

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6465633号  
(P6465633)

(45) 発行日 平成31年2月6日 (2019.2.6)

(24) 登録日 平成31年1月18日 (2019.1.18)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/02 (2006.01)

H O 1 L 21/02 B

B 2 3 K 26/146 (2014.01)

B 2 3 K 26/146

B 2 3 K 26/38 (2014.01)

B 2 3 K 26/38 Z

請求項の数 26 外国語出願 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2014-244552 (P2014-244552)  
 (22) 出願日 平成26年12月3日 (2014.12.3)  
 (65) 公開番号 特開2015-122490 (P2015-122490A)  
 (43) 公開日 平成27年7月2日 (2015.7.2)  
 審査請求日 平成29年12月1日 (2017.12.1)  
 (31) 優先権主張番号 14/105,566  
 (32) 優先日 平成25年12月13日 (2013.12.13)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 592010081  
 ラム リサーチ コーポレーション  
 LAM RESEARCH CORPOR  
 ATION  
 アメリカ合衆国、カリフォルニア 945  
 38, フレモント, クッシング パークウ  
 ェイ 4650  
 (74) 代理人 110000028  
 特許業務法人明成国際特許事務所  
 (72) 発明者 ジョン・エフ・スタンプ  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州945  
 38 フレモント, クッシング・パークウ  
 ェイ, 4650, ラム リサーチ コーポ  
 レーション内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体積層構造を形成するための方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体積層構造の部分構成要素の間に直接融合ボンドを形成するための方法であって、  
 複数の半導体ウエハの各々の上に1または複数の直接ボンディング面を生成する工程と

、  
 前記複数の半導体ウエハの少なくとも1つから第1の部分構成要素および第2の部分構成要素を切断する工程であって、前記第1の部分構成要素は、前記1または複数の直接ボンディング面のうちの第1の直接ボンディング面を備え、前記第2の部分構成要素は、前記1または複数の直接ボンディング面のうちの第2の直接ボンディング面を備える、工程と、

前記第1の部分構成要素の前記第1の直接ボンディング面および前記第2の部分構成要素の前記第2の直接ボンディング面を乾燥させる工程と、

前記第1の部分構成要素を組み立てブロックで拘束する工程と、

前記第1の部分構成要素の前記第1の直接ボンディング面と接触するように前記第2の部分構成要素の前記第2の直接ボンディング面を配置して、初期接触領域を規定する工程であって、前記第2の部分構成要素の前記第2の直接ボンディング面と前記第1の部分構成要素の前記第1の直接ボンディング面との間に接近角が形成される、工程と、

前記第2の部分構成要素の前記第2の直接ボンディング面と前記第1の部分構成要素の前記第1の直接ボンディング面との間の前記接近角を閉じて、半導体積層構造の直接融合ボンドを形成する工程であって、前記直接融合ボンドは、前記初期接触領域よりも広い、

工程と、  
を備える、方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 の部分構成要素は、前記第 2 の部分構成要素と隣接し、第 3 の部分構成要素が、前記第 1 の部分構成要素および前記第 2 の部分構成要素とボンディングされる、方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 の部分構成要素の第 1 の表面が、前記第 2 の部分構成要素の第 2 の表面の第 1 の部分にボンディングされ、前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の表面の第 2 の部分はボンディングされない、方法。

10

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法であって、前記複数の半導体ウエハの各々は、シリコン、ガリウムヒ素、サファイア、炭化シリコン、または、それらの組み合わせを含む、方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の方法であって、前記複数の半導体ウエハの各々は、単結晶シリコンを含む、方法。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面は親水性である、方法。

【請求項 7】

20

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面は疎水性である、方法。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、  
前記複数の半導体ウエハの前記少なくとも 1 つを層流水ジェットで冷却する工程と、  
前記層流水ジェットを通して前記複数の半導体ウエハの前記少なくとも 1 つに向かってレーザビームを伝搬させる工程と、  
を備え、

前記レーザビームは、前記複数の半導体ウエハの前記少なくとも 1 つを前記第 1 の部分構成要素および前記第 2 の部分構成要素に切断する、方法。

30

【請求項 9】

請求項 8 に記載の方法であって、さらに、前記第 1 の部分構成要素を酸化する工程を備える、方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法であって、前記層流水ジェットは、酸化剤を含む、方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の方法であって、前記酸化剤は、過酸化水素、酸素飽和脱イオン水、オゾン化脱イオン水、または、それらの組み合わせを含む、方法。

【請求項 12】

請求項 9 に記載の方法であって、さらに、前記第 1 の部分構成要素を化学エッチングする工程を備える、方法。

40

【請求項 13】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、  
前記複数の半導体ウエハの各々を固定具上に配置する工程と、  
前記複数の半導体ウエハの各々を前記固定具上で 1 または複数の部分構成要素に切断する工程と、  
を備える、方法。

【請求項 14】

請求項 13 に記載の方法であって、さらに、前記複数の半導体ウエハの各々を前記固定具と係合した 1 または複数の選択的に平行移動可能なピン上に配置する工程を備える、方

50

法。

【請求項 1 5】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、

前記第 1 の部分構成要素を切断ステーションから組み立てステーションに移送する工程と、

前記切断ステーションと前記組み立てステーションとの間に配置された 1 または複数のイソプロピルアルコール蒸気ノズルによって生成されたイソプロピルアルコール蒸気で前記第 1 の部分構成要素を乾燥させる工程と、  
を備える、方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、複数の組み立てブロックを備えた組み立てテーブルで前記第 1 の部分構成要素を拘束する工程を備え、

前記組み立てテーブルは、前記第 1 の部分構成要素を第 1 の方向で拘束し、前記組み立てブロックの少なくとも 1 つは、前記第 1 の部分構成要素を第 2 の方向で拘束する、方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 の方法であって、前記組み立てテーブルは傾斜可能である、方法。

【請求項 1 8】

請求項 1 7 に記載の方法であって、さらに、前記組み立てテーブルが実質的に反転される際に、前記第 1 の部分構成要素を係合部材で前記組み立てテーブルの半導体接触面に拘束する工程を備える、方法。

【請求項 1 9】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、

第 1 のロボットアームの少なくとも 1 つの顎部材の 2 以上の強化水平力グリップ先端で前記第 1 の部分構成要素を把持する工程と、

前記第 1 の部分構成要素を組み立てテーブルに接触させて配置する工程と、

前記第 1 のロボットアームの少なくとも 1 つの顎部材の 2 以上の強化水平力グリップ先端で前記第 2 の部分構成要素を把持する工程と、

前記第 1 の部分構成要素および前記第 2 の部分構成要素の各々の初期接触端で前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面と初期接触するように前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面を配置する工程と、  
を備える、方法。

【請求項 2 0】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、

前記第 2 の部分構成要素の外面を第 2 のロボットアームのプッシャ部材と接触させる工程と、

前記第 2 のロボットアームの前記プッシャ部材を前記第 2 の部分構成要素の前記外面にわたって前記第 2 の部分構成要素の接触端から前記第 2 の部分構成要素の非接触端まで摺動させることにより、前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面を前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面上に付勢する工程と、  
を備える、方法。

【請求項 2 1】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、前記半導体積層構造をアニーリングする工程を備える、方法。

【請求項 2 2】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 の部分構成要素は、円弧形、長方形、正方形、または、円形を含む、方法。

【請求項 2 3】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、前記半導体積層構造の所定のパターンを提供する工程を備え、

10

20

30

40

50

前記所定のパターンは、半導体シャワーヘッド電極、ガスマニホールド、または、マスフローコントローラを含む、方法。

【請求項 2 4】

請求項 1 に記載の方法であって、前記複数の半導体ウエハの前記少なくとも 1 つは直径を有し、前記半導体積層構造は、前記複数の半導体ウエハの前記少なくとも 1 つの前記直径より大きい少なくとも 1 つの寸法を有する、方法。

【請求項 2 5】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面および前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面は、イソプロピルアルコール蒸気で乾燥される、方法。

10

【請求項 2 6】

半導体積層構造を製造するためのシステムであって、クリーンルームと、切断ステーションと、組み立てステーションと、第 1 のロボットアームと、第 2 のロボットアームと、を備え、

前記切断ステーションおよび前記組み立てステーションは各々、前記クリーンルーム内に収容され、

前記切断ステーションは、固定具の上方に取り付けられた水導波路レーザを備え、

前記組み立てステーションは、組み立てテーブルと、前記組み立てテーブル上に配置された 1 または複数の組み立てブロックと、を備え、

前記第 1 のロボットアームは、前記切断ステーションと前記組み立てステーションとの間に配置され、

20

前記固定具は、半導体ウエハが前記水導波路レーザのレーザビームによって第 1 の部分構成要素および第 2 の部分構成要素に切断される時に、前記半導体ウエハを保持するよう構成され、

前記第 1 のロボットアームは、前記第 1 の部分構成要素を把持して、前記第 1 の部分構成要素を前記組み立てステーションの前記組み立てテーブルと係合させるよう構成され、

前記第 1 のロボットアームは、前記第 1 の部分構成要素の第 1 の直接ボンディング面を前記第 2 の部分構成要素の第 2 の直接ボンディング面と各部分構成要素の初期接触端で接触するように配置して、初期接触領域と、前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面および前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面の間の接近角とを形成するよう構成され、

30

前記第 2 のロボットアームは、前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面および前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面の間の前記接近角を閉じて、半導体積層構造の直接融合ボンドを形成するよう構成されている、システム。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0 0 0 1】

本明細書は、一般に、1 または複数の半導体ウエハの複数の部分構成要素から様々な半導体積層構造を形成する方法およびシステムに関する。半導体構造は、半導体インゴットから製造されうる。半導体インゴットは、円盤状に切り取られた後に、半導体基板に機械加工されうる。このように製造される半導体基板は、半導体インゴットのサイズによって制限される場合があり、製造費が高くなりうる。

