

# 256元集成热释电阵列红外成像信号的读出和检测<sup>①</sup>

袁宁<sup>1,2,3</sup>, 李金华<sup>1,2</sup>, 陈王丽华<sup>2</sup>, 林成鲁<sup>3</sup>

1.信息科学系,功能材料实验室,江苏石油化工学院,常州 213016

2.应用物理系,智能材料研究中心,香港理工大学,香港九龙

3.国家信息功能材料重点实验室,中科院上海冶金所,上海 200050

**摘要:** 根据无机纳米陶瓷与聚偏氟乙烯-三氟乙烯复合敏感膜电容元件具有高阻抗的特点,设计了 MOS场效应管为敏感元件作阻抗转换,用串联 MOS管作各元件的通断隔离,用双 16级移位寄存器作集成热释电阵列 X、Y 向的寻址控制,保证了 16×16 面阵红外成像信号的可靠读出.设计了由时钟信号产生、X、Y 选通和撤零等功能的 256 元集成热释电阵列红外成像信号的检测电路,满足了单元信号手动测试和 256 元自动信号测试的要求.

**关键词:** 红外成像阵列;读出电路;微信号检测

**中图分类号:** TN219 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-1699(2001)04-0380-06

## 1 引言

红外成像是重要的信息技术研究领域.虽然用 HgCdTe 等化合物晶体可以研制出灵敏度很高的成象器件,为航天航空及军事应用提供重要保障,但它价格昂贵,工艺复杂,且需在液氮下工作,限制了它的广泛应用.目前,诸如交通工具的雾天可视,消防人员的烟雾透视,军用夜视等都迫切需要一种实用、廉价的室温成象工具.它在光谱技术、空间技术等领域也有重要的应用前景.因此,国内外许多研究人员都把注意力集中到这种成象器件的研究中来.用陶瓷薄膜和其它敏感膜研制室温成象红外器件的研究正在积极进行.与它们相比,采用纳米陶瓷粉粒/聚偏氟乙烯-三氟乙烯 [P(VDF-TrFE)] 复合敏感膜研制室温红外成象器件的工作有以下特点<sup>[1-3]</sup>: ① 高分子共聚物聚偏氟乙烯-三氟乙烯具有较高的热释电系数  $P$  和很低的介电常数  $\chi$ ,虽然它的热释电系数比陶瓷薄膜小,但探测优值  $P/\chi$  却更高. ② 用溶胶凝胶法和水热法可以获得高性能的纳米陶瓷粉粒,将它与 P(VDF-TrFE) 均匀复合,可以有效地提高复合膜的热电系数. ③ 该复合膜的成象、退火、极化温度都在 160°C 以下.因此,可以采用铝电极且与 IC 工艺兼容,便于在硅基片上研制集成热释电成象器件,适合于低成本、大规模生产. ④ 由于 P(VDF-TrFE) 材料的纵向压电常数  $d_{33}$  极小,为了降低热电器件的热导,采用悬空薄膜结构时,可有效防止因震动而产生的噪声(麦克风效应).

我们将用溶胶-凝胶法制备的碳酸钡纳米陶瓷粉粒与聚偏氟乙烯-三氟乙烯(比例为 70/30)的共聚物均匀复合<sup>[4,5]</sup>,以丁酮(MEK)为溶剂,制成需要浓度的溶胶,用旋转涂膜法

① 来稿日期: 2001-10-31

形成敏感膜,再经退火、电极制备、极化、吸收层制备等一系列工艺制成  $16 \times 16$  二维面阵. 本文将简要介绍该阵列红外成像信号的读出和检测.

## 2 256 元面阵的结构特点

### 2.1 三维结构

$16 \times 16$  二维阵列的结构由图 1 简单示意. 它主要包括控制行和列 ( $x, y$ ) 的双 16 位移位寄存器、电容式  $16 \times 16$  热释电红外敏感二维阵列、阻抗转换和隔离选通元件. 本设计将读出电路和二维面阵制作在同一个芯片上, 双 16 位移位寄存器分列面阵左、下两边, 每一个敏感元件的隔离 MOS 管和阻抗转换 MOS 管制作在各自的下方, 中间用聚烯亚胺膜作热隔离, 组成三维结构. 其中, 移位寄存器、阻抗转换和隔离选通元件为沟道长度为  $6 \mu\text{m}$  的铝栅 CMOS 器件,  $16 \times 16$  热释电红外敏感阵列制备在阻抗转换和选通隔离的 MOS 器件上层, 中间的聚烯亚胺隔热层厚约  $5 \mu\text{m}$ . 热释电红外敏感元件的下电极为溅射沉积的铝膜, 厚度约  $1 \mu\text{m}$ , 上电极是厚度为约  $40 \text{nm}$  的 Ni-Cr 膜, 它兼作红外吸收层. 吸收效率可达 95% 以上<sup>[6]</sup>.

