

编者按:“第三届全国先进焦平面技术研讨会”已于 2007 年 6 月上旬在广西桂林召开。科研课题经过几年的努力工作,在红外与紫外焦平面阵列及相关技术的研究中,取得了许多新的进展。第三届全国先进焦平面技术研讨会共交流科研论文 48 篇。为报道科研进展、促进交流,本刊在项目专家组的支持下,继续以专辑形式全文刊出其中 33 篇论文(其余有的已经另行发表)。为使论文尽快与读者见面,本刊特以“增刊”形式刊出。“首次全国先进焦平面技术研讨会论文选”发表在本刊 2005 年第 11 期,“第二届全国先进焦平面技术研讨会论文选”在本刊 2006 年第 11 期刊出。敬请读者参阅。

文章编号:1001-5078(2007)增刊-0907-03

碲锌镉缓冲层液相外延技术的研究

周立庆,刘兴新,巩 锋,胡尚正
(华北光电技术研究所,北京 100015)

摘 要:文章报道了采用液相外延方法,在碲锌镉衬底上进行碲锌镉薄膜缓冲层生长的情况,并且采用 X 光双晶衍射仪、X 光形貌仪、红外傅里叶光谱仪、二次离子质谱仪等手段对碲锌镉薄膜进行了表征,碲锌镉薄膜具有较好地组分及均匀性,晶体结构质量也较好。采用碲锌镉缓冲结构生长了碲镉汞液相外延片,其碲锌镉与碲镉汞薄膜界面附近的杂质得到了有效的控制。

关键词:碲锌镉薄膜;液相外延;薄膜特性

中图分类号:TN304.054 **文献标识码:**A

LPE Growth of CdZnTe Buffer Layers on CdZnTe Substrates

ZHOU Li-qing, LIU Xing-xin, GONG Feng, HU Shang-zheng
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: This article presents the result of LPE CdZnTe on CdZnTe substrates. The CdZnTe epilayer was characterized with X-ray diffraction, X-ray topography, SIMS and FTIR. The LPE CdZnTe films on CdZnTe substrate show good composition and uniformity, good crystal quality. The impurity between HgCdTe and CdZnTe buffer layer is controlled very well by this HgCdTe/CdZnTe/CdZnTe structure.

Key words: CdZnTe film; LPE; epilayer characterization

1 引 言

随着碲镉汞红外焦平面技术的飞速发展,高性能、大规格的红外焦平面阵列对于碲镉汞薄膜材料的尺寸和性能要求越来越高。虽然分子束外延(MBE)方法近几年已经取得了很大进展,但是目前碲镉汞薄膜材料最主要还是以碲锌镉单晶材料为衬底,采用液相外延的方法进行薄膜的生长^[1]。

由于碲镉汞液相外延的温度较高,外延过程中的回熔工艺等原因,碲锌镉衬底材料加工及表面处理过程的粘污极易造成界面和碲镉汞薄膜材料中杂

作者简介:周立庆(1971 -),男,高工,硕士,主要从事碲锌镉晶体生长和碲镉汞薄膜外延技术的研究。E-mail:liqingzhou2008@yahoo.com.cn

收稿日期:2007-06-29

质的严重污染,最终导致红外焦平面器件的劣变或失效。

在这种背景情况下,法国 LETI/LIR 首先提出并实现了在碲锌镉衬底上先液相外延生长一层碲锌镉薄膜,然后在这一层新鲜的碲锌镉表面上再外延碲镉汞薄膜,即 $\text{HgCdTe}/\text{CdZnTe}/\text{CdZnTe}$ 结构,由于这两层薄膜的生长是在同一外延周期完成的,不出炉,有助于减少界面层和碲镉汞薄膜中杂质的污染,该机构对碲镉汞薄膜及其焦平面应用的研究显示良好的结果^[2]。

另外,碲锌镉材料由于它能通过调整锌组分来调整晶格常数,从而实现与不同组分碲镉汞材料之间晶格良好的匹配性,一直以来都是首选的碲镉汞外延衬底材料。但是由于碲锌镉材料在生长过程中,锌的分凝系数大于1,以及生长界面难于控制等问题,造成晶体中锌成分呈梯度分布,再加上衬底材料必须定向切割的原因,最终很难保证碲锌镉外延衬底锌组分及其分布的均匀性。

碲锌镉衬底组分及其不均匀性对中、短波长的碲镉汞薄膜材料来说,影响相对较小;而长波碲镉汞薄膜材料对于晶格的匹配要求更高,匹配不好将会造成大量的失配位错,碲锌镉衬底锌组分及其不均匀会导致碲镉汞薄膜大面积晶格质量的均匀性下降,进而对红外焦平面器件性能的均匀性带来严重影响。如果通过液相外延方式生长一层组分可控且均匀性好的碲锌镉薄膜,将最终解决这一问题。

