

InGaAs 埋め込み InAs 量子ドットから得られるフォトルミネッセンスの直線偏光対称性の温度制御

Temperature-Controlled Symmetry of Linear Polarization of Photoluminescence from InGaAs-buried InAs Quantum Dots

横浜国立大学¹, 理研² ○田中智也¹, 菊島浩介¹, 中嶋聖介^{1,2}, 向井剛輝¹

Yokohama National Univ.¹, RIKEN² ○T.Tanaka¹, K.Kikushima¹, S.Nakashima^{1,2}, K.Mukai¹

E-mail:mukai@ynu.ac.jp

【はじめに】量子情報通信実現のために量子もつれ合い光子対の発生・制御が重要である。形状対称性の高い半導体量子ドット(QD)から発生する偏光相関光子対は、量子もつれ合い状態にあると考えられる。しかし、Stranski-Krastanow 法を用いて作製した自己形成 QD は基板の面方位に沿った異方性を持つため縮退が解け、量子もつれ合い状態を実現することが難しい。我々はこれまでに自己形成 InAs QD を InGaAs 層で埋め込むことで、電子の波動関数対称性が改善することを示してきた [1]。今回、InGaAs 埋め込み InAs QD から得られるフォトルミネッセンス(PL)の直線偏光対称性が試料の温度制御によって改善されたので報告する。

【実験】分子線エピタキシー法で GaAs 基板上に成長させた InAs QD を InGaAs 層で埋め込んだものを試料として使用した(図 1)。埋め込み層の In 組成は 0.13、0.15、0.17 及び 0.19 とした。QD から発生する PL 光を直線偏光板を用いて測定し、QD の非対称な形状を反映して強度の高い[1-10]方向の偏光の強度と、90°異なる[110]方向の偏光の強度を比較した[2]。また、温度可変クライオスタットを用いて、14K から 200K の範囲で偏光対称性の温度依存性を調べた。

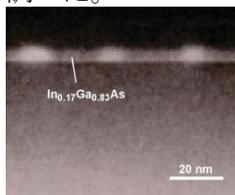


図 1 量子ドット断面 TEM 写真

【結果】偏光対称性を、[1-10]方向の偏光強度と[110]方向の偏光強度の比によって評価した。比が 1 に近づくほど偏光対称性は良い。図 2 に示すように、偏光対称性は InGaAs 層の In 組成(x)を増加させるほど改善された。

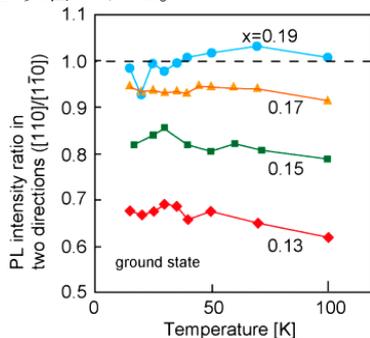


図 2 偏光強度比の温度依存性

図 2 は偏光強度比の温度依存性を示している。温度依存性は埋め込み層の In 組成によって異なり、特に組成が $\text{In}_{0.19}\text{Ga}_{0.81}\text{As}$ のものでは、50K 以下で偏光強度比が 1 と交差している。交点ではほぼ完全な偏光対称性が得られたと言える。

図 3 は埋め込み層組成 $\text{In}_{0.19}\text{Ga}_{0.81}\text{As}$ における、25K と 200K での PL スペクトルを示している。200K ではピーク強度・位置が各偏光方向で異なっているのに対して、25K ではピーク強度の比はほぼ 1 で、ピーク位置も一致しており、スペクトルは基底状態で互いに重なり合っている。

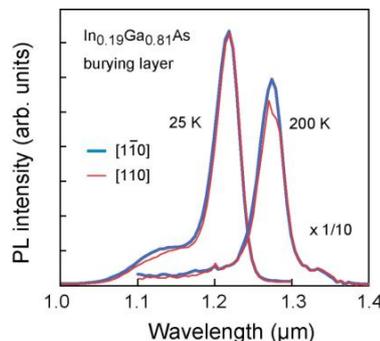


図 3 $\text{In}_{0.19}\text{Ga}_{0.81}\text{As}$ 埋め込み QD の PL スペクトル

埋め込み層の In 組成の増加は、格子歪み分布の再構成と、QD 外への波動関数のしみ出しを促進し、QD 構造自体の異方性の影響を緩和すると解釈できる。また、図 1 に示されているように InAs QD は、InAs 濡れ層、InGaAs 埋め込み層、GaAs キャップ層、GaAs 基板に周囲を囲まれている。これらの層の熱膨張率の違いは、温度変化において複雑な三次元効果を持つと考えられ[3]、偏光強度比の温度変化の原因だと推測される。

以上我々は、歪み埋め込み層と試料温度の制御との組み合わせによって、自己形成 QD からもつれ合い光子対を発生させるための、最適な励起子分子状態を作れる可能性を見出した。

【謝辞】 QD サンプルをご提供頂いた(株)QDLaser 菅原様に感謝致します。

【参考文献】

- [1]K. Mukai et al., J. Nanosci. and Nanotechnol. 9 (2009) 108.
- [2]K. Mukai et al., e-J. Surf. Sci. Nanotech. 7 (2009) 537.
- [3]K. Mukai et al., Appl. Phys. Lett. 74 (1999) 3963.