

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3589346号
(P3589346)

(45) 発行日 平成16年11月17日(2004.11.17)

(24) 登録日 平成16年8月27日(2004.8.27)

(51) Int. Cl.⁷

F I

HO 1 L 43/08	HO 1 L 43/08	Z
GO 1 R 33/09	G 1 1 B 5/39	
G 1 1 B 5/39	HO 1 F 10/32	
HO 1 F 10/32	GO 1 R 33/06	R
HO 1 L 27/105	HO 1 L 27/10	4 4 7

請求項の数 37 (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2000-182152 (P2000-182152)
 (22) 出願日 平成12年6月16日(2000.6.16)
 (65) 公開番号 特開2001-237472 (P2001-237472A)
 (43) 公開日 平成13年8月31日(2001.8.31)
 審査請求日 平成12年6月16日(2000.6.16)
 (31) 優先権主張番号 特願平11-170486
 (32) 優先日 平成11年6月17日(1999.6.17)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)
 (31) 優先権主張番号 特願平11-352962
 (32) 優先日 平成11年12月13日(1999.12.13)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000005821
 松下電器産業株式会社
 大阪府門真市大字門真1006番地
 (74) 代理人 100078282
 弁理士 山本 秀策
 (72) 発明者 小田川 明弘
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下
 電器産業株式会社内
 (72) 発明者 神間 博
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下
 電器産業株式会社内
 (72) 発明者 平本 雅祥
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下
 電器産業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子および磁気抵抗効果記憶素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の強磁性膜と、
 第2の強磁性膜と、
 該第1の強磁性膜と該第2の強磁性膜との間に設けられた第1の非磁性膜と、を備え、
 外部磁場に対して、該第1の強磁性膜は該第2の強磁性膜よりも容易に磁化回転し、
 該第1の強磁性膜の磁性的な実効の厚みが2nm以下であって、
 前記第1の強磁性膜が、
 第2の非磁性膜と、
 第4の強磁性膜と、
 第5の強磁性膜と、
 を備え、
 該第4の強磁性膜と該第5の強磁性膜とが、該第2の非磁性膜を介して反強磁性交換結合
 をしており、
 前記第4の強磁性膜の磁化方向と前記第5の強磁性膜の磁化方向とが反平行を保った状態
 で、該第4の強磁性膜と該第5の強磁性膜とが磁化回転する、磁気抵抗効果素子。

【請求項2】

前記第1の強磁性膜および前記第2の強磁性膜の少なくとも一方が膜の平面方向に磁化配
 向を持つ、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】

前記第2の強磁性膜がX M n S bからなり、ここでXは、N i、P t、P dのうち少なくとも一つから選択される請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】

前記第4の強磁性膜の飽和磁化の大きさと前記第5の強磁性膜の飽和磁化の大きさとが異なる、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】

前記第4の強磁性膜の厚さと前記第5の強磁性膜の厚さとが異なる、請求項4に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項6】

前記第4の強磁性膜の厚さと前記第5の強磁性膜の厚さとの差が2 nm以下である請求項5に記載の磁気抵抗効果素子。 10

【請求項7】

前記第2の非磁性膜がR uからなる、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項8】

前記第2の非磁性膜がR h、I rおよびR eの何れかよりなる、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項9】

前記第2の非磁性膜は、0.6 nm以上0.8 nm以下の膜厚を有する、請求項7に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項10】

前記第4および第5の強磁性膜の少なくとも一方は、N i、C oおよびF eの内の少なくとも1種の原子を主成分とする請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。 20

【請求項11】

前記第2の強磁性膜が、
第3の非磁性膜と、
第6の強磁性膜と、
第7の強磁性膜と、
を備え、
該第6の強磁性膜と該第7の強磁性膜とが、該第3の非磁性膜を介して反強磁性交換結合をしている、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。 30

【請求項12】

前記第3の非磁性膜がR uからなる、請求項11に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項13】

前記第3の非磁性膜がR h、I rおよびR eの何れかよりなる、請求項11に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項14】

前記第3の非磁性膜は、0.6 nm以上0.8 nm以下の膜厚を有する、請求項12に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項15】

前記第6および第7の強磁性膜の少なくとも一方は、N i、C oおよびF eの内の少なくとも1種の原子を主成分とする請求項11に記載の磁気抵抗効果素子。 40

【請求項16】

前記第1の非磁性膜が絶縁体である、請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項17】

前記絶縁体は、A l₂O₃、M g O、炭化物および窒化物の内の少なくとも一つを含む、請求項16に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項18】

第1の強磁性膜と、
第2の強磁性膜と、
該第1の強磁性膜と該第2の強磁性膜との間に設けられた第1の非磁性膜と、 50

少なくとも該第 1 の強磁性膜を磁化回転させる、少なくとも 1 つの導電膜と、を備え、外部磁場に対して、該第 1 の強磁性膜は該第 2 の強磁性膜よりも容易に磁化回転し、該第 1 の強磁性膜の磁性的な実効の厚みが 2 nm 以下であって、前記第 1 の強磁性膜が、第 2 の非磁性膜と、第 4 の強磁性膜と、第 5 の強磁性膜と、を備え、該第 4 の強磁性膜と該第 5 の強磁性膜とが、該第 2 の非磁性膜を介して反強磁性交換結合をしており、前記第 4 の強磁性膜の磁化方向と前記第 5 の強磁性膜の磁化方向とが反平行を保った状態で、該第 4 の強磁性膜と該第 5 の強磁性膜とが磁化回転する、磁気抵抗効果記憶素子。

10

【請求項 19】

前記第 1 の強磁性膜および前記第 2 の強磁性膜の少なくとも一方が膜の平面方向に磁化配向を持つ、請求項 18 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 20】

前記第 2 の強磁性膜が X M n S b からなり、ここで X は、Ni、Pt、Pd のうち少なくとも一つから選択される請求項 18 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 21】

前記第 4 の強磁性膜の飽和磁化の大きさと前記第 5 の強磁性膜の飽和磁化の大きさとが異なる、請求項 18 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

20

【請求項 22】

前記第 4 の強磁性膜の厚さと前記第 5 の強磁性膜の厚さとが異なる、請求項 18 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 23】

前記第 4 の強磁性膜の厚さと前記第 5 の強磁性膜の厚さとの差が 2 nm 以下である請求項 22 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 24】

前記第 2 の非磁性膜が Ru からなる、請求項 18 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 25】

前記第 2 の非磁性膜が Rh、Ir および Re の何れかよりなる、請求項 18 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

30

【請求項 26】

前記第 2 の非磁性膜は、0.6 nm 以上 0.8 nm 以下の膜厚を有する、請求項 24 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 27】

前記第 4 および第 5 の強磁性膜の少なくとも一方は、Ni、Co および Fe の内の少なくとも 1 種の原子を主成分とする請求項 18 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 28】

前記第 2 の強磁性膜が、第 3 の非磁性膜と、第 6 の強磁性膜と、第 7 の強磁性膜と、を備え、該第 6 の強磁性膜と該第 7 の強磁性膜とが、該第 3 の非磁性膜を介して反強磁性交換結合をしている、請求項 18 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

40

【請求項 29】

前記第 3 の非磁性膜が Ru からなる、請求項 28 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 30】

前記第 3 の非磁性膜が Rh、Ir および Re の何れかよりなる、請求項 28 に記載の磁気

50

抵抗効果記憶素子。

【請求項 3 1】

前記第 3 の非磁性膜は、0.6 nm 以上 0.8 nm 以下の膜厚を有する、請求項 2 9 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 3 2】

前記第 6 および第 7 の強磁性膜の少なくとも一方は、Ni、Co および Fe の内の少なくとも 1 種の原子を主成分とする請求項 2 8 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 3 3】

前記第 1 の非磁性膜が絶縁体である、請求項 1 8 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 3 4】

前記絶縁体は、Al₂O₃、MgO、炭化物および窒化物の内の少なくとも 1 つを含む、請求項 3 3 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 3 5】

前記第 1 の強磁性膜と前記第 2 の強磁性膜とが前記第 1 の非磁性膜を挟みこんだ構造を少なくとも 2 つ備え、

それぞれの前記構造は、少なくとも 1 つの第 4 の非磁性膜を介して重なっている、請求項 1 8 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 3 6】

それぞれの前記構造が備えるそれぞれの前記第 2 の強磁性膜の保磁力の大きさが互いに異なっている、請求項 3 5 に記載の磁気抵抗効果記憶素子。

【請求項 3 7】

請求項 1 8 に記載の磁気抵抗効果記憶素子を複数個含み、複数の前記導電膜が、所定の方向に配置される、MRAM デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は微細な形状の磁気抵抗効果素子および微細な形状の磁気抵抗効果記憶素子を可能とし、これらを行列状に配置した高密度磁気抵抗効果記憶デバイスを実現するものである。

【0002】

【従来の技術】

磁気抵抗効果(MR)膜を用いた固体記憶デバイス(MRAM)は、L. J. Schwede の、Proc. INTERMAG Conf. IEEE Trans. on Magn. Kyoto (1972) 405. によって提案され、記録磁界発生用の電流線であるワード線とMR膜を用いた読み出し用のセンス線より成る構成の様々なタイプのMRAMが研究されている。このような研究の例として、A. V. Pohmらの、IEEE Trans. on Magn. 28 (1992) 2356. が挙げられる。これらの記憶デバイスには、一般的にMR変化率が2%程度の異方性MR効果(AMR)を示すNiFe膜等が使用され、出力される信号値の向上が課題であった。

【0003】

非磁性膜を介して交換結合した磁性膜より成る人工格子膜が、巨大磁気抵抗効果(GMR)を示すことが、M. N. Baibichら、Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2472. に記述されている。また、GMR膜を用いたMRAMの提案が、K. T. M. Ranmuthuら、IEEE Trans. on Magn. 29 (1993) 2593. によってなされている。しかしながら、この反強磁性交換結合をした磁性膜より成るGMR膜は、大きなMR変化率を示すものの、AMR膜に比べ大きな印加磁界を必要とし、大きな情報記録および読み出し電流を必要とする問題点がある。

【0004】

上記の交換結合型GMR膜に対して、非結合型GMR膜としてはスピンバルブ膜があり、反強磁性膜を用いたものが、B. Dienyら、J. Magn. Magn. Mater.

10

20

30

40

50

93(1991)101. に記述されている。また、(半)硬質磁性膜を用いたものが、H. Sakakimaら、Jpn. J. Appl. Phys. 33(1994)L1668. に記述されている。これらは、AMR膜と同様の低磁界で、かつAMR膜より大きなMR変化率を示す。また、反強磁性膜あるいは硬質磁性膜を用いたスピバルブ型を用いたMRAMにおいて、記憶素子が非破壊読み出し特性(NDRO)を有することを示すものが、Y. Irieら、Jpn. J. Appl. Phys. 34(1995)L415. に記述され、本発明はこの技術に関連する。

【0005】

上記のGMR膜の非磁性膜はCu等の導体膜であるが、非磁性膜にAl₂O₃やMgO等の酸化物絶縁膜を用いたトンネル型GMR膜(TMR)の研究も盛んとなり、このTMR膜を用いたMRAMも提案されている。 10

【0006】

GMR膜で膜面に垂直に電流を流した場合のMR効果(CPPMR)の方が膜面に平行に電流を流した場合のMR効果(CIPMR)より大きいことが知られている。また、更にTMR膜はインピーダンスが高いので、TMR膜を用いることにより大きな出力が期待される。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、MRAM素子の微細パターン化を行っていくと以下のような課題が生じる。即ち磁性膜の膜厚は、通常約1nm～約10nmであるが、MRAM素子幅がサブマイクロオーダーとなると反磁界成分が無視できなくなり、この磁性膜を磁化させるのに大きな磁界が必要となる。更に、この磁化状態を安定に保つには大きな保磁力が必要となり、ワード線の電流により発生する磁界での磁化反転が困難となる。 20

【0008】

本発明は、上記のような課題を鑑みて、微細パターン化された磁気抵抗効果素子および磁気抵抗効果記憶素子における、強磁性膜の反磁界成分の増加による素子動作の困難さを改善することを目的とする。また、磁気抵抗効果記憶素子およびそれらが集積されたMRAMデバイスに対する信号情報の記憶方法および信号情報の読み出し方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明の磁気抵抗効果素子は、第1の強磁性膜と、第2の強磁性膜と、第1の強磁性膜と第2の強磁性膜との間に設けられた第1の非磁性膜と、を備え、外部磁場に対して、第1の強磁性膜は第2の強磁性膜よりも容易に磁化回転し、第1の強磁性膜の磁性的な実効の厚みが2nm以下であって、第1の強磁性膜が、第2の非磁性膜と、第4の強磁性膜と、第5の強磁性膜とを備え、第4の強磁性膜と第5の強磁性膜とが、第2の非磁性膜を介して反強磁性交換結合をしており、第4の強磁性膜の磁化方向と第5の強磁性膜の磁化方向とが反平行を保った状態で、第4の強磁性膜と第5の強磁性膜とが磁化回転することにより上記目的が達成される。 30

【0010】

第1の強磁性膜および第2の強磁性膜の少なくとも一方が膜の平面方向に磁化配向を持ってよい。 40

【0011】

第2の強磁性膜がX Mn S bからなり、ここでXは、Ni、Pt、Pdのうち少なくとも一つから選択されてよい。

【0017】

第4の強磁性膜の飽和磁化の大きさと第5の強磁性膜の飽和磁化の大きさとが異なってもよい。

【0018】

第4の強磁性膜の厚さと第5の強磁性膜の厚さとが異なってもよい。 50

【0019】

第4の強磁性膜の厚さと第5の強磁性膜の厚さとの差が2nm以下であってもよい。

【0020】

第2の非磁性膜がRuからなってもよい。

【0021】

第2の非磁性膜がRh、IrおよびReの何れかよりなってもよい。

【0022】

第2の非磁性膜は、0.6nm以上0.8nm以下の膜厚を有してもよい。

【0023】

第4および第5の強磁性膜の少なくとも一方は、Ni、CoおよびFeの内の少なくとも1種の原子を主成分としてもよい。

【0025】

第2の強磁性膜が、第3の非磁性膜と、第6の強磁性膜と、第7の強磁性膜と、を備え、第6の強磁性膜と第7の強磁性膜とが、第3の非磁性膜を介して反強磁性交換結合をしてよい。

【0026】

第3の非磁性膜がRuからなってもよい。

【0027】

第3の非磁性膜がRh、IrおよびReの何れかよりなってもよい。

【0028】

第3の非磁性膜は、0.6nm以上0.8nm以下の膜厚を有してもよい。

【0029】

第6および第7の強磁性膜の少なくとも一方は、Ni、CoおよびFeの内の少なくとも1種の原子を主成分としてもよい。

【0030】

第1の非磁性膜が絶縁体であってもよい。

【0031】

絶縁体は、Al₂O₃、MgO、炭化物および窒化物の内の少なくとも1つを含んでもよい。

【0032】

本発明の磁気抵抗効果記憶素子は、第1の強磁性膜と、第2の強磁性膜と、第1の強磁性膜と第2の強磁性膜との間に設けられた第1の非磁性膜と、少なくとも第1の強磁性膜を磁化回転させる、少なくとも1つの導電膜と、を備え、外部磁場に対して、第1の強磁性膜は第2の強磁性膜よりも容易に磁化回転し、第1の強磁性膜の磁性的な実効の厚みが2nm以下であって、第1の強磁性膜が、第2の非磁性膜と、第4の強磁性膜と、第5の強磁性膜とを備え、第4の強磁性膜と第5の強磁性膜とが、第2の非磁性膜を介して反強磁性交換結合をしており、第4の強磁性膜の磁化方向と第5の強磁性膜の磁化方向とが反平行を保った状態で、第4の強磁性膜と第5の強磁性膜とが磁化回転することにより上記目的が達成される。

