

# ゲルマニウムにおける励起電子系の超高速緩和動力学：エネルギー・運動量空間におけるバレー間散乱の重要性

## Ultrafast Electron Dynamics in Photo-excited Germanium: Important Roles of Intervalley Scatterings in Energy- and Momentum-relaxation

大阪市大院工<sup>1</sup>, 佐賀大工<sup>2</sup>, 東大院総合文化<sup>3</sup>, Ecole Polytechnique<sup>4</sup> ○金崎順一<sup>1</sup>, 山本勇<sup>2</sup>, 東純平<sup>2</sup>, 深津晋<sup>3</sup>, Jelena Sjakste<sup>4</sup>, Nathalie Vast<sup>4</sup>

Osaka City Univ.<sup>1</sup>, Saga Univ.<sup>2</sup>, Univ. Tokyo<sup>3</sup>, Ecole Polytechnique<sup>4</sup> ○Jun'ichi Kanasaki<sup>1</sup>, Isamu Yamamoto<sup>2</sup>, Junpei Azuma<sup>2</sup>, Susumu Fukatsu<sup>3</sup>, Jelena Sjakste<sup>4</sup>, Nathalie Vast<sup>4</sup>

E-mail: kanasaki@osaka-cu.ac.jp

励起電子系の緩和動力学は半導体工学において極めて重要な基礎的概念である。本研究では、フェムト秒2光子光電子分光の手法を用い、ゲルマニウム単結晶内部の励起電子系についてエネルギー・運動量空間における密度分布の時間発展を観察した。ポンプパルス（1.55eV, 時間幅100~200fs, s 偏光）により伝導帯に光注入した励起電子を、遅延時間を制御したプローブパルス（4.65eV, p 偏光）で光電子として放出させ、光電子密度分布をエネルギー・放出角・時間に関する多次元空間でイメージ化し、励起電子系の緩和動力学を支配する散乱過程に関する知見を得た。

Ge(111)を光励起した直後及び100fs後に観測した励起電子系の密度分布を図(a)及び(b)に示す。(a)において、伝導帯下端から0.7eV上（角度 $\theta=0$ 近傍）に観察される分布は、価電子帯Heavy-hole状態から直接遷移により伝導帯 $\Gamma$ -valleyに注入された励起電子によるものである。励起後時間の経過と共に $\Gamma$ バレー内の電子密度が減少するのに対応して、 $\theta=10^\circ$ 近傍に観察されるL-valley内の励起電子密度分布が上昇する（図(b)及び(c)）。各valley内の励起電子密度の時間発展を解析することにより、励起電子系は10~20fsの極めて速い時定数で $\Gamma$ -valleyから散乱され、励起後600fsec程度までに大半の励起電子系がL-及びX-valleyへ超高速バレー間散乱される事、散乱時定数が温度に依存する事から電子-フォノン相互作用が関与する事が判明した。各valleyに散乱・配分された励起電子系はvalley間で準平衡分布を形成し、同じ時定数でエネルギー緩和する様子が観察された。図(d)に示すように、励起電子系は3ps程度で伝導帯下端まで緩和し、さらに、表面非占有バンドに散乱して表面バンド内を緩和していく（図(e)）。講演では、実験結果及び第一原理計算の結果を示し、ゲルマニウムでの励起電子系の運動量・エネルギー緩和現象におけるバレー間散乱の重要性について報告する。

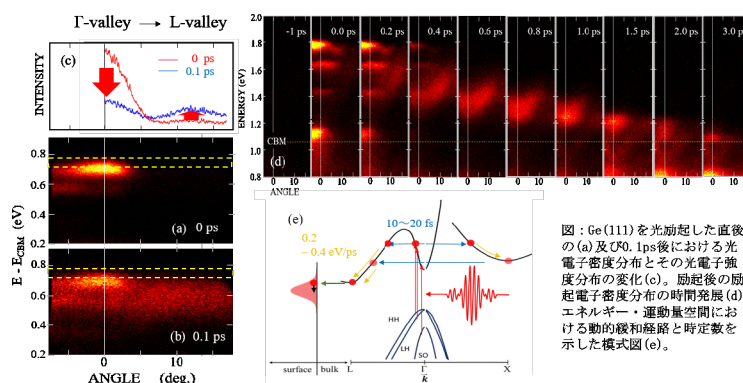


図: Ge(111)を光励起した直後の(a)及び0.1ps後における光電子密度分布とその光電子強度分布の変化(c)。励起後の励起電子密度分布の時間発展(d)。エネルギー・運動量空間における動的緩和経路と時定数を示した模式図(e)。