

光学读出红外成像中面光源影响下的光学检测灵敏度研究*

吴健雄 程腾[†] 张青川[‡] 高杰 伍小平

(中国科学技术大学, 中国科学院材料力学行为和设计重点实验室, 合肥 230027)

(2013年6月1日收到; 2013年8月13日收到修改稿)

在光学读出红外成像的理论分析中, 通常将具有一定实际尺寸的非相干面光源简化为理想点光源, 导致了分析误差. 本文建立了面光源模型, 通过夫琅禾费衍射理论, 研究了面光源影响下的光学检测灵敏度, 发现了光学检测灵敏度随光源半径和焦平面阵列反光板长度的变化关系, 提出了面光源影响下的光源尺寸和反光板长度的优化设计准则. 针对理论分析, 进行了实验验证, 测试结果与理论分析一致.

关键词: 面光源, 光学读出, 焦平面阵列, 非制冷红外成像

PACS: 07.10.Cm, 07.57.Hm, 07.57.Kp, 42.72.-g **DOI:** 10.7498/aps.62.220703

1 引言

红外成像技术在军事、医学、气象、公共安全等领域有广泛的应用前景. 近年来, 随着微机电系统 (micro-electromechanical systems, MEMS) 技术的发展, 基于双材料微悬臂梁热机械效应的非制冷红外成像技术逐渐受到重视. 在红外信号的检出方法上, 研究者先后提出了电容、压电、光学等多种方案. 相对于其他检出方案, 光学读出原理不需要在焦平面阵列 (focal plane array, FPA) 中集成微读出电路, 因此, 它对 MEMS 加工工艺要求低, 制作难度小, 是一种具有低成本、高性能潜力的解决方案. 美国 Berkeley 大学的研究小组开展了基于光学干涉读出方式的双材料微悬臂梁 FPA 研究, 并获得了人体的热图像^[1,2]. Nikon 公司在 2001 年和 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^[3,4], 并得到了室温下的人像. 2005 年, Redshift Systems 公司报道了一种薄膜热可调谐滤波片 FPA, 获得了噪声等效温度差 (noise equivalent

temperature difference, NETD) 小于 1 K 的人体热像^[5]. 2006 年, 美国 Oak Ridge 国家实验室的研究小组设计了“青蛙”状双材料微梁 FPA, 利用小孔滤波成像光路, 成功获得 NETD 约为 500 mK 的人体红外图像^[6]. 2009 年, 美国贝尔实验室报道了他们基于像素间干涉原理的光学读出系统^[7]. 同年, 美国 Agiltron, Inc. 公司也报道了他们在研发商业化的光学读出热型红外检测器方面的进展^[8].

从 2001 年开始, 本课题组开展了基于双材料微悬臂梁阵列的光学读出非制冷红外成像技术研究, 提出了在 FPA 谱平面上进行刀口滤波的光学读出方法^[9,10], 以及回折腿间隔镀金结构的微梁单元设计^[11]; 同时, 针对传统的有基底 FPA 结构的不足, 设计并实现了全新概念的无基底 FPA^[12]. 截至目前, 课题组已先后制作了多批次、微梁单元长度分别为 200, 120, 60, 50, 30 μm 的无基底 FPA^[12-16], 实现了室温物体的红外成像, 获得的最高系统级 NETD 已达 100 mK^[16], 接近现有商用非制冷红外热像仪的典型指标, 并在此基础上成功实现了系统集成, 制作出了小型化样机.

* 国家自然科学基金 (批准号: 11102201, 11072233, 11127201)、中央高校基本科研业务费专项资金 (批准号: WK2090050017) 和江苏省自然科学基金 (批准号: BK2011373) 资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: chteng@ustc.edu.cn

[‡] 通讯作者. E-mail: zhangqc@ustc.edu.cn

在光学检测灵敏度的理论分析中,通常将实际使用的具有一定尺寸大小的发光二极管(LED)面光源简化为理想点光源^[10,17].这种近似简化虽然便于研究者分析反光板的物理尺度特征(长度、弯曲曲率、粗糙度等)与光学检测灵敏度之间的关系,但与实际不符.对此,本文通过将实际使用的LED面光源等效为发光均匀的圆形面光源,利用夫琅禾费衍射理论,建立了圆形面光源调制下的光学检测灵敏度模型(简称面光源模型),分析了圆形面光源的半径、反光板长度与光学检测灵敏度的关系,并给出了光源半径和反光板长度的最优化准则.

