

## スピントロニクス材料としての強磁性半導体 Ferromagnetic Semiconductors as Spintronics Materials

東北大 WPI-AIMR<sup>1</sup>, 東北大 CSIS<sup>2</sup> °松倉 文礼<sup>1,2</sup>

WPI-AIMR, Tohoku Univ.<sup>1</sup>, CSIS, Tohoku Univ.<sup>2</sup>, °Fumihiko Matsukura<sup>1,2</sup>

E-mail: f-matsu@wpi-aimr.tohoku.ac.jp

1960 年代から始まった強磁性半導体に関する研究は、1990 年代の III-V 族強磁性半導体の発見で開花し、新しい物理現象の観測と新規素子の動作実証の機会を提供してきた。

代表的な強磁性半導体(Ga,Mn)As、(In,Mn)As は非磁性半導体とのヘテロ接合の作製が容易である。比較的深いアクセプタ準位を持つ Mn を多量に III-V 族半導体にドーピングすることでできる材料のため金属-絶縁体転移近傍に位置する材料である。バンド構造の詳細については未だ議論が継続しているものの、スピン-軌道相互作用が効いた価電子帯に Mn は正孔を供給しているものと考えている。キャリア誘起強磁性を示し、磁気特性がキャリア濃度に依存する。また、磁性元素濃度が%オーダーと希薄であるため磁化が小さい一方でキャリアのスピン偏極率は比較的高いので、スピン流による磁化の操作が金属よりも桁違いに低い電流密度で可能である。

これらの特徴を活かして、非磁性半導体への電氣的スピン注入、電界効果によるキャリア濃度の変調を介したキュリー温度・磁気異方性の制御、垂直磁化膜での電界誘起磁壁移動、スピン-軌道相互作用トルクを用いた磁化反転、トンネル異方性磁気抵抗効果といった新しい素子の動作原理が強磁性半導体を用いて実証された。強磁性半導体で培われたいくつかの概念は強磁性金属を用いた素子に継承され、実用を視野に入れた研究も展開されるようになった。

再現性のある作製法が確立している強磁性半導体のキュリー温度は室温以下であるため、そのキュリー温度を向上するための実験的・理論的研究がなされている。これらは、広禁帯半導体を母体とした様々な材料の研究に繋がり、更には  $d^0$  強磁性半導体といった新しい強磁性発現機構の概念が生まれた。

強磁性半導体に関する最近のレビューとして[1,2]がある。

常日頃からご議論頂いている東北大の大野英男教授、ポーランド科学アカデミーの Tomasz Dietl 教授に感謝します。講演で紹介する成果の一部は日本学術振興会「最先端研究開発支援プログラム」、文部科学省「次世代 IT 基盤構築のための研究開発」の支援により得られた。

[1] T. Dietl and H. Ohno, Rev. Mod. Phys. **86**, 187 (2014).

[2] T. Jungwirth, J. Wunderlich, V. Novák, K. Olejník, B. L. Gallagher, R. P. Campion, K. W. Edmonds, A. W. Rushforth, A. J. Ferguson, and P. Němec, Rev. Mod. Phys., to be published.