P44 真空激光焊接技术
P54 盘点MEMS产业前行之路
P62 2019年AR企业生存图谱

中国光电

王大珩

CHINA OPTOELECTRONICS MAGAZINE 2019年第4期/总第97期

随光前行

P06

第21届中国光博会
展后报告

更多资讯尽在

杂志官方微信公众号

CIOE 中国光博会旗下综合媒体平台 WWW.CIOE.CN | MAGAZINE.CIOE.CN

CIOE
中国国际光电博览会
CHINA INTERNATIONAL
OPTOELECTRONIC
EXPO

第 22 届
中国国际光电博览会

CIOE 2020

2020年9月9-11日

深圳国际会展中心（宝安新馆）

- 信息通信展 Information and Communication Expo
- 精密光学展 镜头及摄像模组展 Precision Optics, Lens & Camera Module Expo
- 激光技术及智能制造展 Lasers Technology & Intelligent Manufacturing Expo
- 红外技术及应用展 Infrared Applications Expo
- 光电传感展 Optoelectronic Sensor Expo
- 光电子创新展 Photonics Innovation Expo

同期论坛

中国国际光电高峰论坛 CHINA INTERNATIONAL OPTOELECTRONIC CONFERENCE

160,000M² 展出面积
85,000+ 专业观众
3,000+ 参展企业
预计

中国光电 随光前行

在即将进入 21 世纪的第二十个年头，光电产业和应用伴随光电子技术，以超出预期的速度继续前行。今年九月 CIOE 中国光博会在深圳圆满举办，观众人数增长了 15.2% 达到了 78709 名，深耕行业 21 年的中国光博会一直是光电产业的晴雨表，从参观观众的行业来分析，观众都来自于应用领域，可见光电技术的发展在应用领域方面越来越受关注。从大家关注的热点也可以看到接下来行业的更多发展趋势：

以光代电，硅光子技术持续突破

在信息光电子领域，互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合，2019 年 5G 商业化为标志，以更大带宽、更高速率、更低延时，以及面向万物互联应用场景为基础，推动光电子器件的高速、低功耗、低成本，同时为 25G/50G/100G/200G/400 高速光器件和模块、波长可调激光器、可调滤波器和 CWDM/WDM 器件提供了数千万级的市场规模和数亿芯公里的光纤市场。云计算、人工智能和大数据三位一体成为趋势，数据中心作为其基础设施将带动光互联和高速光模块的大量需求，并推动器件的小型化、集成化，人们对硅光电子集成寄予厚望。

VCSEL 激光器在应用领域高歌猛进

VCSEL 半导体激光器从光通信进入消费电子领域，广泛应用在 3D 成像、智能手机人脸识别、无人机避障、VR/AR、扫地机器人、家用摄像头、物联网、数据中心 / 云计算、自动驾驶等领域，潜在市场达数百亿美元。

人工智能与光学技术深度融合带来应用市场创新发展

耳熟能详的光学镜头或摄像模组通过其高分辨率、多镜头、3D 传感、10 倍变焦、人工智能等技术的整合在改变人们生活的同时，也在改变整个光学产业的格局。晶圆级光学元件 WLO 加工技术作为先进制造的组成部分和热点，将大大促进智能移动终端微纳光学核心元件发展，特别是 3D 成像模组发射端的 DOE 衍射光学元件和晶圆级光学元件，对实现微型化光电系统集成意义非同凡响，广泛应用于 3D 视觉识别、智能驾驶、智能安防等领域。

红外产品成本下降，更多新兴市场将逐步打开

红外技术越来越成熟，红外产品性能将更稳定，而成本将随之下降，应用领域不再局限于工业，健康领域、社区监控、教育监控等新兴市场将逐步打开。

光电子产业市场不断在增加，尤其是物联网、手机、智能穿戴、人工智能、生物医疗等方面的市场需求日益明显，与日俱增的市场需求对光电器件、材料、设备提出了更高的要求，这也是光电子技术发展的最好的机遇。

中国光学学会常务理事
《中国光电》 杂志总编

CONTENTS | 目录

特别关注 Special Focus

P06 / 第 21 届中国光博会展后报告

P08 / 展会概览

P09 / VIP 特邀买家服务

P10 / 数据及分析

P14 / 同期论坛

P17 / 整年度线上线下全面营销平台

光电与时代同行 Contemporary Players

P22 / 先进的光电技术和设备的领跑者
——访长春奥普光电技术股份有限公司高劲松总经理

行业发展面临着整体升级的需求和挑战，智能化将成为发展趋势，这就要求企业要加大创新投入，保持不断创新的活力，加速技术升级，确保核心技术技术自主可控，共同繁荣市场的发展。

P24 / 量子技术：大显身手颠覆未来
——访莱普利南京科技有限公司首席科学家王钊

当前，量子计算研究进入爆发期，并开始出现了实际应用。近期《中国光电》记者采访到了莱普利光电科技首席科学家王钊博士，和他就相关问题进行讨论。

P26 / CIOE 专访：Yole Développement 资深分析师 Eric Mounier 博士

Eric Mounier 博士是 Yole D é veloppement(Yole) 的资深分析师，在半导体行业有超过 25 年的工作经验。他日复一日针对半导体当前和未来的趋势、市场和创新技术（如量子计算、硅光子、新传感技术、新型传感器等）提出深入的见解。

P32 / CIOE 专访：IEEE Photonics Society 主席 Chennupati

我认为在接下来的 3–5 年中，会看到量子技术蓬勃发展，量子技术正被热烈研发，而且各种公司已开始了相互竞争。量子通信、量子计算、量子感测、量子计量等应用将会非常广泛。中国是该领域的主要参与者。

学术 Academia

P38 / 基于脉冲幅度调制的两发一收可见光通信系统

本文研究了基于脉冲幅度调制 (PAM) 的 MISO 可见光通信系统，并通过实验证明该系统在特定场景中的运用优势。

P44 / 真空激光焊接技术研究现状与展望

本文首要概述环境压力变化对激光焊缝熔深，焊缝表面成形及气孔等缺陷的影响规律，从焊接过程等离子体羽辉及匙孔、熔池的动态行为特性方面总结国内外学者有关真空激光焊接机理的研究成果，并介绍了真空焊接技术在工业领域的应用情况，最后对目前已报道的研究中存在的问题进行分析并对真空焊接技术的发展前景进行展望。

CIOE 直通车 CIOE News

P52 / CIOE 组委会拜访专家委员会委员

为了使中国国际光电高峰论坛在光电行业更具专业化、国际化、权威性，也为了更好服务于中国国际光电博览会数千家光电企业，促进我国光电产业进一步的发展，增进企业、学术、科研院所与政府部门之间的沟通交流，中国国际光电博览会特别成立专家委员会服务于光电产业各界。

业界 Industry

P54 / 高科技的幕后英雄——盘点 MEMS 产业前行之路

本文梳理了 MEMS 概念与分类、技术优势、应用领域及市场格局，探讨了 MEMS 产业链现状和特点，分析了产业发展机遇与趋势，并对我国如何实现产业升级提出了建议。

应用 Applications

P58 / 智能驾驶车载激光雷达关键技术与应用算法

本文将围绕车载激光雷达关键技术，特别是以扫描方式的变革为核心进行重点阐述，分析现有激光雷达扫描技术的类型、实现方法及发展趋势；总结现有车载激光雷达应用算法的发展以及由基础算法的集成衍生出的前沿热门技术。

P62 / 万字深度考察！2019 年增强现实 AR 企业生存图谱

随着 5G 的兴起，AR 又重新进入人们的视野，可是 AR 到底能够做什么，现在发展到了什么程度，现在是进入 AR 行业好的时机吗？

主办 /Sponsors
中国科学技术协会
China Association for Science and Technology
中国国际光电博览会
China International Optoelectronic Exposition

协办 /Co-Sponsors
中国科学院
Chinese Academy of Sciences
中国光学学会（下属 22 个专业委员会）
Chinese Optical Society
中国电子商会
China Electronic Chamber of Commerce
中国国际科技交流中心
China International Science and Technology Exchange Center
中国科学院光电研究院
Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences
中国电子科技集团公司
China Electronics Technology Group Corporation
中国兵器工业集团公司
China North Industries Group Corporation
中国国科光电科技集团公司
GK Opto-Electronics Co., Ltd
武汉光电国家研究中心
Wuhan Optoelectronic National Research Center
广东省光学学会
Guangdong Optical Society
深圳市光学学会
Shenzhen Optical Society
深圳贺戎博闻展览有限公司
Shenzhen UBM Herong Exhibition Co., Ltd.

总编 /Editor-in-Chief
阳子 Yang Zi

主编 /Chief Editor
王雅娴 Wang Yaxian

编辑 /Editors
于占涛 Yu Zhantao
李丹青 Achin

美术编辑 /Art Editor
林兆欣 Zhaoxin Lin

摄影记者 /Photographer
红瓤子 Hong

网络编辑 /Website Editor
王廷羽 Candice Wang

广告及赞助 /Advertisement
邓璐 Lisa

发行 /Publisher
李洁 Li Jie

地址 /Address
中国广东省深圳市南山区海德三道海岸大厦东座 607 室
Room 607, East Block, Coastal Building, Haide 3rd Road, Nanshan District, Shenzhen, Guangdong Province, P.R. China

邮编 /P.C.
518054

电话 /Tel.
（0755）86290901

传真 /Fax.
（0755）88242599

电邮 /E-Mail
yaxian.wang@cioe.cn

网址 /Website
http://www.cioe.cn magazine.cioe.cn

微信公众号 /Wechat Public Account
CHINAOPTO

第 21 届中国光博会
展后报告

目录

P08 **展会概览**
启用深圳会展中心全部展馆，展会同期共设【光通信展】、【激光技术及智能制造展】、【红外技术及应用展】、【精密光学展镜头及摄像模组展】、【光电传感展】、【光电子创新展】等六大主题展，是聚焦光电行业热点技术、展望行业新发展的综合性平台。

P09 **VIP 特邀买家服务**
涵盖观众满意度、海外观众来源、观众九大应用领域行业、观众关注或采购的产品类别、组团观众等数据分析以及专业观众寄语；展商数量、展商满意度以及部分展商寄语。

P10 **数据及分析**
涵盖观众满意度、海外观众来源、观众九大应用领域行业、观众关注或采购的产品类别、组团观众等数据分析以及专业观众寄语；展商数量、展商满意度以及部分展商寄语。

P14 **同期论坛**
同期举办的中国国际光电高峰论坛，致力于为光电行业及光电应用领域人士提供深度交流、行业探讨的沟通平台。围绕学术、产业、应用会议方向，共计举办了 68 场专题会议，带来了超过 800 场演讲场次，其中 12 项专题会议提供同声传译服务，吸引了来自海内外 13700 多名专业人士听会及现场交流。为企业布局未来提供了更多强有力的可持续发展支撑。

P17 **整年度线上线下全面营销平台**
通过线上线下多渠道整合，利用互联网思维更好结合传统媒体及新媒体，助力企业市场拓展、品牌 推广，为您的业务创造更多新价值。

二十一年深耕光电行业，聚焦光电应用，助力产业互联

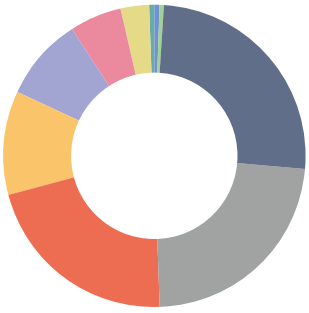
第 21 届中国国际光电博览会（简称：CIOE 中国光博会）伴随着国内外参展商和买家的声声赞誉，于 2019 年 9 月 7 日在深圳会展中心圆满落幕。展会同期共设【光通信展】、【激光技术及智能制造展】、【红外技术及应用展】、【精密光学展镜头及摄像模组展】、【光电传感展】、【光电子创新展】等六大主题展，是聚焦光电行业热点技术、展望行业新发展的综合性平台。

深耕光电行业 21 年，CIOE 中国光博会现已发展成为全球极具规模及影响力的光电行业盛会，2019 年**展会规模**、**参展企业**和**观众数量**等多项数据均创历史新高，各展台人头攒动，盛况空前。

78,709 名专业观众来自 *83* 个国家和地区，较上届增长了 *15.2%*

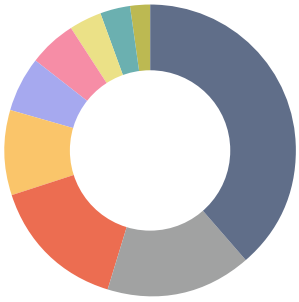
参观总人次达 *189,311*，较上届增长了 *15.3%*

海外观众数量呈现爆发式增长达 *3649* 人



观众企业性质

生产制造商	61.74%
服务提供商	12.02%
经销 / 分销 / 贸易 / 代理	11.27%
科研院所 / 高等院校	5.49%
工程商	3.12%
投融资机构	2.44%
协会 / 学会 / 商会 / 产业联盟	1.32%
政府部门	0.95%
媒体	0.83%
其他	0.82%

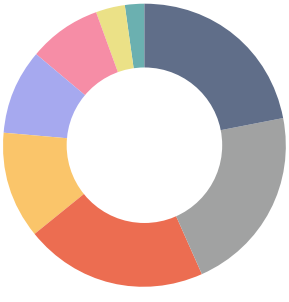


观众行业细分

光通信、信息处理 / 存储	39.87%
先进制造	17.53%
消费电子 / 娱乐	14.45%
半导体加工 / 制造	10.21%
传感及测试测量	6.25%
安防 / 国防	4.21%
医疗	3.35%
照明 / 显示	2.11%
能源	2.02%

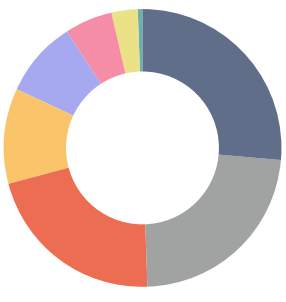
观众职位分析

企业高层管理	22.18%
采购 / 供应链管理	21.31%
设计 / 研发	20.86%
生产制造 / 工艺	11.72%
销售	9.11%
推广 / 市场	7.32%
品质 / 质量管理	6.42%
其他	1.08%



参观目的分析

了解市场信息	31.00%
寻求新产品 / 新技术信息	23.69%
产品采购	17.25%
寻求代理及合作机会	10.97%
维护 / 拓展业务关系	9.40%
参加研讨会	5.80%
为下届参展做准备	1.74%
其他	0.15%



VIP 特邀买家服务

为具有明确采购需求和采购计划的行业高层或专业人士精心搭建的贸易沟通平台，展前了解采购需求，推荐和匹配符合要求的展商和产品列表，展会现场为双方提供洽谈间及会议辅助，实现精准匹配。

推荐并安排超过 **350 家** 参展商

举行 **542 场** 采购对接与洽谈活动

现场到达 **1732 人** VIP 特邀买家

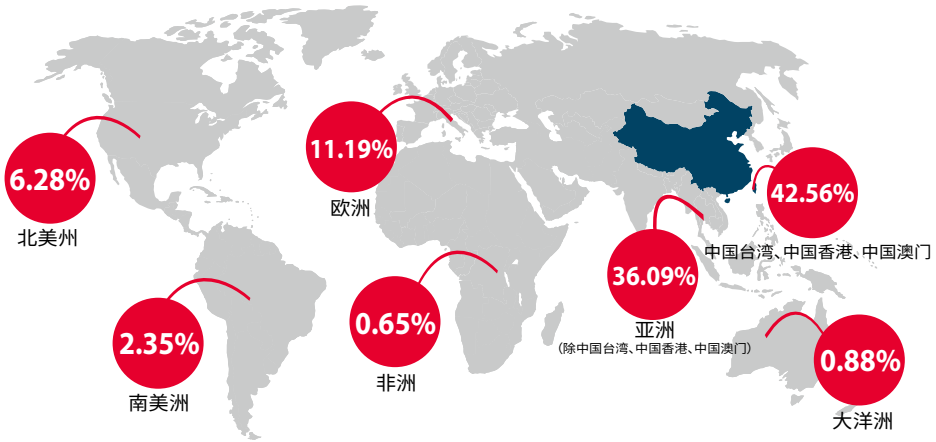
较上届增长 **142%**

观众来自 **83** 个国家和地区

3649 参观人数　**17,372** 观众人次

海外及港澳台参观人次排名前十地区

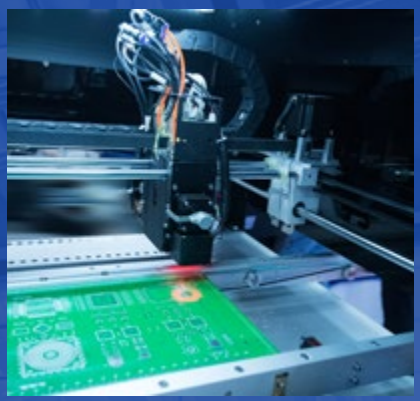
1. 中国香港	21.51%
2. 中国台湾	20.61%
3. 韩国	10.63%
4. 日本	8.30%
5. 美国	4.80%
6. 印度	4.08%
7. 俄罗斯	3.10%
8. 新加坡	2.66%
9. 德国	2.27%
10. 巴西	1.67%



海外及港澳台观众地区来源

海外买家逐步增长，
国际影响力不断扩大！

观众九大应用领域行业分析



观众九大应用领域行业分析

光通信、信息处理 / 存储

器件 / 模块	30.21%
设备商	19.05%
光纤光缆	16.35%
运营商	11.21%
互联网服务提供商	9.87%
系统集成 / 工程商	7.29%
材料 / 配件	5.63%
其他	0.39%

消费电子 / 娱乐

手机	22.70%
视听 / 数码电子产品	17.25%
汽车电子	16.42%
平板 / 电脑 / 周边	10.26%
AR/VR	8.76%
可穿戴产品	8.65%
家用电器	7.97%
机器人 / 无人机	7.10%
其他	0.89%

先进制造

光学材料及元件	22.76%
智能装备 / 机器人	16.26%
激光加工设备	13.27%
机器视觉	12.24%
光学加工装备	11.64%
汽车主机厂商	8.01%
工业激光器	7.21%
五金模具	5.67%
3D 打印	2.15%
其他	0.79%

医疗

生物医疗	42.19%
医疗影像	39.44%
美容 / 健康	16.65%
其他	1.72%

照明 / 显示

LED 封装 / 照明	48.63%
LED 显示屏	27.35%
触摸屏 / 平板显示	22.30%
其他	1.72%

传感及测试测量

测试测量仪器	43.50%
传感器	41.30%
物联网	13.87%
其他	1.33%

安防 / 国防

监控设备及系统	43.28%
红外产品	18.33%
航空 / 航天	18.24%
消防 / 警用	11.34%
海洋 / 船舶	7.33%
其他	1.48%

半导体加工 / 制造

半导体设备	24.14%
半导体材料	21.93%
芯片制造	19.80%
封装及测试	19.66%
电路设计	12.96%
其他	1.51%

能源

锂电池	27.85%
电力电网	25.98%
太阳能	19.74%
石油石化	14.34%
煤炭	10.74%
其他	1.35%

* 以上数据来源于 CIOE2019 观众数据

同期六展，观众关注或采购的产品

光通信展

光通信系统设备	21.32%
光通信器件（有源器件、无源器件）	19.17%
光纤光缆 / 光纤传感器	14.31%
光器件生产设备	11.47%
数据中心	10.73%
光测试仪器仪表	9.81%
云计算 / 大数据	7.14%
广电光传输设备	5.65%
其他	0.40%

光通信展·数据中心展区

云计算 & 大数据	33.23%
基础设施	25.40%
ICT 系统设备	20.22%
IDC	17.95%
其他	3.20%

精密光学展 & 镜头及摄像模组展

光学镜头及摄像模组	18.06%
光学材料	15.62%
光学元件	15.00%
光学成像测量及光学仪器	13.56%
光学镀膜技术及设备	11.66%
光学加工设备	11.56%
机器视觉系统及应用	9.32%
蓝宝石及触摸屏制造	4.44%
其他	0.78%

红外技术及应用展

红外材料与器件	34.75%
红外设备及应用	31.84%
太赫兹监测与成像	16.81%
紫外技术	14.46%
其他	2.14%

光电传感展

光电传感器	26.21%
激光雷达	25.83%
光纤传感器	20.13%
视觉传感（机器视觉）	19.79%
物联网	7.98%
其他	0.06%

激光技术及智能制造展

激光器	19.56%
激光设备	17.80%
激光组件及装置	16.20%
激光材料	15.92%
高端智能装备	12.11%
激光特种应用	10.23%
3D 打印 / 增材制造	7.57%
其他	0.61%

光电子创新展

光电芯片	13.86%
光电显示及模组	11.84%
人工智能	11.36%
物联网	11.11%
机器人	9.01%
医疗成像	8.24%
集成电路及集成光子	7.63%
生物光子	6.88%
健康光电子	5.45%
大数据及云计算	5.29%
智慧医疗及养老	4.88%
军民融合	3.77%
其他	0.68%

参观团：462 家

展会期间来自各个应用领域的协会及企业、科研院所高校等给予了大力支持，并组织了大量的终端用户参与。

部分组团参观企业名单（排名不分先后）

光通信、信息处理及储存	华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、上海诺基亚贝尔股份有限公司、广东南方电信规划咨询设计院有限公司、浪潮电子信息产业股份有限公司、日电（中国）有限公司
先进制造	比亚迪汽车工业有限公司、优必选科技股份有限公司、广汽研究院、东风日产、小马智行科技有限公司、大族激光科技产业集团股份有限公司
消费电子 / 娱乐	一加手机、维沃移动通信有限公司、深圳市传音控股有限公司、广东小天才科技有限公司、深圳航盛电子有限公司、深圳市汇顶科技股份有限公司、北京爱奇艺智能科技有限公司
安防 / 国防	深圳英飞拓科技股份有限公司、深圳市万佳安物联科技股份有限公司、深圳市景阳科技股份有限公司、浙江大立科技股份有限公司
半导体加工制造 / 能源	富士康科技集团、中兴微电子技术有限公司、Broadcom、广东先导先进材料股份有限公司、中国核动力研究设计院、深圳市比克动力电池有限公司、欣旺达电子股份有限公司
医疗	华大基因、深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司、深圳开立生物医疗科技股份有限公司、腾讯医疗健康 (深圳) 有限公司
照明显示	欧普照明电器（中山）有限公司、深圳雷曼光电科技股份有限公司、欧司朗企业管理有限公司
科研院所及高校	西南技术物理研究所、深圳大学、东莞理工学院电子工程与智能化学院、中山大学物理学院、南方科技大学

97.42%

观众对 2019 年展会总体表示满意或非常满意

95.56%

观众表示会继续参观 CIOE 中国光博会

97.42%

观众愿意向同事及行业伙伴推荐 CIOE 中国光博会

我们公司从事的是珠宝加工业务，在本届 CIOE 中国光博会上获得了很多新的见解和想法，这对我们的业务很有帮助，能帮助我们公司发展壮大。我们计划拓展公司的产品和产线，需要采购超快脉冲激光，纳米压印机，纳米金玻璃，激光直写光刻机，这次参观收获了很多。

——**GoldWay MFR 黄先生**

最近两年参观 CIOE 中国光博会 , 最大的感受是现场有非常多的针对医疗板块的内容展出，特别是光学展的展出产品对于内窥镜的研发设计帮助很大，期待下一届看到更多更优质的参展企业，也期待在新展馆看到更好的 CIOE 中国光博会！

——**深圳开立生物医疗科技股份有限公司内窥镜系统部光学工程师 郑小姐**

CIOE 中国光博会为观众提供的参观资料十分详实，各种应用领域的主题路线图能方便我们尽快识别出符合自己需求的展品展商。观众服务工作也十分细致贴心，是我参观过的展会中最细致的，非常感谢主办方的安排。

——**Volkswagen Group China Reginal Sourcing MR Wang**

今年第一次参观 CIOE 中国光博会，很惊喜能在短短几天内看到这么多企业及产品，特别有很多创新的 AR/VR 的产品，展会上也结识了许多高级技术人员，储备资源的同时更是丰富了创新思路。希望中国光博会越办越好，期待明年在宝安的深圳国际会展中心大放异彩。

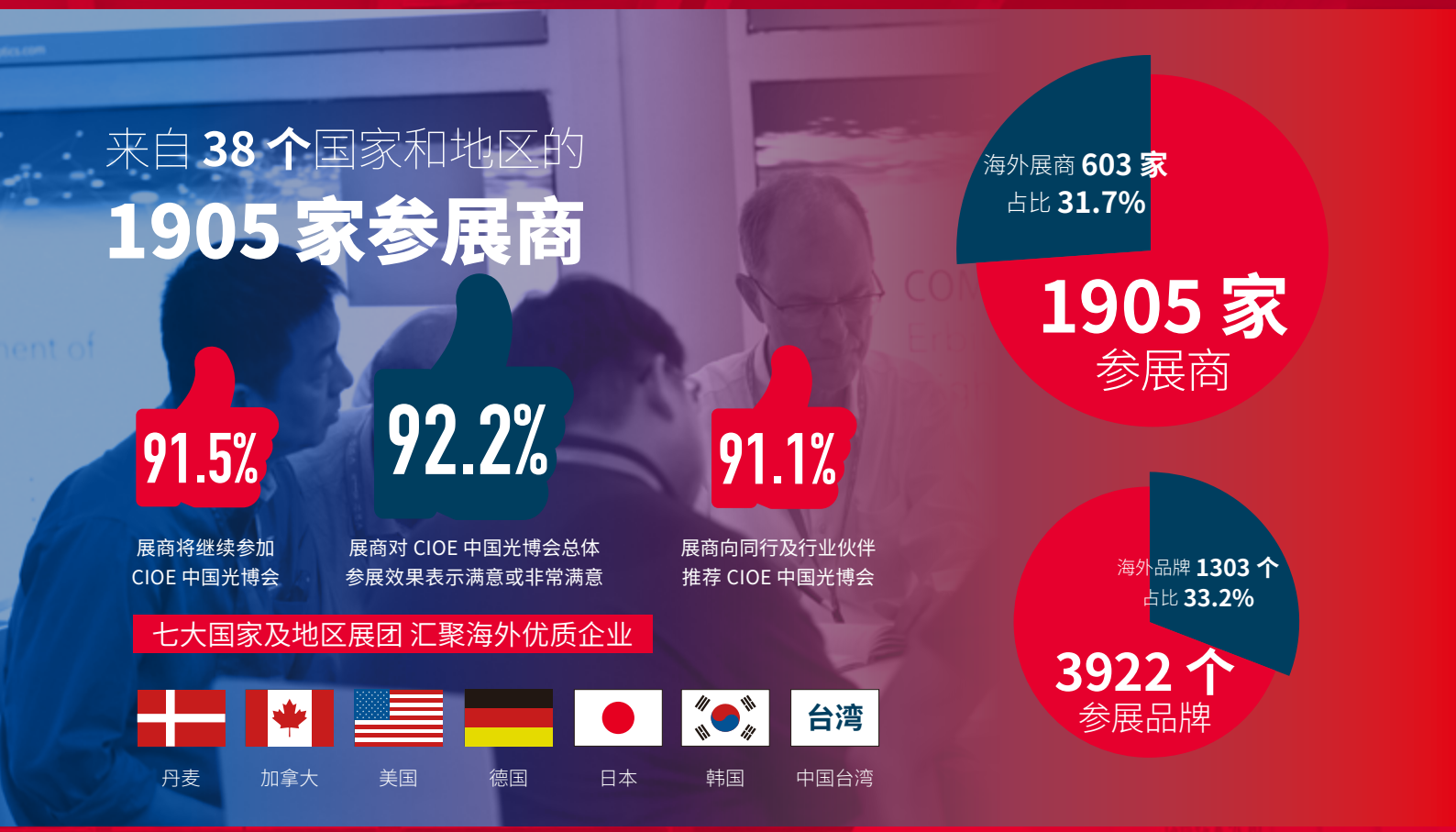
——**腾讯人工智能实验室 高级研究员 廖先生**

祝贺 2019 中国光博会取得圆满成功，对主办团队在本届展会上对我司的热情招待与强力支持表示深深的感谢！今年 CIOE 一如既往的精彩，为光通信领域的企业和同仁提供了相互交流、共谋发展的生态平台。不仅有代表未来的前沿技术知识论坛，也有代表时下的核心行业产品分享，更有代表发展的多维互动交流平台。感谢主办方！祝福 CIOE ！ 我们明年宝安新家见！

——**福建省邮电规划设计院 黄总监**

连续参加 CIOE 中国光博会已经有两三年时间，每次获取到的讯息与资源都各有千秋，很多资讯不用出国就可以获取，不愧是国内顶级的展会，明年将搬到更大的展馆，也期许 CIOE 的规模一年比一年更加庞大，展示的产品越来越全面，希望 CIOE 越办也好。

——**VIVO 移动通信预研专家 彭先生**



来自 38 个国家和地区的

1905 家参展商

91.5%

展商将继续参加 CIOE 中国光博会

92.2%

展商对 CIOE 中国光博会总体参展效果表示满意或非常满意

91.1%

展商向同行及行业伙伴推荐 CIOE 中国光博会

七大国家及地区展团 汇聚海外优质企业

丹麦 加拿大 美国 德国 日本 韩国 中国台湾

过去的十年旭创跟随着 CIOE 中国光博会一起一步步成长起来，CIOE 现在已经成为全球光通信行业极大的盛会之一，明年规模继续扩大将在新的展馆举办，非常希望 CIOE 能够在更大的展厅里越办越好，旭创也能与业界同仁在展会有更多深度交流的机会。

——旭创科技总经理 刘圣

我是 CIOE 中国光博会的常客，10 年来见证了光电行业的成长，明年搬新馆也将成为 CIOE 史上的里程碑，非常感谢 CIOE 中国光博会这个平台，为大家提供了更多更好的交流、沟通、成长的机会。祝愿 CIOE 越办越好。

——通快光电器件部高级业务发展经理 王益

肖特参加 CIOE 中国光博会应该已经超过十年了，每年都会与集团兄弟部门一起参加，在光学展和光通信展各设一个展台，我们觉得光博会是在光学及光通信领域都是非常专业的盛会，这里你可以看到很多全世界很多顶尖的公司、行业人士来参加 CIOE 还可以看到很多所需要的最先进的材料、科技、工艺、技术、设备、厂商、甚至是一些解决方案，也相信 CIOE 中国光博会来年进入新的展馆后，会继续保持高质量的服务，肖特也会继续参加光博会，支持 CIOE 未来的发展。

——SCHOTT 亚太区增强现实业务市场总监 Kevin

祝愿 CIOE 中国光博会越办越好，越来越红火，同时，祝愿红外热成像行业发展也越来越蓬勃，业界的各位同仁都能够找准定位，发挥优势，更好地开拓未来。海康威视希望和业界各位同仁合作共赢，共同成长。

——海康威视市场总监 姚静

与 CIOE 中国光博会相逢恨晚，因为在这里我们看到了很多商机，碰到了很多客户，明年搬去新展馆——深圳国际会展中心，我们非常期待在新的设施里能够继续有 CIOE 的支持，随着我们产品的落地和传感市场进一步的发展，希望明年的 CIOE 上能见到更多的客户及友商，探讨更多的商机。

——炬佑智能 CEO 刘洋

CIOE 中国光博会明年搬去新的展馆，规模和场地面积升级，我们非常希望在更大的舞台，更好的平台，让中国的光电事业蒸蒸日上，让深圳市的光电产业飞黄腾达，让我们这些从事光电科研人员有更大的舞台来展示和表演。

——深圳先进院院长 吕建成

CIOE 中国光博会不仅是新产品新技术的展示平台，也致力于为光电行业及光电应用领域人士提供深度交流、行业探讨的沟通平台。同期举办的中国国际光电高峰论坛围绕学术、产业、应用会议方向，共计举办了 68 场专题会议，带来了超过 800 场演讲场次，其中 12 项专题会议提供同声传译服务，吸引了来自海内外 13700 多名专业人士听会及现场交流。为企业布局未来提供了更多强有力的可持续发展支撑。

68+
主题论坛（场）

500+
演讲嘉宾（位）

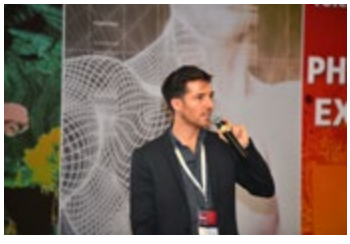
800+
专题演讲（场）

13700+
参会听众（人）

全球光电大会（OGC 2019）

390+
听众人数

作为 IEEE 旗下第 10 个学术分会，每年在 CIOE 期间举办的全球光电大会（OGC）是亚洲地区第一个直属 IEEE 的全球光电学术会议。OGC 2019 共设精密光学、光通信与网络、激光技术、红外技术及应用、光纤传感、光电器件及应用、生物光子等 7 个专题，1 场特别分会“光纤内窥镜技术”，以及在南方科技大学举办的“中国光电产业与政策研讨会”，会议持续 3 天举办了 22 场专题会议。



1300+
听众人数

高端国际会议聚焦前沿技术

与 Yole Développement 连续第五年成功携手，合作举办 4 场热门领域论坛；以及与 EPIC 欧洲光电产业协会、LightCounting 举办光电行业会议。

- 首届国际硅光子技术高端论坛
- 第二届国际汽车激光雷达创新论坛
- 第二届国际消费级 3D 传感高端论坛
- 第四届国际红外成像高端论坛
- EPIC TechWatch 欧洲光电产业协会技术展望大会
- LightCounting：海外运营商进展分享会

光通信行业

论坛齐聚三大运营商，国内顶尖设备商、系统集成商，围绕 5G 物联网时代邀请光通信领域行业专家带来精彩分享。

5G 时代光通信产业转型与应用创新发展论坛 / “数字中国” 与下一代数据中心光互联技术论坛 / 数据中心光电技术与产业峰会 / 中国电信千兆网络时代的光接入网发展及应用论坛 /5G+ 产业 + 新一代信息技术打造产业核心价值论坛 / 中国移动 “VOLT 云化演讲，引领千兆新时代” 论坛 / 光电子器件与光电集成技术发展论坛 / 绿色数据中心创新论坛 / 一带一路及大湾区合作高峰论坛 / 亚太区块链与物联网应用论坛

光学行业

论坛全方位涵盖光学行业的上中下游，邀请了来自中科院长春光机所、德国光学研究所、中科院光电技术研究所以及知名高校教授等多位专家团，业内领头企业包括舜宇光学、蔡司等多位业界高层重点剖析光学行业技术难点痛点，分享时下热点。

