

·学科进展·

# 新型 II-VI 族材料的晶体生长与缺陷控制

介万奇\*

(西北工业大学凝固技术国家重点实验室,西安 710072)

**[摘要]** 以新型红外探测材料  $\text{Hg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ 、 $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  及外延衬底材料 CdTe 及  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  为代表分析了 II-VI 族化合物光电子材料的应用背景与现状、晶体生长方法,晶体生长过程中的主要理论问题及各种晶体缺陷的形成与控制。围绕  $\text{Hg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ 、 $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ 、CdTe、 $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  4 种材料,重点分析晶体生长技术,偏析、沉淀相、孪晶及位错等晶体缺陷的形成与控制的研究现状及发展趋势。

**[关键词]** II-VI 族化合物,晶体生长,偏析,晶体缺陷

## 1 II-VI 族化合物材料的应用背景及性能

### 1.1 新型红外探测材料 $\text{Hg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ 与 $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$

典型红外探测材料的发展史如图 1 所示<sup>[1]</sup>。 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  是迄今最受重视并最成熟的红外探测材料,然而其不足之处在于<sup>[2]</sup>:(1)由于严重成分偏析倾向和很高的汞蒸汽压,使得材料制备非常困难;(2)晶格、表面和界面的稳定性差,易发生氧化、机械损伤及与金属的反应。最有希望的新型红外探测材料包括  $\text{Hg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  及  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ <sup>[1,3]</sup>。

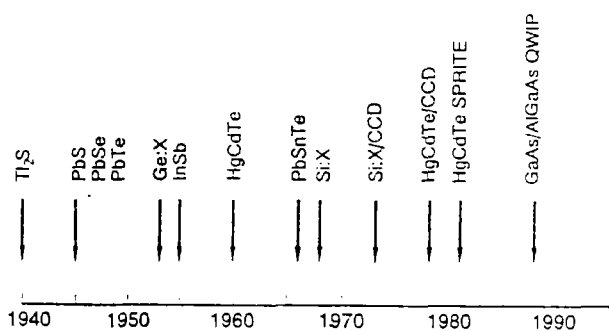


图 1 红外探测器材料发展历史

Mn 非 II 族元素与 Cd 等 II 族元素具有非常相似的特性,而且其特有的磁性为该材料使用性能的拓展提供了基础。作为新型红外探测材料, $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  具有如下特点<sup>[4-6]</sup>:(1)可采用磁场控制电子能带结

构;(2)无序散射低于 HgCdTe;(3)关于结构稳定性,绝大多数从事体材料的研究者认为 Mn 能提高 HgTe 键能,个别关于 MBE 薄膜材料研究的报导认为 Mn 将降低 HgTe 键能。60 年代已有关于  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  晶体生长的研究报导。80 年代末以来  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  作为优秀的稀磁半导体材料引起人们的高度重视。90 年代初期,美国等开始了  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  红外探测器的研究。以美国 Brimrose 公司为代表,已制备出  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  红外探测器。前苏联对  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  红外探测器的研究也已有很高水平<sup>[7]</sup>。另一个关于  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  材料和器件研究不容忽视的国家是波兰。并且世界许多国家研究工作者所用的高纯 Mn 均来自波兰科学院物理研究所。截至 1993 年,有关  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  研究论文已超过 1 000 篇<sup>[8]</sup>。

$\text{Hg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  的强度和化学稳定性高,可克服  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  的第 2 个不足。60 年代罗马尼亚和乌克兰已有关于  $\text{Hg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  晶体生长和物理性能的研究报道。70 年代出现了原始的器件,光偶极子(photo-diodes)、PEM 探测器、光阻器件(Photoresistors),后来因该材料制备比  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  更困难未得到发展。近年来,Sher 等人从理论上证明  $\text{Hg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  稳定性高于  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ,因为 CdTe 将减弱 HgTe 键的强度,而 ZnTe 会增强 HgTe 键的强度<sup>[9]</sup>。从而, $\text{Hg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  重新引起人们的重视。

\* 1998 年度国家杰出青年科学基金获得者。

本文于 1999 年 1 月 11 日收到。

Hg<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te 及 Hg<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te 的典型参数如表 1 所示<sup>[1]</sup>。

