

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-332218

(P2006-332218A)

(43) 公開日 平成18年12月7日(2006.12.7)

| (51) Int. Cl. | F I | テーマコード (参考) |
|--------------------------|---------------------|-------------|
| HO 1 L 27/105 (2006.01) | HO 1 L 27/10 4 4 7 | 5 F O 8 3 |
| HO 1 L 21/8246 (2006.01) | HO 1 L 43/08 Z | |
| HO 1 L 43/08 (2006.01) | G 1 1 C 11/15 1 1 0 | |
| G 1 1 C 11/15 (2006.01) | G 1 1 C 11/15 1 4 0 | |

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 13 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2005-151771 (P2005-151771) | (71) 出願人 | 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 |
| (22) 出願日 | 平成17年5月25日 (2005.5.25) | (74) 代理人 | 100068504 弁理士 小川 勝男 |
| | | (74) 代理人 | 100086656 弁理士 田中 恭助 |
| | | (74) 代理人 | 100094352 弁理士 佐々木 孝 |
| | | (72) 発明者 | 小野木 敏之 埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所基礎研究所内 |
| | | (72) 発明者 | 齊藤 和夫 埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会社日立製作所基礎研究所内 |
| | | Fターム(参考) | 5F083 FZ10 JA38 PR04 PR33 |

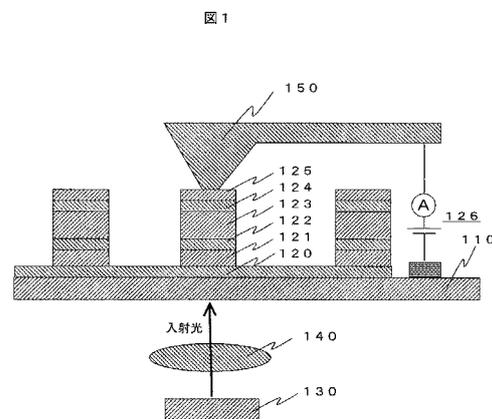
(54) 【発明の名称】 熱アシスト型のスピ注入磁化反転を利用した磁気記録装置

(57) 【要約】

【課題】 スピ注入磁化反転に要する電流密度を低減化する手段を提供するとともに、高密度磁気記録装置の磁気的メモリーセルに対して、外部磁場を利用することなく、メモリーセルに直接電流を流すことにより磁気的書き込み操作を行う手段を提供し、かつ、同等の素子構造において記録読み取り操作を可能とする高密度磁気記録装置を提供すること。

【解決手段】 磁気記録媒体をレーザー光により、素子の温度を室温以上でキュリー温度以下の温度に加熱し、磁気記録媒体の保磁力を実効的に低下させるとともに、当該磁気記録媒体の磁気的メモリーセルに局所的に外部電流を印加することにより磁気的書き込み操作を実施する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に配列した磁気記録素子を局所的に加熱する手段と、前記磁気記録素子のそれぞれに外部電流を流す手段を備えた磁気記録媒体において、前記磁気記録素子を加熱するとともに前記磁気記録素子のひとつに外部電流を流すことにより、個々の前記磁気記録素子に独立に磁氣的書き込み操作を実施することを特徴とする磁気記録装置。

【請求項 2】

前記磁気記録素子への電流の供給が、導電性を有する金属探針を当該磁気記録素子に接触させて行われる請求項 1 記載の磁気記録装置。

【請求項 3】

基板上に第 1 の強磁性層 / 非磁性層 / 第 2 の強磁性層を積層させた 3 層構造を有する磁気記録素子を形成した後、前記基板の背面よりレーザー光を照射し、前記基板上の所定の領域の前記磁気記録素子を局所的に加熱するとともに、前記磁気記録素子のひとつに外部電流を流し、個々の前記磁気記録素子の第 1 の強磁性層の磁化方向を独立に反転させることを特徴とする磁気記録装置。

【請求項 4】

前記磁気記録素子への電流の供給が、導電性を有する金属探針を当該磁気記録素子に接触させて行われる請求項 3 記載の磁気記録装置。

【請求項 5】

前記磁気記録素子が、前記基板上に設けられる直交するビット線とワード線の交点の位置に形成され、ビット線とワード線から選択される電極を介して当該磁気記録素子に外部電流を供給する請求項 3 記載の磁気ランダムアクセスメモリ。

【請求項 6】

基板上に第 1 の強磁性層 / 非磁性層 / 第 2 の強磁性層を積層させた 3 層構造を有する磁気記録素子を形成した後、先端部が先鋭化された光学的素子を金属膜により被覆した導電性探針を前記磁気記録素子に接触させ、前記光学的素子を介してレーザー光を照射し前記磁気記録素子を加熱するとともに、前記光学的素子を被覆した前記金属膜より外部電流を前記磁気記録素子に流すことにより、前記磁気記録素子の第 1 の強磁性層の磁化方向を反転させることを特徴とする磁気記録装置。

【請求項 7】

前記光学的素子を被覆した前記金属膜が、互いに電氣的に絶縁され、且つ対向した二つの金属膜として光学的素子上に形成され、一方の金属膜のみに電流を流す請求項 6 記載の磁気記録装置。

【請求項 8】

前記導電性探針の先端部を平坦な面に形成し、該平坦な面にアンテナとして機能する対となる絶縁された二つの金属膜と、これらの金属膜の対向している部分に近接して絶縁された第 3 の金属膜を形成して、該第 3 の金属膜を介して前記磁気記録素子に電流を流す請求項 6 記載の磁気記録装置。

【請求項 9】

前記磁気記録素子が X Y 平面上に多数形成され、X 方向または Y 方向の複数個の前記磁気記録素子のそれぞれに独立して接触できる複数個の探針を備え、複数個の前記磁気記録素子単位で探針の位置を制御する請求項 3 記載の磁気記録装置。

