

HgCdTe 块晶不完整性 X 射线双晶衍射研究*

施天生 朱南昌

(中国科学院上海冶金研究所 上海 200050)

沈 杰 方家熊

(中国科学院上海技术物理研究所 上海 200083)

摘要 利用高精度 X 射线双晶衍射术,研究了碲熔剂法生长的 $\Phi 15\text{mm}$ 的 $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ 块晶片的结构不完整性,发现工艺大致相同的块晶晶体完整性差别十分明显,但它们的晶格不完整性沿径向的分布具有共同特征—呈 W 形,这表明晶格不完整性与晶体生长或退火处理过程中的应力场有关.

PACC: 6170, 7280

1 引言

HgCdTe 材料,由于其独特的光电特性,在红外探测器件的制备中得到广泛应用^[1]. 近年来,尽管 HgCdTe 材料的各种外延生长技术正迅速取得进展,但在红外探测器领域中,块晶极然是最主要的材料. 提高探测器的性能和成品率要求优质晶片,而多元线列器件的制备更离不开组分均匀、结构完整的大直径晶片^[2]. 为此需要对块晶材料的结构缺陷进行系统的研究.

本文报道利用高精度 X 射线双晶衍射技术研究 $\Phi 15\text{mm}$ 的 HgCdTe 块晶晶片不完整性的初步结果.

2 实验

实验中选取了碲熔剂法生长的 $\sim \Phi 15\text{mm}$ 的几种 $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ 块晶,垂直轴向切下约 0.7mm 厚的晶片,经过常规的研磨、抛光和腐蚀掉表面加工损伤层后,供研究分析用.

* 中国科学院重大基础研究基金的支持项目

施天生 男,1936年生,研究员,博士导师,从事材料的微结构与缺陷研究

朱南昌 男,1964年生,博士,从事材料的 X 射线结构分析

1994年2月8日收到初稿,1994年7月11日收到修改稿

作为研究晶片结构不完整性的第一步,我们采用了无损的 X 射线双晶衍射技术^[3]. 实验在中国科学院上海冶金研究所自制的高精度双晶衍射仪上进行,仪器由微机控制,角分辨率优于 1 弧度秒. 实验中采用 $\text{CuK}\alpha_1$ 辐射,准平行入射束的宽度为 0.3mm. 以无位错硅单晶或高完整性的 GaAs 晶片作为第一晶体,经过 Laue 定向后的被测 HgCdTe 晶片为第二晶体,样品在全面积照射和沿样品直径取一系列 $0.3 \times 3.0\text{mm}$ 微区照射的情况下,选取强度高的衍射线,固定探测器转动被测 HgCdTe 晶片,测定摇摆曲线. 最后还拍摄了晶片的双晶反射形貌相.

3 结果与讨论

1 全面积照射条件下双晶摇摆曲线可半定量地反映出晶片总体的完整程度,包括是否有亚晶组成,亚晶粒数目,亚晶间的位向差以及晶粒(亚晶)内部畸变的大小等.

几种 HgCdTe 块晶晶片全面积照射下双晶摇摆曲线的结果示于表 1:

表 1 三种不同编号样品在全面积照射时双晶摇摆曲线的结果

晶体编号	总线宽($'$)	亚晶数	所用衍射线*
EM	0.5—1	1	$\text{Si}(331)^{\text{S}}/\text{HgCdTe}(333)^{\text{V}},(224)^{\text{V}}$
SM	1—10	2—8	$\text{Si}(331)^{\text{S}}/\text{HgCdTe}(115)^{\text{V}},(404)^{\text{V}}$
SML	15—140	30—40	$\text{Si}(331)^{\text{S}}/\text{HgCdTe}(333)^{\text{V}},(400)^{\text{V}}$

