

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-229093

(P2013-229093A)

(43) 公開日 平成25年11月7日(2013.11.7)

(51) Int.Cl.

G 11 B 5/31 (2006.01)
G 11 B 5/02 (2006.01)

F 1

G 11 B 5/31
G 11 B 5/02

テーマコード(参考)

5 D 0 3 3
5 D 0 9 1

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L 外国語出願 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2013-90171 (P2013-90171)
(22) 出願日 平成25年4月23日 (2013.4.23)
(31) 優先権主張番号 13/455,004
(32) 優先日 平成24年4月24日 (2012.4.24)
(33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 500373758
シーゲイト テクノロジー エルエルシー
アメリカ合衆国、95014 カリフォルニア州、クパチーノ、サウス・ディ・アンザ・ブルバード、10200
(74) 代理人 110001195
特許業務法人深見特許事務所
(72) 発明者 チャオ・トン
アメリカ合衆国、55344 ミネソタ州
、エデン・ブレーリー、ストラットン・アベニュー、11343、ユニット・218
(72) 発明者 マイケル・クリストファー・カウツキー
アメリカ合衆国、55122 ミネソタ州
、イーガン、カシェル・グレン、4143

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】近接場トランスデューサ、その形成方法、および近接場トランスデューサを含むシステム

(57) 【要約】

【課題】高い温度での塑性変形の減少を図った近接場トランスデューサを提供する。

【解決手段】近接場トランスデューサは基板平行面を規定する基板を含む。近接場トランスデューサは、基板平行面上に堆積される複合層をさらに含む。複合層は、プラスモン材の第1の層と、基板に隣接する、挿入材の第2の層とを有する。挿入材は、高い温度での近接場トランスデューサの塑性変形を減少させる。

【選択図】図5A

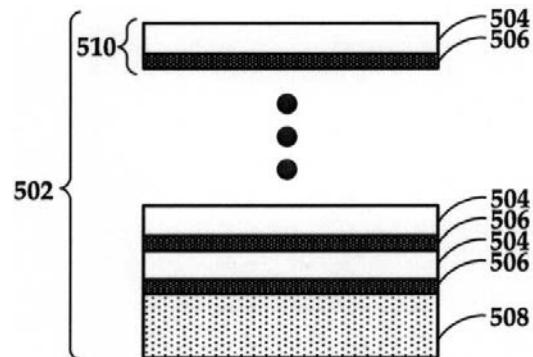


FIG. 5A

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

近接場トランスデューサであって、
基板平行面を規定する基板と、
基板平行面上に堆積される複合層とを備え、複合層はプラスモン材の第1の層と、基板に隣接する、挿入材の第2の層とを有し、挿入材は高い温度での近接場トランスデューサの塑性変形を減少させる、近接場トランスデューサ。

【請求項 2】

プラスモン材は金を含む、請求項1に記載の近接場トランスデューサ。

【請求項 3】

プラスモン材は、銅、アルミニウム、および銀の少なくとも1つを含む、請求項1に記載の近接場トランスデューサ。

【請求項 4】

挿入材は、プラスモン材において溶解度が低い高融点金属を含む、請求項1に記載の近接場トランスデューサ。

【請求項 5】

挿入材は高融点金属の合金を含む、請求項4に記載の近接場トランスデューサ。

【請求項 6】

挿入材は金属酸化物を含む、請求項1に記載の近接場トランスデューサ。

【請求項 7】

挿入材は導電性窒化物を含む、請求項1に記載の近接場トランスデューサ。

【請求項 8】

近接場トランスデューサは、間にギャップがある2つの細長いプレートとして形成され、プレートは基板平行面上に配置される、請求項1に記載の近接場トランスデューサ。

【請求項 9】

複合層上に配置される1つ以上の付加的複合層をさらに備え、付加的複合層の各々は、付加的プラスモン材の層および付加的挿入材の層を含む、請求項1に記載の近接場トランスデューサ。

【請求項 10】

挿入材の第1の層を基板上に形成して、近接場トランスデューサの平坦構造を形成するステップと、

プラスモン材の第2の層を第1の層上に形成するステップと備え、第1の層および第2の層は近接場トランスデューサの第1の複合層を形成し、挿入材は高い温度での近接場トランスデューサの塑性変形を減少させる、方法。

【請求項 11】

プラスモン材は金を含む、請求項10に記載の方法。

【請求項 12】

挿入材は、プラスモン材において溶解度が低い高融点金属を含む、請求項10に記載の方法。

【請求項 13】

挿入材は高融点金属の合金を含む、請求項12に記載の方法。

【請求項 14】

挿入材は、金属酸化物および導電性窒化物の少なくとも一方を含む、請求項10に記載の方法。

【請求項 15】

1つ以上の付加的複合層を第1の複合層上に形成するステップをさらに備える、請求項10に記載の方法。

【請求項 16】

光を近接場トランスデューサに照射して、磁気記録媒体を加熱するステップをさらに備える、請求項10に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 17】

第1の層と第2の層との間に拡散を起こすよう、熱処理を与えるステップをさらに備える、請求項10に記載の方法。

【請求項 18】

熱処理は、第1の層および第2の層の少なくとも一方が堆積される間、与えられる、請求項17に記載の方法。

【請求項 19】

熱処理は、第1の層および第2の層が堆積された後、アニーリングするステップを含む、請求項17に記載の方法。

【請求項 20】

少なくとも1つの複合層からなる近接場トランスデューサを備え、各複合層はプラズモン材の第1の層と挿入材の第2の層とを有し、挿入材は高い温度での近接場トランスデューサの塑性変形を減少させ、さらに

磁気記録媒体上のスポットの加熱を促進するよう、光を近接場トランスデューサに送るための手段と、

データを記憶するために、加熱されたスポットで磁界を誘起するための手段とを備える、システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

10

発明の詳細な説明

背景

本開示はたとえば熱補助磁気記録（HAMR）の用途で用いられる光学コンポーネントに関する。

【背景技術】**【0002】**

20

HAMR装置は、一般的な磁気媒体のデータ面密度を制限する超常磁性の影響を解消することができる磁気記録媒体（たとえば、ハードドライブディスク）を用いる。この媒体に記録するためには、媒体の小さな部分は、磁気書き込みヘッドによって書き込まれている間、局所的に熱せられる。レーザのようなコヒーレントな光源はこれらのホットスポットをもたらすエネルギーを与え、たとえば書き込みヘッドを収容するスライダに組込まれた光学コンポーネントは、このエネルギーを媒体に向けるよう構成されている。このような磁気記録のアプローチは、熱的補助磁気記録（TAMR）とも呼ばれる。さらに、同様のアプローチは、光磁気（MO）システムといった他の種類のデータ記録にも用いられ得る。

30

【発明の概要】**【課題を解決するための手段】****【0003】**

40

概要

ここに記載される一実施の形態は、基板に平行な面を規定する基板を含む近接場トランスデューサに向かっている。近接場トランスデューサは、基板平行面上に配置される複合層を含む。複合層はプラズモン材の第1の層と、基板に隣接する、挿入材の第2の層とを有する。挿入材は、高い温度での近接場トランスデューサの塑性変形を減少させる。

【0004】

別の実施の形態において、方法は、近接場トランスデューサの平坦構造を形成するために、基板上に挿入材の第1の層を形成することを含む。プラズモン材の第2の層は、第1の層上に形成される。第1および第2の層は、近接場トランスデューサの第1の複合層をなし、挿入材は高い温度での近接場トランスデューサの塑性変形を減少させる。

【0005】

上記のおよび他の特徴ならびにさまざまな実施の形態の局面は、以下の詳細な説明および添付図面により、理解されるであろう。

50

【0006】

図面の簡単な説明

つぎの説明は以下に示される図面を参照し、図面において同様の / 同じコンポーネントを特定するのに、同じ参照符号が用いられる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】例示的実施の形態に従う、近接場トランスデューサを用いる熱的補助記録ライダの斜視図である。

【図2】例示的実施の形態に従う、導波路、書込極、および近接場トランスデューサの断面図である。 10

【図3A】例示的実施の形態に従う近接場トランスデューサのジオメトリの斜視図である。

【図3B】例示的実施の形態に従う近接場トランスデューサのジオメトリの斜視図である。

【図4A】別の例示的実施の形態に従う近接場トランスデューサに、高い温度がどのように影響するかを示す走査型電子顕微鏡画像の図である。

【図4B】別の例示的実施の形態に従う近接場トランスデューサに、高い温度がどのように影響するかを示す走査型電子顕微鏡画像の図である。

【図4C】別の例示的実施の形態に従う近接場トランスデューサに、高い温度がどのように影響するかを示す走査型電子顕微鏡画像の図である。 20

【図4D】別の例示的実施の形態に従う近接場トランスデューサに、高い温度がどのように影響するかを示す走査型電子顕微鏡画像の図である。

【図4E】別の例示的実施の形態に従う近接場トランスデューサに、高い温度がどのように影響するかを示す走査型電子顕微鏡画像の図である。

【図5A】例示的実施の形態に従う多層構造のブロック図である。

【図5B】例示的実施の形態に従う多層装置を用いることにより、表面粒子構造への影響を示す一連の原子間力顕微鏡画像を示す図である。

【図6】例示的実施の形態に従う構造についての、温度および保持時間を関数とする応力変動を示す一連のグラフ図である。

【図7A】例示的実施の形態に従う多様な多層構造のブロック図である。 30

【図7B】例示的実施の形態に従う多様な多層構造のブロック図である。

【図7C】例示的実施の形態に従う多様な多層構造のブロック図である。

【図7D】例示的実施の形態に従う多様な多層構造のブロック図である。

【図7E】例示的実施の形態に従う多様な多層構造のブロック図である。

【図8】例示的実施の形態に従う多様な多層構造についての、相対光結合効率を示す棒グラフ図である。

【図9A】例示的実施の形態に従う多層構造を用いる例示的近接場トランスデューサ配置を示すブロック図である。

【図9B】例示的実施の形態に従う多層構造を用いる例示的近接場トランスデューサ配置を示すブロック図である。 40

【図9C】例示的実施の形態に従う多層構造を用いる例示的近接場トランスデューサ配置を示すブロック図である。

【図9D】例示的実施の形態に従う多層構造を用いる例示的近接場トランスデューサ配置を示すブロック図である。

【図9E】例示的実施の形態に従う多層構造を用いる例示的近接場トランスデューサ配置を示すブロック図である。

【図9F】例示的実施の形態に従う多層構造を用いる例示的近接場トランスデューサ配置を示すブロック図である。

【図9G】例示的実施の形態に従う多層構造を用いる例示的近接場トランスデューサ配置を示すブロック図である。 50

【図10】例示的実施の形態に従うプロシージャを示すフローチャート図である。

【図11A】別の例示的実施の形態に従う多層構造のブロック図である。

【図11B】別の例示的実施の形態に従うプロシージャを示すフローチャート図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

