

文章编号:1000-582X(2006)11-0027-04

带衬底温度补偿的微测辐射热计读出电路*

孟丽娅,袁祥辉,吕果林,黄友恕

(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室,重庆 400030)

摘要:非致冷微测辐射热计具有较大不均匀性,并且输出响应受衬底温度影响很大.提出的读出电路在读出信号的同时能够扩大探测阵列的允许衬底温度.电路采用多列像素共享容式跨阻放大器(CTIA)和DAC,用补偿暗像元扣除静态电流,校正数据经DAC转换送至MOS管的栅极以控制偏置电流达到温度补偿目的.该电路灵敏度高、动态范围大,对于128×128面阵可以达到30Hz以上的帧频,通过PSPICE仿真验证了该读出电路的可行性.

关键词:微测辐射热计;CTIA;CMOS读出电路
中图分类号:TN21

文献标识码:A

非致冷微测辐射热计(Uncooled Microbolometer, UMB)由于其功耗低、重量轻、体积紧凑,开机预热时间短及成本低,对于红外探测器的推广应用具有很大意义,在军事和民用领域拥有广阔的应用前景.霍尼韦尔传感器及系统开发中心、波音公司雷声先进红外中心(IRCOE)、洛克西德·马丁公司、FLIR系统及休斯圣巴巴拉研究中心 SBRC 等都是非致冷红外热成像技术领域的先驱,已经有320×240的微测辐射热计摄像机销售,640×480的UMB也已经研制成功.中科院长春光机所于1995年利用微机械加工技术研究成功微测辐射热计阵列,噪声等效温差NETD为0.3K;上海技物所于1997年报道了其研制的非晶硅材料微测辐射热计,探测率 D^* 达到 $2 \times 10^8 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$;华中科大也报道了128元的氧化钒薄膜UMB,对8~12 μm红外波段的响应率 10^4 V/W ,探测率 $2 \times 10^8 \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}$ [1];兵器211所、电子44所和清华大学微电子所等也都在开展相关工作.

受到制作的材料、工艺等因素的影响,UMB探测阵列的非均匀性比较大(远大于10%).非均匀性的存在不仅要求传感器的接口电路具有很大的动态范围,而且降低成像质量,必须通过校正来改善非均匀性.但是传统的两点校正方案只在一个近乎恒定的衬底温度下才能工作良好.因此通常要使用精密控温装置来稳定温度,这会增加系统的成本、体积和复杂性.笔者提

出一种用于UMB的CMOS读出电路,该电路在读出信号的同时能够补偿衬底温度的影响,放宽非均匀性校正对衬底温度的要求.

1 微测辐射热计的读出电路结构

首先建立微测辐射热计的SPICE模型,以便在EDA软件里面进行热学和电学的混合仿真.在上世纪就开始利用热学和电学的类比仿真来研究集成电路中衬底温度的稳定问题及微型热传感器中的热分布[2-4],称之为“电热仿真”,也就是使用等效电路来模拟器件的热行为的一种仿真方法.图1是根据UMB单元热平衡方程(1),并结合读出电路建立的SPICE模型.其中, P_j 是探测元产生的焦耳热, T_d 是热沉温度, T_s 是探测元温度.

$$\eta P + P_j = C \frac{dT_d}{dt} + G(T_d - T_s), \quad (1)$$

图1中 P_{infrared} 是红外辐照功率;焦耳热 P_j 的大小与微测辐射热计电流(或电压)、电阻值和TCR有关;它会引起UMB的非线性行为,甚至会损坏UMB,需要尽量的减小.仿真中探测元的参数采用文献[5]的参数中,UMB为负温度系数,方程(2)是电阻与温度的关系.图2是对探测单元施加0.4V的脉冲偏置电压,在不同的红外辐照下的电流.

$$R_{\text{det}}(T) = R_0 e^{\alpha T_0 (T_0^{-1} - T^{-1})}. \quad (2)$$

* 收稿日期:2006-06-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60377036)

作者简介:孟丽娅(1976-),女,上海人,重庆大学讲师,博士,主要从事红外探测器读出电路研究.

