

# 不缀饰直拉硅单晶原生微缺陷 X 射线形貌观察

麦振洪 崔树范 傅全贵  
(中国科学院物理研究所)

林汝淦 张金福  
(中国科学院半导体研究所)

## 一、前言

无位错硅单晶中的微缺陷严重地影响着大规模集成电路的性能,已引起许多学者的关注和兴趣<sup>[1-3]</sup>。由于微缺陷的应力场很小,目前对直拉硅单晶中微缺陷的观察,主要采用择优化学腐蚀法、缀饰 X 射线形貌术、EBIC 模式扫描电子显微术、透射电子显微术等。但上述方法的共同缺点是要对样品进行处理。近年来,一些学者采用特殊的 X 射线双晶形貌方法,对硅单晶原生微缺陷进行观察<sup>[4,5]</sup>,但其设备复杂,实验周期长。我们首次用 X 射线投影和截面形貌术对不经缀饰的硅单晶原生微缺陷进行了观察,并获得了相应的微缺陷图。

## 二、实验

实验用的样品是沿 [100] 和 [111] 方向生长的直拉 P 型和 n 型硅单晶,提拉速度约为 1mm/min,直径为 30—35mm,电阻率  $\rho \sim 10\Omega\text{cm}$ 。为了比较本技术的有效性,所用样品是从同一硅锭中同一部位切下三片。经研磨、抛光后,其中一块进行择优腐蚀;另一块进行 950℃ 缀铜一小时,化学抛光清除表面层后进行 X 射线形貌观察;第三块(一般是厚样品,厚度约 2mm)直接进行 X 射线形貌观察。采用 Mo 靶辐射,220 衍射。

## 三、实验结果

我们对 29 块沿 [100] 生长的 P 型和 14 块

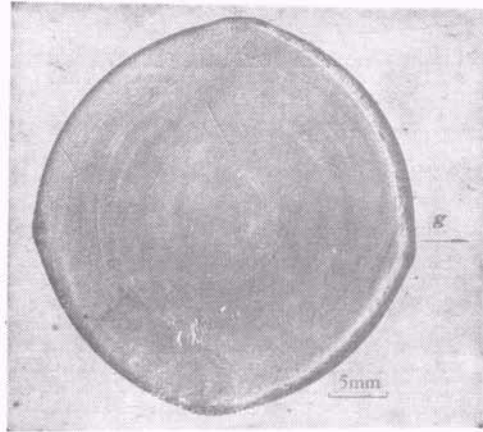


图 1 1# 样品微缺陷 X 射线形貌图

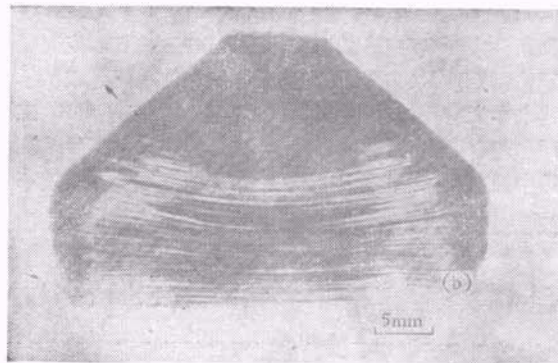
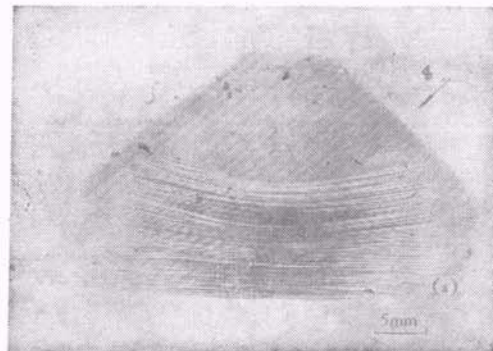


