

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6761419号  
(P6761419)

(45) 発行日 令和2年9月23日 (2020.9.23)

(24) 登録日 令和2年9月8日 (2020.9.8)

(51) Int. Cl.

F I

C 3 0 B 33/06 (2006.01)

C 3 0 B 33/06

C 0 4 B 37/02 (2006.01)

C 0 4 B 37/02

Z

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2017-533968 (P2017-533968)  
 (86) (22) 出願日 平成27年12月22日 (2015.12.22)  
 (65) 公表番号 特表2018-502040 (P2018-502040A)  
 (43) 公表日 平成30年1月25日 (2018.1.25)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2015/067390  
 (87) 国際公開番号 W02016/106323  
 (87) 国際公開日 平成28年6月30日 (2016.6.30)  
 審査請求日 平成30年12月20日 (2018.12.20)  
 (31) 優先権主張番号 62/096,706  
 (32) 優先日 平成26年12月24日 (2014.12.24)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 14/976,475  
 (32) 優先日 平成27年12月21日 (2015.12.21)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 米国 (US)

(73) 特許権者 507020152  
 メドトロニック、インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国ミネソタ州55432, ミ  
 ネアポリス, メドトロニック パークウェ  
 イ ノースイースト 710  
 (73) 特許権者 517215397  
 インヴェニオス  
 アメリカ合衆国カリフォルニア州9310  
 3, サンタ・バーバラ, ノース・ノーパル  
 ・ストリート 320  
 (74) 代理人 100140109  
 弁理士 小野 新次郎  
 (74) 代理人 100118902  
 弁理士 山本 修

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 速度論的に制限されたナノスケールの拡散ボンド構造及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ナノスケールの拡散ボンド(412)を有するバルク材料であって、

選択波長の電磁ビームを最小限のエネルギーしか吸収せずに通過させる特性を有してい  
 るサファイアからなる透明非金属絶縁体材料であって、前記最小限のエネルギーの吸収量  
 は前記電磁ビームの電磁放射線の総エネルギーの50%未満である前記透明非金属絶縁体  
 材料(104、404、414、602、704)と、

前記電磁ビームからのエネルギーを吸収する特性を有しているチタンからなる吸収性不  
 透明材料(108、402、412、600、706)と、

前記電磁ビームのエネルギーに基づいて前記透明非金属絶縁体材料と前記吸収性不透明  
 材料との間に形成されている1000nm未満の厚さを有している前記拡散ボンド(41  
 2)と、を備えているバルク材料。

【請求項2】

バルク材料にナノスケールの拡散ボンド(412)を形成する方法において、

選択波長の電磁ビームを最小限のエネルギーしか吸収せずに通過させる特性を有してい  
 るサファイアからなる透明非金属絶縁体材料(104、404、414、602、704  
 )の接合されるべき第1の表面を、前記電磁ビームからのエネルギーを吸収する特性を有  
 しているチタンからなる吸収性不透明材料(108、402、412、600、706)  
 の接合されるべき第2の表面に当てて位置決めする段階であって、前記最小限のエネルギ  
 ーの吸収量は前記電磁ビームの電磁放射線の総エネルギーの50%未満である、前記位置

10

20

決めする段階と、

前記の透明非金属絶縁体材料及び吸収性不透明材料へ圧力を印加する段階と、

前記電磁ビームを、前記透明非金属絶縁体材料を通して前記吸収性不透明材料の接合されるべき前記第2の表面へ選択的に送る段階と、

前記電磁ビームを用いて前記ナノスケールの拡散ボンド(412)を作成する段階と、を備えている方法。

【請求項3】

請求項1に記載のバルク材料において、前記ボンドは、耐食性、密閉封止、無亀裂、均一、及び生体安定性、のうちの少なくとも1つの特性を有する、バルク材料。

【請求項4】

請求項1に記載のバルク材料において、前記拡散ボンドは、200nm未満の厚さの界面を含む、バルク材料。

【請求項5】

請求項4に記載のバルク材料において、前記拡散ボンドは、60nm未満の厚さで且つ界面接合領域内のアモルファス拡散帯域(406)を含む、バルク材料。

【請求項6】

請求項2に記載の方法において、前記拡散ボンドは、耐食性、密閉封止、無亀裂、均一、及び生体安定性、のうちの少なくとも1つの特性を有する、方法。

【請求項7】

請求項2に記載の方法において、前記拡散ボンドは、200nm未満の厚さの界面を含む、方法。

【請求項8】

請求項7に記載の方法において、前記拡散ボンドは、60nm未満の厚さで且つ界面接合領域内のアモルファス拡散帯域(406)を含む、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、速度論的に制限されたナノスケールの拡散ボンド構造及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

[0001]異なる種類のバルク材料を一体に接合して接合物品を形成することは、様々な産業に多くの用途を有する。例えば、半導体産業では絶縁体材料を導電性材料へ接合する能力が強く所望されている。また、サファイアの様な絶縁性材料をチタンの様な金属へ付着させることができるということには、光通信装置や医療装置のためのパッケージの形成を含め多くの用途がある。サファイアをチタンへ有効に付着させる能力を所望する別の例としての産業は高級宝飾品の製作である。この方法は更に高真空システム並びに軍用車両や宇宙船においてサファイア窓を接合するために適用できる。

【0003】

[0002]これらの種類の材料を一体に接合する伝統的な方法は、典型的に数十乃至数百ミクロンの厚さ範囲にある拡散ボンドを、高温高压を使用して作成する、というものである。使用される温度は、600 - 1000 のオーダーになることもある。これらの高温は、高温が形成しようとしている製品へ害をもたらしなとも限らない。例えば、装置のためのパッケージの形成時、パッケージにボンドを形成するのに使用される高温がパッケージの内に在る構成要素を損傷させる危険性がある。これはまた多結晶質材料に結晶粒の成長を引き起こしそれらの物理的特性を改変してしまう。また、長い形成時間に亘る高温の使用からボンド領域に望ましからざる化合物が形成され、それらがボンドの強度又は靱性に影響を与えないとも限らない。加えて、拡散接合技法を使用して接合される材料の熱膨張係数の差は、組立体が高温から冷めてゆく際に界面応力の生成を引き起こす原因となりかねない。これらの応力は往々にして亀裂生成を招く。界面応力のせいで生じる亀裂のサイズは、継ぎ合わされる材料の相互作用帯域のサイズに比例する傾向がある。典型的な

10

20

30

40

50

拡散接合は比較的広い相互作用帯域を作り出すので、生成される亀裂もまた数ミクロン乃至数ミリメートルに広がる傾向がある。脆弱な材料は、亀裂が臨界傷サイズを超えれば軽い負荷が掛っただけでひとりでに壊滅的なまでに失陥してしまう。従ってより大きな亀裂なら信頼性を低下させ耐用年数を縮めることになると思われる。この理由から、伝統的な拡散接合技法は、互いに異なる熱膨張係数を有する材料間に機械的に堅牢なボンドを作成する場合に限られた成功しか成し得ていない。チタンとサファイアを接合するための他の既知の方法は、サファイアをニオブの薄膜で金属化する段階と、それら成分を金又は他の適したろう付け材料で一体にろう付けする段階と、を含んでいる。典型的な温度は450 から1200 である。

