

MOCVD 生长 CdTe 薄层的缺陷研究

彭 承 陆叶华 孙恒慧

复旦大学物理系, 上海 200433

唐文国 李自元

中国科学院上海技物所红外物理开放研究实验室, 上海 200083

(1991年8月14日收到; 1992年1月20日收到修改稿)

用光激电流瞬态谱 (PICTS) 和光致发光光谱 (PL) 对在半绝缘 GaAs 衬底上 MOCVD 生长的 CdTe 薄层的缺陷进行了研究。发现 CdTe 薄层中存在热激活能约为 0.12eV 和 0.27 eV 的二个能级。对照光致发光光谱的实验结果及有关体单晶 CdTe 的缺陷报道, 初步分析认为第一个能级是受主能级, 它由 CdTe 薄层中的剩余杂质所引起, 而另一个能级则可能与材料的晶格缺陷有关。

PACC: 7155 7360F

1. 引言

HgCdTe 是一种重要的带宽可变的红外探测器材料, 它仅能与 CdTe 有良好的结晶学和化学相容性, 所以 CdTe 作为理想的衬底材料已引起广泛的兴趣。高质量的 CdTe 还可以应用于光电调制、核辐射探测、太阳能转换及光集成等领域。由于目前尚难得到大面积高质量的 CdTe 单晶, 较理想的 CdTe 只能以薄层的形式生长在 GaAs、InSb、Si 或蓝宝石上。用 MBE、MOCVD 和热壁外延等技术已能成功地生长这类薄层, 然而对于外延层中缺陷性质的研究则报道较少, 特别是对于在半绝缘 GaAs 衬底上生长的 CdTe 薄层。由于 CdTe 和 GaAs 之间存在约 3% 的晶格失配, 在界面处可以形成失配位错, 这种缺陷可能会影响 CdTe 外延层晶体结构的完整性。研究在这种情况下 CdTe 层中的缺陷, 不论对于探索这些缺陷的特点, 还是评估和改善晶体的质量, 均具有一定的意义, 本文将用光激电流瞬态谱 (PICTS) 和光致发光光谱 (PL) 对用 MOCVD 法在半绝缘 GaAs 衬底上生长的 CdTe 薄层中杂质缺陷作一个初步的分析和讨论。

2. 实验

用 MOCVD 法生长的非故意掺杂 CdTe 薄层^[1]在室温下呈现高阻特性, 因此对于其中的杂质缺陷能级的测量, 常采用 PICTS 方法^[2]。测量所用的光源是波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光器, 功率大于 40 mW, 详细装置见文献[2]。光致发光光谱的激发光源采用 514.5 nm 的 Ar⁺ 离子激光器, 入射到样品上的光功率约 40 mW。样品置于高真空样品室内, 用液氮降温, 探测器为致冷的光电倍增管 (S-1 型), 其长波极限约为 1.1 μm。

测试样品为在半绝缘 GaAs (电阻率 > 10⁷ Ω·cm) 上用 MOCVD 法外延生长的

CdTe 材料。CdTe 层厚为 $2\mu\text{m}$, 电阻率 $\sim 10^3 \Omega\text{cm}$ 。在测试前样品经丙酮、酒精等表面处理。对于测量 PICTS 的样品来说, 还需在高真空下沉积 AuGeNi 合金, 以制备二个平面结构的欧姆电极, 电极间距约为 4mm 。沉积后合金, 然后用银浆焊接金丝引出电极。在 PICTS 测试中样品电极边缘应遮盖以免光照引起不利的影响。

