

采用隔离放大器的俄歇电子谱仪

狄 莉 美 译

1. 前言

当前,作为表面研究手段的俄歇电子谱仪已经确定了牢固的地位。光电子谱法与质谱法的谱线可分别表示为能量分布 $E-N(E)$ 关系和质量分布关系,通常俄歇电子谱是用能量分布的微分曲线 $E-dN(E)/dE$ 来表示的^[1]。由于通常的俄歇电子峰是一个在相当大的二次电子本底上叠加的很弱的峰,因此要用能量分布的方式把它检测出来是异常困难的。虽然微分法在俄歇谱仪中是不可缺少的技术,但对时间的能量分布要比微分分布更为有用。例如,在考虑定量分析的情况下,因为前者意义明确所以更为优越。此外,由于二次电子本底是反映了电子与固体表面和固体内部的相互作用,所以对其重要性应有所认识。例如在推导俄歇谱仪的背散射系数时它就是一个必要的信息。

如果能从低能电子衍射仪-俄歇电子谱仪装置中检测出调频成分,那就能够直接求出能量分布 $N(E)$ 。在通常的俄歇电子谱仪装置中均已采用筒镜分析器,这种筒镜分析器能直接输出与能量成比例的能量分布 $EN(E)$ 。可是,由于一般的筒镜分析器都采用了二次电子倍增器,所以其输出是悬浮在高压(1—3kV)上的,这样就不能把它的输出直接输入到记录仪等测量仪器中去,要利用这种输出也就很不容易。为了把这种处在悬浮电位上的信息降低到地电平后再进行记录处理,就发展出了隔离放大器^[2]。

将隔离放大器应用到俄歇电子谱仪中去的先驱工作是由英格尔伯特(Inglebert)与莱西格诺(Lesegno)进行的^[3]。他们用A/D变换器把分析器的模拟信号转换成数字信号,再用光耦合器传送到地电平,然后再由D/A转换器把信号恢复成模拟信号,用这种相当复杂的方法观测到了能量分布。皮尔斯(Pearce)^[4]报导了一种用光纤完成上述过程的方法。此外,乔(Chou)与卡斯特兰诺(Castellano)报导了一种采用市售的具有250千赫高速响应的光耦合器的方法^[5]。如果采用光耦合器型式时隔离放大器将输出信号输送到输出端的效率为100%,那么采用变压器耦合型(即所谓斩波型)时的效率就为50%。应该说用后一种方法也有可能将效率提高到100%。但市售的产品其效果怎样,从外观上来看是不能确定的,在说明书中也没有表示出来。本文阐述用于俄歇电子谱仪条件时隔离放大器的适用性。

此外,一般说来,虽然没有别的从筒镜分析器输出获得 $EN(E)$ 的方法,但可以采用将一次电子间断地在磁场或电场中运动,再通开锁定放大器来进行检测,这种方法叫做束斩波法^[6]。与此类似的方法是在筒镜分析器的外筒上加一个与扫描电压相同的矩形电压波使二次电子进行斩波^[7]。在这种方法中可以采用电子计数法,但通常的计数率要限制在每秒 10^5 — 10^6 ,这在信号量大的情况下是不适用的。虽然这种方法的信号利用率可达100%,但如果

不考虑倍增器增益的统计性质是得不到正确值的。用带有计算机的俄歇电子谱仪系统可根据数字积分法将 $dN(E)/dE$ 再变为 $N(E)$ [8]。不过 $dN(E)/dE$ 谱线的零电平选在哪里是带有任意性的, 所以要根据这种不确定的 $N(E)$ 零电平和调制电压 (1—10 伏, 峰—峰) 来确定能量分辨率, 是具有显示不出筒镜分析器本来性能的缺点的。此外, 用模拟型来进行数值积分也是可能的 [9]。

