

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | QUANTUM EFFECTS IN MgO-BASED MAGNETIC TUNNEL JUNCTIONS                          |
| Author(s)    | Do, Bang  |
| Citation     | 大阪大学, 2010, 博士論文  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/951">https://hdl.handle.net/11094/951</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

論文内容の要旨

The tunnel magnetoresistance (TMR) effect in a magnetic tunnel junction (MTJ) with a crystalline MgO(001) tunnel barrier (MgO-based MTJ) is especially important because of the large magnetoresistance at room temperature and the application for new generation spintronics devices. The TMR effect is also known to be sensitive to layer interfaces due to quantum effects such as a scatter or interference of tunneling electrons. This dissertation contributes towards the investigation of quantum effects in the MgO-based MTJs as described below.

Chapter 1 provides a detailed introduction of MgO-based MTJs and its quantum effects, followed by purposes of this study. Chapter 2 then describes the fabrication of the MTJs and experimental methods used in this dissertation. The experimental results and discussion are shown in Chapter 3 which consists of four sections: (1) In Sec. 3.1, the properties of Kondo effect was investigated for both single crystal MTJs and the MTJs with the boron-doped top ferromagnetic electrode in order to find out the origin of the Kondo effect. The experimental results suggested that magnetic impurities (Fe, Co or Mn) diffused into the MgO barrier through defects could be an origin of the effect. (2) In Sec. 3.2, deals with investigations of bias and temperature dependences of conductance arising from the magnon contribution in MgO-based MTJs. A series of experimental results proposes an important role of the surface (2D) magnon excitation. (3) In Sec. 3.3, the process of preparation of epitaxial MTJs with ultrathin Fe electrodes is reported. These samples show a strong quantum resonant effect as a clear oscillation of dynamics conductance with the bias-voltage and energy of quantum well states much depends on the ultrathin-Fe thickness. (4) The results also opened a new research topic of contribution of quantum well states to spin-torque diode spectrum in epitaxial MgO-based MTJs as reported in Sec. 3.4.

Finally, conclusions of origins of Kondo, magnon and also quantum interference effects and their contributions to tunneling transport properties of the MgO-based MTJs are discussed in Chapter 4. Especially, it is concluded that the TMR and spin-torque can be significantly influenced and modulated by the QW states.

論文審査の結果の要旨

審査結果 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したエレクトロニクスを創成しようとするスピントロニクスの研究分野において中心的な素子となっているトンネル磁気抵抗素子の物性を明らかにすることを目的として行われた研究に関するものである。内容は、トンネル磁気抵抗素子における近藤効果、マグノン励起および量子サイズ効果の影響の3部から構成されていた。第一部では極低温・低バイアスにおいてトンネル磁気抵抗素子の電気抵抗が対数的に増大することが見出され、近藤効果と考えられることが示された。そのスペクトルをFano効果を考慮した近藤効果のモデルによりフィッティングすることにより近藤温度などのパラメータを求めた。近藤不純物の種類、トンネル素子における具体的な不純物位置などについては明らかとならなかったが、単結晶素子の作製に

[ 38 ]

|            |  |
|------------|--|
| 氏名         | DO BANG <sup>ドバン</sup>   |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(工学)   |
| 学位記番号      | 第 24209 号  |
| 学位授与年月日    | 平成 22 年 9 月 22 日   |
| 学位授与の要件    | 学位規則第 4 条第 1 項該当<br>基礎工学研究科物質創成専攻  |
| 学位論文名      | QUANTUM EFFECTS IN MgO-BASED MAGNETIC TUNNEL JUNCTIONS<br>(MgOバリアトンネル磁気抵抗素子における量子効果) |
| 論文審査委員     | (主査)<br>教授 鈴木 義茂<br>(副査)<br>教授 三宅 和正 教授 木村 剛   |

より近藤効果の出現が抑えられることを見出した。次に、有限バイアス下での磁気抵抗効果の減少の主な原因と考えられるマグノン励起について磁化が反平行状態における電気抵抗の温度依存性から詳細な議論が行われた。電気抵抗の温度変化は2次元あるいは3次元的なマグノンの励起によってよく説明されることが示された。一方、トンネルスペクトルの解析からマグノンの状態密度が2次元のそれと類似しており、励起されたマグノンが2次元的な分散を持つことが示唆された。また、有限バイアス下におけるマグノン励起はトンネル磁気抵抗素子に本質的な現象であり、例えば高品質な単結晶トンネル磁気抵抗素子を作っても避けられないことが示された。最後に、超薄膜強磁性電極を有するトンネル磁気抵抗素子における量子サイズ効果についての結果が示された。高品質な単結晶磁気抵抗素子においてFe電極の膜厚を1原子層から10原子層程度の間で変化させ、その微分コンダクタンススペクトルの測定を行うことにより量子井戸単位のエネルギー位置を特定した。その結果は理論計算の結果と半定量的に一致した。さらに、量子サイズ効果が表れる素子においてスピントランスファートルクのバイアス依存性をスピントルクダイオード効果により測定した。その結果、これまでに見えない特異なトルクのバイアス依存性が観測された。

以上の成果は、既に国際的な英文論文誌に2本の主著論文として掲載されている。それ以外にも国内外の会議において多数の発表を行った。候補者は高度な技術を要する実験を丹念に行っており、また、発表内容もよく理解している。質問への受け答えは的確であり物理的な内容を把握しているとともに実験に精通していると感じられた。実験データの理論的な説明は必ずしも確固たるものではなかったが、申請者がベトナムとのサンドイッチプログラムにより来日し、限られた期間内で産総研における研修などもこなして高い技術を身につけたこと、そして、世界第一級の試料を自ら作製して、これほどの多くの実験データを積み上げたことは高く評価できる。さらに、候補者の研究成果を発表し議論する能力は博士号の授与を受けるものとして十分であると考えられる。

以上から、候補者 Do Bang君に博士号を授与することが適当であると判断した。