

HCl-Fe⁺⁺⁺ 溶液显示 InSb {111} 晶面的 位错蚀坑

马可军 俞振中 金 刚 曹菊英

(中国科学院上海技术物理研究所)

1982年2月26日收到

提 要

实验观察了 HCl-Fe⁺⁺⁺ 溶液显示 InSb {111} 晶面位错蚀坑的精细结构,研究了蚀坑结构与位错线走向以及滑移面的关系,并讨论了这种蚀坑形成的动力学过程。研究表明,在 $\langle 11\bar{2} \rangle$ 与 $\langle 11\bar{2} \rangle$ 晶向的溶解台阶上,折角的不同核化几率与横向运动速度是位错蚀坑具有二类不同性质溶解边缘的基本原因。

Gatos 等人^[1,2]曾采用 HCl-Fe⁺⁺⁺ 溶液显示了 InSb 晶体 (111) 与 ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$) 晶面上的位错蚀坑。然而,关于这种蚀坑的具体结构却未见报道。本文将对此进行细致的观察与研究,并进一步探讨这种位错蚀坑形成的动力学过程。

一、位错蚀坑的形貌与结构

本实验采用的腐蚀液配比为 $1.2NFe^{+++} + 12NHCl$, 腐蚀温度为 $98^{\circ}C$ 。实验结果表明,这样的腐蚀条件能清晰地显示 (111) 与 ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$) 晶面上的位错蚀坑,如图1(见图版I)所示。一般说,两个晶面上的位错坑均呈截角三角形的外形。具体形貌与晶面取向、腐蚀液配比、腐蚀时间以及温度有关。采用电子显微镜复形技术对位错蚀坑的结构进行研究,发现这些蚀坑由一层层向外扩展的平台结构构成。蚀坑截角处台阶前沿十分粗糙,而另处三根长边处的台阶前沿却较为平滑,如图2—图4(见图版I)所示。图5(见图版II)为 (111) 晶面上位错蚀坑群的激光反射图。图中六条放射形的光束表明,这些平台之间的界面具有不同的倾角,或者是一些弯曲面。

实验中观察到, (111) 与 ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$) 晶面上截角三角形位错蚀坑的三根长边均为 $\langle 110 \rangle$ 取向。图6(见图版II)为沿解理面的位错线在 (111) 与 ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$) 晶面上的一对位错蚀坑。蚀坑的一条边与解理面垂直。两个蚀坑的外形互为倒转。

二、蚀坑结构与位错线走向、滑移面的关系

如图1所示, HCl-Fe⁺⁺⁺ 溶液所显示的截角三角形位错蚀坑坑底的分布似乎是不规

则的,但对于同一个位错排,坑底总是处在一个固定的位置上,如图7(见图版II)所示.研究表明,每个位错蚀坑坑底的位置与该位错线所处的滑移面及走向存在着一一对应的关系.根据这种位错蚀坑的结构特征,提出了一个能一次判定 $\{111\}$ 晶面上所有蚀坑所对应的位错线走向与滑移面的方法.

Walter^[3]提出, InSb 晶体内原生位错的滑移面为 $\{111\}$ 晶面,位错线走向为 $\langle 110 \rangle$ 或 $\langle 112 \rangle$.这里我们仅以 (111) 晶面上的位错蚀坑为例作些分析.

