

KTP 晶体能量损伤阈值的实验研究*

王长山 张 军 许凤明 邵中兴

(中国科学院长春光机所 长春 130022)

提要 给出了 KTP 晶体在 10 ns~ 10 ms 不同脉冲宽度的 Nd·YAG 激光作用下的能量损伤阈值。参考前人的工作,得到了 KTP 晶体在 1 ns 到 CW 激光作用下的能量损伤阈值曲线。其结果为在各种不同脉宽下使用 KTP 晶体获得最佳非线性转换而可能实现的功率密度提供了参考依据。

关键词 KTP 晶体, 能量损伤阈值, 最佳非线性转换

1 引 言

KTP 晶体是目前使用最普遍的非线性晶体材料之一^[1,2]。特别是倍频 Nd·YAG 激光器获得绿光输出, KTP 晶体几乎是最佳倍频材料^[3~5]。为了获得最佳非线性转换效率,在晶体材料上聚焦非常高的功率密度是非常有效的手段。限制获得高功率密度的主要因素之一是晶体材料的损伤阈值。损伤阈值不仅与材料生长方式(“水热法”, Hydrothermal-grown 和“助溶剂法”, Flux-grown)有关,而且与生长质量(材料内部缺陷等)有关。在纳秒级脉冲宽度的激光作用下,已经测得^[1,6]水热法生长的 KTP 晶体损伤阈值 $< 1 \text{ GW/cm}^2$,一般地约为 500 MW/cm^2 ;助溶剂法生长^[4]的为几个至十几个 GW/cm^2 。实际上,晶体材料的损伤阈值除与本身性质有关外还与作用于材料上的激光持续时间有关。或者说,不同脉冲宽度的激光作用到晶体上,其损伤阈值是不同的。

随着 Nd·YAG 激光技术应用的发展, KTP 晶体经常可能被应用到各种脉冲宽度的激光系统中。例如应用在声光调制的连续波或声光调制的长脉冲激光系统中。为了获得最佳非线性转换,提出了各种激光脉冲宽度下基波光聚焦限度问题,也即 KTP 晶体的损伤阈值问题。目前,除纳秒级脉冲宽度下的 KTP 损伤阈值已报道较多外,尚未见其他脉冲宽度下的 KTP 晶体损伤阈值的详细报道。本文用 10 ns~ 10 ms 间各种脉冲宽度的 Nd·YAG 激光器对水热法生长的 KTP 晶体进行了损伤阈值实验,获得了 KTP 晶体的损伤阈值实验数据。由于人们在实际工作中考虑脉冲系统的激光能量更方便些,因此,为了使用和叙述方便,本文称本实验结果为能量损伤阈值。

2 实验条件

为获得 10 ns~ 10 ms 间不同脉宽的 Nd·YAG 激光,实验中使用了两种不同类型的激光

* 国家自然科学基金(编号: 69637040)资助项目。

收稿日期: 1999-05-19; 收到修改稿日期: 1999-07-02

器。一种是电光调 Q Nd·YAG 激光器, 调 Q 工作时输出脉宽 10 ns 左右, 不调 Q 时输出激光脉宽 100 μ s 左右。另一种是声光调 Q 的毫秒级长脉冲 Nd·YAG 激光器, 脉宽为 1~ 10 ms 可调。本实验先后使用了两个声光调制器, 其中一个的调制脉宽为 100 ns, 另一个为 1 μ s。这样, 从 10 ns~ 10 ms 间, 几乎每一个数量级上都有一个实验点。

