

(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
2010年6月17日(17.06.2010)

(10) 国際公開番号
WO 2010/067835 A1

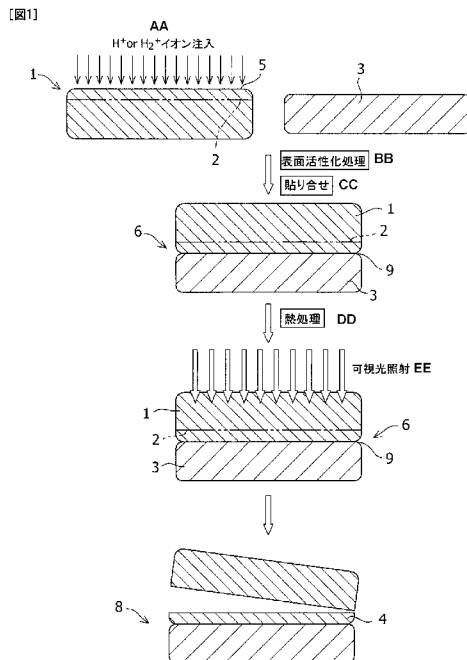
PCT

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/02 (2006.01) H01L 21/265 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/070656
- (22) 国際出願日: 2009年12月10日(10.12.2009)
- (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 2008-315566 2008年12月11日(11.12.2008) JP
特願 2009-278561 2009年12月8日(08.12.2009) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 信越化学工業株式会社 (SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1000004 東京都千代田区大手町二丁目6番1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): 秋山昌次 (AKIYAMA Shoji) [JP/JP]; 〒3790195 群馬県安中市機部2丁目13番1号 信越化学工業株式会社 精密機能材料研究所内 Gunma (JP).
- (74) 代理人: 奥山尚一, 外(OKUYAMA Shoichi et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂3丁目2番12号赤坂ノアビル8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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, 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, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING COMPOSITE SUBSTRATE ON WHICH WIDE BANDGAP SEMICONDUCTOR IS LAMINATED

(54) 発明の名称: ワイドバンドギャップ半導体を積層した複合基板の製造方法



AA - Implantation of H^+ or H_2^+ ions
BB - Surface activation treatment
CC - Bonding
DD - Heat treatment
EE - Visible light irradiation

(57) Abstract: Provided is a method for manufacturing a low-cost bonded wafer (8) which allows bulk crystals of a wide bandgap semiconductor (1) to be transferred onto a handle substrate (3) as thinly as possible without damaging the substrate. The bonded wafer manufacturing method is a method for manufacturing a bonded wafer (8) by forming a wide bandgap semiconductor thin-film layer (4) on the surface of a handle substrate (3), and comprises, in the following order, a step in which ions are implanted from the surface (5) of a wide bandgap semiconductor (1) having a bandgap of 2.8 eV or greater to form an ion-implanted layer (2), a step in which a surface activation treatment is applied at least to the aforementioned surface of the aforementioned handle substrate (3) or the aforementioned ion implantation surface (5) of the aforementioned wide bandgap semiconductor (1), a step in which the aforementioned surface (5) of the aforementioned wide bandgap semiconductor (1) and the surface of the aforementioned handle substrate (3) are bonded to obtain a bonded body (6), a step in which a heat treatment is applied to the aforementioned bonded body (6) at a temperature of 150-400°C, and a step in which visible light is irradiated toward the ion-implanted layer (2) of the aforementioned wide bandgap semiconductor (1) from the semiconductor substrate (1) side of the aforementioned bonded body (6) to embrittle the interfacial surface of the aforementioned ion-implanted layer (2) and transfer the wide bandgap semiconductor thin-film layer (4) onto the handle substrate (3).

(57) 要約:

[続葉有]



CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, 添付公開書類:
TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

ワイドバンドギャップ半導体 1 のバルク結晶を基板の破損を生じることなく可能な限り薄くハンドル基板 3 に転写することができる低コストの貼り合わせウェーハ 8 の製造方法を提供する。ハンドル基板 3 の表面にワイドバンドギャップ半導体薄膜層 4 を形成して貼り合わせウェーハ 8 を製造する方法であって、バンドギャップ 2.8 eV 以上のワイドバンドギャップ半導体基板 1 の表面 5 からイオンを注入してイオン注入層 2 を形成する工程、前記ハンドル基板 3 の前記表面、および、前記ワイドバンドギャップ半導体基板 1 の前記イオン注入面 5 の少なくとも一方の面に表面活性化処理を施す工程、前記ワイドバンドギャップ半導体基板 1 の前記表面 5 と前記ハンドル基板 3 の表面とを貼り合わせて、接合体 6 を得る工程、前記接合体 6 に 150℃以上 400℃以下の熱処理を加える工程、前記接合体 6 の半導体基板 1 側から前記ワイドバンドギャップ半導体基板 1 のイオン注入層 2 に向けて可視光を照射して前記イオン注入層 2 の界面を脆化し、ワイドバンドギャップ半導体薄膜 4 をハンドル基板 3 に転写する工程をこの順に含む貼り合わせウェーハの製造方法である。

明 細 書

発明の名称：

ワイドバンドギャップ半導体を積層した複合基板の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、ワイドバンドギャップ半導体を積層した複合基板の製造方法に関する。

背景技術

[0002] パワー半導体や短波長レーザーの基板として近年ワイドバンドギャップ半導体が注目を浴びている。特に、炭化珪素 SiC （ $2.9\text{ eV} \sim 3.0\text{ eV}$ ）、窒化ガリウム GaN （ 3.4 eV ）、酸化亜鉛 ZnO （ 3.37 eV ）、ダイヤモンド（ 5.47 eV ）、窒化アルミニウム AlN （ 6.0 eV ）などはその高いバンドギャップから特に注目される材料である。