【0033】

第1の強磁性膜および第2の強磁性膜の少なくとも一方が膜の平面方向に磁化配向を持ってよい。

【0034】

第2の強磁性膜がXMnSbからなり、ここでXは、Ni、Pt、Pdのうち少なくとも一つから選択されてもよい。

【0040】

第4の強磁性膜の飽和磁化の大きさと第5の強磁性膜の飽和磁化の大きさとが異なってもよい。

【0041】

第4の強磁性膜の厚さと第5の強磁性膜の厚さとが異なってもよい。

10

20

30

40

50

【0042】

第4の強磁性膜の厚さと第5の強磁性膜の厚さとの差が2nm以下であってもよい。

【0043】

第2の非磁性膜がRuからなってもよい。

【0044】

第2の非磁性膜がRh、IrおよびReの何れかよりなってもよい。

【0045】

第2の非磁性膜は、0.6nm以上0.8nm以下の膜厚を有してもよい。

【0046】

第4および第5の強磁性膜の少なくとも一方は、Ni、CoおよびFeの内の少なくとも1種の原子を主成分としてもよい。

【0048】

第2の強磁性膜が、第3の非磁性膜と、第6の強磁性膜と、第7の強磁性膜と、を備え、第6の強磁性膜と第7の強磁性膜とが、第3の非磁性膜を介して反強磁性交換結合をしてよい。

【0049】

第3の非磁性膜がRuからなってもよい。

【0050】

第3の非磁性膜がRh、IrおよびReの何れかよりなってもよい。

【0051】

第3の非磁性膜は、0.6nm以上0.8nm以下の膜厚を有してもよい。

【0052】

第6および第7の強磁性膜の少なくとも一方は、Ni、CoおよびFeの内の少なくとも1種の原子を主成分としてもよい。

【0053】

第1の非磁性膜が絶縁体であってもよい。

【0054】

絶縁体は、Al₂O₃、MgO、炭化物および窒化物の内の少なくとも1つを含んでもよい。

【0055】

第1の強磁性膜と第2の強磁性膜とが第1の非磁性膜を挟みこんだ構造を少なくとも2つ備え、それぞれの構造は、少なくとも1つの第4の非磁性膜を介して重なってもよい。

【0056】

それぞれの構造が備えるそれぞれの第2の強磁性膜の保磁力の大きさが互いに異なってもよい。

【0057】

本発明によれば、上記に記載の磁気抵抗効果記憶素子を複数個含み、複数の導電膜が、所定の方向に配置される、MRAMデバイスが実現される。

【0112】

本発明の1つの局面においては、外部磁界に対して磁化方向が動きやすい自由層が、膜厚が薄くても保磁力が小さい強磁性膜と非晶質層とで構成される。

【0113】

本発明の別の局面においては、自由層として反強磁性的に交換結合した合成フェリ磁性膜が用いられる。

【0114】

上述のような本発明の特徴により、微細な形状の磁気抵抗効果素子あるいは微細な形状の磁気抵抗効果記憶素子、およびこのような磁気抵抗効果記憶素子を行列状に配置した高密度磁気抵抗効果記憶デバイスが実現される。

【0115】

【発明の実施の形態】

10

20

30

40

50

(実施の形態 1)

図 1 に本発明の実施の形態 1 における磁気抵抗効果記憶素子 1000 の断面図を示す。

【0116】

磁気抵抗効果記憶素子 1000 は、硬質磁性膜を用いたスピバルブ型（以下では HM スピバルブ型と呼ぶ）磁気抵抗効果記憶素子である。

【0117】

磁気抵抗効果記憶素子 1000 においては、硬質磁性膜 110（第 2 の強磁性膜）と、非磁性絶縁膜 120 と、軟磁性膜 130（第 1 の強磁性膜）により MR 素子部 100 が形成される。軟磁性膜 130 は硬質磁性膜 110 よりも外部磁界に対して磁化回転し易い。MR 素子部 100 は、センス線およびビット線を構成する導電膜 140 および 150 に接
10

【0118】

本発明の説明において、図示される各磁性膜中に示される矢印は、各磁性膜のそれぞれの磁化方向の一例を示している。ただし、各磁性膜の磁化方向は、図示される方向に限定されず、様々な実施の形態において変化し得るものであり、また、書き込み動作および読み出し動作において変化し得る。

【0119】

磁気抵抗効果記憶素子 1000 においては、導電膜 170（ワード線）を流れる電流によって発生する磁界により、硬質磁性膜 110 を磁化反転させ情報を書き込む。情報の読み出しは、硬質磁性膜 110 の磁化反転を起こさず、軟磁性膜 130 のみを磁化反転させることにより行う。また、導電膜 170 のみでなく、導電膜 140 または 150（センス線）にも電流を流して磁界を発生させても良い。この場合には、導電膜 170 と 140（150）とにより構成されるそれぞれの配線は、直交する関係にあることが好ましい。
20

【0120】

このような書き込みおよび読み出し動作を行うことにより、磁気抵抗効果記憶素子 1000 は、非破壊読み取り（NDR0）が可能となる。また、この場合、磁化反転させるための磁界のしきい値として、硬質磁性膜 110 および軟磁性膜 130 のそれぞれの保磁力に対応する記録用しきい値 H_h と読み出し用しきい値 H_s の 2 つが必要となる。

【0121】

図 2（a）および図 2（b）に、HM スピバルブ型である磁気抵抗効果記憶素子 1000 の動作原理を示す。磁気抵抗効果記憶素子 1000 への信号の記録は、図 2（a）に示すように、導電膜 170 に正のパルス電流 501 または負のパルス電流 502 を流し、硬質磁性膜 110 の H_h を越える磁界を硬質磁性膜 110 に印加し、硬質磁性膜 110 を磁化反転させ、硬質磁性膜 110 の磁化方向により“1”または“0”の信号を記録することにより行われる。
30

【0122】

記録された信号の読み出しは、導電膜 140 および 150（図 1）に定電流を流した状態で、導電膜 170 に弱電流パルスを通し、軟磁性膜 130 の H_s 以上、硬質磁性膜 110 の H_h 以下の磁界を発生させ、軟磁性膜 130 が磁化反転するか否かを判別することにより行われる。この場合、導電膜 140 および 150 を通じてモニターされた MR 素子部 100 の抵抗値の変化により、“1”または“0”の記憶状態が識別される。
40

【0123】

例えば、図 2（a）に示される“1”および“0”の記憶状態において、正のパルス電流 501 と同様のパルス電流を導電膜 170 に流した場合は、記憶状態“1”の磁気抵抗効果記憶素子 1000 に対しては抵抗値の変化はなく、また、記憶状態“0”の磁気抵抗効果記憶素子 1000 に対しては抵抗値が増加する。そして、反対に、負のパルス電流 502 と同様のパルス電流を導電膜 170 に流した場合は、抵抗値の変化は上記と逆になる。

【0124】

10

20

30

40

50

更に、図2(b)に示すように正負のパルスを組み合わせたパルス電流503(ただし、パルス電流503の大きさは、硬質磁性膜110の磁化反転を起こさず、軟磁性膜130のみを磁化反転させ得るものである)を流した場合、記憶状態が“1”の磁気抵抗効果記憶素子1000に対しては、抵抗変化は零正となるので、変化率(R_1/t)は正となり、反対に記憶状態が“0”の磁気抵抗効果記憶素子1000に対しては、抵抗の変化率(R_1/t)は負になる。

【0125】

上記のような動作原理で、磁気抵抗効果記憶素子1000から信号の読み出しが可能となる。磁気抵抗効果記憶素子1000のようなHMスピンバルブ型記憶素子において特徴的なことは、硬質磁性膜110の磁化状態は読み出し中は不変であるので、NDR0が可能となることである。

10

【0126】

なお、硬質磁性膜110の代わりに半硬質磁性膜が用いられても良い。

【0127】

また、硬質磁性膜110および軟磁性膜130とが逆に配置されていてもよい。特に、導電膜170を用いての磁界印加を効率的に行うためには、自由層として用いる軟質磁性膜130は、導電膜170に、より近接して配置するのが好ましい。

【0128】

また、本実施の形態では、定電流印加の下での抵抗値変化を電圧変化として検出する、いわゆる定電流モードの例を示しているが、定電圧印加の下での抵抗値変化を電流変化として検出する、いわゆる定電圧モードによる記録情報の検出を用いても良い。

20

【0129】

また、磁気抵抗効果記憶素子1000の構成は、磁気抵抗効果素子としても用いることができる。この場合は、磁気抵抗効果記憶素子1000の構成からなる磁気抵抗効果素子は磁気ヘッドとして用いられ得、記録媒体等から印加される磁界はMR素子部100によって感知される。また、磁気ヘッドとして用いられる場合は、導電膜170は設けられていなくても良い。

【0130】

(実施の形態2)

図3に本発明の実施の形態2における磁気抵抗効果記憶素子2000の断面図を示す。実施の形態1で示した磁気抵抗効果記憶素子1000と同一の構成要素については同一の参照符号で表し、これらについての詳細な説明は省略する。

30

【0131】

磁気抵抗効果記憶素子2000は、反強磁性膜を用いたスピンバルブ型(以下ではAFスピンバルブ型と呼ぶ)磁気抵抗効果記憶素子である。

【0132】

磁気抵抗効果記憶素子2000においては、反強磁性膜180と交換結合した強磁性膜190(第2の強磁性膜)と、非磁性絶縁膜120と、軟磁性膜130(第1の強磁性膜)とによりMR素子部101が形成され、センス線およびビット線を構成する導電膜141および150がMR素子部101に接続されている。軟磁性膜130は強磁性膜190よりも外部磁界に対して磁化回転し易い。

40

【0133】

強磁性膜190は、導電膜170(ワード線)を流れる電流によって発生する磁界では磁化反転せず、非磁性絶縁膜120を介して強磁性膜190と磁気的に分離された軟磁性膜130のみが磁化反転する。従って情報の書き込みと読み出しは軟磁性膜130の磁化反転によってのみ行われ、NDR0は困難であるが、磁化反転させるための磁界のしきい値は一つで、動作原理はシンプルである。

【0134】

図4(a)および図4(b)に、AFスピンバルブ型記憶素子である磁気抵抗効果記憶素子2000の動作原理を示す。

50

【 0 1 3 5 】

磁気抵抗効果記憶素子 2 0 0 0 において、強磁性膜 1 9 0 は、反強磁性膜 1 8 0 と交換結合して、その磁化は一方向にピン止めされている。

【 0 1 3 6 】

磁気抵抗効果記憶素子 2 0 0 0 への信号の記録は、図 4 (a) に示すように、導電膜 1 7 0 に正のパルス電流 5 1 1 または負のパルス電流 5 1 2 を流し、軟磁性膜 1 3 0 の H_s 以上の磁界を軟磁性膜 1 3 0 に印加し、軟磁性膜 1 3 0 を磁化反転させ、軟磁性膜 1 3 0 の磁化方向により “ 1 ” または “ 0 ” の信号を記録することにより行われる。

【 0 1 3 7 】

記録された信号の読み出しは、導電膜 1 4 1 および 1 5 0 (図 3) に定電流を流した状態で、導電膜 1 7 0 に正または負の弱電流パルスを通して軟磁性膜 1 3 0 の H_s 以上の磁界を発生させ、軟磁性膜 1 3 0 が磁化反転するか否かを判定することにより行われる。この場合、導電膜 1 4 1 および 1 5 0 を通じてモニターされた MR 素子部 1 0 1 の抵抗値の変化により、“ 1 ” または “ 0 ” の記憶状態が識別される。

【 0 1 3 8 】

例えば、図 4 (b) に示される “ 1 ” および “ 0 ” の記憶状態において、正のパルス電流 5 1 3 (ただし、パルス電流 5 1 3 の大きさは、強磁性膜 1 9 0 の磁化反転を起こさず、軟磁性膜 1 3 0 のみを磁化反転させ得るものである) を導電膜 1 7 0 に流した場合は、記憶状態 “ 1 ” の磁気抵抗効果記憶素子 2 0 0 0 に対しては抵抗値の変化はない ($R_2 = 0$)。また、正のパルス電流 5 1 3 を導電膜 1 7 0 に流した場合、記憶状態 “ 0 ” の磁気抵抗効果記憶素子 2 0 0 0 に対しては抵抗値が変化する ($R_2 \neq 0$)。そして、反対に負のパルス電流 (図示せず) を導電膜 1 7 0 に流した場合は、抵抗値の変化は上記と逆になる。

【 0 1 3 9 】

上記のような動作原理で、磁気抵抗効果記憶素子 2 0 0 0 からの信号の読み出しが可能となる。磁気抵抗効果記憶素子 2 0 0 0 のような AF スピンバルブ型記憶素子においては、信号の読み出し時に記録された信号が破壊されるので、NDR0 は困難である。

【 0 1 4 0 】

しかし、磁気抵抗効果記憶素子 2 0 0 0 のような AF スピンバルブ型記憶素子においても NDR0 は可能である。具体的には、図 4 (c) に示すように、MR 素子部 1 0 1 の抵抗値と参照抵抗 R_1 との差 R_3 を検出する方法により信号を読み出せば、導電膜 1 7 0 にパルス電流を流すことなく、記憶状態 “ 1 ” または “ 0 ” を読み出すことができる。この場合は、信号の読み出し時に記録された信号が破壊されないので、NDR0 が可能である。このとき用いる参照抵抗 R_1 の抵抗値は、比較する MR 素子部の抵抗値変化の範囲内の値であることが好ましく、磁気抵抗効果記憶素子が集積される場合は、磁気抵抗効果記憶素子の一つを参照抵抗 R_1 として用いることが好ましい。

【 0 1 4 1 】

なお、反強磁性膜 1 8 0 の代わりに磁化回転抑制層が用いられても良い。

【 0 1 4 2 】

また、強磁性膜 1 9 0 および軟磁性膜 1 3 0 とが逆に配置されていてもよい。

【 0 1 4 3 】

また、実施の形態 1 と同様に、磁気抵抗効果記憶素子 2 0 0 0 の構成は、磁気抵抗効果素子としても用いることができる。

【 0 1 4 4 】

実施の形態 1 および本実施の形態で示された硬質磁性膜 1 1 0 および強磁性膜 1 9 0 は、磁気抵抗効果素子の固定層にあたる。硬質磁性膜 1 1 0 および強磁性膜 1 9 0 として用いられる金属磁性膜としては、Co または Co - Fe, Ni - Fe, Ni - Fe - Co 合金等の材料が優れている。特に、Co または Co - Fe 合金が大きな MR 比を得るのに良いので非磁性膜 1 2 0 との界面には Co - rich を用いることが望ましい。

【 0 1 4 5 】

また、更に、 $XMnSb$ (X は Ni 、 Pt 、 Pd 、 Cu のうちの少なくとも一つから選ばれるのが好ましい。)は、高い磁性分極率を有するため、 MR 素子を構成した際、大きな MR 比が得られる。

【0146】

硬質磁性膜110および強磁性膜190として用いられる酸化物磁性膜としては、 MFe_2O_4 (M は Fe 、 Co 、 Ni から選ばれる1種もしくは2種以上の元素)が好ましい。これらは比較的高温まで強磁性を示し、 $Fe-rich$ に比べ Co 、 $Ni-rich$ は極めて抵抗値が高い。また、 $Co-rich$ は磁気異方性が大きいという特性があるので、これらの組成比の調整により所望の特性の硬質磁性膜110および強磁性膜190が得られる。

