

在 YAG:Nd 晶体中位错 对激光特性的影响

邓佩珍 乔景文 钱振英

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文用双折射貌相法和化学腐蚀法测定了六根晶体棒中的位错分布和位错密度,用光学方法检验了晶体的光学质量,晶体的激光性能是在一台 Q 开关 YAG 激光装置上测定的。

实验表明当位错密度增加到一定程度时,位错形成的应力场会引起明显的双折射,以致探测光通过晶体时波面会发生畸变。在干涉仪上可观察到干涉条纹的增加。同样,在位错应力场区消光比亦下降。因此,作为结构缺陷的位错也是晶体光学不均匀的来源之一。

晶体激光性能的实验结果指出:位错对激光输出特性有很大的影响,从激光近场光斑图看出,在位错应力场区,因为高的激光阈值而不能产生激光振荡,并且由于应力双折射效应产生光的退偏性。由于存在高位错密度,晶体的激光发散度增加,倍频效率下降。当晶体中存在装饰位错(decorated dislocation)时,激光输出特性的变化尤为明显。

一、引 言

位错是一种结构缺陷,是单晶光学不均匀的来源之一,同时位错集聚的区域可能有杂质沉积而形成散射中心。P. A. Arsenov^[1]采用微区 X 射线分析和激光光谱分析,证明在 YAG:Nd 晶体中位错应力场区铈离子和其他杂质离子(如钙、镁等)的浓度均比低位错或无位错区的杂质浓度高。X. C. Балдасаров^[2]认为位错的存在会有损于 YAG:Nd 晶体的激光性能,提出在位错缺陷区晶体的化学组分被破坏,位错引起的应力场还会引起晶体折射率和密度的变化,前者导致光学不均匀,后者导致附加散射。在位错应力场区杂质的重新分布,它们的能量状态和晶体的电子光谱的变化都可能影响激光特性,位错应力场还会引起晶体折射率的不均匀,从而使光束通过晶体时产生波前畸变。X. C. Балдасаров 根据位错应力变化推导出沿垂直方向(即 z 轴)通过某段晶体的光束轨迹微分方程,计算并作图(见图 1)说明了光束在位错附近偏离直线传播。

从图 1 中可以看出:光线在点 $x=0$ 的位错附近通过时偏离直线传播的程度是相当大

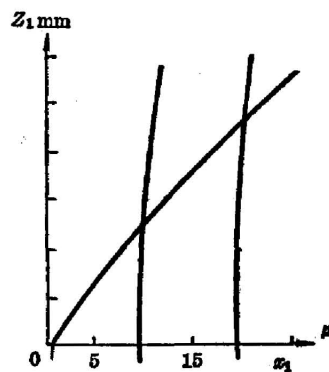


图 1 根据文献[2]计算的光线轨迹

Fig. 1 Light trajectory calculated according to literature

的。这意味着在平行于振荡晶轴位错附近的某段晶体可能引出一部分参与形成相干辐射的光束,而使激光功率降低。他推测位错的存在会使晶体的激光功率下降、方向性差,但无实验证实。

我们认为位错虽属微观尺度的缺陷,但对 YAG:Nd 晶体来说,由于位错的柏格氏矢量 (Burgers vector) 大,位错所引起的应力场较强,可以在偏光显微镜下用低放大倍率 ($\sim 20\times$) 清晰地看到单个位错的双折射图像。特别是在位错应力场区出现的明显双折射效应已影响晶体的光学均匀性。估计位错的存在对晶体的激光性能如激光功率、方向性等也会有所影响,因此,认为开展位错对 YAG:Nd 晶体激光特性影响这项研究工作是很有必要的。

二、实验部分

1. 样品制备

将六根晶体棒毛坯分别加工成薄片及晶体棒以进行各项性能测试。

(1) 先在每根晶体毛坯两端各切一薄片进行机械研磨及抛光,作为光学观察及腐蚀样品用。

(2) 将晶体毛坯加工成不同直径与长度的晶体棒,作为光学和激光性能测试用。

(3) 每根晶体棒经光学、激光性能测试后,再从两端各切一片作为光学观测及腐蚀样品用。

(4) 晶体样品的化学腐蚀: 将已经过机械研磨及抛光好的样品先放在 $300\sim 320^\circ\text{C}$ 浓度为 $85\% \text{H}_3\text{PO}_4$ 中煮 5 分钟进行化学抛光,然后将样品放在 $260\sim 270^\circ\text{C}$ $85\% \text{H}_3\text{PO}_4$ 中煮 5 分钟进行化学腐蚀。

