

CNIC-01891

CAEP-0192

## 铀镀层定量研究

林菊芳 温中伟 王 玫 王大伦 刘 荣 蒋 励 鹿心鑫

(中国工程物理研究院核物理与化学研究所, 绵阳, 621900)

### 摘 要

在中子物理实验研究中, 铀镀层质量厚度的测量直接影响实验结果的不确定度, 所以需准确地定量实验中所用转换靶(浓缩铀镀片和贫化铀镀片)铀镀层的质量厚度。为了准确定量铀镀层的质量厚度, 设计建立了背对背电离室、小立体角定量装置及大面积金硅面垒半导体探测器三种定量系统。采用这三种定量方式对铀镀层进行准确定量, 并对定量结果进行了不确定度分析, 定量结果满足了实验要求。由于铀镀层的不均匀对定量的结果有一定的影响, 为了评估铀镀层不均匀所带来的影响, 对铀镀层进行了均匀性检测, 结果表明实验中所用铀镀层均匀性很好。

**关键词:** 铀镀片 背对背电离室 小立体角定量装置 半导体探测器 质量厚度

# Study of Uranium Plating Measurement

*(In Chinese)*

LIN Jufang WEN Zhongwei WANG Mei WANG Dalun

LIU Rong JIANG Li LU Xinxin

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, CAEP, Mianyang, 621900)

## ABSTRACT

In neutron physics experiments, the measurement for plate-thickness of uranium can directly affect uncertainties of experiment results. To measure the plate-thickness of transform target(enriched uranium plating and depleted uranium plating), the back to back ionization chamber, small solid angle device and Au-Si surface barrier semi-conductor, were used in the experiment study. Also, the uncertainties in the experiment were analyzed. Because the inhomogeneous of uranium lay of plate can quantitatively affect the result, the homogeneity of uranium lay is checked, the experiment result reflects the homogeneity of uranium lay is good.

**Key words:** Uranium plating, Back to back ionization chamber, Small solid angle device, Semi-conductor, Plate-thickness

## 引言

铀镀片不但可以用来制作裂变室探测器,还可以作为固体径迹火花自动计数器中的转换靶。因此,铀镀片在中子物理学实验中具有重要的意义,准确定量铀镀片镀层质量厚度也是一项关键工作。在中子物理实验研究中,铀镀层质量厚度的测量直接影响实验结果的不确定度,所以准确地测量实验中所用铀镀层的质量厚度是减小测量结果不确定度的主要措施之一。

铀镀层质量厚度最直接常用的测量方法是称重法,即通过比较镀片底衬电镀前后质量变化得出镀层材料的质量。但是由于镀片底衬的质量远大于镀层的质量,而且镀层中还有杂质影响,所以称重的准确度很低,无法满足实验要求。为了较准确地测定出铀镀层的质量厚度,决定使用 $\alpha$ 定量方法,绝对定量铀镀片镀层的质量厚度。定量的重点是定量结果的可信性,它主要由定量中的系统偏差为零或小到对定量不起影响的程度时,给出的定量不确定度才具有真实的意义,定量的结果才是可信的。

$\alpha$ 定量的系统偏差来自于 $\alpha$ 粒子衰变率的绝对测量。为了消除和发现 $\alpha$ 粒子衰变率绝对测量中的系统偏差,开展了铀镀层绝对定量的比对测量。选用了金硅面垒半导体探测器、背对背电离室和小立体角定量装置绝对测量铀镀片镀层的 $\alpha$ 粒子绝对衰变率。

金硅面垒半导体探测器测量铀镀片镀层的绝对衰变率时,方便快捷,易于在各种条件下对铀镀层进行定量。但用此法定量铀镀层质量厚度时,存在着0.8 mm空气间隙对 $\alpha$ 粒子吸收、立体角定不准确(立体角小于6.28 sr,由镀片镀层和半导体金面之间间距、铀镀层及半导体灵敏区的面积决定,这三个量都不易测准,都会给立体角带来误差)及铀镀层自吸收的影响。这些影响因素使 $\alpha$ 粒子谱变差,从甄别阈能量起,至 $\alpha$ 粒子峰之间形成一种连续的准平台谱。

