

文章编号:1001-5078(2018)11-1391-04

· 红外材料与器件 ·

碲锌镉衬底晶向对碲镉汞薄膜表面形貌的影响

杨海燕,周晓璐,侯晓敏,何越阳
(华北光电技术研究所,北京 100015)

摘要:利用定向仪对原生晶片及加工后的碲锌镉衬底的晶向进行比较,观察不同晶向衬底液相外延碲镉汞薄膜的表面形貌,考察了衬底晶向偏差对液相外延碲镉汞薄膜表面形貌的影响。通过进一步的追踪碲锌镉衬底在加工过程中的晶向变化,研究衬底晶向变化的原因和解决方法。研究发现,碲锌镉晶体在初次定向切割后的加工过程中晶向会发生明显变化,而在厚度减薄较大的粗磨工艺后不会发生较大晶向偏差,因此,可将粗磨后衬底的再次定向结果作为进一步筛选碲锌镉衬底的依据,以保证液相外延碲镉汞薄膜的质量。

关键词:碲锌镉;碲镉汞;晶向偏差;定向

中图分类号:TN213 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2018.11.014

The influence of the orientation of CdZnTe substrate on the morphology of HgCdTe film

YANG Hai-yan, ZHOU Xiao-jun, HOU Xiao-min, HE Yue-yang
(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract:To research the influence of the orientation of CdZnTe substrate to the morphology of HgCdTe film, which was epitaxied on CdZnTe substrates, the primary and the processed CdZnTe substrate were compared by director, and the surface morphology of HgCdTe film was studied. By tracing the change of crystal orientation of CdZnTe substrate during processing, the cause and solution of the orientation change were studied. It is found that the crystal orientation of CdZnTe crystal changes significantly during the processing after the initial directional cutting, while the large crystal orientation deviation will not occur after the rough grinding process with larger thickness reduction. Therefore, the redirected results of the rough grinded substrates can be used as the basis for further selection of the CdZnTe substrates to guarantee the quality of HgCdTe films.

Key words: CdZnTe; HgCdTe; deviation; orientation

1 引言

碲锌镉材料和碲镉汞材料具有一样的闪锌矿结构,通过调整锌组分可实现两者之间晶格上的完全匹配,并且这种材料对红外光完全透明,因此是制备高性能碲镉汞红外焦平面探测器不可或缺的衬底材料。(111)面是闪锌矿结构原子层密度最高的晶面,从微观上看也是最平整的表面,一般情况下,液

相外延生长碲镉汞薄膜都在 $\langle 111 \rangle$ 晶向上进行,外延材料甚至可以得到原子级平整的光亮表面^[1]。

碲锌镉衬底和碲镉汞外延材料之间的晶格匹配对外延层的质量产生直接影响^[2]。表面形貌是衡量外延材料质量的重要指标之一。碲锌镉晶向和(111)面的偏角应被控制一定范围内,以保证外延以邻位面方式生长,晶向偏离越大,外延材料表面台

阶越严重,甚至会影响薄膜的生长^[3-5]。衬底晶向偏差的控制也可以避免在外延过程引入失配位错,从而获得低位错密度的碲镉汞外延材料^[6-8],进而获得高性能的长波材料^[9-10]。晶格匹配也会影响材料固-液界面的平整性,在负失配条件下,处于张应力状态的外延材料在外延过程中容易形成微裂纹,进而引起回熔再生长,结果导致外延层和衬底之间的界面出现起伏,幅度可高达 2 μm 左右^[11]。因此,衬底晶向的精确控制对保证碲镉汞薄膜的质量是至关重要的。