40

【0 0 0 2】

したがって、半導体インゴットの機械加工に依存することなしに半導体部品を製造する代替方法およびシステムが求められている。

【発明の概要】

【0 0 0 3】

一実施形態において、半導体積層構造の部分構成要素の間に直接融合ボンドを形成するための方法が、複数の半導体ウエハの各々の上に 1 または複数の直接ボンディング面を生成する工程を備えうる。第 1 の部分構成要素および第 2 の部分構成要素が、複数の半導体

50

ウエハの少なくとも１つから切断されうる。第１の部分構成要素は、１または複数の直接ボンディング面のうちの第１の直接ボンディング面を備えうる。第２の部分構成要素は、１または複数の直接ボンディング面のうちの第２の直接ボンディング面を備えうる。第１の部分構成要素の第１の直接ボンディング面および第２の部分構成要素の第２の直接ボンディング面が乾燥されうる。第１の部分構成要素は、組み立てブロックで拘束されうる。第２の部分構成要素の第２の直接ボンディング面は、第１の部分構成要素の第１の直接ボンディング面と接触するように配置され、初期接触領域を規定しうる。接近角が、第２の部分構成要素の第２の直接ボンディング面および第１の部分構成要素の第１の直接ボンディング面の間に形成されうる。第２の部分構成要素の第２の直接ボンディング面および第１の部分構成要素の第１の直接ボンディング面の間の接近角は、半導体積層構造の直接融合ボンドを形成するために閉じられうる。直接融合ボンドは、初期接触領域よりも大きくなりうる。

10

#### 【 0 0 0 4 】

別の実施形態において、半導体積層構造を製造するためのシステムが、クリーンルームと、切断ステーションと、組み立てステーションと、第１のロボットアームと、第２のロボットアームと、を備えうる。切断ステーションおよび組み立てステーションは各々、クリーンルーム内に収容されうる。切断ステーションは、固定具の上方に取り付けられた水導波路レーザを備えうる。組み立てステーションは、組み立てテーブルと、組み立てテーブル上に配置された１または複数の組み立てブロックと、を備えうる。第１のロボットアームは、切断ステーションと組み立てステーションとの間に配置されうる。水導波路レーザの固定具は、半導体ウエハが水導波路レーザのレーザビームによって第１の部分構成要素および第２の部分構成要素に切断される時に、半導体ウエハを保持するよう構成されうる。第１のロボットアームは、第１の部分構成要素を把持して、第１の部分構成要素を組み立てステーションの組み立てテーブルと係合させるよう構成されうる。第１のロボットアームは、第１の部分構成要素の第１の直接ボンディング面を第２の部分構成要素の第２の直接ボンディング面と各部分構成要素の初期接触端で接触するように配置して、初期接触領域と、第１の部分構成要素の第１の直接ボンディング面および第２の部分構成要素の第２の直接ボンディング面の間の接近角とを形成するよう構成されうる。第２のロボットアームは、第１の部分構成要素の第１の直接ボンディング面および第２の部分構成要素の第２の直接ボンディング面の間の接近角を閉じて、半導体積層構造の直接融合ボンドを形成するよう構成されうる。

20

30

#### 【 0 0 0 5 】

図面を参照して行う以下の詳細な説明から、本明細書に記載のこれらの特徴およびさらなる特徴がさらに完全に理解される。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【 0 0 0 6 】

図面に記載の実施形態は、本質的に説明および例示のためのものであり、特許請求の範囲に規定されている主題を限定するものではない実施形態の以下の詳細な説明は、以下の図面を参照しながら読めば理解でき、図面においては、同様の構造に同様の符号が付されている：

40

#### 【 0 0 0 7 】

【図１】本明細書に図示および記載された１または複数の実施形態に従って、半導体ウエハを示す概略図。

#### 【 0 0 0 8 】

【図２】本明細書に図示および記載された１または複数の実施形態に従って、半導体ウエハ、複数の部分構成要素、および、半導体積層構造を示す概略図。

#### 【 0 0 0 9 】

【図３】本明細書に図示および記載された１または複数の実施形態に従って、半導体積層構造製造システムを示す概略図。

#### 【 0 0 1 0 】

50

【図 4】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、切断ステーションを示す概略図。

【0011】

【図 5 A】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、水導波路レーザを示す概略図。

【0012】

【図 5 B】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、水導波路レーザの層流水ジェットの一部を示す概略図。

【0013】

【図 6】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、水導波路レーザが半導体ウエハを切断する様子を示す概略図。

10

【0014】

【図 7 A】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、組み立てテーブルを示す概略図。

【0015】

【図 7 B】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、2 つの部分構成要素の組み立てを示す概略図。

【0016】

【図 7 C】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、傾けられた組み立てテーブルを示す概略図。

20

【0017】

【図 8】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、アニーリングオープンを示す概略図。

【0018】

【図 9 A】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、部分構成要素と係合されたエンドエフェクタの顎を示す概略図。

【0019】

【図 9 B】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、部分構成要素と係合されたエンドエフェクタの顎の側面を示す概略図。

【0020】

30

【図 10】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、レーザ切断部と共に半導体ウエハの部分構成要素を示す概略図。

【0021】

【図 11 A】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、半導体積層構造の上面を示す概略図。

【0022】

【図 11 B】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、図 11 A に示した半導体積層構造の一部を示す概略図。

【0023】

【図 11 C】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、図 11 A に示した半導体積層構造の一部を示す概略図。

40

【0024】

【図 12】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、傾斜した縁部を有する階段構造に構成された部分構成要素を備えた半導体積層構造を示す概略図。

【0025】

【図 13 A】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、半導体シャワーヘッド電極を示す概略図。

【0026】

【図 13 B】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、ガス流路を備えた半導体積層構造を示す概略図。

50

## 【 0 0 2 7 】

【図 1 4】本明細書に図示および記載された 1 または複数の実施形態に従って、ガス通路を備えた半導体積層構造を示す概略図。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 2 8 】

上述のように、本開示は、直接ボンディングされた半導体積層構造など（これに限定されない）、半導体積層構造および半導体積層構造製造方法に関する。

## 【 0 0 2 9 】

ここで、図 1 によると、半導体ウエハ 1 0 が図示されている。半導体ウエハ 1 0 は、半導体材料の円柱形の薄片でありうる。適切な半導体材料は、シリコン、ガリウムヒ素、サファイア、炭化シリコン、もしくは、任意の他の III - V 族または II - VI 族化合物材料を含むが、これらに限定されない。さらに、出願人は、本明細書に記載の実施形態を単結晶シリコンと共に用いると特に有益でありうることを発見した。半導体ウエハ 1 0 は、例えば、集積回路などのマイクロデバイスの製造に利用できる。さらに、半導体ウエハ 1 0 は、本明細書に開示された製造システム 2 0 0 に従って、半導体積層構造 1 0 0 を製造するために利用できる。

## 【 0 0 3 0 】

様々な直径 D の半導体ウエハ 1 0 が利用可能である。半導体ウエハ 1 0 は、約 2 5 mm から約 4 5 0 mm の範囲の標準的なサイズで形成されうる。本製造システム 2 0 0 では、約 0 . 2 7 5 mm から約 0 . 9 2 5 mm の範囲の様々な厚さ T を有する半導体ウエハ 1 0 を提供することができる。薄い半導体ウエハ 1 0 は厚い半導体ウエハ 1 0 よりも速く切断できるので、厚さ T が薄いと、製造時間を短縮できることに注意されたい。さらに、比較的小さい直径 D を有する半導体ウエハ 1 0 は、本開示の様々な処理中に半導体ウエハ 1 0 にクラックまたは破損を生じさせるリスクを増大させることなしに比較的薄くすることができる。本明細書に記載のマシンおよびステーションは、様々なサイズの半導体ウエハ 1 0 を処理するように準備することができる。

## 【 0 0 3 1 】

図 1 および図 2 を同時に参照すると、1 または複数の半導体ウエハ 1 0 が、図 2 に示すように、部分構成要素 1 1 に切断され、半導体ウエハ 1 0 よりも大きい半導体積層構造 1 0 0 に組み立てられうる。例えば、半導体ウエハ 1 0 の直径 D を超える寸法を有する半導体積層構造 1 0 0 を、半導体ウエハ 1 0 から形成することができる。例えば、一実施形態において、3 0 0 mm の直径を有する半導体ウエハ 1 0 を唯一の投入材料として用いて、約 4 5 0 mm 以上の直径を有する半導体積層構造 1 0 0 を作ることができる。半導体ウエハ 1 0 は、部分構成要素 1 1 に切断されうる。半導体ウエハ 1 0 の部分構成要素 1 1 は、直接ボンディングで組み立てることができる。いくつかの実施形態において、半導体ウエハ 1 0 は、直接融合ボンディングを容易にするのに十分に平坦で滑らかな直接ボンディング面 1 8 を備える。別の実施形態において、半導体ウエハ 1 0 は、直接ボンディング面 1 8 を生成するために、洗浄またはその他の表面改質を施されうる。直接ボンディング面 1 8 は、親水性または疎水性であってよい。親水性の直接ボンディング面 1 8 は、水滴と直接ボンディング面 1 8 との間の小さい接触角（例えば、5 ° 以下など）によって特徴付けることができる。疎水性の直接ボンディング面 1 8 は、水滴と直接ボンディング面 1 8 との間の大きい接触角（例えば、9 0 ° 以上など）によって特徴付けることができる。十分に滑らかで原子的に清浄な 2 つの直接ボンディング面 1 8 が、接触するように配置されると、その間に直接融合ボンドを形成しうる。直接ボンディング面 1 8 は、5 0 オングストローム以下の表面粗さ R a、例えば、2 5 オングストローム以下の表面粗さ R a、または、例えば、約 1 ~ 5 オングストロームの表面粗さ R a、を有しうる。直接融合ボンドは、ファンデルワールス力、水素結合、および、共有結合を含む分子間相互作用によって形成されうる。

