

# 分子束外延 $Hg_{0.68}Cd_{0.32}Te$ 薄膜光致发光 和喇曼散射的研究\*

TN2/3,0/

姬荣斌 王善力<sup>√</sup> 杨建荣 于梅芳 乔怡敏 常勇 李标 何力

(中国科学院上海技术物理研究所红外物理国家重点实验室及  
半导体薄膜材料研究中心, 上海, 200083)

**摘要** 对利用 MBE 技术生长的  $Hg_{0.68}Cd_{0.32}Te$  薄膜进行了光致发光和喇曼光谱的研究. 拟合薄膜光致发光谱得到的禁带宽度, 与用红外透射谱得到的薄膜带宽相近; 其半峰宽仅为 5meV; 带尾能量小于 1.3meV, 显示了较高的薄膜质量. 喇曼光谱测试表明, 在  $119cm^{-1}$  和  $138cm^{-1}$  处有较弱的喇曼散射峰, 其中  $119cm^{-1}$  峰为类 HgTe 的 TO 模,  $138cm^{-1}$  为类 HgTe 的 LO 模; 在  $93cm^{-1}$  处也可以观察到一个较弱的喇曼散射峰.

红外材料  
汞碲

**关键词**  $Hg_{0.68}Cd_{0.32}Te$  薄膜, 光致发光 (PL), 喇曼散射, 远红外透射

## 引言

红外焦平面列阵 (IRFPAs) 探测器技术在现代国防和空间技术等领域占有十分重要的地位, 而  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  薄膜制备技术对红外焦平面列阵探测器的发展至关重要. 目前, 生长  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  薄膜除传统的液相外延 (LPE) 外, 分子束外延 (MBE) 和金属有机化学汽相沉积 (MOCVD) 技术也日益成熟. 由于 MBE 技术制备  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  材料是在超高真空环境下进行, 生长温度较低, 与常规的 LPE 技术相比, MBE 技术可根据不同需要随时调整生长不同组份的外延薄膜和多层异质结构, 并有可能在外延过程中制备 PN 和 CdTe 表面钝化层, 所以,  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  材料的 MBE 生长技术有很大的优势和发展潜力.

光致发光 (PL) 和喇曼光谱是两种十分有效和常用的材料表征手段. 1972 年 Elliot<sup>[1]</sup> 等人首次报道了  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  的 PL 的研究结果, 并被广泛用来对材料的杂质、缺陷以及晶体质量进行检测评价; 近来用喇曼散射来研究晶体质量也有较多报道<sup>[2,3,4]</sup>. 这两种测试方法突出的优点是无损伤测量. 本文中, 对用 MBE 技术生长的组份为 0.32 的  $Hg_{0.68}Cd_{0.32}Te$  材料进行了 PL 和喇曼散射的测试研究.

## 1 样品生长

用 RIBER32P 分子束外延系统在半绝缘的  $\phi 2in(211)GaAs$  衬底上生长  $Hg_{0.68}Cd_{0.32}Te$  材料. 衬底先经过有机溶剂超声清洗去掉表面的油渍, 再经过大量去离子水冲洗、浓  $H_2SO_4$

\*上海市博士后基金资助项目  
稿件收到日期 1997-08-14, 修改稿收到日期 1997-11-25

脱水,用  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  的溶液腐蚀后,再用  $\text{HCl}$  腐蚀 1min,最后用  $\text{In}$  粘在铜块上,在高纯  $\text{N}_2$  气氛保护下装入进样室。

源材料使用的是高纯  $\text{CdTe}$ 、 $\text{Te}_2$  和  $\text{Hg}$ 。  $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$  的组分由衬底温度以及  $\text{CdTe}$  与  $\text{Te}_2$  的束流比决定,  $\text{Hg}$  的束流对组分的影响较小,但  $\text{Hg}$  源的不稳定会严重影响薄膜的质量、表明形貌,故  $\text{Hg}$  束流的控制是十分重要的。

在生长材料前需要对衬底进行高温脱氧,脱氧的好坏会直接影响外延层的晶体质量,我们利用高能电子衍射(RHEED)监测脱氧过程,由于  $\text{GaAs}$  与  $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$  的晶格失配较大,在生长  $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$  之前需要先生长一层约  $4\mu\text{m}$  的  $\text{CdTe}$  缓冲层以降低晶格失配。在生长过程中利用 RHEED、红外测温仪对生长过程进行实时监测。

## 2 结果与讨论

### 2.1 光致发光

光致发光测量使用的激发光源是波长为  $514.5\text{nm}$  的  $\text{Ar}^+$  激光器,激发的光强为  $400\text{mW}/\text{cm}^{-2}$ 。

图 1(a)及(b)的圆点分别是温度为  $4.2\text{K}$  及  $25\text{K}$  时  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  材料的光致发光图,图 1(a)和图 1(b)中均有一个很强的发光峰,用 Anderson 模型并考虑到 Urbach 带尾对发光的影响<sup>[5,6]</sup>对这两曲线进行拟合,得到的  $4.2\text{K}$  时的禁带宽度为  $262\text{meV}$ ,  $25\text{K}$  时禁带宽度为  $268\text{meV}$ 。

