

文章编号: 2095-4980(2016)05-0811-05

几种光学材料 γ 总剂量辐射效应

王 艳^a, 严雄伟^b, 郑建刚^b

(中国工程物理研究院 a. 电子工程研究所; b. 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621999)

摘 要: 针对应用于某种全固化激光器的 4 种关键光学材料 Nd:YAG 晶体、Cr:YAG 晶体、无膜窗口玻璃(UBK7)以及部分反射镀膜玻璃在 γ 总剂量辐照前后光学特性的变化情况, 分析获得了几种光学材料的 γ 总剂量辐照效应, 并对该全固化激光器抗 γ 总剂量辐射能力进行了预估。实验结果表明: Nd:YAG 晶体对 γ 总剂量辐照敏感, 抗辐射性能较差, 不宜用于在较强辐射环境下工作的固态激光器设计, 而 Cr:YAG、无膜窗口玻璃以及部分反射镀膜玻璃 γ 总剂量辐照后性能参数变化小, 抗辐射性能良好, 可考虑在较强 γ 辐射环境下工作的全固化激光器设计选用。

关键词: 光学材料; 全固化激光器; γ 总剂量辐射效应

中图分类号: TN432

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201605.0811

Total ionizing dose effects of optical materials in solid state laser

WANG Yan^a, YAN Xiongwei^b, ZHENG Jiangang^b

(a. Institute of Electronic Engineering; b. Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

Abstract: Changes of the transmittance of several optical materials used in some solid state laser design are measured in total ionizing dose irradiation experiment. The radiation effects of these optical materials are obtained through analysis, and the abilities of anti-total ionizing dose irradiation for the solid state laser are estimated. The experimental results indicate that, Nd:YAG is susceptible to the γ rays irradiation, which would lead to the decline of laser transmittance and permeability significantly, therefore, Nd:YAG does not meet the requirements of the laser design; while for UBK7, plated UBK7 and Cr:YAG, their transmittance and permeability show little changes under γ rays irradiation, and they are suitable for engineering design.

Key words: optical materials; solid state laser; γ total ionizing dose effects

激光作为高能量密度的热源, 在连接领域有着广阔的应用前景。光技术应用在空间飞行器的点火设计和其他设计时要求光学材料必须具备一定的抗辐射性能^[1], 来自空间的辐射环境既有瞬态高能量的脉冲形式, 也有低能量连续波形式, 可能会造成光学材料的物理损伤或变色, 尤其是 γ 射线会对大多数的光学材料产生瞬时或永久性的光损伤^[2-6]。

本文所研究的激光器为一种半导体二极管泵浦小型全固化激光器, 包括光学谐振腔、激光工作物质、泵浦光源、聚光系统、泵浦电源等部分, 图 1 为激光器轴向和径向剖视示意图。该小型全固化激光器工作在 1 064 nm 波段, 产生单一脉冲形式的强激光信号。Nd:YAG 晶体(增益介质)为激光器工作物质, 激光器工作时, 在二极管泵浦光源作用下增益介质被激发而产生激光信号。G_r:YAG 为调 Q 晶体, 其主要作用是通过在泵浦开始时使谐振腔处于低 Q 值状态, 在反转粒子数累积到饱和值时使谐振腔处于高 Q 状态, 实现在光学谐振腔的输出端以单一脉冲的形式获得峰值高、功率高的脉冲激光输出。无膜窗口玻璃(UBK7)和镀膜窗口玻璃为光学谐振腔的重要部分, 主要实现使工作物质的受激辐射连续进行、光子加速及限制激光输出的方向。从激光器的结构组成和工作原理上来看, 增益介质是激光器的核心^[7], 调 Q 晶体、无膜窗口玻璃和镀膜窗口玻璃是激光器设计中的关键环节。以上几种光学材料工作性能指标的稳定性直接影响着激光器的工作特性和可靠性。考虑到在一定的 γ 总剂量辐射

