

P14 / 光芯片行业研究

P22 / Mini/Micro LED 技术展望

P28 / 红外技术在智能汽车领域应用

# 中国光电

王大珩

CHINA OPTOELECTRONICS MAGAZINE 2023年第2期 / 总第111期



更多资讯尽在



杂志官方微信公众号

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

# 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

### · 线上直播

基于线上直播平台+实时讨论交流的社群活动；  
产业及应用专家、技术达人定期分享

### · 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

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



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



# 找展商 查产品 搜会议 看直播



扫码并添加至“我的小程序”  
方便随时查看使用





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,加工材料涵括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

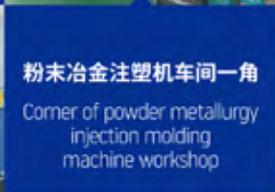
Electroplating equipment-  
corner of electroplating  
workshop



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

# CONTENTS | 目录



## 特别关注 Special Focus

### P8 / 觅光破局专栏

——从人物专访的角度出发，聚焦光电行业“破局者”，从企业发展思维构建行业发展思维，助力中国光电行业破局突围。（以下排名不分先后）

### P10 / 自动驾驶时代来临，浅析激光雷达的发展前景

——专访阜时科技 CTO 王季冬子

### P12 / 红外探测器技术获突破，国产化投资进入机遇期

——访浙江焜腾红外科技有限公司创始人、董事长詹健龙

## 业界 Industry

### P14 / 光芯片行业研究：国产光芯片进入高端市场，积极开拓激光雷达第二曲线

——本文从厚积薄发不断进步的国产光芯片行业；从光模块行业预测看光芯片需求增长；国产光芯片处于向广阔高端市场进阶的关键节点；关注国产光芯片切入高端市场带来的增长机会等几个方面展开。

### P22 / 2023 年 Mini/Micro LED 技术展望

——2022 年，在宏观经济环境逆风之下，Mini/Micro LED 遇挑战、迎新机，无论是产业链的技术和成本问题，还是终端的应用和需求问题，在一定程度上都有种拨开云雾见天日，守得云开见月明的惊喜。

### P25 / 千亿市场规模，谁是 OTN 市场背后的技术支持？

——随着 5G 移动服务、超高清视频和云计算等应用需求的不断增加，全球光网络 OTN 市场规模持续增长，2022 年 OTN 全球市场约千亿元规模，预计在未来十年 OTN 市场规模将以接近两位数的年复合增长率增长。OTN 的出现使得远距离、海量数据传输成为可能，并可以灵活适配不断出现的新兴网络应用的传输需求。中国厂商华为、中兴、烽火作为 OTN 市场的主要参与者，持续引领业界创新，推动光网络产业不断发展。

## 应用 Applications

### P28 / 整明白了！红外技术在智能汽车领域有这些应用场景

——作为一项应用范围广泛的高新技术，红外成像技术在医学、汽车、能源、安防等领域都有深入的应用。本文将从外部感知、内部监控等方面带大家深入了解红外在智能汽车领域的应用。

## 学术 Academia

### P30 / 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

### P44 / 深圳市光学光电子行业协会第七届第三次会员大会顺利召开!

### P46 / 走进光韵达, 聚焦激光增材, 引领创新智造

### P48 / 都乐精密、光越科技、艾贝特获评第二十届“深圳知名品牌”

### P48 / 深光协 14 家会员企业入选“2022 年深圳市专精特新中小企业名单”

## 产品 Products

### P50 / 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  
中国科学院光电研究院  
Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences  
中国电子科技集团公司  
China Electronics Technology Group Corporation  
中国兵器工业集团公司  
China North Industries Group Corporation  
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  
深圳贺戎博闻展览有限公司  
Shenzhen UBM Herong Exhibition Co., Ltd.

### 总编 /Editor-in-Chief

阳子 Yang Zi

### 主编 /Chief Editor

王雅娴 Wang Yaxian

### 编辑 /Editors

李丹青 Achin

### 美术编辑 /Art Editor

林兆欣 Zhaoxin Lin

### 摄影记者 /Photographer

红瓢子 Hong

### 网络编辑 /Website Editor

光博君 CIOE6666

### 广告及赞助 /Advertisement

邓璐 Lisa 吴彦桢 Joanna

### 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





# 2023 觅光破局

以企业发展思维构建行业思维，助力光电行业破局发展

CIOE 中国光博会特别启动【**觅光破局·2023**】专题栏目，从人物专访的角度出发，聚焦光电行业“**破局者**”，从企业发展思维构建行业发展思维，助力中国光电行业破局突围。

# 目录

**P10** 自动驾驶时代来临，浅析激光雷达的发展前景  
——专访阜时科技 CTO 王李冬子

**P12** 红外探测器技术获突破，国产化投资进入机遇期  
——访浙江焜腾红外科技有限公司创始人、董事长詹健龙

# 自动驾驶时代来临，浅析激光雷达的发展前景

——专访阜时科技 CTO 王李冬子



- 深圳阜时科技有限公司 CTO
- 本科毕业于中山大学，硕士毕业于欧洲光电传感与系统工程顶尖学府荷兰代尔夫特理工大学，研究算法与系统工程
- 毕业后加入光刻巨头荷兰 ASML，负责光刻过程控制系统研发，研发产品成为 12 寸光刻机标配
- 华中科技大学兼职硕士生导师，广东省人机交互传感器工程技术研究中心副主任
- 获已授权国际和中国发明专利 >20 件

激光雷达技术是激光探测与测距系统的简称，通过测定传感器发出的激光在传感器与目标物体之间的传播距离，分析目标地物表面的反射能量大小、反射波谱幅度、频率和相位等信息，进行目标定位信息的精确解算，从而呈现目标物精确的三维结构信息。

前几日，光博君近距离采访到了深圳阜时科技有限公司 CTO 王李冬子，我们共同探讨对自动驾驶、激光雷达行业的看法，以及未来发展趋势。

Q1: 请向我们介绍一下您所在的深圳阜时科技有限公司

A1: 阜时科技于 2017 年成立于深圳，专注光电传感器芯片设计与产品开发。目前团队已有 200 多人，研发人员超 150 人，

由深圳市地方级领军人才和多位深圳市海外高层次人才领衔。作为国内率先通过车规认证的国产激光雷达接收芯片，公司推出的 SPAD/SiPM 芯片填补了国内空白，推动智能驾驶发展进程。目前，公司与多家主流激光雷达厂商开展深度合作，在激光雷达赛道上引

领创新、一路奋进，助力国内激光雷达和自动驾驶的普及和推广。

Q2: 您认为激光雷达行业目前的发展现状是怎么样的?

A2: 随着自动驾驶、智能汽车的发展，激光雷达从高端小众产品，成为了中高端车型的主流选择，不断普及和渗透。相信未来还会有更多高性能、低成本的激光雷达出现，并成为未来汽车、电动车的标配。每一款高科技的硬件产品的“上车”，都需要较长的研发和优化期，从出现到应用再到普及，不断迭代和优化，为消费者提供良好的体验。我们在产品的持续创新和迭代中成长。

Q3: 您认为激光雷达未来的市场、发展趋势和机遇点在哪里?

A3: 中国有全球最大的智能汽车市场，玩家众多，潜力巨大，智能汽车和自动机驾驶技术拥有广阔的应用场景和市场需求。

机遇与挑战并存，激光雷达的发展和普及，会朝小型化、低成本、低功耗的方向前进，将成为上车的标配产品。

国内高科技公司要跟上这个趋势，寻找机遇，我认为应该做几件事：1) 车规级芯片的道路很长，小步快跑抓紧迭代，尽早为客户提供优秀产品；2) 早日布局关键供应链，尤其是国内供应链；3) 具备自我造血的能力，能够有相对成熟的产品创造营收，以此投入新产品研发。

Q4: 激光雷达行业充满挑战和机遇，您认为公司具备哪些优势可以更好地在这条赛道上驰骋?

A4: 阜时科技具备以下关键优势:

1) 国内领先的 SPAD 研发与制造工艺。阜时科技研发团队是国内极少数掌握硅基 CMOS 量产 SPAD 工艺的团队之一，作为全球极少数完整掌握 SPAD 芯片关键技术公司，阜时科技自研器件已实现先进的工艺架构，技术水平遥遥领先；

2) 顶尖的核心研发团队。阜时科技研发团队由深圳市地方级领军人才带领、多名深圳孔雀人才领衔，研发团队拥有系统化的芯片设计能力和丰富的经验，更有对技术路线选择的高瞻远瞩和长远布局，实现超前创新和发展；

3) 稳定可靠的量产落地能力。阜时科技已建立成熟的研发运

营销售体系，与国内一线晶圆、封装、测试大厂友好合作，供应链和上下游布局完善，有着稳定的交付能力，商业化领先。

Q5: 请您介绍一下 2022 年阜时科技各个领域的发展现状和突破?

A5: 2022 年，阜时科技在国内率先推出了车用激光雷达接收芯片，并成功通过车规认证。

公司目前已经量产了 dToF 测距芯片和单线激光雷达 SPAD 芯片，小批量供货 SiPM 芯片，正在开发多款面阵、线阵式 SPAD 激光雷达芯片。阜时科技开发的全固态激光雷达接收芯片，具有性能稳定、分辨率高和成本低等特点，可应用于车载补盲激光雷达，已经与多家上下游产业伙伴达成战略合作。同时，多家汽车主机厂及产业资本连续对阜时科技进行了战略投资，也体现了对激光雷达 SPAD 技术的认可、对阜时科技的肯定。

Q6: 2023 年，公司将有哪些新的发展方向 and 布局?

A6: 2023 年，我们除了加大研发投入、为众多客户提供更优质的服务，还会在车规级的其他传感器领域布局新的方向，为智能座舱、自动驾驶持续提供新技术、新产品，满足市场不断变化和升级的需求。

Q7: 对于 2023 年的 CIOE 中国光博会会有什么祝福和寄语?

A7: 中国光博会是阜时科技一直以来重点关注、重点参与的行业展会，相信 CIOE 中国光博会能够持续发光发热，为科技公司搭台，为产业需求牵线，成为中国最有影响力的专业展会。2023 年，一切都要重新出发，祝参加中国光博会的各位朋友，收获满满，事业有成!

在激光雷达的赛道上，阜时科技持续创新、高歌奋进，成为赛场上瞩目的焦点，相信未来将为市场带来更具竞争力和影响力的产品，助力激光雷达和自动驾驶的发展。

据悉，阜时科技将于 9 月在 CIOE 中国光博会亮相，欢迎各位新老朋友前来参观、进行交流和探讨。☑

# 红外探测器技术获突破，国产化投资进入机遇期

——访浙江焜腾红外科技有限公司创始人、董事长詹健龙



“

浙江大学机械和加拿大大不列颠哥伦比亚大学专业双硕士。

浙江焜腾红外科技有限公司创始人、董事长。

于 1997 年作为联合创始人创建了加拿大加创系统有限公司并担任 CTO 职务，加创系统现为加拿大西部唯一一家从事红外热成像技术及应用的科技型企业，于 2005 年在加拿大多伦多证券交易所创业板上市。

2003 年因在肆虐全球的 SARS 非典中的突出贡献（红外热成像检测系统）而获英女皇金禧勋章，成为中国大陆新移民中获此殊荣的第一人。

2017 年回归浙江创业，创建了浙江焜腾红外科技有限公司，致力于红外焦平面芯片及制冷探测器组件研发与产业化，打破国外垄断，在民用领域实现红外制冷型芯片与探测组件的国产化配套。

2020 年曾获得“嘉兴市侨界抗疫先进个人”称号，由其领衔的“红外成像中国‘芯’”项目被认定为“创新嘉兴·精英引领计划”创业人才项目（A 类），由其作为团队负责人创建的“制冷型红外热成像芯片及探测组件研发与产业化创业团队”被认定为“创新嘉兴·精英引领计划”领军团队项目（A 类）。

随着红外成像技术的不断发展，红外探测芯片的发展趋势呈现出多个方向。为了满足高分辨率的需求，多光谱探测芯片可以同时检测多个波段的红外辐射。红外探测芯片需要具备低功耗的特点，以满足便携式设备的需求。其中二类超晶格作为新一代光电材料和器件，利用 InAs/GaSb 材料实现的大面积双色高性能红外探测器已经问世，并具有巨大的发展潜力和应用前景。红外探测芯片的发展已经取得了重大突破，未来还将继续向高性能、多功能化、智能化等方向发展。日前，《中国光电》杂志记者采访到了浙江焜腾红外科技有限公司创始人、董事长詹健龙，就相关问题进行探讨。

Q：目前焜腾红外的主要研发方向是？

A：我们公司专注于红外探测芯片材料、器件、测试、封装等关键技术的研发，致力于 II 类超晶格红外探测器的国产化研发生产与产业化应用。II 类超晶格红外探测器是 VOCs 气体红外热成像探测器的核心部件，其技术难度也较高。同时，焜腾红外依托自身深厚的技术积累、以先进的晶体材料生长方式，配合独特的芯片制造工艺、致力于 VCSEL 技术的国产化解决方案。公司研发生产的 VCSEL 芯片主要用于 5G 通信、3D 传感、激光雷达等领域。

Q：在市场上我们的二类超晶格探测器在红外热探测器领域实际应用中相比其他材料的优势是什么呢，是什么原因让您想到制作二类超晶格探测器的？

A：过去我们这种设备都是依赖进口，一台设备的售价在 200 多万元，现在我们焜腾红外努力实现国产化后，一台设备的价格仅需几十万元，而且性能更好。高端制冷型高工作温度中波二类超晶格红外探测器，以图像形式快速发现挥发性有机气体（VOCs）泄漏，适用于开放大气空间的泄漏检测，能够远距离、大范围快速筛查石化化工生产储运装置的泄漏，并能精确定位泄漏或排放的源头，极大提升了泄漏检测的效率。



Q：焜腾红外生产的二类超晶格红外探测器相比其他二类超晶格生产厂商的优势体现在哪些方面？

A：焜腾红外独家研发并生产的制冷型高工作温度中波二类超晶格红外探测器，可在 120K 的温度下工作，探测器芯片需要的制冷量更低，可降低电机转速，延长制冷机工作寿命，热交换产生的热量更少整体功耗也更低其最显著的特点是高工作温度、长寿命、低功耗、小体积、重量轻（其中最轻仅重 260g）。带电路的机芯组件还具备气体探测和测温双重功能模拟视频输出模式，便于做系统集成，用户只要配好镜头，显示控制组件和机壳即可构成完整的气体成像探测系统。



Q：焜腾红外这几年攻克了许多“卡脖子”的关键技术，您作为公司掌舵人，如此重视科技创新的原因是什么？

A：一直以来，一些化学气体无色无味，成为监测的难点。尤其是在化学品泄漏初期能够监测到气体，及时预警，就可以避免事故的发生。VOCs 气体红外热成像探测器就能很好的针对这一难题，对气体进行监测。II 类超晶格红外探测器是 VOCs 气体红外热成像探测器的核心部件，其技术难度也较高。过去我们这种设备都是依赖进口，一台设备的售价在 200 多万元，现在我们焜腾红外努力实现国产化后，一台设备的价格仅需几十万元，而且性能更好。

相比需要制冷到 77K 才能正常工作的制冷探测器芯片焜腾红外研发的 120K 高工作温度制冷型 II 类超晶格红外探测器体积更小、重量更轻、使用寿命更长，可以实现对甲烷、丁烷、辛烷、二氧化碳、一氧化碳等多种常见化学气体有效监测。



Q：可否请您用几句话给我们概括一下，焜腾红外现在在芯片领域所取得的成就？处于什么样的地位？

A：我们在红外探测芯片材料、器件、测试、封装等关键技术的研发领域已实现技术居业内领先地位。公司目前拥有发明专利 9 项，实用新型专利 41 项，1 项计算机软件著作权。目前，中国国内具备制冷型红外探测器研制和产业化能力的民营企业仅有两家，其中一家就是我们焜腾红外，并且我们也是国内唯一一家从 II 类超晶格（T2SL）材料生长、芯片制备到器件封装工艺全流程厂商。我们已成功研发了 II 类超晶格制冷型红外探测器及配套机芯产品。其中，120K 高工作温度制冷型 II 类超晶格红外探测器体积更小、重量更轻、使用寿命更长，通过了浙江省科技评估和成果转化中心科技成果鉴定，攻克了 T2SL 材料外延生长、器件结构设计、芯片制备工艺及探测器规模化工艺等方面“卡脖子”关键技术，在 II 类超晶格材料结构的优化设计、器件制备、高真空封装处于国内领先水平，属国内首创，填补了国内空白。

Q：对 2023 年 CIOE 中国光博会祝福和寄语。

最后预祝本届中国光博会举办成功，也欢迎各界到我们焜腾红外的展位参观交流！洽谈合作！我们今年 9 月 6-8 日深圳国际会展中心见！



**晶粒制造和封装测试:**对外延片进行光刻等系列处理,最后封装成拥有完整光电性能的光芯片。

IDM 模式能及时响应各类市场需求,灵活调整产品设计、生产环节的工艺参数及产线的生产计划;能高效排查问题原因,精准指向产品设计、生产工序或测试环节等问题点;还能有效保护产品设计结构与工艺制程的知识产权。国内光芯片企业通过 IDM 模式,可以在响应速度和成本方面取得竞争优势。从源杰科技 IPO 材料披露的产品价格看,国产光芯片可以通过价格优势提升市场份额,并且能在产品成熟期保持价格稳定。

**• 国产光芯片产品竞争力不断提升**

我国光通信企业从下游到中游,已经初步建立全球领先的竞争力,下游的华为、中兴、烽火等设备企业的传输设备是产率全球领先。在中游的光模块领域,根据 LightCounting 数据,2021 年中国光模块供应商在全球市场的占有率超过 50%。上游的光芯片是光器件的核心元件,美国和日本企业依然占据全球光器件行业市场领先地位,高端芯片进口依赖度高。继光模块产业之后,光芯片是我国光电子领域国产化水平亟待提升的重点环节。

图表 11: 光通信产业领域的竞争力

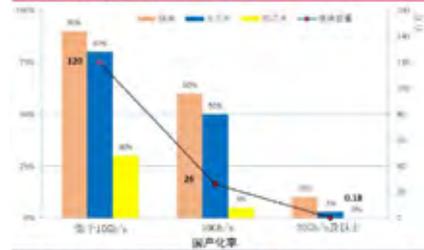


来源:《中国光电子器件产业技术发展路线图(2018-2022)》,国联证券研究所

从国产化进展来看,当前我国高功率激光器芯片,部分高速率激光器芯片已处于国产化加速突破阶段,而光探测芯片、

25G 以上高速率光芯片仍处于进口替代早期阶段。国产光芯片在高端产品领域同国外厂商还有较大差距。

图表 12: 光通信产业国产化率



来源:《中国光电子器件产业技术发展路线图(2018-2022)》,国联证券研究所

按照产品速率区分,我国光芯片企业已基本掌握 10G 及以下速率光芯片的核心技术,依靠封装优势在中低端市场已形成较强影响力。根据 ICC 预测,2021 年 2.5G 及以下国产光芯片占全球比重超过 90%,10G 光芯片方面国产光芯片占全球比重约 60%,但不同频段光芯片的国产化情况存在差异,部分 10G 光芯片产品性能要求较高、难度较大,如 10G VCSEL EML 激光器芯片等,国产化率不到 40%。

国产光芯片行业同时面临低端产品竞争激烈,高端产品突破困难的国产替代挑战。作为从原材料到光器件的关键环节,光芯片企业还需要上游衬底企业和下游光模块企业的配合,来加快产品性能完善和导入。光芯片行业具有较高的准入门槛。特别是采用 IDM 模式的企业,光芯片产品设计、良率的提升需要较长周期。光芯片导入下游光器件和模块,需要经过性能测试、可靠性测试等过程。

图表 13: 国产光芯片企业技术竞争力分析



来源:国联证券研究所

**从光模块行业预测看光芯片需求增长**

**一、数通市场 25G 及以上光芯片需求保持增长**

**• 光芯片市场规模约为光模块规模的 20%**

根据 LightCounting 预测,2023 年全球光模块市场规模增长 4.34%,2024-2027 年 4 年 CAGR 为 11.43%,有望在 2027 年突破 200 亿美元,2024 年开始恢复较快增长。根据中金企信统计数,2021 年全球光通信用光芯片市场规模为 146.70 亿元,其中 2.5G、10G 及 25G 及以上光芯片市场规模分别为 11.67 亿元、27.48 亿元、107.55 亿元。根据 Omdia 对数据中心和电信场景激光器芯片的预测,2021 年 25G 及以上速率光模块所使用的光芯片整体市场规模为 19.13 亿美元,折合约 130 亿人民币。结合上述数据推算,2021 年全球通信光芯片市场规模约为光模块市场规模的 18-20%。我们按照低端光模块市场 18%,高端光模块市场 20%的比例核算对应的光芯片市场规模。