10

【0147】

なお、硬質磁性膜110および強磁性膜190の全体の膜厚は1nm以上10nm以下が好ましい。

【0148】

更に、強磁性膜190に接する反強磁性膜180として用いられる磁化回転抑制層としては、金属層として不規則合金系の $Ir-Mn$ 、 $Rh-Mn$ 、 $Ru-Mn$ 、 $Cr-Pt-Mn$ 等があり、磁界中で成膜することにより強磁性膜190と交換結合させることができ、工程が簡便となる利点がある。一方、規則合金系の $Ni-Mn$ 、 $Pt-(Pd)-Mn$ 等は規則化のための熱処理が必要であるが、熱的安定性に優れており、特に $Pt-Mn$ が好ましい。また酸化物膜としては、 $T-Fe_2O_3$ や NiO 、あるいは LTO_3 (L は Ce を除く希土類元素を示し、 T は Fe 、 Cr 、 Mn 、 Co を示す。)を用いることが好ましい。導電率の低いこのような材料を用いる場合には、図3に示すように導体141は、強磁性膜190と直接コンタクトが取れるように配するのが好ましい。

20

【0149】

実施の形態1および本実施の形態で示された軟質磁性膜130は、磁気抵抗効果素子の自由層にあたる。軟質磁性膜130として、 Co または $Co-Fe$ 、 $Ni-Fe$ 、 $Ni-Fe-Co$ 合金等の材料が優れている。また、軟質磁性膜130として、 $Ni-Fe-Co$ 膜を用いる場合には、

$$\begin{matrix} Ni_x Fe_y Co_z \\ 0.6 < x < 0.9 \\ 0 < y < 0.3 \\ 0 < z < 0.4 \end{matrix}$$

30

の原子組成比の $Ni-rich$ の軟磁性膜、もしくは、

$$\begin{matrix} Ni_x Fe_y Co_z \\ 0 < x' < 0.4 \\ 0 < y' < 0.5 \\ 0.2 < z' < 0.95 \end{matrix}$$

の $Co-rich$ 膜を用いるのが望ましい。

【0150】

これらの組成膜はセンサーや MR ヘッド用として要求される低磁歪特性 (1×10^{-5}) を有する。

40

【0151】

一般に、強磁性膜の磁化方向が層の平面方向である場合、層の平面方向の大きさを w 、層の厚みを d とすると、外部磁界の強磁性膜の平面方向成分と同方向の強磁性膜内部の反磁界成分は、 d/w の増加に伴って大きくなる。すなわち、 $MRAM$ デバイスの集積度の上昇に伴い、 MR 素子部の微細パターン化が進んでくると、強磁性膜の平面方向の反磁界成分が大きくなり、強磁性膜を磁化させるためには大きな磁界が必要となる。更には、この磁化状態を安定にするには大きな保磁力が必要となり、ワード線の電流により発生する磁界による強磁性膜の磁化反転が困難となる。

【0152】

50

上記のように、MR素子部の幅がおよそサブマイクロメートルサイズ以下となってくると、強磁性膜の反磁界成分が無視できなくなり、強磁性膜の磁化に大きな磁界が必要となる。

【0153】

本発明は、この課題を外部磁界に対して磁化方向が動きやすい自由層が、膜厚が薄くても保磁力が小さい強磁性膜と非晶質層との組み合わせで構成されたことを特徴、あるいは反強磁性的に交換結合した合成フェリ磁性膜により構成されたことを特徴とし、本発明によって微細な形状の磁気抵抗効果記憶素子を可能とし、これらを行列状に配置した高密度磁気抵抗効果記憶デバイスを実現するものである。本発明のこのような特徴については、後述の実施の形態3以降において更に詳しく説明される。

10

【0154】

(実施の形態3)

図5(a)および図5(b)に本発明の実施の形態3におけるMRAMデバイス3000を示す。図5(a)は、MRAMデバイス3000の上面図であり、図5(b)は、MRAMデバイス3000の一部を示す斜視図である。実施の形態1および2で示した磁気抵抗効果記憶素子1000および2000と同一の構成要素については同一の参照符号で表し、これらについての詳細な説明は省略する。ここでは、MR素子部100(101)は、角柱形状にて表しているが、実施の形態に応じて円柱状(または楕円柱状)、円すい台形状または角すい台形状にて実現され得る。またMR素子部100(101)における面内形状は、形状異方性をつける上で、平面方向の幅を W_1 、長さを L_1 として表すと、 $L_1 > W_1$ にて実現されることが好ましい。

20

【0155】

また、導電膜170によるMR素子部100(101)への効率的な磁界印加を実現させるための、より好ましい導電膜170の断面形状を図5(c)に示す。図5(c)における角度 h および h' (導電膜170の角型形状の内の少なくとも1つの角における角度を表す)が鋭角であることが好ましい。導電膜170の断面形状において、角度 h および h' は、MR素子部100(101)と対向する一辺と成される内角である。

【0156】

導電膜170の断面形状を図5(c)に示されるような形状とすることは、導電膜170を一様に流れる電流において、MR素子部100(101)に近接する部分に流れる電流分を実効的に増加させることができるので、効果的にMR素子部100(101)に磁界印加が行える上で好ましい。このような形状は、MRAMデバイス3000の微細化に伴って、導電膜170の断面形状のアスペクト比(幅/厚み)が低下する際には特に好ましい。

30

【0157】

この様に磁界印加を効率良く行う場合には、MR素子部100(101)内の自由層は、導電膜170に、より近接するように配置するのが好ましい。このような配置にすることにより、直交して配置された導電膜170とセンス線150にての合成磁界を用いる際にも、MRAMデバイスとしてのMR素子選択の動作マージンが取りやすく好ましい。このことは、導電膜170にて発生させる磁界とセンス線150にて発生させる磁界とが動作点にて1対1(つまり図14における $\theta = 45^\circ$ の場合)となることが最も磁化回転のための磁界が少なく済むことに依っている。

40

【0158】

MRAMデバイス3000は、実施の形態1および2で示した磁気抵抗効果記憶素子1000または2000を行列状に配置することにより構成される。磁気抵抗効果記憶素子1000および2000は共に、上述のCPPMR素子である。

【0159】

図5(a)および(b)に示すように、CPPMR素子を用いたMRAMにおいては、各磁気抵抗効果記憶素子は互いに並列につながるため、磁気抵抗効果記憶素子の個数 N が増加しても S/N 比はほとんど低下しない。

50

【0160】

図6(a)に、本発明の実施の形態の他の局面として、磁気抵抗効果記憶素子1001の断面図を示す。

【0161】

磁気抵抗効果記憶素子1001においては、硬質磁性膜111と、非磁性導電膜121と、軟磁性膜131とによりMR素子部102が形成されている。MR素子部102は、センス線およびビット線を構成する導電膜142および143に接合される。また、ワード線を構成する導電膜171が絶縁膜161を介してMR素子部102上部に設けられている。このような図6(a)に示される構成の磁気抵抗効果記憶素子1001は、CI PMR素子である。

10

【0162】

図6(b)に示すように、CI PMR素子型の磁気抵抗効果記憶素子1001を行列状に配置してMRAMデバイス3001が構成される。このとき、各磁気抵抗効果記憶素子は互いに直列につながれることとなる。このように、各磁気抵抗効果記憶素子が互いに直列につながれた場合、磁気抵抗効果記憶素子の個数Nが多くなると、一つの素子が示すMR比は同じでも、MRAM全体としてのS/N比は低下すると考えられる。

【0163】

なお、図示される本発明の実施の形態全体の大部分において、MR素子部がセンス線およびワード線等の配線部よりも大きく表記されている。図5および図6においてもそのように表記されている。しかし、これは本発明の実施の形態を分かり易く説明するためのもので、MR素子部と配線部との大小関係は、上記に限定されない。また、MR素子部に効率的な磁界印加を行うには、配線部がMR素子部を覆うような大小関係であることが好ましい。

20

【0164】

上述のMRAMデバイス3000および3001は磁気を活用する記憶素子であるので、電荷の蓄積を活用する半導体記憶素子のDRAMとは異なり不揮発性である。また、半導体のフラッシュ型記憶素子とは異なり、書き込み/読み出し回数が原理的には無制限であり、且つ、書き込み/消去時間もnsのオーダーで早いのが特徴である。

【0165】

1つの磁気抵抗効果記憶素子についての動作原理については、実施の形態1および2で既に述べたとおりである。ところで、実際にMRAMデバイスを構成する場合は、図5(a)、図5(b)および図6(b)に示したように、これら磁気抵抗効果記憶素子を行列状に配置する必要がある。その場合は、ワード線が行列状に配置され、各ワード線の交差点に隣接してMR素子部が設けられる。なお、図5(a)、図5(b)および図6(b)に示されるワード線(導電膜170または171)は、図1、図3および図6(a)との対比のため、行または列の一方にしか記載されていない。行列状に配置されたワード線については、後述の実施の形態において更に詳しく述べる。

30

【0166】

このとき選択された(N、M)番地のMR素子部に隣接して交差する2本のワード線によって発生した磁界が、そのMR素子部に印加される。また、このとき、2本のワード線の内の1本をセンス線で代用させてもよい。

40

【0167】

図1に示される磁気抵抗効果記憶素子1000を用いてMRAMデバイスを構成する場合は、上記2本のワード線による合成磁界が、硬質磁性膜のアステロイド型曲線にて表されるスイッチング磁界の値を越えれば情報の書き込みがなされる。また、その磁界の値を越えずに、軟磁性膜のスイッチング磁界の値を越えれば情報の非破壊読み出しが所望の記憶素子について行われる。

【0168】

また、図2に示される磁気抵抗効果記憶素子2000の場合も、合成磁界で軟磁性膜を磁化反転させて情報を書き込む点では基本的には同様である。また、これらの記憶素子の情

50

報の読み出しに関しては、(N、M)番地の素子に隣接する2本のワード線(あるいはワード線とセンス線)に電流パルスを通し、同じく(N、M)番地の素子に接続されたセンス線およびビット線を通じてモニターされた抵抗変化により、(N、M)番地の素子部の情報を読み出すことが可能である。

【0169】

また、実施の形態2の図4(c)で説明したように、MR素子部の抵抗値と参照抵抗との比較を行えば、(N、M)番地のMR素子部の情報の読み出しをNDROとすることが可能である。

【0170】

さらに、ワード線群とセンス線群に、トランジスタのようなスイッチング素子をそれぞれ配置し、番地指定の信号により、N行とM列のワード線とN行M列のセンス線(ビット線)を選択して、(N、M)番地の記憶素子を選択することができる。この際、特に他経路を介した信号パルスの流入や信号パルスの高速化に伴う高調波成分の逆戻りを防止し、信号パルスを効率よく伝送するために、各記憶素子にダイオードあるいはトランジスタを配することが望ましい。なかでも高速なパルス応答に対応するために、これらのトランジスタとしてMOS型トランジスタを用いることが好ましい。

【0171】

また、記憶素子の高密度化に伴って、ワード線によって発生させる磁界の、選択するMR素子部以外の場所への漏れ磁界の問題が大きくなっていく。これら漏れ磁界による選択されたMR素子部以外への干渉効果を低減させるために、(N、M)番地に対して磁界を発生する1組のワード線のみでなく、その両端あるいは隣り合う少なくとも1本あるいは1組以上のワード線にも電流パルスを通し、発生する漏れ磁界を打ち消して、その影響を低減させることが好ましい。

【0172】

(実施の形態4)

図7(a)~図7(d)に、本発明の実施の形態4における磁気抵抗効果記憶素子4000の断面図を示す。

【0173】

磁気抵抗効果記憶素子4000においては、MR素子部200が、硬質磁性膜112、113および114と、軟磁性膜132、133および134と、非磁性絶縁膜122、123および124と、非磁性膜222および223とにより形成される。また、ワード線を構成する導電膜172が絶縁膜162を介してMR素子部200上部に設けられている。

【0174】

MR素子部200は、軟磁性膜/非磁性絶縁膜/硬質磁性膜というパターンからなる構造を非磁性膜を介して複数回積層した構造となっている。磁気抵抗効果記憶素子4000においては、積層数は3回となっている。なお、積層数は任意の回数設定される。

【0175】

本実施の形態では、硬質磁性膜112、113および114として保磁力がそれぞれ異なるものを用い、その結果、記録時の磁界のしきい値が複数個存在するので、1つの磁気抵抗効果記憶素子4000に多値記憶をさせることが可能である。各硬質磁性膜112、113および114の保磁力を変化させるには、それぞれの組成を変化させても良いし、それぞれの膜厚を変えても良い。この場合、図7(a)に示すように、MR素子部200の抵抗値と参照抵抗 R_2 との差 R_4 を検出する方法を用いて信号を読み出すことにより、多値記憶されたそれぞれの信号(例えば“0”、“1”、“2”および“3”等)を読み出すことができる。

【0176】

磁気抵抗効果記憶素子4000の積層数は3回であり、図7(a)~(d)に示されるように、MR素子部200の磁化方向パターンは4パターンあるので、1つの磁気抵抗効果記憶素子4000に4つの値(“0”、“1”、“2”および“3”)を記憶させること

10

20

30

40

50

ができる。

【0177】

磁気抵抗効果記憶素子4000においては、導電膜172を流れるパルス電流521、522および523によって発生する磁界により、硬質磁性膜112、113および114を磁化反転させ、信号を書き込む。本実施の形態では、硬質磁性膜112の保磁力が一番小さく、硬質磁性膜114の保磁力が一番大きい。このとき、導電膜172を流れるパルス電流の大きさを調整することにより、硬質磁性膜112、113および114の内の磁化反転させる硬質磁性膜を選択することができる。図7(a)~(d)に示される本実施の形態では、図7(a)から図7(d)に移るに連れて、導電膜172を流れるパルス電流の値が順に大きくなっている。図7(a)において導電膜172を流れるパルス電流520の値は、図7(b)におけるパルス電流521の値よりも更に小さい。図7(a)では何れの硬質磁性膜も磁化反転せず、図7(d)では全ての硬質磁性膜が磁化反転している。

10

【0178】

読み出しは、上述のように、MR素子部200の抵抗値と参照抵抗 R_2 との差 R_4 を検出する方法を用いて信号を読み出す。

【0179】

また、読み出しにおいては、導電膜172に電流を流し、MR素子部200の抵抗値の変化を読み出すことにより行っても良い。この場合、MR素子部200の抵抗値の変化は、例えば参照抵抗 R_2 の抵抗値との比較により検出され得る。

20

【0180】

また、軟磁性膜132、133および134においても保磁力がそれぞれ異なるものを用いても良い。この場合、導電膜172を流れるパルス電流の大きさを更に精密に調整し、軟磁性膜132、133および134の中で、磁化反転する軟磁性膜と磁化反転しない軟磁性膜とを設定することにより、1つの磁気抵抗効果記憶素子4000に更に多くの信号を記憶させることができる。また、この場合の信号の読み出しは、上述のように、MR素子部200の抵抗値と参照抵抗 R_2 との差 R_4 を検出する方法を用いて信号を読み出すのが好ましい。

【0181】

また、全ての硬質磁性膜の磁化方向を固定し、本発明の実施の形態2で示したように、軟磁性膜のみを磁化反転させて信号を記憶させても良い。

30

【0182】

(実施の形態5)

本発明の実施の形態5として、実施の形態1で示したMR素子部100(図1)についてより詳細に述べる。図8(a)~図8(g)は、本発明の実施の形態5におけるMR素子部100の断面図および斜視図である。

【0183】

図8(a)に示されるMR素子部100においては、MR比を大きくするために、自由層である軟質磁性膜130は、非磁性絶縁膜120との界面に設けられる界面磁性膜220と、非晶質磁性膜210とを備えている。自由層は軟磁気特性が必要なため、Ni-richである材料が用いられても良いが、本実施の形態では、界面磁性膜220としてCo-richが用いられ、非晶質磁性膜210としてCoFeBまたはCoMnB等が用いられる。このような構成とすることにより、軟質磁性膜130の膜厚が2nm以下であっても、軟磁性特性を損なうことなく高MR比を得ることが可能である。なお、本実施の形態に示されるような自由層を用いた磁気抵抗効果記憶素子は、熱的安定性にも優れている。

