

双材料微梁阵列室温物体红外成像^{*}

缪正宇¹⁾ 张青川^{1)†} 陈大鹏²⁾ 伍小平¹⁾ 李超波²⁾ 郭哲颖¹⁾ 董凤良¹⁾ 熊志铭¹⁾

1) 中国科学技术大学,中国科学院材料力学行为和 Design 重点实验室,合肥 230027)

2) 中国科学院微电子研究所,北京 100029)

(2005 年 7 月 15 日收到,2005 年 10 月 20 日收到修改稿)

针对近年出现的新概念光学读出双材料微梁阵列红外成像技术,提出了具有热变形放大效果的无硅基底回折腿间隔镀金的微梁单元结构,并建立了其热机械模型,在模型分析基础上,成功的设计制作了 100×100 像素的焦平面阵列(focal plane array, FPA). 在构建的红外成像系统中,实现了对室温物体——人体的热成像,噪声等效温度差约为 200mK. 实验结果与热机械模型的分析一致.

关键词:非制冷红外成像,光学读出,双材料微梁阵列

PACC: 0170C, 4283

1. 引 言

自从 1800 年 Herschel 首先演示红外辐射的热效应以来,红外探测器作为一种探测技术得到了长足发展,在军事和民用领域中得到广阔应用. 按照能量转换方法的不同,红外探测器分为光子型探测器和热型探测器. 光子型红外探测器的响应单元对自由载流子数目的变化敏感,而自由载流子的数目变化是由入射红外光子数引起的. 为了防止载流子的热激发,探测器需要工作在低温下($\sim 77\text{K}$,液氮),其噪声等效温度差(noise-equivalent temperature difference, NETD)可达到 $\sim 5\text{mK} - 10\text{mK}$ ^[1]. 已有的热型探测器(如热电、焦电)把吸收的辐射能转变为探测器靶材的温升,通过检测其热致物理量变化引起的流过探测单元的电信号的改变,实现红外辐射探测^[2]. 热型探测器不需要制冷装置,可以使能耗和成本降低^[1],其 NETD 一般在 $\sim 50\text{mK} - 100\text{mK}$ ^[1]. 以上两种方法,都需要对探测单元制作高增益和高精度的读出电路,对于红外成像的阵列靶面(红外焦平面阵列 FPA),其制作成本和难度会大幅度提高. 基于光学读出双材料微梁阵列受热变形的红外成像技术是上世纪后期出现的一种新的热型非制冷红外成像

技术,探测的红外波长为 $8 - 14\mu\text{m}$ (对应室温即 300K 物体所辐射的红外光的峰值波段),其敏感单元为双材料微悬臂梁^[3]. 入射的红外光能被探测单元吸收后转化为悬臂梁的热能,引发悬臂梁产生热致形变,再通过光学读出系统,非接触的检测出形变,例如悬臂梁的挠度或转角等,就可以得到被测物体的热辐射信息. 这种热型的红外辐射探测器可以在不需要制冷的条件下工作,而且光学读出的方式不会在探测器上产生附加的热量,无需金属导线连接,更易于在探测单元与基底之间实现良好的热隔离. 另外,探测器敏感单元的制作采用了通用的微加工工艺,与现有 IC 制作工艺兼容,大大地降低了开发和制作成本,并且其 NETD 理论极限在 0.003K 以下^[3]. 1999 年至今, Berkeley 的 Majumdar 小组^[3,4]发展了基于光学干涉读出方式的双材料微悬臂梁 FPA,在 2001 年获得了人体的热图像. Nikon Corp 在 2001 至 2002 年陆续报道了检测热变形所致悬臂梁转角的光学读出系统^[5,6]并得到了室温下的人像. 由于前者采用光学干涉方法读出,抗震性差,后者采用小孔滤波,无法同时保证光学检测灵敏度和空间分辨率. 并且二者在 FPA 制作时,都是在硅片上利用牺牲层工艺制作站立在硅基底上的微悬臂梁阵列结构,梁与基底之间存在两微米左右的间隙. 这样,首

^{*} 国家重点基础研究发展计划(973)计划(批准号:2006CB300404),国家自然科学基金(批准号:10232030,50076040和10472111)资助的课题.