2. 晶体的各项性能测试

(1) 用台曼-格林干涉仪观察晶体的光学均匀性,并拍摄干涉图形。

(2) 用 1mW 扩束的 He-Ne 激光拍摄晶体棒的投影图。

(3) 用光阑孔径为 $\phi 0.7\text{mm}$ 的消光比测试仪测定晶体棒中不同区域的消光比值。

(4) 位错的观测与位错密度的测定。

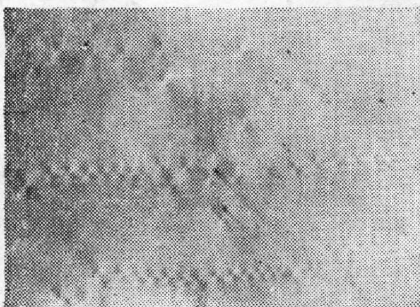


图 2 YAG:Nd 晶体中刃型位错的双折射貌相图

Fig. 2 Birefringence images of edge dislocations in YAG:Nd crystal

用双折射貌相法与化学腐蚀法相结合以观察各向同性晶体中的位错,可以对位错分布和位错密度作出比较正确的估计。双折射貌相法即根据晶体中缺陷(位错或包裹物)在正交偏光下所引起的双折射效应(光弹图象)而确定其存在。南京大学徐秀荫等^[3]介绍了国外^[4,5]有关这方面的实验与理论计算工作以及他们自己对 YAG:Nd 晶体所作的双折射貌相法观察结果。我们认为此法确系简便可行,仅用一台偏光显微镜就可观察某些晶体中位错分布的状况。当晶体中主要为刃型位错且位错线与观察面相交时,用双折射貌相法观测的结果基本上与腐蚀法所计算的位错密度是一致的,因为每一个位错的双折射貌相图均对应一个蚀斑。在这种情况下,可以不进行化学

腐蚀而单用双折射貌相法估计晶体中的位错密度。图 2 为位错的双折射貌相图, 其强度分布为六叶花瓣。位错的柏格氏矢量可以从观察到的双折射貌相图中推断出来。若晶体中存在着攀移位错环, 蜷线位错或被杂质缀饰的这类位错时, 仅用腐蚀法估计位错密度则不能反映晶体中位错存在的真实状况。因为尽管这类位错在晶体中所占空间可能较大^[6], 但只有当位错的某一部位与腐蚀面相交时才会出现蚀斑。这类位错可以用超显微观察装置看到, 或在正交偏光下通过其应力双折射图像而被观察到, 图 3(a)、(b)、(c)和(d)是 5# 晶体棒中缀饰位错的应力双折射图象。用腐蚀法与正交偏光下的观察相结合才能确定此类晶体中位错分布的实际情况。

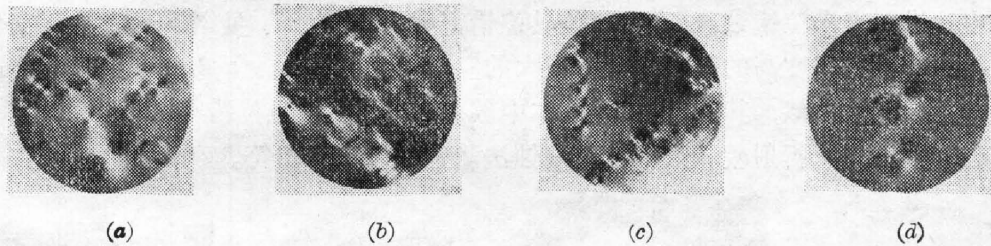


图 3 YAG:Nd 晶体中缀饰位错的双折射图像

Fig. 3 Birefringence images of decorated dislocations in YAG:Nd crystal

(5) 晶体的激光性能测试

为了便于观察晶体中位错应力场区与非位错应力场区在光学均匀性及激光特性方面的差别, 有意识选择了一些直径尽可能粗的晶体棒, 其中包含了这两部分区域, 并采用了比较容易观察工作物质缺陷对激光特性影响的双 45° 铌酸锂电光调 Q YAG 器件(如图 4 所示), 被测晶体放在一级放大位置, 用 KDP 晶体作 II 类倍频, 测定晶体质量对倍频效率的影响。器件的输出脉宽 $\tau=4\text{ ns}$ 输出能量一般为 $60\sim 100\text{ mJ}$, 发散角 $\theta=0.5\text{ mrad}$ 内含 $60\sim 70\%$ 能量。器件中加入洛匈棱镜测定晶体的退偏度。

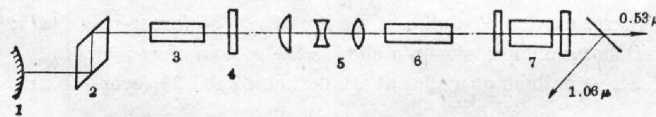


图 4 Q 开关 YAG 激光装置示意图

1— $E=800\sim 1000\text{ mm}$ 全反射腔片; 2—双 45° LiNbO_3 晶体开关; 3—YAG 棒; 4— K_9 平板玻璃;
5— $1.5\sim 2\times$ 望远镜; 6—YAG 放大棒; 7—KDP 倍频晶体

Fig. 4 Q-switched YAG laser device diagram

1— $E=800\sim 1000\text{ mm}$ of total reflecting mirror; 2—doubling 45° LiNbO_3 crystal; 3—YAG:Nd rod;
4— K_9 plate glass; 5— $1.5\sim 2\times$ telescope; 6—YAG amplifier; 7—KDP frequency doubling crystal

