

光学材料的激光感生破坏与 脉冲宽度关系的研究

张梅珍 李成富

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

用脉冲宽度为13~70 ns的脉冲光束,对铍玻璃和磷酸二氢钾晶体进行了激光损伤试验。结果表明透明介质的激光感生破坏阈值电场强度与脉冲宽度的四次方根成反比。

一、引 言

在激光感生破坏方面,雪崩电离和多光子吸收,一般认为是两个主要机理^[1]。按照这两个模型,激光束的脉冲宽度与破坏阈值的电场强度之间的关系分别为 $E_{th} \sim t^{-0.085}$ (雪崩电离型)及 $E_{th} \sim t^{-0.155}$ (多光子吸收型)。而这些理论的关系与所得到的实验结果相差甚大。因此, J. R. Bettis 等人^[2]提出了一种等离子体吸收加热的模型。按照他们的模型破坏阈值场强与脉冲宽度的关系应为 $E_{th} \sim t^{-0.25}$ 。

在光学材料的激光感生破坏的理论及实验研究方面,我们已进行过不少工作,但对激光感生破坏与脉冲宽度关系的研究,尚属初次。本文的目的是用不同脉宽的激光脉冲研究铍玻璃及磷酸二氢钾晶体(KDP)的损伤,为大功率器件的设计及研究和光学材料的研制提供切实可靠的数据和研究结果。同时,为进一步研究光学材料激光感生破坏的机理提供依据。

二、实验方法与结果

实验中,采用了1.06 μm 、不同脉冲宽度(13 ns, 27 ns, 40 ns, 48 ns, 70 ns)的单横模激光束,对铍玻璃及KDP晶体进行了激光感生损伤实验。实验装置的安排如图1所示。用非球面透镜将激光束聚焦到样品中部,进行破坏试验。

实验结果列于表1~2中。图2给出了脉冲宽度与破坏阈值场强的关系曲线。

从表1~2和图2中可以看出,在不同脉冲宽度的激光束作用下,对同一种材料的一定激光频率,一定的光束尺寸,则材料的损伤阈值电场强度随脉宽的变长而降低。

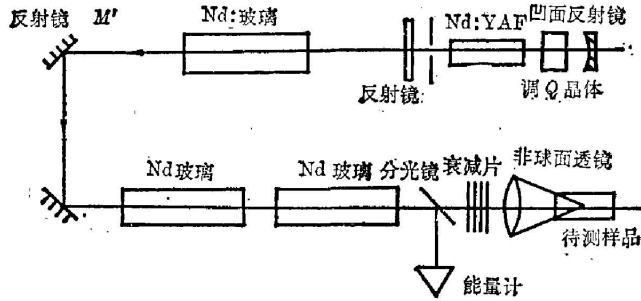


图 1 激光感生破坏实验装置图

Fig. 1 Setup for laser induced damage experiment

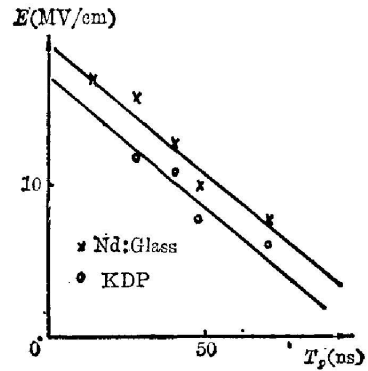


图 2 钕玻璃与 KDP 晶体的损伤阈值场强与脉冲宽度的关系

Fig. 2 Field threshold versus pulse duration for Nd: glass and KOP crystal

表 1 钕玻璃的损伤阈值

Table 1 Threshold of damage in Nd: glass

脉 宽 $\tau/(\text{ns})$	光束光腰 $\omega_0 \text{ cm} \times 10^{-4}$	光斑面积 $S \times 10^{-7} \text{ cm}^2$	破 坏 损 值			
			能 量 mJ	能量密度 $\times 10^2 \text{ J/cm}^2$	功率密度 $\times 10^9 \text{ W/cm}^2$	电场强度 MV/cm
13	4.83	7.33	5.48	75.1	577	16.9
27	4.83	7.33	10.05	137.1	508	15.8
40	4.83	7.33	8.95	122.1	305	12.3
48	4.83	7.33	6.78	92.5	193	9.8
70	4.83	7.33	4.65	63.4	90.6	6.7