为了克服半导体探测器定量的缺点,设计加工了背对背电离室,用背对背电离室对铀镀片镀层进行定量,可以消除半导体探测器定量时存在的0.8 mm空气间隙吸收的影响及立体角定不准的影响,它测量铀镀层 $\alpha$ 粒子绝对衰变率时的立体角为6.28 sr,但它定量时还是存在着铀镀片镀层自吸收的影响。由于镀片自吸收的影响,背对背电离室测到的 $\alpha$ 粒子也较差,甄别阈能至 $\alpha$ 粒子谱峰之间也有一种连续的平台谱存在。背对背电离室定量时虽克服了半导体定量的缺点,增加了定量的可信度,但需要抽真空和充氩气,使定量变得较麻烦。

为了克服背对背电离室定量的缺点,设计和加工了小立体角 $\alpha$ 定量装置。用小立体角法测量 $\alpha$ 粒子绝对衰变率时,用加光栏的方法可准确地给出探测器和镀层面积,克服了立体角的影响。由于距离的拉长及使用了定位准直措施,基本克服了铀镀层自吸收的影响,并减小了铀镀片镀层 $\alpha$ 粒子背散射影响。消除了 $\alpha$ 粒子谱中的“准平台”,使甄别阈能至 $\alpha$ 粒子谱峰间很“干净”,无杂乱的 $\alpha$ 粒子计数存在。但小立体角定量时需抽真空,需逐一地装配镀片,调节光栏及准直,使测量变得繁琐。

如果用三种方法定量同一铀镀片镀层的质量厚度,对系统的影响进行修正后,三种方法定量在所给定的不确定度内相符,这就证明了定量的结果是可行的。

## 1 铀镀层质量厚度 $\alpha$ 粒子定量原理

由于铀材料的  $\alpha$  衰变计数率  $A_\alpha$  (个/s) 正比于它的绝对核数, 铀材料的  $\alpha$  衰变计数率  $A_\alpha$  和其质量  $w$  有如下关系:

$$A_\alpha = w \cdot N_A \cdot \sum_{i=1}^n (\omega_i / A_i) \cdot \lambda_i = w \cdot A_{\alpha 0} \quad (1)$$

其中:

$$A_{\alpha 0} = N_A \cdot \sum_{i=1}^n (\omega_i / A_i) \lambda_i \quad (2)$$

式中:  $A_\alpha$ ——铀材料的  $\alpha$  衰变率, 个/s;

$w$ ——铀材料的总质量, g;

$N_A$ ——阿伏伽德罗常数, 个/mol;

$\omega_i$ ——铀镀层中第  $i$  种同位素在总量中所占的份额(同位素丰度);

$A_i$ ——铀镀层中第  $i$  种同位素原子量, g;

$\lambda_i$ ——铀镀层中第  $i$  种同位素自发衰变常数,  $s^{-1}$ 。

所以如果测得铀镀层的  $\alpha$  粒子计数率为  $N$  (个/s), 通过多道测得的  $\alpha$  谱做矩形反推就可以得到甄别阈能为 0 V 时的铀镀层的  $\alpha$  粒子计数率  $N_0$ , 但是由于铀镀层的自吸收以及镀片底衬材料对  $\alpha$  粒子反散射的影响, 使测到的  $N_0$  不是  $\alpha$  粒子计数的真值  $N_\alpha$ , 因此要对其自吸收及背散射进行修正。

### 1.1 自吸收修正

铀镀层的自吸收效应使得测到的  $\alpha$  粒子计数减少, 当测量的甄别阈能为 0 V 时, 铀镀层的自吸收损失可以用下式表示:

$$f_\alpha = t/2R \quad (3)$$

式中:  $t$ ——铀镀层的厚度,  $\mu\text{m}$ ;