[†] E-mail: zhangqc@ustc.edu.cn

先牺牲层的释放本身难度较大;同时热冲击或机械冲击很容易导致微梁与基底的粘连失效;并且两微米左右的梁与基底的间隙使得空气层的热传导影响变得显著,需要 FPA 工作在 0.01Pa 的高真空下;再者,微梁下面硅基底的存在,使得透过硅基底后到达微梁的红外光有近 40% 的损失.在已报道的文献中^[3-7]其 NETD 达到 1K .追踪这一原理,本课题组 2003 年提出了刀口光学滤波的方法,检测微梁反光板阵列的热致转角变形,得到了 200°C 物体的热像^[8],2004 年对微梁阵列的设计与制作工艺进行了探讨,制作了无硅基底的微梁阵列,得到了温度分辨率约为 7K 的红外图像^[9].由于微梁的回折腿没有间隔镀金结构,热变形放大效果受到限制,温度分辨率较低.在前面工作的基础上,为了提高微梁单元的热变形放大效果,提高温度分辨率,本文设计并成功制作了无硅基底回折腿间隔镀金结构的微梁单元阵列,利用上述光学方法读出双材料微梁阵列吸收红外辐射后产生的热致变形,得到了室温下的人体热像,NETD 约为 200mK .

2. 原 理

2.1. 红外成像系统及光学读出原理

光学读出红外成像系统及其原理如图 1 所示,当热物体辐射的红外光(波长为 $8\text{--}14\mu\text{m}$)经过红外透镜成像汇聚到放置于真空室内的微梁阵列 FPA 上时,微梁阵列吸热产生温升 ΔT ,使双材料梁末端反光板产生一转角. LED 读出光源扩散后经傅里叶透镜变成平行光,照到微梁阵列上.其反射光再次通过傅里叶变换透镜,经半反镜转折,在后焦谱平面上用刀口滤波器进行滤波操作,然后通过成像透镜在

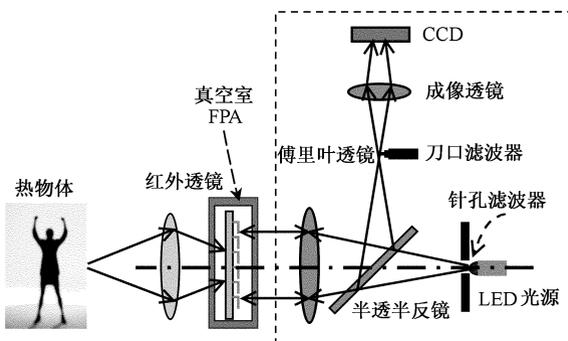


图 1 探测系统原理图

CCD 靶面上成像^[8].其结果是方框内的光学读出部分把微梁阵列的转角变化转化为 CCD(12bit,70dB)上所对应的微梁像的灰度变化.本探测系统中的核心器件双材料微梁阵列(FPA)置于真空室中($\sim 1\text{Pa}$).

