

文章编号 : 0253-2239(2002)01-0058-04

闪光灯抽运的 Nd:KGW 和 Nd:YAG 激光器的性能比较

毛艳丽¹⁾²⁾ 邓佩珍¹⁾ 李成富¹⁾ 干福熹¹⁾

(1), 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800
(2), 河南大学物理系, 开封 475001

摘要: 用重复频率 1 Hz、脉冲宽度 120 μ s 的闪光灯侧面抽运, 在相同的实验条件下, 对比了 Nd:KGW 晶体与 Nd:YAG 晶体的激光性能。在自由运转时, 分别获得 1.0% 和 0.44% 的斜率效率和 0.54 J、0.76 J 的外推阈值能量, 获得的最大输出能量为 384 mJ 和 165 mJ。调 Q 运转时, Nd:KGW 激光器与 Nd:YAG 激光器的斜率效率分别是 0.16% 和 0.07%, 阈值能量为 5.9 J 和 12.5 J。

关键词: 闪光灯抽运; Nd:KGW 晶体; Nd:YAG 晶体; 调 Q 运转

中图分类号: TN244 文献标识码: A

1 引 言

人们对 Nd 掺杂的 YAG 晶体已作了大量的研究, 它发射的 1.06 μ m 激光被广泛应用于工业、科学和医疗等领域。从效率、平均功率、发散度和热透镜各方面来说, Nd:YAG 晶体都是一种极好的固体激光材料。但 YAG 也存在一些问题, 如高浓度掺杂引起基质的局域性畸变, 导致晶体质量下降; 另外, 在 808 nm 处的吸收峰很窄, 不能与闪光灯发射线很好地匹配, 对二极管激光器的温度控制要求又很严格。因为二极管激光器的波长随温度漂移, 漂移速度约为 0.3 nm/ $^{\circ}$ C。

Nd:KGD(WO₄)₂(钨酸钕镱, KGW)是一种较新的激光晶体, 近七八年来得到大量研究^[1-4]。它用 Nd³⁺ 离子代替 Gd³⁺ 离子, 减小了离子半径失配, 可以实现高浓度掺杂, 掺杂浓度(原子数分数)可达 3%~8%, 从而获得了大的发射截面, 1.06 μ m 处的荧光带宽为 24 cm⁻¹, 适合于产生有效的飞秒脉冲, 吸收线宽的增大降低了对二极管激光器的要求。Nd:KGW 另外一个非常有吸引力的特征是它能产生自激励拉曼散射, 产生 0.94 μ m 的反斯托克斯散射, 1.18 μ m 的一阶斯托克斯和 1.32 μ m 的二阶斯托克斯散射, 经倍频成为可见光波段的多波长光源^[5]。

本文用脉冲氙灯作抽运源, 在相同的实验条件

下, 实现了 Nd:KGW 和 Nd:YAG 的自由运转, 分别获得了 1.0% 和 0.44% 的斜率效率, Nd:KGW 激光器的抽运效率约为 Nd:YAG 的两倍多。并用 LiF:F₂ 晶体作调 Q 元件, 对比了它们的调 Q 性能, 说明 Nd:KGW 晶体是一种很有发展前景的激光介质。

2 晶体的物理和光学特性

Nd:KGW 晶体属单斜晶系的 C_{2h}⁶-C_{2/c} 空间群, 单位晶胞尺寸为

$$a = 0.8098 \text{ nm},$$

$$b = 1.0417 \text{ nm},$$

$$c = 0.7583 \text{ nm}.$$

它是各向异性的双轴晶体, 输出激光是偏振的。

Nd:KGW 晶体的吸收光谱如图 1 所示。

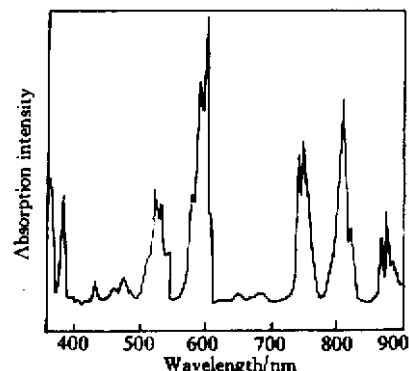


Fig.1 Absorption spectrum of the Nd³⁺:KGD(WO₄)₂ crystal

图 1 表明,在 400 nm ~ 900 nm 范围内,Nd:KGW 晶体有丰富的吸收带,特别是 808 nm 处的吸收线宽较宽,为 3 nm ~ 4 nm,而 Nd:KGW 晶体在此波长处的吸收系数是 Nd:YAG 的 1.35 倍^[6]。荧光光谱如图 2 所示,最强发射线在 1.067 μm,荧光谱线宽度比 Nd:YAG 的略宽^[6]。

