



湖南光联光电科技有限公司

HUNAN GL TECHNOLOGY CO.,LTD

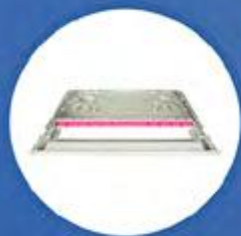
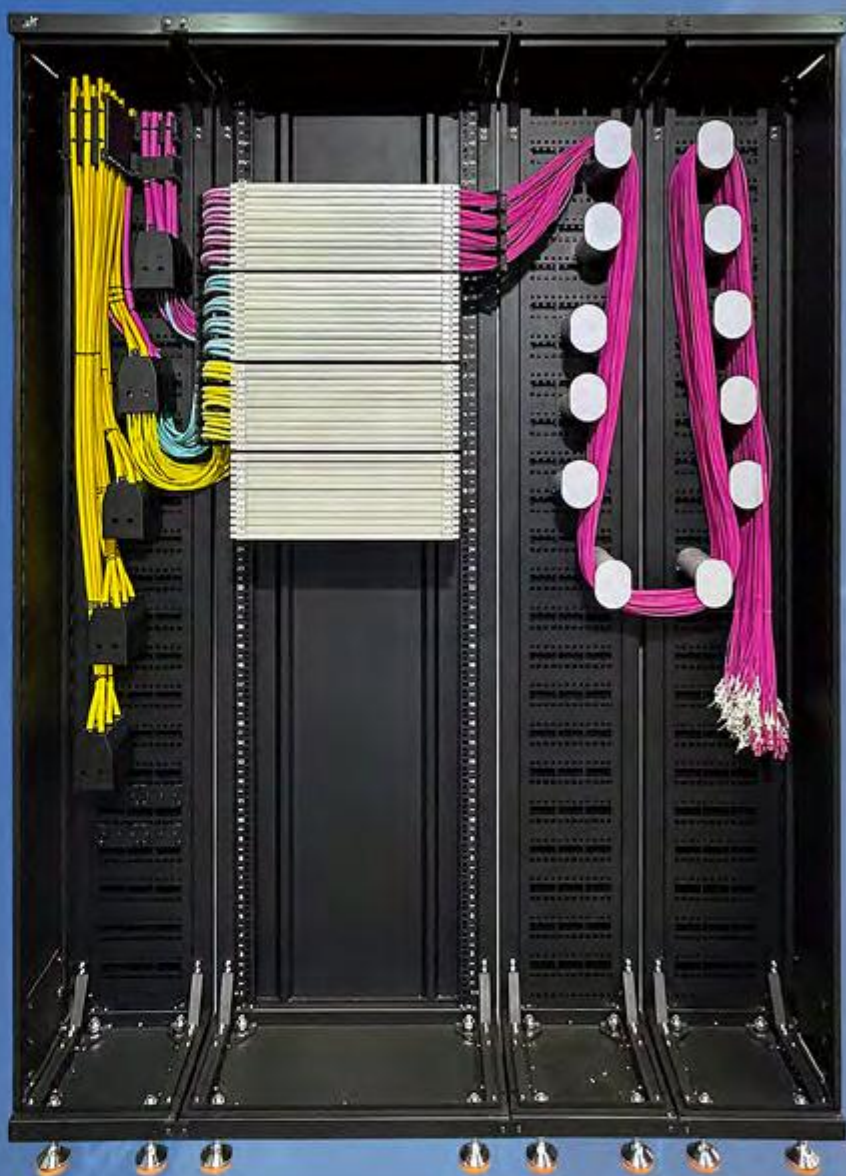
 www.gl-fibercable.com

 sales@gl-fibercable.com

SNL1是专为数据中心和高性能计算设施设计的光纤配线系统，包含模块化机柜、单元箱以及一体化托盘，机柜可实现靠墙、背靠背或独立安装放置，同时最大有效安装空间可达40U，从而提高机房内部空间利用率。配线单元箱可从正面操作，简化安装并降低维护成本。水平和垂直的光缆管理结构确保布线整洁，提升对线缆管理效率。



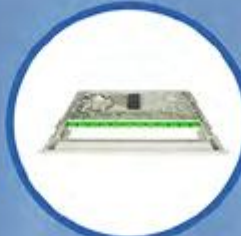
- 可选配1U~6U高度的单元箱
- 1U单元箱最高支持144芯光纤
- 每1U高度可安装三个一体化托盘



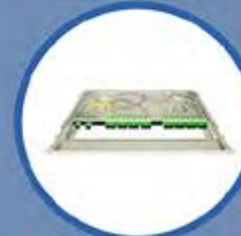
LC/PC OM4 48F



MPO-LC OM4 36F



LC/APC SM 48F



SC/APC SM 16F

- 端口兼容LC、SC、MPO、MTP
- 支持熔接、分路器转接、MPO/MTP转接、跳接、TAP
- 一体化托盘前理线板可向下翻转，方便连接器插拔操作



深圳市盈迅精密机械有限责任公司

ENSURE

盈迅精机

ENSURE PRECISION MACHINE

精益求精
盈信盈利

优质 · 专业 · 实力

专注于精密五金 / 粉末冶金 /
封装制造 / 电镀

Quality, professionalism and strength

Focus on precision hardware / MIM / Packaging manufacturing / Plating



精密制造前沿

Precision manufacturing front

公司拥有日本STAR、津上(TSUGAMI)、兄弟(BROTHER)等CNC电脑数控车床及加工中心和辅助设备100余台,加工材料涵盖SUS304、SUS316、SUS303、SUS430、SF20T、KOVAR,WuCu,无氧铜等各类有色金属,年产能达4000万件。

盈迅的优势在于把机加+粉末冶金+封装+电镀相结合,为客户提供更高的质量价格比。

Companies have more than 100 sets machines for CNC lathe and equipments from Japan "STAR,TSUGAMI,BROTHER"etc, and processing material covers SUS304,SUS316,SUS303,SUS430,SF20T,KOVAR,WuCu,Copper and other and other non-ferrous metals,annual capacity of 40KKpcs.

Ensure comparative advantage:We combined Machining, MIM, Packaging and Plating to supply customers higher quality and competitive components.



机加设备-
数控车床车间一角

Machine and equipment
-CNC lathe workshop



封装-焊接车间一角

encapsulation-
Welding workshop



电镀设备-电镀车间一角

Electroplating equipment-
corner of electroplating
workshop



机加设备-车间一角CNC
Machine and equipment
-workshop CNC



粉末冶金注塑机车间一角
Corner of powder metallurgy
injection molding
machine workshop



机加系列 Machining series



粉末冶金系列 Powder metallurgy series



封装系列 Package series



深圳市盈迅精密机械有限责任公司 SHENZHEN ENSURE PRECISION MACHINE CO.,LTD.

地址:深圳市南山区桃源街道平山社区丽山路10号大学城创业园1002
Add:Room 1002, Chuangye Park,University Town, No.10 Lishan Road, Pingshan
Community, Taoyuan Street, Nanshan District, Shenzhen City,Guangdong

电话/Tel:0755-2674 9884
传真/Fax:0755-2651 9685

联系人/Contact: Miss Wang
邮箱/Email: yxyw2@sz-ensure.com
qr@sz-ensure.com



藤友®
tumtec

www.tumtecchina.com

广东藤友通信科技有限公司

GUANGDONG TUMTEC COMMUNICATION TECH.CO.,LTD



前沿科技创新
ADVANCED TECHNOLOGIES



标准化生产
STANDARDIZED PRODUCTION



精准数据实测
ACCURATE MEASUREMENT



精密仪器制造技术
PRECISION MANUFACTURING TECHNOLOGY



严格品控要求
STRICT QUALITY CONTROL REQUIREMENTS



规范化包装出库
STANDARDIZED PACKAGING FOR
OUTBOUND DELIVERY



六马达纤芯对准系列 | 干线纤芯对准系列
四马达纤芯对准系列 | FTTH专用系列
短距抢修专用系列



金属机身 | 外壳牢固 | 标配可调角度触摸屏
重量轻配置高 | 500倍放大效果
90°双摄像头



3秒开机, 6秒熔接 | 熔接损耗极小
精细纤芯对准 | 预设41种熔接模式
储存100种熔接模式 | 轻松面对恶劣环境





藤友科技专注精密仪器制造19年

19 YEARS EXPERIENCE IN PRECISION INSTRUMENTATION
MANUFACTURING TECHNOLOGY

广东藤友通信科技有限公司,是一家专业研发生产光纤熔接机、光纤切割刀等光通信设备仪器的高新技术企业。作为行业标杆与中国知名的专业制造商,藤友拥有强大的自主研发队伍与国际先进技术。服务对象包括移动通信、铁路、电力、银行、公安等多个领域,致力于为全国推广FTTx的发展提供高性能、高质量、高性价比的解决方案。

藤友品牌高性能光纤熔接机,多个型号全面覆盖长途干线六马达光纤熔接机、干线纤芯对准光纤熔接机、FTTH专用光纤熔接机等,从响应速度、长途干线的超长距离适用、纳米级对准、高分辨率触摸屏、便携操作等各个维度不断创新和升级产品是全球最全面的光纤熔接机厂家之一。藤友将秉承“自主创新,藤友质造”的原则,以精工品质塑造产品,以匠心精神提供服务。



3秒开机
3s Turn On



6秒熔接
6s Fast Splicing



13秒加热
13s Heating



380倍放大
380X Magnification



工业级八核CPU
Industrial grade
eight core CPU



适应多种恶劣环境
Adapt to various
harsh environment

CONTENTS | 目录



特别关注 Special Focus

P10 / CIOE2025 光电互联, 破卷出新!

——CIOE 中国光博会以光电产业为核心, 以“材料 - 器件 - 系统 - 场景”为轴线, 通过八大主题展全景式串联产业链条, 实现从基础研发到商业落地的平台价值。

P12 / APE 2026 亚洲光电博览会: 汇聚亚洲光电机遇, 驱动产业创新发展

——APE 亚洲光电博览会作为亚洲光电领域最具影响力的行业盛会, 将于 2026 年 2 月 4 日至 6 日在新加坡金沙会议展览中心 L1 展厅隆重举办。本届展会以“汇聚亚洲光电机遇, 驱动产业创新发展”为主题, 聚焦光电技术与半导体产业的深度融合, 为全球行业领袖、科研机构及创新企业提供一站式技术交流与商业合作平台。

业界 Industry

P14/ 光芯片, 不只是引人注目

——光通信行业市场研究机构 LightCounting 在最新报告中指出, 光通信芯片组市场预计将在 2025 至 2030 年间以 17% 的年复合增长率 (CAGR) 增长, 总销售额将从 2024 年的约 35 亿美元增至 2030 年的超 110 亿美元。

P16/ 光束整形是激光焊接的未来吗?

——全光纤技术为各种工业焊接工艺提供即时光束整形, 无需更换大量光学元件和激光头, 从而提高生产率和质量。

P19/ 88% ! 中国激光雷达全球称雄!

——近日, 咨询机构 Yole Group 发布最新全球激光雷达产业报告《Automotive LiDAR 2025》(2025 车载激光雷达报告), 介绍过去一年中, 全球汽车激光雷达产业的发展, 其中, 中国激光雷达厂商再次领跑全球, 并且市场份额比上一年的 84% 进一步提升!

P23/ 数据中心各级链路光模块技术演进和应用分析

——数据中心的早期雏形自上世纪 60 年代在欧美起始, 在 1996 年由 Exodus 公司第一个提出了“IDC”(Internet Data Center) 概念, 经过近三十年的高速发展, 形成了通算、超算、智算并行的数据中心发展格局。

应用 Applications

P26 / 从 VR/MR 到 AR, 2025 年近眼显示产业机遇无限

——2024 年对于近眼显示行业而言是一个新的发展阶段, 在增强现实 (AR) 领域, 关键硬件在人工智能 (AI) 发展趋势的推动下, 实现了迭代升级。同时, 整个供应链的市场格局也发生了相应的变化。

P28/ 光通信上车, 相关方案已就位

——光通信在电信、数据中心等领域早已普及, 而随着 2022 年底爆发的 AI 浪潮, 数据中心高速通信的需求激增, 也将光通信产业链再次带火, 800G 光模块甚至供不应求。

P30 / 高稳定无封装的近红外有机光电探测器赋能可穿戴医疗监测

——有机光电探测器 (OPD) 因其溶液可加工性、能隙可调性、低成本和柔韧性等优点, 成为下一代可穿戴传感器和数字成像技术的有前途的候选者。

学术 Academia

P33/ 光学相干层析技术在眼科手术导航方面的研究进展

——在眼科显微手术中，传统的术中成像方式由于缺少深度信息，限制了内部结构和手术器械的可视化。光学相干层析成像技术 (OCT) 是一种非接触式断层成像技术，由于其能提供深度信息、非侵入、成像快、分辨率高等优点，被广泛应用于眼科手术的术中导航。典型的 OCT 设备可分为手持 OCT 和显微镜集成 OCT。本文简要介绍了时域 OCT 和频域 OCT 的原理和发展，回顾了 OCT 眼科手术导航设备的发展历程，并对各个类别中有代表性的 OCT 系统进行了介绍，对其成像原理、性能、优缺点等进行了描述和对比，最后对该技术在眼科手术中的应用做出了总结和展望。

聚焦协会 Association News

P48 / 深圳市光学光电子行业协会第八届第二次会员大会盛大召开!

P50 / 光启微纳, 智创未来——光电微纳加工技术及创新应用论坛

P52 / APE 2025 | 深光协携手企业组团参展, 引领光电创新潮流

P53/ 光电创新产品展示精彩盘点!

P54/ 才汇星河·职耀未来——华南师范大学 2025 届毕业生理工类专场招聘会成功举办

产品 Products

P55/ 产品

小编四处搜寻，为大家呈现部分展商的火热新品。

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
中国科协新技术开发中心
New Technology Development Center - CAST
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
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
深圳市光学光电子行业协会
Shenzhen Optics & Optoelectronics Industry Association
深圳贺成博闻展览有限公司
Shenzhen UBM Herong Exhibition Co., Ltd.

总编 /Editor-in-Chief

阳子 Yang Zi

主编 /Chief Editor

廖小凡 Kelly

编辑 /Editors

李丹青 Achin

美术编辑 /Art Editor

林兆欣 Zhaoxin Lin

摄影记者 /Photographer

廖小凡 Kelly

网络编辑 /Website Editor

光博君 CIOE6666

广告及赞助 /Advertisement

邓璐 Lisa 胡艺千 Sabrina

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



CIOE2025 光电互联，破卷出新！

覆盖光电全产业链的综合型展会 --- 第二十六届中国国际光电博览会 (CIOE 中国光博会) 将于 2025 年 9 月 10-12 日在深圳国际会展中心举办。现在报名登记即可免费领取光电行业报告, 还有机会抽取 200 元美团卡!



本次展会共计 240,000 平方米, 汇聚来自全球超 30 个国家和地区的超 3,800 家的优质参展企业, 预计吸引超过 130,000 专业观众。八大主题展覆盖信息通信、精密光学、摄像头技术及应用、激光及智能制造、红外、紫外、智能传感、新型显示、AR & VR 等板块, 是您寻找研发和生产制造中所需要的材料、器件、设备及解决方案的一站式高效采购平台, 也是精准商贸需求配对, 快速拓展商业社交圈, 把握行业发展前沿资讯和动态的商贸平台。



·从材料器件到场景应用: 八大主题展构建光电产业链, 加速跨域创新

CIOE 中国光博会以光电产业为核心, 以“材料-器件-系统-场景”为轴线, 通过八大主题展全景式串联产业链条, 实现从基础研发到商业落地的平台价值。展会以全

链贯通、跨界融合、场景驱动为特色, 覆盖基础材料、核心器件、智能系统三大层级, 并深度赋能智能汽车、消费电子、机器人、生物医疗等终端场景, 打造光电技术跨界融合的生态平台。

展会聚焦光电领域前沿, 汇聚信息通信 (光器件 / 光模块)、精密光学 (光学材料及器件 / 光学加工制造)、摄像头技术 (镜头模组 / AR-VR 模组)、激光智造 (激光器 / 加工设备)、红外技术 (红外探测器 / 热成像仪)、智能传感 (激光雷达及 3D 视觉 / 工业传感器)、新型显示 (显示模组及面板) 等核心技术, 同时联动高校及科研院所展示前沿成果, 形成“技术预研-系统集成-量产验证-场景渗透”的全周期创新发展。

信息通信展:集中展示芯片、材料、器件、模块、设备、方案等全产业链板块的新产品技术和市场新趋势, 以及半导体核心材料与设备。

精密光学展 & 摄像头技术及应用展:汇聚光学材料与元件、光学加工设备、蓝宝石加工应用、光学薄膜元件及材料、光学镀膜设备、光学镜头、摄像模组、摄像头配套

产品、摄像头及生产设备、光学测量仪器、光学成像系统、机器视觉及工业自动化、内窥镜及配套、望远镜及天文器材等。

激光技术及智能制造展:展示激光材料及元器件、激光器、激光组件及辅助系统、激光设备、测试测量、3D 打印 / 增材制造、3C 电子智能装备、机器人及工业自动化等。

红外技术及应用展:展示红外材料与芯片、红外器件、红外成像及应用、测试与测量设备、太赫兹监测与成像、紫外技术与应用、毫米波技术及应用等。

智能传感展:展示激光雷达、3D 视觉、3D 摄像头、3D 成像与传感、生物识别、工业传感器、MEMS 及传感器、毫米波雷达、测试测量设备等。

光电子创新展:展示科研院所、高等院校、孵化企业、专精特新企业、高新技术企业、量子等前沿光电创新产品及技术。

新型显示技术展:集中展示显示材料、显示面板 / 模组、显示设备等行业领域产品, 包含 LCD 显示面板、OLED 显示面板、Micro-LED 显示面板、COB 模组、RGB



封装、背光源组件、LED 芯片、曝光设备、蚀刻设备、洁净设备、贴合设备等。

AR & VR 展:集中展示 AR 显示模组、成像系统、感知设备、AR 眼镜、一体机等核心产品及下游终端设备。



· 超 90 场同期论坛涵盖产学研用，探索光电行业热点话题

CIOE 中国光博会同期举办的中国国际光电高峰论坛，是产、学、研、用四位一体多层次国际交流平台，围绕学术、产业、应用等会议方向，全面深入探讨光电领域的最新技术和研究方向，为光电企业布局未

来提供了一个得天独厚的交流平台。

信息通信产业论坛:聚焦 AI/ML 背景下的光传送关键技术、万兆光网场景多元化应用、面向超万卡智算集群的新型光技术、高性能芯片集成制造工艺解决方案等热点话题。**光学产业论坛:**全面解析从计算光学成像、半导体检测、纳米压印技术、医学成像技术、光学薄膜到测试方案及终端应用的全产业链热点。**激光产业论坛:**集中探讨激光器件趋势、激光微纳加工先进制造、光 / 激光技术赋能精准医疗、激光技术赋能泛半导体产业制造等议题。**红外产业论坛:**围绕红外探测器国产化之路、红外技术赋能智慧电网安全运营、红外技术赋能石油化工检测应用等话题展开。**量子产业论坛:**盖量子通信、量子计算、量子测量学等热门话题。

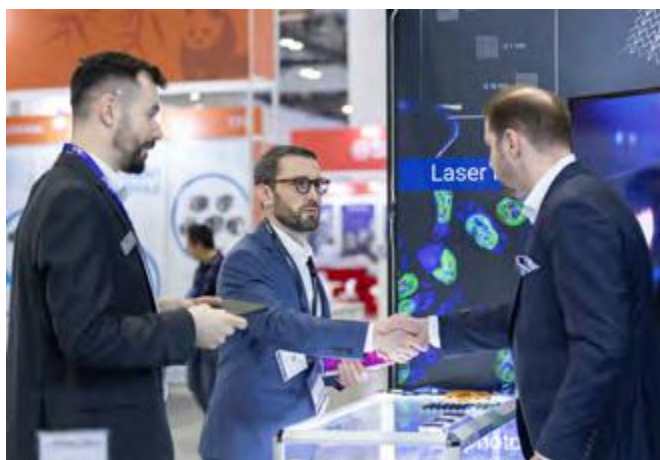
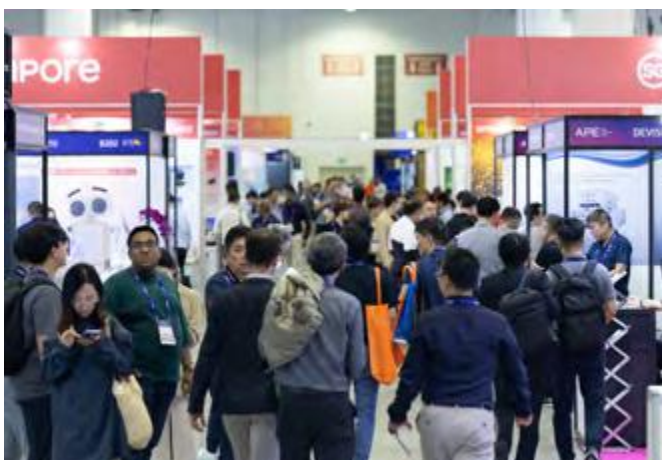
“光 + 应用”论坛:全面探讨光电技术在各新兴领域的应用落地与解决方案，助推光电

技术 in 应用领域的深耕融合。主题涵盖智能汽车、消费电子、AR&VR、显示、工业以及智能传感等，特别各领域的热点话题如人形机器人、汽车视觉、医疗、Micro LED、机器视觉等。

· 与 SEMI-e 深圳国际半导体展暨 2025 集成电路产业创新展双展联动，打造 32 万㎡半导体及光电盛宴

CIOE 中国光博会与 SEMI-e 深圳国际半导体展暨 2025 集成电路产业创新展首次实现双展同期联动，以“光 - 电 - 芯”深度融合为主线，SEMI-e 横跨产业上下游，汇聚超 1000 家优质半导体展商，覆盖芯片设计及应用、IC 制造、晶圆设备、封测设备、核心零部件及材料、化合物半导体及功率器件、AI 算力七大主题区。双展全面覆盖、深度完善半导体产业链布局，为光电及半导体产业人士以及下游应用领域观众提供更多全面而深入的整体解决方案，一证即可看遍两个展。C

APE 2026 亚洲光电博览会：汇聚亚洲光电机遇，驱动产业创新发展



APE 2025 展会现场

APE 亚洲光电博览会作为亚洲光电领域最具影响力的行业盛会，将于2026年2月4日至6日在新加坡金沙会议展览中心L1展厅隆重举办。本届展会以“汇聚亚洲光电机遇，驱动产业创新发展”为主题，聚焦光电技术与半导体产业的深度融合，为全球行业领袖、科研机构及创新企业提供一站式技术交流与商业合作平台。

APE 2026: 亚洲光电产业的顶级盛会

作为亚洲光电行业的标杆性展会，APE 致力于打造亚洲光电领域的顶级交流合作平台。展会将汇聚全球顶尖企业、科研机构及行业领袖，全方位呈现亚洲光电市场的最新发展动态。覆盖光电全产业链，涵盖信息通信、光学、半导体、量子、激光、

传感、显示和红外等领域，集中展示前沿技术成果与创新应用场景，为行业人士提供集产业洞察、技术交流与商业合作等为一体的一站式服务平台。

首设半导体主题展区，推动产业协同创新

半导体作为光子集成芯片（PIC）的关键要素，已发展成为推动现代世界运转的最普及的技术之一。光子集成芯片利用半导体材料和制造工艺，将激光器和探测器等光学元件集成在单个芯片上，从而在通信、传感和计算等领域实现了紧凑型、高性能且成本效益高的解决方案。东南亚地区作为全球半导体产业的重要制造与创新枢纽，2023年半导体出口额达2340亿美元，占

全球出口总量的20%。基于此，2026年亚洲光电博览会（APE 2026）将首次设立半导体主题展区，聚焦材料、设备、制造、先进封装及芯片设计等全产业链解决方案，旨在推动光电与半导体产业协同创新发展。通过战略整合资源，促进跨技术领域合作，突出新兴应用场景，为全球专业人士搭建技术交流、资源对接与市场拓展的新机遇。

三大亮点，助力企业开拓亚洲市场

在全球化竞争与技术创新加速的背景下，APE 2026 为企业量身打造三大核心价值，助力参展商精准对接亚洲市场，抢占先机：

- 精准商业对接——从接触到合作，高效链接全球资源



APE 2025 展会现场



展会突破传统展示模式，通过开幕晚宴、特邀买家 1v1 配对、欢乐时光、新加坡当地高校及光电企业参访等定制化活动，构建高价值商务网络。参展企业可直达目标客户与合作伙伴，快速推动订单落地与战略合作。

· 全产业链资源整合——一站式贯通光电生态链

从上游材料、核心组件到终端应用，APE 2026 汇聚半导体设备巨头、光子芯片设计新锐、系统集成商及终端用户，形成完整产业闭环。参展商可同步对接供应链资源与技术伙伴，实现“展品变商品、技术变方案”的跨越。

· 依托新加坡创新枢纽——立足亚洲，辐射全球

选择新加坡，就是选择与未来对话。作为亚太研发中心与跨国企业总部聚集地，新加坡在硅光技术、量子通信、先进封装等领域具有全球竞争力。APE 2026 将充分发

挥这一区位优势，帮助企业抢占技术制高点，拓展新兴市场。

参与 APE 2026，共塑光电未来

APE 2026 不仅是技术展示的窗口，更是产业协同创新的催化剂。我们诚邀全球光电与半导体企业、科研机构及行业专业人士共赴新加坡，探索前沿技术，共谋发展机遇。



展位预定



订阅更新

关于 APE 亚洲光电博览会

由全球知名的展会主办机构 Informa Markets（英富曼集团）主办的 APE 亚洲光电博览会将于 2026 年 2 月 4-6 日在新加坡金沙会议展览中心 L1 展厅举办，聚焦亚洲光电行业最新前沿创新科技及新兴应用

市场，促进光电行业上下游的深度交流及商业合作。展会将覆盖信息通信、光学、半导体、量子、激光、传感、显示和红外等产品，面向光通信 / 信息处理及存储、消费电子、先进制造、监控 / 安防、半导体加工、机器人、能源、传感及测试测量、照明显示、医疗等 10 大应用领域展示前沿的光电创新技术及综合解决方案，是行业人士寻找新技术新产品、了解市场先机的一站式商贸、技术及交流平台。预计展示规模达 15,000 m²，将吸引超 400 家企业参展，观众数量超 6,000 名。展会期间还有针对未来趋势、前沿技术、行业热点及创新性应用场景的高峰论坛，科研院所、研发中心、公司参观等专属参观活动，以及高端晚宴、一对一采购对接会等活动同期举行。C

更多详情请访问：www.asiaphotonicsexpo.com/

联系我们

参展咨询：sale-ape@informa.com

参观咨询：visitors-ape@informa.com

光芯片，不只是引人注目

文章来源：半导体产业纵横

光 通信行业市场研究机构 LightCounting 在最新报告中指出，光通信芯片组市场预计将在 2025 至 2030 年间以 17% 的复合增长率 (CAGR) 增长，总销售额将从 2024 年的约 35 亿美元增至 2030 年的超 110 亿美元。

当前，光芯片正引起越来越多科研机构和大厂的兴趣。

01 市场和研究的重点

推动市场增长的无疑是以以太网和 DWDM 两大巨头，占据了绝对主导地位。而 PAM4 DSP 芯片则悄悄崛起，成为第三大细分市场。这种芯片主要用作交换机 ASIC 与可插拔端口之间的板载重定时器，听起来可能有点复杂，但简单来说，它就是让数据传输更快、更稳的关键角色。根据 LightCounting 的数据，超大规模云服务商对 AI 基础设施的投资正在推动 400G/800G 以太网光模块的需求激增，进而拉动了 PAM4 芯片组的销量。

超大规模云服务商对 AI 基础设施的巨额投资推动 400G/800G 以太网光模块出货量激增。

中国云厂商开始跟进投资 AI 基础设施。

无线前传作为 PAM4 光器件新兴市场，预计将在 2025 年复苏，并在 2026 年继续增长。

自 2024 年年以来，英伟达、英特尔等巨头企业纷纷在光子技术上加码，英伟达计划在 2027 年推出 Rubin Ultra GPU 计算引擎，整合共封装光学 (CPO) 技术，解决数据传输带宽瓶颈，并计划在 2025 年与台积电、博通合作推动相关硅光子产品量产；英特尔则在光纤通信大会 (OFC) 大会上展示了其光学计算互连 (OCI) 芯片，实现与 CPU 共封装，为满足未来 AI 计算的高带宽需求提供了解决方案；一个月后光子加速计算初创公司 Lightmatter 在 D 轮融资

国内外10大光通信模块公司清单

2010	2016	2018	2022
Finsar	Finsar	1 Finsar	InnoLight & Cobherent (It)
Ogmet	Hsense	2 InnoLight	
Sumitomo	Accelink	3 Hsense	Cofo (Acacia)
Avago	Acacia	4 Accelink	Huawei (HiSilicon)
Source Photonics	FOIT (Avago)	5 FOIT (Avago)	Accelink
Fujitsu	Oclaro	6 Lumentum/Oclaro	Hsense
JDSU	InnoLight	7 Acacia	Eoptolink
Emcore	Sumitomo	8 Intel	HGG
WTD	Lumentum	9 AGI	Intel
NeoPhotonics	Source Photonics	10 Sumitomo	Source Photonics

资中融到了 4 亿美元，估值达到 44 亿美元，这笔资金将用于加速该公司光芯片的生产和部署，以满足 AI 集群对低能耗、高性能计算的需求。

除此之外，国内外顶尖科研机构在光芯片领域有着先进的科研成果。

上海交通大学邹卫文教授团队研制了实现高速张量卷积运算的新型光子张量处理芯片。该研究创新提出基于光子集成手段构建张量运算过程的学科交叉研究思路，该思路无需进行张量到矩阵的转换，可实现输入张量到输出张量的流式计算。基于这一创新思路，该团队设计并研制一款光子张量处理芯片，在多通道图像上验证了时钟频率为 20 GHz 的高速张量卷积运算，芯片算力密度为 588 GOPS/mm²，后续通过提升光子器件集成规模有望达到 1 TOPS/mm² 以上。研究团队利用该芯片构建了用于视频动作识别的卷积神经网络，网络中的卷积层在光子张量处理芯片上完成，最终在 KTH 视频数据集上实现了 97.9% 的识别准确率，接近理想识别准确率 98.9%。

