

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5302302号
(P5302302)

(45) 発行日 平成25年10月2日(2013.10.2)

(24) 登録日 平成25年6月28日(2013.6.28)

(51) Int.Cl.		F I	
G 1 1 B	5/31	(2006.01)	G 1 1 B 5/31 A
G 1 1 B	5/02	(2006.01)	G 1 1 B 5/02 R
G 1 1 B	5/66	(2006.01)	G 1 1 B 5/66 U
H O 1 L	43/08	(2006.01)	H O 1 L 43/08 U

請求項の数 18 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2010-510082 (P2010-510082)	(73) 特許権者	000005108
(86) (22) 出願日	平成21年4月21日 (2009.4.21)		株式会社日立製作所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2009/057882		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(87) 国際公開番号	W02009/133786	(74) 代理人	100091096
(87) 国際公開日	平成21年11月5日 (2009.11.5)		弁理士 平木 祐輔
審査請求日	平成22年9月17日 (2010.9.17)	(74) 代理人	100105463
(31) 優先権主張番号	特願2008-116546 (P2008-116546)		弁理士 関谷 三男
(32) 優先日	平成20年4月28日 (2008.4.28)	(74) 代理人	100102576
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 渡辺 敏章
		(72) 発明者	五十嵐 万壽和
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内
		(72) 発明者	官本 治一
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロ波アシスト記録用磁気ヘッド及びマイクロ波アシスト記録装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ユーザデータが格納される磁気記録媒体と、当該磁気記録媒体に記録動作を行う記録ヘッド部を備えた磁気ヘッドとを有し、高周波磁界と前記ユーザデータに対応する記録磁界とを前記磁気記録媒体に印加することで該磁気記録媒体に磁気共鳴状態を形成して前記記録を行う情報記録装置において、

前記記録ヘッド部は、

前記記録磁界を発生する記録磁極と、

該記録磁極のトレーリング側ないしリーディング側に該記録磁極からは離間して設けられた対向磁極とを備え、

前記記録磁極は、前記磁気記録媒体に対する浮上面側端部のトレーリング側ないしリーディング側に突出部を有し、

当該突出部と前記対向磁極の間に、

スピン整流素子と、

膜面内で磁化の向きが回転可能な磁化回転体層と、当該磁化回転体層に接して当該磁化回転体層の磁化方向をガイドする回転ガイド層と、

前記磁化回転体層に流入するスピントルクの効果を打ち消すスピンを散乱する金属非磁性スピン散乱体層とを備えることを特徴とする情報記録装置。

【請求項2】

ユーザデータが格納される磁気記録媒体と、当該磁気記録媒体に記録動作を行う記録ヘ

ッド部を備えた磁気ヘッドとを有し、高周波磁界と前記ユーザデータに対応する記録磁界とを前記磁気記録媒体に印加することで該磁気記録媒体に磁気共鳴状態を形成して前記記録を行う情報記録装置において、

前記記録ヘッド部は、

前記記録磁界を発生する記録磁極と、

該記録磁極のトレーリング側ないしリーディング側に該記録磁極からは離間して設けられた対向磁極とを備え、

当該記録磁極と前記対向磁極の間に、

前記記録磁極に接触して形成された、前記記録磁極と対向磁極の間を通過する磁束に対する整流作用を有する磁束整流層と、

スピン整流素子と、

膜面内で磁化の向きが回転可能な磁化回転体層と、当該磁化回転体層に接して当該磁化回転体層の磁化方向をガイドする回転ガイド層と、

前記磁化回転体層に流入するスピントルクの効果を打ち消すスピンを散乱する金属非磁性スピン散乱体層とを備えたことを特徴とする情報記録装置。

【請求項 3】

ユーザデータが格納される磁気記録媒体と、当該磁気記録媒体に記録動作を行う記録ヘッド部を備えた磁気ヘッドとを有し、高周波磁界と前記ユーザデータに対応する記録磁界とを前記磁気記録媒体に印加することで該磁気記録媒体に磁気共鳴状態を形成して前記記録を行う情報記録装置において、

前記記録ヘッド部は、

前記記録磁界を発生する記録磁極と、

該記録磁極のトレーリング側ないしリーディング側に該記録磁極からは離間して設けられた対向磁極とを備え、

当該記録磁極と前記対向磁極の間に、

前記記録磁極に接触して形成された、前記記録磁極と対向磁極の間を通過する磁束に対する整流作用を有する磁束整流層と、

スピン整流素子と、

膜面内で磁化の向きが回転可能な磁化回転体層と、

前記磁化回転体層に流入するスピントルクの効果を打ち消すスピンを散乱する金属非磁性スピン散乱体層とを備えたことを特徴とする情報記録装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の情報記録装置において、

前記金属非磁性スピン散乱体層は、前記磁化回転体層と前記対向磁極の間に設けられていることを特徴とする情報記録装置。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の情報記録装置において、

前記金属非磁性スピン散乱体層は、前記スピン整流素子と前記磁化回転体層の間に設けられていることを特徴とする情報記録装置。

【請求項 6】

請求項 1 又は 2 に記載の情報記録装置において、

前記回転ガイド層は、自発磁化の向きが膜面内に垂直な方向である垂直磁気異方性膜を備えたことを特徴とする情報記録装置。

【請求項 7】

請求項 1 又は 2 に記載の情報記録装置において、

前記回転ガイド層は、自発磁化の向きが膜面内のいずれかの方向である負の垂直磁気異方性膜であることを特徴とする情報記録装置。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の情報記録装置において、

前記対向磁極は浮上面端部の前記記録磁極に面した側に突出部を有し、

10

20

30

40

50

前記スピン整流素子と、膜面内で磁化の向きが回転可能な磁化回転体層とは、記録磁極の突出部と対向磁極の突出部の間に配置されたことを特徴とする情報記録装置。

【請求項 9】

請求項 2 に記載の情報記録装置において、

前記対向磁極の浮上面端部の前記記録磁極に面した側に形成された第 2 の磁束整流層を有し、

前記スピン整流素子と、膜面内で磁化の向きが回転可能な磁化回転体層とは、前記磁束整流層と第 2 の磁束整流層との間に配置されたことを特徴とする情報記録装置。

【請求項 10】

請求項 1 又は 2 に記載の情報記録装置において、

前記記録磁極と対向磁極間に印加する励起電流の電流量を制御する手段を備えたことを特徴とする情報記録装置。

【請求項 11】

ユーザデータが格納される磁気記録媒体と、当該磁気記録媒体に記録動作を行う記録ヘッド部を備えた磁気ヘッドとを有し、高周波磁界と前記ユーザデータに対応する記録磁界とを前記磁気記録媒体に印加することで該磁気記録媒体に磁気共鳴状態を形成して前記記録を行う情報記録装置において、

前記記録ヘッド部は、

前記記録磁界を発生する記録磁極と、

該記録磁極のトレーリング側ないしリーディング側に該記録磁極からは離間して設けられた対向磁極とを備え、

前記記録磁極は、前記磁気記録媒体に対する浮上面側端部のトレーリング側ないしリーディング側に突出部を有し、

当該突出部と前記対向磁極の間に、

スピン整流素子と、

膜面内で磁化の向きが回転可能な磁化回転体層と、当該磁化回転体層に接して当該磁化回転体層の磁化方向をガイドする回転ガイド層とを備え、

前記磁気記録媒体の記録層は、上部磁性層と下部磁性層の少なくとも 2 層により構成され、

前記上部磁性層の異方性磁界が下部磁性層の異方性磁界よりも小さいことを特徴とする情報記録装置。

【請求項 12】

ユーザデータが格納される磁気記録媒体と、当該磁気記録媒体に記録動作を行う記録ヘッド部を備えた磁気ヘッドとを有し、高周波磁界と前記ユーザデータに対応する記録磁界とを前記磁気記録媒体に印加することで該磁気記録媒体に磁気共鳴状態を形成して前記記録を行う情報記録装置において、

前記記録ヘッド部は、

前記記録磁界を発生する記録磁極と、

該記録磁極のトレーリング側ないしリーディング側に該記録磁極からは離間して設けられた対向磁極とを備え、

当該記録磁極と前記対向磁極の間に、

前記記録磁極に接触して形成された、前記記録磁極と対向磁極の間を通過する磁束に対する整流作用を有する磁束整流層と、

スピン整流素子と、

膜面内で磁化の向きが回転可能な磁化回転体層と、当該磁化回転体層に接して当該磁化回転体層の磁化方向をガイドする回転ガイド層とを備え、

前記磁気記録媒体の記録層は、上部磁性層と下部磁性層の少なくとも 2 層により構成され、

前記上部磁性層の異方性磁界が下部磁性層の異方性磁界よりも小さいことを特徴とする情報記録装置。

10

20

30

40

50

【請求項 13】

ユーザデータが格納される磁気記録媒体に対し、高周波磁界と前記ユーザデータに対応する記録磁界とを印加することにより当該磁気記録媒体に磁気共鳴状態を形成して前記記録を行う磁気ヘッドにおいて、

前記記録磁界を発生する記録磁極と、

該記録磁極のトレーリング側ないしリーディング側に該記録磁極からは離間して設けられた対向磁極とを備え、

前記記録磁極と前記対向磁極の間に、

前記記録磁極に接触して形成された、前記記録磁極と対向磁極の間を通過する磁束に対する整流作用を有する磁束整流層と、

スピン整流素子と、

膜面内で磁化の向きが回転可能な磁化回転体層と、当該磁化回転体層に接して当該磁化回転体層の磁化方向をガイドする回転ガイド層と、

前記磁化回転体層に流入するスピントルクの効果を打ち消すスピンを散乱する金属非磁性スピン散乱体層とを備えたことを特徴とする磁気ヘッド。

10

【請求項 14】

ユーザデータが格納される磁気記録媒体と、当該磁気記録媒体に記録動作を行う記録ヘッド部を備えた磁気ヘッドとを有し、高周波磁界と前記ユーザデータに対応する記録磁界とを前記磁気記録媒体に印加することで該磁気記録媒体に磁気共鳴状態を形成して前記記録を行う情報記録装置において、

前記記録ヘッド部は、前記記録磁界を発生する記録磁極と、前記記録磁極から離間して設けられた対向磁極とを備え、

前記記録磁極と前記対向磁極の間に、磁束整流層と、面内磁化回転する負の磁気異方性体層を備える高周波磁界発生素子とを有することを特徴とする情報記録装置。

20

【請求項 15】

ユーザデータが格納される磁気記録媒体と、当該磁気記録媒体に記録動作を行う記録ヘッド部を備えた磁気ヘッドとを有し、高周波磁界と前記ユーザデータに対応する記録磁界とを前記磁気記録媒体に印加することで該磁気記録媒体に磁気共鳴状態を形成して前記記録を行う情報記録装置において、

前記記録ヘッド部は、前記記録磁界を発生する記録磁極と、膜面内での磁化の向きが回転可能な磁化回転体層と、前記記録磁極の磁化の逆転に応じて前記磁化回転体層の回転方向が制御されるように作用するスピン整流素子とを有し、

前記磁気記録媒体の記録層は、上部磁性層と下部磁性層の少なくとも2層により構成され、前記上部磁性層の異方性磁界が下部磁性層の異方性磁界よりも小さいことを特徴とする情報記録装置。

30

【請求項 16】

ユーザデータが格納される磁気記録媒体と、当該磁気記録媒体に記録動作を行う記録ヘッド部を備えた磁気ヘッドとを有し、周波数 f の高周波磁界と前記ユーザデータに対応する記録磁界とを前記磁気記録媒体に印加することで該磁気記録媒体に磁気共鳴状態を形成して前記記録を行う情報記録装置において、

前記磁気記録媒体の記録層は、上部磁性層と下部磁性層の少なくとも2層により構成され、前記上部磁性層の異方性磁界 H_k が下部磁性層の異方性磁界よりも小さく、前記高周波磁界の周波数 f は、 をジャイロ磁気定数として、磁気共鳴振動数 $H_k / 2$ の約 70% であることを特徴とする情報記録装置。

40

【請求項 17】

ユーザデータが格納される磁気記録媒体と、当該磁気記録媒体に記録動作を行う記録ヘッド部を備えた磁気ヘッドとを有し、高周波磁界と前記ユーザデータに対応する記録磁界とを前記磁気記録媒体に印加することで該磁気記録媒体に磁気共鳴状態を形成して前記記録を行う情報記録装置において、

前記記録ヘッド部は、前記記録磁界を発生する記録磁極と、前記記録磁極から離間して

50

設けられた対向磁極とを備え、

前記記録磁極と前記対向磁極との間に、少なくとも面内磁化回転する負の垂直磁気異方性体層と、金属非磁性スピン伝導層とを備えることを特徴とする情報記録装置。

【請求項 18】

請求項 17 に記載の情報記録装置において、

前記面内磁化回転する負の垂直磁気異方性体層と、前記金属非磁性スピン伝導層とが接して形成されていることを特徴とする情報記録装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気記録媒体に対して、高周波磁界（以下、マイクロ波と称する）を照射して磁気共鳴を励起し、該記録媒体の磁化反転を誘導、情報を記録する機能を有する情報記録装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

磁気記録において記録密度を高めるためには記録ビットのサイズを低減することが必要であるが、微小な記録ビットを安定的に記録媒体に保持するためには異方性磁界の大きな（あるいは保磁力の大きな）磁性材料を用いて記録媒体を構成する必要がある。異方性磁界の大きな記録媒体に記録動作を行うためにはそれだけ強い記録磁界を用いて記録を行う必要があるが、将来的には記録ヘッドの記録磁界強度は不足するとされている。そこで、マイクロ波アシスト記録や熱アシスト記録など、記録を行う時のみ一時的に媒体の異方性磁界を低減して記録を行う記録方式が検討されている。

【0003】

マイクロ波アシスト記録では、強力なマイクロ波帯の高周波磁界をナノメートルオーダーの領域に照射して記録媒体を局所的に励起、磁化反転磁界を低減して情報を記録する。磁気共鳴を利用するため、媒体異方性磁界に比例する周波数のマイクロ波を用いないと、大きな磁化反転磁界の低減効果は得られない。