詳細な説明

本開示は、高度に集光された、相対的に強い電磁エネルギーが必要な用途で使用するための光伝送システムに関する。上記のように、このような用途の1つは、ここではHAMRと呼ばれる熱的/熱補助磁気記録にある。図1の斜視図を参照すると、例示的HAMRスライダ100が示される。この例示的スライダ100は、スライダ100の後縁面104に統合されるエッジ発光レーザダイオード102を含む。レーザダイオード102はHAMR読出/書込ヘッド106に隣接し、一方端はスライダ100の浮上面(ABS)108上有る。ABS108は装置の動作中、動いている媒体表面(図示されていない)に対向して、近接した状態で保持される。

10

【0009】

レーザダイオード102は、読出/書込ヘッド106近くのある点で、媒体面を加熱するよう、電磁エネルギーを出力する。導波路110のような光結合コンポーネントは、スライダ装置100内に集積して形成され、レーザ102から媒体に光を送る。特に、導波路110およびNFT112の一部を読出/書込ヘッド106近くに配置して、書込動作の際に媒体の局所的加熱を提供する。本例でのレーザダイオード102は集積されたエッジ照射装置であるが、導波路/NFT112などの光源および光伝送機構にも適用可能である。たとえば、エッジ照射レーザの代わりに面発光レーザ(SEL)を用いることができる、スライダ100は任意の集積された外部レーザの組合せを用いることができる。

20

【0010】

一般的な磁気媒体のデータ面密度を制限する超常磁性の影響を解消するために、HAMR装置はオプティクスを用いて磁気記録媒体(たとえばハードディスク)を加熱する。この媒体に記録するためには、媒体の小さな部分は、磁気書込ヘッドによって書込まれている間、キューリー温度より高く局所的に加熱される。レーザといったコヒーレント光源は、この加熱動作のエネルギーを与えることができ、書込ヘッドを収容するスライダに組込まれた光学コンポーネントは、このエネルギーを媒体に照射するよう構成されている。

30

【0011】

光をHAMR媒体に照射する場合、光は書込が行なわれる媒体面のトラック上の小さなホットスポットとして集光される。この小さいホットスポットを形成するために、光源からのエネルギーは、ハードドライブヘッドに集積されている導波路に入力される。光は導波路を伝搬し、たとえば、導波路から直接に、または焦束エレメントにより、光学NFTに結合され得る。NFTは光を集束させてその光を媒体面に照射し、媒体を加熱する。

40

【0012】

図2の断面では、例示的実施の形態に従う読出/書込ヘッド106の部分が示される。この図では、ABS108およびNFT112は、たとえば磁気ディスクである磁気媒体202の表面に近接している。導波路110は電磁エネルギー204をNFT112に送り、エネルギーが媒体202上の小さなホットスポット208を形成する。磁気書込極206を介して磁界が形成され、電流が与えられると、ABS108近くの磁束を変動させる。書込極206による磁束は、ホットスポット208がトラックの下流方向(z方向)で書込極206を越えると、ホットスポット208の帯磁方向を変える。

40

【0013】

導波路110およびNFT112は、読出/書込ヘッド106を収納するスライダ内に集積して形成され得る。HAMR記録ヘッドで用いられるこのような光学素子および他の光学素子は、一般に集積光学装置として知られている。集積光学装置は基板上に構成されるコンポーネントであり、時には電子コンポーネントと組合せられる。集積光学装置は、たとえば層の堆積のように、半導体製造で用いられる処理と類似した処理を用いて形成さ

50

れ得る。

【0014】

たとえば、レーザ（たとえば図1のレーザダイオード102）から光をNFT112に送る導波路110は、原子層堆積、フォトレジストエッチング、化学機械平坦化（CMP）などの技術を用いて基板上に誘電体材料を堆積することによって形成することができる。導波路110の層は異なる光学特性を有することができ、たとえば中間層210の屈折率はn₁であり、上部層212および下部層214の屈折率はそれぞれn₂およびn₃である。n₁>n₂およびn₁>n₃の構成では、中間層210はコアとして働き、上部層212および下部層214はクラディングとして働き（光ファイバと類似している）、光は効率よく導波路110を伝搬する。

10

【0015】

NFT112、書き極206および他の図示されているコンポーネントは、導波路110と同様の層堆積技術を用いて形成することができる。一般に、この規模では回折が制限されるかもしれないレンズやミラーのような光学装置の代わりに、NFT112のようなプラズモン装置を用いてエネルギー204を媒体202上に集める。その結果、エネルギー204は導波路110からNFT112を介して媒体202に送られる。NFT112は、共鳴すると面プラズモンのフィールドを発生させる材料（たとえば、金、銀、銅、アルミニウム）からなる。NFT112はプラズモンフィールドを媒体202の表面に方向付けるような形状を有する。

20

【0016】

当該例では、NFT112は導波路コア210内に配置されるが、他の配向を用いることもできる。たとえば、導波路コア210はNFT112の後ろ、たとえば負のy方向で終端してもよい。導波路110の寸法および/または位置は、NFT112がコア210ではなく、いずれかのクラディング層212、214の上に、または近くに配置されるよう、調整することができる。導波路110は図2に示されていない他の構造、たとえば光をNFT112に集束させる固体油浸ミラー（SIM）または固体油浸レンズ（SIL）を含むことができる。

20

【0017】

ホットスポット208を形成するためにNFT112に与えられたエネルギーは、NFT112での著しい温度上昇を引起し得る。NFT112は生成されるプラズモンフィールドを小さく保つために、相対的に小さい寸法を有するペグ、ピン、棒、または他の突出物として形成することができる。その結果、ヒートシンク218はNFT112に近接して（または集積して）形成され得る。ヒートシンク218はNFT112から熱を出し、放熱のために他のコンポーネント（たとえば、書き極206）に熱的に結合され得る。

30

【0018】

以下の説明では、例示的NFTジオメトリが図3Aから図3Bに示される。これらのジオメトリは一例であって、限定を与えるものではない。クレームに記載の主題は、図3A-図3Bおよび他に示されるNFT構成と異なるものに適用され得る。図3Aの斜視図では、x-y面にある円形ディスク302を含むNFTジオメトリ300が示される。ディスク302はペグ304に結合され、その端部はABS108に延在する。このNFTジオメトリ300はここでは「ロリポップ」NFT構成とも呼ばれる。ディスク302はSIMなどの焦点に位置付けることができ、生成されるプラズモンはペグ304から媒体面に放出される。当該図ではヒートシンク306も示され、これはNFT300と一体的または別個のものとして考えることができる。ヒートシンク306はたとえば磁極または他の構造への熱的導伝路を与え、これは図2においてヒートシンク218および極206によって示される。

40

【0019】

図3Bの斜視図は別のNFTジオメトリ320を示す。このNFT320は、間にギャップ326を有する横並び細長いプレート322および324として構成される。プレート322および324はx-y面上に配置され、ギャップ326はy方向に、励起位置3

50

28からABS108に延在する。ギャップ326および周囲の領域328は誘電体材で充填されてもよい。プレート322および324は、導波路（図示されていない）との結合を向上させるために、導波路対向端部330で湾曲／面取りされている。この配置はここでは「ギャップ」NFTと呼ばれる。

【0020】

上記の構成および他の構成において、NFTの温度はプラズモン共鳴で著しく増加し得る。共鳴すると、著しいエネルギーが小さい体積で、たとえばABS近くのNFTの部分として、集中する、たとえば、図3Aのペグ304は、全体のNFTと比較して体積が小さくなっている、高エネルギー密度の場所に位置付けられている。同様の小さい体積のエネルギー集中は、図3BのNFT構造320のギャップ32の狭い部分に沿っても起こり得る。プレート322、324およびペグ304の部分はABSで露出され得るので、さらに機械的摩耗を受け得る。

10

【0021】

NFTの性能（たとえば耐性、効率）は、HAMR動作の際熱的および機械的応力によって影響され得る。優れた電磁および光学特性により、金(Au)はNFTのプラズモン共鳴器／アンテナ（たとえば、図3Aのディスク／ペグ302／304、および図3Bのプレート324、326）を形成するためにしばしば用いられる。しかし、金は他の金属と比べて機械的強度が比較的劣っており、金からなるNFT装置は高い温度ではさまざまな種類の劣化または欠陥を示している。