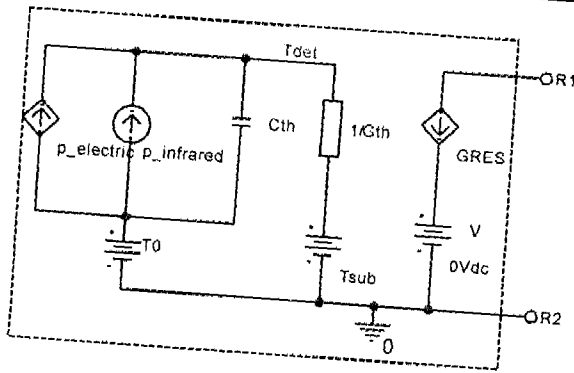


图1 微测辐射热计的 PSPICE 模型

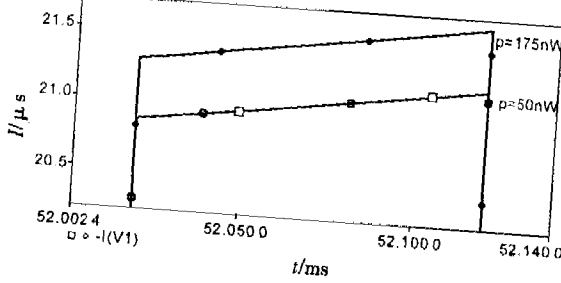


图2 在不同红外辐照下的流过探测元的电流

需要对探测元施加电压或电流,将其电阻变化转换为电信号读出,微测辐射热计的读出方式有恒流、恒压和分压式等^[6]. CTIA 结构的读出方式将变化电流进行积分,可以使用较小的偏置就得到较大的响应率,并且能够克服列线电容的影响.

整个电路由垂直和水平移位寄存器、容式跨阻放大器 CTIA、采样保持电路和多路开关 MUX,及 DAC 等构成,如图 3. 水平和垂直移位寄存器对像元进行寻址选通. 暗像元 R_{dum} 用于抵消静态电流,增大探测器动

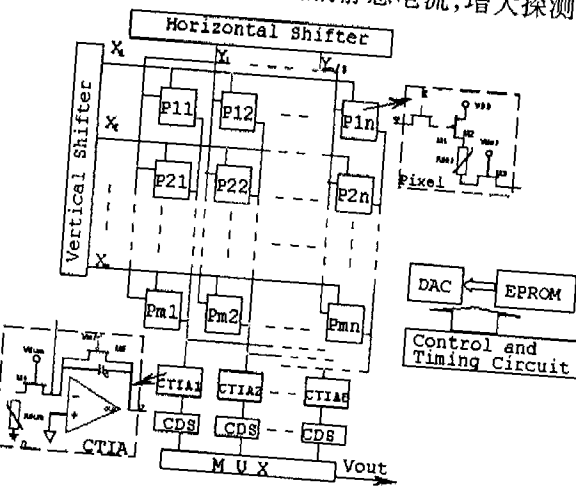


图3 UMB 读出电路结构

范围并对温度变化进行初步补偿. 通过 DAC 分别对晶体管 M_3 和 M_4 的栅极施加特定电压,来控制探测元和补偿暗像元的偏置电流,使探测元的输出能够式(3)和式(4),达到衬底温度补偿的目的. 详细

的推导与分析参见文献[7]. 式(2)、(3)中, $V_{ij}(P_1, T_{s1})$ 和 $V_{ij}(P_2, T_{s1})$ 是指在校正衬底温度 T_{s1} 下, 分别对应入射辐照为 P_1 和 P_2 的第 i 行 j 列探测元输出电压; $V_{ij}(P_1, T_{s2})$ 和 $V_{ij}(P_2, T_{s2})$ 是指在校正衬底温度 T_{s2} 下, 分别对应入射辐照功率为 P_1 和 P_2 的第 i 行 j 列探测元输出电压.

$$\frac{v_{ij}(p_2, T_{s2}) - v_{ij}(p_1, T_{s2})}{v_{ij}(p_2, T_{s1}) - v_{ij}(p_1, T_{s1})} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [v_{ij}(p_2, T_{s2}) - v_{ij}(p_1, T_{s2})]}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [v_{ij}(p_2, T_{s1}) - v_{ij}(p_1, T_{s1})]}, \quad (3)$$

$$\frac{v_{ij}(p_2, T_{s2}) - v_{ij}(p_1, T_{s2})}{v_{ij}(p_2, T_{s1}) - v_{ij}(p_1, T_{s1})} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [v_{ij}(p_2, T_{s2}) - v_{ij}(p_1, T_{s2})]}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [v_{ij}(p_2, T_{s1}) - v_{ij}(p_1, T_{s1})]}. \quad (4)$$

由于每个像素读出时要用到两个 DAC 分别转换增益和偏移补偿校正系数,如果每个像素单元分别使用一对数模转换器,对于稍大一些的面阵来讲是难以忍受的. 如果整个面阵共用一对 DAC 和 CTIA 结构,逐个像元积分读出像元信号,速度势必受到很大限制. 因此读出结构必须折衷考虑速度和电路复杂性,文中采取多列共用 DAC 的方式,将阵列分为每 8 列一组,这样 8 路信号可以一起积分输出. 对于 $m \times n$ 阵列,则有

