

(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 9 月 12 日(12.09.2014)



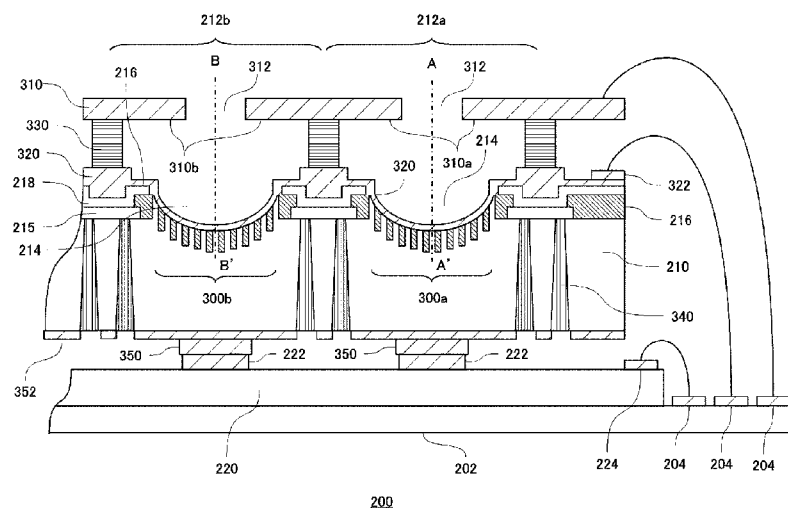
(10) 国際公開番号
WO 2014/136154 A1

- (51) 国際特許分類:
H01J 37/073 (2006.01) *H01J 37/305* (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01) *H01L 21/027* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/005726
- (22) 国際出願日: 2013 年 9 月 26 日(26.09.2013)
- (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 2013-041844 2013 年 3 月 4 日(04.03.2013) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東北大学(TOHOKE UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: 西野 仁(NISHINO, Hitoshi); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 吉田 慎哉(YOSHIDA, Shinya); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 江刺 正喜(ESASHI, Masayoshi); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (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, JP, 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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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).

[続葉有]

(54) Title: ELECTRON BEAM GENERATING APPARATUS, ELECTRON BEAM IRRADIATION APPARATUS, ELECTRON BEAM EXPOSURE APPARATUS, AND MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 電子ビーム発生装置、電子ビーム照射装置、電子ビーム露光装置、および製造方法



(57) Abstract: Disclosed is an electron beam generating apparatus, which has high parallelism that improves throughput of an electron beam exposure apparatus, and which can be easily formed. The electron beam generating apparatus is provided with: a substrate that is provided with a plurality of recessed sections having recessed surfaces, respectively; a plurality of electron emitting sections, which are provided to the recessed sections, and which emit electrons; a plurality of first electrode sections, which are provided corresponding to the electron emitting sections, respectively, and which accelerate the electrons emitted from the corresponding electron emitting sections, and output the electrons as electron beams from the recessed sections that are provided with the electron emitting sections; and barrier rib sections, which are provided at positions that correspond to the recessed sections, said positions being between the first electrode sections and the substrate, and which are formed of an insulating material. Also disclosed are an electron beam irradiation apparatus and an electron beam exposure apparatus.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2014/136154 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

電子ビーム露光装置のスループットを向上させる並列度を高め、簡便に形成できる電子ビーム発生装置。それぞれが凹面を有する複数の凹部が設けられた基板と、複数の凹部に設けられ、電子を放出する複数の電子放出部と、複数の電子放出部のそれぞれに対応して設けられ、対応する電子放出部が放出した電子を加速して電子放出部が設けられた凹部から電子ビームとしてそれぞれ出力する複数の第 1 電極部と、複数の第 1 電極部および基板の間において複数の凹部に対応する位置に設けられ、絶縁材料で形成される障壁部とを備える電子ビーム発生装置、電子ビーム照射装置、電子ビーム露光装置を提供する。

明 細 書

発明の名称：

電子ビーム発生装置、電子ビーム照射装置、電子ビーム露光装置、および製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、電子ビーム発生装置、電子ビーム照射装置、電子ビーム露光装置、および製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、微細パターンが設けられる半導体集積回路は、電子ビーム露光装置を用い、パターンデータに応じて電子ビームを半導体基板に直接描画して当該微細パターンを形成していた（例えば、特許文献 1 および 2 参照）。

特許文献 1 特開 2007-329220 号公報

特許文献 2 特開平 9-245708 号公報

非特許文献 1 P.N.Minh, L.T.T.Tuyen, T.Ono, H.Mimura, K.Yokoo and M.Esashi : Carbon nanotube on a Si tip for electron field emitter, Jpn . J. Appl. Phys., 41 Part2, 12A (2002), L1409-L1411

非特許文献 2 P.N.Minh, L.T.T.Tuyen, T.Ono, H.Miyashita, Y.Suzuki, H.Mimura and M.Esashi : Selective growth of carbon nanotubes on Si microfabricated tips and application for electron field emitters, J. Vac. Sci. Technol. B 21, 4, (2003), 1705-1709

非特許文献 3 P.N.Minh, T.Ono, N.Sato, H.Mimura and M.Esashi : Microelectron field emitter array with focus lenses for multielectron beam lithography based on silicon on insulator wafer, J.Vac.Sci.Technol., B22, 3 (2004) 1273-1276

非特許文献 4 J.H.Bae, P.N.Minh, T.Ono and M.Esashi : Schottky emitter using boron-doped diamond, J.Vac.Sci.Technol., B22, 3 (2004) 1349-1352

非特許文献5 C.-H.Tsai, T.Ono and M.Esashi : Fabrication of diamond Schottky emitter array by using electrophoresis pre-treatment and hot-filament chemical vapor deposition, diamond and related materials, 16 (2007) 1398-1402

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0003] しかしながら、描画するパターンの微細化と、半導体ウェハの大口径化が進むことにより、電子ビーム露光装置のスループットが低下していた。例えば、描画すべき画素数が30年程度で2万倍程度に増加しているので、1枚の半導体ウェハを10時間以上かけて描画する場合も生じていた。このようなスループットを改善する目的で、電子ビーム発生装置を小型化する動向にあるが、実際に作製して動作させることは困難であった。

課題を解決するための手段

[0004] 本発明の第1の態様においては、それぞれが凹面を有する複数の凹部が設けられた基板と、複数の凹部に設けられ、電子を放出する複数の電子放出部と、複数の電子放出部のそれぞれに対応して設けられ、対応する電子放出部が放出した電子を加速して電子放出部が設けられた凹部から電子ビームとしてそれぞれ出力する複数の第1電極部と、複数の第1電極部および基板の間において複数の凹部に対応する位置に設けられ、絶縁材料で形成される障壁部とを備える電子ビーム発生装置、電子ビーム照射装置、電子ビーム露光装置を提供する。

[0005] 本発明の第2の態様においては、電子ビーム発生装置の製造方法であって、第1基板に複数の凹部を形成する凹部形成段階と、複数の凹部に、電子を放出する複数の電子放出部を形成する電子放出部形成段階と、複数の電子放出部のそれぞれに対応して、対応する電子放出部が放出した電子を加速して電子放出部が設けられた凹部から電子ビームとして出力する複数の第1電極部を形成する第1電極部形成段階と、第1基板に形成された複数の凹部に対応し、絶縁材料で形成される障壁部を形成する障壁部形成段階とを備える製

造方法を提供する。

[0006] なお、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ある。また、これらの特徴群のサブコンビネーションもまた、発明となりうる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]本実施形態に係る電子ビーム露光装置1000の構成例を半導体ウェハ10と共に示す。

[図2]本実施形態に係る電子ビーム照射装置100の構成例を半導体ウェハ10と共に示す。

[図3]本実施形態に係る電子ビーム発生装置200の構成例を示す。

[図4]本実施形態に係る電子ビーム露光装置1000の変形例を半導体ウェハ10と共に示す。

[図5]本実施形態に係る電子ビーム発生装置200を形成する製造フローの一例を示す。

[図6]本実施形態に係る第1基板510にレジスト400が形成された段階の断面構成を示す。

[図7]本実施形態に係るレジスト400の開口部402から第1基板510がエッチングされた段階の断面構成を示す。

[図8]本実施形態に係る第1基板510に凹部214が形成された段階の断面構成を示す。

[図9]本実施形態に係る第1基板510に、ポリシリコン層216が形成された段階の断面構成を示す。

[図10]本実施形態に係る第1基板510のポリシリコン層216が形成された面に、第1絶縁膜215および第2絶縁膜218が形成された段階の断面構成を示す。

[図11]本実施形態に係る凹部214に電子放出部300が形成された段階の断面構成を示す。

[図12]本実施形態に係る第1基板510の電子放出部300が形成された面

に、第２電極部３２０が形成された段階の断面構成を示す

[図13]本実施形態に係る第１基板５１０の第２電極部３２０が形成された面の反対側の面に、第３電極部３５０が形成された段階の断面構成を示す。

[図14]本実施形態に係る第１基板５１０に、アイソレーション部３４０が形成された段階の断面構成を示す。

[図15]本実施形態に係る第１基板５１０と電子回路部２２０とが張り合わされた段階の断面構成を示す。

[図16]本実施形態に係る第２基板５２０に、絶縁膜５３０と第１電極部３１０が順に成膜された段階の断面構成を示す。

[図17]本実施形態に係る第２基板５２０上の第１電極部３１０に、開口部３１２が形成された段階の断面構成を示す。

[図18]本実施形態に係る第２基板５２０上の第１電極部３１０に、障壁部３３０が形成された段階の断面構成を示す。

[図19]本実施形態に係る第１基板５１０および第２基板５２０が張り合わされた段階の断面構成を示す。

[図20]本実施形態に係る第２基板５２０、絶縁膜５３０、およびレジスト４００を除去した段階の断面構成を示す。

[図21]本実施形態に係る電子ビーム発生装置２００が形成された段階の断面構成を示す。

発明を実施するための形態

[0008] 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かか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。

[0009] 図１は、本実施形態に係る電子ビーム露光装置１０００の構成例を半導体ウェハ１０と共に示す。電子ビーム露光装置１０００は、複数の電子ビームを照射する電子ビーム照射装置１００を有し、当該電子ビーム照射装置１００を用いて半導体ウェハ１０等に微細パターンを描画する。

- [0010] ここで半導体ウェハ１０は、シリコン、シリコンカーバイド、ゲルマニウム、ガリウムヒ素、窒化ガリウム、ガリウム燐、またはインジウム燐等の半導体材料の結晶を加工して形成された板状の基板でよい。電子ビーム露光装置１０００は、電子ビーム照射装置１００と、ステージ部１１０と、記憶部１２０と、制御部１３０と、通信部１４０と、計算機部１５０とを備える。
- [0011] 電子ビーム照射装置１００は、複数の電子ビームを照射する電子カラムである。電子ビーム照射装置１００は、半導体ウェハ１０の表面に複数の電子ビームを照射して予め定められた描画パターンを描画する。電子ビーム照射装置１００の詳細は後に説明する。
- [0012] ステージ部１１０は、電子ビームを照射する対象物を載置する。図中において、当該対象物を半導体ウェハ１０とした例を示す。ステージ部１１０は、載置した半導体ウェハ１０を水平方向に移動させ、電子ビーム照射装置１００によって半導体ウェハ１０の一方の面に予め定められた微細パターンを予め定められた位置に描画させる。
- [0013] ステージ部１１０は、例えば、ステージの水平平面を移動するＸＹステージを有する。また、ステージ部１１０は、予め定められた回転軸を中心として回転移動する θ ステージを有してよい。また、ステージ部１１０は、ステージの水平位置を調整するチルトステージを更に有してよい。また、ステージ部１１０は、半導体ウェハ１０を垂直方向に移動させ、半導体ウェハ１０および電子ビーム照射装置１００の間の距離を調節するＺステージを更に有してよい。
- [0014] 記憶部１２０は、電子ビーム照射装置１００が描画する描画パターン情報を記憶する。ここで、描画パターン情報は、半導体ウェハ１０の一方の面上の位置情報、および電子ビームを照射するか否かの情報等でよい。記憶部１２０は、予め定められた描画パターン情報を予め記憶してよい。
- [0015] 制御部１３０は、電子ビーム照射装置１００および記憶部１２０にそれぞれ接続され、記憶部１２０に記憶された描画パターン情報に応じて、電子ビーム照射装置１００に複数の電子ビームを出力させる制御信号を送信する。

また、制御部１３０は、ステージ部１１０にそれぞれ接続され、記憶部１２０に記憶された描画パターン情報に応じて、ステージ部１１０を移動させる制御信号を送信してよい。また、制御部１３０は、通信部１４０を介して受け取った指示信号に応じて、電子ビーム照射装置１００および／またはステージ部１１０に制御信号を送信してよい。

[0016] 通信部１４０は、制御部１３０と計算機部１５０とを接続する。通信部１４０は、汎用または専用のインターフェイスを有して、制御部１３０と計算機部１５０とを接続して通信させてよい。通信部１４０は、Ethernet（登録商標）、ＵＳＢ、Serial RapidIO等の汎用の高速シリアルインターフェースまたはパラレルインターフェースを用いてよい。また、通信部１４０は、無線で制御部１３０と計算機部１５０とを接続してよい。

[0017] 計算機部１５０は、制御部１３０に電子ビーム照射装置１００および／またはステージ部１１０を動作させる指示信号を送信する。計算機部１５０は、電子ビーム露光装置１０００を動作させる動作プログラムを実行して、当該動作プログラムに応じて指示信号を送信してよい。また、計算機部１５０は、ユーザの指示を入力させる入力デバイスを有し、ユーザの指示に応じて指示信号を送信してよい。計算機部１５０は、パーソナルコンピュータまたはサーバマシンでよい。

