

未掺杂 CdZnTe 与掺铟 CdZnTe 晶体的热处理*

张 斌 桑文斌 李万万 闵嘉华

(上海大学嘉定校区电子信息材料系, 上海 201800)

摘要: 对于未掺杂 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片, 采用在 Cd/Zn 气氛下, 以 In 作为气相掺杂源进行热处理; 而对于低阻 $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片, 则采用在 Te 气氛下进行热处理. 分别研究了不同的热处理条件, 包括温度、时间、 p_{In} 或 p_{Te} 等对晶片电学性能、红外透过率以及 Te 夹杂/沉淀相的影响. 结果表明, 在 Cd/Zn 气氛下适当的掺 In 热处理和在 Te 气氛下适当的热处理均有效地提高了晶片的电阻率, 分别达到 2.3×10^{10} 和 $5.7 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$, 同时晶片的其他性能也得到明显改善.

关键词: CdZnTe; 气相掺杂; 热处理; Te 气氛

PACC: 6110M; 8140E

中图分类号: TN304.2²

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2004)11-1447-06

1 引言

CdZnTe 晶体是重要的 II-VI 族宽禁带半导体材料, 近年来受到国内外的普遍关注. 由于其具有优异的光电性能, 在 X、 γ 射线核探测器以及作为 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 红外探测器的衬底材料等领域有着重要的应用价值^[1-3]. 一般说来, 要制成高性能的核探测器, 获得电阻率高 ($\geq 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$)、晶体质量良好的 CdZnTe 晶体材料是关键. 因为电阻率高、质量良好的晶体材料能保证所制成的核探测器漏电流低, 并具有高的性噪比和能量分辨率, 特别是高阻掺铟的 In-CdZnTe 晶体对 γ 射线更为灵敏^[4]. 然而在晶体的实际生长过程中, 由于熔体中 Cd, Zn 组元蒸汽压相对较高, 易挥发损失而产生一定量的 V_{Cd} , V_{Zn} , 并难以通过控制 Cd/Zn 分压或 In 的掺杂量来精确补偿, 导致晶体的化学计量比发生偏离, 从而降低了晶体的电阻率, 难以满足器件制作要求. 因此, 人们通常采用在 Cd 、 Cd/Zn 气氛下^[5,6] 或在 Te 气氛下^[7] 对各类生长态的 CdZnTe 晶体进行后续热处理, 以改善其各项性能. 但是到目前为止, 绝大多数相关文献的研究内容只是集中在对晶体各种结构缺陷的改

性上, 而对如何采用优化的热处理工艺来提高 CdZnTe 晶体的电阻率, 尤其是如何来获得高电阻率的 In-CdZnTe 晶体的研究却鲜有文献报道.

因此, 为了获得高阻 In-CdZnTe, 本文对于采用垂直布里奇曼法(以下简称 LB 法)生长的未掺杂 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶体和低阻 $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶体, 分别尝试在 Cd/Zn 气氛下进行掺 In 热处理和在 Te 气氛下热处理. 研究了不同的热处理条件, 如热处理气氛、时间、温度、In 的分压 p_{In} , Te 的分压 p_{Te} 等对两类 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶体材料的电学性能、红外透过率及 Te 夹杂/沉淀相的影响.

2 实验

本实验所采用的未掺杂 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶体与 $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶体均由 LB 法生长获得. 将生长好的晶锭沿(111)面切割成约 2mm 厚的晶片. 晶片经双面研磨、机械抛光后, 并用去离子水反复冲洗, 然后放入真空烘箱中烘干备用. 实验中所使用的未掺杂 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片热处理前均是从电阻率为 $2.0 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 的 p 型大单晶片上切割下来的小单晶片, 而待热处理的 $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片则是分别从

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 10175040)

张 斌 男, 1978 年出生, 硕士研究生, 主要从事 CdZnTe 探测器材料及器件的研究.

