

(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
2012年8月9日(09.08.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/105473 A1

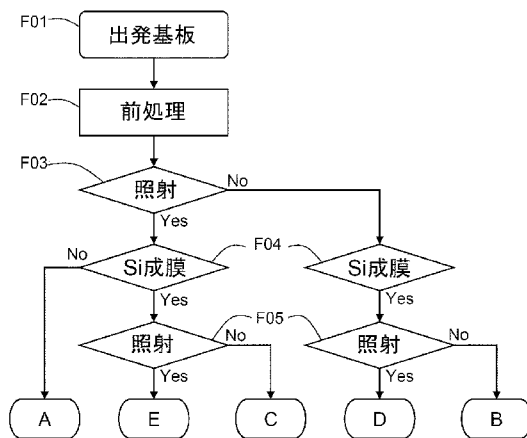
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/02 (2006.01) B23K 20/16 (2006.01)
B23K 20/00 (2006.01) B23K 20/24 (2006.01)
B23K 20/14 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/051935
- (22) 国際出願日: 2012年1月30日(30.01.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-019026 2011年1月31日(31.01.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): ボンドテック株式会社(Bondtech Co., LTD.) [JP/JP]; 〒6110033 京都府宇治市大久保町西ノ端1-25 Kyoto (JP). 太陽誘電株式会社(TAIYO YUDEN CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1100005 東京都台東区上野6-16-20 Tokyo (JP). ランテクニカルサービス株式会社(LAN TECHNICAL SERVICE CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1510053 東京都渋谷区代々木1丁目38番2号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
(71) 出願人: 須賀 唯知(SUGA Tadatomo) [JP/JP]; 〒1640003 東京都中野区東中野3丁目6番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 山内 朗(YAMAUCHI Akira) [JP/JP]; 〒6018431 京都府京都市南区西九条島町27番地 Kyoto (JP). 近藤 龍一(KONDOU Ryuichi) [JP/JP]; 〒1100005 東京都台東区上野6-16-20 太陽誘電株式会社内 Tokyo (JP). 松本 好家(MATSUMOTO Yoshiie) [JP/JP]; 〒1510053 東京都渋谷区代々木1丁目38番2号 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 園田 吉隆, 外(SONODA Yoshitaka et al.); 〒1630434 東京都新宿区西新宿二丁目1番1号 新宿三井ビル34階 園田・小林特許事務所 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, 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,

[続葉有]

(54) Title: BONDED-SUBSTRATE FABRICATION METHOD, BONDED SUBSTRATE, SUBSTRATE BONDING METHOD, BONDED-SUBSTRATE FABRICATION DEVICE, AND SUBSTRATE ASSEMBLY

(54) 発明の名称: 接合基板作製方法、接合基板、基板接合方法、接合基板作製装置、及び基板接合体

[図2]



- F01 Starting substrate
- F02 Pretreatment
- F03, F05 Irradiation
- F04 Form silicon film

(57) Abstract: [Problem] To provide a substrate bonding technique having a wide range of application. [Solution] A silicon thin film is formed on a bonding surface, and the interface with the substrate is surface-treated using energetic particles/metal particles.

(57) 要約: 【課題】適用範囲の広い基板接合技術を提供する。【解決手段】接合面内にシリコン薄膜を形成し、基板との境界はエネルギー粒子、金属粒子により、表面処理する。



WO 2012/105473 A1



JP, KE, KG, KM, 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, 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.

シア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

接合基板作製方法、接合基板、基板接合方法、接合基板作製装置、及び基板接合体

技術分野

[0001] 本発明は基板（固体材料）同士を接合する接合技術（substrate bonding technology）に関し、特に、接合用基板の接合面の作製方法、基板接合方法及び基板接合体に関するものである。

背景技術

[0002] 例えば、電子部品分野において、固体材料同士の接合は、シリコン基板、シリコンその他の基板上に酸化物層や窒化物層を形成した基板、あるいはガラス材料の基板などを接合するウエハの接合技術、フリップチップ方法における電子部品間の金属材料の接合技術、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）を作成する際のパッケージ封止技術などに行われている。

[0003] 基板を接合するにあたり、接触後に高温で加熱し、接合する基板間で化学反応や接合界面近傍での原子拡散を促進することで、接合界面の強度を高めること（加熱処理を伴う接合方法）が一般的に行われている。

[0004] たとえば、シリコンウエハの接合方法では、シリコンウエハの表面を親水化処理した後、一对のウエハをヴァンデルワールス力で接合し、1000℃程度で加熱処理を行うことで、強固な接合が得られる。また、陽極接合方法では、400℃、1kVの高電圧を印加することにより、シリコンと耐熱ガラスを強固に接合することができる。

[0005] しかしながら、加熱処理を伴う接合方法は、適用できる基板の種類に制約がある。特に、異種材料の基板同士を接合する場合は、熱膨張係数が材料間で異なるため、高温で強固な接合が得られた後に、温度が常温まで下がる過程で、熱残留応力が増加し、接合体が機械的損傷を受け、さらに残留応力が

高くなると接合体が破壊に至る可能性がある。また、加熱処理を伴う接合方法はMEMSなどのように、耐熱性、耐電圧特性の低い素子を有する部材の接合には適用困難である。

[0006] 加熱処理を伴う接合方法が基板材料に及ぼす悪影響を改善するために、常温で基板接合を行う常温接合法が提案されている。この種の常温接合法では、前処理として、基板に粒子ビームを照射することにより基板表面を清浄、活性化などの表面処理を行い、表面処理した基板表面同士を常温下、真空下で接触させ、接合させる。

[0007] この種の常温接合法は、加熱処理を伴う接合方法に比べ、適用できる基板材料の種類を広げ、ある程度の成功を収めている。しかし、この種の常温接合法では、表面活性化された基板表面の再酸化等を最小限にとどめるために、表面活性化処理後、雰囲気を高真空に保ち、極力短時間内に接合プロセスに移行しなければならないなど、接合環境要件に制約があり、改善が求められている。また、接合機構をプロセス真空システムの一部として設ける必要があるため、接合機構が複雑、高価になる傾向がある。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：特開平10-92702
特許文献2：特開平06-099317
特許文献3：特開2004-337927
特許文献4：特開2007-324195
特許文献5：特開2008-207221
特許文献6：特開2010-466696

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] したがって、本発明は、接合環境要件を緩和し、改良された基板接合技術のニーズに応えんとするものである。

具体的には、本発明は、接合時の雰囲気が高真空でなくとも、十分な接合強度を担保する接合面を形成する、接合基板の作製方法を提供することを目的とする。

[0010] さらに、本発明は、接合時の雰囲気が高真空でなくとも、十分な接合強度能力を有する接合面が作製された接合用基板を提供することを目的とする。同じく、この種の接合用基板を接合した基板接合体を提供することを目的とする。

[0011] さらに、本発明は、十分な接合強度のポテンシャルを有する接合面を有する接合用基板を作製するとともに、表面処理をするプロセス室と接合機構とを個別柔軟に配置することができる装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明の一側面は、

接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製方法であって、

基板の表面を、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する第1の表面処理ステップと、

前記基板表面を、金属粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する第2の表面処理ステップを有し、

前記第1の表面処理ステップおよび第2の表面処理ステップの実施結果として前記接合基板が作製され、

前記第1の表面処理ステップおよび前記第2の表面処理ステップは、前記結合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布するように、実施がコントロールされる、接合基板作製方法を提供する。

[0013] また、本発明の他の側面は、

前記方法により作製された接合基板を用意するステップと、

前記接合基板と接合すべき基板（「M基板」：これは前記方法により作製された接合基板であってよい）を用意するステップと、

前記接合基板と前記M基板とを接合する接合ステップと、
を有する基板接合方法
を提供する。

好ましくは、雰囲気要件に関して、前記接合ステップは、 10^{-5} Pa 以上かつ大気圧以下の範囲にある雰囲気で行われる。好ましくは、前記接合ステップは、酸素を含有するガス環境下で行われる。さらに好ましくは、前記接合ステップは、大気中で行われる。

[0014] また、本発明の他の側面は、

接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製装置であって、

基板の表面を、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射して表面処理するエネルギー粒子源と、

前記基板表面を、金属粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する金属粒子源と、を備え、

前記金属粒子源は、金属体を有し、

前記金属体は移動可能である、

接合基板作製装置を提供する。

さらに、本発明の他の側面は、

接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製装置であって、

基板の表面を、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射して表面処理するエネルギー粒子源と、

前記基板の表面を、金属粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する金属粒子源と、

目標とする接合基板のプロパティ（「目標プロパティ」）を満足するプロセス条件を記憶するプロセス条件メモリと、

前記メモリを参照し、前記目標プロパティを満たすプロセス条件に基づいて、前記エネルギー粒子源と前記金属粒子源をコントロールする制御装置と

、
を備える、

接合基板作製装置を提供する。

好ましい形態において、前記目標プロパティは、（A）接合基板の表面層に金属層が存在しないこと、および（B）接合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布すること、を含んでおり、前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源は、前記制御装置の制御の下に、前記目標プロパティを満足するプロセス条件に基づいて、動作がコントロールされる。別の好ましい形態において、前記目標プロパティは、（T1）接合基板が所定の接合強度能力を有すること、を含んでおり、前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源は、前記制御装置の制御の下に、前記目標プロパティを満足するプロセス条件に基づいて、動作がコントロールされる。

さらにまた、本発明の他の側面は、

接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製装置であって、

エネルギー粒子を含む放射粒子を放射するエネルギー粒子源と、

金属粒子を含む放射粒子を放射する金属粒子源と、

前記エネルギー粒子源の姿勢を制御する姿勢制御装置と、

を備え、

前記姿勢制御装置は、

非金属ベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源に第1の姿勢をとらせて、前記エネルギー粒子源からの放射粒子を基板表面に向け

、
金属ベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源に第2の姿勢をとらせて、前記エネルギー粒子源からの放射粒子を前記エネルギー粒子源に向け、

前記エネルギー粒子源は、

前記金属ベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源からの放

射粒子に応答して、前記基板表面に向けて金属粒子を放射する姿勢におかれる、

接合基板作製装置を提供する。

[0015] さらにまた、本発明の他の側面は、

接合面が形成された基板（「接合基板」）であって、

基板の表面上に金属層が形成されず、かつ基板表面層の母材中に金属粒子が分布する、

接合基板を提供する。

[0016] さらにまた、本発明の他の側面は、

基板接合体であって、

一对の、互いに接合された基板と、

前記一对の基板の間に形成された界面層と、

を有し、

前記界面層には、金属層が形成されず、前記界面層の母材中に、金属粒子が分布する、

基板接合体を提供する。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]ロードロック装置G 0 2、接合基板作製装置G 0 1および基板接合装置G 0 3を備える基板接合システムG 0 0の外観図である。

[図2]基板に接合面を作製する、複数種類のプロセス（接合基板作製法）を示したフローチャートであり、これらのプロセスには、本発明の異なる実施形態に基づいて、接合面層内にシリコン薄膜が形成されるプロセス（接合基板作製法）が含まれる。

[図3]（A）は、基板作製装置G 0 1のうち、本発明の実施形態に基づいて、図2の照射工程（表面処理F 0 3、F 0 5）を実施するための関連部分を示す模式図、（B）は、基板作製装置G 0 1のうち、本発明の実施形態に基づいて、図2のシリコン薄膜形成工程（処理F 0 4）を実施するための関連部分を示す模式図である。

[図4]図2の各プロセスA-Eより得られた接合基板A-Eの接合強度を示すグラフである。

[図5]接合基板同士を接合する基板接合装置G03の機構部品を示し、(A)は、機構部品による接合する前の一对の接合基板を、(B)は、機構部品による接合時の接合基板を示す模式図である。

[図6](A)は、実施形態に基づいて、図2のプロセスEより得られた接合基板Eの断面構造を示す模式図、(B)は、実施形態に基づいて、接合基板E同士を接合して得られる基板接合体の断面構造を示す模式図、(C)他の実施形態に基づいた基板接合体の断面構想を示す模式図である。

[図7](A)は、図2のプロセスAより得られた基板接合体Aの、ボイドM12の形成を示す赤外線透過画像、(B)は、図2のプロセスAより得られた基板接合体Eの、ボイドの形成が認められない赤外線透過画像である。

[図8]基板接合体Eの接合界面近傍の断面の微細構造を示す透過型電子顕微鏡写真である。

[図9]基板接合体Eの界面層とその近傍の、接合界面に垂直方向の鉄の濃度分布を表す透過型電子顕微鏡法によるEELSスキャンである。

[図10]本発明の実施例に係る、基板材料の組み合わせN01、N02、N03およびN04、ならびに接合時真空度の各条件(N04およびN05)における接合強度を示すグラフである。

[図11](A)は、本発明の実施例に係る、粒子ビーム源H03から放射される粒子ビームH05による、基板H06上のエッチング量を測定する位置1から5を模式的に表す正面図である。(B)は、その平面図である。

[図12]粒子ビームH05の加速電圧と、基板H06上の位置1から5におけるエッチング量との関係を示すグラフである。

[図13]実施形態に基づく、ライン式粒子ビーム源H03の斜視図である。

[図14]図13のライン式粒子ビーム源H03の、P1P2P3線断面図である。

[図15]実施形態に基づく、接合表面作製装置の構成と動作を示す模式図であ

る。

[図16]実施形態に基づく、接合表面作製装置の構成と動作を示す模式図である。

[図17]実施形態に基づく、接合表面作製装置の構成と動作を示す模式図である。

[図18]ルックアップテーブルを格納したメモリSS01と制御装置SS02と、粒子ビーム源FG20と粒子源FG30との関係を示すダイアグラム。

[図19]コンピュータS01と、その指示S03に基づいて加速電圧を印加する電源S02と粒子ビーム源H03との関係を示すダイアグラムである。

[図20]使用する粒子ビーム源G1、G2などに応じて、それぞれの材料について、所定の接合強度を得るために必要な加速電圧E(V)を与えるルックアップテーブルである。

[図21](A)は、1つの粒子ビーム源FG10からエネルギー粒子を放射して、基板FG01の表面にある酸化膜FG02や不純物FG03を除去するプロセス、(B)は、その後、基板FG01上に接合層FG04が形成されるプロセスを示す模式図である。

[図22](A)は、第1ステップとして、1つの粒子ビーム源FG20から粒子ビームを放射して、基板FG01の表面にある酸化膜FG02や不純物FG03を除去するプロセス、(B)は、その後、1つの粒子ビーム源FG20からエネルギー粒子を放射して、表面にアモルファス状の接合層を形成するプロセス、(C)は、その後、第2ステップとして、金属粒子の放射量のことなる粒子源30を用いて、金属粒子FG31を基板FG01上に放射することで、最終接合層FG04を形成するプロセスを示す模式図である。

[図23]本発明の実施形態に基づいて、金属粒子をエネルギー粒子によるスパッタにより放出するプロセスを示す模式図である。

[図24]アモルファス化した表面層FG04に金属粒子F22が含まれている様子を模式的に表す断面図である。

[図25]本発明の実施例に基づいて、シリコン基板の表面層に鉄のピーク濃度

があることを示す、鉄の深さ方向濃度分布の測定結果である。

[図26]本発明に係る接合面作製、基板接合を実施するための装置の具体例を示す模式図である。

[図27]図26の装置における粒子放射の一実施形態と接合機構を示す模式図である。

[図28]図26の装置における位置認識部の構成等を示す図である。

[図29]エネルギー粒子源の具体例を示す模式図である。

[図30]エネルギー粒子源がさらにホーン状の金属体を有する場合の具体例を示す模式図である。

[図31]エネルギー粒子の加速電圧と接合強度の関係の具体例を示すグラフである。

[図32]異なる条件で接合した基板を分離した後の基板表面の鉄2pスペクトルである。

発明を実施するための形態

- [0018] 最初に、本書で使用する基本用語について説明する。「基板」とは、「固体材料」と同義であり、基板は任意の形状を持ちうる。以下に説明する好適な実施形態において、基板はウエハの形態をとることがある。しかしながら、これは単に、例示を目的とするもので、限定されることを意図していない。「エネルギー粒子」は、不活性ガスイオンおよび／または中性原子であり得る。「金属粒子」は金属イオン、金属中性原子および／またはクラスタであり得る。エネルギー粒子源は、エネルギー粒子を放射するデバイスである。「放射する」とは「放出する」と同義である。「エネルギー放射粒子」または「放射エネルギー粒子」とは、エネルギー粒子源から放射または放出された粒子である。たとえば、典型的なエネルギー粒子源において、プラズマ空間に存在する粒子(プラズマ粒子)は電界により加速されてエネルギーを獲得して、エネルギー粒子になり、プラズマ空間の外に放出(放射)される。「金属粒子源」は、金属粒子を放射、放出するデバイスである。たとえば、金属体は、エネルギー粒子放射に反応して金属粒子を放射、放出する。この

場合、金属体にエネルギー粒子放射を行うエネルギー粒子源と金属体との組み合わせが金属粒子源を構成する。この種の金属粒子源はスパッタ式金属粒子源と呼ばれる。

以下、好ましい実施形態について本発明を詳細に説明する。しかしながら、これらの特定の実施形態は、単に例示を目的としたものであり、本発明を限定する意図でなされたものではない。本発明の諸原理、上記およびその他の目的、特徴、利点は、図面を参照してなされる以下の詳細な説明から一層明らかになる。

[0019] <全体システム>

図1は、基板接合システムG00の外観を示したものである。同システムG00は、典型的に、ロードロック装置G02、接合基板作製装置G01および基板接合装置G03を備える。なお、システムG00の外観自体または外観の詳細は、本発明の一部を構成しない。

[0020] ロードロック装置G02は、基板の搬入、および、接合基板または基板接合体の搬出ポートである。接合基板作製装置G01は、搬入された基板に接合面を形成して接合基板を作製するプロセス（接合基板作製方法）を実施する。一般に、このプロセスは、高い真空環境を要件とする。このため、接合基板作製装置G01は、プロセス室H02内を高真空にした状態（たとえば、気圧 10^{-7} Pa）でプロセスを実施する。通常、プロセス室H02内に基板を導入する前に、基板のロードされたロードロック装置G02内が大気から所定の真空へ下げる減圧操作が行われる。

[0021] 基板接合装置G03は、接合基板同士を接合して基板接合体を作製するものである。典型的な基板接合システムG00（図1）において、基板接合装置G03は接合基板作製装置G01に連結しており、雰囲気は連通した状態下で、接合基板作製装置G01からの接合基板の供給を受け、作製した基板接合体を、接合基板作製装置G01を経由して、搬出ポートであるロードロック装置G02に渡すことが可能である。通常、基板接合システムG00において、基板、接合基板、基板接合体等の処理デバイスの受け渡しは図示し

ないロボットが行うようになっている。

従来技術において、基板接合装置G03は、真空状態の雰囲気のプロセス要件とし、接合基板同士の接合（貼り合わせ）は、所定の真空下で実施される。後述するように、本発明の一側面によれば、基板接合装置G03は、真空の雰囲気を要しない。本発明の好ましい実施形態において、接合基板作製装置G01が作製する接合基板は、真空の雰囲気下での接合を要しない。したがって、本発明の実施形態において、基板接合装置G03は、接合基板作製装置G01から分離した独立装置であってよい。

[0022] 上記のように接合基板作製装置G01は、与えられた基板に接合面を形成して接合基板を作製するものである。以下、接合基板作製装置G01が実施する接合基板作製方法、および、同方法の実施に関与する接合基板作製装置の関連部分について、いくつかの実施形態を説明する。

[0023] 図2は、本発明の異なる実施形態に基づいて、基板に、シリコン薄膜埋め込み式接合面を作製する、複数種類のプロセス（接合基板作製法）を示したフローチャートである。これらのプロセスは、接合基板作製装置G01により実施される。まず、最初のステップで出発基板を取得し（F01）、次に前処理（F02）を行って、接合面を形成すべき基板を得る。

[0024] 特定の具体例において、出発基板としては、直径150mmの市販の産業用シリコン基板を用いた。また、前処理としては、このシリコン基板を、一般の熱酸化手法により、シリコン基板表面に酸化膜を形成した。

[0025] 図2のフローに戻り、前処理F02の後、本発明の異なる実施形態に基づいて、基板に、シリコン薄膜埋め込み式接合面を形成する接合基板作製プロセスが実施される。選択可能なプロセスとして、図2には、5つのプロセスA～Eが示されている。

[0026] プロセスAは、基板表面に対して表面処理（“照射”ステップF03）のみを実施したプロセス（接合基板作製方法）である。他のプロセスB～Eとは異なり、接合面における、シリコン薄膜の形成（F04）は実施しない。このプロセスで作製した基板を接合基板Aと呼ぶこととする。したがって、

プロセスAは、比較参照プロセスであり、基板Aは比較参照基板である。

[0027] プロセスEは、基板表面に対して表面処理（F03）した後、表面処理された基板表面上にシリコン薄膜を形成し（F04）、さらに形成したシリコン薄膜表面を表面処理（F05）したプロセスである。このプロセスで作製した基板を、基板Eと呼ぶこととする。具体例において、図6（A）が示すように、接合基板E（L00）は、シリコン酸化膜L01の表面が、表面処理され（L02）、その表面にシリコン薄膜（L03）が形成され、そのシリコン薄膜が表面処理された（L04）基板である。

[0028] プロセスCは、基板表面の表面処理F03、シリコン薄膜形成F04までは、プロセスEと同様であるが、最後のシリコン薄膜表面処理F05は実施しないプロセスである。これにより得られる接合基板Cと呼ぶこととする。具体例において、接合基板Cは、シリコン酸化膜表面が表面処理され、その表面にシリコン薄膜が形成された基板である。

[0029] プロセスDは、基板表面の表面処理F03を実施せず、直接、シリコン薄膜を形成し（F04）、形成したシリコン薄膜表面を表面処理（F05）したプロセスである。これにより作製された基板を接合基板Dと呼ぶこととする。具体例において、接合基板Dは、シリコン酸化膜表面が、表面処理されることなく、シリコン薄膜が形成され、さらに表面処理された基板である。

[0030] プロセスBは、基板表面上に直接、シリコン薄膜を形成した（F04）だけのプロセスである。これにより得られた基板を接合基板Bと呼ぶこととする。

[0031] 後述の図4に示すように、実施形態にかかる接合基板BからEの接合強度は、比較参照基板Aに対して、予想外の差を示した。

[0032] なお、以下の説明では、基板表面の表面処理F03を「工程1」、シリコン薄膜形成処理F04を「工程2」、シリコン薄膜表面の表面処理F05を「工程3」と呼ぶことがある。

[0033] 図3は、接合基板作製装置G01のうち、図2の工程1、3と、工程2（表面処理と、シリコン薄膜形成処理）を実施するのに適した関連部分をプロ

セス室H02とともに、模式的に示したものである。基本的に、表面処理のためには、基板上にエネルギー粒子を放射する粒子源（H03参照）が必要である。また、シリコン薄膜の形成は、シリコン源として、CVD装置を用いたCVD法、PVD装置を用いたPVD法などで実現できるが、スパッタ式シリコン源（H10参照）を図3では示している。

