

スピントロニクスへの期待

佐藤勝昭

(独)科学技術振興機構研究広報主監

(102-8666 東京都千代田区四番町 5-1 サイエンスプラザ)

最近、「日米で次世代半導体 米マイクロンなど 20 社超参加—量産技術、16 年度めどに」という記事を読んだとき、「スピントロニクスはここまできたか」と感慨ひとしおであった。1960 年代後半筆者は、電子の持つ電荷とスピンの 2 つの性質を用いた固体素子を目差し、磁性半導体 CdCr_2Se_4 を研究していた。この磁性半導体は大きな磁気抵抗効果を示したが、キュリー温度が 130K と低く実用的なデバイスには繋がらなかった。その後、宗片・大野らが発見した III-V 族系磁性半導体において磁性の電氣的制御が実現したが、キュリー温度の低さが実用を阻んでいる。

スピントロニクスの革新的展開は、1988 年 Fert, Grünberg らの磁性金属/非磁性金属ハイブリッド構造における巨大磁気抵抗効果(GMR)によって開かれた。数年のうちに GMR はスピンバルブとしてハードディスクの高密度化に貢献、人類はコイルを用いずに効率よく磁気情報を電気信号に変換する手段を得たのである。引き続き、宮崎らにより室温におけるトンネル磁気抵抗効果(TMR)が見出され、新たな不揮発性メモリ素子 MRAM を生むきっかけとなる。さらに、TMR は、 MgO をトンネル障壁に採用する湯浅らの研究によって大幅な改善が得られ大きく進展した。

これに次ぐ革新的展開は、スピントランスファートルク(STT)を用いた磁化反転現象の理論的予言と実験的検証によりもたらされた。この現象を用いた STT-MRAM は、磁界発生用の電流線が不要であるため、DRAM をしのぐ高密度集積も可能となり、ついにサンプル出荷にまで至った。ついに人類は、コイルなしに電気信号を磁気情報へ変換する道を手にしたのである。

これまで、スピンの流れは電荷の流れに付随するものであったが、電荷の流れを伴わない純粋のスピンの存在が理論予測され、ここ 10 年ほどの間に実験的に検証された。純粋スピン流を用いれば、ジュール熱を伴わずに情報を伝送できるので、集積回路の高密度化・微細化による金属配線によるエネルギー散逸の問題を解決できるものと期待されている。このスピンの発生と検出には、スピンホール効果、逆スピンホール効果の理論と実験的検証が大きく寄与した。これらの効果には、ベリー位相の概念がバックにあり、固体の中に宇宙論が成立するとされる。さらには、熱スピン流によるスピンゼーベック効果の発見、スピン波の運ぶスピン流、さらには、スピン波とフォノンの相互作用、トポロジカル絶縁体など、スピントロニクスのベースとなる学理

は大きく飛躍しつつある。また、最近、STTとは異なる原理を用いて電流の代わりに電圧を用いて磁気を制御する道もひらかれつつある。

スピントロニクスにおいては日本人研究者の活躍がめざましいが、スピンに関する科学・技術研究は、わが国において蕩々たる地下水脈が流れる数少ない領域の一つである。この特集をきっかけに、若い研究者がこの分野にどんどん参画し、思いもかけない発見とイノベーションがもたらされることを強く期待している。