

1.05 μm 氧化物玻璃光纤激光器的输出特性

王 劼 祁长鸿 胡和方 沈红卫 干福熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 实现了 Nd^{3+} 掺杂的氟化物玻璃的光纤激光输出。首次研究了不同输出耦合下的激光输出特性。并获得了激光输出光谱随泵浦功率的变化过程。

关键词 氟化物玻璃光纤, 光纤激光器。

1 引 言

掺杂稀土离子氟化物玻璃的非辐射寿命要比在其它种类玻璃如石英玻璃的长, 这主要是由于它的声子能量低^[1], 因而稀土掺杂的氟化物玻璃的荧光量子效率要高于石英玻璃。 Nd^{3+} 掺杂的氟化物玻璃光纤已实现了激光振荡^[2,3]。但对于不同输出耦合下的输出特性和激光光谱与泵浦能量的关系仍缺乏细致的研究。作者应用自制的掺 Nd^{3+} 的 ZBLAN 玻璃光纤, 首次在国内实现了 Nd^{3+} 在 1.05 μm 的激光振荡, 研究了不同输出耦合下的输出特性, 并且利用高分辨双光栅单色仪研究了在不同泵浦功率下的激光光谱的特性。

2 实 验

实验中所用光纤的基质材料是 ZBLAN 玻璃, 其成分是 $53\text{ZrF}_4 - 20\text{BaF}_2 - 4\text{LaF}_3 - 3\text{AlF}_3 - 20\text{NaF}$, 光纤的掺杂浓度为 0.1 mol% 的 NaF_3 , 芯径 10 μm 。芯与包层材料的折射率差为 0.003。光纤长为 0.95 m。实验装置如图 1 所示。用国产的 360 型 Ar 离子激光器作为泵浦源, 其输出光束是直径为 1.5 mm 的基模, 通过一消色差显微物镜将光束耦合进光纤。物镜的放大倍数为 10 \times , 数值孔径 N. A. = 0.3。通过一根很短的光纤, 测得了这套系统的

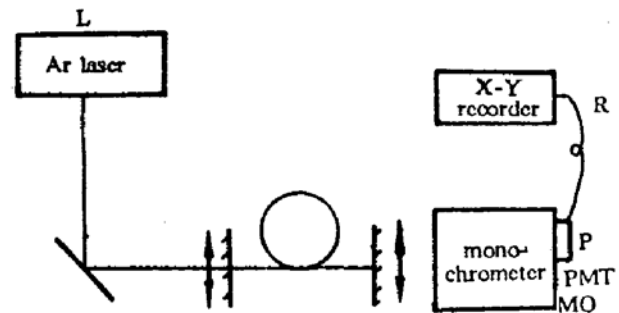


Fig. 1 Experimental setup

的耦合效率为 15%。光纤激光器采用法布里-珀罗腔, 由两块镀介质膜的平面镜构成, 输入镜对泵浦波长是高透射的, 而在 1.00~1.10 μm 的波长范围内, 其反射率近似 100%, 输出镜分别使用了反射率为 95%、90%、80%、70%、57% 和 28.7% 的平面镜。光纤端面用手工切割, 并紧贴于腔镜上, 构成内腔式激光腔。光纤的输出信号经过红外截止型滤光片 HWB11

后进入高分辨率的 GDM-1000 双光栅单色仪。探测元件采用 GDB-411 型光电倍增管, 其探测范围可达到 $1.08 \mu\text{m}$ 。倍增管的输出信号送至 $x-y$ 记录仪记录。在测量激光的输出谱线时, 单色仪的出射和入射狭缝均为 $50 \mu\text{m}$, 此时的分辨率为 0.3 cm^{-1} 。

Nd^{3+} 掺杂的 ZBLAN 玻璃在 517.6 nm 处有一较强的吸收峰, Ar 离子激光器的 514.5 nm 谱线与这个吸收峰近似吻合, 因此 514.5 nm 作为泵浦波长要比其它几条谱线有更高的激发效率。泵浦光将 Nd^{3+} 离子激发到 ${}^2G_{7/2}$ 能级, 然后迅速通过无辐射跃迁到达 ${}^4F_{7/2}$ 。实验中测得的 885 nm 、 1050 nm 和 1320 nm 荧光谱线分别对应于 ${}^4F_{7/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ 、 ${}^4F_{7/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ 和 ${}^4F_{7/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ 的辐射。这三条谱线中, $1.05 \mu\text{m}$ 的谱线最强(分支比 0.50), 因而在这个波段易于实现激光振荡。

3 结果与讨论

图 2 是输出镜的反射率为 90% 时的激光输出特性。通过线性回归拟合, 得到了斜率效率为 7.7%, 阈值功率为 14 mW (入纤功率)。分别使用了不同反射率的输出镜, 求得的斜率效率和阈值如图 3 所示。当 $R = 28.7\%$ 时, 得到的最大输出功率 10 mW , 斜率效率 23%。可见, 输出镜的反射率越高, 斜率效率越低。但由于泵浦与光纤之间、光纤与腔镜之间的耦合状态低在每次更换腔镜时不可能相同, 导致了阈值数据点的不规则性。

