

室温動作する半導体スピントロニクスデバイスの実現に向けて



研究者所属・職名：大阪大学
大学院基礎工学研究科・教授

ふりがな はまや こうへい
氏名： 浜屋 宏平

主な採択課題：

- [基盤研究\(S\)「ゲルマニウムスピンMOSFETの実証」\(2019-2023\)](#)
- [基盤研究\(A\)「純スピン流伝導の光・電界制御」\(2016-2019\)](#)
- [基盤研究\(A\)「縦型ショットキースピントランジスタの創製」\(2013-2015\)](#)

分野：電子・電気材料工学、応用物性

キーワード：半導体スピントロニクス、ゲルマニウム、ホイスラー合金、スピンMOSFET

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？（研究の背景・目的）

近年注目を浴びているIoT技術やAI技術、一部の量子コンピュータ技術などは、その殆どが半導体テクノロジーによって支えられており、今後も半導体テクノロジーおよびその周辺技術のさらなる進化が要求されている。一方、半導体デバイスおよび集積回路の電力消費量は年々増すばかりであり、低消費電力化技術の開発は喫緊の課題である。この課題を克服するために、「磁石」の性質をエレクトロニクスに利用しようという研究分野「スピントロニクス」がある。磁石にはN極とS極が存在し、その機能を利用した「情報記録媒体」は既に重要な役割を果たしている。「ハードディスク」はその代表例であり、それを搭載した長時間・高画質録画機能の家電製品は、既に一般家庭にも普及している。もし、この磁石の性質を半導体デバイスの性能に直接組み込むことができれば、新たな原理が付加された低消費電力で高速動作可能な新しい半導体集積回路への道が開拓され、時代を大きく変革する可能性が高い。

2004年に提案されたスピンMOSFET(Spin Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor)は、半導体トランジスタ構造の電極に「高性能な磁石」を用いた時に、電子の持つ磁石の性質「スピン」がトランジスタの抵抗値(電流値)を大きく変化させる特性を発現すると期待されることから、論理演算機能のみならず、磁石の記憶機能(不揮発メモリ機能)も併せ持つ夢の低消費電力半導体電子デバイスとして注目されてきた。しかし、技術的なハードルが非常に高いことから、その提案から10年以上経過した現在でも、実用化には未だ課題が山積している状況である。

室温動作する半導体スピントロニクスデバイスの実現に向けて

研究成果

これまでの半導体スピントロニクス研究では、原理実証を目的とした「極低温動作」や「高電力動作」といった実用上の課題が残っていた。我々は、これらの課題を克服するために、シリコンに代わる次世代の半導体材料として期待されている「ゲルマニウム」を使用した半導体スピントロニクスデバイスに注目している。ゲルマニウムは半導体業界では既に実用化されようとしている材料であり、我々はこのゲルマニウムと高性能な磁石(強磁性ホイスラー合金)の相性が非常に良いことを発見している。図1は、次世代のゲルマニウムスピンMOSFETの模式図であるが、我々はこの電極構造として、高性能な強磁性ホイスラー合金とゲルマニウムの高品質接合を作製することに取り組んできた(図1写真)。これは、トランジスタのような半導体デバイスの電極構造に磁石を用いた構造を模擬しており、ここから電子の持つ磁石の性質(スピン)を半導体中に注入することができるようになる。これまで、このような高品質な磁石/半導体接合を利用した「横型」および「縦型」スピントロニクスデバイス構造の実現から、半導体ベースの構造であるにも関わらず「室温」且つ「低電力」で不揮発メモリ機能(磁気抵抗効果)を実証をすることに成功した(図2)。これは、新原理が付加された低消費電力・高速動作の室温半導体スピントロニクスデバイス実現の第一歩の成果である。

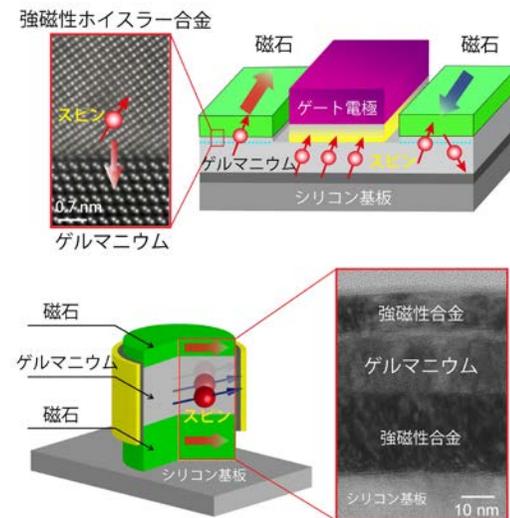


図1. スピンMOSFETの模式図と提案する電極構造(磁石/半導体接合)の電子顕微鏡写真。

今後の展望

次世代の半導体「ゲルマニウム」を用いたスピンMOSFET構造における室温磁気抵抗効果が飛躍的に向上し、同時にトランジスタの本来の機能である「低電圧動作するスイッチ(電流のON/OFF)」としての役割を十分に担保された動作が実証できれば、まさに、記憶機能と高速演算機能を両方兼ね備えた夢の半導体スピントロニクスデバイスが実現することになる。IoT技術・AI技術開発が益々進展する中、電子機器のみならず、ロボット・電気自動車産業、次世代の量子情報技術などの発展に大きく貢献すると期待される革新的な半導体テクノロジーとなることを期待する。

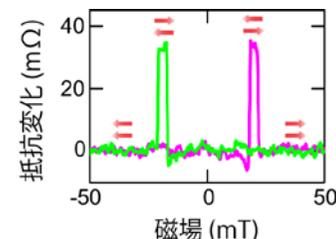


図2. 半導体スピン素子の室温不揮発メモリ機能。