

安全保障技術研究推進制度 令和6年度終了課題 終了評価結果

1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：グラフェンのスピン誘起ディラック電子とスピン拡散長の可視化
- (2) 研究代表者：物質・材料研究機構 矢治 光一郎
- (3) 研究期間：令和4年度～令和6年度

2. 終了評価の実施概要

日時：令和7年11月10日

場所：TKP新橋カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所 理事長、上席研究員

東京大学 名誉教授

平澤 洽（委員長）

長岡技術科学大学 名誉教授、特任教授

井原 郁夫

東京科学大学 工学院 電気電子系 教授

梶川 浩太郎

慶應義塾大学 名誉教授

神成 文彦

大阪大学 大学院工学研究科 教授

近藤 正彦

東京農工大学 名誉教授

佐藤 勝昭

国立健康危機管理研究機構 国立感染症研究所 客員研究員

防衛医科大学校 名誉教授

四ノ宮 成祥

豊橋技術科学大学 シニア研究員、名誉教授

長岡技術科学大学 学長アドバイザー

中野 裕美

科学技術振興機構 研究開発戦略センター 戦略総括監

中山 智弘

量子科学技術研究開発機構 高崎量子技術基盤研究所

先端機能材料研究部長

八巻 徹也

情報通信研究機構 電磁波研究所 総括研究員

山本 真之

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3. 研究と成果の概要

研究の概要

本研究は、量子・スピントロニクス・半導体技術の発展に資する基礎研究として、スピンも含めた電子の振る舞い（電子状態）を可視化するための計測技術の確立を目指したものである。世界で初めて、試料に電圧を印加しながら顕微スピン分解光電子分光を実現する装置を開発し、材料の定常状態だけでなく実際の動作環境下における電子状態計測を可能にすることに挑戦した。この技術は、スピンを利用した新機能材料やデバイスの創製に資する革新的な研究基盤となる。ユースケースとしてグラフェンに誘起されるスピン偏極電子状態の可視化を実施した。高度情報化社会の進展に伴い、消費電力の爆発的増大が社会課題となる中、スピンを利用したデバイスは電力消費を大幅に抑制し得る次世代技術として注目されている。本研究で得られた成果は、その実現に不可欠な電子状態の理解を支える基盤技術を提供するものであり、今後、量子情報処理技術や低消費電力デバイスの開発などへの波及効果が見込まれる。

成果の概要

本研究は、材料中の電子状態を可視化し、機能発現のメカニズムをミクロな視点から解明することで、新規材料の研究・開発に貢献することを目的とした。この目的のもと、試料に電圧を印加しながらスピン分解光電子分光を実施できるオペランド顕微スピン分解光電子分光装置の開発を行い、以下の主要な成果を得た。

装置・手法開発では、低温試料磁化システムおよび電圧印加試料マニピュレータを新規に設計・製作し、オペランド顕微スピン分解光電子分光を可能とする装置を完成させた。これにより、材料の定常状態だけでなく、実際の動作環境下におけるスピン偏極電子状態の可視化を実現した。また、データ解析の高度化としてバックグラウンド自動処理アルゴリズムを開発し、ハイスループット解析におけるピーク検知精度を従来の約2倍に向上させた。

物性研究では、強磁性体基板上のグラフェンの研究において顕著な成果を得た。イットリウム鉄ガーネット（YIG）基板上のグラフェンではスピン偏極したディラック電子の存在を明らかにした。また、強磁性体ニッケル（Ni）基板上のグラフェンでは界面混成によりグラフェンにスピンが誘起されるメカニズムを解明した。これらの成果は、グラフェンを用いたスピントロニクス材料設計に新たな知見を与えるものである。さらに、Ni 電極とグラフェンを接合させた素子を作製し、世界で初めて電圧印加環境でのスピン分解光電子分光に挑戦した。光電子分光が極めて表面敏感な手法であることから、デバイス作製プロセスにおけるレジスト残渣が測定に影響を及ぼすことが新たに判明し、今後のデバイス試料調製における改良課題を得た。これらの成果により、当初計画した全ての研究目標を達成するとともに、動作環境下における電子状態計測という新たな計測領域を切り拓いた。本研究は、スピント

ロニクス材料や量子材料の理解と応用に対して、今後大きな波及効果をもたらすものと考えられる。

4. 終了評価の評点

AA 想定以上の成果をあげた。

5. 総合コメント

当初の目標であったスピン注入されたグラフェンの電子状態評価には至らなかったが、オペランド計測システムは実現しており、それを駆使した物性研究も広範囲で実施されている。これらにより、期間を通して多くの新しい知見が得られており、高く評価できる。また、多数の論文発表や今後の発展性についても評価でき、成果があったと認められる。

今後、深い専門的知見を有する研究者、他機関との連携、情報交換を行い、充実・発展させていただきたい。また、デバイスの研究者との協力など、開発した装置を最大限に活用する取り組みを進めていただきたい。

6. 主な個別コメント

- 新規課題への挑戦がなされ、原理を確認する初期段階の成果を挙げた。今後の発展が期待される。
- グラフェンのスピン観測など課題の積み残しはあるが、付随的研究成果も発出されており、概ね良好な研究が展開されたといえる。