

# White Paper

## 量子ドットレーザ

(株)QDレーザ

### 1. はじめに

波長 1310nm 帯の半導体レーザは、主にインターネットやSNSの発展を支えるデータセンター内やデータセンター間の光通信光源として広く使用されています。近年では、シリコンフォトニクスと呼ばれる小型で高速動作が可能なシリコン光回路用の光源としても導入されています。また、シリコンフォトニクスの新たな用途として、自動運転や高度なロボティクスを実現するためのLiDAR (Light Detection And Ranging)の研究開発が進められています。

これらの用途に対する半導体レーザへの要求は、高温環境での高い信頼性、外部からの戻り光に対する優れた光耐性です。当社ではこれらの要求に応え得る量子ドットレーザの開発・生産を行っています(図 1)。本稿では、量子ドットレーザの特長についてご紹介します。



図 1. 量子ドットレーザ

### 2. 量子ドットの特長

当社の量子ドットは、分子線エピタキシー(MBE: Molecular Beam Epitaxy)法を用いて作製しています。MBE 法とは超高真空中に保たれた成長室において、るつぼから材料となる元素を蒸発させることで基板上に結晶を成長させる手法です。当社は長年にわたる研究開発の積み重ねのなかで結晶成長物理への理解を深めることで、結晶成長レートや基板温度等の様々な成長条件の組み合わせから、優れた量子ドット

レーザを実現する高密度量子ドットの結晶成長条件を見出し、実用化に成功しました。

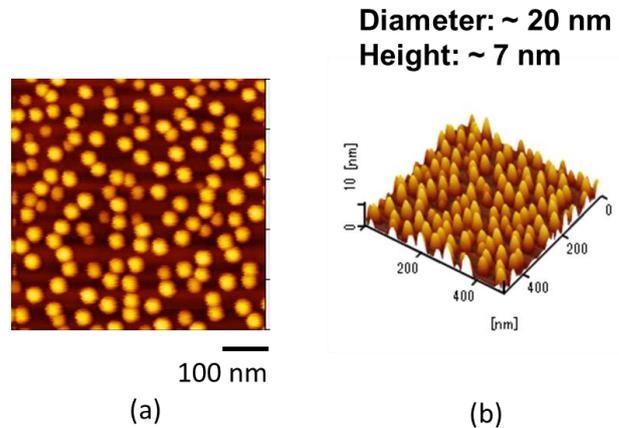


図 2. GaAs 基板上 InAs 量子ドットの原子間力顕微鏡による観察像。(a)上面図, (b)高さを立体的に示した鳥瞰図

当社の量子ドットレーザの特長として、(1) 高温環境での安定動作と高い信頼性、(2) 優れた戻り光耐性があげられます。

以下で、それぞれの特長について解説します。

#### (1) 高温環境での安定動作と高い信頼性

シリコンフォトニクスの大きな特長は、CMOS プロセスを活用し小型かつ低コストな光送受信器を可能とする点にあります。半導体レーザからの出射光をレンズを使わず直接シリコン光回路に結合させると、光結合損失が大きくなるものの、さらなる部品点数削減による低コスト化、パッケージの小型化が可能になるため、半導体レーザには高出力化が望まれています。

図 3 に量子ドットDFB(Distributed FeedBack)レーザの代表的な電流-光出力特性を

示します。25℃で 90 mW、85℃で 40 mW 以上の高い光出力が得られています。図 4 は 85℃での発振スペクトルです。光出力の安定性を示す副モード抑圧比は 50 dB 以上が得られており、高温においてもノイズの少ない光源であることがわかります。

