

## 动态红外场景生成新技术

李 卓, 钱丽勋, 欧 文

(北京理工大学 光电学院, 北京 100081)

**摘 要:** 总结了目前用于半实物仿真的红外场景生成技术的新进展, 介绍了几种典型的新技术, 例如: 超大阵列规模的薄膜镜光调制器场景生成技术、中波红外 LED 阵列红外场景生成技术、基于聚合液晶的红外液晶光阀红外场景生成技术、一种新型的用于半实物仿真场景生成投影系统的电子束寻址反射型空间光调制器、一种基于微型发射器的红外场景生成技术、基于 MEMS 技术的单层锗化硅红外宽波段微发射器阵列红外场景生成技术等。最后对红外场景生成技术的未来发展方向和趋势作了分析和展望。

**关键词:** 红外场景生成技术新进展; 半实物仿真; 红外场景生成技术

**中图分类号:** TN216      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1007-2276(2012)01-0001-06

## New technologies of infrared scene projection

Li Zhuo, Qian Lixun, Ou Wen

(Photo-Electronic College, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The new development of infrared scene projection technology which emerged in recent years were summarized in this paper. Some new typical methods were introduced, for example VLSI-membrane-mirror-light-modulator scene projection technology, mid-wave infrared light emitting diodes for using in infrared scene projection, infrared liquid crystal light valve based on polymer/liquid crystal, a new electron beam-addressed reflective spatial light modulator and projection system for HWIL scene generation, an improved CMOS-compatible bulk-silicon-micromachined microemitter for dynamic infrared scene projector, single-layer SiGe infrared wide-band microemitter arrays by MEMS technology, and so on. At last, the development trends of the infrared scene projection techniques was analyzed.

**Key words:** new development of infrared scene projection technology; hard-ware-in-the-loop (HWIL); infrared scene projection technology

收稿日期: 2011-05-22; 修订日期: 2011-06-11

基金项目: 国防预研基金

作者简介: 李卓(1958-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事红外动态场景仿真方面的研究工作。

Email: lizhuo@bit.edu.cn

## 0 引言

红外场景生成技术是在实验室为被测试红外成像系统提供物理红外目标和背景图像<sup>[1-3]</sup>,是红外成像制导半实物仿真系统中的关键技术。红外场景生成技术可以分为直接辐射型和辐射调制型两种类型。直接辐射型是指场景生成器的成像元自身产生辐射,通过控制其辐射强度从而生成红外图像,典型的技术有:电阻阵列、激光二极管阵列等<sup>[1-3]</sup>。辐射调制型红外场景生成器是一种红外波段的空间光调制器,对照射到红外空间光调制器上的红外光源进行空间强度调制,进而产生红外图像,主要技术有:液晶光阀、数字微镜器件(DMD)等<sup>[1-3]</sup>。以上提到的方法已经成熟并得到了广泛的应用。

随着相关技术的发展,新的红外场景技术也不断出现,例如:超大阵列规模的薄膜镜光调制器场景生成技术、中波红外 LED 阵列红外场景生成技术、基于聚合液晶的红外液晶光阀红外场景生成技术、电子束寻址反射型空间光调制器红外场景生成技术、一种基于微型发射器的红外场景生成技术、基于 MEMS 技术的单层碲化硅红外宽波段微发射器阵列红外场景生成技术等。

相关技术的发展、仿真实验需求不断增加以及现有技术的局限,促使了更多的红外场景生成技术的出现,在下面一节将介绍近几年出现的几种新的红外场景产生技术。

## 1 红外场景生成新技术简介

### 1.1 超大阵列规模薄膜镜光调制器场景生成技术<sup>[4]</sup>

超大阵列规模的薄膜镜光调制器原理图如图 1 所示。

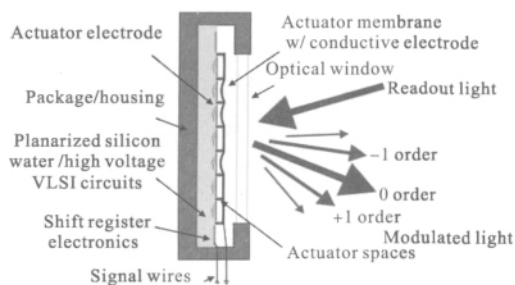


图 1 超大阵列规模的薄膜镜光调制器原理图

Fig.1 Schematic diagram of VLSI-membrane-mirror-light-modulator

这是一种基于衍射原理的空间光调制器,可以实现多光谱红外场景生成。系统包括:高速电子寻址 VLSI-MMLM 芯片,一个连接 PC 的 VGA 视频输出的电子驱动板和读出光系统。

