

两片掺铒玻璃样品级联荧光光谱的实验研究^{*}

李成仁^{1,2)} 宋昌烈¹⁾ 饶文雄¹⁾ 李淑凤¹⁾

¹⁾ 大连理工大学物理系 大连 116024)

²⁾ 辽宁师范大学物理系 大连 116029)

(2002 年 5 月 7 日收到, 2002 年 7 月 4 日收到修改稿)

介绍一种掺铒玻璃样品的制作方法, 实验测量了单片及两片掺铒玻璃样品的荧光特性. 结果表明: 两片掺铒玻璃样品级联的荧光强度比单片掺铒玻璃样品的荧光强度高, 半值宽度与高浓度单片样品的半值宽度近似相等. 在两片掺铒玻璃样品级联的形式中, 浓度高的样品靠近抽运光源时的荧光强度比浓度低的样品靠近抽运光源时的荧光强度高, 两种低浓度样品组合的荧光强度相对于其单片样品荧光强度的增幅比两种高浓度样品组合的荧光强度相对于其单片样品荧光强度的增幅要高.

关键词: 掺铒玻璃样品, 级联, 荧光光谱强度, 半值宽度

PACC: 7855, 7865

1. 引言

掺铒光波导放大器(erbium-doped waveguide amplifier, EDWA)可以在较小的器件尺寸内获得较高的增益, 也可以像集成电路一样, 将光波导放大器、激光器、光滤波器、波分复用器、光探测器等有源、无源器件集成在一个面积非常小的芯片中, 构成光电子集成(optical electronic integrated circuit, OEIC)器件. 高增益掺铒光波导放大器研制的进展已经成为全光通信网发展的主要瓶颈, 引起了各国科学家的极大兴趣^[1-6]. 然而, 在小面积的基底上掺杂高浓度的 Er^{3+} , 产生了合作上转换、激发态吸收和交叉弛豫等效应^[7-10], 影响了信号增益的提高. 虽然人们在基底的选择、薄膜的制作工艺等方面做了大量的理论和实验工作^[11-15], 仍然未取得显著的结果. 我们的设想是, 像电子线路中用多级放大器的级联构成高增益的电信号放大器那样, 由多个容易实现的低掺杂浓度、低增益的掺铒光波导放大器级联起来, 组成高增益的光波导放大器. 本文介绍一种掺铒玻璃样品的制作工艺, 实验测量并比较了单片及两片掺铒玻璃样品的荧光特性. 结果表明: 两片掺铒玻璃样品级联的荧光强度比单片掺铒玻璃样品的荧光强度高, 半值宽度与高浓度单片样品的半值宽度近似相

等. 在两片掺铒玻璃样品级联的形式中, 浓度高的样品靠近抽运光源时的荧光强度比浓度低的样品靠近抽运光源时的荧光强度高, 两种低浓度样品组合的荧光强度相对于其单片样品荧光强度的增幅比两种高浓度样品组合的荧光强度相对于其单片样品荧光强度的增幅要高.

2. 掺铒玻璃样品的制作方法

将氧化铒、二氧化硅、碳酸钠、硼酸和氢氧化钡等原料按表 1 比例配比(其中由于碳酸钠与硼酸在高温时易发生挥发, 故各自多加 15% 和 20% 的补足量), 在研钵中细细研磨成粉末. 把已均匀搅拌的粉末装进容量为 50ml 的刚玉坩埚中并敦实. 开启硅钼高温炉, 先在 20A 电流下预热 20min, 然后将电流增加到 38A 左右, 开始加热. 4h 后, 炉温达 1450℃, 此时改用自动档恒温 5min, 关闭高温炉电源. 将装有原料的坩埚送入炉内, 开启高温炉电源, 使炉内温度重新达到 1450℃, 并保持恒温. 同时打开另一台保温炉, 并把石墨制成的模子放在炉中加热, 恒温在 550—600℃ 之间. 30min 后, 玻璃原料已经在高温炉内处于熔融状态, 关闭高温炉电源, 将液态的掺铒玻璃样品倒入模子中并送入保温炉内. 保温炉内保持 550—600℃, 10min 后, 将样品从模子中倒入保温炉

^{*} 国家自然科学基金(批准号 69787001 和 69889701), 辽宁省科学技术厅及大连市科学技术局基金资助的课题.

