

研究スタッフ

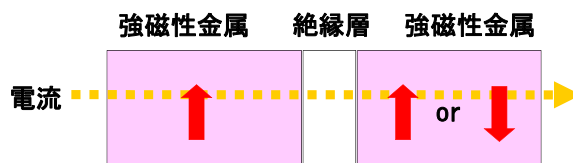
教授： 白井 正文

助教： 三浦 良雄、 阿部 和多加

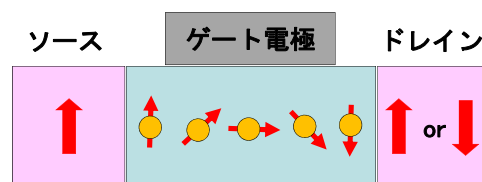
研究目的

電子は電流の源であると共に、磁性の源でもあります。私たちは、電流と磁性の絡んだ現象を利用する材料（スピントロニクス材料）を研究対象としています。例えばトンネル磁気抵抗(TMR)素子、スピン電界効果トランジスタ(Spin FET)などがそれです。

主に計算機による材料設計を試みているのですが、その際私たちは、**第一原理計算**と呼ばれる手法を使います。これは、物質を（原子核、電子の集合という）微視的視点から扱うため、実験の情報をあまり必要としません。新物質探索などに適した手法といえます。



TMR素子：磁気モーメントの向きによる抵抗の変化を記憶素子として利用。



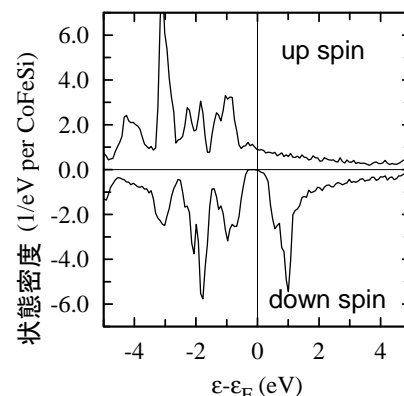
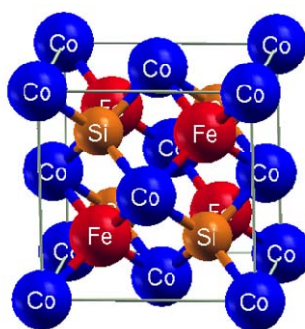
Spin FET：スピンを利用することにより、トランジスタとメモリの機能を一つの素子が担う。

主な研究テーマ

1. ハーフメタルの探索

スピントロニクスでは、磁氣的に偏った電流（**スピン偏極電流**）が必要となります。最も理想的なのは、電流に寄与する各電子のスピンの向きが完全に揃っているような場合です。このような電流を生み出す物質を**ハーフメタル**と呼びます。

右図は、計算から見つけ出したハーフメタルの例です。普通の物質では、upスピン、downスピンの双方が電流に寄与します。しかしハーフホイスラー合金CoFeSiでは、一方のスピンのみが電流に寄与するのが、その状態密度から分ります。

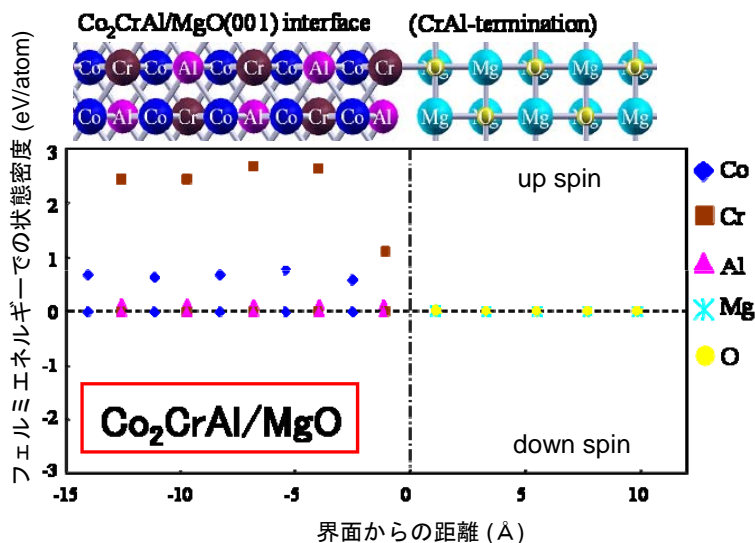


ハーフホイスラー合金CoFeSiの構造と状態密度。Downスピンの状態密度は負符号で示されている。フェルミエネルギーにおけるdownスピンの状態密度はゼロであり、つまり、upスピンの電子のみが電流に寄与する。

