

3.4 LIGA 光束线 (WBL3)

当 HRXD 光束线上的三块弯晶都移离光束中心时,同步光束经过一个固定光阑直接进入 LIGA 光束线.该光束线没有单色仪,只有一块圆柱反射镜和两块 Be 窗,镜子用来截止 0.15nm 以下的 X 射线和使垂直方向上的发散光变成平行光. Be 窗则滤掉低能光子,减轻掩模晶片上的热载.由于在掩模晶片上的光斑尺寸为 $40 \times 10 \text{mm}^2$,光谱在垂直方向又是准高斯型分布,为了获得较大的曝光面积,改善光强的

均匀性,掩模晶片必须在垂直方向上作扫描移动.

参 考 文 献

- [1] G. W. Greaves et al. , *Nuclear Instruments and Methods* , 208(1983), 139.
- [2] 徐朝银等, *真空科学与技术* , 3(1989), 166.
- [3] Xu Chaoyin et al. , ISSPA'94, Hefei, China.

国家同步辐射实验室同步辐射光电子能谱站的新进展*

徐世红 徐彭寿 陆尔东 潘海斌 余小江 张发培

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室,合肥 230026)

摘 要 简要地阐述了同步辐射的优越性,介绍了国家同步辐射实验室(NSRL)光电子能谱站与光束线的设备,综述了国内主要用户及站上工作人员在金属/半导体界面等方面所开展的工作和一些实验结果.

关键词 电子能谱,同步辐射,金属/半导体界面

在科学研究领域内,研究工作总是受到实验条件的限制,要想进一步地深入研究和解决新问题,就必须寻找新的技术和设备.同步辐射由于具有许多优点,因而能克服常规光源的种种局限,使我们对有关研究工作有了革命性的突破,逐渐成为在物理、化学、生物等多个学科中得到广泛应用的有力工具^[1].

同步辐射与其他光源相比有巨大的优越性,这就使它在凝聚态物理研究工作中得到越来越多的应用.表面物理是凝聚态物理的一个重要分支,世界上几乎每个同步辐射实验室都有与此有关的光电子能谱实验站.它的基本思想是:用一束光入射到固体表面,激发出电子,探测的几个参数是:态密度、电子的能量分布(能谱)、电子的空间角度分布、自旋等.它是研究表面电子态的最有力工具.下面结合我们的

具体实验,综述一些实验结果.

1 光电子能谱站

国家同步辐射实验室(NSRL)光电子能谱站是由光束线、光电子能谱仪和超高真空薄膜样品制备室三部分组成.

1.1 光束线

光束线是一个高分辨率的真空紫外和软 X 射线波段的球面光栅单色器.

由入射狭缝出射的同步辐射光,经四块不同光栅分光后,分别提供连续可调的 10—62eV 真空紫外光和 62—1000 eV 软 X 射线.

为了提高分辨率,入射和出射狭缝均被安

* 1995年6月30日收到.

置在一个行程为1m左右的步进电机驱动的精密滚动导轨上,当光栅主轴转动作波长扫描时,狭缝在计算机控制下跟踪聚焦圆的线性运动,这样就使光束线在整个能量范围内达到较高的分辨率.入射到样品上的光斑大小,在水平方向为3mm,垂直方向为1mm.整个光束线用离子泵超高真空系统维护真空.为了保护储环的真空,光束线真空系统采用了有效的真空保护控制.

1.2 光电子能谱仪

能谱仪从英国 VSW 公司进口,这是该公司根据我们实验站同步辐射应用的要求而设计的.能谱仪包括分析室和预备室两大部分,它们都配有必需的超高真空系统,其基本真空度均优于 2×10^{-10} Torr.

分析室中配有角分辨和角积分两种电子能量分析器.用户可根据研究工作的需要进行选择,角积分电子能量分析器是一个半径为150mm的半球形电子能量分析器.由于采用多道板电子倍增器作为探测器,其灵敏度和分辨率均有较大的提高.角分辨能量分析器是一个半径为50mm的半球形电子能量分析器,它能沿不同方向旋转,以便测量不同方向出射的电子.固定在分析室样品架上的样品,可进行冷却和加热,温度范围在 $-100-1000^{\circ}\text{C}$.此外,分析室还配有低能电子衍射仪,双阳极 X 射线源(Mg 靶和 Al 靶),真空紫外源(He I 和 He II 光)、电子枪和差分离子枪等,分析室和预备室均有进气系统可进行气体吸附的实验.