2 光学读出红外成像技术的基本原理

本课题组提出的无基底FPA结构^[18]如图1所示,FPA上各微梁单元直接生长在一层单层膜的无基底支撑框架上.每个微梁单元由红外反光板(吸收板)、双材料变形梁、热隔离梁三部分构成.红外反光板一侧为 SiN_x 膜,用于吸收红外辐射,另一侧为Au膜,用于反射由LED面光源发射的读出光.双材料变形梁由 SiN_x 和Au两种材料构成,由于这两种材料热膨胀系数的巨大差异,温度变化后将产生热致弯曲变形,并使反光板发生偏转,进而导致反光板的衍射谱移动,从而被光学读出系统检出^[10].

本课题组提出的基于空间刀口滤波的光学读

出系统^[18]如图2所示:LED面光源位于准直透镜前焦面,发出的光束经准直透镜后变为与光轴平行的准直平行光,到达半透半反镜,反射光入射到真空室内的FPA上,被FPA微梁单元反光板反射,经过傅里叶透镜后在刀口平面形成衍射谱.当对红外目标成像时,FPA吸收辐射导致微梁单元温度升高,双材料变形梁发生弯曲,使反光板偏转角发生变化,

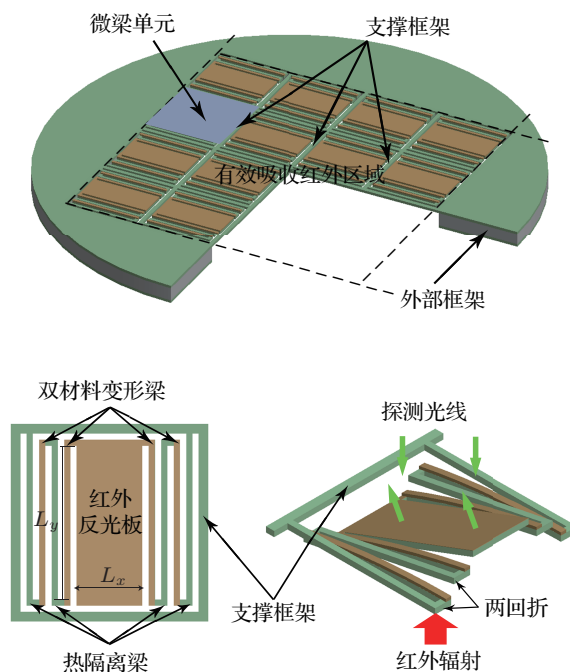


图1 无基底FPA结构原理

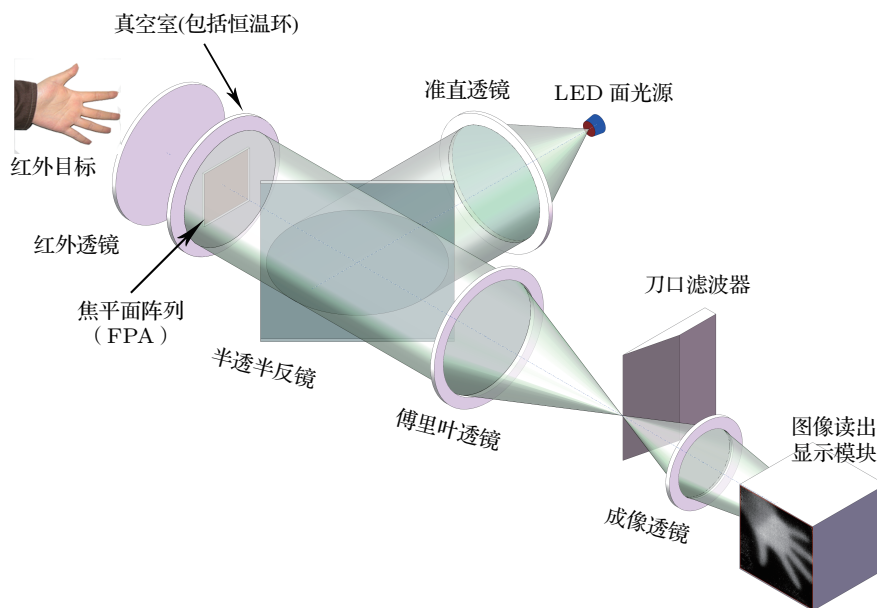


图2 红外成像系统原理

其在刀口谱平面的衍射谱相应移动,通过刀口滤波器的光量也随之改变,即将微梁单元反光板偏转角变化转变为 CCD 接收到的光强信号的变化.而反光板偏转角变化大小取决于 FPA 吸收的红外辐射量,因此热物体不可见的红外像最终转变为 CCD 上可见的灰度图像^[19].

为了便于分析,通常将 LED 面光源简化为理想点光源,其在刀口谱平面的光强分布可表述为^[10]

$$I(x,y) = \frac{(L_x L_y)^2}{\lambda^2 f^2} \operatorname{sinc}^2\left(\frac{L_x x}{\lambda f}\right) \operatorname{sinc}^2\left(\frac{L_y y}{\lambda f}\right), \quad (1)$$

其中, L_x 和 L_y 是无基底 FPA 微梁单元反光板(红外吸收板)的宽度和长度(如图 1). λ 为 LED 面光源发射的光波长, f 为傅里叶变换透镜的焦距.

