

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5902071号
(P5902071)

(45) 発行日 平成28年4月13日(2016.4.13)

(24) 登録日 平成28年3月18日(2016.3.18)

(51) Int. Cl.	F I				
G 1 1 B 5/31 (2006.01)	G 1 1 B	5/31	A		
G 1 1 B 5/39 (2006.01)	G 1 1 B	5/39			
G 1 1 B 5/02 (2006.01)	G 1 1 B	5/02	R		
H O 1 L 29/82 (2006.01)	H O 1 L	29/82	Z		
H O 1 L 43/08 (2006.01)	H O 1 L	43/08	Z		
請求項の数 20 (全 45 頁) 最終頁に続く					

(21) 出願番号 特願2012-189082 (P2012-189082)
 (22) 出願日 平成24年8月29日(2012.8.29)
 (65) 公開番号 特開2014-49145 (P2014-49145A)
 (43) 公開日 平成26年3月17日(2014.3.17)
 審査請求日 平成26年12月11日(2014.12.11)

(出願人による申告)平成20年度、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、超高密度ナノビット磁気記録技術の開発(グリーンITプロジェクト)委託事業、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 100091096
 弁理士 平木 祐輔
 (74) 代理人 100105463
 弁理士 関谷 三男
 (74) 代理人 100102576
 弁理士 渡辺 敏章
 (72) 発明者 城石 芳博
 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号 株式会社日立製作所 研究開発本部内
 (72) 発明者 渡邊 克朗
 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】 磁気ヘッド及び磁気記憶装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

垂直磁気記録媒体に情報を記録するための記録磁界を発生する記録磁極と、前記記録磁極と隣接して設けられた高周波磁界発振素子とを備え、前記高周波磁界発振素子は、下地層と、前記下地層の上に設けられた第1の磁性層と、前記第1の磁性層の上に設けられた非磁性中間層と、前記非磁性中間層の上に設けられた第2の磁性層とを有し、前記非磁性中間層は、Cu、Ag及びAuからなる第1の群から選ばれた少なくとも1種の元素を50at%以上含み、Cu、Ag、Au、Cr、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Ru、Os、Pd、Pt、Rh、Irからなる第2の群から選ばれ、前記第1の群の元素とは重複しない少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上含む結晶質の導電性である非磁性合金からなることを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項2】

請求項1記載のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドにおいて、前記非磁性中間層は、前記第1の群から選ばれた元素を2種以上含むことを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項3】

請求項1記載のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドにおいて、前記第1の磁性層と前記第2の磁性層の少なくとも一層がホイスラー合金からなることを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 4】

請求項 1 記載のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドにおいて、

前記第 1 の磁性層と前記第 2 の磁性層の少なくとも一層が、下記(a)の磁性薄膜と下記(b)の磁性薄膜を少なくともそれぞれ 2 層積層した磁性人工格子薄膜であることを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド。

(a) Co に 0.1 at % 以上 20 at % 以下の Fe を添加した CoFe 磁性合金薄膜、もしくは当該 CoFe 磁性合金を少なくとも 50 % 以上と、Cu を除いた前記第 2 の群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を合計で 0.1 at % 以上、単独で 25 at % 以下含む磁性合金薄膜

(b) Fe に 0.1 at % 以上 70 at % 以下の Co を添加した FeCo 磁性合金薄膜、もしくは当該 FeCo 磁性合金を少なくとも 50 at % 以上含み、Cu を除いた前記第 2 の群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を合計で 0.1 at % 以上、単独で 25 at % 以下含む磁性合金薄膜

10

【請求項 5】

請求項 1 記載のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドにおいて、

前記下地層が、Cu, Ag, Au, Cr, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Ru, Os, Pd, Pt, Rh, Ir からなる第 2 の群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を 50 at % 以上含み、それと重複しない少なくとも 1 元素を 0.1 at % 以上含むことを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 6】

20

請求項 1 記載のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドにおいて、

前記第 2 の磁性層に接し、非磁性中間層と反対側にキャップ層を有し、

前記キャップ層は、前記第 2 の群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を 50 at % 以上含み、それと重複しない少なくとも 1 元素を更に 0.1 at % 以上含む薄膜であることを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 7】

請求項 1 記載のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドにおいて、

前記第 1 の磁性層と第 2 の磁性層の一方は膜面に垂直方向に磁気異方性軸を有するスピン注入層、他方は実効的に膜面内に磁化容易面を有する高周波磁界発生層であり、

前記高周波磁界発生層から前記スピン注入層側に電流を流すことを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド。

30

【請求項 8】

請求項 1 記載のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドにおいて、

前記非磁性中間層は、それに隣接する前記第 1 の磁性層及び前記第 2 の磁性層との格子定数のミスマッチが 4 % 以下であることを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 9】

請求項 8 記載のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドにおいて、

前記格子定数のミスマッチが 1.5 % 以下であることを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド。

40

【請求項 10】

請求項 8 記載のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドにおいて、

前記下地層と前記第 1 の磁性層との格子定数のミスマッチが 4 % 以下であることを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 11】

垂直磁気記録媒体に情報を記録するための記録ヘッドと、一対の磁気シールド層の間に配置された磁気再生素子を備える再生ヘッドとを有し、

前記磁気再生素子は、下地層と、前記下地層の上に設けられた第 1 の磁性層と、前記第 1 の磁性層の上に設けられた非磁性中間層と、前記非磁性中間層の上に設けられた第 2 の磁性層とを有し、

50

前記非磁性中間層は、Cu、Ag及びAuからなる第1の群から選ばれた少なくとも1種の元素を50at%以上含み、Cu、Ag、Au、Cr、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Ru、Os、Pd、Pt、Rh、Irからなる第2の群から選ばれ、前記第1の群の元素とは重複しない少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上含む結晶質の導電性である非磁性合金層を含むことを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッド。

【請求項12】

請求項11記載のマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドにおいて、
前記非磁性中間層は、前記第1の群から選ばれた元素を2種以上含むことを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッド。

10

【請求項13】

請求項11記載のマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドにおいて、
前記非磁性中間層は、それに隣接する前記第1の磁性層及び前記第2の磁性層との格子定数のミスマッチが4%以下であることを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッド。

【請求項14】

請求項11記載のマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドにおいて、
前記第1の磁性層及び第2の磁性層の少なくとも一層がホイスラー合金であること、又は下記(1)の磁性薄膜と下記(2)の磁性薄膜を少なくともそれぞれ2層積層した磁性人工格子薄膜であることを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッド。

20

(1)Coに0.1at%以上20at%以下のFeを添加したCoFe磁性合金薄膜、もしくは当該CoFe磁性合金を少なくとも50%以上とCuを除いた前記第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上、単独で25at%以下含む磁性合金薄膜

(2)Feに0.1at%以上70at%以下のCoを添加したFeCo磁性合金薄膜、もしくは当該FeCo磁性合金を少なくとも50at%以上含み、Cuを除いた前記第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上、単独で25at%以下含む磁性合金薄膜

【請求項15】

請求項11記載のマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドにおいて、
前記非磁性中間層が、トンネルバリア層と前記非磁性合金層とで構成されていることを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッド。

30

【請求項16】

請求項11記載のマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドにおいて、
前記磁気再生素子は、前記一対の磁気シールド層の素子高さ方向奥側に配置されていることを特徴とするマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッド。

【請求項17】

垂直磁気記録媒体と、
前記垂直磁気記録媒体を駆動する媒体駆動部と、
前記垂直磁気記録媒体に対して情報の記録再生を行う磁気ヘッドと、
前記磁気ヘッドを前記垂直磁気記録媒体に対して位置決めするヘッド駆動部と、
前記磁気ヘッドの動作を制御・処理する処理部とを備え、
前記磁気ヘッドは、
記録磁界を発生する記録磁極と、
前記記録磁極と隣接して設けられた高周波磁界発振素子とを備え、
前記高周波磁界発振素子は、下地層と、前記下地層の上に設けられた第1の磁性層と、前記第1の磁性層の上に設けられた非磁性中間層と、前記非磁性中間層の上に設けられた第2の磁性層とを有し、

40

前記非磁性中間層は、Cu、Ag及びAuからなる第1の群から選ばれた少なくとも1種の元素を50at%以上含み、Cu、Ag、Au、Cr、Ti、Zr、Hf、V、Nb

50

、T a , R u , O s , P d , P t , R h , I r からなる第2の群から選ばれ、前記第1の群の元素とは重複しない少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上含む結晶質の導電性である非磁性合金からなることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項18】

請求項17記載の磁気記憶装置において、

前記下地層が、C u , A g , A u , C r , T i , Z r , H f , V , N b , T a , R u , O s , P d , P t , R h , I r からなる第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素を50at%以上含み、それと重複しない少なくとも1元素を0.1at%以上含むことを特徴とする磁気記憶装置。

10

【請求項19】

請求項17記載の磁気記憶装置において、

前記非磁性中間層は、それに隣接する前記第1の磁性層及び前記第2の磁性層との格子定数のミスマッチが4%以下であることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項20】

請求項17記載の磁気記憶装置において、

前記第1の磁性層及び第2の磁性層の少なくとも一層がホイスラー合金であること、又は下記(1)の磁性薄膜と下記(2)の磁性薄膜を少なくともそれぞれ2層積層した磁性人工格子薄膜であることを特徴とする磁気記憶装置。

(1)C o に0.1at%以上20at%以下のF e を添加したC o F e 磁性合金薄膜、もしくは当該C o F e 磁性合金を少なくとも50%以上とC u を除いた前記第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上、単独で25at%以下含む磁性合金薄膜

20

(2)F e に0.1at%以上70at%以下のC o を添加したF e C o 磁性合金薄膜、もしくは当該F e C o 磁性合金を少なくとも50at%以上含み、C u を除いた前記第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上、単独で25at%以下含む磁性合金薄膜

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高い耐食性及び素子通電時信頼性を有するS T O センサ素子、マイクロ波アシスト磁気記録ヘッド、及び該磁気ヘッドを搭載した磁気記憶装置に関するものである。

30

【背景技術】

【0002】

インターネット環境の進化、クラウドコンピューティングの浸透などによるデータセンタの増設などにより、生成される情報量が近年急増している。記録密度が最も高く、ビットコストに優れた磁気ディスク装置(HDD)などの磁気記憶装置が“ビッグデータ時代”のストレージの主役であることは間違いない。このためには、磁気記憶装置の大容量化と、それを支える高記録密度化が必須である。

【0003】

新たな高記録密度化磁気記録技術として、マイクロ波帯の高周波磁界を磁気記録媒体に印加して媒体磁化の歳差運動を励起し、スイッチング磁界を下げながら磁気異方性の大きな垂直磁気記録媒体に磁気記録を行うマイクロ波アシスト磁気記録方式(MAMR: Microwave Assisted Magnetic Recording)が提案されている。近年、直流電源に駆動されてスピン注入層から注入されるスピンのスピントルクによって、高周波磁界発生層(FGL: Field Generation Layer)のスピンを高速回転して高周波磁界を発生する、スピントロニクス技術を応用した実用的な微小構造のスピントルク型高周波発振素子(STO: Spin Torque Oscillator)が特許文献1などで提案された。ここで、スピン注入層とFGLは、例えば、C u , P t , A u , A g , P d , R u 等の貴金属、もしくはC r , R h , M o , W 等の非磁性遷移金属からなる導電性中間層を介して積層される(特許文献2)。ま

40

50

た特許文献3には、数原子層レベルの膜厚のCo, Ni層を、基板上にCo層の厚さよりもNi層の厚さが大きくなるように積層した[Co/Ni]磁性人工格子からなるスピン注入層の下地として、下部Ta層とその上に形成されfcc[111]結晶構造又はhcp[001]結晶構造を有する金属層を含む複合シード層を用いるマイクロ波アシスト記録用スピントロニクス素子が開示されている。

【0004】

さらに特許文献4では、高周波磁界発振素子から、磁化反転させたい磁気記録媒体の磁化の歳差運動方向と同じ方向に回転する高周波磁界(円偏光磁界)を、記録磁界極性に応じて発生させることで磁化反転をさらに効率よく誘起する方法も開示され、マイクロ波アシスト磁気記録方式を実用化すべく研究開発が活発になっている。

10

【0005】

また再生素子においても、スピントルク効果による発振周波数が外部磁界の大きさに依存して変化する現象を利用して、周波数変化を検出することで、磁気記録媒体からの記録磁化状態を、微細化による磁氣的熱雑音によるS/N低下を低減して検出するSTOセンサが提案されている。例えば、特許文献5には、高周波発振素子と、その発振をロックするためにその発振周波数に近い周波数で発振する第2の発振素子とその近傍に備えるSTOセンサにおいて、高周波発振層の膜面に対して垂直に通電した時に、高周波発振素子及び第2の発振素子の両端に発生する高周波発振信号を取得する再生素子が提案され、また特許文献6には、磁化自由層(フリー層)を非磁性層を介して積層するSTOセンサが提案されている。さらに特許文献7には、非磁性中間層を介して、面内磁化容易軸を有しそ

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許第7616412号明細書

【特許文献2】特開2009-70541号公報

【特許文献3】特開2011-3869号公報

【特許文献4】特許第4255869号公報

【特許文献5】特許第4799348号公報

【特許文献6】特許第4836553号公報

30

【特許文献7】米国特許公開2011/0007431A1

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

現状の垂直磁気記録方式において高記録密度化、大容量化を目指し、垂直磁気記録媒体の一層の高異方性エネルギー化、高保磁力化と、それに記録可能な主磁極・シールド型磁気ヘッドの記録磁界強度の改善が進んでいる。しかし記録密度が500kTPI、1Tb/in²に近づくと、現状方式では狭トラック磁気記録を行なう上で実用上の限界があった。

40

【0008】

そこでこの問題を解決するため、本発明者らは次世代の磁気記録ヘッドとして期待されるマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドについて、その構造、構成材料や磁気ヘッド製造工程に関し鋭意検討を行なった。その結果、結晶格子の軸対称性が高く磁化の高速回転が容易なCo基磁性材料による磁性人工格子、もしくはスピン分極率が高く、キュリー温度が室温以上のハーフメタルであるCo基のホイスラー合金をスピン注入層と高周波磁界発生層に用いることが好ましいことが明らかになった。特にSTOを記録磁極のギャップ内に設けるインギャップ型STOにおいては、10kOe程度のギャップ内の記録磁界でスピン注入層と高周波磁界発生層の磁化が反転する事が望ましく、上記のCo基磁性材料はこれに適した磁気特性、保磁力を容易に具備できるために特に好ましいと考えられることがわかった。

50

【0009】

そこで実際に、CoとNiを用いた[Co/Ni]磁性人工格子やCo基のホイスラー合金と、特許文献2記載のCu, Pt, Au, Ag, Pd, Ru等の貴金属もしくはCr, Rh, Mo, W等の非磁性遷移金属からなる導電性中間層を用いてSTO及びマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドを試作し、その特性を総合的に評価した。ここで[A/B]は、AとBの磁性人工格子を表わす。その結果、非磁性中間層材料としてCuやAgを用いた場合にはSTOの発振効率が高く、マイクロ波アシスト性能も良好であるが、磁気ヘッドが腐食しやすく、STOを駆動する上で必要な 10^8 ないし 10^9 A/cm²程度と高い電流密度の通電時に、STO駆動時間と共にエレクトロマイグレーションによって信頼性が劣化するという課題があることが明らかになった。一方、スピン透過率の高いAuや、Pt, Pd, Ru等の貴金属やCr, Rh, Mo, W等の非磁性遷移金属の場合には、耐食性の観点では特性が大きく改善されるものの、STOの発振効率、マイクロ波アシスト効果が低く、特に貴金属ではCu, Agと同様に通電信頼性が低いという問題があることが判明した。また下地層、キャップ層についても同様の問題があった。

10

【0010】

一般に、特性改善のために新たな元素を添加することがよく行なわれてきた。しかし、GMR (Giant Magneto-Resistive) ヘッドなどの従来技術においては、STOとほぼ同じ構造でしかも同じく 10^8 ないし 10^9 A/cm²程度と高い電流密度を通電する構造であるにも関わらず、Cu中間層を介して2層の磁性膜を積層するという比較的単純な構造が用いられていた。これは、(1)磁性層がNiFe薄膜などであり、磁性人工格子やCo基のホイスラー合金を用いようとする本発明に比べ、エレクトロマイグレーションに対する耐性が元来高い、(2)GMR効果のように磁性層と導電性中間層の界面でのスピンの散乱現象を利用するスピントロニクス素子においては、元素を添加することで欠陥やスピン電子の散乱が助長され、再生特性が劣化することはあっても、改善される事はなかったために、中間層に元素を添加し合金化して改善を図ろうとする検討はほとんど行なわれていなかった。

20

【0011】

しかし、STOにおいては磁性人工格子やCo基のホイスラー合金といった、これまで実用化されたことの無い材料を使いこなすことが必要で、本発明において、中間層の合金化についてもあえて検討することとした。そこでまず、STOの発振効率、マイクロ波アシストヘッドの特性が中間層材料や下地層に依存する原因の解明を行なった。

30

【0012】

まず磁気特性に関し、下地層の効果についてCo基合金薄膜についてCoCrを例に系統的な検討を行なった。図1にその結果を示す。すなわち、ガラス基板上で組成を適正化したCoCr合金垂直磁気薄膜に対して、TiにCrを添加した下地層を介して磁性膜を製膜すると、Cr添加量20at%程度でCoCr膜の垂直配向度が大きく改善され(面内角型比が低下)、下地にさらにCrを添加すると面内配向度が高まり(面内角型比が向上)、80at%程度で最大となる。この原因を明らかにするために、TiCr合金薄膜、CoCr薄膜の組織をX線回折、透過型電子顕微鏡などによって分析した結果、Tiは、CoやCoCr合金と同様に六方晶系hcpの結晶構造をしているが、その金属原子半径がCoやCoCrよりも大きく、CoやCoCr合金との格子整合性が低いため、c軸配向するTi薄膜の上にはCoCr薄膜はヘテロエピタキシャル成長し難いことが確認された。このためTi薄膜の上には、CoCrのc軸がきれいにヘテロエピタキシャル成長せず、また格子欠陥も生じるため、CoCr結晶粒の結晶性、垂直配向性が劣化し、その面内残留磁化Mrが大きくなる。ところが、Tiに固溶しにくく、金属原子半径も小さなCrを添加すると、c軸配向したTiCr結晶粒だけが成長するようになり、しかもその格子定数が小さくなり、CoCrの格子定数と等しくなる(格子整合性の高い)Cr20at%近傍の組成でCoCrがヘテロエピタキシャル成長して垂直配向性が改善され、その面内残留磁化Mrが最も小さくなる。一方、CrにTiを20at%程度添加すると、CrTi合金下地膜の結晶粒の面内配向性が向上すると共にCoCrとの格子定数の整合

40

50

性も高まり、CoCrがより面内に配向し易く、面内残留磁化Mrが最大となることも確認された。

【0013】

原子層レベルのCo基合金極薄磁性膜と極薄中間層との積層体である磁性人工格子についても同様の検討を行った。その結果、磁性薄膜の膜厚を数原子層程度に薄くすることにより、Co基合金薄膜はfcc配向し、さらにその格子間隔（格子ひずみ）がより変化し易くなり、下地膜の結晶格子と整合してその原子間隔が0.38nmよりも大きくなると、中間層との界面で垂直磁気異方性が発現し、原子間隔の広がりと共にCo基磁性膜全体として垂直磁気異方性が大きくなることも確認された。逆に0.38nmよりも原子間隔が小さくなると、界面で面内磁気異方性が発現した。

10

【0014】

以上の結果から、Co基磁性合金材料は磁性層の組成を最適化しても、下地材料や中間層との格子定数の整合性が低いと、その結晶成長、結晶配向性が乱れやすく、格子欠陥が生じやすくなるだけでなく、磁気異方性、磁気特性が劣化し、当初設計したマイクロ波の発振に必要な磁気特性が得られない、ということが判明した。すなわち、格子定数の整合性を確保する事が極めて重要な課題であることが明らかになった。

【0015】

上記金属元素の格子定数の整合性については、図1で説明したように、格子定数の異なる第2の元素をその結晶構造や固溶性を考慮して添加することで対応でき、これらにより添加元素を注意深く選定すれば磁気特性、耐食性を改善できると考えられる。一方、STOの発振効率に影響を与えるSTOへのスピン注入効率や、STOの通電信頼性などの電気的特性に関しては前記のように合金化に伴う高周波発振出力や周波数の劣化が懸念される。そこで、本発明において、磁性膜との格子整合性が向上することによるその膜質、結晶性の向上と、これに伴う電気特性の向上や下地層やキャップ層も同時にその性能を改善することで、スピン散乱長やエレクトロマイグレーション耐力をSTO全体として調整することとした。

