

研 究 簡 报

硅 中 滑 移 多 边 化*

王 貴 華 刘 振 茂

弯曲形变硅单晶中之位错,在高温退火时,通过攀移与滑移而沿垂直于滑移面方向重新排列,形成多边化墙。此种多边化通常称为退火多边化,或称为热多边化。但也存在着另一种机制的多边化,通常称为滑移多边化或机械多边化。在铜^[1,2]、锌^[3]等晶体形变时,曾观察到滑移多边化。我们在研究硅的弯曲形变时,也发现了滑移多边化现象。

电阻率为 ~ 20 欧姆·厘米,尺寸为 $30 \times 3.43 \times 1.75$ 毫米之硅单晶样品¹⁾,在加热到 850°C 的炉中、在外力作用下做四点弯曲形变,形变器具之两外刀刃间距为 16 毫米,两内刀刃间距为 6 毫米,负载重为 1500 克;形变时间为 5 分钟,然后不去掉外力将样品持出炉外,迅速冷却到室温后,再去掉外加作用力。在垂直弯曲轴的 $\{112\}$ 面上,位错蚀斑的分布与排列示于图 1。从图中看出,中性层附近,有部分位错沿垂直滑移面方向排列成一些短墙。图 2 是中性层局部区域的放大照片。我们在另一个样品²⁾上也观察到滑移多边化。弯曲之前,在样品的 (111) 上,在室温下用碳化硅针尖刻一条划痕,然后在 850°C 下做弯曲形变,弯曲轴为 $[11\bar{2}]$ 。在该样品 (111) 面上,接近外支承刀刃区域内,位错的排列示于图 3 与图 4 中。图中下部黑带是划痕,从划痕的边缘生长出密集的滑移带。

经过对上述多边化现象的观察与分析,我们认为:

一、我们所观察到的多边化墙是在外力作用下产生的,不是由于位错的攀移运动,也不是去掉外力后回复运动的结果。硅通常在高于 $600-650^\circ\text{C}$ ^[4,5] 时才能发生范性形变。为使硅中位错能够在较短时间发生攀移,一般说来,温度要高于 1000°C 。如我们在实验中观察到,在 1000°C 下,退火 4 小时,刚刚能看出,形变晶体中位错因攀移运动而改变它们的原始组态,但不能形成明显的多边化短墙。由于硅这种范性特点与通常的金属(如锌,铜等)不同,以及位错攀移运动要求较高温度,所以硅在 850°C 下,进行五分钟形变所产生的多边化墙,显然不是位错攀移运动的结果,而是在位错的滑移运动过程中产生的。

二、滑移多边化是位错在滑移面内运动时,在外加作用力和各滑移面中位错间弹性互作用力共同作用下产生的。对滑移多边化的形成,起决定性作用的是位错所受外力的大小和已滑移之 $\{111\}$ 面(或滑移带)间距离的大小。从图 1 中看出,滑移多边化是在中性层附近发生的,而图 3 和图 4 所示的多边化墙,发生在靠近外支承刀刃的区域。简单的计算表明,在这些区域里,外加力产生的切应力小于 0.21 千克/毫米²,它与根据滑移面间距,

* 1964 年 4 月 17 日收到。

1) 样品的结晶学取向,易产生单滑移系,滑移面与中性层面成 42° 角, $\langle 112 \rangle$ 为弯曲轴。

2) 样品的结晶学取向,易产生双滑移系。

計算出的相邻滑移面中,位錯間弹性互作用力(仅指滑移方向的)的极大值^[6](0.22~0.08) 千克/毫米²相接近。因此,位錯間的弹性互作用力,对运动中的位錯起重要的阻挡作用。特别是形成短墙时,再有位錯在其頂端通过,由于弹性作用,此位錯将受到更大的阻挡作用^[7],而停留在短墙的頂端使墙变长。这样,在位錯受外

