

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5868030号  
(P5868030)

(45) 発行日 平成28年2月24日 (2016. 2. 24)

(24) 登録日 平成28年1月15日 (2016. 1. 15)

(51) Int. Cl.

F I

G 1 1 B 5/31 (2006. 01)

G 1 1 B 5/31 Z

G 1 1 B 5/02 (2006. 01)

G 1 1 B 5/31 D

G 1 1 B 5/02 T

請求項の数 10 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2011-120968 (P2011-120968)  
 (22) 出願日 平成23年5月30日 (2011. 5. 30)  
 (65) 公開番号 特開2011-248993 (P2011-248993A)  
 (43) 公開日 平成23年12月8日 (2011. 12. 8)  
 審査請求日 平成26年5月29日 (2014. 5. 29)  
 (31) 優先権主張番号 12/802, 082  
 (32) 優先日 平成22年5月28日 (2010. 5. 28)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 500475649  
 ヘッドウェイテクノロジーズ インコーポ  
 レイテッド  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95  
 035 ミルピタス サウス ヒルビュー  
 ドライブ 678  
 (74) 代理人 100109656  
 弁理士 三反崎 泰司  
 (74) 復代理人 110001357  
 特許業務法人つばき国際特許事務所  
 (74) 代理人 100098785  
 弁理士 藤島 洋一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 熱アシスト垂直磁気記録装置および熱アシスト垂直磁気記録方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

A B S に露出した第 1 の面と、この第 1 の面と Z 軸方向において離間して平行をなす第 2 の面とを有するスライダと、

前記スライダにおける第 1 の面と第 2 の面との間に設けられ、A B S に露出した一端面を含む垂直磁気ポール (P M P) と、

前記スライダの第 2 の面に配置され、Z 軸方向へ T E モードのレーザビームを射出する T E モードで動作するレーザダイオード (L D) と、

前記スライダの第 2 の面から第 1 の面へ向けて Z 軸方向へ延在し、前記 T E モードのレーザビームとの最適な結合がなされるように配置された T E モードで動作する光導波路 (W G) と、

Z 軸方向と直交する Y 軸方向において前記 P M P と前記 W G との間に設けられ、Z 軸方向へ延在し、前記 P M P と対向する P M P 対向面と、前記 W G と対向する W G 対向面とを含むセルフフォーカシングプラズモンジェネレータ (S G P G) と

を備え、

前記 S G P G は、Y 軸方向および Z 軸方向の双方と直交する X 軸方向において誘電体ギャップを介して対向配置された一対の金属部分をそれぞれ含み、前記レーザダイオードの側から A B S へ向けて順に配置されると共に互いに結合した第 1 から第 3 の領域部分に区分され、

前記一対の金属部分の X 軸方向の相互間隔は、前記 W G 対向面から前記 P M P 対向面へ

10

20

向かうほど小さくなると共に、Z軸方向に沿ってABSへ近づくほど小さくなり、

前記WGを前記TEモードで伝播する光学的放射が前記SGPGと結合し、前記PMPから $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以内の位置に $50\text{ nm}$ の幅で集束されたプラズモン放射としてABSに現れ、

前記第1から第3の領域部分は、それぞれ少なくとも2つの内面を有し、

前記WGは、Y軸方向において前記SGPGと重なり合うように、前記SGPGから $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以内の位置に離間して、かつ、その端縁がABSに露出し、もしくはABSから $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の位置となるように設けられ、

光学的放射のエッジ結合が前記SGPGと前記WGとの間で生じている

熱アシスト垂直磁気記録装置。

10

#### 【請求項2】

前記第1の領域部分において、前記一对の金属部分は、X軸方向において $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.05\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、

前記第2の領域部分において、前記一对の金属部分は、前記ABSへ近づくほど互いの距離が近づくように設けられた第2の側面をそれぞれ有し、

前記第2の側面の間隔は、前記第1の領域部分との接続部分において $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下であると共に前記第3の領域部分との接続部分において $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、

前記第2の領域部分におけるZ軸方向の長さは $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、

20

前記第3の領域部分において、前記一对の金属部分は、X軸方向において $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第3の側面をそれぞれ有し、一端がABSに露出している

請求項1記載の熱アシスト垂直磁気記録装置。

#### 【請求項3】

前記第1の領域部分において、前記一对の金属部分は、X軸方向において $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.05\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、

前記第2の領域部分において、前記一对の金属部分は、X軸方向において $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1.6\text{ }\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第2の側面をそれぞれ有し、ギャッププラズモン共振器として機能し、

30

前記第3の領域部分において、前記一对の金属部分は、X軸方向において $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有し、一端がABSに露出している

請求項1記載の熱アシスト垂直磁気記録装置。

#### 【請求項4】

前記第1の領域部分において、前記一对の金属部分は、X軸方向において $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1.6\text{ }\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、

40

前記第2の領域部分において、前記一对の金属部分は、X軸方向において $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.05\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第2の側面をそれぞれ有し、

前記第3の領域部分において、前記一对の金属部分は、X軸方向において $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有し、一端がABSに露出している

請求項1記載の熱アシスト垂直磁気記録装置。

#### 【請求項5】

前記第1の領域部分において、前記一对の金属部分は、X軸方向において $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ 以

50

下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、

前記第2の領域部分において、前記一对の金属部分は第2の側面をそれぞれ有すると共に第1および第2の部分に区分され、前記第1の部分における前記第2の側面は前記第1の領域部分における前記第1の側面と連続し、前記第2の部分における前記第2の側面は放物線状の輪郭を有し、

前記第3の領域部分において、前記一对の金属部分は、X軸方向において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有し、一端がABSに露出している

請求項1記載の熱アシスト垂直磁気記録装置。

【請求項6】

磁気記録媒体への熱アシスト垂直磁気記録方法であって、

ABSに露出した第1の面と、この第1の面とZ軸方向において離間して平行をなす第2の面とを有するスライダを用意することと、

前記第1の面と第2の面との間に、ABSに露出した一端面を含む垂直磁気ポール(PMP)を設けることと、

前記スライダの第2の面に、Z軸方向へTEモードのレーザービームを射出するTEモードで動作するレーザダイオード(LD)を配置することと、

前記スライダの第2の面から第1の面へ向けてZ軸方向へ延在し、前記TEモードのレーザービームとの最適な結合がなされるように光導波路(WG)を配置することと、

Z軸方向と直交するY軸方向において前記PMPと前記WGとの間に、Z軸方向へ延在し、前記PMPと対向するPMP対向面と、前記WGと対向するWG対向面とを含むセルフフォーカシングプラズモンジェネレータ(SGPG)を設けることと

を含み、

前記SGPGを、Y軸方向およびZ軸方向の双方と直交するX軸方向において誘電体ギャップを介して対向配置された一对の金属部分を含み、前記レーザダイオードの側からABSへ向けて順に区分されて互いに結合した、それぞれ少なくとも2つの内面を有する第1から第3の領域部分を含むようにし、

前記一对の金属部分を、そのX軸方向の相互間隔が前記WG対向面から前記PMP対向面へ向かうほど小さくなると共にZ軸方向に沿ってABSへ近づくほど小さくなるように形成し、前記WGを前記TEモードで伝播する光学的放射が前記SGPGと結合し、前記PMPから $0.1\mu\text{m}$ 以内の位置に $50\text{nm}$ の幅で集束されたプラズモン放射としてABSに現れるようにし、

前記WGを、Y軸方向において前記SGPGと重なり合うように、前記SGPGから $0.1\mu\text{m}$ 以内の位置に離間して、かつ、その端縁がABSに露出し、もしくはABSから $1\mu\text{m}$ 以下の位置となるように設け、

光学的放射のエッジ結合を前記SGPGと前記WGとの間で生じさせる

熱アシスト垂直磁気記録方法。

【請求項7】

前記第1の領域部分において、前記一对の金属部分を、X軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.05\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有するように形成し、

前記第2の領域部分において、前記一对の金属部分を、前記ABSへ近づくほど互いの距離が近づくように設けられた第2の側面をそれぞれ有するようにし、

前記第2の側面の間隔を、前記第1の領域部分との接続部分において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下であると共に前記第3の領域部分との接続部分において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下とし、

前記第2の領域部分におけるZ軸方向の長さを $0.1\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下とし、

前記第3の領域部分において、前記一对の金属部分を、X軸方向において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第3の側面をそれぞれ有すると共に一端がABSに露出するよ

