

# 新型装置

## 交叉抽运的 $\text{Cr}^{3+}-\text{Nd}^{3+}$ 钇铝石榴石激光系统

光抽运固体激光器效率的一个最严重的限制，是缺少适当的吸收带去匹配高功率灯的输出谱。三价稀土激光器仅有相当弱的  $4f-4f$  宇称禁戒吸收，需要高掺杂浓度才能提供充分的吸收。如果具有适当吸收带的第二种杂质能同时掺入基质晶体，并且从抽运离子得到的激发能够充分转移给稀土离子，则上述困难就可以克服。我们已在钇铝石榴石中观察到从铬  $3d$  带到钕  $4f$  态的能量传递，并将这种双掺杂系统作成了一种交叉抽运的连续激光器。分光计和阈值测量证明，对同样质量的晶体来说，交叉抽运的  $\text{Nd}^{3+}$  和  $\text{Cr}^{3+}$  掺杂的钇铝石榴石连续激光作用比之自抽运的  $\text{Nd}^{3+}$  钇铝石榴石激光器<sup>[1]</sup>，其效率至少应高 2 倍，或阈值应低 2 倍。

钇铝石榴石是一种性能极好的基质，稀土和铬离子能分别掺入其中的钇和铝位座中。晶格中有两种铝位座，一种具有配位数 6，另一种具有配位数 4。光学研究揭露<sup>[2]</sup>，由于六重配位座的晶体场稳定， $\text{Cr}^{3+}$  只能进入这种位置。在这种对称性中， $\text{Cr}^{3+}$  具有熟知的红宝石的能级结构(图 1)。两个宽的吸收带对应于  $4A_2 \rightarrow 4T_2$  和  $4T_1$  跃迁，其峰值分别在 17,000 和 23,200 厘米<sup>-1</sup> 处，最小吸收在 18,500 厘米<sup>-1</sup>，它使晶体呈现特有的鲜艳绿色。较高的  $2E$  态在基态上 1,458 厘米<sup>-1</sup> 处，R 线分开 20.4 厘米<sup>-1</sup>。

朱西克 Geusic 等人已报告过这种基质中的  $\text{Nd}^{3+}$  荧光和激光作用<sup>[1]</sup>。最有希望的荧光和激光作用起源于从  $4F_{3/2}$  到  $4I_{11/2}$  的跃迁(图 1)。掺有 1.3%  $\text{Na}^{3+}$  的钇铝石榴石的激发谱如图 2(a) 所示。

激发谱由下述方法得到：用一个单色仪记录 1.06 微米荧光，同时用另一个分辨率为 30 埃的单色仪对一个 500 瓦钨灯的激发进行扫描。双掺杂钇铝石榴石(标称浓度  $\text{Cr}^{3+} 1\%$ ， $\text{Nd}^{3+} 1.3\%$ ) 的激发谱如图 2(b) 所示。纯净  $\text{Cr}^{3+}$  掺杂晶体的吸收谱如图 2(c) 所示。由图可见， $\text{Nd}^{3+}$  荧光有效的抽运在  $\text{Cr}^{3+}$  的吸收带中。