## 【 0 0 3 2 】

したがって、部分構成要素 1 1 は、部分構成要素 1 1 から形成された複数の層を有する

10

20

30

40

50

半導体積層構造 100 を形成するための構成要素として利用できる。本明細書に記載の半導体積層構造 100 は、複数の部分構成要素 11 から組み立て可能な任意の所定の立体形状 (volumetric shape) に形成することができる。例えば、所定の立体形状は、最初に規定された後に、1 または複数の半導体ウエハ 10 から切断できる複数の規定された形状に分解されてよい。半導体積層構造 100 は、わずか 2 層の部分構成要素 11 で形成されてもよいし、100 層以上もの部分構成要素 11 で形成されてもよい。結果として、半導体積層構造 100 は、準備された半導体ウエハ 10 よりも大きい寸法を有しうる。したがって、半導体積層構造 100 は、例えば、半導体処理チャンバ用の電極、ガスマニホールド、マスフローコントローラ、または、半導体処理チャンバ用の任意の他の消耗部品など、様々な物に形成することができる。

10

#### 【0033】

ここで、図 3 を参照すると、本製造システム 200 は、半導体ウエハ 10 から半導体積層構造 100 を製造するために複数のステーション内に構成された複数の機械および装置を備えてよい。いくつかの実施形態において、製造システム 200 は、クリーンルーム環境内に配置されうる。製造システム 200 は、半導体ウエハ 10 を導入するための半導体ウエハハンドリングステーション 110 と、半導体ウエハ 10 の直接ボンディング面を洗浄および活性化するための洗浄ステーション 114 と、半導体ウエハ 10 を部分構成要素 11 に切断するための切断ステーション 38 と、部分構成要素 11 を半導体積層構造 100 に組み立てるための組み立てステーション 84 と、半導体積層構造ハンドリングステーション 118 とを備えてよい。いくつかの実施形態において、製造システム 200 は、半導体積層構造 100 をアニーリングするためのアニーリングステーション 116 をさらに備えてもよい。

20

#### 【0034】

いくつかの実施形態において、製造システム 200 は、半導体ウエハ 10、部分構成要素 11、半導体積層構造 100、または、それらの組み合わせを操作するよう構成された 1 または複数のロボットアーム 98 を備えてよい。ロボットアーム 98 は、1 または複数の軸に沿って関節を有しうる。任意選択的に、1 または複数のロボットアーム 98 は、クリーンルームで使用するよう構成されてもよい。したがって、1 または複数のロボットアーム 98 は、例えば、Staubli 社の 6 軸ロボットなどのロボットシステムを備えてよい。特定のロボットシステムを参照しているが、本明細書に記載の実施形態は、実質的な人間の介入なしに自動的に半導体積層構造 100 の製造を可能にする任意のロボットを備えうる。本明細書で詳細に説明するように、1 または複数のロボットアーム 98 は、製造システム 200 にわたって、半導体ウエハ 10、部分構成要素 11、および、半導体積層構造 100 を移送するよう動作可能でありうる。さらに、1 または複数のロボットアーム 98 は、部分構成要素 11 を半導体積層構造 100 に組み立てるよう動作可能でありうる。

30

#### 【0035】

いくつかの実施形態において、半導体ウエハ 10 が、部分構成要素 11 に切断された後、1 または複数のロボットアーム 98 は、製造システム 200 にわたって、部分構成要素 11 を移送するよう構成されてよい。具体的には、1 または複数のロボットアーム 98 は、切断ステーション 38 から組み立てステーション 84 に部分構成要素 11 を移送するために、切断ステーション 38 および組み立てステーション 84 に配置されてもよい、ならびに / もしくは、それらの間に配置されてもよい。さらに、ロボットアーム 98 は、組み立てステーション 84 で部分構成要素 11 を半導体積層構造に組み立てることができる。

40

#### 【0036】

さらに図 3 を参照すると、製造システムは、ちり、ほこり、または、その他の粒子などの汚染物質を半導体ウエハ 10 から除去するための洗浄ステーション 114 を備えてよい。これらの汚染物質は、部分構成要素 11 の直接融合ボンディングを阻害しうる。洗浄ステーション 114 は、半導体ウエハ 10 の損傷も悪化も引き起こすことなしに、半導体ウエハ 10 を洗浄するための洗浄処理を備えうる。いくつかの実施形態において、半導体ウ

50



エハ１０のための洗浄処理環境は、例えば、ＩＳＯクラス２基準およびＩＳＯクラス４基準など、ＩＳＯ１４６４４－１クリーンルーム基準を満たしうる。いくつかの実施形態において、半導体ウエハ１０は、例えば、クラス１基準およびクラス１０基準など、ＦＥＤＳＴＤ ２０９Ｅクリーンルーム基準を満たす環境内で洗浄されうる。洗浄されると、半導体ウエハ１０は、１または複数の直接ボンディング面１８を含みうる。

#### 【００３７】

洗浄ステーション１１４は、粒子を除去して、半導体ウエハ１０の直接ボンディング面１８を活性化することで、直接融合ボンディングに向けて直接ボンディング面１８を準備する洗浄装置５０を備えてよい。いくつかの実施形態において、洗浄ステーション１１４は、半導体ウエハ洗浄方法および装置を用いる。いくつかの実施形態において、半導体ウエハ１０は、弱酸で洗浄されうる。さらに、複数の半導体ウエハ１０が、同時にバッチ洗浄されてもよい。

#### 【００３８】

図３および図４を同時に参照すると、製造システム２００は、切断ステーション３８を備えうる。いくつかの実施形態において、切断ステーション３８は、クリーンルーム内に配置されうる。切断ステーション３８は、提供された半導体ウエハ１０を部分構成要素１１に切断するよう構成されてよい。切断ステーション３８で作成される部分構成要素１１は、半導体ウエハ１０内に含まれうる任意の所定のサイズまたは形状であってよい。さらに、出願人は、切断ステーション３８が、半導体ウエハ１０および部分構成要素１１の直接融合ボンディング面１８を全く破壊することなしに、半導体ウエハ１０を部分構成要素１１に切断できることを発見した。切断ステーション３８は、半導体ウエハ１０を切断する水導波路レーザ４０と、切断中に半導体ウエハ１０を保持する固定具４４とを備えてよい。

#### 【００３９】

いくつかの実施形態において、切断ステーション３８は、半導体ウエハ１０を部分構成要素１１に切断するための水導波路レーザ４０を備える。水導波路レーザ４０は、レーザビーム４２の光波を半導体ウエハ１０に伝搬させる導波路として動作しうる層流水ジェット７２を備えてよい。層流水ジェット７２は、レーザビーム４２が切断を実行する時に、切断の位置で半導体ウエハ１０の材料を冷却することもできる。さらに、水導波路レーザ４０の層流水ジェット７２は、切断時に部分構成要素１１を酸化するための酸化剤を水に含んでもよい。適切な酸化剤は、過酸化水素、酸素飽和脱イオン水、オゾン化脱イオン水、フッ素、塩素、硝酸、または、半導体材料の酸化に適切な任意の他の酸化剤を含む。これは、切断処理中に部分構成要素１１の表面および縁部にできた欠陥の一部または全部を除去できるエッチング工程に向けて、部分構成要素１１を準備しうる。例えば、半導体材料がシリコンを含む場合、欠陥は、二酸化シリコンを含みうる。

#### 【００４０】

ここで、図５Ａおよび図５Ｂを参照すると、水導波路レーザ４０の一実施形態が概略的に示されている。水導波路レーザ４０は、レーザビーム４２を水チャンバ７０の上面に配置された窓６８に集束させるよう構成された集束レンズ６６を備えてよい。いくつかの実施形態において、水チャンバ７０は、加圧されてよい。レーザビーム４２は、水チャンバ７０を通して、水チャンバ７０の底面に位置する層流水ノズル７４に集束されうる。層流水ノズル７４は、様々な圧力（例えば、低い圧力）で層流水ジェット７２を放出できる。層流水ノズル７４の形状は、レーザビーム４２が層流水ジェット７２と組み合わせるよう構成されうる。

#### 【００４１】

ここで、図６を参照すると、層流水ジェット７２は、レーザビーム４２のための導波路として機能しうる。層流水ジェット７２と空気との間の遷移帯でレーザビーム４２が全反射するため、導波路が形成されうる。この水の導波路は、光ファイバ導波路と同様に機能しうる。動作時に、レーザビーム４２および層流水ジェット７２は、半導体ウエハ１０の実質的に同じ位置に当たりうる。レーザビーム４２は、層流水ジェット７２の直径と実質

10

20

30

40

50

的に同じ切削幅 7 6 を半導体基板 1 0 に切り込むことができる。いくつかの実施形態において、層流水ジェット 7 2 は、切断端 7 8 上および半導体ウエハ 1 0 の表面上の半導体ウエハ 1 0 の材料を冷却できる。レーザビーム 4 2 は、熔融材料 8 0 の一部として表されている熱損傷を緩和するように切断端 7 8 に沿って冷却を強化するために、パルス化されて、層流水ジェット 7 2 のみが半導体基板 1 0 に当たる間隔を作ってもよい。さらに、出願人は、本明細書に記載の様々な実施形態で用いる際に、部分構成要素 1 1 (図 2) の直接ボンディング面を傷つけないように水導波路レーザ 4 0 のレーザビーム 4 2 を構成できることを発見した。いくつかの実施形態において、水導波路レーザ 4 0 は、垂直および/または水平に移動できる。いくつかの実施形態において、水導波路レーザ 4 0 は、複数軸運動 (例えば、6 軸運動など) が可能であってもよい。水導波路レーザ 4 0 の代表的な一実施形態は、Laser Microjet (登録商標) による Synova レーザダイシングシステムである。水導波路レーザ 4 0 の別の構成および実施形態も想定される。