しかしながら、例として GaN は単結晶サファイアや単結晶 SiC よりヘテロエピ成長により成膜されるが、格子定数の違いにより欠陥が多く、パワー半導体デバイスや高性能レーザー等には応用が難しいのが現状である。

これらの単結晶の製法の中で最も品質の良い結晶を製造する方法は水熱成法などの結晶成長法であり、この方法で製造されたバルク結晶から切り出したもの（ウェーハ）が最も品質が良いことが知られている。しかし、結晶の成長には時間が掛かり、そのために価格が非常に高く、用途がなかなか広がらないのが現状である。しかし、デバイスとして実際に用いるのは表層から数百 nm ～数 μm の極限られた領域であり、これらのバルク結晶を薄くハンドル基板に転写してコストを下げるという方法は自然な発想と言える。

[0003] 代表的な薄膜転写の方法として、 SOITEC 法が挙げられるが、この方法では、室温で予め水素イオン注入を施した半導体基板（ドナー基板）と支持基板となる基板（ハンドル基板）を貼り合わせ、高温（ 500°C 付近）で熱処理を施しイオン注入界面でマイクロキャビティと呼ばれる微小な気泡を多数発生させ剥離を行い、半導体薄膜をハンドル基板に転写するというもの

である。

[0004] しかしながら、実際にはハンドル基板（例としてシリコン、石英、サファイア等）との熱膨張率の差から、単に両基板を貼り合せ温度を上げるだけでは基板割れを起こし、基板の複合化ができないことが予想される。

[0005] もう一つの方法としてS i G e n法と呼ばれる方法があり、同じく水素イオン注入を予め施した半導体基板とハンドル基板双方もしくは片方にプラズマ処理で表面を活性化させた後に貼り合わせを行い、しかる後に機械的な衝撃を与え、水素イオン注入界面で剥離をするという方法である。しかし、薄膜転写を機械的な方法（衝撃等）に頼るために、これらの小口径で薄い半導体基板の薄膜転写には、機械的強度が不足し、転写時に基板が破損するという問題がある。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本発明は、ワイドバンドギャップ半導体のバルク結晶を基板の破損を生じることなく可能な限り薄くハンドル基板に転写することができる低コストの貼り合わせウェーハの製造方法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

[0007] この問題を解決するために、本発明者は以下のような作製法を考案した。

すなわち、本発明にかかる貼り合わせウェーハの製造方法は、ハンドル基板の表面にワイドバンドギャップ半導体薄膜層を形成して貼り合わせウェーハを製造する方法であって、バンドギャップ2.8 eV以上のワイドバンドギャップ半導体基板の表面からイオンを注入してイオン注入層を形成する工程、前記ハンドル基板の前記表面、および、前記ワイドバンドギャップ半導体基板の前記イオン注入面の少なくとも一方の面に表面活性化処理を施す工程、前記ワイドバンドギャップ半導体基板の前記表面と前記ハンドル基板の前記表面とを貼り合わせて、接合体を得る工程、前記接合体に、150℃以上400℃以下の熱処理を加える工程、前記接合体の半導体基板側またはハンドル基板側から前記ワイドバンドギャップ半導体基板のイオン注入層に向

けて可視光を照射して前記イオン注入層の界面を脆化し、ワイドバンドギャップ半導体薄膜をハンドル基板に転写する工程を含む。

発明の効果

[0008] 本発明により、ワイドバンドギャップ半導体基板に形成したイオン注入層の界面を、機械的衝撃に依存することなく、効果的かつ効率的に脆化することができ、ワイドバンドギャップ半導体のバルク結晶を可能な限り薄くハンドル基板に転写することができるので、コストを下げることができる。またワイドバンドギャップ半導体基板とハンドル基板との熱膨張係数の差異に起因するウェーハの割れや欠け、貼り合わせ面の剥離等の発生を防止することもできる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明にかかる貼り合わせウェーハの製造工程の一態様を示す模式図である。

[図2]本発明にかかる貼り合わせウェーハの製造工程の他の態様を示す模式図である。

符号の説明

- [0010] 1 ワイドバンドギャップ半導体基板
2 イオン注入界面
3 ハンドル基板
4 ワイドバンドギャップ半導体薄膜
5 イオン注入した表面（イオン注入面）
6 接合体
8 貼り合わせウェーハ
9 貼り合わせ面

発明を実施するための形態

[0011] 本発明は、ハンドル基板の表面にワイドバンドギャップ半導体薄膜を形成して貼り合わせウェーハを製造する方法である。

本発明で取り上げるワイドバンドギャップ半導体基板は、その高いバンドギャップから可視光波長域（ $450\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$ ）の全域または少なくとも長波長域の光に対して、透明または透過率が70%以上のものであることが知られている。ワイドバンドギャップ半導体としては、例えば、炭化珪素（SiC）、窒化ガリウム（GaN）、酸化亜鉛（ZnO）、ダイヤモンド、窒化アルミニウム（AlN）等があげられるが、これらに限定するものではなく、バンドギャップが 2.8 eV 以上の半導体に適応できると考えられる。理由は 2.8 eV の吸収端は 450 nm 程度であり $\lambda = 1240 / \text{バンドギャップ (eV)} \text{ nm}$ 、それより長波長域の光は吸収されにくいからである。バンドギャップの上限は、これ以上高くなると半導体としての性質が消え絶縁性が高まる目安として、例えば、 6.5 eV とすることができ。

バンドギャップは、純粋な半導体の禁制帯幅を意味し、不純物の混入により形成される不純物準位は考慮しない値である。本明細書において、バンドギャップの値は、吸収端の波長をエネルギーに換えて求めた。

本発明においては、ワイドバンドギャップ半導体基板の口径は、 $25\text{ mm} \sim 100\text{ mm}$ であり、厚さは、特に限定されないが、通常のSEMI/JEIDA規格近傍の 1 mm 以下の薄いウェーハであれば、ハンドリングの関係から扱いやすい。