上海交大电院消息指出，本研究成果表明光子集成芯片可在超高时钟频率下实现张量流式处理，解决额外内存占用与访存问题，为构建高性能计算、宽带信号处理等先进信息系统提供了新技术途径。

清华大学的研究团队开发了名为“太极”的光子芯片，其能量效率高于当前的智能芯片数个数量级。短短4个月，清华大学的光芯片就已经迅速进化到第二代，世界上第一款全光学AI芯片太极-Ⅱ了，能效已经超过英伟达著名的H100。这不仅仅是技术上的突破，更可能是一种新的计算范式的开始，甚至可能彻底改变计算机的设计和构建方式，这项研究已发表在8月7日的《自然》杂志上。《自然》审稿人认为，它有望成为训练光学神经网络和其他光学计算系统广泛采用的工具。

太极-Ⅱ全光学AI芯片是在新开发的全前向模式（FFM）上构建的，允许在光学系统中直接进行计算密集型AI训练，而不需要复杂的反向传播过程，是世界上第一个能够进行“大规模光训练”的芯片，可以更快、更省电地训练人工智能模型。

香港城市大学副教授王骋团队与香港中文大学研究人员合作开发出处理速度更快、能耗更低的微波光子芯片。可运用光学进行超快模拟电子信号处理及运算。据介绍，这种芯片比传统电子处理器的速度快1000倍，耗能更低，应用范围广泛，涵盖5/6G无线通讯系统、高解析度雷达系统、人工智能、计算机视觉以及图像和视频处理。

另外，IBM光子芯片取得新突破，实现下一代高速光互联技术，可以显著改善数据中心训练和运行生成式AI模型的方式，AI速度提升80倍。与目前最先进的CPO

技术相比，IBM的创新使芯片制造商能够在硅光子学芯片的边缘添加六倍的光纤，即“海滨密度”。这些光纤的直径大约是人类头发的三倍，长度从几厘米到几百米不等，每秒能传输太比特的数据。IBM团队使用标准的组装封装工艺，在50微米间距的光学通道上组装了一个高密度PWG，与硅光子波导绝热耦合。论文还指出，这些具有50微米间距PWG的CPO模块已通过了制造所需的所有压力测试，包括高湿环境、-40°C至125°C的温度以及机械耐久性测试，确保了光互连在弯曲时不会损坏或丢失数据。此外，研究人员已将PWG技术演示到18微米的间距，堆叠四个PWG可实现多达128个通道的连接。

这一突破延续了IBM在半导体创新领域的领先地位，包括首个2nm节点芯片技术、7nm和5nm工艺技术的实现、纳米片晶体管、垂直晶体管（VTFET）、单细胞DRAM和化学放大光刻剂等。CPO技术为满足AI日益增长的性能需求提供了新的解决方案，并有望取代模块外的电气通信方式。

02 光通信的发展趋势：1.6T、硅光、LPO、CPO

光通信领域正加速向高速率、集成化、低功耗方向突破，1.6T、硅光、LPO和CPO四大技术趋势相互交织，共同驱动行业变革。

1.6T高速光模块成为下一代数据中心的核​​心需求，通过3nm制程DSP芯片与硅光技术融合，实现单波1.6Tbps传输速率，功耗较前代降低40%，支撑AI算力集群的长距离高密度互联，但其信号完整性设计和散热问题仍需攻克。硅光技术作为底层创新，借助硅基材料和CMOS工艺，将激

光器、调制器等器件集成于单一芯片，显著降低成本和功耗，成为CPO等先进封装的关键支柱，但硅基激光器效率不足和封装兼容性问题仍制约其大规模应用。

LPO（线性驱动可插拔模块）以“去DSP化”为核心，通过线性直驱技术降低50%功耗和30%延迟，保留可插拔特性，在中短距离场景（如数据中心架顶交换机互联）实现性能与成本的平衡，但受限于传输距离和专用芯片配套能力。

CPO（光电共封装）则更激进，通过光引擎与交换芯片共封装，将能效压至 $\leq 5\text{pJ/bit}$ （降耗70%），支持未来3.2T/6.4T超高速率，结合液冷散热可提升单机架算力密度40%，但高集成带来的散热难题和外置光源依赖成为商业化瓶颈。

从协同效应看，硅光与CPO深度绑定推动高密度集成，LPO作为过渡方案填补中短距市场，1.6T则牵引长距带宽升级，形成多层次技术覆盖。产业层面，头部企业通过“硅光+CPO”组合抢占AI算力高地，而LPO厂商聚焦低成本场景，推动数据中心PUE从1.25优化至1.12，加速绿色算力落地。这些趋势共同指向一个核心目标：在AI与算力爆发时代，以更低功耗承载指数级增长的数据洪流。

03 磷化铟：光芯片的香饽饽？

最后我们来谈谈光芯片的风险。根据Yole统计显示，到2026年全球光模块器件磷化铟衬底（折合两英寸）预计销量将超过100万片，2019年-2026年复合增长率达13.94%，2026年全球光模块器件磷化铟衬底预计市场规模将达到1.57亿美元。

而磷化铟（InP）光芯片制造工艺的核

心难点集中在材料特性、制程精度与热管理三方面。

磷化钢多晶合成需精确控制钢磷原子比 ($1:1 \pm 0.0001$) 及温度 ($\pm 0.5^\circ\text{C}$ 内), 以规避非化学计量缺陷; 单晶生长过程易受热场扰动影响, 导致位错密度超过 $1000/\text{cm}^2$, 直接影响器件光电转换效率。

另外, 纳米级外延与光栅制造。量子

阱外延层厚度需控制在 $\pm 1\text{nm}$ 以内, V/III 族气体流量比波动须 $<0.1\%$ 以保证界面陡峭度; 分布式反馈 (DFB) 激光器的二阶光栅刻蚀深度公差需 $\leq 5\text{nm}$, 否则导致波长偏移超过 $\pm 0.5\text{nm}$, 难以满足密集波分复用 (DWDM) 需求。

以及, 高精度封装与良率提升。光纤耦合对准精度要求 $<0.15\mu\text{m}$, 但焊接应力易使 VCSEL 阵列光斑偏移超 $0.2\mu\text{m}$,

导致 400G 光模块封装良率不足 75%; 而 EML 激光器的端面反射率需稳定在 30%-40%, 镀膜厚度误差超过 $\pm 1\text{nm}$ 将引发模式跳变。

总的来说, 磷化钢的制备工艺相对复杂, 成本较高, 限制了其大规模应用。为了降低成本并提高生产效率, 研究人员正在不断优化制备工艺, 并探索新的制备方法。C

光束整形是激光焊接的未来吗?

文章来源: 高能束加工技术及应用

全 光纤技术为各种工业焊接工艺提供即时光束整形, 无需更换大量光学元件和激光头, 从而提高生产率和质量。

与替代焊接技术相比, 由于具有众多性能和成本优势, 工业激光焊接持续快速增长。随着激光焊接进入现有产品并为金属制造商提供新的功能和应用, 终端市场正在经历前所未有的变化。例如, 电气化和提高燃油经济性的需求正在推动汽车制造商在设计、装配和焊接方法方面进行创新。光纤激光加工是解决这些制造机会的关键技术之一。

光纤激光器与智能工厂自动化相结合,

为不断增长的焊接市场提供高度可靠、经济高效的解决方案。与传统焊接工艺相比, 激光可提供显着更快的吞吐量, 并具有精确、低热量输入的焊接, 从而提高零件质量和更高的生产率。

光纤激光器的高功率和出色的光束质量可实现“小孔焊接”, 其特点是在快速行进速度下实现高纵横比熔深剖面。除了提高生产率之外, 小孔激光焊接的窄熔化区和高速度还可以产生低变形和最小的热影响区。使用较大的激光光斑尺寸 (具有较低的功率密度) 会导致较浅的“传导焊接”, 这有利于美观的焊接并最大限度地减少后处理步骤的需要。在这两种焊接模

式之间转换并优化不同材料和接头设计的焊接性能需要工件具有不同的光束特性。

01 光束整形优化

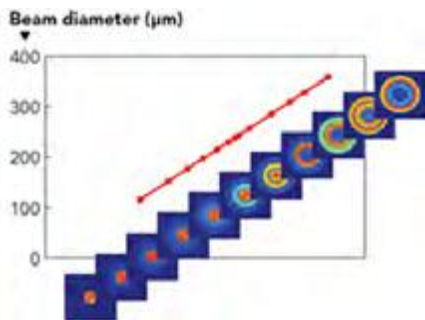
虽然一些小众应用使用光束整形光学来改进激光焊接工艺几十年来, 工业激光器提供了固定的输出光束特性。针对每种焊接应用优化这种固定光束轮廓的尝试主要限于调整加工头的光学放大倍数。虽然一些小众的应用使用光束整形光学来改进激光焊接工艺, 例如用于缓解锌蒸气的双光斑楔块或用于沉积工艺中环形光束形状的轴锥镜, 但这些传统方法增加了工艺头的成本和复杂性, 并且没有被广泛使用。

最近的研究表明，由环形或“环形”包围的中心激光光斑组成的光纤激光束形状可以显著提高小孔焊缝的稳定性。这种光束形状可以减少飞溅和孔隙率，从而提高接头强度和熔合区的均匀性。对于传导焊接，对于相同的焊接轮廓，高强度环形形状比传统的放大或失焦平顶光束的生产效率要高得多。无论是小孔还是传导模式，最佳光束尺寸和形状取决于所焊接接头的合金、厚度和性能标准。

02 光纤激光器的突破

为了避免自由空间光学方法的缺点，nLIGHT Corona 光纤激光器采用全光纤技术，可以直接从馈送光纤快速调整光纤激光束的尺寸和形状。这些光纤激光器提供各种光束形状和尺寸，并允许快速、动态光束调谐，而不会损失功率、稳定性或可靠性。Corona 馈送光纤分为引导激光束的同心区域，可适应广泛的应用。

在一种配置中，中心纤芯直径为 $100\ \mu\text{m}$ 的馈电光纤被两个直径分别为 $200\ \mu\text{m}$ 和 $300\ \mu\text{m}$ 的环形引导区域包围（图 1）。通过改变这三个引导区域之间激光功率的分配来调整光束直径和形状，将光束直径从大约 $100\ \mu\text{m}$ 调整到 $350\ \mu\text{m}$ （二阶矩定义），相应的光束参数积 (BPP) 为范围为 3 至 $18\text{mm}\text{-mrad}$ 。



(图 1)

该技术前所未有的关键特征是光束形

状的调节是在光纤内完成的，无需自由空间光学器件，从而保持了光纤激光器的所有性能、稳定性、效率和可靠性优势。与光束组合方法不同的是，光束组合方法将独立的激光源发射到不同的引导区域，因此需要在大多数光束设置中不可用的过量激光功率。

Corona 技术提供了多种光束形状，包括平顶光束、不同尺寸和厚度的环形光束以及由具有不同能量分配的环形光束包围的平顶光束。尽管可以在最小和最大光束尺寸之间连续调整光束形状，但工业应用通常首选固定数量的设置（或“索引”值）。这些光纤激光器的另一个优点是光束调谐非常快，从最小直径到最大直径的过渡时间为 $<30\ \text{ms}$ 。

光纤激光器在折射率变化期间继续以全功率运行，无需在改变光束形状时关闭（或“空白”）激光功率。这种快速调整可以为每个焊缝（或每个焊缝的开始和结束）使用最佳光束特性，而不仅仅是针对不同的零件或不同的作业。Corona 光纤激光器首先应用于金属板材切割，在低碳钢、不锈钢、铝和铜的切割方面比传统光纤激光器具有显著优势。市场上现已推出多种基于 Corona 的切割系统，能够优化厚材料和薄材料的切割，无需更改任何硬件。最近，类似的光束整形优势也已在焊接应用中得到证实。

03 减少钢焊接的飞溅

激光焊接一般分为两种操作模式：匙孔模式和传导模式。

在匙孔焊接过程中，激光束具有足够的功率密度以蒸发金属。在焊接过程开始的最初几毫秒内，激光能量熔化并蒸发

金属表面的一小部分。金属蒸气迅速膨胀并从表面逸出。这种蒸气喷射会在熔池的液体表面上产生反冲力，从而产生凹陷，使激光束能够更深入地进入金属，以熔化和蒸发更多的基材。进一步的金属汽化增强了蒸发反冲力，从而将更多的液态金属推离激光束。这种熔化 / 蒸发过程持续进行，直到在金属表面形成又深又窄的圆柱形空腔。由于熔池表面可见小而深的开口，因此该空腔被称为“钥匙孔”。强烈的激光相互作用产生的连续逸出的金属蒸汽流使这个锁孔保持打开状态。小孔焊缝熔合区的熔深轮廓非常窄，具有高深宽比（深度 / 宽度）。

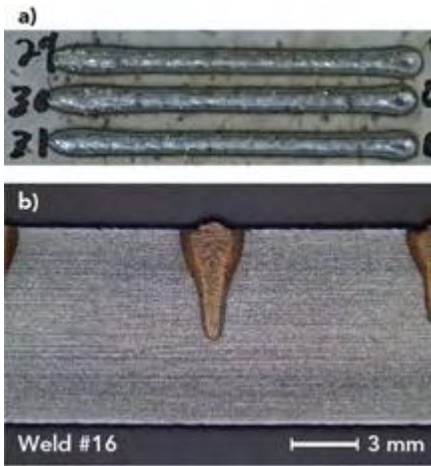
为了产生具有恒定熔深的光滑焊接表面，蒸汽腔必须非常稳定。如果锁孔不稳定，则在激光焊接过程中可能会产生间歇性不连续性。当激光汽化努力保持锁孔打开时，表面张力和重力等力试图使狭窄蒸汽腔的液壁塌陷。当锁孔间歇性塌陷时，可能会出现气孔、飞溅和表面不规则等不连续性。



(图 2)

不幸的是，锁孔中的微小不稳定性可能会导致飞溅的产生（图 2）。当液池塌陷并关闭钥匙孔时，激光汽化重新打开腔体，从熔池中喷射出小液滴（飞溅）。焊接中碳钢和高碳钢时，飞溅的产生非常常见，并且使用标准加工技术很难避免（图 3）。中碳钢 (AISI 4140) 的焊接横截面表明，尽管存在飞溅，但对熔深轮廓没有显著影响。

虽然这种情况导致了良好的焊接，但飞溅仍然可能是产品或工艺的主要问题。

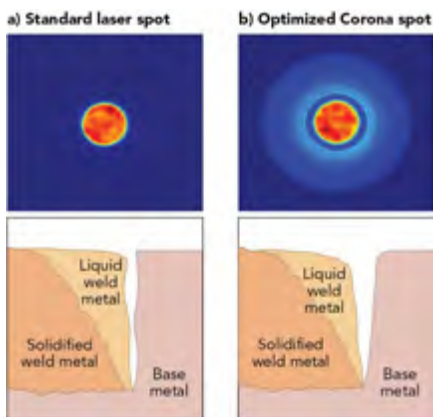


(图 3)

例如，在动力系统焊接应用中，飞溅是不可接受的，因为最终产品中的金属颗粒会损坏组件。

此外，焊接夹具上飞溅物的堆积可能会导致工艺影响、清洁夹具停机或昂贵的消耗工具。持续减少飞溅的最成功方法是提高锁孔稳定性并防止蒸汽腔塌陷。从历史上看，为了实现这一目标，用户尝试将过程移出焦点以产生具有更高斯形状的更大光束。这种方法通常有效，但对工艺间隙更敏感，并且大大降低了功率密度，从而降低了处理速度、穿透力或两者。

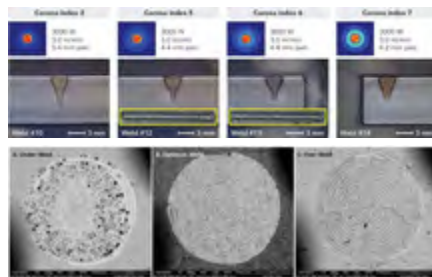
另外，功率调制通过在焊接过程中振荡激光功率在提高小孔稳定性方面取得了



(图 4)

一些成功。该技术适用于某些合金，但需要更高的峰值功率才能保持同等的平均功率、速度和穿透力，并且对工艺变化非常敏感。最近，光束振荡或摆动已被证明可以提高多种金属的小孔稳定性，但由于扫描频率和实际激光功率的限制，进行稳定小孔摆动焊接的最大线性行进速度相对较低。

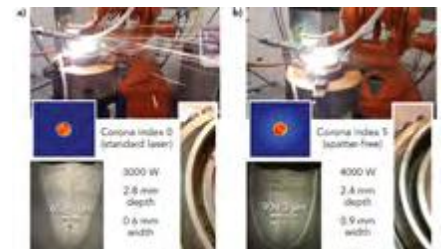
然而，通过光纤激光束整形，用户可以将激光功率引导到需要打开锁孔的位置，而不会显著影响行进速度或穿透深度。中心光束周围的激光功率环可以加宽锁孔开口，以避免蒸汽腔塌陷(图 4)。对于钢焊接，中心光束提供主要穿透力，而添加的环形空间在匙孔顶部产生额外的汽化，以始终保持扩大的开口。对于板上焊珠焊接，可以在加工过程中增加环形空间中包含的激光功率部分(图 5)。在激光功率和速度恒定的情况下，焊缝宽度随着环空功率的增加而增加，并且焊缝横截面的深宽比也相应变化。对于前面讨论的相同中碳钢合金，电晕指数设置 5 和 6 显示出最低的飞溅产生量，同时实现了 4 毫米的目标渗透深度。



(图 5)

在进行中碳钢飞溅缓解的板上焊珠演示之后，使用标准激光束形状和优化的光束形状焊接了代表汽车动力总成的可交付零件(图 6)。从视频静态图像来看，两种光束形状产生了数量相当不同的“火花”(由小飞溅颗粒产生，这些飞溅颗粒在被压缩空气交叉射流推开时燃烧)。值得注意的

是，使用优化梁焊接的接头没有产生火花。同样，在检查表面照片时，焊缝上和周围法兰上都没有积聚飞溅物，这表明周围工具的飞溅物污染极小。



(图 6)

正如该汽车焊接示例所示，与金属加工的传统光纤激光器和体光束传输技术相比，光纤光束整形是一项重大改进。

除了明显自由地调整光束形状以提高锁孔稳定性、减少飞溅、减少孔隙率和改善焊接美观之外，光纤内光束整形还消除了对外部光纤耦合器和开关、电动光学器件或变焦处理头的需要。

凭借快速光束形状切换(<30 ms)，Corona 光纤激光器可在需要时提供 100% 的功率，以优化各种材料、接头设计或作业混合的加工，从而提供前所未有的性能。多功能性。Corona 激光器提供的全光纤光束整形技术已经在金属板材切割市场中站稳了脚跟，它在焊接方面具有优势，可以满足越来越多的现有和新兴应用的需求，推动工业激光焊接市场进入新的增长阶段。

C

88%！中国激光雷达全球称雄！

文章来源：爱红外

近日，咨询机构 Yole Group 发布最新全球激光雷达产业报告《Automotive LiDAR 2025》(2025 车载激光雷达报告)，介绍过去一年中，全球汽车激光雷达产业的发展，其中，中国激光雷达厂商再次领跑全球，并且市场份额比上一年的 84% 进一步提升！

报告显示，预计全球汽车激光雷达市场规模将从 2024 年的 8.61 亿美元增长至 2030 年的 38.04 亿美元，2024 年至 2030 年期间的复合年增长率 CAGR 为 28%。2022 年，全球正处于 PC&LCV（个人和轻型商用车）和自动驾驶出租车市场的交叉点，而 2024 年，PC&LCV 的激光雷达市场规模将是自动驾驶出租车市场的四倍多。

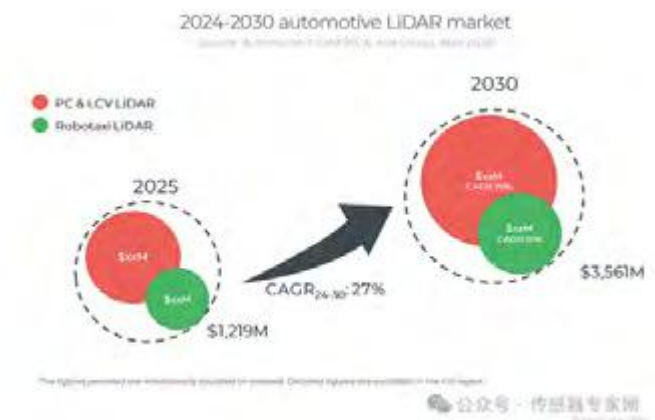
就美国自动驾驶出租车公司而言，Waymo 仍然是美国领先的自动驾驶出租车运营商，每周在奥斯汀、菲尼克斯、洛杉矶和旧金山湾区提供 15 万次出行服务。通用汽车于 2024 年底关闭了 Cruise，标志着其在安全事故和财务挑战后自动驾驶出租车业务的终结。

在中国，百度的 Apollo Go 引领着中国自动驾驶出租车市场，已在 10 多个城市运营，并通过远程操作员提供完全无人驾驶服务。百度计划在武汉部署 1000 辆第六代自动驾驶出租车，目标是在 2025 年实现盈利，并计划到 2025 年将服务范围扩展到 65 个城市。AutoX、滴滴出行、小马智行和文远知行等其他公司也正在中国持续扩张。

乘用车方面，自 2018 年以来，已有约 120 款车型搭载 LiDAR 上市。预计 2023 年和 2024 年将约有 40 款新车型搭载 LiDAR，部署速度将加快。

中国汽车厂商积极拥抱激光雷达，将其集成到包括经济型车型在内的各种车型中。D 级车仍然是集成激光雷达的最佳选择。新情况是，现在平均售价较低的车型也开始集成激光雷达，甚至一些平均售价在 25,000 美元左右的车型也在 2024 年嵌入激光雷达。

相反的是，欧美汽车厂商对激光雷达的采用则更为谨慎，主要将其局限于高端或豪华车型，导致产量较低。目前只有奥迪、梅赛德斯-奔驰、宝马或沃尔沃等少数汽车厂商正在采用此类传感器。激光雷达的采用率正在稳步增长，预计到 2020 年，全球汽车厂商将推出更多项目。



中国激光雷达厂商占据 88% 市场份额！华为为份额快速提升！中国激光雷达“F4”引领产业发展

从全球汽车激光雷达整体市场看（包括自动驾驶出租车和乘用车），中国激光雷达厂商禾赛科技依然占据领先地位，占据 33% 的市场份额，其次是速腾聚创（24%）、华为（19%）和图达通。

这四家中国厂商占据了 88% 的市场份额。

在 Yole 的报告中，用“四巨头”（The “Big Four”）的词语来形容中国这 4 家激光雷达厂商，堪称中国激光雷达“F4”。

其中，RoboSense 速腾聚创在全球车载激光雷达市场摘得三项“全球第一”：2024 年乘用车激光雷达市场市占率第一、ADAS 激光雷达年度“销冠”、2018-2024 年 ADAS 累计销量冠军。

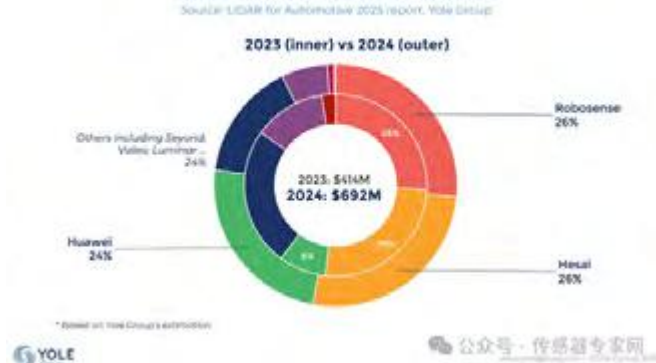
禾赛科技在车载激光雷达市场摘得三项全球第一：全球车载激光雷达市占率第一、全球 ADAS 激光雷达市占率第一、全球 L4 自动驾驶激光雷达市占率第一。

2023-2024 global LiDAR market share
(Source: Yole Intelligence LiDAR 2025 Year-Over-View, April 2025)



细分到激光雷达乘用车市场（PC&LCV，个人和轻型商用车），速腾聚创和禾赛科技以 26% 的市场份额并列第一，其次华为以 24% 位居第 2，中国激光雷达厂商占据了 92% 的份额。这与中国车企大规模部署应用激光雷达并主要使用本土制造和供应链密不可分。

PASSENGER CAR LiDAR MARKET (PC & LCV)
- 2024 VS. 2023 MARKET SHARE*



《报告》显示，2024 年全球车载激光雷达市场迎来爆发式增长，市场规模攀升至 8.61 亿美元，同比增长 60%。

在过去几年，速腾聚创和禾赛科技是全球激光雷达市场主要参与者。但在 2024 年，华为凭借与 Aito、Luxeed 和 Avatr 等 OEM 的多项合作，份额快速上升，排名第二，成为 2024 年全球激光雷达产业“新星”。这些 OEM 的几款车型都将 LiDAR 列为标准配置。

中国企业凭借成本、规模和政府支持占据主导地位，而西方企业（法雷奥、Luminar、Innoviz）则面临成本更高、普及速度更慢的问题。用例也截然不同。中国汽车厂商专注于自动驾驶导航（NOA）功能，驾驶员仍需承担责任；而全球汽车厂商则专注于高速公路自动驾驶，这是一种无需驾驶员注视的功能，在发生事故时驾驶员不再承担责任。

总体而言，2024 年中国激光雷达制造商的供应量约为 150 万台，而全球总销量约为 160 万台。与 2023 年相比，这一数字增长了一倍以上。

其中，RoboSense 速腾聚创以 519,800 台的年销量，登顶 2024 年全球乘用车激光雷达市场销量冠军。其次，禾赛科技出货量 422,192 台排名第二，华为 421,627 第三，图达通 210,399 排名第四，法雷奥 65,705 排名第五。

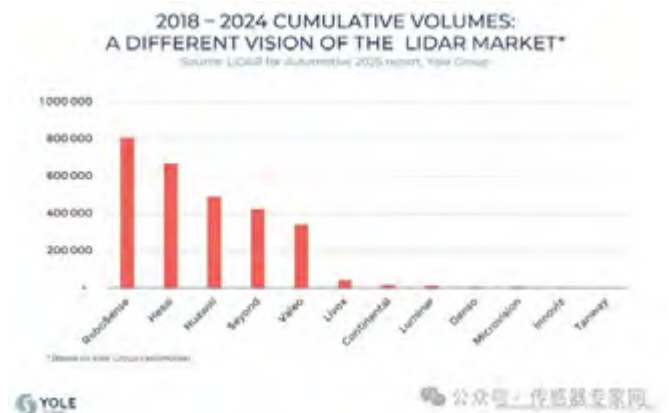
SUPPLY CHAIN FOR PASSENGER CARS
- LiDAR INSTALLED IN 2024



比亚迪的“天神之眼”（于 2025 年 2 月发布）将 LiDAR 带入经济实惠的 C 级车市场，而理想汽车于 2025 年 2 月发布的公告将 LiDAR 标准化应用于所有 2025 款车型，从而提升了 D 级车的溢价率。

其他中国 OEM 厂商也可能效仿，推动 2025 年 LiDAR 的增长。

此外，Yole Group 预测，2018 至 2024 年全球乘用车激光雷达市场累计销量排行榜，RoboSense 速腾聚创以超 80 万台的累计销量位居全球第一，禾赛科技、华为、图达通、法雷奥、览沃紧随其后，除法雷奥外，其余均是中国厂商，展现了中国激光雷达厂商未来几年在全球产业中的统治地位。



在自动驾驶出租车（Robotaxi）市场，《报告》显示，2024 年全球 L4 自动驾驶激光雷达市场规模达 1.66 亿美元，同比增长 35%。

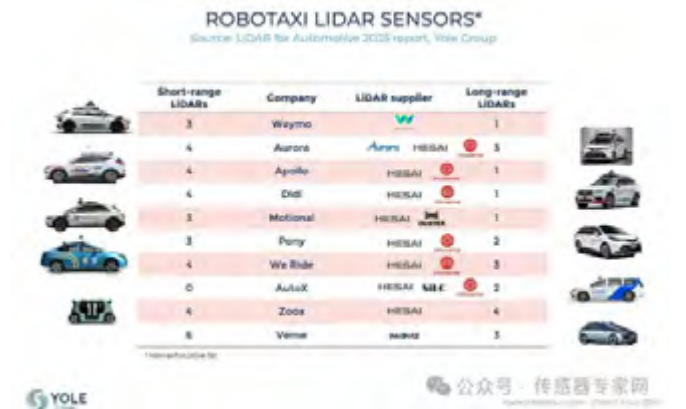
禾赛科技以 61% 的市占率连续四年蝉联榜首，为 Zoox、Aurora、Apollo、滴滴、小马智行、文远知行等全球头部自动驾驶公司提供核心传感器支持。

其次 Waymo 以 14% 份额排名第二，另一家国产激光雷达巨头速腾聚创以 12% 份额排名第三。



随着全球 Robotaxi 市场从试点全面转向规模化量产，单车搭载激光雷达的数量将显著增加，这也将大力推动全球 L4 自动驾驶激光雷达市场规模的逐级扩增。

同时，在《报告》提及的 10 家 L4 自动驾驶公司中，速腾聚创、禾赛科技囊括绝大多数份额。



《报告》指出，目前中国、欧美及日韩地区，都显示有发布搭载激光雷达车型的计划或动态。预计中国整车厂将在 2025 年或之后不久推出 111 款搭载激光雷达的智能车型，欧洲地区将在 2025 年或之后不久推出超 4 款激光雷达车型，美国地区即将推出 2 款带激光雷达的车型，日韩地区则有超 2 款带激光雷达的智能车型即将发布。



从 905nm EEL 到 VCSEL 和 SPAD-SoC 创新，突破激光雷达性能天花板

早期的激光雷达系统，包括 Velodyne 自 2005 年起推出的

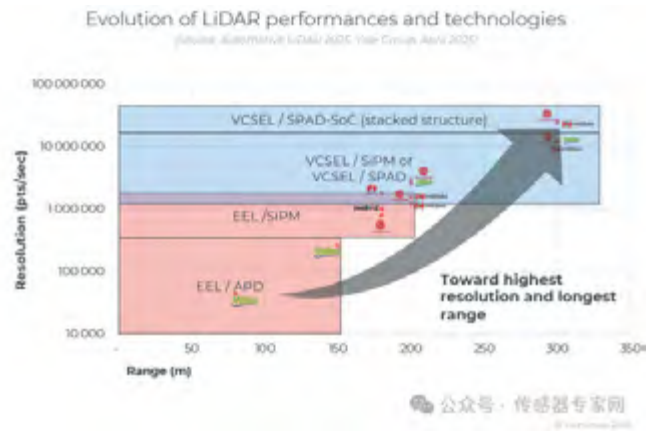
3D 实时激光雷达，主要采用 905nm 波长，由于半导体技术成熟，该波长具有成本效益。