$R$ —— $\alpha$  粒子在铀镀层中的射程,  $\mu\text{m}$ 。

在铀镀片中, 电镀上去的铀镀层可按  $\text{UO}_2$  处理。利用 TRIM2003 (Transport of Ion in Matter) 程序模拟计算了不同能量的  $\alpha$  粒子在  $\text{UO}_2$  里的射程<sup>[1]</sup>。TRIM2003 程序是一个用 Monte Carlo 模拟载能离子在各种物质中慢化和散射的计算机程序, 用来确定离子的射程、损伤特性, 以及背散射和透射离子的角度和能量分布等。通过计算得出  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  和  $^{238}\text{U}$  发出的  $\alpha$  粒子的平均能量在  $\text{UO}_2$  里的射程分别为 15.95  $\mu\text{m}$ , 14.32 和 13.59  $\mu\text{m}$ 。数据处理时按不同的同位素发出的  $\alpha$  粒子数百分比来计算其在镀层中的自吸收损失。

### 1.2 背散射修正

由于铀镀片底衬背散射的影响, 使得测到的  $\alpha$  粒子计数增加, 计数增加在 1%~2% 之间, 与底衬材料有关。对不锈钢底衬的背散射系数<sup>[2]</sup>  $f_c = 1\%$ 。

在进行绝对测量时, 贫化铀镀片的计数率较低, 所以没有死时间修正问题。但是在对浓缩铀镀片的测量中, 当用半导体和背对背电离室测量  $\alpha$  粒子绝对衰变率时, 由于计数率很强, 存在死时间引起的计数损失问题, 这部分损失在测量时多道可以自行修正。

对测到的  $\alpha$  粒子计数率  $N$  经过阈损失修正及自吸收和背散射修正后, 就得到一定探测效率下的  $\alpha$  计数率  $N_\alpha$ , 即可以得到铀镀层的总质量  $w$  为:

$$\omega = N_{\alpha} / (A_{\alpha_0} \cdot \epsilon) \quad (4)$$

得到铀镀层的总质量后,除以铀镀层面积就得到铀镀层的质量厚度。其中  $A_{\alpha_0}$  通过计算得浓缩铀的  $A_{\alpha_0} = 2.6033 \times 10^6$  (个/(g·s)), 贫化铀的  $A_{\alpha_0} = 1.8081 \times 10^4$  (个/(g·s))。

## 2 背对背电离室测量铀镀层厚度

### 2.1 背对背电离室

作为 6.28 sr 型计数器,背对背电离室可以绝对测量铀镀层衰变的  $\alpha$  粒子计数,其原理如图 1 所示<sup>[2]</sup>。

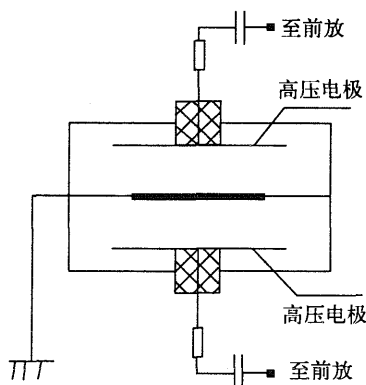


图 1 背对背电离室原理图

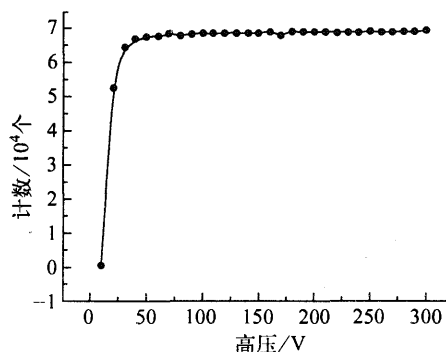


图 2 背对背电离室工作电压与  $\alpha$  计数的坪曲线

背对背的两个电离室极间距均为 12 mm,铀镀层的直径  $\phi$  24 mm,其厚度待定,高压电极直径  $\phi$  40 mm。测量时高压平板电极上所加的电压应使电离室工作在饱和区,这时两极间电离的离子才能被全部收集,所以逐渐增加高压,测量出不同电压下的  $\alpha$  粒子计数,做出电压和  $\alpha$  粒子计数的坪曲线如图 2 所示。

