

〈微光技术〉

微光像增强器与大尺寸 CMOS 的直接耦合

高天阳¹, 曹峰梅¹, 王霞¹, 崔志刚²

(1. 北京理工大学 光电成像技术与系统教育部重点实验室, 北京 100081; 2. 中国通用技术研究院, 北京 100091)

摘要: 通过将直径为 40 mm 的像增强器与全画幅尺寸 CMOS 直接耦合, 对大尺寸直耦工艺进行了研究。针对使用透镜耦合制成的大尺寸 ICCD/ICMOS 体积大、光能损失大以及光锥耦合的器件莫尔条纹较多等问题提出采用直接耦合的工艺制作 ICCD/ICMOS。文中研制的大尺寸 ICMOS 可获取更大视场内的信息, 整机分辨率可达 3800×1900 LW/PH, 画面清晰, 无明显莫尔条纹, 结构紧凑, 整机仅为手持数码相机大小, 隐蔽性强, 有利于在复杂环境中更准确、快速地获取目标信息。

关键词: 直接耦合; ICMOS; 光锥耦合; 微光增强

中图分类号: TN223, TN206 文献标志码: A 文章编号: 1001-8891(2021)06-0537-06

Direct Coupling of Low Light Image Intensifier with Large Size CMOS

GAO Tianyang¹, CAO Fengmei¹, WANG Xia¹, CUI Zhigang²

(1. Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System, Ministry of Education of China, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. China General Technology Research Institute, Beijing 100091, China)

Abstract: The large size direct coupling technology was studied by coupling a 40 mm diameter image intensifier with a full-frame CMOS. To solve the problems of large-size ICCD/ICMOS made by lens coupling, such as large volume, large light energy loss, and large number of moiré fringes in optical cone coupling devices, a direct coupling process is proposed to make ICCD/ICMOS. The large-size ICMOS developed in this study can obtain more information in the field of view. The resolution of the entire device is up to 3600×1800, the picture is clear, there is no obvious moiré fringe, and the structure is compact. The entire device has the size of a handheld digital camera and has strong concealability, which is conducive to obtaining target information more accurately and quickly in a complex environment.

Keywords: direct coupling, ICMOS, light cone coupling, low light level enhancement

0 引言

ICCD/ICMOS (intensified CCD/CMOS) 是由像增强器与 CCD/CMOS 耦合组成的, 集成了微光直视成像器件的高灵敏度和电视成像器件的摄像功能的微光夜视摄像器件, 具有体积小、重量轻、成像速度快等特点^[1]。根据 Liouville 理论, 任何缩小的光学系统在从大端面向小端面传输的过程中都会伴随着能量的损失^[2], 通过将像增强器与大尺寸 CCD/CMOS 耦合获得的 ICCD/ICMOS 可以获取更多的能量。

CCD/CMOS 虽然在读取信号的方式上有所不同, 但是两者在像敏元阵列结构上比较接近, 文中仅涉及

像元排列方式, 因此 ICMOS 制作工艺及流程同样适用于 ICCD, 文中将 40 mm 口径高清晰度的像增强器与大尺寸 CMOS 直接耦合, 研究了实现系统的工艺流程, 制作并完成了大尺寸微光摄像系统。

1 像增强器与 CMOS 耦合方式

随着模拟/数字视频 CCD 和 CMOS 成像技术的发展, 像增强器与 CCD/CMOS 结合的 ICCD/ICMOS 是目前发展迅速、应用广泛、工作照度最低的微光视频器件模式, 是当前微光视频器件的主流模式, 特别是高速电子快门选通成像模式更是目前固体微光视频器件难以匹敌的领域^[3]。像增强器与 CCD/CMOS 耦

收稿日期: 2020-09-14; 修订日期: 2020-10-25.

作者简介: 高天阳 (1996-), 男, 河北廊坊人, 硕士, 主要从事微光夜视、图像处理方面的研究工作。E-mail: xiuchuan1115@foxmail.com.

通信作者: 崔志刚 (1967-), 男, 河北石家庄人, 研究员, 博士, 主要从事微光夜视光锥耦合等方面的研究工作。E-mail: forest508@163.com.

