

LN 晶体的激光损伤研究

孙 旻 李成富 李仲伉

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

测量了 LN 晶体的表面和体损伤阈值, 以及重复频率脉冲的积累效应. 研究了晶体中的非线性吸收过程. 分析了损伤机理, 发现在表面和体内都会发生多光子吸收, 并且是引起晶体破坏的根源. 造成宏观破坏的原因在体内是应力炸裂, 在表面是热烧蚀热熔化和等离子体喷射.

关键词 LN 晶体, 激光损伤, 非线性吸收.

1 引 言

多年来, 国内外学者已做了大量关于激光辐照引起光学材料的损伤的研究工作. 由于各种材料的性质、制备条件、加工条件、成份和结构等的差别, 使得激光辐照造成的损伤情况也各不相同, 而且激光与材料的相互作用牵涉到光热作用, 光化学作用、光电过程、非线性光学等各个方面, 这就使得损伤机理的研究特别困难. 另外激光损伤往往发生在 ns 甚或 ps 级的瞬时时间内, 而损伤斑点又常常只有毫米或微米量级, 这更加深了机理分析的难度. 目前流行的雪崩离子化和多光子电离模型都还不够完善, 还需要更多的工作去进一步发展这些理论^[1~5].

本文测量了 LN 晶体的表面和体损伤阈值, 并研究了重复频率脉冲的积累效应造成的损伤情况. 还通过测量 LN 晶体的透过光强来研究晶体的吸收特性, 得到了一些有益的结果. 这些结果对于进一步理解晶体的激光损伤过程和损伤机制, 以及改善 LN 晶体和其它非线性材料的制备与应用, 都有一定的指导作用.

2 理论分析

不考虑非线性效应时, 当光束通过长度为 z 的一段介质后, 有

$$\frac{dI}{dz} = -\alpha I. \quad (1)$$

设样品厚度为 d , 则 (1) 式的解为

$$I_T = I_0 e^{-\alpha d}. \quad (2)$$

其中 I_0 为入射光强, α 为吸收系数. 考虑非线性吸收, (1) 式应改写为

$$\frac{dI}{dz} = -\alpha I - \beta I^2 \quad (3)$$

β 为非线性吸收系数. 由于 β 的值很小, 当光强较弱时, 只有线性吸收, α 是一个与光强无关的常数. 由 (2) 式可知, I_T 与 I_0 在直角坐标系中的关系应为一曲线, 直线的斜率为 $e^{-\alpha d}$, 即为透射率 T . 当光强增大时, 介质中的非线性吸收逐渐增强, (3) 式中的第二项不能再被忽略, $I_T \sim I_0$. 不再是线性关系, 曲线将发生弯曲. 此时透射光强表示为

$$I = I_0 e^{-\alpha d} / [1 + \beta/\alpha(1 - e^{-\alpha d})I_0]. \quad (4)$$

3 实验和结果

用调 Q Nd:YAG 激光器作为辐照光源, 输出为 10 ns, TEM₀₀ 横的 1.06 μm 激光脉冲. 实验装置如图 1. 通过改变激光电源电压和衰减片来得到不同能量的激光束对样品表面和体内

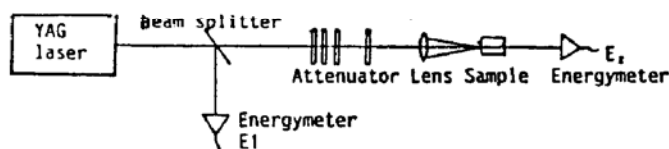


Fig. 1 Experimental setup of laser damage

分别打靶. 用一倾斜放置的读数显微镜观察判定损伤与否, 焦斑用刀口扫描法测量, 能量计 E_1 、 E_2 分别用来监测入射激光束的能量和透过样品后的能量. 实验发现, 当样品中发生损伤时, 透射光强会大幅下降. 但这个下降不能切实反映非线性吸收的增

加, 而是由于损伤点的散射和等离子体屏蔽所造成的. 本文中所有的数据全部是样品未破坏时的测量值.

