

不同 Yb 掺杂量的 Yb :Y₃Al₅O₁₂ 晶体的光谱分析*

王晓丹^{1)†} 赵志伟^{1)†} 徐晓东¹⁾ 宋平新^{1)‡}
姜本学^{1)‡} 徐 军¹⁾ 邓佩珍¹⁾

1) 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

2) 中国科学院研究生院, 北京 100049)

(2005 年 6 月 28 日收到, 2006 年 4 月 3 日收到修改稿)

采用提拉法生长了 Yb³⁺ 掺杂量分别为 5.4at% , 16.3at% , 27.1at% , 53.6at% 和 100at% 的 Yb :Y₃Al₅O₁₂ 晶体. 系统地表征和分析了 Yb³⁺ 掺杂量对晶体吸收光谱和荧光光谱的影响. 随着 Yb³⁺ 掺杂量的增加, 各峰值吸收系数呈线性增加的趋势. 应用 Smakula 公式计算了各吸收峰对应的振荡强度, 并分析了 Yb³⁺ 掺杂量对振荡强度的影响. 当 Yb³⁺ 掺杂量增加到 27.1at% 时观察到了荧光猝灭现象, 当 Yb³⁺ 掺杂量增加到 53.6at% 时, 荧光光谱的线形发生了很大的变化.

关键词: 吸收光谱, 荧光光谱, 自吸收, 浓度猝灭

PACC : 8140 , 3250F , 4255R

1. 引 言

近年来, 随着高性能 InGaAs 激光二极管(发射波长在 900—1100 nm 之间)的发展及其成本的降低, 兴起了掺 Yb³⁺ 激光晶体的研究热潮^[1]. Yb³⁺ 的电子构型为 [Xe]4f¹³, 仅有两个电子态, 基态² F_{7/2} 和激发态² F_{5/2} 相隔大约 10000 cm⁻¹; 更高的激发态在 5d 构型内, 与² F_{5/2} 相距约 100000 cm⁻¹, 位于紫外波段. 在晶场作用下, 基态能级和激发态能级分别分裂为 4 个和 3 个 Stark 子能级, 从而形成准三能级的激光运行机制^[2]. 正是由于 Yb³⁺ 简单的电子层结构, Yb³⁺ 作为激光晶体的激活离子具有如下优点^[3]: (1) 不存在激发态吸收、上转换或者一些其他的减小有效发射截面的内部机制. 由于这些因素, Yb³⁺ 在晶体中的掺杂量可以比较高, 如在 Yb :Y₃Al₅O₁₂ (Yb :YAG) 晶体中 Yb³⁺ 的掺杂量可高达 100at%. (2) Yb³⁺ 强而宽的吸收谱线非常适合于红外激光二极管 InGaAs 在 900—980 nm 之间进行抽运. (3) Yb³⁺ 宽的发射波段将可能实现超短脉冲激光. (4) Yb³⁺ 在可见光波段没有吸收. (5) Yb³⁺ 的量子缺陷低 (8.6%), 从而使材料具有较低的热负荷 (11%), 而

Nd 掺杂的激光晶体其热负荷高达 30%—40%. (6) Yb³⁺ 荧光寿命长, 为掺 Nd³⁺ 同种激光材料的三倍多, 长的荧光寿命有利于储能.

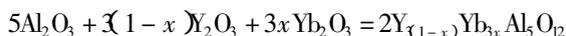
Y₃Al₅O₁₂ (YAG) 晶体具有优异的光学、热力学、机械性能和化学稳定性, 同时能给激活离子提供良好的晶体场环境, 因而 YAG 是理想的激光基质晶体^[4]. Yb³⁺ 掺杂的 YAG 晶体是最有潜力的激光工作物质之一^[5].

近年来对于各种掺 Yb³⁺ 晶体的光谱进行了大量的研究^[6—10], 吸收、荧光、上转换等光谱的分析使我们更好地了解掺 Yb³⁺ 晶体的性质. 本文采用提拉法生长了不同 Yb³⁺ 掺杂量的 Yb :YAG 晶体, 系统地表征和分析了 Yb³⁺ 掺杂量对晶体吸收光谱和荧光光谱的影响.

2. 实验过程

2.1. 晶体生长和样品的制备

晶体生长所用的原料为 Y₂O₃, Al₂O₃, Yb₂O₃ (纯度均为 99.999%), 整个固相反应的方程式如下:



* 国家高技术研究发展计划(批准号 2002AA311030)资助的课题.