在绝缘层(硅)上刻蚀二维的井阵列,在井阵列的顶端制作一层薄金属层作为薄膜镜,金属层也是芯片的一个电极。在井底端有一个二维阵列的电极,使得每一个井顶端的薄膜能够被单独的电压寻址。驱动的寻址电压加在像素电极和薄膜之间,薄膜由于静电力向井内的方向变形。当入射光入射到被驱动的薄膜镜阵列上时,由于被调制的薄膜镜向镜内凹陷,使得被调制光产生衍射,利用光读出系统读出 0 级衍射光,形成需要的红外图像。

衬底上井的刻蚀宽度和深度的不同使得芯片可以实现不同波段的光谱成像,产生的可见光和红外光图像如图 2 所示。

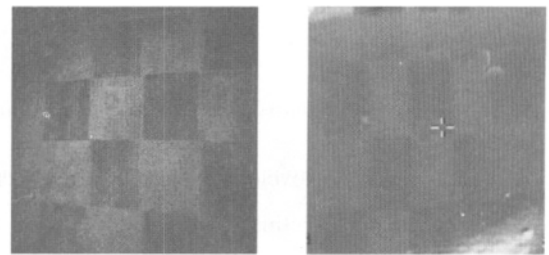


图 2 红外图像和可见光图像

Fig.2 Infrared image and visible image

### 1.2 中波红外 LED 用于红外场景生成<sup>[5]</sup>

随着铟化镓 LED 技术的发展,使得基于 LED 的红外场景生成器的研制有了很大的发展。红外 LED 阵列的发展使得红外场景生成器的性能有了高帧频、高动态范围、高表面温度的可能。LED 的发光波段相对于黑体辐射是很窄的,所以基于红外 LED 的红外场景生成器的性能很大程度上取决于红外 LED 的波段相对于被测试设备的有效性。主要影响因素涉及探测器的光谱响应范围、辐射阵列的填充因子、辐射像素单元的辐射通量分布、探测器在测量表面温度时在 LED 阵列上的孔径大小。

图 3 为 3×3 红外 LED 阵列的图片,目前已经研制了 256×256 阵列的芯片,其填充因子为 60%,其温度预计可以达到图 4 所示的 3×3 阵列的实验数据。

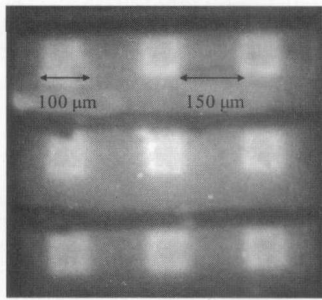


图 3 3×3 阵列的实验图片

Fig.3 Image of the 3×3 mid-wave infrared LED array

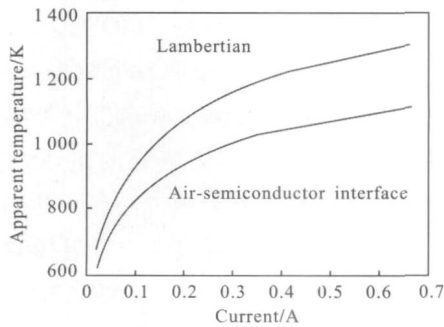


图 4 3×3 阵列 LED 60%填充因子实验数据

Fig.4 Apparent temperature of a 3×3 mid-wave infrared LED array operating with a 60% fill factor

### 1.3 用于电阻阵列的高温材料<sup>[6]</sup>

目前电阻阵列的发展被限制在单像素温度低于 1 000 K。

试验证明,过渡金属氧化物和碳化物材料可以使电阻阵单像素温度达到 3 000 K。实验预期的材料单像素温度达到 2 500 K,中波红外的温度达到 2 000 K,响应时间为 5 ms。