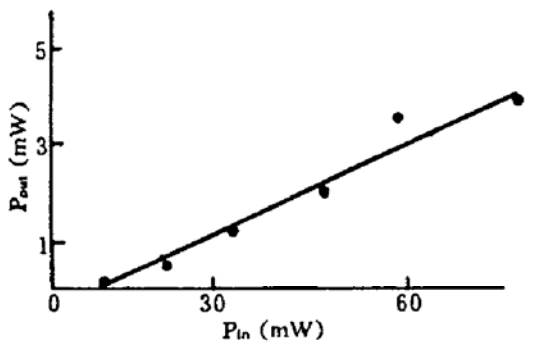


Fig. 2 The dependence of fiber laser output power on injected pump power with a output mirror of 90% reflectivity

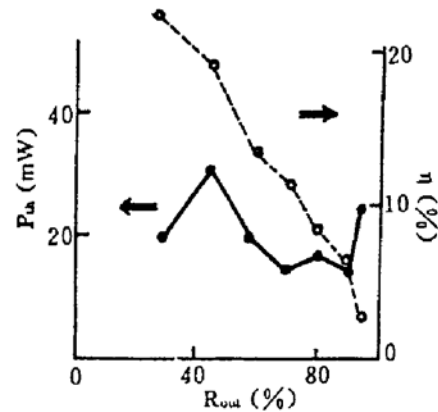


Fig. 3 The relationship between reflectivities of output mirrors and slope efficiency η and threshold P_{th} . The lines are drawn as a guide for the eye

不同泵浦功率下光纤激光器发射光谱的发展过程如图 4 所示。当激光器运转在阈值附近时, 在 9520 和 9522 cm^{-1} 处出现了两个尖锐的发射峰[图 4(a)], 同时自发辐射剧烈下降。从二者的相对强度看, 激光信号要比自发辐射背景强 5 倍左右。在同种基质的块状样品中, ${}^4F_{7/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ 的荧光峰位于 9544 cm^{-1} , 可见首先起振的波长并不在它的荧光峰值处。这表明光纤的增益最大值并不与荧光峰值相重合, 而是向长波方向偏移了, 这主要是由于激发态吸收所致。计算表明, 尖锐结构的线宽小于 0.8 cm^{-1} ($\sim 0.09 \text{ nm}$)。从图中还可以发现, 激光对于自发辐射的压制是非均匀的, 分别在 9550 和 9485 cm^{-1} 处凸起了两个小峰。这表明谱线加宽是非均匀的, 这是预料中的。由于玻璃的无序性, 不同格位的 Nd^{3+} 离子受到的晶格场作用是不同的, 从而导致了谱线的非均匀加宽。当激发能量进一步加大到阈值泵浦能量 (P_{th}) 的 1.36 倍时, 发现此时振荡波长发生偏移, 由 9522 cm^{-1} 移到 9526 cm^{-1} [图 4(b)]。在这个过程中, 有两个值得注意的现象, 一是产生这种移动有一定的“阈值”, 而不是连续地移动^[4]。实验中,

当泵浦能量在 $1.06 P_{th}$ 时, 并未观察到偏移, 而是仍稳定在 9522 cm^{-1} 处振荡; 另一就是当波长移到 9526 cm^{-1} 后, 进一步加大泵浦能量, 再也观察不到有移动现象, 尽管此时振荡范围变大, 但最大强度值仍保持在 9526 cm^{-1} 处[图 4(c)、(d)]. 作者认为这是由于多模光纤中的横模竞争引起的。由于低阶横模的衍射损耗小, 故易于起振, 但它的模体积小于高阶横模的模体积, 故总的增益要小于高阶模的增益。在一定的泵浦能量范围内, 低阶模优先振荡。而一旦泵浦能量加大到足以使某个高阶模的增益超过它的损耗而起振, 则由于高增益而抑制了低阶模。这就是实验中所观察到的“阈值”现象。另一方面, 高阶横模的振荡频率比低阶模高, 因此波数要偏向大波数方向。

由于腔片的反射光谱范围覆盖了 Nd^{3+} 在 $1.05 \mu\text{m}$ 处的荧光带, 因而可振荡的波长区域可以较宽。还应注意, 在短波处的振荡谱线的相对强度比长波处的要弱。这表明在短波长处存在更大的损耗, 激发态吸收是一个重要原因。从振荡谱线的包络线上也反映出这种非对称性和起振范围的变化。在 $2P_{th}$ 和 $3P_{th}$ 功率水平下, 包络线半宽度由 60 cm^{-1} 增至 75 cm^{-1} , 但峰值在 9526 cm^{-1} 不变。与文献[5]的 Nd^{3+} 激光输出相比, 氟化物玻璃光纤的主要振荡波长比石英光纤的短, 这与 Nd^{3+} 在这两种基质的荧光分布的差异是相一致的。