20

【0016】

本発明の目的は、STOにおいて、非磁性中間層さらには下地膜及びキャップ層材料に新たな元素を添加して合金化することにより、高い格子整合性、耐食性、通電信頼性、適切なスピン散乱長、高いスピン注入効率を実現し、高い高周波発振効率を実現することにある。これにより、強い高周波磁界を高い信頼性で発生できるマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドを提供するとともに、さらにこれらを用いた高い記録密度を有する大容量磁気記憶装置を高い製造歩留りで提供することができる。

30

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明では、STOのスピン注入層と高周波磁界発生層の間に挟まれた非磁性中間層をCu, Ag及びAuからなる第1の群から選ばれた少なくとも1種の元素を50at%以上含む非磁性合金から構成する。非磁性中間層は、更に好ましくは、Cu, Ag, Au, Cr, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Ru, Os, Pd, Pt, Rh, Irからなる第2の群から選ばれ、第1の群の元素とは重複しない少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上含む。非磁性中間層とスピン注入層及び高周波磁界発生層との格子定数のミスマッチは4%以下、より望ましくは1.5%以下である。

40

【0018】

また、STOの下地層を、前記第2の群からなる群から選ばれた少なくとも1種の元素を50at%以上含み、それと重複しない少なくとも1元素を更に0.1at%以上含む合金で構成する。下地層と下地層に隣接する磁性層との格子定数のミスマッチは4%以下である。

磁気再生素子として用いられるSTOに対しても、上記条件を適用する。

【発明の効果】

【0019】

50

本発明は、長時間の高電流密度及び腐食性環境下においても高い信頼性を有し、発振効率の高いSTO素子、記録再生特性に優れたマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッド、及び、高保磁力の垂直磁気垂直磁気記録媒体に対しても優れた記録再生が可能な大容量・高信頼性の磁気記憶装置を、高い信頼性及び製造歩留りで提供することができる。

上記した以外の、課題、構成、手段及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】CoCr合金薄膜に対してTiCr下地層が及ぼす影響を示す図。

【図2】マイクロ波アシスト磁気記録ヘッドと垂直磁気記録媒体の例を示す概念図。 10

【図3】非磁性中間層の耐食性における添加物組成依存性を示す図。

【図4】マイクロ波アシスト効果（相対出力）と格子不整合性の関係を示す図。

【図5】磁性薄膜の耐食性における添加物膜組成依存性を示す図。

【図6】Co基合金の異方性磁界 H_k と添加物の効果を示す図。

【図7】[Co基合金/Ni基合金]におけるCo基合金、Ni基合金比と異方性磁界 H_k との関係を示す図。

【図8】マイクロ波アシスト磁気記録ヘッドの記録ギャップ近傍の構造例を示す図。

【図9】マイクロ波アシスト磁気記録ヘッドの記録ギャップ近傍の構造例を示す図。

【図10】STOの断面模式図。

【図11】マイクロ波アシスト磁気記録ヘッドの記録ギャップ近傍の構造例を示す図。 20

【図12】STOの断面模式図。

【図13】マイクロ波アシスト磁気記録ヘッドと垂直磁気記録媒体の例を示す概念図。

【図14】(a)はABS面から見た構造を示す図、(b)は磁気ヘッド記録ギャップ近傍の断面図。

【図15】STO型磁気センサの断面模式図。

【図16】STO型磁気センサの断面模式図。

【図17】STO型磁気センサを搭載した引き込み型再生ヘッドの概念図。

【図18】磁気記憶装置の構成例を示す概念図。

【図19】MWWの評価結果の一例を示す図。

【図20】MRWの評価結果の一例を示す図。 30

【図21】オフトラック特性(OTC)の評価結果の一例を示す図。

【図22】MCW(747曲線)の評価結果の一例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、本発明の実施例について図面を用いて説明する。

【0022】

[実施例1]

(マイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッド)

本実施例のマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドは、図2に示すように、垂直磁気記録媒体30上をクリアランス01で矢印100方向に走行するスライダ50上に形成された再生ヘッド部10、記録ヘッド部20、及びクリアランス制御用の熱膨張素子部(TFC)02などから構成される。 40

【0023】

スライダ50は、 Al_2O_3 -TiCセラミックスなどからなり、磁気ヘッド磁極部の浮上量が磁気記録媒体全周に亘って5~10nm程度になるように、そのABS面に負圧が発生するようにエッチング加工したもので、素子駆動用配線を有するサスペンションに搭載され、HGA(Head Gimbal Assembly)として磁気記憶装置に組み込まれる。なお、本実施例では、スライダを0.85mm×0.7mm×0.23mm程度のフェムト型としたが、用途に応じてその高さを0.2mm程度とした薄型フェムト型や、その長さを1mm程度としたロングフェムト型などとしてもよい。本実施例では、磁気記録再生ヘッドは 50

再生ヘッド部 10 が先頭で記録ヘッド部 20 が後方になる向きに磁気記録媒体 30 が相対的に移動する構成としているが、逆構成であったとしてもよい。

【0024】

クリアランス制御用の TFC02 は、NiCr, W などの高比抵抗、高熱膨張材料からなり、アルミナ膜などで絶縁した 50 ~ 150 程度の発熱抵抗体薄膜で構成され、記録ヘッド部 20、再生ヘッド部 10 と垂直磁気記録媒体 30 とのクリアランスを 0.5 ~ 2 nm 程度に調整するものである。TFC は 2ヶ所以上に設けてもよく、この場合、それぞれの配線接続は独立でも直列でもよい。なお、投入電力入力用の配線は省略した。ヘッド保護層 51 は CVD C (Chemical Vapor Deposition Carbon)、FCA C (Filtered Cathodic Arc Carbon) などからなり、底面 52 は磁気ヘッドの浮上面 (ABS: Air Baring Surface) である。なお、ヘッド保護層 51 は無くてもよい。

【0025】

(記録ヘッド部)

記録ヘッド部 20 は、記録ギャップ 25 内に設けられた高周波磁界発振素子部 (STO) 40、記録ギャップ部 25 で記録磁界 21 及び強く均一な STO 発振制御磁界 26 (以下、発振制御磁界) を発生するため、STO よりも幅を広くした第 1、第 2 の記録磁極 22, 24、記録磁極を励磁するためのコイル 23、STO 駆動用電源 44 などから構成される。ここで第 1、第 2 の記録磁極 22, 24 は、記録ギャップ部 25 近傍で体積を大きく、磁氣的に略対称なリング型構造とした。STO の高周波磁界 47 の回転方向、発振周波数などは、発振制御磁界 26 などによって制御される。本リング型磁極構造では、STO 駆動磁界が STO 膜面に均一かつ垂直に入射するため、理想的な状態で滑らかに高周波磁界発生層 (FGL) の磁化が回転し、従来の主磁極・シールド型磁極構造に比べ、10 ~ 20 % 強い高周波発振磁界が安定して得られ、特に好ましい。なお本構造では記録磁界が記録ギャップ部に集中しているため、磁気記録は記録ギャップで決まり、垂直磁気記録媒体が記録可能であれば、それに静止記録するとその記録跡 (フットプリント) は略記録ギャップの形状となる。なおコイル 23 は、Cu 薄膜などを用いて第 2 の記録磁極 24 を巻くように形成した例を示したが、記録磁極の後端部 27 や第 1 の記録磁極 22 などを周回するように形成してもよく、またさらに多層巻き線としてもよい。また記録ギャップ 25 は、スパッタリング法や CVD 法で製膜される Al_2O_3 , $Al_2O_3 - SiO_2$ 膜などの非磁性薄膜で形成される。

【0026】

記録ギャップ長 G_L は、STO 40 の厚さ、記録ギャップ内の STO 発振制御磁界 26 の均一性、強度、記録磁界 21 の強度及び記録磁界勾配、トラック幅、ギャップデプス G_d などを考慮して決めた。ギャップデプス G_d は記録磁極のトラック幅やギャップ長以上にすることが磁界の均一性の観点で好ましく、トレーリング側 (ヘッド走行方向の後部) の第 1 の記録磁極 22 のトラック幅を 40 ~ 250 nm、ギャップデプスを 40 ~ 700 nm、ギャップ長を 20 ~ 200 nm とした。均一で強い記録ギャップ内磁界などを確保するため、ギャップ部近傍での各磁極の磁性層膜厚を 40 nm ~ 3 μ m とした。また、周波数応答を高めるために、ヨーク長 Y_L は短く、コイル巻き線数は小さいことが好ましく、ヨーク長を 0.5 ~ 1.0 μ m、コイル巻き線数を 2 ~ 8 とした。特に、サーバ、エンタプライズ用途などの高速転送対応磁気記憶装置の磁気ヘッドにおいては、ヨーク長を 4 μ m 以下とし、さらに必要に応じて比抵抗の高い磁性もしくは非磁性中間層を介して高飽和磁束磁性薄膜を積層する多層構造とするのが好ましい。

【0027】

第 1 の記録磁極 22 は、FeCoNi, CoFe, NiFe 合金などの高飽和磁束軟磁性膜を、メッキ法、スパッタ法、イオンビームデポジション法などの薄膜形成プロセスで単層もしくは多層製膜したもので、記録素子の幅 T_{ww} は、目標とする記録磁界や記録密度に応じて設計して半導体プロセスで加工され、その大きさは 30 nm ~ 200 nm 程度である。記録ギャップ部近傍の磁極形状は、記録ギャップ面に対して平行かつ平坦な膜構造でも、STO の周囲を囲った構造でもよい。なお、記録磁界強度を高めるために記録ギャ

10

20

30

40

50

ップ部近傍には高飽和磁束材料を用い、その形状を記録ギャップ部に向かって絞り込むような構造とすることが特に好ましい。第2の記録磁極24も第1の記録磁極22と同様に、CoNiFe合金やNiFe合金などの軟磁性合金薄膜で形成し、形状を制御した。

【0028】

(STOの構造)

STO40は、CoFe, CoNiFeなどの軟磁性合金、CoPt, CoCrなどの硬磁性合金、 $Co_{0.6}Fe_{0.4}$ などの負の垂直磁気異方性を有する磁性合金、CoMnGeなどのホイスラー合金、あるいは[CoFe/Fe]、[CoNi/NiFe]などからなる磁性人工格子などからなる高周波磁界発生層(FGL)41、非磁性合金中間層42、FGLにスピントルクを与えるためのスピン注入層43、下地層45、及びキャップ層46などから構成される。STOの駆動電源や電極部を模式的に符号44で表したが、記録磁極22, 24を、例えば記録ヘッド後端部27で磁気的には結合し、電気的には絶縁せしめ、さらにギャップ部ではそれぞれをSTO側面と電気的に接続することで、記録磁極22, 24に電極を兼用させてもよい。特別な場合を除き、STOには駆動電源(電圧源もしくは電流源)44により、スピン注入層側から直流電流を流し、FGLのマイクロ波発振を駆動する。図では定電流駆動を例としたが、定電圧駆動であれば電流密度を一定とできるので信頼性を確保する上で好ましい。

10

【0029】

(STOの非磁性中間層)

非磁性中間層42については、STOに高い高周波発振効率、耐食性、耐マイグレーション特性を与えるべく、その材料、組成を適正化すると共に、その膜厚を0.2~4nm程度とすることが好ましい。

20

【0030】

ここで非磁性中間層の材料組成については、以下のように検討した。すなわち、まずCu, Ag, Au、もしくはこれらの合金からなるターゲット上に有効面積比率を0~30%の範囲で変えてTi, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Fe, Ru, Os, Ni, Pd, Pt, Co, Rh, Ir, Al, Ga, In, Zn, Si, Ge, Sn, B, Bi, Nd, C, Reなどのペレットを設置し、これをスパッタリングすることで膜厚100nmの合金薄膜として評価した。なお薄膜の組成は高周波誘導結合プラズマを光源とした発光分析法(ICP発光分析: Inductively Coupled Plasma)などで分析した。

30

【0031】

電気抵抗などの電気的な特性は、Si, Ge, B, Bi, Nd, Cを添加するとその劣化が激しく、またSn, Zn, In, Gaは、STOとして必要とされる $10^9 A/cm^2$ 程度の高い電流密度の通電時及び加熱時の膜構造の変化が大きく、好ましくなかった。そこでこれら以外の添加物について、特性試験前後における反射率の変化を腐食度として定量的に評価する事で、その耐食性について評価することとした。ここで耐食性試験については、温度85℃、湿度100%の雰囲気中に3日間暴露する高温高湿試験、及び0.1mol%の塩水噴霧試験(1日間)を行なった。

【0032】

まずCu, Agをベース材料とし、これらの格子定数を制御するため、添加元素の組成を40at%まで変えたAgCu, CuAg合金ターゲットを作成した。次いでこの合金ターゲットに、厚さ1mm、大きさ7mm角のPd, Ti, Ta, Al, Co, Rh, Ir, Nb, Ru, Zr, Pt, Au, V金属ペレットを、その有効面積比を調整して設置し、スパッタアップ法でこれらの元素を含む合金薄膜を製膜した。

40

【0033】

図3に、その耐食性の組成依存性を示す。ここで反射率の変化を腐食度とし、耐食性の指標として用いた。Pd, Ti, Ta, Rh, Ir, Nb, Ru, Zr, Pt, Au, Vを0.1at%以上含有せしめることで、高温高湿試験に対して、Al, Coを添加した比較例に比べ、耐食性が改善されることが確認された。また同様にCr, Hf, V, Nb

50

、T a、M o、W、F e、O s、P tのペレットを用いて合金薄膜を作成し、塩水噴霧試験によりその耐食性を評価したところ、C r、H f、V、N b、T a、O s、P tを0.1 a t %以上添加した合金薄膜において顕著な耐食性改善効果が認められた。いずれも上記で2種以上の元素を合計で0.1 a t %以上添加しても同様の効果が得られた。

【0034】

同様に上記合金薄膜に対して、通電時の抵抗率の変化を測定してエレクトロマイグレーション耐性を評価し、さらに引っかき試験により密着度、機械的強度を評価した。その結果、合計で0.1 a t %以上の添加によりエレクトロマイグレーションや機械的特性においても改善効果が認められた添加元素は、C r、T i、Z r、H f、V、N b、T a、R u、O s、P d、P t、R h、I r、A uであり、これらの合金薄膜においては高温高湿、塩水噴霧の両耐食性試験においても優れた耐食性改善効果があることが確認された。ただし、いずれも上記添加元素を25 a t %よりも多く添加すると、電子散乱長が短くなり、電気抵抗が大きくなりすぎるので、添加量は10 a t %以下とすることが好ましかった。A uについても、C u、A gや、これらの合金と同様であった。すなわち、機械的、エレクトロマイグレーションなどの電気的特性に関する信頼性の点で、C u、A g、A uからなる第1の群の元素に、C r、T i、Z r、H f、V、N b、T a、R u、O s、P d、P t、R h、I rからなる少なくとも1種の元素を合計で0.1 a t %以上、25 a t %以下添加することが有効であった。なお、第1の群の元素については、C uにA u、A gにA uを添加した場合に、0.1 a t %以上の全組成で同様の耐食性向上効果が認められた。

【0035】

そこで次に、非磁性中間層の組成を変えて形成したS T Oを搭載した、本実施例のマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッド(後半で説明する)のマイクロ波アシスト記録特性を評価した。すなわち、C o₂F e(G e_{0.5}G a_{0.5})ホイスラー合金薄膜に対し、A g_{1-x}C u_x合金、A g_{1-x-y}C u_xA u_y合金、C u_{1-x}A u_x合金、C u_{1-x}A g_x合金を非磁性中間層として、実施例2に示すマイクロ波アシスト記録ヘッドを作成し、その特性を評価した。ここで、添加元素の組成x、yを0.001~0.35(0.1~35 a t %)の範囲で変えて磁気ヘッドを試作した。図4にA g_{1-x-y}C u_xA u_y合金を例に、その典型的な結果を示すが、磁性層と非磁性中間層との格子定数の不整合性(ミスマッチ)を4%以下(出力で最大出力の90%以上)、より望ましくは1.5%以下(最大出力)とすれば、ばらつきを加味しても特に良好なアシスト効果が得られることが判明した。ここで格子定数の差は、X線回折、電子顕微鏡などを用いた分析などで確認した。

【0036】

上記効果は図1に示したように、磁性層の配向性、結晶構造の完全性が高まり磁気特性が向上すること、及び、上記第1の群のC uなどの単体金属からなる非磁性導電体においては、C o基磁性体に比べその電気抵抗率は約1/10と小さいがスピン散乱長が約100倍と大きく、スピン注入抵抗が磁性体の10倍程度と大きく効率的なスピン注入ができないのに対し、上記合金化によりスピン散乱長が減少、スピン注入抵抗が磁性体と同程度になり、スピン注入効果が高まるためである。本効果は、非磁性中間層において、C u、A g、A uからなる第1の群の元素に、C u、A g、A u、C r、T i、Z r、H f、V、N b、T a、R u、O s、P d、P t、R h、I rからなる第2の群の元素で、第1の群の元素と重複しない元素を0.1 a t %以上添加して耐食性を確保した上記合金全てにおいて認められた。なおこの場合においても、添加量は25 a t %以下とすることが好ましかった。

【0037】

さらに、S T Oのスピン注入層、高周波磁界発振層を構成する磁性材料、すなわち、C o、F e、N i及びC o基合金、F e基合金、N i基合金などにおいても同様の検討を行い、C uを除いた前記第2の群の元素、すなわちA g、A u、C r、T i、Z r、H f、V、N b、T a、R u、O s、P d、P t、R h、I rからなる元素を上記のように添加することで耐食性、磁気特性、高周波発振特性をバランスよく改善できることを確認した

。例えばC o N i F e合金にこれらの元素Gを5 a t %添加した磁性薄膜に対し、40で1 m o l %の塩水による加速噴霧試験を行ない、腐食によるその飽和磁化の減少量を評価した結果を図5に示す。比較例の無添加、及びC uを5 a t %添加した場合に比べ、本実施例の磁性薄膜は優れた耐食性を示すことが確認された。図6に、添加元素G添加前後の上記磁性膜における異方性磁界H kの相対変化を示すが、本実施例の磁性薄膜においては、添加前の磁性膜の70%以上の異方性磁界H kを確保でき、S T O用の材料として好ましいことを確認した。なおV , N b , C r , R u , P t , R hを添加した場合に異方性磁界H kの向上も認められ、特に好ましかった。

【0038】

同様にN i基合金、F e基合金に対しても、C uを除いた上記第2の群の元素を合計で0.1 a t %以上添加すれば上記の効果が認められた。ただし、C o基合金、N i基合金、F e基合金いずれの磁性合金においても、上記元素の添加量を15 a t %よりも多くすると飽和磁化、磁気異方性磁界が減少し、さらに25 a t %よりも多くすると電気抵抗などの電気的特性も含めてこれらが著しく劣化するので、総合的に添加量を25 a t %よりも多くするのは好ましくなかった。以上から、C o , F e , N iもしくはこれらの合金を50 a t %含み、C uを除いた上記第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1 a t %以上、元素単独で25 a t %以下添加量せしめることで、その膜構造、耐食性、磁気特性、電気的特性に関して、S T O用の磁性材料に適した総合的な特性が得られることを確認した。

【0039】

また後に詳細に説明するように、非磁性下地層、非磁性キャップ層についても、同様の材料、組成の検討を行ない、同様の効果を確認した。以上の合金材料を用いてS T Oとすることで、後で詳細に説明するように、優れたマイクロ波アシスト記録効果が得られた。

【0040】

(ターゲット材料)

マイクロ波アシスト磁気記録ヘッドの作成に当たり、上記材料を合金ターゲットとする必要があり、本実施例では溶解鑄造法、焼結法によって合金ターゲットを製造した。

【0041】

すなわち、C u , A g及びA uからなる第1の群からなる元素を少なくとも50 a t %以上と、これと重複しない前記第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1 a t %以上含むように、各元素を適宜秤量して高周波溶解炉中で熔融、混合して合金とする。これを鑄型に鑄込んで凝固、インゴットとし、これを鍛造、圧延、熱処理などの処理を行なった後に、所定の形状に成形し、必要に応じてバックプレートを設けてスパッタリングターゲットとした。

【0042】

製膜はこれらの合金ターゲットを用いてD Cマグネトロンスパッタリング法により行なったが、主たる元素よりも原子量の大きな元素は、D Cマグネトロンスパッタリングにより、より大きな放出角すなわち、よりターゲット面に平行になるようにスパッタリングされ、ターゲットに相対して設置された基板上に製膜される膜組成は、ターゲット組成に比べ主たる元素の割合が組成比で1~2 a t %程度の割合で高くなった。この割合はガス圧、投入電力などの製膜条件や元素によって異なり、また軽元素の場合には逆の傾向が認められた。S T Oの発振効率には特に非磁性中間層の特性に強く依存するため、量産時に安定した性能を得るためには、所定の組成を有する非磁性合金薄膜形成用のターゲット合金の組成を、非磁性合金薄膜の組成に対して適切に調整しておくことが好ましかった。