40

【0184】

界面磁性膜220として、Ni、Co、Feの内の少なくとも1種の原子を主成分とする合金材料が好ましく、また、Ni-Co-Feを主成分とする合金材料を用いる場合は、界面磁性膜220の原子組成比が、 $Ni_x Co_y Fe_z$ において、 x が0~0.4、 y が

50

0.2 ~ 0.95、zが0 ~ 0.5であることが望ましい。

【0185】

本実施の形態に示されるように、軟質磁性膜130（自由層）として界面磁性膜220と非晶質磁性膜210とを用いることで、磁性的な実効の厚みが2nm以下である自由層を有する磁気抵抗効果記憶素子が実現される。

【0186】

このとき、界面磁性膜220の膜厚が厚いと軟磁性特性が劣化し、MR比が低下するので、界面磁性膜220の膜厚は2nm以下、望ましくは1.2nm以下とする必要がある。またこの界面磁性膜220が有効に働くためには、少なくとも0.2nm以上の膜厚は必要であり、望ましくは0.8nm以上の膜厚がよい。界面磁性膜220の材料としては、CoまたはCo高濃度のCo-Fe合金が優れている。

10

【0187】

図8(b)に、軟質磁性膜130（自由層）として、交換結合型フェリ磁性膜を用いた場合のMR素子部100を示す。軟質磁性膜130に含まれる2つの強磁性膜230および250は、非磁性膜240を介して磁氣的に交換結合している。このとき、非磁性膜240の膜厚を適当な値（例えば、Ruを用いた場合、膜厚は0.6nm以上0.8nm以下）とすることにより、この交換結合を反強磁性的とすることが可能である。図8(b)に示されるMR素子部100においては、非磁性膜240（例えばRu）を介して反強磁性的に交換結合した強磁性膜230および250の膜厚を互いに異なるようにする、あるいは飽和磁化の大きさを互いに異なるようにすることが特徴である。

20

【0188】

また、図8(b)に示される交換結合型フェリ磁性膜構造の軟質磁性膜130の非磁性膜240としては、磁性膜間の交換結合を生じやすい非磁性金属膜が望ましく、Cu、Ag、Auが用いられる。また、界面の熱的安定性を考慮すると、Ru、Rh、Ir、Re等のほうがより望ましく、特にRuが優れている。さらに、交換結合型フェリ磁性膜に用いる金属磁性膜としては、Ni、Co、Feの内いづれか1種もしくは2種以上の元素を主成分とする金属磁性膜が望ましい。

【0189】

強磁性体の飽和磁化の大きさは、磁化を決定する材料固有の磁気モーメントの大きさに、その強磁性体の体積（強磁性体内に含まれる磁気モーメントの数に相当）を掛け合わせて決定される。図8(b)に示される構成の場合には、交換結合型フェリ磁性膜に含まれる2つの強磁性膜230および250の平面方向のサイズは同程度である。従って、2つの強磁性膜230および250のそれぞれの平面方向の飽和磁化の大きさは、互いの材料固有の磁気モーメントの強さと、膜厚によって決定される。このような交換結合型フェリ磁性膜で構成される自由層（軟質磁性膜130）においては、その自由層としての役割を果たす磁性的な実効の膜厚が、実質的に2つの強磁性膜230および250の膜厚（磁化）の差となる。磁性的な実効の膜厚を薄くすることは、デバイスの高感度化に効果がある。

30

【0190】

図8(b)に示されるようなMR素子部100の構成での実施において、強磁性膜の厚みによって磁化の大きさに差を付ける場合には特に、2つの強磁性膜230および250の膜厚の差異は2nm以下が好ましい。このとき、上記のような意味では、磁性的な実効の厚みが2nm以下である自由層を有する磁気抵抗素子を実現することができる。

40

【0191】

2つの強磁性膜の厚みの差異が2nm以上の自由層にて磁化反転動作を行う場合には、反磁界成分の上昇に伴い、より強い外部磁界が必要となる。MRAMを構成する場合、外部磁界はワード線（あるいはセンス線）を用いて発生させ、MR素子部に印加される。このワード線に低抵抗の銅（Cu）を用いた場合においても、ワード線に最大50MA/cm²程度までしか電流を流すことができないとすると、デバイスの安定動作を鑑みて動作マージンを考慮した場合、発生し得る外部磁界から見積もられる強磁性膜の厚みの差異は、数nmオーダー以下が好ましい。図8(b)に示されるような本発明の構成の実施によれ

50

ば、強磁性膜 230 および 250 の厚みの差異は 2 nm 以下が最も好ましいことが分かった。また、自由層としての実効的な厚みが 0.2 nm 以下では、自由層としてのソフト性が劣化するため、実効的な厚みは 0.2 nm 以上が好ましい。

【0192】

また、軟磁性膜 130 の磁化回転応答は、2つの強磁性膜 230 および 250 が外部磁界の印加に対して互いの磁化方向を反平行に保ったまま、2つの強磁性膜の磁化の差によって生じる実効的な磁化の回転として行われるようにすることが好ましい。これは、磁界印加により2つの強磁性膜の磁化の反平行状態を崩す磁化回転は、2つの強磁性膜 230 および 250 間の交換結合に打ち勝つ必要があるため、上記の反平行状態を保ったままの磁化回転に比べてより高い外部磁場が必要となり、好ましくないからである。本実施の形態において、図 8 (d) に示すように外部磁界に対して、2つの強磁性膜 230 および 250 の磁化ベクトルが互いに反平行を保ったまま磁化回転するようにすれば、磁気抵抗効果素子の低磁界動作に効果的である。

【0193】

図 8 (d) は、外部磁界 H_1 から H_2 に磁界印加方向が変わった際の強磁性膜 230 および 250 の磁化方向の変化の様子を示している。図 8 (e) ~ (g) は、図 8 (d) において、外部磁界 H_1 から H_2 に磁界印加方向が変わった際の強磁性膜 230 および 250 の磁化方向の変化の様子を斜視図として模式的に示している。なお、図 8 (e) ~ (g) においては、強磁性膜 230 および 250 以外の構成要素は、説明を容易にするために省略されている。外部磁界 H_1 から H_2 に磁界印加方向が変わったとき、強磁性膜 230 および 250 の磁化方向は、図 8 (e) から図 8 (g) に示されるように変化する。図 8 (f) は、強磁性膜 230 および 250 の磁化方向の変化の途中の様子を示している。軟質磁性膜 130 の磁化回転応答は、強磁性膜 230 および 250 の2つの磁化方向が反平行の関係を保った状態で2つの磁化の差によって生じた実効的な磁化の回転として行われる。

【0194】

また、MRAM デバイスのように、磁気抵抗効果素子を用いる RAM においては、サブミクロンオーダーでの微細化に伴って、加工精度の低下や、加工素子自体が磁性膜内の一つ一つの粒の影響を受けやすい状態となり、素子の磁性層の単磁区化はより困難となってくる。本発明のように、自由層を上記のような交換結合型フェリ磁性構造にて構成することは、自由層の単磁区化にも効果がある。

【0195】

更に、単磁区化が図られるという利点と、反強磁性的交換結合エネルギーにより2つの強磁性層が磁氣的に結合しているという特性が合わされることにより、本発明の磁気抵抗効果素子は熱安定性にも優れた特性となる。

【0196】

また、上記のような自由層に用いられる交換結合型フェリ磁性膜の構成は、固定層である硬質強磁性膜 110 に用いられても良い。この場合、図 8 (c) に示すような、非磁性膜 270 には、上述の通り、強磁性膜 260 および 280 間の交換結合を生じやすい非磁性金属膜が望ましく、Cu, Ag, Au が用いられる。また、界面の熱的安定性を考慮すれば、Ru, Rh, Ir, Re 等がより望ましい。特に Ru が優れている。

【0197】

また、交換結合型フェリ磁性膜に用いる金属磁性膜としても、上述の通り、Ni, Co, Fe の内いづれか1種もしくは2種以上の元素を主成分とする金属磁性膜が望ましい。この場合にも、非磁性膜 270 の膜厚が適当な厚み (0.4 ~ 1 nm) の時に、これに接した強磁性体に反強磁性的な交換結合が生じる。特に、非磁性膜 270 として Ru を用いる場合には、非磁性膜 270 の膜厚は 0.6 ~ 0.8 nm が好ましい。さらに、図 3 に示した反強磁性膜 (磁化回転抑制層) 180 を強磁性膜 260 および 280 に隣接させることにより、ピンニング効果を高める効果が得られる。

【0198】

10

20

30

40

50

本実施の形態で示したようなMR素子部100の構成は、実施の形態2および3で示したMR素子部101(図3)および102(図6)についても適用される。

【0199】

非磁性絶縁膜120としては、 Al_2O_3 やMgOといった酸化物や、あるいは炭化物、窒化物が優れている。あるいは、エネルギーギャップ値が2-6eVの値を有するワイドギャップ半導体も好ましい。

【0200】

また、特に、非磁性膜121(図6(a))として金属を用いる場合には、Cu, Ag, Au, Ruなどがあるが、特にCuが優れている。

【0201】

非磁性膜121の膜厚としては、磁性膜間の相互作用を弱くするために少なくとも0.9nm以上は必要である。また、非磁性膜121が厚くなるとMR比が低下してしまうので膜厚は10nm以下、望ましくは3nm以下とするべきである。また、膜厚が3nm以下の場合には、各層の平坦性は重要となり、平坦性が悪いと、非磁性膜で磁氣的に分離されているはずの2つの強磁性膜間に磁氣的結合が生じてMR比の劣化と感度の低下が生ずる。従って、強磁性膜と非磁性膜との界面の凹凸は0.5nm以下であることが望ましい。

【0202】

非磁性絶縁膜120の膜厚としては、絶縁性を確保するために、少なくとも0.3nm以上は必要である。また、非磁性絶縁膜120の膜厚が厚くなりすぎるとトンネル電流が流れなくなるため、膜厚は3nm以下にすることが望ましい。この場合においても、各層の平坦性が重要で、平坦性が劣化すると、非磁性絶縁膜120が破れて、トンネルリークが起こる。あるいは、2つの強磁性膜(硬質磁性膜110および軟磁性膜130)間に、磁氣的結合が生じて、MR素子部100のMR比の劣化と感度の低下が生じる。従って、各強磁性膜と非磁性絶縁膜との界面の凹凸は0.5nm以下、さらに好ましくは0.3nm以下が良い。

【0203】

本実施の形態において示されたMR素子部100、101および102は、実施の形態1および2と同様に、磁気抵抗効果素子として用いられても良い。

【0204】

(実施の形態6)

本発明の実施の形態6として、実施の形態1で示した磁気抵抗効果記憶素子1000の作製方法を示す。

【0205】

図1を参照して、スパッタリングのターゲットとして $Ni_{0.68}Co_{0.2}Fe_{0.12}$ (軟質磁性膜130用)、Al(非磁性絶縁膜120用)、 Al_2O_3 (非磁性絶縁膜120用)、 $Co_{0.75}Pt_{0.25}$ (硬質磁性膜110用)を用い(組成は全て原子比)、多元スパッタ装置により基板(図示せず)上に、図1に示されたようなサンドイッチタイプのMR素子部100を作製した。MR素子部100の基本構成は、NiCoFe(15)/ Al_2O_3 (1.5)/CoPt(10)である(このような構成要素の説明において、カッコ内は厚さ(nm)を表し、“/”は、各構成物質同士の組み合わせを表す)。なお各膜厚はシャッターで制御した。

【0206】

Al_2O_3 (非磁性絶縁膜120)の製膜方法としては、Alを製膜したうえで酸化工程を経て作製する方法(方法A)と、 Al_2O_3 をそのままスパッタして作製する方法(方法B)とを行い、それぞれの非磁性絶縁膜120について検討した。上記Alの酸化工程としては、真空槽内での自然酸化によるもの、真空槽内での加温下での自然酸化によるもの、あるいは真空槽内でのプラズマ中における酸化によるものそれぞれについて行った。そして、何れの工程に対しても良好な非磁性絶縁膜が得られた。

【0207】

MR素子部100の作製後、硬質磁性膜110のCoPtを着磁し、MR素子部100の

10

20

30

40

50

MR特性を室温、印加磁界100 Oeで測定したところ、MR比は上述の方法A、Bにおいて、それぞれ30%、18%であった。MRが生じる磁界幅は5 Oe、10 Oeであった。このときの接合面積は、およそ0.25平方マイクロメートルであった。このうち、MR比の高かった方法Aを用いて、図1に示したような磁気抵抗効果記憶素子1000を作製した。センス線およびビット線用の導電膜140および150にはPtまたはAuを用い、ワード線用の導電膜170にはAl、AuCr、Ti/Au、Ta/Pt、Cr/Cu/Pt/TaまたはTiWなどを用いた。MR素子部100と導電膜170との絶縁にはCaF₂またはSiO₂を用い、また、Si₃N₄も用いられる。

【0208】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子1000の動作を以下のように確認した。 10

【0209】

まず、図9(a)に示すようなパルス電流531を導電膜170(ワード線)に流して硬質磁性膜110を一方向に磁化した。次に、やはり導電膜170に、図9(b)上側のグラフに示すようなパルス電流532を流し、導電膜140および150(センス線およびビット線)を通じて測定した記憶素子の電圧変化(R_5 / t)をモニターした。電圧変化(R_5 / t)の結果は、図9(b)の下側のグラフに示すように記憶情報に応じたパルス533が検出され、非磁性膜に絶縁体を用いた所望の磁気抵抗効果記憶素子1000が実現できたことが分かった。

【0210】

20

(実施の形態7)

本発明の実施の形態7として、実施の形態2で示した磁気抵抗効果記憶素子2000の作製方法を示す。

【0211】

上述の実施の形態6と同様の方法で、図3に示すような磁気抵抗効果記憶素子2000を作製した。

【0212】

ターゲットにCo_{0.9}Fe_{0.1}(軟質磁性膜130用)、Al(非磁性絶縁膜120用)、Ni_{0.2}Fe_{2.8}O₄(強磁性膜190用)、IrMn(反強磁性膜180としての磁化回転抑制層用)を用い、Co_{0.9}Fe_{0.1}(7)/Al₂O₃(1.8) 30 /Ni_{0.2}Fe_{2.8}O₄(10)/IrMn(15)の基本構成部分を持つMR素子部101を作製した。なお、Al₂O₃は、上述の方法Aの方法で作製した。

【0213】

MR素子部101のMR特性を室温、印加磁界100 Oeで測定したところ、MR比はおよそ26%であった。このときの接合面積は、およそ0.7平方マイクロメートルであった。

【0214】

導電膜141および150にはAuを用い、導電膜170にはAuCrを用いた。MR素子部101と導電膜170との絶縁にはSiO₂を用いている。なお、本実施の形態では絶縁にSiO₂を用いたが、CaF₂またはAl₂O₃も用いられ得、あるいはSi₃N₄ 40 が用いられても良い。

【0215】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子2000の動作を以下のように確認した。

【0216】

まず、図10(a)に示すようなパルス電流541を導電膜170に流して軟質磁性膜130を一方向に磁化した。次に、やはり導電膜170に、図10(b)上側のグラフに示すようなパルス電流542を流し、導電膜141および150を通じて測定した記憶素子の電圧変化(V_1)をモニターした。電圧変化(V_1)の結果は、図10(b)下側のグラフに示すように、記憶情報に応じた電圧変化543として検出でき、所望の磁気抵 50

抗効果記憶素子 2000 が実現できたことが分かった。

【0217】

(実施の形態 8)

