

LiNbO₃ 和 LiTaO₃ 单晶体中 亚晶界位错结构的研究

葛传珍 王有涛¹⁾ 王建文²⁾ 冯 端

(南京大学固体物理研究所)

1982 年 9 月 9 日收到

提 要

本文应用透射法和超显微法对用金缀饰后的 LiNbO₃ 和 LiTaO₃ 单晶体进行了直接观测, 观察到两种晶体中亚晶界的三维面貌. 对亚晶界进行了极图分析, 并进一步用 Frank 公式进行了定量验证.

通过对位错网及三叉亚晶界的分析, 表明该类晶体中存在的位错的 Burgers 矢量是: 最短点阵平移矢量——六角晶胞的基矢 $\langle 1\bar{2}10 \rangle$, 次短点阵平移矢量——菱胞基矢 $\frac{1}{3} \langle 01\bar{1}1 \rangle$, 以及再次短点阵平移矢量——菱胞短体对角线 $\frac{1}{3} \langle 2021 \rangle$.

一、引 言

自从 Frank^[1] 提出描述亚晶界位错结构的基本公式后, 已经运用这一基本公式分析了大量实际晶体, 从而澄清了这些晶体中的位错类型和亚晶界的位错结构^[2]. 但对在光电子学和声电子学器件中广泛应用的 LiNbO₃ 和 LiTaO₃ 晶体中位错类型和亚晶界的位错结构, 只有一些零星的报道^[3], 尚未系统地深入研究.

我们用缀饰法显示了 LiNbO₃, LiTaO₃ 晶体中亚晶界的三维面貌, 用 Frank 公式对之进行了定量分析, 从而澄清了这类晶体中的位错类型和亚晶界的位错结构. 下面简要报道所获的主要结果.

二、实 验 方 法

1. 缀饰样品的制备

平行于提拉方向 (c 轴或 a 轴) 切取 5 至 10mm 厚的样品, 两端用金刚砂 (280# 至 360#) 逐次粗磨, 再经钻石研磨膏 W₁ 抛光, 将金浆涂在两端面上, 凉干后放入电阻炉内加热至 750°C, 保温两小时, 冷却后即可获得光亮如镜面的金电极, 电极的金也用作作为缀饰

1), 2) 均为南京大学物理系固体物理专业 1982 届毕业生.

剂。然后将试样夹在两块由金制成的极板中,并使极板和样品稍受一正压力,以保持良好的电接触(见图1)。该装置放入电阻炉内的恒温区,在 450°C 左右加直流电场(LiNbO_3 晶体为 1000V/cm ; LiTaO_3 晶体为 250V/cm),恒温3.5小时左右,在降温过程中,电场仍然保持。冷至室温后,取出晶体,用王水(三份硝酸、一份盐酸)洗去表面金涂层,再经抛光,同时与之垂直的两侧面亦进行抛光,即可进行观察。