【0043】

(S T Oの構成)

S T O40は、C o F e A l S i , C o F e G e , C o M n G e , C o F e A l , C o F e S i , C o M n S iなどのC o基ホイスラー合金、あるいは[C o F e / F e C o] , [C o F e G e / C o M n G e]などの磁性人工格子などからなり、磁化が自由に回転する磁化自由層(フリー層)としての高周波磁界発生層(F G L)41と、C u , A g及

10

20

30

40

50

びAuからなる第1の群から選ばれた少なくとも1種の元素を少なくとも50at%以上含む合金層を少なくとも一層含み、磁性層との格子定数のミスマッチを4%以下、より望ましくは1.5%以下として磁性膜の格子ひずみ、磁気異方性を制御する非磁性合金中間層42と、CoPt, CoCr, CoCrPt, L1₂-Co₃Pt基合金, L1₂-(CoCr)₃Pt基合金, L1₁-Co_{0.5}Pt_{0.5}基合金, m-D0₁₉型Co_{0.8}Pt_{0.2}基合金, L1₀型FePtなどの硬磁性合金や、[Co/Ir], [Co/Ni], [CoNiTa/Pd], [Co/Pt]など硬磁性の磁性人工格子などからなり、膜面に垂直方向に磁気異方性軸を持たせたスピン注入層43などから構成される。

【0044】

スピン注入層43は、直流電流印加時に、ヘッド磁界によってその磁化の方向を変えて常にFGLにスピントルクを与え、その発振を安定せしめる磁化固定層(ピン層)として機能する。磁性人工格子膜は磁気特性設計の自由度が高いため、スピン注入層に磁性人工格子膜を用いることが好ましいが、Pt, Cr, Ir, Pdなどの元素は単体ではスピン消極材料でスピントロニック素子の機能を抑制しやすいこと、及び、適切な磁気特性を具備せしめることが望ましいことから、その構成として、Coを少なくとも50%以上と、Cuを除く前記第2の添加物群、すなわちAg, Au, Cr, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Ru, Os, Pd, Pt, Rh, Irから選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上含む磁性合金薄膜と、これと同様に、Fe及びNiからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素を少なくとも50at%以上含み、Cuを除く前記第2の添加物群から選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上含む磁性合金薄膜を少なくとも2層積層することが特に好ましい。

【0045】

例えば、添加物として5at%のPt, Rhを用い、膜厚をそれぞれ0.2nm, 0.4nm, 0.6nm, 0.8nmとしたCoPt合金とNiRh合金をそれぞれ2層~25層、膜厚2nmのPt、膜厚2nmのTiCr合金層を介してガラス基板上に製膜し、その特性をX線回折装置及び試料振動型磁力計(Vibrating Sample Magnetometer: VSM)を用いて評価したところ、いずれもfcc(111)配向しており、しかも、この[CoPt/NiRh]磁性人工格子膜は、図7に示すように異方性磁界H_kが6.7kOe以上の垂直磁化膜となっており、特にNi基合金磁性層とCo基合金磁性層との膜厚比を1以上(平均化した時のNi基合金の組成が多い)とした場合に大きな異方性磁界H_kが得られ、異方性磁界H_kが13kOe以上となり、好ましい垂直磁化膜となっていることを確認した。なお、図7では膜厚3nmの例を示したが、膜厚をかえても同様であった。また添加物として、Pt, Rh以外にも前記のCr, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Fe, Ru, Os, Ni, Pd, Co, Ir, Al, Ga, In, Zn, Si, Ge, Sn, B, Bi, Nd, C, Reについても検討したが、飽和磁化、垂直磁気異方性などの磁気特性、膜構造、耐食性、スピン注入効率などの観点で、前記のように、少なくともCuを除く前記第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上、単独で25at%以下添加することが好ましかった。

【0046】

なお下地膜としてTa, Cu, Ti, Ptなどの単体金属を用いた場合についても検討したが、図1と同様に、TiCr, PtTi合金などの合金薄膜を用いた場合には、これら単体金属下地による比較例に比べ20%程度高い垂直磁気異方性が得られ好ましかった。

【0047】

上記はガラス基板上に下地膜を製膜し、さらに磁性膜を製膜した場合の効果であるが、実ヘッド構造を模擬して、ガラス基板上にまずFeCo, CoFeやCoNiFeなどの記録ヘッド磁極薄膜を製膜し、その上にさらにこれらの合金下地、磁性人工格子膜を製膜した場合などに対しても、同様に安定した磁気性能などが得られ、数%から10%程度の配向性劣化、特性劣化が認められた、比較例の単体金属下地膜に比べ好ましかった。

【0048】

FGL41は、FeCo, CoNiFe, NiFeなどの軟磁性合金、CoPt, CoCrなどの硬磁性合金、TbFeCoなどのRe-TM系アルモファス系硬磁性合金、 $Co_{0.6}Fe_{0.4}$, $Co_{0.99}Fe_{0.01}$, $Co_{0.8}Ir_{0.2}$ などの負の垂直磁気異方性を有し実効的に膜面内に磁化容易面を有するCo基磁性合金、CoFeAlSi, CoFeGe, CoMnGe, CoFeAl, CoFeSi, CoMnSiなどの軟磁性Co基ホイスラー合金、あるいは[Co/Fe], $[Co_{0.85}Fe_{0.15}/Fe_{0.7}Co_{0.3}]$, [Co/Ir], [CoFeGe/CoMnGe]など負の垂直磁気異方性を有し実効的に膜面内に磁化容易面を有するCo基磁性人工格子などからなる。その膜厚については、厚い方が高い高周波磁界が得られるが、逆に厚くなりすぎると磁区構造、磁化が乱れ易くなるので、1~100nmとすることが好ましい。ここで強いSTO制御磁界26をFGLに印加することにより、軟磁性材料、硬磁性材料、もしくは負の垂直磁気異方性材料のいずれの材料でも安定して発振するようになることが確認され、負の垂直磁気異方性を有する材料において特に安定した良好な発振が得られた。

10

【0049】

FGLの幅 W_{FGL} については、目標とする記録磁界や、記録密度に応じて設計及び加工すればよく、その大きさを5nm~50nmとした。またFGLの高さをその幅よりも大きくせしめることで、垂直磁気記録媒体のより深くからの記録磁界とその余分の高さの素子部分とで磁束の閉磁路が形成され易くなり、垂直磁気記録媒体のより深部にまで高周波磁界成分を届かせることができ、アシスト効果を高めることができるので特に好ましい。なお後述のように瓦記録(SMR: Shingled Magnetic Recording)方式と併用する場合には、 W_{FGL} は記録トラック幅の2~3倍とすることが好ましかった。このように W_{FGL} が大きい場合には、制御磁界をより強くすることが好ましい。

20

【0050】

なお上記で、FGL41の高周波磁化回転を安定化させるためスピン注入層43と同様の構成の回転ガイド強磁性層をFGL41に隣接して設けてもよく、またスピン注入層43とFGL41の積層順を逆にしてもよい。

【0051】

(STO非磁性下地層)

非磁性下地層45に関しては、非磁性中間層42と同様に、スピン注入層43や高周波磁界発生層41の膜質・膜特性の制御や発振効率、信頼性、通電効率を高めるために、STOを構成する磁性層との格子整合性を確保することが好ましく、STOを構成する磁性層、非磁性合金中間層と格子定数のミスマッチを4%以下、より好ましくは1.5%以下とすることが好ましい。

30

【0052】

下地層材料としては、Cu, Ag, Au及び前記のTi, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Fe, Ru, Os, Ni, Pd, Pt, Co, Rh, Ir, Al, Ga, In, Zn, Si, Ge, Sn, B, Bi, Nd, C, Reについて検討した。その結果、前記第2の群の元素からなる単層もしくは積層薄膜が適用可能であることを確認したが、本実施例のマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドのように、FeCoやCoFeNiなどから成る記録磁極上にSTOを形成する場合には、STOの結晶配向性が劣化し易い。このため、前記の非磁性合金中間層42材料に要求される特性のなかで、基板材料によらずSTO膜の配向性を高める特性に優れることが特に重要で、TiCr, TaCr, CuNb, RuTi, PtCu, CuHf, CrZrなど、前記第2の添加物群の少なくとも1元素を50at%以上含み、これらと重複しない第2の群の少なくとも1元素を0.1at%以上含む非磁性合金薄膜、もしくはこれらの積層薄膜とすることで、単体元素を用いて非磁性中間層を構成した場合に比べ、図1と同様に、著しい改善が認められ、好ましかった。なお上記で、50at%以上の主要成分と重複しない第2の群の少なくとも1元素を25at%よりも多く添加すると、電気抵抗など電気特性の劣化が大きくなるので、25at%以下とすることが好ましかった。

40

非磁性下地層の膜厚は厚い方が好ましいが、記録ギャップ長との兼ね合いで適切な膜厚

50

が設定され、1 ~ 15 nmとすれば良好な効果が得られた。

【0053】

(STO非磁性キャップ層)

一方、STOの最上層として設けられているキャップ層46については、ダンピング定数などを抑制して高い高周波発振磁界を得るとともに、STOのエレクトロマイグレーションを抑制し高い通電信頼性を確保できる材料、構成などとする事が好ましい。すなわち本実施例のように記録磁極を電極と共用する場合には、記録磁極からのスピンの磁化回転層に影響を与えないように、そのスピン注入抵抗を大きくすることが好ましく、Cu, Ag, Auなどのスピン散乱長の長い材料や前記非磁性中間層材料を少なくとも一層有する積層膜とすることが好ましい。もしくは、耐エレクトロマイグレーション特性の高いNbなどの高融点金属をキャップ層としたり、強いスピン散乱効果によって臨界電流密度(J_c)を低下せしめることができる薄いRuなどをキャップ層に用いてもよい。また上記の効果を併用すべく、非磁性下地層と同様に前記第2の群からなる単層もしくは積層薄膜が適用可能である。なおこれらの少なくとも1元素を50 at%以上含み、さらにこれと重複しない前記第2の添加物群からなる少なくとも1元素を少なくとも0.1 at%以上含む非磁性合金薄膜、もしくはこれらの積層薄膜とすれば、下地層と同様に総合的により好ましかった。キャップ層の場合も、上記50 at%以上の主要成分と重複しない第2の群の少なくとも1元素を25 at%よりも多く添加すると、電気抵抗など電気特性の劣化が大きくなるので、25 at%以下とすることが好ましかった。

10

該非磁性キャップ層の膜厚は厚い方が好ましいが、記録ギャップ長との兼ね合いで適切な膜厚が設定され、1 ~ 15 nmとすれば良好な効果が得られた。

20

【0054】

(再生ヘッド)

再生ヘッド部10は、再生ヘッド部を記録ヘッドの記録磁界からシールドする磁気シールド層11、再生センサ素子12、再生分解能を高めるための上部、下部磁気シールド13, 14などからなる。ここで上部、下部磁気シールド13, 14の間隔 G_s が再生ギャップ長となる。再生素子12は媒体からの信号を再生する役割を担うもので、その構成としては、TMR (Tunneling Magneto-Resistive) 効果、CPP (Current Perpendicular to Plane) - GMR (Giant Magneto-Resistance) 効果、ないしはEMR (Extraordinary Magneto-Resistive) 効果を有するもの、さらにはスピン分極率の高い Co_2MnGe , Co_2FeAl などのホイスラー合金膜を、Cu, Ag, Auもしくはこれらを主たる成分とする非磁性合金中間層で積層した $Co_2Fe(Al_{0.5}Si_{0.5})/CuAu/Co_2Fe(Al_{0.5}Si_{0.5})$ もしくは $Co_2Mn(Ge_{0.75}Ga_{0.25})/AgRh/Co_2Mn(Ge_{0.75}Ga_{0.25})$ などのシザーズ型や、差動型でもよい。

30

【0055】

ここで非磁性合金中間層は、Cu, Ag及びAuからなる第1の群から選ばれた少なくとも1種の元素を少なくとも50 at%以上と、前記第2の群から選ばれこれらと重複しない少なくとも1種の元素を合計で0.1 at%以上含む非磁性合金材料とすることで、磁性層との格子定数のミスマッチを4%以下、より望ましくは1.5%以下としてホイスラー合金とのバンド構造との整合性を高めて高い磁気抵抗比、再生感度を得ると共に、その耐食性を確保できるので好ましい。良好なスピン電流伝導性、膜結晶配向性を確保するため、添加量は25 at%以下とすることが好ましかった。

40

【0056】

なお、金属合金中間層の場合にはその抵抗の絶対値が小さいため、通電信頼性を確保できる範囲の電流値では、磁気抵抗が大きく変化しても、1 mV程度の再生出力を得にくい。さらに前記のように中間層とのスピン注入抵抗の抵抗不整合が生じてスピン注入効率も低下しやすいので、これを緩和するために、MgO, ZnO, GaO, In_2O_3 などのトンネルバリア層を上記に積層、もしくはこれを挟んで非磁性中間層として用いると、特に好ましかった。

【0057】

50

(S T O センサ)

さらに、再生素子 1 2 には S T O 効果を応用した S T O センサ素子を用いることもできる。S T O センサ素子においては、S T O 記録素子とは異なり、非磁性中間層を介して積層したスピン注入層の磁化と磁化回転層の相対角度が、磁化回転によって大きく変化するように磁化の配向状態を設定することで、磁気抵抗変化率 (M R 比)、すなわち出力を大きくした。すなわち、S T O 記録素子と同様の磁性材料を用い、スピン注入層 6 3 の磁化容易軸 7 9 を面内配向せしめ、さらに磁化回転層 4 1 の磁化容易軸を膜面に垂直とすることで、磁化回転層の磁化 6 7 を膜面に垂直な軸 6 8 の周りに回転させる (図 1 6 参照)、もしくはスピン注入層 4 3 の磁化容易軸 6 8 を膜面に垂直に配向せしめ、磁化回転層 6 1 の磁化容易軸を膜面に配向せしめることで、磁化回転層の磁化 7 7 を膜面内の磁化容易軸 7 8 の周りに高速回転するようにせしめた (図 1 5 参照)。

10

【 0 0 5 8 】

S T O センサ用の非磁性中間層としては、G a O , S r O , T i O , V O , M g O もしくはこれらから選ばれる 2 つ以上の化合物から構成される合金酸化物などによるトンネルバリア層を用いることができるが、M g O 薄膜、G a O 薄膜、もしくは (M g G a) O 薄膜によるものが最適であった。これは C o F e , C o F e B などを含む磁性薄膜とこれらの薄膜を (0 0 1) 面で接合することによって、バンド構造起因のスピンフィルター効果が発現し、大きな磁気抵抗効果が得られることによる。

【 0 0 5 9 】

S T O センサにおいては、S T O 記録素子と同様に上部、下部シールド層 1 3 , 1 4 と電極を共用して S T O センサ素子に通電する事で図 2 の再生ヘッド 1 0 を構成できる。本構成の再生ヘッドにおいて、S T O センサ磁化回転層の磁化回転の周波数が漏れ磁束に比例して変化する (変調される) ことを利用し、1 ビット遅延せしめた高周波発振波形と掛け合わせた波形をローパスフィルタで処理するなどの周波数変調検出方法により、記録磁化状態を算出することで、2 0 ~ 3 0 d B 以上と非常に高い S / N で垂直磁気記録媒体の磁化情報を検出できる。本 S T O センサはシザーズ型ヘッドと同様にその構成を単純にできるため、下地層、キャップ層を設けた S T O センサ素子厚に対応する再生ギャップ長 G_s (図 2 参照) を 1 6 n m 程度以下にすることが可能で、媒体からの漏れ磁束を高い分解能で再生することが可能であった。

20

【 0 0 6 0 】

なお磁気シールドを電極と共用する場合には、通電時に磁気シールド材料から注入されるスピンの磁化回転層に影響を与えないように、下地層、キャップ層のスピン注入抵抗を大きくすることが好ましい。本実施例においては、前記非磁性合金中間層などのように、磁性材料に比べてスピン散乱長の長い材料を下地層、キャップ層とし、シールド層と S T O センサ素子との間に設けた。詳細については実施例 6、7 で説明する。

30

【 0 0 6 1 】

以上の再生センサ素子の素子幅、素子高さや図 2 のシールド間隔 (再生ギャップ長 G_s) は、目標とする記録トラック密度や記録密度に応じて設計及び加工され、例えば素子幅を 5 n m ~ 5 0 n m 程度とした。なお、図 2 で再生出力の取り出し端子は図示を省略した。

40

【 0 0 6 2 】

(垂直磁気記録媒体)

図 2 に示した垂直磁気記録媒体 3 0 は、ガラス、S i , プラスチックスや N i P メッキ A l 合金などから構成される超平滑・耐熱非磁性基板 3 6 上に、軟磁性下地層 3 5、第 1、第 2 の磁性層 3 3 , 3 4、保護層 3 2、及び潤滑層 3 1 などを積層して構成される。軟磁性下地層 3 5 は、F e C o T a Z r などからなる。第 1、第 2 の磁性層 3 3 , 3 4 は、C o C r P t、L 1 2 型 C o 3 P t 基規則合金、L 1 2 型 (C o C r) 3 P t 基規則合金、L 1 1 型 C o 0.5 P t 0.5 基規則合金、m - D 0 19 型 C o 0.8 P t 0.2 基規則合金、[C o C r - S i O 2 / P t] や [C o B / P d] などの磁性人工格子、L 1 0 型 F e P t 規則合金などを主な構成要素とし、S i O 2 , T i O 2 , C , B , A g , C u , A u , N i , F e , C

50

r, Mn, Pdなどを数体積%～35体積%添加物として適宜含有する、例えばCoCrPt-SiO₂, L₁₀FePt-Ag-C, L₁₀FePt-SiO₂などの高Hk磁性膜からなる。ここで、このような垂直磁気記録層においては、ターゲット材料に上記のTi, Nb, Zr, Hf, Cu, Cr, Co, Si, Alなどの適切な酸化物、炭化物、窒化物、硼化物もしくはそれらの混合物などを混入し、製膜条件を調整することで、これらからなる非磁性材料を結晶粒界に0.5～2nm偏析させることにより、結晶粒間の磁気交換相互作用を制御した。保護層32は、C, FCACなどからなる。

【0063】

それぞれの層は、超高真空チャンバを有するマグネトロンスパッタリング設備、保護膜形成設備や、潤滑層形成設備などを用いて形成される。矢印37, 38は、それぞれ垂直磁気記録媒体に記録された上向き、下向きの磁化を示す。磁性膜の平均的な異方性磁界を高めて高保磁力とすることで、従来の主磁極型磁気ヘッドからの磁界では充分な記録ができないようにせしめ、特に狭トラック磁気記録に適した構造とした。

【0064】

なお、垂直磁気記録層の構造は2層構造に限るものではなく、高い保磁力を有するものであれば、単層、組成傾斜型膜構造、もしくは3層以上の多層構造としてもよい。さらに、磁気的な結合を制御するための中間層を必要に応じて各層の間に設けてもよい。ここで、その構成や垂直磁気記録の磁気特性が単層媒体に近い場合には、記録磁化印加状態でのその磁化の実効共鳴周波数とSTO40の高周波磁界の発振周波数は大きくは変わらないことが好ましい。また多層構造の場合には、最表層磁性層の異方性磁界Hkを15kOeよりも大きく、より好ましくは20kOeよりも大きくし、隣接する下層よりも大きくすることによって、記録磁界に比べてスペーシング依存性の強いSTO高周波磁界からのエネルギー吸収を最も効率的に行う事ができ、特に好ましい。

【0065】

さらに軟磁性下地層35と基板36との間に少なくとも一層の特性制御用の非磁性層を設け、また、磁性層33, 34の結晶配向性、結晶粒径、磁気特性やその均一性などを高めるために、軟磁性下地層35と磁性層34との間にRuなどからなる少なくとも一層の特性制御用非磁性中間層や磁性中間層、更にそれに加えて非磁性中間層などを設けてもよい。更に軟磁性下地層35は、その軟磁気特性や均一性を向上するためにRu, Ru合金などを介した2層構造としてもよい。

【0066】

図2には、基板36の片面に磁性層33, 34などを設けた例を示したが、これらを非磁性基板36の両面に設けてもよい。また本実施例では、垂直磁気記録媒体30において磁性層が連続膜である例を示したが、ディスクリートラック膜や基板上に10nm程度の磁性パターンを設けたパターン膜などでもよい。

【0067】

本実施例では、図2に示した構成で、Agを主たる構成要素とする非磁性合金中間層を用いた下記の構成のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド及び垂直磁気記録媒体を試作し、その特性を評価した。