本文报道了我们在碲锌镉衬底上液相外延生长碲锌镉薄膜方面的研究进展。

2 实验

碲锌镉衬底以 7N 的高纯碲、锌、镉为原料,采用布里奇曼法进行晶体的生长,碲锌镉晶体按 $\langle 111 \rangle$ 晶向进行定向切割,经过低损伤的磨抛工艺,检测并选取合格区域划出外延衬底,尺寸为 $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 。

采用水平式单温区富碲液相外延工艺进行碲锌镉和碲镉汞薄膜的生长,图 1 为装置示意图,外延石墨舟与单层碲镉汞外延舟不同,设计加工有两个外延母液槽,其中一个槽是为下一步的碲镉汞薄膜外延准备的。

首先用丙酮、无水乙醇、甲醇等有机溶剂仔细清洗碲锌镉衬底,然后用溴-甲醇溶液腐蚀衬底,去除表面层,清洗干净后装入外延石墨舟;外延所用的碲

锌镉和碲镉汞母液分别采用 7N 的碲、锌、镉和碲、镉、汞原料配制并合成;汞补偿采用碲化汞。称取适量外延母液和碲化汞装入外延石墨舟进行液相外延。实验包括:在仅外延碲锌镉薄膜后,取出外延片进行测试分析;不取出,连续进行碲锌镉和碲镉汞薄膜的外延生长。液相外延的温度过程设定如图 2 所示。

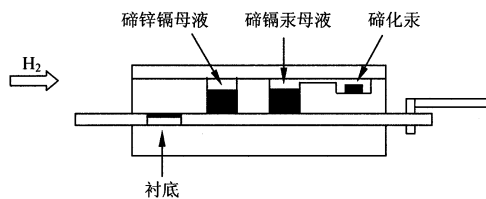


图1 水平式单温区富碲液相外延工艺示意图

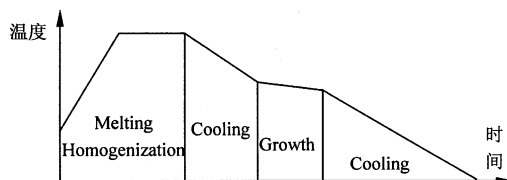


图2 液相外延温度过程

采用金相显微镜、红外傅里叶光谱仪、X 光衍射仪、X 光形貌仪、二次离子质谱仪等检测手段对液相外延薄膜进行了表征。

3 结果与讨论

3.1 表面形貌

图 3 所示为碲锌镉衬底碲锌镉液相外延片和碲镉汞薄膜表面显微形貌。

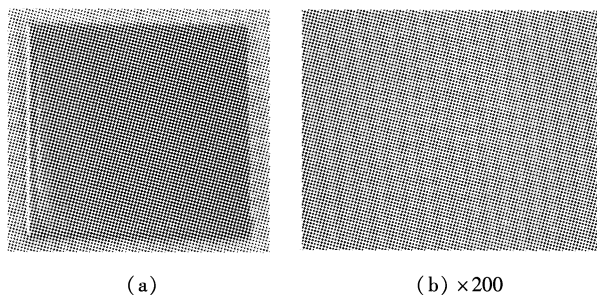


图3 碲锌镉衬底碲锌镉液相外延片(a)和碲镉汞薄膜表面显微形貌(b)

从碲锌镉外延片的表面形貌来看,碲锌镉外延薄膜完整,表面光亮,平整度较好,微观显现出与碲镉汞薄膜类似的波纹形貌,这是液相外延这种生长方式所固有的。

3.2 红外透过、锌值组分及薄膜厚度

采用红外傅里叶变换光谱仪对碲锌镉外延膜的透过率进行了测试。从透射曲线可以看出外延片的红外透过率大于 60%,基本与衬底的透过率相当,

增加的碲锌镉薄膜没有对衬底的透过率造成太大的影响,如图4所示。通过二次离子质谱仪监测并刻蚀到碲锌镉薄膜与衬底的界面,采用 α 台阶仪测试出碲锌镉薄膜的厚度在 $10\mu\text{m}$ 左右,厚度均匀性也较好。

