

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲	第10329号
------	-----	---------

氏 名 代 兵

論 文 題 目

Thermally assisted spin transfer torque switching of amorphous GdFeCo for magnetic random access memories

(MRAM応用に向けたアモルファス GdFeCo 層の熱アシストスピン注入磁化反転の研究)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	岩田 聡
委員	名古屋大学	教授	藤巻 朗
委員	名古屋大学	教授	浅野 秀文
委員	名古屋大学	准教授	加藤 剛志

論文審査の結果の要旨

代兵君提出の論文「Thermally assisted spin transfer torque switching of amorphous GdFeCo for magnetic random access memories (MRAM 応用に向けたアモルファス GdFeCo 層の熱アシストスピン注入磁化反転の研究)」は、磁気ランダムアクセスメモリの高密度化を目的として、熱アシスト効果を利用したアモルファス GdFeCo メモリ層のスピン注入磁化反転に関する成果をまとめたもので、論文は、次の 5 章で構成されている。

第 1 章は序論で、本研究の背景となる各種の磁気抵抗効果とこれを利用した磁気ランダムアクセスメモリについて概説するとともに、スピン注入磁化反転の原理や研究例を示し、これを利用したスピン注入型固体磁気メモリ (STT-RAM) を実用化するための課題と本研究の目的を明らかにしている。

第 2 章では、GdFeCo および TbFe/GdFeCo 交換結合膜を利用したスピン注入素子のスパッタ成膜とその微細加工による作製プロセスについて述べた後、作成した試料の磁気特性、電気伝導特性およびスピン注入磁化反転の評価方法などについて述べている。

第 3 章では、メモリ層としてアモルファス GdFeCo、スペーサ層として Cu を利用した垂直磁化タイプの磁気抵抗素子におけるスピン注入特性がまとめられている。補償組成に近い Gd 組成 21~24at %, Pd/Co 多層膜の磁化固定層、素子サイズ $120 \times 180 \text{nm}^2$ の素子において、電流を Pd/Co 層から GdFeCo 層に流したときに GdFeCo 層の磁化が Pd/Co 層と平行に、また、逆方向に流したときに反平行となるスピン注入磁化反転を観測している。また、この磁化反転のための臨界電流密度として $1.6 \times 10^7 \text{A/cm}^2$ の比較的低い値が得られている。臨界電流は、Gd 組成の増加とともに増えること、また、素子を加熱するとともに減少することが実験的に確かめられ、臨界電流の変化が Gd 組成や素子温度の変化による垂直磁気異方性の変化と相関が強いことを明らかにしている。さらに臨界電流の温度上昇による低下は、磁気異方性の変化だけでは説明できないことも指摘している。

第 4 章では、素子を微細化したときのメモリ層の熱擾乱による安定性を向上させるためにより垂直異方性の大きい TbFe/GdFeCo 交換結合膜の利用を提案している。TbFe 層の役割は、室温においてはその大きな垂直異方性によって熱安定性に寄与すること、また、スピン注入電流によるジュール加熱によって GdFeCo 層より低い温度で磁性を失い、GdFeCo 層の磁化反転のための臨界電流には、ほとんど影響を及ぼさないことである。TbFe 層 1nm/GdFeCo 層 9nm の素子において、スピン注入磁化反転の観測に成功しているが、室温における TbFe/GdFeCo 層の垂直異方性は GdFeCo 層の約 2 倍に増加しているのに対し、臨界電流の増加は 56 % に止まっており、2 層化によって特性が改善されることを明らかにしている。一方、素子温度の上昇による磁気異方性の減少に伴う臨界電流の低減は、GdFeCo 膜の場合より顕著でないことから、臨界電流を決める物理的な要因のより詳細な探求の必要性を指摘している。

第 5 章は、本研究の総括であり、得られた結果と今後の課題について述べている。

本研究では、アモルファス GdFeCo メモリ層を利用した磁気抵抗素子のスピン注入磁化反転について詳細に調べるとともに、TbFe/GdFeCo 交換結合膜を導入することで、メモリ層の熱安定性を向上させられることを示している。これらの研究は、スピン注入型の磁気ランダムアクセスメモリの開発に実用上役立つものであると同時に、学術上寄与するところも極めて大きい。よって、本論文提出者代 兵君は、博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格があるものと判定した。