【請求項 10】

前記磁気記録素子が X Y 平面上に多数形成され、X 方向または Y 方向の複数個の前記磁気記録素子のそれぞれに独立して接触できる複数個の探針を備え、複数個の前記磁気記録素子単位で探針の位置を制御する請求項 6 記載の磁気記録装置。

【請求項 11】

前記複数個の探針のそれぞれが独立の光源からレーザー光が供給されるものである請求項 9 記載の磁気記録装置。

【請求項 12】

10

20

30

40

50

前記複数個の探針のそれぞれが独立の光源からレーザー光が供給されるものである請求項 10 記載の磁気記録装置。

【請求項 13】

前記基板上に形成された第 1 の強磁性層 / 非磁性層 / 第 2 の強磁性層の積層構造よりなる磁気記録素子の、電流によって磁化方向を反転させる強磁性層を、前記磁気記録素子に照射されるレーザー光の光源に近い位置に配置する請求項 3 記載の磁気記録装置。

【請求項 14】

前記基板上に形成された第 1 の強磁性層 / 非磁性層 / 第 2 の強磁性層の積層構造よりなる磁気記録素子の、電流によって磁化方向を反転させる強磁性層を、前記磁気記録素子に照射されるレーザー光の光源に近い位置に配置する請求項 6 記載の磁気記録装置。

10

【請求項 15】

前記基板上に形成された第 1 の強磁性層 / 非磁性層 / 第 2 の強磁性層の積層構造よりなる磁気記録素子の、強磁性層の磁化の向きを固定して使用する強磁性層に接して反強磁性層を付加する請求項 3 記載の磁気記録装置。

【請求項 16】

前記基板上に形成された第 1 の強磁性層 / 非磁性層 / 第 2 の強磁性層の積層構造よりなる磁気記録素子の、強磁性層の磁化の向きを固定して使用する強磁性層に接して反強磁性層を付加する請求項 6 記載の磁気記録装置。

【請求項 17】

前記磁気記録素子を加熱する温度が、当該磁気記録素子を構成する強磁性体のキュリー温度より低い請求項 1 記載の磁気記録装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、強磁性層 / 非磁性層 / 強磁性層のサンドイッチ型積層構造を有する磁気抵抗効果素子を磁気記録素子として利用した高密度磁気記録装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来のハードディスクドライブ (HDD) や磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) において、磁気的な記録書き込み操作には外部磁場反転方式を用いている。外部磁場反転方式では、磁気記録媒体の近傍に配置した配線に電流を流し、当該電流のつくる磁場を外部磁場として用いる。この外部磁場を磁気記録媒体中に配置されている特定の磁気的メモリーセルに作用させ、磁化の向きが固定されていない強磁性層 (磁化自由層) の磁化方向を反転させることにより、磁気的メモリーセルへの記録書き込み操作を行うものである。

30

【0003】

また、HDD の磁気ヘッドや MRAM において、磁気的メモリーセルの記録読み出し操作には、強磁性金属多層膜が示す磁気抵抗効果を利用する。一般に、磁気抵抗効果とは、ある磁性体に磁場を印加したとき電気抵抗が変化する物理的現象である。強磁性金属層 / 非磁性金属層 / 強磁性金属層から成る金属多層膜構造において発見された巨大磁気抵抗 (GMR) 効果を利用した磁気抵抗効果素子 (GMR 素子) は、既に HDD の磁気記録再生ヘッドに用いられており、最近では新しいタイプの不揮発性メモリとしての MRAM 素子への応用も検討されつつある。また、近年、2 つの強磁性層に絶縁層を挿入したトンネル接合、すなわち強磁性トンネル接合において、両強磁性層間を流れるトンネル電流を利用した磁気抵抗効果素子 (トンネル磁気抵抗効果素子、TMR 素子) が見出されてきた。この TMR 素子においては、磁気抵抗変化率が GMR 素子を上回る (例えば、非特許文献 1 : J. Appl. Phys. 79, 4724(1996)) ため、磁気ヘッドや磁気抵抗効果メモリへの応用の可能性が高まっている。

40

【0004】

最近、磁気的メモリーセルへの記録書き込み操作において、外部磁場反転方式とは原理的に異なるスピン注入磁化反転方式が提案され、非常に注目を集めている。このスピン注

50

入磁化反転方式では、磁氣的メモリーセルに直接電流を流して、その電子流が持つスピンの作用により強磁性体の磁化を反転するものである。例えば、Co/Cu/Co積層型のGMR素子において、スピン注入磁化反転現象の原理実験がなされている（例えば、非特許文献2：Phys. Rev. Lett. 84, 3149 (2000)）。GMR素子を構成する金属膜に垂直に電流を流すことにより、磁化の向きが固定したCo強磁性層（磁化固定層）より、磁化の向きが固定されていないCo強磁性層（磁化自由層）にスピン偏極した電流（スピン電流）を注入する。このとき、配線のつくる外部磁場が存在しない条件下においても、スピン電流の作用によりスピントルク力が磁化自由層に発生し、磁化自由層の磁化方向を反転させることができる。

【0005】

10

【非特許文献1】J. Appl. Phys. 79, 4724(1996)

【非特許文献2】Phys. Rev. Lett. 84, 3149 (2000)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

HDDやMRAM等の高密度磁気記録装置において、前述の外部磁場反転方式を用いた場合には、配線電流のつくる磁場（外部磁場）は、空間的に広がった非局所的な場として強磁性体に作用する。このため、特定のメモリーセルに対して発生させたスイッチング磁場（磁化反転に要する外部磁場）が、隣接する他の複数のメモリーセルにも作用することになる。この問題は磁気メモリーセルの微小化および集積化に伴って深刻になり、個々の磁気記録ビットに対し独立な記録書き込み操作を実施することが非常に困難となる。また、磁気メモリーセルの微小化に伴うスイッチング磁場の増大は、記録書き込みのための配線電流の増大を必然的にもたらす。このため、HDDやMRAMの高密度化・大容量化に伴い、消費電力の増大が避けられない。また、配線電流の増大により、配線が溶融するといった問題も考えられる。