根据光学检测灵敏度的定义^[10]: FPA 像素反光板单位转角 ($d\theta$) 引起 CCD 接收到的光强变化 (dI), 即 $dI/d\theta$. 当不考虑反光板的弯曲变形和初

始转角等复杂因素,理想点光源的光学检测灵敏度为^[10]

$$D_{\max}(\lambda, L_y) = 2L_y/\lambda. \quad (2)$$

由于实际使用的 LED 光源是具有一定尺寸的非相干均匀面光源,上述基于理想点光源假设的理论模型与实际不符.因此,本文将通过将实际的 LED 面光源等效为发光均匀的圆形面光源,建立更加精确的光学检测灵敏度模型分析,并进行了相关实验验证.

3 面光源影响下光学检测灵敏度的理论研究

3.1 面光源影响下任意点的光强分布

为了便于分析,将图 2 的光读出光路示意图等效为图 3 所示的光路剖面图.

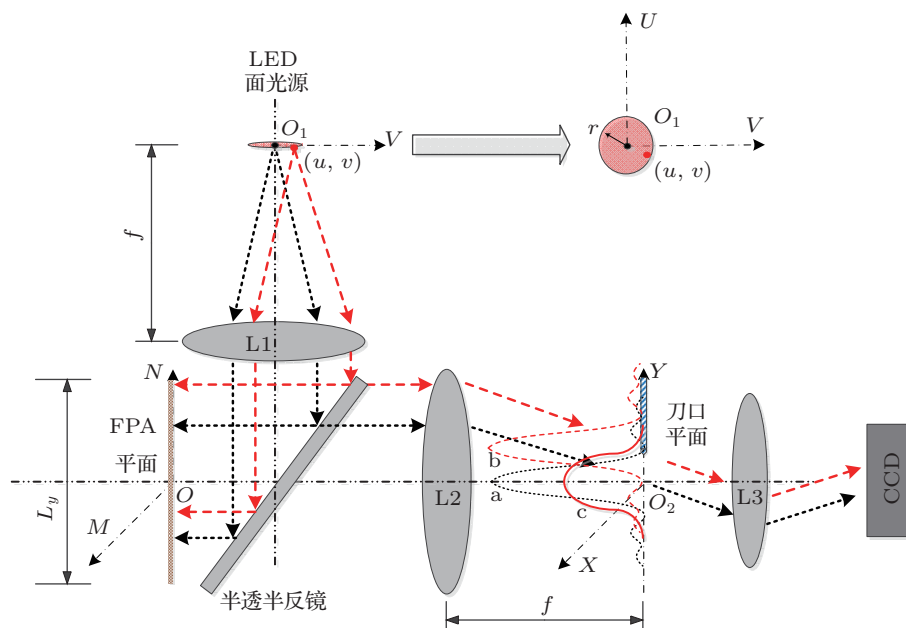


图 3 等效光路图 笛卡尔坐标系下 FPA 平面为 MON , 圆形 LED 光源半径为 r , 准直透镜 $L1$ 和傅里叶变换透镜 $L2$ 的焦距均为 f , 光源平面 UO_1V 和刀口谱平面 XO_2Y 分别是 $L1$ 的前焦面和 $L2$ 的后焦面, 谱平面 XO_2Y 上曲线 a 为理想点光源形成的衍射谱, 曲线 b 为光源平面 UO_1V 上 (u, v) 点形成的衍射谱, 曲线 c 为 LED 面光源整体形成的衍射谱

由于实际使用的 LED 面光源为非相干均匀面光源,因此可将其等效为无数点光源的线性叠加,且这些点光源光强相等,呈圆形分布,半径为 r (图 3 右上角所示),其中处于准直透镜 $L1$ 前焦点位置 O_1 上的点光源即为 (1), (2) 式所述的理想点光源.同时,由于实际使用的 LED 面光源尺寸远远小于准直透镜的焦距 ($r/f < 0.01$),可以近似认为各点光源位于理想点光源 $(0, 0)$ 的微小邻域内,因此,微

小邻域内任意位置 (u, v) 的点光源经过准直透镜 $L1$ 后仍可近似为平行光,其衍射谱的形状、大小与理想点光源 $(0, 0)$ 的衍射谱相同,仅发生了整体性的微小平移(如图 3 中刀口谱平面上曲线 a 和 b).基于 (1) 式,容易得到点光源 (u, v) 在刀口平面所形成的光强分布为

$$I(x,y;u,v) = \frac{(L_x L_y)^2}{\lambda^2 f^2} \operatorname{sinc}^2\left(\frac{L_x(x+u)}{\lambda f}\right)$$

$$\times \operatorname{sinc}^2\left(\frac{L_y(y+v)}{\lambda f}\right). \quad (3)$$

