

(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 1

G 11 B 5/31 (2006.01)

G 11 B 5/31

Z

G 11 B 5/02 (2006.01)

G 11 B 5/31

D

G 11 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  
 特許業務法人つばさ国際特許事務所  
 (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(PMP)と、

前記スライダの第2の面に配置され、Z軸方向へTEモードのレーザビームを射出するTEモードで動作するレーザダイオード(LD)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モードのレーザビームとの最適な結合がなされるように配置されたTEモードで動作する光導波路(WG)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との間に設けられ、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(SGP G)と

を備え、

前記SGP 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、

前記一対の金属部分のX軸方向の相互間隔は、前記WG対向面から前記PMP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A B Sへ近づくほど小さくなり、

前記W Gを前記T Eモードで伝播する光学的放射が前記S G P Gと結合し、前記P M P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A B S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W Gは、Y軸方向において前記S G P Gと重なり合うように、前記S G P Gから0.1μm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1μm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S G P Gと前記W G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、前記一対の金属部分は、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し、

前記第2の領域部分において、前記一対の金属部分は、前記A B S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0.1μm以上1.0μm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0.01μm以上0.1μm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0.1μm以上2.0μm以下であり、

前記第3の領域部分において、前記一対の金属部分は、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A B S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。

20

#### 【請求項3】

前記第1の領域部分において、前記一対の金属部分は、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し、

前記第2の領域部分において、前記一対の金属部分は、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し、ギャッププラズモン共振器として機能し、

前記第3の領域部分において、前記一対の金属部分は、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し、一端がA B S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。

30

#### 【請求項4】

前記第1の領域部分において、前記一対の金属部分は、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し、

前記第2の領域部分において、前記一対の金属部分は、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し、

前記第3の領域部分において、前記一対の金属部分は、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し、一端がA B S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。

40

#### 【請求項5】

前記第1の領域部分において、前記一対の金属部分は、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

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、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、前記一対の金属部分は、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2.0μm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】**

10

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対の金属部分を含み、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、

前記一対の金属部分を、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0.1μm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0.1μm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1μm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】**

30

前記第1の領域部分において、前記一対の金属部分を、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形成し、

前記第2の領域部分において、前記一対の金属部分を、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0.1μm以上1.0μm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0.01μm以上0.1μm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0.1μm以上2.0μm以下とし、

前記第3の領域部分において、前記一対の金属部分を、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

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、前記一対の金属部分を、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、前記一対の金属部分を、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、

10

前記第3の領域部分において、前記一対の金属部分を、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、前記一対の金属部分を、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、前記一対の金属部分を、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、

20

前記第3の領域部分において、前記一対の金属部分を、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、前記一対の金属部分を、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、前記一対の金属部分を、第2の側面をそれぞれ有するようになるとと共に第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、

30

前記第3の領域部分において、前記一対の金属部分を、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】**

40

**【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

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。

#### 【0003】

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

#### 【0004】

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】

##### 【0005】

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2008 / 0192376 号明細書

【特許文献 2】米国特許出願公開第 2008 / 0198496 号明細書

【特許文献 3】米国特許出願公開第 2009 / 0116804 号明細書

【特許文献 4】米国特許出願公開第 2005 / 0062973 号明細書

20

【特許文献 5】米国特許第 7042810 号明細書

##### 【非特許文献】

##### 【0006】

【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】

##### 【0007】

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 110 から眺めたレーザダイオード 115 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 110 では、磁気再生ヘッド 111、P A (あるいは P G ) 112、W G 113 および磁極 114 が基体 101 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 ) 115 は、基体 101 の上面 ( A B S と反対側の面) に設けられている。L D 115 によって発振され、W G 116 から放出されたビームは、方向 117 に沿って偏光され、スライダ 110 において W G モードと結合する。P G 112 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 117 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

##### 【0008】

すなわち、L D 115 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。

40

##### 【0009】

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。

30

#### 【0014】

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】

一般的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軸方向ヘ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対の金属部分を含み、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、一対の金属部分の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。2030

#### 【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軸方向ヘ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対の金属部分を含み、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なり、一対の金属部分を、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0.1μm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1μm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0.1μm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0.1μm以上1.0μm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0.01μm以上0.1μm以下であり、第2の領域部分におけるZ軸方向の長さは0.1μm以上2.0μm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0.01μm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に露出しているとい。10

#### 【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0.1μm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0.2μm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し、ギャッ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0.01μm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し、一端がABSに露出しているとい。30

