

掺 Er 石英光纤的 1560 nm 光纤激光和超荧光

陈一竑 程瑞华 沈红卫 干福熹

(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 用 Ar 离子 514.5 nm 激光泵浦掺 Er 石英光纤产生了 1560 nm 的激光和超荧光输出。激光最大输出功率 5.4 mW, 斜率效率 9.5%; 超荧光最大输出功率 1.6 mW, 并观察到光纤超荧光的谱窄化现象。

关键词: 掺 Er 光纤, 光纤激光, 超荧光

1560 nm laser emission and superfluorescence from Er-doped silica fiber

Chen Yihong, Cheng Ruihua, Shen Hongwei, Gan Fuxi

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

Abstract: Pumped by 514.5 nm Ar ion laser, emission and superfluorescence at 1560 nm of Er-doped silica fiber were obtained. The maximum output of fiber laser is 5.4 mW, slope efficiency 9.8%. 1.6 mW output was obtained in superfluorescence operation, and the narrowing of fluorescence spectra was also observed.

Key words: Er-doped fiber, fiber laser, superfluorescence

掺 Er 单模光纤激光器作为一种发展中的有希望的红外通讯光源近来受到极大关注, 特别是 1560 nm 处的激光, 它处在石英材料的透过“窗口”, 更具实用意义。超荧光宽带光源则以其结构简单和较大功率的输出逐渐受到重视^[1~6]。我们的实验以 514.5 nm 的 Ar 离子激光作为泵浦源, 分别产生了较大功率的 1560 nm 光纤激光和光纤超荧光输出, 并研究了输出谱特性。

一、实 验

实验用一根长度为 1.6 m 的掺 Er 光纤, 光纤由中国建材科学研究院石英组提供, 光纤芯径 5 μm , 测得的光纤在 600~1600 nm 波段内的损耗谱如图 1 所示。在激光产生处 1560 nm 的损耗约为 10⁴ dB/km。实验中用 Ar 离子激光 514.5 nm 泵浦, 泵浦激光经聚焦透过激光后腔镜进入光纤。光纤数值孔径为 0.11, 而聚焦系统的数值孔径较大, 为 0.15。光纤激光后腔镜对 514.5 nm 泵浦光的透过率为 80%, 根据我们用一段短光纤测量的结果, 泵浦光耦合进入光

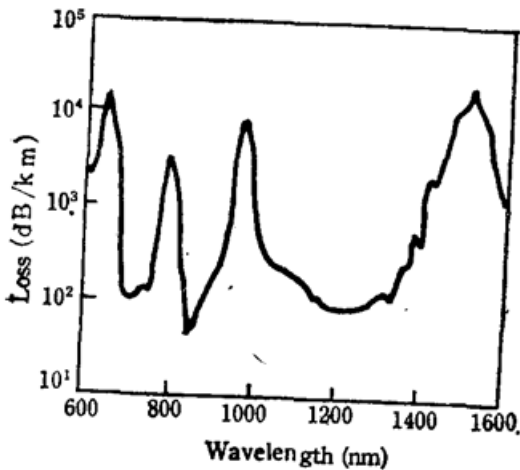


Fig. 1 Loss of Er-doped silica fiber in the band 600~1600 nm

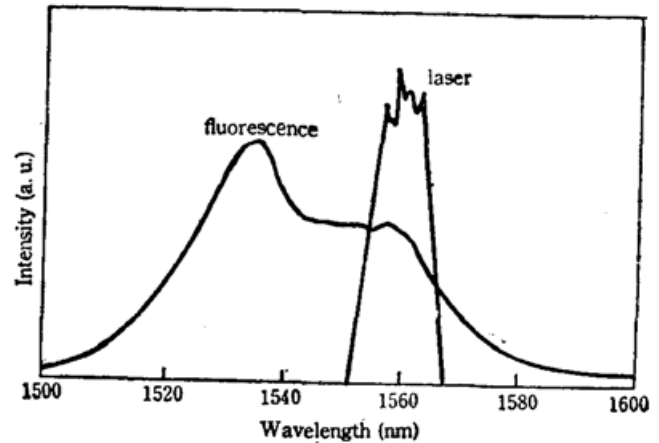


Fig. 2 Fluorescence and laser spectra of Er-doped silica fiber

纤的效率约为 20%。激光输出腔镜的反射率在 70~96% 之间变化都可产生 1560 nm 激光。光纤荧光和光纤激光谱的测量用一台 WDG 30 型光栅单色仪和锗红外探测器。输出激光功率用光功率计测量。