由于刀口滤波器沿 Y 方向滤波, 因此对 (3) 式沿 X 轴从 $-\infty + \infty$ 积分, 其中归一化 sinc 函数积分公式为

$$\int_{-\infty}^{\infty} \operatorname{sinc}(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} dx = 1. \quad (4)$$

利用 (4) 式可以得到通过刀口滤波器沿 Y 方向 (滤波方向) 的光强分布:

$$\begin{aligned} I(y, v) &= \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y; u, v) dx \\ &= \frac{L_x L_y^2}{\lambda f} \operatorname{sinc}^2\left(\frac{L_y(y+v)}{\lambda f}\right). \end{aligned} \quad (5)$$

当 FPA 吸收红外辐射, 产生转角为 θ (逆时针方向为正) 时, 由光杠杆原理可知刀口平面的光谱整体向上移动 $2\theta f$ [16,17], 此时刀口谱平面的光强分布为

$$I(y, v, \theta) = \frac{L_x L_y^2}{\lambda f} \operatorname{sinc}^2\left(\frac{L_y(y+v-2\theta f)}{\lambda f}\right). \quad (6)$$

3.2 面光源影响下的光学检测灵敏度

根据 (6) 式, 半径为 r 的圆形均匀面光源在刀口谱平面所形成的光强分布可通过在圆形区域内积分得到:

$$\begin{aligned} I(y, \theta) &= \int_{-r}^r dv \int_{-\sqrt{r^2-v^2}}^{\sqrt{r^2-v^2}} I(y, v, \theta) dv \\ &= \frac{2L_x L_y^2}{\lambda f} \int_{-r}^r \sqrt{r^2-v^2} \operatorname{sinc}^2 \\ &\quad \times \left(\frac{L_y(y+v-2\theta f)}{\lambda f}\right) dv. \end{aligned} \quad (7)$$

对 (7) 式归一化, 可得:

$$\begin{aligned} i(y, \theta) &= \frac{I(y, \theta)}{\int_{-\infty}^{+\infty} I(y, \theta) dy} \\ &= \frac{2L_y}{\pi r^2 \lambda f} \int_{-r}^r \sqrt{r^2-v^2} \operatorname{sinc}^2 \\ &\quad \times \left(\frac{L_y(y+v-2\theta f)}{\lambda f}\right) dv, \end{aligned} \quad (8)$$

(8) 式表述了半径为 r 的圆形均匀面光源在刀口谱平面上 Y 方向 (滤波方向) 的光强分布, 即图 3 中刀口谱平面上曲线 c.

刀口滤波器滤波沿 Y 方向滤波, 其滤波位置为 $y = y_0$, 根据光学检测灵敏度的定义, 得到归一化后

最高光学检测灵敏度 (当不考虑反光板弯曲等因素时, 刀口滤波位置 y_0 位于衍射谱正中心 [17]), 简称为光学检测灵敏度:

$$\begin{aligned} D_{\max}(\lambda, r, f, L_y) \\ &= \max\left(\frac{d}{d\theta}\left(\int_{y_0}^{+\infty} i(y, \theta) dy\right)\right) \\ &= \frac{4L_y}{\pi r^2 \lambda} \int_{-r}^r \sqrt{r^2-v^2} \operatorname{sinc}^2\left(\frac{L_y v}{\lambda f}\right) dv. \end{aligned} \quad (9)$$

4 面光源影响下光学检测灵敏度分析优化及实验验证

4.1 面光源在刀口谱平面光强分布

实验使用的 LED 光源为单色绿光光源, 波长范围在 490—560 nm 之间, 峰值约为 500 nm, 因此在下文分析时, 将 LED 光源波长 λ 等效为 500 nm. 根据 (8) 式, 得到当反光板长度一定 (L_y 分别为 50, 100, 150, 200 μm) 时, 不同半径大小 ($r = 0—1$ mm) 的面光源在刀口谱平面的归一化光强分布, 如图 4 所示.

可以看出, 光源半径 $r = 0$ 曲线 (图 4 中红色曲线) 在谱中心处的光强分布最集中, $r = 0.5$ mm (图 4 中黄色曲线) 时次之, $r = 1$ mm (图 4 中绿色曲线) 时光强最为分散. 即光源半径 r 越小, 位于谱中心的光强越集中, 滤波后光强的变化越大, 根据光学检测灵敏度的定义, 此时得到的光学检测灵敏度越高.

同时随着反光板长度 L_y 增大 (50, 100, 150, 200 μm 分别对应图 4(a), (b), (c), (d)), 光源半径 $r = 0$ 时的红色曲线与 $r = 1$ mm 时的绿色曲线的峰值差距增大, 即减小光源半径 r 带来的光强集中分布程度增加, 对光学检测灵敏度的影响也相应增大.