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019QY0902)。

合通常有两种形式：①采用中继透镜将像增强器输出画面成像到 CCD/CMOS 上，这种方法的优点是容易对焦，但光能利用率一般小于 10%，且仪器体积大，成像质量不佳^[4]；②通过光纤光锥或者光纤面板将像增强器输出窗与 CCD/CMOS 感光面连接，将像增强器的信号无畸变的传输至 CCD/CMOS 感光面，其光能传输效率达到 70%，且图像信噪比高，形成的设备集成度高、体积小、重量轻^[5]，是目前最常见的耦合方式。

像增强器输出窗的尺寸往往大于普通的 CCD/CMOS 芯片的感光面，故而光锥耦合过程中，使用光锥的小端与 CCD/CMOS 芯片除窗后的感光面贴合，大端则贴合像增强器的输出窗，这种耦合方式是 3 个分布频率不同的离散型器件直接贴合，每一个贴合面，在一定频率下均会导致莫尔条纹的产生，形成固定的图像纹理，同时在器件贴合时也容易产生干涉条纹，这些都会影响画面成像质量^[6](如图 1 所示)。目前 CCD/CMOS 向着大面阵的方向发展，使得直接耦合成为了可能。本文所用的方法为舍去光锥或光纤面板，将像增强器的输出窗直接与 CMOS 芯片的感光

面耦合。目前，国外仅有德国的 ProxVision GmbH 公司宣布可以提供像增强器直耦 CCD/CMOS 芯片的感光面的 ICCD/ICMOS 技术^[7]，而事实上目前在国内外市场上仍无法得到直耦的 ICCD/ICMOS 实际产品和相关技术。图 2 为 3 种耦合方式示意图。

直接耦合作为一种新的耦合方式，直耦工艺因减少了光纤面板(或光锥)的使用，相当于减少了一次光能的损耗，并且减少了一个耦合面，因此，直耦可以减少莫尔条纹的出现。同时，直接耦合可以获得更高的增益，也减轻了系统的体积与质量，使其携带更加轻便。

但直接耦合目前没有成熟的工艺，相比于光锥耦合时可通过观察光锥大端的传光结果，来调整光锥落在芯片上的位置，直接耦合时，由于像增强器是非透明器件，无法直接观察是否与 CMOS 芯片对正，需要在 CCD/CMOS 开机的状态下通过摄像画面的显示来判断像增强器是否对正，这种不直观的观察不易判断耦合面之间是否对正，因此操作难度更大，应用尚不广泛。



(a) 耦合时产生的莫尔条纹以及干涉条纹图像

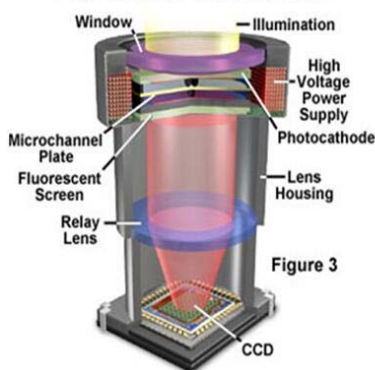
(b) 实际拍摄图像中的莫尔条纹

(a) Image of moire fringes and interference fringes in coupling (b) Moire fringes in actual photographed image

图 1 光锥耦合 ICCD/ICMOS 成像系统中的莫尔条纹以及干涉条纹

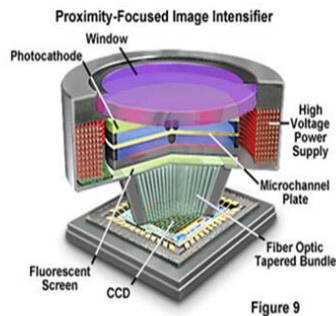
Fig.1 Moire fringes and interference fringes in ICCD/ICMOS fiber optic taper coupling imaging systems

Image Intensifier with Relay Lens



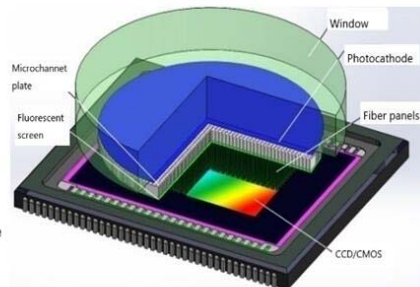
(a) 透镜耦合示意图

(a) Schematic diagram of lens coupling



(b) 光锥耦合示意图

(b) Schematic diagram of fiber optic taper coupling



(c) 直接耦合示意图

(c) Schematic diagram of direct coupling

图 2 像增强器与 CCD/CMOS 耦合方式示意图

Fig.2 Schematic diagram of coupling mode between image intensifier and CCD/CMOS

2 直接耦合工艺流程

2.1 耦合器件的主要参数

为实现大尺寸直耦,文中设计的微光成像系统所使用的相机为LUMIX S1,其芯片尺寸为全画幅;为覆盖整个感光面,像增强器选用北方夜视公司生产的40 mm像增强器,表1为耦合器件的主要参数。

