

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4550777号  
(P4550777)

(45) 発行日 平成22年9月22日(2010.9.22)

(24) 登録日 平成22年7月16日(2010.7.16)

(51) Int.Cl. F I  
**HO 1 L 43/12 (2006.01)** HO 1 L 43/12  
**HO 1 L 43/08 (2006.01)** HO 1 L 43/08 Z  
**HO 1 L 21/8246 (2006.01)** HO 1 L 27/10 4 4 7  
**HO 1 L 27/105 (2006.01)** G 1 1 B 5/39  
**G 1 1 B 5/39 (2006.01)**

請求項の数 17 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2006-188711 (P2006-188711)	(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成18年7月7日(2006.7.7)	(74) 代理人	100109900 弁理士 堀口 浩
(65) 公開番号	特開2008-16740 (P2008-16740A)	(72) 発明者	藤 慶彦 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
(43) 公開日	平成20年1月24日(2008.1.24)	(72) 発明者	福澤 英明 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
審査請求日	平成20年3月26日(2008.3.26)	(72) 発明者	湯浅 裕美 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
前置審査			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子の製造方法、磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド、磁気記録再生装置及び磁気メモリ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の磁性層を形成する工程と、  
 前記形成された第1の磁性層上にCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主成分とした第1の金属層を形成する工程と、  
 前記形成された第1の金属層上にAlを主成分とする第2の金属層を形成する工程と、  
 前記形成された第2の金属層に対して、酸化・窒化・酸窒化を行い、絶縁層、及びこの絶縁層の層方向に電流を通過させる導電体を有する電流狭窄層を形成する工程と、  
 前記形成された電流狭窄層上にAl, Si, Hf, Ti, Mo, W, Nb, Mg, Cr, およびZrからなる群から選択される元素を主成分とする機能層を形成する工程と、  
 前記機能層上に第2の磁性層を形成する工程と、  
 を具備することを特徴とする、磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項2】

第1の磁性層を形成する工程と、  
 前記形成された第1の磁性層上にCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主成分とした第1の金属層を形成する工程と、  
 前記形成された第1の金属層上にSi, Hf, Ti, Mo, W, Nb, Mg, Cr, およびZrからなる群から選択される元素を主成分とする第1の機能層を形成する工程と、  
 前記形成された機能層上にAlを主成分とする第2の金属層を形成する工程と、  
 前記形成された第2の金属層に対して、酸化・窒化・酸窒化を行い、絶縁層、及びこの

10

20

絶縁層の層方向に電流を通過させる導電体を有する電流狭窄層を形成する工程と、  
 前記電流狭窄層上にAl, Si, Hf, Ti, Mo, W, Nb, Mg, Cr, およびZrからなる群から選択される元素を主成分とする第2の機能層を形成する工程と、  
 前記第2の機能層上に第2の磁性層を形成する工程と、  
 を具備することを特徴とする、磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項3】

前記機能層上にさらにCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主成分とした金属層を形成する工程を具備することを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項4】

前記第2の機能層上にさらにCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主成分とした金属層を形成する工程を具備することを特徴とする請求項2に記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項5】

前記機能層が前記電流狭窄層と隣接する層との密着性を高める機能を有することを特徴とする、請求項1、3のいずれかーに記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項6】

前記機能層の膜厚が0.1nm以上0.5nm以下であることを特徴とする、請求項1、3、5のいずれかーに記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項7】

前記電流狭窄層を形成する際の、前記酸化・窒化・酸窒化が、イオンまたはプラズマの照射処理を経て実施することを特徴とする、請求項1～6のいずれかーに記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項8】

第1の磁性層と、  
 前記第1の磁性層上に形成されたCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主成分とした第1の金属層と、  
 前記第1の金属層上に形成されたAlを主成分とする第2の金属層に対して、酸化・窒化・酸窒化を行うことにより形成された、絶縁層、及びこの絶縁層の層方向に電流を通過させる導電体を有する電流狭窄層と、  
 前記電流狭窄層上に形成されたAl, Si, Hf, Ti, W, Nb, およびZrからなる群から選択される元素を主成分とする機能層と、  
 前記機能層上に形成された第2の磁性層と、  
 を具備することを特徴とする、磁気抵抗効果素子。

【請求項9】

第1の磁性層と、  
 前記第1の磁性層上に形成されたCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主成分とした第1の金属層と、  
 前記第1の金属層上に形成されたSi, Hf, Ti, W, Nb, およびZrからなる群から選択される元素を主成分とする第1の機能層と、  
 前記第1の機能層上に形成されたAlを主成分とする第2の金属層に対して、酸化・窒化・酸窒化を行うことにより形成された、絶縁層、及びこの絶縁層の層方向に電流を通過させる導電体を有する電流狭窄層と、  
 前記電流狭窄層上に形成されたAl, Si, Hf, Ti, W, Nb, およびZrからなる群から選択される元素を主成分とする第2の機能層と、  
 前記第2の機能層上に形成された第2の磁性層と、  
 を具備することを特徴とする、磁気抵抗効果素子。

【請求項10】

前記機能層上において、さらにCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主成分とした金属層を具備することを特徴とする、請求項8に記載の磁気抵抗効果素子。

10

20

30

40

50

## 【請求項 1 1】

前記第 2 の機能層上において、さらに Cu, Au, Ag からなる群から選択される元素を主成分とした金属層を具備することを特徴とする、請求項 9 に記載の磁気抵抗効果素子。

## 【請求項 1 2】

前記機能層が前記電流狭窄層と隣接する層との密着性を高める機能を有することを特徴とする、請求項 8、10 のいずれかーに記載の磁気抵抗効果素子。

## 【請求項 1 3】

前記機能層の膜厚が 0.1 nm 以上 0.5 nm 以下であることを特徴とする、請求項 8、10、12 のいずれかーに記載の磁気抵抗効果素子。

10

## 【請求項 1 4】

前記電流狭窄層を形成する際の、前記酸化・窒化・酸窒化が、イオンまたはプラズマの照射処理を経て実施することを特徴とする、請求項 8 ~ 13 のいずれかーに記載の磁気抵抗効果素子。

## 【請求項 1 5】

請求項 8 ~ 14 のいずれかーに記載の磁気抵抗効果素子を含むことを特徴とする、磁気ヘッド。

## 【請求項 1 6】

磁気記録媒体と、請求項 15 に記載の磁気ヘッドとを含むことを特徴とする、磁気記録再生装置。

20

## 【請求項 1 7】

請求項 8 ~ 14 のいずれかーに記載の磁気抵抗効果素子を含むことを特徴とする、磁気メモリ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、磁気抵抗効果膜の膜面の垂直方向にセンス電流を流して磁気を検知する磁気抵抗効果素子の製造方法およびその磁気抵抗効果素子に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、ハードディスクドライブ (HDD: Hard Disk Drive) の急速な小型化・高密度化が進行し、今後もさらなる高密度化が見込まれている。記録トラック幅を狭くしてトラック密度を高めることで、HDD の高密度化を実現できる。しかし、トラック幅が狭くなると、記録される磁化の大きさ、すなわち記録信号が小さくなり、媒体信号を再生する MR ヘッドの再生感度の向上が必要となる。

30

## 【0003】

最近では、巨大磁気抵抗効果 (GMR: Giant Magneto-Resistance effect) を利用した高感度なスピバルブ膜を含む GMR ヘッドが採用されている。スピバルブ膜は、2 層の強磁性層の間に非磁性スペーサ層を挟んだサンドイッチ構造を有する積層膜であり、抵抗変化を生ずる積層膜構造部位はスピン依存散乱ユニットとも呼ばれる。2 層の強磁性層の一方の強磁性層 (「ピン層」あるいは「磁化固定層」という) の磁化方向は反強磁性層などで固着される。他方の強磁性層 (「フリー層」あるいは「磁化自由層」という) の磁化方向は外部磁界により変化可能である。スピバルブ膜では、2 層の強磁性層の磁化方向の相対角度の変化によって、大きな磁気抵抗効果が得られる。

40

## 【0004】

スピバルブ膜を用いた磁気抵抗効果素子には、CIP (Current In Plane) - GMR 素子、CPP (Current Perpendicular to Plane) - GMR 素子、TMR (Tunneling Magneto-Resistance) 素子がある。CIP - GMR 素子ではスピバルブ膜の面に平行にセンス電流を通電し、CPP - GMR、TMR 素子ではスピバルブ膜の面にほぼ垂直方向にセンス電流を通電する。

50

## 【 0 0 0 5 】

膜面垂直に通電する方式においては、TMR素子ではスペーサ層として絶縁層を用い、通常のCPP-GMRではスペーサ層として金属層を用いる。

## 【 0 0 0 6 】

ここで、スピバルブ膜が金属層で形成されたメタルCPP-GMR素子では、磁化による抵抗変化量が小さく、微弱磁界を検知するのは困難である。

## 【 0 0 0 7 】

スペーサ層として、厚み方向への電流パスを含む酸化物層[NO<sub>2</sub>L(nano-oxide layer)]を用いたCPP素子が提案されている(特許文献1参照)。この素子では、電流狭窄[CCP(Current-confined-path)]効果により素子抵抗およびMR変化率の双方を増大

10

【特許文献1】特開2002-208744号

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 0 8 】

現在、HDD(Hard Disk Drive)等の磁気記憶装置はパソコンや携帯型音楽プレーヤーなどの用途に用いられている。しかしながら、今後、磁気記憶装置の使用用途がさらに広がり、また高密度記憶化が進むと、信頼性への要求がより厳しくなる。例えば、より高温度の条件下や、より高速での動作環境下での信頼性を向上させることが、必要になる。そのためには、磁気ヘッドの信頼性を、従来よりも向上させることが望ましい。

20

## 【 0 0 0 9 】

特にCCP-CPP素子は、従来のTMR素子に比べて抵抗が低いため、より高転送レートが要求されるサーバー・エンタープライズ用途のハイエンドの磁気記憶装置に適用可能である。このようなハイエンドの用途には、高密度化と、高信頼性を同時に満たすことが要求される。また、これらの用途では、より高温化での信頼性を向上させることが望ましい。つまり、より厳しい環境(高温環境等)、より厳しい使用条件(高速で回転する磁気ディスクでの情報の読み取り等)下で、CCP-CPP素子を使用することが必要となる。

## 【 0 0 1 0 】

本発明は、高密度記憶の磁気記憶装置に適用可能で、信頼性の向上が図られた磁気抵抗効果素子を提供することを目的とする。

30

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 1 3 】

上記目的を達成すべく、本発明の一態様においては、

第1の磁性層を形成する工程と、

前記形成された第1の磁性層上にCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主成分とした第1の金属層を形成する工程と、

前記形成された第1の金属層上にAlを主成分とする第2の金属層を形成する工程と、

前記形成された第2の金属層に対して、酸化・窒化・酸窒化を行い、絶縁層、及びこの絶縁層の層方向に電流を通過させる導電体を有する電流狭窄層を形成する工程と、

40

前記形成された電流狭窄層上にAl, Si, Hf, Ti, Mo, W, Nb, Mg, Cr, およびZrからなる群から選択される元素を主成分とする機能層を形成する工程と、

前記機能層上に第2の磁性層を形成する工程と、

を具備することを特徴とする、磁気抵抗効果素子の製造方法に関する。

## 【 0 0 1 5 】

さらに、本発明の一態様においては、

第1の磁性層を形成する工程と、

前記形成された第1の磁性層上にCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主成分とした第1の金属層を形成する工程と、

前記形成された第1の金属層上にSi, Hf, Ti, Mo, W, Nb, Mg, Cr, お

50

よびZrからなる群から選択される元素を主成分とする第1の機能層を形成する工程と、  
 前記形成された機能層上にAlを主成分とする第2の金属層を形成する工程と、  
 前記形成された第2の金属層に対して、酸化・窒化・酸窒化を行い、絶縁層、及びこの  
 絶縁層の層方向に電流を通過させる導電体を有する電流狭窄層を形成する工程と、  
 前記電流狭窄層上にAl, Si, Hf, Ti, Mo, W, Nb, Mg, Cr, およびZr  
 からなる群から選択される元素を主成分とする第2の機能層を形成する工程と、  
 前記第2の機能層上に第2の磁性層を形成する工程と、  
 を具備することを特徴とする、磁気抵抗効果素子の製造方法に関する。

## 【0018】

また、本発明の一態様においては、  
 第1の磁性層と、  
 前記第1の磁性層上に形成されたCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主  
 成分とした第1の金属層と、  
 前記第1の金属層上に形成されたAlを主成分とする第2の金属層に対して、酸化・窒  
 化・酸窒化を行うことにより形成された、絶縁層、及びこの絶縁層の層方向に電流を通過  
 させる導電体を有する電流狭窄層と、  
 前記電流狭窄層上に形成されたAl, Si, Hf, Ti, W, Nb, およびZrからな  
 る群から選択される元素を主成分とする機能層と、  
 前記機能層上に形成された第2の磁性層と、  
 を具備することを特徴とする、磁気抵抗効果素子に関する。

10

20

## 【0020】

また、本発明の一態様においては、  
 第1の磁性層と、  
 前記第1の磁性層上に形成されたCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主  
 成分とした第1の金属層と、  
 前記第1の金属層上に形成されたSi, Hf, Ti, W, Nb, およびZrからなる群  
 から選択される元素を主成分とする第1の機能層と、  
 前記第1の機能層上に形成されたAlを主成分とする第2の金属層に対して、酸化・窒  
 化・酸窒化を行うことにより形成された、絶縁層、及びこの絶縁層の層方向に電流を通過  
 させる導電体を有する電流狭窄層と、  
 前記電流狭窄層上に形成されたAl, Si, Hf, Ti, W, Nb, およびZrからな  
 る群から選択される元素を主成分とする第2の機能層と、  
 前記第2の機能層上に形成された第2の磁性層と、  
 を具備することを特徴とする、磁気抵抗効果素子に関する。

30

## 【0026】

本発明者らは、上記目的を達成すべく鋭意検討を実施した。その結果、本発明のような  
 CCP-CP型磁気抵抗効果素子においては、特にスペーサ層を構成する絶縁層(C  
 CP-NOL)と、これに隣接する同じく前記スペーサ層を構成する金属層あるいはその  
 他磁性層などとの密着性と素子の信頼性の相関が深いことを見出した。CCP-CP型  
 の磁気抵抗効果素子に対してその積層方向に沿って通電し、前記素子を駆動させた場合、  
 電流密度が高くなる上記界面のそれぞれにおいて膜剥がれや膜質劣化が生じ、このよう  
 な乱れがスピン依存伝導に影響を及ぼし、素子の信頼性を少なからず影響を与えること  
 を発見するに至った。

40

## 【0027】

かかる観点より、本発明者らは、特に上述したような層間界面に対して特に密着性に優  
 れた機能層を形成することによって、前記層間界面の密着力を増大させ、信頼性が大幅  
 増大することを見出した。したがって、本発明の上記態様によれば、より強固な信頼性を  
 有する、CCP-CP型の磁気抵抗効果素子を提供することができる。