4.2 光学检测灵敏度分析及优化

根据 (9) 式, 得到不同光源半径尺寸 ($r = 0—1.5$ mm) 和不同反光板长度 ($L_y = 0—200$ μm) 与光学检测灵敏度之间变化关系, 如图 5 所示.

图 5(a) 和 (b) 分别是光学检测灵敏度 D_{\max} 随 FPA 反光板长度 L_y 和光源半径尺寸 r 变化曲面的两个不同方向视图, 可以看出:

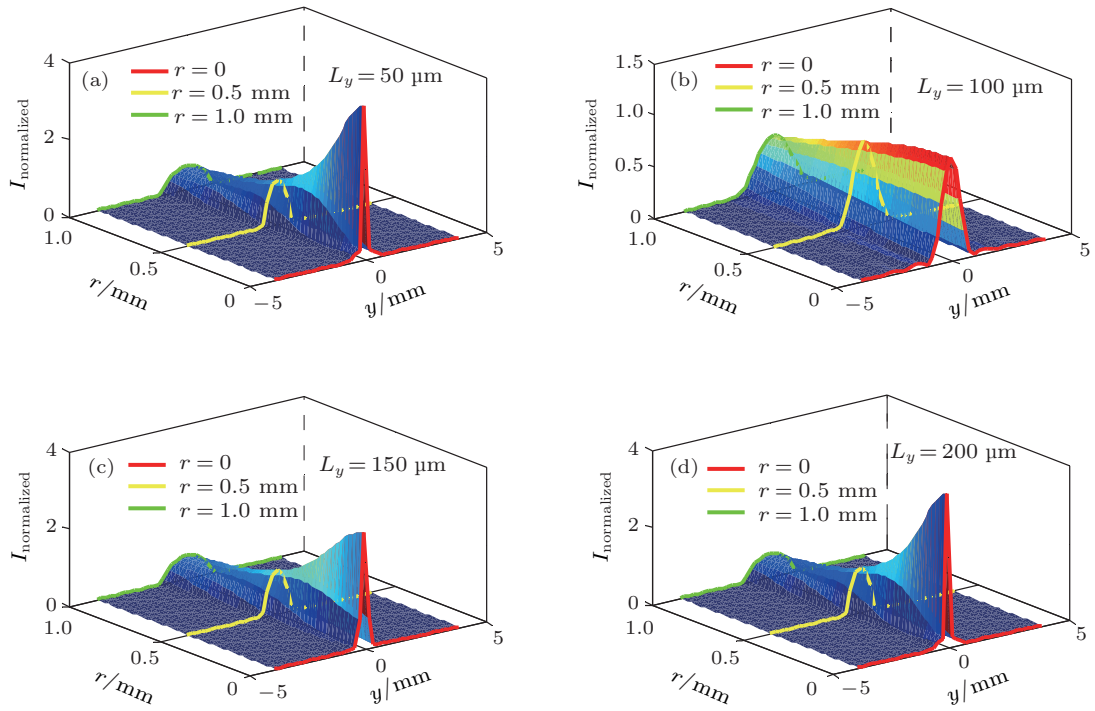


图4 不同FPA反光板长度 L_y 下归一化光强 $I_{\text{normalized}}$ 与光源尺寸 r 的关系,其中 $\lambda = 500 \text{ nm}$, $f = 100 \text{ mm}$ (a) $L_y = 50 \mu\text{m}$; (b) $L_y = 100 \mu\text{m}$; (c) $L_y = 150 \mu\text{m}$; (d) $L_y = 200 \mu\text{m}$

