

动态红外图像生成技术研究

李 阜 王奎雄

(长春光机学院光子物理系, 吉林, 长春, 130022)

魏光辉

(北京理工大学光电工程系, 北京, 100081)

TN/211

摘要 提出了一种被动式红外动态图像生成技术及相关装置, 理论上分析了该装置的时间常数、空间分辨率和辐射对比度等参数, 并进行了实验研究, 实验测得转换器的空间分辨率为 6 lp/mm, 对比度大于 100:1, 时间常数 ~ 6ms, 所得到的红外图像可用于对各和红外成像仪器和设备进行性能检测和标定, 以及红外成像仿真实验。

关键词 红外图像生成, 仿真, 金属黑, 周期结构

动态

引言

红外动态图像生成可以通过电阻阵列、激光束扫描和激光二极管阵列扫描等多种技术途径来实现^[1,2], 上述方法生成的红外图像具有空间分辨率高、辐射对比度大等优点, 但工艺技术难度大, 价格也非常昂贵。

本文研究一种被动式动态红外图像生成技术, 基于这种工作原理的红外图像转换器是由 Bly V. I. 提出的, 但他们所研制的转换器的空间分辨率实际上只有 3 lp/mm, 而且辐射对比度很低, 本文所研制的被动式红外图像转换装置采用空间周期性结构^[3], 性能达到了空间分辨率为 6 lp/mm, 对比度大于 100:1, 时间常数约为 6ms, 而且可以通过减小周期性薄膜结构的单元尺寸进一步提高空间分辨率。

1 基本原理

物体吸收能量后温度升高, 通过传导、对流和辐射三种方式与周围的环境达到热平衡, 当物体的厚度很薄时其热传导很小, 当物体处于真空中时, 其与外界由于对流而引起的热交换可以被忽略, 这样就只剩下辐射引起的热交换了, 被动式可见光/红外动态图像转换器正是基于这一原理工作的: 在一非常薄的有机衬底上蒸镀上对可见光和红外都有较大吸收的金属黑^[4], 将其放入真空室内, 真空室的一边是可见光透过的 K9 玻璃窗口, 另一面是透红外辐射的 Ge 晶体窗口, 载有图像信息的可见光通过窗口入射到薄膜上, 其能量被薄膜吸收, 并在薄膜上产生与可见光图像强度分布相对应的温度梯度分布, 进而由薄膜辐射出与可见光图像相对应的红外图像, 转换系统的结构如图 1 所示。

薄膜吸收能量后, 其表面温度变化满足热传导方程:

稿件收到日期 1999-03-09, 修改稿收到日期 1999-07-10

$$kd\sqrt{2}T + Q - \varepsilon\sigma(T^4 - T_0^4) = \frac{\partial T}{\partial x}d\rho C_p \quad (1)$$

式(1)中 T 是薄膜温度, Q 是外加激光功率密度, ε 是薄膜前后表面发射率之和, T_0 是环境温度, k 为薄膜热传导系数, d 为薄膜厚度, ρ 为介质密度, C_p 为定压比热, σ 为斯蒂芬-波尔兹曼常数.

在线光源入射的条件下, 假设衬底和金属黑都很薄, 以至可以认为其温度在厚度方向上没有梯度, 而且衬底对入射光无吸收. 所以, 式(1)可以简化为一维方程:

$$kd \frac{\partial T}{\partial x^2} + Q - \varepsilon\sigma(T^4 - T_0^4) = \frac{\partial T}{\partial x}d\rho C_p \quad (2)$$

式中入射激光功率密度 $Q = \begin{cases} q & x=0 \\ 0 & x \neq 0 \end{cases}$. 式(2)可以解出数值解(见图2和图3).

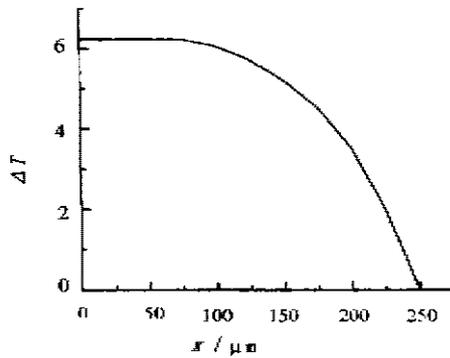


图2 薄膜表面温度空间分布理论曲线
Fig. 2 Theoretical curve for temperature spatial distribution of the film surface

