

高 Al 組成 AlGa_{0.79}N/AlN 量子井戸における光学利得特性の井戸幅依存性Well Width Dependence of Optical Gain Properties in Al-rich AlGa_{0.79}N/AlN Quantum Wells

京大院工 ○大音 隆男, ライアン バナル, 船戸 充, 川上 養一

Dept. of Electronic Sci. and Eng., Kyoto Univ.

○Takao Oto, Ryan G. Banal, Mitsuru Funato, and Yoichi Kawakami

E-mail: takao.oto@optomater.kuee.kyoto-u.ac.jp, kawakami@kuee.kyoto-u.ac.jp

はじめに: 水の殺菌や半導体プロセス等を応用に据えた次世代の深紫外光源として, AlGa_{0.79}N を用いた発光素子が着目され, 研究が盛んに行われている. 深紫外領域において, すでに光ポンピングによってレーザ発振が実現され[1], 近年に AlGa_{0.79}N 量子井戸(Quantum Well: QW)の光学利得についての報告[2]もされているが, 実験的に得られた光学利得特性から, レーザ構造設計について議論した報告はない. 光学利得特性を理解することは, 発振閾値の低減化などデバイスへの応用上非常に重要であると考えられる. そこで本研究では, レーザに最適な構造を探索するため, 井戸幅の異なる高 Al 組成 AlGa_{0.79}N/AlN QW に対して光学利得特性の評価を行った.

実験方法: 測定に用いた試料は, (0001) sapphire 基板上に Modified MEE 法で厚さ~600 nm の AlN を成長させ, その上に井戸幅 L_w の Al_{0.79}Ga_{0.21}N/AlN QW を 10 周期作製した構造である[3]. 光学利得特性を評価するために, 室温で励起長可変法の測定を行った. 励起長可変法とは, 励起長 L を変化させて端面 PL(Photoluminescence)測定を行い, 端面から観測される増幅された自然放出光(Amplified Spontaneous Emission: ASE)の強度 I_{ASE} が $I_{ASE} = I_{sp}\{\exp(G_{mod}L) - 1\} / G_{mod}$ のように変化することから, モード利得 $G_{mod} (= \Gamma g_{mat} - \alpha)$ を得る方法である[4]. ただし, I_{sp} は自然放出光の強度, Γ は光閉じ込め係数, g_{mat} はマテリアルゲイン, α は内部損失である.

実験結果と考察: 励起長可変法の測定の一例として, 図 1(a)に励起密度 140 kW/cm²において, $L_w = 5$ nm の QW の端面 PL スペクトルの励起長依存性を示す. なお, L は 50 μ m から 500 μ m まで 50 μ m 間隔で測定を行った. その結果, L に対して PL 強度が超線形的に増加していた. 光学利得が飽和しない領域で, 式(1)を基に利得スペクトルを算出した結果を図 1(b)に示す. 最大で ~120 cm⁻¹ の G_{mod} が得られた. さらに, 井戸幅が光学利得特性に与える影響を調べるために, 井戸幅の異なる QW に対して同様の測定を行った. 図 2 に最大の G_{mod} の井戸幅依存性を示す. 励起強度を大きくするにしたがって, G_{mod} が大きくなるという妥当な傾向が得られた. また, G_{mod} は $L_w = 5$ nm の QW で最大になっていたが, その理由を以下に考察する. 前述したように G_{mod} は Γ に大きく依存するため, 各 QW に対して TE モードの Γ を計算した(図 3). $L_w = 2.5$ nm の QW は, $L_w = 5$ nm の QW に比べて光閉じ込めが 42%に減少しており, このことが G_{mod} の減少を引き起こしている主な原因であると考えられる. 一方, $L_w = 10$ nm の QW では $G_{mod} < 0$ となっていたが, これは電子と正孔の波動関数の重なりが大きく減少し, 輻射再結合確率が低下していることが原因であると考えられる. 詳細な結果や考察は, 当日に報告する.

[1] T. Takano *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **84**, 3567 (2004). [2] E. F. Pecora *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **100**, 061111 (2012). [3] R. G. Banal *et al.*, *Phys. Stat. Sol. (c)* **7**, 2111 (2010). [4] K. Shaklee *et al.*, *J. Lumin.* **7**, 284 (1973).

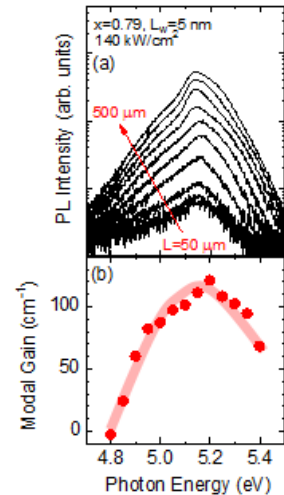


Fig. 1: (a) Excitation length dependence of PL spectra and (b) optical gain spectra in Al_{0.79}Ga_{0.21}N/AlN QW with $L_w = 5$ nm

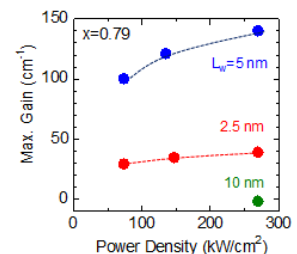


Fig. 2: Maximum modal gain in Al_{0.79}Ga_{0.21}N/AlN QWs.

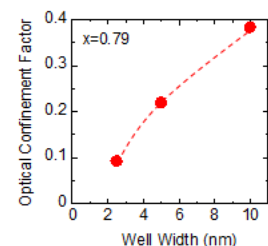


Fig. 3: Calculated optical confinement factor in Al_{0.79}Ga_{0.21}N/AlN QWs.