10

#### 【0042】

再び図 4 を参照すると、切断ステーション 3 8 は、さらに、固定具 4 4 およびステージ 6 4 を備えてよい。水導波路レーザ 4 0 が半導体ウエハ 1 0 を部分構成要素 1 1 (図 2) に切断する間に、半導体ウエハ 1 0 を損傷することなしに支持するよう構成されうる固定具 4 4 上に、半導体ウエハ 1 0 を配置できる。さらに図 4 を参照すると、固定具 4 4 は、固定具 4 4 を支持しうるステージ 6 4 に結合されうる。ステージ 6 4 は、固定されてもよいし、1 または複数の軸に沿った運動 (例えば、6 軸運動など) を提供してもよい。いくつかの実施形態において、ステージ 6 4 は、固定具 4 4 と直接係合されてよい。さらに、固定具 4 4 は、固定具 4 4 の内外に平行移動するピン 4 6 を備えてよい。本製造システムにおいて、半導体ウエハ 1 0 は、切断ステーション 3 8 に搬送されて、半導体ウエハ 1 0 との接触表面積を最小にしうるピン 4 6 上に配置されてよい。

20

#### 【0043】

いくつかの実施形態において、ピン 4 6 は、固定具 4 4 の穴の内部に収容されうる。いくつかの実施形態において、ピン 4 6 は、固定具 4 4 の 1 または複数の切断領域に配置されてもよいし、固定具 4 4 の表面全体に分散していてもよい。あるいは、ピン 4 6 は、固定具 4 4 の周囲に配置されてもよい。ピン 4 6 は、各ピン 4 6 が他のすべてのピン 4 6 から独立して動作できるように、選択的に平行移動可能であってもよい。半導体ウエハ 1 0 が部分構成要素 1 1 (図 2) に切断された後、半導体ウエハ 1 0 の不要部分と接触するピン 4 6 が、固定具 4 4 内に下降して、半導体ウエハ 1 0 の不要部分を部分構成要素 1 1 から離れるように下げる。その結果、ロボットアーム 9 8 は、部分構成要素 1 1 を把持して切断ステーション 2 8 から移すための空間を提供されうる。

30

#### 【0044】

図 2 および図 4 を同時に参照すると、いくつかの実施形態において、切断ステーション 3 8 は、ウェットステーションであってもよい。それに応じて、切断ステーション 3 8 は、半導体ウエハ 1 0 が切断ステーション 3 8 に移送されている時に半導体ウエハ 1 0 上に水を噴霧するよう構成された噴霧ノズル 5 2 を備えてよい。噴霧ノズル 5 2 は、さらに、半導体ウエハ 1 0 が水導波路レーザ 4 0 で部分構成要素 1 1 に切断されている時に半導体ウエハ 1 0 上に水を噴霧するよう構成されてよい。切断ステーション 3 8 は、さらに、水導波路レーザ 4 0 および/または噴霧ノズル 5 2 によって生じた水を集めることができる排水槽 5 7 を備えてよい。いくつかの実施形態において、水 5 6 は、噴霧ノズル 5 2 および水導波路レーザ 4 0 に再循環されうる。

40

#### 【0045】

図 2 ~ 図 4 を同時に参照すると、部分構成要素 1 1 は、半導体積層構造 1 0 0 に組み立てられる前に乾燥されうる。乾燥処理は、部分構成要素 1 1 に汚染物質を導入することなしに、水を除去しうる。したがって、製造システム 2 0 0 は、イソプロピルアルコール蒸気、スピン乾燥、真空焼成、超純粋窒素ガス、または、汚染物質を導入することなしに部分構成要素 1 1 を乾燥させるよう構成された任意のその他の乾燥処理を用いる。イソプロピルアルコール蒸気を用いる実施形態において、イソプロピルアルコール蒸気は、窒素

50

およびイソプロピルアルコールを含んでよい。乾燥は、切断ステーション 38 および組み立てステーション 84 の間で行われてよい。いくつかの実施形態において、イソプロピルアルコール蒸気ノズル 54 が、部分構成要素 11 を乾燥させるために霧状のイソプロピルアルコール蒸気を噴霧しうる。イソプロピルアルコール蒸気乾燥は、部分構成要素 11 の直接ボンディング面 18 を破壊しないように構成されうる。いくつかの実施形態において、部分構成要素 11 は、マランゴニ乾燥処理を用いて乾燥されてもよい。いくつかの実施形態において、部分構成要素 11 は、切断ステーション 38 および組み立てステーション 84 の間を移送される時に乾燥されてよい。あるいは、部分構成要素 11 を格納および乾燥させるための別個の乾燥ステーションが、切断ステーション 38 および組み立てステーション 84 の間で製造システム 200 に追加されてもよい。

10

#### 【0046】

製造システム 200 は、さらに、部分構成要素 11 を半導体積層構造 100 に組み立てるための組み立てステーション 84 を備えてよい。上述のように、製造システム 200 は、半導体ウエハ 10 よりも大きい半導体積層構造 100 を製造できる。図 7A および図 7B に示すように、第 1 の部分構成要素 12 が、組み立てテーブル 86 上に配置され、第 2 の部分構成要素 14 が、各部分構成要素 12 および 14 の初期接触端 13 で第 1 の部分構成要素 12 と接触するように配置されうる。この初期接触は、2 つの部分構成要素 12 および 14 の間の接近角  $\theta$  を作りうる。次いで、接近角  $\theta$  は縮小されて、第 1 の部分構成要素 12 と第 2 の部分構成要素 14 との間のボイドを除去して部分構成要素 12 および 14 を直接融合ボンディングする波面を作り出しうる。いくつかの実施形態において、接近角  $\theta$  が縮小されると、直接ボンドが、2 つの部分構成要素 12 および 14 の間に形成されうる。2 つの直接ボンディングされた部分構成要素 12 および 14 は、半導体積層構造 100 の一部を形成しうる。いくつかの実施形態において、半導体積層構造 100 は、さらなる部分構成要素 11 が半導体積層構造 100 に直接融合ボンディングされる際に、組み立てテーブル 86 によって固定されたままであってよい。

20

#### 【0047】

組み立てテーブル 86 は、半導体積層構造 100 の組み立てのために、汚染物質を含まない半導体接触面 87 を提供できる。組み立てテーブル 86 は、任意選択的に  $N_2$  パージされうるクリーンルームに配置されてよい。いくつかの実施形態において、組み立てテーブル 86 は、直接ボンディング組み立て処理中に部分構成要素 11 と横方向に係合するよう構成された組み立てブロック 88 を備えてよい。組み立てブロック 88 は、組み立てテーブル 86 の外径の周りに配列された外径ポストまたはウォールバンプであってよい。いくつかの実施形態において、組み立てテーブル 86 は固定されてよい。あるいは、組み立てテーブル 86 は、部分構成要素 11 の角度を調節するために傾斜するよう構成されてもよい。

30

#### 【0048】

図 3 および図 7C を同時に参照すると、組み立てテーブル 86 は、組み立てテーブル 86 の半導体接触面 87 および水平面 93 (重力と直交する水平面) から測定した傾斜角  $\alpha$  を調節するために傾斜できる。部分構成要素 11 は、1 または複数の組み立てブロック 88 で拘束されうる。いくつかの実施形態において、1 または複数のロボットアーム 98 が、切断ステーション 38 および組み立てステーション 84 の間に配置されてよい。1 または複数のロボットアーム 98 は、切断ステーション 38 から組み立てステーション 84 に部分構成要素 11 を移動させるよう構成されうる。

40

#### 【0049】

ここで、図 7B を参照すると、1 または複数のロボットアーム 98 は、第 1 の部分構成要素 12 および第 2 の部分構成要素 14 を組み立てテーブル 86 の半導体接触面 87 上に配列するためのロボットエンドエフェクタ 58 を備えてよい。ロボットアーム 98 には、第 1 の部分構成要素 12、第 2 の部分構成要素 14、または、それら両方を保持するためのロボットエンドエフェクタ 58 を取り付けることができる。ロボットエンドエフェクタ 58 は、1 または複数のロボットアーム 98 が 1 または複数の運動軸に沿ってロボットエ

50

ンドエフェクタ 58 を移動させるよう動作できるように、1 または複数のロボットアーム 98 に取り付けられうる。ロボットエンドエフェクタ 58 は、把持またはクランプ動作を提供するためにロボットエンドエフェクタ 58 に対して関節結合する顎部材 60 を備えてよい。いくつかの実施形態において、顎部材 60 の各々は、部分構成要素 12、14 を把持するための強化水平力グリップ先端 62 を備えてよい。強化水平力グリップ先端 62 は、部分構成要素 12、14 と接触するための接触先端部を提供する先端までテーパ状になっていてよい。強化水平力グリップ先端は、損傷しないように構成されうる、もしくは、半導体材料に小さい塑性変形を生じるよう構成されうる。損傷しないように構成された実施形態において、強化水平力グリップ先端 62 は、半導体材料よりも低い硬度を有する半導体材料のハンドリングに適した材料（例えば、プラスチックなど）を含んでよい。小さい塑性変形を生じるよう構成された実施形態において、強化水平力グリップ先端 62 は、半導体材料よりも高い硬度を有する半導体材料のハンドリングに適した材料（例えば、ダイヤモンドなど）を含んでよい。その結果、強化水平力グリップ先端 62 は、半導体材料の相を変化させて半導体材料に小さい塑性の圧痕を形成するのに十分な力で材料に付勢されうる。いくつかの実施形態において、組み立てステーション 84 は、さらに、第 1 の部分構成要素 12 および第 2 の部分構成要素 14 を付勢して互いに接触させるための第 2 のロボットアーム 198 を備えてもよい。具体的には、第 2 ロボットアーム 198 は、第 1 の部分構成要素 12 および第 2 の部分構成要素 14 が互いに完全に直接接触するように配置するために、第 1 の部分構成要素 12 および第 2 の部分構成要素 14 を付勢して初期接触端 13 から非接触端 15 まで接触させるよう構成されたプッシャ部材 90 を備えてよい。プッシャ部材 90 は、半導体材料のハンドリングに適した材料を含みうる。