[0034] 図3（A）に示すように、プロセス室H02は、プロセス開始前の真空度として気圧 10^{-7} Paを有している。プロセス室H02内には、基板H06は基板支持部H08に支持されている。さらに、エネルギー粒子源H03がエネルギー粒子や金属粒子を含む放射粒子H05を、基板H06上に照射することができるように、設けられている。エネルギー粒子源H03は、図面に垂直方向に回転軸H04を有して、当該回転軸H04周りにエネルギー粒子源H03の姿勢を制御できるようになっている。これは、簡単な姿勢制御装置を構成するものである。所望であれば、姿勢制御装置は、複数の軸について、エネルギー粒子源H03の姿勢を制御するものが使用できる。

[0035] したがって、図3において、接合基板作製装置は、エネルギー粒子を含む放射粒子を放射するエネルギー粒子源H03と、シリコン源H10と、エネルギー粒子源H03の姿勢を制御する姿勢制御装置H04と、を備えており、姿勢制御装置H04は、工程1、3に係る表面処理モードにおいて、エネルギー粒子源H03に第1の姿勢をとらせて、エネルギー粒子源H03からの放射粒子を基板H06表面に向け、工程2に係る、基板表面にシリコン薄膜が形成されるシリコン薄膜形成モードにおいて、エネルギー粒子源に第2の姿勢をとらせて、エネルギー粒子源H03からの放射粒子をシリコン源H10に向け、シリコン源H10は、シリコン薄膜形成モードにおいて、エネルギー粒子源H03からの放射粒子に応答して、基板H06表面に向けてシリコン粒子を放射する姿勢におかれる、ことが理解される。

[0036] また、好ましくは、基板支持部H08は、基板H06に加え複数の基板を支持することができる。例えば、図3（A）では、基板H07がさらに支持されている。

- [0037] さらに好ましくは、基板支持部H08は、図3(A)で横方向に移動する機構H09を備えており、移動機構H09によりエネルギー粒子源H03に対して基板支持部H08を平行移動することにより、基板H06とH07とを順次、放射粒子により照射することが可能となる。
- [0038] 移動機構H09を有することで、プロセス上、様々な利点をもたらす。
- [0039] 例えば、移動機構H09により、エネルギー粒子源H03を点火する時点で、基板H06を、放射粒子H05の照射範囲の外に移動することができる。エネルギー粒子源H03を点火直後の、不安定など好ましくない条件で、基板H06を照射することを回避することができる。
- [0040] また例えば、移動機構H09により、基板H06を処理した後に、基板支持部H08が保持する他の基板H07を、順次あるいは連続して、放射粒子H05により照射することが可能となる。そうすることで、プロセス全体の速度、効率などを向上することができる。
- [0041] さらには例えば、図13に示すような、位置方向に長いライン式の粒子源（ライン式イオンソース）を使用し、図3(A)において紙面垂直方向に配置することで、寸法の大きい基板を、効率よく処理することも可能となる。
- [0042] エネルギー粒子源H03は、エネルギー粒子を含む放射粒子を放射することができる。このエネルギー粒子は、不活性粒子であってよく、好ましくはアルゴンを含む。
- [0043] エネルギー粒子源H03は、さらに金属粒子を含む放射粒子を放射することができる。この金属粒子は、好ましくは遷移金属であり、さらに好ましくは鉄である。
- [0044] エネルギー粒子および金属粒子の両方を放射する粒子源H03（エネルギー粒子源兼金属粒子源）は、いくつかの構成を取り得る。
- [0045] 一構成例において、エネルギー粒子および金属粒子の両方を放出する、この種の粒子源H03は、不活性粒子（アルゴン）のプラズマを発生し、このプラズマに電界Eを掛けることで、プラズマ不活性粒子を電界方向へ加速し、不活性粒子を含むエネルギー粒子の放射を生成する。粒子源H03内にお

いて、不活性粒子（アルゴン）のプラズマが発生する領域に、所望の金属を含む、出没自在な金属体を配置することで、当該プラズマ由来のエネルギー粒子により金属体から金属粒子が放出され、放射粒子の一部となる。この構成の粒子源は、動作モードの選択により、金属体が退却位置にあるときは、主としてエネルギー粒子を放射する粒子源として機能し、金属体が進出位置（プラズマ空間内の位置）にあるときは、エネルギー粒子とともに金属粒子を放射する粒子源として機能する。

[0046] この種の粒子源H O 3において、全放射粒子に含まれる金属粒子の割合、もしくはエネルギー粒子（ここでは不活性粒子）に対する量は、様々な方法で増強ないし制御することができる。

[0047] 一構成例において、粒子源H O 3の出口に、コーン形状の金属体をさらに設けて、エネルギー粒子（ここではプラズマ状態の不活性粒子）が金属体をスパッタすることにより、粒子源から放出される金属粒子の量を増加させることができる。

[0048] 別の構成例において、粒子源H O 3の出口に、グリッド状の金属体をさらに設けて、エネルギー粒子（ここではプラズマ状態の不活性粒子）が金属グリッドをスパッタすることにより、金属粒子の放出量を増加させることができる。

[0049] 全放射粒子に含まれる金属粒子の割合、ないし、エネルギー粒子（たとえば、不活性エネルギー粒子）に対する量は、上記の構成例に限られない。例えば、金属粒子を発生させる金属体は、粒子源から離れた位置であっても、粒子源と照射対象である基板との間であって、エネルギー粒子を含む粒子放射に曝される位置であれば、任意の位置に配置してもよい。また、金属体の形状も、同様の目的を達成するためには、任意の形状であってよい。

[0050] 次に、本発明に係るシリコン薄膜をスパッタ蒸着するための方法と装置の一実施態様を、図3（B）を用いて、説明する。

[0051] 図3（B）は、図3（A）に示すプロセス室H O 2に、さらにシリコン源H 1 Oを有する構成を示すものである。ここで、シリコン源H 1 Oは、シリ

コンH11を、シリコンが蒸着される基板H06の方角に放射できるように配置され、さらに、シリコンを放射するために粒子イオンビームH03からの放射粒子H05を受けられるように配置されている。ここで、粒子イオンビームH03は、図3(A)に示す位置から回転軸H04周りに回転し、シリコン源H10の方向に放射される。

[0052] 図3(A)および図3(B)に示す態様で、プロセス室H02内で、エネルギー粒子源H03とシリコン源H10とを、基板H06に対して配置することで、一のエネルギー粒子源H03を用いて、基板H06の放射粒子による照射と、基板H06上へのシリコン薄膜のスパッタ蒸着とを行うことが可能になる。そうすることで、プロセス室H02内の部品の構成が簡略化することができる。

[0053] 上記のように、基板接合装置G03は、接合基板同士を接合するためのものである。基板接合機構G03は、限定されないが、例えば、図5に示すように機能する機構が好ましい。すなわち、基板支持部H08は、基板H06と基板H07とをそれぞれ支持する支持部H08aと支持部H08bとを有している。支持部H08aと支持部H08bとは、それぞれ図5の紙面に垂直な方向を回転軸H12として回転し、基板H06と基板H07の接合面同士を面接触させることができる。この機構を接合作製装置G00が有することで、プロセス室H02内あるいはその他の真空室（図示せず）で、基板を接合作製装置G00から取り出さずに、所望の時間や条件で、張り合わせることを可能にする。

[0054] 具体例において、図2の各プロセスAからEに基づいて、接合基板作成装置G01により、接合基板を作製した後、基板接合装置G03において、同じプロセスに係る一对の基板AからE同士を、図5に示すような機構を用い、図5(B)のように接合した。接合された一对の基板を、以降、基板接合体AからEと呼ぶこととする。

[0055] 基板接合体Eの構造を、図6(B)に示す。具体例において、基板Eには、シリコン酸化膜L01の表面が、工程1により照射され(L02)、その

表面にシリコン薄膜（L 0 3）が形成され、そのシリコン薄膜が工程 1 により照射され（L 0 4）ている。同様に処理した一对の基板 E 同士を接合することにより、それぞれの表面 L 0 4 同士が接合し、基板接合体 E（L 1 0）が構成されている。

[0056] <接合エネルギーの測定>

接合プロセス後、基板接合体 A から E を、基板接合システム G 0 0 から大気中へ取り出し、ブレード挿入法により、各基板接合体の接合エネルギーを測定した。基板接合体 A から E それぞれについての、複数の測定による平均値を、図 4 に示す。

[0057] 図 4 を参照して、接合強度の測定結果を説明する。まず、シリコン膜を形成せず、シリコン酸化膜を工程 1 により照射した基板同士を接合した基板接合体 A は、最も低い接合強度（ 0.05 J/m^2 以下）を示した。次に、工程 1 を一切経ず、シリコン膜が形成された基板同士を接合した基板接合体 B は、接合強度（ 0.37 J/m^2 ）を示し、基板接合体 A より高い接合強度を示した。これは、シリコンのバルク材料の破壊強度（ 2.5 J/m^2 ）の 15% 程度の接合強度である。次に、工程 1 を経ずにシリコン膜が形成された後に、工程 1 を経た基板同士を接合した基板接合体 D は、接合強度（ 0.51 J/m^2 ）を示し、基板接合体 B より高い接合強度を示した。これは、シリコンのバルク材料の破壊強度（ 2.5 J/m^2 ）の 20% 程度の接合強度である。次に、工程 1 を経た後にシリコン膜が形成された後に、工程 1 を経ずに基板同士を接合した基板接合体 C は、接合強度（ 1.17 J/m^2 ）を示し、基板接合体 D よりさらに高い接合強度を示した。これは、シリコンのバルク材料の破壊強度（ 2.5 J/m^2 ）の 40% 程度の接合強度である。最後に、工程 1 を経た後にシリコン膜が形成された後に、さらに工程 1 を経た基板同士を接合した基板接合体 E は、最も高い接合強度（ 1.55 J/m^2 ）を示した。これは、シリコンのバルク材料の破壊強度（ 2.5 J/m^2 ）の 60% 程度の接合強度である。

[0058] 図 4 に示す接合強度の結果は、シリコン膜を形成した基板の方が、シリコ

ン膜を形成しない基板よりも明らかに高い接合強度を示し、シリコン膜の形成の前後での工程 1 が実施される程、接合強度が高くなることを示している。

[0059] 上記実施例においては、同種の処理をした一对の基板同士を接合し、各処理方法間での基板接合体の有する接合強度を比較したが、一方の基板を処理した場合でも、同様の効果を奏することは明らかである。

[0060] 上記実施例においては、基板（の表層部）として酸化シリコンを用いたが、これに限られないことは明らかである。また、接合面層内に、シリコン薄膜形成することで、基板自体の材質に制約が原理的に存在しないという、適用範囲の広さが認められる。結果として、エネルギー粒子による基板表面の照射と、シリコン薄膜の生成が可能であれば、本発明は、任意の基板の材質に適用することができる。

[0061] また上記実施例においては、粒子源 H O 3 として、エネルギー粒子と金属粒子を含んでいる放射粒子を使用した。しかし、金属粒子を含まない、あるいはグリッドやホーン形状の金属体の設置により意図的に金属粒子をエネルギー粒子に含ませない場合でも、同様の効果が得られることは、これまでの常温接合法の諸成果から明らかである。

[0062] <赤外線透過法による接合界面の評価>

可視光はシリコン基板を透過しないが、赤外線は透過する。したがって、接合状態をしらべるために赤外線の透過を観察する手法を用いることができる。基板が密接に接合していない箇所は、空隙いわゆるボイドが形成されるので、基板が密接に接合している箇所と比べて、赤外線の光路長が異なる。基板の赤外線の透過画像をみると、基板が密接に接合しているか否かは、透過光の濃淡として表れる。

[0063] ボイドの形成は、接合面に付着した望まない粒子などが接合界面に存在することで、基板間に空隙ができたこと、また接合強度が弱いことを示している。

[0064] 図 7 (A) は、基板接合体 A (M 1 1) の赤外線透過画像を、図 7 (B)

は、基板接合体 E (M 2 1) の赤外線透過画像を、示している。図 7 (A) において、M 1 2 により示される箇所ではボイドが形成されていることが確認された。一方、図 7 (B) においては、図 7 (A) において M 1 2 により示されるようなボイドが形成は認めることができなかった。

[0065] 基板 E は、基板 A と比べて、工程数が多く、したがって望まない粒子などが接合前に接合表面に付着する確率は高いと考えられる。しかしながら、基板接合体 E で、ボイドの形成がなかったということは、基板接合体 E の接合強度が、基板接合体 A と比べ、著しく高いことを示唆しており、図 4 に示す接合強度の結果と整合している。

[0066] <透過型電子顕微鏡法による接合界面の評価>

図 8 は、基板接合体 E の接合界面付近の透過型電子顕微鏡法による微細構造を示すものである。具体例において、基板 E は、出発材料であるシリコン基板 (L 1 0) 上に、シリコン酸化膜 L 0 1 の表面が形成され、工程 1 により照射され (L 0 2)、その表面にシリコン薄膜 (L 0 3) が形成され、そのシリコン薄膜が工程 1 により照射された (L 0 4) 基板である。同様に処理した一对の基板 E 同士を接合することにより、それぞれの表面 L 0 4 同士が接合し、基板接合体 E (L 1 0) が構成されている。

[0067] さらに、図 9 に示す、基板接合体 E の接合界面近傍における、鉄濃度を、透過型電子顕微鏡法における E E L S という手法を用いて測定した。E E L S スキャン法により、原子サイズの極小領域ごとの原子の濃度を測定することが可能である。図 9 は、接合界面 L 0 4 に垂直な方向にラインスキャンして測定した、鉄の接合界面に垂直な方向の濃度プロファイルを示す (K 3 1)。

[0068] 具体例において、接合界面 L 0 4 に垂直方向の E E L S ラインスキャンでは、工程 1 でエネルギー粒子を照射した箇所 L 0 2 および L 0 4 に鉄が存在し、他の箇所では測定されなかった。さらには、接合界面 L 0 4 における鉄の濃度は、シリコン薄膜 L 0 3 を蒸着する前にエネルギー粒子を照射した箇所 L 0 2 に比べ、高い。これは、工程 1 において同じ条件下でエネルギー粒

子を照射した表面合わさっていることにより、鉄がおよそ2倍含まれていることと対応すると考えられる。

[0069] 上記実施例においては、同種の処理をした一对の基板E同士を接合し、基板接合体Eの接合界面近傍での接合界面に垂直方向の鉄の濃度分布を表したが、図6(C)に示すように、一方の基板のみを処理した場合でも、同様の鉄分布が得られることは明らかである。

[0070] 図6(C)を説明する。一の基板L01の表面が、工程1により照射され(L02)、その表面にシリコン薄膜(L03)が形成され、そのシリコン薄膜が工程1により照射された(L04)後に、他の基板L41と接合された場合である。しかし、基板L01とL41とが区別できる場合を除き、界面構造を観察したのみでは、接合界面がL02にあるのか、L04にあるのか区別することが困難であり、基板L01と基板L41のどちらかの上に、工程1および工程2が施されたかは問われない。

[0071] そして、L02およびL04に該当する箇所では、その他のエネルギー粒子に含まれる金属が他の箇所よりも高い濃度で存在している。

[0072] この金属は、好ましくは遷移金属であり、さらに好ましくは鉄である。

[0073] なお、粒子源の作動条件として、具体例では、工程1は、加速電圧が、1.5から2.5kV、電流が350から400mAで実施され、工程2は、加速電圧が、1.0から2.0kV、電流が300から500mAで実施された。

[0074] 以上、接合面層内に「シリコン薄膜層」を形成する種類の接合基板作製方法(図2参照)、装置および生産物である接合基板(図6)、基板接合体(図6)について、説明した。図4において示されたように、接合面層内に、シリコン薄膜を形成することで、それがない場合に比べて、接合基板に高い接合能力がもたらされることが判明した。また、本方法、装置は、適用できる基板の材質に制限がなく、有効性が非常に高い。

[0075] 以下においては、接合面層内に、「シリコン薄膜層」を形成するアプローチを取りやめ、なおかつ、上記基板に対する表面処理(図6の層L02、L

04参照)について工夫を行って十分な接合強度を実現した。

[0076] <接合面作製プロセス>

以降、実施形態に基づいた表面処理について、詳細に説明する。

実施形態によれば、接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製方法が提供される。この方法では、基板の表面を、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する第1の表面処理ステップと、基板表面を、金属粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する第2の表面処理ステップを有する。そして、これらステップの実施結果として前記接合基板が作製されるとともに、各ステップは、結合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布するように、実施がコントロールされる。ここにおいて、第1の表面処理ステップと前記第2の表面処理ステップは同時に実施することができる。これについては、既に図3で述べたエネルギー粒子源兼金属粒子源H03について説明した。同時実施ではなく、エネルギー粒子放射を基板表面に当てた後で、金属粒子放射を基板表面に与える順次プロセスが使用できる。アプリケーションにあわせて、エネルギー粒子源兼金属粒子源H03の使用、または、エネルギー粒子源の動作に続けられる金属粒子源の動作を使用することができる。

[0077] 基板の接合面を形成する接合基板作製装置G01として、図18に示すように、基板の表面を、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射して表面処理するエネルギー粒子源FG20と、基板の表面を、金属粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する金属粒子源FG30と、目標とする接合基板のプロパティ（「目標プロパティ」）を満足するプロセス条件を記憶するプロセス条件メモリSS01と、当該メモリSS01を参照し、目標プロパティを満たすプロセス条件に基づいて、エネルギー粒子源FG20と金属粒子源FG30をコントロールする制御装置とSS02、を備える、接合基板作製装置が示されている。

[0078] たとえば、上記目標プロパティは、接合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布すること、を含んでおり、エネルギー粒子源FG20および金属粒子

源FG30は、前記制御装置SSO2の制御の下に、目標プロパティを満足するプロセス条件に基づいて、動作がコントロールされる。

[0079] 目標プロパティは、(A) 接合基板の表面層に金属層が存在しないこと、および(B) 接合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布すること、を含んでよく、エネルギー粒子源FG20および金属粒子源FG30は、制御装置SSO2の制御の下に、前記目標プロパティを満足するプロセス条件に基づいて、動作がコントロールされる。

[0080] 構成例において、前記プロセス条件は、エネルギー粒子源FG20によって、エネルギー粒子が獲得するエネルギー条件を含んでいてよい。ここに、エネルギー条件は、30 eV以上であり得る。

[0081] 別の構成例において、前記目標プロパティは、「接合基板が所定の接合強度能力を有すること」を含んでおり、エネルギー粒子源FG20および金属粒子源FG30は、制御装置SSO2の制御の下に、前記目標プロパティを満足するプロセス条件に基づいて、動作がコントロールされる。たとえば、プロセス条件メモリSSO1内に、図20に示すようなルックアップテーブルT01、T02を用意し、接合強度（たとえば、基板破壊強度比で表現される）を提示できるようにしてよい。

[0082] 代替として、図19に示すように、PC形式で示した制御部S01は内部にエネルギー要件に関するプロセス要件を記憶したメモリを内蔵しており、電源S02に対して、求められる加速エネルギーに対応する電圧指示をデータバスS03経由で与える。そして、これを受けて、電源線S04を介して、電源S02から要求された加速エネルギーに対応する電圧にエネルギー粒子源H03を動作させる。

[0083] <エネルギー放射粒子による表面処理プロセス>

一実施形態に基づいた表面処理は、エネルギー放射粒子で基板表面を照射するプロセスである。一般に、基板本来の固体材料の表面には、一定量の酸化物と、酸化物以外のものが形成あるいは付着している。酸化物は、基板材料が、大気中の酸素や、ウェットプロセス中の水と反応することで形成され

ることが多い。シリコンの場合、ほとんどが SiO_2 である。酸化物以外のものは、大気中の微細粒子が付着したり、種々のプロセス中の化学物質が表面に付着あるいは基板材料と反応し形成するものである。様々の形態、種類があり、本明細書では、単に「不純物」と呼ぶこととする。

[0084] 「表面処理」の目的は、まず第1に、上記酸化物や不純物を、エネルギー粒子を含む放射粒子の衝突により除去して、基板材料自体の清浄表面を暴露させることである。基板材料自体の表面は、ダングリングボンドが存在しエネルギー的に高く不安定な状態にあり、酸化や不純物の付着を回避して、他のエネルギー的に不安定な清浄表面と接触させることにより、ダングリングボンド同士が結合しエネルギー的に安定することで、強固な結合が得られる。

[0085] 「表面処理」の第2の目的は、清浄表面をさらに、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射することで、基板材料の結晶性が乱され、ダングリングボンドの形成が進むので、さらに表面エネルギーが高くなる。したがって、この表面を接合することで、さらに強固な結合が得られる。

[0086] 「表面処理」で使用されるエネルギー粒子を含む放射粒子には、以下の実施例では不活性ガス、特にアルゴンを用いたがこれに限られない。例えば、他の不活性ガスを用いてもよく、さらには不活性ガスでなくても、窒素分子、酸素分子など、粒子源に加速されることで得た運動エネルギーを基板材料に伝達する粒子であればその種類を問わない。運動エネルギー以外に、基板材料と化学反応性のあるものでも、よい。

[0087] さらに、「表面処理」の粒子放射で使用する粒子には、複数の種類の粒子を含んでいてもよい。例えば、上記あるいは以下述べるように、金属粒子を含んでいてもよい。この場合、基板材料の表面に到達した金属粒子は、接合の際に何らかの化学反応をされると考えられており、結果的に接合強度がさらに高くなる。

[0088] 「表面処理」は、接合する一对の基板表面の両方に施しても、また一方に施してもよい。

[0089] 本実施形態に係る表面処理方法により、表面処理された基板表面層（接合面層）内に金属粒子が含有されることが測定を通じて確認された。表面処理中に、基板表面層で実際に起きている現象の詳細は不明であるものの、測定結果から見て、エネルギー粒子と金属粒子の放射を受けて、基板表面に存在する酸化物や不純物が除去され、粒子のエネルギーによって基板表面層がアモルファス化し、このアモルファス化した層内の母材に金属粒子が結合したと考えられる。なお、現象の説明は、単に説明を目的として、測定結果から想定された推論にすぎず、現象自体、現象の推論自体、物理的／化学的考察自体は、特許の保護対象になり得ないことから、本発明の一部を構成するものではない、また、本願発明の範囲を解釈するために使用されることを意図していない。本願発明の範囲は、法が規定するように、特許請求の範囲に基づいて定められるべきものである。

[0090] 本実施形態に基づいた表面処理方法の具体例として、基板材料としてシリコンを用い、エネルギー粒子をアルゴンとし、金属として鉄原子の場合を、図24を参照して、説明する。すなわち、基板FG01においては、シリコン原子FF11はダイヤモンド結晶構造で並んでいる。本実施形態に基づいた表面処理方法により、当該シリコン基板表面層FG04では、ダイヤモンド結晶構造が失われ、シリコン原子FF21はアモルファス層FG04を形成すると考えられる。鉄原子FF22は、主にこのアモルファス層FG04内に存在していると考えられる。

[0091] 図25は、エネルギー粒子および鉄粒子を照射した後のシリコン基板を、高周波グロー放電発光分析により、深さ方向の組成分析結果を示す。この結果は、表面層中に、鉄の濃度ピークが存在し、ピーク濃度が4.5 atomic%（以降、「原子%」と記載する。）であることを示している。

