

## 中間バンド型量子ドット太陽電池に向けた 多重積層半導体量子ドットの電子構造

五島 敬史郎 (愛知工業大学工学部電気学科)

### 目 的

#### ・背景

現在、再生エネルギーの最有力候補としてシリコン材料を用いた太陽電池ではその本質的な特性上、理論変換効率 20%程度が限界である。その最も大きな理由として、全太陽光波長の内 可視～近赤外領域の限られた波長のエネルギーしか電気に変換できない特性を持つためである。中間バンド型量子ドット太陽電池では、トンネル効果や量子サイズ効果などの量子力学に由来する効果を積極的に利用することによって、この電気変換可能な太陽光エネルギーを赤外の波長エネルギーまで拡大する事が出来ると予想されている。理論計算上では 60%以上、最近の報告では 75%に達すると予想する報告例もある。

しかしながら、実際の実験結果報告では変換効率 10%程度であり、理論予想とは大きな隔たりがある。

実際に中間バンド型の太陽電池構造を作った場合において、理論計算と同じように中間バンドが形成しているのかわ有無、バンド構造の歪みの有無。また、量子ドット結晶成長技術の面からは、中間バンド構造を採用したことによる 成長歪み、欠陥の増大、不純物準位など、高効率変換を妨げる本質的な物理現象が詳しく分かっていない。

本研究の大目標は、この変換効率を妨げる原因を追究し、新たなバンド構造の提案などを行い変換効率 60%に向けて改善していくことである。今回我々は、中間層の薄い多重積層を実現する為に歪み補償を用いない方法で多重量子ドットを作成した。この多重積層ドットにおいて、中間層 (バリア層厚) とキャリア寿命より結合状態及び量子ドット内部の波動関数分布について調査した。

### 結 果

GaAs (001) 基版を用い、InGaAs/GaAs 量子ドット積層構造を 30 層積層した。量子ドット層間バリア層厚は 15nm、7nm、3.5nm のサンプルを用いた。フォトルミネッセンス (PL) 測定において、サンプルはクライオスタッドで 77K に冷却し、分光器を通して発光を観測した。なお励起光源は 780nm のパルスレーザを使用した。時間分解 PL 測定は、時間相関単一光子計数法 (TCSPC) を用いた。

図 1 は、バリア厚 20nm、7nm、3.5nm の時間分解 PL スペクトルである。この結果からドットに由来する長い発光寿命が観測され、寿命それぞれ 15ns、6ns、14.8ns と見積もられた。バリア厚 7nm 程度よりドット間の結合効果が認められるが、3.5nm では 2 種類の再結合過程が観測され、電子-正孔の波動関数の重なりが少なくなり発光寿命が延びている結果が得られた。図 2 は、各発光スペクトルに対する発光寿命をプロットしたものである。バリア層 20nm のサンプルは、発光スペクトルと発光寿命が比例関係になっているのに対して、バリア層 7nm のサンプルでは発光スペクトルに依存せずほぼ一定の寿命を示すことが分かる。このことから、歪補償を用いない今回の場合では、量子ドットのバンドに歪が生じて電子-正孔の波動関数がずれていることがわかる。しかし、バリア層を薄くすることで結行状態になり、それぞれの波動関数のずれが解消する方向に働いていることが推測される。またバリア層 3.5nm の量子ドットでは、結合状態だけでは説明のつかない新たな状態からの信号を観測することが出来た。この現象については、束縛電子状態 及び 傾斜型積層ドットの可能性を視野に入れて解明を試みる。

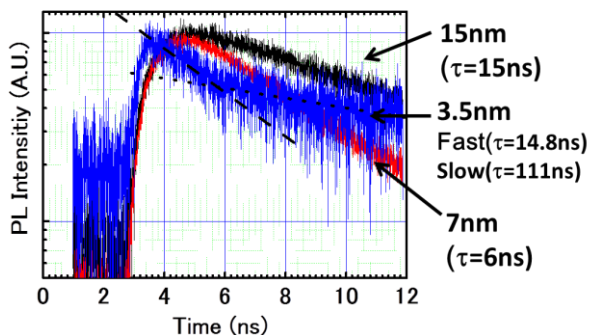


図 1. 時間分解 PL スペクトル

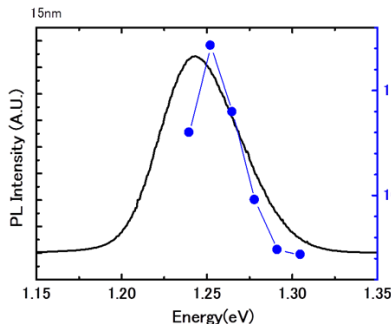


図 2(a). バリア厚 20nm  
PL に対する発光寿命

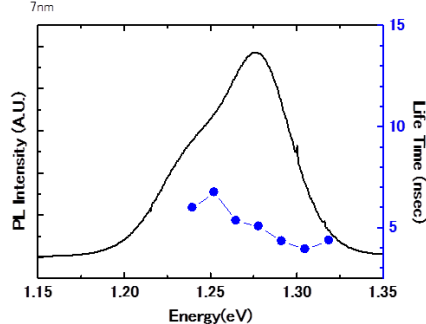


図 2(b). バリア厚 7nm  
PL に対する発光寿命