### 1.4 基于聚合液晶的红外液晶光阀红外场景生成器<sup>[7]</sup>

红外液晶光阀的主要问题是帧频低(低于 50 Hz),且很难达到高帧频。为了增加响应速度,可以减小液晶光阀的厚度,但是这会牺牲红外图像的对比度。有一种聚合物材料,可以制作高一致性、低粘附性、大双折射性的液晶。通常这样的材料有很窄的液晶相位,需要高的操作温度且稳定性很差。这种基于聚合物的红外液晶光阀,可以提高红外液晶光阀的响应速度,表现出了快速响应和低厚度依赖性,且制作简单,可靠性高,在可见光到红外的转换中,实现了 100 Hz 帧频和 10 lp/mm 的分辨率。其红外图像产生原理与普通液晶光阀的原理相同,构成结构如图 5 所示。

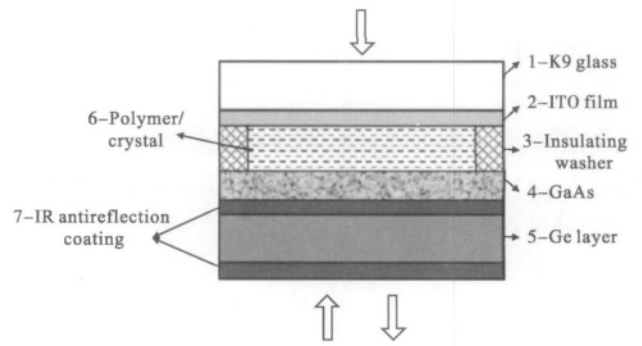


图 5 液晶光阀结构示意图

Fig.5 Schematic of IRLCLV structure

### 1.5 电子束寻址反射型空间光调制器<sup>[8]</sup>

电子束寻址微镜空间光调制器是在 1950 年由 R.K Orthuber 提出的专利概念。随着现代的微加工技术的发展,生产出了增强型升级版的光调制器 (ECM),一种用于半实物仿真场景生成的电子束寻址的反射型空间光调制器,其基本结构如图 6 所示。

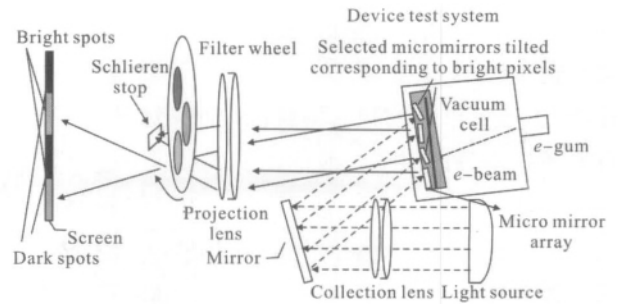


图 6 ECM 系统结构图

Fig.6 System-level overview of the ECM system

图 6 中包括一个 ECM(增强版的光调制器)图像生成器,一个光源,一个汇聚透镜,一个冷透镜,一个光阑,投影透镜,波长滤光轮和屏幕。操作流程中,一束调校好的光束通过汇聚透镜照射到微镜阵列上。这些微镜在扫描的电子束的驱使下偏转。滤光轮可以选择所需光谱的波段。光学系统用来区分经过偏转微镜反射的光和经过没有偏转微镜反射的光。在静态条件下,入射光被没有偏转的微镜反射并聚焦到光阑的中心。微镜在有驱动时入射光经微镜反射后被分散开来,部分直接进入光阑然后进入投影透镜汇聚到屏幕上。显示的强度受微镜偏转程度的影响。通过阻挡经过没有偏转微镜的反射光和收集分散光,可以实现很高的对比度。

