

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 1-0346-03

多波段增透薄膜对镁掺杂铌酸锂变频晶体 损伤阈值的影响

王 颖 章岳光 沈伟东 刘 旭 顾培夫

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要 采用电子束沉积法在镁掺杂铌酸锂基底上镀制了多波段增透膜, 透射波段分别为 $1.064\ \mu\text{m}$, $1.4\sim 1.6\ \mu\text{m}$ 和 $3.5\sim 4.3\ \mu\text{m}$, 测量了薄膜在 $1064\ \text{nm}$ 多脉冲辐照下的损伤阈值, 以及无薄膜铌酸锂晶体本身的损伤阈值。结果表明, 镀膜之后, 晶体的损伤阈值较未镀膜样品明显提高。

关键词 薄膜; 镁掺杂铌酸锂; 多波段减反膜; 激光损伤阈值

中图分类号 O484.4 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200936s1.0346

Effect of Multi-Waveband Antireflective Coating on Laser Induced Damage Threshold of MgO Doped LiNbO_3

Wang Ying Zhang Yueguang Shen Weidong Liu Xu Gu Peifu

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract Multi-spectral antireflective coating (AR) was deposited by electron beam evaporation on MgO doped LiNbO_3 crystal, and the transmission band of the coating is $1.064\ \mu\text{m}$, $1.4\sim 1.6\ \mu\text{m}$ and $3.5\sim 4.3\ \mu\text{m}$. The laser induced damage threshold (LIDT) of un-coated and AR-coated samples were measured. The AR-coated samples have a better LIDT than un-coated crystal.

Key words thin film; MgO doped LiNbO_3 crystal; multi-spectral antireflective coating; laser induced damage threshold

1 引 言

镁掺杂周期性极化铌酸锂 (PPMgLN) 晶体被越来越多地应用于光参量振荡器 (OPO) 激光系统之中^[1~5], 特别是红外波段的激光器。该晶体不仅具有较高非线性系数和宽的透过率光谱范围, 同时与无掺杂铌酸锂晶体相比, 具有更高的激光损伤阈值^[6], 并能有效地降低矫顽场, 因此, PPMgLN 晶体在高功率全固态激光器中被广泛用作频率变换器, 它同时也拓展了光参量振荡器的应用范围, 特别是宽调谐范围的光参量振荡器。为了提高激光器的转换效率, 降低晶体表面反射引起的损耗, 必须在晶体的前后端面制备增透膜^[7]。增透薄膜 (AR) 不仅能够提高所需光谱的透射率, 降低损耗, 提高输出效率, 同时对于加强晶体的抗激光损伤能力也起着重要的作用, 因此, 增透膜的光谱特性和抗激光损伤特

性直接关系到晶体性能的发挥, 可以说是激光系统一个关键因素。同时由于强功率激光穿透这个增透膜, 薄膜的损伤阈值也是限制系统整体能量输出的瓶颈之一。

增透膜的性能受多个因素的影响, 如薄膜材料, 膜系设计、基板清洗以及沉积工艺等。本文以 YbF_3/ZnS 材料设计并制备了一种多波带增透膜, 并将其抗激光损伤能力同晶体本身的抗激光损伤能力进行了比较。

2 实 验

2.1 膜系设计

针对 OPO 系统的输入、输出光的特点, 增透膜所要满足的具体要求如下, 其中激光的入射角为零度:

1) 对于入射到晶体表面的抽运光 (波长为

作者简介: 王 颖 (1980—), 女, 博士研究生, 主要从事光学薄膜方面的研究。E-mail: wangying_1980@163.com

导师简介: 章岳光, 男, 副研究员, 主要从事光学薄膜方面的研究。E-mail: zhangyueguang@zju.edu.cn (通信联系人)

1.064 μm):透射率满足 $T > 99.5\%$;