#### 【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0.2μm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0.1μm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0.01μm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し、一端がABSに露出しているとい。40

#### 【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0.1μm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0.01μm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2.0μm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、50

一端が A B S 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、 S G P G は、 W G の直下に 0 . 2  $\mu\text{m}$  以内の位置に設けられており、 S G P G と W G 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 . 0 5  $\mu\text{m}$  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、 A B S 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 . 0 1  $\mu\text{m}$  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 . 0 1  $\mu\text{m}$  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 A B S に露出しているとよい。また、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 . 0 5  $\mu\text{m}$  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、ギャッププラス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 . 0 1  $\mu\text{m}$  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 A B S 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 . 0 5  $\mu\text{m}$  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 . 0 1  $\mu\text{m}$  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 A B S 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 . 0 1  $\mu\text{m}$  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 A B S に露出しているようにしてもよい。  
10  
20  
30  
40

**【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、 S G P G における一対の金属部分に挟まれた誘電体ギャップの A B S に平行な断面の面積を、 A B S 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】**

【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スモンジェネレータ（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PMP対向面22S1と、WG13と対向するWG対向面22S2とを含んでいる。WG13の、SGPG22とは反対側には磁気抵抗効果（MR）素子11を含む再生ヘッドが設けられている。さらに、スライダ10は、記録磁界を誘導する電流が流れるコイル18と、磁気ヨーク19とが設けられている。なお、スライダ10における、基体1上に設けられた各構成要素の隙間は絶縁層Zによって充填されている。 30

##### 【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 40

10

20

30

40

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、ギャッププラスモン(GP)モードにおける偏光方向29がX軸方向であるので、WGモードからGP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。

#### 【0034】

図3に、SGPG22の詳細な構成を示す。図3(A), 3(B)は、SGPG22の、ABSと平行な断面(XY平面)の断面図であり、図3(C)は、SGPG22の、ABSと直交する断面(XZ平面)の断面図であり、図3(D)は、SGPG22の一部の斜視構成を表わす斜視図である。

#### 【0035】

SGPG22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。SGPG22は、書き込み対象とする磁気記録媒体のトラック幅方向に対応したX軸方向において、ギャップ22Gを介して対向配置された一対の金属部分22A, 22Bからなるものである。一対の金属部分22A, 22Bは、Al(アルミニウム), Au(金), Ag(銀)もしくはそれらの合金などの金属からなる。

ギャップ22Gは、TaO<sub>x</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiONまたはMgOなどの誘電体によって構成される。また、SGPG22は、LD25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S1~S3に区分されている。

#### 【0036】

第1の領域部分S1は、直線領域であり、WG光を、一対の金属部分22A, 22Bに挟まれたギャップ22Gを伝播するギャッププラスモン(GP)放射と結合させるものである。第2の領域部分S2は、ABSへ向かって伝播するGP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S3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、SGPG22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、SGPG22におけるABSと反対側(レーザビームの入射側)の面22Tを表しており、図3(B)は、SGPG22におけるABS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22A, 22Bの対向面(側壁)22AS, 22BSが傾斜し、ギャップ22Gが逆台形状の断面を有している。このようにギャップ22GがY軸方向において非対称の形状となっているので、GP放射は、Z軸方向へ伝播する際に、ギャップ22Gにおける広ギャップ領域222から狭ギャップ領域221へ圧縮される。狭ギャップ領域221および広ギャップ領域222とは、それぞれ、一対の金属部分22A, 22Bの相互間隔が、最も狭い領域および最も広い領域である。ABSにおいては、ギャップ22G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、SGPG22では、一対の金属部分22A, 22BのX軸方向の相互間隔は、WG対向面22S2からPMP対向面22S1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な構造となっている。特に、図3(D)により、GP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。

#### 【0037】

PMP14(図2(C)参照)は、SGPG22における狭ギャップ領域221と対向する側に位置するので、PMP14のエッジと、SGPG22とが極めて近接して配置されることとなる。

#### 【0038】

なお、XZ平面におけるSGPG22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。

#### 【0039】

例えば、図4(A)に示したように、第1の領域部分S1では、対向面22AS, 22BSが0.1μm以上1μm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

