

波長掃引光源応用を目指した自己組織化 InAs 量子ドットの光利得評価

Optical gain characterization of self-assembled InAs QDs for swept source applications

和歌山大シスエ¹, 物材機構², グラスゴー大³

○辻敏弥¹, 尾上克也¹, 生野大吾¹, 尾崎信彦¹, 大里啓孝², 渡辺英一郎², 池田直樹², 杉本喜正²,
D. T. D. Childs³, R. A. Hogg³

Wakayama Univ.¹, NIMS², Univ. Glasgow³

○T. Tsuji¹, K. Onoue¹, D. Ikuno¹, N. Ozaki¹, H. Ohsato², E. Watanabe², N. Ikeda², Y. Sugimoto²,
D. T. D. Childs³, R. A. Hogg³,

E-mail: ozaki@wakayama-u.ac.jp

【はじめに】光干渉断層計(OCT)は、近赤外光をプローブとし、生体内部の断面構造を非破壊・非侵襲に画像化する技術である[1]。OCTには様々な画像取得方式があるが、最近では波長掃引光源(SS: Swept source)を用いた SS-OCT[2]が、より大きな画像深さ(深達度)を持つため主流となりつつある。SS-OCTは波長可変レーザーをSSとして用いることでより大きな深達度を得るが、その光軸分解能は波長掃引幅に反比例するため、高分解能化には広帯域なSSが求められる。我々はこの要求に応えるため、自己組織化 InAs 量子ドット(QD)を用いた波長掃引レーザー光源(QD-SS)の開発を行っている[3]。自己組織化 QD はサイズ分布に由来する広帯域発光が OCT 光源として有用であり、QD-SS 開発には QD の光利得幅の評価が重要である。そこで本研究は、Hakki-Paoli(H-P)法[4]を利用した QD の利得スペクトル測定から利得幅を算出し、さらに外部共振器を導入した QD-SS の波長掃引幅との比較を行うことでその妥当性を検証した。

【実験手法】測定対象として、中心波長 1150 nm で発光を示す InAs-QD を 4 層積層成長させた p-i-n 接合 GaAs 基板に、幅 5 μm 、高さ 1.4 μm の直線状リッジ型導波路(ST-RWG)を形成後、劈開し長さ約 2 mm とした利得チップを用いた。熱電クーラー(TEC)で温度調節した利得チップに CW 電流を注入し、利得チップの RWG 端面から出射されるエレクトロルミネッセンス(EL)を、先球レンズファイバーを通して光スペクトラムアナライザ(分解能約 0.006 nm)で測定した。得られた EL スペクトルに現れるファブリー・ペロー(FP)モードの強度変調から、H-P 法に従い光利得を算出した。

【実験結果と考察】Fig. 1 に、温度 15 $^{\circ}\text{C}$ 、注入電流 600 A/cm^2 のときの EL スペクトルを示す。挿入図はその一部を拡大したものであり、EL スペクトル全体にわたって約 0.08 nm 間隔の FP モードによる強度変調がみられた。この強度変調から H-P 法により算出された光利得を Fig. 2 に示す。この利得スペクトルから、注入電流の増加に従い中心波長が短波長化かつ広帯域化する傾向がみられた。これらの結果は、注入電流の増加に伴いサイズの大きな QD から小さい QD の準位へキャリアが満たされていく過程によるものと考えられ、サイズ分布を有する QD の性質を反映した利得スペクトルが H-P 法によって得られたと考えられる。Fig. 3 には、温度 15 $^{\circ}\text{C}$ 、注入電流 500 A/cm^2 、550 A/cm^2 で H-P 法で求めた利得幅と、外部共振器を導入した QD-SS から得られた波長掃引幅の比較を示す。両者の中心波長はほぼ一致し、注入電流増加による帯域の増加の傾向も同様に確認された。以上の結果から、H-P 法による光利得評価により QD-SS の波長掃引幅のおおよその見積もりが可能であることが示された。

【謝辞】本研究は、科研費(16H03858,16KK0130)の支援を受けて実施されました。半導体微細加工は文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業(NIMS 微細加工 PF)の支援を受けて実施されました。[1] D. Huang, et al., Science **254**, 1178 (1991). [2] S. H. Yun, et al., Opt. Express **11**, 2953 (2002). [3] N. Ozaki et al., Proc. SPIE **10939**, 1093911 (2019). [4] B. W. Hakki, et al., J. Appl. Phys. **46**, 1299 (1975).

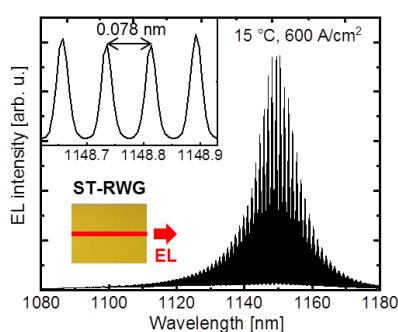


Fig. 1 EL spectrum obtained from fabricated QD gain chip with a ST-RWG. (Inset: Magnified view of the spectrum)

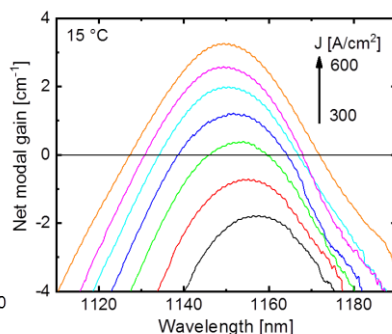


Fig. 2 Gain spectra obtained from the EL spectra under various injection currents by H-P method.

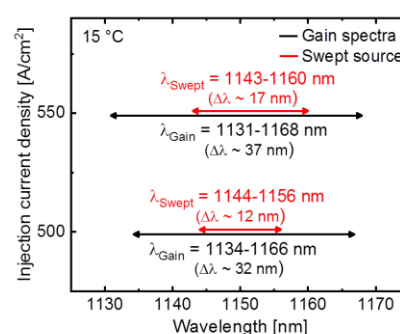


Fig. 3 Comparison of the widths of the evaluated gain (black line) and the tunable lasing using an external cavity (red line).