

文章编号: 1007-4627(2005)01-0097-04

超重反冲余核时间探测器性能测试*

徐华根^{1,2}, 徐珊珊¹, 李文飞^{1,2}, 贾飞^{1,2}, 陈若富^{1,2}, 张雪荧^{1,2}, 马越¹,
李松林¹, 段利敏¹, 孙志宇¹, 肖国青¹, 郭忠言¹, 詹文龙¹

(1 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 介绍了一种铝制内椭球面反射镜闪烁薄膜探测器, 对其探测效率、光收集效率和时间性能的测试. 结果分析表明采用 $1\ \mu\text{m}$ 厚的 BC498 闪烁薄膜探测器测量实验中超重反冲余核, 探测效率接近 100%, 时间分辨好于 200 ps, 其性能满足超重反冲余核时间测量的要求.

关键词: 闪烁薄膜探测器; 光收集效率; 探测效率; 时间分辨

中图分类号: TL812 **文献标识码:** A

1 引言

寻找和验证超重核稳定岛的存在, 是严格检验现代核结构理论的手段之一, 因而也一直吸引着世界各大实验室竞相开展这一研究^[1]. 近年来, 中国科学院近代物理研究所也开始涉足这一领域, 并利用“He 喷+MG 转轮”技术先后合成了 105 号元素的新核素²⁵⁹Db^[2]和 107 号元素的新核素²⁶⁶Bh^[3]. 由于“He 喷+MG 转轮”技术的局限性, 用此技术研究 $Z=110$ 及以上的核几乎是不可能的. 为了将研究推向更高 Z 的核, 建立基于不同分离鉴别技术的设备是必须的. 鉴于此, 我们计划将现有的兰州放射性束流线(RIBLL)^[4,5]进行适当改造, 在原反应靶室前加入一个速度选择器使 RIBLL 同时兼有反冲核谱仪的功能.

在这样一个反冲核分离器中, 产物飞行时间的测量是必须的. 由超重余核在反应运动学上的特点可知其速度是一定的, 利用时间探测器精确测量其飞行一定距离的时间, 可以帮助我们初步指认目标核. 这就要求所用飞行时间探测器不仅对被合成的反冲余核有高的探测效率和好的时间分辨, 同时对反冲余核的能量改变要小.

闪烁薄膜探测器由于探测效率高、时间响应快等优点, 被广泛用于核物理实验的飞行时间测

量^[6,7]. 迄今为止, 人们发展了多种基于光电倍增管作为光信号读出的闪烁薄膜探测器^[8-10]. Galindo-Uribarri 等^[11]研制的一种基于两块椭球反射面作光收集的闪烁薄膜探测器, 对中能重离子($A < 50$, $E = 10-300\ \text{MeV/u}$)的探测效率接近 100%, 时间分辨达到了 177 ps.

作为超重反冲余核时间测量探测系统的预选方案之一, 拟采用一种基于光电倍增管作为光信号读出的铝制内椭球面反射镜的闪烁薄膜探测器. 本文对探测器结构进行了介绍, 给出了其性能测试结果并分析了 $1\ \mu\text{m}$ 的 BC498 闪烁膜用于超重反冲余核飞行时间测量的可行性.

2 探测器装置

内椭球面反射镜闪烁薄膜探测器的反射镜为铝制, 反射面经过抛光处理. 闪烁薄膜的中心位于椭球的一个焦点处, 用作光信号读出的光电倍增管光阴极中心置于椭球的另一个焦点处. 这种设计优点在于: (1)从闪烁薄膜中心(即椭球焦点处)产生的闪烁光经过反射面反射至另一焦点的光程是相等的, 因而闪烁膜中产生的光子传输到光电倍增管光阴极的时间分散小; (2)闪烁光被反射到另一焦点时形成的光斑小, 光电倍增管信号的脉冲分布窄,

* 收稿日期: 2004 - 08 - 31

* 基金项目: 中国科学院“百人计划”基金资助项目; 科技部重大项目前期研究专项基金资助项目(2001CCB01200); 中国科学院知识创新工程基金资助项目(KJ CX2-SW-No2)

作者简介: 徐华根(1979-), 男(汉族), 安徽潜山人, 博士研究生, 从事实验核物理研究; E-mail: xuhg@impcas.ac.cn

在光阴极上产生的光电子渡越到阳极的时间分散小,减小了与光阴极位置相关的时间分散.