当泵浦功率增加时, 很明显地看出起振谱线的“线宽”变宽了。例如在 $2P_{th}$ 时, 9526 cm^{-1} 处的谱线半宽为 1.2 cm^{-1} 。这可理解为: 由于光纤较长, 纵模间隔在 10^{-3} cm^{-1} 量级, 因而振荡谱线是大量纵模的叠加, 因此谱线的变宽仅表明起振的纵模数目增多了。

结 论 实现了 $1.05 \mu\text{m}$ 的 Nd^{3+} 掺杂氟化物玻璃光纤的激光输出, 并测量了在不同的输出镜反射率时的激光输出特性, 得到了最大输出功率为 10 mW , 斜率效率为 23% 。在不同的激发功率下, 首次观察到多模光纤激光的振荡波长出现的微小偏移。这种移动被认为是多模光纤的横模竞争。从光纤激光器的振荡谱线看, 可起振的波长范围很宽, 因此, 插入适当的波长选择元件, 有可能制成可调谐光纤激光器。另一方面, 使用单模光纤, 进一步降低光纤的损耗并选择合适的长度将可进一步降低激光的阈值。

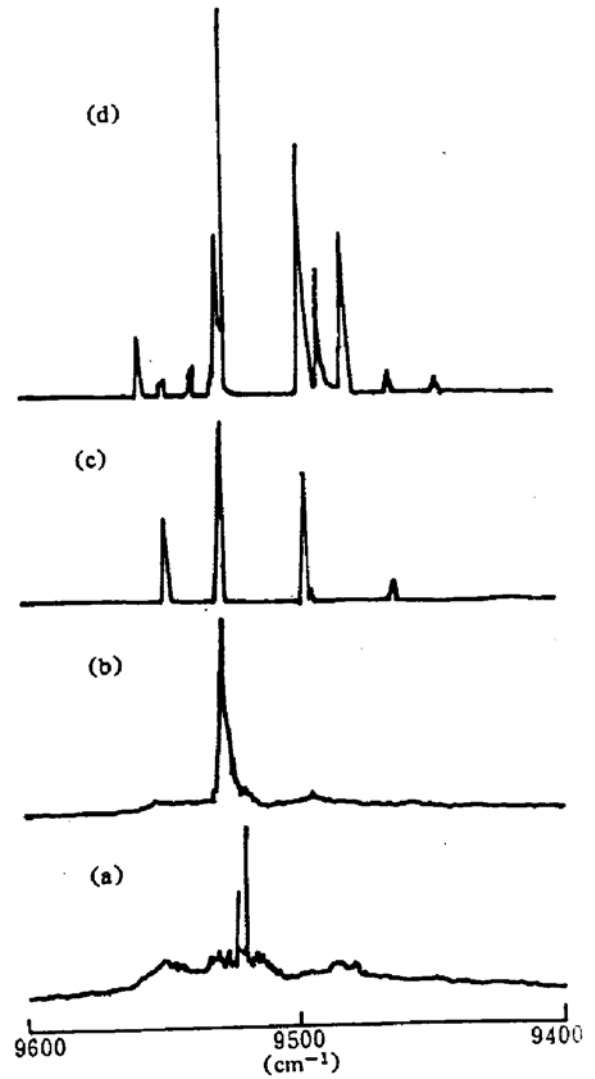


Fig. 4 Fiber laser spectra at different pump power levels
(a) $235 \text{ mW} (P_{th})$, (b) $1.36 P_{th}$,
(c) $2 P_{th}$, (d) $3 P_{th}$

参 考 文 献

- [1] K. Tanimura, M. D. Shinn, W. A. Sibley, Optical transitions of Ho^{3+} ions in fluorozirconate glass. *Phys. Rev. B*, 1984, **30**(5) : 2429~2437
- [2] M. C. Brierley, P. W. France, Neodymium-doped fluoro-zirconate fiber laser. *Electron. Lett.*, 1987, **23**(16) : 815~817
- [3] W. J. Miniscalco, L. J. Andrews, B. A. Thompson, 1.3 μm fluorider fibre laser. *Electron. Lett.*, 1988, **24**(1) : 28~29
- [4] F. Auzel, D. Meichenin, H. Poignant, Tunable continuous-Wave, room-temperature Er^{3+} -doped ZrF_4 -based glass laser between 2.69 and 2.78 μm . *Electron. Lett.*, 1987, **23**(26) : 1463~1464
- [5] 陈一竑, 程端华, 干福熹, Ar 离子激光泵浦的掺 Nd 光纤激光特性. 科学通报, 1991, **36**(20) : 1539~1541

Lasing Output Characteristics of Fluoride Glass Fiber Laser Operated at 1.05 μm

Wang Jie Qi Changhong Hu Hefang Shang Hongwei Gan Fuxi
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 28 March 1994; revised 14 June 1994)

Abstract The lasing operation in Nd^{3+} -doped fluoride glass fiber has been obtained for the first time at 1.05 μm . The emission characteristics of the laser with different out-coupling are studied, and the change of laser emissions with variations in pump power is demonstrated.

Key words fluoride glass fiber, fiber laser.