环境下,以上光学材料可能会由于受辐照而引起光透过率下降或光学性能改变,从而导致激光器工作性能的退化,因此本文对某全固化激光器设计中选用的增益介质、调 Q 晶体、无膜窗口玻璃和镀膜窗口玻璃 4 种关键光学材料的 γ 总剂量辐射效应进行了实验研究。主要通过实验测量和分析,得到上述光学材料在 γ 总剂量辐照前后材料物理特性及光学性能参数的变化,获得辐射效应,以能够较全面地预估文中全固化激光器抗 γ 总剂量辐射能力。

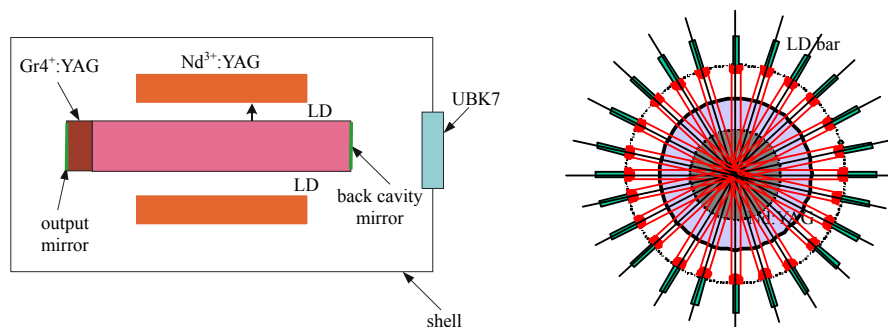


Fig.1 Configuration of solid state laser
图 1 全固化激光器轴向和径向剖视示意图

1 实验设计

为了准确测量光学材料在 γ 总剂量辐照前后光学特性的变化情况,在辐照前对样品设定了实验测量点,增益介质、调 Q 晶体、无膜窗口玻璃和镀膜窗口玻璃每个实验样品各设定 2 个测量点,实验测量值取 2 点平均值。便于实验测量和分析,实验过程中对光学材料性能参数测定时输入连续的 1 064 nm 激光信号,激光信号强度小于 100 mW。实验前,首先通过图 2 所示的光路,将 1 064 nm 波长的连续激光穿过实验样品上的测量点,使用光功率计分别对上述光学材料的光透过率进行测量。

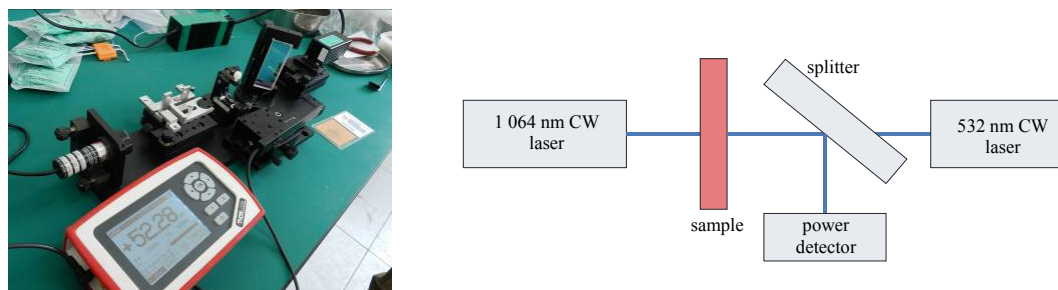


Fig.2 Optical path of photo-permeability test for laser materials
图 2 光学材料光透过率测量光路

γ 总剂量辐照实验在 ^{60}Co 辐射源上进行,辐照剂量率 9.23 Gy/min。每种光学材料的实验样品数均为 2 只,分别编号为 1#,2#,具体见表 1。实验设定 1#样品所受的 γ 辐照累积总剂量为 1 000 Gy(Si),2#样品所受的 γ 辐照累积总剂量为 2 000 Gy(Si)。同时为了便于对比分析,将未受辐照的样品编号为 0#。实验时,当辐照的 γ 总剂量每累积增加 100 Gy 时,便利用图 2 所示的光路对受辐照样品的光透过率进行一次移位测试,得到该辐照总剂量点处的光透过率值。测试完毕后再将辐照样品放回到钴源中原定位置继续进行辐照。考虑到辐照样品移位测试过程中的退火效应,移位测试时间严格控制在 20 min 以内。

