 においては、可動電極 2 4 6 が、基板 2 1 0 から離れた反射部 2 4 0 のした面に配されているので、プルイン現象が生じるまでのマージンが大きい。よって、犠牲層を厚くして固定電極 2 1 2、2 1 4 と可動電極 2 4 6 との間隔を拡げなくてもよい。

[0073] これにより、犠牲層を厚くした場合に生じるクラック等を回避でき、プロセスリスクを低減できる。また、揺動する反射部 2 4 0 の高さを徒に大きくしなくてもよいので、基板 2 1 0 の面方向に関する反射部 2 4 0 の変位量増加を抑制できる。よって、空間光変調器 1 0 0 において複数の空間光変調素子 2 0 0 を配列した場合に、互いに隣接する空間光変調素子 2 0 0 の間隙を詰めて、空間光変調器 1 0 0 の開口率を向上させることができる。

[0074] なお、上記の一連の製造過程において、図 2 3 に示した第一犠牲層 3 1 1、第二犠牲層 3 1 2 および第三犠牲層 3 1 3 を除去する段階の前に、反射膜 3 5 0 の表面を鏡面研磨する段階を導入してもよい。これにより、反射膜 3 5 0 における反射率をいっそう向上させることができる。

[0075] また、単独の空間光変調素子 2 0 0 の製造過程について説明したが、ひとつの基板 2 1 0 の上に、多数の空間光変調素子 2 0 0 を同時に作製してもよい。更に、ひとつの基板 2 1 0 上により多くの空間光変調素子 2 0 0 を作製した上で基板 2 1 0 ごとダイシングして、それぞれが複数の空間光変調素子

200を有する空間光変調器100を同軸に複数製造できる。これにより、生産性を向上させて、空間光変調器100を廉価に供給できる。

[0076] 図24から図30は、他の空間光変調素子201の製造過程を示す。これらの図において、空間光変調素子200の製造過程と共通な要素には、同じ参照番号を付して重複する説明を省く。

[0077] また、空間光変調素子200について図8から図18までを参照して説明した段階は、空間光変調素子201の製造過程と共通になる。よって、図24は、図18に示した段階に続く段階を示す。

[0078] 空間光変調素子201の製造過程においては、図24に示すように、コンタクトホール322を設けた第三犠牲層313の表面と、コンタクトホール322の内部に現れた第三金属層333の表面との全体に金属が堆積される。これにより、反射部240の支柱248の一部となる第五金属層335が形成される。

[0079] 第五金属層335は、コンタクトホール322の側壁においても途切れることなく形成されている。換言すれば、第五金属層335は、コンタクトホール322の側壁において直立した部分においても途切れない厚さになるまで堆積される。

[0080] 第五金属層335は、例えば、TiAl合金等の金属材料を、物理気相析出法、化学気相析出法、鍍金法等で堆積させることにより形成できる。なお、第五金属層335は、既出の他の金属層と区別する目的で「第五」と名付けられており、後述する第四金属層334よりも後に形成されることを意味するわけではない。

[0081] 更に、図25に示すように、第五金属層335がパターニングされ、コンタクトホール322の内部と周囲以外の部分が除去される。第五金属層335のパターニング方法は、各種のドライエッチングまたはウェットエッチングを適宜選択できる。

[0082] 続いて、図26に示すように、第三犠牲層313および第五金属層335の表面全体に金属を堆積させて、反射部240の可動電極246となる第四

金属層 334 が形成される。第四金属層 334 は、例えば、TiAl 合金等の金属材料を、物理気相析出法、化学気相析出法、鍍金法等で堆積させることにより形成できる。第四金属層 334 の膜厚は、第五金属層 335 の膜厚よりも薄い。

[0083] 次に、図 27 に示すように、第四金属層 334 全体に、反射部 240 の支持層 242 となるアモルファスシリコン層 340 を堆積させる。アモルファスシリコン層 340 の形成方法は、各種の物理気相析出法、化学気相析出法から選択できる。

[0084] なお、アモルファスシリコン層 340 の成膜下地である第三犠牲層 313 および第五金属層 335 においては、第五金属層 335 が突出している。このため、第五金属層 335 の図中上方において、アモルファスシリコン層 340 の表面が僅かに隆起する場合がある。

[0085] 次に、図 28 に示すように、アモルファスシリコン層 340 の表面全体に反射層 244 となる反射膜 350 が形成される。アモルファスシリコン層 340 の一部が隆起している場合は、反射膜 350 の表面においても、アモルファスシリコン層 340 の隆起が反復される。

[0086] 反射膜 350 は、金属材料により形成してもよい。また、反射膜 350 は、誘電体多層膜により形成してもよい。反射膜 350 の形成方法は、各種の物理気相析出法、化学気相析出法から選択できる。

[0087] なお、反射膜 350 が形成される前に、アモルファスシリコン層 340 の表面を鏡面研磨してもよい。これにより、反射膜 350 表面の平坦性を向上させ、反射膜 350 における反射率を向上させることができる。

[0088] 続いて、図 29 に示すように、第四金属層 334、アモルファスシリコン層 340 および反射膜 350 を一括してトリミングする。トリミングは、プラズマエッチング等のドライエッチング法を好ましく利用できる。これにより、第四金属層 334 の縁部近傍に第三犠牲層 313 の表面が露出する。

[0089] 次に、図 30 に示すように、第三犠牲層 313 から第一犠牲層 311 までの犠牲層を除去して、空間光変調素子 201 が完成する。第三犠牲層 313

から第一犠牲層 3 1 1 までの犠牲層は、直接または間接にすべて連続しているので、気体または液体を用いたエッチングにより一括して除去できる。

[0090] 上記のような過程を経て作製した空間光変調素子 2 0 1 において、可動電極 2 4 6 は、支柱 2 4 8 の一部を形成する第五金属層 3 3 5 を介してジンバル部 2 3 0 に結合される。既に説明した通り、第五金属層 3 3 5 は、可動電極 2 4 6 を形成する第四金属層 3 3 4 の膜厚よりも大きな膜厚を有し、支柱 2 4 8 の側壁においても途切れることなく形成されている。

[0091] よって、空間光変調素子 2 0 1 において、可動電極 2 4 6 とジンバル部 2 3 0 とは、電氣的に確実に結合される。また、支柱 2 4 8 における電気抵抗も低く、可動電極 2 4 6 とジンバル部 2 3 0 との電位が等しくなる。これにより、空間光変調素子 2 0 1 の電氣的な特性が安定し、制御性が向上される。

[0092] また、支柱 2 4 8 を形成する場合のコンタクトホール 3 2 2 が第五金属層 3 3 5 により埋め立てられるので、反射膜 3 5 0 の成膜下地となるアモルファスシリコン層 3 4 0 表面は略平坦になる。よって、反射膜 3 5 0 の平坦性が向上され、空間光変調素子 2 0 1 としての実効的な開口率が高くなる。

[0093] 図 3 1 から図 3 6 は、他の空間光変調素子 2 0 2 の製造過程を示す。これらの図において、空間光変調素子 2 0 0、2 0 1 と共通の要素には、同じ参照番号を付して重複する説明を省く。また、空間光変調素子 2 0 0 について図 8 から図 1 8 までを参照して説明した段階は、空間光変調素子 2 0 2 の製造過程と共通になる。よって、図 3 1 は、図 1 8 に示した段階に続く段階を示す。

[0094] 空間光変調素子 2 0 2 の製造過程においては、図 3 1 に示すように、第三犠牲層 3 1 3 に形成したコンタクトホール 3 2 2 内に金属材料が堆積される。これにより、第三犠牲層 3 1 3 の膜厚と同じ膜厚を有して、空間光変調素子 2 0 2 において反射部 2 4 0 の支柱 2 4 8 となる第六金属層 3 3 6 が形成される。

[0095] 第六金属層 3 3 6 は、例えば、TiAl 合金等の金属材料を、物理気相析

出法、化学気相析出法、鍍金法等で堆積させることにより形成できる。なお、第六金属層 336 は、既出の第四金属層 334 および第五金属層 335 から区別する目的で「第六」と名付けられており、第四金属層 334 よりも後に形成されることを意味するわけではない。

[0096] 続いて、図 32 に示すように、第三犠牲層 313 および第五金属層 335 の表面全体に金属を堆積させて、可動電極 246 となる第四金属層 334 が形成される。第四金属層 334 は、TiAl 合金等の金属材料を、物理気相析出法、化学気相析出法、鍍金法等で堆積させることにより形成できる。

[0097] 次に、図 33 に示すように、第四金属層 334 全体に、支持層 242 となるアモルファスシリコン層 340 を堆積させる。アモルファスシリコン層 340 の形成方法は、各種の物理気相析出法、化学気相析出法から選択できる。

[0098] なお、アモルファスシリコン層 340 の成膜下地である第三犠牲層 313 および第六金属層 336 の表面は略平坦ではあるが、下地材料の違いに応じて、第六金属層 336 の図中上方でアモルファスシリコン層 340 の表面が僅かに隆起する場合がある。

[0099] 次に、図 34 に示すように、アモルファスシリコン層 340 の表面全体に反射層 244 となる反射膜 350 が形成される。アモルファスシリコン層 340 の一部が隆起している場合は、反射膜 350 の表面においても、アモルファスシリコン層 340 の隆起が反復される。

[0100] 反射膜 350 は、金属材料により形成してもよい。また、反射膜 350 は、誘電体多層膜により形成してもよい。反射膜 350 の形成方法は、各種の物理気相析出法、化学気相析出法から選択できる。また、反射膜 350 が形成される前に、アモルファスシリコン層 340 の表面を鏡面研磨してもよい。これにより、反射膜 350 表面の平坦性を向上させ、反射膜 350 における反射率を向上させることができる。

[0101] 続いて、図 35 に示すように、第四金属層 334、アモルファスシリコン層 340 および反射膜 350 を一括してトリミングする。トリミングは、プ

ラズマエッチング等のドライエッチング法を好ましく利用できる。これにより、第四金属層 334 の縁部近傍に第三犠牲層 313 の表面が露出する。

[0102] 次に、図 36 に示すように、第三犠牲層 313 から第一犠牲層 311 までの犠牲層を除去して、空間光変調素子 202 が完成する。第三犠牲層 313 から第一犠牲層 311 までの犠牲層は、直接または間接にすべて連続しているので、気体または液体を用いたエッチングにより一括して除去できる。

