

スピントロニクス材料の現状と課題

高梨弘毅

東北大学 金属材料研究所

Present status and Perspective of Materials Research for Spintronics

Koki Takanashi

Institute for Materials Research, Tohoku University

<Synopsis>

Spintronics is an interactive combination of *electronics* and *magnetics*. In nanostructured materials, magnetic properties are closely correlated with other physical properties such as electronic transport. Consequently a magnetic signal can be controlled by other physical signals, and vice versa. *Spintronics* is a new electronics using the mutual control. In this paper, the historical background, the present status, and the perspective of spintronics are reviewed from the viewpoint of material research.

はじめに

材料がナノスケール化すると磁氣的性質と電氣的性質（伝導現象）や光学的性質などの他の物理的性質が互いに強く影響を及ぼし合うようになり、一方によって一方を制御することが出来るようになる。その相互の制御を利用した新しいエレクトロニクスがスピントロニクスであり、したがってスピントロニクスとナノ磁性は密接不可分の関係にある。スピントロニクス・ナノ磁性は、現在の磁気研究において一大分野を形成しており、そのカバーする領域は磁気物理学からデバイス応用まできわめて広い。対象となる材料に関しても、金属から半導体、酸化物、ナノカーボン系まで広がり、もはや材料の枠を超えて研究が進められている。35分の講演ですべてを網羅するのは不可能であるが、金属材料を専門とする筆者の目から見た歴史と現状、課題、そして将来展望について述べ¹⁾、スピントロニクス・ナノ磁性分野における放射光の役割を考えてみたい。

歴史と現状

スピントロニクスの原点は、1988年の金属人工格子における巨大磁気抵抗効果（GMR）の発見であると一般に考えられている。（ちなみに、GMRの発見者であるA. FertとP. Grünbergは、2007年のノーベル物理学賞に輝いた。）GMRの発見以後しばらくの間、GMRの基礎となるスピン依存伝導の研究が全盛を迎え、1995年には、室温で巨大なトンネル磁気抵抗効果（TMR）も報告された。また、1998年には、発見からわずか10年でハードディスクドライブ（HDD）の磁気ヘッドとしてGMRの完全実用化が果たされた。一方、この間、半導体分

野でも独自の大きな発展があり、強磁性半導体である(In,Mn)As や(Ga,Mn)As が作製され、キャリア誘起磁性の研究が盛んに行われるようになった。1990年代の末には、金属分野においても半導体分野においても、このようなスピンと伝導に関する分野をスピントロニクス、あるいはスピンエレクトロニクスと呼ぶようになった。その頃から研究の方向にも多少変化が現れた。1990年代は「磁化によって電流を制御する」研究が主であったが、1990年代末から2000年代に入ると、むしろ逆に「電流によって磁化を制御する」研究が行われるようになってきた。同時に、密接不可分の問題として、スピン注入現象が注目を集めるようになった。スピン注入磁化反転や自励発振、あるいは電流による磁壁駆動などがその例である。こういったスピン注入に関わる現象は、金属でも半導体でも同様に発見され、スピントロニクス分野においては「材料の垣根」が急速に取り払われつつある。また、非局所スピン注入と呼ばれる手法によって、電流を伴わないスピンのみの流れを取り出すことも出来るようになり、電流とは独立に「スピン流」という概念が注目されるようになった。最近では、磁性体を使わないでスピン流を生成するスピンホール効果や、熱流がスピン流を誘起するスピnzeーベック効果、ファラデーの法則の一般化としてスピン流を生成するスピン起電力の発見など、スピン流に関わる研究が著しく進展している。また、関連して、スピン流と磁気モーメント、あるいはスピン流と光が関係し合う系でのスピンドイナミクスも興味を持たれている。

課題と展望

スピントロニクス材料の重要な課題は、伝導電子が高度にスピン偏極した磁性体の開発である。高度にスピン偏極した材料としては、ホイスラー合金に代表されるハーフメタルの研究が既に数多く為されているが、室温においてはまだ十分なスピン偏極が得られていないのが実状である。また、磁性体から非磁性体到高効率にスピン流を取り出すために、ヘテロ界面の制御もきわめて重要である。特に、金属と半導体の界面では、抵抗不整合によるスピン注入効率の減少という問題が生じる。これらの課題の解決には、まさに原子レベルでの構造およびスピン状態の評価と制御が不可欠であり、放射光を用いた評価技術の果たすべき役割は大きい。同時に第一原理計算に基づくマテリアルデザインによるサポートも重要であろう。

スピントロニクス材料のもう一つの課題は、磁性体のナノスケール化によって生じる磁化揺らぎの抑制である。そのために、磁気異方性の大きな材料(L1₀型規則合金など)が注目されている。磁気異方性の大きな材料を用いれば垂直磁化膜を作製しやすい。垂直磁化膜は既にHDDの媒体として用いられているが、磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)の高集積化にも有用であると考えられている。HDDやMRAMなどの磁気ストレージ技術においては、いかに高速で磁化を制御するかが求められる。したがって、ナノスケールでの磁化ダイナミクスを理解することが重要であり、その意味でも放射光を用いた評価技術が大きな役割を果たすものと期待される。

1) 高梨弘毅, 応用物理, 77 (2008) 255, およびその中の文献を参照.