

AlGaAs/InGaAs 超格子構造におけるミニバンドの超高分解能直接観察

Ultrahigh-resolution direct observation of mini-bands due to AlGaAs/InGaAs superlattice

名大院工¹, 分子研 UVSOR², トヨタ自動車 (株)³ ○志村 大樹¹, 市橋 史朗¹, 原田 俊太¹,
 柴原 真人¹, 伊藤 孝寛¹, 松波 雅治², 木村 真一², 酒井 武信³, 田川 美穂¹ 宇治原 徹¹

Nagoya Univ.¹, IMS/UVSOR², Toyota Motor Corp.³

°Daiki Shimura¹, Fumiaki Ichihashi¹, Shunta Harada¹, Makoto Kuwahara¹, Takahiro Ito¹,
 Masaharu Matsunami², Shin-ichi Kimura², Takenobu Sakai³, Miho Tagawa¹, and Toru Ujihara¹

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

【背景】中間バンド型太陽電池^[1]では、禁制帯中に中間バンドを形成することでバンドギャップよりも小さなエネルギーの光を有効的に利用することで高効率化をはかる。中間バンドの形成方法として、超格子構造によるミニバンドを利用する方法がある。ミニバンドのバンド構造はキャリアの輸送特性や変換効率に関わる因子であり、実際の試料においてこれらを把握することは中間バンド型太陽電池の開発を加速する上で重要である。本研究ではシンクロトロン光を用いた高分解能角度分解光電子分光法(ARPES)により、超格子構造によって形成された価電子帯ミニバンドの直接観察を行い、さらに有効質量係数を求めた。

【実験】試料は MOVPE 法により作製した。GaAs(001) 基板上に、In_{0.16}Ga_{0.84}As (2.9 nm)/Al_{0.35}Ga_{0.65}As (2.9 nm) 20 ペアを成長した。ARPES 測定は分子研 UVSOR の BL-5U で行った。

【結果】Fig. 1 に、電子密度マッピング像を示す。横軸は X 点を中心とした(001)方向の波数、縦軸は InGaAs の価電子帯の頂上からのエネルギー差を示している。エネルギー-2.3~-2.8 eV に観察される強度の強いピークは、試料構造の最表面の InGaAs 由来のバンドである。白い矢印が示すピークは As の内殻準位によるものである。それら以外のメッシュ状のピークが、量子構造によって形成されたミニバンドと考えられる。図中に示した実線と点線は、Kronig-Penney モデルで計算し、余弦関数近似した重い正孔ミニバンド(実線)と軽い正孔ミニバンド(点線)である。これらの理論的な曲線が実測値と比較的良く一致していることがわかる。特に良く一致した 6 次(hh6)と 8 次(hh8)の重い正孔ミニバンドに相当するピークを Fig. 2 に示す。若干位置がずれているが、いずれも $k_{(001)} = 0.20 \sim 0.26 \text{ \AA}^{-1}$ に、上に凸のピークが見られる。ピーク位置のずれは、軽い正孔ミニバンドとの重なりの影響と考えられる。それぞれの対称点における有効質量係数を求めたところ、hh6 は 0.040 で hh8 は 0.033 であった。理論値では hh6 が 0.024、hh8 が 0.018 であり、実測値と比較すると 2 倍程度の違いがあることがわかった。

【参考文献】^[1]A. Luque and A. Martí, Phys. Rev. Lett. 78, 5014 (1997)

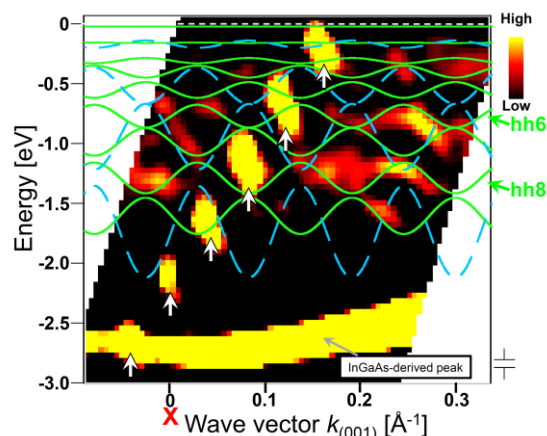


Fig. 1: ARPES intensity mapping image and calculated mini-band dispersions of InGaAs/AlGaAs superlattice. White arrows indicate As 3d core level-derived peaks.

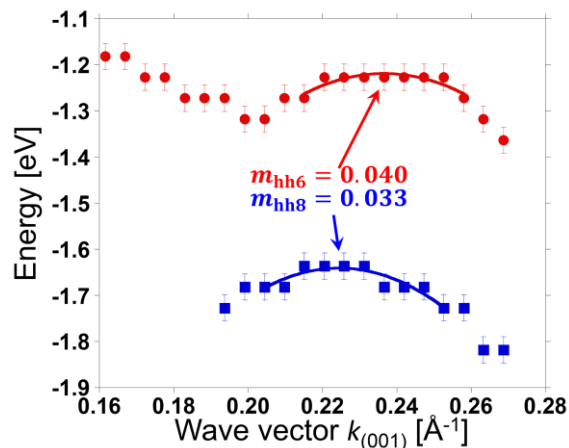


Fig. 2: Experimentally obtained peaks of 6th and 8th heavy hole mini-bands.