**• 低速率数据中心光模块量价齐降**

目前产品架构成熟的光模块多采用 PSM4 或者 CWDM4 的四通道结构。10G 及以下光芯片大致对应 1G、10G、40G 光模块。从 LightCounting 的预测数据看,1G、10G、40G 数通光模块出货量从 2023 年开始下降,市场规模从 2022 年的 6.14 亿美元下降到 2027 年的 1.50 亿美元。按照 18% 的占比,对应的光芯片市场规模从 2022 年的 1.11 亿美元下降到 2027 年的 0.27 亿美元。从数据中心网络架构的演进看,10G/40G CLOS 架构已经落伍,目前国内互联网公司以 25G/100G CLOS 架构为主,北美互联网公司开始向 100G/400G CLOS 以及更先进的 800G 网络架构演进。

•25G 光芯片有较长的国产替代周期

目前 100G-800G 数通光模块主要使用 25G、53G、56G 波特率的 DFB 和 EML 激光器芯片。目前已发布的 800G 光模块产品，多采用了 8\*100G 的架构，采用 8 片 56G EML PAM4 光芯片。

图表 21: 25G 及以上光芯片和数据中心光模块对应关系

| 光芯片           | 波特率 | 速率        | 应用             |
|---------------|-----|-----------|----------------|
| 25G           | DFB | 100Gbps   | 数据中心、PAM4、50G  |
| 25G           | DFB | 200Gbps   | 数据中心、100G      |
| 25G           | DFB | 400Gbps   | 数据中心、100G      |
| 56G EML PAM4  | EML | 100Gbps   |                |
| 56G EML PAM4  | EML | 200Gbps   | 数据中心、800G-400G |
| 56G EML PAM4  | EML | 400Gbps   |                |
| 100G EML PAM4 | EML |           | 数据中心、800G      |
| 100G EML PAM4 | EML | 1200 Gbps | 数据中心、800-400G  |

来源：光模块产业研究所整理

从 LightCounting 的预测数据看，2023-2027 年 25G、100G、400G 和 800G 光模块的出货量保持增长。市场规模从 2022 年的 44.50 亿美元增长到 2027 年的 72.69 亿美元，5 年 CAGR 为 10.31%。对应光芯片市场规模从 8.90 亿美元增长到 14.53 亿美元。

二、无线回传 10G 需求稳定，25G 需求增长

•无线前传 25G 光模块需求稳定

根据工信部统计，截至 2022 年 11 月末，5G 基站总数达 228.7 万个。随着国内 5G 基站数量的不断提升，5G 基站的建设需求增长放缓。LightCounting 的统计和预测数据显示 2022-2027 年全球无线前传 10G 和 25G 光模块出货量持续下降。无线前传光模块的市场规模，到 2026 年 50G 以上光模块批量部署才有望回升。

根据 IMT-2020 发布的 5G 前传光模块光芯片演进规划，25G DFB 光芯片可以基于 PAM4 支持 50G 前传光模块。

根据 LightCounting 预测，50G 和 100G 前传光模块到 2026 年才会拉动 5G 前传市场规模回升，2023-2025 年 25G 及

以上 5G 前传光模块市场规模稳定在 4.20 亿美元。对应的 25G 及以上 DFB 光芯片市场规模约为 0.84 亿美元。

•5G 中回传市场高端需求

随着 5G 用户渗透率提升和 5G 应用的不断丰富，5G 流量需求会持续增长，这会带来无线中回传网络扩容需求。根据 LightCounting 的预测数据，5G 中回传 10G 光模块出货量从 2022 年 210 万片增长到 2027 年的 306 万片，5 年 CAGR 为 7.68%。持续增长的需求让 10G 及以下光模块市场基本稳定 0.9 亿美元，对应的光芯片市场约 0.181 亿美元。

在中回传市场，2023 年开始 25G、100G、200G 光模块需求保持较快增长。25G 及以上中回传光模块市场规模从 2022 年的 1.03 亿美元增长到 2027 年的 1.71 亿美元，5 年 CAGR 为 10.73%。对应的光芯片市场规模从约 0.21 亿美元增长值 0.34 亿美元。

三、有线接入 10G PON 需求持续增长

按照《“十四五”信息通信行业发展规划》，十四五期间我国全面部署千兆光纤网络，加快“千兆城市”建设，持续扩大千兆光纤网络覆盖，推进城市及重点乡镇 10GPON 设备部署，开展城镇老旧小区光接入网能力升级。截至 2022 年底，三家基础电信企业的固定互联网宽带接入用户总数达 5.9 亿户，全年净增 5386 万户。其中，100Mbps 及以上接入速率的用户为 5.54 亿户，全年净增 5513 万户，占总用户数的 93.9%，占比较上年末提高 0.8 个百分点；1000Mbps 及以上接入速率的用户为 9175 万户，全年净增 5716 万户，占总用户数的 15.6%，占比较上年末提高 9.1 个百分点。

从工信部统计数据看，截至 2022 年

底我国千兆用户数渗透率为 15.6%，还有很大的提升空间。但是运营商的网络建设进度要领先用户发展进度。截至 2022 年 12 月，具备千兆网络服务能力的 10G PON 端口数达 1523 万个，千兆光网具备覆盖超过 5 亿户家庭的能力，已实现“市市通千兆”，千兆光网网络规模和覆盖水平全球第一。10G PON 成为后续接入网建设重点。

•10G PON 保持较高的需求量

根据 LightCounting 预测数据，2022 年开始，10G 以下 PON 光模块的出货量开始下滑。对应的市场规模下降到 2 亿美元以下。

根据 LightCounting 预测数据，2022 年 10G PON 出货量约为 2690 万只，到 2027 年 10G PON 出货量约为 7300 万只，5 年 CAGR 为 22.07%。PON 市场是 10G 光芯片最大的需求增量市场。但是 10G 光模块市场规模会从 2022 年的 7.07 亿美元下降到 2027 年的 2.87 亿美元，对应的光芯片市场规模从 1.414 亿美元持续下降到 0.57 亿美元。

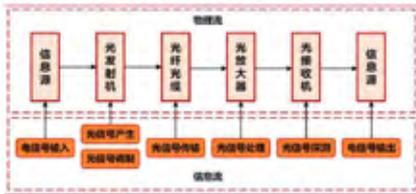
25G PON 和 50G PON 作为下一代产品，在 2024 年才会小规模部署，主要的部署期在 2025 年之后，但是 25G 及以上 PON 光模块的市场规模会在 2025 年突破 2 亿美元，对应 0.4 亿美元光芯片市场，并在 2026-2027 年保持 30% 以上的同比增长。

四、DWDM 相干市场和薄膜铌酸锂产业机会

• 铌酸锂调制器是相干通信光模块的必要组件

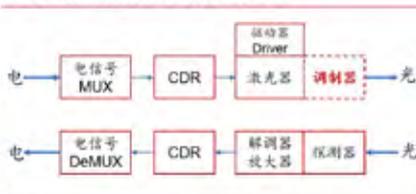
光信号调制是光模块的必要功能，但是调制器不是光模块中的必要器件。在短距离场景下，可以采用内调整的方式替代独立的调制器；在中长距光通信场景中，特别是相干通信中，调制器则是必要器件。

图表 40: 光信号调制在光信号处理流程中的位置



来源:《中国光电子器件产业技术发展路线图(2018—2020年)》, 国联证券研究所

图表 41: 调制器在光模块中的位置



来源: 国联证券研究所整理

目前行业内的主流电光调制器有三种, 其基底分别采用硅、磷化铟和铌酸锂材料, 并且根据其优缺点不同, 可适用于不同通信距离的应用场景。

| 调制器类型  | 主要特点                  | 应用               |
|--------|-----------------------|------------------|
| 硅基调制器  | 集成度高, 功耗低, 体积小        | 短距离通信, 数据中心      |
| 磷化铟调制器 | 调制速率高, 损耗低, 带宽宽       | 中长距离通信, 骨干网      |
| 铌酸锂调制器 | 调制速率高, 损耗低, 带宽宽, 稳定性好 | 长距离通信, 骨干网, 数据中心 |

铌酸锂调制器行业竞争格局较为稳定, 全球仅有三家主要供应商, 分别是光库科技、日本的 Fujitsu (富士通) 和日本的 Sumitomo (住友集团)。2020 年光库科技通过收购相关产品线进入该领域。基于铌酸锂 (LiNbO3) 的调制器可以提供更低的光损耗和更高的最大调制频率: 基于硅基的调制器调制速率约为 60-90Gbaud, 基于磷化铟 (InP) 调制器可达到 130Gbaud, 而基于 LiNbO3 的调制器可能超过 130Gbaud。基于这种优势, 铌酸锂调制器在长途相干光传输和超高速数据中心的场景具备良好的竞争力。根据 LightCounting 的预测数据, 2022-2027

年, 100G 相干 DSP 的出货量和市场规模持续下降, 200G 相干 DSP 出货量和市场规模稳定增长。从 2023 年开始, 400G 及以上相干 DSP 开始大规模部署, 成为主要的相干光模块产品。这为铌酸锂调制器业务提供了快速增长的产业机遇。

根据 LightCounting 的预测数据, 2021-2027 年 100G 及以上相干 DSP 市场规模从 8.47 亿美元增长至 21.35 亿美元, 6 年 CAGR 为 16.65%。薄膜铌酸锂调制器适配的 600G 及以上相干光模块 DSP 市场, 有望从 2021 年的 1.31 亿美元, 增长至 2027 年的 9.92 亿美元, 6 年 CAGR 为 40.06%, 薄膜铌酸锂调制器行业具备较高的成长性。

• 铌酸锂调制在 800G PAM4 市场有望实现突破

为有效控制 800G 和 1.6T 光模块的成本和功耗, 光模块厂商积极采用新架构和新器件。OFC 2023 展会, 新易盛和联特科技都推出了采用薄膜铌酸锂 (TFLN) 调制的 800G 产品, 其中新易盛最新的基于薄膜铌酸锂 (TFLN) 调制器的 800G OSFP DR8 模块搭配集成 TIA 的 5 纳米 DSP 芯片, 功耗仅为 11.2W, 处于行业领先地位, 为 800G 光模块树立了新的标准。

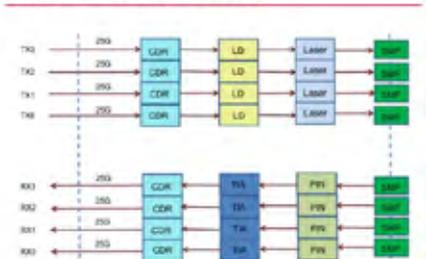
根据 LightCounting 预测数据, 从 2022 年开始全球 800G 以太网光模块出货量有望超过 15 万片, 并在 2023-2025 年快速增长。2023-2025 年 800G 以太网光模块全球市场份额分别达到 4.25%/9.87%/18.98 亿美元, 分别同比增长 133%/132%/92%。

五、AWG 芯片在数据中心市场的竞争优势

• 波分技术下沉: CWDM4 和 PSM4 对比

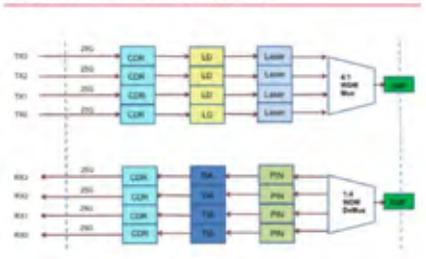
从 100G 光模块开始, 4 通道技术开始普及。单模光纤传输 4 × 25G 光信号, 最早采用的是 PSM4 方案。PSM4 的每个光纤收发器仅需采用一个激光器, 分光四路, 分别经四个调制器输出, 因此节省了光源成本。但是随着传输距离的增加, 光纤成本迅速增加, 因此 PSM4 通常应用于传输距离在 500 米以下的场景。对于传输距离大于 500 米的应用场景, 为了节约光纤成本, 电信网中的 CWDM 技术被引入数据中心, 即为 CWDM4 传输方案, 通过波分复用/解复用器, 在一根光纤中传输 1271nm、1291nm、1311nm、1331nm 四个间隔 20nm 的波长, 这样在两个光纤收发模块之间, 只需两根光纤就可实现双向传输。CWDM4 可支持 4 × 25G 信号传输, 在 500-2000 米传输距离较 PSM4 方案有成本优势。

图表 50: 100G PSM4 光模块架构



来源: 联捷网络, 国联证券研究所

图表 51: 100G CWDM4 光模块架构



来源: 联捷网络, 国联证券研究所

• AWG 作为 CWDM4 组件的竞争优势

最早采用的 CWDM4 组件是基于薄膜滤波片 TFF 的 Z-block 技术，8 个 TFF 滤波片分两组粘贴在一个斜方棱镜上，一组用于波分复用，另一组用于波分解复用，各滤波片的透射波长分别为 1271nm、1291nm、1311nm、1331nm。

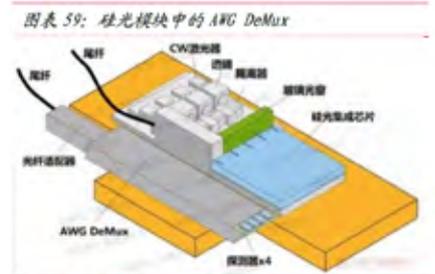
为了简化封装工艺，以减小尺寸和降低成本，人们开发了基于集成光学技术的 CWDM4 AWG 芯片。AWG 是阵列波导光栅的简称，在电信网中早已成熟应用。一个 CWDM4 光纤收发模块中，需要两个 CWDM4 AWG 芯片，一个用于光信号的复用发射，另一个用于光信号的解复用接收。发射端的 CWDM4 AWG 芯片目前主要采用单侧输入 / 输出结构，而接收端 CWDM4 AWG 芯片通常采用两侧输入 / 输出结构。这种设计有两点好处，其一采用多模波导输出，可以实现 AWG 通带谱线的平坦化设计，优化信道质量；其二输出光经 90 度转折后直接入射光探测器阵列，省去了波导阵列与光纤阵列之间的对接耦合，简化了组装工艺。

梳状滤波器 (ITL) 光学梳状滤波器是一种 1×2 端口器件，为了实现 1×4 波分复用 / 解复用，需要通过三个梳状滤波器串并联来实现。有厂商将电信网中的光学梳状滤波器 ITL 技术引入数据通信光模块。实际上，电信网中的光学梳状滤波器，主要面向 DWDM 应用，考虑温度稳定性，通常采用 GTI 谐振腔或者双折射晶体方案，集成光学梳状滤波器无法满足实用条件。

对比可知 Z-block 技术具有损耗低和信道质量好的优点，基于 Z-block 技术的 CWDM4 模块，甚至能支持 100G 信号传输 10 公里。但是该技术的工艺难度高，制

造成本居高不下。AWG 技术的损耗最大，信道质量最差，但工艺难度和成本最低，满足数据中心市场降成本的诉求，正在逐步替代 Z-block 技术的市场。ITL 技术具有媲美 Z-block 技术的信道质量，损耗也比 AWG 小得多，组装工艺难度与 AWG 相当，目前的问题是芯片良率偏低。

随着硅光模块技术发展，发射端一般实现 MUX 的集成，而接收端采用 AWG DeMux+探测器的形式有望成为主流方案，AWG 的应用将更加广泛。



来源：立鼎产业研究院，国微证券研究所

六、FTTR 元年，非对称 PLC 芯片开始规模部署

• 中国市场主导 PLC 产业发展

中国是全球最大的 PLC 分路器芯片生产地区，占有大约 85% 的市场份额，之后是韩国。按产品类型拆分，1xN 是最大的细分市场，市场份额超过 60%，最大的应用市场是 FTTH 和 PON 系统。PLC 分路器芯片是指将 PLC 分路器晶圆经切割成巴条、抛光后切割成的单个芯片。根据《2022 年全球及中国 PLC 分路器芯片行业头部企业市场占有率及排名调研报告》，PLC 分路器芯片 (PLC Splitter Chip) 核心厂商包括深圳市砺芯科技有限公司、河南仕佳光子科技和鸿辉光通等，前三大厂商占有全球超过 80% 的份额。根据 QY research 数据显示，2021 年全球 PLC 分路器芯片市场规模达到了 1.73 亿元，预计 2028 年

将达到 3.22 亿元，年复合增长率 (CAGR) 为 15.5%。

• FTTR 商用，非均分方案成新增量

随着 FTTR 光纤到房间的需求兴起，非均分功率的光分路器应用将愈加广泛，且工艺难度也将更大。2022 天翼数字科技生态大会主论坛上，华为轮值董事长徐直军预计 2025 年 FTTR 渗透率将达到 8%，2030 年将达 31%。FTTR 采用 1 个主光猫和多个从光猫进行室内 WiFi 覆盖，主、从光猫间采用蝶形光缆或隐性光缆连接，具备以下优点：(1) 蝶形光缆或隐性光缆较 6 类线容易布放，隐性光缆布放时基本不影响室内美观；(2) 千兆用户任一光猫附近的最高网速均可达千兆；(3) 网速稳定，终端在光猫间切换平稳；(4) 光纤的寿命超过 20 年，带宽几乎是无限的。由于 FTTR 的以上优势，目前，运营商提供的全屋 WiFi 覆盖方案正从之前的子母路由方案调整成 FTTR 方案。FTTR 的两种技术方案中，其中 P2MP 方案接入能力，甚至可用于小微企业的内部组网，以及宾馆、饭店、商超等更大规模用户群的接入。该方案中，1:5 的不等比分光器的多级级联方法，也可以使用在农村等低密度接入场景。

七、400G/800G 光模块带动高端连接器需求增长

根据 LightCounting 预测数据，随着 400G 部署增加，400G SR、400G DR 光模块对应的高速连接器需求同步增长。

400G 光模块对应多种链接方式。两端 400G QSFP-DD SR8 光模块可通过 MPO/MTP-16 光纤跳线连接实现 400G 传输。

400G QSFP-DD SR8 光模块可通过 MPO/MTP-16 转 2\*MPO/MTP-8 光纤跳线连接到对端的 200G SR4 光模块。

400G QSFP-DD SR8 光模块可通过 16 芯 MPO/MTP 转 8\*LC 双工分支光纤跳线连接到对端的 50G SFP 光模块。

由于 400G QSFP-DD DR4 光模块的传输距离可达 500 米，且同时支持与 100G DR 光模块互连，因此该模块适用于短距离 400G 与 100G 的互连。400G QSFP-DD DR4 光模块可通过 MPO-12 转 4\*LC 双工分支光纤跳线连接对端 100G DR 光模块。400G QSFP-DD XDR4/DR4+ 光模块为 400G QSFP-DD DR4 光模块的扩展版本，可与 100G FR 光模块互连；因此，该模块可以通过 MPO-12 转 4\*LC 双工分支光纤跳线连接对端的 100G FR 光模块。

## 国产光芯片处于向广阔高端市场进阶的关键节点

国内产业格局为国产光芯片发展基础

### • 光模块企业众多，高端产品行业领先

光芯片的下游客户主要是光模块、光传输系统设备厂商。最终客户以电信运营商和互联网、云计算厂商为主。光芯片产品的导入需要和光模块厂商紧密配合。根据 LightCounting 报告，从 2010 年到 2021 年，国产光模块全球市场份额持续提升，到 2021 年国产光模块全球份额超过 50%。

根据 LightCounting 发布的 2021 年全球 TOP 10 光模块供应商名单，前 7 名中有 5 家中国企业。在 OFC 2023 展会上，中际旭创、新易盛、联特科技等国内厂商均推出了 800G 和 1.6T 光模块。国内丰富

的下游客户资源，有利于我国光芯片产品的迭代升级和产品导入。

### • 全球最大接入网市场，率先启动 FTTR 商用

2022 年 7 月工信部公布的《对十三届全国人大五次会议第 6332 号建议的答复》，提出加强数字家庭、智能建筑建设规范和综合布线技术要求等标准研制，推进基础电信企业加快 FTTR 商用步伐，推动光纤进一步向用户端延伸。中国信息通信研究院总工程师敖立提出，运营商 2023 年 FTTR 用户发展指标是达到 200 万量级。目前三大运营商都有省份推出了商用套餐，FTTR 发展迅猛。2023 年 2 月 16 日，中国电信发布《中国电信 2023 年家庭 FTTR 设备集中采购项目常态化检测报名公告》。公告显示，中国电信已启动 FTTR 设备集团级采购，此次采购是三大运营商第一次集团级 FTTR 设备采购，FTTR 发展预计进入规模期。

### • 全球领先的波分通信产业

我国三大运营商建设了全球最大的 DWDM OTN 网络，2022 年三大运营商率先开始 400G OTN 骨干网商用测试。华为、中兴、烽火等企业占据全球市场优势份额。根据 Omdia 2022 年第一季度的 100G+ 相干光设备端口报告，400G 端口出货量快速增长，而华为在 2022 年第一季度以 35% 的份额领跑全球 400G 波分市场。中兴、烽火也在同步推出 400G 波分产品，这为国产薄膜铌酸锂芯片和调制器产品提供了良好的下游客户资源。