40

50

て0.05μm以上2.0μm以下の長さに亘って延伸している。第2の領域部分S2では、対向面22AS, 22BSが0.2μm以上1.6μm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0.1μm以上2.0μm以下に亘って延伸している。第2の領域部分S2は、ギャッププラスモン共振器として機能する。第3の領域部分S3では、対向面22AS, 22BSが0.01μm以上0.1μm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ABSに至るまで0.2μm、もしくはそれ以上に亘って延伸している。

#### 【0040】

また、図4(B)に示したSGPG22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S1の寸法が、図4(A)における第2の領域部分S2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S2の寸法が、図4(A)における第1の領域部分S1の寸法とほぼ同等である。10

#### 【0041】

図4(C)では、第1の領域部分S1は、平行に対向する側面を有しており、それらは0.1μm以上1.0μm以下の間隔を隔てて0.1μm以上2.0μm以下に亘ってZ軸方向へ延伸している。第2の領域部分S2は、第1の領域部分S1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S1から約0.5μm離れた位置から、第2の領域部分S2の側面は、焦点が第3の領域部分S3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S2の放物線形状は、ギャッププラス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S3は、0.01μm以上0.1μmの間隔で互いに平行に対向する側面を有し、ABSへ向けて最大0.2μm程度延在している。20

#### 【0042】

このように、本実施態様のSGPG22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S1において、WGモードとGP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S2における側面の傾きによる、GP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22Gに存在することにより伝播損失の低減がなされること。30

#### 【0043】

SGPG22の構成材料は、レーザビームの波長およびWG13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1~10μmに亘って)伝播する表面プラスモンをサポートする金属を選択することである。SGPG22の各領域部分は、最善の光効率を得るために、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S1におけるX軸方向に沿った横方向の寸法は、WG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S2における対向面22AS, 22BS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GP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GP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S3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。40

#### 【0044】

WG13は、Y軸方向においてSGPG22と重なり合うように、SGPG22から0.1μm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1μm以下の位置となるように設けられている。これにより、PG放射のエッジ結合がSGPG22とWG13との間で生じている。

#### 【0045】

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GP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50

断面を有するギャップ 122G およびそれを X 軸方向に挟む金層 122A, 122B 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 22G 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 122G の場合、より厚みの大きな金層 122A, 122B で挟まれていると、Y 軸方向においては GP モードを圧縮することができない。金層 122A, 122B およびギャップ 122G 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 GP 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、GP 放射が ABS 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

#### 【0046】

断面が台形状のギャップ 22G を用いることにより、GP モードは非対称となり、電界は狭ギャップ領域 221 において圧縮される。実際、2つのエッジプラズモン (EP) モードは、励起され、図 6 に示したように GP 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 GP (AGP) 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。

#### 【0047】

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 (FDTD : Finite-Difference Time-Domain) 法を用いて PG 構造へ入射される WG 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、WG および PG を取り囲むクラッド材、および ABS での空域 (airspace) を含むものである。20

#### 【0048】

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 (ABS 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 PG について以下のように判断された。EPG デザインにおいては、TM\_WG モードが励起源となる。一方、GPG デザインにおいては、TE\_WG モードが励起源となる。単純化のため、SGPG における直線状の第 1 および第 3 の領域部分 S1, S3 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

#### 【0049】

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 PG 構造のシミュレーション結果を表している。図 7 (A) は、PG の上面から 20 nm の距離における XZ 平面での電界強度分布を表している。図 7 (B) は、PG の中心を通る YZ 平面での電界強度分布を表している。図 8 (A) は、ABS から 20 nm の距離における XY 平面での電界強度分布を表している。WG モードから SP 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。SP 波は、ABS 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。XY 平面における電界強度分布は、PG の尖端周辺に限定された光スポットに対応している。11.08 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 PG 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

#### 【0050】

これに対し、図 9 (A), 9 (B) は、本発明の構造 (ABS へ向けて徐々に断面積を縮小する台形状のギャップ 22G 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 GP 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 YZ 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。SGPG 22 の傾斜方向に沿った GP 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。GP エネルギーは、GP 放射が ABS へ向けて伝播するときに徐々に圧縮されているので、ABS における強度は著しく改善される。50

## 【0051】

A B S から 20 nm の位置では、台形状の断面を有するギャップ 22 G を含む S G P G 22 は、29.51 のピーク強度を形成する。すなわち、本発明の構造では、WG 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 S1 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 (20 nm 未満) を示している。20 nm 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。

## 【0052】

図 7 ~ 図 9 に示したモデリング結果は、一例として PG 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ラズモンジェネレータ (GPG) の改善を実証 (demonstrate) している。上記の結果は、テーパ構造は GP 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 S1 を含むこと、第2の領域部分 S2 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。