[0092] 鉄原子は、アモルファス層FG04以外、例えば基板FG01に存在していてもかまわない。半導体材料中の遷移金属の拡散係数は、一般に高く、例えばシリコン内の鉄の拡散係数は非常に高いからである（Sze, Physics of Semiconductor Devices）。したが

って、常温であっても、鉄を代表とする遷移金属の拡散係数は、高い。また、基板全体の温度を、常温あるいは常温より低い温度に保ったとしても、エネルギー粒子を照射している間は、エネルギー粒子のエネルギーが衝突により熱エネルギーに変換され、表面近傍の温度が、数原始レベルの範囲で局所的に上がるといわれている。したがって、鉄の拡散距離は表面近傍で増加すると考えられるからである。しかし、接合プロセスに関与するのは、基板表面近傍に位置する鉄原子であり、一方、表面から見てアモルファス層 F G O 4 より深い位置にある鉄原子は、接合プロセスに直接関与することはない。

[0093] また、鉄原子の加速エネルギーは、エネルギー粒子であるアルゴンの加速エネルギーよりも、低くてもよい。鉄原子の拡散速度は、結晶シリコン中よりも、アモルファスシリコン中の方が、高いから、十分な鉄原子の拡散が考えられる。

[0094] 十分な接合強度を得るために、本実施形態に係る表面処理方法により生成した表面層 F G O 4 が、金属を 0. 1 ~ 3 0 原子%含んでいることが好ましい。

[0095] またさらには、本実施形態に係る表面処理方法により生成した表面層 F G O 4 が、金属を 3 ~ 1 0 原子%含んでいることが好ましい。

[0096] 金属の含有量が所定量より小さいと、金属の存在により期待される十分な接合強度が得られない。

[0097] また、金属の含有量が所定量より大きいことは、好ましくない場合がある。

[0098] 第一に、金属の含有量が所定量より大きいと、十分な接合強度が得られない場合がある。

例えば、本表面処理後、表面層 F G O 4 の鉄含有量 5 原子%の基板を、気圧を真空から大気圧にした後に、接合した場合、高い接合強度が得られた。

[0099] また、表面層 F G O 4 の鉄含有量 5 原子%の基板は、測定の結果、鉄金属膜の場合と比べ、酸化速度が遅いことが分かった。

[0100] 鉄の酸化速度が遅い理由として、様々なメカニズムが考えられる。例えば

、シリコン中の鉄含有量が小さい場合、鉄原子同士が近接する確率が非常に小さくなり、鉄原子は、他の鉄原子から孤立していると考えてよい。この場合、鉄原子はシリコン原子と結合し、シリコン合金を形成する。シリコン合金は、鉄が隣接して金属膜を形成している場合と比べ、酸化しにくいと考えられる。さらに、鉄原子が表面層 F G O 4 にある場合、この鉄原子の一端はシリコン原子と結合しているが、他端は表面に露出しており、シリコン原子などとは結合していないので所定の活性を有している。すなわち、この表面処理後の最表面にある鉄原子は、含有量が所定量を超えないことで、酸化しにくい性質を有する一方で、他の基板表面と接触したときは十分な強度の接合を生じる程度に活性をも有していると考えることができる。

[0101] また、金属の含有量が所定量より大きいことは、好ましくない第 2 の場合として、導電性が生じることが挙げられる。

[0102] 例えば、表面層 F G O 4 での金属の含有量が増加することにより、金属原子同士が連続し金属結合を形成する。表面層 F G O 4 内での連続的な金属結合により、当該層は、導電性を有することになる。また、完全に連続的でなくても、原子レベルで近傍に金属原子が存在すると、トンネル効果により導電性が生じる場合もある。またあるいは、表面層 F G O 4 単体が導電性を有しない場合でも、同様の表面層 F G O 4 一対を接合することにより、導電性が生じる場合がある。

[0103] 本実施形態に係る一実施例においては、粒子源からエネルギー粒子と金属粒子が放射されるので、粒子源の駆動条件がエネルギー粒子と金属粒子のエネルギーを規定する。しかるに、上述の通り、エネルギー粒子と金属粒子は、基板材料に対する作用において異なる役割を担っていると考えられる。もし、金属粒子の基板材料表面への到達量が、エネルギー粒子の基板材料の除去量を超えていると、金属粒子は基板材料表面へ堆積することになる。この場合、金属膜が形成される。一方、もし、金属粒子の基板材料表面への到達量が、エネルギー粒子の基板材料の除去量より小さいと、金属粒子は基板材料表面へ堆積せず、基板材料の除去が進行することになる。すなわち、エネ

ルギー粒子の運動エネルギーと、金属粒子の基板材料表面への到達量とのバランスが、所望の薄膜を形成するための要素になっている。

[0104] 次に、基板材料として150mmシリコンウエハを用いた際の、エネルギー粒子の加速エネルギー、具体的には、加速電圧80Vと100Vと、その接合強度の関係に関する実験結果を示す。

[0105] まず、図11(A)、図11(B)に示すように、上記2加速電圧の場合のエネルギー粒子による基板材料の除去量を測定した。図11(A)は、基板H06とエネルギー粒子源H03とエネルギー粒子H05の照射方向との位置関係を示す側面図である。図11(B)は、その平面図である。基板H06としては、シリコン基板上に熱酸化膜を形成し、この熱酸化膜の厚さをエネルギー粒子照射前後で測定し、この厚さの差異を、エッチング量とした。エネルギー粒子源H03を、基板表面に対し、斜め方向から、基板の中心3を含むように、エネルギー粒子H05を照射した。そして、基板H06上の直径方向の点1から5、すなわち、エネルギー粒子H05の照射方向001にそって、熱酸化膜の厚さを測定した。この際、図11(B)に示すように、ノッチ002の位置決めをすることで、測定点1から5の位置決めを行った。

[0106] まず、図12は、各測定点1から5における、80Vおよび100Vにおけるエッチング量(nm)を示すものである。80Vにおいては、照射量15および30Aminの2条件で、エッチング量を測定し、エッチング量は照射量にほぼ比例していることを確認した。100Vにおいては、測定点1から3では、80V、30Aminの場合のエッチング量にほぼ同じ結果が測定され、位置4および5では80Vの上記2条件の結果の中間のエッチング量が測定された。いずれの場合も、上記80Vと100Vでのエネルギー粒子照射は、ほぼ同等の熱酸化膜のエッチング量を与えることが分かった。

[0107] 同じエネルギー粒子の加速電圧で、シリコン基板を表面処理し、接合した。この際、シリコン基板表面には、酸化膜その他のシリコン以外の薄膜は形成せず、シリコン材料同士の接合をした。加速電圧80Vで、エネルギー粒

子を加速し、表面処理した場合は、十分な接合強度は得られず、加速電圧 100V で、エネルギー粒子を加速し、表面処理した場合は、十分な接合強度が得られた。この測定結果は、同等のエッチング量を与えるエネルギー粒子照射条件であっても、ある粒子源における加速電圧、すなわちエネルギー粒子の有する運動エネルギーによって、接合強度が異なることを示している。

[0108] 上記の実施例では、所定の粒子源を用いて、エネルギー粒子の加速電圧 80V と 100V との間に接合強度の差異が認められたが、これは種々の条件により異なりうる。例えば、照射する材料によっては、加速電圧は 30V であってもよい（図 31 参照）。また例えば、エネルギー粒子の運動エネルギーは、詳細にいえば、使用する粒子源の構成に依存する。さらには、上記実施例ではシリコンを用いたが、接合強度は、運動エネルギー（粒子のエネルギー）のほかにも、エネルギー粒子を照射する材料の種類（半導体、セラミック、誘電体材料、有機材料、など）や形態（単結晶材料、材料表面での結晶方位、多結晶、結晶粒の大きさ、など）に依存する。したがって、得られる接合強度というのは、粒子のエネルギー、照射する材料、粒子源などのパラメータに依存するといえる。

[0109] 例えば、図 20 に示すように、使用する粒子源 G1、G2 などに応じて、それぞれの材料 SiO_2 、Si、SiN、M4 などについて、所定の接合強度 BS (%) (=接合強度 (J/m²) / バルク破壊強度 (J/m²)) を得るために必要な加速電圧 E (V) を、あらかじめルックアップテーブル T01、T02 として作成する。

[0110] 図 19 に示すように、これらルックアップテーブルを、コンピュータ S01 のメモリに保存しておけば、ユーザが所望のパラメータを入力すると、コンピュータ S01 は、必要な加速電圧の値に関する指示 S03 を、電源 S02 に出力する。電源 S02 は、当該指示に従い、エネルギー粒子源 H03 の加速電圧の電極板 S05 に指示電圧を印可する。その結果、当該所定の電圧で加速された粒子 H05 が、エネルギー粒子源 H03 から放射される。金属体 S06 を粒子 H05 の経路上に設けることでエネルギー粒子は金属粒子を

含むことになる。

- [0111] 以上のように、本発明により、上記の各パラメータを適切化することで、基板の表面層における、金属の含有量が所定の範囲内にある場合は、十分な接合強度を得ることができる。
- [0112] 次に本発明に係る他の実施例として、エネルギー粒子と金属粒子の照射量の比率を、異なる2つのステップで調節する方法を示す。図21を参照して、上記の実施例（図21（A）および（B））と、本実施例（図22（A）から（C））との差異を、説明する。
- [0113] 上記の実施例では、1つの粒子源FG10からエネルギー粒子を放射して、基板FG01の表面にある酸化膜FG02や不純物FG03（図21（A））を除去し、基板FG01上に接合層FG04が形成される（図21（B））。エネルギー粒子が金属粒子を含んでいる場合は、形成された接合層FG04にはこの金属が含まれる。
- [0114] 別の実施例においては、まず第1ステップとして、1つの粒子源FG20からエネルギー粒子を放射して、基板FG01の表面にある酸化膜FG02や不純物FG03（図22（A））を除去し、基板FG01上に接合層FG05が形成される（図22（B））。次に、第2ステップとして、金属粒子の放射量のことなる粒子源FG30を用いて、金属粒子FG31を基板FG01上に放射することで、最終接合層FG04を形成する（図22（C））。本実施例においては、第1ステップでのエネルギー粒子が、金属粒子を含んでいても、いなくてもよい。そして、第2ステップでの、粒子源FG30は、上記の実施例で用いたような、エネルギー粒子と金属粒子を同時に放射するものでもよい。金属粒子の放射量は、種々の方法で増減することが考えられる。また、この粒子源FG30は、粒子を加速する機構を備えていなくてもよい。要は、本実施例で例示された態様により、第1ステップと第2ステップとで、エネルギー粒子の照射条件と金属粒子の照射条件を、比較的自由に設定し、各々の作用をよりよく制御することが可能となる。
- [0115] 図23に示す装置構成では、エネルギー粒子源は、基板H06に向かって

エネルギー粒子を放射するのではなく、金属粒子源 F G 3 0 に向けて放射する。金属粒子源 F G 3 0 は、エネルギー粒子 F G 2 1 と反応して金属粒子 F G 3 1 がスパッタされ、基板 H 0 6 に向かって放射される。

[0116] したがって、金属粒子源 F G 3 0 は、エネルギー粒子 F G 2 1 のスパッタターゲットである。金属粒子とシリコンがプロセスに応じて適宜、切り替えてスパッタされるスパッタターゲットは有効である。たとえば、スパッタターゲットは、複数の面を有する多角柱形状であって回転可能であり、少なくとも一面にはシリコンターゲットが設けられ、他の少なくとも一面には金属粒子ターゲットが設けられる。金属粒子源 F G 3 0 に代えて、このような回転式スパッタターゲットを用いることにより、シリコンターゲットにエネルギー粒子を放射してシリコンをスパッタさせて基板にシリコン膜を形成した後、回転式スパッタターゲットを回転させ、金属粒子ターゲットにエネルギー粒子を放射して金属粒子（たとえば、鉄粒子）をスパッタさせて基板に金属粒子に放射することが容易になる。

[0117] <基板の材料と接合強度の関係>

図 4 に関してシリコン薄膜挿入式の形成について説明した。特に、図 4 のグラフに示した例では、基板（表層部）材料は酸化シリコンであった。すなわち、出発基板の材料は、シリコンであるが、表面を熱酸化し酸化シリコンを形成しており、本願発明の構成上、基板は酸化シリコンとしての実施例である。これに対して、接合面にシリコン薄膜挿入を行わない、以下の具体例では、酸化シリコン以外の材料を基板として用いた。

[0118] 以下の具体例のいずれにおいても、両基板は、それぞれ図 2 に示す基板 E の接合表面作製過程と同じ過程の処理が施された後、接合された。したがって、基板接合体の界面の構造は、上記の基板接合体 E と同じ構造である。接合後、基板接合体の接合強度を、図 4 の接合強度における測定と同じ、ブレード挿入法により測定した。

[0119] 実施例：シリコン—窒化シリコン

本実施例では、一の基板としてシリコン基板を用い、熱酸化等のプロセス

をせずに、接合表面作製を行い、他の基板として、シリコン基板を用い、シリコン基板表面に窒化シリコンを形成した後に、接合表面作製を行った。したがって、本実施例は、実質的に、シリコンと窒化シリコンとの接合表面作製、接合、および接合強度の測定結果を示すものである。

[0120] 図10のN02に示すように、本実施例の接合強度は、 2.5 J/m^2 と推定された。実際には、ブレード挿入法により、通常の方法でブレードを当該二枚の基板間に挿入した際、基板は剥離せず、シリコン基板が破壊したので、実際の本実施例の接合強度は測定されていない。しかし、シリコン基板の破壊は、強度の高い接合面が形成していたことを示している。すなわち、本実施例での接合強度は、少なくともシリコンのバルク材料の破壊強度を有する。図面には、このときの接合強度を下限値で見積もり、シリコンのバルク破壊強度 2.5 J/m^2 として記載した。

[0121] 図10の一番左に示す基板接合体N01は、図4における基板接合体Eと同じものであり、比較のために記載する。

[0122] 本接合強度の測定および推定により、本実施例における基板接合体N02の強度は、基板接合体E（図10のN01）より高く、少なくともシリコン基板接合体の接合強度であることが分かった。

[0123] 実施例：酸化シリコン—窒化シリコン

本実施例では、一の基板としてシリコン基板を用い、シリコン基板表面を熱酸化した後に、接合表面作製を行い、他の基板としてシリコン基板を用い、シリコン基板表面に窒化シリコンを形成した後に、接合表面作製を行った。したがって、本実施例は、実質的に、酸化シリコンと窒化シリコンとの接合表面作製、接合、および接合強度の測定結果を示すものである。

[0124] 図10のN03に示すように、本実施例の接合強度は、 2.5 J/m^2 と推定された。N02と同様に、ブレード挿入の際、基板は剥離せず、シリコン基板が破壊したので、シリコン材料の接合界面強度である、 2.5 J/m^2 を推定値として記載した。

[0125] 本接合強度の測定および推定により、本実施例における基板接合体N03

の強度は、基板接合体E（図10のN01）より高く、少なくともシリコン基板接合体の接合強度であることが分かった。

[0126] 実施例：窒化シリコン—窒化シリコン

本実施例では、両方の基板としてシリコン基板を用い、いずれのシリコン基板表面に窒化シリコンを形成した後に、接合表面作製を行った。したがって、本実施例は、実質的に、窒化シリコンと窒化シリコンとの接合表面作製、接合、および接合強度の測定結果を示すものである。

[0127] 図10のN04に示すように、本実施例の接合強度は、 2.25 J/m^2 と測定された。ブレード挿入の際、シリコン基板は破壊しなかった。これは、シリコンのバルク材料の破壊強度（ 2.5 J/m^2 ）の90%程度の接合強度である。

[0128] 本接合強度の測定により、本実施例における基板接合体N04の強度は、基板接合体E（図10のN01）より高いことが分かった。

[0129] 図10に示すように、以上の実施例における基板接合体N02、N03およびN04の接合強度の測定結果は、いずれも、基板接合体N01より高い。このことは、本発明に係る方法により、基板の種類に依存せず、高い接合強度を得ることが可能であることを示している。

[0130] <接合時の真空度と接合強度の関係>

以上の実施例のいずれにおいても、基板は、本発明に係る接合表面作製の処理が施された後に、真空中で、接合された。以下の実施例では、上記の窒化シリコン—窒化シリコンの実施例（図10のN04）と同様の接合表面作製の処理の後に、大気圧の雰囲気中で基板を接合した。

[0131] 大気圧の雰囲気中での接合により作製された基板接合体N05の接合強度は、図10の一番右に示すように、 0.9 J/m^2 であった。これは、シリコンのバルク材料の破壊強度（ 2.5 J/m^2 ）の35%程度の接合強度である。図10に示すように、基板接合体N05の接合強度は、基板接合体N04の接合強度より低くなっているものの、図4に示す基板接合体AまたはBの接合強度より高い。したがって、この接合強度の測定結果より、本発明に係

る方法を用いることで、接合時の気圧が大気圧でも、十分に高い接合強度が得られる。さらには、接合時の気圧が大気圧より低い場合の接合強度は、基板接合体N05よりもさらに高くなるのが当然に予測される。

[0132] <装置の構成>

本詳細な説明の冒頭に、表面処理、接合面作製を実施し、基板同士を接合するための装置の構成の一実施例を述べた。以下、その他の装置構成の実施例について説明する。

[0133] 装置構成の一実施例を図15(A)に示す。本実施例においては、真空雰囲気にするのできるプロセス室H02内に、一对の基板H06a、H06bが、接合面同士を対向させて配置される。エネルギー粒子源H03は、基板H06a、H06bの面に水平方向に、かつ、両基板接合面の間の空間にむけて、エネルギー粒子H05を放射することで、基板H06a、H06bの両接合面は、同時に表面処理される。本実施例では、さらに、接合機構H13を設けて、表面処理後に両基板を互いに接触し接合することができる。一つのエネルギー粒子源H03により、一对の基板に対して表面処理を行うことができ、基板間の距離も小さいことから、装置構成も簡単であり経済的である。また、表面処理後に直ちに接合することができるので表面処理後に不純物が再付着する機会を削減することができる。

[0134] 装置構成の他の実施例を図15(B)に示す。図15(A)に示す装置構成では、基板表面がエネルギー粒子H05の方向にほぼ平行であるため、基板表面上でのエネルギー粒子の強度分布の差が大きく、したがって基板表面のエネルギー粒子照射が均一とはいえない。また、基板間距離が小さいため、一の基板表面から除去された不純物等が他の基板表面に付着するといった問題もある。そこで、図15(B)に示す装置構成では、各基板H06a、H06bごとに、エネルギー粒子源H03を設け、基板間隔を広げて、エネルギー粒子H05が基板に対してより大きい角度で照射されるように配置されている。その結果、本実施例の装置構成では、上記の実施例にくらべ、エネルギー粒子の基板表面での強度分布差が小さい。またさらに、接合機構

H 1 3 を設けて、表面処理後に両基板を直ちに互いに接触し接合することができる。

[0135] 装置構成の他の実施例を図 1 5 (C) に示す。プロセス室 H 0 2 内には、基板 H 0 6 の表面に対向して一つのエネルギー粒子源 H 0 3 が配置されている。このエネルギー粒子源 H 0 3 は、エネルギー粒子 H 0 5 を基板 H 0 6 の表面に対しほぼ垂直方向に放射することで、上記の実施例よりもよりよいエネルギー粒子の強度分布を達成することができる。接合機構としては、プロセス室 H 0 2 に真空を破らずに連結される接合室 H 1 4 を設けて、プロセス室 H 0 2 で表面処理が終了した基板ごとに、この接合室 H 1 4 へ搬送し、接合機構 H 1 3 を用いて、基板 H 0 6 同士を接触、接合することができる。シングルウエハプロセスであるために、上記の実施例に比べて、処理から接合までに時間がかかる場合がある。

[0136] 装置構成の他の実施例を図 1 6 (D) に示す。プロセス室 H 0 2 内には、基板 H 0 6 a、H 0 6 b がその接合面を対向するように配置されている。そして両基板間に、可動なライン式エネルギー粒子源 H 0 3 が設けられている。例えば図 1 5 (A) に示されるように、エネルギー粒子が一点から放射されるのではなく、線状すなわちライン状の放射源から放射されるもので、幅広の基板を一度に表面処理するのに適している。図 1 6 (D) においては、紙面に垂直方向にライン状に長いライン式粒子源を想定している。エネルギー粒子源 H 0 3 を、一点鎖線で示す方向に移動させ、基板 H 0 6 a、H 0 6 b 上をエネルギー粒子 H 0 5 でスキャンすることができる。エネルギー粒子源 H 0 3 が一の基板 H 0 6 a の終端に到達したときは、ライン式ビーム源 H 0 3 を反転して、他の基板 H 0 6 b 上をエネルギー粒子でスキャンする。本実施例の構成により、エネルギー粒子強度が均一な表面処理を行い、したがって接合面層の厚さも均一にすることができる。またさらに、接合機構 H 1 3 を設けて、表面処理後に両基板を直ちに互いに接触し接合することができる。

[0137] 装置構成の他の実施例を図 1 6 (E) に示す。図 1 6 (D) に示す装置構

成と同様に、プロセス室H02内には、基板H06a、H06bがその接合面を対向するように配置されている。そして両基板間に、可動なライン式エネルギー粒子源H03が設けられている。しかし、図16(D)の装置構成においては、ライン式ビーム源H03を反転する機構が必要である。本実施例の装置構成では、この反転機構を用いず、一对の粒子源を用いる。すなわち、一对のエネルギー粒子源H03c、H03dを設け、各粒子源がそれぞれの基板に対してエネルギー粒子H05c、H05dを照射する。エネルギー粒子源H03c、H03dを、一点鎖線で示す方向に移動させ、基板H06a、H06b上をエネルギー粒子H05c、H05dでスキャンすることができる。先の実施例と同様、本実施例の構成により、エネルギー粒子強度が均一な表面処理を行い、したがって接合面層の厚さも均一にすることができる。またさらに、接合機構H13を設けて、表面処理後に両基板を互いに接触し接合することができる。また、上下の基板を同時に処理することができるので、図16(D)の装置構成に比べて表面処理から接合までの暴露時間を短くすることができる。

[0138] 装置構成の他の実施例を図17(F)に示す。プロセス室H02内に、ライン式エネルギー粒子源H03は固定され、基板H06が図面右側に移動することで、エネルギー粒子H05が基板H06上をスキャンする。さらに他の基板H06も同様に図面右側へ移動することで、表面処理が行われる。この一对の基板の内の一つを反転し、基板接合面同士を対向させ、接合機構H13により接触し接合することができる。また、接合チャンバへウエハを搬送する手段、例えばロボットなどを用い、ハンドリング途中で表面処理することができるので効率的で装置が簡易化できる。

[0139] 装置構成の他の実施例を図17(G)に示す。プロセス室H02内に、一对の基板H06a、H06bが、表面処理を施す面を外側にして平行に配置される。エネルギー粒子源H03c、H03dは、当該一对の基板の外側から、それぞれの基板H06a、H06bに対向して配置され、プロセス室H02に対して固定されている。基板H06a、H06bが図面右側へ移動す

ることにより、基板H06上をエネルギー粒子H05でスキャンされ、表面処理が行われる。本実施例によりは、基板を反転する機構は必要ない。表面処理が終了した基板は、接合室H14において、接合機構H13を用いて接合される。

