	研究代表者	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・准教授 安藤 和也（あんど かずや） 研究者番号:30579610
	研究課題 情報	課題番号：22H04964 キーワード：スピントロニクス、スピンドロニクス、軌道流 研究期間：2022年度～2026年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

本研究は、これまで未開拓であった軌道角運動量の流れ「軌道流」の量子物性を新たに切り拓くことで、新たな電子技術の基盤を構築するものである（図1）。

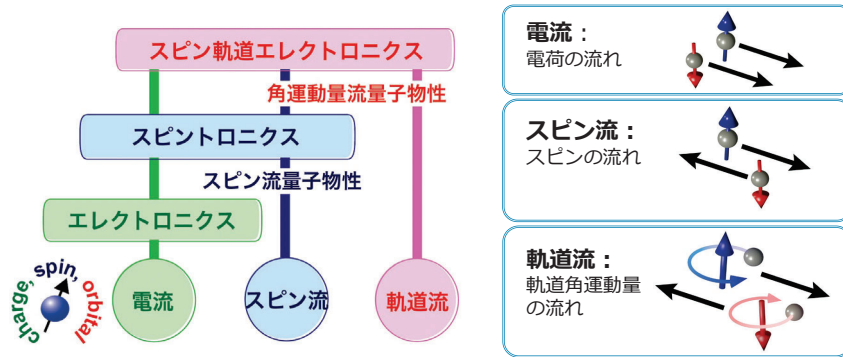


図1 角運動量量子物性の開拓によるスピントロニクスへの展開のイメージ図

●研究の背景

現代社会を支える電子技術として、電子の持つ電気的性質「電荷」とその流れ「電流」の自在な制御を基盤とするエレクトロニクスがある。これに対し、電子の磁気的性質「スピン」を中心とした物性物理・材料科学・デバイス工学の複合領域であるスピントロニクスが近年劇的な発展を続けてきた。エレクトロニクス機能を担うのが電流であるのに対応し、スピントロニクスの基盤は電子スピンの流れ「スピンドロニクス」である。スピンドロニクスの自在な制御は、電荷と電流に基づくエレクトロニクス原理では実現困難なデバイス機能の発現を可能とする。スピントロニクスにおけるこれまでの膨大な研究によって、非常に多彩な量子物性がスピンドロニクスにより現れることが明らかになり、スピンドロニクスは現代の電子物理・工学における重要な概念となった。

●研究の目的

電流に基づくエレクトロニクスにスピンドロニクスという新たな概念を加えることでスピントロニクスは電子物理・技術に革新をもたらした。電流とスピンドロニクスは現代の産業・電子物理の基盤である。一方、物質中の電子は、電荷とスピンだけでなく、軌道の自由度も持つ。したがって、電流・スピンドロニクスに対応する、軌道角運動量の流れ「軌道流」の存在も自然に期待されるが、この存在は実験的にはこれまで明らかではなかった。本研究は、原子レベルで制御された素子を舞台とした精密実験により、これまでのスピントロニクスの中心であったスピンドロニクスだけでなく、軌道流まで包括する「角運動量流」の生成・変換・制御原理を体系化し、従来の電子技術の延長線上にはない新たなテクノロジー体系「スピントロニクス」の基盤を構築する。

スピンドロニクスが生み出す多彩な物理現象は、不揮発記憶素子、ナノスケールマイクロ波・テラヘルツ波源、スピンドロニクスを介した熱電素子やニューロモルフィック素子に至るまで、様々な角運動量流デバイスの実現を可能とする。本研究により、軌道流が中心となる物理現象を実験的に切り拓くことで、軌道流という新たな概念を電子物理・技術に導入し、巨大磁気抵抗効果の発見以来、30年以上にわたりスピンドロニクスを基軸として長足の進歩を遂げてきたスピントロニクスの流れに変革を引き起こしたい。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

本研究は、スピントロニクスの基盤であるスピンドロニクスに加え、軌道流まで含めた角運動量流の生成・変換・制御の学理を実験により切り拓き（図2,3）、これに基づく角運動量流デバイスへと展開するものである。

スピントロニクスの中心であるスピンドロニクス生成の基本原則（スピンドロニクス効果・スピンドロニクス効果）は、軌道流生成現象に付随する二次的現象であることが理論的に指摘されてきた。これは、物質中の角運動量が鍵となる物理現象の本質は電子の軌道成分にあることを示している。物質中の角運動量のダイナミクスは、電気・磁気・光・熱といった様々な自由度を結びつける非常に多彩な物理現象を担っている。その中で、特に重要でありながらこれまで注目されることなかった軌道流の基本的な性質を明らかにすることは、このような物理現象の本質的な理解と、巨大な応答を実現するための鍵となる。

●角運動量流の生成・変換・制御

本研究では、スピンドロニクス生成の基本原則であるスピンドロニクス効果・スピンドロニクス効果に対応する軌道ホール効果・軌道ラシバ効果による軌道流の生成手法を確立し、この精密測定により、軌道流の基本的な性質を明らかにする。さらに、軌道流とスピンドロニクスの変換、軌道流生成の制御原理を開拓することで、角運動量流の巨大化・高効率変換実現への指針を明らかにする。

●角運動量流デバイスへの展開

本研究により、角運動量流の巨大化やスピンドロニクス・軌道流の協同的利用をはじめ、角運動量流を操る原理・手法が明らかとなることで、電子の持つ自由度を最大限活かした新しい原理に基づくデバイスの設計が可能になる。これに基づき、スピンドロニクスのみを利用してきたこれまでのスピントロニクスに対し、飛躍的に高い効率で動作する角運動量流デバイスへの展開を目指す。



図2 スピンドロニクス・軌道流測定系の例

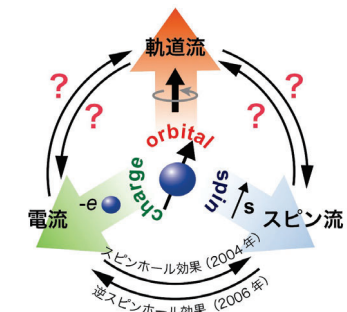


図3 電流・スピンドロニクス・軌道流の変換