

一般セッション(ポスター講演) | 3 光・フォトニクス：3.12 半導体光デバイス

📅 2025年3月16日(日) 9:30 ~ 11:30 📍 P08 (森戸記念体育館)

[16a-P08-1~4] 3.12 半導体光デバイス

◆ 英語発表

[16a-P08-1]

Analysis of 1.27 μ m Near-Infrared Quantum Cascade Lasers using Si/CaF₂ Heterostructures on SOI Substrate

○Zhiyuan Fan¹, Hyuma Suzuki¹, Haibo Wang¹, Masahiro Watanabe¹ (1.Science Tokyo)

[16a-P08-2]

赤色発光 (620nm) InGaN系ナノコラムLED—電流注入効率改善への取組—

○小口 眞大¹、富樫 理恵^{1,2}、岸野 克巳^{1,2} (1.上智大理工、2.上智大ナノテク)

[16a-P08-3]

10 μ m帯量子カスケードレーザの高性能化

○安田 浩朗¹、粟根 悠介²、寺門 知二²、松村 樹²、松濱 誠² (1.情報通信研究機構、2.堀場製作所)

[16a-P08-4]

InP/Si基板上GaInAsP MQWハイメサ構造レーザの発振特性

○(M2)張 くんよく¹、史 哲文¹、趙 亮¹、黒井 瑞生¹、下村 和彦¹ (1.上智大理工)

Analysis of 1.27 μ m Near-Infrared Quantum Cascade Lasers using Si/CaF₂ Heterostructures on SOI Substrate

Institute of Science Tokyo °Z. Fan, H. Suzuki, H. Wang and M. Watanabe

E-mail: fan.z.ad@m.titech.ac.jp

Introduction

Silicon lasers for optical integrated device applications on silicon substrates have long been a challenge to realize due to the indirect band gap. Quantum Cascade Laser (QCL) scheme based on intersubband transition is a promising candidate for light amplification device principle even using indirect band gap material such as Si. In this study, we have proposed QCL using Si/CaF₂ heterostructures targeting near infrared light emitting devices with potential possibility of integration of Si-LSI technology. Si was used as quantum-wells (QWs) and calcium fluoride (CaF₂) as barriers in active layers. CaF₂ is known to be a low optical loss material for wide range from mid-infrared to extreme ultraviolet wavelength region, it has been widely used for low optical loss components, and its lattice has low mismatch with Si (+0.6%), therefore, it can be well integrated in Si based heterostructure devices.

In our previous work, we have demonstrated electroluminescence of 1.7 μ m [1], 1.2 μ m [2] and light propagation in waveguides [3] using Si/CaF₂ QWs. In this work we have proposed and analyzed a near-infrared QCL structure with $\lambda = 1.27 \mu$ m using Si/CaF₂ QWs with injection layers composed of the sequence of the ground states of Si-QWs.

Analysis and results

Conduction band profile and probability density of wavefunction of quasi-states are shown in Fig.1. The active layer consists of an emitter layer, injection layer, transition layer, extraction layer, blocking layer and relaxation layer. The layer thickness sequence is designed to be 10/2/3/2/2/2/6/2/5/3/4/3/2/3/20 (Si/CaF₂ unit: ML), here 1 ML = 0.31 nm for Si and CaF₂ with (111) orientation. The active layer has 4 barriers of 2-ML-thick CaF₂ and Si QWs with different width at injection layer to supply sufficient electrons for laser oscillation, and transition layer is designed to be 4ML narrow Si QW. In transition layer, electrons transit from level 2 to level 1, which corresponds to $\lambda = 1.27 \mu$ m, and scatter to level 1* by tunneling at extraction layer for population inversion. The waveguide structure is designed as Fig.2, the n-Si conduction layers besides active layer are designed to be 150 nm and 570 nm-thick SiO₂ layer acts as a cladding for waveguide, which is BOX layer of SOI substrate.

The waveguide mode analysis was implemented using FIMMWAVE[®]. According to the simulation result, the width of waveguide is designed to be 0.9 μ m for single

mode propagation in TM mode. The relation between threshold current density and period number is indicated as Fig.3, and the mode profile is indicated as insert figure. It realizes oscillation when the period number is only 2, where the threshold current density was 5.5 kA/cm².

