

YAG:Nd³⁺ 晶体中钕离子浓度的测定

吴光照 张秀荣

(中国科学院上海光机所)

激活剂浓度是标志工作物质性能的一个重要参数。YAG:Nd³⁺ 单晶的光谱特性、光学质量及激光性能,都与Nd³⁺含量有很大关系。由于Nd³⁺离子在YAG中的分凝系数小于1,而且,有效分凝系数在一定的范围内变动(与晶体生长条件相关),故实际掺入晶体里的Nd离子数目(浓度),必须测定才能确切地知道。

用分光光度计或单色仪,可以简便地测定YAG晶体中的钕浓度以及钕浓度沿毛坯轴向的分布。

一、原理和方法

初态 z_1 上的粒子数 ρ_{z_1} [厘米⁻³]与均匀加宽谱线的吸收系数成正比:

$$K(\lambda) = \sigma(\lambda)\rho_{z_1} \quad (1)$$

$K(\lambda)$ 为吸收系数, $\sigma(\lambda)$ 为吸收截面。YAG中,Nd³⁺的某些谱线的峰值吸收截面 $\sigma(\lambda_p)$ 是知道的^[1]。只要测量峰值吸收系数就可以算出初态粒子数。然后按下式求浓度:

$$\rho = \rho_{z_1}/a_1 = K(\lambda_p)/a_1\sigma(\lambda_p) \quad (2)$$

其中, a_1 是初态 z_1 上的玻耳兹曼分布因子。300K时, $a_1 \approx 0.465$ (见图1的⁴I_{9/2}能级)。

测量时,通常选取清晰的8690埃吸收线,并且,应没有显著的色心吸收干扰,相当于 $z_1 \rightarrow R_2$ 的跃迁(图1)。文献[1]给出了它的峰值截面:

$$\sigma_p(8690 \text{ 埃}) = 4.1 \times 10^{-20} [\text{厘米}^2]$$

所以,

$$\rho = \frac{K_p(8690 \text{ 埃})}{4.1a_1} \times 10^{20} [\text{厘米}^{-3}] \quad (3)$$

测量时的光谱狭缝宽度应当小于斯塔克线宽。只有光栅类光度计或单色仪,才能适合这种测量。图2(a~c)是用三种型号的仪器测量的同一个样品的光谱。可见,棱镜光度计测得的吸收系数是不能用到公式(3)中去的。

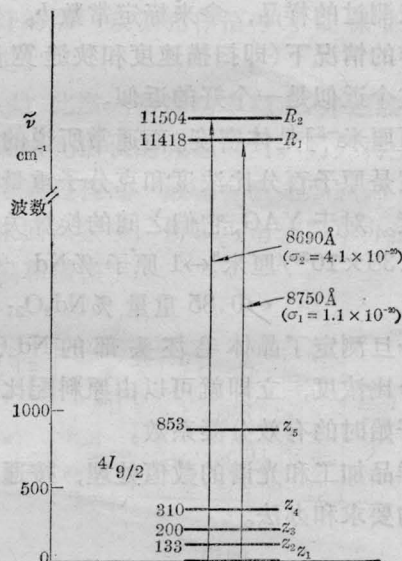


图1 有关的能级

但是,得到(b)、(c)光谱的那些棱镜类仪器,也可以用来测量浓度。近似地认为:未分辨谱(8800埃带)的峰值吸收系数与浓度 ρ 成正比

$$K = b\rho \quad (4)$$

其中比例常数 b 由实验确定。也就是把光栅

收稿日期:1978年4月10日。

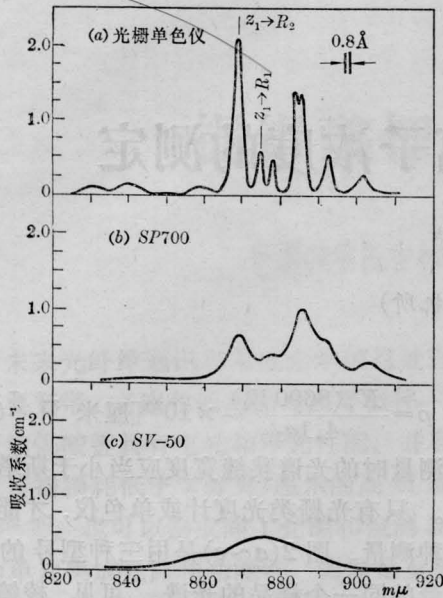


图2 仪器分辨率的影响
(同一个样品 RC-15-2, 室温)