[0140] 図26は、本発明の第1実施形態に係る接合装置1（1Aとも称する）の縦断面図である。なお、各図においては、便宜上、XYZ直交座標系を用いて方向等を示している。

[0141] この接合装置1は、減圧下のチャンバ（真空チャンバ）2内で、被接合物91の接合表面と被接合物92の接合表面とを原子ビーム等で活性化させ、両被接合物91、92を接合する装置である。この装置1によれば、両被接合物91、92の接合表面に対して表面活性化処理を施すとともに、当該両被接合物91、92を固相接合することが可能である。なお、両被接合物91、92としては、様々な材料（例えば半導体ウエハーなど）が用いられる。

[0142] 接合装置1は、両被接合物91、92の処理空間である真空チャンバ2と、当該真空チャンバ2に連結されたロードロックチャンバ3とを備える。真空チャンバ2は、排気管6と排気弁7とを介して真空ポンプ5に接続されている。真空ポンプ5の吸引動作に応じて真空チャンバ2内の圧力が低減（減圧）されることによって、真空チャンバ2は真空状態にされる。また、排気弁7は、その開閉動作と排気流量の調整動作とによって、真空チャンバ2内の真空度を調整することができる。

[0143] 両被接合物91、92は、ロードロックチャンバ3内において導入棒4の先端部のクランピングチャック4cで保持された後、真空チャンバ2内に移動される。具体的には、上側の被接合物92は、導入棒4の先端部で保持され、ヘッド22の直下位置PG2にまでX方向に移動された後、ヘッド22によって保持される。同様に、下側の被接合物91は、導入棒4の先端部で保持された状態でX方向においてステージ12に向けて位置PG1にまで移動され、当該ステージ12によって保持される。

- [0144] ヘッド22およびステージ12は、いずれも、真空チャンバ2内に設置されている。
- [0145] ヘッド22は、アライメントテーブル23によってX方向およびY方向に移動（並進移動）されるとともに、回転駆動機構25によって θ 方向（Z軸回りの回転方向）に回転される。ヘッド22は、後述する位置認識部28による位置検出結果等に基づいてアライメントテーブル23および回転駆動機構25によって駆動され、X方向、Y方向、 θ 方向におけるアライメント動作が実行される。
- [0146] また、ヘッド22は、Z軸昇降駆動機構26によってZ方向に移動（昇降）される。Z軸昇降駆動機構26は、不図示の圧力検出センサにより検出した信号に基づいて、接合時の加圧力を制御することができる。
- [0147] また、ステージ12は、スライド移動機構14によってX方向に移動（並進移動）可能である。ステージ12は、ビーム照射部11付近の待機位置（位置PG1付近）とヘッド22直下の接合位置（位置PG2付近）との間でX方向において移動する。スライド移動機構14は高精度の位置検出器（リニアスケール）を有しており、ステージ12は高精度に位置決めされる。
- [0148] また、接合装置1は、被接合物91、92の位置を認識する位置認識部18、28を備えている。位置認識部18、28は、それぞれ、被接合物等に関する光像を画像データとして取得する撮像部（カメラ）18b、28bを有する。また、両被接合物91、92には、それぞれ、位置識別用マーク（以下、単にマークとも称する）が付されている。例えば、一方の被接合物91に2つの位置識別用マークが設けられ、他方の被接合物92にも2つの位置識別用マークが設けられる。なお、当該各マークは、特定の形状を有することが好ましい。ただし、これに限定されず、ウエハのオリフラ、あるいは、ウエハ上に形成された回路パターンなどの一部を位置識別用マークとして流用するようにしてもよい。
- [0149] 両被接合物91、92の位置決め動作は、当該位置認識部（カメラ等）により、両被接合物91、92に付されたマークの位置を認識することによっ

て実行される。

[0150] 例えば、位置認識部 18 は、位置 P G 1 に存在する被接合物 9 1 の光像を画像データとして取得する。具体的には、真空チャンバ 2 の外部上方に配置された光源 18 a から出射された光は、真空チャンバ 2 の窓部 2 a を透過して被接合物 9 1（位置 P G 1）に到達して反射される。そして、被接合物 9 1 で反射された光は、再び真空チャンバ 2 の窓部 2 a を透過して進行し、撮像部 18 b に到達する。このようにして、位置認識部 18 は、被接合物 9 1 に関する光像を画像データとして取得する。そして、位置認識部 18 は、当該画像データに基づいてマークを抽出するとともに、当該マークの位置を認識し、ひいては被接合物 9 1 の位置を認識する。

[0151] 同様に、位置認識部 28 は、位置 P G 2 に存在する被接合物 9 2 の光像を画像データとして取得する。具体的には、真空チャンバ 2 の外部下方に配置された光源 28 a から出射された光は、真空チャンバ 2 の窓部 2 b を透過して被接合物 9 2（位置 P G 2）に到達して反射される。そして、被接合物 9 2（詳細にはその一部）で反射された光は、再び真空チャンバ 2 の窓部 2 b を透過して進行し、撮像部 28 b に到達する。このようにして、位置認識部 28 は、被接合物 9 2 に関する光像を画像データとして取得する。また、位置認識部 28 は、当該画像データに基づいてマークを抽出するとともに、当該マークの位置を認識し、ひいては被接合物 9 2 の位置を認識する。

[0152] さらに、後述するように、この接合装置 1 においては、ステージ 12 が X 方向に移動することによって、被接合物 9 1 が位置 P G 2 に移動し、両被接合物 9 1、9 2 が対向する状態に遷移する。図 28 に示すように、位置認識部 28 は両被接合物 9 1、9 2 の対向状態において、両被接合物 9 1、9 2 に関する光像を画像データとして取得することもできる。具体的には、真空チャンバ 2 の外部下方に配置された光源 28 a から出射された光は、真空チャンバ 2 の窓部 2 b を透過して両被接合物 9 1、9 2（詳細にはその一部）で反射され、再び真空チャンバ 2 の窓部 2 b を透過して進行し、撮像部 28 b に到達する。位置認識部 28 は、このようにして取得された両被接合物 9

1、92に関する光像（反射光に関する画像）を画像データとして取得し、当該画像データに基づいてマークの位置を認識する。なお、光源28aとしては、両被接合物91、92およびステージ12等を透過する光（例えば赤外光）が用いられればよい。

[0153] また、この実施形態においては、図28に示すように、位置認識部28は、別の光源28c、28dをも有している。位置認識部28は、両被接合物91、92が対向する状態において、当該光源28c、28dからの光の透過光に関する画像データを用いて、両被接合物91、92の位置を認識することも可能である。具体的には、真空チャンバ2の外部側方に配置された光源28c、28dから出射された光は、真空チャンバ2の窓部2c、2dをそれぞれ透過し、その後、ミラー28e、28fで反射されてその進行方向が変更され下方に進行する。当該光は、さらに、両被接合物91、92（詳細にはその一部）を透過した後、窓部2bを透過して撮像部28bに到達する。位置認識部28は、このようにして取得された両被接合物91、92に関する光像（透過光に関する画像）を画像データとして取得し、当該画像データに基づいてマークの位置を認識する。

[0154] このように、接合装置1は、反射光による撮像システム（光源28aおよび撮像部28b等を有する）と、透過光による撮像システム（光源28c、28dおよび撮像部28b等を有する）との2種類の撮像システムを備えている。接合装置1は、状況に応じて、これら2種類の撮像システムを適宜に切り換えて利用し、各マークの位置を認識することが可能である。

[0155] 以上のような位置認識部18、28によって両被接合物91、92の位置が認識される。そして、認識された位置情報に基づいて、アライメントテーブル23および回転駆動機構25によってヘッド22がX方向、Y方向、および/または θ 方向に駆動されることによって、両被接合物91、92の相対的に移動され、アライメント動作が実行される。例えば被接合物91に付された2つのマークと被接合物92に付された2つのマークとが重なるように、両被接合物91、92を微小移動することによって、両被接合物91、

92を精密に位置決めすることができる。

[0156] また、接合装置1は、3つのビーム照射部11、21、31を備えている。接合装置1においては、これらの3つのビーム照射部11、21、31を用いて表面活性化処理が実行される。図26に示すように、ビーム照射部11、21は、真空チャンバ2の奥側(+Y側)の側壁面に設けられており、ビーム照射部31は、真空チャンバ2の右側(+X側)の側壁面に設けられている。ビーム照射部11、21、31は、それぞれ、真空チャンバ2内部の対応位置に向けて特定物質のビームを照射する。

[0157] より具体的には、図26に示すように、ビーム照射部11は、真空チャンバ2内の比較的左側(-X側)の位置PG1付近に配置され、ビーム照射部21は、真空チャンバ2内の比較的右側(+X側)の位置PG2付近に配置される。

[0158] ビーム照射部31は、図27の断面図にも示すように、真空チャンバ2の+X側壁面において、水平面に平行に設置されている。これにより、ビーム照射部31は、ステージ12に保持された被接合物91とヘッド22に保持された被接合物92との両者が位置PG2において対向配置される状態において、当該両者91、92の対向空間SPの側方から、当該対向空間SPに向けてビームを照射する。ビーム照射部31によるビーム照射方向は、X軸に平行な方向である。

[0159] この接合装置1においては、後述するようなスライド配置状態において、ビーム照射部11、21を用いて特定物質(例えばアルゴン)を放出することにより、両被接合物91、92の接合表面を活性化する表面活性化処理が実行される。そして、接合装置1は、表面活性化処理が施された両被接合物91、92を近接対向状態にした後に、互いに近接させて両被接合物91、92を接合する。

[0160] また、この実施形態においては、両被接合物91、92を近接対向状態にした後に、さらにビーム照射部31を用いて特定物質(例えばアルゴン)を放出することにより、両被接合物91、92の接合表面を活性化する表面活

性化処理をも実行する。

[0161] ここにおいて、ビーム照射部 1 1、2 1、3 1 は、イオン化された特定物質（ここではアルゴン）を電界で加速し両被接合物 9 1、9 2 の接合表面に向けて当該特定物質を放出することにより、両被接合物 9 1、9 2 の接合表面を活性化する。換言すれば、ビーム照射部 1 1、2 1、3 1 は、エネルギー波を放出することによって、両被接合物 9 1、9 2 の接合表面を活性化する。また、ビーム照射部 1 1、2 1 の組と 3 1 は粒子ビーム、金属ビームと分離することができる。例えばビーム照射部 1 1、2 1 を金属粒子を含まない中性原子ビーム（F A B）とし、ビーム照射部 3 1 を金属粒子を多く含む図 2 9 に示すようなイオンビームとしてもよい。また、ビーム照射部 1 1、2 1 も図 2 9 に示すようなイオンビームとしてもよく、ビーム照射部 3 1 と比べて金属粒子を含む量を調整すればよい。

[0162] 図 2 9 に示すように、ビーム照射部 3 1 D は、アノード 5 1 とカソード 5 2 とマグネット 5 4 とを備えている。アノード 5 1 およびカソード 5 2 はそれぞれ適宜の金属材料で構成される電極（電極部材ないし金属部材とも称される）である。例えば、アノード 5 1 は鉄（F e）で構成され、カソード 5 2 はタングステン（W）で構成される。また、アノード 5 1 は、ホーン形状（略円錐形状）を有しており、カソード 5 2 は、フィラメント形状（コイル形状）を有している。また、ビーム照射部 3 1 D の本体部 5 9 は、略円柱形状を有しており、その正面中央部において凹部 5 8 を有している。当該凹部 5 8 は、ホーン形状（メガホン形状）のアノード 5 1 によって囲まれた空間として形成されている。なお、アノード 5 1 とカソード 5 2 とは互いに電氣的に絶縁されて設けられ、アノード 5 1 はアノード電位を有し、カソード 5 2 はカソード電位を有する。

[0163] ビーム照射部 3 1 D の照射口付近では、カソード 5 2 から供給された電子が、マグネット 5 4 の磁場によってトラップ（捕捉）されており、照射口付近で回転している（図 2 9 の円形状の細破線参照）。また、さらに供給されたアルゴンは、当該電子の作用を受けてプラズマ状態で存在する。そして、

プラズマ状態のアルゴンイオンは、両電極 5 1、5 2 の相互間の印加電圧による電界 E で（特にアノード 5 1 に対する反発力が作用して）加速されてカソード 5 2 に向けて移動し、当該カソード 5 2 の位置を通過してビーム照射部 3 1 D の外部へと放出される。この際、アルゴンイオンは、アノード 5 1 およびカソード 5 2 に衝突し、アノード 5 1 およびカソード 5 2 の一部をスパッタリングする。そして、スパッタリングされた金属原子が、両被接合物 9 1、9 2 の接合表面へと移動して、当該接合表面に付着し堆積する。

[0164] 具体的には、上記実施形態においては、ビーム照射部 3 1 D として、比較的コンパクトなアノード 5 1 を有するものを例示したが、当該ビーム照射部 3 1 D に代えて、図 3 0 に示すようなビーム照射部 3 1 E を用いるようにしてもよい。このビーム照射部 3 1 E においては、略円錐状のアノード 5 1 がカソード 5 2 側に向けて長く伸びている。より詳細には、ビーム照射部 3 1 E においては、本体部 5 9 の開口部側の端（前側端）5 9 f よりもさらに前方側（-X 側）の位置にまで伸びるように当該アノード 5 1（5 1 E）が構成されている。換言すれば、アノード 5 1 E は、ビーム照射部 3 1 E の照射口付近にて当該照射部 3 1 E の本体部 5 9 の前端面 5 9 f よりも前方側に突出する案内部 5 1 g を有している。

[0165] そのため、ビーム照射部 3 1 E のアノード 5 1 E は、ビーム照射部 3 1 D のアノード 5 1（5 1 D）に比べて、アルゴンおよび金属の飛散範囲（照射範囲）の指向性を高めることができる。これによれば、アルゴンおよび金属が不本意な部分（両被接合物 9 1、9 2 の接合表面以外の部分）にまで飛散することを抑制できる。また、案内部 5 1 g を有するアノード 5 1 E を用いることによれば、アルゴンイオンとアノードとの衝突面積が増大するため、比較的少量の金属が削り取られ、当該比較的少量の金属が接合表面へ向けて移動する。そのため、ビーム照射部 3 1 E によれば、ビーム照射部 3 1 D よりも少量の金属原子を両被接合物 9 1、9 2 に向けて効率的に供給することも可能である。これらの観点からは、ビーム照射部 3 1 D よりもビーム照射部 3 1 E を用いることが好ましい。また、カソード 5 2 は別途電子放出器（

フォローカソード)をビーム照射部とは別に設けてもよい。カソードから放出される電子は照射面をイオンのように中性にする働きもある。

[0166] また、図31に示すように、本実施例においては、エネルギー粒子の加速電圧が36、94Vにおいては比較的高い接合強度が得られたが、30Vにおいては、接合することができなくなった(接合強度=0J/m²)。

[0167] このように、ある閾値を境に、接合が得られないほど接合強度が低下するのには、幾つかの原因が考えられる。その原因の一つとして、照射条件により、不純物の除去量が十分でなく、また、アモルファス化も不十分であるために、鉄と基材との接合強度不足や、表面層に含まれる鉄原子が酸化しやすく、接合前にこの鉄原子が酸化することで、接合強度が低下することが考えられる。

[0168] また、図32は、接合強度測定の場合と同様に、接合した基板同士を再び分離し、接合界面を構成していた基板表面の鉄2pスペクトルを測定したものである。表面処理後の基板表面は、接合されることにより、酸化や不純物の再付着から保護され、表面処理後の状態をほぼ保持している。したがって、接合した基板の分離後の基板表面の状態を調べることにより、表面処理後の基板表面の状態を知ることができる。図32は、粒子源の駆動条件を同じであっても、他の二つの条件が異なる(C1、C2)場合の基板接合体の分離後の基板表面の鉄2pスペクトルを示すものである。条件C1は、高い接合強度を与えた条件を示し、条件C2は、比較的低い接合強度を与えた条件を示す。FeOおよびFe₂O₃に対応するスペクトル成分を観察すると、高い接合強度を与える表面処理(C1)に比べて、比較的低い接合強度を与える表面処理(C2)をした基板表面の鉄が、酸化していることが分かる。したがって、接合強度を低下させる原因の一つとして、接合前の基板表面層の鉄が酸化していたことが考えられる。

[0169] また、本発明の実施形態において、接合プロセスを常温で実施することが好ましいが、接合基板を加熱してもよい。約200℃以下程度の低温であれば、従来の加熱接合に比べて大きなメリットがある。また、従来のハンダ融

点の183℃以下であればより好ましい。

[0170] 以上で、実施形態の説明を終えるが、本発明の趣旨から逸脱することなく、種々の変形が容易である。

[0171] 以下に、いくつかの実施形態を付記の形式で示す。

(付記1)

接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製方法であって、

基板の表面を、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する第1の表面処理ステップと、

前記基板表面を、金属粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する第2の表面処理ステップを有し、

前記第1の表面処理ステップおよび第2の表面処理ステップの実施結果として前記接合基板が作製され、

前記第1の表面処理ステップおよび前記第2の表面処理ステップは、前記接合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布するように、実施がコントロールされる、接合基板作製方法。

(付記2)

前記接合基板の表面上に金属層が形成されることなく実施がコントロールされる、付記1に記載の接合基板作製方法。

(付記3)

前記第1の表面処理ステップと前記第2の表面処理ステップは同時に実施される、付記1に記載の接合基板作製方法。

(付記4)

前記第1の表面処理ステップの実施後、前記第2の表面処理ステップが実施される、付記1に記載の接合基板作製方法。

(付記5)

前記第1の表面処理ステップは、エネルギー粒子源を使用し、前記エネルギー粒子源から前記基板表面に向けて、エネルギー粒子を含む粒子が放射さ

れ、

前記第2の表面処理ステップは、金属粒子源を使用し、前記金属粒子源から前記基板表面に向けて、金属粒子を含む粒子が放射される、付記1ないし4のいずれか一つに記載の接合基板作製方法。

(付記6)

前記金属粒子源は、金属体を有する、付記5に記載の接合基板作製方法。

(付記7)

前記金属体は、移動可能である、付記6に記載の接合基板作製方法。

(付記R7)

前記金属体が退避位置にあるとき、前記金属体から前記基板表面への金属粒子放射は抑制される、付記7に記載の接合基板作製方法。

(付記R8)

前記第2の表面処理ステップを実施するために、前記金属体が進出位置にあるとき、前記金属体から前記基板表面へ金属粒子放射が行われる、付記7またはR7に記載の接合基板作製方法。

(付記8)

前記基板表面層の母材はシリコンである、付記1ないし7のいずれか一つに記載の接合基板作製方法。

(付記9)

前記第1の表面処理ステップは、 10^{-5} Pa以下の気圧下で開始する、付記1ないし8のいずれか一つに記載の接合基板作製方法。

(付記10)

付記1ないし9のいずれか一つに記載の方法により作製された接合基板を用意するステップと、

前記接合基板と接合すべき基板（「M基板」を用意するステップと、

前記接合基板と前記M基板とを接合する接合ステップと、

を有する基板接合方法。

(付記11)

付記 1 ないし 9 のいずれか一つに記載の方法により作製された接合基板を用意するステップと、

前記接合基板同士を接合する接合ステップと、
を有する基板接合方法。

(付記 1 2)

前記接合ステップは、 10^{-5} Pa 以上の真空下または大気中で実施される、付記 1 0 または 1 1 に記載の基板接合方法。

(付記 R 1 4)

前記接合ステップは、酸素を含有するガス環境下で実施される、付記 1 0 または 1 1 に記載の基板接合方法。

(付記 R 1 5)

前記接合ステップは、大気中で実施される、付記 1 0 または 1 1 に記載の基板接合方法。

(付記 1 3)

前記接合ステップは、 -60°C ないし $+200^{\circ}\text{C}$ の温度下、好ましくは室温下で、実施される、付記 1 0 ないし 1 2 のいずれか一つに記載の基板接合方法。

(付記 1 4)

接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製装置であって、

基板の表面を、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射して表面処理するエネルギー粒子源と、

前記基板表面を、金属粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する金属粒子源と、を備え、

前記金属粒子源は、金属体を有し、

前記金属体は移動可能である、

接合基板作製装置。

(付記 1 5)

プロセス制御装置を備え、

前記プロセス制御装置は、前記接合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布するように、前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源をコントロールする、

付記 1 4 に記載の接合基板作製装置。

(付記 1 6)

前記プロセス制御装置は、前記接合基板の表面上に金属層が形成されることなく前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源をコントロールする、付記 1 5 に記載の接合基板作製装置。

(付記 R 1 9)

前記金属体が退避位置にあるとき、前記金属体から前記基板表面への金属粒子放射は抑制され、

前記金属体が進出位置にあるとき、前記金属体から前記基板表面へ金属粒子放射が行われる、

付記 1 4 ないし 1 6 のいずれか一つに記載の接合基板作製装置。

(付記 R 2 0)

前記金属体は、グリッド形状である、付記 1 4 ないし 1 6 のいずれか一つに記載の接合基板作製装置。

(付記 R 2 1)

前記金属体は、ホーン形状である、付記 1 4 ないし 1 6 のいずれか一つに記載の接合基板作製装置。

(付記 1 7)

接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製装置であって、

基板の表面を、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射して表面処理するエネルギー粒子源と、

前記基板の表面を、金属粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する金属粒子源と、

目標とする接合基板のプロパティ（「目標プロパティ」）を満足するプロセス条件を記憶するプロセス条件メモリと、

前記メモリを参照し、前記目標プロパティを満たすプロセス条件に基づいて、前記エネルギー粒子源と前記金属粒子源をコントロールする制御装置と、

を備える、
接合基板作製装置。

（付記 18）

前記目標プロパティは、接合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布すること、を含んでおり、前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源は、前記制御装置の制御の下に、前記目標プロパティを満足するプロセス条件に基づいて、動作がコントロールされる、付記 17 に記載の接合基板作製装置。

（付記 19）

前記目標プロパティは、（A）接合基板の表面層に金属層が存在しないこと、および（B）接合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布すること、を含んでおり、

前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源は、前記制御装置の制御の下に、前記目標プロパティを満足するプロセス条件に基づいて、動作がコントロールされる、付記 17 に記載の接合基板作製装置。

（付記 20）

前記プロセス条件は、前記エネルギー粒子源によって、前記エネルギー粒子が獲得するエネルギー条件を含んでいる、付記 17 ないし 19 のいずれか一つに記載の接合基板作製装置。

（付記 21）

前記エネルギー条件は、 30 eV 以上である、付記 20 に記載の接合基板作製装置。

（付記 22）

前記目標プロパティは、（T1）接合基板が所定の接合強度能力を有する

こと、を含んでおり、

前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源は、前記制御装置の制御の下に、前記目標プロパティを満足するプロセス条件に基づいて、動作がコントロールされる、付記 17 に記載の接合基板作製装置。

(付記 23)

前記プロセス条件は、前記エネルギー粒子源によって、前記エネルギー粒子が獲得するエネルギー条件を含んでいる、付記 22 に記載の接合基板作製装置。

(付記 R 28)

前記プロセス条件メモリはルックアップテーブルを含む、付記 17 ないし 23 に記載の接合基板作製装置。

(付記 24)