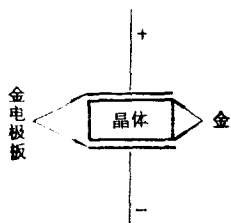


图1 缀饰装置简图

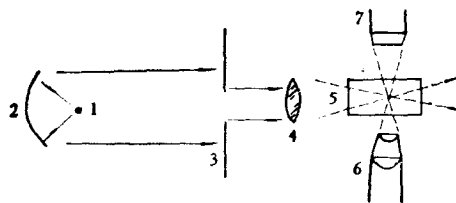


图2 观察装置

1 为钨灯; 2 为聚光镜; 3 为光栏 4 为短焦距透镜;
5 为晶体样品; 6 为显微镜物镜; 7 为透射光源

2. 观察方法

1) 超显微方法 其实验装置如图2所示。光源1为400W钨灯,经聚光镜2成平行光,光栏3是用于调节平行光束的直径。平行光束经短焦距透镜4会聚于晶体样品5内,会聚后的光斑直径约为1mm,短焦距透镜4可用奥地利金相显微镜的11倍物镜代用。为了能观察晶体样品5中不同区域的位错组态,借助于微调螺栓,会聚光斑可在晶体中任意移动。上述装置于MM-5大型卧式金相显微镜的载物台上,通过32倍物镜就可观察到晶体中位错组态的超显微图象。为了提高图片质量,采用化学工业部第一胶片厂出产的航微-II型航空胶片进行摄影。图3(a)(见图版I)即是用该方法摄取的 LiNbO_3 晶体中的扭转型位错亚晶界(位错网络)。

2) 透射方法 实验结果表明,经缀饰后的 LiNbO_3 和 LiTaO_3 样品,不仅用超显微法可以观察到其中的位错组态,在通常的透射显微镜中亦能清晰地观察到位错图象。为了定点地对比两种观察方法,我们在MM-5大型卧式金相显微镜中自配100W的白炽灯光源(见图2中7)后,就能作透射显微观察,而且对同一位错组态用不同方法(超显微法和透射法)摄取图片。所得结果见图3(b)和(c)(见图版I)。对比图3(a), (b), (c), 可以看到,该位错网络位于一空间曲面上。超显微法有较大的透视深度,而透射法的透视深度较少,但可通过逐层透视来弥补,即将显微镜聚焦于晶体中的不同深度,摄取不同的照片,然后将这些图片拼合起来,就能得到位错网络的空间立体图象,如图3(b), (c)。

3) 浸蚀方法 对 LiNbO_3 和 LiTaO_3 晶体除进行透射法和超显微法观察外,还用 $\text{HNO}_3:\text{HF}(2:1)$ 混合液在 100°C 水浴中对晶体进行浸蚀10分钟左右,用反射显微镜进行观察(即用MM-5大型卧式金相显微镜),在晶体的 α 面获得菱形蚀坑,如图4(a)(见图版II)所示,为了检验该蚀坑即为位错露头点,在同一地区用透射法进行观察,其图象见图4(b)(见图版II),然后将显微镜向晶体内聚焦,三叉亚晶界中位错线走向清晰可见,对比图4(a)和(b),清楚地证明了每一菱形蚀坑均代表一根位错线的露头处。

三、实验结果

1. 位错网络的分析及结果

在 LiNbO_3 和 LiTaO_3 晶体中观察到大片形状规则的六方网络, 和前人在不同晶体中观察到的一般型亚晶界的位错网络很相似^[2]. 为了确证这些网络是否代表位错网络, 以及为了进一步定出网络中各位错线的 Burgers 矢量, 我们进行了网络的极图分析和 Frank 公式定量关系的检验^[4].

根据长程应力场消弛的条件, 亚晶界的位错结构应满足 Frank 公式

$$\mathbf{d} = (\mathbf{r} \times \mathbf{u})\theta, \quad (1)$$

其中 $\mathbf{u}$ 为沿旋轴的单位矢量, θ 为旋转角, $\mathbf{d}$ 为与晶界平面内任一矢量 $\mathbf{r}$ 相交截的所有位错的 Burgers 矢量总和.

对应于仅与一组位错相交的 $\mathbf{r}_i$ 矢量, Frank 公式变为

$$\begin{aligned} n_1 \mathbf{b}_1 &= (\mathbf{r}_1 \times \mathbf{u})\theta, \\ n_2 \mathbf{b}_2 &= (\mathbf{r}_2 \times \mathbf{u})\theta, \\ n_3 \mathbf{b}_3 &= (\mathbf{r}_3 \times \mathbf{u})\theta. \end{aligned} \quad (2)$$

可以看出, $\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \mathbf{b}_3$ 分别与 $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3$ 正交, 且三者共面(都与 $\mathbf{u}$ 垂直).

