



2007年(第23回)

日本国際賞 受賞記念講演会

平成 19 年 4 月 18 日 (水) 13:00 ~ 16:00
経団連会館



アルベール・フェール博士 (フランス)

フランス・パリ南大学教授

1938年生れ

授賞業績：

巨大磁気抵抗効果 (GMR) の発見と

革新的スピントロニクス・デバイスの創生

スピントロニクスの起源、展開、そして未来

スピントロニクスはエレクトロニクスと磁気学の境界領域における研究と技術の新しい分野です。これは電子の伝導特性に与えるスピンの効果を利用した新しいタイプのエレクトロニクスと言えるでしょう。スピントロニクス研究の起源は、強磁性金属の電気伝導のspin依存性についての昔の研究にまでさかのぼりますが、本当の出発点は1980年代半ばになって厚さが数ナノメートルにも満たない薄い層を重ねた磁性多層膜を作製できるようになったところにあります。このことによって、1986年のペーター・グリュンベルク博士による層間交換結合の発見、それに続く1988年の巨大磁気抵抗効果 (GMR) の発見へと至ったのです。時を経ずして、このGMRは重要な実用的応用に役立つばかりでなく、電子のspinによって誘発される数々の輸送現象を内包した新しい物理学の分野を切り拓くものであることが明らかになりました。今日スピントロニクスと呼ばれている分野がそれです。講演では、スピントロニクスの歴史、とくにその始まりと現在の新たな方向性についてお話しします。

電子のspinの向きが磁化の方向と平行か

反平行かで電気伝導度が異なるという理論を最初に提唱したのはモットで、強磁性体におけるキュリー温度付近での電気伝導度の変化を説明するためでした。1960年代末になると、この理論は一連の実験によって検証され、さらに、spin依存性の大きな散乱断面積をもつ不純物を強磁性体にドーピングすることにより上向きspinと下向きspinの電流経路における伝導性に極めて大きな違いが生じる可能性があることが示されました。実際のところ、正反対のspin非対称性をもつ2種類の不純物をドーピングした金属を用いた実験の一部にGMRの概念を予見させるような結果がありました。その後1980年代中頃になって高品質の多層膜の作製が可能となり、鉄 (Fe) /クロム (Cr) 多層膜を用いた実験が行われ、層間交換結合とGMRの存在が明らかにされたのです。これをきっかけにGMRの研究は俄に活性化しました。この研究のメインステージについて、とりわけ、ハードディスクの読み出しヘッドや各種デバイスに使われているいわゆるspinバルブ構造の開発については、グリュンベルク博士が記念講演でご説明くださると思います。

スピントロニクスにおいてももうひとつ注目すべき重要な現象は、強磁性電極を持つトンネル接合である磁気トンネル接合 (MTJ) におけるトンネル磁気抵抗 (TMR) です。MTJ の抵抗は、対抗する電極の磁化状態が平行か逆平行かで異なり、現在ではこれを応用して、MRAM (Magnetic Random Access Memory 磁気ランダムアクセスメモリ) と呼ばれる新しいタイプの磁気メモリに情報を蓄積できるようになりました。TMR の研究は現在極めて盛んに進められており、最近になり、非晶質アルミナのトンネル障壁に代えて、単結晶、特に、酸化マグネシウム (MgO) をトンネル障壁とした MTJ に移行するという極めて重要な進展がありました。単結晶障壁は、トンネル波動関数の対称性をフィルタするため、TMR は電極における特定の対称性をもつ波動関数についてのみスピン偏極依存性を示し、この結果極めて大きな TMR が発現するものと思われます。もうひとつの有望な方向性は、高いスピン偏極率をもつハーフメタルと呼ばれる材料の研究です。

スピン輸送現象の研究は、今日のスピントロニクスにおいて最も期待される新しい研究分野です。スピン輸送の実験では、磁場によらず、スピン偏極電流からのスピン角運動量の移送のみで、強磁性体の磁気モーメントを操作することができます。この概念はスロンチェフスキー博士によって導入されたものですが、たとえばメモリセルにおける磁気モーメントの反転、あるいはマイクロ波振動数領域における振動の発生のいずれかに利用できます。スピン輸送は、次世代 MRAM における書き込みプロセスに使用されることは確実です。また、将来有望な新しいタイプの高周波振動子である STNO (Spin Transfer Nano-Oscillator スピン輸送ナノ振動子) の開発にも応用されるでしょう。十分なマイクロ波電力を有するデ

バイスを得るといった難題の解決のためには多数の STNO の同期化が必要ですが、このことは、非線形ダイナミクスの興味深い新たな問題を提起します。

半導体スピントロニクスも、半導体固有の機能 (ゲートによる電流の制御、光学系との結合など) と磁性体固有の機能 (スピン操作による電流の制御、不揮発性など) を組み合わせることができるので、極めて魅力的です。幾通りかの方法が行われています。そのひとつは、強磁性金属と半導体を結合させたハイブリッド構造です。いわゆる「伝導度の不整合」の問題を解決するために、強磁性金属との接合部分でスピン偏極電流を半導体に注入/抽出するためにスピン依存性の界面抵抗 (通常はトンネル接合) が必要とされます。トンネル接合を通じた金属からのスピンの注入/抽出は、スピン発光ダイオード (スピン LED) において実証されています。二つ目は、強磁性半導体の作成をベースとするものです。GaMnAs はたいへん興味深い特性を示しています。強磁性特性をゲート電圧で制御できる可能性と、大きな TMR 効果と TAMR (Tunnelling Anisotropic Magnetoresistance) 効果です。しかしそのキュリー温度は室温より低いいため、実用化の可能性はほとんど排除されてしまいます。室温強磁性半導体が数種類発表されましたが、この分野での状況はまだ明白ではありません。三つ目として現在は、スピン軌道相互作用によって誘発されるスピン偏極電流を利用する研究が盛んに進められています。

また最近新たに注目されている方向性として、分子スピントロニクスがあります。理論上では、GMR や TMR のような極めて大きな効果が予測されています。実験的には、スピン偏極電極間に炭素ナノチューブを置くことに

よって、スピン情報を大きな電気信号に変換できることが最近の刊行物で発表されました。炭素ベースの分子の利点は、炭素のスピン軌道結合が弱いことから、スピン寿命が長い点にあります。グラフェン系のデバイスも極めて有望です。

この20年弱の間に、スピントロニクスによってハードディスクの容量は飛躍的に増え、この技術がコンピュータのRAMや携帯電話のマイクロ波エミッタにすぐにでも応用できる状況になりつつあります。半導体スピントロニクスや分子スピントロニクスの研究も大いに期待されます。もう一つの展望は、この講演の主題を外れますが、さらに革新的な応用をめざす量子コンピューティングのために、スピンの真に量子力学的な性質やスピンの長いコーヒレンス時間を利用することです。今世紀のテクノロジーにおいてスピントロニクスが今後とも重要な位置を占めるであろうことは間違いないでしょう。

財団法人 国際科学技術財団
THE SCIENCE AND TECHNOLOGY FOUNDATION OF JAPAN

〒107-0052 東京都港区赤坂二丁目17番22号 赤坂ツインタワー東館13階
Akasaka Twin Tower East, 13th Floor, 17-22 Akasaka 2-chome, Minato-ku, Tokyo, 107-0052 Japan

Tel: 03(5545)0551 Fax: 03(5545)0554 E-Mail: info@japanprize.jp
URL: <http://www.japanprize.jp>