

## 積層超高密度量子ドットにおける励起子発光増強機構の解明

小島 磨 (神戸大工)

半導体基板上に作製される自己組織化量子ドットは、低閾値半導体レーザー光源や単一光子源、そして最近では太陽電池応用などに向けて様々な研究が実施されている。そのような半導体量子ドットのデバイス化への応用に向けて重要な要素となるのは、量子ドット密度と発光特性の制御である。一般的に自己組織化量子ドットは、基板材料と量子ドット材料との格子不整合を利用するため、量子ドット層を多層積層すると歪み応力が積層数に応じて蓄積し、上層では良質な量子ドットが形成されないという問題があった。これに対し、近年、量子ドット層の間に歪み補償層(スペーサー層)を導入することで、応力を緩和し、高品質な多層積層が可能になることが報告されている[1]。

最近、我々は、この歪み補償量子ドットにおいて、スペーサー層の距離を制御することで、電子の包絡波動関数の結合を利用して発光特性を制御できることを報告した[2, 3]。図1に示すように、スペーサー層が十分に厚く、試料成長方向の量子ドット間の相互作用がない場合、それぞれの量子ドットは孤立していると考えることができる。この場合は、単純な量子ドットの集合体とみなせる。一方、スペーサー層が

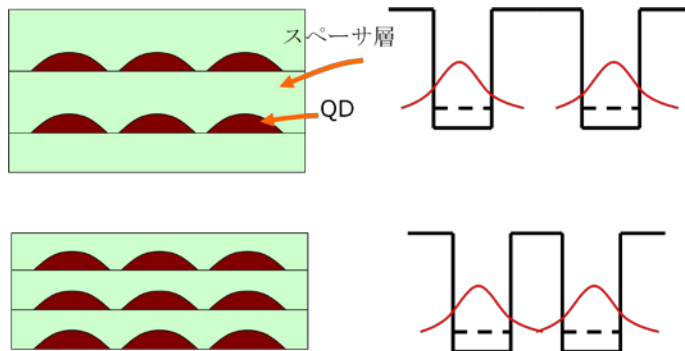


図1 積層量子ドットにおける包絡波動関数の結合の模式図。

薄くなり、電子の包絡波動関数が重なり合う(結合が生じる)ようになると、電子間の相互作用を利用して光学特性を制御することが可能になる。この場合、電子が包絡波動関数の重なりを利用して成長方向に運動することが可能になるため、発光波長や励起子振動子強度が変化する。これまでに我々は、スペーサー層の厚さを10から40 nmの間で制御して成長した多層積層量子ドットにおいて、発光特性の変化について報告してきた。

図2は、歪み補償法により30層積層した量子ドットにおける発光スペクトルのスペーサー層厚依存性である。スペーサー層を薄くすると発光ピークが低エネルギー側に変化し、さらに、発光強度が低下している。発光ピークの低エネルギーシフトは、電子の波動関数の結合により、量子閉じ込め効果が低下したことに起因しており、また、発光強度の低下は、正孔が量子ドット内に閉じ込められている一方で、電子が空間的に広がるために重なり積分が低下し、振動子強度が低下したためであると考えている。図3は、発光減衰プロファ

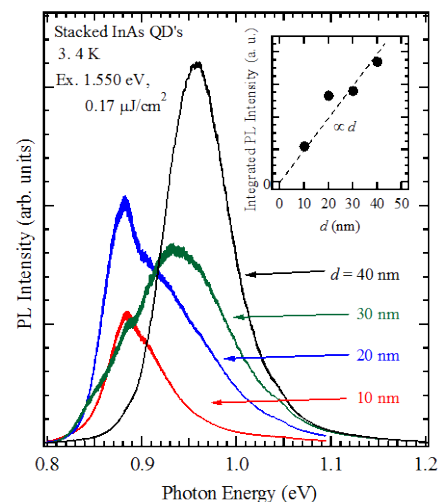


図2 積層量子ドットの発光スペクトルのスペーサー層厚依存性。挿入図は発光強度のスペーサー層厚依存性。

イルのスペーサー層厚依存性である。スペーサー層が薄くなると、発光減衰時間が長くなる。これは、上記の振動子強度の低下を反映している[2, 3]。

このように多層積層した量子ドットにおいて最近、我々は以下のことを明らかにした。

- 1) 温度が上昇すると励起子が面内で移動する[4]
- 2) 可視光で励起すると発光強度が増加する[5]

例えば、InAs 量子ドットを太陽電池へ応用する場合、量子ドットの光吸収帯が 1300 nm 付近であるのに対し、太陽光のスペクトルのピークは可視光領域に存在する。したがって、2)の発光強度の増加は、太陽電池応用において重要な要素と考えている。したがって、この発光強度の増加の起源を明らかにすることが重要となる。

また、1)の効果は、試料内に発生した光励起キャリアを外部に取り出す際に、考慮されるべき要素である。電流を試料成長方向から取り出すことを前提とするので、面内で励起子移動が生じると損失につながる可能性がある。特に、上記の可視光で生成したキャリアを取り出す際に、量子ドットの最低励起子準位への緩和レートと励起子の面内移動レート、そして励起子緩和レートなどの効果が影響すると考えられることから、これらの効果を明らかにし、積層高密度量子ドットのデバイス化へつなげていく予定である。

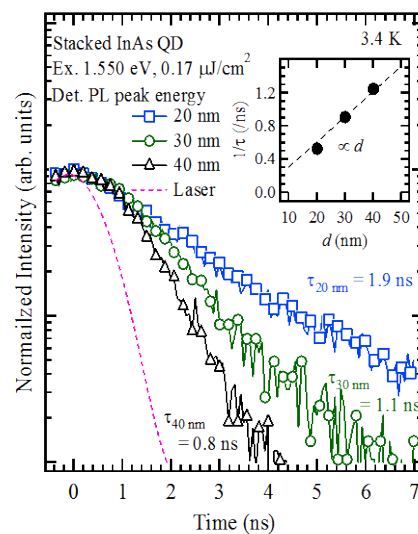


図 3 積層量子ドットの発光減衰プロファイルのスペーサー層厚依存性。挿入図は発光減衰時間のスペーサー層厚依存性。

## 参考文献

- [1] K. Akahane, N. Ohtani, Y. Okada, and M. Kawabe, *J. Cryst. Growth* **245**, (2002), 31.
- [2] H. Nakatani, T. Kita, O. Kojima, O. Wada, K. Akahane, and M. Tsuchiya, *J. Lumin.* **126**, (2008) 975.
- [3] O. Kojima, H. Nakatani, T. Kita, O. Wada, K. Akahane, and M. Tsuchiya, *J. Appl. Phys.* **103**, (2008) 113504.
- [4] O. Kojima, H. Nakatani, T. Kita, O. Wada, and K. Akahane, to be published.
- [5] M. Mamizuka, O. Kojima, T. Kita, O. Wada, and K. Akahane, Abstracts of the 14th International Conference on Modulated Semiconductor Structures, p83 (2009).