表1 耦合器件的主要参数

Table 1 The main parameters of the coupler	
Main parameters of CMOS	
Chip size	Silent frame (35.6 mm×23.8 mm)
Effective pixels	24 million
Video-capture	4K/60P,50P
Main parameters of image intensifier	
Screen diameter	40 mm
Radiation sensitivity(2856K)	790 mA/W
Signal noise ratio	23
Central resolution	60 lp/mm
Luminance gain	9782 cd/m ² /lx
Maximum output brightness	6.4 cd/m ²
Equivalent background brightness	1.4×10 ⁻⁹ lx

2.2 CMOS保护窗的去除

CMOS是一个精密的器件,为保护感光面以及边缘引线,CMOS表面会有一层保护玻璃。但是在耦合时,像增强器需要与像面紧密接触,如果存在保护玻璃会导致荧光屏输出光线在CMOS与保护玻璃之间来回反射,严重影响成像质量^[8],因此需要拆除保护玻璃。

目前较为常用的拆除保护玻璃的方法有以下几种:①加热法,通过热吹风加热光学胶使其融化以取下保护玻璃,这种方法不易产生细小碎屑而损伤像面,但是有时光学胶融化需要较高的温度,不可避免地会同时加热CMOS其他部分,而高温可能导致CMOS的损坏;②机械去除法,即采用工具将保护玻璃拆除,这种方法虽然不会由于温度过高而损坏CMOS,但是在切割过程中产生的碎屑很容易落在感光面上造成划伤。本文利用激光高功率的特性,仅照射保护玻璃与CMOS连接部分的光学胶,使光学胶碳化失去粘性,从而取下光学玻璃,图3为激光拆除保护玻璃的过程图,这种方法可以避免温度过高损坏CMOS,在拆除的过程中也不易产生碎屑。但要注意的是,在激光照射时需要保护好像面以及CMOS边缘电路,只照射胶体;在照射过程中要保证由外向内进行,因为照射过程会导致胶体汽化,汽化胶如果附着

在像面上会导致清洁像面时风险变大。

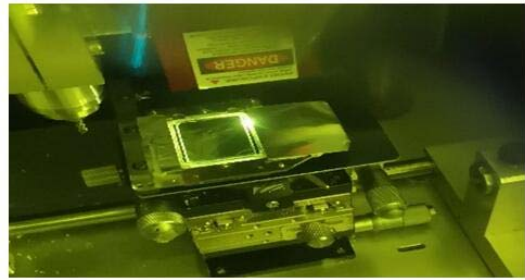


图3 CMOS的激光开窗

Fig.3 CMOS laser windowing

2.3 像增强器处理

由于像增强器的输出窗是圆形,无法与CMOS表面紧密贴合,因此像增强器的输出窗需要打磨至合适的尺寸。打磨时应注意荧光屏输出窗光纤面板中光纤的排列方向,在耦合角度为15°、45°、75°的时候,莫尔条纹对图像质量影响最小^[9]。因为CMOS的像素是矩形排列,而像增强器则是由多个六边形的单元组合而成,因此在打磨像增强器时可通过控制打磨方向来控制像增强器与CMOS之间的角度。通过在显微镜下观察像增强器的单元排列方式,45°相较于其他角度更容易控制,因此可在像增强器荧光屏表面做一条辅助线,在后期可沿这条线进行打磨,如图4所示。将圆形的荧光屏打磨成方形,打磨后的大小应保证大于CMOS实际感光面积,但小于CMOS整个感光面,这样可以保证CMOS感光面被充满,同时保证CMOS边缘引线不受像增强器的挤压而损坏。图5为像增强器实物图以及打磨过程图。