前記エネルギー粒子源の姿勢を制御する姿勢制御装置を備え、
前記姿勢制御装置は、

エネルギーベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源に第 1 の姿勢をとらせて、前記エネルギー粒子源からの放射粒子を前記基板表面に向け、

金属ベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源に第 2 の姿勢をとらせて、前記エネルギー粒子源からの放射粒子を前記金属粒子源に向け、

前記金属粒子源は、
前記金属ベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源からの放射粒子に応答して、前記基板表面に向けて金属粒子を放射する姿勢におかれる、

付記 17 に記載の接合基板作製装置。

(付記 25)

前記金属粒子源は金属体を有する、付記 17 ないし 19 のいずれか一つに記載の接合基板作製装置。

(付記 R 3 1)

前記基板を移動可能に支持するキャリアを備える、付記 1 7 ないし 1 9 のいずれか一つに記載の接合基板作製装置。

(付記 R 3 2)

接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製装置であって、

エネルギー粒子を含む放射粒子を放射するエネルギー粒子源と、

金属粒子を含む放射粒子を放射する金属粒子源と、

前記エネルギー粒子源の姿勢を制御する姿勢制御装置と、

を備え、

前記姿勢制御装置は、

エネルギーベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源に第 1 の姿勢をとらせて、前記エネルギー粒子源からの放射粒子を基板表面に向け、

金属ベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源に第 2 の姿勢をとらせて、前記エネルギー粒子源からの放射粒子を前記金属粒子源に向け、

前記金属粒子源は、

前記金属ベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源からの放射粒子に応答して、前記基板表面に向けて金属粒子を放射する姿勢におかれる、

接合基板作製装置。

(付記 2 6)

前記姿勢制御装置は、前記エネルギー粒子源を回転可能に支持する機構部品を備える、付記 2 4 または 2 5 に記載の接合基板作製装置。

(付記 R 3 4)

前記金属粒子源は、金属体を有する、付記 R 3 2 に記載の接合基板作製装置。

(付記 R 3 5)

前記基板を移動可能に支持するキャリアを備える、付記 R 3 2 に記載の接合基板作製装置。

(付記 2 7)

前記エネルギー粒子源は、ライン式イオンソースである、付記 1 7 に記載の接合基板作製装置。

(付記 R 3 7)

接合面が形成された基板（「接合基板」）であって、
基板の表面上に金属層が形成されず、かつ、基板表面層の母材中に金属粒子が分布する、接合基板。

(付記 R 3 8)

前記基板表面層の母材中に、3%原子ピーク濃度ないし10%原子ピーク濃度の金属が存在する、付記 R 3 7 に記載の接合基板。

(付記 R 3 9)

前記基板表面層の母材中に分布する金属粒子は、基板深さ方向に、濃度勾配を有する、付記 R 3 7 または R 3 8 に記載の接合基板。

(付記 R 4 0)

基板のバルク破壊強度の20%以上の接合強度能力を有する付記 R 3 7 ないし R 3 9 のいずれか一つに記載の接合基板。

(付記 R 4 1)

基板のバルク破壊強度の40%以上の接合強度能力を有する付記 R 3 7 ないし R 3 9 のいずれか一つに記載の接合基板。

(付記 R 4 2)

基板のバルク破壊強度の60%以上の接合強度能力を有する付記 R 3 7 ないし R 3 9 のいずれか一つに記載の接合基板。

(付記 R 4 3)

前記基板表面層は、非導電性である付記 R 3 7 ないし R 4 2 のいずれか一つに記載の接合基板。

(付記 R 4 4)

前記基板表面層の母材は、シリコンである、付記 R 3 7 ないし R 4 2 のいずれか一つに記載の接合基板。

(付記 R 4 5)

接合基板は、基板接合装置により、接合基板同士を大気中で接合可能なプロパティを有する、付記 R 3 7 ないし R 4 3 のいずれか一つに記載の接合基板。

(付記 R 4 6)

前記基板表面層が含有する金属は、遷移金属である、付記 R 3 7 ないし R 4 5 のいずれか一つに記載の接合基板。

(付記 R 4 7)

前記基板表面層が含有する前記遷移金属は、鉄である、付記 R 4 5 に記載の接合基板。

(付記 2 8)

基板接合体であって、
一対の、互いに接合された基板と、
前記一対の基板の間に形成された界面層と、
を有し、
前記界面層には、金属層が形成されず、前記界面層の母材中に、金属粒子が分布する、
基板接合体。

(付記 R 4 8)

基板接合体の前記基板間の接合強度は、基板バルク材破壊強度の 20% 以上である、付記 2 8 に記載の基板接合体。

(付記 4 9)

基板接合体の前記基板間の接合強度は、基板バルク材破壊強度の 40% 以上である、付記 2 8 に記載の基板接合体。

(付記 R 5 0)

基板接合体の前記基板間の接合強度は、基板バルク材破壊強度の60%以上である、付記28に記載の基板接合体。

(付記29)

前記界面層の母材中に分布する金属粒子は、前記界面層の深さ方向に、濃度勾配を有する、付記28ないしR48のいずれか一つに記載の基板接合体。

(付記30)

前記界面層の中央部に、前記金属粒子の濃度ピークが存在する、付記28ないしR48のいずれか一つに記載の基板接合体。

(付記31)

前記界面層の厚みは、20nm以下である、付記28に記載の基板接合体。

(付記32)

前記界面層の厚みは、前記母材中に分布する金属の、界面層深さ方向における、濃度プロファイルの半値幅で規定される、付記31に記載の基板接合体。

(付記33)

前記界面層が含有する金属は、遷移金属である、付記28ないし32のいずれか一つに記載の基板接合体。

(付記34)

前記界面層が含有する遷移金属は、鉄である、付記33に記載の基板接合体。

請求の範囲

- [請求項1] 接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製方法であって、
- 基板の表面を、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する第1の表面処理ステップと、
- 前記基板表面を、金属粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する第2の表面処理ステップを有し、
- 前記第1の表面処理ステップおよび第2の表面処理ステップの実施結果として前記接合基板が作製され、
- 前記第1の表面処理ステップおよび前記第2の表面処理ステップは、前記接合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布するように、実施がコントロールされる、接合基板作製方法。
- [請求項2] 前記接合基板の表面上に金属層が形成されることなく実施がコントロールされる、請求項1に記載の接合基板作製方法。
- [請求項3] 前記第1の表面処理ステップと前記第2の表面処理ステップは同時に実施される、請求項1に記載の接合基板作製方法。
- [請求項4] 前記第1の表面処理ステップの実施後、前記第2の表面処理ステップが実施される、請求項1に記載の接合基板作製方法。
- [請求項5] 前記第1の表面処理ステップは、エネルギー粒子源を使用し、前記エネルギー粒子源から前記基板表面に向けて、エネルギー粒子を含む粒子が放射され、
- 前記第2の表面処理ステップは、金属粒子源を使用し、前記金属粒子源から前記基板表面に向けて、金属粒子を含む粒子が放射される、請求項1ないし4のいずれか一項に記載の接合基板作製方法。
- [請求項6] 前記金属粒子源は、金属体を有する、請求項5に記載の接合基板作製方法。
- [請求項7] 前記金属体は、移動可能である、請求項6に記載の接合基板作製方法。

- [請求項8] 前記基板表面層の母材はシリコンである、請求項1ないし7のいずれか一項に記載の接合基板作製方法。
- [請求項9] 前記第1の表面処理ステップは、 10^{-5} Pa以下の気圧下で開始する、請求項1ないし8のいずれか一項に記載の接合基板作製方法。
- [請求項10] 請求項1ないし9のいずれか一項に記載の方法により作製された接合基板を用意するステップと、
前記接合基板と接合すべき基板（「M基板」を用意するステップと、
、
前記接合基板と前記M基板とを接合する接合ステップと、
を有する基板接合方法。
- [請求項11] 請求項1ないし9のいずれか一項に記載の方法により作製された接合基板を用意するステップと、
前記接合基板同士を接合する接合ステップと、
を有する基板接合方法。
- [請求項12] 前記接合ステップは、 10^{-5} Pa以上の真空下または大気中で実施される、請求項10または11に記載の基板接合方法。
- [請求項13] 前記接合ステップは、 -60°C ないし $+200^{\circ}\text{C}$ の温度下、好ましくは室温下で、実施される、
請求項10ないし12のいずれか一項に記載の基板接合方法。
- [請求項14] 接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製装置であって、
基板の表面を、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射して表面処理するエネルギー粒子源と、
前記基板表面を、金属粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する金属粒子源と、を備え、
前記金属粒子源は、金属体を有し、
前記金属体は移動可能である、
接合基板作製装置。

- [請求項15] プロセス制御装置を備え、
前記プロセス制御装置は、前記接合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布するように、前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源をコントロールする、請求項14に記載の接合基板作製装置。
- [請求項16] 前記プロセス制御装置は、前記接合基板の表面上に金属層が形成されることなく前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源をコントロールする、請求項15に記載の接合基板作製装置。
- [請求項17] 接合面が形成された基板（「接合基板」）を作製する接合基板作製装置であって、
基板の表面を、エネルギー粒子を含む放射粒子で照射して表面処理するエネルギー粒子源と、
前記基板の表面を、金属粒子を含む放射粒子で照射して表面処理する金属粒子源と、
目標とする接合基板のプロパティ（「目標プロパティ」）を満足するプロセス条件を記憶するプロセス条件メモリと、
前記メモリを参照し、前記目標プロパティを満たすプロセス条件に基づいて、前記エネルギー粒子源と前記金属粒子源をコントロールする制御装置と、
を備える、
接合基板作製装置。
- [請求項18] 前記目標プロパティは、接合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布すること、を含んでおり、前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源は、前記制御装置の制御の下に、前記目標プロパティを満足するプロセス条件に基づいて、動作がコントロールされる、請求項17に記載の接合基板作製装置。
- [請求項19] 前記目標プロパティは、（A）接合基板の表面層に金属層が存在しないこと、および（B）接合基板の表面層の母材中に金属粒子が分布すること、を含んでおり、

前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源は、前記制御装置の制御の下に、前記目標プロパティを満足するプロセス条件に基づいて、動作がコントロールされる、請求項 17 に記載の接合基板作製装置。

[請求項20] 前記プロセス条件は、前記エネルギー粒子源によって、前記エネルギー粒子が獲得するエネルギー条件を含んでいる、請求項 17 ないし 19 のいずれか一項に記載の接合基板作製装置。

[請求項21] 前記エネルギー条件は、30 eV 以上ないし 5000 eV 以下である、請求項 20 に記載の接合基板作製装置。

[請求項22] 前記目標プロパティは、(T1) 接合基板が所定の接合強度能力を有すること、を含んでおり、

前記エネルギー粒子源および前記金属粒子源は、前記制御装置の制御の下に、前記目標プロパティを満足するプロセス条件に基づいて、動作がコントロールされる、請求項 17 に記載の接合基板作製装置。

[請求項23] 前記プロセス条件は、前記エネルギー粒子源によって、前記エネルギー粒子が獲得するエネルギー条件を含んでいる、請求項 22 に記載の接合基板作製装置。

[請求項24] 前記エネルギー粒子源の姿勢を制御する姿勢制御装置を備え、前記姿勢制御装置は、

エネルギーベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源に第 1 の姿勢をとらせて、前記エネルギー粒子源からの放射粒子を前記基板表面に向け、

金属ベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源に第 2 の姿勢をとらせて、前記エネルギー粒子源からの放射粒子を前記金属粒子源に向け、

前記金属粒子源は、前記金属ベースの表面処理モードにおいて、前記エネルギー粒子源からの放射粒子に応答して、前記基板表面に向けて金属粒子を放射する姿勢におかれる、

請求項 17 に記載の接合基板作製装置。

[請求項25] 前記金属粒子源は金属体を有する、請求項 17 ないし 19 のいずれか一項に記載の接合基板作製装置。

[請求項26] 前記姿勢制御装置は、前記エネルギー粒子源を回転可能に支持する機構部品を備える、請求項 24 または 25 に記載の接合基板作製装置。

[請求項27] 前記エネルギー粒子源は、ライン式イオンソースである、請求項 17 に記載の接合基板作製装置。

[請求項28] 基板接合体であって、
一対の、互いに接合された基板と、
前記一対の基板の間に形成された界面層と、
を有し、
前記界面層には、金属層が形成されず、前記界面層の母材中に、金属粒子が分布する、
基板接合体。

[請求項29] 前記界面層の母材中に分布する金属粒子は、前記界面層の深さ方向に、濃度勾配を有する、請求項 28 に記載の基板接合体。

[請求項30] 前記界面層の中央部に、前記金属粒子の濃度ピークが存在する、請求項 28 または 29 に記載の基板接合体。

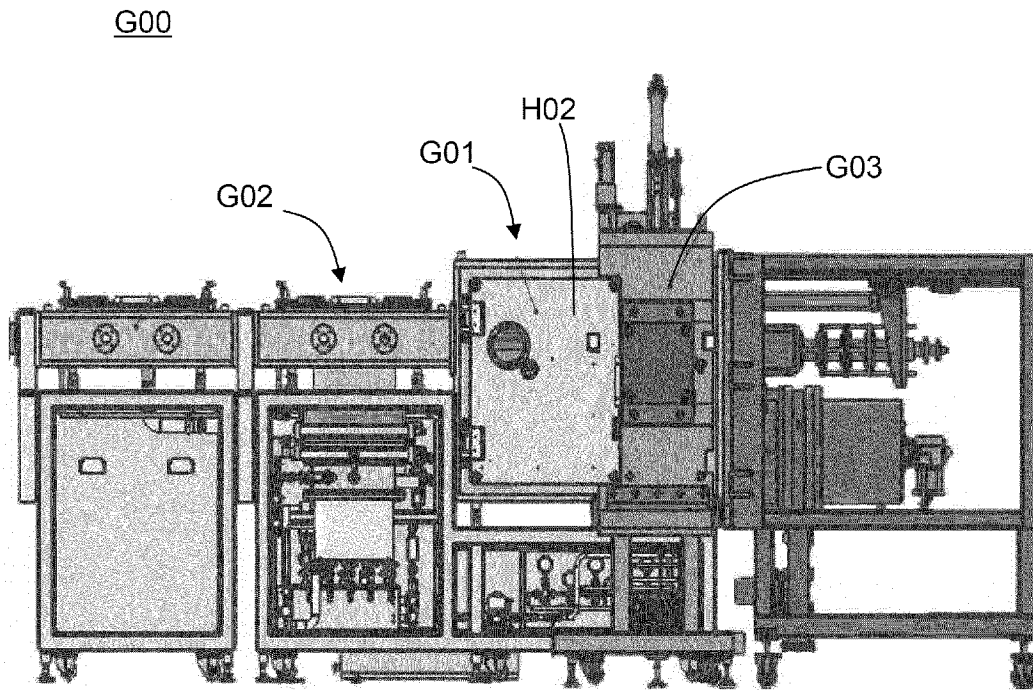
[請求項31] 前記界面層の厚みは、1 nm 以上 20 nm 以下である、請求項 28 に記載の基板接合体。

[請求項32] 前記界面層の厚みは、前記母材中に分布する金属の、界面層深さ方向における、濃度プロファイルの半値幅で規定される、請求項 31 に記載の基板接合体。

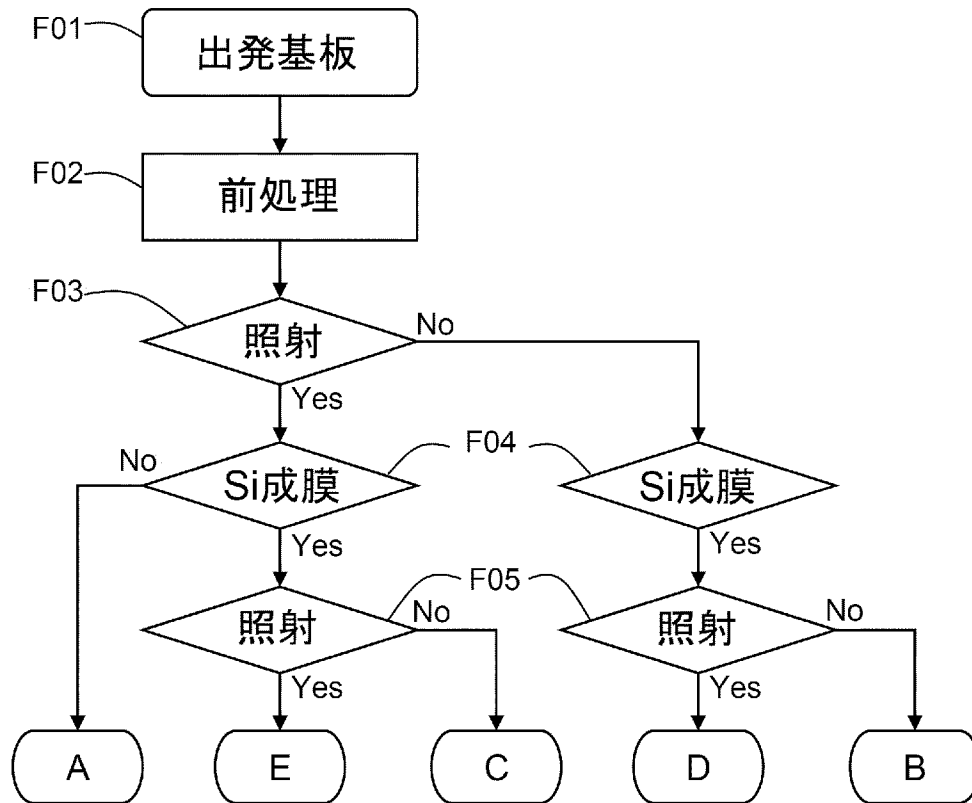
[請求項33] 前記界面層が含有する金属は、遷移金属である、請求項 28 ないし 32 のいずれか一項に記載の基板接合体。

[請求項34] 前記界面層が含有する遷移金属は、鉄である、請求項 33 に記載の基板接合体。

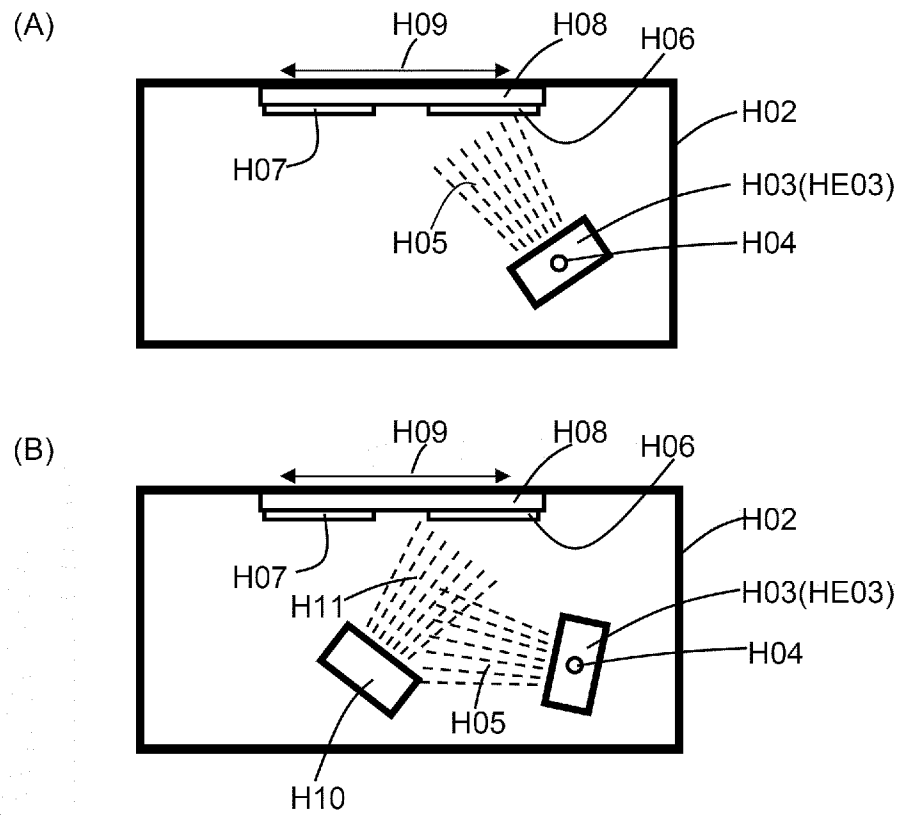
[図1]



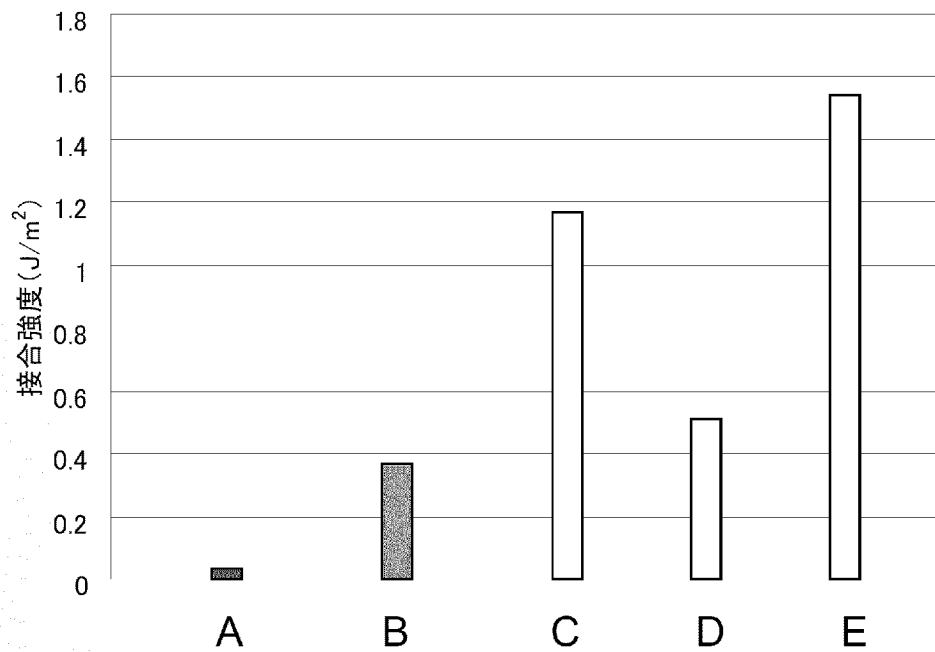
[図2]



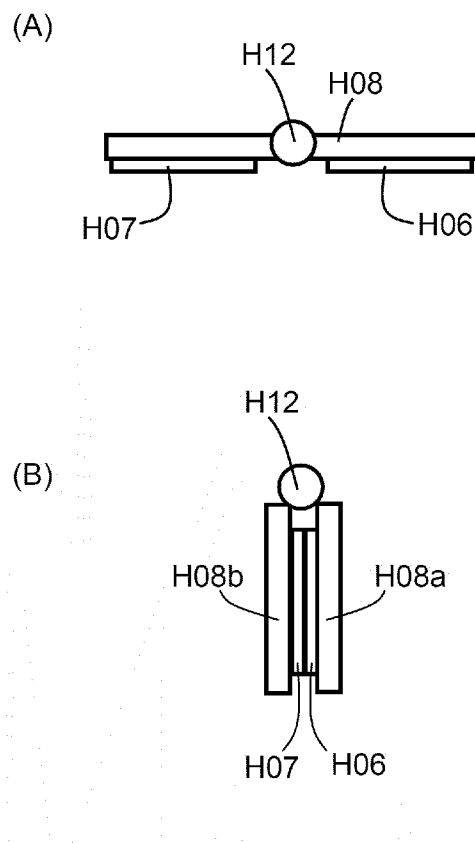
[図3]