第六届全球光学智能制造（深圳）高端论坛：主题分会：光学制造产业发展机遇与挑战 / 分会二：晶圆级光学成像模组制造技术 / 分会三：光学镀膜与检测技术应用研讨会 / 分会四：极端制造 - 超精密 / 微纳制造与检测技术 /2019 人工智能，机器视觉与工业 4.0 研讨会 /AR 显示与人机交互感测技术研讨会 /2019 光谱与高光谱成像技术研讨会

激光行业

特邀美国、德国、英国、澳大利亚、俄罗斯、韩国多国专家重磅参与，共同探讨了先进制造、超快激光微纳技术，汽车及 3C 制造新应用，吸引了超千人听众到场交流。

国际激光技术及应用研讨会 / 超快激光微纳制造技术及市场发展研讨会 / 激光先进制造在汽车领域的新应用 / 激光先进制造在汽车领域的新应用

红外行业

邀请了全球红外产业科研院所、实验室、知名企业、知名分析机构，围绕红外技术、应用、红外探测技术材料与器件、太赫兹技术等热门话题展开讨论。

2019 红外技术及应用发展创新论坛 / 红外探测技术材料与器件发展论坛 / 太赫兹探测技术应用论坛

“光 +” 应用峰会

为紧贴应用行业需求，CIOE 首次在业界提出 “光 +” 概念，全面探讨光电技术在各新兴领域的应用落地与解决方案。本届展会共计举办了 13 场针对汽车、机器人、智能终端、机器视觉、AI 安防、医疗、AR/VR 等行业的专题会议、吸引力千余听众到会参与分享交流。

5G+AIOT 技术高峰论坛 /AR/VR 光学应用高峰论坛 / 第二届 “光 +” 智能驾驶技术高峰论坛 / 第二十七届 “微言大义” 研讨会：机器视觉及工业检测 / 机器人与智能系统论坛 - 机器视觉技术与工业应用 /AI+ 安防产业应用论坛——智慧安防的实际落地 / 军民两用光电科技峰会 -- 聚焦光电应用助力军民融合 / 车载摄像头影像质量评估研讨会

2020 产业会议部分议题（具体议题将以现场为准）

信息通信技术和发展论坛

千兆带宽光接入技术 /FTTHPON 技术与应用 / 光传输系统和网络 / 云数据中心 /5G+ 应用 /5G 小基站发展及应用 /5G 射频器件技术与挑战 /5G 射频前端模块封装解决方案 / 光电子器件与应用 / 光电集成与芯片 / 硅基光电子技术

激光行业技术与应用论坛

激光微纳技术与应用方向 / 激光加工在新能源汽车上的应用 / 激光器在消费电子制造领域的应用 / 国内高功率激光器技术的现状与发展前景 /VCSEL 行业技术的发展

红外产业技术及市场发展论坛

红外成像技术及其市场发展 / 红外测温技术及其市场发展现状 / 红外先进设备及其应用前景 / 红外器件及材料的发展方向 / 太赫兹与检测技术的产业应用 / 高光谱成像技术及其应用研讨会 / 国际红外技术及市场的现状及前景解析

2020 全球光学智能制造制造发展高峰论坛

晶圆级光学成像模组技术 / 光学镀膜的未来发展前景 / 超高精度光学技术要求 / 人工智能与工业 4.0 的发展现状 /AR&VR 应用场景的不同材料研发需求 / 工业机器视觉镜头选择 / 光谱和高光谱成像技术 / 图像传感未来发展动向 / 光学仪器仪表及检测

学术会议 / 国际会议 / 应用会议（具体议题将以现场为准）

全球光电大会（OGC 2020）

全球光电大会（OGC）是亚洲地区第一个直属 IEEE 的全球光电学术会议。2019 年 CIOE 中国光博会共设置 7 个专题分别为精密光学、光通信与网络、激光技术、红外技术及应用、光纤传感、光电器件及应用、生物光子等，会议持续 3 天共 22 场专题会议吸引超过 390 名海内外光电专业听众到会。

国际高端论坛

继续将于法国权威机构 Yole Développement 合作探讨最新光电子市场和硬科技，话题将涵盖硅基光子、汽车激光雷达、消费级 3D 传感、红外成像等。

光 + 应用领域峰会

全面探讨光电技术在新兴领域的应用落地于解决方案，话题将涵盖汽车、机器人、5G+、AI+ 安防、机器视觉、智能终端、医疗、ARVR 等，预计将吸引超千人到场听会。

为光电企业提供全方位的推广服务

线上线下多维度推广

线上营销机会

■ **展商邀请函**

邀请函浏览量：***133,952 次***，为参展商定制的展商邀请系统，自动生成邀请函页面并可通过短信 / 邮件 / 微信等多形式推送。

■ **官方网站 WWW.CIOE.CN**

年曝光量超 ***200 万***，传递企业形象、针对光电人群推广的高效平台。

■ **微信推广**

微信粉丝量：***10 万 +***，全年微信阅读量 ***859,644 次***；朋友圈广告曝光量 ***1915,232 次***。

■ **电子快讯**

数据量：***110 万 +***，针对光电行业及光电九大应用领域精准推送。

展会现场广告

■ **现场广告牌：**

位于展馆观众往来密集的地理位置设置大型广告牌，是企业对于观众引流、推广品牌的途径。

■ **现场印刷品广告：**

制作会刊、应用领域主题参观手册、参观指南、光博快讯等现场刊物，现场派发精准推广。

■ **《中国光电》**

发行量每期 **2 万册**，由中国光学事业奠基人、两院院士王大珩先生题写刊名，是聚焦光电产业及应用的专业季刊。

■ **直播采访：**

直播曝光量 ***812,318 次***；展会现场对展商进行独家采访，打破空间地域限制，并实现在线与观众即时互动。

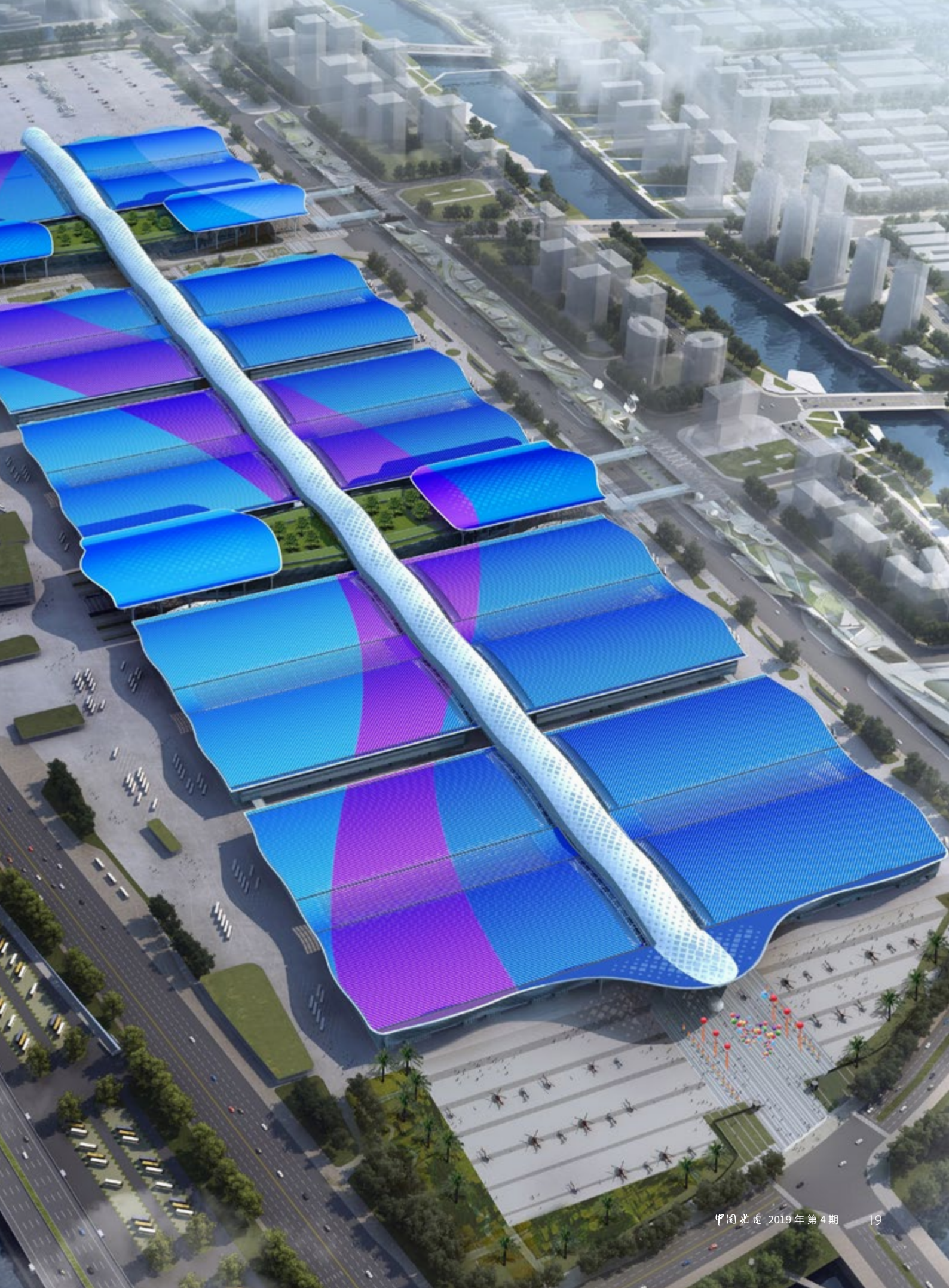
2020 移师新展馆

聚势而上迎来新跨越

160,000M² 展示面积（平方米）
3,000⁺ 海内外参展企业（家）
85,000⁺ 专业观众（人）
70⁺ 主题论坛（场）

为何选择 CIOE 中国光博会?

- 粤港澳大湾区及新展馆强力赋能，汇聚全球优势创新资源；
- 同期**六展协同**效应，实现光电上下游供应链客户齐展示；
- 从光电行业到终端应用，**九大应用领域目标**观众精准覆盖；
- **83+ 国际及地区观众**共同参与，打造国际化的交流社交圈；
- **70+ 场**丰富多彩的会议及活动，从学术、产业到应用，助力企业布局未来；
- **VIP 特邀买家服务**深挖具有采购意向的优质买家需求，推荐和匹配给参展企业进行采购对接；
- 超百万数据及线上线下**多渠道整合营销**，365 天不间断为企业建立业务联系和品牌推广。



光电与时代同行

光电先锋人物专访

目录

P22 **先进的光电技术和设备的领跑者**

——访长春奥普光电技术股份有限公司高劲松总经理

行业发展面临着整体升级的需求和挑战，智能化将成为发展趋势，这就要求企业要加大创新投入，保持不断创新的活力，加速技术升级，确保核心技术技术自主可控，共同繁荣市场的发展。

P24 **量子技术：大显身手颠覆未来**

——访莱普利南京科技有限公司首席科学家王钊

当前，量子计算研究进入爆发期，并开始出现了实际应用。近期《中国光电》记者采访到了莱普利光电科技首席科学家王钊博士，和他就相关问题进行讨论。

P26 **CIOE 专访：Yole Développement 资深分析师 Eric Mounier 博士**

Eric Mounier 博士是 Yole Développement(Yole) 的资深分析师，在半导体行业有超过 25 年的工作经验。他日复一日针对半导体当前和未来的趋势、市场和创新技术（如量子计算、硅光子、新传感技术、新型传感器等）提出深入的见解。

P32 **CIOE 专访：IEEE Photonics Society 主席 Chennupati**

我认为在接下来的 3-5 年中，会看到量子技术蓬勃发展，量子技术正被热烈研发，而且各种公司已开始了相互竞争。量子通信、量子计算、量子感测、量子计量等应用将会非常广泛。中国是该领域的主要参与者。

（以上排名不分先后）

先进的光电技术和设备的领跑者

——访长春奥普光电技术股份有限公司高劲松总经理

高劲松，长春奥普光电技术股份有限公司总经理，中科院特聘研究员，博士生导师，2006 年荣获国务院政府津贴。

他——是光学薄膜组学术带头人；中国光学学会薄膜专业委员会委员；中国光学学会光学材料专业委员会委员；宇航学会光电技术专业委员会常务委员；中科院教材编审委员会光学工程学科编审组编委；

他——获国家科学技术进步二等奖、国防科技进步二等奖、吉林省青年科技奖等奖项 6 项，获吉林省拔尖创新人才等荣誉称号。2016 年获批中国科学院特聘研究员；

他——培养学生 20 余名，发表论文 100 余篇，授权专利 20 余项。

《中国光电》：高总您好，请您分享一下贵公司的情况？

高劲松：长春奥普光电技术股份有限公司其前身为中国科学院长春光机所实验工厂（成立于 1958 年），公司注册资本 24000 万元，总资产 9.88 亿元。曾在“两弹一星”等重大工程中建立功勋，在这里曾诞生了中国第一台红宝石激光器、第一坨光学玻璃、第一台高精度经纬仪、第一台大型电影经纬仪、第一台电子显微镜等一系列“中国第一”。2001 年 6 月 26 日，长春光机所和广东风华高新科技股份有限公司等股东强强联合，组建了现代化的高新技术企业“长春奥普光电技术股份有限公司”。2010 年 1 月 15 日，公司首次公开发行 A 股并在中小板成功上市，股票代码：002338。同时公司被评为“火炬计划高新技术企业”、“国家级企业技术中心”等多项荣誉称号，在 2019 年，公司被吉林省科技厅认定为“省级重点实验室”。

《中国光电》：那么请问高总，贵公司目前的主营业务有哪些呢？

高劲松：奥普公司的主营业务主要有三大板块。首先，光电测控仪器设备的研发和制造是公司最为核心的业务，产品主要服务于国家重大工程项目和国防建设；其次，光机精密加工和装调服务是公司目前另外一块重要业务，公司在该领域一直保持着较大的综合优势，这也是公司保持发展的重要基础。光学材料的研发和制造也是公司主要业务，近年来保持有良好的发展态势，今年公司又与肖特公司签订供货协议，为该业务快速增长带来了契机。在发展传统业务的同时，公司积极通过资本平台对外投资，完善产业链条，公司的参控企业涉及光学传感器、光电编码器、红外设备、新型材料、医疗仪器、精密成型、光电遥感设备等领域，可以助力公司快速全面发展。

长春奥普光电技术股份有限公司全景图

《中国光电》：贵公司的主营业务都是国家先进的光机电综合体，想必一定有强大的研发团队，请为我们介绍下具有代表性的成绩吧？

高劲松：我公司具有国内一流的光学仪器装备精密制造与相关的研发能力，至今完成了千余台套光学 / 光电经纬仪类产品的试制与生产。以神舟飞船高级光学等多个载荷研究为契机，拓展成为航天航空光电载荷制造的重要基地，现已参与并完成以大视场离轴三反航天光学遥感器代表的 300 余台套此类产品制造任务。目前已构建由微纳光学载荷研发牵头的国内最高端航天航空与地基光电装备批产能力。

《中国光电》：之前高总介绍中提到贵公司被吉林省科技厅认定为“省级重点实验室”。那么请问高总，成立此实验室的目的是什么呢？

高劲松：当初构思建立此实验室，主要也是基于近两年包括我本人在内的多位原光机所科研骨干加入奥普团队，使我们萌生了打造一个光电制造省重点实验室的设想；另一方面由于原有技术难以满足市场多样化需求，现在制造技术必须设法在智能化方面寻求突破，并且逐步向柔性化、集成化方向发展。该实验室在光电仪器低能耗，低成本，高精度等方面开展战略性前沿研究，并在相关的技术领域开发等应用进行共性技术研究。最终实现光电装备制造技术的产业跨越式、可持续发展，进而在国际制造技术发展中占有一席之地。

《中国光电》：好的高总，那么这个重点实验室目标定位是什么呢？

高劲松：在构建之初我也是综合学术委员会成员及专家的意见，同时结合奥普光电的实情，想将这个重点实验室建设具有国际一流水准的先进光电制造技术研究平台；培养高层次的专业人才，建设具有行业领先水平、结构合理的创新团队；加强国内外交流合作，建设开放、协作、多领域交叉的国内外研究科研交流平台。

《中国光电》：高总对这个实验室多次提到了国际，国内外这个字眼，想必这个重点实验室的研究方向会更加远大，能否简单介绍一下呢？

高劲松：目前我们的主攻方向是生物医学工程技术研发项目；商用航空航天遥感技术研发项目光学先进制造技术研发项目；光电测控仪器及装备研发项目。未来 3-5 年我们处于技术上的创新和发展，在平台扩展方面，我们也是想逐步深化国际交流，广泛开展国际合作，在国际制造技术发展中占有一席之地，并在国内具有较大的影响力。同时我们会加大内部人员培养力度，以留住人才，用好人才为基础。通过科研实践进行学术梯队建设，构建有利于创新人才成长文化环境的重点实验室。

《中国光电》：您觉得行业未来在发展、技术和市场方面会面临哪些挑战？

高劲松：行业发展面临着整体升级的需求和挑战，智能化将成为发展趋势，这就要求企业要加大创新投入，保持不断创新的活力，加速技术升级，确保核心技术自主可控，共同繁荣市场的发展。

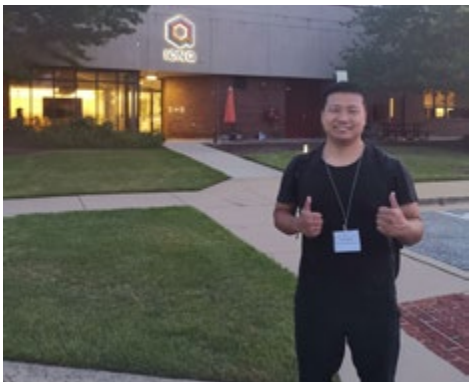
《中国光电》：感谢高总精彩的分析，最后高总对中国光博会有什么的祝福和寄语呢？

高劲松：CIOE 中国光博会是同行们交流和提高的一次盛会，展现光电行业的勃勃生机，助力了我国光电行业的发展，衷心祝愿中国光博会越办越好。

量子技术：大显身手颠覆未来

——访莱普利南京科技有限公司首席科学家王钊

前言：通用量子计算机一旦实现，将对通信安全、导航、成像以及人工智能、生物制药、新材料研发等诸多领域产生颠覆性影响，带来国家安全和社会经济发展的极大变革。近年来，世界科技强国开始高度重视量子计算研究，纷纷发布自己的量子信息科技战略，旨在抢占下一轮科技发展的制高点，争取早日实现“量子优势”（又称量子霸权）。当前，量子计算研究进入爆发期，并开始出现了实际应用。近期《中国光电》记者采访到了莱普利光电科技首席科学家王钊博士，以下简称（王博），和他就相关问题进行讨论。



《中国光电》：王博您好，请为我们介绍下您选择该行业的契机？

王博：本科毕业前一年 2010 年，到中科大参观，听了郭光灿院士对量子信息学科的介绍。感觉这个行业非常有意思，和物理又密切相关，前景也非常有吸引力。我本来对物理就有浓厚的兴趣，恰好有这个机会接触前沿物理，就转过来了。

在 2010 年左右，有很多所谓新式计算机出现，生物计算、量子计算，还有发展飞速的传统计算机。那个时候，量子信息与计算还属于冷门专业，家里人还担心以后就业问题。我当时说，先学东西，掌握技能之后就业不是问题。没想到，几年的发展，量子计算已经从实验室开始走向工业界，正逐步发展为可实用的一个方向，就业前景非常好。国际、国内各大高科技公司如谷歌、IBM、Intel、微软、百度、腾讯、阿里、华为等，都在量子信息与计算领域投入巨大支持。

光电检测技术是目前人类掌握的测量技术中，测量精度最高的技术。代表性的是引力波测量 LIGO、时间频率测量光钟。无一例外，其中核心的检测技术都是利用激光作为探测手段。

《中国光电》：据相关预测，量子通信在 5-10 年内，预计在十三五等顶层设计的推动、科研的持续投入、技术成熟度提高和产业化加速下，市场规模有望进一步扩大，请王博为我们介绍下目前量子信息行业的竞争格局？

王博：量子信息行业主要分为四个主要方面：量子传感、量子通信、量子模拟、量子计算。目前欧洲、英国、日本、美国、俄罗斯、中国、加拿大、澳大利亚都有自己的量子领域国家发展规划。我国的量子领域技术发展与世界同步，具有自己的特色与优势。

目前竞争最激烈的领域是量子计算，两个重点发展方向，超导和囚禁离子体系。美国的 google 公司利用超导量子计算平台率先实现了量子霸权的（quantum superamcy）演示。此外 IBM、Intel、Microsoft、Honeywell、IonQ 等都投入大量资金对量子计算进行研发。我国也在浙江大学等多家单位的通力合作下，于最近实现了 20qubit 的超导量子芯片的制备与全局纠缠实验的演示，。

量子信息科学（QIS）通过开发量子力学现象，推动信息收集、处理和传输方面出现量与质的飞跃，已展现出巨大的应用潜力。近年，该领域的基础科学，以及短期与长期应用研究进展迅猛，并获得了各界越来越多的关注。产业界和国际性组织发出量子信息科学可行性设备及其所具备的能力正迈入市场早期阶段的信号，预示着未来更广阔的前景。

量子信息科学目前正处于转折点，将为国家创造机遇与挑战。该领域的基础与应用研究，以及发展和示范的步伐正在加快，并有望在近期内继续提速。此外，各国政府和企业已意识到量子信息科技革命的无限潜能，开始加紧投入，全球竞争正在加剧。十多年来，由美国联邦机构发起或组织赞助的无数研讨会，正不断唤起人们对量子信息科学价值和重要性的意识。这种持续而又强大的研发生态系统是十分必要的，因为当技术产生突破时，该系统能促使研究界、产业界和政府机构及时介入，并迅速抓住突破所带来的机遇。随着量子信息科学应用的日趋成熟，全球市场的竞争加剧，建立和加强学术界和产业界的联系变得越来越重要。

《中国光电》：那请王博为我们介绍下，量子信息的技术革新对产业的推动?

王博:量子信息的各个领域是非常前沿的领域，由于是探索未知，对检测与控制技术，甚至加工技术要求越来越高，甚至在某种程度上说，是世界上要求最高的。目前量子研究大部分在实验室中，结合和使用市场上目前已经成熟的技术。如果市场上的技术并未成熟，为满足科研要求，科研工作者要自己研发各种技术和仪器，解决已有问题。如高速任意波形发生器（NMR 控制）、高精度振动检测与隔振技术（量子陀螺仪、重力仪）、高精度时间分辨与单光子探测（量子雷达与量子成像）、光学超精密加工与检测（超分辨显微成像、几十公里外痕量气体分子检测）。很多技术都找到了自己的应用方向，解决了“卡脖子问题”，并逐步发展成新一代高科技行业。2001 年诺贝尔奖获得者 Theodor W. Hnsch 已经将其发明的光频梳技术进行商业化开发（Menlo Systems co.），并取得了非常好的市场效果。

离子阱量子计算也是这样，物理上是通过激光对单个带电原子的操控实现量子信息的传递与处理。但在技术上涉及非常多的方面：超高真空（<1e-10Pa）、极低温(~100uK) 及微振隔离技术 (<10nm peak-to-peak)、精密光学系统与单光子灵敏检测、MIMO 精密时序与反馈控制（~1ns）、射频电子与模拟仿真技术等。每一项物理上的突破，都伴随着技术上的重要升级。莱普利科技（Hyperion Optics）利用丰富的离子阱系统的设计和测试经验，为众多科研及工业领域进行定制化服务。

随着量子算法、编程语言、可用的云端量子处理器的到来，开发者将逐步将其合并到软件解决方案中，与经典算法结合起来实现混合计算系统。部分制药行业的高管预估，量子模拟可将药物发现率提高 5% 到 10%，并优化（节约）15% 到 20% 的研发时间。与此同时，他们还认为更优的分子设计将推动药物审批效率。

这个学习阶段很关键，特定领域的工作者将借此提高意识和经验，加速走向量子霸权。如微软在其软件平台中增加了量子编程语言 Q#、华为推出了量子模拟云平台 HiQ、本源量子、IBM 在线推出了硬件模拟云平台。是大众与科研工作者介入量子科学的非常好的初始手段。

《中国光电》：请为我们简单称述下量子信息未来期待的市场亮点?

王博:近期市场可期待的应用产品会集中于各种测量与检测相关的产品。目前基本物理量测量，已经全部溯源到自然单位常数——频率基准，因此检测精度借助于频率检测技术可以提高到前所未有的精度。

未来期待的市场亮点我认为有以下一些方向：

●用于时钟网络、地震网的建立与监测——光钟等更高精度时钟网络的建立，对时间计量的精准度升级，提升 GPS、GIS 等系统精度；

●用于传统探测领域的升级——量子雷达，单光子检测量子技术；

●用于军事、探矿、脑电等人体生物磁信号测量等领域，全球磁场精确测量——磁场敏感测量，<1fT 级的灵敏度；

●用于海平面基准测量、全球重力场测量。同时除用于惯性导航外，其应用范围从地球系统监测，到地下矿床的精确定位等——量子重力仪；

●导航技术与精度的提升——量子陀螺仪、量子加速度计。

通过量子计算机、量子优化算法程序包的开发，结合人工智能对算法的开发和数据的分析挖掘，未来可能在加密通信、药物设计、交通治理、天气预测、人工智能、太空探索等领域发挥重要作用。

《中国光电》：请为我们介绍下，量子信息在创新发展、技术和市场面临的挑战?

王博:量子和量子技术目前是一个新兴的概念，和经典的经验常识有所出入，不容易被大众所理解。科普工作任重道远。只有大家都对量子的概念和原理有所了解，才能有更多的人投入量子技术的研发与应用工作中来。才能将量子技术结合并应用到各个领域，解决各领域的技术难题。由于各个领域语言沟通障碍、信息传播延迟，导致一个领域内已经解决的非常成熟的问题，在另一个领域就变成了很棘手的问题。所以加速各学科间的沟通和融合，会成为创新和市场应用的一个重要前提。

CIOE 中国光博会这个平台集中了厂商与学术论坛，是一个集科研与行业交流非常棒的平台，可以让大家了解量子、展示量子、发展量子。

CIOE 专访：Yole Développement 资深分析师 Eric Mounier 博士 The successful story in China: The Executive Forums on Photonics powered by Yole & CIOE

记者：邓柏迪

Eric Mounier 博士是 Yole Développement (Yole) 的资深分析师，在半导体行业有超过 25 年的工作经验。他日复一日针对半导体当前和未来的趋势、市场和创新技术（如量子计算、硅光子、新传感技术、新型传感器等）提出深入的见解。在其相关专业知识和强大的技术背景下，他与 Yole 团队紧密合作，发掘研究各种颠覆性的技术。并通过技术和市场报告以及定制咨询项目，分析并提供商机。作为 Yole 的资深分析师，Eric Mounier 博士也确保在公司内部开展许多关于技术、方法、最佳实践等方面的研讨会，以确保 Yole 对技术和市场的分析师培养。

With more than 25+ years' experience within the semiconductor industry, Eric Mounier PhD. is Fellow Analyst at Yole Développement (Yole). Eric provides daily in-depth insights into current and future semiconductor trends, markets and innovative technologies (such as Quantum computing, Si photonics, new sensing technologies, new type of sensors ...). Based on relevant methodological expertise and a strong technological background, he works closely with all the teams at Yole to point out disruptive technologies and analyze and present business opportunities through technology & market reports and custom consulting projects. With numerous internal workshops on technologies, methodologies, best practices and more, Yole's Fellow Analyst ensures the training of Yole's Technology & Market Analysts.

在职期间，Eric Mounier 博士在许多国际会议上发表演讲，阐述他对半导体行业和最新技术创新的看法。他还撰写或参与撰写 100 多篇论文以及 120 多篇 Yole 的技术与市场报告。在此之前，他曾在 CEA Leti （法国）公司担任研发和营销职务。

In this position, Eric Mounier has spoken in numerous international conferences, presenting his vision of the semiconductor industry and latest technical innovations. He has also authored or co-authored more than 100 papers as well as more than 120 Yole's technology & market reports. Previously, Eric held R&D and Marketing positions at CEA Leti (France).

Eric Mounier 持有法国格勒诺布尔国家理工学院半导体工程博士学位和光电子学位。

Eric Mounier has a PhD. in Semiconductor Engineering and a degree in Optoelectronics from the National Polytechnic Institute of Grenoble (France).

导语：CIOE 展会后，我们采访了我们的合作伙伴 Yole D é veloppement，并很高兴邀请到他们的光电子和传感部门的分析师，Eric Mounier 博士。具体的采访内容涵盖了 Yole 、D é veloppement 的介绍、其全权范围的主要活动、Yole 的专业领域以及能为中国光电企业带来的服务、2019YOLE&CIOE 国际高端论坛的总结以及 2020 的计划。详细对话内容可见下文。

Following the CIOE, we have decided to interview one of our main partner Yole Développement and to interview PhD Eric Mounier, Fellow Analyst in the Photonics and Sensing Division. Find the content of their discussion below.

CIOE: 请您介绍下 Yole Développement (Yole)

CIOE: Can you introduce Yole Développement (Yole)?

Eric Mounier: Yole 及其合作伙伴 System Plus 咨询公司，KnowMade（同属于 Yole 集团），提供营销，技术和策略咨询，企业融资，逆向工程和成本核算服务，以及知识产权和专利分析。我们的优势是一直保持对采用硅基底和微制造工艺的颠覆性技术和应用的高度关注。

Eric Mounier (EM): Yole and its partner System Plus Consulting, KnowMade, all part of Yole Group of Companies, deliver marketing, technology and strategy consulting, corporate finance, reverse engineering and costing services and IP and patent analyses. Its expertise is based on a strong focus on disruptive technologies and applications, using silicon substrates and/or micro manufacturing processes.

我们的合作伙伴将汇集他们的专业技术知识和行业经验，以提供有价值的数据分析。这些数据为全球领先的行业公司，投资者和研发机构提供服务支持，以帮助他们更好地了解市场，紧贴技术发展趋势，发掘商机和拓展业务。

The partners combine their technical expertise and industry knowledge to deliver valuable analyses. They support leading industrial companies, investors, R&D organizations worldwide and help them understand their market, follow the technology trends, identify business opportunities and develop their activities.

Yole 集团将其国际团队扩展到 130 多个合作伙伴。分析师们结合技术和市场专业知识，涵盖光电行业的广泛技术。其中包括 MEMS 和图像传感、复合半导体、射频电子、固态照明、显示器、软件、光电子、微流体与医疗、先进封装、制造、纳米材料、电力电子、电池与能源管理和存储。

Eric Mounier 在 CIOE2019 现场

Yole Group of Companies expands its international team to include more than 130+ collaborators. Mixing technical and market expertise, the analysts are covering a wide range of technologies, including MEMS and image sensors, Compound Semiconductors, RF Electronics, Solid-state lighting, Displays, Software, Optoelectronics, Microfluidics & Medical, Advanced Packaging, Manufacturing, Nanomaterials, Power Electronics, Batteries & Energy Management and Memory.

CIOE: Yole 在全球范围内主要有哪些活动?

CIOE: What are the major events of Yole worldwide?

Eric Mounier: Yole 不仅仅是一家市场研究和战略咨询公司，还在全球范围内创建，发展和组织大型的行业活动。凭借著名的专业技术，和 Yole 在世界各地的用户社群，我们有能力在合适的时间将某一行业的领导企业聚集在同一地点。这些活动的目的是为我们的高端听众提供高附加值的内容，例如独家演讲，高效的社交活动等。Yole 每年组织的活动主要有：

Eric Mounier: More than a market research and strategy consulting company, Yole also creates, develops and organises key events worldwide. Based on its well-known technical expertise and thanks to the Yole' s Community worldwide, the company has the ability to gather leading players of a dedicated industry in the same place, at the right time. Aim of these events is to deliver our executive audience, with high added-value content: exclusive presentations, fruitful networking times and so on. The main annual events we organize are:

- ●先进封装和系统集成技术研讨会（与华进半导体封装先导技术研发中心有限公司（NCAP China）合办）

  The Advanced Packaging & System Integration Technology Symposium with our partner NCAP China (National

Center for Advanced Packaging) in China

●德国 PCIM 展电力电子市场通报会

The Power Electronics Market Briefing at PCIM Europe in Germany

●瑞典 SCAPE 国际宽频带电力电子应用研讨会

The International Wide-BandGap Power Electronics Applications Workshop SCAPE in Sweden

●当然，还有与中国国际光电博览会（CIOE）共同举办的光电子国际高端论坛。Yole 和 CIOE 的合作已持续 5 年多时间（截止 2019）。

And, of course, the 4 Executive Forums on Photonics organized with and alongside the CIOE (China International Optoelectronics Exhibition). This collaboration lasts for more than 5 years now.

另外多年以来，我们在世界各地还组织了多个技术日（TechDay），涉及不同的主题，例如：碳化硅（SiC），氮化镓（GaN），微发光二极管（MicroLED），激光雷达（LiDAR），电动汽车 / 混合动力汽车（EV / HEV）。

Several TechDays are also organized all years long on different topics, such as SiC, GaN, MicroLED, LiDAR, EV/HEV, all around the world.

CIOE：那么 Yole 进入中国的使命是什么？Yole 能为中国光电企业提供怎么样的帮助？

CIOE: So what's Yole mission to enter China? How Yole can help with the Chinese companies?

Eric Mounier：经过这些年来，中国已经成为整个半导体行业的重要市场。中国企业进入，对该行业的供应链和相关市场格局产生了深远影响。Yole 的主要目标是通过提供我们的专业知识，对技术以及市场趋势的看法，以支持中国公司的业务发展。他们可以依靠我们的分析继续将业务深入拓展到不同的市场和行业。

Eric Mounier: For several years now, China has become a key place for the overall semiconductor industry. Since Chinese companies entered the industry, the supply chain and related markets landscape have been strongly impacted. The main objective of our company is to support organisations in their business development bringing our knowledge, our vision of the technology and markets trends. To continue penetrating and last in the different markets and industries, Chinese companies can rely on our analyses.

Eric Mounier 在 CIOE2019 现场

CIOE：Yole 可能不是第一个进入中国光电子市场的咨询公司，但我想说它是目前最著名的一家。您认为与 CIOE 合作会有所帮助吗？

CIOE: Yole probably not the first consulting company to enter China's photonics market but I would say it's the most famous one now. Do you think working with CIOE helps?

