InAs/GaAs 量子ドット構造中の転位の発光特性への影響
Impact of dislocations in InAs/GaAs quantum dot structures 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], 山口 正臣 [1], 成毛 環美 [1], 西 研一 [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], Masaomi Yamaguchi[1], Tamami Naruke[1], Kenichi Nishi[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、InGaAs SRL 層の成長シーケンスの最適化により、QD からの In の拡散を抑制することで PL 半値幅低減を図り、QD 構造の高利得化を実現している[1]。一方、InAs QD の成長温度は QD のサイズ、形状に影響を与えるため、InGaAs SRL 層など QD を埋め込む成長にも影響が出ることが想定される。そこで今回、同様のシーケンスで、InAs QD の成長温度が構造および光学特性に与える影響を検討した。その結果、成長温度によって InAs QD 構造に発生する転位数が異なり、転位は非発光中心として光学特性に大きな影響を与えることが判明したので報告する。

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 InAs QD 層を形成後、InGaAs 歪低減層(SRL)と GaAs 中間層を形成した。InAs QD 層数は 8 層、SRL と GaAs 中間層厚さは合計 40 nm とした。今回は、InAs QD の成長温度を 490 ℃、500 ℃、および 510 ℃（以下それぞれ試料 A, B および C）として 3 試料作製した。他の成長パラメータは各試料で一定とした。各試料の評価は、断面構造を TEM 観察、光学特性を PL 及び時間分解(TR)PL により評価した。

結果と考察　各試料の断面 TEM 像を図 1 に示す。QD 層を起点に(111)方向に伸びる転位が観察された。転位密度は 1.4×10^{14} cm^{-3} (試料 A)、4.6×10^{13} cm^{-3} (試料 B)、4.2×10^{14} cm^{-3} (試料 C)であった。特に試料 C で転位数が多い。これは QD 高さが 8 nm と高いため、歪の蓄積が大きく InGaAs SRL と GaAs 中間層を成長中に局所的な歪緩和により転位が発生したと考えられる。一方、試料 A は QD 高さが 5 nm と低いが、ドット同士が結合した巨大 QD が多く存在するため、多くはそれらを起点として転位が発生したと考えられる。試料 B のドット高さは 7nm 程度で、歪緩和の発生は生じない程度である。かつ、巨大 QD も少ないことから、転位発生が抑制されたと考えられる。6 K での PL スペクトルを図 2 に示す。試料 C は、他の 2 試料に比較して短波化している。QD 高さの関係からは相反する傾向であるが、成長温度が高いことから QD の混晶(InGaAs)化が進んだものと考えられる。更に、各試料の 300 K での TRPL の測定結果を図 3 に示す。検出波長は各試料の基底準位ピークとした。6 K では各試料ともキャリア寿命は 1.5 ns 程度で顕著な差は見られない。一方、300 K では試料 B は他の 2 試料に比較して顕著にキャリア寿命が長い。低温では QD での発光再結合が支配的になるのに対して、室温付近ではキャリア寿命の短い非発光再結合の寄与が大きくなることが報告されている[2]。そこで、図 1 に見られる転位が非発光中心として機能していると考えると、転位密度の低い試料 B で室温でのキャリア寿命が長いことの説明が可能である。QD 構造の結晶性には転位が支配的に関係しており、成長温度を最適化することが重要である。

[参考文献]　[1] Nishi *et al.*, J. Crystal Growth **378** (2013) 459. [2] Fiore *et al.*, Appl. Phys. Lett. **76** (2000) 3430.

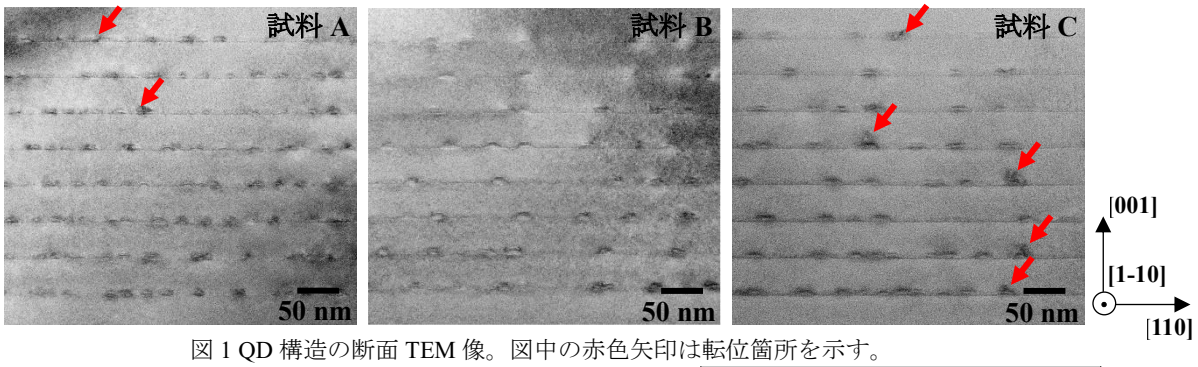

図 1 QD 構造の断面 TEM 像。図中の赤色矢印は転位箇所を示す。

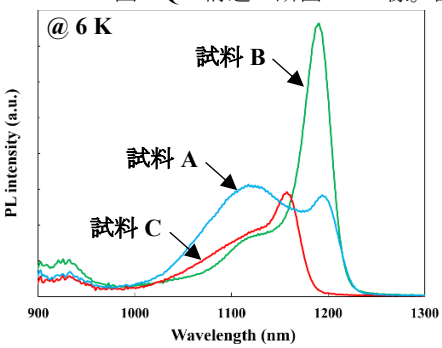

図 2 PL スペクトル

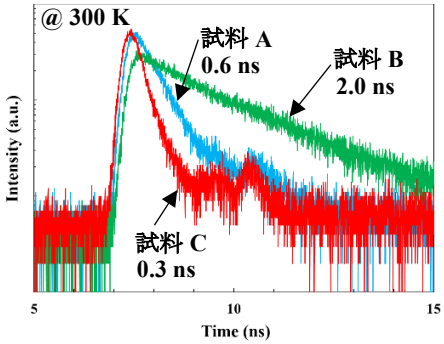

図 3 TRPL（キャリア寿命を図中に示す）