2003-10-24 收到, 2004-01-01 定稿

电阻率为 $1.8 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$, 掺 In 量为 $2.0 \times 10^{17} \text{at/cm}^3$ 和电阻率为 $1.4 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$, 掺 In 量为 $5.5 \times 10^{18} \text{at/cm}^3$ 的两类 n 型 $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 大单晶片上切割下来的小单晶片. 热处理炉采用两段温区的水平电阻炉. 将作为热处理源的高纯金属 In 或 Te 单质放入石英管的源端, 实验中通过调节源端的温度, 并利用以下关系^[8]来分别控制 p_{In} 和 p_{Te} :

$$\lg p_{\text{In}} = (10.82 - 12298/T + 0.000071477T - 0.8216 \lg T) / 760 (\times 10^5 \text{Pa}) \quad (1)$$

$$\lg p_{\text{Te}} = (18.2 - 7525/T - 0.0004422T - 2.855 \lg T) / 760 (\times 10^5 \text{Pa}) (T < 988^\circ\text{C}) \quad (2)$$

$$p_{\text{Te}} = nRT/V (\times 10^5 \text{Pa}) (T > 988^\circ\text{C}) \quad (3)$$

而样品则放置在石英管中的另一恒温区. 特别对于未掺杂 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片, 为了抑制在热处理过程中晶片内分压较高的 Cd, Zn 组元挥发, 在样品附近放置 $\text{Cd}_{1-y}\text{Zn}_y$ 合金且两者处于同一恒温区, 而 y 的值可根据不同的热处理温度来确定. 根据 Vv-dyanath^[9], Yu^[10] 等人的研究结果: 在 800, 700 和 600°C 条件下, $\text{Cd}_{0.99}\text{Zn}_{0.01}$, $\text{Cd}_{0.995}\text{Zn}_{0.005}$ 和 $\text{Cd}_{0.997}\text{Zn}_{0.003}$ 体系中 Cd, Zn 分压分别与相同温度下 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 样品中的 Cd, Zn 平衡分压相接近. 在真空度 $\leq 2 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 的条件下封管后将石英管置于热处理炉中. 热处理结束后将晶片缓冷到室温. 热处理后的样品再次经双面研磨、机械抛光和超声清洗后, 采用 BM 腐蚀液(5% Br+ 甲醇)进行化学腐蚀抛光,

并用甲醇冲洗. 对于 p 型晶片, 采用 AuCl_3 溶液在晶片两面化学沉积 Au 电极; 而对于 n 型晶片, 采用 In : Ga(3 : 1w/w) 合金焊料在晶片两面焊成电极. 本实验采用范德堡法测量晶片的电阻率、导电类型, JSM-6360 型号 SEM 观察晶片中的 Te 夹杂/沉淀相, FTS-175 型傅里叶交换红外光谱仪测定晶片的红外透过率.

3 结果

表 1 为未掺杂 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片单独在 Cd/Zn 气氛下热处理前后电学性能的变化. 从表 1 看出, CZT09, CZT16 和 CZT28 各晶片分别在 600, 700 和 800°C 下热处理 168h 后的电阻率均有一定程度的提高, 分别为 3.5×10^8 , 4.8×10^8 和 $6.4 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$, 但幅度较小, 导电类型均为 p 型. 图 1 为同类晶片在 Cd/Zn 气氛下掺 In 热处理后, 其电学性能与温度、时间以及 p_{In} 关系图. 从图 1 可以看出, 当热处理温度为 800°C 且控制 $p_{\text{Cd}}/p_{\text{Zn}}/p_{\text{In}}$ 分别为 1.49×10^5 , 8.40×10^2 , $6.1 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 时, CZT05 晶片热处理 168h 后电阻率达到最高值, 为 $2.3 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$. 图 2 为两类 n 型 $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片热处理后的电阻率与 Te 分压、热处理时间的关系图. 从图 2 可以看出, 两类晶片电阻率在控制 Te 分压分别为 1.02×10^2 和 5.08Pa 时热处理 120h 后达到最高值, 为 5.7×10^9 和 $1.2 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$.