### 国内光芯片产品开始向高端市场进阶

#### • 国产占优势的 PON 市场增速放缓，需要继续深耕高价值产品

从此前的分析数据可以看出，全球

10G PON 产品的发货量持续增长，但是市场空间持续下降。作为上游的光芯片产品，同样会面临降价压力。目前国产光芯片 10G 1270/1310/1490 DFB 光芯片已经确立竞争优势。

图表 71: PON 网络光模块和光芯片应用数量对比图



来源：源杰科技、海思半导体

根据源杰科技招股说明书，10G PON 下行 1577 EML 光芯片，由于需要提供更 大的传输功率、更远的传输距离、更小的信号噪声，使得光信号传输质量更高，相关芯片设计与工艺开发复杂，国产化率低，仅博通、住友电工、三菱电机等国际少数头部厂商能够批量供货，国内光芯片厂商中海信宽带等可以部分实现自产自用。

### • 25G 光芯片是国产光芯片进入数通市场的关键

根据 ICC 预测，2019-2024 年，中国光芯片厂商销售规模占全球光芯片市场的比例将不断提升，且产品结构不断升级。10G、25G 及以上光芯片有较大的提升空间。25G 及以上光芯片方面，随着 5G 建设推进，我国光芯片厂商在应用于 5G 基站前传光模块的 25G DFB 激光器芯片有所突破，数据中心市场光模块企业开始逐步使用国产厂商的 25G DFB 激光器芯片，2021 年 25G 光芯片的国产化率约 20%，但 25G 及以上光芯片的国产化率仍较低约 5%，目前仍以海外光芯片厂商为主。目前国内光芯片企业积极开发 25G 光芯片产品，源杰科技、光迅科技、仕佳光子、海信宽带等企业都有相关业务布局。其中源杰科技在其招股说明书中指出，公司的 25G CWDM 4/LWDM 4 波段 DFB 激光器

芯片，基本优于或达到同行业先进竞品水平，能够满足下游客户的需求。

25G 是数通市场破局抓手，50GEML 是未来市场份额提升关键。因为 400G 和 800G 光模块相继进入规模部署期，50G PAM EML 广泛用于单通道 100G 的 100G/200G/400G 光模块，目前主流的 800G 光模块也采用了 8×100G 的架构。

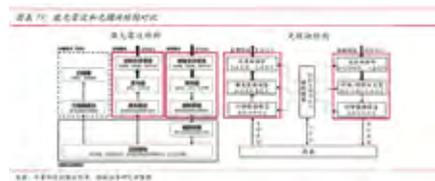
**• 产业链自主可控，薄膜铌酸锂破有望破局**

由于铌酸锂市场空间有限且进入壁垒高，目前主要有日本富士通、住友，我国光库科技等铌酸锂调制器厂商。其中，富士通 2020 年占据传统铌酸锂约 70% 的全球市场份额。根据《2018-2022 国家光电子产业路线图》到 2022 年铌酸锂芯片和调制器市场占有率超过 30%。目前上游铌酸锂薄膜材料已经由济南晶正突破并掌握全球主要供应份额，国内薄膜铌酸锂产业链已趋于成熟。我国薄膜铌酸锂领域国内已达领先水平，形成完整的产业链布局。

2022 年光库科技已经发布了两款相干调制器和两款强度调制器产品。OFC2023 光库科技展示了两款产品：C+L 70GHz 强度调制器（AM70）和薄膜铌酸锂强度调制器结合了超高的带宽（> 70 GHz）和小体积的特点，可以满足模拟信号光纤传输应用中不断增长的带宽需求，提供更合适的解决方案。可提供定制化服务。C+L 波段 96 GBaud 高带宽相干驱动调制器（HB-CDM-96G）产品具有超高的带宽（> 70 GHz）和更小的体积，能使用在高达 96 GBaud 波特率相干传输中的不同调制码型（如 DP-QPSK, DP-16QAM 和 DP-64QAM 等）。

**横向拓展，积极开拓激光雷达第二曲线**

激光雷达是光器件行业进行横向拓展的重要方向。激光雷达主要由发射模块、接收模块、扫描模块、信号控制及处理（主控）模块四个部分构成。其中，硬件电子模块占激光雷达的 BOM 成本最大，约为 50%-60%，主要包括发射器和接收器，是实现光电转换的重要基础。同样，光发射组件与光接收组件也是光模块进行光电转换的重要部分。另外，光学模块和结构模块分别占激光雷达总成本的 10%-15% 和 25%。



激光雷达产业链上游包括激光器、探测器、芯片、其他结构部件；中游是各种形态的激光雷达，包括机械式激光雷达、半固态激光雷达和固态激光雷达；下游即各大 Tier1 车厂以及整车厂商，主要用于 ADAS 辅助驾驶系统以及高级自动驾驶。



2021 年以来，越来越多的车厂将激光雷达应用到汽车自动驾驶领域，来自中国的造车新势力，小鹏、蔚来、长城、理想等也开始在自家车型中搭载激光雷达。激光雷达“上车潮”将促进激光雷达在汽车领域的应用。

根据 Yole 发布的《2022 年汽车与工业领域激光雷达应用报告》显示，2022-

2027 年，激光雷达整体市场将以 22% 的 CAGR 增长，到 2027 年市场规模将达到 63 亿美元；ADAS 激光雷达市场规模在 2022-2027 年 CAGR 为 73%，市场规模将从 2021 年的 3800 万美元增至 2027 年的 20 亿美元，成为激光雷达行业最大的应用领域。

随着中国无人驾驶领域的发展、智能化技术的持续应用和升级，激光雷达市场规模也不断扩张。根据 Frost&Sullivan 的预测，未来中国激光雷达市场将呈现快速增长，到 2026 年，中国激光雷达市场规模将达 431.8 亿元。其中，高级辅助驾驶中激光雷达应用将占据市场大头，受各车厂需求引导，2021 年我国车载激光雷达市场规模达到 4.6 亿元，2025 年市场规模有望达到 54.7 亿元，4 年 CAGR 为 85.8%。

**关注国产光芯片切入高端市场带来的增长机会**

通过测算，PON 和 5G 中回传市场保持对 10G 光芯片需求的快速增长，2022 年 10G 光芯片市场规模约 2 亿美元，且呈下降趋势。而根据 Omdia 对数据中心和电信场景激光器芯片的预测，2019 年-2025 年，25G 及以上速率光模块所使用的光芯片整体市场空间将从 13.56 亿美元增长至 43.40 亿美元，年均复合增长率将达到 21.40%，2025 年市场空间折合约 290 亿元。随着 25G 国产光芯片量产，2023 年国产光芯片有望切入百亿规模的数通光芯片市场。随着 400G/800G 光模块需求放量，高效连接器，AWG 无源芯片、薄膜铌酸锂调制器等低功耗器件的需求有望持续增长。我们看好国产光芯片行业从低端市场向高端市场，从电信市场向数通市场，从国内市场向海外市场扩展的机会。

**• 源杰科技**

### 10G-PON 拓高端品类是 10G 光模块增长关键

根据公司招股书及回复意见材料，2020 年公司 10G 1270nm DFB 芯片在出口海外 10G-PON 市场中占近 50% 份额；当前用于 10G-PON 下传的 10G 1577nm EML 芯片国产化率较低，仅博通等国际少数厂商可批量供货，且产品单价远高于公司主力出货的 10G 1270nm DFB 芯片。公司的 10G 1577nm EML 芯片产品推进顺利，未来有望形成批量出货，成为公司光纤接入业务新的业绩增长点。

### 25G 芯片有望助力公司进入广阔数通市场

根据 Omdia 对数据中心和电信场景激光器芯片的预测，2019 年-2025 年，25G 及以上速率光模块所使用的光芯片整体市场空间将从 13.56 亿美元增长至 43.40 亿美元，年均复合增长率将达到 21.40%。2022 年，公司 25G DFB 芯片已通过客户 B1 切入全球知名高科技公司 G 供应链，未来有望进一步开拓直接/最终客户群体；此外公司 50G PAM4 DFB、100G EML 等产品亦在快速推进。25G 以上光芯片，特别是 50G 以上光芯片有望用于 400G、800G 等高端光模块，助力公司进入广阔数通光芯片市场。

#### • 仕佳光子

##### FTTR 元年，PLC 业务迎来新的增长点

2010 年，郑州仕佳与中科院半导体所合作成立仕佳光子。2012 年，公司完成 PLC 分路器芯片的研制，并开始逐步批量供货。2014 年，凭借产能提升和价格优势，仕佳光子成为全球最大的 PLC 光分路器芯片供应商之一。2023 年国内三大运营商开始推动 FTTR 商用，相继进行 FTTR 设备招标工作，有望带动非对称 PLC 这一公司优势产品进入规模部署。

### AWG 芯片同时继续受益数通和电信市场

电信领域，AWG 主要应用于相干 DWDM 通信，公司基于 PLC 工艺平台成功开发 100GHz 48 波、150GHz 40 波 AWG 芯片、100GHz 60 波超大带宽产品，在国产替代需求上升、技术升级的背景下，有望在 2023 年实现批量出货。公司应用于数据中心光模块的 100G/200G AWG 芯片已经实现大批量销售，得到 Intel 等海外厂商认证，是公司当前重要的产品线。随着公司 AWG 芯片向 400G、800G 产品导入，AWG 产品有望量价齐升。

#### • 光迅科技

##### 全链条光通信解决方案提供商

光迅科技是全球领先的光通信器件及系统解决方案供应商，也是我国光电产业稀缺的产品能力覆盖芯片、器件、模块、子系统的全链条供应商。公司前身是我国邮电部固体器件研究所，自 2001 年成立以来，一直专注于我国核心光电器件的研发，多次承担国家重点科研攻关项目。公司产品的各类有源、无源光器件及子系统解决方案全面覆盖接入网、汇聚网、核心网、骨干网等各类电信运营商市场，数通市场产品包括 10G/40G、100G、400G 等各速率光模块解决方案。

##### 无源有源兼备，多领域芯片自给自足

公司通过 2013 年收购海外芯片厂商 IPX、2016 年收购 Almae，获得 AWG、PLC 无源芯片及 InP EML、DFB 有源芯片能力，当前公司 10G 及以下速率光芯片工艺成熟，25G VCSEL、DFB 芯片得到广泛应用。光纤接入领域 10G EML 已经应用于 10G PON OLT 模块中，5G 回传领域 10G/25G DFB 已实现大部分自给，数通领域 25G VCSEL 等也实现自用。

#### • 太辰光

高端需求带动连接器业务快速增长

公司产品矩阵丰富，在光纤连接器领域整体竞争优势突出，是公司最大的业绩贡献来源，与最终客户北美云巨头实现深

度绑定。2022 年伴随下游需求加速回暖，公司积极拓展 MXC 系列新一代高密度连接器等多方面业务，使得公司业绩在 Q2 迎来重要拐点。

### 高速光模块、新能源车相关业务加速推进

公司重点推进 200G/400G 光模块、有源光缆 AOC 及高速线缆 DAC 在内的多款产品，部分型号已具备批量供货的能力。新能源车相关业务方面，公司在光纤传感领域深耕多年，当前正在开发应用于新能源汽车的锂离子动力电池光纤传感产品，有望进一步助力公司拓展未来成长空间。

#### • 光库科技

### 公司大功率切割器业务受益经济复苏恢复增长

公司作为大功率激光器组件的龙头公司，提供光栅、隔离器、合束器、激光头等核心无源组件，其中大功率隔离器产品处于全球领先地位。2023 年疫情之后受益经济复苏，工业用激光器需求有望复苏增长。

### 激光雷达发射组件业务落地加速

公司和全球激光雷达领先供应商 luminar 的合作在珠海光库新厂区落地。2023 年，奔驰、沃尔沃等厂家的高端车型开始搭载 1550 激光雷达。1550 光纤激光雷达配件业务成为公司新的成长曲线。

### 铌酸锂产能落地，薄膜铌酸锂有望破局

2023 年国内运营商 400G 骨干网 OTN 的商用进程加速，薄膜铌酸锂调制器迎来产品导入良机。在 OFC2023 展会上，新易盛、联特科技等厂商展示了基于薄膜铌酸锂技术的 800G 光模块。薄膜铌酸锂芯片和调制器有望在 2023 年完成在 400G OTN 和 800G 数据中心光模块中的导入，实现商用突破。公司国内薄膜铌酸锂调制器产能落地，可以优化成本并有足够的产能增量订单需求。□

# 2023 年 Mini/Micro LED 技术展望

记者：LEDinside Janice

Mini/Micro LED 至今尚未大规模放量，虽不符合预期，但也在意料之中。所幸，量产的彼岸虽仍在远方，但通往彼岸的路径已然逐渐清晰。2022 年，在宏观经济环境逆风之下，Mini/Micro LED 遇挑战、迎新机，无论是产业链的技术和成本问题，还是终端的应用和需求问题，在一定程度上都有种拨开云雾见天日，守得云开见月明的惊喜。

## MiniLED 背光 6 大应用泾渭分明

在新型显示技术中，最先具备规模的是 MiniLED 背光，现已形成覆盖设备、材料、芯片、器件、模组、面板等相对完整的产业链。这些年来，在品牌和产业链的大力推动下，MiniLED 背光产品开拓了丰富的应用场景，包含 TV、Monitor、笔电、平板、车载显示及 VR 智能穿戴设备等消费电子、IT 产品。虽然应用场景丰富多元，但 MiniLED 并非都是最佳选择。

经过多年的市场调研，TrendForce 集邦科技研究副总邱宇彬分析，现阶段，MiniLED 背光 6 大应用可谓是泾渭分明。

笔电和平板应用上，MiniLED 背光的发展表现得有些后劲不足。在这两大应用领域，苹果的风向标作用尤其明显，MiniLED 背光可以说是在苹果的品牌效应影响下，正式进入了笔电和平板两大应用市场，但碍于成本高，苹果近期明显放缓了继续在笔电和平板上导入 MiniLED 背光的步伐。与此同时，来自 OLED 的威胁越来越大。

邱宇彬指出，OLED 厂商今年为了将笔电和平板的经济切割达到更高的境界，已确定了对 8.5 代 OLED 的投资，如此一来，OLED 的成本有望继续下降，MiniLED 背光可能继续处于下风。邱宇彬预测，苹果很有可能在明年的 iPad 上采用 OLED 屏，这就意味着苹果的产品将进入剧烈调整期。此外，在 8.5 代 OLED 调整后，2025 年的苹果笔电也存在选用 OLED 的可能，在这样的背景下，MiniLED 背光在笔电和平板上的发展将较为保守。

TV 应用上，OLED 对于 MiniLED 的威胁相对不那么明显。首先看出货量，2022 年，OLED 电视市场遇到了逆风，出货量约 670 万台，仅年增 0.5%，预测今年



还有可能出现 0.7% 的降幅，出货量约为 630 万台。反观 MiniLED 背光电视，2022 年出货量为 350 万台，年增 65%，预估 2023 年 MiniLED 背光电视出货量将达到 440 万台，年增约 26%。

再看 LCD 的情况，目前仍站稳 TV 面板的主流地位，并持续拉开与 OLED 的价格差，而 MiniLED 作为背光提升了 LCD 电视的对比度、亮度和画质表现，也就相当于提升了 LCD 的竞争力。长期来看，将依托 LCD 面板的成本优势，结合自身技术的不断突破和成本的逐步下探，MiniLED 背光将持续渗透 TV 市场。

Monitor 应用上，目前 OLED 与 MiniLED 背光显示器同样处于初期萌芽阶段，都有较大的增长空间，但实际上，两者在某些方面已有高下之分，这主要体现在供应链上。

在面板供应上，OLED在TV和Monitor应用上共用供应商和生产线，即都采用LG 8代线生产的面板，产能受限；而MiniLED背光显示器供应链产业链完整，尤其是国内市场。从去年的品牌布局来看，据TrendForce数据显示，在全球Monitor市场出货量占比中，国内品牌占据39%，预计今年比重有可能提升到70%。在此背景下，国内品牌在产品推广力道及成本压缩力道上将会有很高的效率，有望带动MiniLED快速渗透Monitor市场。

车载显示应用上，MiniLED在美国品牌凯迪拉克的导入下正式打开了市场，中国品牌也不遗余力地加快MiniLED“上车”的进程。邱宇彬指出，LCD+MiniLED背光方案在可靠性、亮度及对比度上的优势使其成为车载显示的理想选择，能够同时满足行车安全性和驾乘体验的需求。市场布局上，中美品牌先行，欧日品牌跟随。TrendForce预计，2024-2025年之后，日系和欧系品牌将逐步加入MiniLED背光车载显示器的布局阵营。



VR应用上，去年随着Meta发布首款搭载MiniLED背光技术的VR设备Meta Quest Pro，市场对MiniLED背光VR设备的期待值有所拉升。但据TrendForce观察，该设备本身成本高，加上结合了感测元件，最终售价达1649美元，因此市场反馈不如预期。

就MiniLED背光技术自身来说，在VR头戴式设备领域还没有足够的竞争力。一方面，MiniLED目前成本仍处于较高

水平；另一方面，在厚度、轻量化、节能方面，MiniLED不如Micro LED。结合消费购买力及穿戴舒适度两大关键因素，TrendForce对MiniLED背光在这一应用领域的发展持保守看法。

### Micro LED大尺寸好事多磨、小尺寸神来一笔



过去两三年，大尺寸显示屏一直是Micro LED的主流应用，且伴随着较高的市场呼声，但实际进展亦达不到预期的效果。尽管芯片降本路径明朗（预计每年降幅超三成，2024-2025年将达到芯片成本降价的高峰点），但TrendForce同样保守看待Micro LED在大尺寸应用上的发展，具体从两方面分析：其他制程良率和成本之间的关系、成本结构分布和品牌之间的关系。

邱宇彬介绍，Micro LED的成本构成，除了芯片之外，还有其他环节和制程，比如背板。所以，光靠芯片降本不足以拉动整体成本的下降。以三星产品为例，The Wall是由多个模组、箱体拼接而成的Micro LED大型显示屏，采用12.7英寸LCD LTPS制程的基板。虽然LTPS制程简单，但为了实现无缝拼接，基板上需要增加侧边导线等其他制程，而此类工艺的良率目前比较低，对厂商提出了很大的挑战，自然也会产生较高的成本。

再看总体成本结构的分布，根据TrendForce分析，Micro LED成本结构包括五大部分：芯片（28%）、转移/返修

（39%）、背板/驱动（19%）、模压/黑矩阵/组装（11%）、电源/外壳/控制板（3%）。



邱宇彬指出，转移/返修、模压/黑矩阵/组装两大部分的成本占比合计过半，而这两部分的成本均由品牌方承担，这意味着品牌方需要大量的投入、储备和积累。换言之，对于新兴品牌来说，跨入Micro LED大型显示屏领域的学习曲线和生产良率上的经验都会是比较高的门槛。目前，除了韩系厂商之外，其他厂商或许还需要一定时间的酝酿，待积累了生产上的经验之后，才能走上一条相对的健康大道。

与之形成对比的是，Micro LED小尺寸显示器似有超预期发展之势。

数月以来，苹果Apple Watch的动态预测消息不绝于耳。邱宇彬分析，Apple Watch自2015年量产以来，往后的版本主要在尺寸、亮度、显示面积、省电上下功夫，这些皆与Micro LED的特性相契合。

同时，苹果公开的专利显示，后续产品趋向于搭配柔性显示和感测功能。众所周知，各国面临老龄化问题，消费端对日常监测身体状况的需求在不断提高，若手表搭载Micro LED，并结合感测器，就能够让生物监测更加精准、功能更加丰富，这便是Micro LED能够与Apple Watch等智能穿戴设备擦出的火花。

据TrendForce调研，在苹果明年发布Apple Watch之前，其他品牌有望率先

在今年下半年发布搭载 Micro LED 的智能手表，尺寸大约是 1.4 英寸。邱宇彬认为，该产品的发布预计将成为 Micro LED 正式敲开智能穿戴领域大门的起始点。

AR 设备显示也是合适的切入点。为了实现轻薄、透明穿透的效果，目前厂商多选用光波导技术，然而，目前波导对光的转换效率不到 1%。再观察 AR 光引擎技术，Micro LED 在亮度和可靠性方面相比 Micro OLED 有着天然的优势，也因此，全球已形成不少 Micro LED AR 联盟，如 Meta+Plessey，Google+Raxium，Oppo+JBD 等。

可以预见，Micro LED 在 AR 显示领域的应用前景是美好的，但立足当下，Micro LED 在达到 AR 追求的理想效果之前，还需要跨越许多技术障碍，包括全彩化问题、红光芯片的效率问题、芯片材料和结构的选择、巨量转移和检测技术的选择、背板和驱动架构的选择等。

