【技術分類】3 - 1 - 2 評価技術/材料評価/MR比測定技術 【 FI】H01L27/10,447;G11C11/15,110;H01L43/08@Z 【技術名称】3 - 1 - 2 - 1 トンネル障壁高さの推定法

【技術内容】

強磁性トンネル接合(MTJ)のトンネル障壁高さを求めるには、2つの方法がある。1つは、接合電流Iの温度T依存性(I-T曲線)を、Strattonの理論に従って解析して求める方法である。この方法で推定した障壁の高さを _{I-T}で表す。もう1つは、接合電流の電圧V依存性(I-V曲線)を解析して求める方法である。この方法で推定した障壁の高さを _{I-V}で表す。

表1に、これら両方法により求めた種々のMTJの障壁の高さを示す。4.2Kおよび300KにおけるMR比 も、併せ示す。トンネル障壁膜はいずれもAI203である。表から明らかなように、I-T曲線から求めて も、I-V曲線から求めても、障壁高さはほぼ一致する。ただし、MTJの膜構成によって大きく異なるこ とを示している。さらに、これらの値は、材料AI203自身の障壁高さの報告値1-3 eVと比べると、約 1 桁近くも小さい。

障壁の高さには、AIの酸化条件が大きく関与している。実際に、強磁性体/AI₂0₃/強磁性体接合とした場合に、どの段階で障壁の高さが減少するかということも、詳しく研究されている。

【表】

表1 いろいろなMTJのMR比と障壁高さ(_{I-T}; _{I-V})。 _{I-T}: I-T曲線より推定、 _{I-V}: I-V曲線よ り推定

Junction	MR (%)		$\Phi_{I-T}(eV)$	Φ _{I-V} (eV)	
	4.2 K	300 K			
Fe/Al ₂ O ₃ /20NiFe	35	8	0.1 ~0.17	0.18	
Fe/Al ₂ O ₃ /Fe	30	18	0.23~0.39	0.3	
Fe/Al ₂ O ₃ /50NiFe	21	3.8	0.13~0.25	0.21	
50FeCo/Al2O3/Co	7.2	3.5	0.07~0.38		
Fe/Al ₂ O ₃ /Co	8.2	3.3	0.09~0.13		
80NiFe/Al ₂ O ₃ /Co	5.0	2.7	0.34~0.75	0.25	
80NiFe/Al ₂ O ₃ /Fe	7.2	3.5	0.04~0.08	0.12	
Fe/Al ₂ O ₃ /Ni	4.6	2.5	0.09~0.19	0.09	

 $_{I-V}$) for various junctions. $_{I-T}$, estimated from I-T curve; $_{I-V}$, estimated from I-V curve.

【出典 / 参考資料】

「スピントンネル磁気抵抗効果」、「日本応用磁気学会誌 Vol.20 No.5」、1996 年 10 月 1 日、宮崎 照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、896 - 904 頁 【技術分類】3 - 1 - 2 評価技術 / 材料評価 / MR 比測定技術 【 FI】H01L27/10,447;G11C11/15,110;H01L43/08@Z 【技術名称】3 - 1 - 2 - 2 強磁性トンネル接合の電流電圧特性の測定

【技術内容】

強磁性トンネル接合の最も基本的な性質は電流(I)電圧(V)特性である。I-V曲線は、直流四端 子法で測定することができる。

図1に、Fe/AI酸化物/Fe 接合の 4.2K における I-V 曲線の測定結果の典型例を示す。図中に示した 温度は AI の酸化温度である。AI はスパッタ法で形成した単層膜で、これを高温槽中で酸化した。酸 化時間は 3-24 時間、湿度は約20%以下に保った。I-V 曲線は、原点を変曲点とする逆 S 字状曲線で、 負電圧側ではサブリニア、正電圧側ではスーパリニアである。曲線の傾きは、AI の酸化温度が高くな るほど緩やかになる。

I-V曲線をSimmonsのトンネル電流理論式に合わせて解析すると、絶縁体の障壁の高さ と幅 d を 求めることができる。結果を表1に示す。酸化温度Tが高くなるほど、障壁高さは高くなり、0.3 eV から2.3 eVまで変化する。また、同じ酸化温度では、酸化時間 t が長いほど障壁高さが高くなる。

【図】

図1 Fe/AI 酸化物/Fe 接合の I-V 曲線の典型例



出典:「強磁性トンネル接合における絶縁障壁と磁気抵抗」、「日本応用磁気学会誌 Vol.21 No.4-2」、1997年4月1日、手束展規、安藤康夫、宮崎照宣、H.G.Tompkins、S.Tehrani、H.Goronkin 著、社団法人日本応用磁気学会発行、494頁 Fig.1 Typical examples of I-V curves for Fe/Al oxide/Fe junction.

表1 Fe/AI 酸化物/Fe 接合の絶縁障壁高さと幅

T (°C)	t(h)	Φ (eV)	d(Å)	MR (%)	
				4.2 K	300 K
30	12	-	-	-	-
30	24	0.3	32	28	6.5
30	24	0.25	47	21	8.6
30	24	0.56	29	6.9	3.7
45	12	0.81	25	1.0	0.58
45	12	0.96	22	1.0	0.41
45	24	1.9	17	0	0
60	12	1.9	18	16	9.2
60	12	2.0	17	18	11
60	24	2.3	19	0	0

出典:「強磁性トンネル接合における絶縁障壁と磁気抵抗」、「日本応用磁気学会誌 Vol.21 No.4-2」、1997年4月1日、手束展規、安藤康夫、宮崎照宣、H.G.Tompkins、S.Tehrani、H.Goronkin 著、社団法人日本応用磁気学会発行、494頁 Table 1 Barrier height and width of Fe/Al oxide/Fe junctions