表 1 未掺杂 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片单独在 Cd/Zn 气氛下热处理的实验参量以及电学性能变化

Table 1 Electrical properties and experimental parameters of non-doped $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ wafers only in Cd/Zn vapor

Wafer	Source	Cd/Zn partial pressure/Pa	Temperature /°C	Holding time /h	Resistivity/($\Omega \cdot \text{cm}$)		Conduction type
					Before annealing	After annealing	
CZT09	$\text{Cd}_{0.99}\text{Zn}_{0.01}$	$1.49 \times 10^5 / 8.4 \times 10^2$	800	168	2.0×10^8	6.4×10^8	p~p
CZT16	$\text{Cd}_{0.995}\text{Zn}_{0.005}$	$4.51 \times 10^4 / 1.1 \times 10^2$	700	168	2.0×10^8	4.8×10^8	p~p
CZT28	$\text{Cd}_{0.997}\text{Zn}_{0.003}$	$1.04 \times 10^4 / 1.3 \times 10$	600	168	2.0×10^8	3.5×10^8	p~p

图 3 为 CZT05 晶片热处理前后的红外透过率 ($5000 \sim 450 \text{cm}^{-1}$). 热处理后的红外透过率达 65% 左右, 并基本平直; 而热处理前仅为 60% 左右, 并随波数增加单调下降. 图 4 为掺 In 量为 $2.0 \times 10^{17} \text{at/cm}^3$ 的 In-CZT31 晶片在 500°C, 控制 Te 分压为 $1.02 \times 10^2 \text{Pa}$ 时热处理 120h 前后的红外透过率. 其热处理后的红外透过率为 63% 左右, 而热处理前为 55% 以下, 且随波数增加单调下降.

4 讨论

未掺杂 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片单独在 Cd/Zn 气氛下热处理后, 其电阻率提高主要是由于气氛中的 Cd, Zn 原子扩散进入晶片内部补偿受主缺陷 V_{Cd} , V_{Zn} , 逐步完善晶片的化学计量比. 而在 Cd/Zn 气氛下的掺 In 热处理使晶片电学性能发生变化则可能是由于除了扩散进来的 Cd, Zn 原子补偿晶片内一部分

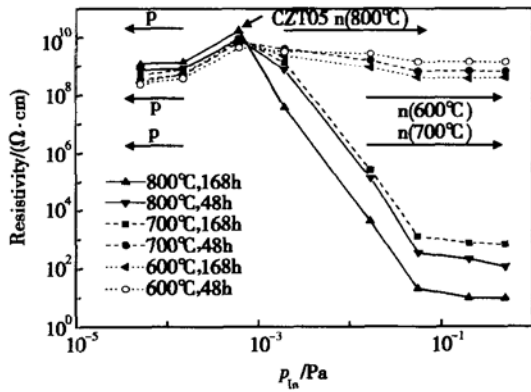


图 1 未掺杂 Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te 晶片在 Cd/Zn 气氛下掺 In 热处理后电学性能的变化
Fig. 1 Curves of electrical properties of non-doped Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te wafers after In-doped annealing in Cd/Zn vapor

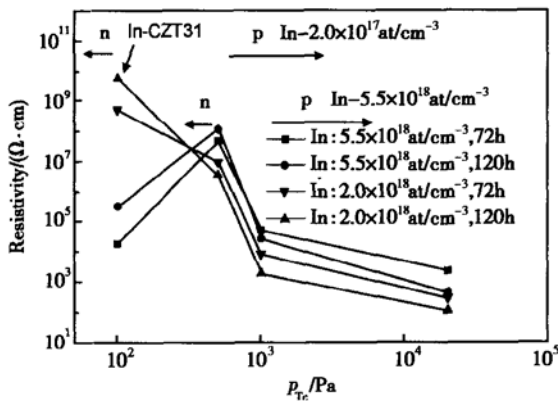


图 2 In-Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te 各晶片在 Te 气氛下热处理后电学性能的变化
Fig. 2 Curves of electrical properties of In-Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te wafers after annealing only in Te vapor

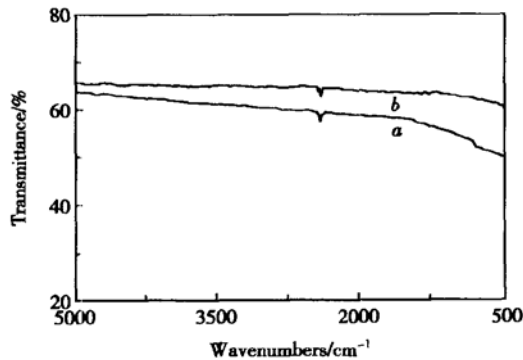


图 3 未掺杂 CZT05 晶片掺 In 热处理前后的红外透过率
Fig. 3 IR transmittance of non-doped CZT05 wafer
Curve a: before annealing; b: after In-doped annealing in Cd/Zn vapor