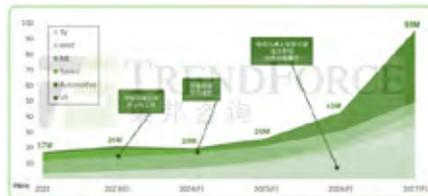
车载显示稍显遥远，但也值得期待。邱宇彬表示，Micro LED 在车载显示领域的可能性体现在未来汽车对透明屏、卷曲屏甚至延伸屏的需求上，观察近些年的展会发现，臻创、友达、群创、天马等面板厂商多次向市场展示了车载 Micro LED 透明屏的无限可能性。即便未来它必然是高成本的产品，但高端汽车整车单价本就极高，对比之下，可以期待整车的高单价有机会稀释 Micro LED 这部分成本带来的负担。

总的来说，Micro LED 新兴应用市场的景象犹如华灯初上之景，蓄势待发。

**前路虽长，犹可期许**

迷雾渐渐散开，道路渐渐明朗，Mini/Micro LED 前路虽长，也终将迎来更进一步的成长。

根据 TrendForce《2023 MiniLED 背光新型显示市场分析报告》显示，2023 年，MiniLED 背光应用产品的出货量将从 2022 年的 1700 万台左右增长至 2100 万台左右。但需要承认的是，苹果 iPad 及 MacBook 对整个市场的走向有着很大的影响，考虑到苹果很大可能从 MiniLED 转向 OLED，TrendForce 预估 2024 年 MiniLED 背光应用产品出货量有所下滑。不过，这将是短期内的乱流现象，2024、2025 年之后，随着成本的下降，更多品牌将导入 MiniLED，预期 2027 年出货量有望达到 7500 万台的规模。



Micro LED 的增长曲线相对没有起伏，未来几年预计保持逐年成长。

根据 TrendForce《2023 Micro LED 自发光显示器成本分析与发展趋势分析报告》显示，2023 年，Micro LED 芯片产值的成长动能仍主要来自大型显示屏，市场规模有望从 2022 年的 1400 万美金左右成长至 3200 万美金左右。2024 年，穿戴设备将在开始量产后成为推动 Micro LED 芯片产值增长的另一个引擎。



展望 2026 年，随着技术与成本进一步成熟，AR、车载显示有望进入发展的快车道，带动 Micro LED 芯片的需求增长。在成本显著下降的基础上，大胆期待 2027 年智能手机也能够为 Micro LED 提供应用的机会。综合考量所有应用场景的可能性，TrendForce 预估 2027 年整体芯片产值规模可达 12.44 亿美金，年复合成长率 146%。总而言之，Micro LED 道路宽阔，应用前景非常值得期待。C

# 千亿市场规模，谁是 OTN 市场背后的技术支持？

来源：知产财经 安知乐



**引**言：随着 5G 移动服务、超高清视频和云计算等应用需求的不断增加，全球光网络 OTN 市场规模持续增长，2022 年 OTN 全球市场约千亿元规模，预计在未来十年 OTN 市场规模将以接近两位数的年复合增长率增长。OTN 的出现使得远距离、海量数据传输成为可能，并可以灵活适配不断出现的新兴网络应用的传输需求。中国厂商华为、中兴、烽火作为 OTN 市场的主要参与者，持续引领业界创新，推动光网络产业不断发展。

## 高速的光通信，灵活的 OTN

即时通讯、流媒体、云游戏、元宇宙、人工智能等新兴应用正不断涌现并刺激着人们对更高清、更流畅、更智能的用户体验的

需求，极大地便利和丰富了人们的日常生活。而无论是 5G、8K，还是 ChatGPT，这些新兴网络应用的实现都必须依赖于高速的通信网络。正是由于近几十年来通信传输效率的指数级提升，才使得海量数据的远距离传输、集中处理成为可能。而使得通信传输效率激增的关键就是光纤通信。

为了提高数据传输效率，适应日益增长的网络数据和数据类型，光纤通信在技术发展过程中一直坚持做两件事：第一，把路修宽，建高速公路；第二，繁简分流，提高交通枢纽节点效率。为了把路修宽，光纤通信采用了波分复用技术（WDM），在同一根光纤中同时让多个光波长信号通过不同光信道各自传输信息，从而实现拓宽路面，减少数据拥堵的情况。到现在，单根光纤传输速度已

经高达数十 Tb/s(相当于一秒能同时传输上万部高清电影)。在路宽了的基础上,为提高传输效率,让各种类型的数据包都走对路,走最近的路,国际电信联盟标准化部门(简称ITU-T)在不断地更新以G.709为核心的光传输网络OTN接口标准。简单来说,G.709是一种高效的数据封装技术,定义了数据分类、数据整合、数据打包、数据分流等协议,提高了数据传输效率,并能够兼容传输更多类型的数据,适应多元化的网络应用数据,灵活的进行数据传输。

可以说,如果没有光纤通信,任何远距离的数据传输都无法实现,没有城域网、没有广域网、没有互联网;而如果没有OTN,多元数据的慢速传输、传错、传丢,将用卡顿、掉线、加载中摧毁每一个终端用户的体验感。

### OTN 系列标准的迭代和主要贡献者

90年代,光纤通信采取的是同步数字系统SDH标准。后来,随着网络技术的发展,SDH标准已经无法有效地应对数据速率的指数式增长,如40G及以上的传输速率。为了解决这个问题,ITU-T开始研发制定新的标准——OTN。到目前为止,OTN标准已经经历了六次重大修订,并进一步衍生出G.709.x标准系列。

2001年,ITU-T发布了第一个版本的OTN标准(G.709 1.0),主要针对语音业务。随后,互联网兴起,数据类型也呈多样化发展,OTN作为传输网络也持续演进,其标准也持续地迭代更新,定义了多业务传输机制。2009年10月,ITU-T发布第三版的G.709标准(G.709 3.0),采纳了华为提出的多个提案(例如ODU0, GMP, ODU4),并采纳了中国移动、中国电信等的建议,拓展了OTN业务的适用范围,添加了新的客户信号。之后,ITU-T又陆续发布了多个G.709标准版本,以持续满足不断出现的新型业务以及更大传输带宽的需求。例如,2016年发布了第五版G.709标准(G.709 5.0),新增了灵活的超100G速率技术;2018年发布了灵活超100G接口FlexO标准(G.709.1);2020年发布了第六版G.709标准(G.709 6.0)<sup>[1]</sup>。

从OTN标准的演化进程可以看出,华为在OTN标准第二版发布后不久就介入到标准的制定工作中,为OTN标准的演进贡献了诸多关键技术方案,引导着OTN标准的演进方向<sup>[2]</sup>。中兴、烽火、中国移动、中国电信和中国联通作为光纤通信产业的重要成员,也陆续参与到OTN国际标准制定工作中<sup>[3][4]</sup>。近年来,中国企业联合提出的OTN小颗粒技术方案成为了下一版标准的制定基础<sup>[4]</sup>。

近期,美国IP方案服务商TT consultants发布了一份《OTN G.709标准系列相关专利概况》报告<sup>[5]</sup>。该报告以712个专利家族作为分析基础,梳理出2022年12月25日前OTN G.709标准领域的专利情报。该报告也印证了华为、中兴和烽火等中国企业在OTN领域的重要地位和技术贡献。

从专利申请的数据来看(见图1),华为(中国,30.62%)、中兴(中国,17.98%)和Ciena(美国,9.13%)是OTN G.709系列相关专利申请的主要专利权人。排名第四到十位的是烽火(中国,8.57%)、Fujitsu(日本,8.43%)、Cisco(美国,3.65%)、Infinera(美国,2.94%)、NTT(日本,2.81%)、Ericsson(瑞典,2.39%)和Nokia(芬兰,1.97%)。



图1 持有对 G.709 标准系列可能至关重要的专利的前 10 家公司的份额

从专利申请类别来看,G.709标准系列涉及的技术主要是映射/多路复用,帧格式/结构和开销。不管是在哪个技术类别上,华为和中兴的专利申请数量都是排名第一、第二的(见图2)。

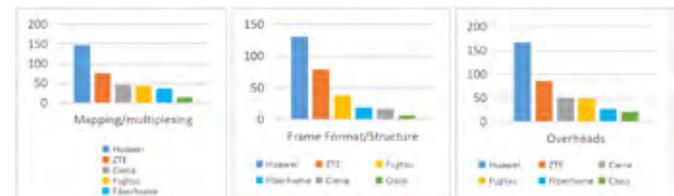


图2 不同技术类别专利申请数量排名前 6 位公司的份额

该报告还从涉诉、无效、引用次数、申请速度、专利年龄、地理覆盖率六个维度分析了华为、中兴、Ciena、Fujitsu、烽火五位专利权人的专利价值。从图3可以看出,五位专利权人的专利平均年龄都相对较低(专利申请日后5-9年不等),这表明OTN领域的竞争者都在积极申请新的专利,并寻求在各自的技术领域保持最新的技术水平。华为的涉诉专利、被异议专利的数量最多,这表明华为的专利是被竞争者视为价值高,有威胁的专利。同时,华为、Ciena专利的被引用次数相对较高,这表明其专利在本技术领域的

影响力大，引导着本领域技术的发展方向。

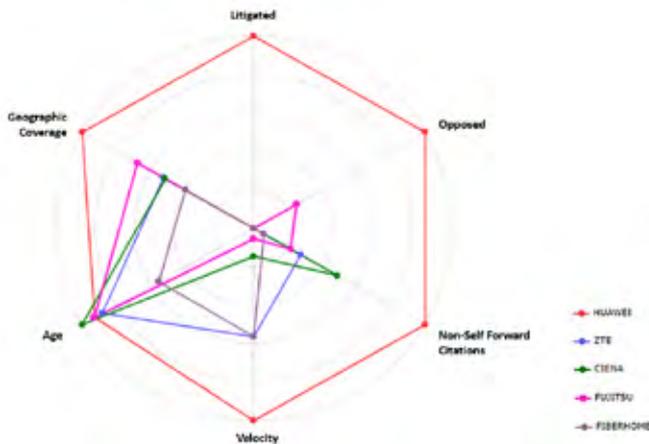


图 3 专利权人的影响力

## OTN 市场的格局与未来

OTN 市场增长的主要驱动力来自于电信行业的增长以及基于多媒体服务、社交媒体、VoIP、移动应用程序和云计算的数字流量的扩展，而伴随着 5G 移动网络服务的出现，无线基础设施的不断发展为 OTN 市场创造了巨大的增长机会。目前，OTN 技术已经在骨干网、城域网和区域网以及数据中心互连等方面广泛部署。2022 年 OTN 全球市场约千亿元规模，预计在未来十年 OTN 市场规模将接近两位数的年复合增长率增长；与 OTN 领域专利创新情况相对应的，华为、Ciena、中兴、烽火和诺基亚稳居 OTN 全球市场份额前五。

与此同时，政府和金融机构、医疗等垂直行业对更高带宽应用的需求不断增加，对更可靠服务的要求，也推动了市场的增长，如“东数西算”项目<sup>[6][7]</sup>。2021 年的政府工作报告中首次提出加大 5G 网络和千兆光网的建设力度，丰富应用场景。由此，千兆光网正式上升为国家战略，政府出台了系列政策全面推进千兆光网的发展，而“千兆光网 = 千兆接入 + 全光传送 + 应用场景”的内涵也形成了业界广泛共识。在全光传送网的建设方面，工信部在 2022 年 3 月印发的《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023 年）》中明确提出了引导 100G 及以上超高速光传输系统向城域网的下沉。在 4 月份中国信通院进一步提出建议定义 OTN 网络评价指标为“OTN 光节点密度（站/万人）”。5 月 17 日，广西的双千兆行动计划中则明确提出了 2023 年广西 OTN 光节点密度将达到 0.83 站/万人的目标<sup>[8]</sup>。再如，山东省通信管理局正式发布

《山东省“双千兆”网络协同发展行动方案（2021-2023 年）》和《山东省信息通信业“十四五”发展规划》，计划中明确指出，加速 100/200Gbps 及以上超高速光传输系统向城域网下沉，光传送（OTN）节点进一步向网络边缘延伸，并提出到 2023 年底每万人拥有的 OTN 站点数达 1.2 个的目标<sup>[9]</sup>。伴随产业数字化、网络技术创新、区域经济圈的深化发展，OTN 下沉的产业政策共识已初步达成，呈现出了强劲的发展驱动力。

OTN 已经成为传送网的主流技术，并会不断与新技术进行融合，满足电信网络和垂直行业业务发展的需要，以华为为代表的中国厂商，无论是在 OTN 标准制定、还是商业化市场上，都已经成为全球光网络领域的领导者，在这块全球通信厂商的必争之地占据了优势地位，并持续引领业界创新，推动光网络产业向前发展。

## 参考文献：

- [1]<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.709/en>
- [2]<https://cloud.tencent.com/developer/news/459763>
- [3]<http://www.c114.com.cn/news/126/a1046095.html?>
- [4]<https://www.c114.com.cn/news/118/a1211259.html>
- [5]<https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=505e2744-fa3b-4fe6-8e1b-3280cc2b3e56>
- [6]<http://www.cww.net.cn/article?id=475071>
- [7]<http://data.mofcom.gov.cn/upload/file/02.pdf>
- [8]<http://www.cww.net.cn/article?id=487600>
- [9][https://sdca.miit.gov.cn/zwgk/txfz/art/2021/art\\_517eda\\_b8432342698e26b1f34da5dba3.html](https://sdca.miit.gov.cn/zwgk/txfz/art/2021/art_517eda_b8432342698e26b1f34da5dba3.html)

# 整明白了！红外技术在智能汽车领域有这些应用场景

文章来源：CIOE 中国光博会

**作** 为一项应用范围广泛的高新技术，红外成像技术在**医学、汽车、能源、安防**等领域都有深入的应用。本文将从外部感知、内部监控等方面带大家深入了解红外在智能汽车领域的应用。

## 外部感知 (增加安全冗余, 提前预判危险)

随着汽车车速的不断提高，汽车交通事故经常发生，特别是在夜间、下雨、下雪、雾霭等低能见度的天气下行驶，更是造成交通事故贫乏的主要原因。据统计，虽然夜间行车在整个公路交通中只占四分之一，但有 55% 的交通事故却是在夜间发生的。

根据查询相关公开信息显示，2022 年中国机动车驾驶人 5.02 亿人，中国交通死亡人数 61703 人，中国交通事故受伤人数 250723 人，差不过每七分钟车祸死亡 1 人，每 1 分半车祸受伤 1 人，交通安全道阻且长。随着智能汽车的发展，ADAS (Advanced Driver Assistance System, “高级驾驶辅助系统”) 市场快速成长。ADAS 利用安装在车上的各式各样传感器收集数据，并结合地图数据进行系统计算，从而预先为驾驶者判断可能发生的危险，保证行车的安全性。车载摄像头是 ADAS 不可或缺的传感器之一。

常见车载 ADAS 传感器有光学摄像头、激光雷达、毫米波、红外热像仪、超声波等。

在某些场景红外技术有独特的优势：

**(1) 夜间:** 红外热成像不依赖可见光，在夜间探测不受影响。

**(2) 雨、雪、雾、扬尘天气:** 各物体温度差异，因此在特殊天气下红外技术不受影响。

**(3) 远距离探测:** 根据轩辕智驾官网资料显示，红外探测器检测距离可达 400 米，是汽车远光灯照射距离的 1.5 倍，不受烟雾、阳光、炫光等的影响。

**(4) 盲区 / 隐蔽物探测:** 由于不同物体的温度不同，所以红外热像仪能识别生命体，减小遮盖物对行人 / 隐蔽物识别的影响，从而预防意外的发生。



红外热像仪识别被遮挡的行人

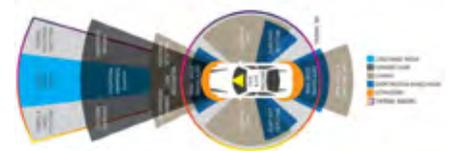
\* 来源: FLIR 官网“WHY ADAS AND AUTONOMOUS VEHICLES NEED THERMAL INFRARED CAMERAS”, 海通证券研究所

| 优势                                                                                                                                                                                                  | 劣势                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>光学摄像头</b><br>成像清晰度高，能识别物体的物理位置信息<br><b>多种摄像头</b><br>分辨率不同，不受光照影响，能够在夜间、雾天环境下工作<br><b>激光雷达</b><br>分辨率高，可探测物体，可实现 3D 成像<br><b>毫米波雷达</b><br>全天候全天候，穿透力强，可探测物体位置<br><b>超声波</b><br>精度高，一般用于近距离探测，测距准确 | 易受强光干扰影响，阳光直射环境下无法探测物体位置<br>探测精度低，没有垂直测量能力<br>无法探测透明物体和无法探测到物体、障碍物、雨雪雾、沙尘等环境和强光下障碍物探测<br>分辨率低，精度差，噪声大，易误判，需大量数据中筛选有效目标<br>探测距离短，探测精度低 |

### 常见车载辅助驾驶传感器功能对比

\* 来源《第一本无人驾驶技术书》刘少山著，《一种面向智能驾驶的毫米波雷达与激光雷达融合的鲁棒感知算法》党相卫等著，《基于红外视觉 / 激光雷达融合的目标识别与定位方法》郑欣悦著，《第一本无人驾驶技术书》刘少山著，轩辕智驾官网，维科电子工程网，海通证券研究所

出于鲁棒性考虑，车载 ADAS 往往不会采用单一传感器，红外热像仪的加入能为传感器模组增加冗余度及可靠性，为汽车在复杂环境中安全行驶保驾护航。



车载红外探测器为 ADAS 传感器模组提升性能和可靠性  
\* 来源: FLIR 官网“WHY ADAS AND AUTONOMOUS VEHICLES NEED THERMAL INFRARED CAMERAS”, 海通证券研究所

## 内部监控 (车内人物监测, 保障环境舒适和人员安全)

除监控外部环境外，红外也可应用于车舱内感测系统。

### • 驾驶员监控

驾驶员监控系统 (driver monitoring system, DMS)，其监控的目的是发现驾驶员走神 (distraction)、疲劳 (fatigue) 或者打瞌睡 (drowsiness)，甚至出现无法驾驶的意外情况，比如欺骗辅助驾驶系统用矿泉水代替双手在方向盘上，或者与乘客争吵打架等。

非侵入式 (non-intrusive) 方法是监测的首选方法，而基于视觉的系统更具有吸引力。主要的视觉线索包括面部特征、手特征或身体特征。

一个驾驶员面部监控系统是基于驾驶

员面部图像处理来研究驾驶员身心状况的实时系统。可以从眼睑闭合、眨眼、凝视方向、打哈欠和头部运动等，检测到驾驶员状态。

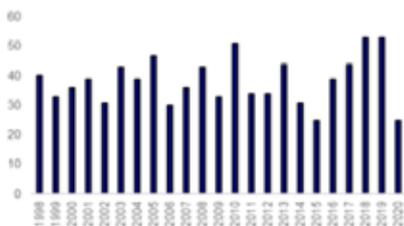
红外光谱成像是眼睛检测的重要方式之一，它在出现遮挡或光照变化时，不容易被干扰，另外，因为疲劳通常会伴随体温升高，突发急病或情绪激动也会引起体温变化，所以从鲁棒性角度考虑，红外光谱成像 + 普通视觉检测方式是 DMS 系统的上佳之选。



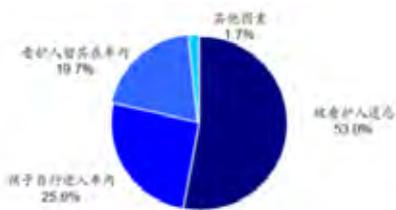
威盛 DMS

• 乘员状况监测

普通的伪装是以防可见光观测为主，因此在安检设备中增加红外热成像有利于于部分隐蔽物的识别和发现，从而预防和减少犯罪。



美国 1998-2020 儿童车内高温致死数量 (人)  
来源: NoHeatStroke, 海通证券研究所



美国 1998-2020 儿童车内高温致死原因  
来源: NoHeatStroke, 海通证券研究所

• 车内温度监测

接着上一点的乘员状况监测，红外技术还可以用于车内温度监测，与智能座舱结合，及时给车主发布车内安全预警，如果车主无法及时赶到车旁解救被遗忘的宠物和儿童，也可以通过远程控制打开车内的空调系统，防止车内温度过高造成的乘员安全事故。另外，在用车前，车主也可以提前打开车内空调，减少车内温度过高 / 过低、空气混浊带来的不适，提高用车效率。

• 防止可疑入侵

红外技术可以识别车旁的可疑人物，并在他们出现入侵行为的时候发出警报，防止可以入侵，搭配行车记录仪和车内监控系统让犯罪分子无所遁形。

代表企业及产品

• 烟台睿创微纳技术股份有限公司

睿创微纳 (股票代码 688002) 是领先的、专业从事专用集成电路、特种芯片及 MEMS 传感器设计与制造技术开发的国家高新技术企业，具备多光谱传感研发、多维感知与 AI 算法研发等能力，为全球客户提供性能卓越的 MEMS 芯片、ASIC 处理器芯片、红外热成像与测温全产业链产品、激光、微波产品及光电系统。



IR-Pilot 系列汽车红外热成像夜视仪

• 天津航技术物理研究所

天津航技术物理研究所成立于 1956 年，隶属于中国航天科工飞航技术研究院，是国内最早建立的国防红外工程技术研究机构，拥有国内一流的光电产品研发和生

产条件，具备航天用光电装备的快速研发能力和系统级光电产品的规模化敏捷制造能力，是国防和航天领域有重要影响力的光电工程技术研究所。



车载夜视辅助驾驶系统

• 武汉高芯科技有限公司

高芯科技掌握了红外热成像技术的核心——红外焦平面探测器，致力于为全球红外热成像用户提供专业的非制冷和制冷红外探测器、机芯及应用解决方案。



非制冷红外探测器



TWIN 系列非制冷红外标准机芯

\* 仅展示部分产品，持续更新中 ...