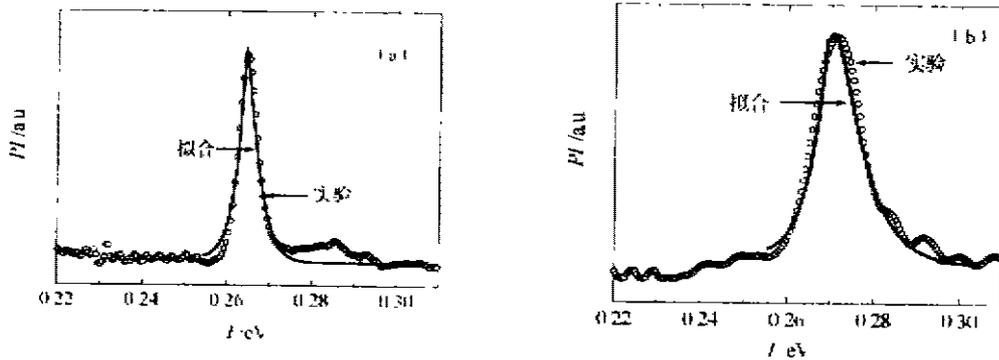


图 1  $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$  薄膜的光致发光(PL)谱

(a)  $4.2\text{K}$  (b)  $25\text{K}$

Fig. 1 Photoluminescence spectra (PL) of an as-grown  $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$  film

用拟合红外透射谱的方法,可以得到该薄膜组分  $x$  为  $0.32$ ,利用 Hanson-Smith 的禁带宽度与组分  $x$  的关系式

$$E_g(x, T) = -0.302 + 1.93x - 5.35 \times 10^{-4}T(1 - 2x) - 0.81x^2 + 0.832x^3 \quad (1)$$

得到  $4.2\text{K}$  时,  $E_g(0.32, 4.2\text{K}) = 262\text{meV}$ ;  $25\text{K}$  时,  $E_g(0.32, 25\text{K}) = 265\text{meV}$ ,与拟合光致发光谱得到的结果符合较好。

一般地,PL 谱的半峰宽(FWHM)被用来作为  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  材料质量检测的一种手

段<sup>[7]</sup>, 根据报道, 一般 FWHM 大于  $10\text{meV}$ <sup>[8,9]</sup>, 而从图 1(a) 可以看到,  $4.2\text{K}$  时  $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$  薄膜的半峰宽约为  $5\text{meV}$ ,  $25\text{K}$  时虽有展宽, 但也不到  $15\text{meV}$ . 此外, Urbach 带尾能量也是一种  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  晶体质量的表征参数<sup>[10]</sup>. 从我们对 PL 谱的拟合结果看,  $4.2\text{K}$  时的带尾能量  $E_0$  仅为  $1.3\text{meV}$ , 小于一般报道的 MBE 薄膜的  $4\text{--}6\text{meV}$ <sup>[5,9]</sup>, 与 THM 材料的  $E_0$  值相当<sup>[5]</sup>, 表明我们生长的  $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$  薄膜有较高的质量.

## 2.2 共振喇曼散射的测量

共振喇曼测试在室温下进行, 其结果如图 2 所示.

从图 2 可以看到有三个峰, 较弱的峰为  $93\text{cm}^{-1}$ , 而  $119\text{cm}^{-1}$  和  $139\text{cm}^{-1}$  较强, 其中  $119\text{cm}^{-1}$  峰为类  $\text{HgTe}$  的 TO 模,  $139\text{cm}^{-1}$  为类  $\text{HgTe}$  的 LO 模<sup>[2,3,11]</sup>, 但  $93\text{cm}^{-1}$  处出现的峰在有关  $\text{HgCdTe}$  喇曼测量的文献中未见到报道. Mazur<sup>[4]</sup> 等人对  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  红外透射的测试结果表明在  $93\text{cm}^{-1}$  附近有一吸收峰, 并指认为纵声学声子 (LA) 振动引起的吸收, Li Biao<sup>[12]</sup> 等也观察到该吸收峰. 为此, 我们对样品进行了远红外透射的测试, 其结果表明, 在  $94\text{cm}^{-1}$  附近也有吸收峰 (见图 3), 说明喇曼测量中得到的  $93\text{cm}^{-1}$  处的散射可能与纵声学声子振动有关.

