

强度从而增大。同样,由于对不同的偏振光晶体基体有两种折射率,亦即基体相对于散射颗粒有两种相对折射率,因而对不同的偏振光的散射强度也不相同,即造成两种散射系数——所谓双散射。预料双折射晶体很可能都存在双散射,只是程度大小不同而已。

参 考 文 献

- [1] G. W. Dueker et al., *Appl. Opt.*, 4-1, (1965), 109—118.
- [2] J. A. Mandarino, *The Amer. Mineral.*, 44(1959), 65—67
- [3] J. A. Mandarino, *The Amer. Mineral.*, 44(9-10) (1959), 961—973.

Nd:YAG 晶体中大气泡的形成与消除*

马笑山 张顺兴 柴 耀 张文珍 侯印春

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

一、引 言

在熔体生长的晶体中,经常发现气泡夹杂物^[1-3],不同作者曾提出过气泡形成的不同机理^[1,4]。至于铈酸锂与钛酸锂中大气泡的形成机理,则曾由 J. R. Carruthers 等提出^[5]。

本文通过一系列实验证明, J. R. Carruthers 等提出的机理与 Nd:YAG 晶体中大气泡的情况不符:我们提出了新的气泡生长机制,它可定性地说明 Nd:YAG 晶体中大气泡的情况;并可根据这种机制采取一些措施,有效地控制气泡的形成,消除气泡。

二、实 验

实验装置如图 1 所示,坩埚尺寸与形状之一如图 2 所示。晶体尺寸一般控制在直径为 ϕ 20 毫米左右,晶体转速可在 0~120 转/分区间变化,晶体引上速度可在 0.7~4 毫米/小时区间变化。实验时炉内气氛分别为 He, N₂, Ar 等气体。实验结果:

1. 晶体转速对气泡形成的影响

炉内气氛为 N₂, 绝对压力为 1.4 公斤/厘米², 晶体转速分别为 0, 10, 70 和 110 转/分,

物理

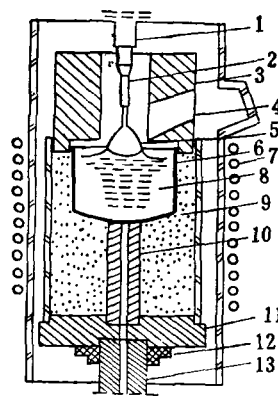


图 1 晶体生长装置简图

- 1. 籽晶杆; 2. 籽晶夹头; 3. 氧化钙保温罩; 4. 观察窗; 5. 晶体; 6. 坩埚; 7. 感应线圈; 8. 熔体; 9. 氧化钙粉; 10. 氧化钙通光管; 11. 氧化钙底托; 12. 底托; 13. 通光管

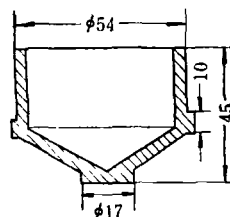


图 2 带状坩埚

引上速度为 1.3 毫米/小时时生长晶体并观察气泡情况,结果并未发现显著区别,只在 0, 10 转/分时,由于固/液界面凸向熔体,气泡未长入

* 1979 年 4 月 23 日收到。

晶体中,而在晶体外缘形成明显的气泡疤痕。

2. 晶体引上速度对气泡形成的影响

炉内气氛为 N_2 , 绝对压力为 1.4 公斤/厘米², 晶体转速为 70 转/分, 引上速度分别为 0.7, 1.3, 2 和 4 毫米/小时时生长晶体并观察气泡情况。结果未发现显著差别。只是当引上速度为 4 毫米/小时时, 晶体透明部分明显缩短。

3. 坩埚形状及尺寸对气泡形成的影响

炉内气氛为 N_2 , 绝对压力为 1.4 公斤/厘米², 晶体转速为 70 转/分, 引上速度为 1.3 毫米/小时, 分别采用几种不同形状与尺寸的坩埚生长晶体, 并观察气泡情况。除有带坩埚(见图 2)外, 其余未发现显著区别。当采用图 2 所示的坩埚时, 气泡明显增多, 液面花纹呈清晰的辐轮状花样(图 3)。辐轮状暗线相互合并并再生。将坩埚位置升高, 效果更为显著。