# 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<sup>1,2</sup>, 樊金宇<sup>2</sup>, 蒋天亮<sup>1,2</sup>, 唐宁<sup>1,2</sup>, 史国华<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230026

<sup>2</sup> 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<sup>[1]</sup>。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应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<sup>[2-3]</sup> 以及依赖特定化学物质<sup>[4]</sup> 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<sup>[5]</sup>。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<sup>[6]</sup>。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<sup>[6-7]</sup>, 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<sup>[8-9]</sup>, 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<sup>[10-14]</sup>。

OCT 于 20 世纪 90 年代中旬被首次报道用于眼科手术的术前规划和术后观察<sup>[15]</sup>, 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<sup>[16-18]</sup>。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<sup>[19-21]</sup>, 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<sup>[22]</sup>，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<sup>[23]</sup>，该技术基于低相干光干涉原理，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)<sup>[24]</sup>。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<sup>[25]</sup>。

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 190s<sup>[26]</sup>。后续的 TD-OCT 中引入了可旋转的立方体反射镜系统<sup>[27]</sup>、高灵敏度的干涉接收器<sup>[28-30]</sup>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)<sup>[31]</sup>，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<sup>[28]</sup>。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<sup>[7, 32]</sup>，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<sup>[33]</sup>。

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<sup>[32, 34]</sup>。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<sup>[35-36]</sup>。

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<sup>[28, 31, 36]</sup>。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

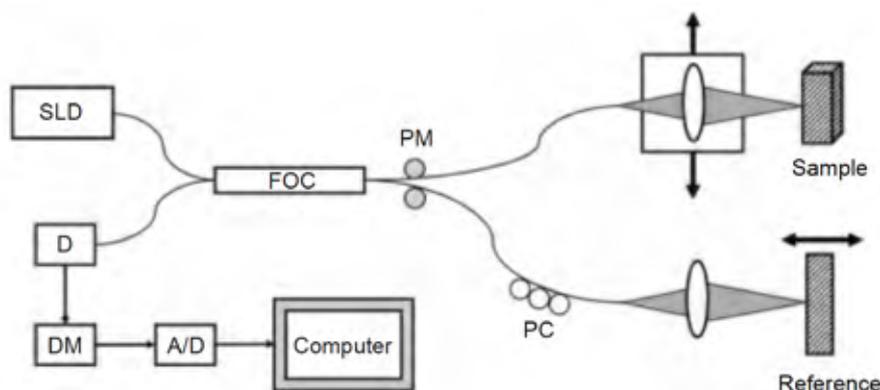


图 1 时域 OCT 系统示意图。SLD: 低相干光源; FOC: 光纤耦合器; PC: 偏振调制器; PM: 相位调制器; D: 光电探测器; DM: 解调器

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<sup>[26]</sup>。

### 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 (Handheld OCT, HHOCT) 应运而生<sup>[28, 37]</sup>。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<sup>[38]</sup>,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<sup>[39]</sup>。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<sup>[40]</sup>。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<sup>[41]</sup>,并且其非接触式的特点适用于微创手术的术中导航。

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<sup>[42]</sup>。2001 年, Radhakrishnan 等设计了一种基于振镜的眼科 HHOCT (图 2(a))<sup>[41]</sup>。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

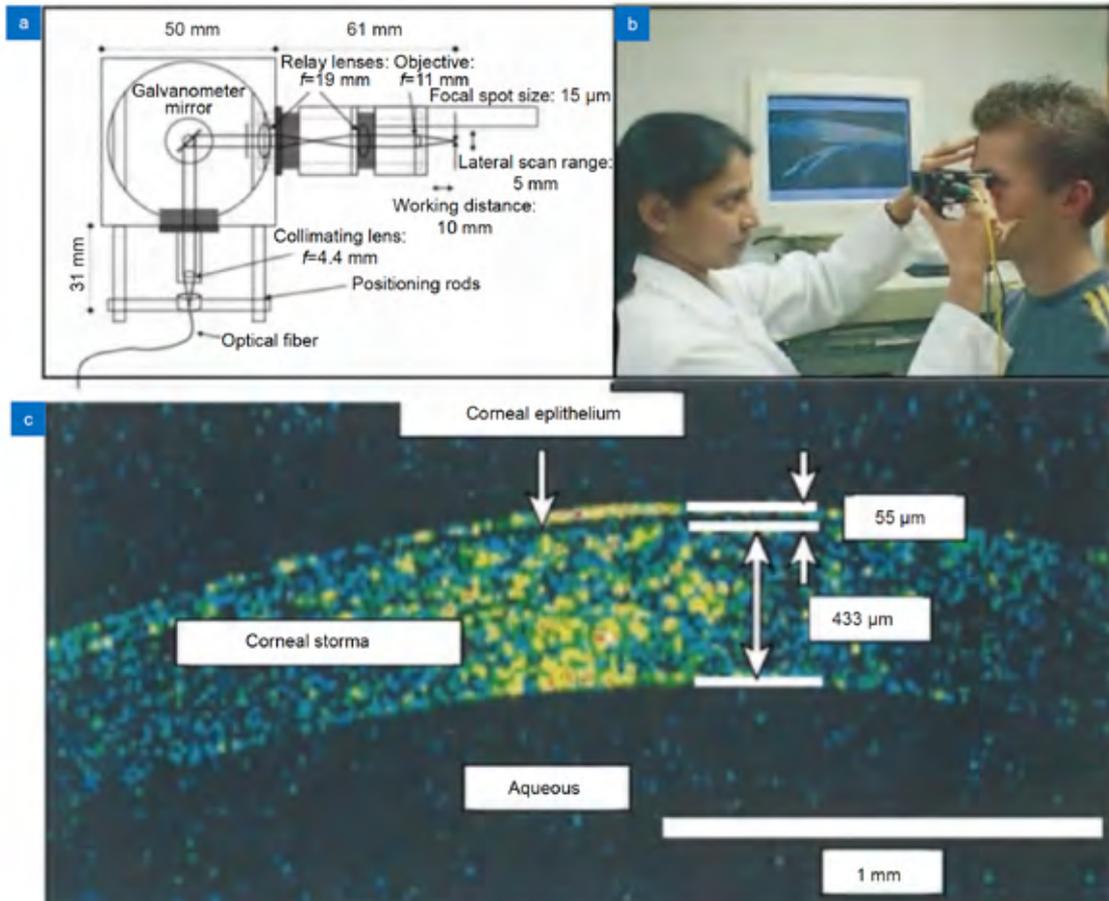


图 2 Boppart 等研发的 HHOCT 探头<sup>[39]</sup>。(a) HHOCT 探头结构; (b) 使用 HHOCT 探头扫描眼部; (c) 角膜的实时 OCT 成像

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 Biotigen 公司商业化了一款同样使用振镜的眼科 HHOCT 探头<sup>[43]</sup>。Biotigen HHOCT 探头被首次用于儿童、婴儿眼部成像<sup>[44]</sup>, 并于 2009 年被引入临床眼科手术进行中成像<sup>[45]</sup>。此后, 类似的 HHOCT 也相继被开发并用于眼科手术<sup>[46-48]</sup>。

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<sup>[42]</sup>。为了提高 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<sup>[49-51]</sup>。

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<sup>[52-53]</sup>。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))<sup>[42]</sup>。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<sup>[54-55]</sup>。

### 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<sup>[3, 56]</sup>。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<sup>[56]</sup>。2013 年, Joos 等设计了 25G(外径 0.51 mm) 薄壁 HHOCT 探针



图 3 二维 MEMS 扫描镜<sup>[50]</sup>。(a) 扫描示意图;(b) 封装后的 MEMS 扫描镜

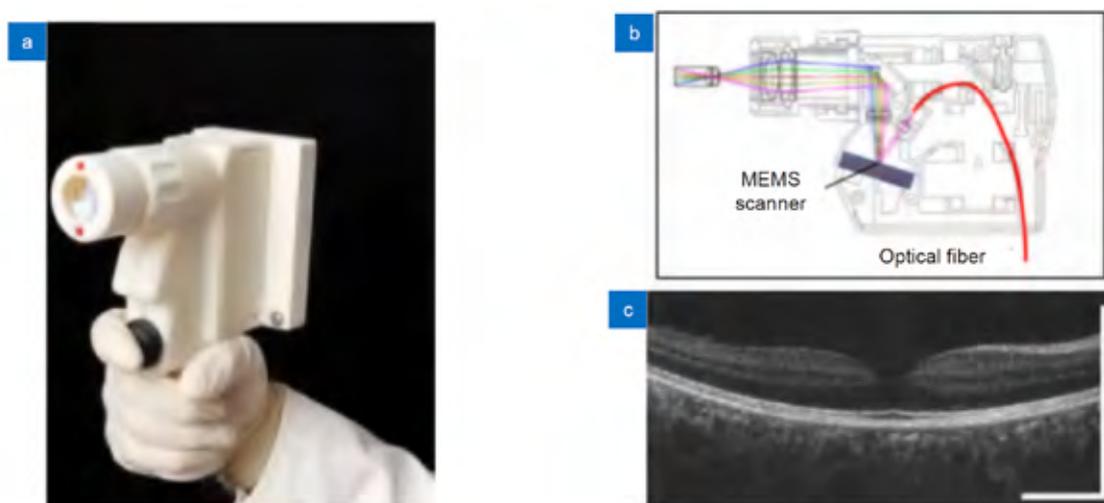


图 4 Lu 等研发的 HHOCT 探头<sup>[42]</sup>。(a, b) 探头外观及结构;(c) 使用 HHOCT 得到的眼底黄斑区图像

<sup>[57]</sup>(图 5(a)), 该探针将一根直径为 125  $\mu\text{m}$  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 <sup>[56]</sup>(图 5(d), 5(e), 5(f)), 完成了对离体猪眼、兔视网膜组织的成像, 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。

### 3.3 OCT 集成手术器械

使用 HHOCT 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 <sup>[58]</sup>, 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 <sup>[58-60]</sup>。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))<sup>[58]</sup>。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电使用 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,

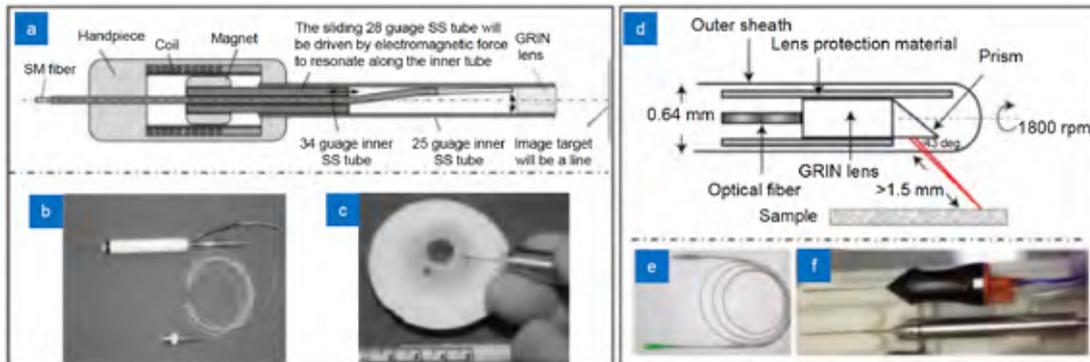


图 5 HHOCT 探针。(a-c) Joos 等设计的 25G 手持 OCT 探针 [57];(d-f) Asami 等设计的 23G 手持 OCT 探针 [56]

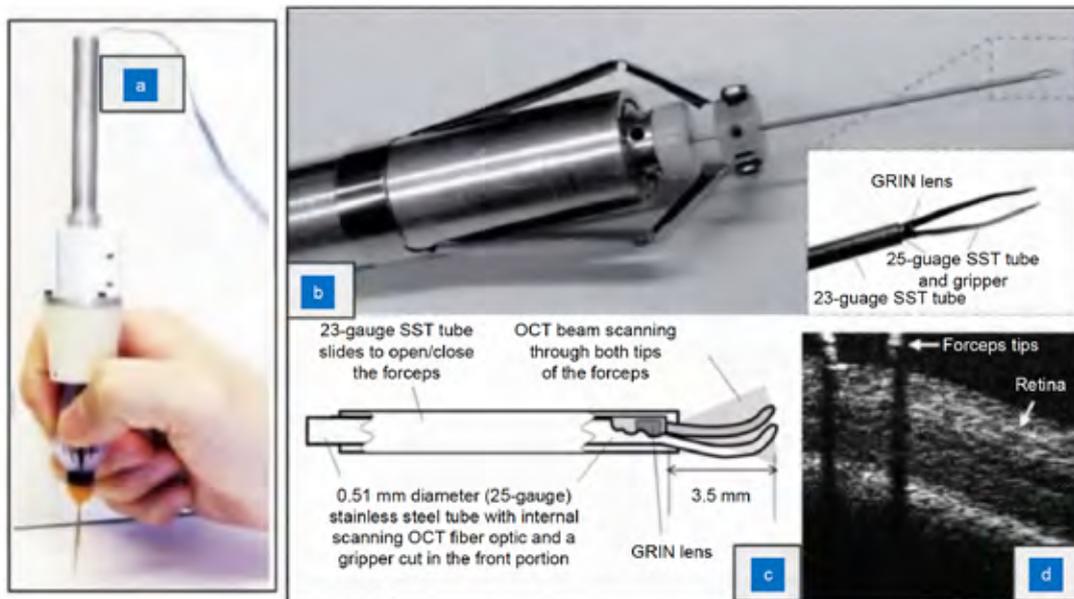


图 6 集成 OCT 的手术器械。(a) SMART 微型手术钳 [58];(b, c) Yu 等设计的 OCT 集成手术钳 [61];(d) 使用 OCT 集成手术钳接近离体山羊眼视网膜 [61]

Yu 等将 OCT 探针植入了 25G 手术钳 (图 6(b), 6(c))<sup>[61]</sup>, 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膜成像 (图 6(d)), 并剥离了 10  $\mu\text{m}$  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 HHOCT 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; HHOCT 探针可以在进行手术时使用, 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镜物镜后使用双色镜将 OCT 光源整合到显微镜的光轴中<sup>[20, 62]</sup>, 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<sup>[63]</sup>。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<sup>[21, 64-65]</sup>, 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))<sup>[64, 66-68]</sup>: 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

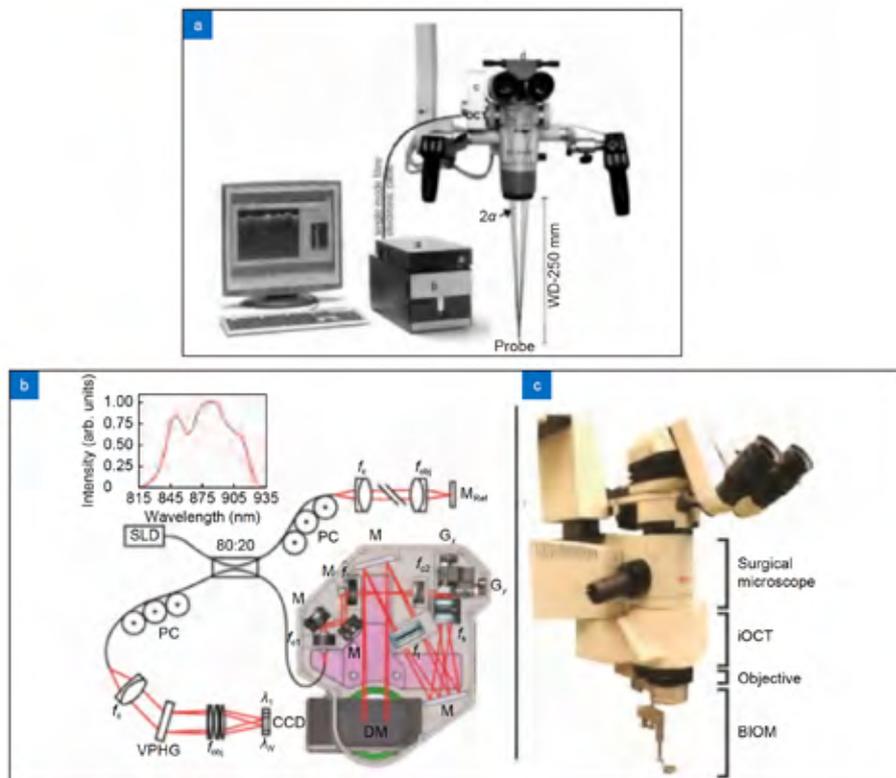


图 7 研究阶段 MIOCT 设备。(a) 在显微镜相机端口集成的 MIOCT<sup>[64]</sup>; (b, c) 显微镜物镜前集成的 MIOCT<sup>[68]</sup>

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<sup>[21, 68]</sup>,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))<sup>[68]</sup>,电调透镜可提供 45 mm~120 mm 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))<sup>[69-71]</sup>,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<sup>[21, 66]</sup>,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))<sup>[72-73]</sup>,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))<sup>[69]</sup>。实时二维(two-dimensional, 2D)OCT 成像技术的出现,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。

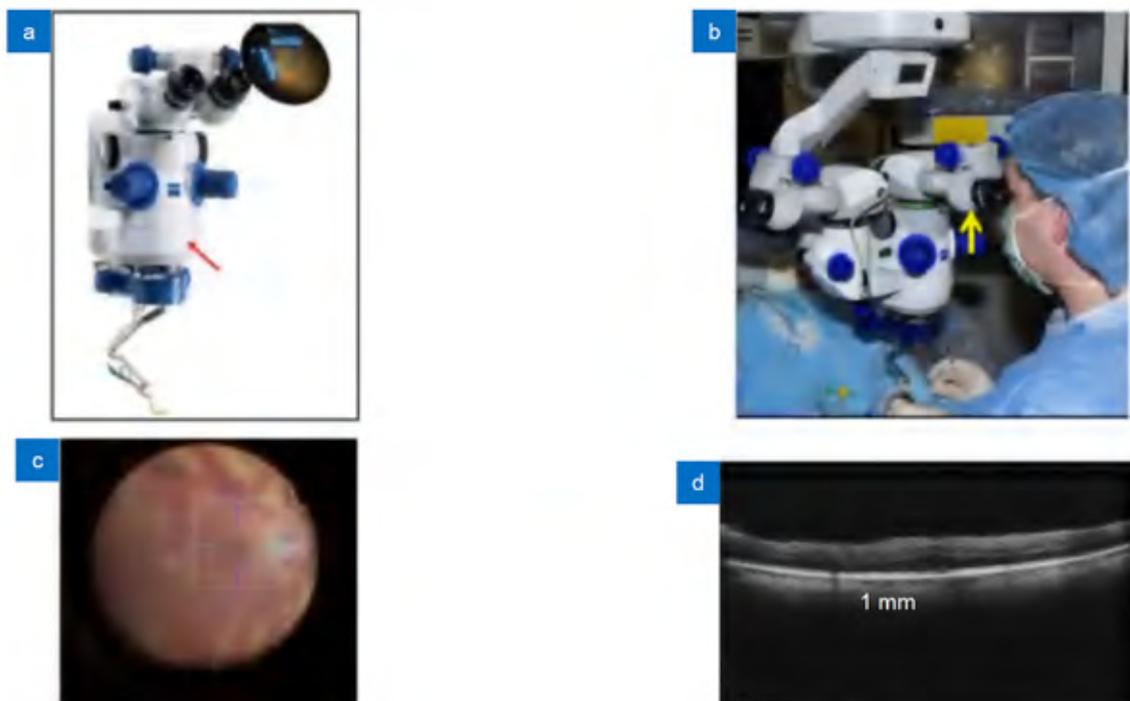


图 8 商业化 MIOCT:蔡司 RESCAN 700。(a) RESCAN 700 机体<sup>[3]</sup>; (b) 医生在手术中使用 RESCAN700<sup>[69]</sup>; (c) RESCAN 700 光学显微镜眼底成像<sup>[68]</sup>; (d) RESCAN 700 OCT 系统眼底成像<sup>[71]</sup>