2.2. 回折腿间隔镀金结构的变形放大原理

FPA 上的双材料微梁由两种热膨胀系数不同的材料组成.在国外已报道的 FPA 阵列设计中^[3-7],受传统 MEMS 工艺的影响,微梁阵列都是生长在硅基底上,一个微梁单元只有一折变形梁,其吸热变形效率受到限制.针对这些问题,本课题组设计了具有变形放大效果的双材料微梁单元结构.整个微梁阵列是在一张薄膜材料(SiN_x 膜)上刻蚀出支撑网格结构,微梁单元生长在网格框架上,微梁阵列区内无硅基底支撑.微梁单元由红外吸收板(反光检测板)、热变形机构及框架构成:红外吸收板一面为 SiN_x 膜,红外光由此面入射并被吸收,另一面镀 Au 作为可见光反光板,用于微梁的变形光学读出.微梁的热变形机构支撑于框架之上且对称分布于红外吸收板的两边,如图 2 所示.热变形机构由多重回折腿的热变形梁(镀金的 SiN_x)和单材料梁(SiN_x)组成,本文采用了两次回折.图 3 为热变形机构的变形放大原理示意图.由于热膨胀系数不同,当微梁单元吸收红外热流,温度发生变化时,双材料梁发生弯曲变形.当只有一次回折结构时,变形只有 θ_1 ,采用二次回折间隔镀金的方式后热变形机构的变形为 $\theta_1 + \theta_2$,通过此种设计起到了变形放大的效果.

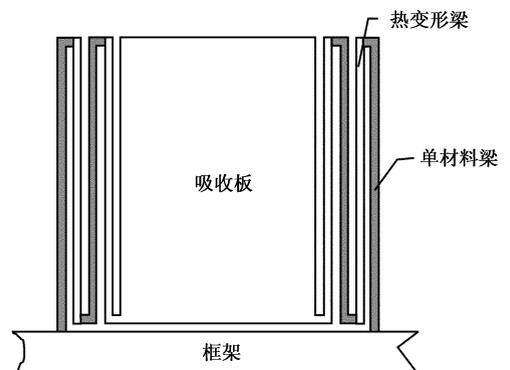


图 2 微悬臂梁阵列的示意图(俯视)

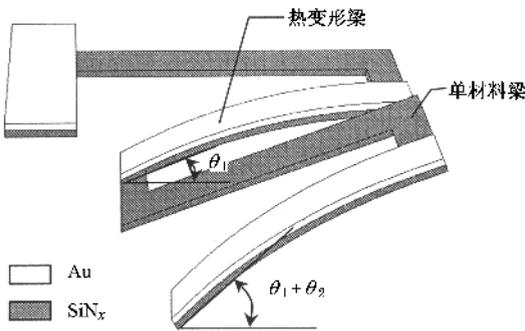


图3 变形放大示意图

3. 双材料微梁热变形性能的分析与设计

3.1. 双材料微梁的热学分析

与微梁探测器热学性质相关的主要参数有两个:探测器与环境之间的热导 G 和探测器热容 C_{th} , 并由此引入热时间常数 $\tau = \frac{C_{th}}{G}$. 图像探测器的重要指标为帧频, 由探测器单元的热时间常数决定. 对于需要高帧频的阵列, 希望有小的热时间常数. 小的热时间常数需要较高的热导, 但由于在热型探测器中, 热导变大会导致探测器温升降低, 从而导致 NETD 变大, 所以要同时达到高帧数, 低 NETD, 希望热容与热导保持合理比值的同时, 能够保持热导的最小化.

真空封装去除气体影响后, 热导主要来自悬臂梁的热传导和吸热反光板热辐射, 所以对悬臂梁的要求是细、薄、长和低的热导率.

由热时间常数表达式还可知, 在热导一定的情况下, 希望探测器热容尽量小, 由于 $C_{th} = \sum (\rho A_{pixel} tc)_i \cdot A_{pixel}$ 是微梁单元总面积, t 是材料厚度, ρ 和 c 是第 i 层材料的密度和热容, $i = 1, 2$ 表示两种材料, 对材料的选择来说需要小的热容.