10

20

30

40

50

うに形成する

請求項6記載の熱アシスト垂直磁気記録方法。

【請求項8】

前記第1の領域部分において、前記一对の金属部分を、X軸方向において0.1μm以上1.0μm以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において0.05μm以上2.0μm以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有するようにし、

前記第2の領域部分において、前記一对の金属部分を、X軸方向において0.2μm以上1.6μm以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において0.1μm以上2.0μm以下の長さに亘って互いに平行に延在する第2の側面をそれぞれ有するようにし、ギャッププラズモン共振器として機能させ、

前記第3の領域部分において、前記一对の金属部分を、X軸方向において0.01μm以上0.1μm以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において0.1μm以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有すると共に一端がABSに露出するように形成する

請求項6記載の熱アシスト垂直磁気記録方法。

【請求項9】

前記第1の領域部分において、前記一对の金属部分を、X軸方向において0.2μm以上1.6μm以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において0.1μm以上2.0μm以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有するようにし、

前記第2の領域部分において、前記一对の金属部分を、X軸方向において0.1μm以上1.0μm以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において0.05μm以上2.0μm以下の長さに亘って互いに平行に延在する第2の側面をそれぞれ有するようにし、

前記第3の領域部分において、前記一对の金属部分を、X軸方向において0.01μm以上0.1μm以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において0.2μm以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有すると共に一端がABSに露出するように形成する

請求項6記載の熱アシスト垂直磁気記録方法。

【請求項10】

前記第1の領域部分において、前記一对の金属部分を、X軸方向において0.1μm以上1.0μm以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において0.1μm以上2.0μm以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有するようにし、

前記第2の領域部分において、前記一对の金属部分を、第2の側面をそれぞれ有するようにすると共に第1および第2の部分に区分し、前記第1の部分における前記第2の側面を前記第1の領域部分における前記第1の側面と連続させ、前記第2の部分における前記第2の側面を放物線状の輪郭を有するようにし、

前記第3の領域部分において、前記一对の金属部分を、X軸方向において0.01μm以上0.1μm以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において0.2μm以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有すると共に一端がABSに露出するように形成する

請求項6記載の熱アシスト垂直磁気記録方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気記録一般の技術分野に係り、特に、プラズモンジェネレータの設計および使用に関連した熱アシスト磁気記録に関する。

【背景技術】

【0002】

熱アシスト磁気記録(TAMR: Thermally assisted magnetic recording)は、1インチ四方あたり1~10テラビットの記録密度を可能とすることが予想される。TAMRは、光パワーを、磁気記録媒体を局所的に加熱するためのエネルギーに変換する。磁気記録媒体を構成する粒子の磁化をスイッチングするのに必要な強度の磁界を一時的に低下さ

10

20

30

40

50

せるためである。急勾配の温度変化のみをもって、もしくは急勾配の磁界分布と共に、データ格納密度は現在の最先端の磁気記録技術をはるかに超えて向上可能である。

【 0 0 0 3 】

T A M Rヘッドは、従来の磁気記録機能に加え、通常、光導波路 ( W G ) と、プラズモンアンテナ ( P A ) もしくはプラズモンジェネレータ ( P G ) とを備える。W G は、外部のレーザ光を P A もしくは P G へ導くための仲介経路として機能するものである。その W G では、光モードが P A の局所的プラズモンモードと、もしくは P G の伝播プラズモンモードと結合する。光エネルギーは、プラズモンエネルギーへ変換されたのち、P A における局所的プラズモン励起、もしくは P G に沿ったエネルギー移動を伴って、磁気記録媒体が加熱されるべき場所に集束する。熱アシスト磁気記録は、磁気記録装置からの磁界に応じて加熱スポットが正確に配列されるときに達成され得る。

10

【 0 0 0 4 】

本発明に関連する先行技術としては、以下のものが挙げられる。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 0 1 9 2 3 7 6 号明細書

【 特許文献 2 】 米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 0 1 9 8 4 9 6 号明細書

【 特許文献 3 】 米国特許出願公開第 2 0 0 9 / 0 1 1 6 8 0 4 号明細書

【 特許文献 4 】 米国特許出願公開第 2 0 0 5 / 0 0 6 2 9 7 3 号明細書

20

【 特許文献 5 】 米国特許第 7 0 4 2 8 1 0 号明細書

【 非特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 非特許文献 1 】 P. Ginzburg, D. Arbel, and M. Orenstein, "Gap plasmon polariton structure for very efficient microscale-to-nanoscale interfacing," Opt. Lett. 31, 3288-3290 (2006) ?

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

従来技術では、図 1 ( A ) ~ 1 ( C ) に示したような、T A M Rを実現するヘッド構造が提案されている ( 例えば特許文献 1 , 2 参照 ) 。図 1 ( A ) は、従来の T A M Rヘッドの、エアベアリング面 ( A B S ) と直交する断面を表すものである。図 1 ( C ) は、図 1 ( A ) に示した T A M Rヘッドの、A B S に露出した面を表す平面図である。図 1 ( B ) は、スライダ 1 1 0 から眺めたレーザダイオード 1 1 5 の構成を表すものである。これらの図 1 ( A ) ~ 1 ( C ) から明らかなように、スライダ 1 1 0 では、磁気再生ヘッド 1 1 1、P A (あるいは P G ) 1 1 2、W G 1 1 3 および磁極 1 1 4 が基体 1 0 1 の一側面に設けられ、固定されている。また、レーザダイオード ( L D ) 1 1 5 は、基体 1 0 1 の上面 ( A B S と反対側の面 ) に設けられている。L D 1 1 5 によって発振され、W G 1 1 6 から放出されたビームは、方向 1 1 7 に沿って偏光され、スライダ 1 1 0 において W G モードと結合する。P G 1 1 2 は、正確なエッジプラズモン ( E P ) モード ( 鋭利な尖端での光エネルギーを閉じ込める ( confine ) ことが可能となるように、図 1 ( A ) に示したように Y 軸に沿った主電界成分 1 1 7 を有するもの ) によって起動されることが要求される。このような理由から、W G および L D の光モードは Y 軸に沿った正確な偏光 ( polarization ) を有するべきである。

30

40

【 0 0 0 8 】

すなわち、L D 1 1 5 は、横磁界 ( T M ) モードで動作する必要がある。L D は通常、T M モードで駆動するように設計および製造されたものではない。偏光方向が X 軸に沿ったものである横電界 ( T E ) モードで使用される L D と比較して、高いコストを必要とするからである。より安価な L D が好まれる。

【 0 0 0 9 】

50

また、従来技術では、高い光効率の実現のための他の重要な要件が開示されている。

【0010】

第1に、エッジプラズモンモードへ向かう結合WG光の効率は、PGにおける、回折限界光学モードとサブ回折限界光学モードとのモードサイズの不整合によって制限される。WGモードは高度に閉じ込められたプラズモンモードよりも大きいので、ごく僅かな光学エネルギーのみを移動することができる。第2に、PGに沿ったエッジプラズモンモードの伝播損失は、エッジプラズモンモードの高度の閉じ込め（性能）にとって重要である。第3に、エッジプラズモンモードにおける結合効率および伝播効率は、PG12における端面の変化に非常に敏感な傾向を示すので、厳しい製造誤差が要求される。第4に、PAもしくはPGは分離され、限られた体積を有するものである。

10

【0011】

また、最近、3つの領域を持つ構造が提案されている（例えば非特許文献1参照）。しかしながら、放射エネルギーは、3つの領域が存在する面に対して垂直な方向において圧縮されることなく広がるので、その結果、従来は2次元の合焦のみが行われていた。また、非特許文献1では、モードを規定するための「TM」および「TE」の用語について本発明と異なる使い方をしている。本発明では、例えば、TMモードはダイオードの膜面に対して垂直な（光検出における偏光面に含まれる）主たる電界成分を有するものである。その方向は、ダイオードの積層方向（図1（A）、1（B）に示した方向117）と平行である。TEモードの偏光面は、積層面に平行な面内に含まれる。ダイオードを構成するスタックにおける成長方向（積層方向）は、それがレーザダイオードの内部応力の分布を決定するので、その点で意味がある。

20

【0012】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものである。すなわち、本発明は、いかにして、プラズモンデバイスの光学的効率を克服し、TAMRヘッドで消費されるレーザパワーを低減するか、について提案する。また、本発明では、新規の有効な、より一般的なTEモードのLDと共に駆動するのに適したPGを提供する。

