

中国首根太空砷化镓单晶的表面形貌和某些设计考虑

周伯骏 王占国

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

摘要 本文展示了我国首根太空砷化镓单晶所具有的火炬头状单晶并有 8 个小平面的表面形貌 在石英容器设计中考虑了既能经受大的加速度又可避免容器和砷化镓锭条因热膨胀系数不同可能引起的损坏, 还介绍了熔区建立后防止熔体和容器内壁接触的办法 考虑到供电仅限于 90m in, 所设计的温控曲线非常好, 使空间生长 GaAs 单晶获得成功

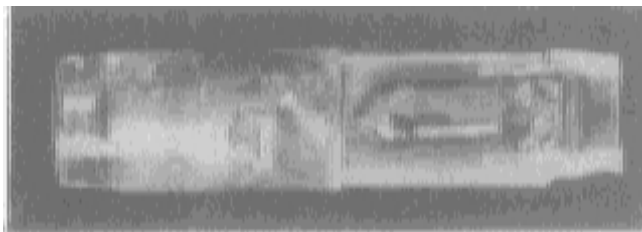
PACC: 6150C, 6150J

1 引言

从 1987 年 8 月 5 日发射的回地卫星上我国首根太空砷化镓单晶一次生长成功至今已 11 年, 虽然对单晶的生长和测量分析有多篇文章报道^[1-3], 但从未详述单晶表面形貌, 为此本文作一介绍 另外, 从开始升温算起炉子供电仅 90m in 的苛刻条件下为何能顺利生长直径 1cm, 长分别为 1cm 和 7mm 的两块单晶, 从而一举达到当时世界先进水平? 不少学者对生长容器的设计和温控曲线的设计很感兴趣, 为此本文一并介绍

2 单晶外貌

为在有限时间内取得最佳结果, 我们采用地面生长好的 100 方向掺 Te 的 GaAs 单晶



圆棒, 使其中部在空间重熔后再结晶生长出太空单晶^[1]. 由于设计中考虑到为避免因表面张力造成熔体缩成一团并与管壁接触的问题, 在单晶圆棒近两端处有扁圆孔, 在石英容器中有插销 从生长结果可断定在开始生长时熔体两端粗中间细, 似两个相对而

图 1 生长后的晶体和石英容器(部分切开)

顶部相连的火炬头, 两端晶体圆棒似火炬把 我们将生长后的石英容器部分切开, 如图 1 照片所示 左边的火炬头状单晶称作 I 号单晶, 右边的为 II 号单晶 II 号单晶被多晶所包围, 这

是由于断电使容器管壁冷却, 砷就从熔体快速逸出造成熔体断裂回缩所致 II 号单晶剖开后的形状已报道过^[1,3], 故本文只介绍 I 号单晶形状 由于单晶表面反光而本身颜色深, 各部分反差小, 因而从照片难以看清某些特征 为此借助光学工具将它仔细画下来 为清楚起见所画 4 张图皆按绕轴方向差 90°; 如图 2 (a)、(b)、(c) 和 (d) 所示

从上述各图可看到标号 1~ 8 的 8 个小平面, 还可看到细的斜线条 另外可看到单晶尖端部为多晶, 它是由于停电时熔体断裂剩余的一小部分熔体造成的 单晶表面还有 A、B 两滴小溅料 在左侧圆柱状籽晶上还可看到有纵向缺损

3 生长容器

石英容器全长 13cm, 直径 1.7cm. 籽晶锭条长 10cm, 直径 0.9cm. 封管前籽晶锭条两端由两个石英座套定位 容器内壁大部打毛以防与熔体沾润 两个石英座套上都有圆孔并带有石英插销 插销穿过锭条上的孔, 此孔沿锭条轴向略长 封好的生长容器籽晶锭条长度比两个石英座套内平端面的间距短 0.1~ 0.2mm. 图 3 所示的是生长容器一部分的示意图, 也是结构设计的关键 为了空间生长时能提供一个大气压力的砷压, 容器内封入了定量砷^[1].

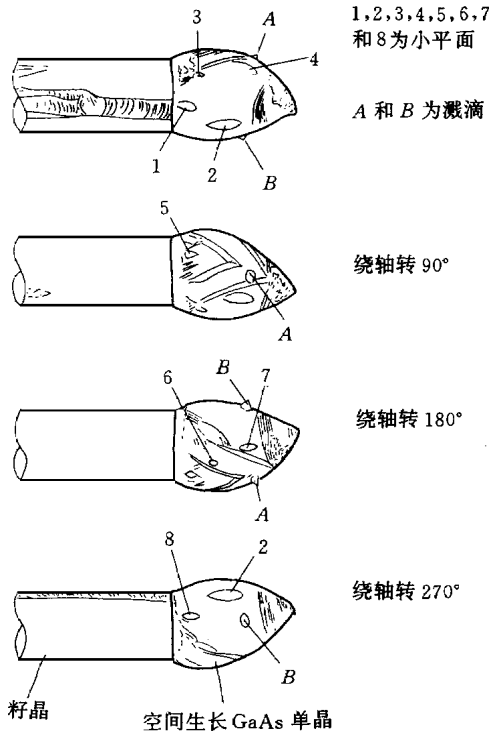


图 2 I 号单晶和部分籽晶的表面状况

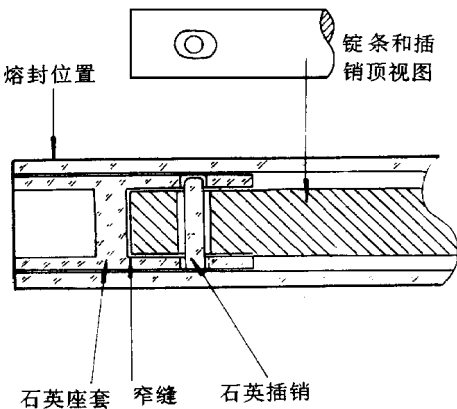


图 3 空间生长容器结构的关键

4 温控曲线

因客观原因这次生长炉子供电仅 90m in, 选择好适当的温控曲线才能既得到单晶而且又使其尽量长 我们采用最初尽快升温到适当温度后慢升温, 保证了熔区的建立而且温度没有过冲, 45m in 后可开始生长 温控曲线如图 4 所示 开始生长时经地面模拟为 0.3 /m in, 以后增至 0.6 /m in.

