

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2020-508564

(P2020-508564A)

(43) 公表日 令和2年3月19日(2020.3.19)

(51) Int.Cl.

H01L 21/02 (2006.01)  
H01L 21/20 (2006.01)

F 1

H01L 21/02  
H01L 21/20

B

テーマコード(参考)

5 F 1 5 2

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2019-542366 (P2019-542366)  
 (86) (22) 出願日 平成29年2月21日 (2017.2.21)  
 (85) 翻訳文提出日 令和1年8月5日 (2019.8.5)  
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2017/053918  
 (87) 國際公開番号 WO2018/153434  
 (87) 國際公開日 平成30年8月30日 (2018.8.30)

(71) 出願人 508333169  
 エーファウ・グループ・エー・タルナー・  
 ゲーエムペーハー  
 オーストリア・4782・ザンクト・フロ  
 ーリアン・アム・イン・デーイー・エリヒ  
 ・タルナー・シュトラーセ・1  
 (74) 代理人 100114890  
 弁理士 アインゼル・フェリックス=ライ  
 ンハルト  
 (74) 代理人 100098501  
 弁理士 森田 拓  
 (74) 代理人 100116403  
 弁理士 前川 純一  
 (74) 代理人 100135633  
 弁理士 二宮 浩康

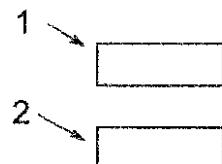
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】基板を接合する方法および装置

## (57) 【要約】

第1の基板(1, 6)を第2の基板(2)に接合する方法が提案されており、この方法は、以下のステップ、すなわち、第1の非晶質層(1a, 6a)を第1の基板(1, 6)上に形成する、かつ/または第2の非晶質層(2a)を第2の基板(2)上に形成するステップ、第1の基板(1, 6)を第2の基板(2)に、1つのまたは複数の非晶質層(1a, 2a, 6a)で接続し、基板積層体(3)を形成するステップ、1つのまたは複数の非晶質層(1a, 2a, 6a)が1つのまたは複数の結晶層に転移するように、1つのまたは複数の非晶質層(1a, 2a, 6a)を、放射(5)により照射するステップ、を有している。

Fig. 1a



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第1の基板(1, 6)を第2の基板(2)に接合する方法であって、  
 第1の非晶質層(1a, 6a)を前記第1の基板(1, 6)上に形成する、かつ／または第2の非晶質層(2a)を前記第2の基板(2)上に形成するステップと、  
 前記第1の基板(1, 6)を前記第2の基板(2)に、1つのまたは複数の前記非晶質層(1a, 2a, 6a)で接続し、基板積層体(3)を形成するステップと、  
 前記1つのまたは複数の非晶質層(1a, 2a, 6a)が1つのまたは複数の結晶層に転移するように、前記1つのまたは複数の非晶質層(1a, 2a, 6a)を、放射(5)により照射するステップと、  
 を有する、第1の基板(1, 6)を第2の基板(2)に接合する方法。

## 【請求項 2】

前記1つのまたは複数の非晶質層(1a, 2a, 6a)を大部分、好適には完全に、1つのまたは複数の結晶層に転移させる、請求項1記載の方法。

## 【請求項 3】

1つのまたは複数の前記基板(1, 2, 6)の接合表面(1o, 2o)の殆どの部分に1つの非晶質層(1a, 2a, 6a)を形成し、好適には前記1つのまたは複数の基板(1, 2, 6)の接合表面(1o, 2o)全体に1つの非晶質層(1a, 2a, 6a)を形成する、請求項1または2記載の方法。

## 【請求項 4】

前記基板(1, 2, 6)のうちの少なくとも1つは、前記放射(5)に対して透過性であり、前記放射(5)の放射エネルギーの少なくとも50%が、好適には少なくとも60%が、特に好適には少なくとも70%が、極めて特に好適には少なくとも80%が、さらに好適には少なくとも90%が透過される、請求項1から3までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 5】

前記非晶質層(1a, 2a, 6a)によって前記放射(5)を、前記放射(5)の放射エネルギーの60%超まで、好適には60%超まで、さらに好適には70%超まで、特に好適には80%超まで、極めて特に好適には90%超まで、吸収する、請求項1から4までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 6】

前記放射(5)はレーザー放射であり、前記レーザー放射を前記非晶質層(1a, 2a, 6a)へと収束させる、請求項1から5までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 7】

前記放射(5)は、前記非晶質層(1a, 2a, 6a)に垂直に当てられる、請求項1から6までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 8】

前記放射(5)を、1eV～10E8eVの、好適には1eV～10E6eVの、さらに好適には1eV～10E4eVの、最も好適には1eV～10eVのエネルギー範囲で放射する広帯域エミッタによって発生させる、請求項1から7までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 9】

前記放射(5)の放射出力は、0.01ワット～10000ワットであって、好適には0.1ワット～1000ワットであって、最も好適には1ワット～100ワットである、請求項1から8までのいずれか1項記載の方法。

## 【請求項 10】

前記放射(5)により、前記1つのまたは複数の非晶質層(1a, 2a, 6a)に、200超の、好適には400超の、特に好適には600超の、さらに好適には800超の、最も好適には1200超の温度を発生させる、請求項1から9までのいずれか1項記載の方法。

10

20

30

40

50

**【請求項 1 1】**

入射時間は、30秒未満であり、好適には15秒未満であり、特に好適には1秒未満であり、極めて特に好適には100ミリ秒未満である、請求項1から10までのいずれか1項記載の方法。

**【請求項 1 2】**

基板面および／または基板積層体面での前記放射(5)の反射は、放射源(4)の出力強度の4%未満であり、好適には3%未満であり、特に好適には1%未満である、請求項1から11までのいずれか1項記載の方法。

**【請求項 1 3】**

前記第1の基板(1,6)および／または前記第2の基板(2)は、前記放射(5)に対して、放射源(4)の出力強度の少なくとも95%透過性であり、好適には97%透過性であり、特に好適には99%透過性である、請求項1から12までのいずれか1項記載の方法。

**【請求項 1 4】**

照射前および／または照射中、前記基板(1,2,6)の少なくとも一方の基板の、好適には両方の基板(1,2,6)の加熱を行い、この場合、前記1つのまたは複数の基板(1,2,6)を、100を超えるように、好適には200を超えるように、特に好適には300を超えるように加熱する、請求項1から13までのいずれか1項記載の方法。

**【請求項 1 5】**

特に請求項1から14までのいずれか1項記載の方法により、第1の基板(1,6)を第2の基板(2)に接合する装置であって、

前記基板(1,2,6)を保持するための保持装置と、

前記基板(1,2,6)を接合するための接合装置と、

照射装置(4)と、

を有しており、

第1の非晶質層(1a,6a)を前記第1の基板(1,6)上に形成可能であり、かつ／または第2の非晶質層(2a)を前記第2の基板(2)上に形成可能であり、

前記第1の基板(1,6)を前記第2の基板(2)に、1つのまたは複数の前記非晶質層(1a,2a,6a)で接続して、基板積層体(3)を形成可能であり、

前記1つのまたは複数の非晶質層(1a,2a,6a)が、1つのまたは複数の結晶層に転移可能であるように、前記照射装置(4)により前記1つのまたは複数の非晶質層(1a,2a,6a)に放射(5)を照射可能である

ように、形成されている、第1の基板(1,6)を第2の基板(2)に接合する装置。

**【請求項 1 6】**

請求項1から14までのいずれか1項記載の方法および／または請求項15記載の装置によって接合された少なくとも1つの第1の基板(1,6)と少なくとも1つの第2の基板(2)とによって形成される基板積層体(3)。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、独立請求項に記載の基板を接合する方法ならびに装置、ならびに基板積層体に関する。半導体産業では数年来既に、基板を互いに接合させるために様々な接合技術が使用されている。接合工程はボンディングと呼ばれる。特に、仮接合法と永久接合法とは異なるものである。

**【0002】**

仮接合法では、特に製品基板が支持基板に貼り合わせられ、所定のプロセス後に再びこの支持基板を剥がすことができる。仮接合法により、製品基板は機械的に安定化され得る。機械的安定化により、アーチ状になったり、変形したり、または破損したりすることなく製品基板を取り扱うことができる。支持基板による安定化はとりわけ、裏面薄化プロセ

10

20

30

40

50

ス中および裏面薄化プロセス後に必要である。裏面薄化プロセスにより、製品基板の厚さを数マイクロメートルにまで減じることができる。

#### 【0003】

永久接合法では、少なくとも2つの基板が継続的に、永久的に互いに接合される。2つの基板の永久接合により、多層の構造体の製造も可能である。この多層の構造体は、同じまたは異なる材料から成っていてよい。

