

慢正电子束产生实验*

韩荣典 郭学哲 翁惠民 谢 力 张少强

(中国科学技术大学近代物理系)

1987年5月18日收到

本文介绍一台慢正电子束装置。在该装置上用W慢化体产生慢正电子,测量了慢正电子能谱,并和在该装置上用Ni + MgO慢化体所得结果进行了比较。

一、引 言

用放射源产生的快正电子轰击某些金属表面时,如果这些金属对正电子具有负的功函数,慢化后扩散到金属表面的热正电子就有一定几率从金属表面发射出来,其能量约等于正电子负功函数的绝对值。将这些慢正电子加速和聚焦即得到慢正电子束。

国外有些实验室用慢正电子束进行正电子和原子、分子碰撞以及电子偶素原子的实验研究,已做了大量的工作^[1]。

本文介绍在我们建造的慢正电子束装置上用退火W片慢化体和Ni + MgO慢化体产生慢正电子的实验,并对实验结果进行了讨论。

二、实验装置和慢化体制备

1. 实验装置 慢正电子束装置由慢化体、传输系统和探测器三部分组成。慢化体产生的慢正电子由一弯曲长螺线管(1.5m长)传输到装在真空管道尾端的探测器计数测量。传输管道为内径50mm的不锈钢管、管内排列着8个内孔径为20mm的障板用以阻止散射的快正电子到达探测器。长螺线管的磁场强度为10G/A。

慢正电子探测器是一通道电子倍增器(CEM)。在CEM前装有平面减速栅(见图1),它们和CEM一起构成减速场分析器(RFA)用来测量慢正电子的积分能谱。做慢正电子测量时,CEM喇叭口电位 V_c 设置在-400V,CEM工作电压 $V_{CEM} = 2950V$ 。系统真空用一台FBJ-450型涡轮分子泵机组获得,在慢化体端真空度为 $2 \times 10^{-6} \text{Torr}$,在探测器端为 $0.6 \times 10^{-6} \text{Torr}$ 。

2. 慢化体制备 金属慢化体的慢正电子转换率可以由下式进行估算^[2]:

$$\varepsilon = y_0 \Lambda / L,$$

式中 Λ 是正电子在慢化体材料中的扩散长度; $L = \lambda / \rho$ 是正电子衰减长度^[3], λ 是正电

* 中国科学院青年奖励研究基金资助的课题。

子平均自由程, ρ 是材料密度; y_0 是扩散到表面的正电子从表面发射出来的几率, $y_0 = \exp[-(-0.27\text{eV}/\varphi_+)^{1/2}]$, φ_+ 是正电子功函数。从上式可以看出制作慢化体应选择高密度和有较小正电子功函数的材料。表 1 给出几种材料的正电子功函数值。

表 1 几种材料的正电子功函数值^[4]

材料	W	Mo	Pt	Ni	Au	Ir
$\varphi_+(\text{eV})$	-2.1	-2.0	-0.2	-0.4	+1.1	-1.4

在实验中我们选择了 W 材料。W 慢化体的制备方法如下: 将 $30\mu\text{m}$ 厚的 W 箔切成 2mm 宽的条, 先后用丙酮和甲醇擦洗, 然后用比例为 1:1:1 的 H_2O_2 , 30%, NH_4OH 和 NaOH 的混合液浸蚀。然后在真空退火瓶中通电流缓慢加热, 当 W 条呈白炽状态时保持 10min, 将电流缓慢降至零。退火瓶真空度保持在 1.5×10^{-5} Torr。将退火后的 W 条切成小段固定在 Ni 片百叶窗上, 接着放入真空室。这一过程 W 片退火后暴露大气的的时间约 2h。慢化体前装有 90% 透率的栅极网和加速网, 加速网置地电位 (图 1)。

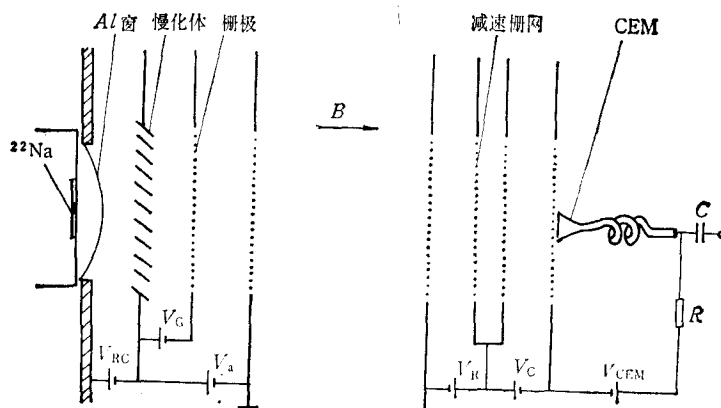


图 1 慢正电子产生和测量系统示意图

B 为长螺线管产生的纵向磁场

$\text{Ni} + \text{MgO}$ 慢化体的制备如下: 将 Ni 片百叶窗用清洗 W 条的方法清洗, 然后让 Mg 条在空气中燃烧, 烟熏 Ni 片, 接着放入真空室。MgO 在 Ni 片上的厚度约为 $850\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。