- ・スライダ50：薄型ロングフェムト型(1×0.7×0.2mm³)
- ・ヘッド保護膜(FCAC)：1.8nm
- ・再生ギャップ長G_s：18nm
- ・センサ素子12：CPP-GMR(T_{rw}=30nm)
- ・第1の記録磁極22：FeCoNi(T_{ww}=80nm)
- ・第2の記録磁極24：CoFe
- ・STO記録素子40：Cu_{0.99}Au_{0.01}(4nm)/Ru(6nm)/Co₂Fe(Ga_{0.5}Ge_{0.5})(10nm)/Ag_{1-x-y}Cu_xX_y(2nm)/[Co_{0.85}Pt_{0.15}/Ni_{0.8}Fe_{0.2}](10nm)/Ti_{0.8}Cr_{0.2}(10nm)
- ・FGL：W_{FGL}=36nm、素子高さ=40nm
- ・媒体基板：3.5インチNiPメッキAl合金基板

・媒体構造：潤滑膜(1nm)/C(2nm)/(Co_{0.5}Pt_{0.5})-(CrSiTi)O₂(2nm)/CoCrPt-SiO₂C(10nm)/Ru(10nm)/CoFeTaZr(10nm)/Ru(0.5nm)/CoFeTaZr(10nm)

【0068】

ここでSTO記録素子は、Ti_{0.8}Cr_{0.2}下地上に[Co_{0.85}Pt_{0.15}/Ni_{0.8}Fe_{0.2}]スピン注入層、Ag_{1-x-y}Cu_xX_y中間層、Co₂Fe(Ga_{0.5}Ge_{0.5})FGL、Ru、Cu_{0.99}Au_{0.01}キャップ層を設けた構成とした。なお非磁性中間層の添加元素Xとして、Au、Ru、Pd、Rhを用い、組成xを0.1、0.15、組成yを0.01、0.02とした。また素子にはスピン注入層側からFGL側に通電してFGLを高速回転させ、高周波磁界を共振せしめた。

10

また、垂直磁気記録媒体磁性層33、34の異方性磁界H_kは、それぞれ22kOe、18kOeであった。

【0069】

(本実施例の効果)

上記いずれの添加元素組成x、yに対しても、Co₂Fe(Ga_{0.5}Ge_{0.5})ホイスラー合金層及び[CoPt/NiFe]磁性人工格子層と非磁性合金中間層の格子定数との整合性は、0.5%ないし1%であった。

【0070】

磁気記録再生特性評価設備で上記のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドと垂直磁気記録媒体の特性を評価したところ、磁気ヘッドの非磁性中間層として従来技術のAgを用いた場合に比べ、CuとさらにAu、Ru、Pd、Rhを添加した場合に、いずれの組成の組においても、それぞれ約1.3dB、約1dB、約1.2dB、約1.1dB高いO/Wが得られ、S/Nもいずれも約1dB良好なマイクロ波アシスト効果が得られた。

20

【0071】

また、下地にTiCr合金を用いることで、[CoPt/NiFe]磁性人工格子との格子不整合性は1.5%となり、従来技術のRu/Ta下地を用いた場合の3.5%に比べ格子整合性が高く、従来技術に比べ0.8dB高いS/Nが得られ、同様に良好なアシスト効果が得られた。なおキャップ層に上記組成のCuAu/Ruを用いる事で、Ru単層薄膜を用いた場合に比べスピン注入効率を5%改善できた。

【0072】

さらに磁気ヘッドを、湿度95%、温度60の高温高湿試験によりその耐食性を2日間加速評価したところ、非磁性中間層として従来技術のCu、Agを用いた磁気ヘッドの場合にはマイクロ波アシスト記録時のS/Nがそれぞれ1dB、1.5dB劣化したのに対し、本実施例の磁気ヘッドではマイクロ波アシスト記録時のS/N劣化は認められなかった。また、60における通電信頼性加速試験においてもマイクロ波アシスト記録時のS/N劣化は認められなかった。

30

【0073】

CuAu/Ru合金キャップ層、TiCr合金下地層とAgCuX合金中間層とを全て併用した場合に最も良好な結果が得られたが、下地層、キャップ層の一方のみを合金化した場合にも、合金化しない場合に比べてそれぞれ0.5dB、0.2dB程度良好なS/Nが得られた。

40

【0074】

[実施例2]

本実施例では、強い高周波磁界の得られる磁性材料を用いたSTO構造と、図8に示す記録磁極構造としたマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドについて説明する。

【0075】

(マイクロ波アシスト磁気記録ヘッドと磁気記録媒体)

図8において、図2と同様に、40はSTO、10は再生ヘッド部、11はシールド層、12は再生センサ素子、13、14は上部、下部磁気シールド、02a、02bはTFC素子部などを示す。本実施例においては、記録磁極22、24を同じ磁性材料で構成し

50

たが、記録磁極 2 2 を周回する 4 ターンコイルを設けることで記録磁極 2 2 の励磁効率を高めた。またクリアランス制御用として、抵抗 8 0 の NiCr 薄膜による TFC02a をシールド層 1 1 と上部磁気シールド層 1 3 の間に、また TFC02b をセンサ 1 2 の略直上に配置し、記録時の STO40 位置、再生時の再生センサ素子 1 2 の制御性を向上した。なお記録ギャップ長 G_L は 45 nm、磁極 2 2 先端から FGL 表面までの距離は 15 nm、STO 素子高さは 60 nm、FGL 幅 W_{FGL} を 50 nm とした。

【0076】

本実施例のマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドにおいて、STO40 として、スピン注入層 4 3、FGL41 に設計自由度の高い磁性人工格子材料を用い、磁性材料として、結晶格子の軸対称性が高く磁化容易軸の方向設定が容易な Co 基材料を用いた。すなわちスピン注入層、FGL とも、Co を少なくとも 50 % 以上と、実施例 1 で説明したように、Cu を除いた前記第 2 の添加物群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を合計で 0.1 at % 以上、単独で 25 at % 以下含む磁性合金薄膜と、Fe 及び Ni からなる群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を少なくとも 50 at % 以上含み、Cu を除いた前記第 2 の添加物群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を合計で 0.1 at % 以上、単独で 25 at % 以下含む磁性合金薄膜を少なくとも 2 層以上積層した磁性人工格子薄膜で構成した。

【0077】

高周波磁界の発振周波数、強度、発振安定性などは磁性膜の垂直磁気異方性の影響を強く受ける。従って、磁性人工格子薄膜の構成、飽和磁化、磁気異方性については、反磁界も含めた実効磁気異方性を、高周波磁界、マイクロ波アシスト記録に適するように最適化することが好ましい。本実施例ではスピン注入層として、垂直磁気異方性、耐食性及び通電時信頼性などの高い上記 Co 基合金と Ni 基合金による磁性人工格子とした。さらに FGL については、STO からの高周波磁界は FGL の飽和磁化に比例して高くなるため、FGL の材料としては飽和磁化 M_s が高いことが好ましく、本実施例では上記の Co 基合金と Fe 基合金による磁性人工格子薄膜とした。

【0078】

例えば、FGL の Co 基合金と Fe 基合金の組成については、Co 基磁性膜の格子定数が大きくなると、Co の 3d 電子の波動関数が対称となり、その界面における垂直磁気異方性が大きくなることを考慮し、以下のようにして決めた。

【0079】

Fe に Co を添加した場合には、bcc 構造の組成領域で、Co 添加量 30 at % での飽和磁化は最大値 2.45 T となり、また Co に Fe を添加した場合には、fcc 構造の領域で Fe 添加と共に飽和磁化は増大し、22 at % で 2 T となる。そこで、Co に 22 at % 以下の Fe を添加した fcc 構造の CoFe 合金と、Fe に 78 at % 未満の Co を添加した bcc 構造の FeCo 合金の膜厚を、それぞれ 0.2 nm, 0.4 nm, 0.5 nm, 0.6 nm, 0.8 nm と、それぞれ 2 層 ~ 25 層、膜厚 2 nm の Cu、膜厚 2 nm の CoHf 合金層を下地膜としてガラス基板上に製膜し、X 線回折装置及び試料振動型磁力計 (Vibrating Sample Magnetometer: VSM) を用いて特性を評価した。その結果、全ての [CoFe / FeCo] 磁性人工格子薄膜はいずれも fcc (111) 配向し、負の垂直磁化膜となっていることを確認した。上記で、Fe に Co を添加した FeCo 磁性合金の場合には、0.1 ~ 70 at % の添加量で特に好ましい特性が得られ、また Co に Fe を添加した CoFe 磁性合金の場合には、0.1 ~ 20 at % の添加量で、安定して上記の好ましい磁気異方性、飽和磁化などの磁気特性が得られた。

【0080】

なお、従来技術である Ta, Cu, Ti, Pt などの単体金属を下地膜とした場合には、ガラス基板上に直接上記磁性人工格子薄膜を形成した場合と、磁気ヘッドと同様に、基板上にまず CoFe や CoNiFe などの磁極材を製膜した上にこれらの下地層を介して上記磁性人工格子薄膜を製膜した場合に差があり、磁気ヘッドと同様の構成にしたときには磁気特性の再現性が低く好ましくなかったが、本実施例の Cu / CoHf 合金下地によれば常に安定した磁気特性が得られ、好ましかった。

【0081】

また、上記のCoFe磁性合金、もしくはFeCo磁性合金を50at%とし、Cuを除いた前記第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素Mを合計で0.1at%以上、元素単独で25at%以下添加せしめることで、その膜構造、耐食性に関しても優れた特性が得られ特に好ましかった。そこでさらに上記添加元素0.1at%以上、元素単独で25at%以下とした、[CoFeM磁性合金/FeCo磁性合金],[CoFe磁性合金/FeCoM磁性合金],[CoFeM磁性合金/FeCoM磁性合金]磁性人工格子薄膜を、各構成要素の薄膜をそれぞれ0.2nm, 0.4nm, 0.5nm, 0.6nm, 0.8nmと、それぞれ2層~25層、膜厚2nmのCu、膜厚2nmのCoHf合金層を下地膜としてガラス基板上に製膜し、X線回折装置及び試料振動型磁力計(Vibrating Sample Magnetometer: VSM)を用いて特性を評価した。その結果、これら全ての磁性人工格子薄膜はいずれもfcc(111)配向し、負の垂直磁化膜となっており、FGLとして好ましい磁気異方性、飽和磁化を保持したまま、高い耐食性、通電信頼性を示すことが確認された。なお上記で、磁性人工格子の各構成要素の膜厚を単一周期とした時にFGLが最も安定に発振することが確認されたが、異なる膜厚を適宜組み合わせた、周期変調型人工格子としても同様の発振特性が得られた。

10

【0082】

そこで次いで、非磁性中間層42を、上記の両磁性人工格子層に対して格子整合性が高いCu基合金などとし、非磁性下地層45に関しては、磁性層43、非磁性合金中間層と格子定数のミスマッチを4%以下、より好ましくは1.5%以下として、STOを構成した。なお非磁性下地層の材料としては、実施例1と同様に単層もしくは積層非磁性合金薄膜とした。またキャップ層46についても実施例1と同様に、非磁性下地層と同様の材料、構成とする事が好ましい。なお記録磁極を電極と共用する場合には、記録磁極からのスピンの磁化回転層に影響を与えないように、そのスピン注入抵抗を大きくすることが好ましく、実施例1と同様にCu合金、Ag合金などのスピン散乱長の長い材料との積層膜とすることが更に好ましかった。以上により、特に高い高周波磁界効率、通電信頼性、耐食性などを有するSTO素子を構成することが出来た。

20

【0083】

再生センサ素子12には、MgO, ZnO, GaOなどをトンネルバリア層とし、 T_{rw} 30nmとしたTMRセンサを用いた。

30

【0084】

図2に示した垂直磁気記録媒体30は、マイクロ波アシスト効果が最も強く働く最表面の磁性層33の異方性磁界 H_k を20kOeよりも大きくし、記録磁極22からの記録磁界では十分な記録ができず、STO40を同時に動作させることで始めて十分な記録ができるように磁性膜の構成元素や膜厚などを調整した。

【0085】

上記構成の磁気ヘッドと垂直磁気記録媒体の実施例を下記に示す。

- ・スライダ50：薄型ロングフェムト型(1×0.7×0.2mm³)
- ・ヘッド保護膜(FCAC)：1.8nm
- ・再生素子12：TMR(T_{rw} = 30nm)
- ・再生ギャップ長 G_s ：17nm
- ・第1の記録磁極22：FeCoNi(T_{ww} = 60nm)
- ・第2の記録磁極24：FeCoNi
- ・STO記録素子40：Ag_{0.95}Au_{0.05}(4nm)/Ru_{0.95}Mo_{0.05}(6nm)/[Co_{0.9}Fe_{0.1}/Fe_{0.8}Co_{0.2}](10nm)/Cu_{1-x-y}Ag_xM_y(2nm)/[Co_{0.9}Nb_{0.1}/Ni_{0.8}Fe_{0.2}](6nm)/Ru_{0.8}Cu_{0.2}(5nm)/Cr_{0.9}Nb_{0.1}(5nm)
- ・FGLの幅： W_{FGL} = 36nm
- ・媒体基板：3.5インチNiPメッキAl合金基板
- ・媒体構造：潤滑膜(1nm)/C(2nm)/CoPt-(SiTiCr)O₂(3nm)

40

50

m) / CoCrPt - SiO₂C (10 nm) / Ru (10 nm) / CoFeTaZr (10 nm) / Ru (0.5 nm) / CoFeTaZr (10 nm)

【0086】

ここでSTO記録素子として、スピン注入層にはCo_{0.9}Nb_{0.1}, Ni_{0.8}Fe_{0.2}をそれぞれ0.2 nm, 0.4 nmずつ積層した[Co_{0.9}Nb_{0.1}/Ni_{0.8}Fe_{0.2}]磁性人工格子を、FGLにはCoに10 at%のFeを添加したCoFe合金と、Feに20 at%未満のCoを添加したFeCo合金をそれぞれ0.2 nm, 0.2 nmずつ積層し、負の垂直磁気異方性を有する[Co_{0.9}Fe_{0.1}/Fe_{0.8}Co_{0.2}]磁性人工格子を、さらに非磁性合金中間層には、Au, Pt, Ir, Os, Taを添加元素MとしたCu_{1-x-y}Ag_xM_yを用いた。組成xは0.1, 0.2、組成yは0.01, 0.02とした。

10

また垂直磁気記録媒体磁性層33, 34の異方性磁界H_kはそれぞれ20 kOe, 19 kOeとした。

【0087】

(本実施例の効果)

非磁性合金中間層Cu_{1-x-y}Ag_xM_yは、いずれの添加元素M、組成x, yに対しても、[CoFe/FePt]及び[CoNb/NiFe]磁性人工格子磁性層の格子定数との整合性は1~1.5%であった。さらに磁気記録再生特性評価設備でこれらのマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドと垂直磁気記録媒体の特性を評価したところ、磁気ヘッドの非磁性中間層として従来技術のCuを用いた場合に比べ、Au, Pt, Ir, Os, Taを添加した場合に、いずれも約1.5 dB程度高いS/Nが得られ、良好なマイクロ波アシスト効果が得られた。また下地にRuCu/CrNb合金下地を用いることで、[CoNb/NiFe]磁性人工格子との格子不整合性は2%となり、Ru/Ta, Ti/Ta下地を用いた従来技術の5%に比べ格子整合性が高く、Ru/Ta, Ti/Ta下地を用いた場合に比べ0.7 dB高いS/Nが得られ、良好なアシスト効果が得られた。またキャップ層にAgAu/RuMo積層膜を用いる事で、従来技術のTa単層膜を用いた場合に比べ臨界電流を5%、平均通電寿命を10%改善できた。

20

【0088】

さらに磁気ヘッドを、湿度85%、温度50の高温高湿試験によりその耐食性を2日間評価したところ、本実施例の磁気ヘッドではマイクロ波アシスト記録時のS/Nなどにおける特性劣化は認められなかった。

30

【0089】

なおAgAu/RuMo合金キャップ層、RuCu合金下地層、CuAgM合金中間層を全て併用した場合に最も良好な結果が得られたが、下地層、キャップ層の一方のみを合金化した場合にでも、合金化しない場合に比べてそれぞれ0.7 dB、0.3 dB程度良好なS/Nが得られた。

【0090】

[実施例3]

本実施例では、膜面に垂直方向に磁気異方性軸を有する硬磁性材料で構成したスピン注入層43と、実効的に膜面内に磁化容易面を有するFGL41により、両層の磁化が記録ギャップ内の磁化反転に追従して瞬時に高速回転して高い周波数でもより安定に発振することが可能な、図10に示す構成のSTOを有し、記録磁極構造を図9に示すものとしたマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドについて説明する。

40

【0091】

(磁気ヘッド及び垂直磁気記録媒体)

図9に示したマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドにおいて、図2と同様に40はSTO、10は再生ヘッド部、11はシールド層、12は再生センサ素子、13, 14は上部、下部磁気シールド、02a, 02bはTFC素子部などを示す。ただし本実施例では、記録磁極22を2層構造とし、記録ギャップ近傍を高磁束密度材料で構成することで、記録磁界強度、記録磁界勾配を高めるとともに、クリアランス制御用として、抵抗80のNiCr薄膜によるTFC02aを再生素子12とSTO40の略中央に配置すること

50

を主な特徴とする。ここで記録ギャップ長 G_L は45 nm、磁極22先端からFGL表面までの距離は15 nm、STO素子高さは75 nm、FGL幅 W_{FGL} を50 nm、磁極コア後部を周回するコイルは4ターンとした。

【0092】

更に本マイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドに搭載したSTOは、図10の断面模式図に示すように、Feもしくは $Fe_{0.8}Co_{0.2}$ などのFe基合金と、Coもしくは $Co_{0.94}Fe_{0.01}Pt_{0.05}$ などのCo基合金との磁性人工格子薄膜のように、負の異方性磁界を持つ磁性材料からなり、実効的に膜面内に磁化容易面を有するようにせしめたFGL41と、Niもしくは $Ni_{0.99}Rh_{0.01}$ 、 $Ni_{0.9}Fe_{0.1}$ などのNi基合金と、Coもしくは $Co_{0.9}Pt_{0.1}$ などのCo基合金との磁性人工格子のように、膜面に垂直方向に磁気異方性軸を有する硬磁性薄膜からなる垂直磁化層であるスピン注入層43と、さらにこれらを $Cu_{1-x-y}Au_xM_y$ などのCu基非磁性中間層42を挟んで積層した構成とした。なおここで添加元素Mは、Zr, Hf, V, Nb、及びRhなどの、実施例1で説明した第2の群の添加元素である。

【0093】

FGL41、スピン注入層43の磁化容易軸68はいずれも膜面に垂直であり、FGLでは、材料起因の磁気異方性磁界の大きさとスピン注入層43の膜面垂直方向の実効反磁界が逆方向でほぼ拮抗するように設計することで、実効的に負の異方性磁界を有するようにせしめた。さらに両層の磁化66, 67が、磁化反転に追従して瞬時に高速大回転に至るように、FGL側からスピン注入層側に電流を流した。この時、磁化66, 67は、約180度の位相ずれを保って高速回転するので、非磁性中間層42は磁化66, 67が反強磁性的に結合するように材料、膜厚を調整することが望ましい。さらにスピン注入層は、Co基合金磁性層をNi基合金磁性層よりも厚くし、材料に起因する磁気異方性磁界とFGLの膜面垂直方向の実効反磁界とが逆方向でほぼ拮抗するようにせしめることが好ましい。発振周波数(ラーモア周波数)は、単独で評価した場合には、FGLの方がスピン注入層よりも低い。本構造で動作させた場合には同一の周波数で、記録ギャップ内磁界の極性反転に直ちに追従して発振する。

【0094】

これは本構造とすることにより、配向性が高く負の磁気異方性を有するFGL層においては、膜面に略垂直な記録ギャップ内磁界の極性反転に対して、強い垂直異方性を有する従来のFGLにおけるような保磁力を伴う磁化反転機構には従わず、回転磁化の傾斜角度を僅かに変え、ほぼ回転面内に留まって、磁化反転に対して追従性良く高速回転をすることが可能となる。本実施例の、垂直磁気異方性を有するスピン注入層においてもその配向性が高いため、FGLとの相互作用が均質でその磁化は磁化回転面内にほぼ留まっており、記録ギャップ内の磁界極性反転前後で磁気異方性軸との相対角度はほとんど変化しない。このため、垂直磁気異方性を有するスピン注入層は、保磁力の値で磁化反転する通常の磁化反転機構とは異なり、記録ギャップ内磁界の極性反転に直ちに追従して高周波発振することが可能となるためである。同様の効果は、更にもう一層の中間層を介してスピン注入層を積層した3層磁性層構造でも認められた。但し3層の場合には、FGLと共に約180度の位相差を伴って高速回転するスピン注入層は、2層の一方、もしくは2層となる。

【0095】

本効果は、STO駆動磁界がSTO膜面に垂直に入射する本実施例のリング型磁極構造において顕著であったが、実施例9のような主磁極、シールド型の記録磁極構造の磁気ヘッドでも認められた。

