

Hg_{1-x}Cd_xTePN 结深能级-带隧道电容 的频率效应和磁场关系

林 和 汤定元

(中国科学院上海技术物理研究所)

本文测量了 $x=0.275$ Hg_{1-x}Cd_xTe PN 结在不同测量频率下的电容电压特性。实验结果表明, 当 $f=1$ MHz 时, PN 结正向电容出现负值, $f=5$ MHz 时, 电容不再变负, 但电容峰是明显的, 当 $f=10$ MHz 时, 峰值已不明显, 这说明 PN 结中载流子的深能级-带隧道穿过程存在明显的频率效应。深能级-导带穿过程可分为两步, 第一步, 电子由导带隧穿至深能级 E_d 上, 第二步, 位于深能级 E_d 上的电子与价带的空穴复合, 即通常的 Shockley-Read 复合过程。D. K. Roy 将一个能量为 E 的电子通过高为 V_0 的势垒的隧穿时间表示为: $\tau \sim \frac{\hbar}{(V_0 - E)}$ 。对于本文讨论的情况, 电子隧穿时间约为 10^{-14} s, 这是一个极短的时间, 相应的频率远大于通常的测试频率, 因此, 电子从导带隧穿到深能级这一过程的频率效应可不予考虑。对于第二步过程, 即 Shockley-Read 复合过程, C. T. Sah 推得深能级复合常数为: $\tau_T = \frac{1}{[C_p(P_0 + P_1) + C_n(n_0 + n_1)]}$, 式中, $C_p = v\sigma_p$, $C_n = v\sigma_n$ 分别为空穴和电子的俘获系数。用目前已知的 Hg_{1-x}Cd_xTe 材料的有关参量进行计算, τ_T 大约在 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ s 范围, 也就是说, 当测试频率为 1 MHz 时, 载流子通过深能级复合的频率效应已开始表现出来, 当频率大于 100 MHz 时, 深能级上的电子将有可能完全跟不上外加交流信号的变化, 这时将测量不到深能级电容效应。因此, 由电容的频率关系也能估算深能级复合时间常数的数值。

本文还测量了不同磁场和不同温度下 Hg_{1-x}Cd_xTe PN 结的微分电容和电导。当给 PN 结加横向磁场时(磁场方向与 PN 结电流方向垂直), Hg_{0.8}Cd_{0.2}Te PN 结的电流电压与电导电压关系都有明显变化。 $T=110$ K 时, 加 9 kGs 磁场使 PN 结深能级-带隧道电容峰值下降了近 30 pF 并使 PN 结正向电导明显下降。我们认为产生这一 PN 结电容和电导磁场效应的原因有以下几点:

1) 窄带 Hg_{1-x}Cd_xTePN 结耗尽近似在较高温度下不成立。

本文采用 D. K. KENNEDY 的 PN 结理论, 计算了 $x=0.2$ Hg 扩散 Hg_{1-x}Cd_xTePN 结的特性, 计算表明, $T > 83$ K 时, 耗尽近似已不成立。结区非耗尽将引起较强的磁场效应。

2) 深能级-带隧道电荷数与 PN 结注入水平有关, 加横向磁场将使得 PN 结正向注入的载流子数目减少, 从而使得深能级隧道电荷数减少, 这将使电容峰值降低, 但由于载流子的深能级-带隧道跃迁几率与磁场无关, 因此电容峰的位置应不随磁场变化, 实验结果证实了上述结论。