

红外椭圆偏振光谱研究 $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$ 材料的禁带宽度*

TN304.23

梁帮立^{1,2)} 夏冠群¹⁾ 黄志明³⁾ 范叔平²⁾ 褚君浩³⁾

(¹⁾中国科学院上海冶金研究所, 上海, 200050; (²⁾苏州大学物理系, 苏州, 215006;

(³⁾中国科学院红外物理国家实验室, 上海, 200083)

摘要 采用红外椭圆偏振光谱研究了与 GaSb 衬底近晶格匹配的不同组分 $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$ 样品位于禁带宽度能量位置之上、附近和之下的室温折射率光谱. 根据禁带宽度能量位置附近的折射率增强效应确定了 $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$ 样品的禁带宽度, 并发现在组分 $x=0.2\sim 0.3$ 之间禁带宽度随组分 x 近似于线性变化.

关键词 $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$, 折射率光谱, 室温, 禁带宽度.

半导体材料 红外椭圆偏振光谱

DETERMINING THE BAND GAP OF $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$ QUATERNARY ALLOY BY INFRARED ELLIPSOMETRIC SPECTROSCOPY*

LIANG Bang-Li^{1,2)} XIA Guan-Qun¹⁾ HUANG Zhi-Ming³⁾

FAN Shu-Ping²⁾ CHU Jun-Hao³⁾

(¹⁾ Shanghai Institute of Metallurgy, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China;

(²⁾ Academy of Physics and Technology, Suzhou University, Suzhou, Jinagsu 215006, China;

(³⁾ National Laboratory for Infrared Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract The refractive index spectra of $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$, MBE epitaxy layers above, near and below the band gap were studied by room-temperature infrared ellipsometric spectroscopy with different compositions. The band-gaps were determined by refractive enhancement. It was found that the band gap energy changes approximately linearly as a function of composition between $x=0.2\sim 0.3$.

Key words $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$, refractive index spectra, room temperature, band gap energy.

引言

$Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$ 外延材料是 $1.7\sim 4.3\mu m$ 波段重要的光电子材料, $2\sim 3\mu m$ $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$ 红外探测器、激光器等器件可在室温下工作^[1~6], 在红外应用领域具有广阔的应用前景. 光谱响应是红外探测器重要的技术指标, 材料禁带宽度是决定器件光谱响应的最主要因素, 因此, 确定材料禁带宽度一直是个重要的课题. 通常由探测器材料的红外吸收谱确定材料禁带宽度, 但对于在吸收边附近透射率变化陡度较小的材料, 禁带宽度不易准确确定. 而 $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$ 材料在禁带宽度能量位置附近有明显的折射率增强效应, 折射率峰值与禁带宽度能量一一对应, 用来确定材料

禁带宽度准确而方便.

本文采用红外椭圆偏振光谱研究了不同组分 $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$ 样品位于禁带宽度能量位置之上、附近和之下的室温折射率光谱, 较准确地确定了 $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$ 样品的禁带宽度和禁带宽度随材料组分的变化关系.

1 实验方法

$Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$ 样品是用国产 MBE-IV 型设备制备的 PIN 结构材料. 先在 Te-掺杂 n 型 ($5\times 10^{17} cm^{-3}$) GaSb 衬底上预生长 $1\mu m$ 的 Te-掺杂 n 型 ($5\times 10^{17} cm^{-3}$) GaSb 缓冲型, 再生长 $2\mu m$ 的 Te-掺杂 n 型 ($5\times 10^{17} cm^{-3}$) $Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}$, 然后生长 $2.6\sim 3.$

* 国家 863 高技术研究发展计划(编号 863-715-0152)资助项目
稿件收到日期 2000-01-11, 修改稿收到日期 2000-02-29

* The project supported by the National High-Technology Research and Development Plan of China (No. 863-715-0152)
Received 2000-01-11, revised 2000-02-29

$3\mu\text{m}$ 非掺杂 p 型 ($5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$) $Ga_xIn_{1-x}As, Sb_{1-y}$ 有源层, 最后生长 Zn-掺杂 p 型 ($1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) $Ga_xIn_{1-x}As, Sb_{1-y}$ 接触层. 3 个样品 $Ga_xIn_{1-x}As, Sb_{1-y}$ 外延层总厚度分别为 $5.8\mu\text{m}, 5.1\mu\text{m}, 5.8\mu\text{m}$, 有源层厚度不同. 样品的组分分别为: 样品 1 为 $x=0.207, y=0.900$; 样品 2 为 $x=0.222, y=0.669$; 样品 3 为 $x=0.295, y=0.708$. 组分不均匀性小于 0.03.