【0096】

さらに非磁性金属下地層45及びキャップ層46をSTOの両側に設け、記録ヘッド後端部で記録磁極22, 24を磁氣的に結合させ、電気的には実質的に絶縁せしめることで、電極と兼用した磁極によりSTOに通電できるようにした。この場合、通電時に記録磁極から注入されるスピンの磁化回転層に影響を与えないように、そのスピン注入抵抗を大

10

20

30

40

50

きくすることが好ましく、Cu合金、Ag合金などのスピン散乱長の長い材料と高融点耐マイグレーション材料との積層膜とすることが更に好ましい。また電源44を定電圧とすることで、STO素子寸法がばらついていても、STO素子に流れる電流密度を一定とできるので好ましかった。

【0097】

下地層45に関しては、ダンピング定数を小さくして高い高周波発振磁界を得るとともに、磁性層43、非磁性合金中間層42と格子定数のミスマッチを4%以下、より好ましくは1.5%以下とすることが好ましく、ここでその材料としては、TiCu, NbTi, OsTa, RuTi, CuHfなどの単層もしくは積層非磁性合金薄膜とした。またキャップ層46については、ダンピング定数を小さくして高い高周波発振磁界を得るとともに、STO40のエレクトロマイグレーションを抑制して高い通電信頼性を確保するために、Pt, Ruなどの高融点材料をベースとして下地層と同様の合金材料、構成とする事が好ましい。また記録磁極を電極と共用する場合には、記録磁極からのスピンが磁化回転層に影響を与えないように、そのスピン注入抵抗を大きくすることが好ましく、Cu合金、Ag合金などのスピン散乱長の長い材料との積層膜とすることが更に好ましい。

10

【0098】

再生センサ素子12は、Ag合金を介してホイスラー合金を2層積層することで、その格子定数の整合性を高め、高い磁気抵抗効果の得られたシザーズ型とし、センサ幅 T_{rw} を38nmとした。

【0099】

垂直磁気記録媒体は、実施例1と同様に、マイクロ波アシスト効果が最も強く働く表面側の磁性層33の異方性磁界 H_k を大きくし、記録磁極22からの記録磁界では十分な記録ができず、STO40を同時に動作させることで始めて十分な記録ができるように磁性膜の構成元素や膜厚などを調整した。

20

【0100】

以下に、磁気ヘッドと磁気記録媒体の諸元の詳細を示す。

- ・スライダ50：薄型ロングフェムト型(1×0.7×0.2mm³)
- ・FCAC51：1.8nm
- ・再生ギャップ長 G_s ：16nm
- ・再生素子12：Co₂Fe(Ga_{0.5}Ge_{0.5})/Ag_{0.79}Cu_{0.2}Au_{0.01}/Co₂Fe(Ga_{0.5}Ge_{0.5})(T_{rw} = 30nm)
- ・第1の記録磁極22：CoFe(T_{ww} = 50nm)
- ・第2の記録磁極24：FeCoNi
- ・STO記録素子40：Cu_{0.99}Pt_{0.01}(2nm)/Cr_{0.9}Ti_{0.1}(2nm)/[Co_{0.80}Fe_{0.19}Pt_{0.01}/Fe_{0.99}Rh_{0.01}](12nm)/Cu_{0.99-y}Au_{0.01}M_y(4nm)/[Co_{0.95}Ta_{0.05}/Ni_{0.95}Ru_{0.05}](4nm)/Cu_{0.95}Hf_{0.05}(2nm)/Ru_{0.9}Ti_{0.1}(2nm)
- ・FGLの幅： W_{FGL} = 50nm
- ・媒体基板：2.5インチNiPメッキAl合金基板
- ・媒体構造：潤滑層(1nm)/C(2nm)/((Co_{0.9}Cr_{0.1})₃Pt)-B(2nm)/(Co₃Pt)-(SiCrTa)O₂(8nm)/Ru(10nm)/CoFeTaZr(10nm)/Ru(0.5nm)/CoFeTaZr(10nm)

30

40

【0101】

本実施例においては、スピン注入層を[Co_{0.95}Ta_{0.05}/Ni_{0.95}Ru_{0.05}]磁性人工格子、FGLを負の異方性磁界を持つ磁性材料からなり実効的に膜面内に磁化容易面を有する[Co_{0.80}Fe_{0.19}Pt_{0.01}/Fe_{0.99}Rh_{0.01}]磁性人工格子、非磁性中間層をCu_{0.99-y}Au_{0.01}M_yとした。添加元素Mは、Zr, Hf, V, Nb, Rh, 及びTaとし、組成yは0.02, 0.03とした。また本構造においては、FGL側からスピン注入層側に電流を流し、両層の磁化が、磁化反転に追従して瞬時に高速大回転に至るようにした。

50

また、垂直磁気記録媒体磁性層 33, 34 を規則合金で形成し、その異方性磁界 H_k をそれぞれ 24 kOe, 22 kOe とした。

【0102】

(本実施例の効果)

上記の添加元素及び組成の非磁性中間層は、[CoFePt/FeRh] 及び [CoTa/NiRu] 磁性人工格子磁性層の格子定数との整合性は約 1.5% であり、磁気ヘッドの非磁性中間層として従来技術の Cu を用いた場合に比べて、約 1 dB 高い S/N が得られ、良好なマイクロ波アシスト効果が得られた。特に膜厚を 4 nm としたことで [CoFePt/FeRh] と [CoTa/NiRu] とが反強磁性的に結合し、膜厚を 2 nm とした場合に比べ、10% 程度小さな電流でも同じマイクロ波アシスト効果が得られ、高いスピン注入効率を得られた。本効果は、CuRu, AgRu, AuRu など本発明の合金で同様に認められた。

10

【0103】

FG L からスピン注入層側に電流を流すことで、FG L だけでなくスピン注入層の磁化も高速で回転する本構成の STO は、STO 直下で直線偏光に近いが 10% 程度高い高周波発振磁界強度、10~20% 程度高い磁界勾配を有することが LLG シミュレーションにより確認されており、実際、磁性層の総膜厚を同じ 16 nm とした実施例 2 の構成の磁気ヘッドに比べ、約 1.5 dB 高い S/N が得られ、良好なマイクロ波アシスト効果が得られた。

【0104】

さらに磁気ヘッドを、湿度 95%、温度 60 の環境下に置いた、2 日間の高温高湿試験によりその耐食性を評価したところ、非磁性中間層として従来技術の Cu を用いた磁気ヘッドでは記録時の S/N が 1.5 dB 程度が劣化するものが 20% 程度発生したが、本発明の非磁性合金中間層を用いた磁気ヘッドにおいては、Zr, Hf, V, Nb, Rh、及び Ta のいずれの添加元素に対しても記録時の S/N 劣化は全く認められなかった。さらに 50、 10^9 A/cm² の通電加速信頼性試験においても、従来技術の Cu を非磁性中間層とした磁気ヘッドに比べ 3 倍以上高い信頼性を有することが確認された。

20

【0105】

また CuPt/CrTi 合金キャップ層、CuAuM 合金中間層、CuHf/RuTi 合金下地層を全て併用した場合に最も良好な結果が得られたが、どちらか一方のみを合金化した場合でも、合金化しない場合に比べて約 0.4 dB 良好な S/N が得られ、2 種を合金化場合にはその中間的な結果が得られた。

30

【0106】

[実施例 4]

本実施例では、図 11 に示す記録磁極構造とし、更に実施例 1 と基本的に同じ磁化配列とするが、図 12 の断面模式図に示すように非磁性中間層を 2 層とした STO 構成の例について説明する。

【0107】

(マイクロ波アシスト磁気記録ヘッドと磁気記録媒体)

図 11 に示したマイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドにおいて、図 2 と同様に 40 は STO、10 は再生ヘッド部、11 はシールド層、12 は再生センサ素子、13, 14 は上部、下部磁気シールド、02a, 02b は TFC 素子部などを示す。ただし本実施例では、記録磁極 22 を磁極先端と後部のみで高飽和磁束密度材料とし、巻き線数を 3 ターンとして磁極のインダクタンスを小さくして高周波記録特性を高めるとともに、クリアランス制御用として、抵抗 80 の NiCr 薄膜による TFC 02a を再生素子 12 の略直上に配置し、02b を STO 40 の略直上に配置することを主な特徴とする。

40

【0108】

本マイクロ波アシスト磁気記録再生ヘッドに搭載した STO 40 は、図 12 に示す構成とした。すなわち、非磁性合金中間層 42 を、実施例 1 のようにスピン注入層として機能する下部磁性層 43 との格子整合性が高い第 1 の非磁性中間層 48 と、FG L である上部

50

磁性層41との格子整合性が高い第2の非磁性中間層49の少なくとも2層の構成とした。同様に本構成のSTOにおいては、実施例1と同様に、スピン注入層側から通電してSTOを駆動する事により、FGL41の磁化67を高速回転せしめるもので、高い格子整合性によって磁性膜の結晶配性、磁気特性の均一性が向上するので、強い円偏光の高周波発振磁界を得ることができる。ここで記録ギャップ長 G_L は45nm、磁極22先端からFGL表面までの距離を15nm、STO素子高さを55nm、FGL幅 W_{FGL} を36nmとした。

【0109】

STO40において、下部磁性層43を格子定数のより大きな $Co_2Mn(Ga_{0.5}Ge_{0.5})$ 合金、上部磁性層41を $[Co/Ni]$ 磁性人工格子、もしくは $Co_{0.8}Ir_{0.2}$ 、 $Co_{0.99}Fe_{0.01}$ 、 $Co_{0.9}Pt_{0.1}$ などのCo基合金と、 $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ 、 $Ni_{0.8}Co_{0.2}$ などのNi基合金のよる $[Co基合金/Ni基合金]$ 磁性人工格子などとし、第1、第2の非磁性中間層48、49を、両磁性層に対して格子整合性が高いCuAgAu合金、AgCuQ合金とした例を下記に示す。これら第1、第2の非磁性中間層48、49の格子整合性が高いことがより好ましい。

下地層45、キャップ層46については、実施例1ないし3と同様とした。

【0110】

また図2に示した垂直磁気記録媒体30は、マイクロ波アシスト効果が最も強く働く表面側の磁性層33の異方性磁界 H_k を大きくし、記録磁極22からの記録磁界では十分な記録ができず、STO40を同時に動作させることで始めて十分な記録ができるように磁性膜の構成元素や膜厚などを調整した。

・スライダ50：薄型ロングフェムト型(1×0.7×0.2mm³)

・ヘッド保護膜(FCAC)：1.8nm

・再生ギャップ長 G_s ：17nm

・センサ素子12：TMR(T_{rw} = 30nm)

・第1の記録磁極22：CoFe(T_{ww} = 100nm)

・第2の記録磁極24：FeCoNi

・STO記録素子40： $Ag_{0.95}Zr_{0.05}(2nm)/Cu_{0.95}Nb_{0.05}(2nm)/Co_2Mn(Ga_{0.5}Ge_{0.5})(12nm)/Ag_{0.79}Cu_{0.2}Q_{0.01}(1nm)/Cu_{0.79}Ag_{0.20}Au_{0.01}(1nm)/[Co_{0.97}Ir_{0.03}/Ni_{0.98}Pt_{0.02}](4nm)/Cu_{0.80}Pd_{0.20}(4nm)$

・FGLの幅： W_{FGL} = 36nm

・媒体基板：2.5インチガラス基板

・媒体構造：潤滑膜(1nm)/C(2nm)/[CoPt/PtSi](3nm)/CoCrPt-SiO₂C(12nm)/Ru(10nm)/CoFeTaZr(10nm)/Ru(0.5nm)/CoFeTaZr(10nm)

【0111】

本実施例のSTOにおいて、スピン注入層を $[Co_{0.97}Ir_{0.03}/Ni_{0.98}Pt_{0.02}]$ 磁性人工格子、FGLを $Co_2Mn(Ga_{0.5}Ge_{0.5})$ ホイスラー合金薄膜、非磁性中間層を $Cu_{0.79}Ag_{0.20}Au_{0.01}$ と $Ag_{0.79}Cu_{0.2}Q_{0.01}$ の2層構造とした。添加元素Qは、Zr、Hf、V、Nb、Rh、及びTaとし、組成yは0.01、0.02とした。また本構造においては、FGL側からスピン注入層側に電流を流し、両層の磁化が、磁化反転に追従して瞬時に高速大回転に至るようにした。スライダ50には、クリアランス制御用に、抵抗80のNiCr薄膜によるTFC02a、02bを配置した。

また垂直磁気記録媒体磁性層33は異方性磁界 H_k が21kOeの磁性人工格子 $[CoPt/PtSi]$ とした。磁性層34の異方性磁界 H_k は15kOeであった。

【0112】

(本実施例の効果)

上記いずれの添加元素Q、組成に対しても $[CoIr/NiPt]$ 磁性人工格子と $Cu_{0.79}Ag_{0.20}Au_{0.01}$ 非磁性合金中間層、 $Co_2Mn(Ga_{0.5}Ge_{0.5})$ ホイスラー合金

10

20

30

40

50

と $Ag_{0.79}Cu_{0.2}X_{0.01}$ 非磁性中間層、 $Cu_{0.79}Ag_{0.20}Au_{0.01}$ と $Ag_{0.79}Cu_{0.2}M_{0.01}$ の両非磁性合金中間層の格子定数の整合性はいずれも 0.5 ~ 1% であり、磁気記録再生特性評価設備で上記のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドと垂直磁気記録媒体の特性を評価したところ、磁気ヘッドの非磁性中間層として従来技術の Ag を用いた場合に比べ、添加元素 Q として、Zr, Hf, V, Nb, Rh、及び Ta を添加した場合に、それぞれ 1.2 dB, 1 dB, 1 dB, 1 dB, 0.8 dB 高い S/N が得られ、良好なマイクロ波アシスト効果が得られた。

【0113】

磁気ヘッドを、湿度 95%、温度 60 の高温高湿試験によりその耐食性を 2 日間評価したところ、実施例 1 ないし 3 と同様に、本実施例の磁気ヘッドではマイクロ波アシスト記録時の S/N 劣化は認められず、更に 60、 $10^9 A/cm^2$ の通電加速信頼性試験においても、従来技術である Ag を非磁性中間層とした磁気ヘッドに比べ 4 倍以上長い平均通電寿命を有することが確認された。

10

【0114】

なお、本実施例の 2 層非磁性中間層を実施例 3 の STO 構造に適用し、素子に FGL 側からスピン注入層側に通電して FGL とスピン注入層を逆位相で高速回転せしめようとした。この場合も、磁性層と中間層との高い格子整合性によって磁性膜の結晶配性、磁気特性が向上するので、STO 直下で実施例 3 に比べ、STO 膜垂直方向のより強い高周波磁界成分を有する直線偏光を発振せしめることができ、このためマイクロ波アシスト記録時に、実施例 3 の場合に比べて 0.4 dB 高い S/N を得る事ができた。

20

【0115】

[実施例 5]

本実施例では、記録磁極を図 2 のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドとは別の構成である図 13、図 14 に示す主磁極・補助磁極型の構造としたマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドについて説明する。

【0116】

(マイクロ波アシスト磁気記録ヘッド)

図 13 は、本実施例のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドと垂直磁気記録媒体の例を示す概念図である。また、図 14 (a) は記録ヘッドのギャップ部近傍の下面模式図、図 14 (b) は図 14 (a) の AA' 断面模式図である。本実施例のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドは、記録磁極以外の基本的な構成は実施例 1 ~ 4 (図 2) と同様であり、例えば、50 はスライダ、51 はヘッド保護層、52 は浮上面、40 は STO、10 は再生ヘッド部、11 はシールド層、12 は再生センサ素子、13, 14 は上部、下部磁気シールド、02a, 02b は TFC 素子部などである。STO 40 は図 2 に示した構造と同様 (ただし 41 と 43 は積層順を変更) であり、図 13 では下地層 45 とキャップ層 46 を省略して示した。

30

【0117】

記録ヘッド部 20 は、図 14 (a) に ABS 面から見た磁極部構造を示すように、STO と略同じ幅にエッチングして高周波磁界と略同じ幅の垂直記録磁界 121 を発生するように STO 部で整形された幅広記録磁極 (主磁極) 122、高周波磁界発振素子 40 の磁化回転方向などを制御するためのシールド磁極 124 及び、記録磁極を励磁するための Cu などからなるコイル 23 で構成される。磁気ギャップ 125 は、記録磁極 122 とシールド磁極 124 との間に設けられ、発振制御磁界 126 は高周波磁界発振素子 40 の磁化方向及び磁化回転方向などを制御する。

40

【0118】

本実施例では、図 14 (a) に示すように、まず記録磁極 122 において、FeCoNi, CoFe 合金などの高飽和磁束軟磁性膜をメッキ法もしくはスパッタ法などで製膜し、ベベル角が 10 ~ 20 度の略台形状であって、ABS 面に近づくにつれその断面積が小さくなるように形成した。STO 制御磁界 126 をより強くするため、磁極を 1 ~ 40 nm 程度、より好ましくは 5 ~ 20 nm の深さ d で STO 幅、より好ましくは STO と略

50

同一形状にエッチングした。さらに本実施例では、図13及び図14(a)(b)に示すように、主磁極を磁気ヘッド走行方向、トラック方向の4方向から絞り込み、強い記録磁界が得られる構造とした。このように、主磁極123をその4面とも絞り込んだため、STOを形成すべき面は、図14(b)に示すように10ないし20度の角度だけ傾斜している。このように傾斜した面にFGL41を含む高周波発振素子STOを形成すると、一般に傾斜方向に垂直な方向に磁気異方性が発生し、STOの高周波発振効率が10~20%劣化する。このため本実施例では、図14(a)(b)に示したように、主磁極122上に非磁性充填層45を形成し、それを平坦化して実施例1ないし4と同様にSTOを形成した。このようにSTOがABS面52に対して垂直になるように形成することで、従来型の主磁極・補助磁極型磁極構造に比べ、STO駆動磁界126の磁界分布と強度、記録磁界121の強度と印加角度、及び高周波磁界47の印加位置と記録磁界121の印加位置、などをバランス良く制御することが可能となり、主磁極・補助磁極型磁極でも、強い高周波磁界が安定して得られることを確認した。なお本磁極構造によれば、実施例1の磁極構造とは異なり、記録磁極だけで記録が可能な磁気記録媒体に対して、磁極のフットプリントは、最も強い記録磁界が集中する主磁極領域で決まる。

【0119】

台形状の記録磁極の広い側の記録素子の幅 T_{ww} (図16(a))は、目標とする記録磁界や、記録密度に応じて設計及び加工され、その大きさは160nm~10nm程度である。また、記録磁極122は、シールド磁極124も含めてCoNiFe合金やNiFe合金などの軟磁性合金薄膜で形成され、非磁性層を介してその周囲を囲った、いわゆるWAS構造(Wrap Around Structure)としてもよい。なお図14で、スピン注入層43とFGL41の積層順は逆にしてもよいが、STOは主磁極近傍に設置する事が好ましいので、図14に示したように、非磁性充填材は下地層と同じ材料を用い、さらにFGL41をこの下地層45上に最初に形成し、その上に非磁性中間層42、スピン注入層41、キャップ層46を順次積層するSTO構造とすることが最も好ましい。

【0120】

垂直磁気記録媒体130は、磁性層を133, 139, 134の3層とし、マイクロ波アシスト効果が最も強く働く最表面の異方性磁界 H_k を大きくし、記録磁極からの記録磁界では十分な記録ができず、STO40を同時に動作させることで始めて十分な記録ができるように磁性膜の構成元素、膜厚などを調整した。

【0121】

以下に、本実施例のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド及び垂直磁気記録媒体の構成と諸元を示す。

- ・スライダ50：薄型ロングフェムト型(1×0.7×0.2mm³)
- ・FCAC51：1.8nm
- ・再生ギャップ長 G_s ：17nm
- ・再生素子12：TMR(T_{rw} =29nm)
- ・第1の記録磁極122：FeCoFe(T_{ww} =60nm)、 d =15nm、 θ =15°、 ϕ =15°
- ・第2の記録磁極124：FeCoNi
- ・STO記録素子40：Cu_{0.99}Au_{0.01}(2nm)/Rh(2nm)/[Co_{0.95}Pt_{0.05}/Ni_{0.95}Pt_{0.05}](3nm)/Cu_{0.98}L_{0.01}(2nm)/[Co_{0.85}Fe_{0.10}V_{0.05}/Fe_{0.85}Co_{0.10}Ru_{0.05}](13nm)/Ti_{0.95}V_{0.05}(4nm)
- ・FGLの幅： W_{FGL} =35nm
- ・媒体基板：3.5インチNiPメッキAl合金基板
- ・媒体構造：潤滑層(1nm)/C(2nm)/CoCrPt-(SiTi)O₂B(4nm)/CoCrPt-(SiTa)O₂(4nm)/CoCrPt-SiO₂C(4nm)/Ru(10nm)/CoFeTaZr(10nm)/Ru(0.5nm)/CoFeTaZr(10nm)

