

# GaAs キャッピング層の成長レートによる 埋め込まれた InAs-QD のサイズおよび発光波長制御

## Controlling size and emission wavelength of buried InAs QDs using the growth rate of the GaAs capping layer

和歌山大シスエ<sup>1</sup>, 物材機構<sup>2</sup> ○(M2)王 涛<sup>1</sup>, 大島 仁<sup>1</sup>, 尾崎 信彦<sup>1</sup>, 池田 直樹<sup>2</sup>, 杉本 喜正<sup>2</sup>  
Wakayama Univ.<sup>1</sup>, NIMS<sup>2</sup> ○T. Wang<sup>1</sup>, J. Oshima<sup>1</sup>, N. Ozaki<sup>1</sup>, N. Ikeda<sup>2</sup>, and Y. Sugimoto<sup>2</sup>

E-mail: ozaki@wakayama-u.ac.jp

**【はじめに】** GaAs基板上に自己組織的に成長するInAs量子ドット(QD)は、サイズ分布による近赤外広帯域発光特性から、光干渉断層計用光源デバイスなどの発光材料として有用である[1]。InAs-QDを発光デバイスに応用する際には、キャリア再結合効率を上げるためにGaAsなどのエネルギー障壁層にQDを埋め込む(キャッピング)必要がある。しかし、キャッピング層の成長時にQD形状が変化しやすく、その結果発光波長が変化することが知られている[2]。我々は、このキャッピング時の成長条件を制御することで、埋め込まれたQDの発光中心波長を積極的に変化させ、広帯域光源の帯域拡大に利用することを検討している。前回、GaAsキャッピング層の成長レート(CR: capping rate)によって、埋め込まれたInAs-QDの発光波長が100 nm以上変化することを報告した[3]。今回その波長変化のメカニズムを詳しく調べるため、異なる成長レートでキャッピングしたQDの構造評価を行った。

**【実験手法】** 分子線エピタキシー(MBE)法によりGaAs基板上に4層のQDを積層した(各QD層間は50 nm厚GaAs層を積層)。各層のQD成長条件は同一であるが、QDをキャッピングするGaAsを積層する際のCRのみ0.3~1.0 ML/sに変化させた。成長後、走査型透過電子顕微鏡法(STEM)によりサンプルの断面観察を行い、各層のQDサイズを計測、比較した。また、同一条件で成長したQD単層のサンプルを別に作製し、各サンプルからの室温PL測定を行って、発光ピークエネルギーを測定した。

**【結果と考察】** Fig. 1に、サンプルの断面STEM観察(BF)像と、計測した各層のQD高さのヒストグラムを示す。CRの増加に伴い、埋め込まれたQDの平均高さが約4.6 nmから6.4 nmへ増加していることが分かった。この傾向は、前回報告したキャッピング時の反射高速電子線回折強度の変化から予測されたもの[3]と同じであり、CR増加によってQDが埋め込まれるまでの時間が短縮されたことで、QDからのIn原子の拡散量が低下し、QDサイズ低減が抑制されたためと考えられる。また、各QD層と同等条件で作製したQD単層からのPL発光ピークエネルギーと、STEM観察で得られた平均高さとの関係をFig. 2に示す。両者に相関が見られ、サイズ低下とともに発光ピークエネルギーが非線形的に増加していることが分かった。これらの結果から、CRによるQDの発光波長変化は、埋め込まれたQDの高さの変化が主因であることが示唆された。

Inを含まないGaAsキャッピング層の成長レートのみを変えることで、埋め込まれたQDの発光エネルギーを大きく変更できる点は、広帯域光源作製にとって有用な技術である。特にMBE法での成長において、QD成長後のキャッピング工程でInセル温度の制御が不要になり、QD成長直後からキャッピング層成長までの成長中断を回避できるため、QD界面の結晶性向上という観点からも有用な手法になると考えられる。

**【謝辞】** 本研究は科研費(16H03858, 20H02183)、高等教育機関コンソーシアム和歌山の助成を受けて実施された。STEM観察には筑波大学微細加工PF、高知工科大学河野日出夫教授にご協力頂いた。

**【References】** [1] N. Ozaki et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **52**, 225105 (2019). [2] T. Kaizu et al., J. Appl. Phys. **118**, 154301 (2015). [3] 王涛他、第67回応用物理学会春季学術講演会 12p-D215-9(2020).

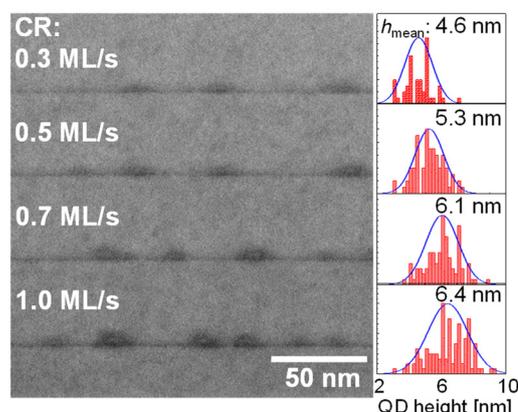


Fig. 1 Cross-sectional STEM images and height histograms of buried InAs-QDs capped with a GaAs layer grown with various CRs.

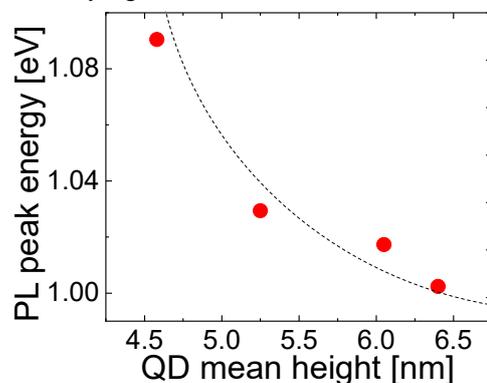


Fig. 2 The relation between the PL peak energy and the measured QD mean height (points) with a dashed line as a guide to the eye.