[0103] 上記のような過程を経て作製した空間光変調素子 202 において、可動電極 246 は、支柱 248 を形成する第六金属層 336 を介してジンバル部 230 に結合される。ここで、支柱 248 は全体に金属で形成されているので、可動電極 246 とジンバル部 230 は、電氣的に確実に結合される。

[0104] また、支柱 248 における電気抵抗も低く、可動電極 246 とジンバル部 230 と間で電位差が生じ難い。これにより、空間光変調素子 202 の電氣的な特性が安定し、制御性が向上される。

[0105] また、アモルファスシリコン層 340 の成膜下地は平坦なので、反射膜 350 の表面は平坦になる。よって、反射膜 350 の平坦性が向上され、空間光変調素子 202 としての実効的な開口率が向上される。

[0106] 図 37 から図 41 は、他の空間光変調素子 203 の製造過程を示す。これらの図において、空間光変調素子 200 の製造過程と共通な要素には、同じ参照番号を付して重複する説明を省く。

[0107] また、空間光変調素子 200 について図 8 から図 19 までを参照して説明した段階は、空間光変調素子 203 の製造過程と共通になる。よって、図 37 は、図 19 に示した段階に続く段階を示す。

[0108] 空間光変調素子 203 の製造過程においては、図 37 に示すように、可動電極 246 となる第四金属層 334 に積層して、高濃度 p 型層 344 が形成される。高濃度 p 型層 344 は、支持層 242 の形成と同様の方法でアモルファスシリコンを堆積させた後、イオン注入によりドーパント不純物を高濃度にドーピングして形成される。

[0109] 次に、図 38 に示すように、高濃度 p 型層 344 の表面全体に、支持層 2

４２となるアモルファスシリコン層３４０を堆積させる。アモルファスシリコン層３４０の形成方法は、各種の物理気相析出法、化学気相析出法から選択できる。

[0110] 次いで、図３９に示すように、アモルファスシリコン層３４０の表面全体に反射層２４４となる反射膜３５０が形成される。反射膜３５０は、金属材料または誘電体多層膜により形成できる。反射膜３５０の形成方法は、各種の物理気相析出法、化学気相析出法から選択できる。また、反射膜３５０が形成される前に、アモルファスシリコン層３４０の表面を鏡面研磨してもよい。これにより、反射膜３５０の反射率を向上させることができる。

[0111] 続いて、図４０に示すように、第四金属層３３４、アモルファスシリコン層３４０および反射膜３５０を一括してトリミングする。トリミングは、プラズマエッチング等のドライエッチング法を利用できる。これにより、第四金属層３３４の縁部近傍に第三犠牲層３１３の表面が露出する。

[0112] 次に、図４１に示すように、第三犠牲層３１３から第一犠牲層３１１までの犠牲層を除去して空間光変調素子２０３が完成する。第三犠牲層３１３から第一犠牲層３１１までの犠牲層は、直接または間接にすべて連続しているので、気体または液体を用いたエッチングにより一括して除去できる。

[0113] 上記のような過程を経て作製した空間光変調素子２０３において、アモルファスシリコン層３４０と可動電極２４６との界面には、高濃度ｐ型層３４４が介在する。これにより、アモルファスシリコン層３４０および可動電極２４６の間にはオーミック接合が形成される。

[0114] 半導体であるアモルファスシリコン層３４０と金属である可動電極２４６とが直接に接した場合には、両者の間にショットキー結合が形成され、整流効果が生じる。しかしながら、アモルファスシリコン層３４０および可動電極２４６の界面にオーミック接合を形成した場合は、整流効果が生じないので可動電極２４６の電位が安定し、印加した駆動電力に対する応答が安定する。

[0115] なお、空間光変調素子２０３は、アモルファスシリコン層３４０と可動電

極 2 4 6 との界面全体に高濃度 p 型層 3 4 4 を形成した構造を有する。しかしながら、図 4 2 に示す空間光変調素子 2 0 4 のように、界面の一部に高濃度 p 型層 3 4 6 が形成されていれば、アモルファスシリコン層 3 4 0 および可動電極 2 4 6 の間にオーミック接合が形成され、ショットキー接合による整流効果は無効になる。よって、部分的なイオン注入により、アモルファスシリコン層 3 4 0 および可動電極 2 4 6 の界面の一部に高濃度 p 型層 3 4 6 を形成しても同様の作用が生じる。

[0116] また、空間光変調素子 2 0 4、2 0 5 は、高濃度 p 型層 3 4 4、3 4 6 を有することを除くと、図 2 3 等にした空間光変調素子 2 0 0 と同じ構造を有する。しかしながら、図 3 0 に示した空間光変調素子 2 0 1、図 3 6 に示した空間光変調素子 2 0 2 等においても、半導体であるアモルファスシリコン層 3 4 0 と金属である可動電極 2 4 6 との界面に高濃度 p 型層 3 4 4、3 4 6 を設けてオーミック接合を形成することにより、界面の整流効果は無効にして、反射部 2 4 0 を電氣的に安定にすることができる。更に、ジンバル部 2 3 0 を用いた空間光変調素子 2 0 0、2 0 1、2 0 2 とは異なる構造、例えばフレクシャ等で反射部 2 4 0 を支持したものであっても、高濃度 p 型層 3 4 4、3 4 6 により整流効果を打ち消す構造が適用できる。

[0117] 図 4 3 は、他の空間光変調素子 2 0 5 の模式的平面図である。空間光変調素子 2 0 5 は、次に説明する部分を除くと、図 3 等にした空間光変調素子 2 0 0 と同じ構造を有する。よって、共通の要素には同じ参照番号を付して重複する説明を省く。

[0118] 空間光変調素子 2 0 5 において、ジンバル部 2 3 1 は、空間光変調素子 2 0 0 のジンバル部 2 3 0 と異なる構造を有する。即ち、ジンバル部 2 3 1 は、捩じり軸部 2 3 5 を介して一对の支柱 2 3 2 から直接に支持された可動枠 2 3 6 と、可動枠 2 3 6 から捩じり軸部 2 3 7 を介して支持された揺動部 2 3 8 とを有する。

[0119] これにより、空間光変調素子 2 0 5 のジンバル部 2 3 1 は、固定枠 2 3 4 を備えた空間光変調素子 2 0 0 のジンバル部 2 3 0 よりも、基板 2 1 0 の表

面における占有面積が小さい。よって、ジンバル部 2 3 1 と重ならないように配置した固定電極 2 1 2、2 1 4 の面積を広くすることができ、反射部 2 4 0 の可動電極 2 4 6 に対して大きな駆動力を作用させることができる。

[0120] なお、空間光変調素子 2 0 5 においては、例えば、捩じり軸部 2 3 5 を揺動軸として反射部 2 4 0 を揺動させる場合に、隣接する 2 枚の固定電極 2 1 2、2 1 4 から静電力を作用させる。これにより、可動電極 2 4 6 に作用させる駆動力は、1 枚の固定電極により静電力を作用させる場合に比較して更に大きくなる。

[0121] 図 4 4 は、また他の空間光変調素子 2 0 6 の模式的平面図である。空間光変調素子 2 0 6 は、次に説明する部分を除くと、図 4 3 等にした空間光変調素子 2 0 5 と同じ構造を有する。よって、共通の要素には同じ参照番号を付して重複する説明を省く。

[0122] 空間光変調素子 2 0 6 のジンバル部 2 3 3 は、可動枠 2 3 6 が、捩じり軸部 2 3 7 を介して支柱 2 3 2 から支持されている点で、空間光変調素子 2 0 5 のジンバル部 2 3 1 と共通する。ただし、空間光変調素子 2 0 6 のジンバル部 2 3 3 においては、遮蔽板 2 2 2 の長手方向と平行に一对の支柱 2 3 2 が配列され、捩じり軸部 2 3 5、2 3 7 の各々が、遮蔽板 2 2 2 の長手方向と平行な方向に配される。

[0123] このような支柱の配置により、基板 2 1 0 の表面に配された固定電極 2 1 2、2 1 4 相互の間隙は、基板 2 1 0 の対角線上ではなく、遮蔽部 2 2 0 に包囲された矩形領域の各辺の中央に、各辺と直交して配される。これにより、固定電極 2 1 2、2 1 4 の間隙の長さが短くなり、固定電極の有効面積が増加する。

[0124] また、基板 2 1 0 上において揺動部 2 3 8 の揺動中心から最も遠い、基板 2 1 0 の各角部に固定電極 2 1 2、2 1 4 が配される。よって、固定電極 2 1 2、2 1 4 および可動電極 2 4 6 の間に生じた静電力は、反射部 2 4 0 を効率よく駆動する。

[0125] 図 4 5 は、露光装置 4 0 0 の模式図である。露光装置 4 0 0 は、照明光発

生部５００、照明光学系６００および投影光学系７００を備える。露光装置４００は、空間光変調器１００を備え、光源マスク最適化法を実行する場合に、照明光学系６００に任意の照度分布を有する照明光を入射できる。

[0126] 照明光発生部５００は、制御部５１０、光源５２０、空間光変調器１００、プリズム５３０、結像光学系５４０、ビームスプリッタ５５０および計測部５６０を含む。光源５２０は、照明光Ｌを発生する。光源５２０が発生した照明光Ｌは、光源５２０の発光機構の特性に応じた照度分布を有する。このため、照明光Ｌは、照明光Ｌの光路と直交する断面において原画像 I_1 を有する。

[0127] 光源５２０から出射された照明光Ｌは、プリズム５３０に入射する。プリズム５３０は、照明光Ｌを空間光変調器１００に導いた後、再び外部に出射させる。空間光変調器１００は、制御部５１０の制御の下に入射した照明光Ｌを変調する。空間光変調器１００の構造と動作については、既に説明した通りである。

[0128] 空間光変調器１００を経てプリズム５３０から出射された照明光Ｌは、結像光学系５４０を経て、後段の照明光学系６００に入射される。結像光学系５４０は、照明光学系６００の入射面６１２に照明光画像 I_3 を形成する。

[0129] ビームスプリッタ５５０は、結像光学系５４０および照明光学系の間において、照明光Ｌの光路上に配される。ビームスプリッタ５５０は、照明光学系６００に入射する前の照明光Ｌの一部を分離して計測部５６０に導く。

[0130] 計測部５６０は、照明光学系６００の入射面６１２と光学的に共役な位置で照明光Ｌの画像を計測する。これにより、計測部５６０は、照明光学系６００に入射する照明光画像 I_3 と同じ画像を計測する。よって、制御部５１０は、計測部５６０により計測される照明光画像 I_3 を参照して、空間光変調器１００を帰還制御できる。

