

直接生长蓝宝石整流罩的方法研究

余建军, 何 晔, 武 欢, 李海林, 宋晓佳, 母江东, 邓 力, 王 璐

(中国电子科技集团公司第26研究所, 重庆 400060)

摘 要:基于人工晶体的导模法生长技术, 设计了提拉位移法和坩埚旋转法两种生长方法, 分析了直接生长蓝宝石整流罩的生长原理, 建立了晶体生长高度和生长半径的状态方程。结果表明, 通过理论参数和实际采样值之间的对比调整, 这两种方法均可实现蓝宝石整流罩的直接生长。

关键词:蓝宝石整流罩; 直接生长; 导模法; 提拉位移法; 坩埚旋转法

中图分类号: TN384; TH706 **文献标识码:** A

Study on the Method of Direct Growth of Sapphire Cowling

SHE Jianjun, HE Ye, WU Huan, LI Hailin, SONG Xiaojia, MU Jiangdong, DENG Li, WANG Lu

(26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: Two methods of sapphire growth including the pulling displacement method and the crucible rotation method are designed based on the edge-defined film-fed growth (EFG) technique. The principle of growing sapphire cowling directly is analyzed and the state equation of the height and radius of crystal growth is established. The results show that the sapphire cowling can be grown directly through contrasting and adjusting the theoretical parameters and actual sampling values.

Key words: sapphire cowling; growing directly; edge-defined film-fed growth(EFG); pulling displacement method; crucible rotating method

0 引言

蓝宝石作为光学材料, 基于其在 $0.2 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段具有良好透光性及其优良的物理、化学、机械性能, 使其越来越广泛应用于红外军事装备、卫星的窗口材料。与其他材料(MgF_2 、 ZnS 等)相比, 蓝宝石有极高的机械强度, 耐热性能好, 耐化学腐蚀性好及在较宽波段(可见光、红外、微波)拥有良好的透波能, 因此其应用越来越广。特别是近年来导弹技术的飞速发展, 蓝宝石作为整流罩和窗口材料的优势体现得愈明显, 也对蓝宝石整流罩的品质要求越来越高, 尺寸要求越来越大。但由于晶体特性、生长手段、成品率等原因的限制, 高品质蓝宝石的生长难度大, 加工难, 特别是在大尺寸晶体方面, 因此, 直接生长蓝宝石整流罩就成为急需解决的问题。

1 蓝宝石整流罩的生产现状

目前, 主流蓝宝石整流罩的制备流程如图1所示, 因其具备高强度机械性能, 从蓝宝石晶坯加工出碗型或锥形等形状的整流罩, 其加工难度极高, 加工量极大, 且坯料的浪费严重, 所以低成本、高质量地

生长大尺寸蓝宝石整流罩单晶^[1-3]是当前面临的迫切任务。

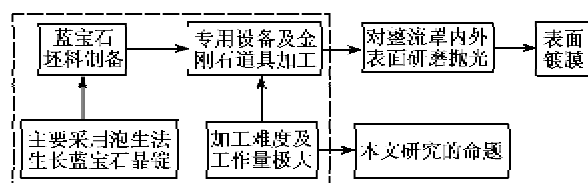


图1 国产整流罩的生产流程

国外已有厂家直接生长出了蓝宝石整流罩(见图2), 但其生长技术处于高度保密状态; 该整流罩毛坯只需要内外研磨抛光后就可镀膜使用, 节省了大量的加工工序, 比国内整流罩在生产、加工、成本、

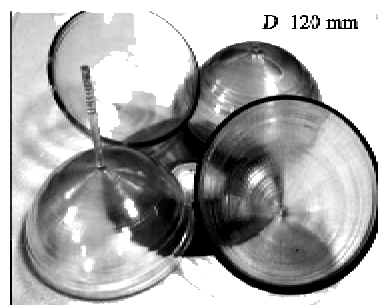


图2 国外直接生长的整流罩样品

收稿日期: 2014-04-18

作者简介: 余建军(1981), 男, 重庆人, 工程师, 主要从事专用电子设备及人工晶体研发。

成品率等方面拥有明显的优势。图中 D 为整流罩晶坯的最大直径。

为降低整流罩的加工难度,提高原料利用率,增强成本优势,提升竞争力;根据导模法^[4-6]生长机理及球面和锥面积分原理,本文设计出提拉移位法和坩埚旋转法两种方法,来实现直接生长蓝宝石整流罩毛坯。