† E-mail : zzw8006@sina.com

($x = 0.05, 0.15, 0.25, 0.50, 1.00$).

晶体生长采用中频感应提拉法, 钨坩埚加热, 选择 [111] 方向的纯 YAG 晶体做为籽晶, 高纯氮气作为保护气体. 晶体的尺寸为 $\phi 32 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$, 晶体生长的具体过程可见文献 [11, 12]. 实验所用的样品为经空气气氛 $1600 \text{ }^\circ\text{C}$ / 48 h 退火后, 沿 [111] 方向切割、双面抛光的样品, 其尺寸为 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$.

2.2. 吸收光谱、发射光谱、分凝系数和 Yb³⁺ 掺杂浓度的测试

晶体的吸收光谱是在 V-570 型紫外/可见/近红外光谱仪上测定的, 测试范围为 $800\text{--}1100 \text{ nm}$, 分辨率为 1 nm . 光致发光光谱由 JOBIN-YVON 公司生产的 TRIAX 550 型光谱仪测得, 抽运波长为 940 nm , 测试范围为 $950\text{--}1100 \text{ nm}$, 分辨率为 1 nm . 当样品的光谱测试结束后, 将 Yb:YAG 晶体研磨成粉末用于精确测量晶体中 Yb³⁺ 的掺杂量. Yb³⁺ 在 YAG 晶体中的浓度测量由电感耦合等离子体原子发射光谱 (ICP-AES) 的方法测得. 所有测试均在室温下进行.

3. 结果和讨论

利用 ICP-AES 测量结果对晶体的分凝系数进行了计算. 计算得到不同掺杂量的 Yb:YAG 晶体的分凝系数值分别为 $1.08, 1.09, 1.08$ 和 1.07 (对应的掺杂量分别为 $x = 0.05, 0.15, 0.25$ 和 0.50 , 此浓度表示的是熔体掺杂量), 经光谱分析得到样品的 Yb³⁺ 掺杂量分别为 $5.4\text{at}\%$, $16.3\text{at}\%$, $27.1\text{at}\%$ 和 $53.6\text{at}\%$.

3.1. 吸收光谱分析

从图 1 可以观察到四个主要的吸收波段, 其峰值分别位于 $916, 940, 969$ 和 1029 nm . 它们是由 YAG 基质中的 Yb³⁺ 的 ${}^2F_{7/2} \rightarrow {}^2F_{5/2}$ 跃迁引起的^[21]. 随着 Yb³⁺ 掺杂量的增加, 这些吸收带的强度明显增加. 在吸收光谱中, 减去 1100 nm 处基线的吸收系数后, 我们得到了这些吸收峰实际的吸收强度. 在 Yb:YAG 晶体中, 吸收峰实际的吸收强度随着 Yb³⁺ 掺杂量的增加呈线性增加, 如图 2 所示. 由图 2 结合图 1 可以看出, Yb:YAG 晶体中在 940 nm 处为最强的吸收峰, 因此通过测量 940 nm 处的实际吸收系数就可以方便地表征 Yb³⁺ 的掺杂量.

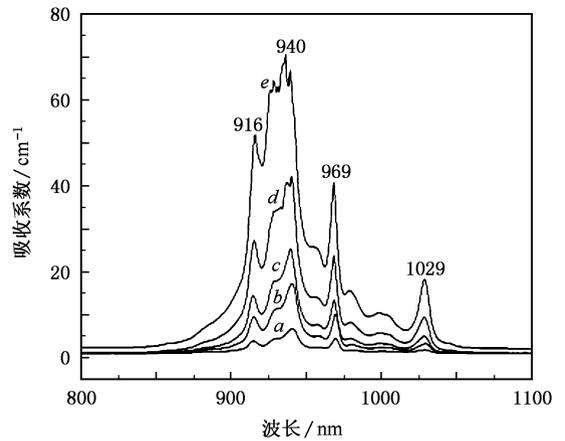


图 1 对应 YAG 基质中的 Yb³⁺ 的 ${}^2F_{7/2} \rightarrow {}^2F_{5/2}$ 跃迁吸收带. 曲线 a 为 $5.4\text{at}\%$ Yb:YAG, 曲线 b 为 $16.3\text{at}\%$ Yb:YAG, 曲线 c 为 $27.1\text{at}\%$ Yb:YAG, 曲线 d 为 $53.6\text{at}\%$ Yb:YAG, 曲线 e 为 $100\text{at}\%$ Yb:YAG.