Eric Mounier：当然！对于我们来说，CIOE 是我们在中国光电子领域的重要合作伙伴。

Eric Mounier: Of course! The CIOE is for us a key partner in China to work with on photonics matters.

硅光子、激光雷达、3D 传感、红外成像等技术市场，将受到大趋势的驱动而增长。包括 5G、ADAS（智能驾驶辅助系统）、AI等在内的应用都迎来了新的挑战和机遇。在这种充满活力的背景下，Yole 和 CIOE 每年都会倾其所能共同举办一次令人印象深刻的国际高端论坛，其中包括演讲，辩论和面对面交流。每年的论坛都收到业内一致好评。

在这里，您可以了解行业的演化，发现大趋势对光电技术及其细分市场的影响。

LiDAR, 3D sensing, IR imaging and Si Photonics technologies, are driven by the winds of change, due to the impressive impact of the megatrends. Megatrend applications including 5G, ADAS, AI and more… are bringing new challenges. Under this dynamic context, Yole and CIOE join their forces all year long to offer each year, an impressive program including presentations, debates and networking. Each edition is wonderful. It is the place to be to understand the industry's evolution and to discover the impact of the megatrends.

在过去的 20 多年，CIOE 通过展会建立起其行业网络，并在国际上享负盛名。在过去的 2019 年第 21 届 CIOE 中国国际光电博览会期间，一共吸引了 70,000 多名专业观众和 1900 多家行业公司参展。

For more than 20 years, CIOE, through its show, developed a network and an international and powerful reputation. Indeed the exhibition attracts more than 70,000 attendees, and over 1900 companies.

与 CIOE 合作提高了 Yole 在中国公司中的曝光度，知名度和信任度。毫无疑问，这对我们至关重要。

Being associated with CIOE is offering Yole strong visibility and reference towards the Chinese companies. It is without doubt essential for us.

CIOE: YOLE 已经与 CIOE 合作了多少年?论坛涵盖了哪些主题?

CIOE: How many years of YOLE working with CIOE already? And what topics the forums covered?

Eric Mounier: Yole 与 CIOE 以 在 CIOE 展会同期共同举办光电子国际高端论坛的形式已合作了 5 年时间。双方的合作始于 2015 年举办的蓝宝高端论坛，该论坛取得了巨大的成功。通过这次论坛的成功，CIOE 和 Yole 决定进一步加强合作。在接下来的几年中，论坛主题和形式不断发展，以更好地满足参会者的需求，适应市场发展和寻找行业利益。今年，我们确定与光电子行业最为相关的硅光子，汽车激光雷达，消费级 3D 传感和红外成像作为四大主题。

Eric Mounier: Yole has been partnering for 5 years now with CIOE to organize the forums. The first collaboration began with the creation of a Sapphire Forum in 2015 which encountered a great success for a first edition. Strong from this forum, CIOE and Yole decided to go further and reinforced the collaboration. During the following years, the topics and forum format evolved to better fit the attendees' needs, markets evolution and interests of the industry. This year, we identified as the most relevant photonics industries the Silicon Photonics, LiDAR for Automotive, 3D sensing for Consumer and Infrared Imaging.

当我们今年的听众数量超过我们之前的记录时，我确信证明该论坛的主题定位是正确的。人们对不断发展的光电子行业有着的浓厚兴趣，对行业新兴的技术和可视的商机无法忽视。所以我们有信心，明年的 Yole 和 CIOE 国际光电子高端论坛也将遵循这同样的趋势，越办越好。

And we were right about them as we reached and went over our record in terms of audience. This shows the high interest for the growing photonics industry. And we are confident that next year will follow the same trend.

CIOE: 在 CIOE 2019 上，我们涵盖了硅光子、汽车激光雷达、3D 传感和红外成像，您能再从分析师的角度向我们介绍在各个领域的一些主要趋势么?

CIOE: At CIOE 2019, we covered Silicon Photonics, LiDAR for Automotive, 3D sensing and IR, can you please again introduce us some key trends of each sectors from the analyst ?

Eric Mounier: 毫无疑问，光电子技术将推动大量未来的应用。这正是我们想要在论坛中展示的内容。所有这些技术的共同点是它们都使用光子。例如，硅光子是一项颠覆性技术，它利用半导体制造集成晶圆级的光学功能。如今，它主要由数据中心驱动发展的，但其他应用，例如 5G，传感器，汽车也即将出现。汽车激光雷达无疑是一个热门话题。我们相信，无人驾驶汽车和出租车将为其他车辆使用激光雷达技术开辟道路。苹果公司已经为智能手机中的 3D 传感做好了准备，其他公司也正在将该应用程序集成到智能手机中。最后，非制冷红外成像应用亦在持续稳定增长，但该技术日后在汽车，监控和智能建筑中的应用也会越来越多。

Eric Mounier: Photonics will drive the applications of tomorrow. And this what we want to show in our forums. The common point for all them is the use of photons. For example, Si photonics is a disruptive technology taking leverage of semiconductors manufacturing to integrate optical functions at the wafer level. It is today driven by data centres but other applications such as 5G, sensors, automotive … are looming on the horizon. Lidar for automotive is a hot topic for sure. We believe robotic vehicles and robot taxis will open the way to the use of lidar technology to other vehicles. Apple has paved the way for 3D sensing in smart phones and others companies are integrating this application in their smart phones. At least, uncooled infrared imaging applications are also growing but more and more usages in automotive, surveillance and next: smart buildings.

我们通过展示 Yole 行业报告中的亮点来解释光电子技术将推动大量未来的应用：

Photonics will drive the applications of tomorrow. And this what we want to highlight in our forums. The common point for all them is the use of photons:

例如，硅光子是一项颠覆性技术，它利用半导体制造集成晶圆级的光学功能。如今，它是由数据中心驱动的，但其他应用程序例如 5G，传感器，汽车也即将出现。Yole 认为使用硅光子和磷化铟（InP）的 PIC 基底收发器的市场将持续增长，从 2018 年到 2024 年，市场规模将从 40 亿美元增至 190 亿美元左右（图 1）

For example, Si photonics is a disruptive techn 网 ology taking leverage of semiconductors manufacturing to integrate optical functions at the wafer level. It is today driven by data centres but other applications such as 5G, sensors, automotive … are looming on the horizon. At Yole, we announce a growing market for PIC-based transceivers using Si photonics and InP, from US$4 billion to around US$19 billion between 2018 and 2024 (1)

图 1

汽车激光雷达无疑是一个热门话题。我们相信，无人驾驶汽车和出租车将为其他车辆使用激光雷达技术开辟道路。Yole 的分析师在最新的汽车激光雷达报告中详述：到 2021 年，随着技术飞速发展，无人驾驶车辆的总数预计将达到 44,000 辆。与此同时，2018 年汽车激光雷达的市场总价值为 13 亿美元，预计到 2024 年将达到 60 亿美元。汽车应用将占整个市场的 70%（图 2）

LiDAR for automotive is a hot topic for sure. We believe robotic vehicles and robot taxis will open the way to the use of LiDAR technology to other vehicles. In its latest LiDAR report, Yole' s analysts detail: as they are progressing rapidly, the total number of robotic vehicles is expected to reach 44,000 units by 2021. In parallel, the total LiDAR market was worth US$1.3 billion in 2018 and is expected to reach US$6 billion by 2024. Automotive applications should represent 70% of the total market (2)

图 2

此外，苹果公司已经为智能手机中的 3D 传感做好了准备，其他公司也正在将该应用程序集成到智能手机中。Yole 预计，到 2023 年，全球 3D 成像和传感市场将从 2017 年的 21 亿美元增长到 185 亿美元，复合年增长率为 44%。此外，消费电子，汽车，工业和其他高端市场也将有两位数的增长模式。（图 3）

In addition, Apple has paved the way for 3D sensing in smart phones and others companies are integrating this application in their smart phones. Yole expects the global 3D imaging & sensing market to expand from $2.1B in 2017 to $18.5B in 2023, at a 44% CAGR. Along with consumer, automotive, industrial, and other high-end markets will also experience a double-digit growth pattern (3)

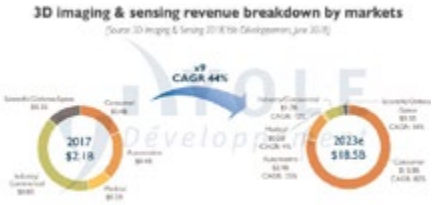


图 3

非制冷红外成像应用在增长，在汽车，监控和智能建筑中的应用也会越来越多。到 2024 年，微测辐射热计市场的数量将增长 15.3%，年出货量将超过 300 万个。（图 4）

At least, uncooled infrared imaging applications are also growing with more and more usages in automotive, surveillance and next: smart buildings. The microbolometers market will grow at +15.3% in units to be more than 3 million units in 2024. (4)

图 4

(1)Source: Silicon Photonics & Photonic Integrated Circuits report, Yole Développement, 2019 Edition

数据来源：Yole Développement 硅光子和光子集成电路报告，2019 年版。

(2)Source: LiDAR for Automotive & Industrial Applications report, Yole Développement, 2019 Edition.

数据来源：Yole Développement 汽车和工业应用的激光雷达报告，2019 年版。

(3)Source : 3D Imaging & Sensing report, Yole Développement, 2018 Edition

数据来源：Yole Développement 3D 成像和传感报告，2018 年版。

(4)Source : Uncooled Infrared Imagers & Detectors report, Yole Développement, 2019 Edition

数据来源：Yole Développement 非制冷红外成像仪和探测器报告，2019 年版

CIOE:2020 年 YOLE 和 CIOE 光电子国际高端论坛将涵盖哪些领域?

CIOE: Do you have in mind already now in what sectors YOLE & CIOE Forums to cover in 2020?

Eric Mounier:在 Yole 的内部，我们相信业界对更好了解光电子领域的技术和市场趋势的兴趣会与日俱增。目前为止，Yole 和 CIOE 都致力于确定高端论坛上的热门话题。我们会继续努力发掘行业最新亮点和商机，敬请留意 Yole 和 CIOE 官方的最新发布!

Eric Mounier: At Yole, day by day we trust the interest from the industry to (better) understand the technology and market trends in the photonics world will keep growing. As of, both organisations aim at addressing the hot topics during the executive forums. Let's work on this and keep you updated!

CIOE:您能否介绍一下 YOLE 即将发布的报告，最新动向以及 2020 年的主要目标?

CIOE: Can you introduce about what's YOLE's upcoming reports, latest movements and main target in 2020?

Eric Mounier:如之前所述，Yole 和兄弟公司 System Plus Consulting，计划继续跟踪和分析光电子行业，因对其前景十分看好。同时，硅光子、激光雷达、3D 传感和红外成像等主题更值得我们团队保持密切的关注。System Plus Consulting 公司同时致力于提供针对设备的分析，为行业提出另一角度的观点。

Eric Mounier: As mentioned earlier, Yole and its partner System Plus Consulting plan to keep following up and analyzing the photonics industry as its future look very promising. Topics as Silicon Photonics, LiDAR, 3D Sensing and Infrared Imaging, among others, really deserve and a closed and continuous attention our teams are managing. System Plus Consulting is also working on providing device analyses to provide an additional view of the industry.

CIOE:您对中国光电行业的同仁有没什么想说的话?包括来或者未曾参观过 CIOE 的业内人士。

CIOE: Do you have anything to say to the Chinese professionals who joined CIOE and Forum? And to those hadn't join us yet?

Eric Mounier: 每年，Yole 和 CIOE 光电子国际高端论坛吸引着来自全世界的上下游供应链的从业人士越来越多。该活动与光电子产业的发展，技术趋势和竞争格局直接相关。

Eric Mounier: Every year, our Executive Forums are attracting more and more people from all the supply chain and from all continents. Programs are directly linked to the evolution of the photonic industry, technology trends and competitive landscape.

包括 CIOE 展会和我们的高端论坛，这样的活动能让您更好地了解新兴技术，专业技术问题并克服市场挑战。在这种充满活力的环境下，我们有信心国际高端论坛将越办越好，同时也期待并欢迎您的参与。

These events are the place-to-be to better identify innovative technologies, understand technical issues and overcome market challenges. Under this dynamic context, we are confident our Executive Forums will see their audience grow.

CIOE 与 Yole 的合作无疑是成功的典范。

CIOE – Yole collaboration is without doubts, a success story in China.

CIOE 专访：IEEE Photonics Society 主席 Chennupati Jagadish 教授 Exclusive Interview on Chennupati Jagadish, the president of IEEE Photonics Society, by CIOE

记者：邓柏迪

Jagadish 教授是澳大利亚国立大学物理与工程研究学院的杰出教授兼半导体光电和纳米技术小组负责人。在 2012 年至 2016 年期间，他曾担任澳大利亚科学院物理系副主席兼秘书。他目前担任 IEEE 光子学学会主席，澳大利亚材料研究学会主席。他是牛津大学，东京大学，国立台湾大学（杰出的讲座教授），中科大成都（千人短期教授），CIOMP-CAS，南京大学，中南大学 - 长沙，合肥工业大学，太原理工大学，孟买化学技术研究所，安娜大学，钦奈和芒格洛尔大学的客座教授。

Jagadish 教授是 6 种期刊（EIC：Progress in Quantum）的编辑 / 副编辑，发表了超过 630 篇期刊论文，拥有 5 项美国专利，与人合着了书 13 册书籍，编辑过 12 篇会议论文集和 17 项特别期刊。他是 9 所院校的院士，14 家专业协会的会员，并曾获得了多项奖项。

Professor Jagadish is a Distinguished Professor and Head of Semiconductor Optoelectronics and Nanotechnology Group in the Research School of Physics and Engineering, Australian National University. He has served as Vice-President and Secretary Physical Sciences of the Australian Academy of Science during 2012-2016. He is currently serving as President of IEEE Photonics Society, President of Australian Materials Research Society. He is a visiting professor at Oxford University, hold honorary appointments at Oxford University, Tokyo University, National Taiwan University (distinguished chair professor), UESCTC-Chengdu (thousand talents short term professor), CIOMP-CAS, Nanjing University, Central South University-Changsha, Hefei University of Technology, Taiyuan University of Technology, Institute of Chemical Technology-Mumbai, Anna University-Chennai and Mangalore University.

Professor Jagadish is an Editor/Associate editor of 6 Journals (EIC: Progress in Quantum published more than 630 journal papers holds 5 US patents, co-authored a book, co-edited 13 books and edited 12 conference proceedings and 17 special issues of Journals. He is a Fellow of the 9 Academies and 14 professional societies and won many awards.

CIOE:尊敬的 Jagadish 教授，再次感谢您对 CIOE 2020 的支持。据了解，您在 CIOE 2019 开幕典礼上的主题演讲“光电子应用的半导体纳米线”受到业内人士的一致好评。我们知道，今年，作为 IEEE 光子学学会的主席，您已与 CIOE 双方正式合作，并共同举办了学术界组织的光电全球会议（OGC）。那么作为采访的开始，我想您可以为我们介绍一下 IEEE 协会吗?

CIOE: Dear Professor Jagadish, Thank you again for your support to CIOE 2020. From what' ve heard, your keynote speech at CIOE 2019 opening ceremony, Semiconductor Nanowires for Optoelectronic Applications, was very inspiring to the professionals. And we know this year, you, as the president of IEEE Photonics Society were formally collaborating with CIOE to organize the Optoelectronic Global Conference (OGC) for academia. So could we start with an introduction about IEEE Photonics Society?

Jagadish 教授:IEEE 是电气电子工程师的全球组织，包括相关学科在内，在全球拥有约 40 万名会员。 IEEE 是世界上最大的工程师专业组织。 IEEE 倡导电气和电子工程师事业，为成员和工

程界创建论坛以参加各种会议，并出版 100 多种期刊和开展许多人道主义活动。

Professor Jagadish: IEEE is a global organisation of Electrical and Electronics Engineers including allied sciences with about 400,000 members all over the world. IEEE is the largest professional organisation of Engineers in the world. IEEE champions for the cause of electrical and electronics engineers, creates forums for members and engineering community to meet at various conferences and publishes more than 100 journals and carries out many humanitarian activities.

IEEE 现拥有 39 个技术协会和理事会，它们是针对单一门特定学科而努力的。IEEE Photonics Society（以下简称 IPS）则为光子学和光学事业提供支持，并促进了我们的学科发展，为光子学和光学领域的会员和社群组织论坛，出版包括期刊和会议等刊物。学会还设有奖励计划，致力于培养年轻专业人员，提供旅行补助金，鼓励多样性和包容性，并设有专门针对光子学妇女从业人员和人道主义教育活动的计划。本质上，IPS 是 IEEE 的一部分，而 IEEE 是 IPS 以及其他学会和理事会的母机构。

IEEE has 39 technical societies and councils and they are championing for a particular discipline and IEEE Photonics Society champions for the cause of photonics and optics and promotes our discipline, creates forum for members and community working in the fields of photonics and optics with publications such as journals and conferences. Society also has awards program, nurture young professionals, provides travel grants, celebrates diversity and inclusion, programs for women in photonics and humanitarian, educational activities. Essentially Photonics Society is part of IEEE and IEEE is the parent body of Photonics Society and other Societies and Councils.

图一 IPS 的关注领域

CIOE:IPS 在全球范围内开展主要活动的关键有哪些?

CIOE: What are the key of activities IPS is carrying out worldwide?

Jagadish 教授:IPS 在世界各地设有本地分会，该分会为世界各地的会员创建与当地人互动的活动，并且分会组织技术和社会活动。优秀的讲师们会到各个分会沟通交流并举办研讨会。IPS 还拥有旗舰刊物和会议，并且轮班一些会议到世界各地，比如美洲，欧洲和非洲以及亚太地区。IPS 还设有人道主义计划，并支持各种人道主义活动，包括为非洲家庭配置的太阳能 LED 灯，为学生的奖学金和年轻从业人员参加各种 IPS 会议提供的旅行补助。 IPS 还与世界各地的各个光子学和光学学会达成了姐妹协会协议，因为我们希望共同努力促进我们的光子学和光学学科。

Professor Jagadish: Photonics Society has local chapters in various parts of the world which creates local programs for members in various parts of the world to interact with each and chapters organise technical and social activities. Distinguished Lecturers of the Society travel to chapters and give seminars. IPS also has flag ship journals and conferences and some of the conferences rotate to various parts of the world, Americas, Europe and Africa and Asia-Pacific. IPS also has humanitarian programs and supports various humanitarian activities including solar LED lamps for African families, scholarships and travel grants for student and young professionals to attend various IPS conferences. IPS also has sister Society agreements with various photonics and optics societies in various parts of the world as we want to work together to promote our discipline of photonics and optics.

CIOE:除了 OGC，IPS 现在在中国有活动吗?

CIOE: Does IPS have events in China now except OGC?

Jagadish 教授: IPS 在中国设有分会，组织当地活动，我们的目标是在中国增加协会会员。我一直在中国各地旅行，以促进协会的发展，鼓励在各个城市创建分会，并鼓励各大学开设学生分会。中国的光子学和光

学业界的兴趣和热情一直很高。IPS 还支持 ACP 并与其密切合作。

Professor Jagadish: IPS has chapters in China which organise local activities and we are aiming grow the membership of the Society in China. I have been travelling to various parts of China to promote the Society and encourage creation of chapters in various cities and student chapters in various universities. Interest and enthusiasm from Chinese photonics and optics has been great. IPS also supports ACP and works with them closely.

CIOE:IPS 考虑在 OGC 上与 CIOE 合作的最初因素是什么?

CIOE: What' s the initial factors that IPS considering to work with CIOE on OGC?

Jagadish 教授:CIOE 是中国知名的展览和技术展览会。与行业团体合作对我们协会至关重要。OGC 和 CIOE 相互合作是一个水到渠成的事情。我们一直在寻找双赢的机会。我们超过 50％的成员是行业成员，我们正在制定行业成员感兴趣的计划。我们希望 OGC 和 CIOE 之间的合作伙伴关系在未来能够发展。今年（2019 年）在深圳举办的活动给我留下了深刻的印象，并期待着在 2020 年搬到新的会议中心。

Professor Jagadish: CIOE is a well-established exhibition and technical show in China. Working together with industry groups is important for our Society. It is a natural opportunity for OGC and CIOE to partner with each other. We are always looking for win-win opportunities. More than 50% of our members are industry and we are in the process of creating programs of interest to industry members. We hope the partnership between OGC and CIOE grows in the future. I was very impressed with the event in Shenzhen this year (2019) and looking forward to moving into new convention centre in 2020.

CIOE:既然 OGC 成为 IPS 的下属学术会议，这将是 IEEE / IPS 将关注点更多的放在中国的重要举措吗?

CIOE: Now that OGC is being the IPS' s subordinate academic conference, will it be one important move of IEEE/IPS focusing more in China ?

Jagadish 教授:在中国，IPS 的机会是巨大的。这是 OGC 与 CIOE 之间关系的良好开端。我们希望将 OGC 扩大为在中国举行的重要会议，并且已经成为该领域主要参与者的日程表。中国的光子学行业发展非常迅速，并且成为专业协会的一员对于中国的光子学和光学界至关重要。如果要成为全球性参与者，就需要与 IEEE 和 IEEE Photonics Society 等全球组织合作。我们的工作是在任何地方促进会员。中国无疑是一个高增长地区，我们必须努力提高光子学协会的认识。

Professor Jagadish: Opportunities in China for IPS are phenomenal. It is a good beginning the relationship between OGC and CIOE. We want to grow OGC as a major conference held in China and it is on the calendar of key players in the field. Photonics industry in China is growing very fast and being part of professional societies is important for Chinese photonics and optics community. If one wants to be a global player one need to partner with global organisations such as IEEE and IEEE Photonics Society. Our job is to promote members wherever they are. China is certainly a high growth area and we have to work hard to enhance the awareness of the Photonics Society.

CIOE:您能否分享对中国光子学业务发展的看法?

CIOE: Could you share your opinion toward China' s photonics business development?

Jagadish 教授:中国的光子学行业正在蓬勃发展，中国成为光子学的主要参与者，充满商机。尤其是政府（中央和省级政府）正在对大学和产业发展进行投资让我非常欣慰，这对光子学和光学领域是有利的。

Professor Jagadish: China' s Photonics industry is booming and there are more opportunities for China to be a major player in Photonics. Governments (central and provincial) are investing in the Universities and industry development which is good for the photonics and optics field.

CIOE:您能否分享您对全球光子学发展的一些看法?

CIOE: Could you share some of your observations on global photonics development?

Jagadish 教授:在全球范围内，光子产业正在快速增长。我们已经看到了光纤技术，激光技术，LED 技术的发展，我认为下一步的机遇将在量子技术、生物光子学、纳米光子科学中出现，并且是巨大的机遇。另外就光电行业来讲，许多国家已在北美、欧洲和亚太地区这些领先区域进行了投资。

Professor Jagadish: Globally Photonics is growing at a fast rate. We have seen developments in optical fibre technology, laser technology, LED technology and now opportunities are arising in quantum technologies, biophotonics, nanophotonics and opportunities are enormous. Many countries are investing in North America, Europe and Asia Pacific.

CIOE:在接下来的 3-5 年中，您会看到哪种光子技术蓬勃发展? 这项技术有什么应用?

CIOE: Which photonics technology you see blooming in next 3-5 years? And what are the applications of this technology?

Jagadish 教授：我认为是量子技术。量子技术正被热烈研发，而且各种公司已开始了相互竞争。量子通信、量子计算、量子感测、量子计量等应用将会非常广泛。中国是该领域的主要参与者。

Professor Jagadish: Quantum technologies are being developed and various companies are competing with each other. Quantum communications, quantum computing, quantum sensing, quantum metrology so applications are enormous. China is a major player in this area.

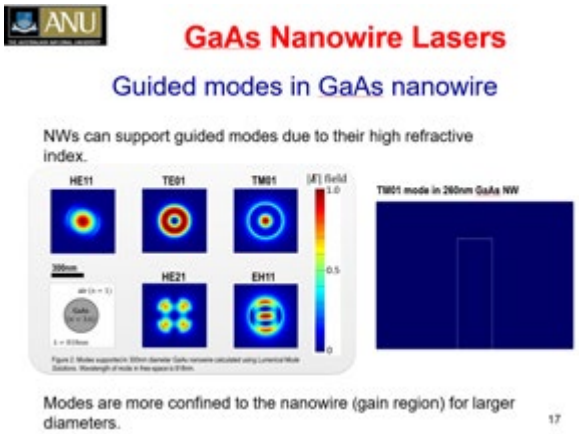
CIOE：您能在 CIOE 的开幕式上提出您的演讲和摘要吗?

CIOE: Could you advise your presentation and abstract at CIOE's opening ceremony?

Jagadish 教授：我非常荣幸能代表 IPS 参加 CIOE 开幕式，以表达我们对展会的支持并展示与 OGC 的合作伙伴关系。我在开幕式上作了主题演讲，谈到了光电纳米技术，题目为《用于光电子应用的半导体纳米线》。纳米技术将有望在光子学，光学和光电子学中发挥重要作用。

Professor Jagadish: IPS is keen to be part of the opening ceremony of CIOE showing our support to the Show and demonstrating partnership with OGC. I spoke about Nanotechnology for Optoelectronics. Nanotechnology is expected to play an important role in Photonics, Optics and Optoelectronics.

半导体纳米线被认为是下一代电子和光子学的基础。我的演讲中，我回顾了我们最近的研究结果，即半导体纳米线和纳米膜，以讨论其光学和电子特性。亦讨论了晶体相的控制以及相关的光学性质变化。最后我亦介绍了有关纳米线激光器，纳米线太赫兹光电探测器和偏振器以及将纳米线用于能源和神经科学应用的结果。最后我简单展望了纳米线的未来前景。



图二 砷化镓纳米线激光器

Semiconductor Nanowires are considered as building blocks for the next generation electronics and photonics. In this talk, I reviewed our recent results semiconductor nanowires and nanomembranes for discuss about their optical and electronic properties. I discussed control of crystal phases and associated changes in optical properties. I presented results on nanowire lasers, nanowire THz photodetectors and polarizers, use of nanowires for energy and neuroscience applications. I also discussed about the future prospects of nanowires.

整个开幕式的演讲在 CIOE 的公众号都能进行回顾，非常方便。

This entire speech could be reviewed on CIOE official wechat, very handy.

CIOE：随着 CIOE 2020 明年将搬迁到新的展馆，亦将拥有更好、更国际化的会议室和设施。您希望 CIOE 2020 能为行业带来什么？最后您会寄望 IPS 和 CIOE 的合作如何发展?

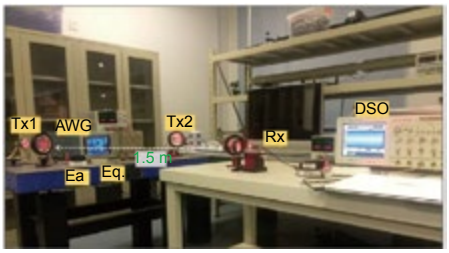
CIOE: As CIOE 2020 is moving to new venue next year, with better facilities, what do you expect CIOE 2020 to bring to the industry? And what do you expect for the cooperation with IPS and CIOE?

Jagadish 教授：我第一次看到的关于 CIOE 2020 的新展馆及其会议设施的视频时，就让我留下了深刻的印象。这无论对于 CIOE 和 IPS，都是激动人心的时刻。这将有效促进展览和技术会议的发展，亦将带来更多 OGC 参会者和 CIOE 观众之间的更多互动。新展馆无论是对 OGC 或者 CIOE 的成长都很重要，两者之间的互动将增强，并未与会人士和专业观众提供更多的价值。我们应该始终为 IPS（OGC）和 CIOE 寻找双赢的机会，并寻求长期健康而富有成果的合作。

Professor Jagadish: Exciting times are ahead for both CIOE and IPS in Shenzhen in 2020 as new conference facility is looking impressive based on videos I saw about the facility. This allows growth of the Exhibits as well as technical conference and more interaction between participants of both the events OGC and CIOE. It is important to grow both of them and interaction between both will enhance the value proposition for participants. We should always look for win-win opportunities for both IPS (OGC) and CIOE. This will lead to long term collaboration and cooperation which is healthy and fruitful.

基于脉冲幅度调制的两发一收可见光通信系统

石 蒙，张梦洁，迟 楠 *
复旦大学通信科学与工程系电磁波信息科学教育部重点实验室，
上海 200433



摘要： 为了提高传统点对点单输入单输出 (SISO) 可见光系统的传输速率，提出了多输入多输出 (MIMO) 的可见光系统。考虑到接收端系统复杂度的问题，多输入单输出 (MISO) 可见光通信系统则更受关注。本文研究了基于脉冲幅度调制 (PAM) 的 MISO 可见光通信系统，并通过实验证明该系统在特定场景中的运用优势。此外，针对可见光通信系统中 LED 光源、功率放大器等关键器件存在非线性效应，本文基于两发一收的 2×1 MISO 可见光通信系统，设计了两路低阶 PAM 信号在光域叠加产生高阶 PAM 信号的新型的等概率编码映射方案，并通过 RGB-LED 的红灯完成净比特速率 700 Mb/s 的传输实验系统验证，证明了此方案在实际中的可行性及优越性。

关键词： 光通信；可见光通信；多输入单输出；等概率编码；脉冲幅度调制

Two input one output visible light communication system based on pulse amplitude modulation

Shi Meng, Zhang Mengjie, Chi Nan*

Key Laboratory of Electromagnetic Wave Information Science, Ministry of Education, Department of Communication Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: To improve the data transmission rate of the conventional point-to-point single input single output (SISO) visible light communication system, a multiple input multiple output (MIMO) visible light communication system is proposed. Considering the complexity of the receiver system, multiple input single output (MISO) visible light communication systems have attracted attention. This paper studies the MISO visible light communication system based on pulse amplitude modulation (PAM), and experimentally proves the advantages of this system in specific scenes. In addition, there are non-linear effects for key devices such as LED light sources and power amplifiers in visible light communication systems. Based on 2×1 MISO visible light communication system, this paper reports a novel equal probability coding mapping scheme for high-order PAM signals with two low-order PAM signals superposition in the optical domain. The system verification is performed through a net data-rate of 700 Mb/s transmission experiment through a red chip of RGB-LED, which proves the feasibility and superiority of this scheme in practice.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61571133); 国家重点研究发展计划项目 (2017YFB0403603)
E-mail: nanchi@fudan.edu.cn

1 引言

近年来，为了实现更高的传输速率，多输入多输出 (multiple input multiple output，MIMO) 技术被运用于可见光通信中 [1−2]。在 MIMO 可见光通信系统中，发射端使用多个光源传输信号，接收端使用接收机阵列进行接收。但光学 MIMO 信道并不是像射频 MIMO 信道那样是去相关的。因此接收机阵列必须足够大才能确保信道矩阵是满秩的 [1]。但实际运用中，室内可见光通信场景的面积有限，多接收机阵列会占用较大面积。而只需要一个接收机的多输入单输出 (multiple input single output，MISO) 技术比 MIMO 所需的占地面积少得多，更适用于室内可见光通信 [3]。

此外，在可见光通信系统中，LED 光源、功率放大器等一系列关键器件都存在非线性效应，系统的非线性失真会损伤信号质量。LED 调制曲线的非线性特性是可见光系统非线性的主要来源 [4−5]。可见光信号主要调制在 LED 工作的线性区以减轻非线性失真带来的信号损伤。但此时 LED 的发光效率较低，照明亮度一般也不能满足实际运用场景的照明需求。此外，对于高阶调制信号，由于信号电平数增多，信号的峰均功率比 (peak to average power ratio，PAPR) 较高，更容易受到系统非线性的影响。因此，在 MISO 系统中，可以利用多个 LED 灯同时传输信号的优势，在每个灯上调制低阶信号，通过光信号叠加生成高阶信号以抵抗发射端 LED 的非线性失真，并且多个 LED 灯同时发光也可提升照明亮度，满足实际照明需求。

本文研究了基于脉冲幅度调制 (pulse amplitude modulation，PAM) 的 MISO 可见光通信系统。针对系统中 LED 的非线性效应，我们基于两发一收的可见光通信系统，设计了低阶 PAM 信号在光域叠加产生高阶 PAM 信号的新型编码映射方案，并通过净比特速率 700 Mb/s 的传输实验进行了验证。下面将介绍两发一收可见光通信系统中两路低阶 PAM4 信号叠加生成 PAM7 信号的编码方案，系统结构及实验结果。

2 两发一收可见光通信系统中光生 PAM7 信号的编码映射方案

以两发一收的 PAM 可见光通信系统为例，在两个 LED 上分别调制 PAM4 信号，在传输过程中通过光信号叠加产生 PAM7 信号。图 1(a) 是两路 PAM4 信号叠加生成不等概率 PAM7 信号的示意图。PAM4 信号具有 4 个电平，两路信号叠加可产生新的 7 电平信号。理论上，每路 PAM4 信号发送 2 bit 信息，两路信号共可传 4 bit 信息，共 16 种映射方式。由于光信号在传输过程中，不同的电平叠加方案可能生成一样的新电平，故两路 PAM4 信号叠加产生的新信号只有 7 个电平，即 PAM7 信号。由于 PAM7 信号只需 3 个 bit 就可表示，将两路信号叠加的 4 bit 信息映射到 3 bit 表示，

以提高编码效率。生成的 PAM7 信号中各符号的概率不相等。其中，符号 0 出现的概率最大，为 1/4；符号 +2 和 −2 的概率是 3/16；符号 +4 和 −4 的概率是 1/8；符号 +6 和 −6 出现的概率最