本発明の実施の形態 8 として、実施の形態 5 で示した MR 素子部 100 の作製方法を示す。

【0218】

上述の実施の形態 6 と同様の方法で、図 8 (a) に示すような MR 素子部 100 を作製した。

【0219】

ターゲットに $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ (界面磁性膜 220 用)、Co (界面磁性膜 220 および硬質磁性膜 110 用)、Al (非磁性絶縁膜 120 用)、CoMnB (非晶質磁性膜 210) を用い、MR 素子部 100 として、 $\text{CoMnB}(1)/\text{Co}(1)/\text{Al}_2\text{O}_3(1.5)/\text{Co}(2)$ の構成を成す MR 素子部と、 $\text{CoFeB}(1)/\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(1)/\text{Al}_2\text{O}_3(1.5)/\text{Co}(2)$ の構成を成す MR 素子部とを作製した。なお、両者とも Al_2O_3 は、上述の方法 A の方法で作製した。

10

【0220】

MR 素子部 100 が設けられる基板 (図示せず) としては、表面を熱酸化処理した Si 基板、あるいは $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$ などを用いた。基板上に下地層として Ta や Cu、NiFe、Pt などの単層膜あるいは積層膜を目的に応じて作製し、その上に上述の MR 素子部 100 を作製した。更に、上部のキャップ層として Ta や Cu、NiFe、Pt などの

20

【0221】

作製された MR 素子部 100 の MR 特性を室温、印加磁界 100 Oe で測定したところ、MR 比はおよそ 32% および 29% であった。このときの接合面積は、およそ 0.25 平方マイクロメートルであった。

【0222】

更に、上記のように作製された MR 素子部 100 を用いて、実施の形態 1 で示した磁気抵抗効果記憶素子 1000 を構成した。導電膜 140 および 150 には Au および Cu を用い、導電膜 170 には AuCr を用いた。MR 素子部 100 と導電膜 170 との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、

30

【0223】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子 1000 の動作を、実施の形態 6 における図 9 に示した方法と同様の方法で確認した。その結果、上述の 2 種類のそれぞれの MR 素子部 100 を備えた磁気抵抗効果記憶素子 1000 は両者とも、図 9 (b) に示されるような記憶情報に応じたパルスが検出され、本発明の磁気抵抗効果記憶素子 1000 が実現できたことが分かった。

【0224】

(実施の形態 9)

本発明の実施の形態 9 として、実施の形態 4 で示した磁気抵抗効果記憶素子 4000 の作製方法を示す。

40

【0225】

上述の実施の形態 6 と同様の方法で、図 7 (a) ~ 図 7 (d) に示すような磁気抵抗効果記憶素子 4000 を作製した。ターゲットとして、軟質磁性膜 132、133 および 134 用に $\text{Ni}_{0.68}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.12}$ 、非磁性絶縁膜 122、123 および 124 用に Al、また、それぞれ保磁力の違う硬質磁性膜 112、113 および 114 用に $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ 、Co および $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$ を用い、MR 素子部 200 を作製した。硬質磁性膜の保磁力の大きさは、 $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1} > \text{Co} > \text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$ の順になっている。

【0226】

50

作製したMR素子部200は、 $Ni_{0.68}Co_{0.2}Fe_{0.12}(10)/Al_2O_3(1.5)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(15)/Al_2O_3(15)/Ni_{0.68}Co_{0.2}Fe_{0.12}(10)/Al_2O_3(1.5)/Co(15)/Al_2O_3(15)/Ni_{0.68}Co_{0.2}Fe_{0.12}(10)/Al_2O_3(1.5)/Co_{0.5}Fe_{0.5}(15)$ の構成で、3接合アレイを形成している。なお、 Al_2O_3 は上述の方法Aの方法で作製した。MR素子部200のMR特性を室温、印加磁界100 Oeで測定したところ、アレイとしてのMR比はおよそ28%であった。このときの接合面積は、およそ0.25平方マイクロメートルであった。

【0227】

センス線およびビット線として用いられる導電膜（実施の形態1の導電膜140および150と同様の導電膜、図7(a)～図7(d)において図示せず）にはAuを用い、ワード線として用いられる導電膜172にはAuCrを用いた。MR素子部200と導電膜172との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。

【0228】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子2000の動作を以下のように確認した。

【0229】

まず、図11(a)に示すように、導電膜172にパルス電流551を流して硬質磁性膜112、113および114を一方向に磁化した。次に、図11(b)に示すような立ち上がり方に傾斜の有るパルス電流552によって、それぞれの硬質磁性膜112、113および114の磁化方向を順番に反転させ、センス線およびビット線を通じて電圧変化 V_2 をモニターした。その結果、記憶情報に応じた電圧変化553が検出され、磁気抵抗効果記憶素子4000に多値が記録されたことが確認された。

【0230】

本発明の磁気抵抗効果記憶素子4000においては、適当なバイアスを印加することによる多値記録を行うことが出来る。また、定バイアス下における電圧変化 V_2 に応じて記録情報を検出することが出来る。

【0231】

(実施の形態10)

本発明の実施の形態10として、実施の形態5で示したMR素子部100の作製方法を示す。

【0232】

上述の実施の形態6と同様の方法で、図8(b)に示すようなMR素子部100を作製した。

【0233】

ターゲットに交換結合型フェリ磁性膜における金属の強磁性膜230および250用として $Co_{0.9}Fe_{0.1}$ または $Ni_{0.81}Fe_{0.19}$ 、金属の非磁性膜240用としてRu、非磁性絶縁膜120用としてAl、硬質磁性膜110用に $Co_{0.9}Fe_{0.1}$ を用いた。

【0234】

MR素子部100として、 $Co_{0.9}Fe_{0.1}(1.9)/Ru(0.7)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(2.9)/Al_2O_3(1.2)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(20)$ の構成から成るMR素子部と、 $Ni_{0.81}Fe_{0.19}(3)/Ru(0.7)/Ni_{0.81}Fe_{0.19}(2)/Al_2O_3(1.2)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(20)$ の構成から成るMR素子部とを作製した。なお、 Al_2O_3 は、上述の方法Aの方法で作製した。作製されたMR素子部100のMR特性を室温、印加磁界100 Oeで測定したところ、両者ともMR比はおよそ25%程度であった。このときの接合面積は、およそ0.05平方マイクロメートルであった。

【0235】

10

20

30

40

50

本実施の形態のMR素子部100は、 $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(4.8)/\text{Al}_2\text{O}_3(1.2)/\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(20)$ または $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}(5)/\text{Al}_2\text{O}_3(1.2)/\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(20)$ の基本構成を持つようなMR素子部に比べて、抗磁力が小さいことが分かった。このことは、図8(b)の様な構造をとることにより、反磁界の影響が低減したことによるものである。

【0236】

更に、上記のように作製されたMR素子部100を用いて、実施の形態1で示した磁気抵抗効果記憶素子1000を構成した。導電膜140および150にはAuおよびCuを用い、導電膜170にはAuCrを用いた。MR素子部100と導電膜170との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。

10

【0237】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子1000の動作を、実施の形態6における図9(a)および図9(b)に示した方法と同様の方法で確認した。その結果、上述の2種類のそれぞれのMR素子部100を備えた磁気抵抗効果記憶素子1000は両者とも、図9(b)に示されるような記憶情報に応じたパルスが検出され、本発明の磁気抵抗効果記憶素子1000が実現できたことが分かった。

【0238】

(実施の形態11)

本発明の実施の形態11として、実施の形態2で示した磁気抵抗効果記憶素子2000の作製方法を示す。本実施の形態における磁気抵抗効果記憶素子2000は、実施の形態5の図8(b)で示した軟質磁性膜130を備える。

20

【0239】

上述の実施の形態6と同様の方法で、実施の形態5の図8(b)で示した軟質磁性膜130を備えたMR素子部101(図3)を作製した。

【0240】

ターゲットに交換結合型フェリ磁性膜における金属の強磁性膜230および250用として $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ または $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ 、金属の非磁性膜240用としてRu、非磁性絶縁膜120用としてAl、強磁性膜190用に $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$ および反強磁性膜180としての磁化回転抑制層用にIrMnを用いた。

30

【0241】

MR素子部101として、 $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(1.9)/\text{Ru}(0.7)/\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(2.9)/\text{Al}_2\text{O}_3(1.2)/\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}(20)/\text{IrMn}(30)$ の構成から成るMR素子部と、 $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}(3)/\text{Ru}(0.7)/\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}(2)/\text{Al}_2\text{O}_3(1.2)/\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}(20)/\text{IrMn}(30)$ の構成から成るMR素子部とを作製した。なお、 Al_2O_3 は、上述の方法Aの方法で作製した。

【0242】

作製されたMR素子部101のMR特性を室温、印加磁界100 Oeで測定したところ、両者ともMR比はおよそ30%程度であった。このときの接合面積は、およそ0.05平方マイクロメートルであった。

40

【0243】

本実施例のMR素子部101は、 $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(4.8)/\text{Al}_2\text{O}_3(1.2)/\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}(20)/\text{IrMn}(30)$ 、 $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}(5)/\text{Al}_2\text{O}_3(1.2)/\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}(20)/\text{IrMn}(30)$ の基本構成を持つようなMR素子部に比べて、抗磁力が小さいことが分かった。このことは、図8(b)の様な構造をとることにより、反磁界の影響が低減したことによるものである。

【0244】

更に、上記のように作製されたMR素子部101を用いて、実施の形態2で示した磁気抵抗効果記憶素子2000を構成した。導電膜141および150にはAuおよびCuを用

50

い、導電膜 170 には AuCr を用いた。MR 素子部 101 と導電膜 170 との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。

【0245】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子 2000 の動作を、実施の形態 7 における図 10 (a) および図 10 (b) に示した方法と同様の方法で確認した。

【0246】

その結果、上述の 2 種類のそれぞれの MR 素子部 101 を備えた磁気抵抗効果記憶素子 2000 は両者とも、図 10 (b) に示されるような記憶情報に応じた電圧変化が検出され、本発明の磁気抵抗効果記憶素子 2000 が実現できたことが分かった。

10

【0247】

なお、磁化回転抑制層として IrMn を用いたが、PtMn、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、NiO を用いても良い。また、磁化回転抑制層として YFeO_3 あるいは SmFeO_3 などのペロブスカイト型酸化物を用いても良い。

【0248】

(実施の形態 12)

本発明の実施の形態 12 として、実施の形態 5 の図 8 (b) で示した軟質磁性膜 130 を備えた、実施の形態 1 で示した磁気抵抗効果記憶素子 1000 の作製方法を示す。

【0249】

上述の実施の形態 6 と同様の方法で、図 8 (b) に示すような実施の形態 5 で示した軟質磁性膜 130 を備えた MR 素子部 100 を作製した。また、本実施の形態においては、非磁性絶縁膜 120 の代わりに非磁性導電膜 121 (図 6 (a)) を用いている。即ち、本実施の形態における磁気抵抗効果記憶素子 1000 は、GMR 素子である。

20

【0250】

ターゲットに、強磁性膜 230 および 250 用として $\text{Ni}_{0.68}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.12}$ 、非磁性導電膜 121 用として Cu、硬質強磁性膜 110 用として $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ を用いた。

【0251】

MR 素子部 100 として、 $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}(20)/\text{Cu}(3)/\text{Ni}_{0.68}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.12}(2)/\text{Ru}(0.7)/\text{Ni}_{0.68}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.12}(3)$ から成る CPP 構造の MR 素子部を作製した。

30

【0252】

作製された MR 素子部 100 の MR 特性を室温、印加磁界 100 Oe で測定したところ、MR 比はおよそ 16% であった。このときの接合面積は、およそ 0.05 平方マイクロメートルであった。

【0253】

更に、上記のように作製された MR 素子部 100 を用いて、実施の形態 1 で示した磁気抵抗効果記憶素子 1000 を構成した。導電膜 140 および 150 には Au および Cu を用い、導電膜 170 には AuCr を用いた。MR 素子部 100 と導電膜 170 との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。

40

【0254】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子 1000 の動作を、実施の形態 6 における図 9 (a) および図 9 (b) に示した方法と同様の方法で確認した。その結果、図 9 (b) に示されるような記憶情報に応じたパルスが検出され、本発明の磁気抵抗効果記憶素子 1000 が実現できたことが分かった。

【0255】

(実施の形態 13)

本発明の実施の形態 13 として、実施の形態 2 の図 3 で示した磁気抵抗効果記憶素子 2000 の作製方法を示す。本実施の形態における磁気抵抗効果記憶素子 2000 は、実施の

50

形態5の図8(b)で示した軟質磁性膜130を備える。

【0256】

上述の実施の形態6と同様の方法で、実施の形態5の図8(b)で示した軟質磁性膜130を備えたMR素子部101(図3)を作製した。また、本実施の形態においては、非磁性絶縁膜120の代わりに非磁性導電膜121(図6(a))を用いている。即ち、本実施の形態における磁気抵抗効果記憶素子2000は、GMR素子である。

【0257】

ターゲットに、強磁性膜230および250用として $Ni_{0.68}Co_{0.2}Fe_{0.12}$ 、非磁性導電膜121用としてCu、強磁性膜190用として $Co_{0.9}Fe_{0.1}$ 、反強磁性膜180としての磁化回転抑制層用としてPtMnを用いた。

10

【0258】

MR素子部101として、PtMn(30)/ $Co_{0.9}Fe_{0.1}$ (20)/Cu(3)/ $Ni_{0.68}Co_{0.2}Fe_{0.12}$ (2)/Ru(0.7)/ $Ni_{0.68}Co_{0.2}Fe_{0.12}$ (3)から成るCPP構造のMR素子部を作製した。

【0259】

作製されたMR素子部101のMR特性を室温、印加磁界100 Oeで測定したところ、MR比はおよそ19%であった。このときの接合面積は、およそ0.05平方マイクロメートルであった。

【0260】

更に、上記のように作製されたMR素子部101を用いて、実施の形態2で示した磁気抵抗効果記憶素子2000を構成した。導電膜141および150にはAuおよびCuを用い、導電膜170にはAuCrを用いた。MR素子部101と導電膜170との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。

20

【0261】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子2000の動作を、実施の形態7における図10(a)および図10(b)に示した方法と同様の方法で確認した。

【0262】

その結果、上述の2種類のそれぞれのMR素子部101を備えた磁気抵抗効果記憶素子2000は両者とも、図10(b)に示されるような記憶情報に応じた電圧変化が検出され、本発明の磁気抵抗効果記憶素子2000が実現できたことが分かった。

30

【0263】

(実施の形態14)

図12(a)~図12(f)に、本発明の実施の形態14におけるMRAMデバイス5000を示す。図12(a)および図12(b)は、MRAMデバイス5000およびその一部を示す斜視図である。図12(f)は、MRAMデバイス5000の上面図である。実施の形態1~3で示した磁気抵抗効果記憶素子1000および2000と同一の構成要素については同一の参照符号で表し、これらについての詳細な説明は省略する。

【0264】

MRAMデバイス5000は、複数の磁気抵抗効果記憶素子1010を、 256×256 の行列状に配したMRAMデバイスである。なお、磁気抵抗効果記憶素子1010は任意の数が配置され得る。

40

【0265】

図12(b)に示すように、磁気抵抗効果記憶素子1010は、実施の形態3の図5(b)で示した磁気抵抗効果記憶素子1000または2000の構成に、更にワード線173を備えた構造となっている。ワード線170および173は、好ましくは図12(b)に示すようにMR素子部100(または101)の上下部に沿って配置されるが、磁界がMR素子部100(または101)に効果的に印加可能であれば、図12(b)に示される配置に限定されるものではない。図12(c)~(e)は、ワード線170および173の実施の形態を示している。

50

【0266】

図12(c)は、MR素子部100(または101)に対して効率的に磁界印加が可能な様にワード線の配置を一定角ずらして配置したものを示している。また、図12(d)は、ワード線170をセンス線140にて代用させたものを示している。図12(e)は、ワード線170および173をMR素子部100(101)の横側に配置したものを示している。図12(e)は、両ワード線170および173に同方向に電流を流して、発生する合成磁界と直交するセンス線140(141)との合成磁界を用いてMR素子部100(101)に記録を行うものである。

