

氏名(本籍)	なか 中	つみ 積	まこと 誠(福井県)
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第4587号		
学位授与年月日	平成20年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	単結晶 Fe 薄膜上における NaCl の界面成長様式と磁気トンネル接合への応用		
主査	筑波大学教授	工学博士	喜多英治
副査	筑波大学教授	工学博士	村上浩一
副査	筑波大学准教授	理学博士	黒田真司
副査	筑波大学准教授	博士(工学)	末益崇
副査	筑波大学准教授	博士(理学)	湯浅新治
	(連携大学院)		

## 論文の内容の要旨

磁性薄膜の最近の画期的な進展は1988年の巨大磁気抵抗効果の発見に端を発する。この効果の発見は、以後のGMRヘッドの開発によるハードディスク装置の発展を促し、トンネル磁気抵抗(TMR)効果の進展と磁気ランダムアクセスメモリー(MRAM)への期待につながった。このTMR効果とは二つの強磁性電極で絶縁層を挟んだ接合が、両強磁性電極の磁化の方向により大きく変化することで、外部磁場に対する大きな磁気抵抗(MR)比を示す現象である。この効果の実現を大きく左右する絶縁バリアーには、当初は均一な絶縁性が容易に得られるアモルファスAl酸化物が用いられた。アモルファス材料を用いたMR素子は電極材料のスピンの偏極率によりMR比の上限が決まる。その大きさは100%以下でありヘッドとしては充分であるが、MRAMへの応用にはさらに高いMRが望まれた。そこで2001年にMgO単結晶バリアーによる伝導電子の選択的トンネルが大きな磁気抵抗を与えることが提案され、2004年には実際に実験的に検証され、その大きさは500%を超えた。現在、この絶縁バリアーにはMgOだけが報告されている。

この研究ではMgO以外の良好な磁気抵抗を示す絶縁体材料を探索することを第一の目標に、同様の結晶構造を持ちFe上に単結晶成長するアルカリハライドNaClの有効性を検証した。結晶構造と電子状態の類似性により同様の効果を期待した。また単結晶成長の過程でFe上のNaCl層の成長過程に今まで報告されていない成長方位の変化を発見した。

試料はMgO単結晶を基板として、超高真空中でFe/NaCl/Fe/SiO<sub>2</sub>の順で蒸着して作製した。トンネル接合として磁気抵抗を測定するために、真空中でマスク交換が可能な機構を使用した。また潮解性を示すNaClを保護するために、最後にSiO<sub>2</sub>を保護膜として蒸着した。接合の大きさは80ミクロン四方である。基板から強磁性電極Fe層、絶縁バリア層まではそれぞれ[001]軸を成長方向とした単結晶成長が可能であったが、NaCl上のFe層はX線回折にわずかに(001)面以外の反射が表れ、配向性の崩れが生じた。バリア層までが単結晶状態にあれば選択的トンネルは可能であると考えられるが、得られたMR比は数%で、MgO系の

100%を超える大きなMRには届かなかった。この原因を調べたところ磁化の反平行状態の不十分さや界面での化合は原因ではなく、NaCl層の結晶性に問題があるとの結論に至った。

TMR素子の作製段階でFe(001)面上に成長するNaCl成長方位の挙動が単純ではない事が判った。Fe基板温度が $-10^{\circ}\text{C}$ の場合は格子整合の良い $0^{\circ}$ 成長、 $+50^{\circ}\text{C}$ の場合は格子整合が悪く面内の結晶方位が $45^{\circ}$ 変化する $45^{\circ}$ 成長がおこり、 $10^{\circ}\text{C}$ ではその両者が混合状態となることを見いだした。bcc金属ではこのような現象の報告はないが、fcc金属上のアルカリハライドの成長では、基板結晶面のステップに沿って陽イオンが配列する例が報告されている。今回の実験結果は、高温では基板上の拡散が起こり、bcc金属のステップまで移動してステップとの相互作用が優勢な $45^{\circ}$ 成長となり、低温では金属表面での化学結合が優勢な $0^{\circ}$ 成長が主となることで説明できる。蒸着速度を変化させた実験とステップ状態の異なるFe基板での実験でこのモデルの妥当性を支持する結果を得た。

### 審 査 の 結 果 の 要 旨

単結晶バリアによるトンネル磁気抵抗の増大は、物理的にも実用的な観点からも影響力が大きく、他の物質での研究がその機構解明に大きく働く。この研究ではMgOと同じ結晶構造を持ち、電子状態も類似するNaClをバリア材料として実験的研究を行った。NaCl層までは質の高い試料が作られたがその上の磁性電極層は配向性がよい物の単結晶ではなく、得られた磁気抵抗は期待する程ではなかった。このことは逆にバリア層と強磁性物質の界面状態の高度な接合性を示唆するものであり、得られた情報の価値は高く評価できる。

また実際のトンネル素子としての性能は得られなかったものの、Fe界面上でのNaClの成長過程が基板温度に対し敏感に依存することを明らかにした。定性的ではあるが実験的に機構解明を論理的な手法で展開しbcc金属上でのアルカリハライドの一般的な成長過程の機構を明らかにしたものと考えて良い。今後の物質設計に役立つ貴重な情報であると考えられる。

よって、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。