自那时起，905nm（或新兴的 940nm）仍然是激光雷达制造商的首选波长，预计未来五年内不会发生变化。图达通和 Luminar 等少数制造商使用 1550nm，但该技术成本高昂，难以满足原始设备制造商 (OEM) 的要求。

就发射器而言，EEL 是早期 LiDAR 系统中的主要发射器。它们功率高、探测距离远，但体积庞大且耗电。因此，它们的使用正在减少，而 VCSEL 的使用则逐渐增多。VCSEL 因其紧凑的尺寸、低功耗和阵列可扩展性而在 LiDAR 领域备受青睐。随着二维可寻址阵列增强视场和点密度，以及多结增强输出功率，VCSEL 预计将占据主导地位，并在新型 LiDAR 设计中得到广泛应用。

虽然第一代 LiDAR 的分辨率低于 300,000 点 / 秒，范围约为 150 米，但最新一代 LiDAR 的分辨率将高达 24M 点 / 秒，范围约为 300 米。

随着 LiDAR 产量的增加以及技术与量产的兼容，LiDAR 的平均售价正在快速下降，到 2025 年，一些入门级 LiDAR 的价格将在 200 美元左右。[C]



接收器正在快速发展。APD 是早期 LiDAR 的标准配置，但已被灵敏度更高的 SiPM 和 SPAD 所取代。这些新型接收器具有更佳的噪声抑制性能、紧凑的设计以及可扩展性，可实现量产。

一种 SPAD-SoC 结构正在兴起，它将 SPAD 与处理器堆叠在一起。该结构的主要优势在于更高的光子探测填充因子和更小的占用空间。该结构将 SPAD 阵列与定制 ASIC 垂直集成，用于信号处理，从而降低了尺寸、延迟和成本。

通过将 VCSEL 与 SPAD-SoC 芯片组合，激光雷达将实现最远测距和最高分辨率，突破性能天花板。目前以 RoboSense 速腾聚创为代表的激光雷达品牌，正在最新产品设计中应用了 SPAD-SoC 芯片。

数据中心各级链路光模块技术演进和应用分析

文章来源：点维智算

数据中心的早期雏形自上世纪 60 年代在欧美起始，在 1996 年由 Exodus 公司第一个提出了“IDC”（Internet Data Center）概念，经过近三十年的高速发展，形成了通算、超算、智算并行的数据中心发展格局。其设备互联链路带宽从 100Mbps、1000Mbps 发展到当前的 1.6Tbps，单链路带宽速率在 30 年中提升了 16000 倍。到现在为止，百兆和千兆链路在网络仍然被广泛使用，超高速的链路技术和产品因为 AIGC 智算的高速发展得以快速进入市场。光模块被广泛应用在连接器、Fiber Channel(光纤存储)、以太网、CWDM/DWDM、有线接入、无线接入（基站连接）等各个场景。本文仅就数据中心场景中的以太网光模块技术演进做出总结分析，网络设计人员可以用以参考。

注：从多模光纤的角度看（使用 850nm 波长），自 10G 万兆多模模块就在光纤标准上存在传输距离的差异，一直到 800G 多模光模块，以万兆多模模块为例，OM3 MMF 光纤传输可传输 300M，OM4 MMF 光纤可传输 550M，对于 800G 多模模块，OM3 MMF 光纤传输可传输 30M，OM4 MMF 光纤可传输 50M。市场上 OM4 的多模光纤大概比 OM3 的多模光纤贵 70% 左右，在网络适配中需要注意光纤的标准，单模光纤无此约束。

100M 和 1000M 光模块

——数据中心中入门或淘汰的链路技术

- 100Mbps 光模块基于 IEEE802.3u 100Base-FX 标准，在当前网络环境中只用于一些特殊场景，比如中低端路由器的长距离传输，比如某厂商还在提供 SFP-FE-SX-MM1310/ SFP-FE-LH40-SM1310/ SFP-FE-LH80-SM1550。实际场景已经很少使用百兆光纤链路。

- 1000Mbps 也就是 1Gbps 的光模块在 LAN 局域网中非常常见，也可以用于数据中心的带外管理网络中。1Gbps 光模块遵循 IEEE 802.3z 标准，早期使用 GBIC 标准封装，体积比较大，后被 SFP 封装类型替代。在 62.5/125 μm OM1 多模光纤中可以传输 275-300 米，在 50/125 μm OM2 多模光纤中可以传输 550 米。模块功耗通常在 1W 以内。单模光模块使用 9/125 μm SMF 单模光纤传输距离可以达到 10-160 公里。目前各厂商提供的光模块产品基本上均采用 LC 小方口接口规范。

传输速率	技术标准	封装类型	波长	传输距离	通道数
100Mbps	IEEE 802.3u	SFP	850nm	2KM	1
			1310nm	40KM	
			1550nm	80-160KM	
1000Mbps (即 1.25Gbps)	IEEE 802.3z	SFP	850nm	300-550M	1
			1310nm	10-20KM	
			1550nm	40-160KM	
10Gbps	IEEE 802.3ae	SFP+	850nm	300-400M	1
			1310nm	2-40KM	
			1550nm	40-100KM	
25Gbps	IEEE 802.3by	QSFP+ (SFP+)	850nm	30-800M	1
			1310nm	2-40KM	
40Gbps	IEEE 802.3ba	QSFP+/QSP	850nm	100-300M (OM4)	4
			1310nm	2-80KM	
500Gbps	IEEE 802.3cd IEEE 802.3bm	SFP28/SFP56	850nm	100M	1
			1310nm	10-80KM	
1000Gbps	IEEE 802.3bm IEEE 802.3cu	QSFP28/QSP	850nm	10-100M	4
			1310nm	0.5-100KM	
200Gbps	IEEE 802.3ba IEEE 802.3cd IEEE 802.3cn	QSFP56	850nm	1-100M	4
			1310nm	2-100KM	
400Gbps	IEEE 802.3bu IEEE 802.3ck IEEE 802.3cd IEEE 802.3cn	QSFP56-DD/ QSFP112/ QSFP/OSFP112	850nm	10-100M	4/8
			1310nm	0.5-80KM	
			1550nm	0.5-100M	
800Gbps	IEEE 802.3bf IEEE 802.3ck IEEE 802.3cn	QSFP112-DD/ QSFP112/ OSFP224	850nm	10-50M	4/8
			1310nm	0.5-10KM	
1.6Tbps	IEEE 802.3bf IEEE 802.3cg	OSFP224 OSFP-XD	850nm	0.5-20M	8
			1310nm	0.5-20M	

数据来源：各厂商官网及 IEEE 官网



10G、25G 和 50G 光模块

——数据中心中面向服务器连接的主流接口链路技术

· 10Gbps 万兆光模块遵循 IEEE 802.3z 标准，有两种常见封装类型 SPF+ 和 XPF，其中 XPF 封装类型只在一些比较老旧的设备中使用，一些厂家的 850nm 多模光模块在 OM3 MMF 中传输 300 米而在 OM4 MMF 中可以达到 400 米。万兆单模 SMF 光纤中，1310nm 光模块传输距离可以达到 60KM，1550nm 光模块传输距离可以达到 120KM。万兆光模块在数据中心中是基本的服务器和安全设备接口，用量很大，现在通算数据中心中服务器的上行接口正在向 25Gbps 及以上接口转换。

· 随着大规模云计算业务的发展，10G 服务器链路已经不能满足云计算数据中心中东西流量的带宽需求，25Gbps 端口做为合适的演进产品得到各个厂家的支持，25G 光模块遵循 IEEE 802.3by 标准，25G 光模块的主流封装类型是 SFP28，其中数字 28 代表可以达到 28Gbps 数据传输速率，SFP28 和 SFP+ 及 SFP 的物理尺寸相同，在各厂家设备中具备一定的兼容性。850nm 的多模光模块在 OM3 MMF 中传输 70 米而在 OM4 MMF 中可以达到 100 米。目前最新的主流服务器板载网卡都在向 25G 接口转换，同时支持基于 OCP NIC 3.0 规范的扩展 25G 网卡。

· 50Gbps 光模块遵循 IEEE 802.3cd/IEEE 802.3bm 标准，在选用两端模块时最好选用相同技术标准的模块，以免出现兼容性问题。不同于之前速率的 NRZ 调制模式，50G 光模块使用性价比更高的 PAM4 调制模式进行调制，长距离传输单模块功率也达到了 5-6W 水平。50G 光模块的主流封装类型是 SFP56 和 QSFP28 两种。50G 光模块在多模 OM4 MMF 光纤上可以传输 100 米，单模 SMF 光纤采用 1310nm 波长可以达到 80 公里。50G 光模块在数据中心中用量较小，主要应用场景是 5G 移动网络环境居多，很多光模块厂商不提供该产品。

40G 和 100G 光模块

——通算数据中心的组网链路和智算数据中心的入门服务器

· 40Gbps 光模块遵循 IEEE 802.3ba 标准，在通算数据中心网络中可以作为 Rack 机架交换机的上联链路，来汇聚万兆服务器的接入链路。目前主流封装类型是 QSFP+，常见的有 4 个传输通道，每个通道的数据速率是 10Gbps。QSFP+ 封装的功耗较低，模块接口为 MPT/MPO-12 公头，对应的光纤接头是 MPO-12 母头，参考下图。40G 850nm 的多模光模块在 OM3 MMF 中传输 100 米而在 OM4 MMF 中可以达到 150 米。单模 SMF 光纤采用 1310nm 波长可以达到 80 公里。



· 100Gbps 链路是通算网络的骨干链路技术，但是在智算网络环境中通常用来作为 RoCE 入门级服务器上联。100Gbps 光模块遵循 IEEE 802.3bm 标准。封装类型比较多，包括 QSFP28、SFP-DD、XFP/XFP2/XFP4 等，最常用的是 QSFP28 封装类型。QSFP28 模块接口为 MPT/MPO-12 公头，对应的光纤接头是 MPO-12 母头。100G 850nm 的多模光模块在 OM3 MMF 中传输 70 米而在 OM4 MMF 中可以达到 100 米。单模 SMF 光纤采用 1310nm 波长可以达到 100 公里。100G 光模块一般采用 4 个 25G NRZ 调制通道。100 公里光模块功耗一般在 6W 左右。另外一种封装类型 SFP-DD 采用标准 LC 接口，可以兼容 SFP/SFP+，符合 IEEE 802.3cu 标准，使用 1310nm 波长，采用 1310nm PAM4 调制。XFP/XFP2/XFP4 应用最早，但已经逐步被 QSFP28 和 SFP-DD 替代。

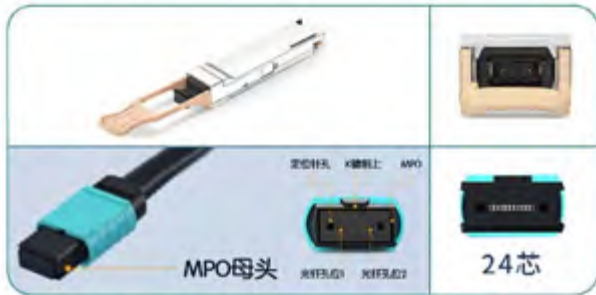
200G、400G、800G 和 1.6T 光模块

——智算 XPU 基于 RoCE 的高性能链路技术

也可用于网络骨干链路

· 在 AIGC 智算兴起之后，对网络带宽的要求越来越高，XPU 训练服务器上联链路已经演进到 200Gbps 及以上，200G 光模块对应的标准有 IEEE 802.3bs/IEEE 802.3cd 和 IEEE 802.3cn。各标准适配的光纤类型和距离不同。目前市场上有两种封装类型：QSFP56 和 QSFP-DD。接口类型比较复杂，QSFP56 850nm 多模 MMF 光纤接口是 MPO-12，1310nm 单模 SMF 光纤接口是 LC 接口。QSFP-DD 850nm 多模 MMF 光纤接口是 MPO-24。200G 850nm 的多模光模块在 OM3 MMF 中传输 70 米而在 OM4 MMF 中可以达到 100 米。单模 SMF 光纤采用 1310nm 波长可以传输 2-10 公里。到目前为止基于 IEEE 802.3cn 的 200G/40 公里模块还没有标准化和商用。QSFP56 光模块（四小通道可热插拔光模块），可以支持 4x50G 传输，从而达到 200G 的传输速率，采取 PAM4 调制技术。QSFP-DD 光模块中的“DD”指的是双密度，也就是说通道数量从 4 个变为 8 个，对 QSFP 前向和后向兼

容，可兼容 QSFP28 光模块及 AOC/DAC 高速线缆等。QSFP-DD MPO-24 模块及跳线示意图如下：



· 400Gbps 光模块的标准还在不断演进中，目前有 IEEE 802.3bs、IEEE 802.3ck、IEEE 802.3cd、IEEE 802.3cn 几种技术标准来适配不同场景。主要商用的模块封装类型包括了 QSFP112、QSFP-DD(QSFP56-DD)、OSFP56、OSFP112 四种类型。400G 光模块采用 4 个 100G PAM4 通道技术，有 LC 和 MPO-12、MPO-16 几种线缆接口。基于 850nm 的 MMF 多模光模块可以传输 30-100 米，基于 1310nm 的 SMF 单模光模块可以传输 500 米到 40 公里。400G 光模块功耗达到了 10W 级别，高功耗给数据中心 400G 系统的供电和散热方案带来严峻工程挑战。目前业内 8-15W 高功率 400G 光模块大多采用散热片顶设计，通过增加散热片的数量和尺寸，使热量能够更快地导出，从而提高模块的散热效率。



· 800Gbps 光模块可以用在 Spine-Leaf 交换机互联链路中，也可进行拆分后直接连接 XPU，800G 光模块遵循 IEEE 802.3df、IEEE 802.3ck 和 IEEE 802.3cn 标准，模块封装类型有 QSFP112-DD、OSFP112 和 OSFP224，为了灵活的拆分为 2*400G、4*200G 和 8*100G 接口，OSFP112 和 QSFP112-DD 封装采用 8 个 100G PAM4 通道技术，OSFP224 封装采用 4 个 200G PAM4 通道技术。800G 光模块在基于 850nm 波长的 MMF 多模光纤下可以传输 30 米（OM3 光纤）、50 米（OM4 光纤）。基于 1310nm 波长的 SMF 单模光纤下可以传输 100 米到 10 公里。

模块接口采用双 LC、MPO-16 和双 MPO-12 规格。传输距离 30 米的 800G 光模块功耗超过 10W，传输距离 10 公里的 800G 光模块功耗达到了 16-18W，因此 800G 光模块基本都采用散热片顶设计以提升散热效率。



· 1.6Tbps 光模块是业内最先进的高速链路技术，遵循最新的 IEEE 802.3df、IEEE 802.3dj 标准。目前主流的商用模块封装类型是 OSFP-XD，采用 8 个 200G PAM4 通道技术，聚合到 1600Gbps 传输能力。现有的商用 1.6Tbps 光模块均采用 SMF 单模光纤传输数据，距离有 500 米和 2 公里两种。接口采用双 LC 或双 MPO-12 规格。1.6T 光模块可以用于智算网络环境中的 Spine-Leaf 链路，构建超大规模 GPU PoD 集群。目前业内商用的 1.6T 数据中心交换机极少，预计大规模商用需要等到 2025 年。

注：从 200Gbps 光模块开始，模块中都会增加 DSP 芯片解决方案，DSP 芯片主要用于处理调节衰减光信号，是高速光模块中最核心的芯片之一。当光传输速率达到 50Gb/s 以上时，光纤偏振模色散影响加剧，严重影响链路有效传播距离与信号质量，因此业界最常用的方法是通过 DSP 对抗与补偿，来降低失真造成的系统误码率。因此在 200G 以上的商用光模块中，DSP 基本属于必备器件，因为 DSP 芯片的成本和功耗对光模块的影响较大，业内也在讨论去 DSP 的 LPO（Linear-drive Pluggable Optics）线性直驱与 CPO（Co-packaged Optics）光电共封装方案。



总结

在各类数据中心场景中，光纤和光模块都有大量部署，在网络设计时需要注意网络设备支持的端口带宽及封装类型，同时关注设备和模块支持的相关协议，在选配光纤和光纤跳线时需要匹配对应的接口规格，同时提前根据机柜、机房、网络布局做细致规划和选型。在大型网络设计时还需要关注网络性能要求、收敛比、性价比和健壮性等指标。📌

从 VR/MR 到 AR，2025 年近眼显示产业机遇无限

文章来源：LEDinside

2024 年对于近眼显示行业而言是一个新的发展阶段，在增强现实（AR）领域，关键硬件在人工智能（AI）发展趋势的推动下，实现了迭代升级。同时，整个供应链的市场格局也发生了相应的变化。

近日，集邦咨询分析师万雯对 2024 年近眼显示行业的现状与趋势进行了回顾，并从技术和市场两大维度进行了深入剖析，为众多行业人士清晰地展现了近眼显示行业的当下态势与未来走向。

01 四大关键模块构成近眼显示行业基石

在人类接收信息的五感中，视觉信息占比超过 70%。伴随着显示技术与设备的不断发展，人们对显示的需求逐渐向扩增实境方向演进。但就当下而言，脑机接口或意识流的沉浸体验还保留更多科幻色彩，这种体验的实现仍需依托近眼显示设备为载体来完成。

近眼显示设备中 VR/MR 是基于视频透视（VST）技术。设备通过摄像头和传感器捕捉现实信息，与虚拟内容融合后投射至人眼，营造沉浸体验。相比之下，AR 设备需感知真实环境，通常采用光波导等光学元件，同时透射环境光并反射显示内容，实现虚实融合。

近眼显示设备有四大关键硬件模块，分别是光学、显示、芯片与传感器以及电池，它们共同支撑着终端设备的发展。

从产业链的角度分析，在光学模块方面，VR 和 MR 领域的厂商众多。而在 AR 领域，Birdbath 方案因其光学结构简单、成本较低、工艺成熟、成像效果良好以及适合消费级产品快速落地等优势，而拥有较高的市场份额，但光波导凭借其轻薄化、高透光率、可穿戴性强等特点，仍保有较好的发展潜力。目前光波导方案呈现出多元化的发展局面。

在显示模块方面，近年来中国和国际厂商均展现出强劲的增长势头，同时，高校的产学研平台也积极参与其中，共同推动了显示技术的快速发展。OLEDoS 领域更是吸引了众多厂商的关注，除日系厂商索尼和中国的 BOE（京东方）、视涯科技、熙泰科技外，已有超十家中国厂商开始布局 12 吋量产产线。

在芯片与传感器模块中，目前高通在系统芯片（SOC）领域仍然占据主导地位，但中国厂商正积极寻求突破，甚有品牌厂商试图通过自主研发芯片或供应链整合来提升产品的整体性能的把控度，从而更好地改善用户体验。

电池模块则涉及到电芯、电池封装以及电源系统。当前，行业内的主要努力方向在于如何在增加电池能量密度、提升续航能力的同时，进一步优化电池的散热性、安全性以及重量。

02 VR/MR: 技术持续演进，市场面临瓶颈

在 VR 和 MR 产品中，光学方案主要呈现出菲涅尔透镜和 Pancake 技术并存的格局。菲涅尔透镜以其成本优势在市场中占据一席之地，而 Pancake 技术虽然因光路折叠导致一定的光效损耗，但其轻薄的设计和卓越的成像质量更受 C 端消费者的青睐。

目前，许多厂商在中低端高性价比产品中采用菲涅尔透镜，而在高端产品中则更倾向于采用 Pancake 技术。从长远来看，轻薄化的光学架构，例如 Pancake 及其升级方案，将是 MR 和 AR 未来发展的重要趋势。



微显示领域的竞争格局也呈现出类似的特点。从多个维度进行比较，LCD 技术以其高性价比为核心竞争力，而 OLEDoS 技术虽然在显示性能上表现出色，但在成本控制和供应链成熟度方面仍有提升空间，这也直接导致了两者在产品定位上的差异。



值得关注的是，在 2025 年年初，OLEDoS 在 VR/MR 领域的应用比例显著提升。OLEDoS 本身亮度天花板不高，但在对亮度要求不高的 VR/MR 设备中，这个缺点被弱化。它采用 CMOS 工艺和顶发光 OLED 技术，能提高发光效率，并实现较高的分辨率。

索尼推出的 OCCF (On-Chip Color Filter) 方案进一步优化了显示性能，通过将低温彩色滤光片集成在 OLED 主动层封装之上，有效地减少了光串扰，并将像素密度 (PPI) 提升至约 4800，充分满足了 VR/MR 设备对高清显示的需求。

在出货规模方面，TrendForce 集邦咨询预估，尽管 2024 年全球 VR/MR 出货量预计为 720 万台，但随着 OLEDoS 技术的成熟和供应链优化，预计到 2030 年出货量有望达到 4000 万台，OLEDoS 技术占比提升至 27%。

03 AR: 轻薄化成为趋势, AI 赋能未来发展

相较于 VR/MR 的遇冷，AI 对 AR 装置的赋能效应显现，助力产业有意愿将更多的资源投入到 AR 产品的软硬件的发展中。

因 AR 设备对轻薄化和全天候佩戴的需求极为迫切，故产品外观和光机尺寸的不断优化成为重要的发展方向。从 5 到 6CC 的传统 LCoS 方案，到现在主流 OLEDoS 方案小于 1CC 的模组，甚至小于 0.5CC 的 OLEDoS/LEDoS 光机方案，都是在持续微缩。同时，为了保证日常佩戴时的显示效果不受环境光干扰，设备必须具备极高的亮度，这也在光学设计上有所侧重。

尽管主流的 Birdbath (BB) 方案在成本上具有一定的优势，但由于其固有的体积较大、产品较为厚重的缺点，业界越来越倾向于采用光波导方案。

光波导的核心优势在于能够在保持较高光线透过率的同时实现轻薄化的设计。光波导方案也在不断地完善，基底材料的选择和更精细化的方案设计以及 AI 算法的加持都帮助其取得了长足的进步。

从 Meta 展示的 Meta Orion 产品规格分析，该产品的重量仅为 100 克，视场角 (FOV) 达到了 70 度，远超目前市面上一般的 AR 眼镜。



Meta Orion (图片来源: Meta)

而这主要归功于两个关键因素：其一是 Meta 采用了碳化硅光波导基底，其折射率高达 2.6，相较于普通玻璃（折射率约为 1.5），更大角度范围内的光可以参与耦合过程，从而实现了更大的 FOV 和更好的光效。

其次是先进的光学结构设计，Meta Orion 采用了双面光栅结构，有效地避免一般 AR 眼镜在 FOV 增大时出现的光栅面积增大



导致最终的产品体积过大的问题。然而，这种创新的设计对蚀刻工艺和两层光栅的对齐精度上都有更严苛的要求。

在微显示领域，成熟度较高的 LCoS 技术虽具备极高的像素密度上限（PPI），但其对比度受限，且结构中固有的偏振分光棱镜（PPS）制约了体积微缩，而微缩对于 AR 眼镜至关重要。相比之下，OLEDoS 技术以其轻薄高亮的特性，更符合产品发展需求，优势更为显著。然而，客观而言，该技术的技术难点亦十分突出，例如 LED 微缩化的效率以及全彩化等方面。

在 2025 年年初，OLEDoS 依然是 AR 设备平衡成本与性能的

主流选择，厂商通过搭配不同的光学方案来弥补其亮度上的不足。虽然短期内 LEDoS 单色方案也有一定的市场渗透，但长期而言随着用户对全彩化需求的持续增长，单片全彩化技术的量产依然将成为 AR 行业发展的关键转折点。

AR 被广泛认为是 AI 的最佳载体之一，AI 技术的赋能为 AR 产品带来了全新的发展机遇。AI 在感知交互方面不断为 AR 产品注入新的活力，从最初的语音和触碰交互，到多种传感器融合，推动了搭载更生动直观的手势交互和眼球追踪技术的产品逐步落地，用户体验得到了极大地提升。AR 装置市场也将呈现蓬勃的发展态势。📺

光通信上车，相关方案已就位

文章来源：电子发烧友

光通信在电信、数据中心等领域早已普及，而随着 2022 年底爆发的 AI 浪潮，数据中心高速通信的需求激增，也将光通信产业链再次带火，800G 光模块甚至供不应求。除了数据中心和电信等领域，汽车智能化的趋势下，多种传感器、高算力计算等对车载高速通信的需求也在不断提高，因此传输介质从铜缆转向光纤，正在成为未来的一种解决方案。

智能汽车的高速传输需求

传统汽车中，由于以往对于高速数据通信的需求不高，所以最常见的是使用 CAN 总线或 LIN 总线协议配合铜缆来进行整车的通信。其中 CAN 总线的传输速率较快，可以在车载娱乐系统、发动机控制系统、底盘控制、诊断系统等应用，最

早是由德国汽车 Tier1 巨头博世在 1986 年推出，除了汽车电子之外，CAN 总线还在工业自动化、医疗设备等领域有广泛应用。

CAN 总线使用两根不同的信号线（CAN_H 和 CAN_L）组成差分信号传输线路，采用分布式控制的方式，能够连接汽车上各个部位的 ECU 电子控制单元，同时允许多个节点同时发送和接收数据。在汽车场景上，实时性十分关键，CAN 总线数据传输响应速度能达到毫秒级，传输速率也能达到 1Mbps。

而对于一些不需要用到较高传输速率的应用，比如车窗、车门控制、座椅调节、雨刷控制等非关键部件之间的通信，如果用 CAN 总线的话，首先是线束数量会大大

增加，且增加车辆重量，影响能源经济性的同时还增加了成本。

所以在这些非关键的应用中，过去就会经常用到 LIN 总线进行通信。LIN 总线的物理层设计简单，基于单主 / 多从架构，采用单线通信，标准传输速率为 19.2 kbps，旨在降低成本并简化实现。

随着辅助驾驶、智能座舱等的需求，传感器、高清视频等通信需求提升下，又催生了 CAN 总线的“变种”CAN FD，将传输速率提升至 8Mbps，但这还远远不够。

以智能驾驶的传感器传输带宽需求来看，激光雷达单个的需求约在 20Mb-1000Mbps，雷达约 0.1Mb-15Mbps，每

摄像头带宽需求在 500Mb-3500Mbps 之间，传感器的数据总带宽需求高达 3Gb-40Gbps。

所以汽车行业开始将以太网导入到汽车，从 1Gbps 到目前最新的物理层规范已经支持 10Gbps。不过这也出现一个问题，车载以太网通过非屏蔽铜双绞线作为传输介质时，由于频率较高，在车内布线密集、电子设备密集的情况下，面临着严重的电磁干扰问题，并且线缆的质量较高，给汽车带来了极大的减重挑战。

而采用光通信，传输媒介从铜转为光纤后，能够拥有更强的 EMC 电磁兼容性。加上光纤的材料采用玻璃或树脂，直径小、重量轻，在提高传输速率的同时还能有效减轻线束重量。所以近年来可以发现，光通信上车，正在成为行业内的一个发展趋势，各家厂商都在推出相关的方案。

车载光通信方案

对于车载光通信的应用，裕太微此前表示，车载光纤从设计上较之稳定性更强的铜缆传输就要考虑更多的复杂因子，实现难度也更大，尤其是涉及车内功能安全的主干网络等区域。另一方面，车载光模块上车使用，要至少在不同的恶劣环境下工作 15-20 年，且不允许损坏和更换，这样才能达到车规级标准。

“就目前而言，铜线通信在车载领域依然占据较强的优势。光通信上车只是一个方向，整个生态产业包括应用还没有很完善，目前只是有一些厂商在做预研。”裕太微表示。

显然，当前光通信距离上车还有一段距离，不过确实也已经有一些厂商推出了车载光通信的方案。

赫千科技此前就推出了一种应用于汽车的通信架构，采用全光网络，通过自研的高速光纤 TSN 集中式网关架构使得基于集中式网关架构能够以超高带宽、超低的延迟、低成本、高确定性的通过光纤进行传输海量车载网络通信数据，最大支持传输 10Gbps 的传输速率并且具有优异的 EMC 性能。

高速光纤 TSN 集中式架构以 10G TSN Switch 作为核心单元，扩展出 10G Fiber、10G electronic、1G POF 以及 100/1000Base-T1 等网络接口。TSN 交换单元支持 IEEE802.1 AS, IEEE802.1Qav, IEEE802.1Qbv 的 TSN 协议，以及二层交换机相关标准协议。TSN 交换单元还支持多路 GMSL 摄像头 / 以太网摄像头 / 激光雷达 / 4D 毫米波雷达等传感器的接入，传感器采集的图像或点云数据通过以太网 1722 封包后由 10G TSN Switch 进行转发，传送至终端网关进行图像帧缓存、缩放、混合等处理，最终输出至显示接口。

这套架构主要应用于包括 ADAS 系统、自动驾驶系统、360° 环视系统、车载信息娱乐系统、BMS 系统和集中式计算架构，最高传输带宽可以高达 25Gbps。

华工正源在 2024 年 9 月发布了行业首款车载光网络控制器 OCU，据介绍，OCU 兼具区域控制与骨干网通信的功能，在车载网络中既能完成高实时性、高速率和高安全性的传输与通信功能，又能在区域子网中，按照车型定制区域内车控相关功能，同时独特的自组网功能可以在不同形态的 E/E 架构中灵活部署，满足网络拓扑多样化需求。

长飞光纤也在 2024 年推出了智能汽车



光纤通信解决方案，基于车载以太网架构和车规级石英光纤通信标准 IEEE802.3CZ，通过光电转换模块将汽车自有的电信号转化为光信号，以车载光连接器和车载石英多模光纤光缆作为物理层传输介质进行信号传输，具有高速率、高可靠性、低损耗、抗电磁干扰、易于安装和轻量化的特性，在车载以太网架构中点对点传输速率支持 2.5、5、10、25 直至 50Gbit/s。

鹏瞰半导体基于光纤传输技术推出了新一代工业控制网络总线架构 PonCAN (TS-PON 技术)，融合无源光纤通信高速数据传输、超低时延和高可靠性控制功能，具有高安全性、易于布线和全网同步的特性。TS-PON 架构的传输速率可以达到 10Gbps，时延达到微秒级水平，能够应用在汽车、工业、机器人等领域。

