

【基盤研究(S)】  
大区分D



研究課題名 極限単一アト秒パルス分光法で拓くペタヘルツスケール光物性

N T T 物性科学基礎研究所・量子光物性研究部・主幹研究員  
おぐり かつや  
小栗 克弥

研究課題番号： 20H05670 研究者番号：10374068

キーワード： ペタヘルツエレクトロニクス、アト秒科学、光波駆動現象、層状二次元結晶

【研究の背景・目的】

21世紀初頭に発明されたアト秒光源技術、光格子時計技術、そして光位相安定化技術という3つの革新的光技術は、光を、時間領域において $10^{-18}$ 秒スケールで計測すると共に、周波数領域において $10^{18}$ 精度で制御可能な振動電界として取り扱うことを可能にした。光は、もはやエネルギーの塊ではなく、1ペタヘルツ(PHz:  $10^{15}$  Hz)に迫る極めて高い周波数を有し、精密にエン지니어リングが可能な電磁波、すなわち“ペタヘルツ(PHz)波”として再定義できる。この光のパラダイム転換を積極的に活用し、従来の光技術・光科学において、あまりに高い振動数のため無視されてきた光の“電界振動”と固体電子系の“応答”に着目して、新しい物性現象と光-電子機能を創出することが本研究の狙いである。

そのために、本研究では、PHz波の1周期に相当する100 as~10 fs程度の時間スケール(PHzスケール)において、分極、スピン、パレーといった固体電子系の基本自由度が光波電界と相互作用することに由来するアト秒領域における非平衡電子系のコヒーレント応答とその最初期緩和ダイナミクスを明らかにする。その方法論を実験・理論の両面から開拓し、“PHzスケール光物性”という新しい学問領域を切り拓くことを目指す。

【研究の方法】

本研究では、(i)極限単一アト秒分光プラットフォームの開発と物性計測、(ii)高品質二次元結晶など材料作製・評価・プロセス、(iii)第一原理計算・実時間量子シミュレーション、の3要素技術を組み合わせることにより、特異なバンド構造、スピン物性、バンドトポロジーが発現する半導体・磁性体・トポロジカル

絶縁体における光波電界-固体電子系相互作用ダイナミクスを明らかにし、PHzスケールの固体物性を開拓する(図1)。そのために、我々がこれまで開発してきたアト秒時間分解吸収分光・反射分光・角度分解光電子分光(ARPES)技術をベースに、MHz級高繰返し化、高計測感度化、波数空間マッピング、スピン計測といったこれまでにない独自のアト秒時間分解分光技術を開発する。新規分光技術の開発と並行して、グラフェン、遷移金属ダイカルコゲナイトからトポロジカル絶縁体まで広くカバーする二次元結晶・異種材料ヘテロ構造作製の高品質化・大面積化を追求し、材料の多様性に由来する新奇PHzスケール物性を探索する。そして、固体からの高次高調波発生過程など実験を良く再現する結果が得られている時間依存密度行列法(TD-DM)法のスピン自由度記述への拡張など、光波電界-固体電子系相互作用における第一原理計算・実時間量子シミュレーション技法を発展させる。以上のように、計測、材料、理論の3方向からアプローチし、PHzスケール光物性の枠組みを創出する。

【期待される成果と意義】

本研究により、従来の固体光物性で仮定されている包絡線近似や回転波近似といった光波の振幅のみを取り扱う近似の枠組みを超え、振動電界を直接取り扱う、すなわち、振幅と位相の両方を制御ノブとするPHzスケール光物性の学理を、多様な物質群において構築する。これにより、PHz波の極限高速電子操作に基づく新しい光機能の基本原理へと展開し、既存デバイスの応答限界を超えた抜本的高速化へのブレークスルーに繋げる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ K. Oguri, H. Mashiko, T. Ogawa, Y. Hanada, H. Nakano, and H. Gotoh, “Sub-50-as isolated extreme ultraviolet continua generated by 1.6-cycle near-infrared pulse combined with double optical gating scheme,” Appl. Phys. Lett. 112, 181105 (2018).
- ・ H. Mashiko, K. Oguri, T. Yamaguchi, A. Suda, and H. Gotoh “Petahertz optical drive with wide-bandgap semiconductor,” Nature Physics 12, 741 (2016).

【研究期間と研究経費】

令和2年度-6年度 154,900千円

【ホームページ等】

[http://www.brl.ntt.co.jp/J/group\\_010/group\\_010.html](http://www.brl.ntt.co.jp/J/group_010/group_010.html)

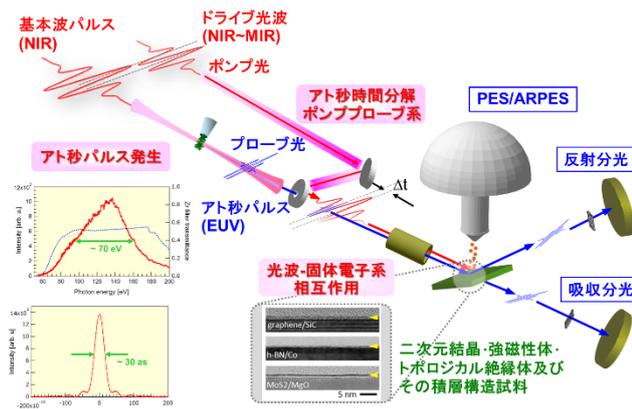


図1 極限単一アト秒分光プラットフォーム