

文章编号: 1672-8785(2019)07-0012-06

液相外延碲镉汞薄膜表面的结晶类缺陷分析

杨海燕 侯晓敏 胡尚正 刘 铭 曹鹏飞 赵 硕

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 利用扫描电镜、能谱分析、光学轮廓仪以及金相显微镜等测试手段对液相外延碲镉汞薄膜表面缺陷的形貌、成分和断面进行了分析, 并研究了不同种类表面缺陷的特征及来源。结果表明, 液相外延碲镉汞薄膜表面上存在的结晶类缺陷往往尺寸较大或成片分布, 对后续器件产生明显影响。通过分析其成因可以发现, 母液均匀性的提升是减少该类缺陷和提高碲镉汞薄膜质量的关键。

关键词: 碲镉汞; 结晶类缺陷; 相分离

中图分类号: TN304 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2019.07.002

Analysis of Crystalline Defects on the Surface of HgCdTe Films by Liquid Phase Epitaxy

YANG Hai-yan, HOU Xiao-min, HU Shang-zheng, LIU Ming, CAO Peng-fei, ZHAO Shuo

(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The morphology, composition and section of surface defects in HgCdTe films by liquid phase epitaxial were analyzed by means of scanning electron microscopy, energy spectrum analysis, optical profiler and metallographic microscope. The characteristics and sources of different types of surface defects are studied. The results show that the crystalline defects existing on the surface of HgCdTe films by liquid phase epitaxial are usually large or in sheet distribution, which have a significant impact on subsequent devices. By analyzing its causes, it can be found that the improvement of homogeneity of HgCdTe solution is the key to reducing such defects and improving the quality of HgCdTe films.

Key words: HgCdTe; crystalline defect; phase separation

0 引言

作为一种重要的红外探测器材料, 碲镉汞以其优异的光电特性而成为研制红外焦平面器件的最常用材料^[1-3]。碲镉汞材料制备方法有多种, 包括金属有机气相沉积(Metal Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)、分子束

外延(Molecular Beam Epitaxy, MBE)和液相外延(Liquid Phase Epitaxy, LPE)等。其中, LPE方法在组分控制、工艺稳定性、设备及其运行成本等方面具有优势, 因此是第二代碲镉汞红外焦平面器件生产的主流技术。

由于制备工艺和材料本身的原因, 碲镉汞

收稿日期: 2019-07-15

作者简介: 杨海燕(1988-), 女, 河北衡水人, 硕士, 工程师, 主要从事红外半导体材料研究。

E-mail: yhy1988.evil@163.com

外延材料中不可避免地会存在缺陷^[4]。图 1 所示为碲镉汞材料中的缺陷对器件相关性能的影响^[1]。研究人员已经对碲镉汞薄膜的表面缺陷进行了大量研究^[5-10]。随着材料尺寸的增大,对像元之间的均匀性也提出了更高要求^[11]。材料中的缺陷往往是列阵元之间性能均匀性的主要限制因素。材料缺陷会使某一像元或某一区域的器件性能降低,严重时还会导致盲元和裂纹的产生。这是制约碲镉汞材料质量的主要问题,尤其是对于高性能的第二代和第三代红外焦平面探测器的研制工作而言。

本文通过多种分析手段研究了 LPE 碲镉汞薄膜材料表面上会对器件性能造成明显影响的大尺寸和成片存在的典型表面缺陷的特征及来源,以期在后续外延工艺过程中对其进行抑制,从而提高碲镉汞薄膜材料的质量。

1 实验方案

实验样品为采用 LPE 方法在碲锌镉衬底上生长的中波红外碲镉汞薄膜材料。利用德国 Zeiss 公司生产的 SIGMA 300 型场发射扫描电

镜、日本 Olympus 公司生产的 MX61 型光学显微镜和美国 ZYGO 公司生产的 NewView 8000 系列三维光学表面轮廓仪对碲镉汞薄膜样品表面上存在的大尺寸和成片存在的缺陷的形貌及断面进行了观察和分析,并利用能谱分析对其成分进行了研究。