小结

虽然光通信在汽车领域的应用还处于预研状态，车企目前的规划中似乎还未看到较为明确的使用光通信的迹象。不过光通信具备的高速传输、线缆重量轻、抗干扰等特性，在汽车应用中是具备其独特优势的，未来的应用落地情况，或许还需要解决一些功能安全方面的问题。□

高稳定无封装的近红外有机光电探测器 赋能可穿戴医疗监测

文章来源：红外芯闻

有机光电探测器 (OPD) 因其溶液可加工性、能隙可调性、低成本和柔性等优点, 成为下一代可穿戴传感器和数字成像技术的有前途的候选者。近年来, 研究人员投入了大量努力来提高响应度并抑制暗电流, 显著提升了有机光电探测器的灵敏度。目前, 最先进的有机光电探测器的比探测率与硅基商用光电探测器的水平相当。然而, 制约有机光电器件实际应用的关键问题在于其在光照、湿度和氧气暴露下的稳定性不足。现有技术多依赖复杂封装工艺以维持器件性能, 但显著增加了成本和工艺复杂程度。因此, 开发无需封装的, 兼具高稳定性和高性能的有机光电探测器是这一领域的重要挑战。

据麦姆斯咨询报道, 近日, 中国科学院长春应用化学研究所的研究团队通过创新的受体材料设计与界面工程, 成功实现了无封装近红外有机光电探测器在环境条件下的长期稳定运行。该工作采用全稠环电子受体 (FM2) 和疏水交联有机阴极界面层 (c-NDI), 显著提升了器件的环境耐受性。这项工作证明了近红外有机光电探测器在实际应用中的光明前景。这项研究以 “Stable

Unencapsulated Near-Infrared Organic Photodetectors” 为题发表在 *Advanced Optical Materials* 期刊上。

常见的非富勒烯受体采用环外乙烯双键连接端基, 研究人员采用基于稠并的方式连接末端基团的全稠环小分子受体, 其具有良好的近红外吸收, 且能够有效增强材料的光、化学稳定性。此外, 经典的无机阴极界面层具有亲水性和一定的光催化性质, 研究人员采用交联的阴极界面层 c-NDI, 其具有良好的疏水性, 能够有效阻隔环境水汽侵入器件, 有助于提升器件的光、湿度稳定性。器件结构及分子结构图如图 1 所示, 三种受体性能如图 2 所示。

研究人员制造了具有 ITO/ZnO/ 活性层 /MoO₃/Ag 倒置构型的有机光电探测器, 并对三种受体的有机光电探测器光电性能进行了评估, 相关结果如图 3 所示。随后, 为了评估基于三种受体的有机光电探测器的稳定性, 研究人员在 600 lux 光照或黑暗的环境条件下监测了未封装有机光电探测器的响应度、噪声频谱密度以及稳定性, 相关结果如图 4 所示。器件封装对于包括有机光电探测器在

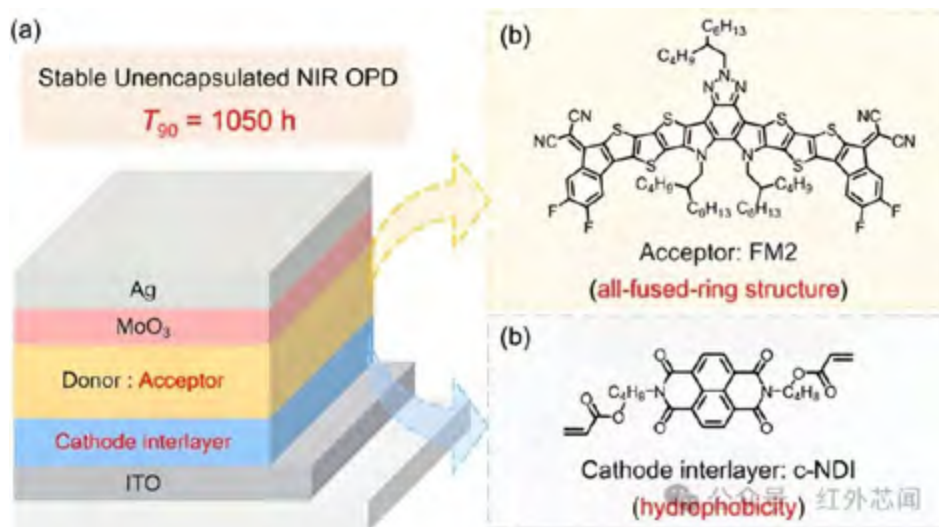


图 1 有机光电探测器结构示意图, 以及 FM2 和 c-NDI 的分子结构图

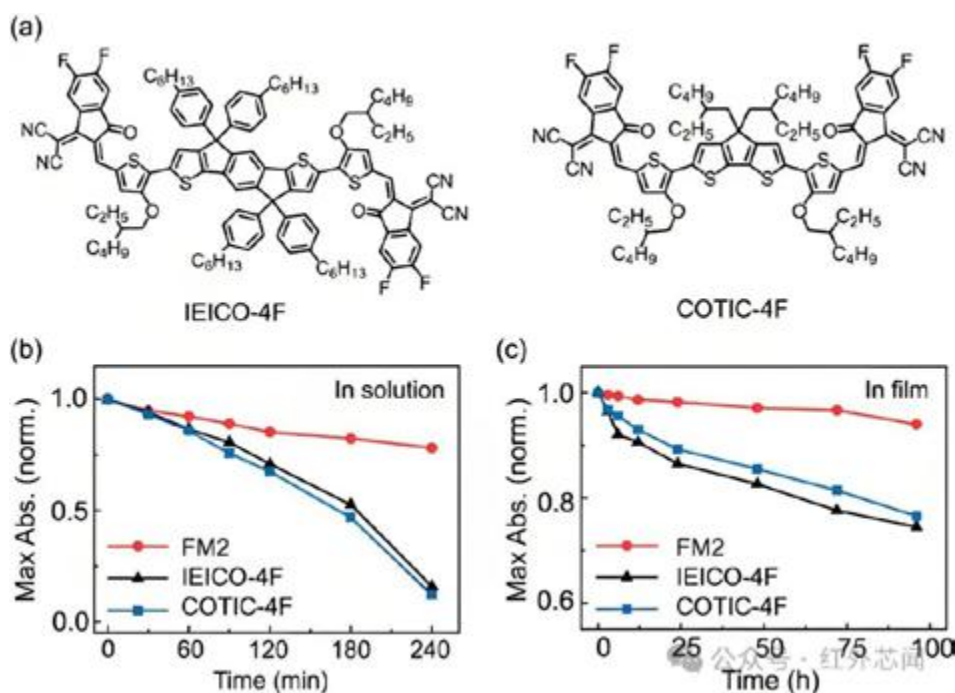


图2对照受体分子结构图,以及三种受体在 THF 溶液中与以 ZnO 为基底的薄膜的归一化最大吸光度衰减曲线

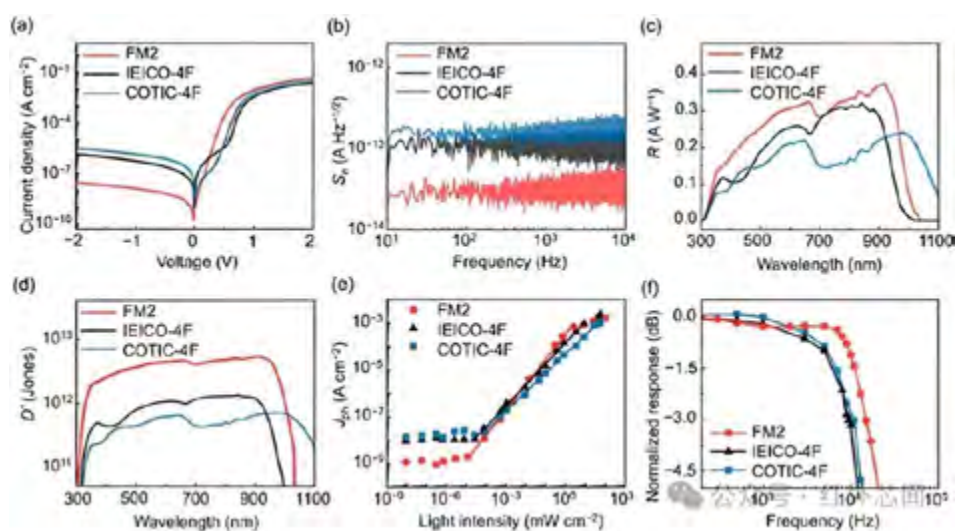


图3 近红外有机光电探测器的光电性能

内的有机光电器件的稳定性非常重要。在这项工作中,研究人员能够在未封装的情况下进行有机光电探测器稳定性研究。

基于该协同设计策略制备的近红外有机光电探测器,在 920 nm 处的峰值比探测率达到 1.65×10^{13} Jones, 为目前报道的最高值之一。更关键的是,基于该策略制备的无封装器件的 T90 寿命

突破 1050 小时,是经典 ZnO 基器件的 10 倍以上,为有机光电探测器的实际应用扫除了稳定性障碍。光电容积脉搏描记法 (PPG) 是一种低成本的无创光学技术,用于监测健康指标。研究团队基于该近红外有机光电探测器,展示了一种用于监测实时人体心率和血氧饱和度的集成设备,相关设备示意图和应用结果如图 5 所示。结果显示,出色的连续实时监测能力使有机光电探测器能够用于疾病

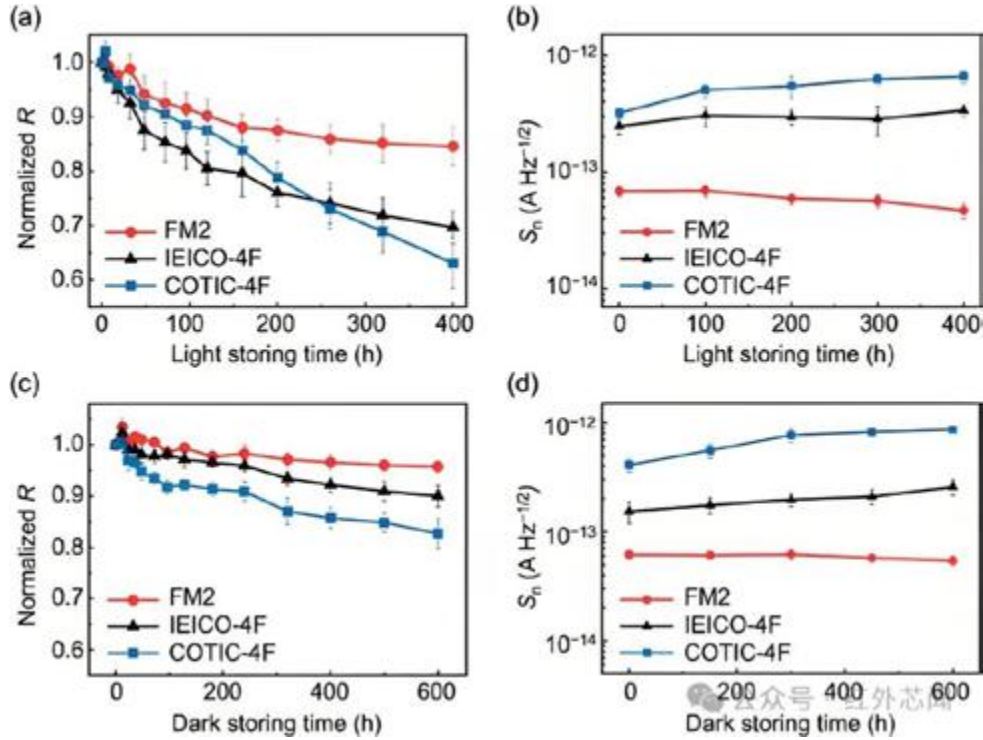


图4 未封装有机光电探测器的响应度、噪声频谱密度以及稳定性

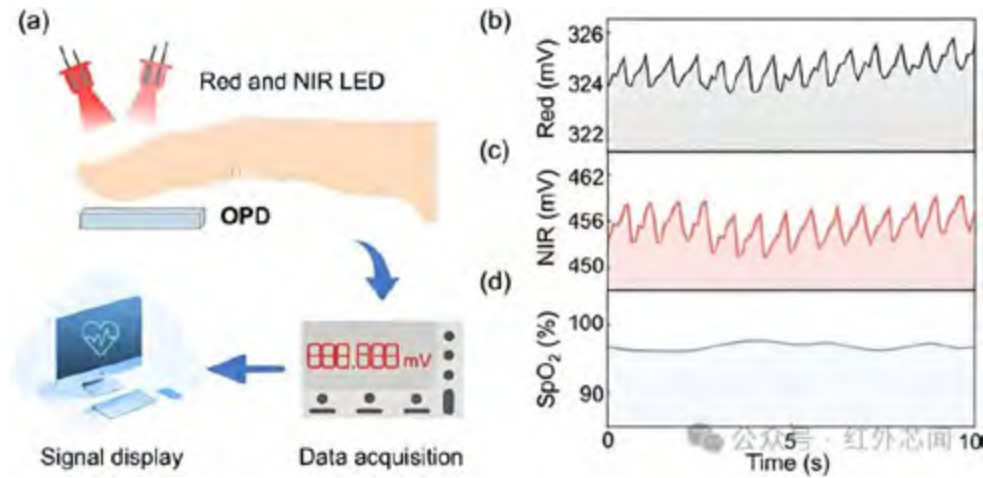


图5 基于近红外有机光电探测器的实时人体心率和血氧饱和度监测应用

的早期诊断，展示了其在可穿戴生物传感方面的广泛应用潜力。

综上所述，这项研究创新的采用全稠环电子受体和疏水交联阴极界面层的协同设计，实现了稳定的高灵敏近红外有机光电探测器。FM2的全稠环结构能够有效抑制光异构化反应，结合具有良好疏水性质的c-NDI阴极界面层，能够协同提升有机光电探测器稳定性。优化后的无封装有机光电探测器在920 nm处具有高达

1.65×10^{13} Jones 的比探测率，并且在600 lux持续光照的空气环境下，能够保持90%的初始响应度超过1000小时。这项研究攻克了传统有机材料的环境敏感性难题，证明通过合理的分子设计与器件工程设计，有机光电探测器无需封装也可长期稳定工作，从而有效降低制造成本，为可穿戴传感、医疗监测等场景提供了兼具高灵敏度、高可靠性的近红外光探测解决方案。■

光学相干层析技术在眼科手术导航方面的研究进展

李云耀^{1,2}, 樊金宇², 蒋天亮^{1,2}, 唐宁^{1,2}, 史国华*

¹中国科学技术大学, 安徽 合肥 230026;

²中国科学院苏州生物医学工程技术研究所, 江苏 苏州 215163



摘要: 在眼科显微手术中, 传统的术中成像方式由于缺少深度信息, 限制了内部结构和手术器械的可视化。光学相干层析成像技术 (OCT) 是一种非接触式断层成像技术, 由于其能提供深度信息、非侵入、成像快、分辨率高等优点, 被广泛应用于眼科手术的术中导航。典型的 OCT 设备可分为手持 OCT 和显微镜集成 OCT。本文简要介绍了时域 OCT 和频域 OCT 的原理和发展, 回顾了 OCT 眼科手术导航设备的发展历程, 并对各个类别中有代表性的 OCT 系统进行了介绍, 对其成像原理、性能、优缺点等进行了描述和对比, 最后对该技术在眼科手术中的应用做出了总结和展望。

关键词: 光学相干层析成像; 手术导航; 眼科手术; 术中成像

1. 引言

随着显微外科手术的发展, 微创眼科手术成为了治疗青光眼、白内障及视网膜病变等眼科疾病的主要手段。该类手术的实施需要在术中实时观察眼部表面下的结构, 并对手术器械进行精确定位。常规的手术显微镜只能提供正面视角的视图, 医生须借助内窥镜提供深度信息, 不能无创地观察眼底, 并且由于缺乏层析成像, 可能会影响对结构边缘位置的判断^[1]。电子计算机层析成像 (computed tomography, CT)、磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI)、超声 (ultrasound) 和非线性光学成像等成像技术被广泛用于术前诊断和术后观察, 但由于分辨率有限、有辐射影响、难以配合手术器械^[2-3] 以及依赖特定化学物质^[4] 等原因, 难以应用于术中实时导航。

光学相干层析成像技术是一种非接触式断层成像技术, 该技术基于光的低相干干涉原理, 通过测量组织中后向散射光的干涉信号获取被测物内部结构信息, 从而进行断层成像^[5]。与 CT、MRI 和超声等成像技术相比, OCT 具有非侵入、速度快、分辨率高等优点, 在临床与科学研究中获得了广泛应用。第一代 OCT 即时域 OCT 技术 (time domain optical coherence tomography, TD-OCT) 由于相对复杂的光学和机械设计的限制, 难以在成像速度和质量上取得提升^[6]。傅里叶域 OCT 技术 (Fourier domain optical coherence tomography, FD-OCT) 极大提升了 OCT 的成像速度

和灵敏度^[6-7], 使得 OCT 技术商业化程度提高, 眼科 OCT 由此广泛应用于临床手术^[8-9], 在诸如心脏病、胃肠病及癌症成像等领域的应用也日渐突出^[10-14]。

OCT 于 20 世纪 90 年代中后期被首次报道用于眼科手术的术前规划和术后观察^[15], 相比传统的眼科仪器, OCT 能更好地在手术期识别病理结构和术后结构变化^[16-18]。除了分辨率和成像速度的优势以外, 基于光学原理的 OCT 具有更低的成本, 也更容易集成到外科器械和显微镜中, 非常契合眼科手术对成像仪器的要求。对于眼科手术, 在术中实时地提供图像信息尤为重要, 随着 21 世纪早期傅里叶域 OCT 的革新, 以及集成显微镜 OCT 设备的出现^[19-21], 术中实时 OCT 成像导航成为了发展趋势。

目前, 基于 OCT 的眼科手术导航设备已经较为成熟, 本文主要介绍了 OCT 在眼科手术导航中的应用; 从成像原理、技术参数和临床应用等方面综述了其研究进展与现状; 分析了各类 OCT 设备的优劣, 并对该技术未来发展做出了展望。

2. OCT 的原理和类型

2.1 OCT 的原理

光学相干层析成像技术起源于飞秒光学^[22], 其原理是利用生物组织内部折射率的变化, 根据光波在组织中传播后的相位变化对组织进行成像。OCT 技术于 1991 年由美国麻省理工大学的

Fujimoto 小组首次提出^[23], 该技术基于低相干干涉原理, 使用一个参考臂作为纵向深度参考, 通过移动参考臂对低相干干涉仪的光束进行扫描。对被测组织不同深度返回的干涉光进行分析处理, 可以得到其纵向的一维结构(A扫描)^[24]。在横向平面上控制参考臂, 将所获得的 A 扫描结合起来, 就能得到具有被测组织深度信息的二维图像(B扫描)。对一系列连续的 B 扫描进行处理, 可以生成被测组织的三维图像。

2.2 时域 OCT

最早的 OCT 系统使用基于时域的探测器, 因此将此类 OCT 简称为时域 OCT(TD-OCT)。TD-OCT 的主要结构如图 1 所示。TD-OCT 是低相干系统, 一般使用低相干光源。入射光通过光纤耦合器后分为两束, 分别作为参考光束和探测光束进入参考臂和样品臂。探测光束在被测样品的不同深度产生背散射光, 在光纤耦合器中与参考臂中平面镜反射回的参考光发生干涉, 得到的干涉光中含有样品的内部信息。在此过程中, 通常使用偏振调制器调节光线传播的偏振方向以得到较强的干涉信号, 并利用相位调制器和解调器来处理干涉光中的噪声, 提高信噪比。

TD-OCT 系统一般使用光电探测器接收干涉信号, 通过样品臂的纵向扫描获得样品不同深度的信号并将这些信号叠加, 得到样品的一维结构信息。再通过样品臂的横向扫描对一维信息叠加, 得到样品的二维断层扫描信息。干涉光在经过解调器、A/D 转换器后由计算机进行数字图像处理, 从而得到样品内部结构的二维图像^[25]。

TD-OCT 的成像速度受机械扫描机构的限制, 最早的 TD-OCT 系统生成单个二维截面图像需要的时间约为 190 s^[26]。后续的 TD-OCT 中引入了可旋转的立方体反射镜系统^[27]、高灵敏度的干涉接收器^[28-30]以及双通道快速扫描光学延迟线系统等技术, 使成

像速度能够达到两千赫兹(每秒钟 A 扫描次数)^[31], 虽然相比早期的 TD-OCT 具有了极大提升, 但仍然难以满足临床应用的需要。

2.3 频域 OCT

频域 OCT(FD-OCT) 又称傅里叶域 OCT, 是 TD-OCT 问世十年后(2001 年)诞生的新一代 OCT 技术^[28]。FD-OCT 系统舍弃了 TD-OCT 中的机械扫描结构, 不需要移动参考臂来对样品进行纵向扫描, 而是通过对干涉光信号做傅里叶变换获得样品的深度信息。FD-OCT 不仅在成像速度上远超 TD-OCT^[17, 32], 还拥有极高的灵敏度, 这使得 FD-OCT 在高速成像的同时, 不会因为灵敏度低而损失图像质量^[33]。

根据不同的光源和干涉信号采集方式, 可将 FD-OCT 分为谱域 OCT(spectral-domain OCT, SD-OCT) 和扫频 OCT(swept-source OCT, SS-OCT) 两类。SD-OCT 使用近红外超发光二极管作为光源(中心波长约 840 nm), 使用光谱仪对干涉信号进行分光后, 再用线阵探测器采集信号^[32, 34]。SS-OCT 使用可调谐的扫频激光器作为光源(中心波长约 1050 nm), 对光源进行分光后使用单个光电二极管作为探测器采集信号^[35-36]。

随着光源和采集设备的发展, FD-OCT 的成像速度不断提升。SD-OCT 的成像速度已经达到十万赫兹, 而 SS-OCT 则超过了二十万赫兹^[28, 31, 36]。凭借成像速度快、成像质量高的优点, FD-OCT 技术迅速抢占了 OCT 市场, 并取得了广泛的临床应用。尽管 SD-OCT 和 SS-OCT 的成像速度都可以满足临床需求, 但成本较低的 SD-OCT 系统的商业化应用更为广泛^[26]。

3. 手持式术中 OCT

传统的台式 OCT 系统由于其物理结构的限制, 在用于眼科成

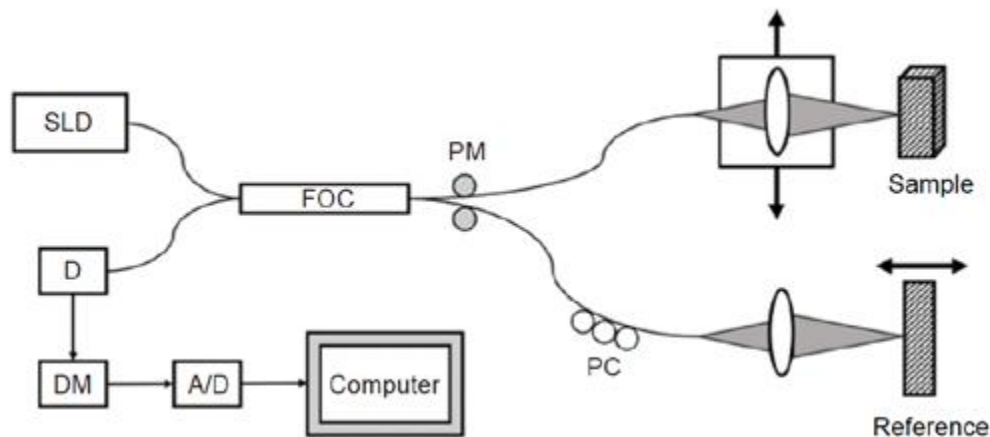


图 1. 时域 OCT 系统示意图。SLD: 低相干光源; FOC: 光纤耦合器; PC: 偏振调制器; PM: 相位调制器; D: 光电探测器; DM: 解调器

像时需要患者采用站姿或坐姿，并使用托腮板和头枕等设备保持头部稳定，难以对处于仰卧或麻醉状态的患者进行成像。随着小型化光学元件的发展，具有更小外形的手持式 OCT 系统开始出现，手持式 OCT (Handheld OCT, HHOCT) 应运而生^[28, 37]。HHOCT 技术的出现使患者在仰卧状态下也能进行成像。相比台式 OCT 系统，HHOCT 在轴向和横向测量方面都有更好的重复性和再现性^[38]，并且具有更低的成本和操作难度，因此适合作为商业化 OCT 设备的替代。

3.1 外部 HHOCT 探头

1997 年，Boppart 等研发了首个手持式 OCT 探头^[39]。该探头采用压电材料移动光纤，对聚集光束扫描的部分进行成像。基于光纤的 HHOCT 结构紧凑，但相比传统振镜扫描的方式，视野更小且图像采集速率低^[40]。随后振镜被引入 HHOCT 中，一种外置的手持 OCT 探头被开发出来，基于振镜的 HHOCT 探头尺寸和重量更大，能够实现更高速的光学扫描^[41]，并且其非接触式的特点

适用于无创手术的术中导航。

早期的 HHOCT 探头使用两个电机控制振镜提供 X 和 Y 方向扫描，从而将其集成到手持探头中^[42]。2001 年，Radhakrishnan 等设计了一种基于振镜的眼科 HHOCT (图 2(a))^[41]。探头的光学元件可将样品臂末端的放大图像转移到前段，同时将振镜平面成像到物镜平面。研究人员使用该手持设备完成了对 5 名受试者眼前节的高速实时成像 (图 2(b))，实现了角膜层的划分和角膜结构的全厚度可视化 (图 2(c))，并对角膜上皮、基质厚度以及前房角进行了测量。2007 年，美国 BiopTigen 公司商业化了一款同样使用振镜的眼科 HHOCT 探头^[43]。BiopTigen HHOCT 探头被首次用于儿童、婴幼儿眼部成像^[44]，并于 2009 年被引入临床眼科手术进行术中成像^[45]。此后，类似的 HHOCT 也相继被开发并用于眼科手术^[46-48]。

尽管基于振镜的 HHOCT 探头减小了传统台式 OCT 的尺寸，振镜扫描所采用的两个正交方向的电机仍然限制了其最小尺寸和重量^[42]。为了进一步提高 HHOCT 的便携性，微机电系统 (micro electro mechanical system, MEMS) 开始被引入扫描装置中。使

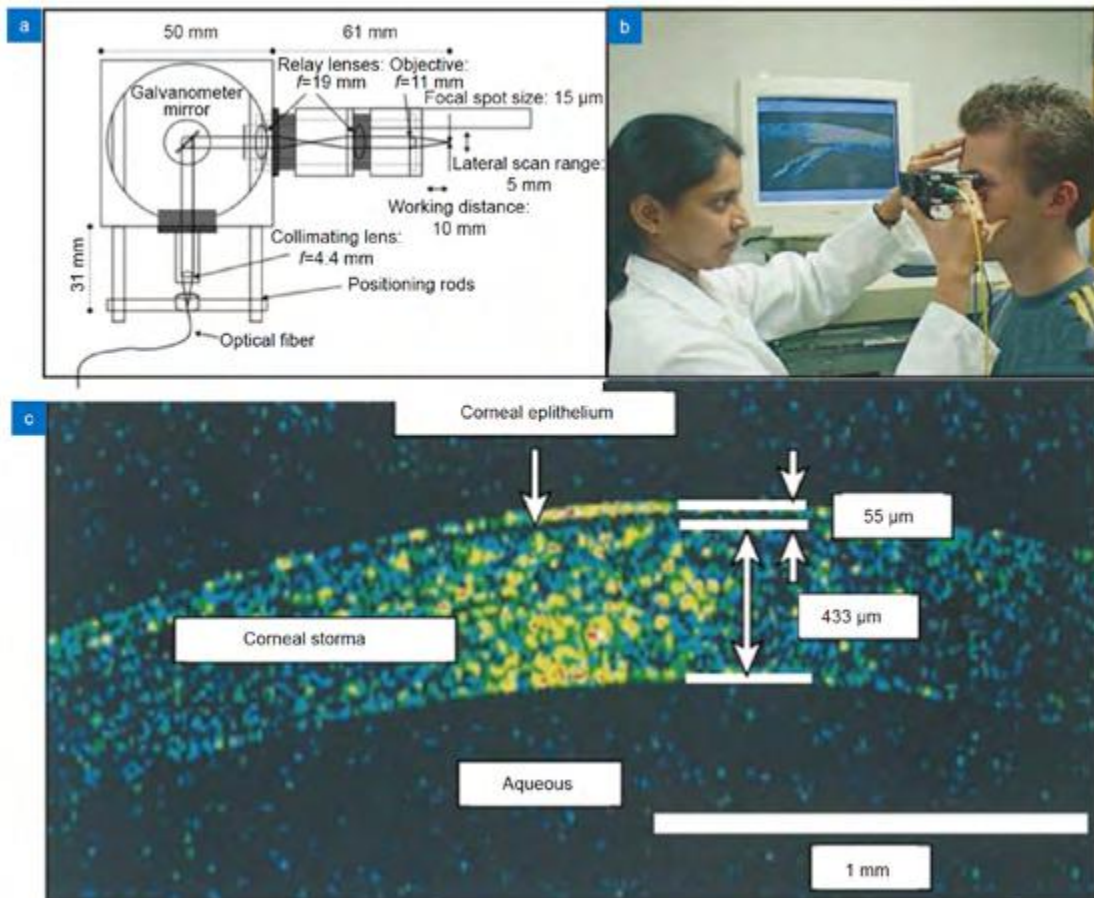


图 2. Boppart 等研发的 HHOCT 探头^[39]。(a) HHOCT 探头结构; (b) 使用 HHOCT 探头扫描眼部; (c) 角膜的实时 OCT 成像

用半导体技术制造的 MEMS 扫描镜可以封装在一枚紧凑的集成芯片上, 在此基础上开发的二维 MEMS 扫描镜可以提供两个方向的扫描 (图 3), 因此可以替代体积较大的振镜扫描仪, 目前已被广泛应用于紧凑型 HHOCT 探头^[49-51]。