中的石棉网上.3h 后,关闭保温炉电源,自然冷却到室温.取出样品,经切割、抛光等工艺后,就可以得到 25mm×15mm×6mm 大小的粉色透明的掺铒玻璃样品.我们共制作 0.1at%、0.2at%、0.4at%、0.8at% 和 1.2at% 5 种样品.

表 1 掺铒玻璃样品的成分配比

原料 铒含量/at%	氧化铒/g	二氧化硅/g	碳酸钠/g	硼酸/g	氢氧化钡/g
0.1	0.297	41.48	20.00	14.00	2.262
0.2	0.594	41.48	20.00	14.00	2.262
0.4	1.188	41.48	20.00	14.00	2.262
0.8	2.376	41.48	20.00	14.00	2.262
1.2	3.564	41.48	20.00	14.00	2.262

3. 单片掺铒玻璃样品的荧光特性

实验光路如图 1 所示.波长为 978.2nm 的半导体激光器(电源输出电流为 0—2000mA 连续可调,分辨率为 1mA,对应激光器输出功率为 0—1.1W)作为抽运源,激光束经过斩波频率为 423 Hz 的光学斩波器调制后由会聚透镜 L_1 聚焦照射到单片样品 A 上.抽运光将掺铒玻璃样品中的 Er^{3+} 从 $^4\text{I}_{15/2}$ 基态激发到 $^4\text{I}_{11/2}$ 激发态,如图 2 所示. Er^{3+} 在该激发态寿命约为 30 μs ,经过无辐射跃迁等过程,从 $^4\text{I}_{11/2}$ 激发态跃迁至寿命约为 7.8ms 的 $^4\text{I}_{13/2}$ 暂稳态,再辐射跃迁回到 $^4\text{I}_{15/2}$ 基态,并发射出波长为 1.53 μm 荧光光谱.该光谱由会聚透镜 L_2 聚焦在单色仪的入射狭缝,其出射狭缝耦合着半导体制冷器制冷的 InGaAs 近红外探测器(美国 ACTON 研究公司产品,MODEL ID-441-C,可在 -40℃ 恒温工作).电信号被锁相放大器放大后由计算机进行数据处理.

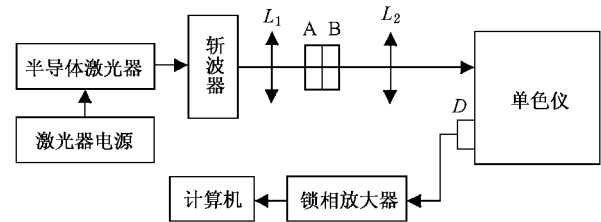


图 1 980nm 半导体激光器抽运掺铒玻璃样品所产生 1.53 μm 荧光光谱的测量光路 L_1 和 L_2 为会聚透镜,A 和 B 为样品,D 为探测器

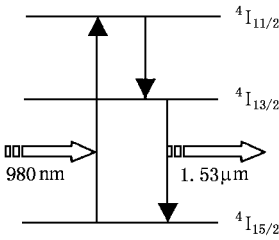


图 2 Er^{3+} 能级简图

同浓度样品的荧光光谱合成图,峰值波长均为 1537.8nm.图 4 为荧光光谱强度、半值宽度与样品浓度的关系曲线,测量数据显示荧光光谱强度随样品浓度增加而增强,半值宽度随浓度的增加而加宽.图 5 为浓度为 1.2at% 的样品在激光器工作在不同抽运功率时荧光光谱合成图.图 6 为荧光光谱强度与抽运功率的关系曲线,测量数据显示荧光光谱强度随抽运功率近似呈线性增加,半值宽度基本不随抽运功率的变化而变化.由于抽运功率较强,因此图 4 和图 6 没有明显出现文献 [16, 17] 所报道的荧光光谱强度随浓度或随抽运功率的增加而出现的饱和现象.就浓度为 1.2at% 的样品而言,在抽运功率大于 0.76W 时,荧光光谱强度有饱和趋势.

