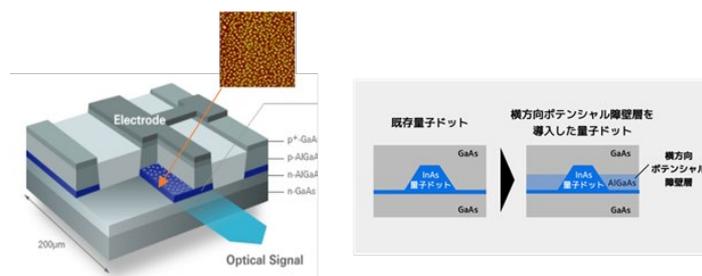


# 高温安定動作を可能にする 新型量子ドットレーザの提案と実証

—光電融合により、幅広いコンピューティング分野での  
温室効果ガスの排出量削減へ道を拓く—

## 発表のポイント

- ◆高温（150°C超）での安定動作を可能にする量子ドットレーザの新構造を提案しました。
- ◆従来の量子ドット構造に横方向ポテンシャル障壁層を新たに導入し、量子ドットレーザの更なる高温安定動作を実証しました。
- ◆光配線のデータセンターやハイパフォーマンスコンピュータへの応用のみならず、自動車分野への光配線の導入に道を拓き、光電融合による2050年カーボンニュートラルへの道筋を示し、温室効果ガスの排出量削減に大きく貢献します。



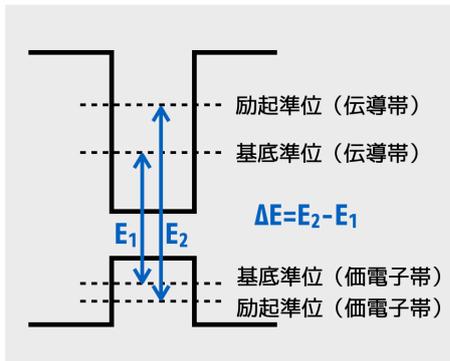
横方向ポテンシャル障壁層を有する量子ドットレーザ

## 発表概要

国立大学法人東京大学（以下、東京大学）ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構の荒川泰彦特任教授らとアイオーコア株式会社（以下、アイオーコア）の角田雅弘研究員らは、従来の量子ドット構造に横方向ポテンシャル障壁層を導入することを提案しました（図1）。この新構造は、基底準位と励起準位のエネルギー差の増大を図ることで熱擾乱の影響を抑え、量子ドットレーザ（注1）の更なる高温安定動作を可能とします。試作した量子ドットレーザを評価し、150°Cにおいて閾値電流（注2）の40%低減、およびレーザ発振温度は150°Cから160°Cへ10°Cの向上を達成することにより、高温動作安定性の実証に成功しました。

光配線のコンピューティング分野への導入では、レーザ光源の高温安定動作が課題でした。本提案による量子ドットレーザは動作温度範囲の拡大が見込め、光配線の高い信頼性につながります。今後は、本提案による量子ドットレーザの信頼性検証を進め、光配線の社会実装を加速してまいります。今回の提案・実証は、光配線のデータセンターやハイパフォーマンスコンピュータへの適応のみならず、自動車分野への光配線の導入に道を拓き、光電融合による2050年カーボンニュートラルへの道筋を示し、温室効果ガスの排出量削減に大きく貢献します。

