

25mm的通光窗口,采用真空橡皮O圈密封,窗片可以更换。杜瓦瓶各层表面都经抛光处理,接口用氩弧焊接,氦质谱仪检漏。杜瓦瓶下面装上轮子,移动方便。

使用结果: 磁场为40kG时,六升液氮可工作三个小时,基本满足我们的实验要求。若在液氮容器颈部增设防辐射等特殊装置,可进一步降低液氮蒸发率。通光光路管置样品处的温度~15K。

四、磁体与杜瓦瓶的装置

磁体的四根德银管与有机玻璃法兰连接,磁体横置于杜瓦瓶中。杜瓦瓶、磁体、通光光路管的轴向互为垂直。调节德银管与法兰的连接位置,使磁体的中心对称点与杜瓦瓶内的通光光路管的对称中心重合。从通光光路管方向看去,磁体、通光光路管及测量引出线管相对位置示意图如图5。我们在前面已经指出,磁体组合时螺栓上的不太紧,磁体两部分之间的间距略大于12mm,确保磁体顺利的插入。通光光路管的外径及它下面的活动垫板厚度与上垫板的厚度相同。磁体通电后,两个线圈相互吸引,紧压上、下垫板及通光光路管,保证了磁体挡板不变形且间距为12mm。半圆形的下垫板能够活

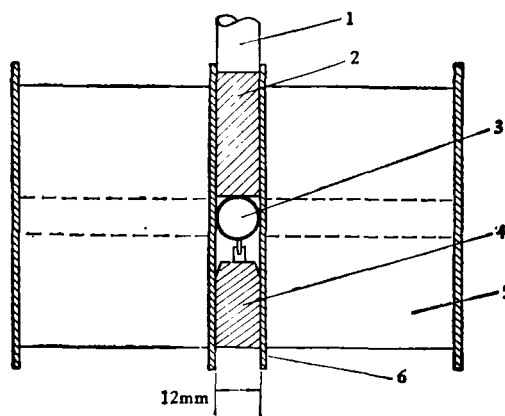


图5 磁体在杜瓦瓶中位置示意图

1. 测量线引出管; 2. 上垫板; 3. 通光光路管;
4. 下垫板; 5. 磁体; 6. 挡板

动,磁体的放入和取出都很方便。

我们在这套装置上做了在液氮温度下InSb的自旋反转受激喇曼散射及双光子的磁光吸收等实验。

参加这项工作的还有刘彩霞、朱印康、邢启江同志;此工作并得到了我系金加工车间,低温教研室,北京航空学院氩弧焊车间的支持;在磁体设计中低温教研室李传义同志给予热情帮助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 焦正宽等, 超导电技术及其应用, 国防工业出版社, 1974年, 71-79页。

用于电子加速器的次级发射流强监测器

胡朝晖 曲树桐 刘玉珊 王友智 邢连华 张玉珍

(中国科学院高能物理研究所)

本文介绍了为监测电子直线加速器束流强度而研制的金属箔次级发射流强监测器及其性能。经法拉第筒校准后,作电子束平均流强监测用。对Al箔,相对误差小于2%。

次级发射监测器(secondary emission monitor 以下简称为SEM)是由G. W. Taufest等人最先提出并使用的^[1]。理论和实践已证实^[2-4],

SEM是电子加速器工作时一种较好的在线监测装置。最初只用于平均流强的监测,现在国际上已用作束流截面与发射度的监测装置^[6]。

早期的SEM多用于能量高于10MeV的电子加速器,后来Vanhuyse等人^[3]减少了SEM的组合箔数,使电子经受的多次散射减小,从而把SEM的应用推广到几个MeV的低能区域。我们实验用的SEM是由三张Al箔构成的,称为

三箔式 SEM。这是 SEM 应用时的一种最基本的组合。

一、基本原理

SEM 是利用高速带电粒子通过薄金属箔时，与箔中原子相互作用产生次级电子这一物理现象而制作的。通过对逸出的及箔表面上的次级电子的收集测量，达到监测的目的。次级电子的来源有^[2]：