#### 【0004】

陽極接合による永久接合法は、イオンを含む基板を永久的に互いに接続するために使用される。多くの場合、両基板の一方はガラス基板である。

#### 【0005】

別の永久接合法は金属接合である。金属接合では、接合すべき基板間に合金が形成される、またはホモ原子結合、すなわち1種類の原子のみから成る結合が行われる。可能な硬化工程では、液相が硬化して、両基板間に結合層が形成される。溶融相の形成なしに行われる結合も考えられる。

#### 【0006】

別の永久接合法は、直接接合とも言われるフュージョンボンディングである。フュージョンボンディングでは、2つの平坦な純粋な基板表面が、接触させられることにより互いに接合される。この場合、接合工程は2つのステップに分割される。第1のステップでは、両基板の接触が行われる。この場合、両基板の固定は主に、ファン・デル・ヴァールス力によって行われる。この固定は予備接合（英語：prebond）と呼ばれる。ファン・デル・ヴァールス力により、特に剪断力をかけることによっては、著しい力をかけてしか、基板を相互に摺動させることができないほどしっかりと基板を互いに接合させる、十分強力な固定を形成することができる。一方、両基板は、特に法線力を加えることによって再び互いに容易に分離させることができる。この場合、法線力は好適には縁部に作用し、両基板の境界面にくさび効果を生じさせ、このくさび硬化により、連続した亀裂を発生させ、これにより両基板を再び互いに分離させる。永久フュージョンボンディングを形成するために、基板積層体に、アニーリングとも呼ばれる熱処理を施す。この熱処理により、両基板の表面間に共有結合が形成される。このように形成された永久接合は、多くの場合、基板の破壊を伴う相応に高い力をかけてしか解消することはできない。

#### 【0007】

接合強度を得るために必要な熱処理も、技術的な課題を含む。接合される基板の多くには既に、機能的なユニット、例えばマイクロチップ、MEMS、センサ、LEDが設けられおり、これらは熱に敏感である。特にマイクロチップは比較的高度にドープされている。ドープ要素は、高温では、高い拡散能力を有し、これにより基板においてドーピングの望ましくない欠点となる分散が生じる恐れがある。さらに、熱処理は常に、高い温度、ひいては高いコストを伴い、熱的応力の発生、熱的に条件付けられた摺動、加熱と冷却のための比較的長い工程時間を伴う。したがって、できるだけ低い温度で接合されるのが望ましい。

#### 【0008】

直接接合のさらなる方法は、表面活性化された直接接合である。基板のうちの少なくとも1つを表面活性化することにより、接合の表面エネルギーは高められるので、基板材料の強度に匹敵する接合強度が、室温で生じる。

#### 【0009】

表面処理温度もしくは期間を減じることができる表面活性化のために、様々なアプローチがある。接合すべき表面の処理のために、プラズマ処理またはイオンビーム処理を使用することができる。本発明によれば、全てではないが殆どの表面活性化法は、接合すべき表面の非晶質化を伴う。

#### 【0010】

基板表面の清浄化および活性化のためのプラズマ処理によれば、比較的低温での接合が可能である。しかしながらこのようなプラズマ法は、酸素親和性の表面、特に金属表面で

は機能しない、または極めて限定的にしか機能しない。酸素親和性の金属は酸化し、一般的に比較的安定的な酸化物を形成する。酸化物も接合工程には障害となる。このように酸化された金属は、拡散接合により互いに接続することも比較的困難であり得る。これに対し、二酸化ケイ素層を形成する、プラズマにより活性化された特に単結晶のシリコンの接合は極めて良好に機能する。二酸化ケイ素層は接合に極めて適している。したがって、酸化物の上述したネガティブな作用は、必ずしも全ての材料クラスに関するものではない。

【0011】

刊行物である米国特許第5441776号明細書には、一次電極を、水素化非晶質ケイ素層に結合する方法が開示されている。この非晶質ケイ素層は、堆積プロセスにより基板の表面に堆積される。

10

【0012】

刊行物である米国特許第7462552号明細書には、非晶質シリコン層を基板の表面に堆積させるために、化学気相成長（英語：chemical vapour deposition, CVD）を使用する方法が示されている。非晶質層は0.5～10μmの厚さを有している。

【0013】

文献には、低温での直接接合を説明した様々なアプローチがある。PCTの欧州特許出願公開第2013/064239号明細書のアプローチでは、接合プロセス中および／または接合プロセス後に、基板材料において溶解する犠牲層が設けられている。PCTの欧州特許出願公開第2011/064874号明細書における別のアプローチでは、相転移による永久接続の形成が記載されている。上記文献は、特に金属表面に関するものであって、金属表面は、共有結合を介してではなく、金属結合を介して結合される。PCTの欧州特許出願公開第2014/056545号明細書には、表面清浄化によるシリコンの最適化された直接接合工程について記載されている。

20

【0014】

別のアプローチは国際公開第2015197112号に開示されており、この場合、上述した技術の多くの欠点が減じられている。これにより、接合層は、数10nmの薄さに保持されるので、積層体の好適な特性が特に僅かに影響を受ける。

【0015】

刊行物である米国特許出願公開第20130112650号明細書ならびに米国特許出願公開第20140230990号明細書は、一種の溶接接合を示しており、この場合、接合すべき表面に、レーザービームにより局所的に溶融される金属層が塗布される。これにより、基板を接合することができる少なくとも線状の接合部が生じる。

30

【0016】

上述した全ての方法ならびに接合装置は、接合方法により、接合された基板積層体を形成する。しかしながら、全ての方法では、金属および／またはそのイオンのような添加材料が使用される、または基板の酸化物および／または窒化物が形成されて、互いに接続される。

【0017】

したがって、本発明の課題は、従来技術の欠点を解消し、特に改善された接合結果を提供することである。

40

【0018】

この課題は、独立請求項の対象により解決される。本発明の好適な別の構成は従属請求項に記載されている。明細書、請求の範囲、および／または図面に記載された少なくとも2つの特徴から成る全ての組み合わせも本発明の範囲である。数値範囲においては、上記範囲内にある値も、限界値として開示されたものとみなされ、任意の組み合わせで特許請求することができる。

【0019】

本発明によれば、第1の基板を第2の基板に接合する方法であって、第1の非晶質層を第1の基板上に形成する、かつ／または第2の非晶質層を第2の基板上に形成するステップと、

50

第1の基板を第2の基板に、1つのまたは複数の非晶質層で接続し、基板積層体を形成するステップと、

1つのまたは複数の非晶質層を、1つのまたは複数の非晶質層が、1つのまたは複数の結晶層に転移するように、放射により照射するステップと、  
を有している方法が提供される。

#### 【0020】

さらに本発明によれば、特に本発明による方法により第1の基板を第2の基板に接合する装置であって、

基板を保持するための保持装置と、  
基板を接合するための接合装置と、  
照射装置と、  
を有しており、

第1の非晶質層を第1の基板上に形成可能であり、かつ／または第2の非晶質層を第2の基板上に形成可能であり、

第1の基板を第2の基板に、1つのまたは複数の非晶質層で接続して、基板積層体を形成可能であり、

1つのまたは複数の非晶質層を、1つのまたは複数の非晶質層が、1つのまたは複数の結晶層に転移可能であるように、放射装置により放射を照射可能であるように、形成されている、

装置が提供される。

#### 【0021】

さらに本発明によれば、本発明による装置および／または本発明による方法を用いて接合された、基板積層体が提供される。

#### 【0022】

本発明によれば、個々の2つの基板を互いに接合することができる。しかしながら、1つの基板を1つの基板積層体に接合することもでき、または2つの基板積層体を互いに接合することもできる。基板積層体は、2つ以上の接合された基板から成る。

#### 【0023】

接合すべき基板もしくは基板積層体は、片面にのみ非晶質層を有していてよく、または両面に非晶質層を有していてもよい。

#### 【0024】

簡略化のために以下の記載では、特に規定されない場合は、基板とは、個々の基板も基板積層体も意味する。

#### 【0025】

本発明の根底にある思想は、少なくとも1つの非晶質層により、基板の良好な予備固定（予備接合）が形成され、非晶質層を結晶相に転移させることにより、ほぼ遷移なく接合された基板積層体が形成されるというものである。本発明によれば、発生する熱は、レーザーの波長を正しく選択することにより比較的僅かであり、非晶質層上へと局所的に制限される。したがって基板積層体内の応力を極めて僅かにすることができる。さらにプロセス時間も比較的僅かである。

#### 【0026】

少なくとも1つの非晶質層が、基板表面の少なくとも部分領域で形成されるので、予備接合が達成可能である。好適には、少なくとも1つの非晶質層は、基板表面全体に形成され、これにより予備接合は最大強度で達成可能である。しかしながら、特にハイブリッド接合の導電性表面領域の場合には、非晶質層は基板表面の部分領域にのみ形成されてもよい。