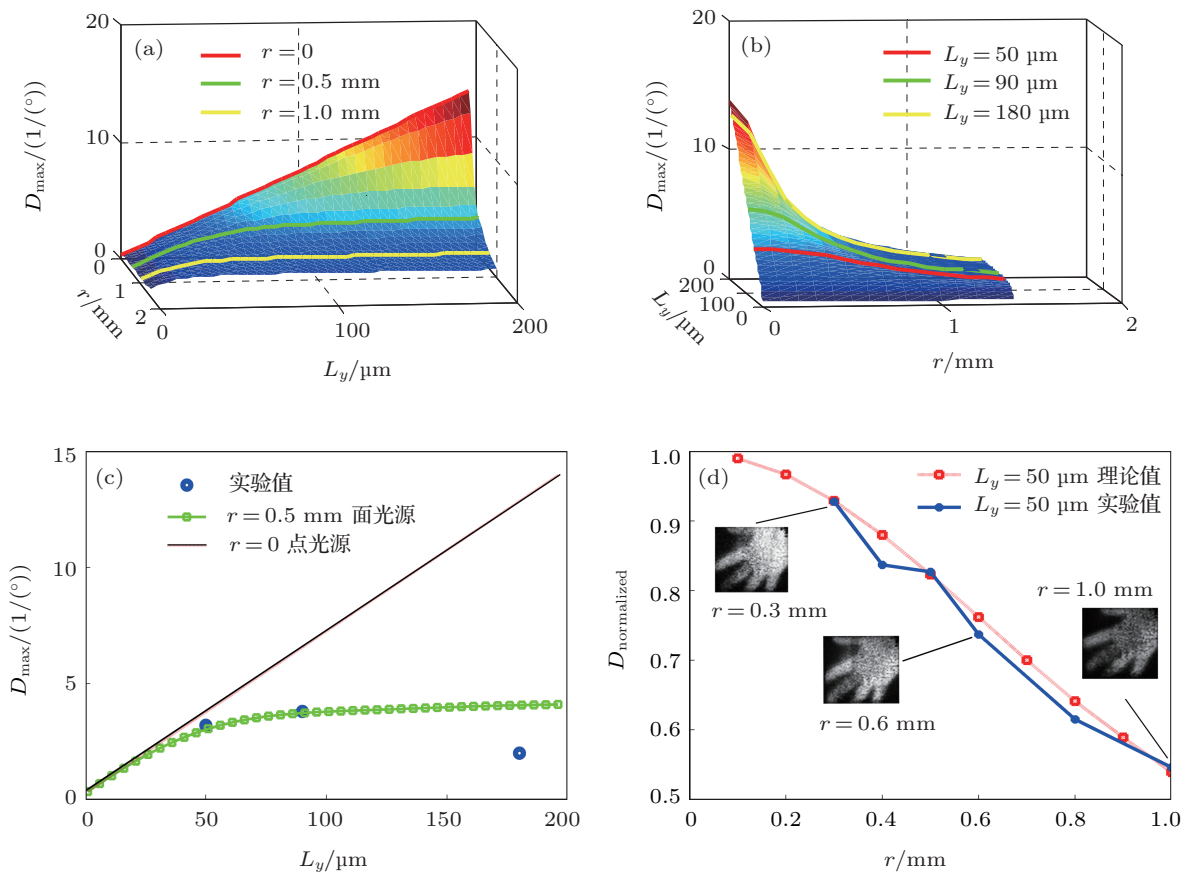


图5 面光源影响下光学检测灵敏度 D_{max} 与光源尺寸 r 和FPA反光板长度 L_y 的关系,其中 $\lambda = 500 \text{ nm}$, $f = 100 \text{ mm}$ (a) L_y 方向视图; (b) r 方向视图; (c) 不同反光板长度 L_y 理论实验对比; (d) 不同光源半径 r 理论实验对比

1) 当光源半径 $r = 0$ 时, 光学检测灵敏度 D_{\max} 随反光板长度 L_y 线性单调上升 (即图 5(a) 中 $r = 0$ 曲线), 与理想点光源模型推导出的 (2) 式描述一致, 即理想点光源模型是面光源模型下光源半径 $r = 0$ (光源半径无穷小) 的特例;

2) 当光源半径 $r > 0$ 时, 光学检测灵敏度 D_{\max} 随反光板长度 L_y 非线性增加, 且增速逐渐放缓, 最终趋于某一极限值, 例如, 当 $r = 0.5 \text{ mm}$ 时, 极限值约为 $4(1/^\circ)$, 当 $r = 1.0 \text{ mm}$ 时, 极限值约为 $2(1/^\circ)$.

3) 当反光板长度 L_y 一定时 (图 5(b)), 光学检测灵敏度 D_{\max} 随着面光源半径 r 的减小而大幅提高, 在 $r = 0$ (理想点光源) 时取得极值; 并且反光板长度 L_y 越大, 光源半径 r 对光学灵敏度 D_{\max} 的影响越大.

根据面光源模型可知, 当反光板长度一定时, LED 光源半径越小, 光学检测灵敏度越高, 同时所需光强越大, 即要求 LED 功率越大. 因此, 必须在光源功率和光学检测灵敏度之间权衡, 本文定义最优化的光源半径 r_{optimize} 为理想点光源 (即光源半径 $r = 0$ 时) 的光学检测灵敏度值 90% 所对应的面光源半径. 同理, 当光源半径一定时, FPA 反光板长度越大, 光学检测灵敏度越高并逐渐趋近于某一极限值; 同时微梁单元尺寸越大, 红外成像的空间分辨率越低. 在空间分辨率和灵敏度之间权衡, 将 FPA 反光板优化长度上限阈值 $L_{\text{upper-limit}}$ 定义为此极限值的 90% 对应的反光板长.