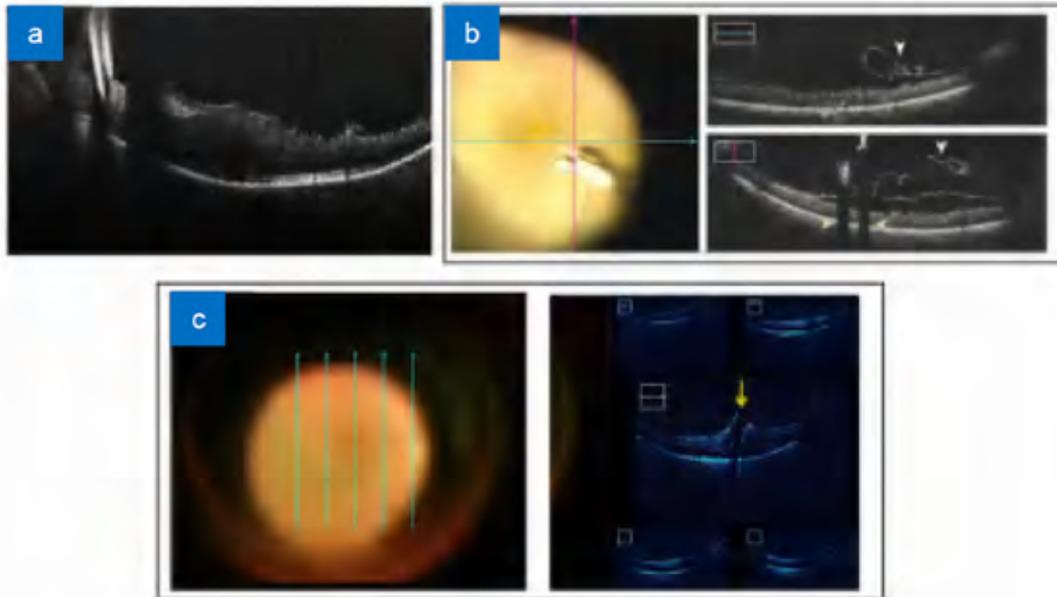


图9 使用 MIOCT 进行术中实时 2D 成像。(a) 使用单个 B 扫描对视网膜成像<sup>[71]</sup>;(b) 使用正交 B 扫描对角膜成像<sup>[73]</sup>;(c) 使用 5 束平行 B 扫描对视网膜成像<sup>[69]</sup>

2010 年, Probst 等设计了首个采用 GPU 辅助的实时体成像的 MIOCT 系统<sup>[67]</sup>, 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<sup>[74-75]</sup>, 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<sup>[76]</sup>。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<sup>[77]</sup>与青光眼手术导航试验(图 10)<sup>[78]</sup>, 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)。

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<sup>[79-81]</sup>, 该系统使用 1040 nm 的扫频光源, 其 A 扫描速率可以达到 100 kHz, 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)<sup>[81-84]</sup>。

#### 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<sup>[85-86]</sup>。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)<sup>[79]</sup>, 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

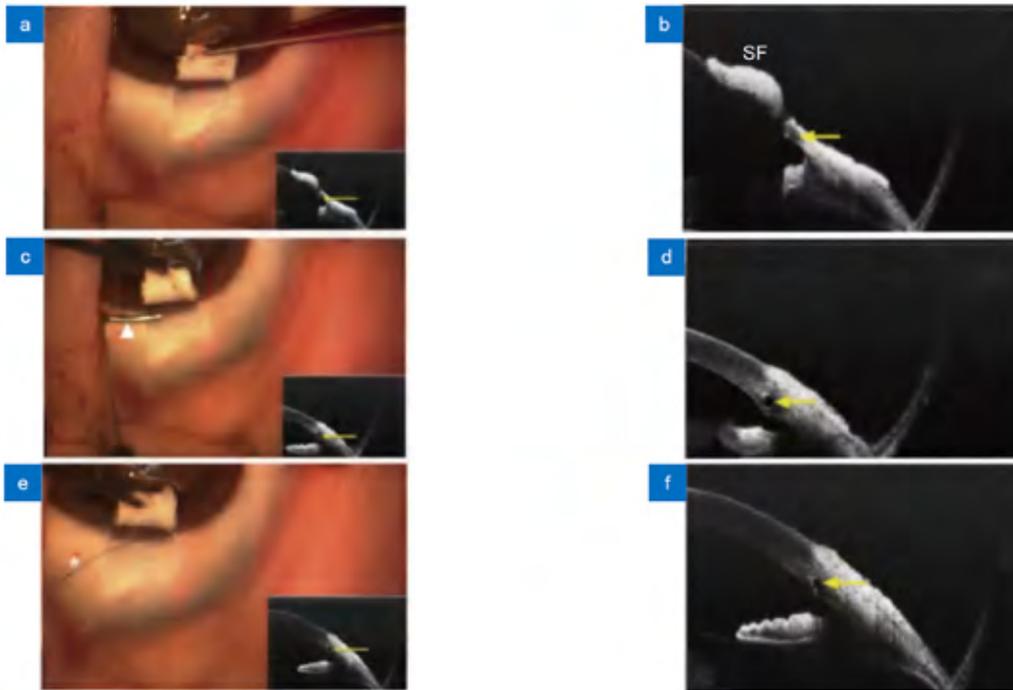
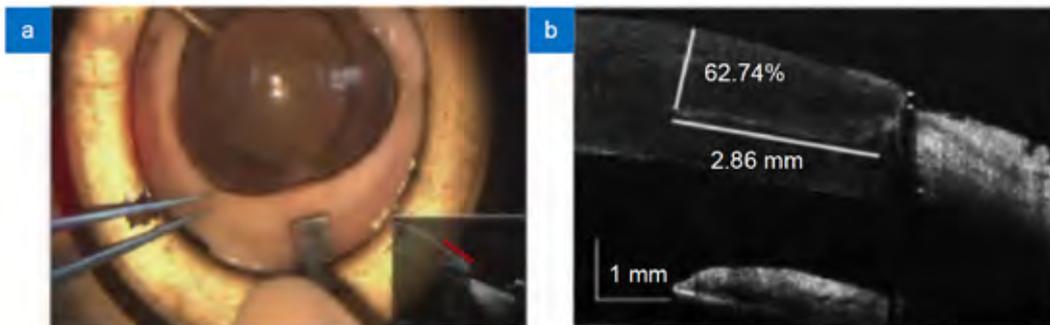


图 10 使用基于扫频 OCT 的 MIOCT 对眼前节手术 (泪道成形术) 成像<sup>[76]</sup>。(a, b) 切开浅层巩膜瓣后的 MIOCT 图像;(c, d) 插入小梁切刀后的 MIOCT 图像;(e, f) 借助 MIOCT 图像确认集束管扩张



|         | P 值            | 角膜通道长度<br>CTL | 角膜通道深度<br>CTD | 巩膜通道长度<br>STL |
|---------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Trial 1 | (-) vs (+)     | 0.003*        | 0.024*        | 0.008*        |
| Trial 2 | (-/-) vs (+/-) | 0.006*        | 0.092         | 0.020*        |

图 11 使用基于扫频 OCT 的 MIOCT 导航眼科手术操作的实验结果<sup>[77]</sup>。(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)

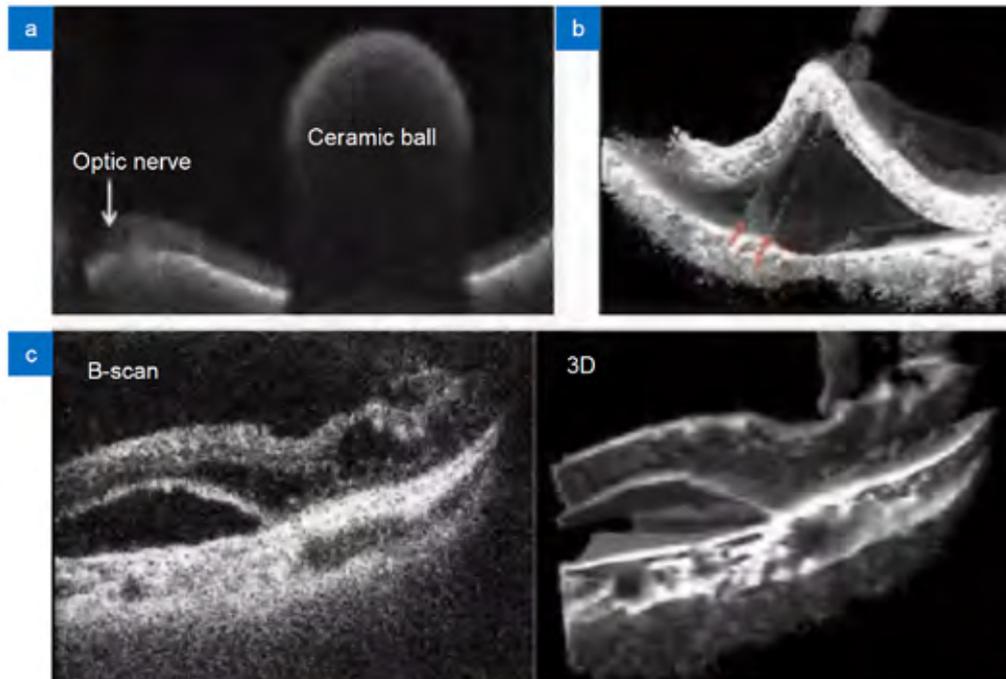


图 12 4D MIOCT 实时成像。(a) 观测视网膜上的陶瓷球体<sup>[82]</sup>；(b) 手术工具抓取视网膜色素上皮细胞层的实时图像<sup>[83]</sup>；(c) 玻璃体切除术中视网膜下积液的二维和三维图像<sup>[84]</sup>

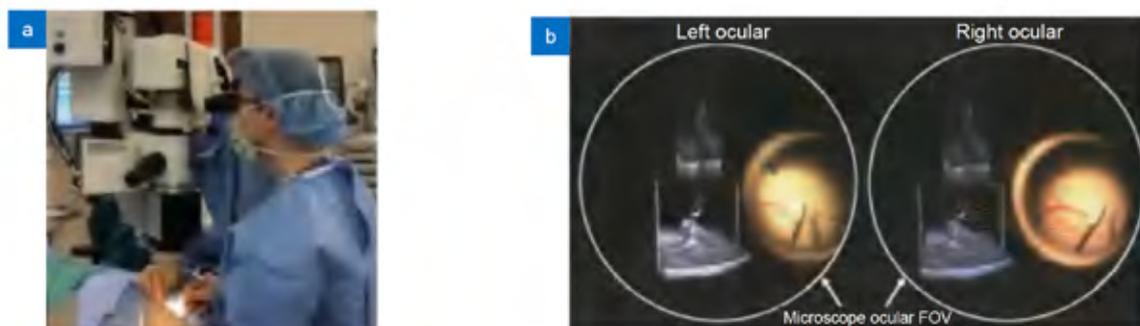


图 13 可实现三维可视化的 HUD 集成 MIOCT<sup>[79]</sup>。(a) 医生在手术中使用带有 HUD 的 MIOCT 系统；(b) 左右目镜中的实时图像

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<sup>[85]</sup>。

#### 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<sup>[84]</sup>。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<sup>[81]</sup>，并使用其对 1040 nm 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<sup>[87]</sup>。该研究使用带有 1060 nm 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。

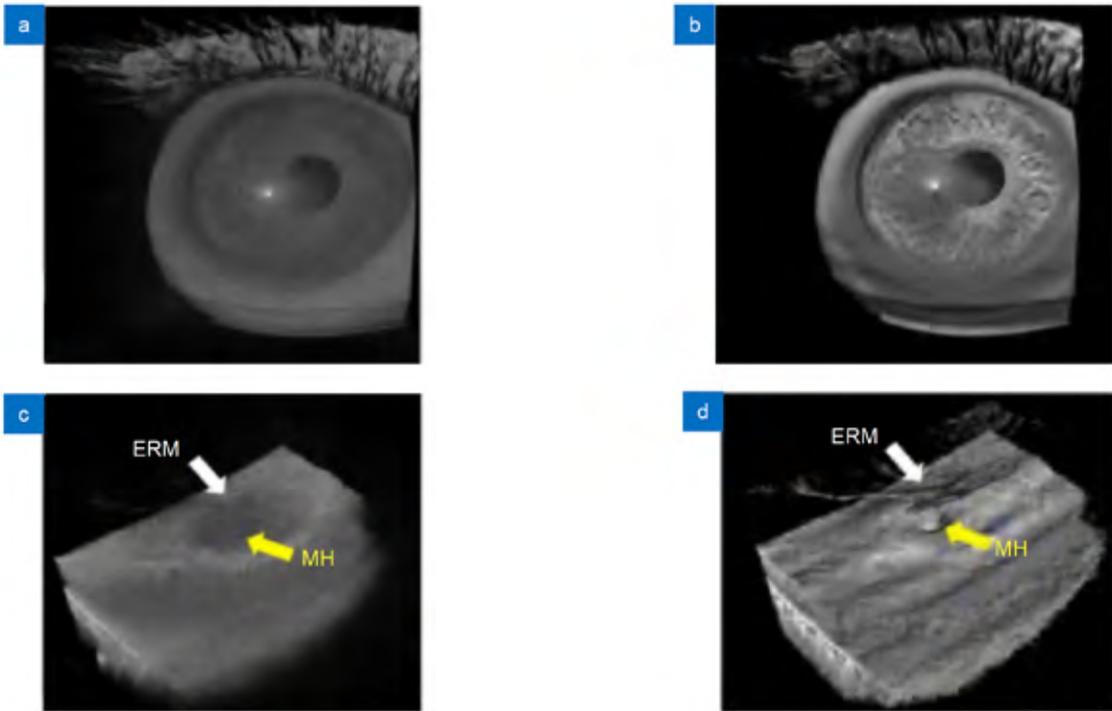


图 14 使用体积增强渲染算法处理 MIOCT 图像 [81]。(a) 渲染前的人眼 MIOCT 图像;(b) 增强渲染后的人眼 MIOCT 图像;(c) 原始视网膜 (Epiretinal membrane, ERM) 及黄斑孔 (macular hole, MH) MIOCT 图像;(d) 增强渲染后的视网膜及黄斑孔 MIOCT 图像



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

## 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<sup>[88]</sup>。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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [8] Drexler W, Fujimoto J G. State-of-the-art retinal optical coherence tomography[J]. *Prog Retin Eye Res*, 2008, 27(1): 45-88.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [14] 刘敬璇, 樊金宇, 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. 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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [18] Behrens A, Stark W J, Pratzner 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.
- [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.
- [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.
- [22] Fujimoto J, Swanson E. The development, commercialization, and impact of optical coherence tomography[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(9): OCT1–OCT13.
- [23] Huang D, Swanson E A, Lin C P, et al. Optical coherence tomography[J]. *Science*, 1991, 254(5035): 1178–1181.
- [24] Danielson B L, Boisrobert C Y. Absolute optical ranging using low coherence interferometry[J]. *Appl Opt*, 1991, 30(21): 2975–2979.
- [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. 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.
- [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] Szydio 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.
- [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.
- [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.
- [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. Jiang P Q, Wang P H. Research on dispersion compensation technology for SD-OCT system[J]. *Opto-Electron Eng*, 2021, 48(10): 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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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 hand-held spectral domain optical coherence tomography imaging for neonates, infants, and children[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010, 51(5): 2678–2685.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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. 

转载自《光电工程》期刊 2023 第 1 期

# 深圳市光学光电子行业协会第七届第三次会员大会顺利召开!



2023年3月31日，深圳市光学光电子行业协会（以下简称：深光协）第七届第三次会员大会在南山区凯宾斯基酒店成功举办。来自政府职能部门、协会会员企业、专家学者及友好协会、行业媒体等200余名代表出席会议。本次会员大会以“因光相遇 共赴春天”为主题，同期举行深圳市光学光电子行业协会第七届第六次理（监）事会。



## 协同发展 共赴春天



深圳市科学技术协会林祥书记在致辞中指出，当前党中央赋予深圳建设中国特色社会主义先行示范区和社会主义现代化强国城市范例的重要使命，深圳已经进入了双区驱动、双区叠加的重要发展时期。希望协会不负时代赋予的重任，始终坚持做好企业和政府之间的沟通桥梁，打造更

具服务力、价值力与影响力的行业平台，各方共同携手写好深圳光学光电子产业更加精彩的春天的故事。



深圳市光学光电子行业协会杨宪承会长在发言中表示，面临着前所未有的凛冽“寒气”，深光协始终坚持着“共享、共生、共融、共发展”的宗旨开展工作，与会员企业同呼吸、共命运。充分发挥桥梁纽带

作用，用高质量服务为深圳经济发展贡献力量。以会员企业需求为导向，以产业应用为引领，全面链接“政企学研资”等资源渠道，打通企业价值增值路径，不断提升深光协行业影响力与社会向心力。

## 赋能产业 立足服务



期间，经深圳市光学光电子行业协会第七届第六次理（监）事会审议通过，选举泰德激光董事长张凯、维达力副总裁许仁担任2023年度“轮值会长”，并于会员大会公布。



另外，深光协与深圳市长春理工大学校友会签署《光电领域校企合作专项服务项目》战略合作协议，双方就校企联合实验室、校企互聘机制、科研成果申报、制定行业标准、开展专业活动等各个领域展开深入合作，实现科技、资本、人才等资源的交流共享，加快科技要素转化为生产力。

## 筑牢基石 向光而行



同时，深光协在本次会员大会，启动光学光电子行业“高质量成长企业”评选活动暨光电产业发展白皮书。

高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务，为深入实施创新驱动发展战略，多管齐下推动会员企业高质量发展，并将高成长企业培育方向打造成为协会具有平台性与战略性意义的品牌工作。深光协特启动光学光电子行业“高质量成长企业”评选活动，遴选出深圳市光学光电子行业协会中具有发展潜力和行业代表性的高成长企业。旨在引导企业坚守实体经济，提振企业发展信心，表彰深圳光学光电子行业高速成长的佼佼者，树立新时代行业标杆与典型，充分展现光学光电子行业的企业活力与产业韧性。

光电产业发展白皮书立足于光电产业发展概况，将从光电行业“产、学、研、用”等四大方向出发，涵盖通信技术、激光制造、精密光学、光电传感、光电显示等领域，进一步梳理光电产业结构与市场应用，以及通过与基建、政策、市场、研发等多方面进行深入探讨，为光电产业高质量发展探索“破局”之路。



此外，深光协秘书长陈鲲在会上对深光协2022年度工作进行了汇报。2022年深光协围绕“专、精、特、新”四大方向开展工作。截止2022年12月，已完成工作包括：组织或协办线上线下活动超30场，全年累计吸引线上线下近20000人/次参与活动；以及为会员企业提供各类服务超1000次；完成各类宣传报道超300篇；完成企业走访调研超200家/次。同期，为新增会员企业授牌。

