

非ドープ量子井戸における光励起キャリアの弱局在と平衡・非平衡分布

丸山 俊 (東大物性研 秋山研究室)

発光励起スペクトル(PLE)測定の高精度化を進めながら、それを非ドープ半導体量子井戸構造に適用し、界面ラフネスを反映した励起子の弱局在効果と、光励起キャリアの熱平衡エネルギー分布からのズレの評価を行っている。通常の PLE 測定では、発光(PL)スペクトル全体のうち一部の狭い波長範囲だけをモニターするが、本研究では、PL スペクトル全体を含む広い波長範囲をモニターしてダイナミックレンジを増やし、吸収スペクトル形状を高精度で測定できるよう工夫している。

図 1 は、分子線エピタキシー法で作製された非ドープ量子井戸に対する PL(細線)と PLE 測定(太線)の結果である。16・17 モノレイヤー(ML)の各井戸幅に対応する励起子ピークと連続状態の吸収ステップが観測された。重い正孔の励起子(hhe)の基底状態 PLE ピークは、高エネルギー側にすそを引いた非対称な形状を示した。観測された非対称なピーク形状を定量的に解釈するため、Schnabel モデル(界面ラフネスによる励起子の弱局在効果を考慮した理論モデル)[1]に基づくフィッティングを行った。図 2 に、横軸を試料上の位置 x とし、フィッティングから求まる局在パラメータ η と、hhe の面内局在長 ΔR をプロットした。測定位置 x の変化すなわち井戸幅の変化に伴い、 ΔR が 4-15nm の間で系統的な変化を示すことが明らかになった[2]。

熱平衡系の線型応答である発光と吸収スペクトルの間には、Kennard-Stepanov 関係式[3]が一般に成立することが知られており、光学スペクトルだけから系の温度を算出できる。本研究では、様々な測定条件(試料温度や光励起条件)下で得られる PL と PLE スペクトルに対し、この関係式との一致ないズレを評価することで、光励起キャリアのエネルギー分布(平衡/準熱平衡/非平衡等)を調べている。ドープ量子井戸では、共鳴励起条件では光励起キャリアはほぼ熱平衡分布となっており、非共鳴励起条件では励起光エネルギーの増加に伴うキャリア温度の上昇が観測された[3]。非ドープ量子井戸でも同様の傾向が見られたが、キャリア温度の上昇率が大きいなど、ドープ系との違いも明らかになってきた。

[1] R. F. Schnabel et al., PRB **46** (1992) 9873

[2] S. Maruyama et al., Solid State Commun. **147** (2008) 114

[3] T. Ihara et al., PRB **80** (2009) 033307

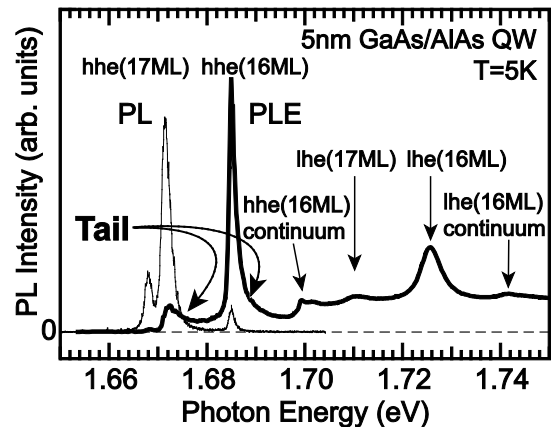


図 1 PL および PLE スペクトル

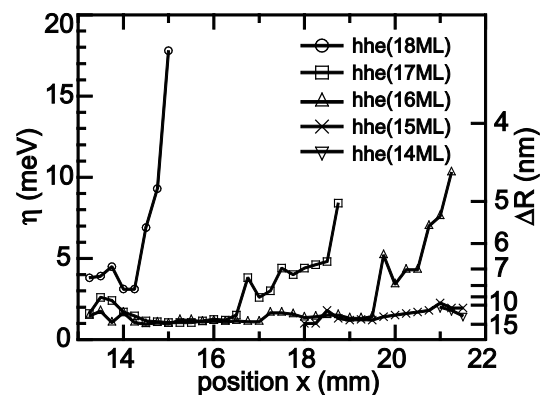


図 2 励起子局在パラメータ η と面内局在長 ΔR の測定位置 x 依存性