

# 表面谱学

J. Demuth, P. Avouris

十五年来表面分析取得了很大的进展,其中表面谱学的发展及其应用起了重要作用。本文试图介绍表面光谱分析中的一些基本概念以及它们在表面科学中能够解决的一些重要问题<sup>[1,2]</sup>。实际上,我们是想给读者提供一些表面分析中的基本技术。文中所涉及例子都取自国际商用机器公司 Thomas J. Watson 实验室。因为我们认为它们具备了表面研究和表面分析谱学的一般特征和研究水平。

表面的定义通常是指任何两种物质之间的界面。虽然如此,表面研究所指的大都是固体表面,特别是对晶体表面的研究最为广泛。我们从这些研究中了解到许多复杂的表面现象,与体内原子相比,晶体表面原子的特点是近邻原子数少和几何结构不同。当杂质或缺陷存在时,表面就会有新的化合

物或新的几何排列出现。结果将使表面的微观或宏观性质发生变化,并且影响诸如催化,晶体生长,氧化,腐蚀及脆裂等过程。在电子工业中,由于集成块很薄,表面性能尤其重要,几乎整个制备过程都要用到与表面和界面有关的物理化学性质。

因此人们对表面的物理性质(如结构及电子态)和化学性质都很感兴趣。例如,我们常常关心的是表面有什么元素,它们的化学形式怎样,是如何与表面结合的等等。近年来,这方面的进展很快,而在15年前还不能回答一个表面是否是原子级别的清洁,或者表面有没有外来原子这一类基本问题。

使用表面光谱学可以解决许多与表面有关的问题,当然它能解决哪些问题是有限条件的。要了解这些条件,首先让我们探讨一下表面谱学的一般原理及其要求。

谱学,核探测器和核加速器用于诊断和处理各种疾病,为病人谋福利。

## 今后的趋向

作为本文的总结,我们试着建议几个在未来几年中核谱学的发展方向。

▲将会出现采用放射性束流或靶子作核反应研究;这些反应将优先地激发一些核态,它们在现有的束流下是观察不到的(或研究得很不充分的)。例如,最大能量为108MeV的<sup>14</sup>C束在布鲁克海文刚刚投入例行运行。

▲在束流光学方面,在一系列出射粒子的高效高分辨探测方面,技术的进步将会继续下去。这将允许我们分开比目前研究的态间隔更小的一些能态以及研究形成截面非常

低的态。

▲高能探针将被更为广泛地应用,我们可以用更高的精度和新的方法研究核的自由度与核的组分。

▲当我们确切地知道核反应中所涉及的能级的性质时,反应机制将会被更好地理解。

▲各种核模型将获得更大的预知能力。

▲在试图测量全部有关参量中,将越来越多地进行多举实验。因此实验将日益复杂并在时间和金钱上变得越来越昂贵。这样,在高能(基本粒子)和低能(核)物理之间的传统的界限将会消失。

(孙锡军译自《Physics today》1983, No.11, pp.26—32, 戴光曦校)

使用光谱学是试图寻求系统的量子态，在本文即指表面态。图1给出了自由原子和束缚原子的能级和跃迁。固体中，由于较高的价能级相互作用，形成能带，一些能带是满的，一些能带是空的；在固体内部，由于势能低，电子束缚紧，为了简单起见，我们假设这些原子的集合形成某种金属。在表面，由于原子配位数少，使价带宽度发生变化，同时还能产生新的局域态—表面态。对共价键物质（例如硅或锗），表面常常存在未饱和的价键或悬挂键。同价能级相比，能量较低的局域心能级对表面的几何形状及束缚情况都不那么灵敏，而它们的能量与内部原子的能量也稍有不同。这些表面态除了可能来自原子的电子态而外，还可能来自表面的集体激发，如表面声子和等离子体激发等等。表面吸附分子也有它自己的一组特有的电子能级和振动能级。

为了描述表面的能态和跃迁，要求表面谱学必须具备足够的灵敏度，对于吸附原子来说如果它的吸附跃迁与体内跃迁或表面跃迁不同的话，这种物质是很容易分析的。这说明表面谱学的分辨能力不仅依赖于光谱技术，而且还依赖于所研究的原子特性。

