

岩井伸一郎

東北大学大学院理学研究科
教授

キャリアエンベロープ位相制御による対称性の破れと光機能発現

§ 1. 研究成果の概要

本研究の目的は、最先端の光技術(サブサイクル近赤外光とそのキャリアエンベロープ位相制御)と物質科学(量子多体物質)の融合により、超伝導体や量子スピン液体物質、トポロジカル物質を舞台に、物質の空間/時間反転対称性を操作し、従来知られている波数、波長、偏光などの選択性に縛られない、フレキシブルな光機能を創成することである。2019年度は、光源の開発と、それを用いた現象の計測法の開発や対象物質の拡大を行った。

1 先端光源・光計測法の開発 サブサイクル化のためのスペクトル広帯域化、整形と、圧縮と CEP の高精度制御や計測の要素技術の先鋭化を進めた。希ガス封入中空ファイバーチャンバーを最適化(希ガスの圧力、集光の焦点距離など)し、6 fs の既存光源のパルス幅を最短時で、約 4 fs にまで短縮化した。また、キャリアエンベロープ位相(CEP)の制御を 300 ミラジアン(～200 アト秒以下)の精度で可能にし、物性測定の CEP 制御を行った。

2 ペタヘルツ光機能の発現 空間反転対称性を持つ有機超伝導体において、近赤外光(中心波長 $1.7 \mu\text{m}$)の 6 fs パルスに対して、本来禁制である第二高調波発生(SHG)を観測した。その CEP 依存性、励起強度依存性の測定と量子多体理論による解析から、この SHG が、散乱時間内でのみ発現可能なペタヘルツ非線形電流によるものであることを明らかにした。このペタヘルツ非線形電流が超伝導ゆらぎによって増幅される(Nat. Commun. under review)。

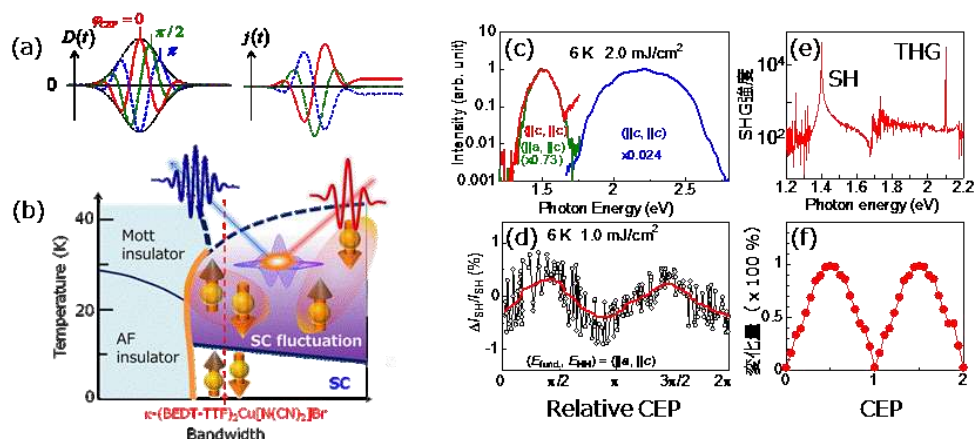


図 1 -2(a) 単一サイクルパルスによる非線形分極[電束密度 $D(t)$]と非線形電流[$j(t)$]の模式図。(b) 有機超伝導体の相図と、非線形電流による SHG の模式図。(c) SHG と THG のスペクトル。(d) SHG の CEP 依存性。(e) 量子多体理論による SHG/THG スペクトル(理論)。(f) SHG の CEP 依存性(理論)

3 光機能の解析、可視化 本研究で対象となる物質群[有機超伝導体(単結晶、薄膜試料)、Ir酸化物]を対象に、光学応答(吸収・反射・ラマン散乱スペクトル)を測定し、今後解析に必要となる光学定数を求めた。酸化物超伝導体に関する検討も開始した。また、電子状態の精密チューニングを行う「イオン液体ドーピングセル」のイメージング測定の実験を行った。

4 光機能材料の創成とナノ薄膜化、界面制御 (a) キタエフ型量子スピン液体 $\alpha\text{-RuCl}_3$ 結晶の純良化と高圧合成法による新物質(RuBr_3)への展開、精密赤外分光測定を含む基礎物性測定と電子状態の考察を行った。また、低温化で超高速光磁気効果(円偏光励起による過渡偏光回転)の予備測定を行った。(b) 強いスピン軌道相互作用を有するイリジウム酸化物に関して、強相関ディラック半金属 SrIrO_3 を光機能材料として開拓するため、薄膜作製技術が確立している STO 基板上ではなく、LSAT 基板上での製膜条件を確立した。 IrO_2 と強磁性体との界面を形成し、スピン軌道トルク生成を通じたスピン流物性評価を行った。

5. 量子多体理論による光機能の機構解明 強相関電子系の高次高調波発生(理論) 擬 2 次元有機導体での高次高調波発生(理論)のメカニズムを理論的に検証するため、当該物質の結晶構造と電子状態を反映した遍歴電子モデルを基に、CEP に依存した光誘起ダイナミクスを計算するプログラムを作成した。また、キタエフ物質の候補であるハニカム格子のルテニウム化合物の光スピントロニクス(理論)を構築した。

§ 2. 研究実施体制

(1) ペタヘルツ光機能発現グループ

- ① 研究代表者:岩井 伸一郎 (東北大学大学院理学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - 1) 先端光源と計測装置の開発
 - 2) 強相関電子物質における波長変換と光増幅(有機物)
 - 3) 強相関電子物質における波長変換と光増幅(酸化物)
 - 4) 量子スピン液体、ディラック電子系における磁気光学効果

(2) 光機能解析グループ

- ① 主たる共同研究者:岸田英夫 (名古屋大学大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - 1) 外場(磁場、電場)印加非平衡状態の解析法の開発
 - 2) 外場印加・電気化学ドーピング(イオン液体セル)による光機能の最適化
 - 3) 光電流、光機能状態の検出法の開発
 - 4) マッピング測定による光機能の可視化

(3) 光機能材料創成グループ

- ① 主たる共同研究者:大串研也 (東北大学大学院理学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - 1) 強相関フォトニクス材料(トポロジカル磁性体)の開発
 - 2) 強相関フォトニクス材料(高温超伝導体)の開発
 - 3) 強相関フォトニクス材料の広帯域光学測定

(4) ナノ薄膜・光機能材料創成グループ

- ① 主たる共同研究者:松野丈夫 (大阪大学大学院理学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - 1) 界面制御によるディラック電子系の光スピントロニクスの開拓
 - 2) 界面制御による光スピントロニクス材料の最適化

(5) 量子多対理論(米満)グループ

- ① 主たる共同研究者:米満賢治 (中央大学理工学部 教授)
- ② 研究項目
 - 1) 強相関電子系の高次高調波発生の理論
 - 2) 強相関電子系の光増幅と同期現象の理論
 - 3) 光スピントロニクスの理論