

闪烁探测器—计算机测量系统

邓 中 国

(中国原子能科学研究院)

〔摘要〕本文报道配置在MI1301型质谱计上的闪烁探测器—计算机测量系统。闪烁探测器包括由离子入口缝、法拉第筒、离子—电子转换电极、闪烁晶体、光导管和光电倍增管组成的转换电极室；由振荡器、电计、记录仪组成的直流测量装置；由脉冲放大器、多道分析器、磁场—多道扫描器、打印机、扫描仪组成的脉冲计数测量装置。计算机采用匈牙利EMG666微机，自行设计多道分析器—计算机接口。对本测量系统的转换效率、脉冲幅度分布以及转换电压等多种条件与探测器性能的关系进行了系统的测定。用本系统测定的铷同位素丰度比为 2.596 ± 0.003 ，无质量歧视效应。

一、引 言

转换电极式闪烁探测器是Daly^{〔1〕}于1960年提出的。这类闪烁探测器是在闪烁晶体之前设置一个转换电极，被测离子打在处于-30KV的转换电极上，实现离子—电子转换。产生的次级离子射入处于地电位的闪烁晶体，产生 γ 光子，经光导管传送入光电倍增管收集。因增设了离子—电子转换电极，明显提高了光电倍增管输出脉冲的幅度。二十年来各国一些著名质谱实验室都先后制作出多种类似Daly型的闪烁探测器^{〔2-6〕}，但是国内外至今仍无闪烁探测器—计算机测量装置出售。

本工作研制配置在MI1301型质谱计上的闪烁探测器—计算机装置。用四种形状的转换电极、两种闪烁晶体、两种型号的光电倍增管组合成多种测量系统，测量了它们的本底计数、脉冲幅度分布、效率等多项参数，测量了铷同位素丰度比。

二、转换电极真空室有关参数计算

1. 转换电极位置参数计算

真空室中，离子入口缝、转换电极、闪烁晶体的位置参数（见图1）按如下公式计算^{〔1〕}：

$$b^2 = k \left(a^2 \frac{V_1}{V_2} \right)$$

式中 V_1 和 V_2 分别为离子加速电压和转换电极电压， b 和 a 分别是转换电极至入口缝和闪烁晶

1985年12月24日收

体的距离; k 是常数, 一般取值 ~ 10.6 。

在 V_1 为 $3KV$, V_2 为 $30KV$ 时, $b/a = 1.03$ 。为保证真空室体积较小, 转换电极真至空室内壁有足够的空间以防出现电晕和场放电, b 和 a 分别取 $72.1mm$ 和 $70mm$, 转换电极可移动 $10mm$ 以获得最小入射角和最佳位置匹配, 增加次级电子发射效率和收集效率。

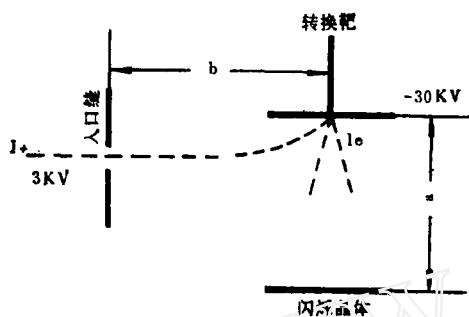


图1 入口缝、转换电极、闪烁晶体位置图

为得到较高的次级离子发射效率, 转换电极的离子—电子转换表面应真空沉积次级电子发射效率高的铝层。镀层厚度由离子在铝中的射程决定。离子在铝中的射程由经验公式和实测的 R (射程)— E (能量) 曲线计算^[7-8]。经验公式为:

$$R = KE^{0.83}$$

式中射程单位 μm , 能量单位 KeV 。对于能量为 $30KeV$ 的 $^2H^+$, $R = 0.35\mu m (0.1mg/cm^2)$; 由实测 $R-E$ 曲线计算结果也是 $0.1mg/cm^2$, 二者相符。但考虑到为获得比较均匀的镀铝层, 铝层厚度确定为 $500\text{\AA}$ 。