[0012] ハンドル基板としては、上記ワイドバンドギャップ半導体薄膜を支持するものであれば特に限定されず、シリコン、酸化膜付きシリコン、アルミナ、非単結晶窒化アルミニウム、炭化珪素、ガラス、石英、サファイア等があげられる。

後述の可視光照射工程において、ハンドル基板側から可視光照射を行う場合、には、照射する可視光波長域において、エネルギー損失が少ないものであることが望ましく、上記可視光領域の透過率が70%以上の基板であれば特に限定されないが、なかでも絶縁性・透明性に優れる点で、ガラス、石英またはサファイアのいずれかであることが好ましい。本発明においては、ハ

ンドル基板の口径は、通常25mm～100mmであり、厚さは、特に限定されないが、通常のSEMI/JEIDA規格近傍の1mm以下の薄いウェーハであれば、ハンドリングの関係から扱いやすい。

[0013] 図1および図2に示すように、まず、ワイドバンドギャップ半導体基板1の表面5からイオンを注入してイオン注入層2を形成したのち、それぞれの貼り合わせ面に表面活性化処理を施した後、ワイドバンドギャップ半導体基板の前記表面5とハンドル基板3とを貼り合わせて接合体6を得る。イオン注入の詳細については後述する。

その際に、イオン注入層を形成したのち、ワイドバンドギャップ基板の上に50nmほどの厚みで、SiO₂膜を付けたものを使用してもよい。

その場合、貼り合せ工程における貼り合せ強度が増加するという効果が得られる。

[0014] 表面活性化処理の方法としては、オゾン水処理、UVオゾン処理、イオンビーム処理、プラズマ処理等が挙げられる。表面活性化による結合力増加の機構は完全に解き明かされた訳ではないが、以下のように説明できる。オゾン水処理やUVオゾン処理などでは、表面の有機物をオゾンにより分解し、表面のOH基を増加させることで活性化を行う。一方、イオンビーム処理やプラズマ処理などは、ウェーハ表面の反応性の高い未結合手（ダングリングボンド）を露出させることで、もしくはその未結合手にOH基が付与されることで活性化を行う。表面活性化の確認には親水性の程度（濡れ性）を見ることで確認が出来る。

具体的には、ウェーハ表面に水をたらし、その接触角（コンタクトアングル）を測ることで簡便に測定が出来る。

オゾン水で処理する場合には、オゾンを経10mg/L程度溶存した純水にウェーハを浸漬することで実現できる。

UVオゾンで処理をする場合は、オゾンガス、もしくは大気より生成したオゾンガスにUV光（例185nm）を照射することで行うことが可能である。

イオンビームで処理する場合には、スパッタ法のように高真空下でウェーハ表面をアルゴンなどの不活性ガスのビームで処理することにより、表面の未結合手を露出させ、結合力を増すことが可能である。

プラズマ処理の場合には、チャンバ中にワイドバンドギャップ半導体基板及び／又はハンドル基板を載置し、プラズマ用ガスを減圧下で導入した後、100W程度の高周波プラズマに5～10秒程度さらし、表面をプラズマ処理する。プラズマ用ガスとしては、ワイドバンドギャップ半導体基板を処理する場合、表面を酸化する場合には酸素ガスのプラズマ、酸化しない場合には水素ガス、アルゴンガス、又はこれらの混合ガスあるいは水素ガスとヘリウムガスの混合ガスを用いることができる。ハンドル基板を処理する場合はいずれのガスでもよい。この処理によりワイドバンドギャップ半導体基板及び／又はハンドル基板の表面の有機物が酸化して除去され、さらに表面のOH基が増加し、活性化する。

上記四つの処理はワイドバンドギャップ半導体基板のイオン注入した表面、および、ハンドル基板の貼り合わせ面の両方について行うのがより好ましいが、いずれか一方だけ行ってもよい。

[0015] 次に、得られた接合体6に150℃以上400℃以下の熱処理を施す。熱処理を行う理由は、後工程の可視光照射で貼り合せ界面9が高温となった際に急激な温度上昇で貼り合せ界面9がずれることによる結晶欠陥導入を防ぐためである。温度を150℃以上400℃以下とする理由は、150℃未満では結合強度が上がらない場合があるからで、400℃を超えると貼り合わせた基板が破損する可能性が出るからである。

本発明者らが実験検討した結果、ハンドル基板3が石英もしくはガラスである場合の適切な温度は150℃以上400℃以下であり、サファイアの場合は150℃以上350℃以下であった。これらの温度域は基板により異なる。熱処理は、上記適切な温度範囲で温度を変えて2段階以上に分けて行ってもよい。

熱処理時間としては、温度にもある程度依存するが12時間～72時間が

好ましい。

[0016] 続いて、接合体 6 を室温まで冷却し、半導体基板 1 側またはハンドル基板 3 側から、ワイドバンドギャップ半導体基板 1 のイオン注入層 2 に向けて可視光を短時間照射し、アニールを施す。

本明細書において、「可視光」とは、450～700 nm の波長域に極大波長を有する光をいい、波長は、ワイドバンドギャップ半導体基板 1 の透過率が高い波長が適宜選択される。可視光は、コヒーレント光またはインコヒーレント光のいずれであってもよい。

通常、この波長域では上記半導体基板 1 は透明で吸収係数は非常に低いが、水素イオン注入箇所はこの波長域の光を吸収し、内部で化学反応が加速され、その結果基板全面を過熱することなくイオン注入層 2 の界面で脆化が起こり、ワイドバンドギャップ半導体薄膜 4 の一部がハンドル基板 3 に転写され、貼り合わせウェーハ 8 の形成が可能となる。