## 【0028】

このように信頼性性能が大きく向上することは、HDD生産のときのみならず、あらゆる

50

る状況における破壊、熱的な耐性をも向上させることができるので、高信頼性が必要とされる、サーバーや、エンタープライズ用途のヘッドとして適したものとなる。単に記録密度を向上させるだけでない高信頼性のヘッドは、HDDの用途が広がっている近年の状況ではますます重要になってくる。ヘッドの寿命が長くなることは、HDDの使用環境を広げるということで非常に重要になってくる。このような高信頼性のヘッドは、熱的環境が厳しいカーナビゲーション用のHDDとしても非常に有効である。

【0029】

もちろん、このような高信頼性を有するヘッドは、上記のような高付加価値のHDDだけでなく、民生用途として使用される通常のパソコン、携帯型音楽プレーヤー、携帯電話などのHDDとして用いることができる。

10

【0030】

なお、上述したように、密着性を有する機能層は単独の層とすることもできるし、複数の層を離隔して形成するようにすることもできる。これらは、上述した層間界面に要求される密着性に依存して適宜に決定することができる。

【0031】

なお、上述した各態様の製造方法から明らかなように、上記機能層を形成する位置などに依存して、前記機能層を形成する工程は適宜に入れ替える。

【0032】

また、上記電流狭窄層上、あるいは上記機能層上にさらにCu, Au, Agからなる群から選択される元素を主成分とした金属層を形成することができる。この金属層は、上記スペーサ層を構成する絶縁層(CCP-NOL)からの酸素及び窒素などが上方に形成された第2の磁性層などに拡散し、劣化させることを抑制するためのバリア層、及び前記第2の磁性層の結晶促進を行うためのシード層として機能する。

20

【0033】

なお、上記機能層の膜厚は0.1nm以上0.5nm以下とすることができる。また、上記電流狭窄層を形成する際の、前記酸化・窒化・酸窒化が、イオンまたはプラズマの照射処理を経て実施することができる。

【発明の効果】

【0034】

以上説明したように、本発明によれば、高密度記録の磁気記録装置に適用可能で、信頼性の向上が図られた磁気抵抗効果素子およびその製造方法を提供できる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

以下、本発明のその他の特徴及び利点について、図面を参照しながら本発明を実施するための最良の形態に基づいて説明する。

【0036】

(磁気抵抗効果素子)

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子(CCP-CP素子)を表す斜視図である。なお、図1および以降の図は全て模式図であり、図上での膜厚同士の比率と、実際の膜厚同士の比率は必ずしも一致しない。

40

【0037】

図1は、本発明の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子(CCP-CP素子)を表す斜視図である。なお、図1および以降の図は全て模式図であり、図上での膜厚同士の比率と、実際の膜厚同士の比率は必ずしも一致しない。

【0038】

図1に示すように本実施の形態に係る磁気抵抗効果素子は、磁気抵抗効果膜10、およびこれを上下から挟み込むようにして設けられた下電極11および上電極20を有している。なお、これらの積層体は図示しない基板上に構成されている。

【0039】

磁気抵抗効果膜10は、下地層12、ピニング層13、ピン層14、下部金属層15、

50

CCP-NOL層16(絶縁層161、電流パス162)、上部金属層17、フリー層18、キャップ層19が順に積層されて構成される。この内、ピン層14、下部金属層15、CCP-NOL層16、および上部金属層17、およびフリー層18が、2つの強磁性層の間に非磁性のスペーサ層を挟んでなるスピバルブ膜に対応する。また、下部金属層15、CCP-NOL層16、および上部金属層17の全体がスペーサ層として定義される。なお、見やすさのために、極薄酸化層16はその上下層(下部金属層15および上部金属層17)から切り離れた状態で表している。

#### 【0040】

以下、磁気抵抗効果素子の構成要素を説明する。

下電極11は、スピバルブ膜の垂直方向に通電するための電極である。下電極11と上電極20との間に電圧が印加されることで、スピバルブ膜内部をその膜垂直方向に沿って電流が流れる。この電流によって、磁気抵抗効果に起因する抵抗の変化を検出し、磁気の検知が可能となる。下電極11には、電流を磁気抵抗効果素子に通電するために、電気抵抗が比較的小さい金属層が用いられる。

10

#### 【0041】

下地層12は、例えば、バッファ層12a、シード層12bに区分することができる。バッファ層12aは下電極11表面の荒れを緩和したりするための層である。シード層12bは、その上に成膜されるスピバルブ膜の結晶配向および結晶粒径を制御するための層である。

#### 【0042】

バッファ層12aとしては、Ta、Ti、W、Zr、Hf、Crまたはこれらの合金を用いることができる。バッファ層12aの膜厚は2~10nm程度が好ましく、3~5nm程度がより好ましい。バッファ層12aの厚さが薄すぎるとバッファ効果が失われる。一方、バッファ層12aの厚さが厚すぎるとMR変化率に寄与しない直列抵抗を増大させることになる。なお、バッファ層12a上に成膜されるシード層12bがバッファ効果を有する場合には、バッファ層12aを必ずしも設ける必要はない。上記のなかの好ましい一例として、Ta[3nm]を用いることができる。

20

#### 【0043】

シード層12bは、その上に成膜される層の結晶配向を制御できる材料であればよい。シード層12bとして、fcc構造(face-centered cubic structure:面心立方格子構造)またはhcp構造(hexagonal close-packed structure:六方最密格子構造)やbcc構造(body-centered cubic structure:体心立方格子構造)を有する金属層などが好ましい。例えば、シード層12bとして、hcp構造を有するRuや、fcc構造を有するNiFeを用いることにより、その上のスピバルブ膜の結晶配向をfcc(111)配向にすることができる。また、ピニング層13(例えば、PtMn)の結晶配向を規則化したfct構造(face-centered tetragonal structure:面心正方構造)、あるいはbcc(body-centered cubic structure:体心立方構造)(110)配向とすることができる。

30

#### 【0044】

結晶配向を向上させるシード層12bとしての機能を十分発揮するために、シード層12bの膜厚としては、1~5nmが好ましく、より好ましくは、1.5~3nmが好ましい。上記のなかの好ましい一例として、Ru[2nm]を用いることができる。

40

#### 【0045】

スピバルブ膜やピニング層13の結晶配向性は、X線回折により測定できる。スピバルブ膜のfcc(111)ピーク、ピニング層13(PtMn)のfct(111)ピークまたはbcc(110)ピークでのロッキングカーブの半値幅を3.5~6度として、良好な配向性を得ることができる。なお、この配向の分散角は断面TEMを用いた回折スポットからも判別することができる。

#### 【0046】

シード層12bとして、Ruの代わりに、NiFeベースの合金(例えば、Ni<sub>x</sub>Fe

50

$100-x$  ( $x=90\sim 50\%$ 、好ましくは $75\sim 85\%$ )や、NiFeに第3元素Xを添加して非磁性にした( $Ni_xFe_{100-x}$ ) $100-yX_y$  ( $X=Cr, V, Nb, Hf, Zr, Mo$ )を用いることもできる。NiFeベースのシード層12bでは、良好な結晶配向性を得るのが比較的容易であり、上記と同様に測定したロッキングカーブの半値幅を $3\sim 5$ 度とすることができる。

【0047】

シード層12bには、結晶配向を向上させる機能だけでなく、スピバルブ膜の結晶粒径を制御する機能もある。具体的には、スピバルブ膜の結晶粒径を $5\sim 40\text{nm}$ に制御することができ、磁気抵抗効果素子のサイズが小さくなくても、特性のばらつきを招くことなく高いMR変化率を実現できる。

10

【0048】

ここでの結晶粒径は、シード層12bの上に形成された結晶粒の粒径によって判別することができ、断面TEMなどによって決定することができる。ピン層14がスペーサ層16よりも下層に位置するボトム型スピバルブ膜の場合には、シード層12bの上に形成される、ピニング層13(反強磁性層)や、ピン層14(磁化固着層)の結晶粒径によって判別することができる。

【0049】

高密度記録に対応した再生ヘッドでは、素子サイズが、例えば、 $100\text{nm}$ 以下である。素子サイズに対する結晶粒径の比が大きいことは、素子の特性がばらつく原因となる。スピバルブ膜の結晶粒径が $40\text{nm}$ よりも大きいことは好ましくない。具体的には、結晶粒径が $5\sim 40\text{nm}$ の範囲が好ましく、 $5\sim 20\text{nm}$ の範囲がさらに好ましい範囲である。

20

【0050】

素子面積あたりの結晶粒の数が少なくなると、結晶数が少ないことに起因した特性のばらつきの原因となりうるため、結晶粒径を大きくすることはあまり好ましくない。特に電流パスを形成しているCCP-CP素子では結晶粒径を大きくすることはあまり好ましくない。一方、結晶粒径が小さくなりすぎても、良好な結晶配向を維持することが一般的には困難になる。これら、結晶粒径の上限、および下限を考慮した結晶粒径の好ましい範囲が、 $5\sim 20\text{nm}$ である。

【0051】

しかしながら、MRAM用途などでは、素子サイズが $100\text{nm}$ 以上の場合があり、結晶粒径が $40\text{nm}$ 程度と大きくてもそれほど問題とならない場合もある。即ち、シード層12bを用いることで、結晶粒径が粗大化しても差し支えない場合もある。

30

【0052】

上述した $5\sim 20\text{nm}$ の結晶粒径を得るためには、シード層12bとして、 $Ru2\text{nm}$ や、( $Ni_xFe_{100-x}$ ) $100-yX_y$  ( $X=Cr, V, Nb, Hf, Zr, Mo$ )層の場合には、第3元素Xの組成yを $0\sim 30\%$ 程度とすることが好ましい(yが0%の場合も含む)。

【0053】

一方、結晶粒径を $40\text{nm}$ よりも粗大化させて用いるためには、さらに多量の添加元素を用いることが好ましい。シード層12bの材料が、例えば、NiFeCrの場合にはCr量を $35\sim 45\%$ 程度とし、fccとbccの境界相を示す組成を用いて、bcc構造を有するNiFeCr層を用いることが好ましい。

40

【0054】

前述したように、シード層12bの膜厚は $1\text{nm}\sim 5\text{nm}$ 程度が好ましく、 $1.5\sim 3\text{nm}$ がより好ましい。シード層12bの厚さが薄すぎると結晶配向制御などの効果が失われる。一方、シード層12bの厚さが厚すぎると、直列抵抗の増大を招き、さらにスピバルブ膜の界面の凹凸の原因となることがある。

【0055】

ピニング層13は、その上に成膜されるピン層14となる強磁性層に一方向異方性(un

50



idirectional anisotropy) を付与して磁化を固着する機能を有する。ピニング層 13 の材料としては、PtMn、PdPtMn、IrMn、RuRhMn、FeMn、NiMn などの反強磁性材料を用いることができる。この内、高記録密度対応のヘッドの材料として、IrMn が有利である。IrMn は、PtMn よりも薄い膜厚で一方向異方性を印加することができ、高密度記録の為に必要な狭ギャップ化に適している。

#### 【0056】

十分な強さの一方向異方性を付与するために、ピニング層 13 の膜厚を適切に設定する。ピニング層 13 の材料が PtMn や PdPtMn の場合には、膜厚として、8 ~ 20 nm 程度が好ましく、10 ~ 15 nm がより好ましい。ピニング層 13 の材料が IrMn の場合には、PtMn などより薄い膜厚でも一方向異方性を付与可能であり、4 ~ 18 nm が好ましく、5 ~ 15 nm がより好ましい。上記のなかの好ましい一例として、IrMn [10 nm] を用いることができる。

10

#### 【0057】

ピニング層 13 として、反強磁性層の代わりに、ハード磁性層を用いることができる。ハード磁性層として、例えば、CoPt (Co = 50 ~ 85%)、 $(Co_xPt_{100-x})_{100-y}Cr_y$  ( $x = 50 \sim 85\%$ 、 $y = 0 \sim 40\%$ )、FePt (Pt = 40 ~ 60%) を用いることができる。ハード磁性層 (特に、CoPt) は比抵抗が比較的小さいため、直列抵抗および面積抵抗 RA の増大を抑制できる。

#### 【0058】

ピン層 (磁化固着層) 14 は、下部ピン層 141 (例えば、 $Co_{90}Fe_{10}$  3.5 nm)、磁気結合層 142 (例えば、Ru)、および上部ピン層 143 (例えば、 $Fe_{50}Co_{50}$  [1 nm] /  $Cu$  [0.25 nm])  $\times 2$  /  $Fe_{50}Co_{50}$  [1 nm]) からなるシンセティックピン層とすることが好ましい一例である。ピニング層 13 (例えば、IrMn) とその直上の下部ピン層 141 は一方向異方性 (unidirectional anisotropy) をもつように交換磁気結合している。磁気結合層 142 の上下の下部ピン層 141 および上部ピン層 143 は、磁化の向きが互いに反平行になるように強く磁気結合している。

20

#### 【0059】

下部ピン層 141 の材料として、例えば、 $Co_xFe_{100-x}$  合金 ( $x = 0 \sim 100\%$ )、 $Ni_xFe_{100-x}$  合金 ( $x = 0 \sim 100\%$ )、またはこれらに非磁性元素を添加したものをを用いることができる。また、下部ピン層 141 の材料として、Co、Fe、Ni の単元素やこれらの合金を用いても良い。

30

#### 【0060】

下部ピン層 141 の磁気膜厚 (飽和磁化  $B_s \times$  膜厚  $t$  ( $B_s \cdot t$  積)) が、上部ピン層 143 の磁気膜厚とほぼ等しいことが好ましい。つまり、上部ピン層 143 の磁気膜厚と下部ピン層 141 の磁気膜厚とが対応することが好ましい。一例として、上部ピン層 143 が  $(Fe_{50}Co_{50}$  [1 nm] /  $Cu$  [0.25 nm])  $\times 2$  /  $Fe_{50}Co_{50}$  [1 nm] の場合、薄膜での FeCo の飽和磁化が約 2.2 T であるため、磁気膜厚は  $2.2 T \times 3 nm = 6.6 Tnm$  となる。 $Co_{90}Fe_{10}$  の飽和磁化が約 1.8 T なので、上記と等しい磁気膜厚を与える下部ピン層 141 の膜厚  $t$  は  $6.6 Tnm / 1.8 T = 3.66 nm$  となる。したがって、膜厚が約 3.6 nm の  $Co_{90}Fe_{10}$  を用いることが

40

#### 【0061】

下部ピン層 141 に用いられる磁性層の膜厚は 2 ~ 5 nm 程度が好ましい。ピニング層 13 (例えば、IrMn) による一方向異方性磁界強度および磁気結合層 142 (例えば、Ru) を介した下部ピン層 141 と上部ピン層 143 との反強磁性結合磁界強度の観点に基づく。下部ピン層 141 が薄すぎると MR 変化率が小さくなる。一方、下部ピン層 141 が厚すぎるとデバイス動作に必要な十分な一方向性異方性磁界を得ることが困難になる。好ましい一例として、膜厚 3.4 nm の  $Co_{90}Fe_{10}$  が挙げられる。