(2) 闪烁晶体厚度和镀铝层厚度计算

闪烁晶体及镀铝层厚度由电子在闪烁体及铝中的射程和能量损失率决定。能量为 $30KeV$ 的电子在有机晶体中的射程由实验曲线^[9] 计算得 $R = 3.5mg/cm^2$ 。考虑到制作方便和涂层均匀, 闪烁晶体传送 γ 光子有良好的透明度, 选用直径 $40mm$, 厚度为 $9mg/cm^2$ 的有机闪烁晶体。

闪烁晶体镀铝层的厚度应考虑穿过它时损失能量较少, 又能使 γ 光子反射回去, 接地也较良好。计算结果由能量损失率的半经验公式和实测曲线求得^[10]。半经验公式为:

$$\frac{dE}{dR} = -\frac{E}{R} (1.265 - 0.1911 \ln E)^{-1}$$

$$R = 412E^{(1.265 - 0.09541 \ln E)} \quad (E < 0.05 MeV)$$

式中 $\frac{dE}{dR}$ 为能量损失率 ($MeV \cdot cm^2/g$); E 为能量 (MeV); R 为射程 (g/cm^2)。能量为 $30KeV$ 的电子穿过此镀铝层损失的能量为 $0.1 \sim 0.15KeV$, 则 dR (铝层厚度) 为 $0.0097mg/cm^2$ ($360\text{\AA}$) $\sim 0.15mg/cm^2$ ($550\text{\AA}$)。由 $\frac{dE}{dR}-E$ 曲线求得的镀铝层厚度为 $370 \sim 550\text{\AA}$ 。为了能反射较多的 γ 光子和接地良好, 镀层厚度定为 $500\text{\AA}$ 。

三、转换电极式闪烁探测器系统

闪烁探测器系统包括转换电极真空室和测量系统两部分。

1. 转换电极真空室 简图示于图2。它包括入口缝、可抽底板法拉第筒、转换电极、闪烁晶体、光导管、光电倍增管和真空室主体。

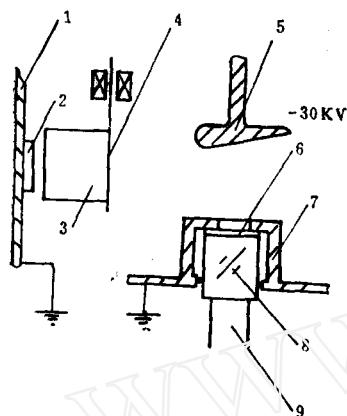


图2 转换电极真空室简图
1. 真空室 2. 入口缝 3. 法拉第筒 4. 可抽底板 5. 转换电极 6. 闪烁晶体 7. 压环 8. 光导管 9. 光电倍增管。

(1) **入口缝** 入口缝由缝板和调节装置组成，缝宽可调范围0—1.5mm。

(2) **法拉第筒** 可抽底板法拉第筒由一对抑制栅、一个法拉第筒体和抽底板装置组成，法拉第筒体外接振簧静电计的输入端，法拉第筒体的底板抽出后，离子束可以通过筒体，这时，整个法拉第筒应接地。

(3) **转换电极** 离子—电子转换电极由无磁不锈钢制成，离子—电子转换表面用真空沉积 $\sim 500 \text{ \AA}$ 的铝层；转换电极有平面电极、凹面电极、斜面电极和筒状电极四种类型，转换电极供给 $\sim 30 \text{KV}$ 高压。

(4) **闪烁晶体和光导管** 有机闪烁体是直径40mm、厚度为 9 mg/cm^2 的园形薄片，塑料闪烁晶体是直径40mm、厚度为3mm的园片。两种晶体的离子入射表面用真空沉积厚 $500 \text{ \AA}$ 的铝层。光导管是长度为25mm的有机玻璃柱体，光导管靠闪烁晶体端的直径42mm，靠光电倍增管端的直径55mm。使用时，两端均涂一层硅油，增加光耦合。

