

世界最高速の量子ドットレーザを開発

高密度・高均一量子ドットを用いた半導体レーザの実現

われわれは、独自に開発した As_2 分子線と組成傾斜歪み緩和層を用いることで、高密度 ($1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$) かつ高均一 (発光の半値幅: 23 meV) な量子ドットを世界で初めて製造した。この量子ドットを用いることで、これまでの量子ドットレーザには必須であった特殊なレーザ構造を用いなくて、容易にレーザ動作が得られた。さらに世界最高クラスの 40 cm^{-1} を超える高い光増幅特性が可能となった。

We fabricated a five-layered 1.3- μm InAs quantum dot (QD) with a high density and uniformity of $1.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ and 23 meV, respectively, by employing an As_2 source and a gradient composition strain reducing layer. This five-layered QD laser with a 0.5-mm cavity length and cleaved facet emits 1.3 μm wavelength light at room temperature. Moreover, we could achieve a high modal gain of 43 cm^{-1} at 1.3 μm due to the high density and uniformity of the QDs.

光情報通信と量子ドット半導体レーザの背景

近年、通信容量の爆発的な増大にともない、中短距離での大容量光通信網の重要性が増している。中短距離の光通信用光源として、光ファイバのゼロ分散波長帯 (最適波長帯) である 1.3 μm で発光する材料が注目されている。その中でも安価な GaAs 基板を用いている InAs 量子ドット半導体レーザへの期待が高まっている。また、量子ドットレーザは高い量子効率や温度無依存特性などの今までの半導体レーザを越える優れた特性を持つことから、低コスト化や低消費電力化の実現も同時に実現できるとされている。このことから、中短距離用の通信光源としてだけでなくコンピュータ間やボード間通信などの

光インターコネクタ分野をはじめ、いろいろな分野への普及が期待される。

しかし、従来の量子ドット構造は $2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ ほどの少ない面密度しか製作できていなかった。このため、扱えるキャリア数が非常に少なく、十分な光増幅を得ることができなかった。光増幅が小さいためにレーザ発振には高反射膜ミラー構造や長共振器構造などの特殊構造が必要であり、通信用光源としては動作速度などの性能面に問題があった。この問題を解決する大きな光増幅を実現するために、発光に寄与する量子ドット数を向上させる高密度かつ高均一な量子ドットの出現が望まれている。

高密度・高均一な量子ドットの製造

この研究では、高密度かつ高均一な量子ドットは、 As_2 分子線が使用できる分子線エピタキシー装置を用いて高密度な微小量子ドット構造を製造し、さらに量子ドットの直後に歪み緩和層として組成傾斜型を製造することで実現した。通常の量子ドット製造では As 材料に As_4 分子線を用いているが、 As_4 分子線では、量子ドットが不均一となり、また結晶欠陥の原因となる巨大なドット

天野 建 あまの たける
takeru-amano@aist.go.jp
光技術研究部門
光電子制御デバイスグループ
(つくばセンター)

博士課程では MEMS を用いた光機能デバイスの研究に従事し、2004 年 3 月に東京工業大学博士課程を修了。同 4 月産業技術総合研究所光技術研究部門に入所。入所以降、量子ドットを用いた光デバイスの開発に従事する。世界に先駆けて高密度かつ高均一な量子ドットの開発に成功し、高密度量子ドット分野の道を切り開いた。現在は高密度量子ドットを応用した半導体レーザの研究を主に行っているが、今後は他デバイスへの応用も考えて研究を進めている。