[0131] 照明光学系６００は、フライアイレンズ６１０、コンデンサ光学系６２０、視野絞り６３０および結像光学系６４０を含む。照明光学系６００の出射端には、マスク７１０を保持したマスクステージ７２０が配される。

- [0132] フライアイレンズ610は、並列的に緻密に配された多数のレンズ素子を備え、後側焦点面にレンズ素子の数と同数の照明光画像 I_3 を含む2次光源を形成する。コンデンサ光学系620は、フライアイレンズ610から出射された照明光 L を集光して視野絞り630を重畳的に照明する。
- [0133] 視野絞り630を経た照明光 L は、結像光学系640により、マスク710のパターン面に、視野絞り630の開口部の像である照射光画像 I_4 を形成する。こうして、照明光学系600は、その出射端に配されたマスク710のパターン面を、照射光画像 I_4 によりケーラー照明する。
- [0134] なお、照明光学系600の入射面612でもあるフライアイレンズ610の入射端に形成される照度分布は、フライアイレンズ610の出射端に形成される2次光源全体の大局的な照度分布と高い相関を示す。よって、照明光発生部500が照明光学系600に入射させる照明光画像 I_3 は、照明光学系600がマスク710に照射する照明光 L の照度分布である照射光画像 I_4 にも反映される。
- [0135] 投影光学系700はマスクステージ720の直後に配され、開口絞り730を備える。開口絞り730は、照明光学系600のフライアイレンズ610の出射端と光学的に共役な位置に配される。投影光学系700の出射端には、感光性材料を塗布された基板810を保持する基板ステージ820が配される。
- [0136] マスクステージ720に保持されたマスク710は、照明光学系600により照射された照明光 L を反射または透過する領域と吸収する領域とからなるマスクパターンを有する。よって、マスク710に照明光画像 I_4 を照射することにより、マスク710のマスクパターンと照明光画像 I_4 自体の照度分布との相互作用により投影光画像 I_5 が生成される。投影光画像 I_5 は、基板810の感光性材料に投影されて、要求されたパターンを有するレジスト層を基板810の表面に形成する。
- [0137] なお、図44では照明光 L の光路を直線状に描いているが、照明光 L の光路を屈曲させることにより露光装置400を小型化できる。また、図44は

、照明光Lがマスク710を透過するように描いているが、反射型のマスク710が用いられる場合もある。

[0138] 図46は、照明光発生部500の部分拡大図であり、露光装置400における空間光変調器100の役割を示す図である。プリズム530は、一对の反射面532、534を有する。プリズム530に入射した照明光Lは、一方の反射面532により、空間光変調器100に向かって照射される。

[0139] 既に説明した通り、空間光変調器100は、個別に揺動させることができる複数の反射部240を有する。よって、制御部510が空間光変調器100を制御することにより、要求に応じた任意の光源画像I₂を形成できる。

[0140] 空間光変調器100から出射された光源画像I₂は、プリズム530の他方の反射面534により反射され、図中のプリズム530右端面から出射される。プリズム530から出射された光源画像I₂は、結像光学系540により、照明光学系600の入射面612に照明光画像I₃を形成する。

[0141] 以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更または改良を加え得ることが当業者に明らかである。その様な変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、請求の範囲の記載から明らかである。

[0142] 請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置およびシステムの動作、手順、ステップおよび段階等の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、前の処理の出力を後の処理で用いる場合でない限り、任意の順序で実現し得る。請求の範囲、明細書および図面において、便宜上「まず」、「次に」等を用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するわけではない。

符号の説明

[0143] 100 空間光変調器、200、201、202、203、204、205、206 空間光変調素子、210 基板、212、214 固定電極、220 遮蔽部、222 遮蔽板、224、232、248 支柱、230、

231、233 ジンバル部、234 固定枠、235、237 振じり軸部、236 可動枠、238 揺動部、240 反射部、242 支持層、244 反射層、246 可動電極、311 第一犠牲層、312 第二犠牲層、313 第三犠牲層、321、322 コンタクトホール、331 第一金属層、332 第二金属層、333 第三金属層、334 第四金属層、335 第五金属層、336 第六金属層、340 アモルファスシリコン層、344、346 高濃度 p 型層、350 反射膜、400 露光装置、500 照明光発生部、510 制御部、520 光源、530 プリズム、532、534 反射面、540、640 結像光学系、550 ビームスプリッタ、560 計測部、600 照明光学系、612 入射面、610 フライアイレンズ、620 コンデンサ光学系、630 視野絞り、700 投影光学系、710 マスク、720 マスクステージ、730 開口絞り、810 基板、820 基板ステージ

請求の範囲

[請求項1]

基板と、
前記基板の表面に配された固定電極と、
前記表面に一端を連結された連結部と、
前記連結部の他端に連結されて、前記連結部の弾性変形により前記基板に対して揺動する可動部と、
前記可動部に一端を結合されて前記基板の厚さ方向に延在し、前記可動部と一体的に揺動する支柱部と、
前記支柱部の他端に結合され、前記可動部および前記支柱部と一体的に揺動する反射面を有する反射部材と、
前記反射部材において前記固定電極に対向する面に配された可動電極と、
前記可動電極の膜厚よりも大きな膜厚を有して前記支柱部に配され、前記可動部および前記可動電極の間を電氣的に結合する導体層とを備える空間光変調器。

[請求項2]

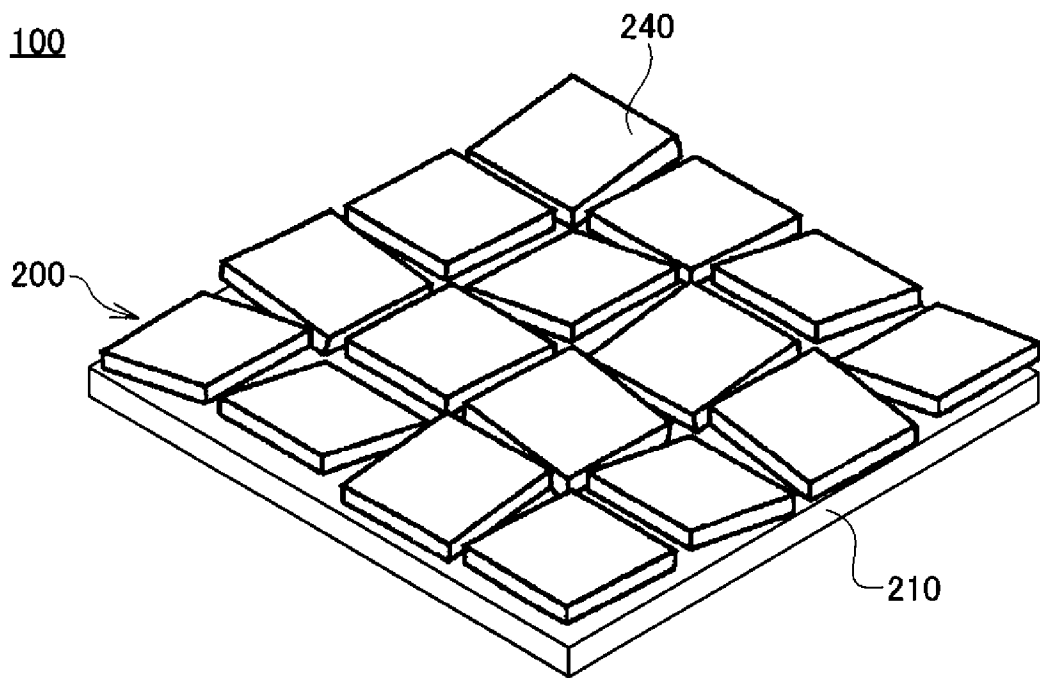
前記支柱部は、金属により形成される請求項1に記載の空間光変調器。

[請求項3]

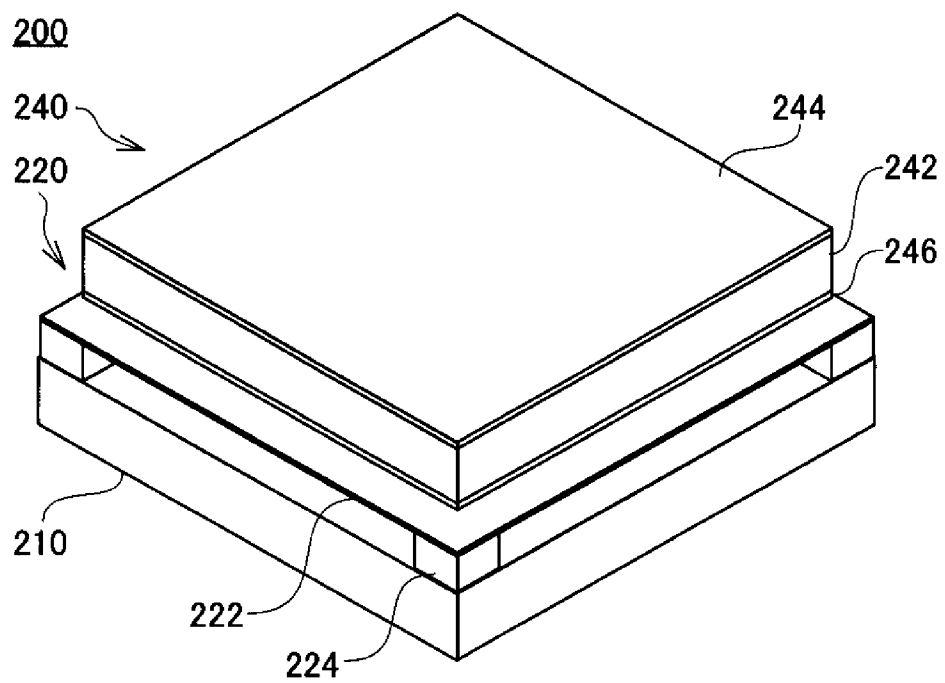
基板と、
前記基板の表面に配された固定電極と、
前記表面に一端を連結された連結部と、
前記連結部の他端に連結されて、前記連結部の弾性変形により前記基板に対して揺動する可動部と、
半導体層を含み、前記可動部と一体的に揺動する反射面を有する反射部材と、
前記半導体層に隣接する金属層と、
前記半導体層および金属層をオーミック接合するオーミック接合部と
を備える空間光変調器。