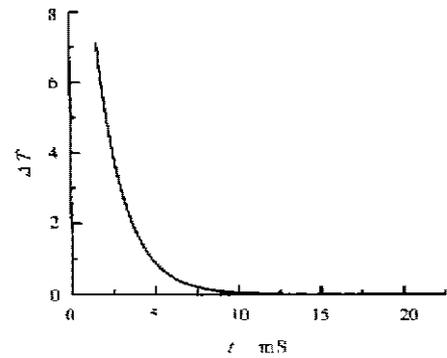


图3 薄膜表面温度随时间变化理论曲线
Fig. 3 Theoretical curve of film surface temperature versus time

图2和图3是在薄膜厚度 $d=5\mu\text{m}$ 、环境温度 $T_0=300\text{K}$ 、入射激光功率密度 $q=5\text{W}/\text{cm}^2$ 、薄膜表面发射率 $\varepsilon=0.8$ 的情况下的理论计算结果. 可以看出, 在 $d=5\mu\text{m}$ 条件下, 薄膜的时间常数 $\Delta t_{1/e}=5\text{ms}$ 、横向扩散 $\Delta x_{1/e}=250\mu\text{m}$. 而且 Δt 和 Δx 与薄膜材料的厚度、对入射光的吸收、材料的热容量和传导系数有关.

薄膜的横向扩散直接影响转换器的空间分辨率. 通过上述数值解所解出的转换器空间分辨率小于 $5\text{lp}/\text{mm}$. 而此解是在无对流, 忽略衬底的热传导的情况下得到的. 实际上, 衬底的热传导及真空室中的剩余空气对时间常数及空间分辨率还有一定的影响. 在我们所研制的器件中, 分辨率的主要影响来源于薄膜上的横向热传导. 为了克服这一影响, 我们采用了周期性薄膜结构, 即将有机衬底上所蒸镀的金属黑分成若干微小的单元. 通过这种结构, 可

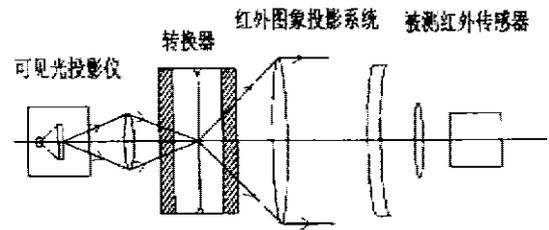


图1 转换系统结构示意图
Fig. 1 Schematic diagram of converting system

以有效地降低薄膜上的横向热传导,将器件的空间分辨率提高至 6 lp/mm. 这种结构薄膜的空间分辨率理论计算值为:

$$\eta = \frac{1}{l-d} = \frac{1}{(140+20) \cdot 10^{-3}} = 5.92 \approx 6 \text{ lp/mm}, \text{即为空间周期的倒数.}$$

2 转换器的结构

转换器的结构如图 4 所示.

衬底采用有机材料,厚度为 100nm,吸收层采用金属黑,蒸镀成周期性结构,吸收层厚度为 5μm(见图 5). 薄膜用一玻璃环支撑,置于一真空室内,真空室内气压小于 50Pa,薄膜尺寸为 φ56mm(max). 透可见光的窗口材料为 K9 玻璃,两面镀增透膜,透过率为 95%;透红外的窗口材料为 Ge 晶体,双面镀 S-14μm 增透膜,透过率为 95%...

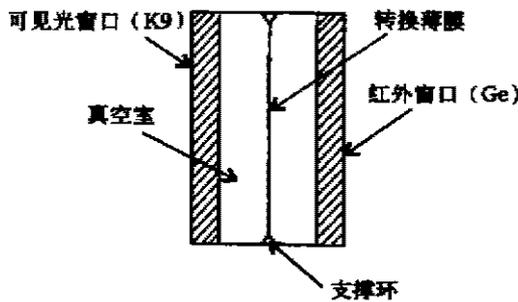


图 4 转换器结构示意图
Fig. 4 Structure of the converter

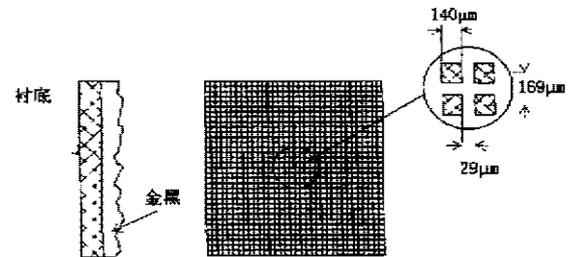


图 5 薄膜结构示意图
Fig. 5 Structure of the film

3 实验

实验测量了薄膜的时间常数、空间分辨率和对比度等参数. 测量时间常数和对比度的实验装置如图 6 所示.