由图 2 可以看出,电离室的坪曲线的坪开始于 40 V 左右,定量中我们使用的电压为 200 V 是合理的。从电离室的结构和坪电压特性来看,可以认为这种电离室没有边缘效应的影响问题。只要  $\alpha$  粒子跑出铀镀层,且其能量高于甄别阈能就都可以被计数,所以当甄别阈能为零时,考虑到在铀镀层的自吸收及背散射后,电离室的探测效率可以认为是 50%。

### 2.2 背对背电离室测量 $\alpha$ 粒子绝对衰变率

$\alpha$  粒子在电离室中产生的信号,经过前置放大器及主放大器放大后接到示波器或多道上看,信号的可分辨性很好,本底和信号的界限分明,低能部分和  $\alpha$  峰之间没有粘连现象出现,这说明没有杂乱的干扰信号。这样在一定的阈能以上所测出的计数即是没有干扰的  $\alpha$  粒子真计数。

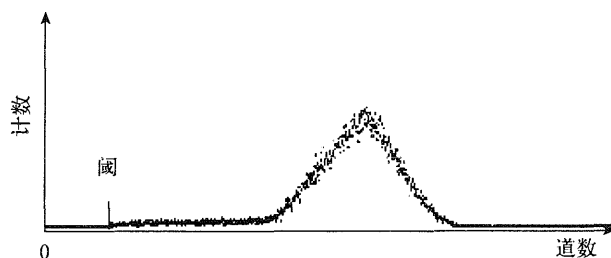


图 3 背对背电离室测到的  $^{235}\text{U}$  的  $\alpha$  粒子谱

用背对背电离室测到的  $\alpha$  粒子谱如图 3 所示。

由背对背电离室测得的  $\alpha$  粒子谱,可以求出甄别阈能以上  $\alpha$  粒子的计数率  $N$ ,对测到的计数率  $N$  经过阈损失、自吸收和背散射修正后,可得到一定探测效率下的  $\alpha$  计数率  $N_0$ ,按式(4)给出铀镀层的总质量(对于背对背电离室  $\epsilon=0.5$ ),再除以镀层面积得到铀镀层的质量厚度。

### 3 用小立体角定量装置测量铀镀层质量厚度

#### 3.1 小立体角定量装置

根据电镀片和半导体探测器的大小,考虑到要对镀片进行不均匀性测量以及绝缘、信号引出、抽真空等因素,设计加工了小立体角  $\alpha$  定量装置,其结构如图 4 所示。

在小立体角定量装置中探测器和铀镀片之间的距离可以通过固定筒的长短随意调节(最小变化 1 mm),最长距离可以调节到 500 mm,最短可以到 20 mm,即其立体角在一定范围内可以随意调节。用 Delphi 程序编程计算可知:当半导体探测器金面前端的准直孔为  $\phi 14$  mm 时,相对立体角调节范围为  $4.8972 \times 10^{-5} \sim 2.2990 \times 10^{-2}$ 。测量时调节固定筒的长度以得到合适的立体角(按理是立体角越小测得越准)。测量时所用探测器的金面直径为  $\phi 16$  mm,半导体探测器通过半导体准直套和压环固定。组装时通过旋转压筒使铀镀片被压平紧贴于滑动座上。

#### 3.2 小立体角法定量铀镀层质量厚度

由于铀镀层的铀核在衰变时是各向同性发射出  $\alpha$  粒子的,所以只要测得铀镀层在任何方向一定立体角内的放射性活度,就能计算出铀镀层总的放射性活度,从而知道铀镀层的质量厚度。在测量时用金硅面垒半导体探测器,由于探测器离铀镀片的距离很大,所以探测器对铀镀片所张的立体角很小,且测得的  $\alpha$  粒子基本近于垂直入射探测器,这种方法称为小立体角  $\alpha$  粒子测量。

