

CdSe 量子ドット間のドレスト光子を介した エネルギー移動の時間分解計測

Time-resolved Measurement of Energy Transfer between CdSe Quantum Dots via Dressed photons

電機大, 〇川添 忠

TDU, 〇Tadashi Kawazoe

E-mail: kawazoe@mail.dendai.ac.jp

量子ドット(QD)の吸収波長および発光波長は材料組成を変えることなくその寸法によって制御可能であり(量子サイズ効果)、例えばセレン化カドミウム(CdSe)を用いた量子ドットでは可視光帯域すべてをその寸法のみでカバーすることが可能である。この特性を生かし QD を分散した樹脂、ガラスなどの材料は波長選択フィルター、ディスプレイ、太陽電池などに広く利用されている。これらの応用には単一でも現れる QD 自身の特性が注視されており、QD 間の光学的相互作用はあまり議論されていない。対して我々は QD 間の相互作用に注目し、新しい物理現象[1]や高性能化[2]、新しい応用[3]を模索して研究を行っている。

Fig.1に $1.0 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ と $1.5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ の密度で無秩序に分散させた場合の隣接 QD 間距離の分布(ワイブル分布)を示す。均一濃度で分散した場合、量子ドット間距離はそれぞれ 10nm, 40nm に相当する濃度であるが、無秩序分散の場合、それぞれ約 5nm, 20nm の隣接量子ドット間距離に配置されるものが多くなる。また、それ以下の距離に隣接する QD も多数存在し、比較的低密度であっても QD 間の相互作用は無視できないと思われる。

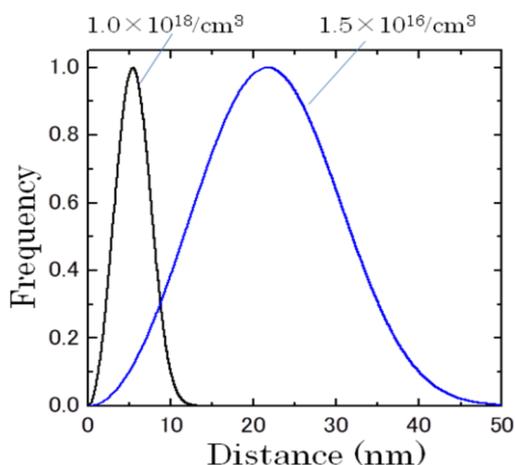


Fig.1.

Fig.2に $1.0 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ と $1.5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ の密度でUV硬化樹脂中に分散した平均粒径2.2nmのCdSe量子ドットの発光寿命計測結果を示す。発光波長は両者とも540nmであったが、発光寿命は濃度に依存して著しく変化しそれぞれ2.2nsと5.5nsであった。より低密度($\sim 10^{14}/\text{cm}^3$)では室温で20ns、低温(10K)で $1 \mu\text{s}$ という報告もあり[4]、QD間の相互作用が強まった結果であると

考えられる。

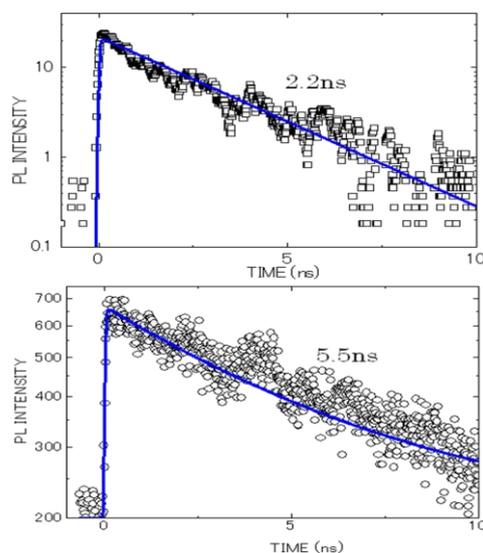


Fig.2

CdSeはウルツ鉱型結晶の構造を持ち、バンド構造が複雑でバンド端には多くの縮退準位が存在するがその多くは禁制された遷移である。Fig.2に示したような高密度化に伴う発光寿命の短縮は禁制遷移の許容化[1]にあると考えている。そのため高密度化によって発光スペクトルも変化する。しかしながら吸収スペクトル計測ではLambert-Beerの法則にほぼ一致する振舞いを示した。この矛盾はドレスト光子相互作用が隣接QD間に働くと考えることで説明可能になる。この相互作用が発現するには光子の存在が欠かせない。すなわち、QDに励起子などの光学的エネルギーが存在する時により強く相互作用が働くため単なる吸収スペクトルには濃度による変化が現れなかったと思われる。

発表では、寸法の異なる2種類のQDを混合することでドレスト光子を介したエネルギー移動がより明瞭に現れる実験を行ったのでその詳細を報告する。

[1] T. Kawazoe et al., Phys. Rev. Lett. **88**, 6, 067404 (2002).

[2] 田中尚裕、川添忠、野村航、田所貴志川添忠、大津元一、日本応用物理学会(2018)年秋季学術講演会[19a-437-10]

[3] M. Ohtsu et al., IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 14, No. 6, December 2008, pp. 1404-1417.

[4] C. M. Donega et al., Phys Rev B **74** 085320 (2006).