References

- [1] Gensai Tei et al., Jpn. J. Appl Phys., 60, SBBE03 (2021)
- [2] Gensai Tei et al., Jpn. J. Appl Phys., 62, 072004 (2023)
- [3] Long Liu et al., IEICE TRANS. ELECTRON., E106-C, 1 (2023)

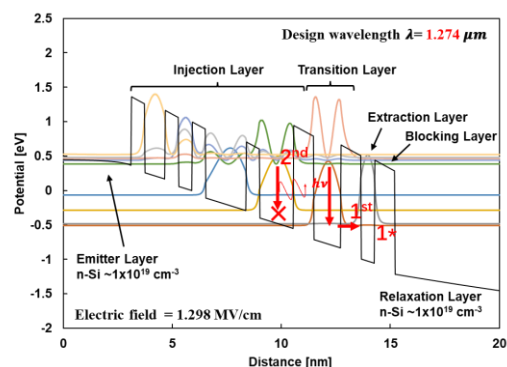


Fig.1 Conduction band profile and quasi-states of Si/CaF₂ active layer quantum-wells.

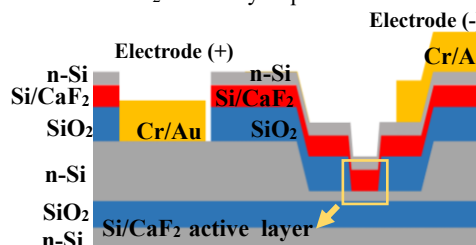


Fig.2 Structure of Si/CaF₂ QCL

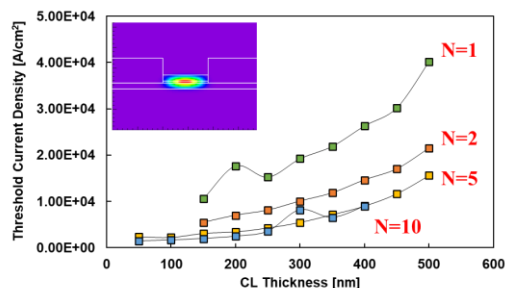


Fig.3 Threshold current density versus CL thickness. Insert figure: TM mode profile with 0.9 μ m width and 2-period waveguide.

赤色発光 (620nm) InGaN 系ナノコラム LED

— 電流注入効率改善への取組 —

Red emission (620nm) InGaN based nanocolumn LEDs

- Approach for the improved current injection efficiency -

上智大学理工¹, 上智大ナノテク² ○(B)小口 眞大¹, 富樫 理恵^{1,2}, 岸野 克巳^{1,2}

Sophia Univ.¹, Sophia Nanotech. Res. Center², ○M. Oguchi¹, R. Togashi^{1,2}, K. Kishino^{1,2}

E-mail: m-oguchi-3n4@eagle.sophia.ac.jp

はじめに : ナノコラム(NC)は直径数 100 nm の柱状結晶で、格子歪抑制などのナノ結晶効果により優れた発光特性を示す[1]。InGaN は In と Ga の組成比を変更することで、可視光全域で発光が得られるが、In 組成の大きい長波長領域で発光効率が低下する。我々のグループでは、過去に EQE : 2.1% の赤色 LED を実現した[2]。しかし、Fig.1 の InGaN NC の明視野 STEM 像を見ると、AlGaIn EBL 層上部から極性反転が生じており、pn 接合界面に欠陥が発生し、p-GaN クラッド層内で Mg ドープ量が分布し、この分布はコラムごとに異なる。これらは電流注入効率の劣化の原因を与えるが、Mg の過剰ドーピングによって惹起されることが知られている。本研究では、Mg のドーピング量を減少させながら LED 結晶を作製し、電流注入効率を改善すべく研究を進めた。

実験・結果 : GaN 基板上に、Ti マスク選択成長法を用いて、InGaIn/AlIn/AlGaIn MQW (5 ペア) 発光層を有する pn 接合 NC LED 結晶を作製した。p-GaN では、Mg ドーピング量を従来条件に対して、 $\sim 1/2$ さらに $\sim 1/4$ に減少させて成長を行った。この NC 結晶のコラム間を絶縁膜で埋め、コラムトップに直径 60.5 μm の ITO 透明電極を形成し、LED 特性を評価した。Fig.2(a)は発光スペクトルで、受光角の小さな対物レンズ(x4 で測定しており、波長 620 nm にフォトニック結晶効果に起因する鋭い赤色ピークが観測された。Fig.2(b)は電流電圧特性で、立ち上がり電圧は約 2.35V であった。詳細は、当日議論する。

参考文献 : [1] K. Kishino and S. Ishizawa, *Nanotechnology* **26**, 225602 (2015).

[2] K. Kishino et al, *Appl. Phys. Express* **17**, 014004 (2024).