2. ハーフメタリック界面の探索

ハーフメタルが他物質との界面でもそのハーフメタル性を保持するかどうかは、非常に興味を惹く問題です。特にTMR素子では、界面でのスピン偏極が性能に重要な影響を与えると考えられています。

右図は、 $\text{Co}_2\text{CrAl}/\text{MgO}$ 界面の状態密度を示していますが、界面でもきれいなハーフメタル性を示しているのが分ります。このように界面でハーフメタル性が保たれるのは非常に稀であり、実際、これまで数例しか提案されていません。酸化物との界面に限れば、これは世界で初めて提案されたハーフメタリック界面です。

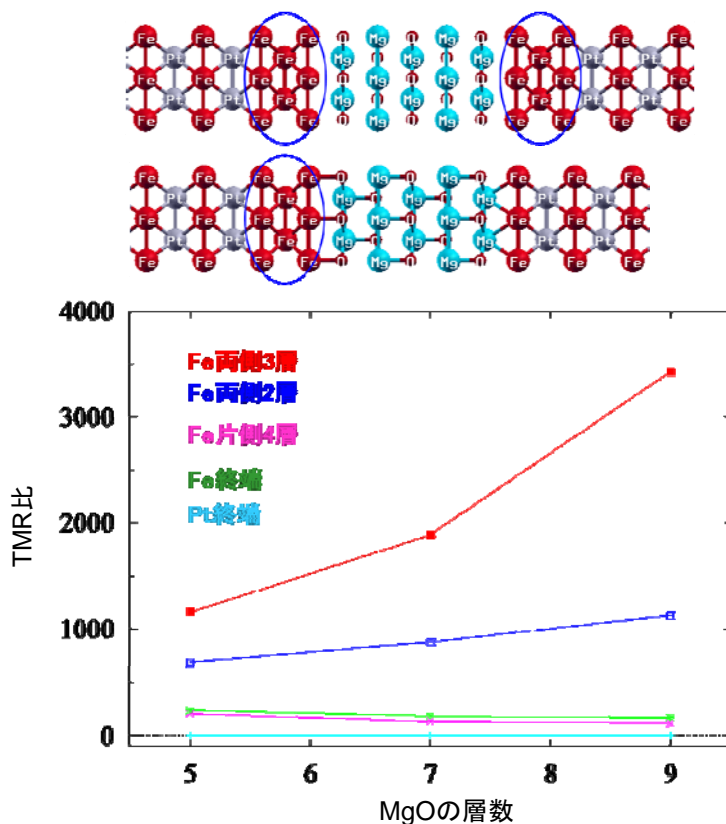


$\text{Co}_2\text{CrAl}/\text{MgO}$ 界面付近におけるフェルミエネルギーでの状態密度。Downスピンの状態密度は負符号で示しているが、このスケールでは、ほぼゼロに見える。つまり、界面でもハーフメタル性が保たれている。

3. 電気伝導計算

静的な電子状態から材料の性能を議論することは、確かに有効なことも多いですが、定性的な話に留まるという限界もあります。最終的には、知りたい物理量を直接計算することが必要でしょう。そしてスピントロニクス素子の場合、それは電気伝導度です。

これまで私たちは、主にTMR素子の伝導特性を調べてきました。一例をあげると、 $\text{FePt}/\text{MgO}/\text{FePt}$ ヘテロ接合の計算があります。この系において、 MgO の両側に Fe を挿入した場合、素子の性能(TMR比)が著しく改善されることを示しました。右のグラフはTMR比の MgO 膜厚依存性を示しています。わずかに数原子層の Fe 挿入で、TMR比が極めて大きくなるのが分ります。これは、伝導計算なしでは、なかなか見つけにくい性質です。



両電極の磁化が平行、反平行のときの抵抗を R_P 、 R_{AP} とすると、TMR比は $(R_{AP} - R_P) / R_P$ で定義される。この値が大きいことが、素子への応用に際して望ましい。