

半導体バリア CuInSe_2 , CuGaSe_2 を持つ磁気トンネル接合の理論解析

増田啓介¹, 三浦良雄^{1,2}
(物材機構¹, 京都工繊大²)

Theoretical analyses of magnetic tunneling junctions with semiconductor barriers CuInSe_2 and CuGaSe_2
Keisuke Masuda¹ and Yoshio Miura^{1,2}
(NIMS¹, KIT²)

超高記録密度ハードディスクドライブの読み取りヘッドや大容量磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) といった磁気トンネル接合を利用した革新的デバイスの実現のためには、従来重要視されてきた高い磁気抵抗比 (MR 比) に加え、 $0.1 \sim 1 \Omega\mu\text{m}^2$ 程度の低い面積抵抗 (RA) が不可欠である。葛西らは近年、化合物半導体 $\text{CuIn}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{Se}_2$ (CIGS) をバリア層に持つ MTJ の作製に成功し、この系で高い MR 比 (低温で $\sim 100\%$ 、室温で $\sim 40\%$) と低い RA ($0.3 \sim 3 \Omega\mu\text{m}^2$) が同時に得られることを示した [1]。本系に関する理論解析はこの時点では行われておらず、高い MR 比の起源をはじめ、理論的に明らかにされるべき課題が数多く残されていた。

このような経緯を受け、本研究で我々は CIGS と同じカルコパイライト構造を有する半導体 CuInSe_2 (CIS) と CuGaSe_2 (CGS) を取り上げ、これらをバリア層に持つ磁気トンネル接合 (Fe/CIS/Fe および Fe/CGS/Fe) のスピン依存伝導特性について第一原理計算に基づいた解析を行った [2]。本研究では MR 比が半導体ギャップの大きさとどのような相関を持つかという点も重要なテーマである。そこでバンドギャップを系統的に変化させることが可能な Cu の 3d 状態におけるオンサイト Coulomb 相互作用 U を考慮に入れ計算を行った。図 1(a) は Fe/CIS/Fe MTJ ($U=5\text{eV}$) の平行磁化状態における Majority-spin 電子透過率の $k_{\parallel}$ 依存性である。良く知られた Fe/MgO/Fe の結果と同様に鋭いピーク構造が $k_{\parallel}=(0,0)$ に見られ、この系でコヒーレントトンネル伝導現象が発現していることがわかる。同様の振る舞いを Fe/CGS/Fe おいても確認することができた。図 1(b) は CIS, CGS, MgO それぞれをバリア層に持つ MTJ の RA と MR 比の計算結果をまとめたものである。Fe/CIS(CG)/Fe は 100% 前後の高い MR 比と $1\Omega\mu\text{m}^2$ 以下の低い RA を有することがわかった。このような RA の値はバリア厚が半分未満の Fe/MgO/Fe よりも十分に低いものである。また我々は、 U を大きくする (=半導体ギャップを大きくする) とともに Fe/CIS(CG)/Fe の MR 比が大きくなることも確認することができた。

なお、本研究の一部は革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) の援助を受け行われたものである。

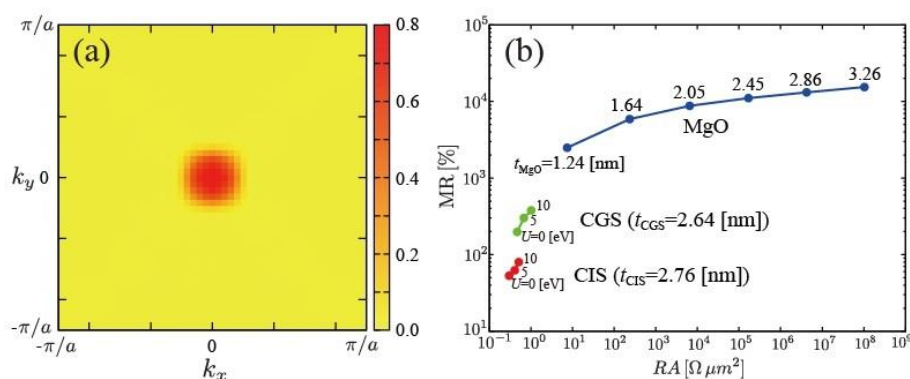


図 1. (a) Fe/CIS/Fe MTJ ($U=5\text{eV}$) の平行磁化状態における Majority-spin 電子透過率の $k_{\parallel}$ 依存性. (b) Fe/CIS/Fe, Fe/CGS/Fe, Fe/MgO/Fe MTJ における RA と MR 比. バリア厚 (t_{CIS} , t_{CGS} , t_{MgO}) はバリアに最も近い左右の Fe 原子層の距離で測ったものである。

- 1) S. Kasai *et al.*, Appl. Phys. Lett. **109**, 032409 (2016).
- 2) K. Masuda and Y. Miura, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 020306 (2017).