

# 不同激光波长对 KDP 晶体损伤的研究

李成富 张梅珍 郭聚平

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 测量了 KDP 晶体在 1.064 微米、0.532 微米和 0.355 微米波长上激光偏振方向与 KDP 晶体的光轴方向相平行和相垂直时激光损伤阈值。发现随着激光频率升高激光损伤阈值明显下降, 这一实验结果表明 KDP 晶体中激光损伤主要是多光子电离击穿起主要作用。

## Research on laser-induced damage in KDP crystals at different wavelengths

*Li Chengfu, Zhang Meizhen, Guo Juping*

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

**Abstract:** Laser-induced damage thresholds in KDP crystals at two polarization directions (i.e. parallel or perpendicular to the optical axis) have been measured at 1.06, 0.532 and 0.355  $\mu\text{m}$ . It is found that the damage threshold sharply decreases as laser frequency increases. The experimental result shows that laser-induced damage in KDP crystals is mainly due to multiphoton ionization.

### 一、引言

在强激光作用下透明介质激光损伤阈值是否与激光频率有关至今还是一个有争议的问题。一种看法认为激光损伤阈值与频率无关<sup>[1,2]</sup>, 另一种看法认为激光损伤阈值与激光频率有一定关系<sup>[3]</sup>。在实际应用中需要测量一些透明介质在不同频率的激光作用下的损伤阈值, 而且希望知道是什么样的物理过程在激光损伤中起主要作用。

我们在相同的实验条件下, 采用三种不

同激光波长对同一批 KDP 晶体进行激光损伤实验研究, 结果表明 KDP 晶体的损伤阈值与激光频率有关, 随着频率升高, 激光损伤阈值明显下降。

### 二、实验与结果

实验中采用的激光系统由  $\text{LiF}:\text{F}_2^{-1}$  调 Q 振荡器和三级致玻璃放大器组成, 激光输出脉宽为 15 毫微秒, 激光输出功率为 200 兆瓦。

收稿日期: 1984 年 1 月 23 日。

实验装置与文献[4]基本相同,不同之处是本实验采用 LiF 调 Q。提高了激光输出稳定性。在第一级和第二级放大器之间安放一空间滤波器改善了输出光束方向性和空间强度分布。

用三台 He-Ne 激光束准直光路,同时利用 He-Ne 激光束 (0.6328 微米) 通过被测样品观察光的前向小角度散射,判断损伤点的出现。KDP 样品尺寸为  $20 \times 20 \times 20$  毫米<sup>3</sup>,为了避免激光在样品上的积累效应,每次激光损伤实验都要轻微移动样品,每个样品要进行 30~40 次实验。

表 1 给出三种不同激光波长对 KDP 晶体的损伤阈值(激光偏振方向均平行于 KDP 晶体的光轴方向)。为了将 KDP 晶体激光损伤数据与钽玻璃激光损伤数据相比较,在表 2 中给出 N<sub>2100</sub> 玻璃损伤数据[4]。

表 3 给出入射激光偏振方向与 KDP 晶体光轴方向平行和垂直时的实验结果。图 1 给出电场强度与激光频率的关系曲线。

为了进一步验证用散射光观察损伤点的存在,我们用透射式显微镜观察损伤点的形状,并用测微目镜测量了损伤点的大小。发现在相同实验条件下,1.064 微米波长激光损伤点在 100 微米左右,0.532 微米波长激光损伤点在 50 微米左右,而 0.355 微米波长激光损伤点小于 10 微米,见图 2 所示照片。实验看出损伤点的大小与激光频率有明显的关

表 1 三种不同激光波长对 KDP 晶体损伤

波长(微米)	焦斑面积(厘米 <sup>2</sup> )	能量损伤阈值(焦耳/厘米 <sup>2</sup> )	功率损伤阈值(千兆瓦/厘米 <sup>2</sup> )	阈值击穿电压(10 <sup>6</sup> 伏/厘米)
1.0642	$10 \times 10^{-6}$	126	8.4	2.0
	$5.3 \times 10^{-6}$	155	10.3	2.2
0.532	$5 \times 10^{-6}$	29.0	1.93	0.98
	$2.6 \times 10^{-6}$	33.2	2.2	1.0
0.355	$3.1 \times 10^{-6}$	8.4	0.54	0.52
	$1.7 \times 10^{-6}$	10.4	0.69	0.58

表 2 1.064 微米激光对 N<sub>2100</sub> 玻璃和 KDP 晶体激光损伤比较

材 料	N <sub>2100</sub> 玻璃	KDP 晶体
焦斑面积 $\times 10^{-6}$ 厘米 <sup>2</sup>	13	10
能量损伤阈值 (焦耳/厘米 <sup>2</sup> )	460	120
功率损伤阈值 (千兆瓦/厘米 <sup>2</sup> )	23	8.4
阈值击穿电压 (10 <sup>6</sup> 伏/厘米 <sup>2</sup> )	3.4	2.0

表 3 入射光偏振方向与 KDP 晶体光轴方向平行和垂直时实验比较

偏振方向	1.064 微米激光波长, 光斑面积( $\times 10^{-6}$ 厘米 <sup>2</sup> )	
	入射光偏振方向与 KDP 晶体光轴方向平行	入射光偏振方向与 KDP 晶体光轴方向垂直
能量损伤阈值 (焦耳/厘米 <sup>2</sup> )	126	8.2
功率损伤阈值 (千兆瓦/厘米 <sup>2</sup> )	8.4	5.5
击穿阈值电压 (10 <sup>6</sup> 伏/厘米)	2.0	1.7