作为体材料的碲锌镉材料却面临单晶生长困难的问题,因此可用于薄膜外延生长用的合格碲锌镉衬底的获得首先需要多晶体材料进行定向切割,然后经过粗磨、细磨、抛光等多道加工工艺^[12-15]。另外,由于晶格失配所导致的缺陷密度要高出 1 个数量级以上,异质衬底上的碲镉汞外延技术的发展受到了限制,所以,高性能碲镉汞红外焦平面器件的研制和生产以及雪崩型、高温工作型等第三代碲镉汞红外焦平面技术的研究和发展还得依赖于碲锌镉衬底材料^[1]。因此,本文探讨了碲锌镉衬底晶向对液相外延碲镉汞薄膜表面形貌的影响,并研究了衬底晶向偏差大的来源及解决方法。

2 实验方案

利用定向仪对经过粗磨、细磨、机械抛光、化学抛光等加工工艺的碲锌镉衬底进行定向,然后选择不同晶向偏差的衬底样品进行相同的液相外延工艺,对其表面相貌进行观察和比较,以考察衬底晶向偏差程度对液相外延碲镉汞薄膜表面形貌的影响。然后追踪衬底在加工过程中晶向偏差的变化,分析碲锌镉衬底晶向偏差的可能来源及解决方法。

3 实验结果及讨论

3.1 碲锌镉衬底晶向偏差对液相外延碲镉汞薄膜表面形貌的影响

利用定向仪对原生晶片(原生晶片为体晶经定向切割后的晶片,该晶片未经过后续的粗磨、细磨等加工过程)及经过粗磨、细磨、机械抛光、化学抛光等加工工艺的碲锌镉衬底进行定向,样品测试结果如表 1 所示,图中数据为晶向偏离 $\langle 111 \rangle$ 方向的偏差程度。采用相同液相外延工艺及设备对加工后的衬底样品进行薄膜生长,液相外延后薄膜参数如表 2 所示,薄膜形貌如图 1 所示。

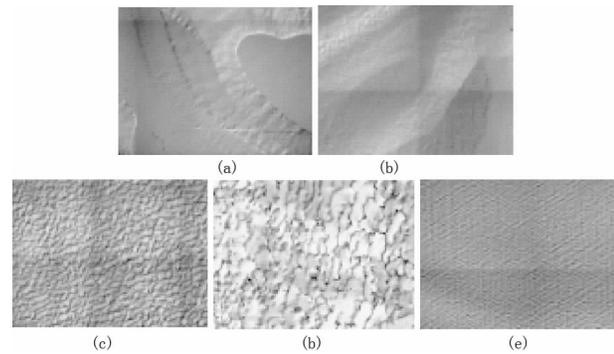


图 1 五种样品液相外延后的形貌对比

Fig. 1 The surface morphology of HgCdTe film epitaxied on five CdZnTe substrate samples

表 1 五种样品定向结果对比

Tab. 1 The orientation deviation of five CdZnTe substrate samples before and after processing

	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5
加工后衬底/(°)	2	7	14	26	43
原生晶片/(°)	3	2	3	3	35

表 2 五种样品外延后的碲镉汞薄膜参数

Tab. 2 The parameters of HgCdTe film epitaxied on five CdZnTe substrate samples

样品编号	设备编号	碲镉汞薄膜参数	
		厚度/ μm	波长/ μm
样品 1	1#	16.347	5.333
样品 2	1#	16.6645	5.3271
样品 3	1#	16.4968	5.3049
样品 4	1#	16.1107	5.3264
样品 5	1#	16.6332	5.3663

通过表 1 中加工完的碲锌镉衬底和原生晶片之间的晶向偏差程度的对比,可以发现衬底样品在后续的加工过程中晶向均发生了不同程度变化,大部分样品(除样品 1)的晶向偏差程度变大。由图 2 可以看出,当衬底晶向偏差大于 12'(图 1(c)),即 0.2°时,碲镉汞薄膜表面会出现富集的台阶面,偏差再大时(图 1(d))外延层属台阶面生长,台阶面富集,表面形貌差,在台阶面前端有 Te 夹杂现象,当偏差更大时(图 1(e)),虽然碲镉汞薄膜表面没有出现台阶面,但整个表面形貌与图 1(a)、图 1(b)相比差很多。因此,加工完的碲锌镉衬底的晶向和(111)面的偏角应被控制在 0.2°以内,以保证外延以邻位面生长方式进行。

