

用离子背散射方法进行半导体材料的表面分析*

中国科学院半导体研究所
背散射协作组
中国科学院高能物理研究所

一、引言

单能离子束的背散射技术已广泛地应用到固体物理中。随着半导体技术的飞跃发展,背散射技术又与半导体物理的发展紧密地联系起来,使它成为研究半导体表面不可缺少的分析手段之一。在1973—1977年曾先后召开过三次有关离子束表面分析的国际会议^[1-3],详细介绍了背散射技术及其在固体物理和半导体材料中的应用。

背散射分析方法的优点是:准确、简单、快速,测量时对样品没有破坏性,用这种方法分析过的样品可以再用其它方法进行分析,然后对分析的结果进行比较。

我们利用2.5MeV静电加速器产生的 H^+ 和 He^+ 离子束对一些半导体材料的表面层作了分析和研究。这些样品包括碳表面的二氧化硅层,三氧化二铝表面的外延硅层等,同时我们也对硅材料中掺杂的杂质进行了分析,测量了硅中杂质的浓度。这些表面层以及杂质对半导体器件的性质都起着十分重要的作用。

二、实验条件

由2.5MeV静电加速器产生的 H^+ 或 He^+ 离子束经过 90° 磁分析器偏转后,通过两个相距750mm直径为2mm的准直孔进入靶室。为减少杂散离子,在靶室入口处加一个直径为

3.5mm的反散射孔。入射到靶子上的离子流强度约20nA,加速器的能量分辨率为0.2%。

靶室真空度为 2×10^{-5} mmHg,为防止油扩散泵的油分子污染,靶室中加了液氮冷阱。

背散射粒子能谱用金-硅面垒半导体探测器测量,讯号经由电荷灵敏放大器输入到800道(或256道)多道分析器进行分析测量。探测器与束流方向夹角为 150° ,与靶距离为100mm,探测器前的限制孔直径为5mm。探测器用液氮冷却到 $-20^\circ C$ 左右。测量系统的能量分辨率(FWHM)为30KeV。

三、实验结果

1. 鉴别不同的靶元素

从背散射能谱计算可以直接鉴别靶中的不同元素。图1是1.92MeV He^+ 入射到碳衬底上的二氧化硅薄膜的背散射能谱。由图中硅和氧的相对位置算出 $E_{Si}/E_0 = 1.53$,从理论计算出 K_{Si} 与 K_0 的比值等于1.52,两者是相符的。

从图2 He^+ 入射到水晶片厚靶上的背散射能谱中硅和氧的位置算出 $E_{Si}/E_0 = 1.53$,与图1的结果一致。所以,如果在谱上以一个参考元素作标准,可以从它们的能谱位置和 K 值求出相应的元素。