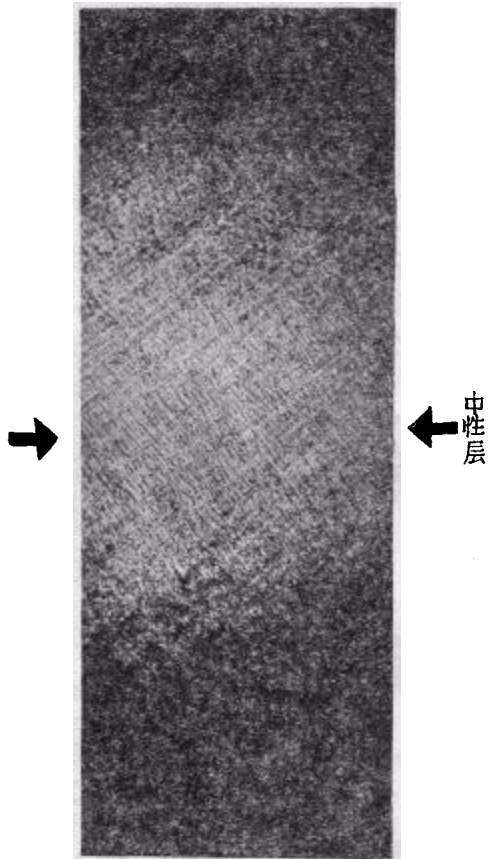


图1 弯曲形变样品 $\{112\}$ 面上位错分布与排列
×86。

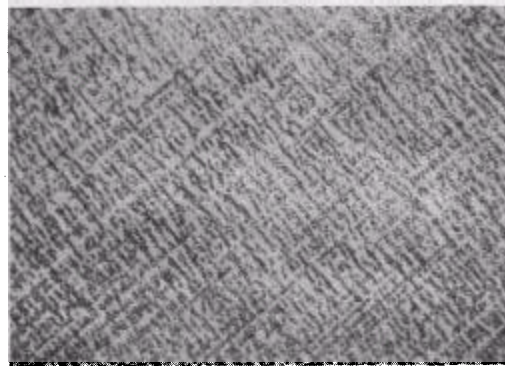


图2 图1 中性层附近位错排列×201。

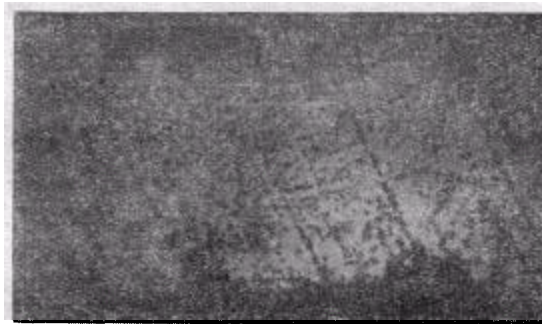


图3 有划痕样品中,外支承刀刃附近划痕一侧位错的排列×201。



图4 同图3,但更接近外支承刀刃×201。

力作用而滑移的过程中,由于受到位錯間弹性相互作用,就可以形成多边化墙。在外力引起的切应力較大的区域内,各滑移面間位錯的弹性互作用力,就不能阻挡位錯运动。如图1中,样品的边缘区域就没有产生滑移多边化;在有划痕的样品中,在加压力刀刃間,也未观察到滑移多边化。在观察到滑移多边化的区域内,已滑移的 $\{111\}$ 面間距,一般小于5微米;当間距大于上述数值时,从未观察到較显著的滑移多边化。

三、在滑移多边化墙中,位錯綫密度和墙段的长短与平均位錯密度无显著关系。这和退火多边化中,在同一退火处理条件下,位錯密度越大,則多边化墙越长、墙中位錯密度越高的关系截然不同,且退火多边化的相邻墙中,位錯的相互位置是彼此无关的,而在这

里的几张照片中所见到的是多边化墙中位错间距不均匀,且相邻墙中相应的位错都处于同一滑移面内。

综上所述,我们认为所观察到的是滑移多边化。关于滑移多边化的一切细节,如对应力、温度的依赖关系等尚有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Livingston, J. D., *J. Appl. Phys.*, **31** (1960), 1071.
- [2] Basinski, Z. S. and Basinski, S. J., *Phil. Mag.*, **9** (1964), 51.
- [3] Sinha, P. P. and Beck, P. A., *J. Appl. Phys.*, **32** (1961), 1222.
- [4] Sylwestrowicz, W. D., *Phil. Mag.*, **7** (1962), 1825.
- [5] Van Bueren, H. G., *Imperfections in Crystals*, (1960), p. 613, N-H Publishing Company-Amsterdam.
- [6] Cottrell, A. H., “晶体中位错和范性流变”, 葛庭燧译, 科学出版社, 162 页。
- [7] Li, J. C. M., *Acta Met.*, **8** (1960), 563.