

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4162094号
(P4162094)

(45) 発行日 平成20年10月8日(2008.10.8)

(24) 登録日 平成20年8月1日(2008.8.1)

(51) Int.Cl. F I
B 2 3 K 20/00 (2006.01) B 2 3 K 20/00 3 1 0 L
H 0 1 L 21/02 (2006.01) H 0 1 L 21/02 B

請求項の数 44 (全 19 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-149896 (P2006-149896) (22) 出願日 平成18年5月30日(2006.5.30) (65) 公開番号 特開2007-324195 (P2007-324195A) (43) 公開日 平成19年12月13日(2007.12.13) 審査請求日 平成19年8月2日(2007.8.2)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 000006208 三菱重工業株式会社 東京都港区港南二丁目16番5号 (73) 特許権者 301021533 独立行政法人産業技術総合研究所 東京都千代田区霞が関1-3-1 (74) 代理人 100102864 弁理士 工藤 実 (74) 代理人 100117617 弁理士 中尾 圭策 (72) 発明者 内海 淳 神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1 三菱重工業株式会社先進技術研究センター 一内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 常温接合によるデバイス、デバイス製造方法ならびに常温接合装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の金属と、
 第1基板と、
 第2基板とを具備し、
 前記第1基板と前記第2基板とは、前記第1基板のスパッタリングされた第1表面と前記第2基板のスパッタリングされた第2表面とを接触させることにより、常温接合されたデバイスであって、

前記第1基板と前記第2基板との接合面から深さ5nmまでの範囲に内在する原子の原子数に対する前記範囲に内在する前記複数の金属の原子数の比率を示す界面元素存在比率が0.07以上であり、かつ、0.6以下である

デバイス。

【請求項2】

請求項1において、
 前記界面元素存在比率は、0.1以上である
 デバイス。

【請求項3】

請求項2において、
 前記界面元素存在比率は、0.2以上である
 デバイス。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれかにおいて、
 前記複数の金属は、
 鉄とクロムとから形成される金属集合と、
 鉄とアルミニウムとから形成される金属集合と、
 鉄とクロムとアルミニウムとから形成される金属集合と、
 鉄とクロムとニッケルとから形成される金属集合と、
 鉄とクロムとニッケルとアルミニウムとから形成される金属集合とから形成される集合
 から選択される 1 つの金属集合である
 デバイス。

10

【請求項 5】

単一の金属と、
 第 1 基板と、
 第 2 基板とを具備し、
 前記第 1 基板と前記第 2 基板とは、前記第 1 基板のスputタリングされた第 1 表面と前
 記第 2 基板のスputタリングされた第 2 表面とを接触させることにより、常温接合された
 デバイスであって、
 前記第 1 基板と前記第 2 基板との接合面から深さ 5 nm までの範囲に内在する原子の原
 子数に対する前記範囲に内在する前記単一の金属の原子数の比率を示す界面元素存在比率
 が 0.07 以上であり、かつ、0.6 以下である
 デバイス。

20

【請求項 6】

請求項 5 において、
 前記界面元素存在比率は、0.1 以上である
 デバイス。

【請求項 7】

請求項 6 において、
 前記界面元素存在比率は、0.2 以上である
 デバイス。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 請求項 7 のいずれかにおいて、
 前記第 1 基板は、主成分が酸化物である
 デバイス。

30

【請求項 9】

請求項 8 において、
 前記第 1 基板は、主成分が二酸化ケイ素である
 デバイス。

【請求項 10】

請求項 9 において、
 前記第 1 基板は、単結晶材料と多結晶材料とガラスとセラミックとから形成される集合
 から選択される材料から形成される
 デバイス。

40

【請求項 11】

請求項 1 ~ 請求項 7 のいずれかにおいて、
 前記第 1 基板は、主成分がフッ化物である
 デバイス。

【請求項 12】

請求項 1 ~ 請求項 7 のいずれかにおいて、
 前記第 1 基板は、主成分が炭化物である
 デバイス。

50

【請求項 13】

請求項 1 ~ 請求項 7 のいずれかにおいて、
前記第 1 基板は、主成分が窒化物である
デバイス。

【請求項 14】

請求項 8 ~ 請求項 13 のいずれかにおいて、
前記第 1 基板が形成される材料の主成分は、前記第 2 基板が形成される材料の主成分に
等しい
デバイス。

【請求項 15】

第 1 基板および第 2 基板の表面をスパッタリングするステップと、
前記表面に複数の金属を付着させるステップと、
前記第 1 基板のスパッタリングされた第 1 表面と前記第 2 基板のスパッタリングされた
第 2 表面とを接触させることにより前記第 1 基板と前記第 2 基板を常温接合するステップ
とを具備するデバイス製造方法において、
前記第 1 基板と前記第 2 基板との接合面から深さ 5 nm までの範囲に内在する原子の原
子数に対する前記範囲に内在する前記複数の金属の原子数の比率を示す界面元素存在比率
が 0.07 以上であり、かつ、0.6 以下である
デバイス製造方法。

10

【請求項 16】

請求項 15 において、
前記界面元素存在比率は、0.1 以上である
デバイス製造方法。

20

【請求項 17】

請求項 16 において、
前記界面元素存在比率は、0.2 以上である
デバイス製造方法。

【請求項 18】

請求項 15 ~ 請求項 17 のいずれかにおいて、
前記第 2 基板の表面は、前記第 1 基板の表面をスパッタリングすると同時にスパッタリ
ングされる
デバイス製造方法。

30

【請求項 19】

請求項 15 ~ 請求項 18 のいずれかにおいて、
前記複数の金属は、前記第 1 基板および前記第 2 基板の表面をスパッタリングすると同
時に前記表面に付着する
デバイス製造方法。

【請求項 20】

請求項 15 ~ 請求項 19 のいずれかにおいて、
前記複数の金属は、
鉄とクロムとから形成される金属集合と、
鉄とアルミニウムとから形成される金属集合と、
鉄とクロムとアルミニウムとから形成される金属集合と、
鉄とクロムとニッケルとから形成される金属集合と、
鉄とクロムとニッケルとアルミニウムとから形成される金属集合とから形成される集合
から選択される 1 つの金属集合である
デバイス製造方法。

40

【請求項 21】

請求項 15 ~ 請求項 20 のいずれかにおいて、
前記表面は、金属放出体とともに、物理スパッタリング手段により加速された粒子が照

50

射されてスパッタリングされ、

前記金属放出体は、前記複数の金属を含有し、前記粒子が照射されることにより前記複数の金属を放出する

デバイス製造方法。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 において、

前記金属放出体は、接合装置あるいは接合装置内部に設置した基板保持機構、基板移送機構、基板圧接機構を構成する各内部装置の、構造部材もしくは構成部品の少なくとも 1 つである