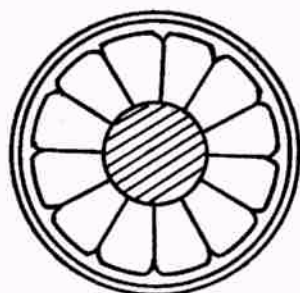


图 3 辐轮状花样

4. 炉内气氛压力对气泡形成的影响

炉内气氛为 N_2 , 气体绝对压力分别为 1.0, 1.2, 1.4, 1.8 公斤/厘米², 晶体转速为 70 转/分, 引上速度为 1.3 毫米/小时生长晶体, 气泡情况并无显著区别。

5. 炉内气氛条件对气泡形成的影响

晶体转速为 70 转/分, 引上速度为 1.3 毫米/小时, 分别充 He , N_2 , Ar 至 1.4 公斤/厘米²; 充 N_2 时, 还分流通与不流通两种。流通 N_2 时, 气体流速为 1.5 升/分, 在此条件下生长晶体, 观察液面花纹与气泡情况: 当 N_2 气体的流

速为 1.5 升/分时, 液面花纹如图 4(a), 无气泡; 在 N_2 气体不流通时, 液面花纹如图 4(b) 所示, 气泡较多。有趣的是, 当充 N_2 时, 气泡源源不断, 但在不改变其他条件下, 只将 N_2 改为流通速度为 1.5 升/分, 立即无气泡浮出。阀门关闭, 气体不流通, 气泡复出。实验有极好的重复性。

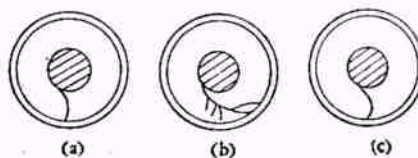


图 4 炉内气氛对气泡形成的影响

- (a) N_2 流通时熔体液面花样;
- (b) N_2 不流通时熔体液面花样;
- (c) 充 Ar 时熔体液面花样

充 Ar 时, 熔体液面花纹如图 4(c), 无气泡或只有个别气泡。我们和南京玻璃厂的实验, 都证明, 这种个别气泡, 只要换一内壁光滑坩埚就不再出现。充 He 时, 熔体液面花纹与图 3 类似, 气泡最多。

6. 气泡分析结果

在 N_2 气氛中生长的晶体, 晶体内气泡分布情况见图 5。选择晶体表面附近有大气泡的部分, 在甘油中打破后, 气体体积缩小至原空腔的

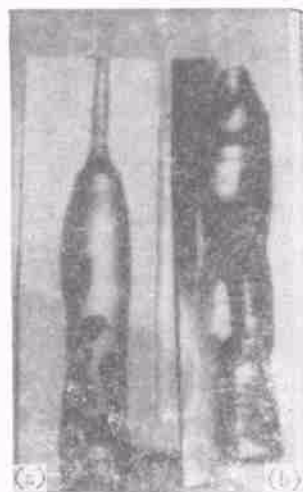


图 5 典型的有气泡晶体
(a) 一般情况; (b) 中空晶体

十分之一左右。气泡经气体色层分析, 结果表明, 气泡主要成分为 N_2 , 检查不到有 O_2 或 CO_2 。

综上所述, 在实验范围内, 晶体转速、坩埚形状、引上速度、炉内气氛压力等参数的变化, 对 Nd:YAG 晶体中大气泡的形成无显著影响, 而炉内气氛种类及流通状况, 却对气泡的形成有显著的影响。