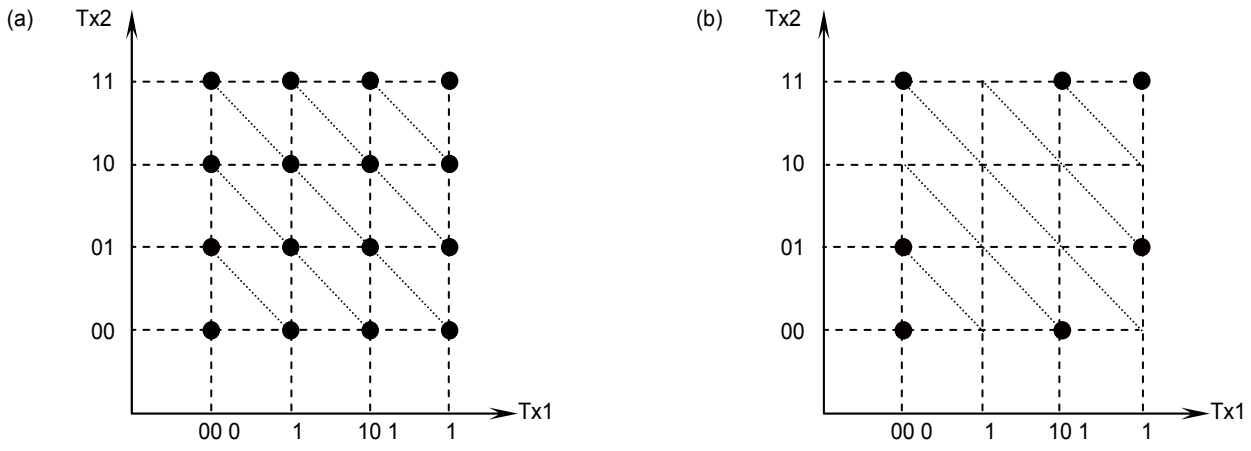


图 1 两路 PAM4 信号叠加生成 PAM7 信号的编码示意图。(a) 不等概率 PAM7 信号；(b) 等概率 PAM7 信号

小，为 1/16。

该信号在低电平符号的出现概率大，高电平符号出现的概率低，故平均功率降低，相应的 PAPR 增大。而接收端的功率放大器等器件也具有非线性特性，对于 PAPR 大的信号容易受到器件非线性的影响，产生畸变失真。故我们希望在接收端生成的 PAM7 信号是等概率的。为此，需要对发射端的两路 PAM4 信号进行反编码映射，调整两路 PAM4 信号各符号出现的概率以得到叠加后等概率的 PAM7 信号。

从 16 个交点中选取 7 个点作为生成等概率 PAM7 信号的反映射点。如图 1(b) 所示，选取了相互间隔距离最大的七个点作为 PAM7 信号的映射，这样发射端各符号间的平均欧氏距离最大，从而减轻信号码间干扰。7 个电平的概率相等，为 1/7。反推回去，则两个发射端发射符号的概率不相等，每个发射端只需发送三个不同电平的符号就可在接收端产生等概率的 PAM7 符号。由图 1(b) 可知，三电平信号中，相邻符号间隔较小的两个电平符号出现概率较小且相等，为 2/7。出现概率最大的电平符号与相邻符号的间隔较大，概率为 3/7。因此，这种编码方式可有效降低信号的码间干扰。

此外，信号的峰值平均功率比 (peak to average power ratio，PAPR) 与系统遭受非线性失真的严重程度有关。降低信号的 PAPR，可有效减轻系统的非线性失真。因此，我们比较了编码映射方案中四种 PAM 信号的 PAPR 值，如表 1 所示。这四种信号分别是等概率 PAM4 信号，不等概率 PAM4 信号，等概率 PAM7 信号和不等概率 PAM7 信号。从表中可看到，不等概率 PAM4 信号的 PAPR 最小。这是由于符号映射方式和符号数的不同导致的。不等概率的 PAM4 信号中高电平符号出现的概率增大，信号平均功率增大，相对应的 PAPR 降低。因此，在发射端传输不等概率的 PAM4 信号还可有效抵抗 LED 的非线性失真。

3 基于 PAM 调制的两发一收可见光通信系统结构

基于 PAM 调制的两发一收可见光通信系统框图和实验装置图如图 2 所示。发射端，首先在 MATLAB 中将二进制比特流根据编码映射规则映射为 PAM4 符号。然后将 PAM 符号进行 PS-Manchester 编码 [6] 以进行频谱整形，使得 PAM 信号可以直接在基带传输。再将编码后的 PAM 符号进行 4 倍上采样，并通过一个 Nyquist 滤波器进行脉冲整形，压缩频谱带宽，减轻带外功率泄露。实验中，将两路 PAM4 数据分别输入到任意波形发生器 (arbitrary waveform generator，AWG，Tektronix AWG520) 的两个通道中产生电信号。然后，将 AWG 输出的两路 PAM 信号分别通过预均衡电路补偿信道的高频衰减，并将均衡后的信号经过电功率放大器 (electric power amplifier，EA，25 dB 增益) 放大。放大后的电信号和直流偏置电压通过交直流耦合器耦合加载到 RGB-LED 灯 (LZ4-00MA00) 的红光芯片上驱动 LED 发光，产生光信号。实验中，两个发射端的 LED 灯相距 1.3 m。

经过 1.5 m 的自由空间传输后，两路光信号叠加产生 PAM7 信号，并汇聚到接收端。在接收端，用一个光电二极管 (PIN，Hamamatsu 10784) 探测接收光信号。为了将两路光信号更好地汇聚到 PIN 探测器上，在接收机前配有两个透镜 (直径 70 mm，焦距 100 mm) 用以聚焦每路光线。接收到的光信号通过 PIN 转换为电信号，然后通过 EA 放大并使用数字存储示波器 (digital storage oscilloscope，DSO，Agilent DSO54855A) 进行采样量化，以便将采集到的数据进行离线处理。

在离线信号处理中，依次进行信号同步，功率归一化，下采样及差分解码，得到标准化的 PAM7 信号。然后将 PAM7 信号通过基于标量改进的级联多模 (scalar-modified cascaded multi-modulus algorithm，S-MCMMA) 的自适应后均衡器以消除符号间干扰。最后，根据编码映射规则，对 PAM7 信号解调以获得原始比特序列并计算系统误码率 (bit error rate，BER)。对于单发单收的系统，则直接在 MATLAB 中生成两路 PAM4 信号叠加产生 PAM7 信号，然后将其加载到单个 LED 上进行传输。剩下步骤与多发单收的系统类似。

4 单发单收和两发一收 PAM7 系统实验结果比较

为了比较基于 PAM 调制的单发单收和两发一收系统的性能，根据 PAM7 生成方式的不同进行了四种不同系统的实验研究。实验中信号的传输距离为 1.5 m。由于实验条件有限，使用的 AWG520 最高可发送 1 G baud 的信号，信号进行 4 倍上采样，故单路信号的调制带宽为 250 MHz。实验系统采用的是 RGB-LED 灯的红灯，发射端两个灯，每个灯的带宽是 250 MHz，每个灯传输 PAM4/PAM3 信号，调制阶数为 2 阶，故原始速率按 250

表 1 四种 PAM 信号的 PAPR
Table 1 The PAPR of four PAM signals

Signal	Equal probability PAM4	Unequal probability PAM4	Equal probability PAM7	Unequal probability PAM7
PAPR	1.80	1.34	2.25	3.6

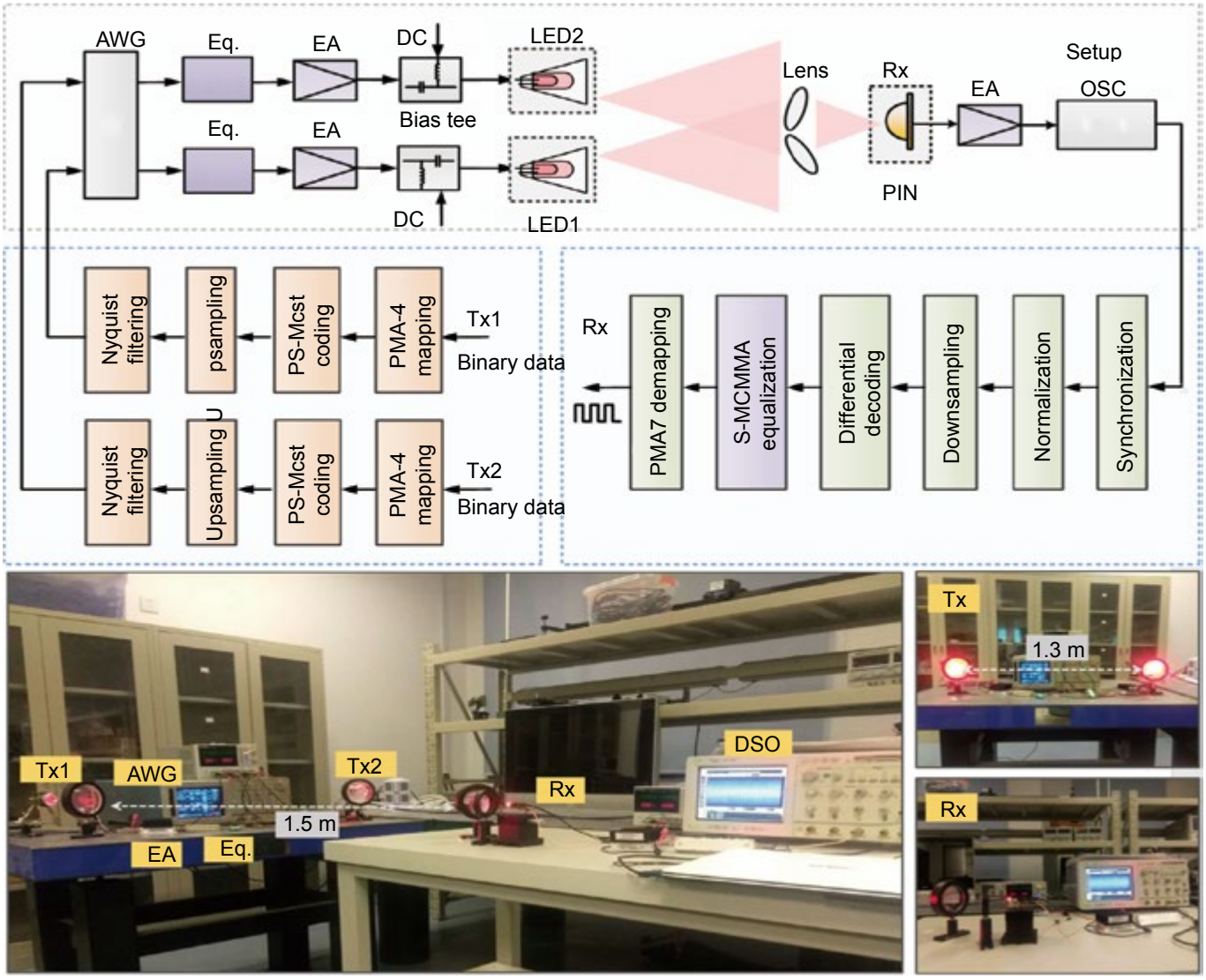


图 2 基于 PAM 调制的两发一收可见光通信系统框图及实验装置图

Fig. 2 The block diagram and experimental setup of two input one output visible light communication system based on PAM modulation

MHz×2×2=1 Gb/s 计算，为 1 Gb/s。但严格来说，净比特速率需要先计算信息熵，信息熵公式如下：

$$H(x)=H=-\sum_{x\in\chi}P_X(x)\log_2 P_X(x)\ , \tag{1}$$

其中：χ 代表 PAM 星座点，$P_X(x)$ 是每个电平的概率。以 PAM4 为例，$P_X(x)=1/4$，所以 $H(x)=2$。然而对于等概率 PAM7 信号来说，各电平概率是 1/7，则 $H(x)=\log_2 7\approx 2.8$。按此信息熵计算，净比特速率为 250 MHz2.8=700 Mb/s。

4.1 单发单收发射端生成不等概率 PAM7 电信号

$$s(t)=\mathrm{Re}[A_m g(t)e^{j2\pi f_c t}]=A_m g(t)\cos 2\pi f_c t\ , \tag{2}$$

$$s_{Tx1}(t)+s_{Tx2}(t)=(A_{m1}+A_{m2})g(t)\cos 2\pi f_c t\ , \tag{3}$$

$$P(A_{m1})=P(A_{m2})=1/4\ , \tag{4}$$

其中：$A_m=(2m-1-M)d$，$m=1,2,\ldots,M$，$s(t)$是进行 PAM 调制后的信号，$M=2^k$，$k=2$，M 是编码电平数，此时 M=4；A_m是编码后的符号，$g(t)$是脉冲响应函数；$s_{Tx1}(t)+s_{Tx2}(t)$ 是两路信号叠加后的结果。$P(A_m)$表示每路 PAM4 符号各电平的概率，此时各电平概率均为 1/4。当两路等概率 PAM4 信号叠加之后会生成不等概率的 7 电平信号。此时用单灯发射叠加后不等概率的 7 电平，在接收端使用 PIN 进行光信号探测接收，如式 (5) 所示：

$$r(t)=[s_{\text{Ex1}}(t)+s_{\text{Ex2}}(t)]+n_0(t)$$
$$=(A_{mi}+A_{mj})g(t)\cos 2\pi f_c t+n_0(t) \quad 。 \tag{5}$$

接收信号为 $r(t)$，其加性高斯白噪声为 $n_0(t)$，接收端用平方律探测，故表达式如式 (6)。其中，$n_r(t)$是由接收端引起的噪声。

$$I(t)=|r(t)|^2+n_r(t)$$
$$=[(A_{mi}+A_{mj})g(t)\cos 2\pi f_c t]^2+n_0^2(t)$$
$$+2n_0(t)(A_{mi}+A_{mj})g(t)\cos 2\pi f_c t+n_r(t) \quad 。 \tag{6}$$

实验测量了在不同偏置电压 V_{led} 和不同输入信号峰峰值 V_{pp} 下系统的 BER，如图 3(a) 所示。从图中可看出当 V_{led} 一定时，BER 会随 V_{pp} 的增大先下降后上升，即系统存在一个最佳 Vpp 范围使得系统误码性能较佳。且随着 V_{led} 的增大，V_{pp} 的最佳工作范围会逐渐左移。当输入信号 V_{pp} 超过最佳工作范围的上界时，随着 V_{led} 的增大，BER 性能恶化越严重。这是因为随着 V_{led} 的增大，系统将进入 LED 的非线性工作区，此时信号会产生非线性失真，使得系统 BER 增大。而当 V_{led} 过小时，LED 的发光效率较低，光信号强度较弱，信号 SNR 降低，也会使系统 BER 升高。此时，可适当提高信号幅度 V_{pp} 以提升系统 SNR，改善 BER 性能。同时，图 3(b) 显示了当 LED 偏置电压 V_{led} 固定为 2.0 V 时，不同 V_{pp} 下的信号星座图。从图中可看出不同符号电平上星座点的密集程度不一样。中间 0 电平处星座点较为密集，越往两边，星座点越稀疏，和符号的出现概率相对应。随着 V_{pp} 的增大，信号星座图将先变清晰，后变模糊，对应系统的 BER 先下降后升高。特别是对于大幅度 V_{pp} 下的星座点，高电平星座点混杂在一起，甚至无法分辨相邻的两条电平线。这是因为当 V_{pp} 过大时，信号受 LED 非线性影响严重，信号将产生削顶失真，使得高电平信号质量严重恶化。

4.2 单发单收发射端生成等概率 PAM7 电信号

在 MATLAB 中将两路编码后不等概率 PAM4 信号叠加产生 PAM7 信号，然后将生成的 PAM7 电信号加载到单个 LED 上进行传输，在接收端使用 PIN 进行光信号探测接收。此时，锁定接收端概率相等，如式 (7) 所示，为 1/7。其余叠加之后的接收信号和噪声与 4.1 中式 (5)，式 (6) 同。

$$P(A_{mi}+A_{mj})=1/7 \quad 。 \tag{7}$$

接收信号在不同 V_{led} 和 V_{pp} 下的 BER 性能图如图 4(a) 所示。从图中可看到，当 V_{led} 一定时，BER 也会随 V_{pp} 的增大先下降后上升。但和图 3 中不等概率 PAM7 系统的测量结果相比，V_{pp} 的最佳工作范围上界右移，使得系统的动态工作范围有所增大。这是因为等概率 PAM7 信号的 PAPR 相对较小，其抵抗非线性的能力较强。因此，在较高的 V_{pp} 下，系统仍可工作在误码门限下。同样地，我们测量了当 LED 偏置电压 V_{led} 固定为 2.0 V 时，不同 V_{pp} 下的信号星座图，如图 4(b) 所示。可看到，与图 3(b) 中同等条件下的不等概率 PAM7 信号星座点相比，随着 V_{pp} 的增大，等概率 PAM7 信号的高电平星座点恶化程度降低。即使在较高的 V_{pp} 下，接收星座图仍可较清晰地分辨出 7 个电平线。

4.3 两发一收接收端生成不等概率 PAM7 光信号

将两路标准 PAM4 信号分别调制到两个 LED 上，通过两路光信号在自由空间传输时光域的叠加产生 PAM7 信号。发射信号表达式如式 (2) 至式 (4)，接收信号表达式如下所示：

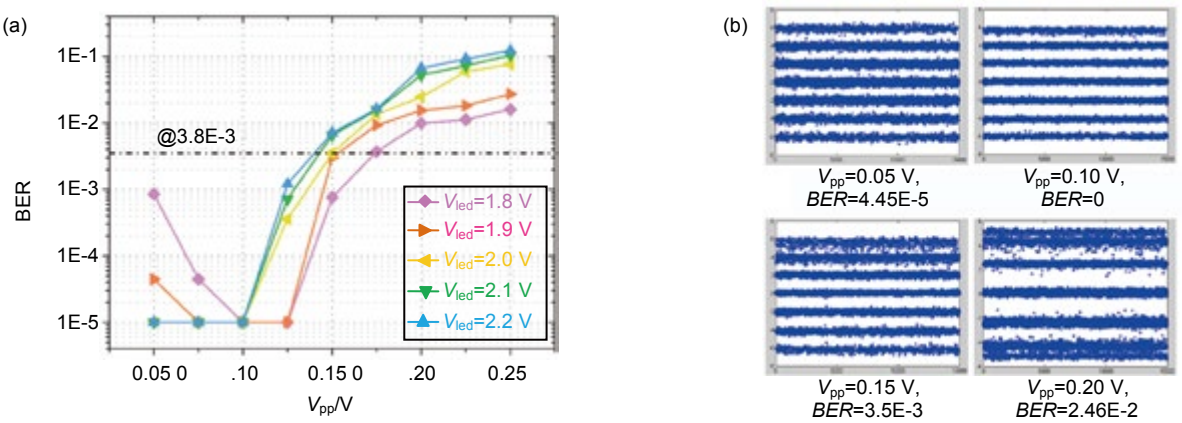


图 3 单发单收发射端不等概率 PAM7 信号情况下。(a) BER 随 V_{led} 和 V_{pp} 变化关系；(b) 不同 V_{pp} 下不等概率 PAM7 信号星座点和 BER

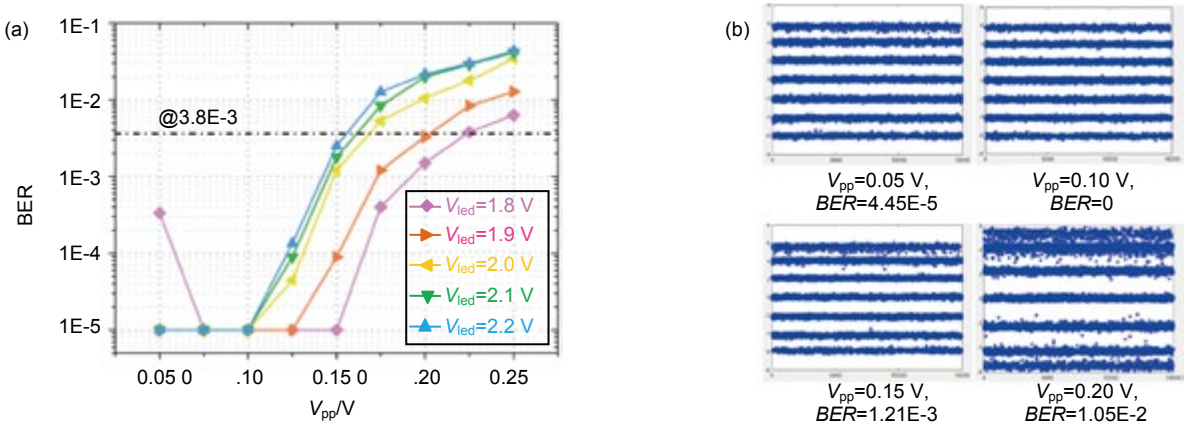


图 4 单发单收发射端等概率 PAM7 信号情况下。(a) BER 随 V_{led} 和 V_{pp} 变化关系；(b) 不同 V_{pp} 下等概率 PAM7 信号星座点和 BER

$$\begin{aligned} r(t) &= s_{Tx1}(t) + n_{0_{Tx1}}(t) + s_{Tx2}(t) + n_{0_{Tx2}}(t) \\ &= (A_{m1} + A_{m2})g(t)\cos 2\pi f_c t + n_{0_{Tx1}}(t) + n_{0_{Tx2}}(t) \end{aligned} \quad , \tag{8}$$

$$\begin{aligned} I(t) &= |r(t)|^2 + n_r(t) \\ &= [(A_{m1} + A_{m2})g(t)\cos 2\pi f_c t]^2 \\ &\quad + [n_{0_{Tx1}}(t) + n_{0_{Tx2}}(t)]^2 \\ &\quad + 2[n_{0_{Tx1}}(t) + n_{0_{Tx2}}(t)](A_{m1} + A_{m2})g(t)\cos 2\pi f_c t \\ &= [(A_{m1} + A_{m2})g(t)\cos 2\pi f_c t]^2 \\ &\quad + n_{0_{Tx1}}^2(t) + n_{0_{Tx2}}^2(t) + 2n_{0_{Tx1}}(t)n_{0_{Tx2}}(t) \\ &\quad + 2[n_{0_{Tx1}}(t) + n_{0_{Tx2}}(t)] \\ &\quad \cdot (A_{m1} + A_{m2})g(t)\cos 2\pi f_c t + n_r(t) \end{aligned} \quad 。 \tag{9}$$

在接收端通过一个 PIN 接收探测光信号。实验测量了接收信号在不同 V_{led} 和 V_{pp} 下的 BER 性能图，如图 5(a) 所示。可以看到，当 V_{led} 一定时 BER 也随 V_{pp} 的增大先下降后上升。和单发单收的 PAM7 系统相比，虽然该系统出现无误码的动工作区间变小。但 BER 低于 3.810−3 误码门限的动态工作范围却有所增大。特别是当 V_{led} 较低时，系统在很大的输入信号 V_{pp} 下仍可保持较好的误码性能，BER 低于误码门限。这是因为在每路发射端只需发送 4 电平的 PAM4 信号，即使在较大的 V_{pp} 或 V_{led} 下，发射信号受 LED 非线性失真的影响也较小。此外，图 5(b) 显示了 Vled 固定为 2.0 V 时，不同 V_{pp} 下的 PAM7 信号星座图。从星座图中可

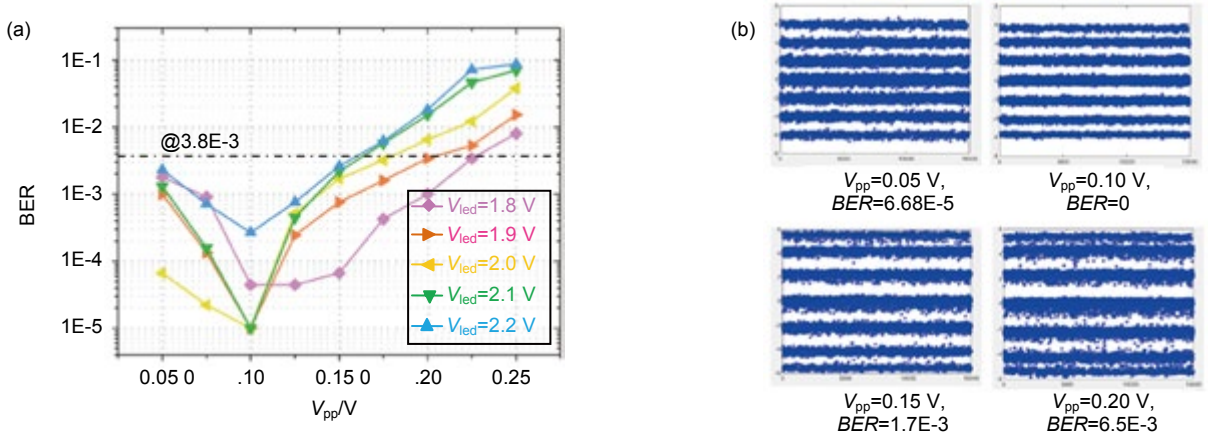


图 5 两发一收接收端不等概率 PAM7 信号情况下。(a) BER 随 V_{led} 和 Vpp 变化关系；(b) 不同 V_{pp} 下不等概率 PAM7 信号星座点和 BER

明显看出不同电平星座点的密集程度不一致。高电平星座点由于存在非线性失真，星座点也有所发散模糊，但仍可分辨出相邻的高电平星座带。

4.4 两发一收接收端生成等概率 PAM7 光信号

在两发一收的等概率 PMA7 系统中，先将两路标准 PAM4 信号进行编码以生成不等概率的 PAM4 信号，然后将其分别调制到两个 LED 上。发射信号限制条件如式 (7)。两路光信号经过自由空间的传输在光域叠加，从而在接收端生成等概率的 PAM7 信号。测量了接收信号在不同 V_{led} 和 V_{pp} 下的 BER 性能，如图 6(a) 所示。可看到相比于单发单收 PAM7 系统和两发一收生成不等概率 PAM7 信号的系统，该系统在较高 V_{led} 和 V_{pp} 电压下，仍可保持较低的 BER。当输入信号 V_{pp}=0.225 V 时，V_{led} 在小于 2.2 V 的情况下，系统 BER 都可保持在误码门限之下。这是因为在两个 LED 上分别传输符号概率不等的低阶 PAM4 信号，可以有效抵抗 LED 非线性效应带来的信号失真，并减轻信号的码间干扰，从而使系统可工作在较大的偏置电压和输入信号 V_{pp} 下。此外，图 6(b) 显示了当 LED 偏置电压 Vled 固定为 2.0 V 时，不同 V_{pp} 下的信号星座图。与单发单收系统中接收 PAM7 信号的星座点相比，两发一收等概率 PAM7 信号的星座点扩散度较小，星座点基本收敛在电平线附近。因此，即使在较大的 V_{pp} 下，仍然以可清晰分辨出星座图中的 7 条电平线。接收信号星座图也进一步表明了该系统具有较好的抗 LED 非线性性能。

最后，图 7 绘制了四种系统的动态工作范围二维图。横坐标是 LED 的偏置电压，纵坐标是输入信号 V_{pp}。图中颜色的深浅表示BER的大小，颜色越暖表示BER越小，颜色越蓝表示BER越大。从图中可看出，两发一收等概率 PAM7 系统具有最大的动态工作范围，单发单收不等概率 PAM7 系统的动态工作范围最小。而单发单收等概率 PAM7 系统和两发一收不等概率 PAM7 系统的工作范围相近。两发一收等概率 PAM7 系统可实现系统动态工作范围的扩大，主要有两点原因：1) 两个发射端分别发送低阶 PAM4 信号，可减小码间干扰；2) 特殊编码的不等概率 PAM4 信号 PAPR 显著降低，增强了系统抗非线性失真的能力。因此，该系统在较高的偏置电压和较大的输入信号 V_{pp} 下，仍能保持较好的误码性能。

5 结论

本文中，主要研究了基于 PAM 调制的 MISO 可见光通信系统。针对可见光通信系统中 LED 的非线性效应，基于两发一收的可见光系统，设计了两路低阶 PAM4 信号在光域叠加产生高阶等概率 PAM7 信号的新型编码映射方案。该方案可有效抵抗 LED 的非线性失真，并减轻信号的码间干扰。此外，通过 RGB-LED 的红灯完成净比特速率 700 Mb/s 的传输实验系统验证。实验中，比较了单发单收生成等概率 / 不等概率 PAM7 信号，两发一收生成等概率 / 不等概率 PAM7 信号这四种系统在不同 LED 偏置电压和输入信号 V_{pp} 下的 BER 性能。实验结果表明，两发一收生成等概率 PAM7 信号的方案，由于具有较大的符号间平均欧氏距离和较

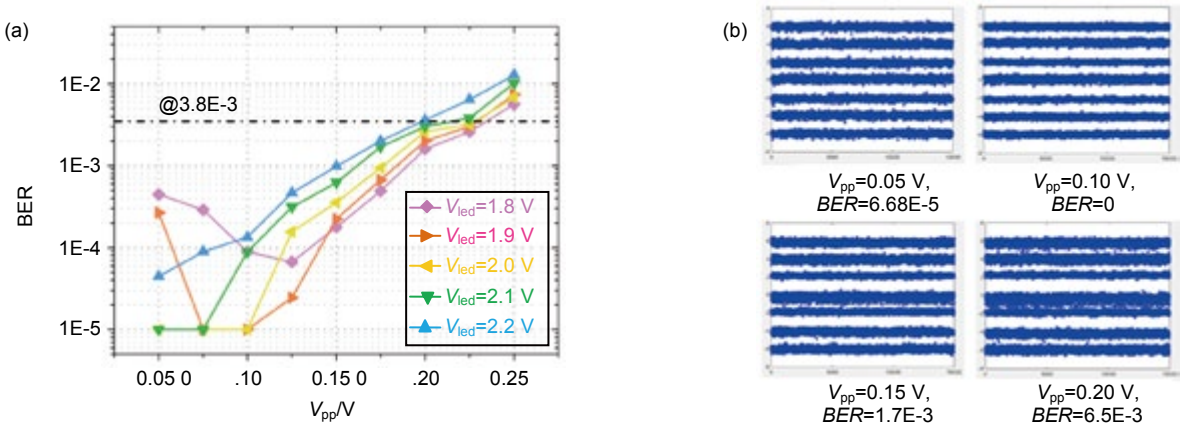


图 6 两发一收接收端等概率 PAM7 信号情况下。(a) BER 随 V_{led} 和 V_{pp} 变化关系；(b) 不同 V_{pp} 下等概率 PAM7 信号星座点和 BER

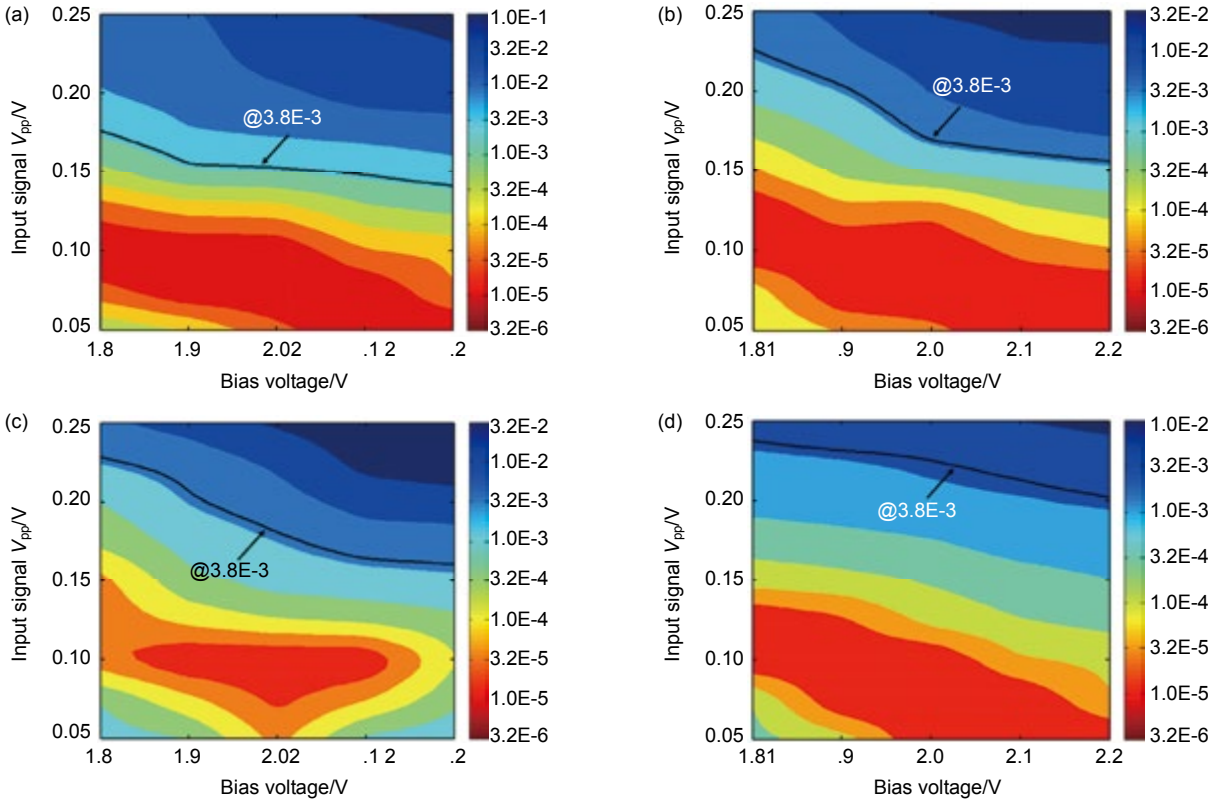


图 7 系统动态工作范围比较。(a) 单发单收发射端生成不等概率 PAM7; (b) 单发单收发射端生成等概率 PAM7; (c) 两发一收接收端生成接收不等概率 PAM7; (d) 两发一收接收端接收生成等概率 PAM7

低的 PAPR，可有效抵抗信号的码间干扰和 LED 的非线性失真，增大系统的动态工作范围。因此，该方案在 LED 偏置电压或输入信号 V_{pp} 较大的可见光通信系统中具有一定的优势。

参考文献

[1] Zeng L B, O'Brien D C, Le Minh H, et al. High data rate multiple input multiple output (MIMO) optical wireless communications using white LED lighting[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2009, 27(9): 1654 - 1662.

[2] Mesleh R, Mehmood R, Elgala H, et al. Indoor MIMO optical wireless communication using spatial modulation[C]// Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Communications, 2010: 1 - 5.

[3] Yu Z H, Baxley R J, Zhou G T. Multi-user MISO broadcasting for indoor visible light communication[C]//Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2013: 4849 - 4853.

[4] Qian H, Yao S J, Cai S Z, et al. Adaptive postdistortion for nonlinear LEDs in visible light communications[J]. IEEE Photonics Journal, 2014, 6(4): 7901508.

[5] Wang C, Zhou Y J, Chi N. Research of LED's nonlinear distortion compensation algorithm in visible light communications[J]. China Light & Lighting, 2017(7): 9 - 15, 26.
王灿，周盈君，迟楠. 可见光通信中抗非线性方法的比较研究 [J]. 中国照明电器，2017(7): 9 - 15, 26.

[6] Zhang M J, Shi M, Wang F M, et al. 4.05-Gb/s RGB LED-based VLC system utilizing PS-Manchester coded Nyquist PAM-8 modulation and hybrid time-frequency domain equalization[C]//Proceedings of the Optical Fiber Communication Conference, 2017: 1 - 3.