2. 测量金属膜或介质层的厚度

图3是用1.17MeV的 H^+ 入射到硅上蒸发

* 1979年1月6日收到。

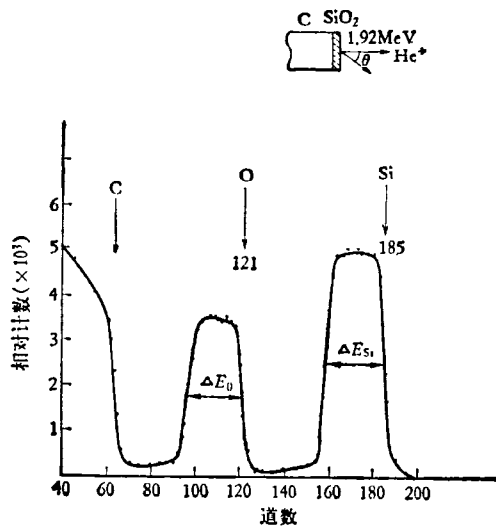


图1 1.92MeV He⁺入射到C衬底上的SiO₂薄膜的背散射能谱

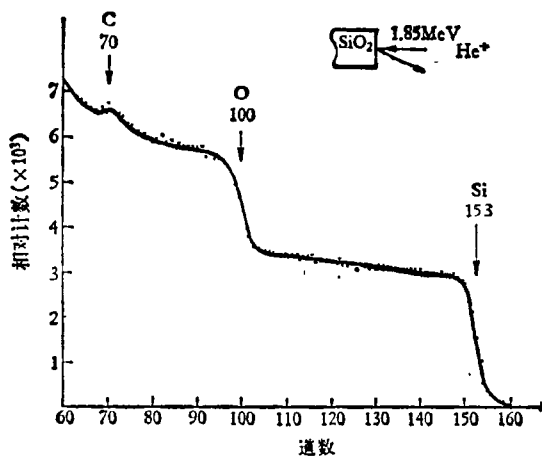


图2 1.85MeV He⁺入射到水晶片的背散射能谱

一薄金层的背散射能谱。从金峰的面积和硅谱的高度算出金的面密度为 6.4×10^{16} 原子/cm²，从而得出金层的厚度为 110 Å。

利用图1中硅和氧峰的宽度和 $[\sigma]^{SiO_2}$ 的值^[4]可以得出氧化层的厚度为 2830 Å

图4是用2.07MeV的He⁺入射到三氧化二铝衬底上外延一层硅的样品测得的背散射谱。谱上有很清楚的硅峰以及铝和氧的平台，从硅峰的宽度可以求得硅外延层的厚度为 2830 Å。由于在三氧化二铝上外延生长硅层时会使三氧化二铝中的铝扩散到硅中，如果分解铝、硅谱的重叠部分，可以得到铝在硅中的深度分布，这在SOS (Silicon-on-Sapphire) 器件工艺中是很重要

