

# スプリットリング型共振器を用いた 単一量子ドットの発光制御技術の検討

## Investigation of emission control technology of single quantum dot using split ring resonator

横浜国大理工<sup>1</sup>, 横浜国大院理工<sup>2</sup> ◦(B)青山 大介<sup>1, 2</sup>, (M2)杉本 卓也<sup>2</sup>,  
(M1)杉崎 俊太<sup>2</sup>, 向井 剛輝<sup>1,2</sup>

College of Engineering Science<sup>1</sup>, Graduate School of Engineering Science<sup>2</sup>, Yokohama National Univ.,

◦D. Aoyama<sup>1</sup>, T. Sugimoto<sup>2</sup>, S. Sugisaki<sup>2</sup>, K. Mukai<sup>1,2</sup>

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秘匿性の確保のため、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。その実現のための有望な材料の一つが量子ドット(QD)である。また微小な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の研究が盛んである。我々は、QDをシリカコートすることで発光波長を変化させずQDの見かけのサイズを大きくし<sup>[1]</sup>、メタマテリアルの一つである二重スプリットリング型共振器(SRR)の中心部にこのシリカコート QD を1個トラップした構造(Fig.1(a))を、新しい単一量子発生素子として提案している<sup>[2]</sup>。この素子では、メタマテリアルと QD の発光が共振することで、発光指向性の向上や Purcell 効果による発光明減現象の抑制などが期待される。本研究では光学シミュレーションによって、SSR の設計値や埋込み構造が、本素子の光学特性に与える影響を詳しく検討した。

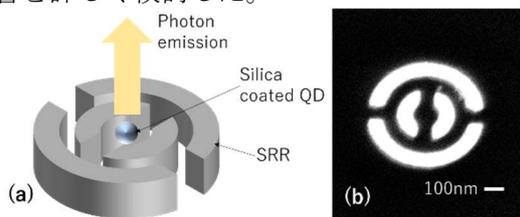


Fig.1 (a) Schematic of photon emission device, and (b) SEM image of fabricated SRR.

【実験】FDTD 法 (時間領域差分法) による光学シミュレーション (Full Wave, CYBERNET; CST Suite Studio, DASSAULT SYSTEMES) を行ない、設計値、SRR の膜厚、Si や PMMA による埋込みの効果を調べた。また実際に SRR を電子線リソグラフィによって試作し(Fig.1(b))、光学特性を評価した。

【結果】Fig.2 に SSR の共振スペクトルをシミュレーションした結果と、実際に作製した SSR に複数の QD を担持させて測定した共振スペクトルを示す。シミュレーションでは、中心に波長 1300nm の点光源を置いた金製の SRR をモデルとして用いた。SRR のサイズは試作品の実測値を用いた。シミュレーション結果と実測の結果はほぼ同じ 1230nm にピークがあることから、

シミュレーションの性能再現性が高いことを確認した。

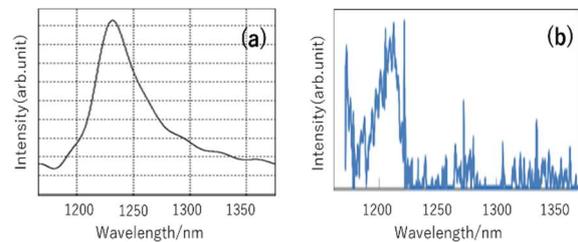


Fig.2 Resonance spectra of SRR in (a) simulation and (b) experiment.

SRR の膜厚を 100nm から 450nm の範囲で変化させた場合に、素子上方のモニターで観察した発光スペクトルのシミュレーション結果を Fig.3(a)に示す。計算では、SSR 外側リングの外径/内径が 675nm/450nm、内側リングの外径/内径が 320nm/150nm、スリット幅 50nm を仮定した。膜厚が厚いほど上方への光放出強度が向上し、例えば、膜厚 450nm では 100nm の場合に比べて約 1.3 倍であった。Fig.3(b)は厚さ 450nm における光強度の 3次元分布を示しており、素子の直上方向(z)に指向性良く発光することがわかる。また膜厚が厚いほど発光ピークが短波化し、100nm と 450nm の差は約 60nm であった。

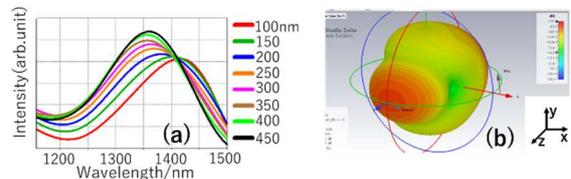


Fig.3 (a) Emission spectra at various SRR thickness, and (b) 3D diagram of light intensity at SRR thickness of 450 nm.

素子埋込みの効果に関しては当日報告する。SSR の試作につきましては、文部科学省ナノテクノロジー・プラットフォームによるナノ構造構築支援のサポートをいただきました。

【参考文献】

- [1] K. Mukai et al., JJAP 57, 04FH01 (2018).
- [2] K. Mukai et al., JJAP 58, SBBI06 (2019).