

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14058 号
------	---------------

氏 名 趙 望 臻

論 文 題 目

Study of thermally-assisted spin-transfer torque switching of hybrid memory layer consisting of low Tc CoPd/Pd and high Tc Co/Pd MLs

(低キュリー温度CoPd/Pd多層膜と高キュリー温度Co/Pd多層膜を用いたハイブリッドメモリ層の熱アシストスピン注入磁化反転についての研究)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	未来材料・システム研究所	教授	加藤 剛志
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	宮崎 誠一
委員	東京工業大学	工学院	教授	中川 茂樹
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	内山 剛

論文審査の結果の要旨

趙望臻君提出の論文「Study of thermally-assisted spin-transfer torque switching of hybrid memory layer consisting of low Tc CoPd/Pd and high Tc Co/Pd MLs (低キュリー温度CoPd/Pd多層膜と高キュリー温度Co/Pd多層膜を用いたハイブリッドメモリ層の熱アシストスピン注入磁化反転についての研究)」は、磁気ランダムアクセスメモリの高密度化を可能とする熱アシストスピン移行トルク磁化反転のためのメモリ層開発をまとめた研究である。キュリー温度の異なる磁性層を積層したハイブリッドメモリ層を用いることで、メモリ書き込み電力を支配する磁化反転の臨界反転電流密度の低減と情報安定性を支配する熱安定性指標の維持の両立が可能であることを明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、既存のメモリであるDRAM、SRAM、フラッシュメモリとその特徴をまとめるとともに、不揮発磁気メモリの重要性、様々な不揮発メモリの研究開発の現状を述べている。また、本論文で主に扱うスピン移行トルク磁化反転やその熱アシスト効果について、これまでの研究をまとめている。

第2章では、本論文の試料作製のための成膜法、微細加工法、および作製した試料の計測法についてまとめている。試料作製装置の概略から、成膜条件、微細加工条件などをまとめるとともに、測定条件についても詳細に述べている。

第3章では、ハイブリッドメモリ層に用いるCo/Pd多層膜、CoPd/Pd多層膜およびそれらをPd層を介して交換結合させた積層膜の磁気特性をまとめている。Co/Pd多層膜、CoPd/Pd多層膜は大きな熱安定性指標を実現するために必要となる垂直磁気異方性を示すことを述べている。また、Co/Pd多層膜は300°C以上と十分高いキュリー温度を、CoPd/Pd多層膜は120°C程度の低いキュリー温度を示すことが述べられており、これらの材料がハイブリッドメモリ層として有用な材料であることを明らかにしている。

第4章では、第3章で調べたCo/Pd多層膜とCoPd/Pd多層膜を積層したハイブリッドメモリ層を用いた微小巨大磁気抵抗効果(GMR)接合を作成し、スピン移行トルク磁化反転を行っている。ハイブリッドメモリ層のうちCo/Pd、CoPd/Pd多層膜の比率を変化させるとともに、スピン移行トルク磁化反転の書き込み電流パルス幅依存性、測定温度依存性を詳細に調べることで、スピン移行トルク磁化反転の熱アシスト効果を調べている。CoPd/Pdを二層、Co/Pdを一層積層した[CoPd/Pd]₂/[Co/Pd]₁ハイブリッドメモリ層を用いることで、室温では大きな熱安定性を示すが、150°C程度の高温では小さな反転電流密度を示すことが明らかになった。高キュリー温度のCo/Pdのみをメモリ層とした[Co/Pd]₃と比較し、室温での熱安定性に対する高温での反転電流密度で定義する効率が2倍程度となり、低キュリー温度のCoPd/Pd多層膜を用いることで、2倍程度の磁気メモリの高密度化を達成できることを明らかにした。

第5章では、第4章で得られた熱アシストスピン移行トルク磁化反転の効率の更なる増加とそのメカニズム解明を目指し、界面高キュリー温度層であるCo/Pd多層膜のCoとPd膜厚比を変化させ、スピン移行トルク磁化反転の温度依存性を調べた。界面Co/Pd層を第4章で述べたCo(0.4 nm)/Pd(1.2 nm)からCo(0.6 nm)/Pd(1.0 nm)とすることで、熱アシストスピン移行トルク磁化反転の効率が2倍から3倍に増加することが分かり、低キュリー温度のCoPd/Pd多層膜とのハイブリッド化により、磁気メモリの密度を3倍程度まで増加させられることを明らかにした。さらに、このメカニズムを検討するため、ハイブリッドメモリ層の磁化ダイナミクスを時間分解磁気光学Kerr効果(TRMOKE)により調べるとともに、マイクロマグネティックシミュレーションを用い、ハイブリッドメモリ層の磁化ダイナミクス、スピン移行トルク磁化反転を検討している。ハイブリッドメモリ層の磁化の歳差運動周波数とスピン移行トルク磁化反転の臨界電流密度は、高キュリー温度層と低キュリー温度層の交換結合により大きく変化することが明らかとなり、熱アシストスピン移行トルク磁化反転の効率増加には、各層の磁気特性の温度依存性だけでなく、それらの層の間の交換結合の制御が重要であることを明らかにした。

第6章では、本研究の結論を与えるとともに、磁気メモリの密度を現行の10倍程度にするために必要となる検討事項がまとめられている。

以上のように本論文では磁気ランダムアクセスメモリの高密度化に高キュリー温度と低キュリー温度材料を交換結合したハイブリッドメモリ層が有用であること明らかにし、実験的に3倍程度の高密度化を達成できることを示している。また、ハイブリッドメモリ層の各層の磁気特性やこれらの層間の交換結合を制御することで更なる高密度化を達成できる可能性を示している。本論文で得られた結果は、今後のIoT社会を支える高機能磁気メモリを実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である趙望臻君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。