

プラズモン共鳴による発光増強効果を利用した自己組織化 InAs 量子ドットベース高輝度近赤外広帯域光源の検討

[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)

分担者：

小野 篤史 (静岡大学電子工学研究所)

杉本 喜正 (物質・材料研究機構)

池田 直樹 (物質・材料研究機構)

[2] 研究経過

近赤外光は生体への高深達度や非侵襲性といった特長から、生体・医療イメージング技術に広く利用されている。特に光コヒーレンストモグラフィ(OCT)においては、この近赤外光源の開発が盛んに行われており、OCTの高分解能化に有効な広帯域光源の開発が進められている。我々はこれまで、半導体ナノ結晶である InAs 量子ドット(QD)を用いた近赤外広帯域発光デバイスの開発を行っている [Jpn. J. Appl. Phys. **53**, 04EG10 (2014), IEICE Trans. Electron. **E99-C**, 381 (2016)]が、このデバイスの発光強度向上(高輝度化)が現在の課題となっている。そこで本プロジェクトでは、その解決手段として、プラズモン共鳴現象による量子ドットの発光増強現象を利用した高輝度化を実現すべく、その方法の検討を行った。具体的には、まず OCT に有用な広帯域光源デバイスを波長制御された複数の InAs-QD を用いて作製後、その発光特性を評価し、発光波長にプラズモン共鳴する周期構造を有する Au 電極の設計を検討した。

和歌山大学にて InAs-QD を用いた半導体基板成長を行い、物質・材料研究機構にて成長基板への微細加工による SLD 光源デバイス作製を行った。その後、和歌山大学にて作製した SLD デバイスの EL スペクトル特性(波長帯、帯域幅など)を評価し、この特性に適用できるプラズモン発生構造を静岡大学電子工学研究所での Au ナノ周期構造に対するシミュレーションにより検討した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

発光デバイスの元となる半導体基板の作製を和歌山大学に現有する分子線エピタキシー(MBE)装置にて行った。図1に示すような、厚さ 240 nm の GaAs 層内に InAs-QD を 4 層含む活性層と、その上下を厚さ 1.5 μm の p/n-Al_{0.35}Ga_{0.65}As クラッド層で挟んだ p-i-n ヘテロ接合半導体基板をエピタキシャル成長により作製した。AlGaAs は GaAs よりもバンドギャップエネルギーが大きく、また屈折率が小さいため、活性層内へのキャリアおよび光閉じ込めが実現される。各 QD 層は異なる厚み(0, 1, 1.9, 4 nm)の歪緩和層(In_{0.2}Ga_{0.8}As)により発光中心波長を制御し、基底準位(GS)間発光波長が約 1220~1300 nm、第一励起準位(ES)間発光波長が約 1150~1200 nm となるよう調整した。

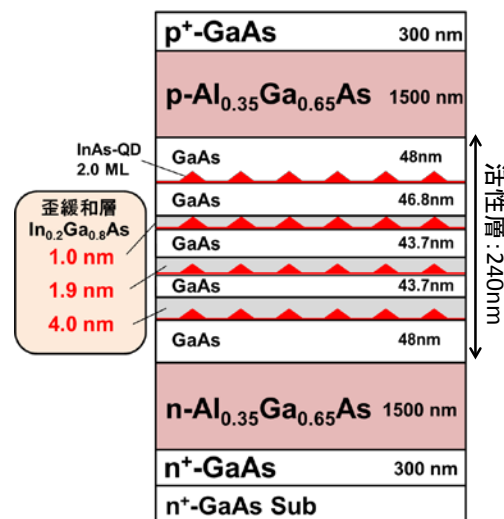


図1 成長基板の断面模式図

成長した基板に対し、物質・材料研究機構にて半導体微細加工プロセスによりリッジ型光導波路を形成した。導波路を作製後、p 側および n 側に Au 電極を形成し、へき開により長さ 4 mm、幅 2 mm のチップ形状とした。図2にデバイス作製工程の模式図およびチップ作製後の断面 SEM 像を示す。

