

【基盤研究(S)】

理工系 (総合理工)

研究課題名 半導体スピントロニクス



京都大学・大学院工学研究科・教授

しらいし まさし
白石 誠司

研究課題番号：16H06330 研究者番号：30397682

研究分野：総合理工

キーワード：スピントロニクス・半導体・スピントロニクス

【研究の背景・目的】

固体を流れるスピントロニクス (純スピン流=電荷の流れを伴わないスピン角運動量の流れ、とスピン偏極電流の総称) は、基礎物理・応用物理の両面で大きな関心が集まり、世界的な研究競争が行われている。電子のもう 1 つの属性である電荷が保存量であるのに対し、スピンは非保存量でありスピン拡散長という距離スケールで消失するため、これまで固体中の純スピン流の物性理解のために十分なスピン流を生成できなかったが、近年のナノテクノロジーに発展により、スピン拡散長以下の距離スケールを有する微細素子が作製できるようになり、人類はスピントロニクスを効率的に生成してその物性を精査することが可能となったことが背景にある。当初、非磁性金属中のスピントロニクス物性の研究が先行したが、近年、シリコン(Si)やゲルマニウム(Ge)、ガリウムヒ素(GaAs)、更にグラフェンなどの分子性半導体 (ゼロギャップ半導体を含む) などの半導体中に室温でスピントロニクスが生成・伝播できるようになり、この分野の研究競争が激化している。

半導体中のスピントロニクス物性研究は、これまで室温でスピントロニクスを注入・伝播させることが難しく、また半導体へのスピン注入を証明する実験手法に関する解釈の誤りなどの深刻な問題の解決に時間を要したために、基礎物理の面でも個々の半導体材料におけるスピン緩和を個別に測定・理解するステージに留まっており、広範な半導体材料及びそれを基とする量子井戸などの人工ナノ構造群、さらに近年発展の著しい遷移金属ダイカルコゲナイドなどの原子膜半導体やトポロジカル絶縁体などの新しい半導体と言える系におけるスピン輸送と緩和の統一的学理の理解を目指した本格的な発展段階に達しておらず、更に応用を射程に入れた半導体スピントロニクス研究は漸くその途についたばかりである状況にある。

【研究の方法】

本研究では、(1)いわゆる結晶無機半導体 (IV 族[Si, Ge など]、化合物[GaAs, SiC など])、(2)遷移金属ダイカルコゲナイド (WSe₂ など)やグラフェンなど近年大きな注目を集める新奇原子膜半導体、(3)トポロジカルにスピン縮退が破られたディラック系ゼロギャップ半導体とみなせるバルク絶縁性トポロジカル絶縁体(BiSbTeSe や TlBiSe)、の大きめに 3 種類の材料群を広義の「半導体材料」とみなして研究の対象

とする。更に、試料構造はバルクにかぎらず、ナノ量子井戸構造、さらに化合物半導体系で発現する 2 次元電子ガスや分極反転 2 次元電子系も積極的に対象とする。研究手法は以下のアプローチを取る。

I. 高周波測定を用いた統一的評価手法を導入することによる半導体中のスピントロニクスの網羅的・包括的物性理解と、上記で定義した広範な半導体材料群中のスピントロニクス輸送物性とその緩和物性の評価。従来の電氣的、動力学的、熱的手法によるスピン輸送物性との対応の考察。

II. I.を通じて、特に原子膜系やトポロジカル絶縁体などの新奇「半導体」スピントロニクス物性を決定する大きな要因であるキャリア濃度によるスピン緩和物性の包括的測定と理解。

III. 特に新しい材料群である遷移金属ダイカルコゲナイド系半導体、トポロジカル絶縁体中のスピントロニクス輸送物性の計測と評価を通じた、新奇「半導体」材料スピントロニクス素子創出への展開。

【期待される成果と意義】

本提案の遂行により、金属スピントロニクスに比べてやや立ち遅れている半導体スピントロニクスにおいて確固たる学理の構築と、応用展開可能な素子創出のための学術的指針を得ることができる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- 1) S. Dushenko, H. Ago, K. Kawahara, T. Tsuda, S. Kuwabata, T. Takenobu, T. Shinjo, Y. Ando and M. Shiraishi, “Gate-tunable spin-charge conversion and a role of spin-orbit interaction in graphene”, Phys. Rev. Lett. 116, 166102 (2016).
- 2) S. Dushenko, M. Koike, Y. Ando, M. Myronov and M. Shiraishi, “Experimental demonstration of room-temperature spin transport in n-type Germanium epilayers”, Phys. Rev. Lett. 104, 196602 (2015).
- 3) Yu. Ando, T. Hamasaki, T. Kurokawa, F. Yang, M. Novak, S. Sasaki, K. Segawa, Yo. Ando and M. Shiraishi, “Electrical Detection of the Spin Polarization Due to Charge Flow in the Surface State of the Topological Insulator Bi_{1.5}Sb_{0.5}Te_{1.7}Se_{1.3}”, Nano Lett. 14, 6226 (2014).

【研究期間と研究経費】

平成 28 年度 - 32 年度 134,400 千円

【ホームページ等】

<http://cmp.kuee.kyoto-u.ac.jp/>
mshiraishi@kuee.kyoto-u.ac.jp