

闪光灯泵浦 NLPP 晶体的激光输出和晶体均匀性之间的关系

陆宝生 刘希玲 王继扬 王保林

(山东大学晶体材料研究所)

摘要: 本文揭示了影响 NLPP 晶体光学均匀性的内部缺陷,即生长条纹、扇形界。探索了这些缺陷形成和晶体生长过程之间的关系,详细研究了这类缺陷对激光性能的影响。

Relationship between laser output from flash lamp pumped NLPP crystals and crystal homogeneity

Lu Baosheng, Liu Xiling, Wang Jiyang, Wang Baolin

(Institute of Crystal Materials, Shandong University)

Abstract: The defects affecting the optical homogeneity of NLPP crystals, such as growth strial and sector boundary are revealed and the relationship between the defect formation and the crystal growth process are explored and the influences of the defects on laser properties of NLPP crystals are studied in detail.

一、引言

五磷酸镧钕 ($Nd_xLa_{1-x}P_5O_{14}$, 简称 NLPP)单晶,作为一种高钕浓度的新型激光工作物质已受到了普遍的重视。关于其生长工艺、物理化学过程以及生长机理等方面^[1~4]已作了大量工作。目前在工艺上已能稳定地生长出具有激光性能的大尺寸 NLPP 晶体,为晶体的物性测试和晶体的实用化提供了极为有利的条件, S. R. Chinn 等^[5~7]分别采用闪光灯泵浦 NLPP 晶体并实现了激光运转。他们的研究表明:在相同条

件下用闪光灯泵浦 NLPP 晶体的阈值低于 Nd^{3+} :YAG, 而其转换效率却高于它。如果采用染料片调 Q , 单脉冲峰值功率可达兆瓦量级。因此,可以认为 NLPP 脉冲激光器不但在微型化方面有其独特的优点,在兆瓦级脉冲激光器方面也有发展前景。

为了获得最佳的 NLPP 晶体的激光特性,开展了晶体生长和光学均匀性方面相互关系的研究。对该晶体的表面特征、腐蚀缺陷等方面已作了报导^[8,9], 本文主要介绍 NLPP 晶体内部缺陷的形成和晶体生长之间的关系,这类缺陷对激光性能有影响。

收稿日期: 1982年1月16日。

二、实验方法与装置

1) 晶体生长: 本实验按文献 [10] 所提出的工艺过程进行, 具体生长条件根据实验要求制定。

2) 采用正交偏光束来观察晶体内部的扇形界和生长条纹。仪器装置图如图 1 所示。

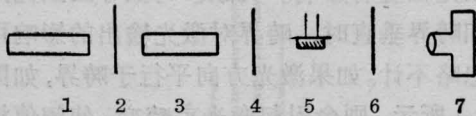


图 1 正交偏光干涉法

1—He-Ne 激光器; 2—扩束透镜; 3—平行光管;
4—起偏镜; 5—晶体; 6—检偏镜; 7—照相机

当准直平行光束通过晶体, 迎着光束方向可以观察到由于应力、双折射率变化等因素而引起的光强变化图样。

3) 在相同条件下, 对不同光学质量的 NLPP 晶体进行闪光灯激励, 观察激光性能和光学均匀性之间的关系, 其测量装置如图 2 所示。

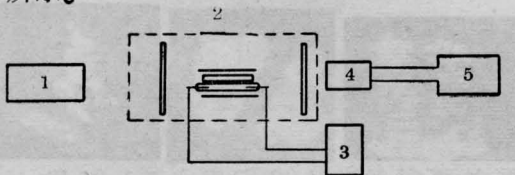


图 2 紧包式小型激光装置

1—内调焦测角仪; 2—晶体和聚光腔; 3—电源;
4—微焦耳能量计; 5—检流计

三、结果与讨论

1. 影响 NLPP 晶体光学均匀性的几种主要缺陷

在正交偏光下, 光强通常用下式表示:

$$I = I_0 \sin^2 \frac{1}{2} \left[\frac{2\pi(n'_1 - n'_2)}{\lambda} L \right] \quad (1)$$

这里 L 为样品的厚度; n'_1 、 n'_2 分别为晶体双折射率; λ 为光源波长。当晶体存在生长条纹、扇形界、畴界等缺陷时, 均可能引起晶格

畸变, 从而使晶体内部各处的折射率发生变化, 光束通过晶体产生衬度不等的干涉图。从图 3 中可以看到许多清晰、有序的生长条纹以及衬度很强的扇形界。

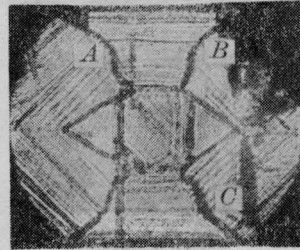


图 3 正交偏光下的干涉图
(通光方向(001))