デバイス製造方法。

10

【請求項 2 3】

請求項 2 1 または請求項 2 2 のいずれかにおいて、

前記物理スパッタリング手段の運転パラメータは、前記界面元素存在比率が 0 . 0 7 以上になるように、設定される

デバイス製造方法。

【請求項 2 4】

請求項 2 1 または請求項 2 2 のいずれかにおいて、

前記物理スパッタリング手段の運転パラメータは、前記界面元素存在比率が 0 . 1 以上になるように、設定される

デバイス製造方法。

20

【請求項 2 5】

請求項 2 1 または請求項 2 2 のいずれかにおいて、

前記物理スパッタリング手段の運転パラメータは、前記界面元素存在比率が 0 . 2 以上になるように、設定される

デバイス製造方法。

【請求項 2 6】

請求項 2 3 ~ 請求項 2 5 のいずれかにおいて、

前記運転パラメータは、前記粒子の速度である

デバイス製造方法。

【請求項 2 7】

請求項 2 3 ~ 請求項 2 5 のいずれかにおいて、

前記運転パラメータは、前記粒子が照射される照射時間である

デバイス製造方法。

30

【請求項 2 8】

請求項 2 3 ~ 請求項 2 5 のいずれかにおいて、

前記運転パラメータは、前記表面に単位時間当たりに照射される前記粒子の量である

デバイス製造方法。

【請求項 2 9】

第 1 基板および第 2 基板の表面をスパッタリングするステップと、

前記表面に単一の金属を付着させるステップと、

前記第 1 基板のスパッタリングされた第 1 表面と前記第 2 基板のスパッタリングされた第 2 表面とを接触させることにより前記第 1 基板と前記第 2 基板を常温接合するステップとを具備し、

前記第 1 基板と前記第 2 基板の接合面から深さ 5 n m までの範囲に内在する原子の原子数に対する前記範囲に内在する前記単一の金属の原子数の比率を示す界面元素存在比率が 0 . 0 7 以上であり、かつ、0 . 6 以下である

デバイス製造方法。

40

【請求項 3 0】

請求項 2 9 において、

前記界面元素存在比率が 0 . 1 以上になるように金属を前記表面に付着させる

50

デバイス製造方法。

【請求項 3 1】

請求項 2 9 において、
前記界面元素存在比率が 0 . 2 以上になるように金属を前記表面に付着させる
デバイス製造方法。

【請求項 3 2】

請求項 2 9 ~ 請求項 3 1 のいずれかにおいて、
前記第 2 基板の表面は、前記第 1 基板の表面をスパッタリングすると同時にスパッタリ
ングされる
デバイス製造方法。 10

【請求項 3 3】

請求項 2 9 ~ 請求項 3 2 のいずれかにおいて、
前記金属は、前記第 1 基板および前記第 2 基板の表面をスパッタリングすると同時に前
記表面に付着する
デバイス製造方法。

【請求項 3 4】

請求項 2 9 ~ 請求項 3 3 のいずれかにおいて、
前記表面は、金属放出体とともに、物理スパッタリング手段により加速された粒子が照
射されてスパッタリングされ、
__前記金属放出体は、前記金属を含有し、前記粒子が照射されることにより前記金属を放
出し、接合装置あるいは接合装置内部に設置した基板保持機構、基板移送機構、基板圧接
機構を構成する各内部装置の、構造部材もしくは構成部品の少なくとも 1 つである
デバイス製造方法。 20

【請求項 3 5】

請求項 3 4 において、
前記物理スパッタリング手段の運転パラメータは、前記界面元素存在比率が 0 . 0 7
以上になるように、設定される
デバイス製造方法。

【請求項 3 6】

請求項 3 4 において、
前記物理スパッタリング手段の運転パラメータは、前記界面元素存在比率が 0 . 1 以
上になるように、設定される
デバイス製造方法。 30

【請求項 3 7】

請求項 3 4 において、
前記物理スパッタリング手段の運転パラメータは、前記界面元素存在比率が 0 . 2 以
上になるように、設定される
デバイス製造方法。

【請求項 3 8】

請求項 3 5 ~ 請求項 3 7 のいずれかにおいて、
前記運転パラメータは、前記粒子の速度である
デバイス製造方法。 40

【請求項 3 9】

請求項 3 5 ~ 請求項 3 7 のいずれかにおいて、
前記運転パラメータは、前記粒子が照射される照射時間である
デバイス製造方法。

【請求項 4 0】

請求項 3 5 ~ 請求項 3 7 のいずれかにおいて、
前記運転パラメータは、前記表面に単位時間当たりに照射される前記粒子の量である
デバイス製造方法。 50

【請求項 4 1】

内部に真空雰囲気を生成する真空チャンバーと、
 前記真空雰囲気下で被接合材料である基板材料を保持する保持機構と、
 前記基板材料を所定の位置に移送する移送機構と、
 前記基板材料の被接合面を活性化する物理スパッタリング手段と、
 前記活性化した被接合面同士を重ね合わせて圧接する圧接機構とを有する接合装置において、

前記真空チャンバーの内壁または構造部材、前記保持機構、前記移送機構または前記圧接機構を構成する構造部材・構成部品の少なくとも1つは、前記物理スパッタリング手段から照射された粒子によりスパッタされることにより複数ないし単一の金属を放出し、前記基板材料の表面に前記金属付着させる材料で形成されている
 常温接合装置。

10

【請求項 4 2】

請求項 4 1 において、

前記金属は、

鉄とクロムとから形成される金属集合と、

鉄とアルミニウムとから形成される金属集合と、

鉄とクロムとアルミニウムとから形成される金属集合と、

鉄とクロムとニッケルとから形成される金属集合と、

鉄とクロムとニッケルとアルミニウムとから形成される金属集合とから形成される集合から選択される1つの金属集合である

20

常温接合装置。

【請求項 4 3】

内部に真空雰囲気を生成する真空チャンバーと、

前記真空雰囲気下で被接合材料である基板材料を保持する保持機構と、

前記基板材料を所定の位置に移送する移送機構と、

前記基板材料の被接合面を活性化する物理スパッタリング手段と、

前記活性化した被接合面同士を重ね合わせて圧接する圧接機構とを有する接合装置

を用いて実行される常温接合方法であり、

前記物理スパッタリング手段を用いて第1基板および第2基板の表面をスパッタリングするステップと、

30

前記真空チャンバーの内壁または構造部材、前記保持機構、前記移送機構または前記圧接機構を構成する構造部材・構成部品の少なくとも1つで構成される金属放出体をスパッタリングするステップと、

前記金属放出体がスパッタリングされることにより放出される金属を前記第1基板のスパッタリングされた第1表面と前記第2基板のスパッタリングされた第2表面とに付着させるステップと、

前記第1表面と前記第2表面とを接触させることにより前記第1基板と前記第2基板を常温接合するステップ

とを具備する常温接合方法。

40

【請求項 4 4】

第1基板および第2基板の表面をスパッタリングするステップと、

第1基板および第2基板を保持するステージをスパッタリングすることにより、前記ステージから放出される金属を前記第1基板のスパッタリングされた第1表面と前記第2基板のスパッタリングされた第2表面とに付着させるステップと、

