

スピン伝導デバイスの進展と応用の最前線

世話人 鈴木義茂（阪大）、三輪真嗣（阪大）、金井駿（東北大）、中根了昌（東大）

本シンポジウムは、大分類10スピントロニクス研究会企画シンポジウムとして第64回応用物理学会春季学術講演会（パシフィコ横浜）期間中の2017年3月16日(木)に開催された。参加者は常時130名を越え、大分類10以外からも多数の参加者があり、大変盛況であった。

スピントロニクスの研究分野の中でも、巨大磁気抵抗効果やトンネル磁気抵抗効果を用いたスピン伝導デバイスは、創成期から現在に至るまでこの分野を牽引してきており、着実な基礎研究が進められている。特に、金属磁性体を用いたトンネル磁気抵抗素子の研究の進展は目覚ましく、既に産業となっているハードディスクの磁気ヘッドや磁性ランダムアクセスメモリがその応用例として挙げられる。一方、巨大磁気抵抗素子やトンネル磁気抵抗素子を用いた多様な応用も検討が進められており、次世代不揮発性高機能集積回路の実装研究、生体磁場計測への応用研究、スピントルク発振器の応用研究、などが進展している。また、半導体伝導素子とスピン依存伝導現象を組み合わせた半導体ベーススピン伝導デバイスの研究、電圧駆動磁化反転デバイスの研究、スピン流を利用したスピン伝導デバイスなど、新規スピン伝導デバイスにおいても基礎研究と多様な応用の検討が継続して進められている。

本シンポジウムでは、スピン伝導デバイスの基礎研究とその応用研究の最前線、今後の展望と発展について広く発信して議論を行うことを目的に、この分野でご活躍の6名の研究者を招待して講演をしていただいた。

講演者（所属）、講演題目、概要について以下に報告する。

1. 植村哲也（北大）「ハーフメタルスピン源を用いた半導体への高効率スピン注入とその応用」

ハーフメタル金属材料をソース/ドレイン電極、III-V族化合物半導体をチャネルとした半導体ベースのスピン伝導デバイスについてのご講演を頂いた。スピン偏極電流の半導体チャネル中での伝導に起因した巨大磁気抵抗効果の発現と、ゲート電界によるシグナルの変調が示された。また、III-V族化合物半導体チャネルであることを活かして、核スピンの電気的検出についての紹介があった。この量子ビットへの応用などが議論された。このデバイス特性を活かした今後の展開に期待が持てる内容であった。

2. 田丸慎吾（産総研）「スピントルク発振器の現状と実用化に向けての将来展望」

スピン偏極電子流が磁化に与えるスピントランスファートルクを利用したスピントルク発振器の開発についてご講演を頂いた。スピントルク発振器の実用化を目指し、位相安定性を確保するための位相同期回路の開発について説明があった。位相同期回路組み合わせた発振スペクトルは、フリーラン特性と比べて極めて高いQ値を持つことが示され、また回路による制御特性は理論と良い一致を見せることが示された。これらによって、基礎物理の理解と制御が進展していることが見て取れた。競合技術である半導体発振器との特性比較によって、どの特性を解決していく必要があるのかといった課題が明確に示され、今後の発展に大いに期待がもたれる。

3. 安藤康夫（東北大）「トンネル磁気抵抗磁場センサの開発と生体磁場計測への応用」

強磁性トンネル接合をもちいた生体磁場計測の研究についてご講演をいただいた。磁場センサモジュールのための、強磁性トンネル接合素子のブリッジ、アンプ、フィルタ、といった様々な部位

の開発について、その苦労などを交えて紹介された。デモンストレーションとして、オシロメーターによる好感度な出力変化の動画やヒトの胸部での心磁図の計測結果が紹介された。心磁図は現テクノロジーとして競合する SQUID センサと定性的に一致していることが示され、実現への道筋が明確に示されたといえる。さらに、SQUID センサに比べての優位性（液体ヘリウムが不要、磁気シールドが不要な可能性、など）が紹介され、スピン伝導デバイスの特性を活かした応用分野として大いに期待ができる内容であった。

4. 白井正文（東北大）「スピントロニクス実用材料の理解と高性能スピン伝導デバイスの設計」

不揮発性メモリの低消費電力化の有望な手段として電圧駆動磁化反転があり、磁気異方性エネルギーの電圧変調効果が大きい材料と素子構造が必要である。第一原理計算結果によるこれらの探索についてご講演を頂いた。Fe や Co の表面を 5d 遷移金属単原子層で被覆した薄膜構造を計算対象として、様々な元素によって効果の大きさや極性が異なることが示された。磁気異方性エネルギーの電界効果が大きな材料は、3d 遷移金属との交換相互作用によって 5d 遷移金属に比較的大きなスピン磁気モーメントが誘起されていることが明らかとされた。こうした知見は、今後材料と素子構造の実験的探索を行うために非常に有益であると考えられる。

5. 中谷友也（物材機構）「ホイスラー合金 CPP-GMR 再生ヘッドセンサーの開発」

2Tb/inch² に迫る次世代ハードディスクドライブの再生ヘッドセンサーとして期待される高い磁気抵抗比と低面積抵抗を両立する面直巨大磁気抵抗素子についてご講演を頂いた。ここ近年の素子研究の網羅的介绍に始まり、エピタキシャル多層構造による高品質な素子において高い磁気抵抗比が達成されることが示された。さらに近年では、透明電極材料を非磁性スペーサー層に用いて金属接合が局所的に形成されることにより、狭窄効果による磁気抵抗比の飛躍的な増大が得られていることが示された。材料についても多岐に渡る試行があるが、特に高い磁気抵抗比を出す材料の組み合わせについては、格子整合の良い材料の組み合わせを用いる必要があることが明確に示された。実装への筋道の示された、大いに期待のできる内容であった。

6. Kaushik Roy (Purdue Univ.) 「Re-Engineering Computing with Neuro-Inspired Learning: Devices, Circuits, and Systems」

認知処理などのニューロモルフィックコンピューティングを行うスピン伝導デバイスと回路についてのご講演を頂いた。不揮発な磁化の状態をアナログに記録して読み出すデバイスが多数紹介された。それらは、磁気トンネル接合とスピン注入磁化反転効果を利用したアレー構造から、多入出力を志向したオリジナルなデバイスなどであった。これらを利用した回路は基本的に CMOS 回路との融合を念頭に設計されており、実現の見込みが非常に高い回路であると感じた。すべてはシミュレーションであるものの、手書き文字の画像認識のデモンストレーションなども示され、スピン伝導デバイスの新たな応用として可能性を示したと言える。

各講演者が、ご専門のスピン伝導デバイスの近年の進展と最前線について簡潔に紹介を行い、非常に理解が深まった。また、具体的な応用分野や特性改善を示した研究内容が多く、今後の発展に大いに期待のできる内容であった。これらのことが多くの参加者の興味を引き、質疑応答において大変活発で有意義な議論が行われ、大盛況のうちに会を終了した。

報告者 中根了昌（東大）