この可視光波長域で採用可能なレーザーとしては、例えば、液晶用アモルファスシリコンの結晶化に用いられている波長 532 nm のグリーンレーザー、波長 633 nm の赤色レーザー等が挙げられ、Nd : YAG レーザーの第二次高調波（波長 = 532 nm）、YVO₄ レーザーの第二次高調波（波長 = 532 nm）などがある。

この際の照射方法としては特に限定されるものではないが、基板全体が加熱されてしまうと反りにより基板が破損してしまうので、基板全体が加熱される前に処理を終えることができる方法が望ましい。

[0017] 本発明にかかる方法では、図 1 に示すように、半導体基板 1 側より照射を行い得るものであるが可視光領域（波長 450 nm～700 nm）の光が貼り合わせたワイドバンドギャップ半導体基板のイオン注入層に到達するまでに、エネルギー損失が少なく、上記可視光領域の透過率が 70% 以上であるような基板、例えば、石英、ガラス、サファイアなどでハンドル基板が構成される際には、図 2 に示すように、ハンドル基板 3 側より照射することも可能である。

逆にハンドル基板がシリコン等の不透明材料で構成される際はワイドバンドギャップ半導体基板 1 側からの照射が必須である。

[0018] 上記可視光の大部分の波長域は半導体基板 1 を通過し、イオン注入箇所のみで吸収されるので、透明基板全体が加熱されず、エネルギーが必要な箇所（イオン注入箇所）のみにエネルギーを与えることができ、理想的な方法である。ここではイオン注入箇所は十分に脆化しているために、基板に負担を与えることなく薄膜転写が可能となる。

[0019] ここで気をつけなければならないことはレーザーの照射によりイオン注入部分を加熱しすぎると、部分的に熱剥離が発生し、ブリストと呼ばれる膨れ欠陥が発生する。これは、接合体 6 の透明基板側より目視で観察される。このブリストによって一度剥離が始まると、接合体 6 に応力が局在化し、接合体 6 の破壊を生じる。よって、熱剥離が発生させない程度にレーザーを照射すること、或いは、レーザーの照射に先立ち、接合体 6 の端部、貼り合わせ面 9 近傍に機械的衝撃を与えておき、レーザー照射による熱の衝撃が端部の機械的衝撃の起点部から接合体 6 全面にわたってイオン注入界面の破壊を生ぜしめることが望ましい。

レーザーの照射条件としては、出力 50W～100W で発振周波数が 25 mJ @ 3 kHz のものを用いる場合、単位面積当たりの照射エネルギーが、経験上 0.4 J/cm²～1.6 J/cm² であることが望ましい。0.4 J/cm² 未満であるとイオン注入界面での脆化が起こらない可能性があり、1.6 J/cm² を超えると脆化が強すぎて基板が破損する可能性があるためである。照射はスポット状のレーザー光をウェーハ上で走査するために、時間で規定することは難しいが、処理後の照射エネルギーが上記の範囲に入っていることが望ましい。

[0020] 可視光照射の方法としては、半導体プロセスなどに用いられる RTA などもある有用な方法である。RTA は 50℃/秒～150℃/秒という素早い昇温・降温が可能であり、基板全体を温める前にプロセスを終了することが出来る優れた方法である。この際にはイオン注入界面近傍のみを、熱剥離が生じ

ない程度に過熱することが重要である。通常のRTAに用いられる熱源はハロゲンランプなので、可視光照射源としては適している。

[0021] なお、可視光としては、キセノンフラッシュランプなども応用可能である。キセノンランプ光を用いる場合、可視光域外の光をカットする波長フィルタを介して照射を行ってもよい。また、ワイドバンドギャップ基板に対して透明な可視光波長域以外の波長域を遮るフィルタなどもプロセスの安定化のために有効である。前述のプリスターの発生を抑えるためには、本キセノンランプ光で貼り合せ基板全面の一括照射を行うことが望ましい。一括照射により、貼り合せ基板の応力局在化を防ぎ、貼り合せ基板の破壊を防ぐことが容易となる。よって、熱剥離を発生させない程度にキセノンランプ光を照射すること、或いは、キセノンランプ光の照射に先立ち、接合体6の端部、貼り合わせ面9近傍に機械的衝撃を与えておき、キセノンランプ光照射による熱の衝撃が端部の機械的衝撃の起点部から貼り合せ基板全面にわたってイオン注入界面に破壊を生ぜしめることが望ましい。

[0022] レーザー光照射、RTA処理またはフラッシュランプ照射後に、ワイドバンドギャップ半導体薄膜のハンドル基板への転写が確認できない場合は、イオン注入層の界面に機械的衝撃を与えることで剥離を行ってもよい。

イオン注入層の界面に機械的衝撃を与えるためには、例えばガスや液体等の流体のジェットを接合したウェーハの側面から連続的または断続的に吹き付けたり、剥離器具を用いてもよく、衝撃により機械的剥離が生じる方法であれば特に限定はされない。

剥離器具は、150℃以上400℃以下の温度で熱処理された接合体6の水素イオン注入層の側面から機械的衝撃を付与できるものであり、好ましくは、水素イオン注入層の側面に当たる部分が尖り、イオン注入層に沿って移動可能なものであり、好ましくは、ハサミ状の鋭角な道具やハサミ状の鋭角な刃を備える装置を用い、その材質としてはプラスチック（例えばポリエーテルエーテルケトン）やジルコニア、シリコン、ダイヤモンド等を用いることができ、汚染にこだわらないので金属等を用いることも出来る。汚染にこ