2 实验结果及讨论

2.1 顶端为规则多边平台的圆形缺陷

图 2 所示为顶端为规则多边平台的圆形缺陷在光学显微镜及扫描电镜下的形貌。从图 2 (a)中可以看出,该类缺陷在光学显微镜下为黑色圆形,其顶端形貌特征不明显。通过用轮廓仪进行观察可以发现,它为凸起类缺陷,其高度为微米级,顶端为规则的三角形或六边形平台(见图 2(b)),尺寸一般为几十到几百微米(见图 3)。在利用能谱分析对其成分进行分析后发现,顶端三角形或六边形平台的成分与正常薄膜相近,而与外轮廓过渡的圆形平台几乎全部为碲,且圆形平台与外延膜交界处除了含有少量汞之外也全部为碲(见图 4)。因此,

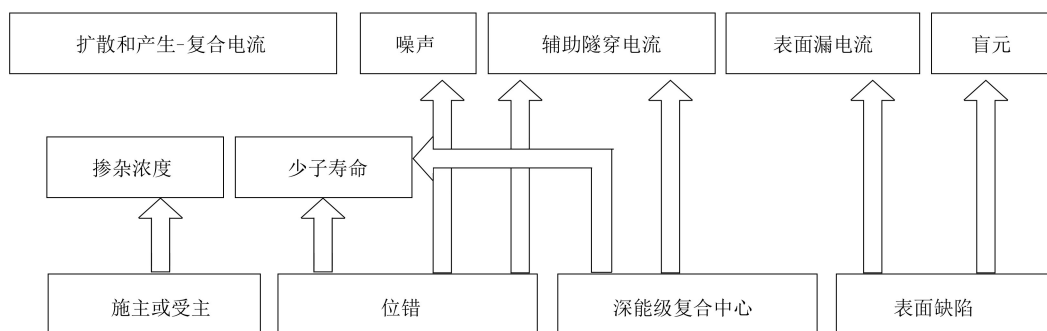


图 1 碲镉汞材料中的缺陷对器件相关性能的影响^[1]