[0018] 図２は、本実施形態に係る電子ビーム照射装置１００の構成例を半導体ウエハ１０と共に示す。図２は、電子ビーム照射装置１００の縦断面の構成例を示す。電子ビーム照射装置１００は、電子ビーム発生装置２００と、加速電極２３０と、電子レンズ２４０とを備える。

[0019] 電子ビーム発生装置２００は、制御信号に応じて、複数の電子ビームを発生させる。電子ビーム発生装置２００は、一例として、面電子ビーム源である。電子ビーム発生装置２００は、基板２１０と、電子回路部２２０とを有する。

[0020] 基板２１０は、複数の凹部が設けられる。当該複数の凹部は、基板２１０の一方の面にマトリクス状に形成されてよい。基板２１０は、当該凹部に複

数の電子ビーム発生源 212 が形成される。電子ビーム発生源 212 の詳細は後に説明する。基板 210 は、シリコン等の半導体結晶でよい。

[0021] 電子回路部 220 は、基板 210 の他方の面に形成され、複数の電子ビーム発生源 212 から電子ビームを出力させる。電子回路部 220 は、複数の電子ビーム発生源 212 のそれぞれを駆動する駆動電圧を供給する回路が形成される。電子回路部 220 は、制御部 130 から制御信号を受け取り、描画パターン情報に応じて、複数の電子ビーム発生源 212 から電子ビームを出力させる。

[0022] 電子回路部 220 の一方の面は、基板 210 と張り合わされる。電子回路部 220 は、シリコン等の半導体基板で形成されてよい。電子回路部 220 は、電子ビーム発生装置 200 が駆動して温度が上昇しても基板 210 または電子回路部 220 に撓みまたは剥がれ等が生じない程度に、基板 210 の熱膨張係数とほぼ同じか、同程度の熱膨張係数を有する材料で形成されてよい。

[0023] 加速電極 230 は、電子ビーム発生装置 200 の電子ビームを出力する側に備わり、電子ビーム発生装置 200 の電子ビームを出力させる電極よりも高い電圧が印加され、当該電子ビームを加速する。加速電極 230 は、複数の電子ビーム発生源 212 にそれぞれ対応する複数の貫通孔が形成され、複数の電子ビームをそれぞれ通過させる。加速電極 230 は、複数の貫通孔をマトリクス状に配列してよい。加速電極 230 は、一定の電圧が印加され、一例として、略 0 V が印加される。

[0024] 電子レンズ 240 は、電子ビーム発生装置 200 から出力される複数の電子ビームによる描画パターンを予め定められた倍率にして対象物である半導体ウェハ 10 に照射する。例えば、電子レンズ 240 は、複数の電子ビームが描画する描画パターンを 1/100 以下に縮小する。電子レンズ 240 は、コイル部 242 と、レンズ部 244 と、減速部 246 とを有する。

[0025] コイル部 242 は、複数の電子ビームの X Y 方向の偏向を制御する。即ち、コイル部 242 は、半導体ウェハ 10 の電子ビームが照射される表面にお

ける当該電子ビームのビーム形状を制御する。コイル部 242 は、電子ビーム照射装置 100 の X 軸または Y 軸と、半導体ウェハ 10 の表面上の X 軸または Y 軸との対応を補正するローテーションコイルでよい。また、コイル部 242 は、半導体ウェハ 10 の表面上のビーム径の X および Y 方向の振幅を補正してもよい。

[0026] レンズ部 244 は、半導体ウェハ 10 の表面上に複数の電子ビームを結像させる。レンズ部 244 は、テレセントリックレンズ系を構成してよく、電子ビーム発生装置 200 の対物レンズとして機能する。

[0027] 減速部 246 は、減速電圧が印加され、当該減速電圧に応じた減速電界を複数の電子ビームに印加する。減速部 246 は、複数の電子ビームを減速させて、予め定められたエネルギーの電子ビームを対象物である半導体ウェハ 10 に照射する。減速部 246 は、半導体ウェハ 10 への入射電圧を、加速電極 230 の加速電圧と当該減速電圧との差分とする。

[0028] 以上の本実施形態に係る電子ビーム照射装置 100 は、面電子ビーム源等の複数の電子ビームを発生させる電子ビーム発生装置 200 を有し、1つの電子カラムから複数の電子ビームを試料に照射してスループットを向上させる。従来、このような複数の電子ビームを発生させる電子ビーム源を製造することは困難であったが、本実施形態に係る電子ビーム発生装置 200 は、半導体製造プロセス等の製造工程により、簡便に製造することができる。

[0029] 図 3 は、本実施形態に係る電子ビーム発生装置 200 の構成例を示す。電子ビーム発生装置 200 は、複数の電子放出部を有し、複数の電子放出部のそれぞれから放出される電子を加速して集束させ、複数の電子ビームとして出力する。電子ビーム発生装置 200 は、図 2 で説明したように、基板 210 と、電子回路部 220 とを有する。また、電子ビーム発生装置 200 は、各部に駆動電圧を供給する電圧供給部 202 を有してよい。また、電子ビーム発生装置 200 は、第 1 電極部 310 が障壁部 330 を介して接続される。

[0030] 電圧供給部 202 は、定電圧発生回路および／または定電流発生回路と、

複数の電極部 204 とを含み、それぞれの電極部 204 に接続される接続先にそれぞれ駆動電圧を供給する。複数の電極部 204 は、ワイヤボンディング等で複数の接続先にそれぞれ接続されてよい。電圧供給部 202 は、電子回路部 220 の基板 210 側とは反対側の面に設けられる。

[0031] ここで、本実施例で説明する電極部は、ニッケル、金、クロム、チタン、アルミニウム、タングステン、パラジウム、ロジウム、白金、銅、ルテニウム、インジウム、イリジウム、オスミウム、および／またはモリブデンを含んでよい。また、当該電極部は、これらの材料を含む 2 以上の材料の合金であってよい。

[0032] 基板 210 は、複数の凹部 214 と、アイソレーション部 340 と、第 3 電極部 350 とが設けられる。複数の凹部 214 は、それぞれが凹面を有する。また、複数の凹部 214 のそれぞれは、球面状または放物面状に形成されてよい。

[0033] 複数の凹部 214 のそれぞれは、一例として、等方性エッチングにより形成され、電子ビームを発生させる電子ビーム発生源 212 が形成される。例えば、複数の凹部 214 は、ウェットエッチングにより形成される。電子ビーム発生源 212 は、ポリシリコン層 216 と、第 1 絶縁膜 215 と、第 2 絶縁膜 218 と、電子放出部 300 と、第 1 電極部 310 と、第 2 電極部 320 と、障壁部 330 とを含む。

[0034] ポリシリコン層 216 は、基板 210 の複数の凹部 214 が形成された面に形成される。ポリシリコン層 216 のうち、凹部 214 に形成された少なくとも一部は、陽極活性され、ナノ結晶化された電子放出部 300 となる。

[0035] 第 1 絶縁膜 215 および第 2 絶縁膜 218 は、基板 210 のポリシリコン層 216 が形成された面に形成される。第 1 絶縁膜 215 および第 2 絶縁膜 218 は、隣り合う電子ビーム発生源 212 のポリシリコン層 216 を電氣的に絶縁して、当該ポリシリコン層 216 を介してリーク電流が発生することを防止する。第 1 絶縁膜 215 は、一例として、熱酸化によって形成される SiO_2 膜等であり、また、第 2 絶縁膜 218 は、CVD 法等によって成膜

されるSiN膜である。

- [0036] 電子放出部300は、複数の凹部214のそれぞれに設けられ、電子を放出する。複数の凹部、即ち複数の電子放出部300は、基板210の一方の面にマトリクス状に配列され、駆動電圧に応じて電子をそれぞれ放出する。また、複数の電子放出部300のそれぞれは、ナノ結晶を有する。例えば、電子放出部300は、ナノ結晶シリコンで形成される。ナノ結晶シリコンは、電子トンネル障壁として機能する表面酸化膜を形成し、当該ナノ結晶シリコンが複数並ぶことにより、電子トンネル障壁を接続した列が形成される。
- [0037] このような電子トンネル障壁の列は、当該障壁に電圧を印加することで、当該障壁を通過させる電子を、例えば数個の単位といった極微量な単位で制御することができる。したがって、電子放出部300は、ナノ結晶を有することで、電子の放出量を精密に、かつ、再現性よく制御することができる。
- [0038] また、電子放出部300は、このようなナノ結晶シリコンが複数並ぶナノワイヤで形成される場合、電子を出力する面に対して当該ナノワイヤが垂直に形成されずに、結晶方位に依存して出力面の法線に対して傾くことがある。この場合、電子放出部300は、出力面の法線方向とは異なる方向に電子を出力させることがある。この場合、電子放出部300は、出力面の法線に対して異なる方向のトンネル確率の分布と、当該方向にナノワイヤが電子を放出する分布との掛け算で、電子放出量が定まる。
- [0039] 電子放出部300は、凹面形状の凹部214を有することで、当該凹面形状を平坦な形状にした場合の電子放出量に比べてより多くの電子を有効な電子ビームとして外部に出力させることができる。例えば、電子放出部300は、電子を放出する分布がより高い方向および／またはトンネル確率の分布がより高い方向を、電子ビームを出力する方向に向けて形成することで、平坦な形状にした場合の電子放出量に比べてより多くの電子を電子ビームとして出力させることができる。一例として、凹部214の形状は、複数の電子放出部300の電子を放出する方向と、当該方向の電子のトンネル確率との乗算がより大きくなる方向を、対応する第1電極部310の開口部に向ける

。

[0040] また、複数の電子放出部 300 のそれぞれは、ナノ結晶に代えて、放出する電子をトンネリングさせる絶縁膜を有してよい。このような絶縁膜は、放出する電子の量をトンネルする確率によって調整することができるので、当該絶縁膜の材質、膜厚および絶縁膜に印加する電圧によって、電子の放出量を制御することができる。

[0041] 第 1 電極部 310 は、複数の電子放出部 300 のそれぞれに対応して設けられ、対応する電子放出部 300 が放出した電子を加速して電子放出部 300 に設けられた凹部 214 から電子ビームとして出力する。複数の第 1 電極部 310 のそれぞれは、開口部 312 を有し、基板 210 の複数の凹部 214 が設けられる一方の面に板状に形成され、対応する凹部 214 との電位差によって開口部 312 から電子ビームを集束させて出力させる。開口部 312 は、第 1 電極部 310 および／または電子放出部 300 の中心近辺に形成される。開口部 312 は、円形の貫通孔でよい。

[0042] 図中において、第 1 電極部 310 a は、電子放出部 300 a に対応して設けられ、電子放出部 300 a が放出する電子を加速して開口部 312 a から電子ビームとして出力させる例を示す。同様に、第 1 電極部 310 b は、電子放出部 300 b に対応して設けられ、電子放出部 300 b が放出する電子を加速する。ここで、複数の第 1 電極部 310（図中の例では第 1 電極部 310 a および第 1 電極部 310 b）は、電氣的に接続され、予め定められた定電圧が印加される。

[0043] 第 1 電極部 310 は、基板 210 の外部に備わる電極等と電氣的に接続され、駆動電圧が印加される接続部を有してよい。当該接続部は、第 1 電極部の一部にメッキ等で導電性物質が更に形成された電極部でよい。接続部は、ワイヤボンディング等によって外部の電極と接続されてよい。

[0044] 第 2 電極部 320 は、複数の凹部 214 のそれぞれに設けられ、当該凹部 214 を覆う導電性物質で形成される。第 2 電極部 320 は、電子放出部 300 から放出された電子を、第 1 電極部 310 との電位差によって開口部 3

12から電子ビームとして出力させる。ここで、第2電極部320は、電子放出部300から放出される電子を通過させる程度に薄く形成される。複数の凹部214に設けられる複数の第2電極部320は、電氣的に接続され、予め定められた定電圧が印加される。

[0045] ここで、第1電極部310および第2電極部320は、これら電極間の電位差が数十から数百Vとなる駆動電圧がそれぞれ印加されてよい。好ましくは、第1電極部310および第2電極部320は、電位差が百数十Vとなる駆動電圧がそれぞれ印加される。一例として、第1電極部310および第2電極部320は、電位差が150Vとなる駆動電圧がそれぞれ印加される。第2電極部320は、接続部322を含む。

[0046] 接続部322は、第2電極部320のうち厚さがより厚く形成される電極部であって、基板210の外部に備わる電極等と電氣的に接続され、駆動電圧が印加される。接続部322は、第2電極部の一部にメッキ等で導電性物質が更に形成された電極部でよい。接続部322は、ワイヤボンディング等によって外部の電極と接続されてよい。

[0047] 障壁部330は、複数の第1電極部310および基板210の間において複数の凹部214に対応する位置に設けられ、絶縁材料で形成される。障壁部330は、基板210と第1電極部310との間を予め定められた距離を離間させ、第1電極部310を支持しつつ、第1電極部310と第2電極部320とを電氣的に絶縁する。障壁部330は、樹脂等で形成されてよく、これに代えて、CVD法等によって成膜される酸化シリコン膜でよい。

[0048] 以上の電子ビーム発生源212は、電子放出部300が放出する電子に、第1電極部310と第2電極部320にそれぞれ印加される駆動電圧によって生じる電界を印加することによって開口部312から電子ビームを発生させる。ここで、電子ビーム発生源212は、凹部214が凹面状、球面状、または放物面状に形成されることで、電子放出部300の電子を放出する面もまた凹面状、球面状、または放物面状に形成される。

[0049] これによって、電子ビーム発生源212は、電子放出部300が電子を放

出する方向を開口部 3 1 2 の方向に合わせて、当該開口部 3 1 2 に集束させやすくすることができる。即ち、電子ビーム発生源 2 1 2 は、開口部 3 1 2 に集束させる電子の数を増加させることができ、発生する電子ビームの密度を高めることができる。