表 1 电离辐射总剂量辐照实验样品
Table1 Experimental sample for total ionizing dose

sample type	gain medium	Q-switched crystal	window class	plated window class
name	Nd:YAG crystal	Gr:YAG	UBK7	UBK7 (multi-layer electrolyte reflective film)
number	2(1#,2#)	2(1#,2#)	2(1#,2#)	2(1#,2#)

本文还对光学材料的 γ 总剂量退火效应进行了研究分析,在辐照实验结束一周后,对各辐照样品宽光谱透过

率情况进行了测试,并与未受辐照样品的宽光谱透过率进行了对比。

2 实验结果及讨论

按照上文所述的实验方法,对增益介质、调Q晶体、无膜窗口玻璃和镀膜窗口玻璃4种关键光学材料的 γ 总剂量辐射效应进行了实验研究。从研究结果来看,光学材料的 γ 总剂量辐射效应表现为2个方面:一是材料的某些物理特性(颜色)发生了变化;二是光学性能参数发生了变化。

图3为 γ 总剂量辐照实验前样品,图4为经过1 000 Gy(Si) γ 总剂量辐照后样品。可以看出,经过 γ 总剂量辐照后的无膜窗口玻璃和镀膜窗口玻璃的颜色均发生改变,由最初无色透明变为褐色,而Nd:YAG晶体和Cr:YAG晶体颜色变化不明显。且随着 γ 辐照总剂量的增加,无膜窗口玻璃和镀膜窗口玻璃颜色变化加深,图5为分别经受1 000 Gy(Si)和2 000 Gy(Si) γ 总剂量辐照后的样品,图中标号为1#的实验样品所受辐照累积总剂量为1 000 Gy(Si),标号为2#的实验样品所受辐照累积总剂量为2 000 Gy(Si)。

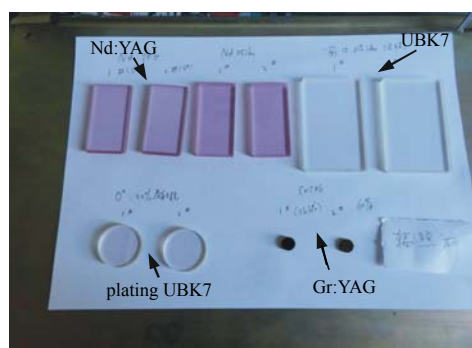


Fig.3 Samples before irradiation
图3 γ 总剂量辐照前光学材料样品

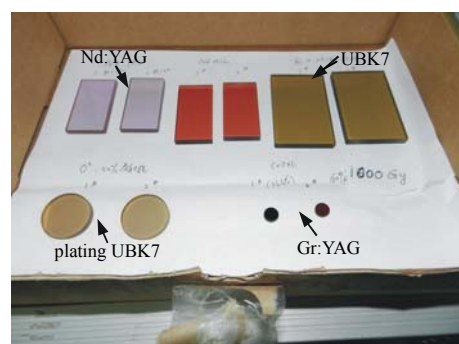


Fig.4 Samples irradiated by 1 000 Gy(Si) γ total dose
图4 经过1 000 Gy γ 总剂量辐照后光学材料样品