这种技术的应用的波长范围为 200~2 000 nm 之间,帧频能够达到 400 Hz,分辨率可以达到 1 024×1 024 以上。

### 1.6 基于 LCOS 的高温红外场景生成器<sup>[9]</sup>

目前国际上红外场景生成技术中,电阻阵列是最成熟的技术,动态范围和响应时间很好。但仅由单一的生产商支持,非常贵,很难产生复合波段的场景,产生高温(>1 000 °C)也很困难,像素不稳定,甚至容易融化。DMD 可以大量生产而且便宜,像 LCOS 一样,有很大的消费市场。但是 DMD 显示是二进制设备,必须用于脉冲编码的调制程序来产生灰度等级。对于扫描探测器来说这种模式必须同步,否则不能使用。尽管这种设备的帧频很高,但高帧频和高分辨率只能选其一。此外,数字微镜阵列的像元太小(<15 μm)容易产生衍射。

最近由 Kent Optronics 公司生产的一种新型的基于 LCOS 技术的红外场景生成器可以达到非常的高表面温度。用于长波红外波段,最高模拟的表面温度可达 1 500 °C 以上,比原来的器件最高温度的 2 倍还高。由于其整个阵列表面都能模拟高温,同样也可以模拟中等的温度,因此不需要加入一些高温点源生成器。这种高温性能是通过一种新的改进大像元、高电压、16 bit 的空间光调制器与一个强的光谱照明源和特殊形式的液晶耦合成的。这种新的液晶形式和空间光调制器的构造同样也能够满足 200 Hz 的帧频。

利用热像仪采集的基于 LCOS 的红外场景生成器的最高温度为 1 400 °C 的图像如图 7 所示,由于 LCOS 是辐射调制型技术,所以不需要实际模拟到很高的物理温度,使用极高温黑体辐射源就可以解决高温模拟问题。在长波红外波段现在已经有很多可用

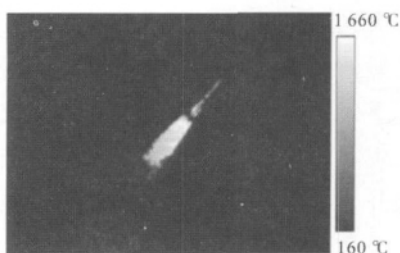


图 7 温度为 1 400 °C 的图像

Fig.7 Image with the temperature of 1 400 °C

的照明源可以提供超过 1 500 °C 的最大表面温度,于此同时也能够达到足够的“黑色范围”(15~20 °C)。新的 512×512 的 LCOS 底板具有更大的像元(约 37.5 μm),可以减小长波红外的衍射效应。

### 1.7 微发射器动态红外场景生成器<sup>[10]</sup>

基于微发射器电阻阵列的红外场景生成器发展了近 20 年,以往的电阻阵列很难产生复合波段的场景,产生高温(>1 000 °C)也很困难,像素不稳定,甚至容易融化。一种新型的电阻阵列通过结构上的改进实现了高表面温度和快速响应时间。这是一种改进的微型发射器,基于 1.2 μm 的 CMOS 加工,微型发射器是悬浮的微型桥结构,中间有个微型发热器,通过热桥可以被加热到很高温度来产生红外辐射。悬浮薄膜的热传导和热容量受薄膜的组成材料和厚度、形状结构影响。想要在有限的功率下达到高表面温度输出和快速的温度响应速度,发射像素要有低的热传导和热容量。材料在标准 CMOS 加工中不能随意选择,所以只能降低薄膜厚度和设计可行的形状来满足要求。

