

热释电探测器外部噪声的研究

贺凤成 徐大雄 王本

(北京邮电大学应用科学技术系, 北京, 100088)

摘要 研究了 PEC 结构热释电探测器的环境温度变化噪声及机械振动噪声, 介绍了两种降低外部噪声的方法, 得出了比探测率、环境温度变化产生的噪声与负载电阻的关系, 并进行了实验验证; 并对双元探测器的一些特性进行了研究.

关键词 热释电, 双元探测器, 外部噪声.

引言

热释电探测器具有可在室温下工作、不需致冷、光谱响应无波长选择性等优点. 通过优化热释电材料及器件结构, 其性能可得到很大改善; 但是当器件用于室外时, 环境温度变化及机械振动等外部噪声成为器件的主要噪声源. 为此, 本文介绍了用降低热释电材料两电极间的负载电阻值和实现互补结构(即双元结构)两种方法降低外部噪声; 同时研究了环境温度变化噪声和机械振动噪声的产生及环境温度变化噪声与负载电阻的关系, 还讨论了双元热释电探测器的性能.

1 热释电探测器性能与负载电阻的关系

1.1 热释电探测器结构

热释电探测器由带 PEC (Pyroelectric Material on an Electric Conductor) 结构的响应元件, FET 阻抗变换器及一个高负载电阻组成, 其中, PEC 结构的响应元由响应元、导电粘合剂、导电衬底及两个电极组成, 负载电阻与两电极相连(见图 1). 响应元上方的硅窗口材料只允许特定波段的辐射入射.

1.2 比探测率与负载电阻的关系

热释电探测器主要性能参数有: 电压响应率 R_v 、噪声电压 V_n 和与 R_v 、 V_n 有关的比探测率 D^* . 这些参数与响应元面积 A 、厚度 d 及负载电阻 R_g 有关. R_v 、 V_n 和 D^* 的表达式为^[5]

$$R_v = \frac{apd}{g\epsilon_r\epsilon_0 A} \left[1 + \left(\frac{\omega cd}{g} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \left[1 + \left(\frac{d}{\omega R_g \epsilon_r \epsilon_0 A} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

$$V_n = \left[\frac{R_v^2 4kT^2 g A}{a^2} + \frac{4kT \omega R_g^2 \epsilon_r \epsilon_0 A \tan(\delta/d)}{1 + \omega^2 \epsilon_r^2 \epsilon_0^2 A^2 R_g^2 / d^2} + \frac{4kT R_g}{1 + \omega^2 \epsilon_r^2 \epsilon_0^2 A^2 R_g^2 / d^2} + \frac{i_n^2 R_g^2}{1 + \omega^2 \epsilon_r^2 \epsilon_0^2 A^2 R_g^2 / d^2} + e_n^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

$$D^* = A^{\frac{1}{2}} \left[\frac{R_v^2 4kT^2 g A}{a^2} + \frac{4kT \omega R_g^2 \epsilon_r \epsilon_0 A \tan(\delta/d)}{1 + \omega^2 \epsilon_r^2 \epsilon_0^2 A^2 R_g^2 / d^2} + \frac{4kT R_g}{1 + \omega^2 \epsilon_r^2 \epsilon_0^2 A^2 R_g^2 / d^2} + \frac{i_n^2 R_g^2}{1 + \omega^2 \epsilon_r^2 \epsilon_0^2 A^2 R_g^2 / d^2} + e_n^2 \right]^{-\frac{1}{2}} R_v; \quad (3)$$

式中 a 为表面电极的吸收系数, p 为热释电系数 ($\text{C}/\text{cm}^2 \cdot \text{K}$), g 为单位面积的热导率 ($\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}$), c 为探测元的比热 ($\text{J}/\text{cm}^3 \cdot \text{K}$), k 为 Boltzmann 常数, ϵ_r 为相对介电常数, ϵ_0 为真空介电常数, i_n 为 FET 的电流噪声, e_n 为 FET 的电压噪声.