现举 LiNbO_3 晶体中如图 5(a) (见图版 II) 所示的位错网络为例, 说明极图分析方法. 图 5(a) 所示的网络, 其网面稍有弯曲, 左右稍弯向晶体内部, 而上下则为单方向倾斜, 若将该网络近似地看成为平面, 该平面是自上而下向晶体内部倾斜, 经 X 射线定向, 该观察面近于 a 面, 其面法线与 $\langle 2\bar{1}10 \rangle$ 偏差为 2° , 以及网面相对于观察面的倾角为 43° . 图 5(b) (见图版 II) 中大圆 MN 即为网面与投影球的交迹. 在照片上分别作出只与一组位错相交的三根 $\mathbf{r}'_i$ 线 ($i = 1, 2, 3$), 并将其转移到极图上, 他们与大圆 MN 的交点即为相应网面内 $\mathbf{r}_i$ 矢量的极点 (见图 5(b)). 分别作出与 $\mathbf{r}_i$ ($i = 1, 2, 3$) 极点正交的大圆, 根据 Frank 公式, 相应的 Burgers 矢量应在这些大圆上. 根据正交、共面的要求, 可以唯一地确定构成图 5(a) 所示网络的位错的 Burgers 矢量为: $\frac{1}{3} [0\bar{1}11], [1\bar{2}10], \frac{1}{3} [1\bar{1}0\bar{1}]$. 再根据 Burgers 矢量 $\mathbf{b}_i$ ($i = 1, 2, 3$) 与旋转轴矢量 $\mathbf{u}$ 正交的条件, 可以唯一地确定 $\mathbf{u}$, 所定出的图 5(a) 网络的 $\mathbf{u}$ 与网面的法矢量相近 (偏差在 8° 之内), 故该位错网络是由两组 Burgers 矢量为 $\frac{1}{3} [0\bar{1}11], \frac{1}{3} [1\bar{1}0\bar{1}]$ 的螺位错及其位错反应产物——Burgers 矢量为 $[1\bar{2}10]$ 的混合型位错构成的扭转亚晶界. 下面进一步对上述结果进行 Frank 公式的定量检验. 由 (2) 式可得

$$\frac{r_1^* \sin \phi_1}{b_1} = \frac{r_2^* \sin \phi_2}{b_2} = \frac{r_3^* \sin \phi_3}{b_3}, \quad (3)$$

式中 r_1^*, r_2^*, r_3^* 分别为 $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3$ 方向上的位错线的间距, ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 为 $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3$ 与 $\mathbf{u}$ 间夹角, 考虑到网面与观察面的偏离, 由照片测出的位错线间隔 $r_1^{*'}, r_2^{*'}, r_3^{*'}$ 必须修正为 $r_i^* = r_i^{*'} / \cos \gamma_i$, γ_i 为 $\mathbf{r}_i$ 与 $\mathbf{r}'_i$ 间的夹角. 由图 5 所示的照片和极图上测出上述参量后, 得到 $r_1^* \sin \phi_1 / b_1$ 为 8.6, 9.4, 8.6 ($\times 10^{-3}$), 基本上满足 (3) 式, 于是进一步肯定了极图

分析结果的正确性。图 6 (见图版 III) 为 LiTaO_3 晶体在 c 面上观察到的位错网, 其网面法线与 u 夹角为 48° , 故它是一般型扭转晶界, 构成位错网的位错为混合型位错。图 7(a) (见图版 III) 为 LiNbO_3 晶体中三支位错网相交接的照片。由于另一支位错网已被磨去, 照片上只能摄出其中两支网的组态, 两支网面均倾斜于晶体内部, 图 7(b) (见图版 III) 即为图 7(a) 焦平面下 $10\mu\text{m}$ 处的图片。对图 7 中两支位错网络等共六组网络的极图分析及 Frank 公式定量检验的结果, 列于表 1。

