

周期構造を有する電極を用いた 広帯域近赤外光源の出力効率向上の検討

[1] 組織

代表者：尾崎 信彦
(和歌山大学システム工学部)
対応者：小野 篤史
(静岡大学電子工学研究所)

[2] 研究経過

生体・医療用非侵襲断層イメージング技術として、光コヒーレンストモグラフィー(OCT)が知られている。OCTは、生体の高分解能断層画像を得るために、近赤外波長帯の広帯域光源が用いられる。この光源の性能がOCT画像の到達深度や分解能を決定するため、様々な光源開発が盛んに行われている。

我々はこれまで、半導体ナノ結晶である自己組織化InAs量子ドット(QD)を発光材料として用いた、小型・軽量の近赤外広帯域光源デバイスの開発を行ってきた。InAs-QDは、GaAs基板上に異なる格子定数を持つInAsをエピタキシャルに結晶成長させる際に自己組織的に形成されるナノサイズの3次元構造である。自己組織化の集合体として、一定のサイズ分布を持つため、量子サイズ効果によって様々な発光波長を有する個々のQDが合わさって、広帯域な発光スペクトルを有する。また、発光波長が1.2~1.3 μm の近赤外波長帯に属しており、これらの特長はまさにOCT光源として最適である。

現在までに、発光中心波長を制御した複数のInAs-QD層を融合した帯域120nm以上の広帯域近赤外光源開発に成功しており、この光源をOCTに導入することで光軸分解能を約4 μm まで向上できることも実証している。しかしながら、この光源は出力強度がまだ十分とせず、OCT性能向上のもう一つの課題である高深達度が実現できていなかった。そこで、本研究ではその解決手段の一つとして、光源デバイス構造の設計を見直し、端面出射を得るための導波路構造や、電極に用いる金属に対する構造を新たに開発することで、端面出射光の導波効率および発光取り出し効率の向上を図り、デバイスの高輝度化を目指した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

前述のデバイス出力効率向上に寄与する構造開発のため、本年度は以下に示す研究を行った。

1) 近赤外広帯域光源作製とリッジ型導波路形状依存性の評価

和歌山大学にて現有する分子線エピタキシー(MBE)装置を用いて、InAs-QDベースの光源開発を行った。InAs-QDを4層含むGaAs層(240nm厚)をp/n-AlGaAsクラッド層(1.5 μm 厚)で挟んだ基板を分子線エピタキシー法で成長後、端面出射型の光源デバイスとするために、幅約3 μm 、高さ約1.4 μm のリッジ型導波路(RWG)を形成し、両端面をへき開して光源チップとした。

RWGの導波路構造を、直線(ST)、傾斜(TL)、J字(JS)の三種類用意し、それぞれのRWGからの出射光を計測、比較して高輝度・広帯域に適した導波路形状を模索した。各導波路は、それぞれ、両端面に垂直、両端面に垂直から6度傾斜、片側の端面に垂直で反対側には傾斜した構造を成す。チップ温度は摂氏15度に制御し、注入電流に対するエレクトロルミネッセンス(EL)強度を測定した。図1に、注入電流に対するEL強度変化を比較したものを示す。STは、端面反射によるレーザ発振が発生し狭帯域化するのに対し、JS、TLではレーザ発振が抑制され、広帯域発光が維持され、JSではより強い発光が表れた。

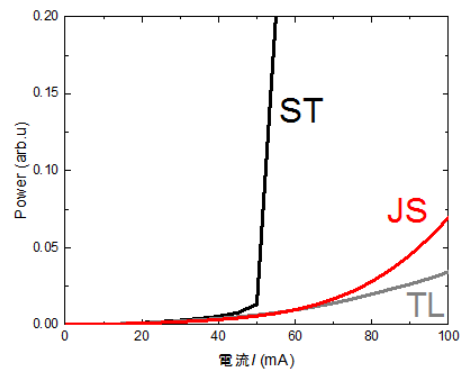


図1 3種類の異なるRWG形状を持ったサンプルからのEL強度比較

JS 構造は注入電流値に対する強度増加がより大きく、電流値に対して **superlinear** であることから、増幅自然放出光 (ASE) が得られていると考えられる。このように、RWG の構造最適化が広帯域、高輝度な SLD デバイス開発には重要であることが示された。