5 讨论

在熔区无支托时, 在太空失重情况才能形成两个相对并连接的火炬头状熔体, 它的形状与晶体直径、温度分布和表面张力等因素有关 若在地面情况则完全不同: 要是晶棒横放, 熔区因重力原因其中部会严重下垂弯曲, 熔区稍长即断; 要是晶棒垂直放, 熔区会上小下大, 熔区稍长也会断掉 由于我们实验室后容器和空间生长单晶皆完整, 故可切并实测, 扣除晶棒上长条孔与插销的间隙得到熔区长度和晶棒直径比为 3.1~ 3.2 关于这类长度比值目前世界各国学

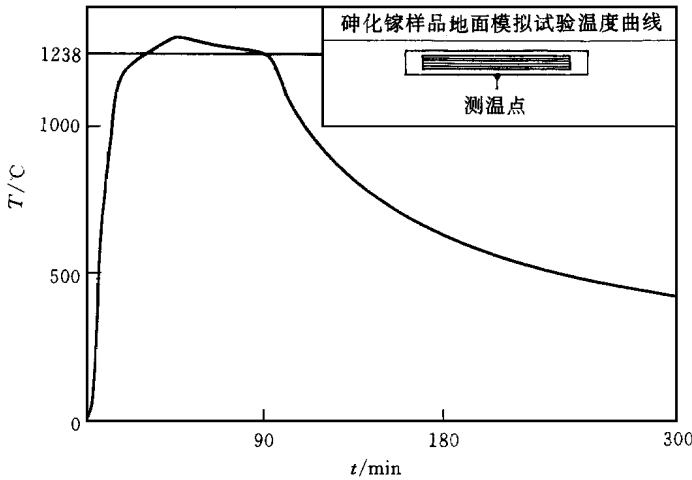


图 4 温控曲线图

生长单晶上没有痕迹

由于火箭发射时大的加速度和入选样品必须通过的震动试验, 锭条长度和容器内壁长度(座套内平面端面间距)必须接近否则要互相撞碎。另外又必须考虑到石英和砷化镓热膨胀系数不同, 以防砷化镓被加热时将容器顶碎或晶体自身被挤碎, 故留出很窄的 0.1~0.2mm 总间隙。用石英插销的目的是防止熔区建立后由于表面张力熔体缩成一团。为了在火箭起飞或样品进行震动试验时插销不被损坏, 在锭条两端的孔沿轴方向较长(从图 1 照片也可看到)使它不会受到锭条的冲击力。此技术在其他空间样品^[4]或地面上从上往下区熔砷化镓单晶时籽晶自动下降以建立窄熔区的方法上得到了应用^[5]。

从温控曲线的设计来看升温时间既短又不过冲非常成功。为使单晶尽量长, 不考虑断电前的退火慢降温, 可以讲通常的“砷跳”必然发生, 熔体断掉也是必然的, 但由于反应容器除熔封部位外内壁都已打毛, 因而防止了反应管的破裂。

致谢 对于林兰英院士的指导帮助和何宏家、江德生、钟兴儒和陈诺夫各位学者的有益讨论, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 周伯骏, 钟兴儒, 曹福年, 等, 半导体学报, 1988, **9**(5): 548~ 552
- [2] Z. G. Wang, C. J. Li, F. N. Cao *et al.*, *J. Appl. Phys.*, 1990, **67**(3): 1521~ 1524
- [3] Zhou Bojun, *Chinese Journal of Semiconductors*, 1995, **16**(2): 158~ 160
- [4] B. J. Zhou(周伯骏), E. Jensen, A. Gallucci *et al.*, 半导体学报, 1997, **18**(1): 61~ 63
- [5] Zhou Bojun, Chen Weihua, E. Jensen *et al.*, *Chin. Phys. Lett.*, 1996, **13**(12): 950~ 952

者众说纷纭, 但根据我们的实验结果此比值如此之大可证明我们的结构设计和温控设计是最佳的。

通常以 100 方向生长的柱状 GaAs 单晶表面有 4 条棱由 {111} 小平面组成, 而本文生长的是略呈球形的火炬头状单晶, 故而出现了 8 个小平面。单晶表面的线条是 {111} 面与单晶表面的交线。单晶表面 A、B 两个小滴溅料是熔体断裂时造成的。籽晶上的纵向缺损是熔区形成前造成的, 因而空间生

Surface Morphology and Some Designing Considerations for First Chinese GaAs Single Crystal Grown in Space

Zhou Bojun, Wang Zhanguo

(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Received 22 October 1998, revised manuscript received 4 December 1998

Abstract It was shown that the first Chinese GaAs single crystal grown in space was in the shape of torch head with eight facets. The designing for the ampoule could not only sustain large accelerations but also avoid the possible damage of quartz tube and ingot caused by the difference between their coefficients of thermal expansion. In addition, a method was introduced to avoid the molten zone to touch the inner face of the ampoule. The temperature sequence was designed very well for growing GaAs single crystal in space with success considering that the electric power could be supplied only for 90 minutes.

PACC: 6150C, 6150J