有很多方法都可用来研究表面能级和能级之间的跃迁，但这里我们只介绍几种常用的方法：光电发射谱学，俄歇电子谱学和电子能损谱学。图1给出了相应的激发机制。光电发射谱学和俄歇谱学都包含有发射心电子或价电子这样的电离过程，在光电发射谱学中，光子可以使心电子或价电子激发或者原子电离。而在俄歇谱学中，却是由一个外层电子去填充一个空的心能级（这个空穴是由高能光子或电子产生的），并同时发射一个二次电子。相反，电子能损谱学却只涉及样品的激发而不包含电离：入射电子非弹性散射，使表面电子跃迁或振动而损失能量。后面我们将回过头来更详细地讨论这个问题。

一般说来，表面谱学所测量的大都是由

表面发射或散射的电子能量。任何一种能量分析器都与所要求的能量分辨和收集角有关。

我们实验室用了一台高分辨、可变接收角的电子谱仪，用它我们测试了光电发射谱和能损谱。分析器安装在不锈钢的真空法兰盘上，这样我们就可在高真空中进行操作。尽管样品放在高真空中（如 $10^{-13}$ 大气压），但真空中的残留物仍可在几十分钟内沉积在样品表面。与其它光谱测试不同，由于污染，我们不可能长时间地对表面进行测试。为此必须采取一折衷方案，争取在样品污染以前就获得足够的信息。高真空是一个必要条件。没有一个好的真空，电子就可能被样品周围的气体原子散射。要获得超高真空，谱仪必须装有金属密封的而不是弹性密封的真空法兰盘和特殊的真空泵。要除去真空室内壁的残留物，就必须对它进行特殊的处理，如，在温度 $150^{\circ}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 对它加热 $10\sim 24$ 小时。

电子与原子和电子与固体的相互作用决定了电子的逸出深度和电子谱学表面灵敏度。例如由固体发射出来的，动能为 $10\text{eV}$ ， $100\text{eV}$ 及 $1000\text{eV}$ 的电子，典型的逸出深度分别为 $5\text{\AA}$ ， $20\text{\AA}$ 和 $50\text{\AA}$ 。而可见光和红外辐射的穿透深度却只有微米（ $10^4\text{\AA}$ ）量级。尽管电子的逸出深度与物体的性质有关，但这种相关性是很弱的。通常对 $100\text{eV}$ 的电子表面灵敏度最大。利用电子逸出深度随能量变化的特点，我们还可根据发射电子的能量变化来获得有关信息。

显然，由于电子与物质相互作用很强，表面谱技术要求高真空条件，而对液体，气体和固体—固体界面的研究则不需这种要求。尽管这种高真空条件的要求会引起对今后表面光谱研究的许多异议，然而电子光谱学仍然是极其重要的一门光谱技术。现在我们就回过头来介绍某些特殊的光谱学方法和示例。

# 光电发射谱学

所谓光电发射谱学（常用PES表示）是用高能光子（如x射线）或低能光子（如紫外线）直接从价带或心能级打出电子，然后再探测这些电子并分析它们的能量。发射电子的最大动能等于光子的能量  $h\nu$  减去功函数和电子结合能（此结合能是相对于费米能级的）。典型的光电发射谱都包含若干个光电峰。这些光电峰是由样品内部不同能级逸出，且不发生次级非弹性碰撞的电子贡献的。当这些光电子经受一系列非弹性散射时，就导致一低的连续本底。要想把心能级的电子打出来，要求比较大的光子能量，且通常都位于x射线范围。这种典型的光电谱常称为x射线光电发射谱或XPS。如果我们仅对价态感兴趣的话，只需用紫外光就能得到动能比较小的电子，这类电子谱通常有较强的信号和较好的分辨，称为紫外光电发射谱或UPS。

用于光电谱研究的x射线，常常采用的是镁（1253.6eV）和铝（1486.6eV）的K<sub>α</sub>辐射。其特点是强度较大，单色性也较好。UPS用的紫外光源通常是稀有气体放电管。近年来电子贮存环的同步辐射已成为十分有