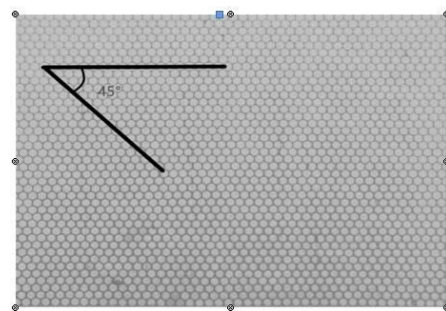
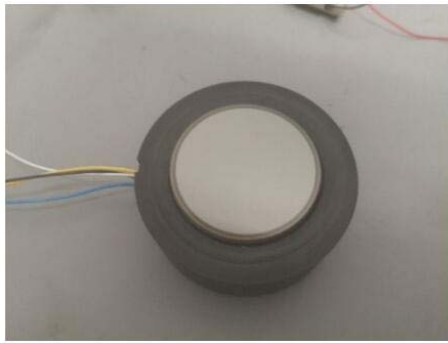


图4 像增强器荧光屏微观图

Fig.4 Microscopic view of image intensifier screen

2.4 像增强器与CMOS耦合

耦合环境要求清洁度优于万级,无灰尘,防止耦合面进入细小杂物,影响像质。耦合前需要清理CMOS像面与像增强器荧光屏,用脱脂棉蘸取少量酒精轻轻擦拭,防止损伤。因像增强器是非透明器件,因此需要CMOS相机处在开机状态下耦合,通过观察输出视频画面调整像增强器的位置。图6为直耦器件实物图。



(a) 像增强器实物图



(b) 像增强器打磨过程图

(a) Photo of image intensifier (b) Polishing process diagram of polished image intensifier

图5 像增强器实物图与打磨过程图

Fig.5 Photo and polishing process diagram of image intensifier



图6 直耦器件实物图

Fig.6 Photo of direct coupled device

耦合时采用盲贴合对准的方式,耦合角度为45°,确保耦合的准确性。在耦合面之间添加耦合液可以进一步提高成像质量。

3 微光夜视相机

由于增加了像增强器,因此需要对相机结构进行改动。考虑相机的法兰距等因素重新设计镜头卡口截圈,该截圈同时可以支撑像增强器,防止耦合面开裂。截圈如图7所示,整机如图8所示,如图可见,直耦工艺极大地减小了整机的体积。

3.1 微光夜视系统的性能测试与分析

分辨力是成像器件的重要参数之一,指成像器件或系统对物像中明暗细节的分辨能力。像增强器的分辨力用每毫米内可分辨的最多线对数表示,ICMOS成像系统的分辨力用电视线(TV line, TVL)表示,电视线通常用每帧图像高度内的电视线数表示^[10]。TVL可由线宽每图像高度(LW/PH)表征。实验在暗室中进行,在 10^{-3} lx的环境中,通过拍摄ISO 12233分辨率测试标准板测试ICMOS整机的分辨力,如图9所示。图10为帧图像平均后所得,减小了随机噪声的干扰,

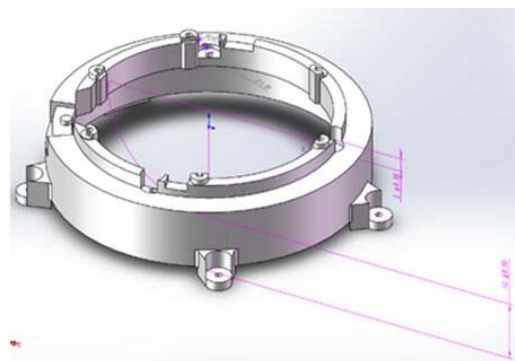


图7 镜头卡口截圈示意图

Fig.7 Schematic diagram of lens mount



图8 微光夜视相机整机图

Fig.8 Photo of low light night vision camera

3.2 直耦微光摄像系统的优势

通过直耦全画幅尺寸CMOS与大尺寸像增强器,摄像系统具有更大的视场以及更高的清晰度。在同样的条件下,本文制作的微光夜视设备可获取更多的图像信息,如图11所示,由图可见,画面清晰,莫尔条纹少。

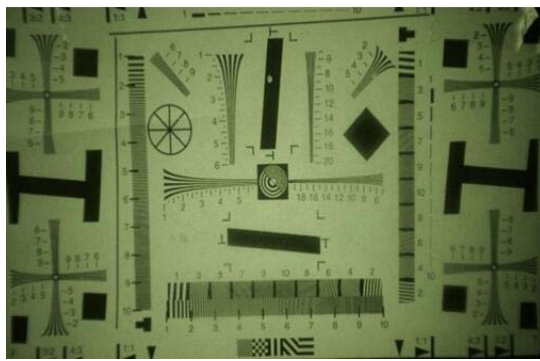
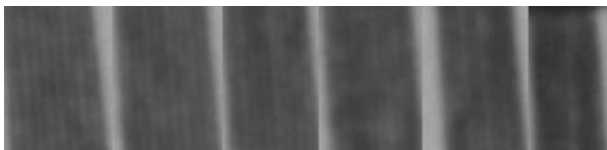