晶体的激光近场光斑图形也可以反映晶体质量的好坏。一般当晶体中无缺陷和光学均匀性良好时, 光斑图对称完好; 当晶体中存在缺陷时, 则近场光斑图不对称。特别在输入能量较低的情况下, 可以看到近场光斑图中某些区域因存在缺陷而不出现激光振荡。为此我们采用 E_λ 为 78.8 J 和 148 J 两种输入能量打出晶体的近场光斑图。

三、实验结果

1. 位错的观测结果

(1) 1# 晶体: 用双折射貌相法测定; 晶体中位错密度为 $10^2/\text{cm}^2$ 。

(2) 2# 晶体: 用腐蚀法测定; 中心部位位错密度较低, 为 $10^3/\text{cm}^2$, 近边缘的位错密度达 $10^3/\text{cm}^2$ 。正交偏光下观察到在其中夹杂着散射颗粒。

(3) 3# 晶体: 用腐蚀法测定; 在上端面切片中心直径 3 mm 区域内位错密度为 $10^2/\text{cm}^2$, 接近边缘部位位错密度为 $10^4/\text{cm}^2$, 边缘的部位位错密度又较低, 如图 5(a) 所示。下端面切片中边缘则充满位错蚀斑, 有些部位其位错密度为 $10^5/\text{cm}^2$, 见图 5(c)。在正交偏光下看到凡晶体中位错密度高的区域均产生很大的应力, 见图 5(b)、(d)。2# 晶体与 3# 晶体中位错分布的状况较相似, 其差别是 3# 晶体中散射颗粒很少, 且位错密度高于 2# 晶体。3# 晶体的位错密度用双折射貌相法估计与腐蚀法测定结果基本相符。

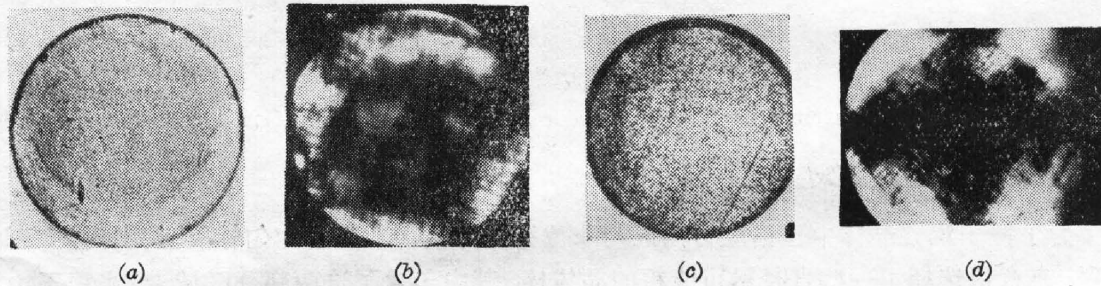


图 5 3# 晶体棒上、下两端面切片中位错分布状况以及对应的应力图,
晶体周围的高位错密度区产生强烈的应力

(a) 上端面切片的位错蚀斑图; (b) 上端面切片的应力图(正交偏光);
(c) 下端面切片的位错蚀斑图; (d) 下端面切片的应力图(正交偏光)

Fig. 5 Dislocation distribution and corresponding stress pattern of the slices at the top and bottom of rod 3#, high dislocation density caused strong stress in surrounding area

(a) Dislocation etch pits on a slice at the top of rod 3#;
(b) Stress pattern of a slice at the top of rod 3* (cross-polarized);
(c) Dislocation etch pits on a slice at the bottom of rod 3#;
(d) Stress pattern of a slice at the bottom of rod 3* (cross-polarized)

(4) 4# 晶体: 腐蚀法测定; 上端面晶体切片, 其中心直径为 6 mm 范围内位错密度低, 而在直径从 6 mm 到 9 mm 这一圆环内位错密度为 $10^3 \sim 10^5/\text{cm}^2$, 如图 6(a) 所示。在正交偏光下可看到此位错应力场区呈现很强的应力双折射效应, 如图 6(b) 所示。下端面切片, 其位错主要集聚在中心直径约 5 mm 的区域内, 位错密度为 $10^5/\text{cm}^2$, 其边缘的局部区域位错密度较高, 如图 6(c) 所示。下端面切片所对应的应力图如图 6(d) 所示。从晶体棒的总体效应来看, 此棒直径为 14 mm, 但在直径为 9 mm 范围内均处于高位错密度区。

(5) 5# 晶体: 在晶体上端面切片内观察到有较大的散射颗粒, 其双折射貌相图见图 7(a)、(b), 晶体中存在较多缀饰位错。下端面切片的中心及边缘部位亦存在较多缀饰位错, 其应力图如图 3(a)、(b)、(c)、(d) 所示。用腐蚀法测定晶体切片, 其中蚀斑数目很少, 这是因为缀饰位错在晶体中处于不同位置, 当它们不与观察面相交时, 则不出现蚀斑。因此若仅

