

固体表面单个光电子的检测*

张在宣** 彭慰光 袁恽谦***
(吉林大学物理系)

提 要

采用可调谐染料倍频激光器照射固体表面,产生初始光电子,用配有时间符合电路的多通道分析器测量在正比计数器内初始电子引起的脉冲高度谱,改变光强获得了简单指数衰减的单电子脉冲谱,实现了固体表面单个光电子的检测。

固体表面单个光电子的检测是一项新技术^[1],它将激光光谱技术与核物理探测技术结合起来,因此具有光谱的高选择性和高灵敏的特点,可以广泛应用于固体物理、表面物理和表面化学等的研究。

我们在研究单原子检测技术和激光光电流效应的过程中,初步研究了固体表面单个光电子的检测技术,用可调谐染料倍频激光器的紫外单色光辐照金属表面,产生初始光电子,用自制的带有光学窗口的正比计数器来检测光电子,减弱单色紫外光强直到获得简单指数衰减的单电子脉冲高度谱^[1],实现了固体表面单个光电子的检测。

一、实验方法与装置

用紫外单色光照射固体表面,当调谐单色光子的能量使它接近固体材料的脱出功时,就会有明显的光电效应,产生初始的光电子,光电子的数目与固体材料的结构和表面状态有关,在照射光波长不变时,单位时间内产生的光电子数与单位时间照射光的光子数目成正比。逐步减弱照射单色光的强度(即减少入射光的光子数),初始光电子数减少甚至达到随机地产生单个光电子,利用高灵敏的电离探测技术可以检测固体表面单个光电子。

我们所用的实验装置由可调谐染料倍频激光器、开有光学窗口的正比计数器样品室和多通道分析器三部分组成,如图1所示。

CMX-4闪光灯泵浦可调谐染料激光器以脉冲方式工作,脉冲持续时间为 $1\mu\text{s}$,重复频率 $1\sim 25\text{pps}$ 可变,用双折射滤光片作为调谐元件,在内腔插入ADP倍频晶体后,可获得可调谐紫外激光输出。在本实验中选用R6G激光染料,经倍频后调谐到 2945\AA ,得到单色紫外光照射。激光的强度可以通过调节闪光灯主回路的电压来控制,也可改变倍频晶体的相位匹配角来调节。

收稿日期: 1984年5月30日; 收到修改稿日期: 1985年3月26日

* 本文曾在第一届全国固体光学性质学术会议(1982年12月南京)上宣读。

** 现工作单位: 国家计量局计量专科学校(杭州)。

*** 现工作单位: 中国科学院安徽光学精密机械研究所(合肥)。

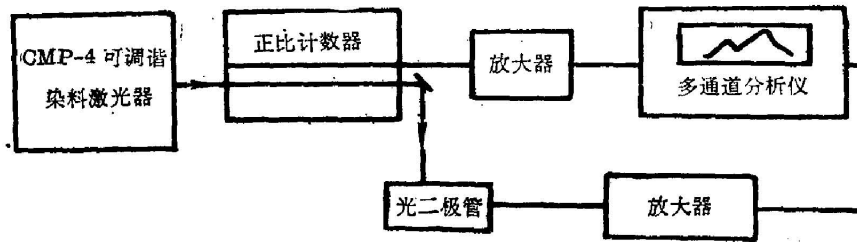


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental set-up

带有石英片窗口的正比计数器样品室是在我校核物理实验室研制的正比计数器^[2]基础上改制的。正比计数器的外壳由一个金属圆筒和两个端盖组成,中央丝(直径为 $50\mu\text{m}$ 的细钨丝)通过一个陶瓷绝缘子和一个玻璃绝缘子(带抽气孔)张悬在圆筒的中心线上,中央丝为阳极,圆筒为阴极。两个端盖开有窗口,贴透光的石英片,圆筒中部侧壁上开有窗口,贴透X射线的薄铍片,在做单原子检测时还在圆筒的另一侧安装原子束炉。正比计数器样品池在清洁处理后,抽空并充以P-10计数气体(90%氩气+10%甲烷气),为了保持气体的纯净,通常要换几次气后才封死。在充以适量的计数气体和选择恰当的工作电压后,可以使正比计数器处于较好的工作状态,通常能量分辨率达到20%以上。