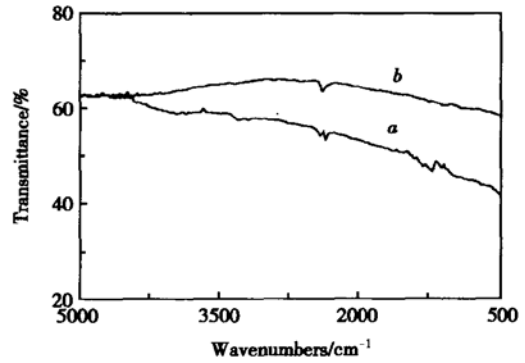


图 4 In-CZT31 晶片在 Te 气氛下热处理前后的红外透过率
Fig. 4 IR transmittance of In-CZT31 wafer
Curve a: before annealing; b: after annealing only in Te vapor

V_{Cd} , V_{Zn} 外, 在表面沉积的 In 原子在一定 Cd/In 压力下同时向晶片内部扩散并补偿 $V_{Cd}^{[11]}$. 在热处理温度和时间一定的条件下, 随着 p_{In} 升高, 在晶片表面沉积的 In 浓度增加, 使得扩散进入晶片的 In 浓度随之逐渐增加, V_{Cd} 受主补偿作用增强而逐渐减少, 导致其所产生的空穴浓度下降, 使得晶片中自由载流子浓度逐渐减少至最低; 但随着 p_{In} 继续升高, 晶片内的 In 浓度亦继续增加, 当其大于补偿 V_{Cd} 所需浓度时, 其电离所产生的电子反而增加了晶片中自由载流子浓度, 最后当 p_{In} 增加到某一值时, 由于扩散进入晶片的 In 浓度达到或超过了 In 在晶片中的最大溶解度, 晶片中的自由载流子浓度不再有明显变化. 因而如图 1 所示, 当控制 p_{In} 较小时, 晶片热处理后的电阻率随 p_{In} 增加而逐渐升高到最高值; 而当控制 p_{In} 较大时, 晶片热处理后的电阻率随 p_{In} 增加而逐渐降低至一定值, 同时导电类型转变为 n 型. 这一实验现象与 Lyahovitskaya^[12] 等人的实验结果有所区别: 同样是对 p 型晶片进行汽相掺 In 热处理, Lyahovitskaya 等人只获得了 n 型低阻晶片, 但文献中并未明确给出实验中所控制的 p_{In} 具体值. 因此我们认为这可能是其所控制的 p_{In} 较高导致对 V_{Cd} 补偿过度. 可见, 为了获得理想的高阻材料, 在热处理过程中 p_{In} 的控制是相当关键的因素. 此外, 热处理时间对晶片的电学性能亦有一定影响. 在热处理温度和 p_{In} 一定的条件下, 随着热处理时间增长, 扩散进入的 In 浓度增加, 使得对 V_{Cd} 的补偿作用增强. 从图 1 中可发现这一点, 在热处理温度和 p_{In} 一定的条件下, 当控制 p_{In} 较小时, 即晶片中的 V_{Cd} 尚未被完

全补偿前, 热处理时间越长, 晶片热处理后的电阻率提高越明显; 而当控制 p_{In} 较大时, 即晶片中 V_{Cd} 被补偿过度后, 时间越长, 晶片热处理后的电阻率降低越明显.

