

弯晶谱仪中用的多丝正比室

张益群 王从容

(中国科学技术大学)

本文叙述了多丝正比室弯晶谱仪的应用特点、装置及其工作原理。给出了多丝正比室的结构及各项性能指标。测量了装置对铁的 K_{α} 特征线, 达到了分开铁的 $K_{\alpha 1}$ 和 $K_{\alpha 2}$ 特征线的目的。

关键词: 多丝正比室 弯晶谱仪

一、前言

托克马克实验装置是受控核聚变反应研究中的一种主要装置。据报导, 美苏的水平已接近于点火温度, 也就是说, 他们研究的磁约束等离子体温度已接近一亿度量级; 此时的等离子体将发射强烈的X射线, 其能量是一个连续谱, 峰值位于10keV处; 渗进等离子体中的一些杂质元素被高度电离, 它们发出的线谱将迭加在连续谱上, 其形状类似于图1所示^[1]。

通过X射线谱的研究, 可以判断等离子体在空间和时间上的变化。而且可以从X射线的连续谱确定电子温度, 从杂质谱来决定杂质成份和含量, 并从它的多普勒加宽决定离子温度, 以达到判断和控制等离子体状态的目的。

1978年, 美国普林斯顿大学等离子体物理研究所报导了一种新的具有高能分辨、高时间分辨的X射线谱仪, 他们采用了Joham型弯晶结构, 用多丝正比室记录。当利用Ge(220)晶体, 罗兰圆半径2.42m时, 谱仪的能量分辨率小于4eV。他们利用这台仪器, 在PLT装置上进行了测量, 得到了预期的结果^[2]。

多丝正比室的工作证明, 对于测量几千电子伏能区X射线的位置来说, 它具有其它探测器不能比拟的优点, 因而设计和制作了弯晶谱仪用的多丝正比室。

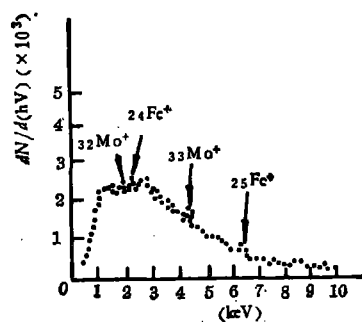


图1 2千万度时等离子体中的X射线谱

二、弯晶谱仪的结构与原理

弯晶谱仪由四部份组成, 见图2所示。

(1) X光源部份 当用于高温等离子体温度测量时, 在托克马克装置的环上开一个窗口, 引出一束X射线进行检测, 将谱仪用于样品分析时, 可用X光机产生的X光照射样品产生特征X射线作为分析对象。

在试验中, 将铁靶安装在X光机的阳极上, 然后抽真空, 加热灯丝, 使X光机的阴极发射电子, 同时加高压加速电子, 使它打在阳极的铁靶上直接产生X射线形成特征X射线产生器, 它产生的特征X射线, 一面可以通过检测窗定性地检测它的能量和强度, 一面可以通过定向小孔将X射线束引向弯晶室, 照射在弯晶上。

(2) 弯晶室 它是一个直径为86cm、高为15cm的圆筒, 在它的中心位置, 装有弯晶固定架和可以转动的带有刻度的调节架。它们的作用是调整弯晶的位置、形状和角度, 使弯晶的切线方向与通过小孔引进的特征X射线方向的夹角为 θ_0 , θ_0 的表示式为:

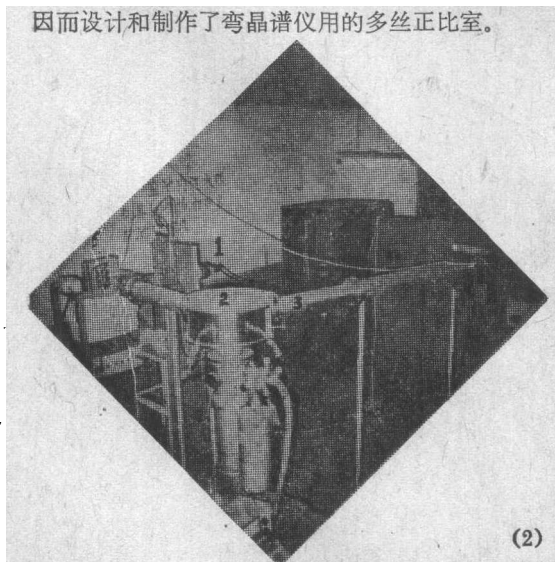


图2 弯晶谱仪的结构图

1. X光源 2. 弯晶室 3. 真空臂
4. 多丝正比室 5. 检测用多丝正比室

1984年第6期

· 17 ·

$$\theta_0 = \sin^{-1} \frac{n\lambda}{2d}$$

式中, λ 为特征 X 射线的波长; n 为自然数, 一般取 $n=1$; d 为弯晶晶面间的距离, 例如: LiF 晶体 220 晶格面的距离 $d=2.85\text{\AA}$ 。

根据布拉格散射定律, 引进的特征 X 射线将以同样的 θ_0 角产生加强反射。在反射方向上开有射线引出孔, 可以在 $55^\circ\text{--}115^\circ$ 范围内, 沿弯晶室外圆周壁移动, 使 θ 角能够在 $32.5^\circ\text{--}62.5^\circ$ 的范围内进行调整, 以便分段测量 X 射线的能谱。

(3) 真空臂 它由二节长为 1 m、直径分别为 11cm 和 12cm 的不锈钢管套合而成。组成长度可以在 1500—2500mm 范围内变动的真空臂 (包括弯晶室半径 18cm 和 82cm 的波纹管长度), 臂长调好后用螺栓固定, 相互间依靠真空橡皮密封。在臂的外端装有波纹管, 用来调节 X 射线与多丝正比室阳极丝平面的相对角度, 调节多丝正比室位置, 使它能够得到最好的位置分辨率。

(4) 多丝正比室及其读出系统 用来测定 X 射线强度随位置的分布, 并要求每隔 1ms 得到一幅分布图象, 以便了解每次放电过程中, 即在高温等离子体建立过程中 X 射线强度分布状况的动态变化过程。

弯晶谱仪的工作原理根据图 3 叙述如下:

图中的大圆圈称为罗兰圆, LiF 晶体的中心点放在圆的中心对称轴上, 在轴的一边安置 X 射线源, 无论是从高温等离子体或 X 光机发出的单能 X 射线均相当于罗兰圆周上 λ_1 点射向晶体的单能 X 射线。为了使它射向晶体 A 点、B 点、O 点的入射角一致, 根据计算要求晶体按对数螺旋形弯曲, 保证从 λ_1 点射向晶体的 X 射线均能产生加强反射, 并按同样的角度聚到罗兰圆周的另一点 λ_1' 点上。同样相应于 λ_2 点处的另一能量 X 射线, 射向晶体后, 将按 θ_2 角反射到 λ_2' 点上。利用位置灵敏多丝正比室测定 λ_1' 和 λ_2' 的位置, 从而在一定能区中区分 X 射线的能量。

