

文章编号: 1672-8785(2011)03-0019-04

液相外延用碲镉汞母液晶锭的组分均匀性

陈建才 孔金丞 马庆华

(昆明物理研究所, 云南昆明 650223)

摘 要: 开展了液相外延用碲镉汞母液晶锭的合成工艺优化研究。通过优化合成温度、合成时间、摇炉速率和淬火工艺, 有效提高了碲镉汞晶锭的纵向组分均匀性。用改进工艺后合成的碲镉汞母液晶锭生长了 28 个外延薄膜样品, 其组分平均偏差为 0.95%, 满足第二代红外焦平面探测器研制对探测器材料组分均匀性的要求。

关键词: 液相外延; 碲镉汞母液; 组分均匀性

中图分类号: TN213 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.03.005

Composition Uniformity of HgCdTe Bulk Material Used as Epitaxial Solution

CHEN Jian-cai, KONG Jin-cheng, MA Qing-hua

(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: The composition uniformity of a HgCdTe bulk material used as liquid-phase epitaxial solution was studied. By optimizing the compound temperature, compound time, furnace swing frequency and quench process, the longitudinal composition uniformity of the HgCdTe bulk material was improved greatly. 28 epitaxial film samples were grown by using the HgCdTe bulk material compounded after the growth process was modified. They had a average composition uniformity of 0.95% which met the fabrication requirement of the second generation infrared focal plane arrays.

Key words: liquid-phase epitaxy (LPE); HgCdTe solution; composition uniformity

1 引言

$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ (HgCdTe 或 MCT) 三元系材料是制作红外探测器件的重要半导体材料。通过调节组分值 x , 可以使探测器的峰值响应在很宽的波长范围内连续变化并覆盖最重要的两个波段: $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ [1]。目前还没有一种红外探测器材料能够取代碲镉汞的地位。众所周知, HgCdTe 材料的禁带宽度 (E_g) 由组分 x 决定, 而禁带宽度又决定了探测器光谱响应的截止波长 λ_c , 因而精确控制碲镉汞薄膜材料的组分具有重要的意义。

液相外延 (LPE) 是目前生长 MCT 薄膜材料的方法之一。与分子束外延和金属有机物化学汽相沉积技术相比, 它具有工艺简单、成本低廉和技术成熟度高等特点, 是目前国际上主要红外探测器厂商用于批量生产碲镉汞材料的首选方法。用液相外延技术富碲生长碲镉汞薄膜时, 需要用碲镉汞晶锭作为薄膜生长的母液。在一定温度下, 由碲、镉、汞 3 种成分组成的母液, 如果和固态的碲化镉及汽相中的碲、镉、汞蒸汽达到热平衡, 母液的成分在相图上是唯一确定的, 母液的组分直接决定所生长的碲镉汞薄膜组分 [2]。

收稿日期: 2011-01-12

作者简介: 陈建才 (1966-), 男, 云南陆良人, 硕士, 高级工程师, 主要从事红外半导体材料研究工作。E-mail: cjc2314@163.com

在批量生产液相外延碲镉汞薄膜时, 一个碲镉汞晶锭往往可用于生长十几个甚至几十个批次的液相外延薄膜。晶锭在纵向上的组分不均匀性可导致液相外延碲镉汞薄膜的生产重复性降低, 会增加碲镉汞探测器的研制难度。本文通过优化合成温度、合成时间、摇摆速率和淬火工艺, 有效提高了碲镉汞晶锭纵向组分的均匀性, 从而提高了液相外延碲镉汞薄膜生长批次间的组分均匀性。

2 实验

2.1 影响碲镉汞母液晶锭纵向组分均匀性的因素

2.1.1 合成温度

为了获得高质量的液相外延用碲镉汞母液, 在薄膜生长前的母液合成中人们通常会采用高于薄膜生长温度的条件进行母液合成。在确保合成管不爆炸的情况下, 提高母液的合成温度能有效提高母液的质量。通常采用的合成温度高于特定组分的赇二元 (CdTe-HgTe) 固熔体熔点 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3]。

2.1.2 合成时间

在生长液相外延碲镉汞薄膜时, 生长母液源的均匀化程度对外延层的组分均匀性影响很大。如果生长母液的组分不均匀, 将会导致外延薄膜组分不均匀 [4]。因此, 在外延生长前, 将熔融后的母液在某一温度下恒温一段时间, 使其组分充分均匀化, 再进行外延生长, 便可以减小外延薄膜的组分偏离。但过高的均匀化温度和过长的恒温时间都会加剧 Hg 损失, 从而引起母液组分的改变 [5]。采用闭管方式进行的母液晶锭合成, 由于是在封闭的环境下实现混合和均匀化的, 可根据需要延长合成时间, 因此可有效解决这一问题。