【0004】

10

[0003]異種材料を接合するのにパッケージの内在構成要素に害を与えることのないようにとの思いから使用される数少ない比較的低温の方法は、はんだ、ガラスフリット、又は熱圧着の場合の様に介在層を利用している。これらのプロセスは、ボンド継目を実現するのに100 から400 の範囲の中温及び中圧を使用する。一例として、錫 - インジウム - 銀のはんだ、又は錫 - 鉛のはんだ、錫 - 銅 - 銀のはんだが使用されることがある。しかしながらこの手法には幾つかの不都合がある。はんだ付けのために使用されるフラックスは汚染を引き起こしやすく、特にボンドがエンクロージャを封止するのに使用されている場合、汚染を検出するのは難しい。ボンドの強度はバルク材料の強度より劣っており、これらのはんだ合金は過酷な環境に曝されると腐食を被り易い。別の例は、ナノ多孔質金の使用及びバルク材料への高圧の印加と共に有効性を発揮する熱圧着である。しかしながら、これらの技法の場合、ボンドの完全性を判定することが難しく、またボンド強度はバルク材料の強度より遙かに劣る。ボンドを形成するのに接着剤を使用する他の方法も用いられてはいるが、ボンドは本質的に脆く非密閉性である。

20

【0005】

[0004]以上に述べられている理由から、また当業者には本明細書が閲読され理解された時点で自明となるはずの以下に述べられている理由から、当技術には、絶縁体材料と導電性バルク材料の間にボンドを作成する方法であって、低温で形成され、しかもバルク材料ほどに強い強度を有するボンドを作成する方法が必要とされている。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0006】

【特許文献1】米国特許出願第13 / 291 , 956号

【特許文献2】米国特許出願第12 / 977 , 890号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

[0005]現在のシステムの上記問題は本発明の実施形態によって解決が図られており、次に続く明細事項を閲読し考究することによって理解されるはずである。次に続く概要は例示としてなされたものであり、制限を課すものとしてではない。それは本発明の諸態様のうちの幾つかを読み手が理解するのに支援するために提供されているにすぎない。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

[0006]1つの実施形態では、速度論的に制限されたナノスケールの拡散ボンドを有するバルク材料が提供されている。速度論的に制限されたナノスケールの拡散ボンドを有するバルク材料は透明材料と吸収性材料を含んでいる。透明材料は選択波長の電磁ビームを最小限のエネルギーしか吸収せずに通過させる特性を有している。吸収性材料は電磁ビームからのエネルギーを有意に吸収する特性を有している。拡散ボンドは電磁ビームが透明材料を吸収性材料へ接合することによって形成される。拡散ボンドは1000nm未満の厚さを有している。

【0009】

50

[0007]別の実施形態では、バルク材料に速度論的に制限されたナノスケールの拡散ボンドを形成する方法が提供されている。方法は、透明材料の接合されるべき第1の表面を吸収性材料の接合されるべき第2の表面に当てて位置決めする段階を含んでいる。透明材料は選択波長の電磁ビームを最小限のエネルギーしか吸収せずに通過させる特性を有し、吸収性材料は電磁ビームからのエネルギーを有意に吸収する特性を有している。次いで、透明材料及び吸収性材料へ圧力が印加される。電磁ビームが透明材料を通して吸収性不透明材料の接合されるべき第2の表面へ選択的に送られる。電磁ビームは速度論的に制限されたナノスケールの拡散ボンドが作成されるように仕向ける。

【0010】

[0008]詳細な説明及び添付図面に照らして考察されれば、本発明をより容易に理解することができ、また本発明の更なる利点及び効用がより速やかに自明となるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】[0009]本発明の実施形態でのボンドの形成の説明画である。

【図2】[0010]本発明の1つの実施形態のチタン前処理工程流れ線図である。

【図3】[0011]本発明の1つの実施形態のサファイア前処理工程流れ線図である。

【図4A】[0012]本発明の1つの実施形態の全体的洗浄工程流れ線図である。

【図4B】[0013]本発明の1つの実施形態のチタン洗浄工程流れ線図である。

【図5】[0014]本発明の1つの実施形態の初期セットアップ工程流れ線図である。

【図6】[0015]本発明の1つの実施形態の接合工程流れ線図である。

【図7】[0016]本発明の1つの実施形態のレーザーパルススポットサイズの重なり合いの説明図である。

【図8】[0017]本発明の1つの実施形態の急速温度（rapid-temperature）バルク材料ボンドシステムのブロック線図である。

【図9A】[0018]本発明の或る実施形態のチタン - サファイアのバルク材料でのボンドの拡散帯域のナノスケール透過電子顕微鏡（TEM）画像である。

【図9B】[0019]本発明の或る実施形態のチタン - サファイアのバルク材料での界面ボンド継目のナノスケールTEM画像である。

【図9C】[0020]本発明の或る実施形態の接合されたチタン - サファイアのバルク材料のマイクロスケール走査電子顕微鏡（SEM）画像である。

【図10】[0021]本発明の1つの実施形態の接合用固定治具組立体の側面斜視図である。

【図11】[0022]本発明の1つの実施形態の材料保持用組立体の側面図である。

【図12】[0023]本発明の1つの実施形態の材料保持用組立体の部分断面側面斜視図である。

【図13】[0024]本発明の別の実施形態でのボンドの形成の説明画である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

[0025]一般的な慣行に従い、記載されている様々な特徴は縮尺を合わせて描かれているわけではなく本発明に関連する固有の特徴を強調するように描かれている。参照符号は図と本文全体を通して同様の要素を表している。

【0013】

[0026]次に続く詳細な説明では、本明細書の一部を形成して本発明が実践され得る特定の実施形態が一例として示されている添付図面を参照する。これらの実施形態は当業者が本発明を実践できるように十分詳細に説明されており、また理解しておくべきこととして、他の実施形態が利用されてもよいし、本発明の精神及び範囲から逸脱することなく変更がなされてもよい。従って、次に続く詳細な説明は、制限的な意味で捉えられるべきではなく、本発明の範囲は特許請求の範囲及びその等価物によってのみ定義される。

【0014】

[0027]本発明の実施形態は、急速室温プロセスを用いての異種バルク材料の接合を提供する。図1に全体として描かれている様に、接合されることになるバルク材料は透明材料

104（非金属（絶縁体）材料）と吸収性不透明材料106（金属（導体）材料）を含んでいる。透明材料104は、レーザー102からの電磁ビーム103（電磁放射線、電磁信号、又は一般的にはレーザー信号）の波長を少なくとも一部透過させる。よって、透明材料104は、電磁ビームを最小限のエネルギーしか吸収せずに透過させる特性を有している。複数の実施形態では、異種バルク材料を一体に接合する段階で1000nm未満の厚さを有する拡散ボンドが作成される。