三、实验测量

本实验我们使用的是 $50\mu\text{Ci}$ (β^+ 强度) 的 ^{22}Na 源。由放射源产生的快正电子穿过 $25\mu\text{m}$ 厚的 Al 窗进入真空室打在慢化体上。Al 窗引起的正电子损失约为 22%^[5]。

图 2 是螺线管电流 $I_M = 4.0\text{A}$ 时 CEM 慢正电子计数和加速电压 V_a 的关系。可以看出在较低能量时 CEM 计数随 V_a 的增大而增加。能量较低的慢正电子计数率低, 这主要是较低能量的正电子在传输中损失造成的。在实验中我们注意到对于百叶窗式慢化

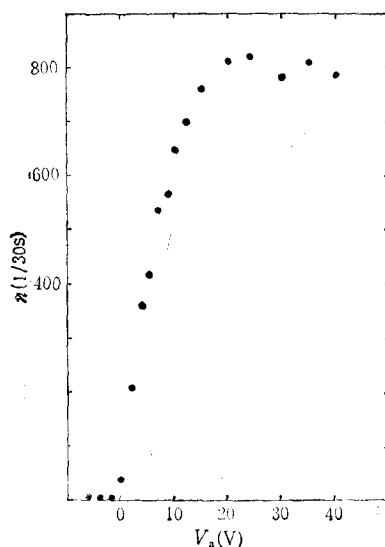
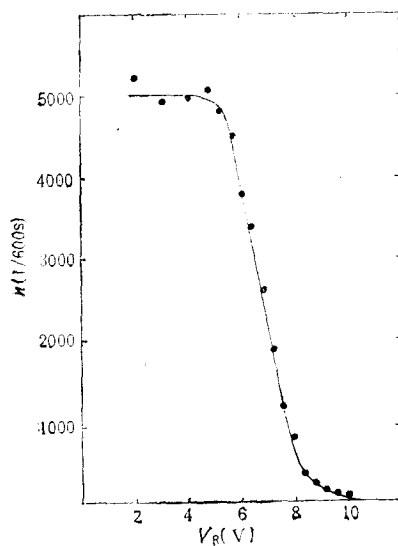
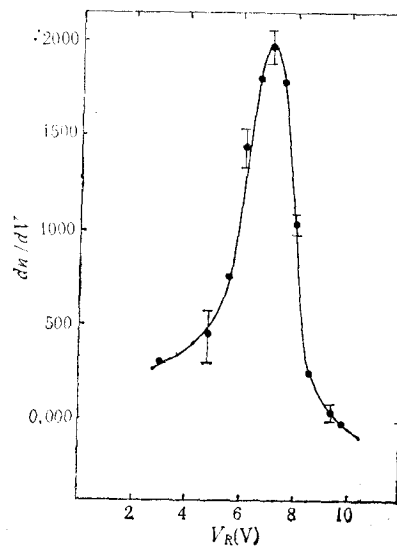


图2 CEM 慢正电子计数和加速电压的关系

$$I_M = 4.0 \text{ A}$$

体结构, 放射源相对慢化体的电位 V_{RC} (图1中 Al 窗和放射源同电位) 对慢正电子收集有较大影响。放射源相对慢化体置正电位时, 慢化体向反传输方向发射的慢正电子受到和放射源同电位的 Al 窗的排斥, 使这些慢正电子经 V_a 加速而被 CEM 计录, 从而使到达探测器端的慢正电子数目增加。我们测量了 V_{RC} 为 0.0V 和 4.0V 两种条件下的慢正电子产额, 结果后者是前者的 1.8 倍。