[0050] 電子ビーム発生源 2 1 2 は、発生させた電子ビームを後段の電子レンズ 2 4 0 によって半導体ウェハ 1 0 に照射させる。ここで、電子レンズ 2 4 0 は、光学レンズ等と同様に電子ビームの結像にボケやゆがみ等を生じさせる収差を有する場合がある。例えば、電子レンズ 2 4 0 は、結像させる電子ビームに対して、ビームの中央近傍を走行する電子に比べてビームの外側近傍を走行する電子の焦点位置を短くさせる場合がある。

[0051] そこで、電子ビーム発生源 2 1 2 は、電子放出部 3 0 0 の電子を放出する面を凹面状、球面状、または放物面状に形成させて電子ビームの密度を高めつつ、当該収差を補正してよい。ここで、電子ビーム発生源 2 1 2 が凹部 2 1 4 を平坦にした場合、電子放出部 3 0 0 の電子の放出面の法線方向が開口部 3 1 2 近傍にある領域から出力される電子は、電子ビームの中央に集束されやすい。

[0052] そこで電子放出部 3 0 0 は、電子の放出面を開口部 3 1 2 に向けつつ、当該領域である放出面の中央近傍の領域と開口部 3 1 2 との間の距離よりも、放出面の縁側近傍の領域と開口部 3 1 2 との間の距離を、より短くする面を形成する。即ち、電子ビームの外側に集束されやすい電子がより速く開口部 3 1 2 に到達するように放出面を形成することで、当該電子の焦点距離を長くさせる。これは、凹部 2 1 4 が、電子放出部 3 0 0 の放出面の中心点により近い部分から放出される電子の層流を、当該中心点により近い位置に集中させて負の収差を発生させることに相当する。

[0053] これによって、電子ビーム発生源 2 1 2 は、発生させる電子ビームの中央近傍（例えば、図 3 における A - A'、B - B' で示した凹部 2 1 4 の略中央を通る垂線近傍）を走行する電子に比べて、電子ビームの外側近傍を走行する電子の焦点距離を長くすることができる。例えば、電子ビーム発生源 2 1

2は、電子ビームの光軸の中心から離れるに応じて電子ビームの焦点距離を長くして、電子ビームの照射方向に対する垂直方向の断面において、同心円状に焦点距離の分布を持たせる。このように、電子ビーム発生源212は、電子レンズ240の収差に対応させた放出面を形成することで、電子レンズ240の収差を補正することができる。

[0054] また、電子放出部300の放出面の縁側近傍の領域は、中央近傍の領域に比べて電子ビーム発生源212の外部に近いので、外部電界の影響を受けやすい。即ち、放出面の縁側近傍の領域から出力される電子は、放出面の法線から傾いた方向に出力されやすく焦点距離が長くなりやすい。このように、電子ビーム発生源212は、外部電界に依存して出力させる電子ビームに焦点距離の分布を形成させるので、このような分布に応じて、電子放出部300の放出面の形状を調整して半導体ウェハ10に結像する電子ビームの収差を補正してよい。

[0055] ここで、第2電極部320は、凹部214を覆う電極を形成し、当該凹部214を同電位に保つ。これによって、第2電極部320は、電子放出部300から安定な速度分布の電子を放出させて開口部312近傍に集束させつつ、上記の外部電界の影響を低減させることができる。

[0056] アイソレーション部340は、絶縁物質が充填されて形成される。アイソレーション部340は、複数の電子ビーム発生源212のそれぞれの周囲を囲むように形成され、電子ビーム発生源212間を電氣的に分離する。アイソレーション部340は、一例として、基板210の複数の凹部214が形成される面とは反対側の面において、複数の電子放出部300に対応する複数のリング状または格子状に形成された溝に樹脂等の絶縁材料を充填させて形成される。

[0057] 第3電極部350は、基板210の複数の凹部214が形成される上面とは反対側の下面に、複数の電子放出部300のそれぞれに対応して形成される。第3電極部350は、複数の電子放出部300から電子をそれぞれ放出させる駆動電圧がそれぞれ印加される。第3電極部350は、基板210の

下面に形成される導電膜 352 を有してよい。第 3 電極部 350 は、電子回路部 220 と電氣的に接続される。

[0058] 電子回路部 220 は、基板 210 の他方の面に形成され、複数の電子放出部 300 から電子を放出させる駆動電圧を、複数の電子放出部 300 のそれぞれに対して個別に供給する。電子回路部 220 は、半導体基板に形成され、当該半導体基板の一方の面は、基板 210 と張り合わされてよい。

[0059] ここで電子回路部 220 は、基板 210 に形成される第 3 電極部 350 に対応する複数の電極部 222 を有し、当該電極部 222 が対応する第 3 電極部 350 と電氣的に接続されつつ基板 210 と張り合わされ、当該電極部 222 を介して駆動電圧を供給する。電極部 222 は、例えば、 $100\mu\text{m}$ ピッチ程度で基板 210 に形成される第 3 電極部 350 に対応させるべく、当該第 3 電極部 350 と同程度のピッチで形成される。

[0060] 電子回路部 220 は、外部に備わる電極等と電氣的に接続され、駆動電圧および電源電圧等が印加される複数の接続部 224 を有してよい。当該接続部 224 は、ワイヤボンディング等によって外部の電極と接続されてよい。

[0061] 電子回路部 220 は、複数の電子放出部 300 のそれぞれの配置に応じて、異なるオフセットバイアスを更に印加してよい。複数の電子放出部 300 は、それぞれ個別に駆動電圧を印加されて電子をそれぞれ放出し、対応する複数の電子ビーム発生源 212 は、複数の電子ビームを発生させる。複数の電子ビーム発生源 212 は、発生させた複数の電子ビームを後段の電子レンズ 240 によって結像させて、半導体ウェハ 10 に描画パターンを照射させる。

[0062] ここで、電子レンズ 240 等の光学系は、レンズの中央近傍を通る電子ビームと、レンズの外縁近傍を通る電子ビームとで僅かに焦点位置に差を与え、複数の電子ビームによる描画像にボケやゆがみ等を生じさせる場合がある。例えば、電子レンズ 240 は、レンズの外縁近傍を通る電子ビームに対して、レンズの中央近傍を通る電子ビームに比べて焦点位置を短くさせる場合がある。

[0063] そこで、電子回路部 220 は、電子レンズ 240 の中央近傍を通る電子ビームを発生させる電子ビーム発生源 212 に比べて、電子レンズ 240 の外縁近傍を通る電子ビームを発生させる電子ビーム発生源 212 に対して、高いオフセット電圧を供給する。これによって、電子回路部 220 は、電子レンズ 240 の外縁近傍を通る電子ビームの出力速度を増加させて焦点距離を長くして発生させ、電子レンズ 240 によって短くなる焦点位置と相殺させて補正することができる。

[0064] ここで、複数の電子放出部 300 は、それぞれの配置に応じて複数のブロックに分配され、電子回路部 220 は、当該ブロック毎にオフセットバイアスを印加してよい。例えば、複数の電子放出部 300 のうち、基板 210 の一方の面上において中央近辺に配置され、電子レンズ 240 の中央近傍を通る電子ビームとなる電子を放出する複数の電子放出部 300 は、同一のブロックに分配される。また、その他の電子放出部 300 は、中央のブロックを中心に、略同心円状に 1 以上のブロックに分配されてよい。

[0065] このように、複数の電子放出部 300 は、電子レンズ 240 の中央近傍を通る電子ビームを出力させる電子放出部 300 を中心ブロックとして、電子レンズ 240 の外縁方向に同心円状に 1 以上に分割された環状領域に対応する電子放出部 300 を、他のブロックとして分配される。電子回路部 220 は、当該ブロック毎に異なるオフセットバイアスを印加することで、電子レンズ 240 の中央近傍を通る電子ビームを中心に、同心円状に分割された領域毎に電子ビームの焦点位置を調節することができ、効率的に描画パターンの結像を補正することができる。

[0066] 電子回路部 220 は、第 1 電極部 310 および第 2 電極部 320 に、数十 kV の負電圧を印加する。一例として、電子回路部 220 は、同心円の中央に分配された電子放出部 300 に対応する第 2 電極部 320 に -20 kV を、対応する第 1 電極部 310 に $-20\text{ kV} + 150\text{ V}$ を印加する。

[0067] この場合、電子ビーム発生源 212 は、 150 V の電位差によって生じる電界を電子放出部 300 から放出する電子に印加して電子ビームを発生させ

、発生した電子ビームを加速電極 230 との略 20 kV の電位差で加速させる。また、電子回路部 220 は、中央のブロックから外縁に向けて n ブロック異なる毎に、対応する第 2 電極部に $-20\text{ kV} + n\text{ V}$ を、対応する第 1 電極部に $-20\text{ kV} + 150\text{ V} + n\text{ V}$ を印加する。このように、電子回路部 220 は、ブロックが異なる毎に駆動電圧を 1 V 程度変化させて、電子ビームの加速電界をブロック毎に微調整してよい。

[0068] 以上の本実施例に係る電子ビーム発生装置 200 は、複数の電子ビーム発生源 212 を有し、当該複数の電子ビーム発生源 212 をそれぞれ個別に駆動して複数の電子ビームを出力させることができる。これによって、電子ビーム発生装置 200 を備える電子ビーム照射装置 100 は、複数の電子ビームによって予め定められた描画パターンを対象物に照射することができる。

[0069] ここで、電子ビーム発生源 212 は、半導体基板に等方性エッチング等の簡便な方法で形成された複数の凹部 214 にそれぞれ形成される。したがって、複数の電子ビーム発生源 212 は、半導体製造プロセス等によって基板 210 に形成することができる。即ち例えば、電子ビーム発生源 212 は、基板 210 の $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ の面積に、 100×100 個のマトリクス状に配列されて形成される。このように、電子ビーム発生源 212 は、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 程度のピッチのマトリクス状に形成することで、電子レンズ 240 によって $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下程度のピッチの描画パターンを対象物に照射することができる。

[0070] また、電子ビーム発生装置 200 に備わる電子ビーム発生源 212 は、複数の凹部 214 と、複数の凹部 214 に対応する位置に別プロセスで形成させた障壁部 330 とを有する。これによって、電子ビーム発生装置 200 は、凹面状、球面状、または放物面状といった予め定められた形状の底部を有する円柱状の穴等を精密に形成すること無しに、複数の電子ビーム発生源 212 を簡便に形成することができる。このように、電子ビーム発生装置 200 は、小面積、かつ、高密度に形成させた複数の電子ビーム発生源 212 を備えることができる。したがって、電子ビーム照射装置 100 は、装置の大

きを小型にしつつ、１０００程度の電子ビームを照射することができる。

[0071] 以上の本実施例において、電子ビーム発生装置２００および電子ビーム照射装置１００は、電子ビーム露光装置１０００に用いられる例を説明した。これに代えて、電子ビーム発生装置２００および電子ビーム照射装置１００は、電子ビームを用いる装置に備わってよく、電子顕微鏡、電子線マイクロアナライザ、ブラウン管、送信管、撮像管、真空管、加工装置、加熱装置、または滅菌装置等に用いられてもよい。

[0072] 図４は、本実施形態に係る電子ビーム露光装置１０００の変形例を半導体ウェハ１０と共に示す。本変形例の電子ビーム露光装置１０００において、図１に示された本実施形態に係る電子ビーム露光装置１０００の動作と略同一のものには同一の符号を付け、説明を省略する。電子ビーム露光装置１０００は、複数の電子ビームを照射する電子ビーム照射装置１００を複数有し、複数の電子ビームを照射して、描画パターン情報に応じた描画パターンを対象物である半導体ウェハ１０に描画する。

[0073] 電子ビーム照射装置１００は、電子ビーム露光装置１０００に２以上備わる。図中において、電子ビーム照射装置１００は、水平方向の断面積が半導体ウェハ１０の表面積よりも小さく形成され、電子ビーム露光装置１０００に複数備わる例を示す。複数の電子ビーム照射装置１００は、半導体ウェハ１０の表面にそれぞれ複数の電子ビームを照射して予め定められた描画パターンを描画する。複数の電子ビーム照射装置１００は、それぞれの描画を並行して実行してよい。電子ビーム照射装置１００の詳細は既に図２で説明した。

[0074] ステージ部１１０は、載置した半導体ウェハ１０を水平方向に移動させ、複数の電子ビーム照射装置１００によって半導体ウェハ１０の一方の面に予め定められた微細パターンを予め定められた位置に描画させる。記憶部１２０は、複数の電子ビーム照射装置１００が描画する描画パターン情報を記憶する。制御部１３０は、複数の電子ビーム照射装置１００にそれぞれ接続さ

れ、記憶部 120 に記憶された描画パターン情報に応じて、複数の電子ビーム照射装置のそれぞれに複数の電子ビームを出力させる制御信号を送信する。

[0075] このように、複数の電子ビーム発生源 212 が基板 210 に一体となって形成される電子ビーム発生装置 200 を用いることで、電子ビーム照射装置 100 を小型化することができ、電子ビーム露光装置 1000 は、複数の電子ビーム照射装置 100 を搭載することができる。2 以上の電子ビーム照射装置 100 を備える電子ビーム露光装置 1000 は、半導体ウェハ 10 に、2 以上の描画パターンを並行して照射することができ、搭載する電子ビーム照射装置 100 の数に応じてスループットを向上させることができる。

[0076] 図 5 は、本実施形態に係る電子ビーム発生装置 200 を形成する製造フローの一例を示す。また、図 6 から図 21 は、本実施形態に係る電子ビーム発生装置 200 が形成される過程における第 1 基板 510 および／または第 2 基板 520 の断面を示す。図 5 の製造フローを実行することにより、第 1 基板 510 は、本実施形態の基板 210 に加工され、第 2 基板 520 と張り合わされて電子ビーム発生装置 200 が形成される。ここで、本実施例は、第 1 基板 510 をシリコン基板として説明する。