#### 【0027】

非晶質層の照射中に、特に、ファン・デル・ヴァールス力により生じる基板の接合は、強固な、特に原子間の接合に、特に共有結合に変換され、存在している欠陥は閉じられる。

10

20

30

40

50

## 【0028】

本発明によれば、基板のうちの少なくとも1つは、非晶質層によってカバーされている。基板のうちの1つのみが非晶質層によってカバーされていて、他の基板は非晶質層によってカバーされていない場合、基板は互いに非晶質層で接合される。

## 【0029】

好適には、両基板上に非晶質層が形成され、両基板は非晶質層で互いに接続される。これにより好適には特に堅固な予備接合を形成することができる。

## 【0030】

好適には、基板のうちの少なくとも一方が結晶基板、特に単結晶基板である。極めて好適には、基板の両方が結晶基板、特に単結晶基板である。これにより好適には、放射が非晶質層にほぼ妨げられることなく到達することができ、これにより基板の加熱が最小にされ、これにより基板積層体における応力を最小にすくことができる。基板が多結晶、特にナノ結晶であることも考えられる。特に当業者には公知のハイブリッド接合の場合、互いに接続すべき導電領域は、好適には多結晶から成り、特に多結晶銅から成る。本発明による方法は、このような場合、必要であれば、基板の部分領域でのみ使用されてもよく、必ずしも基板の領域全体で行う必要はない。しかしながら、特にハイブリッド表面は同時に非晶質化することができるので、ハイブリッド表面の全ての誘電的および電気的領域の全面的な非晶質化は、特に好適である。

10

## 【0031】

本発明によれば、少なくとも1つの非晶質層は、少なくとも所定の領域で、結晶層に転移するので、ほぼ遷移のない基板積層体が形成される。好適には、少なくとも1つの非晶質層は大部分、極めて特に好適には完全に1つの結晶層に転移する。これにより好適には、殆ど完全に遷移のない、もしくは完全に遷移のない基板積層体を形成することができる。

20

## 【0032】

本発明によれば、1つのまたは複数の基板の接合すべき表面（以下では接合表面とも言う）の少なくとも部分領域に非晶質層を形成する。好適には、1つのまたは複数の基板の接合表面の大部分に非晶質層が形成される。特に好適には、1つのまたは複数の基板の接合表面全体に非晶質層が形成される。これにより好適には、特に堅固な予備接合を形成することができ、かつ殆ど遷移のないもしくは完全に遷移のない基板積層体を形成することができる。

30

## 【0033】

好適にはさらに、第1の基板および/または第2の基板の結晶相は、使用される放射源の放射に対して、少なくとも50%、好適には少なくとも70%、さらに好適には少なくとも90%、極めて好適には少なくとも95%、最も好適には少なくとも99%透過性である。これにより、放射はほぼ妨げられずに非晶質層へと到達することができるので、基板を透過しての非晶質層の転移が可能である。これにより好適には、1つのまたは複数の非晶質層全体に放射が到達することができ。さらに好適には、放射の放射源を基板の背面に配置することができる。背面とは、基板の、接合表面に面していない側である。

40

## 【0034】

本発明によれば、少なくとも1つの非晶質層が放射を少なくとも部分的に吸収する。好適には、放射の放射エネルギーの50%超が、さらに好適には70%超が、特に好適には80%超が、極めて特に好適には90%超が、吸収される。これにより好適には特に効果的な結晶相への転移が行われ得る。

## 【0035】

好適には放射はレーザー放射である。レーザー放射は少なくとも1つの非晶質層へと収束され、したがって少なくとも1つの非晶質層にのみ作用する。これにより好適には、基板積層体の熱的負荷、ひいては誘導される機械的応力が減じられる。

## 【0036】

好適にはさらに、放射は、非晶質層に垂直に当てられる。垂直とは、垂直の角度から±

50

5度未満の、好適には±3度未満の、好適には±1度未満のいずれを含む。これにより、放射を少なくとも1つの非晶質層によって最適に吸収することができるので、特に効果的な結晶相への転移を達成可能である。さらに、照射を、1つのまたは複数の基板の背面から行うことができ、これにより1つのもしくは複数の非晶質層全体に放射が到達することができる。さらに、側方からの照射は必要ないので、放射源および基板の配置を簡略化することができる。

#### 【0037】

好適にはさらに、1eV～10eVの、好適には1eV～10eVの、さらに好適には1eV～10eVの、最も好適には1eV～3eVのエネルギー範囲で放射する広帯域エミッタによって、放射を発生させる。好適には、このエネルギー範囲の放射は、1つのまたは複数の基板によってほぼ妨げられずに透過され、1つのまたは複数の非晶質層によって吸収されるので、結晶相への転移が行われ得る。これにより、1つのもしくは複数の非晶質層全体に到達することができ、1つのもしくは複数の基板の背面から照射を行うことができる。

10

#### 【0038】

好適にはさらに、放射の放射出力は、0.01ワット～10000ワットであって、好適には0.1ワット～1000ワットであって、最も好適には1ワット～100ワットである。この出力範囲では、少なくとも1つの非晶質層を最適温度にもたらすことができるので、結晶相への転移が行われ得る。

20

#### 【0039】

好適にはさらに、放射により、1つのまたは複数の非晶質層に、200超の、好適には400超の、特に好適には600超の、さらに好適には800超の、最も好適には1200超の温度を発生させる。この温度範囲では、特に効果的な結晶相への転移が行われ得る。

#### 【0040】

好適にはさらに、1点への入射時間は、30秒未満であり、好適には15秒未満であり、特に好適には1秒未満であり、極めて特に好適には100ミリ秒未満である。非晶質層のみが照射されるので、この時間範囲内で結晶相への転移を達成することができ、これによりプロセス時間の著しい短縮が達成可能である。

30

#### 【0041】

好適にはさらに、基板面および/または基板積層体面での放射の反射は、放射源の出力強度の4%未満であり、好適には3%未満であり、特に好適には1%未満である。これにより、1つのまたは複数の基板への放射の入射の際のエネルギー損失が最小にされるので、非晶質層の結晶相への転移のために最大限のエネルギーを利用することができます。

#### 【0042】

特に、少なくとも1つの反射防止層および/または少なくとも1つのモスアイ構造が、1つもしくは複数の基板の、接合表面とは反対側に位置する側に設けられ、この場合、特に液体および/または液体膜が放射源と基板表面との間に配置される。

#### 【0043】

透過性、すなわち放射が入射する表面での光の強度と、本発明による非晶質接合境界面における光の強度との間の比は、ランベルト・ベールの法則により、材料を通る透過経路の長さおよび材料の吸収率に依存する。材料の吸収率は、波長の関数である。したがって、上記透過率値は、本発明によれば、所与の厚さおよび波長でそれぞれ使用される材料の結晶相を透過するできるだけ高い透過率が求められるという意味で、好適には全ての材料/厚さ/波長の組み合わせに適用される。

40

#### 【0044】

これにより、1つのまたは複数の基板を放射が通過する際のエネルギー損失が最小にされるので、非晶質層の結晶相への転移のために最大限のエネルギーを利用することができます。

#### 【0045】

この場合、放射の波長に依存した透過率の変動は10%未満であり、好適には5%未満

50

であり、特に好適には3%未満であり、極めて特に好適には1%未満である。

【0046】

好適にはさらに、照射前および/または照射中、基板のうちの少なくとも1つの基板の、好適には両方の基板の加熱を行い、この場合、1つのまたは複数の基板を、25を超えるように、好適には150を超えるように、特に好適には300を超えるように加熱する。加熱により好適には、少なくとも1つの非晶質層の結晶相への転移を促進することができ、容易にすることができます。

【0047】

好適にはさらに、非晶質層を、非晶質化法によって、特にイオンビーム法および/またはプラズマ法によって形成することができ、この場合、1つのまたは複数の基板に当たる粒子は、0.01eV~1000eVの、好適には0.1eV~100eVの、さらに好適には1eV~10eVのエネルギーを有している。

10

【0048】

基板への粒子の進入深さは、この場合、0nmよりも大きく、好適には5nmよりも大きく、さらに好適には10nmよりも大きく、極めて好適には25nmよりも大きく、最も好適には50nmよりも大きい。

【0049】

好適には、非晶質層の厚さは、50nm未満であり、好適には20nm未満であり、特に好適には10nm未満であり、極めて特に好適には5nm未満であり、最適には2nm未満であり、理想的には1nm未満である。したがって好適には、遷移のない基板積層体を形成することができる。