用的x光源和紫外光源。同步辐射是一种强的、准直的和偏振的单色光源，而且能量范围宽，如光子能量可高达10keV。用偏振光源可测量电子态的对称性。

利用x射线光电发射谱可对元素进行定量分析。因为对于不同元素，心态能级的束缚能也不同（作化学分析用的电子谱常称为ESCA）。Kai Sieghbahn用x射线进行了30多年的研究，终于在1981年获得了诺贝尔物理学奖。由于光电发射谱学的最新进展，（如强的同步光源，高分辨单色器和大收集角的电子谱仪等）我们已经能够进行更详细的测试。同时，也能够利用x射线来研究表面科学中其它的一些重要问题。

图2给出了钼（111）面4f能级的光电发射谱。所用的光源是威斯康星大学<sup>[3]</sup>贮存环提供的66eV的光子。这个图只给出4f能级中自旋为7/2的这条轨道的贡献。尽管这些能级十分确定，并且也能说明XPS的某些基本原理，但严格说来这些能级并不是心态能级。对于清洁的表面，我们测量了表面原子和体原子的光电峰，发现表面原子和体原子的结合能存在小的差异。这种差异称为化学位移，是由于体原子和表面原子所处的环境不同而造成的。表面配位的变化使局域态的屏蔽受到影响，并且使表面原子的心电子结

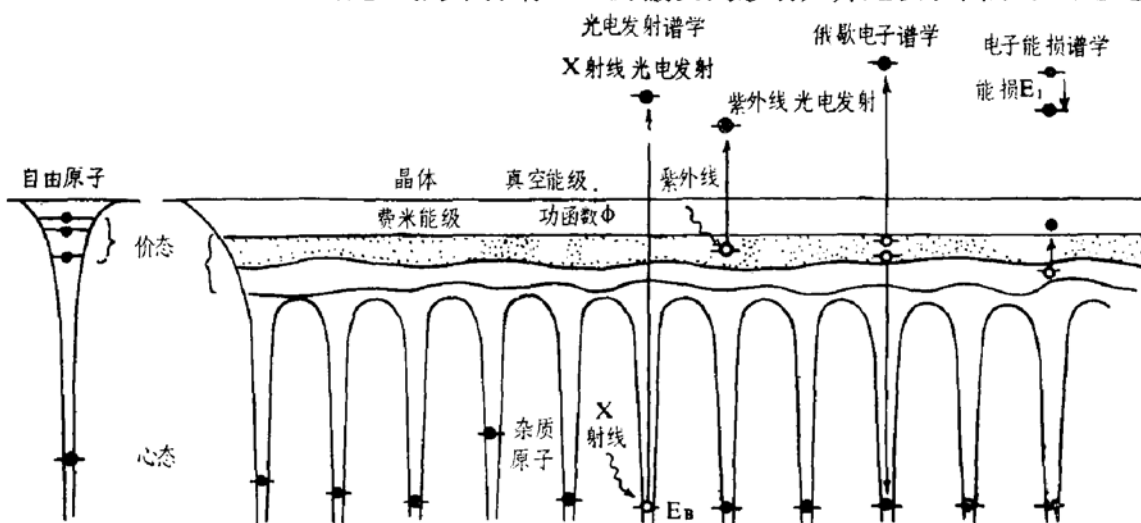


图1 自由原子及固体的电子能级图(相对于真空)。价态及扩展较小的心态受自由原子价的影响，与体内和表面原子稍有不同。价电子密度用暗区表示。该图还给出了用来研究电子态的三种不同方法的具体过程：x射线和紫外线光电发射，俄歇电子和电子能损等。