MEMS 扫描镜大幅改善了便携性后, HHOCT 探头开始追求更高的成像速度。随着 SS-OCT 技术的进步, HHOCT 探头得以实现更高的成像速度和更宽的视场^[52-53]。2013 年, 麻省理工大学的 Lu 等基于 SS-OCT 设计了一种用于眼科视网膜成像的 HHOCT 探头 (图 4(a), 4(b)), 展示了截止当时所有 HHOCT 设备的最高成像速度, 并实现了对五名受试者眼底的高清晰度实时成像 (图 4(c))^[42]。此外, 一些 HHOCT 探头利用 SS-OCT 的高成像速度实现了眼底的三维成像, 这是 HHOCT 技术的一个重大进步^[54-55]。

3.2 HHOCT 探针

由于 HHOCT 探头非侵入方式成像的局限性, 此类设备无法绕开眼内不透明组织和浑浊介质, 因此难以扫描视网膜最外围部分

^[3, 56]。与 HHOCT 探头相比, 探针型 HHOCT 系统的结构更加紧凑, 能够在微创条件下进入眼内, 对眼底结构进行成像, 同时也可以优化与光学显微镜等设备的体积干涉问题。HHOCT 探针一般使用 23G(外径 0.64 mm)~27G(外径 0.41 mm) 针管, 通过手术切口插入眼内后, 可以将扫描光投射到眼内任意位置的目标组织^[56]。2013 年, Joos 等设计了 25G(外径 0.51 mm) 薄壁 HHOCT 探针^[57](图 5(a)), 该探针将一根直径为 125 μm 的光纤 (图 5(b)) 置于 34G(外径 0.18 mm) 针管内, 34G 针管末端部分制成弯曲的“S”形, 34G 针管外套一根 28G(外径 0.36 mm) 针管, 28G 管沿 34G 针管弯曲部分滑动时会迫使单模光纤振动, 从而形成横向扫描。探针外管规格为 25G, 可以通过同样为 25G 的玻璃体切口进入眼内 (图 5(c)), 对眼底进行成像。2016 年, Asami 等设计了一种使用电机驱动光纤扫描的 23G 术中 HHOCT 探针^[56](图 5(d), 5(e), 5(f)), 完成了对离体猪眼、兔眼视网膜组织的成像, 并在随后的人体临床病例中检测到了视网膜、脉络膜、视盘和睫状体等微小结构。



图 3. 二维 MEMS 扫描镜^[50]。(a) 扫描示意图; (b) 封装后的 MEMS 扫描镜

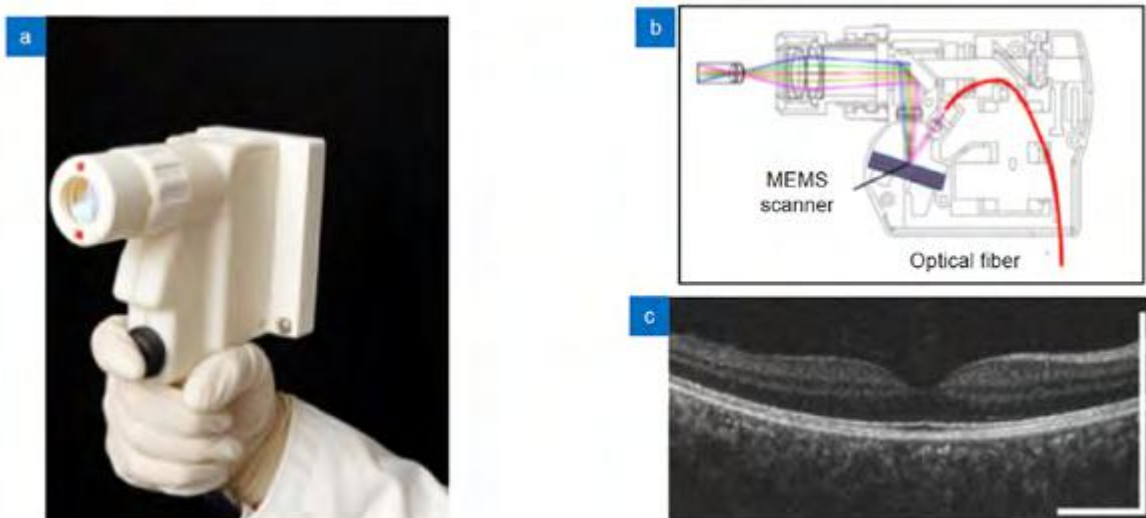


图 4. Lu 等研发的 HHOCT 探头^[42]。(a, b) 探头外观及结构; (c) 使用 HHOCT 得到的眼底黄斑区图像

3.3 OCT 集成手术器械

使用 HH OCT 探针进行眼内成像时,会出现手术器械末端在图像中不可见、器械投影影响 OCT 成像的问题^[58],OCT 集成手术器械的出现有效地改善了此类问题。约翰霍普金斯大学的研究团队证明,在眼科手术器械末端的外沿或内部安装光纤,可以对器械末端附近区域进行 A 扫描^[58-60]。通过这种方法将 OCT 集成到手术器械中,可以保证图像与器械末端对齐,有利于术中器械位置的判断。2013 年, Song 等将光纤式 OCT 探针集成到眼科手术钳中,设计了 SMART 微型手术钳(图 6(a))^[58]。该手术钳内部植入一根单模光纤,手术钳末端的运动可由电机微调。控制手术钳移动的电机使用 PID(proportional-integral-derivative) 控制方案,在接收 OCT 信号后高速调节手术钳末端位置,使其与手术目标的距离保

持在预定值,而不受医生手部震颤和手术目标位移的影响。2015 年, Yu 等将 OCT 探针植入了 25G 手术钳(图 6(b), 6(c))^[61],该设计中扫描探针与手术器械末端共面,从而在确保成像不被器械末端投影影响的同时,也能保证手术钳末端稳定出现在成像画面中,而不需要添加额外的定位装置。在后续试验中,研究人员使用该 OCT 集成手术钳实现了对离体山羊视网膜成像(图 6(d)),并剥离了 10 μm 厚的人造视网膜。

4. 手术显微镜集成 OCT

在眼科手术中进行术中成像时,手持 OCT 具有如下局限性:外部 HH OCT 探头在成像时需要放置在患者面部,因此需要移开手术显微镜和手术器械,进而中断手术;HH OCT 探针可以在进行

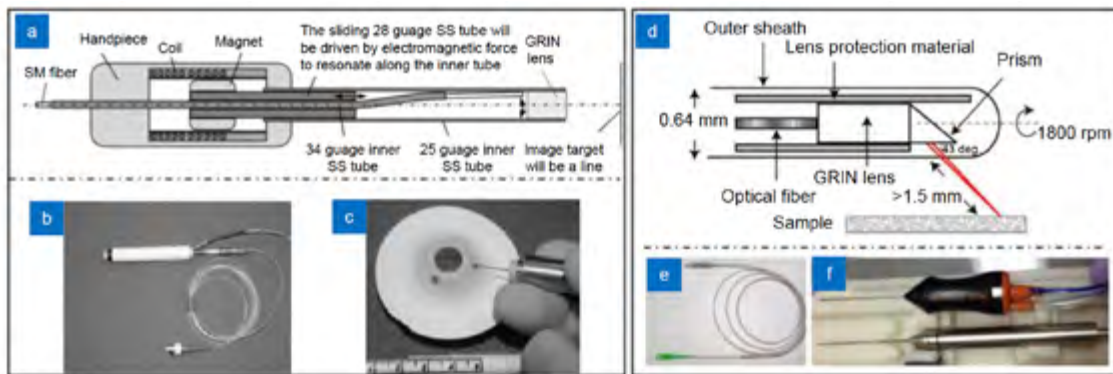


图 5. HH OCT 探针。(a-c) Joos 等设计的 25G 手持 OCT 探针^[57]; (d-f) Asami 等设计的 23G 手持 OCT 探针^[56]

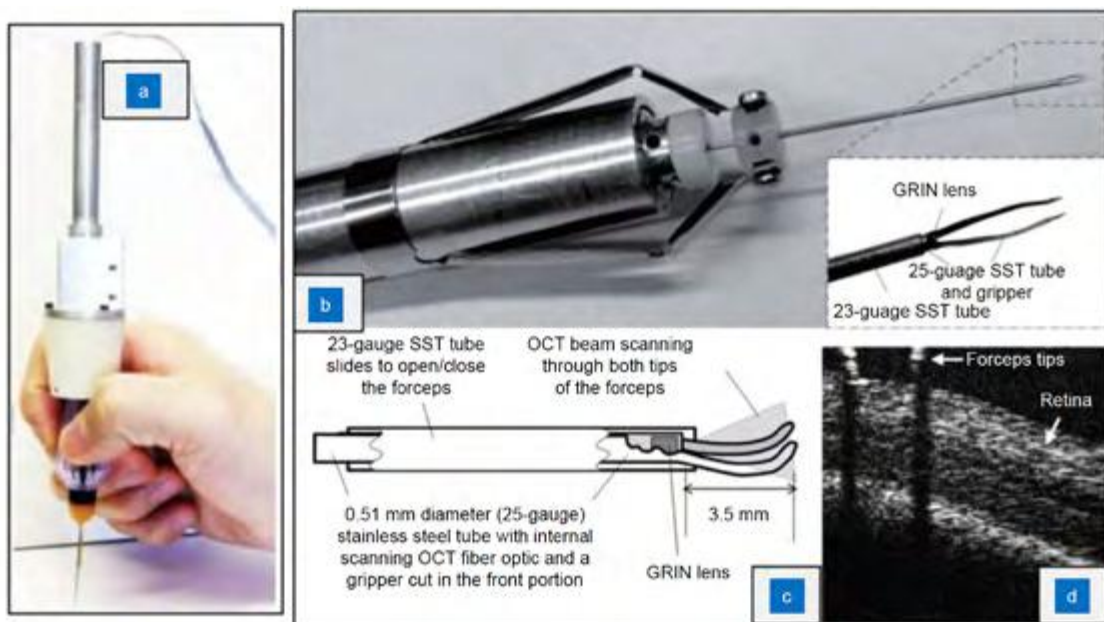


图 6. 集成 OCT 的手术器械。(a) SMART 微型手术钳^[58]; (b, c) Yu 等设计的 OCT 集成手术钳^[61]; (d) 使用 OCT 集成手术钳接近离体山羊视网膜^[61]

手术时使用，但需要额外的切口来进入眼内，且一般需要一名助手来操作；集成在手术器械中的 OCT 探针可由主刀医生手持且无需额外切口，但是光纤体积和扫描范围的限制导致其图像质量受限，因此只在需要观察特殊位置或结构的情况下适用。

术中 OCT 成像的另一种方法是将 OCT 样品臂集成到显微外科手术使用的手术显微镜中，这种手术显微镜集成 OCT (microscope-integrated OCT, MIOCT) 在使用时无需中断手术或增加操作人员，目前已被广泛地应用于眼科手术中。

4.1 MIOCT 光学设计

1998 年，Boppart 等设计了首个 MIOCT 设备，其集成方式是在显微物镜后使用双色镜将 OCT 光源整合到显微镜的光轴中^[20, 62]，OCT 和显微镜系统不共用任何光学器件，因此两个光学系统相互独立，可以分别优化。然而，这种集成方式会缩短设备的工作距，导致手术操作空间被压缩。此外，术中成像显示在独立显示器上，医生在进行手术时不能看到^[63]。此后的 MIOCT 为了更好地用于手术，采用在显微镜物镜前整合的方式^[21, 64-65]，此类设计的工作距更长，并且 OCT 可以永久地集成到显微镜中。但由于 OCT

系统和显微镜光路耦合，其性能通常会受到一些影响。

首个应用于人体的 MIOCT 采用将 OCT 整合到显微镜相机端口的设计 (图 7(a))^[64, 66-68]：在显微镜的光学变焦模块之前使用双色镜将 OCT 光束折叠至显微镜的一个目镜中，在物镜前对光束进行放大后，获得的图像分辨率最高可达 $23\ \mu\text{m}$ 。该设计的一大优点是只需对显微镜进行最小程度的修改就可以得到 MIOCT 设备，而不会改变原显微镜的高度和工作距。其缺点是 OCT 和显微镜的光学变焦耦合后，显微镜放大倍数的改变会引起 OCT 分辨率和视场的变化，而这会导致在某些放大倍数下 OCT 的光学性能降低。

另一种 MIOCT 通过放置于显微镜物镜前、光学变焦模块后的双色镜来集成 OCT 和显微镜^[21, 68]，这种集成方式下两种系统共用的光学元件最少，且 OCT 得以从显微镜的光学变焦中解耦，避免了其光学性能随显微镜放大倍数改变而变化。然而，在物镜前的空间中放置双色镜会增加显微镜的高度以及手术区域和显微镜之间的距离；并且为使 OCT 分辨率达标，需要在物镜前增加额外光学设备以放大 OCT 光束，而这会导致仪器末端体积增加。上述情况都可能对手术的人机工程产生负面影响。2014 年，Tao 等采用电动可调节透镜对这种集成方式进行了改良 (图 7(b), 7(c))^[68]，电调透

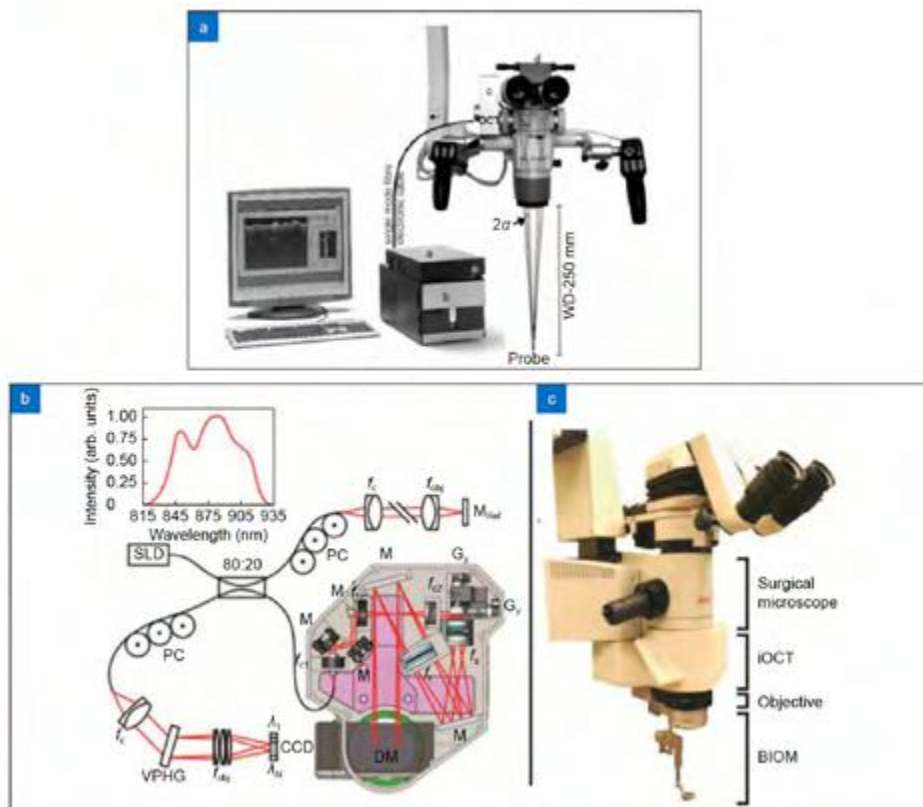


图 7. 研究阶段 MIOCT 设备。(a) 在显微镜相机端口集成的 MIOCT^[64]; (b, c) 显微镜物镜前集成的 MIOCT^[68]

镜可提供 45mm~120mm 的焦距调整, 允许实时调节 OCT 焦平面, 以保证与显微镜视图同焦。近年来, 将显微镜和 OCT 在物镜前集成的设计方案已经被商业化的眼科手术导航设备采纳, 例如蔡司 RESCAN 700(图 8(a)) 和徕卡 EnFocus 等。在 DISCOVER 研究中, RESCAN 700 被用于一系列临床病例的术中成像(图 8(b), 8(c), 8(d))^[69-71], 在包括眼前节和眼后节的一系列手术中实现了对角膜、巩膜、视网膜、黄斑等结构的观察, 并提供了手术器械和对应结构的相对位置信息。

4.2 实时二维 MIOCT

目前应用最为广泛的 MIOCT 设备采用的傅里叶域 OCT 技术为谱域 OCT, 其 A 扫描频率一般在 40 kHz 以下^[21, 66], 仅能在手术暂停时实现短暂的密集采样, 且不能实时呈现采集到的数据。因此, 术中实时成像采用连续的高分辨率 B 扫描, 在商业化的 MIOCT 设备中, 一般采用单幅或正交扫描的方式(图 9(a), 9(b))^[72-73], 或者采用多个(一般为 3~5 个)平行 B 扫描来对目标区域成像(图 9(c))^[69]。实时二维(two-dimensional, 2D)OCT 成像技术的

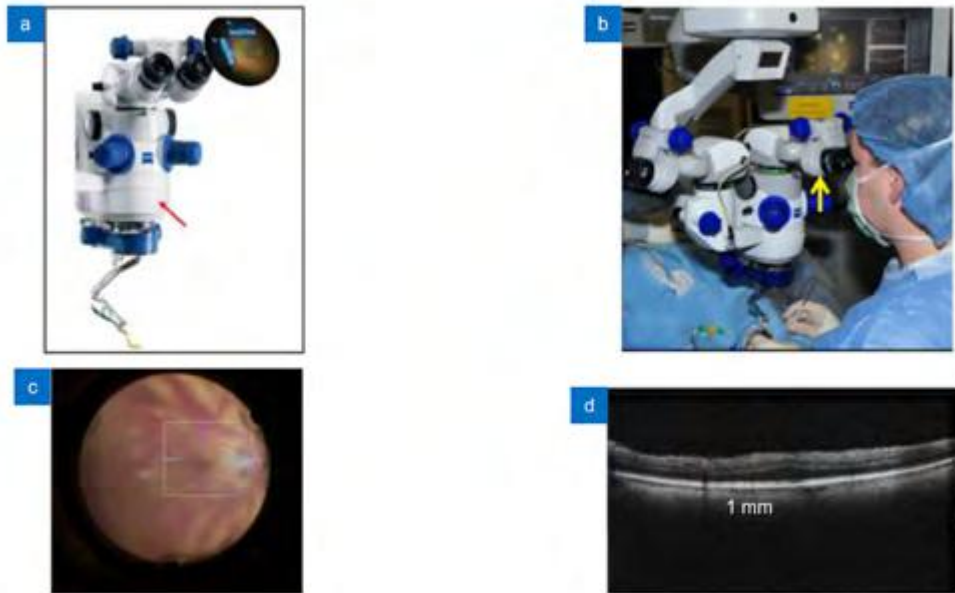


图 8. 商业化 MIOCT: 蔡司 RESCAN 700。(a) RESCAN 700 机体^[3]; (b) 医生在手术中使用 RESCAN 700^[69]; (c) RESCAN 700 光学显微镜眼底成像^[68]; (d) RESCAN 700 OCT 系统眼底成像^[71]

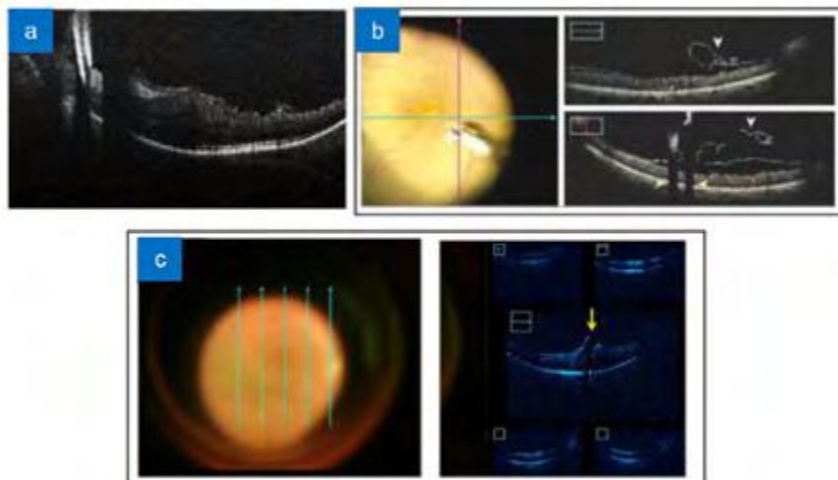


图 9. 使用 MIOCT 进行术中实时 2D 成像。(a) 使用单个 B 扫描对视网膜成像^[71]; (b) 使用正交 B 扫描对角膜成像^[73]; (c) 使用 5 束平行 B 扫描对视网膜成像^[69]

出现, 进一步提高了眼科手术的水平, 使得眼底精密手术成为可能。

4.3 实时三维 MIOCT

由于眼科手术视野本质上是三维 (three-dimensional, 3D) 的, 大多数手术操作并不只在单个横截面进行。当手术操作区域偏离成像平面时, 实时 2D 成像将不能提供完整的图像信息。随着图形处理器 (graphics processing unit, GPU) 的出现和发展, 3D 和 4D (体积随时间变化) OCT 技术成为可能。GPU 拥有极高的运算速度, 在 OCT 激光器重复频率高达千赫兹时也能实时处理数据, 并能进行实时体绘制来达到图像可视化。

2010 年, Probst 等设计了首个采用 GPU 辅助的实时体成像的 MIOCT 系统^[67], 实现了 4D MIOCT 成像。约翰霍普金斯大学的 Kang 等于 2011 年开始报道了一系列 4D OCT 的研究^[74-75], 采用双 GPU 架构实现 4D 成像, 其中一个 GPU 用于 SD-OCT 的数据处理, 另一个用于体积渲染和显示, 通过频率为 128 kHz 的 A 扫描, 得到了 5 单位体积 / 秒的三维图像。研究者在该 4D OCT 的术中引导下完成了人工视网膜手术、牛视网膜动脉血管分离术等

模拟眼科手术。尽管 4D OCT 技术在上述研究中展现出眼科手术可视化的潜力, 但由于 SD-OCT 系统成像速度和灵敏度的限制, 这一阶段的 4D OCT 设备难以应用到术中实时导航。

随着扫频光源技术和高速数字采集卡的发展, SS-OCT 的采集速度、成像深度、扫描范围等方面的性能都超过了 SD-OCT。基于 SD-OCT 的三维实时成像 MIOCT 发展受限后, SS-OCT 开始被引入到 MIOCT 中。

2015 年, Li 等使用 SS-OCT 开发了一种 MIOCT 系统, 并首次报道了对离体兔眼的青光眼手术引导结果^[76]。该系统使用带 1310nm 的扫频光源的 OCT, 采用双 GPU 架构来提高数据处理速度, 可以实现实时体积渲染。2020 年, 复旦大学以及中科院苏州生物医学工程技术研究所的研究人员基于 Li 等研发的 MIOCT 系统, 以离体猪眼为对象, 辅助眼科医生进行了眼科基本操作的成像实验^[77]与青光眼手术导航试验 (图 10)^[78], 这些模拟实验的结果表明, SS-OCT 集成手术显微镜可有效提高手术长度方向的精度以及深度方向的操作精度。同时, 使用该系统量化手术导航也能对医生起到训练效果, 使其在传统手术显微镜下的操作精度也得到提升 (图 11)。

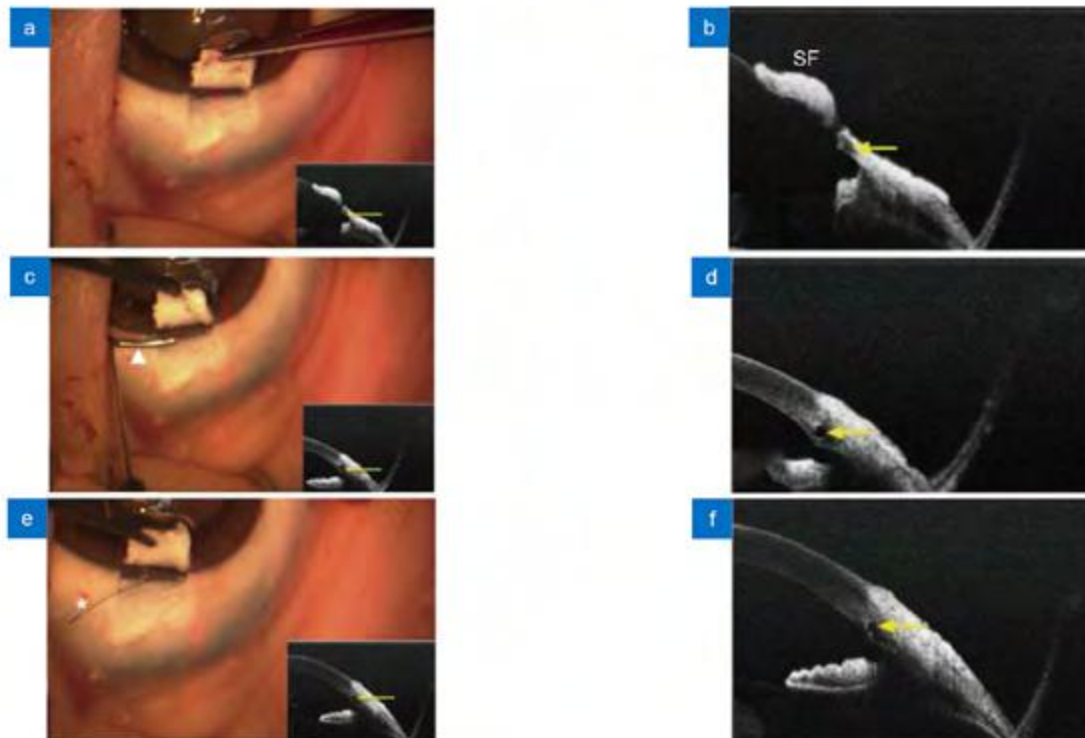


图 10. 使用基于扫频 OCT 的 MIOCT 对眼前节手术 (泪道成形术) 成像^[78]。(a, b) 切开浅层巩膜瓣后的 MIOCT 图像; (c, d) 插入小梁切刀后的 MIOCT 图像; (e, f) 借助 MIOCT 图像确认集束管扩张

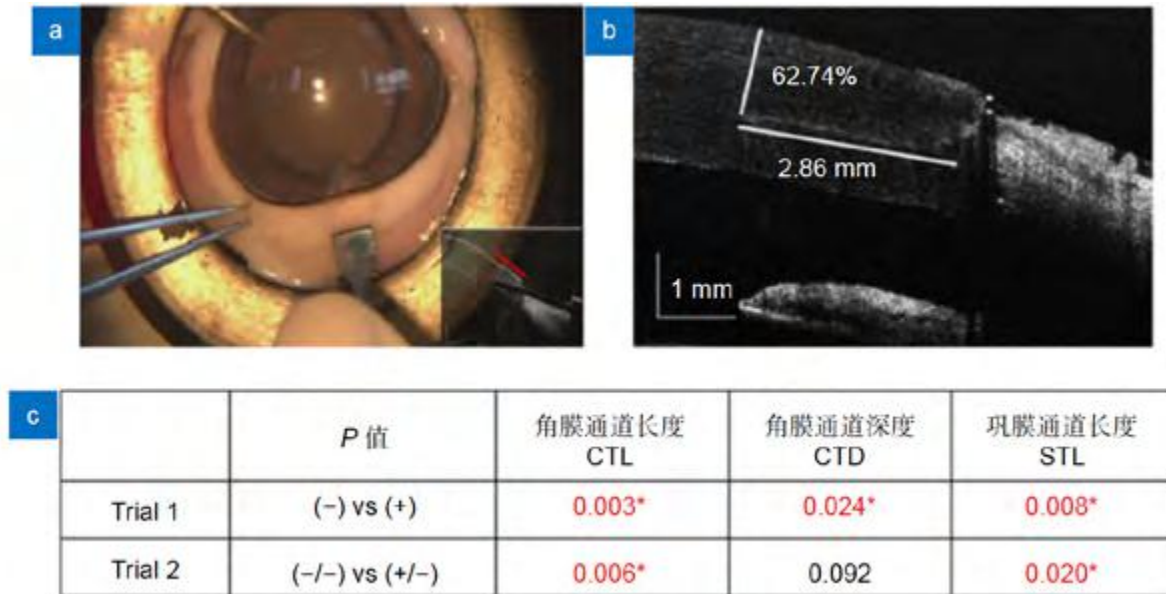


图 11. 使用基于扫频 OCT 的 MIOCT 导航眼科手术操作的实验结果^[11]。(a) 术中 OCT 成像;(b) 术后 OCT 切口分析;(c) 精度测试结果。Trial 1: 使用 (+) 和未使用 (-) MIOCT 的对比; Trial 2: 经 MIOCT 训练 (+/-) 和未经 MIOCT 训练 (-/-) 后使用传统显微镜的手术精度对比 (* 代表统计学显著不同)

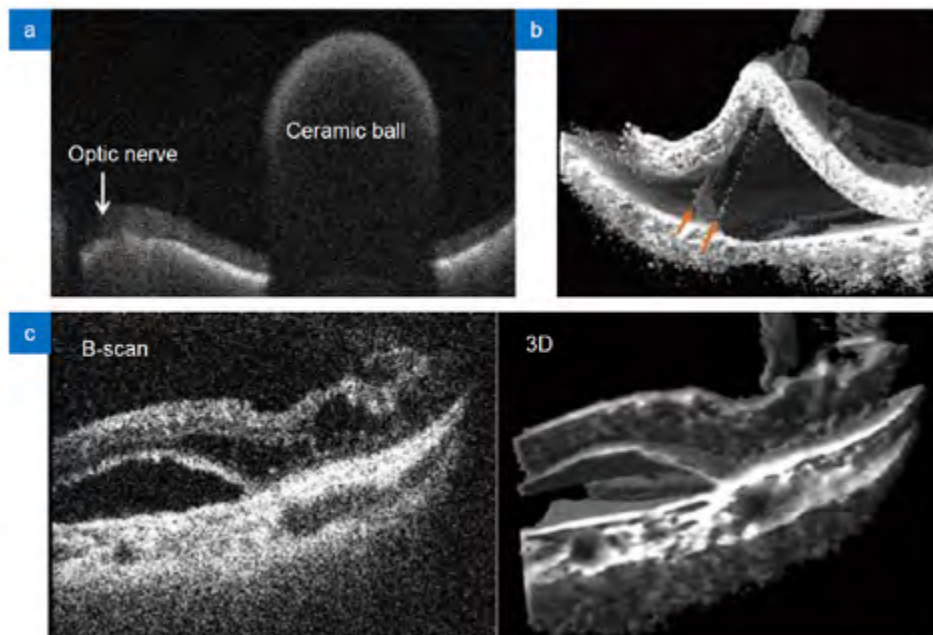


图 12. 4D MIOCT 实时成像。(a) 观测视网膜上的陶瓷球^[82];(b) 手术工具抓取视网膜色素上皮细胞层的实时图像^[83];(c) 玻璃体切除术中视网膜下积液的二维和三维图像^[84]