由上述讨论可知, 以上热处理过程本质上是气氛原子扩散进入晶片内补偿受主缺陷而改变晶片电学性能. 因此, 气氛原子对 V_{Cd} 的补偿效率应取决于一定温度下各原子在 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片中的扩散系数. 由于 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶体与 CdTe 晶体结构相同, 缺陷类型、结构相似, 因此可借用 CdTe 模型来说明. 根据 Watson^[13] 和 Borsenberger^[14] 等人的研究结果, 在 600, 700 和 800°C 下, 处在 Cd 气氛下的 In 原子在富 Te CdTe 晶体中的扩散系数分别约为 9.289×10^{-11} , 5.346×10^{-10} 和 $4.045 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, 而 Cd 原子的自扩散系数则分别约为 2.491×10^{-13} , 3.596×10^{-12} 和 $5.421 \times 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$. 可见, 800°C 时 In 的扩散系数比 600°C 时约大 2 个数量级; 在相同的温度下, In 的扩散系数比 Cd 的自扩散系数约大 2 个数量级. 因此在时间和 p_{In} 一定的条件下, 800°C 时扩散进入晶片的 In 原子浓度最大, 而 600°C 时最小; 在热处理温度和 Cd/Zn 分压相同的条件下, In 对 V_{Cd} 的补偿效率应该更高. 所以如图 1 所示, 对热处理后电阻率提高的晶片, 在 800°C 热处理后电阻率提高更明显, 而对电阻率降低的晶片, 在 800°C 热处理后电阻率降低更显著. 同理, 比较表 1 和图 1 的实验结果发现, 在 Cd/Zn 气氛下适当掺 In 热处理后的晶片比单独在 Cd/Zn 气氛下热处理后的晶片电阻率提高更明显. 此外, 根据扩散规律中的 $t = x^2/4D$ 关系, 在 800°C 热处理 168h, In 在晶片中的有效扩散长度为 0.1cm, 当 In 从晶片两面同时扩散时 In 在约 0.2cm 的晶片分布可能较为均匀. 而在 700 和 600°C 时则分别为 0.04 和 0.01cm, 仅为晶片厚度的 2/5 和 1/10. 因而晶片在 800°C 时适当的掺 In 热处理除了比在 700 和 600°C 时电阻率提高更明显外, 还可能使 In 在晶片分布更均匀, 更符合探测器件的制作要求.

但是我们从一系列单独在 Te 气氛下热处理的实验中却发现, 过高的温度 (> 650°C) 会使 $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片在短时间内 (< 48h) 发生严重分解, 而选择 500°C 作为热处理温度较为理想. 这是由于 $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片在热处理中缺少了 Cd/Zn 气氛保护, 过高温度使得晶片中分压较高的 Cd, Zn 组元大量挥发而使晶片趋于分解, 而选择较低的温度会使

这种趋势变得极为缓慢. 除此以外, $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片单独在 Te 气氛下热处理使晶片的电学性能发生变化可能是基于以下三个因素: (1) 在 Te 的饱和气氛下, 晶片内 Te 组元的挥发受到抑制且同时气相压力较大的 Cd, Zn 组元挥发损失, 增加了晶片内部受主缺陷 V_{Cd} , V_{Zn} 的浓度; (2) 气氛中的 Te 原子在一定的 Te 分压下, 在晶片表面沉积后逐渐向内部扩散, 增加了 Te_i 浓度, 同时由 $\text{Te}_i + V_{\text{Te}} \rightarrow \text{Te}_{\text{Te}}$ 减少了施主缺陷 V_{Te} 浓度; (3) 扩散进入晶片内部的一部分 Te 原子将会与晶片中的 In 原子结合形成 InTe , In_2Te_3 和 CdIn_2Te_4 ^[15] 等化合物, 从而降低了在晶片中作为施主元素的 In 原子活性. 而增加 p_{Te} 和延长热处理时间均能使以上机制作用增强. 所以从图 2 看到, 当控制 p_{Te} 较小时, 晶片热处理后的电阻率随 p_{Te} 增加而逐渐升高, 这一点与 Lachish^[4] 的预测相吻合, 且热处理时间越长, 电阻率升高越明显; 而当控制 p_{Te} 较大时, 晶片热处理后电阻率随 p_{Te} 增加而逐渐降低, 并且热处理时间越长, 电阻率降低越明显, 同时晶片导电类型转变为 p 型. 同理, 由于 In 掺杂量为 $5.5 \times 10^{18} \text{ at}/\text{cm}^3$ 的 $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片比掺 In 量为 $2.0 \times 10^{17} \text{ at}/\text{cm}^3$ 的晶片含有更多的施主元素且电阻率更低, 因而在相同时间下其电阻率达到最高值所需的 Te 分压也更高.