【0013】

本発明の第1の目的は、TEモードのレーザダイオードを使用したTAMR装置を提供することにある。

【0014】

30

本発明の第2の目的は、3次元の自己焦点を行い、2つのモード間での大きなオーバーラップを確保した結果、光導波路とプラズモンジェネレータとの結合効率を向上させることのできるTAMR装置を提供することにある。

【0015】

本発明の第3の目的は、金属膜の体積を大きくすることでプラズモンジェネレータにおける熱拡散を改善することにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

上記の発明の目的は、ギャッププラズモンジェネレータを採用することで実現可能である。そのギャッププラズモンジェネレータは、TE偏光レーザダイオードを用いたときに、より容易に光導波路と効率的に結合する形状を有するものとする。

40

【0017】

一般のTEモードエッジ発光レーザダイオードは、スライダに設けられ、光導波路に入射されるようにビームが揃えられている。よって、ギャッププラズモンジェネレータは、同一面内で偏光されたこれらのデバイスの双方を伝播するという事実によって、導波路からエネルギーを受け取るために効率的に結合するように、（光導波路と）すぐ近くに位置している。

【0018】

本願発明の鍵となる特徴は、自己集光型のセルフフォーカシングギャッププラズモンジェネレータ（SGPG）であり、これは、その新規の形状によって3次元の自己集光機能

50

を有している。このSGPGは、3つの領域（第1～第3の領域）に区分される。第1の領域は、直線状であり、光導波路からエッジを介してもしくは直接的に、光エネルギーを受け取る部分である。第2の領域は、（光エネルギーが）ABSへ向けて伝播するとき、それをさらに横方向にGPを圧縮する部分である。第3の領域は、直線上もしくはテーパ状をなし、記録媒体から非常に近い距離で浮上し、高度に閉じ込められたエネルギーをもたらす。

【0019】

さらに、SGPGは、その内部の側壁が内側へ向けて傾斜しており、ABSおよび後方（ABSと反対側）の入射面の双方において台形状の断面を有している。Y軸方向における非対称形状により、ギャッププラズモンはZ方向に伝播する際に圧縮される。ABSでの、より狭いギャップ幅と対向するように、できるだけ近くに垂直磁気ポールのエッジが配置される。

10

【0020】

本発明の構造は、Z軸と直交する断面が一定幅であるギャッププラズモンジェネレータと比較して、より高い光効率を有している。なぜなら、1）入り口部分におけるWGモードとGPモードとがより大きく重複しており、2）第2の領域における傾斜した金属のウォールによって、GPが断熱的に集束および圧縮され、3）光エネルギーの大部分が誘電性のギャップに存在するので伝播損失が低減されるからである。

【0021】

本発明の熱アシスト垂直磁気記録装置は、ABSに露出した第1の面と、この第1の面とZ軸方向において離間して平行をなす第2の面とを有するスライダと、スライダにおける第1の面と第2の面との間に設けられ、ABSに露出した一端面を含むPMPと、スライダの第2の面に配置され、Z軸方向へレーザビームを射出するTEモードのLDと、スライダの第2の面から第1の面へ向けてZ軸方向へ延在し、レーザビームとの最適な結合がなされるように配置されたWGと、Z軸方向と直交するY軸方向においてPMPとWGとの間に設けられ、Z軸方向へ延在し、PMPと対向するPMP対向面と、WGと対向するWG対向面とを含むSGPGとを備える。SGPGは、Y軸方向およびZ軸方向の双方と直交するX軸方向において誘電体ギャップを介して対向配置された一对の金属部分を含み、LDの側からABSへ向けて順に配置されると共に互いに結合した第1から第3の領域部分に区分され、一对の金属部分のX軸方向の相互間隔は、WG対向面からPMP対向面へ向かうほど小さくなると共に、Z軸方向に沿ってABSへ近づくほど小さくなり、WGを伝播する光学的放射がSGPGと結合し、PMPから0.1μm以内の位置に50nmの幅で集束されたプラズモン放射としてABSに現れる。

20

30

【0022】

本発明の熱アシスト垂直磁気記録方法は、磁気記録媒体に対して行うものであって、ABSに露出した第1の面と、この第1の面とZ軸方向において離間して平行をなす第2の面とを有するスライダを用意することと、第1の面と第2の面との間に、ABSに露出した一端面を含むPMPを設けることと、スライダの第2の面に、Z軸方向へレーザビームを射出するTEモードのLDを配置することと、スライダの第2の面から第1の面へ向けてZ軸方向へ延在し、レーザビームとの最適な結合がなされるようにWGを配置することと、Z軸方向と直交するY軸方向においてPMPとWGとの間に、Z軸方向へ延在し、PMPと対向するPMP対向面と、WGと対向するWG対向面とを含むSGPGを設けることとを含むものである。ここでは、SGPGを、Y軸方向およびZ軸方向の双方と直交するX軸方向において誘電体ギャップを介して対向配置された一对の金属部分を含み、LDの側からABSへ向けて順に区分されて互いに結合した第1から第3の領域部分を含むようにし、一对の金属部分を、そのX軸方向の相互間隔が前記WG対向面から前記PMP対向面へ向かうほど小さくなると共にZ軸方向に沿ってABSへ近づくほど小さくなるように形成し、WGを伝播する光学的放射がSGPGと結合し、PMPから0.1μm以内の位置に50nmの幅で集束されたプラズモン放射としてABSに現れるようにする。

40

【0023】

50

本発明の熱アシスト垂直磁気記録装置および熱アシスト垂直磁気記録方法では、SGPGにおける一対の金属部分を、そのX軸方向の相互間隔がWG対向面からPMP対向面へ向かうほど小さくなると共にZ軸方向に沿ってABSへ近づくほど小さくなるようにした。これにより、SGPGを伝播する光エネルギーがより集束され、ABSにおいて近接場光のピーク強度が向上し、かつ、そのスポットがより小さくなる。

【0024】

本発明の熱アシスト垂直磁気記録装置および熱アシスト垂直磁気記録方法では、WGは、Y軸方向においてSGPGと重なり合うように、SGPGから $0.1\mu\text{m}$ 以内の位置に離間して、かつ、その端縁がABSに露出し、もしくはABSから $1\mu\text{m}$ 以下の位置となるように設けられ、光学的放射のエッジ結合がSGPGと前記WGとの間で生じているとよい。その場合、第1の領域部分において、一対の金属部分は、X軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.05\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、第2の領域部分において、一対の金属部分は、ABSへ近づくほど互いの距離が近づくように設けられた第2の側面をそれぞれ有し、第2の側面の間隔は、第1の領域部分との接続部分において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下であると共に前記第3の領域部分との接続部分において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下であり、第2の領域部分におけるZ軸方向の長さは $0.1\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下であり、第3の領域部分において、一対の金属部分は、X軸方向において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第3の側面をそれぞれ有し、一端がABSに露出しているとよい。

【0025】

あるいは、第1の領域部分において、一対の金属部分は、X軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.05\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、第2の領域部分において、一対の金属部分は、X軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以上 $1.6\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第2の側面をそれぞれ有し、ギャッププラズモン共振器として機能し、第3の領域部分において、一対の金属部分は、X軸方向において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有し、一端がABSに露出しているとよい。

【0026】

あるいは、第1の領域部分において、一対の金属部分は、X軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以上 $1.6\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、第2の領域部分において、一対の金属部分は、X軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.05\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第2の側面をそれぞれ有し、第3の領域部分において、一対の金属部分は、X軸方向において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有し、一端がABSに露出しているとよい。

【0027】

あるいは、第1の領域部分において、一対の金属部分は、X軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、第2の領域部分において、一対の金属部分は第2の側面をそれぞれ有すると共に第1および第2の部分に区分され、第1の部分における第2の側面は第1の領域部分における第1の側面と連続し、第2の部分における第2の側面は放物線状の輪郭を有し、第3の領域部分において、一対の金属部分は、X軸方向において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有し、



