

用 CdTe 衬底热壁外延生长 CdTe

戴 宁 于梅芳 乔怡敏 罗兴华*

(中国科学院上海技术物理研究所)

摘要——采用热壁外延的方法在 CdTe 体材料衬底上外延一层 CdTe, 获得质量优于衬底的外延膜。外延层用 X 射线衍射定向, 方向与衬底同为 (111)。比较外延层和体材料电反射谱, 表明外延层的质量优于衬底。利用俄歇电子能谱分析了外延层表面到衬底的元素组份及杂质成分。

一、引 言

外延 HgCdTe 要求衬底缺陷密度低, 单晶面积大, 而通常用作 HgCdTe 外延衬底的 CdTe 体材料由于制备上的困难, 质量都比较差。此外, 衬底制备过程中还要经过切、磨、抛、腐蚀等几道工序, 难免会进一步损伤表面, 因此, 目前的 CdTe 体材料衬底还满足不了 HgCdTe 外延的要求。国外曾试图在几种材料上通过外延方法来获得适合于进一步外延 HgCdTe 的外延层, 收到了一定的效果^[1~3]。我们用 CdTe 作衬底, 采用热壁外延方法得到了镜面单晶外延层。从几种测量结果来看, 外延层的性能优于体材料衬底。

本文着重论述了外延的主要物理和化学过程、影响外延层的因素以及用电调制光反射谱、俄歇电子能谱等方法对 CdTe 外延层进行的分析。

二、衬 底 处 理

选择单晶粒比较大的 CdTe 体材料, 切成表面为 (111) 方向的薄片, 经研磨、粗抛光和细抛光后, 用 Br (2%) + CH₃OH (98%) 溶液腐蚀 10 min, 然后再用甲醇和大量的去离子水冲洗, 处理以后的衬底表面呈镜面。将衬底放在热壁外延系统样品架上并抽真空, 使真空度达到 10⁻⁵ Pa 以上。为了消除表面处理过程和接触大气时吸附的杂质元素, 外延生长以前衬底先要在 350°C 的较高温度下处理 30 min。外延时 CdTe 源温度为 500°C, 衬底温度为 260°C, 外延层的厚度约 7 μm。

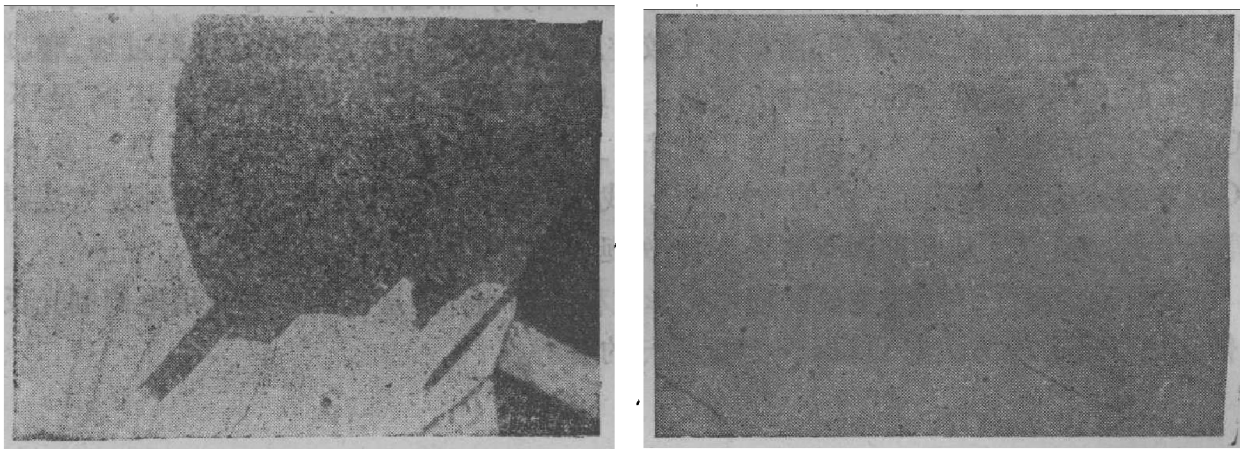
· 本文 1986 年 8 月 19 日收到。

*上海测试技术研究所。

三、外延生长

外延生长是一个复杂的物理、化学过程。外延时,分子按序逐层淀积在衬底上,外延分子束同衬底分子形成有规律的排列,分子束一般由大量数目的分子团构成。源温的高低将影响分子束包含分子的多少以及分子的动能。外延时源温太高会使分子束流量和分子的动能太大,前者使分子束堆积在衬底上以后不能及时散开,后者使源分子同衬底分子的有规则结合成键发生困难。在外延的初始阶段,源分子束在衬底上形成一些“小岛”。要得到良好的外延单晶层需使这些“小岛”均匀散开成单分子层,每个分子再同对应的衬底分子按一定规律结合。要完成这一过程,源分子和衬底分子都要有一定的动能,这在宏观上表现为要求适当的衬底温度。