#### 【0015】

[0028]吸収性材料106は、電磁放射線103のエネルギーを吸収し当該エネルギーと相互作用するものであり、バルク材料104と106の間には、吸収性材料106と透明材料104の間の拡散（不透明材料106の透明材料104内への拡散又は透明材料104の不透明材料106内への拡散）によってボンド界面108が作り出される。更に一部の実施形態では、拡散は、両材料が互いの中へ拡散する相互拡散を含んでいる。一例としての透明材料104には、ガラス、多結晶質材料、又は限定するわけではないがサファイア及び石英の様な単結晶材料が挙げられる。他の透明材料の例には、限定するわけではないがジルコニア、ダイヤモンド、金属酸化物、及びコランダム各種が挙げられる。吸収性材料106は、限定するわけではないがチタンの様な金属を含む。また、吸収性材料106はチタンの合金であってもよいだろう。所望のボンドを形成するように吸収性材料106と相互作用する間の透明材料104を通しての最小限のエネルギー吸収は、概して、次の二重要件、即ち、（1）透明材料104を通して伝送されるエネルギーは不透明材料106による吸収を介して界面での接合プロセスを活性化するのに十分でなくてはならない、しかも同時に（2）透明材料104によって吸収される幾らかのエネルギーは、ボンド界面108から離れたところで透明材料104のバルクを溶かす、歪める、又はそれ以外に何か影響を及ぼすほどであってはならない、という二重要件を満たす必要があるだろう。概して、材料についてのエネルギー吸収曲線は波長の関数として比較的速く上昇する。プロセス制御及び再現性のために、吸収曲線のこの高勾配領域上に無い波長を透明材料104のために選択することができる。更に、1つの実施形態では、透明材料104による最小限のエネルギー吸収は、電磁放射線103の総エネルギーの50%未満である。

#### 【0016】

[0029]以下に詳細に説明されている様に作成されたボンドは、バルク材料104と106の少なくとも一方の強度と同程度の（一部の実施形態では等しい）界面靱性（強度）を有している。また、一部の実施形態では、作成されたボンドは、継目の測定破壊靱性を、継目に関与する透明材料のバルク破壊靱性より下のレベルへ引き下げるに足る大きな亀裂又は欠陥を含有していない。一部の実施形態では、作成されたボンドは、概して、連続して均一で亀裂が無い。加えて、或る実施形態では、ボンドは、耐食性及び生体安定性のある密閉封止を提供している。また、複数の実施形態では、ボンド界面108（混合帯域又は拡散帯域）は、短い加熱時間のおかげで比較的薄い（サブミクロン（即ちナノスケール）範囲にある）界面になっている。選択材料の使用と短い局所接合時間に加えバルク加熱が無いことで、界面又は界面付近での、ボンドを弱体化させかねない望まじからざる化合物の形成は最小限に抑えられ又は排除される。吸収性材料106としてのチタンと透明材料104としてのサファイアを使用する実施例では均一な界面領域108が作成されている。チタンの熱膨張係数とサファイアの熱膨張係数は比較的近いが、ここに説明されている技法は、金とサファイア又はアルミニウムとサファイアの様な熱膨張係数の差の大きい他の異種材料同士を一体に結合するのに適用することができる。

#### 【0017】

[0030]複数の実施形態では、バルク材料はそれらを継げるようにするためにまず前処理が施される。チタン - サファイアの実施例でのバルク材料の前処理は、図2のチタン前処理工程流れ線図200及び図3のサファイア前処理工程流れ線図300に提供されている。チタンに関し、或る実施形態では、或る等級のチタンが使用されるべく選択される。或る実施形態では、チタンは2つの平坦な平行する表面を形成するように機械加工される（204）。それら平坦な表面のうち一方はサファイアへ接合するために使用され、他方は

力を印加できる比較的平坦な表面を提供するために使用される。別の実施形態では、チタンの一方の表面だけが平坦に機械加工される。或る実施形態では、チタンのサファイアへ接合されることになる表面へは表面品質を改善するためラッピングプロセス及び研磨プロセスが適用される(206)。1つの実施形態では、ラッピングは、プランチャード研削と12  $\mu\text{m}$ 直径の酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )スラリー(アルミナ)の組合せの使用を含んでいる。1つの実施形態では、表面を機械加工する段階(204)と表面をラッピング及び研磨する段階(206)の順序は逆転されている。また、一部の実施形態では、表面を機械加工する段階(204)と表面をラッピング及び研磨する段階(206)は混交されている。更に、1つの実施形態では、チタンの接合面は表面品質を改善するため二段階プロセスで研磨される。1回目の研磨工程は、1.5  $\mu\text{m}$ のダイヤモンドスラリーの混合物を使用する。2回目最後の研磨工程は、0.5  $\mu\text{m}$ のダイヤモンドスラリーを使用する。一部の実施形態では、接合されることになる表面同士を合わせる際のそれら表面の密な接触を確保するためにはサブミクロン範囲の平坦度が望ましい。必要な平坦度及び表面仕上げを実現するのに代わりのスラリー及び方法が採用されてもよい。100 nm未満の粗さ( $R_a$ )を有する平滑で擦り傷の無い表面なら望ましい密閉性のボンド継目を可能にすることが判明した。とはいえ、密閉性ボンドは、200 nm又はそれ以上にも上る粗さで実現させることもできる。また、非密閉性ボンドなら、形態学にも依るが500 nm又はそれ以上にも上る粗さで実現させることができる。ボンドと共に密閉シールを作成することが求められていない実施形態では、細目研磨する段階の一部を除外してもよい。サファイアの前処理に関し、サファイアは最初に研磨される(222)。或る実施形態では、C面又はR面結晶方位が使用される。次いで、要求される場合にはサファイアは適切な大きさにダイスカットされる(224)。

#### 【0018】

[0031]チタンとサファイアは前処理されたら、どちらも洗浄される。一例としての実施形態では、図4Aの全体的洗浄工程流れ線図225に示されている様に、チタンとサファイアは必要に応じてイオン性溶液及び非イオン性溶液で全体的に洗浄され(226)、次いで脱水される(228)。チタン固有の洗浄段階の更なる実施例が図4Bのチタン洗浄工程流れ線図230に示されている。チタンは石鹼水で洗われ(232)、次いで脱イオン水で洗われる(234)。或る実施形態では、その後、バルクチタン材料104は先ずアセトンで濯がれ(236)、次いできれいに拭かれる(238)。或る実施形態では、その後、バルクチタン材料104はメタノールで濯がれ(240)、次いできれいに拭かれる(250)。次いでチタン材料はエアガンなどでブロー乾燥される(252)。1つの実施形態では、チタンを洗浄し乾かすのにウエーハ製造プロセスが使用される。或る実施形態では、チタンが洗浄された後、表面を拭く段階は回避される。

#### 【0019】

[0032]バルク材料104及び106が前処理され洗浄された後、それらは図5の初期セットアップ工程流れ線図260に提示されている様に事前組み立てされる(262)。バルク材料104と106は、チタンの接合されることになっている表面をサファイアの表面の隣に設置することによって事前組み立てされる。チタンとサファイアが互いに対して適正に位置決めされたら、それらは接合用固定治具組立体308の保持フレーム550(図9から図11に示され以下に説明されている)へ装入される(264)。保持フレーム550はチタンとサファイアを互いに対して所定位置に保持する。次いで、チタンをサファイアに当てて押圧するように圧力が印加される(266)。ここに説明されているプロセスを用いてバルク材料を接合するのに必要とされる圧力の量は、少なくとも一部には、接合されようとしている材料並びにバルク材料の形状及びサイズに依存する。概して、圧力は、レーザーで照射されたときに接合が起こるように接合面の密な接触を確保するに足るだけの高さであればよい。また、一部の実施形態では、界面の圧力の量は、界面表面の高い点接触を生じさせる圧力の量であれば概ね接合を確保するには十分である。バルク材料が固定治具に納まり圧力が印加され次第、材料間にボンドが作り出される。室温にて材料にボンドを形成するプロセスが図6の接合工程流れ線図270に提示されている。図6