图 1 给出闪烁薄膜探测器的剖视图. 反射镜椭球面方程为: $x^2/a^2 + y^2/b^2 + z^2/c^2 = 1$, 其中 $a = b = 65 \text{ mm}$, $c = 75.8 \text{ mm}$. 反射镜留有对称且大小相等的人射和出射孔. 闪烁薄膜粘附在一个尺寸与椭球面相匹配, 并在椭球焦点位置留有通孔的支架上. 光电倍增管的光阴极中心对应椭球的另一个焦点. 光电倍增管放置在一个磁屏蔽的圆筒罩中.

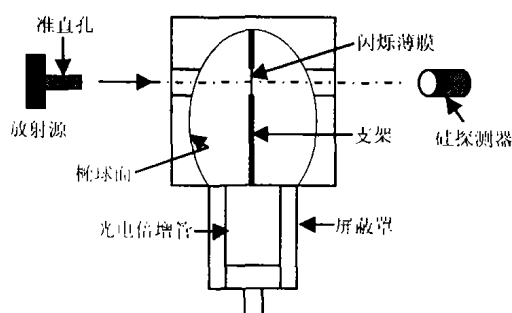


图 1 探测装置示意图

3 探测器探测效率及反射镜的光收集效率

3.1 收集效率测量

估算反射镜的收集效率, 需要知道光电倍增管的单电子峰道数. 在完全避光的条件下测量了 R7723 在测试工作电压下的热噪声谱, 如图 2 热噪声谱中的电子峰位, 可以认为是光阴极热激发的电子以单电子形式发射经打拿极倍增而产生的^[12], 得到 R7723 的单电子峰道数约为 103 道. 而用 $10 \mu\text{m}$ 的 BC422 闪烁薄膜测量 ^{239}Pu 源的 5.157 MeV 的 α 粒子得到的电荷谱的峰位在 530 道左右(见图 2), 对应光阴极上产生的光电子数 $\langle N_{PE} \rangle$ 约为 5 个.

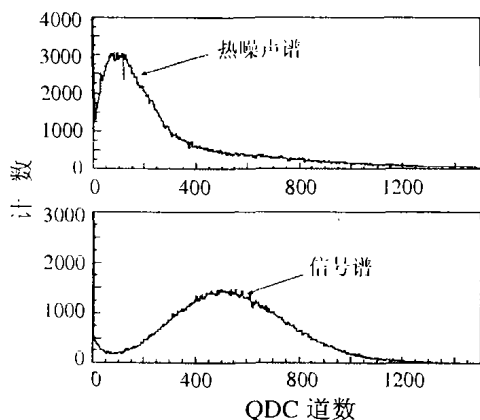


图 2 光倍增管热噪声谱的单电子峰与 QDC 电荷谱

由此我们可以对反射镜的光收集效率进行估算. 利用 LISE 程序^[13] 计算得到 5.157 MeV 的 α 粒子在穿过 $10 \mu\text{m}$ 的 BC422 薄膜时, 能损大约为 1 MeV . 产生的闪烁光光子数 $\langle S \rangle$ 大约为 170 个^[14], 最大输出闪烁光的波长为 370 nm , 对应此波长光电倍增管的量子效率 $\langle QE \rangle$ 在 25% 左右. 粗略地, 可由 $\langle N_{PE} \rangle = \langle S \rangle \times \langle CR \rangle \times \langle QE \rangle$ 得到内椭球面反射镜光的收集效率 $\langle CR \rangle$ 约为 12%.

3.2 探测效率

探测效率测试所采用的实验装置见图 1, 由于硅探测器对于放射源出来的 α 粒子的探测效率为 100%, 因此通过测量两个探测器上的计数比就可以得到闪烁薄膜探测器的探测效率. 表 1 列出了所测试的 3 种闪烁薄膜的性能参数^[14]. 光电倍增管选用 R7723, 符合探测器是 Ortec 公司生产的 $1000 \mu\text{m}$ 的圆形硅探测器. 放射源采用 ^{239}Pu 源.

