

シリコン表面近傍における光注入価電子正孔系の超高速緩和過程

○佐藤悠介^{1*}, 金崎順一¹, 谷村克己², 山本勇³, 東純平³¹大阪市立大学大学院工学研究科, ²大阪大学産業科学研究所 ³佐賀大学シンクロトン光応用研究センター

Ultrafast relaxation of photoinjected valence holes on silicon surfaces

○Yosuke Satoh^{1*}, Jun'ichi Kanasaki¹, Katsumi Tanimura², Isamu Yamamoto³ and Junpei Azuma³¹Osaka City University, ²Saga University

励起キャリア系の緩和過程は半導体物理学や半導体工学において極めて重要な基礎的概念であるが、電子系と正孔系両面からその全貌が解明されるには至っていない。伝導帯励起電子系については角度分解2光子光電子分光法 (AR-2PPES) による詳細な研究がなされ、緩和過程における散乱素過程について明らかとなってきた[1, 2]。それに対して、従来のAR-2PPESでは、価電子帯に注入された正孔系の超高速緩和過程に関する直接的知見を得ることは困難であった。本研究では、AR-2PPESとその差分分光法を利用して、シリコン結晶のバルク価電子帯に光注入された正孔系のエネルギー・運動量空間での緩和素過程に関する直接的知見を得た。

フェムト秒励起光 (1.5eV or 2.2eV) を Si (111)-7x7 試料に照射してバルク価電子帯に正孔を注入した。遅延時間を制御したプローブ光 (6 eV, p-pol.) により価電子帯から光電子を放出させ、その強度分布をエネルギー・放出角・遅延時間の関数として測定した。本研究では、励起前後での光電子強度分布の差分を得ることにより、励起直後から1ns後までの価電子系正孔密度分布の過渡的变化を、エネルギー・運動量空間において実時間追跡した。図(a)は放出角 15° において測定した光電子スペクトルの時間発展の結果である。0.2eV 近傍に観測される強いピークはバルクバンド間の共鳴直接遷移に起因するものである[3]。励起直後から数ピコ秒程度の時間領域において、ピーク強度の減少と共に、ピーク幅の増大及び低エネルギー側へのピークシフトが見られた。遅延時間に対するピーク形状変化をそれぞれ図 1 (b), (c) 及び(d)に示す。ピーク幅及びエネルギーシフト量は励起直後に急激に変化し、3 ピコ秒後までに完全に回復した。一方、ピーク

強度は励起により急激に減少した後、同じ時間領域において一部回復するものの、その後 200ps 程度まで緩やかに緩和していく。更に、差分イメージの時間変化を解析し、注入された正孔密度分布の時間発展を評価した。その結果、注入された価電子正孔系は、励起後 3 ピコ秒までに初期の非平衡状態分布からまでに準平衡状態分布へと移行することが分かった。これらの結果は、価電子正孔系のエネルギー緩和と急激なスペクトル形状変化との強い関連性を示している。講演では、ピーク幅・エネルギーシフト量と励起密度及び試料温度等との相関を示し、価電子正孔系の超高速エネルギー緩和を支配する多体相互作用について議論する。

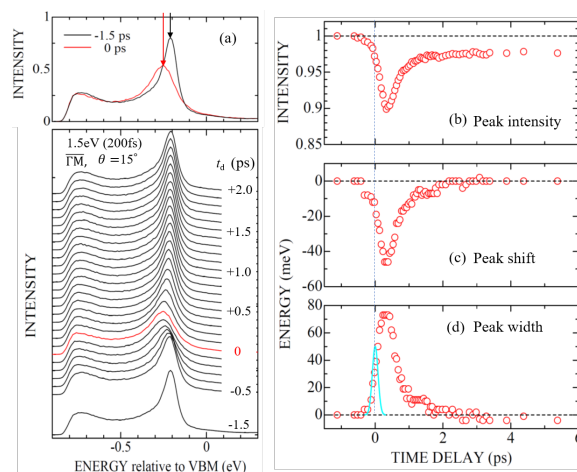


Fig. 1. (a) The temporal change of photoelectron spectrum. The peak intensity (b), peak energy shift (c), and peak width (d) are plotted as a function of delay time.

文 献

- [1] H. Tanimura, et al., Phys. Rev. B100, 035201 (2019).
 [2] J. Kanasaki et al., Phys. Rev. Lett 113, 237401 (2014)
 [3] J. Kanasaki et al., Phys. Rev B97, 035201 (2018).

*E-mail: m20ta013@eb.osaka-cu.ac.jp

2020 年 日本表面真空学会学術講演会 2020 年11 月19 日（木）～21 日（土），香川県サンポートホール高松