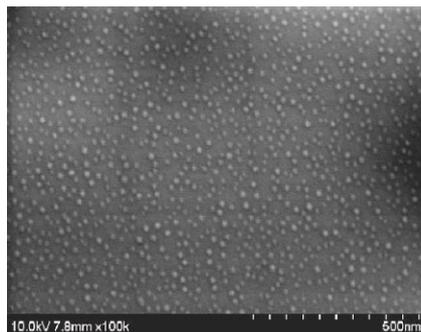


図 1 量子ドットの走査型電子顕微鏡写真

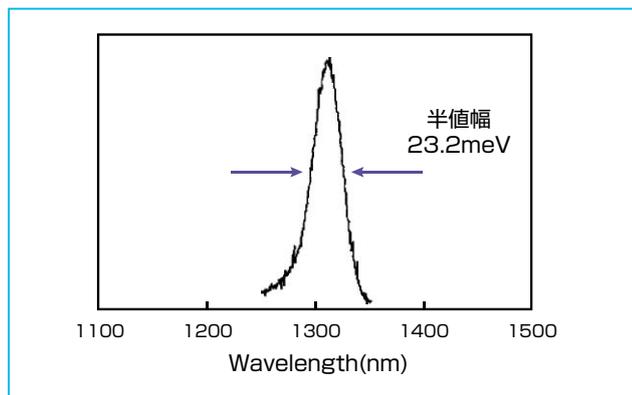


図2 量子ドットの発光スペクトル

トが発生してしまう。そこで、これを改善するため、 As_2 分子線を用いることで、欠陥ドットなしの良質で高密度 ($1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$) な量子ドットの製造が可能となった(図1)。さらに組成傾斜歪み緩和層構造を用いることで、通常の歪み緩和層よりも格子定数差を少なくできることから、高品質化が期待できる。実際に組成傾斜歪み緩和層を用いることによって、高均一化による細い発光スペクトル(半値幅: 23 meV)で、かつ長波長化(1.3 μm)された高密度量子ドットの製造が可能になった(図2)。現在、高密度かつ高均一な量子ドットは他の波長帯での実現も考えられており、光通信分野だけでなく広い範囲での応用が期待できる。

高密度・高均一な量子ドットの半導体レーザへの応用

われわれは、この高密度かつ高均一な量子ドット層を5層積層したものを活性層に用いた量子ドットレーザを試作した。活性層の性能を評価するために、レーザ導波構造は最もシンプルな利得導波路構造を用いている。従来の量子ドットレーザとは異なり、高反射膜ミラーを用いず、かつ比較的短い共振器長(0.5mm)でも1.3 μm 帯でのレーザ発振が可能となった(図3)。さらに最大モード利得(光増幅)を評価した(図4)。比較

のために、量子ドット層を3層積層したレーザの結果も併せて示した。3層の積層構造では 25 cm^{-1} ほどでモード利得が飽和してしまう。しかし、5層の積層構造では 43 cm^{-1} の大きな値が飽和せずに得られた。他の研究機関で報告されている値は、12層の積層構造でも 40 cm^{-1} となっており、この研究の量子ドットレーザでは少ない積層数で大きな光増幅が得られていることがわかる。これは量子ドットが高密度かつ高均一であるためと考えられる。

今後の展開

今回、高密度かつ高均一な量子ドットの製造に成功した。また、この量子ドットを用いた半導体レーザを製作し、

大きな光増幅を実証した。高密度かつ高均一であるこの量子ドット構造を用いれば、理論的に40 GHzを超える高速直接変調動作が可能であり、大容量光通信に必要な、高速動作性能が得られると予想される。今後は高速直接変調動作を実証する。

この技術は、量子ドットレーザの高速動作を実現するためには非常に重要な技術である。これにより、量子ドットレーザの産業化が大きく促進されるであろう。安価で高性能な量子ドットレーザが実用化されれば、大きな通信速度を必要とする高画質な映像なども家庭で楽しめる時代がくるものと期待される。

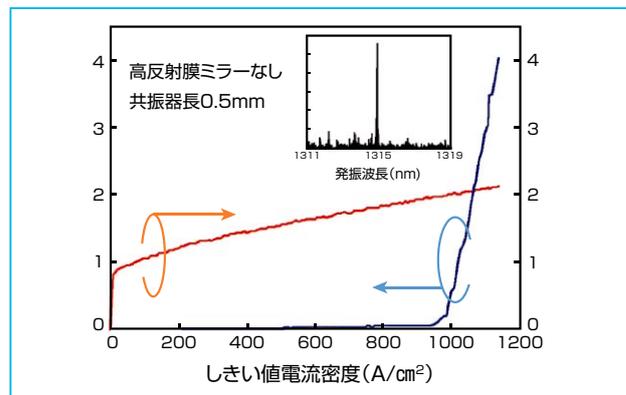


図3 量子ドットレーザの発振特性と発振波長

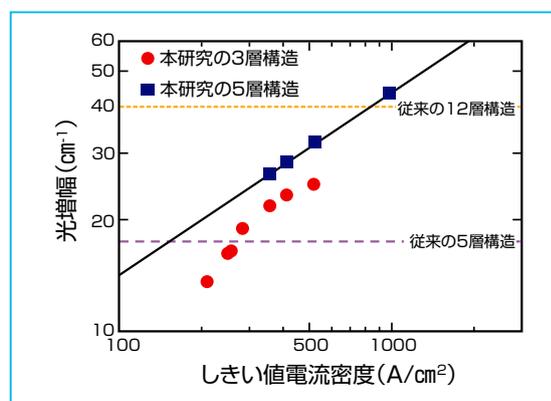


図4 大きな光増幅特性

関連情報:

● T. Amano : Japan. J. Appl. Phys. vol.44, No.12, L432-L434 (2005)