

メタマテリアルと PbS 量子ドットを組み合わせた光子発生素子の提案

A photon generating device combining metamaterial and PbS quantum dot

横浜国大院工¹, 横浜国大理工² ○渡辺 替¹, 奥村 勲¹, 山下 洲造¹, 杉本 卓也²,
向井 剛輝^{1,2}

Graduate School of Engineering¹, College of Engineering Science², Yokohama National Univ.,

○S. Watanabe¹, I. Okumura¹, S. Yamashita¹, T. Sugimoto², K. Mukai^{1,2}

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情報の大容量化や信頼性の確保のため、情報を量子力学的に処理する量子情報技術が注目されている。その有望な材料の一つに量子ドット(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制御す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的特性を実現するメタマテリアル(MM)の研究が盛んである。本研究では、新しい単一光子発生素子として、一個のシリカコートQDと一個のMMを組み合わせる構造(Fig.1)を提案する。この組み合わせによりQD発光の高速化や指向性の向上が期待される。実際に素子を試作し、その基本的な光学特性を評価した。

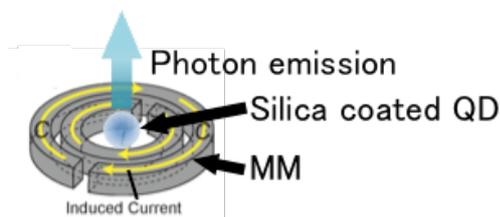


Fig.1 Schematic of photon emission device

【実験】他の形状と比較してサイズを大きくでき、QDを中心に配置しやすいため、MMの構造として二重スプリットリング型を選択した。Si基板上に配置した本素子について、FDTD(時間領域差分)法を用いたシミュレーションによって発光の様子を確認し、波長1300nmの光に共振する構造を設計した。塩化鉛2.0gと硫黄0.0575gをそれぞれオレイルアミン7.2ml、2.0mlに溶解、混合させ、90℃で50秒間反応させ、発光波長1300nmのQDを作製した。さらにシクロヘキサン6ml、アンモニア水200μl、界面活性剤(CO-520)0.35gを混合して逆ミセル溶液を作製し、これに前述のQD溶液を150μl混合して30分間攪拌、オルトケイ酸テトラエチル(TEOS)350μlを加えて24時間攪拌することで粒径約70nmとなるようQDにシリカコートをした。このシリカコートQDを電子線リソグラフィによって作製したMM上に滴下・トラップさせ、余分なQDを工業用

綿棒で拭い去ることで素子を実現した。μPL(micro photo luminescence)測定により発光スペクトルの温度依存性を評価した。

【結果】シミュレーションの結果、材質Au、厚さ100nm、外径540nm、線幅90nm、スプリット間隔50nm、中心直径80nmの設計値を得た。この構造において波長1.3μmの光の直上方向への指向性が確認された(Fig.2)。

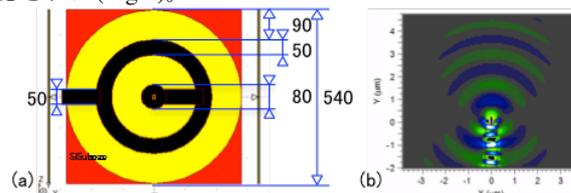


Fig.2 (a) Plan-view layout (unit: nm) and (b) Cross-sectional optical mode diagram of the designed structure (device position $x=0, y=0$)

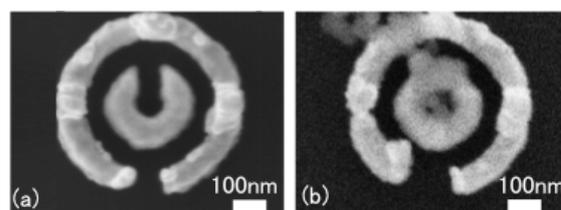


Fig.3 SEM image of (a) MM before QD trapping and (b) MM with trapped QD

試作した素子の様子をFig.3に示す。QDはMMの中心以外にも複数トラップされていた。この素子のμPL測定を、液体窒素温度から室温まで昇温しつつ行なった。その結果、温度80Kと250Kにおいて、波長1204nmと1164nmで発光ピークの増強が確認された。発光強度の増大は共振による上部への発光指向性の増強を示唆するものである。詳細は口頭にて報告する。

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]I. Okumura, et al., Ext. Abstr. Solid State Devices and Materials, 2017, p. 863.