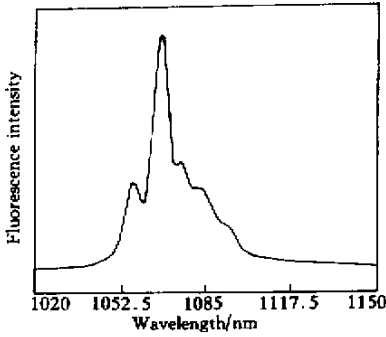


Fig.2 Fluorescence spectrum of the Nd³⁺:KGd(WO₄)₂ crystal

表 1 比较了 Nd:KGW 和 Nd:YAG 的其他一些特性。从表 1 可以看到,Nd:KGW 晶体的发射截面比 Nd:YAG 晶体的大,在相同的实验条件下,将会产生较高的脉冲能量;但 Nd:KGW 的荧光寿命差不多只有 Nd:YAG 的一半,不利于储能。另外,Nd:KGW 晶体的热导率比 Nd:YAG 晶体低得多,这将导致严重的热透镜效应,限制了最大抽运功率密度;但是 Nd:KGW 晶体的折射率随温度变化非常小,这将极大地减缓热透镜效应,从而获得较高的抽运效率。

Table .1 Comparison of physical and optical properties of Nd:KGW and Nd:YAG crystals

atomicity	Nd:KGW	Nd:YAG
Nd dopant concentration	0.022	0.011
fluorescence lifetime/μs	120	230
emission cross section/cm ²	3.3 × 10 ⁻¹⁹	2.8 × 10 ⁻¹⁹
emission wavelength/μm	1.067	1.064
thermal conductivity/(W/m·K)	3.8	12.9
dn/dT/K ⁻¹	0.4 × 10 ⁻⁶	7.3 × 10 ⁻⁶
hardness/moh	4	8.5
density/(g·cm ⁻³)	7.27	4.54

3 实验装置

激光实验装置如图 3 所示。实验中采用了自制电源,储能电容 C = 100 μF,最大抽运能量为 36 J,放电脉冲宽度约为 120 μs,脉冲重复频率为 1 Hz,闪光灯由掺铈的石英玻璃制成,以滤掉不必要的紫外

光,尺寸为 φ8 mm × 52 mm,与激光棒一起封装在腔长为 100 mm 的椭圆聚光腔中,棒和灯分别位于椭圆的两条焦线上,采用全腔水冷。Nd:KGW 棒和 Nd:YAG 棒的尺寸均为 φ4 mm × 50 mm,掺杂的原子数分数分别为 0.022 和 0.011,棒两端磨成平行平面,镀 1.06 μm 的增透膜。采用平凹腔结构,腔长 660 mm,凹面镜曲率半径为 2 m,镀 1.06 μm 高反膜,输出镜采用透射率 T_{1.06 μm} = 24% 的平面腔镜。调 Q 元件用 LiF:F₂⁻ 晶体,输出能量用 RJ-7610 型能量计测量。

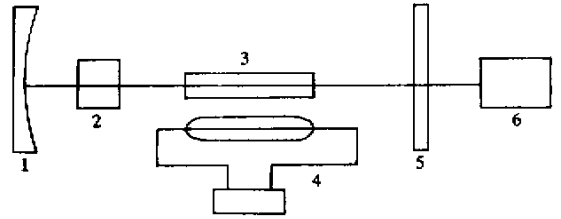


Fig.3 Experimental setup of the Xe-flashlamp pumped Nd:KGW and Nd:YAG laser. 1 :reflective mirror ; 2 :LiF:F₂⁻ crystal ; 3 :Nd:KGW or Nd:YAG rod ; 4 :flashlamp and supply power ; 5 :output mirror ; 6 :energy meter

4 实验结果和讨论

在上述同一实验条件下,分别测试了 Nd:KGW 和 Nd:YAG 晶体的激光性能,结果如图 4 所示。

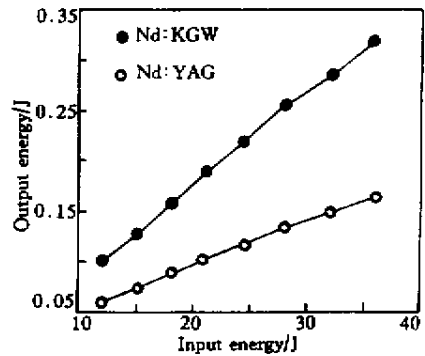


Fig.4 Output energy from Nd:KGW and Nd:YAG lasers versus input energy of flashlamp under the same experimental conditions