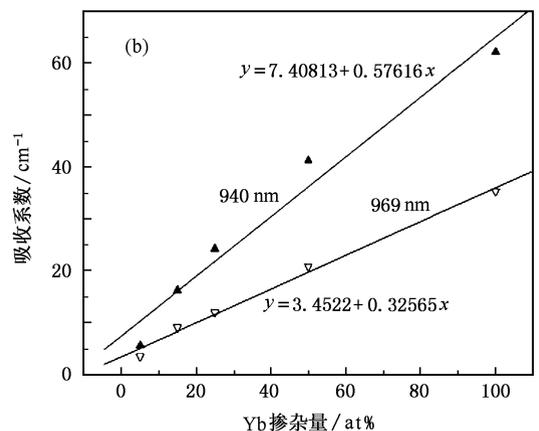
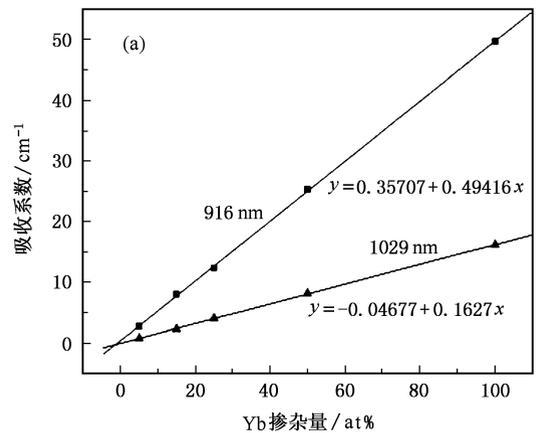


图 2 Yb:YAG 晶体中 Yb 掺杂量与吸收系数的关系 (a) 为 916 和 1029 nm 处 (b) 为 940 和 969 nm 处.

对于以上所述的线性关系, 我们可以用 Smakula 公式来进行解释. Smakula 公式表达如下^[13]:

$$Nf = 8.21 \times 10^{15} \frac{n}{(n^2 + 2)^2} \int \alpha(E) \chi(E), \quad (1)$$

式中 N 为晶体吸收中心的离子浓度, n 为折射率, f 为振荡强度, α 为吸收系数(单位为 cm^{-1}), E 为能量(单位为 eV), 系数 8.21×10^{15} 的单位为 cm^{-3} .

高斯吸收带的积分可以表示为

$$\int \alpha(E) \chi(E) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{\ln 2}} \alpha_{\max} W, \quad (2)$$

式中 α_{\max} 为最大的吸收系数, W 为吸收峰的半高宽. 所以(1)式可以改写为

$$Nf = 8.74 \times 10^{15} \frac{n}{(n^2 + 2)^2} \alpha_{\max} W, \quad (3)$$

式中系数 8.74×10^{15} 单位为 cm^{-3} .

根据 Smakula 公式, 我们可以计算各吸收峰对应的振荡强度 f . 对不同掺杂量的 Yb : YAG 晶体各个吸收峰的振荡强度进行了计算, 所得结果如图 3

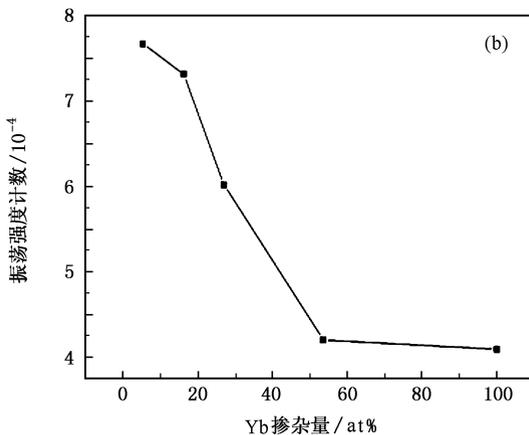
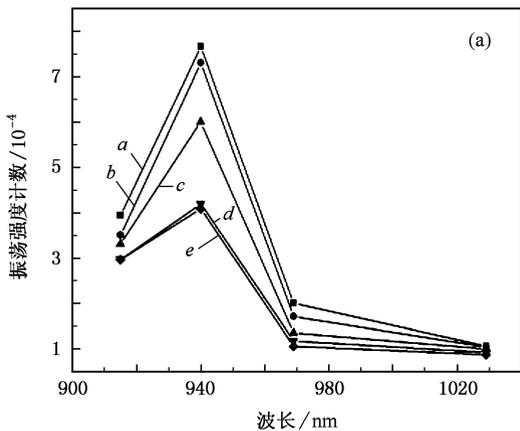