图 8 是两种不同的支撑腿结构的发射器的照片。

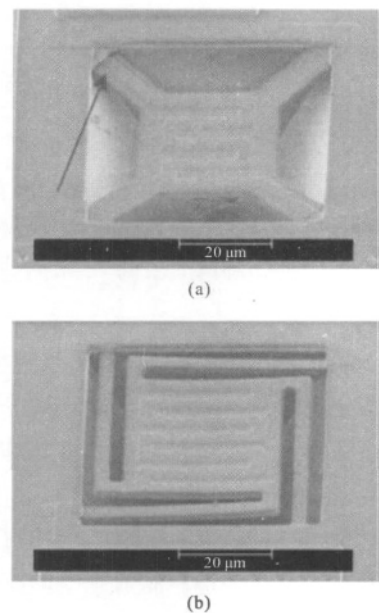


图 8 两种结构的发射器照片

Fig.8 Microemitter photos of two different structures

这种发射器的厚度被降到了 1.5 μm,两种结构都是 50×50 μm 的尺寸。长支撑腿结构可以降低热传导率,并且可以在加热后产生形变和弯曲。形变和弯曲



在温度改变时能有效的缓解薄膜的压力。相反的,蹦床式短支撑腿的结构不能产生这种形变这是因为4条短腿已经把中心拉的很紧了。通过实验验证,4条短腿的结构可以达到 $110\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mW}$ ,4条长腿的结构可以达到 $220\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mW}$ ,并可以被加热到白炽状态。上升时间 $1.1\text{ ms}$ ,下降时间 $0.3\text{ ms}$ ,帧频高于 $200\text{ Hz}$ 。这种结构已被应用到 $128\times 128$ 的阵列生成器中。

### 1.8 基于 MEMS 技术的单层锗化硅红外宽波段微发射器阵列<sup>[11]</sup>

尽管使用 Honeywell 平面技术的热量型红外微发射器的电阻阵列红外发射器过去10年一直持续使用,但一种重要缺点是电阻阵的双级结构,导致低填充因子以及层间的机械和热量压力。最近开发的一种新的技术是由单层的多晶锗化硅构成的热量发射器。加工过程是在硅的薄片上刻蚀二氧化硅层,在二氧化硅层上是锗化硅的薄膜,通过低压化学蒸镀加工。为达到 ms 量级的响应时间,薄膜做到 $130\sim 260\text{ nm}$ 厚以最大程度减小热容。为了减少在支撑腿上的能量损失,植入了硼来进行加工,使得薄膜层的电阻比支撑腿的电阻高很多。为了保持机械性稳定,使用了U型结构,如图9所示。

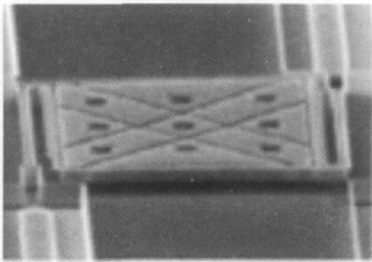


图9 单层锗化硅热发射器照片

Fig.9 Photograph of single-layer SiGe infrared wide-band microemitter

这种发射器为具有128个元素的线性阵列,88%的填充率, $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 厚的共振腔。 $200\text{ nm}$ 厚的 $60\text{ }\mu\text{m}\times 60\text{ }\mu\text{m}$ 的发射像元U型结构来实现 $2\sim 7\text{ ms}$ 的响应时间和最高表面温度 $700\text{ K}$ 。

## 2 总结与展望

随着红外成像引导等技术的发展,对红外成像系统的成像要求越来越高,对其场景仿真程度要求也越来越严格,但是在众多的红外场景生成技术中,目前还没有一种技术能够模拟真实的世界,因此,真

实世界物体辐射特性的仿真成为场景仿真的目标,也是今后红外场景生成技术发展的方向。其中高温红外场景仿真技术<sup>[12-15]</sup>和目标的全波段辐射特性模拟技术是今后发展的主要方向。

### 参考文献:

- [1] Li Zhuo, Qian Lixun, Li Ping, et al. Technologies of dynamic infrared scene projection and its development [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40: 378-384. (in Chinese)  
李卓, 钱丽勋, 李平, 等. 动态红外场景生成技术及其新进展[J]. 红外与激光工程, 2011, 40: 378-384.
- [2] Li Zhuo, Li Ping. Review of dynamic infrared scene projection technology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35: 283-294. (in Chinese)  
李卓, 李平. 动态红外图像生成技术综述 [J]. 红外与激光工程, 2006, 35: 283-294.
- [3] Zhou Qiong. Dynamic scene simulation technology used for infrared seeker [C]//SPIE, 2009, 7383: 73832W-1.
- [4] Simpkins T, Hui J, Whitson M, et al. VLSI-membrane-mirror-light-modulator scene projection technology [C]//SPIE, 2009, 7301: 73010J-1.
- [5] Golden E M, Rapp R J. Effective and apparent temperature calculations and performance analysis of mid-wave infrared light emitting diodes for use in infrared scene projection [C]//SPIE, 2010, 7663: 766304-1.
- [6] Solomon S, Ginn R, Campbell S, et al. High temperature materials for resistive infrared scene projectors [C]//SPIE, 2006, 6208: 62080S-1.
- [7] Luo Yanling, Gao Jiaobo, Gao Fei. Infrared liquid crystal light valve based on polymer/liquid crystal [C]//SPIE, 2009, 7383: 73834U-1.
- [8] Yin Liu, Christian Gutleben. A new electron beam-addressed reflective spatial light modulator and projection system for HWIL scene generation [C]//SPIE, 2005, 5785: 602150.
- [9] Lippert J R, Wei Hong, Yu Haiping, et al. Record breaking high apparent temperature capability of LCoS-based infrared scene projectors [C]//SPIE, 2010, 7663: 76630S-1.
- [10] Ma Bin, Liang Pingzhi, Si Junjie, et al. An improved CMOS-compatible bulk-silicon-micromachined micro emitter for dynamic infrared scene projector [C]//IEEE, 1-4244-0161-5/06.
- [11] Malyutenko V K, Malyutenko O Y. Single-layer SiGe infrared wide-band microemitter arrays by MEMS technology