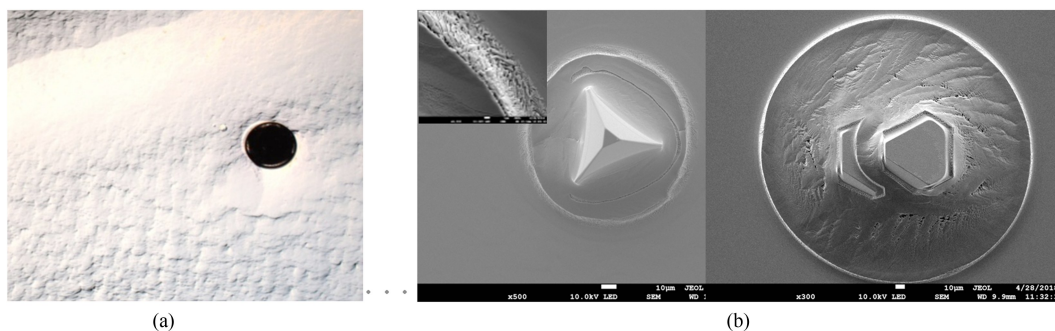


图 2 缺陷形貌：(a)光学显微镜下；(b)扫描电镜下

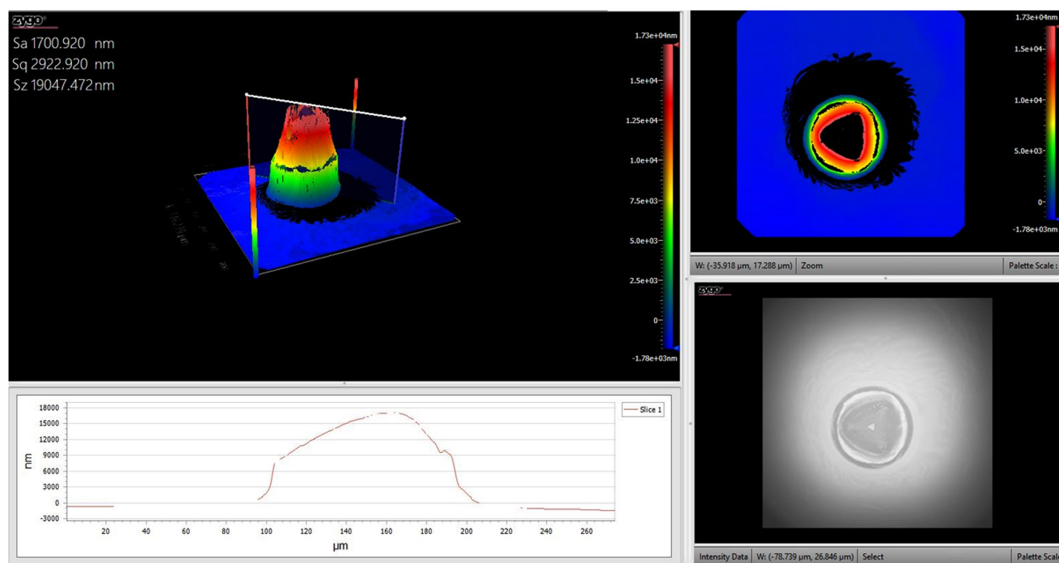


图 3 光学轮廓仪下的缺陷形貌及尺寸分析

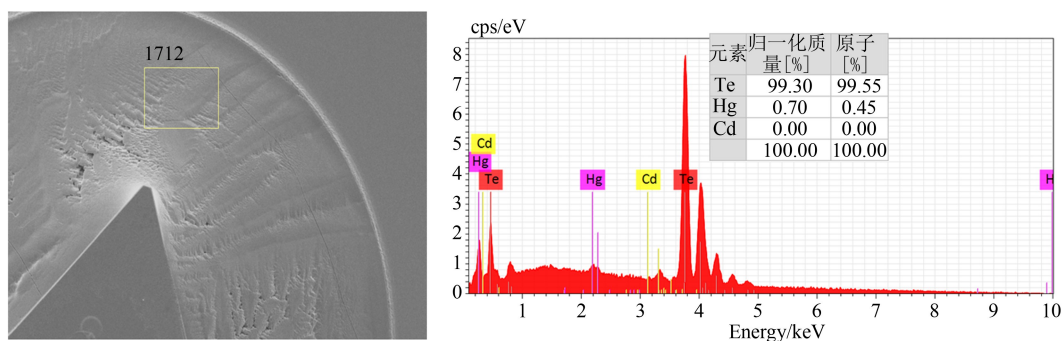


图 4 缺陷处的成分分析

该缺陷顶端的不同结晶形貌实属一种缺陷下的不同生长阶段。

基于形貌及成分变化分析该类缺陷的形成原因：一是由于母液不均匀，相图中的 Te 角存在 HgCdTe-Te 两相共存区，所以从富 Te 母液中生长碲镉汞时很容易出现 Te 夹杂/沉淀现象，导致外延膜无法正常生长，从而形成圆形缺陷。但在降温生长的过程中，根据固液相图和元素扩散，此处的汞及镉成分逐渐达到与原母液成分相同的水平，因此在此处继续以二维层状生长碲镉汞晶体，所以会出现多层平台状晶体缺陷(见图 2(b))。二是由于碲锌镉衬底上存在缺陷，或为晶格缺陷，或为碲夹杂(当然这也是一种晶格缺陷)，当外延生长至此处时，生长无法正常进行，形成圆形缺陷。但是衬底缺陷内侧晶格完整，使得外延可正常进

行，由此形成了分层结晶的缺陷。

图 5(a)所示为外延前在碲锌镉衬底表面上观察到的 Te 夹杂类缺陷，其形状为三角、六边以及其他规则形状，尺寸大小不一，从 5 μm 到 15 μm 不等。图 5(b)所示为衬底外延后碲镉汞薄膜表面上所形成的缺陷。通过用扫描电镜对其形貌和成分进行分析，发现缺陷周围的成分与正常的外延膜成分相近(见图 6)。

在用轮廓仪进行观察后发现，由衬底缺陷造成的碲镉汞表面缺陷为凹入类缺陷，即空洞型缺陷(见图 7)；同时，缺陷的线度会增加 1 倍左右。因此，上述结晶状表面缺陷的主要来源应为母液的不均匀。