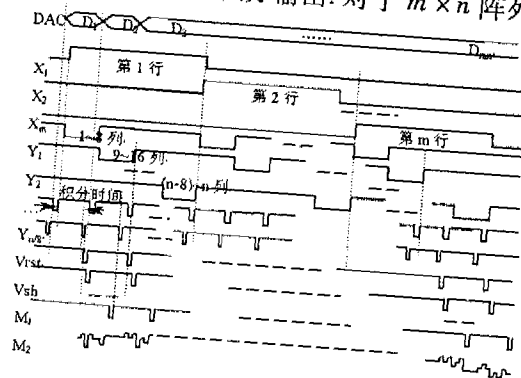


图4 驱动波形时序图

m 根行选线和 $n/8$ 根列选线. 阵列读出过程如下: 复位开关 M_5 导通, 将电容 C 上的电荷泄放, 当 X_1 和 Y_1 选通信号有效时, 选中像元 P_{11} 至 P_{18} ; 同时, 来自 EPROM 和 DAC 的校正电压被施加到 MOS 管栅极, 再断开复位开关 M_5 , 所有 CTIA 积分电容并行进行积分. 积分完毕送入采样保持电路. X_1 继续保持有效状态, Y_1 断开而 Y_2 开启, 选中同一行的下 8 个像元, 在对这 8 个像元积分的时候, MUX 将

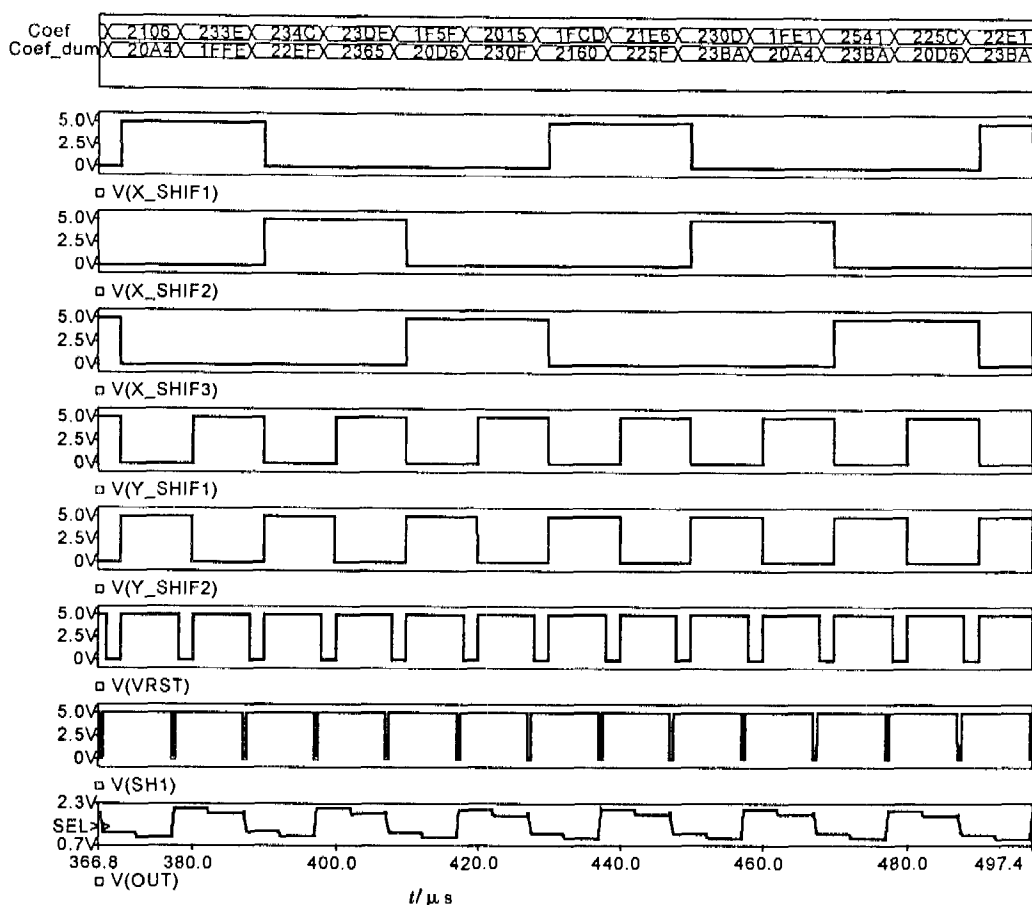


图5 微测辐射热计读出电路时序及输出波形

串行信号送出.如此工作,直至第一行所有像元处理完毕,再处理第二行,依次类推.图4是该读出电路阵列的驱动波形时序.