本文研究了面积 $A=0.225 \times 0.225 \text{ cm}^2$, 厚度 $d=40 \mu\text{m}$, $\omega=10 \text{ Hz}$, 负载电阻 R_g 从 $1 \times 10^7 \sim 1 \times 10^{11} \Omega$ 变化的 PEC 结构热释电探测器的 R_v 、 V_n 和 D^* 与 R_g 的关系 (见图 2). 图 2 中实线为由公式 (1)、(2) 和 (3) 的理论计算值, 虚线为测量值. 由图 2 可知, R_v 、 D^* 随着 R_g 的增大而增长, 且在 R_g 达到 $10^{11} \Omega$ 量级时, R_v 、 D^* 达到最大. 由图 2 可见, 理论计算值与实验结果吻合得很好.

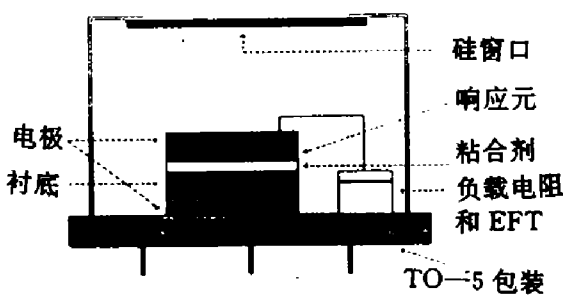


图 1 PEC 热释电探测器结构
Fig. 1 Structure of the PEC IR detector

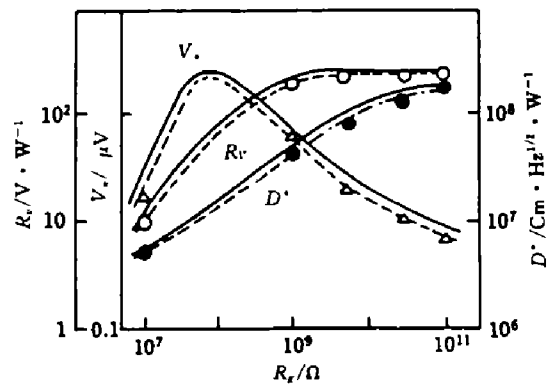


图 2 R_v 、 V_n 、 D^* 与 R_g 的关系曲线
— 理论值, --- 实验值
Fig. 2 Dependence of R_v 、 V_n and D^* on load resistance R_g at 10 Hz
— calculated, --- measured

1.3 外部噪声的研究

热释电探测器外部噪声包括环境温度变化引起的温度变化噪声及热释电材料固有的压电敏感性引起的振动噪声. 外部噪声可通过选择负载电阻 R_g 而减小. 本文讨论温度变化噪声与负载电阻的关系.

环境温度发生突然变化时, 响应元表面产生大量电荷, FET 的栅极电压有较大变化. 当栅极电压超过一定值时, FET 不能正常工作. 如果热电系数为 λ , 每秒环境温度变化为 $G^\circ\text{C}$, 则环境温度变化产生的电流 I 可表示为

$$I = A\lambda G, \quad (4)$$

这样, 环境温度变化产生的 FET 栅极电压 V_G 为

$$V_G = IR_g. \quad (5)$$

图 3 为 FET 的漏极电流与栅源电压的关系曲线. 环境温度变化时, 实际的栅源电压 V_{GS} 等于环境温度变化产生的栅极电压与栅极直流偏置电压之和. FET 的直流偏置电压由源电阻决定, 通常为负值. 当环境温度变化产生的栅极电压为负值且较大时, 实际的栅源电压将超过 FET 的截止电压, FET 不能工作; 相反, 当产生的电压为正值时, 实际的栅源电压将接近零. 若产生的电压较大, 则栅源电压大于零, FET 锁死, 不能工作. 环境温度变化产生的 V_G 的极性由响应元的极化方向及环境温度的升降决定. 这里所用的探测器, 环境温度降低时, 产生的 V_G 为负值; 温度恒定时, V_G 以 τ_e 作指数衰减. 电时间常数 τ_e 由器件的总电阻 R 和总电容 C 决定. R 等于响应元电阻 R_d 、负载电阻 R_g 和 FET 的输入电阻 R_f 的并联值. 这里, 因为 R_d 、 R_f 远大于 R_g , 因此, R 可用 R_g 代替. C 等于响应元电容 C_d 和 FET 输入端电容 C_f 的并联值. 这里所用的 PEC 探测器, C_f 比 C_d 小得多, 可忽略. 因此, 电时间常数可表示为

$$\tau_e = R \cdot C = R_g \cdot C_d = \frac{R_g \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d}. \quad (6)$$