20

【0050】

好適には、非晶質層の層厚さのばらつきは、基板結晶の格子定数の20倍未満であり、好適には基板結晶の格子定数の10倍未満であり、特に好適には基板結晶の格子定数の5倍未満である。これにより好適には、均一な非晶質層を形成することができ、これにより、結晶化が容易にされ、遷移のない基板積層体を形成することができる。

20

【0051】

好適には、第1の基板および/または第2の基板は、非晶質層の形成前に、少なくとも部分的に天然酸化物層が除去される。したがって、酸化物による望ましくない影響が除去される。これにより、結晶化を容易にすることができます、遷移のない基板積層体を形成することができる。

30

【0052】

好適には、非晶質層は以下の方法により形成される：

- 化学気相成長 (CVD)、
- 物理気相成長 (PVD)、
- プラズマ処理、または
- イオンビーム処理。

【0053】

極めて好適な本発明による実施形態では、存在している結晶基板表面は、特にイオン衝撃により、非晶質化される。しかしながら、好適さには欠けるものの、非晶質層を存在している結晶基板表面上に堆積させることも考えられる。

40

【0054】

本発明の根底にある思想は特に、基板の異なる相の吸収の違いを、主に接合境界面の加熱のために利用する、というものである。この場合、少なくとも1つの基板は結晶、特に、単結晶であってよい。基板のうちの少なくとも1つは、非晶質層を有しているべきである。

【0055】

特に1つの結晶基板は、もしくは特に複数の結晶基板は、放射に対する低い吸収性、高い透過性、および僅かな反射性を有しているべきである。このために、非晶質層は、放射に対する高い吸収性、低い透過性、低い反射性を有している。これにより放射は主として

50

、接合境界面において（すなわち、接合境界面上で）変換される。

【0056】

放射の大部分は、1つのもしくは複数の非晶質層において吸収され、熱に変換されるので、1つのもしくは複数の非晶質層中の原子の高められた熱運動により、原子が再配列される。特に、1つのもしくは複数の非晶相の、1つのもしくは複数の結晶相への相転移は、接合境界面で行われる。

【0057】

したがって、比較的完全な、特に単結晶の格子を有した基板積層体を形成することができる。このように形成された格子は、まだ転位を有しているものの、その転位は、達成される結果を実質的に損なうものではない。

10

【0058】

本発明による思想は特に、予備接合により接合された基板積層体を、接合境界面およびその周囲の非晶質状態が結晶状態に変換されるように、放射により局所的に処理するということにある。この場合、接合強度も、両基板間の非晶質接合境界面の消滅により高められる。特に、結晶層へ殆ど転移することにより、接合境界面の電気的特性も改善される。好適にはこれにより、例えば、主としてオーム遷移が保証され得る。これは例えば、ダイオード部分の閾値電圧／降伏電圧は、遷移における電圧降下全体の10%未満であることを意味する。

【0059】

接合のための方法の簡略化は、本発明にとって有利である。基板の適切な材料の組み合せならびに材料の使用により、異種原子負荷または異種イオン負荷なしに接合を形成することができる。最大でも格子欠陥、特に空孔個所および転位を除いて均一な完全な結晶が互いに結合されるので、電気的特性はさらに最適化され、改善される。

20

【0060】

本発明は、基板積層体の非晶質の接合境界面を相転移により結晶相へと転位させ、これにより基板積層体の基板を互いに分離不能に接合させるために、特に電磁的な放射を使用する。

【0061】

本発明による方法は、好適には以下の、任意の順番で実施可能な方法ステップを使用する：

30

- 接合すべき基板表面に非晶質化層を製作するステップ、
- 基板表面を清浄化するステップ、
- 基板を互いに位置合わせするステップ、
- 直接接合により予備接合するステップ、
- 接合境界面を離間するために本発明によりレーザー処理するステップ。

【0062】

本発明の根底には、所定のエネルギー範囲もしくは波長範囲において異なる相は、極めて異なる吸収能力を有しているということがある。

【0063】

所定の波長および／または波長範囲では、基板材料の結晶相は、高い透過度、低い吸収度、および低い反射度を有している。したがって、放射は結晶相を実質的に妨げられることなく透過することができる。

40

【0064】

同じ所定の波長および／または波長範囲では、基板材料の非晶相は、低い透過度、高い吸収度、および低い反射度を有している。したがって放射は主として非晶相によって吸収される。

【0065】

放射の吸収により、非晶相の、特に局所的な、目標通りの加熱が行われる。加熱は、エネルギー含有量の増加もしくは熱運動の増加と同義である。本発明によれば、相転移、特に結晶化が行われるほど高い熱的運動状態を非晶相において達成することができる。

50

## 【0066】

本発明によれば、非晶相は、熱の導入中かつ／または熱の導入後に再配列され、したがって結晶化される。このような相転移は、本発明によれば、接合境界面の非晶相において行われる。エネルギーの入力により、系は、結晶化を可能にするために必要な閾値エネルギーを超える。しかしながら結晶系の全エネルギーは、非晶質系の全エネルギーよりも小さい。したがって、この系は基本的には結晶構造となる傾向がある。

## 【0067】

したがって、局所的な相転移、特に接合境界面の結晶化は、接合境界面の治癒につながる。

## 【0068】

本発明は、パラメータのセットもしくはレセプトにより、必要な物理的効果ならびに基本的条件を制御もしくは調整し、この場合、レセプトは、機能的または方法的に関連するパラメータの最適化された値の集合である。レセプトの利用により、方法の再現可能性を可能にする。これは、以下を含む：

- 材料：SEMI規格および別の規定による形状許容差および位置許容差を含む基板ジオメトリ、基板の平坦性ならびにうねり、基板材料、ドーピング、非晶質化、非晶質層の層厚さ、

- 材料の組み合わせ：同一の非晶質層を有するが、基板体積（英語：bulk）において異なる材料を有する基板が接合される場合、または基板が実質的に互いに同一である場合、

- 基板の準備：基板の清浄性、異種原子負荷、接合すべき面上ならびに境界層における原子状の水の層または気体の導入、

- 波長、作用期間、入射角度を伴う放射の放射入力、

- 基板積層体のための周辺条件：温度、大気。

10

20

30

## 【0069】

基板は任意の形状を有していてよいが、好適には円形である。基板の直径は特に、工業的に規格化されている。ウェハに関して、工業的に一般的な直径は、1Z011、2Z011、3Z011、4Z011、5Z011、6Z011、8Z011、12Z011、および18Z011である。しかしながら、本発明による実施形態は基本的に、その直径に関わらず、全ての基板を扱うことができる。円形でない基板（特に四角形のパネル、ウェハ破片）も扱われるのが望ましい。

30

## 【0070】

さらなる経過では、平坦性が、平坦面の、特に表面の完成度の基準として用いられる。平坦な表面からのずれは、うねりおよび粗さにより生じる。表面のうねりは、特にミリメートル範囲の、まれにマイクロメートル範囲の表面の一定の周期的な上昇および下降により特徴付けられる。これに対して、粗さはむしろ、マイクロメートル範囲もしくはナノメートル範囲における非周期的な現象である。このような形式の表面特性の正確な定義は、表面物理学、トライボロジ、機械工学、または材料科学の専門家には公知である。

40

## 【0071】

基板表面ならびに数学的な平坦性からの基板表面の偏差は、うねりと粗さの重畳とみなすことができる。本発明によれば、接合すべき表面が、完全な数学的な平坦性から最小の偏差を有していると好適である。理想的な表面からの様々な偏差に対処するために、これ以降の特許明細書では、粗さという用語は、このような全ての効果の重ね合わせと同義に使用される。粗さは、平均粗さ、二次元粗さ、または平均粗さ深さとして記載される。平均粗さ、二次元粗さ、および平均粗さ深さについて算出された値は、一般に、同じ測定距離もしくは測定面積については異なるが、同じオーダーの範囲内にある。したがって、粗さのための以下の数値範囲は、平均粗さ、二次元粗さについての値として、または平均粗さ深さについての値として理解される。この場合、粗さは、100nm未満、好適には10nm未満、さらに好適には5nm未満、さらに好適には3nm未満、最も好適には2nm未満である。

## 【0072】

50

基板材料は、市販されているウェハであってよく、すなわち元素半導体、化合物半導体、ならびに有機半導体であってよい。

【0073】

しかしながらこの場合、特に主成分として、ケイ素および／またはゲルマニウム、および／または炭素および／またはテルルおよび／またはアルミニウムおよび／またはインジウムおよび／またはガリウムのような元素を含む半導体が主に使用される。

【0074】

特に、使用する放射に対してできるだけ透明であるのが望ましい基板材料の他に、基板材料の物理的特性に影響を与えるために他の材料を使用することができる。材料が基板材料に溶解するならば、その材料は、ドーピングとも呼ばれる ppm (100万分の1) の範囲の溶液である。