【0122】

上記で、記録磁極を図13及び図14に示した4面絞り構造の主磁極・補助磁極型とし、STO記録素子を $Ti_{0.95}V_{0.05}$ 下地層、 $[Co_{0.85}Fe_{0.10}V_{0.05}/Fe_{0.85}Co_{0.10}Ru_{0.05}]$ 磁性人工格子FGL、 $Cu_{0.98}L_{0.01}$ 中間層、 $[Co_{0.95}Pt_{0.05}/Ni_{0.95}Pt_{0.05}]$ 磁性人工格子スピン注入層、さらにRh、 $Cu_{0.99}Au_{0.01}$ 積層キャップ層で構成した。なお、非磁性中間層の添加元素Lは、V、Nb、Zr、Ru、Os、Pd、Rh、Irとした。また磁気ヘッドスライダ50には、クリアランス制御用に、抵抗80のNiCr薄膜によるTFC02a、02bを図13のように配置した。

垂直磁気記録媒体において、磁性層最上層133、中間層139、最下層134の異方性磁界 H_k は、それぞれ21kOe、16kOe、18kOeとした。

【0123】

(本実施例の効果)

いずれの添加元素Lに対しても $[CoFeV/FeCoRu]$ 、 $[CoPt/NiPt]$ 磁性人工格子と $Cu_{0.98}L_{0.01}$ 非磁性中間層との格子定数の整合性は、いずれも1.0~1.5%であり、磁気記録再生特性評価設備で上記のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドと垂直磁気記録媒体の特性を評価したところ、磁気ヘッドの非磁性中間層として従来技術のCuを用いた場合に比べ、上記添加物を添加した場合に、いずれも実施例2と同様に、約1.5dB高いS/Nが得られ、良好なマイクロ波アシスト効果が得られた。

【0124】

さらに磁気ヘッドを、湿度90%、温度80の高温高湿試験によりその耐食性を1日間評価したところ、実施例1と同様に、本発明の磁気ヘッドでは記録時のS/N劣化は認められなかった。また従来技術のCuを下地層、中間層とした比較例に対し、本実施例の磁気ヘッドにおいても、実施例2と同様に、そのスピン注入効率が約20%向上していることを確認できた。

【0125】

[実施例6]

本実施例では、STOを再生センサとして用いた。図15の断面模式図に示すように、STOセンサ素子12を図13に示したマイクロ波アシスト磁気ヘッドの再生ヘッド部12に組み込み、その他は実施例5(図13)と同様としてマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドを形成した。

【0126】

(STOセンサ)

図15に示した本実施例のSTOセンサは、非磁性合金中間層42、磁化回転層61と、回転層の磁化77にスピントルクを与えるためのスピン注入層43などから構成される。ここで矢印66はスピン注入層43において垂直配向した磁化、矢印77は磁化回転層61において面内の回転軸を中心に回転する磁化を表す。また下地層45、キャップ層46には、実施例1と同様に、スピン散乱長が長く、耐食性、耐エレクトロマイグレーション特性に優れた、Cu合金、Ag合金、Au合金などを用いた。

【0127】

再生用STOセンサにおいては、記録用の高周波発振素子とは異なり、スピン注入層の磁化66と平行、反平行の成分を持つように磁化回転層61の磁化を高速で回転(高周波発振)するようにせしめ、磁化回転時の磁気抵抗変化率を極大化して、大きな再生出力が得られるようにした。ここで、その回転周波数が、磁気記録媒体に記録された磁化情報からの漏れ磁界によって変化することを利用して記録情報を検出する。このため、STOセンサにおいて、従来のTMR、CPP-GMRセンサなどに比べて磁性膜の磁気異方性エネルギーを大きくでき、素子微細化による熱揺らぎノイズ(マグノイズ)を抑制できるので、再生トラック幅を20nm以下としても30dB程度の高い再生S/Nを得る事ができる。

【0128】

本実施例においては、磁化回転層61を、 Co_2MnGe 、 Co_2FeAl などのホイスラー合金、 $CoNiFe$ 、 $CoFe$ 、 $CoFe/Ru/NiFe$ 、 $NiFe$ などの磁性材

10

20

30

40

50

料で構成し、磁化容易軸 78 が磁化回転層 61 の膜面内にある面内一軸磁気異方性磁性層とした。ここで磁性材料としては、スピン偏極率が高く、特に高い磁気抵抗変化率が得られる Co_2MnGe 、 Co_2FeAl などのホイスラー合金膜を用いることが好ましく、さらにその磁気異方性磁界、その磁化容易軸の方向を以下のように適正化することが好ましい。すなわち、その磁化容易軸 78 を、(1) 媒体面に対して略垂直に設置して磁化回転軸方向に垂直磁気記録媒体からの磁界が印加されるようにして、周波数変化に対する検出感度を最大にする、もしくは、(2) 媒体面に対して数度ないし 60 度程度傾けて設置して磁界方向の透磁率を高め、磁気記録媒体からの漏れ磁界を軟磁性体磁化回転層 61 に効率的に吸い込むようにせしめて磁束利用率を高める、ことなどにより、高い再生感度を得るようになることが好ましい。さらに高周波磁界発振素子の高さをその幅よりも大きくせしめることで、垂直磁気記録媒体のより深くからの記録磁界とその余分の高さの素子部分とで磁束の閉磁路が形成され易くなり、垂直磁気記録媒体のより深部からの磁界成分を検知でき、再生感度を一層高めることができるので特に好ましい。またホイスラー合金の高周波発振性能を確保するためには、磁性膜の結晶欠陥、規則度の制御が重要であり、本発明者らの検討によれば、非磁性中間層との格子整合性を確保する事が特に重要であった。

【0129】

そこで、実施例 1 と同様に、非磁性合金中間層 42 を、Cu、Ag 及び Au からなる第 1 の群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を少なくとも 50 at% 以上と、これらと重複せず、前記第 2 の群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を、合計で 0.1 at% 以上、単独で 25 at% 以下含む非磁性合金とし、ホイスラー合金などの磁性層との格子定数のミスマッチを 4% 以下、より望ましくは 1.5% 以下として磁性膜の格子ひずみ、磁気異方性を制御した。

【0130】

なお、スピン注入層 43 としては、磁化回転層 61 の発振を安定させるために垂直磁気異方性を持った硬磁性材料を用いた。すなわち、実施例 1 と同様に、 $[\text{Co}/\text{Pt}]$ 、 $[\text{Co}/\text{Ni}]$ 、 $[\text{Co}/\text{Pd}]$ 、 $[\text{CoCrTa}/\text{Pd}]$ などの磁性人工格子薄膜、 CoCrPt などの垂直磁性膜を用いた。該磁性薄膜は、実施例 1 の図 5、図 7 で説明したように、Co を少なくとも 50% 以上と、前記第 2 の添加物群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を合計で 0.1 at% 以上、単独で 25 at% 以下含む磁性合金薄膜と、Fe 及び Ni からなる群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を少なくとも 50 at% 以上含み、前記第 2 の添加物群から選ばれた少なくとも 1 種の元素を合計で 0.1 at% 以上、単独で 25 at% 以下含む磁性合金薄膜を少なくとも 2 層以上積層した磁性人工格子薄膜であることが好ましい。なおスピン注入層 43 と FGL 41 の積層順は逆にしてもよく、また記録磁極を図 2 に示したリング型構造としてもよい。

【0131】

(垂直磁気記録媒体)

垂直磁気記録媒体 130 は、磁性層を 133、139、134 の 3 層とし、マイクロ波アシスト効果が最も強く働く最表面の異方性磁界 H_k を大きくし、記録磁極からの記録磁界では十分な記録ができず、STO 40 を同時に動作させることで始めて十分な記録ができるように磁性膜の構成元素、膜厚などを調整した。

【0132】

本実施例のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド及び垂直磁気記録媒体の構成と諸元を以下に示す。

- ・スライダ 50：薄型ロングフェムト型 ($1 \times 0.7 \times 0.2 \text{ mm}^3$)
- ・FCAC 51：1.8 nm
- ・再生トラック幅 T_{rw} ：28 nm
- ・再生ギャップ長 G_s ：14 nm
- ・STO センサ素子 12： $\text{Cu}_{0.95}\text{Ni}_{0.05}$ (1.5 nm) / $\text{Co}_2\text{Mn}(\text{Ga}_{0.5}\text{Ge}_{0.5})$ (4 nm) / $\text{Cu}_{1-a-b}\text{Au}_a\text{R}_b$ (2 nm) / MgO (1 nm) / $[\text{Co}_{1-x-y}\text{Pt}_x\text{Q}_y / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.15}\text{Ru}_{0.05}]$ (4 nm) / $\text{Cu}_{0.85}\text{Nb}_{0.15}$ (1.5 nm) ($T_{rw} = 3$

10

20

30

40

50

0 nm、素子高さ = 40 nm)

・第1の記録磁極122: FeCoFe ($T_{\text{WV}} = 60 \text{ nm}$)、 $d = 15 \text{ nm}$ 、 $\theta = 15^\circ$

・第2の記録磁極124: FeCoNi

・STO記録素子40: $\text{Cu}_{0.98}\text{Ni}_{0.02}$ (2 nm) / Ru (2 nm) / [$\text{Co}_{0.99}\text{Ir}_{0.01}$ / $\text{Fe}_{0.99}\text{Zr}_{0.01}$] (13 nm) / $\text{Cu}_{0.99}\text{Au}_{0.01}$ (2 nm) / [$\text{Co}_{0.96}\text{Pt}_{0.03}\text{Cr}_{0.01}$ / $\text{Ni}_{0.98}\text{Nb}_{0.02}$] (3 nm) / $\text{Cr}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$ (4 nm)

・FGLの幅: $W_{\text{FGL}} = 34 \text{ nm}$

・媒体基板: 3.5インチNiPメッキAl合金基板

・媒体構造: 潤滑層 (1 nm) / C (2 nm) / $\text{CoCrPt} - (\text{SiTi})\text{O}_2\text{B}$ (4 nm) / $\text{CoCrPt} - (\text{SiTa})\text{O}_2$ (4 nm) / $\text{CoCrPt} - \text{SiO}_2\text{C}$ (4 nm) / Ru (10 nm) / CoFeTaZr (10 nm) / Ru (0.5 nm) / CoFeTaZr (10 nm)

10

【0133】

STOセンサ12は、 $\text{Cu}_{0.99}\text{Nb}_{0.01}$ による下地層、 $[\text{Co}_{1-x-y}\text{Pt}_x\text{Q}_y / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.19}\text{V}_{0.01}]$ 磁性人工格子によるスピン注入層、MgO薄膜によるトンネルバリア層、 $\text{Cu}_{1-a-b}\text{Au}_a\text{R}_b$ による非磁性中間層、ホイスラー合金 $\text{Co}_2\text{Mn}(\text{Ga}_{0.5}\text{Ge}_{0.5})$ による磁化回転層、 $\text{Cu}_{0.95}\text{Ni}_{0.05}$ によるキャップ層で構成した。

【0134】

ここで、磁性層における添加元素QはV, Nb, Cr, Ru, Pt, Rhとし、組成xを0.1, 0.15、組成yを0.01, 0.02とし、また非磁性中間層における添加元素Auの組成aを0.1, 0.15、添加元素Rの組成bを0.01, 0.02とし、さらにSTOセンサ幅(再生トラック幅) T_{rw} を15 nmとした。またトンネルバリア層をMgOの代わりにGaOとしたり、 $\text{Cu}_{1-a-b}\text{Au}_a\text{R}_b$ とトンネルバリア層との積層順を変えてもよい。また磁気ヘッドスライダ50には、クリアランス制御用に、抵抗80のNiCr薄膜によるTFC02a, 02bを図13のように配置した。

20

なお垂直磁気記録媒体において、磁性層最上層133、中間層139、最下層134の異方性磁界Hkは、それぞれ20 kOe, 19 kOe, 18 kOeであった。

【0135】

(本実施例の効果)

添加元素Q、その組成y、及びPtの組成x、添加元素R、その組成b及びAu組成aに対しても、 $[\text{Co}_{1-x-y}\text{Pt}_x\text{Q}_y / \text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.19}\text{V}_{0.01}]$ 磁性人工格子、 $\text{Cu}_{1-a-b}\text{Au}_a\text{R}_b$ による非磁性中間層、及びホイスラー合金 $\text{Co}_2\text{Mn}(\text{Ga}_{0.5}\text{Ge}_{0.5})$ との格子定数の整合性は1~3.5%であり、組成(a, x)の組み合わせが(0.02, 0.02)の時に1~2%と特に良好であった。

30

【0136】

磁気記録再生特性評価設備で上記のホイスラー合金を用いたSTOセンサを具備したマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドにより垂直磁気記録媒体の特性を評価したところ、垂直磁気記録媒体の記録磁化からの磁界に応じてその発振周波数が変調されるSTOセンサの再生波形を、1ビット遅延せしめた再生波形と掛け合わせ、それをローパスフィルタで処理することにより、再生トラック幅 T_{rw} を15 nmとしても、非磁性中間層として従来技術のCuを用いた場合に比べ、上記添加物を添加した場合に3 dB高い、30 dBと非常に高いS/Nで垂直磁気記録媒体の磁化情報を高い分解能で再生できた。

40

【0137】

更に再生素子に実施例5で説明した従来技術による再生ギャップ長 G_s 17 nmのTMRセンサを用いた場合と比べ、再生素子に G_s 14 nmのSTOセンサ素子を用いた場合には、再生時の記録信号分解能、信号品質(S/N)が向上し、約10%高い記録密度が実現できた。

【0138】

磁気ヘッドを、湿度95%、温度60℃の高温高湿試験によりその耐食性を2日間評価したところ、実施例1と同様に、本発明の磁気ヘッドではマイクロ波アシスト記録時のS

50

/ N劣化、特に再生時の出力劣化は認められず、更にSTOセンサに対する 60 、 10^9 A/cm²の通電加速信頼性試験においても再生出力は全く劣化せず、高い信頼性を有することが確認された。

【0139】

上記の結果はSTOセンサ素子12でMgOの代わりにGaOを用いても同様であった。また中間層との界面にCoFeB, Co, NiFeなどからなるスピン界面状態制御層を設けることで、5%程度高い磁気抵抗効果を得ることができ、センス電流を5%程度低減することもでき、素子寸法ばらつきに対する通電寿命マージンを拡大できた。

【0140】

またSTOをセンサに用いた場合においても、合金下地層、合金キャップ層、合金中間層、磁性層合金化を全て併用した場合に最も良好な結果が得られたが、合金中間層のみを用いた場合に最も効果が大きく、合金磁性層、合金下地層、合金キャップ層の合金化効果がそれに続き、これらの層の一つを合金化した場合にでも、合金化しない場合に比べて0.5~1dB程度良好な結果が得られた。

【0141】

[実施例7]

本実施例では、スピン注入層を面内一軸磁気異方性磁性薄膜とし、実施例1のSTOと同様の構成の非磁性中間層、磁化回転層を用いたSTOセンサ素子について説明する。また、そのSTOセンサに適した再生ヘッド構造の実施例を示す。

【0142】

(STOセンサ)

図16に断面模式図を示す本実施例のSTOセンサにおいては、図15に示した実施例6のSTOセンサとはスピン注入層、回転磁化層の垂直、面内の磁化配列を変更し、スピン注入層63の磁化76を面内配向せしめ、磁化回転層41の磁化67が膜面に垂直な回転軸(磁化容易軸)68を中心に回転するようにせしめた。

【0143】

磁化回転層41としては、 $Co_{0.6}Fe_{0.4}$, $Co_{0.99}Fe_{0.01}$, $Co_{0.8}Ir_{0.2}$ 、あるいは[Co/Fe]などのCo基磁性人工格子などからなり、負の垂直磁気異方性を有する薄膜を用いる。この構成においては、磁化容易軸68がその膜面に垂直に配向し、膜面内に磁化容易面を有するために、スピン注入層63からのスピン注入及びスピントルクを受けて、その磁化67は磁化容易軸68を回転軸として高速回転する。

【0144】

本発明者らの検討によれば、スピン偏極率は実施例6のホイスラー合金には劣るが、負の垂直磁気異方性を有する[CoもしくはCo基合金/FeもしくはFe基合金]磁性人工格子においては、ホイスラー合金などに比べて磁区構造が出来にくく、外部磁界に対する磁化の発振状態が安定であり、磁化回転層41として外部磁界に対する高周波発振周波数変化の線形応答性が特に良好であるという特徴があることを見出した。ここで、Co薄膜もしくはCo基合金薄膜、ならびに、Fe薄膜もしくはFe基合金磁性合金薄膜としては、下記(1)の磁性薄膜と下記(2)の磁性薄膜を少なくともそれぞれ2層積層した磁性人工格子薄膜とすることが好ましい。

(1) Coに0.1at%以上20at%以下のFeを添加したCoFe合金薄膜、もしくはこのCoFe合金を少なくとも50%以上と、Cuを除いた前記第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上、単独で25at%以下含む磁性合金薄膜、

(2) Feに0.1at%以上70at%以下のCoを添加したFeCo合金薄膜、もしくはこのFeCo合金を少なくとも50at%以上含み、Cuを除いた前記第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上、単独で25at%以下含む磁性合金薄膜。

【0145】

これは以下の理由による。すなわち、STO再生素子としては、磁化回転層41の磁化

10

20

30

40

50

回転時の磁気抵抗変化、再生出力が大きいことが好ましい。上記で、Coに0.1at%以上20at%以下のFeを添加したCoFe合金薄膜、Feに0.1at%以上70at%以下のCoを添加したFeCo合金薄膜を[CoFe合金/FeCo合金]磁性人工格子薄膜とすることで、[Co/Fe]磁性人工格子薄膜に比べて1~20%程度高い磁気抵抗効果、再生出力が得られる。例えば、 $Co_{0.9}Fe_{0.1}$ 、 $Fe_{0.9}Co_{0.1}$ 合金を、いずれもそれぞれ0.2nm, 0.4nm, 0.5nm, 0.6nm, 0.8nmとして2層~25層形成した[CoFe合金/FeCo合金]磁性人工格子薄膜を、膜厚2nmの $Cu_{0.99}Au_{0.01}$ 、膜厚2nmの $Cr_{0.99}Ti_{0.01}$ を下地膜としてガラス基板上に製膜し、さらにその上に $Cu_{0.99}Ag_{0.01}$ (2nm)/MgO(1nm)を介して、 $Co_{0.9}Fe_{0.1}$ (2nm)/Ru(4nm)/ $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ (2nm)を製膜して、これらの磁気抵抗効果を評価した。その結果、いずれの試料においても、合金化による磁性層の電子構造の変化を反映し、同様の構成で製膜した[Co/Fe]磁性人工格子薄膜に比べ、10~20%高い磁気抵抗効果が得られることを確認した。

【0146】

さらにこれらのCoFe合金、FeCo合金に、Cuを除いた前記第2の群から選ばれた少なくとも1種の元素を合計で0.1at%以上、単独で25at%以下添加することで、比抵抗は増大するが、実施例1で説明したように高い通電寿命が得られ、いずれの非磁性元素を添加した場合にも15%以上大きなセンス電流を通電でき、全体として5~10%高い再生出力を得ることができた。さらに実施例1で説明したように、Cuを除いた前記第2の群の非磁性元素を添加することにより、実用上問題のないレベルの高い耐食性が得られる。以上から、上記の本実施例の構成により、信頼性を含めた総合特性に優れたSTOセンサ用の磁性人工格子薄膜が得られることが確認された。なお中間層との界面にCoFeB, Co, NiFeなどからなるスピン界面状態制御層を設けることで、より高い磁気抵抗効果、再生出力が得られ、更に好ましかった。

【0147】

上記スピン注入層63としては、CoFe, NiFeなどの面内一軸磁気異方性軟磁性薄膜を用いることが好ましく、さらに外部磁界に対する安定性を確保するため、CoFe/Ru/NiFe, CoFe/CuAu/CoFeのように少なくとも1層のCo基磁性膜ともう1層の磁性層を反強磁性的に結合せしめた積層膜とすることが特に好ましい。スピン注入層43と磁化回転層41、非磁性下地層45、キャップ層46の積層順は逆にしてもよい。

【0148】

上記磁性層は、Cu, Ag及びAuからなる第1の群から選ばれた少なくとも1種の元素を少なくとも50at%以上含む合金層を少なくとも一層含み、磁性層との格子定数のミスマッチ(格子不整合性)を4%以下、より望ましくは1.5%以下とした非磁性合金中間層42により、格子ひずみ、スピン散乱長が長く、耐食性、耐エレクトロマイグレーション特性、及び磁気異方性などを実施例1で説明したように制御でき、高いスピン注入効率、高い再生出力を得ることができる。ここで非磁性下地層45、キャップ層46に、実施例1と同様に、Cu合金、Ag合金、Au合金などを用いることが好ましい。

