

掺 Nd 石英光纤的 910 nm 光纤 激光和超荧光

陈一竝 程瑞华 干福熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海, 201800)

摘要: 用 514.5 nm Ar 离子激光泵浦掺 Nd 石英单模光纤, 通过抑制 1080 nm 的发射, 取得了 910 nm 波段的光纤激光和超荧光输出. 光纤激光的最大输出功率为 1.4 mW, 斜率效率为 2.5%. 光纤超荧光的最大输出为 0.4 mW. 比较了在单程和双程构置情况下 910 nm 和 1080 nm 超荧光输出间的关系. 实验还研究了在同一构置中光纤输出从超荧光到振荡激光的变化过程.

关键词: 掺 Nd 光纤, 光纤激光, 光纤超荧光.

引言

掺 Nd 石英光纤中, 由 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$, ${}^4I_{11/2}$ 和 ${}^4I_{13/2}$ 三个跃迁产生的峰值分别在 910 nm, 1080 nm 和 1360 nm 三个发射带. 从荧光特性看, 1080 nm 处的荧光最强, 在光纤中的增益也最大, 所以, 最容易产生激光和超荧光, 而在 910 nm 和 1360 nm 处增益较小, 要产生激光和超荧光相对要困难一些. 但这两个波段的激光在光通讯和光谱学研究方面有着广泛的应用前景. 为此, 本文研究了掺 Nd 单模石英光纤中的 910 nm 激光和超荧光特性, 以及它们之间的转变过程.

1 实验和结果

实验中所用掺 Nd 光纤长度为 1.95 m, 光纤芯径为 5 μ m, 实验装置结构如图 1 所示. 图中 1, 2, 3 分别为产生光纤激光、单程及双程超荧光时的结构.

1.1 光纤激光实验与结果

为获得 910 nm 的激光输出, 我们用对 1080 nm 波段较低反射率的谐振腔, 以加大在 1080 nm 处的损耗, 使该处的振荡难以产生. 激光后腔面对 910 nm 全反, 对 514.5 nm 泵浦光的透过率约为 80%, 而在 1080 nm 处, 透过率为 87%. 输出腔面对激光波段的反射率分别采用 $R = 96\%$ 和 85% 两种.

在采用了 对 1080 nm 波段具有较高透射率的谐振腔后, 产生了 910 nm 波段的光纤激

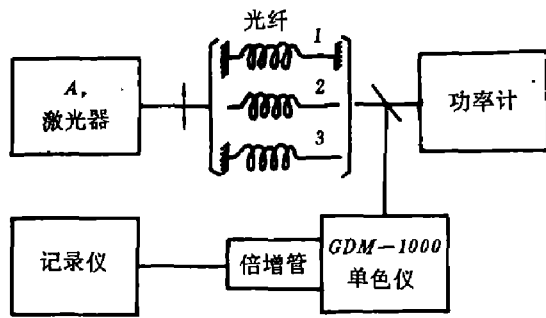


图1 实验装置结构示意图

Fig. 1 Schematic of the experimental configurations

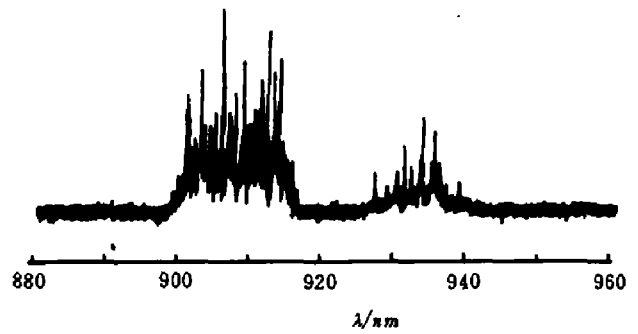


图2 掺Nd光纤的910 nm光纤激光谱

Fig. 2 The spectrum of 910 nm fiber laser

光输出. 在 $R = 96\%$ 和 $R = 85\%$ 两种情况下, 产生激光的泵浦阈值分别是 16 mW 和 22 mW; 激光最大输出分别是 0.7 mW 和 1.4 mW; 斜率效率分别为 0.93% 和 2.5%. 图 2 是在 GDM-1000 单色仪狭缝取 0.02 mm 时记录的光纤激光输出谱, 泵浦功率约为 40 mW. 这时的输出激光有 900~915 nm 和 925~940 nm 两个波段, 最大强度分别在 910 nm 和 935 nm 处, 并且, 910 nm 附近激光强度明显地大于 935 nm 附近的激光强度.

1.2 光纤超荧光实验与结果

在超荧光实验中分别采用了单程和双程两种构置. 前者泵浦光直接被聚焦进入光纤, 后者则是在泵浦端耦合上一块对信号光全反的反射镜. 在两种情况下输出端均不加任何反射, 并尽量减小端面的自然反射 (如采用折射率匹配输出), 以避免产生谐振.