3. 实验结果和分析

用 PICTS 法对 GaAs 上生长高阻 CdTe 薄层的测量结果如图 1。在温度为 90K 到 400K 范围内发现了二个浓度较大的峰值 E_1 和 E_2 , 它们的热激活能分别为 0.12eV 和 0.27eV , E_1 浓度大于 E_2 的浓度。有关 CdTe 中缺陷激活能的报道较少, Biglar^[3] 等用 PICTS 法测量各种 CdTe 单晶的缺陷, 发现其中较常见的缺陷能级位于 0.15eV 左右。在一定实验条件下(在文献[3]中为 H^+ 注入和退火)可以在单晶 CdTe 中产生晶格缺陷, 它们所对应的能级激活能在 0.30eV 附近。Biglar 等所报道的二个缺陷与本文的 E_1 、 E_2 在激活能及峰值温度等方面十分相近, 因此 E_2 可能是与晶格缺陷的复合体有关, 而 E_1 则可能对应于 CdTe 薄层中的剩余杂质。这与 Samimi^[4] 的解释有一定的相似之处。当晶格较为有序时(如单晶的情况)晶格缺陷较小, 故 E_2 较小而 E_1 相对较大。本实验的样品是生长于半绝缘 GaAs 衬底上的 CdTe 薄层, 在界面处存在着相当大的晶格失配, 有可能使 CdTe 薄层的晶格完整性受到影响。但是从总的晶体结构来说还是有序的, 这一点可以从 X 射线衍射和背散射法的测量结果中得到证明。对同一样品的正面作 X 射线衍射可以得到与单晶 CdTe 相同的图形。从侧面作背散射则大部分信号均被界面所散射, 这说明 CdTe 薄层在接近 GaAs 界面时晶格结构是不理想的, 而在表面附近则有较好的完整性^[5]。由于受 PICTS 测量时的激发光源波长的限制, 此处只能测量 CdTe 近表面的缺陷能级的平均效果, 在这种情况下缺陷 E_1 浓度大于 E_2 是合理的, 而 E_2 则可

能是由于 CdTe 与 GaAs 之间应力释放形成位错等晶格缺陷所引起的。从图 1 还可以看到一个位于高温区的小峰, 估计其激活能接近 0.70eV , 但其浓度相当低, 以致于不能在每块样品中测到, 因此亦不能判断它与何种缺陷有关。

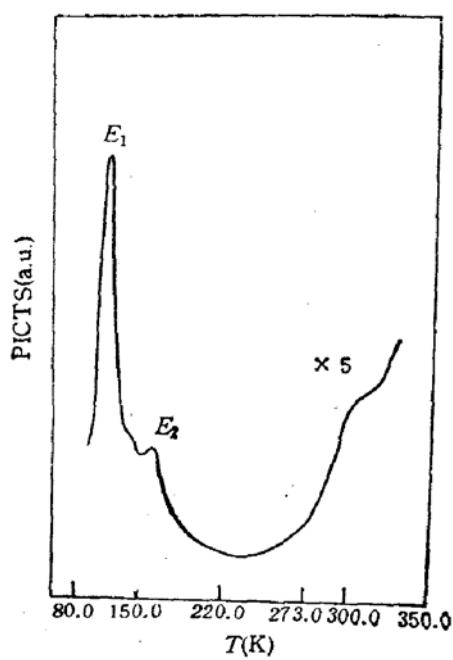


图 1 CdTe 薄层的光激电流瞬态谱

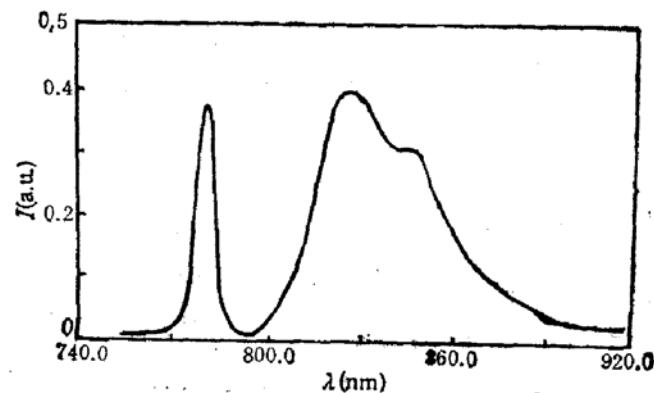


图 2 CdTe 薄层的光致发光光谱 (77K)