2.2 区域性连续存在的长条形缺陷

图 8 所示为区域性连续存在的长条形缺陷在光学显微镜下的形貌。可以看出，该类缺陷



图 5 缺陷形貌: (a)碲锌镉衬底上的缺陷; (b)外延后碲镉汞薄膜的表面形貌

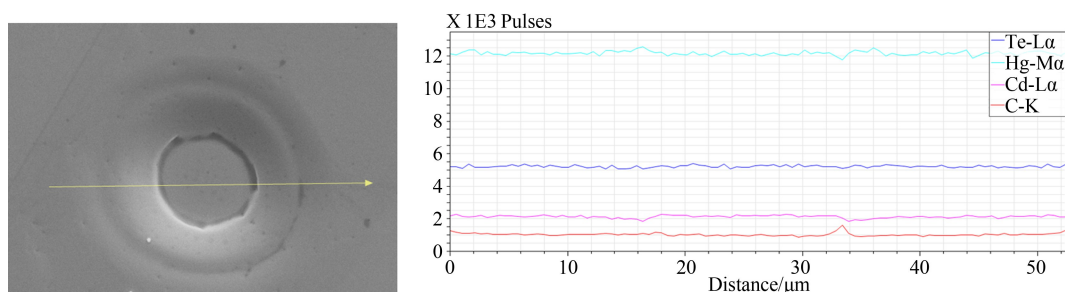


图 6 缺陷处的成分分析

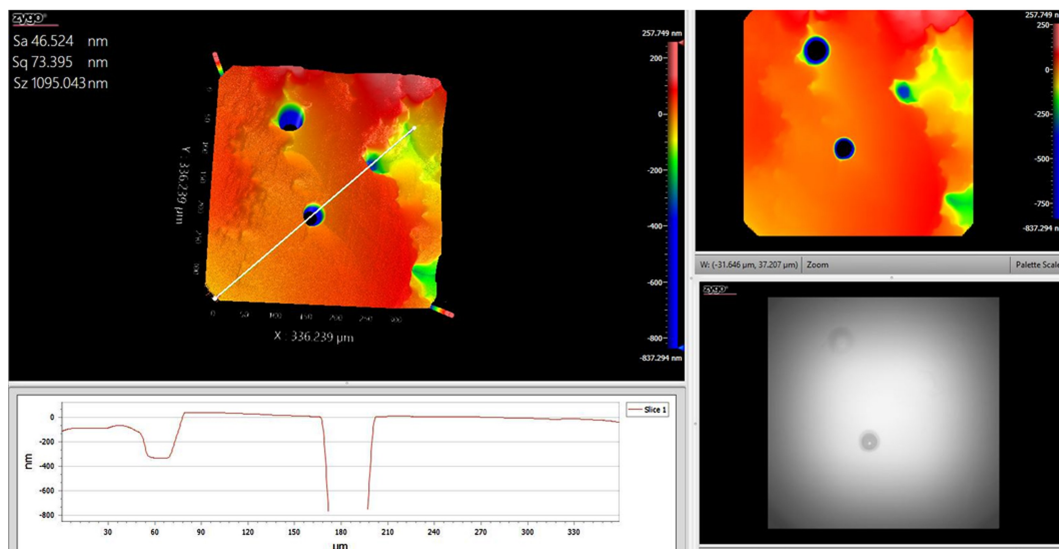


图 7 光学轮廓仪下的缺陷形貌及尺寸分析

为区域性长条或点状缺陷。在用轮廓仪进行观察后发现, 它们为凹入类缺陷, 且成片存在 (见图 9)。在用扫描电镜对缺陷形貌进行观察时, 发现其四周呈枝晶状生长 (见图 10)。观察断口 (见图 11) 后发现其深度约为 $1\text{ }\mu\text{m}$, 且

结构疏松。通过成分分析可以看出, 不同方向上的枝晶成分不同, 长度较长枝晶的 Te 含量较高, 而被其阻隔的短枝晶的成分与 HgTe 相近, 中心平台成分为纯 Te (见图 12)。