#### 【0062】

磁気結合層 142 (例えば、Ru) は、上下の磁性層 (下部ピン層 141 および上部ピ

50

ン層143)に反強磁性結合を生じさせてシンセティックピン構造を形成する機能を有する。磁気結合層142としてのRu層の膜厚は0.8~1nmであることが好ましい。なお、上下の磁性層に十分な反強磁性結合を生じさせる材料であれば、Ru以外の材料を用いてもよい。RKKY(Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida)結合の2ndピークに対応する膜厚0.8~1nmの代わりに、RKKY結合の1stピークに対応する膜厚0.3~0.6nmを用いることもできる。1stピークは、格段に大きな反平行磁化固着力がある一方、膜厚のマージンが小さい。ここでは、より高信頼性の結合を安定して特性が得られる、0.9nmのRuが一例として挙げられる。

#### 【0063】

上部ピン層143の一例として、(Fe<sub>50</sub>Co<sub>50</sub>[1nm]/Cu[0.25nm]) $\times$ 2/Fe<sub>50</sub>Co<sub>50</sub>[1nm]のような磁性層を用いることができる。上部ピン層143は、スピン依存散乱ユニットの一部をなす。上部ピン層143は、MR効果に直接的に寄与する磁性層であり、大きなMR変化率を得るために、この構成材料、膜厚の双方が重要である。特に、CCP-NOL層16との界面に位置する磁性材料は、スピン依存界面散乱に寄与する点で特に重要である。

#### 【0064】

上部ピン層143としてここで用いた、bcc構造をもつFe<sub>50</sub>Co<sub>50</sub>を用いる効果について述べる。上部ピン層143として、bcc構造をもつ磁性材料を用いた場合、スピン依存界面散乱効果が大きいため、大きなMR変化率を実現することができる。bcc構造をもつFeCo系合金として、Fe<sub>x</sub>Co<sub>100-x</sub>(x=30~100%)や、Fe<sub>x</sub>Co<sub>100-x</sub>に添加元素を加えたものが挙げられる。そのなかでも、諸特性を満たしたFe<sub>40</sub>Co<sub>60</sub>~Fe<sub>60</sub>Co<sub>40</sub>が使いやすい材料の一例である。

#### 【0065】

上部ピン層143が、高MR変化率を実現しやすいbcc構造をもつ磁性層から形成されている場合には、この磁性層の全膜厚が1.5nm以上であることが好ましい。bcc構造を安定に保つためである。スピバルブ膜に用いられる金属材料は、fcc構造またはfct構造であることが多いため、上部ピン層143のみがbcc構造を有することがあり得る。このため、上部ピン層143の膜厚が薄すぎると、bcc構造を安定に保つことが困難になり、高いMR変化率が得られなくなる。

#### 【0066】

ここでは、上部ピン層143として、極薄Cu積層を含むFe<sub>50</sub>Co<sub>50</sub>を用いている。ここで、上部ピン層143は、全膜厚が3nmのFeCoと、1nmのFeCo毎に積層された0.25nmのCuとからなり、トータル膜厚3.5nmである。

#### 【0067】

上部ピン層143の膜厚は5nm以下であることが好ましい。大きなピン固着磁界を得るためである。大きなピン固着磁界と、bcc構造の安定性の両立のため、bcc構造をもつ上部ピン層143の膜厚は、2.0nm~4nm程度であることが好ましいということになる。

#### 【0068】

上部ピン層143には、bcc構造をもつ磁性材料の代わりに、従来の磁気抵抗効果素子で広く用いられているfcc構造を有するCo<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>合金や、hcp構造をもつコバルト合金を用いることができる。上部ピン層143として、Co、Fe、Niなどの単体金属、またはこれらのいずれか一つの元素を含む合金材料はすべて用いることができる。上部ピン層143の磁性材料として、大きなMR変化率を得るのに有利なものから並べると、bcc構造をもつFeCo合金材料、50%以上のコバルト組成をもつコバルト合金、50%以上のNi組成をもつニッケル合金の順になる。

#### 【0069】

ここでの一例として挙げたものは、上部ピン層143として、磁性層(FeCo層)と非磁性層(極薄Cu層)とを交互に積層したものをを用いることができる。このような構造を有する上部ピン層143では、極薄Cu層によって、スピン依存バルク散乱効果と呼ば

10

20

30

40

50

れるスピン依存散乱効果を向上させることができる。

【0070】

「スピン依存バルク散乱効果」は、スピン依存界面散乱効果と対の言葉として用いられる。スピン依存バルク散乱効果とは、磁性層内部でMR効果を発現する現象である。スピン依存界面散乱効果は、スペーサ層と磁性層の界面でMR効果を発現する現象である。

【0071】

以下、磁性層と非磁性層の積層構造によるバルク散乱効果の向上につき説明する。

CCP - CPP素子においては、CCP - NOL層16の近傍で電流が狭窄されるため、CCP - NOL層16の界面近傍での抵抗の寄与が非常に大きい。つまり、CCP - NOL層16と磁性層（ピン層14、フリー層18）の界面での抵抗が、磁気抵抗効果素子全体の抵抗に占める割合が大きい。このことは、スピン依存界面散乱効果の寄与がCCP - CPP素子では非常に大きく、重要であることを示している。つまり、CCP - NOL層16の界面に位置する磁性材料の選択が従来のCPP素子の場合と比較して、重要な意味をもつ。これが、ピン層143として、スピン依存界面散乱効果が大きいbcc構造をもつFeCo合金層を用いた理由であり、前述したとおりである。

【0072】

しかしながら、バルク散乱効果の大きい材料を用いることも無視できず、より高MR変化率を得るためにはやはり重要である。バルク散乱効果を得るための極薄Cu層の膜厚は、0.1~1nmが好ましく、0.2~0.5nmがより好ましい。Cu層の膜厚が薄すぎると、バルク散乱効果を向上させる効果が弱くなる。Cu層の膜厚が厚すぎると、バルク散乱効果が減少することがあるうえに、非磁性のCu層を介した上下磁性層の磁気結合が弱くなり、ピン層14の特性が不十分となる。そこで、好ましい一例として挙げたものでは、0.25nmのCuを用いた。

【0073】

磁性層間の非磁性層の材料として、Cuの代わりに、Hf、Zr、Tiなどを用いてもよい。一方、これら極薄の非磁性層を挿入した場合、FeCoなど磁性層の一層あたりの膜厚は0.5~2nmが好ましく、1~1.5nm程度がより好ましい。

【0074】

上部ピン層143として、FeCo層とCu層との交互積層構造に換えて、FeCoとCuを合金化した層を用いてもよい。このようなFeCoCu合金として、例えば、 $(\text{Fe}_x\text{Co}_{100-x})_{100-y}\text{Cu}_y$  ( $x=30\sim100\%$ 、 $y=3\sim15\%$ 程度)が挙げられるが、これ以外の組成範囲を用いてもよい。ここで、FeCoに添加する元素として、Cuの代わりに、Hf、Zr、Tiなど他の元素を用いてもよい。

【0075】

上部ピン層143には、Co、Fe、Niや、これらの合金材料からなる単層膜を用いてもよい。例えば、最も単純な構造の上部ピン層143として、従来から広く用いられている、 $2\sim4\text{nm}$ の $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 単層を用いてもよい。この材料に他の元素を添加してもよい。

【0076】

次に、スペーサ層を形成する膜構成について述べる。下部金属層15は、電流パス162の形成に用いられ、いわば電流パス162の供給源である。ただし、電流パス162の形成後にも明確な金属層として残存している必要はない。下部金属層15は、広義のスペーサ層の一部を形成する材料である。下部金属層15は、その上部のCCP - NOL層16を形成するとき、下部に位置する磁性層143の酸化を抑制するストッパ層としての機能も有する。

【0077】

CCP - NOL層16は、絶縁層161、電流パス162を有する。絶縁層161は、酸化物、窒化物、酸窒化物等から構成される。絶縁層161として、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ のようなアモルファス構造や、MgOのような結晶構造の双方が有り得る。スペーサ層としての機能を発揮するために、絶縁層161の厚さは、1~3nmが好ましく、1.5~2.5nm

10

20

30

40

50

の範囲がより好ましい。なお、CCP-NOL層16は本発明の電流狭窄層に相当する。

【0078】

絶縁層161に用いる典型的な絶縁材料として、 $Al_2O_3$ をベース材料としたものや、これに添加元素を加えたものがある。添加元素として、Ti、Hf、Mg、Zr、V、Mo、Si、Cr、Nb、Ta、W、B、C、Vなどがある。これらの添加元素の添加量は0%~50%程度の範囲で適宜変えることができる。一例として、約2nmの $Al_2O_3$ を絶縁層161として用いることができる。

【0079】

絶縁層161には、 $Al_2O_3$ のようなAl酸化物の代わりに、Ti酸化物、Hf酸化物、Mg酸化物、Zr酸化物、Cr酸化物、Ta酸化物、Nb酸化物、Mo酸化物、Si酸化物、V酸化物なども用いることができる。これらの酸化物の場合でも、添加元素として上述の材料を用いることができる。また、添加元素の量を0%~50%程度の範囲で適宜に変えることができる。

10

【0080】

これら酸化物の代わりに、上述したようなAl、Si、Hf、Ti、Mg、Zr、V、Mo、Nb、Ta、W、B、Cをベースとした酸窒化物や、窒化物を用いても、電流を絶縁する機能を有する材料であれば構わない。

【0081】

電流パス162は、CCP-NOL層16の膜面垂直に電流を流すパス(経路)であり、電流を狭窄するためのものである。絶縁層161の膜面垂直方向に電流を通過させる導電体として機能し、例えば、Cu等の金属層から構成できる。即ち、スペーサ層16では、電流狭窄構造(CCP構造)を有し、電流狭窄効果によりMR変化率を増大可能である。

20

【0082】

電流パス162(CCP)を形成する材料は、Cu以外には、Au、Agや、Ni、Co、Fe、もしくはこれらの元素を少なくとも一つは含む合金層を挙げることができる。一例として、電流パス162をCuを含む合金層で形成することができる。CuNi、CuCo、CuFeなどの合金層も用いることができる。ここで、50%以上のCuを有する組成とすることが、高MR変化率と、ピン層14とフリー層18の層間結合磁界(interlayer coupling field,  $H_{in}$ )を小さくするためには好ましい。

30

【0083】

電流パス162は絶縁層161と比べて著しく酸素、窒素の含有量が少ない領域であり(少なくとも2倍以上の酸素や窒素の含有量の差がある)、一般的には結晶相である。結晶相は非結晶相よりも抵抗が小さいため、電流パス162として機能しやすい。

【0084】

上部金属層17は、その上に成膜されるフリー層18がCCP-NOL層16の酸化物に接して酸化されないように保護するバリア層としての機能、およびフリー層18の結晶性を良好にする機能を有する。例えば、絶縁層161の材料がアモルファス(例えば、 $Al_2O_3$ )の場合には、その上に成膜される金属層の結晶性が悪くなるが、fcc結晶性を良好にする層(例えば、Cu層)を配置することで(1nm以下程度の膜厚で良い)、フリー層18の結晶性を著しく改善することが可能となる。

40

【0085】

CCP-NOL層16の材料やフリー層18の材料によっては、必ずしも上部金属層17を設けなくてもよい。アニール条件の最適化や、極薄酸化層16の絶縁層161材料の選択、フリー層18の材料などによって、結晶性の低下を回避し、CCP-NOL層16の金属層17が不要にできる。

【0086】

しかし、製造上のマージンを考慮すると、CCP-NOL層16上に上部金属層17を形成することが好ましい。好ましい一例としては、上部金属層17として、Cu[0.5nm]を用いることができる。

50

## 【0087】

上部金属層17の構成材料として、Cu以外に、Au、Agなどを用いることもできる。上部金属層17の材料は、CCP-NOL層16の電流パス162の材料と同一であることが好ましい。上部金属層17の材料が電流パス162の材料と異なる場合には界面抵抗の増大を招くが、両者が同一の材料であれば界面抵抗の増大は生じない。

## 【0088】

上部金属層17の膜厚は、0~1nmが好ましく、0.1~0.5nmがより好ましい。上部金属層17が厚すぎると、スペーサ層16で狭窄された電流が上部金属層17で広がって電流狭窄効果が不十分になり、MR変化率の低下を招く。

## 【0089】

ここで、本実施形態のポイントは、スペーサ層中の少なくとも一部を密着量向上部とすることで、素子の信頼性を著しく改善することである。この処理の詳細については後述する。

## 【0090】

フリー層18は、磁化方向が外部磁界によって変化する強磁性体を有する層である。例えば、界面にCoFeを挿入してNiFeを用いたCo<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>[1nm]/Ni<sub>83</sub>Fe<sub>17</sub>[3.5nm]という二層構成がフリー層18の一例として挙げられる。この場合、スペーサ層16との界面には、NiFe合金よりもCoFe合金を設けることが好ましい。高いMR変化率を得るためには、スペーサ層16の界面に位置するフリー層18の磁性材料の選択が重要である。なお、NiFe層を用いない場合には、Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>[4nm]単層を用いることができる。また、CoFe/NiFe/CoFeなどの三層構成からなるフリー層を用いても構わない。

## 【0091】

CoFe合金のなかでも、軟磁気特性が安定であることから、Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>が好ましい。Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>近傍のCoFe合金を用いる場合には、膜厚を0.5~4nmとすることが好ましい。その他、Co<sub>x</sub>Fe<sub>100-x</sub>(x=70~90)が好ましい。

## 【0092】

また、フリー層18として、1~2nmのCoFe層またはFe層と、0.1~0.8nm程度の極薄Cu層とを、複数層交互に積層したものをを用いてもよい。

## 【0093】

CCP-NOL層16がCu層から形成される場合には、ピン層14と同様に、フリー層18でも、bccのFeCo層をスペーサ層16との界面材料として用いると、MR変化率が大きくなる。CCP-NOL層16との界面材料として、fccのCoFe合金に換えて、bccのFeCo合金を用いることもできる。この場合、bcc層が形成されやすい、Fe<sub>x</sub>Co<sub>100-x</sub>(x=30~100)や、これに添加元素を加えた材料を用いることができる。これらの構成のうち、好ましい実施例の一例として、Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>[1nm]/Ni<sub>83</sub>Fe<sub>17</sub>[3.5nm]を用いることができる。

## 【0094】

キャップ層19は、スピンバルブ膜を保護する機能を有する。キャップ層19は、例えば、複数の金属層、例えば、Cu層とRu層の2層構造(Cu[1nm]/Ru[10nm])とすることができる。また、キャップ層19として、Ruをフリー層18側に配置したRu/Cu層なども用いることができる。この場合、Ruの膜厚は0.5~2nm程度が好ましい。この構成のキャップ層19は、特に、フリー層18がNiFeからなる場合に望ましい。RuはNiと非固溶な関係にあるので、フリー層18とキャップ層19の間に形成される界面ミキシング層の磁歪を低減できるからである。

## 【0095】

キャップ層19が、Cu/Ru、Ru/Cu、いずれの場合も、Cu層の膜厚は0.5~10nm程度が好ましく、Ru層の膜厚は0.5~5nm程度とすることができる。Ruは比抵抗値が高いため、あまり厚いRu層を用いることは好ましくないため、このような膜厚範囲にしておくことが好ましい。