2.1.3 摇炉

在赇二元 (CdTe-HgTe) 固熔体中, HgTe 的密度比 CdTe 的大, 因此在高温合成过程中 HgTe 容易往下沉, 从而导致晶锭下部的组分偏低。同时, 炉膛不可避免地存在温度梯度, 而且碲镉汞材料和石英管存在热导率差异, 这些都会使等

温面 (即固-液界面) 变得不平 (凹或凸), 也会导致晶锭的组分分布不均匀。合成过程中进行“摇炉”, 可以增加熔体的混合和热传导、热对流, 减轻等温面弯曲的程度, 从而提高晶锭的均匀性。

2.1.4 淬火

由于 CdTe 相对 HgTe 严重分凝 (当 $x=0.22$ 时, 分凝系数 $K \approx 3.5$), 在晶锭合成过程中, 液相成分沿液相线变化, 晶体组分沿固相线变化。也就是说, 首先生长出的晶体组分较高, 然后组分逐渐降低。这种相点移动使晶锭的组分存在梯度分布 [2]。因此在晶锭合成过程中, 需要尽量减小这种从液相到固相转变的时间差, 从而提高晶锭的组分均匀性。

由以上讨论可知, 选定恰当的合成温度、合成时间、摇炉速率以及优化的淬火工艺, 是获得均匀性良好、质量高的液相外延用碲镉汞晶锭的关键。本文基于以上考虑开展了合成实验。

2.2 母液合成实验

从理论上说, 液相外延用碲镉汞母液的配比可以有很多种选择, 采用富碲或富汞的方式均能成功实现碲镉汞薄膜的液相外延生长。富碲溶液生长的一个最主要的优点是具有较低的汞压。通过采用开管的方式在常压下进行薄膜生长, 可大大降低生长系统的设计难度。在采用富碲母液进行碲镉汞薄膜生长的工艺中, 通常可采用 Brice 报道的平衡温度来确定液相外延碲镉汞薄膜的生长温度:

$$T_L = 1102 + 250z + 420yz - 785y \quad (1)$$

式中, y 和 z 通过表达式 $(\text{Hg}_{1-z}\text{Cd}_z)_{1-y}\text{Te}_y$ 决定了液相外延碲镉汞薄膜的生长温度 T_L 和最终获得的薄膜的组分 x :

$$x = \frac{z}{0.220 + 0.780z} \quad (2)$$

本文实验中选择母液配比为 $y=0.85$ 和 $z=0.058$, 从而决定了采用该母液生长的液相外延薄膜组分 $x=0.22$ 。

实验中采用的合成炉为一台可摇摆的高温炉, 如图 1 所示。母液合成由升温、恒温 and 淬火三个阶段组成, 炉温控制过程如图 2 所示。在

升温过程的初期, 可采用较快的升温速率 ($50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$), 而在接近 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温点的时候, 需要降低升温速率 ($< 20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$) 以避免石英管炸裂。恒温时间结束后, 采用油淬火, 使熔融的碲镉汞混合物迅速凝固。在恒温过程中, 高温炉处于摇摆状态, 这样可使熔体充分混合。