枝晶及内部纯 Te 平台的产生, 说明发生



图 8 区域性连续存在的长条形缺陷在光学显微镜下的形貌

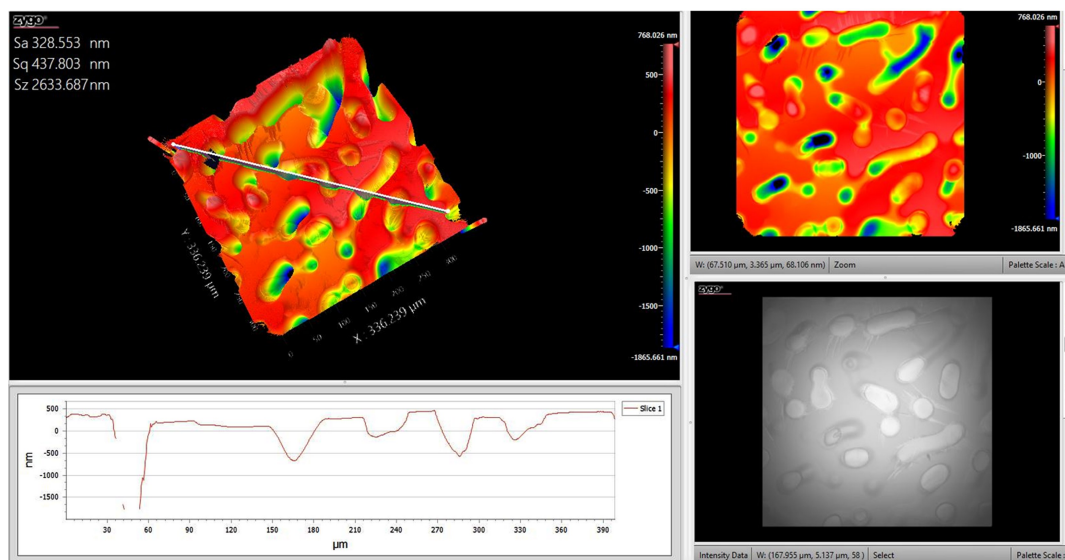


图 9 光学轮廓仪下的缺陷形貌及尺寸分析

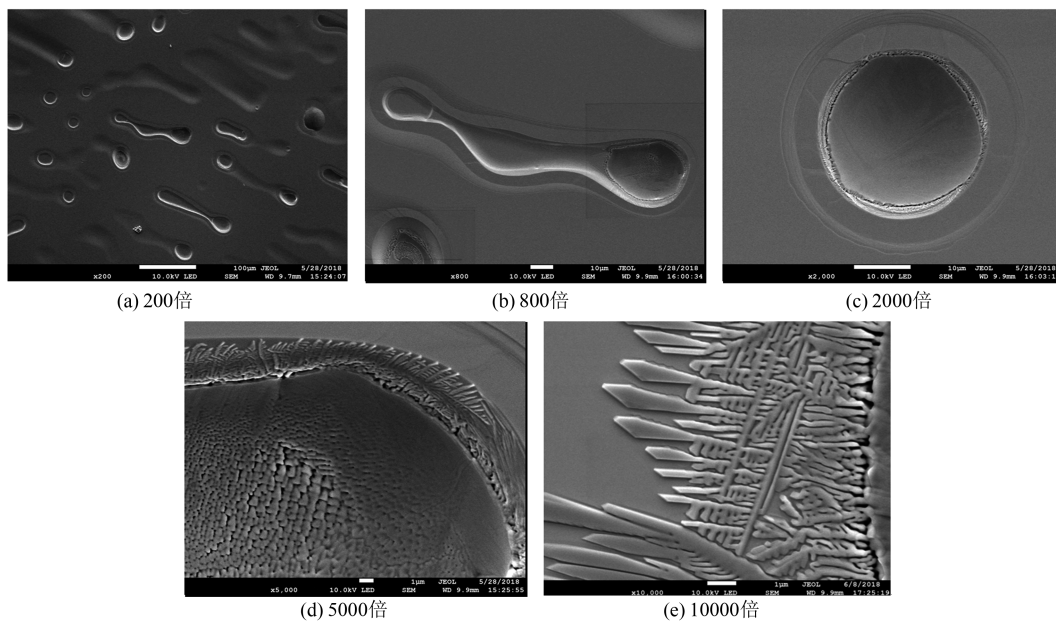


图 10 扫描电镜下的缺陷形貌(不同放大倍数)