10

20

30

40

50

## 【0096】

キャップ層19として、Cu層やRu層の代わりに他の金属層を設けてもよい。キャップ層19の構成は特に限定されず、キャップとしてスピバルブ膜を保護可能なものであれば、他の材料を用いてもよい。但し、キャップ層の選択によってMR変化率や長期信頼性が変わる場合があるので、注意が必要である。CuやRuはこれらの観点からも望ましいキャップ層の材料の例である。

## 【0097】

上電極20は、スピバルブ膜の垂直方向に通電するための電極である。下電極11と上電極20との間に電圧が印加されることで、スピバルブ膜内部にその膜の垂直方向の電流が流れる。上部電極層20には、電氣的に低抵抗な材料(例えば、Cu, Au)が用

10

## 【0098】

図2~4は、上記実施態様における磁気抵抗効果素子のスペーサ層部分を拡大して示す図である。図2は、絶縁層161の下側界面、及び電流パス162の界面に、密着力向上層21Lが形成された例を表している。図3は、絶縁層161の上側界面に、密着力向上層21Uが形成された例を表している。図4は、絶縁層161の下側界面、及び電流パス162の界面に密着力向上層21Lが、及び上側界面に、密着力向上層21Uが形成された例を表している。

## 【0099】

本発明の磁気抵抗効果素子においては、絶縁層161に隣接させて上述した密着力向上層を設けることにより、絶縁層161と電流パス162及び下部金属層15との密着性、絶縁層161と上部金属層17との密着性、あるいは絶縁層161と電流パス162及び下部金属層15、上部金属層17との密着性を増大させることができる。これによって、これら層間界面の密着力を増大させ、素子の特性及び信頼性が大幅に増大することができ、信頼性の向上が図られたCCP-CP型磁気抵抗効果素子を提供することができる。

20

## 【0100】

上述したように、絶縁層161の母材料は、主としてAl, Si, Hf, Ti, V, Ta, W, Mg, Cr, およびZrからなる群より選択されるので、密着力向上層21L, 21Uは、Al, Si, Hf, Ti, V, W, Cr, およびZrからなる群より選択されるような材料から構成することができる。あるいは、絶縁層161の母材料として選択された元素よりも酸化物生成エネルギーが高く、前述した金属層15、電流パス162、及び金属層17よりも酸化物生成エネルギーが低い元素を用いることができる。

30

## 【0101】

表1に、上記の元素の酸化物生成エネルギーの一覧を示す。この表より、例えばAlを絶縁層161の母材料として用いる場合には、Si, Hf, Ti, V, W, CrおよびZrを密着力向上層21Lとして用いることができる。例えば、Siの場合には、V, W,といった具合である。

## 【0102】

但し、CCP-NOL形成プロセスを行った後、密着力向上層の母材となる層を形成し、その後、絶縁層161と金属層17の界面に密着力向上層を形成するような場合においては、絶縁層161の母材料として選択された元素と同じ元素から密着性向上層を形成することもできる。これは、以下に詳述するように、CCP-NOLを予め形成しておくため、その絶縁層を構成する酸素がエネルギー的に安定となり、密着力向上層の上に形成される金属層に接するOの量を、上述したプロセスに起因して低減することができるためである。

40

## 【0103】

【表 1】

元素	酸化物	生成自由エネルギー [ $\times 10^{-6}$ J/kmol]
Au	Au <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	163
Ag	Ag <sub>2</sub> O	-11
Cu	CuO	-127
Co	CoO	-213
Ni	NiO	-216
Fe	FeO	-244
Mo	MoO <sub>2</sub>	-502
Mg	MgO	-573
V	VO <sub>2</sub>	-680
W	WO <sub>3</sub>	-763
Si	SiO <sub>2</sub>	-805
Ti	TiO <sub>2</sub>	-880
Zr	TrO <sub>2</sub>	1037
Cr	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-1048
Hf	HfO <sub>2</sub>	-1084
Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-1580
Ta	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-1970

【0104】

密着力向上層の膜厚としては、密着力向上効果を得るためには厚いほうが望ましい。し

10

20

30

40

50

かし、厚くしすぎると、CCP-NOL16とピン層14、およびCCP-NOL16とフリー層18の層方向の距離が遠くなり、CCP-NOLにより狭窄された電流がピン層14、およびフリー層18の位置で広がってしまい、界面散乱の増幅効果が薄れてしまう場合がある。上記の理由より、密着力向上層の膜厚は、0.05nm以上1nm以下が望ましく、0.1nm以上0.5nm以下がさらに望ましい。

【0105】

なお、上記のような密着力向上層が挿入されたCCP-NOL16の構造は、Imago Scientific Instruments社のLocal Electrode Atom Probeによって確認できる。

【0106】

3次元アトムプローブ顕微鏡は、材料の原子オーダーでの組成情報を3次元でマッピング可能な測定手法である。具体的には、先端の曲率半径30~100nm、高さ100μm程度のニードル状のポストに加工された測定対象サンプルに高電圧を印加する。そして、測定対象サンプルの先端から電界蒸発された原子の位置を二次元ディテクターで検知する。二次元ディテクターで検知された(x, y)二次元平面内での原子の位置情報の時間経過(時間軸)を追うことで、z方向の深さ情報を得て(x, y, z)3次元の構造が観察可能となる。

10

【0107】

なお、Imago Scientific Instruments社の装置のほかに、Oxford Instruments社やCameca社、もしくは同等の機能を有する三次元アトムプローブを用いても分析することが可能である。

20

【0108】

また、一般には電圧パルスを印加して電界蒸発を生じさせるが、電圧パルスの代わりにレーザーパルスを用いても良い。どちらの場合にも、バイアス電界を付加するためにDC電圧を用いる。電圧パルスの場合、電圧によって、電界蒸発に必要な電界を印加する。レーザーパルスの場合、局所的に温度を上昇させ、電界蒸発を起こりやすい状態にすることで、電界蒸発を生じさせる。

【0109】

以下、本実施形態のCCP-NOL16の構造が信頼性に優れる理由について詳細に説明する。

【0110】

A. CCP-NOL層16の絶縁層161に隣接する金属の酸化について

30

CCP-NOL層16は、例えば、絶縁層161の材料として $Al_2O_3$ を用い、金属層15及び17の材料としてCuを用いた場合、 $Al_2O_3$ に接するCuが酸化され、 $CuO_x$ が形成される。 $CuO_x$ は膜の密着力を低下させることで知られている。このように、金属層15、および金属層17に用いる、Cu, Au, Agなどの酸化生成エネルギーの高い元素の酸化物が膜の密着力を低下する傾向がある。

【0111】

CCP-CCP素子では、絶縁層16と隣接する金属層の密着力が低下した場合、電流通電による発熱を駆動力とした微視的な原子の乱れや微小な膜剥がれが発生しえる。CCP-CCP素子に電流通電を行った場合、電流はメタルパス付近に集中し、電流パス自体では電流密度が増すことによってジュール熱が発生し、局所的に高温になっている。また、電流パス付近の絶縁層にも伝導電子はある確率でアタックし、ダメージを与えている。TMR(Tunneling Magneto Resistance)膜と異なり、電流集中していることで、厳しい状況にある。

40

【0112】

なお、実際に通電した素子を断面TEMで観察すると、界面が破壊されるまでは至っていない。あくまでも微視的な原子の乱れがスピン依存伝導に寄与している、と考えられる。

【0113】

このように、CCP-NOL16と隣接する金属層の密着力が弱い場合は、上述したこ

50



とを原因とした、微視的な原子の乱れや微小な膜剥がれが発生し、信頼性が低下する恐れがある。しかしながら、図2及び4に示すような構成で密着力向上層21Lを設けることにより、上記微視的な原子の乱れや微小な膜剥がれなどを抑制して、CCP-NOL16の信頼性、さらにはこれを含むCCP-CP構造の磁気抵抗効果素子の信頼性を向上させることができるようになる。以下にその原理を詳述する。

【0114】

#### B. 密着力向上層の採用による磁気抵抗効果素子の信頼性の向上

密着力向上層が磁気抵抗効果素子の信頼性に与える影響につき、図2に示した金属層15、電流バス162と絶縁層161の間に密着力向上層21Lを作製した場合を例にとり説明する。

10

【0115】

まず、密着力向上層を設けていない場合は、金属層15、および電流バス162に直接酸素を多く含有する絶縁層161が直接接してしまうため、金属層15、および電流バス162の金属が酸化してしまう。

【0116】

一方、図2のように密着力向上層を設けた場合、密着力向上層21Lの材料は金属層15、電流バス162よりも酸化物生成エネルギーが低く、絶縁層161の母材料よりも酸化物生成エネルギーの高い元素を用いる。ここで、絶縁層161と密着力向上層21Lの酸素の分布は、絶縁層161の方が酸化物生成エネルギーが低い、つまり酸化しやすい材料のため、絶縁層161のほうが酸素の含有量は高くなる。この結果、金属層15、および電流バス162に接する酸素の量は少なくなり、金属層15、および電流バス162の酸化を抑制することができる。

20

【0117】

なお、上記密着性の向上原理に関しては、金属層15、電流バス162と絶縁層161の間に密着力向上層21Lを作製した場合を例にとり説明したが、その他、絶縁層161と上部金属層17との密着力向上に関しても、同様の原理に基づいて密着性が向上し、CCP-NOL16の信頼性、さらにはこれを含むCCP-CP構造の磁気抵抗効果素子の信頼性を向上させることができるようになる。

【0118】

(磁気抵抗効果素子の製造方法)

以下、本実施の形態における磁気抵抗効果素子の製造方法を説明する。

図5は、本発明の第1の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の製造工程を概略的に表すフロー図である。

30

【0119】

本図に示すように、概略的には、下地層12～キャップ層19を上述したような材料組成及び大きさ(膜厚)に従って順次に形成される(工程S11～S17)。このとき、工程S14において、金属層15、CCP-NOL16、金属層17からなるスペーサ層を形成する際に、CCP-NOLの絶縁層161と金属層15、電流バス162、金属層17の界面に密着力向上層を設ける。

【0120】

以下、図2～4に示すような構成の密着力向上層を形成する場合における、特にS14を詳細に分割して示した工程図を示す。なお、以下に示す工程においては、絶縁層161としてアモルファス構造を有する $Al_2O_3$ 、電流バス162として金属結晶構造を有するCuから構成する場合について説明する。

40

【0121】

図6は、図2に示すような密着力向上層21Lを形成する場合の工程を詳細に示したものである。

【0122】

最初に、下部金属層15として、Cuを成膜する(S14-a1)。次いで、密着力向上層の母材料となる金属層21LMを成膜する(S14-a2)。密着力向上層の母材料となる金

50

層 2 1 L M は、C C P - N O L の母材料となる元素 1 6 1 よりも酸化生成エネルギーが高く、金属層 1 5 よりも酸化物生成エネルギーの低い元素を用いることができる。ここでは、絶縁層 1 6 1 として  $A l_2 O_3$  を用いているため、密着力向上層として表 1 より S i、H f、T i、V、W、M g、M o、C r、および Z r を用いることができる。

【 0 1 2 3 】

次に、C C P - N O L の母材料となる元素 1 6 1 M を成膜する ( S 14- a 3 )。ここでは、絶縁層 1 6 1 として  $A l_2 O_3$  を形成するため、変換される母材料金属層 1 6 1 M として、A l C u や A l を成膜する。

【 0 1 2 4 】

次に、絶縁層 1 6 1 と電流バス 1 6 2 を形成するプロセスを行う ( S 14- a 4 )。この工程には、いくつかの方法があり、以降説明する。

【 0 1 2 5 】

まず、母材料金属層 1 6 1 M に希ガス (例えば A r) のイオンビームを照射して前処理を行う。この前処理を P I T (Pre-ion treatment という)。この P I T の結果、母材料金属層 1 6 1 M 中に下部金属層の一部が吸い上げられて侵入した状態になる。このように母材料金属層 1 6 1 M の成膜後に P I T のようなエネルギー処理を行うことが重要である。

【 0 1 2 6 】

成膜された時点では、金属層 1 5 の C u 層、および密着力向上層の母材料層 2 1 L M は二次元的な膜の形態で存在している。P I T 工程により金属層 1 5 の C u と密着力向上層の母材料 2 1 L M が A l C u 層中へ吸い上げられ、侵入する。A l C u 層中へ侵入した、金属層 1 5 の C u が、後の酸化処理を行った後も金属状態のまま維持され電流バス 1 6 2 となる。また、A l C u 層中へ侵入した、密着力向上層の母材料 2 1 L M は、この P I T 処理の時点では C u と完全に分離はしていないが、この後の酸化工程で分離が促進される。この P I T 処理は C u 純度の高い電流狭窄構造 (C C P) を実現するために重要な処理である。

【 0 1 2 7 】

この工程では、加速電圧 3 0 ~ 1 5 0 V、ビーム電流 2 0 ~ 2 0 0 m A、処理時間 3 0 ~ 1 8 0 秒の条件で A r イオンを照射する。上記加速電圧の中でも、4 0 ~ 6 0 V の電圧範囲が好ましい。これよりも高い電圧範囲の場合には、P I T 後の表面荒れ等の影響により、M R 変化率の低下が生じる場合がある。また、電流値としては、3 0 ~ 8 0 m A の範囲、照射時間として、6 0 秒から 1 5 0 秒の範囲を利用できる。

【 0 1 2 8 】

また、P I T 処理の代わりに、A l C u や A l などの絶縁層 1 6 1 に変換される前の金属層をバイアスパッタで形成する手法もある。この場合には、バイアスパッタのエネルギーは、D C バイアスの場合には 3 0 ~ 2 0 0 V、R F バイアスの場合には 3 0 ~ 2 0 0 W とすることができる。

【 0 1 2 9 】

次に、酸化ガス (例えば、酸素) を供給して母材料金属層 1 6 1 M を酸化し、絶縁層 1 6 1 を形成する。このとき、電流バス 1 6 2 はそのまま酸化されないように条件を選択する。この酸化により、母材料金属層 1 6 1 M を  $A l_2 O_3$  からなる絶縁層 1 6 1 に変換するとともに、絶縁層 1 6 1 を貫通する電流バス 1 6 2 を形成して、C C P - N O L 1 6 を形成する。この酸化工程において、電流バスの C u とともに吸いあがった、密着力向上層の母材料 2 1 L M が、絶縁層 1 6 1 の  $A l_2 O_3$  と電流バス 1 6 2 の C u の界面に集まり、密着力向上層 2 1 L となる。また、絶縁層 1 6 の下にある密着力向上層の母材料 2 1 L M はそのまま密着力向上層 2 1 L となる。

【 0 1 3 0 】

例えば、希ガス (A r、X e、K r、H e など) のイオンビームを照射しながら酸化ガス (例えば酸素) を供給して母材料金属層 1 6 1 M を酸化する (イオンビームアシスト酸化 (I A O : Ion beam-assisted Oxidation))。この酸化処理により、 $A l_2 O_3$  から

10

20

30

40

50

なる絶縁層161とCuからなる電流パス162とを有するスペーサ層16が形成される。Alが酸化されやすく、Cuが酸化されにくいという、酸化エネルギーの差を利用した処理である。

