

点欠陥フォトリック結晶ナノ共振器レーザの電流注入室温連続発振

Room temperature current injection continuous-wave nanolaser utilized by ultrahigh- Q few-cell photonic crystal nanocavities

NTT ナノフォトニクスセンタ¹, NTT 物性基礎研², NTT 先端デバイス研² ○倉持 栄一^{1,2}, 滝口 雅人^{1,2}, 武田 浩司^{1,3}, 藤井 拓郎^{1,3}, 野崎 謙悟^{1,2}, 新家 昭彦^{1,3}, 松尾 慎治^{1,3}, 納富 雅也^{1,2}

NTT Nanophotonics Center¹, NTT Basic Research. Labs.², NTT Device Technol. Labs.³,
○Eiichi Kuramochi^{1,2}, Masato Takiguchi^{1,2}, Koji Takeda^{1,3}, Takuro Fujii^{1,3}, Kengo Nozaki^{1,2},
Akihiko Shinya^{1,2}, Shinji Matsuo^{1,3}, and Masaya Notomi^{1,2}

E-mail: kuramochi.eiichi@lab.ntt.co.jp

我々はコンパクトで低消費電力動作するオンチップナノレーザとして埋込ヘテロ活性層(buried heterostructure: BH)フォトリック結晶(LEAP) p-i-n ナノレーザダイオード(LD)を開発し電流注入にて低しきい値室温 CW 発振を実現してきた[1]。III-V on Si にも対応できる同ナノ LD は光インタコネクトや光集積回路用の光源として幅広い応用が期待されている。今後の多波長化や大規模集積化に対応するために、ピッチ $100\ \mu\text{m}$ をはるかに下回る高密度で集積可能なナノ LD の開発が望まれる。その目的には従来用いていた線欠陥 PhC ナノ共振器よりも、点欠陥 PhC ナノ共振器が適している。更に Q/V_m (Q : Q 値, V_m : モード体積) が高い点欠陥ナノ共振器には高 β や Cavity-QED において興味深い特性を示すことが期待される。今回我々は従来の点欠陥ナノ LD [2][3] よりもはるかに高 Q 値の L1, L2 [4], L3, L5 [5] ナノ共振器を BH(LEAP) ナノ LD に採用することで、これまで少数点欠陥 PhC 共振器で報告例が無かった電流注入室温 CW レーザ発振を初めて実現した。

図 1 に作製した単一点欠陥(single-cell) [2] L1 [4] ナノ LD と電流注入 CW 発振特性を示す。InP-PhC に量子井戸数 3 (3QW) または 6 (6QW) [6] の MQW を含む BH 活性層[1]を配置した。3D-FDTD 解析による基底(0^{th})共振モードの Q 値は 6.5×10^5 、 V_m は $0.92\ (\lambda n)^3$ であった。PhC 格子定数 a が 435nm の 3QW BH-L1 共振器は直流電流注入において telecom C-band でしきい値 $6\ \mu\text{A}$ でレーザ発振した (図 1 (d)(e))。本ナノ LD にはオンチップ結合導波路[1]が無いため $\text{NA}=0.40$ の対物レンズによる面直結合で受光し基底共振モードとレンズの結合効率率は約 10% であった[6]。本ナノ LD の BH 活性層サイズはサブミクロン($0.61 \times 0.2 \times 0.15\ \mu\text{m}^3$)であり光閉込係数 Γ は 1%、active volume (量子井戸層体積) は $2 \times 10^{-15}\text{cm}^3$ と非常に小さい。しきい値における Q 値は $\sim 70,000$ であり、発振には高 Q 値の共振器[4]が必要であることが示唆された。常に基底モードで単一モード発振したが、活性層の利得スペクトルが広く特に odd 高次モードからの EL 発光が強いため、図 1 (d) の明瞭なキックのある I-L 曲線を得るためバンドパスフィルタ(BPF)の使用を要した。今回 L1 に加え L2, L3, L5 ナノ LD でも直流電流注入室温 CW 発振を達成した。それらの詳細と欠陥数の異なるナノ LD の比較[6]については当日報告する。

本研究は JST、CREST(JPMJCR15N4)の支援を受けた。

[1] K. Takeda et al., Nat. Photon. **7**, 569 (2013),

[3] B. Ellis et al., Nat. Photon. **5**, 297 (2011),

[5] E. Kuramochi et al., Nat. Photon. **8**, 474 (2014),

[2] H.-G. Park et al., Science **305**, 1444 (2004),

[4] 倉持栄一 他、第 62 回春季応用物理学会 13a-A10-2

[6] E. Kuramochi et al., submitted for publication.

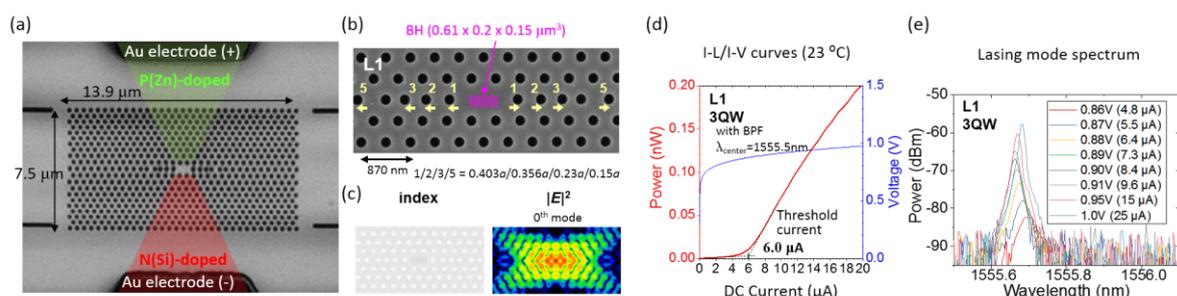


図 1 (a) A laser microscope image of BH-L1 nano-LD. (b) An expanded scanning microscope image of the center of the BH-L1 nano-LD. Air-bridge PhC slab thickness d : 250nm, PhC hole radius r : 97 nm. (c) An electronic field profile of 0^{th} cavity mode obtained by 3D-FDTD simulation. ($a=420\text{nm}$, $r=100\text{nm}$, BH size= $0.6 \times 0.3 \times 0.15\ \mu\text{m}^3$). (d) Experimental I-L/I-V curves in current injection CW operation. BPF bandwidth: 10nm, BPF insertion loss: 5dB. (e) Current dependent spectra of lasing (0^{th}) mode acquired by optical spectrum analyzer (resolution: 0.01-0.02 nm).