用脉冲 YAG 激光作为激发源,激光输出波长为 1.064μm,脉冲宽度为 200μs,重复频率为 1/s. 激光器输出的光束由透镜扩束后照射到薄膜上,光斑尺寸为 φ20mm. 薄膜产生的红外辐射由口径为 200mm,焦距为 300mm 的球面反射镜聚焦投射到碲镉汞探测器表面,经低

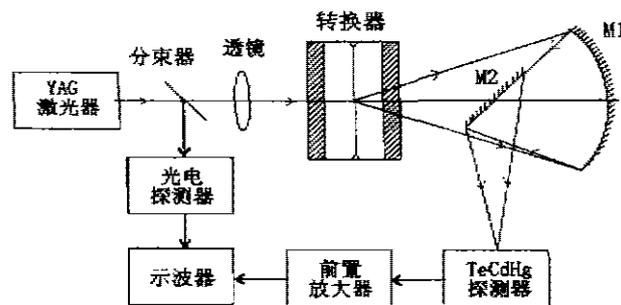


图 6 测试薄膜时间特性的实验装置
Fig. 6 Experimental setup for testing time-characteristic of film

噪声前置放大器,由示波器观测辐射的时间特性。

3.1 时间常数

本文中的时间常数是指薄膜在激光照射后,其温度升高,当激光脉冲撤掉后,由所能达到的最高温度降低到背景温度所需时间,即最大辐射降低到背景辐射所需时间,实验曲线如图7和图8所示。

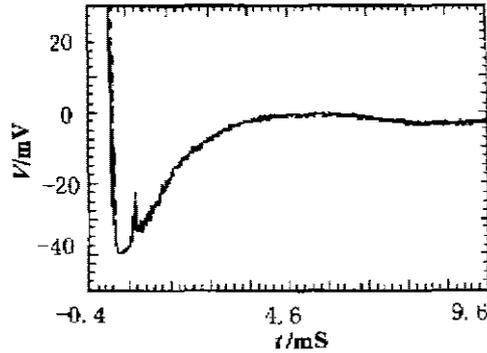


图7 均匀薄膜时间特性曲线
Fig. 7 Time characteristic curve of uniform film

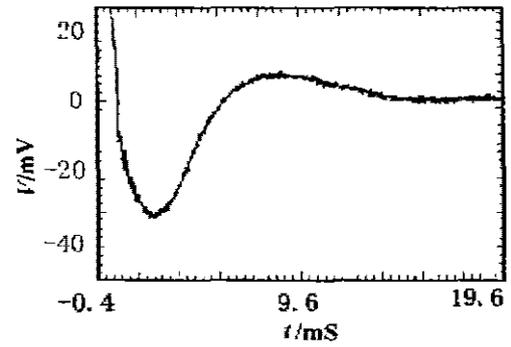


图8 周期性网格结构薄膜时间特性曲线
Fig. 8 Time characteristic curve of periodic grid-structure film

由图7和图8的实验曲线可以看出均匀吸收的时间常数为 $\Delta t_1 = 2\text{ms}$,比周期结构薄膜的时间常数 $\Delta t_2 = 6\text{ms}$ 小,这是因为均匀吸收膜的横向热传导较大而导致的。

3.2 对比度

红外辐射强度的最大值和最小值之比称为对比度(B),改变输入激光的功率,测量转换后的红外辐射强度,即可测出对比度,测量结果如图9所示。

由实验得到: $V_{\text{max}} = 160\text{mV}$, $V_{\text{min}} = 1.2\text{mV}$, $B = V_{\text{max}} / V_{\text{min}} = \frac{160}{1.2} = 133$ 。可见,转换薄膜的对比度大于100:1,实验中观察到,激光功率密度大于 150mw/cm^2 时,薄膜被损坏。