在样品室里,经紫外单色脉冲光照射而产生的初始光电子,在电场作用下,通过与计数气体碰撞产生放大作用,由阳极输出电脉冲,因为正比计数器具有正比性,电脉冲高度与初始光电子数成正比。经过一定时间的重复频率脉冲紫外光照射后,得到一群不同高度的电脉冲,用多通道分析器测出脉冲高度分布谱。为了进一步提高测量信号的信噪比,我们采用了时间符合电路,与紫外单色激光照射固体表面的同时,使倍频后剩下的可见光同步地照射到光电二极管上,光电二极管的输出信号经放大成一个幅度为6V的负脉冲,去开启多通道分析器的符合计数门,进行符合计数。

我们采用 Fe^{55} 放射源作为标准源,一是用来检查正比计数器的运行状态;二是用来确定所测光电子谱的峰位所代表的平均初始电子数。 Fe^{55} 放射源能量为5.9keV的X射线穿透铍窗在正比计数器中产生的初始电子数为227个,如果用 m_1 和 m_2 分别表示在正比计数器同一工作条件下5.9keV的X射线的全能峰位和所测光电子脉冲高度谱峰位所在的道数, M 是测 Fe^{55} 能谱与测光电子谱时主放大器的增益比,则初始的平均光电子数为:

$$n = \frac{227}{m_1} m_2 M。$$

二、实验结果和讨论

为了得到较好的实验结果,必须根据正比计数器的坪特性曲线选择正比计数器的工作电压和适当地选择多通道分析器的下阈值,在每次测量时,用一片不透紫外光的玻璃片把紫外光挡掉,调节下阈值,使多通道分析器刚好不出现计数值,然后再拿掉玻璃片进行测量,并使用时间符合电路,测量时自动地扣除背景谱,这样测到的光电子脉冲计数完全是由紫外光照射固体表面产生的,抑制了背景噪声,提高了信噪比。

在正比计数器内充有 260 Torr P-10 计数气体, 选定正比计数器的工作电压 1550 V, 先用 Fe^{55} 标准源测得的电子脉冲高度谱如图 2(a), 当放大器增益 $G=7.5$ 时, 其峰位在 67 道。然后在同样的条件下, 把紫外单色激光调节到一定强度, 测到的光电子脉冲高度谱如图 2(b), 当放大器增益 $G=3$ 时, 峰位在 67 道, 所对应的平均初始电子数 $\bar{n}=567$ 。