20

【0022】

本件の場合、上記の構成を有するNFTで行なわれた熱的モデルでは、HAMR動作の際にNFT温度は、ロリポップ型構成では400まで、およびギャップ型構成では250まで上がることが示される。この熱はNFTから発せられるレーザ光と、書き込みおよび読み出ヒータによるものである。例示的金NFTコンポーネントが作成され、これらの熱レベルに晒された。これら例示的NFTコンポーネントの欠陥モードは、図4Aから図4Eの走査型電子顕微鏡(SEM)画像で示される。

20

【0023】

図4Aおよび図4Bでは、SEM画像400および402はアニーリング前およびアニーリング後のギャップNFTのそれぞれの外形を示す。SEM画像400および402は、図3Bのx y面を上から見た、NFTの平面図である。図4Aの画像400は、NFTの製造されたままの形を示す。この例では、ABSはまだ形成されず、NFTの上部をインタセプトする横線として見ることができる。画像400で示される突出部はABSに面していない。図4Bの画像402は大気中で3分、230でアニーリングされた後の同じ装置の形を示す。図4Bで示されるように、AuのNFT形状は高温度でのAuの再流によりアニーリングによって丸くなっている。この種のNFT形状の変形は、レーザエネルギーを磁気媒体に送る結合効率を減少させる。

30

【0024】

図4Cおよび図4Dでは、SEM画像404および406は、500でアニーリングされたロリポップNFT（たとえば、図3AのNFT300）の事前の形状および事後の形状をそれぞれ示す。これらの画像404および406は、NFTの平面図、たとえば図3Aのx y面の図である。ABSはこれらの画像404および406では見える（たとえば、NFTペグに近接する暗い影の部分）。図4Dで示されるように、アニーリングの後、NFTペグはABSから窪んでおり、レーザ光が磁気媒体に送られるのを潜在的に妨げる。同様の窪みは、ラッピングといった製造処理の際にも起こり得る。金は軟らかい金属であり、過度にラッピングされる（たとえば、ラッピング処理の際過度に材料が除去される）ことが容易に起こる。これはNFTの処理された表面に空所を残す。一般に、金といった軟らかい金属は、熱処理（たとえばアニーリング）、化学処理（たとえばエッチング）、機械処理（たとえば平坦化）などを受けた表面上に不所望の空所、変形、および/または突出部をもたらし得る。

40

【0025】

50

図4Eにおいて、SEM画像410は、ロリポップ型NFTを用いるスライダアセンブリの断面を示す。この画像410は図2に示されるようなyz面の断面図であるが、図4Eでは正のy軸は上向きにある。画像412は、NFTの周りの領域が350でアニメーリングされた後撮られたものである。NFTは部分412において、ABSに突出する。この突出部は、突出する材料がなくなることにより、他の箇所では空所をもたらし得る（たとえば、部分412の近く、またはABSから離れた場所）。突出材料は、動作中に、たとえばヘッド・媒体接触において、ABSを劣化させ得る。

【0026】

HAMR熱的性能の現在の分析および推測に基づき、純金のNFTコンポーネントは通常の動作の際、上記の欠陥モードを提示し得る。銅、銀などの他のプラズモン材も相対的に軟らかい金属なので、同様の欠陥を示し得る。したがって、NFT装置がHAMRシステムで長期に確実に動作できるよう、代替のアプローチが望まれる。

10

【0027】

ここに記載され、図5Aに示されるアプローチは、多層構造502を用いてNFTを形成することである。構造502はプラズモン材504を代替的に他の材料506（ここで「挿入材」と呼ぶ）で積層することによって形成される。構造502は少なくとも1枚のプラズモン層504と、少なくとも1枚の挿入材層506とを含み、基板508（たとえば、Si/SiO₂）の上面に形成され得る。説明の便宜上、隣接するプラズモン層504および挿入層506は、集合的に複合層510と呼び、構造502は1つ以上の積層された複合層510から形成され得る。

20

【0028】

挿入材506は非プラズモンであってもよく、高温条件下でのNFTの機械的安定性を向上させるよう選択される。多層構造502は、たとえば図3Aから図3Bにおいて上記の形状および寸法を有するNFTを形成するために用いることができる。このようにもたらされた装置は、単層のNFT（たとえば純金）に匹敵する光学性能を有しながら、機械的特性は向上している。

20

【0029】

多層のアプローチでは、粒子安定性、硬度、および耐クリープ性の向上により、機械的強度が高められる。合金のアプローチと比べて、多層構造は、製造が容易であり、プラズモン材の光学特性を保ちやすいという利点を有する。多層構造では、異なる材料間のインコヒーレント界面は、転位や他の欠陥が界面を通って入ってくることを妨げる。このような転位／欠陥は機械的強度の低下の要因となり、潜在的に高温での塑性変形をもたらし得る。多層構造502を用いると、粒子安定性、硬度、および応力低下へのより高い耐性が向上することが予期される。これにより、高い温度での機械的強度が向上し、かつ安定性が優れているNFT（または他の集積光学コンポーネント）がもたらされる。

30

【0030】

挿入材506を適切に選択することにより、プラズモン層504の機械的強度を向上させるテクスチャをプラズモン材（金）で促進させることができる。挿入材506の層厚さを相対的に十分薄く（たとえば1nmの桁）に保つことにより、NFTの光学特性への影響を最小限にすることができる、それによりNFT結合効率を保つことができる。

40

【0031】

プラズモン層504用に選択できる材料は金、銀、アルミニウムおよび銅を含み、さらに代替の材料は、2011年2月23日に出願された「向上した熱安定性を有するHAMR NFT材料」と題された米国特許公報2011/0205863に示されており、その全体は引用によりここに援用される。挿入層506用には、プラズモン層504との溶解性が低い材料を用いて熱的安定性を向上させることができる。挿入層506用のオプションとして、Auとの溶解度が低い高融点金属であるW、TiW、Rh、Ru、Zr、Ta、Ti、Scなど、およびこれらの合金の材料を挙げることができる。挿入層506で使用可能な他の材料は金属酸化物である。たとえば、ZrO、TiO、VO、WOなどの光損失が低いものがある。さらに、挿入層で用いることができる別の分類の材料は、好ましくは導電性の窒化物、たとえ

50

ばTiN、ZrNなどがある。

【0032】

図5Bを参照すると、単一層および多層構造の熱的性能を比較するために、一連の原子間力顕微鏡（AFM）表面形態画像が用いられる。上の列（画像520-522）はAu（150nm）単層膜の表面画像を含む。下の列（画像523-525）は10枚の複合層からなる多層膜の表面画像を示し、各複合層はTiW（1nm）およびAu（15nm）からなる。両方の膜は、Si/SiO₂基板に生成される。画像520から525は、左から右に、異なる熱処理が膜に与えられた後の表面形態での変化を示す。最も左側の画像520および523は、熱処理が与えられる前の生成されたままの表面形態を示す。中間の画像521および524は、200のアニーリング後の表面形態を示し、最も右の画像522および525は400のアニーリング後の表面形態を示す。

10

【0033】

図5Bの画像523から525が示すように、150nmのAu膜に複数の1nmのTiW層を加えることにより、高い温度でのより規則正しい粒子構造が促進される。アニーリングの後、単一層Au膜では、200のアニーリング後でも、実質的な粒子成長が起こる（画像521）。しかし、TiW/Au多層構造では、400のアニーリング後でも粒子の成長が著しく低下したことが示され（画像525）、これはAu粒子の安定性が向上したことを示す。機械的強度の向上は、図6のグラフ602から604で示されるように、温度および保持時間を関数とした、応力の測定値でもさらに確認されている。

20

【0034】

グラフ602から604の各々は、構造に応力を引起す周囲温度を変化させた、薄膜構造での応力測定の変動を示す。温度測定値はグラフの左から右に上がっている段階的曲線（100から400）によって示され、表示が他のデータを分かりにくくしないところでは、温度値が示されている。応力の測定値はギザギザの曲線で示され、グラフでは左から右に値が下がっている。グラフ602はAu（150nm）の単一層膜の結果を示す。グラフ603は10枚のTiW（1nm）/Au（15nm）の複合層膜の結果を示す。グラフ604は単一のTiW（5nm）/Au（150nm）の複合層の結果を示す。これらの膜はすべてSi/SiO₂基板上に形成されている。

20

【0035】

一般に、温度が上昇しても相対応力（または「応力緩和」）の変化が少ないコンポーネントは、温度範囲にわたってより機械的安定性を有する傾向がある。グラフ603で見られるように、10枚の複合層を有する構造は、グラフ602および604と比べて、150から350の間の範囲では応力緩和が相対的に小さく、応力緩和はこの温度範囲ではほとんど一定している。グラフ604で見られるように、応力緩和は、グラフ603の多層構造と同様に、300まで上がり、グラフ602の単層構造に対して向上している。400°C当たりで、単層Au膜は著しい応力低下を示す。

30

【0036】

少なくとも1つの複合層を用いてNFT（または他の集積光学装置）を形成することにより、高い温度での機械的性能を向上させることができると考えられる。完成品の実験では、TiW（1nm）/Au（25nm）の2層構造からなるペグ304を用いてロリップ型NFT（図3AのNFTジオメトリ300参照）が形成された。この2層構造の信頼性テストでは、信頼性が10倍向上し、さらに記録面密度が10%増加したことが示された。これらの結果は、Auといったプラズモン金属の機械的性能を向上させるための多層層のアプローチの有効性を示す。

