

メタマテリアルとシリカコート PbS 量子ドットを組み合わせた 光子発生素子

Photon generating device combining metamaterial with silica coated PbS quantum dots

横浜国大院理工¹, 横浜国大理工², 横浜国大院工³ ○(M1)杉本 卓也¹, (B)杉崎 俊太²

(M2)渡辺 慧³, 向井 剛輝^{1,2,3}

Graduate School of Engineering Science¹, College of Engineering Science²,

Graduate School of Engineering³, Yokohama National Univ.,

○T. Sugimoto¹, S. Sugisaki², S. Watanabe³, K. Mukai^{1,2,3}

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)を作製した。この組み合わせでは、メタマテリアル中での電子振動と QD の発光が共振する事で、強度の増大、高速化、指向性の向上が起こることが期待される。素子を試作し、初期的な光学性能を評価した。

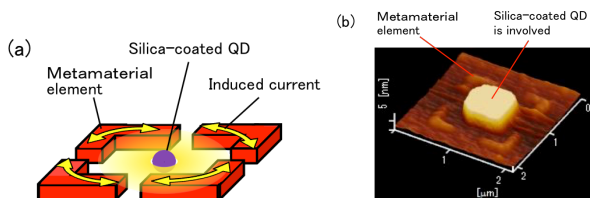


Fig.1 (a) Schematic of photon generating device
(b) SPM image of fabricated device

【実験】シリカコート QD の発光ピーク波長 (1300nm) に共振するメタマテリアル構造を、FDTD 法 (時間領域差分法) によるシミュレーションを用い設計した。本研究室の先行研究に基づきシリカコート QD を合成した[1]。次に目的とする素子の作製を行った。まず、SPM を用いた陽極酸化により Si 基板上にナノホールマスクパターンを形成し、水酸化カリウムを用いたウェットエッチングによってナノホールを作製した。その基板を自己組織化単分子膜(SAM)で被覆し、SPM の陽極酸化によってメタマテリアルのマスクパターンを形成した後、パラジウム溶液及びめっき液に浸漬させる事で、パターン部のみにめっきを施しメタマテリアルを作製した。SAM 部が疎水性であるのに対して、SiO₂ で形成されているパターン部が親水性であるため、選択的にめっきが形成される。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。作製した素子の様子を Fig.1(b)に示す。Fig.1(b)の中央の部分がナノホール形成部でここに QD がトラップされている。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。作製した素子の μ PL (micro photo luminescence) スペクトルの温度変化を評価した。

【結果】100 個程度のシリカコート QD が含まれている素子の μ PL の測定結果を Fig.2 に示す。目標とする QD 数は 1 個だが、まず複数の QD を含む素子によって共振器の動作特性を確認した。

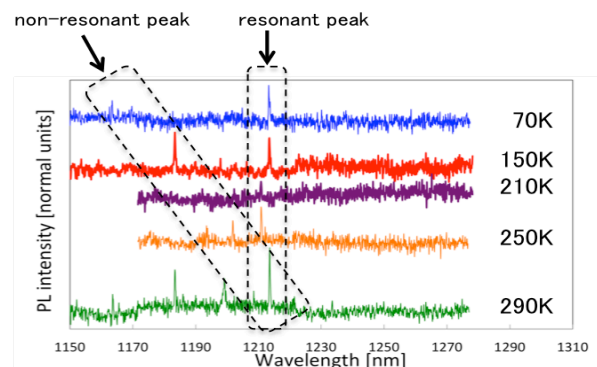


Fig.2 Temperature dependence of μ PL spectra of fabricated device

μ PL 測定の結果、単一 QD からの発光ピークが各温度で複数観測された。ピーク位置の温度変化には 2 通りの傾向が見受けられた。温度が低くなるにつれて発光波長が短波長側にシフトするものと、約 1210nm で温度によらず一定のものである。温度によってシフトする場合の波長の変化量は、QD 溶液を平面基板上に滴下、乾燥させて測定した場合と同じであることから、同一 QD からの発光ではないかと考えられる。また、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、温度に依存しないピークはメタマテリアルとの共振によって増強した、各温度で異なる QD からの発光によるものではないかと考えられる。

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., Jpn. J. Appl. Phys. 57, 04FH01 (2018).