一端がABSに露出しているとよい。

【0028】

本発明の熱アシスト垂直磁気記録装置および熱アシスト垂直磁気記録方法では、SGPGは、WGの直下に $0.2\mu\text{m}$ 以内の位置に設けられており、SGPGとWGとの間に直接的な放射結合が生じているとよい。その場合、第1の領域部分において、一对の金属部分は、X軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.05\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、第2の領域部分において、一对の金属部分は、ABSへ近づくほど互いの距離が近づくように設けられた第2の側面をそれぞれ有し、第2の側面の間隔は、第1の領域部分との接続部分において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下であると共に第3の領域部分との接続部分において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下であり、第2の領域部分におけるZ軸方向の長さは $0.1\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下であり、第3の領域部分において、一对の金属部分は、X軸方向において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第3の側面をそれぞれ有し、一端がABSに露出しているとよい。また、第1の領域部分において、一对の金属部分は、X軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.05\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、第2の領域部分において、一对の金属部分は、X軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以上 $1.6\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第2の側面をそれぞれ有し、ギャッププラズモン共振器として機能し、第3の領域部分において、一对の金属部分は、X軸方向において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有し、一端がABSに露出しているようにしてもよい。あるいは、第1の領域部分において、一对の金属部分は、X軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以上 $1.6\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、第2の領域部分において、一对の金属部分は、X軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.05\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第2の側面をそれぞれ有し、第3の領域部分において、一对の金属部分は、X軸方向において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有し、一端がABSに露出しているようにしてもよい。あるいは、第1の領域部分において、一对の金属部分は、X軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $1.0\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.1\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って互いに平行に延在する第1の側面をそれぞれ有し、第2の領域部分において、一对の金属部分は第2の側面をそれぞれ有すると共に第1および第2の部分に区分され、第1の部分における第2の側面は第1の領域部分における第1の側面と連続し、第2の部分における第2の側面は放物線状の輪郭を有し、第3の領域部分において、一对の金属部分は、X軸方向において $0.01\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下の間隔で対向すると共にZ軸方向において $0.2\mu\text{m}$ 以下の長さに亘って延在する第3の側面をそれぞれ有し、一端がABSに露出しているようにしてもよい。

【発明の効果】

【0029】

本発明の熱アシスト垂直磁気記録装置および熱アシスト垂直磁気記録方法によれば、SGPGにおける一对の金属部分に挟まれた誘電体ギャップのABSに平行な断面の面積を、ABSへ向かうほど縮小するようにした。よって、磁気記録媒体の記録面上における所定のスポットを効率的に加熱することができ、その結果、記録密度の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

10

20

30

40

50

【図１】従来のＴＡＭＲヘッドの構造を表す断面図および平面図である。

【図２】本発明の実施態様としてのＴＡＭＲヘッドの構造を表す断面図および平面図である。

【図３】図２に示したＴＡＭＲヘッドにおけるＳＧＰＧの詳細な構造を表す断面図および斜視図である。

【図４】ＸＺ平面におけるＳＧＰＧの３つの構成例を表す概略図である。

【図５】比較例としてのＴＡＭＲヘッドにおけるＧＰモードの強度分布に関するＦＥＭのシミュレーション結果である。

【図６】本発明のＴＡＭＲヘッドにおけるＧＰモードの強度分布に関するＦＥＭのシミュレーション結果である。

10

【図７】比較例としてのＴＡＭＲヘッドにおけるＷＧモードの強度分布に関するＦＤＴＤのシミュレーション結果である。

【図８】比較例としてのＴＡＭＲヘッドにおけるＷＧモードの強度分布に関するＦＤＴＤの他の断面におけるシミュレーション結果である。

【図９】本発明のＴＡＭＲヘッドにおけるＷＧモードの強度分布に関するＦＤＴＤのシミュレーション結果である。

【図１０】図２に示したＴＡＭＲヘッドの要部を拡大して示した断面図である。

【図１１】本発明の第１の変形例としてのＴＡＭＲヘッドの要部を拡大して示した断面図である。

【図１２】本発明の第２の変形例としてのＴＡＭＲヘッドの要部を拡大して示した断面図である。

20

【発明を実施するための形態】

【００３１】

本発明の熱アシスト垂直磁気記録装置（以下、端にＴＡＭＲ装置という。）および熱アシスト垂直磁気記録方法は、以下に述べる実施態様の記載により理解される。

【００３２】

図２は、本実施態様のＴＡＭＲ装置における概略構成を表す。このＴＡＭＲ装置は、スライダ１０と、標準的な端面発光型のレーザダイオード（ＬＤ）２５とを備える。図２（Ａ）は、このＴＡＭＲ装置の概略構成を表す、ＡＢＳと直交する断面図である。図２（Ｂ）は、このＴＡＭＲ装置のＡＢＳにおける平面構成を表す平面図である。図２（Ｃ）は、スライダ１０から眺めたときの、ＬＤ２５の構成を表す断面図である。スライダ１０は、ＡＢＳに露出した面１０Ｓ１と、この面１０Ｓ１とＺ軸方向において離間して平行をなす面１０Ｓ２とを有する。ＬＤ２５は、スライダ１０の面１０Ｓ２に配置され、Ｚ軸方向へＴＥモードのレーザビームを射出するものである。さらに、スライダ１０における面１０Ｓ１と面１０Ｓ２との間には、ＡＢＳに露出した一端面を含む垂直磁気ポール（ＰＭＰ）１４と、光導波路（ＷＧ）１３と、セルフフォーカシングプラズモンジェネレータ（ＳＧＰＧ）２２とが基体１の一側面に設けられている。光導波路（ＷＧ）１３は、面１０Ｓ２から面１０Ｓ１へ向けてＺ軸方向へ延在し、ＬＤ２５からのレーザビームとの最適な結合がなされるように配置されている。ＳＧＰＧ２２は、Ｚ軸方向と直交するＹ軸方向においてＰＭＰ１４とＷＧ１３との間に設けられ、Ｚ軸方向へ延在し、ＰＭＰ１４と対向するＰ

30

40

【００３３】

射出されるレーザビームの偏光方向２７は、図２（Ｂ）に示したようにＬＤ２５の各層の成長方向であるＹ軸方向と直交するＸ軸方向である。導波路（ＷＧ）１３がＴＥモードで励起されたとき、このモードでの放射エネルギーの偏光は、未だＸ軸方向となっている。これは、図２（Ａ）および２（Ｃ）に示したように、ＧＰＧ２２がＷＧ１３の近くに配

50

置されることにより実現される。図 2 ( C ) に示したように、ギャッププラズモン ( G P ) モードにおける偏光方向 2 9 が X 軸方向であるので、W G モードから G P モードに至るまで光エネルギーを効率的に結合するからである。

【 0 0 3 4 】

図 3 に、S G P G 2 2 の詳細な構成を示す。図 3 ( A ) , 3 ( B ) は、S G P G 2 2 の、A B S と平行な断面 ( X Y 平面 ) の断面図であり、図 3 ( C ) は、S G P G 2 2 の、A B S と直交する断面 ( X Z 平面 ) の断面図であり、図 3 ( D ) は、S G P G 2 2 の一部の斜視構成を表わす斜視図である。

【 0 0 3 5 】

S G P G 2 2 は、従来の構造から設計変更された所定形状を有することにより、3 次元のセルフフォーカシングを行う機能を有している。S G P G 2 2 は、書き込み対象とする磁気記録媒体のトラック幅方向対応した X 軸方向において、ギャップ 2 2 G を介して対向配置された一対の金属部分 2 2 A , 2 2 B からなるものである。一対の金属部分 2 2 A , 2 2 B は、A l ( アルミニウム ) , A u ( 金 ) , A g ( 銀 ) もしくはそれらの合金などの金属からなる。

ギャップ 2 2 G は、T a O x , A l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , S i O N または M g O などの誘電体によって構成される。また、S G P G 2 2 は、L D 2 5 の側から A B S へ向けて順に配置されると共に互いに結合した第 1 から第 3 の領域部分 S 1 ~ S 3 に区分されている。