表 1 Hg<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te 及 Hg<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te 的主要性能参数与成分 x 的关系

性能	Hg <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> Te	Hg <sub>1-x</sub> Mn <sub>x</sub> Te
晶格常数 a/nm(300 K)	0.6461 - 0.0361x	0.6461-0.0121x
密度 ρ/g cm <sup>-3</sup> (300 K)	8.05 - 2.41x	8.12 - 3.37x
禁带宽度 E <sub>g</sub> (x,T)/eV	-0.3 + 0.0324x <sup>1/2</sup> + 2.731x - 0.629x <sup>2</sup> + 0.533x <sup>3</sup> + 5.3 × 10 <sup>-4</sup> T(1 - 0.7x <sup>1/2</sup> - 1.29x)	-0.253 + 3.446x + 4.9 × 10 <sup>-4</sup> T - 2.55 × 10 <sup>-3</sup> T
载流子浓度 n <sub>i</sub> /cm <sup>-3</sup>	(3.607 + 11.37x + 6.584 × 10 <sup>-3</sup> T - 3.633 × 10 <sup>-2</sup> xT)10 <sup>14</sup> E <sub>g</sub> <sup>3/4</sup> T <sup>3/2</sup> exp(-5802E <sub>g</sub> /T)	(4.615 - 1.59x + 0.00264T - 0.017xT)10 <sup>14</sup> E <sub>g</sub> <sup>3/4</sup> T <sup>3/2</sup> exp(-5802E <sub>g</sub> /T)
电子迁移率 μ <sub>e</sub> (x,T)/cm <sup>2</sup> V <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	9 × 10 <sup>8</sup> b/T <sup>2a</sup> 其中, a = (0.14/x) <sup>0.6</sup> ; b = (0.14/x) <sup>7.5</sup>	9 × 10 <sup>8</sup> b/T <sup>2a</sup> 其中, a = (0.095/x) <sup>0.6</sup> ; b = (0.095/x) <sup>7.5</sup>
Hall 迁移率 μ <sub>h</sub> (x,T)/cm <sup>2</sup> V <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	μ <sub>e</sub> (x,T)/100	μ <sub>e</sub> (x,T)/100

### 1.2 CdTe 及 Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te

CdTe 的禁带宽度约为 1.5 eV(300 K),是典型宽禁带半导体材料,适合于 10.6 μm 激光的光电调制、太阳能电池及 X 射线和 γ 射线探测器。CdTe 受到重视的另一个原因是它可作为 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 薄膜的外延衬底材料。其晶格常数为 6.482Å<sup>[10]</sup>,与典型的远红外探测材料 Hg<sub>0.78</sub>Cd<sub>0.22</sub>Te 的错配度仅为约 0.28%。同时,具有较高的电阻率和红外透过特性。

作为 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te、Hg<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te 或 Hg<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te 的外延衬底,Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te 的优势更为明显。首先表现在其晶格常数的可调,以作 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 衬底材料为例,由图 2 所示的晶格常数随成分的变化规律可以看出<sup>[11]</sup>,当 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 的成分给定之后,调整 Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te 的成分可使其错配度减小到零。此外,由于 Zn 的加入,材料的强度提高,从而使得晶体生长过程和晶体缺陷更容易控制。

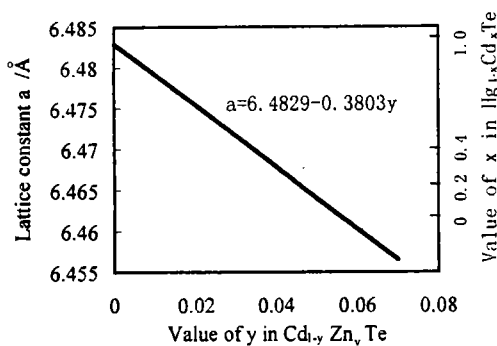


图 2 Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te 的晶格常数随 x 的变化及其与 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 晶格的匹配

