

# MBE 生长的 InAs 薄膜 Hall 器件

周宏伟 曾一平 李歧旺 王红梅 潘 量 孔梅影

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

**摘要** 利用 GaAs 衬底上的 InAs 薄膜制备的 Hall 器件, 具有灵敏度高(在相同的电子浓度、室温附近灵敏度是 GaAs Hall 器件的 1.5 倍), 不等位电压温漂小等优点, 可用于电流传感器、无刷电机等磁敏传感器中, 具有广阔的应用前景

PACC: 6110M, 6855, 7360

## 1 引言

磁敏元件包括 Hall 器件, 磁阻器件, 感应线圈等多种, 其中由于 Hall 器件具有体积小、使用方便、灵敏度高、能和现代微电子工艺技术相融合等优点, 使得它成为应用最为广泛的一种磁敏器件。但是 Hall 器件在应用中并不是其它磁敏器件不可替代的, 它的前途取决于能否找到有效的方法来提高其灵敏度、降低不等位及其温漂<sup>[1]</sup>。

传统的 Hall 器件用材料有 InSb, GaAs 和 Si 等。InSb Hall 器件虽有较高的灵敏度, 但其温度特性差, GaAs Hall 器件的温度特性较好, 但灵敏度又较低, Si 材料虽然具有工艺成熟、容易集成等优点, 但在很多情况下因灵敏度太低, 信噪比太小而限制了其应用。1995 年, 日本的旭化成电子公司利用 MBE 技术, 在半绝缘 GaAs 衬底上外延生长了 InAs 薄膜, 利用它所制备的 InAs 薄膜 Hall 器件具有灵敏度高, 温度特性好等优点, 可广泛应用于电流、电压传感器, 无触点开关, 无刷电机中<sup>[2]</sup>。

在本文中, 我们利用在 RBER-32P 系统所生长的 InAs 外延层(室温附近迁移率为  $10000\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ , 电子浓度为  $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ), 也成功地制备了 InAs 薄膜 Hall 器件, 其技术参数与日本旭化成分公司产品相似, 并且在相同的几何形状和电子浓度下, 对 InAs 薄膜 Hall 器件和 GaAs Hall 器件性能作了对比。

## 2 器件的制备

Hall 器件关键的制造工艺包括台面腐蚀, 蒸镀金属膜, 合金、压焊引线等工艺<sup>[3]</sup>。

### 1. 台面腐蚀形成图形

为了减小几何效应对 Hall 器件输出电压的影响, 以及使制造工艺方便, Hall 器件一般

### 设计成十字形

### 2. 蒸镀金属膜

蒸镀金属膜的目的是便于合金化后形成欧姆接触和电极引线 传统的III-V族化合物半导体一般都是蒸镀Au-Ge-Ni金属膜,但InAs材料却能和很多金属形成欧姆接触<sup>[4]</sup>.在实验过程中,我们在InAs薄膜上蒸发Au-Ge-Ni和Au都得到了很好的欧姆接触

### 3. 合金化

在H<sub>2</sub>中加热使InAs与Au或Au-Ge-Ni合金化,形成Hall电极的欧姆接触区

### 4. 压焊引线

## 3 器件的特性

### 3.1 温度特性 包括灵敏度和内阻随温度的变化

灵敏度温度特性如图1所示 在20~70温区内,InAs Hall器件的Hall电压灵敏度温度系数为 $-3 \times 10^{-3}/$ .室温下的InAs Hall器件的灵敏度为 $(300\text{mV}/(\text{mA} \cdot \text{T} \cdot \text{k}\Omega))$ 要比同浓度及几何形状GaAs Hall器件灵敏度(目前国际和国内在电子浓度为 $1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 时,器件参数可做到灵敏度室温为 $200\text{mV}/(\text{mA} \cdot \text{T} \cdot \text{k}\Omega)$ ,Hall电压灵敏度温度系数为 $-5 \times 10^{-4}/$ )高1.5倍 InAs材料较高的迁移率、较小的禁带宽度导致了InAs Hall器件的灵敏度比同浓度下GaAs Hall器件高、温度系数大

