



研究課題名 ナノスケールメモリのための金属・半導体スピントロニクス素子の革新

東北大学・材料科学高等研究所・教授

みずかみ しげみ

水上 成美

研究課題番号： 21H05000

研究者番号： 00339269

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 142,200千円

キーワード： スピントロニクス、磁性体、半導体、垂直磁化、磁気抵抗素子

【研究の背景・目的】

磁気抵抗メモリは、トンネル磁気抵抗デバイスと半導体トランジスタを微細加工によって融合した不揮発性メモリ的一种である(図1)。現在多くの企業でモバイル機器用のオンチップ少容量・高速型の磁気抵抗メモリの製品化が進んでいる。これまでの磁気抵抗メモリでは、FeCoB磁性合金とMgOバリアからなるトンネル磁気抵抗デバイスが用いられてきた(図1)。しかしながら、磁気抵抗メモリのさらなる大容量化や高速化のためには、これまでのデバイス構造ならびに材料に固有の磁氣的・電氣的な特性を革新するための研究が求められる。

そのような背景のもと、本研究では革新的な磁気抵抗デバイスの研究を行う。具体的には、代表者がこれまで独自に先導研究を進めてきた次世代メモリ用磁性合金である垂直磁化マンガン合金と、その低温結晶成長ならびに界面制御技術等を発展させ、次世代半導体を融合した縦型ヘテロ接合磁気抵抗デバイスのコンセプトを実証する。最終的に大きな磁気抵抗効果を室温で観測することを目指す(図1)。

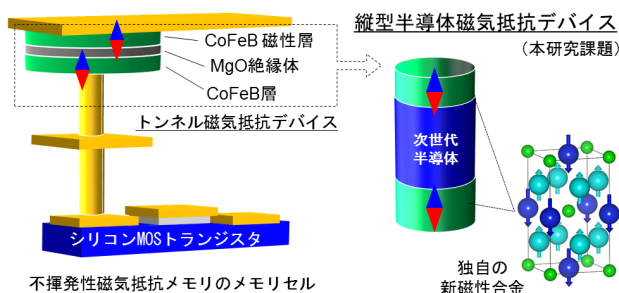


図1 磁気抵抗メモリ、従来のトンネル磁気抵抗デバイス、本課題で研究するデバイスならびに材料の概念図。

【研究の方法】

主に、以下の項目について研究する。

- (1) 正方晶マンガン合金と酸化物ならびに窒化物半導体を接合した垂直磁化縦型磁気抵抗デバイスの作製と評価
 - (2) 新規な六方晶マンガン合金の薄膜結晶の作製、ならびに物性の評価とエンジニアリング
 - (3) IV族半導体を接合した縦型磁気抵抗デバイスの作製と評価
 - (4) 六方晶マンガン合金と酸化物・窒化物半導体ならびにIV族半導体を接合した垂直磁化縦型磁気抵抗デバイスの作製と評価
- これらの研究を進めるにあたり、超高真空スパッタリ

ング法および分子線エピタキシー法を用いた薄膜やヘテロ界面の低温形成手法を明らかにする。また、ヘテロ界面に固有の界面物理/化学を追究する。それら材料や界面の性質とスピンに依存した電気伝導ならびにスピン分極度の関係を明らかにし、材料・界面のデザインを行うことで、目的を達成する。

【期待される成果と意義】

垂直磁化を示すマンガン合金は強い磁気異方性を有すると同時に磁力をほとんど発しない。また、メモリ書き込みのエネルギー損失を決定づける磁気特性に優れており、ナノサイズのデバイスが集積された大容量磁気抵抗メモリに適した磁性材料である。そのような磁性材料と半導体の界面における物理/化学については明らかではなく未踏の領域であり、これを開拓することで異種界面の学術研究に新しい展望を示すことができる。加えて、垂直磁化した縦型金属半導体磁気抵抗デバイスを実現することで、金属と半導体が融合したスピントロニクス分野に新しい方向性を示すことができる。

昨今社会を取り巻くデジタルデータの爆発的増大により情報機器に用いられるメモリやストレージの需要は増大している。したがって大容量・高速・省エネルギーの不揮発性メモリは現代社会に必要不可欠である。本研究の目的を達成することで、不揮発性磁気抵抗メモリの高性能化に資する新しいデバイス技術の開発を促すことができ、社会に大きく貢献できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ K.Z. Suzuki, T. Ichinose, S. Iihama, R. Monma, and S. Mizukami, "Enhanced tunnel magnetoresistance in Mn-based perpendicular magnetic tunnel junctions utilizing antiferromagnetically coupled bcc-Co-based interlayer", Appl. Phys. Lett. 118, 172412 (2021).
- ・ K. Kunitatsu, T. Tsuchiya, T. Roy, K. Elphick, T. Ichinose, M. Tsujikawa, A. Hirohata, M. Shirai, and S. Mizukami, "Magnetic tunnel junctions with metastable bcc Co₃Mn electrodes", Appl. Phys. Express 13, 083007 (2020).
- ・ K.Z. Suzuki, S. Kimura, H. Kubota, and S. Mizukami, "Magnetic Tunnel Junctions with a Nearly Zero Moment Manganese Nanolayer with Perpendicular Magnetic Anisotropy", ACS Appl. Mater. Interfaces 10, 43305 (2018).

【ホームページ等】

https://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/mizukami_lab/