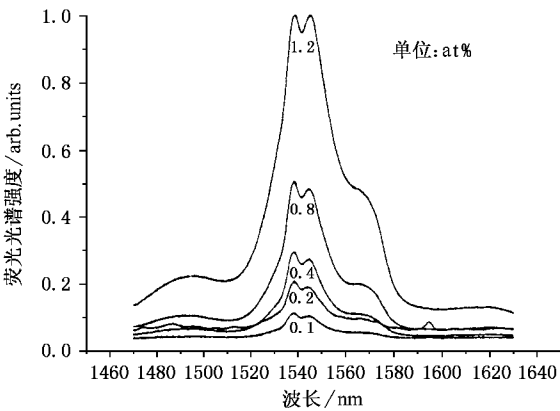


图 3 抽运功率为 1W,不同掺铒浓度样品的荧光光谱合成图

4. 两片掺铒玻璃样品的荧光特性

如图 1 所示,将两片样品 A、B 叠放级联起来(实验验证,A 和 B 之间有一定的间隙,并不影响荧光光谱强度),保持抽运源半导体激光器工作在相同的抽运功率输出时,测量级联后的荧光光谱强度.如图 7 所示,浓度为 0.1at% 的单片样品的荧光光谱强度为 0.37(归一化后的任意单位),半值宽度为

图 3 为激光器工作在 1W 的抽运功率时 5 个不

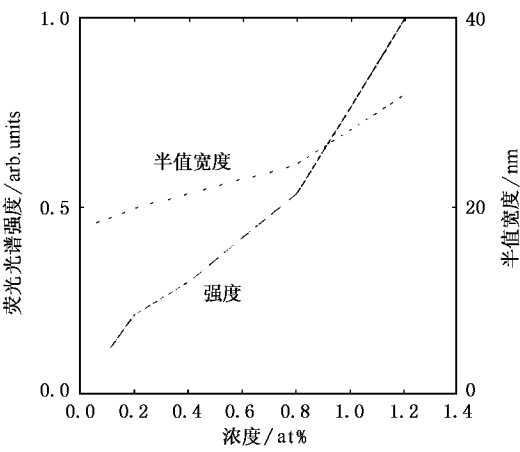


图4 抽运功率为1W 荧光光谱强度、半值宽度与样品浓度的关系曲线

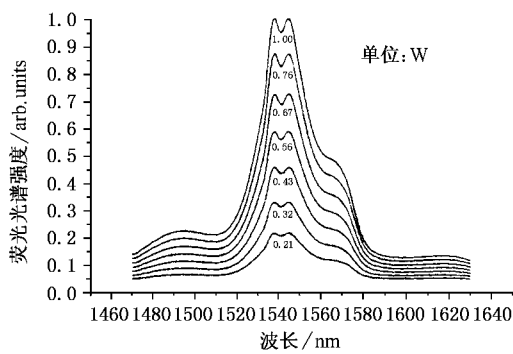


图5 样品浓度为1.2at% ,不同抽运功率的荧光光谱合成图

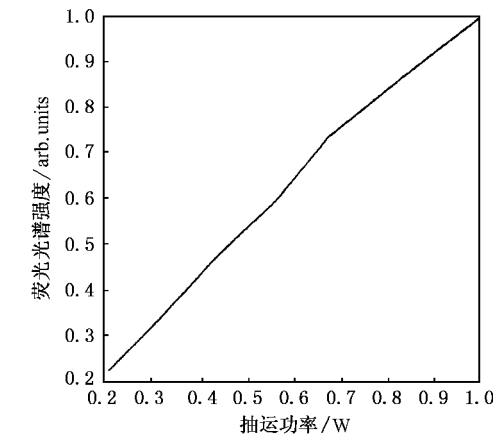


图6 样品浓度为1.2at% ,荧光光谱强度与抽运功率的关系曲线

18.8nm ;浓度为0.2at% 的单片样品的荧光光谱强度为0.47 ,半值宽度为 20.2nm ;浓度为0.1at% 和0.2at%(前者样品面向抽运光源 ,下同)的两片玻璃

