

トポロジカル材料科学と革新的機能創出
2019 年度採択研究者

2020 年度 年次報告書

井手上 敏也

東京大学 大学院工学系研究科
助教

ファンデルワールス結晶の対称性制御とトポロジカル非線形輸送

§ 1. 研究成果の概要

ファンデルワールス結晶ヘテロ界面における、対称性に着目したトポロジカル非線形輸送現象の研究を推進した。特に、3 回回転対称性を有する遷移金属ダイカルコゲナイド WSe_2 と 2 回回転対称性を持つ黒リンのヘテロ界面において発現する、バルク光起電力効果の詳細な振る舞いを調べることで、ヘテロ界面の電子状態やバルク光起電力効果の微視的機構に関して知見を深めた。

単層 WSe_2 と多層黒リンの間に絶縁体である h-BN を挿入した構造を持つデバイスにおける光起電力応答や、単層 WSe_2 / 多層黒リン界面におけるバルク光起電力効果の黒リン膜厚依存性を系統的に調べることで、界面での波動関数の混成が分極やバルク光起電力効果の発現に本質的であることを明らかにした。また、光電流の照射光エネルギー依存性を測定し、バルク光起電力効果が WSe_2 の励起子共鳴近傍のエネルギー領域で増大することを観測し、2 次元励起子共鳴によってファンデルワールス結晶ヘテロ界面の異常光電流効果が増大する可能性を見出した。さらに、励起子共鳴よりも高エネルギーの領域において、バルク光起電力効果が非単調に振舞うことを発見し、理論グループとの共同研究を行うことで、この振る舞いが、光励起によって波動関数の重心がシフトすることによって生じる量子力学的機構によって上手く説明できることを明らかにした。

以上の結果は、ファンデルワールス結晶ヘテロ界面において対称性を制御することにより、電子状態、特に波動関数のトポロジーや幾何学的性質を変調することができ、それによって物性や機能性を開拓できることを示唆する。また、並進対称性を持たないような準周期的 2 次元界面において、電気分極や光機能性を考察できることを意味しており、今後、様々なファンデルワールス結晶ヘテロ構造に適応可能な手法、考え方であると期待される。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Quantum and classical ratchet motions of vortices in a two-dimensional trigonal superconductor”, *Phys. Rev. Research* 2, 023127 (2020).
- 2) “Antiferromagnet-Semiconductor Van Der Waals Heterostructures: Interlayer Interplay of Exciton with Magnetic Ordering”, *Nano Lett.* 2020, 20, 6, 4625.
- 3) “Giant nonreciprocal magnetotransport in bulk trigonal superconductor PbTaSe_2 ”, *Phys. Rev. Research* 2, 042046(R) (2020).