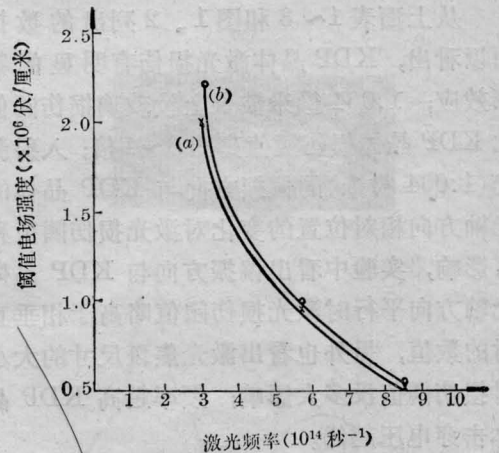
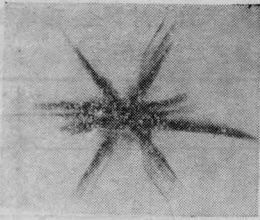
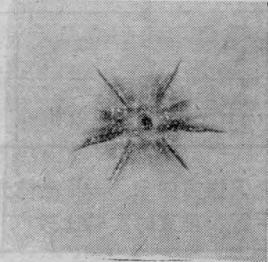


图 1 电场强度与频率的关系曲线  
(a)  $f=18$  厘米; (b)  $f=12$  厘米

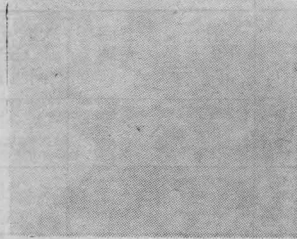
系,即随着激光频率升高损伤点尺寸变小。这对我们进一步解释透明介质激光损伤机理是有益的。



(a) 1.064 微米激光损伤点大约为 100 微米



(b) 0.532 微米激光损伤点大约为 50 微米



(c) 0.355 微米激光损伤点小于 10 微米

图 2 大视场显微镜照片( $\times 50$ )

从上面表 1~3 和图 1、2 列出的数据可以看出, KDP 晶体激光损伤有明显的频率效应; 1.064 微米波长上铍玻璃损伤阈值比 KDP 晶体损伤阈值高约 3~4 倍; 入射激光(1.064 微米)的偏振方向与 KDP 晶体的光轴方向相对位置的变化对激光损伤阈值稍有影响, 实验中看出偏振方向与 KDP 晶体光轴方向平行时激光损伤阈值略高于相垂直时的数值, 另外也看出激光焦斑尺寸的大小对损伤阈值没多大影响; 频率越高 KDP 晶体击穿电压越低。

### 三、讨 论

当一束强激光入射到透明介质时, 由于在材料内部产生稠密的等离子体, 而这些等离子体对激光有很强的吸收, 并通过热效应

使晶体的晶格温度迅速上升, 以致于在局部产生液化甚至汽化, 因而产生很大的热应力, 使晶体结构发生不可逆变化, 导致透明介质永久性损伤。

目前, 人们认为激光引起透明介质损伤的理论模型主要有电子雪崩<sup>[5]</sup>、多光子电离<sup>[6]</sup>和组合模型<sup>[7]</sup>等。电子雪崩型得到的结果是: 损伤阈值随频率升高而稍有增大, 在较长波长上损伤阈值与频率没有明显关系。多光子电离型被认为是损伤阈值随着频率升高而明显降低。从上述二种模型出发计算 NaCl 等晶体材料在不同波长上的激光损伤阈值, 图 3 列出了理论数据和实验结果<sup>[5]</sup>。由图可见, 实验结果与多光子电离理论得出的数据相一致。据此我们认为上述两种材料激光损伤主要是多光子电离起主导作用。

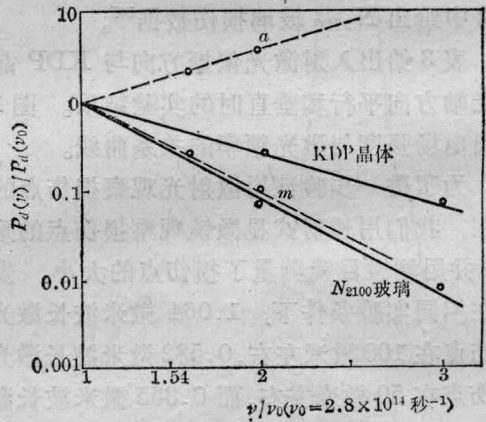


图 3 激光损伤实验与理论结果比较

$\alpha$ —电子雪崩;  $m$ —多光子电离

### 参 考 文 献

- [1] N. Blombergen; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1974, **QE-10**, No. 3, 375.
- [2] M. J. Soileau, M. Bass; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, 370.
- [3] W. Lee Smith; *Phys. Rev. B.*, 1977, **15**, 4039.
- [4] 邓和, 李成富; 《光学学报》, 1983, **3**, No. 8, 766.
- [5] A. Vaidynathan et al.; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1980, **QE-16**, No. 1, 89.
- [6] A. Schmid et al.; *Phys. Rev.*, 1977, **B16**, No. 10, 4569.
- [7] A. V. Vinogradov et al.; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1977, **7**, 650.