

分子束外延选择性掺杂的 GaAs/N-Al_xGa_{1-x}As 异质结中的二维电子气

江丕桓 李月霞 杨富华 王杏华

(中国科学院半导体研究所)

1985年3月20日收到

本所分子束外延组制备了选择性掺杂的 GaAs/N-AlGaAs 异质结^[1], 它的结构如下: 在掺 Cr 半绝缘(100) GaAs 的衬底上, 先外延生长 1 微米厚的未掺杂的 GaAs 层, 再生长厚度 60 Å 左右的未掺杂的 Al_xGa_{1-x}As 隔离层, 其上是厚度为 1000 Å 的掺 Si 的 N-Al_xGa_{1-x}As 层, 掺杂浓度约为 $1.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, 最后在表面上外延 200 Å 的未掺杂的 GaAs 层。AlAs 克分子数 x 约为 0.3。Al_xGa_{1-x}As 中施主杂质 Si 产生的电子转移到界面的 GaAs 一侧, 在界面附近形成二维电子气。

为了进行测量, 用合金法制成钢电极, 电极分布为 Van der Pauw 方式。使异质结界面与磁场垂直, 在低温下测量电阻率张量 ρ_{xx} 及 ρ_{xy} 随磁场强度 B 的变化关系, 典型结果见图 1。

在弱磁场下, ρ_{xy} 与 B 成正比, 其比值即霍尔系数 R , 利用经典公式

$$R = \frac{1}{Nec} \quad (1)$$

可以算出电子浓度。

在较强的磁场下, 观察到 SdH 振荡 (ρ_{xx}) 及量子化霍尔效应 (ρ_{xy}), ρ_{xx} 的极小值与 ρ_{xy} 的平台对应。在 $n = 1$ 的朗道能级中观察到自旋分裂。当电子正好填满量子数为 n 的朗道能级时, 其浓度为

$$N = 2(n + 1) \frac{eB}{hc} = i \frac{eB}{hc} \quad (2)$$

其中 eB/hc 为朗道能级的简并度, 整数 $i = 2(n + 1)$ 表示填满了电子的朗道能级数。由式(2)可知, 使 ρ_{xx} 出现极小值的磁场强度 B_{\min} 适合下式

$$(B_{\min})^{-1} = \frac{ie}{hc} / N \quad (3)$$

将实验得到的 $(B_{\min})^{-1}$ 与整数的关系画成曲线(图 2), 这些点正好连成直线。由此可知它们是符合式(2)及(3)的, 并可以判断出某一个 ρ_{xx} 极小值对应的 i 值。由直线的斜率可以求出电子浓度 N 。

表 1 列出了两个样品的有关数据, 其中 μ 代表电子迁移率, N_R 代表由低磁场下霍尔系数算出的电子浓度, N_{SdH} 代表由 SdH 振荡算出的电子浓度。两种方法得到的电子浓度是相近的, 这说明了电导确是由二维电子气产生的, 并联的电导可以忽略不计。

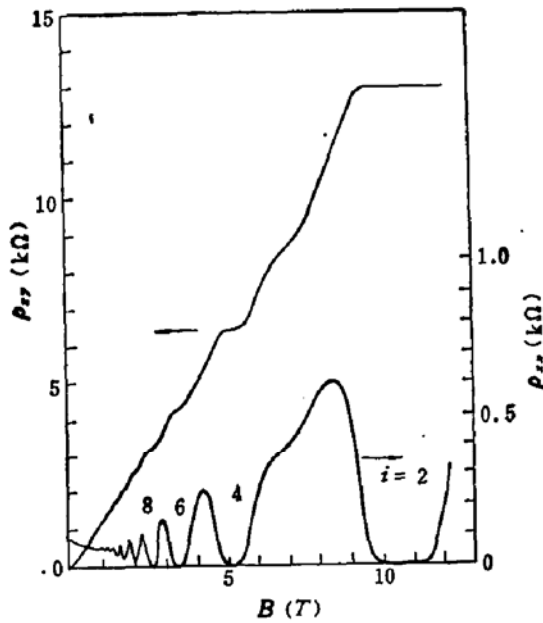


图1 ρ_{xx} 及 ρ_{xy} 随磁场强度 B 变化的关系
No. 84147, $T = 2.5\text{K}$, $\rho_{xx}; I = 50\mu\text{A}$, $\rho_{xy}; I = 10\mu\text{A}$

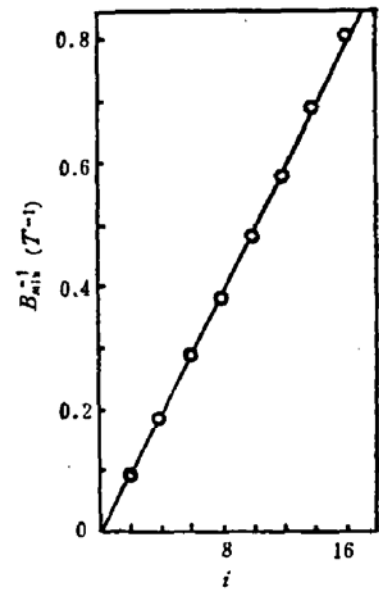


图2 B_{\min}^{-1} 与整数的关系 No. 84147

| 样 品 | 温 度 | μ ($\text{m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$) | N_R (cm^{-2}) | N_{SDH} (cm^{-2}) |
|-------|-----|---|-------------------------------|--|
| 84012 | 4.2 | 19 | 3.7×10^{11} | 4.0×10^{11} |
| 84147 | 2.5 | 14 | 5.0×10^{11} | 5.0×10^{11} |

当 ρ_{xy} 随 B 的变化关系出现平台时,其值偏离量子霍尔电阻理论值 h/ie^2 的误差为 10^{-3} 的量级。图3表示两个电子浓度不同的样品的 ρ_{xy} 曲线,由图可以看出,电子浓度的不同只改变平台出现时的磁场强度 B 的数值。

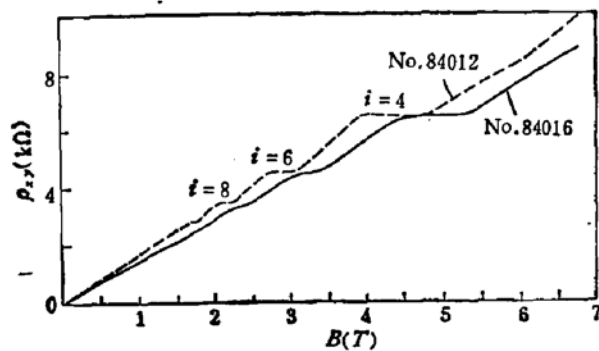


图3 电子浓度不同的两个样品的 ρ_{xy} 随 B 变化的关系
样品 No. 84012 $N = 3.7 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$
样品 No. 84016 $N = 4.1 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$
 $T = 4.2\text{K}$, $I = 50\mu\text{A}$

作者感谢蔡泓与董谋群在实验中的帮助。

参 考 文 献

- [1] 陈宗圭、梁基本、孙殿照、黄运衡、孔梅影, 半导体学报, 5, 694(1984).

Two-Dimensional Electron Gas in MBE Grown Selectively Doped GaAs/N-AlGaAs Heterostructures

Jiang Pihuan, Li Yuexia, Yang Fuhua and Wang Xinghua
(*Institute of Semiconductors, Academia Sinica*)

Abstract

Transport properties of two-dimensional electron gas in MBE grown selectively doped GaAs/N-AlGaAs heterostructures have been measured in strong magnetic field at low temperature. SdH oscillation and quantized Hall effect have been observed.