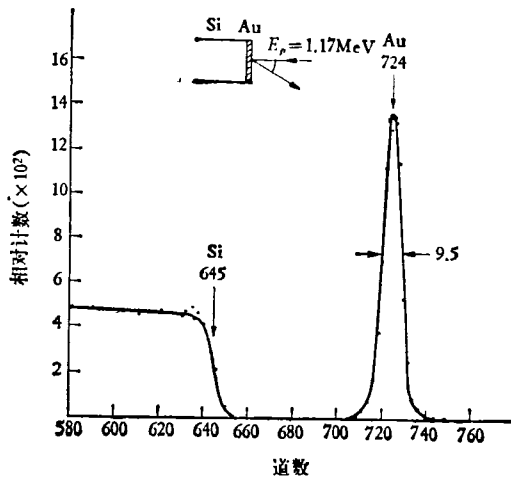


图3 1.17MeV的He⁺从Si蒸金的样品上的背散射能谱

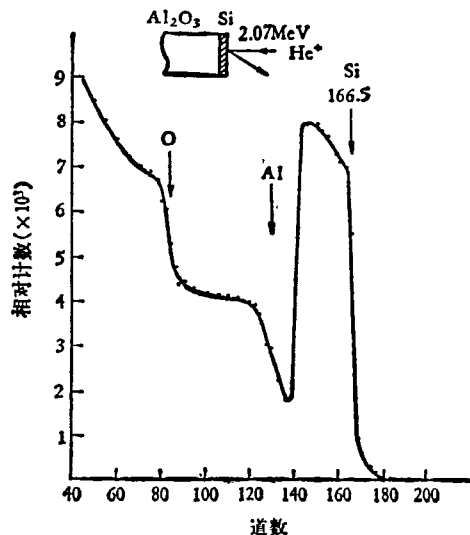


图4 2.07MeV He⁺从Al₂O₃衬底上外延Si上的背散射能谱

的问题。

3. 组分比的测量

准确的测量介质层的化学组分在半导体工艺中也是十分必要的。实验表明^[5]，不同方法生长的二氧化硅薄膜的硅、氧比略有差别。

图1中所用的样品是热生长的二氧化硅薄膜。由硅和氧峰的面积算出硅和氧的组分为

$$N_{Si}/N_O = 0.49.$$

同样，图2原样品背散射谱中根据硅和氧的平台高度算出水晶片的组分为

$$N_{Si}/N_O = 0.49.$$

两者结果一致，但前者计算误差小。

4. 硅中杂质浓度的测量

图 5 是 1.92MeV 的 He^+ 入射到单晶硅中扩散砷的样品上的背散射能谱, 可以看到很明显的砷谱, 由硅砷谱的高度可以计算出砷的浓度为

$$N_{As} = 7.8 \times 10^{19}/\text{cm}^3.$$

对于 1.92MeV 的 He^+ 入射可以测量出硅表面下 9100 Å 处砷的分布。

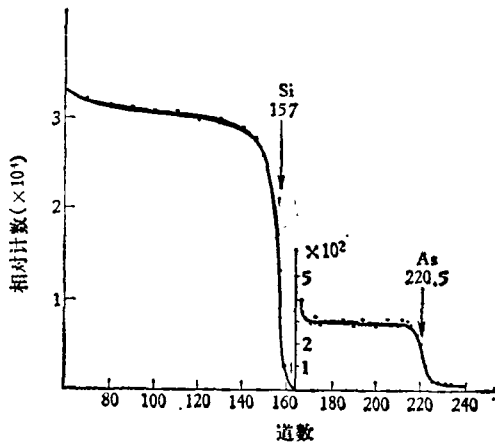


图 5 1.92MeV 的 He^+ 入射到 Si 中扩散 As 的样品上的背散射谱

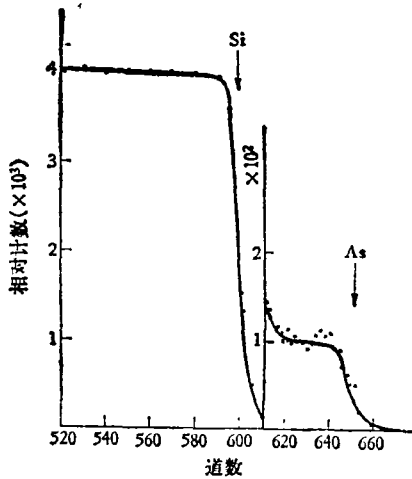


图 6 1.11MeV 质子入射到掺 As 的多晶 Si 样品上的背散射能谱

图 6 是用 1.11MeV 质子入射到掺砷的多晶硅样品上的背散射能谱。从硅和砷的高度可以得出砷的浓度为 2.8×10^{20} 原子/ cm^2 。

图 7 是 100keV 的砷离子注入到单晶硅样品的背散射谱。分析用的 He^+ 束能量为

物理

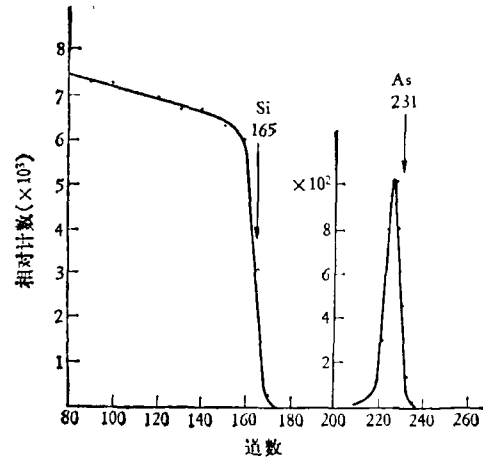


图 7 2.07 MeV 的 He^+ 入射到 Si 中注 As 的样品上的背散射能谱。注入的 As^+ 的能量为 100keV, 剂量为 1×10^{16} 原子/ cm^2

2.07MeV。由砷峰面积和硅谱高度求出砷的面密度为 1.5×10^{16} 原子/ cm^2 , 这和注入时的剂量 1×10^{16} 原子/ cm^2 大致相符。

四、实验结果

1. 为了检验实验的可靠程度, 其中有些结果与其它测量方法进行了比较(见表 1)。

表 1 测量结果与其它方法的比较

样 品	实 验 结 果	
	背 散 射 方 法	其 它 方 法
SiO_2 组分比 (Si/O)	0.49 (见图 1, 2)	0.5(电子探针测量) 0.5(质谱仪测量)
SiO_2 薄膜厚度 (t_{SiO_2})	2830 Å* (见图 1)	~3000 Å (椭球仪测量)
AS 的浓度 (N_{As})	2.8×10^{20} 原子/ cm^3 (见图 6)	$(2-3) \times 10^{20}/\text{cm}^3$ (电子探针测量)