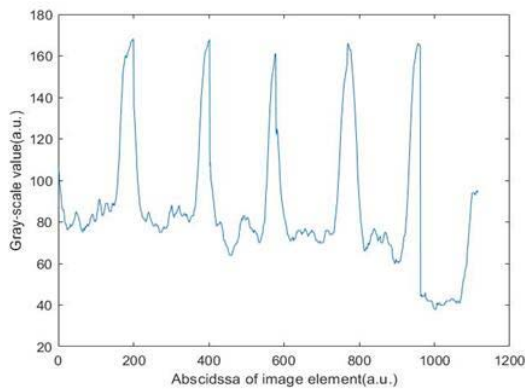
图 9 微光夜视器件的分辨力测试图像

Fig.9 Resolution test image of LLL night vision device



(a) 分辨力测试图像

(a) Resolution test image



(b) 行平均灰度曲线

(b) Gray levels of average rows

图 10 整机分辨力测试图像

Fig.10 Resolution test image of whole device

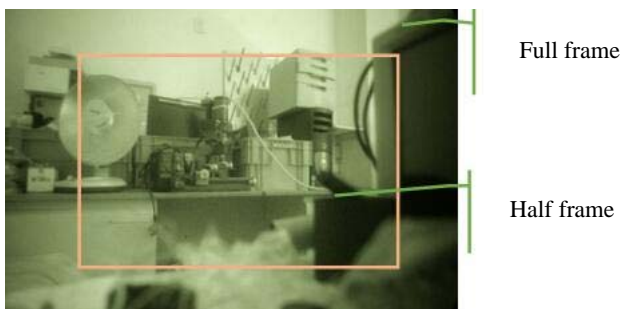


图 11 全画幅与半画幅拍摄画面对比

Fig.11 Full frame and half frame photo contrast

4 结论

本文通过直接耦合像增强器与全画幅尺寸 CMOS,

获得了大尺寸的微光摄像系统, 实验结果表明:

1) 通过运用直接耦合的方式可以有效减少莫尔条纹以及干涉条纹对图像质量的影响;

2) 采用全画幅尺寸 CMOS 与 40 mm 像增强器研制的 IC MOS 相比于小画幅尺寸制成的器件具有更大视场, 可获取更多信息;

3) 文中研制的微光夜视系统分辨率可达 3800×1900 LW/HP, 可以在复杂环境中更准确地获取信息。

进一步可在本系统中增加 5 ns 门控电源, 实现手持选通相机, 在水下探测、透窗透雾识别等领域有着更多应用。直接耦合不同的像增强器所获得的 ICCD/ICMOS 可以应用在不同场所, 例如通过耦合 X 射线像增强器可以应用于医学成像和无损鉴定等领域, 耦合紫外像增强器则可用于高压电路检测以及雪地伪装识别等。直接耦合可以耦合不同的器件以实现不同的功能, 例如将偏振片阵列与 CCD/CMOS 实现像素级对准从而获取像素偏振 CCD/CMOS, 将微透镜与 CCD/CMOS 实现像素级对准则可获得光场相机等。

参考文献:

[1] 白廷柱. 光电成像技术与系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2016.
BAI Tingzhu. *Photoelectric Imaging Technology and System*[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2016.

[2] PROXITRONIC Detector Systems GmbH. Image- intensifier- general- information[EB/OL][2011-07-21]. www.proxitronic.de.

[3] 金伟其, 陶禹, 石峰, 等. 微光视频器件及其技术的进展[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(11): 3167-3176.
JIN Weiqi, TAO Yu, SHI Feng, et al. Progress of low-light video device and its technology[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(11): 3167-3176.

[4] 王红球. 用于生物探测的制冷型 ICCD 系统[D]. 北京: 清华大学, 2007.
WANG Hongqiu. Refrigerated ICCD System for Biological Detection[D]. Beijing: Tsinghua University, 2007.

[5] 闫晓梅, 王志社. 基于光锥耦合的 X 射线像增强器[J]. 光学学报, 2010(5): 1478-1482.
YAN Xiaomei, WANG Zhishe. X-ray image intensifier based on optical cone coupling [J]. *Acta Opticasinica*, 2010(5): 1478-1482.

