

GaAs/SrTiO₃ MBE 外延单晶薄膜晶格振动的研究*

陈益栋 刘兴权 李志锋 陆卫 沈学础

(中国科学院上海技术物理研究所, 中国科学院红外物理国家实验室, 上海, 200083)

TN 304123

摘要 利用远红外反射光谱和拉曼散射光谱法测量了 GaAs/SrTiO₃ 外延单晶薄膜样品, 研究了这种新型异质结构的晶格振动光学特性. 实验结果表明: 在钙钛矿型结构的 SrTiO₃ 衬底上外延生长的 GaAs 薄膜具有单晶结构, 有与 GaAs 单晶材料相同的晶格振动特性.

关键词 远红外光谱, 拉曼散射光谱, 分子束外延, GaAs, SrTiO₃.

砷化镓, 砷化镓
外延生长, 单晶薄膜 晶格振动

STUDY OF THE CRYSTAL-LATTICE-VIBRATION OF THE GaAs SINGLE-CRYSTAL FILM ON SrTiO₃(001) SUBSTRATE BY MBE*

CHEN Yi-Dong LIU Xing-Quan LI Zhi-Feng LU Wei SHEN Xue-Chu
(National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract With the far-IR spectroscopy and Raman scattering spectroscopy, the crystal lattice vibration and optical properties of the GaAs single crystal film on the perovskite oxide SrTiO₃(001) substrate were studied. The result of the measurement shows that the GaAs film on SrTiO₃(001) substrate by MBE is a single crystal film and the lattice vibration property of the GaAs single crystal film is similar to that of the GaAs bulk material.

Key words far-IR spectra, Raman scattering spectra, MBE, GaAs, SrTiO₃.

引言

由于钙钛矿材料具有高的介电常数、大的机电耦合系数及热电和电光效应等特性, 钙钛矿型氧化物外延薄膜及其异质结构被广泛地用于一些新型器件. 近几年, 半导体薄膜材料与钙钛矿型材料的合成也越来越引起人们的兴趣, 其应用前景十分广阔.

GaAs 是一种典型半导体光电子功能材料, 具有优良的电学和光学特性, 广泛用于高温、高频、抗辐射、低噪音等器件及体效应管和其他微波器件. SrTiO₃ 作为一种钙钛矿型结构的典型材料, 因其大的介电常数和晶格匹配性, 在高温超导器件等结构中被广泛地用作衬底材料. 本文用这两种典型的功能材料 GaAs 和 SrTiO₃ 为研究对象, 研究了将它们集成而构成一类新的异质结构功能材料的潜能和相关的晶格振动特性, 目前尚未见这方面的报道. 我们用 MBE 技术在 SrTiO₃ 衬底上外延得到 GaAs 单晶薄膜, 并进行了一

系列光学性质研究, 本文主要报道 GaAs/SrTiO₃ 外延单晶薄膜晶格振动的特性.

1 实验

选用 SrTiO₃(001) 方向 1cm×1cm×1mm 的高纯衬底片, 在装入 RIBER 32R&D 型 MBE 系统前, 先进行了去除表面油污的化学清洗预处理, 装入系统后在预处理室于 200℃、350℃和 500℃温度下除气各 5min. 由于 SrTiO₃ 衬底片表面主要是碳沾污^[1,2], 所以传入生长室后, 在 650℃温度下除碳 1h, 而后温度降到 GaAs 生长的典型衬底温度 610℃外延生长 GaAs. 生长过程中 Ga 源炉温度为 T_{Ga}=900℃, 为保证在制作 GaAs 同质外延时的富 As 状态, As 源炉的温度为 T_{As}=200℃. 在相同的生长条件下, 生长了两片 GaAs 外延样品, 一片厚度约为 2.5μm(称之为 GS1), 另一片为 1.9μm(称之为 GS2). 外延 GaAs 样品的 RHEED 图案为点状, 没有环状的条纹存在, 表明

* 国家自然科学基金(编号: 69776018)和国家攀登计划资助项目
稿件收到日期 1999-03-08, 修改稿收到日期 1999-05-04

* The project supported by the National Natural Science Foundation of China (NO. 69776018) and Chinese Climbing Project
Received 1999-03-08, revised 1999-05-04

GaAs 薄膜是单晶样品,而不是非晶. 样品 GS1 的原位光调制反射光谱和 GS2 的光荧光光谱的测量结果表明, SrTiO₃ 衬底上生长的 GaAs 单晶薄膜与具有 GaAs 单晶体材料相似的禁带和光学特性^[3].