[0077] まず、第 1 基板 510 に複数の凹部 214 を形成する (S400)。凹部 214 は、一例として、フォトリソグラフィを用いて形成される。図 6 は、本実施形態に係る第 1 基板 510 にレジスト 400 が形成された段階の断面構成を示す。第 1 基板 510 は、形成する凹部 214 の形状に応じて、レジスト 400 が形成される。レジスト 400 は、感光性のレジストでよく、露光されることで溶解または固化して、フォトリソ等によって予め定められた領域のレジスト 400 が除去される。

[0078] 次に、第 1 基板 510 は、レジスト 400 が除去された領域から等方性エッチングされる。例えば、第 1 基板 510 は、ウェットエッチングによって等方性エッチングされる。これに代えて、第 1 基板 510 は、ドライエッチング等で予め定められた形状にエッチングされてもよい。図 7 は、本実施形

態に係るレジスト400の開口部402から第1基板510がエッチングされた段階の断面構成を示す。

[0079] レジストの開口部402は、一例として、当該レジストが形成された面において円形の開口部402が形成され、第1基板510は、当該面において略円形にエッチングされる。また、第1基板510は、レジスト400が除去された開口部402の開口形状、レジストの厚さ、およびレジスト材料に応じた形状にエッチングされて、例えば凹面形状を有する凹部214が形成される。

[0080] 第1基板510は、凹部214が形成されるとレジスト400が除去される。図8は、本実施形態に係る第1基板510に凹部214が形成された段階の断面構成を示す。図8は、凹部214が凹面形状を有する例を示す。ここで、レジスト400の開口部402の開口形状、レジスト400の厚さ、および材料を調節することで、凹部214の形状を球面状、または放物面状に形成することもできる。

[0081] 次に、複数の凹部214に、電子を放出する複数の電子放出部300を形成する(S410)。まず、第1基板510は、凹部214が形成された一方の面に、CVD(Chemical Vapor Deposition: 化学気相成長)法等によって、ポリシリコン層216が成膜される。

[0082] ここで、ポリシリコン層216は、一例として、第1基板510の上面の予め定められた領域に第1絶縁膜215が形成された後に、成膜される。第1絶縁膜215は、一例として、レジストの形成とパターニング等によって予め定められた形状に形成される酸化シリコン膜である。図9は、本実施形態に係る第1基板510に、ポリシリコン層216が形成された段階の断面構成を示す。

[0083] 次に、第1基板510は、ポリシリコン層216をエッチングして、形成すべき複数の電子ビーム発生源212に対応する形状に当該ポリシリコン層216が分離される。一例として、ポリシリコン層216は、第1基板510の上面においてマトリクス状に分離される。この場合、一例として、ポリ

シリコン層 216 は、凹部 214 を覆うレジストが形成され、 SF_2 および O_2 等を用いたドライエッチングによって分離され、第 1 絶縁膜 215 はポリシリコン層 216 のエッチングストップ層として機能する。

[0084] 次に、第 1 基板 510 は、ポリシリコン層 216 が形成された面において、第 1 絶縁膜 215 上に第 2 絶縁膜 218 が形成される。一例として、第 2 絶縁膜 218 は、CVD 法等によって成膜される SiN 膜でよい。第 1 絶縁膜 215 および第 2 絶縁膜 218 によって、凹部 214 にそれぞれ形成されたポリシリコン層 216 は、隣のポリシリコン層 216 に対して電氣的に絶縁される。

[0085] 例えば、第 1 基板 510 は、第 2 絶縁膜 218 が成膜された後に、凹部 214 以外の領域を覆うレジストが形成される。一例として、レジストは、フィルムレジストをパターニングすることで形成されてよい。そして、凹部 214 に成膜された第 2 絶縁膜 218 は、反応性イオンエッチング等のドライエッチングで除去される。当該第 2 絶縁膜 218 が除去された後に、レジストは除去される。

[0086] 図 10 は、本実施形態に係る第 1 基板 510 のポリシリコン層 216 が形成された面に、第 1 絶縁膜 215 および第 2 絶縁膜 218 が形成された段階の断面構成を示す。以上のような過程を経て、第 1 基板 510 は、複数の凹部 214 が形成された一方の面を第 2 絶縁膜 218 で覆い、複数の凹部 214 に形成されたポリシリコン層 216 を露出させる。

[0087] 次に、露出されたポリシリコン層 216 は、フッ化水素 (HF) 水溶液中において陽極活性される。そして、当該ポリシリコン層 216 は、RTO (Rapid-Thermal-Oxidation) 法による酸化工程、HWA (High-Pressure Water vapor Annealing) 法によるアニール工程、および SCRD (Super Critical Rinse and Dry) 法による乾燥工程を経て、欠陥の少ないナノ結晶シリコンが形成される。

[0088] このように、凹部 214 に対応して形成されたポリシリコン層 216 は、

ナノ結晶シリコンを含む電子放出部 300 に形成される。図 11 は、本実施形態に係る凹部 214 に電子放出部 300 が形成された段階の断面構成を示す。

[0089] 次に、第 2 電極部 320 を形成する (S420)。第 1 基板 510 は、凹部 214 が形成された面に、第 2 電極部 320 および接続部 322 となる金属を成膜する。第 2 電極部 320 および接続部 322 は、一例として、蒸着等で成膜される。第 2 電極部 320 および接続部 322 は、チタン、クロム、または金等の金属を含んでよい。図 12 は、本実施形態に係る第 1 基板 510 の電子放出部 300 が形成された面に、第 2 電極部 320 が形成された段階の断面構成を示す。

[0090] 次に、第 3 電極部 350 を形成する (S430)。第 3 電極部 350 は、第 1 基板 510 の凹部 214 が形成された面の反対側の面に、導電膜が成膜されて形成される。一例として、導電膜 352 が成膜された後に、フォトリソグラフィ等によって第 3 電極部 350 が形成される。ここで、成膜する材料は、チタン、クロム、または金等を含んでよく、蒸着等によって成膜されてよい。図 13 は、本実施形態に係る第 1 基板 510 の第 2 電極部 320 が形成された面の反対側の面に、第 3 電極部 350 が形成された段階の断面構成を示す。

[0091] なお、このように、第 1 基板 510 の凹部 214 が形成された面の反対側の面を加工する場合、一例として、第 1 基板 510 の凹部 214 が形成された面は、ガラスまたはシリコン等で形成される保持用基板がレジストまたは接着層等によって一時的に接着固定される。保持用基板は、作業者に第 1 基板 510 をハンドリングし易くさせる板状の基板でよく、加工が終了した段階で分離される。

[0092] 次に、アイソレーション部 340 を形成する (S440)。アイソレーション部 340 は、第 1 基板 510 における凹部 214 とは反対側の面から複数の電子放出部 300 の間を切削して絶縁物を充填して形成される。アイソレーション部 340 は、当該反対側の面から、第 1 絶縁膜 215 に達するま

でエッチングされ、複数の電子放出部 300 を電氣的にそれぞれ分離する。
アイソレーション部 340 は、当該反対側の面において、略円形の溝状に形成されてよく、これに変えて、格子形状に形成されてもよい。

[0093] まず、第 1 基板 510 の当該反対の面に、レジストを形成してパターンニングし、第 3 電極として残す領域を当該レジストで覆う。次に、第 1 基板 510 は、形成されたレジストの開口から反応性イオンエッチング等でエッチングされる。当該エッチングは、第 1 絶縁膜 215 をエッチングストップ層としてエッチングしてよい。

[0094] また、当該エッチングによって形成される溝部は、一例として、テーパを有して形成される。即ち、当該溝部は、エッチングの深さが深くなるほど溝の幅が狭くなるように形成される。これによって、次のプロセスである絶縁物の充填において、空乏等の不良の発生を抑制することができる。レジストは、エッチングを実行した後に、除去される。

[0095] 次に、エッチングによって形成される溝部は、絶縁物が充填され、アイソレーション部 340 が形成される。ここで、絶縁物は、ポリマー等でよい。一例として、アイソレーション部 340 は、第 1 基板 510 の第 3 電極が形成される面から見て、XY 方向にそれぞれ略 100 μm ピッチのリング状に形成され、電子放出部 300 を電氣的に絶縁する。図 14 は、本実施形態に係る第 1 基板 510 に、アイソレーション部 340 が形成された段階の断面構成を示す。なお、この段階において、第 1 基板 510 は、本実施形態に係る基板 210 として形成されることになる。

[0096] 次に、第 1 基板 510 は、第 3 電極が形成される面に電子回路部 220 が張り合わされる (S450)。ここで、第 1 基板 510 は、電子回路部 220 の電極部 222 と対応する第 3 電極部 350 とが電氣的に接続されて張り合わされる。電極部 222 は、アルミニウム、クロム、金、またはインジウム等を含んでよく、一例として、アルミニウムの電極パッド上に、クロム、金、インジウムの順に蒸着されて形成される。

[0097] これによって、第 3 電極部 350 と電極部 222 とが物理的に接続されて

、界面の層が金－インジウム－金となる。この状態で、インジウムの融点以上の温度を数分から数十分程度加熱することで、金およびインジウムは合金化し、第3電極部350および電極部222は接合する。一例として、当該加熱温度は、200℃程度である。図15は、本実施形態に係る第1基板510と電子回路部220とが張り合わされた段階の断面構成を示す。

[0098] 次に、第2基板520上に複数の第1電極部310を形成する(S460)。なお、第2基板520は、第1基板510とは別個の基板を用いるので、第1基板510の加工と並行して加工されてよく、これに代えて、第1基板510の加工前に加工されてもよい。

[0099] 第2基板520は、絶縁膜530と第1電極部310が順に成膜される。第1電極部310は、導電性を有する。一例として、第2基板520、絶縁膜530、および第1電極部310は、絶縁膜530を内部に有するSOI(Silicon On Insulator)基板500である。この場合、SOI基板の表面層は、イオン等が注入されて導電性を有し、加工されて第1電極部310が形成される。図16は、本実施形態に係る第2基板520に、絶縁膜530と第1電極部310が順に成膜された段階の断面構成を示す。

[0100] 次に、第2基板520上の第1電極部310は、予め定められた電極形状にエッチングされる。即ち、第1電極部310は、この段階において、電子ビーム発生源212の引き出し電極形状に加工される。また、第1電極部310は、後に電子ビーム発生源212の電子ビーム射出部となる開口部312が形成される。

[0101] 第1電極部310は、一例として、レジストが形成されてパターンニングされた後に、ドライエッチング等によってエッチングされる。この場合、絶縁膜530は、一例として、エッチングストップ層として機能する。図17は、本実施形態に係る第2基板520上の第1電極部310に、開口部312が形成された段階の断面構成を示す。

[0102] 次に、第2基板520上に複数の障壁部330を形成する(S470)。

複数の障壁部 330 のそれぞれは、第 1 基板 510 に形成された複数の凹部 214 にそれぞれ対応し、絶縁材料で形成される。即ち、障壁部 330 は、第 2 基板 520 上における複数の凹部 214 に対応する予め定められた位置に形成される。ここで、絶縁材料は、例えば、接着性を有するレジストを含む。また、絶縁材料は、樹脂、酸化シリコン、または窒化シリコン等を含んでもよい。

[0103] 障壁部 330 は、一例として、まず、第 2 基板 520 上の第 1 電極部 310 に形成された開口部 312 にレジスト 400 が充填された後に形成される。例えば、障壁部 330 は、レジスト 400 が充填された第 2 基板 520 上に、接着性を有するレジストをパターニングして形成される。ここで、障壁部 330 は、一例として、複数の開口部 312 のそれぞれを囲む格子状に形成される。図 18 は、本実施形態に係る第 2 基板 520 上の第 1 電極部 310 に、障壁部 330 が形成された段階の断面構成を示す。

[0104] 次に、第 1 基板 510 の複数の凹部 214 側の面と、第 2 基板 520 の障壁部 330 側の面とを張り合わせる (S480)。第 1 基板 510 および第 2 基板 520 は、複数の障壁部 330 のそれぞれが、対応する凹部 214 を囲むように張り合わせられる。即ち、複数の電子放出部 300 のそれぞれの略中心を通る垂線が、対応する開口部 312 の略中心を通るように張り合わせられる。第 1 基板 510 および第 2 基板 520 は、障壁部 330 が含む接着性を有するレジストと、第 2 絶縁膜 218 上の第 2 電極部 320 とが接着されて張り合わせられる。図 19 は、本実施形態に係る第 1 基板 510 および第 2 基板 520 が張り合わされた段階の断面構成を示す。

[0105] 次に、第 2 基板 520 をエッチングする (S490)。ここで、第 2 基板 520、絶縁膜 530、および開口部 312 を充填したレジスト 400 をエッチングして除去する。これらは、順にドライエッチングまたはアッシング等により除去してよい。図 20 は、本実施形態に係る第 2 基板 520、絶縁膜 530、およびレジスト 400 を除去した段階の断面構成を示す。

[0106] 次に、電極間を配線する。第 1 電極部 310 の接続部、第 2 電極部 320

の接続部 3 2 2、および電子回路部 2 2 0 の接続部 2 2 4 は、電圧供給部 2 0 2 の電極部 2 0 4 にそれぞれ配線される。当該配線は、ワイヤボンディング等でよい。ワイヤボンディングで配線される場合、それぞれの接続部および電極部は、メッキ等でボンディングパッドが更に形成されてよい。以上の製造フローによって、電子ビーム発生装置 2 0 0 を形成することができる。図 2 1 は、本実施形態に係る電子ビーム発生装置 2 0 0 が形成された段階の断面構成を示す。

[0107] 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ることが可能であ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。

[0108] 請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、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ものではない。

