

800 nm 泵浦 Nd 掺杂的氟化物玻璃 光纤产生 1.35 μm 激光

王 劫 祁长鸿 沈红卫 胡和方 干福熹

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

摘要 利用钛宝石激光器 800 nm 输出激励 Nd³⁺ 掺杂的氟钨酸盐玻璃(ZBLAN)光纤产生了 1.35 μm 的激光输出。

关键词 光纤激光器, 氟化物玻璃

波导光学器件尤其是波导固体相干辐射源已成为近年来迅速发展的一個领域。以低阈值、室温连续为特征的光纤激光器具有块状器件所无法比拟的优越性。随着激光二极管(Laser Diode, LD)光源的发展,使得光纤器件更加方便、紧凑。目前实验室中利用高功率激光二极管已获得瓦量级的连续光纤激光输出^[1,2],Nd³⁺ 在近红外波段存在 880 nm, 1.06 μm 和较弱的 1.3 μm 荧光带。在氟钨酸盐玻璃(ZBLAN)光纤中用 514.5 nm 泵浦已实现了 1.05 μm 和 1.3 μm 激光。本文利用国产的氟钨酸盐玻璃光纤用 800 nm 泵浦(钛宝石激光器)实现了 1.35 μm 激光,并观察了从荧光到激光的发展过程。

图 1 是 Nd³⁺:ZBLAN 在可见到近红外的吸收带和发射带。根据吸收谱,800 nm 的吸收截面远高于 514.5 nm 的吸收截面,加之能级 ⁴F_{5/2} 相距发光能级 ⁴F_{3/2} 仅为 1000 cm⁻¹,因而其激发效率远远高于 514.5 nm 的激发效率。位于 ⁴F_{5/2} 的粒子基本通过无辐射跃迁到了 ⁴F_{3/2},构成一个典型的四能级系统。根据图 1, ⁴F_{3/2} 的发射带主要是 ⁴F_{3/2} - ⁴I_{13/2}, ⁴F_{3/2} - ⁴I_{11/2} 和 ⁴F_{3/2} - ⁴I_{9/2}。Nd³⁺ 在 ZBLAN 中的光谱参数列于表 1。

Table 1 Fluorescence parameters of Nd³⁺:ZBLAN

Transitions	Wavelength (nm)	Life time(ms)	FWHM (nm)	Section of peak emission (×10 ⁻²⁰ cm ²)
⁴ F _{3/2} - ⁴ I _{13/2}	1320	0.44	80	0.74
⁴ I _{11/2}	1050		32	2.64
⁴ I _{9/2}	885		44	0.78

根据四能级非均匀加宽的小信号增益^[3],我们可估计出: g (1050 nm) : g (885 nm) : g (1320 nm) ~ 3.0 : 0.6 : 1,即 1050 nm 的增益是 1320 nm 增益的 3 倍。因此为压制 1050 nm 消耗上能级粒子数,输入端的腔镜使用了对 800 nm 和 1050 nm 高透(均大于 90%),对 1320

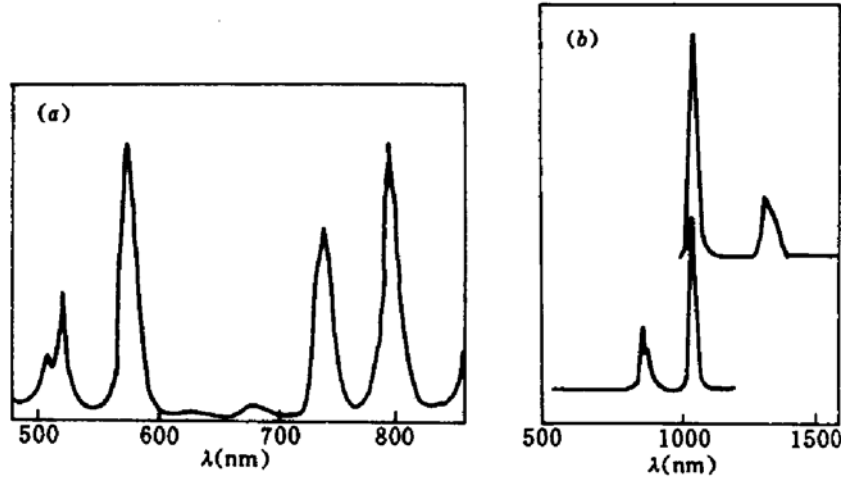


Fig. 1 Absorption (a) and emission (b) spectra of Nd³⁺:ZBLAN glass. Emission spectrum is split into two ranges corresponding to different detectors, photomultiplier and PbS

nm 高反(~100%)的镀膜镜,而输出腔镜对 1050 nm 的透过率大于 90%,对 1320 nm 的透过率为 1%。实验所用的装置和光纤参数均与以前相同^[4]。探测器为 PbS,光纤长 1.05 m。