图 3 Yb : YAG 晶体中吸收峰的振荡强度 (a) 和在 940 nm 处 Yb^{3+} 掺杂量与振荡强度之间的关系 (b) 曲线 a 为 5.4at% Yb : YAG, 曲线 b 为 16.3at% Yb : YAG, 曲线 c 为 27.1at% Yb : YAG, 曲线 d 为 53.6at% Yb : YAG, 曲线 e 为 100at% Yb : YAG

所示.

对于五种不同掺杂量的 Yb : YAG 晶体, 它们的各个吸收峰的振荡强度出现了如图 3(a) 所示的变化. 我们认为这是与 Yb^{3+} 进入 YAG 基质后晶格的失配有关. Yb^{3+} 掺杂量越高, Yb^{3+} 进入晶体越多, 晶格的失配度也越高. 又因为振荡强度体现为晶格的振动, 高的失配度会影响晶格的振动, 所以掺杂量越高, 吸收峰的振荡强度越低. 表 1 列出了不同掺杂量的 Yb : YAG 晶体的晶格常数^[14]. 由图 2 可以看出, 在 Yb : YAG 晶体中吸收峰的吸收系数随着 Yb^{3+} 掺杂量的增加呈线性增加. 结合上述掺杂量与吸收峰振荡强度的关系可以得出, 随着吸收系数的增加吸收峰的振荡强度减小. 对上述各种掺杂量的晶体研究再结合文献 [13] 可知, 这种关系具有普适性.

表 1 ($\text{Yb}_x\text{Y}_{1-x}$)₂Al₅O₁₂ 晶体的晶格常数^[14]

Yb^{3+} 掺杂量/at%	晶格常数/ nm
0	1.201159 ± 0.000034
5.4	1.200424 ± 0.000063
16.3	1.199765 ± 0.000058
27.1	1.199214 ± 0.000038
53.6	1.197364 ± 0.000065
100	1.193799 ± 0.000054

3.2. 荧光光谱分析

在 940 nm 激光的抽运下, 得到 Yb : YAG 晶体的荧光光谱如图 4(a) 所示. 我们还计算了 Yb : YAG 晶体的积分发射强度, 其结果如图 4(b) 所示. 我们发现, 当 Yb^{3+} 掺杂量为 16.3at% 时 Yb : YAG 晶体的积分发射强度最强, 同时还发现此掺杂量的荧光寿命最长, 如图 4(c) 所示. 通过以上实验结果可知, 当 Yb : YAG 晶体中 Yb^{3+} 掺杂量达到 27.1at% 时, 会发生浓度猝灭现象.

当 Yb^{3+} 掺杂量达到 27.1at% 时发生浓度猝灭这一结论仅考虑了本文所用的五种样品, 真正发生猝灭的 Yb^{3+} 掺杂量可能介于 16.3at%—27.1at%, 这有待于实验的进一步确认.

Yang 等^[15] 具体确定了 Yb : YAG 晶体中 Yb^{3+} 的理想掺杂量为 10at%, 此掺杂量的荧光寿命达到 1.5 ms, 高于本文中掺杂量为 16.3at% 时的 1.3 ms. 所以我们认为, 对于氧气气氛退火后的 Yb : YAG, 其荧光寿命可以分为两个区域. 当掺杂量在 5at%—10at% 之间, 荧光寿命随着掺杂量的增加而增加, 而