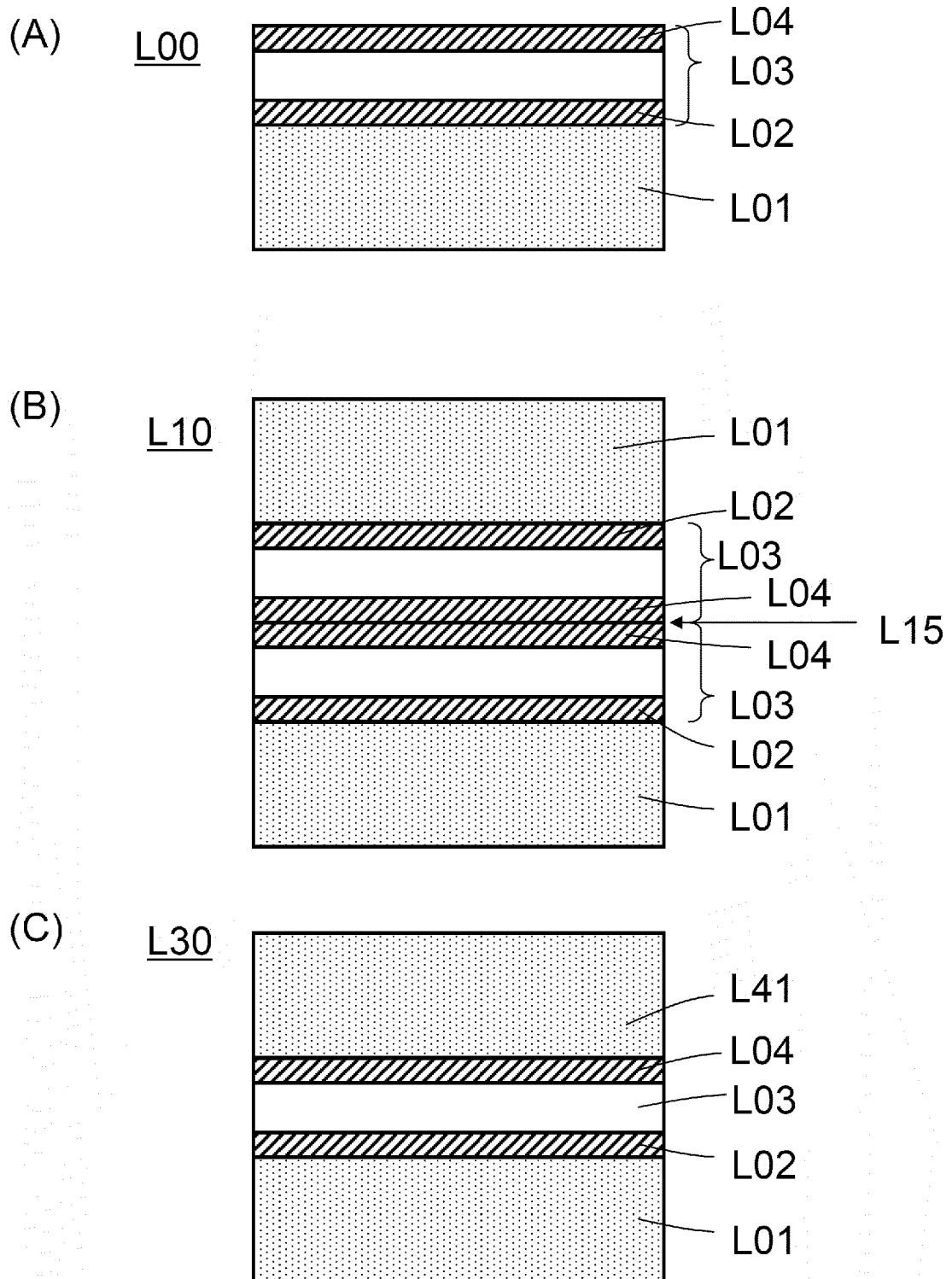
[図4]



[図5]

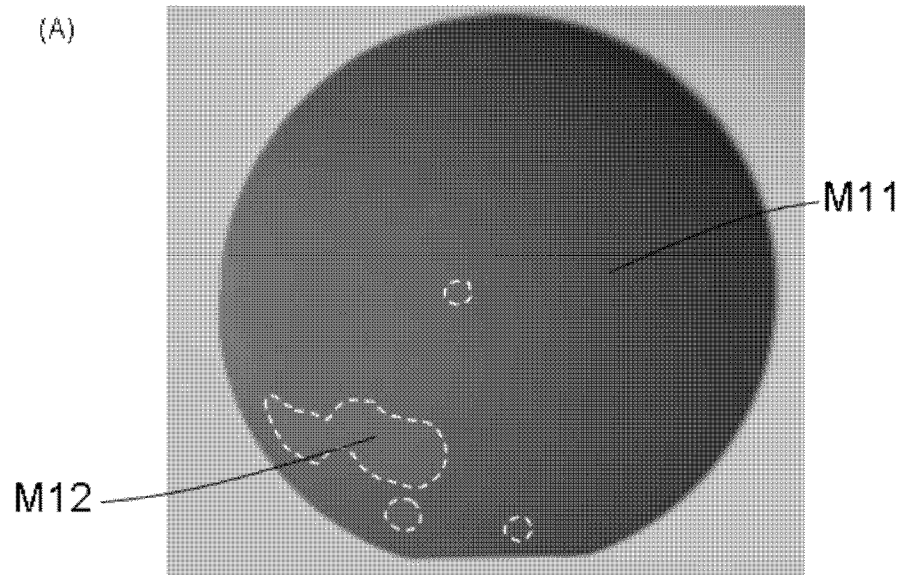


[図6]

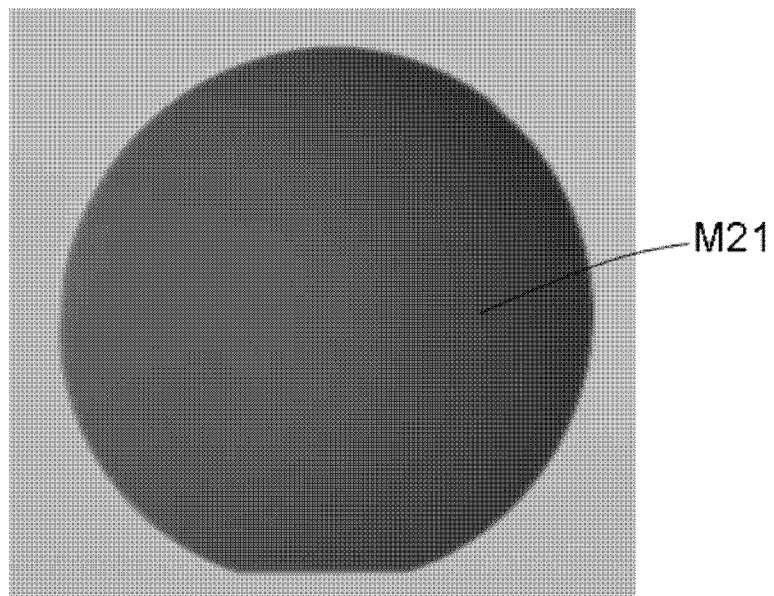


[図7]

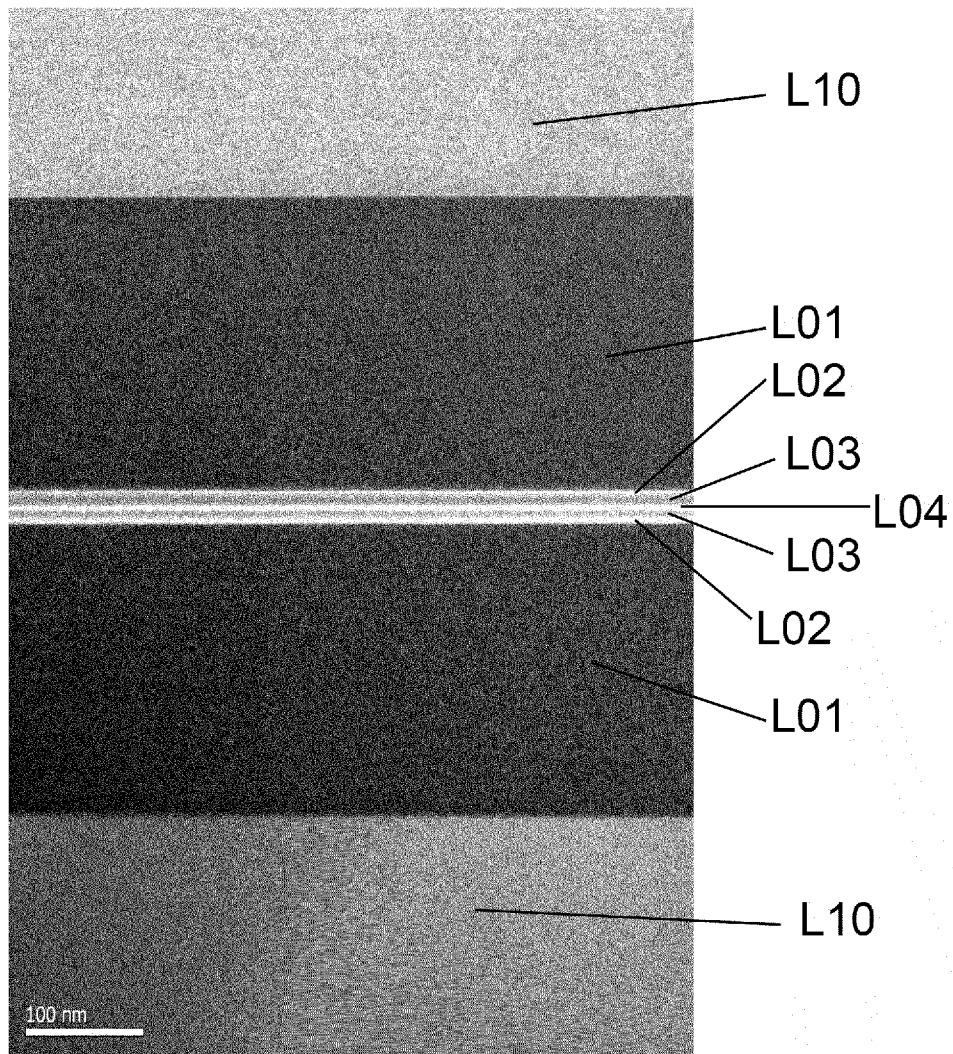
(A)



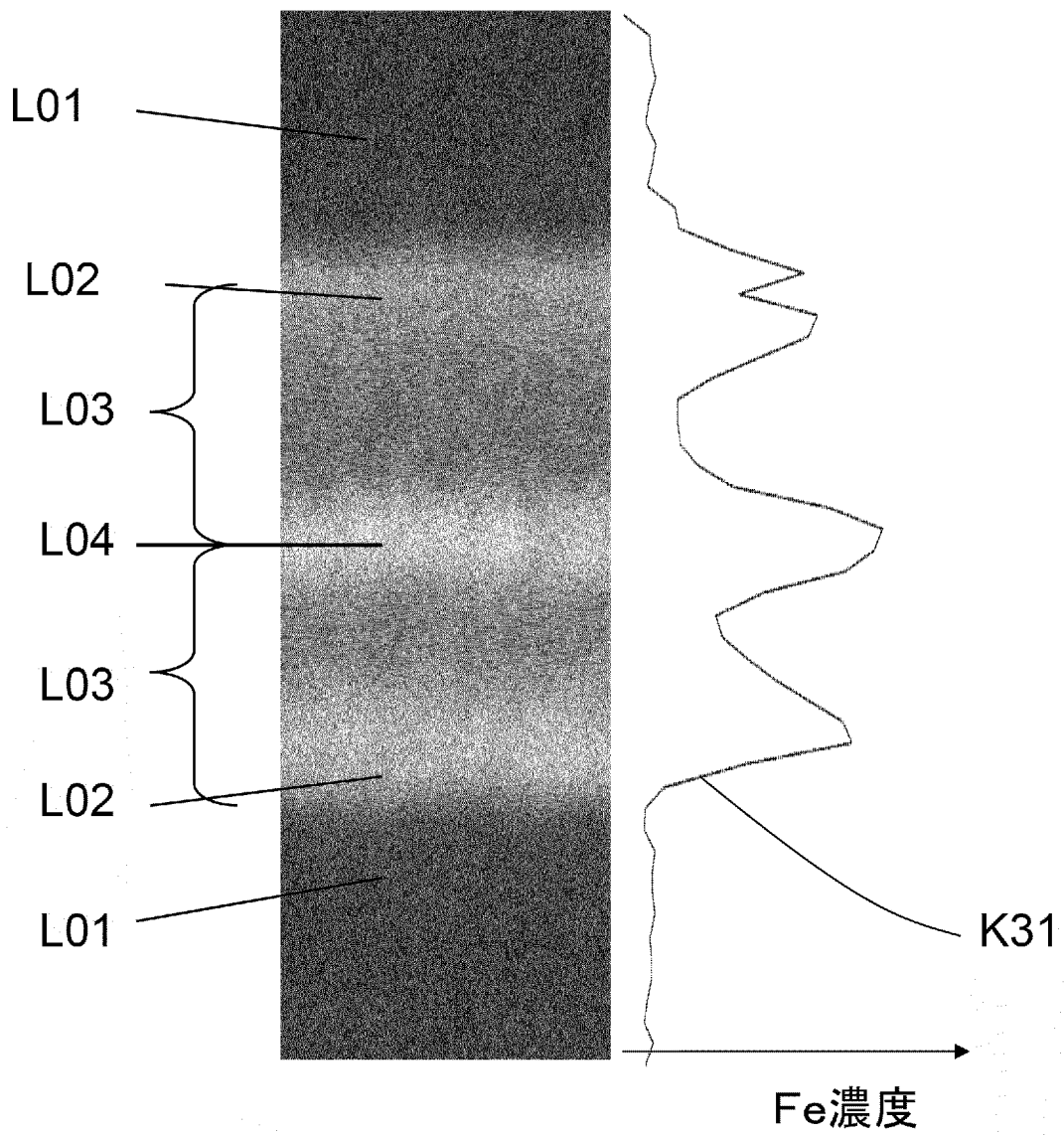
(B)



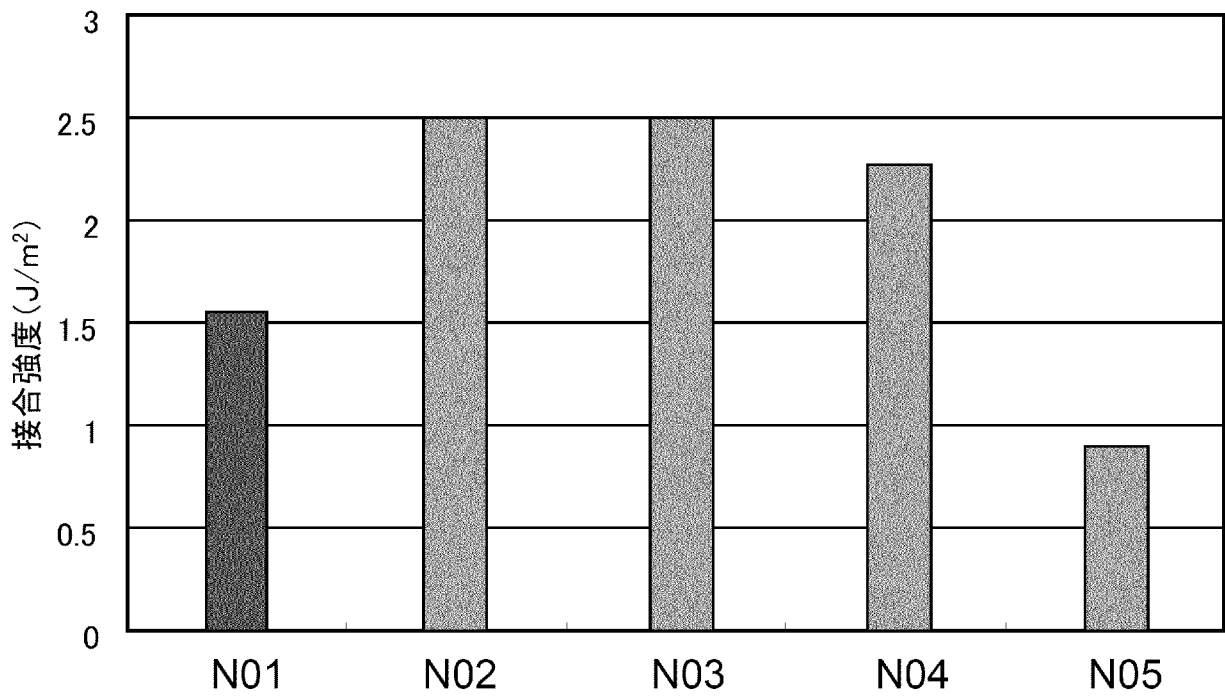
[図8]



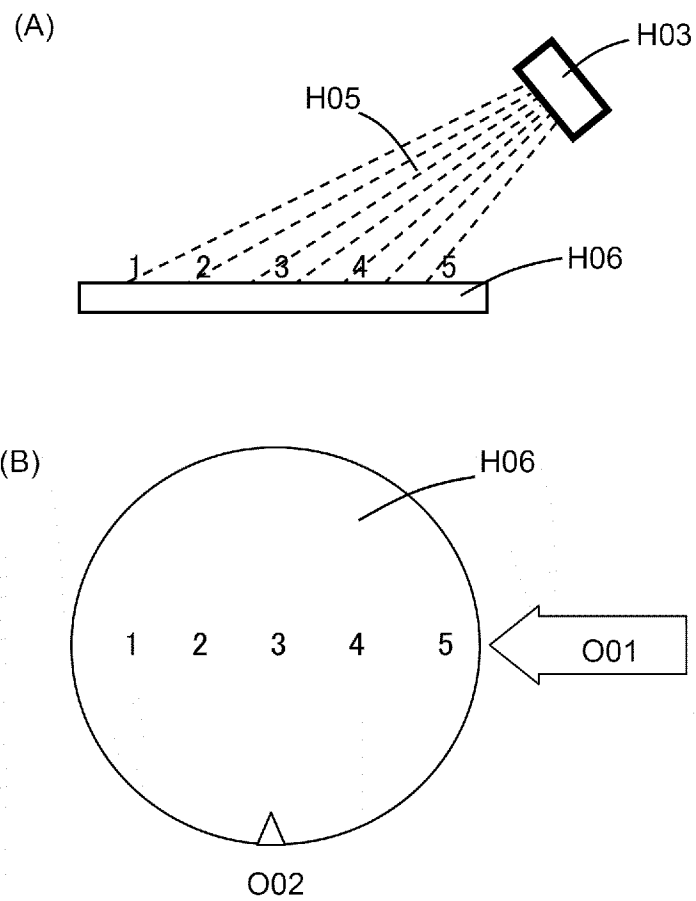
[図9]



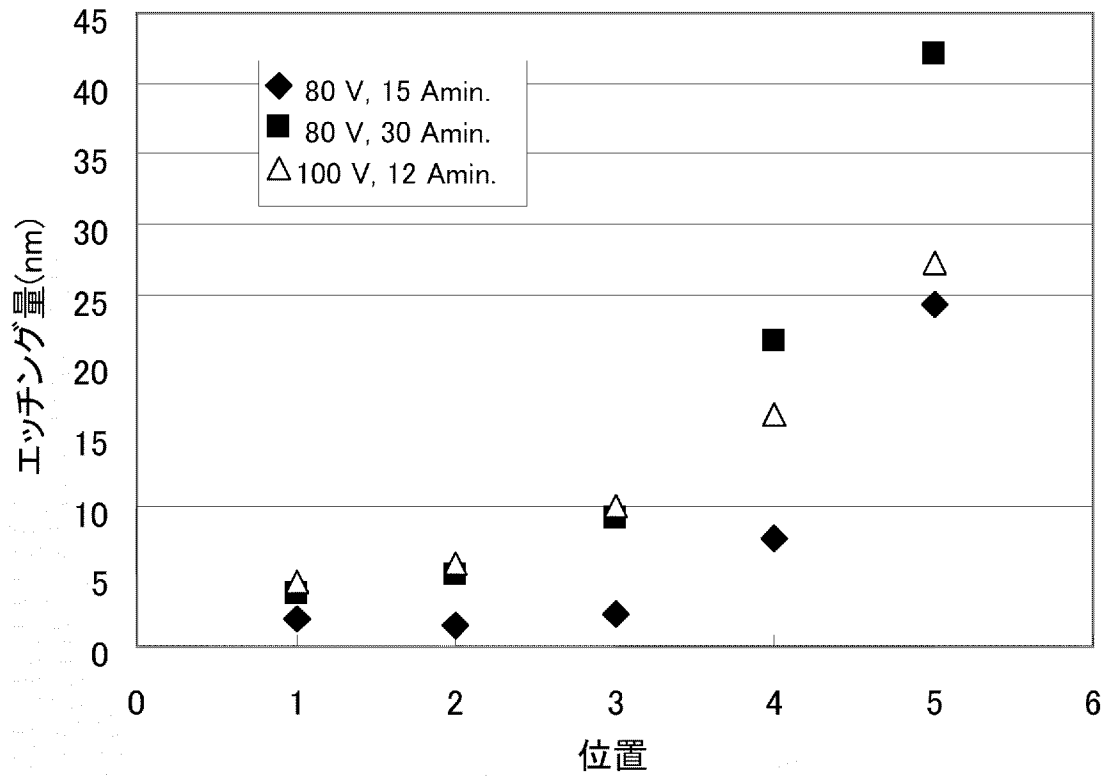
[図10]



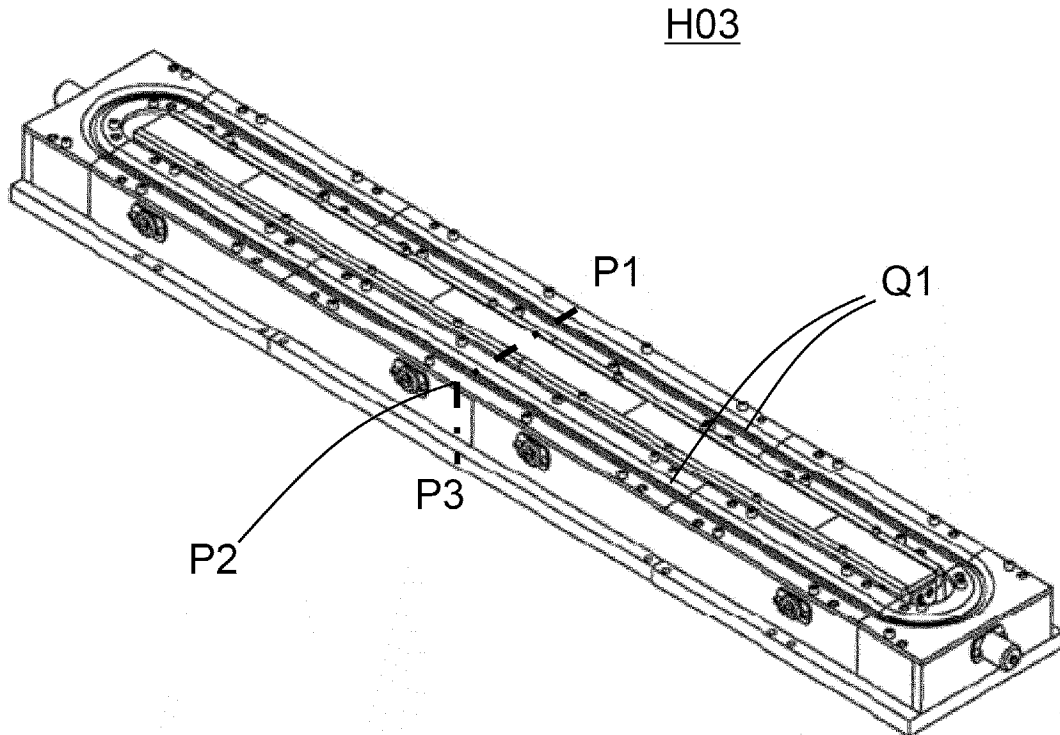
[図11]