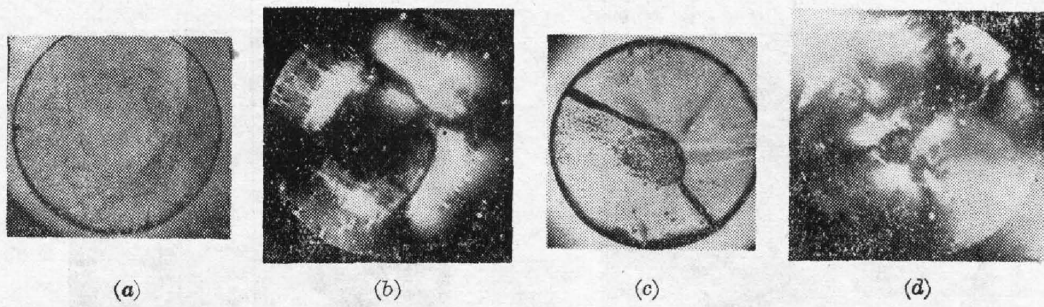


图 6 4# 晶体上、下两端面切片中位错分布状况以及对应的应力图

(a) 上端面切片的位错蚀斑图; (b) 上端面切片的应力图(正交偏光);
(c) 下端面切片的位错蚀斑图; (d) 下端面切片的应力图(正交偏光)

Fig. 6 Dislocation distribution and corresponding stress pattern of the slices at the top and bottom of rod 4#

(a) Dislocation etch pits on a slice at the top of rod 4#;
(b) Stress pattern of the slice at the top of rod 4# (cross-polarized);
(c) Dislocation etch pits on a slice at the bottom of rod 4#;
(d) Stress pattern of the slice at the bottom of rod 4# (cross-polarized)

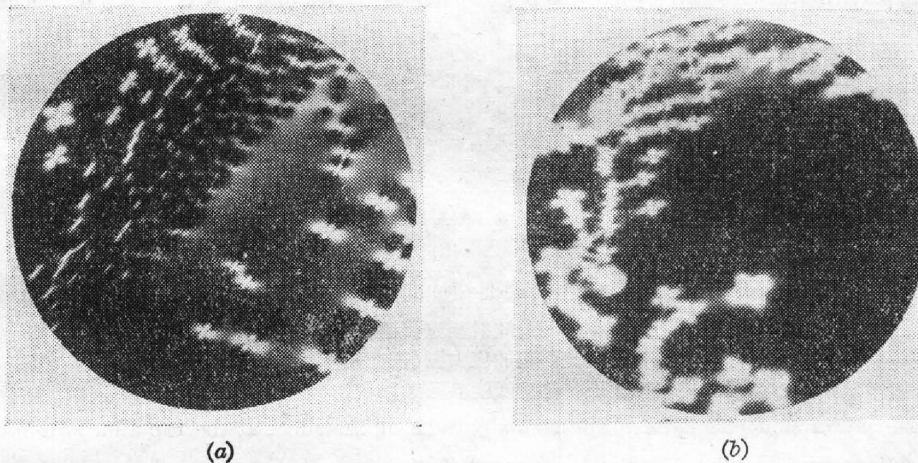


图 7 5# 晶体中散射颗粒的双折射图像

Fig. 7 Birefringence images of scattering particles in crystal 5#

根据蚀斑数目衡量这类晶体的质量则会得出错误的结论。图 8(a)、(b) 是对应上、下两端切片的应力图, 从中可以看到缀饰位错的存在明显引起晶体的光学不均匀性。

(6) 6# 晶体: 在正交偏光下看到上端面切片中有小晶面以及散射颗粒引起的应力双折射效应, 如图 9(a) 所示。下端面切片中既无小晶面亦无散射颗粒, 如图 9(b) 所示。此晶体中位错密度很低, 腐蚀法测定结果如图 9(c) 所示。晶体中主要缺陷为小晶面。

2. 拍摄了晶体棒的干涉图及投影图

可以从中看出位错应力场区及其他缺陷区干涉条纹变弯以及对应的投影图中出现不均匀条纹。

(1) 1# 晶体: 投影图表明晶体质量较好, 无明显的不均匀条纹。从干涉图中看到, 其干涉条纹与其他 5 根晶体棒比较是最好的一根, 如图 10(a₁)、(a₂) 所示。

