

离子注入对分子束外延 $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$ 远红外振动模的影响

姬荣斌^{1,2} 李 标¹ 方维政¹ 王善力¹ 杨建荣¹ 何 力¹

(1 中国科学院上海技术物理研究所半导体薄膜材料研究中心及红外物理国家实验室 上海 200083)

(2 昆明物理研究所 昆明 650223)

摘要 我们对用分子束外延(MBE)技术生长出的 $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$ 薄膜进行了 N 离子注入并退火, 分别得到了其室温喇曼散射谱及在不同温度下的远红外透射谱。喇曼散射谱可以观察到类 HgTe 的 LO 模的散射和 TO 模的散射, 原生样品及离子注入样品在 93cm^{-1} 附近有较弱的散射峰, 经离子注入后该峰消失; 远红外透射谱中分别可以观察到 $78\text{cm}^{-1}(X)$ 、 $86\text{cm}^{-1}(I_1)$ 、 $93\text{cm}^{-1}(LA)$ 、 $104\text{cm}^{-1}(P_d)$ 以及 $121\text{cm}^{-1}(\text{TO}_2)$ 、 $143\text{cm}^{-1}(\text{TO}_1)$ 、 $156\text{cm}^{-1}(\text{LO}_1)$ 等吸收峰, 讨论了离子注入及注入后退火对 X 、 I_1 、 LA 、 P_d 等吸收峰的影响

PACC: 7220, 6555, 7830, 7865

1 引言

$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 是一种重要的红外探测器材料, 在现代国防和空间技术等领域有着极其重要的意义。由于分子束外延技术生长 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 具有超高真空环境、生长温度较低、可以随时调整生长条件生长出不同组分的外延膜和多层异质结构, 并可以在外延过程中制备 pn 结和 CdTe 表面钝化层等优点, 有着较大的优势和发展潜力。离子注入是形成 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 红外焦平面所需的 pn 结常用的方法, 研究离子注入对 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 材料的影响有重要的意义。

研究 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 材料的声子振动行为对于了解材料的晶体对称性及材料内的电子行为是十分重要的。常用的方法有喇曼散射(Raman Scattering)谱^[1,2]、远红外反射(Far-infrared Reflectivity)谱^[3,6]及远红外透射(Far-infrared Transmittance)谱^[7,8]。我们分别对原生的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 外延薄膜和经 N 离子注入, 以及注入后经退火的薄膜进行了喇曼光谱和远红外光谱的测量, 并对结果进行了讨论。

姬荣斌 1967 年出生, 博士, 现在昆明物理研究所工作, 从事材料科学的研究

何 力 1959 年出生, 博士生导师, 现为中国科学院上海技术物理研究所半导体薄膜材料中心主任

1998-03-09 收到, 1998-06-19 定稿

2 样品准备

$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 薄膜是用 RIBER32P 分子束外延系统在半绝缘的 ϕ .08cm $\text{GaAs}(211)$ 衬底上生长出来的。束源材料为 CdTe 、 Te_2 和 Hg 。在生长 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 薄膜之前先在 GaAs 衬底上生长一层 CdTe 缓冲层, 以降低晶格失配的影响。通过拟合红外透射谱的方法可以确定其组分 $x = 0.32$, $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 薄膜厚度为 $7.2\mu\text{m}$, CdTe 厚度为 $2.7\mu\text{m}$ 。电学测量确定该外延薄膜为 P 型, 其载流子浓度 $p = 1.12 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$, 空穴迁移率为 $146\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 。

N 离子注入的注入条件是, 注入能量 120keV , 注入剂量为 $1 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ 。对 N 离子注入后的样品进行退火的条件是, 在饱和的 Hg 蒸汽保护下, 先在 450°C 下退火 1h, 再在 240°C 下退火 24h。为了叙述方便, 将同一样品上分解下来的三块小样品标为 1#、2#、3#, 其中 1# 样品为原生的 $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$ 外延薄膜, 2# 样品经过了 N 离子注入, 3# 样品注入后经过了退火。

在进行以下测试之前, 样品经过清洗以消除表面玷污给测试带来的不利影响。

3 结果与讨论

我们在不同的温度下测试了 1#、2#、3# 样品在 $70\sim 200\text{cm}^{-1}$ 范围的远红外透射谱, 结果如图 1 所示。最上面的三条是不同温度下原生样品的曲线, 中间的是经过 N 离子注入, 下面的是离子注入后再经过退火。从图中可以看到的吸收峰分别位于: 78cm^{-1} (图中标为 X)、 86cm^{-1} (标为 I_1)、 92cm^{-1} (标为 LA)、 104cm^{-1} (标为 P_d)、 121cm^{-1} (标为 TO_2)、 143cm^{-1}

