

提高绝缘性能,从而增加试验的可靠性。

### 参 考 文 献

- [1] J. Akella, G. C. Kennedy, *J. Geophys. Res.*, **76**-20(1971), 4969—4977.  
[2] R. E. Hanneman, H. M. Strong, *J. Appl. Phys.*, **36**(1965), 523—528.  
[3] R. E. Hanneman, H. M. Strong, *J. Appl. Phys.*, **37**(1966), 612—614.  
[4] E. T. Peters, J. J. Ryan, *J. Appl. Phys.*, **37**(1966), 933.  
[5] I. C. Getting, G. C. Kennedy, *J. Appl. Phys.*, **41**(1970), 4552—4562.  
[6] M. Waxman, J. R. Hastings, *J. Appl. Phys.*, **43-6**(1972), 2629—2635.

## 钆镓石榴石单晶缺陷的 X 射线形貌观测\*

白迺智 崔树范 葛培文 刘海润 张乐涛

(中国科学院物理研究所)

### 一、引 言

作为电子计算机的逻辑运算和记忆元件的磁泡器件是在非磁性石榴石材料上外延生长一层磁性石榴石膜而制成。在这样的磁性膜上,可通过适当的手段使磁泡很容易产生、传递和消失。钆镓石榴石晶体(以下简称 GGG)已成为这种磁泡器件的重要的基底材料。外延生长磁膜时,基底晶体的不完整性会影响外延膜的质量,特别是磁泡在膜内的快速运动,更要求外延膜有极高的完整性。如果单晶衬底中存在缺陷,特别是当暴露在表面上的缺陷延伸到外延膜中时,那么磁泡的运动将受到更严重的阻碍。因而提高 GGG 晶体的完整性就有着特别重要的意义。GGG 单晶中的主要缺陷有生长条纹、位错、包裹物和核心<sup>[1]</sup>。

应用 X 射线形貌方法可以观察 GGG 中位错及生长条纹等缺陷<sup>[2]</sup>。也有采用双晶反射形貌术观察 GGG 基片外延膜缺陷的报道<sup>[3]</sup>。由于磨抛技术的发展,制备几十微米厚的表面光洁的晶片已不很困难,这为用 Lang 透射形貌术研究 GGG 这类吸收很强的晶体的缺陷创造了重要的条件。本文用 Lang 透射法研究 GGG 单晶横切片和纵切片上的生长条纹和位错,并确定了位错的 Burgers 矢量的方向。

### 二、实验简述

用于 X 射线形貌观测的 GGG 晶体是采用提拉法沿 [111] 轴生长的。晶体没有核心或小面应力。将此种晶体定向后,得到晶片表面平行于 {111}, {211} 和 {110} 的三种切片,厚度为 1 毫米。将晶片两面用 280 号金刚砂粗磨,302, 303 号金刚砂细磨,再经过  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  抛光,能够得到厚度为 80—120 微米的晶片,且最后均经过超声清洗。

样品用日本理学电机公司产的 Lang 相机,并选用 Ru-1000 大功率转靶 X 光机发生的  $\text{AgK}\alpha_1$  辐射做透射照相,也用了  $\text{MoK}\alpha_1$  辐射。

### 三、结果和讨论

#### 1. 生长条纹的形貌图

用光学方法观测 GGG 晶体的生长条纹,通常应用正交偏光法。用这种方法可在平行于 [111] 生长轴的纵切片上观察到生长条纹(通常是用 {110} 切片),见图 1。而在垂直于生长轴的横切片即(111)切片上就较难看到生长条纹。当生长是以自然对流为主,界面为凸界面时,只

\* 1979 年 5 月 14 日收到。

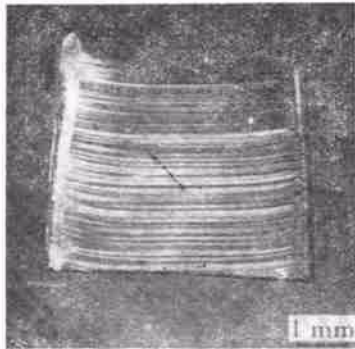


图1 在偏光显微镜下观察到平行于 [111] 生长轴的 GGG 晶体纵切片上的生长条纹

可以看到核心；而当生长是以强迫对流为主，形成平界面时，如果不经腐蚀就看不到什么。

应用 X 射线 Lang 照相<sup>[4]</sup>可以较容易地看到 GGG 晶体横切片(111)面上的生长条纹。我们采用  $AgK_{\alpha_1}$  及 420 型衍射拍摄 (111) 晶片的形貌图(见图 2)。这种生长条纹显示出温场中热中心的偏离。观察到的结果有助于调整温场而得到较对称的温度分布。可以看到呈“年轮”状的生长条纹，在靠近热中心处，条纹间距宽，离热中心较远处条纹渐渐变密。平均的条纹间距在 0.1 毫米数量级范围内。生长条纹反映瞬时生长速率的变化。如果其它的生长参数保持固定，则它们的周期性、形状和宽度能相当准确地反映轴向和横向的热条件。