【0131】

この工程では、酸素を供給しながら、加速電圧40～200V、ビーム電流30～200mA、処理時間15～300秒の条件でArイオンを照射する。上記加速電圧の中でも、50～100Vの電圧範囲が好ましい。加速電圧がこれよりも高いと、PIT後の表面荒れ等の影響により、MR変化率の低下が生じる可能性がある。また、ビーム電流として、40～100mA、照射時間として、30秒～180秒を採用できる。

【0132】

IAOでの酸化時の酸素供給量としては、2000～4000Lが好ましい範囲である。IAO時にAlだけでなく、下部磁性層(ピン層14)まで酸化されると、CCP-CCP素子の耐熱性、信頼性が低下するので好ましくない。信頼性向上のために、スペーサ層16の下部に位置する磁性層(ピン層14)が酸化されず、メタル状態であることが重要である。これを実現するためには酸素供給量を上記範囲とすることが必要である。

【0133】

また、供給された酸素によって安定な酸化物を形成するために、イオンビームを基板表面に照射している間だけ、酸素ガスをフローしていることが望ましい。即ち、イオンビームを基板表面に照射していないときは、酸素ガスをフローしないことが望ましい。

【0134】

下部金属層15のCu層の膜厚はAlCu層の膜厚に応じて調整される。すなわち、AlCu層の膜厚を厚くすると、PIT工程の際にAlCu層中へ侵入させるCu量を増加させなければならないので、Cu層の膜厚を厚くする必要がある。例えば、AlCuの膜厚が0.6～0.8nmのときには、Cu層の膜厚を0.1～0.5nm程度にする。AlCuの膜厚が0.8～1nmのときには、Cu層の膜厚を0.3～1nm程度にする。Cu層が薄すぎると、PIT工程の際にAlCu層中に十分な量のCuが供給されないため、AlCu層の上部までCuの電流パス162を貫通させることが困難になる。この結果、面積抵抗RAが過剰に高くなり、かつMR変化率が不十分な値となる場合がある。

【0135】

一方、下部金属層15のCu層が厚すぎると、PIT工程の際にはAlCu層中に十分な量のCuが供給されるが、ピン層14とスペーサ層16との間に厚いCu層が残る可能性がある。CCP-CCP素子で高いMR変化率を得るためには、スペーサ層16において狭窄された電流が狭窄されたまま磁性層(ピン層14またはフリー層18)に到達することが必要である。ピン層14とスペーサ層16の間に厚いCu層が残っていると、スペーサ層16において狭窄された電流がピン層14に到達するまでに広がり、MR変化率の低下を招く。磁気抵抗効果素子の完成後に最終的に残るCuの膜厚として、1nm以下であることが望ましい。これ以上の膜厚になると、電流狭窄効果が失われ、MR変化率の増大効果が失われてしまうからである。より好ましくは、最終的に残るCuの膜厚は0.6nm以下であることがよい。

【0136】

電流パスを形成する第1の金属層(下部金属層15)の材料として、Cuの代わりに、Au、Agなどを用いてもよい。ただし、Au、Agに比べて、Cuの方が熱処理に対する安定性が高く、好ましい。

【0137】

ピン層14に用いる磁性材料と電流パス162に用いる磁性材料が同じ場合には、ピン層14上に電流パス162の供給源(第1の金属層)を成膜する必要はない。すなわち、ピン層14上に絶縁層161に変換される第2の金属層を成膜した後、PIT工程を行うことにより第2の金属層中にピン層14の材料を侵入させ、磁性材料からなる電流パス162を形成することができる。

【0138】

10

20

30

40

50

母材料層 162 M に  $Al_{90}Cu_{10}$  を用いると、PIT 工程中に、第 1 の金属層の Cu が吸い上げられるのみでなく、AlCu 中の Cu が Al から分離される。即ち、第 1、第 2 の金属層の双方から電流バス 162 が形成される。PIT 工程後にイオンビームアシスト酸化を行った場合には、イオンビームによるアシスト効果によって Al と Cu の分離が促進されつつ酸化が進行する。

#### 【0139】

母材料層 162 M の膜厚は、AlCu の場合には 0.6 ~ 2 nm、Al の場合には 0.5 ~ 1.7 nm 程度である。これらの第 2 の金属層が酸化されて形成される絶縁層 161 の膜厚は、0.8 ~ 3.5 nm 程度となる。酸化後での膜厚が 1.3 ~ 2.5 nm 程度の範囲にある絶縁層 161 は作製しやすく、かつ電流狭窄効果の点でも有利である。また、絶縁層 161 を貫通する電流バス 162 の直径は 1 ~ 10 nm 程度であり、2 ~ 6 nm 程度が好ましい。直径 10 nm よりも大きなメタルバス 162 は小さな素子サイズにしたときに、各素子ごとの特性のばらつきの原因となるので好ましくなく、直径 6 nm よりも大きなメタルバス 162 は存在しないことが好ましい。

10

#### 【0140】

電流バス 162 の良好な構造を実現するために、上記説明では PIT / IAO 処理によって電流バス 162 を形成する場合について説明した。しかしながら、PIT の代わりに、IAO 後に Ar, Xe, Kr などの希ガスのイオンビームまたは希ガスのプラズマによる処理を行っても、良好な電流バス 162 を形成することができる。この処理は、酸化後に行う処理ということで、AIT (After-ion treatment) と呼ぶ。つまり、IAO / AIT 処理によって電流バス 162 を形成することも可能である。

20

#### 【0141】

PIT 処理では酸化前に Cu と Al の分離 (セグレゲーション) を実現する。これに対して、AIT 処理では、IAO によって Al を  $Al_2O_3$  に酸化した後に、 $Al_2O_3$  と Cu との分離を促進する。AIT 時のイオンビームもしくはプラズマのエネルギー衝突によって、このような分離を促進することが可能となる。

#### 【0142】

また、一部酸化している電流バス 162 の形成部分の酸素を還元することが可能となる。つまり、電流バス 162 の構成材料が Cu の場合、IAO で形成された  $CuO_x$  の酸素を AIT 処理で還元することで、金属状態の Cu を形成することが可能となる。

30

#### 【0143】

AIT 処理では、加速電圧 50 ~ 200 V、電流 30 ~ 300 mA、処理時間 30 ~ 180 秒の条件で Ar, Kr, He, Ne, Xe などの希ガスを含むイオンビーム、またはプラズマ (RF プラズマなど) を第 2 の金属層の表面に照射する。

#### 【0144】

イオンビームの場合には、上記加速電圧と電流を独立に制御できる。一方、RF プラズマなどの場合には、投入 RF パワーを決定すると加速電圧、電流が自動的に決まってしまう、加速電圧と電流を独立に制御することは困難である。しかしながら、RF プラズマには、装置の維持メンテナンスが容易であるというメリットがある。よって、装置の状況により、イオンビームと RF プラズマのどちらでも利用できる。

40

#### 【0145】

AIT 処理では、酸化後に PIT よりも比較的強めのエネルギー処理を行う必要があるため、ピン層 14 とフリー層 18 の層間結合磁界 (interlayer coupling field) が大きくなりやすい。スペーサ層 16 の絶縁層 161 の表面凹凸が AIT 処理によって増すため、Neel coupling (Orange peel coupling) が増加する場合があるからである。PIT 処理ではそのような問題はないため、PIT のほうが好ましいプロセスである。

#### 【0146】

AIT を PIT の代わりに行う場合とともに、PIT 処理を行った場合においても AIT を行っても良い。つまり、PIT / IAO / AIT という三つの処理を行うことも可能である。

50

## 【0147】

この場合は、I A O後に残存した微量の吸着浮遊酸素を脱離させることを目的として、P I T処理がない場合と比較して弱いエネルギーでのA I Tを行うことが好ましい。この場合のA I T条件の具体例は次の通りである。即ち、加速電圧50～100V、電流30～200mA、処理時間10～120秒の条件で、Ar、Kr、He、Ne、Xeなどの希ガスを含むイオンビーム、またはプラズマ(RFプラズマなど)を表面に照射する。

## 【0148】

次に、CCP-NOL16の上に、上部金属層17として、例えば、Cu[0.25nm]を成膜する(S4-a5)。好ましい膜厚範囲は、0.2～0.6nm程度である。0.4nm程度を用いると、フリー層18の結晶性を向上しやすいというメリットがある。フリー層18の結晶性は、成膜条件などによって調整できるため、上部金属層17は必須ではない。

10

## 【0149】

ところで、密着力を向上する施策として、上記の密着力向上層の挿入以外にも、プラズマあるいはイオンによる密着力向上処理が挙げられる。すなわち、密着力を向上したい界面に、イオンあるいはプラズマ処理をして界面の凹凸をまし、接触面積を増やすことで密着力を上げる。イオンあるいはプラズマ処理によって上下層のミキシングが生じ、より密着力が上がるという効果もある。

## 【0150】

具体的な一例として、希ガスのイオンビーム、またはプラズマを照射する。希ガスとして、Ar、Xe、Kr、He、Neなどが挙げられるが、製造コストの点からArが望ましい。Arの代わりに、必要に応じて、より質量の大きいXeなどを用いると特有の効果を得られることがある。

20

## 【0151】

上記の密着力向上処理と本実施形態の密着力向上層の挿入を組み合わせるとさらに密着力の向上が見込める。図6に示したプロセスと組み合わせる場合は、下部金属層15の表面や密着力向上層の母材料となる金属層21LMの表面に密着力向上処理を用いることができる。

## 【0152】

上記の密着力向上処理は、後述する他の界面に形成した密着力向上層とも組み合わせることができる。

30

## 【0153】

図7は、図3に示すような密着力向上層21Uを形成する場合の工程を詳細に示したものである。本プロセスでは、密着力向上層の母材となる層を形成した後、CCP-NOL形成プロセスを行って、絶縁層161と金属層17の界面に密着力向上層を形成する。

## 【0154】

最初に、金属層15として、Cuを成膜する(S14-b1)。次に、CCP-NOLの母材料となる元素161Mを成膜する(S14-b2)。ここでは、絶縁層161としてAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を形成するため、変換される母材料金属層161Mとして、AlCuやAlを成膜する。

40

## 【0155】

次に、密着力向上層の母材料となる金属層21UMを成膜する(S14-b3)。密着力向上層の母材料となる金属21UMは、上述したように、絶縁層161の母材料となる元素161Mよりも酸化生成エネルギーの高く、金属層17よりも酸化物生成エネルギーの低い元素を用いることができる。ここでは、絶縁層161としてAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いているため、密着力向上層として表1よりSi、Hf、Ti、V、W、Mg、Mo、Cr、およびZrを用いることができる。

## 【0156】

次に、絶縁層161と電流バス162を形成するプロセスを行う(S14-b4)。この工

50

程は、絶縁層 161 と電流パス 162 が形成され、金属層 21U は、絶縁層 161 の上面に集まり、密着力向上層となる。

【0157】

次に、上述のようにして得た CCP - NOL 16 の上に、上部金属層 17 として、例えば、Cu [ 0.25 nm ] を成膜する (S14-b5)。好ましい膜厚範囲は、0.2 ~ 0.6 nm 程度である。0.4 nm 程度を用いると、フリー層 18 の結晶性を向上しやすいというメリットがある。フリー層 18 の結晶性は、成膜条件などによって調整できるため、上部金属層 17 は必須ではない。

【0158】

金属層 17 を形成しなかった場合、密着力向上層 21U は絶縁層 161 とフリー層 18 の間に形成される。フリー層 18 の主元素は Co, Fe, Ni である。この場合、密着力向上層の母材料 21U は、フリー層 18 の構成元素よりも酸化物生成エネルギーが高ければ密着力向上効果が得られる。表 1 より、本実施形態で挙げている密着力向上層の母材料、Al, Si, Hf, Ti, V, W, Mo, Mg, Cr、および Zr は、全て Co, Fe, Ni よりも酸化物生成エネルギーが高いため適用することができる。

【0159】

図 8 も、同じく図 3 に示すような密着力向上層 21U を形成する場合の工程を詳細に示したものである。本プロセスでは、CCP - NOL 形成プロセスを行った後、密着力向上層の母材となる層を形成し、その後、絶縁層 161 と金属層 17 の界面に密着力向上層を形成する。

【0160】

最初に、金属層 15 として、Cu を成膜する (S14-c1)。次に、CCP - NOL の母材料となる元素 161M を成膜する (S14-c2)。ここでは、絶縁層 161 として Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を形成するため、変換される母材料金属層 161M として、AlCu や Al を成膜する。次に、絶縁層 161 と電流パス 162 を形成するプロセスを行う (S14-c3)。この工程では、上述したように、絶縁層 161 と電流パス 162 が形成される。

【0161】

次に、密着力向上層の母材料となる金属層 21UM' を成膜する (S14-c4)。ここで用いる密着力向上層の母材料となる金属 21UM' は、上述したように、絶縁層 161 の母材料となる元素 161M よりも酸化生成エネルギーの高く、金属層 17 よりも酸化物生成エネルギーの低い元素を用いることができるが、絶縁層 161 を構成する元素と同元素、つまり酸化エネルギーが同じ元素も用いることができる。この理由は後述する。この工程で、金属層 21UM' が絶縁層 16 の上部に集まり、密着力向上層 21U が形成される。

【0162】

密着力向上層の母材料 21UM' として、絶縁層 161 の母材料 161M と同元素を用いることができる理由を説明する。図 8 に示すプロセスでは、密着力向上層の母材料 21UM' の成膜が酸化工程の後に行われているため、絶縁層 161 の Al と O の結合は強固にされている。そのため、密着力向上層として後に成膜した Al に、既に酸化物となっている Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> から O の移動は顕著には起こらず、絶縁層 161 の Al と密着力向上層の Al とで O の含有量が同じにはならない。この結果、密着力向上層の上に形成される金属層に接する O の量を低減することができる。

【0163】

次に、CCP - NOL 16 の上に、上部金属層 17 として、例えば、Cu [ 0.25 nm ] を成膜する (S14-c5)。好ましい膜厚範囲は、0.2 ~ 0.6 nm 程度である。0.4 nm 程度を用いると、フリー層 18 の結晶性を向上しやすいというメリットがある。フリー層 18 の結晶性は、成膜条件などによって調整できるため、上部金属層 17 は必須ではない。

【0164】

金属層 17 を形成しなかった場合、密着力向上層 21U は絶縁層 161 とフリー層 18

10

20

30

40

50

の間に形成される。フリー層 18 の主元素は C o , F e , N i である。この場合、密着力向上層の母材料 2 1 U は、フリー層 18 の構成元素よりも酸化物生成エネルギーが高ければ密着力向上効果が得られる。表 1 より、本実施形態で挙げている密着力向上層の母材料、A l , S i , H f , T i , V , W , M o , M g , C r、および Z r は、全て C o , F e , N i よりも酸化物生成エネルギーが高いため適用することができる。

【 0 1 6 5 】

図 9 は、図 4 に示すような密着力向上層 2 1 L 及び 2 1 U を形成する場合の工程を詳細に示したものである。本プロセスでは、図 7 に示すプロセスに従って、密着力向上層の母材となる層を形成した後、CCP - NOL 形成プロセスを行って、絶縁層 1 6 1 と金属層 1 5 及び 1 7 の界面に密着力向上層を形成する。