2. 倾侧亚晶界的分析

1) 对称倾侧型亚晶界(平行线) 在 LiNbO_3 和 LiTaO_3 晶体中经常观察到由一系列等间距的位错线构成的亚晶界。图 8 (见图版 III) 所示为 LiTaO_3 晶体中平行线, 由劳埃定向可知该组亚晶界是由一组 Burgers 矢量为 $\langle 2\bar{1}10 \rangle$ 的位错所构成的纯倾侧型亚晶界。其晶界面为 a 面且与观察面间的夹角为 12° 。而图 9 (见图版 IV) 中的亚晶界面法线则与表面法向偏离 41.5° 。晶界面为 a 面, 所以它是以 $\langle 1\bar{2}10 \rangle$ 为 Burgers 矢量的纯倾

表 1 LiNbO_3 和 LiTaO_3 晶体中六方位错网分析结果

网络编号	线组序号	位错线的 Burgers 矢量 b	r^* 在观察面上的投影 $r^{*'}(\mu\text{m})$	r_i 与 u 的夹角 $\phi_i(^{\circ})$	r 与 r' 的夹角 $\gamma_i(^{\circ})$	Burgers 矢量与实验值的偏差	$\frac{r_i^* \sin \phi_i}{b_i}$ 的实验值 ($\times 10^3$)	θ ($''$)	θ^{-1} 与平均值的百分误差	实验估计的网面偏角 ($^{\circ}$)
01 (图 5)	A	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	3.8	85	37	0	8.6	25	2	43
	B	$[1\bar{2}10]$	4.4	68	33	2	9.4	23	7	
	C	$\frac{1}{3}[1\bar{1}0\bar{1}]$	5.0	71	2	2	8.6	25	2	
02	A	$[1\bar{2}10]$	3.1	125	42	2	6.6	31	0	44
	B	$[11\bar{2}0]$	5.3	145	30	5	6.8	30	3	
	C	$[2\bar{1}\bar{1}0]$	4.3	130	2	3	6.4	32	3	
03	A	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	4.0	52	4	0	5.8	35	2	43
	B	$[11\bar{2}0]$	4.7	35	31	5	6.1	33	3	
	C	$\frac{1}{3}[10\bar{1}1]$	2.8	60	42	1	5.9	35	0	
04 (图 6)	A	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	4.0	42	27	1	5.5	37	1.2	66
	B	$\frac{1}{3}[\bar{2}021]$	2.2	66	62	6	5.8	35	3.7	
	C	$[2\bar{1}\bar{1}0]$	2.1	107	43	8	5.4	38	2.1	
05 (图 7(a) 左网)	A	$\frac{1}{3}[1\bar{1}0\bar{1}]$	2.0	70	37	6	4.3	48	0	65
	B	$\frac{1}{3}[01\bar{1}\bar{1}]$	1.1	59	66	8	4.2	50	2	
	C	$[1\bar{2}10]$	2.0	70	35	8	4.5	45	5	
06 (图 7(b) 右网)	A	$[2\bar{1}\bar{1}0]$	3.6	75	9	8	6.8	30	5	45
	B	$[1\bar{2}10]$	4.3	137	28	10	6.4	32	2	
	C	$[11\bar{2}0]$	3.0	130	45	10	6.3	32	3	

侧型亚晶界。图 9(a) 为用超显微法获得的图片, 图 9(b) 则为同一处用透射法所得图片。

2) 三叉倾侧型亚晶界的交接 三叉亚晶界的交接条件为

$$\sum_{i=1}^3 \theta_i = 0. \quad (4)$$

对一般的与观察面正交的倾侧型三叉亚晶界有

$$\sum_{i=1}^3 \rho_i \frac{b_1 b_2 \sin(\phi_i + \psi_i)}{b_1 \cos \phi_i + b_2 \cos \psi_i}, \quad (5)$$