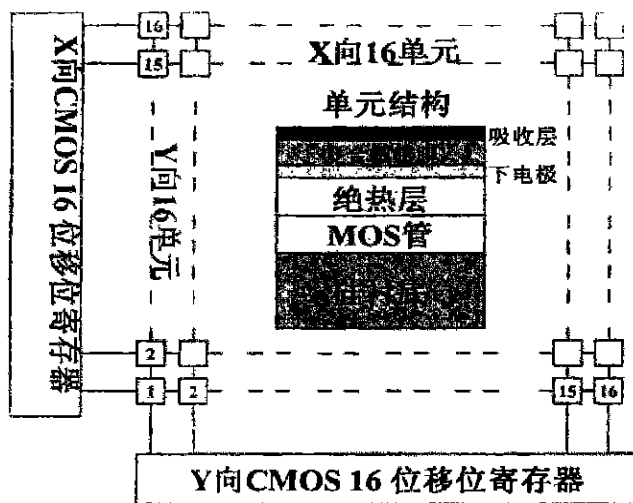


图 1 256 元集成阵列结构示意图

这种三维结构的优点是可以避免制备悬空结构所必需的化学腐蚀, 可以在集成电路生产线上完成全部工艺, 实现单片集成. 实验证明, 用  $5 \mu\text{m}$  厚的聚烯亚胺隔热层可使红外探测器的探测灵敏度提高近一个数量级. 此前尚未见过类似设计的报道.

### 2.2 阻抗转换

由于电容式热敏元件的阻抗在  $10 \text{M}\Omega$  以上, 为了实现阻抗匹配, 以提高读出灵敏度, 本设计采用 PMOS 场效应管作敏感元件的阻抗转换, 如图 2 所示. 与 MOS 管栅极连接的二极管有三个作用: 1 利用二极管的正向导通特性, 可以在芯片封装后对热释电敏感阵列作成片极化, 而不至于损坏 MOS 器件. 2 利用二极管的反向高阻特性实现各敏感元件间的隔离. 3 与敏感元件 MOS 管的栅源电容提供合适的时间常数<sup>[7]</sup>.

### 2.3 隔离和选通

在图 2 中, 对每一个热敏元件, 都有与阻抗转换 PMOS 漏极串联的两个 PMOS 管, 它们

分别由 X, Y 向移位寄存器控制其通断. X 向的 16 位移位寄存器的每一位都对应控制  $16 \times 16$  面阵的每一列, 同样, Y 向的 16 位移位寄存器的每一位都对应控制  $16 \times 16$  面阵的每一行. 只有当 X, Y 向都选通时, 该热敏元件才会被选通, 即才能将处于 X, Y 位置的热敏元件上的信号经负载电阻  $R_L$  输出. 在不满足上述条件时, 元件处于隔离状态, 保证了读出信号与接受信号的同步.