二、结果及讨论

图 2 是测得的掺 Er 石英光纤的荧光谱和激光谱。为了避免光纤中的传输造成的荧光谱的变形, 测荧光谱时用的是一段很短的光纤 (~5 cm)。荧光峰位于 1530 nm, 另有一肩峰在 1560 nm 处, 但激光却出现在 1560 nm 处而不是在 1530 nm。造成这种移动大致有两个方面的原因, 一是虽然荧光峰值在 1530 nm, 但对信号光的吸收(由 ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$) 的峰值也在此处, 就净增益而言, 1560 nm 处比 1530 nm 处高, 其次我们这里标出的反射镜的反射率都是指对 1560 nm 处而言的, 附近其它波长处的反射率可能与 1560 nm 处不同。这种反射镜的反射率在荧光谱范围内的变化也影响着产生激光输出的波长位置。当用不同反射率的输出腔片时, 泵浦吸收阈值均不相同; $R=96%$ 时, $W_{th}=8.7\text{ mW}$; $R=83%$ 时, $W_{th}=12.7\text{ mW}$; $R=70%$ 时 $W_{th}=21.5\text{ mW}$ 。当 $R=70%$ 时测得 1560 nm 光纤激光的最大输出功率为 5.4 mW。图 3 是 $R=83%$ 和 $R=70%$ 时光纤激光的输出特性, 在这两种输出镜反射率时光纤激光的斜率效率分别是 4.4% 和 9.5%。

当在光纤激光构置中取出输出镜片, 直接由光纤端输出时, 获得了 1560 nm 的超荧光输出。光纤端面的自然反射率约为 4%, 为了使这种反射进一步减小, 可将端面加工成倾斜形或用折射率匹配输出。在实验中, 泵浦端仍保留有对 1560 nm 反射率为 99.8% 的高反镜片, 这种产生光纤超荧光的构置常被称为双程构置(double-pass Configuration), 这种构置与不加反射镜的构置(即单程构置, Single-Pass Configuration)相比, 增益长度增加一倍。从输出功率的变化来看, 超荧光的产生没有明显的阈值, 在泵浦功率增大时, 荧光输出功率增大且荧光谱逐渐变窄, 图 4 展示了这种变化过程。图 4(1) 是荧光光谱, 峰值在 1530 nm 处, (2)~(4) 是超荧光谱形随泵浦功率增加的变化情况, 两个峰值分别位于 1560 nm 和 1530 nm, 1560 nm 处较强, 在较低泵浦功率时, 图 4(2) 1530 nm 处的强度很小, 这是因为此时的光纤只有在靠近入射端的部分被有效地激发发出荧光, 而 ${}^4I_{13/2}$ 能级的本征吸收峰也位于 1530 nm 处, 这样