前記第1表面と前記第2表面とを接触させることにより前記第1基板と前記第2基板を常温接合するステップ

とを具備する常温接合方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本発明は、デバイスおよびデバイス製造方法に関し、特に、常温接合を用いて生産されるデバイスおよびその製造方法に関する。本発明は、常温接合装置に関し、特に、常温接合を用いて製品を生産する常温接合装置に関する。

【背景技術】

【0002】

微細な電気部品や機械部品を集積化したMEMSが知られている。そのMEMSとしては、マイクロマシン、圧力センサ、超小型モーターなどが例示される。MEMSデバイスの製造においては半導体デバイス製造プロセスが用いられており、半導体ウェーハ基板上に複数のデバイスを一括して形成・封止し、ダイシングにより個々のデバイスに分割するウェーハレベルプロセスによる製造が一般的である。

10

【0003】

この製造プロセスにおいて、デバイスを形成したデバイスウェーハ基板に封止用ウェーハ基板を積層・接合してデバイスを封止するのがウェーハレベルパッケージングである。近年、ウェーハ基板間の接合に直接接合を用いる製造方法が提案されている。接着剤やはんだを用いない直接接合による接合は接合界面に他の材料層が介在しないため、高い接合強度と良好な界面物性が得られる利点を持つ。従来からMEMSデバイスの製造に利用されてきた直接接合法の例としては陽極接合や拡散接合が挙げられる。また近年になって平坦化・清浄化した表面に水酸基等を付与し、水素結合と熱処理により強固な接合を得る接合方法も提案されている。

20

【0004】

しかしこれらの直接接合法は接合工程もしくは接合後に熱処理を伴うため、これがMEMSデバイス製造において問題となる。MEMSデバイスは利用形態や製造上の要求から異なる材料基板を接合して形成されるものが多く、材料の熱膨張率が異なる場合は製造工程の熱処理により接合界面に熱歪みを生じ、デバイスの信頼性・耐久性を損なう。このため接合プロセス温度の低減はMEMSデバイス製造の大きな技術課題となっている。また加熱と冷却に時間を要するため製造時のタクトタイムを短縮できないことも製造上の課題の1つである。

【0005】

このため、接合工程において加熱を伴わない常温接合プロセスの適用が望まれているが、常温接合、特に表面に活性基を付与せず被接合面のダングリングボンド等により接合する常温接合は被接合材料の材料物性に接合性が大きく左右される。電子デバイス材料として多用される酸化物材料、特にSiO₂系材料(合成石英、ガラス等)は常温接合では接合が困難な材料であることが知られている。

30

【0006】

常温接合は金属の接合方法としては以前から知られていたが、近年になって半導体材料や酸化物材料の接合へ適用が拡大されつつある。しかし、酸化物材料に関しては、非特許文献1に記載されているようにAl₂O₃など一部の酸化物材料は表面活性化と圧接によりある程度の接合強度を得られることが知られているが、多くの材料は実用的な接合強度を得られない。このため活性基付与など被接合面への表面処理や加熱後処理を用いる方法が提案されている。

40

【0007】

特開2004-054170号公報にはレーザー光学結晶の接合方法が開示されている。接着剤等の中間材を用いずにイオンビームエッチングのみを接合面に施してレーザー光学結晶を接合することを特徴としている。この方法はレーザー光学結晶、特にYVO₄結晶の接合方法として開発された手法である。しかしこの手法は前述の通り一部の酸化物材料には適用可能だが、例えばSiO₂系材料は接合できない。また、接合の後工程として加熱処理を行うことはMEMSデバイス製造工程への適用の上で問題となる。

【0008】

特開2005-104810号公報には機能性セラミックス多結晶体をSi等の半導体

50

単結晶材料と常温接合する方法が開示されている。セラミックス多結晶体の表面に半導体との反応活性を持つ金属薄膜層を形成し、金属と半導体の反応により生じた反応生成物層を介して接合を得る方法に特徴を持つ。表面粗さの大きいセラミックス基板の接合に有効な手法として提案されている。この手法は接合対象基板と金属層との反応性を前提とするため対象材料が限定的である。また、接合時に加熱処理が必要となる場合もある。

【0009】

一方で、表面活性化と圧接のみでは強度を得られない SiO_2 の様な難接合性材料に対しても、金属膜を被接合面に形成することで常温接合できる可能性が非特許文献2などにおいて指摘されていた。これを具体的に実施する方法がこれまでに提案されている。

【0010】

特開2004-337927号公報には従来常温接合では難接合性のイオン性結晶基板同士を接合する方法として、被接合面上に金属薄膜を形成することを特徴とする。真空中で被接合面へ不活性ガスイオンビームまたは不活性ガス中性原子ビームと、金属イオンビームまたは金属中性原子ビームとを照射し、各基板の接合面上に1nm~100nmの膜厚の金属薄膜を形成する。

【0011】

特開2004-343359号公報には常温接合による弾性表面波素子の製造方法が開示されており、その方法として中間膜を介した接合方法を挙げている。 $LiTaO_2$ 等の圧電単結晶基板と Al_2O_3 あるいは Si 等の結晶性基板とを表面活性化処理と圧接により高温での熱処理なしに接合することを特徴としており、この方法の一つとして Si もしくは絶縁材料、金属を中間層として形成し接合する方法を例示している。

【0012】

【特許文献1】特開2004-343359号公報

【特許文献2】特開2004-054170号公報

【特許文献3】特開2004-337927号公報

【特許文献4】特開2005-104810号公報

【非特許文献1】高木 他 NEDO技術開発機構平成15年度研究助成事業成果報告会予稿集 pp.220-225(2003)

【非特許文献2】高木 機械技術研究所報告 189号(2000)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

上述した様に、表面活性化と圧接のみでは SiO_2 系材料を実用的な接合強度で接合することは困難であり、実用的な接合強度を得るためには接合強度を生起させる接合機能材として金属等を接合界面に介在させる方法が有効である。

【0014】

しかしながら、介在する金属の組成あるいは濃度の適正条件については検討が充分ではなかった。特に、実用上求められる接合強度を得るための金属の適正量については定量的な評価が充分ではなかった。

【0015】

過度の金属中間層形成の不利益としては、例えば中間層形成プロセスに要する時間が長くなることでプロセスコストの増大・タクトタイムの伸張による生産効率の低下など産業応用上の欠点となることが挙げられる。

【0016】

また過度の金属中間層形成がデバイス接合界面の物性に影響を与え、デバイスの性能を損なう可能性もある。例えばイオンビーム等の物理スパッタリングを伴う手段により金属中間層を形成する場合、照射時間が長くなると金属中間層の形成と同時に被接合面のスパッタリングが進行し、被接合面の表面粗さが増大するため接合強度が却って低下する現象も生ずる。