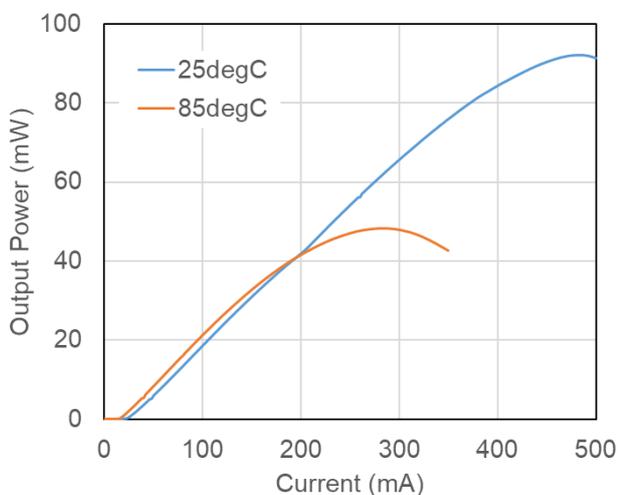


図 3. 量子ドット DFB レーザの電流—光出力特性

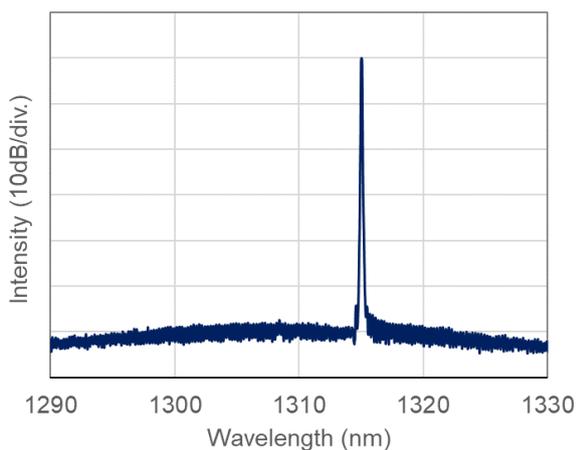


図 4. 85℃での発振スペクトル

図 5 に信頼性試験の結果を示します。85℃と 95℃における素子寿命(MTTF)は、それぞれ 28 万時間、11.2 万時間と推定され、実用上十分な信頼性を有しています。動作中の電流や光のストレスによっ

て活性層に欠陥が生成された場合、量子井戸レーザでは連続した活性層平面内を欠陥が伝搬するため劣化が速く進行します。これに対して量子ドットレーザの場合は、一つ一つの量子ドットが空間的に分離されており、欠陥が周囲に伝搬せず劣化の進行が緩やかになるため、信頼性が高いと考えられます。

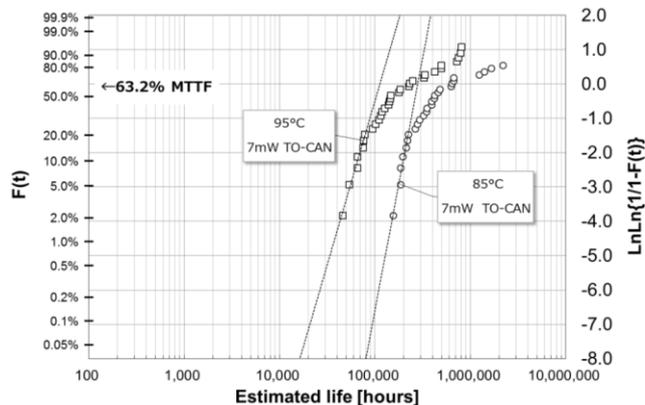


図 5. 推定寿命のワイブルプロット

## (2) 優れた戻り光耐性

量子井戸レーザを光ファイバ通信に用いると、光ファイバの接続点で反射して戻ってきた光がレーザ内部の光強度を不安定化させ、ノイズが大きくなる場合があります。これを防ぐためにレーザと光ファイバの間にアイソレータを配置しますが、シリコンフォトニクスでは部品点数や実装コスト削減のためにアイソレータの不要な光源が望まれています。

図6に反射戻り光耐性の測定結果を示します[1]。縦軸は相対強度雑音(RIN: Relative Intensity Noise)と呼ばれ、グラフの上方向にいくほど光源のノイズが大きいことを意味します。量子井戸レーザでは戻り光量が一定以上になるとノイズが増大しますが、それに対して量子ドットレーザは戻り光量が増えても量子井戸レーザよりもノイズが抑制されています。このように量子ドットレーザは外部からの戻り光耐性に優れているため、アイソレータの不要なシリコンフォト