合器发生变化。实际上任何特殊情况下的化学位移方向都与表面电荷的转移方式有关。如果分辨能力比较好，我们还可以把钽原子的第二层和第三层的结合能区别开。表面的化学变化会改变表面原子的价电荷，而且还会产生化学位移——正如钽氧化所表现出的那种特征一样。与钽的表面原子结合使价电荷的分配发生变化，从而使表面原子的静电势降低。值得注意的是，电荷转移量（即氧化态）和所测得的心电子束缚能量之间存在一种简单的线性关系。因此当含氧量小时，我们只能看到一个新的峰，而含氧量多时，可以看到两个峰，第二个峰可能就是由于有较多的氧原子与钽原子结合形成的第二种相产生的。有些氧原子还可能位于表面的钽原子的下面。最后，当氧含量非常大时，钽发射的特征谱线减弱，同时出现氧化钽的特征辐射带。

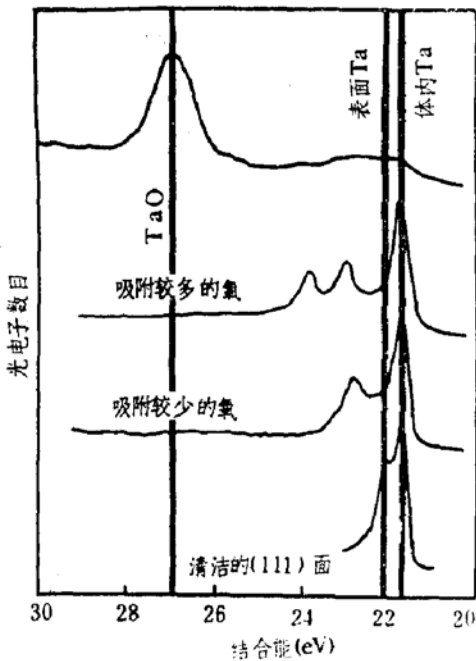


图2 能量为66eV的光子，打在钽的4f能级上得到的光电发射谱，该图只给出7/2自旋轨道分量的贡献。当表面暴露在氧气中时，氧与表面原子结合，改变了它的结合能。当较多的氧与表面结合时，就出现两种不同的Ta—O组态。当氧化作用完成后，氧化物就抑制了内部钽能级的电子发射。

由于在光电发射中动量的平行分量是守恒的，于是我们就可以测定晶体或表面的价态动量分布。角度可分的光电发射仅仅是一种可以用来测量非局域态的能量和动量的表面技术。这种技术可提供二维态性质的详细知识。

图3给出了与角度有关的紫外光电发射谱。这个谱是对清洁的 $2 \times 1$  Si(111)面的一个表面态测得的，对它的原子结构还有着不同争议。图中清楚地表明发射电子的能量与晶体的方向有关。根据这种相关性，我们就能得到它们的动量—能量曲线（色散曲线），如图4右边所示。这些实验数据有助于我们对Si(111)面的表面结构的了解。近20多年来提出了各种各样的模型来描述这种表面结构，只有最近提出的 $\pi$ 键模型才成功地解释了这一色散现象，此外这个模型还成功地描述了许多其它实验结果<sup>[6]</sup>。

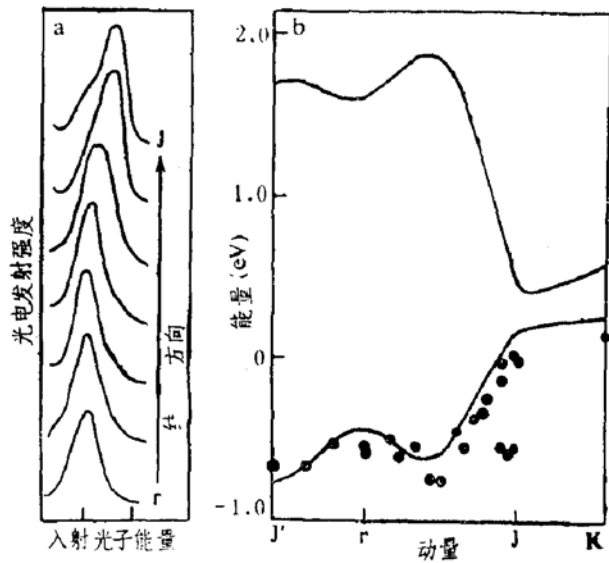


图3  $2 \times 1$  Si(111)面的光电发射谱与角之间的关系。每一个图都对应于不同的收集角；符号 $\Gamma$ 和 $J$ 表示某一个特殊的电矩被收集的方向。峰位的移动可用来测定图b中的动量—能量关系即色散曲线。理论曲线是根据 $\pi$ 键模型得到的。色散曲线对键的结构和性质都非常灵敏。

