

LuYAP : Ce 闪烁晶体阵列研究

徐 扬¹,董鸿林¹,石自彬¹,李德辉¹,吴玉池²,付昌禄¹

(1. 中国电子科技集团公司第二十六研究所,重庆 400060;2. 激光聚变研究中心,四川 绵阳 621000)

摘 要: 铝酸钷镨(LuYAP) : Ce 晶体具有衰减时间短,密度大,光产额高及不潮解等优点。采用该晶体制作
的闪烁晶体阵列,能快速获得皮秒级正电子湮灭的精确信息。该文报道了一种 LuYAP : Ce 闪烁晶体阵列的制
作方法,将提拉法制备的 LuYAP : Ce 晶体经切割并运用化学机械抛光法处理后,最终利用填充材料制作了晶体阵
列。在 X 线光机上开展了阵列的发光均匀性测试,测得发光不均匀性为 14.8%。结果表明,LuYAP : Ce 晶体满
足使用要求。

关键词: LuYAP : Ce 闪烁晶体;化学机械抛光;晶体阵列;发光均匀性;硫酸钡

中图分类号: TN804

文献标识码: A

DOI: 10. 11977/j. issn. 1004-2474. 2019. 02. 006

Study on LuYAP : Ce Scintillation Crystal Array

XU Yang¹, DONG Honglin¹, SHI Zibin¹, LI Dehui¹, WU Yuchi², FU Changlu¹

(1. The 26th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China;

2. Laser Fusion Research Center, Mianyang 621000, China)

Abstract: LuYAP : Ce crystal has the advantages of short decay time, high density, high light yield and non-
deliquescence. The scintillation crystal arrays fabricated with this crystal can quickly obtain the accurate information
of positron annihilation at picosecond level. A fabrication method of LuYAP : Ce scintillating crystal array is presen-
ted in this paper. The LuYAP : Ce crystal prepared by the Czochralski method is cut and polished by the chemical
mechanical polishing, and a crystal array is finally fabricated by using the filling material. The luminance uniformity
test of the array is carried out on the X-ray machine, and the luminance inhomogeneity is measured to be 14.8%,
which satisfies the application requirements.

Key words: LuYAP : Ce scintillation crystal; chemical mechanical polishing; crystal array; luminance uniformi-
ty; BaSO₄

0 引言

铝酸钷镨(LuYAP) : Ce 晶体是新一代闪烁晶
体材料,具有衰减时间短,光产额高,密度大,有效原
子序数大及不潮解的特性,同时具有良好的物理化
学稳定性,是综合性能优良的闪烁体材料。该晶体
是铝酸镨(LuAP)和铝酸钷(YAP)的固溶体结构,
随着晶体中镨组分含量的增加,晶体密度变大,有效
原子序数增加,衰减时间缩短。自 20 世纪 90 年代
起,国外已开始对具有上述优良性能的高镨组分
LuYAP : Ce 闪烁材料进行研究。一些欧美公司
(如苏格兰的 PML、俄罗斯的 BTCP、乌克兰的
IPR、捷克的 CRYTUR、波兰的 ITME)已能批量提

供镨摩尔比约 70% 的晶体产品^[1-3]。要突破新一代
皮秒级正电子湮灭探测技术的瓶颈,需要使用衰减
时间短,光产额高及有效原子序数大的闪烁晶体。
21 世纪初,为打破国外对高镨组分 LuYAP : Ce 晶
体材料的限制,中国电子科技集团第二十六研究所
对 LuYAP : Ce 晶体进行了一系列研究。目前采用
提拉法能生长出 $\varnothing 40 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 、 $r(\text{Lu}) : r(\text{Y}) \approx 7 : 3$ (摩尔比)的 LuYAP : Ce 晶体,接近国
际先进水平。

为解决激光脉冲正电子源技术研究中正电子湮
灭谱能量精度低及效率差等问题,本文进一步对
LuYAP : Ce 闪烁晶体阵列进行了研究。采用

收稿日期:2019-01-04

基金项目:国防科工局配套基金资助项目(JPPT-125-5-169)

