

(ErSc)₂O₃ 薄膜におけるアップコンバージョン発光と フォトリックバンドギャップによる抑制

Visible up-conversion luminescence in (ErSc)₂O₃ thin films and its suppression by photonic band-gap

NTT 物性研¹, NTT ナノフォトニクスセンタ², パース大³, 北大工⁴

○俵毅彦^{1,2}, T. McManus^{1,3}, 川上欣洋⁴, 尾身博雄^{1,2}, A. Najari¹, 鍛冶怜奈⁴,
足立智⁴, 後藤秀樹¹

NTT Basic Research Labs.¹, NTT Nanophotonics Center², Univ. Bath³, Hokkaido Univ.⁴

○T. Tawara^{1,2}, T. McManus^{1,3}, Y. Kawakami⁴, H. Omi^{1,2}, A. Najari¹, R. Kaji⁴, S. Adachi⁴, H. Gotoh¹

E-mail: tawara.takehiko@lab.ntt.co.jp

我々は量子情報操作のプラットフォーム材料として酸化エルビウム Er₂O₃ およびそのスカンジウム混晶 (ErSc)₂O₃ における Er 4f 軌道遷移に着目し、これまで MBE エピタキシャル薄膜成長ならびに光物性の評価を進めている[1-4]。特にこれら結晶においては Er イオン間距離が数Åと近接しているため、イオン間相互作用等によるポピュレーションの散逸過程を理解し制御することが非常に重要である。今回希土類イオンの特有な現象である光励起されたポピュレーションの上位準位への移動（アップコンバージョン：UC）レートを見積もり、2次元フォトリックバンドギャップ（PBG）構造による UC 過程の抑制について検討する。

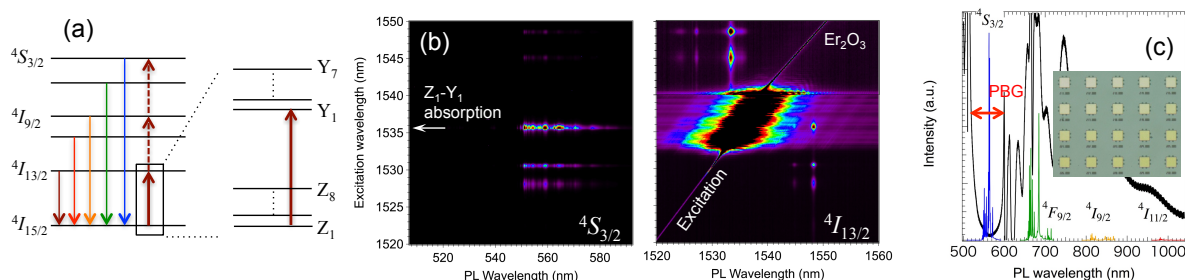
Si(111)基板上に MBE 成長された(Er_xSc_{1-x})₂O₃ (x = 1.0, 0.05, 0.01) 単結晶薄膜について Photoluminescence Excitation (PLE)スペクトルを 4K にて測定した。この時励起波長は Er イオンの ⁴I_{15/2}-⁴I_{13/2} Stark 準位間吸収の範囲内で変化 (1520-1550nm) させ、PL スペクトルは 1.5μm 帯 (⁴I_{13/2}) および 1000~500nm 帯の上位準位 (⁴I_{11/2}, ⁴I_{9/2}, ⁴F_{9/2}, ⁴S_{3/2}) において検出した。

図(a)に(ErSc)₂O₃ のエネルギー準位構造を示す。第一励起準位である ⁴I_{13/2} の結晶場分裂 Y₁ 準位を共鳴励起 (1.53μm) すると、励起されたポピュレーションはある相互作用を介し上位準位へ UC 遷移し、各遷移先から基底準位 (⁴I_{15/2}) へ発光緩和する。図(b)に x=1.0 の Er₂O₃ の PLE カラープロットを示す。⁴I_{13/2} 準位付近で励起波長を掃引すると、⁴I_{13/2} の結晶場分裂準位に共鳴した時のみ UC 発光 (図では ⁴S_{3/2}-⁴I_{15/2} 遷移) が現れる。レート方程式解析により、x = 1.0 の場合 ⁴I_{13/2} 準位からの UC 遷移レートは 2 x 10⁴ s⁻¹ と基底準位への緩和レート (1 x 10⁴ s⁻¹) に比べ高いことが分かった。Er 濃度の減少につれ UC 遷移レートは小さくなるものの、x = 0.01 においても約 4% のポピュレーションは UC 準位へ散逸する。

高い Er 濃度を維持しつつこの ⁴I_{13/2} 準位からの高い確率での UC によるポピュレーションの散逸を防ぐために、(ErSc)₂O₃ 薄膜への UC 準位エネルギーに一致する PBG 構造の形成を提案する。図(c)は (ErSc)₂O₃ フォトリック結晶 (PhC) 構造における透過スペクトルのシミュレーション結果 (黒線) で、形成された PBG が ⁴S_{3/2} 結晶場分裂準位からの発光遷移波長と一致していることが分かる。またテスト試料による反射光観察からは、実際に ⁴S_{3/2} 結晶場分裂準位の発光 (緑色) 領域で PBG を形成し、PhC 格子定数の変化により PBG 中心波長のチューニングが可能なが確認された。

【謝辞】本研究の一部は JSPS 科研費 24360033 の助成を受けた。

[1] H. Omi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **51** (2012) 02BG07., [2] T. Tawara *et al.*, Appl. Phys. Lett. **102** (2013) 241918., [3] 俵他, 2014 年応物秋 18p-A24-7., [4] 川上他, 2014 年応物秋 18p-A24-8.



図(a) (ErSc)₂O₃ のエネルギー準位構造、(b) Er₂O₃ の PLE カラープロット、(c) PBG スペクトルの FDTD シミュレーション結果 (黒線) およびテスト試料の光学顕微鏡像。