* 衍射线的上标的含意:S 表示入射束和衍射束对晶体表面是对称的,V 表示掠入射,R 表示掠衍射

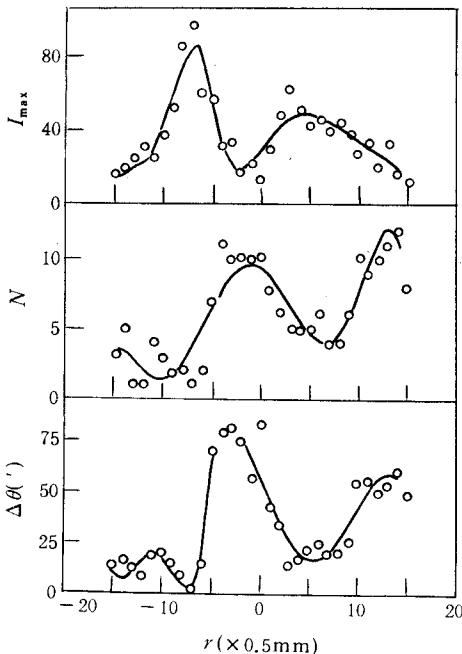


图 1 样品 SML9239-44 的 $(224)^{\text{V}}$ 衍射强度 I_{max} 、亚晶数 N 和谱线宽度 $\Delta\theta$ 沿径向的分布

表 1 的结果表明,几种 HgCdTe 块晶的晶格完整性有显著差别. EM 晶块完整性最好,晶粒内部未见亚晶结构,摇摆曲线的半宽度小于 $1'$,表明晶格粒内部畸变较小. SM 块晶居中,而 SML 块晶的完整性最差,包含有几十个亚晶,亚晶间的位向差高达 1° 以上.

2 微区照射情况下,双晶衍射摇摆曲线的结果给出了晶片完整性沿径向的分布状况,这方面的实验结果分别示于图 1、图 2 和图 3.

图 1—3 的结果,除了支持表 1 的结论,表明三种编号的 HgCdTe 晶片的晶体不完整性有巨大差别外,还表明这些晶片上晶格不完整性的分布有共同的特点:即表征晶格完整程度的衍射谱线强度 I_{max} 沿径向呈 M 形分布,而表征晶格不完整性的衍射谱线半宽度 $\Delta\theta$ 和亚晶数目沿径向作 W 形分布,这种晶格不完整性的径向分布特征在 GaAs 单晶中曾多次见到过^[4,5],但在 HgCdTe 晶体中还未见报道过. 它

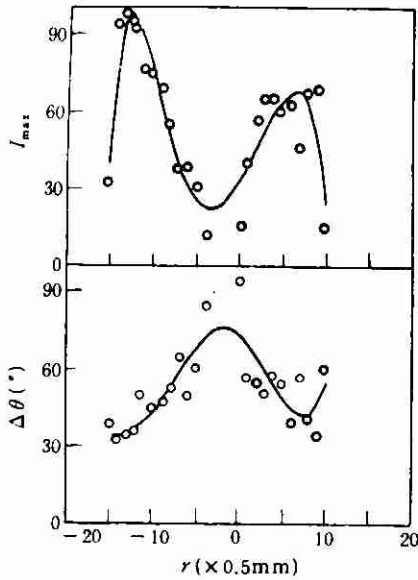


图2 样品 SM92S4-14 的(004)^R 衍射强度 I_{max} 和谱线宽度 $\Delta\theta(^{\circ})$ 沿径向的分布

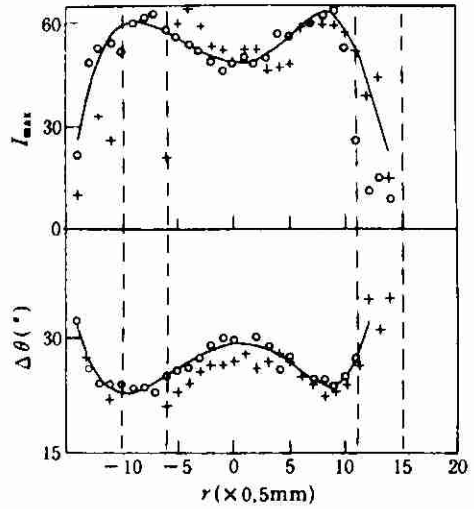


图3 样品 EM-10-42 的(333)^V 衍射强度 I_{max} 和谱线宽度 $\Delta\theta(^{\circ})$ 沿径向分布
左右两侧虚线间的区域分别为孪区域和焊点区, 两级数据点(圆点和加号)分别表示沿两条互相垂直的直径测得的结果

