

# 若干玻璃在不同波长上的激光损伤

邓 和 李成富

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

本文测量了某些硅酸盐和磷酸盐玻璃在钕激光器的基波, 二次谐波和三次谐波波长上的激光损伤阈值. 发现随着激光波长变短, 损伤阈值则明显下降. 这一实验结果表明, 在这些光学材料中的激光损伤主要是多光子电离击穿机理起主导作用.

## 一、实 验

本文采用的激光系统由一个铈酸锂晶体电光调Q的单横模 YAG:Nd<sup>3+</sup> 激光振荡器和三级钕玻璃激光放大器组成. 输出激光的脉宽为 20 ns, 最大输出功率为 100 MW.

观察和测量激光损伤的实验装置如图 1 所示. 图中  $K_1$ 、 $K_2$  是两块第二类倍频 KDP 晶体 ( $\theta = 60^\circ$ ,  $\varphi = 0$ ).  $K_2$  与  $K_1$  正交放置. 在这两块 KDP 晶体后面, 可以获得三个不同波长的光束: 基波  $1.064 \mu\text{m}$ , 二次谐波  $0.532 \mu\text{m}$  和三次谐波  $0.355 \mu\text{m}$ . 用一个色散棱镜  $P$  将这三束光分开, 并分别用焦距相等的三个消象差透镜  $L_1$ 、 $L_2$  和  $L_3$  来使它们聚焦至同一种样品  $S_1$ 、 $S_2$  和  $S_3$  的中心, 用滤光片  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$  来增减激光功率, 以获得多次试验的平均损伤阈值<sup>[4]</sup>.  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$  为灵敏卡计, 用来检测各自的光能量.  $HN_1$ 、 $HN_2$  和  $HN_3$  是三台氦氖激光器, 用来准直调试光路, 并用它的光散射来判断微小损伤的产生.

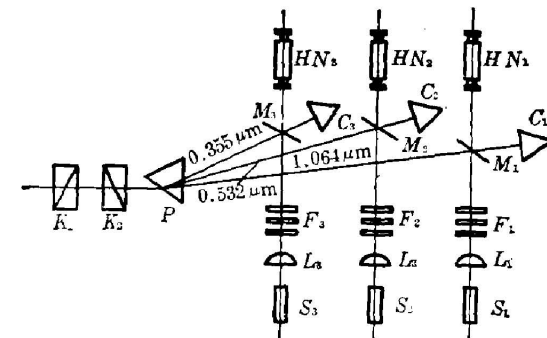


图 1 测量激光损伤的实验装置

Fig. 1 The experimental arrangement for measurement of laser-damage

激光功率, 以获得多次试验的平均损伤阈值<sup>[4]</sup>.  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$  为灵敏卡计, 用来检测各自的光能量.  $HN_1$ 、 $HN_2$  和  $HN_3$  是三台氦氖激光器, 用来准直调试光路, 并用它的光散射来判断微小损伤的产生.

试验样品的尺寸为  $10 \times 10 \times 30 \text{ mm}^3$ . 为了避免积累效应, 每次损伤试验都是对一个新的样品区进行, 而不管它是否发生了损坏. 对每一种样品大约进行 20~30 次损伤试验, 并取其损伤几率为 50% 的交迭区中点为损伤阈值. 激光焦斑的大小根据高斯光束的传输公式由它的光腰尺寸求得. 这些方法的细节可参看文献[4]. 本文测量了硅酸盐激光玻璃  $K_9$ , 磷酸盐玻璃 N2100 和掺钕硅酸盐激光玻璃 NO312 的激光损伤阈值. 实验结果见表 1, 表中的损伤阈值大约有  $\pm 20\%$  的实验误差. 从实验结果可以看出, 这几种玻璃的激光损伤

收稿日期: 1983年12月20日

表 1 几种玻璃在不同波长上的损伤阈值

Table 1 The experimental results of laser-damage in several glasses at different wavelengths

玻 璃	焦斑面积 ( $\text{cm}^2$ )	$13.3 \times 10^{-6}$			$5.9 \times 10^{-6}$			$2.66 \times 10^{-6}$		
	激光波长 ( $\mu\text{m}$ )	1.064	0.532	0.355	1.064	0.532	0.355	1.064	0.532	0.355
K <sub>9</sub>	能量损伤阈值 ( $10^2 \text{ J/cm}^2$ )	4.8	0.58	0.03	6.4	0.32	0.02	6.4	0.45	0.02
	功率损伤阈值 ( $10^9 \text{ W/cm}^2$ )	24.0	2.9	0.15	32.0	1.6	0.10	32.0	2.3	0.10
N2100	能量损伤阈值 ( $10^2 \text{ J/cm}^2$ )	4.6	0.3	0.04	5.8	0.59	0.07	10.0	0.46	0.04
	功率损伤阈值 ( $10^9 \text{ W/cm}^2$ )	23.0	1.50	0.20	29.0	2.95	0.35	50.0	2.30	0.20
N0312	能量损伤阈值 ( $10^2 \text{ J/cm}^2$ )	5.0	0.44	0.02	9.0	0.55	0.02	4.3	0.6	0.02
	功率损伤阈值 ( $10^9 \text{ W/cm}^2$ )	25.0	2.20	0.10	45.0	2.75	0.10	21.5	3.0	0.10