## 【0053】

図 10 (A) ~ 10 (C) は、本実施態様の TAMR 装置の要部を拡大して示した断面図である。図 10 (A) は、TAMR 装置における ABS と直交する積層断面を表し、図 10 (B), 10 (C) は、それぞれ、図 10 (A) に示した XB - XB 線および XC - XC 線に沿った矢視方向の断面を表す。すなわち、図 10 (B) は、ABS に露出した端面における PMP14, S G P G 22 および WG13 の構成を表し、図 10 (C) は、S G P G 22 における ABS と反対側の後端面における PMP14, S G P G 22 および WG13 の断面構成を表す。PMP14 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 22 は、ラズモンモードを磁気記録媒体へ輸送し、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、PMP14 からの記録磁界によって容易に磁化方向が反転するようになる。WG13 は、光波を TAMR ヘッドへ外部 (例えば LD25) から取り込み、光学モードを S G P G 22 のギャップラズモンモードへ結合させる。S G P G 22 における一対の金属部分 22 A, 22 B の相互間隔は、TAMR 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 PMP14 と対向している。PMP14, S G P G 22 および WG13 は、TAMR 装置の ABS に完全に露出している。S G P G 22 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。

## 【0054】

図 11 (A) ~ 11 (C), 12 (A) ~ 12 (C) は、それぞれ、本実施態様の変形例 1, 2 としての断面図を表わすものであり、図 10 (A) ~ 10 (C) にそれぞれ対応するものである。変形例 1 は上記実施態様と類似している。

## 【0055】

変形例 1 (図 11 (A) ~ 11 (C)) は、WG13 が ABS 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。この変形例では、S G P G 22 および WG13 の相互の結合が、それらの重複部分で生ずる。

## 【0056】

変形例 2 (図 12 (A) ~ 12 (C)) は、S G P G 22 が ABS に露出している点で上記実施態様と共に通しているが、S G P G 22 の入射側に (ABS と反対側に) WG13 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、WG モードと GP モードとの結合が直接的に形成される。

## 【0057】

本発明の S G P G と、従来のエッジ PG 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 SG PG 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. SG PG 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、 SG PG 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 10 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】

20 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、 SG PG 22 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】

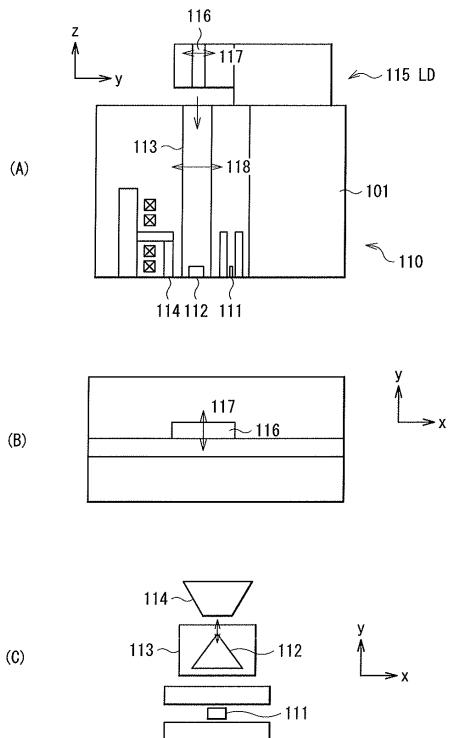
以上、特定の実施の形態を挙げて本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態において説明した態様に限定されず、本発明の趣旨から外れることがない限りにおいて、製造方法、プロセス、材料、構造などについての種々の変形が可能である。例えば、上記実施態様では、 WG および SG PG の結合がオットーモード (Otto mode) を介して実現されることについて述べた。しかしながら、当業者であれば、クレッチマンモード (Kretschmann mode) を直ちに代用することが可能である。