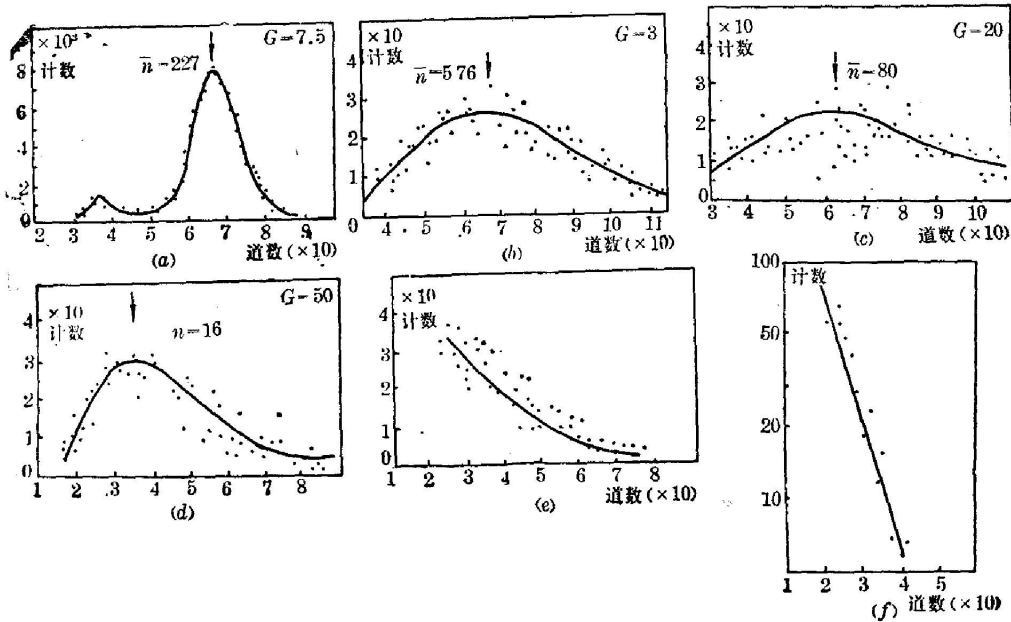


图 2 (a) Fe^{55} 标准源测得的光电子脉冲高度谱;
(b)~(f) 逐步减弱照射紫外光强度测到的光电子脉冲高度谱

Fig. 2 (a) Pulse-height spectrum of photoelectrons measured with a Fe^{55} standard source; (b)~(f) Pulse-height spectra of photoelectrons measured with UV irradiation in sequence of decreasing intensity

减弱照射紫外光强, 测得的光电子脉冲高度谱如图 2(c), 当放大器增益为 $G=20$ 时, 峰位在 63 道, 所对应的平均初始电子数为 $\bar{n}=80$ 。继续降低照射紫外光强, 测得的光电子脉冲高度谱如图 2(d), 当放大器增益为 $G=50$ 时, 峰位在 35 道, 所对应的平均初始电子数为 $\bar{n}=18$ 。

再降低照射紫外光强直到测得的光电子脉冲高度谱为一简单指数衰减曲线 [如图 2(e) 所示] 为单个光电子谱, 在半对数坐标中相应地得到的是一条直线如图 2(f)。

为了确证实验已经测到了简单的指数衰减单电子脉冲谱。我们重复做了不同工作电压的实验, 当正比计数器内充有 260 Torr P-10 计数气体, 工作电压 1600 V 时, 结果完全一致。

从实验结果可以看到有限数目的初始电子在正比计数器中产生的电子谱服从一定的分布规律(类似泊松分布), 其峰位相应于平均的初始电子数。当照射固体表面的单色紫外光减弱时, 平均初始电子数减少, 即光电子脉冲高度谱峰位向低道移动, 而且分布曲线逐渐由对称变为不对称, 最后得到了简单的指数衰减分布, 其半对数图为一一直线, 相应于平均初始电子数为单个光电子。这个实验结果与 H. Genz^[3] 和 B. Breyer^[4] 等人的理论分析结果是完全一致的。

我们衷心感谢刘运祚、金斗英、李文明等同志的支持和帮助。在实验工作中得到孟庆贤、王清文等同志的帮助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] H. S. Hurst *et al.*; *Rev. Modern Phys.*, 1979, **51**, No. 4 (Oct), 767.
- [2] 金斗英等;《核技术》, 1979, No. 4 (Aug), 76.
- [3] H. Genz; *Nucl. Instrum. & Methods*, 1973, **112**, No. 1 (Jan), 83.
- [4] B. Breyer; *Nucl. Instrum. & Methods*, 1973, **112**, No. 1 (Jan), 91.

Detection of single photoelectron on solid surface

ZHANG ZAI XUAN* PENG WEI XIAN AND YUAN YE QIAN

(Physics Department, Jilin University)

(Received 30 May 1984; revised 26 March 1985)

Abstract

Primary photoelectrons were produced on a solid surface by radiation of a tunable double-frequency dye laser. Pulse-height spectra of the primary photoelectrons in the proportional counter are measured on a multichannel analyzer. A simple exponential-decay pulse-height spectra of single photoelectron was obtained when the laser intensity was made very low. In this way single photoelectron on solid surface was detected.

* New address: Metrological College of China, National Bureau of Metrology, Hangzhou, Zhejiang, Peoples Republic of China.