10

【 0 1 6 6 】

最初に、金属層 1 5 として、C u を成膜する ( S 14-d1 )。次に、密着力向上層の母材料となる金属層 2 1 L M を成膜する ( S 14-d2 )。密着力向上層の母材料となる金属 2 1 L M は、絶縁層 1 6 1 の母材料となる元素 1 6 1 M よりも酸化生成エネルギーの高く、金属層 1 5 よりも酸化物生成エネルギーの低い元素を用いることができる。ここでは、絶縁層 1 6 1 として A l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> を用いているため、密着力向上層として表 1 より S i , H f , T i , V , W , M g , M o , C r、および Z r を用いることができる。

【 0 1 6 7 】

次に、CCP - NOL の母材料となる元素 1 6 1 M を成膜する ( S 14-d3 )。ここでは、絶縁層 1 6 1 として A l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> を形成するため、変換される母材料金属層 1 6 1 M として、A l C u や A l を成膜する。

20

【 0 1 6 8 】

次に、密着力向上層の母材料となる金属層 2 1 L M を成膜する ( S 14-d4 )。密着力向上層の母材料となる金属 2 1 U M は、絶縁層 1 6 1 の母材料となる元素 1 6 1 M よりも酸化生成エネルギーの高く、金属層 1 7 よりも酸化物生成エネルギーの低い元素を用いることができる。ここでは、絶縁層 1 6 1 として A l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> を用いているため、密着力向上層として表 1 より S i , H f , T i , V , W , M g , M o , C r、および Z r を用いることができる。

【 0 1 6 9 】

次に、絶縁層 1 6 1 と電流パス 1 6 2 を形成するプロセスを行う ( S 14-d5 )。この工程では、上記同様に、絶縁層 1 6 1 と電流パス 1 6 2 が形成されると同時に、絶縁層 1 6 1 を覆うように密着力向上層 2 1 L 及び 2 1 U が形成される。

30

【 0 1 7 0 】

図 10 は、同じく図 4 に示すような密着力向上層 2 1 L 及び 2 1 U を形成する場合の工程を詳細に示したものである。本プロセスでは、図 7 に示すプロセスに従って、密着力向上層の母材となる層を形成した後、CCP - NOL 形成プロセスを行って、絶縁層 1 6 1 と金属層 1 5 及び 1 7 の界面に密着力向上層 2 1 L を形成し、さらに図 8 に示すプロセスに従って絶縁層 1 6 1 及び金属層 1 7 の界面に密着力向上層 2 1 U ' を形成する。

【 0 1 7 1 】

最初に、金属層 1 5 として、C u を成膜する ( S 14-e1 )。次に、密着力向上層の母材料となる金属層 2 1 L M を成膜する ( S 14-e2 )。密着力向上層の母材料となる金属 2 1 L M は、CCP - NOL の母材料となる元素 1 6 1 よりも酸化生成エネルギーの高く、金属層 1 5 よりも酸化物生成エネルギーの低い元素を用いることができる。ここでは、絶縁層 1 6 1 として A l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> を用いているため、密着力向上層として表 1 より S i , H f , T i , V , W , M g , M o , C r、および Z r を用いることができる。

40

【 0 1 7 2 】

次に、CCP - NOL の母材料となる元素 1 6 1 M を成膜する ( S 14-e3 )。ここでは、絶縁層 1 6 1 として A l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> を形成するため、変換される母材料金属層 1 6 1 M として、A l C u や A l を成膜する。

【 0 1 7 3 】

50

次に、絶縁層 161 と電流パス 162 を形成するプロセスを行う (S14-e4)。この工程では、上記同様に、絶縁層 161 と電流パス 162 が形成され、絶縁層 161 と金属層 15 の界面、および電流パス 162 との界面に密着力向上層 21L が形成される。

#### 【0174】

次に、密着力向上層の母材料となる金属層 21UM' を成膜する (S14-e5)。ここで用いる密着力向上層の母材料となる金属 21UM' は、絶縁層 161 の母材料となる元素 161M よりも酸化生成エネルギーの高く、金属層 17 よりも酸化物生成エネルギーの低い元素を用いることができるが、絶縁層 161 を構成する元素と同元素、つまり酸化エネルギーが同じ元素も用いることができる。この理由は図 8 に示すプロセスに関連して説明した理由に基づく。この工程で、金属層 21UM' が絶縁層 16 の上部に集まり、密着力向上層 21U' が形成される。

10

#### 【0175】

(磁気抵抗効果素子の製造に用いられる装置)

図 11 は、磁気抵抗効果素子の製造に用いられる成膜装置の概略を示す模式図である。図 11 に示すように、搬送チャンバー (TC) 50 を中心として、ロードロックチャンバー 51、プレクリーニングチャンバー 52、第 1 の金属成膜チャンバー (MC1) 53、第 2 の金属成膜チャンバー (MC2) 54、酸化物層・窒化物層形成チャンバー (OC) 60 がそれぞれゲートバルブを介して設けられている。この成膜装置では、ゲートバルブを介して接続された各チャンバーの間で、真空中において基板を搬送することができるので、基板の表面は清浄に保たれる。

20

#### 【0176】

金属成膜チャンバー 53, 54 は多元 (5 ~ 10 元) のターゲットを有する。成膜方式は、DC マグネトロンスパッタ、RF マグネトロンスパッタ等のスパッタ法、イオンビームスパッタ法、蒸着法、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法、および MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法などが挙げられる。

#### 【0177】

(磁気抵抗効果素子の製造方法の全体的説明)

以下、磁気抵抗効果素子の製造方法の全体について詳細に説明する。

基板 (図示せず) 上に、下電極 11、下地層 12、ピニング層 13、ピン層 14、下部金属層 15、スペーサ層 16、上部金属層 17、フリー層 18、キャップ層 19、上電極 20 を順に形成する。

30

#### 【0178】

基板をロードロックチャンバー 51 にセットし、金属の成膜を金属成膜チャンバー 53、54 で、酸化を酸化物層・窒化物層形成チャンバー 60 でそれぞれ行う。金属成膜チャンバーの到達真空度は  $1 \times 10^{-8}$  Torr 以下とすることが好ましく、 $5 \times 10^{-10}$  Torr ~  $5 \times 10^{-9}$  Torr 程度が一般的である。搬送チャンバー 50 の到達真空度は  $10^{-9}$  Torr オーダーである。酸化物層・窒化物層形成チャンバー 60 の到達真空度は  $8 \times 10^{-8}$  Torr 以下である。

#### 【0179】

(1) 下地層 12 の形成 (工程 S11)

40

基板 (図示せず) 上に、下電極 11 を微細加工プロセスによって前もって形成しておく。下電極 11 上に、下地層 12 として、例えば、Ta [5 nm] / Ru [2 nm] を成膜する。既述のように、Ta は下電極の荒れを緩和したりするためのバッファ層 12a である。Ru はその上に成膜されるスピバルブ膜の結晶配向および結晶粒径を制御するシード層 12b である。

#### 【0180】

(2) ピニング層 13 の形成 (工程 S12)

下地層 12 上にピニング層 13 を成膜する。ピニング層 13 の材料としては、PtMn、PdPtMn、IrMn、RuRhMn などの反強磁性材料を用いることができる。

#### 【0181】

50



## (3) ピン層14の形成(工程S13)

ピニング層13上にピン層14を形成する。ピン層14は、例えば、下部ピン層141 ( $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ )、磁気結合層142 (Ru)、および上部ピン層143 ( $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$  [4 nm]) からなるシンセティックピン層とすることができる。

【0182】

## (4) CCP-NOL層16の形成(工程S14)

次に、電流狭窄構造(CCP構造)を有するCCP-NOL16を形成する。CCP-NOL16を形成するには、酸化物層・窒化物層形成チャンバー60を用いる。CCP-NOL16の形成方法は、(磁気抵抗効果素子の製造方法)で述べたとおりである。絶縁層161と金属層15及び電流パス162の界面、または、絶縁層161と金属層17またはフリー層18の界面に密着力向上層を設けることにより、信頼性の高い磁気抵抗効果素子を提供することができる。

10

【0183】

## (5) フリー層18の形成(工程S15)

まず、高いMR変化率を得るためには、スペーサ層16との界面に位置するフリー層18の磁性材料の選択が重要である。この場合、スペーサ層16との界面には、NiFe合金よりもCoFe合金を設けることが好ましい。CoFe合金のなかでも特に軟磁気特性が安定な $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$  [1 nm]を用いることができる。他の組成でも、CoFe合金は用いることができる。

【0184】

20

$\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$  近傍のCoFe合金を用いる場合には、膜厚を0.5~4 nmとすることが好ましい。他の組成のCoFe合金(例えば、 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ )を用いる場合、膜厚を0.5~2 nmとすることが好ましい。スピン依存界面散乱効果を上昇させるために、フリー層18に、例えば、 $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ (もしくは、 $\text{Fe}_{x}\text{Co}_{100-x}$  ( $x=45\sim85$ ))を用いた場合には、フリー層18としての軟磁性を維持するために、ピン層14のような厚い膜厚は使用困難である。このため、0.5~1 nmが好ましい膜厚範囲である。Coを含まないFeを用いる場合には、軟磁気特性が比較的良好なため、膜厚を0.5~4 nm程度とすることができる。

【0185】

CoFe層の上に設けられるNiFe層は、軟磁性特性が安定な材料からなる。CoFe合金の軟磁気特性はそれほど安定ではないが、その上にNiFe合金を設けることによって軟磁気特性を補完することができる。NiFeをフリー層18として用いることは、スペーサ層16との界面に高MR変化率を実現できる材料が使用可能となり、スピナルブ膜のトータル特性上好ましい。

30

【0186】

NiFe合金の組成は、 $\text{Ni}_{x}\text{Fe}_{100-x}$  ( $x=78\sim85\%$ 程度)が好ましい。ここで、通常用いるNiFeの組成 $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ よりも、Niリッチな組成(例えば、 $\text{Ni}_{83}\text{Fe}_{17}$ )を用いることが好ましい。これはゼロ磁歪を実現するためである。CCP構造のスペーサ層16上に成膜されたNiFeでは、メタルCu製のスペーサ層上に成膜されたNiFeよりも、磁歪がプラス側にシフトする。プラス側への磁歪のシフトをキャンセルするために、Ni組成が通常よりも多い、負側のNiFe組成を用いている。

40

【0187】

NiFe層のトータル膜厚は2~5 nm程度(例えば、3.5 nm)が好ましい。NiFe層を用いない場合には、1~2 nmのCoFe層またはFe層と0.1~0.8 nm程度の極薄Cu層とを、複数層交互に積層したフリー層18を用いてもよい。

【0188】

## (6) キャップ層19、および上電極20の形成(工程S16)

フリー層18の上に、キャップ層19として例えば、 $\text{Cu}$  [1 nm] /  $\text{Ru}$  [10 nm]を積層する。キャップ層19の上にスピナルブ膜へ垂直通電するための上電極20を

50

形成する。

【実施例】

【0189】

(実施例1)

以下、本発明の実施例につき説明する。以下に、本発明の実施例に係る磁気抵抗効果膜10の構成を表す。

- ・下電極11
- ・下地層12：Ta [5 nm] / Ru [2 nm]
- ・ピニング層13：Ir<sub>22</sub>Mn<sub>78</sub> [7 nm]
- ・ピン層14：Co<sub>75</sub>Fe<sub>25</sub> [3.2 nm] / Ru [0.9 nm] / (Fe<sub>50</sub>Co<sub>50</sub> [1 nm] / Cu [0.25 nm]) × 2 / Fe<sub>50</sub>Co<sub>50</sub> [1 nm]
- ・金属層15：Cu [0.5 nm]
- ・CCP-NOL16：Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の絶縁層161およびCuの電流パス162およびTiからなる密着力向上層 (Ti [0.25 nm] / Al<sub>90</sub>Cu<sub>10</sub> [1 nm] / Ti [0.25 nm]) を成膜した後、PIT/IAO処理。) 10
- ・金属層17：Cu [0.25 nm]
- ・フリー層18：Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> [1 nm] / Ni<sub>83</sub>Fe<sub>17</sub> [3.5 nm]
- ・キャップ層19：Cu [1 nm] / Ru [10 nm]
- ・上電極20。

【0190】

CCP-NOL16の製造工程につき説明する。なお、その他の工程は、既述の手法で行われるので、説明を省略する。

【0191】

最初に、金属層15として、Cuを成膜する。膜厚はCu [0.5 nm] を成膜する。次に、密着力向上層の母材料となる金属層としてTi [0.25 nm] を成膜する。下側の密着力向上層の母材料となるTi [0.25 nm] は、CCP-NOLの母材料であるAl<sub>90</sub>Cu<sub>10</sub>の主成分であるAlよりも酸化生成エネルギーの高く、金属層15であるCuよりも酸化物生成エネルギーが低い。ここでは、密着力向上層として、TiのほかにSi, Hf, V, W, Mg, Mo, Cr, およびZrを用いることができる。

【0192】

次に、絶縁層のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の母材料となる、Al<sub>90</sub>Cu<sub>10</sub> [1 nm] を成膜する。次に、上側の密着力向上層の母材料となるTi [0.25 nm] を成膜する。次に、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる絶縁層とCuからなる電流パスを形成するプロセスを行う。本実施例では、PIT処理とIAO処理を行った。

【0193】

上記の工程により、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の絶縁層161およびCuの電流パス162からなるCCP-NOLにおいて、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の絶縁層161と金属層15の界面、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の絶縁層161と電流パス162の界面、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の絶縁層161と金属層17の界面にTiからなる密着力向上層を設けることができる。

【0194】

本実施例に係る磁気抵抗効果膜10を3次元アトムプローブで観察したところ、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の絶縁層161と隣接する金属層の界面に、Tiを主成分とした密着力向上層が形成されているのを確認できた。

【0195】

実施例に係るCCP-CPP素子の特性を評価したところ、RA = 500 m / μm<sup>2</sup>、MR変化率 = 9%、RA = 45 m / μm<sup>2</sup>であった。密着力向上層がないものと比べ、RA、MR変化率の値に大きな変化は生じていない。

【0196】

次に、信頼性について評価した。通電試験の条件は、温度130、バイアス電圧140 mVとした。通常の使用条件より厳しい条件とすることで、信頼性の相違が短期間の試

10

20

30

40

50

験で表れるようにしている。また、通電方向として、ピン層 14 からフリー層 18 に電流が流れる方向とした。つまり、電子の流れとしては、逆向きになるのでフリー層 18 からピン層 14 に流れることになる。

【0197】

このような通電方向は、スピントランスファノイズを低減するために望ましい方向である。フリー層 18 からピン層 14 に電流を流す場合（電子の流れとしては、ピン層からフリー層）のほうが、スピントランスファトルク効果が大きいといわれており、ヘッドにおいてはノイズ発生のもとになる。その観点からも、通電方向はピン層からフリー層に流れる方向が好ましい構成である。