红外透过率是衡量 CdZnTe 晶体材料性能好坏的一种常用表征手段^[5,6]. 一般认为, 在室温下影响 CdZnTe 晶片红外透过率的因素主要是自由载流子和 Te 夹杂/沉淀相的吸收^[6]. CZT05 经热处理后, 由于 Cd, In 等原子对 V_{Cd} 的补偿作用以及可能 Cd, Zn 原子与 Te 夹杂/沉淀相结合生成 Cd-Te 或 Cd-Zn-Te 键, 使得晶片中自由载流子浓度和 Te 夹杂/沉淀相减少而红外透过率提高. 关于 Te 夹杂/沉淀相的减少可以以 CZT05 热处理前后其 Te 夹杂/沉淀相的扫描电镜图 5 来加以说明. 晶片热处理前 Te 夹杂/沉淀相的平均尺寸大于 $1 \mu\text{m}$, 密度为: $1.2 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$, 而热处理后的平均尺寸在 $1 \mu\text{m}$ 以下, 密度为: $7.0 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}$. 而对于单独在 Te 气氛下热处理的 In-CZT31 , 其红外透过率提高可能是由于热处理后晶片中自由载流子浓度减少而使红外吸收相应减少.

5 结论

为了获得高电阻率的 In-CdZnTe 晶片, 本文对

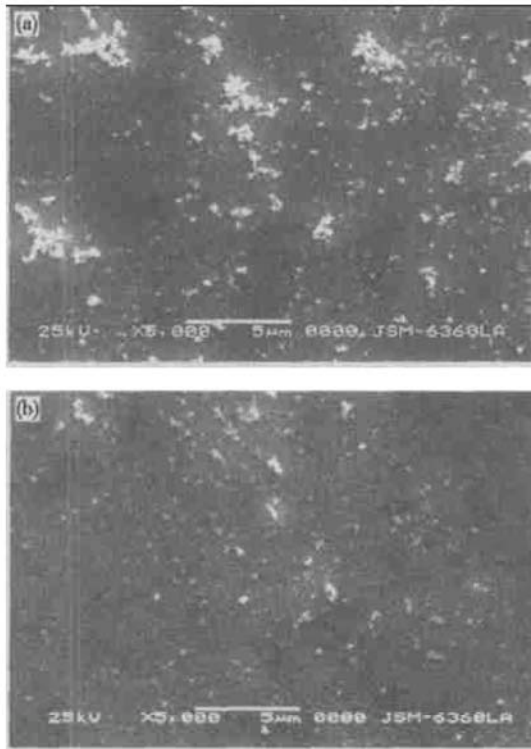


图5 未掺杂 CZT05 晶片热处理前后 Te 夹杂/沉淀扫描电镜照片($\times 5000$) (a) CZT05 晶片热处理前; (b) CZT05 晶片热处理后

Fig. 5 Te precipitates SEM pictures ($\times 5000$) of non-doped CZT05 wafer (a) Before annealing; (b) After In-doped annealing

LB 法生长的未掺杂 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 和 $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片分别采用不同工艺进行了热处理, 得出了以下结论:

(1) 对于未掺杂 $\text{Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片, 宜采用在 Cd/Zn 气氛下掺 In 热处理. 当热处理温度为 800°C 时, 控制 Cd, Zn, In 分压分别为 1.49×10^5 , 8.4×10^2 , $6.1 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 热处理 168h 后, 使典型样片电阻率提高约 2 个数量级, 达到 $2.3 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$, 红外透过率达到 65% 左右, 同时 Te 夹杂/沉淀相的尺寸和密度均有所减小.

(2) 对于低阻的 $\text{In-Cd}_{0.9}\text{Zn}_{0.1}\text{Te}$ 晶片, 则适合单独在 Te 气氛下热处理. 对于掺 In 量为 $2.0 \times 10^{17} \text{at}/\text{cm}^3$ 的晶片在 500°C 时, 控制 Te 分压为 $1.02 \times 10^2 \text{Pa}$ 热处理 120h 后, 晶片电阻率提高约 3 个数量级, 达到 $5.7 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$, 红外透过率提高到约 63%.

