

耗尽型选择性掺杂异质结晶体管*

陈定钦 张晓玲 熊思强 高翠华 周帆

(中国科学院半导体所, 北京)

摘要 设计和研制了耗尽型选择性掺杂异质结晶体管。外延选择性掺杂材料是由本所 FS-III 型分子束外延炉生长的。制作器件的材料在室温下, 霍尔测量的电子迁移率为 $6500\text{cm}^2/\text{v}\cdot\text{s}$, 二维薄层电子浓度 $n_s = 9 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$ 。在 77K 时 $\mu_n = 75000\text{cm}^2/\text{v}\cdot\text{s}$ 。测量了具有栅长 $1.2\text{--}1.5\mu\text{m}$, 栅宽 $2 \times 180\mu\text{m}$ 耗尽型异质结器件的直流特性和器件的跨导, 室温下 $g_m = 110\text{--}130\text{ms/mm}$, 而低温 77K 时, 可达到 200ms/mm 。

关键词 半导体器件; 耗尽型异质结晶体管; MBE 材料; 剥离工艺; 跨导

1. 引言

选择性掺杂晶体管在低噪声、高频率, 高速度等方面都具有良好的性能^[1]。这种器件采用分子束外延调制掺杂材料(简称 MBE)制成。在未掺杂的窄禁带材料 GaAs 与掺杂的 n 型宽禁带材料 AlGaAs 构成的选择掺杂突变异质结构中, 电子从 AlGaAs 转移到亲合能较大的 GaAs 中, 由于异质结势垒的限制, 在界面附近约 $50\text{--}80\text{\AA}$ 薄层内形成一个电子只能在平行于界面的二维平面内自由运动, 而在垂直于界面的方向能量量子化的电子不能运动的二维电子气(2DEG)。就是说 GaAs 与 AlGaAs 界面的二维电子气在空间上是与其离化施主母体是分开的, 所以电离杂质散射大大减小, 提高了电子迁移率 μ_n , 利用这种特性制成的器件, 在高速数据处理, 微波数字通讯, 广播电视卫星等方面有着广阔的应用前景。

2. 器件的研制

MBE 材料的制备在掺 Cr 半绝缘材料 GaAs(100) 面的衬底上, 先外延生长 $1\mu\text{m}$ 未掺杂的 GaAs 层, 称为缓冲层。再长厚 $50\text{--}80\text{\AA}$ 未掺杂的 AlGaAs 层, 称为隔离层。它的作用是在空间上把二维电子气与其施主区隔开, 从而减弱掺杂源区离化杂质与转移到 GaAs 层中电子间库仑力的相互作用。其上面再生长一层掺硅、厚 $500\text{--}700\text{\AA}$ 的 n 型 AlGaAs, 电子浓度 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 的有源层。最后在上面生长一层未掺杂、厚 200\AA 的 GaAs 保护层, 以利于作欧姆接触。制出的 MBE 材料结构示于图 1。这种材料的能带结构示于图 2。

器件的研制使用本所 FS-III 型生产的 MBE 材料。设计了工作频率为 3.83GHz 和 1.5GHz 的低噪声耗尽型 GaAs 异质结晶体管。分离器件的栅长 $L_g = 1.2\text{--}1.5\mu\text{m}$, 源栅、漏栅距离 $L_{gs} = L_{dg} = 1.5\mu\text{m}$, 栅宽 $W_g = 2 \times 180\mu\text{m}$ 。MBE 材料的性能在室温

* 1988年1月24日收到, 1989年8月21日修改定稿。

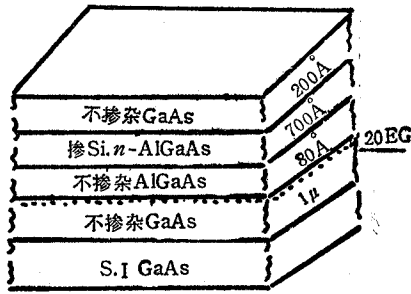


图1 MBE 材料结构

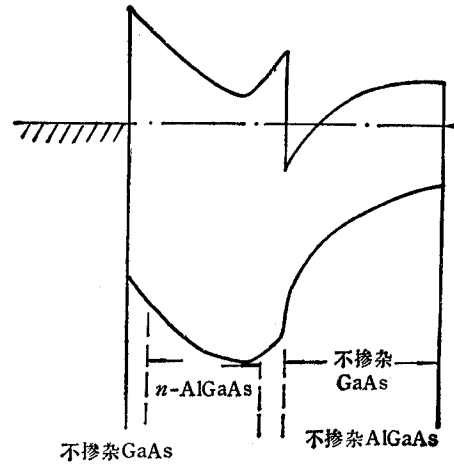


图2 MBE 材料能带图

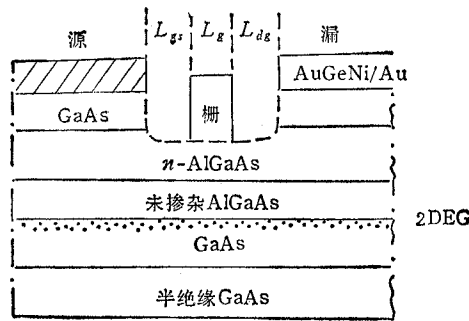


图3 耗尽型选择性掺杂异质结晶体管结构示意图

下, Hall 测量电子迁移率为 $6500\text{cm}^2/\text{v} \cdot \text{s}$ 。二维薄层电子密度 $n_s = 9 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$, 77K, 电子迁移率为 $75000\text{cm}^2/\text{v} \cdot \text{s}$ 。

