

InGaN 赤色 LED エピ膜における光学利得測定

Optical gain measurements in InGaN red-light-emitting LED epitaxial layers

金沢工業大学¹, Abdullah 王立科学技術大学 (KAUST)²○新保 樹¹, 山口 敦史¹, 飯田 大輔², 大川 和宏²Kanazawa Institute of Technology¹, King Abdullah University of Science and Technology²○Itsuki Shimbo¹, Atsushi A. Yamaguchi¹, Daisuke Iida², Kazuhiro Ohkawa²E-mail: c6401193@st.kanazawa-it.ac.jp

InGaN 量子井戸 (QW) を活性層に用いた赤色半導体レーザはいまだ実現していない。これは、GaN 層との格子不整合が格子欠陥やピエゾ電界を誘発し、内部量子効率を低下させるためと考えられている。しかし近年、歪み補償等の工夫をした InGaN 赤色 LED で比較的高い外部量子効率を得られており、InGaN-QW での赤色光誘導放出観測も現実味を帯びてきた。本研究では、この InGaN 赤色 LED エピ膜に対し、励起長可変 (VSL) 法²⁾による光学利得測定を行い、赤色発光 QW からの誘導放出観測を試みた。

試料は、文献 1 に記載のものと同等の InGaN 赤色 LED エピ膜である。この試料には、半導体レーザのような導波路構造はなく、赤色発光 QW (室温における発光波長 ~ 620 nm) と、歪み補償用の下地青色発光 (に相当する In 組成を持つ) QW がある。VSL 法では、Nd:YAG レーザの 2 倍波 ($\lambda_{\text{exc}} = 532$ nm) または 3 倍波 ($\lambda_{\text{exc}} = 355$ nm) を励起光として用いた。励起光はシリンドリカルレンズで極低温下 (3 K) の試料へストライプ状に照射した。励起長は可動スリットで 2.0 mm から 8.0 mm まで変化させた。端面発光はレンズで集光し、USB 分光器でそのスペクトルを得た。我々は初めに、3 倍波 ($\lambda_{\text{exc}} = 355$ nm) により強く励起して ($I_{\text{exc}} = 4$ MW/cm²) 誘導放出光測定を試みた。その結果、青色 QW からの強い誘導放出光 ($\lambda = 450$ nm) は観測されたが、赤色 QW からの誘導放出光は見られなかった。これは、青色 QW での誘導放出によりキャリアが消費されてしまったためと考えられる。そこで次に、青色 QW が吸収できない 2 倍波 ($\lambda_{\text{exc}} = 532$ nm, $I_{\text{exc}} = 4$ MW/cm²) を励起光として同じ測定を行った。しかし、赤色 QW からの誘導放出光は全く見られなかった。後に赤色 QW に対し励起スペクトルを測定した結果、 $\lambda_{\text{exc}} = 532$ nm では、 $\lambda_{\text{exc}} = 355$ nm よりも励起光吸収が 1/100 程度まで弱まると判明した。このことから 2 倍波 ($\lambda_{\text{exc}} = 532$ nm) による励起では、赤色 QW で生成されるキャリアが少ないため、誘導放出が発生しないと推測された。これら結果を踏まえて、3 倍波 ($\lambda_{\text{exc}} = 355$ nm) による弱い励起 ($I_{\text{exc}} = 75$ kW/cm²) での光学利得測定を実施した。この程度の励起強度密度では、青色 QW での誘導放出によるキャリアの消費は少なく、赤色 QW にもキャリアがある程度注入されると考えたからである。図 1 は端面発光スペクトルの励起長依存性である。発光波長 560 nm 付近に注目すると発光強度が非線形に増大していることが分かる。図 2 は、励起長 8.0 mm での発光強度を励起長 2.0 mm のそれと除算した結果であり光増幅率を示す。これを見ると、約 560 nm に発光増幅のピークが見られる。図 3 は、発光波長 560 nm における端面発光強度の励起長依存性を示す。単純な一次元光増幅モデル²⁾による解析の結果、 $g_{\text{mod}} = 1.2$ cm⁻¹ という小さな値ではあるが、正の光学利得が存在することが示された。現状の試料構造では光閉じ込め係数がかなり小さいため、光学利得の値も小さいものと考えられる。また、光学利得のピークが赤色領域よりも短波側の 560 nm なのは、QW へのキャリアの充填やこの試料での光閉じ込めの波長依存性に起因すると考えている。

[謝辞] 本測定の基礎を築いてくれた金沢工大 OB の森恵人氏 (現: 大阪大学) に感謝する。

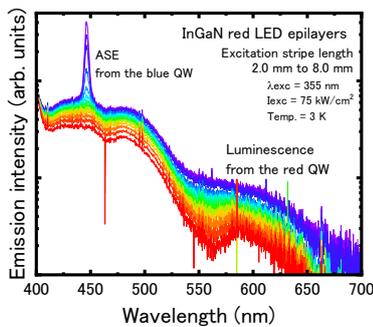


Fig.1 Stripe length dependence of edge emission spectra in InGaN red LED epilayers at 3 K.

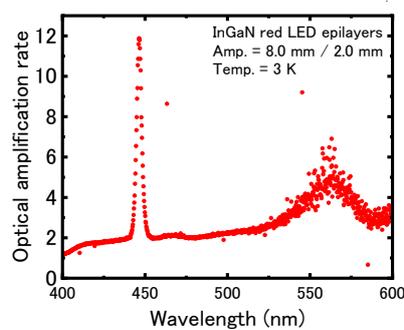


Fig.2 Wavelength dependence of the optical amplification rate for stripe lengths of 8 mm and 2 mm.

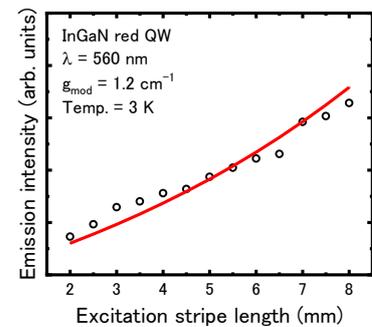


Fig.3 Stripe length dependence of emission intensity. The measured results are fitted by Shaklee model.

文献

- 1) D. Iida, *et al.*, AIP Advances **12**, 065125 (2022). 2) K.L. Shaklee, *et al.*, J. Lumin. **7** (1973) 284.