

PbS 量子ドットとシリカガラスのハイブリッド化と光導波路の形成 Hybridization of PbS quantum dots and silica glass and fabrication of optical waveguide

横浜国大 工学府¹, 理研² 田中智也¹, 中嶋聖介^{1,2}, 向井剛輝¹
Yokohama National University Graduate School of Engineering¹, RIKEN²

[○]T.Tanaka¹, S.Nakashima^{1,2}, K.Mukai¹

E-mail:mukai@ynu.ac.jp

【はじめに】光エレクトロニクス分野の新しい材料として、化学合成量子ドット(QD)が期待されている。光デバイスへの活用に向けて、この QD をガラスに入れる方法が研究されている。また、ガラスに超短パルスレーザーを集光照射することで局所的に構造変化を起こし、高屈折率領域を三次元的に形成することで光導波路を作製する方法が知られている[1]。我々は、これらを組み合わせることで、ガラス内部に分散させた QD の発光を光導波路から取り出し、単一光子源として使用する方法を提案する。今回、発光が長寿命となる QD 分散ガラスの作製条件を検討するとともに、そのガラスに光導波路を形成した場合の基本性能を確認した。

【実験】PbS QD は、メルカプト酢酸(TGA)をキャッピング剤として硝酸鉛と硫化ナトリウムを純水で混合することで合成を行った。ガラスは、ゾル-ゲル法を利用し作製した。原料には、3-アミノプロピルトリエトキシシラン(APS)と合成した QD を分散させた水溶液、酸触媒・塩基触媒を混合し、攪拌させながらゲル化を進行させた。生成したゲル体は、電気炉により熱処理を加えた。作製したサンプルの光学特性をフォトルミネッセンス(PL)測定によって評価した。また、有限差分時間領域(FDTD)法を用いてシミュレーションを行い、光導波路を設計した。ガラス内部にフェムト秒レーザーを集光照射することで光導波路を形成した。

【結果】PbS QD を合成し、ゾル-ゲル法を用いてガラスの作製を試みた(Fig.1(a))。この際、加える酸と塩基の触媒の PbS QD の発光特性への影響を調査した。その結果、酸触媒を加えると PbS QD が凝集し、発光が極端に弱くなることが判明した。次にガラス作製時の水の混合量の検討を行った。水はゲル化時の加水分解に必要である。検討の結果、水と APS のモル比 10:1 以上で安定した光学特性を得られることが判った。また、ガラス原料の混合溶液の攪拌時間の影響を調査した。短時間の

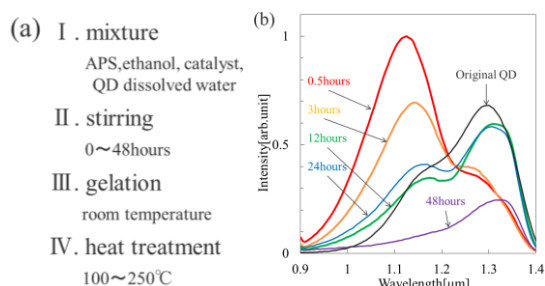


Fig.1 (a) The flowchart of glass production. (b) PL spectra of QDs in glass with various stirring time.

攪拌では PL の短波化がみられたが、攪拌時間を 12 時間以上取ることで本来の QD と同等のスペクトル形状が得られた(Fig.1(b))。これは、APS のもつアミノ基と QD を覆っている TGA のカルボキシル基の結合により、ゲル骨格内に QD を組み込むことができたためだと考えられる[2]。次に、100~250°C の範囲でガラスを熱処理したところ、熱処理により発光強度が向上することが判明した(Fig.2(a))。また、熱処理したサンプルを継続して PL 測定したところ、発光強度が長期間(40 日以上)維持され、特に熱処理温度が 200°C のとき良好であることが確認された(Fig.2(b))。

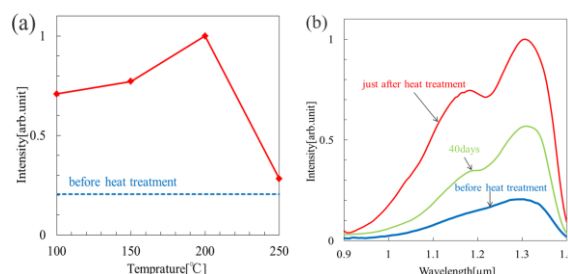


Fig.2 (a) PL intensity of QDs in glass with various temperature of heat treatment. (b) The time evolution of PL spectra.

光導波路の設計と試作を行った。まず FDTD 法による光導波路のシミュレーションを行った。自由空間の屈折率を 1.447、光導波路部分の屈折率を 1.461、導波路幅を 10μm とし、光導波路の曲率半径を変化させたところ (Fig.3(a))、曲率半径 2mm 以上で 90%以上の光が導波することが確認できた(Fig.3(b))。作製したガラスにフェムト秒レーザーを用いて、パルスエネルギー 12.1nJ、及び 10.3nJ の集光照射を行ったところ、弱いエネルギーでも掃引速度を遅くすることで光導波路を形成することが判明した。詳細は口頭で発表する。

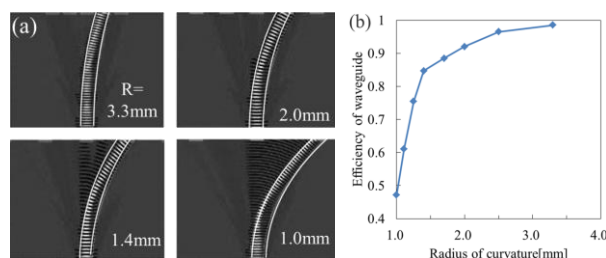


Fig.3 (a) Optical field of guided wave. (b) Efficiency of waveguide as a function of curvature radius.

【参考文献】

- [1] J. W. Chan et al., Appl. Phys. A, 76, 367-372(2003).
[2] C. Li et al., Langmuir, 20, 1-4 (2004).