【 0 0 3 6 】

第 1 の領域部分 S 1 は、直線領域であり、W G 光を、一対の金属部分 2 2 A , 2 2 B に挟まれたギャップ 2 2 G を伝播するギャッププラズモン ( G P ) 放射と結合させるものである。第 2 の領域部分 S 2 は、A B S へ向かって伝播する G P 放射を横方向 ( X 軸方向 ) にさらに圧縮する部分である。第 3 の領域部分 S 3 は、直線状でもテーパ形状でもよいが、高度に圧縮されたエネルギーをさらに、S G P G 2 2 の直下 ( Z 方向の延長上 ) に位置する磁気記録媒体へ輸送するものである。図 3 ( A ) は、S G P G 2 2 における A B S と反対側 ( レーザビームの入射側 ) の面 2 2 T を表しており、図 3 ( B ) は、S G P G 2 2 における A B S に露出した面を表している。いずれにおいても、一対の金属部分 2 2 A , 2 2 B の対向面 ( 側壁 ) 2 2 A S , 2 2 B S が傾斜し、ギャップ 2 2 G が逆台形状の断面を有している。このようにギャップ 2 2 G が Y 軸方向において非対称の形状となっているので、G P 放射は、Z 軸方向へ伝播する際に、ギャップ 2 2 G における広ギャップ領域 2 2 2 から狭ギャップ領域 2 2 1 へ圧縮される。狭ギャップ領域 2 2 1 および広ギャップ領域 2 2 2 とは、それぞれ、一対の金属部分 2 2 A , 2 2 B の相互間隔が、最も狭い領域および最も広い領域である。A B S においては、ギャップ 2 2 G の断面が台形、三角形または矩形状のいずれであるかに関わらず、光エネルギーは、光学的な回折限界スポットよりも遙かに小さい領域に閉じ込められる。図 3 ( A ) ~ 3 ( D ) からわかるように、S G P G 2 2 では、一対の金属部分 2 2 A , 2 2 B の X 軸方向の相互間隔は、W G 対向面 2 2 S 2 から P M P 対向面 2 2 S 1 へ向かうほど小さくすると共に、Z 軸方向に沿って A B S へ近づくほど小さくなるような構造となっている。特に、図 3 ( D ) により、G P 放射が、どのようにして Y 方向および Z 方向の双方において同時に圧縮されるかを理解することができる。

【 0 0 3 7 】

P M P 1 4 ( 図 2 ( C ) 参照 ) は、S G P G 2 2 における狭ギャップ領域 2 2 1 と対向する側に位置するので、P M P 1 4 のエッジと、S G P G 2 2 とが極めて近接して配置されることとなる。

【 0 0 3 8 】

なお、X Z 平面における S G P G 2 2 の断面形状は、さらにデバイスの全体効率を高めるために変更されてもよい。

【 0 0 3 9 】

例えば、図 4 ( A ) に示したように、第 1 の領域部分 S 1 では、対向面 2 2 A S , 2 2 B S が 0 . 1 μ m 以上 1 μ m 以下の間隔を空けて平行に対向すると共に、Z 軸方向におい

10

20

30

40

50

て  $0.05 \mu\text{m}$  以上  $2.0 \mu\text{m}$  以下の長さに亘って延伸している。第 2 の領域部分 S 2 では、対向面 2 2 A S , 2 2 B S が  $0.2 \mu\text{m}$  以上  $1.6 \mu\text{m}$  の間隔を空けて平行に対向すると共に Z 軸方向において  $0.1 \mu\text{m}$  以上  $2.0 \mu\text{m}$  以下に亘って延伸している。第 2 の領域部分 S 2 は、ギャッププラズモン共振器として機能する。第 3 の領域部分 S 3 では、対向面 2 2 A S , 2 2 B S が  $0.01 \mu\text{m}$  以上  $0.1 \mu\text{m}$  以下の間隔を空けて平行に対向すると共に Z 軸方向において A B S に至るまで  $0.2 \mu\text{m}$ 、もしくはそれ以上に亘って延伸している。

#### 【 0 0 4 0 】

また、図 4 ( B ) に示した S G P G 2 2 の例は、図 4 ( A ) に示したものと似ているが、図 4 ( B ) における第 1 の領域部分 S 1 の寸法が、図 4 ( A ) における第 2 の領域部分 S 2 の寸法とほぼ同等である。同様に、図 4 ( B ) における第 2 の領域部分 S 2 の寸法が、図 4 ( A ) における第 1 の領域部分 S 1 の寸法とほぼ同等である。

#### 【 0 0 4 1 】

図 4 ( C ) では、第 1 の領域部分 S 1 は、平行に対向する側面を有しており、それらは  $0.1 \mu\text{m}$  以上  $1.0 \mu\text{m}$  以下の間隔を隔てて  $0.1 \mu\text{m}$  以上  $2.0 \mu\text{m}$  以下に亘って Z 軸方向へ延伸している。第 2 の領域部分 S 2 は、第 1 の領域部分 S 1 と継ぎ目なく連続した輪郭を有している。しかし、第 1 の領域部分 S 1 から約  $0.5 \mu\text{m}$  離れた位置から、第 2 の領域部分 S 2 の側面は、焦点が第 3 の領域部分 S 3 の入射側端面に位置する放物線を描くように集束する。第 2 の領域部分 S 2 の放物線形状は、ギャッププラズモンを圧縮するための代替方法を提供するものである。第 3 の領域部分 S 3 は、 $0.01 \mu\text{m}$  以上  $0.1 \mu\text{m}$  の間隔で互いに平行に対向する側面を有し、A B S へ向けて最大  $0.2 \mu\text{m}$  程度延在している。

#### 【 0 0 4 2 】

このように、本実施態様の S G P G 2 2 は、Z 軸方向において一定の断面を有し、高い光効率を発揮するものである。その要因としては、以下のものが考えられる。

1 ) 第 1 の領域部分 S 1 において、W G モードと G P モードとの Y 軸方向での重複部分を有すること。

2 ) 第 2 の領域部分 S 2 における側面の傾きによる、G P 放射の断熱的なフォーカシングおよび圧縮がなされること。

3 ) 光エネルギーの大半がギャップ 2 2 G に存在することにより伝播損失の低減がなされること。

#### 【 0 0 4 3 】

S G P G 2 2 の構成材料は、レーザビームの波長および W G 1 3 の構成材料の誘電率を考慮して決定される。一般的な指針は、比較的長く ( 約  $1 \sim 10 \mu\text{m}$  に亘って ) 伝播する表面プラズモンをサポートする金属を選択することである。S G P G 2 2 の各領域部分は、最善の光効率を得るため、それぞれ個別に設計することが可能である。例えば、第 1 の領域部分 S 1 における X 軸方向に沿った横方向の寸法は、W G モードのサイズと整合するように設計され、第 2 の領域部分 S 2 における対向面 2 2 A S , 2 2 B S の傾斜角度、X 軸方向に沿った寸法、および Z 軸方向の寸法は G P 放射における断熱的フォーカシング ( adiabatic focusing ) が可能となるように、かつ、Z 軸方向へ伝播する際の G P 放射の伝播損失が最小化されるように設計され得る。第 3 の領域部分 S 3 の存在は、製造時のラッピング処理の誤差を許容するものである。

#### 【 0 0 4 4 】

W G 1 3 は、Y 軸方向において S G P G 2 2 と重なり合うように、S G P G 2 2 から  $0.1 \mu\text{m}$  以内の位置に離間して、かつ、その端縁が A B S に露出し、もしくは A B S から  $1 \mu\text{m}$  以下の位置となるように設けられている。これにより、P G 放射のエッジ結合が S G P G 2 2 と W G 1 3 との間で生じている。

#### 【 0 0 4 5 】

X Y 断面におけるフォーカシングによる効果を示すために、有限要素モード解析法を用いて G P モードを計算し、その強度分布を求めた。図 5 ( A ) , 5 ( B ) では、矩形状の

10

20

30

40

50

断面を有するギャップ 1 2 2 G およびそれを X 軸方向に挟む金属 1 2 2 A , 1 2 2 B の厚さ ( Y 軸方向の寸法 ) を変えて比較した。一方、図 6 ( A ) , 6 ( B ) では、本実施態様の台形の断面を有するギャップ 2 2 G における幅の寸法を変えて比較した。図 5 ( A ) , 5 ( B ) に示したように、矩形状断面のギャップ 1 2 2 G の場合、より厚みの大きな金属 1 2 2 A , 1 2 2 B で挟まれていると、 Y 軸方向においては G P モードを圧縮することができない。金属 1 2 2 A , 1 2 2 B およびギャップ 1 2 2 G の厚さを小さくすることで X 軸方向および Y 軸方向の双方において G P モードを圧縮することができる。しかしながら、この非常に限定されたモードがさらなる損失性を示して、効果的モード指数 ( effective mode index ) が著しく増大する。原理上は、 G P 放射が A B S へ向けて伝播する際、徐々に減少する厚さを有する金属薄膜を提供することで、効率性および電界の閉じ込めの双方を実現することができる。

10

#### 【 0 0 4 6 】

断面が台形状のギャップ 2 2 G を用いることにより、 G P モードは非対称となり、電界は狭ギャップ領域 2 2 1 において圧縮される。実際、 2 つのエッジプラズモン ( E P ) モードは、励起され、図 6 に示したように G P モードによって互いに結合する。金属層の厚さを変えることなく、非対称 G P ( A G P ) モードの、 X 軸方向および Y 軸方向の双方におけるさらなる圧縮 ( 制限 ) がギャップ幅の減少により実現され得る。