【0017】

10

20

30

40

50

本発明の課題は、基板がより強固に接合されているデバイスおよびそのデバイスの製造方法を提供することにある。

本発明の課題は、難接合性材料の接合手段の条件を適正化するデバイス製造方法を提供することにある。

本発明の課題は、難接合性材料から成る基板（たとえば、 SiO_2 系材料基板）を、常温接合により実用的な接合強度で接合して得られるデバイスおよびそのデバイスの製造方法を提供することにある。

本発明の課題は、難接合性材料の接合手段として、適正化した接合条件を提供する常温接合装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0018】

以下に、発明を実施するための最良の形態・実施例で使用される符号を括弧付きで用いて、課題を解決するための手段を記載する。この符号は、特許請求の範囲の記載と発明を実施するための最良の形態・実施例の記載との対応を明らかにするために付加されたものであり、特許請求の範囲に記載されている発明の技術的範囲の解釈に用いてはならない。

【0019】

本発明によるデバイスは、第1基板(11)と、第2基板(12)とを備えている。このとき、第1基板(11)と第2基板(12)との界面には、複数の金属元素(26、27)が内在している。この金属元素(26、27)を介した常温接合により第1基板(11)と第2基板(12)が接合されている。

【0020】

その複数の金属は、界面元素存在比率が0.07以上であることを示していることが好ましい。その複数の金属は、界面元素存在比率が0.1以上であることを示していることが好ましい。その複数の金属は、界面元素存在比率が0.2以上であることを示していることがさらに好ましい。ここに、界面元素存在比率とは、接合界面に存在する全原子数に対して占める割合を言う。具体的には、界面に存在する被接合材料の構成元素および接合を仲介する複数の金属元素の原子数の合計に対する、接合を仲介する複数の金属元素の原子数の合計が占める比率を、接合を仲介する複数の金属の界面元素存在比率として定義する。ここに言う界面とは、被接合面から深さ5nmまでの範囲を言う。この値は一般に用いられる組成分析手段、例えばX線電子分光分析(XPS)や透過型電子顕微鏡を用いたエネルギー分散型蛍光X線分析(EDX分析)により定量的に与えられる。

【0021】

その複数の金属としては、鉄とクロムとから形成される金属集合と、鉄とアルミニウムとから形成される金属集合と、鉄とクロムとアルミニウムとから形成される金属集合と、鉄とクロムとニッケルとから形成される金属集合と、鉄とクロムとニッケルとアルミニウムとから形成される金属集合とから形成される集合から選択される1つの金属集合が例示される。その界面には、これ以外の金属が内在していてもよい。例えば、タングステンW、金Au、銀Ag、銅Cu、タンタルTa、亜鉛Znのいずれかが含まれていてもよい。

【0022】

本発明によるデバイスは、単一の金属と、第1基板と、その金属を介して常温接合により前記第1基板に接合される第2基板とを備えている。このときその金属の界面元素存在比率は、0.07以上であることが好ましい。その金属の界面元素存在比率は、0.1以上であることがさらに好ましい。その金属の界面元素存在比率は、0.2以上であることがさらに好ましい。

【0023】

本発明によるデバイスは、接合される第1基板(11)の主成分が酸化物である特徴を持つ。また本発明によるデバイスはさらに第1基板(11)の主成分が二酸化ケイ素である特徴を持つ。また本発明によるデバイスは第1基板(11)が単結晶材料、多結晶材料、ガラス、セラミックのいずれかあるいはこの組合せから選択される特徴を持つ。また本発明による別のデバイスは、第1基板(11)の主成分がフッ化物、炭化物または窒化物

10

20

30

40

50

である特徴を持つ。また本発明による別のデバイスは、第1基板(11)が形成される材料の主成分が、第2基板(12)が形成される材料の主成分に等しいという特徴を持つ。

【0024】

金属は、第1材料と第2材料との界面に連続的あるいは不連続に層状に分布し、または、その界面に島状に、または、断続的に層状に分布している。

【0025】

本発明によるデバイス製造方法は、第1基板(11)の表面をスパッタリングするステップと、表面に複数の金属を付着させるステップと、表面に第2基板(12)を常温接合するステップとを備えている。その複数の金属は、界面元素存在比率が0.07以上であることを示していることが好ましい。また本発明によるデバイス製造方法は、第1基板(11)の表面をスパッタリングすると同時に第2基板(12)の表面をスパッタリングするステップを備えている。また発明によるデバイス製造方法は、その基板の表面をスパッタリングすると同時に、基板表面に複数の金属を付着させるステップを備えている。

10

【0026】

その複数の金属としては、鉄とクロムとから形成される金属集合と、鉄とアルミニウムとから形成される金属集合と、鉄とクロムとアルミニウムとから形成される金属集合と、鉄とクロムとニッケルとから形成される金属集合と、鉄とクロムとニッケルとアルミニウムとから形成される金属集合とから形成される集合から選択される1つの金属集合が例示される。その界面には、これ以外の金属が内在していてもよい。例えば、タングステンW, 金Au, 銀Ag, 銅Cu, タンタルTa, 亜鉛Znのいずれかが含まれていてもよい。

20

【0027】

第1基板と第2基板の表面は、加速された粒子が照射されてスパッタリングされる。一方、前記の複数の金属は、加速された粒子が照射された金属放出体から放出されて表面に付着する。金属放出体としては、接合装置あるいは接合装置内部に設置した基板保持機構、基板移送機構、基板圧接機構を構成する各内部装置の、構造部材もしくは構成部品が例示される。本発明のデバイス製造方法では、加速されて金属放出体に照射される粒子に関するパラメータを制御することにより、基板の表面に放出される金属を適正に制御し、実用的接合強度を得る金属中間層を形成する。具体的には、加速されて照射される粒子の速度を、複数の金属の界面元素存在比率が0.07以上になるように、設定されることが好ましい。例えば、スパッタリング手段としてイオンビームを用いる場合は、照射される粒子の速度はイオンビーム源に印加される加速電圧で制御することができる。また、粒子が照射される照射時間を、複数の金属の界面元素存在比率が0.07以上になるように、設定されることが好ましい。また、単位時間当たりに照射される粒子の照射量を、複数の金属の界面元素存在比率が0.07以上になるように、設定されることが好ましい。

30

【0028】

その速度、照射時間または照射量は、複数の金属の界面元素存在比率が0.1以上になるように、設定されることがさらに好ましい。その速度、照射時間または照射量は、複数の金属の界面元素存在比率が0.2以上になるように、設定されることがさらに好ましい。

【0029】

本発明によるデバイス製造方法は、第1基板(11)の表面をスパッタリングするステップと、界面元素存在比率が0.07以上になるように金属を表面に付着させるステップと、表面に第2基板(12)を常温接合するステップとを備えている。また本発明によるデバイス製造方法は、第1基板(11)の表面をスパッタリングすると同時に第2基板(12)の表面をスパッタリングするステップを備えている。また発明によるデバイス製造方法は、その基板の表面をスパッタリングすると同時に、基板表面に金属を付着させるステップを備えている。