[6] 崔志刚. ICCD 光锥耦合技术研究及性能分析[D]. 北京: 北京理工大学, 2008.
CUI Zhigang. Research and Performance Analysis of Optical Cone Coupling Technology of ICCD[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2008.

[7] PROXITRONIC Detector Systems GmbH. Intensified CCDs with Direct

- Fiber Optical Coupling[EB/OL] [2011-07-21]. www.proxitronic.de.
- [8] 朱广亮. ICCD 系统耦合工艺研究与结构设计[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
- ZHU Guangliang. Research and Structure Design of ICCD System Coupling Process[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2016.
- [9] 张宇. ICCD/ICMOS 莫尔效应及其影响研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2018.
- ZHANG Yu. Study on ICCD/ICMOS Mohr Effect and its Influence[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2018.
- [10] 俞斯乐, 郭福云, 李桂苓, 等. 电视原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984.
- YU Sile, GUO Fuyun, LI Guiling, et al. *Television Principles*[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1984.

全国第十八届红外加热暨红外医学发展研讨会 征文通知（第一轮）

由中国光学学会红外与光电器件专业委员会、中国光学光电子行业协会红外分会、国家红外及工业电热产品质量监督检验中心、中国机械工程学会工业炉分会、锦州市光学学会、云南省光学学会、中国电子学会量子电子学与光电子学分会、中国电工技术学会电热专业委员会联合主办,《红外技术》编辑部、《工业加热》编辑部等协办的全国第十八届红外加热暨红外医学发展研讨会,拟定于2021年11月下旬召开,会议地点暂定广东省广州市或福建省厦门市。

本届会议主要反映与交流近年来,红外加热技术及红外医学领域的新成果和新进展。会议重视学术交流的质量与成效,扩展各学科及技术领域之间的信息交流,最大限度地推动红外加热与红外医学技术创新、应用研究及产业化。为此,在开展正常学术交流的同时,本届会议将同步举办相关的行业信息交流与新产品展示;并就广大企业普遍关注的专业技术问题,邀请国内红外光电领域的知名专家、学者到会做专题技术报告。热诚欢迎从事红外加热与红外医学研究及工程应用的科研人员、医疗专家踊跃投稿并参会!大会学术委员会届时将评选会议优秀论文,并推荐到《红外技术》和《工业加热》期刊发表。

一、应征论文范围

1. 红外加热与红外医疗保健技术在国民经济中地位、作用及发展前景的综述、评论;
2. 红外辐射与物质、人体相互作用,红外加热及红外医疗保健理论与机理的研究;
3. 红外加热元件、红外辐射涂料的新成果、新工艺及相关技术研究;
4. 各种红外加热装置的优化设计与制造及应用实例剖析;
5. 红外加热检测技术、物质的红外光谱及相关技术研究;
6. 红外加热技术在节能减排方面的研究成果;
7. 红外医疗(包括红外热像诊断、红外辐射治疗及红外康复保健)新仪器、新材料、新技术、新成果及国内外发展动向;
8. 红外医疗保健的临床理论研究、临床应用研究,包括在新冠肺炎预防治疗中的应用研究;
9. 红外辐射加热技术在清洁能源建筑供暖领域的应用研究;
10. 红外加热技术与红外保健产品在日常生活领域的应用研究;
11. 相关的红外激光、太赫兹、微波、毫米波研究与应用。

二、征文截止时间:2021年10月10日。请将论文全文的电子文档发送到 E-mail: 1171288057@qq.com 或 zengyu18@sina.com; 或寄到: 国家红外及工业电热产品质量监督检验中心(邮政编码: 430048)曾宇教授收。并请作者注明详细通讯地址、工作单位及职务、职称和邮政编码。

三、经审稿录用的论文及论文摘要集,将由《红外技术》编辑部、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社编辑出版。

四、会议筹备组的通信地址: 武汉市东西湖区金银湖东二路5号,国家红外及工业电热产品质量监督检验中心(邮政编码: 430048);

联系人: 曾宇、吴迪、卢子忱;

电话: 13618650428, 18672970801, 13802568720;

传真: 027-85795691;

E-mail: 1171288057@qq.com, zengyu18@sina.com。

全国第十八届红外加热暨红外医学发展研讨会筹备组

2021年6月