实验所用的样品为 LN (LiNbO_3) 单晶, 晶体生长时经过特殊工艺处理以减少缺陷和杂质, 晶体表面用机械和化学方法精细加工, 并镀上一层 1.06 μm 增透膜. 样品沿 c 面切割, 实验时激光束也是沿 c 面方向入射. 损伤阈值定义为损伤几率为 50% 时的能量密度.

3.1 单脉冲损伤和透射率测量

单脉冲损伤的测量, 每点辐照一次, 不管是否损伤都换一个位置继续实验. 结果如图 2 所示, 测得的 LN 晶体表面和体损伤阈值分别为 22 J/cm^2 和 12 J/cm^2 . 图 3(a) 和 (b) 分别是表面和体损伤实验时的透射率曲线. 由图中可见, 当入射激光能量低于损伤阈值时, 晶体中的吸收基本是线性的; 而当产生非线性吸收时, 入射光强一般已超过损伤阈值, 这时晶体已可能损伤. 这说明非线性吸收是引起破坏的根源所在. 当入射光能密度达到一定数值时, 就会产生非线性吸收, 这与激光聚焦在表面还是体内无关. 但导致损伤发生的机理, 在表面和体内却有所不同. 图 3 已表示出这种差别. 一是面损伤阈值比体阈值高, 二是当激光能量较大, 引起了较强的非线性吸收时,

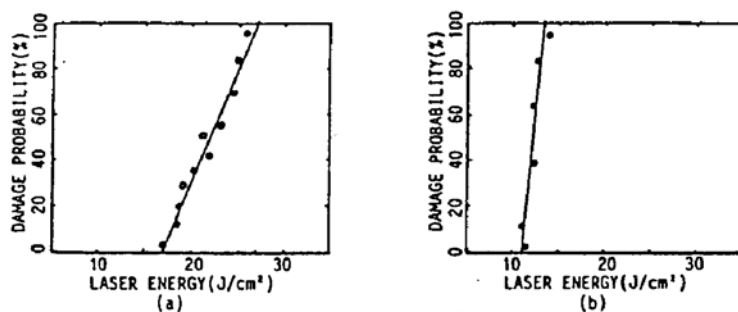


Fig. 2 Damage probability of LN crystal (a) surface (b) bulk

体损伤必然发生, 但表面却有可能不破坏, 这显示了二者宏观破坏机理的不同. 可认为体损伤

主要是应力破坏. 非线性吸收导致多光子电离, 产生热等离子体, 等离子体的迅速膨胀使辐照点附近产生了极强的应力场. 如果激光聚焦在体内, 往往会引起辐照点的炸裂, 因为晶格点阵难以承受这样强的应力. 若聚焦点在表面, 应力场就可以从表面释放, 而不是象体损伤时那样全部加在晶格点阵上. 因此应力不太容易造成表面损伤. LN 晶体的表面损伤机制主要是热熔化和热烧蚀. 至于表面和体损伤阈值哪一个更高, 这与材料的热性质以及晶体表面加工的好坏有关, 取决于晶体的抗张强度和熔化能. 电离能的比较.