40

【0030】

第1基板と第2基板の表面は、加速された粒子が照射されてスパッタリングされる。一方、前記の金属は、加速された粒子が照射される金属放出体から放出されて表面に付着す

50

る。金属放出体としては、接合装置あるいは接合装置内部に設置した基板保持機構、基板移送機構、基板圧接機構を構成する各内部装置の、構造部材もしくは構成部品が例示される。このとき、加速されて金属放出体に照射される粒子の照射条件は、金属の界面元素存在比率が0.07以上になるように設定されることが好ましい。本発明のデバイス製造方法では、粒子の照射条件を制御することにより、基板の表面に放出される金属を適正に制御し、実用的接合強度を得る金属中間層を形成する。具体的には、加速されて照射される粒子の速度を、金属の界面元素存在比率が0.07以上になるように、設定されることが好ましい。例えば、スパッタリング手段としてイオンビームを用いる場合は、照射される粒子の速度はイオンビーム源に印加される加速電圧で制御することができる。また、粒子が照射される照射時間を、金属の界面元素存在比率が0.07以上になるように、設定されることが好ましい。また、単位時間当たり照射される粒子の照射量を、金属の界面元素存在比率が0.07以上になるように、設定されることが好ましい。

10

【0031】

その速度、照射時間または照射量は、金属の界面元素存在比率が0.1以上になるように、設定されることがさらに好ましい。その速度、照射時間または照射量は、金属の界面元素存在比率が0.2以上になるように、設定されることがさらに好ましい。

【0032】

本発明による常温接合装置(1)は、内部に真空雰囲気を生成する真空チャンバー(2)と、その真空雰囲気下で被接合材料である基板材料(11、12)を保持する保持機構(5、6)と、基板材料(11、12)を所定の位置に移送する移送機構と、基板材料(11、12)の被接合面を活性化する物理スパッタリング手段(3)と、活性化した被接合面同士を重ね合わせて圧接する圧接機構(5、6)とを有する接合装置において、真空チャンバー(2)の内壁、構造部材、保持機構(5)、移送機構(6)または圧接機構(5、6)を構成する構造部材・構成部品のいずれかは、物理スパッタリング手段(3)によりスパッタされることにより所定の組成の複数の金属で形成されるスパッタ粒子群を放出し、その基板材料の表面にその複数の金属の界面元素存在比率が0.07以上となるように付着させる材料で形成されていることが好ましい。

20

【0033】

その複数の金属としては、鉄とクロムとから形成される金属集合と、鉄とアルミニウムとから形成される金属集合と、鉄とクロムとアルミニウムとから形成される金属集合と、鉄とクロムとニッケルとから形成される金属集合と、鉄とクロムとニッケルとアルミニウムとから形成される金属集合とから形成される集合から選択される1つの金属集合が例示される。その界面には、これ以外の金属が内在していてもよい。例えば、タングステンW、金Au、銀Ag、銅Cu、タンタルTa、亜鉛Znのいずれかが含まれていてもよい。

30

【発明の効果】**【0034】**

本発明によるデバイスは、接合部の接合強度がより強固である。

本発明によるデバイス製造方法および常温接合装置は、基板をより強固に常温接合することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0035】

図面を参照して、本発明による常温接合装置の実施の形態を記載する。その常温接合装置1は、図1に示されているように、真空チャンバー2とイオンガン3と上側ステージ5と下側ステージ6とを備えている。

【0036】

真空チャンバー2は、内部を環境から密閉する容器であり、スパッタリングされたときに鉄FeとアルミニウムAlとクロムCrとを所定の組成で放出する材料により形成されている。その材料としては、鉄FeとクロムCrとを所定の組成で含有するステンレス鋼が例示される。真空チャンバー2は、さらに、図示されていない真空ポンプと蓋とを備えている。その真空ポンプは、真空チャンバー2の内部から気体を排気する。その真空ポン

50

プとしては、内部の金属製の複数の羽根が気体分子を弾き飛ばすことにより排気するターボ分子ポンプが例示される。その蓋は、真空チャンバー 2 の外部と内部とを接続するゲートを閉鎖し、または、開放する。

【 0 0 3 7 】

上側ステージ 5 は、円柱状に形成され、真空チャンバー 2 に対して鉛直方向に平行移動可能に支持されている。上側ステージ 5 は、スパッタリングされたときに鉄 Fe とアルミニウム Al とクロム Cr とを所定の組成で放出する材料から形成された例えば、鉄 Fe とクロム Cr とを所定の組成で含有するステンレス鋼とアルミニウム Al とから形成されている。上側ステージ 5 は、その円柱の下端に誘電層を備え、その誘電層と基板 1 1 の間に電圧を印加し、静電力によってその誘電層に基板 1 1 を吸着して支持する。上側ステージ 5 は、図示されていない圧接機構を備えている。その圧接機構は、ユーザの操作により、上側ステージ 5 を真空チャンバー 2 に対して鉛直方向に平行移動させる。

10

【 0 0 3 8 】

下側ステージ 6 は、スパッタリングされたときに鉄 Fe とアルミニウム Al とクロム Cr とを所定の組成で放出する材料から形成された例えば、鉄 Fe とクロム Cr とを所定の組成で含有するステンレス鋼とアルミニウム Al とから形成されている。下側ステージ 6 は、さらに、図示されていない移送機構を備えている。その移送機構は、ユーザの操作により下側ステージ 6 を水平方向に平行移動させ、下側ステージ 6 を鉛直方向に平行な回転軸を中心に回転移動させる。また下側ステージ 6 は、例えばアルミニウムから形成された基板ホルダーを備えている。また下側ステージ 6 は、その上端に誘電層を備え、その誘電層と基板 1 2 の間に電圧を印加し、静電力によってその誘電層に基板 1 2 を吸着して支持する機構を備えていても良い。

20

【 0 0 3 9 】

イオンガン 3 は、上側ステージ 5 に支持される基板 1 1 と下側ステージ 6 に支持される基板 1 2 とに向けられている。イオンガン 3 は、その向けられている方向に向けて加速された荷電粒子を放出する。その荷電粒子としては、アルゴンイオンが例示される。真空チャンバー 2 は、図示されていない電子銃をさらに備えていてもよい。その電子銃は、イオンガン 3 により荷電粒子が照射される対象に向けられて配置され、その対象に向けて加速された電子を放出する。このような電子は、イオンガン 3 により放出された荷電粒子により正に帯電している対象を中和することに用いられる。

30

【 0 0 4 0 】

荷電粒子の照射を受けて装置内の金属放出体から複数の金属がスパッタにより放出される。この場合の金属放出体は特定しないが、チャンバー内の構造材、あるいは上側・下側のステージを始めとする基板保持機構・移送機構・圧接機構の表面部材が例として挙げられる。