由式 (5)、(6) 可知, 负载电阻 R_g 大时, 环境温度变化产生的栅极电压大, 电时间常数变长. FET 的工作严重受环境温度变化的影响. 表 1 列出了由式 (5) 和式 (6) 计算所得的 V_G 和 τ_e . 这里所用 FET 的截止电压为 -1.0V , 栅极直流偏置电压为 -0.5V . 当 $R_g = 10^{11}\ \Omega$, 温度变化为 $0.3^\circ\text{C}/\text{min}$ 时, $V_G = 0.58\text{V}$, $\tau_e = 6.05\text{s}$, V_{GS} 大于 FET 的截止电压, FET 停止工作. 同时, 因 τ_e 较大, FET 的恢复时间较长. 相反, 当 $R_g = 10^9\ \Omega$, 温度变化是 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 时, $V_G = 0.338\text{V}$, V_{GS} 未达到 FET 的截止电压, FET 仍正常工作.

热释电探测器性能与负载电阻的关系可归纳为: 负载电阻大时, 电压响应率和比探测率也大, 环境温度变化产生的输出信号也大.

由此可见, 大负载电阻热释电探测器适用于要求高探测率的场合, 如温度的精确测量、气体的探测等; 小负载电阻探测器适用于环境温度变化大的场合.

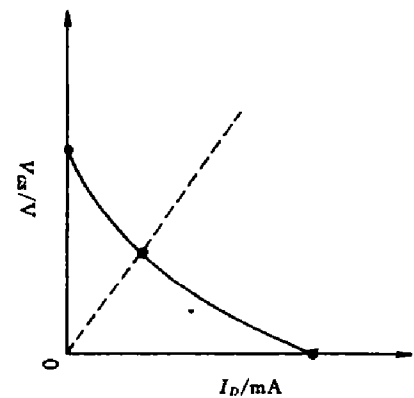


图 3 FET 漏极电流与栅源电压的关系

Fig. 3 Drain current vs. gate-source voltage characteristics of FET

表 1 环境温度变化产生的 V_G 及 τ_e
Table 1 τ_e and V_G due to variation of ambient temperature

R_g (Ω)	环境温度变化 ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)					τ_e (ms)
	0.3	0.6	3	6	20	
1.0×10^9	5.8	11.6	58.2	116	388	60.5
5.0×10^9	29	58	291	<u>580</u>	<u>1940</u>	302.5
1.0×10^{10}	58	116	<u>582</u>	<u>1160</u>	<u>3880</u>	605
5.0×10^{10}	290	<u>580</u>	<u>2910</u>	<u>5800</u>	<u>19400</u>	3025
1.0×10^{11}	<u>580</u>	<u>1160</u>	<u>5820</u>	<u>11600</u>	<u>38800</u>	6050

栅极电压 V_G (mV)

注：数据下画线的值表示 FET 不能正常工作

2 双元热释电探测器

2.1 结构

由上述可知，通过控制负载电阻可减少外部噪声，使探测器工作于环境温度变化大的场合，但同时器件的比探测率降低。另一种降低探测器外部噪声的方法是采用双探测元结构^[6]。环境温度变化时，响应元产生的噪声电压信号互相抵消，即双元结构能实现外部噪声的补偿。双元结构的热释电材料由两个相同大小的探测元组成，两个探测元并联或串联连接。并联连接响应元由两块极化方向相反，体积相等的热释电材料并排组成，每块上表面覆盖相同面积的电极，相互连接作为信号输出端，下表面相互连接作为地；串联连接两块极化方向相同，体积相等的热释电材料并排组成双元结构，每块上表面覆盖相同面积的电极，分别作为信号及地输出端。这样，两个探测元上同时产生的外部噪声电压互相抵消，而顺序入射每个探测元的辐射产生的信号并不能抵消。