显然，在Si表面出现 $\pi$ 键是因为这些表面原子的价电子总是想同其它键结合，而不

是一直在表面悬挂着。要出现 $\pi$ 键，最外层表面原子必须形成锯齿形键。通过总能量的计算证实了这一结论，且很多实验都证明了这种模型是合理的。

光电发射谱还能够成功地用来研究吸附的原子和分子。价电子的结合能常被人们看成是吸附体的“化学指纹”。由光电发射谱即可得到表面产生的化学反应。利用极化相关性的研究还可得到吸附物的对称性和取向方面的信息。要想用表面的束缚性质和几何特征来定量说明这些价能级或它的表面色散，需要详细的理论计算，正如在刚才所提到的 $2 \times 1\text{Si}(111)$ 表面情况那样。遗憾的是这一计算十分复杂，而且耗费时间，即使是对简单的吸附原子也是这样。

我们介绍了光电发射谱的单电子图象，而实际上并不是单电子激发，例如剩下的离子还可以与周围的电子发生强相互作用，而导致复杂的多体效应。这种效应将对表面局域态产生重要影响。要说明绝对结合能和光电发射谱的线形就必须考虑这类效应。显然，由于多体效应将使光电发射谱学和下面即将介绍的其它谱学的应用受到限制。

## 俄歇电子谱学

当原子的心能级被电子或光子电离后，内壳的空穴就可能被外壳电子填充，同时发射光子或二次电子，并带走一次电子所具有的能量。如二次电子无放射性衰变，则此过程被称为俄歇过程。1925年P. Auger首次发现了这一过程。对于轻元素( $Z < 20$ )，当空穴位于K壳时，俄歇发射比X射线荧光的机率更大。即使对于较重的元素，当空穴位于外壳时俄歇过程仍然占主要地位。总之，当激发能量 $< 1\text{keV}$ 时，俄歇过程常常比辐射跃迁更为突出。出射电子的动能等于心空穴能量减去逸出电子的结合能(相对于真空)。动能最大的俄歇电子可提供心态信息，与X射线光电发射谱相似，也可用它来进行元素

分析。由于每一元素都会发出各种不同的俄歇跃迁，在大多数情况下，我们只须考虑与元素分析有关的几种跃迁。图4给出了Si(111)面被钯元素沾污后的俄歇谱。与往常一样，为了突出俄歇过程的特征，为了说明所测得的元素浓度，该图只给出了俄歇电子的能量分布。俄歇信号与产生俄歇跃迁的矩阵元有关，由于这个原故钯信号就比硅的信号弱。图4a中的其它俄歇信号对应于元素碳、镉和氧等杂质。

价电子密度的变化还会明显地改变俄歇电子的能量分布，换句话说，就是俄歇化学位移大。但是由于俄歇发射包含了三种不同能级，要对这些位移作出定量估计或理论解释常常是困难的。尽管这样，我们仍可利用俄歇谱来定性得到一些重要知识。例如，图5b给出了<sup>63</sup>清洁的硅表面和被钯污染了的Si表面的LVV俄歇谱(LVV表示包含L壳心态空穴和两个价电子的过程)。硅—钯化合物的形成使Si原子的价态发生变化，并使俄歇谱出现新的结构。根据Pd<sub>2</sub>Si的价态密度知识可以成功地解释谱中的主要特性。当钯含量很低时，我们观察到的是另外一种PdSi化合物的俄歇谱。当钯与硅反应生成Pd<sub>2</sub>Si时，在Pd<sub>2</sub>Si—Si界面上，似乎还发现有少量的无一定化学比的Pd—Si合金出现。这类信息对了解金属—半导体界面的Schottky势垒的形成是很重要的。因为这种界面在集成电路中常常出现，表面化合物的化学性质及界面的突变性都会影响集成电路的性能及可靠性。