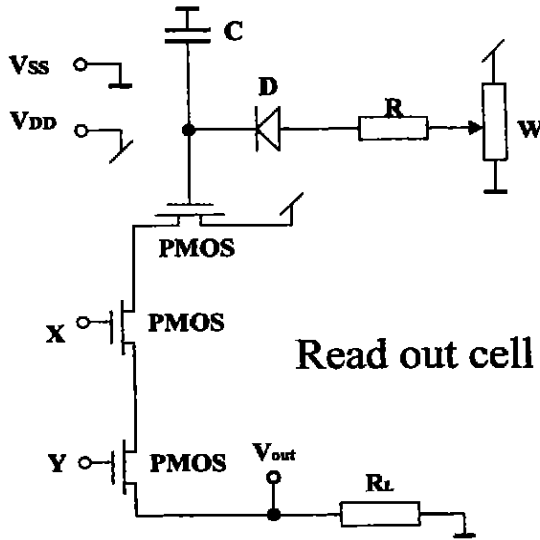


图 2 面阵的热敏单元读出电路

### 3 热敏信号的读出

通常, 非制冷焦平面红外成像阵列的成像信号读出有多种方式, 如用电荷耦合器件 (CCD)<sup>[8]</sup>、CMOS<sup>[9]</sup> 或 BiMOS<sup>[10]</sup> 电路读出. 本研究采用 CMOS 读出电路. 它的优点是能实现单片集成, 功耗小、体积小. 热释电信号读出的关键问题是首先要保证信号的严格对应, 不能有相邻元件信号的串入; 其次是要获得尽量高的输出信号, 且不以降低信噪比为代价; 最后, 还要使读出电路有合适的时间常数, 既不能太高也不能太低, 以保证器件工作时产生的信号电压既不会很快消失, 也不会长久积聚. 如上所述的选通控制已能提供较好的隔离, 可有效阻止信号的串入, 用二极管的反向电阻作 MOS 管的栅电阻, 既可以获得较高的读出灵敏度, 也能提供较合适的时间常数. 为了使读出信号有高的信噪比, 除了采用低噪声设计和低噪声 MOS 工艺, 采用厚的聚烯亚胺膜作热隔离层也有助于降低热噪声.

在图 2 中, 对任一单元的信号读出电路, 都由电位器 W、电阻 R、负载电阻  $R_L$ 、二极管 D 和热释电电容 C 为阻抗转换 PMOS 管建立工作点. PMOS 管的工作点建立在  $V_g - V_d$  特性曲线的线性区而非饱和区, 为的是提高读出灵敏度.  $V_g, V_d$  分别为 MOS 管的栅、源电压. 用添加前级放大器的办法可以进一步提高输出信号电压.

由于采用的敏感元件具有热释电特性 (负的热释电系数), 当红外信号入射时, 被元件表面的吸收层充分吸收变成热信号, 使  $PT/P(VDF - TrFE)$  复合热释电薄膜的极化强度降低, 进而使 PMOS 管的栅电压降低, 变化的源电流在负载电阻上产生了信号电压输出. 热释电面阵的所有单元的读出信号都通过同一外接负载电阻  $R_L$  输出, 进行后续的信号处理.

### 4 热敏信号的检测

对 256 元集成热释电面阵的热敏信号的检测, 必须满足以下要求: 首先是要检测已极化、封装完成的样品的功能, 特别是双 16 位移位寄存器的功能是否正常; 其次是要能手动选择任意希望测试的单元, 并能直观看出单元所在位置; 能自动扫描各内部单元, 测试面阵所有元件的热释电信号; 最后还要有撤零功能, 以保证测试信号的位置正确性. 图 3 所示的检测电路能满足上述测试要求.

图 3 的测试电路由三个基本部分组成, 即时钟信号电路, 手动选址电路和自动扫描选址电路. 按钮 K 提供了对所有选址电路的高电平置零. 具体测试方法如下:

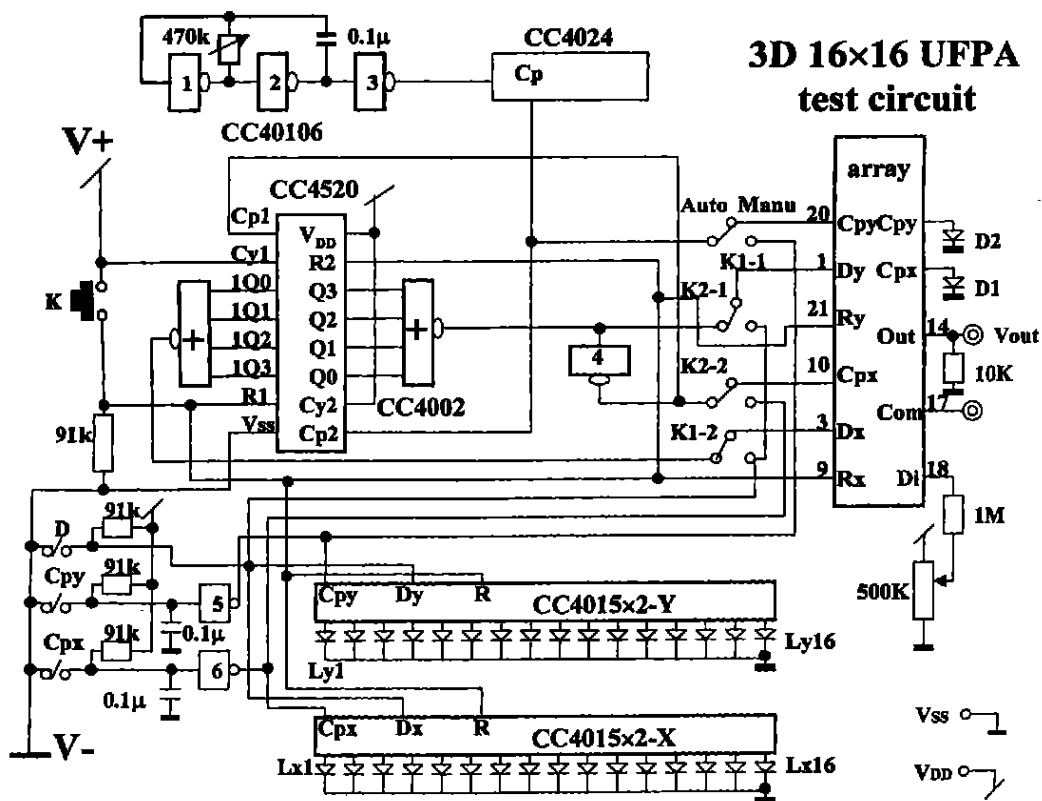


图 3 256 元集成阵列信号测试电路

#### 自动测试:

接通电源及信号输出端, 将 K1 K2 两个开关打向自动, 即可进行自动测试.  $D_y$   $C_{py}$ ;  $D_x$   $C_{px}$  信号自动输出. 内部单元测试次序为  $A_1-1, A_1-2, \dots, A_1-16; A_2-1, A_2-2, \dots, A_2-16; A_3-1, A_3-2, \dots, A_3-16; \dots, A_{16}-1, A_{16}-2, \dots, A_{16}-16$  (即  $A_{x-y}, x=1, 2, \dots, 16; y=1, 2, 3, \dots, 16$ ). 要调节扫描速率, 可调节电位器 W1. 开始时按 K 复零.

#### 手动测试:

接通电源及信号输出端, 将 K1 K2 两个开关打向手动, 可进行手动测试. 先把 D 开关

接通,即  $D_x, D_y$  均为 '1', 按一下复位开关  $K$ , 使  $x, y$  向移位寄存器各位均为 '0' 输出. 再把  $C_{py}$  开关扳动一次, 对  $y$  向移位寄存器输入 '1' 信号, 使它移过一位, 指示面阵第一行接通的  $L_{y1}$  发光二极管亮; 然后把  $C_{px}$  开关扳动一次, 对  $x$  向移位寄存器输入 '1' 信号, 使它移过一位, 指示面阵第一列通断的  $L_{x1}$  发光二极管亮. 此时,  $A_{1-1}$  被选中. 然后  $D$  开关关断 (一定要关断, 否则会选中多个单元),  $D_x, D_y$  均为 '0', 此时由  $C_{py}, C_{px}$  开关送入信号, 开关每扳动一次即输入一次 '1' 信号, 对应的移位寄存器就向后移动一位, 从而可在内部选择接通任意单元  $A_{x-y}$ , 并由指示灯指示位置, 直到  $A_{16-16}$  两个发光二极管  $D_1, D_2$  是  $16 \times 16$  面阵中行和列移位寄存器到达第 16 位时的输出指示, 由它可检查电路内部两个 16 位移位寄存器的功能是否完全正确. 若  $Y$  向移位正确则  $X$  向每 1-16 个灯亮过后  $Y$  向红灯会亮一次.  $X$  向也一样.

红外成像阵列输出信号的检测可以用绝对黑体作红外源, 经斩波器变成交流信号入射待探测阵列, 输出信号由锁相放大器测定. 也可用加热的硅碳棒作热源, 用锗片作过滤片获得红外光. 由于本阵列是三维集成, 用激光源入射会诱发光电效应, 改变读出电路中 MOS 器件的工作状态, 所以不能用激光测量.

测试电路输出交流信号的强弱既由热释电阵列热敏单元的性能决定, 也会被阻抗转换 MOS 管放大. 由于面阵单元的面积通常都为几十微米乘几十微米, 热敏信号较小, 在实际应用中通常需要对输出信号作高信噪比的前级放大.

## 5 结 论

红外成像阵列的研制和信号的读出、检测是非制冷红外成像技术的重要内容. 根据无机纳米陶瓷与聚偏氟乙烯-三氟乙烯复合敏感膜电容元件具有高阻抗的特点, 设计 MOS 场效应管为敏感元件作阻抗转换, 用同片集成二极管的单向导通特性满足成像阵列敏感元件的在片极化要求并可提高读出灵敏度. 用串联 MOS 管作各元件的通断隔离, 用双 16 级移位寄存器作集成热释电阵列  $X, Y$  向的寻址控制, 保证了  $16 \times 16$  面阵红外成像信号的可靠读出. 设计了由时钟信号产生  $X, Y$  位置选通和撤零等功能的 256 元集成热释电面阵红外成像信号的检测电路, 满足了单元信号手动测试和 256 元自动信号测试的要求.

