

文章编号: 0253-2239(2005)03-429-2

Yb:YAG 晶体的红外闪烁特性

杨培志^{1,2} 邓佩珍³ Belogurov S⁴

- 1 中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 200050
2 昆明物理研究所, 昆明 650223
3 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800
4 INFN, Sez. di Padova, Via Marzolo 8, 35131 Padova, Italy

摘要: 用脉冲电子束激发测量了不同 Yb³⁺ 掺杂浓度的 Yb:YAG 晶体的红外(IR)闪烁发光性能。Yb:YAG 晶体的 IR 闪烁发光具有高的光产额和长的衰减时间,但存在浓度猝灭效应和温度依赖关系。Yb:YAG 晶体的 IR 闪烁性能还与晶体品质有关,相同掺杂浓度的 Yb:YAG 晶体,品质优异的会获得更高的光产额。这一初步的研究成果表明,部分掺 Yb³⁺ 晶体有可能用于医学成像装置。

关键词: 光电材料; Yb:YAG 晶体; IR 闪烁性能; 光产额; 浓度猝灭

中图分类号: O743 文献标识码: A

Infrared Scintillation Properties of Yb:YAG Crystal

Yang Peizhi^{1,2} Deng Peizhen³ Belogurov S⁴

- 1 Shanghai Institute of Ceramics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050
2 Kunming Institute of Physics, Kunming 650233
3 Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800
4 INFN, Sez. di Padova, Via Marzolo 8, 35131 Padova, Italy

Abstract: Infrared (IR) scintillation properties of Yb:YAG crystals with different Yb³⁺ doping level were measured by using pulsed electron beam. At room temperature the light yield of Yb:YAG crystal is high and decay time is long. The dependence of light yield and decay time on Yb³⁺ doped concentration and temperature were demonstrated, and concentration quenching was observed. The scintillation properties of Yb:YAG were still affected by crystal quality. These measurement results suggest that some Yb³⁺-doped crystals should be possible for application in medical imaging.

Key words: opto-electronic materials; Yb:YAG; infrared scintillation properties; light yield; concentration quenching

近年来掺 Yb³⁺ 闪烁晶体研究热潮的兴起主要基于以下三方面的原因:1) 物理学家对低能太阳中微子的关注^[1,2];2) 由于 Yb³⁺ 的能级结构与 Ce³⁺ 相似, Ce³⁺ 掺杂的闪烁晶体如 Ce:YAP, Ce:LSO 等,通常是快衰减闪烁体,因此掺 Yb³⁺ 闪烁晶体也可能是一种快衰减闪烁体;3) 一些掺 Yb³⁺ 晶体是优良的激光晶体,如 Yb:YAG 晶体^[3],尽管寿命较长,但因红外发光较强,有望成为红外(IR)闪烁晶体。有关掺 Yb³⁺ 晶体的电荷迁移(CT)闪烁发光已有较多的报道^[4~6],但对掺 Yb³⁺ 晶体的 IR 闪烁发光的研究并不多见。最近,我们用能量为 80 keV,持续时间为 10 ns 的脉冲

电子腔作为激发源,测量了 Yb³⁺ 掺杂摩尔分数分别为 0.05, 0.10, 0.20 和 0.30 的 Yb:YAG 晶体的 IR 闪烁发光特性及其温度依赖关系。为比较晶体品质对 IR 闪烁性能的影响,对掺杂摩尔分数为 0.20 的 Yb:YAG 晶体,分别从中部和尾部切取了样品。

实验装置如图 1 所示^[7],脉冲电子束的能量为 80 keV,为区分 CT 闪烁发光特征和 IR 闪烁发光特征,采用了在 1.03 μm 波长处透过率为 95%±5%,而在 700 nm 波长以下不透明的滤光片以滤除 CT 闪烁发光。衰减时间的测量采用滨松(Hamamatsu)公司的在 1.03 μm 波长处的量子效率为 0.1%的 R632-01

作者简介: 杨培志(1966~),男,白族,中国科学院上海硅酸盐研究所研究员,昆明物理研究所研究员,主要从事新型光电材料与器件的研究与开发工作。E-mail: pzhyang@hotmail.com

收稿日期: 2004-06-18; 收到修改稿日期: 2004-10-29

型光电倍增管,并与数字示波器相连接。在测量 IR 闪烁特性的温度依赖关系时,将铂热电偶和 Yb:YAG 晶体样品一道固定在铜套管里,并放置在杜瓦瓶中,用液氮作冷却剂。

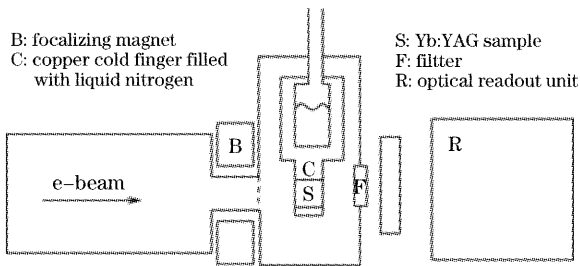


图 1 Yb:YAG 晶体的 IR 闪烁性能测量装置

Fig. 1 Experimental setup for the measurement of IR scintillation properties of Yb:YAG crystal