(2) 2# 晶体: 从投影图看到晶体中心有一暗点, 表明此处透光性很差, 它的形成可能

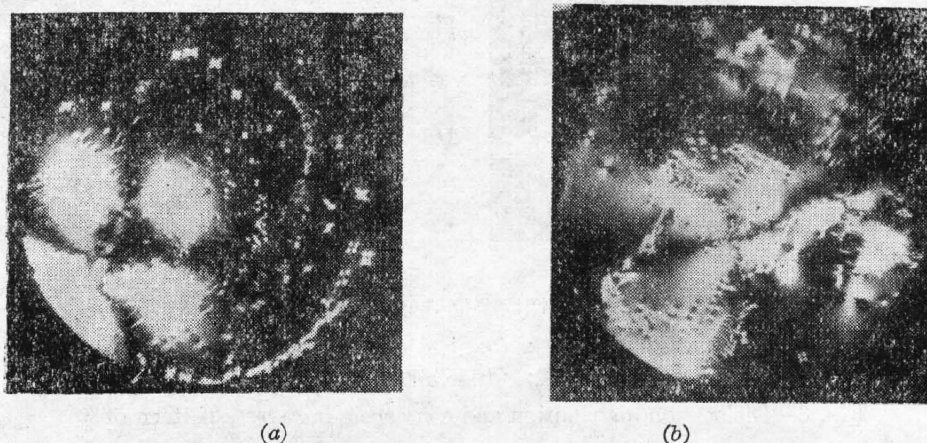


图 8 5[#] 晶体上、下端面切片中缀饰位错与散射颗粒引起的应力图
(a) 上端面切片的应力图; (b) 下端面切片的应力图

Fig. 8 Stress pattern caused by decorated dislocation and scattering particles in the slices at the top and bottom of rod 5[#]

(a) Stress pattern of a slice at the top of rod 5[#]; (b) Stress pattern of a slice at the top bottom of rod 5[#]

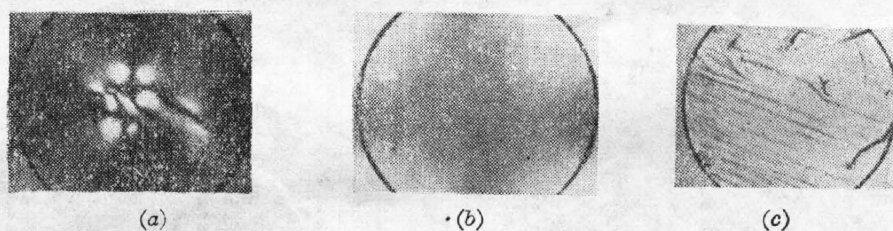


图 9 6[#] 晶体上、下端面切片的应力图及位错腐蚀图

(a) 上端面切片中小晶面及散射颗粒引起的应力图(正交偏光);
(b) 下端面切片无缺陷引起的应力图(正交偏光);
(c) 晶体的腐蚀图表明位错密度很低

Fig. 9 Dislocation etch pits pattern and stress pattern of the slices at the top and bottom of rod 6[#]

(a) Stress pattern caused by facets and scattering particles in a slice at the top of rod 6[#] (cross-polarized);
(b) Stress pattern appears because of free defect in a slice at the bottom of rod 6[#] (cross-polarized);
(c) Dislocation density is very low in etching diagram of crystal 6[#]

与生长过程中熔体对流形式有关。投影图还显示在晶体边缘有不均匀的条纹,与晶体的位错应力场区相对应,如图 10(b₁) 所示。干涉图显示了对应于中心的暗点区及周围的高位错密度,其干涉条纹的畸变,如图 10(b₂) 所示。

(3) 3[#] 晶体: 此晶体的投影图、干涉图与 2[#] 晶体极其相似,但 3[#] 的位错密度高于 2[#] 的位错密度,因而 3[#] 晶体的投影图中条纹不均匀,干涉条纹的畸变程度更严重,如图 10(c₁)、(c₂) 所示。