【 0 0 4 1 】

図 2 ~ 図 5 は、常温接合装置 1 を用いて常温接合するとき基板 1 1 と基板 1 2 との状態を示している。作業者は、まず、真空チャンバー 2 の蓋を開けて、上側ステージ 5 に基板 1 1 を保持させ、下側ステージ 6 に基板 1 2 を保持させる。作業者は、真空チャンバー 2 の蓋を閉めて、真空チャンバー 2 の内部に真空雰囲気を生成する。作業者は、下側ステージ 6 の位置決め機構を操作して、基板 1 1 が基板 1 2 に対向するように、下側ステージ 6 を水平に移動する。

40

【 0 0 4 2 】

このとき、基板 1 1 は、図 2 に示されているように、表面に不活性表面層 2 1 が形成されている。その不活性表面層 2 1 は、その表面に付着している不純物や、基板材料が変成した生成物、酸素などにより結合手が終端され反応活性に乏しい状態となっている材料最表面層などから形成されている。基板 1 2 は、基板 1 1 と同様にして、表面に不活性表面層 2 2 が形成されている。その不活性表面層 2 2 は、その表面に付着している不純物や、基板材料が変成した生成物、酸素などにより結合手が終端され反応活性に乏しい状態となっている材料最表面層などから形成されている。

50

【 0 0 4 3 】

作業者は、図 3 に示されているように、基板 1 1 と基板 1 2 とが十分に離れた状態で、イオンガン 3 を用いて基板 1 2 に荷電粒子を照射し、イオンガン 3 を用いて基板 1 1 に荷電粒子を照射する。基板 1 2 と基板 1 1 とは、その荷電粒子が照射されることによりスパッタリングされ、その表面に形成される不活性表面層 2 1、2 2 とがそれぞれ除去される。このとき、その荷電粒子は、チャンバー内の金属放出体（たとえば、真空チャンバー 2 と上側ステージ 5 と下側ステージ 6 と）にも照射される。その金属放出体は、その荷電粒子が照射されると、スパッタリングされ、その構成元素である複数の金属、例えば、鉄 Fe とアルミニウム Al とクロム Cr とを真空雰囲気中に放出する。この時、作業者はイオンガンの運転パラメーターの設定により荷電粒子の照射条件を調整し、放出された金属が接合界面に中間材層を形成し、界面での界面元素存在比率が所定の適正濃度範囲の値を取るよう

10

【 0 0 4 4 】

荷電粒子の照射が終了すると、図 4 に示されているように、基板 1 1 はその表面に活性表面 2 4 が露出し、基板 1 2 はその表面に活性表面 2 5 が露出する。活性表面 2 4 と活性表面 2 5 とには、中間材 2 6 が形成される。中間材 2 6 は、真空チャンバー 2 と上側ステージ 5 と下側ステージ 6 とから放出された原子、たとえば、鉄 Fe とアルミニウム Al とクロム Cr とを含む層から形成されている。

【 0 0 4 5 】

作業者は、上側ステージ 5 の圧接機構を操作して、上側ステージ 5 を鉛直下方向に下降させて、図 5 に示されているように、基板 1 1 と基板 1 2 とを接触させる。基板 1 1 と基板 1 2 とは、このように接触することにより常温接合され、強固に同体に接合される。このとき、基板 1 1 と基板 1 2 との界面 2 7 には、中間材層 2 8 が形成される。中間材層 2 8 は、中間材 2 6 から形成されている。このような中間材層 2 8 は、基板 1 1 と基板 1 2 との接合強度をより強固にする役割を担う。

20

【 0 0 4 6 】

なお、上述した例では真空チャンバー 2 をステンレス鋼で形成し、上側ステージ 5、下側ステージ 6 をステンレス鋼とアルミニウムとで形成し、基板ホルダーをアルミニウムで形成した装置について述べたが、これらは一部を他の材料で形成してもよい。例えば真空チャンバー 2 をアルミニウムで形成してもよい。また例えば上側ステージ 5 や下側ステージ 6 をアルミニウム合金で形成してもよい。また、基板ホルダーをステンレス鋼で形成してもよい。

30

【 0 0 4 7 】

本発明による常温接合方法の実施の形態は、製品を生産する方法であり、常温接合装置 1 を用いて実行される。本発明による常温接合方法は、物理スパッタリング手段の運転パラメーターを決定することで、接合機能材として被接合面に形成される中間材が実用的な接合強度を得るための適正な濃度範囲となる様に制御して、製品を製造する方法である。

【 0 0 4 8 】

その運転パラメーターとしては、イオンガン 3 が荷電粒子を加速する電圧とイオンガン 3 が荷電粒子を照射する時間とイオンガン 3 が荷電粒子を放出する量（ビーム強度、電流量）とが例示される。作業者は、運転パラメーターと被接合面に存在する複数の金属原子の界面元素存在比率との実測された対応関係に基づき、被接合界面での複数の金属の界面元素存在比率が適正な範囲となる様に運転パラメーターを決定する。その適正な範囲としては、0.07 以上が例示される。

40

【 0 0 4 9 】

複数の金属原子の界面元素存在比率は、接合界面に存在する被接合材料の構成元素および接合を仲介する複数の金属元素の原子数の合計に対する、接合を仲介する複数の金属元素の原子数の合計が占める比率として定義する。すなわち、被接合界面に存在する基板を構成する元素（例えば石英ガラス基板の場合、珪素 Si と酸素 O）および接合を仲介する金属元素（例えば鉄 Fe とクロム Cr とアルミニウム Al）の全ての原子数の合計に対す

50

る、接合を仲介する金属元素（例えば鉄FeとクロムCrとアルミニウムAl）の全ての原子数の合計の比率を、接合を仲介する金属原子の界面元素存在比率とする。ここに言う界面とは、被接合面から深さ5nmまでの範囲を言う。

【0050】

界面元素存在比率は、一般的な分析手段により測定された界面の元素濃度に基づき算出することができる。その元素濃度の測定方法としては、X線電子分光法分析（XPS）が例示される。XPSの場合、存在する原子数に比例した信号強度が計測され、この信号強度から基板の構成元素および金属元素の個々の組成比が換算される。この分析結果に基づき界面元素存在比率を算出することができる。作業者は、その界面元素存在比率が0.07以上になるように運転パラメーターを決定する。なお、作業者は、その界面元素存在比率が0.1以上になるように運転パラメーターを決定することが好ましい。作業者は、その界面元素存在比率が0.2以上になるように運転パラメーターを決定することがさらに好ましい。なお、その金属原子は、鉄とクロムとから形成されることもできる。その金属原子は、さらに、鉄とアルミニウムとから形成されることもできる。その金属原子は、さらに、鉄とクロムとニッケルとから形成されることもできる。その金属原子は、さらに、鉄とクロムとニッケルとアルミニウムとから形成されることもできる。