其中 ρ_i 为观察面内亚晶界 r_i 上蚀斑线密度; ϕ_i, ψ_i 表示 γ_i 在 b_1, b_2 矢量所确定的平面上与 b_1, b_2 间的有向角, 这里以 r_i 与 b_1 间的夹角为 ϕ_i , $(-r_i)$ 与 b_2 间的夹角为 ψ_i 。而参量 ρ_i, ϕ_i, ψ_i 可以通过实验直接测定, 而构成倾侧亚晶界的 Burgers 矢量 b_1, b_2 可以根

表 2 三叉亚晶界分析结果

三叉 亚晶界 编 号	晶 界 号	构成不对称倾侧晶界 Burgers 矢量		r_i 与 b_1 的夹角 $\phi(^{\circ})$	$(-r_i)$ 与 b_2 的夹角 $\psi(^{\circ})$	位 错 密 度 $\rho(\times 10^3 \text{cm}^{-1})$	$\theta \times 10^{-4}$ (rad)
		b_1	b_2				
011 (图 10)	AB	$\frac{1}{3}[0\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$	$\frac{1}{3}[02\bar{2}1]$	37	48	23.3	10.2
	CD	$\frac{1}{3}[02\bar{2}1]$	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	4	90	11.3	6.2
	EF	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	$\frac{1}{3}[0\bar{2}2\bar{1}]$	32	54	8.5	3.9
012	AB	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	$\frac{1}{3}[0\bar{2}2\bar{1}]$	26	61	12.7	6.1
	CD	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	$\frac{1}{3}[02\bar{2}1]$	5	81	7.8	3.9
	EF	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	$\frac{1}{3}[02\bar{2}1]$	5	81	4.7	2.3
013	AB	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	$\frac{1}{3}[0\bar{2}2\bar{1}]$	46	40	5.3	2.3
	CD	$\frac{1}{3}[0\bar{2}2\bar{1}]$	$\frac{1}{3}[01\bar{1}\bar{1}]$	20	74	7.5	4.3
	EF	$\frac{1}{3}[01\bar{1}\bar{1}]$	$\frac{1}{3}[02\bar{2}1]$	46	40	15.3	6.6
014	AB	$\frac{1}{3}[02\bar{2}1]$	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	65	28	7.0	3.6
	CD	$\frac{1}{3}[02\bar{2}1]$	$\frac{1}{3}[01\bar{1}\bar{1}]$	27	67	13.3	6.2
	EF	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	$\frac{1}{3}[0\bar{2}2\bar{1}]$	73	13	6.0	2.8
015	AB	$\frac{1}{3}[0\bar{1}11]$	$\frac{1}{3}[0\bar{2}2\bar{1}]$	38	48	23.3	10.2
	CD	$\frac{1}{3}[0\bar{2}2\bar{1}]$	$\frac{1}{3}[01\bar{1}\bar{1}]$	4	90	10.5	5.8
	EF	$\frac{1}{3}[01\bar{1}\bar{1}]$	$\frac{1}{3}[02\bar{2}1]$	25	60	9.0	4.3
016 (图 11)	AB	$[\bar{1}\bar{2}10]$	$[\bar{1}\bar{1}20]$	73	47	8.6	3.9
	CD	$[\bar{1}\bar{2}10]$	$[\bar{1}\bar{1}20]$	90		3.0	1.5
	EF	$[\bar{1}\bar{2}10]$	$[\bar{1}\bar{1}20]$	70	50	5.3	2.4