20

【0007】

一方、スピン注入磁化反転方式では、発生するスピントルク力は、スピン電流の流れている領域のみで生じることから、他のメモリーセルへの影響はないという優れた特徴があり、高密度磁気記録装置に有効な磁氣的書き込み手段を与えている。しかしながら、スピン注入磁化反転方式では、通常のGMR素子に流す電流密度（臨界電流密度）が 10^7 A/cm²と大きくなり、消費電力の増大すること以外にも、エレクトロマイグレーションにより配線が劣化・破壊する可能性が生じる。スピン注入磁化反転方式の実用化には、この臨界電流密度の値を1桁から2桁（ 10^{5-6} A/cm²）程度まで低減することが極めて重要な課題であると認識されている。また、MRAMの磁氣的メモリーセルとしてTMR素子を用いる場合には、TMR素子を流れる電流がトンネル電流であるため、通常の電流では臨界電流値に達しない。さらには、TMR素子では、印加電流を増大させると絶縁層の絶縁破壊といった問題が生じ、TMR素子の有する高い磁気抵抗変化率が顕著に低下する恐れがある。

30

【0008】

以上のように、外部磁場ではなくスピン電流によって磁化制御を行うスピン注入磁化反転方式は局所制御性には優れるものの、磁化反転に要する電流密度が大きいいため、高密度磁気記録装置への実用化が困難となっている。

40

【0009】

従って、本発明の目的は、スピン注入磁化反転に要する電流密度を低減化する手段を提供するとともに、高密度磁気記録装置の磁氣的メモリーセルに対して、外部磁場を利用することなく、メモリーセルに直接電流を流すことにより磁氣的書き込み操作を行う手段を提供し、かつ、同等の素子構造において記録読み取り操作を可能とする高密度磁気記録装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

50

磁気記録媒体をレーザー光により、素子の温度を室温以上でキュリー温度以下の温度に加熱し、磁気記録媒体の保磁力を実効的に低下させるとともに、当該磁気記録媒体の磁氣的メモリーセルに局所的に外部電流を印加することにより磁氣的書き込み操作を実施する。磁氣的メモリーセルには従来の強磁性層/非磁性層/強磁性層のサンドイッチ型積層構造を有する磁気抵抗効果素子を利用し、外部磁場を用いることなく外部電流のみにより磁氣的メモリーセルの磁化方向を制御することにより、磁氣的メモリーセルへの記録書き込み操作を行い、かつ通常の磁気抵抗効果を利用して磁化方向の読み出し操作を行う。

【発明の効果】

【0011】

本発明の熱アシスト型のスピン注入磁化反転を利用した磁気記録装置は、磁化反転に必要な電流密度（臨界電流密度）を顕著に低減でき、かつ磁氣的メモリーセルの微小化と集積化が容易であるため、現状より高密度の磁気記録が可能となる。また、臨界電流密度の低減化により、消費電力が小さく、メモリーセルの耐久性が強い磁気記録装置を提供することが可能であるとともに、高密度磁気記録、かつ磁気ランダムアクセスメモリへの応用を可能とする。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明の熱アシスト型のスピン注入磁化反転を利用した磁気記録装置は、磁化反転に必要な電流密度（臨界電流密度）を顕著に低減でき、かつ磁氣的メモリーセルの微小化と集積化が容易であるため、現状より高密度の磁気記録が可能となる。また、臨界電流密度の低減化により、消費電力が小さく、メモリーセルの耐久性が強い磁気記録装置を提供することが可能である。

20

【0013】

（実施例1）

図1に、本発明の実施例1の形態（断面図）を開示する。光学的に透明なガラス基板110表面上に形成した金属膜からなる電極120の上部に、強磁性金属層（磁化自由層）121、非磁性金属層122、強磁性層（磁化固定層）123から構成されるGMR素子構造を形成する。さらには、GMR素子には、強磁性層123の磁化方向をピンする反強磁性金属層（磁化ピン止め層）124と金属電極125が形成され、121～123が1個の磁氣的メモリーセルとして機能する。磁気記録装置は、当該磁氣的メモリーセルを基板上に多数個配列させた構造を有する。ここで、磁化固定層123の保磁力が大きく磁化方向が安定している場合には、必ずしも磁化ピン止め層124は必要ではない。

30

【0014】

上記基板110の背面部に半導体レーザー130と対物レンズ140を設置して、半導体レーザーから発生させた光を、対物レンズを介して特定のメモリーセル近傍へと集光させる。これにより、特定のメモリーセルが局所的に加熱され、磁化自由層の保磁力が低減することになる。この状態において、GMR素子を含むメモリーセルの上端部の金属電極125に対して、導電性を有する金属探針150を電氣的に接触させ、当該金属探針に電源126より電流を流すことにより、磁化自由層の磁化反転を行い記録書き込み操作を行う。上記のメモリーセルは、基板表面上に2次元的に配列されており、上記金属探針150と基板110とを相対的に移動させることにより、個々のメモリーセルを特定して書き込み操作が可能である。他方、メモリーセルの記録情報（磁化方向）の読み取り操作には、HDDの再生磁気ヘッドと同様に、GMR素子の磁気抵抗の変化を用いることができる。

40

【0015】

図1に開示した磁気メモリーセル構造は、通常の磁性体加工技術を用いて作製された。基板110には、光学的に透明なガラス板（SiO₂）を用いた。まず、基板110上に、通常のスパッタ装置あるいは分子線蒸着（MBE）装置を用いて、一様な膜厚10nmをもつ金属膜120（Au）を積層させた。そして、膜厚2nmの磁化自由層121（CoFe）、膜厚5nmの非磁性金属層122（Cu）、膜厚10nmの磁化固定層123