40

【0037】

結合効率の点で多層NFTがどのように働くかを測定（たとえば、NFTに与えられたエネルギーのうちのどれだけが媒体に達するかを測定）するために、図7Aから図7Eに示されるように、例示的構造701から705を用いていくつかの分析が行なわれた。構造701から705の金の層は、高さが合計18nmであった。挿入層が間にある構造701および703では、Au層はそれぞれ9nmである。挿入層はすべての構造701-7

50

05では1nmであり、Crが用いられる構造705以外、すべてTiWである。

【0038】

分析の結果は、図8の棒グラフで示される。NFTは、図3Aに示されるロリポップ型NFTジオメトリ300としてモデル化された。図8の結果に示されるように、ペグだけまたはペグ+ディスクは、複合2層から形成された。ペグだけが複合層から形成されているところでは、ディスクは純金の層を用いて形成された。それぞれの結果に対して、層の構成が示され、結果は図7Aから図7Eに示される構造のうちの1つを示す参照番号を含む（たとえば、「TiW上部」は図7の構成702に対応する）。図8の分析結果は、基準効率に対する結合効率のパーセンテージとして示され、基準効率は同じロリポップ型構造の純金NFTの効率である。いくつかの構成は、基準に対して80%以上の相対効率を示す。80%以上の相対効率は現在のHAMR記録システムでは許容可能であると考えられるが、状況によっては（たとえば、より高い出力のレーザダイオードが利用可能）では、より低い効率でも有用なHAMRシステムをもたらし得る。

10

【0039】

上記の例では、2つの特定のNFT構成、すなわちロリポップ構成およびギャップ構成がNFTの少なくとも一部として多層構造を用いるものとして説明されている。ABSから（たとえば、xz面）から見た、これらの構成の例は、図9Aおよび図9Bに示される。図9Aでは、積層ギャップNFT901が、図2に示されるような記録極206の少なくとも一部に近接して示される。図9Bでは、NFT902はロリポップ構成を示し、これはABSから見ると矩形である。このNFT902はABS上で矩形の突出部を有する他の形状をも表わし得る。

20

【0040】

他の代替的NFT構成は図9C - 図9Gに示され、これらはすべてABSからまたはABSに平行な面から見たものである。図9Cから図9Gでは、磁極206の少なくとも一部は異なるNFT構成903 - 907の位置に対して示される。任意の構成9A - 9Gにおいて、NFT901 - 907は、図3Aのペグ/突出部304と同様に、ABSに延在する突出部（たとえばペグ）を含み得る。このような場合、NFT901 - 907の突出部および/または本体は、多層構造を用いて形成してもよい。

【0041】

NFT901 - 907は任意の数の複合層を用いることができ、その層はここに記載されているプラズモンおよび挿入材の任意の組合せから形成できる。さらに、同じNFTにおいて異なる複合層を用いることができる。たとえば、Au/Crの層の上にAu/TiWの層を配置することができ、このような配置は機械的安定性を高める以外の他の利点をもたらし得る。たとえば、優れた熱的伝導性により挿入層を磁極206により近く配置することを選択して、磁極に対してより良い熱伝送を促進することができる。

30

【0042】

図10のフローチャート図は、例示的実施の形態に従うプロシージャを示す。プラズモン材の第1の層は基板上に形成されて1002、近接場トランステューサを形成する。挿入材の第2の層が第1の層上に形成される1004。第1および第2の層は、近接場トランステューサの第1の複合層をなし、挿入材は高い温度での近接場トランステューサの塑性変形を減少させる。本プロシージャは、第1の複合層上に1つ以上の付加的複合層を形成すること1006を任意に含み得る。本プロシージャはさらに、光を近接場トランステューサに照射して磁気記録媒体を加熱すること1008を含み得る。

40

【0043】

薄膜材装置では、合金材を用いて特性を多くの異なる観点から調整することができる。一部では、ドーピングレベルは低い。たとえば所望の特性のためにドーピングレベルは1%以下であり得る。たとえば、HAMRのNFTでは、NFTのプラズモン特性を保つために低いドーピングレベルが必要であり得る。材料を別の材料にドーピングすることは、現在少なくとも2つの異なる方法で行なうことができる。1つの方法は、所望の組成からなる単一合金ターゲットを基板上にスパッタリングすることを含む。場合によっては、こ

50

れはターゲット製造にいくつかの問題をもたらし、堆積材料の正確な組成が制御しにくくなり得る。ある材料を別の材料にドーピングする別のある方法は、異なるスパッタリングレートで2つの異なるターゲットから同時にスパッタリングして、膜での所望な組成を形成することである。このアプローチは、一部の大量生産装置で維持するには、複雑かつ困難であり得る。

【0044】

上記のドーピング方法の代替として、上記の多層構造を用いて、薄膜材での低いレベルのドーピングを達成することである。たとえば、材料の複数の別個の層を与えることができ、各層は所望の元素を含み、所望の混合率に比例して大きさが定められる。形成の後、層の一部またはすべてに対して熱処理を与えることができる。熱処理は一方の元素を他方に拡散させ、この混合は所望の組成を形成し得る。この多層のアプローチは堆積処理に組込みやすく、さらにより正確に組成を制御でき得る。組成を正確に制御することは、不適切な組成による廃棄されるウェーハの数を減らし、および／またはより少ないターゲットにより製造コストを下げるのに役立つ。

10

【0045】

図11Aのブロック図を参照すると、例示的実施の形態に従う多層構造1102が示される。構造1102は第1の材料層1104および第2の材料層1106を含み、これらは基板1108（たとえばSi/SiO₂）の上に形成され得る。説明の便宜上、2つの隣接する材料層1104および1106は集合的に複合層1110と呼び、構造1102は1つ以上の積層された複合層1110から形成され得る。以下で説明するように、層1104および1106は処理されて、層1104および1106間で材料を部分的にまたは完全に拡散させ、複合層1110は処理の後、滑らかな段階の材料を含むことができる、または層1104および1106間の拡散レベルに応じて実質的に均質であり得る。

20

【0046】

層1104および1106はプラズモンまたは非プラズモンであってもよく、高い温度条件下でNFTの機械的安定性を高めるよう選択することができる。図示される多層構造1102は、図5Aの構造502のような、他の多層構造と組合せることができる。たとえば、プラズモンおよび非プラズモン材の拡散構造1102の上に、純粋なプラズモン外層を有する別個の構造502を配置してもよい。これにより単一層NFT（たとえば純金）に匹敵する光学性能を持ちながら、機械的特性が向上している装置をもたらし得る。

30

【0047】

構造1102を形成するのに用いられる材料は高い溶解度および拡散レートを有し得る。多層構造1102の構成は、すべての層を混合することにより所望の組成となるよう選択される。層の数を増やすことは、有効および有用であり得る。これは熱処理の際2つの異なる材料を拡散および混合するための界面が多くなることによるものである。熱処理はいくつかの異なる方法によって行なうことができる。たとえば、ウェーハを層1104および／または1106の堆積の際に加熱し、その場合拡散および混合は堆積の間に起こる。別の配置では、一部またはすべての層1104, 1106を堆積した後、ポストアニーリングをより低い温度（たとえば室温以下）で行なうことができる。この場合、拡散および混合はアニーリングの際に起こる。

40

【0048】

図11Bは例示的実施の形態に従うプロシージャのフローチャート図である。ある材料の第1の層が基板上に形成され1112、集積電気および／または光学装置を形成する。ある材料の第2の層が第1の層上に形成される1114。第1および第2の層は、電気的および／または光学的に集積される装置の複合層をなす。本プロシージャは1つ以上の附加的複合層を第1の複合層上に形成すること1116を任意に含み得る。本プロシージャは、熱処理を与えて、ある材料の第1の層とある材料の第2の層との間で拡散を引起すこと1118を含み得る。熱の付与1118は、個々の層が与えられて行なう、または1つ以上の複合層が形成された後に行なうことができる。たとえば、複数の複合層をアニーリングする。もたらされる装置は、第1および第2の層の2つの材料の完全なまたは部分的

50

混合を有し得る。

【0049】

例示的実施の形態の説明は図示および説明のために示されている。記載は実施の形態を開示されたそのものに制限するものではない。多くの変形および変更は上記に照らして可能である。開示されている実施の形態の特徴は個々に用いることができ、任意の組合せは例示であって制限的なものではない。本発明の範囲は上記の詳細な説明によって制限されるのではなく、特許請求の範囲によって定められる。