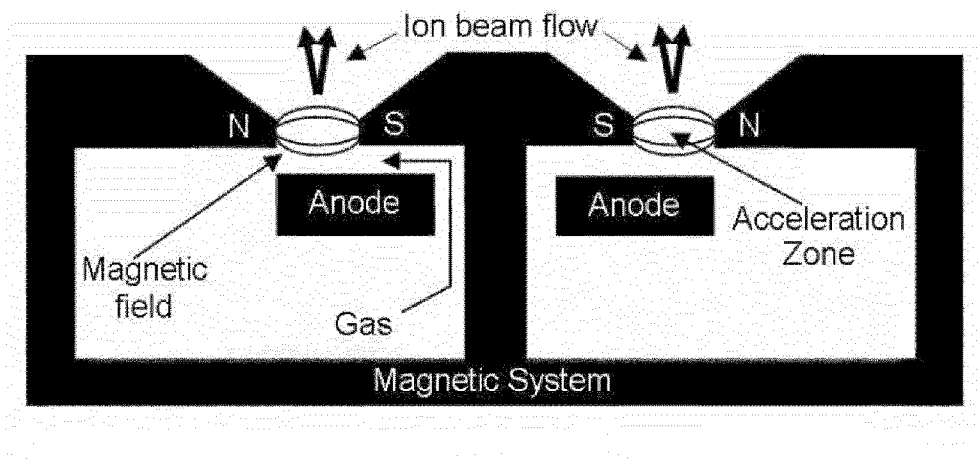
[図12]



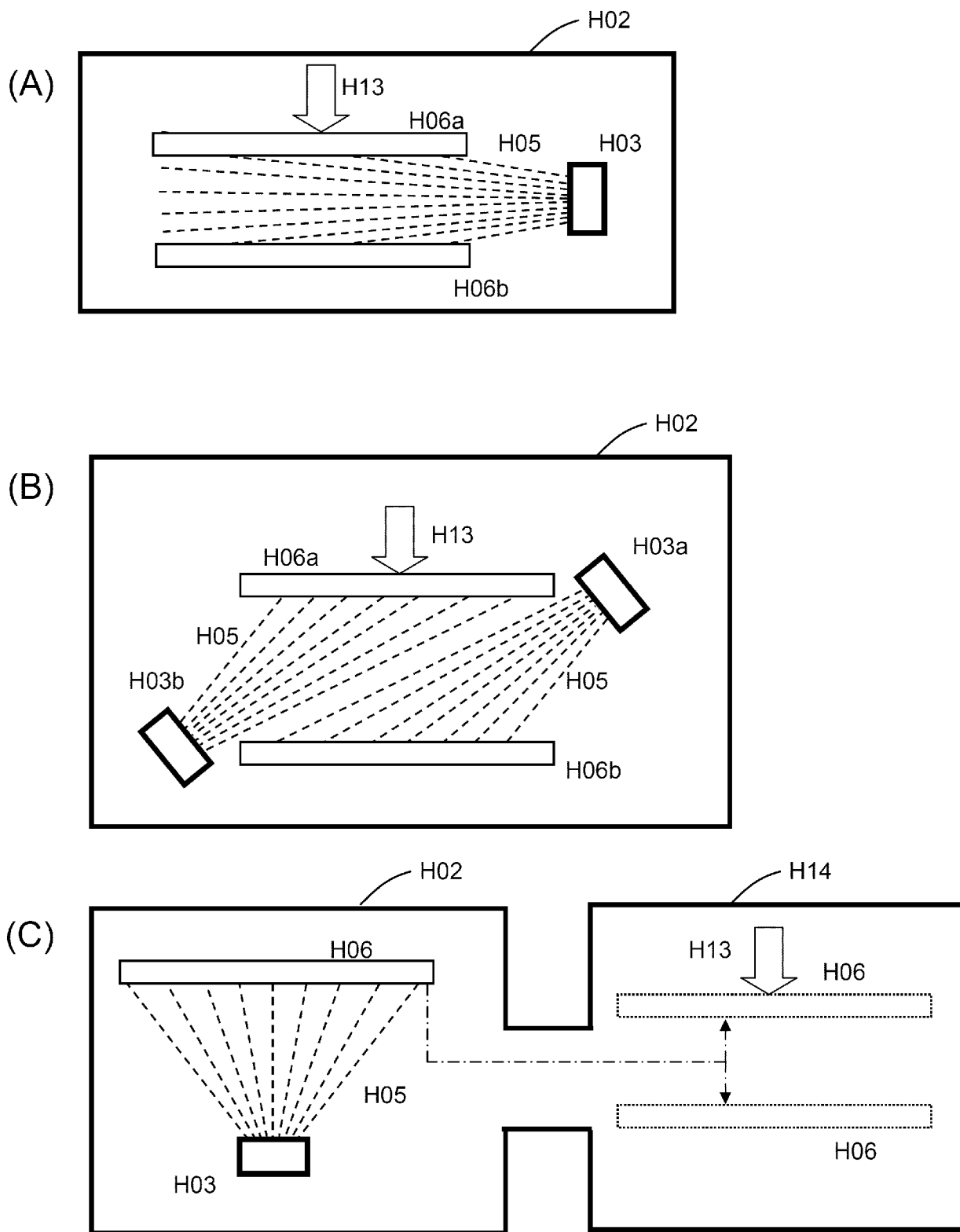
[図13]



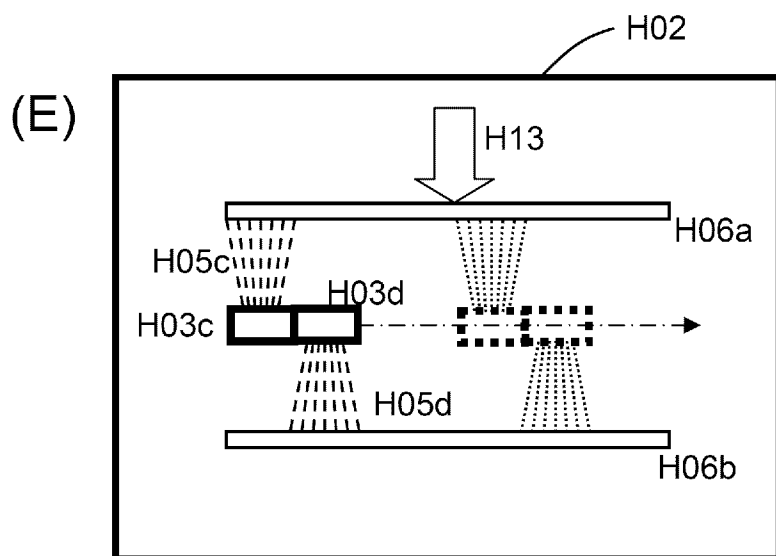
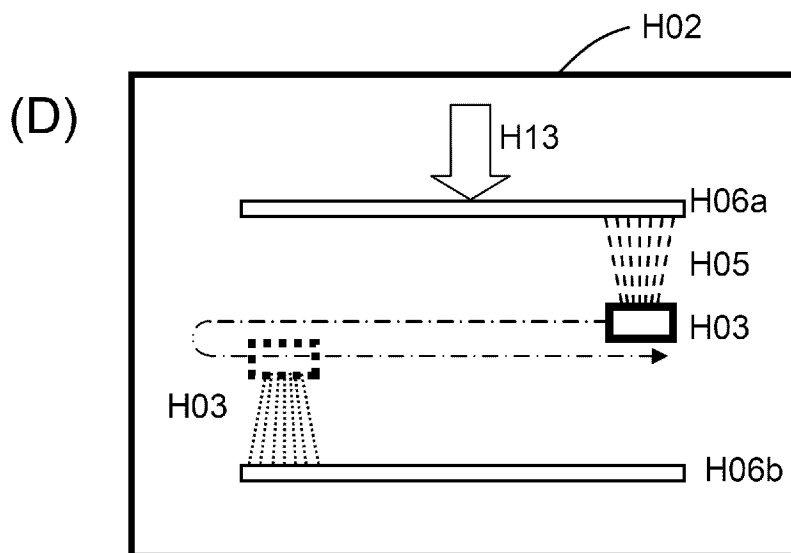
[図14]



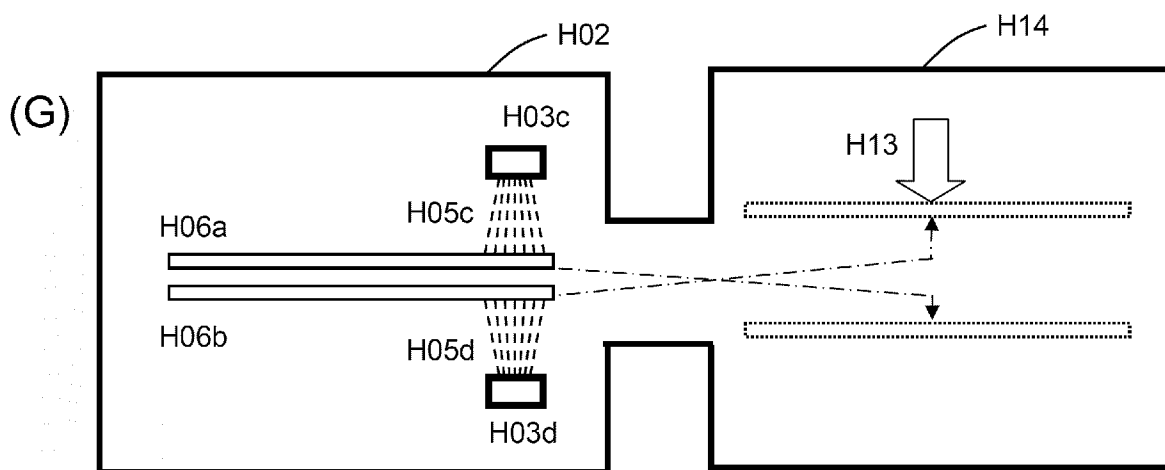
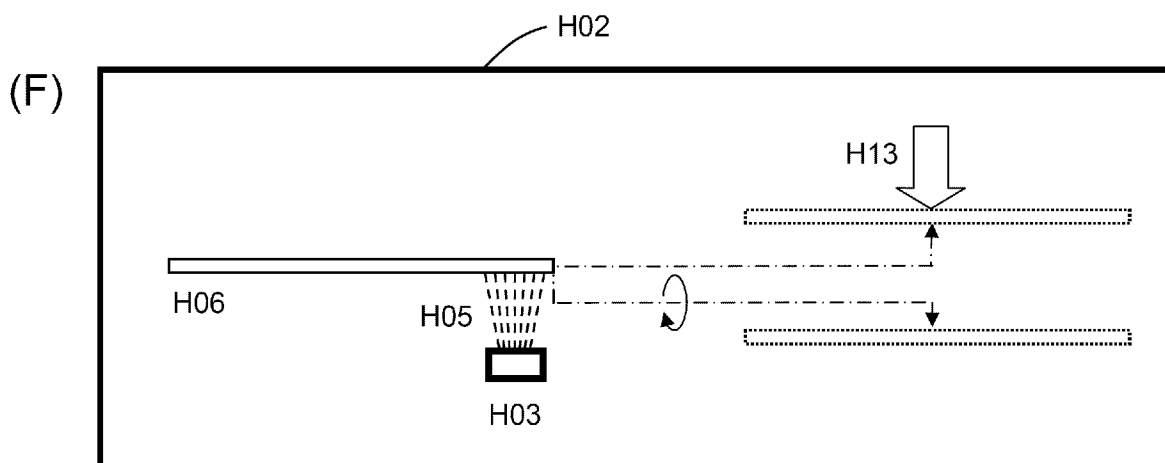
[図15]



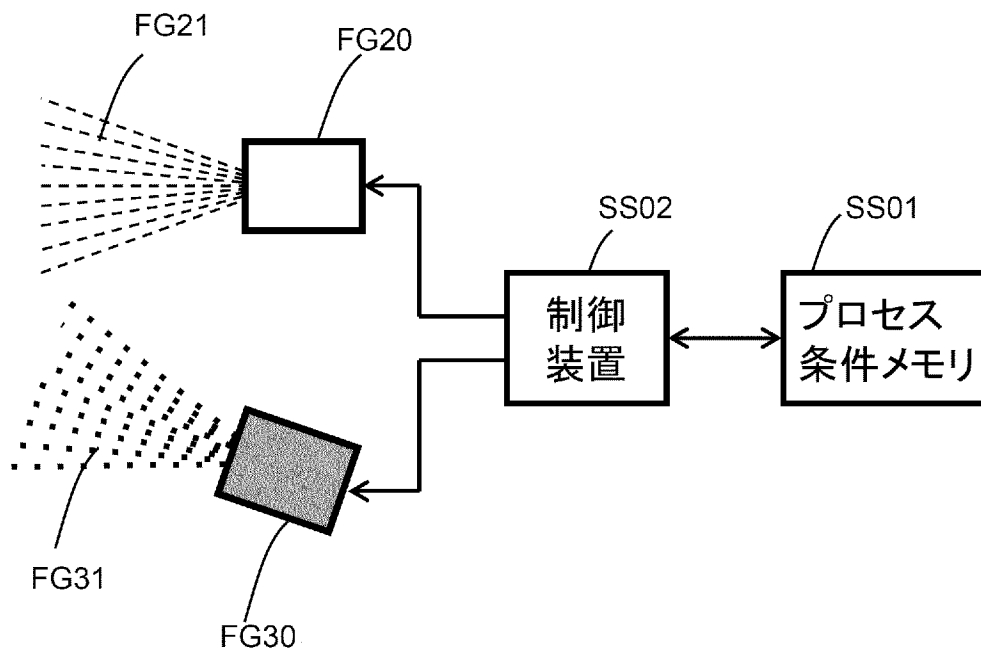
[図16]



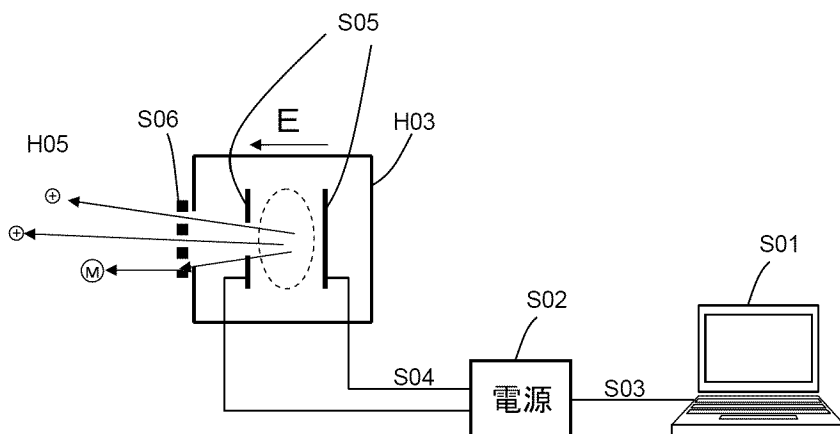
[図17]



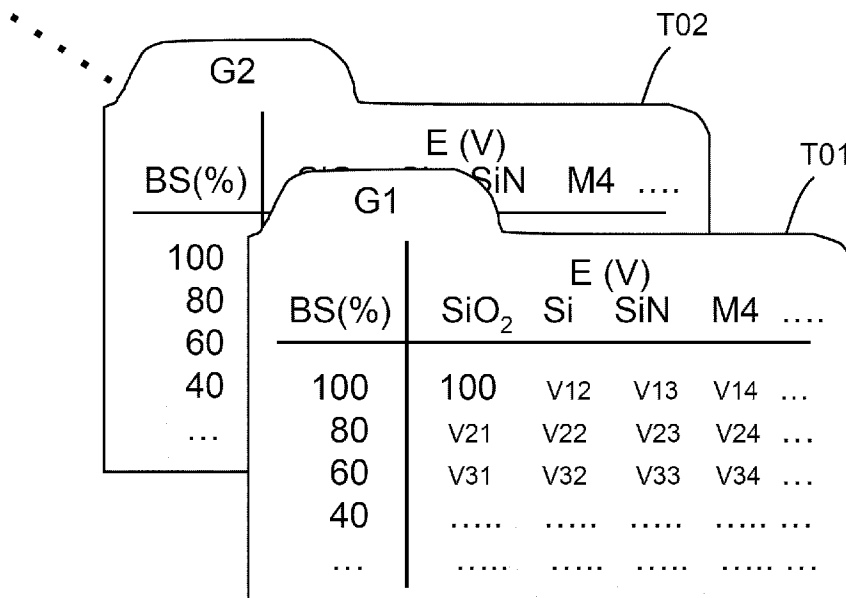
[図18]



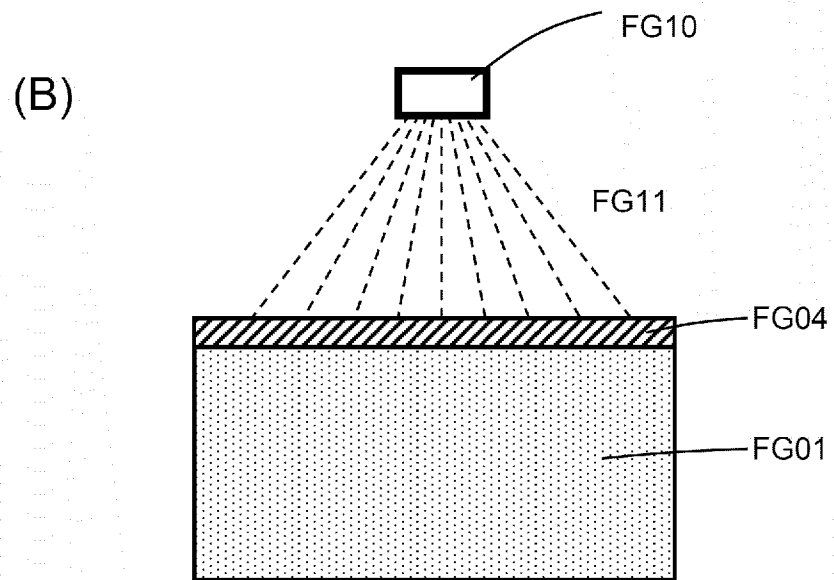
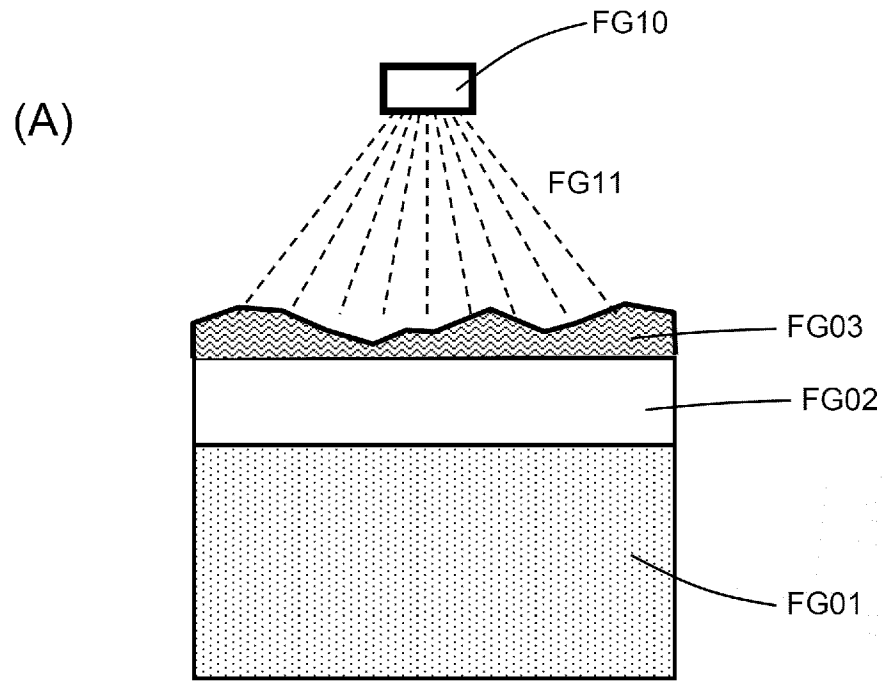
[図19]



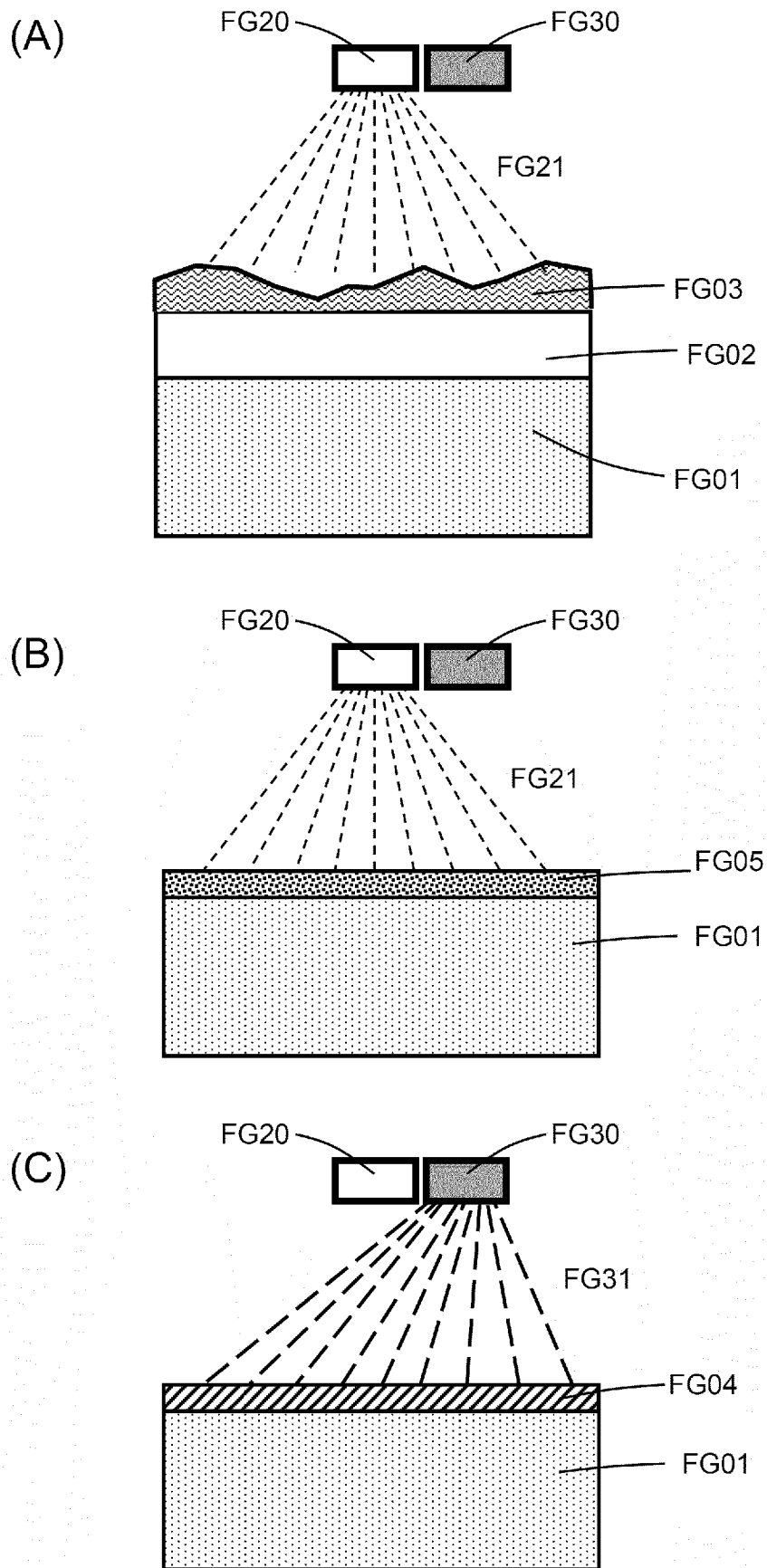
[図20]