2 提拉移位法

本文在提拉法的基础上,根据导模法原理,设计出提拉移位法,通过晶体的向上生长和侧向运动来实现整流罩晶坯的直接生长,其原理如图 3 所示。图中, v_1 为籽晶提升速度, v_2 为籽晶水平位移速度, ω_1 为籽晶旋转速度。

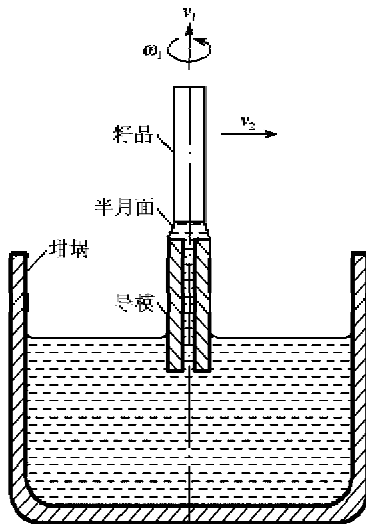


图 3 提拉移位法原理图

图 4 为晶体生长模型。将坩埚与毛细管导模的位置固定,在图中所示的 O 点完成接种后,籽晶随 ω_1 进行旋转运动,使得原料熔液通过毛细管导模不断在晶体下沿进行涂覆,使晶体进行圆周性的连续生长;同时籽晶随着 v_1 连续向上运动,使晶体不断向上生长,生长高度 H 不断增加;并且晶体随 v_2 向

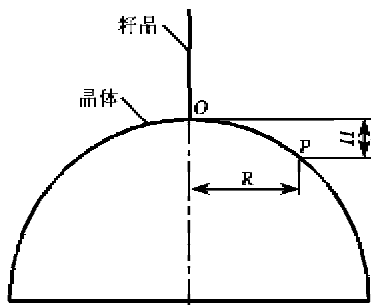


图 4 晶体生长模型

坩埚一侧水平运动,导致籽晶不断偏离起始引晶中心点 O ,生长半径 R 不断增大。这 3 个运动使得晶体生长位置由 O 点不断往 P 点运动,从而形成空心晶体。

在晶体上任意 P 点,其对应 H 、 R 、旋转速度 ω 的理论计算公式分别为

$$H = v_{11}t_1 + v_{12}t_2 + \dots + v_{1i}t_i + \dots + v_{1P}t_P = \sum_{i=1}^P v_{1i}t_i \quad (1)$$

式中 v_{1i} 为任意时间段 t_i 对应的提拉速度。

$$R = v_{21}t_1 + v_{22}t_2 + \dots + v_{2i}t_i + \dots + v_{2P}t_P = \sum_{i=1}^P v_{2i}t_i \quad (2)$$

式中 v_{2i} 为任意时间段 t_i 对应的晶体水平位移速度。

$$\omega = \omega_{1P} \quad (3)$$

式中 ω_{1P} 为时间段 t_P 对应的晶体旋转速度。

根据需求整流罩的形状及壁厚,调整好毛细管导模的尺寸,预设晶体生长曲线,通过式(1)~(3)计算出各个 P 点对应的 v_{1P} 、 v_{2P} 、 ω_{1P} 理论值和该时刻晶体的质量;开始晶体生长后,将实际采集的 v_{1P} 、 v_{2P} 、 ω_{1P} 值与理论值进行比较,并向理论值方向进行实时修正,即可实现设定的半球状或圆锥状整流罩晶体生长。

由于有 v_1 、 v_2 两个相互垂直的直线运动存在,对晶体生长炉的密封机构提出了很高的要求;为了规避复杂密封机构给晶体生长带来的风险,本文设计了另外一种生长方法,即坩埚旋转法。

3 坩埚旋转法

坩埚旋转法原理图如图 5 所示,与提拉移位法

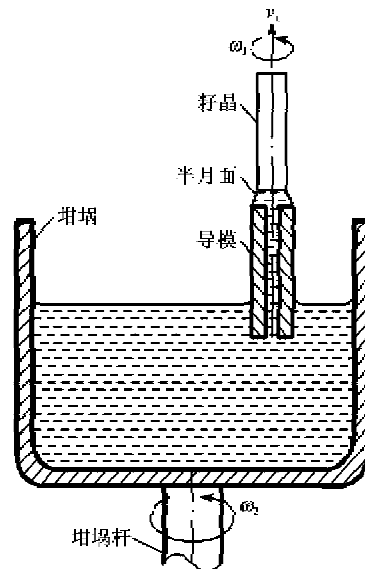


图 5 坩埚旋转法原理图

的最大区别是 R 的形成方式不同。图中 ω_2 为坩埚旋转速度。坩埚旋转法中的坩埚与毛细管导模的位置相对固定,提拉位移法由晶体的水平位移形成 R ,坩埚旋转法则是由坩埚及导模的旋转,使熔液与晶体的接触点从 O 点位置向 P 点发生偏移,形成 R ;在生长周期内,坩埚和导模共计旋转 θ 角,如图 6 所示。