(5) **光电倍增管** 用两种型号的光电倍增管：EMI6097S和GDB50。两者都是低噪声、高灵敏度的光电倍增管，前者的时间响应较慢，但噪声更低一些。

2. 测量系统

闪烁探测器—计算机测量系统的原理图示于图3，它由直流测量系统和脉冲计数测量系统组成。直流测量系统包括振簧静电计、记录仪，与法拉第筒连结；脉冲计数测量系统包括脉冲前级放大器、线性脉冲放大器、磁场—多道同步扫描器、多道分析器、计算机、打印机和扫描器，它们与光电倍增管的输出端连结。

(1) 磁场—多道同步扫描器

磁场—多道同步扫描器使磁场扫描与多道分析器的多度定标记录同步进行，一次正向扫描后接着进行一次反向扫描，谱峰分别记入0—512道和513—1024道内。由同步扫描器发出启动、倒相、停止等信号，控制磁流调节器和多道分析器，扫描速度也由同步扫描器控制。

(2) **多道分析器** 用国产FH1024多道分析器，这种多道分析器可以在两种方式下工作：脉冲幅度分析和多度定标记录。脉冲幅度分析用于测定闪烁探测器的各项

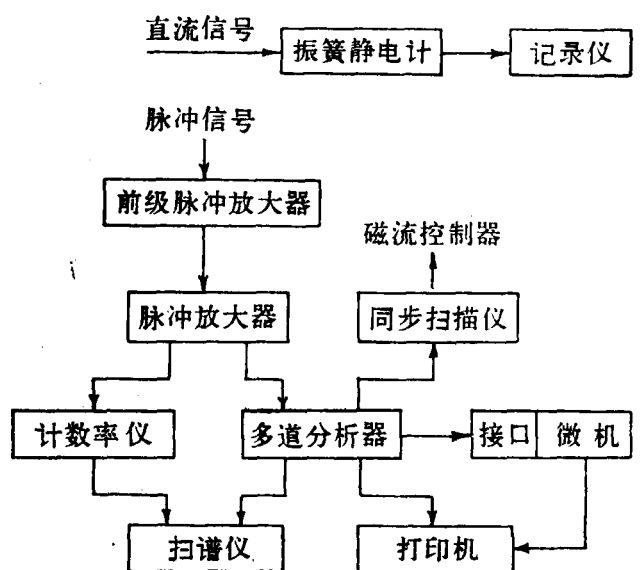


图3 测量系统方块图

参数,在进行质谱峰扫描之前,还用它来检查脉冲幅度分布,以便于确定甄别阈的极限阈值。多度定标方式用于记录质谱峰,以道数模拟质量数,脉冲计数对应于质谱峰的强度。

(3) 计算机数据处理系统 用的是匈牙利产EMG666微机,自行配制多道分析器—计算机接口。由多道分析器一次获取数据后,可以用该系统进行找峰、判断底线和峰顶、进行峰高计算、求出正、反扫描对应峰的平均值、计算同位素的百分比含量,以数字打印方式输出计算结果。

四、闪烁探测器—计算机装置的参数测定

在转换电极工作电压20—27.5KV,光电倍增管工作电压1.0—1.4KV的条件下,确定转换电极的最佳位置,测定本底计数与离子轰击转换电压的时间、真空度和转换电压的关系以及几种电极体系的本底计数和探测效率。

1. 影响本底计数的因素和测量本底计数

除测量线路的噪声本底外,影响本底计数的主要因素是电极表面因高压产生的场电离。为了控制场电离,加工电极时应无锐角和毛刺、光洁度应达 $\nabla 12$,还要用离子束轰击进行表面处理,并需提高转换电极真空室的真空度。

(1) 本底计数与离子束轰击时间的关系

用离子束处理转换电极的离子—电子转换表面时,应通过调节磁场电流和改变电极的方位,使受处理的表面积较大。本底计数—离子束轰击时间曲线示于图4。未处理过的电极的初始本底较高,衰减较慢,经过多次处理后,在正常使用时,初始本底计数较低,衰减也较快。