#### 【符号の説明】

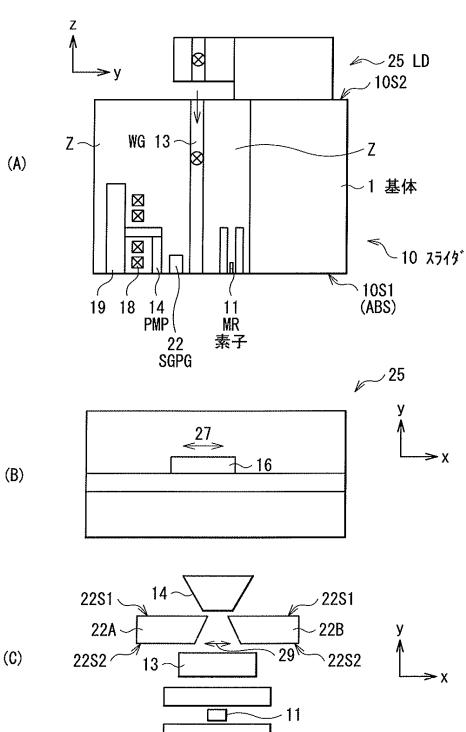
#### 【0060】

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

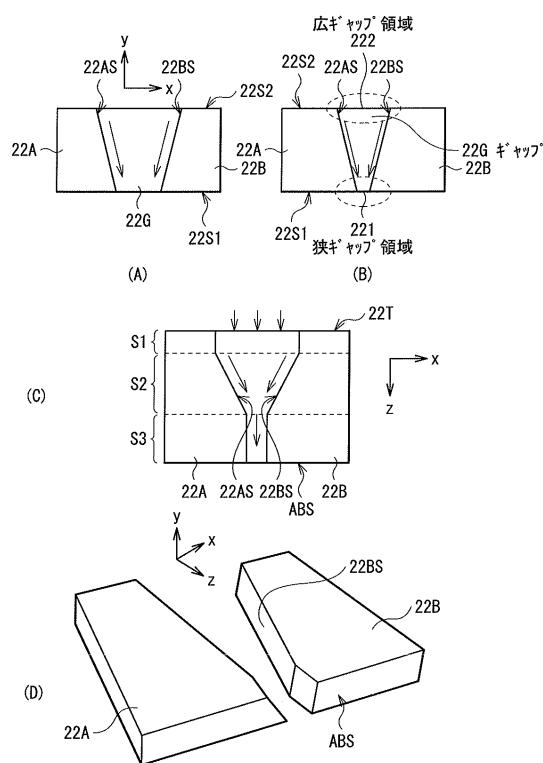
【図1】



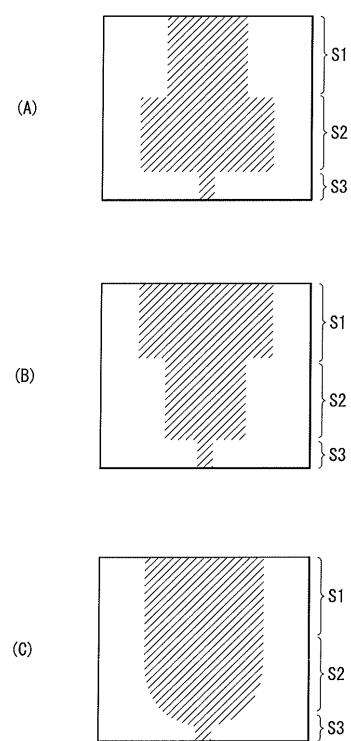
【 図 2 】



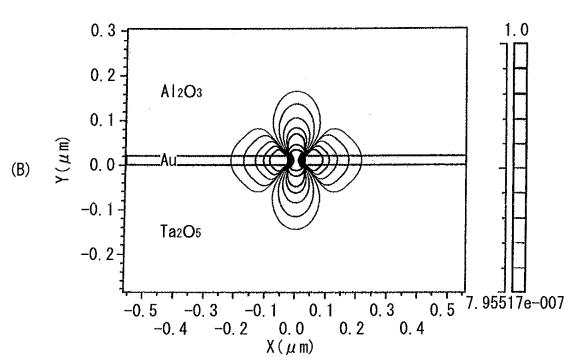
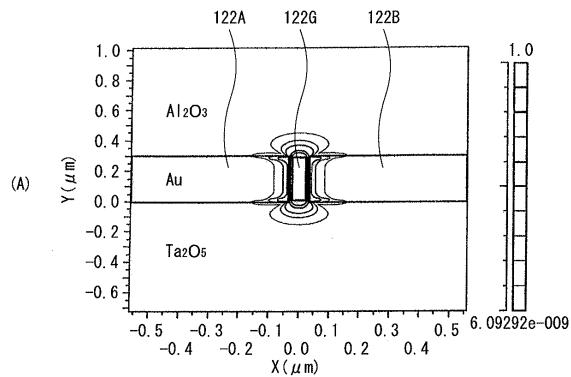
【 図 3 】



