

スピントロニクス研究会企画

「半導体へのスピン注入とデバイス応用への展望」

筑波大学 黒田 眞司

ソニー 鹿野 博司

スピンの自由度を利用して新しい機能を実現しようとする「スピントロニクス」は、既存のエレクトロニクスの限界を超える新たな技術分野としてますます注目を集めている。半導体におけるスピン利用デバイスは、Datta & Das によるスピントランジスタの提案以来さまざまなアイデアが提唱されているが、まだ実用的なデバイスの実現には至っていない。半導体スピントロニクス実現のためには、スピンの注入、輸送、操作、検出など種々の要素技術を確認することが必要である。とりわけ非磁性の半導体へスピンの揃った電子を注入するスピン注入は重要な課題としてこれまで多くの研究がなされ、当初指摘された困難を克服する種々の工夫が試みられている。またこれまでの研究は化合物半導体が中心であったが、最近 Si におけるスピンの注入・輸送・検出に成功したという報告があり、既存の Si テクノロジーとの融合による新しいデバイス実現の可能性の高まりを感じさせる。本シンポジウムはこのような最近の研究の進展を契機として企画され、半導体におけるスピデバイスを目指した研究、特に半導体へのスピン注入に焦点をあて、第一線の研究者の方々に最新の成果をご紹介いただいた。

企画者の一人である黒田眞司(筑波大物質工)によるイントロダクトリートークの後、まず van't Erve 氏(米 Naval Research Laboratory)により Si へのスピン注入の研究が紹介された。同氏のグループによる Si へのスピン注入成功は世界的に注目を集めており、講演では Fe から Al_2O_3 絶縁層を介して Si にスピンを注入し、Si 中でのスピンの緩和、磁場による変調などのさまざまな振舞いを調べるという研究内容が紹介され、測定手法の巧みさと見事な実験結果で感銘を与えた。次いで中根了昌氏(東大工)により Si MOS 反転層へのスピン注入の実験が紹介された。MnAs をスピン注入源とした Si MOS 構造において、チャンネル層に注入されたスピンの向きによるコンダクタンスの違いの検出に成功したことが報告された。磁気電流比としてはまだそれほど大きな値は得られていないが、実際のデバイスを強く意識した研究であり、その実現へ向けた着実な進展を感じさせた。続いて末益崇氏(筑波大物質工)により Fe_4N 、 Fe_3Si などの鉄ベースの強磁性化合物を用いたスピン注入デバイスの研究が紹介された。強磁性層や絶縁層に適した材料の選択や MBE 成長のさまざまな工夫により磁気トンネル接合が作製されるさまが紹介された。次いで前半の最後には白井正文氏(東北大通研)によりスピン注入源の材料として有望視されているホイスラー合金から Si への注入についての理論研究が紹介された。第一原理計算の結果より界面のミクロな原子配列がスピン注入効率に大きく影響することが示され、高効率のスピン注入に適した物質の組み合わせが提案された。

後半は化合物半導体にテーマを移し、まずはじめに齋藤秀和氏(産総研エレ)によりスピンバイポーラトランジスタの提案およびその実現に向けた強磁性金属 Fe / 絶縁層 / 強磁性半導体 (Ga,Mn)As のヘテロ構造によるトンネルダイオードの実験が紹介された。絶縁層の材料選択やトンネル電流特性より明らかになった (Ga,Mn)As のバンド構造の情報が示された。次いで新田淳作氏(東北大工)によりスピン軌道相互作用を用いたスピントランジスタの研究が紹介された。(In,Ga)As ベースのヘテロ構造において実際にゲート電界により伝導電子スピンの歳差運動が制御できること、またチャンネルをワイヤ形状にすることによりスピン緩和を抑制できるという実験結果が示された。さらに Rashba 項と Dresselhaus 項の大きさの調節によりスピン緩和を抑制するというアイデアが提案された。続いて斉藤好昭氏(東芝)により、スピン MOSFET の開発に向けた取り組みが紹介された。スピン MOSFET はロジック機能と磁性の不揮発性を利用したメモリ機能

とを併せ持つことでシステム LSI の分野で再構成可能という特徴を生かした応用が有望であることが示された。さらに磁気トンネル接合とスピン MOSFET を組み合わせたデバイス構造が提案され、回路シミュレーションによる動作特性の検証や実際の素子構造における界面抵抗低減の試みなどデバイス開発に向けた幅広い取り組みが紹介され、実用化への道のりがそう遠くないものであることを印象づけた。最後にもう一人の企画者である鹿野博司(ソニー)により、半導体スピンドバイスの実用化の展望が紹介された。過去の GMR ヘッドや MRAM の実用化の道のりを引き合いに、物理的現象の発見からおおよそ干支の一回りの年月で製品の実用化が見込まれるという見通しが提示され、この分野の研究者にとって励みとなる話でシンポジウムが締めくくられた。

同じ時間帯に多くのシンポジウムがあったにもかかわらず、当日は 200 名を超える参加者により活発な議論が交わされた。講演者ならびに参加者の方々に感謝したい。