に示される通り、レーザー 102 が図 1 に描かれている様に透明材料 104（この実施例ではサファイア）を通して吸収性材料 106（この実施例ではチタン）の表面へ方向決めされる。或る実施形態では、レーザーの接合パラメータは、パルスエネルギー、パルス幅、パルス周波数、スポットサイズ、及びスポットの重なり合い又はピッチ、を含んでいる。ボンドを形成する段階では、パラメータの値は概して互いに依存し合う。よって、1つのパラメータの値を選択することが、結果的に、所望の速度論的に制限されたボンドを形成するための別のパラメータについての選択値をもたらすことになる。ボンドを形成するのに必要なことは、構造同士を所望通りに接合するやり方でのエネルギーの送達だけである。従って、本発明は特定のパラメータに限定されない。スポットサイズ及びスポットの重なり合いを以下に図 7 に照らして論じる。

#### 【0020】

[0033]スポットサイズは、表面上のレーザービーム 280（電磁ビーム）の幅／直径 282 である。図 7 は、電磁ビームがその標的に対して動かされる際の時間経過につれたパルス 282（電磁パルス又はレーザーパルス）を示している。図 7 に示されている実施例では、集束されたレーザーパルス 280 は略円形である。スポットの重なり合い 284 は、パルス 280 の前のパルス 280 と重なり合うパーセンテージである。チタン - サファイアの実施例では、レーザーパルス 280 のスポットサイズ 282 は  $5\text{ }\mu\text{m} - 15\text{ }\mu\text{m}$  の範囲とすることができる。チタン - サファイアの実施例では、 $0\% - 50\%$  の範囲での重なり合いで好結果が実現された。より高い重なり合いも受容可能ではあるが、プロセス時間を犠牲にして成り立つ。1パルス当たりのエネルギーを高くし重なり合いを小さくするか又は1パルス当たりのエネルギーを小さくし重なり合いを大きくすることで同様の結果を得ることができる。チタン - サファイアのバルク材料の実施例で、 $1\text{ kHz} - 80\text{ kHz}$  の範囲の周波数、 $1\text{ }\mu\text{J} - 5\text{ }\mu\text{J}$  のパルスエネルギーで、電磁ビームをチタン - サファイアのバルク材料に対して  $5\text{ mm/秒} - 600\text{ mm/秒}$  の速度で動かす場合を探究した。実験を通し、 $UV\ 355\text{ nm} - IR\ 1064$  の波長のレーザーで、 $2.1\text{ mW} - 100\text{ mW}$  の平均パワー、約  $1\text{ kHz}$  の繰返し数（パルスの周波数）とし、レーザー信号をチタン - サファイアのバルク材料に対して  $5\text{ mm/秒} - 600\text{ mm/秒}$  の速度で動かしてゆくと均一で丈夫な連続するボンドが作り出されることが見極められた。平均パワーは約  $0.6\text{ }\mu\text{J}$  から  $2.1\text{ }\mu\text{J}$  のパルスエネルギーに  $1\text{ kHz}$  の繰返し数を掛けたものに等しい（平均パワー = パルスエネルギー × 繰返し数）。繰返し数及び平均レーザーパワーは、接合ルーチンについての所望のパルスエネルギー及びパルス重なり合いを現出させるように設定される。チタン - サファイアの実施例では、 $1\% - 10\%$  の重なり合いが好適である。パワーレベルは、或る実施形態ではスポットサイズが約  $10\text{ }\mu\text{m}$  前後であることに依存しており、同等のフルエンスを実現するパラメータなら同様の結果が期待できる。更に実験を通して見極められたこととして、他のパラメータを以上に提示されている通りに維持したままパルスエネルギーを  $2.5\text{ }\mu\text{J}$  へそして更に  $2.5\text{ }\mu\text{J}$  を超えて増加させてゆくと、ボンドは作り出されるが亀裂が現れ始め、また  $2.0\text{ }\mu\text{J}$  より遙かに小さいパルスエネルギーではボンドが形成されなくなる。加えて、他のパラメータが以上に述べられているのと同じままで周波数を  $12\text{ kHz}$ 、パルスエネルギーを  $1\text{ }\mu\text{J}$  にしたとき、所望のボンドが形成された。よって、より高い周波数をより低いエネルギーと共に使用することもできるであろう。加えて、より低い周波数をより高い重なり合いと共に使用してもボンドを形成するための同等のエネルギー付与を実現させられるのではないだろうか。また、UV、可視、及び赤外の全スペクトルに及ぶ波長を含め、他の波長の使用も構想される。例えば、 $532\text{ nm}$  の波長を有するレーザーを使用することもできるであろう。この実施例では、レーザー処理パラメータの或る好適なセットは、 $1\text{ }\mu\text{J}$  のパルスエネルギー、 $10\text{ }\mu\text{m}$  のスポットサイズ、 $1\text{ kHz}$  のパルス周波数、及び  $50\%$  のパルスの重なり合い、を含んでいる。バルク材料を一体に接合するときには接合プロセス時に接合材料がどれほど速く冷却されるかの結果として、急冷帯（Quenching bands）が形成されることがある。急冷帯はボンド構造の特性を定義する。材料がどれほど速く冷却されるかは、パルス幅とパワーの関数の少なくとも一部である。よって、パルス形状を変えるとボンド構造が変わ

10

20

30

40

50

る。以上に論じられている様に、以上に与えられているパラメータは一例としてのパラメータである。接合されようとしている材料及び所望されるボンドに依存して、他のパラメータを使用することもできる。例えば、ボンドを形成するのにパルス波を使用することもできるし、又は連続波を使用することもできる。また、材料間に所望のボンドを形成するのに0%から100%の重なり合い範囲を使用することもできるであろう。よって、本発明は、特定の周波数、特定のスポットサイズ、特定の重なり合い、又は特定の波長の様な、特定のパラメータに限定されない。

