半導体電子系ペタヘルツ応答検出に向けた単一アト秒量子干渉法の提案

Attosecond absorption spectroscopy based on quantum interference for measuring petaherz electronic polarization in semiconductor

○小栗 克弥[1]、増子 拓紀[1,2]、山口 量彦[1,2]、須田 亮[2]、後藤 秀樹[1]

(1. NTT 物性基礎研、2. 東京理科大)

○Katsuya Oguri[1], Hiroki Mashiko[1], Tomohiko Yamaguchi[1,2], Akira Suda[2], and Hideki Gotoh[1]

(1. NTT Basic Research Labs., 2. Tokyo Univ. of Science)

E-mail: oguri.katsuya@lab.ntt.co.jp

光波をサブペタヘルツ(PHz)の周波数を有する超高周波電界として自在に操ることにより、PHz レベルで動作する超高速デバイスの実現は[1]、アト秒光技術の次のフロンティアである[2]。そのためには、光波で誘起された固体電子系の PHz レベルの応答をアト秒時間分解で計測するスキームの確立が必須である。我々は、これまでアト秒パルス波長領域である極端紫外・軟 X 線領域超短パルスを用いた超高速時間分解吸収分光法を実証してきた[3]。本講演では、単一アト秒パルスを用いた時間分解吸収分光法により、光電界によって引き起こされる半導体電子系の価電子帯-伝導帯間の分極応答を実時間計測するスキームを提案する。また、本講演と併せて、本スキームをワイドギャップ半導体に適用した実証実験に関する報告も行う。

本スキームのモデルを図 1 に示す。簡単のため、固体の価電子帯並びに伝導帯のバンド構造を二準位系と仮定する。バンドギャップと一致するエネルギーを有する数サイクル光パルスを固体に照射すると、価電子帯-伝導帯のバンド間に光パルスと同じ周波数で電子分極が誘起される。本スキームでは、この分極振動を検出するために、アト秒パルスによる価電子の高いエネルギー(～数 10 eV)を有する状態への遷移による吸収を利用する。モデルでは、価電子帯、伝導帯に加え、アト秒パルスの吸収の効果を加えた三準位系を仮定し、回転波近似を仮定しない多準位ブロッホ方程式を用いて計算した。

図 2 に、GaAs に 1.4 eV を中心エネルギーとする光パルスを照射した場合におけるアト秒パルスの吸収スペクトルの遅延時間依存性を示す。スペクトル領域全域に強度変調が見られ、固体電子系の分極振動を吸収分光法により実時間で計測できることがわかる。これは、コヒーレントに誘起された価電子帯-伝導帯の電子分極を量子干渉によりアト秒吸収計測できることを示している。これまで極端紫外・軟 X 線吸収分光により価電子帯の変化を検出するためには、主に内殻から伝導帯への遷移に対応する X 線吸収端近傍の吸収を利用するスキームが一般的であり[1, 2]。一方、本スキームは価電子の吸収を利用していることから、アト秒パルスの中心エネルギーと各材料に固有な X 線吸収端のエネルギーを一致させる必要が無く、様々な材料に適用可能であるという利点を持つ。このように、本スキームは、固体電子系における PHz ダイナミクスを探索するために極めて有効なアト秒分光法である。

本研究の一部は、科学研究費補助金(25706027)の支援を受けて行われた。

[1] 小栗克弥、日本物理学会誌第 70 巻第 12 号、936 (2015).
[2] Schultze et al., Nature 493, 75 (2013); Schiffrin et al., Nature 493, 70 (2013).
[3] Nakano et al., Appl. Phys. Lett. 74, 1507 (1999); Oguri et al., Phys. Rev. Lett. 99, 16503 (2007).

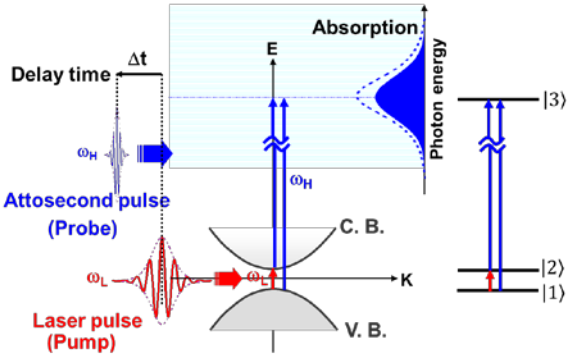


図 1. 単一アト秒吸収分光法による価電子帯−伝導帯誘起分極の計測スキームの概要及びエネルギーモデル.

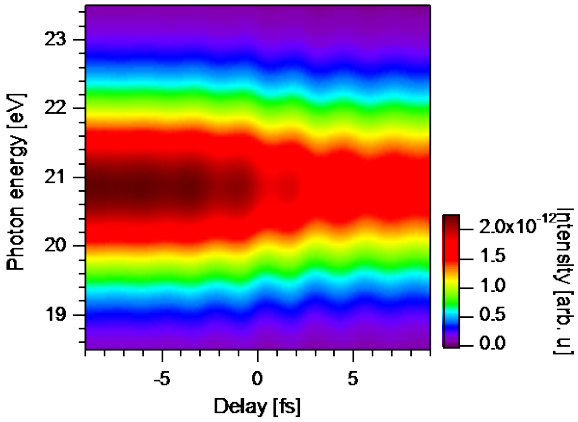


図 2. 光パルス照射におけるアト秒パルスの価電子吸収の遅延時間依存性. パルス幅は、5 fs(光パルス)、500 as(アト秒パルス)を仮定.

© 2016年 応用物理学会