量子ドットと楕円形スプリットリング型メタマテリアルを組み合わせた 偏光制御単一光子放出器

Polarization-controlled single-photon emitter combining quantum dots and elliptical split-ring metamaterials 横浜国大理エ¹, 横浜国大院理エ² ○(B) プリブル 一生¹, (M2)中川 大樹²,

(M1)内山 恭介², 向井 剛輝^{1,2}

College of Engineering Science¹, Graduate School of Engineering Science², Yokohama National Univ., ^oI. Pribyl¹, T. Nakagawa², K. Uchiyama², K. Mukai^{1,2} E-mail: mukai-kohki-cv@vnu.ac.jp

【はじめに】単一光子放出器は、光子状態を量 している。また、共振波長が同一の場合、楕円 面プラズモンによって光場を制御できるメタマ が向上する。更に短軸側で光源と MM が近接す テリアル(MM)の単一ユニットと量子ドット(OD) るため、電界とのカップリングが強まる。 などの光子源を組み合わせた、極微小な単一光 子放出器を提案している[1]。放出光子の指向性 や偏光などの光学的性質は MM 構造に依存する。 本研究では、楕円形スプリットリング(SR)型 MM を用いた単一光子放出器の動作特性予測と 試作を行った。



Fig.1 Resonance modes in (a) circular SR-MM and (b) elliptical SR-MM.

【実施内容】円形 SR型 MM では、円環状の電荷 振動モードと面内における電気分極モードの2 種類の電界振動が併存する(Fig. 1(a))。一方、楕 円形 SR型 MM では面内の電気分極モードが優位 となる(Fig. 1(b))。中心部に発光波長 1300nm の点 光源を設置した Pt 製円形及び楕円形の MM 単一 ユニットの動作特性を、FDTD 法(時間領域差分 法)に基づいてシミュレートし、比較した(CST Studio Suite を使用)。更に、素子を FIB (Focused Ion Beam)リソグラフィによって試作し、光学性 能を評価した。

【結果】構造が最適化された楕円形 MM 直上に おいて、単位面積あたりの電界強度 7.65×105 V/m³が得られた。この値は最適化された二重円 形 MM の場合の約 2.8 倍である。また、楕円形 MMは指向性も優位であることが確認された(Fig. 2(a), 2(b))。楕円形 MM の構造最適化過程におけ る、3つの振動方向に対する電界強度の MM 厚 依存性を Fig. 2(c)に示す。いずれの MM 厚にお いても、y, z 方向より x 方向の電界強度が強い。 これは長軸方向の電界振動が優先的に生じるた めであり、偏光が1方向に制御されることを示

子ビットとして使用する量子情報処理システム 形 MM の長軸は円形 MM の直径より大きくなり、 の基本コンポーネントである。我々は、局在表 放出後の光モードの広がりが抑制され、指向性



Fig.2 Optical mode of (a) double circular SR-MM and (b) elliptical SR-MM. (c) Electric field strength of elliptical SR-MM as a function of MM thickness in three directions.

試作した楕円形 MM の設計値との寸法誤差は 50 nm 以内であった(Fig. 3(a))。MM の内側に 2 ×10⁶個程度のコロイド型 PbS OD をトラップし た。提案している素子では本来、MM 内側の中 心部にナノホールを形成し単一 QD 光源を配置 するが、今回はMMの共振器特性を評価するた めにこのような素子構造とした。試作素子のマ イクロ・フォトルミネッセンス・スペクトルと、 S11 パラメータのシミュレーション結果とを比 較した (Fig. 3(b))。実測されたスペクトルにお いては波長 1200nm と 1450nm 付近にピークが みられたが、類似の2つのディップがシミュレ ーションでも見られることから、共振スペクト ルが観察されたと考えられる。



Measured micro photoluminescence spectrum and simulated S11 parameters of elliptical SR-MM.

本研究の一部は JSPS 科研費 JP21K18197 の研 究助成を受けて実施された.

【参考文献】

[1] K. Mukai et al., Jpn. J. Appl. Phys. 59, SGGH06 (2020).