## 量子ドットのエネルギー準位



## 量子ドット断面模式図

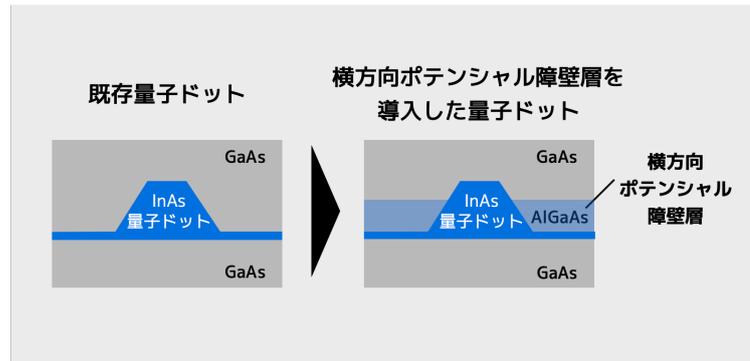


図1：開発した量子ドット構造

## 発表内容

### 〈研究の背景〉

世界のデータ量は年間約 30%のペースで急増しており、データセンターのエネルギー消費量は著しく増大しています。大量のデータを処理する最先端半導体の消費電力の伸びは著しく、データセンターのエネルギー消費量の増大に拍車をかけています。最先端の半導体は伝送速度の高速化をもたらし、従来の電気配線では信号損失が劇的に増加し、消費電力が増大することもエネルギー消費量の増大に寄与しています。伝送遅延は計算性能の低下を招き、結果、計算単位当たりの消費電力を増大させることとなります。対応方策としては、半導体間、並びに半導体とストレージとの伝送を光化することで、電気配線による消費電力の増大を抑え、かつ、計算能力を高めることにより、計算単位当たりの消費電力を低減することが極めて有効です。ここで導入を目指す「光電融合技術」(注3)は、革新的省エネ技術、かつ、革新的コンピューティング技術であり、国際的にも開発競争が激化しており、先端半導体戦略の一環として世界に先駆けた先行開発が重要なのです。その実現に立ちはだかるのが、レーザ光源自体が熱に対して脆弱であることです。従来のレーザは、発熱量の大きな先端半導体の直近に設置されると早々に発光能力を喪失するなどレーザ光源の高温安定性が大きな課題でした。

このような背景の下、東京大学とアイオーコアは 2021 年度から NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) の「次世代グリーンデータセンター技術開発」(注4)で光電融合デバイス開発に取り組んでいます。量子ドットレーザはデバイス温度 125°Cの高温下で長期信頼性を有する現時点において唯一のレーザであり、レーザ光源としてサーバ/データセンターへの実装には十分な性能を有していますが、今後、さらに CPU 等の高速化が進み光モジュール周辺の発熱量が増大する可能性があること、また、光モジュールの熱設計上の自由度の向上を確保するため、高温動作が可能な量子ドットレーザの技術開発に取り組んでいます。

### 〈研究の内容〉

#### (1) 横方向ポテンシャル障壁層を導入した量子ドットの開発

量子ドットにはレーザ発振に寄与する基底準位の他に励起準位が存在します。これらの準位のエネルギー差が室温の熱エネルギーに対し十分大きくないため、温度上昇とともにキャリアが励起準位に存在する確率が増大し、レーザ発振に必要な電流 (閾値電流) が増加することにより高温での動作に制限がありました。そこで、電流注入効率を確保しながら、基底準位と励起準位とのエネルギー差 ( $\Delta E$ ) 増大させる横方向ポテンシャル障壁層の導入を提案し、この新構造が高温動作安定性向上に有効であることを初めて見出しました。

図2は、横方向ポテンシャル障壁層の厚さを増加させたときの  $\Delta E$  の理論計算の結果です。量子ドットの高さの半分程度の方向ポテンシャル障壁層の導入でも  $\Delta E$  の増大効果が十分得られることがわかります。

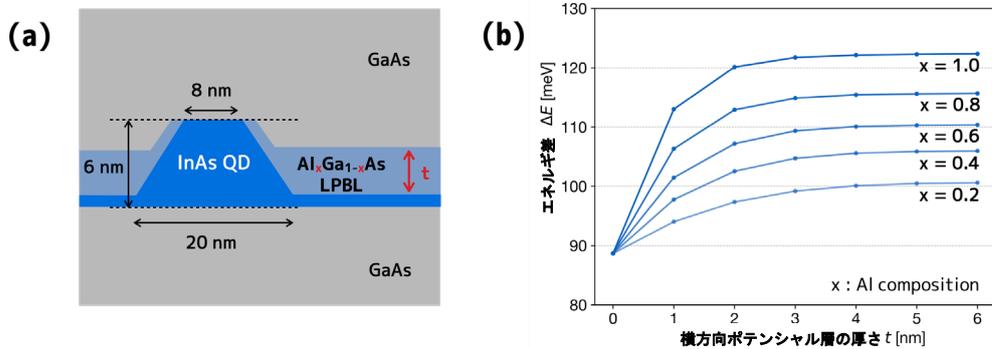


図2：(a)提案した量子ドットの構造模式図と(b)エネルギー差 ( $\Delta E$ )の理論計算結果  
LPBL: Lateral Potential Barrier Layer (横方向ポテンシャル障壁層)

## (2) 横方向ポテンシャル障壁層を導入した量子ドットレーザの試作と高温安定性の実証

今回開発した横方向ポテンシャル障壁層を有する量子ドットレーザの高温安定性を検証するため、量子ドットレーザを試作しました。図3に結晶成長により形成した横方向ポテンシャル障壁層を有する量子ドットレーザの断面構造と閾値電流の温度依存性を示します。試作した量子ドットレーザでは、横方向ポテンシャル障壁層のない従来の量子ドットレーザに比べ、150°Cにおいて閾値電流の40%以上