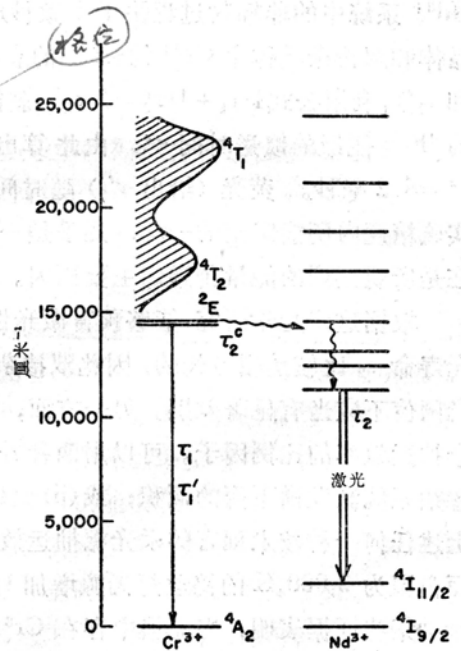


图 1  $\text{Cr}^{3+}$  和  $\text{Nd}^{3+}$  双掺杂钇铝石榴石激光系统的能级。

别的作者已在  $\text{LaAlO}_3$  的粉末样品中观察到从  $\text{Cr}^{3+}$  到  $\text{Nd}^{3+}$  的能量传递<sup>[3]</sup>。他们推断，传递发生于从  $^4\text{T}_2$  带到  $\text{Nd}^{3+}$ 。与这种概念相反，通过  $\text{Cr}^{3+}$  和  $\text{Nd}^{3+}$  寿命的详细研究表明，能量传递发生在从  $^2\text{E}$  态到  $\text{Nd}^{3+}$  能级。 $\text{Cr}^{3+}$  1% 的钇铝石榴石中，R 线的寿命  $\tau_1$  是 8.1 毫秒。单掺 1.3%  $\text{Nd}^{3+}$  的钇铝石榴石中， $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}$  线的寿命  $\tau_2$  是 230 微秒，当  $\text{Nd}^{3+}$  达到 2% 时，这种寿命开始与浓度有关，对 5%  $\text{Nd}^{3+}$ ，寿命变短到  $\tau_2 = 145$  微秒。这些数据是在 77°K 下得到的。在 300°K 时，相应的时间略为缩短， $\tau_1 = 1.53$  毫秒， $\tau_2 = 210$  微秒。当  $\text{Cr}^{3+}$  和  $\text{Nd}^{3+}$  同时掺入晶体时，在 77°K 下的  $\text{Cr}^{3+}$  的寿命变短到  $\tau_1' = 3.5$  毫秒。 $\text{Nd}^{3+}$  荧光对时间的依赖关系变得更复杂。它仍旧和以前一样，有一个寿命  $\tau_2 = 240$  微秒的快速成份，但也出现了一个时间常数更长 ( $\tau_2' = 3.5$  毫秒) 的第二个指数成份。当激发光脉冲经过滤光，使仅在  $\text{Cr}^{3+}$  带中有吸收时， $\text{Nd}^{3+}$  荧光随时间的变化仅与长寿命成份有关 (因为在仪器的时间分辨本领内没有观察到任何荧光的建立时间， $\text{Cr}^{3+}$  和  $\text{Nd}^{3+}$  系统中的非辐射过程快于 1 微秒)。知道掺铬晶体和双掺杂晶体中  $\text{Cr}^{3+}$  的  $^2\text{E}$  态的衰变时间 ( $\tau_1$  和  $\tau_1'$ )，利用公式  $1/\tau_1 + 1/\tau_2 = 1/\tau_1'$ ，就能求得  $\text{Nd}^{3+}$  的  $^4\text{F}_{3/2}$  能级的馈送时间  $\tau_2'$ 。由此算出的馈送时间  $\tau_2' = 6.2$  毫秒。荧光 (给出  $\tau_2'$ ) 随时间的变化与在实验精度内所能定出的一样，几乎是一个完全的单指数，这表明杂质  $\text{Cr}^{3+}$  和  $\text{Nd}^{3+}$  分离存在是所观察到的能量传递的主要原因。

根据这些光学研究，能够预言激光性能。能量从  $\text{Cr}^{3+}$  到  $\text{Nd}^{3+}$  的传递时间与  $\text{Nd}^{3+}$  的荧光寿命  $\tau_2$  比较是相当长的，因此双掺杂钇铝石榴石晶体与纯  $\text{Nd}^{3+}$  掺杂钇铝石榴石的脉冲激光阈值不应当有显著差别。另一方面，对给定的灯，连续激光阈值 (输入灯的电功率) 应当低一个抽运效率的比例因子。可以用两种方法决定这个比例因子：(i) 比较双掺杂激光系统和单掺杂系统激发谱下面的面积；或 (ii) 比较  $\text{Nd}^{3+}$  的短期荧光 ( $\tau_2$ ) 和总荧光 ( $\tau_2 + \tau_2'$ ) 的强度。用上述任何一种技术预言的汞光源抽运效率至少增加 4 倍 (假定用一块 3,800 埃紫外滤光片)，而色温为 3,000°K 的钨丝灯光源增加 1.5 倍。

这些证据表明，当晶格中存在  $\text{Cr}^{3+}$  时，纯 Nd 自抽运荧光效率得到增强。正在研究这种效应。随着激光光子的吸收，通过 Cr 从  $^2\text{E}$  亚稳能级到  $^4\text{T}_1$  带的跃迁，将在晶体中引入一种体积损耗机构。这种损耗的严格大小目前尚不知道，但估计是很小的。

用林德公司供给的单掺杂和双掺杂钇铝石榴石晶体测量过上面预言的激光特性。激光棒长 3 厘米，直径  $1/8$  吋，两个端面半径为 2 吋的端面抛光，并镀上介质反射层。激光测试装置已在其他文献<sup>[4]</sup>中描述过了，其中用两个球面反射镜将脉冲的或连续的激励灯光聚焦到晶

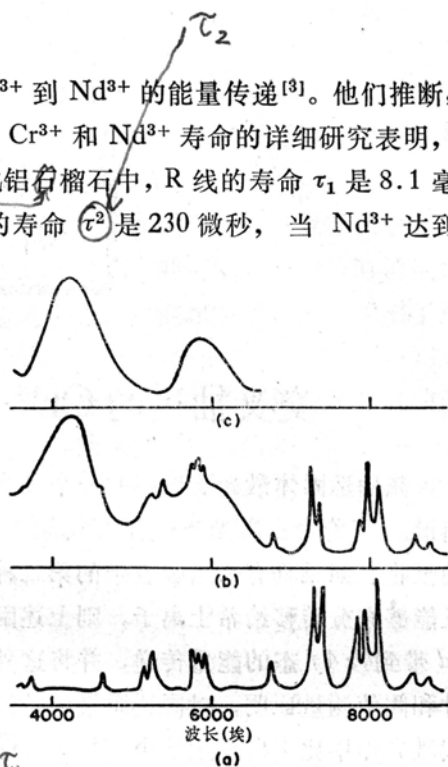


图 2  $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{11/2}$  荧光跃迁的激发谱。

- (a) 掺 1.3% Nd 的钇铝石榴石。
- (b) 掺 1.3% Nd 和 1% Cr 的钇铝石榴石。
- (c) 掺 1%  $\text{Cr}^{3+}$  的钇铝石榴石在 78°K 时的吸收谱。