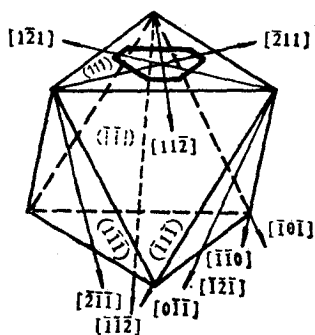


图8 $\{111\}$ 八面体模型与 (111) 晶面上位错蚀坑的外形

图8为由 $\{111\}$ 晶面构成的八面体模型.图中粗黑线勾出的截角三角形是 (111) 晶面上的位错蚀坑外形.如该蚀坑所对应的位错线的滑移面为 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 晶面,该位错蚀坑坑底将偏向 $[1\bar{2}1]$ 晶向的截角顶角处,其具体位置与位错线的走向有关.如该位错线的走向为 $[\bar{1}\bar{1}0]$ 方向,则其坑底处于顶角右边;位错线的走向为 $[0\bar{1}\bar{1}]$,则坑底靠近顶角的左边;位错线的走向为 $[\bar{1}\bar{2}\bar{1}]$,则坑底处在 $[1\bar{2}1]$ 线上.图9分别给出了不同滑移面与不同取向的位错线所对应的坑底位置.由于位错线在延伸过程中会发生扭折,位错线的走向在宏观上往往与 $\langle 110 \rangle$ 或 $\langle 112 \rangle$ 晶向发生某些偏离,这表现在腐蚀过程中坑底的位置会有些漂移.

坑底位置									
位错线走向	$[\bar{1}\bar{1}0]$	$[0\bar{1}\bar{1}]$	$[\bar{1}\bar{2}\bar{1}]$	$[\bar{1}0\bar{1}]$	$[\bar{1}\bar{1}0]$	$[2\bar{1}\bar{1}]$	$[0\bar{1}\bar{1}]$	$[\bar{1}0\bar{1}]$	$[\bar{1}\bar{1}2]$
滑移面	$(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$			$(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$			$(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$		

图9 坑底位置与位错线滑移面和取向的关系

根据上面分析,不难理解图7中位错排上每个蚀坑坑底处于同一位置的原因.位错排上每根位错线是由同一位错源增殖滑移出来的,因此,它们必然具有相同的走向与滑移面.同样,根据小角度倾斜晶界的位错模型,可以断定,小角度倾斜晶界上每个位错蚀坑坑底的位置也一定是相同的,如图10(见图版II)所示.

三、蚀坑形成的动力学过程

在 $\text{HCl}-\text{Fe}^{+++}$ 腐蚀剂中,由于溶液的氧化性能较弱,溶解核化速率较小,各结晶学方向上的原子键合力对溶解过程会产生重要影响.截角三角形的位错蚀坑形貌反映了InSb晶体结晶学方向上的各向异性特征.上面提到,这种蚀坑内存在着一层层向外扩展着的、规则分布的台阶群,其前沿相应于蚀坑的溶解边缘.实验表明,这些蚀坑由两类在形态与溶解速率上十分不同的溶解边缘构成,它们在宏观上均为 $\langle 110 \rangle$ 取向.从图2—图4看到,快腐蚀方向上的台阶群是一条由无数折角构成的粗糙边沿,慢腐蚀方向上的台阶群是一条光滑边沿,上面存在一些沿台阶线运动着的折角.所谓折角是指由于溶解能量的扰动,在溶解台阶上出现一些微观或亚微观的局部晶体剥蚀,如图11所示.折角的核化几



图 11 溶解台阶上的折角

率和运动速度与各晶向上的原子键合能量有关. 对于闪锌矿结构的晶体, $\{111\}$ 晶面的溶解过程在 $\langle 211 \rangle$ 晶向上最容易进行. 如果这种腐蚀是单原子层向后剥蚀的过程, 那么从图 12 可以看到, 在 (111) 面上腐蚀时, 沿 $[11\bar{2}]$ 晶向, In, Sb 原子均为两个键两个键地剥离; 沿 $[\bar{1}\bar{1}2]$ 晶向, In 原子与 Sb 原子分别是一个键三个键地交替剥离. 因此在 $[\bar{1}\bar{1}2]$ 晶向上, 折角具有较大的形成能, 它的核化速率较小. 相反, 在 $[11\bar{2}]$ 晶向上, 折角具有较大的形成速率. $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 面上的腐蚀与上述情况相反, 蚀坑形状则倒转 180° . 同样, 在 $[\bar{1}\bar{1}2]$ 方向的溶解边缘上, 沿 $[\bar{1}10]$ 与 $[1\bar{1}0]$ 晶向, 原子也是两个键两个键地剥离. 因此, 一旦在垂直于 $[\bar{1}\bar{1}2]$ 方向的溶解边缘上形成折角, 它将以较大的速度沿 $[\bar{1}10]$ 与 $[1\bar{1}0]$ 方向向两旁扩展; 而在垂直于 $[11\bar{2}]$ 晶向的溶解边缘上, 原子沿 $[\bar{1}10]$ 与 $[1\bar{1}0]$ 方向却是

