YAG:Yb における anti-Stokes 発光の励起波長依存性

Excitation wavelength dependence of anti-Stokes photoluminescence in YAG:Yb

○中山雄太，寺田康太，原田幸弘，喜多隆（神戸大院工）

○Y. Nakayama, K. Terada, Y. Harada, and T. Kita (Kobe Univ.)

E-mail: 179t250t@stu.kobe-u.ac.jp

【はじめに】フォノン吸収を介した anti-Stokes 発光を利用する固体レーザー冷却は無振動、高信頼性、省電力を実現する新しい冷却技術として期待されている。固体レーザー冷却は 1995 年に Yb^{3+}添加フッ化物ガラスにおいて初めて実証され[1]、これまでガラスや結晶など様々なホスト材料に希土類元素を添加した材料で冷却が試みられてきた[2]。2016 年には、最大フォノンエネルギーが小さな Yttrium Lithium Fluoride (YLF)に Yb^{3+}を添加した YLF:Yb において、室温から 91 K への固体レーザー冷却が達成されている[3]。本研究では YLF と同じく最大フォノンエネルギーが小さな Yttrium Aluminum Garnet (YAG)に Yb^{3+}を 10 mol%添加した YAG:Yb において、レーザー冷却の要である anti-Stokes 発光への励起波長依存性を明らかにすることを目的とした。

【実験方法】YAG:Yb(Yb 濃度: 10 mol%)試料は固相反応法によって作製した。純度 99.99%、粒径 48 µmの Y_2O_3、Yb_2O_3、Al_2O_3 粉末原料を乳鉢で 1 時間撹拌し、1700℃において大気雰囲気で焼結した。発光測定時には焼結した試料を粒径約 40 µm の粉末に解砕した。繰り返し周波数 20 MHz の白色パルスレーザを光源に用いて、励起波長 900 ~ 1030 nm、励起光強度 1 ~ 25 µWにおいて Photoluminescence Excitation (PLE)スペクトルを室温で測定した。

【結果と考察】図 1(a)は YAG:Yb の PLE イメージである。横軸は発光波長、縦軸は励起波長、色はスペクトル強度を表している。図 1(b)に YAG の Y サイトに置換された Yb^{3+}の Stark 分裂した 4f 軌道準位を示す。発光波長 968 nm と 1030 nm では Yb^{3+}の f-f 遷移（E5→E1 と E5→E3）による強い Stokes 発光が観測された。さらに、励起波長を 968 nm と 1030 nm としたときに強い anti-Stokes 発光が観測された結果は、E5↔E1 遷移と E5↔E3 遷移における強い振動子強度を示唆している。図 2 に、励起波長 1030 nm と 1026 nm において E3→E5 遷移と E2→E5 遷移を共鳴励起した YAG:Yb の発光スペクトルを示す。図中の矢印は青色が anti-Stokes 発光、赤色が Stokes 発光を表している。E3→E5 の共鳴励起に対して E7→E1(915 nm)、E6→E1(940 nm)、E6→E3(998 nm)、E5→E1(968 nm)の anti-Stokes 発光が見られた結果は、YAG:Yb における強い音響・光学フォノン吸収を示唆している。また励起光散乱光の短波長側と長波長側の両側に強いサイドバンド発光が観測された。同様のサイドバンド発光は 4f 軌道準位を共鳴励起した際に強くなる傾向が現れた(図 1)。したがって図 2 における励起光散乱光近傍の発光は、音響フォノン吸収・放出過程を経た発光に E5→E2(1026 nm)と E5→E3(1030 nm)の anti-Stokes 発光と Stokes 発光が重なっていると考えられる。

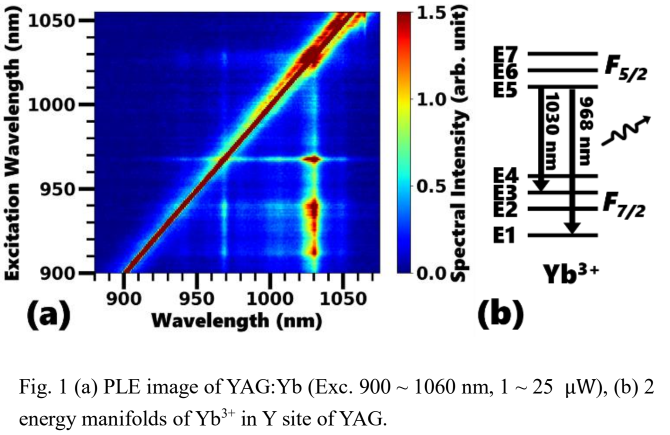

Fig. 1 (a) PLE image of YAG:Yb (Exc. 900 ~ 1060 nm, 1 ~ 25 µW), (b) 2 energy manifolds of Yb^{3+} in Y site of YAG.

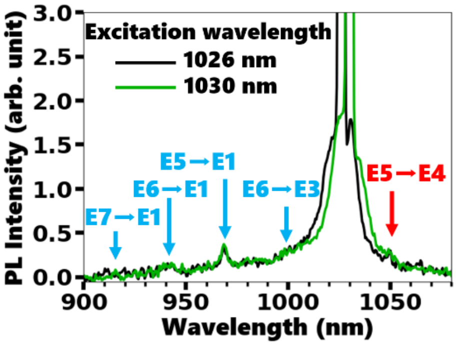

Fig. 2 PL spectrum of YAG:Yb (Exc. 1026 nm & 1030 nm).

[1] R. I. Epstein *et al.*, *Nature* **377**, 500 (1995). [2] M. P. Hehlen, *Proc. SPIE* **7228**, 72280E (2009). [3] S. D. Melgaard *et al.*, *Sci. Rep.* **6**, 20380 (2016).