从图 3 中还可以看到, 在扇形区内有许多衬度不等的平行细线, 即生长条纹。我们发现等温生长和籽晶旋转生长的晶体生长条纹少些。如果在生长过程中温度起伏较大, 则可以明显地观察到生长条纹的衬度和宽度增强。图 4 中有三条衬度较强的生长条纹和我们在生长过程中三次有意识升温相对应。由此可以推断, 生长条纹的形成和晶体生长时温度波动有密切关系。这主要是由于生长过程中温度变化引起水蒸发速率变化, 而水的蒸发速率变化会影响晶体生长速率的变化, 致使生长界面杂质的分凝发生变化而产生了生长条纹。



图 4 与温度波动相对应的生长条纹

在正交偏光下显示出在二个扇形区之间存在不消光的面缺陷, 即谓扇形界。这种扇形界在水溶液法、水热法以及熔剂法生长的晶体中均存在, 可通过 x 形貌照像进行分析^[11, 12]。当然, 一般的亦可用普通光学方法来观察。我们采用简单的正交偏光法揭示了

高温溶液生长的晶体中这一扇形界的存在。图5是用正交偏光法所观察到的NLPP晶体中的扇形界。

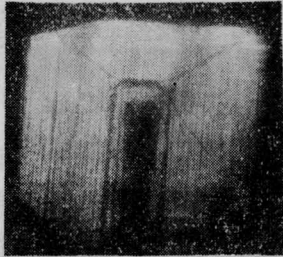


图5 正交偏光下的扇形界
(晶体(010)解理片)

为了对照,我们用 α 形貌法观察了晶体(见图6)。比较图5和图6可以清楚地看到,两种不同的方法,得到的结果完全一致。由此可以证明,用简单正交偏光法观察晶体内部扇形界是行之有效的。大量的实验结果表明,在NLPP晶体中 a 、 b 、 c 三个方向均可以观察到从籽晶发出的扇形界,它的存在和晶体生长的工艺条件无关。但是其界面的宽度和弯曲程度却和晶体生长过程中温度的变化有关。从理论上分析,扇形界应该是平直的,但是由于生长过程中温度起伏,特别在起伏较大的情况下,各个面的生长速度发生变化,因此在两面交接处出现弯曲扇形界。从图3我们可以看到在扇形界弯曲的拐点 A 、 B 、 C 、 D 处,生长条纹衬度较强,也就是该点所对应的生长温度发生了变化。所以,保持晶体生长过程中温场稳定不但可以减少生长条纹的产生,而且有助于扇形界面趋于变窄和平直。

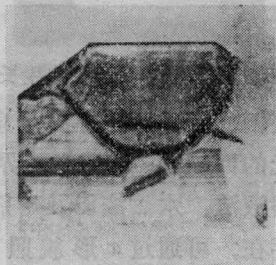


图6 α 形貌法中扇形界
(晶体(010)解理片,(001)衍射)

NLPP晶体是属典型的铁弹体,关于晶体铁弹畴的形成及特性已有不少报导^[13,14]。这里仅将此作为一种面缺陷加以研究。因为它严重地影响晶体光学均匀性,使激光束在晶体中发生畸变。从图7(a)中可以看到在正交偏光下晶体中有许多黑白条纹,这些通常称之为 a 型畴。在与其对应的激光光斑图中,有几乎完全一致的图样,这充分说明畴界对激光性能有影响。文献[15]报导当激光方向和畴界垂直时,畴界对激光输出的影响可以忽略不计。如果激光方向平行于畴界,如图7(a₁)所示,则会引起激光束畸变,使阈值增高,效率降低,严重时甚至停止激光振荡。所以在生长晶体时我们采用 c 切向籽晶,生长出 c 方向的晶体以避免 a 型畴界对激光性能的影响。

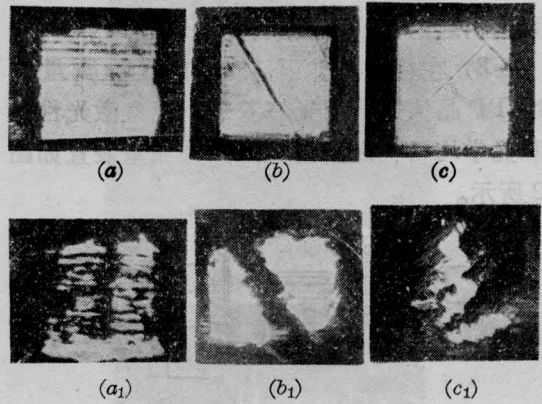


图7

(a)、(b)、(c)分别为正交偏光下,畴界、扇形界、生长条纹
(a₁)、(b₁)、(c₁)分别为有畴界、扇形界、生长条纹的晶体所形成的激光斑

2. 晶体光学均匀性对激光特性的影响

激光工作物质的阈值、斜率效率等参数除了和激活离子浓度,以及激活离子本身特性(发射截面、吸收截面、寿命)等因素有关以外,它还和晶体的光学均匀性有密切关系,根据文献[16]的表达式:

$$\frac{A_T}{V} = \frac{h\nu_P}{\sigma_{E\tau}} \left(\frac{L+T}{2l} + \sigma_A N_0 \frac{Q(0)}{2} \right) \quad (1)$$

$$\eta = \frac{dP_{out}}{dA} = \frac{\nu}{\nu_P} \left[\left(1 + \frac{L}{T} \right) \frac{dQ}{dP} \right]^{-1} \quad (2)$$

表 1

样 品	输 入 (焦耳)					
	0.925	1.405	1.985	2.665	泵浦阈值 (毫焦耳)	斜率效率 (%)
	输 出 (毫焦耳)					
No. 22c 向棒缺陷较少	15.770	29.963	51.200	64.000	421	2.8
No. 4c 向棒有扇形界	10.250	21.289	33.905	46.521	450	2.1
No. 25a 向棒缺陷较少	5.519	11.827	18.923	27.597	545	1.3
No. 15c 向棒严重生长条纹	1.419	4.730	9.068	11.827	761	0.6

从(1)、(2)式我们可以看到泵浦阈值功率正比于损耗因子 L , 由于 $\frac{dQ}{dP} > 1$, 所以斜率效率 η 和 L 成反比。NLPP 晶体中存在扇形界、生长条纹、畴界时, 激光谐振过程中内耗增加, 结果便使泵浦阈值增高, 斜率效率降低。我们选择了在不同生长条件下具有不同扇形界、生长条纹、a 型畴界的晶体, 分别在相同条件下激励、测量其泵浦阈值、斜率效率等参数, 结果见表 1。实验结果与理论分析一致。

在正交偏光下呈现缺陷少的 No. 22 样品, 其泵浦值低到 421 毫焦耳, 斜率效率可达 2.8%。对于存在严重生长条纹的 No. 15 样品, 阈值最低需要 761 毫焦耳, 斜率效率最高仅 0.60%。由此可见在这三种缺陷中以生长条纹对激光特性影响最为严重, 其次是畴界和扇形界。由于生长条纹是生长晶体过程中温度起伏产生的, 所以, 通过改善控温精度、制造合适的晶体生长炉等手段, 建立一个稳定的晶体生长环境, 就有可能避免或减轻生长条纹的出现。同时采用 c 向激光棒来消除畴界的影响, 进一步提高 NLPP 晶体的激光输出能量和斜率效率, 以及降低泵浦阈值能量是有希望的。

本文得到蒋民华副教授的审阅并提出许

多宝贵意见; 北京钢铁学院蒋柏林同志协助拍摄了 α 形貌图; 五机部 205 所提供了小闪光灯; 本所程瑞平同志在加工过程中提供了许多有用信息, 在此一并致以深切谢意。

参 考 文 献

- [1] H. G. Danielmeyer *et al.*; *J. of Crystal Growth*, 1974, **22**, 298.
- [2] 陆宝生等;《物理学报》, 1978, **27**, 609.
- [3] 陆宝生等;全国晶体生长会议集, (B), 1979.
- [4] 刘耀岗, 韩建儒;《山东大学学报》, 1980, No. 1.
- [5] S. R. Chinn *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **31**, No. 3, 178~180.
- [6] 廉汝林;山东大学 NdPP 晶体鉴定会附件, 1979 年.
- [7] 何慧娟;《激光》, 1981, **8**, No. 4.
- [8] 刘希玲, 张吉果;《山东大学学报》, 1981, No. 1.
- [9] 刘希玲等;《山东大学学报》, (待发表)
- [10] 刘耀岗等;《山东大学学报》, 1979, No. 3, 49.
- [11] C. Belouet *et al.*; *J. of Crystal Growth*, 1974, **23**, 243~252.
- [12] A. Yoshimura *et al.*; *J. of Crystal Growth*, 1976, **33**, 311~323.
- [13] G. Winzer *et al.*; *Appl. Phys.*, 1976, **11**, 121~130.
- [14] 徐斌, 陆宝生;《山东大学学报》, 1980, No. 2, 69~73.
- [15] R. D. Plattner *et al.*; *J. of Crystal Growth*, 1980, **49**, 274.
- [16] G. Huber; *Current Topics in Materials Science*, 1980, **4**, 21~22.