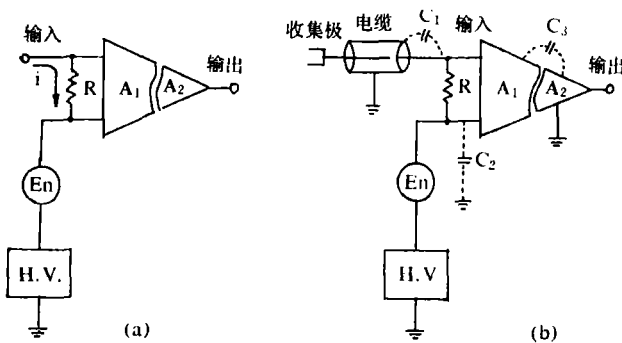


图1 隔离放大器的简图 (a) 原理; (b) 实际设计
 E_n 是高压 (H.V.) 中的噪声电压

隔离放大器不像上述其他各种方法那样困难, 使用起来很简单。但是使用时必须搞清频率特征和耐压条件。

2. 隔离放大器

所用隔离放大器的原理如图1所示。在图1(a)所示的隔离放大器中, 放大器的绝缘侧 A_1 与接地侧 A_2 是分开的, 它将 A_1 上的输入电压 iR 变换成 A_2 的输出接头上的输出。从 A_1 到 A_2 的信息传送是用变压器耦合或光耦合来进行的。前者适用于高精度的放大器,

后者适用于快速放大器。

悬浮在 (H.V.) 高压上的 A_1 侧的 H.V 噪声电压为 E_n 。从原理上来说, 由于 E_n 是以相同的方式加在 A_1 的两个输入端上 (R 的两端) 的, 所以对输出不会产生任何影响。在采用隔离放大器后不但改善了输出与输入间的绝缘, 而且也改善了耐噪声性, 这两点就是隔离放大器的特征。实际上, 正如图1(b)所表示的那样, 因为所有各部分都是有杂散电容耦合, 这就需提高信号的频率, 此外, 这种杂散电容的耦合还降低了耐噪声性。在图中的各个电容中, 最会使耐噪声性变差的电容是输入电缆的电容 C_1 , 如果电缆愈短, E_n 的影响也就会愈小。另外, C_2 与 C_3 在实际上是几乎不起作用的。由于 C_2 起着低通滤波器的作用, 它的数值愈大就愈能抑制噪声, 因此索性故意把它选得大些, 这时, 由于 H.V 是稳压电源, C_2 成了它的容性负载, 这一点在电源电压变得不稳的时候就需要加以注意。

3. 实验

实验装置的简图示于图2。俄歇谱的测量中采用 PHI 公司的筒镜分析器。所采用的隔离放大器为 272J 模拟装置 (变压器耦合型), 它只需要用 9 伏 (0.06P) 的干电池就能工作。这种隔离放大器的耐压为 ± 7500 伏, 输入阻抗为 10^{11} 欧姆, 输入噪声电压 15 微伏 (5—1000 赫), 频率特性为 2 千赫 (—3 分贝), 如果不考虑通过所接收的 2 千赫以上的调制信号, 大体上讲其性能是不错的。筒镜分析器的输出经二次电子倍增器放大, 最后由隔离放大器检测。这时的输入