【0075】

ドーピングは、基板の電子的ならびに電磁的特性に影響を与える。したがって、ドーピングは、基板材料、その透過性ならびに吸収性に影響を与える。さらに、ドーピングを用いて、基板内に相応の目標破断個所を形成することも考えられる。

【0076】

非晶質化は、規則的な結晶の非晶相への相転移である。非晶相はガラス相とも呼ばれる。このような定義では、いくつかの材料ファミリで観察可能なガラス転移温度は重要ではない：結晶相と非晶相とを区別するために、一般的に秩序変数が使用される。秩序変数は例えば：Schmidt, Rainer著の「Werkstoffverhalten in biologischen Systemen」(1999年)の58頁、doi:10.1007/978-3-642-60074-6に記載されている。使用される固体に応じて秩序変数を定義する必要があり得るので、その定義のために普遍的な手順を記載することはできないことがわかる。秩序変数の値は秩序度と言われる。一般的に、完全な結晶相は、秩序度1と記載される。非晶質は、秩序度0.5未満の、好適には0.2未満の、特に好適には0.1未満のほぼ不規則な相として理解される。完全な非晶相は秩序度0を有している。極めて多くの場合、秩序変数の定義のためにはランダウ理論も利用することができる。非晶質化の目的は、完全に閉じられた不規則な層の製作であり、この層の表面は、さらなるプロセスステップで接合プロセスの改善のために貢献する。

【0077】

基板表面を非晶質化するために2種の基本的な方法がある。

【0078】

第1の方法では、高エネルギー粒子を基板表面に照射し、この粒子が特に結晶の組織を非晶質化する。この方法を以下では、非晶質化法と記載する。非晶質化法の例は、イオンビーム法およびプラズマ法である。

【0079】

本発明による第2の方法では、基板材料上に材料を堆積させる。この場合、この材料と基板材料とは好適には同一である。この方法を以下では、堆積法と記載する。堆積法の例は、化学気相成長(英語: chemical vapour deposition, CVD)、および物理気相成長(英語: physical vapour deposition, PVD)である。

【0080】

非晶質化法では、基板表面上に打ち込まれる粒子は、0.01 eV ~ 1000 eV、好適には0.1 eV ~ 100 eV、さらに好適には1 eV ~ 10 eVのエネルギーを有している。基板材料への粒子の進入深さは、0 nmよりも大きく、好適には5 nmよりも大きく、さらに好適には10 nmよりも大きく、極めて好適には25 nmよりも大きく、最も好適には50 nmよりも大きい。

【0081】

非晶質層の厚さは、50 nm未満であり、好適には20 nm未満であり、特に好適には10 nm未満であり、極めて特に好適には5 nm未満であり、最適には2 nm未満であり、理想的には1 nm未満である。

【0082】

10

20

30

40

50

本発明による方法により、同じ材料から成る基板または異なる材料を有する基板を互いに接合することができる。基板は、好適には、機能ユニット、導体路、T S V、接合パッド（英語：pad）等を有する。特に、基板はハイブリッド基板であってよい。ハイブリッド基板とは、特にその表面が、導電性領域、特に接合パッドおよびT S Vを含む誘電体から成る基板を意味する。本発明による方法は、ハイブリッド基板の接合のためにも明示的に開示されている。この場合、本発明による方法を用いて、とりわけ導電性領域を非晶質化することができる。誘電体の表面は、予備接合のために使用される。非晶質化された導電性領域は接触し、本発明による方法によって、非晶質状態から結晶状態へと移行する。

#### 【0083】

特に、異なる材料の基板を、同じ非晶質層に互いに接合させることができる。この場合、転位と粒界を除いて、接合境界面に完全な遷移が生じる。この方法により、特に半導体の、異なる材料を接合することができ、材料遷移部を、特に半導体遷移部を製作することができる。

10

#### 【0084】

さらに、本発明による方法により、個々の構成部分、特にチップを備えた基板（英語：Chip to wafer bond）を接合することができる。

#### 【0085】

さらに、本発明による方法により、チップを互いに接合することができる。特にこの場合、個々の構成部分を備えた、特に透明の2つの基板を支持体として使用することができる。

20

#### 【0086】

基板表面の清浄度は、接合境界面への異種原子の混入を減じ、これにより阻害影響が減じられるので、最終製品の性能を向上させる。

#### 【0087】

したがって、基板表面の、特に接合すべき表面の清浄度も、特徴付けられるべきである。接合すべき表面の異種原子負荷は、特に  $1 \text{ cm}^2$  当たり、化学元素 Ca、Cr、Co、Cu、Fe、K、Mn、Mo、Na、Ni、Ti の原子それぞれ  $50 \times 10^{10}$  未満、好適にはそれぞれ  $5 \times 10^{10}$  未満と、化学元素 Al、V、Zn の原子それぞれ  $20 \times 10^{11}$  未満、好適にはそれぞれ  $1 \times 10^{11}$  未満を含む材料を含むのが望ましい。可能な検出方法は、

30

- ・原子吸光分光法 (AAS)
- ・原子発光分光法 (AES)
- ・エネルギー分散型X線分光法 (EDX)
- ・波長分散型X線分光法 (WDX)
- ・スパーク放電発光分光法 (OES)
- ・蛍光法

原子蛍光分光法 (AFS)

X線蛍光分析法 (XRF)

#### 【0088】

200mmの直径を有する基板において、0.2ミクロンの測定感度を有する粒子に関する異種粒子の粒子負荷量は、100粒子未満であり、好適には75粒子未満であり、特に好適には60粒子未満である。

40

#### 【0089】

300mmの直径を有する基板において、0.2ミクロンの測定感度を有する粒子に関する異種粒子の粒子負荷量は、200粒子未満であり、好適には150粒子未満であり、特に好適には115粒子未満である。

#### 【0090】

接合すべき表面の、減じられた、特に最小の粒子負荷量により、予備接合は改善され、これにより本発明により製作される最終製品の電子特性が改善される。

#### 【0091】

50

さらに、接合すべき表面を、室温の通常のクリーンルーム雰囲気中で、少なくとも1つの水の単分子層ならびに空気成分の気体の単分子層によって湿すことができる。この成分を除去するために、1 bar の、好適には0.5 bar 未満の、さらに好適には0.1 mbar 未満の、さらに好適には0.01 mbar 未満の、最も好適には0.001 mbar 未満の真空中で100以上に加熱し、排気された搬送容器または装置内で保管される。

#### 【0092】

本発明による方法のさらなる方法パラメータは、放射の性質である。放射は、非晶質層内で吸収され、これにより相転移を起こさせる。放射源の選択のためには、波長ならびに強度がパラメータとして使用される。大まかに分類して、放射もしくは放射源は、広帯域エミッタとしてまたは単色エミッタとして使用することができる。広帯域エミッタもしくは単色エミッタ、特にレーザーは、1 eV ~ 10 E 8 eV の、好適には1 eV ~ 10 E 6 eV の、さらに好適には1 eV ~ 10 E 4 eV の、最も好適には1 eV ~ 10 eV のエネルギー範囲で放射する。

10

#### 【0093】

放射源の放射出力は、0.01ワット ~ 10000ワットであって、好適には0.1ワット ~ 1000ワットであって、最も好適には1ワット ~ 100ワットである。

#### 【0094】

放射は、例えばミラー、レンズ、プリズムのような光学的なエレメントによって成形／偏向されてよい。放射は、均一な放射分布を有する放射面となるように成形することができ、この場合、面積は、照射すべき基板積層体の適合される、または高い出力および5 m<sup>2</sup> 未満の、好適には3 mm<sup>2</sup> 未満の、特に好適には1 mm<sup>2</sup> 未満の放射横断面を有する線光源および／または点光源によって形成される。

20

#### 【0095】

特に、放射により、200を超える、好適には400を超える、特に好適には600を超える、最適には800を超える、理想的には1200を超える、局所的に限定された温度が、非晶相において相転移のために達成可能である。

#### 【0096】

変形すべき非晶質接合界面の熱的パラメータならびに光学的パラメータに応じて、放射の作用のための調整パラメータは入射時間である。この場合、特に不動の基板積層体では、入射時間は、30秒未満であり、好適には15秒未満であり、特に好適には1秒未満であり、極めて特に好適には100ミリ秒未満である。相転移の効果は、入射時間、および接合界面における非晶相への入射の作用程度に依存するので、時間は積分ファクタとしてみなされる。

30

#### 【0097】

特に放射は、法線状に（すなわち90°の角度で）、すなわち垂直に接合界面へと入射すべきであり、この場合、±5度未満の、好適には±3度未満の、特に好適には±1度未満の入射角度の変動が許容される。より平坦な入射角度の場合は、放射の反射成分がより大きくなるので、ほぼ損失のないエネルギー入力は保証されない。

