

(Y:Yb)AG における高温での anti-Stokes 発光増強メカニズム

The mechanism of the enhanced anti-Stokes photoluminescence in (Y:Yb)AG at high temperature

神戸大院工, °(DC)中山 雄太, 原田 幸弘, 喜多隆

Kobe Univ., °(DC)Yuta Nakayama, Yukihiro Harada, and Takashi Kita

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 Yb³⁺添加フッ化物ガラスで初めて実証され[1]、室温から極低温を目指した研究が多くなされてきた[2]。我々はこれまでに、熱伝導率がフッ化物の数倍高く高純度な結晶を比較的簡易に作製できる (Y_{0.94}Yb_{0.06})₃Al₅O₁₂ セラミックス(以下(Y:Yb)AG))における高温での anti-Stokes 発光の増強、冷却パワーの3倍の向上を明らかにしてきた[3]。高温での anti-Stokes 発光増強メカニズムが明らかになれば更なる高冷却パワー達成に向けた有用な知見となる。本研究では(Y:Yb)AGにおける anti-Stokes 発光スペクトルの試料温度依存性を測定し、(Y:Yb)AGの Yb³⁺準位に共鳴的な anti-Stokes 発光と非共鳴的な anti-Stokes 発光特性を解析し、高温での anti-Stokes 発光増強のメカニズムの解明を目的とした。

【実験方法】(Y:Yb)AGは固相反応法によって作製した。純度99.99%のY₂O₃、Yb₂O₃、Al₂O₃粉末原料を攪拌、成型して、大気雰囲気下において1700°Cで焼結、ダイヤモンド砥粒を用いて機械研磨した。連続波発振レーザーとクライオスタットを用いてPLスペクトルの温度依存性を励起波長1030nm、試料温度100–470Kで測定した。

【結果と考察】Figures 1(a)と1(b)に、(Y:Yb)AGにおける anti-Stokes 発光の温度依存性と(Y:Yb)AGの共鳴 anti-Stokes 発光過程を示す。968nm (E₅→E₁)の共鳴 anti-Stokes 発光ピークが125K (=10.8 meV)以上で現れた結果は、125Kで(Y:Yb)AGの光学フォノンが励起され、E₁準位の電子がE₁–E₃のエネルギー差相当のマルチフォノンを吸収したことを示している。また、300K以上では、E₆→E₁とE₇→E₁の共鳴 anti-Stokes 発光ピークと非共鳴 anti-Stokes 発光が観測された。(Y:Yb)AGの Yb³⁺準位に非共鳴的な発光は659nmの半導体レーザーで励起された(Y:Yb)AGにおける20Kでの Stokes 発光スペクトルでも観測されたことから、(Y:Yb)AGの不均一性の影響を受けた Yb_{inh}が非共鳴 anti-Stokes 発光の起源であると考えられる。968nmの共鳴 anti-Stokes と非共鳴 anti-Stokes 発光に注目し、Lorentzian 型関数 $A\{(\sigma/\lambda)/((E-E_0)^2-(\sigma/2)^2)\}+B$ でフィッティングした。Aは共鳴 anti-Stokes 発光のピーク強度、 σ は均一幅、 λ は波長、 λ_0 は中心波長、Bは背景信号強度である。第1項の Lorentzian 関数が共鳴 anti-Stokes 発光に、第2項の背景信号強度は非共鳴 anti-Stokes 発光に相当する。Figure 2(a, b)に968nmの共鳴 anti-Stokes 発光の300Kにおけるフィッティング結果と Lorentzian 関数の積分強度および背景信号強度の温度依存性を示す。Lorentzian 関数の積分強度は①125–300Kにおいて増加し、②300K以上では減少した。125–300Kで光学フォノンが励起されてマルチフォノン吸収過程が増えたためと考えられるが、300K以上の傾向は温度に対して増加するフォノン数では説明できない。300K以上では、熱膨張に起因するフォノンエネルギー低下によるマルチフォノン吸収確率低下およびフォノン吸収を伴う Yb_{inh}へのエネルギー移動が支配的になった結果、共鳴 anti-Stokes 発光が減衰して非共鳴 anti-Stokes 発光が増強したと考えられる。

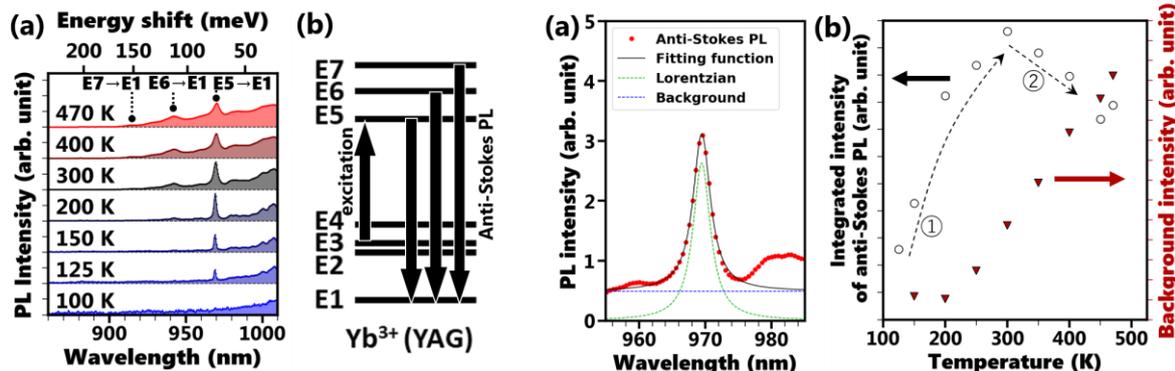


Figure 1 (a) The temperature dependence of the anti-Stokes PL spectra in (Y:Yb)AG. (b) The process of the resonant anti-Stokes PL in (Y:Yb)AG.

Figure 2 (a) The anti-Stokes PL spectrum at 300 K and the fit curve. (b) The temperature dependence of the integrated intensity of the anti-Stokes PL and the background intensity.

謝辞: 本研究で使用した試料の作製および日々の議論をして頂いたパナソニック(株)安藤達人氏に感謝いたします。

[1] R. I. Epstein *et al.*, *Nature* **377**, 500 (1995). [2] M. P. Hehlen, *Proc. SPIE* **7228**, 72280E (2009). [3] Y. Nakayama *et al.*, *JSAP 66th spring meeting*, 11a-S223-8 (2019)