Hg<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te 和 Hg<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te 与其他 II-VI 族化合物相同,在熔点附近的强度非常低,层错形成能很小,晶体的自重足以引起各种晶体缺陷的形成。因此,普遍适用于其他人工晶体生长的提拉法长晶技术不能应用。其主要单晶生长方法如表 2 所示<sup>[1]</sup>,所有晶体生长过程是密封在石英安瓿中进行的。在各种体材料晶体生长方法中,Bridgman 法和移动加热器法的应用更为普遍,可以成功地生长直径为 15 mm 以下晶体。近年来,Bridgman 法得到进一步发展,英国学者在此基础上引入坩锅加速旋转技术发展了 ACRT-B<sup>[12-14]</sup>。该方法首先用于 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 的生长,以控制晶体生长过程的传热传质条件,改善晶体径向成分均匀性。这些方法也已逐步用于 Hg<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te 和 Hg<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te 的单晶生长。此外,俄罗斯科学家发明了高压气体控制下的 Bridgman 晶体生长方法。它采用高压气体抵消石英安瓿内的蒸气压力,从而防止安瓿的爆裂,使得生长大尺寸晶体成为可能。采用这种技术已可生长直径 30 mm 的 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 晶体。

#### (2)外延生长技术

尽管各种体单晶的生长技术得到发展,直接制备大面积晶片仍有很大难度。而焦平面器件的发展对优质大面积晶片提出了迫切的要求,从而刺激了各种薄膜外延技术的研究。这些技术大多是围绕 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 材料发展起来的。并很快被用于 Hg<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te 及 Hg<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te 的晶体生长。II-VI 族化合物材料的主要外延生长技术包括液相外延(LPE)、气相外延(VPE)、分子束外延(MBE)以及金属有机物化学气相沉积技术(MOCVD)等。这些技术的应用状况、特征及其各自的优缺点如表 3 所示。在各种外延生长技术中,目前已较好实现工程化的是 LPE 技术。MBE 等更先进的外延技术仍处在实验室研究

## 2 II-VI 族化合物的晶体生长

### 2.1 Hg<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te 及 Hg<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te 的晶体生长

#### (1)体单晶的生长

阶段,并且受到高成本等的限制。对于各种外延技术,衬底材料的质量成为外延晶片质量控制的关键。

表2  $Hg_{1-x}Zn_xTe$  及  $Hg_{1-x}Mn_xTe$  的体单晶生长方法

生长方法	晶体尺寸	生长速度	晶体均匀性	主要评价	最早应用时间	
					HgZnTe	HgMnTe
Bridgman 法	大尺寸,直径 2 cm 长数 cm	$\approx 0.5$ mm/h	较差,在轴向及径向均变化很大	有提纯作用,需要高纯元素,要求精密抽拉机械	1965	1982
固态再结晶法	大尺寸,直径 1.5 cm 长数 cm	2—3 周	均匀性高,径向 $\Delta x \leq 0.01$	最好的均匀性,要求高纯元素,掺杂控制有问题	1986	1983
区熔法	大尺寸,直径可达 2 cm,长数 cm	$< 1$ mm/h	?	均匀性高,掺杂容易控制,要求精密抽拉机械	1965	1988
移动加热器法	大尺寸,直径可达 3 cm,长数 cm	0.1 ~ 1 mm/h	均匀性高,径向: $\Delta x \leq 0.01$ 轴向: $\Delta x \leq 0.02$	Te 作溶剂,均匀性好,掺杂容易控制,要求精密抽拉机械,长度和直径限制小	1986	1982
改进的二相混合法	大尺寸,直径可达 2 cm,长数 cm	$\approx 1$ mm/h	均匀性好 $\Delta x \leq 0.01$	抑制偏析,可生长大尺寸晶体,均匀性好		1985