【0004】

特開平 7 - 244801 号公報には、高周波磁界により磁気記録媒体をジュール加熱あるいは磁気共鳴加熱し、媒体保磁力を局所的に低減することにより、情報を記録する技術が開示されている。また、米国特許第 7,256,955 号明細書には、垂直記録ヘッド駆動電流と高周波電流を重畳した磁界を記録媒体に印加して、高周波磁界を磁気記録媒体に誘導、記録媒体を局所的に磁気共鳴状態にし、磁化反転磁界を低減して情報を記録する技術が開示されている。また、特開 2007 - 299460 号公報は、主磁極励磁用の主コイルとは別に、マイクロ波を発生させるための微小な副コイルを磁気ヘッドに設けてマイクロ波アシスト記録を行う技術が開示されている。

【0005】

一方、2007 年の TMR C (The Magnetic Recording Conference) 国際会議の講演予稿、TMR 2007 - B6 には、垂直磁気ヘッドの主磁極に隣接した磁気記録媒体近傍に、スピントルクによって高速回転する磁化回転体を配置してマイクロ波を発生させ、マイクロ波アシスト記録を行う技術が開示されている。

【特許文献 1】特開平 7 - 244801 号公報

【特許文献 2】米国特許第 7,256,955 号明細書

【特許文献 3】特開 2007 - 299460 号公報

【非特許文献 1】TMR 2007 - B6

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

次世代の磁気記録方式に対して現状想定されている程度の記録密度（1 平方インチあたり 2 T ビット程度）をマイクロ波アシスト記録で実現するためには、マイクロ波の照射領

10

20

30

40

50

域の大きさはナノメートルオーダーになる。この程度の領域に強力なマイクロ波を照射するためには、上で説明した従来技術のいずれも性能的に不足である。

【 0 0 0 7 】

例えば、特開平 7 - 2 4 4 8 0 1 号公報に開示された技術においては、空洞共振器を磁気ヘッドスライダに設けてマイクロ波を磁気記録媒体に照射しているが、現状必要なギガヘルツオーダーのマイクロ波を発生する場合、空洞共振器のサイズは数ミリ程度になってしまう。従って、特開平 7 - 2 4 4 8 0 1 号公報に開示された発明は、磁気ヘッドスライダへの搭載が困難であり現実的とは言えない。また、米国特許第 7, 2 5 6, 9 5 5 号明細書に記載の発明では、記録ヘッド駆動電流に高周波電流を重畳するため、記録ヘッド磁極部分からの磁界と高周波磁界の方向が一致してしまう。従って、磁気共鳴状態を形成することが困難である。また、特開 2 0 0 7 - 2 9 9 4 6 0 号公報に記載の発明では、ギガヘルツオーダーの交流磁界を発生するために副コイルに対してギガヘルツオーダーの交流電流を供給する必要があるが、そのように高速で動作しかつ十分な電流を供給可能な交流アンプは、現状では存在しない。また、交流磁界の照射領域もナノメートルオーダーに限定できない。

10

【 0 0 0 8 】

T M R 2 0 0 7 - B 6 に開示された従来技術においては、強力なマイクロ波をナノメートルオーダーの領域に照射して記録媒体を局所的に磁気共鳴状態にし、磁化反転磁界を低減して情報を記録することが可能であるが、スピントルクにより磁化が回転する磁化回転体が主磁極からの漏れ磁界方向に固定され高周波発振できない。

20

【 0 0 0 9 】

本発明は、磁化回転体を用いてマイクロ波を発生する方式のマイクロ波アシスト記録において、記録磁極からの漏れ磁界の影響を低減し安定してマイクロ波を発生可能なマイクロ波アシスト記録を適用した磁気ヘッドないし情報記録装置を実現することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本発明においては、記録ヘッド部の記録磁極のトレーリング側ないしリーディング側に磁気回路（磁束を環流させるために）を構成するための対向磁極を設け、記録磁極の浮上面端部の対向磁極に面した側に磁束に対する整流作用を持つ膜を設け、当該磁束整流膜と上記対向磁極の浮上面端部との間に、高周波発生部を設けることにより、記録磁極からの漏れ磁界の影響を低減し安定してマイクロ波を発生可能なマイクロ波アシスト記録用のヘッド構造を実現する。

30

【 0 0 1 1 】

磁束に対する整流作用を持つ膜としては、例えば、記録磁極の浮上面端部の上記対向磁極面側に突起部を設けることにより実現する。この突起部は記録磁極と一体化していても良いし、記録磁極とは別な磁性体として設けても良い。突起部はリップ部と呼ばれる場合もある。

【 0 0 1 2 】

上記の高周波発生部は、上記の記録磁極と対向磁極との間に磁化回転体とスピン整流素子とを隣接して配置することにより実現される。磁化回転体とスピン整流素子とは、単一の膜で構成しても良いし、複数の膜を積層して構成しても良い。

40

【 0 0 1 3 】

上記突起部を設けることにより、記録磁極から高周波磁界発生部へ流入する磁束のうち膜面に垂直な方向の成分が増大するため、磁化回転体の磁化の回転が記録磁極からの漏洩磁界により阻害される程度が減少する。これにより、従来よりも安定して発振可能な高周波磁界発生部を実現でき、マイクロ波アシスト記録に最適な磁気ヘッドないし情報記録装置を実現できる。

【発明の効果】

【 0 0 1 4 】

50

記録密度が1平方インチあたり2 Tビットを超える情報記録装置が実現できると同時に信頼性をも向上でき、結果としてコストを低減することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1A】磁気ヘッドスライダ及び磁気ヘッドの構成例を示す図。

【図1B】磁気ヘッド部の拡大図。

【図1C】記録ヘッド部の拡大図。

【図1D】試作した従来構造の磁気ヘッドを示す図。

【図2】シミュレーションモデルの有効磁界の印加方向を示す図。

【図3】一方向振動磁界、反時計回り振動磁界、時計回り振動磁界の反転の挙動を示す図

10

。【図4】磁気ディスク装置の全体構成図。

【図5】実施例1の記録ヘッド部の構成図（断面図）。

【図6】図5に示す記録ヘッドから発生する高周波磁界の特性評価方法を説明するための構成図。

【図7】図5の磁気ヘッドより発生する高周波磁界強度の高周波励起電流依存性を示した図。

【図8】図5の磁気ヘッドより発生する高周波周波数の高周波励起電流依存性を示した図

。【図9】高周波周波数を最適値からずらした場合の反転の状況を調べた図。

20

【図10】 H_k が異なる媒体について、磁化反転に必要な外部磁界強度の高周波周波数依存性を示した図。

【図11】最適周波数 f_{opt} の磁気異方性磁界 H_k 依存性を示した図。

【図12】 H_k の異なる媒体について H_{ac} と H_{ext} を変えて磁化反転の挙動を調べた図。

【図13】実施例2の磁気ヘッドスライダ及び磁気ヘッドの構成例を示す図。

【図14】実施例2の磁気ヘッドの全体構成図。

【図15】実施例2の記録ヘッド部の構成図（断面図）。

【図16】実施例2で用いたシミュレーションモデルの概要図。

【図17】ダンピング定数の異なる上部記録層と下部記録層の組み合わせについて、磁化反転の挙動を調べた計算機実験結果を示す図。

30

【図18】実施例2で用いたシミュレーションの結果を示す図。

【図19】実施例3の記録ヘッド部の構成図（断面図）。

【図20】図19の記録ヘッド部を浮上面側から見た図。

【図21】図19の記録ヘッドより発生する高周波磁界強度の高周波励起電流依存性を示した図。

【図22】図19の記録ヘッドより発生する発生する高周波磁界の周波数の高周波励起電流依存性を示した図。

【図23】実施例4の記録ヘッド部の構成図。

【図24】実施例5の記録ヘッド部の構成図。

【図25】実施例6の記録ヘッド部の構成図。

40

【符号の説明】

【0016】

1 ... 第1の垂直磁気異方性体

2 ... 磁化回転体層

3 ... 金属非磁性スピン伝導層

4 ... 第2の垂直磁気異方性体（スピン注入層）

5 ... 主磁極

6 ... 対向磁極

7 ... 記録媒体

8 ... リップ

50

1 1 ... 負の垂直磁気異方性体	
1 2 ... 金属非磁性スピン散乱体	
1 3 ... 対向磁極側リップ	
1 4 ... サイドシールド	
1 5 ... 金属非磁性スピン伝導層	
1 6 ... 記録層	
1 7 ... 上部記録層	
1 8 ... 下部記録層	
1 9 ... 基板	
2 5 ... プラス電極	10
2 6 ... マイナス電極	
2 7 ... プラス電極	
2 8 ... マイナス電極	
3 1 ... 反強磁性層	
3 2 ... 固定磁性相	
3 3 ... C o F e B	
3 5 ... 絶縁層 (M g O)	
3 6 ... C o F e B	
3 7 ... 自由層	
4 1 ... スピン整流素子	20
4 3 ... 回転ガイド層	
4 8 ... 磁束整流膜	
5 6 ... 第 1 の上部記録層	
5 7 ... 第 2 の上部記録層	
5 8 ... 下部記録層	
6 5 ... 第 1 の上部記録層	
6 6 ... 第 2 の上部記録層	
6 7 ... 第 3 の上部記録層	
1 0 1 ... 記録媒体	
1 0 2 ... スライダ	30
1 0 3 ... ロータリアクチュエータ	
1 0 4 ... 回転軸受け	
1 0 5 ... アーム	
1 0 6 ... サスペンション	
1 0 8 ... 配線	
1 0 9 ... 磁気ヘッド部	
1 1 0 ... プロセッサ	
1 1 1 ... メモリ	
1 1 2 ... チャネル I C	
1 1 3 ... I C アンプ	40
1 2 0 ... 基板	
1 2 1 ... 中間層	
1 2 2 ... 垂直記録膜	
2 0 0 ... 記録ヘッド	
2 0 1 ... 高周波磁界発生素子	
2 0 2 ... 高周波磁界検出器	
2 0 3 ... 高周波磁界検出器	
2 0 5 ... コイル	
2 0 6 ... 補助磁極	
2 0 7 ... 再生センサ	50

208 ...下部シールド

209 ...絶縁膜

210 ...上部シールド

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、図1Aから図3を用いて、磁化回転体とスピン整流素子により高周波磁界が発生する原理について説明する。この原理は、後段で説明する各実施例に共通である。

【0018】

図1A及び図1Bには、磁化回転体とスピン整流素子及び磁束整流膜を備えたマイクロ波アシスト記録用磁気ヘッドの基本構成を示す。

10

【0019】

図1Aは、磁気ヘッドスライダと磁気記録媒体の相対位置関係を模式的に示した図である。磁気ヘッドスライダ102は、サスペンション106により、記録媒体101に対向して支持される。図1Aにおいて、記録媒体101は紙面右方向に回転し、対向する磁気ヘッドスライダは、記録媒体に対して相対的に紙面左方向に移動しているものとする。従って、図1Aにおいては、磁気ヘッド部109はスライダのトレーリング側に配置されていることになる。磁気ヘッド部109の各構成要素の駆動電流は配線108によって給電され、端子110によって各構成要素に供給される。

【0020】

図1Bは、図1Aに示された磁気ヘッド部109の拡大図を示す。磁気ヘッド109は、記録ヘッド部と再生ヘッド部により構成されており、記録ヘッド部は、補助磁極206、主磁極5と対向磁極6との間に配置された高周波磁界発生素子201、主磁極を励磁するコイル205等により構成される。再生ヘッド部は、下部シールド208と上部シールド210の間に配置された再生センサ207等により構成される。補助磁極206と上部シールド210は兼用される場合もある。図示されていないが、コイルの励磁電流や再生センサの駆動電流及び高周波磁界発生素子への印加電流は、各々の構成要素毎に設けられた電流供給端子により供給される。

20

【0021】

図1Bに示すように、対向磁極6は図面上方にて主磁極5の方へ延び、互いに磁気的な回路を構成している。ただし、図面上方においては電気的にはほぼ絶縁されているものとする。磁気的な回路は、磁力線が閉路を形成するものであり、磁性体のみで形成されている必要はない。また、主磁極5の対向磁極6と反対側に補助磁極等を配置し、磁気回路を形成してもよい。この場合には、主磁極5と補助磁極との間は電気的に絶縁されている必要はない。主磁極5と対向磁極6には、電極又は電極に電気的に接触する手段が備わっており、主磁極5側から対向磁極6側、あるいはその逆の高周波励起電流が磁化回転体層を通して流せるように構成されている。

30

【0022】

図1Cは、図1Bに示された記録ヘッド部を更に拡大した図である。主磁極5の浮上面端部のトレーリング側に磁束整流膜48が形成されており、この磁束整流膜48と対向磁極6との間に高周波磁界発生素子201が形成されている。主磁極5と対向磁極6の間には、図に示した黒の矢印の向きに定常電流が流れており、ヘッドの相対移動方向は白抜き矢印で示される方向である。磁気記録媒体7としては、基板120上に中間層121を介して垂直記録膜122を積層した媒体を使用した。

40

【0023】

高周波磁界発生素子201は、回転ガイド層43として第1の垂直磁気異方性層、磁化回転層2、スピン整流素子41として磁化回転層2と接触する面に金属非磁性スピン導電層を有する第2の垂直磁気異方性層が、主磁極5と対向磁極6の間に横方向に積層された構造を有している。第1及び第2の垂直磁気異方性層の磁化の向きは、図に示した矢印の向き(膜面に垂直方向)のように互いに逆方向を向いている。磁化回転層2の自発磁化の向きは、回転ガイド層43の作用で当該回転ガイド層43の自発磁化の向きと概ね平行で

50

膜面内に垂直な方向にある。垂直磁気異方性層を負の垂直磁気異方性を持つ材料で構成しても良い。負の垂直磁気異方性については、実施例 3 で詳述する。

【 0 0 2 4 】

このような構造の積層膜に主磁極 5 から対向磁極 6 の向きに電流を流した場合、電子は対向磁極 6 から各層を経由して主磁極 5 まで移動する。この際、スピン整流素子 4 1 は、電子に対するスピンの整流素子として作用し、右向きにスピンが揃った電子を左側の磁化回転層 2 に供給する。スピン整流素子 4 1 から磁化回転層 2 に供給される電子は、スピントルクを磁化回転層 2 に及ぼし、磁化回転層 2 の磁化を右向きに向けようと作用する（作用 1）。一方、磁化回転層 2 には、あらかじめ回転ガイド層 4 3 より左に向けようとする作用（作用 2）が働いている。また、主磁極 5 からの漏洩磁界も磁化回転層 2 の磁化をその向きに向けようと作用する（作用 3）。磁化回転層 2 の自発磁化の向きは、作用 1、作用 2、作用 3 のバランスで決定されるが、作用 2 と作用 3 とで決定される方向に復元するようにトルクが発生し、膜面内で高速回転する。その結果、直流電流にて交流磁界が発生する（以下、高周波励起電流と呼ぶ）。発生する交流磁界は、作用 1、作用 2、作用 3 が互いに打ち消しあって、磁化回転層 2 の向きが、膜面内にあるときに最大となる。スピン整流素子 4 1 において磁化回転層 2 と接触する面に金属非磁性スピン導電層を設けたのは、磁性体同士が直接接触して相互作用をするのを避け、スピン（電子）のみを流す為である。第 2 の垂直磁気異方性層は、対向磁極 6 から流入する電子の中から、その磁化方向のスピンだけが取り出せる状態とすることができる。