闪光灯抽运 Nd:KGW 晶体的斜率效率为 1.0%,最大输出能量 384 mJ,外推阈值 0.54 J,而 Nd:YAG 的斜率效率为 0.44%,在同一抽运能量下,获得的最大输出为 165 mJ,外推阈值能量为 0.76 J。我们的实验结果逊于 Kushawaha 等同样用闪光灯抽运 Nd:KGW 棒和 Nd:YAG 棒的结果,他们的激光输出斜率效率分别为 3.6% 和 1.5%^[11]。

其原因是我们用现有的实验条件,聚光腔体与棒长不相匹配,另外我们的晶体棒长小于他们的,增益介质较小,影响了高效率的获得;但在同样条件下,Nd:KGW棒抽运效率都是约为Nd:YAG棒的两倍多,而阈值能量却较低,我们认为这可以从两方面来说明。一个是晶体的饱和能流密度 $F_{\text{ext}}^{[7]}$

$$F_{\text{ext}} = hc(\sigma_{\text{ext}}\lambda_{\text{ext}}), \quad (1)$$

其中 c 为光速, λ_{ext} 和 σ_{ext} 分别为激光波长和相应的发射截面,从表 1 所列数据,我们可以看到 Nd:KGW 的 F_{ext} 较小,小的饱和能流密度意味着能量易于提取,也即低的阈值能量。另外,腔内光学损耗也是决定阈值大小的一个因素。根据 Findly-Clay 法则^[8]

$$-\ln R_{\text{out}} = 2kE_{\text{th}} - L, \quad (2)$$

其中 R_{out} 为输出耦合镜的反射率, k 为抽运系数, E_{th} 为阈值能量, L 为腔内光学损耗,我们测量了 Nd:KGW 棒和 Nd:YAG 棒的输出镜透过率分别为 $T_{1.06\mu\text{m}} = 6\%$, $T_{1.06\mu\text{m}} = 10\%$ 和 $T_{1.06\mu\text{m}} = 24\%$ 情况下的外推阈值, $-\ln R_{\text{out}}$ 与 E_{th} 之间的关系如图 5 所示,经直线拟合可以确定出 Nd:KGW 和 Nd:YAG 谐振腔内的光学损耗分别为 0.023 和 0.071,较小的腔内光学损耗导致了 Nd:KGW 晶体较小的抽运阈值能量。

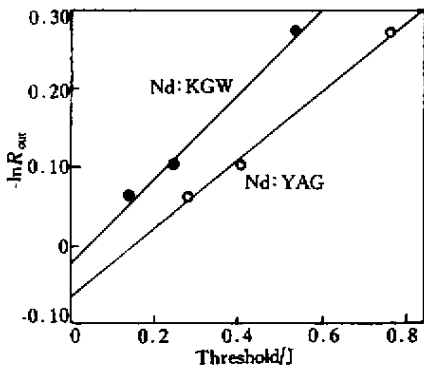


Fig. 5 Log arithmetic plot of the output mirror reflectivity versus the extrapolated energy threshold for Nd:KGW and Nd:YAG crystals

我们在全反射腔镜与增益介质之间插入 LiF:F_2^- 晶体作为调 Q 元件,它的调 Q 原理和染料很相似,晶体中的 F_2^- 心等效于染料分子,它在 $0.96\mu\text{m}$ 处有吸收峰,半宽度为 0.2eV ,和钕离子的发射线相重叠。 F_2^- 心的吸收和发射过程是典型的四能级系统,这种晶体受到一定光强照射后,可以呈现出非线性饱和和吸收效应,因而可对钕离子实现调 Q 作用。

Nd:KGW 晶体和 Nd:YAG 晶体在调 Q 工作方式下的平均输出能量随闪光灯抽运能量的变化曲线如图 6 所示, Nd:KGW 激光器的斜率效率为 0.16%,而 Nd:YAG 激光器的只有 0.07%,其抽运效率仍是 Nd:YAG 的两倍多。Nd:KGW 和 Nd:YAG 激光器的阈值能量分别为 5.9 J, 12.5 J, 在 36 J 的抽运能量时最大输出 46 mJ 和 16 mJ。Nd:KGW 仍具有较低的阈值和较高的输出能量,这说明 Nd:KGW 晶体在低重复率运转时,是一种非常理想的激光介质。