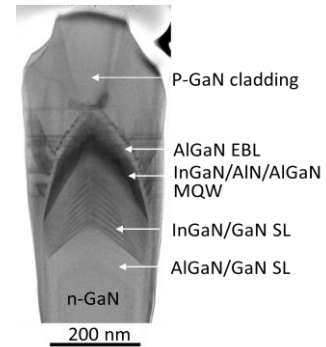


Fig.1 Bright-field STEM Image of InGaIn nanocolumn LED crystals

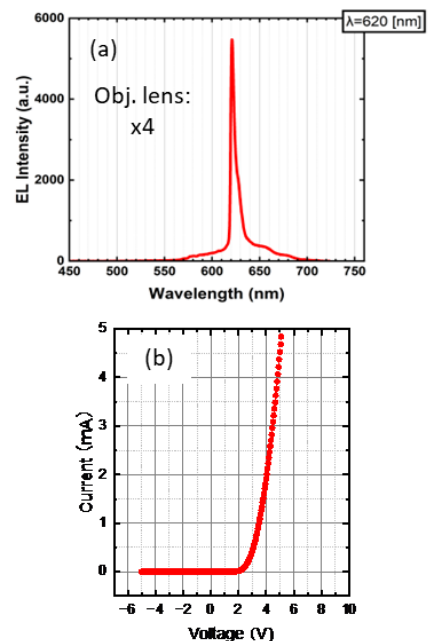


Fig.2 Emission characteristics of red NC LEDs, (a) emission spectrum, and (b) current vs. voltage characteristics

10 μm 帯量子カスケードレーザの高性能化

Improved performance of 10 μm quantum cascade lasers

情報通信研究機構¹, 堀場製作所² ○安田 浩朗¹, 粟根 悠介², 寺門 知二²,

松村 樹², 松濱 誠²

NICT¹, Horiba², °Hiroaki Yasuda¹, Yusuke Awane², Tomoji Terakado²,

Itsuki Matsumura², Makoto Matsuhama²

E-mail: yasuda@nict.go.jp

中赤外量子カスケードレーザ(MIR-QCL)は小型高出力・室温動作の半導体レーザであり、微量ガス分析、リモートセンシング等の分野で利用が進んでいる。アンモニア分子の吸収に対応する10 μm 帯で発振する MIR-QCL の性能向上を図るため、我々は以前、注入領域のウェル数とレーザ特性との関係を非平衡グリーン関数法シミュレーションにより明らかにした[1]。今回、これらの10 μm 帯 QCL を試作し、計算結果と比較したので報告する。

InP 基板上の InGaAs/InAlAs 材料系を用い、1 周期が 6, 8, 10, 12 ウェルの 10 μm 帯 QCL を作製した。図 1(a)は、この 4 構造の電流・電圧・光出力測定結果を示す。10 ウェル構造で最大の光出力(286 mW) が得られた。従来の 12 ウェル構造と比べ計算と同様に出力が大きく改善された。一方、計算では 6 ウェル構造で最大利得が得られたが、試作では十分な光出力が得られなかった。図 1(b)は、電界強度と消費電力の関係を表し、一定の光出力 (50, 100 mW) に対応する点もプロットした。8 ウェル構造で消費電力は最小となり、12 ウェル構造よりも 50 mW の場合で 3%, 100 mW の場合 16% 消費電力が減った。100 mW では、計算結果 (15%減) とほぼ同じ改善となった。計算結果と同様に 6 ウェル構造では消費電力が増加する傾向にあった。このように注入領域のウェル数を最適化することで 12 ウェル構造よりも高い光出力、低消費電力を実現した。

参考文献 [1] 安田 他, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-P07-1 (2024).