ニクスの実現が期待されます。

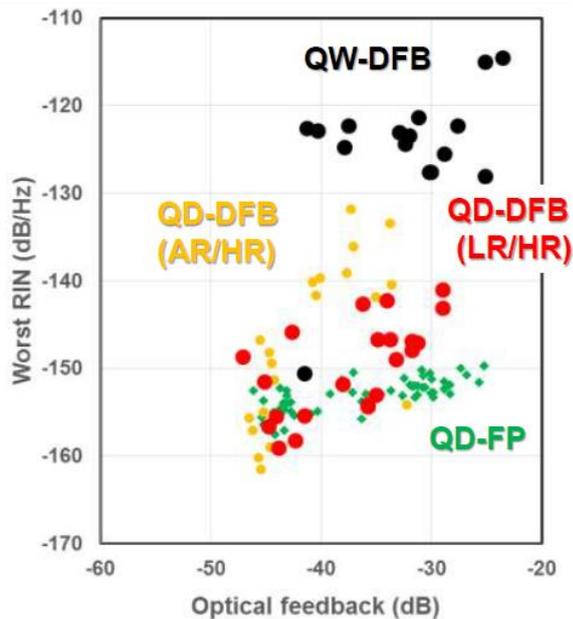


図 6. 戻り光に対するノイズ量. QW-DFB: 量子井戸DFBレーザ, QD-DFB: 量子ドットDFBレーザ, QD-FP: 量子ドットファブリパローレーザ

### 3. アプリケーション例

#### 3-1. 光インターコネク

データセンターに適用されているシリコンフォトニクスは、伝送容量増大にともない多チャンネル化や高速化が進められており、現在電気によって通信されているボード間やIC間通信も、通信速度のさらなる向上によって、光インターコネク(短距離光通信)に置き換わると予想されています。これを実現するためには、半導体レーザを高温となるICに近接させて配置する必要があるため、高温での高い信頼性を有する量子ドットレーザの適用が期待されています。また、量子ドットレーザは戻り光耐性に優れているため、アイソレータとレンズを排除した超薄型の光モジュールも可能となります(図7)。

シリコンフォトニクスチップ

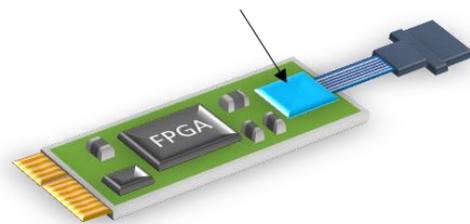


図 7. 超薄型光モジュール

伝送容量増大のために、レーザ発光部を同一素子に近接させて並べたレーザアレイ(図8)と並列光導波路を組み合わせ、高密度・並列伝送する方式も考えられます。ここで問題となるのがレーザ自身の発熱で、隣接する発光部との距離が近いことから素子全体の温度が上昇し、光出力が低下してしまいます。量子ドットレーザはこれらの高温環境でも安定動作するため、レーザの発光部の間隔を狭めた高密度光源においても光出力の低下が抑制できます。

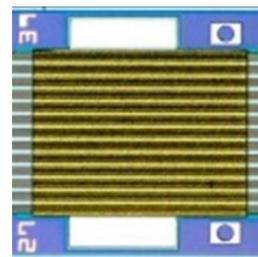


図 8. 高密度量子ドットレーザアレイ

#### 3-2. LiDAR

LiDARはパルス光や連続光を外部に照射し、物体からの反射戻り光の強度や位相を検出器で計測することによって、対象物の距離と速度を検知する技術です。高度な自動運転やロボティクスへ適用するため、LiDARの高性能化と小型化が望まれており、この実現のためには検出器と光源を近接させる、もしくは一体化させる必要があります。しかし、量子井戸レーザに外部から光が入射するとレーザの光出力が不安定

になり、信号対ノイズ比が劣化して検出感度が低下してしまいます。これを回避するためにはレーザ光源の前段にレンズとアイソレータを設置する必要があり、部品・実装コストが増加します。量子ドットレーザは戻り光耐性に優れていることから、レーザの前段にレンズとアイソレータが不要になると期待されています。また、自動運転用LiDARの場合は高温環境下での動作が求められるため、耐環境性に優れた量子ドットレーザの特長が活かされます。

#### 4. おわりに

本稿では、(株)QD レーザの量子ドットレーザについて紹介しました。量子ドットレーザのもつ高温環境での高い信頼性、外部からの戻り光に対する堅牢性はシリコンフォトニクス用光源に適しており、お客様のオンリーワン製品の創出に貢献いたします。

#### 参考文献

[1] K. Mizutani, et al., “Isolator free optical I/O core transmitter by using quantum dot laser”, proc. 2015 IEEE 12th International Conference on Group IV Photonics (GFP), pp.177-178, 2015.