表 2 KDP 晶体的损伤阈值

Table 2 Threshold of damage in KDP crystal

脉 宽 $\tau/(\text{ns})$	光束光腰 $\omega_0 \times 10^{-4} \text{ cm}$	光斑面积 $S \times 10^{-7} \text{ cm}^2$	破 坏 阈 值			
			能 量 mJ	能量密度 $\times 10^2 \text{ J/cm}^2$	功率密度 $\times 10^9 \text{ W/cm}^2$	电场强度 MV/cm
13	4.83	7.33	1.58	21.6	166	9.06
27	4.83	7.33	5.50	75.0	278	11.7
40	4.83	7.33	6.40	87.3	219	10.4
48	4.83	7.33	3.78	51.6	107	7.3
70	4.83	7.33	3.83	52.3	74.6	6.1

三、结果分析

为了获得损伤阈值场强与脉冲宽度的定量关系。根据图 2 所得的破坏阈值场强与脉宽

的曲线关系,我们假定: $E_{th} = Ct_p^{-\alpha}$, 即: $\ln E_{th} = \ln C - \alpha \ln t_p$ 。用我们的实验结果代入上面的对数关系式可得曲线 $\ln E_{th} \sim \ln t_p$ (见图3)。从该曲线可以求得斜率 α 。

对钕玻璃: $\alpha = 0.256$,

即 $E_{th} \sim t_p^{-0.256}$ 。

对 KDP 晶体:

$\alpha = 0.248$,

即 $E_{th} \sim t_p^{-0.248}$ 。

按照[2],在一定的激光频率一定的光束尺寸的激光束作用下,同种材料的激光感生破坏的阈值场强与激光束的脉冲宽度的四次方根成反比 ($E_{th} \sim t_p^{-0.25}$),或者说损伤阈值场强与脉冲宽度的四次方根的乘积为一常数。把我们的数据代入此理论公式,其结果列于表3。从表3可以看出,我们的实验结果与理论分析基本是一致的。误差为17~25%。

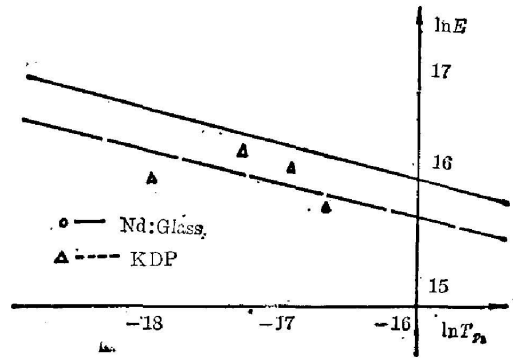


图3 钕玻璃和 KDP 晶体的损伤阈值与脉冲宽度的对数关系

Fig. 3 Natural logarithm of threshold field versus pulse duration for Nd: glass and KDP crystal

表3 钕玻璃和 KDP 晶体的理论公式计算值

Table 3 Calculated threshold values of damages in Nd: glass and KDP crystal

τ (ns)		13	27	40	48	70	平均值
$E\tau^{1/4}$ ($\times 10^5$)	Nd:glass	1.804	2.036	1.742	1.450	1.094	1.76 ± 0.17
	KDP	0.967	1.507	1.472	1.079	0.993	1.20 ± 0.23

四、结 论

从以上的实验及分析,可得出结论:激光感生破坏的阈值场强与激光脉冲宽度的四次方根成反比。我们认为,这一结论的获得为高功率激光束的设计和研,提供了一个可靠的依据。并且也说明了自由等离子体吸收加热也是引起材料损伤的机理之一。

由于在实验中,脉冲宽度的范围还不够宽,进一步的更精确的实验与更广泛的频率范围内的工作将可以得出更严密的结果。

郭聚平同志也参加了此实验工作。长春光机学院聂瑞娟同学在毕业实习期间也参加了此项工作。对此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] A. Vaidyanathau et al.; *IEEE, J. Q. E.*, 1980, **QE-16**, No. 1 (Jan), 89.
- [2] J. R. Bettis et al.; "Laser Induced Damage in Optical Materials" (A. J. Glass and A. H. Guenther, Editors, NBS Spec. Pub. 464, 1976), 338.

Study of pulse duration dependence of laser-induced damages in optical materials

ZHANG MEIZHEN AND LI CHENGFU

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

(Received 12 October 1984; revised 17 January 1985)

Abstract

Laser induced damages in Nd: glass and KDP crystal for pulse duration from 13 to 70 ns have been studied.

The results indicate that the electric-field threshold for the laser induced damages in transparent dielectrics is inversely proportional to the fourth root of the pulse duration.

更正

本刊 1985, 5, No. 1 (Jan), 76. 公式(3)应为:

$$V_2 = V_0 r / Z_0 + R + r$$