だわる場合には、プラスチックを用いればよい。また、楔状の鋭角な道具として、ハサミ等の刃を用いてもよい。

上記剥離工程により、ハンドル基板 3 上にワイドバンドギャップ半導体薄膜層 4 が形成された貼り合わせウェーハ 8 が得られる。

ワイドバンドギャップ半導体薄膜 4 の厚さは、通常、50 nm～2000 nm とすることができる。

[0023] 以下、イオン注入と表面活性化処理について説明する。

本発明にかかる貼り合わせウェーハの製造方法は、ワイドバンドギャップ半導体基板 1 とハンドル基板 3 との貼り合わせに先立ち、ワイドバンドギャップ半導体基板 1 の片側表面 5 からイオンを注入してイオン注入層 2 を形成する工程を含む。この際、その表面から所望の深さにイオン注入層 2 を形成できるような注入エネルギーで、所定の線量の水素イオン (H^+) または水素分子イオン (H_2^+) を注入する。このときの条件として、例えば注入エネルギーは 50～100 keV とできる。

[0024] 前記ワイドバンドギャップ半導体基板 1 に注入する水素イオン (H^+) のドーズ量は、 $5.0 \times 10^{16} \text{ atom/cm}^2 \sim 3.0 \times 10^{17} \text{ atom/cm}^2$ であることが好ましい。 $5.0 \times 10^{16} \text{ atom/cm}^2$ 未満であると、界面の脆化が起こらない場合があり、 $2.0 \times 10^{17} \text{ atom/cm}^2$ を超えると、貼り合せ後の熱処理中に気泡となり転写不良となる場合がある。

注入イオンとして水素分子イオン (H_2^+) を用いる場合、そのドーズ量は $2.5 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2 \sim 1.5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ であることが好ましい。 $2.5 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^2$ 未満であると、界面の脆化が起こらない場合があり、 $1.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ を超えると、貼り合せ後の熱処理中に気泡となり転写不良となる場合がある。

また、ワイドバンドギャップ半導体基板 1 の表面にあらかじめ数 nm～500 nm 程度のシリコン酸化膜等の絶縁膜を形成しておき、それを通して水素イオンまたは水素分子イオンの注入を行えば、注入イオンのチャネリングを抑制する効果が得られる。

[0025] 本発明にかかる貼り合わせウェーハの製造方法は、上記イオン注入の後、ワイドバンドギャップ半導体基板 1 とハンドル基板 3 との貼り合わせに先立ち、ワイドバンドギャップ半導体基板 1 の前記イオン注入面 5 及び／又はハンドル基板 3 の表面を活性化処理する工程を含む。表面活性化処理の方法としては、プラズマ処理、オゾン処理等が挙げられる。

プラズマで処理をする場合、真空チャンバ中に R C A 洗浄等の洗浄をしたワイドバンドギャップ半導体基板及び／又はハンドル基板を載置し、プラズマ用ガスを減圧下で導入した後、100W 程度の高周波プラズマに 5～10 秒程度さらし、表面をプラズマ処理する。プラズマ用ガスとしては、ワイドバンドギャップ半導体基板を処理する場合、表面を酸化する場合には酸素ガスのプラズマ、酸化しない場合には水素ガス、アルゴンガス、又はこれらの混合ガスあるいは水素ガスとヘリウムガスの混合ガスを用いることができる。ハンドル基板を処理する場合はいずれのガスでもよい。

プラズマで処理することにより、ワイドバンドギャップ半導体基板及び／又はハンドル基板の表面の有機物が酸化して除去され、さらに表面の O H 基が増加し、活性化する。処理はワイドバンドギャップ半導体基板のイオン注入した表面、および、ハンドル基板の貼り合わせ面の両方について行うのがより好ましいが、いずれか一方だけ行ってもよい。

オゾンで処理をする場合は、大気を導入したチャンバ中に R C A 洗浄等の洗浄をしたワイドバンドギャップ半導体基板及び／又はハンドル基板を載置し、窒素ガス、アルゴンガス等のプラズマ用ガスを導入した後、高周波プラズマを発生させ、大気中の酸素をオゾンに変換することで、表面をオゾン処理する。プラズマ処理とオゾン処理とはどちらか一方又は両方行うことができる。

[0026] 上述した貼り合わせウェーハの製造方法により得られた貼り合わせウェーハもまた、本発明に含まれる。貼り合わせウェーハの適用例としては、液晶装置等の電気光学装置用基板の作成用、パワー半導体や短波長レーザーの基板等が挙げられる。

実施例

[0027] 実施例 1

直径 50 mm の GaN 基板に H_2^+ イオンを 75 KeV の加速電圧で $1.35 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ のドーズ量で打ち込んだ。続いてハンドル基板となる直径 50 mm のシリコン基板を用意し、双方の基板にオゾン水処理、UV オゾン処理、イオンビーム処理、プラズマ活性化処理を行った。室温で貼り合せを行い、250 度、24 時間の熱処理を施した後に 532 nm のレーザーで透明な GaN 基板側より照射を行った。照射エネルギーは 0.5 J/cm^2 程度である。照射後に貼り合せ界面に軽く機械的衝撃を与えることで GaN の薄膜をシリコン基板に転写することができた。この時転写された GaN の厚さは 290 nm であった。

これにより、転写される膜の品質は上記活性化の種類には依存しないことが判明した。

[0028] 実施例 2

直径 50 mm の GaN 基板に H_2^+ イオンを 75 KeV の加速電圧で $1.35 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ のドーズ量で打ち込んだ。続いてハンドル基板となる直径 50 mm のシリコン基板を用意し、双方の基板にイオンビーム活性化処理を行った。室温で貼り合せを行い、250 度、24 時間の熱処理を施した。同様の基板を計 3 枚用意した、後にグリーンレーザー（波長 532 nm）、RTA、フラッシュランプで透明基板側（石英側）より可視光照射を行った。

この時のレーザー照射条件は、出力 75 W で発振周波数が $25 \text{ mJ} @ 3 \text{ kHz}$ であった。基板全面を 1.2 J/cm^2 となるように照射した。