#### 【0098】

本発明によれば、基板温度ならびに大気のパラメータは、相転移の物理的効果に影響を与える。反応に必要なエネルギーは、伝導温度調整（加熱または冷却）、対流温度調整、および放射温度調整による、一般的な熱作用に分割される。基板の加熱により、結晶におけるならびに非晶相の原子における一般的な熱的な格子変動が高められるので、放射のための付加的な加熱は、反応を加速し、相応に有利である。

40

#### 【0099】

温度調整によって十分な核形成が促進され、欠陥個所は、欠陥を治癒するための時間を得るので、冷却および／または温度調整は、相転移の反応速度のために重要である。換言すると、基板体積と非晶相における加熱個所との間の熱勾配は、周辺環境の温度調整ならびに基板温度調整の付加的な変数を介して良好に制御可能もしくは調整可能である。した

50

がって温度調整の経過を最適に実施することができる。基板積層体内における熱勾配が小さくなるほど、完成製品における応力は減じられる。温度調整の際に、（線状のおよび体積における）熱膨張係数における相違もしくは熱膨張における相違が考慮され、コンピュータに支援された温度経過の調整により、製品が熱的および機械的に低い応力状態を有するように修正される。その都度設定された温度からの温度調整の誤差は、±5度未満、好適には±3度未満、最適な場合±0.1度未満であるのが望ましい。

#### 【0100】

本発明による方法の実質的な利点は、非晶質領域を局所的に加熱することにより、熱膨張も局所的な領域のみに制限されることにある。異なる材料の基板を互いに接続すべき場合に、その熱膨張係数が互いに大きく異なる場合、熱膨張はとりわけ重要である。表1には、典型的な半導体材料と、室温でのその熱膨張係数とが記載されている。

10

#### 【0101】

表1には、半導体産業において典型的に使用される様々な材料についての室温でのおよその熱膨張係数が示されている。記載された熱膨張係数の値は、おおよその目安値であり、それぞれ記載の要因に応じて変動する。挙げられた材料は全て立方晶系に属し、そのためそれらの熱膨張は等方性である。

#### 【0102】

#### 【表1】

Al	Ge	Au	Ag	Cu	InP	InSb	InAs	Si	AlN	GaAs	GaP	GaSb
$\alpha$ in $10^{-6} K^{-1}$												
23.1	5.8	14.2	18.9	16.5	4.75	5.37	4.52	2.6	4.5	5.8	4.5	7.75

20

2つの材料間の熱膨張係数の差は、本発明による方法によりなくすることはできないが、熱膨張を極端に小さい範囲に制限することができる。熱膨張係数が極めて異なる2つの半導体材料を互いに接合する場合、本発明の作用により結晶層に転移される非晶質層のすぐ近くでは熱膨張が生じるが、このような熱膨張は、接合境界面から離れるにつれて急速に減少する。したがって、極めて大きな膨張勾配もしくは応力勾配が生じる。特に好適には、接合境界面に入力されるエネルギーは、非晶質状態から結晶状態への転移の実施にのみ使用され、接合境界面の加熱は特筆するほどは行われない。これにより、温度勾配は最小化され、ひいては熱膨張もしくは応力も最小化される。これは好適にはパルスレーザー作動により行われてよい。

30

#### 【0103】

本発明による実施形態では、相転移による基板中の熱応力を、結晶格子のより高い可動性により減じるために、100超の、好適には200超の、特に好適には300超の基板積層体の温度調整が好適である。したがって、とりわけ壊れやすい基板材料は、熱力学的にゆっくりと行われる方法において、応力なしで結合することができる。

#### 【0104】

本発明による方法は、好適な実施形態では、真空において、1bar未満で、好適には0.1mbar未満で、さらに好適には0.01mbar未満で、さらに好適には0.001mbar未満で実施される。したがって特に、接合境界面を、規定された大気の単一層の気体によって覆うことができ、これにより、異種原子をドーピングとして非晶相に導入することができる。

40

#### 【0105】

別の実施形態では、真空装置によって、流体（気体または液体ならびにその蒸気）の凝集を阻止する、または減速させることができる。したがって、無酸化層を形成することができ、すなわち非晶質化することができる。さらに、基板積層体を、排気の中止なく、接合することができる。さらに、予備接合された基板積層体を、排気の中止なく、熱的に、特に放射により、本発明により後処理することができる。したがって、接合境界面は本発

50

明により少なくとも減じられ、好適には完全になる。

【0106】

真空中での実施の利点は、基板積層体の縁部領域でも、大気の影響を受けずに接合されるので、接合境界面の均質性の改善が得られることにある。

【0107】

本発明によると、放射に対する接合境界面における基板表面の吸収能力は、基板体積の吸収能力よりも大きい。

【0108】

好適には、基板体積は、基板材料の少なくとも大部分の結晶相、特に単結晶相から成る。

10

【0109】

ワークピースにおける放射強度は、反射性、吸収性、および透過性から成るので、反射性と透過性も考慮しなければならない。本発明による方法のためには、基板面および基板積層体面における反射は、放射源の出力強度の4%未満に、好適には3%未満に、特に好適には1%未満に制限するのが重要である。このために、反射防止層および/またはモスアイ構造のような表面加工のための技術的手段を、接合面とは反対側にある基板表面に設けることができる。さらに、放射源と基板表面との間の液体および/または液状膜によって、放射の入射および反射の回避を促進することができる。

【0110】

結晶相の透過性は、放射源の波長に応じて、10%の、好適には5%の、特に好適には3%の、極めて特に好適には1%の変動にさらされる場合がある。これは材料パラメータであり、すなわちその都度の基板材料に対して放射源の適合が行われる。

20

【0111】

方法

以下に、本発明の例示的な方法を説明する。

【0112】

第1の(オプションとしての)方法ステップでは、2つの基板、すなわち第1の基板および第2の基板を清浄化し、かつ/または前処理し、かつ/または少なくとも部分的に自然酸化物層を除去する。

30

【0113】

第2の方法ステップでは、第1の結晶基板、特に単結晶基板に、表面処理により非晶質層を設ける。この場合、CVDのような成長プロセス、または研磨法、特にプラズマ処理またはイオンビーム処理を使用することができる。すなわち非晶質層を設けることができる、または基板の表面により形成することができる。オプションとして、両基板に非晶質層を形成することもできる。

【0114】

第3の(オプションとしての)方法ステップでは、基板を互いに位置合わせする。

【0115】

第4の方法ステップでは、これらの基板を1つの基板積層体となるように接合する。その後、オプションとして、予備接合された基板積層体の位置合わせの制御を行うことができる。

40

【0116】

第5の方法ステップでは、本発明によれば、放射により、非晶質の接合境界面が結晶相へと転移する。したがってこの方法ステップ後、非晶相の量は、50%未満、好適には40%未満、さらに好適には20%未満、極めて好適には10%未満、最も好適には0%である。相応にこの方法ステップ後、結晶相の量は、50%以上、好適には60%以上、さらに好適には80%以上、極めて好適には90%以上、最も好適には100%である。したがって特に、非晶相の結晶相への完全な転移が行われる。結晶相は、この方法ステップ後、格子間原子および/または置換原子、空孔個所、刃状転位、らせん転位等のような結晶欠陥を有していてもよい。

50

## 【0117】

オプションとしての第6の方法ステップでは、完成した基板積層体は、顕微鏡検査のような結像する方法によって、欠陥ならびに不完全な相転移について接合成果が検査される。

## 【0118】

本発明のその他の利点、特徴、詳細は、以下の好適な実施例の説明および図面によっても明らかである。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0119】

【図1a】接合すべき2つの基板を示す概略的な原理図である。

10

【図1b】接合すべき表面の非晶質化後の、接合すべき2つの基板を示す概略的な原理図である。

【図1c】接合すべき2つの基板の位置合わせの概略的な原理図である。

【図1d】接合すべき2つの基板から成る、予備接合により接合された基板積層体を示す概略的な原理図である。

【図1e】基板積層体の非晶質層への放射の本発明による作用を概略的な原理図で示しており、この場合、図面の縮尺は正確ではない。

【図1f】完全に熱処理された基板積層体を示す概略的な原理図である。

【図2】本発明による方法により接合することができる3つの基板の概略的な原理図である。

20

【図3】非晶質シリコンおよび結晶シリコンの計算された吸収スペクトルを示す図である。

【図4】非晶質シリコンおよび結晶シリコンの粒子エネルギーの関数としての屈折率を示すグラフである。

【図5a】非晶質層を含む基板積層体を概略的に示す図である。

【図5b】照射中の基板積層体を概略的に示す図である。

【図5c】結晶構造を含む基板積層体を概略的に示す図である。

## 【0120】

図面では、同じ構成部分または同じ機能を有する構成部分には同じ符号が付与されている。図面は正確な縮尺ではない。

30

## 【0121】

図1aは、接合すべき2つの基板1, 2の、正しい縮尺ではない概略的な原理図を示している。第1の基板1と第2の基板2とは、第1のオプションとしての方法ステップにおいて前処理されている。前処理は、化学的および/または物理的不純物、例えば粒子を基板からクリーニングするステップを含んでいてよい。さらに、存在している酸化物は、特に湿式化学的および/または乾式化学的に、特に基板処理を行う相応の真空装置において除去することができる。図1aには、例としての本発明による方法の第1の方法ステップが示されている。