#### 【0050】

図 3 および図 8 を同時に参照すると、製造システム 200 は、さらに、アニーリングオープン 96 を備えてもよい。半導体積層構造 100 をアニーリングすると、半導体積層構造 100 のボンディングされた部分構成要素 11 の間の結合強度を高めることができる。アニーリングは、半導体積層構造 100 の耐久性も高めることができ、半導体積層構造 100 から酸素を追い出すことができる。アニーリング処理は、臨界温度より高く半導体積層構造 100 を加熱する工程、臨界温度を維持する工程、および、半導体積層構造 100 を冷却する工程を備えうる。

#### 【0051】

アニーリング処理は、例えば、約 800 ~ 1,000 で動作する線形連続オープンなどのアニーリングオープン 96 で実行できる。例えば、約 150 ~ 300、約 300 ~ 700、および 700 超など、他のアニーリングオープン 96 温度を用いてもよい。シリコンを含む半導体ウエハから形成された半導体積層構造 100 について、約 150 ~ 300 のアニーリング温度は、半導体積層構造 100 の直接融合ボンドに Si-F-H-Si 結合を形成させることができ、300 超のアニーリング温度は、半導体積層構造 100 の直接融合ボンド内に余剰の水素原子を拡散させて、その結果、ボンド層に共有 Si-Si 結合を生じさせることができ、700 以上のアニーリング温度では、直接融合ボンドは、共有 Si-Si 結合を含む。いくつかの実施形態では、共有 Si-Si 結合を含む直接融合ボンドが、半導体積層構造 100 の結合強度を高めうる。いくつかの実施形態において、アニーリングオープン 96 は、アニーリングオープン 96 のコンベヤベルト 106 の上方に配置された上部ヒータ 102 と、コンベヤベルト 106 の下方に配置された下部ヒータ 104 とを備えてよい。上部ヒータ 102 および下部ヒータ 104 の各々は、石英赤外線ヒータを含みうる。コンベヤベルト 106 は、搬送方向（概して矢印で示す）に沿ってアニーリングオープン 96 を通して部品を運ぶよう構成されてよく、アニーリング処理に窒素を導入するために窒素パージされる。代替的または追加的に、部分構成要素 11 が、半導体積層構造 100 に組み立てられる前にアニーリングされてもよい。いくつかの実施形態において、半導体積層構造 100 の 1 または複数の鋭い角が、アニーリング処理後に走査型大気反応性イオンおよび / または反応性原子エッチングを用いて丸められてもよい。

## 【 0 0 5 2 】

図 2 および図 3 を同時に参照すると、本明細書に記載の半導体積層構造 1 0 0 は、製造システム 2 0 0 を用いて部分構成要素 1 1 から形成することができる。部分構成要素 1 1 から半導体積層構造 1 0 0 を形成するための方法の例について、以下に記載する。本明細書に記載の方法は、明確にするために提供されており、本明細書に記載の実施形態を限定する意図はないことに注意されたい。

## 【 0 0 5 3 】

半導体ウエハ 1 0 は、半導体ウエハハンドリングステーション 1 1 0 で製造システム 2 0 0 内にロードされうる。例えば、1 または複数のロボットアーム 9 8 は、半導体ウエハ 1 0 を受け取って運ぶよう構成されうる。次いで、半導体ウエハ 1 0 は、洗浄ステーション 1 1 4 にロボットによって移送されうる。洗浄ステーション 1 1 4 で、半導体ウエハ 1 0 は洗浄されてよく、汚染物質が半導体ウエハ 1 0 から除去される。洗浄処理の例は、例えば、拡散前洗浄処理、化学的または機械的スクラブを用いた粒子除去処理、金属イオン除去洗浄処理、および、薄膜除去洗浄処理を含みうる。薄膜除去洗浄処理は、酸化物、窒化物、シリコン、および、金属のエッチングおよびストリッピングを含んでよい。その結果、半導体ウエハ 1 0 の直接ボンディング面 1 8 は、直接融合ボンディングに向けて準備または改善されうる。

## 【 0 0 5 4 】

図 3 および図 4 を同時に参照すると、半導体ウエハ 1 0 は、半導体ウエハ 1 0 を部分構成要素 1 1 に切断できる切断ステーション 3 8 に移送されうる。いくつかの実施形態では、半導体ウエハ 1 0 は、固定具 4 4 のピン 4 6 上に配置されうる。水導波路レーザ 4 0 は、部分構成要素 1 1 の各々が所定の形状に対応するように半導体ウエハ 1 0 を部分構成要素 1 1 に切断するために方向付けられうる。所定の形状は、円弧形、長方形、正方形、または、半導体積層構造 1 0 0 に組み立てるのに適切な任意の他の形状を含みうる。

## 【 0 0 5 5 】

図 3、図 5 A、図 5 B、および、図 6 を同時に参照すると、出願人は、水導波路レーザ 4 0 が部分構成要素 1 1 上に欠陥を生じうることを発見した。したがって、本明細書に記載の方法は、さらに、部分構成要素 1 1 を酸化する工程と、酸化後の部分構成要素 1 1 から欠陥を除去する工程とを備えてもよい。いくつかの実施形態において、欠陥は、水導波路レーザ 4 0 の層流水ジェット 7 2 内に添加剤を含めることによって酸化できる。欠陥の量を減らすために切断時に半導体ウエハ 1 0 を冷却することに加えて、層流水ジェット 7 2 は、水の冷却効果によって防ぐことができない欠陥を酸化することができる。水導波路レーザ 4 0 の層流水ジェット 7 2 は、例えば、バブリング機構などにより、層流水ジェット 7 2 の脱イオン水を酸素で飽和させることによって酸化されうる。代替的または追加的に、層流水ジェット 7 2 の脱イオン水は、オゾン化 ( $O_3$ ) されてもよい。さらに、層流水ジェット 7 2 は、望ましくない欠陥を酸化するために過酸化水素 ( $H_2O_2$ ) を含んでもよい。

## 【 0 0 5 6 】

図 6 および図 1 0 を同時に参照すると、欠陥は、半導体ウエハ 1 0 の切断端 7 8 付近の熔融材料 8 0 の部分、部分構成要素 1 1 の切断中に追加された材料のバリ 8 2、または、それら両方を含みうる。理論に縛られる意図はないが、層流水ジェット 7 2 が添加酸化剤を含む場合、半導体ウエハ 1 0 の半導体材料が添加剤と反応して、欠陥ができた時に欠陥を酸化すると考えられる。例えば、半導体ウエハ 1 0 がシリコンから形成された場合、添加酸化剤は、シリコンと反応して、二酸化シリコン ( $SiO_2$ ) を形成しうる。したがって、酸化された欠陥は、直接ボンディングの準備時に直接ボンディング面 1 8 を滑らかにするために、半導体ウエハ 1 0 または部分構成要素 1 1 から除去されうる。すなわち、二酸化シリコンを選択的にエッチングすることによってシリコンを滑らかにできる。具体的には、フッ化水素酸 ( $HF$ ) を用いて、シリコンを損傷することなしに二酸化シリコンをエッチング除去することができる。シリコンに関連して酸化およびエッチングの説明をしたが、酸化およびエッチングは、本明細書に記載の半導体材料のいずれにも適用できるこ

10

20

30

40

50

とに注意されたい。

【0057】

図3および図4を再び参照すると、部分構成要素11がウェット環境で切断される実施形態において、部分構成要素11は、直接ボンディング工程に進む前に乾燥されてよい。上述のように、部分構成要素11は、イソプロピルアルコール蒸気ノズル54を通して供給できるイソプロピルアルコール蒸気で乾燥されてよい。出願人は、イソプロピルアルコール蒸気が部分構成要素11の直接ボンディング面18に悪影響を与えることなしに乾燥を促進することを発見した。

【0058】

図3および図7A～図7Cを同時に参照すると、部分構成要素11は、半導体積層構造100への組み立てに向けて、1または複数のロボットアーム98によって組み立てステーション84に移送されうる。部分構成要素11は、組み立てステーションの組み立てテーブル86で半導体積層構造100に組み立てられうる。いくつかの実施形態において、組み立てブロック88は、組み立てテーブル86の周囲に配列されてよく、部分構成要素11は、組み立てブロック88と側面で接触するように配置されうる。その結果、組み立てブロック88、および、組み立てテーブル86の半導体接触面87は、部分構成要素11の移動を制約するように協働しうる。組み立てブロック88は、組み立てテーブル86の周囲に配列されると記載されているが、組み立てブロック88および組み立てテーブル86は、半導体積層構造100に組み立てられる間に部分構成要素11を制約するための任意の所望の固定具を形成できることに注意されたい。

【0059】

図3および図9A～図9Bを同時に参照すると、部分構成要素11は、1または複数のロボットアーム98の顎部材60を用いて操作できる。具体的には、強化水平カグリッパ先端62は、直接ボンディング面18との接触を避けつつ、部分構成要素11と係合できる。したがって、直接接触面18の清浄度は、直接融合ボンディングに適したレベルに維持されうる。例えば、強化水平カグリッパ先端62は、部分構成要素11の非ボンディング側面と3点で接触しうる。強化水平カグリッパ先端62が部分構成要素11の側面を把持すると、ディボット（くぼみ）が接触位置に形成されうる。比較的少ない数の強化水平カグリッパ先端62を用いれば、部分構成要素11の側面の変形を制限できる。したがって、強化水平カグリッパ先端62は、組み立て中に変形の位置を追跡できるように所定の方法で互いに離間されうる。部分構成要素11がシリコンを含む実施形態では、変形は、強化水平カグリッパ先端62によるディボットでありうる。ディボットは、約10nmから数百nmまでの範囲の深さを有しうる。代替的または追加的に、プラスチックのグリッパを用いて、部分構成要素11の縁部を把持することもできる。

【0060】

図7Bを参照すると、第1の部分構成要素12は、組み立てテーブル86の半導体接触面87上に、組み立てテーブル86の組み立てブロック88と側面で接触するように、ロボットエンドエフェクタ58によって配置されうる。したがって、組み立てブロック88および半導体接触面87は、第1の部分構成要素12の直接ボンディング面18を直接融合ボンディングに利用できるように、第1の部分構成要素12を所定の位置に維持する。ロボットエンドエフェクタ58は、第2の部分構成要素14を把持して、第2の部分構成要素の直接ボンディング面18を第1の部分構成要素12の直接ボンディング面18に向かって移動させることができる。