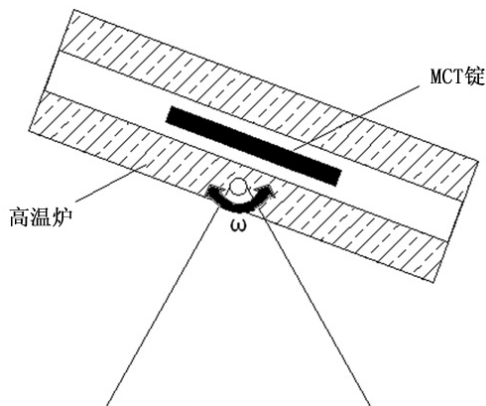


图 1 碲镉汞晶锭合成用高温炉的示意图

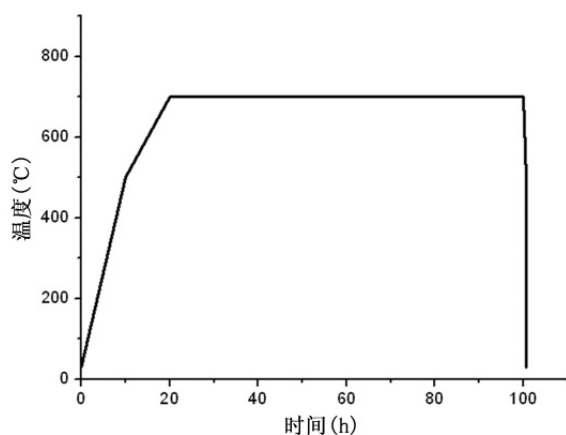


图 2 碲镉汞晶锭合成的温度曲线

3 结果与讨论

采用扫描电子显微能谱仪对碲镉汞晶锭进行了轴向组分分布研究, 在长度为 20cm 的碲镉汞晶锭上选择了 10 个采样点进行组分检测, 结果如图 3 所示。结果表明, 采用优化工艺合成的晶锭在轴向上的组分偏差为 14% 。可以看出, 晶锭在轴向的组分偏差趋势明显。从某一端开始到另外一端, 偏差的大小呈线性关系。这是因为晶锭在淬火的过程中, 一端先进入油液降温并形成晶体, 由分凝引起的相点移动导致首先形成固相的部分具有较高的组分。

使用一根晶锭进行了液相外延碲镉汞薄膜生长, 并用相同的材料生长工艺开展了 28 次材料生长实验。采用傅里叶变换红外透射光谱 (FTIR) 方法研究了薄膜的透射谱特性, 并通过透射谱的拟合获得了薄膜材料的组分值。红外透射法具有对样品无损伤, 可准确测定组分及其分布等优点, 是测量 MCT 薄膜组分的有效方法之一^[6]。对在一个生长周期内生长的 28 个样品进行了组分检测, 结果如图 4 所示。可以看出, 28 次生长实验获得的薄膜样品的组分平均偏差为 0.95% , 这一结果完全满足目前第二代红外焦平面探测器研制对探测器材料组分均匀性的要求。

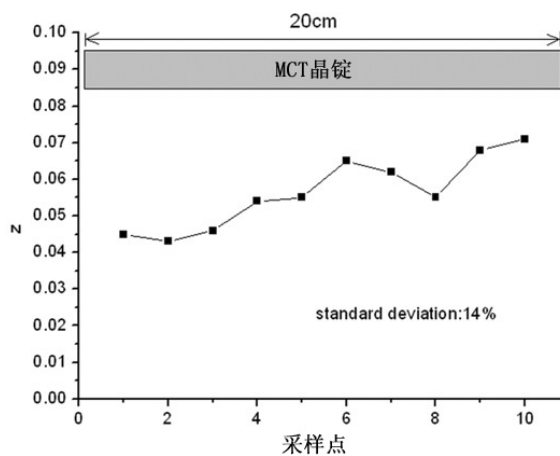


图 3 碲镉汞母液晶锭的轴向组分分布

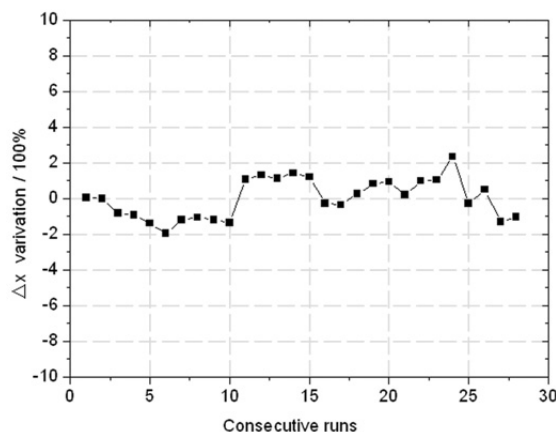


图 4 一个生长周期内碲镉汞薄膜的组分变化

值得注意的是, 液相外延生长的碲镉汞薄膜的组分重复性优于碲镉汞晶锭的轴向组分均匀性, 这是因为母液在液相外延生长过程中有一个均匀化过程。可以指出, 在薄膜生长时将碲

碲汞晶锭的不同部分混合使用,可以减小晶锭在淬火过程中由于温度梯度差引起的轴向组分偏差。

4 结论

对液相外延用碲汞汞晶锭的合成工艺进行了优化研究。通过优化合成温度、合成时间、摇炉速率和淬火工艺,有效提高了碲汞汞晶锭的纵向组分均匀性。用改进工艺后合成的碲汞汞母液晶锭生长了 28 个外延薄膜样品,其组分平均偏差为 0.95%,满足第二代红外焦平面探测器的研制要求。

