

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: スピン流による熱・電気・動力ナノインテグレーションの創出

2. 研究代表者: 齊藤 英治 (東北大学原子分子材料科学高等研究機構 教授)

3. 研究概要

スピントロニクスと機械工学との融合により熱・動力と電気の間の量子力学的変換を実現する新しい技術体系の構築を目指し、基礎物理の開拓から応用研究までを体系的に行う。動力をスピントロニクスに組み込むため、一般相対論まで拡張した物質中の量子論を構築した。液体金属微小液滴のジェット流を白金薄膜に入射することで、液滴の角運動量からスピン流が生成される事を観測した。

スピントロニクスによる熱の制御に関しては、スピンゼーベック効果による出力電圧の増大を目指した研究を行い、フォノン機構の発見を始めとする複数のメカニズムの解明と出力増大を実現した。またこの逆効果に相当するスピン流による熱輸送現象を発見した。以上の結果は *Physical Review Letters* 1編、*Nature Materials* 4編を含む論文等により公表された。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

研究は、当初の構想を超える新たな発展も生まれ、全体的に順調に進展している。スピンゼーベック効果を用いた熱電変換技術の開拓では、フォノン媒介効果による熱電変換現象を発見、そのメカニズムを理論・実験の両面で実証した。これまでの基礎的実験結果を元に出力電圧の増強をもたらす素子構造を提案、その効果を実証した。上記の逆効果であるスピンペルチェ効果の開拓を目指し、磁性体にマイクロ波を照射してスピン波を励起、これにより生ずる熱輸送、熱散逸を赤外線カメラで空間分布として観測、スピンと熱との相互作用を実証した。スピントロニクスと動力との量子論的相互作用を組み込むため、一般相対論まで拡張した理論体系を構築した。実験面では、液体金属微小液滴のジェット流を白金薄膜に入射することで、力学的運動からスピン流が生成される事を実証した。これらの動力や熱を含むスピントロニクスの新展開は当研究代表者グループが世界を先導しており、多くの *Nature* 関連誌での発表、海外での招待講演、受賞がその先進性を証明している。

4-2. 今後の研究に向けて

力学的スピントロニクス効果については微小な流路系を用いた水銀のマイクロ流体駆動を行い、液滴により得られた現象のより精緻な解明を行う。またこの現象の逆効果であるスピン流による流体駆動の実証にも挑戦していく。これらの研究においてはマイクロ流路の専門知識も必要となろう。本 *CREST* 研究領域全体ではマイクロ流路やナノトライポロジーの研究者もおり、そことの連携も検討に値すると考える。一連の研究から全く新しい概念であるスピンメカトロニクスの理論体系が構築されることを期待する。スピンゼーベック効果については不明瞭であった種々の現象が解明され、理解が深まっている。今後は素子構造の最適化も含め、その工学的なポテンシャルを明らかにすることを期待する。

4-3. 総合的評価

理論と実験の密な連携をベースに、スピン熱輸送効果や音響スピンポンプの発見、流体運動によるスピン流生成、さらにはスピンゼーベック効果の実用性検証など、独創性の高い成果を挙げており、研究代表者らの活動は世界的にも注目を集めている。これまでのスピントロニクスは磁性と電子物性をつなぐエレクトロニクスに留まっていたが、その可能性はエレクトロニクス、流体力学、機械工学、熱工学と多岐にわたっていることが証明されつつあり、これらをカバーする普遍的な学術体系の構築を目指して欲しい。

工学的応用面でも新たな可能性を提示しており、従来技術とのベンチマークを通じてそのポテンシャルを明らかにすることが、多くの応用研究者を引き込むうえでも重要である。この一連の作業においては、特許出願にも

十分留意して欲しい。