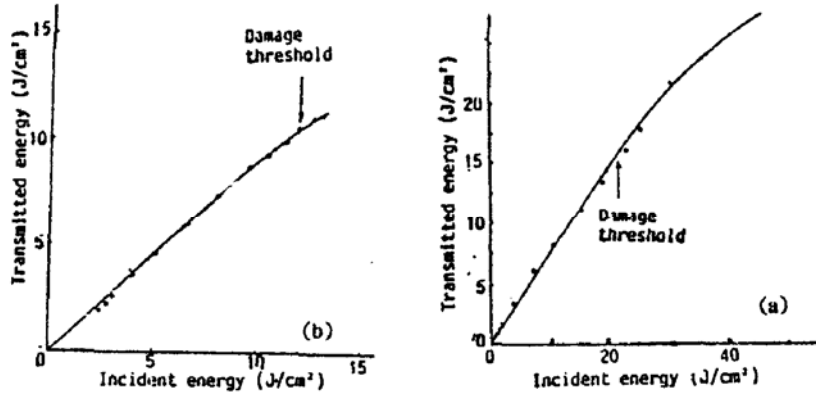


Fig. 3 Energy transmittivity of LN crystal (a) surface, (b) bulk

3.2 多脉冲损伤

多脉冲损伤的测量方法是, 用低于单脉冲损伤阈值的相同能量对样品上同一点进行多次辐照, 直到出现破坏为止. 记下总的辐照次数 N , 损伤的积累效应用 $N \sim E/E_{th}$ 曲线来表示, 实验结果如图 4, 其中(a)是表面损伤的情况, (b)是体损伤. 可见 LN 晶体的表面和体内都存在明显的积累效应. 表面损伤的情况下曲线比体损伤更缓, 能量低到 $0.2 E_{th}$ 时仍能造成积累破坏, 而体损伤时能量要高于 $0.4 E_{th}$ 时才能造成破坏, 表明表面的积累效应比体内更显著. 这说明积累效应主要是微破坏的积累, 而非热积累.

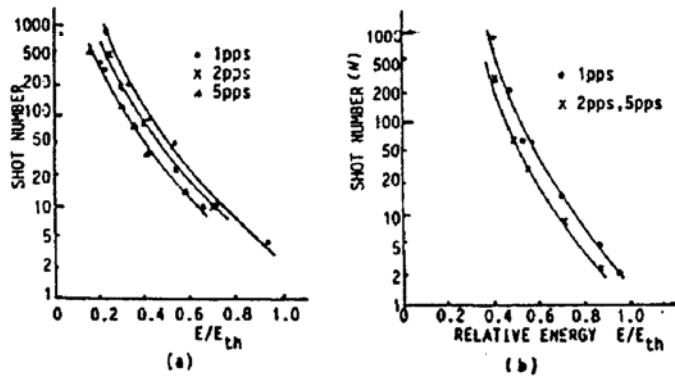


Fig. 4 Accumulation effect of multipulse laser damage in LN crystal (a) surface (b) bulk

参 考 文 献

- [1] G. G. Gurzadyan, R. K. Ispiryan, Two-photon absorption peculiarities of potassium dihydrogen phosphate crystal at 216 nm. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **59**(6) : 630
- [2] F. Rainer *et al.*, Damage measurements on optical materials for use in high-peak-power lasers. *Laser Induced Damage in Optical Materials. NIST Spec. Publ.* 1989, **801** : 74
- [3] M. Shaik-Bahae *et al.*, Relation between n_2 and two-photon absorption. *Laser Induced Damage in Optical Materials. NIST Spec. Publ.*, 1989, **901** : 591
- [4] L. L. Chase, L. K. Smith, Laser induced surface emission of neutral species and its relationship to optical surface damage processes. *Laser Induced Damage in Optical Materials. NIST Spec. Publ.*, 1987, **756** : 165
- [5] E. Matthias *et al.*, Multiphoton absorption near surface damage thresholds of ionic crystals and metals. *Laser Induced Damage in Optical Materials. NIST Spec. Publ.*, 1987, **756** : 217

Laser induced damage in LN crystals

SUN Yang LI Chengfu LI Zhongya

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 18 September 1992; revised 20 January 1993)

Abstract

We have measured the surface and bulk damage thresholds as well as the multipulse accumulation effect of LN crystals. As a method of studying the damage mechanism, nonlinear absorption process is investigated. It is found that the multiphoton absorption occurs both in bulk and surface damage processes, and is the origin of the damages. The direct reasons that result in visible damage are the stress explosion in the bulk and the thermal melting, thermal etching and plasma emission on the surface.

Key words LN crystal, laser damage, nonlinear absorption.