光学常数测量采用中国科学院红外物理国家实验室研制的同时旋转起偏器和检偏器变入射角自动红外

椭圆偏振光谱仪. 测试前将被测试的样品表面进行机械与化学抛光, 背面用粗砂纸磨毛以尽量消除背面反射光分量的贡献. 同时旋转起偏器(角度为 ρ)和检验器(角度为 A)改变入射角进行椭圆偏振测量, 旋转比例为 $A:P=1:1$, 实验测量入射角为 60° , 测量范围 $2 \sim 3\mu\text{m}$, 步长 $0.05\mu\text{m}$.

实验原理^[9]如下: 通过测量偏振方向平行和垂直入射面方向反射系数之比来确定椭圆偏振参数. 固定偏振器用于获得线性偏振光, 其偏振方向垂直于入射面, 假设所有元件是理想的, 忽略入射光剩余偏振效应, 通过直接测量起偏器和检偏器不同方位角和信号强度的变化, 经过计算得到样品的复介电常数, 最后测得样品的折射率和消光系数(吸收系数). 为了消除衬底对 $Ga_xIn_{1-x}As, Sb_{1-y}$ 外延材料测试结果的影响, 对样品的光学常数在实验上做了修正.

2 结果与讨论

图 1 给出了样品 1、2、3 的 $n(\omega)-\omega$ 关系(■为实验值、实线为理论值). 3 个不同组分样品的折射率都是先随能量增大迅速增至一峰值然后迅速减小, 样品 1、2 和 3 折射率和峰值分别出现在 $3921.6, 4000$ 和 4347.8cm^{-1} 位置. 其中 $n(\omega)-\omega$ 理论关系曲线是采用 Sadao Adachi^[10]提出的计算四元系材料折射率光谱的理论模型在 $Ga_xIn_{1-x}As, Sb_{1-y}$ 与 GaSb 衬底晶格匹配的条件 $y=0.3835(1-x)/(0.4210+0.2161x)$ 下计算得到的, 折射率峰值位置对应于材料的吸收边. 文献一般只计算吸收边以下的 $n(\omega)-\omega$ 关系, 本文也给出了吸收边以上的 $n(\omega)-\omega$ 关系.

图 2 为 $Ga_xIn_{1-x}As, Sb_{1-y}$ 样品禁带宽度能量(折射率峰值位置)随组分 x 的变化关系. 显然, 禁带宽度能量

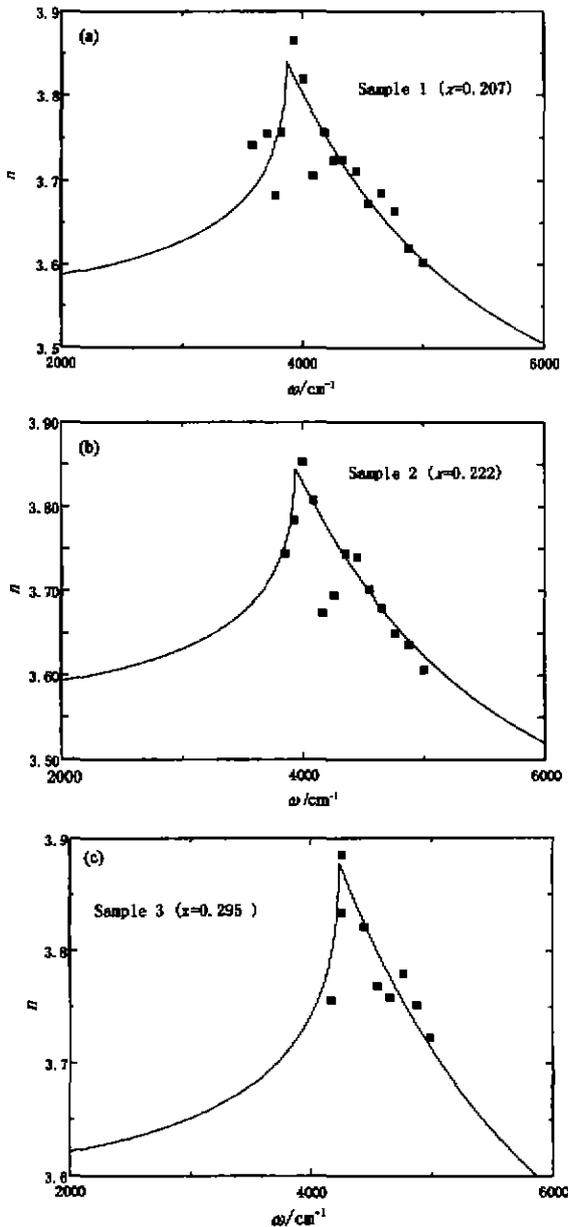


图 1 样品 1, 2, 3 的折射率的实验值与理论值
(a) 样品 1, (b) 样品 2, (c) 样品 3

Fig. 1 The experimental and theoretical refractive indices data of sample 1, sample 2 and sample 3
(a) sample 1, (b) sample 2, (c) sample 3