#### 【0021】

[0034] 作動パラメータが設定されたら、レーザーは基準となる特徴と整列される(278)。次いで、以下に図8に関して更に論じられている様にボンドを形成するため、レーザーを起動させ、接合用固定治具組立体308のステージ307を動かすように、プログラムがコントローラ302によって走らされる(280)。代替の実施形態では、ステージ307を使ってバルク材料を動かす代わりに、スキャナ305を使ってレーザー102を動かすようにしている。また、ステージ動作とビーム動作の組合せを採用することもできる。チタン-サファイアの実施例では、亀裂の無い均一で連続したボンドを形成するためには、レーザーが起動されている間にバルク材料(チタン及びサファイア)又はレーザーが集束されたレーザースポットに0%-100%の重なり合いを実現するのに必要な速さで並進運動するのがよい、ということが見極められた。このセットアップは、レーザー又は接合されるべきバルク材料の選択部分を選択的に方向決めすることによって、更に、パターン化された接合を可能にさせる。接合中、電磁放射線は、バルク材料間で界面に化学結合を現出させるに十分でありながらバルク材料をその機械的特性又は耐薬品性を低下させるやり方で改変するまでには至らない局所化された原子移動度を促すのに適切な持続時間と強度で、絶縁体基板(この実施例ではサファイア)を通して界面へ向けて方向決めされる。特に、パルスの短い持続時間は、熱膨張の不一致と熱衝撃のせいで自然に発生する界面応力場の大きさを制限する。結果としての傷サイズは局所化された応力場のサイズに比例するので、接合中に生成される典型的な界面の傷は小さく典型的にはナノメートルのオーダーにしかならないだろう。よって、局所応力の強さを高じさせ伝播閾値を満たしてしまうほどの寸法の傷は生成されない。

#### 【0022】

[0035] 急速室温バルク材料ボンドシステム300のブロック線図が図8に示されている。システム300はコントローラ302を含んでいる。コントローラ302は、命令の記憶のためのメモリ301と、命令を処理するためのプロセッサ303と、を含んでいる。ユーザーインターフェース304がコントローラ302と通信している。ユーザーは、繰返し数、平均レーザーパワー、及びステージ動作、及び/又はスキャナ速度を設定する、というような命令を、ユーザーインターフェース304を通してコントローラ302へ提供する。図7には接合用固定治具組立体308も示されている。接合用固定治具組立体308はバルク材料を保持しレーザー102に対して位置決めするために使用される。この実施形態での固定治具308は、バルク材料が乗せられるステージ307を含んでいる。ステージ307は、コントローラ302の制御下にX方向、Y方向、及びZ方向に動くように設計されている。以上に論じられている様に、1つの実施形態では、コントローラ302の制御下にあるスキャナ305が、レーザー102を、固定治具308によって保持されている接合されるべきバルク材料に対して動かすように実施されている。システム300は、更に、情報をコントローラへ提供する1つ又はそれ以上のセンサ310を含んでもよい。例えばセンサ310は、位置センサ、パワーメーター、カメラ、などを含むことができる。

#### 【0023】

[0036] 図9Aは、以上に提示されている工程によって形成されている接合されたチタン402とサファイア404の拡散帯域406の透過電子顕微鏡(TEM)画像を示している。電磁ビームのエネルギーが以上に説明されている様にチタンと相互作用する結果として、チタンがアルミナ(サファイア)の中へ拡散されて拡散帯域406が形成される。示

されている様に、この実施例での拡散帯域 406 は均一であり、厚さ 60 nm 未満である。また、チタン 402 は界面を横断して単調的に次第に少なくなってゆき、拡散帯域 406 がサファイア 404 に近づくにつれゼロに近づいている。この構造は、典型的な高温長持続時間拡散ボン드로予想されるはずのものではない。例えば、レーザー接合プロセスから生じる濃度勾配の傾きは、典型的な拡散接合で現出されるはずのものとは異なる。更に、応力及び／又は望ましからざる位相への対応策としてガラス及び／又は金属（例えばニオブ）の中間層を付加するということ無しに当技術で知られる技法をそのまま用いてチタンをサファイアへ拡散接合するというのはほぼ不可能である。チタン - サファイアの実施例では、接合後の界面領域は、チタン、アルミニウム、及び酸素を含有しており、それらがバルク材料へ良好に遷移していつている。以上に言及されている様に、上述の技法は、使用されているバルク材料の少なくとも一方と同じほどに強いボンドをもたらす。チタン - サファイアの実施例では、ボンドはサファイアほどに強い。図 9 B を参照すると、同じくナノメートル (nm) 範囲の TEM 画像 410 が提供されている。この画像は、ナノスケールの界面ボンド継目 412 が厚さ 200 nm 未満に形成されていることを示している。200 nm 未満の界面ボンド継目の向こうでは、チタン 402 とサファイア 404 は無擾乱である。つまりは、以上に説明されているボンドの形成は、この実施例では 200 nm 未満であるナノメートルスケール界面ボンド継目 412 の向こうのチタン 402 とサファイア 404 の特性を変化させないということである。図 9 B の TEM 画像 410 が示している様に、ボンドは、拡散帯域 406 が作り出されている界面ボンド継目 412 を含んでいる。図 9 C を参照すると、マイクロメートル (μm) スケールの走査電子顕微鏡 (SEM) 画像 418 が提供されている。ここでもやはり、画像は、バルクサファイア 404 とバルクチタン 402 が、上述の様に一体に接合されているバルク材料表面付近のナノスケール界面ボンド継目 412 の区域を別にして、ボンド 422 の形成によって擾乱されていないことを示している。図 9 C は、更に、バルク材料をパターン接合できることを示している。特に、図 9 C は、無接合区域 420 及び 424 と、接合区域 422 と、を示している。よって、上述の技法はボンドを形成する電磁ビームに対する精密位置制御を可能にさせるので、複数の離間された接合区域から成るパターンを所望に応じバルク材料の接触する表面区域間に形成させることができる。上記は、チタン - サファイアボンドでの 60 nm 未満の拡散帯域を説明し示している。また一方、複数の実施形態では、パラメータ及び接合されるべき材料を変えることによって 10 nm 乃至 100 nm の範囲の拡散帯域が見込まれる。

#### 【0024】

[0037] 図 10 は、或る実施形態で使用されている接合用固定治具組立体 308 の実施例を示している。接合用固定治具組立体 308 は、バルク材料を保持し位置決めするために使用され、更にレーザーをバルク材料の上へ方向決めするのにも使用される。この一例としての接合用固定治具組立体 308 は基部 502 を含み、当該基部 502 の上へ、X 軸運動ステージ 504、Y 軸運動ステージ 506、及び Z 軸運動ステージ 508 が取り付けられている。X 軸運動ステージ 504、Y 軸運動ステージ 506、及び Z 軸運動ステージ 508 は、以上に論じられているステージ 307 を構成している。それらは、コントローラ 302 の制御下にバルク材料を位置決めする。接合用固定治具組立体 308 は、更に、接合プロセスで使用される集束光学部品組立体 510、カメラ組立体 512、及び位置合わせ光学素子 514 を含んでいるものとして示されている。類似の固定治具の実施例は、「室温でのガラス対ガラス、ガラス対プラスチック、及びガラス対セラミック / 半導体の接合」(“Room Temperature Glass-to-Glass, Glass-to-Plastic and Glass-to-Ceramic/Semiconductor Bonding”) という名称の米国特許出願第 13 / 291,956 号に見られ、同出願をここにそっくりそのまま参考文献として援用する。接合用固定治具組立体 308 は、更に、図 11 及び図 12 に照らして詳細に説明されている材料保持用組立体 520 を含んでいる。