10

【 0 0 2 5 】

本構成の高周波磁界発生素子 2 0 1 は、主磁極 5 からの漏洩磁界の極性によって、作用 3 の方向が反転する。このため、発生する交流磁界強度が主磁極 5 からの漏洩磁界の極性によって変化する欠点がある。使用に当たっては、電流の大きさを変えて極性の影響を受けないポイントを求める必要がある。また、高周波磁界周波数は、電流に比例する為、記録する媒体の共鳴周波数を合わせてやる必要がある。磁束整流層 4 8（リップ）は、主磁極 5 からの漏洩磁界の向きを整え、磁化回転層 2 の膜面に平行な磁界成分ができるだけ少なくなるように設計されている。磁化回転層 2 の膜面に平行な磁界成分があると、磁化回転層 2 の自発磁化が当該方向に固定されてしまい、高周波発振ができない。電流を逆向きに流した場合には、作用 1 の向きが逆転し作用 2 の方向と一致してしまう為、磁化回転層 2 の膜面に平行な自発磁化成分が生じないので、高周波発振ができない。

20

30

【 0 0 2 6 】

磁束整流層 4 8（リップ）の磁化回転層 2 側の表面に、別の金属非磁性スピン導電層を設けると、主磁極 5 からの漏洩磁界の極性の影響を減じることが可能となる。この際、磁束整流層 4 8 は、電子に対するスピンの整流素子としても作用し、主磁極 5 の磁化方向にスピンが揃った電子を右側の磁化回転層 2 又は回転ガイド層 4 3 から奪い取り、磁化回転層 2 の磁化を主磁極 5 の磁化と逆向きに向けようとするスピントルクが作用する（作用 4）。図 1 C に示す向きに電流を流す場合には、前記作用 3 と作用 4 は逆向きであり、磁化回転層 2 への主磁極からの磁界の影響を抑制する向きにスピントルクが働くように構成できる。

【 0 0 2 7 】

比較のため、磁束整流層 8 のない従来構造のヘッドを試作し特性を調査した。試作した従来構造の磁気ヘッドを図 1 D に示す。3 D 磁界解析ソフトを用いて計算すると、磁化回転層 2 には、約 0.1 MA/m の図面上下方向の磁界が印加されることが分かっている。スピンスターを用い、磁気スペーシング 5 nm、トラックピッチ 20 nm として磁気記録を行い、さらにこれをシールド間隔 20 nm の GMR ヘッドにより再生したが、高周波励起電流の大きさや向きを変化させても、媒体を変えても再生出力が得られなかった。また、実際にマイクロ波磁界が発生しているかどうかを確認するため、高周波磁界発生素子 2 0 1 を挟んで記録媒体 7 の反対側に高周波磁界検出器 2 0 3 を配置してマイクロ波磁界の強度をモニタしたが、高周波出力は得られなかった。これは、磁化回転層 2 の磁化が主磁極 5 の漏れ磁界により、当該漏れ磁界方向に磁化してしまい、高周波発振していな

40

50

いと考えられる。

【 0 0 2 8 】

ここで、シミュレーションを用いて媒体の磁気共鳴がアシストの原因であることを検証する。一軸磁気異方性有する磁性粒子が一斉回転モデルにしたがって反転するものと考え、その磁化の挙動を次の L L G (Landau-Lifschitz-Gilbert) 方程式を用いて計算した。

【 数 1 】

$$(1 + \alpha^2) \frac{d\vec{M}}{dt} = -\gamma(\vec{M} \times \vec{H}'), \quad \vec{H}' = \vec{H} + \alpha \frac{\vec{M} \times \vec{H}}{M} \quad (1)$$

【 0 0 2 9 】

はジャイロ磁気定数、 α はダンピング定数である。有効磁界 H は、磁気異方性磁界 $H_a (= H_k \cos \theta_m)$ (θ_m は磁化と磁化容易軸のなす角)、静磁界 H_d 、外部磁界 H_{ext} 及び、高周波磁界 H_{ac} の 4 成分の和で構成される。実際の記録ヘッドにおいては、 H_{ext} が記録磁極からの記録磁界、 H_{ac} が高周波発生器からの交流磁界に相当する。図 2 に有効磁界の印加方向を示す。鉛直方向を z 方向として、 H_a を印加した。 H_{ext} は、初期磁化方向と反対で、鉛直方向から θ_h 傾いた方向に印加した。磁化は概ね $+z$ 方向から、 $-z$ 方向に向かって z 軸を軸とする回転運動をしながら反転する。図 2 では、高周波磁界 H_{ac} の印加方向は水平方向としたが、一方向への振動磁界は、次式に示すように反時計回り成分と時計回り成分とに分解可能である。

【 数 2 】

$$H_{ac} \cos(2\pi ft) = H_{ac} \left(\left(\frac{\cos(2\pi ft) + \sin(2\pi ft)}{2} \right) + \left(\frac{\cos(2\pi ft) - \sin(2\pi ft)}{2} \right) \right) \quad (2)$$

【 0 0 3 0 】

このうち時計回り成分は、磁化の才差運動と逆向きの回転であるため磁気共鳴の原理から、全く共鳴に関与しないと考えられる。磁気共鳴がアシストの原因であるとするれば、反時計回り振動磁界、時計回り振動磁界とでアシスト効果に大きな違いが発生するものと予想される。

【 0 0 3 1 】

図 3 は、一方向振動磁界、反時計回り振動磁界、時計回り振動磁界に対して、 H_{ac} と H_{ext} とを変えて反転の状況を調べたものである。図で、白い四角は 3 ns 経過するまでに磁化反転が完了した領域、格子マークは部分反転した領域、黒い四角は磁化反転していない領域を示している。図より、時計回り振動磁界成分では Stoner-Wohlfarth 磁界 (孤立磁性粒子を磁化反転に至らしめる磁界。磁化容易軸と印加磁界の角度で変化し、ここでは、 $H_{ext} / H_k = 0.6$) まで反転が全くなく、確かに、磁気共鳴がアシストの原因であることが確認された。

【 0 0 3 2 】

なお、上で説明した図 1 C の記録ヘッド構造では、回転ガイド層と磁化回転層とスピン整流素子が単層膜で実現されているが、複数の積層膜で構成しても構わない。或いは、高周波磁界発生素子 201 の中に離間して配置された層の全体の作用として磁化回転層とスピン整流素子としての機能が実現されていても構わない。更に、上の説明では、磁束整流膜 48 は、主磁極とは別に設けられた層であるとして説明したが、主磁極に付随する突出部として構成されていても良い。

【 0 0 3 3 】

以上、本実施例の構成により、安定的に発振が可能なマイクロ波アシスト記録用磁気ヘッドが実現可能となる。

【 実施例 1 】

【 0 0 3 4 】

本実施例では、上で説明した磁束整流膜 48 を有するマイクロ波アシスト記録用磁気ヘッドと人工格子膜を備えた磁気記録媒体を組み合わせて情報記録装置を構成した例につい

10

20

30

40

50

て説明する。

【0035】

図4(A)及び図4(B)は、本実施例の情報記録装置の全体構成を示す模式図である。図4(A)が上面図、図4(B)はそのA-Aでの断面図である。記録媒体101は回転軸受け104に固定され、モータ100により回転する。図4では3枚の磁気ディスク、6本の磁気ヘッドを搭載した例を用いて説明したが、磁気ディスクは1枚以上、磁気ヘッドは1本以上あれば良い。記録媒体101は、円盤状をしており、その両面に記録層を形成している。スライダ102は、回転する記録媒体面上を略半径方向移動し、リーディング側ないしトレーリング側先端部に磁気ヘッドを有する。サスペンション106は、アーム105を介してロータリアクチュエータ103に支持される。サスペンション106は、スライダ102を記録媒体101に所定の荷重で押しつけるあるいは引き離そうとする機能を有する。磁気ヘッドの各構成要素を駆動するための電流はICアンプ113から配線108を介して供給される。記録ヘッド部に供給される記録信号や再生ヘッド部から検出される再生信号の処理は、図4(B)に示されたリードライト用のチャンネルIC112により実行される。また、情報処理装置全体の制御動作は、メモリ111に格納されたディスクコントロール用プログラムをプロセッサ110が実行することにより実現される。従って、本実施例の場合には、プロセッサ110とメモリ111とがいわゆるディスクコントローラを構成する。

10

【0036】

図5は、本実施例の情報処理装置の記録ヘッド部の構造を示す模式図である。磁気ヘッドスライダや磁気ヘッドの全体構成については、図1Aや図1Bに示した構成と同様であるため、説明は省略する。

20

【0037】

本実施例の高周波磁界発生素子201は、金属非磁性スピン伝導層15、第1の垂直磁気異方性体1、磁化回転体層2、金属非磁性スピン伝導層3、第2の垂直磁気異方性体4(スピン注入層)の各層が横に積層された構成を有し、これらの積層膜が主磁極5と対向磁極6の間に配置された構成を有している。図1Cに示す構成においては、スピン整流素子41が、金属非磁性スピン伝導層3と第2の垂直磁気異方性体4の積層構造、回転ガイド層43が第1の垂直磁気異方性体1、磁束整流層48が磁束整流層8(リップ)に対応している。なお、高周波磁界発生素子201の形状は、図面左右方向に伸びる柱状構造で、その断面はABS面に沿った方向に長い長方形をしている。長方形形状とすることにより、形状異方性が生じる為、発振状態にない時に磁化回転体層2の磁化がABS面に平行となり、漏洩磁界による不要な磁化反転等を防ぐことができる。

30

【0038】

この長方形のABS面に沿った方向の長さは、記録トラック幅を決定する重要な因子であり、本実施例では15nmとした。マイクロ波アシスト記録においては、主磁極5からの記録磁界と磁化回転体層2からの高周波磁界とが揃わないと記録できないような磁気異方性の大きい記録媒体を用いることになる為、主磁極5の幅と厚さ(ヘッド走行方向の長さ)は、記録磁界が大きく取れるよう大きめに設定することが可能である。本実施例では、幅80nmと厚さ100nmとすることで、約0.9MA/mの記録磁界が得られている。磁束整流層8は、主磁極5と飽和磁化が同じ又は大きな材料を用い、主磁極5からの磁界が磁化回転体層2の層方向に垂直となるよう3D磁界解析ソフトを用いて磁束整流層8の厚さ設計を行った。

40

【0039】

本実施例における磁束整流層8の厚さは、11nmであったが、この値は、前述の長方形の形状、対向磁極までの距離と状況、用いる媒体の状況、図面上方における磁気回路の状況に依存する。垂直磁気異方性体1は、六方晶CoCrPtの001面が図中の左右方向となるようにし、磁気異方性の大きさは、 $5.1 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ のものをを用いた。主磁極5と対向磁極6の材料は、飽和磁化が大きく、結晶磁気異方性がほとんどないCoFe合金とした。

50

【 0 0 4 0 】

磁化回転体層 2 は、飽和磁化が大きく、結晶磁気異方性がほとんどない厚さ 20 nm の CoFe 合金とした。磁化回転体層 2 では、概ね層に沿った面内で磁化が高速回転し、ABS 面に出現する磁極からの漏れ磁界が、高周波磁界として作用する。磁化回転体層 2 の磁化回転駆動力源は、金属非磁性スピン伝導層 3 を介して第 2 の垂直磁気異方性体 4 (スピン注入層) より流入するスピントルクである。また、本実施例では、磁束整流層 8 (リップ) と第 1 の垂直磁気異方性体 1 との界面に、金属非磁性スピン導電層 15 を設けているので、主磁極 5 からの漏洩磁界の極性の影響を減じることが可能となる。これは、磁束整流層 8 が、電子に対するスピンの整流素子としても作用し、主磁極 5 の磁化方向にスピンの揃った電子を右側の第 1 の垂直磁気異方性体 1 から奪い取り、磁化回転層 2 の磁化を主磁極 5 の磁化と逆向きに向けようとするスピントルクが作用するためである。図 5 に示す向きに電流を流すことにより、磁化回転体 2 への主磁極からの磁界の影響を抑制する向きにスピントルクが働くように構成できる。これらのスピントルクの作用を得るには、主磁極 5 側から対向磁極 6 側へ高周波励起電流を流す必要がある。高周波励起電流の向きと大きさは、ディスクコントローラが IC アンプ 113 の極性とゲインを切り替えることにより制御される。スピントルク作用は、高周波励起電流 (電子流) が大きくなるほど大きくなり、また、金属非磁性スピン伝導層 3 や金属非磁性スピン伝導層 15 と隣接する層との間に分極率の大きな CoFeB 層を 1 nm 程度挿入すると大きくなる。

10

【 0 0 4 1 】

金属非磁性スピン伝導層 15 及び金属非磁性スピン伝導層 3 には、2 nm - Ru を用いたが、スピン伝導性の高い金属非磁性体である Cu 等を用いても良い。

20

【 0 0 4 2 】

第 2 の垂直磁気異方性体 4 としては、垂直磁気異方性が $2.4 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ の L11 型 CoPt₅₀ を用いた。第 1 の垂直磁気異方性体 1 及び、第 2 の垂直磁気異方性体 4 の磁化は、高温にて、まず強い磁界を加えて第 2 の垂直磁気異方性体 4 を磁化し、続いて最初の磁界より弱い磁界を逆方向に印加して第 1 の垂直磁気異方性体 1 を磁化した。第 2 の垂直磁気異方性体 4 の初期磁化方向は、図面左右方向であればどちらでも良く、有効なスピントルクが得られる電流方向を規定しない。

