

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出
2018年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

永長 直人

東京大学 大学院工学系研究科
教授

ナノスピ構造を用いた電子量子位相制御

主たる共同研究者:

賀川 史敬 (東京工業大学 理学院 教授)

十倉 好紀 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

研究成果の概要

短周期らせん構造の創発電磁場に由来した非相反伝導や創発インダクタンスについて、磁性体だけではなく、超伝導体や極性半導体、それらの人工格子にも展開し、創発電磁機能の新たな設計指針への道筋を拓いた。磁性ドーピングした強誘電性半導体(Ge,Mn)Te における巨大非相反電気伝導の観測を行い、電流が磁化と電気分極の向きと互いに垂直になる状況において、非相反伝導が最大になること、磁場依存性やフェルミ準位依存性から、非相反伝導にはマグノン散乱やバンドのスピンの偏極率が大きく関わっていること、を見出した。空間反転対称性が破れた系のバンド構造に現れる“ベリー曲率ダイポール”による2次の非線形ホール効果がInドーピングした(Pb,Sn)Teという極性半金属におけるワイル型電子分散によって増大することを見出した。超伝導体PdTe₂とトポロジカル絶縁体Bi₂Te₃のヘテロ構造において、超伝導転移温度周りで非相反電気伝導を観測し、非相反伝導の符号が反転する新しい現象を見出した。また、超伝導ダイオードの理論を進展させ、運動量空間におけるスピントクスチャが有限の重心運動量のクーパー対を誘起し、その結果臨界電流が方向によって異なることを示した。また、ジョセフソン接合においてはこのダイオード効果が増大することを理論的に示した。3次元のトポロジカルスピン構造ホフィオンの電流駆動ダイナミクスを理論的に調べ、その構造が持つ創発トロイダルモーメントに非相対的な並進と回転を行うことを見出した。また、磁性不純物による非相反伝導制御の提案を行った。創発インダクタの特性改善に向けた取り組みを理論・実験双方から進展させ、不純物効果、実空間ダイナミクスの直接観測、シミュレーション、などを通じてその設計指針を明らかにした。インダクタンスへの位相モードの寄与に関する理論提案を受けて、YMn₆Sn₆における磁性不純物(Tb)ドーピングを行い、インダクタンスの符号が不純物による位相モードのピン止めによって支配されていることを見出した。非線形光学効果に関しては、マルチフェロイックらせん磁性強誘電体において電子励起のギャップよりも低いエネルギーでエレクトロマグノンを光励起することで直流のシフトカレントが流れることを、実験・理論双方から示した。これは絶縁体がキャリアを作ることなしに直流電流を流すことができることを意味し、基礎物理学にとって重要な知見である。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Makoto Masuko, Minoru Kawamura, Ryutaro Yoshimi, Motoaki Hirayama, Yuya Ikeda, Ryota Watanabe, James Jun He, Denis Maryenko, Atsushi Tsukazaki, Kei S. Takahashi, Masashi Kawasaki, Naoto Nagaosa, and Yoshinori Tokura, "Nonreciprocal charge transport in topological superconductor candidate Bi₂Te₃/PdTe₂ heterostructure", npj Quantum Materials **7**, 104 (2022).
- 2) Cheng-Long Zhang, Tian Liang, Yoshio Kaneko, Naoto Nagaosa, and Yoshinori Tokura, "Giant Berry curvature dipole density in a ferroelectric Weyl semimetal", npj Quantum Materials **7**, 104 (2022).
- 3) Aki Kitaori, Jonathan S. White, Naoya Kanazawa, Victor Ukleev, Deepak Singh, Yuki Furukawa, Taka-hisa Arima, Naoto Nagaosa, and Yoshinori Tokura, "Doping control of magnetism and emergent electromagnetic induction in high-temperature helimagnets", Phys. Rev. B **107**, 024406 (2023).

- 4) J.He, Y. Tanaka, and N.Nagaosa, “A phenomenological theory of superconductor diodes”, *New J. Phys* 24, 053014(2022).
- 5) Y.Z.Liu, H. Watanabe, and N.Nagaosa, “Emergent Magnetomultipoles and Nonlinear Responses of a Magnetic Hopfion”, *Phys. Rev. Lett.* 129, 267201 (2022).