【0061】

いくつかの実施形態において、1または複数のロボットアーム98は、部分構成要素12、14の各々の初期接触端13で第2の部分構成要素14の直接ボンディング面18が第1の部分構成要素の直接ボンディング面18と接触するように配置して、初期接触領域19を規定するよう構成されうる。部分構成要素12、14を接触させる時、接近角がそれらの間に形成されうる。したがって、直接ボンディング面18は、接近角に従って初期接触端13から非接触端15に向かって空間が広がるように、互いに離間されうる。

直接融合ボンドは、接近角 を閉じることによって形成できる。直接融合ボンドは、初期接触領域 19 よりも大きくなりうる。したがって、直接ボンディング面 18 が初期接触領域 19 から始まって非接触端 15 に至るまでさらに接触するよう配置される時に、波面が直接接触面 18 に沿って形成されうる。波面は、部分構成要素 12、14 の直接ボンディング面 18 の間の実質的にすべての空気を除去し、部分構成要素 12、14 の間のボイドの発生を低減しうる。

#### 【0062】

いくつかの実施形態において、第2のロボットアーム 198 は、直接ボンディング面 18 が所望の量だけ重なるように、第2の部分構成要素 14 を第1の部分構成要素 12 とより完全に接触させるよう構成されてよい。具体的には、第2のロボットアーム 198 は、直接融合ボンドを作り出すために、部分構成要素 12、14 の直接ボンディング面 18 の間の接近角 を閉じることができる。具体的には、第2のロボットアーム 198 は、第1の部分構成要素 12 および第2の部分構成要素 14 の間の接近角 92 を閉じるように動作可能なプッシャ部材 90 を備えてよい。プッシャ部材 90 は、初期接触端 13 で第2の部分構成要素 14 の外面 21 と接触できる。次いで、プッシャ部材 90 は、直接融合ボンドのための波面を生成するために、第2の部分構成要素 14 の外面 21 にわたって非接触端 15 に向かって摺動しうる。さらなる実施形態において、波面は、最初に波面中心で部分構成要素 12、14 を接触させて、中心接点から上述のように波面を放射状に伝搬させることによって作り出すことができる。

#### 【0063】

図7Cを再び参照すると、組み立てテーブル 86 は、直接ボンディングを強化すると共に欠陥ボンディングを低減するために、回転させることができる。いくつかの実施形態において、部分構成要素 11 を反転させることができる、すなわち、テーブルの傾斜角 を約 90° から約 270° (例えば、一実施形態において約 180°) に設定できる。反転される場合、組み立てテーブル 86 は、部分構成要素 11 を半導体接触面 87 に固定するための係合手段(例えば、静電部材または吸着部材など)を備えてよい。部分構成要素 11 を反転させると、部分構成要素 11 の直接ボンディング面 18 上に粒子が着地する可能性を低くすることができる。いくつかの実施形態において、組み立て処理後にクリーンルーム環境を崩すことが可能になりうる。半導体積層構造 100 のボンディングおよび組み立て後、汚染物質に敏感ではない1または複数の面が露出されたままでもよい。

#### 【0064】

図3および図11A~図11Cを同時に参照すると、本明細書に記載の実施形態は、様々な形状の半導体積層構造 100 の組み立てに利用可能である。いくつかの実施形態において、シリコン積層構造 120 は、エッジリングに組み立てられてよい。シリコン積層構造 120 は、交互段構造(alternating courses structure) 24 に組み立てられた第1の部分構成要素 212、第2の部分構成要素 214、および、第3の部分構成要素 216 を含む。交互段構造 24 において、第1の部分構成要素 212 は、第2の部分構成要素 214 に隣接する。第1の部分構成要素 12 および第2の部分構成要素 214 は、それぞれ、第3の部分構成要素 216 の一部に直接ボンディングされうる。図11Bでは1つの交互段構造 24 が図示されているが、本明細書に記載の実施形態は、複数の交互段構造 24 を備えることができる。シリコン積層構造 120 は、さらに、階段構造 26 を備えてもよい。階段構造 26 は、完全には重ならない2つの融合ボンディングされた部分構成要素 11 によって形成できる。例えば、第2の部分構成要素 214 は、第2の部分構成要素 214 の一部が第3の部分構成要素 216 によって覆われないように、第3の部分構成要素 216 と直接融合ボンディングされうる。階段構造 26 は、半導体積層構造 100 のジグザグ状の部分または半導体積層構造 100 の傾斜した部分を形成するために、複数回繰り返されうる。

#### 【0065】

ここで、図12を参照すると、半導体積層構造 122 は、傾斜面 30 を備えうる。例えば、半導体積層構造 122 は、複数の部分構成要素 11 から形成できる。傾斜面 30 は、

組み立て前に部分構成要素 11 の各々を切断することで、それらの組み合わせである階段構造 26 (図 11C) を滑らかにすることによって形成できる。

【0066】

図 13A および図 13B を同時に参照すると、半導体積層構造 124 は、半導体処理チャンバのための半導体シャワーヘッド電極に形成されてもよい。いくつかの実施形態において、複数のパイ形部分構成要素 32 が、半導体積層構造 124 に組み立てられうる。半導体積層構造 124 の代表的な一実施形態は、約 10 mm 厚の厚さ  $T_E$  および約 500 ~ 約 600 mm の直径を有する半導体シャワーヘッド電極に形成されうる。

【0067】

図 3 および図 13B を同時に参照すると、部分構成要素 11、32 は、組み立て前にドリル穿孔されうる。予め穿孔された穴は、ガスが半導体積層構造 124 を通して流れることを可能にするために、半導体積層構造 124 にガス流路 36 を形成しうる。ガス流路 36 は、直接ボンディング面 18 から汚染物質を除去できる組み立て処理中の空気除去を容易にしうる。いくつかの実施形態において、電子ビームまたはシリコン貫通ビア (TSV: through silicon via) 技術を用いて、ガス流路 36 を部分構成要素 11、32 に穿孔することができる。代替的または追加的に、半導体ウエハ 10 が、製造システム 200 への導入前に穿孔されてもよい。

【0068】

図 2、図 3、および、図 14 を同時に参照すると、半導体積層構造 100 は、半導体積層構造 100 内のガスの流れを可能にするためのガス通路 34 をさらに備えてもよい。いくつかの実施形態において、部分構成要素 11 は、部分構成要素 11 のうちの隣接する構成要素の間の空隙からガス通路 34 が形成されるように組み立てられうる。したがって、半導体積層構造 100 は、例えば、マニホールド、シャワーヘッド電極、ウエハエンドエフェクタ、マスフローコントローラなど、複数のガス通路 34 を有する物に形成されうる。

【0069】

図 3 を再び参照すると、半導体積層構造 100 は、組み立て後にアニーリングされてよい。例えば、半導体積層構造 100 は、直接融合ボンドを強化するためにアニーリングオープン 96 でアニーリングされてよい。アニーリング後、部品は、まだクリーンルーム環境にある間に、1 または複数のロボットアーム 98 によってパッケージングされうる。

【0070】

ここで、本明細書に記載の実施形態は、1 または複数の半導体ウエハの複数の部分構成要素から様々な半導体積層構造を形成するために利用できることを理解されたい。半導体インゴットから大きいディスクを切断して使用可能な部品 (例えば、シャワーヘッド電極) にディスクを機械加工するのと比べて、半導体ウエハを用いると、製造コストを削減できる。さらに、部分構成要素は、任意の所定の形状に形成可能であり、それにより、機械加工できない半導体積層構造を生産できる。

【0071】

「実質的に」および「約」という用語は、任意の量的比較、値、測定値、または、その他の表現に起因しうる固有の不確性の程度を表すために本明細書で利用されうることに注意されたい。これらの用語は、対象となる主題の基本的な機能に変化を引き起こすことなく量的表現が規定の基準から変化しうる程度を表すためにも用いられる。

【0072】

本明細書では特定の実施形態を図示および説明したが、請求されている主題の精神および範囲から逸脱することなく、様々な他の変更例および変形例が可能であることを理解されたい。さらに、請求されている主題の様々な態様が本明細書に記載されているが、かかる態様を組み合わせる必要はない。したがって、添付の特許請求の範囲は、請求されている主題の範囲に含まれるすべてのかかる変更例および変形例を網羅するよう意図されている。

本発明は、たとえば、以下のような態様で実現することもできる。

10

20

30

40

50



適用例 1 :

半導体積層構造の部分構成要素の間に直接融合ボンドを形成するための方法であって、  
複数の半導体ウエハの各々の上に 1 または複数の直接ボンディング面を生成する工程と

、  
前記複数の半導体ウエハの少なくとも 1 つから第 1 の部分構成要素および第 2 の部分構成要素を切断する工程であって、前記第 1 の部分構成要素は、前記 1 または複数の直接ボンディング面のうちの第 1 の直接ボンディング面を備え、前記第 2 の部分構成要素は、前記 1 または複数の直接ボンディング面のうちの第 2 の直接ボンディング面を備える、工程と、

前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面および前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面を乾燥させる工程と、

前記第 1 の部分構成要素を組み立てブロックで拘束する工程と、

前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面と接触するように前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面を配置して、初期接触領域を規定する工程であって、前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面と前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面との間に接近角が形成される、工程と、

前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面と前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面との間の前記接近角を閉じて、半導体積層構造の直接融合ボンドを形成する工程であって、前記直接融合ボンドは、前記初期接触領域よりも広い、工程と、

を備える、方法。

10

20

適用例 2 :

適用例 1 の方法であって、前記第 1 の部分構成要素は、前記第 2 の部分構成要素と隣接し、第 3 の部分構成要素が、前記第 1 の部分構成要素および前記第 2 の部分構成要素とボンディングされる、方法。

適用例 3 :