【0198】

ここでの試験条件は加速試験のために、温度を通常の条件より高くしている。また、素子サイズの関係で、バイアス電圧も比較的強めの条件である。実施例では、実際のヘッドでの素子サイズ（実際には、 $0.1\ \mu\text{m} \times 0.1\ \mu\text{m}$  よりも小さい素子サイズにおいて）より、素子サイズを大きくしている。素子サイズが大きいと、バイアス電圧が同一でも電流量が大きくなり、かつ素子の放熱性が悪くなる。このため、実施例の素子では、ジュール発熱の影響が実際のヘッドの素子よりも遙かに大きい、厳しい条件において試験していることになる。さらには、バイアス電圧も実際に使用される電圧値よりも大きく、かつ温度条件も実際よりも高温化と、すべての条件が厳しく設定されており、短時間で信頼性の良否を判断するために設定された、加速試験条件である。

【0199】

このような加速試験条件で通電試験を行ったところ、密着力向上層を設けていない素子に比べて、信頼性が著しく向上していることが確認できた。

【0200】

本実施例で行った厳しい条件において、実施例の素子の信頼性が良好なことは、本実施形態に係る磁気抵抗効果素子を高度な信頼性を要求される環境下で利用できることを意味する。高密度記録対応のヘッドにおいて、従来以上に信頼度の極めて高いヘッドが実現できることになる。この高密度記録対応のヘッドは、信頼性スペックが厳しい使用条件、例えば、高熱環境化で使用するカーナビ応用、高速で使用するサーバー、エンタープライズ応用などの HDD (Hard Disk Drive) に利用できる。

【0201】

(実施例 2)

本例では、実施例 1 に対して、絶縁層 161 の上側界面に配置される密着力向上層の形成プロセスが異なっている。実施例 1 では、絶縁層 161 の上側界面に配置される密着力向上層の母材料 Ti [  $0.25\ \text{nm}$  ] を成膜してから、PIT/IAO 処理を行ったが、本実施例では、PIT/IAO 処理を行ってから密着力向上層の母材料 Ti [  $0.25\ \text{nm}$  ] を成膜した。このような形成プロセスで上側の密着力向上層を形成する場合、密着力向上層の母材料として、絶縁層 161 よりも酸化エネルギーが低い元素だけでなく、酸化エネルギーが同等の元素も用いることができる。つまり、Ti のほかに Al, Si, Hf, V, W, Mg, Mo, Cr, および Zr を用いることができる。

【0202】

本実施例に係る磁気抵抗効果膜 10 を 3 次元アトムプローブで観察したところ、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の絶縁層 161 と隣接する金属層の界面に、Ti を主成分とした密着力向上層が形成されているのを確認できた。

【0203】

実施例に係る CCP - CPP 素子の特性を評価したところ、 $RA = 500\ \text{m}\ \Omega / \mu\text{m}^2$ 、MR 変化率 = 9%、 $RA = 45\ \text{m}\ \Omega / \mu\text{m}^2$  であった。密着力向上層がないものと比べ、RA、MR 変化率の値に大きな変化は生じていない。実施例 1 と同様に加速試験条件で通電試験を行ったところ、密着力向上層を設けていない素子に比べて、信頼性が著しく向上していることが確認できた。

【0204】

10

20

30

40

50

(磁気抵抗効果素子の応用)

以下、本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子(CCP- CPP素子)の応用について説明する。

【0205】

本発明の実施形態において、CPP素子の素子抵抗RAは、高密度対応の観点から、 $500\text{ m} / \mu\text{m}^2$ 以下が好ましく、 $300\text{ m} / \mu\text{m}^2$ 以下がより好ましい。素子抵抗RAを算出する場合には、CPP素子の抵抗Rにスピバルブ膜の通電部分の実効面積Aを掛け合わせる。ここで、素子抵抗Rは直接測定できる。一方、スピバルブ膜の通電部分の実効面積Aは素子構造に依存する値であるため、その決定には注意を要する。

【0206】

例えば、スピバルブ膜の全体を実効的にセンシングする領域としてパターンニングしている場合には、スピバルブ膜全体の面積が実効面積Aとなる。この場合、素子抵抗を適度に設定する観点から、スピバルブ膜の面積を少なくとも $0.04\ \mu\text{m}^2$ 以下にし、 $200\text{ Gbps}$ 以上の記録密度では $0.02\ \mu\text{m}^2$ 以下にする。

【0207】

しかし、スピバルブ膜に接してスピバルブ膜より面積の小さい下電極11または上電極20を形成した場合には、下電極11または上電極20の面積がスピバルブ膜の実効面積Aとなる。下電極11または上電極20の面積が異なる場合には、小さい方の電極の面積がスピバルブ膜の実効面積Aとなる。この場合、素子抵抗を適度に設定する観点から、小さい方の電極の面積を少なくとも $0.04\ \mu\text{m}^2$ 以下にする。

【0208】

後に詳述する図12、図13の実施例の場合、図12でスピバルブ膜10の面積が一番小さいところは上電極20と接触している部分なので、その幅をトラック幅Twとして考える。また、ハイト方向に関しては、図13においてやはり上電極20と接触している部分が一番小さいので、その幅をハイト長Dとして考える。スピバルブ膜の実効面積Aは、 $A = Tw \times D$ として考える。

【0209】

本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子では、電極間の抵抗Rを100以下にすることができ。この抵抗Rは、例えばヘッドジンバルアセンブリー(HGA)の先端に装着した再生ヘッド部の2つの電極パッド間で測定される抵抗値である。

【0210】

本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子において、ピン層14またはフリー層18がfcc構造である場合には、fcc(111)配向性をもつことが望ましい。ピン層14またはフリー層18がbcc構造をもつ場合には、bcc(110)配向性をもつことが望ましい。ピン層14またはフリー層18がhcp構造をもつ場合には、hcp(001)配向またはhcp(110)配向性をもつことが望ましい。

【0211】

本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の結晶配向性は、配向のばらつき角度で4.0度以内が好ましく、3.5度以内がより好ましく、3.0度以内がさらに好ましい。これは、X線回折の $2\theta$ 測定により得られるピーク位置でのロッキングカーブの半値幅として求められる。また、素子断面からのナノディフラクションスポットでのスポットの分散角度として検知することができる。

【0212】

反強磁性膜の材料にも依存するが、一般的に反強磁性膜とピン層14/CCP-NOL層16/フリー層18とでは格子間隔が異なるため、それぞれの層における配向のばらつき角度を別々に算出することが可能である。例えば、白金マンガン(PtMn)とピン層14/CCP-NOL層16/フリー層18とでは、格子間隔が異なることが多い。白金マンガン(PtMn)は比較的厚い膜であるため、結晶配向のばらつきを測定するには適した材料である。ピン層14/CCP-NOL層16/フリー層18については、ピン層14とフリー層18とで結晶構造がbcc構造とfcc構造というように異なる場合

10

20

30

40

50

もある。この場合、ピン層 14 とフリー層 18 とはそれぞれ別の結晶配向の分散角をもつことになる。

【0213】

(磁気ヘッド)

図 12 および図 13 は、本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに組み込んだ状態を示している。図 12 は、磁気記録媒体(図示せず)に対向する媒体対向面に対してほぼ平行な方向に磁気抵抗効果素子を切断した断面図である。図 13 は、この磁気抵抗効果素子を媒体対向面 ABS に対して垂直な方向に切断した断面図である。

【0214】

図 12 および図 13 に例示した磁気ヘッドは、いわゆるハード・アバテッド(hard abutted)構造を有する。磁気抵抗効果膜 10 は上述した CCP-CP 膜である。磁気抵抗効果膜 10 の上下には、下電極 11 と上電極 20 とがそれぞれ設けられている。図 12 において、磁気抵抗効果膜 10 の両側面には、バイアス磁界印加膜 41 と絶縁膜 42 とが積層して設けられている。図 13 に示すように、磁気抵抗効果膜 10 の媒体対向面には保護層 43 が設けられている。

10

【0215】

磁気抵抗効果膜 10 に対するセンス電流は、その上下に配置された下電極 11、上電極 20 によって矢印 A で示したように、膜面に対してほぼ垂直方向に通電される。また、左右に設けられた一対のバイアス磁界印加膜 41、41 により、磁気抵抗効果膜 10 にはバイアス磁界が印加される。このバイアス磁界により、磁気抵抗効果膜 10 のフリー層 18 の磁気異方性を制御して単磁区化することによりその磁区構造が安定化し、磁壁の移動に伴うバルクハウゼンノイズ(Barkhausen noise)を抑制することができる。

20

【0216】

磁気抵抗効果膜 10 の S/N 比が向上しているので、磁気ヘッドに応用した場合に高感度の磁気再生が可能となる。

【0217】

(ハードディスクおよびヘッドジンバルアセンブリ)

図 12 および図 13 に示した磁気ヘッドは、記録再生一体型の磁気ヘッドアセンブリに組み込んで、磁気記録再生装置に搭載することができる。

【0218】

図 14 は、このような磁気記録再生装置の概略構成を例示する要部斜視図である。すなわち、本実施形態の磁気記録再生装置 150 は、ロータリーアクチュエータを用いた形式の装置である。同図において、磁気ディスク 200 は、スピンドル 152 に装着され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより矢印 A の方向に回転する。本実施形態の磁気記録再生装置 150 は、複数の磁気ディスク 200 を備えてもよい。

30

【0219】

磁気ディスク 200 に格納する情報の記録再生を行うヘッドスライダ 153 は、薄膜状のサスペンション 154 の先端に取り付けられている。ヘッドスライダ 153 は、上述したいずれかの実施形態に係る磁気抵抗効果素子を含む磁気ヘッドをその先端付近に搭載している。

40

【0220】

磁気ディスク 200 が回転すると、ヘッドスライダ 153 の媒体対向面(ABS)は磁気ディスク 200 の表面から所定の浮上量をもって保持される。あるいはスライダが磁気ディスク 200 と接触するいわゆる「接触走行型」でもよい。

【0221】

サスペンション 154 はアクチュエータアーム 155 の一端に接続されている。アクチュエータアーム 155 の他端には、リニアモータの一種であるボイスコイルモータ 156 が設けられている。ボイスコイルモータ 156 は、ボビン部に巻かれた図示しない駆動コイルと、このコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石および対向ヨークから

50

なる磁気回路とから構成される。

【0222】

アクチュエータアーム155は、スピンドル157の上下2箇所に設けられた図示しないボールベアリングによって保持され、ボイスコイルモータ156により回転摺動が自在にできるようになっている。

【0223】

図15は、アクチュエータアーム155から先のヘッドジンバルアセンブリをディスク側から眺めた拡大斜視図である。すなわち、アセンブリ160は、アクチュエータアーム155を有し、アクチュエータアーム155の一端にはサスペンション154が接続されている。サスペンション154の先端には、上述したいずれかの実施形態に係る磁気抵抗効果素子を含む磁気ヘッドを具備するヘッドスライダ153が取り付けられている。サスペンション154は信号の書き込みおよび読み取り用のリード線164を有し、このリード線164とヘッドスライダ153に組み込まれた磁気ヘッドの各電極とが電氣的に接続されている。図中165はアセンブリ160の電極パッドである。

10

【0224】

本実施形態によれば、上述の磁気抵抗効果素子を含む磁気ヘッドを具備することにより、高い記録密度で磁気ディスク200に磁氣的に記録された情報を確実に読み取ることが可能となる。

【0225】

(磁気メモリ)

次に、本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を搭載した磁気メモリについて説明する。すなわち、本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を用いて、例えばメモリセルがマトリクス状に配置されたランダムアクセス磁気メモリ(MRAM: magnetic random access memory)などの磁気メモリを実現できる。

20

【0226】

図16は、本発明の実施形態に係る磁気メモリのマトリクス構成の一例を示す図である。この図は、メモリセルをアレイ状に配置した場合の回路構成を示す。アレイ中の1ビットを選択するために、列デコーダ350、行デコーダ351が備えられており、ビット線334とワード線332によりスイッチングトランジスタ330がオンになり一意に選択され、センスアンプ352で検出することにより磁気抵抗効果膜10中の磁気記録層(フリー層)に記録されたビット情報を読み出すことができる。ビット情報を書き込むときは、特定の書き込みワード線323とビット線322に書き込み電流を流して発生する磁場を印加する。

30

【0227】

図17は、本発明の実施形態に係る磁気メモリのマトリクス構成の他の例を示す図である。この場合、マトリクス状に配線されたビット線322とワード線334とが、それぞれデコーダ360、361により選択されて、アレイ中の特定のメモリセルが選択される。それぞれのメモリセルは、磁気抵抗効果素子10とダイオードDとが直列に接続された構造を有する。ここで、ダイオードDは、選択された磁気抵抗効果素子10以外のメモリセルにおいてセンス電流が迂回することを防止する役割を有する。書き込みは、特定のビット線322と書き込みワード線323とにそれぞれに書き込み電流を流して発生する磁場により行われる。

40

【0228】

図18は、本発明の実施形態に係る磁気メモリの要部を示す断面図である。図19は、図18のA-A'線に沿う断面図である。これらの図に示した構造は、図16または図17に示した磁気メモリに含まれる1ビット分のメモリセルに対応する。このメモリセルは、記憶素子部分311とアドレス選択用トランジスタ部分312とを有する。

【0229】

記憶素子部分311は、磁気抵抗効果素子10と、これに接続された一対の配線322、324とを有する。磁気抵抗効果素子10は、上述した実施形態に係る磁気抵抗効果素

50

子（CCP - CPP素子）である。

【0230】

一方、アドレス選択用トランジスタ部分312には、ビア326および埋め込み配線328を介して接続されたトランジスタ330が設けられている。このトランジスタ330は、ゲート332に印加される電圧に応じてスイッチング動作をし、磁気抵抗効果素子10と配線334との電流経路の開閉を制御する。

【0231】

また、磁気抵抗効果素子10の下方には、書き込み配線323が、配線322とほぼ直交する方向に設けられている。これら書き込み配線322、323は、例えばアルミニウム（Al）、銅（Cu）、タングステン（W）、タンタル（Ta）あるいはこれらいずれかを含む合金により形成することができる。

10

【0232】

このような構成のメモリセルにおいて、ビット情報を磁気抵抗効果素子10に書き込むときは、配線322、323に書き込みパルス電流を流し、それら電流により誘起される合成磁場を印加することにより磁気抵抗効果素子の記録層の磁化を適宜反転させる。

【0233】

また、ビット情報を読み出すときは、配線322と、磁気記録層を含む磁気抵抗効果素子10と、下電極324とを通してセンス電流を流し、磁気抵抗効果素子10の抵抗値または抵抗値の変化を測定する。

【0234】

20

本発明の実施形態に係る磁気メモリは、上述した実施形態に係る磁気抵抗効果素子（CCP - CPP素子）を用いることにより、セルサイズを微細化しても、記録層の磁区を確実に制御して確実な書き込みを確保でき、且つ、読み出しも確実に行うことができる。

【0235】

（その他の実施形態）

本発明の実施形態は上記の実施形態に限られず拡張、変更可能であり、拡張、変更した実施形態も本発明の技術的範囲に含まれる。

【0236】

磁気抵抗効果膜の具体的な構造や、その他、電極、バイアス印加膜、絶縁膜などの形状や材質に関しては、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる。