1. 由初始电子流在箔中致电离作用直接产生的二次电子；
2. 由较高能量的二次电子在箔中的再电离效应产生的三次电子；
3. 由初始电子在箔中产生的 X 或 γ 射线与箔原子作用，产生的康普顿电子。

单个初始电子的次级电子产额的一级近似值为^[4]

$$Y = \frac{4\pi R_e^2 N Z}{A k \beta^2} \xi^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

其中 N ——阿佛伽得罗常数； Z ——箔原子序数； A ——箔原子量； R_e ——电子经典半径； k ——常数，对 Al 为 $0.705 \text{ MeV} \cdot \text{cm/g}^{\frac{1}{2}}$ ； $\beta = \frac{v}{c}$ ——电子归一化速度； ξ ——箔厚度，单位： g/cm^2 ；对于 $5\mu\text{Al}$ 的三箔式 SEM， $Y \sim 3\%$ 。

由 (1) 式可见，次级电子流强度正比于初始束流强度，当 $\beta \approx 1$ 时，与初始电子能量基本无关。

二、实验装置

1. SEM 结构

实验用 SEM 的基本结构如图 1 所示。图 2 是其原理示意图。三张 Al 箔用内径为 30mm 的黄铜环夹住，铜环间用同样尺寸厚度为 1mm 的有机玻璃环绝缘，箔间距为 4mm，组装后用与铜环绝缘的螺钉固定成一整体。中间箔为接收体，外面两箔并联为发射体。使用时，在中间

箔与外箔间加上偏压。

2. SEM 实验线路

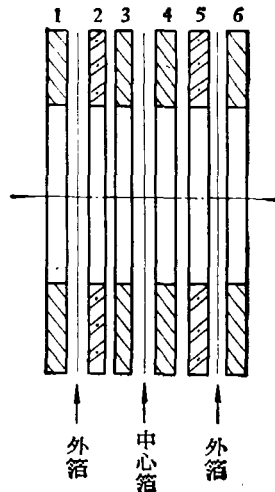


图 1 SEM 基本结构

1, 3, 4, 6 为铜环；2, 5 为绝缘环

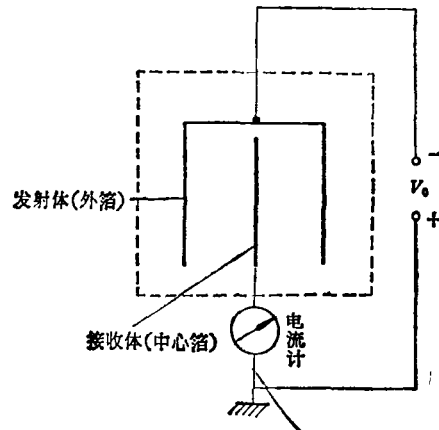


图 2 SEM 示意图

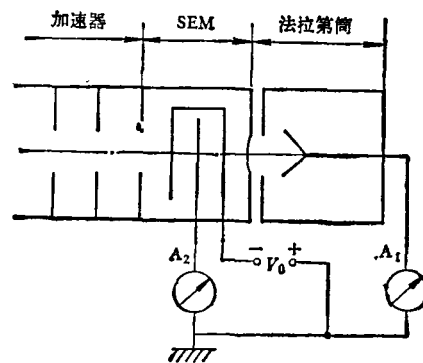


图 3 SEM 的实验线路图

SEM 实验线路如图 3 所示。SEM 装在一个紧接加速器束流输出端的真空室内，被抽到与加速器同样真空度 ($\sim 5 \times 10^{-3}$ Torr)。校准用的法拉第筒紧接 SEM 真空室，收集初始(即加速器输出)束流 I_0 。A₁ 为测 I_0 的微电流计；A₂ 为测 SEM 收集的次级电子流 I_{SEM} 的微电流计；V₀ 为供 SEM 用的偏压。

三、实验结果及讨论

曾先后用 5μ 、 6μ 和 10μ 的 Al 箔及镀银的 10μ 的 Mylar 膜研究过 SEM 的功能，效果都很好。为尽可能减少箔对初始电子的散射作用，最后选用了 5μ Al 箔对 SEM 的性能和特性作了研究。