(4) 4[#] 晶体: 投影图中所显示的花纹状不均匀条纹与干涉图中干涉条纹的畸变均与之相对应,如图 10(d₁)、(d₂) 所示。

(5) 5[#] 晶体: 由于存在缀饰位错,晶体光学质量很差,如图 10(e₁) 所示。其干涉条纹已畸变成网状形态,如图 10(e₂) 所示。

(6) 6[#] 晶体: 投影图中出现类似十字形的不均匀图象及细密而严重畸变的干涉条纹,

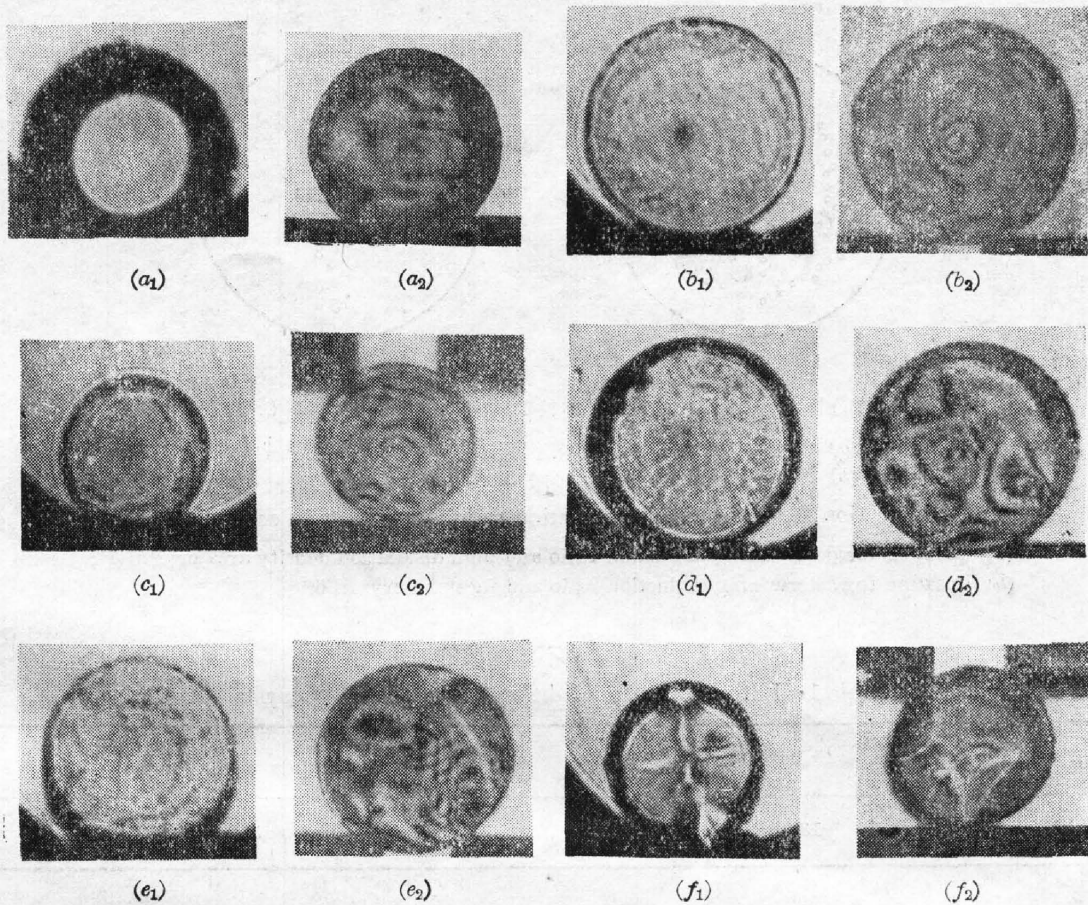


图 10 六根晶体棒的投影图及干涉图

- (a₁) 1# 晶体棒的投影图; (a₂) 1# 晶体棒的干涉图;
 (b₁) 2# 晶体棒的投影图; (b₂) 2# 晶体棒的干涉图;
 (c₁) 3# 晶体棒的投影图; (c₂) 3# 晶体棒的干涉图;
 (d₁) 4# 晶体棒的投影图; (d₂) 4# 晶体棒的干涉图;
 (e₁) 5# 晶体棒的投影图; (e₂) 5# 晶体棒的干涉图;
 (f₁) 6# 晶体棒的投影图; (f₂) 6# 晶体棒的干涉图

Fig. 10 Projection patterns and interference pattern of six crystal rods

- (a₁) Projection pattern of crystal rod 1#; (a₂) Interference pattern of crystal rod 1#;
 (b₁) Projection pattern of crystal rod 2#; (b₂) Interference pattern of crystal rod 2#;
 (c₁) Projection pattern of crystal rod 3#; (c₂) Interference pattern of crystal rod 3#;
 (d₁) Projection pattern of crystal rod 4#; (d₂) Interference pattern of crystal rod 4#
 (e₁) Projection pattern of crystal rod 5#; (e₂) Interference pattern of crystal rod 5#;
 (f₁) Projection pattern of crystal rod 6#; (f₂) Interference pattern of crystal rod 6#

其光学不均匀性主要由小晶面引起。

3. 消光比测试结果

选择 4#、6# 两根晶体棒,对其不同区域进行消光比测定,见表 1 和表 2。通过作图可以看出缺陷对消光比的影响,图 11(a)、(b) 为不同消光比值在晶体中对应的区域。

从表 1 看出 4# 晶体中凡处于位错应力场区(见图 11(a)) 如点 2、3、4、5 的消光比均很低;而点 1 位于低位错密度区,则消光比较高。

将表 2 与图 11(b) 相对照, 6# 晶体的主要缺陷为小晶面, 图中点 1、2、6、8 均位于小晶

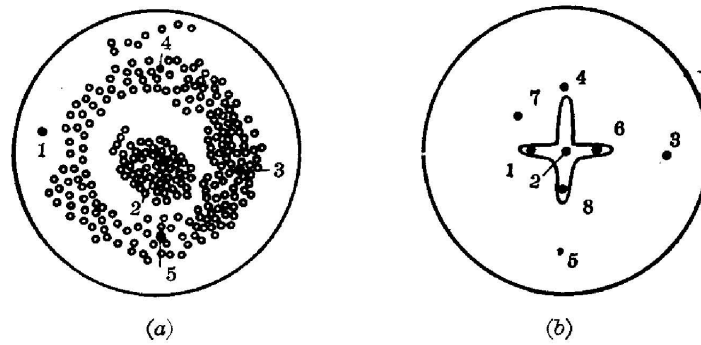


图 11 测定的消光比各点与缺陷在 4*、6* 晶体中所处位置

- (a) 测定的消光比各点与高位错密度区在 4* 晶体中所处位置;
 (b) 测定的消光比各点与小晶面在 6* 晶体中所处位置

Fig. 11 Location for determining extinction ratio and defects in crystal 4* and 6*

