

窒素  $\delta$  ドープ GaAs 上の InAs 量子ドットの発光波長シフト機構

## Mechanism of the emission wavelength shift of InAs quantum dots

on nitrogen  $\delta$ -doped GaAs神戸大研究基盤セ<sup>1</sup>, 神戸大院工<sup>2</sup> ○海津 利行<sup>1,2</sup>, 喜多 隆<sup>2</sup>CSREA, Kobe Univ.<sup>1</sup>, Grad. Sch. of Eng., Kobe Univ.<sup>2</sup>, ○Toshiyuki Kaizu<sup>1,2</sup> and Takashi Kita<sup>2</sup>

E-mail: kaizu@crystal.kobe-u.ac.jp

**はじめに** InAs/GaAs 量子ドット(QDs)の自己形成における下地層の表面改質による QD 構造変調の手法として、GaAs c-(4x4)表面への窒素(N)  $\delta$  ドープを前回提案し、N 面密度が増加するにつれて QDs のアスペクト比、体積が減少することを報告した。一方、発光波長は低 N 面密度( $< 3.4 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ )では GaAs 上 QDs に比べてブルーシフトするが、N 面密度の増加とともに次第にレッドシフトすることを示した [1]。今回、N- $\delta$  ドープ上 QDs の発光波長のレッドシフトのメカニズムについて、時間分解フォトルミネッセンス(PL)測定および走査透過電子顕微鏡(STEM)による断面構造観察から考察した。

**実験** 高周波プラズマソースを有する分子線エピタキシーを用いて、GaAs(001)基板上にバッファ層を成長した後、基板温度を 480°C に下げて N 原子種を照射した。表面再構成構造の(3x3) N 安定化面への遷移を利用して N- $\delta$  ドープ(N 面密度  $\sigma = 8 \times 10^{11} \sim 3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ )を行い、その後 InAs QDs(2.0 分子層)と GaAs キャップ層を成長した。時間分解 PL は、励起光源に Ti:Sapphire パルスレーザー(繰返し周波数 80 MHz、波長 800 nm、強度  $1.2 \text{ nJ/cm}^2$ )、検出器に近赤外ストリークカメラを用いて、温度 3.4 K で測定した。

**結果と考察** 図 1 に、N- $\delta$  ドープならびにアンドープ GaAs 上の InAs QDs の(a)PL 減衰プロファイル、(b)減衰時間の検出エネルギー依存性を示す。すべてのプロファイルは単一指数関数でフィッティングされ、N 面密度が増加するにつれて減衰時間が長くなっている。QDs における励起子輻射再結合速度は振動子強度に比例し、振動子強度および PL エネルギーを決定する要素の 1 つとして QD サイズがある。しかし図 1(b)のそれぞれの検出エネルギーにおいて、N 面密度に依存した PL 減衰時間を示していることから、別の要素として N- $\delta$  ドープ層の導入による InAs wetting 層(WL)、QDs の格子歪の変化に伴うピエゾ効果の影響が挙げられる。また断面 STEM 観察において、N- $\delta$  ドープ試料では InAs WL 層と GaAs 層の界面がノンドープ試料に比べて急峻であることが示された。InAs WL を介した In と Ga 原子の相互拡散によって QD 成長中に下地層の Ga 原子が QD 内に混入することが報告されているが [2]、Ga-In-N の結合エネルギーが大きいので、相互拡散が抑制されて QDs の高い In 組成が維持されたことが示唆される。これらの効果が重畳して発光波長がレッドシフトしたものと考えられる。

[1] 海津 他, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会, 17p-E11-7, 2014

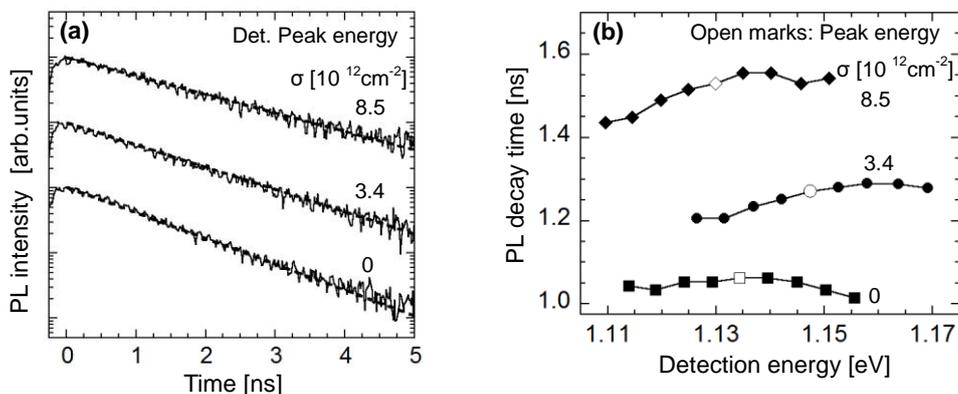
[2] M. Takahashi et al., Appl.Phys. Lett. **88** (2006), 10917.

図1 N- $\delta$ ドープならびにアンドープGaAs上のInAs QDsの(a)PL減衰プロファイル(破線: 単一指数関数フィッティング)、(b)減衰時間の検出エネルギー依存性