2) フォトニック結晶による光閉じ込め構造設計

次に、QD 光源デバイスの導波路に、周期的空孔列を用いて実現するフォトニック結晶導波路を用いることを検討した。デバイスを構成する半導体基板の屈折率約 3.4 と空気の屈折率 1 の周期的変調が、フォトニック結晶構造となり、特定の周波数帯の光モードが存在しない禁制帯 (フォトニックバンドギャップ: PBG) を形成する。この構造を SLD の活性層に導入することで、面内方向の光閉じ込め効果が向上し、端面出射の効率が高くなると期待される (図 2)。

フォトニック結晶構造を用いた SLD 光導波路

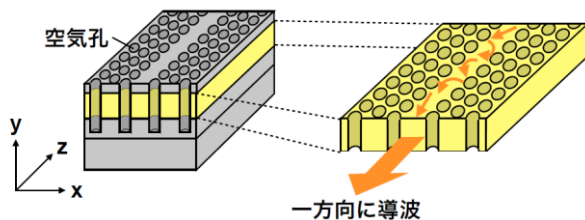


図2 SLD 活性層に対してフォトニック結晶導波路を導入した構造の模式図

2次元での平面波展開法により計算したフォトニックバンドを図3に示す。SLD の発光中心波長 1210nm に対し、PBG の帯域を最も広くする構造パラメータを求めた。その結果、 $a=0.35\ \mu\text{m}$, $r=0.14\ \mu\text{m}$ とした時、最も広い帯域の PBG (波長 858~1437 nm) を得た。これにより、広帯域光源からの発光に対して強い面内閉じ込めが実現できる。

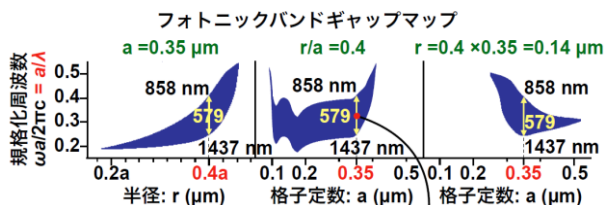


図3 フォトニックバンドギャップの計算結果

この構造パラメータを有するフォトニック結晶を形成し、その中の一列の空孔を除去することでフォトニック結晶導波路(PC-WG)が得られる。PC-WG

モデルに対する光伝搬シミュレーションを FDTD 法で行った結果を図4に示す。波長 1210nm の光が導波路内に閉じ込められて伝搬する様子が確認でき、出射端における取り出し効率として約 50% が得られた。

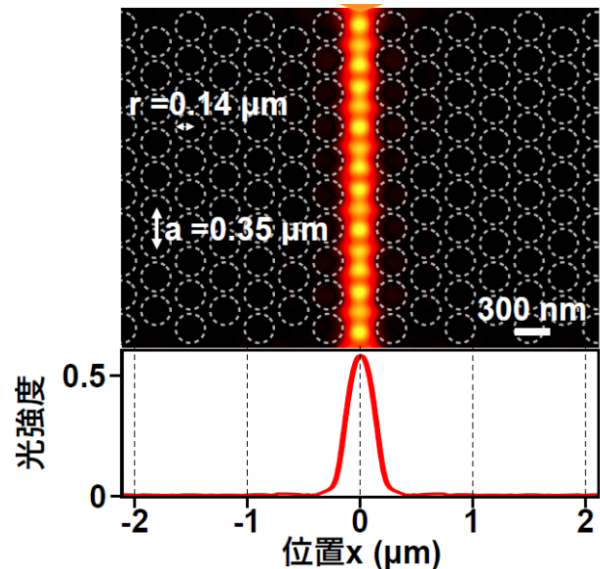


図4 PC-WG 内の光伝搬シミュレーション

(3-2) 波及効果と発展性など

今後は、上記の結果をもとに、最適な導波路構造を決定し、デバイスの発光取り出し効率の増加を実証する。本研究によりデバイスの発光増強効果が確認できれば、近赤外広帯域光源開発の新たな可能性を提案できる。特に、小型・軽量の半導体ベースの光源デバイスでありながら、大型の光源装置と同様の輝度が得られれば、全体のパッケージが小型化された OCT の開発が期待され、新たな診断ツール機器の開発に繋がっていくと予想される。

[4] 成果資料

本プロジェクトに関する成果公表はまだない。