为了更好地研究 GaAs/SrTiO₃ 结构中的 GaAs 单晶薄膜的特性, 样品 GS1 取出后, 在 Nicolet-200 SXv 真空傅里叶变换红外光谱仪上进行了远红外反射光谱的测量, 所用的分束器为 3 μ m Mylar 膜, 入射光为近垂直入射, 探测器是 TGS 探测器, 用镀金玻片作为反射率 100% 的参考. 样品 GS2 取出后在 Dilor-Infinity 显微拉曼光谱仪上进行了背散射的 Raman 光谱的测量, 采用 Ar 离子激光器的 514.53nm 线激发. 测量温度为室温.

2 实验结果和讨论

图 1 是 SrTiO₃ 衬底(谱线(b))和 GaAs/SrTiO₃ 样品(谱线(a))的远红外反射光谱测试结果, 为了便于显示, 将 SrTiO₃ 衬底的远红外反射光谱向上平移了 0.2 个单位. SrTiO₃ 衬底的远红外反射光谱中的测量波段内形成两个反射率极高的反射带: 92.3~167.8cm⁻¹和 177.8~453.7cm⁻¹频段. 这两个反射率极高的反射带在 GaAs/SrTiO₃ 异质结构的远红外反射谱中仍然出现, 但是, 在长有 GaAs 薄膜样品的反射谱中于 266cm⁻¹及 292cm⁻¹附近出现了有别于衬底反射谱的两个反射率极小值所对应的凹陷, 在此波段范围内, 由于衬底相应的反射光谱中不存在结构, 所以这两个结构应来自 GaAs 外延薄膜. 对于 GaAs/SrTiO₃ 样品的

测试信号, 我们可以看成两部分的叠加: 入射光线在 GaAs 薄膜表面一部分被直接反射, 另一部分透射进入 GaAs 薄膜, 在 GaAs 薄膜和 SrTiO₃ 衬底界面处发生反射后再透过 GaAs 薄膜回到真空, 探测信号则是由这两部分信号叠加而成的. 与标准的 GaAs 远红外反射谱相对照, 发现 GaAs/SrTiO₃ 样品的远红外反射谱中 266~292cm⁻¹这一狭窄频段的反射率极高的反射带正好对应于标准 GaAs 单晶样品反射谱的剩余射线带. 可以推断, 266cm⁻¹处的反射率极小值, 是由于光子在 GaAs 薄膜内的传播过程中被 GaAs 横光学声子模吸收所致, 这一吸收使该波段光回到真空的强度减少, 从而在反射谱中该能量处出现明显的凹陷, 292cm⁻¹处的凹陷对应于 GaAs 剩余射线高频端纵光学声子模附近的反射率极小值. 因此, 我们的外延 GaAs 薄膜具有与体 GaAs 单晶材料相同的晶格振动特性, 由此说明 GaAs 外延薄膜的结晶性良好.

为了更好地研究 GaAs 薄膜的模振动特性, 我们对 GaAs/SrTiO₃ 样品进行了拉曼散射光谱的测量. 测试结果如图 2 所示, $\Delta\omega$ 为拉曼频移. 作为比较, 图中同时给出了在相同条件下测得的 SrTiO₃ 衬底(谱线(c))及单晶 GaAs 参考样品(谱线(a))的拉曼散射谱图. 在单晶 GaAs 参考样品的拉曼散射光谱中, 除了观察到 292cm⁻¹处的 LO 声子散射峰外, 我们还明显地观察到了 269cm⁻¹处的 TO 声子散射峰, 这主要是由于 GaAs 单晶样品定向偏差造成的, 样品偏离了严格的<001>晶向. 与单晶 GaAs 体材料拉曼散射光谱相比, GaAs/SrTiO₃ 样品的拉曼散射光谱(谱线(b))中叠加于 Sr-

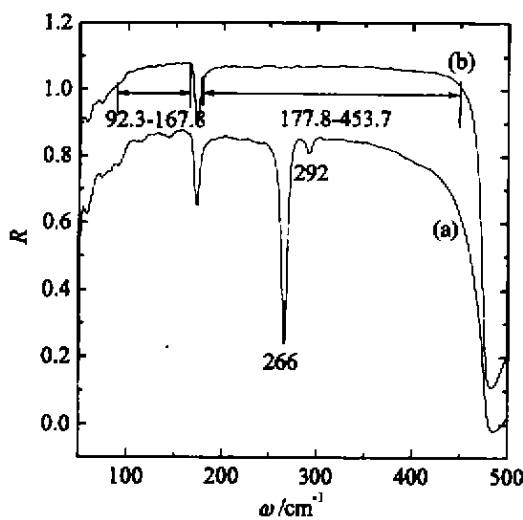


图 1 GaAs/SrTiO₃ 样品的远红外反射谱
Fig. 1 Far-IR reflectance spectra of GaAs/SrTiO₃ sample