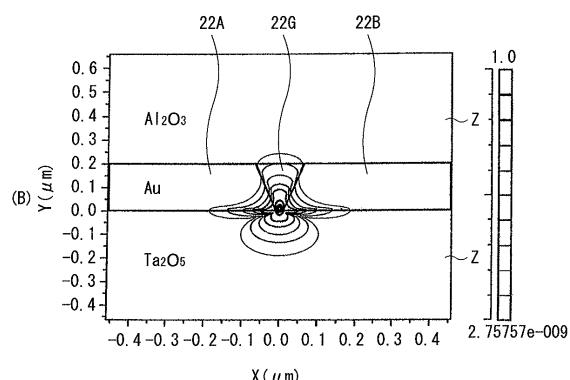
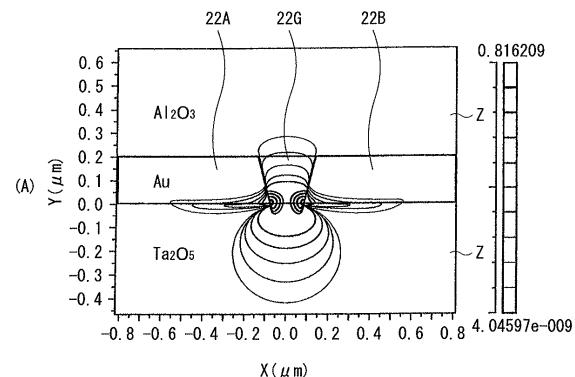
【 図 4 】



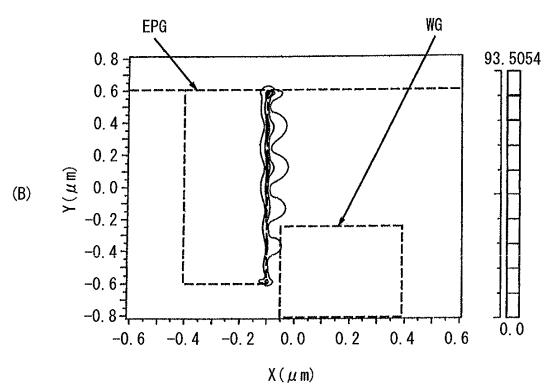
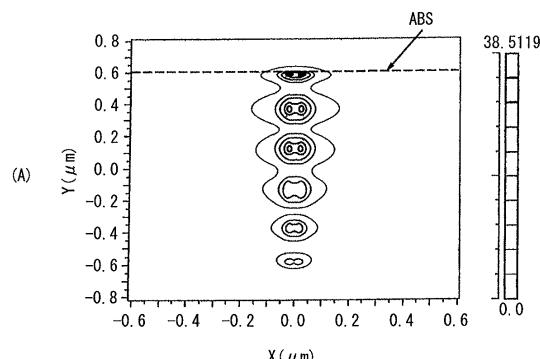
【図5】



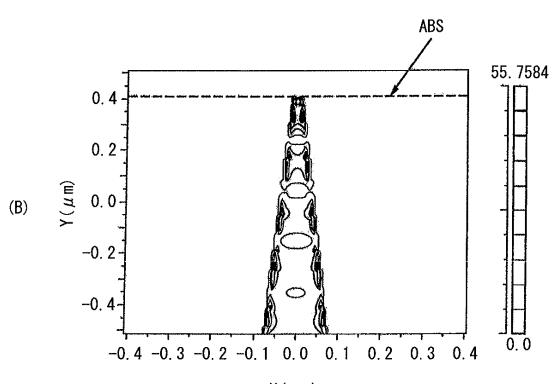
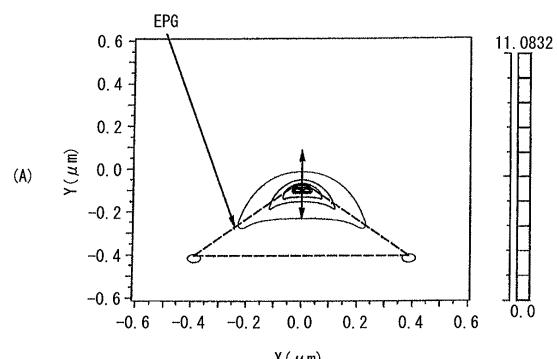
【図6】