【0051】

このような常温接合方法によれば、製品は、常温接合された界面に複数の金属原子が適度に介在し、接合界面が強固であり実用的な接合強度を有する。このため、本発明による常温接合方法は、常温接合されにくい材料から形成される基板を過度の中間材形成やプロセス時間の冗長によるデバイス性能の劣化あるいは生産性低下を生ずることなくより強固に実用的な接合強度で常温接合することができる。その材料としては、酸化物と窒化物と炭化物とフッ化物と金属とが例示される。その酸化物としては、SiO₂系材料、Al₂O₃系材料が例示される。そのSiO₂系材料としては、水晶、合成石英、パイレックス（登録商標）、ガラス、石英ガラスが例示される。そのAl₂O₃系材料としては、サファイア、アルミナが例示される。その窒化物としては、窒化ケイ素SiN、窒化チタンTiNが例示される。その炭化物としては、炭化ケイ素SiC、炭化チタンTiCが例示される。そのフッ化物としては、フッ化カルシウムCaF₂、フッ化マグネシウムMgF₂が例示される。その金属としては、単体金属と合金とが例示される。その材料としては、さらに、光学結晶、圧電材料・磁歪材料が例示される。その光学結晶としては、CaCO₃、YVO₄、YAGが例示される。その圧電材料・磁歪材料としては、PZTが例示される。本発明による常温接合方法は、常温接合される2つの基板が、このような材料のうちの異なる材料から形成されているときにも、適用することができ、このような2つの基板を過度の中間材形成やプロセス時間の冗長によるデバイス性能の劣化あるいは生産性低下を生ずることなくより強固に常温接合することができる。

【0052】

このような常温接合方法により製造された製品は、接合された界面に介在する金属原子の界面元素存在比率を測定することができる。その測定方法としては、透過型電子顕微鏡を用いたEDX分析が例示される。前述の電子分光法分析（XPS）と透過型電子顕微鏡を用いたEDX分析は、方法は異なるがいずれも元素濃度を定量的に分析可能であり、それぞれの分析法から導出された濃度分析結果には相関関係がある。この相関関係に基づき、接合された界面に対しても接合界面に存在する金属の界面元素存在比率を分析・評価し、接合条件として適正な範囲にあるかを確認可能である。

【0053】

常温接合された基板の接合強度は、接合部の結合エネルギーを用いて評価することができる。その結合エネルギーは、周知のブレード挿入法により評価することができる。そのブレード挿入法は、たとえば、「Maszara et al., J. Appl. Phys., 64(10) pp. 4943-4950 (1988)」に開示されている。図6は、そのブレード挿入法により結合エネルギーを計測するときの基板の状態を示している。すなわち、検査者は、常温接合された基板41と基板42との界面に、剃刀刃4

10

20

30

40

50

3を挿入する。このとき、基板41と基板42とは、互いに剥離してクラック44が生じる。検査者は、クラック44の進展長さを測定する。接合界面での一方の表面の単位面積当たりの結合エネルギーは、クラック44の進展長さLと剃刀刃43の厚さの半値yと基板41、42の厚さtと基板41、42のヤング率Eとを用いて、次式：

【数1】

$$\gamma = \frac{3Et^3y^2}{8L^4}$$

10

により表現される。結合エネルギーは、値が大きいほど、接合強度が大きく、基板同士が剥離しにくいことを示している。

【0054】

実用的な接合強度の基準として結合エネルギーの値が0.1 J/m²以上であることが例示される。さらに結合エネルギーが0.1 J/m²以上であることは、たとえば、接合強度が弱いものの基板41と基板42とが穏やかにダイシングされたときに、基板41と基板42とが剥離しない程度に接合されていることを示している。結合エネルギーが0.5 J/m²以上であることは、たとえば、基板41と基板42とが高速にダイシングされたときに、基板41と基板42とが剥離しない程度の実用的な接合強度で接合され

20

【0055】

結合エネルギーは接合機能を生起する金属の増加と共に増大するが、反面、過度のプロセスは接合エネルギーの低下を生ずる。基板は、スパッタリングされるにつれて、表面の表面粗さが大きくなることが知られている。さらに、基板は、常温接合される表面の表面粗さが大きくなるにつれて、接合強度が小さくなることが知られている。図7は、実施例の常温接合装置を用いた基板の接合において、基板が荷電粒子に照射される照射時間（スパッタリングされる時間）に対する結合エネルギーの変化を示している。図7のグラフは、照射時間がある値より小さい領域では照射時間に伴い接合機能材として接合を仲介する金属が増加し、その効果で結合エネルギーが大きくなることを示し、照射時間がその値より大きい領域では照射時間の慎重に伴う表面粗さの増大の効果の方が大きくなり、結合エネルギーが小さくなることを示している。すなわち、照射時間には、適正な範囲（上限と下限と）が存在する。

30

【0056】

図8は、接合界面での界面元素存在比率に対する接合強度の変化を示している。界面元素存在比率xは、接合される前の基板の表面に関してXPSを用いて測定された接合界面の元素濃度測定の結果に基づき算出されている。結合エネルギーyは、界面元素存在比率xを用いて、概ね次式：

$$y = 3.336x - 0.242$$

により表現される。すなわち、図8のグラフは、界面元素存在比率xと結合エネルギーyとに相関関係があることを示している。図8のグラフは、さらに、界面元素存在比率が0.07以上であるときに、結合エネルギーが0.0 J/m²以上になり、基板が常温接合されることを示している。図8のグラフは、さらに、界面元素存在比率が0.1以上であるときに、結合エネルギーが0.1 J/m²以上になり、ダイシングが穏やかであるときに基板が剥離しない程度に接合されることを示している。図8のグラフは、さらに、界面元素存在比率が0.2以上であるときに結合エネルギーが0.5 J/m²以上になり、高速にダイシングしても基板が剥離しない程度に接合されることを示している。すなわち、界面元素存在比率が0.2以上を得られる運転パラメーターを過度に超えない運転条件でスパッタリングし接合することで、性能劣化を生ずることなく0.5 J/m²以上の実用的な接合強度を有するデバイスを製造することができる。なお、このような相関関係は、

40

50

界面の元素濃度を測定する特定の測定方法によらないで算出される。他の測定方法により算出される界面元素存在比率も、同様に結合エネルギーと相関関係を示す。また、その界面元素存在比率は、接合された基板に関しても界面の元素濃度測定の結果に基づき算出されることができる。その測定方法としては、透過型電子顕微鏡によるEDX分析が例示される。接合された基板に関して算出される界面元素存在比率も、同様に結合エネルギーと相関関係を示す。

【0057】

本発明によるデバイスの実施の形態は、常温接合装置1を用いて常温接合されて製造される部品が適用されている。そのデバイスとしては、マイクロマシン、圧力センサ、超小型モーターが例示される。その部品は、常温接合される2つの基板を備えている。その基板は、常温接合されにくい材料から形成されている。その材料としては、酸化物と窒化物と炭化物とフッ化物と金属とが例示される。その酸化物としては、 SiO_2 系材料、 Al_2O_3 系材料が例示される。その SiO_2 系材料としては、水晶、合成石英、パイレックス(登録商標)、ガラス、石英ガラスが例示される。その Al_2O_3 系材料としては、サファイア、アルミナが例示される。その窒化物としては、窒化ケイ素 SiN 、窒化チタン TiN が例示される。その炭化物としては、炭化ケイ素 SiC 、炭化チタン TiC が例示される。そのフッ化物としては、フッ化カルシウム CaF_2 、フッ化マグネシウム MgF_2 が例示される。その金属としては、単体金属と合金とが例示される。その材料としては、さらに、光学結晶、圧電材料・磁歪材料が例示される。その光学結晶としては、 CaCO_3 、 YVO_4 、 YAG が例示される。その圧電材料・磁歪材料としては、 PZT が例示される。その2つの基板は、同じ材料から形成され、または、異なる材料から形成されている。