Nd·YAG 激光器输出的 1.06 μ m 脉冲激光用适当焦距的透镜聚焦到 KTP 晶体的前表面上。入射到晶体上的激光能量是在聚焦透镜后用激光能量计(LPE-1B 型)经多次测量然后取平均值得到的。晶体材料的损伤阈值不仅与入射激光能量有关, 而且与入射光的光学质量和光束腰半径紧密相关。入射激光束的光学质量是经透镜发散后打在曝光的印相纸上检查的。本实验使用的激光横模为准 TEM₀₀ 模。入射到晶体上的激光束腰半径测量的准确性将以平方的关系影响实验结果的准确性。本实验采用微移刀口横切光束测量光束半径的经验方法测量聚焦后的束腰半径。具体做法如下: 将一锐边刀口固定在微移装置上, 置刀口于光束边缘但尚未接触光束, 这时用激光能量计测量并记下全光束能量。然后, 旋动测微螺杆垂直推进刀口切割光束, 记下能量被刀口挡掉 1/3 处的测微螺杆上的刻度 S_1 。继续推进刀口再记下能量被挡掉 2/3 处的测微螺杆上的刻度 S_2 。两个刻度之差乘以系数 1.91 即为被测光束之束腰直径 w , 即 $w = (S_1 - S_2) \times 1.91$ 。经比较计算与模拟实验测量结果, 证明这个办法的测量误差约小于 10%。模拟实验装置如下: 两膜一棒组成一个短腔 Nd·YAG 激光器, 两个腔膜片是平面(曲率半径无穷大)的, 小能量抽运较细的激光棒。激光输出光束经长焦距透镜聚焦。

接近 KTP 晶体损伤阈值时的损伤发生在晶体表面。晶体表面损伤表现为白色小点。需要注意的是如果表面镀膜被损伤, 表现为黑色小点。本实验确定损伤的发生是以 100 W 白炽灯下十倍放大镜刚刚能观察到白色小点为判据。

3 实验结果

表 1 列出了 10 ns(10^{-2} μ s) ~ 10 ms(10^4 μ s) 间各实验点的入射激光能量、经透镜聚焦到 KTP 晶体上的光斑直径及能量损伤阈值。为方便读者, 1 ns 和 CW 激光对 KTP 晶体的损伤阈值也一并列入表 1 中。

表 1 1 ns 到 CW 间各种不同脉冲宽度下的入射到 KTP 晶体上的激光能量、经透镜聚焦到晶体上的光斑直径及能量损坏阈值实验数据

Table 1 Experimental data of the energy damage threshold for KTP crystal at various pulse width of Nd·YAG laser from 1 ns to CW

Pulse width/ μ s	Incident energy/mJ	Beam waist/mm	EDT/ $J \cdot cm^{-2}$	Remarks
10^{-3}			6	Ref. [7]
10^{-2}	40	0.95	6	This work
10^{-1}	64	0.95	9	This work
1	18	0.19	60	This work
10^2	148	0.3	210	This work
10^3	294	0.2	950	This work
10^4	2750	0.27	4700	This work
10^6 (CW)			510000	Ref. [6]

根据表 1 所列数据, 图 1 绘出了能量损伤阈值作为脉宽函数的曲线。图中横坐标表示时间, 单位为 s。纵坐标表示能量损伤阈值, 单位为 J/cm^2 。坐标刻度均是以 10 为底数的对数值。

