

用交流 TSC 法研究窄带 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 中的深能级

林 和 汤定元

(中国科学院上海技术物理研究所)

决定 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光伏探测器性能的主要指标是其零偏压电阻与面积之乘积 R_0A , $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 材料中的深能级就是影响其 PN 结 R_0A 值的一个重要因素。因此, 研究 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 半导体中的深能级, 弄清楚它对 PN 结性能的影响, 对提高 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光伏探测器的性能有重要意义。

研究 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 材料中深能级的电学方法主要有三种, 即深能级瞬态谱 (DLTS)、导纳谱和热激电流方法。DLTS 方法能区别电子陷阱和空穴陷阱, 导纳谱能测量发射率很高的浅陷阱, 但上述两种方法对所测 PN 结的阻抗都有严格要求。对于 $E_g < 0.1\text{eV}$ 的窄带半导体中的深能级, 用 DLTS 或导纳谱方法测量困难较大, 而对于热激电流 (TSC) 方法, 由于人们通常测量直流电流, 因而也只能测量高阻材料。如采用交流热激电流方法, 则可测量各种低阻窄带半导体材料中的深能级, 并能获得深能级位置、俘获截面等有用参量, 还能由 TSC 峰的高度估算深能级密度的大小。交流热激电流方法的原理是由 W·Shockley 的 PN 结交流小信号理论推出, 在小信号条件下, 当 $\omega\tau \ll 1$ 时, PN 结交流电导等于其直流电导。只要满足上述条件, 则直流热激电流理论基本上也适用于交流热激电流方法。我们用锁相放大器测量 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ PN 结的小信号热激微分电导。利用锁相原理, 能有效地除去干扰, 大大提高测试灵敏度, 能测出窄带半导体材料中的低密度深能级态。

测量了组份 $x=0.195\sim 0.275$ 的 Hg 扩散和 In 扩散 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ PN 结的热激电流特性, 测量温度从 22 K ~ 300 K。用交流热激电流方法测得 $x=0.195$ 、 $x=0.2$ 、 $x=0.23$ 的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 材料中各有一个深能级, 其位置分别为导带下 0.049 eV、0.052 eV 和 0.038 eV; 测得 $x=0.275$ 的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 材料中有四个深能级, 其位置在导带下 0.052、0.074、0.156 和 0.190 eV。

为了研究 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 材料中深能级的物理性质, 即弄清它们究竟是库仑吸引力、库仑排斥心还是库仑中性心, 我们测量了在不同外加电场下 $x=0.275$ $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ PN 结的交流热激电流。由于各类陷阱的俘获截面是由其附近势能的变化决定的, 它们都与电场有明显的依赖关系。由热激电流峰值的移动量可换算出俘获截面的电场关系, 从而决定深能级的物理性质。测量结果表明: $x=0.275$ 的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 材料中的深能级俘获截面的电场关系接近 $E^{-\frac{3}{2}}$, 因而它们是库仑吸引力。