#### 【0025】

[0038] 材料保持用組立体 520 は、係合支持体 524 と固定板 538 を含んでいる。係

10

20

30

40

50

合支持体 5 2 4 と固定板 5 3 8 の間には 4 本の離間ロッド 5 3 9 と 4 本の並進ロッド 5 2 8 から成るセットが連結されている。更には、係合支持体 5 2 4 と固定板 5 3 8 の間に膨張組立体 5 3 0 が配置されている。膨張組立体 5 3 0 は、コントローラ 3 0 2 の制御下にある少なくとも 1 つの空気圧式膨張装置を含んでいる。滑り板 5 3 2 が膨張組立体 5 3 0 の上に配置されている。滑り板 5 3 2 は、それぞれの並進ロッド 5 2 8 を受け入れる離間されたスロットを含んでいる。使用時、膨張組立体 5 3 0 は、滑り板 5 3 2 を並進ロッド 5 2 8 に沿って選択的に動かす。接合されるべきバルク材料を保持する保持フレーム 5 5 0 が滑り板 5 3 2 の上方に配置されている。そして保持フレーム 5 5 0 の上からオプティカルフラット 5 3 4 が配置されている。オプティカルフラット 5 3 4 は、レーザーを透過させる材料から作られている。以上に論じられている様に、固定板 5 3 8 は、オプティカルフラット 5 3 4 と保持フレーム 5 5 0 と滑り板 5 3 2 と膨張組立体 5 3 0 が係合支持体 5 2 4 と固定板 5 3 8 の間に挟まれるような方式で、スペーサー 5 3 9 を介して係合支持体 5 2 4 へ連結されている。固定板 5 3 8 は、電磁ビームが通過する中央通路 5 4 0 ( 図 1 2 に示されている ) を含んでいる。固定板 5 3 8 の中央通路 5 4 0 は、オプティカルフラット 5 3 4 の直径より小さい直径を有している。使用時、接合されるべき材料が保持フレーム 5 5 0 に設置され、保持フレーム 5 5 0 が材料保持用組立体 5 2 0 内に位置決めされたら、コントローラ 3 0 2 ( 図 8 に示されている ) が膨張組立体 5 3 0 を選択的に起動させて滑り板 5 3 2 を並進ロッド 5 2 8 に沿って動かす。この作用が保持固定治具 5 5 0 への圧力を確立し、すると今度は、保持フラット 5 3 4 が固定板 5 3 8 を介して所定位置に保持されているために接合されるべきバルク材料への圧力が確立される。別の実施形態では、それぞれが適切に配され整列された多数の別々のチタン構成部品が単一のサファイア基板へ接合されることもある。同じく、多数の別々のサファイア基板又は構成部品が単一のチタン部品へ接合されることもある。

#### 【 0 0 2 6 】

[0039] 図 1 2 には、バルク材料 6 0 0 及び 6 0 2 が保持フレーム 5 5 0 に保持されている状態の材料保持用組立体 5 2 0 の部分断面図が示されている。この実施例では、バルク材料は、チタン 6 0 0 と、サファイアの層 6 0 2 と、を含んでいる。チタンの厚さは、概して  $10\ \mu\text{m}$  より大きく、典型的には  $10\ \mu\text{m}$  から  $100\ \text{mm}$  の範囲内ということになる。使用されるサファイアの厚さは、 $50\ \mu\text{m}$  から  $50\ \text{mm}$  の範囲ということになる。他の厚さを使用することもできるであろう。図 1 2 が示している様に、バルク材料 6 0 0 及び 6 0 2 は、オプティカルフラット 5 3 4 と保持器であるフレーム 5 5 0 の間に挟まれている。使用時、サファイアとチタンが材料保持用組立体 5 2 0 を介して一体に押し合わされ接合されるべき表面が互いに接触している状態で、電磁ビームが固定板の中央通路 5 4 0 を通りオプティカルフラット 5 3 4 及びサファイア層 6 0 2 を通ってチタン 6 0 0 へ伝送される。以上に論じられている様に、電磁ビームのチタンへの相互作用がチタンをサファイアの中へ拡散させ、サファイアをチタンへ接合するアモルファス拡散帯域 4 0 6 を有する界面ボンド継目 4 1 2 を作り出させる。図 1 2 は、更に、或る実施形態ではチタン 6 0 0 がパターン化されていることを示している。この実施形態では、チタンは製品設計にとって所望される通りに構造化される。チタンバルク材料 6 0 0 のウェブ同士の相互接続が所望の横方向の安定性と垂直方向の伸展性を提供する。チタンバルク材料 ( ウエーハ ) の構成が当該材料を伸展性にするので、チタンウエーハの各形成部分は、個別には可撓性でありながらもなおも隣接に保持されたままサファイアに達することができる。これは、チタンとサファイアの表面同士の中程度の非平坦度を補償する助けとなることによって、チタンとサファイアの間接合されるべき区域内の密な面対面接触を提供する。全表面を横断する相対的にやや広い非平坦区域なら、可撓性の構造化チタンウエーハをサファイアに当ててそれがごく僅かながらも曲がり / 圧縮するように押圧された状態にすることによって非平坦度が軽減され、局所的に平坦な接合されるべき区域同士が密な接触に置かれることが確約される。

#### 【 0 0 2 7 】

[0040] 別の実施形態では、薄い中間層 7 0 8 が接合されるべきバルク材料 7 0 4 と 7 0

10

20

30

40

50

6の間に配置される。これは図13に示されている。或る実施形態では、接合する段階に先立って、透明材料704又は吸収性不透明材料706（又は両方）へ中間層708が堆積される。薄い中間層708の例には、限定するわけではないが、チタン、ニオブ、タンタル、アルミニウム、ジルコニウム、クロム、窒化ケイ素（ $\text{Si}_3\text{N}_4$ ）など、の様な薄い金属膜が挙げられる。薄い導電性の中間層は、吸収性不透明材料（例えばチタンなど）の他の装置構造及び／又は電氣的構成要素への電氣的接続を容易にするものであってもよい。薄い中間層708は、更に、表面仕上げの要件を軽減し、レーザーエネルギーを吸収するようにより一貫性のある表面を提供するものであってもよい。薄い中間層708の厚さはnm乃至数 $\mu\text{m}$ の範囲にある。以上に論じられている実施形態と同じく、レーザー102は透明材料704を通して薄い中間層708そして吸収性不透明材料706に到達するまで進むレーザー信号103を提供する。レーザー信号103のエネルギーに応じて、薄い中間層708は透明材料704と吸収性不透明材料706の両方へ貼り付き透明材料704と吸収性不透明材料706の間にボンドを形成する。より厚い（ $\mu\text{m}$ 範囲の）中間層708が吸収性不透明材料706へ塗布されている場合、形成されるボンドは中間層と透明材料704の間だけになることもある。また、1つの実施形態に関し、中間層708は反射防止（AR）被覆を含んでいる。この実施形態は、低いエネルギーでも亀裂を生じさせることの無い接合を強化するのに役立つ。また、1つの実施形態では、AR被覆が後方反射ビーム及び低パワーでの吸収向上のために使用される。また、1つの実施形態では、ソフトスパッタされた中間層が使用される。この実施形態ではマイクロメートルの延性めっき708が不透明材料706の表面に堆積される。ソフトスパッタされた中間層708は接合材料の界面の運動を吸収する。これは、外部負荷又は異なる熱膨張係数を有するバルク材料の温度変化に起因し得る様な局所負荷に因って破断する又は亀裂する前にボンド継目が対処できる界面ひずみを増加させる。接合のための薄膜の使用の更なる実施例は、2010年12月23日に「介在層を使用して基板を接合するための技法」（“Techniques for Bonding Substrates Using an Intermediate Layer”）という名称で出願されている米国特許出願第12/977,890号に見られ、同出願をここに参考文献として援用する。以上に説明されている接合の実施形態は、空洞を封止するのに使用することもできる。以上に説明されている接合プロセスを用いて空洞を形成することの利点は、空洞の中の内部雰囲気組成を形成プロセス中に制御できるようになることである。