50

(CoFe)、さらには磁化固定層の磁化方向を固定するための膜厚3nmの反強磁性層124(MnIr)、さらには膜厚5nmの金属電極125(Au)を積層形成させた。次に、電子線リソグラフィ装置あるいはイオンミリング装置を用いた微細加工技術を適用し、一様な積層膜121-125を元に、20nm×20nmの面寸法をもつ柱状構造を間隔20nmで正方格子状に配列させ、多数のメモリーセル構造を作製した。また、導電性の探針150にはタングステン(W)を用い、原子間力顕微鏡(AFM)のコンダクティブモードを利用し、カンチレバーに装着した探針の3次元的位置制御を行った。

【0016】

AFMを動作させ、原子間力の変化から基板状に配列したメモリーセルの凹凸を検出し、磁気的書き込みをおこなうメモリーセルの上部金属電極(凸状)125を選択し、カンチレバーの制御により導電性探針150を電極125に接触させた。さらには、上記基板の背面よりレーザー光を照射し上記メモリーセルを加熱した。

10

【0017】

レーザー光の光源130には、通常の光磁気記録装置に用いられている半導体レーザー(青紫色、波長405nm)を利用した。当該光源から対物レンズ40、あるいは、より集光度の高いSIL(Solid Immersion Lens)を介して、上記メモリーセルにレーザー光を照射し、基板状に整列した上記メモリーセルを温度600に加熱した。加熱温度は熱電対により測定した。

【0018】

メモリーセルを加熱した状態において、電流源126より、導電性探針150と接触した電極部分125に50 μ Aの電流を流した。その結果、スピントルク力により磁化自由層121の磁化の向きが反転し、磁化自由層の磁化は磁化固定層の磁化の向きと平行になった。さらに、逆バイアスの電流(50 μ A)を流すことにより、磁化の向きをもう一度反転させることができ、磁化自由層の磁化は磁化固定層の磁化の向きが反平行になった。これにより、磁気的な書き込み操作が可能となった。レーザー光によるメモリーセルの加熱を行わない場合には、上記のスピン注入磁化反転に必要な電流値の下限は250 μ Aであり、レーザー光を利用した熱アシスト効果により、磁化反転に必要な臨界電流値を1/5に低減できた。

20

【0019】

また、磁化固定層と磁化自由層の磁化方向の相対的配置は、メモリーセル内のGMR素子の電気抵抗の変化から検出できる。レーザー光照射が終了した後に、メモリーセルの電気抵抗を測定したところ、磁化が反平行の場合には高抵抗値(500)、磁化が平行の場合には低抵抗値(400)を示し、メモリーセルの電気抵抗値の変化から磁気的情報の記録読み取り操作が可能となった。

30

【0020】

上記基板110は、SiO₂のみならず、レーザー光を透過でき、透過したレーザー光がメモリーセルを加熱することができる材料であればよい。また、磁化自由層および磁化固定層には、コバルト結晶(Co)やパーマロイ(NiFe)等の通常GMR素子を構成する他の強磁性材料を使用してもよい。また、メモリーセルのGMR素子機能部位には、GMR素子の代わりに、強磁性金属層/絶縁層/強磁性金属層の3層構造からなるTMR素子構造を用いても良い。

40

【0021】

図2に、Co/Cu/Co積層構造のGMR素子において、電流スweepによる磁気履歴曲線の温度(T)依存性を解析した結果(計算例)を示す。ここで、磁化自由層である一方のCo強磁性層の面寸法は10nm×10nm、膜厚は1nmとした。Co磁化自由層の磁化方向は、GMR素子を流す電流Iに依存して急峻に変化し、磁化反転が正負の電流密度の閾値(臨界電流密度)で磁化反転が起こることがわかる。さらには、この臨界電流密度は、温度とともに強磁性が消失するキュリー温度(約1400K)以下の高温領域まで、1桁程度まで臨界電流密度値が低減することがわかる。これは、熱活性効果により、Co磁性体の保磁力が温度とともに低下したためと考えられる。従って、メモリーセ

50

ルを局所的に加熱する熱アシスト方式を用いることにより、より低い印加電流値により GMR 素子のスピン注入磁化反転操作が可能となることがわかる。

【0022】

従来の光磁気記録方式では、磁気記録媒体に対して、レーザー光を局所的に照射し、磁気記録媒体の磁気記録セルを媒体のキュリー温度以上に昇温し、強磁性状態から常磁性状態への磁気相転移を誘起させた上で、外部より磁場を印加しながら冷却し磁化を固定することにより磁気記録を行っている。この方式では、キュリー温度以上に磁気記録媒体を加熱する必要があり、レーザーによる消費電力が増大するという欠点がある。また、光磁気記録方式では磁気記録密度の高密度化により、照射するレーザー光を微小な磁気記録ビットに選択的に照射する必要があるが、レーザー光の集光口径を光の波長以下の寸法まで小さくし、かつ加熱に必要な光強度を得ることは難しい。従って、光磁気記録方式では 100 Gbit/in^2 を超える高密度磁気記録装置の実現は困難である。

10

【0023】

一方、本発明によれば、磁化書き込みを行う特定のメモリーセル内の GMR 素子に流れる電流により磁化反転を行っているため、レーザー光により加熱する領域が他の複数セルにまたがったとしても、他のセルには電流が流れていないため、図 2 から明らかなように磁化書き込みを行うセル以外では磁化反転は生じない。このため、レーザー光の集光経が、メモリーセルの間隔より長く、いくつかのメモリーセルが同時に加熱されることになってもよい。また、キュリー温度以上に磁気記録媒体を加熱する必要がないため、磁化反転に必要なレーザー光強度も低減化される。

20

【0024】

(実施例 2)

