



研究課題名 固体の高強度場光科学の学理構築と物質科学への展開

京都大学・大学院理学研究科・教授

たなか こういちろう
田中 耕一郎

研究課題番号： 21H05017

研究者番号： 90212034

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 146,400千円

キーワード： 極端非線形光学、高次高調波発生、高強度場物理学

【研究の背景・目的】

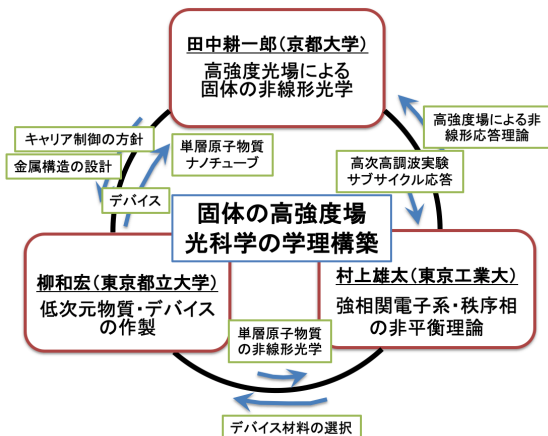
本研究の目的は、高強度光場と固体物質との相互作用によって生じる極端な非線形光学現象の学理を構築することにあります。

これまでの研究から、固体に高強度光を照射すると高次高調波発生が起きることがわかってきました。一電子近似が成立するバンド絶縁体の場合は、その物理メカニズムは高強度光によるトンネル過程（Zener-Tunneling）による電子・正孔対の生成と電場下での運動です。また、発生した高調波の振動数が固体のバンドギャップより低い（高い）場合はバンド内（バンド間）駆動メカニズムが主要な役割を果たすことも明らかになってきました。このシナリオに従えば、大きなバンドギャップを持つ材料はトンネル過程が起きにくいことから、ギャップエネルギー増大に従って高次高調波強度は減少することが予測されます。ところが、強い電子相関によって絶縁体となるような固体物質（強相関電子系）ではこのような予想に全く反するような実験結果が得られました。

そこで、一電子近似が成立するバンド絶縁体に加えて、強相関電子系物質や電荷秩序を示す物質における高強度光場下での非線形光学現象の研究を系統的に進めることにしました。

【研究の方法】

高強度な光による固体表面の破壊を避けるために、中赤外域からテラヘルツ領域の高強度光を活用し、赤外域から紫外域の広範囲な波長領域における高次高調波発生を周波数依存性や偏光依存性、キャリアドーピング依存性といった基本的な特性に着目して系統的に調べます。



また、励起光の1サイクルの中での電子状態の分布やコヒーレンスを明らかにすることが可能なサブサ

イクル時間分解分光やサイドバンド分光を高次高調波発生条件下で行います。強相関電子系物質においては、高強度光場下での荷電粒子対生成は通常の半導体とは全く異なる可能性があることから、極端な非線形型応答を記述する理論構築を同時に進めます。このために、図のようなチーム構成で研究を進めることにしました。

【期待される成果と意義】

バンド絶縁体に加えて、強相関電子系物質や電荷秩序を示す物質も研究対象とすることにより、高強度光場下で現れる極端な非線形光学現象を決定している物質パラメータが明らかになります。これにより、広範囲な固体材料に対応した高強度場光科学の学理構築が可能となり、物質自身を評価する計測技術としての展開が期待されます。

本研究は以下の観点において高い学術的独自性と独創性を有しています。

- 強相関電子系における高次高調波発生の先駆け
我々は強相関電子系材料における高次高調波発生の特異な振る舞いを世界で初めて明らかにしました。
- 超薄膜における高次高調波発生研究の先端研究
非線形光学過程における伝搬効果（位相整合条件）や吸収ロスを最小限に抑えるために、反射配置での計測や超薄膜を用いた研究を進めます。
- 物質科学の視点から進める高次高調波発生研究
相転移を起こすような多重安定な物質における相に着目した研究や、物質間の比較を重視した実験など、物質科学の観点から研究を進めます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ 田中耕一郎、吉川尚孝、内田健人、永井恒平「固体における極端非線形光学—高次高調波発生の光物性—」 固体物理学 Vol.54 No.11（通巻 645 号）2019.
- ・ N. Yoshikawa, T. Tamaya, and K. Tanaka, Science 356, 736-738 (2017).
- ・ N. Yoshikawa, K. Nagai, K. Uchida, Y. Takaguchi, S. Sasaki, Y. Miyata, K. Tanaka, Nature Communications 10, 3709 (2019).
- ・ H. Nishidome, K. Nagai, K. Uchida, Y. Ichinose, Y. Yomogida, K. Tanaka and K. Yanagi, Nano Letter 20 (8), 6215-6221 (2020).

【ホームページ等】

京都大学大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻
光物性研究室
<http://www.hikari.scphys.kyoto-u.ac.jp/jp>