1. SEM 效率 η

SEM 效率是表征所测 I_{SEM} 与 I_0 的关系，被定义为 I_{SEM} 与 I_0 之比，即

$$\eta = \frac{I_{SEM}}{I_0} \quad (2)$$

根据这一比率，就可由 I_{SEM} 值确定 I_0 值。这是应用 SEM 的基础。

为确定 η ，曾进行过不同条件下的实验(见表 1)。1980 年，在与加速器同样真空(即 SEM 真空室与加速器间无隔离窗而直接相连)的条件下，多次测定了 Al 箔和镀银的 Mylar 膜的 SEM 的 η 。重复性很好。取多次实验数据的平均值，分别作出了 Al 箔和 Mylar 膜的 $I_{SEM}-I_0$ 曲线，如图 4 中曲线 1、2 和 3 所示。1982 年，采用了 SEM 真空室与加速器有窗相隔的独立真空系统，真空度为 10^{-2} Torr。对 5μ 的 Al 箔，SEM 重做多次实验，其结果如图 4 中曲线 4 所示。

SEM 的准确度主要取决校准用的法拉第筒的测量精度。为使 SEM 校准后能作绝对测量用，需要消除因空气电离及二次电子对法拉第筒测量的影响。我们实验用的法拉第筒无消除二次电子的装置，而且通常是在大气状态下工作，为了观察空气电离效应的影响，根据现有条件，将法拉第筒抽低真空，作 5μ 的 Al 箔的 $I_{SEM}-I_0$

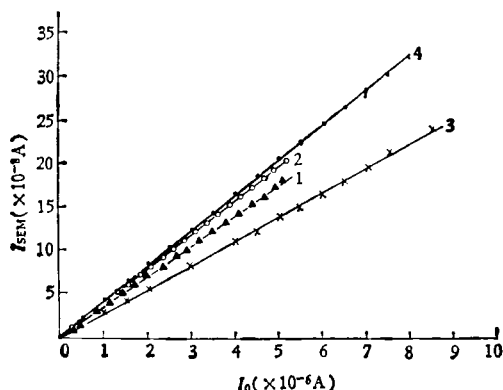


图 4 $I_{SEM}-I_0$ 实验校准曲线

(实验条件: Al 箔厚 5μ , $I_0 = 1\mu A$, $E_0 = 23.4 MeV$)

曲线，如图 4 中曲线 2 所示， η 有所提高。

实验结果表明，在几种条件下 I_{SEM} 与 I_0 都有良好的线性关系。对 Al 箔，实验最大的平均流强达 $8\mu A$ 以上，相应脉冲电流密度不小于 $50 mA/cm^2$ ，但仍然保持好的线性关系。尽管由于低真空下残余气体的电离效应使 SEM 的 η 高于高真空下 SEM 的 η ^[6]，但线性关系并未被破坏。因此，求出实验曲线的斜率，即定出 η 值。其结果列于表 1，并列出各种实验条件下实验点与直线最大的相对误差 $\Delta\eta/\eta$ 。

2. 偏压特性

偏压特性表征着初始电流不变时 SEM 次级电子收集率 α (归一化值) 与工作偏压 V_0 的关系。我们实验装置所测这一关系如图 5 所示。可见，开头 α 随 V_0 增大而迅速增长，当 $|V_0| > 50V$ 时，增长速率变小；当 $|V_0| > 100V$ 时， α 达到饱和值。这一现象是次级电子运动规律和能量分布状态的反映。当初始束流通过 SEM 时，产生的次级电子发射是各向同性