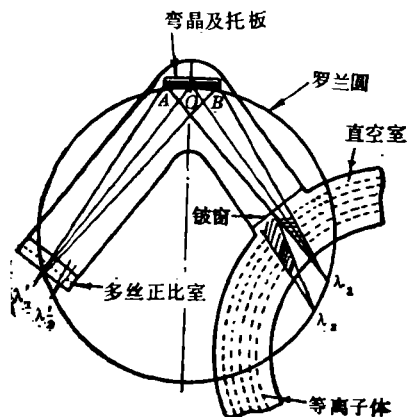


图 3 弯晶谱仪工作原理图

三、多丝正比室结构、工作原理和性能

位置灵敏的多丝正比室是 1968 年发展起来的一种高能带电粒子探测器, 它对于探测几个 keV 能区的 X 射线也相当有效。用在弯晶谱仪上的多丝正比室结构如图 4 所示。它的外尺寸为 $28 \times 18 \times 3\text{cm}^3$, 用不锈钢板作外壳, 上下二块盖板利用“O”形密封圈加螺栓结构, 使室与外界隔绝。下盖板尺寸为 $28 \times 20 \times 1\text{cm}^3$, 用螺栓与波纹管联接, 在它中间对称位置开有 9 条长 12cm、宽 3.5mm 的孔, 条间留有 0.5mm 的筋作为 X 射线进入多丝室的准直孔壁, 孔的内端表面胶接一块尺寸为 $160 \times 100 \times 0.1\text{cm}^3$ 的铍片作窗, 使室体与真空室隔离。它对于 ^{59}Fe 发出的 5.9keV X 射线的透射率为 98%。X 射线透铍窗后约前进 2mm 就进入多丝正比室的灵敏区; 它由两个阴极面夹一个阳极面组成; 整个内室还包括一块有机薄膜窗, 用四个螺栓压在不锈钢底板上, 有机膜窗的作用是使工作间仅通过小孔与存贮气体间联通。多丝正比室的有效面积为 $160 \times 60\text{mm}^2$ 、厚度为 8mm, 其中两

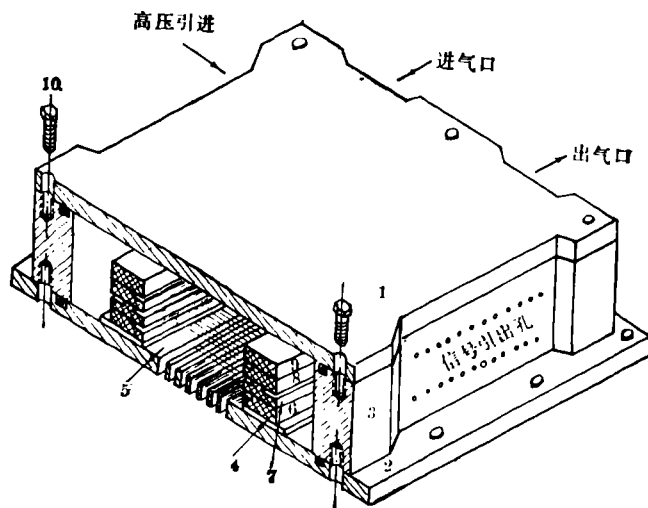


图 4 多丝正比室结构图

- (1) 上盖板 (2) 下盖板 (3) 壳体 (4) 绝缘框 (5) 铍片
(6) 下阴极面 (7) 阳极面 (8) 上阴极面 (9) 薄膜窗框
(10) 联接螺钉

个阴极面均由70根直径为76 μm 的镀金钨丝平行排列而成。丝距1mm, 每根丝长为180mm, 张紧力300g, 两头焊在印制版上, 并用环氧-聚酰胺粘接剂粘接在环氧树脂玻璃纤维板框架上。所有阴极丝并联在一起后, 接到陶瓷绝缘子上引出室外, 然后通过1.5M Ω 电阻与负高压相联。阳极面由74根直径为20 μm 的镀金钨丝及6根直径为76 μm 的镀金钨丝平行排列而成。丝距2mm, 每根丝长70mm, 二组丝上分别加张力50g和300g, 然后用焊接加胶接的方法固定在绝缘框架上; 它们中间64根丝分别接到64个绝缘子上, 引出室外后作信号输出极, 其余联在一起并通过两个绝缘子引出室外后接地。壳体两边装有高压屏蔽罩和信号屏蔽罩(图中没有标出), 另有两个进、出气口接两个真空针阀控制, 使Ar 80%+CO₂ 20%的工作气体流通半小时后即可工作。

当X射线穿过灵敏区时, 就有相当数量的X射线与工作气体中的氩、二氧化碳等气体分子作用。因为X射线能量低, 所以主要是通过光电效应产生光电子, 相当于⁵⁵Fe发射的X射线约在0.3mm范围内消失自己的能量而形成许多原初电离对。在电场作用下, 正离子向阴极移动, 电子向阳极移动。当电子到达阳极附近时, 由于受电场E的作用, 迅速获得能量, 并产生碰撞电离形成倍增电子, 使阳极收集到的电子A倍于原初电离, 这就是气体放大的过程。在阳极附近E正比于(r^{-1}), 得到的气体放大为:

$$A = A(a, N, V, d, S, L),$$

式中, a 是与气体有关的特性常数; N 是与混合气体压力有关的分子数; V 是外加的高压; d 是阳极丝的直径; S 是阳极丝间的距离; L 是阴阳极间的距离。在探测低能X射线时, 要求多丝室工作在 $A=10^3 \sim 10^4$ 范围之内。