適用例 1 の方法であって、前記第 1 の部分構成要素の第 1 の表面が、前記第 2 の部分構成要素の第 2 の表面の第 1 の部分にボンディングされ、前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の表面の第 2 の部分はボンディングされない、方法。

30

適用例 4 :

適用例 1 の方法であって、前記複数の半導体ウエハの各々は、シリコン、二酸化シリコン、ガリウムヒ素、サファイア、炭化シリコン、または、それらの組み合わせを含む、方法。

適用例 5 :

適用例 4 の方法であって、前記複数の半導体ウエハの各々は、単結晶シリコンを含む、方法。

40

適用例 6 :

適用例 1 の方法であって、前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面は親水性である、方法。

適用例 7 :

適用例 1 の方法であって、前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面は疎水性である、方法。

適用例 8 :

50

適用例 1 の方法であって、さらに、  
前記複数の半導体ウエハの前記少なくとも 1 つを層流水ジェットで冷却する工程と、  
前記層流水ジェットを通して前記複数の半導体ウエハの前記少なくとも 1 つに向かって  
レーザビームを伝搬させる工程と、  
を備え、  
前記レーザビームは、前記複数の半導体ウエハの前記少なくとも 1 つを前記第 1 の部分  
構成要素および前記第 2 の部分構成要素に切断する、方法。

適用例 9 :

適用例 8 の方法であって、さらに、前記第 1 の部分構成要素を酸化する工程を備える、  
方法。

10

適用例 10 :

適用例 9 の方法であって、前記層流水ジェットは、酸化剤を含む、方法。

適用例 11 :

適用例 10 の方法であって、前記酸化剤は、過酸化水素、酸素飽和脱イオン水、オゾン  
化脱イオン水、または、それらの組み合わせを含む、方法。

適用例 12 :

適用例 9 の方法であって、さらに、前記第 1 の部分構成要素を化学エッチングする工程  
を備える、方法。

20

適用例 13 :

適用例 1 の方法であって、さらに、  
前記複数の半導体ウエハの各々を固定具上に配置する工程と、  
前記複数の半導体ウエハの各々を前記固定具上で 1 または複数の部分構成要素に切断す  
る工程と、  
を備える、方法。

30

適用例 14 :

適用例 13 の方法であって、さらに、前記複数の半導体ウエハの各々を前記固定具と係  
合した 1 または複数の選択的に平行移動可能なピン上に配置する工程を備える、方法。

適用例 15 :

適用例 1 の方法であって、さらに、  
前記第 1 の部分構成要素を切断ステーションから組み立てステーションに移送する工程  
と、  
前記切断ステーションと前記組み立てステーションとの間に配置された 1 または複数の  
イソプロピルアルコール蒸気ノズルによって生成されたイソプロピルアルコール蒸気で前  
記第 1 の部分構成要素を乾燥させる工程と、  
を備える、方法。

40

適用例 16 :

適用例 1 の方法であって、さらに、複数の組み立てブロックを備えた組み立てテーブル  
で前記第 1 の部分構成要素を拘束する工程を備え、  
前記組み立てテーブルは、前記第 1 の部分構成要素を第 1 の方向で拘束し、前記組み立  
てブロックの少なくとも 1 つは、前記第 1 の部分構成要素を第 2 の方向で拘束する、方法  
。

50

適用例 17 :

適用例 16 の方法であって、前記組み立てテーブルは傾斜可能である、方法。

適用例 18 :

適用例 17 の方法であって、さらに、前記組み立てテーブルが実質的に反転される際に、前記第 1 の部分構成要素を係合部材で前記組み立てテーブルの半導体接触面に拘束する工程を備える、方法。

適用例 19 :

適用例 1 の方法であって、さらに、

第 1 のロボットアームの少なくとも 1 つの顎部材の 2 以上の強化水平力グリップ先端で前記第 1 の部分構成要素を把持する工程と、

前記第 1 の部分構成要素を組み立てテーブルに接触させて配置する工程と、

前記第 1 のロボットアームの少なくとも 1 つの顎部材の 2 以上の強化水平力グリップ先端で前記第 2 の部分構成要素を把持する工程と、

前記第 1 の部分構成要素および前記第 2 の部分構成要素の各々の初期接触端で前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面と初期接触するように前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面を配置する工程と、  
を備える、方法。

10

20

適用例 20 :

適用例 1 の方法であって、さらに、

前記第 2 の部分構成要素の外面を第 2 のロボットアームのプッシャ部材と接触させる工程と、

前記第 2 のロボットアームの前記プッシャ部材を前記第 2 の部分構成要素の前記外面にわたって前記第 2 の部分構成要素の接触端から前記第 2 の部分構成要素の非接触端まで摺動させることにより、前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面を前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面上に付勢する工程と、  
を備える、方法。

30

適用例 21 :

適用例 1 の方法であって、さらに、前記半導体積層構造をアニーリングする工程を備える、方法。

適用例 22 :

適用例 1 の方法であって、前記第 1 の部分構成要素は、円弧形、長方形、正方形、または、円形を含む、方法。

適用例 23 :

適用例 1 の方法であって、さらに、前記半導体積層構造の所定のパターンを提供する工程を備え、

前記所定のパターンは、半導体シャワーヘッド電極、ガスマニホールド、または、マスフローコントローラを含む、方法。

40

適用例 24 :

適用例 1 の方法であって、前記複数の半導体ウエハの前記少なくとも 1 つは直径を有し、前記半導体積層構造は、前記複数の半導体ウエハの前記少なくとも 1 つの前記直径より大きい少なくとも 1 つの寸法を有する、方法。

適用例 25 :

50

適用例 1 の方法であって、前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面および前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面は、イソプロピルアルコール蒸気で乾燥される、方法。

適用例 2 6 :

半導体積層構造を製造するためのシステムであって、クリーンルームと、切断ステーションと、組み立てステーションと、第 1 のロボットアームと、第 2 のロボットアームと、を備え、

前記切断ステーションおよび前記組み立てステーションは各々、前記クリーンルーム内に収容され、

前記切断ステーションは、固定具の上方に取り付けられた水導波路レーザを備え、

前記組み立てステーションは、組み立てテーブルと、前記組み立てテーブル上に配置された 1 または複数の組み立てブロックと、を備え、

前記第 1 のロボットアームは、前記切断ステーションと前記組み立てステーションとの間に配置され、

前記水導波路レーザの前記固定具は、半導体ウエハが前記水導波路レーザのレーザビームによって第 1 の部分構成要素および第 2 の部分構成要素に切断される時に、前記半導体ウエハを保持するよう構成され、

前記第 1 のロボットアームは、前記第 1 の部分構成要素を把持して、前記第 1 の部分構成要素を前記組み立てステーションの前記組み立てテーブルと係合させるよう構成され、

前記第 1 のロボットアームは、前記第 1 の部分構成要素の第 1 の直接ボンディング面を前記第 2 の部分構成要素の第 2 の直接ボンディング面と各部分構成要素の初期接触端で接触するように配置して、初期接触領域と、前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面および前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面の間の接近角とを形成するよう構成され、

前記第 2 のロボットアームは、前記第 1 の部分構成要素の前記第 1 の直接ボンディング面および前記第 2 の部分構成要素の前記第 2 の直接ボンディング面の間の前記接近角を閉じて、半導体積層構造の直接融合ボンドを形成するよう構成されている、システム。