- [請求項4] 前記オーミック接合部は、前記金属層に隣接する領域の少なくとも一部にドーパントをドーピングした、前記半導体層の一部に形成される請求項3に記載の空間光変調器。
- [請求項5] 前記オーミック接合部は、前記金属層に対する界面全体においてドーパントをドーピングされた、前記半導体層の厚さ方向の一部に形成される請求項3に記載の空間光変調器。
- [請求項6] 基板と、
前記基板の表面に一端を連結された連結部と、
前記連結部の他端に連結されて、前記連結部の弾性的な捩じれ変形により前記連結部を揺動軸として前記基板に対して揺動する可動部と、
、
前記可動部と一体的に揺動する反射部材と、
前記反射部材において前記表面に対向する面に配された可動電極と、
、
前記表面において、前記連結部および前記可動部に遮られることなく前記可動電極に対向する領域に配された固定電極と
を備える空間光変調器。
- [請求項7] 前記固定電極は、電氣的に相互に絶縁され、互いに対称的な形状を有する複数の領域を含む請求項6に記載の空間光変調器。
- [請求項8] 前記固定電極は、互いに同じ形状を有する複数の領域を含む請求項7に記載の空間光変調器。
- [請求項9] 請求項1から請求項8までのいずれか一項に記載の空間光変調器を備える露光装置。

[図1]



[図2]



[図3]

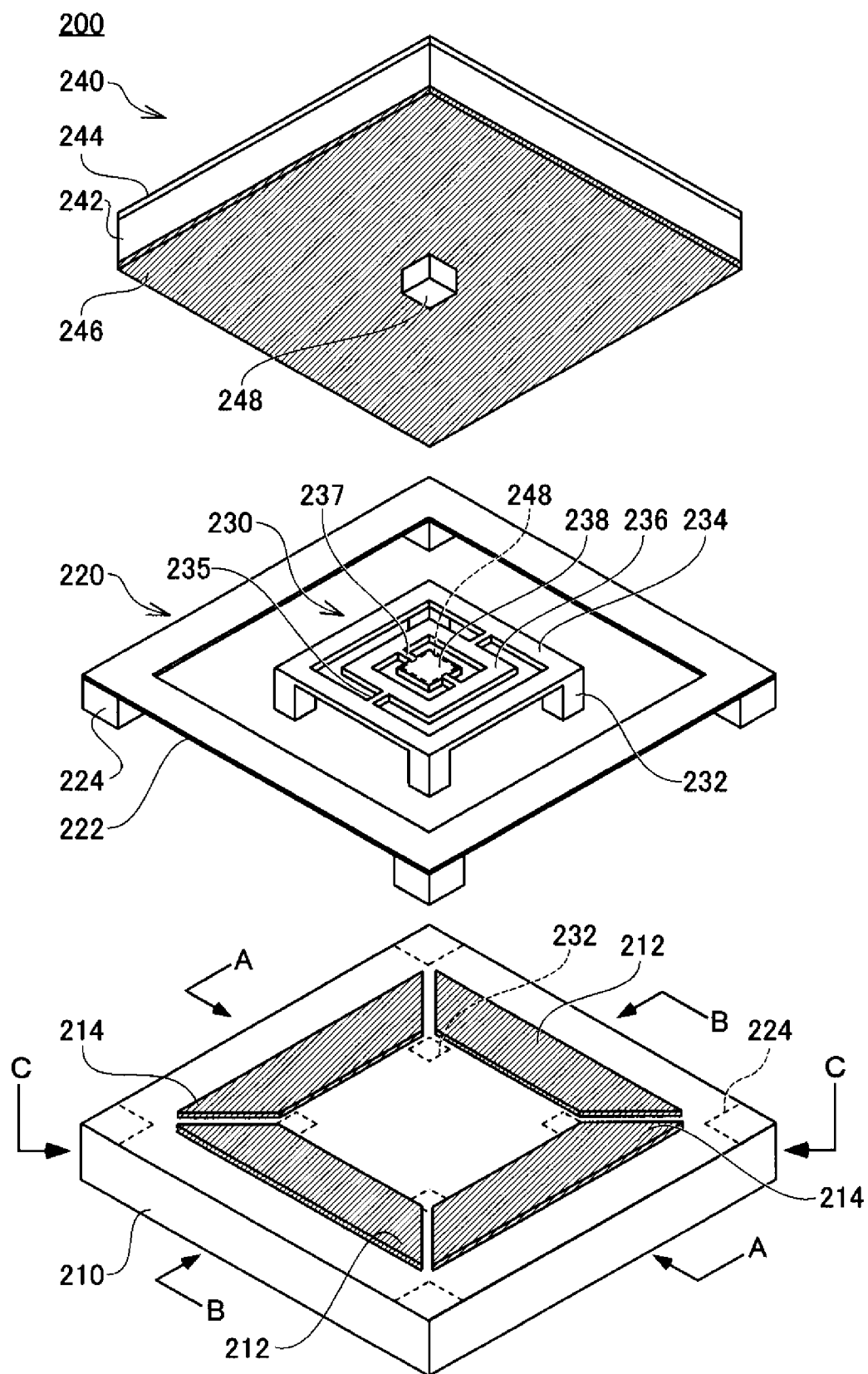
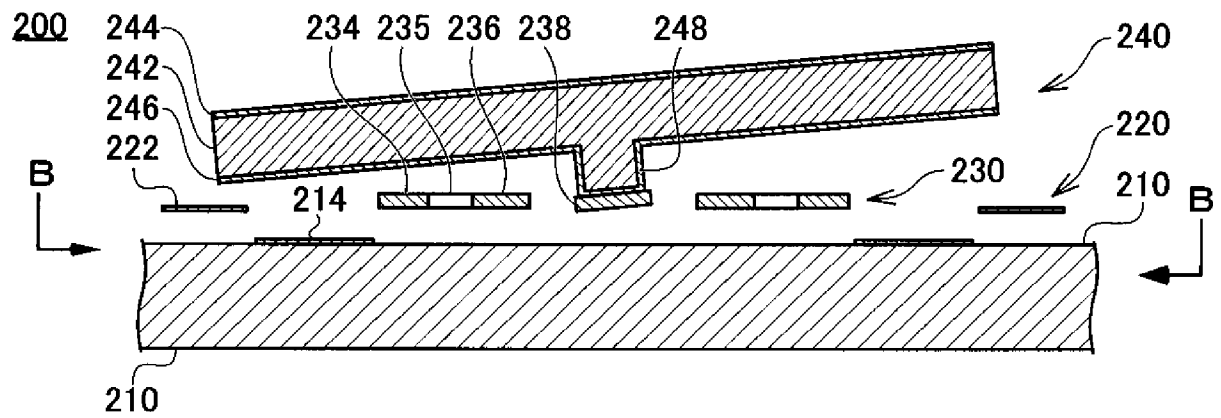


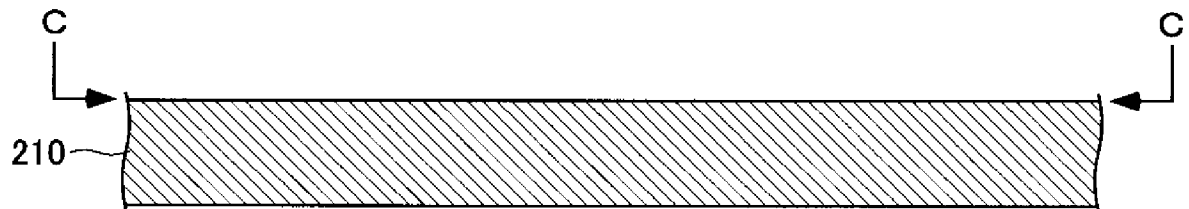
Figure 2 is a cross-sectional view of a semiconductor device 200. The device includes a substrate 210 and a gate stack 220. The gate stack 220 is formed on the substrate 210 and includes a gate dielectric layer 222 and a gate conductive layer 224. The gate conductive layer 224 is patterned to form gate electrodes 230. The gate electrodes 230 are spaced apart and define gate openings 234, 236, 237, and 238. A channel layer 240 is formed in the gate openings 234, 236, 237, and 238. The channel layer 240 is formed by a sequence of layers: a first layer 242, a second layer 244, a third layer 246, and a fourth layer 248. The first layer 242 is a thin layer of a first material, the second layer 244 is a thin layer of a second material, the third layer 246 is a thin layer of a third material, and the fourth layer 248 is a thin layer of a fourth material. The channel layer 240 is formed in the gate openings 234, 236, 237, and 238. The channel layer 240 is formed by a sequence of layers: a first layer 242, a second layer 244, a third layer 246, and a fourth layer 248. The first layer 242 is a thin layer of a first material, the second layer 244 is a thin layer of a second material, the third layer 246 is a thin layer of a third material, and the fourth layer 248 is a thin layer of a fourth material.

[illegible]

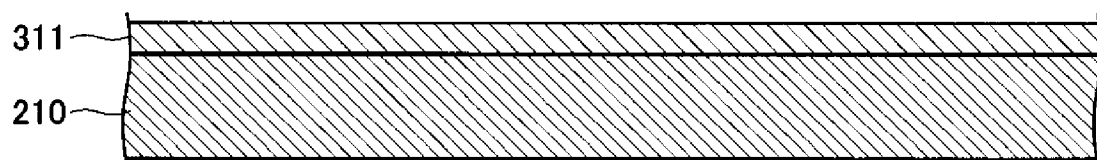
[図7]



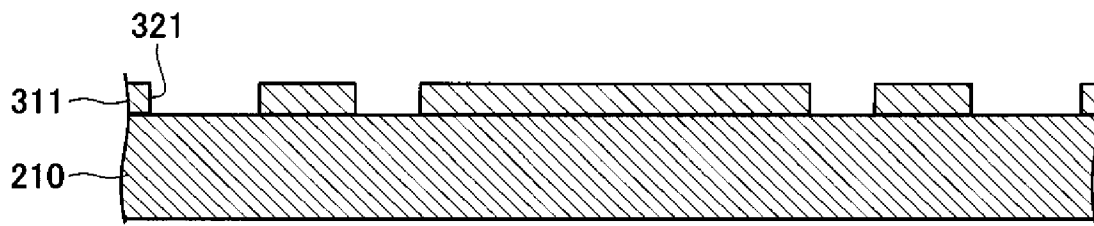
[図8]