【0149】

(再生ヘッド)

次に図17を用いて、STOセンサ素子12を再生ヘッド10の後部(素子高さ方向奥側)に設けた引き込み型再生ヘッドの構造について説明する。

【0150】

前記STOセンサにおいて、面内一軸磁気異方性磁性薄膜であるCoFe/Ru/NiFeなどからなるスピン注入層63は、その透磁率が大きくその磁気抵抗が小さい。さらに再生ヘッド10の後部の断面積、及びSTOセンサ素子の面積を図2の再生ヘッド構造よりも大きくすることで、その磁気抵抗を更に低減でき、媒体からの漏れ磁束の検知効率、すなわち再生感度を高める事ができる。ここでスピン注入層や上部、下部シールド層を多層膜として透磁率を30%以上更に高めることもでき、この場合に10%程度高い再生出

10

20

30

40

50

力が得られ、好ましかった。

【0151】

以上により、図17に示した本構造の再生ヘッドのように、STOセンサ素子を再生ヘッドの後部に設けても、磁化回転層の回転軸方向に媒体からの磁界を効率よく集束し、その発振周波数の変化から媒体からの磁束、すなわち記録磁化状態を高感度に検知することができる。

【0152】

実施例1(図2)、実施例9(図13)に示した再生ヘッド構造では、再生素子12の総膜厚を10nmよりも小さくすることは困難なため、再生ギャップ長 G_s を10nmよりも小さくできなかった。しかし、本構造のように再生センサを磁気ギャップとは別の場所に設置することで、磁気特性、耐マイグレーション信頼性などを確保する上で必要な、10nm程度以上の再生センサの膜厚を確保した上で、再生ギャップ長 G_s を1nmにまで低減することが可能となった。このため、短いビット長で記録された媒体磁化状態を高い分解能で再生でき、高記録密度対応の再生ヘッドとして特に好適であった。なお G_s を大きくし過ぎるとギャップロスのために感度が低下するため、25nm以下とすることが好ましい。

【0153】

(磁気記録媒体)

図2に示した垂直磁気記録媒体30においては、最表面側の磁性層33の異方性磁界 H_k を大きくし、記録磁極22からの記録磁界では十分な記録ができず、STO40を同時に動作させることで始めて十分な記録ができるように磁性膜の構成元素や膜厚などを調整した。ここで磁性層33, 34の異方性磁界 H_k は、それぞれ18kOe, 17kOeであった。

【0154】

本実施例の磁気ヘッドと垂直磁気記録媒体の構成を下記に示す。

- ・スライダ50：薄型ロングフェムト型(1×0.7×0.2mm)
- ・ヘッド保護膜(FCAC)：1.8nm
- ・再生トラック幅 T_{rw} ：28nm
- ・再生ギャップ長 G_s ：10nm
- ・STOセンサ素子12： $Ag_{0.99}Au_{0.01}$ (1nm) / [($Co_{0.8}Fe_{0.2}$) $_{1-a}A_a$ / ($Fe_{0.9}Co_{0.1}$) $_{1-b}B_b$](3nm) / $Cu_{1-x-y}Ag_xQ_y$ (2nm) / MgO (1nm) / $Co_{0.9}Fe_{0.1}Rh_{0.02}$ (2nm) / Ru (4nm) / $Ni_{0.8}Fe_{0.2}Ta_{0.02}$ (2nm) / $Cu_{0.98}Au_{0.02}$ (2nm)
- ・第1の記録磁極22： $FeCoNi$ ($T_{ww} = 60$ nm)
- ・第2の記録磁極24： $FeCoNi$
- ・STO記録素子： $Ag_{0.99}Ni_{0.01}$ (5nm) / $Ta_{0.99}Mo_{0.99}$ (5nm) / [$Co_{0.75}Fe_{0.25}$ / $Fe_{0.99}Pt_{0.01}$](8nm) / $Cu_{1-x-y}Ag_xL_y$ (2nm) / [$Co_{0.9}Pt_{0.1}$ / $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$](7nm) / $Ru_{0.9}Cr_{0.1}$ (10nm)
- ・FGLの幅： $W_{FGL} = 34$ nm
- ・媒体基板：3.5インチNiPメッキAl合金基板
- ・媒体構造：潤滑膜(1nm) / C(2nm) / $CoCrPt - (SiTi)O_2$ (2nm) / $CoCrPt - SiO_2C$ (10nm) / Ru (10nm) / $CoFeTaZr$ (10nm) / Ru (0.5nm) / $CoFeTaZr$ (10nm)

【0155】

上記でSTOセンサは、 $Cu_{0.98}Au_{0.02}$ 下地層、 $Co_{0.9}Fe_{0.1}Rh_{0.02}$ / Ru / $Ni_{0.8}Fe_{0.2}Ta_{0.02}$ 積層スピン注入層、 MgO トンネルバリア層、 $Cu_{1-x-y}Ag_xQ_y$ 中間層、[($Co_{0.8}Fe_{0.2}$) $_{1-a}A_a$ / ($Fe_{0.9}Co_{0.1}$) $_{1-b}B_b$]磁化回転層、 $Ag_{0.99}Au_{0.01}$ キャップ層で構成した。ここで、添加元素A, B, Qを、Au, Pt, Rh, V, Taとし、組成xを0.05, 0.1、組成a, b, yをいずれも0.01, 0.02とし、STOセンサ幅(再生トラック幅) T_{rw} を15nmとした。

【0156】

(本実施例の効果)

いずれの添加元素、組成に対しても、 $\text{Co}_{0.88}\text{Fe}_{0.1}\text{Rh}_{0.02}/\text{Ru}/\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.18}\text{Ta}_{0.02}$ 積層スピン注入層、 $\text{Cu}_{1-x-y}\text{Ag}_x\text{Q}_y$ 中間層、及び $[(\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})_{1-a}\text{A}_a]/(\text{Fe}_{0.9}\text{Co}_{0.1})_{1-b}\text{B}_b$ 磁化回転層との格子定数の整合性は、1~1.5%と特に良好であった。

【0157】

実施例6と同様にSTOセンサの再生波形を処理する事で、再生トラック幅 T_{rw} を15nmとしても30dBと非常に高いS/Nで垂直磁気記録媒体の磁化情報を高い分解能で再生できた。ここで非磁性中間層として従来技術のAg, Cuを用いた場合に比べ、上記添加物を添加した場合に、それぞれ3dB, 1.5dB高いS/Nが得られた。

10

【0158】

特に本実施例の再生ヘッド(図17)において、高周波発振層の磁化が膜面内で大回転し易く($\sim 90^\circ$)、また G_s を小さくできたので実施例6(図15)に比べ、再生分解能がさらに5ポイント、S/Nが2dB高くなり、特に優れた再生特性を示した。

【0159】

さらに磁気ヘッドを、湿度95%、温度60の高温高湿試験によりその耐食性を2日間評価したところ、実施例1と同様に、本発明の磁気ヘッドではマイクロ波アシスト記録時のS/N劣化、特に再生時の出力劣化はともに認められなかった。なお実施例6と同様に、60、 $10^9\text{A}/\text{cm}^2$ としたSTOセンサに対する通電加速信頼性試験においても再生出力、抵抗値などに劣化は認められず、高い信頼性を有することが確認された。

20

【0160】

[実施例8]

実施例1~7のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドを搭載した磁気記憶装置の実施例について図18を用いて説明する。

【0161】

(磁気記憶装置)

図18に示す磁気記憶装置は、スピンドルモータ500、垂直磁気記録媒体501、高剛性アーム502、HGA(以下、磁気ヘッドと略称することがある)505、HSA(Head Stack Assembly)506、ヘッド駆動制御装置(R/W-IC)508、R/Wチャンネル509、マイクロプロセッサ(MPU)510、ディスクコントローラ(HDC)511、バッファメモリを制御するバッファメモリ制御部516、ホストインタフェース制御部517、RAMなどを用い制御プログラム及び制御データ(パラメータテーブル)を格納するメモリ部518、フラッシュメモリやF ROMなどを用い制御プログラムや制御データ(パラメータテーブル)を格納する不揮発性メモリ部519、VCM(Voice Coil Motor)駆動制御部、SPM(Spindle Motor)駆動制御部などから構成されるコンボドライバ520、MPUのバス515などから構成される。

30

【0162】

HGA505は、STO、記録生素子、TFCなどを有するスライダ503と高剛性サスペンション504を具備する。ヘッド駆動制御装置508は、STOを駆動するための駆動信号(駆動電流又は駆動電圧信号)を生成するSTO駆動制御機能や記録アンプ、再生プリアンプなどを有する。R/Wチャンネル509は、記録変調部、及び順方向誤り訂正符号の一種であるリードソロモン符号を用いたRS(Reed Solomon)チャンネル、もしくは最新のLDPC(low density parity check)符号を用いた非RS(Non Reed-Solomon)チャンネルなどの信号処理、再生復調部として機能する。

40

【0163】

HGA505は、ヘッド駆動制御装置508に対して信号線接続されており、上位装置となるホスト(図示せず)からの記録命令、再生命令に基づくヘッドセクタ信号で一つの磁気ヘッドを選択して記録、再生を行う。R/Wチャンネル509、MPU510、HDC511、バッファメモリ制御部516、ホストインタフェース制御部517、メモリ5

50

18は一つのLSI(SoC: System on Chip)521として構成される。512はこれと駆動制御部、不揮発性メモリなどを搭載した制御ボードである。なお、必要に応じて高剛性サスペンションや高剛性アームには、振動吸収・抑制体などで構成され、一層の振動抑制を目的とするダンパが貼り付けられる。さらに、高剛性サスペンション504やスライダ503に、圧電素子、電磁素子、熱変形素子などによる位置微動調整機構(デュアルアクチュエータ、マイクロステージアクチュエータ)を設けることで、高トラック密度時の高速、高精度位置決めが可能となるので好ましい。

【0164】

MPU510は、磁気記憶装置の主制御装置であり、記録再生動作や磁気ヘッドの位置決めに必要なサーボ制御などを行う。たとえば、MPUは、ヘッド駆動制御装置508に含まれるレジスタ514にその動作に必要なパラメータを設定する。各種レジスタには、後述のように、所定の温度、垂直磁気記録媒体領域毎のクリアランス制御値(TFC投入電力値に相当)、STO駆動電流値、予備電流値、記録磁極を励磁して記録磁界を発生させるためにコイルに流すバイアス記録電流値、それらのオーバシュート量、タイミング時間、環境変化に対する時定数などが、必要に応じて独立に設定される。

【0165】

R/Wチャンネル509は信号処理回路であり、情報記録時にはディスクコントローラ511から転送された記録情報を符号化した信号513をヘッド駆動制御装置508に出力し、情報再生時には磁気ヘッド505から出力された再生信号をヘッド駆動制御装置508で増幅した後に、復号化した再生情報をHDC511に出力する。

【0166】

HDC511は、垂直磁気記録媒体上に記録データ513を書き込む情報記録の開始(記録のタイミング)を指示するためのライトゲートをR/Wチャンネル509に出力することなどにより、記録再生情報の転送制御、データ形式の変換、ECC(Error Check and Correction)などの処理を行う。

【0167】

ヘッド駆動制御装置508は、ライトゲートの入力に応じて、少なくともR/Wチャンネル509から供給される記録データ513に対応する少なくとも1種の記録信号(記録電流)を生成し、通電タイミングを制御されたSTO駆動信号とともに磁気ヘッドに供給する駆動集積回路で、少なくとも、ヘッド駆動回路、ヘッド駆動電流供給回路、STO遅延回路、STO駆動電流供給回路、STO駆動回路などを含み、MPUから記録電流値、STO駆動電流値、TFC投入電力値、動作タイミングなどが設定されるレジスタを有する。ここで各レジスタ値は、垂直磁気記録媒体の領域、環境温度、気圧などの条件毎に変化させることができる。さらに、ホストシステムとのインターフェースを構成し、磁気記憶装置のメイン制御装置として記録再生動作(記録再生データの転送など)制御、磁気ヘッドの位置決めサーボ制御を実行するMPUからの直接の命令でバイアス記録電流を磁気ヘッドに供給し、さらにHDCから出力されるライトゲートのタイミングにあわせて記録動作を開始する機能も持たせることが好ましい。これらにより、磁気記憶装置の動作を指示するMPUや情報記録を指示するライトゲートの入力に応じてバイアス記録電流や記録信号を供給する手段とSTO駆動制御手段の動作タイミング、それらの電流波形と電流値、クリアランス制御電力、及び記録磁極への予備電流、記録電流などを自由に設定できる。また温度センサはHDA内などに設けられる。

【0168】

本実施例では、磁気記録媒体が2個、磁気ヘッドスライダが4個の場合を示したが、磁気記録媒体1個に対し磁気ヘッドスライダが1個でもよく、また磁気記録媒体、磁気ヘッドを目的に応じて複数個に適宜増やしてもよい。

【0169】

(磁気ヘッドの選別方法)

実施例1~7で説明した磁気ヘッドにおいては、図2、図13、図14に示したように記録磁極幅とSTO幅が異なるが、記録はSTOの幅で決まるように磁気ヘッド、垂直磁

10

20

30

40

50

気記録媒体の材料、所定のパラメータ、特性としてあるが、製造工程のばらつきによってパラメータが仕様を満たさない場合もあるので、以下のように選別した。すなわちまずクリアランスを 1.5 nm としてマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドにより、垂直磁気記録媒体に所定のゾーン、領域に磁気記憶装置と同じサーボ情報を記録した。次いでこのサーボ情報を用い、記録、再生時のクリアランスをそれぞれ 1.5 nm 、 1 nm として、磁気ヘッドの記録再生特性を評価し、以下のように選別を行なった。

【0170】

まず、磁気ヘッド H_0 、ゾーン Z_1 における、TFC投入電力、バイアス記録電流、及びSTO駆動電流のそれぞれの最適値 $P_{TFC}(0, 1)$ 、 $I_{WB}(0, 1)$ 及び $I_{STO}(0, 1)$ をヘッド駆動装置のレジスタに保管し、そのデータを用いてマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドを駆動して、ゾーン Z_1 の所定のトラックにおいて、サーボ情報を用い、所定の記録パターンを所定の周波数、所定の記録トラック環境で記録し、セクタ毎もしくはトラック一周で以下の特性評価を行なう。図19に示すように、最高周波数の $10 \sim 20\%$ 程度の周波数で記録トラックを記録し(フルトラック)、そのプロファイルの半値幅から記録トラック幅 $MWW(0, 1)$ (Magnetic Write Width) を求め、更に図20に示すように、上記周波数で記録した記録トラックを両側から部分的に消去し、その信号強度が $10 \sim 30\%$ となる狭トラック(マイクロトラックと呼ぶ)を作成し、その半値幅から磁気再生トラック幅 $MRW(0, 1)$ (Magnetic Read Width) を求める。

【0171】

ここで、本発明の記録再生特性評価装置ではLDPC符号を用いた非RSチャネルを用いており、エラー訂正後のエラーレートしか測定できない。一般にエラー訂正後のエラーレートは発生確率が極めて小さい(10^{-9} 程度)ので、選別試験などの短時間評価においてはエラーレートを正確に評価できない。そこで、図21に示すように、隣接トラック記録時のセクタ不良率を用いてオフトラックマージンを以下の様に評価した。すなわち、中央の記録トラック(自己トラック)に対し、両方の、片側から攻め込み(スクウィーズ)量を変えながら、隣接トラックを所定の線記録密度BPIで記録し、エラー訂正後のセクタ不良率を測定し、このセクタ不良率とトラック位置の関係、いわゆるバスタブカーブを求め、セクタ不良率が 50% になるバスタブカーブ幅からオフトラック耐力OTC(Off-track Capability)を評価する。次いで、図22に示すように、OTCの隣接攻め込み間隔依存性を評価し(747曲線評価)、中央の記録トラックのオフトラック特性が変化しない限界の隣接トラック間隔を外挿して磁気コア幅 $M CW(0, 1)$ (Magnetic Core Width) を求める。なお評価法として、LDPC符号を用いた非RSチャネルのエラーレート訂正能力を制限し、意図的にエラーが起こりやすい条件でエラーレートを評価してもよい。

【0172】

次いで必要に応じて隣接トラック干渉(ATI)特性を評価し、 $MWW 39 \text{ nm}$ 、 $M CW 42 \text{ nm}$ 、 $MRW 19 \text{ nm}$ で、良好なエラーレートの記録が可能なマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドを選別した。

【0173】

(磁気記憶装置の調整方法)

上記選別試験に合格したマイクロ波アシスト磁気記録ヘッド4本及び垂直磁気記録媒体2枚を図18に示した2.5型もしくは3.5型のHDAもしくは磁気記憶装置に組み込み、サーボトラックライターもしくはセルフサーボライト方式により、所定のサーボ情報を記録した。

【0174】

上記サーボ情報記録工程では、特定の磁気ヘッドのトラック幅に従い、特定のトラックピッチでサーボトラックが形成される。ところが、本実施例のように磁気記憶装置には記録トラック幅の異なる複数の磁気ヘッドが搭載されており、上記トラックピッチは、異なる記録トラック幅を有するその他の磁気ヘッドに対する最適トラックピッチとは必ずしも一致しない。そこで、磁気記憶装置の製造工程で、それぞれの磁気ヘッドのスクウィーズ

10

20

30

40

50

特性、隣接トラック干渉ATI、747特性などを評価し、最適のデータトラックピッチ（トラックプロファイル）を決定し、前記サーボトラックプロファイルからの変換式を求め、この変換式にしたがって垂直磁気記録媒体データトラックプロファイルを決定する。このデータトラックは、サーボ情報とこの変換式を用いて位置決めされる磁気ヘッドにより、ユーザデータの記録再生が行われるもので、プリアンプル・サーボ部、512Bもしくは4kBのデータ部、パリティ、ECC及びCRC部、及びデータセクタギャップ部で較正される複数のデータセクタから構成される。

【0175】

最後に、所定の面記録密度を満たす範囲で、全磁気ヘッドにおいて、全ゾーンでのエラーレートが略均一となるように、磁気ヘッド、ゾーン毎にマージンを融通しあい、磁気記憶装置トータルとして最高のパフォーマンスが得られるように、それぞれのトラック密度、線記録密度プロファイルを決定（アダプティブフォーマット）し、そのパラメータを適宜メモリ部に保管して、所定の容量を有する磁気記憶装置とした。

【0176】

なお上記パラメータの値は、初期値として装置内常温（30℃）での制御値が登録されるので、環境温度に応じてこれらの温度補正を行うようことが望ましい。

【0177】

（磁気記憶装置の制御）

以下、上記データを用いて磁気記憶装置に記録再生を行う制御方法について説明する。パソコンなどのホスト、上位システムからの情報の記録や再生の命令に従い、磁気記憶装置のメイン制御装置であるMPU510による制御で、垂直磁気記録媒体501が所定の回転数でスピンドルモータ500により回転する。次いで、所定の情報の記録再生を行なう磁気ヘッド H_k が磁気記録媒体上にロードされ、垂直磁気記録媒体のサーボ情報からの再生信号を用いて媒体上の位置を検出する。その位置信号を基に目標位置までの軌跡を計算し、駆動制御部520のVCM駆動制御部がVCM522を制御し、高剛性HSA506、磁気ヘッドHGA505を、垂直磁気記録媒体の所定のゾーン Z_p における所定記録トラック上に高速・高精度に移動（シーク動作）させ、そのトラック位置に磁気ヘッドを追従（フォローイング）させる。そして、そのトラック上の所定のセクタ S_j において、MPUのファームウェアプログラムによって情報の記録再生を以下のように行なう。

【0178】

まず情報記録時には、ホストからの記録命令と記録データをホストインタフェース制御部517で受け取ると、記録命令をMPU510で解読し、必要に応じて受信した記録データをバッファメモリに格納する。RSチャンネルの場合には、HDC511でCRC（Cyclic Redundancy Check）付加、LLL符号変換（Run-Length Limited coding）後にECC符号を付加し、R/Wチャンネル509の記録変調系でパリティ付加、記録補償（ライトプリコンペ）などを行い記録データとする。また非RSチャンネルの場合には、HDCでCRCを付加、LLL符号変換後にR/WチャンネルでLDPCが付加され、記録補償などを行ない記録データとする。

【0179】

次いで、HDCから垂直磁気記録媒体上のセクタ S_j に磁気ヘッド H_k （503）により記録データ513を書き込むデータ記録の開始（記録のタイミング）を指示するためのライトゲートが、R/Wチャンネル509に出力され、ライトゲートの入力に応じて、R/Wチャンネル509から供給される記録データ513に対応する記録信号（記録電流）が生成され、通電タイミングを制御されたSTO駆動信号（駆動電流信号又は駆動電圧信号）とともに駆動信号がFPC配線507を通じて磁気ヘッド H_k の記録ヘッド部に供給され、垂直磁気記録媒体上の所定のゾーンの記録トラック内のセクタ S_j にマイクロ波アシスト法で記録される。ここで、上記工程で求めた、磁気ヘッド H_k 、ゾーン Z_p における、TFC投入電力、バイアス記録電流、及びSTO駆動電流のそれぞれの最適値をメモリ部からヘッド駆動装置のレジスタに保管し、そのデータを用いてマイクロ波アシスト記録ヘッドを駆動した。

