

In_{1-x}Al_xSb 外延层的 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 的光调制反射光谱研究

徐尧洲

(上海建材学院基础课部, 上海, 200434)

Y. Beaulieu, J. B. Webb

(Institute for Microstructural Science, National Research Council of Canada,
M-50 Montreal Road, Ottawa K1A 0R6, Canada)

摘要: 首次用光调制反射光谱的实验测量方法, 在 $\sim 10\text{ K}$ 下对 In_{1-x}Al_xSb ($0 \leq x \leq 0.55$) 外延层的光跃迁 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 及其谱线展宽 ω , 进行实验测定. 由测定结果, 得到对 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 的弯曲参数分别为 0.752 eV 和 0.723 eV.

关键词: 外延层, 光调制反射光谱, 弯曲参数, 谱线展宽.

引言

以往应用块状制备技术^[1]制取含铟 III - V 族合金的均匀样品是很困难的. 近年来, 使用分子束外延 (MBE)、金属有机气相外延 (MOVPE) 和磁控溅射外延 (MSE) 方法已能够制备大多数 III - V 族材料和它们的合金的高质量外延层材料. 最近, Webb 等人^[2]报道了用 MSE 技术制备 InSb/In_{1-x}Al_xSb ($0 \leq x \leq 0.55$) 材料的应变层超晶格. 此外, 有关 In_{1-x}Al_xSb 材料的基本光学和电学性质的报道很少, 据我们所知, 仅有 20 年前由 Isomura 等人^[1]报道的对水平 Bridgman 方法制备的块状材料的 E_0 和 $E_0 + \Delta_0$ 、 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 光跃迁电调制反射光谱测量研究. 本文报道了在 $\sim 10\text{ K}$ 温度下, 对 In_{1-x}Al_xSb 材料外延层的 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 光跃迁进行的首次光调制反射光谱测定和分析研究.

1 样品制备

用 MSE 方法^[3]将 In_{1-x}Al_xSb ($0 \leq x \leq 0.55$) 外延层生长在 (001) InSb 衬底上, 在

本文 1993 年 6 月 2 日收到, 修改稿 1993 年 6 月 25 日收到.

$x=0.5$ 时晶格失配率是 2.65%。外延层的光学貌相比照显微图表明表面缺陷线随 x 的增大而增密。当三元系的层厚超过 100 \AA 时, $x > 0.1$ 的 $\text{InSb}/\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ 的应变层超晶格存在完全弛豫^[4]。本文研究所采用的单外延层厚度均大于 $0.5 \mu\text{m}$, 可以肯定都是完全应变弛豫。这些外延层的组分用 X 射线衍射仪扫描线计算。

2 光调制反射光谱测量

我们的光调制反射光谱测量中, 用闭循环致冷机致冷到 8 K , 用红外发光二极管 (光子能量为 1.3 eV) 作为泵浦光源, 探测光源由 100 W 的石英卤素灯和单色仪扫描构成, 用短通滤光片来排除泵浦光束的漫反射背景光。由于红外发光二极管工作在 700 Hz , 反射光信号能用锁相放大器来探测。

对块状 III - V 族半导体, E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 跃迁的光反射率常常用三阶微商模型^[5]和二维临界点模型^[6]进行分析。但在低温下, 激子效应导致在这些临界点光反射谱线的轮廓的尖锐化, 我们用实验室的数据处理软件对我们所有的光调制反射光谱作了处理。