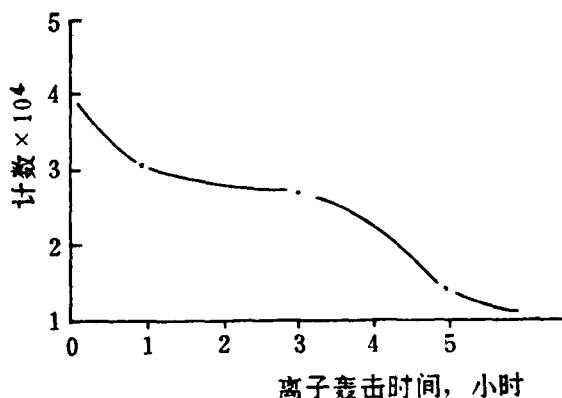


图4 本底计数—离子束轰击时间关系曲线

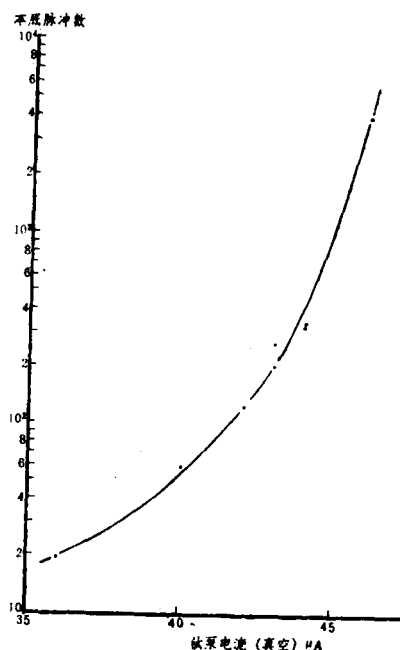


图5 本底计数—真空度曲线

(2) 本底计数与真空度的关系

本底计数与转换电极真空室的真空度有关,这也是场电离引起的。低真空度区段中真空

度的影响更大。本底计数—真空度曲线示于图5。

(3) 本底计数与转换电极电压的关系

本底计数—转换电极电压曲线示于图6。显然, 转换电极电压低于25KV, 本底计数受高压的影响较小。因此, 在正常使用时, 转换电极电压应控制在25KV。

(4) 本底计数

几种转换电极—闪烁晶体—光电倍增管组合体系的本底计数列于表1。本底计数是在如下条件下测定的: 转换电极电压~25KV, 光电倍增管6097S工作电压1KV, GDB50工作电压1.4KV, 真空度36 μ A (钛泵电流)。本底计数平均值为 4×10^{-20} A。

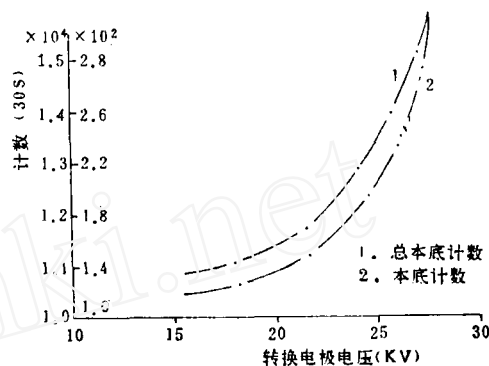


图6 本底计数—转换电极电压曲线

表1 几种电极体系的本底计数

电极体系	本底计数	
	30秒, 脉冲	$\times 10^{-20}$ A
凹面电极—有机晶体—6097S	18	3.8
凹面电极—有机晶体—GDB50	26	5.4
斜面电极—有机晶体—6097S	18	3.8
斜面电极—有机晶体—GDB50	24	5.0
斜面电极—塑料晶体—6097S	18	3.8
斜面电极—塑料晶体—GDB50	18	3.8
筒状电极—有机晶体—6097S	16	3.0
筒状电极—有机晶体—GDB50	16	3.0

2. 脉冲幅度分布

闪烁探测器输出脉冲的幅度分布优劣主要视其信号脉冲的幅度是否大于本底脉冲, 即是否能按脉冲幅度分开, 这样在做计数测量时, 能够甄别掉本底脉冲, 获取信号脉冲。影响脉冲幅度分布的主要因素有: 电极位置和电极电压、光电倍增管工作电压等。

(1) 脉冲幅度分布与电极位置的关系

脉冲幅度分布—转换电极位置曲线示于图7。转换电极与闪烁晶体之间的距离在70.5—72.5mm范围内, 信号脉冲与本底脉冲的幅度能分开, 信号脉冲幅度分布也较集中。