4.3 不同 FPA 反光板长度的实验验证

针对面光源模型, 利用反光板长度 L_y 分别为 180, 90, 50 μm 的 FPA 进行了光学检测灵敏度的验证实验, 实验参数为: $r = 0.5 \text{ mm}$, $\lambda = 500 \text{ nm}$, $f = 100 \text{ mm}$, 结果如图 5(c) 中蓝色标点所示. 为了便于对比分析, 图中还同时显示了 $r = 0$ (即理想点光源模型) 的理论值 (红色曲线), $r = 0.5 \text{ mm}$ 的理论值 (绿色曲线) 的对比曲线.

可以看出, 理想点光源模型 ($r = 0$ 时) 理论值随着反光板长度 L_y 增加而线性增加, 与实验值的变化趋势有较大差异, 特别是当反光板长度 $L_y > 50 \mu\text{m}$ 时, 与实验值相比相差甚远. 面光源模型光源半径 $r = 0.5 \text{ mm}$ 的理论值随着 L_y 增加而逐渐趋近于某一极限值, 并且当 $L_y = 50 \mu\text{m}$ 和 $L_y = 90 \mu\text{m}$ 时均与实验值符合得较好, 但当 $L_y = 180 \mu\text{m}$ 时与实验值有

一定差异, 这是由于实验误差以及 FPA 反光板的初始弯曲较大而导致衍射谱的弥散^[10,17], 从而降低了光学检测灵敏度.

根据面光源模型, 如图 5(c) 所示, 当 $r = 0.5 \text{ mm}$, $\lambda = 500 \text{ nm}$, $f = 100 \text{ mm}$ 时, FPA 反光板优化设计长度上限阈值 $L_{\text{upper-limit}}$ 约为 60 μm (即图 5(c) 中 $r = 0.5 \text{ mm}$ 曲线极限值的 90% 对应的反光板长).

4.4 不同光源半径的实验验证

针对面光源模型, 采用不同光源半径 ($r = 0.3$ — 0.5 mm , 间隔为 0.1 mm) 的 LED 面光源进行红外成像实验验证, 实验参数为: $L_y = 50 \mu\text{m}$, $\lambda = 500 \text{ nm}$, $f = 100 \text{ mm}$, 结果为图 5(d) 中的蓝色曲线, 为了便于对比, 图 5(d) 中的红色曲线为 $L_y = 50 \mu\text{m}$ 时的理论值曲线.

实验结果符合理论预期: 当圆形面光源的半径 r 为 0.3 mm 时候, 灵敏度下降到理想点光源的 90%; 当半径 r 到 0.5 mm 时候, 灵敏度下降到理想点光源的 80%; 而当光源半径尺寸 r 到了 1.0 mm 的时候, 光学检测灵敏度已经下降到理想点光源的 55%.

根据面光源模型, 当 $L_y = 50 \mu\text{m}$, $\lambda = 500 \text{ nm}$, $f = 100 \text{ mm}$ 时, 最优化光源尺寸为 $r_{\text{optimize}} = 0.3 \text{ mm}$ (即图 5(d) 中理想点光源的 90% 对应的面光源半径).

5 结论

本文通过将 LED 面光源等效为圆形均匀面光源, 利用夫琅禾费衍射理论建立了面光源模型进行理论研究, 并针对不同半径面光源和不同反光板长度 FPA 进行了实验验证. 理论分析和实验结果表明: 光学检测灵敏度随光源半径的减小而提高, 随反光板长度的增加而逐渐趋近于某一极限值. 在此基础上, 本文进一步提出了面光源影响下反光板长度的优化设计建议, 当光源半径 $r = 0.5 \text{ mm}$ 时, FPA 反光板优化设计长度上限阈值为 60 μm ; 同时定义了面光源影响下光源半径的最优值, 当 $L_y = 50 \mu\text{m}$ 时该值为 0.3 mm . 按照目前采用圆形面光源半径典型值为 0.5 mm 推论, 随着 LED 光源技术的提高, 采用发光均匀性更好、持续稳定发光强度更高的 LED 光源能够将光学读出灵敏度提高 10%—20%.