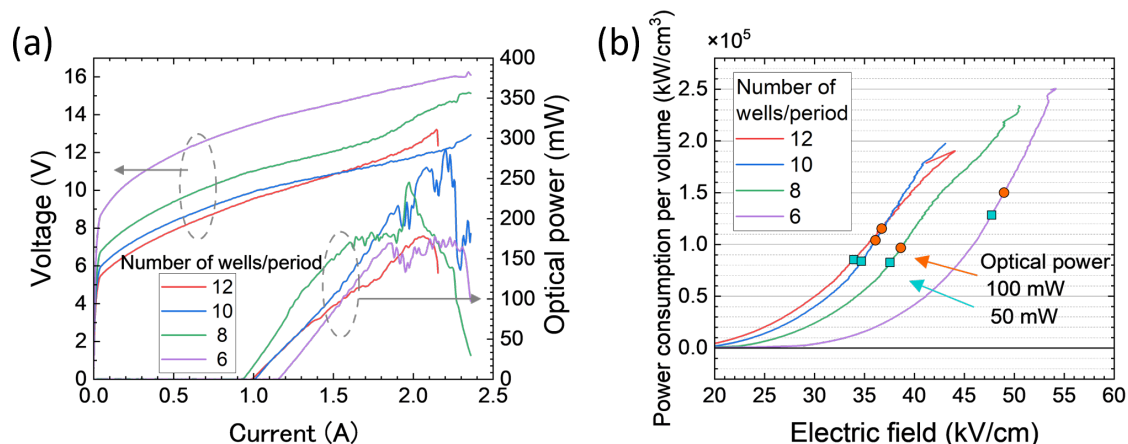


図 1 (a) 1 周期 6~12 ウェルの 10 μm 帯 QCL の IVL 特性。室温、パルスモードで測定。(b) 6~12 ウェル構造 10 μm 帯 QCL の電界強度と消費電力特性の関係及び所定の光出力に対応する消費電力。

InP/Si 基板上 GaInAsP MQW ハイメサ構造レーザの発振特性

Lasing Characteristics of GaInAsP MQW High-Mesa Structure Laser Diodes grown on InP/Si Substrates

上智大学 理工学部, Junyu ZHANG, Zhewen SHI, 趙亮, 黒井瑞生, 下村和彦
Sophia University, Junyu ZHANG, Zhewen SHI, Liang ZHAO, Mizuki KUROI, and Kazuhiko SHIMOMURA

E-mail: kshimom@sophia.ac.jp

はじめに

近年、高速かつ大容量通信の実現が求められる中、同時に大規模集積回路における消費電力の削減も重要な課題となっている。このような背景を受け、Si 基板上に InP 系の光デバイスを組み込む技術の研究が活発に進められ、光通信分野における性能向上を図ると同時に、シリコン技術を活用することでコストの削減や高集積化を可能にすることを目指している。これにより、次世代の通信インフラやデータセンターの効率化に貢献することが期待されている。この課題に対応するため、われわれは InP 薄膜をシリコン基板上に直接接合させた InP/Si 基板を用い、有機金属気相成長 (MOVPE) 法による光デバイスの作製と集積化に関する研究を行っている[1,2]。

今回、InP/Si 基板上に作製した GaInAsP MQW ハイメサ構造レーザの IL 特性を測定し、温度特性、メサ幅依存性の検討を行なった。

実験方法

直接貼付 InP/Si 基板上に MOVPE 法によって GaInAsP MQW レーザ構造を成長し、Fig.1 のようなハイメサ構造レーザを作製した。メサ幅は $10\ \mu\text{m}$ 、 $20\ \mu\text{m}$ であり、パルス電流を注入した際の IL 特性の測定を行った。また同時に成長した InP 基板上ハイメサ構造との比較検討を行った。

実験結果

Fig.2 に測定した IL 特性の一例を示す。メサ幅 $20\ \mu\text{m}$ 、共振器長 $384.8\ \mu\text{m}$ のハイメサ構造レーザを 10°C と 20°C の環境下でそれぞれ測定を行った。しきい値電流、しきい値電流密度は Table I の通りである。InP 基板上ハイメサ構造レーザと比較して遜色の無いしきい値電流密度を得た。

参考文献

- [1] K. Matsumoto, J. Kishikawa, T. Nishiyama, Y. Onuki, and K. Shimomura, Jpn. J. Appl. Phys., vol.55, no.11, p.112201, 2016.
[2] G.K. Periyannayagam and K. Shimomura, Physica Status Solidi A, 2300677, Feb. 2024.

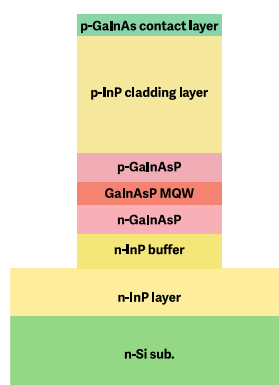


Fig.1 InP/Si high mesa LD structure

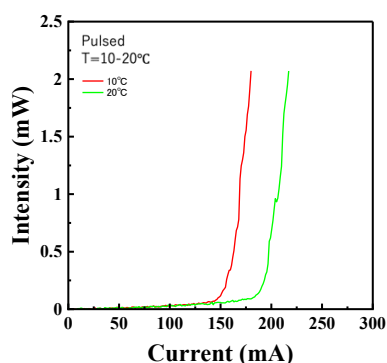


Fig.2 IL characteristics of InP/Si high mesa LD

Table I Threshold Current of nP/Si high mesa LD

Temperature ($^\circ\text{C}$)	10	20
I_{th} (mA)	145	186
J_{th} (kA/cm^2)	1.96	2.39