内阻随温度的变化如图2所示 在20~80温区内,InAs Hall器件的内阻温度系数为 $9 \times 10^{-4}/$ .而同浓度GaAs Hall器件的内阻温度系数为 $2 \times 10^{-3}/$ .可见InAs Hall器件的内阻温度特性要优于同浓度GaAs Hall器件的内阻温度特性

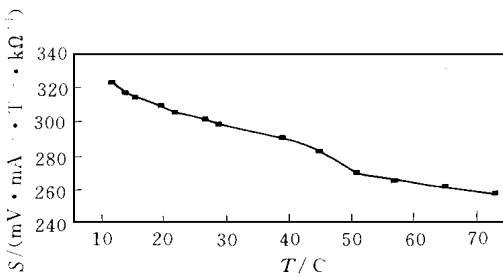


图1 InAs Hall器件灵敏度随温度的变化

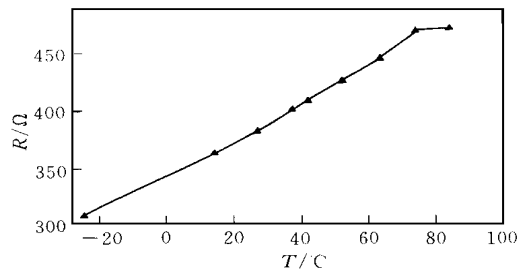


图2 InAs Hall器件内阻随温度的变化

### 3.2 输出特性

Hall器件的输出特性是指Hall电压随外加磁场的变化 InAs薄膜Hall器件的输出特性如图3所示 从图3可见,在磁场较高时,InAs Hall器件的线性度会变差,在0.5T内非线性度为2%,而同浓度GaAs Hall器件即使在2T内,非线性度为0.1%.一般来说,材料的迁移率越高,其随磁场的变化也越大<sup>[5]</sup>.十字型Hall器件的Hall输出电压随磁场的变化如下<sup>[6]</sup>:

$$\frac{V_d}{I\rho} = \mu B - 1.045 \arctg(\mu B) \exp\left[-\frac{\pi h}{k}\right] \tag{1}$$

式中 V; I; d; ρ; 分别为Hall器件Hall电极电压; 输入电流; 厚度; 电阻率; h和k分别是

Hall 电极的长度和宽度 从(1)可看出十字型 Hall 器件随磁场的线性主要取决于器件的几何形状和材料迁移率随磁场的变化 我们所生长的 InAs 薄膜材料迁移率随磁场的变化如图 4 所示 可以看出,当磁场为 0.2T 时, InAs 薄膜的迁移率降低较快,会造成 InAs Hall 器件随磁场变化的非线性度变大 如果 InAs Hall 器件用作线性元件就要减小其随磁场变化的非线性度,这除了要优化器件设计外,还要优化材料生长参数,比如牺牲一些迁移率来换取小的非线性度