表3  $Hg_{1-x}Zn_xTe$  及  $Hg_{1-x}Mn_xTe$  的薄膜外延生长方法

生长方法	衬底	沉积时间	优点	缺点	最早应用时间	
					HgZnTe	HgMnTe
LPE Slider 法	CdTe, CdZnTe, CdTeSe	$\approx 1$ h	高纯度;产品质量高;过程可直接观察	有残留液问题	1985	
LPE tipper 法	CdTe, CdZnTe	$\approx 1$ h(由 Te 溶液生长); 数日(由 Hg 溶液生长)	表面形貌好	有残留液问题,并有宽的成分梯度区		1985
LPE differ 法	CdTe	$\approx 1$ h	产品质量高	有残留液问题;有 $2\mu\text{m}$ 宽的成分梯度区		1987
VPE 气压控制法	CdTe, CdMnTe	$\approx 24$ h	表面形貌好;产品质量高	有成分梯度;不能制作多层膜		1981
VPE 等温法	ZnTe	$\approx 24$ h	表面形貌好;产品质量高	有成分梯度;不能制作多层膜	1972	
VPE 改进等温法	复合衬底,云母/ZnTe	$\approx 24$ h	表面形貌好;可合成	有成分梯度;不能制作多层膜	1972	
MBE 法	CdTe, CdZnTe, CaAs/CdTe, GaAs/CdZnTe	$\approx 1 \mu\text{m}/\text{h}$	制作量子阱及超晶格的有效方法;表面形貌好	成本高;现有设备不普及,生产率底	1985	1985
MOCVD 法	GaAs 玻璃	$\approx 1 \mu\text{m}/\text{h}$	表面形貌好;成本低;产品质量高	杂质不易控制		1990

## 2.2 CdTe 与 $Cd_{1-x}Zn_xTe$ 的单晶生长

CdTe 与  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  的晶体生长条件基本相同,也已发展了各种体单晶生长和薄膜外延生长技术。这 2 种材料的单晶生长与  $Hg_{1-x}Zn_xTe$ 、 $Hg_{1-x}Mn_xTe$  等含汞材料的区别在于:(1)蒸气压低,不容易发生安瓿爆裂,可生长更大直径的晶锭;(2)熔点高,因而生长温度高,对生长炉及坩埚材料提出新的要求。CdTe 及  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  的熔点接近  $1100^\circ\text{C}$ ,而含汞材料的熔点一般在  $800^\circ\text{C}$  以下。

用于 CdTe 与  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  的单晶生长方法包括,溶剂蒸发法(SE)、液封提拉法(LEC)、区熔法(ZM)、垂直温度梯度法(VGF)、溶液法(SG)、热交换法(HEM)、Bridgman 法及移动加热器法(THM)。比较常

用的是后 2 种方法。国外已可生长  $\phi 60$  mm 的晶锭,我国目前主要进行  $\phi 30$  mm 晶锭生长的研究。但在国内外的单晶生长实践中,获得完全的单晶体仍是罕见的,通常是在多晶粒的晶锭中切取合适的晶片。

CdTe 与  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  的薄膜生长方法包括液相外延(LPE)、气相外延(VPE 及 MOVPE)及分子束外延(MBE)等方法。采用的外延衬底材料有 GaAs、InSb、单晶 Si。也有在 CdTe、CdZnTe 缓冲层上进行特种材料外延的报道,但其目的在于外延过程的机理研究。

## 3 II-VI 族化合物的晶体缺陷及其控制

综上所述,尽管各种外延技术得到发展,但体单晶生长仍被认为是最容易实现工程化的 II-VI 族材

料单晶制备的实用技术,具有良好发展前景和研究价值。

II-VI族化合物单晶的生长除了要具备晶体学及凝固理论的基础外,研究各种物理场与晶体生长过程的交互作用是控制晶体质量,发展材料制备技术的基础。各种先进的材料制备技术均基于对该基本理论问题的深刻理解和灵活运用。然而,现有关于各种物理场与晶体生长过程及晶体质量关系的知识仍然很有限,有许多尚待研究的新课题。对于II-VI族化合物,这一问题更为突出。

II-VI族化合物晶体生长的困难来自它们的以下共同特性<sup>[1]</sup>,即(1)很低的热导率;(2)需要进行熔体过热,因而很难采用籽晶;(3)容易形成孪晶及位错;(4)容易发生晶体学取向的偏转与倾斜;(5)化学成分难以精确控制,容易形成偏析与沉淀相。