在不同的衬底方向上,分子键的方向、密度和化学亲和势等都有很大的差异,所以外延单晶的条件也不同。为了便于观察不同衬底方向对外延的影响,我们还选用了由两三块不同方向的单晶块构成的衬底片。这些衬底经过处理后表面都呈镜面,且不能分辨出不同方向的晶粒。生长上去的外延层外观形貌相差很大,表面比较粗糙。用显微镜观察,表面都是密布的小颗粒,显然,这里的外延层是多晶,参见图1(a)。图中亮-暗交界处就是晶粒的界面,这些方向都偏离了(111)。(111)方向衬底上的外延层如图1(b)所示,同经过仔细处理的衬底表面一样,外延层呈很光亮的镜面。图中的小颗粒是衬底和外延层上沾污的灰尘。X射线衍射表明外延层方向也是(111)。一般除了(111)方向以外,其他方向上也能外延出光亮的单晶,只是要求的外延条件不同^[4]。



(a)

(b)

图1 用热壁外延方法生长的CdTe外延层

(a) 衬底方向偏离(111); (b) 衬底方向为(111)

Fig. 1 CdTe epilayers grown by hot-wall epitaxy.

四、测量结果分析

借助于电反射谱和俄歇电子能谱等手段进一步研究了外延层的性质。

1. 电反射谱分析

一般在谱峰小于 10^{-3} 的弱电场调制条件下,电反射谱可由理论表达式^[5]

$$\frac{\Delta R}{R} = \text{Re}[Ce^{i\theta}(E - E_g + i\Gamma)^{-1}] \quad (1)$$

表示,峰出现在满足带间能量差的梯度 $\nabla_{\mathbf{k}}[E_c(\mathbf{k}) - E_v(\mathbf{k})] = 0$, 即 Van Hove 奇点处。峰的形状主要由位相因子 θ 来决定。 Γ 是峰的加宽参数,主要反映了晶体内部晶格振动、缺陷和杂质对电子的散射,因此同晶体的质量和温度有关。晶体质量越好,温度愈低,谱峰的 Γ 值就愈小,峰也愈尖锐。

表面杂质、缺陷密度太大还会使电反射谱发生畸变^[7]。如果是理想的半导体,并满足弱场调制条件,那么总可以通过调节式(1)中的参数 θ 和 Γ , 使理论同实验谱线吻合得很好。表面质量越差,谱线畸变越明显。

图 2(a)、(b)分别为热壁外延 CdTe 和体材料 CdTe^[8] 的电解液电反射谱(调制电压为 0.2V, 直流偏压为 0V)。在 2.4eV、3.4eV 和 4.0eV 附近的三个峰分别对应于布里渊区 Γ 、L 点的 $E_0 + \Delta_0$ 、 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 跃迁^[9]。比较外延层和体材料的谱线可以看出,前者的三个峰要尖锐得多,其中 E_1 峰的加宽参数 $\Gamma = 70$ meV, 而体材料大约是 120 meV, 另外,外延层的峰畸变不大,每个峰的三个极值也很明显,显然外延层的质量优于体材料。