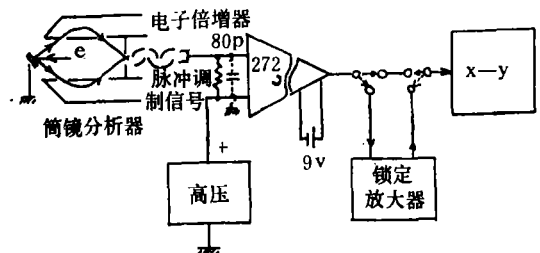


图2 俄歇电子谱仪系统中隔离放大器的实验装置

电容（包括电缆电容在内）约为 8 PF。这就是说，在图 2 的情况下，当频率为 2 千赫左右时耐噪声性就会变坏。将隔离放大器的输出直接接到 X—Y 记录仪上就可得到能量分布 $EN(E)$ 曲线或者通过锁定放大器以得到能量分布的微分曲线 $dEN(E)/dE$ 。测量 $EN(E)$ 的时候，由于没有加调制电压，所以能反映出筒镜分析器原来的能量分辨率，这一点是可取的，但是，即使是加了调制电压也只会使分辨率局部变差，并且也还能得到同样形式的谱线。这样就可以同时获得两种型式的谱线。另外，虽然在图中没有表示出来，实际上还试验了去掉二次倍增器电源，在倍增器的输入侧接上静电计直接测量筒镜分析器的输出。

所有的实验是在 10^{-7} 帕的超高真空系统中进行的。一次电子能量为 1 千伏，一次电子流为 10 微安，在 1 千赫时的调制电压为 3 电子伏（峰—峰）。

4. 结果与讨论

在采用隔离放大器的情况下，以银作为试样的典型俄歇谱的例子示于图 3。图下方的三条曲线是将隔离放大器的输出直接接在 X—Y 记录仪上记录的，因而就是和能量系数有关的所谓能量分布 $EN(E)$ 曲线。如用能量 E 除能量分布就可由这条曲线近似地求出真正的能量分布 $N(E)$ 。所谓“近似”就是指在这里所得到的特性，正确地说是 $EN(E)$ ，还需要再加进与二次电子倍增器增益有关的性质才行。在能量分布图上，只能清楚地辨认出银的 350 电子伏左右的 MNN 俄歇峰的主峰，而无法判断出其它峰。但实际上俄歇峰和本底（或者说二次电子）之间的关系却是很清楚的。

将上述的隔离放大器的输出通过锁定放大器用电子学方法进行微分能得到图上方的所谓能量分布微分曲线 $dEN(E)/dE$ 。与能量分布曲线相比可看出这种微分曲线连很弱的峰都能顺利地检测出来，这就显示了微分法的特点。虽然也有人认为能量分布的微分曲线缺乏定量性等，但由于它很方便所以还是很有用的。

对污染了的钨丝也作了类似的观察，结果示于图 4。这里特别将使用隔离放大器后的输出

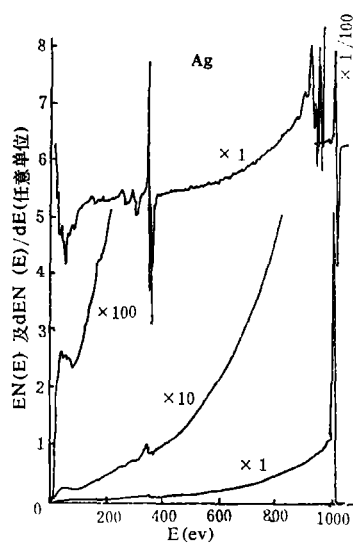


图 3 相当清洁的银的能量分布 $EN(E)$ 和微分俄歇谱 $dEN(E)/dE$ 。 $E_p = 1$ 千电子伏， $i_p = 10$ 微安

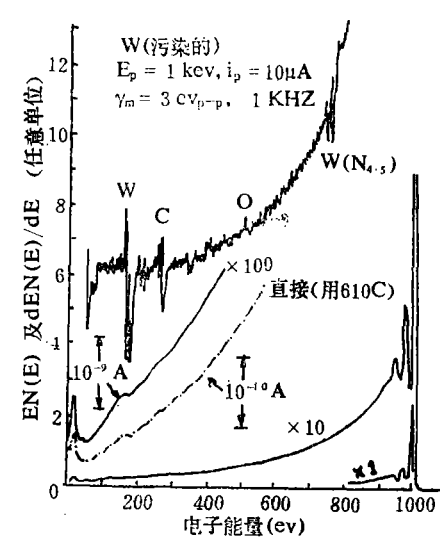


图 4 用隔离放大器后测得的污染钨的能量分布和微分俄歇谱与用静电计直接测得筒镜分析器的输出的比较

（下转 9 页）

发生于约 5 电子伏 (183~188 电子伏) 的位移, 这是样品表层的 Cl 与 O、C 结合, 形成了不稳定的化合物^[6]。经过高温处理, Cl 化合物分解, Cl 在表面上偏析, 在基底部分几乎完全消失了。