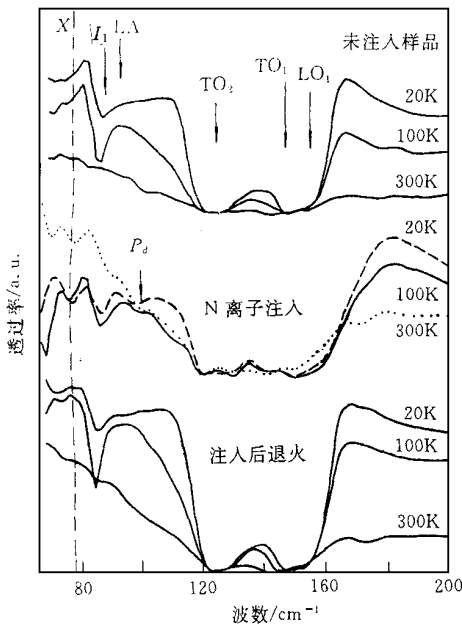


图 1 不同 $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$ 样品的变温远红外透射谱

(标为 TO_1)、 156cm^{-1} (标为 LO_1)。其中, TO_1 、 LO_1 (类 CdTe 模) 和 TO_2 (类 HgTe 模) 的起源已被详细讨论^[1,8], 在图 1 中可以看到, 不同温度、不同样品的这几个峰的位置、强度均无变化。在本文中, 我们主要讨论 N 离子注入及退火对 I_1 、X、LA、 P_d 等吸收峰的影响。

3.1 I_1 吸收

从图 1 中可以看到, 在 1# ~ 3# 样品中都有 I_1 吸收峰。值得注意的是, 当温度在 $20\sim 100\text{K}$ 之间时, 该峰表现出温度依赖关系, 三个不同条件样品的吸收都随温度上升而增加; 而当温度从 100K 上升至 300K 时, 其吸收却几乎没有变化。文献^[7,9]认为该峰与 Hg 空位有关。

3.2 P_d 吸收

未注入样品仅在 300K 时该位置有较弱的吸收峰, 20K 、 100K 时均无明显的吸收峰。而经离子注入后, 从 20K 至 300K 该位置都有较强吸收。Amirtharaj^[11]等人将该吸收峰称为“Defect mode”,

他们对来自于不同实验室的样品进行了测试, 在有的样品上观察到了这一模, 而另外样品上却没有观察到, 所以认为是一个非本征的模。通过我们的实验结果, 有理由认为这一吸收峰来源于晶格缺陷。对于 1# 样品, 生长中不可避免地在在外延薄膜中产生晶格缺陷, 但良好的生长条件使得缺陷较少, 较低温度下晶格振动较弱, 该缺陷对吸收的影响不大, 只有在较高的温度下才表现出影响来; 当样品经过离子注入后, 高能离子轰击样品, 造成样品晶格畸变严重, 从而在不同温度下都对吸收造成显著的影响; 当经过适当条件的退火后, 可以减弱晶体缺陷, 从而使得 P_d 模引起的吸收消失。

3.3 X 吸收

到目前为止, 我们没有看到关于这一吸收峰的报道。从图 1 中可以很清楚的看到, 1# 样品在 78cm^{-1} 附近没有吸收峰, 但当 N 离子注入后在不同温度下都在这一位置出现明显的吸收(可以通过图中所标的虚直线进行比较), 显然, 这一吸收是由于离子注入对晶格的损伤引起。而经过退火处理后该吸收峰又消失, 说明适当条件的退火可以在很大程度上减小这种损伤。这一吸收峰的性质还有待于进一步的研究。

3.4 LA 模

1# 和 2# 样品在 92cm^{-1} 附近出现一较弱的吸收峰, 3# 样品无该吸收峰; 20K 和 100K 该峰在三个样品中均未发现。由于这一吸收峰较弱, 我们给出了 92cm^{-1} 附近的局部图, 如图 2。图中三条曲线分别为不同样品 300K 时 $85\sim 150\text{cm}^{-1}$ 范围的远红外透射谱。我们对这几个样品进行的喇曼测试也有相同的结果, 如图 3。图中三条曲线从上到下分别为 1# ~ 3# 样品在 300K 时的喇曼散射谱。 119cm^{-1} 、 138cm^{-1} 的散射峰分别为类 HgTe 的 TO 模和 LO 模, 与图 1 中的这两个模的位置基本一致; 在 93cm^{-1} 处也出现了一个较弱的喇曼散射峰。该峰强度离子注入前后基本无变化, 但经退火后该峰消失。