【図1】

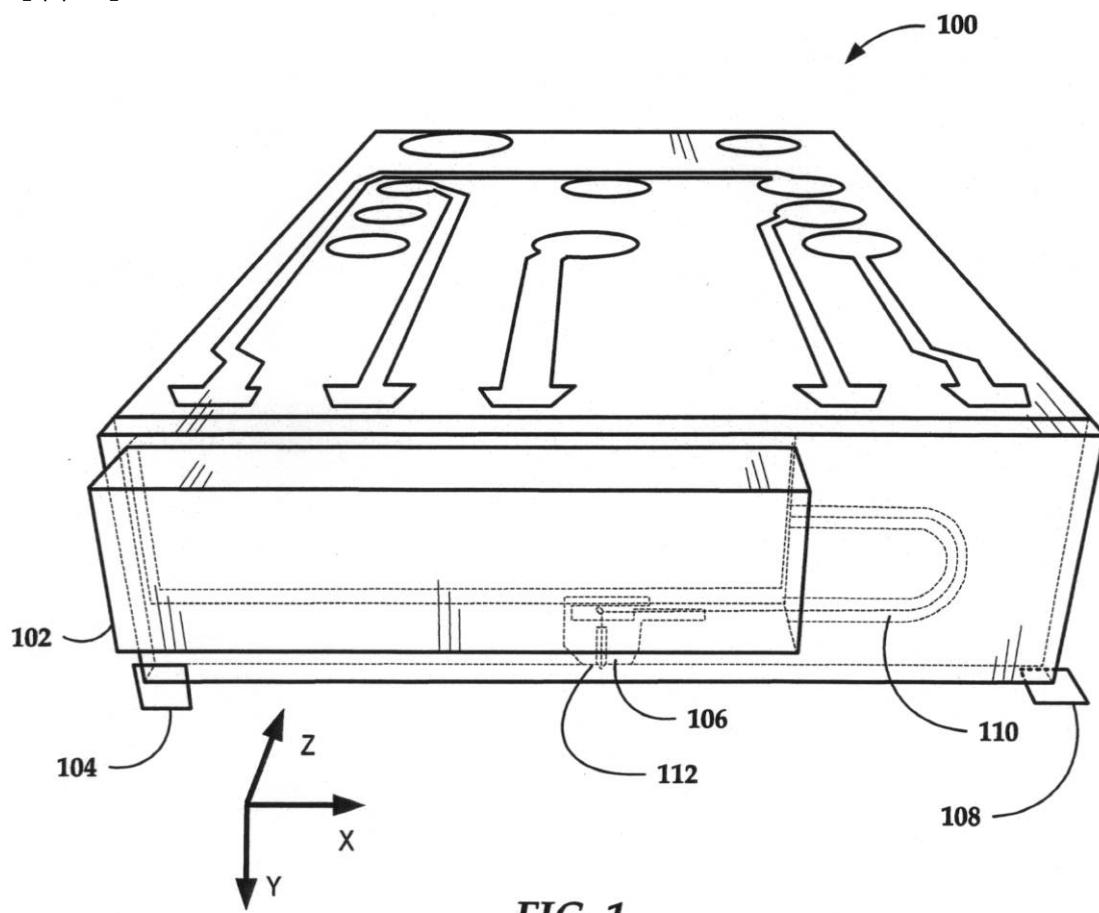
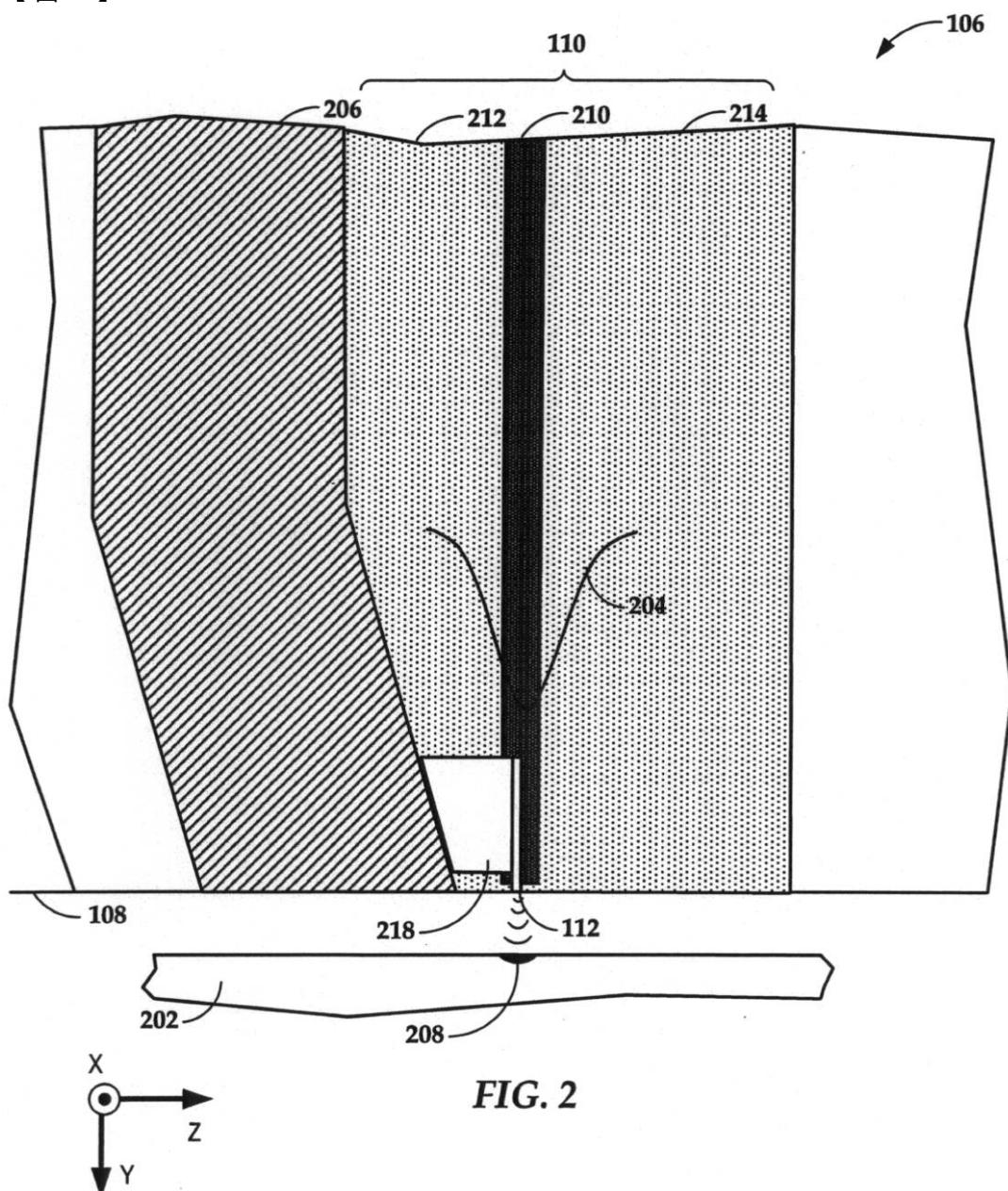
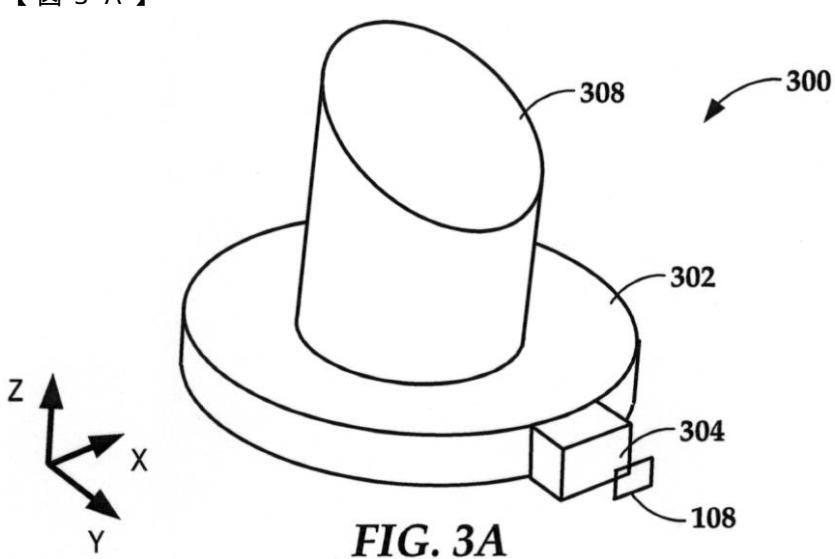