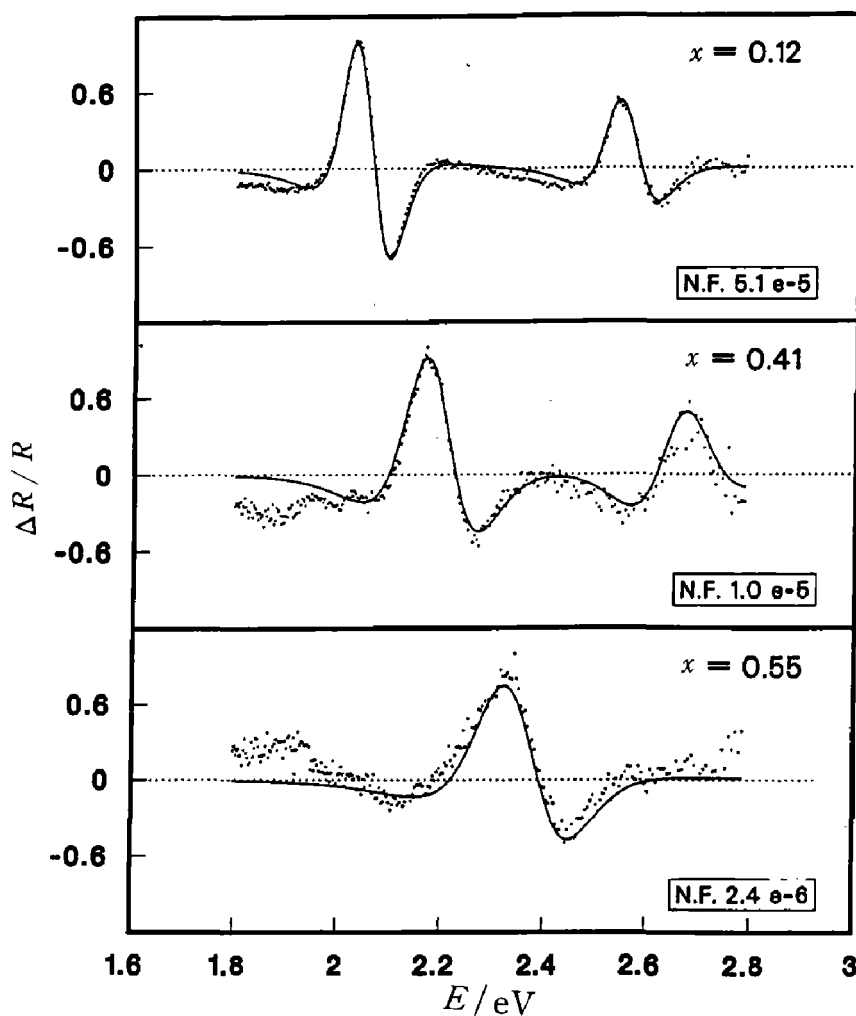


图 1 测得的 $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ ($x=0.12, 0.41$ 和 0.55) 样品的光反射光谱
Fig. 1 Measured photoreflectance spectra for $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ ($x=0.12, 0.41$ and 0.55)

3 实验结果

图 1 是对能量范围在 1.8~2.8 eV 的 3 种不同组分的 $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ 样品测得的光调制反射光谱, 实线是用拟合软件拟合的曲线. 图中标明的两个组分的 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 跃迁都观测到了. 对于 $x > 0.35$ 的样品, 在仪器允许的能量范围内, 仅只 E_1 跃迁能被准确地确定. 随着 x 值的增加, 光谱展宽 ω 也很明显. 同时, 观测到的光信号强度也减弱, 这种信号减弱是由于合金带隙随 x 增加而增加所致. 因而被吸收的 1.3 eV 泵浦光束也减少, 导致了部分反射信号的谱线展宽.

图 2 表明由光调制反射光谱得到的 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 跃迁能量与合金组分 x 的函数关系. AlSb ($x = 1$) 的跃迁能量由文献 [7] 得到, 而图中所有其它数据均由本工作的实验数据确定. 图 2 中的实线是对数据的最小二乘法拟合. 弯曲参数 c 由 $E_1(x) = a + bx + cx^2$ 确定, 用不同的近似处理方法来计算 III - V 合金系统的弯曲参数理论值.

Isomura 等人^[1]用 Van Vechten 和 Bergstress 的模型对 $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ 的 E_0 和 $E_0 + \Delta_0$ 跃迁的弯曲参数作了理论计算, 计算值为 0.99 eV, 而他们的实验值是 0.43 eV, 显然计算值大得多. 这归因于虚晶近似 (VCA) 使弯曲参数的计算值不很准确.

对于 $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ 材料, 还没有用理论模型计算 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 跃迁的弯曲参数. 根据 Isomura 等人的实验数据, 计算出的弯曲参数为: E_1 跃迁是 0.36 eV, 对于 $E_1 + \Delta_1$ 跃迁是 0.29 eV. 我们由实验数据计算的 E_1 跃迁弯曲参数是 0.752 eV, $E_1 + \Delta_1$ 跃迁是 0.723 eV,

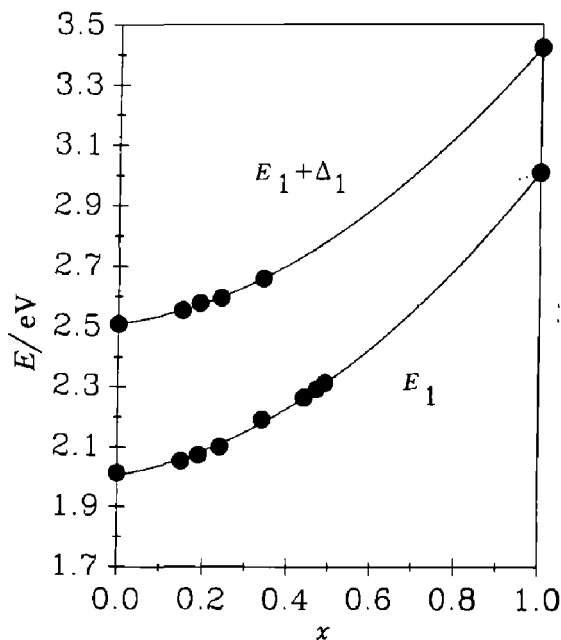


图 2 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 跃迁与组分 x 的函数关系
Fig. 2 Plot of the E_1 and $E_1 + \Delta_1$ transitions as a function of composition