符号の説明

[0109] 1 0 半導体ウェハ、1 0 0 電子ビーム照射装置、1 1 0 ステージ部、1 2 0 記憶部、1 3 0 制御部、1 4 0 通信部、1 5 0 計算機部、2 0 0 電子ビーム発生装置、2 0 2 電圧供給部、2 0 4 電極部、2 1 0 基板、2 1 2 電子ビーム発生源、2 1 4 凹部、2 1 6 ポリシリコン層、2 1 5 第 1 絶縁膜、2 1 8 第 2 絶縁膜、2 2 0 電子回路部、2 2 2 電極部、2 2 4 接続部、2 3 0 加速電極、2 4 0 電子レンズ、2 4 2 コイル部、2 4 4 レンズ部、2 4 6 減速部、3 0 0 電子放出部、3 1 0 第 1 電極部、3 1 2 開口部、3 2 0 第 2 電極部、3 2 2 接

続部、330 障壁部、340 アイソレーション部、350 第3電極部、352 導電膜、400 レジスト、402 開口部、500 基板、510 第1基板、520 第2基板、530 絶縁膜、1000 電子ビーム露光装置

請求の範囲

- [請求項1] それぞれが凹面を有する複数の凹部が設けられた基板と、
前記複数の凹部に設けられ、電子を放出する複数の電子放出部と、
前記複数の電子放出部のそれぞれに対応して設けられ、対応する電子放出部が放出した電子を加速して前記電子放出部が設けられた凹部から電子ビームとしてそれぞれ出力する複数の第1電極部と、
前記複数の第1電極部および前記基板の間において前記複数の凹部に対応する位置に設けられ、絶縁材料で形成される障壁部と
を備える電子ビーム発生装置。
- [請求項2] 前記複数の凹部は、等方性エッチングにより形成される請求項1に記載の電子ビーム発生装置。
- [請求項3] 前記複数の凹部は、前記基板の一方の面にマトリクス状に形成される請求項1または2に記載の電子ビーム発生装置。
- [請求項4] 前記複数の電子放出部のそれぞれは、ナノ結晶を含み、駆動電圧に応じて電子をそれぞれ放出する請求項1から3のいずれか一項に記載の電子ビーム発生装置。
- [請求項5] 前記複数の電子放出部のそれぞれは、放出される電子をトンネリングする絶縁膜を含む
請求項1から3のいずれか一項に記載の電子ビーム発生装置。
- [請求項6] 前記複数の第1電極部のそれぞれは、開口部を有し、前記基板の前記複数の凹部が設けられる一方の面に板状に形成され、対応する前記凹部との電位差によって前記開口部から前記電子ビームを集束させて出力させる請求項1から5のいずれか一項に記載の電子ビーム発生装置。
- [請求項7] 前記複数の凹部のそれぞれは、前記凹部を覆う導電性物質で形成された第2電極部を有する請求項1から6のいずれか一項に記載の電子ビーム発生装置。
- [請求項8] 前記基板の他方の面に形成され、前記複数の電子放出部から電子を

放出させる駆動電圧を、前記複数の電子放出部のそれぞれに対して個別に供給する電子回路部を更に備える請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の電子ビーム発生装置。

[請求項9] 前記電子回路部は、半導体基板に形成され、当該半導体基板の一方の面は、前記基板と張り合わされる請求項 8 に記載の電子ビーム発生装置。

[請求項10] 前記複数の凹部のそれぞれは、球面状または放物面状に形成される請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の電子ビーム発生装置。

[請求項11] 前記複数の凹部は、ウェットエッチングにより形成される請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の電子ビーム発生装置。

[請求項12] 前記凹部の中心点により近い部分から放出される電子の層流を、前記中心点により近い位置に集中させて負の収差を発生させることを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の電子ビーム発生装置。

[請求項13] 前記凹部の形状は、前記複数の電子放出部の電子を放出する方向と、当該方向の電子のトンネル確率との乗算がより大きくなる前記方向を、対応する第 1 電極部の開口部に向ける請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の電子ビーム発生装置。

[請求項14] 請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載の電子ビーム発生装置と、前記電子ビーム発生装置から出力される複数の電子ビームによる描画パターンを予め定められた倍率にして対象物に照射する電子レンズと、
を備える電子ビーム照射装置。

[請求項15] 1 または複数の請求項 14 に記載の電子ビーム照射装置と、前記対象物を載置するステージ部と、
前記 1 または複数の電子ビームが描画する描画パターン情報を記憶する記憶部と、
前記記憶部に記憶された描画パターン情報に応じて、前記電子ビー

ム照射装置に複数の電子ビームを出力させる制御信号を送信する制御部と、

を備える電子ビーム露光装置。

[請求項16]

電子ビーム発生装置の製造方法であって、

第1基板に複数の凹部を形成する凹部形成段階と、

前記複数の凹部に、電子を放出する複数の電子放出部を形成する電子放出部形成段階と、

前記複数の電子放出部のそれぞれに対応して、対応する電子放出部が放出した電子を加速して前記電子放出部が設けられた前記凹部から電子ビームとして出力する複数の第1電極部を形成する第1電極部形成段階と、

前記第1基板に形成された前記複数の凹部に対応し、絶縁材料で形成される障壁部を形成する障壁部形成段階と

を備える製造方法。

[請求項17]

前記凹部形成段階は、等方性エッチングにより前記複数の凹部を形成する請求項16に記載の製造方法。

[請求項18]

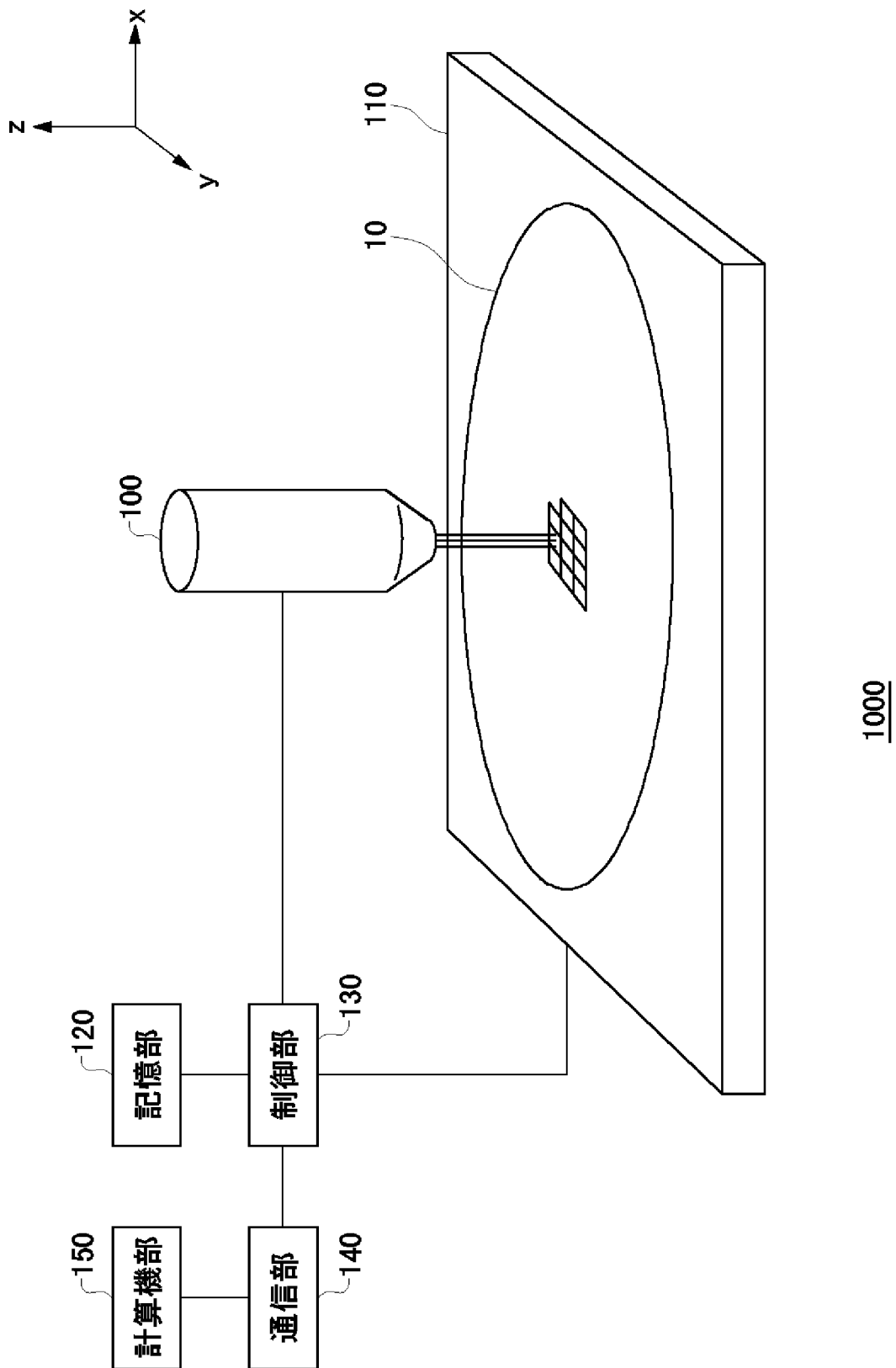
前記第1電極部形成段階は、第2基板上に前記複数の第1電極部を形成し、

前記障壁部形成段階は、前記第2基板上における前記複数の凹部に対応する位置に前記障壁部を形成し、

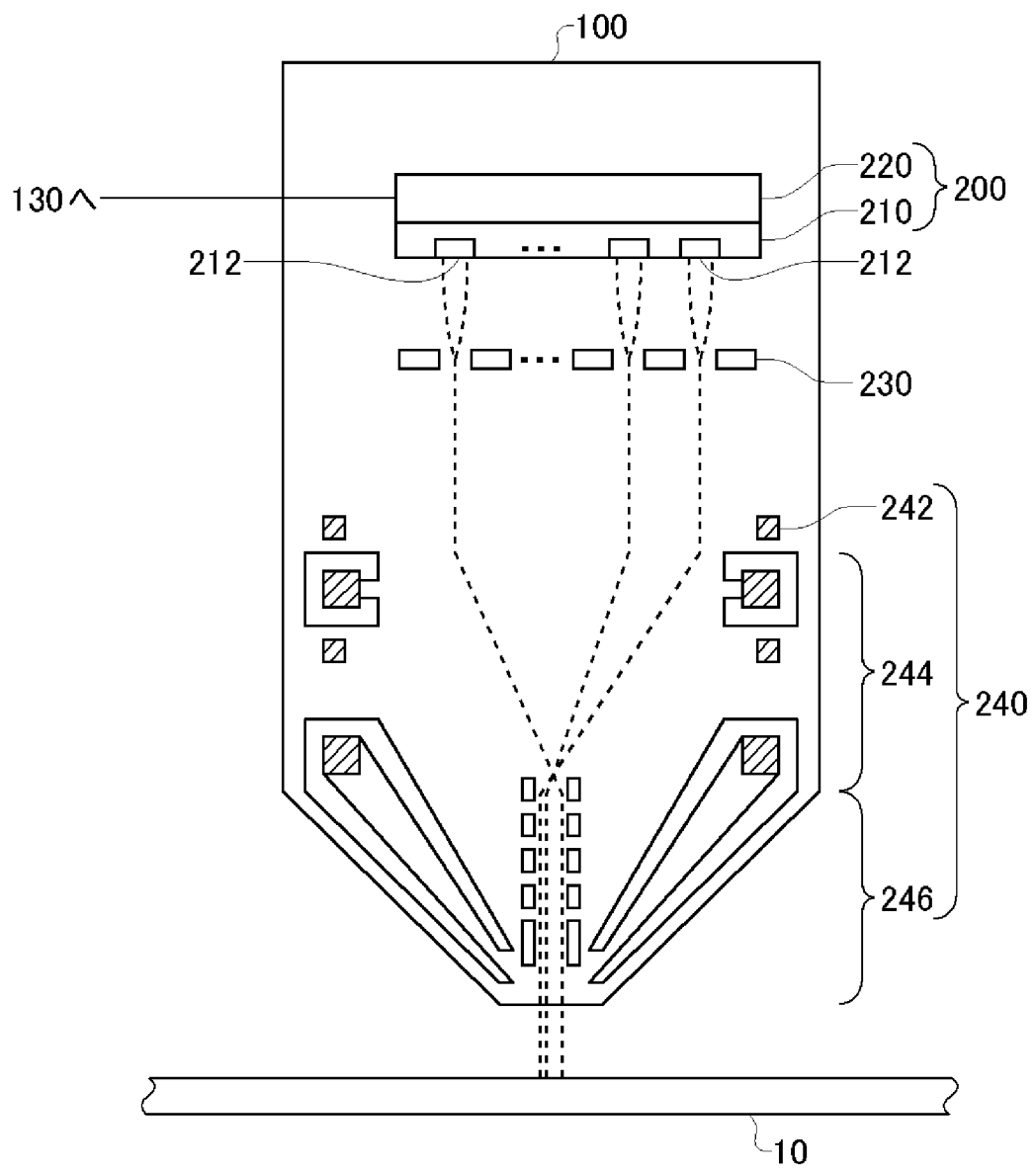
前記第1基板の前記複数の凹部側の面と、前記第2基板の前記障壁部側の面とを張り合わせる張り合わせ段階を更に備える