2016 年, Carrasco-Zevallos 等使用 SS-OCT 开发了用于眼科手术成像的 4D MIOCT 系统^[79-81], 该系统使用 1040nm 的扫频光源, 其 A 扫描速率可以达到 100kHz, 为普通术中 SD-OCT 的 3~5 倍。该 4D MIOCT 系统实现了三维体积的实时可视化, 并在后续研究中被用于视网膜下出血测量、视网膜下注射、玻璃体切除

术中视网膜脱离等特殊场合下的导航 (图 12)^[81-84]。

4.4 平视显示和 OCT 可视化

医生在进行眼科手术时, 如果实时 OCT 图像使用独立的显示器, 则需要医生暂停手术才能看到 OCT 图像, 不能达到实时指

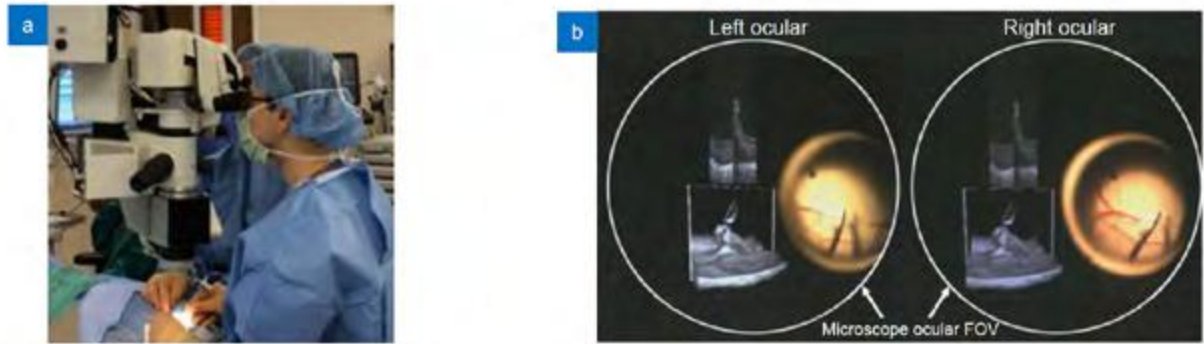


图 13. 可实现三维可视化的 HUD 集成 MIOCT^[79]。(a) 医生在手术中使用带有 HUD 的 MIOCT 系统；(b) 左右目镜中的实时图像

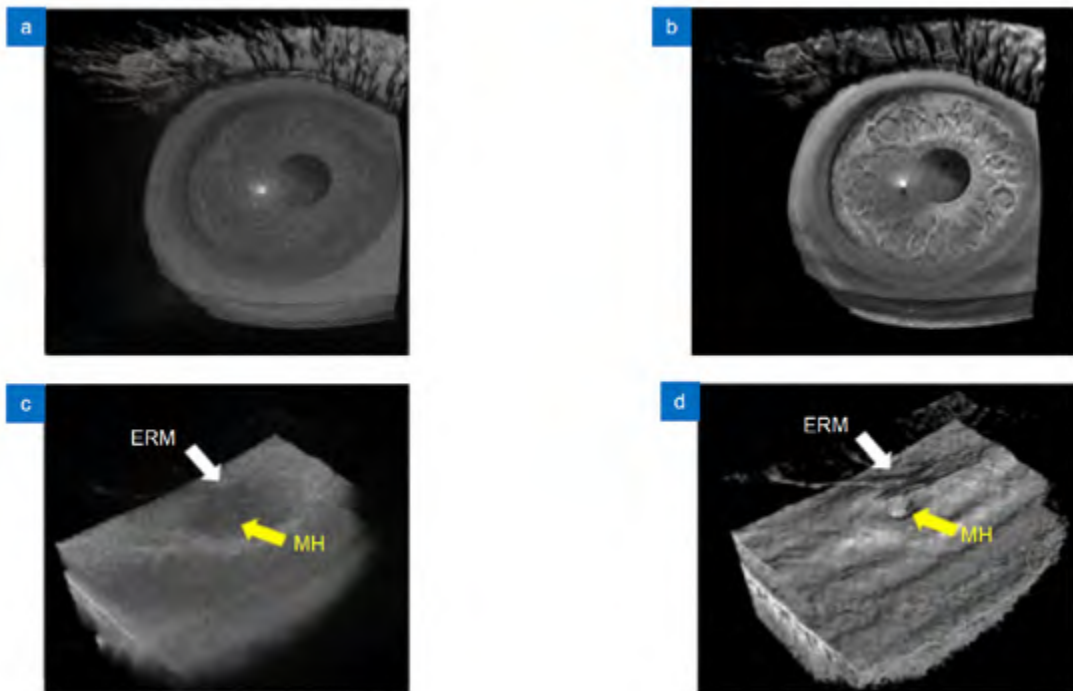


图 14. 使用体积增强渲染算法处理 MIOCT 图像^[81]。(a) 渲染前的人眼 MIOCT 图像；(b) 增强渲染后的人眼 MIOCT 图像；(c) 原始视网膜 (Epiretinal membrane, ERM) 及黄斑孔 (macular hole, MH) MIOCT 图像；(d) 增强渲染后的视网膜及黄斑孔 MIOCT 图像

导手术的效果。平视显示系统 (Heads-up displays, HUD) 可以将 OCT 图像显示在手术显微镜的目镜上, 从而实现术中 OCT 的实时反馈。常见的使用 HUD 的 MIOCT 一般在目镜上显示实时 2D OCT 图像^[85-86]。4D MIOCT 技术日趋成熟后, 出现了能够实时在目镜上显示三维图像的立体 HUD (图 13)^[79], 这种紧凑型的 HUD 比一般的商用 HUD 体积更小, 并且在一定程度上提高了图像的对比度。目前, HUD 技术已经成为 MIOCT 设备中至关重要的部分, 研究表明, 医生在进行手术时更倾向于使用 HUD, 而不是外部独立显示器^[85]。

4.5 术中图像增强

近年来, 术中实时三维成像成为了 MIOCT 的发展趋势, 目前的图像处理算法已基本满足 3D 可视化的采集速度和渲染速度, 然而, 三维 OCT 图像仍然存在结构表面模糊、边缘清晰度差以及手术器械难以识别等问题^[84]。提高目标组织与器械在图像中的对比度, 是解决上述问题的关键。

Carrasco-Zevallos 等于 2016 年提出了体积增强渲染算法^[81], 并使用其对 1040nm 扫频光源的 MIOCT 三维图像进行了优化。该算法在传统图像处理的基础上, 引入了体积过滤、边缘加强、特征

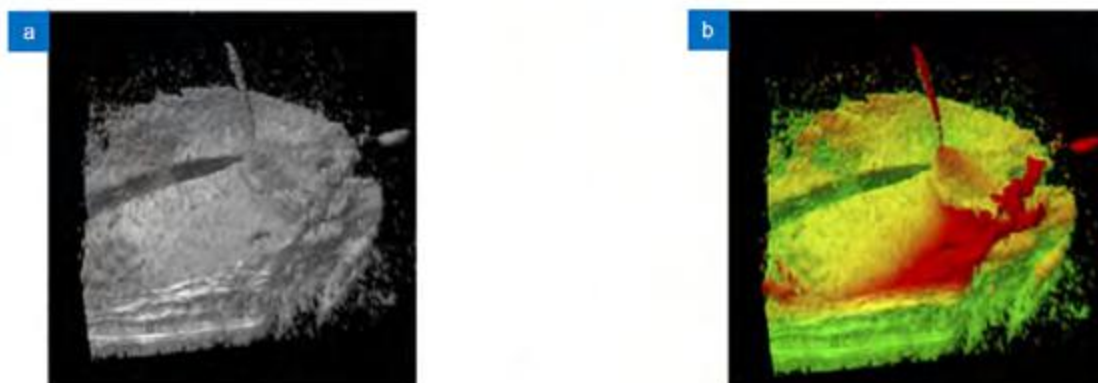


图 15. 视网膜剥离术中的 MIOCT 图像及其着色^[87]。(a) 术中 MIOCT 图像;(b) 着色后的 MIOCT 图像

增强、基于深度的阴影上色以及 Phong 光照模型，在利用 GPU 进行采集和图像处理的基础上，使用逐步增强的体积渲染方式，对猪眼的视网膜血管、黄斑内缘膜等结构进行了三维成像（图 14）。该算法被证明能够改善术中 MIOCT 三维图像，随着 GPU 硬件的处理速度上升，未来将有可能实现高分辨率和对比度的术中实时三维成像。

另一种提高对比度的方法是基于深度以及强度信号在体积绘制过程中进行伪彩着色。该方法由美国杜克大学的 Bleicher 等于 2018 年提出^[87]。该研究使用带有 1060nm 扫频光源的 MIOCT 系统，在进行体积渲染的过程中，对沿着 B 扫描轴向的给定位置分配独特的颜色，并在每两个位置之间用插值法分配颜色梯度，从而对三维图像进行着色（图 15）。在术中成像测试中，该着色方法被证明提高了区分视网膜、正确识别仪器与膜的接触以及识别视网膜变形的能力，能在一定程度上改善手术的效率 and 准确性。

5. 总结与展望

OCT 技术能够提供具有深度信息的术中成像，其成像速度快、分辨率高以及非侵入性的特点十分适用于眼科手术的术中导航。自 20 世纪 90 年代问世以来，OCT 技术经过了时域 OCT、傅里叶域 OCT 的技术迭代，在临床眼科学领域发展出了手持 OCT、集成显微镜 OCT 等用于术中导航的设备。在各种动物眼、人眼模型以及人体临床实验中，OCT 在眼科手术术中导航的重要作用得到了验证，商业化的 OCT 手术导航设备也在眼科临床手术中得到了广泛应用。目前 OCT 眼科手术导航设备仍存在该技术在未来的发展方向有：

1) 结合手术机器人。随着医学机器人的发展，机器人辅助手术开始成为眼科手术的研究趋势。OCT 集成手术器械可以移植到

手术机器人中，作为机器人的末端执行器，有利于判断器械末端和目标组织的相对位置。在集成 OCT 的手术机器人中，如何提高 OCT 机械扫描的稳定性、确保光路和手术设备的高精度配合将成为研究的难点。

2) 图像渲染算法。随着数据采集和图像处理技术的发展，术中实时三维成像是未来 OCT 手术导航的发展趋势，而目前的实时三维 OCT 成像仍存在对比度不足的问题。采用更高效的算法对图像进行实时渲染增强，提高目标组织、手术器械以及结构边缘轮廓的可识别度是未来 OCT 手术导航技术的研究重点之一。

3) 高分辨率血管成像。由于眼球运动以及眼球曲率的变化，OCT 尚不能对血管系统进行高质量成像，该问题在血液流速较慢的眼前段尤为明显^[88]。如何改善扫描方式，并通过更先进的图像处理算法实现高分辨率的实时血管成像，是眼科 OCT 亟待解决的问题之一。

4) 人工智能。将人工智能引入医疗仪器是近年的研究热点，在完善的数据库基础上，通过深度学习算法实现目标结构自动识别，并在术中成像时提供实时反馈，可以有效地提高手术效率和成功率，并且促进手术的智能化管理。

随着图像处理技术、图像和眼科医学的进步，在不久的将来，OCT 手术导航设备将会进一步推动眼科医学手术的创新，从而促进整个人类眼科领域的发展。


参考文献

- [1] Scott A W, Farsiu S, Enyedi L B, et al. Imaging the infant retina with a hand-held spectral-domain optical coherence tomography device[J]. Am J Ophthalmol, 2009, 147(2): 364-373.e2. doi: 10.1016/j.ajo.2008.08.010

- [2] Carrasco-Zevallos O M, Viehland C, Keller B, et al. Review of intraoperative optical coherence tomography: technology and applications[J]. *Biomed Opt Express*, 2017, 8(3): 1607–1637. doi: 10.1364/BOE.8.001607
- [3] Muijzer M B, Schellekens P A W J, Beckers H J M, et al. Clinical applications for intraoperative optical coherence tomography: a systematic review[J]. *Eye*, 2022, 36(2): 379–391. doi: 10.1038/s41433-021-01686-9
- [4] Zhang S L, Liu L W, Ren S, et al. Recent advances in nonlinear optics for bio-imaging applications[J]. *Opto-Electron Adv*, 2020, 3(10): 200003. doi: 10.29026/oea.2020.200003
- [5] Fercher A F, Drexler W, Hitzenberger C K, et al. Optical coherence tomography—principles and applications[J]. *Rep Prog Phys*, 2003, 66(2): 239–303. doi: 10.1088/0034-4885/66/2/204
- [6] Choma M A, Sarunic M V, Yang C, et al. Sensitivity advantage of swept source and Fourier domain optical coherence tomography[J]. *Opt Express*, 2003, 11(18): 2183–2189. doi: 10.1364/OE.11.002183
- [7] Leitgeb R, Hitzenberger C K, Fercher A F. Performance of Fourier domain vs. time domain optical coherence tomography[J]. *Opt Express*, 2003, 11(8): 889–894. doi: 10.1364/OE.11.000889
- [8] Drexler W, Fujimoto J G. State-of-the-art retinal optical coherence tomography[J]. *Prog Retin Eye Res*, 2008, 27(1): 45–88. doi: 10.1016/j.preteyeres.2007.07.005
- [9] Suter M J, Tearney G J, Oh W Y, et al. Progress in intracoronary optical coherence tomography[J]. *IEEE J Sel Top Quantum Electron*, 2010, 16(4): 706–714. doi: 10.1109/JSTQE.2009.2035333
- [10] Yoo H, Kim J W, Shishkov M, et al. Intra-arterial catheter for simultaneous microstructural and molecular imaging in vivo[J]. *Nat Med*, 2011, 17(12): 1680–1684. doi: 10.1038/nm.2555
- [11] Gora M J, Sauk J S, Carruth R W, et al. Tethered capsule endomicroscopy enables less invasive imaging of gastrointestinal tract microstructure[J]. *Nat Med*, 2013, 19(2): 238–240. doi: 10.1038/nm.3052
- [12] Boppart S A, Luo W, Marks D L, et al. Optical coherence tomography: feasibility for basic research and image-guided surgery of breast cancer[J]. *Breast Cancer Res Treat*, 2004, 84(2): 85–97. doi: 10.1023/B:BREA.0000018401.13609.54
- [13] Kang J Q, Zhu R, Sun Y X, et al. Pencil-beam scanning catheter for intracoronary optical coherence tomography[J]. *Opto-Electron Adv*, 2022, 5(3): 200050. doi: 10.29026/oea.2022.200050
- [14] 刘敬璇, 樊金字, 汪权, 等. SS-OCTA 对黑色素瘤皮肤结构和血管的成像实验 [J]. *光电工程*, 2020, 47(2): 190239. doi: 10.12086/oe.2020.190239
- Liu J X, Fan J Y, Wang Q, et al. Imaging of skin structure and vessels in melanoma by swept source optical coherence tomography angiography[J]. *Opto-Electron Eng*, 2020, 47(2): 190239. doi: 10.12086/oe.2020.190239
- [15] Wilkins J R, Puliafito C A, Hee M R, et al. Characterization of epiretinal membranes using optical coherence tomography[J]. *Ophthalmology*, 1996, 103(12): 2142–2151. doi: 10.1016/S0161-6420(96)30377-1
- [16] Massin P, Allouch C, Haouchine B, et al. Optical coherence tomography of idiopathic macular epiretinal membranes before and after surgery[J]. *Am J Ophthalmol*, 2000, 130(6): 732–739. doi: 10.1016/S0002-9394(00)00574-2
- [17] Kasuga Y, Arai J, Akimoto M, et al. Optical coherence tomography to confirm early closure of macular holes[J]. *Am J Ophthalmol*, 2000, 130(5): 675–676. doi: 10.1016/S0002-9394(00)00587-0
- [18] Behrens A, Stark W J, Pratzler K A, et al. Dynamics of small-incision clear cornea wounds after phacoemulsification surgery using optical coherence tomography in the early postoperative period[J]. *J Refract Surg*, 2008, 24(1): 46–49. doi: 10.3928/1081597X-20080101-07
- [19] Wei J, Hellmuth T. Optical coherence tomography assisted ophthalmologic surgical microscope: 5493109[P]. 1996–02–20.
- [20] Boppart S A, Bouma B E, Pitris C, et al. Intraoperative assessment of microsurgery with three-dimensional optical coherence tomography[J]. *Radiology*, 1998, 208(1): 81–86. doi: 10.1148/radiology.208.1.9646796
- [21] Tao Y K, Ehlers J P, Toth C A, et al. Intraoperative spectral domain optical coherence tomography for vitreoretinal surgery[J]. *Opt Lett*, 2010, 35(20): 3315–3317. doi: 10.1364/OL.35.003315
- [22] Fujimoto J, Swanson E. The development, commercialization, and impact of optical coherence tomography[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(9): OCT1–OCT13. doi: 10.1167/iovs.16-19963
- [23] Huang D, Swanson E A, Lin C P, et al. Optical coherence tomography[J]. *Science*, 1991, 254(5035): 1178–1181. doi: 10.1126/science.1957169
- [24] Danielson B L, Boisrobert C Y. Absolute optical ranging using low coherence interferometry[J]. *Appl Opt*, 1991, 30(21): 2975–2979. doi: 10.1364/AO.30.002975

- [25] 陆冬筱, 房文汇, 李玉瑶, 等. 光学相干层析成像技术原理及研究进展[J]. 中国光学, 2020, 13(5): 919-935. doi: 10.37188/CO.2020-0037
- Lu D X, Fang W H, Li Y Y, et al. Optical coherence tomography: principles and recent developments[J]. Chin Opt, 2020, 13(5): 919-935. doi: 10.37188/CO.2020-0037
- [26] Qin J, An L. Optical coherence tomography for ophthalmology imaging[M]//Wei X B, Gu B B. Optical Imaging in Human Disease and Biological Research. Singapore: Springer, 2021: 197-216. doi: 10.1007/978-981-15-7627-0_10.
- [27] Szydlo J, Delachenal N, Gianotti R, et al. Air-turbine driven optical low-coherence reflectometry at 28.6-kHz scan repetition rate[J]. Opt Commun, 1998, 154(1-3): 1-4. doi: 10.1016/S0030-4018(98)00303-4
- [28] Alexopoulos P, Madu C, Wollstein G, et al. The development and clinical application of innovative optical ophthalmic imaging techniques[J]. Front Med, 2022, 9: 891369. doi: 10.3389/FMED.2022.891369
- [29] Rollins A M, Kulkarni M D, Yazdanfar S, et al. In vivo video rate optical coherence tomography[J]. Opt Express, 1998, 3(6): 219-229. doi: 10.1364/OE.3.000219
- [30] 姜盼秋, 汪平河. 谱域光学相干层析系统的色散补偿技术研究[J]. 光电工程, 2021, 48(10): 210184. doi: 10.12086/oe.2021.210184
- Jiang P Q, Wang P H. Research on dispersion compensation technology for SD-OCT system[J]. Opto-Electron Eng, 2021, 48(10): 210184. doi: 10.12086/oe.2021.210184
- [31] Tearney G J, Bouma B E, Fujimoto J G. High-speed phase-and group-delay scanning with a grating-based phase control delay line[J]. Opt Lett, 1997, 22(23): 1811-1813. doi: 10.1364/OL.22.001811
- [32] Potsaid B, Baumann B, Huang D, et al. Ultrahigh speed 1050nm swept source/Fourier domain OCT retinal and anterior segment imaging at 100, 000 to 400, 000 axial scans per second[J]. Opt Express, 2010, 18(19): 20029-20048. doi: 10.1364/OE.18.020029
- [33] Cense B, Nassif N A, Chen T C, et al. Ultrahigh-resolution high-speed retinal imaging using spectral-domain optical coherence tomography[J]. Opt Express, 2004, 12(11): 2435-2447. doi: 10.1364/OPEX.12.002435
- [34] An L, Li P, Shen T T, et al. High speed spectral domain optical coherence tomography for retinal imaging at 500, 000 A-lines per second[J]. Biomed Opt Express, 2011, 2(10): 2770-2783. doi: 10.1364/BOE.2.002770
- [35] Gora M, Karnowski K, Szkulmowski M, et al. Ultra high-speed swept source OCT imaging of the anterior segment of human eye at 200 kHz with adjustable imaging range[J]. Opt Express, 2009, 17(17): 14880-14894. doi: 10.1364/OE.17.014880
- [36] Chinn S R, Swanson E A, Fujimoto J G. Optical coherence tomography using a frequency-tunable optical source[J]. Opt Lett, 1997, 22(5): 340-342. doi: 10.1364/OL.22.000340
- [37] Monroy G L, Won J, Spillman Jr D R, et al. Clinical translation of handheld optical coherence tomography: practical considerations and recent advancements[J]. J Biomed Opt, 2017, 22(12): 121715. doi: 10.1117/1.JBO.22.12.121715
- [38] Chen X, Tai V, McGeehan B, et al. Repeatability and reproducibility of axial and lateral measurements on handheld optical coherence tomography systems compared with tabletop system[J]. Transl Vis Sci Technol, 2020, 9(11): 25. doi: 10.1167/tvst.9.11.25
- [39] Boppart S A, Bouma B E, Pitris C, et al. Forward-imaging instruments for optical coherence tomography[J]. Opt Lett, 1997, 22(21): 1618-1620. doi: 10.1364/OL.22.001618
- [40] Swanson E A, Izatt J A, Hee M R, et al. In vivo retinal imaging by optical coherence tomography[J]. Opt Lett, 1993, 18(21): 1864-1866. doi: 10.1364/OL.18.001864
- [41] Radhakrishnan S, Rollins A M, Roth J E, et al. Real-time optical coherence tomography of the anterior segment at 1310 nm[J]. Arch Ophthalmol, 2001, 119(8): 1179-1185. doi: 10.1001/archoph.119.8.1179
- [42] Lu C D, Kraus M F, Potsaid B, et al. Handheld ultrahigh speed swept source optical coherence tomography instrument using a MEMS scanning mirror[J]. Biomed Opt Express, 2014, 5(1): 293-311. doi: 10.1364/BOE.5.000293
- [43] Brown W J, Buckland E L, Izatt J A. Portable optical coherence tomography (OCT) devices and related systems: 8064989[P]. 2011-11-22.
- [44] Maldonado R S, Izatt J A, Sarin N, et al. Optimizing handheld spectral domain optical coherence tomography imaging for neonates, infants, and children[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2010, 51(5): 2678-2685. doi: 10.1167/iovs.09-4403
- [45] Dayani P N, Maldonado R, Farsiu S, et al. Intraoperative use of handheld spectral domain optical coherence tomography imaging in macular surgery[J]. Retina, 2009, 29(10): 1457-1468. doi: 10.1097/IAE.0b013e3181b266bc
- [46] Jung W, Kim J, Jeon M, et al. Handheld optical coherence tomography scanner for primary care diagnostics[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2011, 58(3): 741-744. doi: 10.1109/TBME.2010.2096816
- [47] Riazi-Esfahani M, Khademi M R, Mazloumi M, et al. Macular surgery using intraoperative spectral domain optical

- coherence tomography[J]. *J Ophthalmic Vis Res*, 2015, 10(3): 309. doi: 10.4103/2008-322X.170355
- [48] Pichi F, Alkabes M, Nucci P, et al. Intraoperative SD-OCT in macular surgery[J]. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*, 2012, 43(S6): S54-S60. doi: 10.3928/15428877-20121001-08
- [49] Yeow J T W, Yang V X D, Chahwan A, et al. Micromachined 2-D scanner for 3-D optical coherence tomography[J]. *Sens Actuators A Phys*, 2005, 117(2): 331-340. doi: 10.1016/j.sna.2004.06.021
- [50] Jung W, Zhang J, Wang L, et al. Three-dimensional optical coherence tomography employing a 2-axis microelectromechanical scanning mirror[J]. *IEEE J Sel Top Quantum Electron*, 2005, 11(4): 806-810. doi: 10.1109/JSTQE.2005.857683
- [51] Aguirre A D, Herz P R, Chen Y, et al. Two-axis MEMS scanning catheter for ultrahigh resolution three-dimensional and En face imaging[J]. *Opt Express*, 2007, 15(5): 2445-2453. doi: 10.1364/OE.15.002445
- [52] Grulkowski I, Liu J J, Potsaid B, et al. Retinal, anterior segment and full eye imaging using ultrahigh speed swept source OCT with vertical-cavity surface emitting lasers[J]. *Biomed Opt Express*, 2012, 3(11): 2733-2751. doi: 10.1364/BOE.3.002733
- [53] Grulkowski I, Liu J J, Potsaid B, et al. High-precision, high-accuracy ultralong-range swept-source optical coherence tomography using vertical cavity surface emitting laser light source[J]. *Opt Lett*, 2013, 38(5): 673-675. doi: 10.1364/OL.38.000673
- [54] Nankivil D, Waterman G, LaRocca F, et al. Handheld, rapidly switchable, anterior/posterior segment swept source optical coherence tomography probe[J]. *Biomed Opt Express*, 2015, 6(11): 4516-4528. doi: 10.1364/BOE.6.004516
- [55] LaRocca F, Nankivil D, DuBose T, et al. In vivo cellular-resolution retinal imaging in infants and children using an ultracompact handheld probe[J]. *Nat Photonics*, 2016, 10(9): 580-584. doi: 10.1038/nphoton.2016.141
- [56] Asami T, Terasaki H, Ito Y, et al. Development of a fiber-optic optical coherence tomography probe for intraocular use[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(9): OCT568-OCT574. doi: 10.1167/iovs.15-18853
- [57] Joos K M, Shen J H. Miniature real-time intraoperative forward-imaging optical coherence tomography probe[J]. *Biomed Opt Express*, 2013, 4(8): 1342-1350. doi: 10.1364/BOE.4.001342
- [58] Song C, Park D Y, Gehlbach P L, et al. Fiber-optic OCT sensor guided “SMART” micro-forceps for microsurgery[J]. *Biomed Opt Express*, 2013, 4(7): 1045-1050. doi: 10.1364/BOE.4.001045
- [59] Cheon G W, Huang Y, Cha J, et al. Accurate real-time depth control for CP-SSOCT distal sensor based handheld microsurgery tools[J]. *Biomed Opt Express*, 2015, 6(5): 1942-1953. doi: 10.1364/BOE.6.001942
- [60] Song C, Gehlbach P L, Kang J U. Active tremor cancellation by a “smart” handheld vitreoretinal microsurgical tool using swept source optical coherence tomography[J]. *Opt Express*, 2012, 20(21): 23414-23421. doi: 10.1364/OE.20.023414
- [61] Yu H R, Shen J H, Shah R J, et al. Evaluation of microsurgical tasks with OCT-guided and/or robot-assisted ophthalmic forceps[J]. *Biomed Opt Express*, 2015, 6(2): 457-472. doi: 10.1364/BOE.6.000457
- [62] Binder S, Falkner-Radler C I, Hauger C, et al. Feasibility of intrasurgical spectral-domain optical coherence tomography[J]. *Retina*, 2011, 31(7): 1332-1336. doi: 10.1097/IAE.0b013e3182019c18
- [63] Posarelli C, Sartini F, Casini G, et al. What is the impact of intraoperative microscope-integrated OCT in ophthalmic surgery? Relevant applications and outcomes. A systematic review[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(6): 1682. doi: 10.3390/jcm9061682
- [64] Lankenau E, Klinger D, Winter C, et al. Combining optical coherence tomography (OCT) with an operating microscope[C]//*Advances in Medical Engineering*, 2007: 343-348. doi: 10.1007/978-3-540-68764-1_57.
- [65] Ehlers J P. Intraoperative optical coherence tomography: past, present, and future[J]. *Eye*, 2016, 30(2): 193-201. doi: 10.1038/eye.2015.255
- [66] Geerling G, Müller M, Winter C, et al. Intraoperative 2-dimensional optical coherence tomography as a new tool for anterior segment surgery[J]. *Arch Ophthalmol*, 2005, 123(2): 253-257. doi: 10.1001/archoph.123.2.253
- [67] Probst J, Hillmann D, Lankenau E M, et al. Optical coherence tomography with online visualization of more than seven rendered volumes per second[J]. *J Biomed Opt*, 2010, 15(2): 026014. doi: 10.1117/1.3314898
- [68] Tao Y K, Srivastava S K, Ehlers J P. Microscope-integrated intraoperative OCT with electrically tunable focus and heads-up display for imaging of ophthalmic surgical maneuvers[J]. *Biomed Opt Express*, 2014, 5(6): 1877-1885. doi: 10.1364/BOE.5.001877
- [69] Ehlers J P, Kaiser P K, Srivastava S K. Intraoperative optical coherence tomography using the RESCAN 700: preliminary

- results from the DISCOVER study[J]. *Br J Ophthalmol*, 2014, 98(10): 1329–1332. doi: 10.1136/bjophthalmol-2014-305294
- [70] Ehlers J P, Modi Y S, Pecun P E, et al. The DISCOVER study 3-year results: feasibility and usefulness of microscope-integrated intraoperative OCT during ophthalmic surgery[J]. *Ophthalmology*, 2018, 125(7): 1014–1027. doi: 10.1016/j.ophtha.2017.12.037
- [71] Tuifua T S, Sood A B, Abraham J R, et al. Epiretinal membrane surgery using intraoperative OCT-guided membrane removal in the DISCOVER study versus conventional membrane removal[J]. *Ophthalmol Retina*, 2021, 5(12): 1254–1262. doi: 10.1016/j.oret.2021.02.013
- [72] Hahn P, Carrasco-Zevallos O, Cunefare D, et al. Intrasurgical human retinal imaging with manual instrument tracking using a microscope-integrated spectral-domain optical coherence tomography device[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2015, 4(4): 1. doi: 10.1167/tvst.4.4.1
- [73] Ehlers J P, Goshe J, Dupps W J, et al. Determination of feasibility and utility of microscope-integrated optical coherence tomography during ophthalmic surgery: the DISCOVER study RESCAN results[J]. *JAMA Ophthalmol*, 2015, 133(10): 1124–1132. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2015.2376
- [74] Zhang K, Kang J U. Real-time intraoperative 4D full-range FD-OCT based on the dual graphics processing units architecture for microsurgery guidance[J]. *Biomed Opt Express*, 2011, 2(4): 764–770. doi: 10.1364/BOE.2.000764
- [75] Kang J U, Huang Y, Cha J, et al. Real-time three-dimensional Fourier-domain optical coherence tomography video image guided microsurgeries[J]. *J Biomed Opt*, 2012, 17(8): 081403. doi: 10.1117/1.JBO.17.8.081403
- [76] Li X Q, Wei L, Dong X C, et al. Microscope-integrated optical coherence tomography for image-aided positioning of glaucoma surgery[J]. *J Biomed Opt*, 2015, 20(7): 076001. doi: 10.1117/1.JBO.20.7.076001
- [77] Fang W Y, Li Q C, Fan J Y, et al. Microscope-integrated intraoperative optical coherence tomography for anterior segment surgical maneuvers[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2020, 9(7): 18. doi: 10.1167/tvst.9.7.18
- [78] Xu H, Fang W Y, Liu G X, et al. Feasibility of microscope-integrated swept-source optical coherence tomography in canaloplasty[J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(23): 1577. doi: 10.21037/ATM-20-3469
- [79] Shen L B, Carrasco-Zevallos O, Keller B, et al. Novel microscope-integrated stereoscopic heads-up display for intrasurgical optical coherence tomography[J]. *Biomed Opt Express*, 2016, 7(5): 1711–1726. doi: 10.1364/BOE.7.001711
- [80] Carrasco-Zevallos O M, Keller B, Viehland C, et al. Optical coherence tomography for retinal surgery: perioperative analysis to real-time four-dimensional image-guided surgery[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(9): OCT37–OCT50. doi: 10.1167/iovs.16-19277
- [81] Viehland C, Keller B, Carrasco-Zevallos O M, et al. Enhanced volumetric visualization for real time 4D intraoperative ophthalmic swept-source OCT[J]. *Biomed Opt Express*, 2016, 7(5): 1815–1829. doi: 10.1364/BOE.7.001815
- [82] Hsu S T, Gabr H, Viehland C, et al. Volumetric measurement of subretinal blebs using microscope-integrated optical coherence tomography[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2018, 7(2): 19. doi: 10.1167/tvst.7.2.19
- [83] Vajzovic L, Sleiman K, Viehland C, et al. Four-dimensional microscope-integrated optical coherence tomography guidance in a model eye subretinal surgery[J]. *Retina*, 2019, 39(S1): S194–S198. doi: 10.1097/IAE.0000000000002518
- [84] Gabr H, Chen X, Zevallos-Carrasco O M, et al. Visualization from intraoperative swept-source microscope-integrated optical coherence tomography in vitrectomy for complications of proliferative diabetic retinopathy[J]. *Retina*, 2018, 38(S1): S110–S120. doi: 10.1097/IAE.0000000000002021
- [85] Pfau M, Michels S, Binder S, et al. Clinical experience with the first commercially available intraoperative optical coherence tomography system[J]. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina*, 2015, 46(10): 1001–1008. doi: 10.3928/23258160-20151027-03
- [86] Ehlers J P, Srivastava S K, Feiler D, et al. Integrative advances for OCT-guided ophthalmic surgery and intraoperative OCT: microscope integration, surgical instrumentation, and heads-up display surgeon feedback[J]. *PLoS One*, 2014, 9(8): e105224. doi: 10.1371/journal.pone.0105224
- [87] Bleicher I D, Jackson-Atogi M, Viehland C, et al. Depth-based, motion-stabilized colorization of microscope-integrated optical coherence tomography volumes for microscope-independent microsurgery[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2018, 7(6): 1. doi: 10.1167/tvst.7.6.1
- [88] Zhao H X, Li K, Yang F, et al. Customized anterior segment photoacoustic imaging for ophthalmic burn evaluation in vivo[J]. *Opto-Electron Adv*, 2021, 4(6): 200017. doi: 10.29026/oea.2021.200017 

文章已经过《光电工程》授权转载

深圳市光学光电子行业协会 第八届第二次会员大会盛大召开!