【 0 0 4 3 】

記録媒体 7 としては、基板 19 上に、以下の構造の記録層を有する記録媒体を作成し、各々本実施例の磁気ヘッドと組み合わせて特性評価を行った。なお、これらの磁性膜は、ターゲット組成の異なるスパッタリングにて真空中で連続形成した。

30

【 0 0 4 4 】

(1) 記録媒体 A-30/60

下部記録層 18 : 磁気異方性磁界が 4.8 MA/m (60 kOe)、膜厚が 6 nm の FePt - SiO_x 層、

上部記録層 17 : 磁気異方性磁界が 2.4 MA/m (30 kOe)、膜厚が 5 nm の CoCrPt - SiO_x 層、

(2) 記録媒体 A-60/30

下部記録層 18 : 磁気異方性磁界が 2.4 MA/m (30 kOe)、膜厚が 5 nm の CoCrPt - SiO_x 層、

上部記録層 17 : 磁気異方性磁界が 4.8 kA/m (60 kOe)、膜厚が 6 nm の FePt - SiO_x 層、

(3) 記録媒体 A-60/60

単層記録層 (上部記録層 17 と下部記録層 18 とを合体) : 磁気異方性磁界が 4.8 kA/m (60 kOe)、膜厚が 11 nm の FePt - SiO_x 層、

(4) 記録媒体 A-30/30

単層記録層 : 磁気異方性磁界が 2.4 kA/m (30 kOe)、膜厚が 11 nm の CoCrPt - SiO_x 層

上部記録層 17 の磁気異方性磁界は小さい方が、より周波数の低い高周波磁界で記録可

50

能と考えられるが、小さすぎると主磁極の磁界で反転してしまう為、好ましくない。

【 0 0 4 5 】

図 6 は、図 5 に示す記録ヘッド部に用いた高周波磁界発生素子の特性を評価するために作成した評価装置の要部を示す模式図である。図 5 より、主磁主磁極 5、磁束整流層 8、金属非磁性スピン伝導層 15、対向磁極 6 を取り除き、プラス電極 25 とマイナス電極 26 を追加した構造を有する。また、高周波磁界発生素子には、図面上下方向の外部磁界が印加できるようにしてある（図面中、上方を正の向きとする）。高周波磁界発生の検出には通常の TMR 素子を用い、プラス電極 27、反強磁性層 31、固定磁性層 32、1 nm - CoFeB (33)、1 nm - 絶縁層 (MgO) 35、1 nm - CoFeB (36)、自由層 37 を経てマイナス電極 28 が積層された構造を有している。反強磁性層 31 には、15 nm - IrMn、固定磁性層 32 には 10 nm - CoFe、自由層 37 には 10 nm - CoFe を用いた。反強磁性層 31 は、固定磁性層 32 の磁化が図面の表から裏方向になるよう熱処理をした。

10

【 0 0 4 6 】

自由層 37 の磁化は、図面左右方向を向くように弱い異方性を付与しており、この磁化の延長上に、磁化回転体層 2 と第 1 の垂直磁気異方性体 1 又は金属非磁性スピン伝導層 3 との界面が来るように設置した。この配置とすることにより、自由層 37 面に垂直に入る高周波磁界成分が多くなり、高周波領域での感度を高くすることができる。これは、磁気モーメントを持つ自由層 37 の磁化が、ナノ秒以下の短時間では、磁界と垂直方向に動く効果に起因している。

20

【 0 0 4 7 】

図 7 及び図 8 に評価結果を示した。図 7 は、図 6 に示す高周波磁界発生素子より発生する高周波磁界強度の高周波励起電流依存性を示したものである。外部磁界が -0.4 MA/m （図面下向きの磁界）の場合には、他の場合と比べて大きな高周波磁界強度が出ているが、高周波励起電流が 1 単位を超えると発振が不安定となっている。外部磁界がない場合には、高周波励起電流の増加とともに高周波磁界強度増加しており、高周波励起電流が 1 単位を超えると減少し、さらに大きな高周波励起電流では発振が不安定となっている。外部磁界が 0.4 MA/m （図面上向きの磁界）の場合には、高周波励起電流がある一定レベルに達するまでは、高周波磁界が出力されない。一旦高周波磁界が発生すると高周波励起電流の増加とともに急速に高周波磁界強度が増加するが、他の場合の最大レベルに達する前に発振が不安定となっている。これらの現象は、第 2 の垂直磁気異方性体 4 から注入された下向きのスピントルクと外部磁界、第 1 の垂直磁気異方性体 1 からの交換磁界のベクトル和の向きによって簡単に理解できる。ベクトル和がゼロのときに高周波磁界強度は最大値を取り、このときの磁化回転体層 2 の磁化は、当該層内で回転する。

30

【 0 0 4 8 】

図 8 は、図 6 に示す高周波磁界発生素子より発生する高周波磁界の周波数の高周波励起電流依存性を示したものである。外部磁界に依らず周波数は、高周波励起電流にのみ依存していることがわかる。高周波励起電流が強い場合には、発振が不安定となっているため、最大でも 60 GHz を超えることはなかった。これは、磁化回転体層 2 の磁化回転面が第 1 の垂直磁気異方性体 1 の磁化と反対方向になると、第 1 の垂直磁気異方性体 1 内のひずみが大きくなりすぎて、交換磁界が十分伝えられなくなる為と考えられる。

40

【 0 0 4 9 】

以上の結果より、図 5 に示す高周波磁界発生素子を用いる場合には、主磁極の極性によって最大高周波出力となる高周波励起電流値が異なる為、最大高周波出力を得ようとして高周波励起電流を変化させると高周波周波数が変わってしまい、媒体の磁気共鳴が得られない可能性があることが理解できる。従って、主磁極の極性によって高周波周波数と高周波出力が変化しない高周波励起電流値として、主磁極の極性によって決まる最適高周波励起電流値の平均値にて発振せざるを得ない。この場合、高周波出力は最大出力の 90% 以下となる。

【 0 0 5 0 】

50

図5の構成にて、スピンドルを用い、ヘッド媒体相対速度20 m/s、磁気シング5 nm、トラックピッチ20 nmとして磁気記録を行い、さらにこれをシールド間隔20 nmのGMRヘッドにより再生した。高周波励起電流を変化させて発振周波数を変え1000 kFCIでの信号/ノイズ比を測定したところ、記録媒体A-30/60で最大12.0 dBが得られ、かろうじて1平方インチあたり2 Tビットを超える記録密度の記録再生が達成されていることがわかった。このときの高周波周波数は51 GHzであった。最大信号/ノイズ比が得られる高周波励起電流値より大きな、又は、小さな高周波励起電流で記録すると再生信号は、信号の平均値の正側と負側で非対称となった。図7に示されるような主磁極の極性の違いによって高周波磁界強度が異なるためと考えられる。金属非磁性スピン伝導層15と隣接する磁束整流層8及び第1の垂直磁気異方性体1層との間に分極率の大きなCoFeB層を1 nm挿入した高周波磁界発生素子201を用いると、前記非対称性が小さくなった。これは、金属非磁性スピン伝導層15が媒介するスピントルクが強化され、主磁極5からの漏洩磁界の影響を減じる作用が大きくなったためと考えられる。記録媒体A-30/60において、上部記録層17の磁気異方性磁界を2.0 MA/m及び2.8 MA/mに替えたものを用いた場合には、信号/ノイズ比の最大値はそれぞれ、11.0 dB及び10.0 dBとなり、1平方インチあたり2 Tビットを超える記録密度の記録再生は達成されない。これは、高周波周波数が書き込み最適値からずれる為、良好な記録(反転)が得られていないと考えられる。

【0051】

本構成例で作製した記録ヘッド部200では、高周波周波数が51 GHzからはずれると再生信号の非対称性が顕著となるため、組み合わせて用いる記録媒体7における上部記録層17の磁気異方性磁界は、2.4 MA/m程度に固定し、下部記録層18の磁気異方性を大きくすることによって、より高い記録密度が達成可能となる。記録媒体A-30/30, A-60/60, A-60/30を用いた場合には、それぞれ最大で13.0 dB, 4.0 dB, 8.1 dBが得られた。記録媒体A-30/30は、記録再生特性としては問題が無いが、磁化曲線の磁界掃引速度依存性が大きく、記録磁化が熱減磁する可能性がある。記録媒体A-60/60は、書き込みが十分行われていない。主磁極からの磁界や高周波磁界強度と周波数が共鳴条件に達していないと考えられる。記録媒体A-60/30は、下部記録層18の磁気異方性が上部記録層17の磁気異方性より小さくなっており、主磁極5や磁化回転体層2から離れている下部記録層18に十分な磁界が届いていないと考えられる。

【0052】

以上の通り、本実施例の磁気ヘッドは、組み合わせて用いる記録媒体の記録層が2層以上で上側の磁性層の異方性磁界が、記録ヘッド部200の最適発振条件に一致する磁気共鳴周波数を有するように使うと、再生信号の非対称性が顕著にならず、記録密度を高めることができる。

【0053】

図9は、 $H_k = 2.4 \text{ MA/m}$ (30 kOe)の媒体について、 H_{ac} と H_{ext} とを変えて反転の状況を調べた計算機実験の結果である。アシスト磁界として用いるマイクロ波磁界の周波数は、最適値($f = 50 \text{ GHz}$)の前後30 GHz、70 GHzと変えて計算を行った。高周波周波数が最適値の時には、アシスト効果が最大で、高周波磁界強度が H_k の10%以上無い場合に、外部磁界 H_{ext} が大きくても磁化反転が起こらないことを示している。高周波周波数が最適値より小さい場合には、アシスト効果が小さくなっており、最適値に見られた高周波磁界強度に対する臨界特性も見られない。しかしながら、反転領域でのスイッチング時間は、書き込み条件が変わっても0.3 - 0.8 nsと安定していることが分かった。このことは、高周波周波数を最適値より若干小さくすることにより、アシスト効果は多少犠牲となるが、書き残しや書きにじみの少ない記録が行える可能性を示している。逆に、高周波周波数が最適値より大きい場合には、アシスト効果が大幅に減少している。

【0054】

図10は、 H_k が1.2 MA/m (30 kOe)と3.6 MA/m (45 kOe)の媒

10

20

30

40

50

体（媒体飽和磁化は1.1 T）について、磁化反転に必要な外部磁界 H_{ext} の高周波周波数依存性を示したものである。必要な外部磁界は、最小値となる最適周波数 f_{opt} が存在し、周波数が最適値からずれると緩やかに増加する。

【0055】

図11は、媒体飽和磁化が0.38 T (300 emu/cc)、1.1 T (900 emu/cc)、1.9 T (1500 emu/cc) のものについて、 f_{opt} の H_k 依存性を示したものである ($\theta_h = 30 \text{ deg.}$)。 f_{opt} は H_k にほぼ比例している。ただし、その大きさは、外部磁界 $H = H_k$ での磁気共鳴振動数

【数3】

$$f = \gamma H_k / 2\pi$$

10

【0056】

の70%程度の値となっている。これは、 θ_m を磁化と磁化容易軸のなす角とすると、異方性磁界の大きさが $H_k \cos \theta_m$ で変化することに対応している。すなわち、磁気共鳴によるアシストエネルギーは、磁化が磁化容易軸方向からある程度離れたとき、主に供給されていることを示唆している。磁性粒子の飽和磁化が変わっても大きな変化は見られないが、飽和磁化が大きいほうが若干高い周波数が必要である。これは、静磁界の影響で、磁化が安定化するためと考えられる。

【0057】

図12は、 H_k の異なる媒体について最適周波数における、 H_{ac} と H_{ext} とを変えて反転の状況を調べたものである。どちらの媒体においても、規格化高周波磁界強度 H_{ac} / H_k が0.1より小さい場合には、ほとんど磁化が反転しておらず、アシスト効果（磁化反転する H_{ext} が Stoner-Wohlfarth 磁界からの低下すること）が見られていない。 H_{ac} / H_k が0.1を超えるとアシスト効果が見られ、外部磁界が H_k の3割程度での反転が可能となっている。高周波磁界強度が大きくなると必要な外部磁界強度はさらに小さくなり、 H_{ac} / H_k が0.3程度で外部磁界が不要となる。ただし、 H_{ac} / H_k が0.3を超えると、高周波磁界で磁化が大きく揺動しているため、磁化の再反転現象等が発生して安定な書込み（反転）は望めなくなる。

20

【0058】

以上のように、磁気記録媒体として磁気異方性磁界の異なる複数の磁性層を積層させた構造の記録媒体を使用し、磁気ヘッドから発生する交流磁界の発振周波数を、記録媒体の磁気異方性磁界の小さい方の磁性層に合わせて最大効率領域に調整することにより、より少ないエネルギー消費で記録を実現することが可能となる。

30

【0059】

なお、図12より、最適周波数において、反転に必要な高周波磁界強度が、外部磁界強度によらず一定であることが分かる。従って、実際の記録過程において、反転可能状態から抜け出すときに高周波磁界強度が大きく変化の方がよりシャープな磁化反転境界を媒体上に形成できる可能性を示唆している。すなわち、まず最初に高周波磁界強度が大きくなり、続いて主磁極からの磁界が大きくなって記録し、直後に高周波磁界強度が減衰する場合である。このことは、図1を用いて示した実施例のヘッド走行方向とは、逆方向にヘッドを移動させるか、又は、図1Bの構造を左右逆転させた方が、より好ましいことを示している。このことの検証は、実施例2で行うこととする。

40

【実施例2】

【0060】

本実施例では、実施例1で説明した磁気ヘッドとは磁気ヘッド走行方向（記録媒体に対する相対移動方向）を逆にした構造の情報記録装置について説明する。

【0061】

最初に、図13(A)(B)を用いて磁気ヘッド走行方向と記録媒体との配置関係について説明する。磁気ヘッドの磁気ヘッドスライダへの載置形態は2種類あり、1つは図13(A)に示すトレーリング側への配置、もう1つが図13(B)に示すリーディング側

50

への配置である。ここで、トレーリング側、リーディング側は、記録媒体に対する磁気ヘッドスライダの相対的な移動方向によって決まり、記録媒体の回転方向が図13(A)ないし図13(B)に示した向き(図中の矢印の方向)とは逆であれば、図13(A)がリーディング側への載置、図13(B)がトレーリング側への載置となる。なお原理的には、スピンドルモータの極性を逆にして記録媒体を逆向きに回転させれば、トレーリング側とリーディング側の関係を逆にすることが可能であるが、回転数を正確に制御する必要上、スピンドルモータの極性を変えるのは非現実的である。