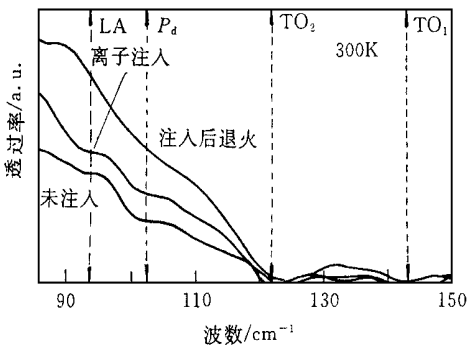


图 2 不同的 $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$ 样品 300K 下 $85\sim 150\text{cm}^{-1}$ 范围的远红外透射谱

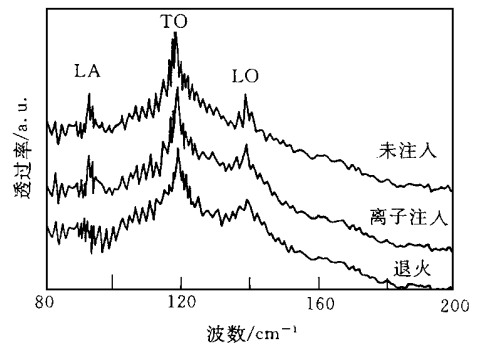


图 3 三个不同条件的 $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$ 样品 300K 下的喇曼散射谱

从以上实验结果可以看到, LA 与 P_d 吸收峰较为相似, 即经过退火后都消失, 不同的是经离子注入后低温下有 P_d 峰但无 LA 峰。可见这两个峰起源有相似之处又有不同。Mazur^[10] 等人认为这是类 HgTe 的 LA 模, 与 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 的晶格无序有关。MBE 生长出的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 不可能完美无缺, 总会存在一定的晶格无序性, 适当温度退火使得原来无序的晶格趋向有序, 所以退火后的样品不能观察到这个模。

4 结论

我们对 MBE 生长的 $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$ 原生样品、经过 N 离子注入的样品以及注入后又经退火的样品分别进行了变温远红外透射谱测试,同时在室温下对三个样品进行了喇曼散射谱测试。结果表明,离子注入对 $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$ 的远红外振动模产生影响:离子注入会加强 108cm^{-1} 的吸收峰,并在 80cm^{-1} 附近产生一个新的吸收峰,该峰与离子注入引起的晶体损伤有关。退火可以较好地消除离子注入对远红外振动的影响。

致谢 感谢中国科学院上海技术物理研究所半导体薄膜材料中心俞锦陞、许颐璐的帮助

参 考 文 献

- [1] P. M. Amirtharaji, K. K. Tiong, P. Parayanthal *et al.*, *J. Vac. Sci. Technol.*, 1985, **A3**: 226
- [2] A. Lusson and J. Wagner, *Phys. Rev. B*, 1988, **38**: 10064
- [3] J. Baars and F. Sorger, *Solid State Commun.*, 1972, **10**: 875
- [4] J. H. Chu and S. C. Shen, *Semicond. Sci. Technol.*, 1993, **8**: s86
- [5] S. P. Kzyrev, L. K. Vodopyanov and R. Triboulet, *Solide State Commun.*, 1983, **45**: 383
- [6] S. Farjavel Shayesteh, T. Dumelow, T. J. Parker *et al.*, *Int. J. Infrared Millim. Waves*, 1995, **16**: 763
- [7] Biao Li, J. H. Chu, H. J. Ye *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **68**: 21
- [8] L. S. Kim, S. Perkowitz, O. K. Wu *et al.*, *Semicond. Sci. Technol.*, 1990, **5**: s107
- [9] Properties of Narrow Gap Cadmium-based Compounds, Edit by P. Capper, EMIS Datareview Series No. 10 (N-SPEC London, 1994).
- [10] Yu. Imazur, S. I. Kriven, C. G. Tarasov *et al.*, *Semicond. Sci. Technol.*, 1993, **8**: 1187.

Investigation of N-Ion Implanting MBE $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$ Epilayers by Using Raman Scattering and Far-Infrared Transmission Spectra

Ji Rongbin^{1,2}, Li Biao¹, Fang Weizheng¹, Wang Shanli¹, Yang Jianrong¹, He Li¹

(1 *The Epitaxy Research Center for Advanced Materials and National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083*)

(2 *Kunming Institute of Physics, Kunming 650223*)

Received 9 March 1998, revised manuscript received 19 June 1998

Abstract The vibrational modes in as-grown, ion implantation and annealing $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$ epitaxial films have been investigated by means of far-infrared transmittance spectra (at temperatures ranging from 20K to 300K) and Raman scattering (at temperature of 300K). A series of modes are observed. Some of those modes will be effected by ion implantation and annealing.

PACC: 7220, 6555, 7830, 7865 *I₁ LA*