参考文献

(上接第 13 页)

在舰载无人机试验中,岸上测控设备可以从整体上获得无人机及其载舰和目标模拟舰的准确的雷达和红外等信息,而目标模拟舰和试验无人机又可同时获得部分相对直接数据。因此,我们需要对各种试验数据进行综合处理,以获得可靠的试验结果。

综合文献 [1] 和文献 [7],舰载无人机光电任务载荷的相关试验项目包括舰载无人机的全天候侦察与监控能力、目标发现能力、目标定位能力、目标识别能力、电子对抗能力、红外隐身性能、系统及数据链抗干扰能力、系统及数据链的反应时间、目标特性侦察和侦察战术应用等。用于记录和评判这些参数的各类传感器数据只有经融合处理后才能综合、客观地评价舰载无人机的真实效能。数据融合处理一般包括以下几个方面:

(1) GPS 数据信息与岸上设备测量数据信息的融合;

(2) 光电任务载荷数据与岸上设备测量数据的融合;

(3) 多任务航次数据的后期处理。

数据融合不仅仅是对数据误差进行处理,更多的是对多任务航次的数据概率差异进行整合,从而为最终的试验结论提供支持。

- [1] P Capper. Properties of Narrow-gap Cadmium-based Compounds [M]. Southampton: GEC-Marconi Infrar-Red Ltd., 1994.
- [2] 王金义, 常米, 陈万熙. 相平衡形成母液法生长碲汞汞液相外延膜 [J]. 半导体杂志, 1999, 24(4): 12-14.
- [3] B Pelliciari. Te-rich Liquid-phase Epitaxy of $Hg_{1-x}Cd_xTe$ [J]. Prog. in Crystal Growth and Character. of Materials, 1994, 29: 1-39.
- [4] Tranchart J C, Latorre B, Foucher C, et al. LPE Growth of $Hg_{1-x}Cd_xTe$ on CdZnTe Substrate [J]. J. Cryst. Growth, 1985, 72: 468.
- [5] 马庆华, 陈建才, 吴军, 等. 液相外延 HgCdTe 薄膜组分的均匀性 [J]. 半导体学报, 1996, 26(3): 513-516.
- [6] 龚海梅, 胡晓宁, 李言谨, 等. FTIR 确定碲汞汞晶片的组分与截止波长 [J]. 红外与毫米波学报, 1997, 16(4): 316-320.

4 结论

根据舰载无人机系统的组成及特点,在舰载无人机光电任务载荷试验方法的讨论中,给出了试验布设方式、试验航路的设计方法和试验过程方案的设计,讨论了试验后期数据融合的几个方面。随着无人机技术的不断发展,舰载无人机的靶场试验也将有序展开,试验方案在实际操作过程中也会根据暴露出的问题而逐步改进。

参考文献

- [1] 吴辉, 周洲, 王蜀涵. 侦察 / 打击一体化无人机作战效能分析方法研究 [J]. 飞行力学, 2009, 27(4): 34-37.
- [2] 黄定超, 樊兴, 郭铭. 舰载无人机系统技术研究 [J]. 舰船电子工程, 2008, 28(5): 32-36.
- [3] 岳增坤, 俞育新, 张庆海. 一种舰载无人机协同作战目标分配算法 [J]. 舰船电子工程, 2008, 28(6): 44-48.
- [4] 韩冰. 战术无人机的任务载荷与发展分析 [J]. 舰船电子工程, 2007, 27(3): 31-35.
- [5] 杨英. 无人机的侦察、监视用有效载荷现状与发展动向 [J]. 飞航导弹, 2007, 37(1): 38-41.
- [6] 樊兴, 柳煌. 舰载无人机舰面战术控制系统的应用研究 [J]. 舰船电子工程, 2008, 28(5): 43-46.
- [7] 张进. 无人机载光电 / 红外载荷的现状和发展 [J]. 飞航导弹, 2008, 38(4): 34-38.
- [8] 范炳健, 吴勤. 国外电子战无人机最新发展及主要功能分析 [J]. 飞航导弹, 2008, 38(6): 19-23.
- [9] 魏瑞轩, 李学仁. 无人机系统及作战使用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.