30

【0237】

例えば、磁気抵抗効果素子を再生用磁気ヘッドに適用する際に、素子の上下に磁気シールドを付与することにより、磁気ヘッドの検出分解能を規定することができる。また、本発明の実施形態は、長手磁気記録方式のみならず、垂直磁気記録方式の磁気ヘッドあるいは磁気再生装置についても適用できる。さらに、本発明の磁気再生装置は、特定の記録媒体を定常的に備えたいわゆる固定式のものでも良く、一方、記録媒体が差し替え可能ないわゆる「リムーバブル」方式のものでも良い。

【0238】

その他、本発明の実施形態として上述した磁気ヘッドおよび磁気記憶再生装置を基にして、当業者が適宜設計変更して実施しうるすべての磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド、磁気記憶再生装置および磁気メモリも同様に本発明の範囲に属する。

40

【図面の簡単な説明】

【0239】

【図1】本発明の磁気抵抗効果素子の一例を表す斜視図である。

【図2】図1に示す磁気抵抗効果素子のスペーサ層付近を表す模式図である。

【図3】同じく、図1に示す磁気抵抗効果素子のスペーサ層付近を表す模式図である。

【図4】同じく、図1に示す磁気抵抗効果素子のスペーサ層付近を表す模式図である。

【図5】本発明の磁気抵抗効果素子の製造方法における一例を示すフロー図である。

【図6】密着力向上層を導入したスペーサ層の形成工程を表すフロー図である。

50

【図7】同じく、密着力向上層を導入したスペーサ層の形成工程を表すフロー図である。  
 【図8】同じく、密着力向上層を導入したスペーサ層の形成工程を表すフロー図である。  
 【図9】同じく、密着力向上層を導入したスペーサ層の形成工程を表すフロー図である。  
 【図10】同じく、密着力向上層を導入したスペーサ層の形成工程を表すフロー図である。

【図11】本発明の磁気抵抗効果素子を形成するための成膜装置の模式図である。  
 【図12】本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに組み込んだ状態を示す図である。

【図13】同じく、本発明の実施形態に係る磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに組み込んだ状態を示す図である。

【図14】磁気記録再生装置の概略構成を例示する要部斜視図である。

【図15】アクチュエーターアームから先のヘッドジンバルアセンブリーをディスク側から眺めた拡大斜視図である。

【図16】本発明の実施形態に係る磁気メモリのマトリクス構成の一例を示す図である。

【図17】本発明の実施形態に係る磁気メモリのマトリクス構成の他の例を示す図である。

【図18】本発明の実施形態に係る磁気メモリの要部を示す断面図である。

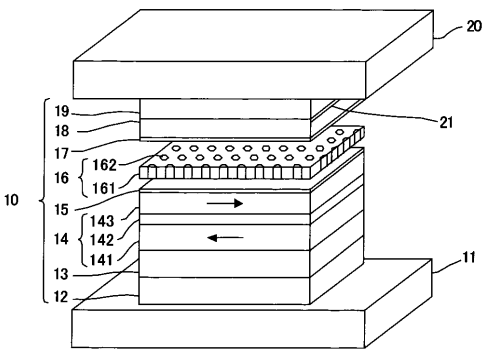
【図19】図17のA-A'線に沿う断面図である。

【符号の説明】

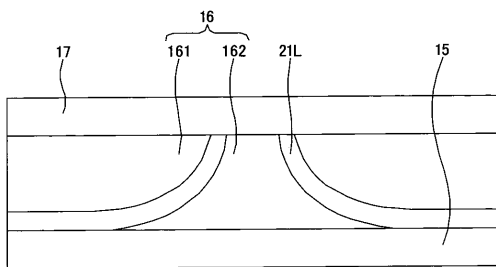
【0240】

10...磁気抵抗効果膜、11...下電極、12...下地層、12a...バッファ層、12b...シード層、13...ピニング層、14...ピン層、141...下部ピン層、142...磁気結合層、143...上部ピン層、15...下部金属層、16...CCP-NOL層、161...絶縁層、162...電流パス、17...上部金属層、18...フリー層、19...キャップ層、20...上電極、21L, 21U...密着力向上層

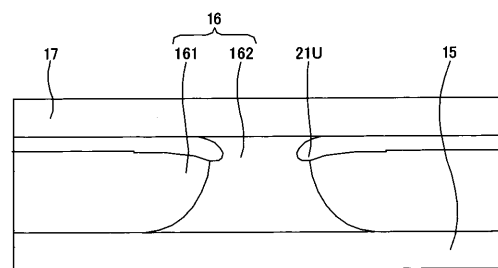
【図1】



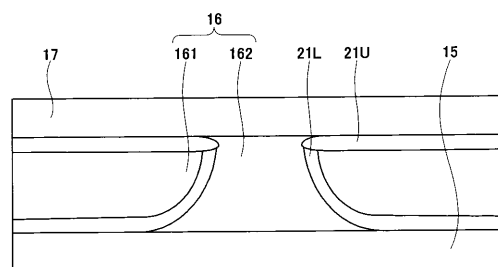
【図2】



【図3】



【図4】

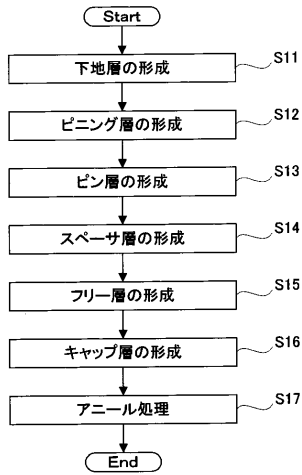


10

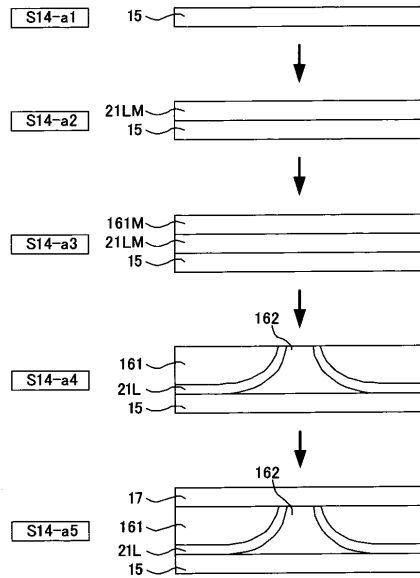
20



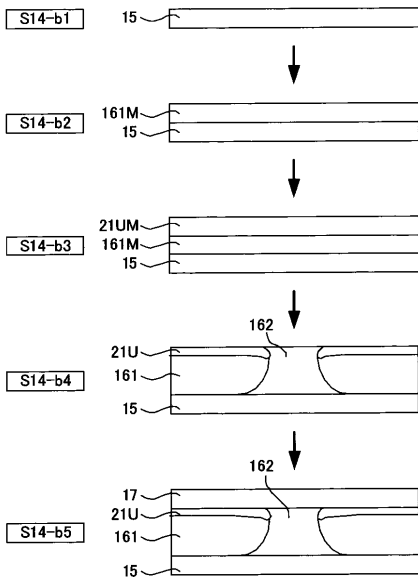
【 図 5 】



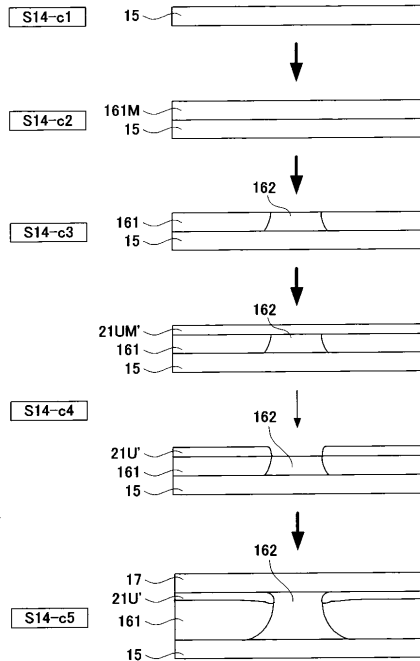
【 図 6 】



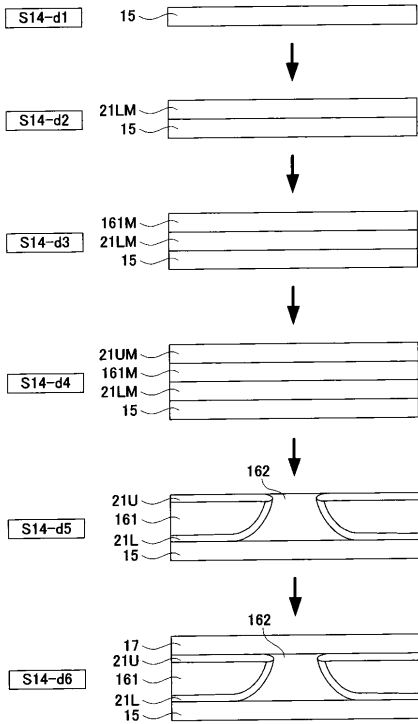
【 図 7 】



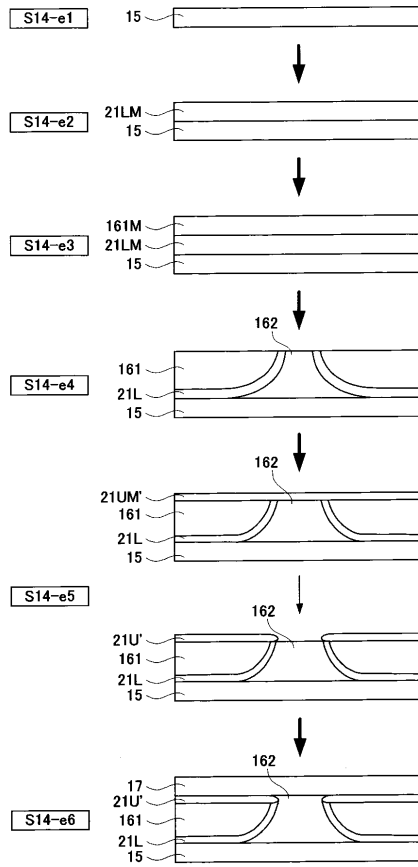
【 図 8 】



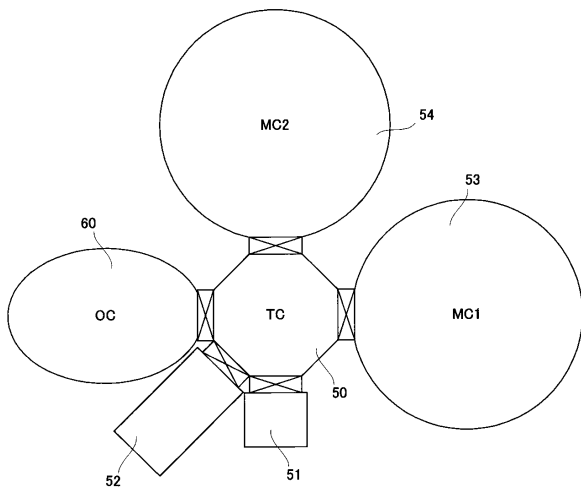
【 図 9 】



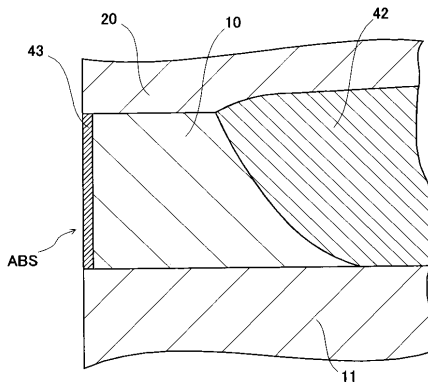
【 図 10 】



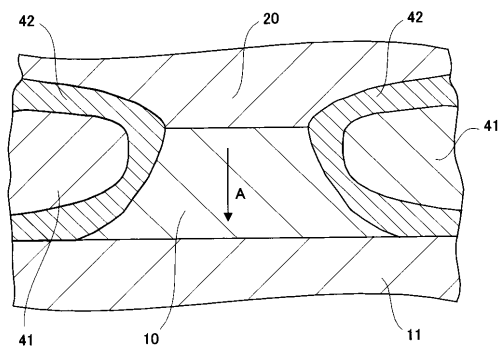
【 図 11 】



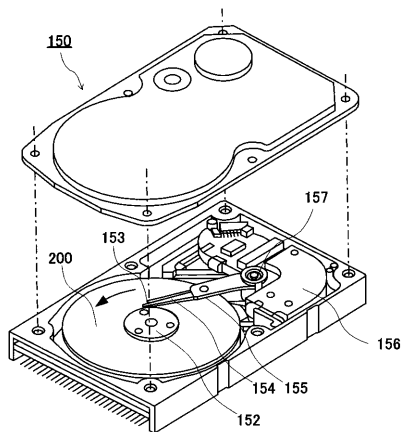
【 図 13 】



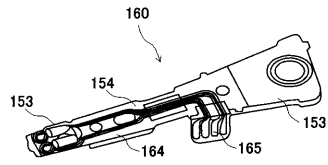
【 図 12 】



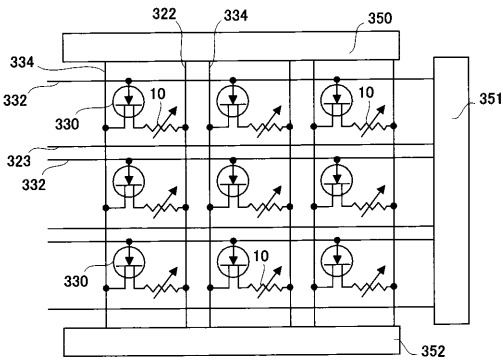
【 図 14 】



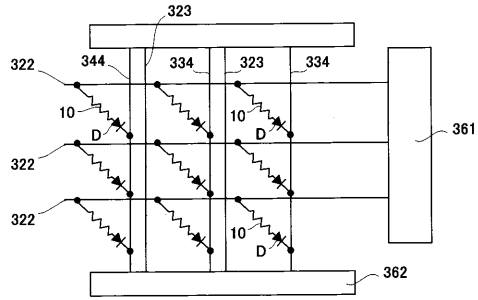
【 15 】



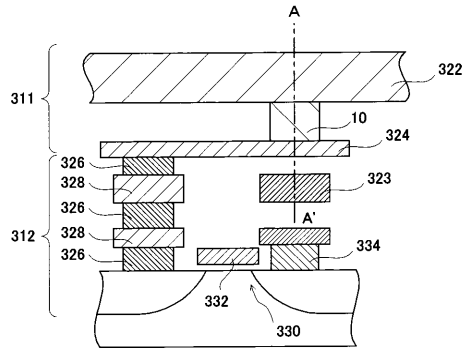
【 16 】



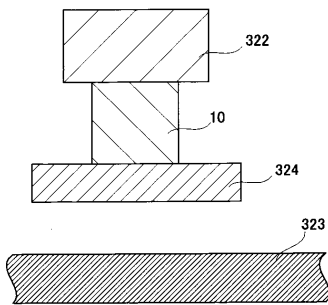
【 17 】



【 18 】



【 19 】



---

フロントページの続き

審査官 川村 裕二

- (56)参考文献 特開2006-054257(JP,A)  
特開2004-153248(JP,A)  
特開2004-214234(JP,A)  
特開2004-327880(JP,A)  
特開2007-221135(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 43/12  
G11B 5/39  
H01L 21/8246  
H01L 27/105  
H01L 43/08