- (a) Location for determining extinction ratio and high dislocation density area crystal 4*;
 (b) Location for determining extinction ratio and facets in crystal 6*

表 1 4* 晶体中不同区域的消光比

Table 1 Extinction ratio of different regions in 4* crystal

| 测试位置 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|
| 消光比 (db) | 13.0 | 6.8 | 3.7 | 3.2 | 2.6 |

表 2 6* 晶体中不同区域的消光比

Table 2 Extinction ratio of different regions in 6* crystal

| 测试位置 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|
| 消光比 (db) | 4.9 | 5.1 | 15.2 | 8.5 | 15.5 | 4.2 | 6.9 | 3.6 |

面内,其消光比值最低,点 4、7 虽处于小晶面区以外,但仍与小晶面较接近,其消光比稍高于小晶面区以内;点 3、5 离小晶面区较远,其消光比较高。测试结果表明:当晶体中存在着缺陷时;缺陷引起的应力均使晶体消光比下降。

4. 晶体的激光性能测试结果(见表 3)

(1) 1* 晶体: 位错密度为 $10^3/\text{cm}^2$; 散射颗粒少, 无小晶面。结果表明其激光性能较好, 当 $E_\lambda = 78.8 \text{ J}$ 时, 近场光斑图基本充满; 当 $E_\lambda = 148 \text{ J}$ 时, 光斑图已全部充满。光密度很强, 这表明当晶体的光学均匀性好, 则相应的激光进场光斑图亦好。在测定激光退偏度时, 因未将晶体棒转到最好的位置而未测出最佳值, 即使如此, 晶体的退偏度仍比较小。倍频转换效率 η 为 31.2%, 是 6 根棒中效率最高的。

(2) 2* 晶体: $E_\lambda = 78.8 \text{ J}$ 时, 近场光斑图显示, 在中心及边缘部分区域内无激光振荡。中心不出激光的区域和投影图中的暗点对应; 边缘部分区域不出激光则与位错密度高有关。 $E_\lambda = 148 \text{ J}$ 时, 从近场光斑图看出在晶体边缘及中心区出现激光振荡的范围有所增加, 但

表 3 6 根晶体棒的激光性能测试数据
Table 3 Measured data of laser performances of six crystal rods

| 编号 | YAG:Nd 放大棒 | | 一级放大 | | 退偏度 | | | 方向性 测量 | 倍频 | | | 近场光斑图 | |
|----|---------------|------------------------|------------------|----------|-----------|-------------|-------------|-----------|----------------------------|----------|------|-------|--------|
| | 尺寸 mm × mm | 截面积 cm ² | 一级放大 输入 mJ | 增益 系数 | 总能量 mJ | 垂直偏振 占能量 | 平行偏振 占能量 | | 功率密度 MW/cm ² | 能量 mJ | 转换效率 | 730 V | 1000 V |
| 1# | φ9 × 96 | 0.63 | 503 | 7.5 | 268 | 70% | 20% | 123 | 156 | 31.1% | | | |
| 2# | φ15 × 95.5 | 1.76 | 397 | 5.9 | 201 | 74% | 16% | 54 | 92.5 | 23.2% | | | |
| 3# | φ10 × 81 | 0.78 | 436 | 6.5 | 264 | 60.5% | 20% | 85 | 85 | 19.4% | | | |
| 4# | φ14 × 86 | 1.54 | 432 | 6.45 | 229 | 60.3% | 26% | 59 | 92.5 | 21.0% | | | |
| 5# | φ13 × 81 | 1.33 | 410 | 6.1 | 205 | 68% | 20% | 56 | 67 | 16% | | | |
| 6# | φ9.8 × 124 | 0.76 | 567 | 8.45 | 227 | | | 115 | 147 | 26% | | | |

仍未全部充满,有部分区域仍无激光振荡。上述情况表明晶体中的暗点及位错应力场区均引起激光阈值升高。此晶体倍频转换效率 $\eta=23.2\%$,与1*晶体相比,两者长度相同,而2*晶体直径比1*晶体大6mm,但倍频效率都比1*晶体低很多。

(3) 3*晶体: 3*晶体与2*晶体中的缺陷相似,只是3*晶体的位错密度更高,涉及区域更大。激光性能测试结果亦与2*晶体相似,其差别是3*晶体周围不出激光的区域更多一些,并使近场光斑图变成“花瓣”状。晶体的退偏度大,方向性差,倍频转换效率低, $\eta=19.4\%$ 。

(4) 4*晶体: 此晶体中主要缺陷为位错。晶体中直径9mm范围内均属高位错密度区,而边缘除小部分区域外均属低位错密度区,这样可以更清晰地看到位错存在对晶体激光特性的影响。当输入能量为78.8J时,近场光斑图显示在晶体中有很大一部分区域不出现激光振荡,恰与晶体中的高位错密度区相对应。当输入能量增加到148J时,近场光斑图显示仍有较大区域不出现激光振荡(因中心区域位错密度很高)。晶体的退偏度大,方向性差(见表3)。其倍频转换效率也很低, $\eta=21\%$ 。