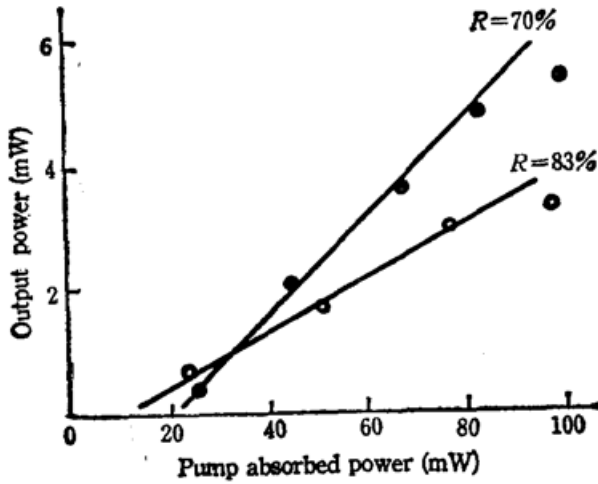


Fig. 3 The output characteristics of Er-doped fiber laser

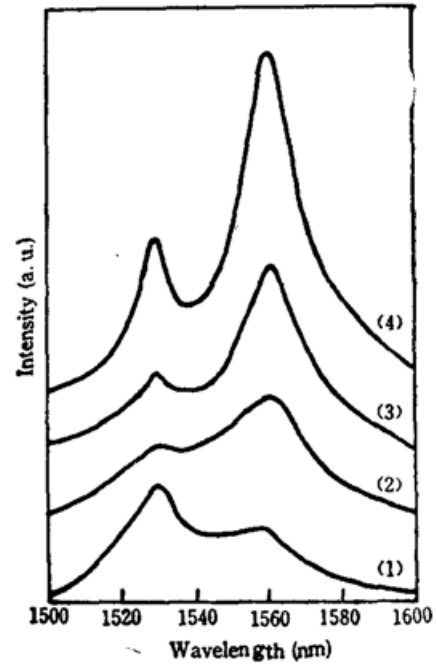


Fig. 4 The superfluorescence spectra of Er-doped silica fiber.

近入射端部分发出的 1530 nm 荧光在光纤中传输时很快地衰减, 到输出端时强度已很小。随着泵浦强度的增加, 被有效泵浦的光纤长度也增加, 在有效泵浦段内, 1530 nm 处净增益大于零, 因而被放大, 相应的输出光强度也随之增加, 由此产生了图 4(2)~(4)所示的变化。

在双程构置下我们获得超荧光最大输出功率 1.6 mW, 此时吸收的泵浦功率为 95 mW。超荧光输出-输入关系见图 5, 它与图 3 的激光输出特性有明显区别, 首先超荧光没有明显的阈值, 它的产生是一个渐变过程; 其次, 超荧光输出的斜率效率在不断变化, 输出功率不随输入功率线性变化。在我们的实验条件下达到的最大斜率效率约为 3.3%。

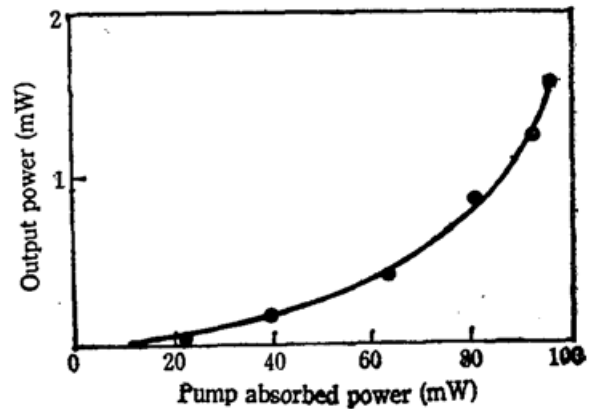


Fig. 5 The superfluorescence characteristics of Er-doped silica fiber

与四能级系统的掺 Nd 光纤 1080 nm 激光和超荧光不同, Er^{3+} 的 1560 nm 光发射是一个三能级机构, 激光下能级正是基态 $^4I_{15/2}$, 因而基态吸收 $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ 导致对 ~ 1530 nm 信号光很强的吸收, 这样泵浦阈值相对较高。另外用 514.5 nm 氩离子激光作泵浦源存在的激发态吸收 (ESA) 也阻碍了泵浦效率的提高, 如果改用 532 nm, 980 nm 或 1490 nm 的激光泵浦将能有效地克服 ESA, 不仅如此, 泵浦光和信号光波长的接近将有利于泵浦光和信号光在光纤中的模场匹配, 从而进一步提高泵浦效率。

参 考 文 献

- 1 M. S. O'Sullivan, J. Chrostowski, *Opt. Lett.*, **14**(9), 438~440(1989)
- 2 K. Liu, M. Dgionnet, H. J. Shaw, *Electr. Lett.*, **23**(24), 1320~1321(1987)
- 3 I. N. Duling, W. K. Burns, L. Goldberg, *Opt. Lett.*, **15**(1), 33~35(1990)
- 4 E. Desurvire, J. R. Simpson, *J. Lightwave Technology*, **7**(5), 835~845(1989)
- 5 R. I. Laming, S. B. Poole, E. J. Tarbox, *Opt. Lett.*, **13**(12), 1084~1086(1988)
- 6 P. F. Wysocki, M. J. Digonnet, B. Y. Kim, *Proceeding of SPIE*, 1989, Vol. 1171, 261~270