## 【0122】

見やすさのために、基板ホルダ、真空チャンバ、グリッパ、基板処理装置の前処理装置および後処理装置は、制御装置、エネルギー供給部および媒体供給部も含めて、図示されていない。

40

## 【0123】

図1bは、接合すべき表面の非晶質化後の、基板1, 2の、正しい縮尺ではない概略的な原理図を示している。第1の基板1には、本発明による装置(図示せず)内で、第1の薄い非晶質化層1aを設け、第2の基板2には、本発明による装置(図示せず)内で、第2の薄い非晶質化層2aを設ける。図1bは、例としての方法の第2の方法ステップである。選択的には、両非晶質化層1a, 2aのうちの一方を省くことが考えられる。

## 【0124】

図1cは、接合すべき基板1, 2の位置合わせの、正しい縮尺ではない概略的な原理図

50

を示している。第1の非晶質層1aを備えた第1の基板1は、第2の非晶質層2aを備えた第2の基板2に対して相対的に、非晶質層1a, 2aが、非晶質層1a, 2aの互いに向き合う表面1o, 2oに位置するように、互いに位置合わせされている。これにより位置合わせ装置は、明らかに開示されているが、移動方向矢印Pによってシンボルとしてしか図示されていない。図1cは、例としての本発明による方法の第3の方法ステップである。

#### 【0125】

図1dは、接合すべき2つの基板1, 2から成る、予備接合により接合された基板積層体3を、正しい縮尺ではない概略的な原理図で示している。非晶質層1a, 2aは、予備接合により互いに接合されている。図1dは、第4の方法ステップを示す。

10

#### 【0126】

図1eは、基板1, 2から形成された基板積層体3の非晶質層1aおよび/または2aへの、本発明による放射5の作用を示している。放射源4が放射5を発生させる。矢印は、放射源4と基板積層体3との間の相対運動をシンボル化して示している。特に放射5は、基板積層体3を格子状に走査する。別の実施形態では、閉ループ制御および/または開ループ制御の相対的な移動の移動軌跡が、特に制御コンピュータ(図示せず)内に格納され、規定の処方として変換することができる。このようにして、熱に敏感な区域を有する基板領域の熱負荷を最小にするために最適化された軌道曲線を生成することができる。軌跡のモデル化および/または計算は、FEMのようなシミュレーション、または熱的・機械的結合モデル化に基づき行うことができる。したがって、上述した全てのパラメータは、放射の入射時間、および入射場所、および入射軌道、および入射強度の規定および/または適合のために利用することができる。図1eは、第5の方法ステップを示す。

20

#### 【0127】

図1fは、本発明による熱処理された基板積層体を概略的な原理図で示しており、この場合図面の縮尺は正確ではない。この場合、本発明により実施された第5の方法ステップで、接合境界面全体もしくは非晶相全体が、結晶相に転移されている。したがって、基板積層体は分離不能に永久的に接合されている。

#### 【0128】

図2は、本発明による方法により別の実施形態で接合される3つの基板1, 2, 6の概略的な原理図を示しており、この図は正確な縮尺ではない。第1の基板1ならびに第2の基板2はそれぞれ少なくとも1つの非晶質層1a, 2aを有している。第3の基板6は、その基板材料が放射に対して透過性である必要はなく、2つの非晶質層6aを有している。基板1ならびに2を基板6に接合した後、両側で同時にまたは時間的にずれて生じる本発明による相転移により、2つよりも多い基板から成る基板積層体(図示せず)が形成され得る。好適には、この場合、3つの基板から成る、有利には4つの基板から成る、特に有利には5つ以上の基板から成る基板積層体が開示された方法により製作される。

30

#### 【0129】

以下のグラフの説明は、計算されたデータに基づき、非晶質シリコンおよび結晶シリコンの吸収率および屈折率の挙動を示す。両グラフは、所定の波長範囲で、シリコンと同じ挙動を示す全ての別の材料のための例示的な例と見なされる。

40

#### 【0130】

図3には、非晶質Si(点線8)および結晶Si(実線9)についての、2つの計算された吸収スペクトルが示されている。グラフは、eVである粒子エネルギー、特に光子エネルギーの関数としての吸収率を示している。実線9は、粒子エネルギーに依存した結晶相におけるSiの吸収挙動を示す。点線8は、粒子エネルギーに依存した非晶相におけるSiの吸収挙動を示す。約1.8eV~3.0eVの粒子エネルギー範囲Aでは、非晶相は結晶相よりも0.2~1.8倍高い吸収能力を有していることがわかる。1.8eV~3.0eVの粒子エネルギーを有する粒子は、結晶相によっては殆ど吸収されず、非晶相によって極めて強力に吸収される。

#### 【0131】

50

すなわち開示された方法は、非晶相の吸収が、結晶相の吸収よりも大きい、特に少なくとも1.1倍大きい、好適には2倍大きい、さらに好適には5倍大きい、さらに好適には10倍大きい、最も好適には20倍大きいスペクトルの範囲を利用する。

### 【0132】

図4には、非晶質Si（点線10）および結晶Si（実線11）についての、2つの計算された屈折率グラフ10, 11が示されている。このグラフは、eVである粒子エネルギー、特に光子エネルギーの関数としての屈折率nを示している。約1.8eV~3.0eVの粒子エネルギー範囲Aでは、非晶質Siと結晶Siの屈折率nが極めて近似していることがわかる。すなわち、もっぱら屈折率に基づく全ての物理的プロセスは、この粒子エネルギー範囲Aでは、非晶質シリコンおよび結晶シリコンにおいて極めて類似している。

10

### 【0133】

同様の考察は、非晶相が残留物なしに結晶相に転移され得るならば、非晶質化された相を含む結晶材料混合物にも当てはまる。

### 【0134】

図5aには、相応の非晶質層1a, 2aを有した2つの基板1, 2の基板積層体3が、正確な縮尺ではなく拡大されて示されている。個々の原子a1, a2が示されており、これらの原子から、基板1, 2の結晶相もしくは非晶質層1a, 2aの非晶相が構成されている。基板1, 2の結晶相の原子a1は規則的であり、非晶相の原子a2は規則的ではない。

20

### 【0135】

図5bには、放射5により処理される相応の非晶質層1a, 2aを有した基板1, 2の基板積層体3が、正確な縮尺ではなく拡大されて示されている。放射5は、結晶基板2をほぼ妨げられることなく貫通するが、非晶質層1a, 2aによっては吸収される。放射5が既に当てられた領域では既に結晶化されている。

### 【0136】

図5cには、相応の非晶質層1a, 2aを有さない、ほぼ完全に互いに接合された2つの基板1, 2の基板積層体3が、正確な縮尺ではなく拡大されて示されている。図面の右縁部には転位7が見られる。図示した転位7は、刃状転位である。この転位は、その下端部で、当業者には既知のシンボルによりマークされており、かつ付加的に破線で取り囲まれている。刃状転位7は、その他は完璧な格子間に入り込む付加的な原子の列である。転位7の近傍に生じる格子原子の歪みが示されている。このような欠陥は当業者には公知である。このような欠陥が本発明による方法において生じる可能性があるが、必ずしも生じるわけではないことが明言される。