当入射的  $\alpha$  粒子进入半导体探测器的灵敏区后,电离辐射在介质内产生电子—空穴对,每入射一个  $\alpha$  粒子形成的电子—空穴对被电极收集后,就测到一个  $\alpha$  粒子信号,在单位时间内,在一定立体角中测到的  $\alpha$  粒子数就是铀镀层的  $\alpha$  粒子计数率。

由小立体角装置测到的  $\alpha$  粒子计数率不需要甄别阈能的修正,因为其  $\alpha$  谱低能端非常干净,没有计数,由小立体角定量装置测得的  $\alpha$  谱如图 5 所示。

小立体角定量装置测量时虽然没有甄别阈能损失,但仍有自吸收及底衬背散射的影响,

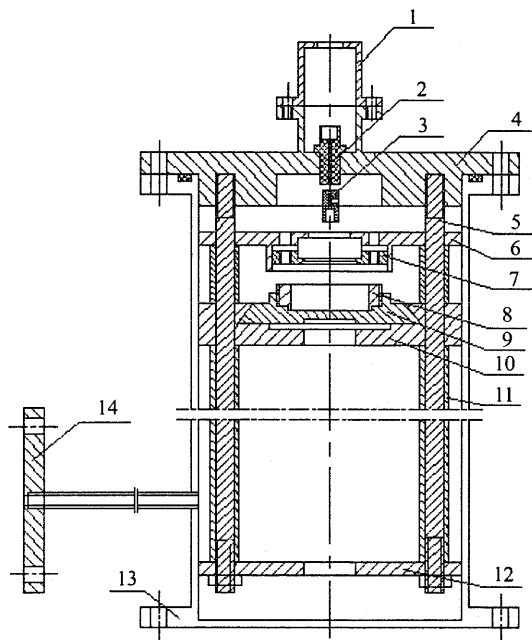


图 4 小立体角  $\alpha$  定量及均匀性测量装置

- 1—电缆盖;2—绝缘封座;3—半导体插杆;
- 4—上封盖;5—固定杆;6—半导体准直套;7—压环;
- 8—压筒;9—滑动座;10—导向套;11—固定筒;
- 12—底板;13—真空盒;14—转换法兰

所以测到的  $\alpha$  粒子计数率需经过修正后方可得到  $\alpha$  粒子计数率的真值  $N_0$ 。

测得铀镀层的  $\alpha$  粒子绝对计数率  $N_0$  后, 据公式(4)可得被测铀镀层的总质量, 再除以被测铀镀层的面积就可以得到铀镀层的质量厚度。

#### 4 用半导体探测器测量铀镀层的质量厚度

通过背对背电离室及小立体角定量测量, 可以得出  $\alpha$  定量的精度是可以满足实验要求的。但是上百片的铀镀片如果都用背对背电离室或小立体角定量装置定量, 其工作量很大。所以, 对大量的铀镀片均采用相对定量法。

用背对背电离室、小立体角定量装置及大面积半导体探测器三种定量装置分别定量 5 片浓缩铀电镀片作为标准片(贫化铀只用大面积半导体探测器和背对背电离室两种质量装置分别定量了 5 片作为标准片), 取三种定量结果的加权平均值作为该铀镀片镀层质量厚度的真值, 将该真值与半导体探测器测量结果比较得到转换系数  $p_i$ , 取 5 片电镀片的转换系数  $p_i$  的平均值作为该种电镀片的转换系数  $p$ 。得出该种电镀片的转换系数  $p$  以后, 用同一个金硅面垒半导体探测器在相同的测量条件下(即同样的甄别阈能、测量时间、装置、几何位置等)测量所有待定量的铀镀片的  $\alpha$  计数。

半导体探测器测到的  $\alpha$  粒子谱如图 6 所示。

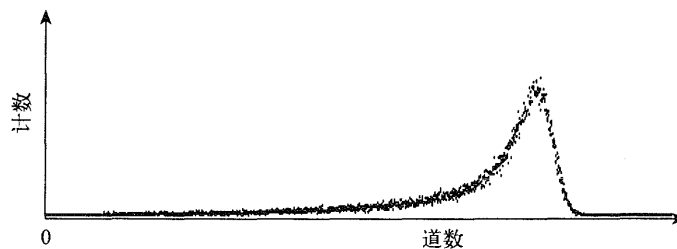


图 6 大面积半导体探测器测到的  $\alpha$  粒子谱峰

半导体探测器测得的结果经过甄别阈能损失修正、立体角修正、自吸收修正及背散射修正后得出铀镀层的质量厚度, 该质量厚度再乘上转换系数  $p$ , 即得到铀镀层相对定量的质量厚度。