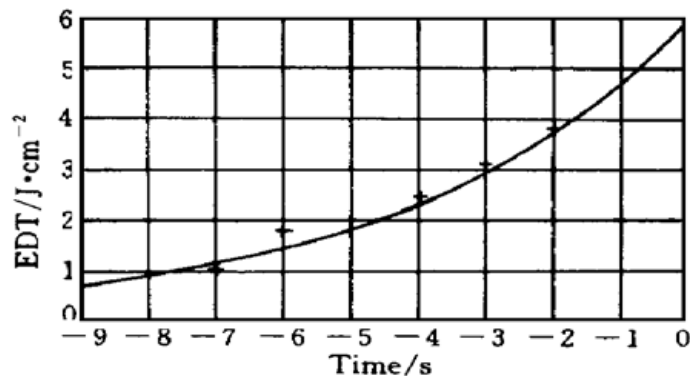


图 1 从 1 ns 到 CW 间各种不同脉冲宽度下的 KTP 晶体的能量损伤阈值作为脉宽函数的曲线

Fig. 1 Energy damage threshold (EDT) versus laser pulse widths from 1 ns to CW

本实验结果与其他作者的结果符合得比较好。例如, 与文献[5]相比较。后者的工作是连续波声光调 Q 腔内 KTP 晶体倍频 Nd·YAG 激光系统。该系统经声光调 Q 后产生的尖脉冲宽度为 200 ns, 每个尖脉冲能量为 3.3 mJ, 当聚焦在 KTP 晶体上的光束半径为 0.01 cm 时, 能量密度为 $11 \text{ J}/\text{cm}^2$ 。晶体刚好处于损伤阈值(intermittent surface damage)附近。这与图 1 上查得的 200 ns 处的损伤阈值 $10 \text{ J}/\text{cm}^2$ 吻合得比较好。与文献[5]类似, 文献[6]的工作也是连续波声光调 Q 腔内 KTP 晶体倍频 Nd·YAG 激光系统, 虽然工作条件略有不同, 如尖脉冲宽度 250 ns, 聚焦光束直径 0.05 cm 等, 但其 KTP 晶体发生损伤的能量损伤阈值估计也在 $10 \text{ J}/\text{cm}^2$ 左右。

4 讨 论

众所周知, 由于非线性光学转换效率与基波光功率密度的平方成正比, 所以, 为获得比较高的转换效率, 非线性光学材料都应在尽量高的基波光功率密度下工作。限制高功率密度的是材料的损伤阈值。作用于晶体材料的激光脉宽不同, 损伤阈值则不同。脉宽较窄时, 功率损伤阈值比较高, 能量损伤阈值比较低。反之, 当脉宽较宽时, 功率损伤阈值比较低, 能量损伤阈值比较高。如果基波光是由尖脉冲组成的长脉冲包络, 则既要考虑长脉冲引起的功率损伤也要考虑尖脉冲引起的能量损伤。例如能量 10 J, 脉宽 10 ms 的长脉冲激光, 长脉冲中包含 200 个脉宽 100 ns 的尖脉冲。作用在晶体上的光束半径为 0.5 mm 时, 虽然长脉冲的能量密度为 $1.3 \times 10^3 \text{ J}/\text{cm}^2$, 低于从图 1 上查得的 10 ms 处的能量损伤阈值 $4.8 \times 10^3 \text{ J}/\text{cm}^2$, 但是其尖脉冲能量密度已达到 $6.4 \text{ J}/\text{cm}^2$, 接近或超过 100 ns 处的损伤阈值, 再考虑到尖脉冲的高重复频率, 增加了热损伤的可能性, 所以应适当增大焦点半径。

致谢 作者感谢山东大学晶体研究所的孙连科、徐炳超等老师提供了部分实验晶体并给予了许多的有益的启发。感谢中国科学院长春光机所光谱技术公司李殿军老师和产品部全体同志在实验过程中给予的大力协助。

参 考 文 献

- 1 J. D. Bierlein. Potassium titanyl phosphate: Properties and new applications. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1989, **6**: 622~ 633
- 2 R. F. Belt, G. Gashurov, Y. S. Liu. KTP as a harmonic generator for Nd :YAG lasers. *Laser Focus/Electro-Optics*, 1985, (10): 110~ 118
- 3 Y. S. Liu, D. Dentz, R. Belt. High-average-power intracavity second harmonic generation using KTiOPO₄ in an acousto-optically Q-switched Nd :YAG laser oscillator at 5 kHz. *Opt. Lett.*, 1984, **9**(3): 76~ 78
- 4 T. Y. Fan, C. E. Huang, B. Q. Hu. Second harmonic generation and accurate index of refraction measurements in flux-grown KTiOPO₄. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(12): 2390~ 2394
- 5 P. E. Perkins, T. S. Fahlen. 20-W average-power KTP intracavity-doubled Nd :YAG laser. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1987, **4**(7): 1066~ 1071
- 6 Huang Chao'en, Han Pengdi, Chen Dengjin *et al.*. Nd :YAG laser of high average power output with KTP as intracavity doubler. *J. Artificial Crystals* (人工晶体学报), 1987, **16**(3): 206~ 211 (in Chinese)

Experimental Measurements of the Energy Damage Threshold of the KTP Crystals

Wang Changshan Zhang Jun Xu Fengming Shao Zhongxing

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract In this paper, the energy damage threshold (EDT) at various pulse widths from 10 ns to 10 ms for the KTP crystals by focusing Nd :YAG lasers with different spot sizes on the crystals was provided. With the help of previous data obtained by the other authors, the curves of the EDT from 1 ns to CW for the KTP are given. These results are useful for doubling Nd :YAG/KTP lasers in optimum nonlinear conversion at various pulse width.

Key words KTP, energy damage threshold, optimum nonlinear conversion