FIG. 1

【図2】



【図3A】



【図 3 B】

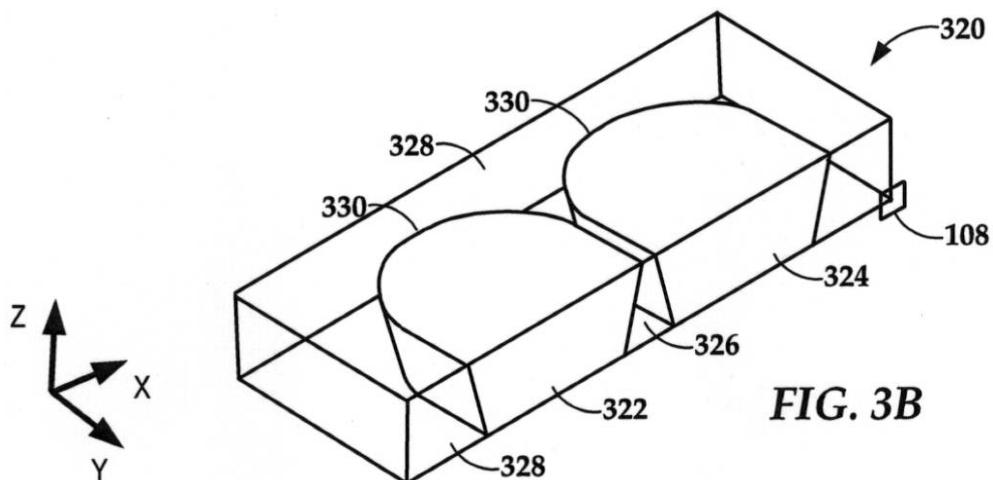


FIG. 3B

【図 4 A】

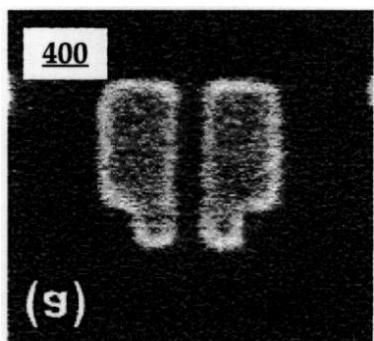


FIG. 4A

【図 4 B】

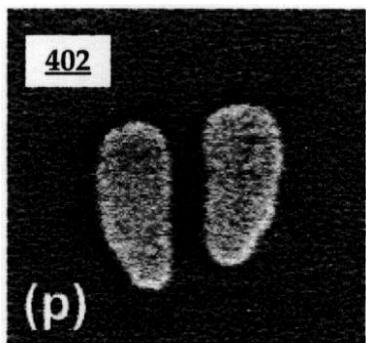


FIG. 4B

【図 4 C】

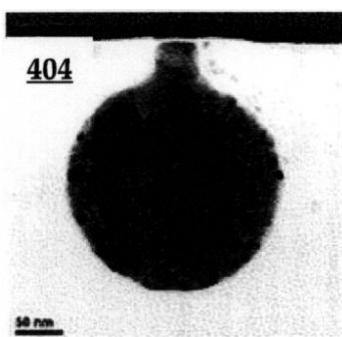


FIG. 4C

【図4D】

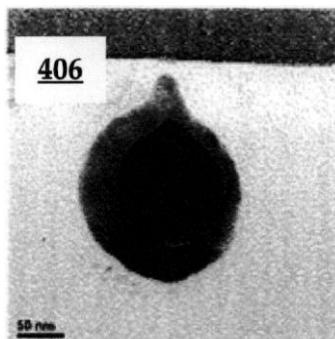


FIG. 4D

【図4E】

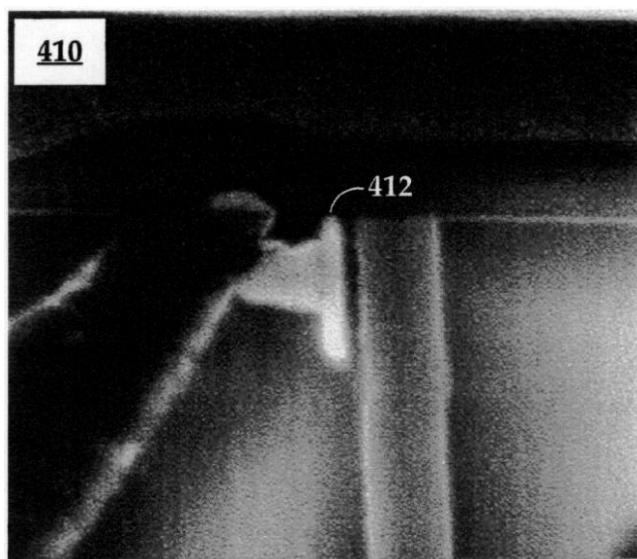


FIG. 4E

【図5A】

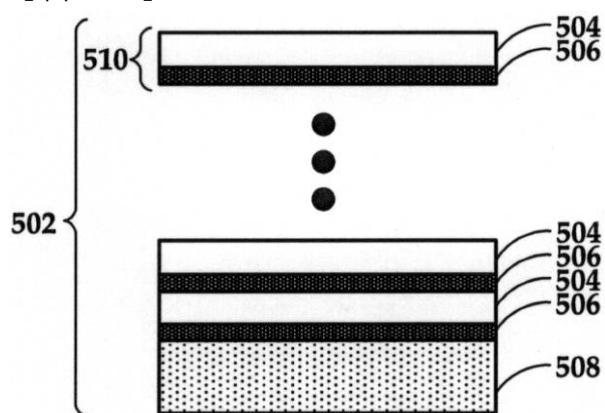
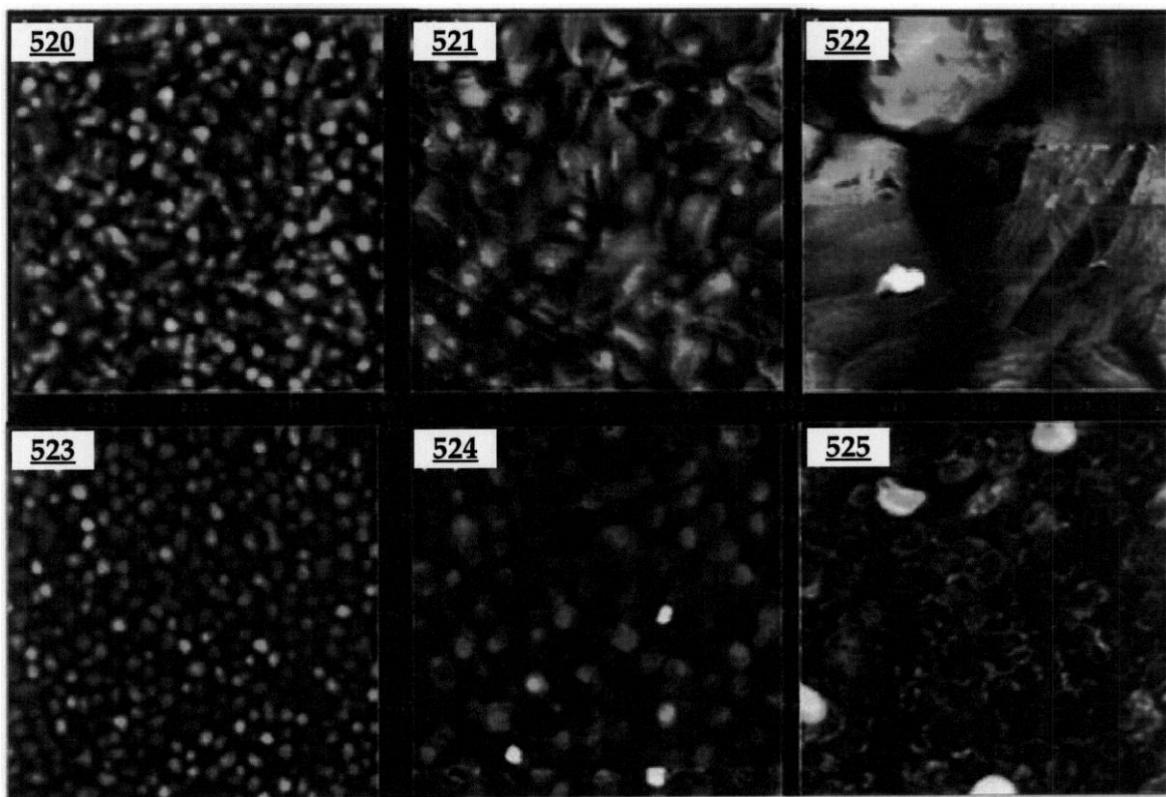


FIG. 5A

【図 5 B】

**FIG. 5B**

【図6】

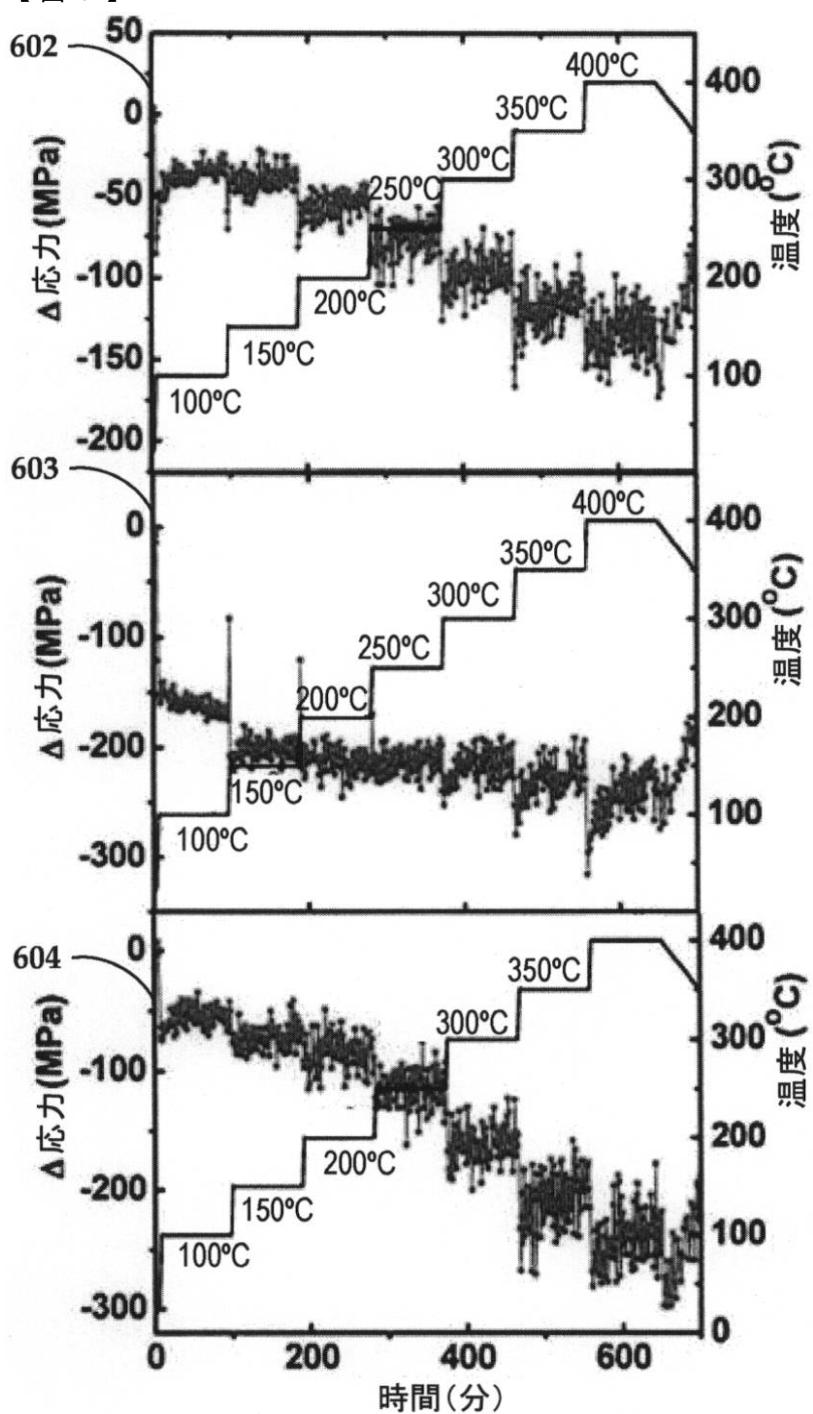
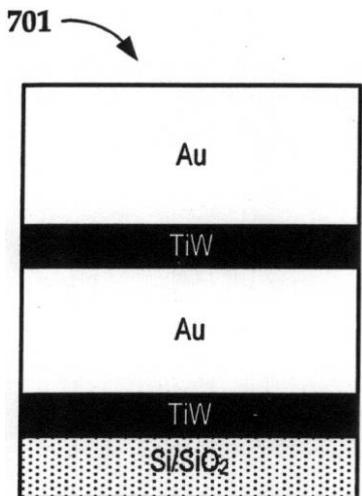
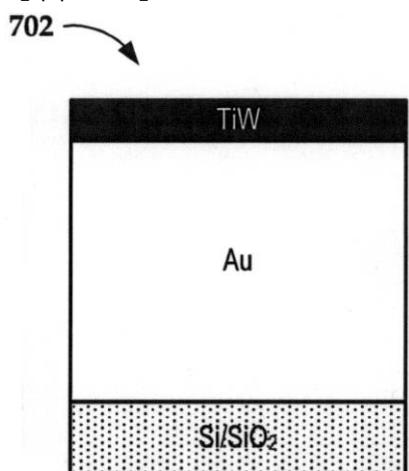