- [1] Zhao Y, Mao M, Horowitz R, Majumdar A, Varesi J, Norton P, Kitching J 2002 *J. MEMS* **11** 136
- [2] Mao M, Perazzo T, Kwon O, Majumdar A, Varesi J, Norton P 1999 *Proc. IEEE MEMS* 100
- [3] Ishizuya T, Suzuki J, Akagawa K, Kazama T 2001 *J. I. Image Inform. Television Eng.* **55** 304
- [4] Ishizuya T, Suzuki J, Akagawa K, Kazama T 2002 *Proc. IEEE MEMS* 578
- [5] Wu M, Cook J, DeVito R, Li J, Ma E, Murano R, Nemchuk N, Tabasky M, Wagner M 2005 *Proc. of SPIE* **5783** 496
- [6] Grbovic D, Lavrik N V, Datskos P G, Forrai D, Nelson E, Devitt J, McIntyre B 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 073118-1
- [7] Jones C D W, Bolle C A, Ryf R, Simon M E, Pardo F, Aksyuk V A, Lai W Y C, Bower J E, Miner J F, Klemens F P, Cirelli R A, Sorsch T W, Ferry E J, Fetter L A, Pai C S, Taylor J A, Vyas B, Watson G P, Stekas B, Baker M R, Papazian A R, Basavanthally N R, Mansfield W M, Kornblit A, Keller R C, Gates J V, Ramirez A P 2009 *Sensors Actuators A* **155** 47
- [8] Erdtmann M, Zhang L, Jin G, Radhakrishnan S, Simelgor G, Salerno J 2009 *Proc. SPIE* 7298
- [9] Pan L, Zhang Q C, Wu X P, Duan Z H, Chen D P, Wang W B, Guo Z Y 2004 *Experiment. Mech.* **19** 403 (in Chinese) [潘亮, 张青川, 伍小平, 段志辉, 陈大鹏, 王玮冰, 郭哲颖 2004 实验力学 **19** 403]
- [10] Duan Z H, Zhang Q C, Wu X P, Pan L, Chen D P, Wang W B, Guo Z Y 2003 *Chin. Phys. Lett.* **20** 2130
- [11] Miao Z Y, Zhang Q C, Chen D P, Wu X P, Li C B, Guo Z Y, Dong F L, Xiong Z M 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 3208 (in Chinese) [缪正宇, 张青川, 陈大鹏, 伍小平, 李超波, 郭哲颖, 董凤良, 熊志铭 2006 物理学报 **55** 3208]
- [12] Miao Z Y, Zhang Q C, Chen D P, Guo Z Y, Dong F L, Xiong Z M, Wu X P, Li C B, Jiao B B 2007 *Ultramicroscopy* **107** 610
- [13] Dong F L, Zhang Q C, Chen D P, Miao Z Y, Xiong Z M, Guo Z Y, Li C B, Jiao B B, Wu X P 2008 *Ultramicroscopy* **108** 579
- [14] Dong F L, Zhang Q C, Chen D P, Miao Z Y, Xiong Z M, Guo Z Y, Li C B, Jiao B B, Wu X P 2007 *Chin. Phys. Lett.* **24** 3362
- [15] Dong F L 2007 *Ph. D. Dissertation* (Hefei: University of Science and Technology of China) (in Chinese) [董凤良 2007 博士学位论文 (合肥: 中国科学技术大学)]
- [16] Zhang Q C, Miao Z Y, Guo Z Y, Dong F L, Xiong Z M, Wu X P, Chen D P, Li C B, Jiao B B 2007 *Optoelectron. Lett.* **3** 119
- [17] Shi H T, Zhang Q C, Qian J, Mao L, Cheng T, Gao J, Wu X P, Chen D P, Jiao B B 2009 *Opt. Express* **17** 4367
- [18] Cheng T, Zhang Q C, Jiao B B, Chen D P, Wu X P 2009 *J. Opt. Soc. Am. A* **26** 2353
- [19] Cheng T, Zhang Q C, Chen D P, Shi H T, Gao J, Qian J, Wu X P 2010 *Chin. Phys. B* **19** 010701

Optical detection sensitivity of area light source in optical read-out IR imaging*

Wu Jian-Xiong[†] Cheng Teng[†] Zhang Qing-Chuan[†] Gao Jie Wu Xiao-Ping

(Key Laboratory of Mechanical Behavior and Design of Materials of Chinese Academy of Sciences, University of Science and Technology of China,

Hefei 230027, China)

(Received 1 June 2013; revised manuscript received 13 August 2013)

Abstract

In the theoretical analysis of the optical readout IR imaging, the incoherent area light source with a certain size is typically simplified into an ideal point light source, which leads to analytical errors. In this paper an area light source model is established, and using the Fraunhofer diffraction theory the influence of the optical detection sensitivity on area light source is studied. The dependence of the optical detection sensitivity on light source radius and reflector length of the focal plane array is found. And optimized design criteria for the size of light source and the length of the reflector are proposed. According to theoretical analysis, the experimental verification is carried out, and the results are consistent with theoretical analyses.

Keywords: area light source, optical readout, focal plane array, uncooled IR imaging

PACS: 07.10.Cm, 07.57.Hm, 07.57.Kp, 42.72.-g

DOI: 10.7498/aps.62.220703

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11102201, 11072233, 11127201), the Fundamental Research Funds for the Central Universities of Ministry of Education of China (Grant No. WK2090050017), the Natural Science Foundation of Jiangsu Province, China (Grant No. BK20111373).

[†] Corresponding author. E-mail: chteng@ustc.edu.cn

[‡] Corresponding author. E-mail: zhangqc@ustc.edu.cn