

マイクロキャピラリー内に成長した有機金属ハライドペロブスカイト/PEO 複合体における共振器量子電磁気学効果

Cavity Quantum Electrodynamics Effect in Organometal Halide Perovskite/PEO Composites

Grown in Microcapillary

奈良先端大物質¹, 産総研電子光技術²

°棕橋 奈穂¹, 佐々木 史雄², 柳 久雄¹

NAIST¹, ESPRIT AIST²

°N. Kurahashi¹, F. Sasaki², H. Yanagi¹

E-mail: kurahashi.naho.kf5@ms.naist.jp

【緒言】

有機金属ハライドペロブスカイトは、その優れた電子的及び光学的特長より、太陽電池への応用と並んで、発光ダイオードやレーザーへの展開が期待されている[1]。これまで我々は、マイクロキャピラリーを鋳型に用いる新しい溶液プロセス「マイクロキャピラリー法」[2]により、メチルアンモニウム臭化鉛 ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$) とポリエチレンオキシド(PEO)の円柱状複合体を成長させ、リング型共振器構造を構築することに成功している。この手法を用いたサンプルにおいて、光励起下で Whispering Gallery Mode 由来のレーザー発振が得られ、さらに、内径の異なるマイクロキャピラリーを用いて同様の測定を行い、内径サイズの減少に伴うモード間隔の増大とレーザー発振閾値の低下を報告した[3]。このような現象として、微小共振器中で閉じ込められた光の強電磁場が誘導放出を増強する、共振器量子電磁気学効果 (Cavity QED 効果) が知られている。本研究では、マイクロキャピラリー内に成長した $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3/\text{PEO}$ 複合体結晶における Cavity QED 効果の発現の裏づけとなる、微小共振器中の光子の状態密度変化による自然放出過程への影響 (Purcell 効果) を調べたので報告する。

【実験および結果】

$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Br}$ と PbBr_2 を 1:1 で混合した 40 wt. % の DMF 溶液と、 16 mg mL^{-1} の PEO の DMF 溶液を調整し、 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ と PEO の重量比が 50 : 1 になるように溶液を混合した。この溶液を内径が 2-30 μm の石英製マイクロキャピラリー内に毛細管現象によって導入した後、常圧下 60 $^\circ\text{C}$ で 1 日乾燥させることにより $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3/\text{PEO}$ 円柱状複合体を成長させた。Fig. 1 に、内径が 20 μm 試料の顕微鏡像と断面 SEM 像の例を示す。マイクロキャピラリー内に $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3/\text{PEO}$ の円柱状結晶が形成されていることがわかる。この試料について、時間相関単一光子計数 (TCSPC) 法により蛍光寿命測定を行った。その結果、バルク中と同様の遅い減衰成分 (τ_2) の他に、自然放出過程に由来する速い減衰成分 (τ_1) を観測した (Fig.2.)。さらに、内径の異なるマイクロキャピラリーを用いて同様の測定を行うことにより、共振器長 (内径) の減少に伴う τ_1 成分の放射レートの上昇を観測した。

[1] S. A. Veldhuis et al., Adv. Mater. 28, 6804 (2016).

[2] N. Kurahashi et al., Appl. Phys. Lett. 113, 011107 (2018)

[3] 棕橋他, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 9p-211A-6

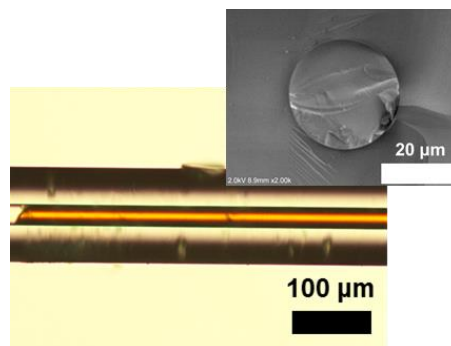


Fig.1. Micrograph of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3/\text{PEO}$ composite grown in microcapillary.

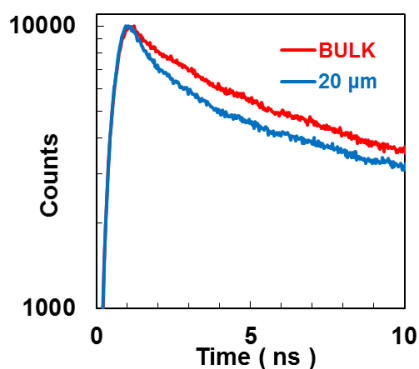


Fig.2. Time-resolved PL decay curve of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3/\text{PEO}$ composite grown in microcapillary ($\phi=20\mu\text{m}$).