3.2 碲锌镉衬底在加工过程中的晶向变化

由表 1 可以看出原生晶片在经过后续的加工后,晶向偏差发生明显变化,尤其是样品 2 至样品 5,说明后续的加工工艺在减薄原生晶片的过程中会对衬底晶向产生明显影响。因此,选择碲锌镉衬底样品,利用定向仪对其晶向偏差在加工过程中的变化进行追踪,如表 3 所示。衬底样品在加工过程中的厚度变化如表 4 所示。

表 3 碲锌镉衬底样品在加工过程晶向变化

Tab.3 The orientation deviation of five CdZnTe substrate samples during processing

样品编号	晶向偏差/(°)		
	粗磨	细磨	抛光
样品 6	5	5	5
样品 7	39	38	38
样品 8	6	5	5
样品 9	11	10	12
样品 10	2	3	3

表 4 碲锌镉衬底样品在加工过程中厚度变化

Tab.4 The thickness changes of five CdZnTe substrate samples during processing

样品编号	厚度变化 $\Delta d/\mu\text{m}$		
	粗磨	细磨	抛光
样品 6	397	62	34
样品 7	410	65	27
样品 8	387	55	29
样品 9	408	60	25
样品 10	406	64	45

由表 3 可以看出衬底在粗磨后外延前的晶向偏差基本没有大的变化。对比表 4 可以看出,原生晶片在经过粗磨后,厚度减薄 400 μm 左右,在此减薄过程中衬底晶向变化的可能性很大,如图 2 所示,右侧箭头为碲锌镉晶片减薄方向,假设晶片长度 l 为 25 mm,碲锌镉晶片厚度 d 为 1 mm,当减薄偏差厚度 Δd 为 100 μm 时,根据公式(1):

$$\tan\theta = \Delta d/l \tag{1}$$

可以算出晶向偏差角 θ 约为 13.8',即当在大幅度的厚度减薄过程中,如果减薄不均匀或发生偏差就会对衬底晶向产生明显影响,而后续的细磨及抛光过程均不会产生较大的厚度变化,因此晶向变化的也比较小。

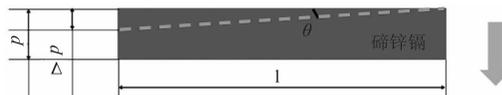


图 2 减薄示意图

d - 碲锌镉晶片厚度; Δd - 减薄偏差厚度; l - 晶片长度; θ - 晶向偏差角

Fig.2 The diagram of thinning

因此,碲锌镉衬底晶向偏差大的主要原因来源于碲锌镉晶体初次定向切割后的加工过程,尤其是减薄厚度较大的粗磨过程。针对该问题可以采用粗磨后二次定向来对碲锌镉衬底进行进一步筛选,减少由于衬底晶向偏差大造成的碲镉汞薄膜形貌及质量下降,进而保证探测器器件性能。

4 实验结论

利用定向仪对原生晶片及加工后的碲锌镉衬底的晶向进行定向比较,可以发现碲锌镉晶体在初次定向切割后的加工过程中晶向会发生明显变化,这会对液相外延碲镉汞薄膜的表面形貌产生明显影响。通过进一步利用定向仪对衬底加工过程中的晶向偏差进行追踪测定,发现碲锌镉衬底的晶向在粗磨工艺后不会发生较大变化,这是由于粗磨工艺会造成较大的厚度减薄,在该过程中如果减薄不均匀或发生偏差就会对衬底晶向产生明显影响,因此,可以将粗磨后衬底的再次定向结果作为进一步筛选碲锌镉衬底的依据,以保证液相外延碲镉汞薄膜的质量。

参考文献:

[1] YANG Jianrong. Physics and technology of HgCdTe materials [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2012. (in Chinese)
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] SUN Shiwen, SUI Songyin, HE Li, et al. X-ray diffraction topography and etched surface morphology of CdZnTe single crystals [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2015, 34(3): 91 - 296. (in Chinese)
孙士文, 隋淞印, 何力, 等. 碲锌镉晶体的 X 射线衍射形貌与腐蚀形貌 [J]. 红外与毫米波学报, 2015, 34(3): 291 - 296.