作者简介:徐扬(1985-),男,吉林省吉林市人,工程师,硕士,主要从事晶体测试与阵列组装的研究。E-mail: xuy@cetccq.com.cn。

LuYAP:Ce 晶体制作闪烁晶体阵列,配合多通道高速探测器研制多通道阵列式探测器,能快速获得皮秒级正电子湮灭的精确信息^[3]。

1 实验

利用自主研发的提拉炉进行了 LuYAP:Ce 晶体生长。将配置好的原料压制成料锭,处理合成多晶料,放入铈坩锅中熔化后,经过收颈、放肩、等径及收尾等工艺,完成晶体生长过程。为消除生长过程中产生的热应力,需要对晶体进行退火处理。通过退火处理改善了晶体中氧空位的分布,一定程度上提升了光输出指标。图 1 为经过退火处理的 LuYAP:Ce 原生晶体^[4]。

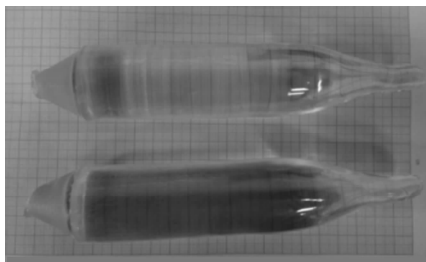


图 1 原生晶体照片

对 LuYAP:Ce 晶体头、尾加工相同尺寸的测试片进行了光输出测试,头、尾均匀性均达 90%。表 1 为晶体头、尾发光均匀性测试。

表 1 晶体头、尾发光均匀性测试

阵列	头部(道址)			尾部(道址)			均匀性/%
	86	87	88	89	83	82	
							92.1

2 晶体加工

为装配成具有良好光学性能的晶体阵列,需要将晶体加工成六面抛光处理的晶条,加工过程为:

1) 切割。使用多线切割机将 LuYAP:Ce 晶体粗加工成规定的晶条形状,并预留出足够的磨抛加工余量。

2) 研磨。选用碳化硅磨料和白刚玉对 LuYAP:Ce 晶条进行粗磨和细磨。

3) 抛光。采用双轴透镜研磨机设备,首先用微米级白刚玉抛光液和合成纤维抛光布对晶体进行粗抛,然后采用纳米级二氧化硅胶体抛光液、尼龙抛光垫对晶条进行化学机械抛光。

经化学机械抛光后, LuYAP:Ce 晶条表面微观缺陷明显减少,光洁度指标达到美军标的 40/10 标准^[5]。

3 阵列装配

LuYAP:Ce 晶体阵列内部单元的分布均匀性

对探测器模块耦合质量及探测器的探测效率有直接影响,而填充物的选择对分布均匀性有重要影响。组装前对单根晶条进行了筛选测试,选出性能接近的 1 组晶条(64 根)。采用硫酸钡粉末与光学胶混合填充物方式^[6],装配成 8×8 闪烁晶体阵列,图 2 为组装后的阵列。

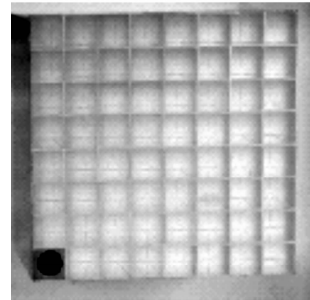


图 2 BaSO₄ 填充方式装配的闪烁晶体阵列

4 测试

利用 X 线光机发出的 X 线源将装配好的 LuYAP:Ce 闪烁晶体阵列经一定途径均化后,均匀照射在 LuYAP:Ce 闪烁晶体阵列上,激发闪烁晶体阵列发出的可见光通过光锥引导,最终被光电倍增管记录,并通过 CCD 记录光信号的强度来判断发光情况。测试时, LuYAP:Ce 闪烁晶体阵列与 X 线光机的间距为 100 cm,以保证照射到 LuYAP:Ce 闪烁晶体阵列上的 X 线光源既具有能量均匀性,又具有强度剂量均匀性,图 3 为测试后的 CCD 原始图像。

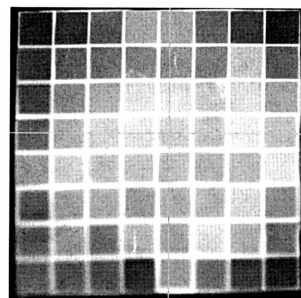


图 3 CCD 采集到的发光信息

由图 3 可看出,第 N 个像素的发光不均匀性表示为 $|N_n - N_{ave}| / N_{ave}$ (其中 N_n 为第 n 个像素的计数强度, N_{ave} 为所有像素的计数强度平均值),阵列的发光不均匀性是对每个像素的发光不均匀性再取平均值,经计算所测阵列的不均匀性为 14.8%。此外,对阵列的发光余辉进行了测量,在光机照射 1 min 后,打开测试系统继续测量可见光,发现光电倍增管上得到的计数强度很低,表明阵列无严重余辉问题。