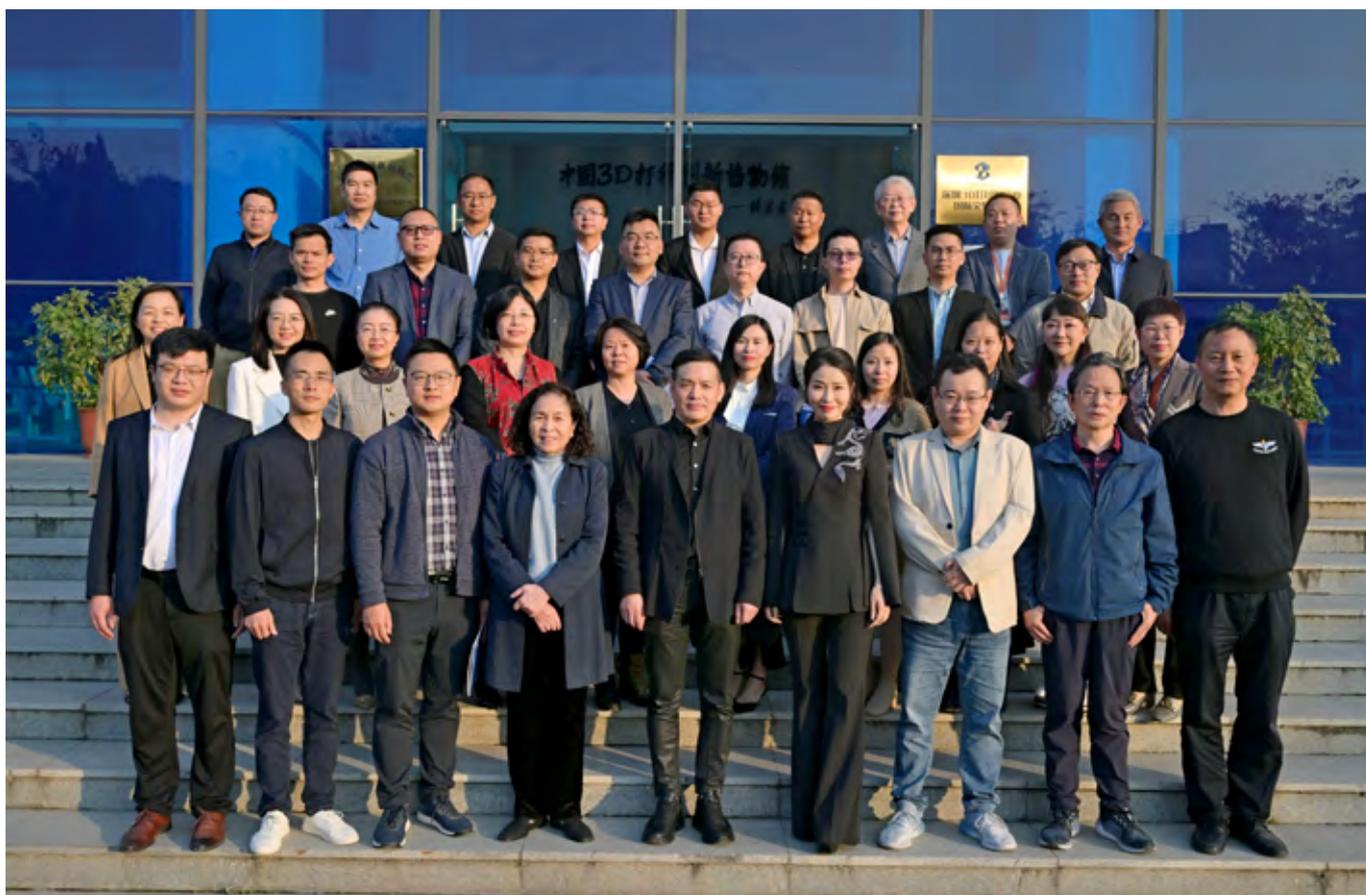


此次会员大会是全面贯彻践行党的二十大精神的大会，一次奋进的大会，一次企业提振信心、凝心聚力的大会，本次大会不仅总结2022年协会工作，更是标志着深光协开启多元、跨界、融合的新篇章！

### 特别鸣谢：

中国国际光电博览会（CIOE）  
维达力科技股份有限公司  
深圳珑璟光电科技有限公司  
深圳市中建南方环境股份有限公司  
深圳泰德激光技术股份有限公司  
北京凯普林光电科技股份有限公司  
中国农业银行股份有限公司深圳中心区支行  
中材新材料研究院（广州）有限公司  
无锡清鑫光学技术有限公司  
（以上排名不分先后）

## 走进光韵达，聚焦激光增材，引领创新智造



2月28日下午，由深圳市光学光电子行业协会参与组织的“走进激光与增材制造产业集群标杆企业——光韵达”活动在深圳市坪山区深圳市3D打印制造业创新中心顺利召开。

嘉强激光、创鑫激光、瀚盈激光、IPG、中建南方环境、乐其网络、鑫台铭、韬略科技、品度生物、海铭德、思迈科、

邦翼科技、卓溢科技、圣诺光电、高技传动、嘉强自动化、哈瓦航空、高品检测等50余名企业高管一同走进深圳光韵达光电科技股份有限公司。

### 为激光与增材制造贡献力量

“必须坚持科技是第一生产力”、“创新是第一动力”……党的二十大报告中关于科技创新的表述引发了强烈共鸣。党的

二十大报告提出，深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略。尊重知识、尊重人才、尊重创造，人才强、科技强，是产业强、经济强、国家强的前提，是高质量发展最持久的动力和最重要的引领力。

“深圳市3D打印制造业创新中心”由深圳光韵达光电科技股份有限公司（股票



代码：300227)牵头建立，作为深圳市“十大行动计划”之“十大制造业创新中心”之一，创新中心联合各大院校、产业链上下游企业开展3D打印全产业链研发及产业化，打通“政-产-学-研-用-资”全环节，为中国制造业的转型和创新发展提供重要支撑，服务中国制造2025强国战略的制造业创新平台。

光韵达联合创始人、执行董事姚彩虹女士携核心团队予以热情接待，并亲自讲解带领企业家们参观3D打印创新博物馆、生产车间和研发实验室，多维度地展示当前激光与增材制造的技术与产业发展情况，以及在工业应用领域的核心技术。

经过光韵达研发团队的讲解，大家对碳纤维增强复合材料3D打印、激光等前沿技术领域的研发实力和行业应用等情况有了进一步的了解，通过参观3D打印博物馆，对3D打印行业前沿技术和产品有了更深层次的认识。

### 主题分享交流会

与优秀对话，互相学习，深圳光韵达光电科技股份有限公司执行董事、深圳市

3D打印制造业创新中心创始人姚彩虹女士代表光韵达欢迎各企业家的到来。

交流会上，姚彩虹女士以“创新创造”为主题进行分享。她表示“创新创业”这是个课题，没有唯一答案也没有标准答案，光韵达如今取得的成绩是天时、地利、人和的成果，每家企业总会有一些独门的配方，这些配方就是面对不同的境遇所作出的价值判断和选择。



姚彩虹分享了企业创业三大核心心得：提高认识问题的洞见力——立场；提高分析问题的穿透力——本质；提高解决问题的驾驭力——方法。也正是这三大核心这么多年来驱使着光韵达一次次的砥砺前行，日渐长进，实现飞跃。

姚彩虹女士还分享了从创业之初的选

择与在创新创业过程中技术投入方面的光韵达故事。从企业协同、供应链协同、产业协同三方面进行分享交流。最后对新生代创业者给予了凝心聚力，持久力，战斗力的“三力”祝愿。精彩的主题分享赢得了在场企业家们热烈的掌声。

### 交流互动环节

主题分享结束后，光韵达团队与到访企业家代表进行热情交流，以多个行业的视角分享参会心得。



### 企业家交流摘录：

- 1、“从零开始创业，坚持15年，深知创业者的不易，姚总的讲话给了我很大的鼓舞”
- 2、“听完姚总的分享感触很深，我认为企业家一定要敢想，我未来的目标也是世界级的”
- 3、“坚持才能得到客户的认可，客户的高度认可才能高速增长”

# 都乐精密、光越科技、艾贝特获评第二十届“深圳知名品牌”

3月16日，深圳知名品牌评价委员会召开第二十届“深圳知名品牌”评审会议，深圳市光学光电子行业协会作为评审单位受邀参加。



第二十届“深圳知名品牌”培育评价活动于2022年4月启动，涉及通信、软件和技术服务、电子元器件、安防、医疗器械、新材料、新能源、专用设备、物流与供应链、节能环保、零售连锁、服装、黄金珠宝、餐饮等50多个细分行业。经深圳知名品牌评价委员会秘书处资格审查，对符合申报条件的企业按照《深圳知名品牌评价规范》团体标准，秘书处组织开展企业管理体系现场评审、公众投票、

行业地位评价、品牌价值评估等综合评价工作。并将候选企业名单提请深圳海关、市市场监管局、市应急管理局、市税务局等执法部门对企业近3年的守法经营情况进行核查。在深圳公证处公证员的现场公证下，深圳知名品牌评价委员会共审核评选出都乐精密、光越科技、艾贝特等116个市场占有率高、诚信度高、品牌知名度高的企业品牌为第二十届“深圳知名品牌”。

# 深光协 14 家会员企业入选“2022 年深圳市专精特新中小企业名单”

3月15日，深圳市中小企业服务局发布《关于2022年深圳市专精特新中小企业名单的公示》，共有4818家企业符合深圳市专精特新中小企业认定标准。其中，深光协14家会员企业入选“2022年深圳市专精特新中小企业名单”。入选企业名单如下：

|                  |
|------------------|
| 深圳泰德激光技术股份有限公司   |
| 英诺激光科技股份有限公司     |
| 深圳市灵明光子科技有限公司    |
| 深圳市君信达环境科技股份有限公司 |
| 深圳光泰通信设备有限公司     |
| 深圳市海特奈德光电科技有限公司  |
| 深圳市乐的美光电股份有限公司   |
| 深圳珑璟光电科技有限公司     |
| 深圳惠牛科技有限公司       |

|               |
|---------------|
| 深圳市中优图科技有限公司  |
| 深圳市常兴技术股份有限公司 |
| 深圳市海裕机电设备有限公司 |
| 深圳市思力铭科技有限公司  |
| 深圳通感微电子有限公司   |



OPTICS & PHOTONICS International Exhibition



# OPIE '24

<https://www.opie.jp/en/>

**LASER EXPO**

- Power Laser Forum zone

- Laser Lighting - Display, Optical Wireless Power Transmission zone

**LENS EXPO**

**Positioning EXPO**

**Space & Astronomical Optics EXPO**

**Sensor & Imaging EXPO**

**Light Source & Optical Devices EXPO**

**Optical Communication & Applications EXPO**

Co-located with

Congress

**OPIC2024**

<https://opicon.jp/>

*Showcase  
your products  
at  
this premiere  
event!*

**24-26 April, 2024**

**Pacifico Yokohama, Japan**

Total Projected Participation - Exhibitors 450 - Attendees 15,000



International Partner

**SPIE.**

PHOTONICS MEDIA

For further information

**OPTRONICS** [intl@optronics.co.jp](mailto:intl@optronics.co.jp)

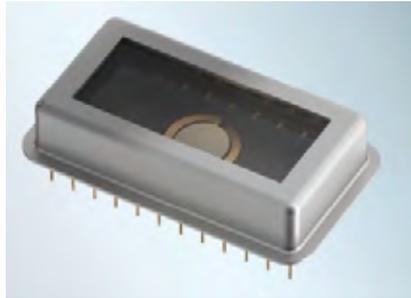


## 肖特集团

作为世界领先的特种玻璃公司之一，肖特如今已发展成为一家全球跨国公司，在 33 个国家和地区设有生产基地和销售办事处。公司拥有近 109 个国家和地区的 17,200 多名员工，在多元化、协作和创新方面发挥着重要作用。肖特电子封装事业部在光通讯的 TO 领域超过 50 年的研发和应用经验，肖特一直是设计和制造创新高速 TO PLUS® 的领导力量，这款产品可支持新一代数据和电信基础设施。



SCHOTT 50G TO PLUS® 管座



激光雷达封装



地址：上海市虹梅路 1801 号凯科国际大厦 301 室  
网址：www.schott.com

电话：86-021-53300653  
邮箱：info.china@schott.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。了解更多信息，请访问是德科技官网 www.keysight.com



左: M8050A 高性能误码仪      右: UXR 系列高性能示波器

地址：北京市朝阳区望京北路 3 号  
网址：www.keysight.com

电话：86-10-64397209  
邮箱：tm\_asia@keysight.com



## 芯思杰技术（深圳）股份有限公司

芯思杰技术（深圳）股份有限公司成立于2015年，系IDM型第二代半导体企业，公司立足国家电子信息产业战略前沿的光电子器件行业，致力于成为全球光电子技术领域的领军企业。公司主营产品为光电探测器芯片，主要应用于光通信和光传感场景。凭借多年深耕光电探测器芯片研发设计及生产工艺，结合产业化经验和技術积累，公司可独立自主进行光电探测器芯片的研发设计、生产流片、检测封装等工艺环节，为客户提供全方位、一体化、快速响应的专业服务和高性能、高可靠、高精度、高速率的光电探测器芯片产品。



多通道 56GBaud InGaAs PIN PD 系列芯片



25Gbps/50Gbps APD 芯片

地址：深圳市南山区学苑大道 1001 号南山智园 A5 栋 11F

网址：[www.xinsijie.com.cn](http://www.xinsijie.com.cn)

电话：86-0755-23712706

邮箱：[ge\\_liu@xinsijie.com.cn](mailto:ge_liu@xinsijie.com.cn)



## 武汉光迅科技股份有限公司

武汉光迅科技股份有限公司是全球领先的光电器件及模块厂商，是一家有能力对有源和无源芯片、光集成器件进行系统性、战略性研究开发的高新技术企业，专门从事光电芯片、器件、模块及子系统产品研发、生产、销售及技术服务。公司源于1976年成立的邮电部固体器件研究所，2001年改制，2009年登陆深圳证券交易所，成为国内首家上市的通信光电子器件公司，公司连续十六年入选“全球光器件最具竞争力企业10强（第四名）”“中国光器件与辅助设备与原材料最具竞争力企业10强（第一名）”，在全球光器件行业中排名第4。



100G QSFP28 80 公里单纤双向光模块



1.6T OSFP-XD DR8 光模块



地址：湖北省武汉市江夏区藏龙岛开发区 谭湖路 1 号

网址：[www.accelink.com](http://www.accelink.com)

电话：86-027-87692735

邮箱：[sales-domestic@accelink.com](mailto:sales-domestic@accelink.com)



## 一诺仪器（中国）有限公司

一诺仪器（中国）有限公司 是全球电信行业领先的测试监测解决方案供应商及网络设备供应商 在光通信领域为客户提供更优质的高度专业化解决方案 获得美国 AT&T 独家供货商荣誉、受到韩国 KT 电信、韩国 SK 电信、西班牙 Telefonica 电信、中国电信、中国联通、中国移动，以及众多通信工程公司的一致好评。



一诺 VIEW7 光纤熔接机



一诺 V10 切割刀



一诺 A870 OTDR 光时域反射仪

地址：山东省威海市高区天津路 190 号院内

邮箱：market@innoinstrument.com.cn

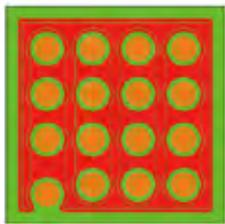
电话：0631-5669011

网址：www.innoinstrument.com.cn



## 武汉优炜芯科技有限公司

武汉优炜芯科技有限公司，专业的紫外 LED 芯片、器件、模组、光源系统及应用方案供应商，面向全球紫外 LED 方案商和应用公司，提供高性能近紫外 LED 固化光源系统与装备、高质量深紫外 LED 芯片 / 灯珠 / 模组与服务，以卓越的科技创新能力打造丰富的紫外行业解决方案，构建开放共赢的产品生态，推动产业规范建设，助力胶水、涂料、油墨紫外固化及医疗美容、植物工厂照明、空气、水、表面杀菌等各行各业实现产业化升级。



UVC 杀菌芯片



UVC 杀菌灯珠



UVC 杀菌模块



固化枪



智能烘箱

地址：武汉市东湖新技术开发区华工科技园现代服务业基地 1 号研发楼 B 座

邮箱：sales@uvledtek.com

电话：027-87971689

网址：www.uvledtek.com

## ZKTeI 中科通信 绍兴中科通信设备有限公司

绍兴中科通信设备有限公司成立于2013年，是一家由国家级领军人才创办的专业从事高端光芯片、光器件、光模块(155M-800Gbps)以及智能调测系统设备的高新技术企业。公司拥有多名海内外博士及硕士人才为主的业内资深研发团队，专注于光通信领域产品研发和制造。公司拥有自主品牌“ZKTeI”，产品广泛应用于各种数据通信网络、各类传输网、城域骨干网、数据中心、4G/5G移动基站、人脸识别及无人驾驶等领域。



200G QSFP56 FR4 2km 光模块



400G QSFP-DD DR4 500m 光模块

地址：浙江省绍兴市袍江工业区三江路与袍中路交叉口中科通信三楼

网址：[www.ZKTeI.com](http://www.ZKTeI.com)

电话：86-0575-8803-5326

邮箱：[sales@zktel.com](mailto:sales@zktel.com)

## TCS 太辰光通信 深圳太辰光通信股份有限公司

太辰光(证券代码:300570)是光通信产业链上游高科技制造型企业,多年来深耕于“光通信”和“光传感”两大业务领域。公司主营业务为各种无源、有源光通信器件及其集成功能模块的研发、制造和销售,公司是全球领先的综合布线产品生产企业,同时也是中国最大的陶瓷插芯制造商之一;另一业务为光纤传感器及传感监测系统的研发和制造,产品及技术广泛运用于5G+及工业互联网。



地址：深圳市坪山区坑梓街道秀新社区锦绣中路8号太辰光通信科技园

邮箱：[info@china-tscom.com](mailto:info@china-tscom.com)

电话：86-0755-32983688

网址：[www.china-tscom.com](http://www.china-tscom.com)

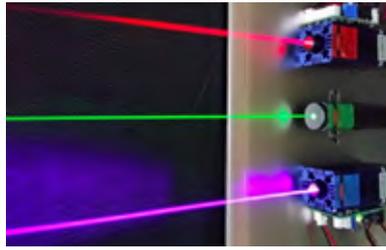


## 中科芯电半导体科技(北京)有限公司

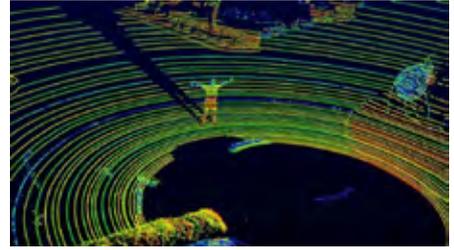
中科芯电半导体科技(北京)有限公司于2014年10月成立,是专业从事GaAs/InP化合物半导体外延材料研发与生产的高科技企业,公司已通过ISO9001:2015,ISO14001,国家级高新企业,中关村高新技术企业等相关认证。其GaAs/InP外延片是手机及基站等方面5G通讯、射频芯片、电子产品人脸识别芯片研发生产的重要环节。公司于国内已经建成具有自主知识产权的GaAs/InP分子束外延(MBE)大规模生产基地,和正在筹建MOCVD生产线,未来实现年产50万片以上的目标。



InP 基雪崩光电二极管 APD



边发射半导体激光器



单光子雪崩二极管 SPAD

地址:北京市大兴区西红门镇金盛大街2号院23号楼2层

电话:010-61280920

网址:www.acs-semi.com



安扬激光

## 武汉安扬激光技术股份有限公司

武汉安扬激光技术股份有限公司成立于2010年,是一家由毕业于英国南安普顿大学光电研究所的博士创立的高新技术公司。公司主要从事高功率皮秒,飞秒光纤激光器和超连续谱光源的研发、生产和应用。

公司主打产品先后获得ISO9000质量体系认证,欧盟RoHS标准认证,欧盟CE安全资质认证,2013年获高新技术企业资质,并于2016、2019年顺利通过复审。我们相信在规范化的管理体制下,结合优化设计、本土生产以及领先的工艺技术,在未来3-5年内,我们能制造出更多功率高、寿命长、波长全、低成本的产品,能满足高端智能制造,医学诊疗设备和科研应用的多种需要。

安扬最新推出的有百瓦级mJ飞秒光纤激光器;紧凑型光纤飞秒激光器FemtoYL-Compact;轻量化锁模超连续谱光源SC-OEM-M,以及最新推出的一体化声光可调滤波器AOTF-Pro,同时安扬也推出了超大模场保偏掺镱光子晶体棒状光纤。



FemtoYL系列高功率飞秒激光器



30w飞秒紫外光纤激光器 FemtoYL-UV



多波长飞秒激光器 FemtoY-vary

地址:武汉东湖新技术开发区左岭街光电园二路6号

电话:027-87204039

网址:www.yslphotonics.com

邮箱:sales@yslphotonics.com



## 深圳市东帝光电有限公司

深圳市东帝光电有限公司是一家注册成立立于 2012 年的高科技技术企业，我们专业致力于夜视仪及相关的光学产品的研发、生产、销售为一体，拥有多项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、软件、光学成像、光电材料、镀膜工艺、真空工艺等领域均有独特的技术优势。我司主要以微光夜视仪为产品核心，以全球为市场，产品广泛涉及海关、油田仓储、消防救援等相关领域。产品以其精良的做工、长期稳定的质量、高可靠性的性能、高分辨率的夜视能力，深受广大客户的认可和好评。OEM、ODM 等合作方式已和众多机构达成长期合作关系。



东帝夜视 DAKINGNV-DB2061  
二代 + 微光头戴夜视仪



东帝夜视 -DB1920L+ 数码红  
外夜视仪测距 1500 米



东帝夜视 DAKINGNV-DM2041  
单目单筒微光头戴夜视仪

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

邮箱：764104323@qq.com

电话：130 7113 2826

网址：www.dakingnv.com



## 北京宇桥信立科技发展有限公司

北京宇桥信立科技发展有限公司（前身为北京宇桥速通科技发展有限公司），是以色列 CI 系统公司中国独家授权代理。以色列 CI 系统公司成立于 1977 年，从事光电测试系统和辐射测量设备的研发、生产和销售。主要产品：扩展面黑体、高温腔式黑体、可见光光源、平行光管、红外光电测试工作站、光谱辐射度计、光电综合测试系统、红外动态场景模拟系统、超光谱成像，光电对抗和遥感测量方面全系列解决方案等。

在公司 40 多年的历史中，为世界各地的客户订制了数百套光电系统和多种大型的特殊系统。在中国，CI 产品广泛应用于航空、航天、兵器、电子和中船等领域。



模块化光电测试系统 METS



高精度黑体



光谱辐射计 SR5000N

地址：北京市朝阳区北苑东路 19 号院 3 号楼 6 层 601

邮箱：tracy@utop-sino.com

电话：010-62980028

网址：www.UTOP-SINO.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。自成立起便开始成为英国雷尼绍 (Renishaw) 的授权代理商。主要代理：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，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”。



探头



Equator 比对仪



光栅尺



激光干涉仪

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

电话：+86 0755-83253528

网址：www.ineeq.com.cn

邮箱：info@ineeq.com.cn



## 南京仪博光电科技有限公司

南京仪博光电科技有限公司是一家集光学设计、研发、加工、销售服务于一体的高科技实体企业。公司自 2012 年成立以来，通过 ISO9001 认证，一直致力于为军工、科研、航天、医疗、通信、人工智能等企事业单位和科研院所加工生产规格广泛的精密光学元器件、光学镜头和提供光学系统设计服务，历经十年的创新发展和技术突破，已经发展成为实力雄厚的精密光学综合解决方案提供商。公司现有光学设计研发专家 4 名、机械设计专家 6 名和经验丰富的生产技术工人 30 人，并配备了国内外先进的光学冷加工设备、镀膜设备、机械加工设备及一流的检测设备，能够满足客户高精密高难度的多样化需求和定制服务。



光学棱镜



光学透镜



非球面镜片



蓝宝石镜



分光镜

地址：南京市江宁区湖熟街道万安社区龙葛路葛桥新区

电话：025-52718105

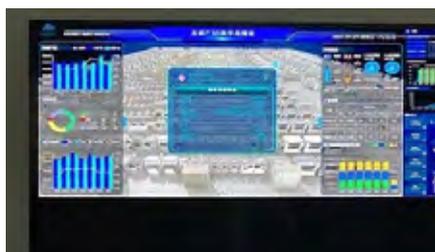
网址：www.yibooptics.com

邮箱：13952020513@139.com



## 锱云（上海）物联网科技有限公司

锱云科技成立于2016年，是数字化交钥匙解决方案的专精特新高新技术企业，我们面向离散制造业搭建工业互联网平台，将生产设备、物联网、大数据、云计算以及人工智能等技术紧密结合在一起，专注打造基于数据闭环的新一代数字化交付。通过IoT设备数据采集、数据湖建设打通企业原有IT系统，数字化交付SaaS应用实施，以真实、实时数据驱动企业管理方式改变，同时为供应链上游客户提供数字化验厂，制造过程透明化追溯，产品交付数字化合规等整体解决方案，最终实现数据驱动传统供应链变革。公司面向泛半导体、电子消费品、汽车零部件等制造行业打造数字智造工业互联网平台，服务企业超2,000家，连接设备超40,000台。



生产运营数字化产品体系

地址：上海市浦东新区樱花路869号证大喜马拉雅中心6C层  
 邮箱：info@ziyun-cloud.co

电话：18816296956  
 网址：www.ziyun-cloud.