(5) 5*晶体: 测试结果表明此晶体中缀饰位错的存在对其激光特性的影响极为严重。当 $E_\lambda=78.8\text{J}$ 时,近场光斑形状最差,除有的区域不出现激光振荡外,其余部分也极其模糊,光密度分布极不均匀。 $E_\lambda=148\text{J}$ 时,激光振荡区虽有所增加,但仍有部分区域不出激光。晶体的倍频转换效率最低, $\eta=16\%$ 。

(6) 6*晶体中主要缺陷是小晶面。当 $E_\lambda=78.8\text{J}$ 时,近场光斑图形畸变严重,在斜方向形变尤为显著,如表3所示。当 $E_\lambda=148\text{J}$ 时晶体的激光振荡区虽有所增加,但光斑形状仍不变。晶体的方向性最差,0.5mrad内含能量为33%。晶体长度为124mm,是所有晶体中最长的一根,但倍频效率不高, $\eta=26\%$ 。

四、结 束 语

已知位错线的能量与柏格氏矢量 $(b)^2$ 成正比,对于YAG:Nd晶体来说,由于位错的柏格氏矢量大,则位错的能量亦大。单个位错的应力场引起的双折射像可以在低倍率显微镜下清晰地观察到;当位错密度达 $10^3/\text{cm}^2$ 以上时已引起较强的应力而有损于晶体的光学均匀性;当晶体棒中位错密度达 $10^5/\text{cm}^2$ 时,则在应力仪上出现黄绿色干涉,表明晶体内存在着很大的应力。光学测试结果表明:光通过晶体中的位错应力场区时发生波面畸变使干涉条纹增加,位错应力场的双折射效应使消光比下降。

激光性能测试结果表明:晶体中位错引起的光学不均匀和光散射也会影响激光输出特性。从较低输入能量下打出的激光近场光斑图看出:在位错应力场区因激光阈值升高而较难产生激光振荡;位错应力场区的双折射增加了晶体的退偏度。位错密度高的晶体其激光发散度增加,方向性下降,倍频效率亦下降。从2*、3*、4*晶体的测试数据中可清楚地看到位错影响晶体的激光性能。当晶体中存在着缀饰位错时,则位错引起的光学不均匀和杂质粒子的大量散射对晶体的激光特性影响尤为严重。

在上述测试中还可以看到其它缺陷对晶体光学性能和激光性能的影响。1*晶体因基本上无其它缺陷,且位错密度为 $10^2/\text{cm}^2$,其倍频转换效率高达31.2%,与器件所能达到的

理想倍频转换效率(约 35%)相差不多。因此, YAG:Nd 晶体中的宏观缺陷有损于激光特性, 应加避免。但晶体中虽无宏观缺陷, 但作为微观尺度的位错在晶体内达一定数量时也会引起晶体的光学不均匀, 并损害其激光特性。

感谢王腊妹、吴兆庆、孙占鳌同志在消光比及激光性能测试方面给予的热情帮助。

参 考 文 献

- [1] P. A. Arsenov; *Krystallografiya*, 1974, 9, No. 3, 257.
- [2] X. C. Балдасаров; *Кристаллография*, 1970, 15, No. 2, 334.
- [3] Shu Shiu-ying *et al.*, *J. Physique*, 1980, 41, No. 7 (Jul), C6-186.
- [4] W. L. Bond; *Phys. Rev.*, 1956, 101, No. 3 (1 Feb), 1211.
- [5] B. K. Tanner; *Phil. Mag.*, 1974, 29, No. 5 (May), 1081.
- [6] 邓佩珍, 张守都等; 《硅酸盐学报》1979, 7, No.3 (Sep). 183.

Influence of dislocation in YAG:Nd crystal on laser characteristics

DENG PEIZHEN QIAO JINGWEN AND QIAN ZHENYING

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 7 August 1981)

Abstract

The dislocation of distribution and density in six crystal rods were determined by birefringence topography and chemical etching. Their optical quality were also inspected by optical method. Laser measurement of output performances of these crystal were conducted in a Q-switched YAG laser device.

The experiment result is shown that the dislocations can form stress field causing strong birefringence when the dislocation density increases to considerable extent. As a result, light wavefront passing through the crystal is distorted and the interference fringes are increased. As well as extinction ratio in region of high dislocation density is also decreased. Therefore, the dislocation structural defect will also be origin of optical inhomogeneity in crystals.

By experimental results of laser performance of these crystal, it is pointed out that there are great influence of dislocation on laser output characteristics. From laser near-field patterns, the laser oscillation can not take place in the region of high dislocation density due to high laser threshold and the light is depolarized by birefringence effect. Because of high dislocation density, the laser divergence is increased and the frequency doubling efficiency is also decreased. The laser output performances changed more obviously when existing decorated dislocations in these crystals.