FIG. 6

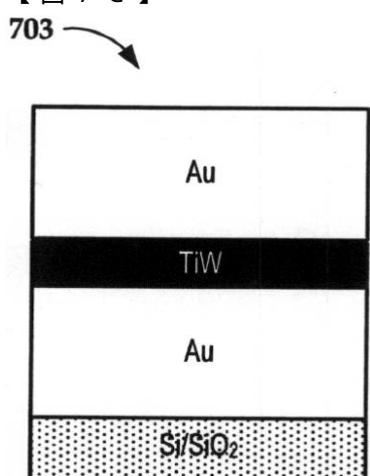
【図 7 A】

**FIG. 7A**

【図 7 B】

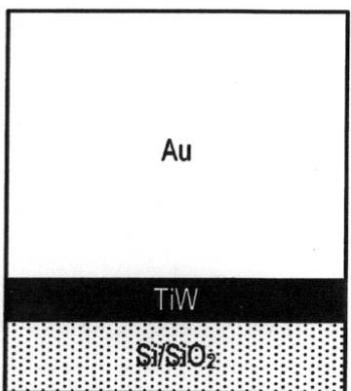
**FIG. 7B**

【図 7 C】

**FIG. 7C**

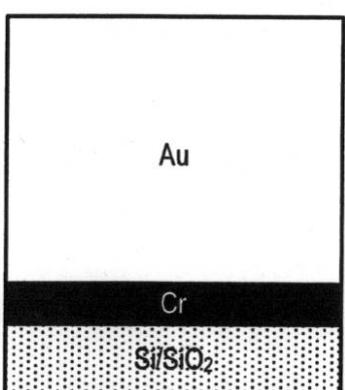
【図 7 D】

704

**FIG. 7D**

【図 7 E】

705

**FIG. 7E**

【図 8】

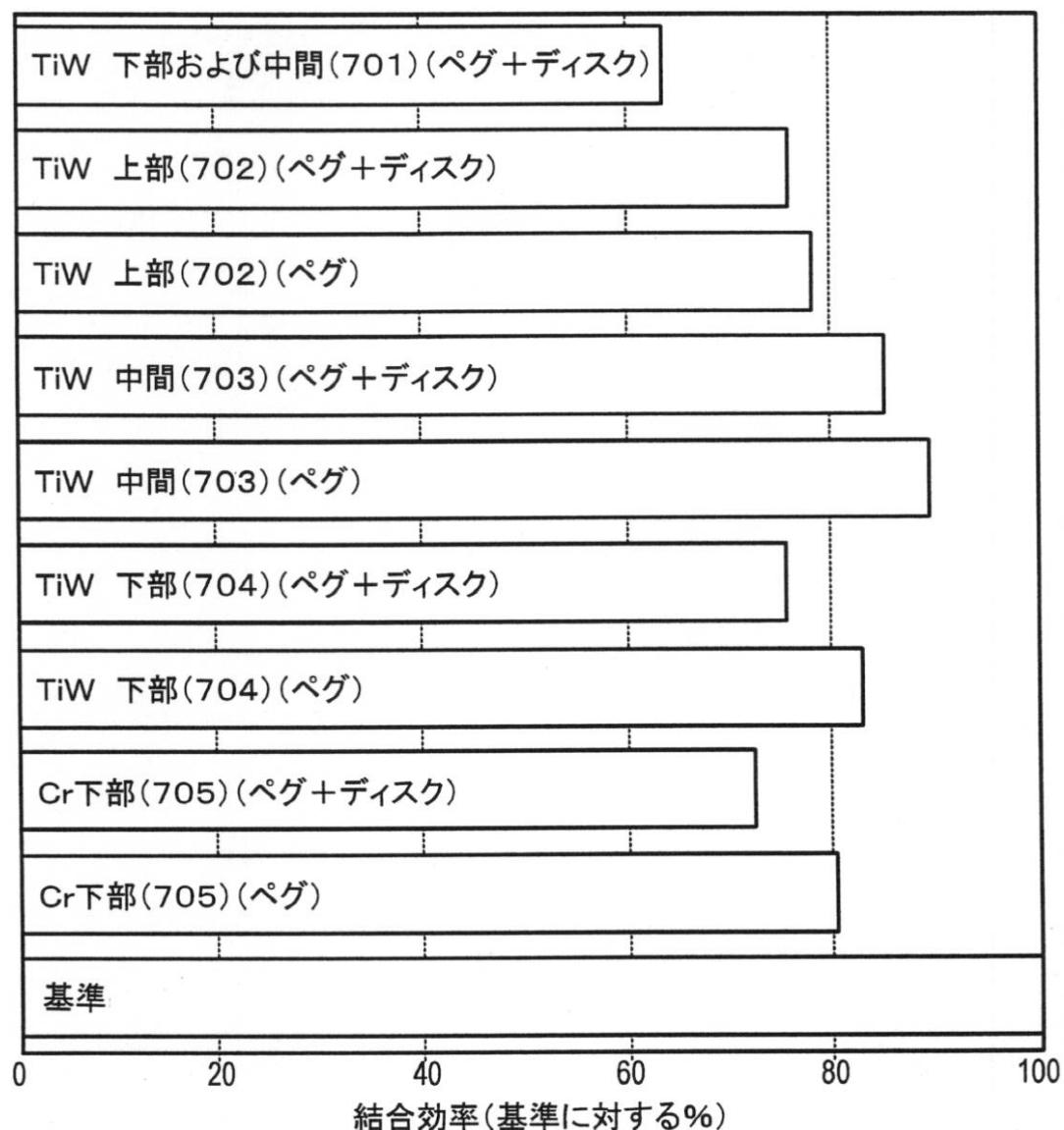
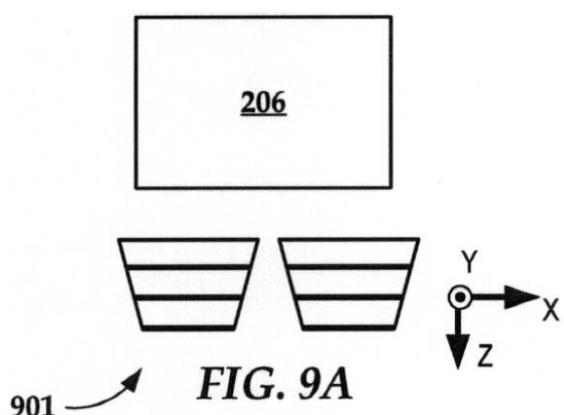


FIG. 8

【図 9 A】



【図 9 B】

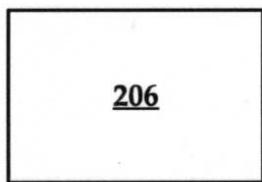


FIG. 9B

【図 9 C】

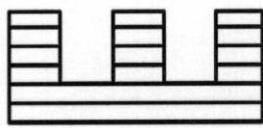
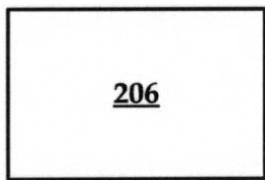


FIG. 9C

【図 9 D】

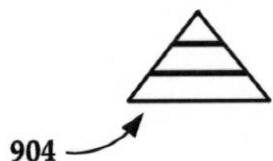
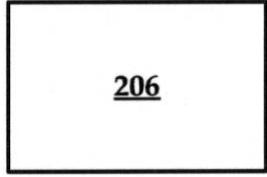