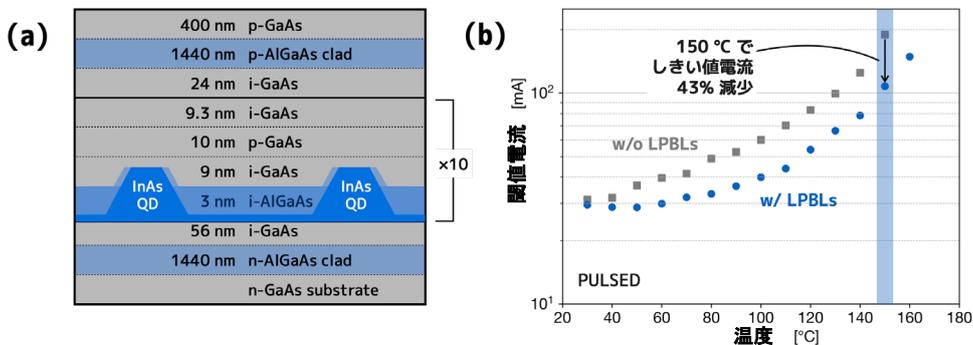


図3：結晶成長により形成した横方向ポテンシャル障壁層を有する量子ドットレーザの断面構造と  
閾値電流の温度依存性

の低減とレーザ発振温度を10°C引上げ160°Cの動作を実現しました。これらの高温安定性の向上は、高温化で長期信頼性の改善につながり、車載コンピューティング等への光配線の適用への道を拓きます。なお、今回の試作では、横方向ポテンシャル障壁層のAl組成を20%としましたが、今後Al組成を増加することにより、さらに特性が向上することが期待できます。

### 〈今後の展望〉

本成果は、2023年5月31日に韓国 Jeju で開催される国際会議 Compound Semiconductor Week (CSW) 2023 (注5)において、ポストデッドライン論文として発表されます。

東京大学とアイオーコアは本事業において、本新型量子ドットレーザのさらなる高温安定動作化を目指すとともに、光電融合デバイス（IOCore™、注6）のレーザ光源としての実装実験を進めます。これにより、2050年カーボンニュートラルへの道筋を示します。

加えて、本成果はコンピューティングの野外での利用、例えば、環境温度125℃を求める車載コンピューティング等への光配線の適用の道を拓くものでもあり、幅広い社会貢献への基盤技術を形成します。

## 学会情報

- 〈学会名〉 Compound Semiconductor Week (CSW) 2023  
〈題名〉 Improvement of Temperature Stability of Threshold Current of InAs/GaAs Quantum Dot Lasers with AlGaAs Lateral Potential Barrier Layers  
〈著者〉 Masahiro Kakuda\*, Natalia Morais, Jinkwan Kwoen, Yasuhiko Arakawa\*

## 研究助成

本研究は、グリーンイノベーション基金事業／次世代デジタルインフラの構築／次世代グリーンデータセンター技術開発／光電融合デバイス開発プロジェクト(JPNP21029)の支援により実施されました。

## 用語解説

（注1）量子ドットレーザ

電子をナノメートルスケールで3次元的に閉じ込める量子ドットを利得媒質とする半導体レーザ。量子ドット概念およびそのレーザ応用は、1981-1982年に荒川泰彦と榊裕之により提案された。量子ドットは人工原子とも呼ばれる。

（注2）閾値電流

レーザ発振に必要な電流。

（注3）光電融合技術

光回路と電気回路を融合させる技術。小型・高速・低消費電力等の特徴を有する。

（注4）「次世代グリーンデータセンター技術開発」

事業名：グリーンイノベーション基金事業／次世代デジタルインフラの構築／次世代グリーンデータセンター技術開発／光電融合デバイス開発プロジェクト

事業期間：2021年度～2025年度

事業概要：<https://green-innovation.nedo.go.jp/project/building-next-generation-digital-infrastructure/>

（注5）Compound Semiconductor Week (CSW) 2023

CSW2023は、二つの伝統的会議である第49回International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS) と第34回International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM) を統合して開催する国際学術イベント。

（注6）光電融合デバイス（IOCore™）

アイオーコア株式会社が開発した光電融合デバイス。世界最小(5x5mm 角)・高速(32Gbps/ch)・低消費電力等の特徴を有する。

## 問合せ先

国立大学法人 東京大学 ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構

特任教授 荒川泰彦 (あらかわ やすひこ)

TEL : 090-5390-0917 Email: arakawa@iis.u-tokyo.ac.jp

アイオーコア株式会社 企画部

部長 中田正文 (なかだ まさふみ)

TEL : 03-6265-3956、Email: m-nakada@aiocore.com