2 PSPICE 仿真

为简单起见,方案验证中所用仿真阵列列为 3×4 元,每二列共用一对数模转换器和CTIA积分结构.探测元的特性参数的取值参考了Honeywell公司公布的数据,而热容、热导、阻值、电阻温度系数和红外吸收率的非均匀性分别假设为5%,入射到第1、2、3、4列像元的红外辐照分别为50 nW、100 nW、150 nW和200 nW,积分电容为3 pF.控制时序及输出波形如图5所示.X_SHIF1、X_SHIF2和X_SHIF3为行选信号,Y_SHIF1和Y_SHIF2为列选信号,数字信号Coef和Coef_dum为温度补偿校正系数; V_{rst} 和 V_{SH1} 分别为复位和采样脉冲. V_{out} 是经MUX送出的图像信号.

3 结论

采用CTIA积分的方式,施加较小的偏置就得到较大的响应率;补偿暗像元减去了静态电流,在像素内

可以使用较小的积分电容而不致很快饱和,提高了探测元的灵敏度.该读出电路采用MOS管控制探测元和补偿元的偏置电流实现衬底温度补偿,在此基础上进行的两点校正可以在一个较宽的衬底温度范围内获得良好的校正效果.多列共享DAC是兼顾电路复杂性和速度的一个折衷方案,适合于中小规模的非致冷微测辐射热计焦平面阵列的信号读出.

参考文献:

- [1] 王宏臣,易新建,陈四海等.128元非致冷氧化钒红外探测器的制作[J].红外与毫米波学报,2004,23(2):99-102.
- [2] SWART N R, NATHAN A. Coupled Electrothermal Modeling of Microheaters Using SPICE [J]. IEEE Trans Electron Devices, 1994, 41(6): 920-925.
- [3] MASTRANGELO C H, MULLER R S. Design and Performance of Constant-temperature Circuit for Microbridge Sensor Applications [C]. IEEE Solid-State Sensors and Actuators, 1991:471-474.
- [4] SHIE JIN-SHOWN, CHEN YEONG-MAW, MANG OU-YANG et al, Characterization and modeling of Metal-film Microbolometer[J]. Microelectromechanical Systems, 1996,

- 5 (4):298 - 306.
- [5] WOOD R A, HAN C J, KRUSE P W. Integrated Uncooled Infrared Detector Imaging Arrays[C]. IEEE Solid-State Sensor and Actuator Workshop, 1992:132 - 135.
- [6] YU TSUNG-HSIN. A New CMOS Readout Circuit for Uncooled Bolometric Infrared Focal Plane Arrays[C]. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, May, 2000,2:493 - 496.
- [7] 孟丽娅,袁祥辉,吕果林等. 微测辐射热计的非均匀性校正新方法[J]. 光电工程, 2005, 32(12):78 - 81.

Readout Circuit with Substrate Temperature Compensation for Uncooled Microbolometer

MENG Li-ya, YUAN Xiang-hui, LU Guo-lin, HUANG You-shu

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems Under State the Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The output responsivity of uncooled microbolometer is nonuniform, and greatly influenced by the substrate temperature. The proposed circuit can relax the restriction on the substrate temperature while reading out the image signal. It includes column-shared CTIA, DAC, and dummy pixel for static current reduction. Correction data are transferred by DAC to the gates of MOS transistors, to control the bias voltage. This circuit has higher sensitivity, wider dynamic range, and frame frequency of more than 30 Hz for 128×128 array. PSPICE simulation results show that this circuit could function well.

Key words: Microbolometer, CTIA, CMOS Readout Circuit

(编辑 张小强)

~~~~~  
(上接第 26 页)

## Modeling and Optimization of Engine-mount System

ZHOU Chang-shui, DENG Zhao-xiang, SUN Deng-xing

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** A mounting system for a powerplant with a four-cylinder, four-stroke engine is studied, the frequency dependency characteristics of rubber mount and h · ro mount are realized with Maxwell model. An engine-mount system and an entire vehicle kinetic model are set up Pin MSC Adams/view. Through modal decoupling method, the coupling characteristic of the engine-mount system is improved. The results on engine - mount system and entire vehicle indicate the vibrating isolation performance of the mounts are improved significantly after the optimization design.

**Key words:** the engine-mount system; modal-decoupling; viscoelastic material

(编辑 张小强)