预备室中配有必要的样品清洁和处理装置,如差分氦离子枪、单晶解理器和刮磨器等.此外,预备室还有两个蒸发器可蒸发熔点为 1000°C 以下的各种材料,制备各种样品.

光电子能谱仪除了可进行通常的俄歇电子谱(AES)、低能电子衍射(LEED)、真空紫外光电子能谱(UPS)及 X 射线(XPS)等表面分析技术外,更重要的是可利用同步辐射光源进行光子能量可变的光电发射谱(SRPES)、角分辨光电发射谱(ARPES)、近边 X 射线吸收

精细结构(NEXAFS)、共振光电发射(RPES)及光电子衍射(PED)等实验.

除此之外,本实验站还配有国内制造的超高真空薄膜样品制备室.它可以根据用户的需要,选定各种材料制备多层异质薄膜样品.制备后的样品可在保持新鲜表面的情况下用磁力传递杆原位传递到能谱仪中,并可利用同步辐射光源进行分析和研究.

2 实验结果与讨论

2.1 碱金属/半导体界面

无论在基础研究中,还是实际应用中,碱金属/半导体界面的研究都具有重要的意义^[2-4].实验发现,碱金属淀积在半导体后,引起表面功函数下降,它与半导体的反应不强,形成较突变的界面,在半导体表面有很强的催化氧化和氮化效应^[3].此外,碱金属可以调节异质结的能带排列^[4].为此,我们分别研究碱金属 Na, K, Rb, Cs, 在 III-V 化合物、I-VI 化合物、Si 表面上的吸附和催化氧化与氮化.

图 1 是清洁的和 K 覆盖的 GaAs(100)界面的 Ga3d 和 As3d 芯能级谱^[2].光子能量为 98.7eV.图中各峰高度已等高化,以便更好地

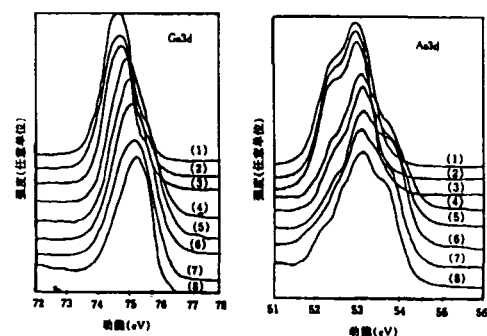


图 1 不同覆盖度的 K/GaAs(100)界面的 Ga3d(a)和 As3d(b) 芯能级谱

- (1)清洁; (2)0.07ML; (3)0.18ML;
(4)0.51ML; (5)0.77ML; (6)1.0ML;
(7)1.35ML; (8)1.72ML

看到各峰峰形变化.在少量 K($<0.5\text{ML}$)蒸镀

后, Ga3d 和 As3d 谱均在高性能(低结合能)方向发生展宽, 并随 K 的覆盖度增加而逐渐变成一个峰. 其中 Ga3d 的位置与金属 Ga3d 芯能级位置一致. 通过芯能级信号强度衰减测量, As 信号强度衰减很快, 而 Ga 却较慢. 这表明 K 与衬底 Ga 发生了置换反应, 且扩散偏析到表面. As 与 K 形成化学键, 但停留在界面附近. 其他碱金属/化合物半导体界面与此类似. 这里不一一详述.

通过碱金属的催化氧化与氮化实验^[3], 我们发现, 氧与氮首先和碱金属发生反应, 形成各种过氧(氮)或超氧(氮)的化合物. 这种化合物容易释放活性很强的氧离子或氮离子, 使得衬底被催化氧化或氮化.