【0062】

次に、実施例1とは磁気ヘッド走行方向が逆になりうる磁気ヘッドの構成例を図14(A)~(D)に示す。図14において、トレーリング側、リーディング側の定義は、図13(A)(B)に示されるように、紙面右から左側に向かう向きであるものとする。

10

【0063】

図14(A)には、再生ヘッド部をトレーリング側に配置し、記録ヘッド部をリーディング側に配置したマイクロ波アシスト記録用磁気ヘッドの構成例を示す。各引出番号に対応する構成要素は図1Bと共通であるので説明は省略するが、図14(A)に示される構成においては、対向磁極6がリーディング側端部に形成され、主磁極5は対向磁極よりはトレーリング側に形成されている。従って、主磁極5と対向磁極6の間に形成された高周波発生器201の積層順序は、紙面上側から見た場合、図5に示す積層順序とは逆になる。

【0064】

20

図14(B)には、本実施例の磁気ヘッドの別の構成例を示す。図14(B)に示す磁気ヘッドにおいては、主磁極5の励磁用コイルが上向きでは無く横向きに巻かれている。本構成の磁気ヘッドの場合、図14(A)の構造に比べて励磁位置がより主磁極浮上面に近いので、図14(A)に比べてより強い磁束を主磁極5から発生させることができる。

【0065】

図14(C)には、記録ヘッド部をトレーリング側に配置し、再生ヘッド部をリーディング側に配置したマイクロ波アシスト記録用磁気ヘッドの構成例を示す。図14(C)に示す構成の磁気ヘッドにおいては、主磁極5がトレーリング側最端部に配置され、対向磁極6は主磁極5に対してリーディング側に配置される。図14(C)に示す構造の磁気ヘッドの場合、対向磁極6と再生センサ用シールドを共用しているが、分離しても構わない。高周波発生器201の積層順序は、図5に示す積層順序とは逆になっているのは、図14(A)と同様である。励磁コイルの巻線方向は、図14(A)と同様に上巻きであるが、図14(D)に示すように横巻きにしても良い。なお、図14(A)~(D)に示す構成の記録ヘッド部は、図13(A)(B)のいずれの構造の磁気ヘッドスライダに実装することも可能である。図14(C)(D)においては、対向磁極と補助磁極が兼用されている為、高周波励起電流が高周波磁界発生素子201に流れるようにする目的で、主磁極5との間に電氣的絶縁膜209を形成している。

30

【0066】

図15には、本実施例の情報処理装置の記録ヘッド部の構成例を示す。図15に示す記録ヘッド部の構成は、図5の構成と同じものであるが、ヘッド走行方向を媒体に対して左から右へと変えている。図5の構成例と比較しやすくするため、図15では、主磁極5と対向磁極6の配置を図5と一致させて示している。すなわち、本図に示す記録ヘッド部の構成は、図14(A)~(D)に示す磁気ヘッドを紙面裏側から見た構成に相当する。なお、記録ヘッド部の構成自体は実施例1と同じであるため、詳細については説明を省略する。

40

【0067】

また、磁化回転体層2への漏れ磁界を低減して高周波周波数を上げる目的で、主磁極5の対向磁極6と反対側に設けた補助磁極を主磁極5側に少し近づけている。

【0068】

記録媒体7としては、いわゆるパターンメディアを使用した。基板19上にスパッタ

50

リングにより連続膜を形成した後、トラック方向の長さが15 nmでダウトラック方向が9 nmの磁性体パターンをEBマスタリングにより形成した。その後、連続膜をエッチングし、トラック幅方向のピッチ20 nm、トラック周方向のピッチ12.5 nmで配置されるように、上記の磁性体パターンを形成した。

【0069】

また、磁性体パターンを構成する磁性層は、以下に示す上下2層の磁性体を積層した構造とし、上部記録層17として磁気異方性磁界が2.8 MA/m (34 kOe)の6 nm - (Co/Pt)人工格子層、下部記録層18には磁気異方性磁界が4.8 MA/m (60 kOe)の6 nm - FePt層を用いた。強磁性共鳴による吸収線幅の測定の結果、上部記録層17と下部記録層18のダンピング定数は、それぞれ0.20と0.02であった。磁性体にPtやPdのリッチ領域が接触すると、当該領域に磁化が誘導されて磁化の向きの変化を制動するように働くため、ダンピング定数を大きくできる。例えば、Pt組成の大きなCoCrPt磁性体では、人工格子構造を用いなくてもダンピング定数が大きくなっている。

【0070】

以上の記録媒体をスピンドにセットし、ヘッド媒体相対速度20 m/s、磁気スペーシング5 nm、トラックピッチ20 nmとして磁気記録を行い、さらにこれをシールド間隔20 nmのGMRヘッドにより再生した。このように作成した記録媒体に図15の磁気ヘッドを組み合わせて記録再生特性を測定した。測定は、主磁極と対向磁極間に供給する電流強度を変化させて発振周波数を変え、記録パターンを1000 kFCIとして行った。その結果、最大15 dBの信号/ノイズ比が得られ、1平方インチあたり2 Tビットを超える記録密度の記録再生が十分達成可能であることがわかった。信号/ノイズ比が15 dBとなる高周波磁界の周波数は28 GHzであった。ヘッド走行方向を右から左へとする構成の場合には、最大13.5 dBであった。比較のため、実施例1で使用した記録媒体A-30/60を用いて特性評価を行ったが、その場合の信号/ノイズ比は、最大で13 dBであった。上部記録層のダンピング定数が大きな記録媒体を用いた方が、磁化反転速度が速くなり、記録再生特性が向上する。

【0071】

本実施例に示した記録媒体と磁気ヘッドの組み合わせにおいては、記録再生特性と記録媒体の回転数との間に顕著な相関は見られなかった。例えば、ヘッド媒体相対速度を40 m/sとしても記録再生特性の大きな劣化はみられなかった。しかし、上部記録層17としてダンピング定数が0.05 (磁気異方性磁界が2.8 MA/m (34 kOe)の6 nm - CoCrPt層を使用)と小さな磁性層を用いた場合には、信号/ノイズ比がヘッド媒体相対速度に依存する傾向が見られた (ヘッド媒体相対速度40 m/sにおけるS/N比が、20 m/sの場合に比べて4 dB低下)。この理由を調べる為、シミュレーションを用いて更に検討を行った。

【0072】

図16は、本シミュレーションで用いたモデルの概要である。主磁極5がリーディング側に、対向磁極6がトレーリング側にそれぞれ配置され、その間に交流磁界発生素子が配置されている。記録ヘッド部の直下には、磁気異方性磁界とダンピング定数がそれぞれ H_{k1} 、 α_1 、 H_{k2} 、 α_2 の上部記録層17と下部記録層18が積層されている。主磁極5からは記録層の磁化を反転させるための反転磁界 (記録磁界) が媒体に漏洩し、交流磁界発生素子からは高周波磁界が媒体に漏洩する。

【0073】

図17は、図16のシミュレーションモデルを用い、上部磁性層と下部磁性層の磁気異方性磁界とダンピング定数が以下の4通りの場合について、上下の磁性層全体の磁化の反転強度が高周波磁界強度に依存してどう変化するかマッピングした図である。なお、高周波磁界の発信周波数は、25 GHzと固定した。それぞれの図の下には、磁化反転に要した時間 (反転時間) も記した。反転時間は、高周波磁界が印加されてから磁化が95%以上反転するまでの時間とした。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 4 】

(1) 媒体 1

上部記録層 : $H_k = 1.2 \text{ MA/m (15 kOe)}$ 、ダンピング定数 (上部) = 0.02

下部記録層 : $H_k = 2.4 \text{ MA/m (30 kOe)}$ 、ダンピング定数 (下部) = 0.02

(2) 媒体 2

上部記録層 : $H_k = 1.2 \text{ MA/m (15 kOe)}$ 、ダンピング定数 (上部) = 0.02

下部記録層 : $H_k = 2.4 \text{ MA/m (30 kOe)}$ 、ダンピング定数 (下部) = 0.02 10

(3) 媒体 3

上部記録層 : $H_k = 1.2 \text{ MA/m (15 kOe)}$ 、ダンピング定数 (上部) = 0.02

下部記録層 : $H_k = 2.4 \text{ MA/m (30 kOe)}$ 、ダンピング定数 (下部) = 0.02

(4) 媒体 4

上部記録層 : $H_k = 1.2 \text{ MA/m (15 kOe)}$ 、ダンピング定数 (上部) = 0.02

下部記録層 : $H_k = 2.4 \text{ MA/m (30 kOe)}$ 、ダンピング定数 (下部) = 0.02 20

図 17 によれば、(上部 , 下部) が (0.2 , 0.2) の場合には、反転時間は 0.32 ns と最も短い、必要な外部磁界が大きくてアシスト効果が小さい。(上部 , 下部) が (0.02 , 0.02) の場合には、必要な外部磁界が小さくてアシスト効果が大きい、反転時間は 1.3 ns と最も長く、高速の書込みに向かない。(上部 , 下部) が (0.2 , 0.02) の場合には、必要な外部磁界が小さくてアシスト効果が大きい上に、反転時間が 0.49 ns と短くなっており、高速の書込みが可能なマイクロ波アシスト記録が実現されている。ダンピング定数 が大きいと磁化が高速に反転するため、上部記録層 17 の H_k が大きいと、上部記録層 17 の磁化が小さい磁界で高速に反転し、これに引きずられる形で下部記録層 18 の磁化が反転すると考えられる。 30

【 0 0 7 5 】

図 18 は、高周波磁界強度が 0.4 MA/m で、(上部 , 下部) が (0.2 , 0.02) の場合の、高周波周波数と外部磁界強度に対する反転状態を調べたものである。上部記録層 17 の最適高周波周波数において大きな反転必要外部磁界が低下していることが分かる。上部記録層 17 の磁気異方性磁界は小さい方が、周波数の低い高周波磁界と外部磁界とで記録可能と考えられ、少なくとも主磁極 5 が記録層中心に作る磁界の半分を超える磁気異方性磁界が必要である。上部記録層 17 の磁気異方性が適度に小さいと、上部記録層 17 の磁化の熱揺らぎが大きくなり、アシスト条件となる確率が高くなるため、磁化反転までの時間が短くなると考えられる。

【 0 0 7 6 】

本実施例の情報処理装置は、実施例 1 に比べて、次の 2 つのメリットがある。(1) 記録媒体に対して、まず最初に高周波磁界強度が大きくなり、続いて主磁極からの磁界が大きくなって記録し、直後に高周波磁界強度が減衰するので、記録境界がシャープになり良好な磁区が形成できる。(2) 記録媒体をパターン化しており、記録密度を高くできる。

【 実施例 3 】

【 0 0 7 7 】

本実施例では、高周波磁界発生素子に含まれる回転ガイド層として、負の垂直磁気異方性体を使用した磁気ヘッドと該磁気ヘッドを搭載した情報記録装置の構成例について説明する。回転ガイド層に負の垂直磁気異方性を有する磁性体を用いることにより、磁化回転体層の自発磁化が膜面内に誘導される為、高周波磁界発生素子の駆動電流が所望の周波数 50

に応じて設定が可能となると共に、磁化回転層の磁化の回転が安定化し、回転面内方向に主磁極等の外部から漏洩・印加されるピニング磁界成分に抗する耐性が向上する。なお、本実施例の情報処理装置において、磁気ヘッドスライダとサスペンションとの関係は図1Aと同様で、記録ヘッド部と再生ヘッド部を含めた磁気ヘッド全体の構成は図1Bと同様で、かつ情報処理装置の全体構成としては図4(A)(B)に示す構成と同じであるものとする。すなわち、磁気ヘッドの基本構成としては、対向磁極がトレーリング側最端部に配置され、主磁極が対向磁極よりもリーディング側に配置されているものとする。

【0078】

図19には、本実施例の記録ヘッド部の構成を示す。主磁極5の浮上面側端部のトレーリング側に磁束整流層8が形成され、磁束整流層8と対向磁極6の間に高周波磁界発生素子201が形成されている。高周波磁界発生素子201は、金属非磁性スピン伝導層3、磁化回転体層2、負の垂直磁気異方性体層11、金属非磁性スピン散乱体層12により構成されている。また、対向磁極6の浮上面端部のリーディング側には、第2の磁束整流層13が形成されている。金属非磁性スピン散乱体層12は、磁束整流層8からの磁化回転体層2に流入するスピントルクの効果を打消す影響を及ぼす恐れのある第2の磁束整流層13から磁化回転体層2に流入するスピンを散乱する作用がある。あるいは、磁化回転体層2側から磁束整流層13へのスピントルクの流出を防ぐ作用があるとも言える。したがって、金属非磁性スピン散乱体層12を用いると必要なスピントルクを得るための電流を小さくすることができる。金属非磁性スピン散乱体層12としてRuを用いるとこの効果は特に大きくなる。本実施例のように、主磁極5側の磁束整流層8から金属非磁性スピン伝導層3を介して磁化回転体層2にスピントルクを注入する場合には、主磁極5と磁束整流層8の界面に極薄の酸化層や非磁性層を設け磁性体間の交換結合を小さくすることによって、磁束整流層8内の水平磁化成分を大きくすることができるため、磁化回転体層2の動作が安定となる。

【0079】

図1Cに示す構成においては、スピン整流素子41が、金属非磁性スピン伝導層3と磁束整流層8(リップ)の積層構造、回転ガイド層43が負の垂直磁気異方性体層11、磁束整流膜48が磁束整流層8に対応している。

【0080】

なお、実施例1と同様に、高周波磁界発生素子201の長手方向の長さは、記録トラック幅を決定する重要な因子であるが、本実施例では14nmとした。

【0081】

また、実施例1と同様に、主磁極5の幅と厚さ(ヘッド走行方向の長さ)は、記録磁界が大きく取れるよう大きめに設定することが可能であるが、図20には、主磁極5と対向磁極6間に形成された積層膜の構成を浮上面側から見た模式図を示した。本実施例の主磁極5と対向磁極6及び積層膜201のトラック幅方向の関係は、図20に示すように、主磁極5の幅が積層膜201の幅よりも広く、対向磁極6の幅は主磁極5の幅よりも広い。本構成とすることにより、発生磁界強度を強くしたい主磁極5からの磁界を強くしつつ、トラック幅を規定する高周波磁界発生素子201からのアシスト磁界を用いて高分解能の記録磁化パターンの形成が可能になる。本実施例では、主磁極5のABS面での形状は、トラック幅方向に幅80nmとヘッド走行方向に厚さ100nmとすることで、約0.9MA/mの記録磁界が得られた。これらの幅や厚さを大きくすると主磁極からの磁界強度は大きくなるが、磁界勾配が小さくなる為、従来の磁気記録においては、幅や厚さを逆に小さくすることで分解能を稼いでいた。