图5、图6是用⁵⁵Fe源测得的多丝正比室“计数坪曲线”和“高压-输出信号幅度曲线”。图7是用⁵⁵Fe放射源移动时测得的“位置分辨曲线”。延迟线读出的方框图见图8, 图中曲线为用直径为2mm准直孔的⁵⁵Fe源照射多丝室时, 采用阳极延迟线读出法得到的分布图。从图中的5个峰位可以清楚地表示阳极丝的位置和它们的间距, 它们的包络线表示源散开的宽度。与阳极收集电子的同时, 在附近阳极和阴极丝上产生正的感应信号, 其分布随光电子产生的位置而变化, 所以利用阴极丝上感应出的正信号分布可以精确确定入射粒子的位置^[5]。利用阴极面上延迟线读出法, 可以在0.3~0.4mm范围内确定入射X射线的位置, 总计数率限制在10⁴cps之内,

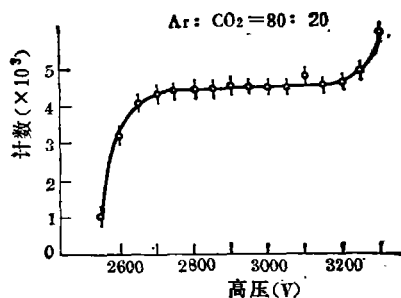


图5 高压-计数曲线

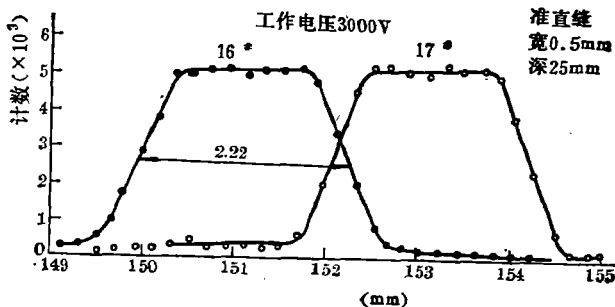


图7 ⁵⁵Fe源移动时测得的位置分辨曲线

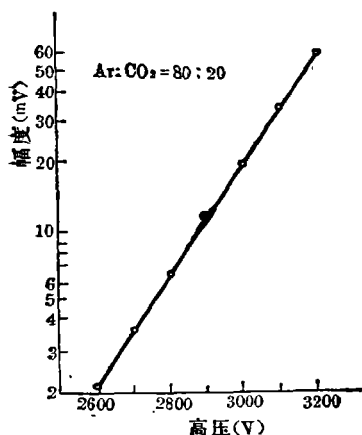


图6 电压-幅度曲线

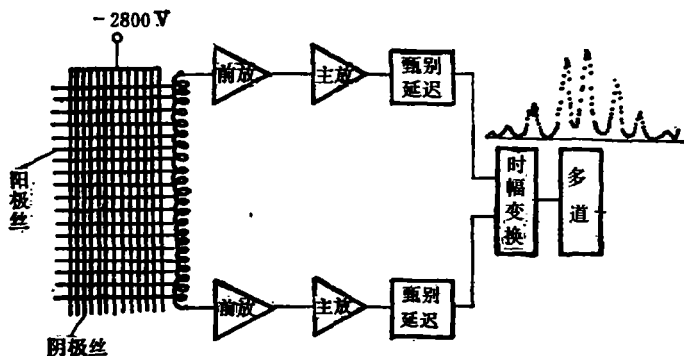


图8 多丝正比室延迟线读出系统框图

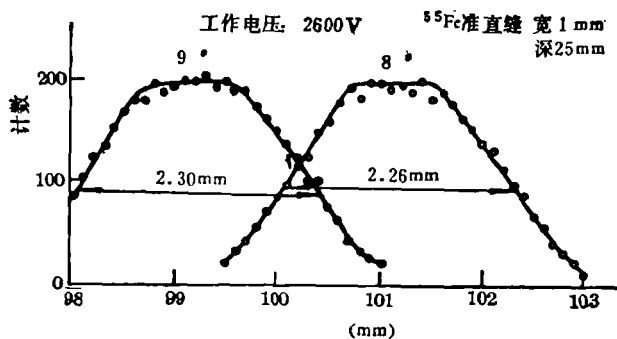


图 9 单根丝在宽束下的位置分辨坪曲线

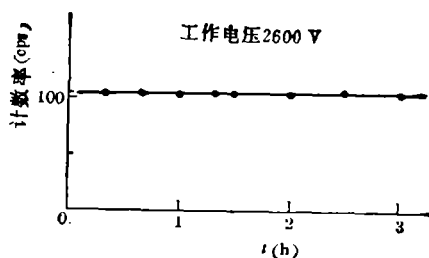


图 10 单根丝的计数率随时间的变化

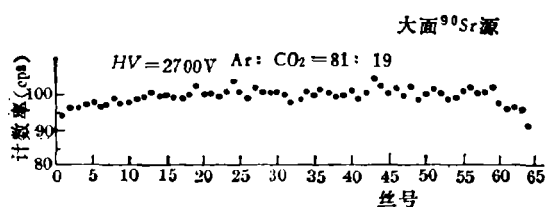


图 11 大面源照射下各根丝上的计数率

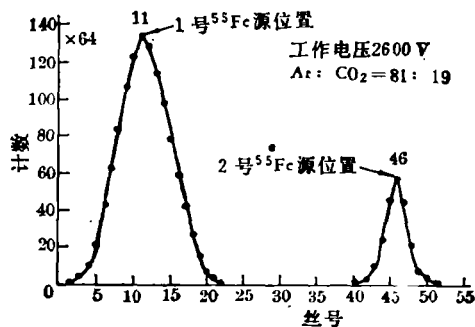


图 12 X方向图形显示

如果采用逐丝输出的重心读出法,可以在0.1~0.2mm范围内确定入射X射线的位置,而且计数率可以达到10⁶ cps,但电子学线路较为复杂,要用计算机进行在线处理。用阳极逐丝读出法测得的结果如图10~12所示。由图10表明,该装置能长期稳定地工作。图11中曲线的起伏是由于面源的强度均匀性偏差、统计涨落引起的固有偏差、室的结构参数偏差和放大器阈值偏差等引起的综合效果。图12是利用两个⁵⁵Fe放射源经过准直后得到的X方向图形显示。

四、结 束 语

两个弯晶谱仪用的多丝正比室已经通过鉴定,在弯晶谱仪的性能测量中得到了小于6eV的能量分辨率^[6]。衷心感谢马明义同志在弯晶装置、蔡明富同志在电子线路方面的协作。

参 考 文 献

- [1] Equipe TFR association curatom-CEA sur la fusion, *Nucl. Fusion*, 17, 2, 213 (1977).
- [2] M. Btter et al., *Phys. Rev. Lett.*, 42, 5, 304 (1979).
- [3] G. Charpar et al., *Nucl. Instr. Meth.*, 148, 471 (1978).
- [4] K. W. Hill et al., *Phys. Rev.*, A19, 4, 1770 (1979).
- [5] 马明义等,核聚变与等离子体物理, 3, 3, 170(1983)。

(1983年8月13日收到)

ratio of the characteristic X-ray intensity of an element analysed to Compton scattering intensity by primary X-ray and the ratio of the characteristic X-ray intensity of the element to the intensity measured with a absorbent filter. The hyperbola function relationship enables us to improve the matrix effect easily by using the method of "characteristic/scattering ratio" with a portable radioisotope X-ray fluorescence single channel analyzer. The results of this new method is fairly identical with that of "characteristic/scattering ratio". Besides, there is no need of extra devices and it saves time and money. Many types of Sn samples and one type of Cu sample have been analysed.