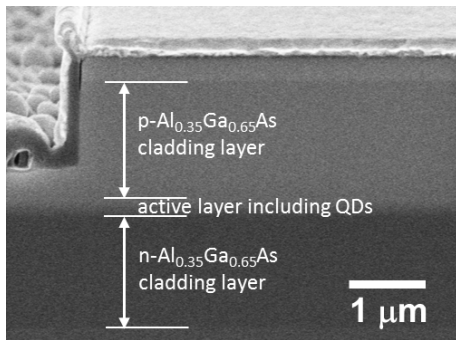
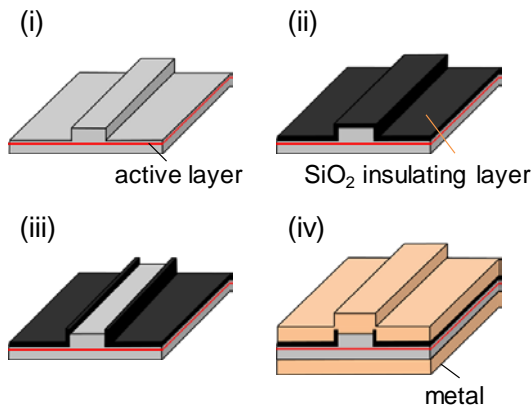


図2 デバイス作製工程模式図 (上) および作製したデバイスの断面SEM像 (下)

このチップに対し、電流注入によって端面から出射されるエレクトロルミネッセンス(EL)を室温にて測定した。図3に得られたELスペクトルの例を示す。注入電流密度の増加に伴いピーク発光波長が短波長にシフトしながら、ガウシアン形状に徐々に推移した。これは、注入電流の増加によりQDのGSがキャリア飽和し、ESに供給され始めることでES間発光強度が徐々に増加したためと考えられる。帯域は最大約85nmであった。この波長帯域、強度分布などを加味し、最適なプラズモン共鳴効果を発揮する電極構造の検討を行った。

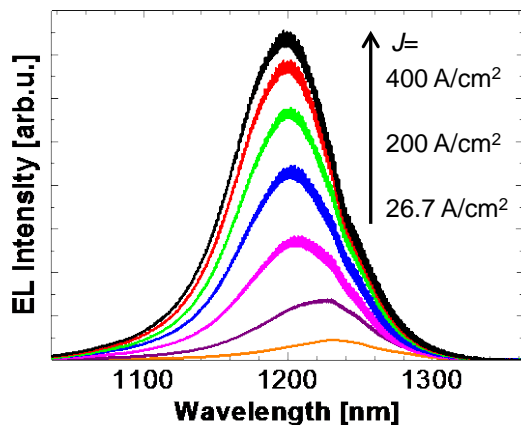


図3 InAs-QDベース近赤外広帯域光源から得られたELスペクトルの注入電流密度依存性

具体的な設計思想として、本デバイスの発光波長帯に共鳴するプラズモンを発生する周期構造を、Au電極と半導体導波路との界面部分に設けることを検討している。QD層から等方的に発光する光のうち、導波路に対し全反射条件から外れる光(例えば導波路に垂直な方向に進む光など)は導波モードに結合せず、出射端面からの取り出しに寄与しない損失光となる。しかし、Au電極に周期構造を設けたグレーティング構造を導波路との界面に形成すれば、グレーティング構造においてプラズモン共鳴モードが発生する。導波路に結合しない損失光が、このプラズモン共鳴モードを発生させ、さらにそのモードと導波路モードが共鳴すれば、一度リークした損失光を導波路に再結合できるため、取り出し効率を向上できる。現在、この構造を実現すべく、当該半導体デバイス構造を用いたモデル計算を進めている段階であり、周期構造パラメータの最適化を図っている。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、近赤外広帯域光源とプラズモン共鳴効果による外部取り出し効率向上を目指した研究であり、実現すれば量子ドットベースの近赤外広帯域光源の高輝度につながる。その結果、OCTなど医療イメージングにとって有用な光源開発が促進され、画像深さの拡大など現在のOCTの課題解決につながるといった波及効果が期待できる。また、OCTのみならず、光通信分野など近赤外光を用いた様々な分野における光デバイスの効率向上への応用も期待される。

[4] 成果資料

本プロジェクトは本年度が初年度であり、まだ論文公表はない。

出張報告

氏名：
所属：
期間：
用務先：
用務内容：
主たる対応者：