#### 5 铀镀层均匀性测量

由于电镀铀镀片时阳极铂丝网是手工制作, 其不平整导致电镀时其电流密度不均匀, 所以电镀片上的铀镀层也有一定程度的不均匀。为了解铀镀层的不均匀性, 在设计小立体角定量装置时同时设计了燕尾槽型的滑动座以测量铀镀层的均匀性。滑动座和导向套以及小孔定位片结构如图 7、图 8 所示。

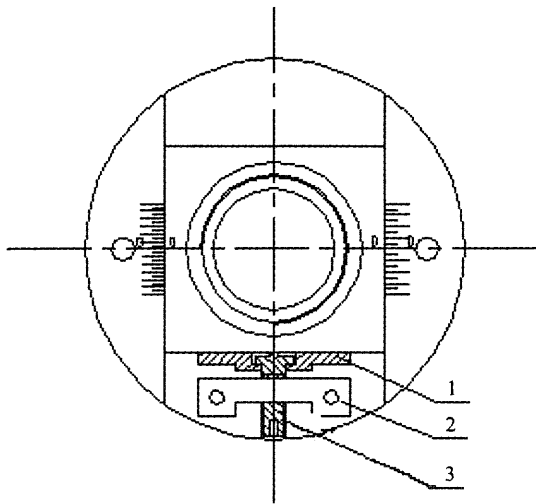


图7 滑动座及导向套组合图  
1—导向套；2—导向座；3—导向杆

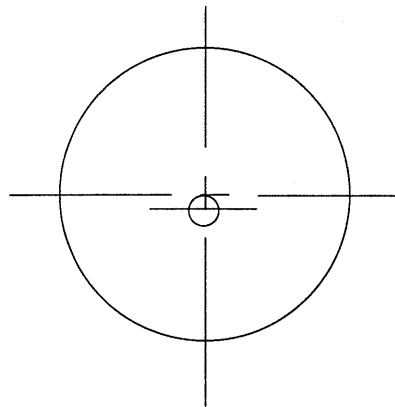


图8 小孔定位片

在均匀性测量时,要让 $\alpha$ 粒子基本是直线射入探测器,需在铀镀层前加一个小孔定位片,这样导致入射进探测器的 $\alpha$ 粒子计数很少,所以应将滑动座和探测器的距离调节到最小(20 mm),这时探测器对铀镀层的小准直孔所张的立体角最大,即探测效率最大。测量时,用事先加工好的小孔定位片紧贴在铀镀片上,旋转压筒使定位片和铀镀片一起被压紧。小孔定位片上小孔直径为 $\phi 3$  mm,小孔中心离定位片中心的距离分别为 0, 1.5, 4.5, 7.5, 10.5 mm。装上铀镀片和小孔定位片后调节导向杆移动滑动座使小孔定位片的小孔中心对准导向套上的零刻度中心,即小孔中心对准探测器的中心。测量时,铀镀层上在半径为 ) mm处测量一个点、在半径为 1.5, 4.5, 7.5 和 10.5 mm 的圆周上分别测八个点,可比较圆周上铀镀层的均匀性及同一径向上铀镀层均匀性。