(2) 脉冲幅度分布与转换电极电压的关系

脉冲幅度分布—转换电极电压曲线示于图8。转换电极电压在22.5—27.5KV范围内, 信号脉冲与本底脉冲的幅度分辨率较好, 分布也较集中。

(3) 脉冲幅度与转换电极电压的关系

脉冲幅度—转换电极电压关系曲线示于图9。脉冲幅度与转换电极电压即与离子能量的关系是线性的, 线性度也较好。如果转换电极所处的位置不当, 或光导管与闪烁晶体, 闪烁晶体与光电倍增管的耦合欠佳时, 线性度会变坏。

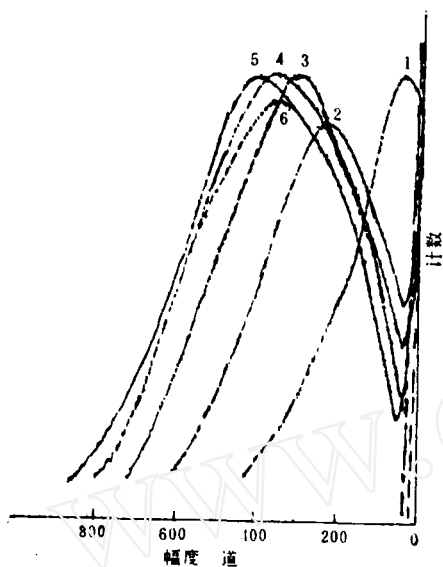


图7 脉冲幅度分布—电极位置关系曲线
各曲线号对应的 a 值(mm):
1—79.5 2—76.5 3—74.5
4—68.5 5—70.5 6—72.5

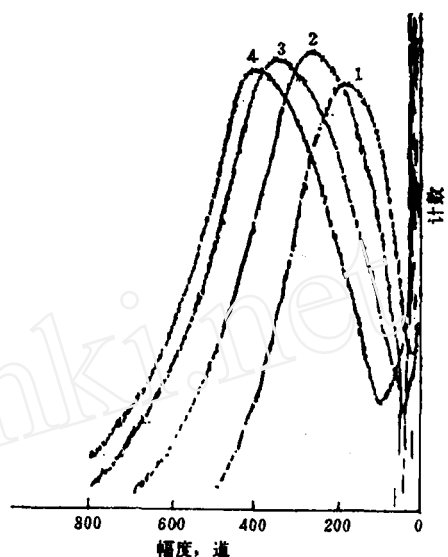


图8 脉冲幅度分布—转换电压关系曲线
1—20kv 2—22.5kv 3—25kv
4—27.5kv

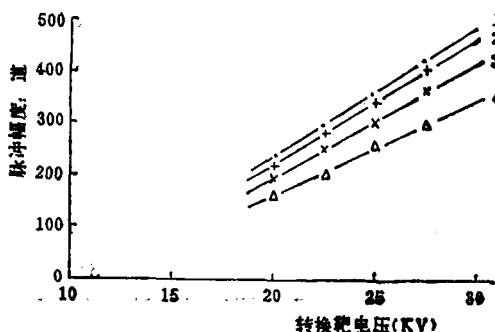


图9 脉冲幅度—转换电极电压关系曲线
1. 筒状电极—有机晶体—6097S
2. 凹面电极—有机晶体—6097S
3. 斜面电极—塑料晶体—6097S
4. 平面电极—有机晶体—6097S

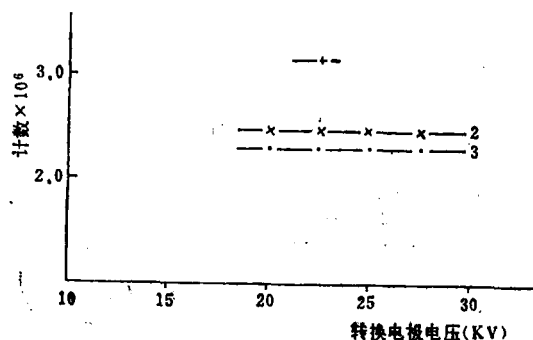


图10 脉冲计数率—转换电极电压关系曲线
1. 筒靶—塑料晶体—6097S
2. 凹靶—塑料晶体—6097S
3. 斜靶—塑料晶体—6097S(GDB50)
4. 斜靶—有机晶体—6097S