Keywords: portable RI X-ray fluorescence analyzer matrix effect tin ore samples the ratio of characteristic to scattering the ratio of characteristic to absorbent hyperbola function fitting

Trace element analysis of serum of cirrhosis patient—A study on therapeutical action of traditional Chinese medicine

Ren Chigang Yao Huiying Tang Guohun Chen Jianxin

Che Jianmei Feng Zhongqiu Tang Jiayong Wang Xide

(Fudan University)

Sun Aizhen Guo Ruixin Wang Huifang

(Shanghai Institute of Traditional Chinese Medicine Research)

The short or excess of trace elements in human body may arise diseases. The concentrations of the trace elements Zn, Cu, Fe, Br and Rb in serum of patients suffered from liver cirrhosis were measured by PIXE with the 2.11 MeV proton beam. For each patient, serum samples were taken thrice at time intervals of 45 days in the process of treating by traditional Chinese medicine. Significant difference were seen in the trace element concentrations before and after treatment and the final results were compared with serum samples of normal persons. Effective result has been obtained by the treatment.

Keywords: trace element proton induced X-ray emission analysis traditional Chinese medicine Chinese herbal medicine blood fluke cirrhosis of the the liver circulation of blood

A multiwire proportional chamber for the curved crystal spectrometer

Zhang Yiqun Wang Congrong

(University of Science and Technology of China)

The application characteristics, construction and operation principles of the curved crystal spectrometer of MWPC are described in this paper. The construction and the values of characteristics for MWPC are reported as well. Finally, the objective to separate $K_{\alpha 1}$ and $K_{\alpha 2}$ is achieved in measuring the K_{α} characteristic line of iron with the instrument.

Keywords: MWPC curved crystal spectrometer

Fitting efficiency curve of Gamma-ray spectrometric instrument by spline

Liu Chengan Tang Naixun Feng Xizhang

(General Research Institute for Non-ferrous Metals)

The cubic spline has been used as the efficiency curve model of Ge(Li) gamma-ray spectrometric instrument and improved the algorithm of stepwise regression. Methods such as AIC test etc have also been employed to majorize the model. Thus the problems of the numbers of the partition points, the locations of the best points and the continuity of fitting function at these points are solved. This model contains fewer parameters and better precision than those old ones.

We have used this method to do efficiency calibration for our 185 cm³ Ge(Li) coaxial detector. The every model obtained contains only three parameters and the precision is about 2.5% in the region from 59 keV to 1408 keV. The deviation of ¹⁵²Eu emission-rate measured by our calibrated system from the international comparision at 1978 is equal to or less than 3%.

Keywords: fitting a curve efficiency calibration γ -spectrum spline stepwise regression minimum information theoretic criterion

A broad window Mobley type magnet for compressing pulsed beam

Yuan Suoxiang Yang Shaoyu Shi Weidong Lin Xigang

(The Institute of Nuclear Science and Technology, Sichuan University)

This Mobley type magnet is installed on the 2.5MV Van de Graaff machine in our institute. It is a main facility for obtaining about 1 ns pulsed beam. The 10—15 ns pulsed beam can be compressed into 0.9—1.1 ns and 1.3—1.5 ns for H⁺ and D⁺, respectively. The observed optimum beam spot size is about 3×4 mm² at the target. The energy both for H⁺ and D⁺ ions ranges from 1.5 to 2.3 MeV with the energy resolution about $\pm 0.5\%$.

Keywords: broad window magnet Van de Graaff accelerator

Determination of the content of ash in peat by using low energy X-ray backscattering method

Liu Shouzheng

Han Wenxin

(Heilongjiang Institute of Technical Physics) (University of Science and Technology of Harbin)

The content of ash in peat is determined by using the X-ray backscattering method. The radioactive source used is ²³⁸Pu. The average standard error is about 3% compared with those of chemical methods, and the causes of the error are discussed.

Keywords: X-ray backscattering peat photoelectric effect spectrum bulk density