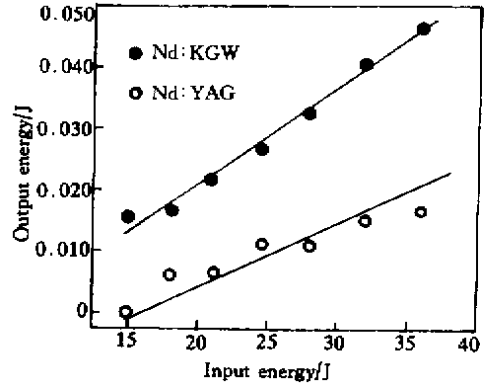


Fig. 6 Output energy from Q -switched Nd:KGW and Nd:YAG lasers versus input energy under identical experimental conditions

结论 我们对闪光灯抽运的 Nd:KGW 和 Nd:YAG 激光器进行了实验研究,对比了两者的激光性能,在自由运转模式下, Nd:KGW 和 Nd:YAG 的阈值能量分别为 0.54 J 和 0.76 J,斜率效率为 1.0% 和 0.44%。在调 Q 运转情况下,两者外推阈值能量为 5.9 J 和 12.5 J,斜率效率分别为 0.16% 和 0.07%。在两种运转模式下, Nd:KGW 激光器都具有较低的阈值,且斜率效率是 Nd:YAG 的两倍多,实验证明, Nd:KGW 晶体在低重复率运转时,是一种很有前途的激光介质,特别是结合其光谱特性,更适合于二极管抽运实现全固化激光器。

参 考 文 献

- [1] Kushawaha V, Banerjee A, Major L. High-efficiency flashlamp-pumped Nd:KGW lasers. *Appl. Phys. (B)*, 1993, **56**(4) 239~242
- [2] Flood C J, Walker D R, van Driel H M. CW diode pumping and FM mode locking of a Nd:KGW laser. *Appl. Phys. (B)*, 1995, **60**(3) 309~312
- [3] Karlitschek P, Hillrichs G. Actives and passive Q -switching of a diode pumped Nd:KGW laser. *Appl. Phys. (B)*, 1997, **64**(1) 21~24
- [4] Ripoll J, Bausa L E. Optical spectroscopy of Nd^{3+} -doped $\text{Kd}(\text{WO}_4)_2$ monocrystals. *J. Lumin.*, 1997, **72**~74

- (4) 253 ~ 254
- [5] Stankov K A, Marowsky G. High-efficiency multicolour *Q*-switched Nd:KGd(WO₄)₂ laser. *Appl. Phys. (B)*, 1995, **61**(2) 213 ~ 215
- [6] Chen Youming, Major L, Kushawaha V. Efficient laser operation of diode-pumped Nd:KGd(WO₄)₂ crystal at 1.067 μm. *Appl. Opt.*, 1996, **35**(8) 3203 ~ 3206
- [7] Koecher W. *Solid-State Laser Engineering*. New York: Springer-Verlag, 1986. 17
- [8] Findlay D, Clay R A. The measurement of internal losses in 4-level lasers. *Phys. Lett.*, 1966, **20**(3) 277 ~ 278

Comparative Laser Study of Nd:KGW and Nd:YAG Pumped by Flashlamp

Mao Yanli¹⁾²⁾ Deng Peizhen¹⁾ Li Chengfu¹⁾ Gan Fuxi¹⁾

(1), Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800

(2), Department of Physics, Henan University, Kaifeng 475001

(Received 22 December 2000; revised 12 January 2001)

Abstract: A comparative study of Nd:KGW and Nd:YAG laser crystals was conducted under the same experimental conditions in free-running mode and the *Q*-switched mode, which were pumped by flashlamp at a repetition rate of 1 Hz with a pulse duration of 120 μs. In free-running operation, the slope efficiencies and the extrapolated energy thresholds were determined to be 1.0% 0.44% and 0.54 J, 0.76 J for Nd:KGW and Nd:YAG rods, respectively. The slope efficiency of 0.16% and 0.07% for the Nd:KGW and the Nd:YAG were obtained in *Q*-switched mode with the extrapolated energy threshold of 5.9 J and 12.5 J, respectively.

Key words: flashlamp pumped; Nd:KGW crystal; Nd:YAG crystal; *Q*-switched