如果用电子束来激发，则可得到很强的俄歇谱。这种强信号，分辨低(如分辨 $\frac{1}{2}\text{eV}$ 或 $1\text{eV}$ 能量差)但实用价值大的电子俄歇谱是使用最早、最广泛的一项光谱学技术。用电子束来产生心态空穴还有一个优点是束流可以聚焦，且可对样品进行扫描，从而可对表面进行微区分析。一个典型的例子是可将束流聚焦到 $100\mu\text{m}$ 左右，不同能量的俄歇电子强度均可在荧光屏上显示出来，这实际上



是一种显示元素比的俄歇显微图。

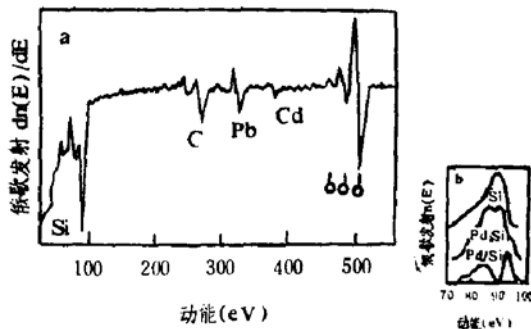


图4 硅(111)面上铅的俄歇谱。该图给出了5KeV电子束打在样品上产生的俄歇发射电流曲线。俄歇跃迁十分明显。铅的跃迁截面很小。我们还可看到由于粘污产生的其它俄歇跃迁,如氧,碳,硫等。图b给出硅直接发射的LVV俄歇谱线,其中包括清洁的硅、Pd<sub>2</sub>Si以及在Si-Pd<sub>2</sub>Si界面处存在的其它形式的Si这三种情况。

## 电子能损谱学

与上面讨论的以电离为基础的表面谱学不同,电子能损谱是一激发谱,在许多方面都与光谱学相似。我们用一单色电子束照射样品,并测试它的非弹性散射电子能量分布(与此最相似的大概就是Raman谱)。因为非弹性散射过程包括心态或价态电子激发到未占据态,因此能损谱学可同时提供表面原子的占据能级和未占据能级方面的信息。不过,要是我们已经知道了有关占据态的信息(如由光电发射谱得到),则可用能损谱来分析未占据态。与俄歇谱和光电发射谱相似,根据能损谱提供的信息也可进行化学分析。

电子能损谱的独特而又重要的应用(也正是这儿我们要着重谈到的)是对振动激发(特别是吸附物的振动激发)的研究。一般说来电离谱是不适于作这类研究的,由于空穴态与价电子的迅速中和,导致谱线的严重展宽。要观察振动结构,1/2eV左右的线宽就嫌太宽。当然由于体内原子激发,表面振动谱线也会展宽,但这种展宽很小(大约只有0.001eV),对分辨不会带来什么影响。

化学家和材料科学家们早就知道振动谱特征与分子结构密切相关。振动频率的大小直接表征了原子之间和原子集团之间结合的强弱,因而可以利用振动谱来研究价电子密度分布的变化。正是由于灵敏度高,使红外谱学(也含有振动态)成了分析化学中的一种强有力的工具。用振动谱学来研究表面和吸附体时,最重要的特点就是电子束具有高的表面灵敏度。

为了研究振动态,我们把一能散小的、低能准直束流入射到样品表面;然后再测量反射或背散射电子的能损。典型的电子束能量为1—100eV,能散为5—10meV,振动能损通常为0.1eV左右量级。因为散射过程包含了长程相互作用和短程相互作用,正是它们确定了激发的性质。长程相互作用包含振动核涨落偶极场对入射电子的散射。这时可在小的反射角内观察到非弹性散射电子,由于动量转移小,偶极近似和选择定则均可应用(散射电子的角散约为振动能量与入射能量之比)。当散射是由短程相互作用产生时,则动量转移较大,可在大的反射角内观察到非弹性散射电子。短程碰撞不仅包含了偶极跃迁允许的那种激发,而且基本上还包含了所有可能的表面激发。在某些情况下,入射电子可能被靶原子俘获,形成瞬时的负离子态,通过它的衰变(韧电子发射)就可了解中性激发态的性质。

