

InAs 薄膜 Hall 器件的材料生长与特性研究

王红梅 曾一平 周宏伟 董建荣 潘 栋 潘 量 孔梅影

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

摘要 本文在国内首次报道了利用 InAs 外延薄膜制作霍尔器件, 通过分子束外延技术在 GaAs 衬底上生长的 InAs 薄膜具有较高的迁移率和较好的温度特性 用这种材料制作的霍尔器件在每千欧姆内阻条件下灵敏度与 GaAs 平面 Hall 器件相比提高了 50%.

PACC: 6110M, 6855, 7360F

1 概述

霍尔器件作为无刷电机中的磁传感器有着广泛的应用领域 随着电子工业的发展, 录像机、软盘驱动器和 CD-ROM 驱动器等电子产品对霍尔器件需求日益增加^[1,2]. 虽然霍尔器件工作原理非常简单, 但要求材料同时具备高迁移率与较低的载流子浓度^[3]. 具有高迁移率的 GaSb 和 InAs 单晶材料禁带宽度窄, 常温下本征载流子浓度就变得很高, 更无法在高温下工作 过去的霍尔器件多用 GaAs 与 Si 材料制作, 迁移率虽不是很高, 但有较宽的工作温度范围, 而且工艺成熟 特别是 Si 材料, 在集成传感器的制作中体现出很大优势 近年来, 外延技术的发展, 使得人们开始考虑利用薄膜材料不同于体单晶的特性来制作霍尔器件 A sahi 化学工业公司先后用真空淀积 InSb、分子束外延生长 InAs 薄膜材料来制作霍尔器件, 产品已进入市场^[1]. InAs 以其具有较高的灵敏度和工作温度范围较宽的特点, 成为制作霍尔器件的一种极有前途的材料

我们利用 MBE 技术生长了 InAs 薄膜材料, 通过调整生长参数和控制掺杂, 得到了高质量的外延片, 用这种材料制作的霍尔器件灵敏度优于 GaAs 霍尔器件

2 InAs 薄膜的 MBE 生长

材料生长在 Riber32P MBE 系统上进行 衬底为 (001) 晶向的半绝缘 GaAs 由于 GaAs、InAs 之间的失配度高达 7.2%, 生长过程中会产生大量的失配位错来弛豫应力, 要获

得高质量的外延层需要精确控制生长参数 衬底温度的控制与显示是利用热电偶, 表观温度与实际衬底温度存在较大的差异, 需要利用 RHEED 监控, 根据衬底表面氧化层的分解温度进行校准 首先在衬底上生长 200nm 的 GaAs 缓冲层, 该层的实际生长温度约为 600 , 生长过程中 RHEED 显示清晰的 (2 × 4) 再构条纹 衬底温度降低到 480 左右生长 InAs, 开始时衍射条纹迅速成点, 表明外延生长由二维层状模式转化为三维岛状生长 之后, 衍射条纹又恢复为条状, 并一直持续到生长结束 此时可以得到表面光亮的外延片 如果衬底温度不合适或 As 压过低, 造成无法恢复二维生长或衍射条纹变暗, 则生长出的外延层表面雾