請求項16または17に記載の製造方法。

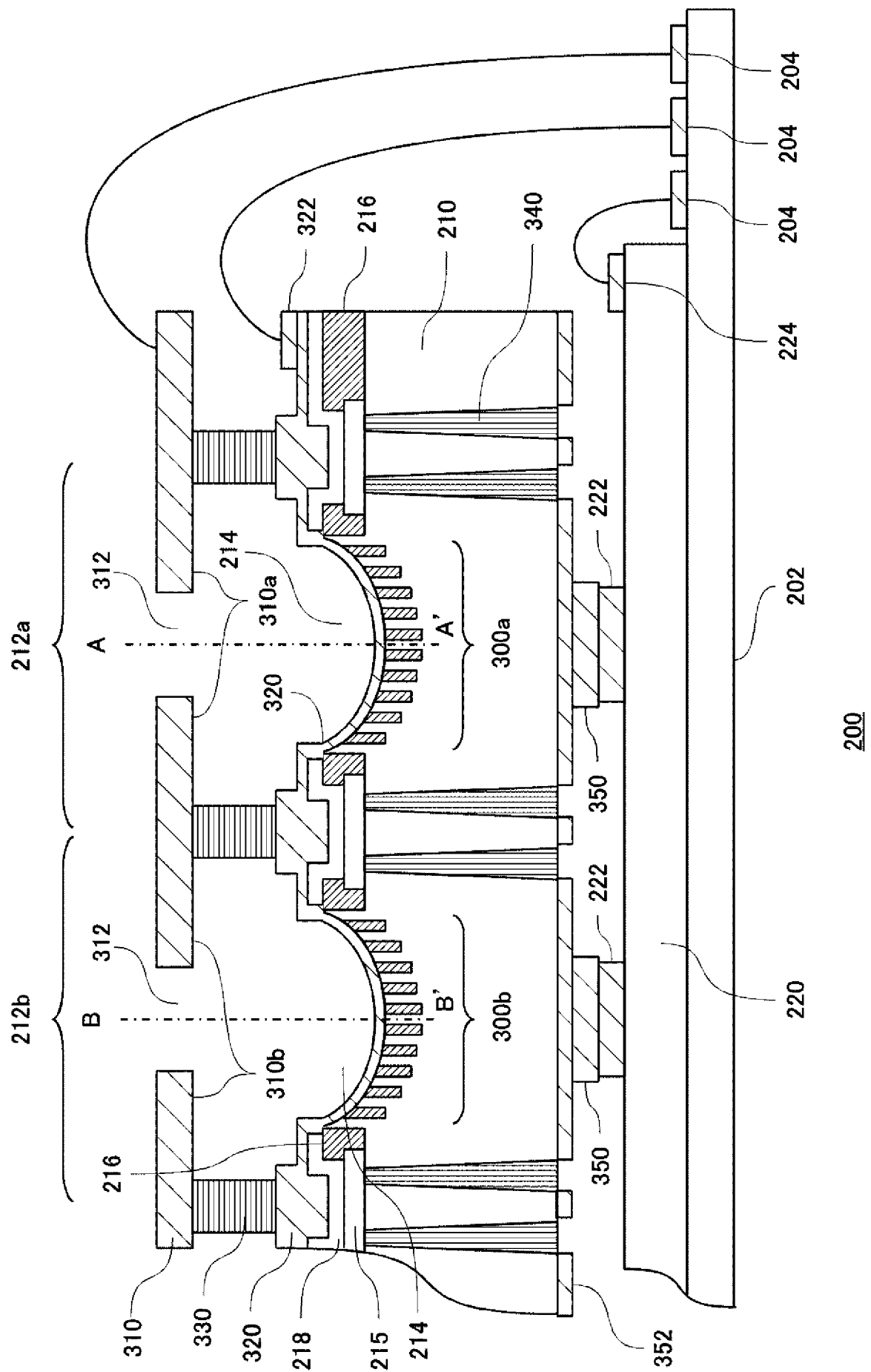
[図1]



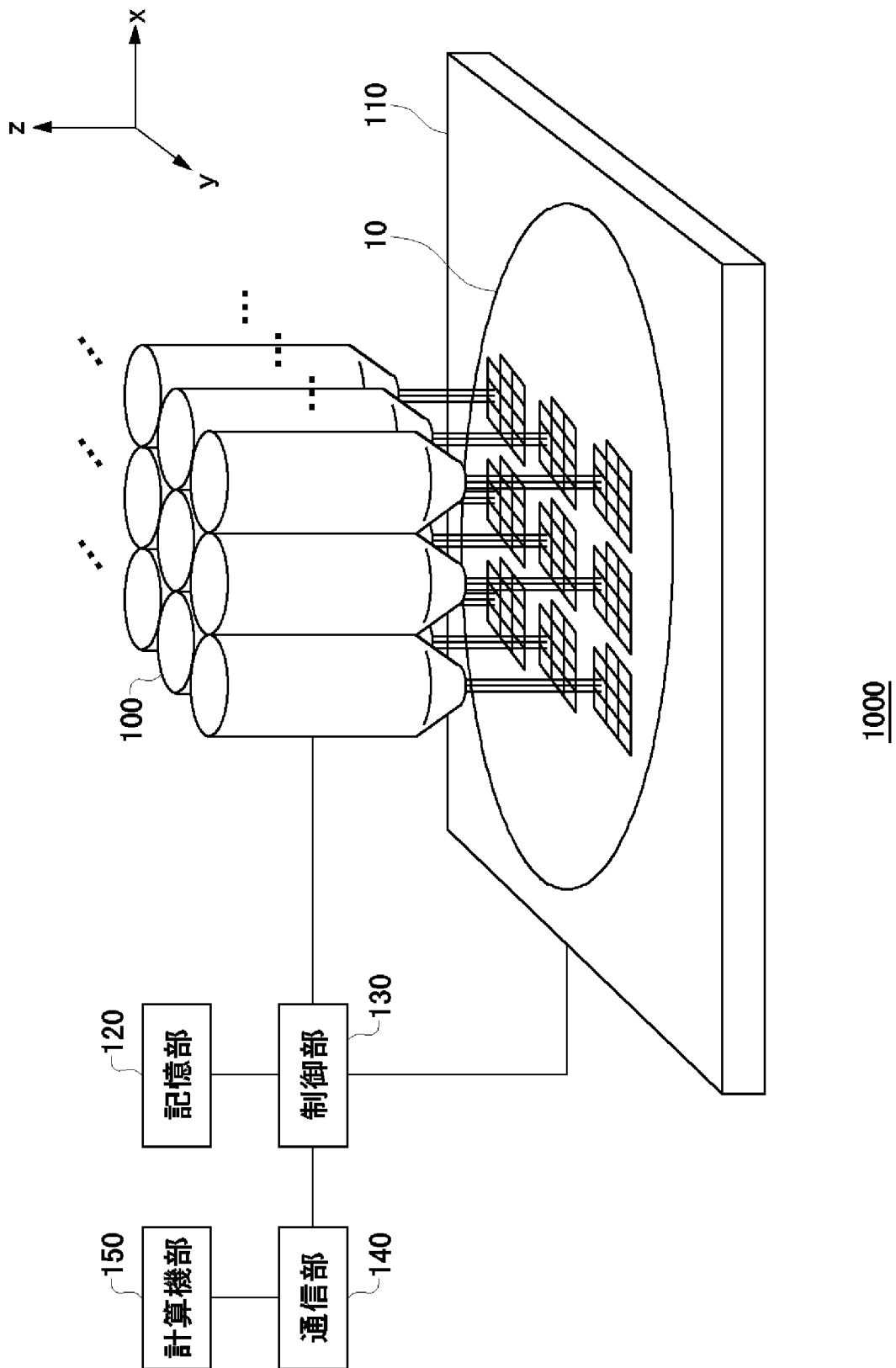
[図2]



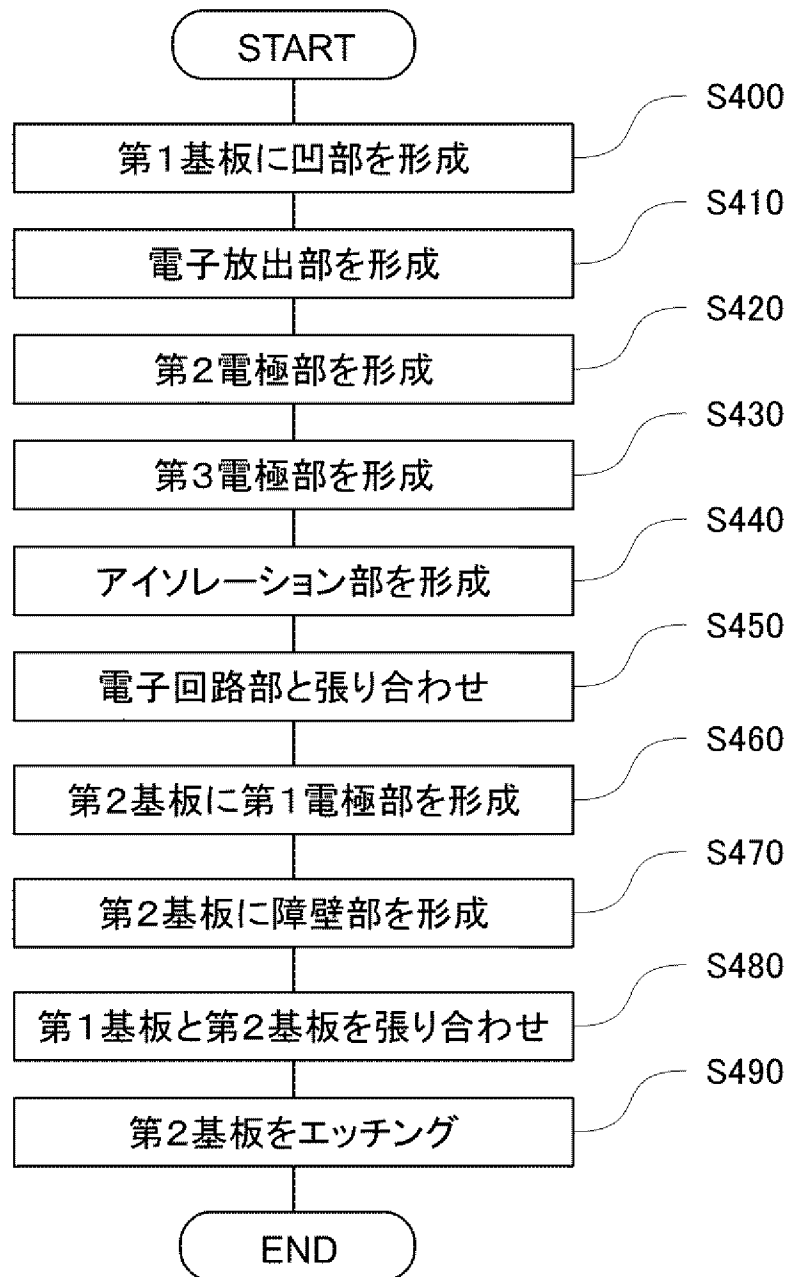
[図3]



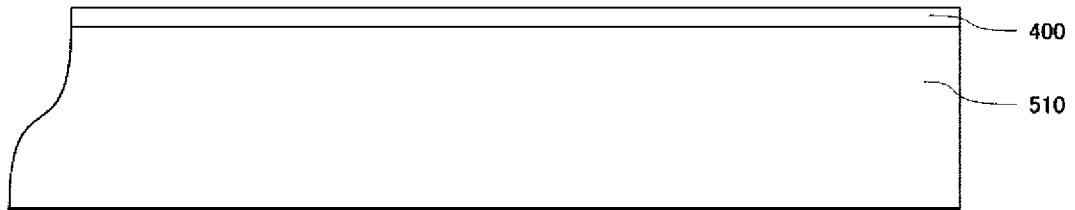
[図4]



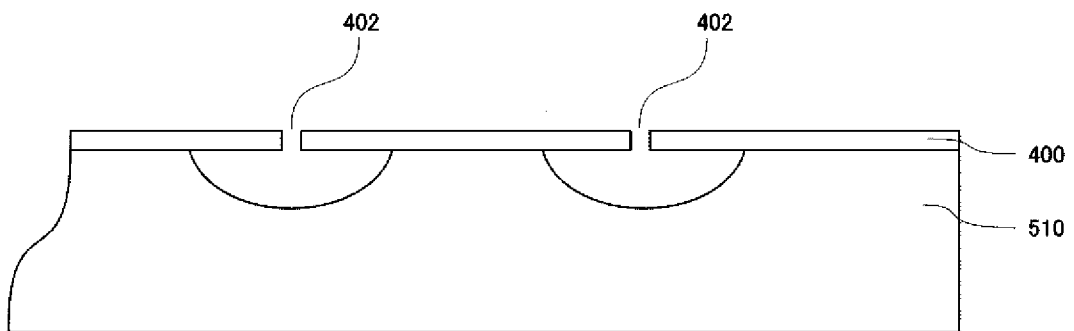
[図5]



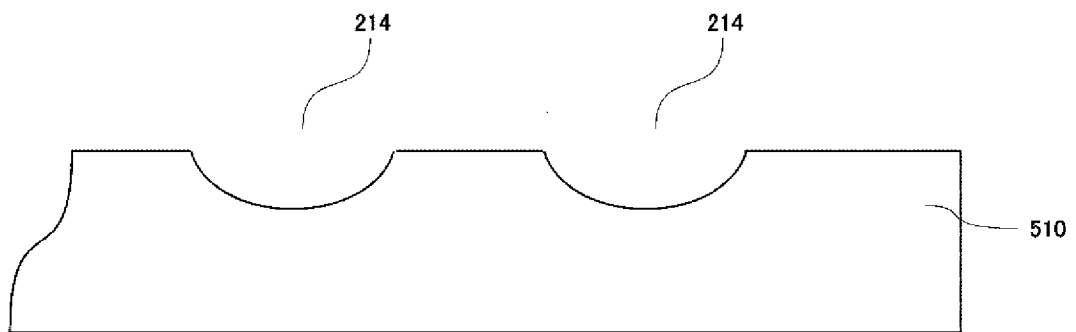
[図6]