2.2 磁性金属/半导体界面

近几年来, 磁性金属/半导体、磁性金属多层膜研究正引起人们的广泛注意, 发现了许多特别的物理现象, 如巨磁阻和磁振荡效应^[5]. 在这些金属中, Mn 是一种特殊的金属, 其最外层刚好具有半满 3d 的电子. 例如, 它的磁性行为强烈地依赖它相应的晶体结构. 为此, 我们研究了金属 Mn 在 GaAs(100) 与 GaP(100) 表面的超薄膜的电子结构等特性.

在 GaAs(100) 表面^[6], 无论衬底是室温或是在 400K, Mn 以层状模式生长, 并且与 Ga 发生置换反应. 在超薄厚度下, Mn 覆盖层与衬底的反应很弱. 通过价带测量, 发现在价带中出现磁有序 Mn 的 3d 发射峰. 当 Mn 厚度继续增加时, 它的磁性特性消失, 并逐渐弯成体 α -Mn 的电子结构.

在 GaP(100) 表面上^[7], Mn 也有类似的性质. 图 2 是价带谱, 光子能量为 157eV. 在超薄膜下, 费米面下 4.1eV 出现一个 Mn3d 发射峰, 对应于磁的发射峰. 当膜的厚度增加时, 该峰强度先是增强而后逐渐消失在体 Mn 的 3d 发射背景中. 但是, 通过 LEED 观测, Mn 覆盖层是无序的. 由于 Mn 膜无序, 故二维向三维转变不再是 Mn 磁性产生的原因. 我们认为, Mn 原子核之间的距离变化是 Mn 膜磁性向非

磁转换的原因. 总之, 在低覆盖度下, Mn 膜总是有磁性的, 因而可以说磁性的产生是本征的, 与衬底特性无关.

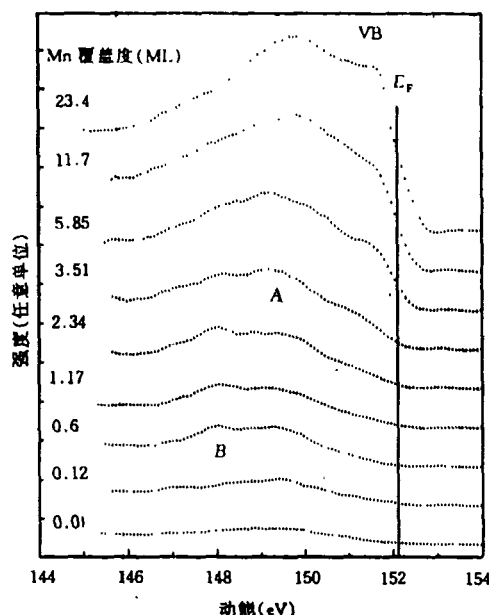


图2 Mn/GaP(100)界面的价带谱

2.3 金属/C₆₀界面^[8]

C₆₀是一种新的团簇材料, 具有一些特殊的性质, 在科学界兴起一个研究高潮. 人们利用各种手段对 C₆₀及其掺杂的特性的电子态进行了详细的研究, 得出了很多有价值的结果. 为此, 我们测量了本征 C₆₀和碱金属、碱土金属、过渡金属和稀土金属的相互作用及电子态的一些性质. 通过这些分析, 我们认为, C₆₀同金属之间的相互作用主要有三种形式, 分别为电荷转移型(碱金属)、电子云杂化(碱土和稀土金属)和金属向 C₆₀体内扩散型(过渡金属). 例如, 实验结果表明, 碱金属在 C₆₀内部扩散速率不快, 对电子结构的测量影响较大. 对于 Mg 的掺杂, 发现 Mg 与 C 之间电子云重叠而形成杂化能级, 引起较大的 Mg 芯能级位移.