表明 HgCdTe 晶体的不完整性与生长或处理过程中的应力状态密切相关, 了解这些不完整性形成的条件和规律将为控制、减少和消除这些结构缺陷开辟新的途径。

3 几种 HgCdTe 晶片的双晶衍射形貌相示于图 4. 它们直观地反映了晶片中缺陷分布的全貌, 其结果与摇摆曲线完全一致. 在形貌图上可清晰地看到摇摆曲线不能直接反映出来的孪晶、夹杂相和位向差较大的晶粒或亚晶的存在。

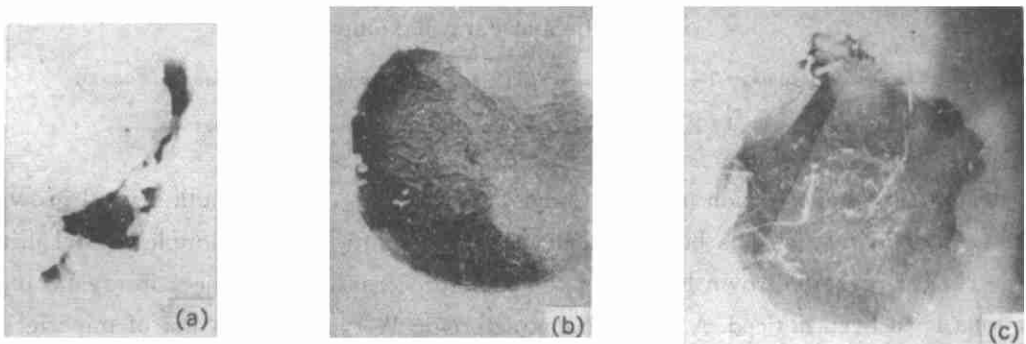


图4 X 射线双晶反射貌上(a)SML9239-44, (333)^V 衍射, 显示位向不同的晶粒;
(b)SM92S4-14, (444)^V 衍射, 显示亚晶界及夹杂(灰点); (c)EM-10-42, (440)^V 衍射, 显示孪晶及划痕

4 小结

1 用碲熔剂法生长的 HgCdTe 块晶,虽工艺大致相同,其晶体完整程度却有明显区别,其原因有待进一步深入研究.

2 首次发现,完整程度明显不同的 HgCdTe 块晶,其晶格不完整性沿径向的分布有共同的特征,即呈 W 型分布. 这表明 HgCdTe 块晶的晶格不完整性与生长和处理过程中的应力场有密切关系.

3 无损的高精度 X 射线双晶衍射术可用来有效地研究 HgCdTe 块晶晶片总体的不完整性及其分布.

参 考 文 献

- [1] R. Balcerak and L. Brown, *J. Vac. Sci. & Technol.*, 1992, **B10**:1353.
- [2] 方家熊,徐国森,陈泉森,沈 杰,“第九届全国红外科技交流会”论文集,1990,296.
- [3] 徐景阳,谭淦生,许顺生, *物理*, 1988, **17**:42.
- [4] G. M. Martin, G. Jacob, G. Poibland *et al.*, “defects and Radiation Effects in Semiconductors”, Ed. R. R. Hasiguti, 1980, 281—286.
- [5] M. Tajima, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1982, **21**:L227.

X-Ray Double-Crystal Diffraction Study on Crystal Imperfections in $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ Bulk Crystal

Shi Tiansheng, Zhu Nanchang

(*Shanghai Institute of Metallurgy, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050*)

Shen Jie and Fang Jiaxiong

(*Shanghai Institute of Technical Physics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083*)

Received 8 February 1994, revised manuscript received 11 July 1994

Abstract The imperfection in the $\Phi 15\text{mm}$ wafers of $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ bulk crystal grown by the Te-solvent method has been studied via high resolution X-ray double-crystal diffraction. For crystals grown by almost the same process, big differences in crystal imperfections have been noticed. A common characteristic W-type distribution of imperfections along wafer diameter has been revealed, indicating the close relation between lattice imperfections and stress field during the crystal growth and post-annealing treatment.

PACC: 6170, 7280