三、 讨 论

一般情况下, 要形成气泡, 首先必须成核, 然后长大。关于结晶时气泡的成核, W. R. Wilcox 等曾作过研究^[4], 得到, 当

$$P_g^* \geq P_l + (16\pi\sigma^3\phi)^{\frac{1}{2}} \times \left\{ 3kT \ln \left[\frac{\alpha C_l V_v P_g^*}{z k T J_{\min}} \left(\frac{2\sigma}{\pi M} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}$$

时, 将观察到气泡成核。式中 P_g^* 为临界尺寸气泡核中的压力, 符合平衡条件 $P_g^* = P_l + \frac{2\sigma}{r^*}$ 。 r^* 为临界核的尺寸。 P_l 为形成气泡核处液体静压力, σ 为气液表面能, $\phi = (2 - \cos\theta) \times (1 + \cos\theta)^2 / 4$, θ 为存在气体时液固平衡接触角, k 为玻耳兹曼常数, T 为温度 (K), α 为气体冲击气液界面的收容系数, C_l 为液体中气体分子的摩尔浓度, V_v 为液体中的空位体积 ($C_l V_v \sim 1$), J_{\min} 为能观察到的最小成核速率 ~ 1 次/厘米³·秒, z 为压缩因子 (对理想气体 $z = 1$), M 为气泡中一个分子的质量。

Nd:YAG 从熔体中生长时, 气氛为 N_2 , $\phi = 1$, $k = 1.38 \times 10^{-16}$ 尔格/K, $T = 2253$ K, $\alpha C_l V_v \sim 1$, $z = 1$, $J_{\min} = 1$ /厘米³·秒, $M_{N_2} = 28$, $\sigma = (0.35 \pm 0.15) \cdot 2253$ 达因/厘米, 以渐近法解之得 $P_g^* - P_l = 2 \times 10^4$ 公斤/厘米²。当晶体转速为 100 转/分, 晶体直径为 2 厘米时, 旋转引起的压力差不过为 2×10^{-4} 公斤/厘米², 与 P_g^* 比较显然太小。所以在 Nd:YAG 晶体的情况下, 认为由旋转引起的压力差而产生气泡, 其可能性不大。实验结果表示, 晶体不转动也并不能导致消除气泡, 因此, Nd:YAG 中

大气泡的形成并不是由晶体旋转引起的。

实验表明, 每次拉晶完毕, 接触坩埚底部的剩料均有半球形的气泡遗迹 (见图 6), 没有例外, 但有多少不同。可见坩埚底部存在着气泡。

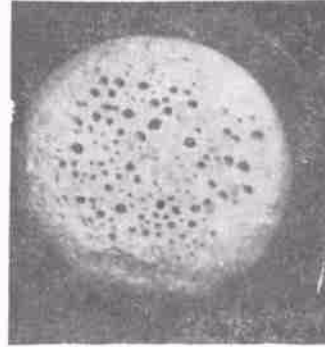


图 6 剩料底部的气泡遗迹

我们认为, 由于钕坩埚为浇铸品, 表面粗糙, 存在着较多微隙, 这些微隙成为气泡核的天然提供者, 不须克服成核势垒, 气泡容易长大。坩埚底部温度较高, 气体的溶解度一般随温度升高而降低, 因此在坩埚底部气体脱析出形成气泡。当气泡尺寸达到某一线度, 受坩埚底部附近熔体自然对流的骚动而脱离坩埚底部, 随熔体流流向固液界面附近, 或为晶体所捕获, 或逃逸到气氛中。固液界面形状不同, 气泡在晶体中的部位也不相同。界面凹向熔体, 气泡长入晶体中心部位; 界面微凸或平坦时, 气泡长入晶体边缘部位; 界面甚凸时, 气泡不长入晶体, 只在晶体外缘形成气泡疤痕。