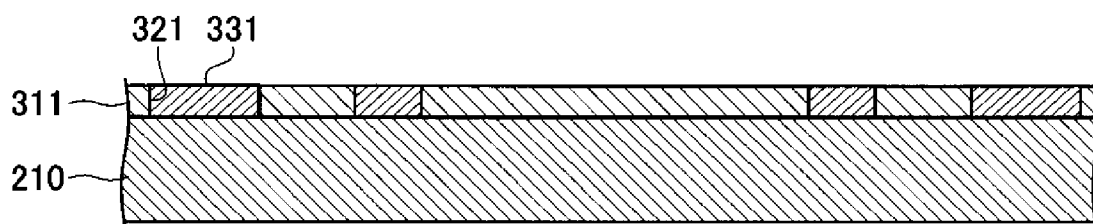
[図9]



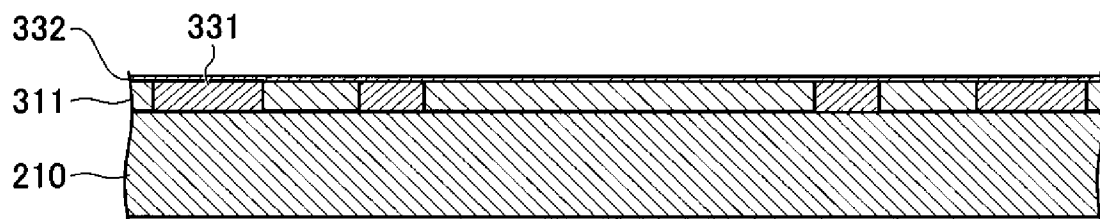
[図10]



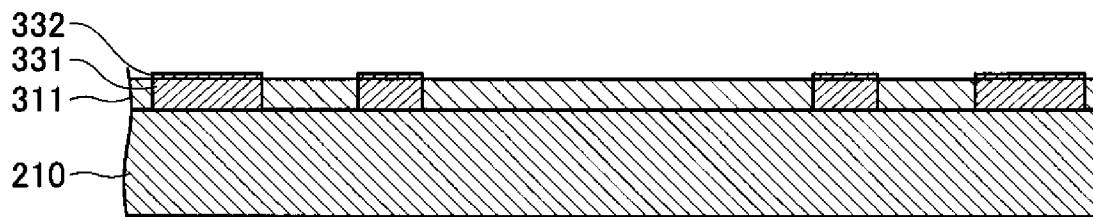
[図11]



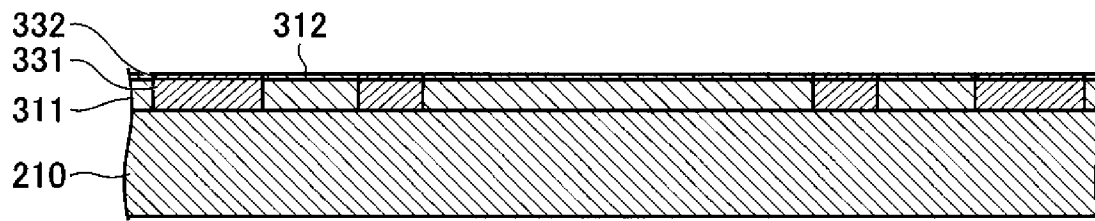
[図12]



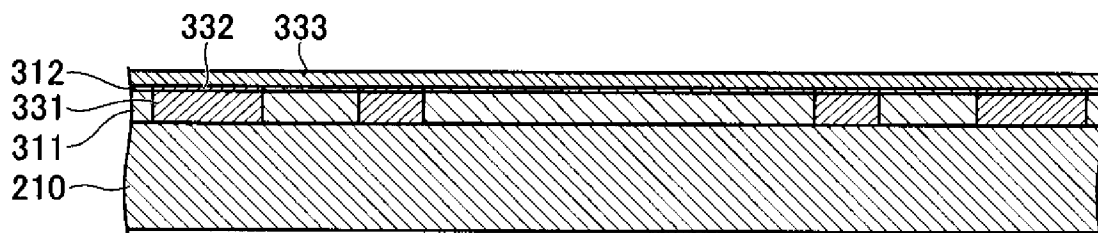
[図13]



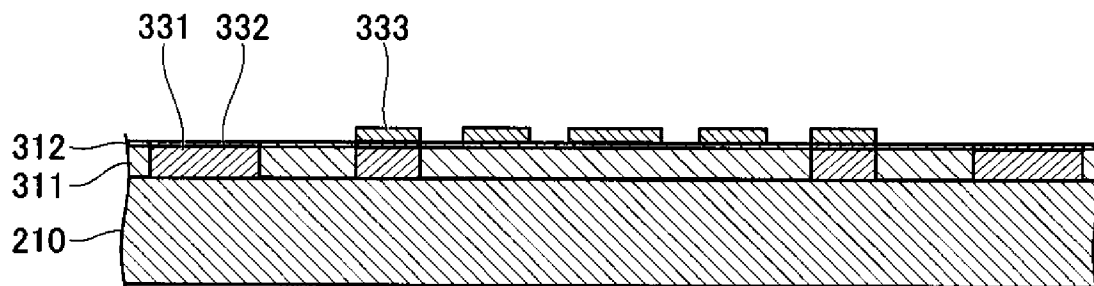
[図14]



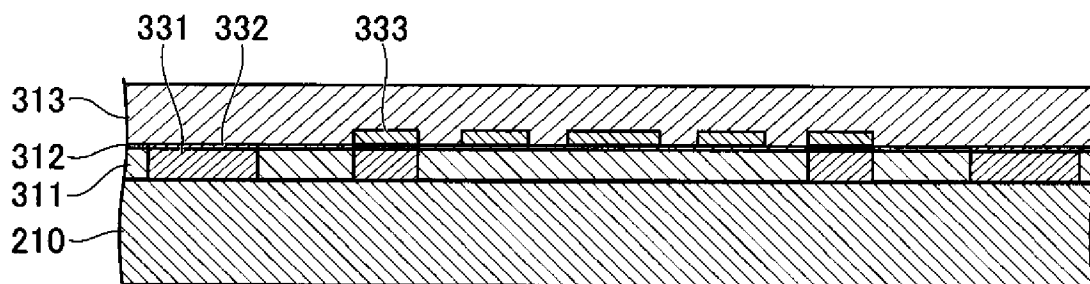
[図15]



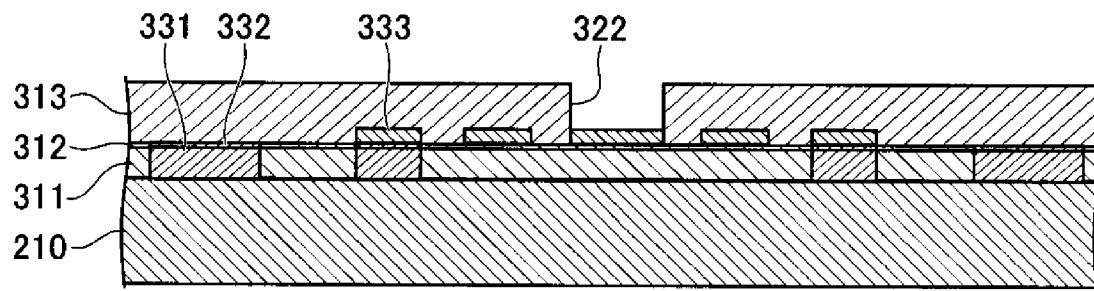
[図16]



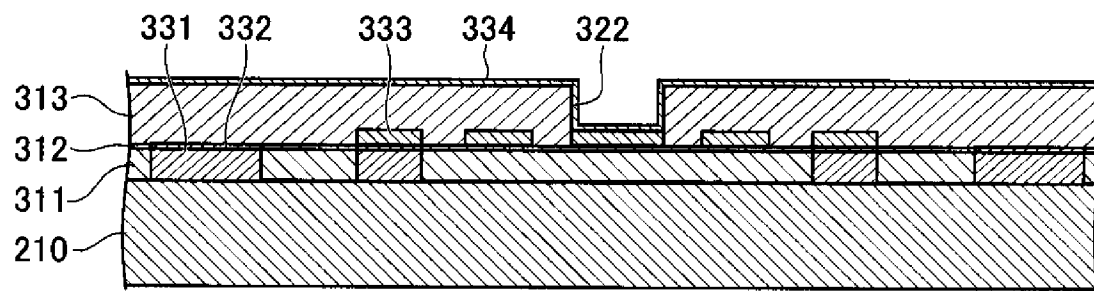
[図17]



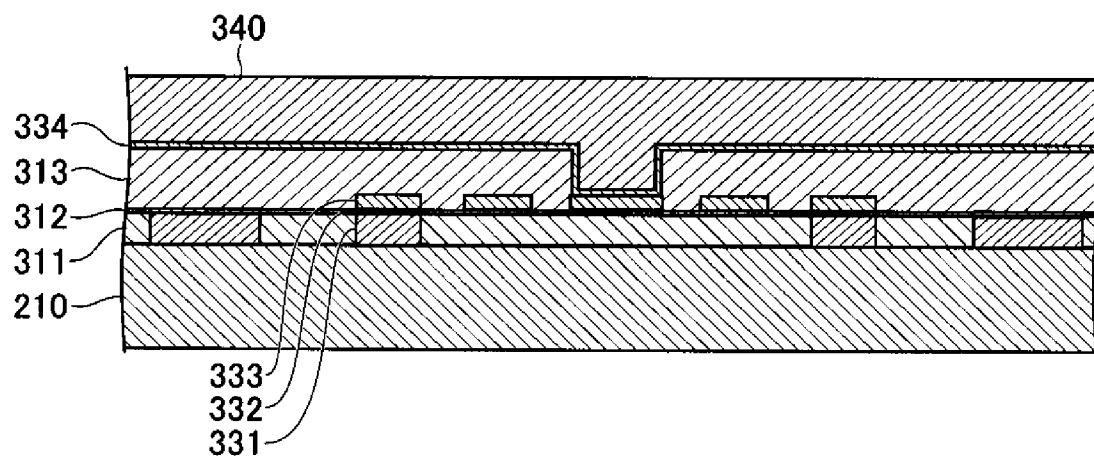
[図18]



