(Y:Yb)AG における高温での anti-Stokes 発光増強

Enhancement of anti-Stokes photoluminescence in (Y:Yb)AG at high temperature

神戸大工[1]，パナソニック[2] ○(M2)中山 雄太[1]，安藤 達人[2]，寺田 康太[1]，原田 幸弘[1]，喜多 隆[1]

Kobe Univ.[1], Panasonic[2], ○Y. Nakayama[1], T. Ando[2], K. Terada[1], Y. Harada[1], and T. Kita[1]

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

【はじめに】マルチフォノン吸収を介した anti-Stokes photoluminescence (PL)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 Yb^{3+}添加フッ化物ガラスにおいて初めて実証され[1]、これまでに様々なガラスや結晶に希土類元素を添加した材料で極低温を目指した研究がなされてきた[2]。冷却効率は PL エネルギーの期待値 $E_f=hc\int F(\lambda)/\lambda d\lambda/\int F(\lambda)d\lambda$が大きいほど高くなる[1]。マルチフォノン吸収確率は試料の温度上昇につれて高くなるため[3]、室温よりも高温では強い anti-Stokes 発光が期待できる。本研究では、固体レーザー冷却材料 Yb 添加 yttrium aluminum garnet (YAG)の PL スペクトルを励起波長 975~1050 nm、温度 297~450 K で測定し、anti-Stokes 発光の高温温度依存性を明らかにすることを目的とした。

【実験方法】(Y:Yb)AG セラミックス(Yb 添加濃度 6 mol%)は固相反応法によって作製した。純度 99.99%の Y_2O_3、Yb_2O_3、Al_2O_3 粉末原料をボールミルで均一に撹拌、成型して 1700℃の大気雰囲気下で焼結した。繰り返し周波数 20 MHz の白色パルスレーザを用いて、セラミックスヒーターに貼り付けた試料の PL スペクトルを励起波長 975~1050 nm、ヒーター温度 297~450 K で測定した。

【結果と考察】ヒーター温度 297、450 K における (Y:Yb)AG セラミックスの PL スペクトルから上記の式を用いて PL エネルギーの期待値 E_f を計算し、励起エネルギーE_{exc}との差分ΔE を励起波長に対してプロットした(Fig. 1)。温度上昇に伴ってΔE が増大する傾向が示された。励起波長 1030 nm 付近におけるΔE は 297 K で 10 meV、450 K で 24 meV と温度による 2 倍以上の差を示した。Figure 2 に示した 1030 nm (E3→E5)励起 PL スペクトルのヒーター温度依存性は、968 nm (E5→E1)の anti-Stokes 発光ピークがブロードな anti-Stokes PL の増強によって埋もれていく様子を示した。LaF_3:Er^{3+}における 0.84 μm の anti-Stokes 発光は 77~417 K にかけて増強され、それらは最大フォノンエネルギーをもつ光学フォノンの分布によって説明された[3]。しかしながら、単一の光学フォノンモードのみでは Fig. 2 のようなブロードな anti-Stokes PL 増強の説明がつかない。よって高温における anti-Stokes PL の増強は、低エネルギーの光学フォノンやブロードな分散を持つ音響フォノンの活性化に起因すると考えられる。本研究における anti-Stokes 発光の高温温度依存性から、高温ではブロードな anti-Stokes PL が増強され、それが温度上昇に伴うエネルギーシフトの増大に寄与することが明らかになった。ブロードな成分の増強から、高温における低エネルギーフォノンの活性化が示唆された。

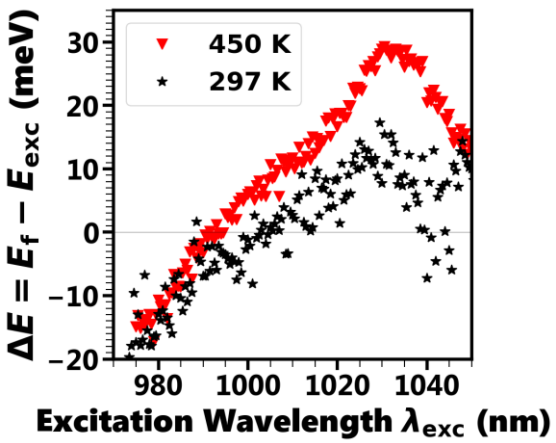


Fig. 1 The energy difference between a mean fluorescence energy of (Y:Yb)AG ceramics and an excitation energy at 297 and 450 K.

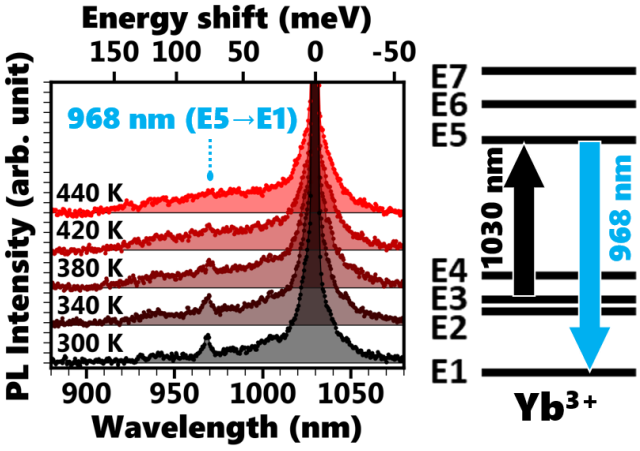


Fig. 2 PL spectra of (Y:Yb)AG ceramics excited at 1030 nm. The heater temperature was controlled from 300 to 440 K.

[1] R. I. Epstein *et al.*, *Nature* **377**, 500 (1995). [2] M. P. Hehlen, *Proc. SPIE* **7228**, 72280E (2009). [3] F. Auzel, *Phys. Rev. B* **7**, pp. 2809-2817 (1976).

© 2019年 応用物理学会