样品级联后的荧光光谱强度为0.88 ,半值宽度为20.4nm ;浓度为0.2at% 和0.1at% 的两片玻璃样品级联后的荧光光谱强度为1.00 ,半值宽度为20.4nm .0.2at% 和0.1at% 的两片玻璃样品级联后的荧光光谱强度与浓度为0.2at% 的单片样品的荧光光谱强度比较 ,增强了2.14 倍 ,约相当于浓度为0.6at% 单片样品的荧光光谱强度 (参考图2).由图5 和图6 可定性得出结论为 (1)不同浓度的两片玻璃样品级联后的荧光光谱强度比单片高浓度玻璃样品的荧光光谱强度高两倍以上 ,级联后的半值宽度与高浓度样品的半值宽度基本相等 (2)在两片掺钕玻璃样品级联的形式中 ,浓度高的样品靠近抽运光源时的荧光强度比浓度低的样品靠近抽运光源时的荧光强度高 ;上述结论对各种不同浓度的两片掺钕玻璃样品级联组合的荧光光谱强度幅值而言 ,经实验验证均成立 .

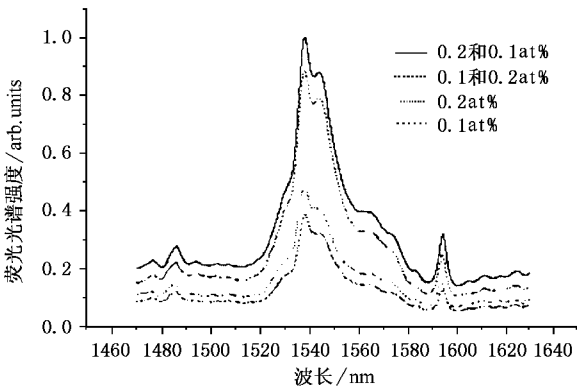


图7 浓度为0.1at% 和0.2at% 单片及级联荧光光谱强度的合成图 抽运功率为1.0W

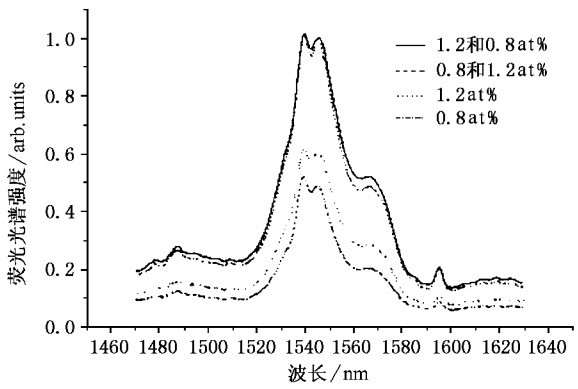


图8 浓度为0.8at% 和1.2at% 单片及级联荧光光谱强度的合成图 抽运功率为1.0W

图8 为0.8at% 和1.2at% 两片玻璃样品级联的

荧光光谱合成图. 0.8at% 单片荧光光谱强度为 0.512 ;1.2at% 单片荧光光谱强度为 0.618 ;0.8at% 和 1.2at% 组合的荧光光谱强度为 0.982 ;1.2at% 和 0.8at% 组合的荧光光谱强度为 1.00 ,与浓度为 1.2at% 的单片样品的荧光光谱强度比较 ,增强 1.62 倍 .与图 7 比较可以定性地看出 ,两片浓度较大的样品级联 ,其荧光光谱强度与单片样品荧光光谱强度相比所增加的幅度 ,没有两片浓度较小的样品级联 ,其荧光光谱强度与单片样品荧光光谱强度相比所增加的幅度大 .理论上初步解释为两片浓度较大的样品级联 ,其等效为更高浓度的单片样品 ,此时 ,在一定的抽运功率下 ,荧光强度出现饱和 .

