



Title	Control of Spin-Dependent Quantum Interference in Magnetic Tunnel Junctions with Fe Ultrathin Layer
Author(s)	Sheng, Peng
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27499
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	SHENG PENG (盛 鵬)
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 26088 号
学位授与年月日	平成25年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物質創成専攻
学位論文名	Control of Spin-Dependent Quantum Interference in Magnetic Tunnel Junctions with Fe Ultrathin Layer (Fe 超薄膜電極トンネル接合におけるスピン依存量子干渉効果の制御)
論文審査委員	(主査) 教授 鈴木 義茂 (副査) 教授 笏田 博一 教授 吉田 博

論文内容の要旨

Electron confinement in quantum wells (QWs) has been extensively studied in semiconductor and metallic heterostructures. It has proven to be a powerful approach to tuning the electronic structure and to tailoring new functionalities in devices such as interlayer exchange coupling between ferromagnets. Quantum confinement of spin polarized electrons is therefore of great interest for both fundamental and applied spintronics. The work presented in this thesis focuses on spin dependent quantum interference in Cr/ultrathin Fe/MgO/Fe MTJs. The goal of the research work in this thesis is to understand and control this phenomenon.

First of all, experiment method and results about quantum well resonant peak positions versus the continuous Fe thickness were presented, indicating a clear signature of quantum well states in the ultrathin Fe (001) electrode, confirmed the discrepancy in experiment and first-principle theoretical calculation. The correlation of the $\Delta 1$ band in the Γ -H dispersion of bcc Fe and periodicity of resonant peak was also studied in details.

And then, to investigate the origin of the discrepancy discussed above, experimental results on Fe/MgO and Cr/Fe interface were discussed, which illustrate the influence of interface on quantum well resonant peak positions.

Last the influence of quantum interference on modulation TMR ratio in MTJs with the change of voltage and ultrathin Fe electrode thickness was investigated. In addition, the role of growth conditions and interface flatness in quantum well effect was also been investigated and discussed. This study paves the way for controlling spin-dependent quantum interference and their influence on TMR, which is able to develop new functionalities in industry applications.

提出された論文は電子の持つ電荷とスピンの双方を巧みに利用する新しい技術・学問分野であるスピントロニクスの研究分野に関するものである。当該研究は、中でも中心的な役割を果たしている強磁性トンネル磁気抵抗素子の電極膜厚を精密に制御することにより電極内に量子井戸準位を形成し、電極の電子状態とスピン依存電気伝導特性の関係について詳細に研究したものである。論文では以下の4つの結果が述べられている。即ち、(1)試料の作製と構造の評価、(2)微分電気伝導度測定による量子井戸準位の同定、(3)界面構造の影響の評価、(4)量子井戸準位の形成によるトンネル磁気抵抗効果の制御の試みの4点である。

以下に内容の詳細を説明する。(1)試料は分子線エビタキシー法により超高真空中でMgO(001)研磨面を基板として作製された。MgO(001)面上にCr, Auのバッファを成長することにより基板よりさらに平坦な表面を得たのちにFeを成長した。シャッターを基板上で移動しながらFeを蒸着することにより場所により膜厚の異なるWedge状のFe超薄膜を作製した。膜の構造は反射高速電子線回折のパターンから、膜厚はその強度の振動より求められた。膜は体心立方構造であり(001)面エビタキシャル成長が確認された。また、250℃のアニールによる平坦性の改善が確認された。Fe(001)薄膜の上にMgOおよび上部Fe電極を蒸着しトンネル磁気抵抗素子を作製した。(2)素子の微分コンダクタンスの印加電圧および膜厚依存性を室温で詳細に測定した。その結果、微分コンダクタンススペクトルには明瞭な振動構造が現れた。簡単な理論的考察との比較からスペクトルのピークが量子井戸準位のエネルギー準位に対応すると考えることにより量子井戸準位の膜厚依存性を得た。結果は理論計算による予想と1原子層の食い違いを示した。(3)そこで、界面構造を調べるために磁気光学効果の膜厚依存性およびXMCDの測定を行った。その結果、Fe/Cr界面1原子層の磁化が失われていることが分かった。このことから理論計算との不一致はFe/Cr界面のFeのCrへの拡散が原因ではないかと推測された。(4)量子井戸準位は主に磁化が平行の時の電気伝導度の増減として現れる。したがって、量子井戸準位を素子の使用時のバイアス電圧に合わせたエネルギーに作るにより実際に素子を使用する時の磁気抵抗効果を増大できると考えられる。作製した素子について微分磁気抵抗効果のバイアス依存性を調べたところ量子井戸準位のエネルギーに対応するバイアス電圧において磁気抵抗効果の増大が観察された。以上の結果は、トンネル磁気抵抗効果を人為的に制御する方法を提示するのみでなく、電子状態とスピン依存伝導の関係に関する理解を深めるものである。

この成果は、既に国際的な英文論文誌2編の論文として掲載される(1編は出版済み、1編はアクセプトの段階)。それ以外にも国際会議において4回の発表を行い確実な評価を得ている。

候補者が高度な技術を要する実験を行い、素子の不完全性などの詳細を明らかにしたことは高く評価でき、今後、電子状態の制御された系のスピントロニクスの解明などより独創性の高い研究の遂行が期待される。発表も明解であり質問への受け答えは的確であった。以上より本論文は博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。