InAs/GaAs 量子ドット構造における低温カバー層成長の光学特性への影響
Impact of low temperature cover layer growth of InAs/GaAs quantum dots on their optical properties

QD レーザ [1], 東大先端研 [2] ○奥村 滋一 [1,2], 藤澤 和輝 [1], 成毛 環美 [1], 西 研一 [1], 大西 裕 [1]
武政 敬三 [1], 菅原 充 [1], 杉山 正和 [2]
QD Laser, Inc.[1], RCAST The University of Tokyo[2], ○Shigekazu Okumura[1,2], Kazuki Fujisawa[1], Tamami Naruke[1], Kenichi Nishi[1], Yutaka Onishi[1], Keizo Takemasa[1], Mitsuru Sugawara[1], and Masakazu Sugiyama[2]
E-mail: okumura@qdlaser.com

背景　InGaAs 歪低減層(SRL)を適用した InAs 量子ドット(QD)構造は 1.3 μm 帯で発光が得られることから、安価な GaAs 基板を使用した通信用レーザの光源として注目されている[1]。これまでに我々は、InAs 量子ドットの成長温度依存性を検討し、カバー層に形成される転位が光学特性を劣化させる支配要因であり、更に転位の低減のためには、成長温度 500 ℃付近での最適化が必要であることを示した[2]。成長温度 510 ℃の InAs QD はサイズが大きく、転位密度が高いため、PL 強度が低い[2]。一方、成長温度が高く、InAs QD 自体のクオリティは高い可能性があるため、カバー層の転位を低減することで、光学特性の向上が期待される。そこで今回は、InAs QD の成長温度を 510℃の下で、低温カバー層の成長温度、厚さが光学特性に与える影響を検討した。その結果、低温カバー層成長時に QD の歪の影響で形成されるピットが転位の起源となり、高温中間層成長前にピットが低減された表面であることが高い光学特性を得る上で重要であるという知見を得たため報告する。

実験　固体ソース分子線エピタキシー法により GaAs(001)基板上に 510 ℃にて InAs QD 層を形成後、InGaAs SRL と GaAs からなる低温カバー層を形成した。その後、As 照射下で成長温度を 590℃に昇温後、GaAs 中間層を形成した。InAs QD 層数は 8 層、低温カバー層と GaAs 中間層厚さは合計 40 nm とした。文献[2]の厚さ 7.5 nm、成長温度 480 ℃の低温カバー層（試料 A）に加えて今回は、同じ厚さの下で、成長温度が 510 ℃（試料 B）および 420 ℃（試料 C）を作製した。更に、試料 A と同じ成長温度 480 ℃の下で厚さ 12.0 nm（試料 D）を作製した。各試料は光学特性を PL、断面構造を TEM、表面モフォロジーを AFM により観察した。

結果と考察　各試料の PL スペクトルを Fig. 1 に示す。試料 A に対して、今回作製した試料 B, C および D は何れも長波化と PL 強度増大の傾向が見られた。目標波長 1.28 μm との両立の観点からは、試料 D の条件が最良である。続いて、光学特性の違いを考察するために、各試料の断面 TEM 観察を行った（Fig. 2）。InAs QD を起点として(111)方向に延伸する転位が観察された（矢印）。各試料の転位密度を図中に示す。転位密度が低いほど PL 強度の増大が見られるため、文献[2]と同様に転位が非発光中心として機能していると見なせる。続いて、転位の形成要因を探るために、低温カバー層成長後の表面に着目した。低温カバー層を成長し、590 ℃まで昇温した後（GaAs 中間層成長直前）の各試料の AFM 像を Fig. 3 に示す。InAs QD が埋め込まれ平坦化されている。一方、InAs QD 直上の歪集中によるピット（丸印）が見られる。各試料のピット密度を図中に示す。ピット密度が増加するほど転位密度も増加している。両者の密度値も近いオーダであることから、ピットを起点に GaAs 中間層成長時に転位が形成されていると見なせる。従って、転位が抑制された高い光学特性を有する InAs QD 構造の形成のためには、高温 GaAs 中間層成長前にピットが抑制された平坦性の高い表面を確保しておくことが重要である。

[参考文献]　[1] Nishi *et al.*, JCG, **378** (2013) 459. [2] Okumura *et al.*, JJAP, **60** (2021) 035507.

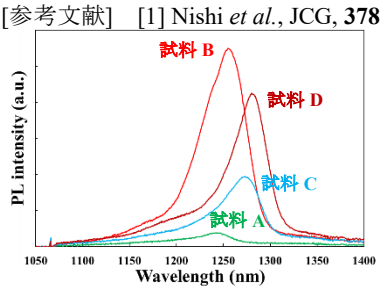

Fig. 1 PL spectra of 8-stacked InAs QD structure.

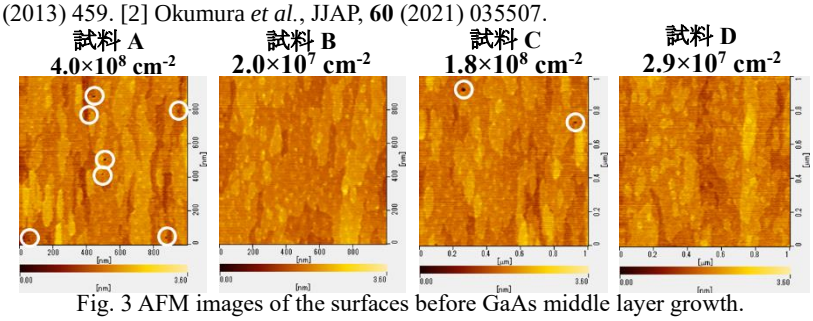

Fig. 3 AFM images of the surfaces before GaAs middle layer growth. The images show 1μm×1μm. The color scale is 3.6 nm

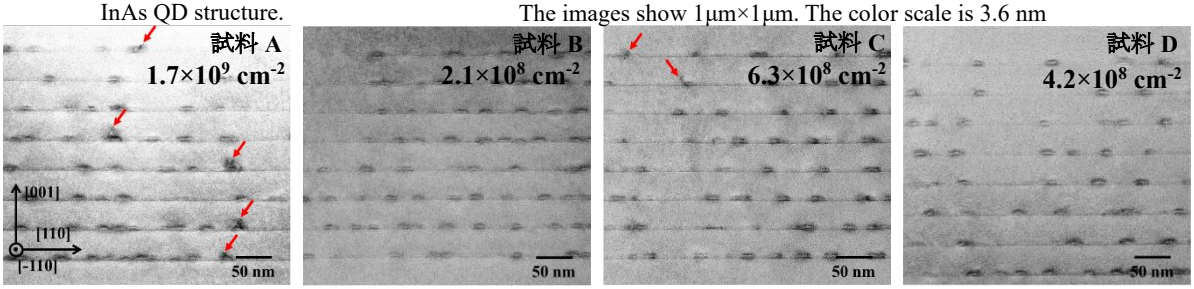

Fig. 2 Cross-sectional TEM images of 8-stacked InAs QD structure.

© 2021年 応用物理学会