

光波の空間構造を利用した物性探索
Solid state spectroscopy using structured lightwaves

戸田泰則
 Yasunori Toda

北海道大学 大学院工学研究院
 Department of Applied Physics, Hokkaido University

らせん位相波面を持つ特異点光波（光渦）が光の軌道角運動量を与えることを Allen らが指摘して以降[1]、従来未開拓であった光波の横モード（空間構造）の利用が活性化し、様々な分野にイノベーションがもたらされた。例えば、位相や偏光の特異点は急峻な空間分布を持つ強度暗点を生成するため、蛍光分子を使った誘導放出抑制（STED）型超解像イメージングの飛躍的な分解能向上をもたらした[2]。物性研究に目を向けると、特異点周りの位相や偏光分布を活用した分光応用が盛んであり、一般的なレーザー光波では困難な電子やスピン励起が実現される。我々も主に半導体励起系に対して、電子分極やスピン偏極のもたらず空間コヒーレンス変化を検出する分光手法を確立してきた[3]。講演ではこれら電子コヒーレンスを主体とした取り組みについてまとめた後、近年取り組んでいる強度暗点を利用した超伝導物性探索手法を紹介する。本稿では後者の基本原理を簡単にまとめる。

超短パルス光を用いて超伝導体を励起すると、クーパ対の一部が破壊され、超伝導ギャップ上に準粒子が生成される。光強度が十分弱ければ、超伝導状態を保持したまま励起準粒子を反映した誘電率変化が現れる。この変化を別の超短パルス光の光学応答変化として捉えれば、準粒子を介した超伝導状態の探索が可能となる。このポンププローブ分光はBCS、非BCSに関わらず超伝導関連物質全般に広く適用されており、過渡応答の温度依存性や緩和特性を通して物性探索に活用されている[4]。他方、光照射領域の超伝導を構成するクーパ対を全て破壊するような強励起条件を用いると、超伝導から常伝導への瞬時的な相転移が実現される。このとき観測される過渡応答は秩序形成（ギャップ形成）ダイナミクスを反映する。また準粒子の励起時間はフェムト秒光パルスのパルス幅内（ $\sim 10^{-13}$ s）であり、拡散定数は $\sim 10^3$ m/s である。つまり過渡応答として観測さ

れる常伝導領域は光波の強度分布をほぼ再現すると考えて良い。したがって強度暗点を持つような光渦を使って超伝導 \rightarrow 常伝導相転移を誘起すれば、暗点領域に局在した超伝導をプローブとする物性探索が実現される。光渦クエンチにより発現する領域の限定された超伝導状態を観測するため、我々は特異点を持つ相破壊（D）パルスを従来光波で構成するポンプ（P）プローブ（pr）分光に加えたコヒーレントクエンチ分光 [5]を構築した。講演では高温超伝導体を対象とした観測結果を示し、特異点の有無を反映した過渡応答変化をもとに、強度暗点に残る超伝導領域の応答を検出可能であることを明らかにする。本研究で開発した光渦クエンチを用いた分光手法を利用することにより、空間不均一化を排除した限定領域の超伝導の持つ新規物性や機能発現、およびイメージング応用への展開が期待できる。

本研究は科研費（19H05826, 19H02621, 18KK0079）の援助を受けて実施された。

参考文献

- [1] L. Allen, MW. Beijersbergen, RJC. Spreeuw, and JP. Woerdman, Phys. Rev. A 45, 8185 (1992).
- [2] KI. Willig, SO. Rizzoli, V. Westphal, R Jahn, SW. Hell, Nature 440, 935 (2006).
- [3] Y. Ueno, Y. Toda, S. Adachi, R. Morita, T. Tawara, Opt. Express 17, 20567 (2009); K. Shigematsu, Y. Toda, K. Yamane, and R. Morita, Jpn. J. Appl. Phys. 52 08JL08 (2013); *ibid.*, Phys. Rev. B 93 045205 (2016); *ibid.*, Appl. Phys. Express 9 122401 (2016); Y. Toda, A. Moriya, K. Yamane, R. Morita, K. Shigematsu, and Y. Awaji, Appl. Phys. Lett. 111 101102 (2017).
- [4] For example, Y. Toda, et al., Phys. Rev. B 104, 094507 (2021) and references therein.
- [5] I. Madan, T. Kurosawa, Y. Toda, M. Oda, T. Mertelj, and D. Mihailovic, Sci. Rep. 4, 5656 (2014); *ibid.*, Nat. Commun. 6, 6958 (2015); *ibid.*, Phys. Rev. B 96, 184522/1-9 (2017); *ibid.*, 日本物理学会誌 71 830-835 (2016).