

【基盤研究(S)】

理工系(総合理工)



研究課題名 テラヘルツ高強度場物理を基盤とした非線形フォトエレクトロニクスの新展開

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: 17H06124 研究者番号: 90212034

研究分野: 光工学・光量子科学

キーワード: 非線形光学、高強度場光科学、高次高調波発生、テラヘルツ光

【研究の背景・目的】

300 GHz を超えるような高周波帯域（以下ではテラヘルツ領域と呼ぶ）のフォトエレクトロニクスは、次世代の高速通信や非破壊検査、セキュリティなどへの応用展開が期待される先端領域である。光源や検出器の根幹を支える新規な技術やそれを支える新しい物理の開拓が強く望まれている。

テラヘルツ領域におけるフォトエレクトロニクスを飛躍的に進展させるために、低次元電子材料系を用いて、中赤外領域からテラヘルツ領域の非線形光学効果の研究を行う。特に、グラフェンなどのディラック電子系を持つ材料と MoS_2 などの単層2次元材料の高品質薄膜に対して高次高調波発生を行い、その励起波長依存性と偏光依存性、温度依存性から物理的な起源を明らかにする。バンド分散が異なる材料系での結果を比較し、非線形光学応答がバンド内過程とバンド間過程の協調と競合で説明可能か検討すると共に、高強度場物理の観点からも物理機構の解明を進める。

【研究の方法】

目的達成のため、以下の3つの研究の軸を立てる。

① 非線形光学効果の物理メカニズム解明による励起条件の最適化

テラヘルツ領域から赤外領域の広い周波数領域にわたって、高調波発生の偏光依存性、結晶角依存性などの実験を系統的におこない、非線形光学効果のメカニズムを解明する。これにより、非線形光学デバイスに有効な設計指針を明らかにする

② テラヘルツ帯の非線形光学に適した低次元材料・デバイスの開発

グラフェンや金属カーボンナノチューブ、及びそのデバイス構造において、欠陥密度やフェルミ面の制御をおこない、テラヘルツ領域の非線形光学に適した物質系の最適化を行う。

③ 金属構造・金属ポイントコンタクトの利用によるテラヘルツ電磁場の最適化

低電場強度のテラヘルツ光に対しても非線形光学効果を有効に発現させるために、金属構造を用いて非線形光学材料内の空間電磁場分布を最適化する。また、光誘起STMのシステムを金属ポイントコンタクトによる非線形光学素子として考え、非線形なトンネル電流を用いた非線形光学現象を探索する。

【期待される成果と意義】

本研究の最大の特徴は、高強度テラヘルツ電場と物質との相互作用に起因した非線形光学現象の学理を追求することにある。物質系をこれまで探索されてこなかったような高電場を印可することによって極端非平衡状態におき、そこでの光学特性を明らかにする。これにより、既存の非線形光学では現れないような、高速・コヒーレントに誘起される Zener トンネル効果やフロッケ・ブロッホ状態のような新たな量子効果や量子状態の出現が期待される。また、ナノメートル以下の厚さしかない固体物質や金属ポイントコンタクトでのテラヘルツ帯での非線形光学応答を探索する点も新しい。本研究では、周波数依存性や偏光依存性といった基本的な非線形光学特性に立脚して、高強度場物理の観点から研究を進める点が独自である。

最終的に構築される学理は、将来のテラヘルツフォトニクスの発展に直結しており、我が国の科学技術の優位性を確保する観点からも重要である

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- N. Yoshikawa, T. Tamaya, and K. Tanaka, "High-harmonic generation in graphene enhanced by elliptically polarized light excitation", *Science* 356, 736-738 (2017).
- T. Tamaya, A. Ishikawa, T. Ogawa, and K. Tanaka, "Diabatic Mechanisms of Higher-Order Harmonic Generation in Solid-State Materials under High-Intensity Electric Fields", *Phys. Rev. Lett.* 116, 016601 (2016).
- T. Kampfrath, K. Tanaka and K. A. Nelson, "Resonant and nonresonant control over matter and light by intense terahertz transients", *Nature Photonics* 7,680-690 (2013).

【研究期間と研究経費】

平成29年度-33年度 162,300千円

【ホームページ等】

<http://www.hikari.scphys.kyoto-u.ac.jp/jp/kochan@scphys.kyoto-u.ac.jp>