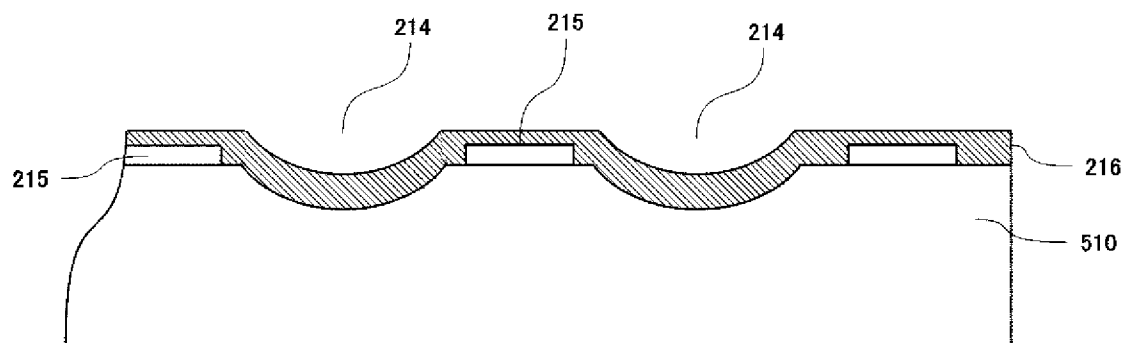
[図7]



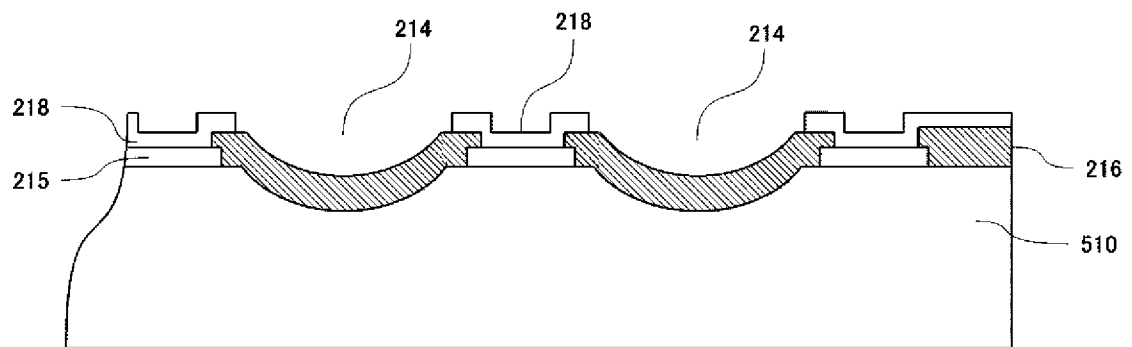
[図8]



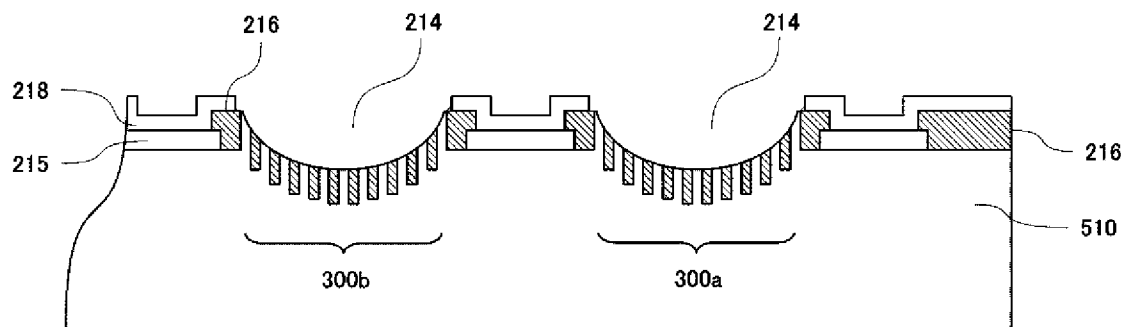
[図9]



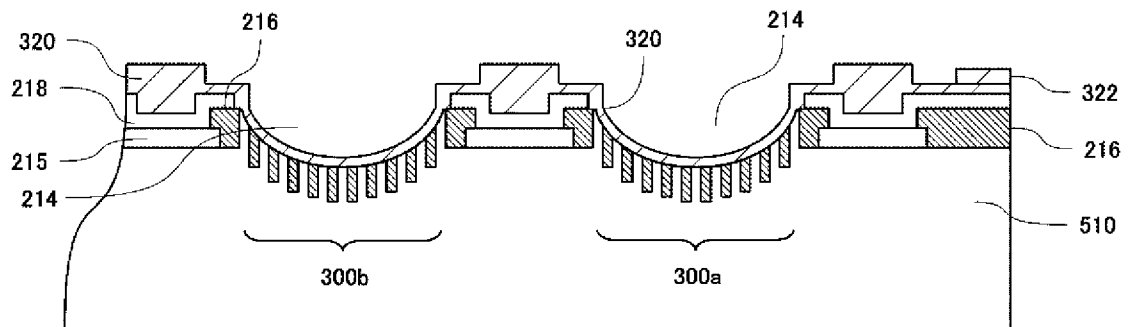
[図10]



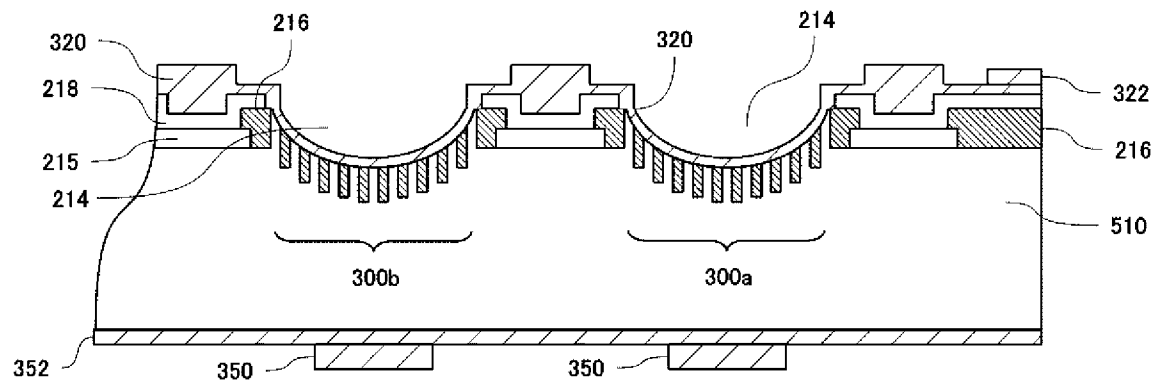
[図11]



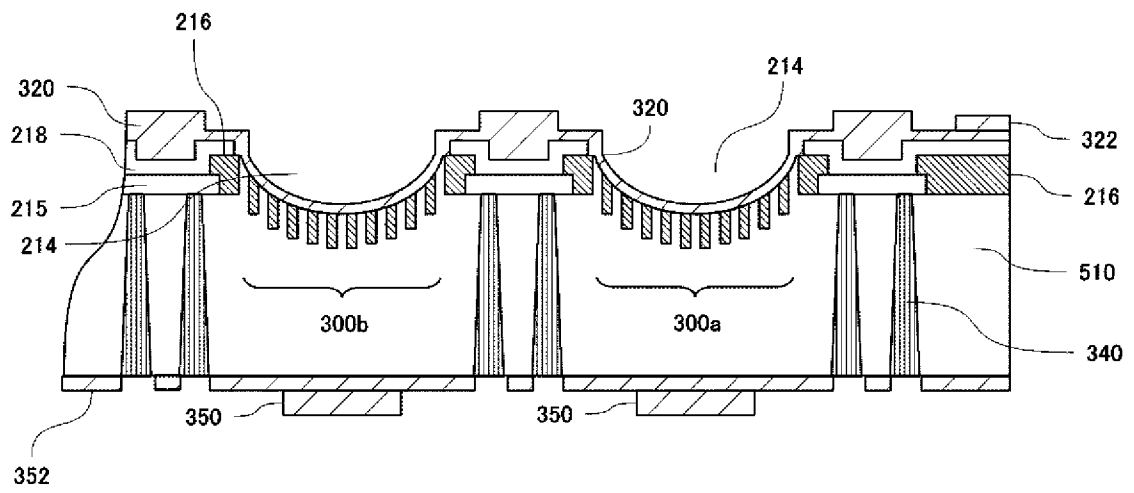
[図12]



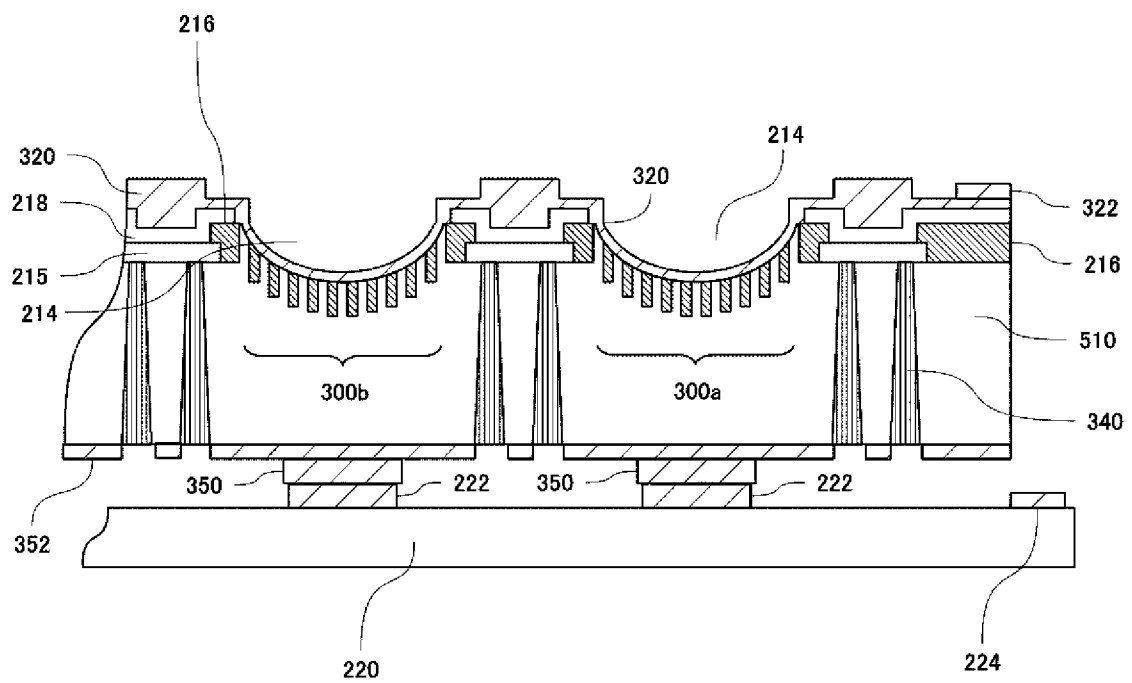
[図13]



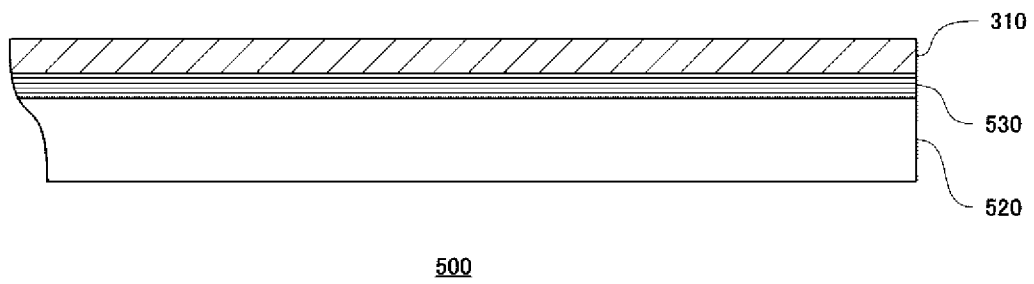
[図14]



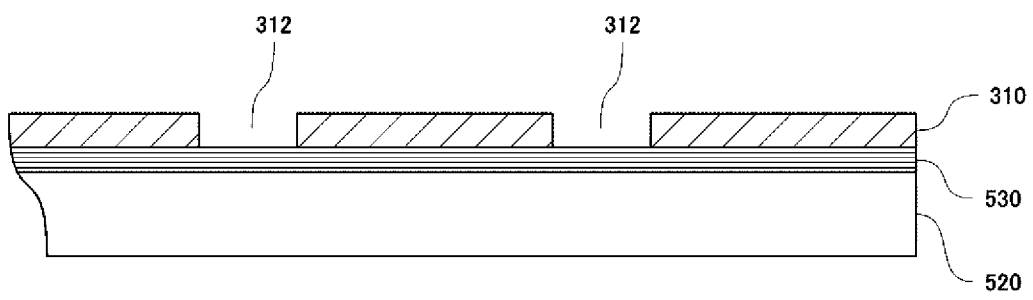
[図15]



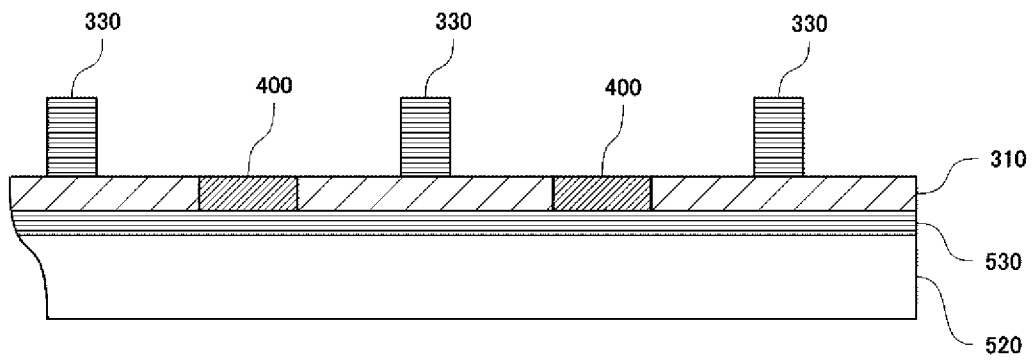
[図16]