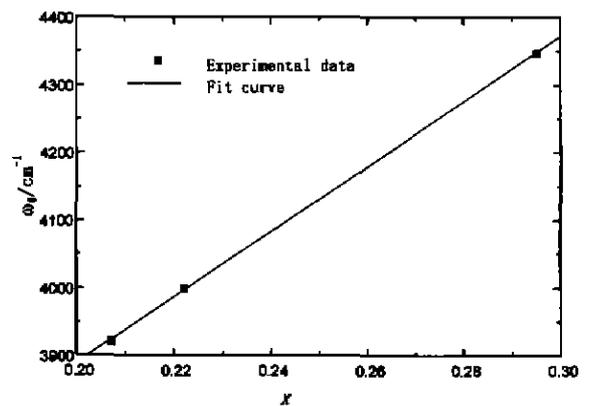


图 2 室温下样品禁带宽度能量与组分的实验关系
Fig. 2 The experimental relation of bandgap energy-composition x at RT

随组分 x 近似线性变化,在 $x=0.2\sim 0.3$ 之间,禁带宽度对应的频率满足 $\omega_g=2927+4818x$ 的拟合关系.

由图 1 可知,理论值稍微偏离实验值,一是由于理论模型在基础吸收边附近及吸收边以下作了介电常数虚部为零的近似;二是样品组分不严格满足 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ 与 GaSb 衬底晶格匹配的条件,如进一步改进理论模型,理论值会更接近实验值.此外,还由于存在很小的测量误差.

由图 1 和 2 可知,折射率在禁带宽度能量附近呈现明显的增强效应,且从实验结果观察到在 $x=0.2\sim 0.3$ 之间禁带宽度能量随组分 x 近似线性变化,理论计算得到了同样的结果.因此,由折射率光谱可方便地确定 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ 样品的禁带宽度.反过来,根据折射率光谱和经验公式 $\omega_g=2927+4818x$ (在 $x=0.2\sim 0.3$ 之间)可确定与 GaSb 衬底近晶格匹配 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ 的组分.

3 结论

采用红外椭圆偏振光谱研究了与 GaSb 衬底近晶格匹配的不同组分 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ 样品位于禁带宽度能量位置之上、附近和之下的室温折射率光谱.根据折射率增强效应较准确地确定了 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ 样品的禁带宽度,并发现在组分 $x=0.2\sim 0.3$ 之间禁带宽度随组分 x 近似于线性变化.找到了一种确定 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ 样品禁带宽度的新方法.

REFERENCES

- [1] Tsang W T, Chiu T H, Kisker D W, *et al.* Molecular beam epitaxial growth of $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ lattice matched to GaSb, *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **46**, 83
- [2] Aidraliev M, Zotova N V, Karandashov S A, *et al.* Mid-wave InAsSbP/InGaAsSb infrared diode lasers as a source for gas sensors, *Infrared Physics. Technol.*, 1996, **37**(1):83
- [3] Gray A L, Newell T C, Lester L F, *et al.* High-resolution X-ray and transmission electron microscopic analysis of GaInAsSb/AlGaAsSb multiple quantum well laser structure, *J. Appl. Phys.* 1999, **85**(11):7664
- [4] Charache G W, Baldasaro P F, Danielson L R, *et al.* In-GaAsSb thermophotovoltaic diode, physics evaluation, *J. Appl. Phys.*, 1999, **85**(4): 2247
- [5] Garbuzov D Z, Martinelli R U, Menna R J, *et al.* 2.7 μm InGaAsSb/AlGaAsSb laser diodes with continuous-wave operation up to -39C , *Appl. Phys. Lett.*, 1995, **67**(10): 1346
- [6] Lee H, York P K, Martinelli R U, *et al.* 2.78 μm In-GaAsSb/AlGaAsSb multiple quantum well lasers with metastable InGaAsSb wells grown by molecular beam epitaxy, *J. Cryst. Growth.*, 1995, **150**(1-4): 1354
- [7] Lee H, York P K, Menna R J, *et al.* Room-temperature 2.78 μm AlGaAsSb/InGaAsSb quantum well lasers, *Appl. Phys. Lett.*, 1995, **66**(15):1942
- [8] Charache G W, Egle J L, Depoy D M, *et al.* Infrared materials for thermophotovoltaic applications, *J. Electron. Mater.*, 1998, **27**(9): 1038
- [9] HUANG Zhi-Ming, JIN Shi-Rong, CHEN Shi-Wei, *et al.* Development of infrared spectroscopic ellipsometer by synchronous rotation of the polarizer and analyzer, *Journal of Infrared and Millimeter Waves* (黄志明, 金世荣, 陈诗伟, 等. 同时旋转起偏器和检偏器的红外椭圆偏振光谱仪研制, 红外与毫米波学报), 1998, **17**(5): 321
- [10] Sado Adaci. Band gaps and refractive indices of Al-GaAsSb, InGaAsSb and InPAsSb, key properties for a variety of the 2~4 μm optoelectronic device applications, *J. Appl. Phys.*, 1987, **61**(10):4869