FIG. 9D

【図 9 E】

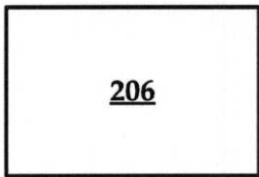
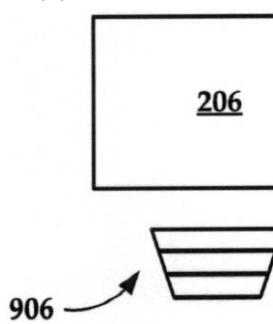
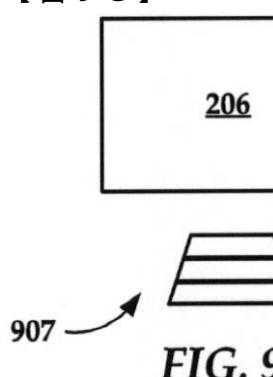


FIG. 9E

【図 9 F】

***FIG. 9F***

【図 9 G】

***FIG. 9G***

【図 10】

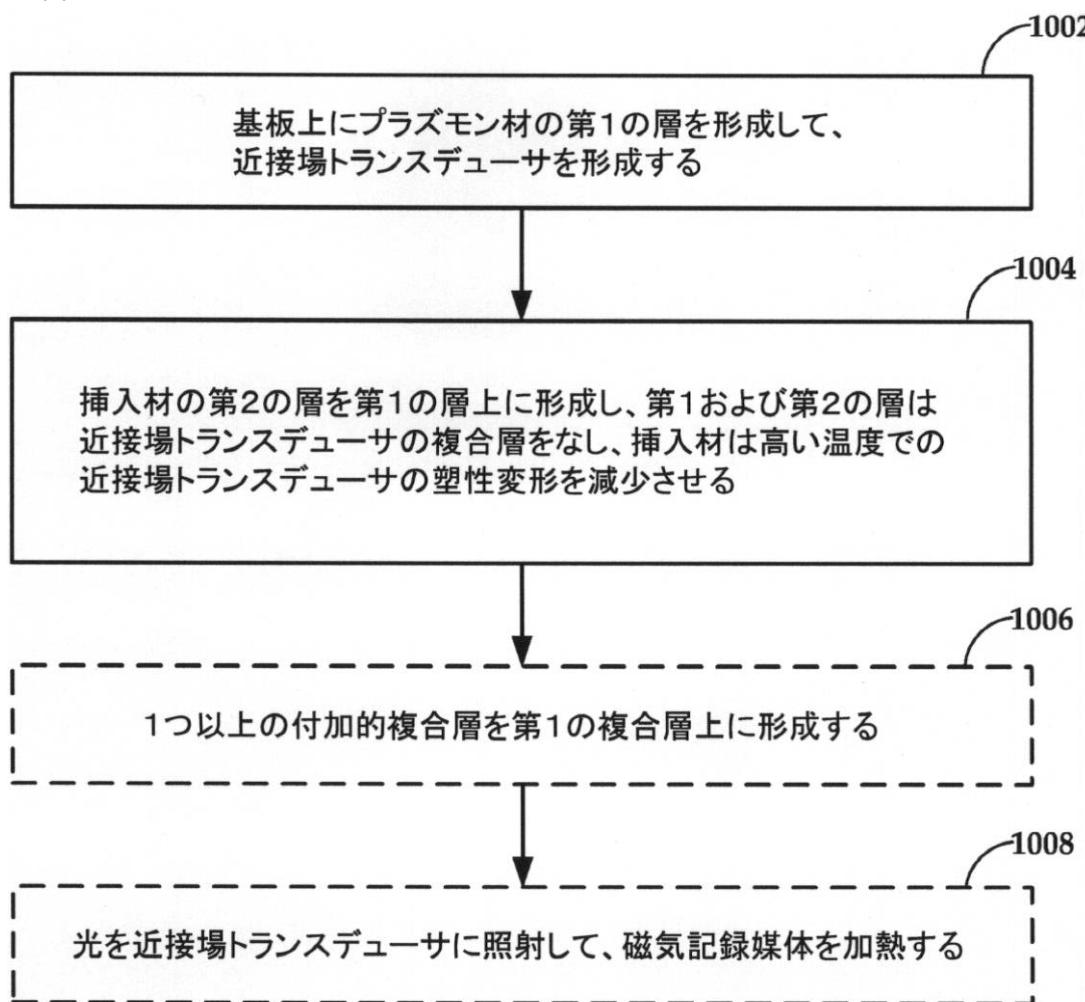


FIG. 10

【図 11A】

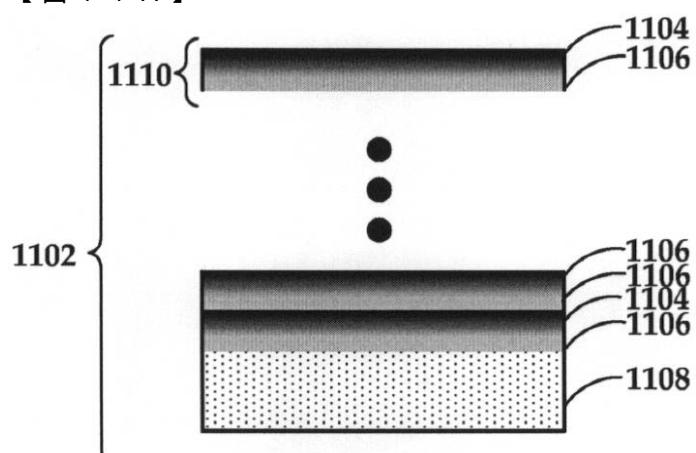


FIG. 11A

【図 11B】

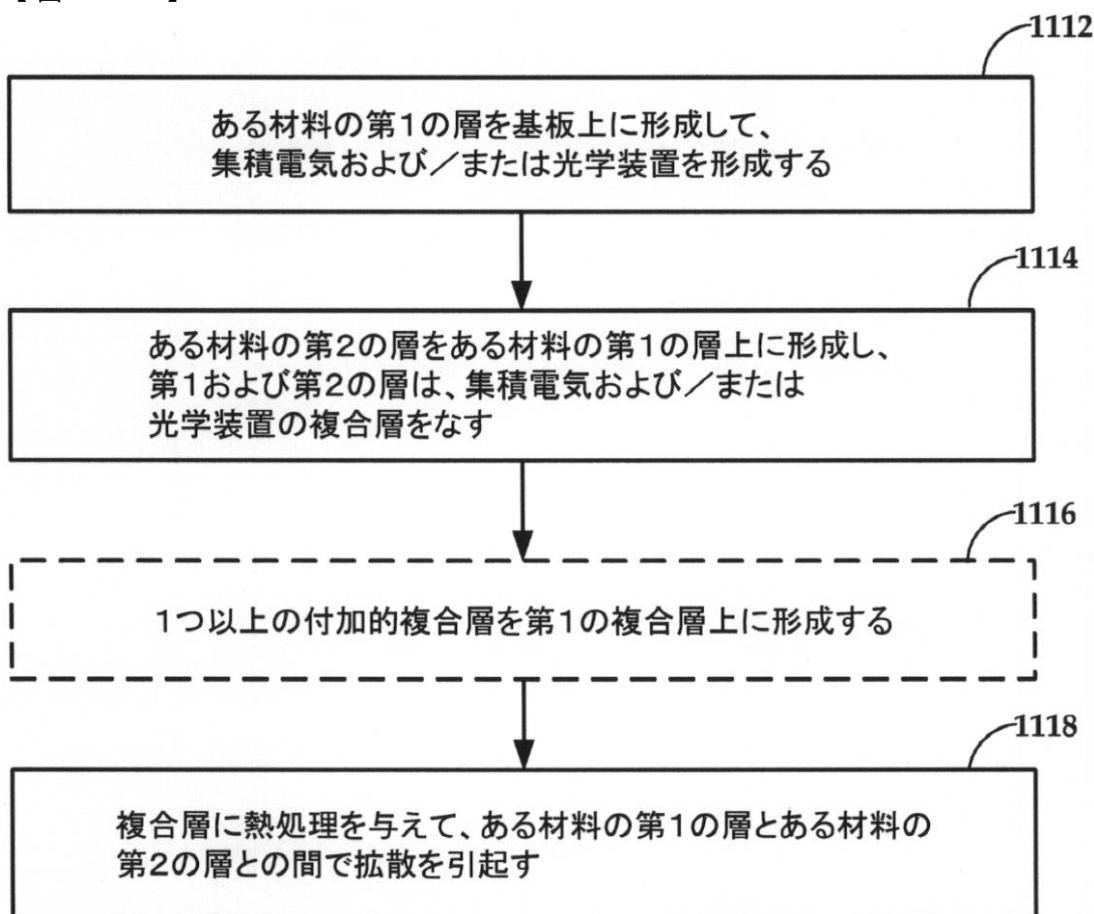


FIG. 11B

フロントページの続き

(72)発明者 アミット・イタギ

アメリカ合衆国、55344 ミネソタ州、エデン・プレーリー、ブキヤナン・コート、1522
4

(72)発明者マイケル・アレン・セイグラー

アメリカ合衆国、55347 ミネソタ州、エデン・プレーリー、トフト・コープ、17591

F ターム(参考) 5D033 BA80

5D091 CC17 CC30

【外國語明細書】

2013229093000001.pdf