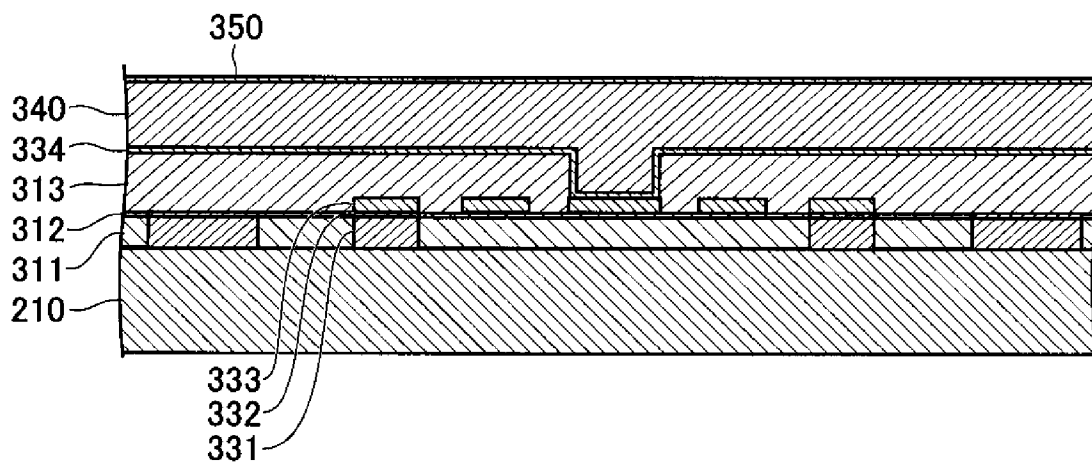
[図19]



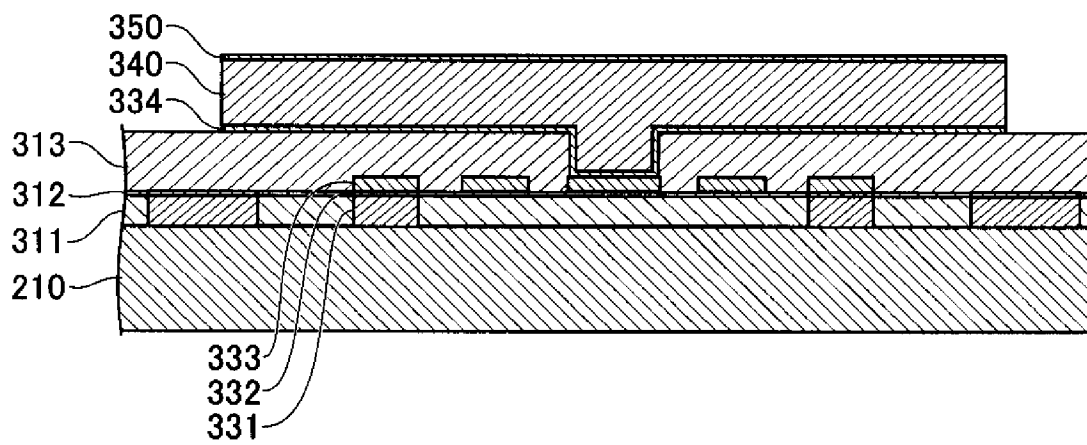
[図20]



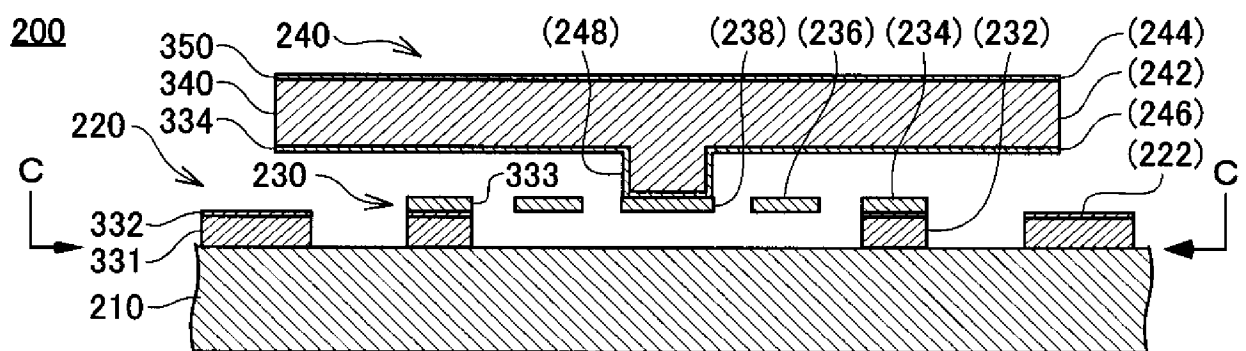
[図21]



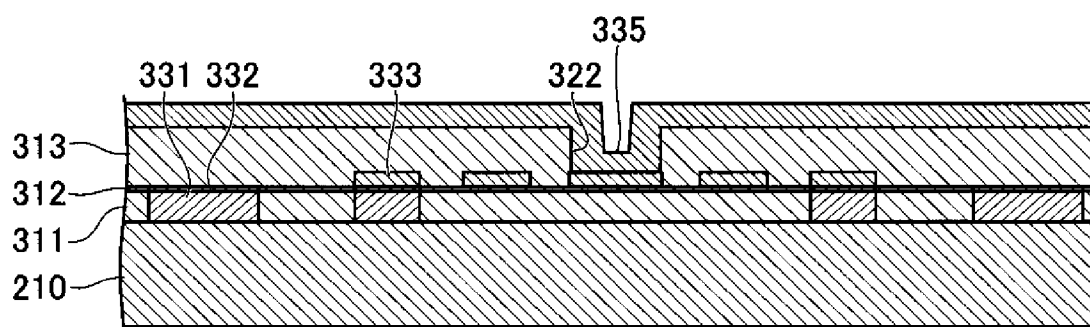
[図22]



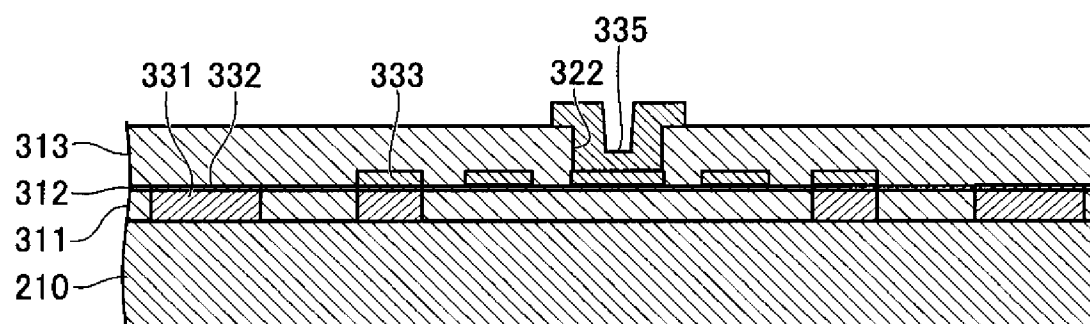
[図23]



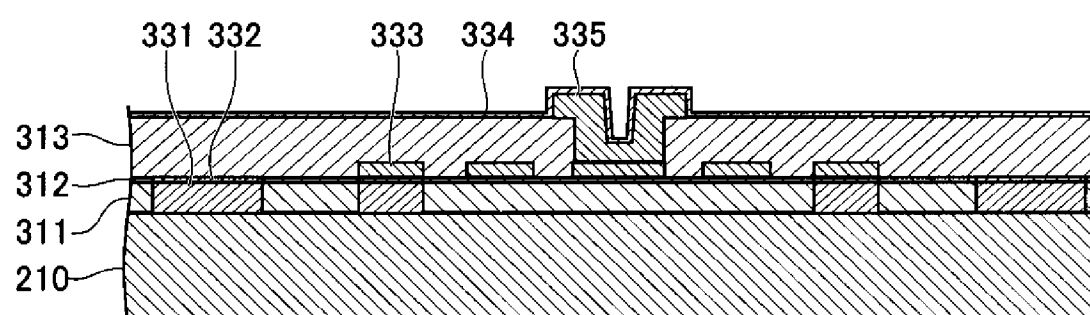
[図24]



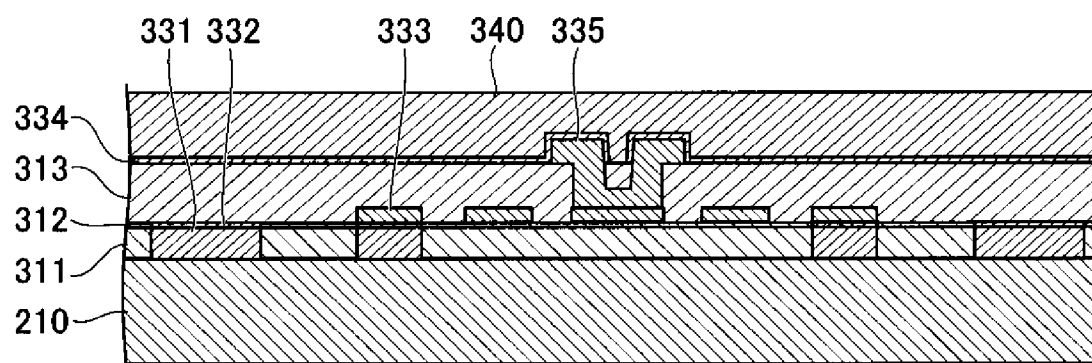
[図25]



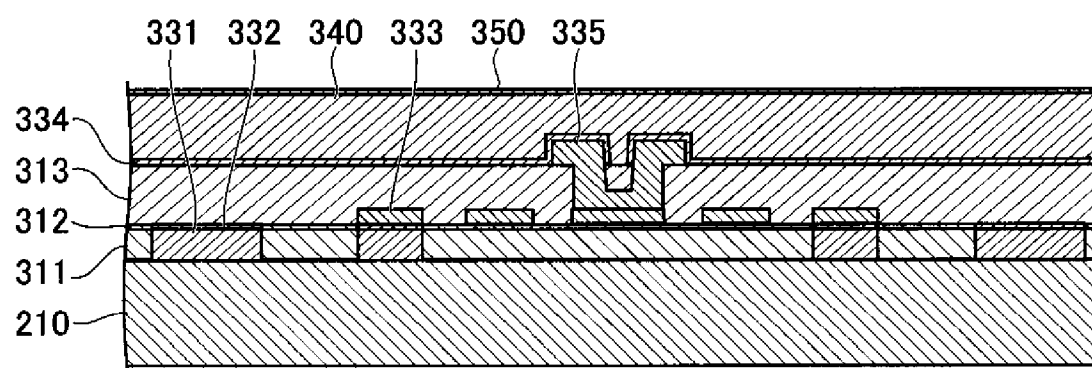
[図26]