3 测试结果与分析

1、由于 InAs 与 GaAs 之间存在较大的失配度, 外延生长为 S-K 模式 生长初始阶段,

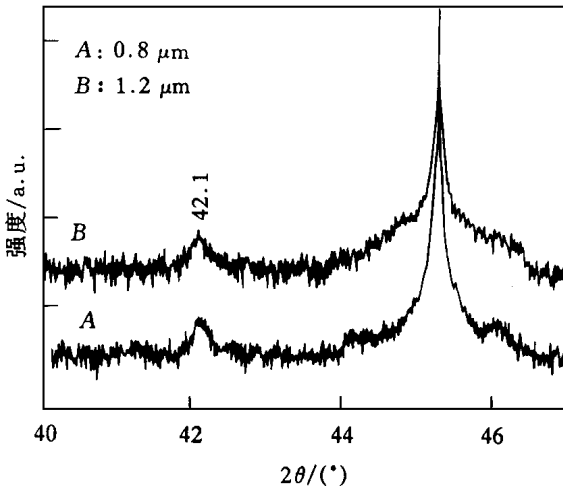


图 1 InAs/GaAs 的 (220)X 射线衍射曲线

三维岛的形成使应变部分地得到释放 之后, 通过岛与岛之间产生的失配位错来弛豫应变 位错的存在, 使得外延层与衬底之间出现明显的错向角^[4], 单一的 (001) 方向 X 射线衍射已不能准确反映外延层的应变弛豫状态 以解理面为衍射基面的方法, 可以直接测量外延层水平方向上的应变^[5], 而且避免了 (001) 方向上错向角的影响 样品的 (220)X 射线双晶衍射曲线如图 1 所示 两个样品中 InAs 外延层的峰位无明显差异, 与 InAs 自由状态的峰位 ($2\theta = 42.15^\circ$) 非常接近 这表明外延层超过一定厚度时, 大失配产生的应变已基本通过失配位错的产生释放掉 在生长过程中, 岛的合并使失

配位错相互作用产生穿透位错, 由于残余应力的影响和位错之间的相互作用, 离界面超过 0.2μm 左右的外延层中位错密度大大减小, 这已被透射电镜的研究结果所证实^[6].

2、采用范德堡法对样品进行变温霍尔测试, 温度从 5.8K 变化到 433K, 结果由图 2 给出 InAs 薄膜中电子迁移率的温度特性与体单晶有很大不同, Kalem 等人考虑低温下极化光学声子与电离施主散射对迁移率的影响, 较好地解释了其实验结果^[7]. Wieder 的并联电导模型考虑薄膜中表面层、体层与界面层三者的贡

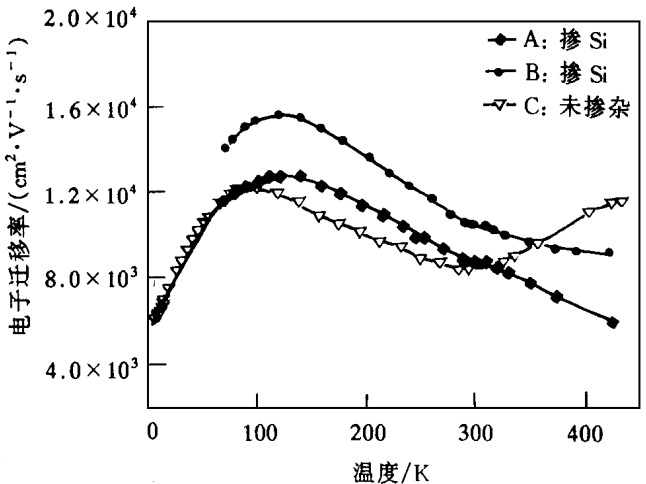


图 2 InAs 薄膜中电子迁移率的温度特性

献,也得到了与实验值基本吻合的结果^[8]。在相同的生长条件下,随着外延层厚度的增加,体层对迁移率的贡献逐渐增加,使得薄膜的迁移率有所提高。同时,适当的掺杂使得低温下电子迁移率和迁移率的温度特性有很大改善^[1]。这在我们的实验结果中也得到了证实。选择 Si 作为掺杂剂,掺杂水平分别为 1×10^{17} 与 $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$,在 InAs 薄膜生长了 $0.2 \mu\text{m}$ 后掺入,目的是避免界面处失配位错可能产生的影响。满足制作霍尔器件要求的迁移率在室温下应超过 $1 \times 10^4 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 以确保器件具有较高的灵敏度。

