

PN 结光伏红外探测器的几何、光学和电学参量对 D_{λ}^* 的影响

张文彬

(苏州大学物理系)

姜嘉定

(山东大学光学系)

PN 结光伏红外探测器的几何、光学和电学参量对其探测率 D_{λ}^* 的影响是相当重要的。它对器件的设计、制造和应用具有实际意义。对于这个问题, 一些研究者致力于发展计算机模拟技术, 更多的研究者是在某些简化近似条件下进行解析分析。

我们采用耗尽近似, 考虑了结耗尽层对光致电流的贡献, 导出了均匀掺杂 PN 结光伏红外探测器的电流-电压 ($I-V$) 特性、量子效率 ϕ 和探测率 D_{λ}^* 的解析表示式。一个外加偏压为 V 、正入射光子流密度为 Q 的光伏探测器的 $I-V$ 关系 $J(V, Q)$ 可以写成

$$J(V, Q) = J_d(V) - J_{ph} \quad (1)$$

式中, $J_d(V)$ 为无光照时 PN 结的 $I-V$ 关系; J_{ph} 为光致电流密度, 在忽略耗尽层贡献时, 它便是与 V 无关的短路光致电流密度 $J_{ph}(Q)$, 一般文献中正是这样处理的; 考虑到耗尽层贡献, J_{ph} 将通过耗尽层宽度 $\delta(V)$ 依赖于 V , 成为 $J_{ph}(Q, V)$ 。常将光致电流密度写成

$$J_{ph} = q\eta(1-r)\phi Q, \quad (2)$$

式中, η 为量子产额; r 为前表面的光反射率; q 为电子电荷; ϕ 为量子效率(内响应), 体现了光生电子-空穴对转化为 J_{ph} 的效率, 是光伏探测器最重要的品质因数。 ϕ 是器件的几何、光学和电学参量的复杂函数。背景限制红外探测器的 D_{λ}^* 可以写成

$$D_{\lambda}^* = (\lambda/hc) \sqrt{\phi/2Q_B} \propto \phi^{1/2}, \quad (3)$$

式中, Q_B 为背景光子流密度, (λ/hc) 为光子能量。

我们以 77K InSb PN 和 NP 结厚基区光伏红外探测器为例, 数值分析了器件的几何、光学和电学参量对其 ϕ 和 D_{λ}^* 的影响。结果表明: 1) D_{λ}^* 在相当宽的结深 x_j 范围内变化不大, 因此, 在制造这类器件时, 只需将 x_j 控制在一适当范围内, 无需作精确控制。2) D_{λ}^* 随反向偏压的增加而略微提高, 且 $D_{\lambda}^*-x_j$ 曲线当加反向偏压时在高 D_{λ}^* 值区域变为更平直。就 D_{λ}^* 而言, 探测器在适当反向偏压下应用是有利的。3) 提高材料的少数寿命对于 D_{λ}^* 是有利的; 低寿命材料只宜于制作浅结器件。4) 光照面的表面复合速度在很宽的范围内对 D_{λ}^* 的影响不大。