单色仪测过的样品, 拿来标定常数 b 。在固定操作的情况下(即扫描速度和狭缝宽度不变), 这个近似是一个好的近似。

ρ [厘米⁻³] 是体密度。而通常所说的铈离子浓度是原子百分比浓度和克分子量百分比浓度。对于 YAG, 它们之间的换算关系是

$$1.38 \times 10^{20} / \text{厘米}^3 \leftrightarrow 1 \text{ 原子 \% Nd} \\ \leftrightarrow 0.85 \text{ 重量 \% Nd}_2\text{O}_3;$$

一旦测定了晶体毛坯头部的 Nd_2O_3 重量百分比浓度, 立即就可以由原料配比算出拉晶开始时的有效分凝系数。

样品加工和光谱的数值处理, 按通常吸收谱的要求和办法。

二、结果和讨论

我们用光栅单色仪(12埃/毫米)和 SV-50 分光光度计测量了一些本所生长的 YAG: Nd^{3+} 晶体的铈离子浓度和浓度分布, 结果列于表 1 和图 3 中: 纵坐标为重量百分比 Nd_2O_3 浓度, 横坐标是毛坯上的位置。毛坯放肩部位定为 $x=0$ 。

表 1 晶体中 Nd^{3+} 的浓度和分凝系数

样品号	Nd_2O_3 浓度 (重量%)	分凝系数
RC-15-2	0.67	—
G ₂ -7717	0.57	0.19
G ₂ -7715	见图 3	0.17
G ₂ -7713		0.17
RC-130		0.17
G ₄ -1		0.16
G ₄ -2		—
RC-088*		0.173
RC-126		—

* RC-0.88 原料配比是 5 重量% Nd_2O_3 , 其余为 3 重量%。

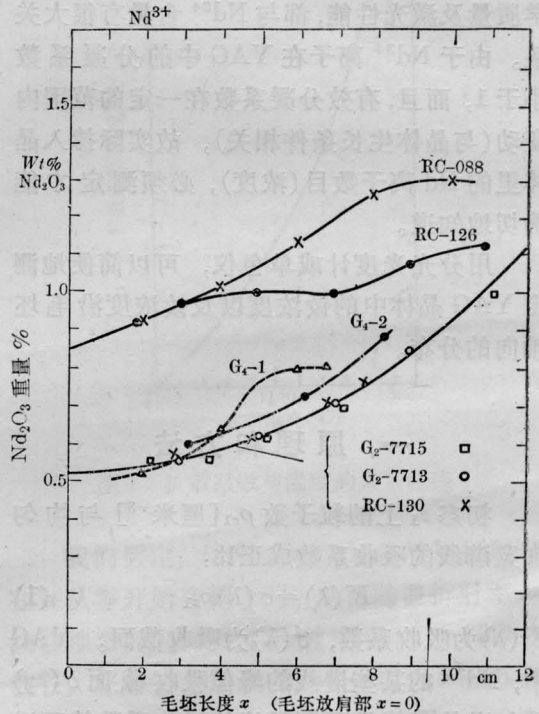


图 3 Nd^{3+} 离子沿晶体毛坯长度的分布
(RC-088, 5 重量% 配料, 其它 3 重量%)

据报导, Nd^{3+} 在 YAG 中的有效分凝系数为 0.16~0.21。本文的结果为 0.16~0.19, 与报导的数值是符合的。这个系数与拉速(生长条件)有关。

Nd^{3+} 按毛坯长度的分布, 理论上得到的是个幂指数的规律^[2]

$$C_s(x) = k_0 C_{L_0} \left[1 - \frac{x}{l} \right]^{k_0 - 1}$$

(下转第 38 页)