(4) 脉冲计数率与转换电极电压的关系

脉冲计数率与转换电极电压的关系曲线示于图10。转换电极电压在20—27.5KV之间, 计数率几乎是常定的, 未出现脉冲丢失现象。由于脉冲计数率低于 10^4 脉冲/秒, 不需要死时间修正。

3. 探测效率

用直流测量系统测定输出离子束流, 用脉冲计数测量系统测量闪烁探测器输出脉冲数。测定条件是: 振簧式静电计的高阻 $10^{12}\Omega$, 转换电极电压25KV, 6097S和GDB50的工作电压分别为1.0KV和1.4KV。几种电极体系的探测效率列于表2。显然, 它们的探测效率都接近100%。测定探测效率的谱线示于图11。

表2 几种电极体系的探测效率

电 极 体 系	探 测 效 率
平面电极——有机晶体——6097 S	98.80
凹面电极——有机晶体——6097 S	99.60
凹面电极——有机晶体——GDB50	99.87
斜面电极——有机晶体——6097 S	99.20
斜面电极——塑料晶体——6097 S	99.11
筒状电极——有机晶体——6097 S	99.96
筒状电极——塑料晶体——6097 S	99.64

4. 铷同位素丰度比值测定

用本探测器—计算机的脉冲计数测量系统测量了铷同位素的丰度比值 ($^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb}$)，测定条件与测定效率相同。用扫谱和计算机两种方式进行测量，测量结果列于表3。显然， $^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb} = 2.593 \pm 0.003$ ，与表值2.59完全符合，因而无质量歧视效应。

表3 铷同位素 $^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb}$ 比值

记 录 方 式	测 量 值
扫 谱	2.589
扫 谱	2.593
计 算 机	2.592
计 算 机	2.596
平 均 值	2.593 ± 0.003



图11 用做测定探测效率的质谱峰
a—闪烁探测器测量
b—静电计测量

五、结 束 语

闪烁探测器—计算机测量系统的脉冲幅度分布良好，效率高，本底计数低，使用方便，计数率恒定，效率近100%，本底计数为 $4.0 \times 10^{-20} \text{ A}$ 。测量铷同位素 $^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb} = 2.593 \pm 0.003$ ，无质量歧视效应。

本工作中计算机匹配由舒培桂完成。

参 考 文 献

1. N. R. Daly, Rev. Sci. Instrum., 31, 264(1960)
2. B. C. Bourne et al., J. Appl. Phys., 26, 596(1955)
3. H. A. Tasman, EUR-4567(1971)
4. N. R. Daly et al., Int. J. MS. Ion Phys., 11, 255(1973)
5. 肖桂里等, 物理, (1), 29(1980)

6. 肖桂里等, 第二次全国质谱会议资料选编, 原子能出版社, 1982, P235
7. J. R. Young, J. Appl. Phys., 27, 1(1966)
8. H. A. Wilcox, Phys. Rev., 74, 1748(1984)
9. Pages L. et al., CEA-R-3942(1970)
10. L. Datz et al., Rev. Mod. Phys., 24, 23(1952)

Measuring Systems with Detector/ Multichannel Analyser/ Microcomputer

Deng Zhongguo

(Institute of Atomic Energy)

Received 24, Dec. 1985

Abstract

The measuring systems with scintillation detector/multichannel analyser/microcomputer on a modified type MH1301 mass spectrometer are reported in the present paper. The scintillation detector consists of a vacuum house, a device measuring ion current and a device measuring pulse-counts. The detector is combined with FH-451 1024 multi-channel analyser/EMC666 microcomputer. The detected efficiency, pulse height distribution and other performances of the systems have been determined. The isotopic abundance for $^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb}$ is 2.596 ± 0.003 without mass discrimination by the systems.