为了探索掺钕玻璃样品荧光光谱强度与样品厚度之间的关系 ,我们进行了将激光器在玻璃样品的不同截面上入射的实验(掺钕玻璃样品尺寸为 6mm × 15mm × 25mm). 激光器工作电流保持恒定 (1900mA) ,对掺钕浓度为 0.2at% 的样品 ,不同截面厚度的荧光光谱强度数据如图 9 所示 .厚度为 6mm 时 ,强度为 0.37 ;厚度为 15mm 时 ,强度为 0.71 ;厚度为 25mm 时 ,强度为 1.0 .实验数据表明 ,荧光光谱强度随厚度的增大而增强 ,但不是线性关系 .可能原因是 ,当厚度增大时 ,抽运光在前进方向上越来越弱 ,而玻璃样品对荧光光谱继续保持着吸收 ,因此随厚度的增大 ,荧光光谱强度的增强变为缓慢 .文献 [10] 表明 ,掺钕光波导放大器在一定的抽运功率和掺钕浓度时 ,有一个最佳长度 .

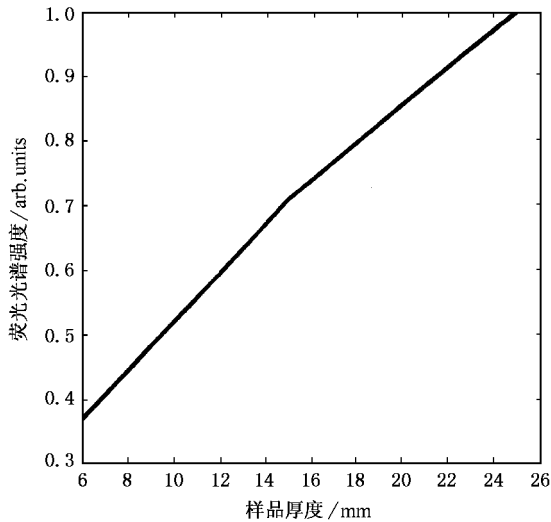


图 9 荧光光谱强度与样品厚度的关系曲线

从上面的实验数据中可以看到 ,厚度由 6 改变为 15mm 时(增加了 1.5 倍) ,荧光光谱强度由 0.37

增强为 0.71(增强了 0.92 倍) ;厚度由 6 改变为 25mm 时(增加了 3.17 倍) ,荧光光谱强度由 0.37 增强为 1.0(增强了 1.7 倍) .图 7 中 0.1at% 样品与 0.2at% 样品组合时 ,厚度增加了一倍 ,强度却增强了 2.14 倍 .这个实验结果表明 ,不同浓度样品的级联 ,其荧光光谱强度的增强不仅与样品的厚度有关 ,还与其他因素有关 .同样在图 7 中将样品对调 ,总厚度不变 ,但是荧光光谱强度不同的现象也验证了这个结论 ,我们也曾经进行过三个不同掺钕浓度玻璃样品的级联现象研究 ,结果表明 ,不同浓度样品经过不同位置的组合 ,虽然总厚度不变 ,但荧光光谱强度却不同 ,比如 0.1at% ,0.2at% 和 0.4at% 的组合与 0.2at% ,0.4at% 和 0.1at% 的组合 ,荧光光谱强度有明显的差异 .由于我们的样品种类较少 ,三个掺钕玻璃样品的组合方式不多 ,没能找出合适的规律 .对此还在继续研究中 .

5. 结 论

本文介绍一种掺钕玻璃样品的制作工艺 ,实验测量单片及两片掺钕玻璃样品的荧光特性 .结果表明 ,两片掺钕玻璃样品级联的荧光强度比单片掺钕玻璃样品的荧光强度强 ,半值宽度与高浓度单片样品的半值宽度近似相等 ;在两片掺钕玻璃样品级联的形式中 ,浓度高的样品靠近抽运光源时的荧光强度比浓度低的样品靠近抽运光源时的荧光强度强 ,说明荧光光谱强度的增强不仅与样品的厚度有关 ,还与样品的组合方式有关 ,三个掺钕玻璃样品的级联实验结果也证明了这一点 ;两种低浓度样品组合的荧光强度相对于其单片样品荧光强度的增幅比两种高浓度样品组合的荧光强度相对于其单片样品荧光强度的增幅要大 .总之 ,两个或多个低浓度掺钕玻璃样品的级联可以替代一片高浓度的掺钕玻璃样品 ,级联中 ,掺钕玻璃样品的浓度可以相同 ,也可以不同 .