均匀性测量时铀镀层上各个取样点位置如图 9 所示。

典型的铀镀片均匀性的测量结果见图 10 所示。

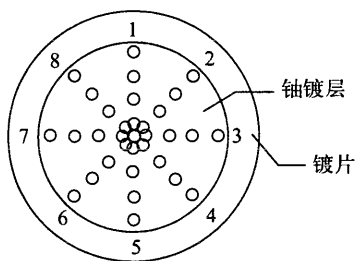


图9 均匀性测量时各个取样点位置示意图

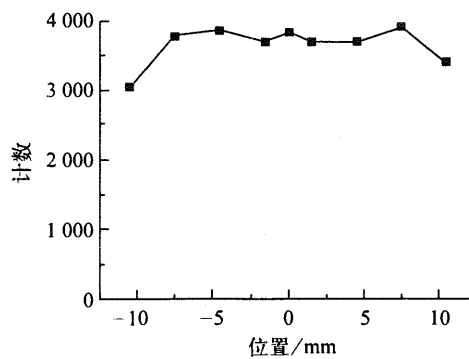


图10 铀镀层均匀性测量结果示意图

由图 10 可以看出铀镀层的中心位置相对边缘要厚一些,铀镀层是不均匀的,该铀镀片



的镀层质量厚度为  $290.53 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。

## 6 实验结果

### 6.1 标准片的测量

用背对背电离室、小立体角定量装置和大面积金硅面垒半导体探测器分别测量了 5 片浓缩铀镀片镀层质量厚度,测量结果列于表 1。

表 1 三种定量方式定量浓缩铀镀片镀层质量厚度对比表

编号	背对背电离室/ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	小立体角定量装置/ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	半导体探测器/ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	加权平均值/ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	转换因数 $P_i$
8#	405.23	411.73	408.81	408.79	0.999 961
36#	269.46	269.89	270.48	269.91	0.997 875
45#	392.23	400.90	392.90	395.89	1.007 601
81#	460.02	467.88	462.78	463.91	1.002 443
119#	325.74	330.96	326.09	327.93	1.005 643
不确定度/%	1.41	1.28	1.57	0.81	0.82

由表 1 可以得出浓缩铀镀片镀层质量厚度相对定量的转换系数  $p=1.002 7$ 。

用背对背电离室和大面积半导体探测器测量 5 片贫化铀电镀片镀层质量厚度,测量结果列于表 2。

表 2 两种定量方式定量贫化铀镀片镀层质量厚度对比表

编号	背对背电离室/ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	半导体探测器/ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	加权平均值/ ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	转换因数 $P_i$
52#	300.23	297.38	298.81	1.004 8
56#	273.87	277.22	275.67	0.994 4
57#	243.27	239.62	241.31	1.007 1
59#	231.14	229.09	230.04	1.004 1
60#	261.27	264.61	263.06	0.994 1
不确定度/%	1.73	1.86	1.18	1.28

由表 2 可以得出贫化铀镀片铀镀层质量厚度相对定量的转换系数  $p=1.000 9$ 。

### 6.2 相对定量结果

用大面积半导体探测器相对定量浓缩铀和贫化铀电镀片镀层质量厚度,结果列于表 3 和表 4。

表 3 浓缩铀镀片镀层质量厚度

$\mu\text{g}/\text{cm}^2$							
编号	质量厚度	编号	质量厚度	编号	质量厚度	编号	质量厚度
3	589.93	21	414.70	39	298.85	60	301.13
4	432.46	22	407.53	40	290.53	61	315.90
5	445.72	23	442.32	43	405.68	62	321.38
6	503.47	24	394.88	44	385.48	63	297.10
7	463.35	25	430.53	45	393.86	64	318.15
8	409.81	26	418.66	46	397.41	65	319.45
10	327.39	27	395.82	47	417.82	66	310.16
12	331.43	28	393.57	48	419.48	67	305.49
13	341.82	29	406.03	49	384.24	68	333.18
14	312.91	30	411.05	50	415.94	81	463.91
15	321.40	31	406.20	51	404.59	82	464.24
16	354.02	32	409.32	52	385.57	117	284.07
17	335.92	34	318.29	54	410.47	119	327.20
18	352.16	35	276.52	56	298.04	—	—
19	329.48	36	271.21	58	285.01	—	—
20	335.00	38	308.88	59	302.73	—	—