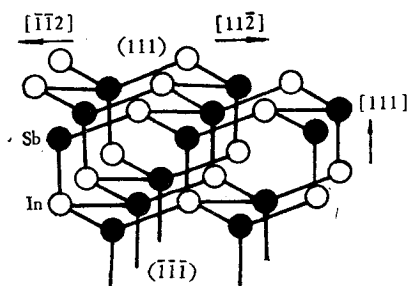


图 12 闪锌矿结构的原子模型

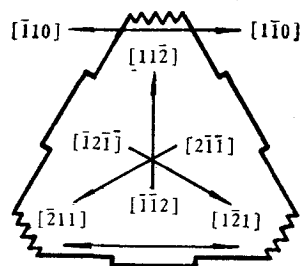


图 13 溶解台阶上折角的运动

一个键三个键地交替剥离, 致使溶解台阶上的折角向两旁扩展的速度很小, 甚至为零. 同样, 垂直于 $[1\bar{2}1]$, $[\bar{2}11]$ 和 $[\bar{1}2\bar{1}]$, $[2\bar{1}\bar{1}]$ 晶向的溶解边缘上也有类似的情况. 如图 13 所示. 据此, 可将此两类折角分别定义为“扩展型折角”与“固定型折角”. 显然, 慢腐蚀方向上的溶解台阶主要是靠折角形成后向两旁的迅速扩展不断向前推移, 快腐蚀方向上的溶解台阶是靠折角的不断核化向前掘进. 这也就造成了快腐蚀方向上的溶解台阶粗糙不平, 慢腐蚀方向上的溶解台阶较为平滑. 应该看到, 无论在快或慢腐蚀方向上, 溶解台阶的运动均是两类折角同时参与作用的复合过程. 在慢腐蚀方向的溶解台阶上, 扩展型折角向两旁的推移运动, 实际上是固定型折角不断核化的结果; 快腐蚀方向的溶解台阶上, 在固定型折角的激活面积内, 也存在着扩展型折角的推移运动.

参 考 文 献

- [1] H. C. Gatos, M. C. Lavine and E. P. Warekkois., *J. Electrochem. Soc.*, **108**(1961), 645.
- [2] H. C. Gatos and M. C. Lavine, *J. Phys. Chem. Solids*, **14**(1960), 169.
- [3] H. U. Walter., *J. Electrochem. Soc.*, **124**(1977), 250.

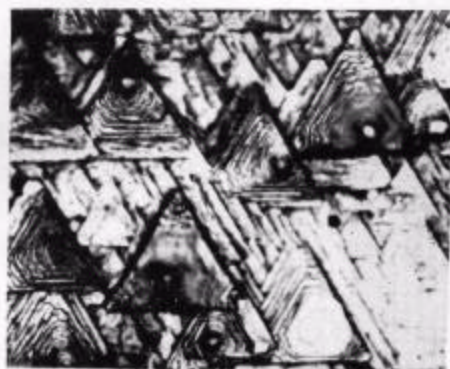
DISLOCATION ETCH PITS ON THE {111} CRYSTAL PLANE OF InSb FORMED BY HCl-Fe⁺⁺⁺ SOLUTION