【0058】

その2つの基板の界面には、中間材層が形成される。その中間材層は、その界面の一部に配置され、または、その界面の全部に配置されている。その中間材層は、複数の金属原子から形成されている。その金属原子としては、鉄とアルミとクロムとが例示される。その中間材層は、その界面でのその金属原子の界面元素存在比率が0.07以上であるように形成されている。その部品がその中間材層を備えることは、たとえば、エネルギー分散型蛍光X線分析装置(EDX)を用いて測定されることができる。本発明によるデバイスは、このような中間材層により常温接合された界面の接合強度がより強固である。なお、その中間材層は、その界面でのその金属原子の界面元素存在比率が0.1以上であるように形成されることがさらに好ましく、その界面元素存在比率が0.2以上であるように形成されることがさらに好ましい。

【図面の簡単な説明】

【0059】

【図1】図1は、本発明による常温接合装置の実施の形態を示す断面図である。

【図2】図2は、基板の状態を示す断面図である。

【図3】図3は、基板の他の状態を示す断面図である。

【図4】図4は、基板のさらに他の状態を示す断面図である。

【図5】図5は、基板のさらに他の状態を示す断面図である。

【図6】図6は、接合強度を評価するときの基板の状態を示す断面図である。

【図7】図7は、照射時間に対する結合エネルギーの変化を示すグラフである。

【図8】図8は、界面の界面元素存在比率に対する結合エネルギーの変化を示すグラフである。

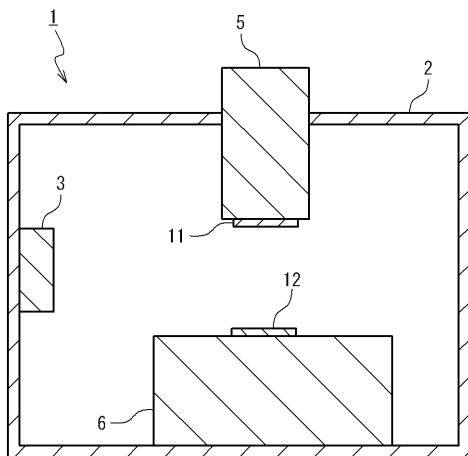
【符号の説明】

【0060】

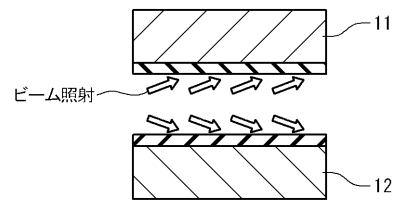
- 1 : 常温接合装置
- 2 : 真空チャンバー
- 3 : イオンガン
- 5 : 上側ステージ

- 6 : 下側ステージ
- 1 1 : 基板
- 1 2 : 基板
- 2 1 : 不活性表面層
- 2 2 : 不活性表面層
- 2 4 : 活性表面
- 2 5 : 活性表面
- 2 6 : 中間材
- 2 7 : 界面
- 2 8 : 中間材層
- 4 1 : 基板
- 4 2 : 基板
- 4 3 : 剃刀刃
- 4 4 : クラック

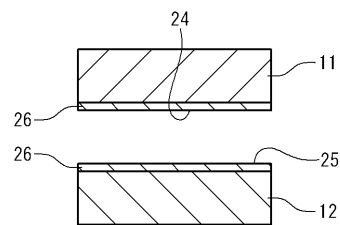
【図1】



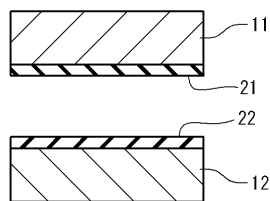
【図3】



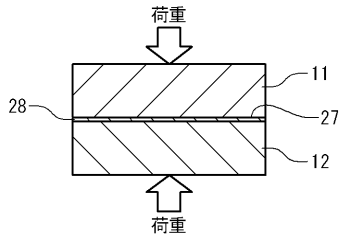
【図4】



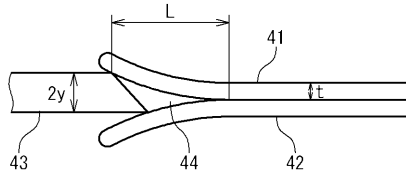
【図2】



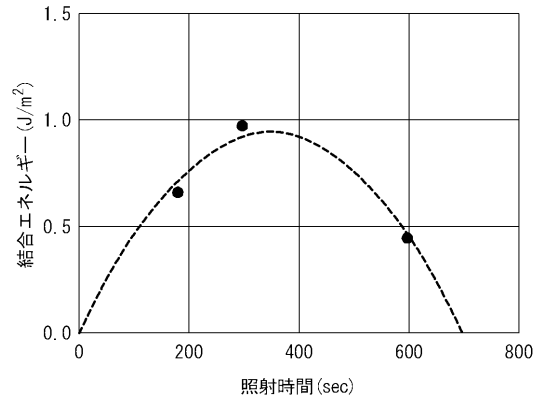
【図5】



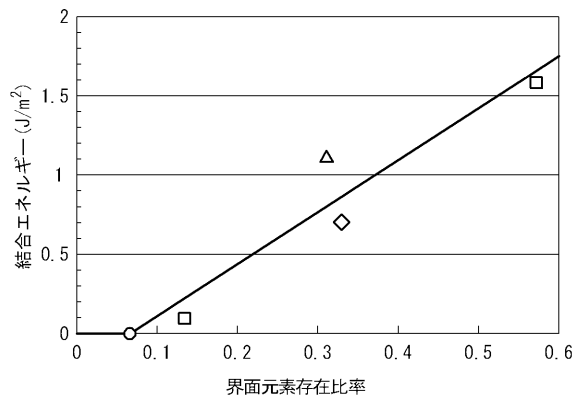
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

- (72)発明者 後藤 崇之
神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1 三菱重工業株式会社先進技術研究センター内
- (72)発明者 井手 健介
滋賀県栗東市六地藏130番地 三菱重工業株式会社工作機械事業部内
- (72)発明者 船山 正宏
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 高木 秀樹
茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

審査官 松本 公一

- (56)参考文献 特開昭61-067581(JP,A)
特開平04-046070(JP,A)
特開平07-096378(JP,A)
特開平10-263849(JP,A)
特開2006-187685(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B23K 20/00 - 20/26
B81C 3/00
H01L 21/02