表 4 贫化铀镀片镀层质量厚度

$\mu\text{g}/\text{cm}^2$							
编号	质量厚度	编号	质量厚度	编号	质量厚度	编号	质量厚度
1	412.22	17	398.96	33	323.74	51	329.81
2	423.90	18	438.62	34	298.58	52	297.65
3	433.15	19	396.61	35	327.57	53	286.86
4	424.85	20	379.14	36	360.11	54	298.95
5	412.32	21	414.58	38	313.95	55	283.88
6	382.99	22	382.80	39	327.29	69	450.43
7	416.84	23	365.92	40	316.47	70	450.80
8	401.40	24	365.35	41	322.44	71	406.95
9	391.44	25	412.41	42	350.19	72	403.28
10	399.99	26	416.74	43	351.96	73	401.50
11	409.59	27	392.28	44	309.57	74	399.05
12	417.87	28	352.34	46	277.66	75	408.18
13	423.72	29	355.43	47	292.25	76	353.09
14	414.30	30	361.42	48	304.26	—	—
15	427.58	31	358.89	49	280.82	—	—
16	412.22	32	364.32	50	282.96	—	—

### 6.3 不确定度分析

用背对背电离室、小立体角定量装置和大面积金硅面垒半导体探测器分别测量浓缩铀和贫化铀电镀片镀层质量厚度的不确定度分析结果列于表 5 和表 6。

表 5 三种装置定量浓缩铀电镀片镀层质量厚度的不确定度分析 %

	半导体探测器	背对背电离室	小立体角定量
立体角	0.8	0	0.2
甄别阈能损失	0.25	0.5	0
$A_0$	0.5	0.5	0.5
自吸收	0.5	0.5	0.3
其他	1.12	1.12	1.12
合成不确定度	1.57	1.41	1.28

表 6 两种装置定量贫化铀电镀片镀层质量厚度的不确定度分析 %

	半导体探测器	背对背电离室
立体角	0.8	0
甄别阈能损失	0.25	0.5
$A_0$	0.5	0.5
自吸收	0.5	0.5
统计误差	1.0	1.0
其他	1.12	1.12
合成不确定度	1.86	1.73

用半导体探测器相对定量浓缩铀和贫化铀电镀片镀层质量厚度的不确定度分析结果列于表 7。

表 7 相对定量浓缩铀和贫化铀电镀片镀层质量厚度的不确定度分析 %

	浓缩铀	贫化铀
标准片测量不确定度	0.82	1.28
相对 $\alpha$ 计数不确定度	0.2	0.5
合成不确定度	0.834	1.374

### 6.4 铀镀层均匀性测量结果

对浓缩铀电镀片镀层做取样测量,通过对测量结果的分析,可以得出铀镀层的非均匀性小于 18%。

## 7 分析讨论

(1) 用半导体探测器测量时方便快捷,但是由于金面大小及金面到前端的距离测量的

不准确,使得其立体角的不确定度增大,还有空气层的吸收等因素的影响,使得其测量结果不确定度大。

(2) 背对背电离室没有立体角和边界效应的影响,但它由甄别阈能引起的计数损失修正所引入的不确定度比较大,从测得的 $\alpha$ 粒子谱峰可以看出是由于其低能端计数较大而引起的。

(3) 小立体角定量装置的立体角可以较准确地计算出,并且其测得的谱的低能端没有计数,所以其测量结果没有甄别阈能引起的计数损失修正引入的不确定度,并且测量时在真空中进行,没有空气层的吸收,使得用小立体角定量装置测得的结果的不确定度较小。

(4) 取三种装置定量结果的加权平均值作为铀镀层厚度的真值,并得出该真值与半导体探测器定量结果之间的系数 $p$ ,然后将半导体探测器测量的结果乘上系数 $p$ ,即得该电镀片的镀层质量厚度。这样做既省时又降低了定量结果的不确定度。三种定量方法定量的结果在其不确定度范围内相符合,说明定量的结果是可信的。

#### 参 考 文 献

- 1 吴治华. 原子核物理实验方法[M]. 北京: 原子能出版社, 1996
- 2 Int J. Appl. Radiation. Isotopes, 1968, 19