MAO KE-JUN YU ZHEN-ZHONG JIN GANG CAO JU-YING

(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The fine structure of the dislocation pits, which are formed by HCl-Fe⁺⁺⁺ etching solution, is observed experimentally. The correlation between structure features of the dislocation pits and the directions as well as slip planes of the dislocations is investigated. We discussed the kinetic processes in which the etch pits are formed. The results indicated that different rate of nucleation and velocity of lateral motion on the dissolution steps of $\langle 1\bar{1}2 \rangle$ and $\langle 11\bar{2} \rangle$ crystal orientations is the main reason which makes the dislocation pits have two kinds of dissolute edges with different features.



(a) (111) 晶面



(b) $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 晶面

图1 HCl-Fe^{+++} 腐蚀液中 InSb (111) , $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 晶面上的位错蚀坑 $\times 200$

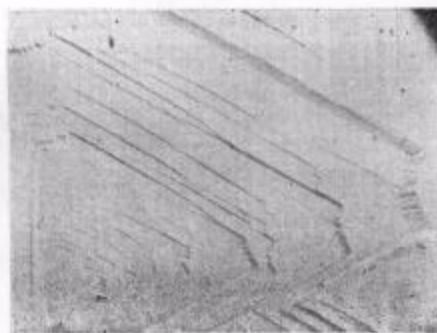


图2 (111) 晶面上位错蚀坑结构 $\times 3000$

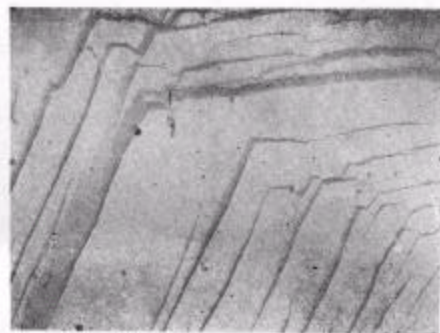


图3 $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ 晶面上位错蚀坑结构 $\times 5000$

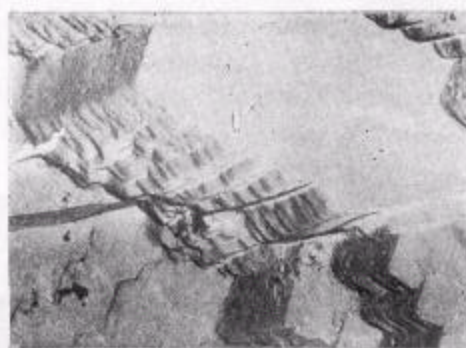


图4 (111) 晶面上位错蚀坑截角处台阶前沿 $\times 12000$

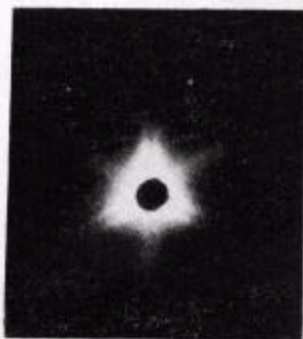


图5 $\{111\}$ 晶面位错蚀坑群的激光反射图

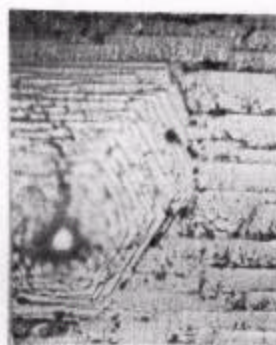
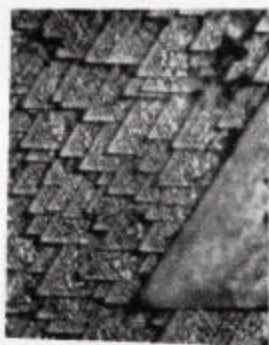


