

可視光励起光電子分光法を用いた GaP における キャリア散乱の温度依存性評価

Measurement of Temperature dependence of Carrier Scattering in GaP by Visible-light Photoemission Spectroscopy

○市橋 史朗¹、川口 昂彦²、董 鑫宇¹、井上 明人¹、桑原 真人¹、

伊藤 孝寛¹、原田 俊太¹、田川 美穂¹、宇治原 徹¹ (1. 名大院工、2. 名大 VBL)

○Fumiaki Ichihashi¹, Takahiko Kawaguchi², Xinyu Dong¹, Akito Inoue¹, Makoto Kuwahara¹,
Takahiro Ito¹, Shunta Harada¹, Miho Tagawa¹, Toru Ujihara¹ (1. Nagoya Univ., 2. VBL Nagoya Univ.)

E-mail: ichihashi@sic.numse.nagoya-u.ac.jp

【背景】半導体の伝導帯には運動量空間中に複数のエネルギー極小値(谷)がある。それらの谷は状態密度や有効質量が異なるため、運動量空間中の伝導キャリア分布はデバイス特性の方位依存性や発光特性に影響する。したがって、この運動量空間中の伝導キャリア分布を実測することは方位依存性も含めたデバイスの詳細な設計に役立つ。我々は伝導キャリアを直接観察するために可視光励起光電子分光(VPS)法を開発している。VPS 法では、試料表面に Cs と酸素を吸着させ負の電子親和性(NEA)表面を形成する。NEA 表面では真空準位が伝導帯の底より低くなっているため、伝導帯に励起された伝導キャリアをそのまま真空中に取り出して観察することができる。そのため、VPS 法では発光測定などでは見ることのできない Γ 谷以外の電子も観察することができる。これまでに我々は GaP における伝導キャリア分布の温度依存性を見ることで Γ 谷および X 谷の伝導キャリアの観察に成功している[1]。Figure 1 (a) に GaP のバンド構造を(b)に VPS 測定における電子の放出過程を示す。 Γ 谷にキャリアが励起されると、一部のキャリアはフォノン散乱を受けて X 谷に遷移する。 X 谷と Γ 谷のキャリアは異なるエネルギーに観察されるため分離することができ、これらのキャリア量の温度変化を測定することでキャリア散乱の温度依存性が評価できると考えられる。

【実験方法】試料は p-GaP(001)基板(Zn 濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を用いた。試料を $450 \sim 500^\circ\text{C}$ で 1 時間加熱し表面の酸化膜を除去した後 Cs と O_2 を交互に供給して NEA 表面を作製した。試料とアナライザーの間に -80 V のバイアスを印加し、 $h\nu = 3.062 \text{ eV}$ のレーザーを試料に照射し、角度分解 VPS 測定を行った。試料を液体窒素で冷却しながら $95 \text{ K} \sim 250 \text{ K}$ の間で測定を行った。

【結果と考察】Figure 2 (a) に 150 K で得られた放出角度 $\theta = 0^\circ$ での VPS スペクトルを示す。これは $[001]$ 方向に運動量を持ったキャリアに対応する。 2.2 eV 付近にピークが観察され(Peak 1)、 2.5 eV 付近にはもうひとつ別のピークが観察される(Peak 2)。Fig. 1 (b) に示すようにそれぞれの谷のキャリアは真空中に飛び出す前に表面のバンドベンディング領域を通り、そこでエネルギー緩和されるため、ピークの高エネルギー側の立ち上がりのエネルギーは伝導帯の谷のエネルギーに対応する。これより Peak 1 は X 谷(X_5)、Peak 2 は Γ 谷(Γ_1)由来のピークであることがわかる。Figure 2 (b) にそれぞれのピーク強度の温度依存性を示す。Fig. 2 (a) のスペクトルを二つのガウス関数でフィッティングし、それぞれの積分強度をスペクトルの全強度で規格化して示している。 100 K から 250 K の間では Peak 1 の強度は緩やかに減少し、 100 K 以下では急激に減少している。一方、Peak 2 も 100 K から 250 K の間で緩やかに増加し、 100 K 以下で急激に増加している。Fig. 2 (b) の実線はボーズ・アインシュタイン統計から計算された LA フォノンの数の温度変化を示している。 100 K から 250 K の範囲における実測値の傾きが LA フォノンの傾きより大きくなっている。これは、LA フォノン散乱による Γ_1 から X_5 への直接の遷移に加え[2]、 Γ_1 に励起されたキャリアがさらに高いバンドの Γ_{15} に励起され LO、TA、TO フォノンによって X_5 に遷移していることを示している。

本研究は科研費・挑戦的萌芽研究(25600088)の成果である。

[1] 董 鑫宇 他, 2015 年第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 14a-2W-6. [2] D. Auvergne *et al.*, Phys. Rev. B **12** (1975) 1371-1375.

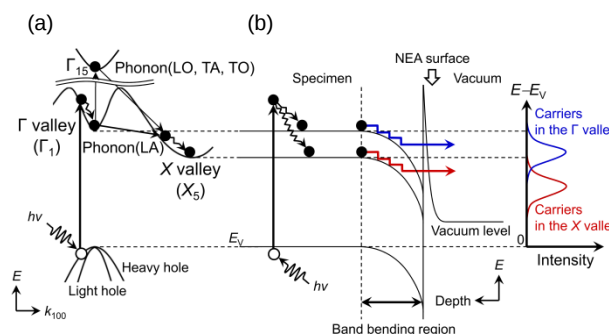


Figure 1: (a) Energy dispersion of GaP and schematic image of behavior of photo-excited carriers. (b) The model of the photoemission processes in p-GaP and the expected VPS spectrum.

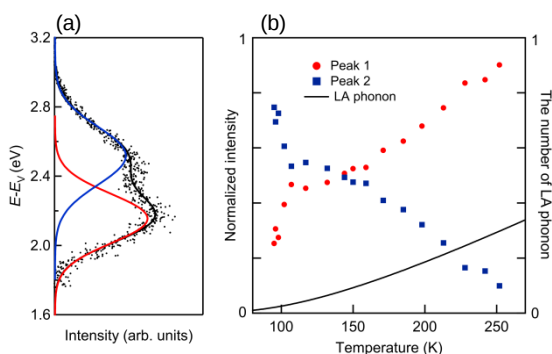


Figure 2: (a) VPS spectra of GaP at 150 K . The vertical axis indicates the energy above the top of the valence band. (b) Temperature dependence of integral intensities of the fitted Gaussians for the peak 1 and peak 2.