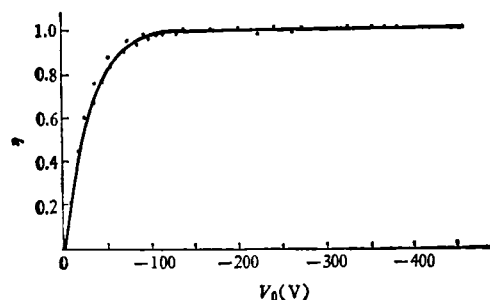


图 5 次级电子收集率与偏压 V_0 的关系曲线

表 1

条件及 结果 箔类	SEM 真空	法拉第筒 工作状态	η	$\Delta\eta/\eta$	相应图 4 中曲线号
Al(5 μ)	5×10^{-5} torr	atm	3.5%	2%	1
Al(5 μ)	5×10^{-5} torr	~ 0.3 torr	3.9%	$\sim 1\%$	2
Al(5 μ)	$\sim 2 \times 10^{-2}$ torr	atm	4.1%	2%	4
Mylar*	5×10^{-5} torr	atm	2.7%	4%	3

* Mylar 膜厚 10 μ , 银层厚 $\sim 200\text{\AA}$, 真空蒸发镀膜。

的,且三箔的发射几率相等,因此未加偏压时,接收箔逸出的电子数与接收外来的电子数几乎相等,所以 I_{SEM} 为零。当偏压加上,箔间建立的电场一方面使外箔发出的电子作向中间箔的定向运动,同时又抑制中间箔电子的逸出。因此使 α 提高。由于次级电子是按一定能量规律分布的,所以不同的 V_0 使 α 的增长速率不同。当 V_0 达到一定值后,箔间场强完全可控制次级电子的运动时,收集达到饱和, α 为最大值。

在加速器所能提供的流强范围内所作的实验证实,只要 $|V_0| > 100V$, α 就达到饱和值。这说明 α 与流强无关。我们实验中取 $V_0 = -400V$ 。

3. η 与电子能量 E_0 的关系

SEM 是基于电子与物质相互作用原理建立起来的,是与入射电子能量 E_0 有关的。如式(1)中 β 所表明。但当 $\beta \approx 1$ 时,这一影响可不计。实际上亦如此。例如,由 Vanhuysse^[4] 引入的结果知, E_0 在 10—40MeV 范围内, η 的变化率 $\sim 4 \times 10^{-5}/MeV$ 。可见,在几十 MeV 的能量变化范围内引起的 η 的误差小于一般要求的测量精度。在我们的实验中,能量变化范围约 12—25MeV。所测 η 一致。这说明 $E_0 > 10MeV$ 时,能量对 η 的影响可忽略。

SEM 所测得的次级电子流 I_{SEM} 是正比于次级电子产额 Y 的。由式(1)可知, Y 与入射电子的能量有关。因此,在同样入射电流 I_0 和同样工作偏压 V_0 条件下,与 Y 相关的 I_{SEM} 将随入射电子能量 E_0 改变。由式(2)可知, η 就要改变^[3]。但是,当 $E_0 > 10MeV$ 时, β 变化很

小,并接近于 1,因此 η 变化就很小。由 Vanhuysse^[4] 引出的结果可知, E_0 在 10—40MeV 范围内, η 的变化率 $\sim 4 \times 10^{-5}/MeV$ 。可见,在几十 MeV 的能量变化范围内,因能量变化引起 η 的误差小于一般实验所要求的测量精度。在我们实验中,能量变化范围约 12—25MeV,测得的 η 是一致的。这些说明, $E_0 > 10MeV$ 时,在一定的能量变化范围内,可以忽略能量变化对 η 的影响。

4. 箔散射问题

能量在几个 MeV 以上的电子入射到几个 μm 的金属箔上不会被截获,但会被散射。散射角 θ 可由下式计算^[5]:

$$\theta = 2.5 \times 10^{-2} ZM^{1/2} / E_0 A^{1/2}, \quad (3)$$

其中 Z ——箔原子序数; A ——箔原子量; M ——箔面密度 (mg/cm^2); E_0 ——入射电子能量 (MeV)。

对于 5 μ 的 Al 三箔式 SEM, 20MeV 的电子经散射后的散射角不大于 6.5mrad,比加速器输出窗(80 μ 的 Al 箔)引起的散射角($\sim 15mrad$)小二倍多。用次级发射原理做成的单丝束流截面扫描装置,测得了同样条件下加速器出口和 SEM 出口处的束流截面分布,两者符合得相当好。这说明,三箔式的 SEM 不会对束流带来多大的散射,当然尽可能选择较薄的箔是所希望的。