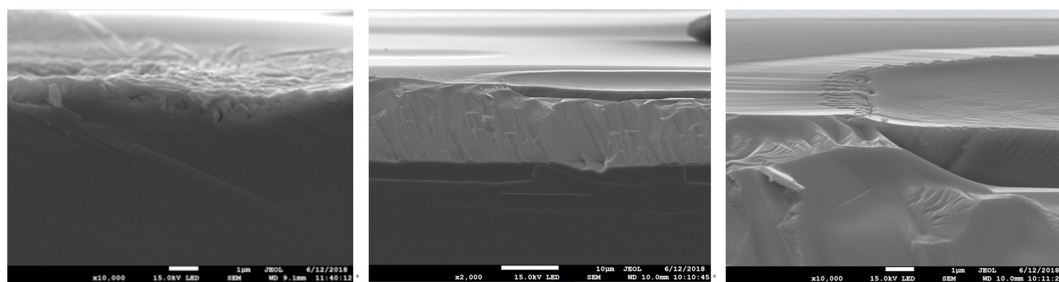


图 11 缺陷的断口形貌

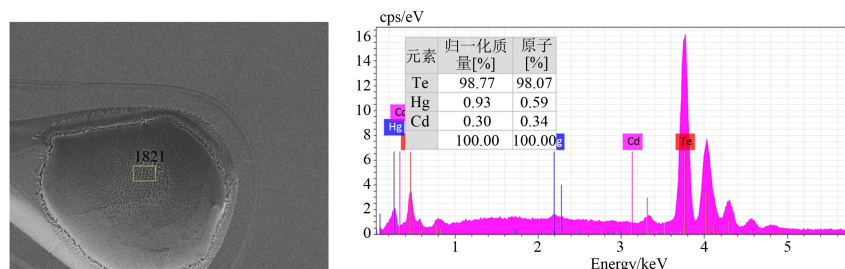


图 12 缺陷处的成分分析

了相分离, 且从断口形貌及成分分析来看, 主要形成原因应为母液不均匀。在外延生长过程中, 发生元素扩散和富集; 根据相图, 生长出枝晶及富 Te 相。

3 实验结论

从上述分析中可以看出, 碲镉汞薄膜表面上存在的结晶类缺陷由于尺寸一般较大或成片存在而可能会对后续器件性能产生明显影响。通过对缺陷成分及断面形貌进行观察分析, 发现其主要来源应为由碲镉汞母液不均匀造成的相分离和元素沉积。因此, 提升母液均匀性是减少该类缺陷的有效措施。后续将开展这方面的相关研究, 以提高碲镉汞薄膜材料的质量, 减小该类缺陷对器件性能的影响。同时, 我们也将对影响器件性能的其他缺陷进行进一步的研究。

参考文献

- [1] 杨建荣. 碲镉汞材料物理与技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [2] Rogalski A. Infrared Detectors: An Overview [J]. *Infrared Physics and Technology*, 2002, **43** (3-5): 187-210.
- [3] 褚君浩. 窄禁带半导体物理 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [4] 刘铭, 周立庆. 碲镉汞液相外延薄膜典型缺陷及其起源分析 [J]. *激光与红外*, 2009, **39**(3): 280-284.
- [5] 吴刚, 唐利斌, 马庆华, 等. 碲锌镉衬底缺陷对液相外延碲镉汞薄膜结构的影响 [J]. *激光与红外*, 2005, **35**(9): 663-667.
- [6] 朱基千, 褚君浩, 李标, 等. 衬底及生长工艺对 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 液相外延薄膜的影响 [J]. *功能材料*, 1996, **27**(6): 518-521.
- [7] Zandian M, Arias J M, Bajaj J, et al. Origin of Void Defects in $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ Grown by Molecular Beam Epitaxy [J]. *Journal of Electronic Materials*, 1995, **24**(9): 1207-1210.
- [8] Sen S, Liang C S, Rhiger D R, et al. Reduction of CdZnTe Substrate Defects and Relation to Epitaxial HgCdTe Quality [J]. *Journal of Electronic Materials*, 1996, **25**(8): 1188-1195.
- [9] 魏彦锋, 徐庆庆, 陈晓静, 等. HgCdTe 液相外延薄膜表面缺陷的控制 [J]. *红外与毫米波学报*, 2009, **28**(4): 246-248.
- [10] 魏彦锋, 陈新强, 曹妩媚. HgCdTe 液相外延薄膜生长及缺陷表征 [J]. *红外与激光工程*, 2006, **35**(3): 294-296.
- [11] 孙权志, 孙瑞骞, 魏彦锋, 等. 50 mm×50 mm 高性能 HgCdTe 液相外延材料的批生产技术 [J]. *红外与毫米波学报*, 2017, **36** (1): 49-53.