

【基盤研究(S)】

大区分C



研究課題名 強磁性半導体ルネサンスによる新しいスピン機能材料とデバイスの創出

東京大学・大学院工学系研究科・教授

たなか まさあき
田中 雅明

研究課題番号： 20H05650 研究者番号：30192636

キーワード： 強磁性半導体、スピン、ヘテロ構造、バンド構造、デバイス

【研究の背景・目的】

半導体と磁性体の異なる特長と機能を融合することができれば、磁性体の不揮発性機能を合わせ持つ高速・低消費電力の半導体デバイスを作製することができ、革新的な情報システムの実現が期待される。磁性体と半導体の特長を融合できる新物質として強磁性半導体 (Ferromagnetic Semiconductor; FMS) は最も有望な材料系である。本研究者が実績を挙げってきた(Ga,Mn)As などの Mn 系強磁性半導体のみならず、材料系を大幅に拡張し、Fe を添加した閃亜鉛鉱型 Fe 添加狭ギャップ強磁性半導体の薄膜、量子井戸・ヘテロ構造、ナノ構造を作製し、物性機能を解明・制御して、スピン機能デバイスへ応用展開する。これによってこれまでの強磁性半導体の主な問題点をすべて解決する：1) p 型と n 型の強磁性半導体の両方を実現、2) キュリー温度を室温より上げ、室温強磁性半導体の物性と機能を制御、3) 強磁性発現機構に関する統一的理解を得る。さらに、4) 不揮発性と柔軟な情報処理機能を持つスピントランジスタ、スピン依存バンド構造を用いた量子効果デバイス、トポロジカル状態を用いた機能デバイスなど、低消費電力で動作しかつ革新的な機能デバイスの実現を目指す。

【研究の方法】

- (1) 分子線エピタキシー (MBE) 法による鉄(Fe)系および Mn 系強磁性半導体薄膜の作製
- (2) 強磁性半導体(FMS)超薄膜とヘテロ構造における物性探索と制御、量子効果の検出と制御
- (3) Fe 系および Mn 系 FMS 量子ヘテロ構造の量子化、

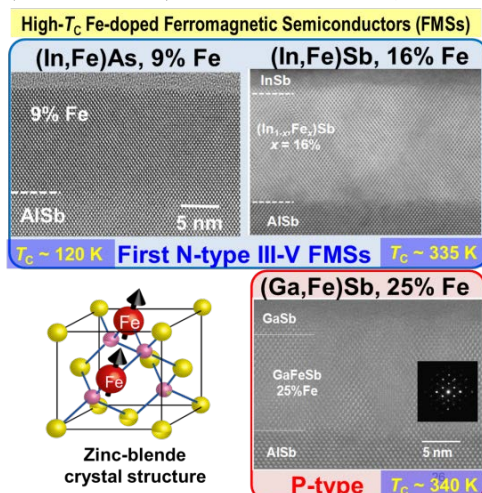


図1 高いキュリー温度(T_C)をもつ Fe 添加 III-V 族強磁性半導体(FMS)

低次元化による巨大スピン物性 (巨大磁気抵抗効果など) の創出と制御

- (4) FMS 量子井戸構造をもつ電界効果トランジスタにおける波動関数制御を用いた磁化制御技術
- (5) 上記実験と共に、理論的な理解を目指した物質設計とデバイス設計
- (6) FMS ヘテロ構造を用いた超低消費電力スピントランジスタの作製と実証

【期待される成果と意義】

本研究により、これまで長年の強磁性半導体における問題点をすべて解決する：すなわち、1) p 型と n 型の強磁性半導体を両方実現する。2) キュリー温度 T_C を室温より上げ、室温で強磁性を示す半導体を実現し、物性機能を最適化、高度化する。3) 強磁性の起源に関する統一的理解と物質設計指針を確立する。さらに 4) 不揮発性と柔軟な情報処理機能を持つスピントランジスタ、スピン依存バンド構造を用いた量子効果デバイス、トポロジカル状態を用いた機能デバイスなど、低消費電力で動作しかつ革新的な高機能デバイスを実現する。強磁性半導体を中心とする材料開発 (“強磁性半導体のルネサンス”を起こすこと) によって、将来の情報技術であるニューロモルフィック・コンピューティング (NC)、モノのインターネット化 (IoT)、人工知能 (AI) に適したデバイスの基盤技術を創ることが期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- K. Takiguchi, L. D. Anh, T. Chiba, T. Koyama, D. Chiba, M. Tanaka, "Giant gate-controlled proximity magnetoresistance in semiconductor-based ferromagnetic/nonmagnetic bilayers", *Nature Physics* **15**, 1134 (2019).
- M. Jiang, H. Asahara, S. Sato, T. Kanaki, H. Yamasaki, S. Ohya, and M. Tanaka, "Efficient full spin-orbit torque switching in a single layer of a perpendicularly magnetized single-crystalline ferromagnet", *Nature Commun.* **10**, 2590 (2019).
- N. T. Tu, P. N. Hai, L. D. Anh, and M. Tanaka, "Heavily Fe-doped n-type ferromagnetic semiconductor (In,Fe)Sb with high Curie temperature and large magnetic anisotropy", *Appl. Phys. Express* **12**, 103004 (2019).

【研究期間と研究経費】

令和2年度～6年度 151,800千円

【ホームページ等】

<http://www.cryst.t.u-tokyo.ac.jp/>