2025年3月20日，深圳市光学光电子行业协会（以下简称：深光协）第八届第二次会员大会在南山区凯宾斯基酒店成功举办，来自政府部门及主管单位领导、会员企业代表、行业专家等200多名代表出席大会。

本次会员大会以“聚势谋远 共赢2025”为主题，内容包括：深光协第八届第二次会员大会、深光协第八届第二次理（监）事会、光电微纳加工技术及创新应用论坛、会员光电创新产品展示、交流晚宴等环节。



(深圳市光学光电子行业协会第八届第二次理(监)事会)

一、协作赋能 共创繁荣



(深圳技术大学创校校长 深圳市光学光电子行业协会顾问 阮双琛校长)

会员大会上，阮双琛校长在致辞中指

出，2024年，深圳光电全产业链协同能力显著提升，创新基因与资本活力领跑全国。面对日益复杂的国际竞争和产业升级需求，深圳光电企业需以技术为矛、创新为盾，继续在全球科技竞争中占据前沿地位。未来，协会将充分发挥平台优势，在光通信、智能制造、生物医药等领域深化服务，激发本土创业热情，推动跨域合作。望企业家们把握“双区驱动”机遇，汇聚力量，成就中国科技新高峰!



(深圳市光学光电子行业协会会长 杨宪承)

深圳市光学光电子行业协会杨宪承会长在发言中表示，世界风云变幻，科技迭代加速，全球产业变革的新一轮浪潮开始

涌动。深光协将继续坚守“共享、共生、共融、共发展”的核心理念，充分发挥桥梁纽带作用，引领行业前行的新方向，激发市场潜能，为光电产业发展注入新动力。以会员企业需求为核心，聚焦产业应用前沿，全方位整合政府、企业、高校、科研机构与资本资源，构建企业价值提升通道，持续扩大深光协的行业辐射力与社会凝聚力。

深光协秘书长陈芳在会上对深光协2024年度工作及2025年度规划进行了汇报。2024年，深光协以“凝聚共识、深耕产业、赋能会企、构建平台”作为主要目标，在变革中求稳求新，持续优化会员服务，举办或协办线上线下行业活动超过30场，全年累计吸引线上线下参与人数突破18000人/次。常态深入会员企业，全方位掌握会员企业运营动态、精准把脉发展需求，助力企业直面行业挑战。2025年，深光协将持续深度打造光电产业创新生态链。



(深圳市光学光电子行业协会秘书长 陈芳)

二、新朋汇聚 共拓光途

经深圳市光学光电子行业协会第八届第二次理（监）事会审议通过，选举昂纳科技副总裁范文明担任2025年度“轮值会长”。

自深光协第八届换届以来，深光协全面推进以产业“生态化”、活动“品牌化”、服务“精准化”、资源“平台化”的四大体系建设服务助力会员企业成长。聚焦行业关键核心技术攻关，强化产业应用的协



同创新能力，积极构建政府、企业、高校、科研机构与资本方的多维对话与协作机制。大会现场隆重公布了年度新会员企业！并期待更多的优秀企业加入深光协大家庭。

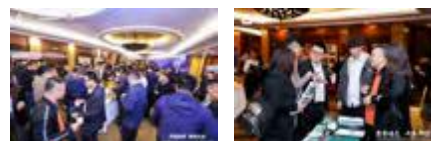


三、创新驱动 光领未来

光电微纳加工技术及创新应用论坛：本次会员大会期间，光电微纳加工技术及创新应用论坛无疑成为了焦点。论坛上，演讲嘉宾凭借深厚的专业知识与丰富的实践经验，分享内容专业且精准到位。从微纳加工前沿技术的深度剖析，到创新应用场景的大胆畅想，每一场分享都让参会者收获颇丰，对光电行业发展有了更为清晰且深刻的认知。



会员光电创新产品展示：在主会场外，会员光电创新产品展示同样吸睛。展位上，会员企业纷纷展示各自的光电创新产品。从光学元器件，到搭载先进技术的前沿光电子产品，每一件都凝聚着企业的创新智慧与研发力量，不仅是企业实力的象征，更是行业创新发展的生动体现。大家围绕展品热烈探讨，展位区域已然成为本次会员大会中，促进各方深度沟通、拓展业务合作的重要平台，为大会增添了浓厚的行业交流氛围。



至此，深圳市光学光电子行业协会第八届第二次会员大会取得圆满成功，衷心感谢政府部门及主管单位领导、会员单位、光电行业各界同仁的长期悉心指导与鼎力支持，这将是深圳市光学光电子行业协会不断前行的坚实后盾。步入新的一年，深光协愿与光明同行，以诚挚合作之心，共同砥砺前行，矢志不渝地担当企业与政府之间沟通的桥梁，发挥好平台作用，成为产业发展的强劲推动力。深光协将继续紧密团结广大会员企业，齐心协力为深圳的经济高质量发展持续注入蓬勃活力与动力。



光启微纳，智创未来——光电微纳加工技术及创新应用论坛

在科技飞速发展的当下，光电子技术与微纳制造的深度融合正引领新一轮科技革命与产业变革。作为信息感知、传输和处理的核载体，光电微纳器件在光通信、新型显示、智能制造、智能传感、生物医疗、量子信息等领域的突破性应用，持续推动着全球高新技术产业的跨越式发展。随着“十四五”规划对新一代信息技术、高端装备制造等战略性新兴产业的全面布局，光电微纳加工技术已然成为推动光电产业升级与科技创新的重要力量。2025年3月20日，光电微纳加工技术及创新应用论坛在南山区凯宾斯基酒店成功举办，本次论坛由深圳市光学光电子行业协会主办，中国光博会（CIOE）、深圳市光学学会共同协办。



本次论坛由演讲嘉宾贾红辉博士主持，贾博士以专业的视角和生动的语言，为光电微纳加工技术及创新应用论坛拉开了精彩的序幕。



(湖南大学粤港澳大湾区创新研究院 广州市平面光学重点实验室副主任 贾红辉)

会议开始，深圳市光学光电子行业协会党支部书记彭文达发表了致辞。彭书记对各位嘉宾和与会者的到来表示热烈的欢迎和衷心的感谢，并强调了光电微纳加工技术在推动光电产业升级和科技创新中的重要作用。



(深圳市光学光电子行业协会党支部书记 彭文达)

论坛内容丰富，精彩纷呈，主要由专题会议演讲+会员光电创新产品展示两大板块构成。在嘉宾演讲环节，来自光电微纳加工技术领域的专家学者及行业精英齐聚一堂，他们围绕光电微纳器件的最新研

究成果、技术创新及未来应用趋势等话题展开了深入探讨与交流。这些前沿的学术观点与实战经验为参会者提供了宝贵的启示与思考。



专题会议演讲

①平面光学技术及应用



湖南大学粤港澳大湾区创新研究院、广州市平面光学重点实验室副主任贾红辉博士分享了演讲《平面光学技术及应用》。贾博士为大家揭开了湖南大学大湾区创新研究院的神秘面纱，深入探讨平面光学技术的发展历程，阐述平面光学器件与系统重点实验室的技术理念与实践成果，分享了平面光学在智能光电领域的初步应用成果。

②先进光学加工技术与设备



长沙埃福思科技有限公司总经理周林博士分享了主题演讲《先进光学加工技术与设备》。周林博士为大家介绍了离子束修形与磁流变抛光等先进光学加工技术的广泛应用，以及这些技术如何显著提升光学加工的确定性和精度。通过详实的案例与专业讲解，让大家深刻认识到离子束修形与磁流变抛光等先进光学加工技术对提升加工精度与效率的关键作用，也看到了长沙埃福思科技在推动技术产业化进程中的卓越贡献。

③激光在玻璃微纳加工中的应用



锐莱特精密光电副总经理钟勇分享了演讲《激光在玻璃微纳加工中的应用》。钟总为大家解析了激光技术在玻璃微纳加工领域的最新应用与发展趋势，精准解读行业前沿技术动态，让大家直观感受到激光技术在玻璃微纳加工领域的独特优势，为相关企业的技术研发与应用拓展提供了重要参考。

④国产有栅 RFICP 离子源研制及应用

昂纳集团 / 昂成精密仪器高级研发总监张海飞分享了《国产有栅 RFICP 离子源



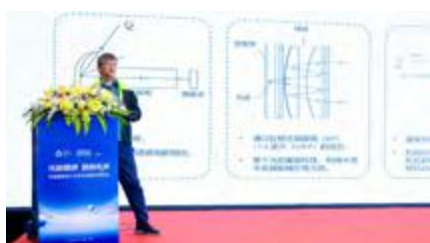
研制及应用》。张总为大家详细讲解了有栅和无栅 RFICP 离子源的区别及应用场景，并分享国产有栅 RFICP 离子源的研制进展情况与国外产品的对比，清晰呈现了国产产品的研发进展与前景，增强了大家对国产高端设备技术突破的信心，助力行业国产化替代进程。

⑤ MKS 微纳激光加工解决方案



MKS 资深应用工程师田志宏分享了《MKS 微纳激光加工解决方案》。田志宏老师的分享让大家领略到 MKS 在微纳激光加工解决方案上的先进性与创新性，为企业在微纳加工技术选型与升级方面提供了丰富思路，有望推动行业整体加工水平迈向新高度。

⑥超短焦光学技术与 AI 硬件 / 智能座舱的普及



深圳昇阳光学联合创始人贾柯分享了主题演讲《超短焦光学技术与 AI 硬件 / 智

能座舱的普及》。贾总为大家解析了超短焦光学技术如何突破传统显示技术的物理限制，打开了超短焦光学技术的应用新视野，深入阐释了其突破传统显示限制，在 AI 硬件与智能座舱领域掀起“空间革命”的潜力，让大家对未来智能交互场景的变革充满期待，为行业开辟新赛道提供了方向指引。

⑦后 Vision Pro 时代：OLED 与硅基微显示技术如何重塑消费电子 AR/VR 产业格局



东兴证券首席分析师 / 科技组组长刘航分享了主题演讲《后 Vision Pro 时代：OLED 与硅基微显示技术如何重塑消费电子 AR/VR 产业格局》。刘航主任站在行业宏观视角，精准剖析了 OLED 与硅基微显示技术在后 Vision Pro 时代对消费电子 AR/VR 产业格局的重塑影响，为企业战略布局与投资决策提供了极具价值的前瞻性观点，助力行业在新兴技术浪潮中找准航向。

本次论坛的成功举办，不仅进一步推动了光电微纳加工技术的创新与应用发展，也为深圳市乃至全国的光电产业转型升级注入了新的活力与动力。未来，深光协将充分发挥桥梁纽带作用，持续关注业界需求，定期举办供需对接会、论坛沙龙、政策宣讲、技能培训、技术交流等实效活动，搭建创新交流平台，促进行业思维碰撞，将单方面的信息转变为多方的互动，同时创新服务形式、服务水平和服务深度，共创高质量发展新局面。☑

APE 2025 | 深光协携手企业组团参展，引领光电创新潮流

2025年2月26-28日，第二届亚洲光电博览会（Asia Photonics Expo，简称APE）在新加坡金沙会议展览中心盛大开幕。深圳市光学光电子行业协会（简称：深光协）再次吹响集结号，组织超30家光电企业闪耀亮相APE，以APE平台为桥梁，整合光电产业链优势资源，抢滩东南亚蓝海市场，向世界展示中国光电产业创新应用。



亚洲光电博览会 盛况彰显科技魅力

第二届亚洲光电博览会（Asia Photonics Expo，简称APE）展览面积达15000平方米，吸引了来自16个国家和地区的344家展商参展。现场设有来自新加坡、欧洲、德国、韩国、日本、马来西亚、中国等国家和地区的国家及地区展馆，并聚焦量子技术、智能传感器、真空镀膜三大专题展区，全方位呈现重塑行业未来的尖端科技。

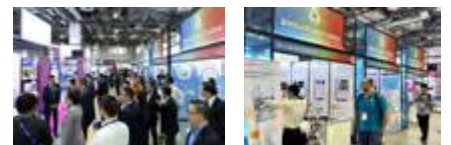
深光协组团亮相APE 共绘光电产业新蓝图

深光协组织超过30家光电企业参展，



共同探索光电领域最新技术及应用趋势。参展的会员企业包括芯思杰技术（深圳）股份有限公司、广东汇成真空科技股份有限公司、深圳市激埃特光电有限公司、广州市君翔自动化控制设备有限公司、福建海创光电技术股份有限公司、深圳市飞宇光纤股份有限公司、深圳太辰光通信股份有限公司、中山市博顿光电科技有限公司、华莱光电、深圳市同信光通讯科技有限公司、深圳市夏裕精密部件有限公司、广州创天电子科技有限公司、上海江木智能科技有限公司、宁波广瑞通信技术有限公司、广州芯泰通信技术有限公司、深圳市智立方自动化设备股份有限公司、微见智能封装技术（深圳）有限公司、无锡清鑫光学技术有限公司、南京美轩光电材料有限公司等。展区现场人潮涌动。各企业展位前吸引了大量海内外客户驻足咨询，技术与商务洽谈氛围热烈。深光协展团以强大的阵容和创新实力成为展会焦点，充分展

现了中国光电产业的蓬勃活力与国际化竞争力。



通过APE这一国际平台，深圳光电企业不仅抢滩东南亚蓝海市场，更与全球行业精英深入交流，探索未来技术趋势，为光电产业的创新发展注入新动能。在未来，深光协将继续发挥桥梁作用，助力会员企业开拓国际市场，推动光电产业链的深度融合与协同发展，为光电产业的进步贡献中国智慧与力量。☑

光电创新产品展示精彩盘点!

在这个科技日新月异的年代，光电产业作为创新驱动的先锋，再次以璀璨之姿照亮了行业前行的道路。近日，由深圳市光学光电子行业协会主办的“光电微纳加工技术及创新应用论坛”圆满落幕，其中光电创新产品展示作为深光协精心打造的品牌活动，成为全场瞩目的焦点。



一、创新技术、科技盛宴

来自瑞声科技 / 辰瑞光学、沈阳仪表科学研究院、中材新材料、创天科技、宇川光学、长沙埃福思、中建南方、标旗光电、锐莱特精密光电、星研精密光学、昂纳科技 / 昂成精密仪器、新云超精技术、承启光电、大卓光学等多家企业，携其最新研发的光电创新成果惊艳亮相。从精密至微米级的光学元件，到引领未来的前沿光电设备，每一件展品都是技术与艺术的完美融合，不仅展现了各企业在光电领域的深厚

积淀，更彰显了不断探索、勇于创新的精神风貌。




二、交流碰撞，共谋发展

现场，与会代表们穿梭于展品之间，驻足观摩，热烈讨论。每一次深入的交流，都是对光电技术边界的拓宽。这里，不仅是一个展示创新成果的平台，更是一座连接行业内外，促进深度沟通、拓展合作机遇的重要桥梁。



三、携手并进，共创辉煌

作为深光协持续推动产业创新的重要平台，光电创新展示已成功搭建起产学研深度融合的桥梁。未来，深光协将继续深化这一品牌活动，通过定期举办、优化展示形式、扩大参与范围等方式，将其打造成为光电产业展示的盛事。深光协期待通过这一平台，持续激发产业创新活力，促进技术交流与合作，为光电产业高质量发展注入源源不断的动力! 

才汇星河·职耀未来——华南师范大学 2025 届毕业生理工类专场招聘会成功举办

随着光电产业技术创新步伐加快，会员企业对人才需求持续攀升，亟需建立稳定的人才供给渠道以满足会员企业发展需求。4月17日下午，华南师范大学2025届理工类毕业生举办的招聘会在广州校区盛大举行，深圳市光学光电子行业协会积极响应会员企业诉求，组织会员企业参加招聘会。此次活动以会员企业用人需求为出发点，将人才服务直接延伸至企业前沿，强化人才成长与技术革新的动力，为会员企业与应届学子构筑高效的供需对接平台。



01 英才汇聚·名企共赢

此次招聘会吸引近50家企业参会，包括昂纳科技、激埃特光电、汇成真空、芬创信息科技、创天电子科技、维度科技、霍耳激光科技、力策科技、芯德通信科技等光电领域知名企业。招聘活动现场提供近500个专业岗位，覆盖光电通讯、机械制造、环境科学、教育科研、互联网等行业领域。



02 招聘现场精彩回顾

招聘会现场氛围热烈，毕业生参与热情高涨，积极向用人单位投递简历。各用人单位的招聘工作人员也耐心细致地解答求职者的咨询和疑问，为有意向的求职者

详细介绍了工作环境、工作内容以及薪酬待遇等相关情况。



参与招聘会的企业反馈，这场招聘会搭建起高效精准的对接桥梁，极大拓宽了企业与求职者的双向选择空间。同时企业特别强调，华南师范大学优质的毕业生资源，是驱动他们主动参与此次招聘盛会的重要因素。本次招聘会是践行国务院“十四五”就业促进规划战略部署、响应省教育厅“春季促就业攻坚行动”的关键实践。为深化对光电行业的精准服务，向会员企业输送创新型专业人才，强化校企间人才供需的精准对接，深光协将持续聚焦会员企业在人才引育与技术革新方面的核心需求，全力搭建高校与会员企业协同发展的创新桥梁。未来，深光协将进一步整合资源、优化服务，推动形成产业发展与人才汇聚相互赋能、良性循环的生动局面，为光电技术产业高质量发展注入持久动能。☑



长飞光纤光缆股份有限公司

长飞光纤光缆股份有限公司（以下简称“长飞公司”，股票代码：601869.SH、06869.HK）是全球领先的光纤预制棒、光纤、光缆及综合解决方案提供商，主要生产和销售通信行业广泛采用的各种标准规格的光纤预制棒、光纤、光缆，基于客户需求的各类光模块、特种光纤、有源光缆、海缆，以及射频同轴电缆、配件等产品，公司拥有完备的集成系统、工程设计服务与解决方案，为世界通信行业及其他行业（包括公用事业、运输、石油化工、医疗等）提供各种光纤光缆产品及综合解决方案，为全球 90 多个国家和地区提供优质的产品与服务。



掺铒光纤



器件保偏光纤

地址：湖北省武汉市武汉光谷大道 9 号

邮箱：400@yofc.com

电话：400-006-6869

网址：www.yofc.com

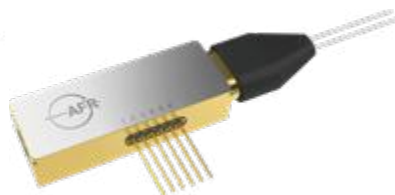


珠海光库科技股份有限公司

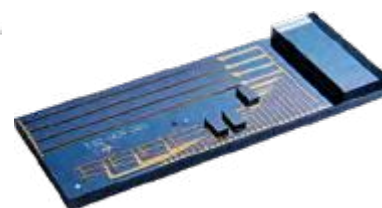
珠海光库科技股份有限公司（以下简称“光库科技”）成立于 2000 年，是专业从事光纤器件和芯片集成的国家高新技术企业。高管团队由激光、芯片及光通讯领域内国际顶尖人才组成。公司产品应用于光纤通讯、数据中心、光纤激光、无人驾驶、光纤传感、医疗设备、科研等领域，广泛销往欧、美、日等 40 多个国家和地区。光库科技是全球仅有的几家海底长途光网络核心器件供货商之一，现有高端生产加工设备数千套，场地超 11 万平方米。公司总部设在珠海，拥有 5 家全资子公司：米兰光库、泰国光库、香港光库、加华微捷、光辰科技，1 家控股子公司：拜安实业。



96/130 GBaud 相干调制器



70 GHz 强度调制器 (AM70)



400 Gbps/lane PAM-4
薄膜铌酸锂调制器芯片

地址：广东省珠海市高新区唐家湾镇创新三路 399 号

网址：www.fiber-resources.com

电话：86-0756-389-8088

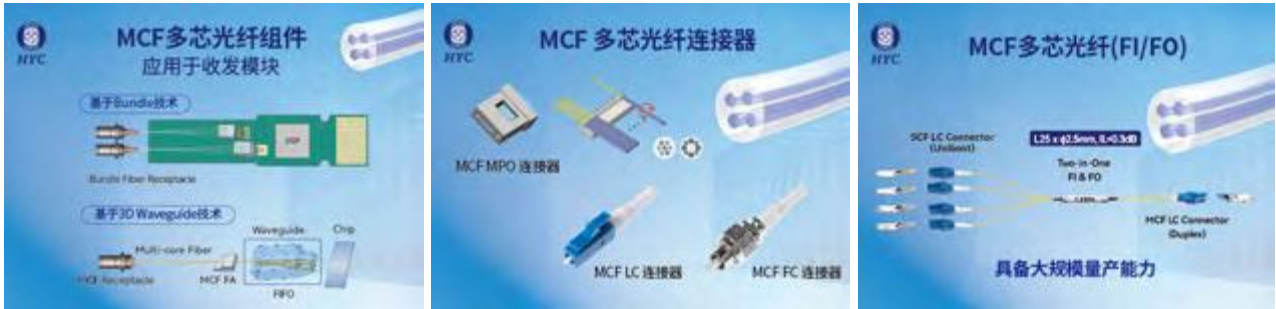
邮箱：sales@fiber-resources.com



亿源通科技
HYC CO., LTD

广东亿源通科技股份有限公司

亿源通科技（英文简称“HYC”）创立于2000年，是全球行业内具有影响力的无源光通信器件ODM/JDM制造商，专注于为客户提供光通信无源基础光器件设计、研发、制造、销售的一站式定制化服务。



定制化多芯光纤 (MCF) 互联方案

地址：广东省清远市高新技术产业开发区百嘉大街 38 号

电话：086-0763-3319222

网址：<https://www.hyc-system.com>

邮箱：market1@hyc-system.com



KEYSIGHT

是德科技（中国）有限公司

是德科技（NYSE: KEYS）启迪并赋能创新者，助力他们将改变世界的技术带入生活。作为一家标准普尔 500 指数公司，我们提供先进的设计、仿真和测试解决方案，旨在帮助工程师在整个产品生命周期中更快地完成开发和部署，同时控制好风险。我们的客户遍及全球通信、工业自动化、航空航天与国防、汽车、半导体和通用电子等市场。我们与客户携手，加速创新，创造一个安全互联的世界。



110G UXR 系列实时示波器



M8050A 高性能比特误码率测试仪



N4373E 光波器件分析仪

地址：北京市朝阳区望京北路 3 号

电话：CHN-010-6439015

网址：www.keysight.com

邮箱：tm_asia@keysight.com



宁波元芯光电子科技有限公司

宁波元芯光电子科技有限公司是一家以 IDM 模式自主研发、生产、测试、销售半导体激光器芯片的高科技企业。公司研发实力雄厚，凝聚了众多半导体激光器领域的优秀人才，建成了完整的高精度化合物半导体生产线，始终致力于向国内外光器件和光模块用户提供高性价比、高可靠性的半导体激光器芯片和高品质的技术服务。公司的产品在性能上具备国内领先、世界一流的水平，完全拥有自主知识产权及多项核心专利，并获取多项行业荣誉称号，在推动行业不断进步的同时，更以中国光通信芯片解决方案引领者的姿态迈向世界。



薄膜铌酸锂调制器



全 C 波段大范围可调谐激光器芯片



气体探测 DFB 激光器芯片

地址：浙江省宁波市鄞州区姜山镇盛阳路 1341 号

电话：086-0574-88090920

邮箱：liaowei@ori-chip.com

网址：<http://www.ori-chip.com>



深圳市毅宏光通信有限公司

深圳市毅宏光通信有限公司，是一家从事光通信行业产品的研发，生产和贸易相关的实业生产型企业。公司 2012 年成立于深圳市宝安区，经 10 多年发展，拥有厂房 1 万余平，固定资产价值 3000 万元，员工 120 多人，光纤跳线组件产线 4 条，光缆生产线 4 条，包材生产线 1 条，塑胶制品生产线 1 条，钣金生产线 1 条。公司自发展至今，一直致力于光通信行业的实业生产中。求真务实，踏实稳健，诚信经营。依靠过硬的产品品质，高效的生产力，齐全的产品体系以及公允的价格，收货了庞大的海内外客户群体的支持，与客户建立起了长期良性的，互利共赢的合作关系。



FTTA 基站光纤光缆布线产品



FTTX 特殊室外光纤光缆布线产品



MPO/MTP 数据中心高密度布线产品

地址：广东省深圳市宝安区石岩街道水田社区祝龙田路 114 号新太阳科技园 1 栋七层

电话：+86-0755-29087730

邮箱：2850602768@qq.com

网址：www.ihfiber.com



杭州宏友光电科技有限公司

杭州宏友光电科技有限公司成立于2002年，座落于美丽的杭州富阳区富春江畔。现拥有职工150余人，其中各类专业技术人员占10%，公司占地面积13800平方米，两栋厂房，建筑总面积近23800平方米。公司致力于光缆交接箱、光缆分纤箱、光缆终端盒、光缆配线架、户外综合柜、网络机柜、IDC机柜、模块化数据中心等FTTX设备的设计与制造已有20余年，配套于中国移动、中国联通、中国电信、中国铁塔、中国广电。公司产品辐射全国，并获得信息产业部邮电工业产品质量监督检查合格证书，并不断完善产品质量，积极贯彻实施ISO9000标准，建立考核制度，完善质量保证体系。科学的管理，严谨的售后服务是我公司的经营理念。



144 芯 SMC 光缆交接箱



24 芯光缆配线单元



滑轨式 48 芯光缆配线单元

地址：浙江省杭州市富阳区灵桥镇工业区外汪 407 号

电话：86-0571-63552237

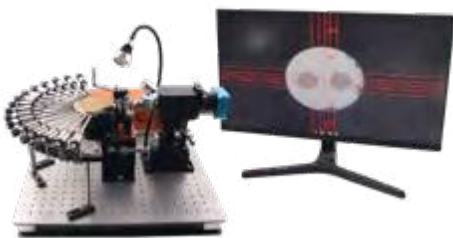
邮箱：sales@yoptic.net

网址：www.yoptic.net



深圳市纽飞博科技有限公司

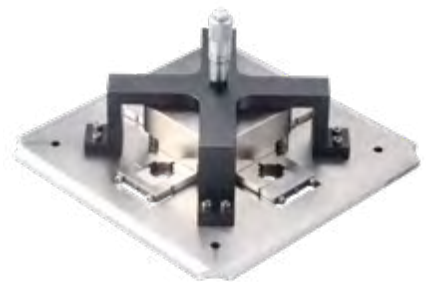
深圳市纽飞博科技有限公司成立于2008年。17年专注研发设计，作为光纤通讯行业研磨设备的领先制造商，为多种光纤制品和跳线制造提供高效的研磨方案。累计形成400多种成功案例，指导3500多家工厂建立生产线并快速实现量产。同时，纽飞博致力于为医疗行业、高校和研究所等高科技领域提供研磨设备定制服务和整体解决方案。纽飞博自主研发的专利产品，为客户带来了超过95%的直通率和卓越的A级光纤端面。不论是光纤耦合陶瓷制品、硅晶制品、玻璃制品和金属制品，纽飞博都能为其提供高效可行的研磨方案。