5. η 与加速器运行状态的关系

为测得 $I_{SEM}-I_0$ 曲线,可方便地通过改变速调管(K)、磁控管(M)及电子枪(G)三者的脉冲相位关系来实现,但在实验中发现过有时

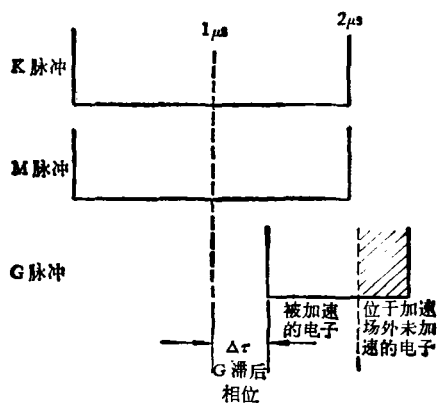


图6 K, M 和 G 的脉冲相位关系图

当 I_0 为零而 $I_{SEM} \approx 0$ 的现象。经观察,这是由于 K, M 和 G 三者相位调整不合适所致,因为,当电子枪相位滞后于正常注入相位(图6)时,就会有一部分电子(图6中阴影部分)在无场加速的情况下穿过加速器直接打在 SEM 的 Al 箔上,产生次级电子引起 I_{SEM} 计数并叠加在正常的计数上,引起记录误差。而当电子枪注入相位完全离开正常注入相位时,注入电子全部得不到加速。这些低能电子可在 SEM 的 Al 箔上产生次级电子,但穿透不过输出窗,因而出现 $I_0 = 0$ 而 $I_{SEM} \approx 0$ 的现象。

为了克服由于这种现象引起的误差,先后采用了两种方法。一是先把加速器调整到最佳状态,然后通过改变电子枪发射电流来控制 I_0 ;二是在加速器与 SEM 间加一层适当厚度的隔离窗,或采用独立的 SEM 真空系统。两种方法均达到了消除 $I_0 = 0$ 而 $I_{SEM} \approx 0$ 现象的目的。

四、结 论

1. 无论是与加速器同一真空还是独立真空系统, Al 箔的 SEM 都具有很好的线性关系、较高的效率、与电子能量无明显关系、无饱和现象、不破坏束流其它性能,除此之外,还有结构简单、造价低廉、Al 抗辐照性能强,因此可说 SEM 是一个较理想的平均流强监测器。

2. 实验观察到镀银的 Mylar 膜亦有良好性能。尽管它的效率、抗辐照能力不如 Al 箔,但是它有机机械强度高和易于成形的优点,可根据需要做成多栅型 SEM,监测束流传输过程中的截面与发射度^[6]。这是一个值得注意的问题。

实验过程中,“30MeV”组林少波同志为提供束流也作了不少工作,董玉兰同志帮镀了 Mylar 膜,科大 80 届毕业生陆善良同志参加过初期实验工作,谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] G. W. Tautfest, H. R. Fechter, *Rev. Sci. Instr.*, **26** (1955), 229.
- [2] E. P. Balsamo et al., *Nucl. Instr. Meth.*, **55** (1967), 339.
- [3] V. J. Vanhuyse et al., *Nucl. Instr. Meth.*, **15** (1962), 59.
- [4] V. J. Vanhuyse et al., *ibid.*, 63.
- [5] P. M. Lapostolle, A. L. Septier, *Linear accelerator*, North-Holland publishing Company-Amsterdam, (1970), 224.
- [6] R. Anne et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.* NS-24 (1977), 1754.

核四极共振的超再生检测方法

潘麟章 俞永勤

(华东师范大学物理系)

一、前 言

自 1950 年 Dehmelt 和 Krüger^[1] 最早发现多晶二氯乙烯中 ^{35}Cl 和 ^{37}Cl 的核四极共振

(Nuclear Quadrupole Resonance——NQR) 谱以来, NQR 的理论、检测方法和应用一直在发展中^[2-6]。作为射频段波谱学的一个分支, NQR 对研究晶体中原子核的电四极矩和核处电场梯度的相互作用特别有效。通过检测 NQR 信号,