体上。用 FX-33 氙灯(电容 2 微法)进行脉冲测试。连续工作时,使用 AH-6(直流)汞灯和 DWY(625 瓦)钨丝灯。

室温下,1.3% Nd 的钇铝石榴石晶体的脉冲阈值为 1 焦耳,连续阈值是:钨丝灯 750 瓦,汞灯 1,300 瓦。300°K 时,1% Cr<sup>3+</sup> 和 1.3% Nd<sup>3+</sup> 双掺杂晶体的脉冲阈值 2.1 焦耳,连续阈值\*量:钨丝灯激发时,大于 800 瓦,但汞灯激发时仅 750 瓦。77°K 时,双掺杂晶体连续工作阈值为:钨丝灯 440 瓦,汞灯 180 瓦\*\*。

交叉抽运的效力表现在这两种系统的汞灯激发的连续阈值与钨丝灯激发的连续阈值的比率上。Nd<sup>3+</sup> 钇铝石榴石最强的吸收带在红外[图 2 (a)],Nd<sup>3+</sup>、Cr<sup>3+</sup> 钇铝石榴石在 Cr<sup>3+</sup> 带中汞灯抽运最强[图 2 (b)],从 Nd<sup>3+</sup> 钇铝石榴石到 Nd<sup>3+</sup>、Cr<sup>3+</sup> 钇铝石榴石,这个比率增加 4 倍以上。从绝对数值看,交叉抽运使汞灯激发的连续阈值从 1,300 瓦减少到 750 瓦。尽管脉冲阈值和钨丝灯的连续阈值增加,但双掺杂对它们不应当有多大影响。这种较高的阈值认为是初步作成的双掺杂晶体的质量不够理想所引起的。经过两个脉冲阈值差别因子的修正,汞灯激发阈值减少了 3.6 倍,这与预言的 4 倍符合得很好。

总之,双掺杂系统——Nd<sup>3+</sup>、Cr<sup>3+</sup> 钇铝石榴石——的交叉抽运激光作用已得到证实。只要能获得与单掺杂 Nd<sup>3+</sup> 钇铝石榴石晶体质量相同的双掺杂系统,交叉抽运将使总体效率至少提高两倍。因为对于宽带高温激发光源,这种改进应更大,故这种激光系统的太阳抽运非常引人注目。

### 参 考 文 献

- [1] J. E. Geusic, H. M. Marcos and L. G. Van Utert, *Appl. Phys. Letters*, **4**, 182 (1964).
- [2] D. L. Wood, J. Ferguson, K. Knox and J. F. Dillon, *J. Chem. Phys.*, **39**, 890 (1963).
- [3] J. Murphy, R. C. Ohlmann and R. Mazelsky, *Phys. Rev. Letters*, **13**, 135 (1964).
- [4] R. C. Duncan and Z. J. Kiss, *Appl. Phys. Letters*, **3**, 23 (1963).

译自 Kiss Z. J., Duncan R. C.; *Appl. Phys. Lett.*, 1964, 5, No. 10, 200—202.

## 在强电流和低气压下 Ar<sup>+</sup> 离子的脉冲激光

目前,对于 Ar<sup>+</sup> 离子的脉冲振荡已进行了一系列的研究工作(参看文献 1-5)。但是,所有实验至今都是在较低的电流密度下(100 安/厘米<sup>2</sup>)进行的。本文报导的实验是在将近 15~20 千安/厘米<sup>2</sup>的较高电流密度下进行的。这时,最佳的气压范围是  $2 \times 10^{-2} - 8 \times 10^{-3}$  毫米汞柱。在此种电流和气压下,振荡就具有许多特点,这些特点在过去一般的条件下是观察不到的。

强电流脉冲放电是在 1,000 毫米长、内直径为 10 毫米的石英放电管中进行的。为了减少放电对电极的污染,用钽制成管状电极,其长为 50 毫米,直径为 10 毫米。

辐射经过石英平面平行板由放电室输出,石英薄板相对于放电室的轴成布儒斯特角安置。为了防止放电对布儒斯特角窗的作用,把后者安置在距电极 150 毫米处。光学共振腔由两面曲

• 原文未指明是连续阈值——译注。

\*\* 这个较低的连续阈值是将有效抽运孔径减小 4 倍得到的,因此观测到的阈值除以同一因子。——原注