図 3 に、本発明の実施例 2 の形態 (断面図) を開示する。光学的に透明なガラス基板 310 表面上に金属電極 320 を形成した後、強磁性金属層 (磁化自由層) 321、非磁性金属層 322、強磁性層 (磁化固定層) 323 から構成される GMR 素子構造を形成する。さらには、GMR 素子には、強磁性層 323 の磁化方向をピンする反強磁性金属層 (磁化ピン止め層) 324 と金属電極 325 が形成され、321 ~ 323 の積層構造が 1 個の磁気的メモリーセルとして機能する。磁気記録装置は、当該磁気的メモリーセルを基板状に多数個配列させた構造を有する。ここで、磁化固定層の保持力が大きく磁化方向が安定している場合には、必ずしも、磁化ピン止め層 324 は必要ではない。

30

【0025】

さらには、上記基板の背面部に半導体レーザー 330 と対物レンズ 340 を設置して、半導体レーザーから発生した光を、対物レンズを介して特定のメモリーセル近傍へと集光させる。これにより、特定のメモリーセルが局所的に加熱され、磁化自由層の保持力が低減することになる。この状態において、GMR 素子を含むメモリーセルの上端部の金属電極 325 側に配線したビット線 350 と、メモリーセルの上部電極 320 側に配線したワード線 (前記のビット線とは直交する) 360 により特定したメモリーセル 321 ~ 323 に電流を流し磁気記録書き込み操作を行う。メモリーセルの記録情報 (磁化方向) の読み取り操作には、HDD の再生磁気ヘッドと同様に、GMR 素子の電気抵抗の変化を用いることができる。

40

【0026】

図 3 に開示した磁気的メモリーセル構造は、前記実施例 1 と同様なプロセスに従って作製した。基板試料 310 には、光学的に透明なガラス板 (SiO_2) を用いた。まず、この基板上に、通常のスパッタ装置あるいは分子線蒸着 (MBE) 装置を用いて、一様な膜厚 10 nm をもつ金属膜 320 (Au) を積層させた。そして、膜厚 2 nm の磁化自由層 321 (CoFe)、膜厚 5 nm の非磁性金属層 322 (Cu)、膜厚 10 nm の磁化固定層 323 (CoFe)、さらには磁化固定層の磁化方向を固定するための膜厚 3 nm の反強磁性層 324 (MnIr)、さらには膜厚 5 nm の金属電極 325 (Au) を積層形成させた。次に、電子線リソグラフィ装置あるいはイオンミリング装置を用いた微細加工技術を適用し、一様な積層膜 320 - 125 を元に、 $20 \text{ nm} \times 20 \text{ nm}$ の面寸法をも

50

つ柱状構造が間隔20nmで正方格子状に配列された多数のメモリーセル構造を作製した。さらに、メモリーセルの上部電極325にはビット線を350、下部電極320にはワード線360を結線させ、MRAMを作製した。

【0027】

実施例1と同様なプロセスに従って、半導体レーザー330から発生させた光を、対物レンズ340を介して特定のメモリーセル近傍へと集光させ、レーザー光をメモリーセルに照射し、メモリーセルを加熱した。ビット線350とワード線360により、特定のメモリーセルに対して選択的に電流(50 μ A)を流した結果、実施例1と同等な書き込み操作が実施でき、同等な結果を得た。読み込み操作についても、ビット線350とワード線360により選択したメモリーセルの電気抵抗の変化を検出することにより実施し、実施例1と同等なデバイス特性をもつ熱アシスト型のスピン注入磁化反転を実現した。

10

【0028】

次に、図3に開示した磁氣的メモリーセルを用いた固体メモリの例を図4に示す。図4は、図3に示した磁氣的メモリーセルをX-Yマトリクス状に配列した例として縦2列、横2列の場合の固体メモリを示す図である。図4では、ビットライン711₁、ビットライン711₂と、ワードライン712₁、ワードライン712₂との交点に図3に示した磁氣的メモリーセルが配置されている。715はビットラインのデコーダ、716はワードラインのデコーダである。デコーダ715および716が書き込みあるいは読み出しのアドレス指定に対応して、ビットラインおよびワードラインの一つが選択され磁氣的メモリーセルに電流が供給される。なお、ワードラインはMOS-FET714のゲートの開閉により、データライン713に選択的に接続される。

20

【0029】

例えば、ビットライン711₁と、データライン713と選択的に接続されたワードライン712₁との間に10⁶A/cm²の電流を供給することにより、図4における磁化自由層321の磁化の向きが反転、あるいは保持される。すなわち、図3における磁化自由層321の磁化の方向を変化させることにより書き込みが行われる。一方、読み出しは、例えば、ビットライン711₁と、データライン713と選択的に接続されたワードライン712₁との間に電圧を印加することにより、図3における磁化固定層323、磁化自由層321の磁化の相対向きに依存した抵抗を読み出すことにより行われる。

30

【0030】

(実施例3)

図5に、本発明の実施例3の形態(断面図)を開示する。非磁性基板410表面上に形成した金属電極420の上に、まず、反強磁性金属層(磁化ピン止め層)421を形成し、さらには、強磁性金属層(磁化固定層)422、非磁性金属層423、強磁性層(磁化自由層)424の3層膜から構成されるGMR素子、及び金属電極425を形成する。ここで、422~424の積層構造が1個の磁氣的メモリーセルとして機能する。磁気記録装置は、当該磁氣的メモリーセルを基板状に多数個配列させた構造を有する。磁化固定層の保持力が大きく磁化方向が安定している場合には、必ずしも、磁化ピン止め層421は必要ではない。