【 0 1 8 0 】

なお情報再生時には、ホストからの再生命令をホストインタフェース制御部 5 1 7 で受け取ると、記録時と同様に選択、位置決め、再生用にクリアランス制御された磁気ヘッド H_k (5 0 3) により再生信号が読み取られ、R / W - I C で増幅され、R S 符号を用いた R S チャンネル、L D P C 符号を用いた非 R S チャンネルなどの R / W チャンネル 5 0 9 に伝送される。ここで R S チャンネルの場合には、信号処理による復号化、パリティのデコードなどが行なわれ、次いで H D C で、E C C によるエラー訂正、R L L デコード、C R C によるエラーの有無確認が行なわれる。一方、非 R S チャンネルの場合には、エラーは R / W チャンネル内で L D P C により訂正され、次いで H D C で、R L L デコード、C R C によるエラーの有無確認が行なわれる。最後に、これらの情報はバッファメモリ 5 2 1 にバッファリングされ、ホストインタフェース制御部 5 1 7 からホストに再生データとして転送される。

10

【 0 1 8 1 】

(本実施例の効果)

本実施例の磁気記憶装置において、実施例 1 , 2 , 4 ~ 7 の W_{FGL} を 3 4 ~ 3 6 n m としたいずれの磁気ヘッド及び磁気記録媒体に対しても、従来の垂直磁気記録技術では達成し得なかった 1 . 0 5 M T P I と、5 0 0 k T P I 以上の高いトラック密度で装置が動作することを確認した。さらに本実施例の磁気記憶装置は、湿度 9 5 %、温度 5 0 の高温高湿試験によりその信頼性を 2 日間評価したところ、いずれも記録再生時のエラーレートの劣化は認められなかった。さらに実施例 6 と同様に、6 0 、 $1 0^9 A / c m^2$ とした、

20

【 0 1 8 2 】

さらに環境温度に応じて記録再生条件を適宜調整することで、- 5 から + 6 5 の広い温度範囲で耐食性、環境温度変化への追従性、連続記録再生信頼性、H D I 信頼性、エラーレートを確保できている事が確認できた。

【 0 1 8 3 】

[実施例 9]

本実施例では、幅広の F G L を有するマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドを用いて、その略 1 / 2 ~ 1 / 3 の大きさのピッチで重ね記録を行なう、いわゆる瓦記録方式の磁気記憶装置について説明する。

30

【 0 1 8 4 】

(磁気記憶装置及びその調整方法)

実施例 3 で説明した W_{FGL} 5 0 n m のマイクロ波アシスト磁気記録ヘッドと、サーボ情報を記録していない消磁状態の垂直磁気記録媒体を、それぞれ 2 . 5 型、3 . 5 型磁気記憶装置に組み込み、3 8 n m のトラックピッチ $T P_{op}$ で瓦記録方式によりサーボパターンを記録し、実施例 8 と同様の方法で瓦記録方式の磁気記憶装置を組み立て、実施例 8 と同様に調整して瓦記録方式の磁気記憶装置とした。

【 0 1 8 5 】

(本実施例の効果)

瓦記録方式により、幅広の F G L による強いマイクロ波アシスト記録を行なうことにより、 W_{FGL} を 3 6 n m として同じトラックピッチの装置を構成した場合に比べ、装置のエラーレートを 1 桁高くでき、同じ装置容量とした場合にその装置歩留りを 1 0 % 程度高くできた。

40

【 0 1 8 6 】

本磁気記憶装置において、環境温度に応じて記録再生条件を適宜調整することで、- 5 から + 6 5 の広い温度範囲で耐食性、環境温度変化への追従性、連続記録再生信頼性、H D I 信頼性、エラーレートを確保できている事が確認できた。

【 0 1 8 7 】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。

50

例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である

【符号の説明】

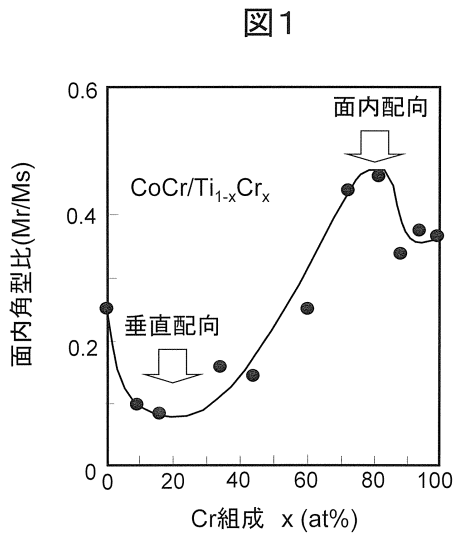
【0188】

- 02 : 熱膨張素子部 (T F C)
- 12 : センサ素子
- 22 : 第1の記録磁極
- 24 : 第2の記録磁極
- 26 : S T O 発振制御磁界
- 30 : 磁気記録媒体
- 40 : 高周波発振素子部 (S T O)
- 41 : 高周波磁界発生層 (F G L)
- 43 : スピン注入層
- 47 : 高周波磁界
- 50 : スライダ
- 100 : ヘッド走行方向
- 130 : 磁気記録媒体

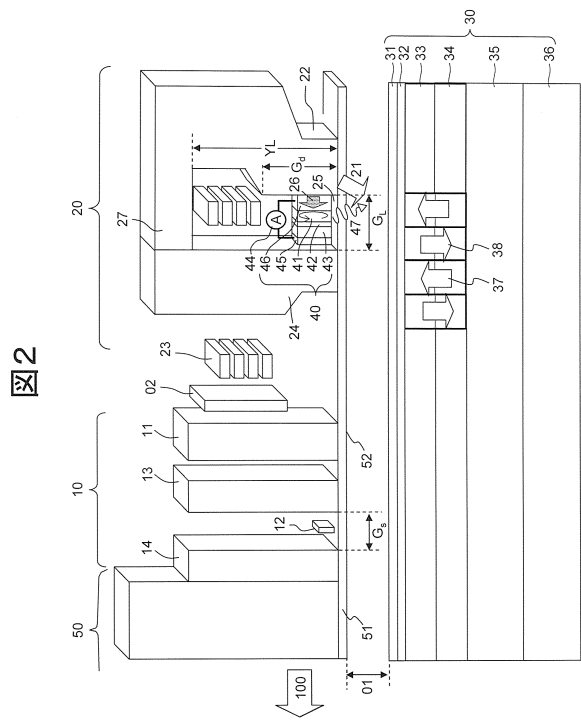
10

20

【図1】

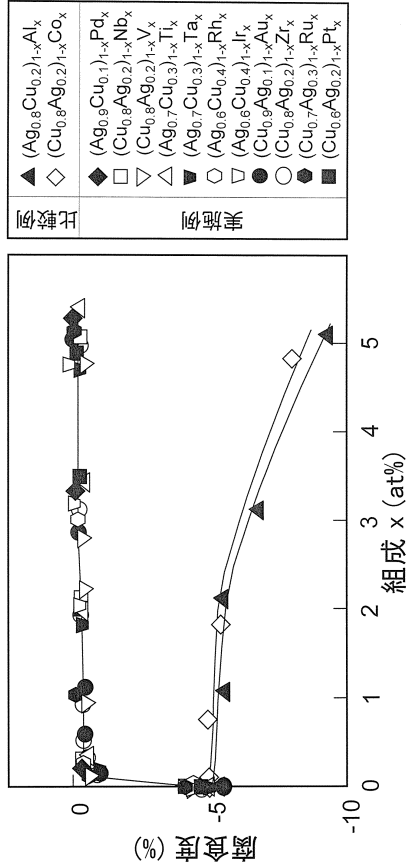


【図2】



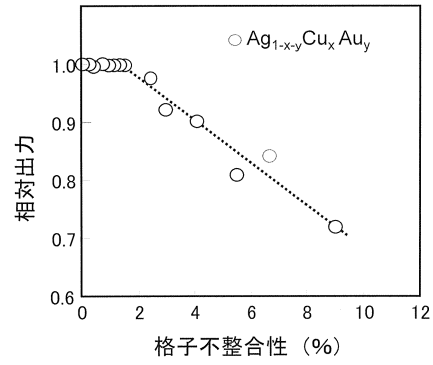
【 図 3 】

図3



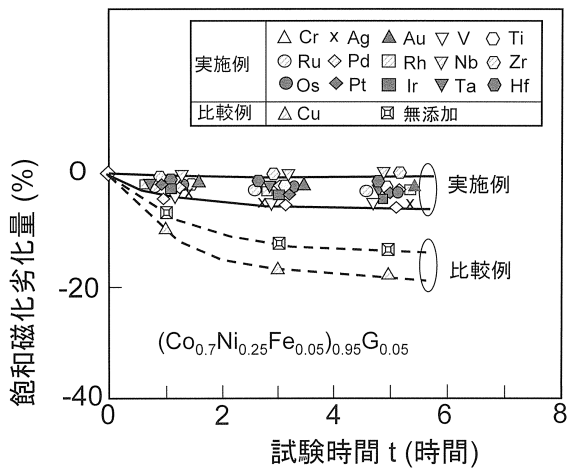
【 図 4 】

図4



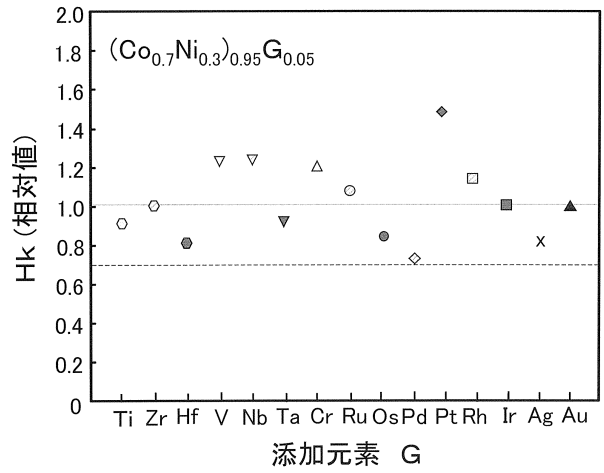
【 図 5 】

図5



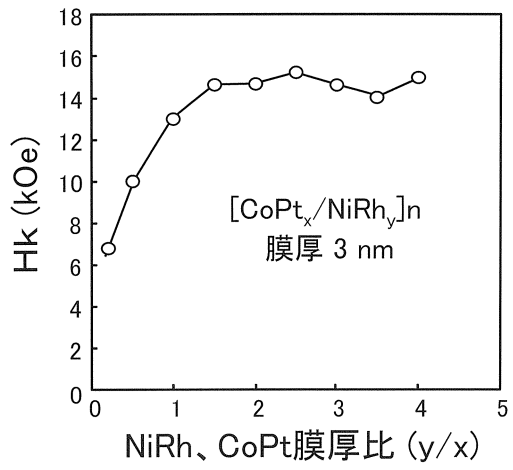
【 図 6 】

図6



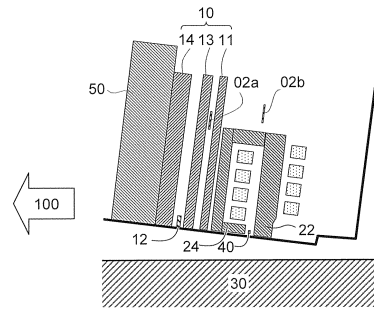
【 図 7 】

図 7



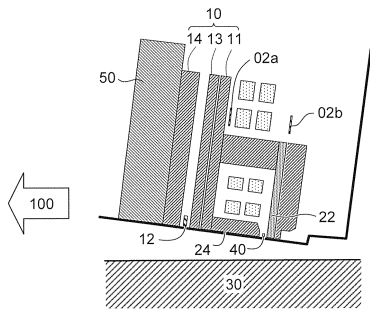
【 図 8 】

図 8



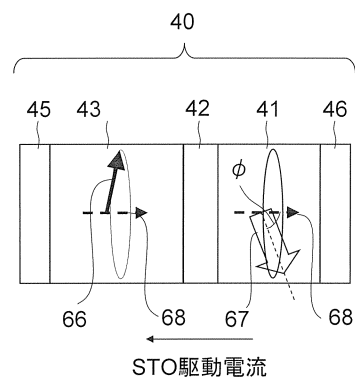
【 図 9 】

図 9



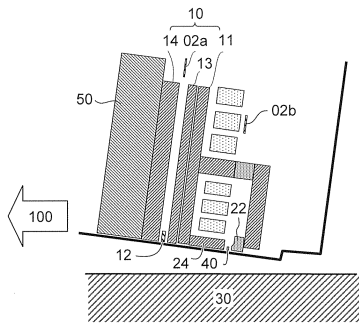
【 図 10 】

図 10



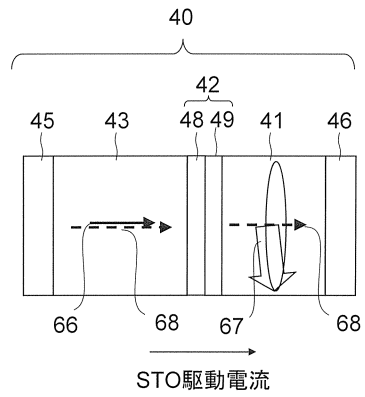
【図11】

図11



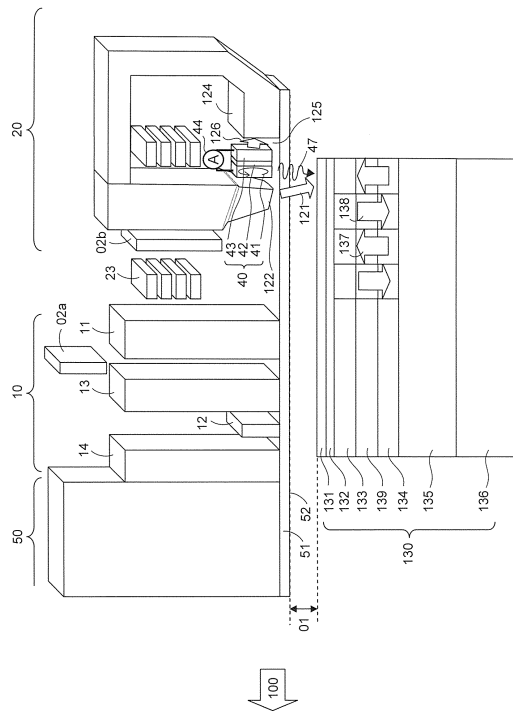
【図12】

図12



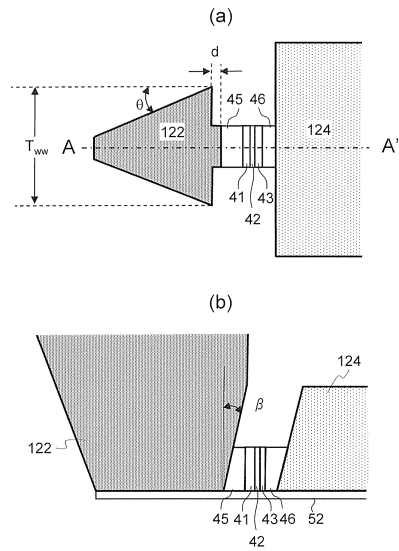
【図13】

図13



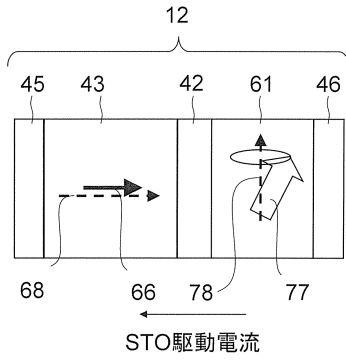
【図14】

図14



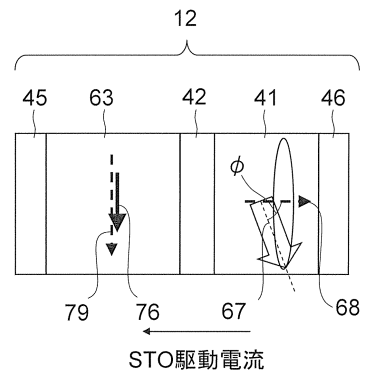
【図15】

図15



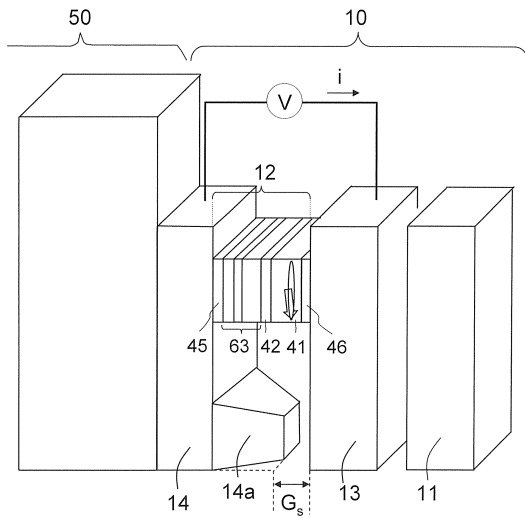
【図16】

図16



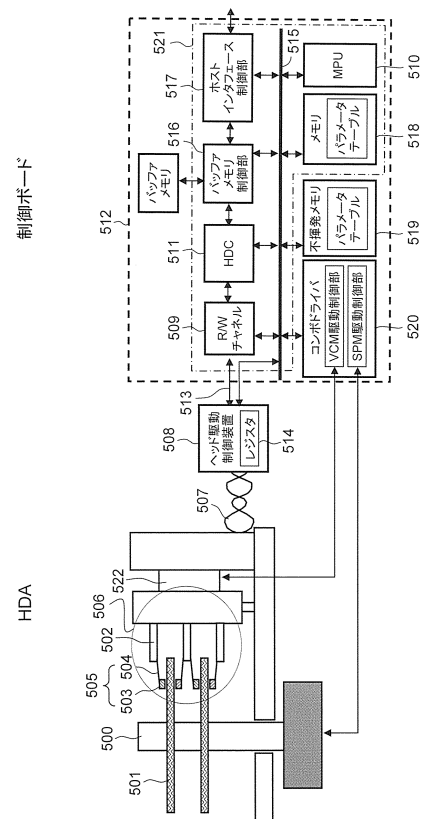
【図17】

図17



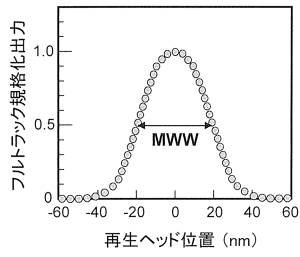
【図18】

図18



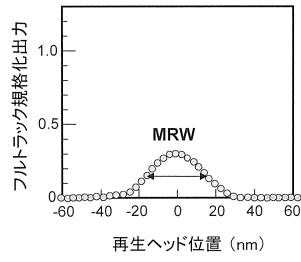
【図19】

図19



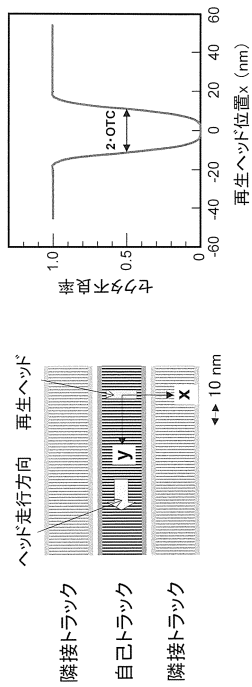
【図20】

図20



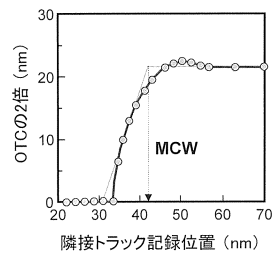
【図21】

図21



【図22】

図22



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I	
H 0 1 L	43/10	(2006.01)	H 0 1 L	43/10
H 0 1 F	10/26	(2006.01)	H 0 1 F	10/26
H 0 1 F	10/16	(2006.01)	H 0 1 F	10/16

(72)発明者 佐藤 陽
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

審査官 中野 和彦

(56)参考文献 特開2010-092527(JP,A)
国際公開第2011/122078(WO,A1)
特開2012-146351(JP,A)
特開2000-067401(JP,A)
特許第4836553(JP,B2)
特開2008-283194(JP,A)
特開2007-172669(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 1 1 B	5 / 3 1
G 1 1 B	5 / 0 2
G 1 1 B	5 / 3 9
H 0 1 F	1 0 / 1 6
H 0 1 F	1 0 / 2 6
H 0 1 L	2 9 / 8 2
H 0 1 L	4 3 / 0 8
H 0 1 L	4 3 / 1 0