#### 【 0 0 4 7 】

ここで、改善された光学効率を示すために、有限差分時間領域 ( F D T D : Finite-Difference Time-Domain ) 法を用いて P G 構造へ入射される W G 光の全波電磁結合 ( full-wave electromagnetic coupling ) のシミュレーションをおこなった。シミュレーションモデルは、光導波路、プラズモンジェネレータ、 W G および P G を取り囲むクラッド材、および A B S での空域 ( airspace ) を含むものである。

20

#### 【 0 0 4 8 】

2 つのデザイン、すなわち、断面形状が同一の台形である一定のエッジプラズモンジェネレータと、断面形状が ( A B S へ向かうほど ) 徐々に縮小する台形であるセルフフォーカシングギャップ P G について以下のように判断された。 E P G デザインにおいては、 T M \_ W G モードが励起源となる。一方、 G P G デザインにおいては、 T E \_ W G モードが励起源となる。単純化のため、 S G P G における直線状の第 1 および第 3 の領域部分 S 1 , S 3 は、このシミュレーションモデルには含まないこととした。

30

#### 【 0 0 4 9 】

図 7 ( A ) , 7 ( B ) および図 8 ( A ) , 8 ( B ) は、従来技術として開示された ( Z 軸方向において ) 一定断面を有する P G 構造のシミュレーション結果を表している。図 7 ( A ) は、 P G の上面から 2 0 n m の距離における X Z 平面での電界強度分布を表している。図 7 ( B ) は、 P G の中心を通る Y Z 平面での電界強度分布を表している。図 8 ( A ) は、 A B S から 2 0 n m の距離における X Y 平面での電界強度分布を表している。 W G モードから S P 波への光波の結合は、図 7 ( A ) , 7 ( B ) の電界強度分布において明確に示されている。 S P 波は、 A B S に露出した端面からの反射により、定常波パターンを形成する。 X Y 平面における電界強度分布は、 P G の尖端周辺に限定された光スポットに対応している。 1 1 . 0 8 という値に規格化されたピーク強度 ( 図 8 ( A ) 参照 ) は、比較的効率の良い P G による輸送の結果に伴う光学ニアフィールドの改善を示している。

40

#### 【 0 0 5 0 】

これに対し、図 9 ( A ) , 9 ( B ) は、本発明の構造 ( A B S へ向けて徐々に断面積を縮小する台形状のギャップ 2 2 G を有する構造 ) についてのシミュレーション結果を示す。 Y 軸方向における G P 放射によって実現されるフォーカシングおよび圧縮効果は、図 9 ( A ) の Y Z 平面での電界強度分布に示されているように、電界がギャップの一方の側においてより圧縮されているときに最も良好な状態となる。 S G P G 2 2 の傾斜方向に沿った G P 放射におけるフォーカシング効果は、図 9 ( B ) に明確に示されている。 G P エネルギーは、 G P 放射が A B S へ向けて伝播するときに徐々に圧縮されているので、 A B S における強度は著しく改善される。

50

## 【 0 0 5 1 】

A B S から 2 0 n m の位置では、台形状の断面を有するギャップ 2 2 G を含む S G P G 2 2 は、2 9 . 5 1 のピーク強度を形成する。すなわち、本発明の構造では、W G 光との効率的な結合をさらに向上させる直線状の第 1 の領域部分 S 1 を用いることなしに、( 図 7 A ( 3 ) ) の 2 . 8 倍程度までピーク強度が向上している。電界強度分布は、また、X 軸方向および Y 軸方向の双方において非常に小さなスポット径 ( 2 0 n m 未満 ) を示している。2 0 n m という狭いギャップ幅の側において、そのスポットは形成されている。

## 【 0 0 5 2 】

図 7 ~ 図 9 に示したモデリング結果は、一例として P G および光近接場圧縮によってもたらされるピーク強度に関し、従来に対する非対称ギャッププラズモンジェネレータ ( G P G ) の改善を実証 ( demonstrate ) している。上記の結果は、テーパ構造は G P エネルギーを凝縮し、結果として光近接場 ( optical near field ) が向上することを明確に示している。整合する導波路のデザインの最適化、直線状の第 1 の領域部分 S 1 を含むこと、第 2 の領域部分 S 2 のテーパ角度および長さの調整、および台形断面におけるフレア角度の調整を行うことで、レーザダイオードから磁気記録媒体におけるホットスポットまでの全体の光学エネルギーの伝播効率のさらなる改善が見込まれる。

## 【 0 0 5 3 】

図 1 0 ( A ) ~ 1 0 ( C ) は、本実施態様の T A M R 装置の要部を拡大して示した断面図である。図 1 0 ( A ) は、T A M R 装置における A B S と直交する積層断面を表し、図 1 0 ( B ) , 1 0 ( C ) は、それぞれ、図 1 0 ( A ) に示した X B - X B 線および X C - X C 線に沿った矢視方向の断面を表す。すなわち、図 1 0 ( B ) は、A B S に露出した端面における P M P 1 4、S G P G 2 2 および W G 1 3 の構成を表し、図 1 0 ( C ) は、S G P G 2 2 における A B S と反対側の後端面における P M P 1 4、S G P G 2 2 および W G 1 3 の断面構成を表す。P M P 1 4 は、記録動作の際、磁気記録媒体における粒子の磁化方向を反転させるための記録磁界を生成する。S G P G 2 2 は、プラズモンモードを磁気記録媒体へ輸送し、プラズモン電界エネルギーによって、磁気記録媒体の一部を局所的に加熱する。この加熱により、磁気記録媒体の一部における磁気異方性を減少させ、P M P 1 4 からの記録磁界によって容易に磁化方向が反転ようになる。W G 1 3 は、光波を T A M R ヘッドへ外部 ( 例えば L D 2 5 ) から取り込み、光学モードを S G P G 2 2 のギャッププラズモンモードへ結合させる。S G P G 2 2 における一対の金属部分 2 2 A , 2 2 B の相互間隔は、T A M R ヘッドのトレーリング側において最小であり、いくらかのスペースを隔てて P M P 1 4 と対向している。P M P 1 4、S G P G 2 2 および W G 1 3 は、T A M R 装置の A B S に完全に露出している。S G P G 2 2 は、図 3 および図 4 に示した形状のものを用いることができる。

## 【 0 0 5 4 】

図 1 1 ( A ) ~ 1 1 ( C ) , 1 2 ( A ) ~ 1 2 ( C ) は、それぞれ、本実施態様の变形例 1 , 2 としての断面図を表わすものであり、図 1 0 ( A ) ~ 1 0 ( C ) にそれぞれ対応するものである。变形例 1 は上記実施態様と類似している。

## 【 0 0 5 5 】

变形例 1 ( 図 1 1 ( A ) ~ 1 1 ( C ) ) は、W G 1 3 が A B S から後退 ( リセス ) していることを除き、上記実施態様と同様の構成を有している。この变形例では、S G P G 2 2 および W G 1 3 の相互の結合が、それらの重複部分で生ずる。

## 【 0 0 5 6 】

变形例 2 ( 図 1 2 ( A ) ~ 1 2 ( C ) ) は、S G P G 2 2 が A B S に露出している点で上記実施態様と共通しているが、S G P G 2 2 の入射側に ( A B S と反対側に ) W G 1 3 が設けられている点で、上記実施態様と異なった構成を有している。この構造では、光学エネルギーにより、W G モードと G P モードとの結合が直接的に形成される。

## 【 0 0 5 7 】

本発明の S G P G と、従来のエッジ P G との主な相違点、およびそれに伴う本発明の利

10

20

30

40

50

点としては以下のようなものが挙げられる。

１．一般的なエッジＰＧは、ＴＭモードのレーザダイオードを必要とする。ＴＭモードのレーザダイオードは非標準的なアイテムであり、高価である。これに対し、本発明のＳＧＰＧは、ＴＥモードのレーザダイオードを用いることができる。これは標準的なアイテムであり、より安価でもある。

２．ＳＧＰＧは３次元セルフフォーカシング形状を有する。一方、（従来の）ＥＰＧはＡＢＳと直交する方向において一定の断面形状を有する。このため、ＳＧＰＧは、以下の（ｉ）から（ｖ）の利点を有する。