【0031】

次に、図5において、上記の磁氣的メモリーセルを加熱するとともに電流を流す手段を説明する。探針形状の光ファイバー(以下、探針という)430の周囲を金属膜431、432で被覆し、探針430の一方の光開口部からレーザー光を入射し、探針430先端部まで集光させ、探針先端に設けた微小な開口部より当該レーザー光を探針直下の磁氣的メモリーセルに照射し、当該磁氣的メモリーセルを加熱する。さらには、その金属被覆した探針430の金属部分を当該磁氣的メモリーセルの電極425に接触させGMR素子に電源440より電流を流し、磁化自由層424の磁化反転操作を行う。これにより、入射レーザー光による加熱と探針430の金属膜432を介しての通電を行うことが可能となる。

40

【0032】

50

上記レーザー光は、半導体レーザー450より対物レンズ451を介して、探針430の一方の開口部に照射する。探針430の位置制御には、公知の原子間力顕微鏡(AFM)で用いられる光テコ方式を用いることができる。ここで、上記探針430をカンチレバー440に形成し、カンチレバー440はピエゾ走査素子460により駆動する。ピエゾ走査素子460には、探針430が接触すべきメモリーセルにアクセスするための位置信号480が与えられる。本発明では、カンチレバー440上で上記探針の半導体レーザー光を受ける開口の近傍に反射板452を形成し、メモリーセルを加熱する目的で発生させた上記半導体レーザー光の一部を反射板452によって反射させ、4分割フォトダイオード453により反射光を検知する。探針430と磁氣的メモリーセルとの間に生じる原子間力により引き起されるカンチレバーの微小な歪み(変位)を、4分割フォトダイオード453によって検知される反射光の強度変化により測定することができ、多数に配列したメモリーセルの凹凸構造から特定のメモリーセルにアクセスすることができる。フォトダイオード453とピエゾ素子460の間には電氣的なフィードバック回路470を設け、探針の位置制御を精密に行う。

【0033】

図5に開示した磁氣的メモリーセル構造は、前記実施例1と同様なプロセスに従って作製した。基板試料410には、Si半導体を用い、表面5nmを自然酸化あるいはプラズマ酸化法により絶縁膜(SiO₂)を形成した。次に、この基板の上に、通常のスパッタ装置あるいは分子線蒸着(MBE)装置を用いて、一様な膜厚10nmをもつ金属膜420(Au)を積層させた。そして、膜厚3nmの反強磁性層421(MnIr)、膜厚10nmの磁化固定層422(CoFe)、膜厚5nmの非磁性金属層423(Cu)、膜厚2nmの磁化自由層424(CoFe)、膜厚5nmの金属電極425(Au)を順次形成した。磁化自由層424が上部電極425側に構成されている点が特徴であり、実施例1のメモリーセル構造を上下反転させた構造をとる。次に、実施例1と同様に、電子線リソグラフィ装置あるいはイオンミリング装置を用いた微細加工技術を適用し、一様な積層膜121-125をもとに、20nm×20nmの面寸法をもつ柱状構造を間隔20nmで正方格子状に配列させ、多数の磁気メモリーセル構造を作製した。

【0034】

実施例3で用いた探針430, 431, 432は、FIB(Focused Ion Beam)加工装置により光ファイバー(SiO₂)の先端部分を先鋭化した後、MBE装置により、光ファイバーの表面全体に膜厚5nmの金属膜(W)を蒸着した。さらに、FIB加工装置を用いて、この金属膜で被覆した光ファイバー探針から、先端部と末端部の金属を除去し、両端に光の開口部を形成した。この探針構造により、メモリーセルの加熱と電流注入を行うことができる。

【0035】

カンチレバー440に当該探針430を取り付けた後、通常的光磁気記録装置に用いられている半導体レーザー450(青紫色、波長405nm)を光源として、対物レンズ451、あるいは、より集光度の高いSIL(Solid Immersion Lens)451を介して、当該探針末端の開口部よりレーザー光を入射させ、探針先端の開口部よりレーザー光をメモリーセルへと照射する。さらには、光ファイバーを被覆した金属の一部をメモリーセルの上部電極425に接触させる。これにより、レーザー光によるメモリーセルの加熱とメモリーセルへの電流注入を行った。

【0036】

探針の位置制御には、AFMの光テコ方式を用いた。探針末端の開口部の近傍に反射鏡452を設置し、メモリーセルを加熱するためのレーザー光の一部を当該反射鏡により反射させ、フォトダイオード453で電気信号に変換する。さらに、当該電気信号とピエゾ素子460の駆動電圧フィードバック回路470により制御することにより、探針の位置制御を行った。以上により、実施例1と同等なデバイス特性をもつ熱アシスト型のスピン注入磁化反転を実現した。

【0037】

10

20

30

40

50

実施例 3 では、磁気メモリーセルを加熱するレーザー光とカンチレバーの位置制御を行うレーザー光には同一の光源（半導体レーザー）を用いたが、2 個の半導体レーザー光源を用い、一方の光源で磁気メモリーセルを加熱し、他方の異なる光源によりカンチレバーの位置制御を行ってもよい。

【0038】

（実施例 4）

上記探針 430 を構成する光ファイバーを被覆する金属膜の形状には、図 6 に示したように、光ファイバー 50 の外径上に、互いに電氣的に絶縁された 2 個の金属膜 51, 52 から形成される構造を用いてもよい。このとき、光ファイバー内を透過するレーザー光は、金属膜 51 及び 52 内部に生じたプラズマ振動の効果により、上記探針先端の開口部より放射される光強度が増大し、より効率良くメモリーセルを加熱できる [Appl. Phys. Lett. 70, 1354(1997)]。ここで、メモリーセルに流す電流の接触電極には、金属膜 51 または 52 の一部を用いる。