RTA の場合は、温度はパイロメーターで GaN 側より貼り合せ界面を観察する方向で配置した。この時、貼り合せ界面近傍の温度を観察できることとなる。

50°C/秒の昇温速度で、350 度（パイロメーター読み）まで昇温し、到達と同時にパワーをカットし、基板を冷却した。

フラッシュランプの場合は、パルス幅 1 m（ミリ）秒として照射を行った。照射後に貼り合せ界面に軽く機械的衝撃を与えることで GaN の薄膜をシリコン基板に転写することができた。この時転写された GaN の厚さは 750 nm であった。3 つのサンプルを目視で観察したところ、有意差は発見されなかった。これにより、転写される膜の品質は上記可視光照射の種類には依存しないことが判明した。

[0029] 比較例 1

直径 50 mm の GaN 基板に H_2^+ イオンを 75 KeV の加速電圧で $1.35 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ のドーズ量で打ち込んだ。続いてハンドル基板となる直径 50 mm のシリコン基板を用意し、双方の基板にイオンビーム処理を行った。200°C で貼り合せを行い、250°C、24 時間の熱処理を施した後に 200°C のホットプレート上で 532 nm のレーザーを用い、透明な GaN 基板側より照射を行った。照射エネルギーは 0.5 J/cm^2 程度である。

照射後に貼り合せ界面に軽く機械的衝撃を与えることで GaN の薄膜をシリコン基板に転写することができた。この時転写された GaN の厚さは 290 nm であった。

[0030] 比較例 2

直径 50 mm の GaN 基板に H^+ イオンを 75 KeV の加速電圧で $1.35 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ のドーズ量で打ち込んだ。続いてハンドル基板となる直径 50 mm のシリコン基板を用意し、双方の基板にイオンビーム処理を行った。200°C で貼り合せを行い、250°C、24 時間の熱処理を施した後に 250°C のホットプレート上で 532 nm のレーザーを用い、透明な GaN 基板側より照射を行った。照射エネルギーは 0.5 J/cm^2 程度である。照射後に貼り合せ界面に軽く機械的衝撃を与えることで GaN の薄膜をシリコン基板に転写することができた。この時転写された GaN の厚さは 290 nm であった。比較例 1 と 2 から貼り合せの温度や照射時の温度の自由度は高いと考えられる。

[0031] 実施例 3

直径 50 mm の ZnO 基板に H^+ イオンを 80 KeV の加速電圧で $9.5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^2$ のドーズ量で打ち込んだ。続いてハンドル基板となる直径 50 mm のシリコン基板を用意し、双方の基板にプラズマ活性化処理を行った。室温で貼り合せを行い、250°C、24 時間の熱処理を施した後に Xe フラッシュランプで透明な ZnO 基板側より照射を行った。パルス幅を 1 ミリ秒程度とした。照射後に貼り合せ界面に軽く機械的衝撃を与えることで ZnO の薄膜をシリコン基板に転写することができた。この時転写された ZnO の厚さは 550 nm であった。

[0032] 実施例 4

直径 50 mm の GaN 基板に H_2^+ イオンを 75 KeV の加速電圧で $1.35 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ のドーズ量で打ち込んだ。続いてハンドル基板となる直径 50 mm サファイア基板を用意し、双方の基板にプラズマ活性化処理を行った。室温で貼り合せを行い、150°C、24 時間と 250°C、24 時間の熱処理を施した後に Xe フラッシュランプでサファイア基板側より照射を行った。パルス幅を 1 ミリ秒程度とした。照射後に貼り合せ界面に軽く機械的衝撃を与えることで GaN の薄膜をサファイア基板に転写することができた。この時転写された GaN の厚さは 290 nm であった。

請求の範囲

[請求項1]

ハンドル基板の表面にワイドバンドギャップ半導体薄膜層を形成して貼り合わせウェーハを製造する方法であって、

バンドギャップ2.8 eV以上のワイドバンドギャップ半導体基板の表面からイオンを注入してイオン注入層を形成する工程、

前記ハンドル基板の前記表面、および、前記ワイドバンドギャップ半導体基板の前記イオン注入面の少なくとも一方の面に表面活性化処理を施す工程、

前記ワイドバンドギャップ半導体基板の前記表面と前記ハンドル基板の前記表面とを貼り合わせて、接合体を得る工程、

前記接合体に、150℃以上400℃以下の熱処理を加える工程、および、

前記接合体の半導体基板側から前記ワイドバンドギャップ半導体基板のイオン注入層に向けて可視光を照射して前記イオン注入層の界面を脆化し、ワイドバンドギャップ半導体薄膜をハンドル基板に転写する工程を含む貼り合わせウェーハの製造方法。

[請求項2]

ハンドル基板の表面にワイドバンドギャップ半導体薄膜層を形成して貼り合わせウェーハを製造する方法であって、

バンドギャップ2.8 eV以上のワイドバンドギャップ半導体基板の表面からイオンを注入してイオン注入層を形成する工程、

前記ハンドル基板の前記表面、および、前記ワイドバンドギャップ半導体基板の前記イオン注入面の少なくとも一方の面に表面活性化処理を施す工程、

前記ワイドバンドギャップ半導体基板の前記表面と前記ハンドル基板の前記表面とを貼り合わせて、接合体を得る工程、

前記接合体に、150℃以上400℃以下の熱処理を加える工程、および、

前記接合体のハンドル基板側から前記ワイドバンドギャップ半導体

基板のイオン注入層に向けて可視光を照射して前記イオン注入層の界面を脆化し、ワイドバンドギャップ半導体薄膜をハンドル基板に転写する工程を含む貼り合わせウェーハの製造方法。