30

### 【符号の説明】

#### 【0137】

1 第1の基板

1a 第1の基板の第1の非晶質層

1o 第1の層の接合表面

2 第2の基板

2a 第2の基板の第2の非晶質層

2o 第2の層の接合表面

40

3 基板積層体

4 放射の放射源

5 放射

6 第3の基板

6a 第3の基板の非晶質層

7 転位

8, 9 吸収スペクトル

10, 11 屈折率グラフ

a1, a2 原子

50

A 粒子エネルギー範囲

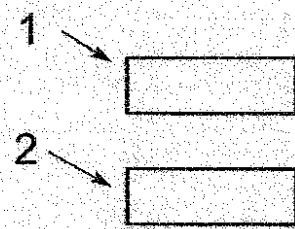
吸収率

n 屈折率

P 移動矢印

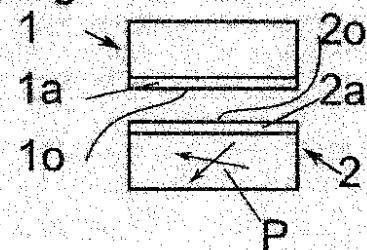
【図 1 a】

Fig. 1a



【図 1 c】

Fig. 1c



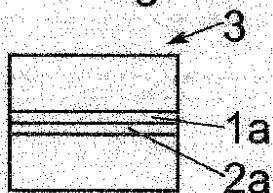
【図 1 b】

Fig. 1b

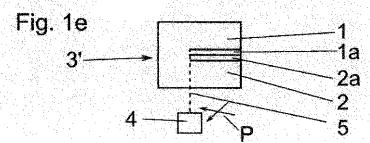


【図 1 d】

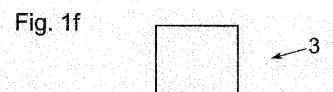
Fig. 1d



【図 1 e】

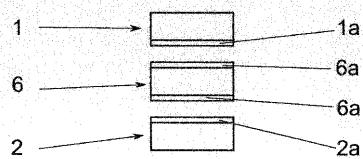


【図 1 f】



【図 2】

Fig. 2



【図 3】

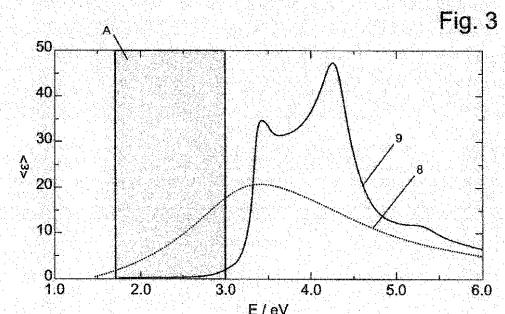


Fig. 3

【図 4】

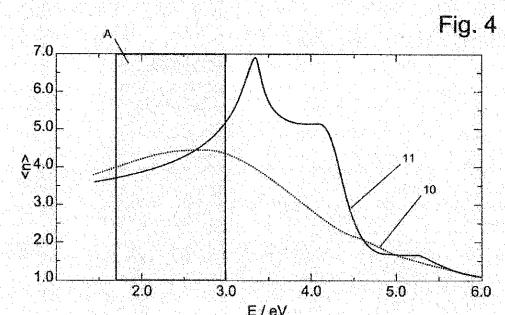


Fig. 4

【図 5 a】

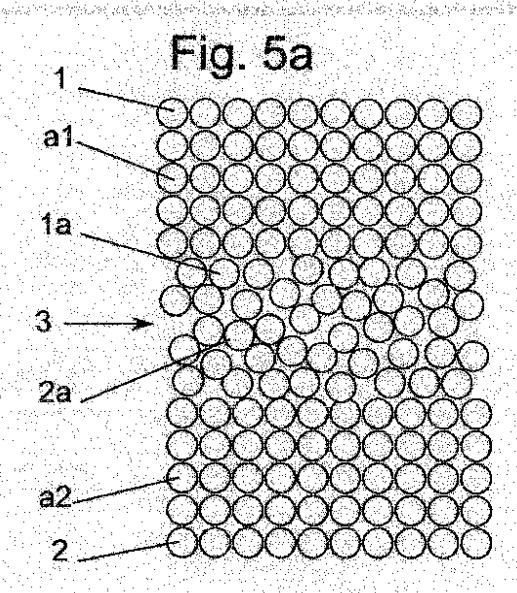


Fig. 5a

【図 5 b】

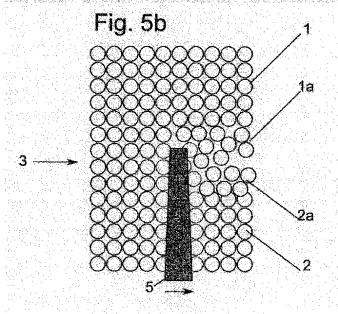
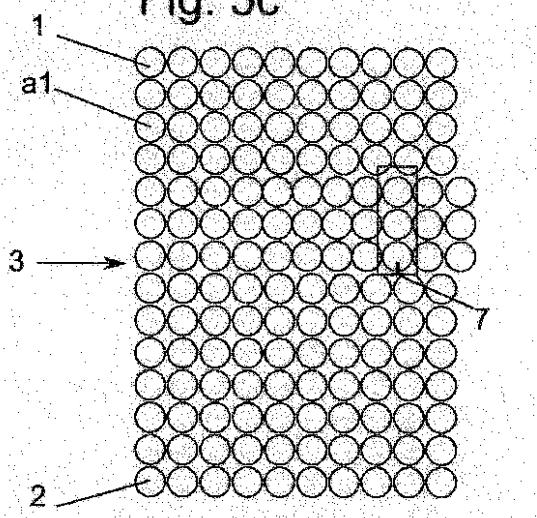


Fig. 5b

【図 5 c】

Fig. 5c



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/053918

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H01L21/20 H01L21/687  
ADD.

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)  
H01L

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2017/025306 A1 (WANG GANG [US] ET AL) 26 January 2017 (2017-01-26) paragraph [0018] - paragraph [0045]; figures 3-5 -----	1-14
X	EP 2 058 080 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]; NAT INST OF ADVANCED IND SCIEN [JP]) 13 May 2009 (2009-05-13) paragraph [0015]; figure 1 paragraph [0024] - paragraph [0032] -----	15, 16
A	US 2006/068563 A1 (WONG WILLIAM [US] ET AL) 30 March 2006 (2006-03-30) paragraph [0021] - paragraph [0043]; figures 1-5E -----	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

Date of mailing of the international search report

9 October 2017

19/10/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hedouin, Mathias

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No  
PCT/EP2017/053918

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 2017025306	A1	26-01-2017	NONE	
EP 2058080	A1	13-05-2009	CA 2660706 A1	13-03-2008
			CA 2782633 A1	13-03-2008
			CN 101500742 A	05-08-2009
			EP 2058080 A1	13-05-2009
			EP 2248625 A1	10-11-2010
			JP 4172806 B2	29-10-2008
			JP 2008062267 A	21-03-2008
			KR 20090086511 A	13-08-2009
			US 2010000663 A1	07-01-2010
			US 2011214816 A1	08-09-2011
			WO 2008029885 A1	13-03-2008
US 2006068563	A1	30-03-2006	NONE	

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP2017/053918
---

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01L21/20 H01L21/687 ADD.
---

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC
---

B. RECHERCHIERTE GEBIETE
--------------------------

Recherchierte Mindestpräzisierung (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01L
--

Recherchierte, aber nicht zum Mindestpräzisierung gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen
--

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
---

EPO-Internal
--------------

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2017/025306 A1 (WANG GANG [US] ET AL) 26. Januar 2017 (2017-01-26) Absatz [0018] - Absatz [0045]; Abbildungen 3-5 ----- X EP 2 058 080 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]; NAT INST OF ADVANCED IND SCIEN [JP]) 13. Mai 2009 (2009-05-13) Absatz [0015]; Abbildung 1 Absatz [0024] - Absatz [0032] ----- A US 2006/068563 A1 (WONG WILLIAM [US] ET AL) 30. März 2006 (2006-03-30) Absatz [0021] - Absatz [0043]; Abbildungen 1-5E -----	1-14 15,16 1-14

<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen	<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie
--	--

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :	* T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
* A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist	* X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindungsreicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
* E* frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist	* V* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindungsreicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
* L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)	* &* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
* O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht	
* P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsatum veröffentlicht worden ist	

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Abschließendatum des internationalen Recherchenberichts
9. Oktober 2017	19/10/2017
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentamt 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel: (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Hedouin, Mathias

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**Angaben zu Veröffentlichungen, die zur **selben** Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/053918

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2017025306 A1	26-01-2017	KEINE	
EP 2058080 A1	13-05-2009	CA 2660706 A1 CA 2782633 A1 CN 101500742 A EP 2058080 A1 EP 2248625 A1 JP 4172806 B2 JP 2008062267 A KR 20090086511 A US 2010000663 A1 US 2011214816 A1 WO 2008029885 A1	13-03-2008 13-03-2008 05-08-2009 13-05-2009 10-11-2010 29-10-2008 21-03-2008 13-08-2009 07-01-2010 08-09-2011 13-03-2008
US 2006068563 A1	30-03-2006	KEINE	

---

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(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,R0,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ

(74)代理人 100162880

弁理士 上島 類

(72)発明者 クアト ヒングアル

オーストリア国 ヴォルファン レアヒエンリング 11

(72)発明者 ペーター ニコラス オーバーフーマー

オーストリア国 ガスポルツホーフェン オーバーベアクハム 2

(72)発明者 ギュンター ヘッサー

オーストリア国 リンツ プルーナーシュトラーセ 14

F ターム(参考) 5F152 CC07 CC08 CE09 CE12 FF01