10

20

【図 1】

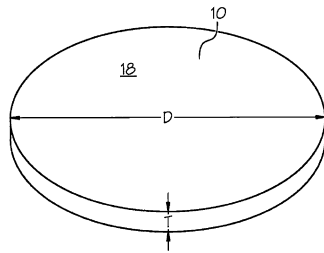


FIG. 1

【図 2】

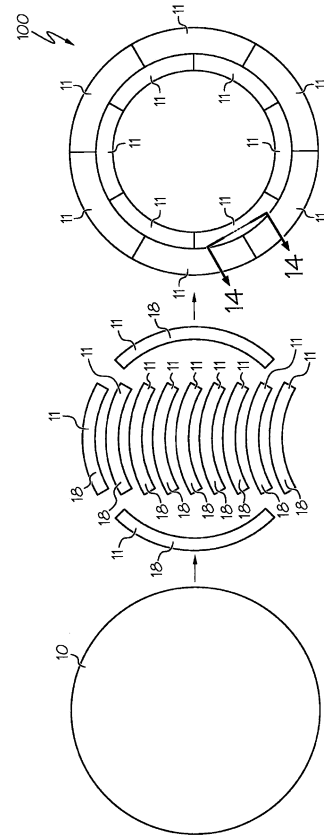


FIG. 2

【図 3】

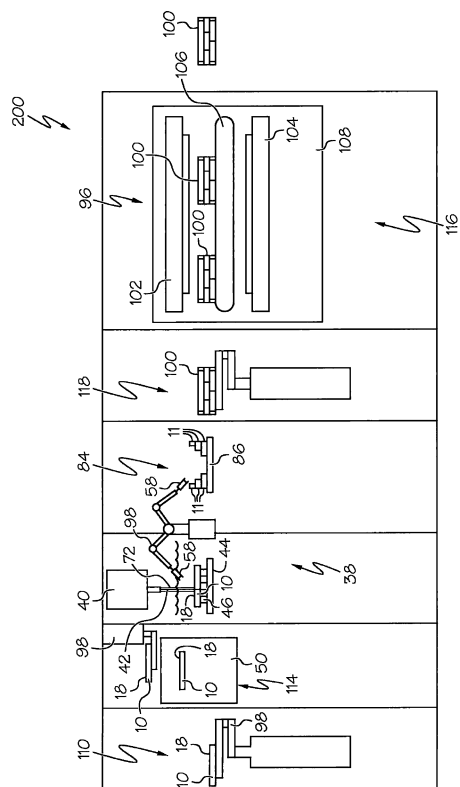


FIG. 3

【図 4】

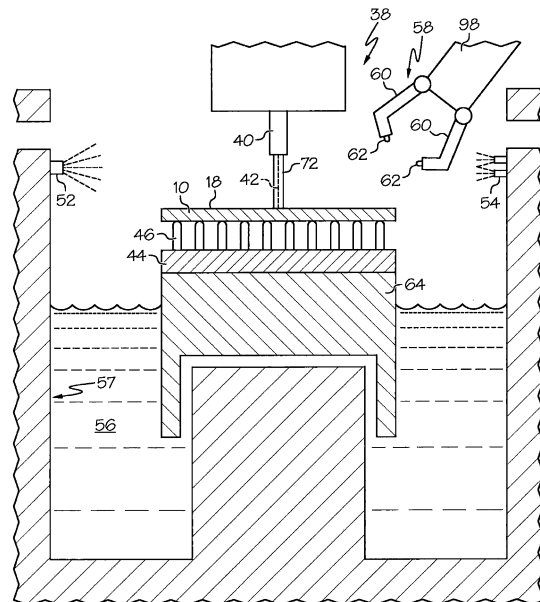


FIG. 4

【図 5 A】

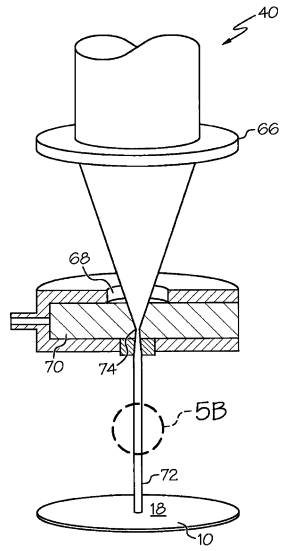


FIG. 5A

【図 6】

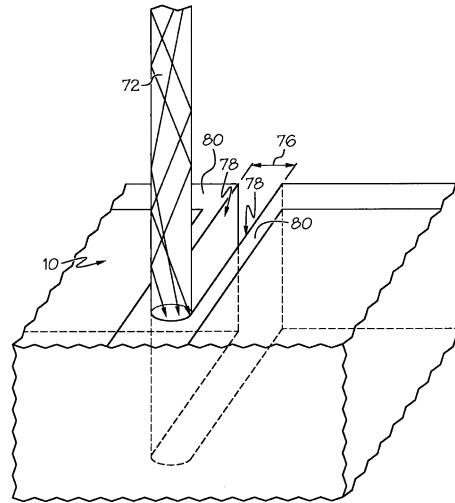


FIG. 6

【図 5 B】

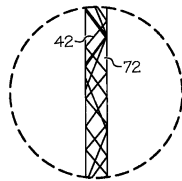


FIG. 5B

【図 7 A】

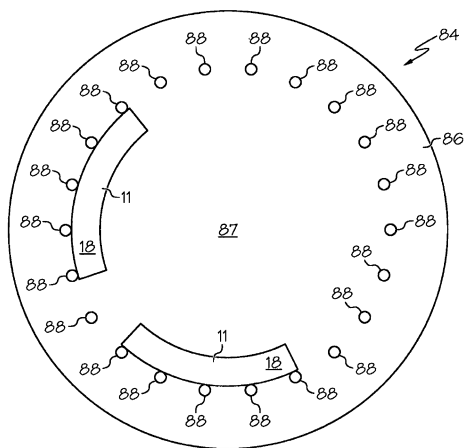


FIG. 7A

【図 7 B】

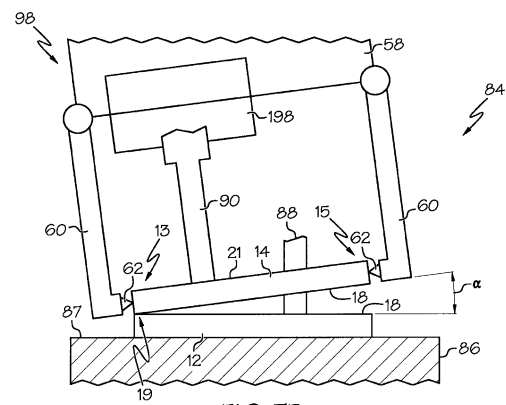


FIG. 7B

【図 7 C】

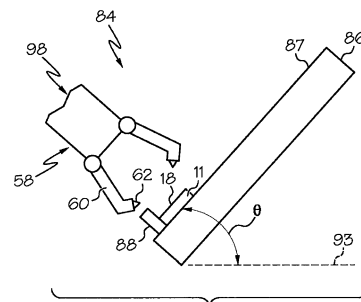


FIG. 7C

【図 8】

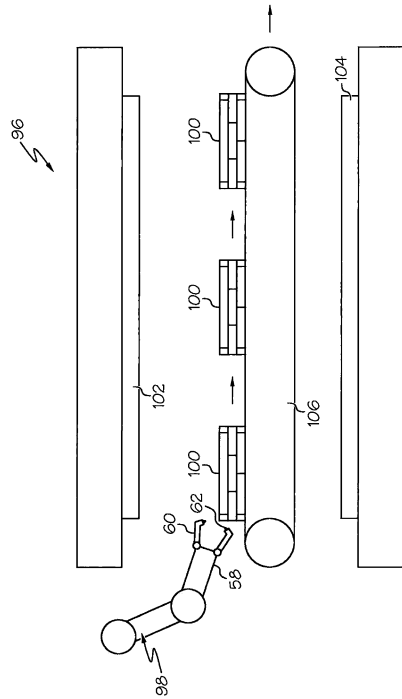


FIG. 8

【図 9 A】

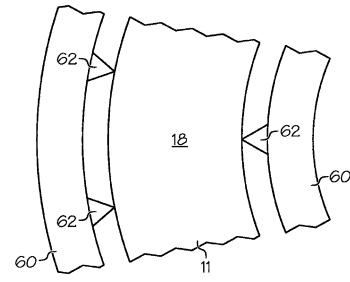


FIG. 9A

【図 9 B】

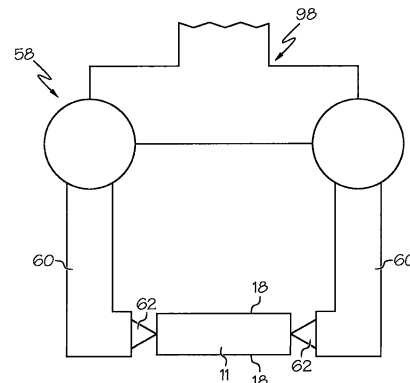


FIG. 9B

【図 10】

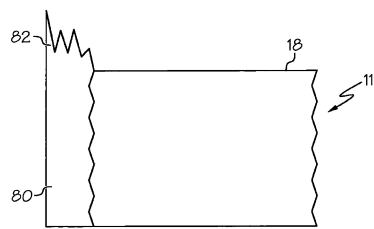


FIG. 10

【図 11 B】

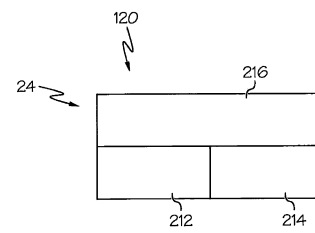


FIG. 11B

【図 11 A】

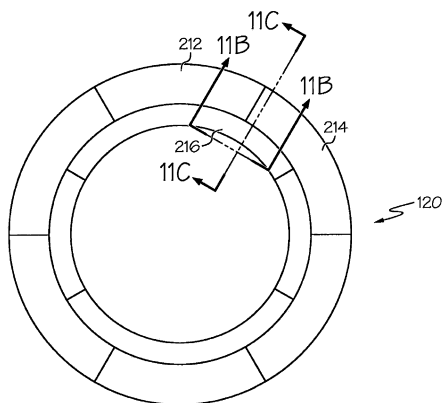


FIG. 11A

【図 11 C】

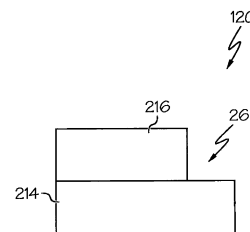


FIG. 11C

【図 1 2】

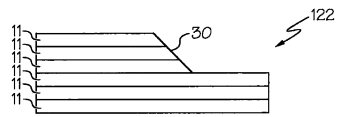


FIG. 12

【図 1 3 B】

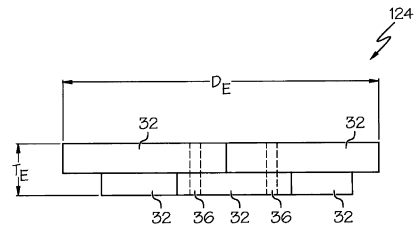


FIG. 13B

【図 1 3 A】

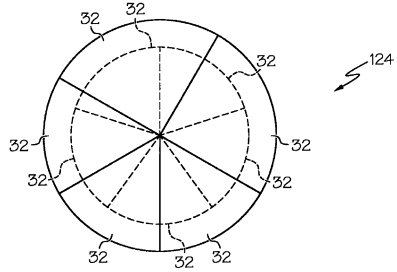


FIG. 13A

【図 1 4】

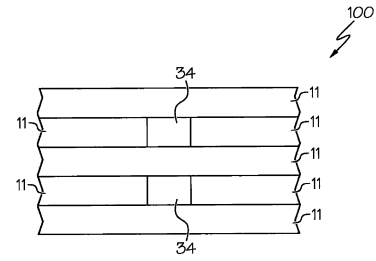


FIG. 14



---

フロントページの続き

審査官 堀江 義隆

(56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 2 5 7 8 0 7 ( J P , A )  
特開 2 0 1 3 - 1 1 5 2 1 0 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 3 3 2 3 7 8 ( J P , A )  
特開 2 0 0 3 - 1 6 3 1 8 6 ( J P , A )  
特開 2 0 0 8 - 1 5 3 3 4 9 ( J P , A )  
特開 2 0 1 1 - 0 8 8 7 9 9 ( J P , A )  
特表 2 0 1 0 - 5 1 9 7 6 3 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
H 0 1 L 2 1 / 0 2  
B 2 3 K 2 6 / 1 4 6  
B 2 3 K 2 6 / 3 8