## 参考文献

- [1] Chen Y, Chan H L W, Choy C L, Nanocrystalline lead titanate powders and lead titanate/vinylidene fluoroethylene 0-3 nanocomposites [J], J. American Ceramic Society 1998; 81(5): 1231-1236
- [2] Chen Y, Chan H L W, Hui N M, Wong Y W, Choy C L, Response of nanocomposite pyroelectric detectors, Sensors and Actuators, 1998; A69 156-160
- [3] Sakamoto W K, Shibatta-Kagesawa S T, Melo W L B, Voltage responsivity of pyroelectric sensor [J], Sensors and actuators, 1998; 77 28-33
- [4] Chen Y, Li J, Chan H L W, Choy C L, Pt/P(VDF-TrFE)0-3 nanocomposite thin film pyroelectric sensors [J], Journal de physique IV, 1998; 8 139-142
- [5] 李金华, 李坤, 陈王丽华, PT/P(VDF-TrFE)复合敏感膜性能和悬空结构热释电传感器研究 [J], 压电与声光, 1998; 20(3): 190-195
- [6] Bauer S, Bauer-Gogonea S, Becker W, Fettig R, Ploss B, and Ruppel W, Thin metal films as ab-

- sorbers for infrared sensors[J]. *Sensors and Actuators A*, 1993, 37- 38: 497- 501
- [7] Munch W V and Thiemann U. Pyroelectric Detector array with PVDF on silicon integrated circuit [J]. *Sensors and Actuators*, 1991; A. 25- 27: 167- 172
- [8] 黄承彩. 混合式非制冷焦平面器件芯片工艺研究 [J]. *应用光学*, 1999, 20( 2): 10- 17
- [9] Radford W, Wyles R, Varesi J, Ray M, Murphy D, Kennedy A, Finch A, Moody E, Cheung F, Coda R, Baur S. Microbolometer Uncooled Infrared Camera with 20 mK NETD. *SPIE*, 1998, 3436: 636- 646
- [10] Cole B E, Han C J, Hegashi R E, Ridley J. 512× 512 Infrared cryogenic scene projector array [J] *Sensors and Actuators A*, 1995, 48: 193- 202

## Readout and Testing of 256 Elements Pyroelectric Infrared Imaging Array

YUAN Ningyi<sup>[1,2,3]</sup>, LI Jinhua<sup>[1,2]</sup>, CHAN H L W<sup>3</sup>, LIN Chenglu<sup>3</sup>

1. Dept of Information Science, Functional Material Lab, Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, Changzhou, Jiangsu 213016 P. R. China

2. Dept. of Applied Physics and Material Research Center, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon

3. National Laboratory of Functional Materials for Informatics, Shanghai Institute of Metallurgy, Chinese Academy Science, Shanghai 200050 P. R. China

**Abstract** A 256 elements integrated infrared imaging array with nanocomposite sensing film was fabricated. The 5  $\mu$  m thick polyimide layer was chosen as the thermal insulator and MOSFET was designed as the impedance converter. Two PMOS FETs in series were used as isolation of each element and two 16-bit shift registers were applied as address selection of X and Y direction of pyroelectric array. The testing circuit was consisted of clock signal generator, on-off selection of the each element and signal-zero set up parts. This design ensured reliable readout of the weak-signal of 16\* 16 integrated pyroelectric infrared array, satisfied the demand of manual test of each element and auto test of 256 integrated array.

**Key words** infrared imaging array, readout circuit, weak-signal testing

### 作者简介

袁宁一 (1966-), 女, 1988年南京大学物理系毕业, 现为江苏石油化工学院教师. 2000年获华东理工大学硕士学位, 同年考取中科院上海冶金所信息功能材料国家重点实验室博士生, 从事功能薄膜材料和红外集成传感器研究, 已发表十多篇专业论文.

李金华 (1943-), 男, 1965年本科毕业, 81年固体物理专业研究生毕业. 江苏石油化工学院教授、博导. 先后在中科院上海冶金所、英国 Surrey 大学和香港理工大学从事合作研究, 与香港理工大学有长期合作关系. 现从事纳米陶瓷粉粒 /P(VDF-TrFE)复合敏感膜热释电传感器和非制冷焦平面集成热释电阵列的研究. 承担过省、部级“七五”, “八五”科技攻关项目和主要参加了国防科工委“七五”, “八五”科技预研. 获得了省部级多项奖励. 已发表论文一百多篇.