

Dot-in-a-Well 構造における InAs 量子ドット成長に対する In 偏析の影響(II)

Influence of In segregation on InAs-QDs growth in Dot-in-a-Well (II)

和歌山大シスエ[○](M2)岡田 直樹, 生野 大吾, 王 涛, 大島 仁, 尾崎 信彦

Wakayama Univ., [○]N. Okada, D. Ikuno, T. Wang, J. Oshima, and N. Ozaki

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

【はじめに】1.3 μm 帯近赤外広帯域光源は、光通信や生体・医療イメージング等において非常に有用である。その候補材料として、自己組織化 InAs 量子ドット(QD)を InAs の格子定数に近い $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x < 1$)量子井戸層で埋め込んだ Dot-in-a-Well (DWELL)構造が知られており、GaAs 層内に埋め込まれた QD に比べ、高密度成長かつ発光長波長化が報告されている[1]。我々は、この DWELL 構造における InAs-QD の特性変化のメカニズムについて研究してきている。前回、DWELL において QD の成長基板となる InGaAs 歪緩衝層(Strain Buffer Layer : SBL)が QD 成長に及ぼす影響に注目し、AFM 及び RHEED 観察により SBL 表面に偏析する In の影響の可能性を示した[2]。今回は、その In 偏析の影響を系統的に調べるため、In 組成を変化させた DWELL を作製し、前回と同様の評価を通して、DWELL 構造における InAs-QD に対する In 偏析の影響を評価した。

【実験】分子線エピタキシー法により、GaAs および In 組成 $x(0.07\sim 0.28)$ の SBL(膜厚 4 nm)上に QD を成長し、AFM 観察より QD 密度とサイズを比較した。また、SBL 成長時および QD 成長時に、RHEED 観察による $\text{In}(\text{Ga})\text{As}(004)$ 回折点強度の時間変化を計測した。

【結果・考察】Fig. 1 に GaAs および各 In 組成の SBL を成長した時の RHEED 強度振動を示す。GaAs 成長時と比べ、SBL 成長時の RHEED 強度振動の明らかな減衰が確認された。理由として、Martini らは、In 偏析による表面構造粗さを挙げている[3]。この RHEED 強度の減衰を指数関数でフィッティング(点線)し、その減衰定数 δ から、Muraki らが提唱した In 原子の偏析確率 $R(=\exp(-1/\delta))$ [4] を算出した。さらに、求めた R を Toyoshima らが導出した InGaAs 最表面の In 偏析量の式 $X_i(=xR(1-R^n)/(1-R))$; x :In 組成, n :分子層数[5]に代入し、SBL 表面の In 偏析量を見積もった。その結果、In 組成 x の増大に伴い偏析確率 R と In 偏析量が系統的に増加する結果が得られた。次に、各成長基板上での InAs-QD 成長時の $\text{InAs}(004)$ の RHEED 強度計測を Fig. 2 に示す。GaAs 上で InAs が三次元転位する閾値膜厚は約 1.6 ML であるのに対し、SBL 上では約 1.6 ML 以下で三次元転位し、In 組成 x の増大に伴い閾値膜厚が減少することが分かった。この減少膜厚と先に求めた In 偏析による膜厚はおおよそ等しく、In 偏析が QD 成長時の In 原料として供給されていることが示唆される結果となった。さらに、AFM 観察より各成長基板上での QD の密度とサイズは In 組成 x の増大に伴い増大し、GaAs 上での InAs 総体積と比べ最大で約 3.5 倍に増大した。また、QD サイズ増大に伴って InAs-QD の PL 発光も長波長化した。以上の結果から、SBL 成長時に表面に偏析した In が InAs-QD の特性変化に関与していることが示された。

【謝辞】本研究の一部は、科研費(16H03858)、材料科学技術振興財団、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。

[1] P. Wang et al., *Nanoscale Res. Lett.* **11**, 119 (2016). [2] 岡田 直樹 他, 2019 年春季応用物理学会 11p-PA4-11 [3] S. Martini et al., *Appl. Phys. Lett.* **81**, 2863 (2002). [4] K. Muraki et al., *Appl. Phys. Lett.* **61**, 557 (1992). [5] H. Toyoshima et al., *Appl. Phys. Lett.* **63**, 821 (1993).

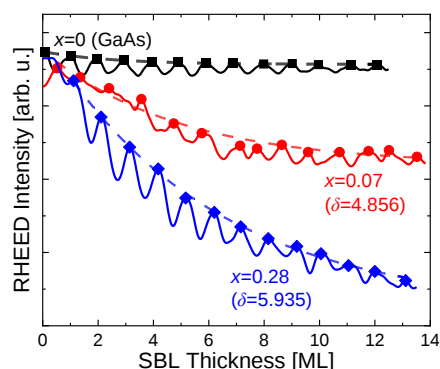


Fig. 1 RHEED intensity oscillation during GaAs and SBLs growth.

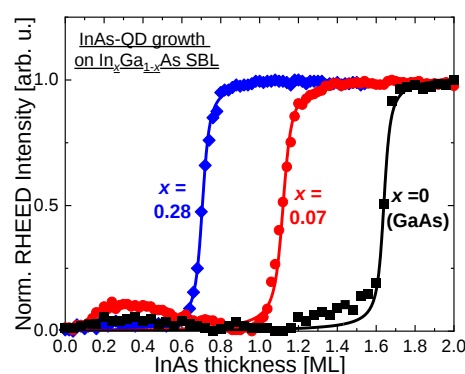


Fig. 2 RHEED intensity variations as a function of InAs thickness grown on GaAs and SBLs.