阈值与波长有非常明显的关系, 波长减少一半(频率增加一倍)时, 其激光损伤阈值将下降一个数量级左右。但是, 随着焦斑尺寸尺的减小, 激光损伤阈值没有明显的规律性变化。

## 二、讨 论

关于光学材料激光损伤机理的研究, 十几年来虽然已发表了许多研究报告, 取得了不少进展, 但总的来看, 仍然很不完善, 有许多问题尚待进一步解决。目前比较公认的激光损伤机理有如下二个:

1. 电子雪崩模型<sup>[5]</sup>。
2. 多光子电离模型<sup>[6]</sup>。

无论是那一个模型, 理论上认为自由电子密度  $n_e$  达到  $10^{18}/\text{cm}^3$  时即可发生介质的电离击穿。从上述两个理论模型出发, A. Vaidyanathan 等人计算了 NaCl 等晶体材料在不同波长上的激光损伤阈值<sup>[5]</sup>, 他们认为电子雪崩模型的结果是激光损伤阈值随波长的变短稍有增大, 而多光子电离模型则为激光损伤阈值随波长的变短而明显下降。图 2 中的虚线是根据文献[5]的计算数据绘制的理论结果, 实线是在上面提到的几种玻璃介质中获得的实验结果。实验结果与理论结果的比较表明, 上述光学材料的激光损伤是多光子电离机理起了主导作用。

在  $\pm 12\%$  的误差范围内, 图 2 中的所有实验结果和理论结果, 都可以用如下的经验公式

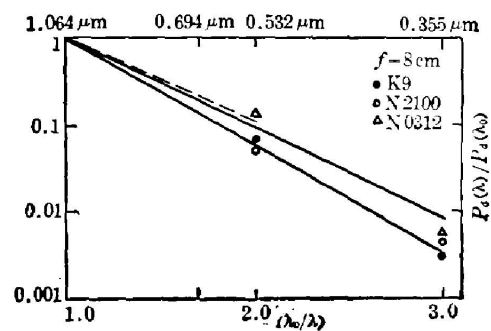


图 2 激光损伤实验与理论结果  
Fig. 2 The comparison between experimental and theoretical results of laser-damage

描述:

$$\ln \left[ \frac{P_d(\lambda)}{P_d(\lambda_0)} \right] = 2.55 \left( 1 - \frac{\lambda_0}{\lambda} \right),$$

其中  $P_d(\lambda)$  是激光损伤阈值,  $\lambda_0 = 1.064 \mu\text{m}$ 。也就是说, 在本文所涉及的波长范围内, 不同波长上的相对激光损伤阈值的对数值与波长的倒数成直线关系。用另外两个不同焦距的透镜获得的实验结果也有相同的规律, 同样可以用经验公式来描述。

目前对许多实用光学材料的能带结构, 等效电子质量、电子-声子弛豫时间等参量知道得还很少, 所以要计算每一种激光损伤机理的绝对损伤阈值是很困难的。一个可取的方法是考察各种光学材料的激光损伤阈值随可控制实验条件(比如激光波长、脉宽等等)变化的规律, 从而来判断那一个机理在实际的激光损伤过程中起主导作用。本文报导的结果将使多光子电离在激光损伤中的作用更多地受到关注和深入研究。

郭聚平同志协助我们进行实验工作, 在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] D. M. Fradin, M. Bass; *Appl. Phys. Lett.*, 1973, **22**, No. 5 (Mar), 206.
- [2] A. A. Manenkov; *The Laser Induced Damage in Optical Materials*, (Nat. Bur. Stand (U. S). Spec. Publ. 509, 1977), 455.
- [3] M. J. Soileau, M. Bass; *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**, No. 5 (Sep), 370.
- [4] 邓和等; *激光*, 1979, **6**, No. 1, 13.
- [5] A. Vaidyanathan, T. W. Walker *et al.*; *IEEE J. Q. E.*, 1980, **QE-16**, No. 1 (Jan), 89.
- [6] A. Schmid, P. Kelly *et al.*; *Phys. Rev.*, 1977, **B16**, No. 10 (Nov), 4569.

## Laser induced damage in some glasses at different wavelengths

DENG HE AND LI CHENGFU

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

(Received 20 December 1982)

### Abstract

The laser induced damage thresholds in some silicate and phosphate glasses at the fundamental, second harmonic and third harmonic of neodymium laser wavelength have been measured. It is found that the damage thresholds sharply decrease as the laser wavelength shortens. This experimental result shows that the laser induced damage in these optical materials is dominated by multiphoton ionization mechanism.