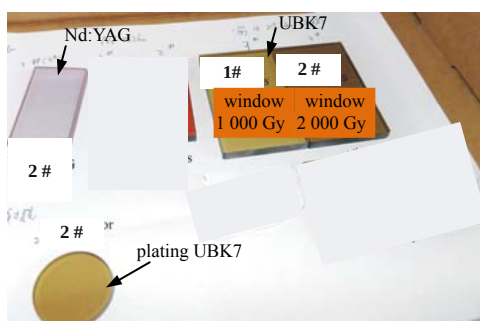
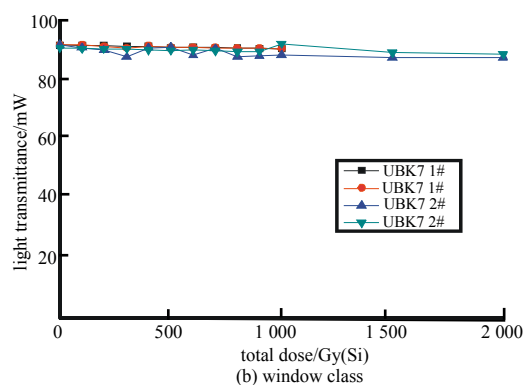
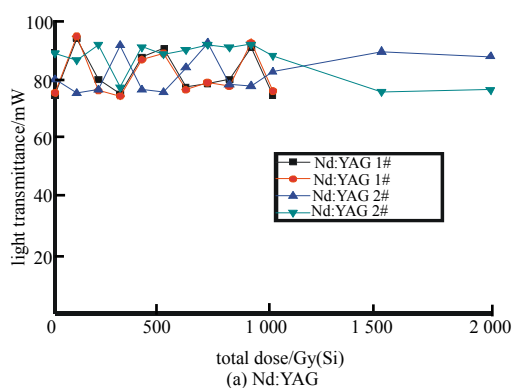


Fig.5 Samples irradiated by 1 000 Gy(Si) and 2 000 Gy(Si) γ total doses
图5 分别经过1 000 Gy和2 000 Gy γ 总剂量辐照后的光学材料



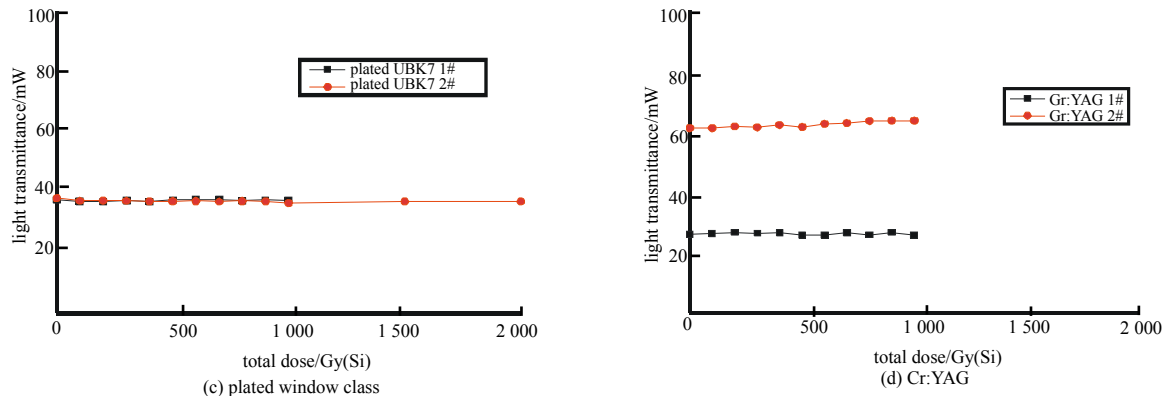


Fig.6 Curves of photo-permeability with total ionizing dose at 1 064 nm

图 6 1 064 nm 波长透过率随辐照剂量的变化

光学材料受 γ 总剂量辐照后其主要的性能参数光透过率也发生了相应的变化,图6为实验测试到的实验样品光透过率随辐照总剂量变化曲线。图中曲线数据表明:随受辐照 γ 总剂量的增加,Nd:YAG晶体的光透过率变化较大,在75%~95%之间波动;无膜窗口玻璃光透过率稍有变化,在91%~89%之间波动;镀膜窗口玻璃和Cr:YAG晶体光透过率无明显变化。