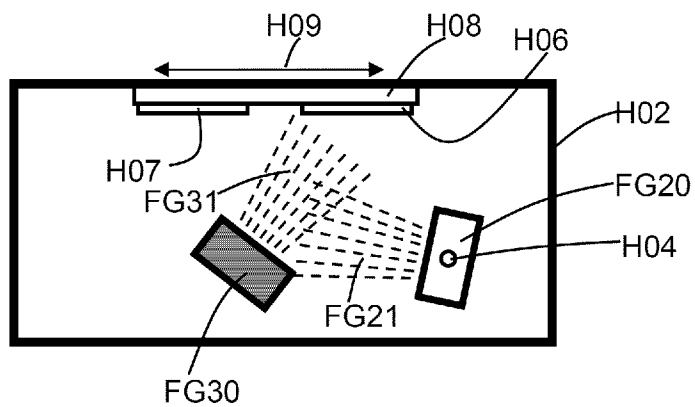
[図21]



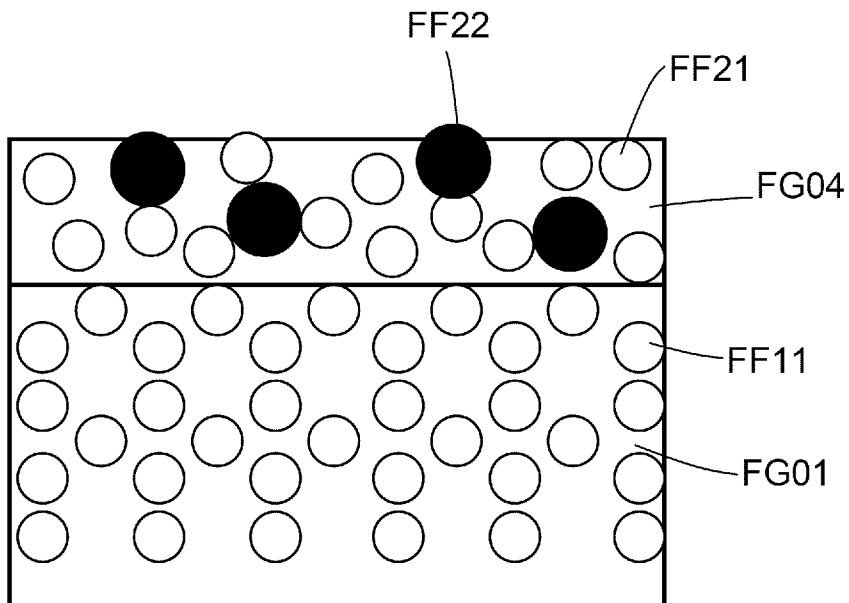
[図22]



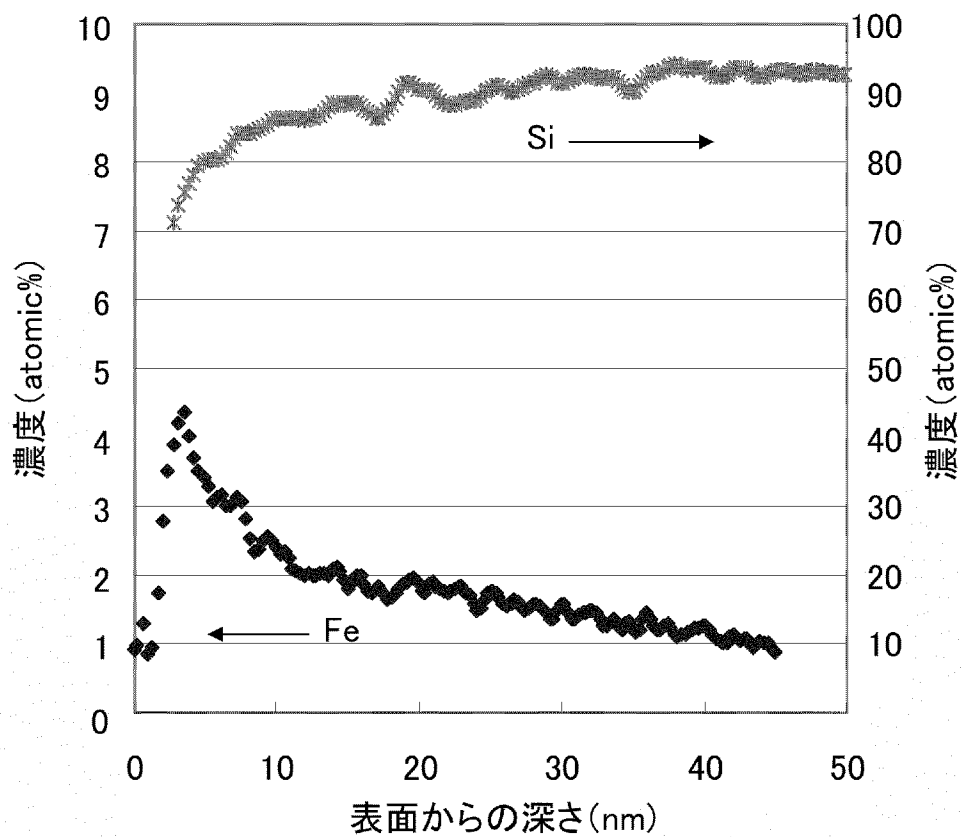
[図23]



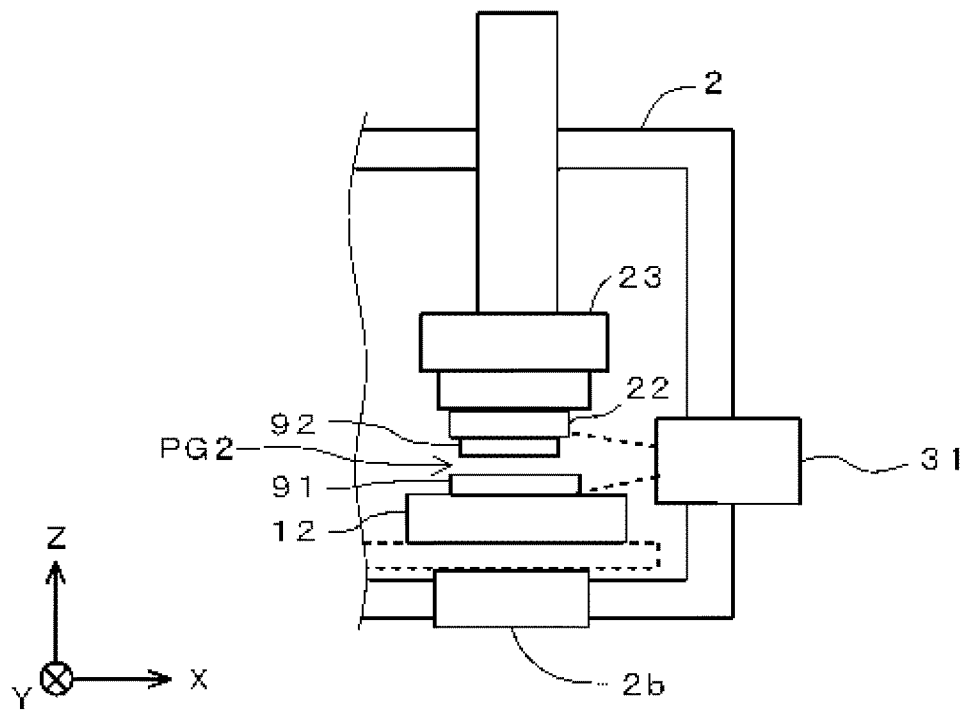
[図24]



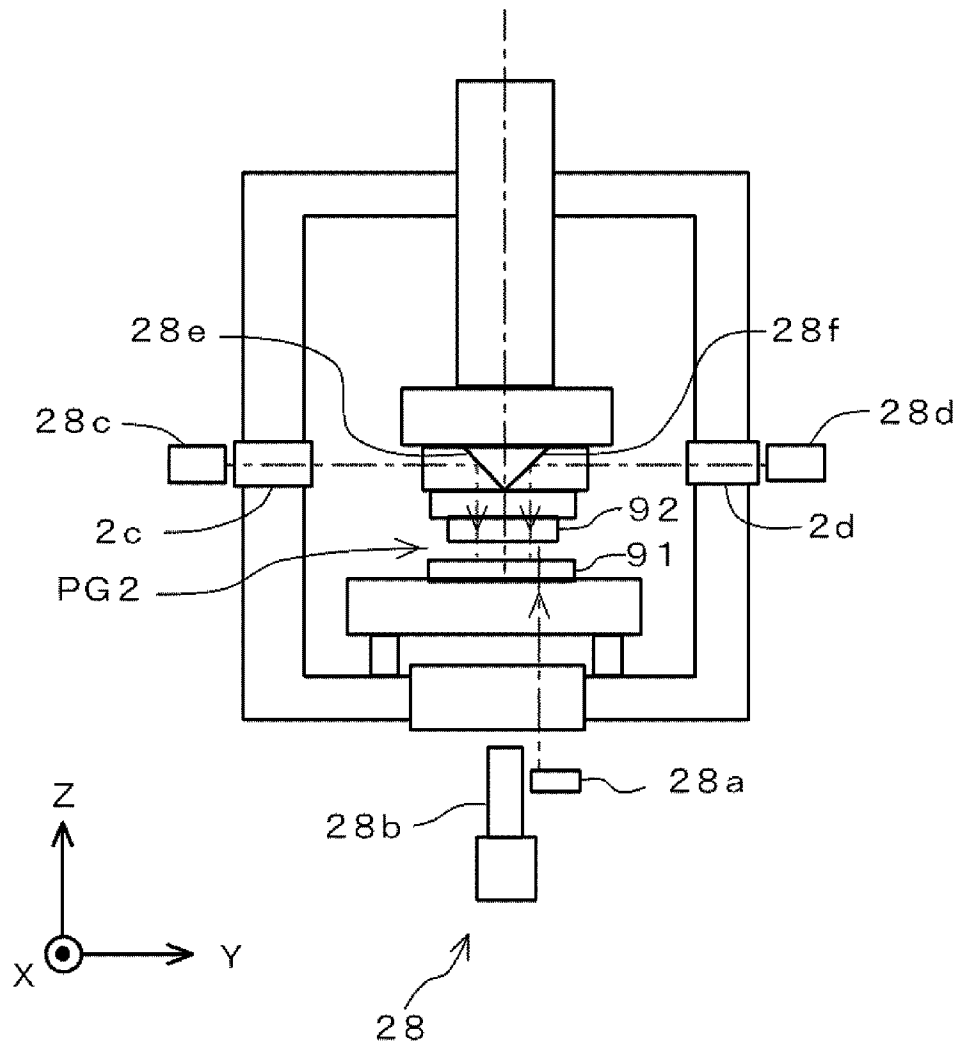
[図25]



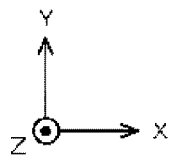
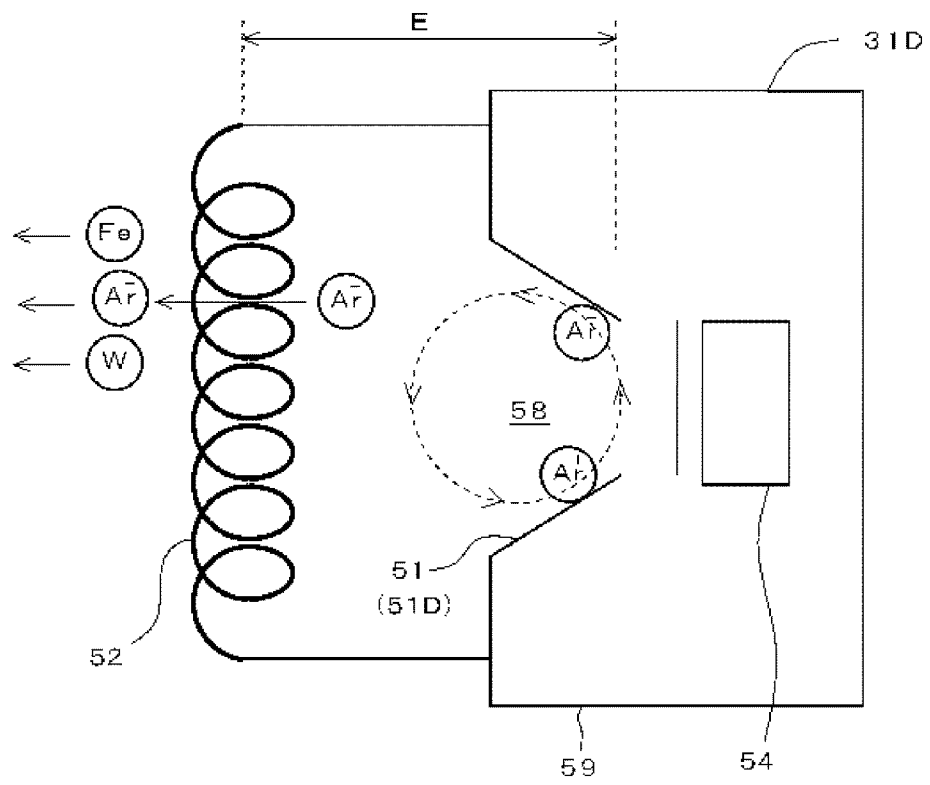
[図27]



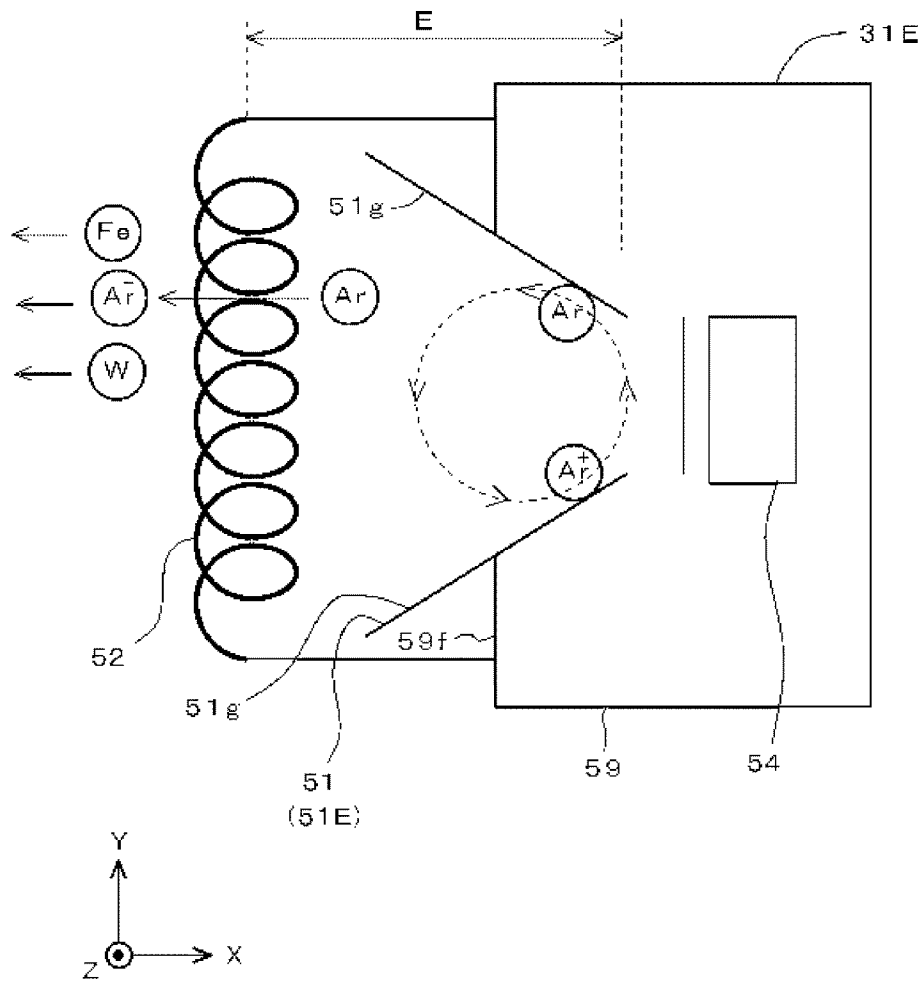
[図28]



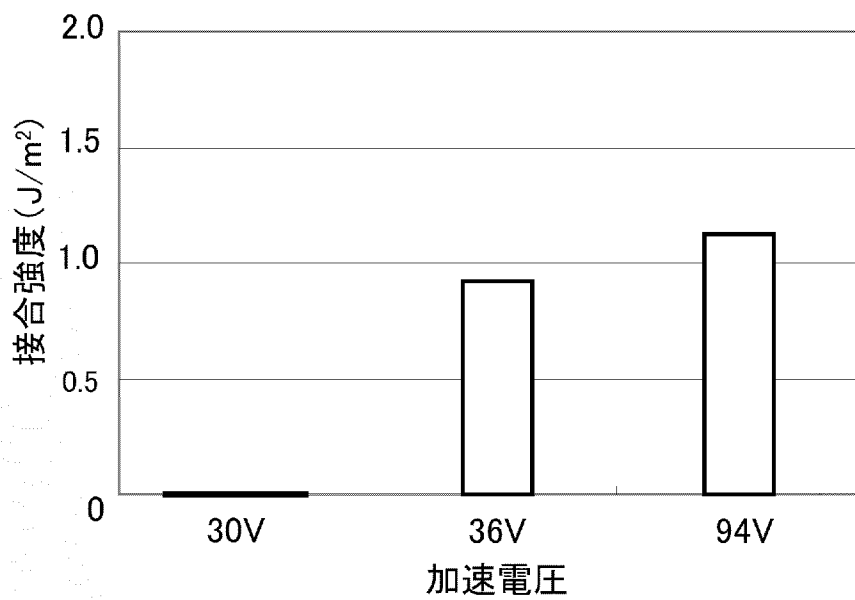
[図29]



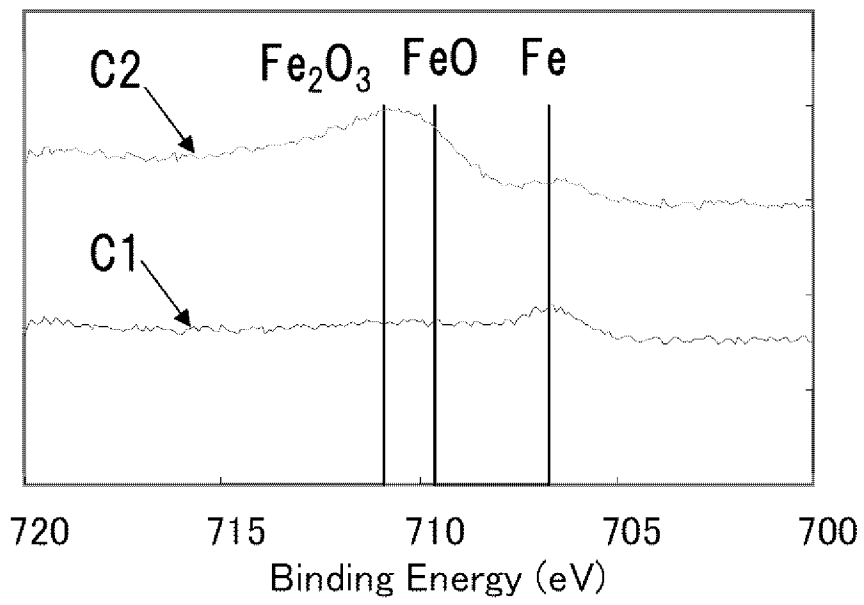
[図30]



[図31]



[圖32]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/051935

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/02(2006.01)i, B23K20/00(2006.01)i, B23K20/14(2006.01)i, B23K20/16(2006.01)i, B23K20/24(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)

H01L21/02, B23K20/00, B23K20/14, B23K20/16, B23K20/24

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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.
A	JP 2009-10263 A (Eiko Engineering Co., Ltd.), 15 January 2009 (15.01.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-34
A	JP 2008-62267 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 21 March 2008 (21.03.2008), entire text; all drawings & US 2010/0000663 A1 & EP 2058080 A1 & EP 2248625 A1 & WO 2008/029885 A1 & CA 2660706 A & CN 101500742 A & KR 10-2009-0086511 A	1-34

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 February, 2012 (10.02.12)

Date of mailing of the international search report
21 February, 2012 (21.02.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/051935

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 2004-337927 A (Tadatomo SUGA), 02 December 2004 (02.12.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-34

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01L21/02(2006.01)i, B23K20/00(2006.01)i, B23K20/14(2006.01)i, B23K20/16(2006.01)i, B23K20/24(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01L21/02, B23K20/00, B23K20/14, B23K20/16, B23K20/24		
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 1971-2012年 日本国実用新案登録公報 1996-2012年 日本国登録実用新案公報 1994-2012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
A	JP 2009-10263 A (株式会社エイコー・エンジニアリング) 2009.01.15, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-34
A	JP 2008-62267 A (三菱重工業株式会社) 2008.03.21, 全文、全図 & US 2010/0000663 A1 & EP 2058080 A1 & EP 2248625 A1 & WO 2008/029885 A1 & CA 2660706 A & CN 101500742 A & KR 10-2009-0086511 A	1-34
A	JP 2004-337927 A (須賀唯知) 2004.12.02, 全文、全図 (ファミリー なし)	1-34
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input 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 「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 10.02.2012	国際調査報告の発送日 21.02.2012	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 大嶋 洋一 電話番号 03-3581-1101 内線 3498	4L 9170