【0267】

まず、磁気抵抗効果記憶素子1010が、磁気抵抗効果記憶素子1000の構成にワード線173を備えた構成である場合について説明する。 10

【0268】

この場合、作製された磁気抵抗効果記憶素子1010が備えるMR素子部100は、実施の形態10で示した $Ni_{0.81}Fe_{0.19}(3)/Ru(0.7)/Ni_{0.81}Fe_{0.19}(2)/Al_2O_3(1.2)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(20)$ の構成から成っている。また、MR素子部100が $Ni_{0.81}Fe_{0.19}(2)/Ru(0.7)/Ni_{0.81}Fe_{0.19}(3)/Al_2O_3(1.2)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(20)$ の構成から成るものについても作製した。

【0269】

導電膜140および150にはAu、CuあるいはAlを用い、導電膜170および173にはCuを用いた。MR素子部101と導電膜170との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。 20

【0270】

導電膜140および150(センス線およびビット線)、導電膜170および173(ワード線)は、図12(a)に示すように行列状に配置されている。また、アドレス指定用のスイッチ部301および311と、信号検出部302および312が、図12(f)に示すように配置されている。なお、図12(f)において、説明の簡便のため導電膜173は省略されている。スイッチ部301および311により任意の導電膜140および150、導電膜170および173が選択される。また、信号検出部302および312によって、各導電膜の電流値または電圧値が検出される。 30

【0271】

MR素子部100への記憶の書き込みについては、電流パルスを行要素と列要素の導電膜170および173にそれぞれに流し、発生する合成の磁界によって、特定のMR素子部100に対してのみ磁化状態を変化させることにより行われる。

【0272】

MRAMデバイス5000の情報の書き込みおよび読み出し動作は、基本的には実施の形態6の図9(a)および図9(b)に示される動作と同様である。任意の記憶状態にあるMRAMデバイス5000に対する読み出し動作を以下のように確認した。

【0273】

スイッチ部301および311により、特定の導電膜140および150、導電膜170および173が選択される。そして、選択された各導電膜に対応するMR素子100の抵抗値をモニターしながら、軟質磁性膜130(図1)を磁化反転させるための磁場を選択されたMR素子部100に印加した。このとき、図9(b)に示されるような記憶情報に応じたパルスが、信号検出部302または312を通じて検出された。なお、このとき、記憶状態は保存されていることから、読み出し動作がNDRO動作であることが確認された。これらの結果により、本発明のMRAMデバイス5000が実現できたことが分かった。 40

【0274】

次に、磁気抵抗効果記憶素子1010が、実施の形態11で示した磁気抵抗効果記憶素子 50

2000の構成にワード線173を備えた構成である場合について説明する。

【0275】

この場合、作製された磁気抵抗効果記憶素子1010が備えるMR素子部101は、実施の形態11で示した $Ni_{0.81}Fe_{0.19}(3)/Ru(0.7)/Ni_{0.81}Fe_{0.19}(2)/Al_2O_3(1.2)/Co_{0.5}Fe_{0.5}(20)/IrMn(30)$ の構成から成っている。また、MR素子部101が $Ni_{0.81}Fe_{0.19}(2)/Ru(0.7)/Ni_{0.81}Fe_{0.19}(3)/Al_2O_3(1.2)/Co_{0.5}Fe_{0.5}(20)/IrMn(30)$ の構成から成るものについても作製した。

【0276】

導電膜141および150にはAuおよびCuを用い、導電膜170および173にはAuCrを用いた。MR素子部101と導電膜170との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。

【0277】

導電膜141および150（センス線およびビット線）、導電膜170および173（ワード線）は、図12(a)に示すように行列状に配置されている。

【0278】

MR素子部101への記憶の書き込みについては、上記と同様に電流パルスを行要素と列要素の導電膜170および173にそれぞれに流し、発生する合成の磁界によって、特定のMR素子部101に対してのみ磁化状態を変化させることにより行われる。

【0279】

この場合のMRAMデバイス5000の情報の書き込みおよび読み出し動作は、基本的には実施の形態7の図10(a)~図10(b)に示される動作と同様である。任意の記憶状態にあるMRAMデバイス5000に対する読み出し動作を以下のように確認した。

【0280】

スイッチ部301および311により、特定の導電膜141および150、導電膜170および173が選択される。そして、選択された各導電膜に対応するMR素子100の抵抗値をモニターしながら、軟質磁性膜130（図8(b)）のみを磁化反転させるための磁場を選択されたMR素子部101に印加した。この場合の軟質磁性膜130の磁化方向は、実効的に働く2つの強磁性膜230および250（図8(b)）のもつ磁化の差の指す方向を意味している。モニターの結果、図10(b)に示されるような記憶情報に応じた電圧変化が、信号検出部302または312を通じて検出された。

【0281】

これらの結果により、本発明のMRAMデバイス5000が実現できたことが分かった。

【0282】

（実施の形態15）

本発明の実施の形態15として、実施の形態5の図8(c)で示した軟質磁性膜130を備えた実施の形態2で示した磁気抵抗効果記憶素子2000の作製方法を示す。

【0283】

上述の実施の形態6と同様の方法で、実施の形態5の図8(c)で示した軟質磁性膜130を備えたMR素子部101を作製した。

【0284】

ターゲットに交換結合型フェリ磁性膜における金属の強磁性膜230および250用として $Ni_{0.81}Fe_{0.19}$ 、金属の非磁性膜240用としてRu、非磁性絶縁膜120用としてAl、もう一方の交換結合型フェリ磁性膜における金属の強磁性膜260、280用に $Co_{0.9}Fe_{0.1}$ および反強磁性膜180としての磁化回転抑制層用にIrMnを用いた。

【0285】

MR素子部101として、 $Ni_{0.81}Fe_{0.19}(3)/Ru(0.7)/Ni_{0.81}Fe_{0.19}(2)/Al_2O_3(1.2)/Co_{0.9}Fe_{0.1}(2)/Ru$

(0.7) / $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ (2) / IrMn (20) の構成から成るMR素子部を作製した。なお、 Al_2O_3 は、上述の方法Aの方法で作製した。

【0286】

MR素子部101のMR特性を室温、印加磁界100 Oeで測定したところ、MR比はおよそ36%であった。このときの接合面積は、およそ0.1平方マイクロメートルであった。

【0287】

本実施例のMR素子部101は、 $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ (5) / Al_2O_3 (1.2) / $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ (2) / Ru (0.7) / $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ (2) / IrMn (20) の基本構成を持つようなMR素子部に比べて、抗磁力が小さいことが分かった。このことは、図8(c)の様な構造をとることにより、反磁界の影響が低減したことによるものである。

10

【0288】

更に、上記のように作製されたMR素子部101を用いて、実施の形態2で示した磁気抵抗効果記憶素子2000を構成した。導電膜141および150にはAuおよびCuを用い、導電膜170にはAuCrを用いた。MR素子部101と導電膜170との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。

【0289】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子2000の動作を、実施の形態7における図10(a)および図10(b)に示した方法と同様の方法で確認した。その結果、図10(b)に示されるような記憶情報に応じた電圧変化が検出され、本発明の磁気抵抗効果記憶素子2000が実現できたことが分かった。

20

【0290】

(実施の形態16)

本発明の実施の形態16として、実施の形態5の図8(c)で示した軟質磁性膜130を備えた実施の形態2で示した磁気抵抗効果記憶素子2000の作製方法を示す。

【0291】

上述の実施の形態6と同様の方法で、実施の形態5の図8(c)で示した軟質磁性膜130を備えたMR素子部101を作製した。

30

【0292】

ターゲットに交換結合型フェリ磁性膜における金属の強磁性膜230および250用として $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ 、金属の非磁性膜240用としてRu、非磁性絶縁膜120用としてAl、もう一方の交換結合型フェリ磁性膜における金属の強磁性膜260、280用に $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ および反強磁性膜180としての磁化回転抑制層用にIrMnを用いた。また、非磁性絶縁膜120と強磁性膜250界面に新たな強磁性層(図示せず)を配したMR素子部101も作製し、この新たな強磁性層には $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ を用いた。

【0293】

MR素子部101として、 $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ (3) / Ru (0.7) / $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ (2) / Al_2O_3 (1.2) / $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ (2) / Ru (0.7) / $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ (2) / IrMn (20) の構成から成るMR素子部と、
 $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ (3) / Ru (0.7) / $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ (2) / $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ (0.5) / Al_2O_3 (1.2) / $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ (2) / Ru (0.7) / $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ (2) / IrMn (20) の構成から成るMR素子部とを作製した。なお、 Al_2O_3 は、上述の方法Aの方法で作製した。

40

【0294】

MR素子部101のMR特性を室温、印加磁界100 Oeで測定したところ、MR比はそれぞれ、前者は約35%、後者は約37%であった。このときの接合面積は、両方のM

50

R素子部ともおよそ0.1平方マイクロメートル程度であった。

【0295】

さらに、両方のMR素子部に対して熱処理を加えたところ、約280度の熱処理に対して後者のMR比は約41%に上昇した。このことは、軟質磁性膜130（自由層）に含まれる $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ が、 $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ と Al_2O_3 におけるNiとAlの相互拡散を抑え、安定な界面が実現されていることを示唆するものである。なお、この $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ 層は1nm程度以下の膜厚で配するのが望ましい。

【0296】

更に、上記のように作製されたMR素子部101を用いて、実施の形態2で示した磁気抵抗効果記憶素子2000を構成した。導電膜141および150にはAuおよびCuを用い、導電膜170にはAuCrを用いた。MR素子部101と導電膜170との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。

10

【0297】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子2000の動作を、実施の形態7における図10(a)および図10(b)に示した方法と同様の方法で確認した。その結果、図10(b)に示されるような記憶情報に応じた電圧変化が検出され、本発明の磁気抵抗効果記憶素子2000が実現できたことが分かった。

【0298】

（実施の形態17）

本発明の実施の形態17として、実施の形態1で示した磁気抵抗効果記憶素子1000の作製方法を示す。

20

【0299】

上述の実施の形態6と同様の方法で、図1に示すような磁気抵抗効果記憶素子1000を作製した。

【0300】

ターゲットに $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ （軟質磁性膜130用）、Al（非磁性絶縁膜120用）、 NiMnSb （硬質磁性膜110用）を用い、サファイアc面基板上に、 $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ （15）/ Al_2O_3 （1.2）/ NiMnSb （50）により構成されるMR素子部100を作製した。なお、 Al_2O_3 は、上述の方法Aの方法で作製した。

30

【0301】

MR素子部100のMR特性を室温、印加磁界100 Oeで測定したところ、MR比は約40%であった。このときの接合面積は、約0.25平方マイクロメートルであった。

【0302】

なお、本実施の形態ではサファイア基板を用いる例を示したが、酸化マグネシウム（100）基板を用いても良質な NiMnSb 膜を作製することができる。

【0303】

更に、高い磁気分極率を示す材料として、 NiMnSb を用いた例を示したが、 PtMnSb や PdMnSb を用いた場合でも、ほぼ同様に高いMR特性を示し、良好な磁気抵抗素子を作製することができる。

40

【0304】

更に、上記のように作製されたMR素子部100を用いて、実施の形態1で示した磁気抵抗効果記憶素子1000をサファイアc面基板上に作製した。導電膜140および150にはAuおよびCuを用い、導電膜170にはAuCrを用いた。MR素子部100と導電膜170との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。

【0305】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子1000の動作を、実施の形態6における図9(a)および図9(b)に示した方法と同様の方法で確認した。その結果、図9(b)に示されるような記憶情報に応じたパルスが検出され、本発明の磁気抵抗効果記

50

憶素子1000が実現できたことが分かった。

【0306】

(実施の形態18)

本発明の実施の形態18として、実施の形態1で示した磁気抵抗効果記憶素子1000の作製方法を示す。

【0307】

上述の実施の形態6と同様の方法で、図1に示すような磁気抵抗効果記憶素子1000を作製した。

【0308】

ターゲットに $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ (軟質磁性膜130用)、Al(非磁性絶縁膜120用)、PtMnSb(硬質磁性膜110用)を用いた。

サファイアc面基板上に、 $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ (15)/ Al_2O_3 (1.2)/PtMnSb(50)により構成されるMR素子部100を作製した。なお、 Al_2O_3 は、上述の方法Aの方法で作製した。

【0309】

まず、サファイアc面基板上に、製膜温度がおよそ500度の条件で、PtMnSbをエピタキシャル成長させた。サファイアc面基板との格子整合性より、PtMnSbは(111)面配向を示した。この後、Al膜を堆積し、上述の方法Aの方法で Al_2O_3 を作製した。その上に $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ を堆積して、 $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ (15)/ Al_2O_3 (1.2)/PtMnSb(50)により構成されるMR素子部100を作製した。

【0310】

MR素子部100のMR特性を室温、印加磁界100 Oeで測定したところ、MR比は約40%であった。このときの接合面積は、およそ0.25平方マイクロメートル程度であった。

【0311】

なお、本実施の形態ではサファイア基板を用いる例を示したが、酸化マグネシウム(100)基板を用いても良質なPtMnSb膜を作製することができる。また、この場合、格子整合性より(100)面に配向したPtMnSbを作製できることが分かった。

【0312】

本実施の形態では、高い磁気分極率を示す材料として、PtMnSbを用いる例を示したが、NiMnSbやPdMnSbを用いた場合でも、ほぼ同様な特性を示し、良好なMR特性を示すMR素子部100を作製できることが分かった。

【0313】

更に、上記のように作製されたMR素子部100を用いて、実施の形態1で示した磁気抵抗効果記憶素子1000をサファイアc面基板上に作製した。導電膜140および150にはAuおよびCuを用い、導電膜170にはAuCrを用いた。MR素子部100と導電膜170との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。

【0314】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子1000の動作を、実施の形態6における図9(a)および図9(b)に示した方法と同様の方法で確認した。その結果、図9(b)に示されるような記憶情報に応じたパルスが検出され、本発明の磁気抵抗効果記憶素子1000が実現できたことが分かった。

【0315】

(実施の形態19)

本発明の実施の形態19として、実施の形態2で示した磁気抵抗効果記憶素子2000の作製方法を示す。

【0316】

上述の実施の形態6と同様の方法で、図3に示すような磁気抵抗効果記憶素子2000を

作製した。

ターゲットに軟質磁性膜 130 用として $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ 、非磁性絶縁膜 120 用として Al、強磁性膜 190 用に PtMnSb、および反強磁性膜 180 としての磁化回転抑制層用に $-Fe_2O_3$ を用いた。

【0317】

作製においては、サファイア c 面基板上に $-Fe_2O_3$ を成長させ、 $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ (15) / Al_2O_3 (1.2) / PtMnSb (25) / $-Fe_2O_3$ (40) により構成される MR 素子部 101 を作製した。なお、 Al_2O_3 は、上述の方法 A の方法で作製した。

【0318】

MR 素子部 101 の MR 特性を室温、印加磁界 100 Oe で測定したところ、MR 比は約 40% であった。このときの接合面積は、最小で約 0.25 平方マイクロメートルであった。

【0319】

本実施の形態では、高い磁気分極率を示す材料として、PtMnSb を用いたが、NiMnSb や CuMnSb もほぼ同様な特性を示し、良好な MR 特性を示す磁気抵抗素子を作製することができる。

【0320】

更に、上記のように作製された MR 素子部 101 を用いて、実施の形態 2 で示した磁気抵抗効果記憶素子 2000 をサファイア c 面基板上に作製した。導電膜 141 および 150 には Au および Cu を用い、導電膜 170 には AuCr を用いた。MR 素子部 101 と導電膜 170 との絶縁には SiO_2 を用いている。なお、本実施の形態では絶縁に SiO_2 を用いたが、 CaF_2 、 Al_2O_3 あるいは Si_3N_4 を用いても良い。

【0321】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子 2000 の動作を、実施の形態 7 における図 10 (a) および図 10 (b) に示した方法と同様の方法で確認した。その結果、図 10 (b) に示されるような記憶情報に応じた電圧変化が検出され、本発明の磁気抵抗効果記憶素子 2000 が実現できたことが分かった。