每个微梁单元的热导 G 可以分为三部分: 支撑梁的热导 G_{leg} , 辐射热导 G_{rad} 和气体热导 G_{gas} . 气体的热导由热传导和热对流两部分组成, 在本实验中的真空度和微梁的温升条件下, 热对流影响远小于气体热传导影响^[10]. 考虑到本实验的真空度 ($\sim 1\text{Pa}$) 下, 气体分子自由程 ($\sim 5\text{mm}$) 与气体热传导的特征尺度 (\sim 数 mm, 微梁无硅基底) 间的关系, 气体的热传导 G_{gas} 在 10^{-10}W/K 的量级^[10], 远小于微梁

单元的热导 G 的特征大小 (10^{-7}W/K), 所以 G_{gas} 可以忽略. 则

$$G = G_{leg} + G_{rad}, \quad (1)$$

G_{rad} 是微梁向环境辐射的热导:

$$G_{rad} = 4\sigma A_{ab}(\epsilon_{Au} + \epsilon_{SiN_x})T^3, \quad (2)$$

式中 σ 是 Stefan-Boltzmann 常数 ($= 5.67\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$), A_{ab} 是微梁单元热吸收板的面积, 热吸收板面积远大于梁的面积, 且吸收板一面是 Au 层, 一面是 SiN_x 层. Au 和 SiN_x 的发射率 (ϵ_{Au} , ϵ_{SiN_x}) 分别是 0.01 和 0.8, T 是微梁阵列的绝对温度 ($\sim 300\text{K}$).

G_{leg} 表示通过梁传递的热导. 对于本文设计的微梁单元结构, G_{leg} 为回折腿中单材料梁和热变形梁的热阻串联后的倒数, 可以表示成

$$G_{leg} = \frac{2}{n} \left(\frac{L_{leg}}{k_{SiN_x} A_{SiN_x}} + \frac{L_{leg}}{k_{Au} A_{Au}} + \frac{L_{leg}}{k_{SiN_x} A_{SiN_x}} \right)^{-1}, \quad (3)$$

这里, n 是微梁单元支撑腿的回折数, 由于本文采用两次回折结构, $n = 2$. k 是组成梁材料的导热系数, A 表示其截面积.

考虑由红外目标的温升 ΔT_s 引起微梁阵列的温升为 ΔT_c ^[3], 系统的温度响应

$$H = \frac{\Delta T_c}{\Delta T_s} = \frac{A_{ab}(\epsilon_{SiN_x})\tau_0 \pi (dP/dT_1)}{4F_{no}^2(G_{leg} + G_{rad})}, \quad (4)$$

式中 A_{ab} 是吸收板的面积, τ_0 是红外透镜的透过率 ($= 0.9$), F_{no} 是红外透镜的 F 数 ($= 0.8$), 单位温度辐射率 dP/dT 表示温度为 T_1 ($\sim 300\text{K}$) 的物体辐射的红外能量中被探测微梁阵列接收的部分, 在 $8-14\mu\text{m}$ 波段^[2] $dP/dT_1 = 0.63\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$.

3.2. 双材料微梁的热机械分析

在热成像系统中, 光学读出检测的是微梁阵列的转角变化. 微梁的温升 ΔT_c 引起的反光板转角变化 $\Delta\theta$ 定义为微梁的热机械响应^[3],

$$S_T = \frac{\Delta\theta}{\Delta T_c} = \alpha (\alpha_{Au} - \alpha_{SiN_x}) \left(\frac{n_1 + 1}{K} \right) \left(\frac{L_{leg}}{t_{SiN_x}} \right), \quad (5)$$

α 是热膨胀系数, t 是梁厚度, 其中

$$K = 4 + 6n_1 + 4n_1^2 + \Phi n_1^3 + \frac{1}{\Phi n_1}, \quad (6)$$

$$n_1 = \frac{t_{Au}}{t_{SiN_x}}; \Phi = \frac{E_{Au}}{E_{SiN_x}},$$

式中 E 表示材料的弹性模量. 考虑到 Au 的导热系

数远大于 SiN_x , 变形梁可以考虑为等温体, 温度梯度主要发生在单材料梁上. 设框架的温度为 T , 红外吸收板上的温度为 $T + \Delta T_c$, 则靠近吸收板的变形梁上的温度为 $T + \Delta T_c$, 靠近框架的变形梁的温度为 $T + \Delta T_c/2$. 两根梁的总变形为单根梁的 $3/2$ 倍. 则

$$S_T = \frac{\Delta\theta}{\Delta T_c} = \alpha \left(\alpha_{\text{Au}} - \alpha_{\text{SiN}_x} \right) \left(\frac{n+1}{K} \right) \left(\frac{L_{\text{leg}}}{t_{\text{SiN}_x}} \right) \cdot \frac{3}{2} \quad (7)$$

