

“スピン偏極電子技術”にあたって

Introduction to Spin-Polarized Electron Technology

孝 橋 照 生

Teruo Kohashi

(株)日立製作所中央研究所

キーワード：スピン、偏極、電子源、磁区観察、高分解能

電子といえば電流の起源であり負の電荷を持つもの、と日本では義務教育で皆が勉強する。しかし電子が持つもう一つの物理量であるスピンに関しては、その認知度は疑問である。この電子スピンは磁化(磁性)の起源であり、我々は昔からその恩恵を被っているものの、個々の電子スピンを意識する機会は少なく、理解が広まっているとは言い難い。この電子スピンのようなものをイメージするのは難しいが、量子力学的には測定軸(量子化軸)に対して必ず平行か、反平行か(プラス方向かマイナス方向か)、というどちらかの値をとる量とされている。そしてある電子群においてプラススピンとマイナススピンの電子数が同じであれば、それらのスピンはその測定軸に関して無偏極、中性であり、磁化は発生しない。逆に両者の数に偏りがあれば、その電子群はスピン偏極しており、磁化を持つことになる。やや乱暴な言い方かもしれないが、電子スピンを“非常に小さな磁石”と考えても、さほどの外れではないと考える。

この電子スピンを利用した物理現象は磁化の出現以外にも幅広く利用されている。例えば電子スピン共鳴は不対電子や格子欠陥の定量計測手法として長い歴史を持つ。また磁性体中を流れる電流において、移動する電子の持つスピンの向きによって抵抗が変化する磁気抵抗は、磁性多層膜を構成することによって飛躍的にその効果が大きくなり応用が進んだ。現在は磁気記録の再生素子やMRAM等で使われており、2007年のノーベル物理学賞受賞に至っている。

このスピン偏極した電子群を積極的に顕微鏡技術に適用する試み、或いはそのような電子線のスピン偏極度を測定する試みも、アメリカ、ドイツ等で古くから行われているが、日本の技術もレベルが高く、世界をリードする立場にある。名古屋大学の中西教授のグループは、GaAsに歪を加えることにより、世界で最もスピン偏極度の高い電子源を作り出すことに成功した。その電子源は更に発展を遂げ、高輝度・高スピン偏極度の電子源として、大阪電通大の越川教授のグループのスピン偏極低速電子顕微鏡(SPLEEM)に搭載され、磁区観察装置として素晴らしい成果を挙げている。また、日立中研の小池氏(現北大教授)のグループでは、スピン検出器を開発して走査電子顕微鏡に搭載し、世界に先駆けスピン偏極走査電子顕微鏡(スピンSEM)という磁区観察装置を開発した。その後アメリカやドイツの研究機関でも同様の装置が開発されているが、特に分解能においては現在でも日本がリードしている。上記2つの磁区観察技術はそれぞれが山崎貞一賞を受賞、今後の発展が期待される。また前述のスピン方向に依存した抵抗の変化を利用して、走査トンネル電子顕微鏡(STM)による超微細磁気構造観察の試み

も千葉大等で行われている。これは原子1個単位での磁気計測も可能になる、まさに究極の高分解能磁区観察をターゲットにした研究である。このように、日本における電子スピンを利用した計測技術は最近発展が目覚しく、本特集では“スピン偏極電子技術”と題し、特にマイクロコピーに応用されている本技術の展開について、関連する研究者の方々に執筆して頂いた。

まず、前述した高輝度・高スピン偏極度の電子源の開発、並びにそれを透過電子顕微鏡に搭載する試みに関して桑原氏にご執筆頂いた。スピン偏極電子技術の今後の発展には、その電子源の開発が重要であることは論を待たない。また、その電子線が透過電子顕微鏡においてどんな試料とどんな相互作用をするか、興味は尽きない。現在の開発状況を含め、詳しくご説明頂いている。

また、その電子源を搭載した装置として、既に完成、成果を挙げているSPLEEMに関して、越川氏にご執筆頂いた。これはスピン偏極した電子線を低速で磁性体に照射すると、入射電子のスピン偏極の方向と磁性体の磁化方向の関係に依存した反射をする現象を利用した磁区観察技術である。装置内で製膜しながらの高分解能磁区観察に成功しており、スピン偏極電子がパワフルなツールであることを判りやすくご説明頂いている。

次に、前述の小池氏が開発したスピンSEMに関して、孝橋が執筆させて頂いた。本技術の特徴は、電子線のスピン偏極度検出技術である。この項ではスピンSEMに搭載しているモットタイプのスピン検出器に関して簡単に原理を説明し、それを利用した磁区観察例を紹介させて頂いている。

最後に、スピン偏極電子をプローブ顕微鏡に適用した技術であるスピン偏極走査トンネル顕微鏡(スピンSTM)に関して、山田氏にご執筆頂いた。STMにスピン偏極電子による抵抗変化の効果を取り入れたこの技術に関して、原理、装置構成から測定例まで、丁寧に解説して頂いている。

これらのスピン偏極電子技術は、現状では特定の研究グループにおいてのみ立ち上がっており、世の中に広く行き渡っているとは言い難く、研究者人口も少ない。しかしその分、未知の可能性を秘めており、どのような世界を切り開いていくか、急速に技術が立ち上がりつつある今後が大変楽しみでもある。より多くの計測技術の研究者に注視して頂きたい。また材料研究者や医療、バイオ関係の研究者にも興味を持って頂き、今後の本技術の発展にお力添えを頂きたい。

最後に一言。このスピン偏極電子技術に関して、多大な功績を残された元名古屋大学教授の中西先生が2012年12月に逝去されました。謹んでご冥福をお祈りいたします。