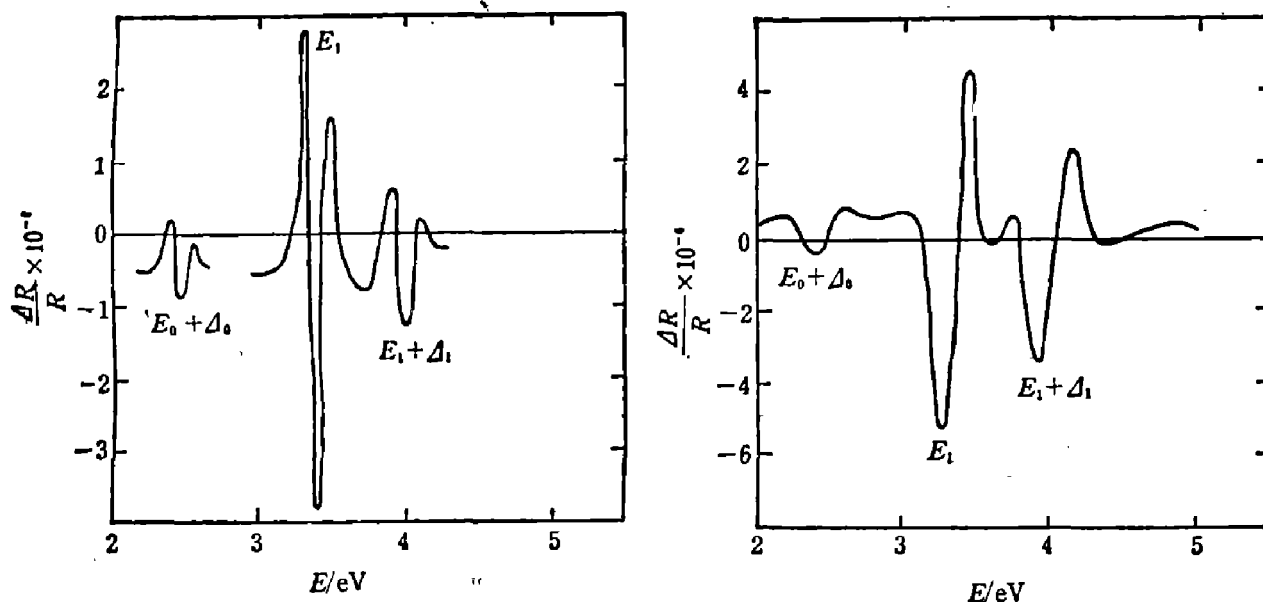


图 2 CdTe 电解液电反射谱
(a)热壁外延 CdTe (b)体材料 CdTe^[8]

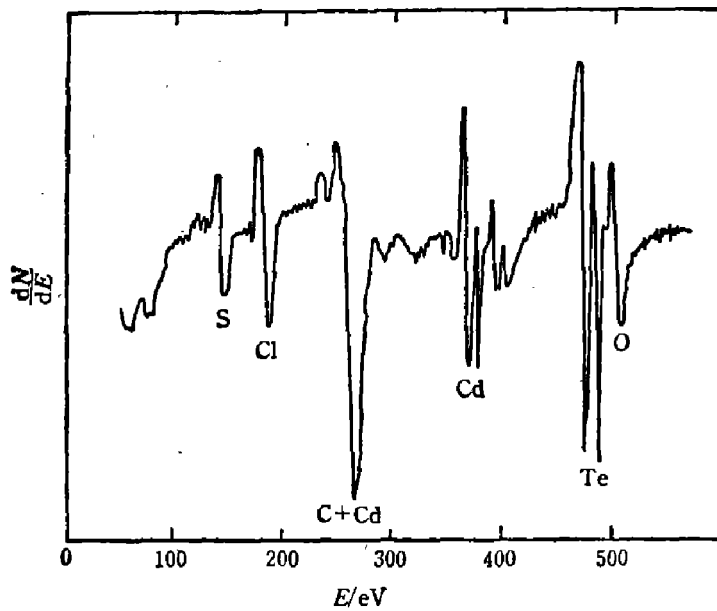
Fig. 2 The electrolyte electroreflectance spectra of CdTe.