4 霍尔器件特性

众所周知,对 Hall 器件的灵敏度起决定作用的因素是材料的迁移率,在相同的掺杂浓度下,InAs 的电子迁移率远高于 GaAs。由于霍尔灵敏度与器件内阻有关,为便于比较,通常把内阻归一化为千欧姆(k Ω)^[9]。用厚度分别为 $0.8 \mu\text{m}$ 和 $1.2 \mu\text{m}$ 的 InAs 外延片(掺杂浓度分别为 1×10^{17} 与 $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)制作的霍尔器件,同外延 GaAs 霍尔器件相比(每千欧姆内阻条件下灵敏度为 $30 \text{ mV}/(\text{mA} \cdot \text{kGs})$)^[9],灵敏度提高了 50%,失调电压也较小。表 1、2 分别为 $0.8 \mu\text{m}$ 、 $1.2 \mu\text{m}$ 的外延片制作的霍尔器件特性。虽然样品 B 迁移率较高,但由于掺杂浓度略低,内阻稍大,归一化灵敏度较样品 A 低一些。Hall 器件特性与薄膜厚度、掺杂浓度的关系还有待于进一步的研究。

表 1 样品 A 的器件特性(灵敏度为每千欧姆内阻条件下)

编号	灵敏度 $V_H/(\text{mV} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{kGs}^{-1})$	失调电压 $V_0/(\text{mV} \cdot \text{mA}^{-1})$	输入电阻 R_i/Ω	输出电阻 R_o/Ω
1	50.81	+ 0.20	221	227
2	43.06	- 0.87	245	238
3	41.51	+ 0.04	239	231
4	47.27	- 0.19	238	235
5	48.79	+ 0.02	231	234
6	47.84	+ 1.44	264	457
7	43.81	+ 0.02	236	227
8	52.33	+ 0.55	227	232

表 2 样品 B 的器件特性(灵敏度为每千欧姆内阻条件下)

编号	灵敏度 $V_H/(\text{mV} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{kGs}^{-1})$	失调电压 $V_0/(\text{mV} \cdot \text{mA}^{-1})$	输入电阻 R_i/Ω	输出电阻 R_o/Ω
1	37.45	- 0.65	298	300
2	41.12	+ 0.65	304	322
3	35.93	+ 1.01	297	295
4	39.38	- 0.21	306	292
5	40.60	+ 0.49	282	302
6	38.82	+ 0.45	323	293
7	40.11	+ 0.03	285	293

5 结论

利用MBE技术,通过控制生长条件,可以获得具有高迁移率的InAs薄膜材料,测试结果表明InAs薄膜具备制作霍尔器件所需要的条件,利用这些材料制作的霍尔器件具有较高灵敏度

致谢 霍尔器件由科半公司霍尔器件组制作,并得到了郑一阳老师的大力支持和帮助,在此深表感谢

参 考 文 献

- [1] T. Iwabuchi, T. Ito, M. Yamamoto *et al* , J. Cryst Growth , 1995, **150**: 1302~ 1307.
- [2] M. Henini, III-V s review, 1996, **9**: 33~ 38
- [3] R. S. Popovic, "Hall effect devices: magnetic sensors and characterization of semiconductors", Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New York, 1991.
- [4] R. J. Matyi, J. W. Lee and H. F. Schaake, J. Electron Mater , 1988, **7**(1): 87~ 93
- [5] 庄岩,王玉田,马文全,等,半导体学报,1997, **18**(7): 508~ 512
- [6] H. M. Wang, Y. P. Zeng, T. W. Fan *et al* , J. Cryst Growth , 1997, **179**(3,4): 658~ 660
- [7] S. Kalem, J. Chyi, C. W. Litton *et al* , Appl Phys Lett , 1988, **53**: 562~ 564
- [8] H. H. Wieder, Appl Phys Lett , 1974, **25**: 206~ 208
- [9] 郑一阳,张进昌,刘衍芳,半导体学报,1985, **6**: 413~ 417.

Growth and Study of InAs Thin Films for Hall Effect Devices

Wang Hongmei, Zeng Yiping, Zhou Hongwei, Dong Jianrong,
Pan Dong, Pan Liang, Kong Meiyang

(Institute of Semiconductors, The Chinese academy of sciences, Beijing 100083)

Received 18 March 1997, revised manuscript received 10 September 1997

Abstract This paper reports InAs thin films grown on GaAs (001) substrates by Molecular Beam Epitaxy (MBE) with good crystal quality, high electron mobility and small temperature dependence. Hall effect devices with sensitivity 50% higher than GaAs planar Hall effect devices are produced using these films

PACC: 6110M, 6855, 7360F