- [C]//SPIE, 2009, 7318:73181F-1.
- [12] Canteya T, Beasley B, Buford J. Hybrid infrared scene projector (HIRSP): a high dynamic range infrared scene projector[C]//SPIE, 2007, 6544: 654409-1.
- [13] Canteya T M, Bowdena M, Cosby D, et al. Hybrid infrared scene projector (HIRSP): A high dynamic range infrared scene projector[C]//SPIE, 2008, 6942: 69420J-1.
- [14] Beasley D B, Saylor D A. Application of multiple IR projector technologies for AMCOM HWIL simulations [C]//SPIE, 1999, 3697: 223-231.
- [15] Ginn R, Solomon S. Visible/UV image projector for sensor testing[C]//SPIE, 2006, 6208: 62080O-1.

## 下期预览

# 退火对 Zn 扩散的影响及其在 InGaAs 探测器中的应用

邓洪海<sup>1,2,4</sup> 魏 鹏<sup>1,2,4</sup> 朱耀明<sup>1,2,4</sup> 李 淘<sup>1,2</sup> 夏 辉<sup>3,4</sup> 邵秀梅<sup>1,2</sup> 李 雪<sup>1,2</sup> 缪国庆<sup>5</sup> 张永刚<sup>6</sup> 龚海梅<sup>1,2</sup>

- (1. 中国科学院上海技术物理研究所 传感技术国家重点实验室, 上海 200083 ;
2. 中国科学院上海技术物理研究所 中国科学院红外成像材料与器件重点实验室, 上海 200083 ;
3. 中国科学院上海技术物理研究所 红外物理国家重点实验室, 上海 200083 ;
4. 中国科学院研究生院, 北京 100049 ;
5. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 激发态物理重点实验室, 吉林 长春 130033 ;
6. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所 信息功能材料国家重点实验室, 上海 200050)

**摘 要:** 采用闭管扩散方式, 对不同结构的异质结外延材料  $\text{In}_{0.81}\text{Al}_{0.19}\text{As}/\text{In}_{0.81}\text{Ga}_{0.19}\text{As}$ 、 $\text{InAs}_{0.6}\text{P}_{0.4}/\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 、 $\text{InP}/\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  实现了 Zn 元素的 P 型掺杂, 采用扫描电容显微技术 (SCM) 和二次离子质谱 (SIMS) 研究了在芯片制备中高温快速热退火 (RTP) 处理环节对 p-n 结结深的影响。结果表明: 由于在这 3 种异质结外延材料中掺杂的 Zn 元素并未完全激活, 导致扩散深度明显大于 p-n 结结深; 高温快速热退火处理并不会显著影响结深的变化, 扩散完成后的 p-n 结深度可以近似为器件最终的 p-n 结结深; 计算了 530 °C 下 Zn 在  $\text{In}_{0.81}\text{Al}_{0.19}\text{As}$ 、 $\text{InAs}_{0.6}\text{P}_{0.4}$ 、InP 中的扩散系数  $D$  分别为  $1.327 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $1.341 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 $1.067 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。