2) 对于两个主要的输出光谱段(波长为 1.4~1.6 μm 和 3.5~4.3 μm):透射率满足 $T > 98\%$ 。

根据以上要求,该增透膜是一个满足多波段减反要求的宽带增透膜,因此普通的三层增透膜是无法满足要求的,需要多对高折射率和低折射率膜堆相叠加之后才能实现。

针对红外波段,薄膜材料的选择也是一个关键问题。材料必须在短波红外到中波红外吸收低,透过率高,同时,在抽运波长 1.064 μm 具有较高的激光损伤阈值,因此主要采用氟化物作为低折射率材料,高折射率材料则为 ZnS, ZnSe 等, ZnSe 虽然折射率较高,但是这种材料由于双光子吸收效应在 1.064 μm 的损伤阈值不高^[8],所以选用 ZnS 更为合适。常用的低折射率氟化物有: BaF₂, YbF₃ 或 ThF₂ 等,其中 ThF₂ 虽然光机性能优良,却有放射性,使用范围受限, BaF₂ 和 YbF₃ 材料不但在可见至红外波段基本无吸收,还同时具有优良的机械性能,因此最终选择 ZnS 与 YbF₃ 相配作为高低折射率材料设计并制备了增透膜。样品的设计曲线见图 1。

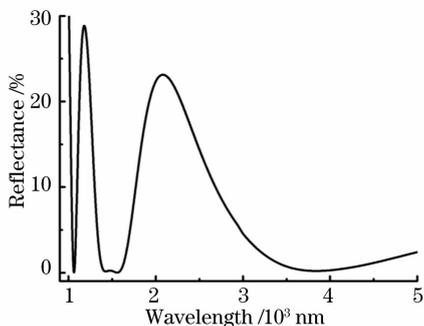


图 1 增透膜反射率设计结果

Fig.1 Reflectance of AR coating

2.2 样品制备

薄膜样品在成都南光 DM-700 型镀膜机上完成,采用电子束沉积法制备薄膜。沉积薄膜时的工作压强为 2.5×10^{-3} Pa,基板为高掺杂(6 mol%)掺镁铌酸锂晶体,其中样品的表面经过高精度抛光,表面粗糙度小于 2 nm,镀膜时沉积温度控制在 150 $^{\circ}\text{C}$,由 MDC-360 石英晶振控制仪精确控制薄膜沉积速率和厚度。样品的反射率用 Shimadzu 公司的 UV-310PC 型分光光度计测量。

2.3 损伤实验

为了测量薄膜在 1.064 μm 处的损伤阈值,搭建了一套在线激光损伤测试系统,由调 Q Nd:YAG 激光器产生 1.064 μm 波长的激光脉冲,其重复频率

为 50 Hz,激光脉宽为 10 ns。激光的能量密度分布接近高斯分布,采用焦距为 300 mm 的透镜将激光光束进行会聚,将样品表面置于透镜焦点处,采用刀口法测量样品表面光斑的尺寸,测得结果为:1/e 处光斑的直径为 0.68 mm。测量中,每个样品被击打 5 个点,点间距为 2 mm。在激光击打样品的过程中,通过在线显微镜及 CCD 实时观察样品表面的情况,一旦观察到表面发生变化,认为损伤发生。每个点在同一功率下辐照 500 个脉冲以上,若未出现损伤,通过调节半波片和偏振片增加样品表面入射激光能量,直至损伤发生,同时激光功率计监测激光功率。

3 结果与讨论

3.1 损伤测试结果

针对三组镀增透膜和未镀膜晶体的样品进行测试,对比结果见图 2。由图 2 可知,带有增透膜的样品的激光损伤阈值均高于未镀膜的晶体,可见,加入增透膜之后,不仅能够提高抽运光和输出光的透过率,同时还可以增强晶体的激光损伤阈值,起到一定的保护作用。这一现象在其他晶体中也有体现,其中针对 ZnGeP₂ 晶体的研究表明,带减反膜的晶体损伤阈值高于未镀膜的损伤阈值^[9]。

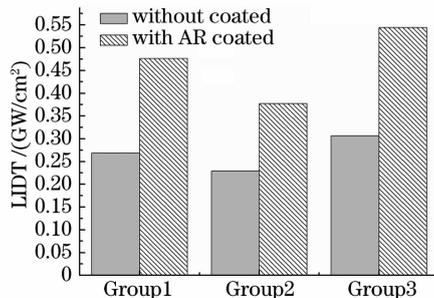


图 2 未镀膜晶体与镀增透膜晶体损伤阈值比较

Fig.2 Laser induced damage threshold of the un-coated and AR-coated crystals

3.2 损伤形貌

采用 20 倍显微镜离线观察镀膜和未镀膜样品的损伤形貌,见图 3。实验结果表明,样品的损伤均发生在晶体表面位置,这通常是由于晶体表面在切割、抛光过程中会引入缺陷,粗糙度增加,这些表面的缺陷成为吸收的中心,造成能量聚集,从而导致样品表面熔蚀、喷发,形成永久性损伤。如图 3(a)所示,未镀膜的样品表面呈灼伤状,形貌不规则,破斑中心由不规则的小凹坑组成,表明损伤是由基板表面一些小的缺陷开始,随着能量聚集,迅速拓展成大