10

【0039】

実施例 4 の探針構造は以下のようにして作製した。FIB 加工装置により光ファイバー (SiO₂) 50 の先端部分を先鋭化した後、MBE 装置により、光ファイバーの表面全体に膜厚 5 nm の金属膜 (W) を蒸着した。さらに、FIB 加工装置を用いて、まず、金属膜で被覆した光ファイバー探針から先端部と末端部の金属を除去し、その両端において光に対して透過な開口部を形成した。さらには、光ファイバーの周囲を被覆している金属膜の一部を除去し、互いに電氣的に絶縁化された 2 個の金属膜 51, 52 へと分離した。金属膜 51 あるいは 52 の一部を、実施例 3 に記述したように、メモリーセルの上部電極に接触させメモリーセルへの通電を行い、実施例 3 と同様な動作を実施した。

20

【0040】

（実施例 5）

上記探針を構成する光ファイバー (SiO₂) 50 の先端部分を先鋭化する代わりに平坦化して、この端面を図 7 に示した構造のアンテナと探針とを構成する金属膜で覆った構造とすることが可能である。ガラス基板 60 上に、お互いに電氣的に絶縁された 3 個の金属膜 61, 62, 63 を形成し、金属膜 61 と 62 を前述のプラズマ振動が生じる蝶ネクタイ型アンテナ構造として、また金属膜 63 を磁気メモリーセルに通電する電極部として用いるものである。

30

【0041】

図 7 に開示した探針構造は、以下のようにして作製した。通常のスputta 装置あるいは分子線蒸着 (MBE) 装置を用いて、光学的に透明なガラス板 (SiO₂) 60 上に一様な膜厚 5 nm をもつ金属膜 (W) を蒸着した後、FIB 加工装置あるいはイオンミリング装置により、蝶ネクタイ状のアンテナ構造をとる金属膜 61, 62、およびメモリーセルに電流注入する金属探針部 63 を形成した。互いに対向する金属膜 61, 62 の間隔は 200 nm とした。金属探針部 63 は、金属膜の対向線上から 50 nm 離れた位置に形成した。本探針構造を AFM のカンチレバーに取り付け、実施例 3 と同様な動作を実施した。

【0042】

（その他の実施例）

また、図 1 及び図 5 に対応する実施形態において、XY 平面上に多数の磁氣的メモリーセルを構成し、X 方向または Y 方向の複数個の磁氣的メモリーセル、例えば、1 バイトの磁氣的メモリーセルのそれぞれに独立して接触できる複数個の探針を用意し、1 バイトの磁氣的メモリーセル単位で探針の位置を制御して、高速な記録書き込み操作と読み取り操作が可能となる。なお、この場合、複数個の探針のそれぞれにレーザー光の光源を備えることにするのが良い。

40

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図 1】本発明の実施例 1 の形態を示す断面図である。

【図 2】Co/Cu/Co 積層構造の GMR 素子において、電流スイープによる磁気履歴

50

曲線の温度 (T) 依存性を解析した結果 (計算例) を示す図である。

【 図 3 】 本発明の実施例 2 の形態を示す断面図である。

【 図 4 】 図 3 に開示した磁氣的メモリーセルを用いた固体メモリの例を示す図である。

【 図 5 】 本発明の実施例 3 の形態を示す断面図である。

【 図 6 】 本発明の実施例 4 の探針を構成する光ファイバーを被覆する金属膜の形状を示す図である。

【 図 7 】 本発明の実施例 5 の探針を構成する光ファイバーを被覆する金属膜の形状を示す図である。

【 符号の説明 】

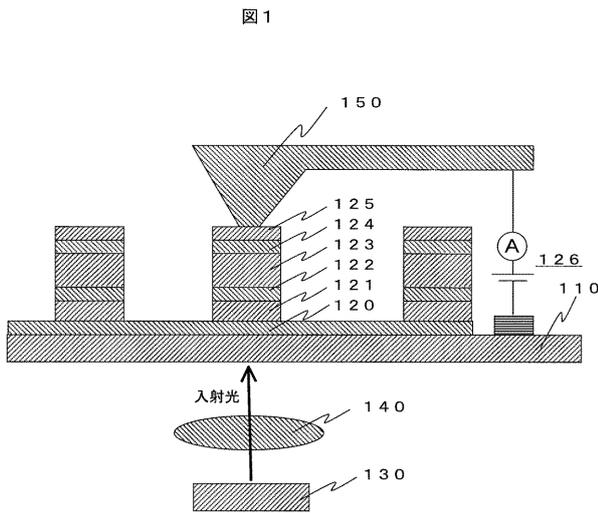
【 0 0 4 4 】

1 1 0 , 3 1 0 , 4 1 0 ... 基板、 1 2 0 , 3 2 0 , 4 2 0 ... 金属膜電極、 1 2 1 , 3 2 1 ... 強磁性金属層 (磁化自由層)、 1 2 2 , 3 2 2 ... 非磁性金属層、 1 2 3 , 3 2 3 ... 強磁性層 (磁化固定層)、 1 2 4 , 3 2 4 ... 反強磁性金属層 (磁化ピン止め層)、 1 2 5 , 3 2 5 ... 金属電極、 1 2 6 ... 電源、 1 3 0 , 3 3 0 ... 半導体レーザー、 1 4 0 , 3 4 0 ... 対物レンズ、 3 5 0 , 7 1 1 ... ビット線、 3 6 0 , 7 1 2 ... ワード線、 7 1 3 ... データライン、 7 1 4 ... MOS - FET、 7 1 5 ... ビットラインのデコーダ、 7 1 6 ... ワードラインのデコーダ、 4 2 1 ... 反強磁性金属層 (磁化ピン止め層)、 4 2 2 ... 強磁性金属層 (磁化固定層)、 4 2 3 ... 非磁性金属層、 4 2 4 ... 強磁性層 (磁化自由層)、 4 3 0 ... 探針、 4 2 5 ... 磁氣的メモリーセルの電極、 4 3 1 , 4 3 2 ... 金属膜、 4 4 0 ... 電源、 5 0 ... 光ファイバー、 5 1 , 5 2 ... 金属膜、 6 1 , 6 2 ... 金属膜、 6 3 ... 金属探針部。

