

PiN 硅光二极管的噪声测试

丁 慧 董亮初

(中国科学院上海技术物理研究所)

在反偏、无光照、室温条件下测量了 PiN 硅光二极管(其光谱响应从 $0.4 \sim 1.2 \mu\text{m}$) 中的电流噪声频谱。利用硅光二极管与高阻低噪声前置放大器的最佳组合法, 在美国 H-P 3585A 频谱分析仪上测量了 $20\text{Hz} \sim 70\text{kHz}$ 带宽内的噪声频谱。实验证实了对硅光二极管噪声机理的物理分析: 在低频时, $1/f$ 噪声的贡献是主要的; 在中频区, 产生复合噪声(散粒噪声)为主要噪声源; 在高频时热噪声占支配地位。最后计算了最佳探测率的反偏为 $3 \sim 5\text{V}$ 。

通常无光照反偏条件下, 二极管噪声等效电流有两部分构成: 一部分是器件的暗电流散粒噪声电流 i_d , 另一部分是二极管结电阻热噪声电流 i_R 。然而硅光二极管通常在低频有 $1/f$ 噪声电流 i_f , 这在实验中也得到证实。由于二极管总噪声电流 $i_N^2 = i_d^2 + i_R^2 + i_f^2$ 极小, 因而必须组合放大器才能进行测量。测量中必须考虑这样一个极限, 由于二极管等效输入噪声电流可能比放大器等效输入噪声电流还小, 因而尽可能增大源电阻 R_s , 若当 i_N 为 $5 \times 10^{-15} \text{A}/\sqrt{\text{Hz}}$ 时, R_s 若为 $10^8 \Omega$ 时 $i_N R_s$ 为 $5 \times 10^{-7} \text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$, 而 R_s 热噪声为 $1.26 \times 10^{-6} \text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$, 在同一数量级内, 因而误差相当大。本测量系统中 R_s 为 $10^8 \Omega$ 。前置放大器输入噪声电压为 $5 \times 10^{-9} \text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$, 其测量的灵敏度在 $5 \times 10^{-14} \text{A}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下。测量了 PiN 硅光二极管(单元及三元)的等效输入噪声电流。一般在低于 300Hz 下, 主要贡献是 $1/f$ 噪声, 有的器件可延伸到几 kHz , 频率较高时, 该噪声幅度下降到低于某种类型的白噪声, 若延伸厉害, 就会掩盖中频区的产生复合噪声, 而直接向热噪声过渡。一般来说 $1/f$ 噪声与半导体器件接触、内部或表面上存在势垒有关。无光照时, 暗电流引起的产生复合噪声表现在中频区, 实验测得在几百 $\text{Hz} \sim$ 几十 kHz 内。实验表明: 它的功率谱在低频部分为一恒定值, 然而当频率高于一个同载流子寿命的倒数有关的特征频率后, 迅速下降。有关公式可计算此特征频率。二极管结电阻产生的热噪声在高频区为恒定的幅度。与放大器组合时, 应是结电阻、负载电阻, 放大器输入电阻并联时产生的热噪声, 而且在高频时受到 RC 时间常数的限制。

光电二极管噪声谱测量分析, 对最佳光电二极管的设计极为有益, 与此同时可以用以确定噪声的产生机理。最后我们测量了等效输入噪声随反向偏压关系。在高偏压情况下, 一般输入噪声电流幅度明显增大, 高几倍, 甚至一个数量级; 在低偏压情况下, 虽然幅度减小却限制了响应率。由于探测率与等效输入噪声以及响应率均有关, 故通过实验得到: 最佳探测率的反向偏置为 $3 \sim 5\text{V}$ 。