为了克服这些问题,当前有关科技人员普遍关注的重点研究课题在于以下3个方面。

### 3.1 单晶生长过程传热、传质、动量传输及其由此引起的应力场的定量理论

Brigman法是目前各种II-VI族化合物材料单晶生长比较理想的方法。但由于II-VI族化合物材料上述特性,Bridgman法单晶生长过程的传热、传质及其对流效应的问题更为突出。在Bridgman方法的基础上引入坩埚加速旋转技术后,强迫对流的影响则非常重要。单独进行传热、传质及自然对流研究尚有大量文献可查,但三者耦合分析的研究工作刚刚开始。英国学者Capper<sup>[12-14]</sup>在发展了ACRT-B法晶体生长技术后,仅对ACRT过程的对流问题作了半定量的分析<sup>[15]</sup>。作者自1994年起,针对ACRT-B晶体生长过程进行了数值模拟研究<sup>[16-19]</sup>,详细探讨了坩埚加速参数对对流场、温度场及生长界面形态的影响,并分析了晶体生长过程的传质问题与成分偏析的形成规律,有效地指导了实际晶体生长过程的控制。

### 3.2 晶体中的成分偏析及沉淀相的形成与控制

成分偏析及沉淀相的析出是II-VI族化合物晶体生长中很难克服的问题,这是由材料体系的固有特性决定的。主要三元(伪二元)II-VI族材料均属典型的固溶体合金系,具有很宽的结晶温度间隔。晶体生长过程的分凝问题十分严重。通常在结晶长度方向上存在着初始过渡区、稳态区和末端过渡区。只有在稳态区可以获得接近计量成分的均匀晶体。但由于该材料体系热物理特性要求在低速下生长,初始过渡区及末端过渡区均很难缩小,可用的成分

区间很小。因此,轴向成分偏析是II-VI族化合物晶体生长需要解决的第一个问题。同时,由于II-VI族化合物材料低的热导率使得生长界面通常呈现凹面,容易产生径向成分偏析,控制界面的宏观形貌以减轻径向偏析是需要解决的又一突出问题。

与材料成分相关的第3个问题是沉淀相的形成。这些沉淀相对材料的性能是十分有害的。作者分析认为,造成沉淀相形成的主要原因包括:(1)径向或轴向的成分不均匀导致某些元素在晶体的一定位置富集,并进而析出,形成沉淀相;(2)生长过程出现胞状界面,在胞晶间发生元素的微观偏析,并最终析出沉淀相;(3)大部分II-VI族材料二元相图或伪二元相图在高温区存在着一定的固溶区<sup>[20,21]</sup>,因此在高温下形成固溶体。该固溶区在室温下收缩为零,从而在固相冷却过程中发生过饱和,固溶元素的析出,形成沉淀相。

上述偏析及沉淀相的析出均是由合金系的特征决定的,可通过成分和工艺控制消除或减轻。为此,需要解决一系列理论和技术问题。

### 3.3 孪晶、位错的形成与控制

II-VI族化合物通常为闪锌矿结构,孪晶的形成能很低,极易形成(111)晶面的孪晶,破坏了晶体的完整性<sup>[22]</sup>。孪晶一旦形成,则为晶体生长提供了需要的台阶而得以延续,直至与安瓶相撞或达到晶体的末端。因此孪晶的防止主要是孪晶起源的控制。导致孪晶形成的应力源可能包括成分偏析引起的晶格畸变能及晶体生长过程的热应力等。具体的应力分布与孪晶起源的关系是II-VI族化合物晶体生长过程控制中又一尚待研究的课题。

II-VI族化合物中的主要位错为 $\vec{b} = \frac{a}{2}[011]$ ,但它通常会发生分解, $\vec{b} = \frac{a}{6}[121] + \frac{a}{6}[\bar{1}12]$ ,在2个不全位错之间存在着层错带<sup>[23]</sup>,位错的滑移困难。位错形成的临界应力 $\sigma_{cr}$ 与剪切模量G的关系为 $\sigma_{cr} = (0.1 \sim 0.001)G$ <sup>[24]</sup>。晶体生长过程的热应力通常不足以引起位错的形成,而导致位错形成的主要原因可能是:

(1)在热应力的作用下表面形成的位错滑移到晶内;(2)晶内形成沉淀相时,由于沉淀相与周围点阵不匹配,并且热膨胀系数不同,在局部发生应力集中,导致位错形成;(3)材料中的成分偏析导致晶格常数的变化,引起位错;(4)点缺陷在冷却过程中沉积,形成位错环;(5)晶体冷却过程的温度不均匀导致位错的形成。