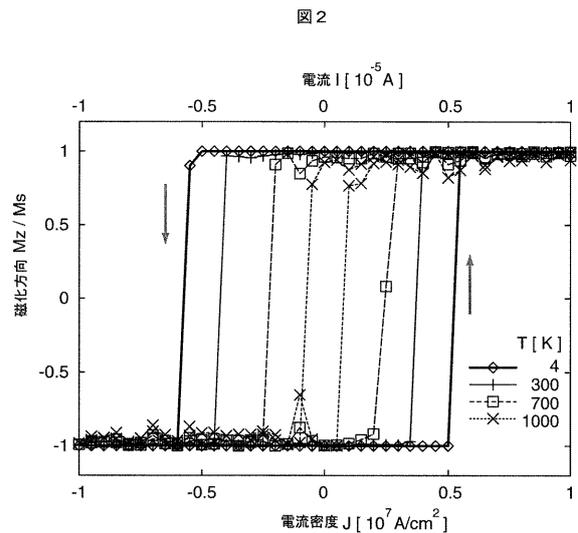
10

20

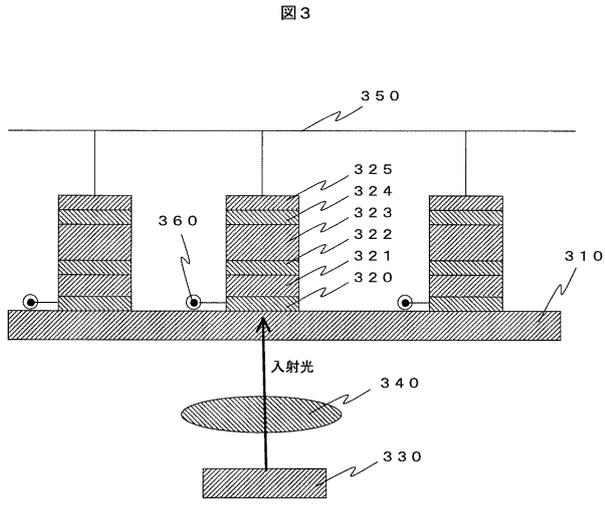
【 図 1 】



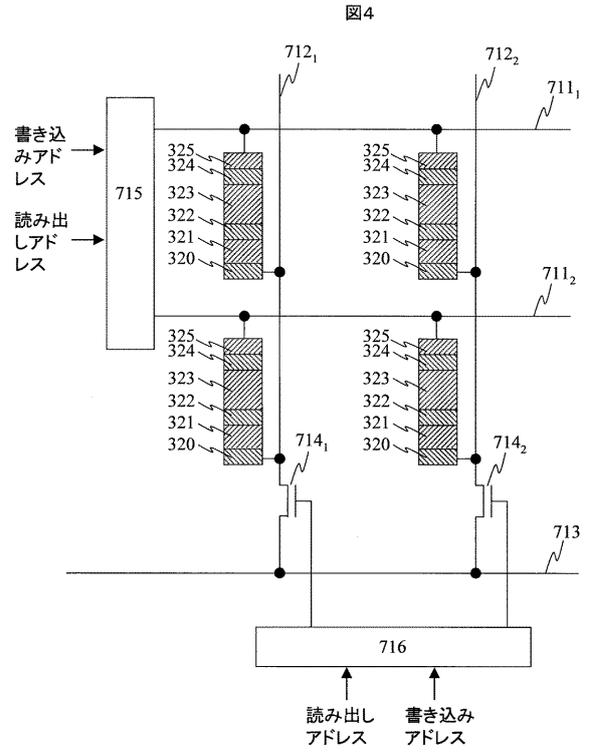
【 図 2 】



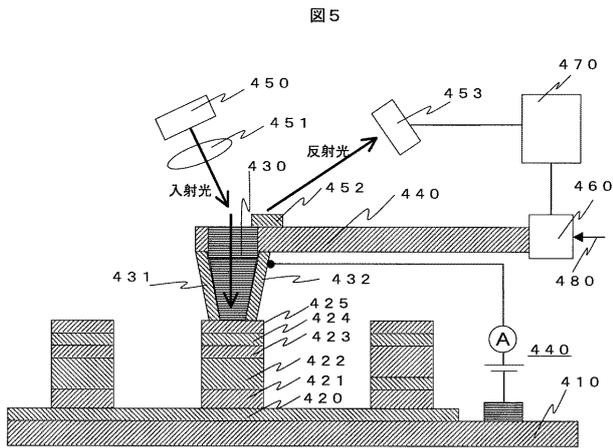
【 図 3 】



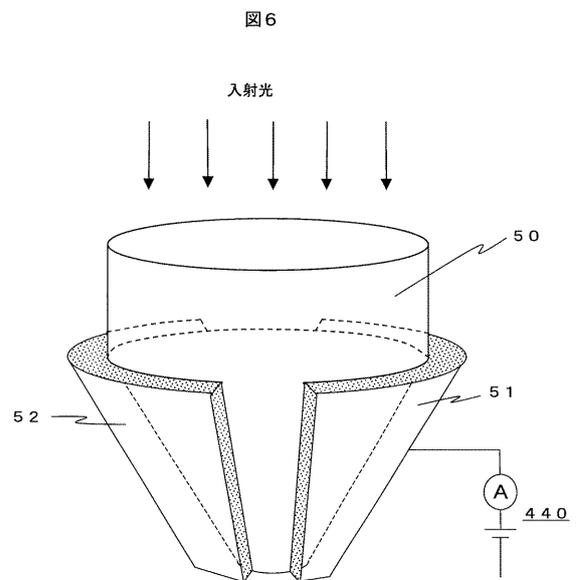
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

図 7