图 2 是不同泵浦功率下光纤的输出光谱。在低泵浦功率下[图 2 (a)],1.3 μm 荧光带表现为宽带发光,半宽度(FWHM)≈80 nm,峰值位于 1320 nm,且在 1340 nm 处还有一个肩峰,这与块状样品的发光相同。当功率加大时 (b),主峰与肩峰的相对强度开始变化,肩峰逐渐提高并最终超过了 1320 nm 处的主峰 (c),同时伴随肩峰窄化现象。图 2 (d) 是 $P = 2P_m$ 时的激光光谱,此时肩峰迅速增强,而 1320 nm 峰已几乎看不出了。激光的峰值波长位于 1346.2 nm, FWHM ≈ 8.2 nm,是荧光带宽的 1/10,这与 514.5 nm 泵浦的结果基本相同^[5]。图 3 给出了光纤激光的相对输出强度与泵浦功率的关系。根据拟合的结果,激光的阈值泵浦功率~155 mW;考虑到耦合效率,对应了入纤功率~23 mW。相比于 Er³⁺, Tm³⁺ 等 ZBLAN 单模光纤激光的阈值(仅几个 mW),表明还可进一步改进,如采用单模光纤、降低光纤损耗,并采用较佳的长度等,与 1050 nm 的激光相比($R = 90\%$, $P_m \sim 14 \text{ mW}$ ^[4]),1346 nm 的阈值近似是它的 2 倍。考虑到输出耦合率和不同波长的泵浦效率,与前面对增益的估计基本相符。

激光的峰值波长与荧光的峰值相差 26 nm,这表明在荧光峰值波长处的损耗大于增益。根据光谱随泵浦功率的变化来看,泵浦功率增加,对 1320 nm 处的损耗也逐渐增加,因而它的强度变

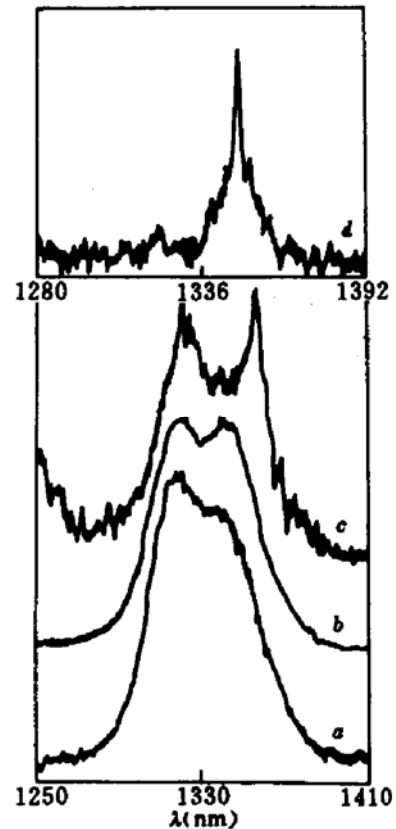


Fig. 2 Output spectra from a fiber at different pump power levels.⁶ Two abscissa scales are used for a clear presentation of lasing spectrum (a) ~ (c); output spectra vary with increased pump power; (d); lasing output at $P = 2P_m$ shows that the peak at 1320 nm almost disappears owing to excited state absorption (ESA) and the stimulated emission at 1346 nm

