

位置制御された PbS 量子ドットとメタマテリアルとの 組み合わせによる発光特性制御

Light emission control by combination of position-controlled PbS quantum dots
and a single metamaterial element

横浜国大院理工¹ ○(M1)杉崎 俊太¹, (M2)杉本 卓也¹, (M1)池田 航介¹, 向井 剛輝¹

Graduate School of Engineering Science¹, Yokohama National Univ.,

○S. Sugisaki¹, T. Sugimoto¹, K. Ikeda¹, K. Mukai¹

E-mail: mukai-kohki-cv@ynu.ac.jp

【はじめに】高度情報化社会の発展に伴う通信の高速化や信頼性の確保のため、量子情報処理デバイスの実現が期待されている。その有望な材料のひとつに量子ドット(QD)がある。我々はこれまでシリカコーティングによって発光波長を変化させずに QD の見かけ上のサイズを変化させることに成功している[1]。またナノサイズの金属構造を用いて自然界にない電磁気学特性を実現するメタマテリアルの研究が盛んである。本研究では、走査型プローブ顕微鏡(SPM)リソグラフィーとシリカコーティング技術を用いて単一 QD を位置制御し、メタマテリアルと組み合わせた素子(Fig.1)を作製してきた。この組み合わせでは、メタマテリアル中の電子振動との共振によるパーセル効果で、QD の発光が高速化し、指向性が向上することなどが期待される。本研究では、前回報告時[2]よりメタマテリアルを厚膜化するなどの改善によって安定した共振を実現した結果得られた素子の光学特性を報告する。

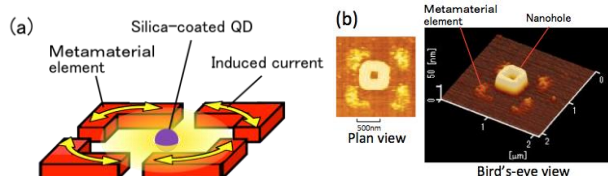


Fig.1 (a) Schematic of photon generating device, and (b) SPM images of fabricated device before QD trapping.

【実験】FDTD 法(時間領域差分法)による光学シミュレーションを用い、シリカコート QD の位置がメタマテリアルの中心からずれた際の、素子からの発光の指向性の変化を評価した。本研究の先行研究に基づきシリカコート PbS QD を合成したのち[1]、目的とする素子の作製を行った。まず、SPM 陽極酸化及びウェットエッチングによって Si 基板上にナノホールを作製した。基板のピラニア洗浄後に自己組織化単分子膜(SAM)形成を行い、SPM 陽極酸化によってメタマテリアル・パターンを形成した後、キャタリスト溶液及び無電解めっき液に浸漬させる事でパターン部のみに Ni めっきを施し、メタマテリアルを作製した。最後にシリカコート QD をナノホールにトラップし、目的とする素子を実現した。作製中の素子の様子を Fig.1(b)に示す。中央の周囲より高い部分がナノホール形成部で、ここに QD をトラップする。その周囲に四分割スプリットリング型メタマテリアル要素が形成されている。

完成した素子の μ PL (micro photo luminescence) スペクトルと蛍光寿命の温度変化を評価した。

【結果】シミュレーションの結果、QD の位置がメタマテリアルの中心から 750nm ずれると、QD が中心にある場合と比べて直上方向への光の放射角度が約 2 倍に劣化することが判明した。

Si 基板のピラニア洗浄と SAM 形成の条件を最適化する事で SAM 部の疎水性を高めた結果、SiO₂ で形成されている親水性のメタマテリアル・パターン部により選択的にめっきを施す事ができるようになった。その結果、Fig.1(b)に示すような厚さ約 13nm のメタマテリアルの作製に成功した。中央のナノホールにシリカコート QD をトラップして、素子を完成させた。

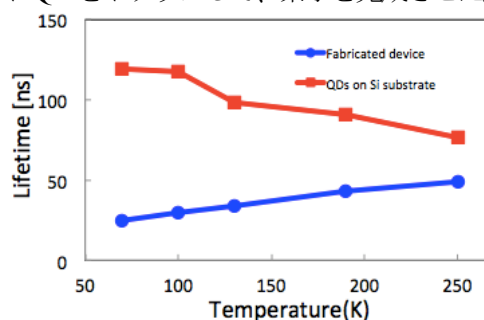


Fig.2 Temperature dependence of lifetime.

μ PL 測定の結果、温度に依存しない 1190nm 付近の発光ピークが確認された。メタマテリアルの共振波長は温度によって変化しないため、これらのピークはメタマテリアルとの共振によって増強した QD からの発光によるものと考えられる。作製した素子と Si 基板上に滴下・乾燥させた QD の、蛍光寿命を比較した結果を Fig.2 に示す。全ての温度で素子の発光寿命は QD だけのものより短く、70K で最大の約 5 倍に高速化した。QD 発光がメタマテリアルと共振していることを示唆すると考えられる。QD の発光寿命は温度上昇に伴い短くなったが、これは非発光再結合の影響だと考えられる。

本研究は、一般財団法人キャノン財団の研究助成を受けて行われました。

【参考文献】

- [1] K Mukai et al., JJAP 57, 04FH01 (2018).
- [2] 杉本卓也、第 66 回応用物理学会春季学術講演会、12a-W631-7, 2019 年 3 月。