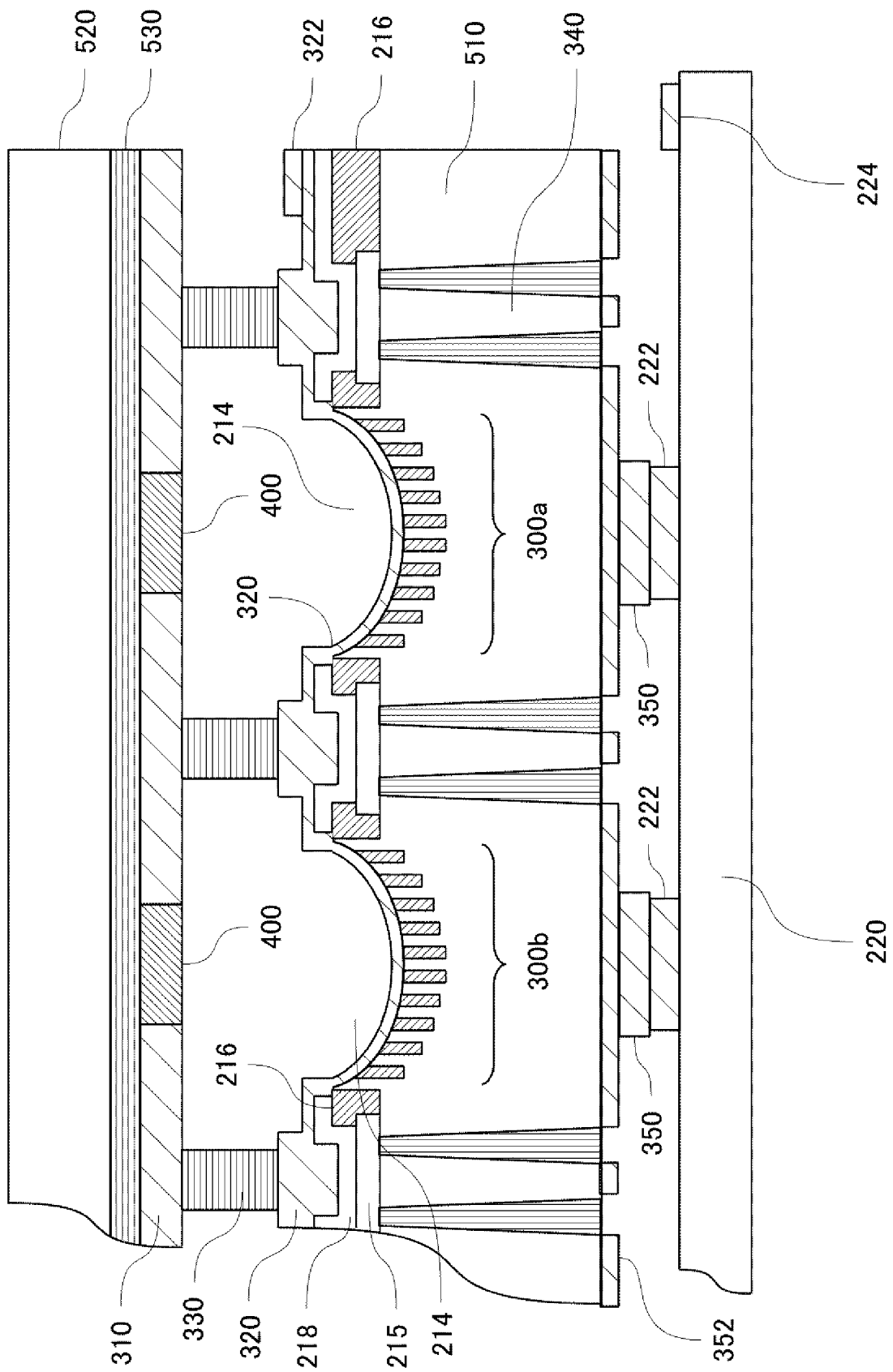
[図17]



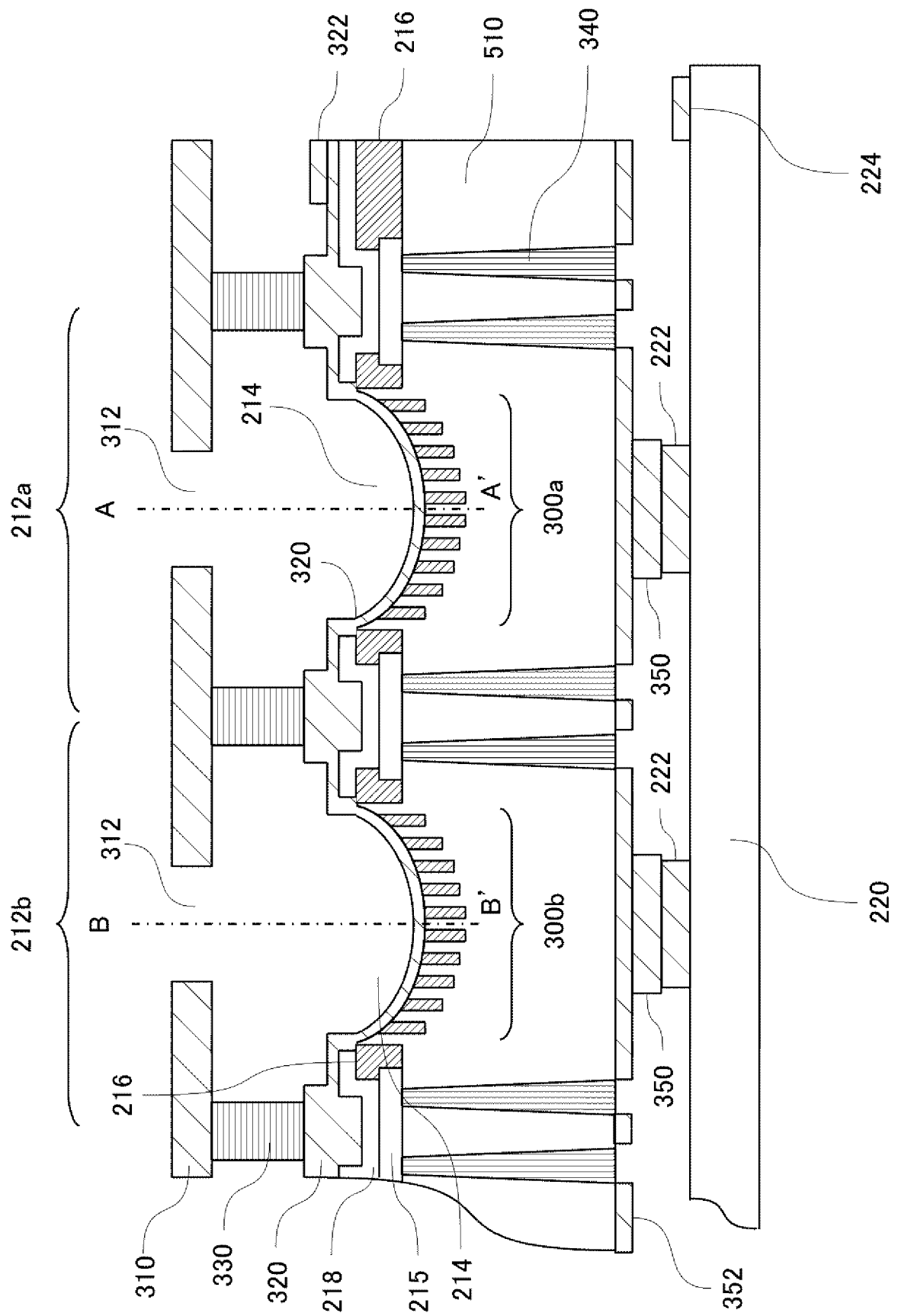
[図18]



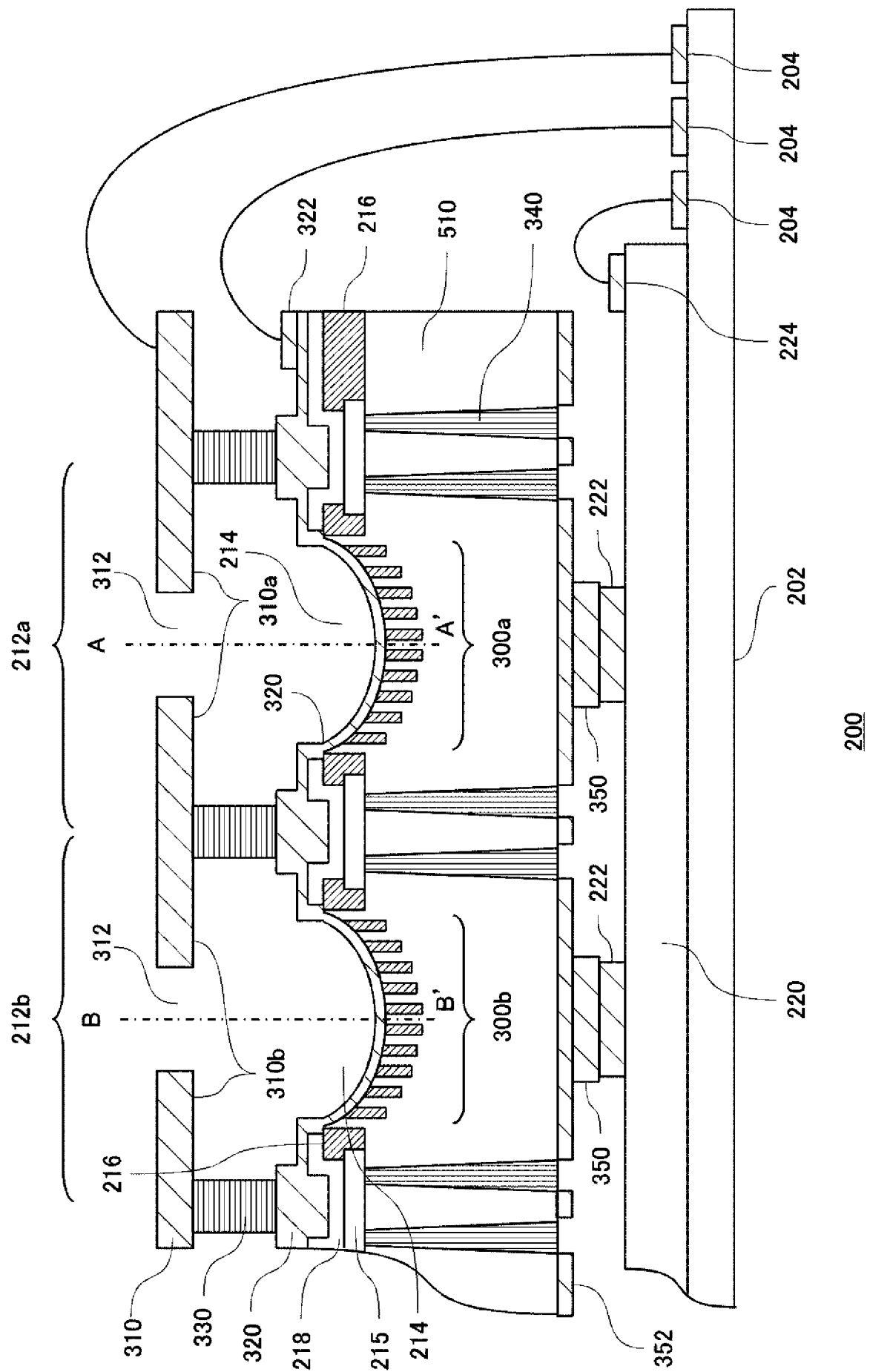
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/005726

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J37/073(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i, H01J37/305(2006.01)i,
H01L21/027(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)

H01J37/073, G03F7/20, H01J37/305, H01L21/027

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	JP 10-125215 A (NEC Corp.), 15 May 1998 (15.05.1998), paragraphs [0037] to [0044]; fig. 1 to 3	1-3, 6, 10-11, 14-17
Y	& US 6028391 A	4, 8-9
A		5, 7, 12-13, 18
Y	JP 2005-174715 A (Kabushiki Kaisha Quantum14), 30 June 2005 (30.06.2005), paragraphs [0045] to [0046]; fig. 2	4, 8-9
A	(Family: none)	1-3, 5-7, 10-18
Y	JP 10-208623 A (Canon Inc.), 07 August 1998 (07.08.1998), paragraph [0005]	8-9
A	(Family: none)	1-7, 10-18

☒ 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
10 October, 2013 (10.10.13)

Date of mailing of the international search report
22 October, 2013 (22.10.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/005726

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 2005-340194 A (Samsung SDI Co., Ltd.), 08 December 2005 (08.12.2005), entire text; all drawings & US 2005/0258739 A1 & KR 10-2005-0111705 A & CN 1707727 A	1-18

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01J37/073(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i, H01J37/305(2006.01)i, H01L21/027(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. H01J37/073, G03F7/20, H01J37/305, H01L21/027

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 10-125215 A（日本電気株式会社）1998.05.15, 【0037】－【0044】，図1－3 & US 6028391 A	1-3, 6, 10-11, 14-17 4, 8-9 5, 7, 12-13, 18
Y A	JP 2005-174715 A（株式会社カンタム14）2005.06.30, 【0045】－【0046】，図2（ファミリーなし）	4, 8-9 1-3, 5-7, 10-18

☒ 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

1 0 . 1 0 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 2 . 1 0 . 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100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

桐畑 幸▲廣▼

2 G

9 6 0 6

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

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
Y A	JP 10-208623 A (キヤノン株式会社) 1998.08.07, 【0005】 (ファミリーなし)	8-9 1-7, 10-18
A	JP 2005-340194 A (三星エスディアイ株式会社) 2005.12.08, 全文全図 & US 2005/0258739 A1 & KR 10-2005-0111705 A & CN 1707727 A	1-18