（ｉ）光導波路との大きな重複によりＷＧ光とＧＰモードとの結合が効率的に行われるように、光学効率が改善される。

（ｉｉ）上記（ｉ）の理由により、レーザダイオードを駆動するために要する電力を低減することができる。

（ｉｉｉ）ＰＧによる電力消費を低減することができる。

（ｉｖ）金属膜の体積を大きくすることで、ＰＧ内部の温度分布を改善することができる。

（ｖ）磁気記録ポールに対応するように、光学ホットスポットの配置および配列をより簡単化することができる。

#### 【００５８】

このように、本実施の形態のＴＡＭＲ装置およびそれを用いた熱アシスト磁気記録方法によれば、ＳＧＰＧ２２における一対の金属部分２２Ａ、２２Ｂに挟まれたギャップ２２ＧのＡＢＳに平行な断面の面積を、ＡＢＳへ向かうほど縮小するようにした。よって、磁気記録媒体の記録面上における所定のスポットを効率的に加熱することができ、その結果、記録密度の向上を図ることができる。

#### 【００５９】

以上、特定の実施の形態を挙げて本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態において説明した態様に限定されず、本発明の趣旨から外れることがない限りにおいて、製造方法、プロセス、材料、構造などについての種々の変形が可能である。例えば、上記実施態様では、ＷＧおよびＳＧＰＧの結合がオットーモード（Otto mode）を介して実現されることについて述べた。しかしながら、当業者であれば、クレッチマンモード（Kretschman mode）を直ちに代用することが可能である。

#### 【符号の説明】

#### 【００６０】

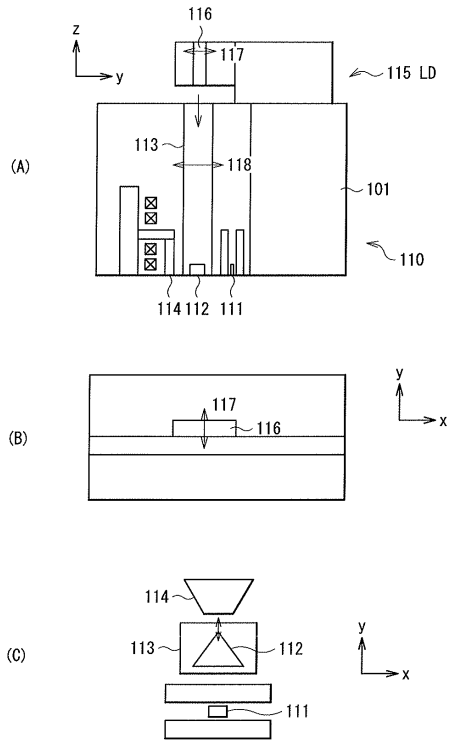
１３…光導波路（ＷＧ）、２２…セルフフォーカシングプラズモンジェネレータ（ＳＧＰＧ）、１４…磁気記録ポール（ＰＭＰ）。

10

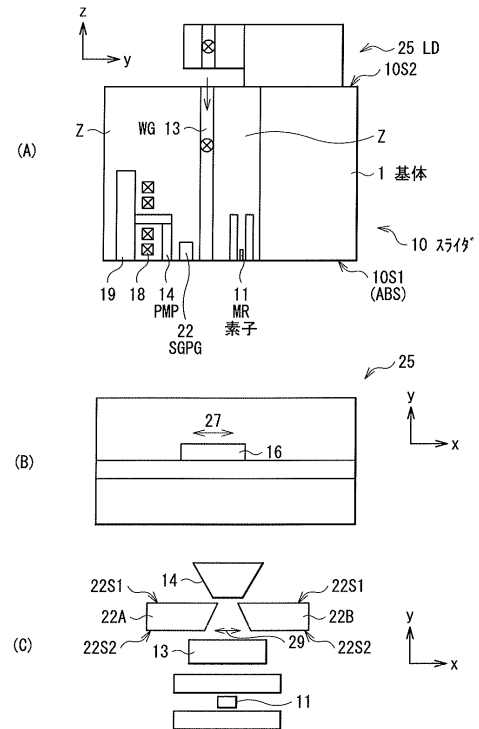
20

30

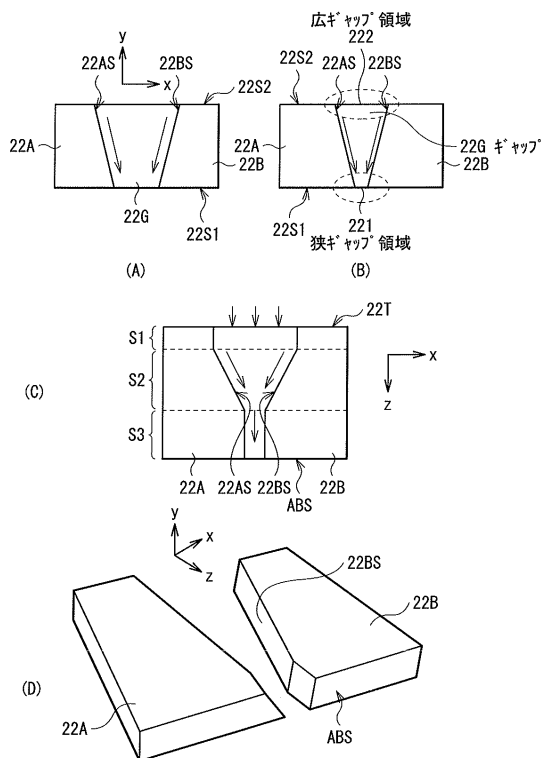
【図 1】



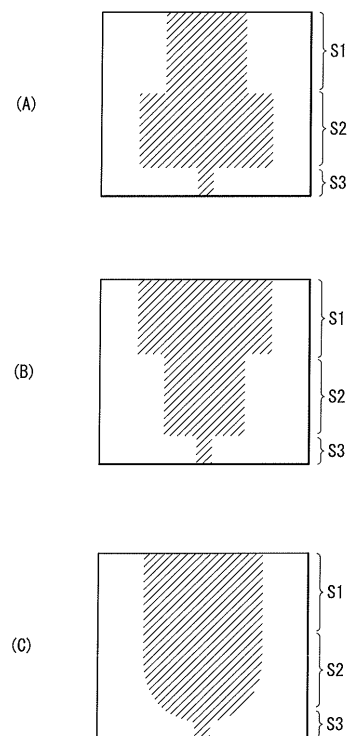
【図 2】



【図 3】

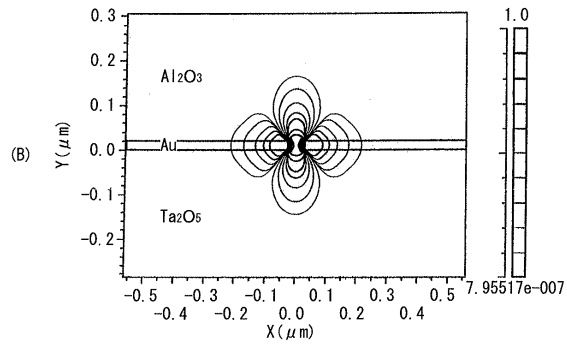
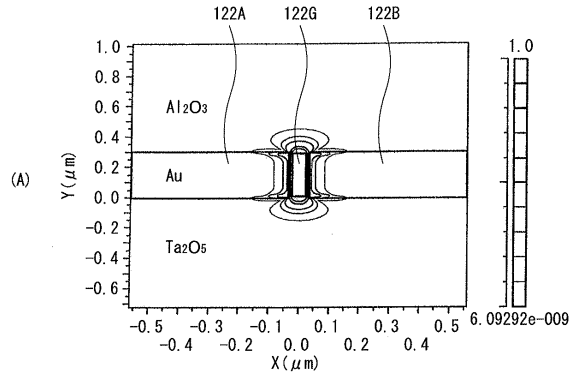


【図 4】

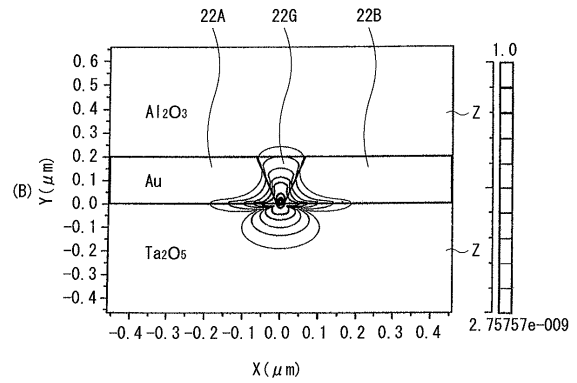
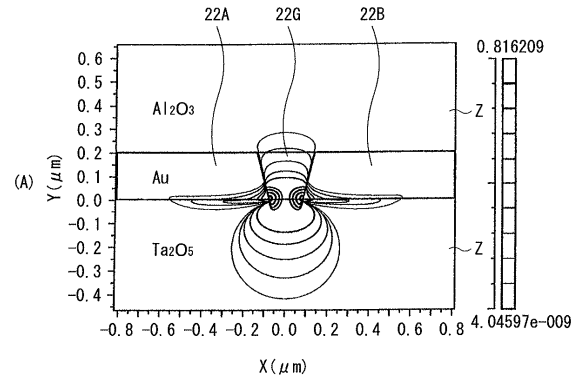