【0082】

磁束整流層8は、主磁極5と飽和磁化が同じ又は大きな材料を用い、主磁極5からの磁界が磁化回転体層2の層方向に垂直となるよう3D磁界解析ソフトを用いて磁束整流層8の厚さ設計を行った。本実施例における磁束整流層8の厚さは、10nmであったが、この値は、前述の長方形の形状、対向磁極までの距離と状況、用いる媒体の状況、図面上方における磁気回路の状況に依存する。なお第2の磁束整流層13としては、膜厚15nm

10

20

30

40

50

のC o F e合金を用いた。

【0083】

磁化回転体層2としては、実施例1と同様、厚さ20nmのC o F e合金を用いた。主磁極5側から対向磁極6側へ高周波励起電流を流すと、磁化回転体層2にスピントルクが作用し、磁化が回転する。このスピントルクは、主磁極5からの漏洩磁界によって発生する磁化回転体層2の回転軸に平行な磁化成分が小さくなる方向に作用する。すなわち、磁束整流層8は、電子に対するスピンの整流素子としても作用し、主磁極5の磁化方向にスピンの揃った電子を右側の磁化回転層2から奪い取り、磁化回転層2の磁化を主磁極5の磁化と逆向きに向けようとするスピントルクが作用するからである。スピントルク作用は、高周波励起電流(電子流)が大きくなるほど大きくなる。金属非磁性スピン伝導層3と隣接する層との間に分極率の大きなC o F e B層を1nm程度挿入しても大きくなる。

10

【0084】

尚、電流一定のまま、主磁極5の磁化が逆転した場合でも、磁化回転層2の磁化を主磁極5の磁化と逆向きに向けようとするスピントルクが作用する状況に変わりはない。このとき磁化回転層2の磁化の回転方向は、主磁極5の磁化方向が逆転する前の回転方向と逆向きとなっている。記録密度が高くなって磁化回転体層2の幅が狭い場合には、磁化回転体層2の側面から創出される磁界が無視できなくなり、記録媒体7に磁界の向きが時間とともに回転する(回転振動磁界)ようになる。この場合、図3の検討から、反転させようとする磁化に対して反時計回り振動磁界が印加されるように当該回転振動磁界の回転方向を制御する必要がある。図19の構成の記録ヘッド部を用いることにより、電流一定のまま、前記回転方向の制御が実現されている。

20

【0085】

金属非磁性スピン伝導層3としては、2nm-Cuを用いたが、スピン伝導性の高い金属非磁性体であるRu等を用いても良い。

【0086】

本実施例においては、垂直磁気異方性体層として負の垂直磁気異方性体を用いた。ここで、「負の垂直磁気異方性」とは、垂直磁気異方性が負の状態を意味する。通常の垂直磁気記録媒体に用いられる「正の垂直磁気異方性」においては、例えば、六方晶のc軸方向に磁化が向きやすい性質を有する。これに対して、「負の垂直磁気異方性」では、c軸方向に磁化が向き難い性質を有するため、c軸方向に垂直な面内方向に磁化があると安定する。負の垂直磁気異方性を有する磁性体を磁化回転体層2と隣接させることにより、磁化回転体層2の磁化方向を回転軸と垂直方向に留める作用が生じる。ここで、磁化の回転軸は、スピントルクの向く方向であり、膜面に垂直方向にある。

30

【0087】

負の垂直磁気異方性体層11は、六方晶C o I rの001面が図中の左右方向となるようにし、磁気異方性の大きさは、 $6.0 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ のものをを用いた。本実施例では、磁化回転体層2にC o F e合金を用いているので、C o I rと同様大きな交換相互作用が働き、磁化方向を回転軸と垂直方向に留める作用が強くなる。磁化回転体層2と負の垂直磁気異方性体層11との交換相互作用が弱い場合には、磁化回転体層2の磁化を面内に向け作用が弱まるため、特に高い周波数での発振が不安定になる。負の垂直磁気異方性を有する磁性体としては、六方晶C o I rの他、 γ -FeC、dhcpCoFe、NiAs型MnSb等が知られており、これらの材料を用いて負の垂直磁気異方性体層11を形成しても良い。金属非磁性スピン散乱体12としては、3nm-Ptを用いた。Pdを用いても同様な作用がある。

40

【0088】

記録媒体7としてはパターンメディアを使用し、基板19上にスパッタリングにより連続膜を形成した後、下部記録層18として磁気異方性磁界が4.8MA/m(60kOe)の6nm-CoPt(L10)層、上部記録層17として磁気異方性磁界が1.4kA/m(17kOe)の6nm-(Co/Pt)人工格子層を形成し、ナノインプリント技術により、トラック方向の長さが9nmでダウトラック方向が7nmの磁性体パター

50

ンを、トラックピッチ12.5nm、ビットピッチ10.0nmで形成した。強磁性共鳴による吸収線幅の測定の結果、上部記録層17と下部記録層18のダンピング定数は、それぞれ0.20と0.02であった。記録層にPtやPd等が含まれる場合を大きくでき、磁化反転速度を速めることができる。

【0089】

以上の媒体をスピスタンドに設置し、ヘッド媒体相対速度20m/s、磁気スペーシング5nm、トラックピッチ12.5nmとして磁気記録を行い、さらにこれをシールド間隔18nmのGMRヘッドにより再生した。高周波励起電流を変化させて1250kFCIでの信号/ノイズ比を測定したところ、最大13.0dBが得られ、1平方インチあたり5Tビットを超える記録密度の記録再生が十分達成可能であることがわかった。このときの高周波周波数は27.0GHzであった。

10

【0090】

以上作成した磁気ヘッドは、図6に示す方法と同じ方法で特性を評価した。図21は、本実施例の磁気ヘッドから発生するマイクロ波磁界強度の励起電流量依存性を、主磁極から高周波磁界発生素子201に漏洩する外部磁界強度がそれぞれ0MA/m、0.4MA/m、0.8MA/m、-0.8MA/mの場合について、比較して示した図である。

【0091】

外部磁界がない場合には、高周波励起電流の増加とともに高周波磁界強度が単調に減少し、外部磁界が0.4MA/mの場合には、高周波励起電流の増加とともに高周波磁界強度が少し増加して最大値となり、その後、減少する。外部磁界が0.8MA/mの場合には、高周波励起電流の増加とともに高周波磁界強度が大きく増加して最大値となり、その後、減少する。高周波磁界強度の最大値は、外部磁界強度によらずほぼ同じであった。また、外部磁界強度の変化によっては発振が不安定とはならないことがわかった。これは、磁化回転体層2と負の垂直磁気異方性体11が無理なく結合している為と考えられる。これらの現象は、磁束整流層8の影響で注入された下向きスピントルクと外部磁界、負の垂直磁気異方性体11からの交換磁界のベクトル和の向きによって簡単に理解できる。ベクトル和がゼロのときに高周波磁界強度は最大値を取り、このときの磁化回転体層2の磁化は、当該層内で回転する。

20

【0092】

図22は、本実施例の磁気ヘッドから発生するマイクロ波磁界の周波数の励起電流量に対する依存性を、主磁極から高周波磁界発生素子201に漏洩する外部磁界強度がそれぞれ0MA/m、0.4MA/m、0.8MA/m、-0.8MA/mの場合について、比較して示した図である。図22から、発生するマイクロ波磁界の周波数は、外部磁界強度には依存せず高周波励起電流にのみ依存していることがわかる。これは、高周波励起電流増加に伴う不安定性が無い為であり、そのため、100GHzと非常に高い周波数での発振も実現できていると考えられる。また、金属非磁性スピン伝導層3と両側の層の界面にCoFeB等スピン分極率の高い材料層を配置すると、スピントルクが強化され、図21及び図22の横軸を圧縮したグラフが得られる。例えば、図22において、高周波励起電流値0.5にて40GHz、電流値1.0にて80GHzの発振周波数が得られる。したがって、図16に示すような高周波磁界発生素子201より高い周波数を得るには、主磁極5からの漏洩磁界を大きくする必要があるので、磁化回転体層2の磁化回転面を界面に平行にするために必要なスピントルクが、より大きな高周波励起電流において得られるようにするためであるので、金属非磁性スピン伝導層3の界面にCoFeB等のスピン分極率の高い金属材料層を挿入することによりスピントルク流を強化すると、同じ高周波励起電流でも高い周波数が得られる。

30

40

【0093】

本実施例のヘッドは、図1Cに示される原理構成に加えて、
(1)リップ層が一对あるため、磁化回転体層2に印加される主磁極からの漏洩磁界の面内成分をより抑えることができ、マイクロ波磁界の発振が広い周波数帯で安定化する。かつ、磁化回転体層2に印加される主磁極からの漏洩磁界の垂直成分がより増加するので、

50

より高い周波数帯での発振が可能となり、結果的により広帯域での発振が可能となる、
 (2) 負の磁気異方性体層が存在することによって、磁化回転体層2のニュートラル状態
 (電流や磁界が印加されていない状態)での磁化方向が、磁界出力が最大となる面内に向
 き、主磁極からの漏洩磁界が加わってもその極性に依らず磁化の回転軸からの角度が一定
 となる為、主磁極極性による出力の非対称性が現れないこと、
 (3) スピン散乱体層12により、対向磁極側リップ13からのスピントルクの磁化回転
 体層2への流入が抑制され、磁化回転体層2へ加わるスピントルクがより安定化する、
 といったメリットがある。

【0094】

また、本実施例の磁気ヘッドは、実施例1、2で説明した磁気ヘッドに比較して、強度
 の強い高周波磁界を得ることができる。また、発振周波数が励起電流に対してほぼ線形で
 あるため、磁気共鳴を形成するための磁気ヘッドの制御(供給電流量の制御)が容易であ
 る。更に、主磁極から漏洩する磁束の極性を考慮する必要がないため、その分ヘッド素子
 の設計が容易である。また、本実施例の磁気ヘッドは、高周波磁界源より得られる周波数
 帯の制限を受けることなく、大きな磁気異方性を有する記録媒体への記録ができるよう
 になるため、磁気記録媒体と組み合わせて情報記録再生装置を構成した場合、記録密度を増
 大させることが可能となる。特に、記録密度の高い人工格子膜を備えた記録媒体と組み合
 わせて使用することにより、記録密度を更に向上することが可能となる。

【実施例4】

【0095】

本実施例では、実施例3同様、負の垂直磁気異方性体を使用した磁気ヘッドを用い、高
 周波磁界発生素子に対する励起電流の供給方向と磁気ヘッド走行方向を実施例3とは逆(
 すなわち、対向電極をリーディング側に配置し、記録磁極をトレーリング側に配置した構
 成)にした情報記録装置の構成例について説明する。なお、本実施例において、情報処理
 装置の全体構造は図4(A)(B)と同じで、磁気ヘッドの全体構造は、図14のいずれ
 かに示す構造を有しているものとする。ただし、図14に示したヘッド走行方向を左右逆
 転させても、得られる信号/ノイズ比に大きな違いは見られなかった。

【0096】

図23は、本実施例の情報記録装置の記録ヘッド部の断面構造を示す図である。主磁極
 5、対向磁極6、磁束整流層8、第2磁束整流層13、高周波磁界発生素子201の構成
 ・機能は、図19とほぼ同様であるので、共通部分については説明は省略する。ただし、
 本実施例の場合、金属非磁性スピン伝導層3と金属非磁性スピン散乱体層12の積層順序
 が図19とはちょうど逆になっている。ただし、磁化回転体層2と負の垂直磁気異方性体
 層11は、積層順序を入れ替えても良好なマイクロ波発振特性が得られる。本実施例のよ
 うに主磁極5側に磁化回転体層2があると記録媒体の磁化反転領域においてより強いマイ
 クロ波が得られる。逆に対向磁極6側に磁化回転体層2があると第2磁束整流層13から
 のスピントルク流入効率が上がるので、発振に必要な電流を小さくすることができる。主
 磁極と高周波磁界発生素子201のトラック幅方向の大きさの関係も、実施例3と同様で
 ある。

【0097】

磁界発生素子201の長手方向の長さは、本実施例では14nmである。対向磁極側リ
 ップ13としては、10nmCoFe合金を用いた。

【0098】

本実施例に示す高周波磁界発生素子の構成は、図19に示された高周波磁界発生素子2
 01の構成に比べて、スピン整流素子を構成する金属非磁性スピン伝導層3と第2磁束整
 流層13との積層膜よりスピントルクが直接、負の垂直磁気異方性体11に作用する為、
 より高い周波数での動作が安定で、発振の立ち上がりも早くなる。また、第2磁束整流層
 13の磁化方向がほぼ磁化回転体層2の回転軸方向を向く為、スピントルクが安定し、必
 要な電流を図19に示された構成に比べて小さくすることが可能となる。スピントルクは
 、高周波励起電流(電子流)が大きくなるほど大きくなり、また、第2磁束整流層13と

10

20

30

40

50

金属非磁性スピン伝導層3の間に分極率の大きなCoFeB層を1nm程度挿入すると大きくなる。なお、本実施例では、主磁極5と対向磁極6の間隔を調整して、磁化回転体層2への漏洩磁界が異なる磁気ヘッドを複数作製した。また、図23の構成において、磁束整流層8の長さを調整することにより磁化回転体層2への漏洩磁界を変えることもできる。斜め漏洩磁界耐性の大きな負の垂直磁気異方性体11を磁化回転体層2の厚さの半分以上とすることにより、磁束整流層8の長さがゼロ（磁束整流層8なしに、主磁極5と金属非磁性スピン散乱体層12が隣接する構造）でも、マイクロ波の発振が観測できた。

【0099】

記録媒体7としては、記録層の磁気特性が以下の通りであるパターンド媒体と連続膜媒体の2種を準備した。

【0100】

(1) 記録媒体B-30 (ディスクリットトラック媒体)

磁気異方性磁界：2.4 MA/m (30 kOe)、膜厚：10 nm、材料：CoCrPt-SiOx

(2) 記録媒体B-34 (連続膜媒体)