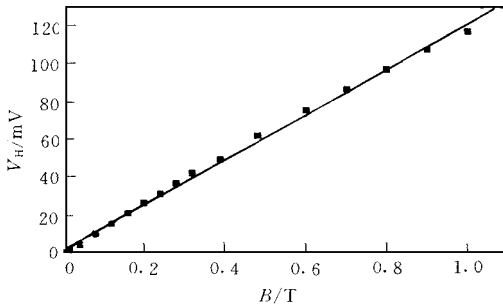


图 3 InAs Hall 器件 Hall 输出电压随外加磁场的变化

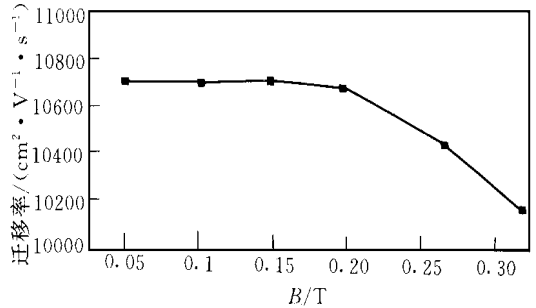


图 4 InAs Hall 器件材料的电子迁移率随磁场的变化

### 3.3 不等位电压 $V_{off}$

当磁场为 0, 控制电流为 1mA 时, Hall 电极之间的电位差称不等位电压 表 1 为 InAs Hall 器件不等位温漂的高低温实验结果

表 1 InAs Hall 器件不等位电压随温度的变化

InAs 样品编号	$V_{off}/mV$		
	- 25	20	81
1#	0.19	0.00	0.23
2#	0.22	0.00	0.31

引起 Hall 器件不等位电压不为零的原因

很多,比如 Hall 器件有源区的厚度,电子浓度不均匀,输出电极不对称 对 MBE 生长的 InAs 薄膜 Hall 器件,不等位电压的存在主要是压焊时电极的不对称,使输出电极未能在同一等能面上,其原理如图 5 所示

图中  $M, N$  为输出极,  $MN_1$  为等势线  $\rho_b, t, w$  为 Hall 器件电阻率,厚度和有效宽度 则不等位电压为:

$$V_{off} = \int_{N_1}^N \rho_b \vec{j} \cdot d\vec{l} = \rho_b \frac{I \Delta l}{w t} \quad (2)$$

在 Hall 元件应用时,不等位电压和有用的信号不能分离,这将能引起测量误差或误操作,尤其是测量要求精度较高时 原则上初始不等位电压(例如在室温下)总可以调节到零,但麻烦的就是不等位的温漂 从式(2)可看出在材料比较均匀的情况下,不等位电压的温漂主要取决于电阻率随温度的变化 在内阻相同的情况下,从图 2 我们知道

InAs 薄膜 Hall 器件的电阻率随温度的变化较小(这是因为 InAs/GaAs 界面处存在一个电学参数随温度缓变的界面层<sup>[7]</sup>),因此 InAs Hall 器件的不等位漂移比较小

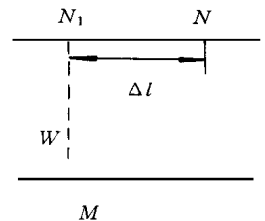


图 5 Hall 电极不对称时引起不等位电压存在的原理图

## 4 结 论

我们利用 MBE 技术生长的 InAs 薄膜制备的 Hall 器件, 具有灵敏度高(在相同电子浓度的情况下, 为 GaAs Hall 器件的 1.5 倍), 不等位温漂小等特点, 在很多情况下可替代 GaAs 和 InSb Hall 器件使用, 因此具有广阔的应用前景, 目前正在优化材料生长参数和器件设计, 进一步提高其性能

**致谢** 作者感谢郑一阳研究员的有益讨论, 以及在 Hall 器件测试中卫微、荣辉、刘增敏、张进昌、常永屏工程师的帮助

## 参 考 文 献

- [ 1 ] R. S. Popovic, J. A. Flanagan and P. A. Besse, *Sensors and Actuators*, 1996, **A56**: 39~ 55
- [ 2 ] T. Iwabuchi, T. Ito, M. Yamamoto, K. Sako *et al* , *J. Cryst Growth*, 1995, **150**: 1302
- [ 3 ] 黄得星, 顾文照, 刘殿臣, 电子工业生产手册, 北京: 国防工业出版社, 1993, 825
- [ 4 ] C. A. Mead and W. G. Spitzer, *Phys Rev.* , 1964, **134**: A713~ 716
- [ 5 ] R. S. Popovic, *Hall Effect Devices*, Hilger, Bristol, 1991, 129
- [ 6 ] W. Versnel, *J. Appl Phys* , 1981, **52**: 4659
- [ 7 ] Zhou Hongwei *et al* , *J. Cryst Growth*, 1998, **191**: 361~ 364

## InAs Thin Film Hall Elements Grown by MBE

Zhou Hongwei, Zeng Yiping, Li Qi wang, Pan Liang, Wang Hongmei, Kong Meiyang

(*Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083*)

Received 24 April 1998, revised manuscript received 15 July 1998

**Abstract** InAs thin film (grown by MBE) Hall elements with high sensitivity and low offset voltage temperature drift have been developed. They can be widely used in DC current sensor and brushless motors

**PACC:** 6110M, 6855, 7360