样品中的 S 也有类似的变化。

在谱图中谱峰形状有较大的畸变, Ni (36 电子伏) 和 Fe (47 电子伏) 及该区域内复杂谱峰重叠, 形成较宽的峰形。Ni (709 电子伏) 和 Fe (703 电子伏) 峰重叠, 也造成谱峰的畸变。值得注意的是, B、C 样品基底部分不能恢复 A 样品中 Ni 及微量杂质 Fe 的低能量峰形, 说明经过高温处理之后, Ni、Fe 的性态发生了变化。

参 考 文 献

- [1] W. Kromert et al, Ann. Phys. 43 (1943) 520
- [2] 池田等, 电子综合技术研究所报告 709 号 123
- [3] 高本辉等, 真空技术 1 (1978) 1
- [4], 黄张添等译, “元素的物理化学性质”下册, 255
- [5] 王志慈, 真空科学与技术 2 (1982) 61
- [6] H. H. Madden, J. Vac. Sci. Technol. 18 3 (1981) 677

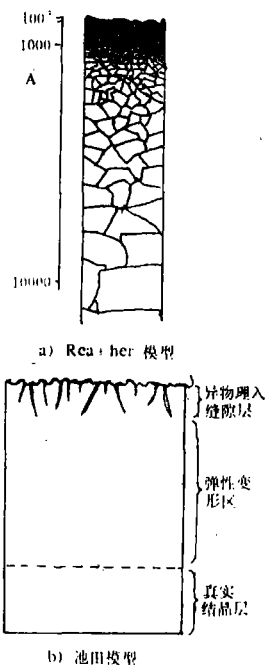


图 6 表面加工变质层模型
(a) 资料 [1] 的模型
(b) 资料 [2] 的模型

(上接15页)

与静电计直接测得的筒镜分析器的输出特性作了比较。在用静电计的直接测量中是将二次电子倍增器的第一打拿极与静电计相连来进行测量的。由于第一打拿极的二次发射面还可能再发射二次电子, 因此虽不可能期望有像用法拉第筒时那样的高精度, 但还是能大略地进行测量的。这里将用静电计所得到的特性与用隔离放大器所得到的特性作一比较。首先, 从刻度的比较上读得该实验中所采用的二次电子倍增器的增益约为 15 倍。虽然这无疑是一个很低的数值, 但因为这里的目的并不是要得到高的灵敏度, 所以不存在问题。其次, 从两种谱线的高度之比来看, 当电子能量在 100—600 电子伏之间时, 约有 20% 的变化。我们认为这主要是由于二次电子倍增器的增益是与能量有关所致。这就是不同装置和不同研究室的俄歇电子谱仪数据具有微秒差异的原因之一。在论述定量性的时候虽然需要预先确定电子倍增器的特性, 但一般情况下可以不予考虑。此外, 还必须对二次电子倍增管用作法拉第筒进行正式的研究。

5. 结 束 语

由于在俄歇电子谱仪中采用了隔离放大器, 实现以下几点就成为可能。(1) 悬浮在高电压上的二次电子倍增器的输出, 即能量输出, 可以直接测定。(2) 由于能和静电计联用, 所以能够直接测定二次电子倍增器的增益与入射能量间的关系。这对俄歇电子谱仪的定量修正是很有用的。(3) 虽然在这里没有给出专门的例子, 但提高了二次电子倍增器高压电源的耐噪声性。这一点已由按同样意图制作的变压器耦合型检出系统所证实。(参考文献略)

(译自“真空”(日) 26 3 (1983) 246 胡炳森校, 原文作者: 沈国华等)