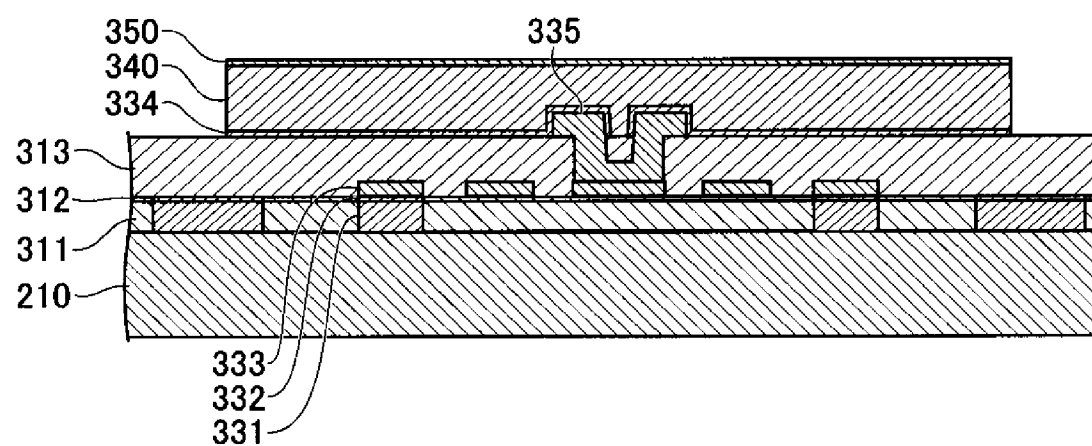
[図27]



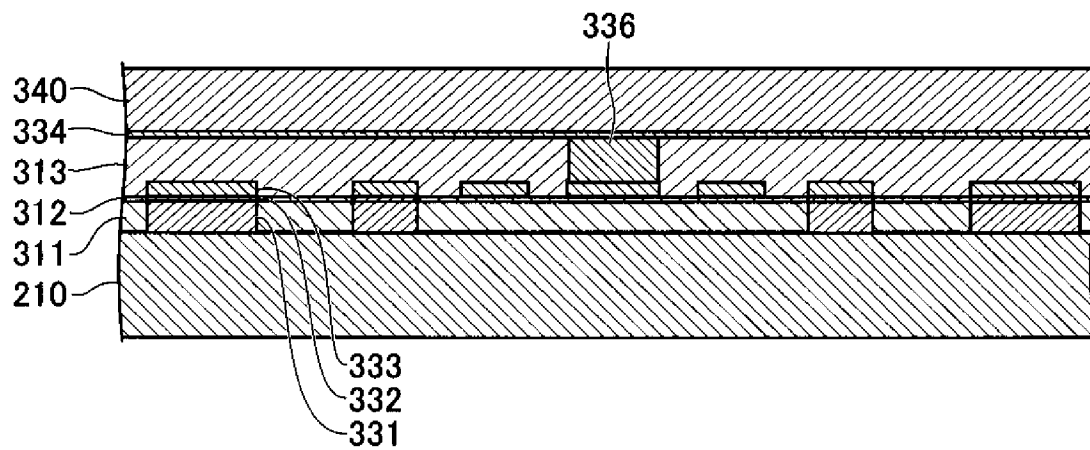
[図28]



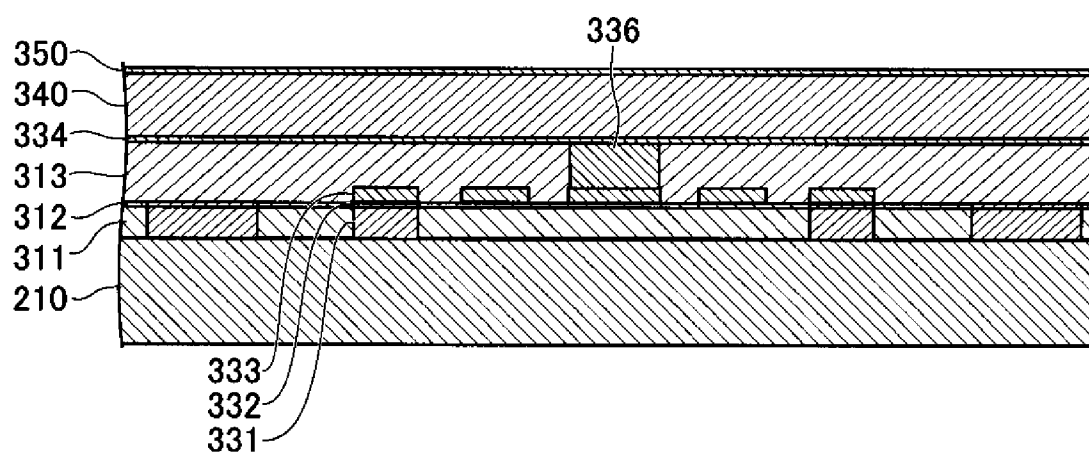
[図29]



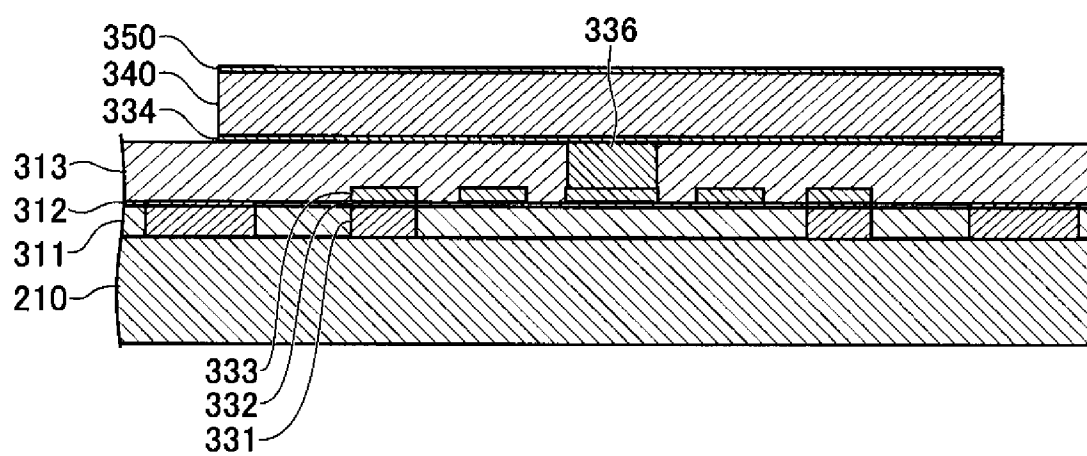
[図33]



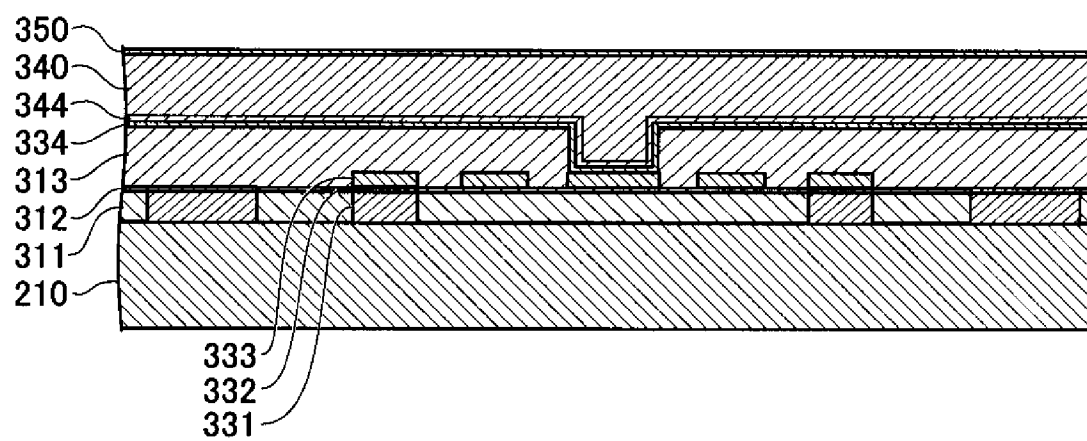
[図34]



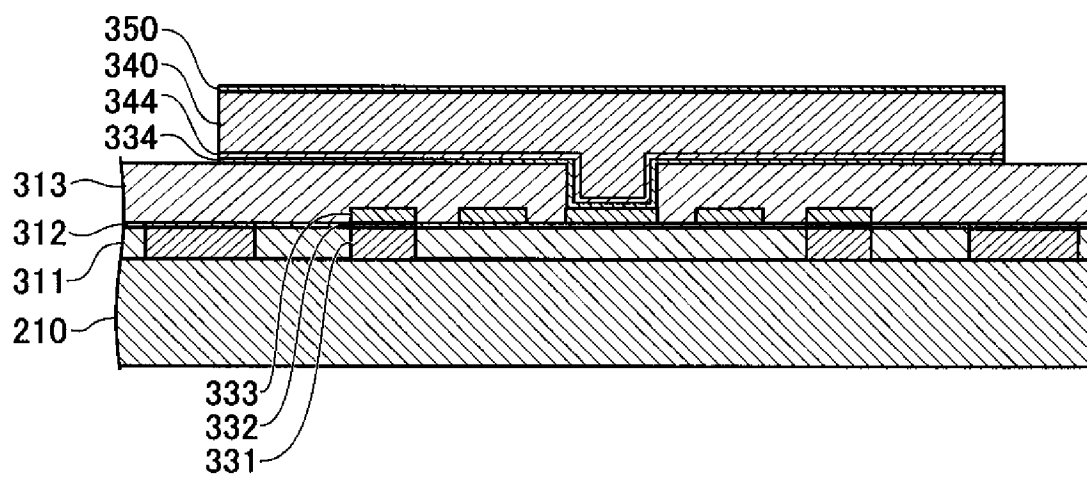
[図35]



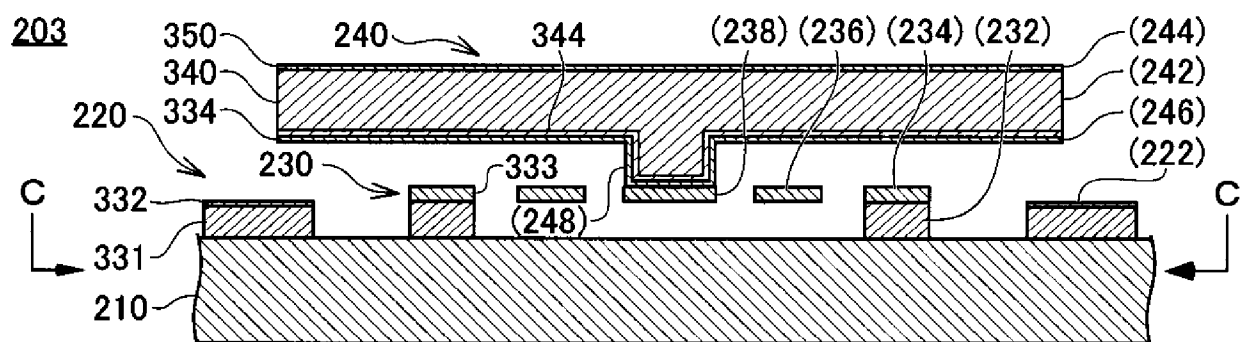
[図39]