真空激光焊接技术研究现状与展望

蔡 创 1,2，陈 辉 1，张卫华 2*
1 西南交通大学材料科学与工程学院，成都 610003；
2 西南交通大学牵引动力国家重点实验室，成都 610003

摘要：真空环境下激光焊接熔深得到显著提高，焊缝成形及气孔等缺陷得到极大改善，可以获得常规激光焊接方法难以获得的显著效果。近些年，有关真空激光焊接过程机理，低真空甚至局部负压环境激光焊接装置的研究日益完善，真空激光焊接技术在船舶、核电及压力容器等领域大厚板焊接中展现出良好的应用前景。本文首要概述环境压力变化对激光焊缝熔深，焊缝表面成形及气孔等缺陷的影响规律，从焊接过程等离子体羽辉及匙孔、熔池的动态行为特性方面总结国内外学者有关真空激光焊接机理的研究成果，并介绍了真空焊接技术在工业领域的应用情况，最后对目前已报道的研究中存在的问题进行分析并对真空焊接技术的发展前景进行展望。

关键词：真空环境；激光焊接；等离子体羽辉；匙孔及熔池行为

Research status and development prospects of laser welding under vacuum

Chuang Cai1,2, Hui Chen1 and Weihua Zhang2*

[1]School of Materials Science and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610003, China; 2 State Key Laboratory of Traction Power, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610003, China

Abstract: Compared with conventional laser welding, the welding quality was improved significantly while the laser welding was conducted under vacuum. The penetration depth of the weld seam increased sharply. The welding formation was improved and the porosity defects were suppressed effectively. In recent years, numerous researches on the mechanism of welding process, low vacuum and local subatmospheric pressure laser welding equipments have been undertaken. The laser welding under vacuum exhibits the wonderful application prospects to weld the thick plates in the shipbuilding, nuclear instrument and pressure vessel industries. The influences of ambient pressure on the laser welding penetration depth, surface formation and porosity defect were summarized. The domestic and overseas research findings on mechanism of laser welding under vacuum were elaborated from the aspects of plasma plume, keyhole and molten pool behaviors. In addition, the applications of laser welding under vacuum in the industry were introduced. Finally, the problems of reported researches were analyzed and the prospects of the technology were discussed.

1 引言

激光焊接由于其能量密度大自动化程度高，具备高质量、低变形、高精度、高效率及高柔性等特点，已被广泛应用于航空航天、核电、船舶、汽车、电子等领域，并被称为“21 世纪最有发展潜力的高效智能化焊接方法之一”。近年来，随着大功率、高光束质量激光器制造技术的快速发展，其在船舶、核电、压力容器等

工业领域厚板深熔焊方面的应用备受关注。但是，大功率激光焊接过程中，等离子体羽辉对激光的屏蔽作用增强，一方面，致密等离子体羽辉对激光的吸收和散射降低了激光能量的传输效率；另一方面，致密等离子体羽辉对激光的折射影响焊缝的成形。此外，铝合金材料激光深熔焊过程中匙孔的不稳定性和熔池的流动行为对焊缝气孔的影响也是学者们的研究焦点。

目前，学者们抑制等离子体羽辉采取的方法有：

1) 脉冲激光法 [1]，调整脉冲激光的工艺参数，使脉冲激光作用于等离子体消散时，抑制等离子体对激光的屏蔽作用；

2) 摆动激光法 [2]，通过激光束沿焊接方向上的来回摆动可有效“规避”等离子体羽辉；

3) 改变保护气成分 (采用 He 和 Ar 混合保护气)[3]，采用 He 和 Ar 混合保护气时，等离子羽辉的温度相比纯 Ar 气时有明显的降低，He 气的加入对等离子体羽辉有一定的抑制作用；

4) 加侧吹气流 [4]，采用侧吹保护气的方法可以吹散部分等离子体，降低等离子体对激光的折射效应，提高激光能量的传输效率；

5) 外加电磁场 [5,6]，激光焊接过程中，外加适当的电磁场可以有效“驱散”等离子体，增大激光能量的吸收率。

上述方法虽然在一定程度上增大了激光深熔焊过程中能量的传输效率，但是针对铝合金等材料，对熔深的增大及焊缝成形的改善效果并不明显。

近年来有研究表明，在真空环境下，激光焊缝的熔深显著增大，焊缝气孔缺陷和焊缝成形得到极大的改善。日本的大阪大学，国内的哈尔滨工业大学、上海交通大学、华中科技大学、西北工业大学等单位研究了不锈钢、铝合金和高温合金等材料在真空环境下激光焊接成形特性。基于等离子体形貌及物理特性分析了真空环境下激光能量的传输特性，解释了焊缝熔深增大的原因。基于图像监测、数值模拟的方法分析了环境压力对激光深熔焊过程中匙孔及熔池动态行为的影响。

本文首先简要概述真空激光焊接特性，包括环境压力变化对焊缝熔深、焊缝表面成形及气孔等缺陷的影响规律，从焊接过程等离子体羽辉及匙孔、熔池的动态行为特性方面总结国内外学者有关真空激光焊接机理的研究成果，并介绍了真空焊接技术在工业领域的应用情况，最后对目前已报道的研究中存在的问题进行分析及真空焊接技术的发展前景进行展望。

2 真空环境下激光焊接特性

大阪大学 Arata[7] 在 1985 年率先开展真空激光焊接的研究，作者发现随着环境压力的减小，钢的激光焊熔深显著增大，当环境压力为 10^{-3} Torr(约 0.1 Pa)，激光功率为 11 kW，焊接速度为 10 cm/min 时，焊缝熔深可达到 40 mm，如图 1 所示。基于高速摄像和 X 射线透射结果可知，低真空环境下 (低于几 Torr) 激光致等离子体几乎完全被抑制，并且匙孔特征与电子束焊接几乎相同。此后真空激光焊接技术的研究未见报道，直到 2001 年，大阪大学 Katayama[8] 研究了环境压力为 30 Pa~30000 Pa 时不锈钢和铝合金的激光焊接特性，同样，作者发现随着环境压力的减小，焊缝的熔深增大，熔宽变小。

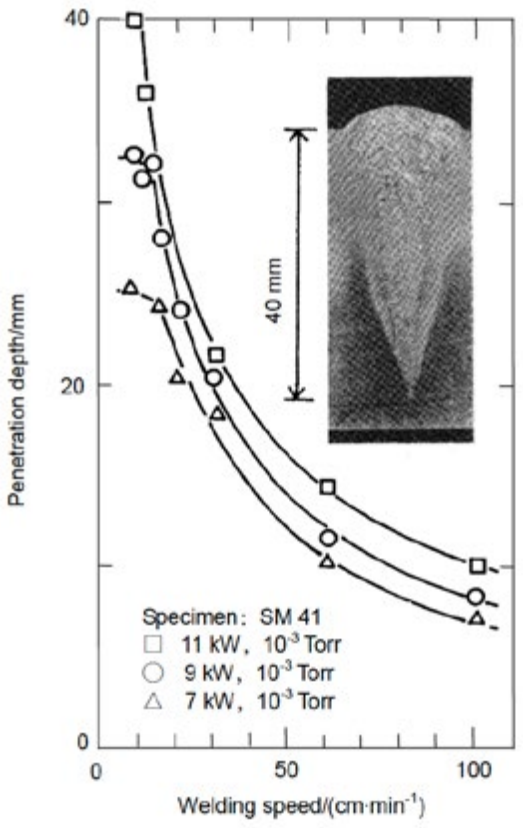


图 1 低真空环境下激光焊缝熔深 [7].

低真空环境下，激光焊接的熔深可大幅增大，在实现大厚板的深熔焊接方面展现出较强的优势。Katayama[9, 10] 在 2011 年建立一套可实现大功率真空激光焊接的装置，如图 2 所示，真空舱内压力可达到 0.1 kPa，组合两台 YAG 激光器使激光输出功率最大可达 26 kW，通过对不锈钢进行真空激光焊接试验 (环境压力为 0.1 kPa)，发现焊缝熔深最大可达到 73 mm，如图 3 所示。当激光功率较大为 16 kW 时，环境压力降低可以有效抑制焊缝表

面的飞溅缺陷，但是，当环境压力低于 1 kPa 时，焊缝出现驼峰缺陷。

从 Katayama 的试验结果可以看出，真空环境下激光焊缝的熔深并非随环境压力的减小线性增大，而是当环境压力低于某一数量级时，焊缝熔深大小趋于稳定，即真空度对焊缝成形和质量的影响存在临界值，德国学者 Borner[11] 也发现同样的现象，但是作者并没有对此进行深入的研究。哈尔滨工业大学李俐群 [12, 13] 自主研制一套可实现高真空环境的装置 (极限真空度可达到 10^{-4} Pa 数量级)，并对真空激光焊接的极限真空度展开系统的研究，作者首先研究了铝合金激光焊缝熔深随焊接环境压力的变化规律，发现当环境压力低于 10^{1} Pa 时，焊缝熔深基本不再发生变化，如图 4 所示。并且作者也认为焊缝熔深的变化与光致等离子体羽辉特性有关，并观察了铝合金、钛合金、镍基合金和不锈钢真空激光焊接过程中等离子羽辉形貌，发现当舱内压力低于 10^{1} Pa 时，等离子体羽辉的截面面积不明显，如图 5 所示。作者认为真空激光焊接存在临界真空度，不需要极高的真空度就可以获得熔深较

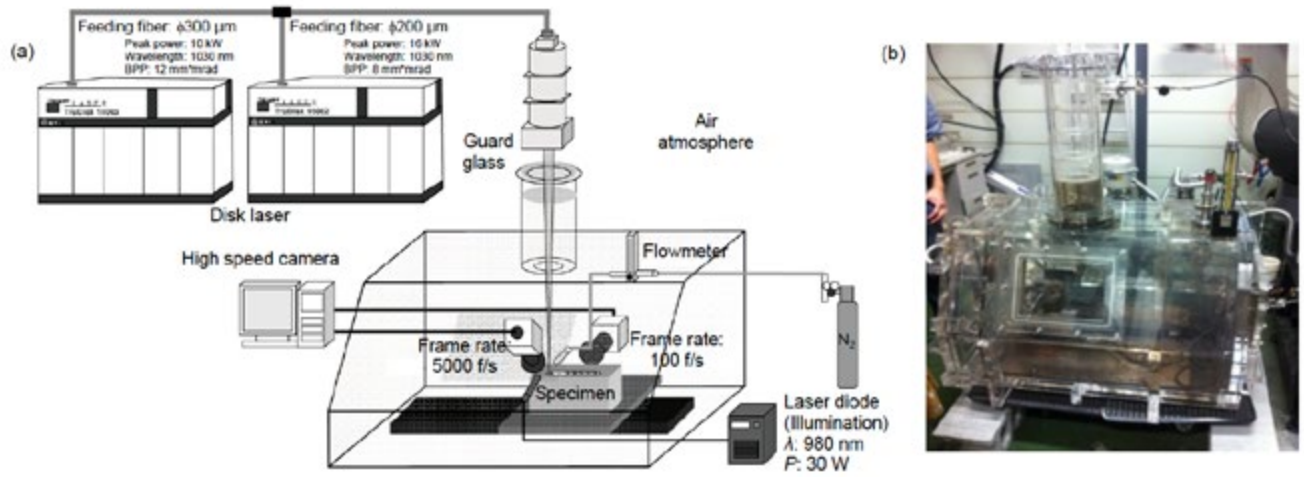


图 2 大功率真空激光焊接装置 [9] . (a) 总体示意图 . (b) 真空舱实物图 .

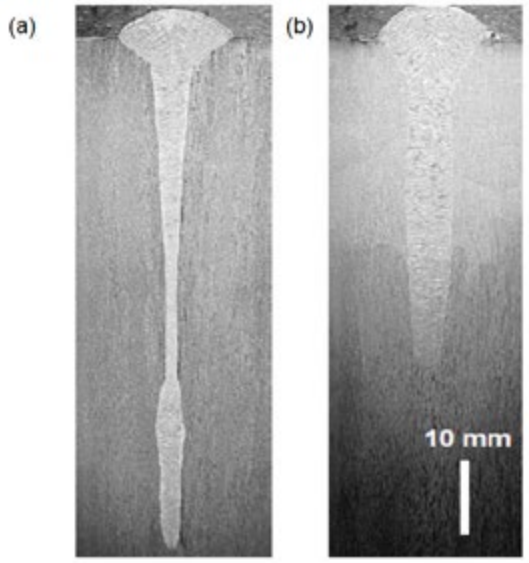


图 3 真空环境下 (环境压力 0.1 kPa) 不锈钢激光焊

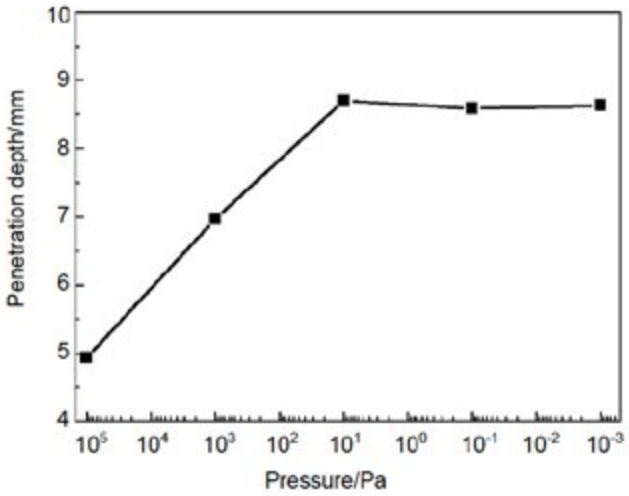


图 4 铝合金激光焊熔深随环境压力的变化规律 [12] .

大且气孔缺陷极少的焊缝，并且材料的种类和激光参数对临界真空度的影响不大。

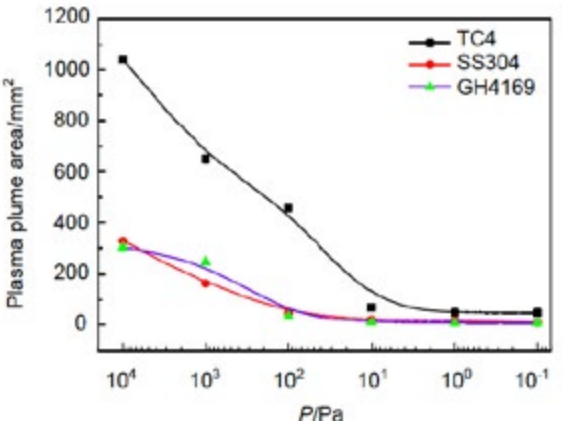


图 5 等离子体羽辉面积与真空度关系 [13].

但是，在真空舱内焊接无法满足大尺寸结构件的焊接要求。基于临界低真空的观点，上海交通大学唐新华 [14-17] 设计了局部“真空室”，如图 6 所示，通过快速抽气在密封腔内产生局部的负压，可使焊接工件熔池上方局部范围内达到低真空。作者通过试验发现当环境压力达到 20 kPa 时，激光焊缝的熔深会突然增大，并且焊缝的熔深随着局部“真空室”内的压力的减小呈现指数型增大的规律。但是焊接过程中局部“真空室”的移动会导致内部压力的增大，作者对比激光点焊和和连续焊（局部“真空室”随激光头一起运动）焊缝成形发现，连续焊的熔深较点焊有所减小，这是因为缝焊过程中，局部“真空室”的移动造成漏气现象从而导致气压的增大 [16, 17]。

通用中国科学研究院 Yang[18] 采用局部真空辅助激光焊的方法得到汽车用镀锌钢板无间隙搭接的高质量接头。焊接过程中匙孔保持敞开且更加稳定有助于锌蒸汽及时逸出，此外，等离子体羽辉偏向局部真空的抽气装置，有助于提高熔池的稳定性及激光能量的吸收率。

西北工业大学包海涛 [19, 20] 对真空环境下不锈钢和镁合金的激光焊缝缺陷和力学性能进行了研究，发现真空环境下镁合金激光焊缝的裂纹缺陷得到有效控制，并且与大气环境下得到的焊缝相比，真空环境下焊缝中心附近位置的显微硬度值有所增大，这主要是因为真空环境下等离子羽辉得到抑制，等离子体的热转导作用减弱，焊缝晶粒未明显长大。

3 等离子体羽辉特性、匙孔及熔池动态行为

学者们普遍认为真空环境下激光焊接熔深增大的一个主要原因是等离子体羽辉得到有效抑制。日本大阪大学 Katayama[9,10,21] 通过观察探测激光穿过等离子体羽辉后光斑位置及折射角的变化（如图 7 所示），认为真空环境下焊接激光束与等离子体羽辉的相互作用减弱是熔深增大的原因，并且真空环境下焊接飞溅得到有效抑制，匙孔的开口尺寸减小且更加稳定。

基于等离子体的光谱结果及理论计算，法国 Fabbro[22] 和国内哈尔滨工业大学李俐群 [12, 23, 24] 分析了真空激光焊接过程中等离子体羽辉的物理特性，激光焊接过程中等离子体的电子密度由环境压力所决定，等离子体的电子密度随着环境压力的降低

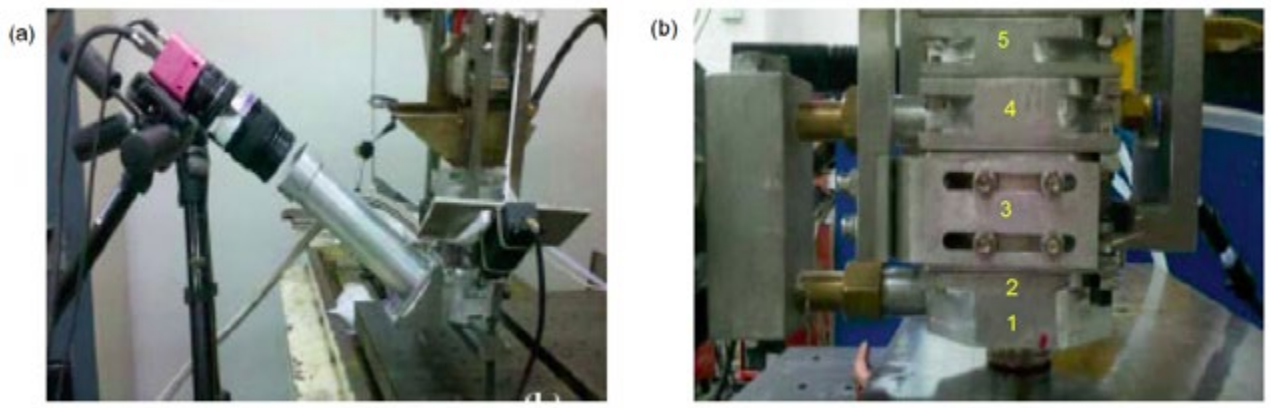


图 6 局部负压环境激光焊接装置 [14]. (a) 整体图 . (b) 结构图 (1. 负压模块; 2. 锥形孔模块; 3. 固定模块; 4. 空气刀模块; 5. 透镜模块).

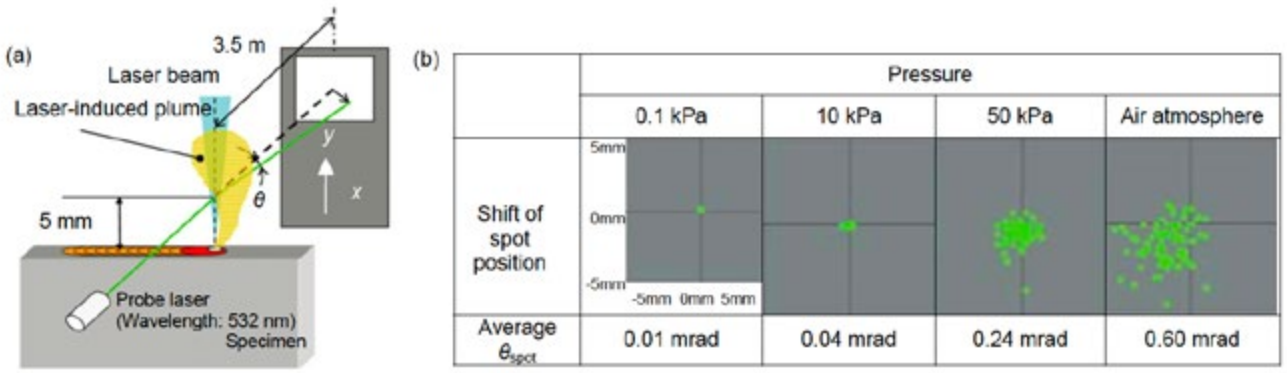


图 7 不同环境压力下探测激光穿过等离子体羽辉后特征 . (a) 装置示意图 [21]. (b) 光斑位置变化和折射角 [9] .

而减小，等离子体对产生的透镜效应及对激光能量的逆韧制吸收可完全被抑制，激光能量的吸收模式以菲涅尔吸收为主，大气环境下激光焊缝的“钉子状”截面形状消失，熔宽变小，熔深变大。上海交通大学唐新华 [14，25] 分析不同环境压力下探测激光透过等离子体羽辉的光谱结果，建立探测激光衰减的三维分布规律，由此得到了环境压力与等离子体羽辉被抑制的关系，即等离子体外侧扩散型羽辉、中部压缩型羽辉和匙孔附近驻留型羽辉被完全抑制时对应的压力值分别为 80 kPa、20 kPa 和 3 kPa。

焊缝成形良好及气孔缺陷消失与匙孔的稳定性及熔池的流动行为密切相关。日本大阪大学 Katayama[8] 发现环境压力减小后焊缝的气孔缺陷得到有效改善，当环境压力为 400 Pa 时，在不锈钢和铝合金焊缝中均未观察到气孔，作者首次通过 X 射线透射系统观察了真空激光焊接过程中匙孔及熔池的动态行为，发现与大气环境下不同，当环境压力为 400 Pa 时，在匙孔的尖端并未发现气泡的产生，并且熔池液态金属沿着匙孔壁向上流动 (大气环境下液态金属沿着熔池底部向后方流动，如图 8 所示)，有助于气泡快速逸出熔池，如图 9 所示。

上海交通大学唐新华 [14] 从一侧透明玻璃观察了真空焊接过程中小孔内壁的动态行为，发现随着环境压力的降低，匙孔的深度增大，匙孔后壁上由于匙孔内局部不稳定的金属蒸汽产生的不稳定波动得到改善，当环境压力低于 10 kPa 时，匙孔后壁变得平滑且稳定，从而可以有效抑制气孔缺陷的产生。

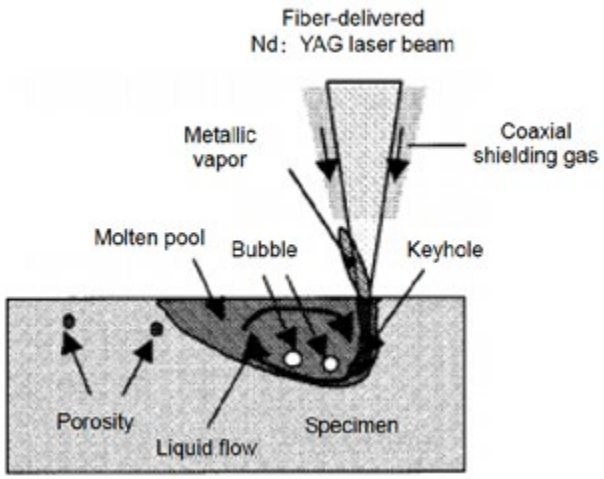


图 8 大气环境下激光焊接熔池流动及气孔形成示意图 [8].

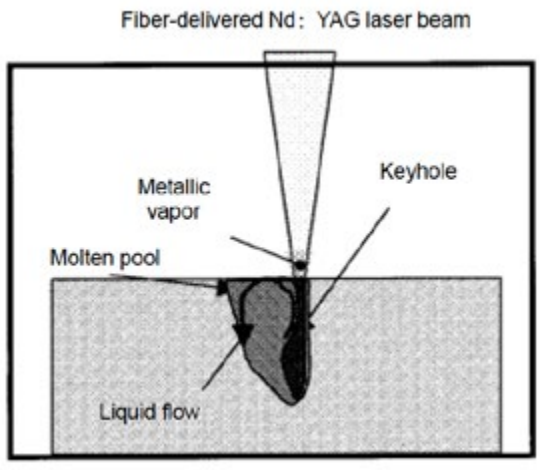


图 9 真空环境下激光焊接熔池流动行为示意图 [8].

法国 Fabbro 和国内华中科技大学庞盛永 [26-28] 对匙孔壁蒸汽反作用力计算模型进行改进，首次计算了环境压力对激光深熔焊过程中匙孔动态行为的影响。作者发现真空环境下匙孔壁的平均温度较大气环境下有所降低，如图 10 所示，导致真空环境下焊缝熔深增大。并且作者认为匙孔表面温度的不同会影响匙孔附近液态金属的流动行为，相比之下，大气环境下匙孔壁温度较高导致匙孔附近热传输作用明显使熔池流动行为更加复杂，从而使焊缝截面形貌发生变化，如图 11 所示。此外，作者还发现随着焊接速度的增大，真空环境下焊缝的熔深的增大幅度逐渐变小，这是因为随着焊接速度的增大匙孔壁的温度升高。当焊接速度较高 (6 m/min) 时，真空环境下焊缝熔深和大气环境下趋于一致，这是因为高速焊接时，环境压力的变化不会改变金属的蒸发温度 [28]。

4 真空激光焊接的应用

德国 Borner[29] 自制一套真空激光焊接设备，如图 12 所示，真空舱尺寸为 1.5 m^3，极限真空度可以达到 10^{-1} Pa，作者对 3 mm，10 mm 和 15 mm 不同厚度的钢的真空激光焊接特性进行研究，发现焊接过程飞溅缺陷得到有效抑制，焊缝的几何形状得到改善。作者认为真空环境下激光焊缝质量得到有效改善，拓宽了大功率固态激光器在工业领域的应用范围。

2015 年，德国 PTR 公司 [30] 与亚琛工业大学合作开发了一套真空激光焊接设备，激光头置于真空舱内部，如图 13 所示。将真空激光焊接技术应用于电站大型齿轮焊接上，获得了表面光滑、无缺陷的焊缝，如图 14 所示。该研究为真空激光焊接技术在工业领域的应用提供宝贵的参考。

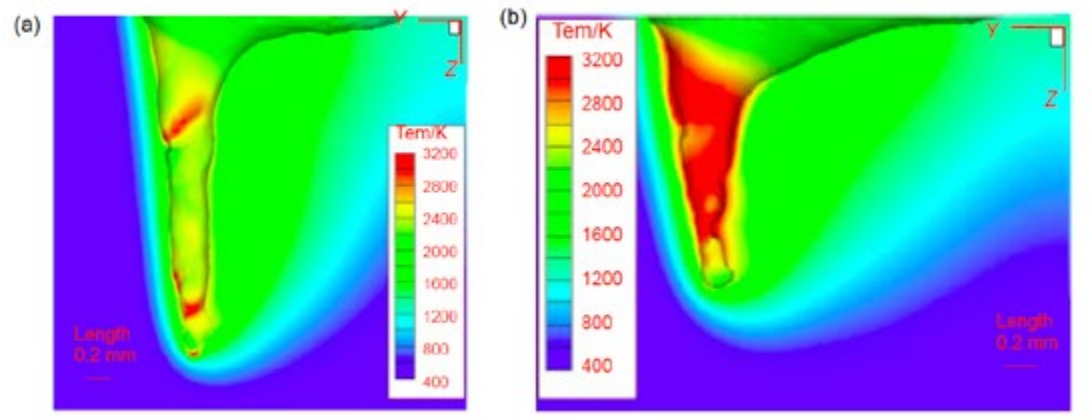


图 10 激光深熔焊匙孔纵截面温度分布云图 .(t=31.5 ms)[26]. (a) 真空环境 . (b) 大气环境 .

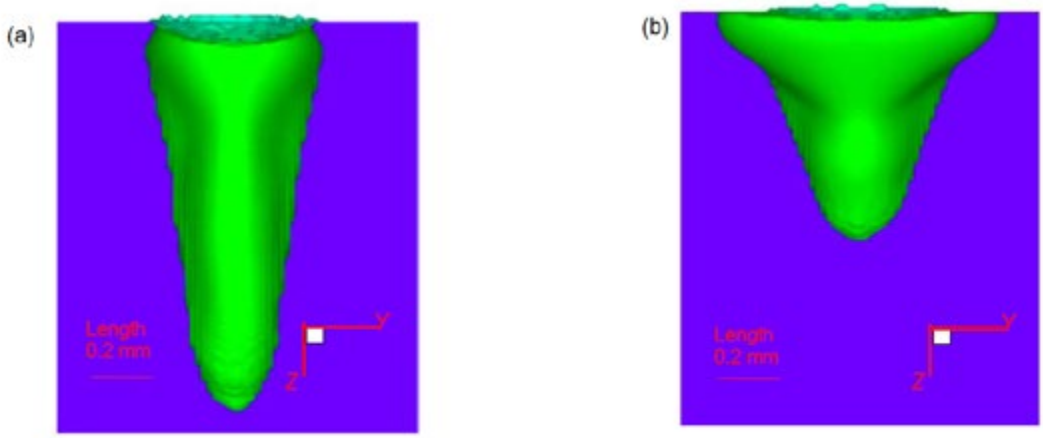


图 11 激光焊缝截面形貌 [26]. (a) 真空环境 . (b) 大气环境 .

图 12 真空激光焊接设备 [29]. (a) 激光头 . (b) 真空舱 . (c) 抽真空装置 .

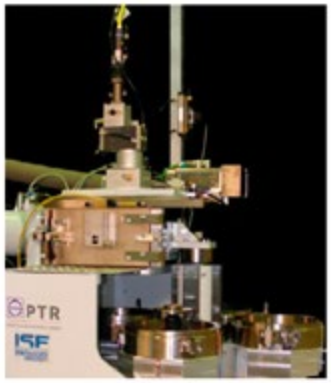


图 13 德国 PTR 公司真空激光焊接设备 [30] .

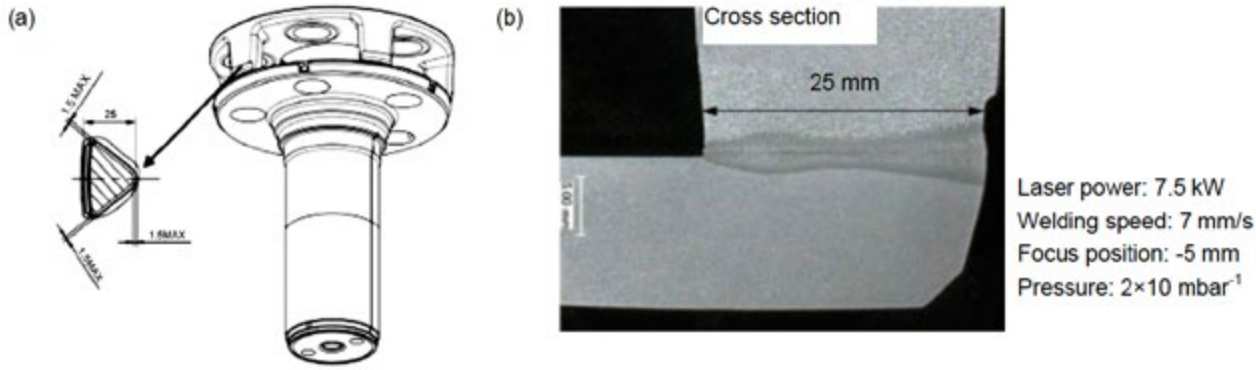


图 14 大型齿轮真空激光焊接 [30] . (a) 焊接位置示意图 . (b) 焊缝横截面 .

5 总结及展望

自 1985 年提出真空激光焊接技术以来，学者们普遍发现在低真空或者局部负压环境下，激光焊接焊缝熔深得到大幅提高，焊接过程飞溅及焊缝气孔等缺陷得到有效改善，并且环境压力对激光焊缝熔深及缺陷的影响存在临界值。真空环境下焊接特性的变化与等离子行为及熔池流动行为密切相关。随着大型真空舱及局部真空装置的出现，真空激光焊接技术已在电站大型齿轮焊接中得到应用，并在船舶、核电、压力容器等工业领域大厚板焊接中展现出较强的应用前景。

但是目前对真空环境下激光能量传输特性的研究尚不完善。对于真空环境下熔池液态金属流动行为发生改变缺乏科学的解释。真空激光焊接时，合金元素的蒸发、熔池液态金属的流动行为对焊缝金属凝固特性及接头性能的影响也有待进一步明确。在工程应用方面，真空激光焊缝“窄而深”的特点对工件装配的适应性较差，对真空激光焊接在工业领域的广泛应用有一定的限制。

未来真空焊接技术的发展需要从以下方面突破：

1) 有关真空环境下激光能量传输特性的研究，还需考虑真空环境下材料物性的变化、离子碰撞特性对等离子体羽辉团聚及扩散的影响。需借助图像在线监测、数值模拟、匙孔壁受力理论分析等方法系统的研究真空环境下熔池传热传质特性，并进一步阐明真空环境下焊缝金属的凝固行为。

2) 真空或局部真空装置应向高适应性和高度集成化的方向发展。针对大尺寸复杂结构件的焊接，需研制保压性能更好且结构适应性强的局部真空装置。并且，要在真空环境下实现激光填丝甚至激光复合焊接，对真空焊接舱或局部真空装置的设计和制造提出了更高的要求。

参考文献

[1] Ishide T, Shono S, Ohmae T, et al. Fundamental study of laser plasma reduction method in high power CO2 laser welding[C]// Proceedings of the International Conference on Laser Materials Processing-Science and Application, Osaka, Japan, 1987: 187–191.

[2] Arata Y, Abe N, Oda T. Fundamental phenomena in high power CO2 laser welding[J]. Transactions of JWRI, 1985, 14(1): 5–11.