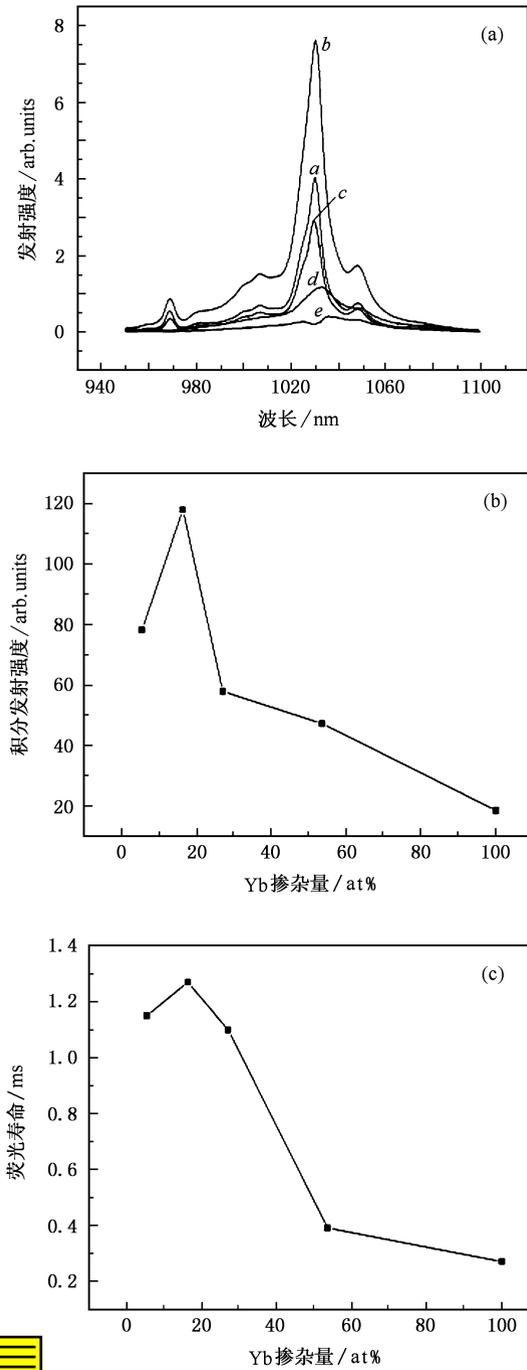


图4 Yb :YAG 晶体的荧光光谱和 Yb³⁺ 掺杂量与积分发射强度、荧光寿命的关系 (a)在 940 nm 抽运下的荧光光谱 , 曲线 a 为 5.4at% Yb :YAG , 曲线 b 为 16.3at% Yb :YAG , 曲线 c 为 27.1at% Yb :YAG , 曲线 d 为 53.6at% Yb :YAG , 曲线 e 为 100at% Yb :YAG (b)掺杂量与在 940 nm 激发下的积分发射强度的关系 (c)掺杂量与荧光寿命的关系

当掺杂量大于 10at% , 荧光寿命则随着掺杂量的增加而降低 , 出现浓度猝灭现象 . 在 Yb :YAG 和 Yb :Y₂O₃ 晶体光纤中也观察到同样的现象^[16,17] . 第

一个区域表明晶体中存在辐射能量转移 , 第二个区域表明非辐射能量转移到基质中的缺陷和杂质离子而引起浓度猝灭 .

在 Yb :YAG 晶体中随着 Yb³⁺ 掺杂量的变化使得荧光光谱发生了变化 , 图 5 给出了 Yb :YAG 晶体归一化的荧光光谱 .

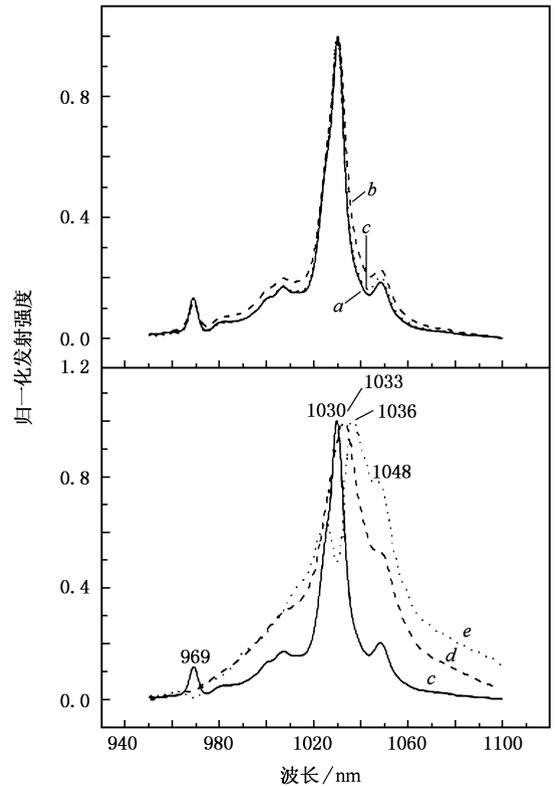


图5 在 940 nm 激光抽运下 Yb :YAG 晶体的归一化荧光光谱 曲线 a 为 5.4at% Yb :YAG , 曲线 b 为 16.3at% Yb :YAG , 曲线 c 为 27.1at% Yb :YAG , 曲线 d 为 53.6at% Yb :YAG , 曲线 e 为 100at% Yb :YAG