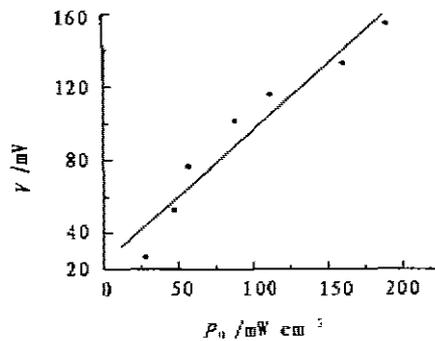


图9 辐射对比度实验曲线
Fig. 9 Experimental curve of radiation contrast



图10 热像仪观测的红外图像照片
Fig. 10 Infrared photograph by AGEMA-1000 thermoviewer

3.3 空间分辨率

投影仪将分辨率测试图形(条形)投射到薄膜上,由薄膜产生的红外辐射图像由投影光学系统聚焦到单元碲镉汞探测器上,碲镉汞探测器放到一个一维平移台上,平移台可以沿与测试图形垂直的方向平动.实验分别测量了均匀吸收膜和周期结构吸收膜的空间分辨率,测试结果分别为 2 lp/mm 和 6 lp/mm,与理论计算相符.用热像仪观测的红外图像如图 10 所示.

空间分辨率是指转换器的空间分辨能力,用单位长度上可分辨线对数来表示.实验装置如图 11 所示.

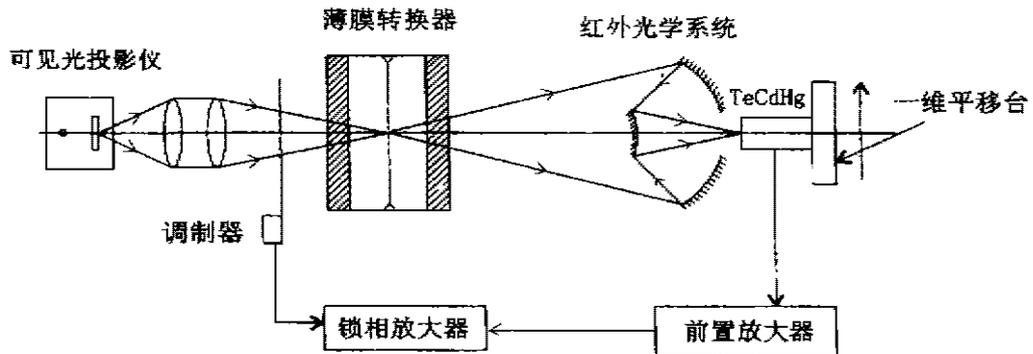


图 11 空间分辨率测试实验装置

Fig. 11 Experimental setup for spatial resolution testing

4 结语

本文描述了具有周期结构的被动式可见光/红外动态图像转换装置,分析了转换器的时间常数、空间分辨率、辐射对比度等参数,并进行了实验测量.所测结果为:转换器的时间常数为 6ms,空间分辨率为 6 lp/mm,辐射对比度大于 100:1.文中首次提出了采用周期结构来提高空间分辨率的方法.测试结果表明,空间周期性结构对提高器件的空间分辨率有明显的效果,所得到的红外图像可用于对各种红外成像仪器和设备进行性能检测和标定以及仿真系统.

REFERENCES

- 1 Boucharly A M, Deschamps J. Dynamic infrared images generator, *SPIE*, 1985, **590**: 400
- 2 Driggers R G, Barnard K, Burroughs E E, *et al.* Review of infrared scene projector technology-1993, *Optical Engineering*, 1994, **33**(7): 2408
- 3 Bly V T. Passive visible to infrared transducer for dynamic infrared image simulation, *SPIE*, 1980, **226**: 140
- 4 LI Zhuo, WANG Kui-Xiong, YANG Su-Hui, *et al.* Generating system for dynamic infrared image. China Patent 95124952. 5(李卓、王奎雄、杨苏辉等, 动态红外图像频域变换装置, 发明专利(中国), 95124952. 5)
- 5 Louis H. The optical properties of metal blacks and carbon blacks, *AD631788*, 1967, **12**: 1

DYNAMIC INFRARED IMAGE GENERATING TECHNIQUE

LI Zhuo WANG Kui-Xiong

(Optical Physics Department, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun, Jilin 130022, China)

WEI Guang-Hui

*(Optical and Electronic Engineering Department,
Beijing University of Science and Technology, Beijing 100081, China)*

Abstract A passive dynamic infrared generating technique as well as a related device was presented. The time constant, space resolutions and contrast ratio of the transducer were discussed theoretically and measured experimentally. Dynamic infrared images with space resolution of 6 lp/mm, contrast ratio better than 100:1, and time constant of about 6ms were realized in the experiment. The transducer can work for infrared image evaluation, calibration and dynamic infrared image simulation.

Key words infrared image generation, simulation, metal blacks, periodic structure.