【0322】

(実施の形態 20)

本発明の実施の形態 20 として、実施の形態 5 の図 8 (c) で示した軟質磁性膜 130 を備えた実施の形態 2 で示した磁気抵抗効果記憶素子 2000 の作製方法を示す。

【0323】

上述の実施の形態 6 と同様の方法で、実施の形態 5 の図 8 (c) で示した軟質磁性膜 130 を備えた MR 素子部 101 を作製した。

【0324】

ターゲットに交換結合型フェリ磁性膜における金属の強磁性膜 230 および 250 用として $Ni_{0.81}Fe_{0.19}$ 、金属の非磁性膜 240 用として Ru、非磁性絶縁膜 120 用として Al、もう一方の交換結合型フェリ磁性膜における金属の強磁性膜 260、280 用に $Co_{0.9}Fe_{0.1}$ および反強磁性膜 180 としての磁化回転抑制層用に IrMn を用いた。

【0325】

MR 素子部 101 として、 $Ni_{0.81}Fe_{0.19}$ (3) / Ru (0.7) / $Ni_{0.81}Fe_{0.19}$ (2) / Al_2O_3 (1.2) / $Co_{0.9}Fe_{0.1}$ (2) / Ru (0.7) / $Co_{0.9}Fe_{0.1}$ (2) / IrMn (20) の構成からなる MR 素子部を作製した。なお、 Al_2O_3 は、上述の方法 A の方法で作製した。

【0326】

MR 素子部 101 の MR 特性を室温、印加磁界 100 Oe で測定したところ、MR 比は約 35% であった。このときの接合面積は、およそ 0.05 平方マイクロメートルであった。

10

20

30

40

50

【0327】

更に、上記のように作製されたMR素子部101を用いて、実施の形態2で示した磁気抵抗効果記憶素子2000を構成した。導電膜141および150にはCuを用い、導電膜170にもCuを用いた。MR素子部101と導電膜170との絶縁にはSiO₂を用いている。なお、本実施の形態では絶縁にSiO₂を用いたが、CaF₂、Al₂O₃あるいはSi₃N₄を用いても良い。

【0328】

上記のような方法で作製された磁気抵抗効果記憶素子2000の高速動作を確認するべく、ワード線である導電膜170と、センス線として設定した導電膜150とのそれぞれに、図13上部および中央に示すグラフのような電流パルス561および562を流して、MR素子部101の電圧変化V₃をモニターした。その結果、図13下側に示すグラフのような記憶情報に応じた電圧変化563が検出された。

10

【0329】

本実施の形態では、一例として、センス線への電流印加による磁界発生方向は磁化困難軸方向、ワード線への電流印加による磁界発生方向は磁化容易軸方向をそれぞれ向いている構成をとっている。つまり、MR素子部101は、センス線から発生する磁界の方向よりもワード線から発生する磁界の方向へ磁化し易い構成となっている。

【0330】

このとき、センス線とワード線に印加したパルス電流のトリガータイミングを変化させることで、出力電圧の差が現れることが分かった。印加電流パルスの大きさは、ワード線への印加電流がセンス線への印加電流より大きくなるようにした。センス線への印加電流のパルス幅t_sは最低0.1ns以上、ワード線への印加電流のパルス幅t_wは0.1ns以上、センス線への印加電流のパルスに対するワード線への印加電流のパルスのタイミング差t_dは約0.1ns以上50ns以下の範囲にあることがそれぞれ好ましい。このようなトリガータイミングを変化させる操作を行うことで、高いMR比が確保され、高い出力電圧が得られることが分かった。

20

【0331】

また、このような出力特性は、磁化方向を180度回転させる際に、磁化容易軸方向（あるいは磁化困難軸方向）にのみに磁界印加を行うだけでなく、磁化容易軸方向への磁界印加に先だって、磁界困難軸方向に磁界を印加することが、高い出力電圧を得る上で効果的であることを示している。この操作により、磁化容易軸方向への磁化反転に対する磁気トルクがかかりやすくなると考えられる。

30

【0332】

本実施の形態の場合、センス線を用いて磁界困難軸方向へ磁界を発生させ、ワード線を用いて磁界容易軸方向へ磁界を発生させる構成を用いたが、逆の配置で用いても良い。

【0333】

また、ほぼ直交するセンス線とワード線の共用による磁界印加では、図14に示すようなアステロイド型の磁界曲線1401によりセンス線による磁界の大きさH_sとワード線による磁界の大きさH_wとが決定される。従って、直交するセンス線とワード線（あるいは直交する2本のワード線）を共用して磁界印加することは、記憶素子のアドレス選択のみでなく、磁界発生のためにセンス線およびワード線に流す電流値を低減させることができる。

40

【0334】

次に、図15(a)に示すように、上記のような磁気抵抗効果記憶素子2000の複数個を512×512の行列状に配置したMRAMデバイス6000を構成した。なお、磁気抵抗効果記憶素子2000は任意の数が配置され得る。図15(b)に示すようにアドレス指定用のスイッチ部401および411と、信号検出部402および412とが配置される。スイッチ部401および411により任意の導電膜141、150および170が選択される。また、信号検出部402および412によって、各導電膜の電流値または電圧値が検出される。

50

【0335】

ワード線170は、好ましくは図15(b)に示すようにMR素子部101の上部に沿って配置されるが、磁界がMR素子部101に効果的に印加可能であれば、この配置に限定されるものではない。

【0336】

導電膜141および150(ビット線およびセンス線)、導電膜170(ワード線)は、図12(a)に示すように行列状に配置されている。また、アドレス指定用のスイッチ部401および411と、信号検出部402および412が、図15(b)に示すように配置されている。スイッチ部401および411により任意の導電膜141、150および170が選択される。また、信号検出部402および412によって、各導電膜の電流値または電圧値が検出される。

10

【0337】

MR素子部101への記憶の書き込みについては、電流パルスを行要素と列要素の導電膜150および170にそれぞれに流し、発生する合成の磁界によって、特定のMR素子部101に対してのみ磁化状態を変化させることにより行われる。本実施の形態では、導電膜150(センス線)を、実施の形態14で示した導電膜173(ワード線)の代わりとして用いている。

【0338】

任意の記憶状態にあるMRAMデバイス6000に対する読み出し動作を以下のように確認した。

20

【0339】

スイッチ部401および411により、特定の導電膜141、150および170が選択される。そして、選択された各導電膜に対応するMR素子101の抵抗値をモニターした。そして、実施の形態2で示した読み出し方法と同様に、モニターされた上記対応するMR素子101の抵抗値と参照抵抗との差分値を差分回路(図示せず、好ましくは信号検出部402および412に内蔵される)を通じてモニターし、差分値に応じて記憶状態を読み出すことができた。これらの結果によって、本発明のMRAMデバイス6000が実現できたことが分かった。

【0340】

(実施の形態21)

本発明の実施の形態21として、図16(a)および図16(b)に、実施の形態2(図3)で示したMR素子部101を備えた、磁気抵抗効果ヘッド7000を示す。図16(a)は磁気抵抗効果ヘッド7000の斜視図、図16(b)は磁気抵抗効果ヘッド7000の断面図である。磁気抵抗効果ヘッド7000のMR素子部101は、実施の形態5(図8(b))で示した軟質磁性膜130を備える。実施の形態2および5で示した磁気抵抗効果記憶素子2000と同一の構成要素については同一の参照符号で表し、これらについての詳細な説明は省略する。

30

【0341】

上述の実施の形態6と同様の方法で、MR素子部101を作製した。

【0342】

ターゲットに交換結合型フェリ磁性膜における金属の強磁性膜230および250用として $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ または $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ 、金属の非磁性膜240用としてRu、非磁性絶縁膜120用として Al_2O_3 、強磁性膜190用に $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ 、および反強磁性膜180としての磁化回転抑制層用にIrMnを用いた。

40

【0343】

MR素子部101として、 $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ (3)/Ru(0.7)/ $\text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ (2)/ Al_2O_3 (1.2)/ $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ (20)/IrMn(30)、の構成から成るMR素子部を作製した。なお、 Al_2O_3 は上記の方法Aの方法で作製した。

【0344】

50

作製されたMR素子部101のMR特性を室温、印加磁界100 Oeで測定したところ、MR比は約30%であった。このときの接合面積は、およそ0.25平方マイクロメートルであった。

【0345】

このようなトンネル接合型のMR素子部101を磁気抵抗効果ヘッド7000は備えている。

【0346】

磁気抵抗効果ヘッド7000は、 $Al_2O_3 \cdot TiC$ を主成分とする焼結体から成るスライダ用の基板601と、シールド層602および603と、NiFe合金から成る記録磁極605および606と、Cuから成るコイル607と、 Al_2O_3 から成る各構成要素間のギャップ層608とを備える。シールド層602および603の膜厚はそれぞれ1 μ mである。また、記録磁極605、606の膜厚はそれぞれ3 μ mである。ギャップ層608の膜厚は、シールド層602および603とMR素子部101との間で0.1 μ mであり、記録磁極605および606間では0.2 μ mである。導電膜150と記録磁極605の間隔は約4 μ mである。コイル607の膜厚は3 μ mである。

10

【0347】

MR素子部101はシールド層602および603内に配置されており、ヘッド表面604に直接露出しない構成となっている。

【0348】

バイアス電流は導電膜141および150を通じてMR素子部101に印加される。軟質磁性膜130および強磁性膜190は、互いの磁化方向が直交する方向にそれぞれ磁化方向が向くように設定されており、再生信号に応じた磁化方向の変位を感度良く読みとることができた。

20

【0349】

また、図17(a)および図17(b)に示すように、上記の磁気抵抗効果ヘッド7000を備えた磁気ディスク装置8000を作製した。図17(a)は、磁気ディスク装置8000の上面図を、図17(b)は磁気ディスク装置8000の断面図を示している。

【0350】

磁気記録媒体701はCo-Ni-Pt-Ta系合金から成る。磁気抵抗効果ヘッド7000は、磁気ヘッド支持部702により支持され、磁気ヘッド駆動部703により駆動される。磁気抵抗効果ヘッド7000のトラック幅は5 μ mとした。上記のような構成を磁気ディスク装置8000は、図17(b)に示すように複数個備える。

30

【0351】

本発明の磁気抵抗効果ヘッド7000は、従来のCI PMR素子であるGMR型磁気抵抗効果ヘッドよりも抵抗変化率が高い。従って、磁気抵抗効果ヘッド7000は再生出力が高く、再生用磁気ヘッドとして大変有効である。作製した磁気ディスク装置8000から、磁気記録媒体701に記録された情報に応じた電圧変化が良好に検出でき、本発明の磁気抵抗効果ヘッド7000が実現できたことが分かった。

【0352】

なお、本発明の全ての実施の形態で示したMR素子部100、101、102および200は、本実施の形態と同様に、磁気抵抗効果ヘッドとして用いることが出来る。

40

【0353】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、磁気抵抗効果記憶素子および磁気抵抗効果素子が提供される。

【0354】

本発明の1つの局面によれば、外部磁界に対して磁化方向が動きやすい自由層が、膜厚が薄くても保磁力が小さい強磁性膜と非晶質層とで構成されている。また、本発明の別の局面によれば、自由層として反強磁性的に交換結合した合成フェリ磁性膜が用いられる。自由層をこのような構成とすることにより、微細な形状においても高感度な磁気抵抗効果素

50

子として動作させることができ、また、高集積度で且つ小さな電流値においても高出力である磁気抵抗効果記憶素子の実現をされる。さらに、このような磁気抵抗効果記憶素子を行列状に配置した高密度磁気抵抗効果記憶デバイスが実現される。

【0355】

また、本発明の1つの局面によれば、磁気抵抗効果記憶素子からの情報信号の読み出し動作において、情報信号を効率良く読み出すことが可能である。また、情報信号の読み出し動作においてNDR Oを実現することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1における磁気抵抗効果記憶素子の断面図

【図2】本発明の実施の形態1における磁気抵抗効果記憶素子の動作原理を示す図

10

【図3】本発明の実施の形態2における磁気抵抗効果記憶素子の断面図

【図4】本発明の実施の形態2における磁気抵抗効果記憶素子の動作原理を示す図

【図5】(a)は本発明の実施の形態3におけるMRAMデバイスを示す上面図、

(b)は本発明の実施の形態3におけるMRAMデバイスの一部を示す斜視図

(c)は本発明の実施の形態3におけるMRAMデバイスの一部を示す断面図

【図6】(a)は本発明の実施の形態3における磁気抵抗効果記憶素子を示す断面図、(

b)は本発明の実施の形態3におけるMRAMデバイスの一部を示す斜視図

【図7】本発明の実施の形態4における磁気抵抗効果記憶素子の断面図

【図8】(a)、(b)、(c)および(d)は、本発明の実施の形態5におけるMR素子部を示す断面図、

20

(e)、(f)および(g)は、本発明の実施の形態5における強磁性膜を示す斜視図

【図9】本発明の実施の形態6における磁気抵抗効果記憶素子の動作を示す図

【図10】本発明の実施の形態7における磁気抵抗効果記憶素子の動作を示す図

【図11】本発明の実施の形態9における磁気抵抗効果記憶素子の動作を示す図

【図12】(a)は本発明の実施の形態14におけるMRAMデバイスを示す斜視図、

(b)は本発明の実施の形態14におけるMRAMデバイスの一部を示す斜視図、

(c)は本発明の実施の形態14の変形例におけるMRAMデバイスの一部を示す斜視図

、

(d)は本発明の実施の形態14の変形例におけるMRAMデバイスの一部を示す斜視図

、

30

(e)は本発明の実施の形態14の変形例におけるMRAMデバイスの一部を示す斜視図

、

(f)は本発明の実施の形態14におけるMRAMデバイスを示す上面図

【図13】本発明の実施の形態20における磁気抵抗効果記憶素子の動作を示す図

【図14】本発明の磁気抵抗効果記憶素子におけるアステロイド型の磁界曲線を示す図

【図15】(a)は本発明の実施の形態20におけるMRAMデバイスを示す斜視図、

(b)は本発明の実施の形態20におけるMRAMデバイスを示す上面図

【図16】(a)は本発明の実施の形態21における磁気抵抗効果ヘッドを示す斜視図。

(b)は本発明の実施の形態21における磁気抵抗効果ヘッドを示す断面図

【図17】(a)は本発明の実施の形態21における磁気ディスク装置を示す上面図

40

(b)は本発明の実施の形態21における磁気ディスク装置を示す断面図

【符号の説明】

100、101 MR素子部

110 硬質磁性膜

120 非磁性絶縁膜

130 軟質磁性膜

140、141、150、170 導電膜

160 絶縁膜

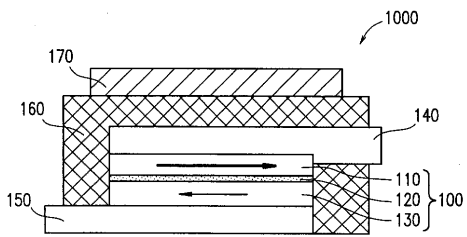
180 反強磁性膜

190 強磁性膜

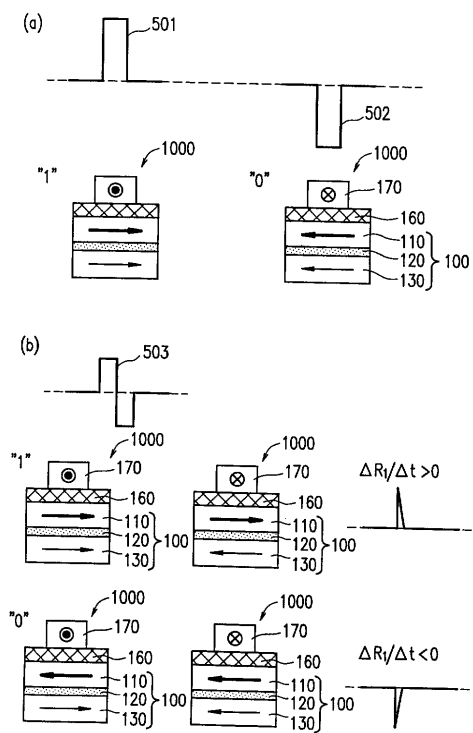
50

- 2 1 0 非晶質磁性膜
- 2 2 0 界面磁性膜
- 2 3 0、2 5 0、2 6 0、2 8 0 強磁性膜
- 2 4 0、2 7 0 非磁性膜
- 1 0 0 0、2 0 0 0 磁氣抵抗効果記憶素子