Nd:YAG晶体和无膜窗口玻璃在 γ 总剂量辐照实验中都表现出了一定的辐射效应,因此对上述2种光学材料未经辐照和辐照退火一周后样品的宽光谱透过率进行了测试,图7为相应的测试曲线。从曲线数据上来看,辐照退火一周后Nd:YAG晶体和无膜窗口玻璃在可见光波段(300 nm~700 nm)的透过率下降,而在激光器工作的1 064 nm附近透过率基本无变化。由此可以说明:Nd:YAG晶体和无膜窗口玻璃在红外线波段以上存在退火现象,且经过一定时间的退火后,其主要光学性能参数(透光率)可得到恢复。

光学材料通常为纯的晶体或玻璃结构,材料中会存在多种缺陷中心。在 γ 射线辐照的作用下,光学材料中产生的部分自由电子会被存在于材料中的着色正离子(缺陷)捕获,离子因得到电子而还原为原子,形成新的色心(吸收中心),进一步产生新的吸收带,因此 γ 射线辐照后会使得光学材料颜色发生改变,同时光透过率下降。

本文研究的全固化激光器在设计时对光学材料的光学性能指标提出一定的要求:一是系统输出光功率强度要求,光学材料透光率不能低于80%;二是从系统工作稳定性要求,光学材料透光率变化不能超过5%。而上述研究结果表明作为激光器工作物质的Nd:YAG晶体对 γ 总剂量辐射敏感,在受到一定剂量 γ 总剂量辐照时光透过率以及光透过率波动均不满足设计指标要求。因此,当该激光器应用在一定 γ 剂量辐照环境下时,可能会由于Nd:YAG晶体透光率波动而引起激光器输出光功率下降或不稳定,导致系统工作的可靠性明显下降。

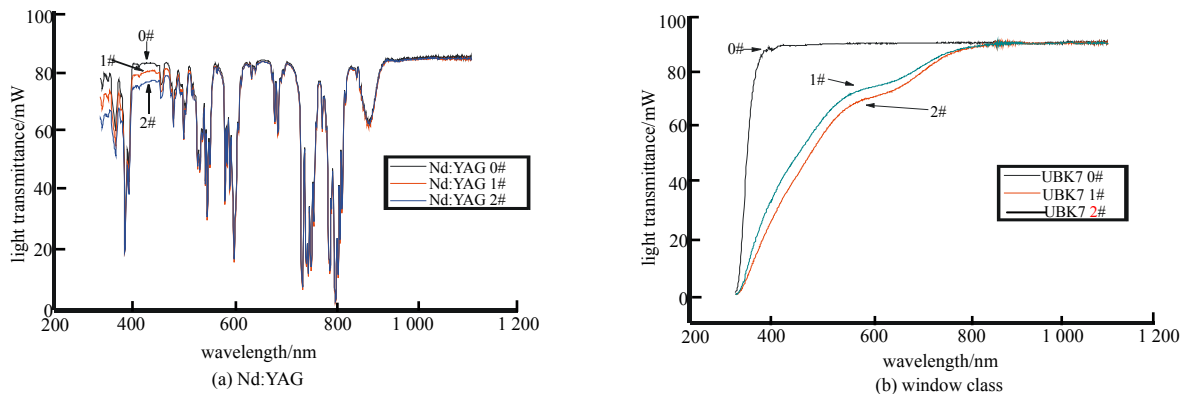


Fig.7 Curves of photo-permeability under wide-spectrum

图 7 宽光谱透过率变化曲线

3 结论

通过实验测试获得了某全固化激光器用4种关键光学材料(Nd:YAG晶体、Cr:YAG晶体、无膜窗口玻璃以及部分反射镀膜玻璃) γ 总剂量辐照效应,包括光学材料物理特性变化以及光透过率随 γ 辐照总剂量变化曲线数据,同时对存在 γ 总剂量辐射效应的光学材料一周后的 γ 总剂量退火情况进行了测量分析。研究结果表明:Nd:YAG晶体

