

研究快报

CdTe/ZnTe 超晶格的多声子共振 喇曼谱研究

张树霖 侯永田 申猛燕 张小洁

(北京大学物理系,人工微结构和介观物理国家重点实验室,北京 100871)

李 杰 袁诗鑫

(中科院,上海技术物理研究所,上海 200083)

1991年12月20日收到,1992年1月6日修改定稿

用共振喇曼散射研究了 CdTe/ZnTe 应变层超晶格的多声子谱。实验结果表明,我们首次观察到了多达 10 级的 ZnTeLO 的多声子喇曼散射,和反映超晶格结构的子带跃迁介入多声子共振喇曼散射过程的实验现象。

PACC: 6320,7830,6865

CdTe/ZnTe 应变层超晶格不仅可以作为缓冲层以提高 HgCdTe 红外晶体的质量,而且其本身也具有较好的光电性能,例如:荧光比 CdZnTe 合金强几个数量级以及带隙从 1.6—2.2eV 连续可调,是制作可见光波段光电器件的很有前途的材料,使得研究 CdTe/ZnTe 超晶格,不仅是基础研究的需要,在实用方面也有重要意义,因此近来对 CdTe/ZnTe 超晶格的生长和光学性质的研究越来越受到重视。这种超晶格的一级喇曼谱的研究已有一些工作发表^[1-2],但多声子谱还未见报道。II-VI 族化合物表现出强烈的多声子喇曼散射^[3],在 CdS, CdSe, ZnSe, ZnTe 体材料中已经分别观察到 9 级, 4 级, 5 级和 8 级的多声子喇曼散射。但对超晶格结构的多声子喇曼散射研究得还比较少^[4,5]。本快报将第一次报道在 CdTe/ZnTe 超晶格中多声子喇曼谱的研究结果。

本实验所用的 CdTe/ZnTe 样品是用原子层外延方法生长的^[6],先在 GaAs(001)衬底上生长 1—2 μm 厚的 ZnTe 过渡层,然后再生长所需要的 CdTe/ZnTe 量子阱结构,CdTe 阵厚为 18 个原子层,ZnTe 垒厚为 66 个原子层,周期数为 10 个。喇曼光谱实验在液氮(81K)温度和近背散射条件下进行,分光系统为附加第三单色仪的 SPEX-1403 双单色仪,光源为氩离子激光器,由致冷光电倍增管接收散射信号。

图 1 是在 81K 时,用氩离子激光器的 514.5, 496.5, 488., 476.5 和 457.9 nm 激光作为激发光,即能量依次为 2.41, 2.50, 2.54, 2.60 和 2.71 eV 入射光子激发下在 Z(XX)Z 偏振配置下 (X = (100), Y = (010), Z = (001), Z̄ = (001)) 得到的 CdTe/ZnTe 量子阱样品的喇曼谱,我们也测量了 Z(XY)Z̄ 退偏振配置下的喇曼谱,退偏振谱除强度普遍