[3] Beck M, Berger P, Hugel H. The effect of plasma formation on

beam focusing in deep penetration welding with CO2 Lasers[J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 1995, 28(12): 2430–2442.
[4] Wang C M, Meng X X, Huang W, et al. Role of side assisting gas on plasma and energy transmission during CO2 laser welding[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2011, 211(4): 668–674.
[5] Tse H C, Man H C, Yue T M. Effect of magnetic field on plasma control during CO2 laser welding[J]. Optics & Laser Technology, 1999, 31(5): 363–368.
[6] Peng Yun, Chen Wuzhu, Wang Cheng, et al. Controlling the plasma of deep penetration laser welding to increase power efficiency[J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2001, 34(21): 3145–3149.
[7] Arata Y, Abe N, Oda T. Fundamental phenomena in high power CO2 laser (Report II): vacuum laser welding[J]. Transactions of JWRI, 1985, 14(2): 217–222.
[8] Katayama S, Kobayashi Y, Mizutani M, et al. Effect of vacuum on penetration and defects in laser welding[J]. Journal of Laser Applications, 2001, 13(5): 187–192.
[9] Katayama S, Abe Y, Mizutani M, et al. Deep penetration welding with high-power laser under vacuum[J]. Transactions of JWRI, 2011, 40(1): 15–19.
[10] Katayama S, Youhei A, Mizutani M, et al. Development of deep penetration welding technology with high brightness laser under vacuum[J]. Physics Prodedia, 2011, 12: 75–80.
[11] Börner C, Dilger K, Rominger V, et al. Influence of ambient pressure on spattering and weld seam quality in laser beam welding with the solid-state laser[C]//Proceedings of the 30th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, Orlando, FL, USA, 2011: 621–629.
[12] Cai C, Peng G C, Li L Q, et al. comparative Study on Laser Welding Characteristics of Aluminium Alloy under Atmospheric and Subatmospheric Pressures[J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2014, 19(7): 547–553.
[13] 彭根琛 . 铝与镍合金的真空环境激光焊接特性研究 [D]. 哈尔滨 : 哈尔滨工业大学 , 2015: 28–44.
[14] 罗燕 . 负压激光焊接过程蒸气羽烟及熔池行为研究 [D]. 上海 : 上海交通大学 , 2015: 32–33.
[15] Chen Qintao, Tang Xinhua, Lu Fenggui, et al. Study on the effect of laser-induced plasma plume on penetration in fiber laser welding under subatmospheric pressure[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 78(1-4): 331–339.
[16] Luo Yan, Tang Xinhua, Lu Fenggui, et al. Experimental study on deep penetrated laser welding under local subatmospheric pressure[J].The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 73(5-8): 699–706.
[17] 罗燕 , 唐新华 , 芦凤桂 , 等 . 局部负压激光焊缝成形特点及其影响因素 [J]. 中国激光 , 2014, 41(6): 0603008.
[18] Yang S, Wang J, Carlson B E, et al. Vacuum-assisted laser welding of zinc-coated steels in a gap-free lap joint configuration[J]. Welding Journal, 2013, 92(7): 197-s–204-s.
[19] 包海涛 , 刘金合 , 刘锟 , 等 . 真空激光焊接工艺参数对 AZ31 镁合
金熔深的影响及缺陷分析 [J]. 应用激光 , 2008, 28(5): 366–370.
[20] 包海涛 , 刘金合 , 刘锟 , 等 . 低功率 YAG 激光真空焊接工艺 [J]. 航
空制造技术 , 2008(23): 92–95.
[21] Youhei A, Yousuke K, Hiroshi N, et al. Effect of reduced pressure atmosphere on weld geometry in partial penetration laser welding of stainless steel and aluminium alloy with high power and high brightness laser[J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2014,19(4): 324–332.
[22] Verwaerde A, Fabbro R, Deshors G. Experimental study of continuous CO2 laser welding at subatmospheric pressures[J]. Journal of Applied Physics, 1995, 78(5): 2981–2984.
[23] 姜梦 . 真空环境下激光焊接等离子体特性研究 [D]. 哈尔滨 : 哈尔工业大学 , 2015: 37–48.
[24] 姜梦 , 陶汪 , 陈彦宾 , 等 . 真空激光焊接焊缝成形及等离子体特征 [J]. 中国激光 , 2016, 43(4): 0403010.
[25] Luo Yan, Tang Xinhua, Lu Fenggui, et al. Spatial distribution characteristics of plasma plume on attenuation of laser radiation under subatmospheric pressure[J]. Applied Optics, 2015, 54(5): 1090–1096.
[26 Pang Shengyong, Hirano K, Fabbro R, et al. Explanation of penetration depth variation during laser welding under variable ambient pressure[J]. Journal of Laser Applications, 2015, 27(2): 022007.
[27] Pang Shengyong, Chen Xin, Zhou Jianxin, et al. 3D transient multiphase model for keyhole, vapor plume, and weld pool dynamics in laser welding including the ambient pressure effect[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2015, 74: 47–58.
[28] Fabbro R, Hirano K, Pang Shengyong. Analysis of the physical processes occurring during deep penetration laser welding under reduced pressure[J]. Journal of Laser Applications, 2016, 28(2): 022427.
[29] Börner C, Krüssel T, Dilger K. Process characteristics of laser beam welding at reduced ambient pressure[C]//Proceeding of the SPIE Volume 8603, High-Power Laser Materials Processing: Lasers, Beam Delivery, Diagnostics, and Applications II, San Francisco, CA, US, 2013: 86030M.
[30] Reisgen U, Olschok S, Jakobs S, et al. Welding with the laser beam in vacuum[J]. Laser Technik Journal, 2015, 12(2): 42–46

CIOE 组委会拜访专家委员会委员

CIOE 组委会拜访武汉光电工业技术研究院

中国国际光电博览会（中国光博会，CIOE）是光电行业规模最大和级别最高的光电产业盛会，由中国科学技术协会和深圳贺戎博闻展览有限公司主办，并得到国家多部委、国内外众多光电行业学会 / 协会协办和鼎力支持。中国光博会每年 9 月初在深圳会展中心举行，已经连续成功举办了 21 届，并将于 2020 年起移师新落成的深圳国际会展中心，总展览规模从 11 万平方米扩大至 16 万平方米，展示交流领域涉及信息通信、激光红外、精密光学、生物光子、光电传感、云计算、移动互联网与物联网等光电技术和产业链各个层面。

中国国际光电高峰论坛是在中国国际光电博览会领导下、光电产业领域极具影响力的光电产业盛会，每年与中国国际光电博览会（CIOE）同期举行。为了使中国国际光电高峰论坛在光电行业更具专业化、国际化、权威性，也为了更好服务于中国国际光电博览会数千家光电企业，促进我国光电产业进一步的发展，增进企业、学术、科研院所与政府部门之间的沟通交流，中国国际光电博览会特别成立专家委员会服务于光电产业各界。

近期，中国国际光电博览会组委会对部分专家委员会委员进行了拜访，还特别为武汉光迅科技股份公司金正旺副总经理，长飞光纤光缆股份有限公司数据通信事业部副总经理兼特种产品线总经理童维军博士，菲魅（武汉）通信技术有限公司匡国华总经理等行业专家颁发了担任 CIOE 专家委员会委员的聘书，邀请他们为 CIOE 发展献计献策，不断提升 CIOE 展览和论坛的专业性、国际性、权威性，共同努力把 CIOE 打造成集技术交流、产品展示、商贸交易的一站式全产业链展示平台，促进我国光电产业进一步发展，增进企业、学术、科研院所与政府部门之间的沟通交流。

CIOE 组委会拜访长飞光纤光缆股份有限公司数据通信事业部副总经理兼特种产品线总经理童维军博士（右）

CIOE 组委会拜访武汉光迅科技股份公司副总经理金正旺（左）

CIOE 组委会拜访菲魅光电总经理匡国华（右）

Biconical Lensed Fiber

Wedge Lensed Fiber

Apply For The Coupling Of High Speed Receiver

D Shape Cross Section Lensed Fiber

Metalized Taper Lensed Fiber

Wedge Lensed Fiber

Metalized Ribbon Fiber

Hermetically Sealed Fiber

Silicon Photonics Waveguide Coupling

CXFIBER 楚星光纤应用技术有限公司

Chuxing Optical Fiber Application Technologies Ltd.

Tel: + 86–027–87531766 + 86–15907190030 E–mail:sales@cxfiber.com

http://www.cxfiber.com

高科技的幕后英雄——盘点 MEMS 产业前行之路

作者：华夏幸福产业研究院

前言：MEMS 传感器是物联网、人工智能、5G 等新一代信息技术的感知基础和数据来源，已成为推动经济社会发展的关键基础与重要引擎。本文梳理了 MEMS 概念与分类、技术优势、应用领域及市场格局，探讨了 MEMS 产业链现状和特点，分析了产业发展机遇与趋势，并对我国如何实现产业升级提出了建议。

MEMS 概要：原理与分类

MEMS 全称 Micro Electromechanical System，即微机电系统，是将微电子与精密机械结合发展的工程技术，尺寸在 1 微米到 100 微米量级，核心功能是将物理信号转换为电子设备能够识别的电信号，主要用于传感器。这需要 MEMS 器件具有通道、孔、悬臂、膜、腔等一系列结构以测量环境变量，涵盖机械（移动和旋转）、光学、电子（开关和计算）、热学、生物等功能结构，涉及众多交叉学科。

MEMS 传感器发展经历了三个阶段：1990 ~ 2000 年的汽车电子化浪潮，点燃了 MEMS 传感器的需求；2000 ~ 2010 年的消费电子浪潮，推动 MEMS 传感器呈现多品类、多功能一体化的发展态势；2010 年至今的物联网及人工智能浪潮，带动了 MEMS 传感器单品放量、软硬协同化发展。

MEMS 传感器的种类繁多，根据测量量不同可分为：MEMS 物理传感器、MEMS 化学传感器、MEMS 生物传感器三大类，每一种 MEMS 传感器又有很多细分类别，如图 2 所示。常见的 MEMS 传感器有压力传感器、加速度传感器、微机械陀螺仪、惯性传感器、MEMS 硅麦克风等等。MEMS 传感器的品种多到以万为单位，且不同 MEMS 之间参量较多，没有完全标准的工艺。

MEMS 继承了集成电路的先进制造工艺，相比传统产品，具有微型化、成本低、效能高、可大批量生产等优势，产能高，良品率高。微米量级的特征尺寸使 MEMS 传感器可以轻松胜任某些传统机械传感器所不能实现的功能，是微型传感器的主力军，正加速应用于大众生活及工业生产的各个方面。

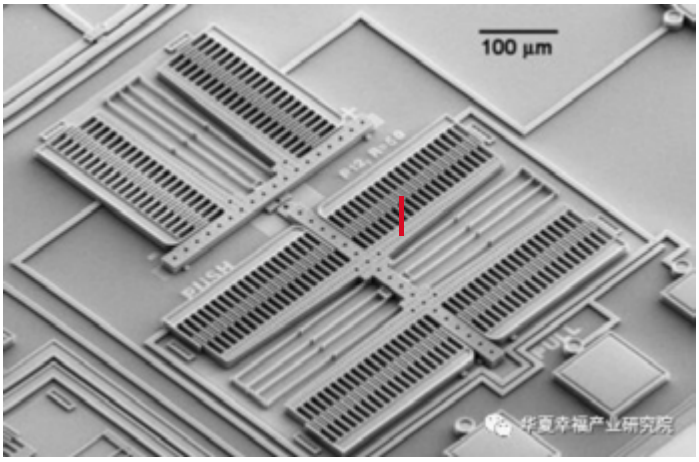


图 1. MEMS 传感器结构示意图（图片来源：华夏幸福产业研究院整理）

图 2. MEMS 传感器分类 （图片来源：华夏幸福产业研究院整理）

应用领域：百花齐放，精彩纷呈

作为获取信息的关键入口，MEMS 传感器已在汽车、消费电子、航空航天、生物医学等领域中得到了广泛的应用。

图 3. MEMS 传感器在智能手机领域的应用 （图片来源：Yole Development，民生证券）

汽车：在 20 世纪 90 年代，MEMS 首先在汽车工业开始应用，汽车电子被认为是 MEMS 传感器第一波应用高潮的推动者。受益于汽车行业安全规定及信息化、智能化浪潮，MEMS 传感器在汽车领域得到飞速发展，其应用方向和市场需求包括车辆的防抱死系统、电子车身稳定程序、电控悬挂、电动手刹、斜坡起动辅助、胎压监控、引擎防抖、车辆倾角计量和车内心跳检测等。根据相关调研数据，目前平均每辆汽车包含 10 – 30 个 MEMS 传感器，而在高档汽车中大约会采用 30 甚至上百个 MEMS 传感器。

消费电子：随着消费电子的大发展及产品创新不断涌现，该领域已经取代汽车成为 MEMS 最大的应用市场。MEMS 传感器在消费电子产品中可用于运动 / 坠落检测、导航数据补偿、游戏 / 人机界面交互、电源管理、GPS 增强 / 盲区消除、速度 / 距离计数等，应用较多的品类为 MEMS 麦克风、3D 加速器、MEMS 射频组件、GPS 陀螺仪、小型燃料电池与生化芯片等。多种 MEMS 传感器的综合应用可增加电子设备的娱乐性及智能性，改善交互性能，大大提升了用户体验。

航空航天：MEMS 在航空航天领域主要有状态传感器和环境传感器之分。状态传感器主要针对飞机姿态、燃料用量、生命活动、各种活动机件的即时位置等进行监测。环境传感器主要针对温湿度、氧气浓度、流量大小等方面进行测量。通过提供有关航天器的工作信息，MEMS 传感器起到故障诊断、提供决策依据、保障正常飞行的作用。近期事故频出已全球停飞的波音 737MAX 飞机，故障主要原因之一是迎角传感器产生读数输出错误，导致了系统不能起到严格的保护作用。小小传感器对航空航天安全的重要性可见一斑。

生物医疗：随着体外诊断、药物研究、病患监测、给药方式以及植入式医疗器械等领域发展，医疗设备需要迅速提高性能、降低成本、缩小尺寸。MEMS 技术使医疗设备可以做到微型化，医疗检测、诊断、手术和治疗过程可以更加便捷、精准，甚至无痛。MEMS 压力传感器可以检测包括血压、眼内压、颅内压、子宫内压等在内的人体器官压力水平。MEMS 惯性器件最主要用于心脏病治疗设备。MEMS 图像传感器普遍应用于包括 CT 扫描、内窥镜在内的医学成像设备中。MEMS 技术在传感和执行功能上的优势，使其在医疗健康行业的应用广泛增长。

此外，MEMS 技术在国防、工业、能源及环保等领域也有广泛应用，为各行各业提供自动化、智能化的数据接口，赋能智能社会。根据相关市场调研数据，全球 MEMS 市场结构中消费电子领域占比最高，增长空间最大的是生物医疗领域。

市场格局：竞争激烈，美德日企业主导市场

市场调查公司 Yole Development 公布了 2018 年全球 MEMS 产品销售额 TOP30 的企业排行榜，如图 4 所示。数据显示，2018

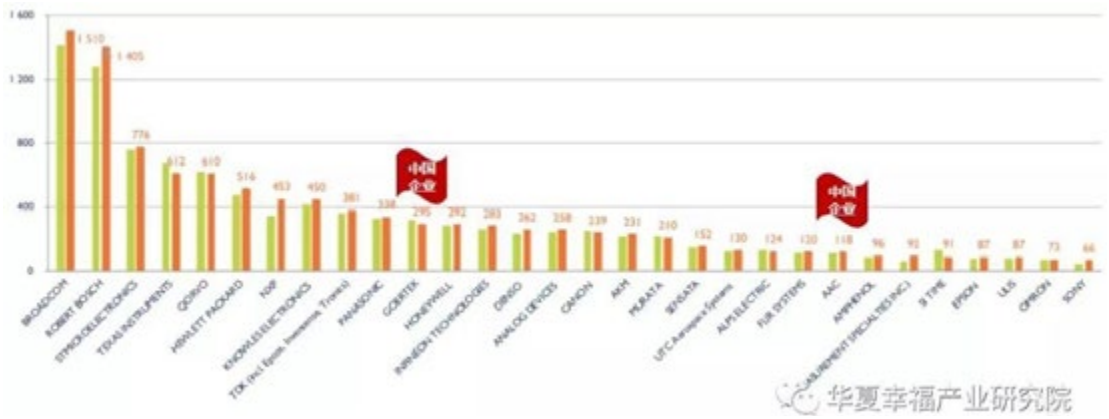


图 4. 2018 年 MEMS 厂家销售额排名 TOP30，单位：百万美元（数据来源：Yole Development，华夏幸福产业研究院整理）

年总销售额比 2017 年增加了 5%，至 103 亿美元（约人民币 700. 4 亿元）。TOP30 企业的销售额占据了全球 MEMS 市场规模约 90%的份额。

从头部企业看，“双博(博通＋博世)厮杀”效应显现。两家的营收均超过 10 亿美元，大幅领先后续厂商，形成寡头现象。TOP1 博通从 2013 年开始飞速增长，并曾经因试图收购高通公司而名噪一时。博通主打射频类 MEMS 产品，智能手机快速普及导致射频 MEMS 产品量价齐升，这对博通保持首位起到了决定性作用。排名第二的博世主打运动类 MEMS 产品，双重布局于汽车和消费电子领域。据调研，几乎所有的新车都要搭载博世的 5 个 MEMS，全球约 50% 的智能手机都要至少搭载博世的 1 个 MEMS。同时博世拥有自己的 MEMS 制造基地，可以优化制造成本。可以预计，今后博通与博世的“斗争”将会愈演愈烈。

从颈部企业看，产品多元，竞争激烈。TOP3 的意法半导体不仅提供车载、工业、民用等方面的 MEMS 产品，也为其他公司代工生产 MEMS。作为老牌厂商的 TOP4 德州仪器市场份额逐年下降，正在积极开拓车载等新市场。TOP5 的 QROVO 也定位在射频 MEMS 赛道，目前正在积极弥补交付延迟问题。作为同样营收超 5 亿美元的 TOP6 惠普公司，正凭借 MEMS 喷墨头实现增长。此外，TOP30 其他企业的产品还覆盖了声学 MEMS（楼氏、歌尔股份、瑞声科技），辐射类 MEMS（FLIR、ULIS），生物类 MEMS（欧姆龙）、图像类 MEMS（佳能、索尼），并纷纷在自己的赛道实现跨越和赶超。

中国企业两家上榜，分别是 TOP11 的歌尔股份(GCERTEK)和 TOP23 的瑞声科技(AAC)。两家企业主攻声学 MEMS 产品及系统集成，排名相较 2017 年没有变化。但受 2018 年下游市场智能手机销售疲软影响，两家企业 2018 年业绩不佳。预计未来两年在智能音箱、AR / VR 等产品需求的带动下，可以期待两家企业亮眼的表现。

图 5. MEMS 产业链及代表企业（图片来源：华夏幸福产业研究院整理）

由于 MEMS 传感器产品种类多，应用领域要求差异大，因此各企业都有自己主攻的市场领域和一定的生存空间。整体来看，MEMS 传感器市场被国外企业主导。

产业链：中国设计、代工有待加强，封测环节具备竞争力

类似于集成电路行业，MEMS 产业链也分为上游设计－中游制造－下游封装测试三大环节，如图 5 所示，各环节产业分工明确。大部分 MEMS 行业的主要厂商是以 Fabless 为主，例如博通、楼氏等。同时，也有 IDM 厂商垂直参与到整条产业链的各个环节，可提高品牌整竞争力。

国内 MEMS 产业链布局完整，但总体而言产业还处于发展的起步阶段，产品在精度和敏感度等性能指标上与国外存在巨大差距，应用范围也多局限于传统领域。

设计环节：企业具备一定创新能力，但业务重合度高，产品定位中低端，行业整体营收规模偏小。MEMS 设计属于产业链高附加值环节，国内企业产品以力学传感器为主，在市场中处于中低端水平。企业销售额普遍偏小，除美新半导体每年有 2 － 3 亿元的营收外，苏州敏芯、无锡芯奥微、南京高华等少数企业收入为千万级，其余绝大多数企业是百万级或尚未开始产品销售。

代工环节：技术授权建设产线的产能尚未开出，纯 MEMS 代工厂仍处于产业导入期。MEMS 代工可分为中试线、IC 代工和 MEMS 专业代工三种。中试线多以高校及科研院所为主体，作为产业共性技术研发平台，不以盈利为目的，产能有限。IC 代工厂 MEMS 业务处于起步阶段，能力较为薄弱，国内具备一定规模的设计企业基本选择国外代工厂。MEMS 专业代工方面，2015 年底国内厂商耐威科技收购瑞典 MEMS 代工厂 Silex Microsystems，从而一举掌握全球领先的 MEMS 代工技术。此

外，罕王微电子、西安励德微系统等一批企业也相继进入专业 MEMS 代工领域。

封测环节：外购 MEMS 芯片封测模式较为成熟，以声学 MEMS 产品为主的企业具备一定国际竞争力。虽然国内 MEMS 代工落后于国际大厂，但封装测试技术起步较早，已取得不错的成绩，并具备国际竞争力。其中，以 MEMS 麦克风为主要产品的歌尔股份和瑞声科技，由于商业模式为购买国外设计厂商的 MEMS 产品 IP，委托代工制造后自己完成产品的封装测试及销售，因而存在一定的溢价空间，现已跻身全球 MEMS TOP30 的阵营。

发展趋势：市场景气度高，产品向“四化”演进

▲ 从市场规模看，受益于人工智能、5G、物联网等新产业高速发展带动，预计未来 MEMS 产业将有较快增长。

各大 MEMS 企业在 2018 年增长略低于预期，反映出半导体行业正在进行温和的调整。但随着人工智能、5G、物联网等新兴产业火热发展，消费电子、智能汽车等市场需求逐步复苏，新产品、新功能、新领域不断拓展，据 Yole 预测，MEMS 市场将在 2018 年至 2024 年期间实现显著增长：整体市场营收的复合年增长率约为 8. 3%，出货量的复合年增长率约为 11. 9%。

各细分产品预计增长情况如图 6 所示。整体来看，传统产品如惯性 MEMS、压力 MEMS 及喷墨头 MEMS 增长空间有限；振荡器、指纹、热电 MEMS 等渗透率仍有较大提升空间，未来前景看好。

▲ 从技术和产品趋势看，MEMS 传感器正在向四化——智能化、集成化、低功耗化、微型化演进。

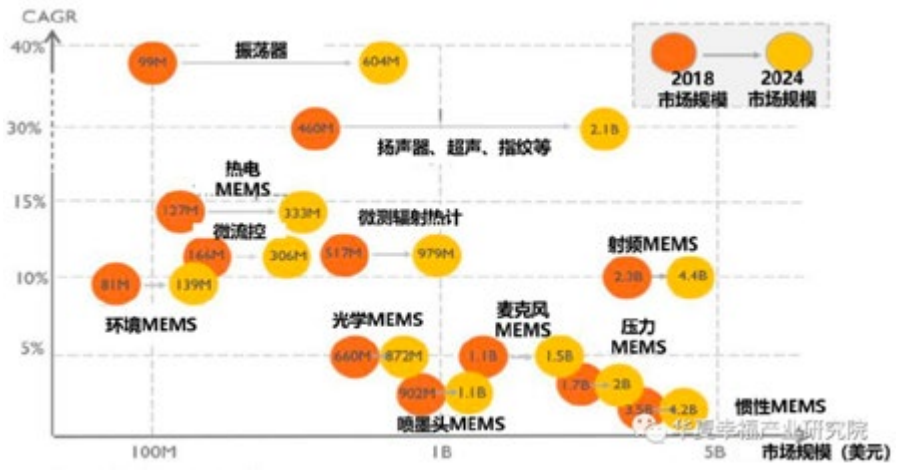


图 6. 2018 — 2024 MEMS 细分产品市场增长预测（数据来源：Yole Development，华夏幸福产业研究院整理）

加入信号处理功能，实现智能化。现代传感器作为电子产品的“感知中枢”，通过加入微控制单元和相应信号处理算法，还可以承担自动调零、校准和标定等功能，实现终端设备的智能化。

传感器呈现多项功能高度集成化和组合化。由于设计空间、成本和功耗预算日益紧缩，在同一衬底上集成多种敏感元器件、制成能够检测多个参量的多功能组合 MEMS 传感器成为重要解决方案。

传感器低功耗化需求日趋增加。随着物联网等应用对传感需求的快速增长，传感器使用数量急剧增加，能耗也将随之翻倍。降低 MEMS 功耗，增强续航能力的需求将会伴随传感器发展的始终，且日趋强烈。

微型化不可逆，MEMS 向 NEMS 演进。与 MEMS 类似，NEMS（纳机电系统）是专注纳米尺度领域的微纳系统技术，只不过尺寸更小。而随着终端设备小型化、种类多样化，MEMS 向更小尺寸演进是大势所趋。

总结：

作为“More than Moore”的重要方向和突破口，并在人工智能、物联网等热点应用风口催化下，MEMS 产业目前正处于巨大的战略机遇期。

从产业链环节看，国内缺乏对 MEMS 相关关键技术的自主研发和产业化能力。从企业规模看，2018 年我国 MEMS 传感器制造企业大约有 200 家，大多属于初创类中小型企业。从产品结构看，国内 MEMS 公司在营业规模、技术水平、产品结构等与国外有明显差距，主要产品集中在中低端的传统领域。

尽管我国 MEMS 传感器厂商面临挑战诸多，但从上游设计、中游制造、下游封测等领域国产替代的空间巨大。中国 MEMS 发展任重道远，中国应以巨大的市场应用为牵引，不断弥合人才缺口，研判和把握未来趋势，锚定自主创新之路，实现规模化崛起和赶超。

智能驾驶车载激光雷达关键技术与应用算法

作者：陈晓冬，张佳琛，庞伟淞

智能驾驶技术的迅速发展极大地推动了各类环境感知传感器的研究。车载激光雷达s（Light Detection and Ranging，LiDAR）因其具有可准确获取目标的三维信息、分辨率高、抗干扰能力强、探测范围广、近全天候工作等优点，在智能驾驶环境感知系统中占据了重要地位。智能驾驶这一特定情境对车载激光雷达的硬件技术与应用算法的性能均提出了很高的要求，如应用于Level 3（由SAE（Society of Automotive Engineers）提出的智能驾驶自动等级，从Level 0-5共6级）[3]以上智能驾驶系统的车载激光雷达，其激光安全等级应为class 1（功率小于0.4mW低输出激光），以保证智能驾驶汽车行驶过程中行人的安全；其探测距离至少应为100m，测量精度在厘米级，扫描频率至少在5-20Hz，以满足智能驾驶汽车的高速行驶的要求；而且LiDAR点云数据的传输速率、点云处理算法的运行速度、精度以及处理效果也必须满足汽车高速行驶的需求；同时激光雷达的体积、重量、成本、驱动电压均应当符合车载系统的安装水准。

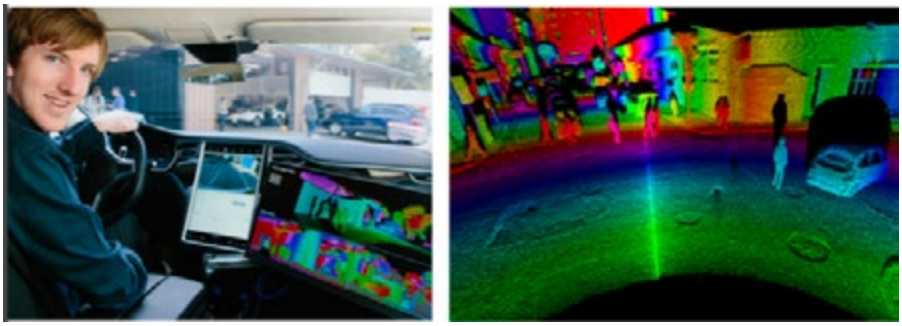


图1. 左：Luminar公司联合创始人Austin Russell在智能驾驶车中观看雷达点云图像；右：Luminar激光雷达生成的周围环境点云图，颜色表达了环境中物体的距离信息。图片引用自Jeff Hecht,"Lidar for Self-Driving Cars," Optics & Photonics News 29(1),26-33 (2018).

为达到智能驾驶对车载激光雷达的高要求，针对车载激光雷达关键技术与应用算法的相关研究不断地深入拓展。在激光发射、接收、扫描等诸多激光雷达硬件技术中，目前人们普遍认为扫描技术是车载激光雷达的关键，它直接决定了雷达的扫描频率、扫描范围、点云数据量等各项重要参数，是缩小车载激光雷达的整体体积与降低成本的关键，也直接影响了车载激光雷达的车规级量产的实现。根据扫描单元的结构不同，智能驾驶车载激光雷达可分为机械式、混合式及全固态三类。目前智能驾驶应用主流车载激光雷达为机械扫描式雷达，因其体积大、功耗大，特别是成本远远超出了智能驾驶商业化预期，自然成为人们重点关注和致力研究解决的焦点问题，也由此形成了以扫描技术为核心的车载激光雷达小型化、固态化技术研究趋势。除机械式雷达外，混合式车载激光雷达已开始应用于智能驾驶解决方案中，全固态车载激光雷达仍处于研发初期阶段。

在应用算法开发方面，针对高扫描频率与分辨率的车载激光雷达每秒产生的百万计点云数据，点云处理算法多种多样，它们都是建立在应用开发者选取的不同应用场景之上，特性各有优劣，尚不存在完美的统一算法，但应用算法研究追求的目标是相同的，就是要在有效处理数据的基础上不断追求实时性与高精度，以便为智能驾驶系统的控制与决策提供有效的技术支撑。

本文将围绕车载激光雷达关键技术，特别是以扫描方式的变革为核心进行重点阐述，分析现有激光雷达扫描技术的类型、实现方法及发展趋势；总结现有车载激光雷达应用算法的发展以及由基础算法的集成衍生出的前沿热门技术。

机械式车载激光雷达是指通过机械旋转实现激光扫描的车载激光雷达。其中，

激光发射部件在竖直方向上排布成激光光源线阵，并可通过透镜在竖直面内产生不同指向的激光光束；在步进电机的驱动下持续旋转，竖直面内的激光光束由“线”变成“面”，经旋转扫描形成多个激光“面”，从而实现探测区域内的 3D 扫描。机械式车载激光雷达是最早应用于智能驾驶的激光雷达产品，时至今日凭借其原理简单、易驱动、易实现水平 360° 扫描等优点仍被广泛应用于智能驾驶实验测试车上。

尽管机械式车载激光雷达探测性能优越、技术成熟，是当前的主流，但其高昂的成本和较短的使用寿命却使其无法实现车规级量产。机械式车载激光雷达内部结构精密，零件数多、组装工艺复杂、制造周期长，因此生产成本居高不下。HDL-64E 售价高达 8 万美元，VLS-128 售价虽尚未公开，但可想而知必定更加昂贵。机械式车载激光雷达内部含有大量可动部件，易受车辆振动影响，在行车环境下磨损严重，长期使用可靠性差。如今机械式传感器平均失效时间为 1000-3000 小时，而汽车厂商的要求是至少 13000 小时。此外，机械式激光雷达还存在接受光窗数值小、信噪比低等缺点。

为降低车载激光雷达的生产成本，增加其结构的稳定性，同时保证其较好的探测性能，混合式车载激光雷达和全固态车载激光雷达应运而生。落地生产并在智能驾驶解决方案中初步推广应用的主要是混合固态激光雷达，具有实用性的全固态激光雷达产品仍在研发中。

混合式车载激光雷达将微机电系统（Microelectromechanical System，MEMS）与振镜结合形成 MEMS 振镜，通过振镜旋转完成激光扫描，一般称为 MEMS 车载激光雷达。其发射系统结构如图 3 所示，驱动电路驱动激光器产生激光脉冲同时驱动 MEMS 振镜旋转，激光在旋转振镜的反射下实现扫描，经发射光学单元准直后出射。

图 2. 左：著名 64 线机械式激光雷达威力登 HDL-64E；右：威力登 2017 年提出的 128 线激光雷达 VLS-128

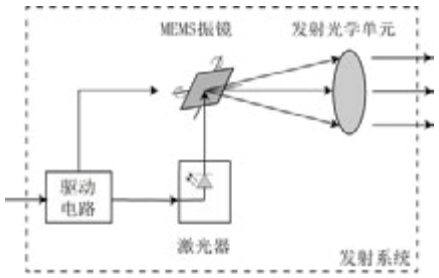


图 3.MEMS 车载激光雷达发射系统结构

MEMS 车载激光雷达将机械结构进行微型化、电子化的设计，避免了机械式激光雷达那样整体大幅度的旋转，有效降低了功耗和整个系统在行车过程中出现问题的几率。由于其将主要部件运用芯片工艺生产，量产能力随之提高，成本大幅降低，售价远低于同等性能的机械式车载激光雷达。加之技术上容易实现，因此是当下呼声最高、最有希望短期内实现车规级量产的车载激光雷达。

MEMS 车载激光雷达的不足之处在于 MEMS 振镜机械扫描角度较小，需要增设角度扩大系统来实现大视场扫描。董光焰、Siepmann 等采用正负透镜组来扩大扫描角度，使扫描范围增大到 40° 以上。李启坤等提出一种基于 2D MEMS 镜的激光雷达，通过 16 高速光开关分时给 6 个水平探测角度为 60° 子系统提供光信号，实现 360° 水平方向全扫描，但该雷达有效探测距离仅限于一百米以内。

全固态车载激光雷达，完全取消了机械扫描结构，水平和垂直方向的激光扫描均通过电子方式实现；相比于仍保留有“微

动”机械结构的 MEMS 激光雷达来说，电子化的更加彻底。由于其内部没有任何宏观或微观上的运动部件，可靠性高、耐持久使用，系统整体体积缩小。主要包括光学相控阵（Optical Phased Array，OPA）车载激光雷达和闪光（Flash）型车载激光雷达两种。

OPA 车载激光雷达采用光学相位控制阵列技术实现激光扫描。相位控制阵列由电光扫描单元排列而成，在特定电压的作用下，各单元将发射出具有特定相位和光强的光波；调节各发射光波之间的相位关系，可使其在某一特定方向上产生相互加强的干涉，从而产生具有一定指向性的高强度光束；相控阵单元将按程序设计，在各设定方向上依次产生高强度光束，从而达到光束扫描的效果。2016 年美国国际消费类电子产品展览会 (International Consumer Electronics Show，简称 CES) 上，Quanergy 推出的全球款专为智能驾驶汽车设计的固态激光雷达 S3 即为 OPA 固态激光雷达，商家声称该产品成本低至 200 美元，只有手掌大小，探测距离 150 米，角分辨率高达 0.02°，水平视场为 120°。但 S3 至今尚未发售，在智能驾驶解决方案中的实际应用案例无从查询，随车使用时能否达到介绍的效果也不得而知。