以上各数据均是采用“透射”光路(如图 1 所示) 获得的 .我们也曾经采用“反射”光路 ,即将样品旋转一定角度 , L_2 及单色仪、探测器等都安置于抽运光在样品上反射的方向 ,获得的实验结果与“透射”光路的结论一致 .

感谢张庆喻教授、李善峰硕士在样品制作上所提供的无私帮助 .感谢胡礼中教授在测量实验初期所提供的探测器支援 .

- [1] Van den Hoven G N , Snoeks E and Polman A 1993 *Appl. Phys. Lett.* **62** 3065
- [2] Van den Hoven G N , Koper R J I M and Polman A 1996 *Appl. Phys. Lett.* **68** 1886
- [3] Takada K *et al* 1997 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **9** 1102
- [4] Chryssou C E and Pitt C W 1998 *IEEE J. Quantum Electron.* **34** 282
- [5] Xiao Z S *et al* 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 164 [in Chinese] 肖志松等 2001 物理学报 **50** 164]
- [6] Yuan F C *et al* 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 2487 [in Chinese] 袁放成等 2001 物理学报 **50** 2487]
- [7] Van den Hoven G N *et al* 1996 *J. Appl. Phys.* **72** 1258
- [8] Pasquale F D and Federighi M 1995 *J. Lightwave Technol.* **13** 1859
- [9] Zemon S *et al* 1991 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **3** 621
- [10] Li S F , Song C L and Chao M 2001 *J. Optoelectron. · Laser* **12** 15 (in Chinese) 李淑凤、宋昌烈、巢明 2001 光电子·激光 **12** 15]
- [11] Loncar M *et al* 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 1937
- [12] Zhang L , Lin F Y and Hu H F 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 1378 [in Chinese] 张龙、林凤英、胡和方 2001 物理学报 **50** 1378]
- [13] Loncar M *et al* 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 1937
- [14] Liang J J *et al* 2000 *Acta Phys. Sin.* **49** 1386 [in Chinese] 梁建军等 2000 物理学报 **49** 1386]
- [15] Li Y B *et al* 2000 *Chin. Phys. Lett.* **17** 515
- [16] Manenkov A B and Rozhnev A G 1998 *Opt. Electron.* **30** 61
- [17] Ran B , Song C L and Li S F 2001 *J. Optoelectron. · Laser* **12** 347 (in Chinese) 冉冰、宋昌烈、李淑凤 2001 光电子·激光 **12** 347]

Experimental investigation of photoluminescence spectrum of two erbium-doped glass samples in series *

Li Cheng-Ren^{1,2)} Song Chang-Lie¹⁾ Rao Wen-Xiong¹⁾ Li Shu-Feng¹⁾

¹⁾ Department of Physics , Dalian University of Technology , Dalian 116024 , China)

²⁾ Department of Physics , Liaoning Normal University , Dalian 116029 , China)

(Received 7 May 2002 ; revised manuscript received 4 July 2002)

Abstract

Fabrication technology of erbium-doped glass samples is introduced. Photoluminescence (PL) characterization of one sample or two samples in series are measured. The results show that the PL intensity of two samples is higher than that of one sample and the full width at half maximum of two samples is approximately equal to that of a high concentration Er-doped sample. In the formation of two samples in series the PL intensity with the high-concentration sample facing the pump laser source is higher than that with the low-concentration sample facing the pump laser source. The ratio of PL intensity of two low-concentration samples to PL intensity of a single sample is bigger than the ratio of PL intensity of two high-concentration samples to PL intensity of a single sample.

Keywords : erbium-doped glass samples , series , photoluminescence spectrum intensity , full width at half maximum

PACC : 7855 , 7865

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 69787001 and 69889701) , the Foundation from the Science and Technology Commission of Liaoning Province , and the Foundation from the Science and Technology Bureau of Dalian , China.