磁気異方性磁界：2.8 kA/m (34 kOe)、膜厚：10 nm、材料：CoB/Pt (人工格子積層膜)

(3) 記録媒体B-45

磁気異方性磁界：3.6 MA/m (45 kOe)、膜厚：10 nm、材料：CoFe(L10)-SiOx層

記録媒体B-30については、スパッタリング法で記録層16を作製後、ナノインプリント技術にて、記録部がヘッド走行方向に連続した媒体DTM (Discreet Track Media) に加工した。記録部のトラック方向の幅は11 nmでトラックピッチは15 nmとした。

【0101】

次に、上記の記録媒体(1)~(3)をスピスタンドに設置し、所定の記録密度でテストパターンを記録した。記録条件は、マイクロ波磁界の発振周波数を変えることにより変えた。記録の際のヘッド媒体相対速度は20 m/s、磁気スペーシングは5 nm、トラックピッチは18.0 nmであった。記録媒体B-30については、トラック配置の都合上、トラックピッチは15 nmとした。

【0102】

記録したパターンは、シールド間隔18 nmのGMRヘッドにより再生した。得られた信号/ノイズ比は、テストパターンの記録密度が1250 kFCIの場合、各記録媒体について以下の通りであった。

【0103】

(1) 記録媒体B-30：最大13.5 dB (マイクロ波磁界の発振周波数：48 GHz)

(2) 記録媒体B-34：最大12.5 dB (マイクロ波磁界の発振周波数：57 GHz)

(3) 記録媒体B-45：最大14.5 dB (マイクロ波磁界の発振周波数：75 GHz)

さらに、記録媒体B-45について1500 kFCIでの信号/ノイズ比を測定すると12.0 dBが得られた。このことから、DTM化した記録媒体B-30を用いた場合には1平方インチあたり4 Tビット、記録媒体B-34を用いた場合には1平方インチあたり3.5 Tビット、記録媒体B-45を用いた場合には1平方インチあたり4.2 Tビットを超える記録密度の記録再生が十分達成可能であることがわかった。

【0104】

本実施例の高周波磁界発生素子は、実施例3の高周波磁界発生素子に比べて、スピン整流素子を構成する金属非磁性スピン伝導層3と第2磁束整流層13との積層膜よりスピントルクが直接、負の垂直磁気異方性体11に作用する為、より高い周波数での動作が安定で、発振の立ち上がりも早くなる。したがって、記録層が単層の連続記録媒体や、ディスクリットトラック媒体への書込みが容易になる。

【実施例5】

【0105】

本実施例では、実施例3の磁気ヘッドと構造が同じでヘッド走行方向が逆の磁気ヘッド（すなわち、対向電極をリーディング側に配置し、記録磁極をトレーリング側に配置した構成）と、異方性磁界強度の異なる2種の磁性材料で形成されたビットパターンをトラック周方向に交互に配列したパターンド媒体を用いて情報記録媒体を構成した例について説明する。なお、本実施例において、情報処理装置の全体構造は図4(A)(B)と同じで、磁気ヘッドの全体構造は図14のいずれかに示す構造を有しているものとする。ただし、図14に示したヘッド走行方向を左右逆転させても、得られる信号/ノイズ比に大きな違いは見られなかった。

【0106】

図24は、本実施例の記録ヘッド部の構成を示す図である。主磁極5、対向磁極6、磁束整流層8、第2磁束整流層13、高周波磁界発生素子201の構成・機能は、図23とほぼ同様であるので、共通部分については説明は省略する。ただし、本実施例の場合、磁化回転体層2と負の垂直磁気異方性体層11の積層順序が図23とはちょうど逆になっている。

【0107】

記録媒体7としては、基板19上に、スパッタリングにより、下部記録層58と第1の上部記録層56を連続形成し、その後、ナノインプリント技術により、トラック方向の長さが9nmでダウトラック方向が5nmの磁性体パターンを、トラックピッチ12.5nm、ビットピッチ8.0nmで配置するように作製した。次に、ナノインプリント技術により、第1の上部記録層56を一つおきに除去し、第2の上部記録層57を形成した。下部記録層58としては、気異方性磁界が4.8MA/m(60kOe)で膜厚が6nm-CoPt(L10)層、第1の上部記録層56としては、磁気異方性磁界が1.2kA/m(15kOe)で膜厚が5nm-(Co/Pt)人工格子層、第2の上部記録層57としては、磁気異方性磁界が2.4kA/m(30kOe)で膜厚が5nm-(Co/Pt)人工格子層を用いた。第1の上部記録層56、第2の上部記録層57、下部記録層58のダンピング定数は、それぞれ0.15, 0.20と0.05であった。

【0108】

次に、スピンドルを用い記録再生特性を評価した。評価用のパターンは、ヘッド媒体相対速度20m/s、磁気スペーシング5nm、トラックピッチ12.5nmとして記録した。まず、あるトラックをDC消磁し、第1の上部記録層56と第2の上部記録層57のパターンに同期してパターンを記録した。ビットパターンに同期して記録を行うため、主磁極5から発生する記録磁界の極性は16nmごとに入れ替えた。この記録動作をマイクロ波磁界の発振周波数を変えて行い、再生出力が最大となる高周波励起電流をそれぞれ求めた。その結果、第1の上部記録層56に対する最適発振周波数は27GHz(以下 I_1 と表記する)、第2の上部記録層57に対する最適発振周波数は52GHz(以下 I_2 と表記する)であった。

【0109】

続いて、第1の上部記録層56と第2の上部記録層57のパターンに同期して高周波励起電流値を I_1 と I_2 の間で強度変調して記録し、さらにこれをシールド間隔16nmのGMRヘッドにより再生した。1560kFCIでの信号/ノイズ比を測定したところ、最大13.0dBが得られ、1平方インチあたり6Tビットを超える記録密度の記録再生が十分達成可能であることがわかった。図4に示すような磁気ディスク装置においては、信号/ノイズ比が最大になるような高周波励起電流値をメモリ111やプロセッサ内のレジスタなどに格納しておき、当該格納値に基づき、電流アンプを制御する。あるいは、トラックの種類に対応する高周波励起電流値 I_1 と I_2 をメモリ111に格納し、ドライブの電源投入時等に、記録媒体の所定領域(管理エリアなど)にテストパターンの記録動作を高周波励起電流値 I_1 と I_2 内で変調して行い、当該テストパターンを再生して最適励起電流値を決めても良い。第1の上部記録層56、又は、第2の上部記録層57を高周波励起電流値 I_1 又は I_2 にてそれぞれ独立に記録するようにしても良い。他方の記録状態がわかっている場合には、再生時のエラー訂正能力が向上する。

【実施例 6】

【0110】

本実施例では、ディスクリートトラック媒体を用いて情報記録装置を構成した例について説明する。図 25 には、本実施例の記録ヘッド部をトラック周方向から見た断面図を示す。本実施例の記録ヘッド部の構成は、実施例 2 と同じであるものとする。図 25 は、磁化回転体層 2 における断面図を示したものである。図中、高周波磁界検出器 203 は、記録動作中に高周波磁界発生素子 201 の発振状態をモニタするもので、図 6 の右側部分にある高周波磁界検出器 202 と同様の構造を有している。高周波磁界発生素子 201 の長手方向の長さは 21 nm である。当該長さを大きくすることにより、磁化回転体層 2 の媒体内での磁界分布の湾曲がディスクリートトラック一本の幅に対して相対的に小さくなる為、磁化遷移形状が改善される。

10

【0111】

本実施例では、記録媒体 7 として、トラック幅方向に磁気異方性磁界が異なる 3 つのトラックが配列された構造の記録媒体を使用した。3 つのトラックは、基板 19 上に、スパッタリングにより下部記録層 58 と第 1 の上部記録層 65 を連続形成後、実施例 5 で説明した要領で、ナノインプリント技術を用い、不要な上部記録層材料を各トラック毎に順次除去しつつ、第 1 の上部記録層に属するトラック、第 2 の上部記録層に属するトラック、第 3 の上部記録層に属するトラックを順次形成した。形成されたトラックは、トラック幅が 4.5 nm、隣接トラック間でのピッチが 6 nm、第 1 の上部記録層に属するトラックから第 3 の上部記録層に属するトラックを 1 周期とするトラックピッチが 18.0 nm であった。各記録層を構成する材料は以下の通りである。

20

【0112】

- ・下部記録層 58：磁気異方性磁界が 4.8 MA/m (60 kOe)、膜厚が 6 nm の CoPt (L10)
- ・第 1 の上部記録層 65：磁気異方性磁界が 1.2 kA/m (15 kOe)、膜厚が 5 nm の (Co/Pt) 人工格子層
- ・第 2 の上部記録層 66：磁気異方性磁界が 2.4 kA/m (30 kOe)、膜厚が 5 nm の (Co/Pt) 人工格子層
- ・第 3 の上部記録層 67：磁気異方性磁界が 3.6 kA/m (45 kOe)、膜厚が 5 nm の (Co/Pt) 人工格子層

30

なお、第 1 の上部記録層 65、第 2 の上部記録層 66、第 3 の上部記録層 67、下部記録層 58 のダンピング定数は、それぞれ 0.15, 0.20, 0.21 と 0.05 であった。

【0113】

ヘッド媒体相対速度 20 m/s、磁気スペーシング 6 m、トラックピッチ 18 nm の条件で、スピンドルを用いて記録再生特性を評価したところ、1000 kFCI での信号/ノイズ比を測定したところ、最大 13.0 dB が得られ、1 平方インチあたり 6 Tビットを超える記録密度の記録再生が十分達成可能であることがわかった。また、各上部記録層に対する最適発振周波数は次の通りであった。

【0114】

- ・第 1 の上部記録層：27 GHz (以下 I_1 と表記)
- ・第 2 の上部記録層：52 GHz (以下 I_2 と表記)
- ・第 3 の上部記録層：76 GHz (以下 I_3 と表記)

40

第 1 の上部記録層 56、又は、第 2 の上部記録層 57 を高周波励起電流値 I_1 又は I_2 にてそれぞれ独立に記録するようにしても良い。他方の記録状態がわかっている場合には、再生時のエラー訂正能力が向上する。また、上記 $I_1 \sim I_3$ の励起電流最適値を情報再生装置内に格納して励起電流値を制御しても良い点は、実施例 5 と同様であり、電源投入時に試し書きシーケンスを実行しても良い点も実施例 5 と同様である。

【0115】

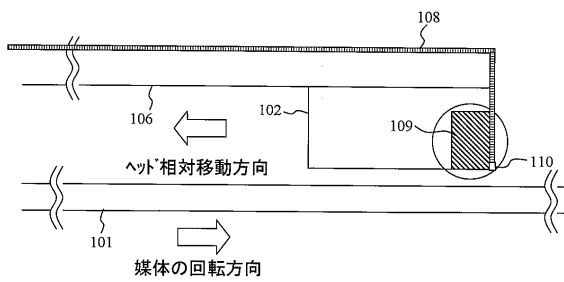
以上、本実施例の情報記録装置の場合、磁化高速回転体のトラック幅方向の長さを大き

50

くできるため、磁化回転体のつくる磁界分布の湾曲がディスクリットトラック一本の幅に対して相対的に小さくなる。よって、磁化遷移の急峻化（グラニューラ連続媒体、ディスクリットトラック媒体）や書込みエラーの減少（ビットパターン媒体）が期待でき、トラック密度の向上も期待できる。また、同じ構造をヘッド走行方向に設けた場合（主磁極と対向磁極の間隔を長くした場合）には線記録密度の向上が期待できる。

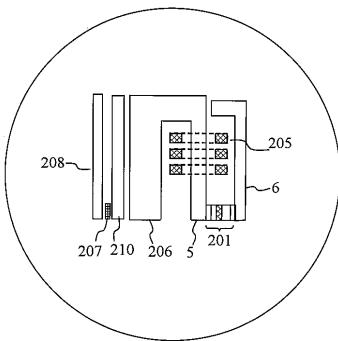
【図1A】

図1A



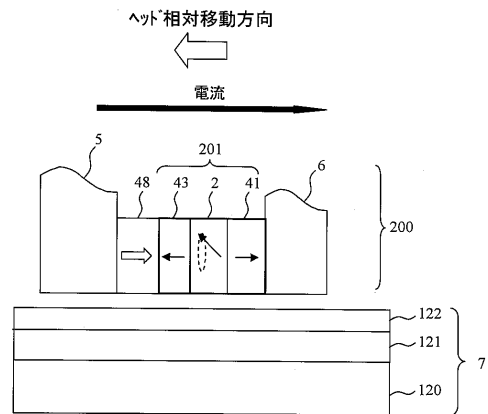
【図1B】

図1B



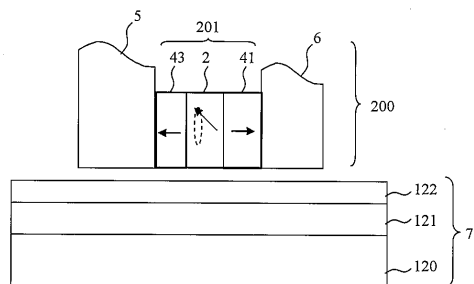
【図1C】

図1C



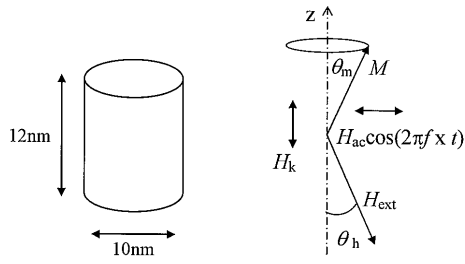
【図1D】

図1D



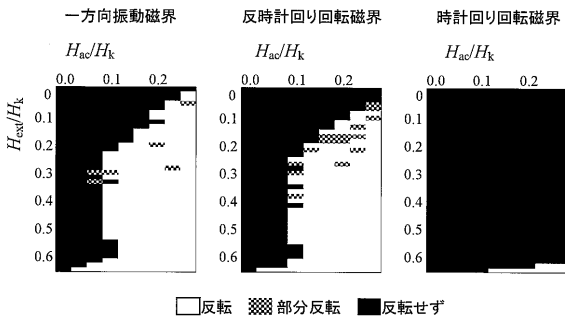
【図2】

図2



【図3】

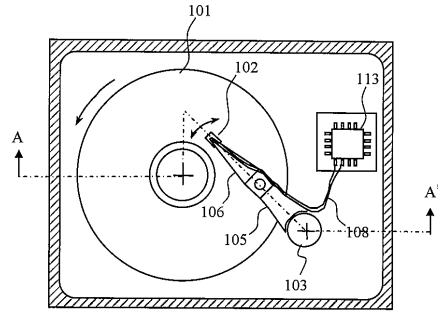
図3



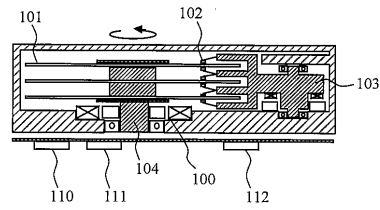
【図4】

図4

(A)