保偏光纤对轴系统



光纤研磨机



光纤研磨夹具

地址：广东省深圳市光明区凤凰街道塘家社区观光路汇业科技园厂房4栋A区四层408

电话：31627-0755-86223060

邮箱：info@fibrekits.qq.com

网址：https://cn.fibrekits.com



璀璨光影技术有限公司

璀璨光影技术有限公司，成立于2015年，位于广东省“粤港澳大湾区”的惠州市东江高科技工业园内，毗邻高速公路及机场，距离广州、深圳、东莞及香港等周边城市只需1H~2H高速车程。

公司设有光学研发中心及实验室，同时拥有上万平米的无尘制造工厂。公司的研发、技术、质量、制造管理团队拥有15年光学产品行业经验，目前主要为亚洲、欧美、日本等国家客户提供光学产品及服务。

公司经营始终以客户市场需求为导向，坚持走自主创新之路，在新材料、新技术、新应用研发上面持续不懈的投入和钻研，秉承乐观积极的态度，用心做好每一个产品和每一次服务。



DJI OSMO POCKET 3 滤镜



手机滤镜



相机滤镜

地址：广东省惠州市惠城区水口街道东兴二路华科新能源

邮箱：boyezhu@bstup.com

电话：13556269734

网址：<http://www.bstup.com/>



深圳创盛世科技有限公司

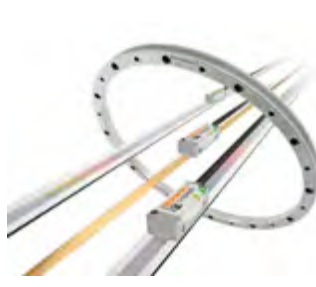
深圳创盛世科技有限公司成立于2002年，前身为创世仪器耗材，属于香港创世科技有限公司成员。公司因业务发展需要，于2012年正式成立“深圳创盛世科技有限公司”。

2002年自成立起便成为英国雷尼绍（RENISHAW）的授权代理商。主要产品：激光干涉仪、球杆仪、比对仪、坐标测量机测头 & 测针；机床测头 & 测针；光栅、激光尺、磁编码器等。

2020年取得费斯托（FESTO）代理。主要产品：驱动器、电机和控制器、抓取系统、真空技术、阀和阀岛、传感器、图像处理系统、气源处理、控制技术和软件。



比对仪



光栅



多光束激光干涉仪



球杆仪

地址：深圳市福田区石厦北二街新天世纪商务中心 B 座 1005-1006

网址：www.ineeq.com.cn

电话：0755-83253528

邮箱：info@ineeq.com.cn

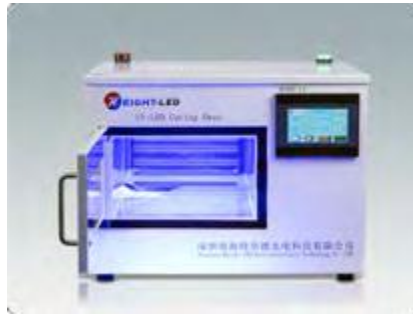


深圳市海特奈德光电科技有限公司

深圳市海特奈德光电科技有限公司成立于 2011 年，是国家高新技术企业，“专精特新”中小企业，已通过 ISO9001 认证。专注于 UV LED 光固化技术，产品涵盖点、线、面光源、固化炉及集点胶与固化于一体的自动化设备，广泛应用于 3C 电子、显示模组、半导体封装、智能穿戴、传感器组件等光电制造领域。公司荣获大量产品专利证书，集研发、制造、销售、服务于一体，提供定制化固化解决方案，助力客户在高精度装配、绿色制造与智能化生产中提升效率与品质。



UVLED 面光源照射机



UVLED 烤箱



UVLED 固化机

地址：深圳市龙华区大浪街道同胜社区赖屋山新村三和国际 2 号楼 2 层

电话：0755-27381112 / 18926586856

网址：www.height-led.com

邮箱：info@height-led.com



梅州市亿照光电科技有限公司

梅州市亿照光电科技有限公司是一家专业生产和研发干涉滤光片和提供光学技术解决方案的滤光片厂家。成立于 2019 年位于梅州市高新经济开发区东升工业园，拥有多台进口设备镀膜机和进口检测设备，聚集丰富经验的技术团队人才和优秀的销售团队，为广大光学客户提供光学技术解决方案和生产滤光片厂家。



三通显微镜滤光片



荧光 PCR 滤光片



生化分析仪滤光片

地址：广东省梅州市梅江区广东梅州经济开发区罗乐大道 5 号

电话：86-0753-2321339

网址：www.yzlens.com

邮箱：fyd1688fyd@163.com



佑光智能半导体科技（深圳）有限公司

佑光智能半导体科技（深圳）有限公司是一家专门从事各种高精度固晶机（贴装设备）、共晶机等研发、制造和销售的公司；主要涉及领域为 半导体、miniLED、光通讯、光器件、非标定制等。公司有着从业经验丰富、具有开创精神的研发团队，研发领头人有着二十多年封装和设备公司从业 经历，且全程参与中国第一代固晶机的研发和制造，对封装工艺及固晶机 的制造工艺有着深刻和独到的见解；把客户各方面的需求变成可自动化作 业的方案和设备是我们持续努力的方向。公司积极响应国家发展计划，为“中国制造”向“中国创造”转变贡献一份力量；对标国外高端设备，利用我们的专业知识和创新意识将固晶机做精、做强、做大，逐步替代和超越。



车载高精度共晶机



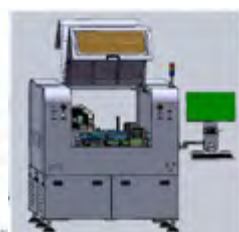
车载高精度贴膜机



光通讯高精度共晶机



超大尺寸高精度固晶机



mini 背光大尺寸固晶机

地址：广东省深圳市龙岗区坪地街道四方埔社区牛眠岭新村 24 号

电话：0755-89689939

邮箱：ygzn@brighttech.net.cn



丰睿成科技（深圳）股份有限公司

丰睿成科技（深圳）股份有限公司，成立于 2009 年，公司由来自于国际知名公司的资深人士共同参与创办。公司集研发、生产、销售服务为一体，产品包括键合金丝、键合特种金丝、键合合金丝、键合硅铝丝、键合银丝、键合钯铜丝、蒸发混合工艺新型键合丝、蒸发金及靶射材料等，主要用于集成电路、IC、TF 卡、内存、储存、COB、BGA、QFN、二三极管、微电子、光通信、激光、航空、航天等半导体芯片封装制作以及框架引线相关领域。半导体激光二极管、半导体激光模组激光器产品应用于消费电子、商业设施、汽车电子、智能终端、照明设施、激光瞄准、医疗设备等。



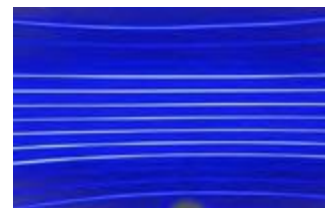
键合丝



枪瞄激光器



激光模组



线激光模组

地址：广东省深圳市龙华区大浪街道下岭排路 91 号 F 栋 1 层、2 层、3 层

电话：0755-28018073

网址：www.frcjhx.com

邮箱：frcclf@163.com



北京宇桥优信科技发展有限公司

北京宇桥优信科技发展有限公司（前身为北京宇桥速通科技发展有限公司）- 以色列 CI 系统公司中国独家授权代理。自 2004 年 6 月成为以色列 CI 系统公司在中国的独家授权代理以来，我们凭借对高科技产品的深入理解和细致周到的售前、售后技术支持服务，为客户提供了专业的增值服务，并得到了客户的广泛认可，在航空、航天、兵器、电子和中船等领域不断地被客户认可和接受。CI 系统公司在光学设计、光电集成、遥感辐射测量等领域的丰富经验和多年的技术储备以及对不同应用的深刻理解，保证了其产品在先进性、实用性、可靠性等诸多方面占有世界优势，从而使其在世界国防领域具有很高的信誉和广泛的客户群。



黑体



红外光谱辐射计



光电测试系统

地址：北京市朝阳区北苑东路 19 号院 3 号楼 6 层 601

电话：0086-010-62980028

邮箱：tracy@utop-sino.com

网址：www.utop-sino.com



深圳市东帝光电有限公司

深圳市东帝光电有限公司注册成立于 2012 年，位于深圳市宝安区，是一家专业致力于夜视仪及相关光学产品的研发、生产、销售为一体的高科技技术企业，荣获了多项具有核心技术的国家专利。公司拥有一只强大的高科技技术团队，拥有完全的自主知识产权，在高科技电子、光学成像、光电材料、软件、镀膜工艺、真空工艺等各领域拥有独特的技术优势。东帝光电在夜视技术领域拥有高清夜视技术和新型设计理念，是目前数码夜视仪、2 代+、准 3 代、以及 3 代微光夜视仪产品线更齐全且更受欢迎的夜视仪生产厂家。东帝光电主要以微光夜视仪为产品核心，以全球为市场，广泛应用于安防巡逻、消防救援、侦察取证等。



东帝夜视 DAKNGNV-DB2061
二代 + 微光头戴夜视



东帝夜视 DAKNGNV-DM2041
单目单筒微光头戴夜视仪



东帝夜视 DAKNGNV-DB2041 双目
双筒头戴夜视仪

地址：广东省深圳市宝安区沙井新玉路 48 号大宏科技园 601 室

电话：0755-85288415

邮箱：764104323@qq.com



河北长红光电科技有限公司

河北长红光电科技有限公司位于北京东三河市燕郊开发区，是专业从事中波、长波红外镜头的研发、生产及销售为一体的企业。公司自成立十多年来自主研发、生产了 1400 余种红外镜头，产品涵盖无热化镜头、电动调焦、手动调焦、连续变焦等等，具备高效卓越的定制开发能力及批量生产能力。



ZS01 中波制冷连续变焦镜头



Z30 中波制冷连续变焦镜头



ZL13L 中波制冷连续变焦镜头



红外材料加工定制

地址：三河市燕郊开发区北一路北侧、水厂路西侧

邮箱：ir_home@163.com

电话：0316-5750920

网址：www.irhome.cn



天津瞭望光电科技有限公司

天津瞭望光电科技有限公司（以下简称“瞭望光电”），2016 年以天津大学、天津职业技术师范大学两支核心技术团队融合后组建的一家高新科技企业，瞭望光电坐落于中国·天津，注册资本 1000 万元。瞭望光电秉承“自主研发、追求卓越、合作共赢”的理念，专注于激光测距望远镜 & 工业激光测距模块的光电系统研发和生产。拥有强大的光学设计能力和电子设计匹配能力为客户提供外观开模，机芯结构、光学设计、电子设计 & 匹配等一系列定制解决方案。



LWNV7



NV7



NV8



高尔夫测距仪

地址：天津市津南经济开发区（西区）香港街 3 号 3 号楼

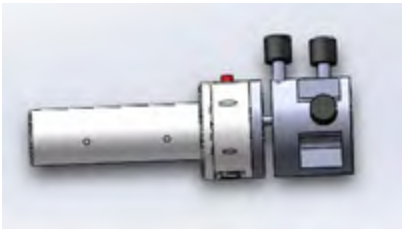
电话：18953519515

邮箱：info@lookoutlaser.com



深圳达瑞鑫光电科技有限公司

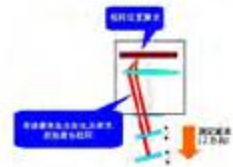
深圳达瑞鑫光电科技有限公司成立于 2011 年，主要从事光电传感器销售及应用开发，为客户提供所需应用和解决方案，与国内多家厂商以及德国 Silicon sensor、日本滨松等国外知名厂家有着良好的代理合作关系。达瑞鑫业务范围主要覆盖国内各高校研究所、中国科学院、中国工程物理研究院、中国兵器、中国航空工业等研究领域，以及多家生产光电类仪器的厂家。公司以“诚信为本，服务第一”为理念，把光电产品推向国内工业、军用、民用和其它与我们生活相关的市场，使我们的生活更自动化、安全化、科技化。



激光直线度测量仪



PSD 系统



激光角度仪、激光自准仪

地址：深圳市龙华区福城街道大水坑社区观光路 1391 号 1 栋综合楼 310

电话：18617186829

邮箱：jjahao2100@163.com



深圳市鸿威盛精密科技有限公司

深圳市鸿威盛精密科技有限公司成立于 2001 年，是一家精密制造配套服务完善的国家级和深圳市级高新技术企业，主要从事各类精密零配件加工，产品广泛应用于医疗、通讯、光电、汽车、办公及自动化设备等领域，目前已通过 ISO9001:2015 及 IATF16949:2016 体系认证。公司自成立以来，以匠心精神关注到产品生产过程中的每一处细节，完善成熟的质量管理体系保障了产品的品质，增强了公司在 CNC 精密加工行业的竞争力；循序渐进，一如既往！更好的服务于客户，使鸿威盛从优秀走向卓越……



夜视仪产品配件



调焦镜筒



精密光电产品配件



精密丝杆滑块

地址：广东省深圳市光明区公明街道上村社区莲塘工业城 C 区五栋 101,301

电话：0755-27328881

邮箱：sales11@honvision.com

网址：www.honvision.com



深圳市科普瑞传感仪器有限公司

深圳市科普瑞传感仪器有限公司, 成立于2004年, 是一家产研销一体化的企业, 先后被评为“广东省创新型企业”, 深圳市“专精特新”科技型企业、“深圳知名品牌企业”, “国家高新技术企业”, 自有5600平米厂房, 软硬件技术占比45%+, 30项+专利及软著, 世界500强供应商, 累计合作客户超3000家。公司创始人王刘先生, 高级工程师职称, 1991年毕业于哈尔滨工业大学半导体与物理器件专业, 至今一直从事力传感器、称重传感器、压力传感器、显示仪表、与物联网测力和称重监测系统的技术研发与应用。



S型



柱式



悬壁梁式测力称重传感器



微圆型测力传感器

测力传感器

地址: 龙岗区宝龙街道龙东社区大埔二路一巷11号一单元101含11号整个园区

邮箱: cpr@kprsensors.com

电话: 0755-25584182

网址: www.cprsensors.com



深圳博升光电科技有限公司

博升光电是技术领先的光电半导体科技企业, 以对光学创新的不懈追求而闻名。致力于革新3D感知和成像技术, 博升光电推出了突破性的偏振结构光3D相机, 并凭借其对行业的重大影响荣获2024年RD100奖。目前已在国内外多家头部机器人公司已实现导入量产。此外, 我们还为超大规模数据中心和人工智能基础设施提供尖端的高性能光通信解决方案, 确保可靠且高效的数据传输。



3D 偏振相机

地址: 广东省深圳市福田区保税区桃花路17号湾区芯谷产业园3层

网址: www.berxel.com

电话: 18688925083

邮箱: jianhui.qiu@berxel.com



宜兴市晶科光学仪器有限公司

宜兴市晶科光学仪器有限公司是致力于研发及制造高品质光谱耗材的高科技生产厂家，有着 50 多年的研发和制造经验，我们的产品包括：玻璃，石英比色皿，流动池，流通池，透镜，反射镜，滤光片，光栅等。我们一直不断地提高公司的研发制备能力、优化管理体系，助力客户不断提高产品竞争力。我们的战略合作伙伴遍布化工、制药、生物、医疗体外诊断、航天、通讯、食品、材料、环境、农业、检验检疫等领域。晶科光学作为国内具有较强技术能力的光谱配件厂家，将竭力为广大科研工作者及仪器制造厂家提供更优质、更便捷的产品及服务，与大家携手共创美好未来！



原子气室



光缝片



标准带盖比色皿

地址：江苏省无锡市宜兴市和桥镇鹅洲南路 345 号

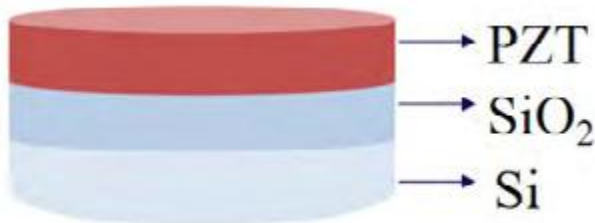
电话：0510-87801818

邮箱：jingke@cell-cn.com

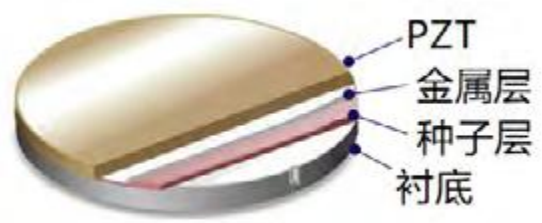


聚合电光（杭州）科技有限公司

聚合电光（杭州）科技有限公司成立于 2022 年，是一家致力于自主研发、生产与销售“高性能薄膜材料与芯片”的前沿科技企业，已获得包括中国信科集团在内的多家权威机构的战略投资。公司汇聚了来自 Nissan Chemical Corp.、Samsung、Huawei 等国际知名企业和顶尖科研机构的研究精英团队。经过不懈努力，自主研发的晶圆产品在性能上已达国内领先、全球一流的水平。



新型薄膜晶圆 — 电光系数为铌酸锂薄膜的 6 倍



单晶 PZT 薄膜— 无需极化、耐高温、高压电系数

地址：浙江省杭州市西湖区转塘街道海思科创园

电话：0571-13750884436

邮箱：a-photonics@outlook.com

Raysolve 镭昱 镭昱光电科技（苏州）有限公司

镭昱光电科技（苏州）有限公司（Raysolve）专注于高性能全彩 Micro-LED 微显示屏的研发和生产，致力于为 AR 眼镜提供卓越的全彩微显示解决方案。公司核心团队源自香港科技大学，拥有多年尖端光芯片设计与制造经验。作为业内率先实现 AR 级别单片全彩 Micro-LED 微显示芯片的领先企业，镭昱不断推进前沿技术发展，为微显示领域带来革命性的创新。镭昱独有的颠覆性全彩技术，将为人类认识感知世界提供前所未有的视角。



PowerMatch 1 全彩 Micro-LED 微显示屏

地址：江苏省苏州市工业园区新平街 388 号腾飞创新园 A2 座 2 层

邮箱：info@raysolve.com

电话：0512-67483531

网址：www.raysolve.com



东莞市光研科技有限公司

光研科技位于东莞市松山湖高新技术产业园区。是一家快速发展的高技术含量的光学研发型企业，一直致力于光学仪器及自动化光学测量系统的研发及生产工作，为广大客户提供了专业的光学测量解决方案及优质并专业的技术服务。我们在东莞松山湖设立了高规格的光学研发中心及高端的光学实验室，有专业的光学研发团队及完善的售后部门，为我们的品质保驾护航。光研科技不仅为国内液晶显示，OLED，MiniLED，MicroLED，AR/VR，车载显示，发光字符等光学显示行业提供先进的光学测量解决方案，并为全国很多实验室、高校、及研究机构提供过专业的光学实验室搭建方案。



SA 系列成像色度计



HUD 光学测量仪



FA-NC 系列滤镜式成像色度计



色彩分析仪

地址：广东省东莞市松山湖园区工业西路 12 号 1 栋 437 室

网址：<https://www.guangyan-tech.com/>

电话：CN-0769-18520190828

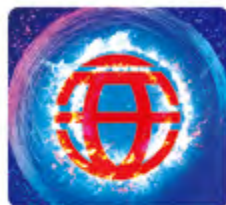
邮箱：yanjunlong@guangyan-tech.com



宏安集团

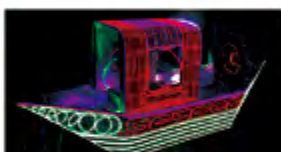
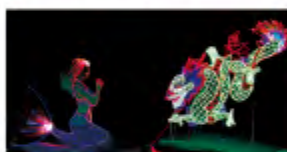
通信产业链一体化解决方案

公司简介



宏安集团有限公司，创建于1985年，座落于美丽的山东省威海市，是一家集研发、制造、销售、服务于一体的光通信产品专业企业，产品覆盖光纤预制棒、光纤、光缆、侧光光纤、光跳线、数据电缆、光通信设备及器件，汽车线束等。是国内数量不多的拥有通信产品完整产业链的高新技术企业。

侧光光纤产品



公司产品



地址：山东省威海市文登区龙威路1号

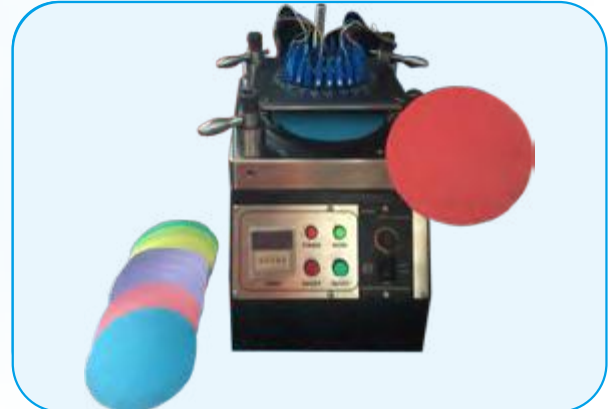
电话：0631-8353129

网址：www.hongan.com.cn



深圳市爱佳利研磨材料有限公司 SHENZHEN AIJIALI POLISHING CO.,LTD.

深圳市爱佳利研磨材料有限公司是光通信研磨耗材的供应商，公司主要研发生产金刚石研磨纸、碳化硅研磨纸、氧化铝研磨纸、氧化铈研磨纸、二氧化硅研磨抛光片、金刚石皮革砂纸、氧化铝皮革砂纸、碳化硅皮革砂纸、氧化铝海绵砂纸、研磨抛光打磨带，及二氧化硅研磨液，碳化硅研磨液，氧化铈研磨液，研磨油等产品。产品广泛用于光通信行业。



公司地址：深圳市龙华区龙华街道东环一路东侧恒和大厦601

电话：86-0755-28774880

传真：86-0755-89331593

公司网址：www.ajlgs.com

邮箱：ajl@ajlgs.com





深圳市鸿富诚新材料股份有限公司

SHENZHEN HFC CO.,LTD

深圳市鸿富诚新材料股份有限公司成立于2003年，至今已在电子功能材料领域深耕21年，是一家研发及制造的新材料企业，获得国家高新技术企业和国家专精特新“小巨人”企业称号。公司先后设立了重庆、浙江、武汉子公司，并于2023年设立了香港和马来西亚公司。2024年，马来西亚公司已投产并开始向客户交货。鸿富诚深耕于半导体芯片散热领域，致力于成为创新功能材料和创新器件领军企业，铸就百年国际品牌。为实现这一宏伟目标，公司将继续重点聚焦热界面材料、吸波材料及电磁屏蔽材料等发展方向，重点贯穿电子信息行业、5G通信行业、数据网络通信行业、新能源行业及光模块行业等细分应用市场，通过资本整合，拓展新领域，实现快速发展。



应用案例 光模块



热界面材料、导热吸波材料



南通宏置通信设备有限公司

NANTONG HONGZHI COMMUNICATION EQUIPMENT CO., LTD.

南通宏置通信设备有限公司成立于2012年,集科研生产经营、销售为一体,是国内专业生产 OPGW、ADSS、OPPC电力光缆,预绞式光缆金具OPGW、ADSS、OPPC光缆专用金属接头盒、铁附件、防振金具、ODF、尾纤、线路金具等通信产品厂家。



ISO9001

质量认证



ISO14001

环境管理认证



ISO45001

职业健康认证



强劲研发

快速响应, 专业积累



全套产品

种类齐全, 经验丰富



质量保证

成熟质量控制系统



快速交付

设备齐全, 产能充沛

|| 品类丰富 规格齐全 ||



联系我们

地址: 江苏省南通市海门区海门街道珠海路111号

Add: No.111 Zhuhai Road, Haimen Street, Haimen District, Nantong City, Jiangsu Province

电话 (Tel): 0513-82217181

传真 (Fax): 0513-82227181

网址 (Web): <http://www.nthztx.com>

邮箱 (E-mail): zlsales-2@nthztx.com



深圳市毅宏光通信

深圳市毅宏光通信,是一家从事光通信行业产品的研发,生产和贸易相关的生产型企业。公司2012年成立于深圳市宝安区,经10多年发展,拥有厂房1万余平,员工200多人。公司自发展至今,一直致力于光通信行业的实业生产中。求真务实,踏实稳健,诚信经营。依靠过硬的产品品质,高效的生产力,齐全的产品体系,收获了庞大的海内外客户群体,建立起了长期良性的,互利共赢的供需合作关系。

涉及产品包括:常规室内外光纤光缆/光纤跳线/连接器/适配器减器,数据中心MPO光纤跳线/模块盒配线架,特殊纤芯SMA/D80能量激光跳线,FTTA基站拉远光缆/跳线/户外防水组件,FTTH入户类皮线光纤跳线/分纤箱/分路器/快接/桌面盒/ODF/室内外机柜,J599/D38999/TBE车壁/HXB扩束/光电混合连接器等特殊FTTX类光纤产品,便携/拉杆/背负/手提光缆绕线盘络车。

FTTA SERIES



FTTA 系列光纤布线组件,包含各式 RRU-BBU 基站设备端口互联的光纤跳线,防水接头如 PDLC/FLX/FPM/ODVA/ODC/NSN/等,以及用于室外基站布线防水模块盒。

FTTA series include all types of fiber optic patch cords which connect RRU-BBU equipment, waterproof connectors like PDLC/FLX/FPM/ODVA/ODC/NSN/...and waterproof bases used for outdoor base station.

MPO SERIES



MPO 数据中心高密度系列光纤布线组件,包含各式 MPO 主干短延长线 MPO 转接线, MPO 配线架, MPO 板线盒。

MPO data center HD series, include all types of MPO trunk cable, MPO hybrid harness cable, MPO patch panel, and MPO cassette.

FTTX SERIES



FTTX 系列光纤布线组件,针对特殊的场景下如舞台布线,现场直播,通信检修等环境,提供对应的特殊光纤连接器如 D38999/J599 光纤组件, HXB 扩束光纤组件, HDTV 高清传输用光电混合组件, TBE 车壁光纤组件, 以及各式光电绕线络车。

FTTX series applies for stage wiring, live broadcast, communication emergency repairing etc, the product include D38999/J599 series, HXB expanded beam series, HDTV fiber and power hybrid series, TBE series, and all types of portable cable reel.

FTTH SERIES



FTTH 系列光纤布线组件,包含各式高密度室内光纤跳线,皮线,皮线光缆,光纤熔接,适配器,衰减器,分路器,桌面盒,分纤箱,ODF 配线架。

FTTH series include all types of indoor fiber optic patch cord, pigtail, drop cable, fiber connector, adapter, attenuator, splitter, socket, distribution box, ODF.

公司地址:深圳宝安区石岩水田社区祝新太阳工业园1栋 4.5.6.7楼

官方网址:www.ihfiber.com

国际阿里店铺:ihfiber.en.alibaba.com

国内阿里店铺:ihfiber.1688.com

电话:0755-29087730

邮箱:sales@ihfiber.com



光电优质社群

入群参与行业活动，与业内人士畅所欲言



行业活动

· 线下沙龙

技术探讨和交流的非正式聚会活动；
与行业知名企业代表面对面沟通交流；

细分领域

超100个高质量的行业&应用交流群

- 通信
- 光电综合
- 智能制造
- 光学
- 新型显示
- 半导体
- 激光
- 手机及消费电子
- 医疗
- 红外
- 智能驾驶
- 照明显示
- 传感
- 安防
- 能源电力

加入行业交流群，可以随时与行业人士沟通，洞察行业信息；还可以第一时间了解CIOE组团信息、最新产品、展商列表、会议议程等详情资讯。

扫码添加CIOE中国光博会企业微信
选择关注行业进入社群交流



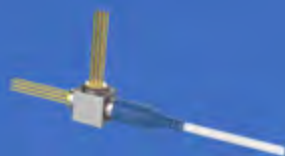
CIOE官方小程序



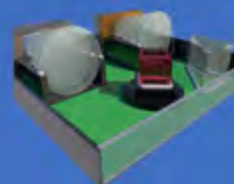
- > 专注于光通讯与微电子环氧粘接剂领域，产品线追求少而精；
- > 资深国外行业专家与本土丰富产品开发经验研发团队紧密合作；
- > 核心材料定期信息搜集，特殊材料一手信息收集。



单双组份光纤用胶



BOSA 用单组份热固化胶



激光雷达用胶



FA器件用胶



车载摄像头用胶

专注成就专业，专业服务客户



光模块用环氧UV热固胶



超低CTE UV热固化胶

SEMI-e深圳国际半导体展 暨2025集成电路产业创新展

2025年9月10-12日 深圳国际会展中心(宝安)

 **60,000m²**
展出面积

 **1,000⁺**家
参展企业

 **50,000⁺**人
参观人数


 **20⁺**场
同期会议

 **芯片设计
及应用**


 **IC制造**

 **晶圆设备**

 **封测设备**

 **核心零部件
及材料**

 **化合物半导体
及功率器件**

 **AI算力**

主办单位：

中国国际光电博览会(CIOE中国光博会)
集成电路创新联盟

承办单位：

深圳市中新材会展有限公司
爱集微咨询(厦门)有限公司



扫码登记参观



关注SEMI-e公众号



第26届中国国际光电博览会

2025年9月10-12日
深圳国际会展中心(宝安新馆)

240,000M² 展出面积
130,000+ 专业观众
3,800+ 参展企业

同期八大主题展



信息通信展

INFORMATION AND COMMUNICATION EXPO



精密光学展&
摄像头技术及应用展

PRECISION OPTICS EXPO & CAMERA EXPO



激光技术
及智能制造展

LASER TECHNOLOGY & INTELLIGENT MANUFACTURING EXPO



红外技术及应用展

INFRARED APPLICATIONS EXPO



智能传感展

INTELLIGENT SENSING EXPO



光电子创新展

PHOTONICS INNOVATION EXPO



AR&VR展

AR&VR EXPO



新型显示技术展

DISPLAY TECHNOLOGY EXPO

同期论坛



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



CIOE官方小程序



关注CIOE官方公众号