虽然外延层同体材料的峰值位置相同,但位相的差别却比较大,这是由于实验中所用的电极溶液和外加偏压不同造成不同程度的表面能带弯曲,同材料本身的性质基本无关。

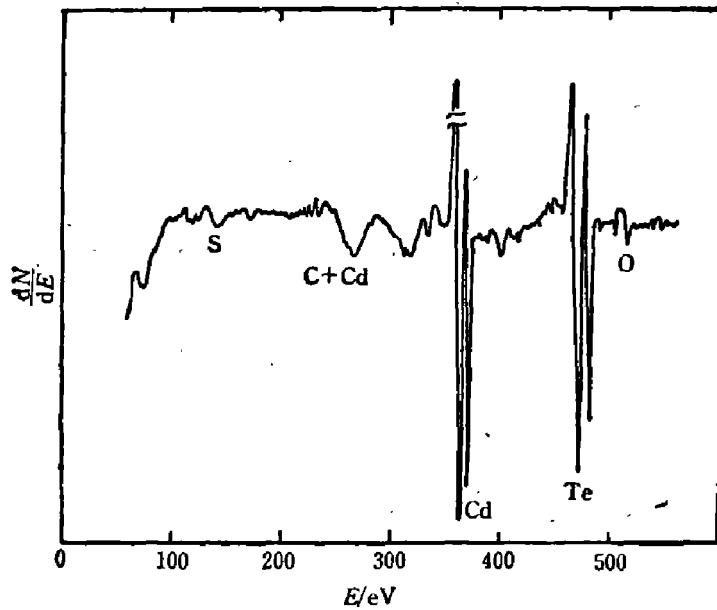
2. 俄歇电子能谱分析

图 3(a)、(b)分别给出了 Ar 离子轰击剥去最表面原子层前后热壁外延 CdTe 俄歇电子能谱。图 3(a)中有比较强的 S、Cl、O、O 峰,说明外延层的最表面存在这些元素,图 3(b)表明剥层以后这些杂质元素就很少了。CdTe 一般比较容易受到这些元素的沾污。这些元素的来源目前还不十分清楚,估计有两种可能:一是来自存放处的环境沾污,二是来自经过切、磨、抛光、腐蚀以后的体材料表面。随着外延分子不断同衬底分子结合成键,这些元素逐渐向外延层表面迁移。图 3(b)的俄歇能谱同分子束外延 CdTe 很相似^[4]。

利用 Ar 离子逐层剥离的方法还测量了外延层 CdTe-体材料 CdTe 界面 Cd、Te 元素



(a)



(b)

图3 热壁外延 CdTe 俄歇电子能谱

(a)外延层最表面 (b)最表面层剥去后

Fig. 3 Auger electron spectra of the hot-wall CdTe epilayer.

的俄歇深度分布,在界面上没有发现 Cd、Te 浓度改变,也没有发现 O、S、Cl 和 O 杂质元素增加,而一般界面上是比较容易受到沾污的。显然,这里外延层-体材料之间过渡很平稳,没有杂质和组成元素浓度的突变。

五、结 论

我们用热壁外延方法在 CdTe 体材料上获得了较好的 CdTe 外延层。当源温为 500°C、衬底温度为 260°C 时,在(111)方向衬底上可外延出光亮的(111)方向镜面单晶。外延层电反射谱的峰宽度较衬底小得多,峰形畸变也很小,说明外延层的质量优于衬底。俄歇电子能

谱测量表明,除了外延层最表面,体内的杂质沾污很少,且外延层和衬底间的界面上没有组成元素和杂质元素浓度突变。

致谢——钟桂英、江美玲同志在电反射谱测量、外延层形貌拍摄中给予了热情的支持,于福聚同志帮助进行了X射线衍射测量,借此一并鸣谢。

参 考 文 献

- [1] Mar H. A. et al., *Appl. Phys. Lett.*, **44**(2) (1984), 237.
- [2] Bicknell R. N. et al., *Appl. Phys. Lett.* **44**(3) (1984), 313.
- [3] Myers T. H. et al., *J. Vac. Sci. Technol.*, **A3**(1) (1985), 71.
- [4] Faurie J. P. and Million A., *J. Crystal Growth*, **54**(1981), 577.
- [5] Aspnes D. E., *Surface Science*, **37**(1973), 418.
- [6] Willardson R. K., *Semiconductors and Semimetals*, Vol. 9, Modulation Techniques, New York, Academic Press., 1972.
- [7] Raccah P. M. and Lee U., *J. Vac. Sci. Technol.*, **A1**(1983), 1587.
- [8] Moritani A. et al., *J. Phys. Soc. Japan*, **34**(1973), 79.
- [9] Graft R. D., *J. Vac. Sci. Technol.*, **21**(1982), 146.

CdTe EPI-LAYERS ON CdTe SUBSTRATE GROWN BY HOT-WALL EPITAXY

DAI NING, YU MEIFANG, QIAO YIMIN, LUO XINGHUA*

(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Growth of CdTe epilayers on bulk CdTe substrates by hot-wall epitaxy is reported. It is known that the quality of epilayers is better than that of substrates by comparing the electro-reflectance spectra of both. By use of X-ray diffraction, the direction of epilayers is set along (111), just the direction of substrates. The composition profiles of Cd, Te, and the components of impurities along the distance from the surface of epilayer to the substrate are analysed by Auger electron spectra.

* Shanghai Institute of Testing Technology