表 1 闪烁膜性能参数^[14]

闪烁膜	相对于蒽晶体的光输出 (%)	峰位光输出 波长/nm	主成分衰变 常数/ns	体光衰减 长度/cm
BC-422	55	370	1.6	8
BC-418	67	391	1.4	100
BC-498	65	423	2.4	N/A

测试中光倍增管给出的闪烁薄膜信号放大后, 一路经延迟记录到 QDC 中得到电荷谱, 另一路经甄别延迟送到 TDC 做停止时间信号, 得到符合的时间信号计数, 这样 QDC 和 TDC 记录得到的符合信号计数均可用于探测效率计算. 获取的事件数据利用 PAW^[15] 程序做分析统计.

LISE 程序计算得到 5.157 MeV 的 α 粒子经过 $1.5 \mu\text{m}$ 闪烁薄膜的能损为 0.14 MeV . 测试时, 为增大信号幅度, 对来自放射源的 α 粒子进行降能处理后, 穿过 $1.5 \mu\text{m}$ 薄膜能损为 0.26 MeV , 产生的闪烁光光子数增大了一倍, 但信号幅度仍然在一个光电子水平, 与符合的噪声幅度相当, 在 QDC 中未出现明显信号峰, TDC 中有符合时间信号计数. 经分析比较得到闪烁薄膜探测效率(见表 2).

对于超重反冲余核的探测, 拟使用厚度为 $1 \mu\text{m}$ 左右的自制 BC498 闪烁薄膜, 由于余核的原子序数高, 经过 $1 \mu\text{m}$ 的 BC498 闪烁薄膜的能损和光输出较放射源 α 粒子高, 探测效率应接近 100%.

表 2 3 种不同厚度薄膜探测器探测效率

厚度/ μm	TDC 计数	QDC 计数	ADC 计数	效率(%)
25	12 490	12 480	12 500	99.9
10	78 580	78 530	80 520	97.5
1.5	10 730	—	49 630	21.6

4 时间分辨的测量

为了模拟实际测量的超重反冲余核在厚度为 1 μm 左右的 BC498 薄膜里的能损水平和光输出大小, 我们用 α 源测试了能损水平和光输出和与此接近的 25 μm 的 BC418 闪烁薄膜探测器的时间性能. 安排了两套 25 μm 的 BC418 闪烁薄膜探测器来测量 ^{241}Am 放射源 α 粒子的飞行时间. 两薄膜间距 24 cm, 光电倍增管为 R2083. α 粒子飞行时间测量的起始终止信号分别由 PMT_a 和 PMT_b 给出, 两者符合信号作触发门信号和飞行时间测量的公共起始信号, PMT_a 和 PMT_b 经放大甄别后分别送进 TDC 做

停止信号.

测试得到了整个探测系统的时间谱, 分辨为 450 ps(σ 值). 考虑到 α 粒子经过第一块薄膜造成的能量展宽所带入的飞行时间分散达 350 ps, 电子学的时间分辨 40 ps, 两套探测器构型基本相同, 假定时间性能相当, 可导出所使用 25 μm 的 BC418 薄膜时探测器的时间分辨好于 200 ps.

5 结论

通过对铝制内椭球面反射镜闪烁薄膜探测器的探测效率、反射镜的光收集效率以及时间性能的测试研究, 估算得到了反射镜的光收集效率约为 12%, 测试结果表明 1 μm 的 BC498 薄膜探测器对超重反冲余核的探测效率应接近 100%, 时间分辨好于 200 ps, 满足超重反冲余核时间测量的要求, 这些结果为其用于超重反冲余核时间测量的可行性提供了依据.