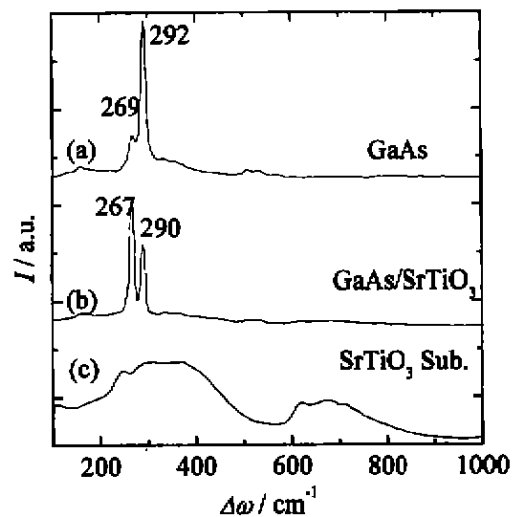


图 2 GaAs/SrTiO₃ 样品的拉曼散射光谱
Fig. 2 Raman scattering spectra of GaAs/SrTiO₃ sample

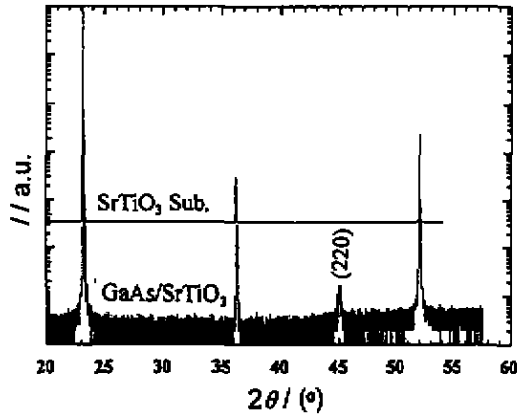


图3 GaAs/SrTiO₃样品的X射线衍射谱
Fig. 3 The X-ray diffraction spectrum of GaAs/SrTiO₃ sample

TiO₃衬底信号上的 267cm^{-1} 和 290cm^{-1} 处的两个尖锐的散射峰可以指认为GaAs外延薄膜的TO声子和LO声子的散射峰,而且它们的线宽与单晶GaAs体材料的拉曼峰线宽相近,由此更进一步表明外延GaAs单晶薄膜的结晶性良好.但是这两个散射峰相对于单晶GaAs体材料样品TO声子和LO声子的散射峰均有大约 2cm^{-1} 的向低波数方向的偏移,这可能是由于在GaAs外延单晶薄膜中存在一定的由界面晶格失配产生的应力导致的.同时观察到GaAs单晶薄膜的TO声子和LO声子强度相近的散射峰,表明GaAs外延单晶薄膜的晶向已严重地偏离了(001)方向,为此我们对GS1样品进行了X射线衍射定向的测量.如图3所示,GaAs/SrTiO₃样品X射线衍射谱(虚线)中于 2θ 等于 45° 处出现了有别于SrTiO₃衬底(实线)的X射线衍射峰,此峰应来自GaAs外延薄膜.经计算认定此峰为GaAs(220)晶向的X射线衍射峰.由此更进一步

表明GaAs外延膜为单晶薄膜,但是由于GaAs和SrTiO₃的晶格常数相关较大,导致GaAs薄膜不是(001)取向,而是(220)取向.

3 结论

在GaAs/SrTiO₃外延单晶薄膜的远红外反射光谱中,观察到了与GaAs单晶体材料相似的剩余射线反射带的作用和影响.在拉曼散射光谱的测量中,看到了与GaAs体材料相同的TO声子和LO声子的散射峰.两种光谱的研究结果表明外延在SrTiO₃衬底上的GaAs薄膜具有与GaAs体材料相同的晶格振动光学特性,因而反映出其外延结晶性良好.但在GaAs外延单晶薄膜中存在一定的由界面晶格失配而产生的应力.单晶外延GaAs薄膜的获得为进一步研究钙钛矿结构晶体与半导体之间的新型异质结构的特性打下了基础.

REFERENCES

- [1] Mamorn Yoshimoto, Hiroyuki Ohkvbo, Naoki Kanda, *et al.* Two-dimensional epitaxial growth of SrTiO₃ film on carbon-free clean surface of Nb-doped SrTiO₃ substrate by laser molecular beam epitaxy, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1992, 31: 3664—3666
- [2] Shunji Watanabe, Tokihisa Hipita, Maki Kawai. Cleaning the surface of SrTiO₃(001) and LaAlO₃(001) under moderate temperature condition by Bi adsorption/desorption treatment, *J. Vac. Sci. Technol. A.*, 1991, 9(4): 2394—2396
- [3] CHEN Yi-Dong, LIU Xing-Quan, LU Wei, *et al.* Study of the inter-band transition of the GaAs single-crystal film on SrTiO₃ substrate by MBE, *Acta Physica Sinica* (陈益栋, 刘兴权, 陆卫, 等. GaAs/SrTiO₃外延半导体单晶薄膜带间跃迁研究, *物理学报*), 1999, 48: 1718—1722