[3] S P Tobin, et al. The relationship between lattice matching and crosshatch in liquid phase epitaxy HgCdTe on CdZnTe substrates [J]. J Electron. Mater, 1995, 24(9): 1189 - 1199.

- [4] 陈新强,黄根生,徐琰,等.碲镉汞衬底晶向的偏离与碲镉汞 LPE 薄膜表面形貌关系[C].第十届全国红外科学技术交流会暨全国光电技术学术交流会论文集,2001.
- [5] JIAO Cuiling,ZHAO Shouren,CHEN Xinqiang, et al. Relationship between lattice mismatching and X-ray topography of HgCdTe/CdZnTe[J]. Laser & Infrared,2007,37(增刊):910-914. (in Chinese)
焦翠灵,赵守仁,陈新强,等. HgCdTe/CdZnTe 晶格失配与 X 光衍射貌相的关系研究[J]. 激光与红外,2007,37(增刊):910-914.
- [6] LIU Ming,ZHOU Liqing. Analysis of the main defects and Its' origin on HgCdTe film grown by LPE[J]. Laser & Infrared,2009,39(3):280-284. (in Chinese)
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.
- [7] CAO Xiuliang. Current status of research on defects in HgCdTe epilayers[J]. Infrared,2006,27(8):27-32. (in Chinese)
曹秀亮. HgCdTe 薄膜材料缺陷的研究现状[J]. 红外,2006,27(8):27-32.
- [8] WU Gang,TANG Libin,MA Qinghua, et al. Study of structural effects of defects in CdZnTe substrate on HgCdTe thin film grown by liquid phase epitaxy[J]. Laser & Infrared,2005,35(9),663-667. (in Chinese)
吴刚,唐利斌,马庆华,等. 碲镉汞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.
- [9] Johnson S M,Rhiger D R. Effect of dislocations on the electrical and optical properties of long-wavelength infrared HgCdTe photovoltaic detectors[J]. J. Vac. Sci. Technol.,1992,10(4):1499-1506.
- [10] Figgemeier H,B ruder M, Mahlein KH, et al. Impact of critical processes on HgCdTe diode performance and yield [J]. J. Electronic Materials,2003,32(7):588-591.
- [11] Rosenwaks Y, Sher A, Zussman A. Wave interference effects in liquid phase epitaxial layers of $Hg_{1-x}Cd_xTe$ [J]. Thin Solid Films,1989,169(1):25-34.
- [12] PENG Lan,WANG Lin-jun,MIN Jia-hua, et al. Investigation on the mechanical lapping and polishing of CdZnTe wafers[J]. Journal of Functional Materials,2011,42(5):880-884. (in Chinese)
彭兰,王林军,闵嘉华,等. 碲镉汞晶片机械研磨和机械抛光工艺研究[J]. 功能材料,2011,42(5):880-884.
- [13] LIU Keyue,WANG Jinyi,ZHANG Xueren, et al. Preparation of CdZnTe substrate used in HgCdTe epitaxy[J]. Semiconductor Technology,2000,25(2):38-42. (in Chinese)
刘克岳,王金义,张学仁,等. HgCdTe 外延用的 CdZnTe 衬底研制[J]. 半导体技术,2000,25(2):38-42.
- [14] 李岩. 碲镉汞晶片高效低损伤加工工艺的研究[D]. 大连:大连理工大学,2010.
- [15] 查钢强. CdZnTe 晶体的加工与表面质量控制[D]. 西安:西北工业大学,2004.