

# 由 $Tb_4O_7$ 晶体清洁(111)表面生成 $60^\circ$ 混合位错的直接原子成象\*

宁小光 叶恒强

中国科学院金属研究所固体原子象开放研究实验室, 沈阳, 110015

1989年12月18日收到

本文通过对  $Tb_4O_7$  晶体清洁(111)表面的侧面象原位观察, 获得了从(111)表面生成  $60^\circ$  混合位错的动态过程的原子象。

PACC: 6170J; 6170L

近几年来, 表面侧面原子成象技术得到了迅速发展。尽管此种技术只给出表面的一维投影象, 但它在表面科学领域中仍具有很大的潜力, 特别是在研究表面相变及金属表面的初生氧化方面。Smith 等人<sup>[1]</sup>曾把此种技术对表面科学的贡献作了全面性的综述。我们最近报道了<sup>[2]</sup>对  $Eu_2O_3$  晶体表面侧面象研究的部分结果, 即: 由表面附近位错滑移出晶体表面, 在表面留下表面原子台阶的动态过程。本文报道由  $Tb_4O_7$  晶体(111)表面向晶内挤压形成一个  $60^\circ$  位错的动态过程。

本实验所用设备为 JEOL-200CX 高分辨电子显微镜, 点分辨率为 0.25nm。样品的制备是将  $Tb_4O_7$  晶体在酒精中研磨, 然后捞于微栅的碳膜上。

为观察表面的动态变化, 对某一区域沿固定取向(这里为  $[\bar{1}10]$ )每隔大约 5s 进行一次高分辨象拍摄, 以取得原位动态观察结果。

$Tb_4O_7$  的空间群为  $Fm\bar{3}m$ , 点阵常数  $a = 0.52nm$ 。  $Tb^{4+}$  位于面心立方(f.c.c.)亚点阵上, 这与  $Eu_2O_3$  中  $Eu^{3+}$  离子的情形很相似。对  $Eu_2O_3$  晶体的象模拟表明, 在一定条件下(薄区和理想成象条件), 高分辨象中只显示出  $Eu^{3+}$  离子<sup>[2]</sup>。对  $Tb_4O_7$  晶体中的  $Tb^{4+}$  也一样。康振川等人<sup>[3]</sup>对  $Tb_4O_7$  表面的侧面象观察和陆平等人的<sup>[4]</sup>的表面侧面象模拟也证实了这一点。尽管陆平等人是就  $TbO_2$  晶体进行的表面象模拟, 但由于  $Tb_4O_7$  (或  $TbO_{1.75}$ ) 与  $TbO_2$  空间群一样, 只是在  $TbO_2$  晶体基础上氧离子统计性丢失了八分之一, 所以不会给两者在同一条件下的成象带来什么差别。这样, 我们便可以将此类晶体的高分辨象与简单 fcc 金属的进行类比, 并用 fcc 金属中已知的位错结构对此类晶体中位错结构进行类比分析。

图1(见图版1)给出了  $Tb_4O_7$  晶体沿  $[\bar{1}10]$ 取向的表面侧面原子象。可以看出表面是清洁的, 且  $Tb^{4+}$  离子柱在原子尺度上是可分辨的,  $Tb^{4+}$  对应于象中的白点。图1(a)

\* 国家自然科学基金资助的课题。

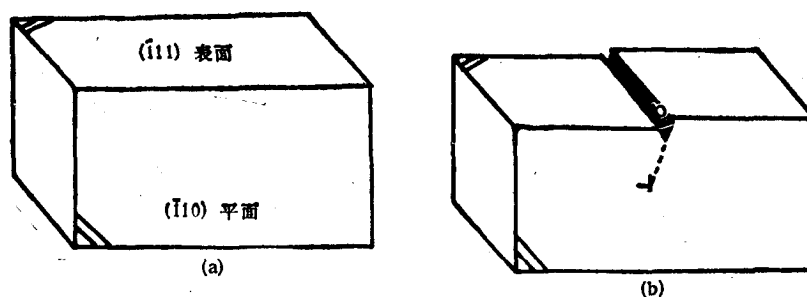


图2 位错理论中位错生成示意图  $b = [011]/2$

中黑点标出的象点是作为参考(111)平面,电子束辐照下其上表面的结构变化对其将有影响。在A处标出了一固定参考点。在图1(a)中B(111)表面下大约20层(111)面范围内晶体是完整的。B(111)表面高于D(111)表面5个面层。图1(b)所示为与图1(a)同样区域,但时间过了大约10s。图1(b)表明,C处的(111)表面及其附近的基体被表面形变弯曲到一定的微弱程度。在图1(c)中弯曲变得比较强烈。而在图1(d)中参考(111)面已被弯曲断,这可从B(111)表面此时仅高于D(111)表面4个面层证实。由于B(111)表面下晶体区域向内挤压,使得在图1(d)情况下晶内产生了某种缺陷,由图1(d)或(e)中可以看出,在原完整的晶体区域中引进了一个多余(111)半原子平面,这由图1(e)中带尾箭头示出(水平右指向)。分析可知,此缺陷为 $60^\circ$ 混合位错, Burgers 矢量  $b = [011]/2$ 。由图1(a)至(e)过程需要大约2min。

上述在电子束辐照下由于表面形变产生 $60^\circ$ 混合位错的动态过程与位错理论<sup>[1]</sup>所阐述的完全一致。图2给出了位错理论所阐述的在完整晶体中产生位错过程的示意图。这里,我们在原子分辨尺度上给出了直接证明。

从上面的观察及分析可以看出,在 $Tb_4O_7$ 晶体(111)表面上的形变可以产生 $60^\circ$ 位错,而这种位错正是fcc金属中所常见的<sup>[2]</sup>。我们这里在原子分辨尺度上观察到了位错产生于表面的过程是借助了两个重要因素:一是表面侧面原子成象技术;二是清洁晶体表面的获得。二者缺一不可。

可以预期,随着超高真空高分辨电子显微镜的广泛应用,表面侧面成象技术在研究包括基体结构变化的表面结构变化方面将获得更有效的发展。

$Tb_4O_7$ 晶体由苏文辉教授和李斗星教授提供,在此一并表示感谢。

[1] D. J. Smith *et al.*, *Ultramicroscopy*, 29(1989), 123.

[2] X. G. Ning and H. Q. Ye, Proc. 3rd Beijing Conf. and Exhib. on Instrum. Analysis (1989), A189.

[3] Z. C. Kang, *et al.*, *Ultramicroscopy*, 22(1987), 71.

[4] P. Lu and D. J. Smith, *Ultramicroscopy*, 25(1988), 265.

[5] J. P. Hirth and J. Lothe, "Theory of Dislocations", A Wiley-Interscience Publication, (1982), p. 21.

## DIRECT ATOMIC IMAGING OF THE FORMATION OF A $60^\circ$ DISLOCATION ON THE (111) SURFACE OF $Tb_4O_7$

NING XIAO-GUANG YE HENG-QIANG

*Laboratory of Atom Image of Solids, Institute of Metals Research, Academia Sinica, Shenyang, 110015*

(Received 18 December 1989)

### ABSTRACT

Clean surfaces of  $Tb_4O_7$  crystal have been studied by a surface profile imaging technique on the atomic scale. The formation of a  $60^\circ$  mixed dislocation due to electron radiation on the (111) surface was observed in-situ.

**PACC:** 6170J; 6170L