表 1 为 Yb:YAG 晶体的 IR 闪烁性能测量结果。随着 Yb^{3+} 掺杂浓度的提高, Yb:YAG 晶体的光产额逐渐降低, 0.05 Yb:YAG 晶体具有较高的光产额; 对于相同 Yb^{3+} 掺杂浓度的 Yb:YAG 晶体, 光产额还与晶体质量有关, 在晶体的尾部, 由于杂质离子的浓度相对较高, 晶体品质较差, 因此光产额较低, 衰减时间也较低。掺杂摩尔分数为 0.30 时, Yb:YAG 晶体的 IR 闪烁发光的衰减时间和光产额均发生严重的浓度猝灭, 这可能是激子向由于晶格畸变产生的能量陷阱和稀土杂质离子迁移的缘故^[8]。Yb:YAG 晶体的 IR 闪烁性能的温度依赖关系测量结果显示: 随着温度的降低, 光产额和率减时间均逐渐降低, 从室温到 200K 附近, 光产额和衰减时间均缓慢降低; 从 200 K 到液氮温度附近, 光产额和衰减时间则急剧降低。从室温到 150 K, 光产额约降低了 20%; 而衰减时间降低到 0.1 ms 以下, Yb:YAG 晶体 IR 闪烁发光的这一奇异现象有待进一步研究。图 2 为 0.10 Yb:YAG 晶体的衰减时间-温

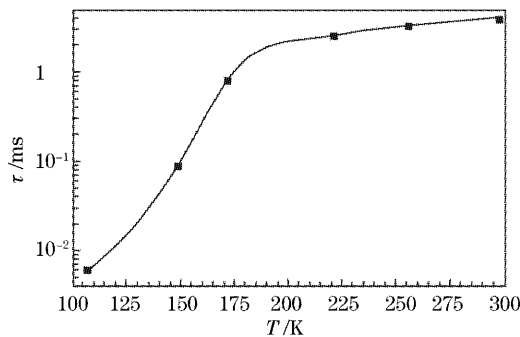


图 2 电子束激发 0.10 Yb:YAG 晶体的衰减时间的温度依赖关系

Fig. 2 Temperature dependence of decay time of 0.10 Yb:YAG under e-beam excitation

度依赖关系, 其它掺杂浓度的 Yb:YAG 晶体与其相似。根据以上的测量结果, 我们认为: 选择合适的掺杂浓度, 优化晶体的生长工艺, 提高晶体的品质, 可进一步提高 Yb:YAG 晶体 IR 闪烁发光的光产额。

表 1 室温下电子束激发 Yb:YAG 晶体的 IR 闪烁特性

Table 1 IR scintillation performance of Yb:YAG crystal excited by E-beam at room temperature

ID	Yb^{3+} doping level	τ /ms	L. Y. /(10^3 Ph/MeV)
1	0.05	2.2	72
2	0.10	2.7	62
3	0.20 (middle)	2.6	34
4	0.20 (tail)	2.05	26
5	0.30	1	11

由于 Yb:YAG 晶体在红外波段具有高的光产额, 能获得好的能量分辨率, 因此, 尽管衰减时间较长, 仍有可能用于 X 射线成像和 X 射线计算机断层 (CT) 扫描技术。

报道了 Yb:YAG 晶体 IR 闪烁特征的初步测量结果。室温下, 当电子束能量达 80 keV 时, 0.05 Yb:YAG 晶体的光产额达 72×10^3 ph/MeV, 衰减时间为 2.2 ms。Yb:YAG 晶体的 IR 闪烁发光具有浓度猝灭效应和温度依赖关系。选择合适的掺杂浓度, 优化生长工艺, 降低原料中的杂质离子含量有望获得更高的光输出。由于掺 Yb^{3+} 闪烁晶体具有高的光产额, 在医学成像方面具有一定的应用潜力。

参 考 文 献

- R. S. Raghavan. New prospects for real-time spectroscopy of low energy electron neutrinos from the sun[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1997, **78**(19): 3618~3621
- K. Zuber. Double beta decay with large scale Yb-loaded scintillators[J]. *Phys. Lett. (B)*, 2000, **485**(1~3): 23~26
- Yang Peizhi, Deng Peizhen, Xu Jun *et al.*. Spectroscopy and laser performance of Yb^{3+} doped crystal[J]. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(1): 132~135 (in Chinese)
杨培志, 邓佩珍, 徐 军 等. Yb:YAG 晶体的光谱和激光性能[J]. *光学学报*, 1999, **19**(1): 132~135
- Yang Peizhi, Deng Peizhen, Zhang Yinghua *et al.*. Ti:sapphire-laser pumped 20at. % Yb:YAG thin chip with CW laser output of 356 mW at 1.053 μm [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 2000, **17**(2): 104~105
- L. van Pieterson, M. Heeroma, E. de Heer *et al.*. Charge transfer luminescence of Yb^{3+} [J]. *J. Luminescence*, 2000, **91** (3~4): 177~193
- R. Chipaux, M. Cribier, C. Dujardin *et al.*. Ytterbium-based scintillators, a new class of inorganic scintillators, for solar neutrino spectroscopy[J]. *Nucl. Instr. and Meth. (A)*, 2002, **486**(1~2): 228~233
- N. Guerassimova, N. Garnier, C. Dujardin. X-ray excited charge transfer luminescence of ytterbium-containing aluminium garnets. *Chem. Phys. Lett.*, 2001, **339**: 197~202
- P. Antonini, G. Bressi, G. Carugno *et al.*. Scintillation properties of Yb-doped yttrium-aluminum garnets [J]. *Nucl. Instr. and Meth. (A)*, 2002, **488**(3~4): 591~603
- P. Z. Yang, P. Z. Deng, Z. W. Yin. Concentration quenching in Yb:YAG crystal[J]. *J. Luminescence*, 2002, **97**(1): 51~54