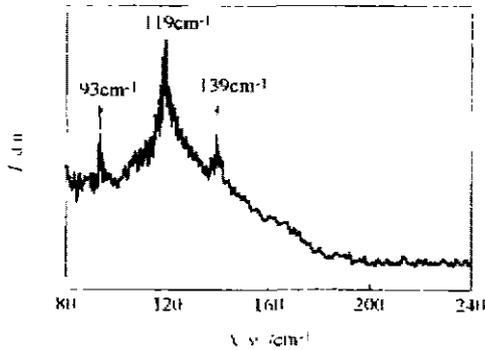


图 2  $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$  薄膜的室温共振喇曼散射的测试

Fig. 2 Raman scattering spectra of a  $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$  film at 300K

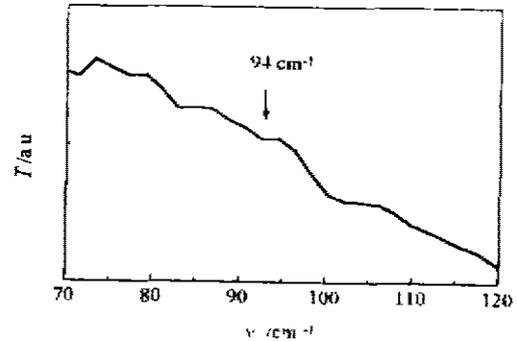


图 3  $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$  薄膜的室温远红外反射谱

Fig. 3 Far-infrared reflectivity spectra (FIR) of  $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$  film at 300K

据报道,  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  薄膜的共振喇曼测试在  $132\text{cm}^{-1}$  处有一团簇模 (Clustering Mode) 引起的较宽的共振峰, 该峰被认为与薄膜表面质量有关, MBE 由于生长速度慢, 温度低, 容易形成该峰<sup>[13]</sup>. 但我们的测量中未出现这个峰, 原因可能是我们的测量是在室温下进行的.

## 3 结语

我们对 MBE 外延生长的  $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$  薄膜进行了低温光致发光及喇曼散射的测量. 该薄膜的光致发光峰很强, 且半峰宽较窄, 噪声很小, 表明薄膜质量较好; 喇曼散射的测量结果中, 有明显的类  $\text{HgTe}$  的 LO 和 TO 模; 此外, 在  $93\text{cm}^{-1}$  处出现了一个尚未见报道的散射峰, 与远红外反射谱的比较表明该峰对应于 LA 声子.

**致谢** 感谢我所半导体薄膜材料研究中心的俞锦陞、许颐璐和杜芙蓉同志及中国科学技术大学结构中心许存义和左健同志的帮助。

### REFERENCES

- 1 Elliot C T, Medingailis I, Harman T C, et al. *J. Phys. Chem. Solids*, 1972, **33**: 1572
- 2 Amirtharaj P M, Tiong K K, Parayanthal P, et al. *J. Vac. Sci. Technol.* 1984, **A3**: 226
- 3 Lusson A, Wagner J, Ramsteiner M. *Appl. Phys Lett.* ,1989, **54**: 1787
- 4 Mazur Y I, Kriven S I, Tarasov G G, et al. *Semicond. Sci. Technol.* ,1993, **5**: 1187
- 5 Herrmann K H, Mollmann K P, Tomm J W. *J. Cryst. Growth*, 1992, **117**: 758
- 6 Anderson W W. *Infrared Phys.* 1980, **20**: 363
- 7 Tomm J W, Herrmann K H, Yunovich A E. *Phys. stat. sol.* ,1990, **122**: 11
- 8 Baukus J P, Hunter A T, Schulman J N, et al. *J. App. Phys.* ,1988, **64**: 283
- 9 Han J W, Hwagn S, Larper Y, et al. *J. Vacuum Sci. Technol.* 1989, **A7**: 305
- 10 Tran T K, Parikh A, Pearson S D, et al. *J. Electron. Mater.* ,1996, **25**: 1203
- 11 Ksanzov A, Pollak F H, Amirtharaj P M, et al. *Semicond. Sci. Technol.* ,1990, **5**: s78~s80
- 12 Li B, Chu J H, Ye H J, et al. *Appl. Phys. Lett.* ,1996, **68**: 3272
- 13 Compan A, Bowman Jr R C, Cooper D E. *Semicond. Sci. Technol.* ,1990, **5**: s73~s77

## PHOTOLUMINESCENCE AND RAMAN SCATTERING SPECTROSCOPIES OF MBE-GROWN $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$ EPILAYER\*

Ji Rong-Bin WANG Shan-Li YANG Jian-Rong YU Mei-Fang  
QIAO Yim-In CHANG Yong LI Ba-Ao HE Li

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

**Abstract** Using photoluminescence (PL) and Raman scattering (RS), the MBE-grown  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  ( $x = 0.325$ ) epilayers were studied. The PL measurement shows a strong near-band emission peak with a FWHM of 5meV, which indicates high crystal quality obtained. Three peaks, the relatively strong HgTe-like TO mode at  $119\text{cm}^{-1}$  and HgTe-like LO at  $139\text{cm}^{-1}$  and a weak LA mode at  $93\text{cm}^{-1}$ , were observed on RS spectra. The weak peak at  $93\text{cm}^{-1}$  has not been reported previously. The assignment of the peak is based on the comparison with the result of far-infrared transmittance spectra (FIT).

**Key words**  $\text{Hg}_{0.68}\text{Cd}_{0.32}\text{Te}$  films, photoluminescence (PL), Raman scattering, far-infrared transmittance spectra (FIT)

\* The project supported by the Post-Doctor Foundation of Shanghai Municipality  
Received 1997-08-14, revised 1997-11-25