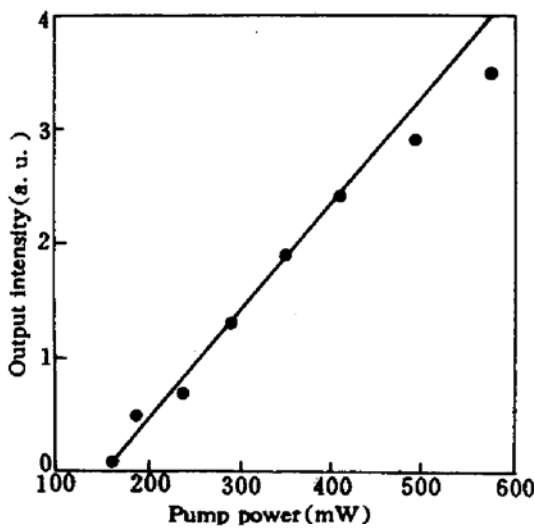


Fig. 3 The dependence of fiber output intensity (mon. at 1346 nm) on pump power. The straight line is obtained by fitting the first six data. The last two datum points deviate from the line clearly

化不与肩峰同步。这种随波长和泵浦强度变化的损耗机制应是激发态吸收(ESA),实际上,我们在实验中也观察到强烈的黄光(~ 530 nm)。根据波长判断,这是 ${}^4F_{3/2} - {}^2P_{1/2} + {}^2D_{5/2}$ 上转换导致的发光(${}^4G_{7/2} - {}^4I_{9/2}$)。

当泵浦功率达到 500 mW 时,激光的输出开始偏离线性关系(图 3),显示出饱和现象,这可能与 885 nm 荧光带的受激辐射行为有关。实验中发现,对于 1050 nm 荧光即使没有腔片,仅靠光纤的两个端面(反射率 $\sim 4\%$)在 1.3 μm 尚未起振时即产生了强烈的激光输出。这也是 1.3 μm 高阈值的因素之一。当泵浦功率足够高时,885 nm 的荧光也可能类似于 1050 nm 的行为。尽管它与 1.3 μm 的增益相差不大,但由于没有足够高的反馈,故阈值比 1.3 μm 高得多。885 nm 激光起振(或存在较强的超荧光),导致了 1.3 μm 激光的“饱和”行为。

从示波器上看 885 nm 的荧光存在明显的窄化,这初步证实了我们的设想。

800 nm 波段的半导体激光器已有大功率器件供选用(如 Sony SLD303,最大功率 500 mW),而且从半导体至光纤的耦合效率也有较为成熟的技术(如利用 TEC 技术与 V-groove 联接技术相结合,可使耦合效率达 68%^[6])。我们的实验表明,即使在多模情况下,利用激光二极管完全可以产生 1.3 μm 的激光,这方面的工作已在进行中。

致谢 感谢吴铁强先生的大力协助;陈一竑博士提供了有关 $\text{Nd}^{3+} : \text{ZBLAN}$ 的光谱参数。

参 考 文 献

- 1 V. P. Gapontsev, P. I. Sadovsky, I. E. Samartsev. 1.5 μm erbium glass lasers. CLEO. 1990, paper CPDP 38-1
- 2 Y. Miyajima, T. Komukai, T. Sugawa. 1-W CW Tm-doped fluoride fiber laser at 1.47 μm . *Electr. Lett.*, 1993, 29 : 660
- 3 干福熹. 玻璃的光学和光谱性质. 上海:上海科学技术出版社, 1992
- 4 王 劫, 祁长鸿等. 1.05 μm 氟化物玻璃光纤激光器的输出特性. *光学学报*, (待发表)
- 5 W. J. Miniscalco, L. J. Andrews, B. A. Thompson *et al.*. 1.3 μm fluoride fiber laser. *Electr. Lett.*, 1988, 24 : 28
- 6 M. Yamada, M. Shimizu, Y. Ohishi *et al.*. One-LD-pumped Pr^{3+} -doped fluoride fiber amplifier module with signal gain of 23 dB. *Electr. Lett.*, 1993, 29 : 1950

1.35 μm Laser Generation of Nd^{3+} -doped Fluorozirconate

Fiber Pumped by a Ti : sapphire Laser at 800 nm

Wang Jie Qing Changhong Shen Hongwei Hu Hefang Gan Fuxi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract It is reported that a 1.35 μm lasing output has been obtained in Nd^{3+} -doped fluorozirconate glass fiber (ZBLAN) pumped by a Ti : sapphire laser at the wavelength of 800 nm.

Key words fiber laser, fluoride glass