器件的制造过程是先将 MBE 材料用有机溶剂清洗干净, 再用 $\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 的混合溶液蚀刻出 $0.3\mu\text{m}$ 高的台面, 从而对器件有源区进行隔离。然后用普通光刻方法确定源和漏欧姆接触区, 蒸发 AuGeNi/Au 接触金属, 剥离出源和漏接触, 并在氢和氮的混合气氛中, 在 $430\text{—}470^\circ\text{C}$ 内, 使上述金属与表面层 GaAs 生成合金, 使其形成良好的源漏欧姆接触。

栅区用反应离子刻蚀法(简称 RIE) 挖槽, 深度为 300Å , 以降低寄生电阻, 然后形成厚 $0.5\mu\text{m}$ 的 AlTiAu 栅极。所制出的选择性掺杂异质结晶体管的结构如图 3 所示。

3. 器件性能

在室温下, 耗尽型异质结晶体管的直流跨导为 $110\text{—}130\text{ms}/\text{mm}$, 由跨导公式 $g_m = g_0(1 + R_s g_0)$, 可以大致估算出本征跨导 g_0 在 $170\text{ms}/\text{mm}$ 左右, 其中 R_s 为源栅间寄生电阻, 其值在 $2.8\text{—}3.3\Omega$ 之间。器件的直流特性如图 4 所示。

77K 时耗尽型选择性掺杂异质结晶体管的跨导 $g_m = 200\text{ms}/\text{mm}$ 。直流特性如图 5。

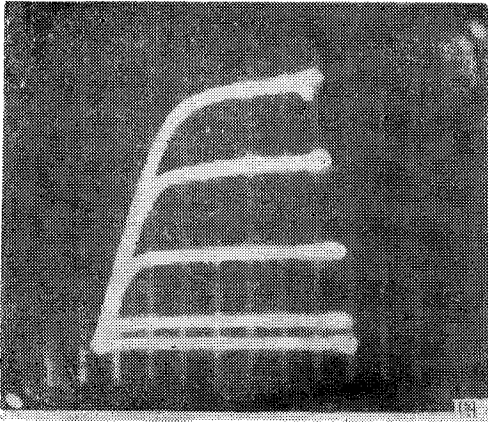


图4 耗尽型选择性异质结晶体管,室温下的直流特性. 纵坐标 4mA/格,横坐标 2V/格,栅控制电压每间隔-0.2V

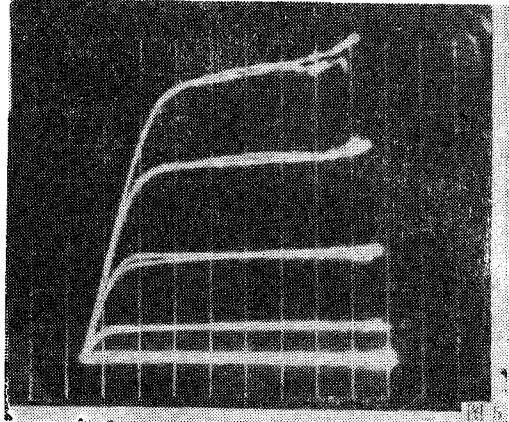


图5 77K时器件的直流特性. 纵坐标 6mA/格,横坐标 2V/格,栅控制电压每间隔-0.2V

这种器件的工作频率已达到设计要求在 3.83GHz 和 1.5GHz 两个频段. 计算噪声值约(2—3)dB.

4. 结束语

目前器件性能有待改进, V_G 击穿电压偏低, 易于烧毁, 可能与 MBE 材料的完整性有关. 源栅间寄生电阻 R_s 偏大, 通过有关工艺的改进可得到改善. 这种器件可以应用到通讯卫星接收器上.

本工作得到公共工艺实验室程美乔, Hall 生产线张进昌等同志的大力帮助, 一并表示谢意.

参 考 文 献

- [1] Paul M. Solomon, Hadis Morkoc, *IEEE Trans. on ED*, ED-31(1984)8, 1015.

DEPLETION MODE SELECTIVE DOPED HETEROJUNCTION TRANSISTOR

Chen Dingqin Zhang Xiaoling Xiong Siqiang Gao Cuihua Zhou Fan

(Institute of Semiconductor Academia, Sinica, Beijing)

Abstract Depletion Model Selective doped heterojunction transistor is designed and fabricated. Epitaxial modulation loping material were grown by a home-made MBE system. The gate length and width for low noise depletion devices were 1.2—1.5 μm and 2 \times 180 μm respectively. The electron mobility of the material is typically 6500 $\text{cm}^2/\text{v}\cdot\text{s}$ at 300K and 75000 $\text{cm}^2/\text{v}\cdot\text{s}$ at 77 K. The sheet electron concentration n_s is $9 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$. The transconductance of the depletion Mode levicees is 100—130 ms/mm at room temperature. However at low temperature the transconductance is 200 ms/mm. Its noise figure is above 2—3dB.

Key words Semiconductor device; Depletion Mode Heterojunction transistor; MBE material; Transconductance