参 考 文 献:

- [1] 徐珊珊, 周小红, 肖国青等. 原子核物理评论, 2003, **20**(2): 76.
- [2] Gan Zaiguo, Qin Zhi, Fan Hongmei, *et al.* Eur Phys J, 2001, **A10**: 21.
- [3] Fan Hongmei, Wu Xiaolei, Gan Zaiguo, *et al.* IMP and HIR-FL Annual Report, 2003, 40.
- [4] Zhan Wenlong, Guo Zhongyan, Liu Guanhua, *et al.* Science in China, 1999, **A42**(5): 528.
- [5] Sun Zhiyu, Zhan Wenlong, Guo Zhongyan, *et al.* Nucl Inst and Meth, 2003, **A503**: 496.
- [6] Zhao Youxiong, Zhan Wenyong, Guo Zhongyan, *et al.* Nucl Inst and Meth, 1995, **A355**: 464.
- [7] 李加兴, 詹文龙, 郭忠言等. 高能物理与核物理, 1999, **23**(3): 231.
- [8] Muga M L, Burnsed D J, Steeger W E, *et al.* Nucl Inst and Meth, 1970, **83**: 135.
- [9] Geissel H, Guttner K, Knapp G, *et al.* Nucl Inst and Meth, 1978, **154**: 239.
- [10] Carlson R F, Cox A J, Nasr T N, *et al.* Nucl Phys, 1985, **A445**: 57.
- [11] Galindo-Uribarri A, Drake T E, Ball G C, *et al.* Nucl Inst and Meth, 1991, **A301**: 457.
- [12] 迟少鹏, 夏小米, 周 莉等. 高能物理与核物理, 2003, **27**(3): 257.
- [13] Bazin D. LISE++ tutorial, <http://groups.nslc.msu.edu/lise/documentation.html>.
- [14] PAW reference manual; PAW user's Guide, [Http://wwwasd.web.cern.ch/wwwasd/paw/](http://wwwasd.web.cern.ch/wwwasd/paw/).
- [15] http://www.detectors.saint-gobain.com/Media/Documents/S000000000000000000000003/organics_brochure_2001.pdf.

(下转第 152 页)

ied. He atoms with a surprisingly high concentration (He/Ti atomic ratio is as high as 56%) incorporate evenly in deposited film. The trapped amount of He can be controlled by the helium partial amount. The introduction of the helium with no extra damage (or very low damage) can be realized by choosing suitable deposition conditions. It was also found that because of the formation of nanophase Ti film a relative high He flux for bubble formation is needed and the amount of the retain He in sputtering Ti films is much higher than that in the coarse-grain Ti films. The nanophase Ti film can accommodate larger concentration of trapped sites to He, which results in a high density and small size of the He bubbles. With increasing He irradiation flux, the grain size of Ti film decreases and the lattice spacing and width of the X-ray diffraction peak increase due to the He introduction, and the film tends to amorphous phase.

Key words: helium; damage; bubble; Ti film; sputtering deposition

(上接第 99 页)

On Performance of Thin Plastic Scintillator Film Used for Time Measurement of Superheavy Residue Nuclei*

XU Hua-gen^{1,2}, XU Hu-shan¹, LI Wen-fei^{1,2}, JIA Fei^{1,2}, CHEN Ruo-fu^{1,2}, ZHANG Xue-ying^{1,2}, MA Yue¹,
LI Song-lin¹, DUAN Li-ming¹, SUN Zhi-yu¹, XIAO Guo-qing¹, GUO Zhong-yan¹, ZHAN Wen-long¹

(1 *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2 *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: A thin plastic scintillator film detector with an inner ellipsoidal reflection mirror made of aluminum is introduced. Detection efficiency and light collection efficiency of the detector have been investigated. The time resolution of the detector has been also studied. The testing results show that the detection efficiency of BC498 with the thickness of 1 micron to be used in the coming superheavy synthesis experiments is approximately 100%, and the time resolution is better than 200 ps (σ). The performances of the thin plastic scintillator film detector meet the requirements for the time measurement of the superheavy element synthesis.

Key words: thin plastic scintillator film detector; light collection efficiency; detection efficiency; time resolution

* **Foundation item:** One Hundred Person Project of Chinese Academy of Sciences; National Key Basic Research and Development Programmer (2001CCB01200); Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KJCX2-SW-No2)