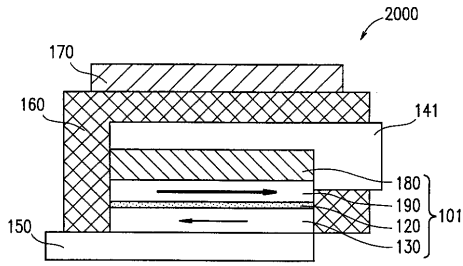
【 図 1 】



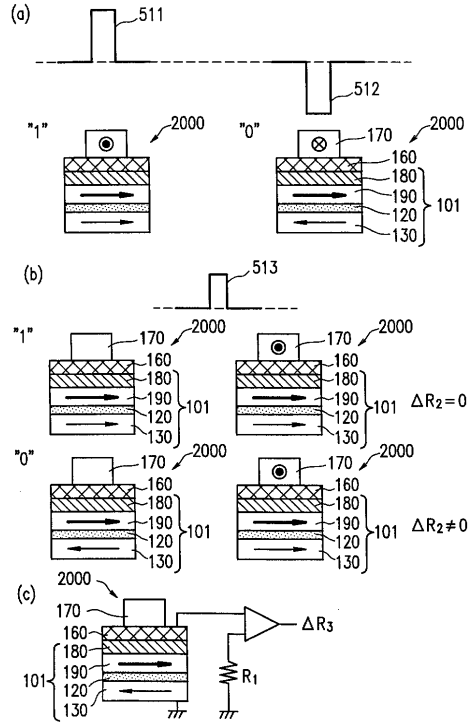
【 図 2 】



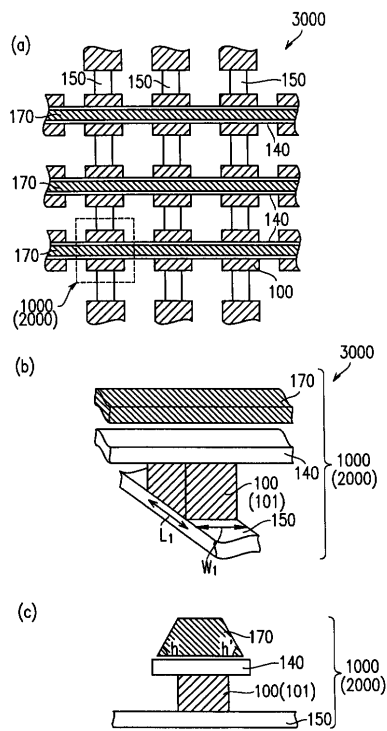
【 図 3 】



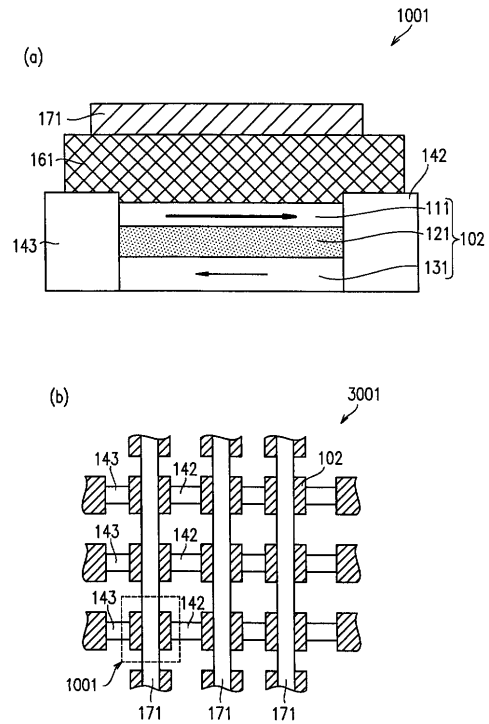
【 図 4 】



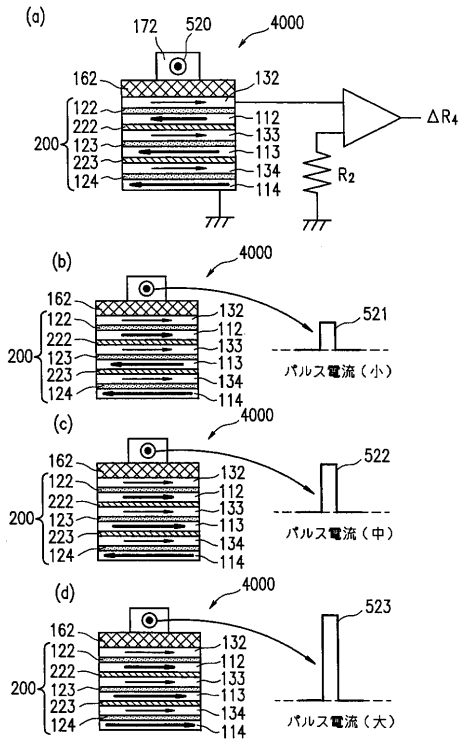
【 図 5 】



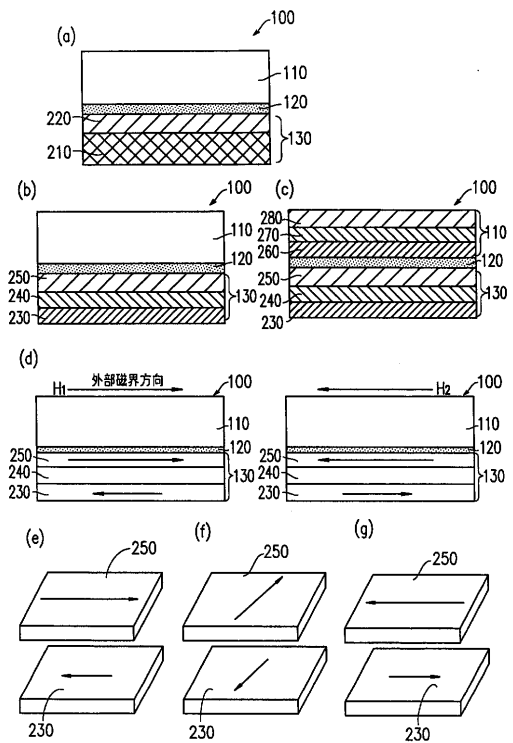
【 図 6 】



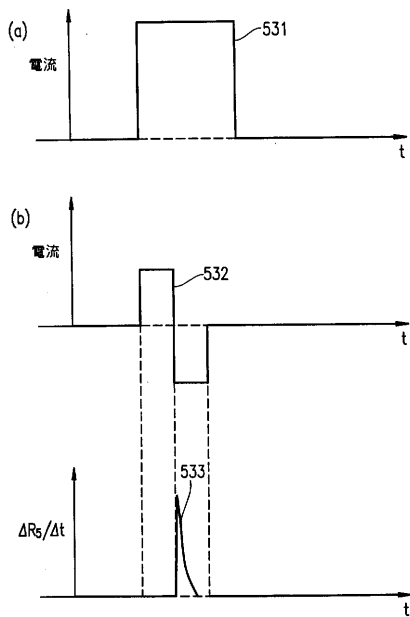
【 図 7 】



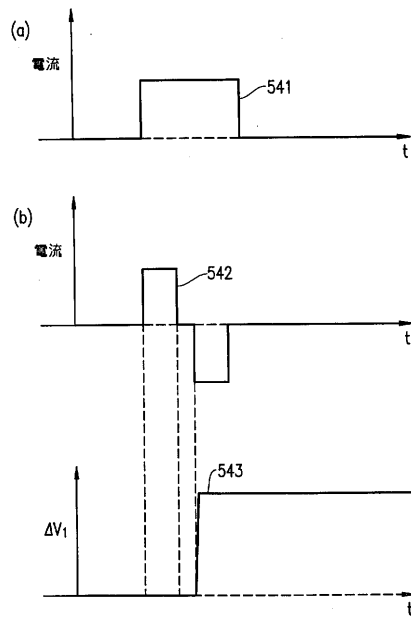
【 図 8 】



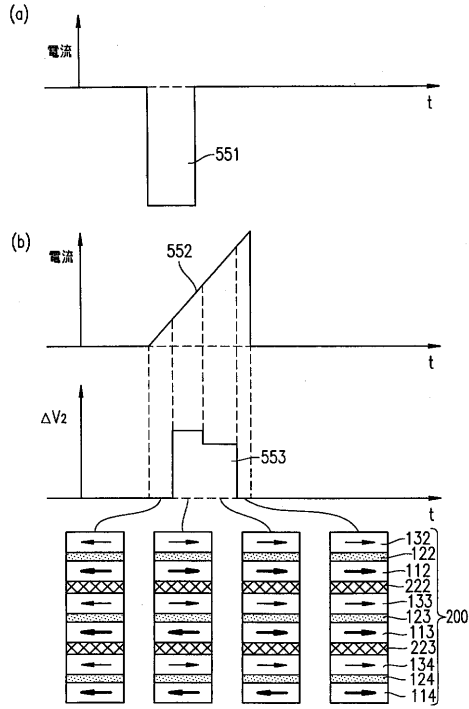
【 図 9 】



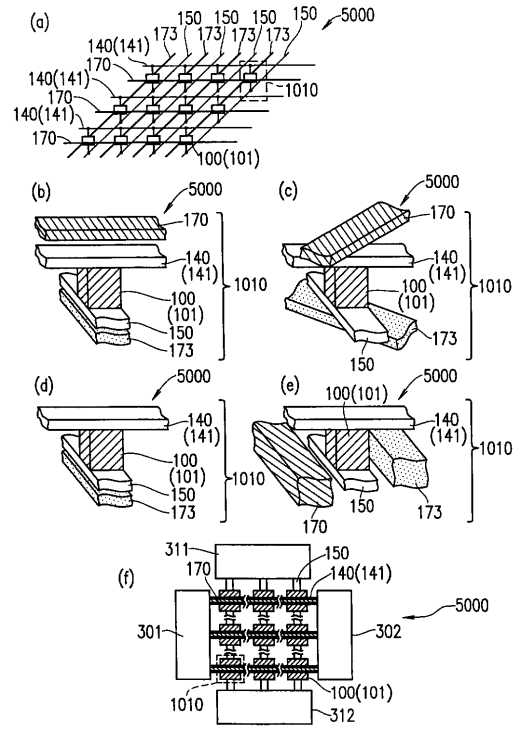
【 図 10 】



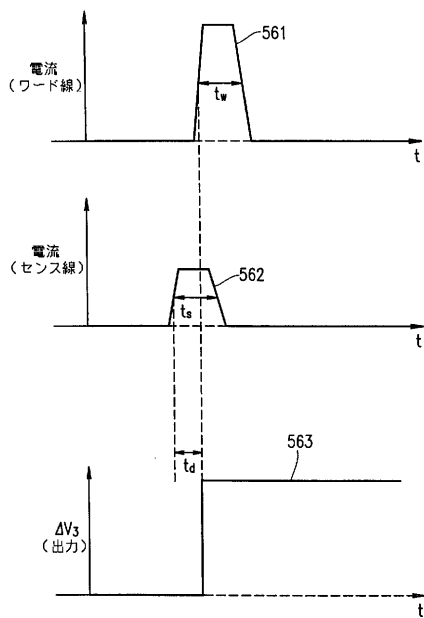
【 図 1 1 】



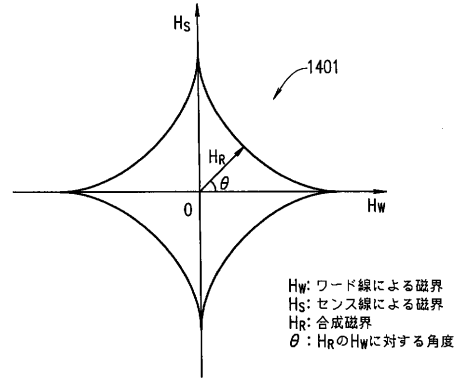
【 図 1 2 】



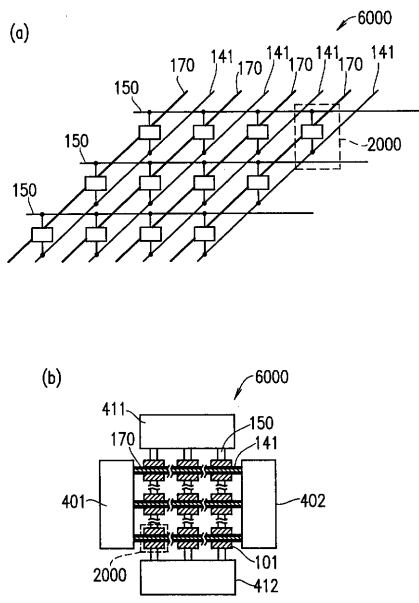
【 図 1 3 】



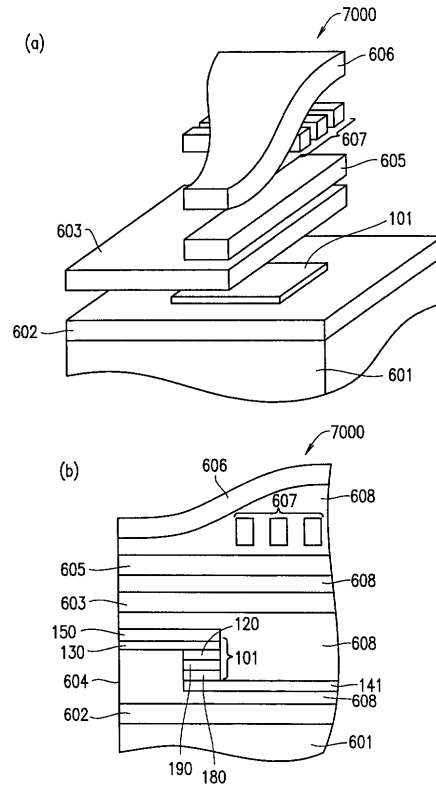
【 図 1 4 】



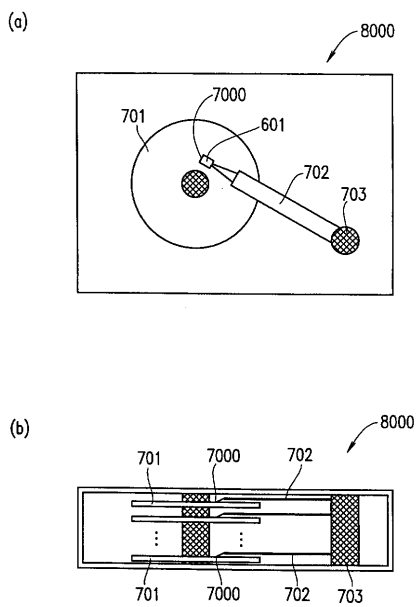
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



フロントページの続き

(72)発明者 松川 望

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

審査官 栗野 正明

(56)参考文献 特開平10-041135(JP,A)
特開平08-316549(JP,A)
特開平09-251621(JP,A)
国際公開第00/004552(WO,A1)
特開2001-156357(JP,A)
特開平08-250366(JP,A)
特開平11-154389(JP,A)
米国特許第05686838(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 43/08
G01R 33/09
G11B 5/39
H01F 10/32
H01L 27/105