* 实验的最大偏差为 5%, 这个偏差是由于样品的不均匀所引起的。

2. 计算厚度 t 的误差来源于谱的宽度 ΔE 和阻止截面因子 $[S]$, 在我们的实验中计算厚度的误差在 2% 左右。

计算组分比的误差时, 对于薄膜样品误差主要来源于能谱面积的统计误差。例如在图 1 的样品中硅、氧组分比的误差 $\leq 2\%$ 。对于厚的样品除计数统计误差外, 还有 $[S]$ 的误差贡献, 例

如在图 2 的水晶片样品中的组分比误差 $\approx 4\%$ 。

参 考 文 献

- [1] eds. J. W. Mayer and J. F. Ziegler, Proc. Int. Conf. On Ion Beam Surface Layer Analysis Elsevier Sequoia S. A, Lousanne, 1973.
[2] eds. O. Mayer, G. Linker and F. K ppler, Proc.

- 2nd. Int. Conf. On Ion Beam Surface Layer Analysis Plenum Press, New York, 1976.
[3] eds. E. A. Wolicki, J. W. Butler, P. A. Treado; Proc. 3rd. Int. Conf. On Ion Beam Analysis 发表在 *Nucl. Inst. and Meth.*, 149(1978), 1—760.
[4] J. F. Ziegler and W. K. Chu, *Atomic Data and Nuclear Data Table*, 13(1974), 463.
[5] O. Meyer, J. Gyulai and J. W. Mayer, *Surface Sci.*, 22(1970), 263.

液晶在检验电子器件上的应用试验*

江寿平 朱林福 杨慧儒 李淑德

(中国科学院上海生物化学研究所) (上海半导体器件研究所)

液晶是一种具有特定分子结构的有机化合物,它在相变时,不是由固态直接转变成液态,而要经过一个过渡态,人们称此介于固态和液态之间的这一过渡态为液晶态,简称为液晶。此态具有液态又具有固态的性质,即它的机械性能具有液体特性,而光学性能方面具有晶体的特性。它对光线、电场、磁场、温度、应力和蒸汽等的反应都非常灵敏,所以具有广泛的用途。我们曾应用液晶于探伤、探瘤、电子元件以及其它一些试验工作。本文仅介绍应用液晶显示电子器件在工作状态下的热分布情况,特别是应用于集成电路上。

集成电路内部异常状态的显示,国外有的是用红外装置来检验,但这种装置结构复杂,价格昂贵,只有少数实验室有这种仪器。随着电子工业的发展,需要使用更简便的检验方法。我们知道胆甾相液晶具有温度效应,用来检验器件和材料中的缺陷,对其热分布图形进行观察,方便、迅速而经济。

一、原理与特点

胆甾相液晶是液晶的一种,它在经过相变温度冷却的过程中,在反射光中会观察到出现一系列的颜色,依次为紫、蓝、绿、黄、红,最后为

无色。颜色随温度变化很灵敏,而且是可逆的,但不是所有的胆甾型液晶材料都按上述次序变化,或具有上述所有颜色。其所以能显示颜色,是由于其分子结构成螺旋状排列的缘故。当螺旋结构的螺距和光的波长一致时,就产生强烈的选择性反射。正是由于胆甾相液晶薄膜对微小温度梯度的灵敏性,而被广泛用来做各种热显示。液晶显示的特点:

①以彩色显示,对比度清晰,分辨力高,在适当条件下最小可检测缺陷的直径为 20 微米左右。

② 能得二维的热显示图象。

③ 响应速度快(0.1 秒左右),不仅可做静态还可做动态显示。

④ 使用简便,价格便宜。

集成电路体积小,重量轻,广泛的应用于卫星、导弹和计算机等,对每一元件的可靠性要求是很重要的,而可靠性往往与其内部的热分布是否正常有直接和间接关系。利用液晶的热效应特性,可显示集成电路内部的热分布与缺陷,这对寻找内部缺陷,提供较合理的设计或许有所帮助。因而我们对此做了一些试验。

* 1978 年 7 月 10 日收到。