2.4 半导体表面钝化

Ⅲ-V 族化合物半导体表面钝化是 Ⅲ-V 族化合物半导体器件制造工艺的关键问题之一. 因为 Ⅲ-V 族化合物半导体由于表面本征缺陷和在空气中被氧化, 导致很高的表面态密物理

度,使得费米能级钉扎在带隙之间^[9],影响了Ⅲ-V族化合物半导体器件的性能和稳定性,已经发展起来硫化物钝化技术,使得Ⅲ-V族化合物半导体的表面光致发光强度明显增强,同时也使异质双极管的电流增益提高.不过,这些处理都会产生一些副作用.目前,我们已建立了一种新的钝化体系 $\text{CH}_3\text{CSNH}_2/\text{NH}_4\text{OH}$ 溶液处理^[10],利用 CH_3CSNH_2 的缓慢水解形成的 S_2^- 离子与 GaAs 表面相互作用,形成非常薄的硫化物钝化层,这种方法可以降低以前用的硫化铵处理的空气污染和毒害,也不留下含有大量砷的钝化溶液.与干法钝化技术相比,不需要大量的设备,而且操作简单.

在这种溶液钝化处理后, GaAs 表面形成了相当于单层厚的 Ga 和 As 的硫化物钝化层.该表面主要是 As_2S_3 和少量的 Ga_2S_3 化合物.在退火后, As_2S_3 不稳定,进一步反应后,形成 GaS, 它也存在 GaAs 表面.

在钝化后的表面,淀积金属会引起能带弯曲,意味着 S 钝化降低了 GaAs 表面的态密度.同时,也会发生界面反应.图 3 是不同覆盖度的 Mg 在钝化 GaAs 表面的 Mg2P 芯能级谱图^[10],光子能量为 86eV.从图中可知,初始淀积的 Mg 主要是化合态的.这时, Ga 峰又向低结合能方向位移 0.2eV.这说明 Mg 与 Ga 发生了置换反应, $\text{Mg} + \text{GaS} = \text{MgS} + \text{Ga}$.当 Mg 膜厚度增加到 1.2nm 时,金属 Mg 占主要,被置换的 Ga 偏析到表面,而 S 保持在界面.很高的覆盖度下, Mg 又和 Ga 形成合金.

除了以上几个研究方面外,我们还进行了稀土金属/半导体界面^[11]、半导体异质结和正在开展的稀土金属/过渡金属界面的研究,由于篇幅所限,这里不一一详述.

由于同步辐射具有光子能量可调,高亮度及高偏振性等优越性,因此在固体表面和界面

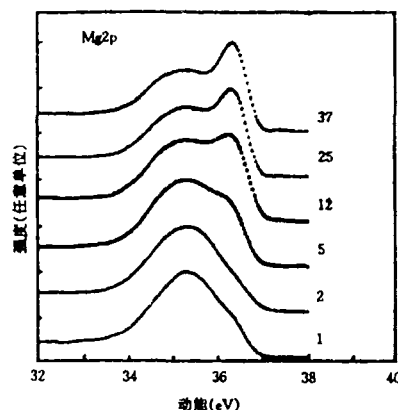


图3 不同量的 Mg 淀积在钝化 GaAs(100) 表面的 Mg2P 芯能级谱 (图中数字为 Mg 膜厚度,单位是 Å)

的研究中是一种理想的光源.可以预见,国家同步辐射实验室光电子能谱实验站的建成和运行,将在表面科学和材料科学的研究中发挥巨大的作用.

参 考 文 献

- [1] 有关这方面的工作可参看同步辐射手册和综述文章,如杨传铮等,物理学进展,12(1992),129-284.
- [2] P. S. Xu, E. D. Lu, S. H. Xu et al., *Nucl. Instr. & Meth. B*, (in press).
- [3] P. S. Xu, S. H. Xu, E. D. Lu et al., *Nucl. Instr. & Meth. B*, (in press).
- [4] S. H. Xu et al. *Mod. Phys. Lett. B*, 7(1993), 459
- [5] A. Fert et al., *J. of Mag. & Mag. Materials*, 104-107 (1992), 712.
- [6] X. Jin et al., *Phys. Rev. B*, 50(1994), 9585.
- [7] S. H. XU et al., *Acta Physica Sinica* (物理学报海外版), (in press).
- [8] 潘海斌,中国科学院长春物理研究所博士学位论文, (1995).
- [9] W. E. Spicer et al., *J. Vac. Sci. Technol.*, 16 (1979) 1422.
- [10] 陆尔东等,半导体学报, (待发表).
- [11] S. H. Xu et al., *J. Spect. Rel. Phen.*, (Accept).