据 LiNbO_3 和 LiTaO_3 的具体结构和位错理论进行初步估计。估计是否正确,可通过(5)式进行定量的检验^[5,6]。这样我们就能确定倾侧亚晶界的位错结构。例如图 10 (见图版 IV) 为 LiNbO_3 晶体用浸蚀法获得的 a 面上的三叉亚晶界,由劳埃定向知其观察面与 $\langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$ 方向仅偏离 2° ,晶界面与观察面垂直,由 $\langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$ 方向极图可知其可能的 Burgers 矢量为 $\frac{1}{3} [0\bar{1}11]$ 和 $\frac{1}{3} [02\bar{2}1]$,它们之间互成 86° 。通过极图分析可以求出 r_1 与 b_1 夹角 ϕ_1 , $(-r_1)$ 与 b_2 夹角 ϕ_2 ,对于晶界 AB ,它的 Burgers 矢量为: $b_1 = \frac{1}{3} [0\bar{1}11]$, $b_2 = \frac{1}{3} [02\bar{2}1]$,求得 $\phi_1 = 37^\circ$, $\phi_2 = 48^\circ$ 。由照片上测出 AB 段位错密度为 $23.3 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$,则 $\theta = 10.2 \times 10^{-4} \text{ rad}$ 。同样得 CD 段 $\theta = 6.2 \times 10^{-4}$, EF 段 $\theta = 3.9 \times 10^{-4}$, $(3.9 \times 10^{-4} + 6.2 \times 10^{-4} \approx 10.2 \times 10^{-4})$,故该三叉亚晶界满足 $\Sigma\theta_i = 0$ 的条件对构成上述三叉亚晶界的 Burgers 矢量的初步估计是正确的。图 11 (见图版 IV) 为 LiTaO_3 晶体中在 c 面上观察到的三叉亚晶界,其分析结果见表 2 中“016”的结果。我们分析了六组三叉亚晶界,所得结果列在表 2 中。

四、结 论

1. LiNbO_3 和 LiTaO_3 晶体中存在的位错的基本类型: 基于实验观测和亚晶界位错结构的分析,表明这类晶体中存在 Burgers 矢量为 $\langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$, $\frac{1}{3} \langle 0\bar{1}11 \rangle$, $\frac{1}{3} \langle 02\bar{2}1 \rangle$ 的位错。而 LiNbO_3 和 LiTaO_3 属三方晶系, $3m$ 点群,其最短点阵平移矢量为六角晶胞的基矢 $\langle 1\bar{2}10 \rangle$ 、次短为菱胞的基矢 $\frac{1}{3} \langle 0\bar{1}11 \rangle$ 、再次为菱胞的短体对角线 $\frac{1}{3} \langle 20\bar{2}1 \rangle$ 。由此可见,基于已有的实验分析所得到的位错的基本类型是合理的。至于是否存在 Burgers 矢量较大的位错,在目前完成的实验观测和分析中尚未发现,这有待今后进一步的实验观测来澄清。但可以肯定,那些 Burgers 矢量较大的位错即使存在,其出现的几率亦较小。

2. 亚晶界的类型: 对 26 个亚晶界 (6 个位错网络, 20 个倾侧型亚晶界) 的分析表明,在 LiNbO_3 , LiTaO_3 晶体中,存在一般性亚晶界的位错网络,如网络 02—06,其旋转矢量 u 与晶界面法线不一致,其最大偏离达到 60° ,构成这类晶界的位错为混合型位错,一般说来这类晶界是一空间曲面。我们也发现存在纯扭转型晶界,如网络 01,其旋转矢量 u 与界面法向矢量基本一致,构成这类晶界的是纯螺型位错及其反应产物。这类亚晶界通常以平面形式出现,或是一般性晶界(空间曲面)上的特定的部分。实验结果还表明,这类晶体中还存在大量的由两组非正交的 Burgers 矢量的位错构成的不对称倾侧性亚晶界。同时也存在由一组 Burgers 矢量为 $\langle 1\bar{2}10 \rangle$ (最短点阵平移矢量) 的位错构成的对称性倾侧晶界,如图 8、图 9 和三叉晶界中(图 11) CD 。这种晶界是在 a 面上的平行且等间距的 Burgers 矢量为 $\langle 1\bar{2}10 \rangle$ 的刃型位错构成。

3. 关于缀饰与显示: 实验表明,未经缀饰的 LiNbO_3 和 LiTaO_3 晶体,无论用超显微法或透射法都不能观察到位错的迹象。而在缀饰处理的过程中金原子或离子,一方面沿着位错线扩散比较方便,另一方面扩散于晶体内部的金原子在位错的应力场作用下,在