从图 5 可以看出 , 掺杂量为 5.4at% , 16.3at% 和 27.1at% 的 Yb :YAG 晶体的荧光光谱的形状大致相同 , 而掺杂量为 53.6at% 和 100at% 的 Yb :YAG 晶体的荧光光谱的形状发生了很大的变化 . 当 Yb³⁺ 掺杂量从 27.1at% 增加到 100at% 时 , 荧光光谱发生了如下的变化 : 掺杂量为 100at% 的 Yb :YAG 晶体在 969 nm 处的发射峰消失 , 出现一个凹穴 ; 掺杂量为 27.1at% 的 Yb :YAG 晶体在 1030 nm 处出现发射峰 , 而掺杂量为 100at% 的 Yb :YAG 晶体的发射峰转移到 1036 nm 处 , 在 1030 nm 处出现了凹穴 , 在 1048 nm 处归一化发射强度增加 . 我们分析认为 , 这些变化是由 Yb :YAG 晶体在 969 和 1030 nm 处的自吸收效应引起的 . 类似的变化在图 1 中也能观察到 . 依据图 1

和图 4 (a),可以得到如图 6 所示的 Yb^{3+} 的能级结构.

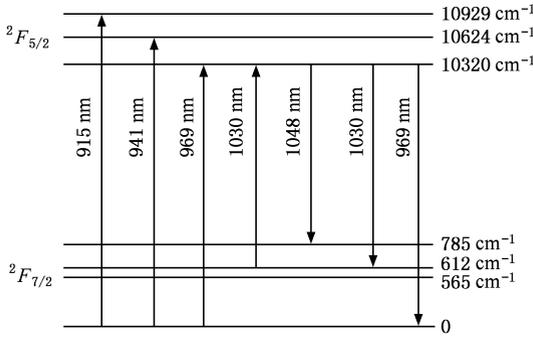


图 6 Yb^{3+} 的能级示意图

根据图 6 所示,在波长为 940 nm 的激光抽运下 969, 1030 和 1048 nm 处的发射峰是希望得到的,但同时 969 和 1030 nm 处还存在着自吸收效应.因此在 969 和 1030 nm 处的发射有一部分被再吸收,发射强度在一定程度上有所减弱,而在 1048 nm 处的发射强度增加,如图 5 所示.当 Yb^{3+} 掺杂量为 27.1at% ,自吸收效应的影响不是很明显.然而,当 Yb^{3+} 掺杂量为 53.6at% 以上时,由于在 969 和 1030 nm 处较强的自吸收,很大程度上改变了荧光光谱的形状.

发射光谱能够用倒易法计算得到,这种方法得到的光谱反映的是没有自吸收效应影响的本征线形^[21].

$$\sigma_{em}(\nu) = \sigma_{abs}(\nu) \frac{Z_l}{Z_u} \exp[(E_{zl} - h\nu)/kT], \quad (4)$$

$$\sigma_{abs}(\nu) = \alpha/C. \quad (5)$$

在(4)(5)式中各参数的物理意义如下: $\sigma_{em}(\nu)$ 和 $\sigma_{abs}(\nu)$ 分别代表某一频率 ν 的发射截面和吸收截面; Z_l 和 Z_u 分别代表下能级和上能级的配分函数; E_{zl} 为零线能量,对于 Yb^{3+} ,它表示激发态 $^2F_{5/2}$ 和基态 $^2F_{7/2}$ 的最低晶场子能级的能量差; C 为样品中 Yb^{3+} 的数量.表 2 列出了计算掺 Yb^{3+} 晶体的发射截面所需要的有关参数值^[21].从表 2 中可以查到,对于 Yb :YAG 晶体 $\frac{Z_l}{Z_u} = 0.8$, 零线波长 $\lambda_{zl} = 968.3$ nm. 我