参考文献

- [1] Verger L, Bonnefoy J P, Glasser F, et al. New developments in CdTe and CdZnTe detectors for X and γ -ray applications. *J Electron Mater*, 1997, 26: 737
- [2] Schlesinger T E, Toney J E, Yoon H, et al. Cadmium Zinc Telluride and its use as a nuclear radiation detector materials. *Mater Sci Eng R: Reports*, 2001, 32(4~ 5): 103
- [3] Berding M A, et al. Critical thickness in the HgCdTe/CdZnTe system. *J Electron Mater*, 2000, 29(6): 654
- [4] Lachish U. Semiconductor crystal optimization of gamma detection. *J Cryst Growth*, 2001, 225(2~ 4): 114
- [5] Zhu Jiqian, Chu Junhao, Zhang Xiaoping, et al. Effect of an annealing on CdZnTe wafers. *Chinese Journal of Semiconductors*, 1997, 18(10): 782 (in Chinese) [朱基千, 褚君浩, 张小平, 等. 退火对 CdZnTe 晶体质量的影响. *半导体学报*, 1997, 18(10): 782]
- [6] Li Daoqiang, Sang Wenbin, Qian Yongbiao, et al. Crystalline quality of Cd/Zn annealing high resistivity CdZnTe wafers. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2001, 22(5): 597 (in Chinese) [李道强, 桑文斌, 钱永彪, 等. 高阻 CdZnTe 晶体的退火处理. *半导体学报*, 2001, 22(5): 594]
- [7] Lyahovitskaya V, Chernyak L, Greenberg J, et al. n- and p-type post-growth self-doping of CdTe single crystals. *J Cryst Growth*, 2000, 214/215: 1155
- [8] HnkПbcknn B П. Chemistry handbook of Soviet. Tao Kun, translation. Beijing: Chemistry Industry Press, 1958 [HnkПbcknn B П. 苏联化学手册. 陶坤, 译. 北京: 化学工业出版社, 1958]
- [9] Vydyanath H R, Ellsworth J A, Fisher R F, et al. Vapor phase equilibria in the $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ alloy system. *J Electron Mater*, 1993, 22: 1067
- [10] Yu T C, et al. The Hg-Cd-Te phase diagram. *J Phase Equilibria*, 1992, 13: 476
- [11] Fochuk P, Panchuk O, Feychuk P, et al. Indium dopant behaviour in CdTe signal crystals. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 2001, 458: 104
- [12] Lyahovitskaya V, Kaplan L, Goswami J, et al. Post-growth, In doping of CdTe single crystals via vapor phase. *J Cryst Growth*, 1999, 197(1~ 2): 106
- [13] Watson E, Shaw D. The solubility and diffusivity of In in CdTe. *J Phys C*, 1983, 16: 515
- [14] Borsenberger P M, Stevenson D A. Self-diffusion of Cd and Te in CdTe. *J Phys Chem Solids*, 1968, 26: 1277
- [15] Yokota K, Nokai H, Satoh K, et al. Segregation coefficients and activation of indium in CdTe grown from Te-rich melt by the Bridgeman technique. *J Cryst Growth*, 1991, 112(4): 723

Annealing of In-Diffused and In-Doped CdZnTe^{*}

Zhang Bin, Sang Wenbin, Li Wanwan and Min Jiahua

(Department of Electronic Information Materials, Shanghai University, Shanghai 201800, China)

Abstract: A novel process of diffusion into non-doped as-grown Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te wafers by In as gas-doping source under Cd/Zn equilibrium partial pressures is explored, and annealing on In-doped as-grown Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te wafers with low resistivity only in Te vapor is presented as well. The effect of annealing temperature, holding time, In partial pressure, and Te partial pressure, etc on the electrical properties, IR and Te precipitates of the wafers is discussed. The results show that the resistivities of the annealed wafers can be increased effectively, reaching 2.3×10^{10} and $5.7 \times 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$, respectively, and other performances can also be improved obviously under optimization of annealing conditions.

Key words: CdZnTe; gas-doping; annealing; Te vapor

PACC: 6110M; 8140E

Article ID: 0253-4177(2004)11-1447-06

* Project supported by National Natural Science Foundation of China(No. 10175040)

Zhang Bin male, was born in 1978, master candidate. He is engaged in the study on CdZnTe semiconductor material and devices. Email: zhangbin5585@sina.com.

Received 24 November 2003, revised manuscript received 1 January 2004

©2004 The Chinese Institute of Electronics