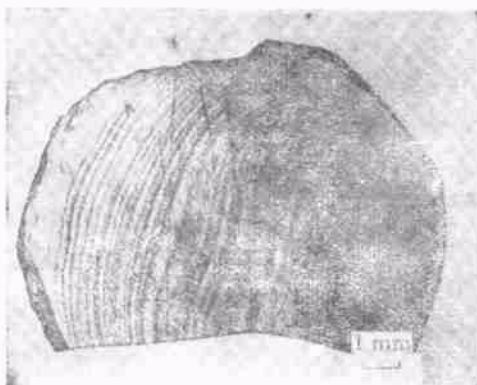


图2 GGG晶体(111)晶片的 Lang 形貌图  
 $AgK_{\alpha_1}$  辐射, 420 衍射

这种条纹不是由于转动形成的，而是由液流波动所造成。由转动引起的条纹间距通常约

为 1 微米(晶体旋转约为 100 转/分),这在通常的 X 射线形貌图中是看不出的。我们在光学显微镜下看到了由转动引起的条纹。由液流造成的温度波动使 GGG 晶体中 Gd 与 Ga 的成分比有偏差,因而以条纹的形式反映出来。Belt<sup>[5]</sup>曾观察到 GGG 中的生长条纹,并计算了晶格常数的变化约为  $\pm 0.0002$  埃,相当于 1% 以内  $Gd_3Ga_5O_{12}$  平均成分的变化。图 3 和图 4 分别



图3 GGG 晶体 {110} 晶片的 Lang 形貌图  
( $AgK_{\alpha_1}$  辐射, 444 衍射)



图4 GGG 晶体 {211} 晶片的 Lang 形貌图  
( $MoK_{\alpha_1}$  辐射, 420 衍射)

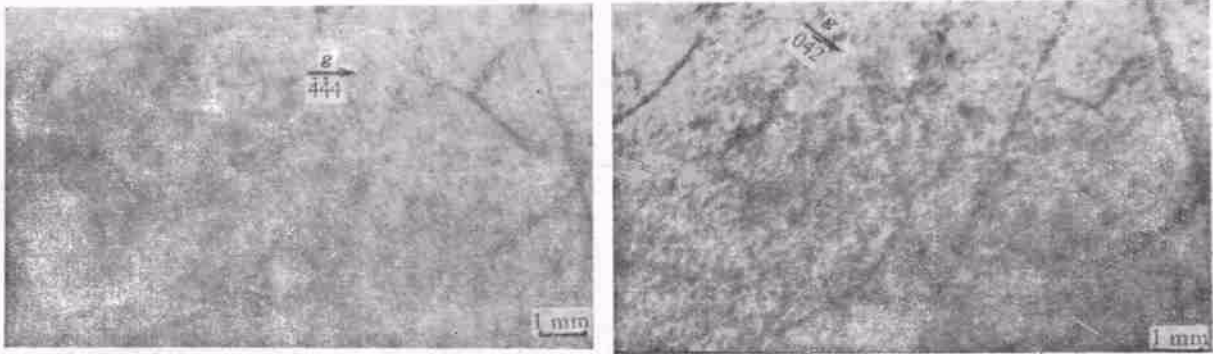


图5 GGG (112) 晶片的 Lang 形貌图 (AgK $\alpha_1$  辐射)  
(a) 444 衍射; (b) 042 衍射

为平行于 {110} 的晶片和平行于 {211} 的晶片 (即晶体的两个纵切片) 的 X 射线透射形貌图。

从照片中可以看到晶体纵切片上的生长条纹是近乎互相平行的, 并且它们的法线几乎在它的整个长度上都平行于 [111] 生长轴。这些条纹同样是由于液流造成的温度波动而引起的。条纹之间的平均距离亦是 0.1 毫米, 因此, 温度的涨落或流体的流动周期约为数 10 秒的数量级。

## 2. 位错线的长度与 Burgers 矢量的方向

用侵蚀法观测 GGG 晶体的位错主要是包裹物引起的位错环、蜷线位错和长而直的位错<sup>[1]</sup>。我们用 (112) 晶片进行透射的 X 射线形貌照相, 观察到了这种长而直的位错 (图 5)。在图 5(a) 中, 衍射矢量  $g$  平行于 [444]; 位错是长而直的, 有几处是三条位错线交于一点, 形成“节”; 照片中部相交的几条长线为样品表面的划痕。图 5 (b) 中的衍射矢量  $g$  平行于 [042], 我们可以看到, 在 [042] 方向上的位错线已完全消除了。根据位错线衍射衬度的消光条件可知, 当  $b \perp g$  时 ( $b$  为 Burgers 矢量) 位错象衬度取极小值, 因而得知在 [042] 方向上的位错线的 Burgers 矢量  $b$  垂直于 [042] 晶向。

从形貌图上可估算出位错的实际长度是在

1—2 毫米的范围内。这和 Lal<sup>[6]</sup> 观察到 GGG 单晶中的位错线长度为 0.5 毫米以及 Glass 观察到几毫米长的棱柱位错, 在数量级上是相当一致的。

应用 X 射线形貌法观测和研究 GGG 单晶中的缺陷是有一定的优点的。X 射线形貌法利用的是晶体中完整部分同不完整部分在衍射强度上的差异, 这就使得某些应用光学法较难观察的晶体缺陷变得容易被察觉。根据 X 射线消光规律, 还可以确定位错的 Burgers 矢量的方向, 这又为进一步研究位错提供了方便。把 X 射线形貌术同光学观察紧密配合起来, 是研究晶体缺陷的有效途径。

## 参 考 文 献

- [1] 刘琳、张志友, 物理, 9-2(1980), 107.
- [2] W. T. Stacy and U. Eag, IEEE Trans. on Mag., (1972 Intermag. Conference), 268.
- [3] H. L. Glass, Mater. Res. Bull., 7(1972), 385.
- [4] A. R. Lang, Recent Applications of X-ray Topography in "Modern Diffraction and Imaging Techniques in Material Science", Ed. S. Amelinckx et al., North Holland Publishing Company, (1970), 407.
- [5] R. F. Belt, Mater. Res. Bull., 8(1973), 1197.
- [6] K. Lal et al., J. Crystal Growth, 32(1976), 357.