[請求項3] 表面活性化がオゾン水処理、UVオゾン処理、イオンビーム処理、プラズマ処理のいずれか、もしくは組み合わせで行われることを特徴とする請求項1または2に記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

[請求項4] 前記可視光照射の後、イオン注入層の界面に機械的衝撃を加え、該界面に沿って半導体薄膜を剥離する工程を含むことを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

[請求項5] 前記ワイドバンドギャップ半導体基板が、炭化珪素、窒化ガリウム、酸化亜鉛、ダイヤモンド、または、窒化アルミニウムのいずれかであることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

[請求項6] 前記ワイドバンドギャップ半導体基板が、炭化珪素、窒化ガリウム、酸化亜鉛、ダイヤモンド、または、窒化アルミニウムのいずれかにSiO₂膜が付けられていることを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

[請求項7] 前記可視光が、レーザー光であることを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

[請求項8] 前記可視光が、スパイクアニールを含むRTA (Rapid Thermal Anneal) であることを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

[請求項9] 前記可視光が、キセノンフラッシュランプ光であることを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

[請求項10] 前記ハンドル基板が、シリコン、酸化膜付きシリコン、アルミナ、非単結晶窒化アルミニウム、または、炭化珪素のいずれかであることを特徴とする請求項1、3、4、5、6、7、8または9のいずれか

に記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

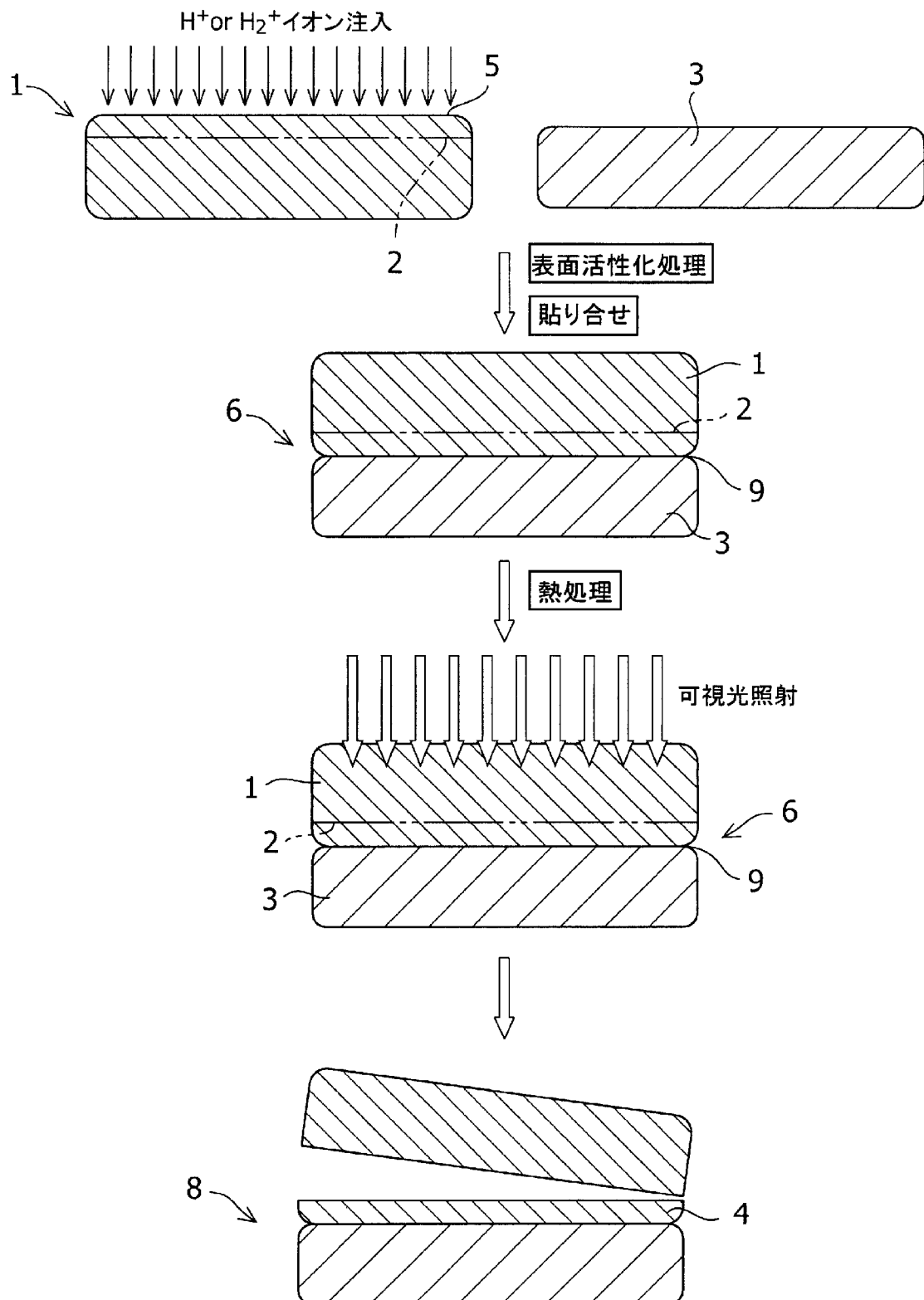
[請求項11] 前記ハンドル基板が、ガラス、石英、または、サファイアのいずれかであることを特徴とする請求項2ないし9のいずれかに記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

[請求項12] 前記注入イオンが、水素原子イオン (H^+) であり、ドーズ量が、 $3.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ 以上 $2 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ 以下であることを特徴とする請求項1ないし11のいずれかに記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