#### 【0028】

[0041]特定の実施形態をここに示し説明してきたが、当業者には、同じ目的を実現するように計算された何れかの配列が、示されている特定の実施形態に代用されてもよいことが理解されるであろう。本願は本発明の何れの適合型又は変形型も網羅するものとする。従って、瞭然のこととして、本発明は特許請求の範囲及びその等価物によってのみ限定されるものとする。

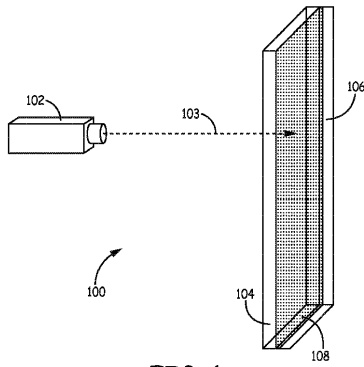
#### 【符号の説明】

#### 【0029】

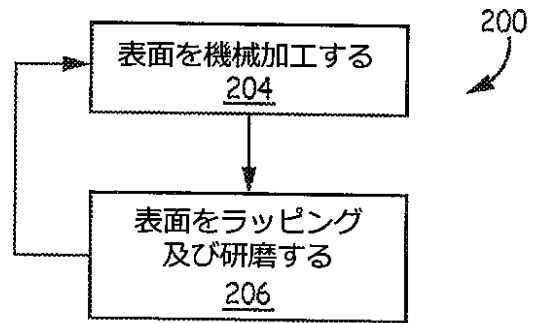
- 102 レーザー
- 103 電磁ビーム
- 104 透明材料
- 106 吸収性不透明材料
- 108 ボンド界面
- 280 レーザービーム
- 282 レーザービームの幅／直径、スポットサイズ
- 284 スポットの重なり合い
- 300 急速室温バルク材料ボンドシステム
- 301 メモリ
- 302 コントローラ
- 303 プロセッサ
- 304 ユーザーインターフェース

3 0 5	スキャナ	
3 0 7	ステージ	
3 0 8	接合用固定治具組立体	
3 1 0	センサ	
4 0 2	チタン	
4 0 4	サファイア	
4 0 6	拡散帯域	
4 1 0	透過電子顕微鏡 ( T E M ) 画像	
4 1 2	界面ボンド継目	
4 1 8	走査電子顕微鏡 ( S E M ) 画像	10
4 2 0、4 2 4	無接合区域	
4 2 2	接合区域	
5 0 2	基部	
5 0 4	X 軸運動ステージ	
5 0 6	Y 軸運動ステージ	
5 0 8	Z 軸運動ステージ	
5 1 0	集束光学部品組立体	
5 1 2	カメラ組立体	
5 1 4	位置合わせ光学素子	
5 2 0	材料保持用組立体	20
5 2 4	係合支持体	
5 2 8	並進ロッド	
5 3 0	膨張組立体	
5 3 2	滑り板	
5 3 4	オプチカルフラット	
5 3 8	固定板	
5 3 9	離間ロッド	
5 4 0	中央通路	
5 5 0	保持フレーム	
6 0 0	チタン	30
6 0 2	サファイア層	
7 0 4	透明材料	
7 0 6	吸収性不透明材料	
7 0 8	中間層	