表 1 中列出了双材料微梁的结构设计参数. 表 2 中列出了双材料 SiN_x 和 Au 的热物理性能, 不同于相应的体材质参数^[11]. 表 3 为本文理论模型计算的双材料微梁的性能参数.

表 1 无硅基底单层膜结构微梁单元的结构设计参数(μm)

微梁单元	吸热反光板	双材料梁长	Au 膜厚	SiN_x 膜厚	双材料梁宽	单材料梁长	单材料梁宽
200 × 200	180 × 130	180	0.2	2	2	180	2

表 2 SiN_x 和 Au 的热物理性能

	密度 ρ (10^{-3}kg/m^3)	杨氏模量 E (GN/m^2)	热导系数 K ($\text{W/(m}\cdot\text{K)}$)	热膨胀系数 $\alpha/10^{-6} \text{K}^{-1}$	热容 c ($\text{J/(kg}\cdot\text{K)}$)
SiN_x	2.40	180	5.5 ± 0.5	0.8	691
Au	19.3	73	296	14.2	129

表 3 无硅基底单层膜结构微梁的性能参数

G_{leg} (10^{-7}W/K)	G_{rad} (10^{-7}W/K)	$H/\%$	S_T (rad/K)	热响应时间 τ/ms
1.06	1.34	6.35	0.023	200

4. 双材料微梁阵列的制作工艺

双材料微梁阵列的制作工艺由 4 个主要步骤组成(图 4):

1. 在清洗后的硅片上长 $2\mu\text{m}$ 厚的 SiN_x 膜.

2. 利用光刻得到掩模(mask), 然后用反应离子刻蚀(RIE)方法刻蚀 SiN_x 膜, 得到设计的图形.

3. 涂上光刻胶, 刻出光刻胶图形, 再溅射 Au, 最后把余留的光刻胶和其上的 Au 一起去掉, 得到间隔镀金结构.

4. 去除硅基底, 除支撑框架上保留部分硅基底以

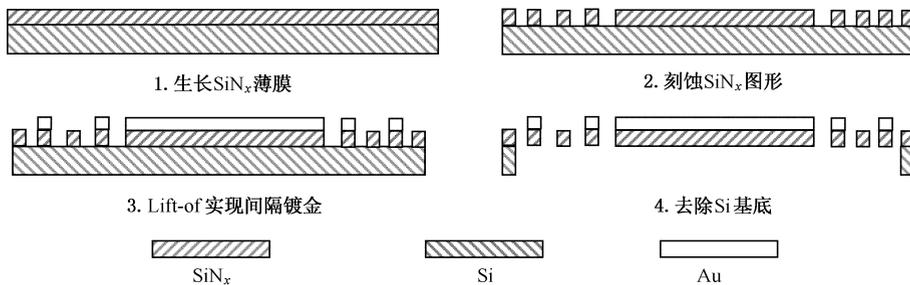


图 4 微梁阵列的工艺流程图

保证微梁阵列的强度.

图 5 给出了制作成功的双材料微梁阵列的电镜照片. 微梁单元的尺寸为 $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$, 回折的部

分是变形梁和单材料梁(宽 $2\mu\text{m}$), 微梁阵列由宽 $10\mu\text{m}$ 的框架支撑. 整个微梁阵列由 100×100 个微梁单元组成.