光致发光光谱的测量结果如图 2, 在选择样品时已注意到 CdTe 层的厚度远大于光

的透入深度，再加上在技术上采用了大角度入射的方法，从而避免了衬底半绝缘 GaAs 的受激发射光的干扰。由于 CdTe 是直接禁带型半导体，故图 2 在 $\lambda = 780.0\text{nm}$ 处观察到一个反映带边发光的尖峰，在 77K 下尚不能观察到带边辐射的精细结构，此外还观察到一个位于 $\lambda = 830.0\text{nm}$ 的宽峰，其中包含二个较明显的峰位，它们与带边的能量差分别为 0.10eV 和 0.13eV 左右，从峰宽和峰位来看是对应于 CdTe 中通过受主能级的复合发光。对照已发表的单晶 CdTe 的光致发光光谱测量结果可知，CdTe 中许多杂质缺陷均能引起位于 830.0nm 附近的宽峰。由于 Cd 和 Te 的化学计量比在各类不同的单晶和外延层中不会严格相同，所以这个峰与材料的化学计量比关系不大，而与杂质或晶格缺陷有关。Chamoual 等人^[6]在研究单晶 CdTe 的光致发光光谱后认为这个宽峰是由杂质沾污所引起，而其中的二个小峰则分别对应于 Au 和 Cu 的浅能级，这二者相差为 0.03eV ，比较 PICTS 的结果可以发现，如果样品中 E_1, E_2 浓度较大则光致发光宽峰的高度亦会变大，而且其中二个峰位能较明显地区分。同时考虑到此宽峰所对应的能量位置与带边的能量差和 E_1 的激活能相近，因而此峰与 E_1 可能有关且也对应于剩余杂质。

4. 小结

本文用光激电流瞬态谱和光致发光光谱二种方法，研究了在半绝缘 GaAs 衬底上用 MOCVD 法外延 CdTe 的一些缺陷能级，比较业已报道的单晶 CdTe 的测量结果，认为缺陷 $E_1 (0.12\text{eV})$ 可能与 CdTe 薄层中的剩余杂质有关，而缺陷 $E_2 (0.27\text{eV})$ 则可能与材料的晶格缺陷相关连。实验结果亦表明用该方法生长的 CdTe 外延层，其晶格完整性方面(尤其是在远离界面的表面附近)已能达到相当的程度。

参 考 文 献

- [1] R. W. Peng, F. Xu and Y. Q. Ding, *J. Cryst. Growth* (1991) 待发表。
- [2] 彭 承、李建林、陆 峻、孙恒慧，《半导体学报》11, 170(1990)。
- [3] B. Biglari, M. Samimi, M. Hage-Ali, J. M. Koebel and P. Siffert, *J. Appl. Phys.*, 65, 1112(1989).
- [4] M. Samimi, B. Biglari, Hage-Ali and P. Siffert, *J. Cryst. Growth*, 72, 213(1985).
- [5] Peng Rui-wu, Ding Yong-qing, Wang Ge-ya and Peng Chen, *J. Cryst. Growth*, 103, 380(1990).
- [6] J. P. Chamonal, E. Molva and J. L. Pantrat, *Solid State Commun.*, 43, 801(1982).

Study of Defects in CdTe Film Grown by MOCVD

Peng Cheng, Lu Yehua and Sun Henghui

Physics Department, Fudan University, Shanghai 200433

Tang Wenguo and Li Ziyuan

Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, Shanghai 200083

(Received 14 August 1991; Revised manuscript received 20 January 1992)

Abstract

Photoinduced current transient spectroscopy (PICTS) and photoluminescence (PL) are used to study the defects in CdTe film grown on semi-insulating GaAs substrate by MOCVD. There are two levels with activation energy of about 0.12eV and 0.27eV in the CdTe film. In comparison between our results of PL and that of the published papers of the defects in the crystal CdTe, the first level may be an acceptor induced by native impurities in CdTe film, and the another level may be related to lattice defects of material.

PACC: 7155, 7360F