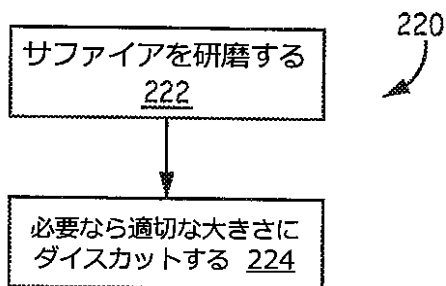
【図 1】



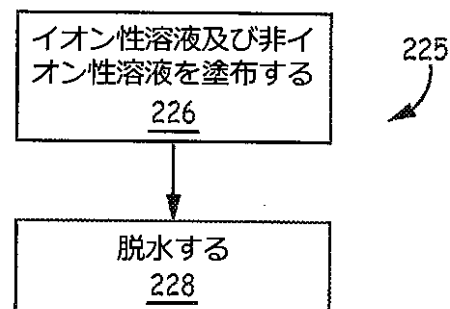
【図 2】



【図 3】



【図 4 A】



【図 4 B】

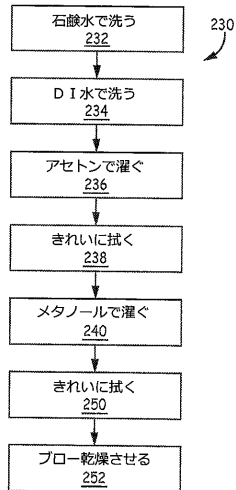


FIG. 4B

【図 5】

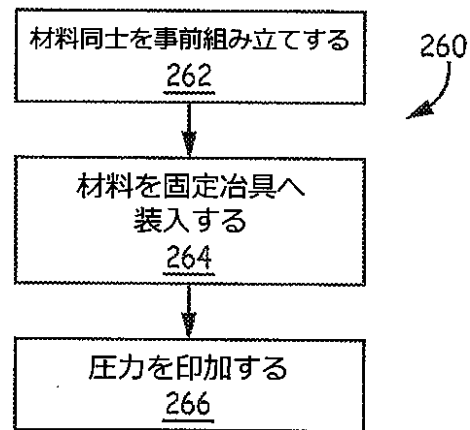


FIG. 5

【図 6】

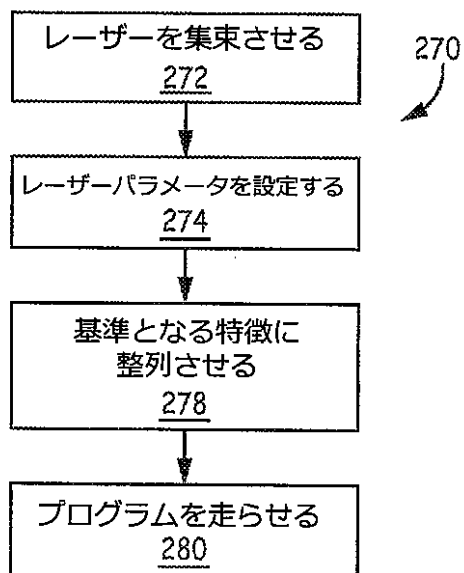


FIG. 6

【図 7】

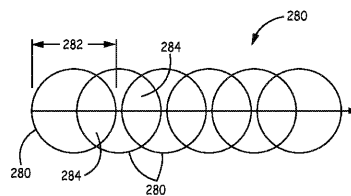


FIG. 7

【図 8】

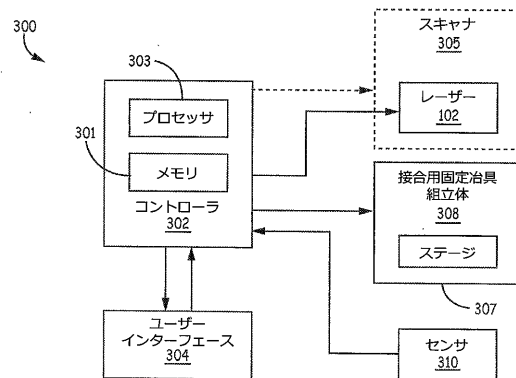


FIG. 8

【図 9 A】

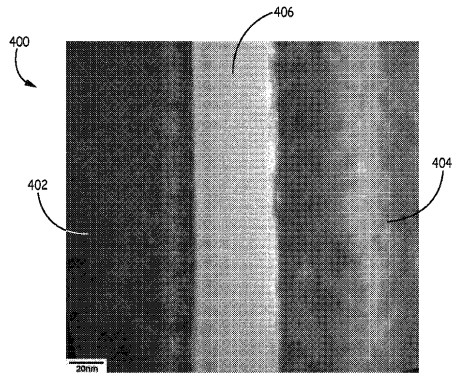


FIG. 9A

【図 9 B】

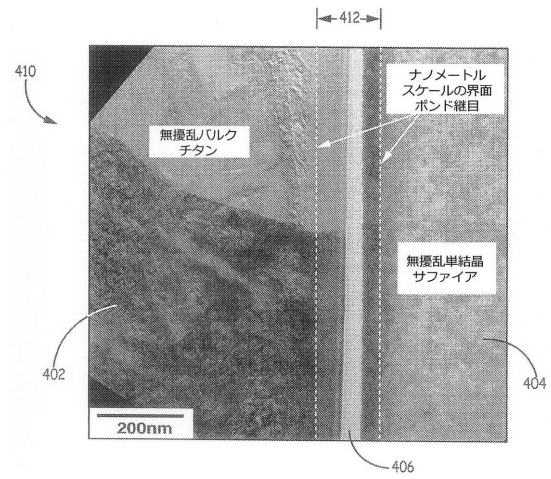


FIG. 9B

【図 9 C】

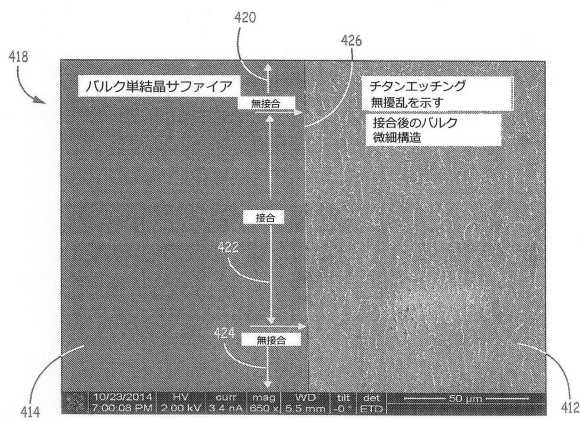


FIG. 9C

【図 10】

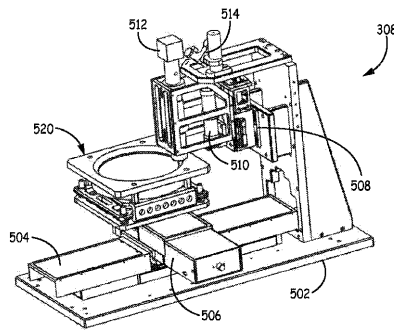


FIG. 10

【図 11】

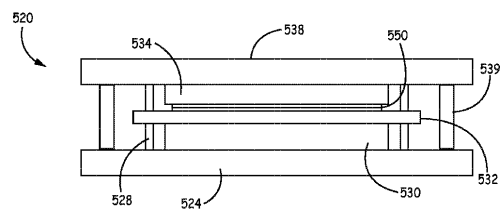


FIG. 11

【 12 】

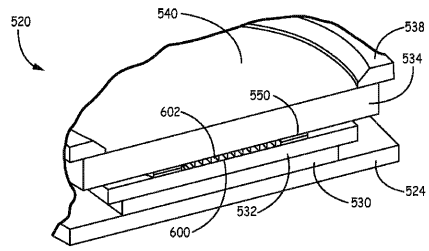


FIG. 12

【 13 】

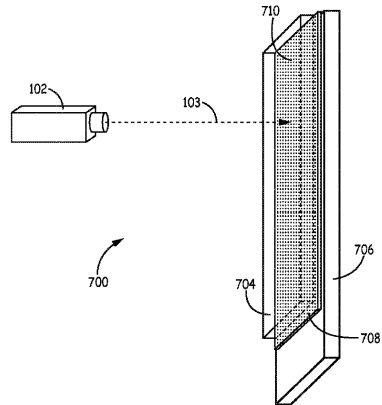


FIG. 13

## フロントページの続き

- (74)代理人 100106208  
弁理士 宮前 徹
- (74)代理人 100120112  
弁理士 中西 基晴
- (74)代理人 100101373  
弁理士 竹内 茂雄
- (72)発明者 サンドリン, マイケル・エス  
アメリカ合衆国アリゾナ州 8 5 2 4 9 , チャンドラー, イースト・ヴァーゴ・ブレース 2 4 1 8
- (72)発明者 ルーベン, デーヴィッド・エイ  
アメリカ合衆国アリゾナ州 8 5 2 1 3 , メサ, イースト・ノークロフト・ストリート 2 1 6 4
- (72)発明者 カラム, レイモンド・エム  
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 3 1 0 5 , サンタ・バーバラ, サンタ・バーバラ・ストリート  
2 5 2 5
- (72)発明者 ルーソス, ジョージズ  
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 5 1 1 9 , サンノゼ, ダル・ボン・コート 6 9 6 2
- (72)発明者 ワイン, トーマス・エム  
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 3 1 0 1 , サンタ・バーバラ, ウエスト・ヴィクトリア・スト  
リート 2 3 6 , アpartment 7

審査官 西垣 歩美

- (56)参考文献 特開 2 0 1 1 - 0 5 6 5 1 9 ( J P , A )  
特開 2 0 0 0 - 2 7 1 7 6 9 ( J P , A )  
特開 2 0 0 3 - 2 2 5 9 4 6 ( J P , A )  
米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 0 1 1 2 6 5 0 ( U S , A 1 )  
米国特許出願公開第 2 0 0 4 / 0 0 8 2 1 4 5 ( U S , A 1 )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

C 3 0 B 1 / 0 0 - 3 5 / 0 0  
B 2 3 K 2 6 / 0 0 - 2 6 / 7 0  
B 2 3 K 2 0 / 0 0 - 2 0 / 2 6  
B 3 2 B 1 / 0 0 - 4 3 / 0 0  
C 0 3 C 2 7 / 0 0 - 2 9 / 0 0  
C 0 4 B 3 7 / 0 2