位错线邻近形成浓度较高的溶质气团。如果气团中金的浓度高于金在晶体中的饱和浓度时,则金将沿着位错线脱溶沉淀成第二相(金)粒子(该脱溶沉淀过程往往发生于缓慢的降温过程中),于是位错线为金的粒子所缀饰。应用超显微法观察时,投射光(钨灯的照明光)为尺寸近于投射光波长的粒子所散射,于是能够观察到晶体中的位错组态^[2]。一般说来,沿着位错脱溶沉淀的粒子是不连续分布的,因而有时在超显微中所观察到的位错线也是由不连续的散射点所构成的,见图 9(a)。

由于 LiNbO_3 和 LiTaO_3 晶体中的位错都能为金的溶质气团所缀饰,如果这种气团的线度近于可见光的波长,则其散射作用就能在通常透射显微镜中成象,这可解释我们能在通常透射显微镜中观察到缀饰位错的原因。同时反过来,亦可粗略估计在位错周围形成的金气团的线度(近于可见光的波长)。另一方面,虽然沿着位错线金粒子的缀饰是不连续的,但金气团缀饰却是连续的,这可解释为什么用透射法观察到位错线的衬度是连续的。

从上面讨论中可以看到,应用缀饰方法涉及在晶体中位错和溶质原子的行为及其相互作用,以及它们对光的散射与成象的影响。因而要能应用自如地用缀饰法显示大块晶体中的位错,必须对不同的晶体进行细致的研究。我们已经应用缀饰法成功地显示了 LiNbO_3 和 LiTaO_3 晶体中大片位错网络和平行线,并且可以不受限制地反复应用逐层透射法,以揭示晶体中位错网络的主体面貌。同时,由于成功地应用了透射显微法,已将缀饰方法的分辨率提高到普通光学显微镜的极限。(因超显微法的分辨率受观察物镜的限制,本实验最高只能用 32 倍物镜。)

参 考 文 献

- [1] F. C. Frank, Rept. Symposium on the Plastic Deformation of Crystalline Solids, p. 150. Carnegie Inst. Technol., Pittsburgh, (1950).
- [2] S. Amelinckx, in "Dislocations in Solids" Edited by F. R. N. Nabarro, Vol. 2, North-Holland, (1979), p. 71.
- [3] H. J. Levinstein and C. D. Capio, *J. Appl. Phys.*, **38** (1967), 2761.
- [4] 冯端、李齐、闵乃本,物理学报, **21**(1965), 431.
- [5] 冯端、闵乃本、李齐、林天南,物理学报, **19**(1963), 165.
- [6] 闵乃本、吉光民、冯端,物理学报, **20**(1964), 1182.

A STUDY OF DISLOCATION STRUCTURE OF SUBBOUNDARIES IN LiNbO_3 AND LiTaO_3 SINGLE CRYSTALS

GE CHUAN-ZHEN WANG YOU-TAO WANG JIAN-WEN FENG DUAN

(Institute of Solid State Physics, Nanjing University)

ABSTRACT

We have made direct observations of dislocation substructure in LiNbO_3 and LiTaO_3 single crystals decorated by gold particles by mean of transmission optical microscopy and ultra-microscopy. The three dimensional features of the subboundaries have been disclosed and the nature of subboundaries are determined with stereographic analysis, and quantitatively verified by Frank's formula.

The analysis of dislocation networks and junctions of subboundaries shows that the Burgers vectors of dislocations in these crystals are $\langle 1\bar{2}10 \rangle$, the smallest lattice vector; $\frac{1}{3}\langle 01\bar{1}1 \rangle$, the next smallest lattice vector, and $\frac{1}{3}\langle \bar{2}021 \rangle$, the short diagonal of the rhombohedral cell.