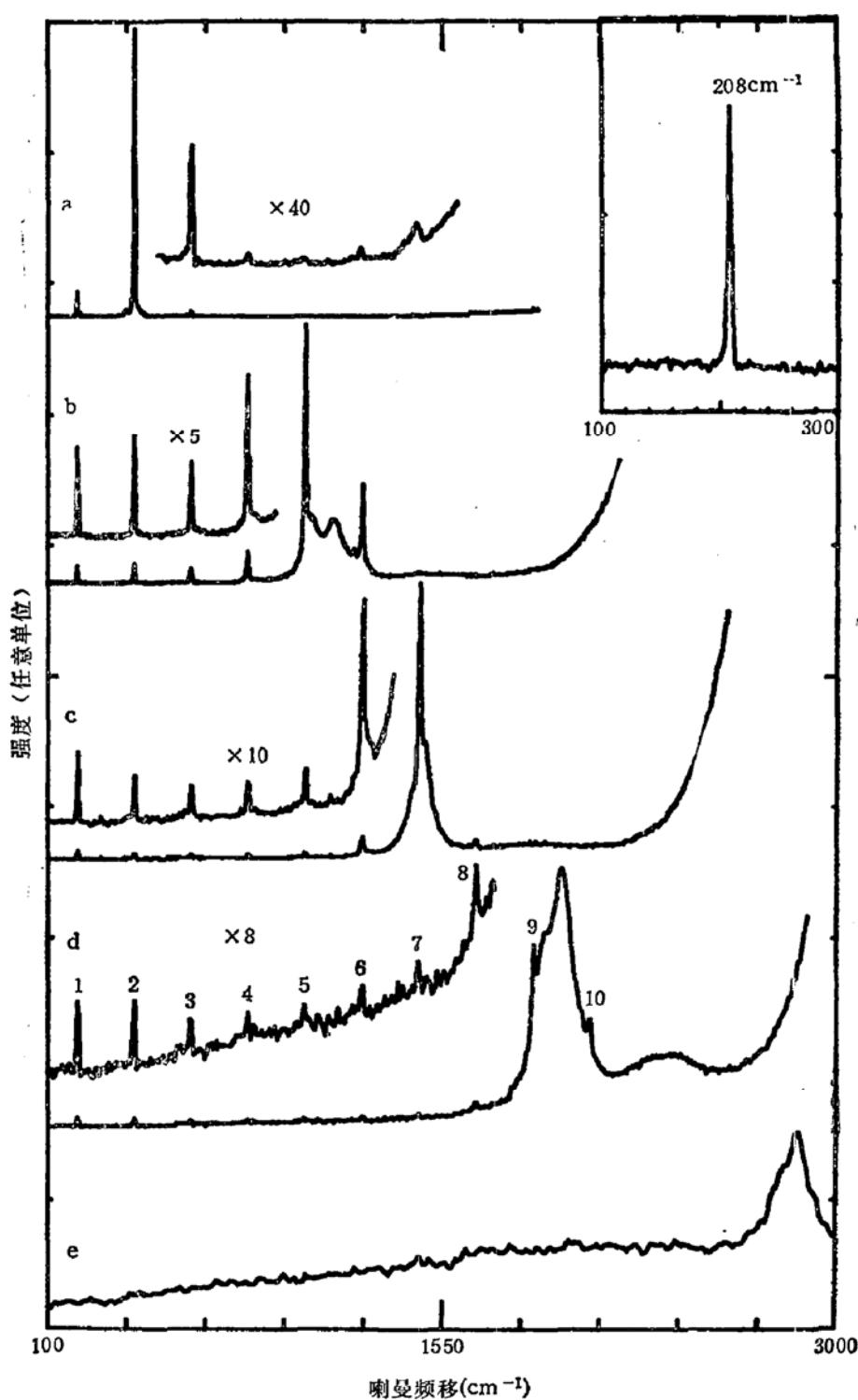


图 1 CdTe/ZnTe 超晶格的多声子谱。标志为 a, b, c, d, e 的各个光谱是能量分别为 2.41, 2.50, 2.54, 2.60 和 2.71 eV 的入射光子激发的光谱, 偏振配置为 $Z(XX)\bar{Z}$

低于偏振的以外, 未观察到其它光谱特征有不同, 因此图 1 只显示了偏振谱的结果。图 1 右上角的插图是用 488 nm 激光线激发的同一样品在 81 K 下的一级喇曼光谱。根据与 ZnTe 体材料喇曼光谱的比较, 以及考虑到量子阱结构对声子行为的影响, 我们初步指认 208 cm^{-1} 喇曼峰对应于量子阱结构中 ZnTe LO 声子模。由图 1 中各个谱峰的频率可以

比较容易地确定, 它们是 ZnTe 一级谱的 LO 声子的多重模。它们可能来源于多声子喇曼散射, 也可能是热荧光谱, 但是, 这些多重模的线宽具有随着重数 m ($m = 1, 2, 3, 4, \dots$) 加大而增加的趋势, 而不是随 m 增加而变窄, 根据文献 7 所述的关于区别热荧光和喇曼散射过程的判据, 可以确认图 1 中的多重模是 ZnTe LO 的多声子喇曼散射, 而不是热荧光谱。从喇曼光谱的结构分析中也可以很快看出, 图 1 的光谱确实具有通常 II-VI 化合物多声子喇曼散射的主要特征^[8,9], 即(1)如表 1 所示, 多声子线的频移比 ZnTe 一级 LO 声子频移的严格整数倍大, 但差别都小于 1%。(2)多声子峰的线宽与一级声子相比虽有展宽, 但差别不大。(3)多声子喇曼谱总是伴随着荧光谱, 最接近荧光峰的多声子峰最强。但当入射光子能量低于相应能隙以后, 所有大于二级的过程不再出现。(4)除了强度有所变化外, 其它的光谱特征不随偏振状态而变化。

表 1 CdTe/ZnTe 超晶格多声子谱的喇曼频移值 (cm⁻¹)

1LO	2LO	3LO	4LO	5LO	6LO	7LO	8LO	9LO	10LO
208	416	628	836	1048	1256	1470	1676	1888	2094

从图 1 还可以看到, ZnTe 的 LO 多声子谱的最高级数随入射光波长而有所不同, 入射光子能量为 2.707 eV(457.9 nm) 时, 就不出现多声子峰了, 这表明图 1 的多声子峰的出现是与共振过程相联系的。在所有光谱中, 以入射光子能量为 2.601 eV(476.5 nm) 时所观察到的多声子级数最高, 可明显看到多达 10 级的多声子峰。据我们所知, 这是 ZnTe 材料中 LO 多声子谱中级数最高者, 也是在所有半导体超晶格结构中观察到的级数最高的多声子谱。其次, 我们还可以发现, 不同能量的入射光所激发的各个多声子喇曼光谱中, 都叠加有两个较宽的光谱结构, 它们在喇曼光谱中的频移位置随入射波长而移动, 但它们的能量都是相同的, 分别为 2.36 和 1.98 eV, 对该样品的荧光谱的研究结果表明^[10], 能量高的荧光谱对应于 ZnTe 层中传导电子与限制在 ZnTe 位垒中的轻空穴的复合过程, 能量低的由限制在 CdTe 位阱中的电子与重空穴的复合所产生; 我们所观察到的多声子喇曼散射都对应于入射光子能量 E_{in} 大于上述电子-空穴的跃迁能量 E_g 的情况, 所以, 我们观察到的多声子喇曼谱是一种出射道 (outgoing) 共振过程, 当散射光子能量 E_s 接近 E_g 时, 喇曼散射截面出现一个严格共振的极大值。它可以用下面的方程来表示:

$$E_{in} - m\hbar\omega_{LO} \sim E_g$$

其中, m 是多声子峰的级数, $\hbar\omega_{LO}$ 是 ZnTe LO 声子模的能量。根据这个方程计算的结果和实验观察到的结果是一致的, 即入射光波长为 514.5 nm 时二级声子峰最强, 496.5 nm 时, 五级最强, 488.5 nm 时, 七级最强, 476.5 nm 时, 九级最强。这些散射声子的位置大致都对应于 2.36 eV, 再次, 在入射光子能量最为接近上述两个跃迁能量的 2.41 eV 的光谱中, 多声子散射不仅出现在大于 2.36 eV 的能量区域, 在大于 1.98 eV 的区域也出现, 这清楚表明, 我们观察到了多声子散射与超晶格子带跃迁过程相联系的现象。据我们所知, 这种情况还未在文献中报道过。

对于体材料多声子喇曼散射的机制已提出多种理论模型^[3], 各个模型虽然都取得了一些成果, 但离完满解释已观察到的实验现象尚有一段距离。至于针对超晶格的多声子

喇曼散射理论,至今未见报道。上述多量子阱中子能级跃迁介入多声子共振喇曼散射的过程以及在量子阱结构中观察到的比体材料级数更多的多声子喇曼散射,可能表示超晶格多声子散射机制的讨论必须与超晶格所导致的轻,重空穴子带的特殊结构相联系。

综上所述,我们研究了 CdTe/ZnTe 多量子阱中的多声子喇曼散射。在出射共振的实验条件下,我们观察到了多达 10 级的 ZnTe LO 多声子喇曼散射,这在 ZnTe 体材料和超晶格中都还未见报道,此外,我们还第一次看到了超晶格子带跃迁介入多声子喇曼散射的现象,据此我们认为,超晶格中产生比体材料级数更高的多声子喇曼散射,或许应该用量子阱中所特有的子带结构的形成进行解释。

参 考 文 献

- [1] J. Menendez, A. Pinczuk, J. P. Valladares, R. D. Feldman and R. F. Austin, *Appl. Phys. Lett.*, **50**, 1102 (1987).
- [2] M. K. Jackson, R. H. Miles, T. C. McGill and J. P. Faurie, *Appl. Phys. Lett.*, **55**, 786(1990).
- [3] M. Cardona, in "Light Scattering in Solids II" (Springer, Heidelberg, 1982, p. 145 and p. 167).
- [4] Z. C. Feng, S. Perkowitz and O. K. Wu, *Phys. Rev.*, **B41**, 6057(1990).
- [5] S. Nakashima, A. Wada, H. Fujiyasu, M. Aoki and H. Yang, *J. Appl. Phys.*, **62**, 2009(1987).
- [6] Jie Li, Li He, Wei Shan, Xingyu Cheng and Shixin Yuan, *J. Cryst. Growth*, **111**, 736(1991).
- [7] T. P. Martin, *Phys. Rev.*, **B13**, 3618(1976).
- [8] R. C. Leite, J. F. Scott and T. C. Damen, *Phys. Rev. Lett.*, **22**, 780(1969).
- [9] M. V. Klein and S. P. S. Porto, *Phys. Rev. Lett.*, **22**, 782(1969).
- [10] Mengyan Shen, Xiaojie Zhang, Ying Jin, Jingjing Wang, Shulin Zhang, Jie Li and Shixin Yuan, will be Published in *J. Cryst. Growth*, No. 2(1992).

Multiphonon Resonant Raman Scattering Study from a CdTe/ZnTe Superlattice

Zhang Shulin, Hou Yongtian, Shen Mengyan, Zhang Xiaojie
(Department of Physics and National Laboratory for Artificial Microstructure and Mesoscopic Physics, Peking University, Peking 100871)

Li Jie and Yuan Shixin
(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, Shanghai 200083)

Abstract

The Multiphonon Resonant Raman Spectra in a CdTe/ZnTe superlattice have been performed. The result indicates that we have observed for the first time up to 10th order multiphonon Raman Scattering and the phenomena that the transition between subbands in superlattice has involved in the Resonant Raman Scattering process.

PACC: 6320, 7830, 6865