对 γ 总剂量辐照敏感,抗 γ 总剂量辐射能力较差,随着辐照剂量的增加,其光透过率在75%~95%之间波动,根据全固化激光器设计要求,Nd:YAG晶体不宜用于在较强辐射环境下工作的固态激光器设计。Cr:YAG、无膜窗口玻璃(UBK7)以及部分反射镀膜玻璃 γ 总剂量辐照后性能参数变化较小,后两者在辐照后出现明显的变色现象。无膜窗口玻璃光透过率稍有变化,在91%~89%之间波动,镀膜窗口玻璃和Cr:YAG晶体光透过率无明显变化,表现出良好的抗 γ 总剂量辐射能力,可供在较强 γ 辐射环境下工作的全固化激光器设计选用。

参考文献:

- [1] GLEBOV B L, SIMMONS-POTTER K, MEISTER D C. Dynamics of the optical response of Nd:YAG to ionizing radiation: testing for radiation hardness using UV laser radiation[C]// Proc. of SPIE. 2009, 7434: 74340B-74340B-7.
- [2] SIMMONS-POTTER K, VADDIGIRI A, THOMES W J. Impact of ionizing radiation on the optical properties of YAG laser materials[C]// Proc. of SPIE. 2007, 6662: 666204-1-666204-9.
- [3] KACZMAREK S M. Influence of ionizing radiation on performance of Nd:YAG lasers[J]. Cryst. Res. Technol, 1999, 34(9): 1183-1190.
- [4] ROSE T S, HOPKINS M S, FIELDS R A. Characterization and control of gamma and proton radiation effects on the performance of Nd:YAG and Nd:YLF lasers[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1995, 31(9): 1593-1602.
- [5] COMPTON D, CESSNA R A. Mechanisms on radiation effects on lasers[J]. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1976(NS-14): 55-61.
- [6] SIMMONS-POTTER K, VADDIGIRI A, THOMES W J, et al. Radiation-induced photodarkening in optical firing-set laser materials[C]// Proc. of the Conference on Hardened Electronics and Radiation Technology. Santa Clara, CA, USA: [s.n.], 2006.
- [7] 朱锦洪, 石红信, 涂益民, 等. 半导体二极管泵浦的小型固态激光器研究[J]. 电焊机, 2005, 35(12): 19-21. (ZHU Jinhong, SHI Hongxin, TU Yimin, et al. Study on semiconductor diode pumped small solid state laser[J]. Electric Welding Machine, 2005, 35(12): 19-21.)

作者简介:



王 艳(1980-), 女, 陕西省咸阳市人, 副研究员, 主要研究方向为抗辐射电子学与加固技术, email: 470207577@qq.com.

关于举办 2016 全国复杂电磁环境效应技术研讨会的通知

随着电子技术的快速发展及各类电子设备和信息化产品在军事领域的日益广泛应用,电磁环境越来越呈现出其复杂多变的重要特性,面对当前复杂电磁环境条件,如何确保电子设备在复杂电磁环境条件下的工作是国内外电磁环境领域的研究热点,这是涉及到军民两个领域的现实问题;我们当前面临的电磁环境问题与矛盾日益突出:复杂混乱的电磁环境,装备的电磁环境效应问题突出,频谱的动态利用也成为一个问题。为此,中国电子学会在 2014~2015 两届会议的基础上,拟于 2016 年 12 月举办“2016 全国复杂电磁环境效应技术研讨会”,本次会议涉及复杂电磁环境条件下装备的试验、测试、评估等内容,会议将邀请相关领域的专家分享在复杂电磁环境相关领域的研究成果和思想建树。现就有关事项通知如下:

一、大会主题:拓宽研发思路,提高应用能力。

二、时间地点:2016 年 12 月 9~11 日 9 日报到 地点:北京

三、会务组联系方式

张杰:010-68246068

手机:13811330009(微信号)

E-MAIL:cie_ew2016@163.com

QQ: 961055790

会议其他相关内容及要求见网站: <http://www.iaeej.com>.

中国电子学会
2016 年 10 月 11 日