2.2 特性

PEC 结构的并联和串联双元热释电探测器的特性如下：

2.2.1 内部噪声电压

对于通常的单元热释电探测器，探测元面积减少到一半时，探测元的电容也减少到一半，则其电压响应率加倍。并联双元热释电探测器的电压响应率与单元 PEC 探测器相同，因为其探测面积是单元探测器的一半，而探测元的电容相同。串联双元热释电探测器的电压响应率是单元探测器的 4 倍，因为其探测面积是单元的一半，探测元电容为 $1/4$ ，电阻为 4 倍。对噪声电压而言，并联双元热释电探测器的温度噪声是单元探测器的 $\sqrt{2}/2$ 倍，负载电阻及介质损耗产生的热噪声相同；串联双元热释电探测器的温度噪声是单元探测器的 $2\sqrt{2}$ 倍，负载电阻产生的热噪声为 4 倍，介质损耗产生的热噪声为 2 倍，热释电探测器的内部噪声主要由热噪声决定。因此，并联双元热释电探测器的噪声电压与单元探测器基本相同；串联双元探测器的噪声电压约为单元探测器的 4 倍。不过，这两种双元探测器的比探测率与单元探测器均相同。

2.2.2 环境温度变化和机械振动对器件的影响

由以上讨论可知, 当 $R_g = 10^{11} \Omega$, 环境温度每分钟变化 0.3°C 时, 单元探测器输出信号变为零. 但环境温度每分钟变化 20°C 时, 串联双元探测器仍能正常工作.

图 4 为单元及串联双元探测器噪声电压与振动频率的关系. 图中振动幅度为 0.2 mm , 频率为 $10 \sim 50 \text{ Hz}$. 由图 4 不难看出, 双元探测器的振动噪声要比单元探测器小得多.

由此可知, 通过改进探测器结构, 采用双元互补结构, 可改进器件抗环境温度变化及机械振动的特性.

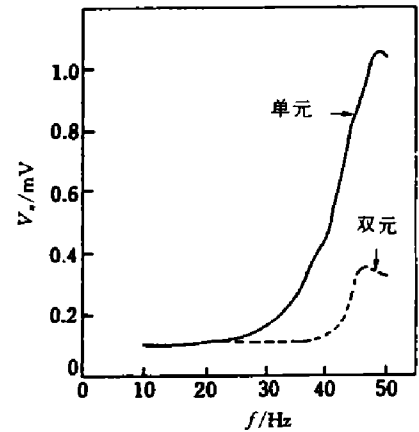


图 4 单元及串联双元探测器噪声电压与振动频率的关系

Fig. 4 Dependence of noise voltage of the single-element and series dual type IR detectors on vibration frequency

3 结语

本文研究了热释电探测器的环境温度变化噪声和机械振动噪声. 对单元探测器, 得出了比探测度和环境温度变化产生的外部噪声与负载电阻的关系, 并进行了实验验证. 同时, 对双元探测器的一些特性进行了研究.

参考文献

- 1 Hossain A, Rashid M H. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 1991,27(5):824-829
- 2 Mansingh A, Arora A K. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, 1991,29:657-664
- 3 Robin P, Facoetti H, Broussoux D, et al. *Revue Technique Thomson-csf*, 1990,22(1):143-186
- 4 Schopf H, Ruppel W, Wurfel P. *Ferroelectrics*, 1991,118:297-305
- 5 Kuwano Y, Nakano S, Kishi Y, et al. *Ferroelectrics*, 1983,(46):175-181
- 6 Byer N E, Stokowski S E, Venables J D. *Appl. Phys. Lett.*, 1975,(27):639-643
- 7 Ploss B, Bauer S. *Sensors and Actuators A*, 1991,(25-27):407-411

INVESTIGATION OF EXTRANEIOUS NOISE IN PYROELECTRIC IR DETECTOR

He Fengcheng Xu Daxiong Wang Ben

*(Department of Science and Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications,
Beijing 100088, China)*

Abstract The ambient temperature variation noise and vibration noise in a pyroelectric IR detector were investigated systematically. The dependence of the specific detectivity and temperature variation noise on the load resistance was studied. In addition, the characteristics of the IR detector with complementary domain structure are discussed in this paper.

Key words pyroelectricity, dual-element detector, extraneous noise.