这种技术的主要困难是要求高的束流分辨和探测器分辨。尽管在各种振动研究中我们可以得到相当高的分辨率,然而与某些光学方法相比,表面分析的分辨率却要低一个数量级。使用电子束的主要优点是它的灵活性比较大,既适合于研究不同的能量范围,又适合于研究不同的激发态。要想改变电子能量或者打算在一个宽的能量范围内进行扫描时,只需改变谱仪的电压即可。

我们现在举例说明如何利用电子能损谱来说明表面吸附原子的振动态。图5给出了吸附在Si(111)面上的氧原子振动谱。为了能

够跟踪单个的吸附和反应过程，我们的实验必须在低温(15°K)下进行。这些振动谱表明，氧存在着不同的相，且与表面温度和氧的含量有关。当一开始暴露在低含量的氧气氛中时，如果用 200meV 左右的谱仪进行探测，没有发现分子氧存在，看到的只是与氧原子有关的四个峰。当表面含有较多的氧但仍然不到一个单原子层时，可观察到分子氧的存在：除几条原子氧的谱线外，还存在分子氧的谱线。当样品加热到50°K，则 0-0峰

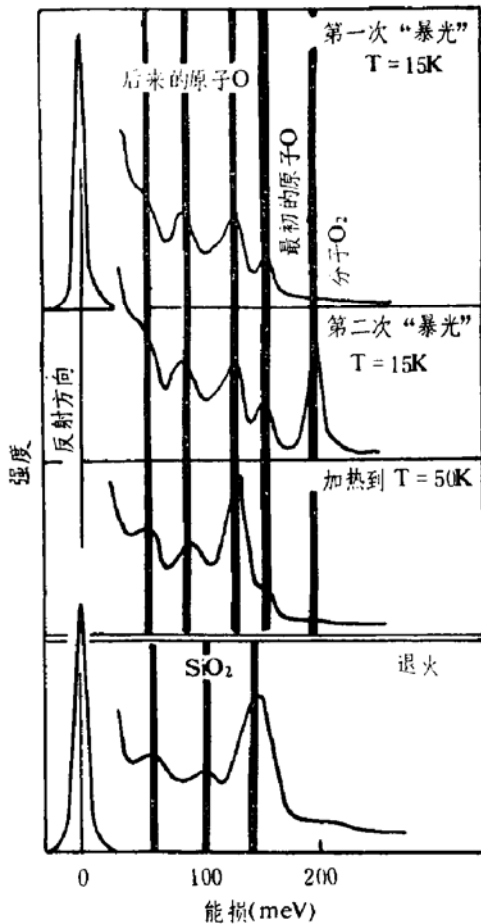


图5 电子能损谱，该图是利用能量为 15eV 的电子束轰击暴露在氧中的硅(111)面获得的。在15°K时，7×7的清洁硅(111)面暴露在氧气氛中，产生约0.2原子层的氧复盖层。该图表明这些氧原子具有两种不同的相。当氧增加，比如产生约0.8原子层的氧时，表面即可出现分子氧。加热到50°K时O<sub>2</sub>离解。最后用激光退火使所有的氧都与Si反应生成SiO<sub>2</sub>。

消失，表明分子氧分解，而最初的四个峰中的三个峰的强度明显加强。在更高的温度下则形成SiO<sub>2</sub>。

根据上述测量可以发现，最初吸附的原子氧具有配位和键位不同的两种状态。振动谱比较复杂，谱线的条数可根据偶极选择定则得到。其中一个态对应于三种偶极作用的振动模式，而氧原子的束缚具有低对称性，我们既观察到了它的振动模式，还可观察到对称和非对称桥式键氧的展宽模式等<sup>[10]</sup>。另一个态只给出一个带，这意味着是束缚在对称性很高的吸附位置上一与最外层硅原子相似。对硅表面的这类氧原子或分子的化学形式的研究以及它们向体氧化物的转变都有着非常重要的意义，因为SiO<sub>2</sub>作为一均匀的绝缘层，在电子器件的制备中得到广泛使用。实际上正是由于硅具有这种形成氧化物的性能而使它成为电子学器件的重要原材料。

