

液相外延 InSb N⁺P 结特性分析

田如均 迟文锦

(华北光电技术研究所)

外延生长采用水平滑动式液相外延法。衬底为掺 Ge 的 InSb 单晶片。母液中掺 Te, 浓度 $10^{18} \sim 10^{19}/\text{cm}^3$ 。用微量回熔线性冷却工艺, 基本解决了母液和基片的浸润问题。并获得符合要求的外延层厚度。对这一工艺在 420°C 下的生长动力学进行研究, 从实验上得出生长速率和时间的关系为 $V \propto t^{1.67}$, 因此界面过程对生长也有一定的影响。霍尔测量表明, 外延层中平均载流子浓度为 $(0.5 \sim 27) \times 10^9/\text{cm}^3$ 。已用它们做成单元和线列器件, 阻抗 $10 \sim 10^5 \text{k}\Omega$, $D^*(500, 1000, 1) = (0.7 \sim 1) \times 10^{10} \text{cmHz}^{1/2}/\text{W}$ 。并与硅 CCD 进行互连。由于探测器的性能在多方面与 N⁺-P 结有关, 因此对外延结的分析于今后的发展是有意义的。

对外延结实测伏安特性并作 $\ln I = \frac{q}{\gamma K T} V + \ln I_0$ 图。发现直到电压 (正向) 超过 0.07V 才出现线性部分。求出 γ 在 $1.65 \sim 1.58$, I_0 约 10^{-9}A 。据此分析, 可认为 N⁺P 结中以产生复合电流为主。反向曲线较“软”, 且低电压时电流较大, 这些说明还有其他的电流机制使结阻抗降低。在曲线中找出 $\gamma = 2$ 的部分, 外推求得产生电流 I_{gen} 为 $(1 \sim 3) \times 10^{-8} \text{A}$ 。取实验参数计算得 77K 下的自建场 $V_i = 0.23 \text{V}$; 空间电荷区宽度 $d = 0.37 \mu\text{m}$ 。由产生电流表达式计算结区电子寿命为 $6 \times 10^{-9} \text{s}$ 。

N⁺P 结的光谱特性曲线表明, 短波响应始于 $2 \sim 2.4 \mu\text{m}$, 峰值 $4.8 \sim 5 \mu\text{m}$, 长波截止于 $5.5 \mu\text{m}$ 。根据伯斯坦-莫斯效应公式计算 N⁺ 层中载流子浓度为 $4.8 \times 10^{18}/\text{cm}^3$, 与霍尔测量结果一致。与其他工艺相比峰值前移。这与长波光子深入 P 区的距离大于电子扩散长度有关。适当减小衬底受主浓度并提高它的晶格完整性, 能使峰值后移并有利于量子效率的提高。

用微量原子吸收光谱法对外延层中的 Te 分布进行检测。半定量结果表明, 浓度最高点并非位于 N 型侧的起始处而稍向前移。过此点后随着厚度的增加浓度又渐降。这里考虑回熔和 Te 热扩散对这一峰值前移的影响。衬底回熔后使固液界面处液体中 Sb 的过饱和度增大, 对 Te 的分凝有一定的影响。但实验表明在回熔后的最初几分钟生长的薄层导电类型与衬底一致, 故此时 Te 的掺入不显著。其次考虑 Te 的热扩散, 在外延过程中取原始浓度为 $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$, 在 $300 \sim 400^\circ\text{C}$ 下 $5 \sim 6$ 分钟, 按余误差函数分布向衬底方向深入。计算结果在 $0 \sim 0.65 \mu\text{m}$ 距离内浓度由原始值降至 $4 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 。由此可见, 外延结界面虽与冶金学界面有所分离, 浓度最大值亦并非位于 N 型侧的起始处, 但其分布仍较扩散结为陡, 外延结是较为理想的突变结。