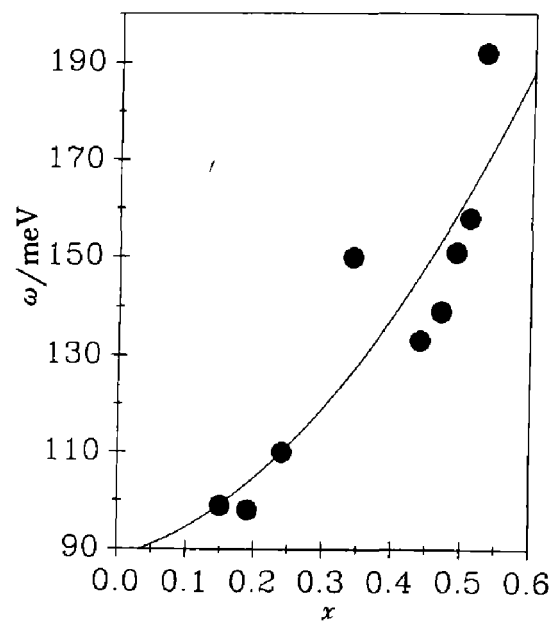


图 3 谱线展宽 ω 与合金组分 x 的函数关系
Fig. 3 Line broadening ω as a function of the alloy composition x

与 Isomura 等人的结果存在着明显的差别. 虽然块状样品的不均匀性和多相结构会在材料组分的计算和单一相组分跃迁能量的计算中引入误差, 但我们的结果与 Isomura 等的结果差别太大, 原因尚不清楚. 相对而言, 我们使用的样品是单相均匀的外延层样品, 应该说均匀性和组分值均比较可靠.

图 3 给出了谱线展宽 ω 与合金组分 x 的函数关系. 在层厚一定的条件下, 谱线的展宽随 x 的增加急剧增加, 其外延层与基板间的晶格失配相应地增加 (即位错密度增加) 是一致的.

综上所述, 我们报道了 $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ 外延层 ($0 \leq x \leq 0.55$) 材料的 E_1 和 $E_1 + \Delta_1$ 跃迁的测量结果, 由此确定的弯曲参数与已报道的块状样品有较大差别, 为解释这一现象尚需要进一步的实验研究和理论计算.

参考文献

- 1 Isomura S, Pratt F G D, Wooley J C. *Physica Status Solidi*, 1974;**b65**:213
- 2 Webb J B, Yousefi G H, Rousina R. *Appl. Phys. Lett.*, 1992;**60**(8):998
- 3 Rousina R, Webb J B. *Semicond. Sci. Technol.*, 1991;**6**:C42
- 4 Webb J B, Lockwood D, Northcott D. *Proc. 12th Int. Vac. Congress/8th Int. Conf. on Solid Surfaces*, The Netherlands; The Hague: 1992
- 5 Aspnes D E. *Surface Science*, 1973;**37**:418
- 6 Logothetidis S, Vina L, Cardona M. *Phys. Rev.*, 1985;**B31**:947
- 7 Jouille A, Girault B, Jouillie A M *et al.* *Phys. Rev.*, 1982;**B25**:7830

STUDY OF SPECTRA OF MODULATED PHOTOREFLECTANCE OF THE E_1 AND $E_1 + \Delta_1$ IN $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ EPILAYERS

XU YAOZHOU

(Shanghai Institute of Building Materials, Shanghai 200433, China)

Y. BEAULIEU, J. B. WEBB

(Institute for Microstructural Science, National Research Council of Canada, M-50 Montreal Road, Ottawa K1A 0R6, Canada)

Abstract: With the method of spectra of modulated photoreflectance, the experimental measurement of optical transitions E_1 and $E_1 + \Delta_1$ and their line broadening ω for $\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$ ($0 \leq x \leq 0.55$) epilayers was performed for the first time at low temperature (about 10 K). From the measured results, the bowing parameters for E_1 and $E_1 + \Delta_1$ are 0.752 eV and 0.723 eV, respectively.

Key words: epilayer, modulated photoreflectance spectra, bending parameter, line broadening.