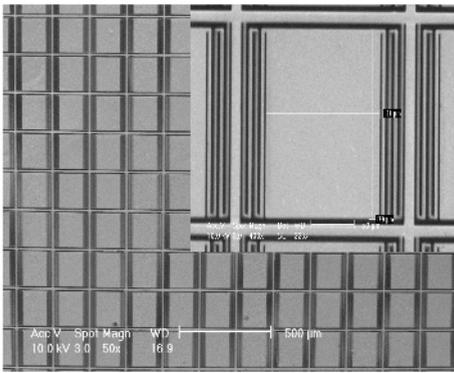


图 5 FPA 电镜图(右上角是微梁单元结构)

5. 实验结果与 NETD 的估算

5.1. 实验结果

使用图 1 所示的光学读出系统进行微梁阵列的红外成像实验,微梁阵列放在真空室(~ 1Pa)里,红外透镜的 F 数为 0.8. 实验结果如下.

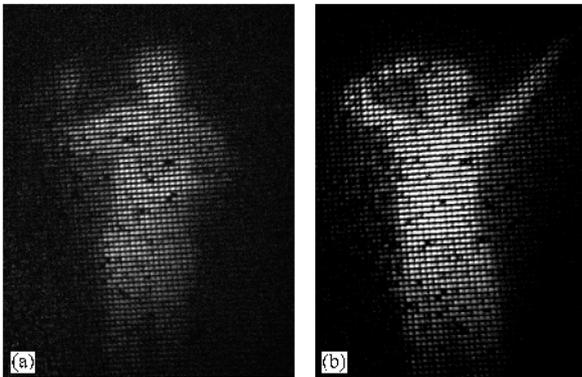


图 6 脱衣前后人的红外热像 (a)人穿着外套热像 (b)人脱去外套热像

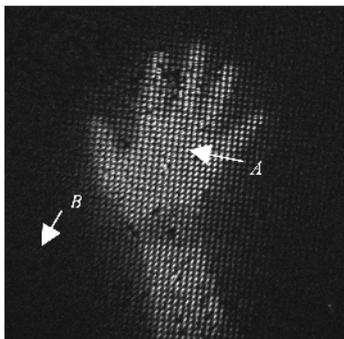


图 7 人手热像(戴着手表)

图 6 为在室温是 25.5℃ 时,对人脱去外套前后的身姿所成的红外热像,成像距离 5m. 从图中可以看出,脱去外套后,人的身体亮于穿上外套的,即人脱去外套后的辐射温度大于人穿上外套时的辐射温度. 图 7 为同样室温时对戴着手表的人手所成的热像,成像距离约 1m. 从图中可以看出人手和手表的清晰轮廓.

5.2. NETD 的估算

根据 NETD 的定义,检测到的信号正好等于系统噪声时,检测信号所对应的红外目标的温度差,即

$$NETD = \frac{I_{noise}}{\Delta I / \Delta T_s}, \quad (8)$$

I_{noise} 是成像系统的噪声灰度级, $\Delta I / \Delta T_s$ 为系统的热响应灵敏度,定义为 目标物体单位温升所对应的成像系统的灰度级改变.

实验中取 32 幅无热图像的背景图序列,对序列图中成像区域的每个像素点的灰度噪声涨落进行统计,绘出灰度涨落统计直方图,如图 8 所示. 取最大概率像素数所对应的灰度值,并把该值合理地考虑为成像系统的噪声灰度级,得到 I_{noise} 为 3 个灰度级.

红外成像实验时,环境背景温度为 25.5℃. 用商品化的红外热像仪测得的图 7 手上 A 点的温度为 35.6℃, $\Delta T = 10.1K$. 对图 7 上 A, B 两点的灰度进行统计计算,得出 A, B 两点的平均灰度值差为 $\Delta I = 150gray$.