模型中的水流进行了速度测量。水筒的测量段是一根内径为 $\phi 35$ 毫米的玻璃管,其一侧被磨去而镶上一块平的普通窗玻璃,由头部射出的二束激光束通过这一窗口聚焦在玻璃管中部。小水筒是一个闭合的水流循环装置,其流动由一个用三相调压器控制的水泵带动,调节三相调压器的电压,就能调节水流的流速,其速度从较低的值开始,达6米/秒左右为最高。水筒中的循环水用一般自来水。对于后向散射,可适当加入极少量的微粒子,直径在几个微米左右为好,浓度约 10^{-5} 的量级左右。

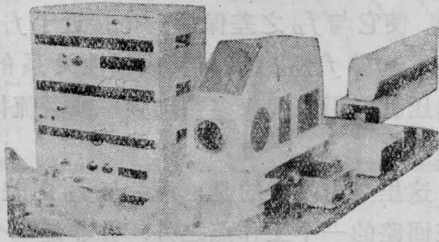


图6 后向散射激光多普勒测速装置

现在已用频率跟踪器对于0.5米/秒至6米/秒左右的水流速度产生的多普勒频率进行了跟踪,当被测流速变化时,跟踪器的输出频率亦能很快地跟随流速的变化,跟踪器前置放大器输出的多普勒信号波形以及跟踪滤波器输出的压控振荡器波形示于图7,可

* ~~~~~ *

(上接第40页)

实际毛坯不一定是等径生长的。熔体中的 Nd^{3+} 分布也不一定均匀。熔体对流或者非准静态生长都会导致实际分布与理论公式的偏离。图3中,有些晶体显然偏离了幂指数关系。这说明实际测量是很有必要的。

FC-126原料中掺有0.1%的碳,在110毫米长的毛坯中, Nd^{3+} 浓度保持高水平,原因不太清楚。

有关 Nd^{3+} 浓度对激光性能影响的问题,可参阅文献[3]和[4]。

速度快、方法简单,是这种测定的优点。

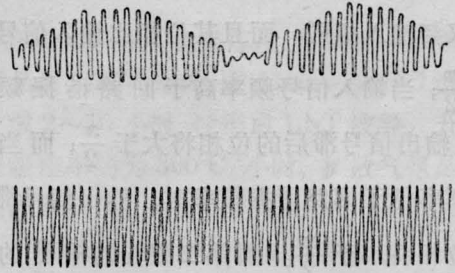


图7

上图:多普勒信号波形
下图:压控振荡输出波形

见整个激光多普勒测速实验装置在这一工作条件下已能满意地运转。

小结

激光测速仪原理简单,能用来测定各种各样的流体速度,而且具有许多其它仪器不可能具备的特点,特别是用热线风速仪或毕托管难以测定的场合,如紊流、高温流、附面层等,用这一方法就更能显出其优点。因此,作为实用的装置,其发展前景非常广阔,其发展速度也必然是令人注目的了。

参 考 文 献

- [1] A. I. Bloom; *Proc. IEEE*, 1966, **54**, No. 10, 1262.
- [2] H. Mishina *et al.*; *Opto-electronics*, 1973, **5**, No. 6, 517.
- [3] L. Lading; *Opto-electronics*, 1973, **5**, No. 2, 175.

所得结果的精度 $\sim \pm 10\%$;所以,分光光度法测定YAG: Nd^{3+} 的浓度,已经被广泛地采用。在解释YAG棒的性能、研究毛坯浓度均匀化和发光浓度猝灭时,在计算某些光谱特性时,都使用了这种测量方法和测定结果。

参 考 文 献

- [1] T. Kushida *et al.*; *Phys. Rev.*, 1968, **167**, 289.
- [2] 《晶体生长的理论基础》(讲义),南京大学物理教研室,1976年,第2、8页。
- [3] D. A. Pinow; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1970, **QE-6**, No. 4, 223.
- [4] R. F. Bert; *Laser Focus*, 1973, **9**, No. 8, 51.
- [5] R. R. Monchamp; *J. Cryst. Growth*, 1971, **11**, 310.