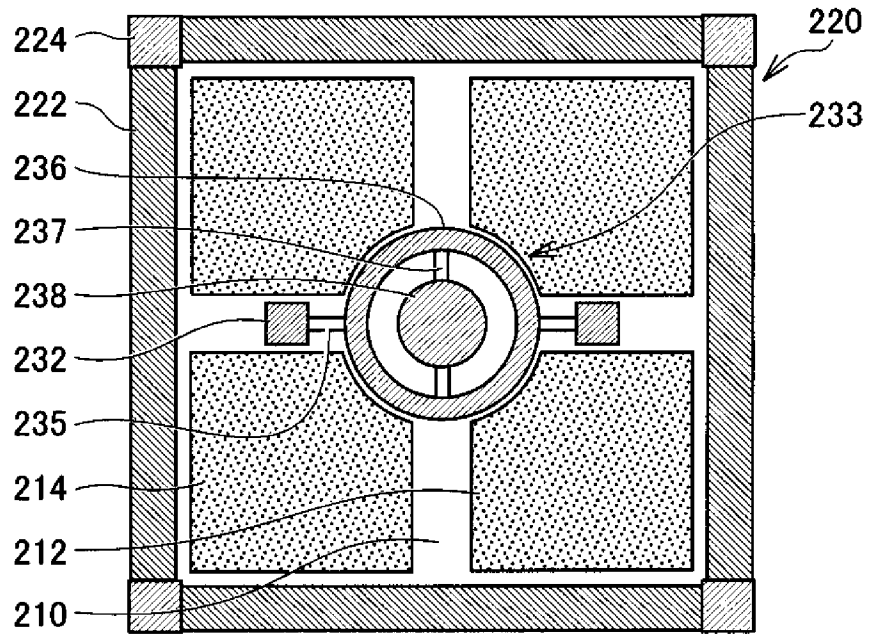
[図40]



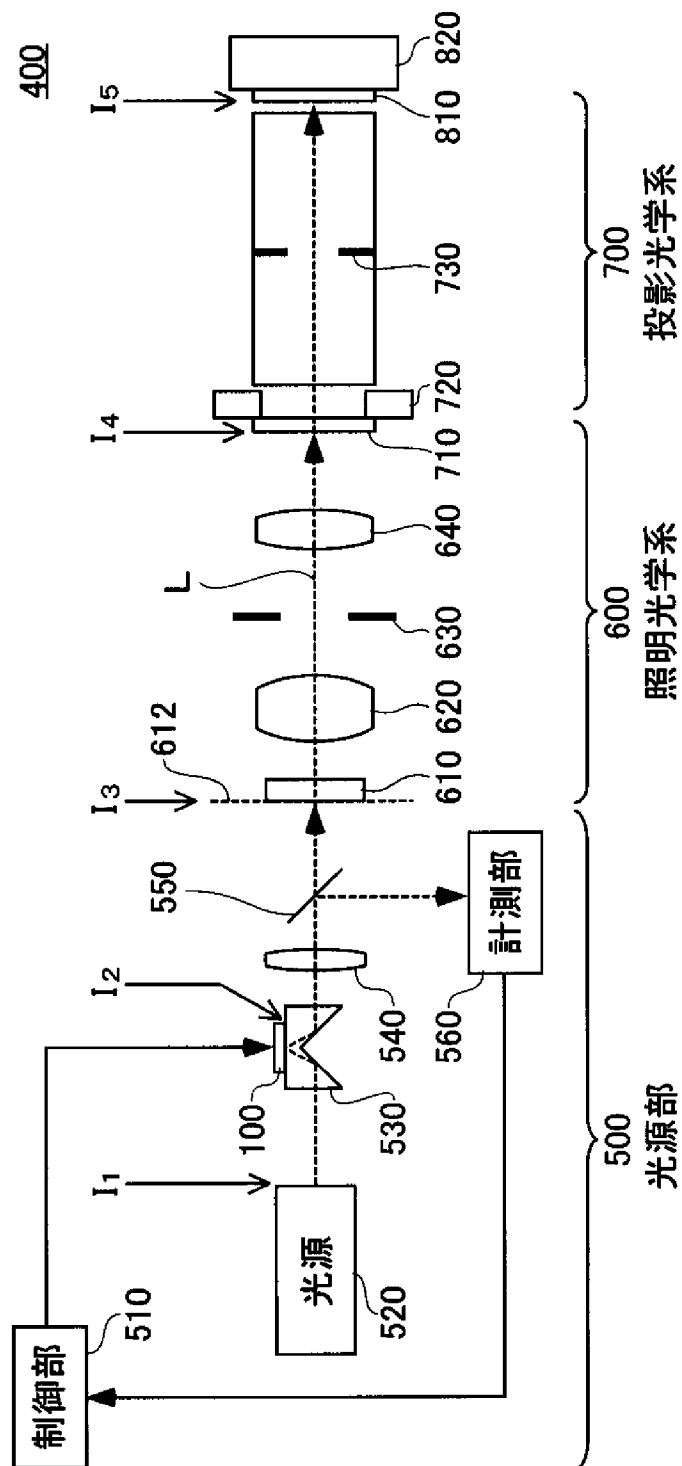
[図41]



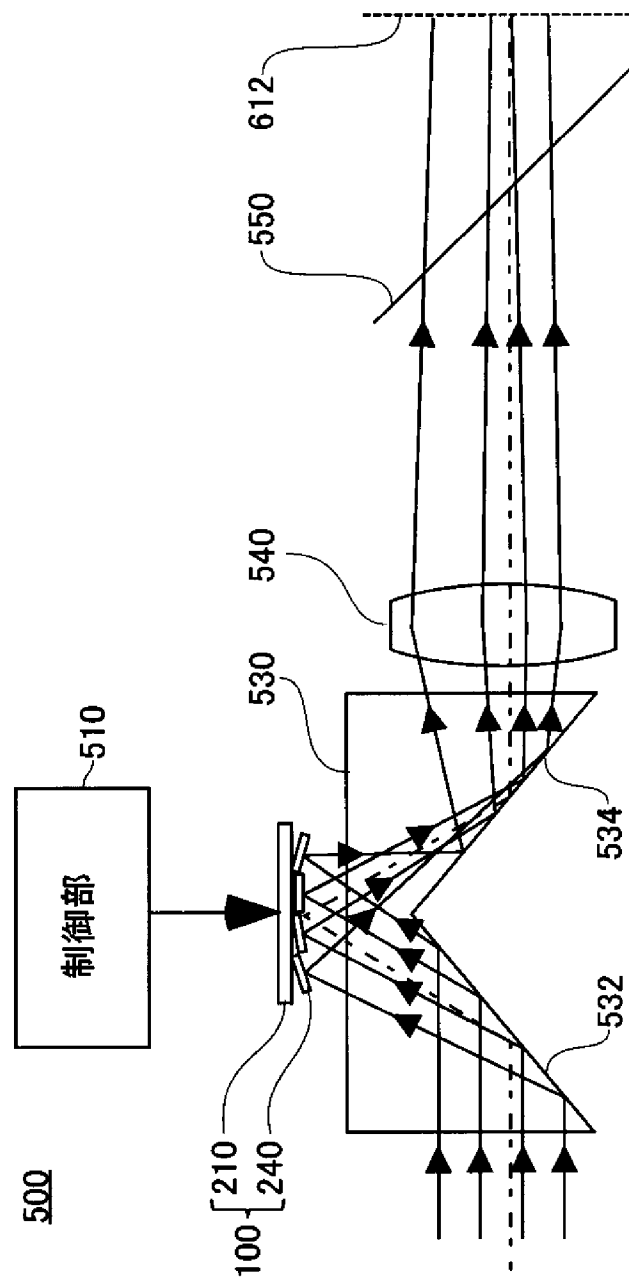
[図44]

206

[図45]



[図46]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/003816

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B26/08 (2006.01) i, B81B3/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B26/00-26/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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 2003-156699 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 30 May 2003 (30.05.2003), entire text; all drawings & US 2004/0114110 A1 & KR 10-2003-0030225 A	1-2, 6-8 9 3-5
Y A	JP 2011-170299 A (Nikon Corp.), 01 September 2011 (01.09.2011), paragraphs [0104] to [0119] (Family: none)	9 1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 July, 2013 (03.07.13)

Date of mailing of the international search report
16 July, 2013 (16.07.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/003816

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-514029 A (Miradia Inc.), 02 April 2009 (02.04.2009), entire text; all drawings & JP 2009-514031 A & US 2007/0097487 A1 & US 2007/0097485 A1 & US 2007/0097486 A1 & US 2009/0002805 A1 & US 2010/0112492 A1 & US 2012/0171623 A1 & WO 2007/053453 A2 & WO 2007/053527 A2 & CN 101297227 A & CN 101297228 A & CN 101923215 A	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G02B26/08 (2006.01) i, B81B3/00 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G02B26/00-26/08

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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 2003-156699 A (三星電子株式会社) 2003.05.30, 全文、全図 & US 2004/0114110 A1 & KR 10-2003-0030225 A	1-2, 6-8 9 3-5
Y A	JP 2011-170299 A (株式会社ニコン) 2011.09.01, 【0104】 - 【0119】 (ファミリーなし)	9 1-8

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 3 . 0 7 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 6 . 0 7 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

植田 高盛

2 L

2 9 1 2

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-514029 A (ミラディア インク) 2009.04.02, 全文、全図 & JP 2009-514031 A & US 2007/0097487 A1 & US 2007/0097485 A1 & US 2007/0097486 A1 & US 2009/0002805 A1 & US 2010/0112492 A1 & US 2012/0171623 A1 & WO 2007/053453 A2 & WO 2007/053527 A2 & CN 101297227 A & CN 101297228 A & CN 101923215 A	1-9