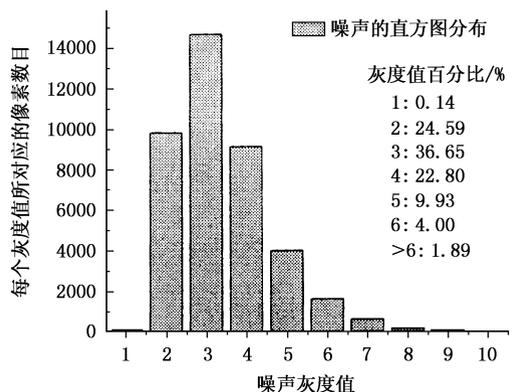


图 8 系统的噪声分析

则实验测得的系统热响应灵敏度

$$\frac{\Delta I}{\Delta T_s} = \frac{150gray}{10.1K} = 14.8gray/K.$$

由此 $NETD = \frac{3gray}{150gray/10.1K} = 0.202K$, 所以系统的实验测量得到的 $NETD \sim 200mK$. 根据前面的理论模型

计算微梁阵列的热机械响应 S_l 为 0.023deg/K , 红外目标的温升引起微梁阵列的温升 $H = 6.35\%$. 理论上, 微梁变形的光学检测灵敏度是微梁单位转角所对应的检测图像的灰度变化, 或用 CCD 的量化级数 N 去量化微梁反光板衍射谱的半宽, 即 $\frac{\Delta I}{\Delta \theta} = \frac{2NL}{\lambda} \cdot \frac{\pi}{180} = 12.5N(\text{gray/dag})^8$ (此处 $N = 4096$, $L = 180\mu\text{m}$ 为微梁反光板长度, $\lambda = 0.5\mu\text{m}$ 为读出照明光源波长). 由于在制作工艺过程中反光板产生弯曲变形, 降低了光测灵敏度, 实验上实际测得的 $\frac{\Delta I}{\Delta \theta} = 2N(\text{grey/deg})$, 当用理论的光学检测灵敏度 ($12.5N(\text{grey/deg})$) 计算系统的热响应灵敏时,

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I}{\Delta T_s} &= \frac{\Delta T_c}{\Delta T_s} \cdot \frac{\Delta \theta}{\Delta T_c} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta \theta} = H \cdot S_T \cdot \frac{\Delta I}{\Delta \theta} \\ &= 6.35\% \cdot \frac{0.023\text{deg}}{\text{K}} \cdot \frac{12.5 \times 4096\text{gray}}{\text{deg}} \\ &= 75\text{gray/K}. \end{aligned}$$

当用实验测得的光学检测灵敏度 ($2N(\text{grey/deg})$) 计算系统的热响应灵敏时,

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I}{\Delta T_s} &= \frac{\Delta T_c}{\Delta T_s} \cdot \frac{\Delta \theta}{\Delta T_c} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta \theta} = H \cdot S_T \cdot \frac{\Delta I}{\Delta \theta} \\ &= 6.35\% \cdot \frac{0.023\text{deg}}{\text{K}} \cdot \frac{2 \times 4096\text{gray}}{\text{deg}} \end{aligned}$$

$$= 12\text{gray/K}.$$

从以上结果中可以看出, 用理论 $\Delta I/\Delta \theta$ 计算得到的 $\Delta I/\Delta T_s$ 远大于实验值, 而用实验测得的 $\Delta I/\Delta \theta$ 计算的 $\Delta I/\Delta T_s$ 与实验值相当. 这是由于反光板的弯曲导致衍射谱的弥散, 从而导致对该衍射谱进行刀口滤波操作时光学检测灵敏度降低. 同时, 以上结果也表明了本文对系统的温度响应 H 和微梁的热机械响应 S_T 的模型分析是合理的. 从上面的实验与理论分析结果还可以看出, 仅仅是在现有微梁结构基础上, 改进工艺以提高反光板的表面平整度^[12], 系统的热响应灵敏度 ($\Delta I/\Delta T_s$) 就可以有 6 倍的提高潜力, NETD 可以达到 $200\text{mK}/6 \approx 40\text{mK}$.