【出典 / 参考資料】

「強磁性トンネル接合における絶縁障壁と磁気抵抗」、「日本応用磁気学会誌 Vol.21 No.4-2」、 1997 年 4 月 1 日、手束展規、安藤康夫、宮崎照宣、H.G.Tompkins、S.Tehrani、H.Goronkin 著、社団 法人日本応用磁気学会発行、493 - 496 頁 【技術分類】3 - 1 - 2 評価技術 / 材料評価 / MR 比測定技術 【 FI】H01L27/10,447;G11C11/15,110;H01L43/08@Z 【技術名称】3 - 1 - 2 - 3 TMR 素子の高速スイッチング特性の測定

【技術内容】

TMR 素子の絶縁層界面の構造は素子のスイッチング特性に関係する。スイッチング特性を用いて界面の評価をするために、ナノ秒領域の磁化反転を測定する装置を設計した。

図1は、測定システムを示す。素子に隣接した導線にパルス電流を流し、その周囲に生じる磁界を 用いる。伝送系にはコプレーナガイドを用い、パルスジェネレータから、40 GHz 伝送対応の GSG エア コプレーナプローブを通して、ガイドにパルス信号を印加する。素子からの信号は、40 GHz 伝送対応 の GSGS エアコプレーナプローブを用いて検出する。

図2は、コプレーナガイドを設けた試料の形状を模式的に示す。基板上にトンネル素子を作製した 後、素子表面をSiO₂で絶縁し、その上にコプレーナガイドおよびプローブ用のパッドを形成した。立 ち上がり時間 500 ps、幅 20 nsのパルス信号を印加した場合、コプレーナガイドを流れた後の信号の 立ち上がり時間は 550 psである。

図3は、このパルス磁界でガイド下部に隣接したトンネル素子の磁化を反転させ、素子からの出力 信号の時間変化を測定した結果を示す。パルス磁界強度の増加とともに反転時間が短くなる傾向を示 す。72 0e での反転時間は約6 ns である。磁化反転時間は、素子の形状、積層構成、界面状態により 異なり、本装置はその基礎的な研究に役立つ。

【図】

図1 高速磁化反転測定の図解



出典:「強磁性トンネル接合の絶縁障壁と高速スイッチング特性(スピンエレクトロニクスの現状と 将来展望)」、「日本応用磁気学会研究会資料 Vol.121」、2001 年 10 月 23 日、安藤康夫、林将光、中 村洋明、井浦聡則、水上成美、久保田均、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、16 頁 Fig.6 Schematic illustration of fast magnetization reversal measurement.

図 2 高速磁化反転測定用試料構造



出典:「強磁性トンネル接合の絶縁障壁と高速スイッチング特性(スピンエレクトロニクスの現状と 将来展望)」、「日本応用磁気学会研究会資料 Vol.121」、2001年10月23日、安藤康夫、林将光、中 村洋明、井浦聡則、水上成美、久保田均、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、16頁 Fig.7 Sample structure for the measurement of fast magnetization reversal.

図3 パルス磁場印加後の高速磁化反転信号



出典:「強磁性トンネル接合の絶縁障壁と高速スイッチング特性(スピンエレクトロニクスの現状と 将来展望)」、「日本応用磁気学会研究会資料 Vol.121」、2001 年 10 月 23 日、安藤康夫、林将光、中 村洋明、井浦聡則、水上成美、久保田均、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、17 頁 Fig.9 Fast magnetization reversal signal after applying pulse magnetic field.

【出典 / 参考資料】

「強磁性トンネル接合の絶縁障壁と高速スイッチング特性(スピンエレクトロニクスの現状と将来 展望)」、「日本応用磁気学会研究会資料 Vol.121」、2001 年 10 月 23 日、安藤康夫、林将光、中村洋 明、井浦聡則、水上成美、久保田均、宮崎照宣著、社団法人日本応用磁気学会発行、11 - 18 頁 【技術分類】3 - 1 - 2 評価技術 / 材料評価 / MR 比測定技術 【 FI】H01L27/10,447;G11C11/15,110;H01L43/08@Z 【技術名称】3 - 1 - 2 - 4 微小強磁性体トンネル接合の MR 比測定技術

【技術内容】

MRAMは、極微小磁性体トンネル接合の多数のアレイであるため、個々の接合の磁気抵抗の測定は困難である。伝導性原子間力顕微鏡(AFM)を用いると、製造工程の中でそれが可能になる。

図1は、電子線リソグラフィーと伝導性 AFM を組み合わせた微小強磁性体トンネル接合の作製・評価プロセスの模式図を示す。電子線リソグラフィーと Ar イオンミリングによって、個々の接合を形成した後、工程(d)で、伝導性 AFM のチップを各接合の上部に直接当てて、基板電極との間の接合特性を 測定する。上部リード電極の作製が不要で、ミクロンサイズの接合の評価が容易である。実際に、最小 50 nm × 50 nm の接合の磁気抵抗 (TMR)曲線を測定することに成功している。

【図】

図1 電子線リソグラフィーと伝導性 AFM を組み合わせた微小強磁性体トンネル接合の作製・評価 プロセスの模式図



出典:「第5章 MRAM 5.3.4 大容量化」、「スピントロニクス 次世代メモリ MRAM の基礎」、2004 年4月10、宮崎照宣著、日刊工業新聞発行、134頁 図 5.10 電子線リソグラフィーと伝導性 AFM を 組み合わせた微小強磁性体トンネル接合の作製・評価プロセスの模式図

【出典 / 参考資料】

「第5章 MRAM 5.3.4 大容量化」、「スピントロニクス 次世代メモリ MRAM の基礎」、2004年4月 10、宮崎照宣著、日刊工業新聞発行、1-190頁