当泵浦强度足够高时, 光纤中产生的自发辐射信号在沿光纤传输时被放大, 便产生超荧光输出. 在单程构置下, 1080 nm 的超荧光输出占绝对优势, 占总输出功率的 90% 以上, 这个比例还随泵浦强度的增加而增加. 在吸收 93 mW 泵浦功率时, 1080 nm 超荧光输出为 400 μ W, 而 910 nm 处的超荧光功率只有 28 μ W. 在对 910 nm 波段双程构置时, 情况就完全不同, 由于耦合了一块反射镜, 在泵浦端, 910 nm 波段的光被全反射回到光纤中, 而对 1080 nm 处的反射率只有 13%, 此时出射功率中 910 nm 超荧光占大部分, 但 1080 nm 超荧光也相当强. 在吸收约 80 mW 泵浦光功率时, 910 nm 和 1080 nm 超荧光输出功率分别为 0.4 mW 和 0.23 mW.

在 910 nm 超荧光输出功率增加的同时, 输出谱形也发生了变化, 可观察到明显的荧光窄化现象. 图 3 中谱线 1 是从光纤侧面接收测得的荧光谱, 两个峰值在 910 nm 和 935 nm 处, 910 nm 处强度最大. 光纤端输出的谱形随泵浦强度增加所发生的变化如图 3 中谱线 2~5 所示. 在较低泵浦水平时, 输出最大在 935 nm 处, 随泵浦加强 910 nm 处强度增大并超过 935 nm 处. 在测得的谱中没有出现类似于图 2 中的毛刺状结构, 这说明此时光纤中没有振荡形成, 输出的是宽带超荧光.

1.3 光纤超荧光转变为光纤激光的实验与结果

在图 1(1) 结构中移开输出反射镜, 输出端反射减小, 振荡不能产生, 其输出则为超荧光. 若逐渐减小光纤输出端和输出反射镜间的距离, 直到完全耦合, 在这个过程中光纤中振荡形成并由弱到强, 光纤输出由超荧光转变为激光. 在测量输出谱时, 我们采用了

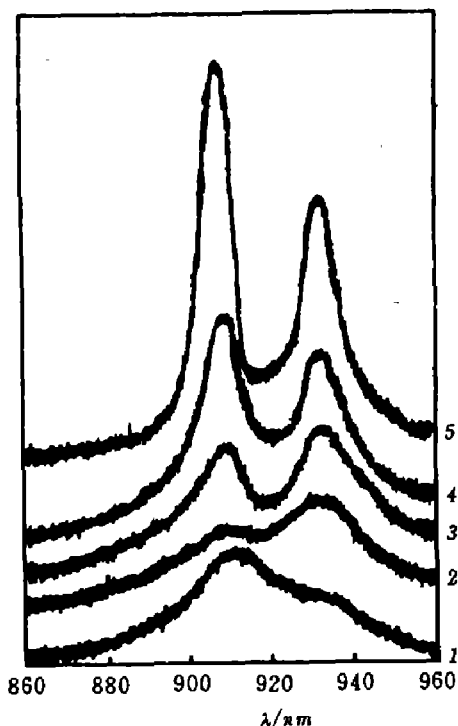


图3 光纤荧光谱和超荧光谱. 1—荧光谱; 2~5—随泵浦功率增加超荧光输出谱形的变化
Fig. 3 Fluorescence spectrum and superfluorescence spectrum. 1: fluorescence; 2~5: superfluorescence spectra at different pump intensities

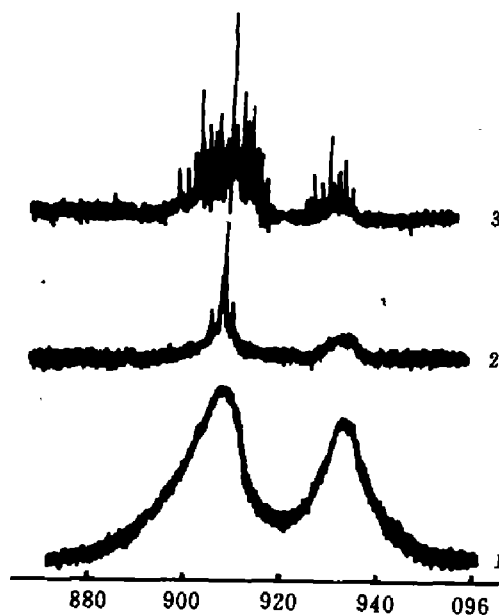


图4 超荧光转为激光过程中谱的变化. 1 超荧光谱; 2 振荡开始产生; 3 完全耦合时的激光谱
Fig. 4 The change process of output from superfluorescence to laser. 1 superfluorescence; 2 the beginning of oscillation; 3 laser output

GDM-1000 双光栅单色仪和光电倍增管, 单色仪出、入射狭缝为 0.02 mm. 由此测得的光纤输出谱能观察到光纤中振荡的产生, 并区分出超荧光和激光.