5 结束语

经过具体生长、晶条加工及阵列装配环节,制作了 8×8 的LuYAP:Ce闪烁晶体阵列。在X线光机上开展了阵列的发光均匀性测试,测得发光不均匀性为14.8%,待测阵列无明显坏点及拼接错位情况,也无发光余晖问题。

参考文献:

- [1] TRUMMER J, AUFRAY E, LECOQ P, et al. Comparison of LuAP and LuYAP crystal properties from statistically significant batches produced with two different growth methods[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2005, 551:339-351.
- [2] VALAIS I, DAVID S, MICHAÏL C, et al. Comparative study of luminescence properties of LuYAP:Ce and LYSO:Ce single-crystal scintillators for use in medical imaging[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2007, 580:614-616.
- [3] 丁洪林. 核辐射探测器[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2010.
- [4] 石自彬, 岑伟, 徐扬, 等. 高镱组分 LuYAP:Ce 闪烁晶体生长及性能研究[J]. 压电与声光, 2016, 38(3): 413-419.
SHI Zhibin, CEN Wei, XU Yang, et al. Growth and characterization of high-lutetium component LuYAP:Ce single crystals[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2016, 38(3): 4013-419.
- [5] 李德辉, 徐扬, 尹红, 等. LSO 晶体及阵列加工技术研究[J]. 压电与声光, 2013, 35(3): 408-411.
LI Dehui, XU Yang, YIN Hong, et al. Study on LSO crystal and its array finishing technology[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2013, 35(3): 408-411.
- [6] 尹红, 徐扬, 李德辉, 等. 小动物 PET 成像用 LYSO 闪烁晶体阵列研究[J]. 压电与声光, 2014, 36(3): 406-411.
YIN Hong, XU Yang, LI Dehui, et al. Study on LYSO scintillation crystal array for small animal PET applications[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2014, 36(3): 406-411.
- (上接第 184 页)
- [11] SHAO Yan, LI Xiaochun, WU Linsheng, et al. A wide-band millimeter-wave substrate integrated coaxial line array for high-speed data transmission[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2017, 65(8): 2789-2800.
- [12] MIAO Zhuo, HAO Zhangcheng. A wideband reflectarray antenna using substrate integrated coaxial true-time delay lines for Q link-pan applications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2017, 16: 2582-2585.
- [13] BELENGUER A, BORJA A L, ESTEBAN H, et al. High-performance coplanar waveguide to empty substrate integrated coaxial line transition[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2015, 63(12): 4027-4034.
- [14] LU Cheng, YIN Xiaoxing, XIE Li, et al. A miniaturized surface mount bandpass filter implemented with substrate integrated coaxial line[C]//Harbin, China: Antennas and Propagation (APCAP), 2014: 1198-1200.
- [15] HE Zhengzhou, SHAO Zhenhai, LI Xiang, et al. A dual-band bandpass filter based on hybrid structure of substrate integrated waveguide and substrate integrated coaxial line[C]//San Francisco, CA, USA: Microwave Symposium(IMS), 2016: 1-4.
- [16] CARIOU M, POTELOU B, QUENDO C, et al. Compact X-band filter based on substrate integrated coaxial line stubs using advanced multilayer PCB technology[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2017, 65(2): 496-503.
- [17] 石晓辉, 阳新华, 张向奎, 等. 改进的形态差值滤波器在滚动轴承故障诊断中的应用[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2018(1): 1-6.
SHI Xiaohui, YANG Xinhua, ZHANG Xiangkui, et al. Application of improved morphology different filter in rolling bearing fault diagnosis[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science), 2018(1): 1-6.
- [18] BORJA A L, BELENGUER A, ESTEBAN H, et al. Design and performance of a high-Q narrow bandwidth bandpass filter in empty substrate integrated coaxial line at Ku-band[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2017, 27(11): 977-979.