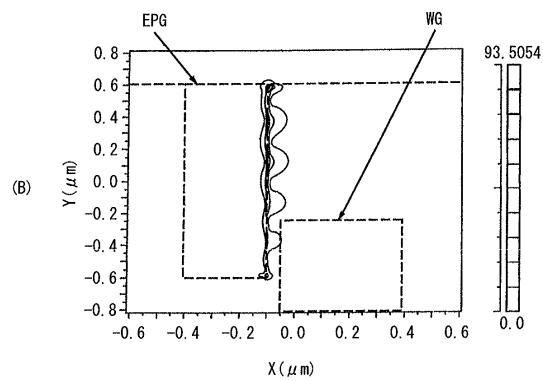
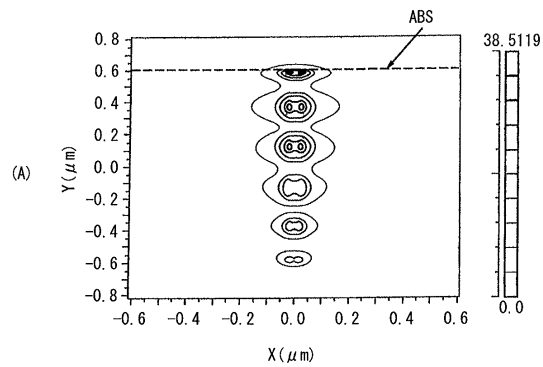
【図 5】



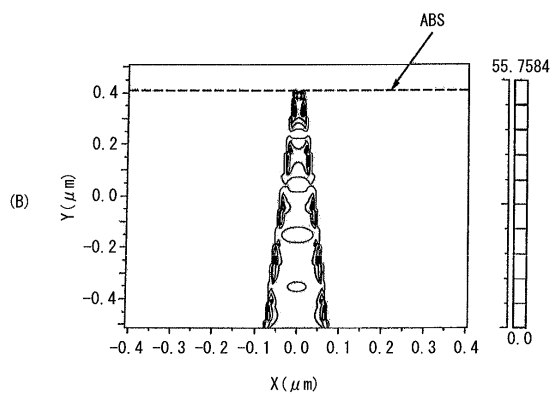
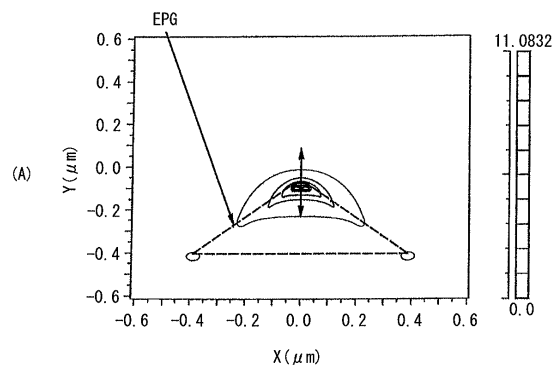
【図 6】



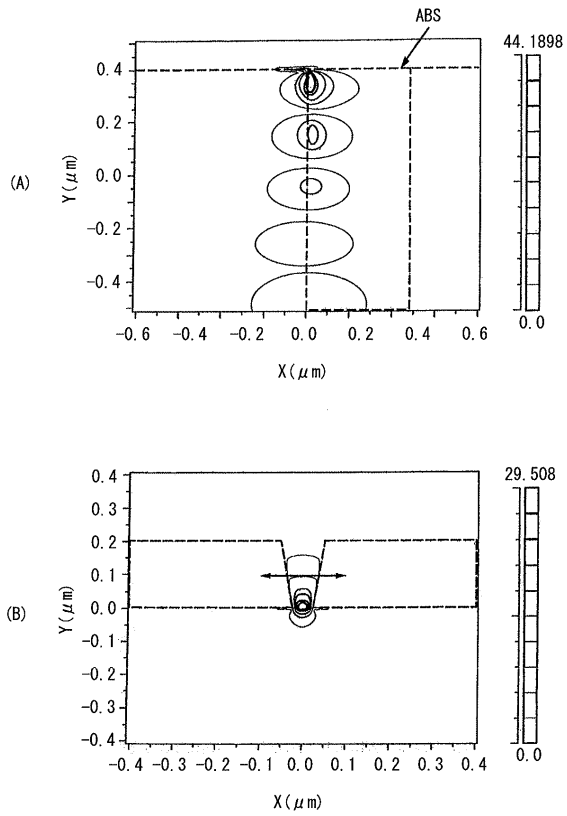
【図 7】



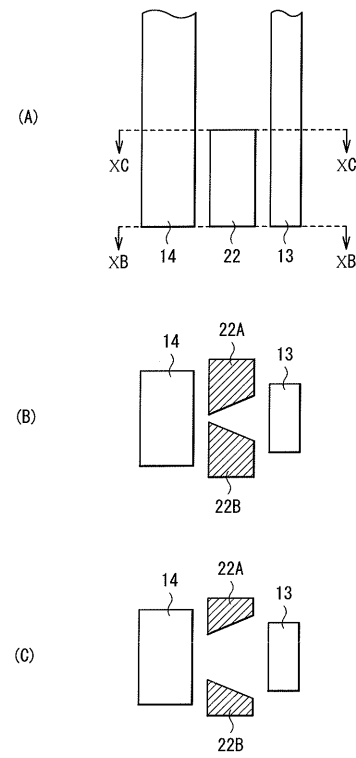
【図 8】



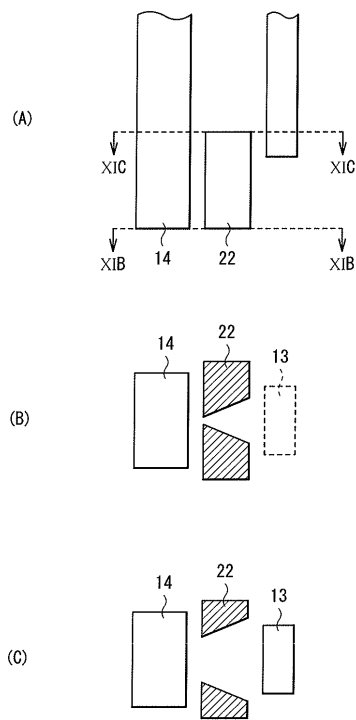
【図 9】



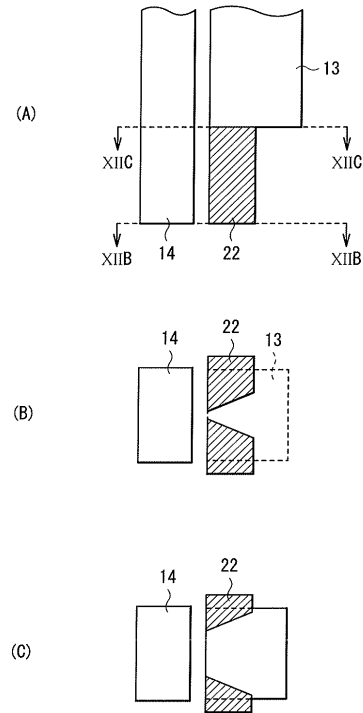
【図 10】



【図 11】



【図 12】



---

フロントページの続き

(72)発明者 金 旭輝

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 3 サンノゼ ロリアン テラス 1 6 2 2

(72)発明者 ジョー スミス

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 0 3 アプトス ベンタナ コート 1 3 0

(72)発明者 モリス ドベク

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 8 サンノゼ スノーダウン ブレイス 5 6 2 3

審査官 斎藤 眞

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 3 3 5 0 2 7 ( J P , A )

特開 2 0 0 9 - 0 9 9 2 5 5 ( J P , A )

米国特許出願公開第 2 0 1 0 / 0 0 7 3 8 1 7 ( U S , A 1 )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 1 1 B 5 / 0 0 - 5 / 0 2 4

G 1 1 B 5 / 3 1