

半導体のバレー選択が可能な新しい共鳴光励起法の開発

Valley-selective resonance optical excitation in compound semiconductors

東大院総合¹, JST さきがけ² ○坂本哲也¹, 安武裕輔^{1,2}, 深津 晋¹UTokyo¹, JST-PRESTO², ○Tetsuya Sakamoto¹, Yuhsuke Yasutake^{1,2}, Susumu Fukatsu¹

E-mail: cfkz@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp, 4525312168@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

フォトルミネッセンス(PL)は、バンド端近傍のスペクトルをはじめ物性の局所評価が可能な汎用プローブである。簡単なセットアップで非破壊的診断が可能なことから半導体の分野では頗る重宝されてきた。にもかかわらず光励起の条件でさえ十分に理解されているとは言い難いのも事実である。実際、励起光はバンドギャップよりエネルギーが大きい($E > E_g$)ことのみが条件であり、微視的過程の詳細はほとんど意識されない。これは吸収係数 $\alpha(E)$ ($E > E_g$) がエネルギーの増加関数であることと電子・正孔対が速やかにバンド端 (エネルギー最小) まで緩和して再結合するとの予測に基づいている。ところがこれらは自明ではない。そもそも E が異なれば光吸収に寄与する k が異なっても不思議ではない。さらに励起後のバンド内緩和は k 空間内の分散の局所的な形状で決定されるから、電子・正孔が一義的に同じ k を目指すとは限らない。異なるエネルギー極小を経由する再結合もあり得るし、極端な例では k 空間内で電荷分離さえ起きる [1] からである。

今回、我々はこうした性質を逆手にとって従来の光励起法に質的転換をもたらすことを試みた。新たに開発した光励起法は、(1) エネルギー指定のみで k 空間内のバレーを選択できる、(2) M1(0) van Hove 特異点の集積にもとづく先鋭な共鳴吸収特性、(3) バンド端から離れた (オフピーク) 領域の光学活性化など際立った特徴を備えている。バンド計算には 34 バンド $k \cdot p$ 摂動法を用い、JDOS に代えて $\alpha(k(E))$ のマッピングからバレー(k)選択性を直接評価した。図 1 に代表的な化合物半導体の光吸収の k 空間マップを示す (上パネル縦軸は励起エネルギー)。オフピーク共鳴の様子が見て取れる。GaAs では 2.91 eV(HH)、3.19 eV(SO)近傍が L バレー選択共鳴励起の条件である。InP では 2.82 eV と 4.05 eV 付近がそれぞれ L バレーと X バレーの選択共鳴励起条件に相当する。

開発したオフピーク共鳴励起法は、バルクに限らず薄膜や量子井戸など低次元系へも拡張が容易である。また価電子サブバンドをエネルギーで選別可能なことは、円偏光によるバレー毎のスピンの偏極操作の可能性を示唆している。今回の結果は太陽電池のデザインにもインパクトがある。

[1] T. Sakamoto, Y. Yasutake, and S. Fukatsu, Appl. Phys. Lett. (to be published).

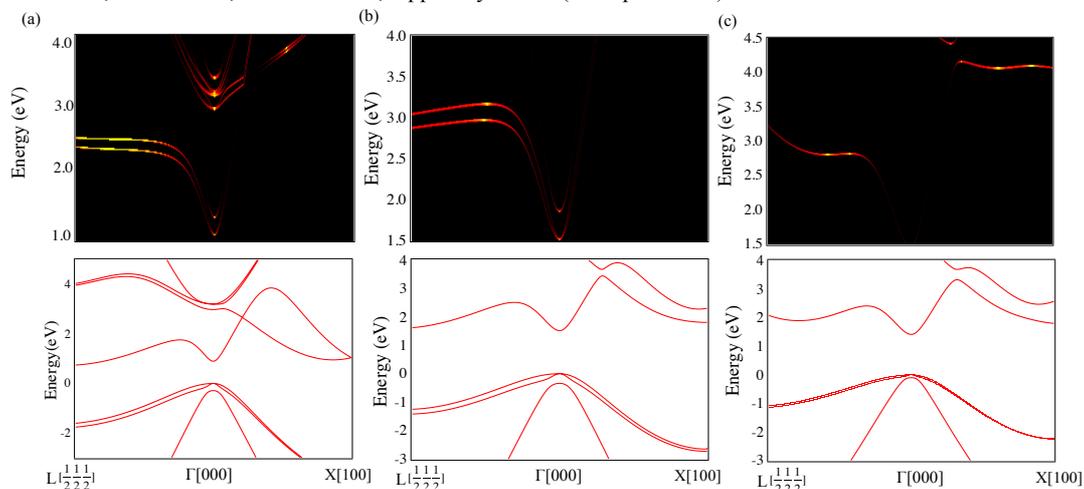


図 1. 励起エネルギーに対する光吸収 $\alpha(k)$ マップ [(a)Ge (b)GaAs (c) InP].