使用电子而不使用光子的一个主要优点是可以激发光禁戒跃迁，还可以适当调节电子能量实现共振激发，加强散射截面。例如，图6就给出了在银(111)面上单层氧分子的共振散射能谱。从这个图可以看出，氧分子不仅吸收了振动量子 $\hbar\omega$ ，而且还激发到了较高振动态。除振动激发外，电子束还可产生电子激发。对能谱的分析可以导出表面对分子内部(被吸附的)势能曲线的影

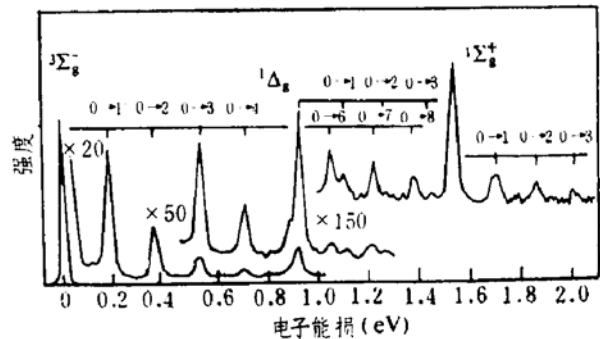


图6 分子振动。将能量为6eV的电子打在银(111)面上，在20°K时，测量被单层氧分子散射所得到的电子能损谱。

响<sup>[11]</sup>，对了解表面吸附物的价键是如何破裂的十分重要，这乃是表面化学反应的一个重要问题。在20°K时，对银(111)面上的O<sub>2</sub>进行分析，发现等距离的振动谱线表明0-0相互作用势是标准的谐振子势。这一点与自由氧分子O<sub>2</sub>相似；可逆且吸附弱。相反，硅(111)面上的O<sub>2</sub>却表现出非谐效应，离解势垒明显减少——这一结果与实验(温度50°K)一致，如图5所示。

## 展望

近15年来表面谱学的进展很快，使表面科学进入它的黄金时代。与我们介绍的三种表面光谱学有关的更为详细内容以及表面科学的一般知识均可在文献1和2中找到。本文只讨论了这些谱学的基本原理和某些比较复杂的物理过程。除上述外，这些过程还可提供另外一些很重要的信息。例如，在一个周期表面上，局域态电子发射的角分布可能出现干涉特征，由这种特征即可了解到结构方面的知识<sup>[12]</sup>。类似地靠近心态能级边缘的电子或光吸收可产生驻波，正是这个驻波对吸收截面的能量相关性起着调制作用，根据这

种调制即可了解结构方面的信息<sup>[13-15]</sup>。在定量解释及其应用，干涉现象可以提供更为详细的内容。此外还有几个小组正在研究逆光电发射技术<sup>[16]</sup>。他们仍用电子轰击表面，其中一部份电子落到未占据态，同时发射光子。分析这些光子的能量即可知道未占据态的性质。

可以预期，在不久的将来，表面谱学将得到进一步的推广和使用，从而获得更新，更详细的知识。科学家们业已发现必须把几种光谱学方法彼此结合，互相取长补短，这样不仅能研究特殊的表面问题，而且还能更好地了解某种方法的疑难所在。可以预期，光学方法的进一步发展可望在非真空条件下对表面进行分析，其中包括了反射红外谱学<sup>[11]</sup>，高灵敏度Raman谱学<sup>[17]</sup>及表面非线性光谱学等。利用同步辐射可将能区和表面谱学的类型大大拓扩。这种辐射的特点是强度大，调谐范围宽。表面谱学的应用及新技术的发展将继续使表面科学成为一门活跃而又激动人心的领域。

(邵明珠，罗诗裕译自 *Physics Today*, Vol.36, No.11, 62-68(1983), 罗诗裕校)