将泵浦的 Ar 离子 514.5 nm 激光功率固定, 使进入光纤中的功率为 50 mW, 此时 910 nm 双程构置超荧光的输出功率为 153 μ W, 在通过与光纤端保持一定距离对 910 nm 波段反射率 $R = 85\%$ 的反射镜后, 透过的超荧光功率为 23 μ W, 逐渐将反射镜平移靠近光纤端, 当靠到某一位置时, 振荡首先在 910 nm 处产生 (见图 4), 进一步靠近直至完全耦合, 产生振荡的波长范围也随之扩大, 并在 935 nm 附近也产生激光振荡; 同时输出功率迅速增加, 完全耦合时的激光输出功率为 0.64 mW.

2 讨论

与在同一根光纤中实现的 1060 nm 激光的参数相比较^[1], 910 nm 的光纤激光具有较高的泵浦阈值和较小的斜率效率, 这是由于由 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ 跃迁产生的 1060 nm 发光的发射截面比由 ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ 产生的 910 nm 发光的发射截面大. 1060 nm 激光属四能级机构, 而 910 nm 激光属三能级机构, 三能级机构中存在的信号的基态吸收增大了泵浦阈值.

图 2 中的 910 nm 激光发射谱是一系列毛刺状的结构, 体现了激光作用的共振波长选择. 在我们的情况 ($L = 1.95$ m), 两个相邻激光线的间隔 $\Delta\nu \approx 1.7 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$, 这个分辨率是普通的光谱仪所达不到的, 因此我们测得的激光谱只是定性地展示了激光的产生, 区

分出光纤端的输出是激光还是超荧光。

由于受基质环境的影响, 荧光谱和激光谱都表现出双峰结构. 在 $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$ 系统的玻璃中, 部分 Ge 替代了 Si 的位置, 对 Nd^{3+} 的周围环境产生影响, 导致能级位置的变化, 这样产生了发光的双峰结构, 1060 nm 发光也有类似结构.

超荧光的输出谱形与泵浦强度有联系, 在较低的泵浦功率时, 实际上得到有效泵浦的只是靠近入射端的一小部分, 由于我们前面提到的信号的自吸收 (峰置也在 910 nm 处), 这一部分发出的荧光在沿光纤传输时, 910 nm 处被较强的自吸收所衰减, 输出最大值出现在 935 nm 处. 在强度增加的同时, 在两个峰处出现了明显的谱窄化现象 (见图 3). 从输出特性来看, 超荧光输出没有明显的阈值, 斜率效率随泵浦功率非线性增长. 在单程构置中 1080 nm 输出占优势, 抑制了 910 nm 的发射, 而且输出功率越大, 910 nm 输出占总功率的比例越小. 在对 910 nm 双程构置时, 由于对 910 nm 的增益长度相当于 1080 nm 增益长度的两倍, 这时 910 nm 在总输出中占优势, 但此时 1080 nm 的输出仍很大.

光纤输出从超荧光到激光的转变过程发生在泵浦强度足够高的条件下 (见图 4), 这时光纤中达到粒子数反转, 具备受激发射的条件, 若输出端的反馈小, 光纤中自发辐射的荧光被受激放大, 产生放大的自发辐射 (ASE), 即超荧光. 随着输出端对信号反馈的增大, 首先在增益最大的某一波长处产生谐振, 继而在周围其它波长处也产生, 范围逐渐扩大.

参考文献

- 1 Chen Yihong, Cheng Ruihua, Gan Fuxi. *Chinese Science Bulletin*, 1992,37(7):556
- 2 Digonnet MJF. *Proc. SPIE*, 1989,1171:8
- 3 Duling IN, Burns WK, Goldberg L. *Optics Letters*, 1990,15(10):33
- 4 Jauncey IM, Reekie L, Townsend JE, Payne DN. *Electron. Lett.*, 1988,24(1):24
- 5 Wyatt R. *Electron. Lett.*, 1989,25(22):1498

910 nm FIBER LASER AND SUPERFLUORESCENCE OF Nd-DOPED SILICA FIBER

Chen Yihong, Cheng Ruihua, Gan Fuxi

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

Abstract: Pumped by 514.5 nm Ar ion laser, 910 nm laser and superfluorescence operation of Nd-doped silica fiber were achieved by suppressing the emission at 1080 nm. The maximal output of 910 nm fiber laser is 1.4 mW, slope efficiency is 2.5%. The maximal output of 910 nm superfluorescence is 0.4 mW. An experimental comparison was made between the outputs at 1080 nm and 910 nm superfluorescence. The process of change of the output from the superfluorescence to oscillatory laser in the same configuration was demonstrated by the experiment.

Key words: Nd-doped fiber, fiber laser, fiber superfluorescence.