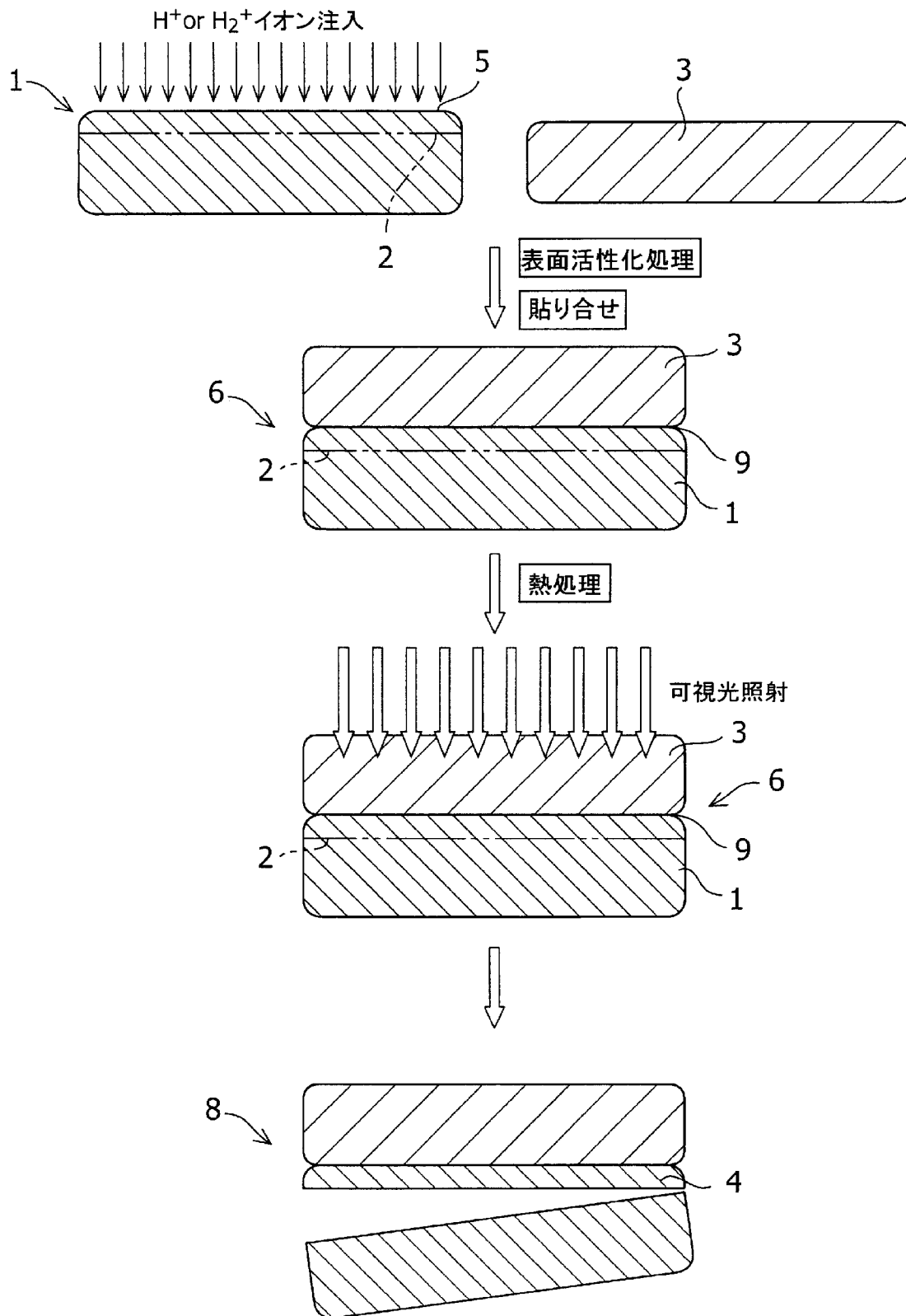
[請求項13] 前記注入イオンが、水素原分子イオン (H_2^+) であり、ドーズ量が、 $1.5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ 以下であることを特徴とする請求項1ないし11のいずれかに記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

[請求項14] 請求項1ないし13のいずれかに記載の製造方法により得られた貼り合わせウェーハ。

[図1]



[図2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/070656

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/02 (2006.01) i, H01L21/265 (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, H01L21/265

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 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

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.
Y	JP 2004-140266 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 13 May 2004 (13.05.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-14
Y	JP 2005-252244 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 15 September 2005 (15.09.2005), entire text; all drawings & JP 2009-27206 A	1-14
Y	JP 2008-277552 A (Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.), 13 November 2008 (13.11.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-14

☒ 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
01 March, 2010 (01.03.10)Date of mailing of the international search report
09 March, 2010 (09.03.10)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/070656

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 2007-019482 A (Fujifilm Holdings Corp.), 25 January 2007 (25.01.2007), entire text; all drawings & US 2009/0111279 A1 entire text; all drawings & EP 1889289 A & WO 2006/132381 A2	1-14
A	JP 2002-033465 A (Kabushiki Kaisha Ion Kagaku Kenkyusho), 31 January 2002 (31.01.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1-14

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, H01L21/265 (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, H01L21/265

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	1971-2010年
日本国実用新案登録公報	1996-2010年
日本国登録実用新案公報	1994-2010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
Y	JP 2004-140266 A (石川島播磨重工業株式会社) 2004.05.13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-14
Y	JP 2005-252244 A (石川島播磨重工業株式会社) 2005.09.15, 全文, 全図 & JP 2009-27206 A	1-14
Y	JP 2008-277552 A (信越化学工業株式会社) 2008.11.13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-14

☒ 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

01.03.2010

国際調査報告の発送日

09.03.2010

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)

宇多川 勉

4 L

3125

電話番号 03-3581-1101 内線 3498

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2007-019482 A (富士フイルムホールディングス株式会社) 2007.01.25, 全文, 全図 & US 2009/0111279 A1, 全文, 全図 & EP 1889289 A & WO 2006/132381 A2	1-14
A	JP 2002-033465 A (株式会社イオン化学研究所) 2002.01.31, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-14