图6 $\{110\}$ 解理面上同一位错线在 $\{111\}$ 与 $\{1\bar{1}\bar{1}\}$ 晶面上的腐蚀坑形貌 $\times 300$



图7 $\{111\}$ 晶面上位错排蚀坑形态 $\times 200$

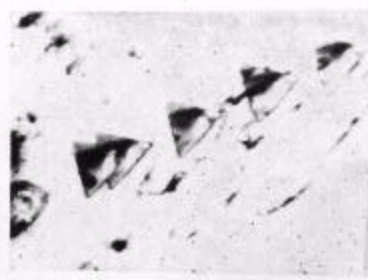


图10 小角度晶界位错蚀坑形态 $\times 200$

CONTENTS

Two Dimensional Dynamical NMR Spectrum in Weak Coupled Two Spin($I=1/2$) System	Huang Yong-ren (1151)
Bremsstrahlung in Plasmas	Chang Tie-qiang (1165)
The Slowing Down of Fast Particles Passing Through Fusion Plasma and the Energy Gain of Fusion Reaction	Luo Zheng-ming, Ten Le-giang (1175)
Study on Pressure Dependence of Superconductivity of C-15 Laves Phase Alloys: (Hf, Zr, Ta)V ₂ and (Hf, Zr, Nb)V ₂ System	Xiong Guang-cheng Yin Dao-le (1182)
The Effect of Nb on Superconducting T_c of C-15 V ₂ (HfZr)	Xu Yun-hui, Zhou Li, Yin Dao-le (1190)
The Measurement of the True Surface Temperature VIA the Brightness Method	Zhang Cai-gen (1197)
The Influence of the Interface State on the Properties of Solar Cell Semiconductor Electrodes	Lin Zhang-da, Zhou Pei-zhen, Chen Yun-qi, Deng Hui-guo, Qi Shang-xue, Wang Chang-heng, Xie Kan (1205)
Electron Diffraction and Lattice Image Study on Cebaite	Li Fang-hua, Fan Han-jie (1214)
The Energy-Momentum Pseudotensor of the Gravitational Field and the Gravitational Radiation Emitted by an Axisymmetric System	Wang You-tang (1222)
The Structure and Stability of the Relativistic Polytopes with a Compact Core	Fang Li-zhi, Xiang Shou-ping (1234)
Influence of Thermal Effects on High Power CW Laser Output of b -Axis Nd:YAP	Shen Hong-yuan, Zhou Yu-ping, Yu Gui-fang, Huang Xiao-liang, Wu Cai-ming, Ni Yu-yun (1242)

Research Notes

Dynamical Properties of One-Dimensional Kink-Phonon Gas	Yang Zhen-qing, Chang Shu-ren (1249)
The Anisotropy of γ -Fe ₂ O ₃ Fine Particles with and without Co-doping	Li Shi, Shao Han-yu, Luo He-lie, Ling Qi-fen, Sun Ke (1255)
An Investigation on the Structure of Glassy Metals by X-Ray Diffraction Method	Lou Yuan-su, Zao Ji-liang, Huang Shen-tao (1262)
Application of the Direct Methods in the Determination of the Superstructure of Huanghoite	Gu Yuan-xin, Fan Hai-fu, Qian Jin-zi, Zheng Chao-de, Han Fu-sen, Xu Zhang-bao (1266)
One-Dimensional Three-Temperature Calculations for Laser Fusion	Xu Zhi-zhan, Zhang Wen-qi, Pan Zhong-siong, Wang Yi-fei (1273)
A Study of High Temperature Composition in the Series La _x Zn _x Ba _(1-x) Fe _(12-x) O ₁₉	Lu Huai-xian, Du You-wei, Wang Ting-xiang (1277)
A Justification for the Scaling of the Thom-System	Liu Jian-min, Gong Chang-de (1284)
Dislocation Etch Pits on the {111} Crystal Plane of InSb Formed by HCl-Fe ⁺⁺⁺ Solution	Mao Ke-jun, Yu Zhen-zhong, Jin Gang, Cao Ju-ying (1288)