们计算了 Yb :YAG 晶体样品的发射截面积,发现它们的线形非常相近.掺杂量为 27.1at% 和 100at% 的 Yb :YAG 晶体的发射截面积曲线如图 7 所示,我们可以看到这两种掺杂量的晶体的发射截面积线形很相似.掺杂量为 27.1at% 的 Yb :YAG 晶体的荧光光谱和发射截面积曲线在线形上很相似,而掺杂量为

100at% 晶体的两种曲线在线形上有很大的差别.上述结果说明,当 Yb^{3+} 掺杂量大于 27.1at% 时, Yb^{3+} 掺杂量的增加对 Yb :YAG 晶体计算的发射截面的线形影响不大,同时,969 和 1030 nm 处的自吸收对其荧光光谱形状有影响.

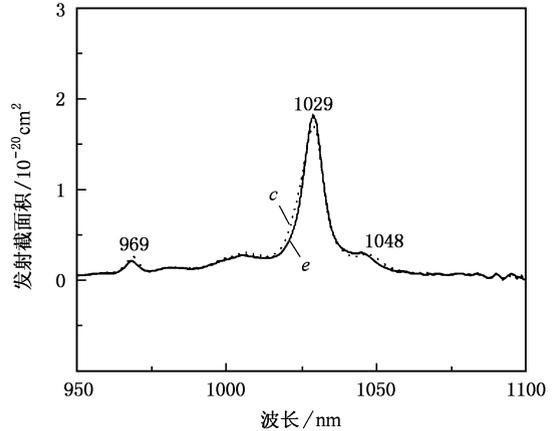


图 7 由倒易法计算的掺杂量为 27.1at%(曲线 c)和 100at%(曲线 e)的 Yb :YAG 晶体的发射截面积变化曲线

表 2 计算掺 Yb^{3+} 晶体的发射截面所需要的有关参数值^[21]

基质	零线波长 λ_{zl}/nm	配分率 Z_l/Z_u	平均折 射率 n_{ave}
LiYF ₄	972.0	0.88	1.455
LaF ₃	974.7	1.41	1.597
SrF ₂	966.5	(0.97)	1.438
BaF ₂	966.7	(0.97)	1.473
KCaF ₃	(972.0)	(0.73)	1.378
KY ₃ F ₁₀	974.2	1.24	1.500
Rb ₂ NaYF ₆	(968.0)	(1.0)	1.403
BaY ₂ F ₈	(972.6)	(1.0)	1.521
Y ₂ SiO ₅	(979.0)	(1.0)	1.790
Y ₃ Al ₅ O ₁₂	968.3	0.80	1.820
YAlO ₃	978.5	1.09	1.956
Ca ₅ (PO ₄) ₃ F	981.5	1.1	1.630
LuPO ₄	976.1	0.96	1.83 (est)
LiYO ₂	(972.6)	(1.0)	1.82 (est)
ScBO ₃	(974.6)	(1.0)	1.84

注:est 为估计值.圆括号内的数值表示不确定.

4. 结 论

用提拉法生长了 Yb^{3+} 掺杂量为 5.4at% ,

16.3at%、27.1at%、53.6at% 和 100at% 的 Yb:YAG 晶体. Yb:YAG 晶体中 940 nm 处吸收峰的吸收强度最强,而且随着 Yb³⁺ 掺杂量的增加呈线性增加. 因此,通过测量 940 nm 处的吸收系数可以方便地得到 Yb³⁺ 的掺杂量. 用 Smakula 公式计算了各吸收峰对应的振荡强度. 随着 Yb³⁺ 掺杂量的增加,吸收系数增加,振荡强度减小. 在实验所用的 Yb:YAG 晶体样品中,在波长为 940 nm 的激光抽运下,掺杂量为 16.3at% 晶体的发射强度最强,当掺杂量达到 27.1at% 时发生浓度猝灭. 结合文献和我们的测试

结果,分析确定了 Yb:YAG 晶体中 Yb³⁺ 的最佳掺杂量为 10at% 左右. 在波长为 940 nm 的激光抽运下,当 Yb³⁺ 掺杂量为 27.1at% 时,在 969 和 1029 nm 处的自吸收效应对荧光光谱的影响不是很明显,然而当掺杂量大于 27.1at% 时,自吸收对光谱产生一定的影响,当 Yb³⁺ 掺杂量达到 53.6at% 时,969 和 1029 nm 处的自吸收效应使荧光光谱有了很大的变化. 考虑到本文所用的五种样品,使得荧光光谱发生很大变化的 Yb³⁺ 掺杂量应该是在 27.1at%—53.6at%, 具体的掺杂量有待于实验的进一步确认.