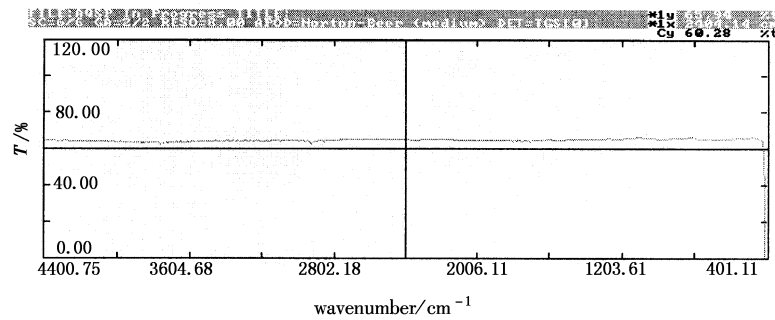


图4 碲锌镉外延片的红外透过率

在样品上等间距 6mm 选取9点,采用X射线衍射仪和Bond法进行了碲锌镉薄膜的晶格常数测试,通过碲锌镉组分与晶格常数的经验公式^[3]计算出锌的组分。测试结果表明,液相外延工艺有效地控制了薄膜的锌值组分,碲锌镉薄膜显示了良好的组分均匀性,如表1所示。

表1 碲锌镉薄膜的锌值

$\text{Cd}_{1-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ 薄膜的锌值 y		
0.0444	0.0444	0.0439
0.0430	0.0448	0.0439
0.0430	0.0432	0.0435
平均值:0.0438		

3.3 双晶衍射半峰宽

在样品上等间距 6mm 选取9点,进行碲锌镉薄膜的X光衍射测试。结果表明,碲锌镉薄膜的双晶衍射半峰值与碲锌镉衬底的值基本是相当的,如表2所示。碲锌镉外延薄膜的晶格质量取决于碲锌镉衬底的质量,我们获得的碲锌镉外延薄膜双晶衍射半峰宽最好的结果为 9arcsec 。

表2 碲锌镉薄膜的双晶衍射半峰宽

$\text{Cd}_{1-y}\text{Zn}_y\text{Te}$ 薄膜双晶衍射半峰宽/ arcsec		
37.08	14.76	18.00
32.04	14.76	28.80
25.20	31.32	27.72
平均值:27.32arcsec		

3.4 外延薄膜污染控制情况

由于外延层和衬底之间的界面具有吸杂作

用,通过对界面区附近杂质浓度的测量可以判断外延工艺受污染的情况。图5给出了二次离子质谱仪对具有碲锌镉缓冲层结构的碲镉汞液相外延片的测量结果,结果表明各种杂质主要分布在碲锌镉衬底和碲锌镉外延膜的界面,而碲锌镉缓冲层与碲镉汞薄膜之间的杂质浓度非常低,这表明界面及碲镉汞薄膜体内的杂质得到了有效的控制。

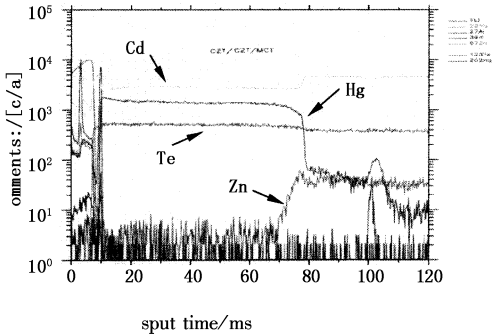


图5 $\text{HgCdTe}/\text{CdZnTe}/\text{CdZnTe}$ 结构液相外延片二次离子质谱仪测试曲线

4 结 论

在碲锌镉衬底上成功进行了碲锌镉薄膜的液相外延生长,碲锌镉薄膜的锌组分得到了有效地控制,锌值组分分布的均匀性良好,碲锌镉薄膜的晶格质量较好;进一步在碲锌镉薄膜缓冲层上进行的碲镉汞液相外延结果表明,这种 $\text{HgCdTe}/\text{CdZnTe}/\text{CdZnTe}$ 结构将杂质抑制在了碲锌镉衬底与碲锌镉缓冲层的界面,而碲锌镉缓冲层与碲镉汞薄膜的界面杂质浓度非常低,有效地控制了界面及碲镉汞薄膜体内的杂质水平。研究结果表明这种碲锌镉缓冲层结构是有效的,至于这种结构对于碲镉汞薄膜性能及红外焦平面器件更深层次的影响将有待于进一步的深入研究。

致 谢:我们对折伟林、李震、晋舜国、董瑞清、沈宝玉等做的相关测试工作深表感谢!

参考文献:

[1] 周立庆. 碲镉汞外延用衬底材料的现状和发展[J]. 激光与红外,2005,35(11):808-811.

[2] B Pellicciari, et al. Growth and characterization of LPE $\text{CdHgTe}/\text{CdZnTe}/\text{CdZnTe}$ structure [C]//SPIE, 1987, 865:22-29.

[3] W M Higgins, et al. Standard relationships in the properties of $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ [J]. J. Vac. Sci. Technol. A, 1989, 7(2):271-275.