DWELL 構造における InAs 量子ドット成長に対する In 偏析の影響

Influence of In segregation on InAs QDs growth in DWELL

和歌山大シスエ [1], NEC[2]　○(M1) 岡田 直樹 [1]，生野 大吾 [1]，王 涛 [1]，大河内 俊介 [2]，尾崎 信彦 [1]
Wakayama Univ. [1], NEC corp. [2] ○N. Okada[1], D. Ikuno[1], T. Wang[1], S. Ohkouchi[2], N. Ozaki[1]
E-mail: ozaki@sys.wakayama-u.ac.jp

【はじめに】近赤外広帯域光源は、光通信や医療イメージング等の分野において幅広く利用されている。特に波長 1～1.3 μm 帯の近赤外光は生体透過性が高く、生体イメージング用プローブとしての利用が期待され、この波長帯での広帯域な発光材料の開発が進められている。自己組織化 InAs 量子ドット(QD)はその候補材料の一つとして研究がなされている。その中で、Dot-in-a-WELL (DWELL)構造は、InAs-QD を InGaAs 薄膜層内に埋め込むことで、GaAs 基板上に成長した 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]。しかしながら、高密度化や長波長化に至るメカニズムはよく分かっていない。そこで本研究では、DWELL 構造における QD 成長前の基板となる InGaAs 歪緩衝層(SBL: Strain buffer layer)表面が QD 成長に与える影響に注目し、GaAs 上と InGaAs SBL 上での InAs-QD 成長の違いを、分子間力顕微鏡(AFM)および反射高速電子線回折(RHEED)の解析により、定量的に評価することを試みた。

【実験】分子線エピタキシー法により、GaAs 上および $In_{0.14}Ga_{0.86}As$（膜厚 4nm）の SBL 上に InAs-QD を成長し、両者の QD 密度と平均高さを AFM により評価した。また、SBL 成長時および InAs-QD 成長時の RHEED 強度の時間変化を計測した。

【結果・考察】各基板上に成長した InAs-QD の AFM 像を Fig. 1 に示す。GaAs 上の InAs-QD と比べ、SBL 上の InAs-QD は密度とサイズ（平均高さ）が増大し、InAs 総体積が多くなった。また、各基板上で InAs-QD を成長した時の InAs(004)の RHEED 強度の時間変化を Fig. 2 に示す。GaAs 上で InAs 成長層が三次元転位に要する InAs 供給量は約 1.7ML であったが、SBL 上では約 1.0ML であった。QD 成長時は RHEED で三次元転位を確認後、InAs 供給を停止したため、SBL 上の QD 成長時は、GaAs 上での QD 成長に比べ InAs 供給量が少ないにも関わらず、AFM の結果からは QD に寄与した InAs の総体積が多くなっていた。すなわち、SBL 基板上での QD 成長時に、In が原料セル以外から供給されたことを意味している。その可能性として、SBL 基板表面上への In 偏析が考えられる。Martini らは、InGaAs 層成長時の RHEED 強度振動から In 原子の偏析確率の導出を報告しており[2]、この手法を用いて SBL 成長時の In 偏析を見積もった。$In_{0.14}Ga_{0.86}As$ SBL 成長時の RHEED 強度振動を Fig.3 に示す。この RHEED 強度の減衰を指数関数でフィッテイングして減衰定数 τ を求め、偏析確率を算出した結果、厚さ 4nm の $In_{0.14}Ga_{0.86}As$ SBL 最表面上に InAs 約 0.8ML 相当分の In が偏析する可能性が示された。以上の結果から、DWELL 構造内の InAs-QD 成長には、下地となる SBL 表面への In 偏析の影響を考慮する必要があることが分かった。

【謝辞】本研究の一部は、科研費(16H03858)、材料科学技術振興財団の助成を受けて実施された。

[1] P. Wang et al., Nanoscale Res. Lett. **11**, 119 (2016). [2] S Martini et al. Appl. Phys. Lett. **81**, 2863 (2002).

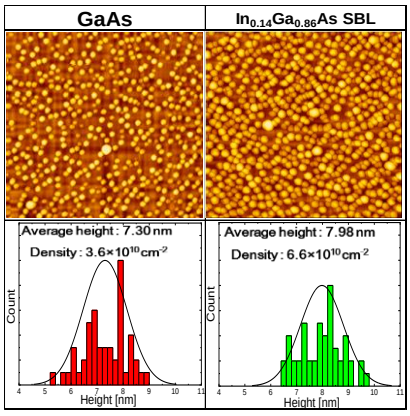


Fig.1 AFM images and histogram of InAs-QDs grown on GaAs and SBL substrate.

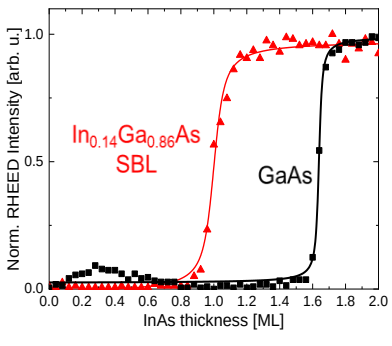


Fig.2 RHEED intensity variation as function of InAs thickness deposited on GaAs and SBL.

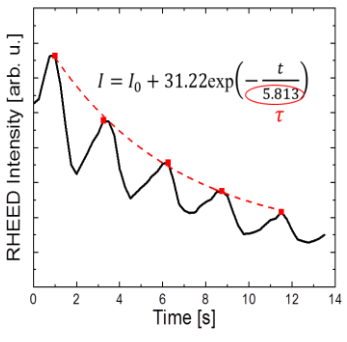


Fig.3 RHEED intensity oscillation during $In_{0.14}Ga_{0.86}As$ SBL growth.

© 2019年 応用物理学会