- [1] Lacovara P, Choi H K, Wang C A *et al* 1991 *Opt. Lett.* **16** 1089
- [2] Deloach L D, Payne S A, Chase L L *et al* 1993 *IEEE J. Quantum Electron.* **29** 1179
- [3] Yoshikawa A, Boulon G, Laversenne L *et al* 2003 *J. Appl. Phys.* **94** 5479
- [4] Qiu H W, Yang P Z, Dong J *et al* 2002 *Mater. Lett.* **55** 1
- [5] Yang P Z, Deng P Z, Xu J *et al* 2000 *J. Cryst. Growth* **216** 348
- [6] Song F, Tan H, Shang M R *et al* 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 2375 (in Chinese)[宋峰、谭浩、商美茹等 2002 物理学报 **51** 2375]
- [7] Tan H, Song F, Su J 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 631 (in Chinese)[谭浩、宋峰、苏静 2004 物理学报 **53** 631]
- [8] Zeng X H, Zhao G J, Xu J 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 1935 (in Chinese)[曾雄辉、赵广军、徐军 2004 物理学报 **53** 1935]
- [9] Song F, Tan H, Su J *et al* 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 3591 (in Chinese)[宋峰、谭浩、苏静等 2004 物理学报 **53** 3591]
- [10] Liu Y H, Chen D D, Hou Z Y *et al* 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 422 (in Chinese)[刘粤惠、陈东丹、侯志远等 2005 物理学报 **54** 422]
- [11] Xu X D, Zhao Z W, Xu J *et al* 2003 *J. Cryst. Growth* **257** 272
- [12] Xu X D, Zhao Z W, Song P X *et al* 2004 *J. Alloys Compd.* **364** 311
- [13] Cooke D W, Bennett B L, McClellan K J *et al* 2000 *Phys. Rev. B* **61** 11973
- [14] Xu X D, Zhao Z W, Song P X *et al* 2004 *Acta Photon Sin.* **33** 567 (in Chinese)[徐晓东、赵志伟、宋平新等 2004 光子学报 **33** 567]
- [15] Yang P Z, Deng P Z, Yin Z W 1999 *Chin. J. Lumin.* **20** 325 (in Chinese)[杨杨志、邓佩珍、殷之文 1999 发光学报 **20** 325]
- [16] Boulon G, Laversenne L, Goutaudier C *et al* 2003 *J. Lumin.* **102—103** 417
- [17] Auzel F, Baldacchini G, Laversenne L *et al* 2003 *Opt. Mater.* **24** 103

Spectra analysis of Yb :Y₃Al₅O₁₂ crystals with different Yb doping concentration *

Wang Xiao-Dan^{1)†} Zhao Zhi-Wei^{1)†} Xu Xiao-Dong¹⁾ Song Ping-Xin^{1)‡}

Jiang Ben-Xue^{1)‡} Xu Jun¹⁾ Deng Pei-Zhen¹⁾

1 *Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China*

2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

(Received 28 June 2005 ; revised manuscript received 3 April 2006)

Abstract

Yb :Y₃Al₅O₁₂ (Yb :YAG) single crystals with Yb³⁺ doping level of 5.4at% , 16.3at% , 27.1at% , 53.6at% , and 100at% were grown by the Czochralski method. The effects of different Yb³⁺ doping level on the absorption spectra and fluorescence spectra were studied. The results showed that the real absorption coefficient of the absorption peaks increases linearly with the increasing of Yb³⁺ doping level in Yb :YAG crystals. Absorption band oscillator strengths of Yb :YAG crystals were calculated with Smakula formula and the effects of different Yb³⁺ doping level on the oscillator strengths were also studied. The concentration quenching of fluorescence was observed when the Yb³⁺ doping level reached 27.1at% in Yb :YAG crystals. The shape of fluorescence spectra of Yb :YAG could be significantly influenced when the Yb³⁺ doping level is higher than 53.6at% .

Keywords : absorption spectra , fluorescence spectra , self-absorption , concentration quenching

PACC : 8140 , 3250F , 4255R

* Project supported by the National High Technology Development Program of China (Grant No. 2002AA311030).

† E-mail : zzw8006@sina.com