气氛种类和存在条件, 明显改变了熔体自然对流状态^[7], 因而影响着气泡的形成。当充 N_2 或充 He 时, 由于自然对流冲及坩埚底部, 同时担负着传输气体及骚动气泡使之脱离坩埚底部这两个作用, 因而此时晶体中气泡众多。在充 Ar 或流通 N_2 的情况, 自然对流区达不到坩埚底部, 熔体表面被溶解的气体, 在熔体下方只能靠扩散传输, 气泡生长速度缓慢, 并且即使气泡长大, 由于未受熔体流的骚动, 气泡也不浮起, 所以晶体中无气泡或较少气泡。据此, 我们可以自由地控制气泡的形成。

最后, 我们还必须指出, 当用水冷金属大炉

腔的单晶炉生长晶体时,由于气氛温度低,间隙大,相当于本文实验装置下流通 N_2 的情况,因充 N_2 时也不产生气泡。

作者感谢吴芳芬同志提供气体色层分析结果。

参 考 文 献

- [1] B. Cockayne, D. S. Roertson and W. Bardsley, *Brit. J. Appl. Phys.*, **15**(1964), 1165.
[2] S. Mijazawa and H. Iwasahi, *Japan J. Appl.*

Phys., **9**(1970), 441.

- [3] S. K. Deckenson, R. M. Hilton and H. G. Lipson, *Mater. Res. Bull.*, **7**(1972), 181.
[4] W. R. Wilcox and Vincent H. S. Kuo, *J. Crystal Growth*, **19**(1973), 221.
[5] J. R. Carruthers and K. Nassau, *J. Appl. Phys.*, **39**(1968), 5205.
[6] J. C. Brice, *The Growth of Crystals from Liquids*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam London, 1973.
[7] 马笑山、侯印春、沈雅芳, *硅酸盐学报*, **7** (1979), 355.

用 He-Ne 激光器拍摄动态全息图*

陈仲裕 陈建文

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

一、前 言

在通常的工程技术中,我们都采用红宝石激光器作为动态全息照相的光源^[1]。这是因为激光器输出的脉冲宽度较短之故。如果在一个脉冲中辐射的能量足够使记录介质曝光,那么整个全息图的曝光就是在一个极短的时间内完成的。这就意味着正常的振动和移动的容许极限可以大大放宽。根据经验,如果曝光期间物体移动 $\lambda/2$,则由此所导致的条纹移动,将使全息图被涂抹掉。对于一个典型的自由振荡的红宝石激光器来说,其脉冲宽度是毫秒量级,因此容许实体的最大速度约为 0.35 毫米/秒。这与用气体激光器进行 1 分钟曝光所容许的最大速度比较起来是一个完全可以觉察的实体移动。但是,红宝石激光器和 He-Ne 激光器比较:为使光束具有一定的质量,尚需若干技术措施以提高空间相干性和时间相干性,这样导致器件结构复杂,价格昂贵,在一定程度上妨碍了它的广泛应用。

本文采用 He-Ne 激光器作光源,在全息记录的光路中,采取了会聚物光束和参考光束的方法,使记录介质在单位面积上接受的光能剧

增,从而使功率较低的 He-Ne 激光器也能使全息干板在毫秒数量级的情况下感光。由于 He-Ne 激光器具有较长的相干长度,并且一般均在单一的、最低阶的空间模式下工作。因此,它是较理想的光源。如果使用较高功率的 He-Ne 激光器或进一步缩小记录介质上的光斑面积,可望实体的最大速度为 0.35 米/秒。同时,这类激光器价格便宜、早已商品化,因此,可以在某些工程技术中得到推广应用。例如光学玻璃动态形变的检验,流场折射率变化的测试等等。尤为重要的是采用本文方法尚可实现准连续记录,研究动态物体变化的全过程,这是单脉冲红宝石激光器所不能及的。

二、双曝光干涉术和动态测试装置

双曝光干涉术是全息干涉计量中可以对快速无规运动的物体,在两次曝光之间的形状改变进行测试的一种技术。它主要是利用了全息干板能多次曝光和分别重现的特性,把物体在两次曝光之间的形变或位移前后两种状态记录在同一张感光板上。再现时,两次曝光之间物体

* 1979 年 11 月 26 日收到。