图 2 2# 样品微缺陷 X 射线形貌图  
(a) 铜缀饰样品; (b) 不缀饰样品



沿[111]生长的n型硅单晶,不经缀饰进行了X射线形貌术观察.图1是1#样品的微缺陷X射线形貌直接观察图,可以看到微缺陷的旋涡状分布.实验证实,微缺陷的分布与生长条件有关.从图2(a)我们可看到两类不同组态、周期分布的缺陷条纹,它们都是由颗粒状的微缺陷组成.一类是尺度较小,其周期与提拉速度、晶体和坩埚转速等因素有关,间隔约 $150\mu\text{m}$ .另一类是尺度较大,主要分布在中部,也具有类似上述的周期分布.此外,还存在衬度较强的条纹,其周期性除与上述因素有关外,情况比较复杂,但随生长条件的变化呈一定的周期性,其间隔约 $600\mu\text{m}$ .这些微缺陷特征,在图2(b)中也同样看到.图3(b)是(a)中B处的截面形貌图,可以清晰地看到投影形貌图中周期性分布的缺陷条纹是由颗粒状的微缺陷组成,其尺度为 $10\text{--}50\mu\text{m}$ .晶体中部密度较大,约 $6.9\times 10^4\text{cm}^{-3}$ .此数值略比缀铜样品所测得的结果小,这可能是由于铜缀饰能使微缺陷的应力场增加,从而使一部分不缀饰观察不到的小尺寸微缺陷也被“缀饰”而显示出来.另外,我们通常采用厚样品,厚度引起微缺陷衍衬象的叠加也是引起这一差异的原因.对比较完整的硅单晶,铜缀饰、不缀饰的X射线形貌图以及择优腐蚀均观察不到明显的微缺陷条纹.可见,不缀饰观察所得结果与其他方法一致.

为了提高不缀饰观察法所得图象信息的信噪比,我们利用光学方法对所得图象进行图象增强处理<sup>[6]</sup>,使图象噪音背底降低,微缺陷信息增强.处理结果提高了图象信噪比,显示出微缺陷的颗粒状结构.图4为图3(a)的光学处理图.与图2(a)一样,可以清晰地显示出缺陷条纹是由微颗粒组成.

从上述实验结果可以得到初步结论:X射线透射和截面形貌术可对不缀饰的硅单晶中微缺陷进行观察,所观察到微缺陷的尺度、分布等与铜缀饰X射线形貌图及择优腐蚀图所得结果一致.它不需对样品进行任何处理,具有样品制备方便、实验技术简单、非破坏检验、反映硅单晶原生微缺陷体状态等优点.目前,这种

物理

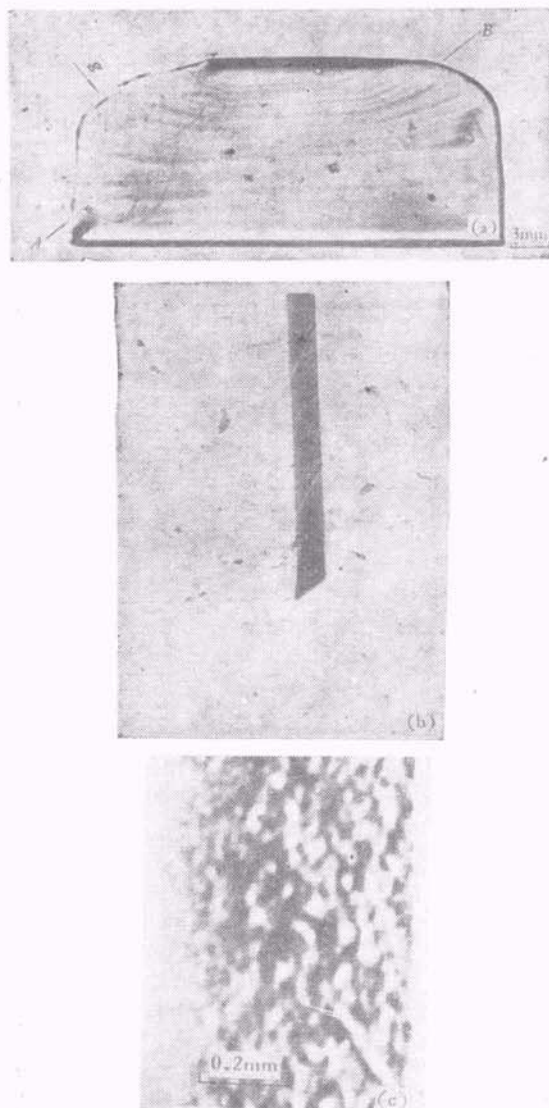


图3 3#样品微缺陷X射线形貌图  
(a)不缀饰样品; (b)(a)中B处X射线截面形貌图;  
(c)(b)中上部的放大图

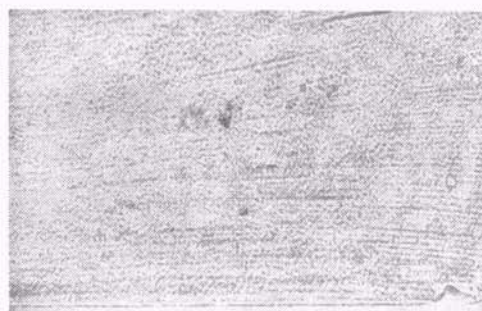


图4 图3(a)右下部的光学处理图

(下转第403页)