

Yb 添加 YAG–YAM 共晶透明薄膜における anti-Stokes PL 過程と理想レーザー冷却効率

Anti-Stokes PL Process and Ideal Laser Cooling Efficiency in Yb-Doped YAG–YAM Eutectic Transparent Thin Film

神戸大院工, °(DC)中山 雄太, 中川望夢, 原田 幸弘, 喜多隆

Kobe Univ., °(DC)Yuta Nakayama, Nozomu Nakagawa, Yukihiko 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¹。これまで我々は、Yb 添加 yttrium aluminum garnet [(Yb:Y)AG] 結晶粉末とセラミックスにおいて、再吸収による理想冷却効率低下や高温での非共鳴 anti-Stokes PL 増強などを明らかにしてきた^{2,3}。しかし、結晶粉末とセラミックスでは再吸収や強い励起光散乱により入力パワーに対する冷却パワー、すなわち冷却効率が低下する。本研究では(Yb:Y)AG 透明薄膜を作製し、その透明薄膜における anti-Stokes PL 観測、(Yb:Y)AG と異なる anti-Stokes PL の考察と冷却効率評価を目的とした。

【実験方法】(Yb_{0.06}Y_{0.94})AlO₃ ターゲットと RF マグネトロンスパッタリング装置で c-Sapphire 基板上に膜厚 1 μm の透明薄膜を作製した。スパッタガスは Ar/O₂ ガス(Ar:O₂=1:1)、投入電力は 100 W、ターゲット基板間距離は 50 mm とした。堆積した膜を電気炉にて最大温度 1000°C、保持時間 10 時間で焼成した。得られた透明薄膜の膜厚は白色光干渉型 3 次元表面形状測定システムで測定した。半値全幅 1.2 nm の連続波発振波長可変レーザーを用いて励起波長 1020.0~1040.0 nm で透明薄膜試料の PL スペクトルの励起波長依存性を観測した。

【結果と考察】 Figure 1 に 1030.0 nm で共鳴励起した透明薄膜試料と(Yb:Y)AG セラミックス(平均厚さ: 100 μm) の anti-Stokes PL スペクトルを示す。各スペクトルは PL 強度の最大値で規格化した。968 nm の anti-Stokes PL ピークは薄膜試料と(Yb:Y)AG セラミックスの両方で観測され、(Yb:Y)AG の *f-f* 内殻遷移 $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ に由来する⁴。一方、透明薄膜でのみ観測された 974 nm の anti-Stokes PL ピークは、YAG とは結晶構造が異なる Yb-doped yttrium aluminum monoclinic[(Yb:Y)AM] の *f-f* 内殻遷移 $^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$ による発光ピークと一致する⁵。更に、透明薄膜試料の X 線回折(θ - 2θ 測定)パターンにおいて garnet と monoclinic の回折ピークが観測され、Y₂O₃-A₂O₃ 系の相図に(Yb:Y)AG と(Yb:Y)AM の共晶点が存在することから⁶、作製した透明薄膜は(Yb:Y)AG-(Yb:Y)AM 共晶と考えられる。Figure 2(a)と 2(b)に(Yb:Y)AM-(Yb:Y)AG 共晶透明薄膜(以下、共晶薄膜)における anti-Stokes PL の励起波長依存性と Lorentzian 関数による共鳴 anti-Stokes PL ピークのフィッティング結果、および励起波長 1020 nm で規格化した anti-Stokes PL ピーク積分強度の励起波長依存性を示す。共晶薄膜の(Yb:Y)AG と(Yb:Y)AM からの共鳴 anti-Stokes PL 積分強度が励起波長 1027 nm でピークを示した。1つの可能性として、(Yb:Y)AM と(Yb:Y)AG の間でのエネルギー移動が考えられる。室温の共晶薄膜での理想冷却効率 η_c^{ideal} の最大値は 1.5% と(Yb:Y)AG の 1.3% と同等であることから、共晶薄膜では結晶粉末やセラミックスよりも高い固体レーザー冷却効率が期待できる。

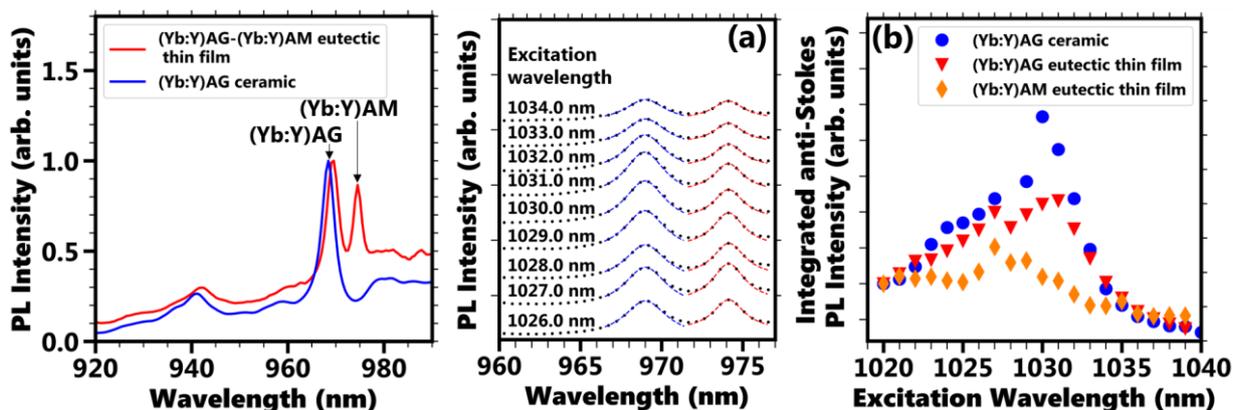


Figure 1 The anti-Stokes PL spectra of the (Yb:Y)AG ceramic (blue line) and the (Yb:Y)AG-(Yb:Y)AM eutectic transparent thin film (red line) resonantly excited at 1030.0 nm.

Figure 2 (a) The excitation wavelength dependent anti-Stokes PL spectra of the (Yb:Y)AG-(Yb:Y)AM eutectic transparent thin film at 300 K and the Lorentzian fit curve. (b) The temperature dependence of the integrated intensity of the resonant anti-Stokes PL.

¹ R.I. Epstein et al., Nature **377**, 500 (1995). ² Y. Nakayama et al., J. JSMS **68**, 762 (2019). ³ Y. Nakayama et al., Opt. Express **27**, 34961 (2019). ⁴ F.D. Patel et al., IEEE J. Quantum Electron. **37**, 135 (2001). ⁵ L. Lipińska et al., Cryst. Res. Technol. **44**, 146 (2009). ⁶ N. Zhang et al., Mater. Sci. Eng. A **486**, 262 (2008).