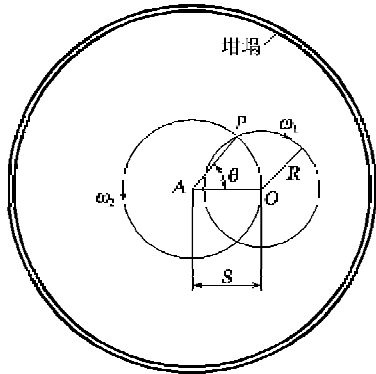


图 6 坩埚旋转法俯视原理图

由图 4 可知,晶体上任意 P 点,其对应 H 、 ω 分别可由式(1)、(3)计算得到,对应的 R 为

$$R = 2S \sin \frac{\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_P}{2} = 2S \sin \frac{\sum_{i=1}^P \theta_i}{2} = 2S \sin \frac{\sum_{i=1}^P \omega_{2i} t_i}{2} \quad (4)$$

式中: ω_{2i} 为任意时间段 t_i 对应的坩埚旋转速度; θ_i 为任意时间段 t_i 对应的坩埚转过的角度; S 为籽晶旋转中心 O 点与坩埚旋转中心 A 点的距离。

同理,根据需求,调整好毛细管导模的尺寸,设定 S ,并通过式(1)、(3)、(4)计算出各个 P 点对应的 v_{1P} 、 ω_{1P} 、 ω_{2P} 理论值和该时刻晶体的质量,将实际

采集的 v_{1P} 、 ω_{1P} 、 ω_{2P} 值与理论值进行比较,并向理论值方向进行实时修正,即可实现设定的半球状或圆锥状整流罩晶体生长;相对提拉位移法,由于没有垂直于 v_1 的水平运动 v_2 存在,坩埚旋转法在密封方面更易实现、更可靠。

4 结束语

本文分析了直接生长蓝宝石整流罩的原理,给出了生长高度、生长半径、晶体转速、坩埚转速的理论计算方程。同时,从理论上分析了其可行性,设计出了两种生长方法,这两种方法各自有着明显的特点,具体孰优孰劣需大量的实践来判断,虽然均能实现整流罩的直接生长,但这两种方案均对生长工艺有较高要求,如晶体转速、提拉速度、提拉位移速度、坩埚转速间的相对关系。为此,还需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 于海欧,李红军,徐军,等.导模法生长蓝宝石晶体的退火工艺[J].硅酸盐学报,2012,40(6):905-909.
- [2] 张晓军,周新民.泡生法制备蓝宝石缺陷产生机理及改进方法分析[J].绿色科技,2013(9):214-216.
- [3] 郭怀新,张明福,聂颖,等.水平定向结晶法生长大尺寸板状蓝宝石缺陷研究[J].人工晶体学报,2013(7):1267-1271.
- [4] 介万奇.晶体生长原理与技术[M].北京:科学出版社,2013:438-444.
- [5] 杨新波,李红军,毕群玉,等.导模法生长 α - Al_2O_3 :C 晶体[J].无机材料学报,2009,24(2):255-258.
- [6] 吕新强.导模法生长蓝宝石(Al_2O_3)晶体的研究[D].长春:长春理工大学,2009.

(上接第 627 页)

参考文献:

- [1] 王剑宇,苏颖.高速电路设计实践[M].北京:电子工业出版社,2011.
- [2] 袁放成.用 Simth Chart 软件实现微波阻抗匹配[J].泉州师范学院学报:自然科学,2010,28(4):31-34.
- [3] 刘立军.阻抗匹配原理分析[J].计算机光盘软件与应用,2010(8):79-80.

- [4] 波扎.微波工程[M].3版.北京:电子工业出版社,2010.
- [5] 陈城颖.ADS 射频电路设计与仿真从入门到精通[M].北京:电子工业出版社,2013.
- [6] 李缉熙.射频电路工程设计[M].北京:电子工业出版社,2012.