目前用于实现电光扫描的主要材料有：液晶、光波导（铌酸锂晶体、GaAs 等）、PLZT 压电陶瓷、铁电畴、光纤光栅。各种材料使用时的相关参数如表 1 所示，可以看出，PLZT 压电陶瓷、铁电畴与光纤光栅的驱动电压都很高，液晶与光波导材料（铌酸锂晶体、GaAs）的驱动电压则较低。由于车载系统难以提供较高的驱动电压，因此目前车载激光雷达中主要应用的电光材料为液晶与光波导。

材料类型	液晶	铌酸锂晶体	GaAs	PLZT 压电陶瓷	铁电畴	光纤光栅
响应时间	ms	ps	ns	ns	ms	ns
驱动电压	<10V	<10V	<10V	<1000V	≈ 5000V	700V
扫描角度	<10°	<0.1°	≈ 30°	<0.1°	≈ 10°	≈ 20°

表 1. 不同材料用于光学相控阵激光扫描时的参数对比

类别	算法名称	关键技术	特点
点云分割	非模型投影法	地面投影法、虚拟像平面投影法	简单高效，不适用于复杂形体分割
	聚类法	K-means 聚类等	分割准确性高，较复杂
目标跟踪与识别	检测与跟踪	物体级检测与跟踪	实时性好，不适用于复杂环境
		栅格单元级检测与跟踪	跟踪精度高，计算效率低
	分类与识别	基于全局特征的目标分类与识别	识别速度快，受环境遮挡影响大
		基于局部特征的目标分类与识别	噪声不敏感，抗密度干扰性差
即时定位与地图构建	基于滤波器的 SLAM	扩展卡尔曼滤波器、Factored Solution to SLAM 等	较准确，不适用于大场景
	基于图优化的 SLAM	位姿图优化等	全局优化，对初始值要求高

表 2. 车载激光雷达应用算法

OPA 车载激光雷达扫描速度快，可达 MHz 量级以上；可控性好，可对目标区域进行高密度扫描而对其他区域进行稀疏扫描；成本低，售价在几百到几千美元不等，远低于同等性能的机械式和混合式车载激光雷达。目前制约 OPA 车载激光雷达实现车规级量产的原因首先在于其易形成旁瓣、影响光束作用距离和角分辨率；其次在于其采用高精度集成的微阵列芯片式设计，制作工艺难度高。

Flash 型车载激光雷达属于非扫描式激光雷达，运行时直接发射出一大片覆盖探测区域的激光，随后由高灵敏度接收器阵列计算每个像素对应的距离信息，从而完成对周围环境的绘制。

Flash 型激光束直接向各个方向漫射，只要一次快闪便能照亮整个场景，因此能快速记录环境信息，避免了扫描过程中目标或激光雷达移动带来的运动畸变。目前其无法用于智能驾驶汽车的原因在于其探测距离小，当探测目标距离过大时返回的光子数有限，导致探测精度降低，无法准确感知目标方位。2016 年美国亚德诺半导体公司发表的相关专利中提出通过将视角分段、将激光器与探测器分组的方法缓解上述问题。2017 年左右，美国 Princeton Lightwave 公司推出了 Flash 3D 激光雷达产品 GeigerCruizer，该产品中使用了单光子雪崩二极管这种高敏感度传感器，在合适的频率一个光子就能将其激活，这使得 GeigerCruizer 感知距离超过 300 米且符合人眼安全要求。根据其官网公布的测试视

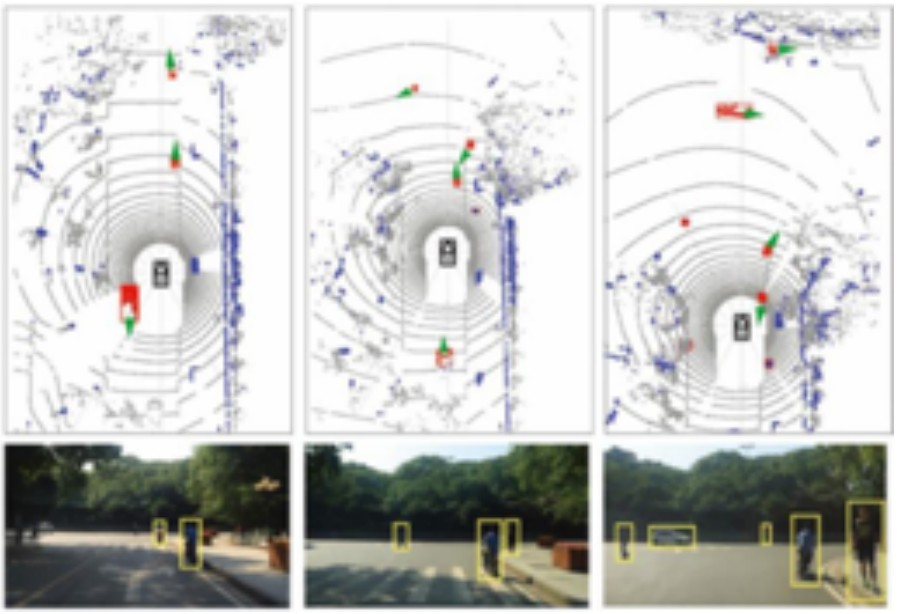


图 3. 点云目标检测与跟踪示意
图片引用自“叶语同，李必军，付黎明。智能驾驶中点云目标快速检测与跟踪 [J]. 武汉大学学报（信息科学版），2019,44(01):142-147+155.”
本文研究被天津市科技计划基金资助项目（项目号 No.17ZXRGGX00140）支持。

频可见，近至 50 米处的飞盘，远到 350 米处高速公路上以时速 60 公里行驶的汽车均在其快闪时成像；近处目标的 3D 点云成像较为完善，远处目标的 3D 点云成像则有一定程度的缺失。

高效的应用算法对车载激光雷达充分实现探测性能至关重要，因此业界越来越多的人认为智能驾驶汽车最终将成为一个“软件产品”。为及时准确感知周围环境，跟踪并识别障碍物、完成智能驾驶汽车定位和行驶路径规划，保证其安全、高效的行驶，车载激光雷达的数据处理应满足实时、稳定、高精度的要求。现有车载激光雷达应用算法都具有不同程度的局限性，首先，算法可靠性和实时性相互制约，二者难以同时满足；其次，算法多为针对某一特定场景开发，难以保证可移植性和稳定性。场景的复杂性和多样性使得算法的研究异彩纷呈，呈现出多层次、多角度的多元组合态势。

车载激光雷达应用算法可分为 3 类：点云分割算法、目标跟踪与识别算法、即时定位与地图构建算法（Simultaneous Localization And Mapping，SLAM），如表 2 所示。各类算法的合理选择使用将解决不同场景下的智能驾驶问题，其中点云分割算法是目标跟踪与识别的基础，目标跟踪与识别将实现对汽车周围障碍物运动状态和几何特征的判断，SLAM 将实现汽车的精确定位与可通行路径规划。

综上分析可见，随着全球智能驾驶进入产业化与商业化的准备期，车载激光雷达凭借其优异性能已成为不可或缺的环境感知传感器并在硬件技术和应用算法上得到迅猛发展；车载激光雷达为降低成本、提升性能、满足智能驾驶需求将进一步走向固态化、智能化和网络化；应用算法研究的追求目标则是实时、高效和可靠，对典型算法进行优化和封装，将其作为成熟的模块提供给研发者调用是当下亟待解决的问题。

研究团队介绍

天津大学无人驾驶汽车交叉研究中心于 2016 年 3 月成立，是由来自车辆动力、光电工程、图像处理、机器学习、自动控制、数学优化和非线性系统等相关学科科研团队组成的多学科交叉研究平台，主要研究方向包括面向智能驾驶的感知、规划、决策、控制系统设计和核心算法研究，智能驾驶车辆多维度测试与评价技术等。其中天津大学精仪学院蔡怀宇、陈晓冬教授研究团队主要研究方向为光电检测与成像技术，作为交叉研究中心核心团队之一，主要负责无人驾驶环境感知硬件系统方案设计、传感器标定，以及基于激光雷达、可见 / 红外相机等多传感器数据融合的障碍物检测与跟踪算法研究。交叉研究中心现有教授、副教授和讲师 20 余人，博士生和硕士生 60 余人，其中国家优青 1 人，青年长江学者 1 人，教育部新世纪人才 5 人。发表 SCI/EI 论文 160 余篇，获得国家授权发明专利 40 余项。相关研究成果获得中国电子学会自然科学一等奖（排名第二）、天津市自然科学三等奖等奖项。连续两届参加“世界智能驾驶挑战赛”，荣获无人驾驶组越野赛优秀奖、城市街区场景赛优秀奖、最佳乡村道路通行奖、虚拟场景组领先奖等多个奖项。

万字深度考察！2019 年增强现实 AR 企业生存图谱

作者：子羽

子羽，互联网公司技术总裁，主要研究 AR/MR 方向。增强现实领域视频内容创作者，致力于中国 AR 应用的普及。擅长 ARKit、ARCore、SenseAR 等增强现实开发和 Hololens 等 MR 应用开发。CARA 增强现实联盟成员，新浪微博增强现实超话主持人。获得过谷歌 ARCore 官方培训认证，JD-AR 生态合作伙伴以及 JD&Google 全国 AR 应用大赛优秀获奖者。

AR 行业，风雨飘摇，大浪淘沙。自 2013 年谷歌首次推出 AR 眼镜，引起整个科技圈的轰动，之后的 6 年多时间里，AR 经历了多次起落，它曾是资本的宠儿，也经历过冷眼与嘲讽，被人称为本不该属于这个时代的产物。

随着 5G 的兴起，AR 又重新进入人们的视野，可是 AR 到底能够做什么，现在发展到了什么程度，现在是进入 AR 行业好的时机吗？这些都是我们所关心的问题。带着这些问题，我开始了对 AR 行业的深度调研。由于国内还没有专业做 AR 行业数据的平台，笔者只能亲自从各大开放平台、社群联盟和商业数据平台搜集整理数据。与数十位 AR 企业创始人、各大公司的业内人士朋友们沟通，用了近 1 个月的时间，整理了 200 多家具有潜力和行业知名度的 AR 公司信息，虽然涵盖的范围未必全面，但数据一定真实可靠。希望能够通过分析这些公司发展的方向、所取得的成果，以及相关的信息统计，大致推断出 AR 增强现实行业的发展现状。

2013~2018 AR 眼镜 6 年蜕变史

AR 主要分为硬件、技术、应用和交互几个领域。其中硬件的难度最高，投资成本最大，但也最具备商业价值。在谷歌眼镜淡出人们的视野后，一家美国公司 MagicLeap 凭借一段充满未来感的 AR 概念视频，陆续取得了来自谷歌、沙特、阿里等巨头总计 23 亿美元的融资。随后，微软推出了其具有革命性意义的 MR 眼镜产品 Hololens。无论是 MagicLeap 还是 Hololens，都被誉为划时代的产品，尤其是 Hololens，已经成功在军事、工业、航天、医学领域开始应用，获得数亿美元的订单，取得了良好的市场反馈。在工业领域 AR 眼镜 RealWear 也获得了超过 1 亿美元的融资，在工业 AR 眼镜领域拔得头筹。那么在中国，又有哪些企业在进行 AR 眼镜的研发呢？

据调查，中国至少有数十家企业在做与 AR 眼镜相关的业务，我整理了业内知名的 AR 眼镜设备、光学模组公司的相关数据，根据这些企业的融资规模、主营产品，做了一个简单的列表。

公司名称	核心产品	融资历程	累计融资金额
亮风台	AR HiAR HiARGlasses 智能眼镜 AR 通讯协作平台 HiLeia	天使轮 数百万 A 轮 数千万 B 轮 近亿元 B+轮 1.2 亿人民币 C 轮 2.5 亿人民币	5 亿+
耐德佳	NED+ 模组 WatchAR 便携 AR 眼镜 "无界" 军事光学解决方案	Pre-A 轮 数千万人民币 A 轮融资 亿元级人民币	1 亿+
Oglasses	Danny 2 企业级 AR 眼镜 RealX 消费级 AR 眼镜	天使轮 数百万 A 轮 数千万人民币 B 轮 数千万人民币	数千万
灵犀微光	Mini-Glass 开发套件 MC-1 开发套件 AW-60 光波导解决方案 AWO-71 光波导解决方案 Mini-Glass 开发套件 AW60 AR 光学解决方案	天使轮 300 万人民币 Pre-A 轮 1500 万人民币 A 轮 千万级人民币 A+轮 数千万人民币	数千万
亮亮视野	GLXSS ME AR 企业级眼镜 甄视-I AR 眼镜 GLXSS SE AR 三防/防爆眼镜 Leion AR 眼镜 LPAT 光波导模组	天使轮 数百万 A 轮 数千万 B 轮 千万 美元 B+轮 1 亿人民币	2 亿左右
影创科技	JIMO MR 眼镜 Action One MR 眼镜 Halo mini AR 眼镜	天使轮 500 万人民币 Pre-A 轮 1000 万人民币 A 轮 8000 万人民币	近亿元
枭龙科技	XLOONG 消费级 AR 眼镜 BERRY 企业级 AR 眼镜	天使轮 500 万人民币 A 轮 数千万人民币 A+轮 5000 万人民币 Pre-B 轮 数千万人民币	近亿元
太若科技	Nreal 消费级 AR 眼镜 Nreal 开发者套件	天使轮 数百万美元 A 轮 1500 万美元 A+轮 1600 万美元	2 亿左右

国内知名的 AR 眼镜、光学企业

通过以上融资数据可以看到，国内 AR 眼镜硬件厂商的投资规模都非常大，甚至可以说是亿元起步。在消费级硬件市场没有完全成熟的情况下，做硬件是需要十足的勇气的，因为这意味着前期的投入很难产生回报，全靠融资活下去。硬件厂商在人才、设备上的投入巨大，一旦融资中断，就很难维持下去，在 2018 年底，美国的一家非常有潜力的 AR 硬件公司 Meta 就因融资失败而宣告破产，让人深感惋惜。但是，大家也很清楚，如果能够坚持到市场成熟的那一天，硬件产生的回报也将是空前绝后的。迟早有一天，AR 眼镜会像智能手机一样广泛普及，所以这会是一场持久战，坚持活到最后很重要。目前国内做 AR 眼镜的有两类企业，一种是做智能眼镜，生产应用于娱乐、运动的消费级 AR 眼镜和应用于工业、医学等领域的企业级 AR 眼镜，另一种是研究光学技术、光学模组，然后出售专利技术或提供 AR 硬件相关解决方案。

Rokid	Rokid Glass AR 眼镜 AI+AR 人机交互解决方案	天使轮 830 万美元 A 轮 千万级美元 B 轮 5000 万美元 C 轮 1 亿美元	10 亿左右
塔普翊海	RealMax 酷 企业级 AR 眼镜	2 亿人民币	2 亿左右
蚁视 AR	蚁视 Mix 消费级 AR 眼镜	A 轮 数百万 A+轮 1000 万美元 B 轮 3 亿人民币	3 亿+
悉见科技	SeengeneX AR 眼镜 XMAN AR 眼镜	A 轮 1.2 亿人民币	1 亿+
太平洋未来	AMglass 消费级 AR 眼镜	天使轮 200 万美元	千万
创龙智新	MAD Gaze 企业级 AR 眼镜 MAD Gaze 消费级 AR 眼镜	天使轮 1050 万人民币 Pre-A 轮 8000 万人民币	近亿元
光粒科技	LIGHTIN 1 消费级 AR 眼镜	天使轮 100 万美元 A 轮 数千万人民币	千万
宜视智能	Allgsight R1 AR 眼镜 Allgsight C1 AR 眼镜	天使轮 千万级人民币	千万
Ximmerse	Rhino X	天使轮 1000 万人民币 战略融资 1500 万人民币	数千万
珑璟光电	LCE1403W 玻璃显示光学模组 LCE1801H 光波导光学模组 自由曲面光学模组	天使轮 数百万 Pre-A 轮 数千万 A 轮 数千万	数千万
惠牛科技	共轴空导 AR 模组	A 轮 数千万	数千万
理湃光晶	光波导显示模组	A 轮 未披露	-
三极光电	全息波导光栅 全息衍射光栅 AR 视网膜投影 HOE	暂未融资	-
空杯头显	轻量智能眼镜	种子轮 暂未披露	-

国内知名的 AR 眼镜、光学企业

除此之外，大家都很关心国内 AR 眼镜公司落地的应用以及出货量，所以本次更新特地新增了业内 AR/MR 眼镜公司在市场上的真实应用信息。出货量方面是核心商业数据，一般不会公开，此处数据源于各大公司的公开信息，或许比实际数量要少很多，但也多次确认过，相信可以作为参考。

知名硬件厂商在 AR 眼镜方向的探索

令人欣慰的是，2019 年 6 月工信部正式颁发了 5G 商用牌照，这也意味着 2019 年成为了 5G 商用元年。5G 的赋能在一定程度上刺激了整个 AR 行业，我们通过上面的图表可以看到 AR/MR 眼镜在教育、医学、娱乐、安防、工业方面基于 5G 的应用纷纷落地，

排名	平台 / SDK	专业优势
1	Apple / ARKit	ios 平台生态
2	Google / ARCore	Android平台生态
3	PTC / Vuforia	企业级 AR云
4	Unity / ARFoundation	多平台技术融合
5	视+AR / EasyAR	AR 云
6	商汤科技 / SenseAR	计算机视觉
7	太虚AR / Void AR	通用 SLAM
8	华为AR / Cyberverse	空间计算
9	Wikitude / Wikitude	空间计算
10	Snapchat / Snap AR	社交短视频
11	Niantic / Niantic Labs	LBS AR 游戏
12	Epic / Unreal	实况直播

* 数据于 2019 年由抖梨 AR 提供（仅供参考）

2019 年全球移动 AR 各领域技术市场排名

一步一个脚印，这些企业在用实际行动让科技为人们创造更好的生活。

中国公司的 AR/MR 眼镜产品频繁亮相 AWE（世界增强现实博览会 ）、CES AISA（亚洲消费电子展），并且屡次获得最佳硬件奖和技术创新奖。同时，AR 行业的几家光学技术公司在几何阵列、衍射、全息光波导等多个方向不断创新，努力创造更轻薄、体验更好的光学模组解决方案。

除了以上这些创业公司，很多巨头也在悄悄布局 AR 硬件产业。联想先后推出了企业级晨星 AR 眼镜和星球大战游戏主题的消费级 AR 眼镜 Mirage，爱普生在 BT 系列 AR 眼镜上也已经坚持了近 10 年。Oppo 在今年与 nreal 达成合作，通过 5G 网络为用户提供手机与智能眼镜搭配使用的混合现实体验。小米在 2018 年 10 月推出了徕创全息眼镜平台，并且已经成立了 XR 事业部。Vivo 则更是抢先一步，携首款 AR 眼镜亮相 MWC2019。可以看出，国内外做硬件的大企业对 AR 眼镜都很关注。

国内的 AR SDK 技术平台 （排名不分前后）

在 AR 领域，所有的 AR 应用都是建立在 AR 技术的基础上开发，因此技术至关重要。在 AR 技术方面，我参考了一组 2019 年 AWE 上由 DigCapital 提供的数据。

那么，BAT 等大型互联网公司在 AR 技术方面又有哪些布局呢？早在 2016 年，腾讯 QQ 就推出了 AR 火炬，QQ-AR 的凭借其强大的社交平台流量作为载体，通过扫一扫用户无需单独下载应用程序就可以体验到 AR 效果，听起来十分诱人，可惜，QQ-AR 的核心功能并不对开发者开放，能够体验的只是简单的识别图片和播放视频，我通过和官方沟通了解到，和 QQ-AR 合作项目金额要 200w 起步。其次，百度提供了 DuMix AR 平台，可以用于 AR 内容制作和发布管理。在电商领域，京东和阿里分别推出了天工计划和造物神计划，网上可以找到他们的案例展示，研发技术实力都很不错，但并没有对外开放。

国内的硬件厂商方面，华为推出了 HUAWEI AR 引擎，oppo 也推出了 ARUnit 平台，手机设备带来的用户量是他们最大的优势。在一些品牌的手机摄像头里也已经加入了 AR 相关的功能菜单。对摄像头的不断升级，融入智慧搜索等功能，实际上是在为下一个时代布局。

ios 系统和安卓系统在全球范围移动市场的占有率，牢牢稳固了苹果的 ARKit 和谷歌的 ARCore 的地位，在技术创新方面，这两家公司也是遥遥领先。苹果收购 Metaio 发展 ARKit，不仅是为了在苹果手机上应用，据国外媒体报道苹果正在秘密研发 AR 眼镜，投入巨大。因此，ARKit 在市场上的领先不无道理。虽然有传言说苹果已经放弃了 AR 眼镜的开发，但这个结论在业内人士眼里几乎是不可想象的，因为放弃 AR 眼镜，就意味着放弃追逐下一个时代科技的潮流。对此，苹果官方并没有做出任何回应， 而最近这段时间苹果有关 AR 眼镜方面的专利仍然在陆陆续续的提交申请。

那么，问题来了，既然 ARCore 和 ARKit 可以满足现阶段大部分的开发。如此众多的 AR 技术平台能够为我们提供些什么，又有哪些意义呢？

目前来看，各大平台提供的服务主要体现在以下方面：

1、简单便捷的开发方式，通过使用这些封装好的产品，可以极大提高 AR 开发效率；

2、云识别服务，可以将 AR 项目中用到的图片、锚点，寄存到平台，实现在线识别和获取；

3、这些平台基于现有的 AR 技术，开发出了一些新特性、新

功能，可以更好的适配用户的设备和国内的社交平台；

4、跨平台的兼容性，可以用一套技术同时开发 ios 和安卓等系统的 AR 应用；

5、基于大数据和视觉运算能力，提供了场景物体识别、空间计算等功能，这点至关重要。

随着 AR 技术的不断发展，为了实现 AR 的特征点持久化、多人共享 AR 等场景的要求，AR 云（ARCloud）开始逐渐建立起来。这也是 AR 云最初期的形态，提供了云锚点、云识别等功能。通过 AR 云，各个行业公司的技术人员可以更加便捷的使用 AR 技术，实现营销、室内导航、图像识别、物体识别等业务需求，做出更多精彩的 AR 应用，帮助改善人们的工作、娱乐和生活。

但 AR 云真正的意义远不止如此，AR 云的提出者们与 AR 云的推动者们，将 AR 云视为下一代互联网——空间互联网。

在空间互联网时代，我们会经历终端设备、交互方式、应用形式的全面升级。AR 云可以理解为是连接数字世界和物理世界的操作系统，基于 AR 云，我们可以从手机屏幕的束缚中解脱出来，让网络交互的过程重新回归到现实世界。我们无需再依赖传统显示屏幕，因为在 AR 云时代，所到之处，皆是网络，所见之物，皆可互联。

并且，目前空间计算方面已经有了成功的落地案例，就在 2019 年 8 月，华为开发者大会展示的 Cyberverse AR 地图和在世界人工智能产业大会上视 +AR 提供的 AR 大型空间导航，里面都应用了大量室外建筑和室内空间级别的 AR 技术。视 +AR 的创始人张小军提出：当代 AR 技术的演进可以分为“简单云——拓扑云——泛在云”三个阶段。如今，我们已经走过了第一阶段，实现了桌面级、室内级的 AR 应用。进入第二阶段拓扑云，甚至第三阶段泛在云也在部分区域试点。今后，AR 技术将会向大型室外场所、城市级的多人 AR 互动方向发展。

随着 5G 时代的到来，我们很有可能会见证一个科技范式的变化。这个变化表现在从二维数据到三维数据的升级，从有限信息窗口到无限信息场景的过渡。空间互联网时代的到来，AR 云会创造比移动互联网时代更庞大的市场。对于这个时代的创业者来说，处处都是新的机会与可能。

上面提到的排行只是在移动手机应用上的排行，现阶段在工业、企业级 AR/MR 眼镜上，PTC 的 Vuforia 占据绝对的优势，其中很大的一个因素在于 Vuforia 支持 3D 物体识别，这是绝大多数 AR SDK 现阶段所不能提供的。但由于因为 VuforiaAR 技术的授权费用很高，绝大部分中小企业难以承受。5G 时代又是物联网的时代，AR 3D 物体识别会渐渐成为普遍需求，因此成本更低、更具有性价比的 AR 3D 物体识别解决方案将逐渐成为主流。据我所知目前除 Vufoira，支持物体识别的移动 AR 技术有 ARKit、EasyAR（已发布），太虚 AR、SenseAR 也已经研究出物体识别技术，而且已经明确表示会在 2019 年内发布。

英雄联盟 S7 鸟巢开幕式 AR 远古巨龙

我通过朋友的分享发现了非常有意思的一点，在电视领域，AR 也有广泛的应用。比如，国内的很多大型节目就采用了 AR 技术，最具代表性的是全国综艺节目——春节联欢晚会。央视春晚很多宏伟壮观的视觉特效，底层都是由 AR 技术作为支撑的。不过这类大型节目 AR 的应用与移动 AR 的应用所采用的技术是两个方向。移动 AR 倾向于 SLAM 实时追踪，而电视领域的 AR 更倾向于采用背景合成原理。在电视方面也有很多严格的技术要求和标准，需要考虑数据回传、安全性、稳定性等多方面的问题。

通过担任春晚 AR 主创的央视内部朋友那里了解到，目前，Unreal 在电视节目 AR 领域占有较大的市场，受到大型电视节目的广泛应用，就国内电视台对的应用而言，虚幻引擎在电视节目 AR 实况直播的市场占有率甚至要高达 70% 以上。

同时，一些大型电竞娱乐活动的开幕式上，也会使用 AR 实况直播，比如英雄联盟 S7 开幕式上在鸟巢直播时降临的远古巨龙，给当时观看直播的网友们带来了极大的震撼。

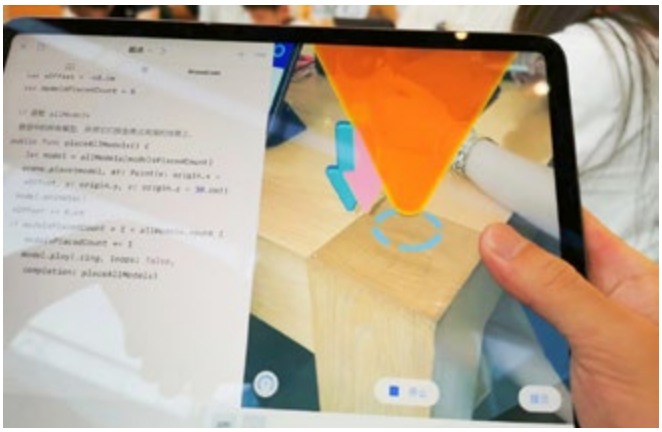
除了直接在系统上运行的 AR 技术，还有一种新兴起的 AR 技术叫做 WebAR，主要基于 Webgl 技术实现，无需下载任何

应用，通过浏览器就可以体验 AR 效果，WebAR 可以实现跨平台、跨应用，开发周期短、成本低，在 AR 营销领域很有潜力，这项技术目前最大的问题是技术成本高，从 js 前端到 Open CV，开发学习曲线陡峭，因此还没有广泛普及和应用。但经过业内 AR 公司的努力已经推出 WebAR 编辑器，比如弥知科技推出的 KIVICUBE，降低了企业网页端 AR 应用开发的周期成本。随着在 2019 年 7 月 5 号，微信宣布小程序增加对 AR 的支持，相信未来将会有越来越多的 AR 小程序和 WebAR 应用，在营销领域爆发。

AR 应用方面，在此次调研的 200 多家 AR 公司里，绝大部分公司都是做 AR 应用方面的，而 AR 应用目前主要分为四类，“工具”、“教育”、“娱乐”和“营销”。

自 2018 年起，AR 技术开始落地到相机、短视频、直播等应用场景，产生了不少具有新意的玩法，一款叫做 Faceu 激萌的 AR 特效自拍相机应用在 2 年时间里积累了近 1 亿用户，最终以 19 亿人民币的价格收购，短视频也纷纷里面加入了 AR 特效功能。除此之外，一些 AR 创业公司也在短视频领域做了尝试，比如视 + 和神奇 AR，这些 AR 视频工具做的很棒，也产生过一些爆款 AR 视频，给用户带来了新奇体验，在短视频平台上有过亿的播放量，但是自身的下载量却不容乐观。随着技术壁垒的消除，在 AR 内容领域，娱乐方面的 AR 内容同质化严重，用户粘性不高，如果想做一款长线产品，要解决很多挑战。笔者认为，一方面社交平台的流量加持很重要，另一方面在玩法上也要不断推陈出新。除了相机和短视频工具，AR 还有很多实用的场景，苹果和华为的手机都默认安装了比较实用的 AR 测量工具，华为的叫“AR 测量”，苹果的叫“测距仪”，百度和高德也接连推出了 AR 实景导航功能。

在教育方面，AR 百科全书、AR 地球仪火热一时，主要是将 AR 手机应用和知识百科全书、地球仪这类产品关联到一起，然后进行销售。武汉的一家 AR 教育公司幻石为地球仪厂家开发 AR 地球仪应用，各平台下载量超过 30w 次，让地球仪、地图这类传统教具从被淘汰的边缘又焕发出了新的生机。除了百科全书、地球仪，上海的纷趣科技在 AR 童书方面也有所创新。这些公司也在研究更多教学工具、学科领域，以及全新的 AR 教育模式，通过 AR 技术让孩子们更加轻松、愉快的学习，是一件非常有意义的事情。从商业角度来说，AR 教育领域，书本、贴纸一类的模式很容易复制，在内容缺乏新意的情况下很难盈利，从事 AR 教育方面一定要注重内容的质量、知识的深度、互动的趣味性。除了在手机、ipad 上使用端 AR，随着 5G 技术的普及，国内的 AR/MR 眼镜公司已经开始与运营商联手在一些中学展开 5G AR/MR 课堂活动。



苹果 AppleStore 线下 ARKit 培训分享课

另一方面，AR 行业发展本身也需要教育的支持。现阶段，AR 行业面临技术人才匮乏、行业缺乏活力的现状。随着 AR/MR 的不断发展，3D 美术内容、模型后期方面也需要更多的人才。AR 技术、AR 内容方面的人才需要教育培训来支撑。在 2019 年 CARA 第一届理事会上，山东大学的秦学英老师就曾提出，希望国内做 AR 技术的企业可以和院校之间加强交流，分享企业 AR 技术应用案例，这样可以帮助学生做好 AR 领域的专业研究，更好的学习 AR 技术，并且规划未来的职业发展方向。

同时，苹果等科技公司，也在国内建立了 AR 技术加速器。在苹果线下的 AppleStore，每周都有免费的 AR 技术分享课。有很多家长会带着孩子去学习，了解如何通过 Swift 编程语言开发 ARKit 应用。虽然教的只是一些浅显的基础知识，但对当代儿童了解 AR 十分具有启蒙意义。

在娱乐方面，除了短视频、AR 贴纸，还有游戏也十分值得关注，但是在国内的应用商店里很少找到 AR 相关的游戏。直到 2019 年 5 月，腾讯推出了第一款 AR 游戏《一起来捉妖》，但笔者经过一番体验后得出总结，这款游戏最大的特色在于采用了 LBS 模式玩法，将线上和线下联动起来，通过和一些品牌商的合作，让游戏实现了获客导流功能，结合 IP 形象的联动，很有商业潜力，或许是考虑到现阶段手机兼容性的因素吧，这款游戏里用到的 AR 技术十分浅显，并没有真正发挥出 AR 的特色，比如说光线估计、运动追踪、姿态识别等核心功能都没有用到，游戏的沉浸感有待提高。除此之

外，其他的游戏就只是把 AR 作为一个模块植入，比如说《阴阳师》的 AR 抽卡，《王者荣耀》的 AR 相机等，可以在一定程度上增添游戏的趣味性。从官网公开资料来看，目前国内在研究 AR 游戏的公司有叠纸、哈视奇科技、幻创科技、掌中飞天和闻宇网络。对比国外接连公布的《Pokemon Go》、《哈利波特：巫师联盟》、《我的世界：地球》、《愤怒的小鸟》等 AR 游戏。国内在 AR 游戏领域还有很大一部分空白。

游戏《闪耀暖暖》推出 AR 模式

2019 年下半年，叠纸推出《闪耀暖暖》游戏的 AR 模式，开启了虚拟人物互动游戏的全新玩法。这款游戏并不只是一个少女换装游戏，她同时具有广泛的男玩家用户群体，有很大一部分用户是因为精美的 3D 模型和 AR 模式带来的新奇体验而喜欢上这款游戏。叠纸在此之前层推出年轻女性恋爱手游《恋与制作人》，已经成功打开了养成互动类游戏的市场。据数据统计，中国单身人口已超 2.2 亿，占到总人口的 15%，AR/MR 伴侣类游戏市场前景广阔。据此不难推测，一些公司未来很有可能会推出 AR 恋爱游戏。

AR 在营销领域的应用

在营销领域，AR 营销越来越普及，主要是以支付宝、淘宝、QQ、百度等平台为入口，常见的主要是以品牌图片、Logo、产品包装、广告画面等作为 AR 识别图，通过扫一扫或者点击召唤触发，然后用红包、优惠券等权益引导用户对品牌进行互动，或者进行购买。做 AR 营销的服务商国内很多，以支付宝过往的 AR 案例为例，蚂蚁特工、我的天科技、视 + 科技、象文科技等公司都有过不少成功的案例。这类营销案例基本上都是给大品牌赋能 ，项目方案由业内领先的 AR 公司或上市公司完成，美妆、饮食、日用类的产品占比较高。其中，蚂蚁特工的探索较为领先，完成的 AR 项目峰值曾突破日均 4000 万参与量，AR 营销案例占支付宝平台 AR 应用的 60% 以上，形成了成熟的开发工具和独特的商业模式，为品牌商 AR 营销的快速落地跟配套闭环提供了保障。

AR 营销的优势十分明显，通过 AR 与消费者的互动，可以更好的表达品牌文化。比较有代表性的如我的天、亮风台等公司联合推出的奥利奥 AR 饼干互动游戏、视 +AR、蚂蚁特工推出的味全”现男友合影”等案例。很多酒水、食品、饮料、日用品类的知名品牌纷纷采用 AR 营销方案，其中不乏一些世界 500 强企业。