图3是 $V_a = 6.03 \text{ V}$ 时, 用 RFA 所测得的慢正电子能谱。在进行 W 慢化体实验前

(a) 积分能谱 $V_a = 6.03 \text{ V}$ 

(b) 将(a)微分得到的微分能谱

图3 慢正电子能谱

我们还做了用 Ni + MgO 慢化体产生慢正电子实验。图 4 是两种慢化体的慢正电子积分能谱的比较。W 慢化体的慢正电子产额比 Ni + MgO 慢化体的有近一个数量级的提高,束流能量宽度也明显变好。

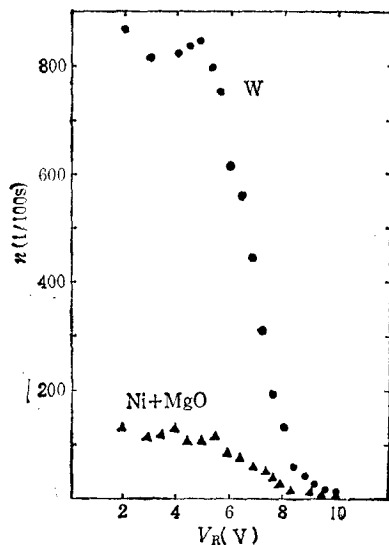


图 4 W 和 Ni + MgO 两种慢化体慢正电子积分能谱的比较 $V_a=6.03\text{V}$

四、实验结果与讨论

表 2 给出了我们用退火 W 片慢化体和 Ni + MgO 慢化体产生慢正电子的实验结果。表中 ϵ_s 是不考虑几何效率及窗损失的转换率(我们称之为系统转换率), ϵ_M 是考虑几何效率和窗损失时的转换率(称之为慢化体转换率)。表中 ΔE 是指慢正电子微分能谱的半宽度(FWHM)。平面减速栅只对慢正电子的纵向(沿轴向的)能量有效,慢正电子的横向能量分散使所测能谱展宽。

表 2 实验结果

参 数	慢 化 体		测 量 条 件
	W	Ni + MgO	
ϵ_s	1.4×10^{-3}	1.9×10^{-6}	磁场电流 $I_M = 4.0\text{A}$ 加速电压 $V_a = 6.03\text{V}$
ϵ_M	1.9×10^{-4}	1.7×10^{-3}	
ΔE	$< 2.0\text{eV}$	$< 3.0\text{eV}$	

我们用 Ni + MgO 慢化体所得结果和美国 Brookhaven 国家实验室^[6](用 Pt + MgO) 及 Michigan-Dearbon 大学^[7](用 Au + MgO) 的实验结果基本一致。

在 W 慢化体实验中,退火温度对慢正电子产额影响很大^[8]。本实验的退火真空度为 1.5×10^{-5} Torr,退火温度根据 W 条发光颜色来估计。我们曾将两个 W 片慢化体分别加热到白炽和浅黄色状态,然后比较它们的慢正电子产额,结果加热到浅黄色的慢化体的产

额只是白炽状态的三分之一。这表明W表面的重结晶过程直接影响慢正电子发射。分析退火温度和W表面重结晶过程的关系,将有利于进一步提高W片慢化体的慢正电子产额。

- [1] T. S. Stein and W. E. Kauppila, *Adv. At. Mol. Phys.*, **18**(1982), 53.
- [2] W. Brandt and A. Dupasquier (eds.), *Proc. of the International School of Physics "Enrico Fermi"*, North-Holland, Amsterdam, (1983), 432.
- [3] N. Ram, I. S. S. Rao and M. K. Mehta, *Phys. Rev.*, **A23**(1981), 1202.
- [4] R. M. Nieminen and C. H. Hodges, *Solid State Commun.*, **18**(1976), 1115.
- [5] L. D. Hulett and J. M. Dale, *Surf. Interface Anal.*, **2**(1980), 204.
- [6] K. G. Lynn and B. T. A. McKee, *Appl. Phys.*, **19**(1979), 247.
- [7] P. W. Zitzewitz, *J. Appl. Phys.*, **51**(1980), 856.
- [8] J. M. Dale, L. D. Hulett and S. Pendyala, *Surf. Interface Anal.*, **2**(1980), 199.

EXPERIMENTS OF PRODUCING SLOW POSITRON BEAM

HAN RONG-DIAN GUO XUE-ZHE WENG HUI-MIN XIE LI ZHANG SHAO-QIANG

(Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei)

ABSTRACT

In this article, we describe an apparatus for producing a slow-positron beam by moderating the decay positrons from a radioactive source using a W-vane moderator. The integral energy spectrum of the slow-positrons was measured with a retarding field analyser. The results are compared with that obtained using a Ni+MgO moderator at the same apparatus.