## 4 结 语

综上所述,作者认为 II-VI 族材料的研究与应用仍处于起步阶段,具有非常广阔的发展前景。解决优质晶体材料制备问题是发展 II-VI 族光电子材料的关键。虽然各种薄膜外延技术将得到很大发展,但如同单晶硅及 GaAs 材料的现状一样,II-VI 族体单晶生长在未来相当长的时间内仍将是材料制备的重要技术途径。为此需要进一步深化以下技术基础问题的研究:

(1) 晶体生长过程传热、传质及对流效应等传输现象的研究;

(2) 晶体生长过程应力场的形成及其对温度分布、冷却过程、溶质偏析及重力场敏感性的理论模型、计算与实验研究;

(3) 成分偏析与晶体缺陷的形成机理、控制原理和方法研究;

(4) II-VI 化合物光电子特性对晶体缺陷敏感性的研究。

## 参 考 文 献

- [1] Rogalski A. New Ternary Alloy Systems for Infrared Detectors, SPIE Optical Engineering Press, Washington, 1994.
- [2] Spicer W E, Silberman J A, Lindau I et al. J. Vac. Sci. Technol., 1983, **A1**:1735.
- [3] Furdyna J K. Proc. SPIE, 1983, **409**:43.
- [4] Wong S, Becla P. J. Vac. Sci. Technol., 1986, **A4**:2019.
- [5] Becla P, Wolff P A, Aggarwall R L et al. J. Vac. Sci. Technol., 1985, **A3**:116.

- [6] Galazka R R. J. Crystal Growth, 1985, **72**:364.
- [7] Zhovnir G I, Sochinskii N V, Nikitin M S et al. Proc. 12th All-Union Confer, Semicond. Phys., Kiev, Part 2, 1990:84.
- [8] Furdyna J K. J. Appl. Phys., 1988, **64**:R29.
- [9] Sher A, Chen A B, Spicer W E et al. J. Vac. Sci. Technol., 1985, **A3**:105.
- [10] Woolley J C, Ray B. J. Phys. Chem. Solids, 1960, **13**:151—153.
- [11] Bevan M J, Doyle N J, Dnyder D. J. Cryst. Growth, 1990, **102**:785—792.
- [12] Capper P, Coates W G, Jones C L et al. J. Crystal Growth, 1987, **83**(1):69—76.
- [13] Capper P, Birce J C, Jones C L et al. J. Crystal Growth, 1988, **89**:171—176.
- [14] Capper P, Gosney J J G, Jones C L et al. Journal of Electronic materials, 1986, **15**(6):361—170.
- [15] Brice J C, Capper P, Jones C L et al. Journal of Electronic Materials, 1986, **15**:371—376.
- [16] Liu Juncheng, Guo Xiping, Jie Wanqi. Proceedings of the third Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing, Honolulu, Hawaii, USA, 1998, July 12—16, 2 969—2 974.
- [17] Liu Juncheng, Jie Wanqi. J. Crystal Growth, 1998, **183**:140—149.
- [18] 刘晓华,郭喜平,介万奇等.材料研究学报,1998, **12**(4):357—362.
- [19] Liu Juncheng, Jie Wanqi, Zhou yaohe. Progress in Natural Science, 1997, **7**(2):215—222.
- [20] Rosenberger F. Fundamentals of Crystal Growth, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1979:193.
- [21] Kyle N R. J. Electrochem. Soc:Solid State Science, 1971, **11**:1970.
- [22] 闵乃本.晶体生长的物理基础.上海:上海科学技术出版社, 1982,411—415.
- [23] Cahn R W et al. Materials Science and Technology, Vol. 1, Structure of Solid, VCH Verlagsgesellschaft GmbH, Weinheim, 1993, 544.
- [24] Chernov A. A. Modern Crystallography III-Crystal Growth, 1984, 256—278.

## CRYSTAL GROWTH AND DEFECT PREVENTION OF NEW II - VI COMPOUNDS

Jie Wanqi

(State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

**Abstract** Based on the new ternary infrared detection materials,  $Hg_{1-x}Zn_xTe$  and  $Hg_{1-x}Mn_xTe$ , and the substrates for II-VI compound film epitaxy, CdTe and  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ , the researches on the application, crystal growth techniques and the crystal defects of II-VI compounds are reviewed.

**Key words** II-VI compounds, crystal growth, segregation, crystal defects