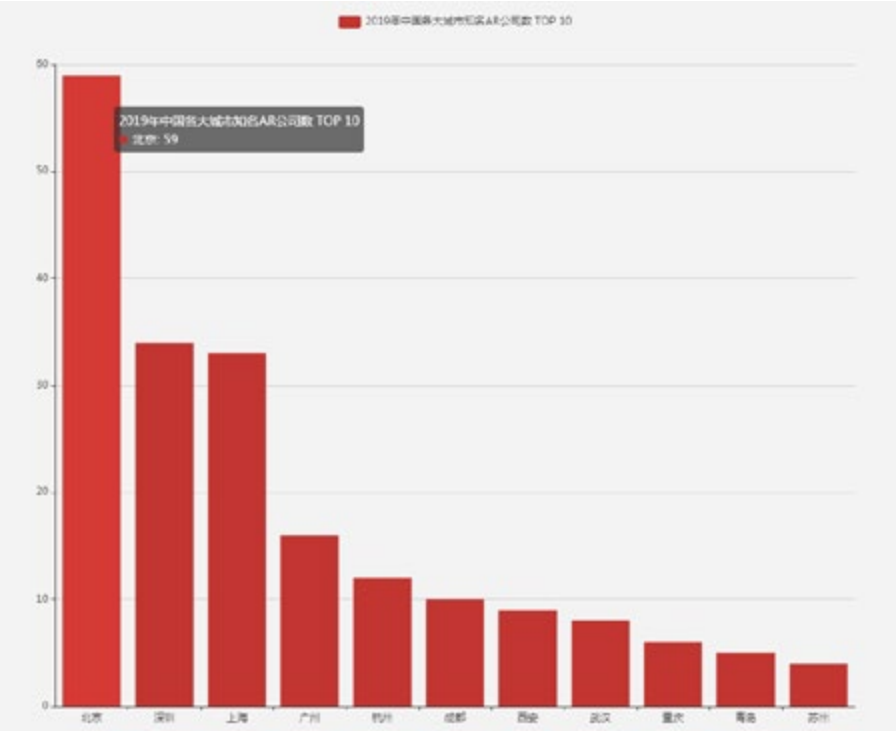
在一些奶粉、日用品、酒类等产品中，AR 鉴别真伪有非常广泛的运用。用户可以通过 AR 来扫描商品，非常方便得知购买的商品是否为正品，即保证品牌权益，又让消费者放心。

AR 营销不仅仅停留在线上。长远来看，随着 AR 云的发展，AR 营销将会打通线上线下，完成商场、会展等场景的产业升级，实现生活、娱乐等场景的全面覆盖。

我的天科技和都市丽人合作，为其全国近 8000 家门店同时提供了“谁懂我的少女心”AR 营销活动，在购物的同时也让消费者感受到了品牌的温度。奥本未来在王府井百货的 15 周年店庆上，发起的 AR 寻宝 / 夺宝活动，也受到了消费者的热烈喜爱。

现阶段的 AR 内容需要大量的模型、动画、文案、音效等素材串联构建，而这类内容的制作成本非常高，AR 营销还没能满足中小企业的业务需求。同时内容成本高，导致市场空间有限、回报低，业内有一些初创的 AR 营销公司，因此选择了转型。

目前来说，模型成本问题有了一定的解决方案。以 AR 购物为例，每一件商品都需要建模，而且要和真实商品的材质、颜色保持高度相符，用传统的扫描建模方式并不能满足需求，而用手工建模的话成本将无法想象。终于，光场建模技术应运而生，光场建模可以凭借一组相机列阵，通过 360° 摄影的方式深度采集信息最终生成物体模型，美观度和色彩还原度都很不错，甚至可以实现动作捕捉，十分便捷、高效。只是在后期方面还有待提高，商用要求追求完美的效果，需要人工来修饰，就像拍照修图一样，而这方面的人才还比较缺乏。国内做三维重建的公司有很多，光场领域有叠境科技和无不维，视觉算法和扫描重建方面有天远视、易尚等公司。除了模型，动画方面的问题也有一些相应的方案。国外有一家网站可以做到在线将模型和动画绑定，只要上传一个模型，就可以将一个静态的人物模型和选择的动画的动作绑定在一起，使一个静态的模型变成动态的。那么理论上来说，只要有足够的动画动作模板，针对不同种类的模型，满足一定要求，就可以无限制作带有动画效果的模型，除此之外，姿态识别类的算法、也可以大大降低内容的制作成本。在写作的过程中，我特地向几位业内人士请教了三维重建方面的问题，子弹时间的朱教授指出：AI 算法重建会是最终的解决方案，基于 1 张图片就可以实现三维重建，在未来 5 年会有不错的前景。相信有这些企业和技术作为行业的基石，随着时间不断发展，AR 内容的生产成本一定会大大降低。



2019 年中国各大城市知名 AR 公司数 TOP10

中小企业 AR 营销的未来在哪里？笔者认为 WebAR 有很大的希望，因为营销的本质在于传播。借助社交平台流量的传播只有两种途径，一种是前面提到的直接和平台合作，另一种办法就是通过链接。通过用链接打开网页，在网页上实现 AR 效果，轻松的实现跨平台、跨应用。只是目前 WebAR 技术不够成熟，开发难度大，小程序对 AR 的支持也才刚刚开始。期待今后 WebAR 编辑器和各大社交平台能够为 WebAR 引用的发展提供更好的支持。

至于交互，也是需要重新思考的问题。基于 AR 实现的系统、软件，操作与现有的终端设备完全不同。在多年以前，鼠标和键盘的发明，决定了今天电脑的交互方式，触屏的发明决定了智能手机的交互方式。而在 AR 领域，AR 眼镜的交互方式还没有被定义出来，有人认为是“手势”交互，有人认为是“眼动”交互，还有人说要结合“声控”做交互，甚至有更大胆的人提出了用黑科技“脑电波”。虽然众说纷纭，但是还没有一个确定的结果。

国内有一家名为 Rokid 的公司，将发展方向定位为一家 AI+AR 的人机交互公司。这家公司的创始人之前是阿里巴巴 M 工作室领头人，在人工智能方面有深入的研究。在阿里 20 周年年会现场，Rokid 的 AR 眼镜就曾亮相，辅助会场安保人员进行工作。

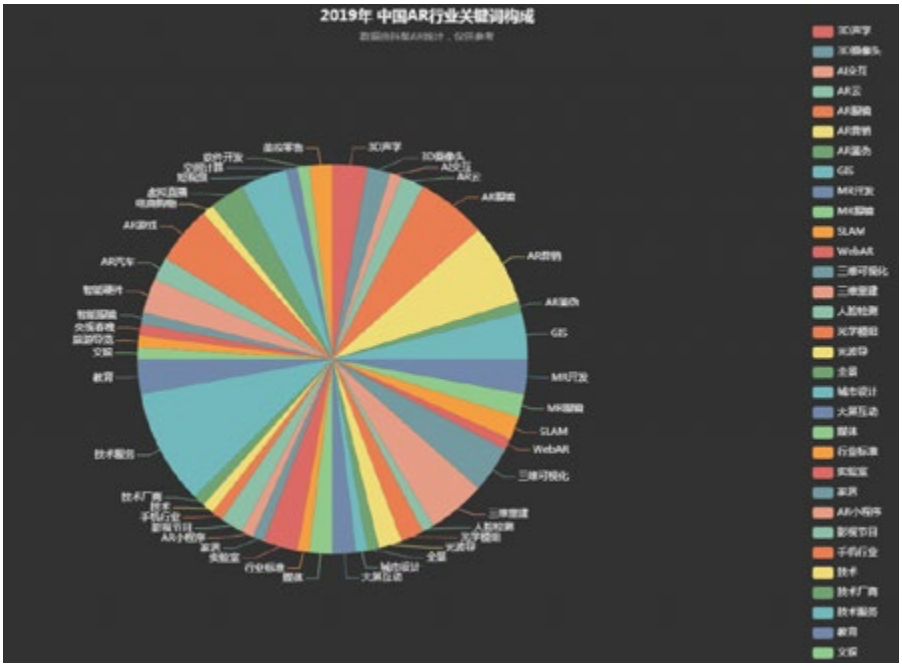
同时，一些国际硬件厂商，如 Hololens、MagicLeap、苹果、索尼等公司每年都在疯狂的申请这方面的专利，希望抢先发明出 AR 时代的“鼠标”。或许，在未来几年，针对 AR 眼镜的交互模式，推出相应的 UI 组件，也会是一个不错的方向。

放眼全国，AR 公司最多的城市是哪一座呢？

通过对上百家行业内知名 AR 公司的所在地进行归类分析，我们得出一个了比较令人意外的结论：AR 公司最多的城市居然不是深圳、上海、成都，而是——北京。这个结果我自己也没有想到，因为无论是在行业知名度、技术底蕴上，其他城市的 AR 公司在业内都具有较优异的表现。但要是仅从数量上来看，结果就是如此，Beijing 是目前已知 AR 公司最多的城市。

我又提取了这 120 多家 AR 公司的主营业务所涵盖专业领域的关键词，得到了这样一幅图。AR 在技术服务、AR/MR 眼镜、营销方面出现的频率最高。其次，在生活娱乐方面，AR 在游戏、旅游、教育、短视频、直播等领域都有广泛的应用。在工业、汽车、房地产等传统领域，AR 修车、AR 看房类应用也预示着新一轮的产业升级。在电商购物领域，AR 线上商品展示、AR 试衣、AR 化妆类应用，会让线上购物的体验更加丰富多彩。在影视方面，我注意到，国内有些大型综艺节目已经开始应用 AR 技术处理一些特殊状况如央视春晚，甚至是电影拍摄方面，AR 技术也有不错的应用前景。国内的声学公司正在研究将 3D 声场效果和 AR 结合，获得更加真实的体验。

人才是科技之本，国内越来越多的高等院校、实验室开始重视增强现实领域的人才培养。比如杭州的浙江大学、之江实验室，清华大学、北航 AR/VR 研究院、邮电大学，深圳的清华研究院，山东大学、青岛理工大学等院校也都参与了 AR 增强现实在学术领域的研究，方向主要在智能数字化制造、AR 示教编程、工业信息可视化等诸多领域。



2019 年中国 AR 行业“关键词”构成

业内领先的科技企业、知名院校还有 AR 领域的从业者，共同成立了 AR 相关的产业联盟。比如说 CARA 中国增强现实核心技术产业联盟、深圳市增强现实技术应用协会、JD-AR 生态联盟等。这类联盟协会有助于促进行业交流，聚集各类资源形成创新生态，推动中国增强现实产业核心技术的创新与发展，提升我国在全球范围内增强现实领域的核心竞争力。对于 AR 行业从业者和相关媒体来说，是一个很好的交流平台。

对于 AR 行业创业者来说，To B 还是 To C 是一道非常关键的选择题。在这里也给一些实际的建议：现阶段 AR 行业处于初期发展阶段，目前行业发展的困境主要体现在消费者对 AR 的认知度不够、硬件厂商还没有普遍做好对 AR 技术的适配、5G 刚开始建设还没完全普及。业内有很多知名的 AR 公司，其实刚开始也是从 To C 过来的，正是因为上面这些问题，导致 To C 方面融资、盈利困难，最后选择了 To B。To C 还是 To C，需要大家根据自身的情况选择，如果团队有足够的技术优势、有好的新想法，可以选择 To C，或许最终能做出一款旗舰级的 AR 应用，成长为下一个时代的巨头。如果想在短时间内获得可见的收益，先在这个行业发展下去，那就从 To B 入手，盈利、生存，这是不可避免的。

以上，是在下作为从业者对 AR 行业的观察和总结。我认为 AR 不仅仅是一种技术，更是一种现象，AR 会不断应用在各个领域，从一个全新的事物，渐渐变成一种常态。如果把 5G 时代比做第四次工业革命，AR 必定会带来划时代的革新。如果你对 AR 感兴趣，或者打算从事 AR 行业相关方向，希望这篇文章会对你有所帮助。

武汉固捷联讯科技有限公司

武汉固捷联讯科技有限公司是一家专注于一体化自动测试系统的高新企业，主要面向光通信、半导体、存储及汽车电子等行业，提供一体化全集成自动测试系统、老化温循系统、数据监控及采集系统、系统集成、以及软件开发等一体化解决方案。

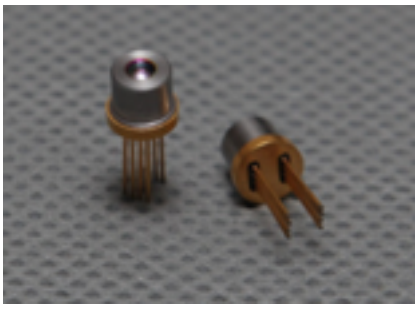
武汉固捷 光器件在线老化测试系统

固捷光器件在线老化测试系统是专门为通信、光器件、固态存储、半导体芯片、3D 传感、汽车电子及其他特种器件领域，设计开发的一款高密度模块化在线老化测试系统。该系统采用具有专利技术的结构设计以及固捷测试软件平台，整合了业界领先的环境测试单元，为客户提供高效、精确、稳定的量产老化测试能力。该系统可实时监控整个测试过程，数据完整可溯，可与工厂 MES/PCS 系统无缝对接，实现个性化数据处理。

地址：武汉市东湖新技术开发区光谷大道 58 号光谷总部国际 5 号楼 901 室　　传真：86-027-87618830
电话：86-027-87618810　　网址：www.soliware.com

杭州兰特普光电子技术有限公司

杭州兰特普光电子技术有限公司从事光通讯、医疗健康、环境监测等应用的半导体激光器和光子集成芯片和模块的开发、生产和销售，注册在加拿大安大略省和中国杭州。本次展会主要展出超小型、高性能、低成本的新型可调谐半导体激光器，可用于宽带智能光网络，WDM-PON 和数据中心光互连，及光传感和实验室测量等其它应用。



地址：浙江省杭州市西湖区西园八路 11 号 D502
电话：86-0571-89774896　　传真：86-0571-89774896　　网址：www.lightip.com

宁波汉腾金属制品有限公司

宁波汉腾金属制品有限公司是光纤终端盒、odf单元箱、网络机柜、FTTH光缆交接箱、光缆分纤箱等产品专业生产加工的公司，拥有完整、科学的质量管理体系。宁波汉腾金属制品有限公司的诚信、实力和产品质量获得业界的认可。欢迎各界朋友莅临参观、指导和业务洽谈。

光纤终端盒

ODF

光缆分纤箱

地址：慈溪市观海卫镇工业园东区通业路 24 号
传真：86-0574-63665011　电话：86-0574-63665122　网址：www.nbhanteng.cn

东台正耀精密技术有限公司

正耀电子为连接器整合设计与制造服务的专业生产厂商。 主要从事基础零件的模具开发、五金和塑胶零件生产、锌铝合金产品压铸、车制零件加工和连接器自动化组装一条龙的生产和销售服务。公司产品主要应用于光电模块、工业设备、汽车、新能源、医疗、通讯设备等。2017 年公司在东台经济开发区成立东台正耀精密技术。

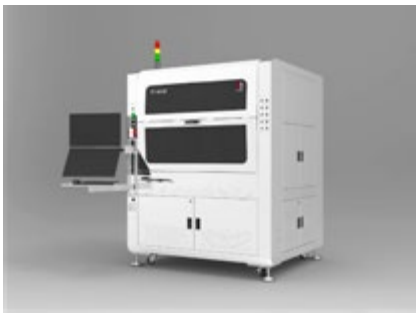
SFP、SFP+、SFP28 盖子

QSFP 盖子、拉簧、塞子

地址：江苏东台经济开发区纬六路 2-8 号　传真：86-0515-85226605
电话：86-0515-85226601-809　网址：www.sz-econn.com

深圳中科精工科技有限公司

深圳中科精工科技有限公司是一家全国领先的集研发、生产、销售、服务于一体的自动化设备制造商。中科精工专业为精密光学产品提供可信赖的自动化解决方案。主营自动化设备：光学主动对准的 Active Alignment 设备 (CCM/3D 结构光）、结构光 TX 模组测试及双摄 / 三摄标定 & 测试设备、AVI 外观检测、TOF 模组测试机、DOE/Diffuser 检测机等自动化设备，公司坚持以“客户至上，持续创新”为核心价值观，持续聚焦客户需求，以客户为中心；为客户解决效率低、合格率低、成本高、工艺复杂等制造业普遍存在的问题。



E-mail：zkjg@ait-prime.com 电话：0755-23707357 网址：www.ait-prime.com

航天神舟科技发展有限公司科研保障分公司

航天神舟科技发展有限公司科研保障分公司，中央企业，隶属于中国航天科技集团第五研究院，成立于 2008 年 12 月，注册资金 1.7 亿元。承担中国载人空间站、神舟飞船、嫦娥探月工程等国家重大型号任务的科研保障工作。公司成立十年以来，圆满完成各项重大型号任务的科研保障工作，见证了中国航天事业飞速发展。

地址：天津市滨海高新区高新七路 168 号
电话：86-022-84478603 传真：86-022-84478629 邮箱：619313563@qq.com

成都金四通真空科技有限公司

集 20 多年真空磁控溅射镀膜技术和设备制造经验，采用直流、中频、射频及高功率脉冲磁控溅射技术，为用户提供光学、改性及装饰类镀膜设备，用于电子显示、手机、汽车、光学等领域。

磁控溅射真空镀膜设备

地址：成都市双流区空港四路双兴大道 99 号金石东方工业园
邮箱：13198583470@163.com　电话：18140199168　网址：www.jstvac.com

大连桑姆泰克工业部件有限公司

我公司拥有先进的欧洲设计制造技术，设计理念，以及多年的制造经验，严格按照 CE 标准，于 2018 年获得国家高新技术企业认定。 多次作为国家科研项目采购设备，为各大企业，院校提供技术及设备支持。可高效、高精度加工特殊材料。各项设备功能可自由选择，成为当代研磨抛光机的优先选择。

高精度双面研磨 / 抛光机 DS400

地址：大连经济技术开发区海青工业园 39-13-8　传真：0411-87517305
电话：　0411-87516305　网址：/www.somtec-cn.com

福州创恒光电有限公司

福州创恒光电有限公司专注于精密光学元件和光学组件定制生产服务，精密光学元件包括：传统光学元件、偏振光学元件、激光光学元件、红外光学元件；光学组件包括：机器视觉镜头、光学系统设计与优化。产品应用广泛，涵盖了工业、医疗、建筑、通讯、军工、环境监测、生命科学、公共安全、生物技术及航天航空等各个高尖端领域。创恒光电以“精准定制、快速服务”为宗旨服务广大客户，我们致力于为光学领域客户提供一站式专业定制，倾力打造精密光学元器件定制服务领导品牌。

CRYLIGHT创恒
福州创恒光电有限公司

CRYLIGHT创恒
福州创恒光电有限公司

地址：福建省福州市仓山区福湾工业区齐安路 756 号 ,14-1 楼二层　　传真：86-591-83772103
电话：86-591-83772101　　网址：www.crylight.com

东莞市玖洲光学有限公司

东莞市玖洲光学有限公司隶属光通电集团旗下，光通电集团成立于 2005 年，至今总投资 2.5 亿人民币，总部设在广东深圳，分别在广东东莞、湖北襄阳和河南南阳有成立子公司。

东莞市玖洲光学有限公司是一家专业从事各种光学镜头和光学元器件设计开发、生产和销售为一体的企业，主营产品：广角镜头、百万高清镜头，标准定焦镜头、日夜共焦镜头，长焦镜头等。可用于汽车影像类：后视倒车轨迹、环视 360 全景、行车记录仪、ADAS、行车夜视仪等，智能家居类：安防监控、APP Wifi camera、IP camera、智能电子猫眼、可视门铃、扫地机器人、冰箱、空调等，数码产品类：运动 DV、航拍、全景相机、执法仪、AR/VR 等，工业类：机器虹膜智能识别、扫描仪和激光仪器等有广泛的光学领域。此外，可以根据客户的要求提供匹配的光学镜头和光学元器件等各种研发和应用。

车载前装镜头系列 JZ-9116AS

车载 ADAS 系列 JZ-9171AS

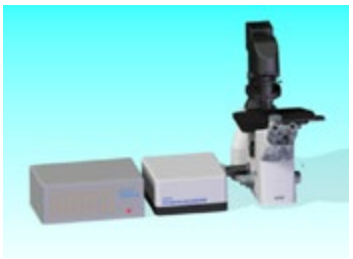
地址：东莞市虎门镇南栅 6 区民昌路 9 号　　电话：0755-27455690
邮箱：sales4@hk-optical.com　　网址：www.jz-optical.com

浙江大学

浙大光电学院源于 1952 年成立的光学仪器专业，被誉为“中国光学工程人才培养的摇篮”。依托的光学工程学科是国家一级重点学科、“双一流”学科和 A+ 学科，已形成从现代光学仪器国家重点实验室基础研究到光学仪器国家工程技术研究中心产业研究的完整学科体系，为我国光学工程学科发展、国民经济与国防建设做出突出贡献。

探月双分辨率光学相机

荧光微分超分辨显微镜 FED-03

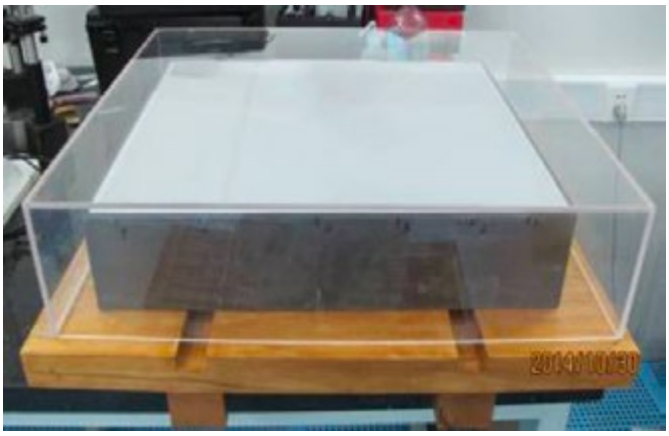


移频超分辨显微镜 FSED-02

地址：杭州市浙大路 38 号浙江大学玉泉校区第三教学大楼
传真：86-0571-87951617　电话：86-0571-87951197　网址：http://opt.zju.edu.cn/

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

长春光机所始建于 1952 年，是新中国在光学领域建立的第一个研究所，被誉为“中国光学的摇篮”。长春光机所发挥技术、成果、孵化和产业要素集聚优势，实现从团队孵化到企业孵化，再到产业孵化的全链条服务，获批国家双创示范基地。现有参控股企业 88 家，其中上市公司 1 家。



大面积、高精度光栅

地址：吉林省长春市东南湖大路 3888 号　传真：86-0431-84668232
电话：86-0431-86176067　网址：www.ciomp.ac.cn

新代科技（苏州）有限公司深圳分公司

新代科技股份有限公司成立于 1995 年，是一家专业的 PC based 数位控制器厂商。新代专注于工具机领域，以高度技术创新，加值型应用，及完善的售后服务深得顾客信任。积极开发泛用自动化控制器及各类型机械手臂控制器。贯彻达成新代的愿景：机床行业最值得信任的电控伙伴。

激光焊接控制器

地址：工业园区春晖路 9 号　传真：86-0512-65246029
电话：86-0512-69008860　网址：https://www.syntecclub.com/default.aspx

山东华光光电子股份有限公司

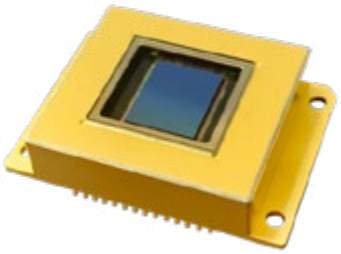
华光光电是国内最早引进生产型 MOCVD 设备进行半导体激光器（LD）研发和生产的高新技术企业，拥有国内规模最大的 LD 外延、管芯、器件及应用产品一条龙生产线。主要产品有激光二极管（LD）外延材料、芯片、器件和应用产品。

华光光电 790nm 半导体激光器（TO5.6 封装）

地址：高新区天辰大街 1835 号　电话：86-0531-8887508
邮箱：hgscgl@inspur.com　网址：www.hggd.cn

山西国惠光电科技有限公司

国惠光电以“打造中国芯，实现中国梦”为主旨，专注于红外探测材料、器件和整机的研发、生产、应用，是一家拥有核心自主知识产权的探测器生产商。产品性能达到了国际先进水平，打破了西方发达国家的技术封锁，填补了国内空白，国惠光电致力成为全球一流的探测器生产制造商。



铟镓砷短波红外芯片 InGaAs SWIR Sensors

铟镓砷短波红外相机 InGaAs SWIR Cameras

地址：高新区亚日街 1 号国惠光电　　传真：86-351-7038171
电话：86-351-7195681　　网址：www.ghopto.com

福建福光股份有限公司

成立于 1958 年。是世界领先光学制造企业。注册资本 1.15 亿元人民币，拥有员工 2000 余人。引进德国、美国、日本先进光学研发、测试、生产设备，具月产 2000 万片光学镜片和 300 万颗光学镜头实力。产品从紫外、可见、近红外、长波红外热成像波段，应用安防监控、车载、道路监控、森林防火、机器视觉、智能家居。

红外热成像镜头

地址：福建省福清市融侨经济开发区光电园　　传真：86-591-83302603
电话：86-591-83982411　　网址：www.forecam.com

欢迎各位尊敬的来宾前来宇达展位洽谈！

Welcome to visit our booth！

展会时间：2019.09.4-09.7

展位号：2号馆，2C03（Hall 2-2C03）

YDA™
KEEP CONNECTING

宁波宇达光电股份有限公司

NINGBO YUDA FIBER PTICAL CO.LTD

NINGBO YDA COMMUNICATION TECHNOLOGY CO.,LTD

地址：中国浙江省宁波市奉化区岳林街道东峰路32号

Web: WWW.NBYUDA.NET/YDAFTTH.COM

天纪科技 TJ TECHNOLOGY

安徽天纪信息科技有限公司

ANHUI TIANJI INFORMATION TECHNOLOGY CO.,LTD.

一个可以信任的公司

安徽天纪信息科技有限公司是一家集研发、生产、销售、出口于一体的专业化光纤光缆公司，位于中国安徽省滁州市苏滁现代产业园柳州路以东、岳众汽配项目南侧。我们有15年以上的光纤光缆生产经验，拥有多套世界先进的生产设备和全套的光纤光缆检测设备，主要产品有室内室外通信光缆、皮线光缆、跳线光缆、ADSS光缆、矿用光缆等，产品行销全国，远销欧美、非洲、东南亚等国家。

质量和安全

我们实行严格、完整的质量控制体系，确保充足的产能和优良的品质，确保每道工序和每件产品都能满足客户的质量要求。此外，我们所有的产品在装运前都经过严格的检验。公司产品已通过CE、ROHS、IS9001、ISO14001、TLC等认证。

我们的原则

让客户充分满意

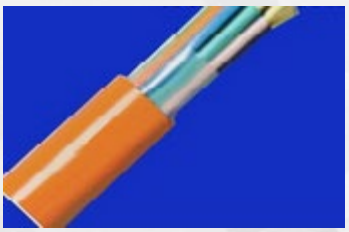
提供优质服务

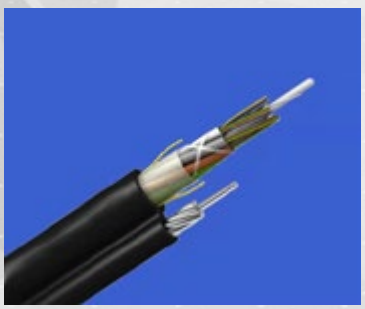
长期合作，互惠互利！

董事长周文祥先生携全体天纪人热诚欢迎国内外朋友来电来函，莅临参观指导，洽谈合作！

Booth Number:2092、2093

Http://www.tjxx-cable.com





热诚欢迎国内外朋友来电来函，莅临参观指导、洽谈、合作!

联系人：周文祥　　手机：13805173152

电话：0550-2313350　　传真：0550-2113351

QQ：438037365　　邮箱：info@tjxx-cable.com

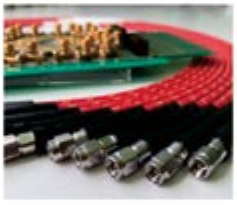
地址：安徽省滁州市苏滁产业园柳州路以东、岳众汽配项目南侧

汇光芯创
Test Solution Provider

SHEN ZHEN IC-OPTICALS CO.,LTD

深圳市汇光芯创光电技术有限公司,专注于先进光电技术应用,为光通信、工业、射频微波与科研用户提供专业的物料选型、核心器件供应以及系统方案支持，同时提供一系列高品质且独到的测试组件解决方案来满足高可靠性和高性价比测试之需。凭借对应用深入的了解和灵活快捷的服务,确保您的测试及互联需求能被精准和高效得到满足。

公司产品 Our Products



GORE Creative Technologies Worldwide

美国GORE射频微波同轴稳相测试组件

Test-Pro™ Test-Plus™

ICOP自有品牌:射频微波同轴稳相铠装测试组件

Uniphase Performance -3.8mm

ICOP自有品牌:射频微波同轴低损稳相测试组件

LENS

最佳光通接头产品
峻立塑料透镜
苏纳硅透镜

MY POLYMERS The low refractive index company

以色列品牌光纤包覆和涂层光学粘合剂

深圳市汇光芯创光电技术有限公司
地　址:深圳市龙岗区坂田街道坂田国际中心C栋C1-605
联系人:陈勋　　Mobile:150 1355 4545
电　话:0755-8666 0889　0755-86700089
邮　箱:Sky.chen@ic-opticals.com

深圳德邦界面材料有限公司

德邦®
Darbond

- 导热垫片/Gap pad
- 导热膏/Grease
- 相变材料/PCM
- 导热凝胶/Thermal putty
- 双组份导热凝胶/Gap Filler
- 导热胶/Adhesive

深圳德邦界面材料有限公司是技术型企业，作为国家科技重大专项的产业化平台，重点发展电磁屏蔽材料、导热界面材料、LED封装材料等系列产品。公司始终重视研发投入和技术创新，目前已拥有发明专利12项，实用新型1项，并拥有一批先进的材料分析测试仪器，如：DSC、TGA、HOTDISK、激光粒度分析仪、多功能无转子流变仪，微机控制电子万能试验机等。

CIOE
中国国际光电博览会
CHINA INTERNATIONAL
OPTOELECTRONIC
EXPO

光电微课堂

品牌推广/技术分析/人脉拓展/专业交流

涵盖行业—手机、汽车电子、机器视觉、国防安防、数据中心、医疗

线上微课堂

- 微信社群线上讲授+实时讨论
- 产业及应用知名专家、技术达人定期分享
- 专业行业社群满足学习及沟通需求

线下微课堂

- 北、上、深等地微课堂线下活动
- 产业及应用知名专家、技术达人定期分享
- 专业活动满足学习及社交需求

两步快速加入社群

第一步：发送名片申请入群
第二步：发送感兴趣的行业

2步

添加【光博君】微信

扫描二维码或搜索CIOE607，等你来撩！

扫一扫添加光博君微信

遇见2020，预见光电盛典

顶级光电行业盛会 业界权威汇聚

构筑产、学、研三位一体的多层次交流平台

2020 中国国际光电高峰论坛

CHINA INTERNATIONAL OPTOELECTRONIC CONFERENCE

2020年9月8-11日 深圳国际会展中心

涵盖光电领域各专业技术论坛——**学术论坛+产业论坛+应用论坛**

全方位推广渠道期待您的加入，**2020年9月深圳国际会展中心期待您的莅临！**

2020中国国际光电高峰论坛c移师深圳国际会展中心！

会议室全面升级 嘉宾听众服务全面提升！

学术论坛：

2020全球光电大会（OGC2020）

产业论坛：

信息通信行业论坛

光学行业论坛

激光行业论坛

红外行业论坛

YOLE&CIOE国际论坛

应用论坛：

光+应用峰会

光电综 合活动

了解更多详情，请登陆：**WWW.CIOE.CN**

主办机构：

中国科学技术协会

中国科学技术部高新技术发展及产业化司

中国光学学会

中国国际光电博览会组委会

支持机构：

中国科学技术部

中国科学院

中国电子商会

中科院光电研究院

承办机构：

中国国际光电高峰论坛（CIOEC）办公室

深圳贺戎博闻展览有限公司

中国国际光电高峰论坛(CIOEC)办公室

联系人：王峰 论坛部长 电话：0755-88242540 手机：18603032857 邮箱：fendi.wang@cioe.cn

DONGGUAN TW-SCIE CO., LTD
东莞市特旺通信科技有限公司

东莞市特旺通信科技有限公司是专门从事光纤通信产品的研发、生产、加工、销售及网络工程为一体，并拥有自主进口权的高科技企业。成立于2007年（前身是由2002年注册成立的深圳市特旺科技发展有限公司）,位于东莞市清溪镇。注册资金为壹亿伍仟捌佰贰拾万元人民币。工厂占地面积两万多平米，拥有自己的生产二层生产厂房，公司引进了芬兰耐世隆进口光纤着色机3台、引进了美国并带机一台，引进了美国PK公司、GE公司检测设备5台，引进了日本藤仓OTDR8台、熔接机5台，拥有国内一流厂家着色机7台、二次被覆线5条、SZ绞缆机8条、护套线10条。公司拥有一批忠诚、敬业、睿智、专业技术强硬的优秀技术人员，研发人员总数达到工厂人员总数的百分之二十左右，公司每年投入研发经费300多万。与国内多家营运商（中国移动、中国联通、广电总局、中国石化、中国铁路局、部队、长城宽带等）建立了长期战略合作伙伴关系，并致力于跟进世界先进的光通讯的发展和应用。公司研发、生产、经营的主要产品有室（内）外光缆、ADSS光缆OPGW光缆、蝶形光缆、预制成端、尾纤等系列和光无源器件系列。产品广泛的运用于通讯、电力、铁路、部队等相关部门，产品远销美、欧、中东和东南亚的许多国家和地区。

目前公司的年生产能力为：室外光缆1200万芯公里，蝶形光缆500万芯公里，光跳线、预制成端1000万条；年销售额为6个多亿，年实现税收3千多万元。

公司通过ISO9001质量管理体系、ISO14001环境管理体系、OHSAS18001职业健康安全管理体系认证，荣获国家广电总局颁发的“广电入网认定证书”，信息产业部颁发的设备入网许可证、泰尔认证，欧洲RoHS、REACH检测报告等。

公司于2015年10月荣获得了广东省高新技术企业，2017荣获了纳税信用A级纳税人。

我们快速的交货能力，完善质量管理体系，健全的售后服务制度是客户对信心的保证。

工厂地址：广东省东莞市清溪镇青皇工业区葵青路250号特旺科技园
邮编：523651　总机：0769-82139001　传真：0769-82139011
网址：www.tw-scie.com.cn
www.tw-scie.com