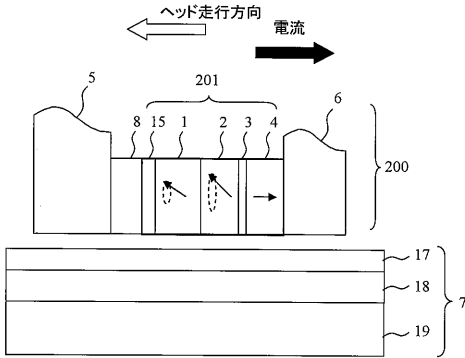


(B)



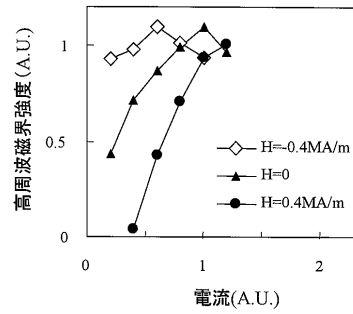
【図5】

図5



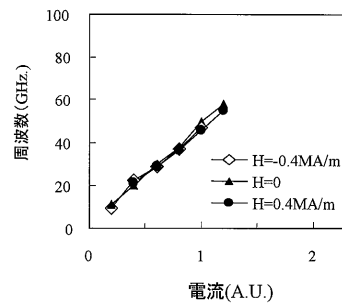
【図7】

図7



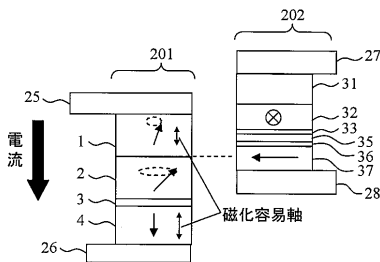
【図8】

図8



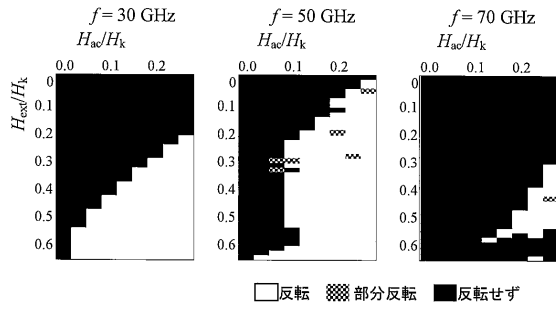
【図6】

図6



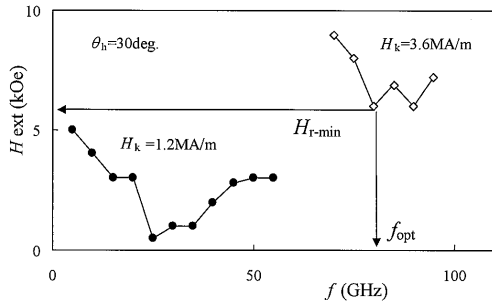
【図9】

図9



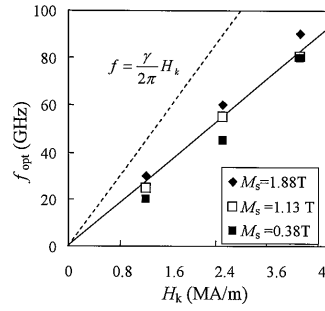
【図10】

図10



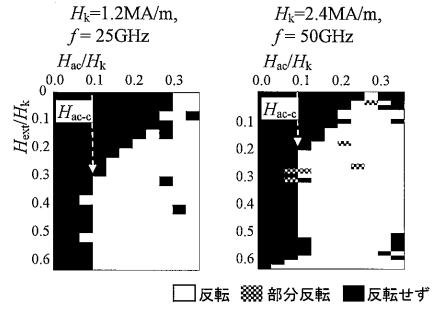
【図11】

図11



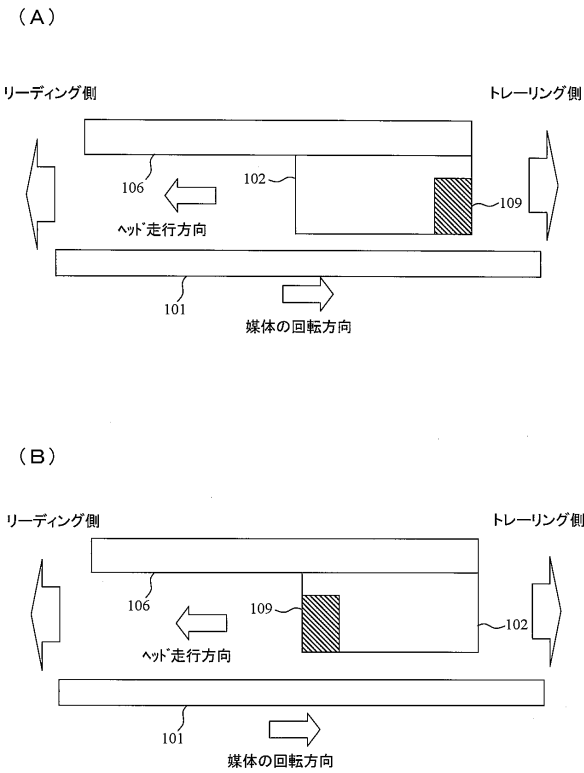
【図12】

図12



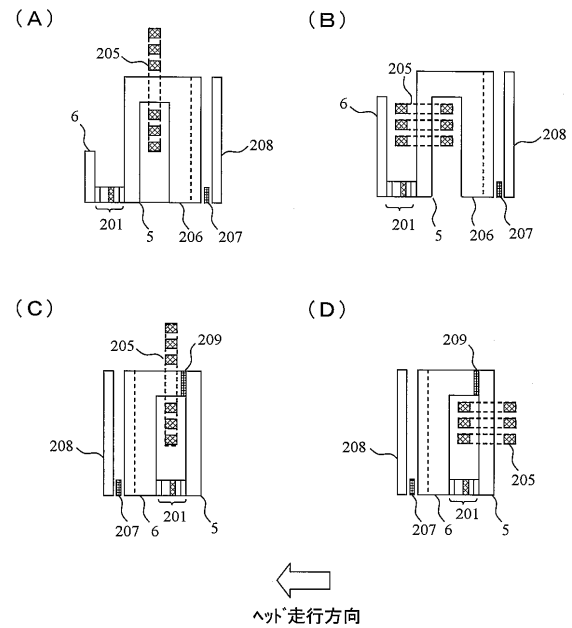
【図13】

図13



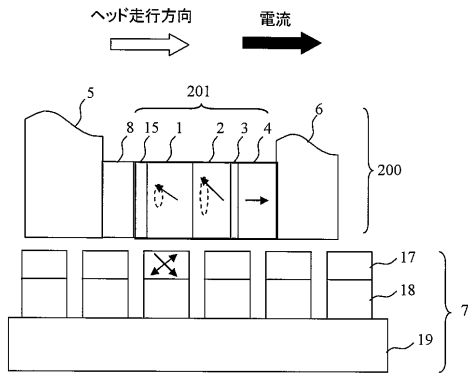
【図14】

図14



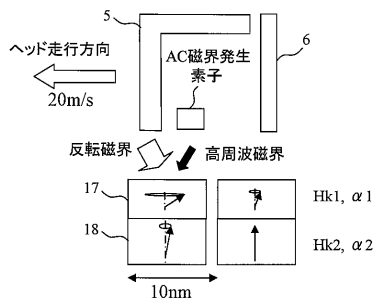
【図15】

図15



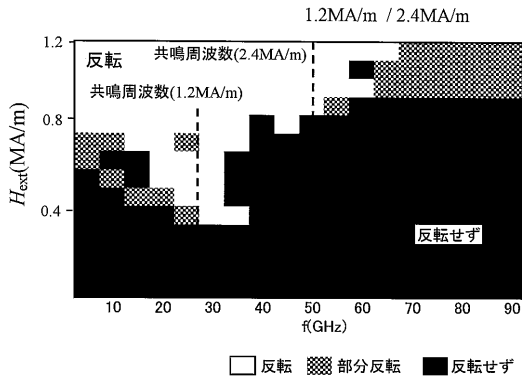
【図16】

図16



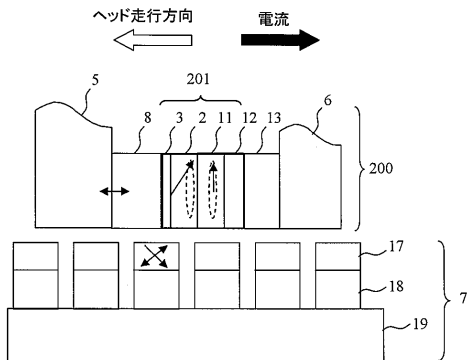
【図18】

図18



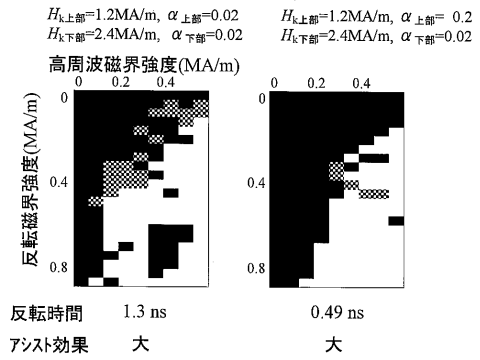
【図19】

図19



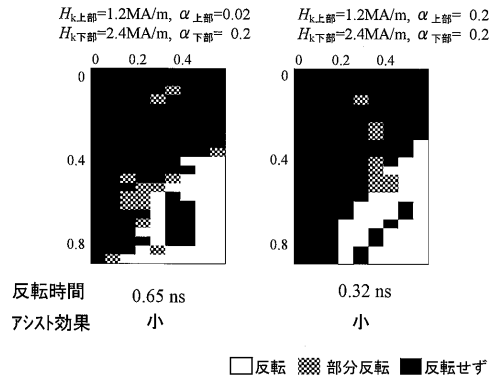
【図17】

図17



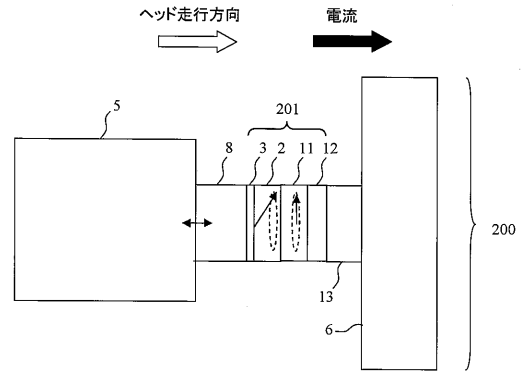
【図20】

図20



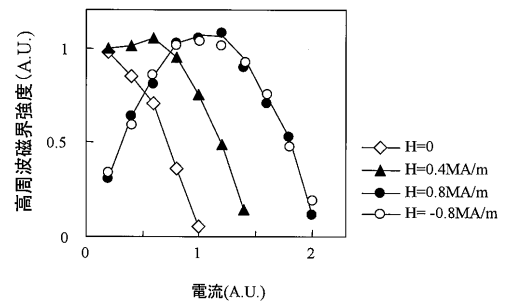
【図20】

図20



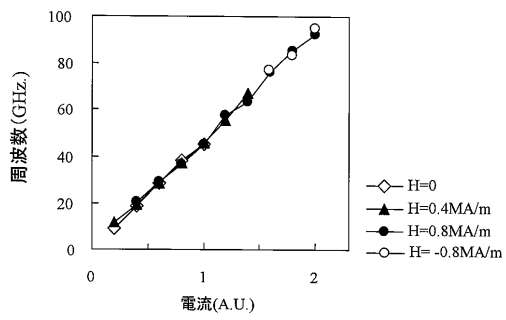
【図21】

図21



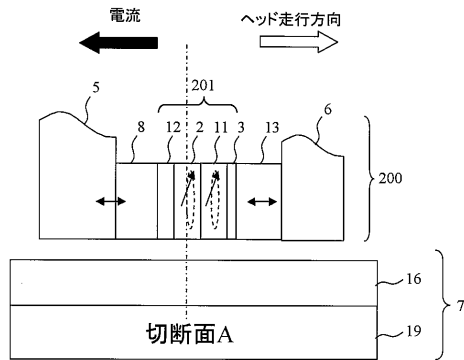
【図22】

図22



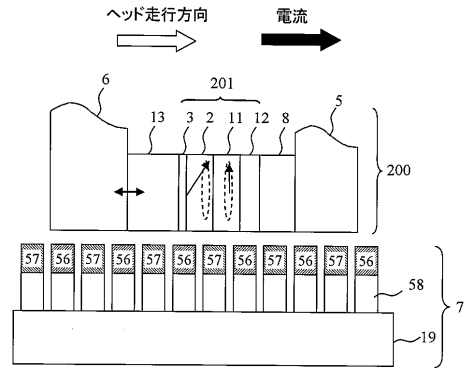
【図23】

図23



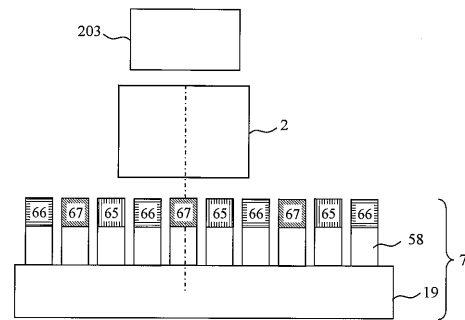
【図24】

図24



【図25】

図25



フロントページの続き

審査官 斎藤 真

- (56)参考文献 特開2006-244693(JP,A)
特開2008-034060(JP,A)
特開2009-070541(JP,A)
特開2002-092820(JP,A)
特開2006-286855(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G11B 5/00 - 5/024
G11B 5/31 - 5/39
G11B 5/62 - 5/82
H01L 43/00 - 43/14