6. 结 论

基于双材料微梁阵列光学读出红外成像的新概念, 本文设计并成功制作了无硅基底回折膜间隔镀金结构的微梁阵列, 实现了微梁单元的热变形放大效果. 在构建的实验平台上, 得到了室温下人体的热像, 其 NETD $\sim 200\text{mK}$. 实验结果与提出的热机械模型符合. 实验结果和理论分析表明, 基于该原理的红外成像探测技术, 相对于已有的红外成像技术, 在性能和成本上, 具有潜在的优势.

- [1] Rogalski A 2003 *Progress in Quantum Electronics* **27** 59
 [2] Cheng C H, Yi X J *et al* 2001 *Atca. Phys. Sin.* **50** 450 (in Chinese) [陈长虹, 易新建等 2001 物理学报 **50** 450]
 [3] Zhao Y, Mao M, Horowitz R *et al* 2002 *J. MEMS* **11** 136
 [4] Mao M, Perazzo T, Kwon O *et al* 1999 *Proc. IEEE MEMS* 100
 [5] Ishizuya T, Suzuki J, Akagawa K *et al* 2001 *J. Institute of Image Information & Television Engineers* **55** 304
 [6] Ishizuya T, Suzuki J, Akagawa K *et al* 2002 *Proc. IEEE MEMS* 578 - 581
 [7] Senesaca L R, Corbeil J L, Rajic S *et al* 2003 *Ultramicroscopy* **97** 451

- [8] Duan Z H, Zhang Q C, Wu X P *et al* 2003 *Chin. Phys. Lett.* **20** 2130
 [9] Pan L, Zhang Q C, Wu X P *et al* 2004 *Experimental Mechanics* **19** 403 (in Chinese) [潘亮, 张青川, 伍小平等 2004 实验力学 **19** 403]
 [10] Zhao Y 2002 *Dissertation of UC*, Berkeley
 [11] Yu L, Yu J Z, Wang Y K 2004 *Atca. Phys. Sin.* **53** 77 (in Chinese) [余雷, 余建祖, 王永坤 2004 物理学报 **53** 77]
 [12] Wang J P, Hao Y, Peng J *et al* 2002 *Atca. Phys. Sin.* **51** 1793 (in Chinese) [王剑屏, 郝跃, 彭军等 2002 物理学报 **51** 1793]

Bi-material microcantilever array room-temperature IR imaging^{*}

Miao Zheng-Yu¹⁾ Zhang Qing-Chuan^{1)†} Chen Da-Peng²⁾ Wu Xiao-Ping¹⁾ Li Chao-Bo²⁾ Guo Zhe-Ying¹⁾
Dong Feng-Liang¹⁾ Xiong Zhi-Ming¹⁾

¹ *† CAS Key Laboratory of Mechanical Behavior and Design of Materials, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China*

² *‡ Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*

(Received 15 July 2005 ; revised manuscript received 20 October 2005)

Abstract

The uncooled IR thermal imaging technology with its wide applications in military, medical and industrial areas has been an active topic in international research. Thermal imaging based on optical readout bi-material microcantilever array is a new concept in methodology. In this paper, a new kind of bi-material micro-cantilever unit with multi-fold legs and interval gild structure is designed and its thermal and thermo-mechanical performance are analyzed. A 100×100 microcantilever array is fabricated as a FPA (focal plane array), and by using this FPA, a thermal image of a room-temperature body (human body) is successfully detected. The NETD (noise-equivalent temperature difference) is about 200mK. The experimental results are well accordant with the thermal analysis of the microcantilever unit.

Keywords : uncooled infrared imaging, optical readout, bi-material microcantilever array

PACC : 0170C, 4283

^{*} Project supported by the National Basic Research Program of China (Grant No. 2006CB300404), and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10232030, 50076040 and 10472111).

[†] E-mail: zhangqc@ustc.edu.cn