片破斑。而有薄膜的样品损伤破斑最中心是一个深度凹坑,周围也发现较小的损伤孔洞,破斑四周的膜层被层状剥离,与未损伤区域形成明显的分界。通过对损伤形貌的分析,可以认为,样品的损伤最可能是由于表面的缺陷引起,缺陷处的吸收造成能量聚集,最终导致晶体材料熔化,形成破斑。带有增透膜的样品,其最大可能的损伤起始处是晶体与薄膜的界面处,界面处缺陷的吸收造成晶体首先破坏,喷溅出的物质损伤了外侧的薄膜,形成薄膜层状破斑。增透膜的存在使得晶体表面的缺陷得到一定的缓冲和平滑,限制了能量的聚集程度,因此,带有增透膜的样品损伤阈值要高于未镀膜的晶体。具体的损伤研究还有待进一步分析。

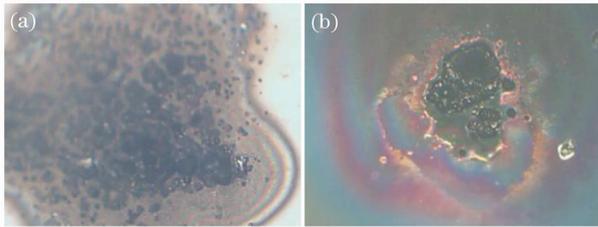


图3 样品表面的损伤形貌。(a)无薄膜晶体损伤形貌;
(b)有增透膜晶体的损伤形貌

Fig. 3 Damage morphology of samples. (a) un-coated crystal; (b) AR-coated crystal

4 结 论

利用电子束沉积法在镁铌酸锂晶面表面设计并制备了多波段增透膜,采用的材料为 ZnS 和 YbF₃,透射率测量结果表明薄膜能够有效提高所需波段的透

射率。激光损伤实验结果表明,在 1.064 μm 波长抽运光下,带有增透膜的样品损伤阈值明显高于未镀膜样品的损伤阈值,这可能是由于薄膜的存在限制了晶体表面缺陷对能量的吸收,从而对样品抗激光损伤能力起到改善的作用。

参 考 文 献

- 1 M. Nakamura, M. Sugihara, M. Kotoh *et al.*. Quasi-phase-matched optical parametric oscillator using periodically poled MgO-doped LiNbO₃ crystal[J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1999, **38**: 1234~1236
- 2 A. Kuroda, S. Kurimura, Y. Uesu. Domain inversion in ferroelectric MgO:LiNbO₃ by applying electric fields[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **69**: 1565~1567
- 3 M. Nakamura, M. Kotoh, H. Taniguchi *et al.*. Bulk periodically poled MgO-doped LiNbO₃ by external electric field application[J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1999, **38**: 512~514
- 4 Chen Yunlin, Guo Juan, Liu Xiaojuan *et al.*. A study on periodic poling of different compositions of MgO:LiNbO₃ [J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, **53**(1): 156~159
陈云琳,郭娟,刘晓娟等. 周期极化掺镁不同组分 LiNbO₃ 晶体的研究[J]. *物理学报*, 2004, **53**(1): 156~159
- 5 N. Pavel, I. Shoji, T. Taira *et al.*. Room-temperature, continuous-wave 1-W green power by single-pass frequency doubling in a bulk periodically poled MgO:LiNbO₃ crystal[J]. *Opt. Lett.*, 2004, **29**: 830~832
- 6 D. A. Bryan, R. Gerson, H. E. Tomaschke. Increased optical damage resistance in lithium niobate[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1984, **44**(9): 847~849
- 7 G. Robertson, A. Henderson, M. Dunn. Attainment of high efficiencies in optical parametric oscillators[J]. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(20): 1584~1586
- 8 J. R. Milward, K. L. Lewis, A. M. Pitt *et al.*. Laser damage issues for mid-IR optical parametric oscillator mirror[C]. *SPIE*, 1994, **2114**: 220~230
- 9 Z. T. Kevin, S. D. Scott, S. G. Peter *et al.*. Laser damage threshold of single crystal ZnGeP₂ at 2.05 μm[C]. *SPIE*, 2005, **5991**: 599104-1~599104-13