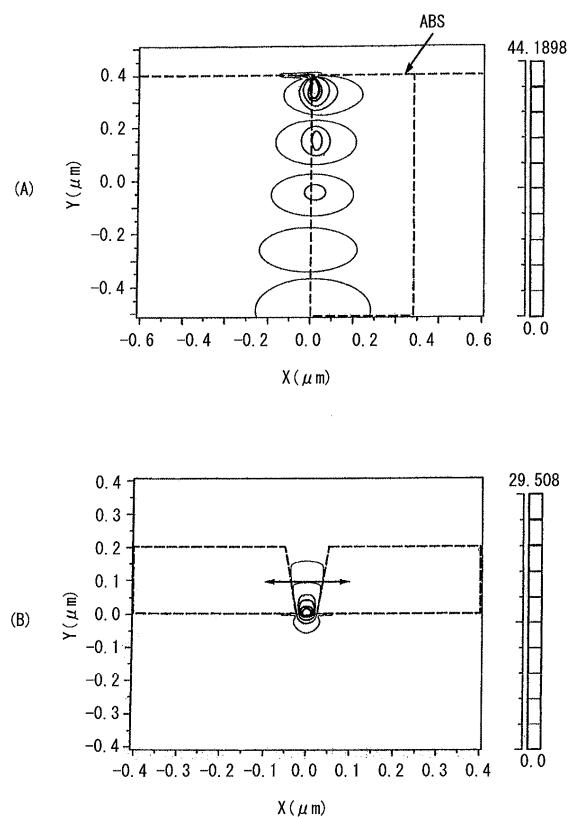
【図7】



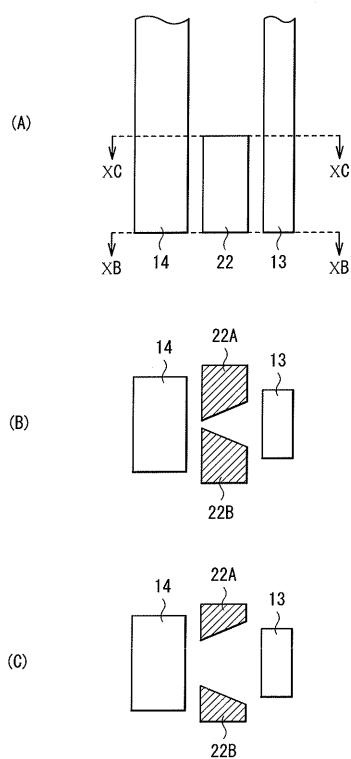
【図8】



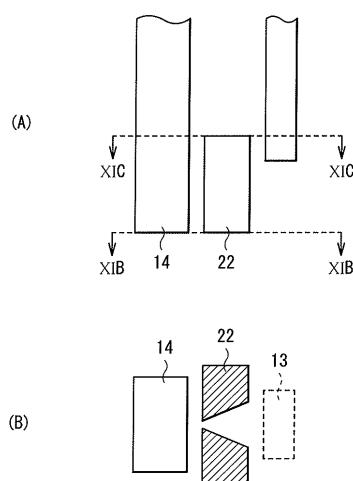
【図9】



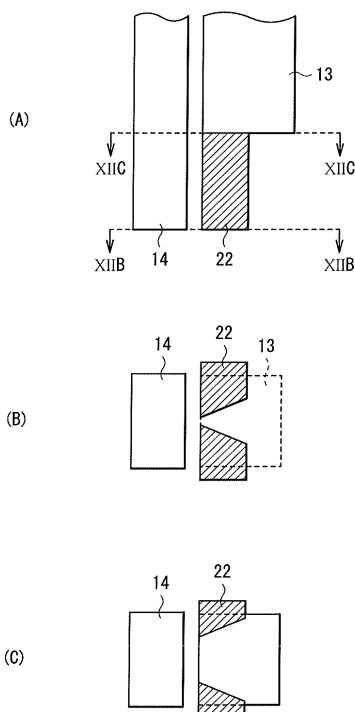
【図10】



【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 95133 サンノゼ ロリアン テラス 1622

(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 95003 アプトス ベンタナ コート 130

(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 95138 サンノゼ スノーダウン プレイス 5623

審査官 斎藤 真

(56)参考文献 特開2007-335027(JP,A)

特開2009-099255(JP,A)

米国特許出願公開第2010/0073817(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 11 B 5 / 00 - 5 / 024

G 11 B 5 / 31