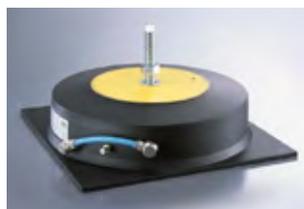


## 上海书敏工业设备有限公司

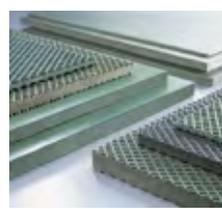
主营隔振事业；环保设备及环保工程部；动力传动与控制部；SMT，半导体周边设备等。承接各类减震降噪隔音项目，针对您遇到的震动问题和噪音困扰提供测试，分析，调试，改造安装等一系列服务。我司从事减振器设计，研发，生产，销售各类机械设备减振器的专业公司。



空气弹簧隔振器



橡胶空气弹簧



橡胶隔振垫



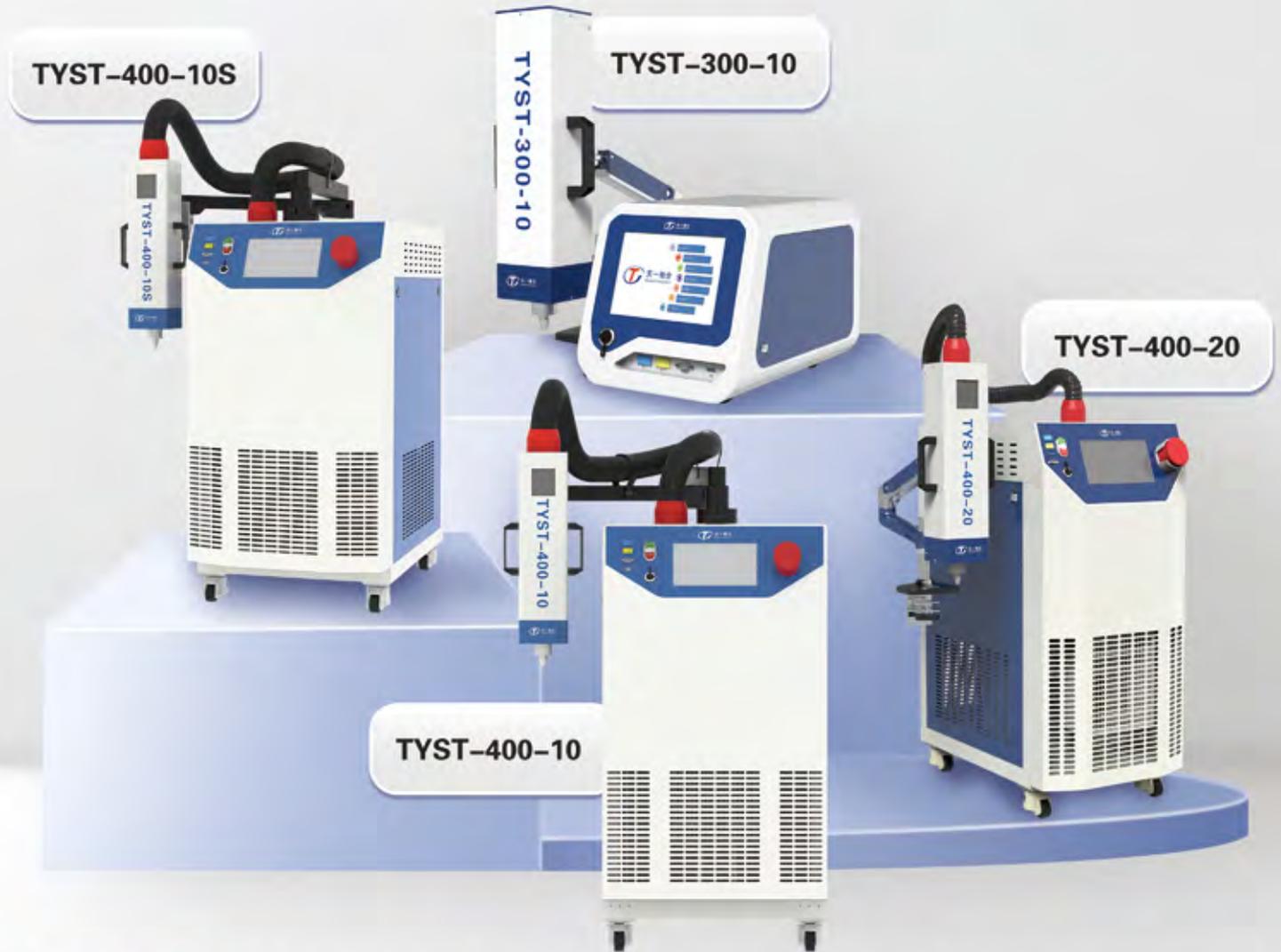
大理石构件

地址：上海市嘉定区南翔镇顺丰路508号2幢101室  
 邮箱：17319753904@163.com

电话：021-56025886  
 网址：www.shsmgy.com

# 热流仪 (超快速冷热冲击机)

快速 | 小体积 | 低温 | 低能耗 | 静音



## 用途

提供光模块行业、半导体行业、滤波器行业、电源管理芯片行业等领域的精准温度控制解决方案。

## 公司简介

天一瑞合是专业提供温度控制解决方案的供应商。

## 技术指标

| 规格型号         | 温度范围        | 温度控制精度           | 温度解析精度 | 温度波动度   | 出气流量                        | 特征温度变化速度(出气口空载)                        |
|--------------|-------------|------------------|--------|---------|-----------------------------|----------------------------------------|
| TYST-400-10  | -65°C~200°C | ±1.0°C(经校正之后的设备) | 0.1°C  | ≤±0.5°C | 5-18 SCFM (2.35L/s~8.49L/s) | -55°C~+125°C, 约10S; +125°C~-55°C, 约15s |
| TYST-400-20  | -70°C~200°C | ±1.0°C(经校正之后的设备) | 0.1°C  | ≤±0.5°C | 5-18 SCFM (2.35L/s~8.49L/s) | -55°C~+125°C, 约10S; +125°C~-55°C, 约15s |
| TYST-400-10s | -80°C~200°C | ±1.0°C(经校正之后的设备) | 0.1°C  | ≤±0.5°C | 5-18 SCFM (2.35L/s~8.49L/s) | -55°C~+125°C, 约10S; +125°C~-55°C, 约15s |
| TYST-300-10  | -20°C~180°C | ±1.0°C(经校正之后的设备) | 0.1°C  | ≤±0.5°C | 20 SCFM (9.44L/s)           | -20°C~+85°C, 约10S; +85°C~-20°C, 约30s   |

# 学术 · 产业 · 应用

洞察光电趋势，聚焦产学研用融合

## CIOEC中国国际光电高峰论坛

2023年9月6日-9月8日 深圳国际会展中心(宝安新馆)

### ● 通信产业论坛

- 算力网络与光技术发展论坛
- 千兆光接入宽带发展论坛
- 光电子芯片设计及制造、封装技术论坛
- 数据中心光互联演进趋势论坛
- 云数据中心光联接的机遇和挑战
- 中欧硅基光电子论坛
- 先进光电材料及器件研讨会
- 云时代的光电技术及产业标准研讨峰会
- 5G通信技术与产业创新发展研讨会

### ● 光学产业论坛

- 光学成像新技术及应用研讨会
- 车载摄像头影像技术高峰论坛
- 超精微纳光学器件制造技术论坛
- 医疗内窥镜产业发展研讨会
- CIOE光学真空镀膜大会
- EPIC 光学元件、材料与创新应用会议
- 光·遇 | 第四届中国AR技术应用高峰论坛
- 第四届AR/VR光学应用高峰论坛
- 车载摄像头前沿技术与测试方法

### 2023年 产业会议

### ● 激光产业论坛

- 半导体激光技术创新及应用高峰论坛
- 激光技术助力新能源锂电制造研讨会
- 激光技术助力汽车智能制造研讨会
- 光/激光医疗技术研讨会
- 激光微纳加工与制造研讨会

### ● 红外产业论坛

- 红外材料与器件技术与市场发展论坛
- 电力能源领域红外热成像技术研讨会
- 智能消费电子领域红外技术应用研讨会
- 太赫兹技术趋势及应用论坛
- 工业领域的红外测温与视觉技术研讨会

以上会议主题如有变更，请以现场实际为准，主办方拥有最终解释权。

光+应用论坛

全球光电大会OGC学术大会

CIOE&YOLE国际论坛

# 适用于5G可点胶填缝的 热界面材料

## 导热凝胶

单组份系列 (3~14W/m·K)

双组份系列 (2~10W/m·K)

可剥离系列 (2.5W/m·K)

无硅系列 (3.0W/m·K)



## 应用特点

- 适合自动化操作
- 超低热阻 (<0.4K·cm<sup>2</sup>W@40psi)
- 高流速(50g/min@30cc规格), 实现快速点胶
- 高可靠性(1000小时垂流稳定性测试)无移位, 无开裂
- 低渗油特性、无pump-out
- 柔软、低装配压力和低残余应力
- 应用间隙<0.2mm

## 典型应用

- 通信基站
- 光模块
- 大型存储数据中心
- 智能手机模块及消费电子
- 电动车动力电池模组
- 汽车电子设备
- LED照明



鸿富诚官网



微信公众号



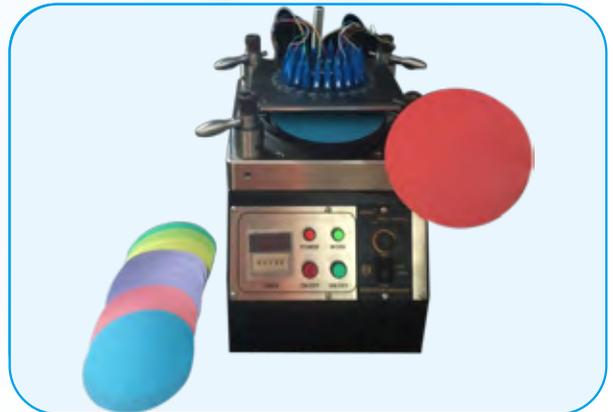
产品手册下载

深圳市鸿富诚新材料股份有限公司  
电话: 0755-23706023  
邮箱: dongyx@szemi.cn  
地址: 深圳市宝安区福永凤凰第三工业区C栋  
网址: <http://www.emigasket.com>



# 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](http://www.ajlgs.com)

邮箱：[ajl@ajlgs.com](mailto:ajl@ajlgs.com)





# 六方钰成

HEXAGONAL YUCHENG



## 公司简介

company profile

四川六方钰成电子科技有限公司成立于2019年，位于四川省绵竹高新区，现有员工60余人。公司拥有4200平米厂房（含净化间1500平米），已建成薄膜陶瓷基板、薄膜电路和厚膜电路三条规模生产线。公司已通过ISO9001-2015质量管理体系认证，拥有流延、烧结、CMP、溅射、光刻、电镀、蒸发、丝网印刷、激光切割等生产设备及扫描电镜、XRF、台阶仪、金相显微镜等先进分析仪器。工艺能力齐全，无断点。由清华大学材料系博士带领的技术团队深耕电子陶瓷及金属化领域20多年，拥有深厚的专业基础以及工艺经验，对高密度集成以及高可靠应用理解深刻，可为用户提供从材料、制造到应用的一站式服务。



### 四川六方钰成电子科技有限公司

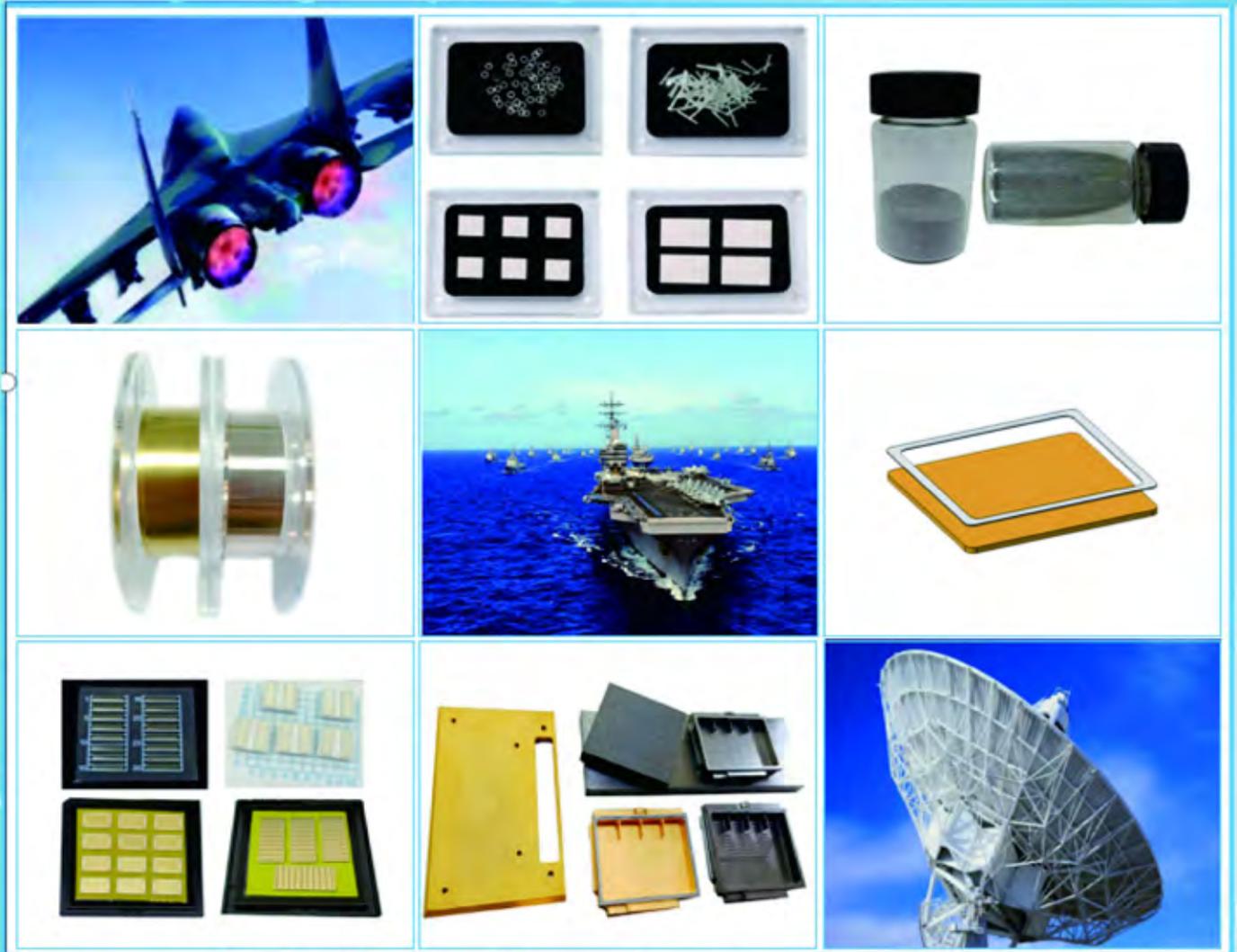
地址：四川省绵竹市高新区南通路七号创新创业基地B3栋厂房

网址：[www.hexagold.net](http://www.hexagold.net)

电话：0838-6688801

13398482528（朱小姐）

19181076801（李先生）



高洁净预成型焊片

金锡焊膏|金锡球

预置金锡盖板

预置金锡钨铜|钼铜|氮化铝

氮化铝热沉

低热膨胀硅铝合金

专业制造商

web: [www.apex-material.com](http://www.apex-material.com)

028-87858429

## BOLIN® 关于栢林

栢林电子封装材料有限公司位于广东省汕尾市，是武汉理工大学的合作企业（共建栢林焊料研发实验室）、国家高新技术认证企业，省级“专精特新”中小企业、市级企业研发中心、创新示范基地，拥有博士、硕士、高级会计师等高新技术专业技术团队，具备完备的产品研发、试制和量产的人才储备和硬件设施，拥有材料组织分析，材料焊接实验等专业实验技术中心，为客户提供电子微组装整体技术解决方案，建立科学、绿色、安全的现代化高端贵金属电子封装材料生产管理体系。具备国家武器装备质量管理体系GJB9001B认证、ISO9001质量认证体系、ISO14001环境认证体系、ISO45001职业健康认证体系、SA8000社会责任认证等。公司产品在射频、微波、激光、汽车、医疗等行业中广泛应用，并获得客户的一致认可和好评。

公司产品涵盖了电子微组装各典型温度梯度所需要的焊料，如高温的Au80Cu20、Ag72Cu28；中温的Au80Sn20、SAC305、Sn63Pb37；低温的Bi52Sn48等。同时公司提供如下特色系列焊料：

- (1) 贵金属系列：Au80Sn20、Au96.5Si3.5、Au88Ge12、Au-Cu、Ag-Cu-Pd等；
- (2) 高导热系列：In100、In97Ag3等；
- (3) 预置焊接器件：预置金锡盖板、预置铋锡盖板、预置银铜引针等；
- (4) 预涂助焊剂产品：各类预成型焊片均可预置不同比例、不同类型助焊剂。



① 金锡焊料



② 预置金锡气密盖板



③ 预覆助焊剂焊料片



④ 银基焊料

**1** 金基共晶钎料具有良好的力学性能、高导热性、抗腐蚀性及良好的润湿性。常用的金锡、金锗、金硅焊料在富金端形成共晶状态，合金熔点适中，为电子封装提供了良好的工艺窗口，广泛用于芯片封装和气密性封。

**2** 预置金锡盖板是通过特殊能量，将预成型金锡焊片精确定位并固定在合金或陶瓷载体上面，极大地改善传统焊接工艺组件定位问题。通过引入一体化的预置焊料组件，在封装中简化流程、提高效率，同时提高产品的可靠性和成品率。

**3** 采用先进的助焊剂预涂工艺，让焊片表面均匀附着一层稳定、均匀、厚度一致的助焊剂层。使大部分常用焊料可以直接在大气环境下进行焊接，同时获得优良的焊接质量。简化焊料操作流程，提升焊接的一致性和封装效率。

**4** 银基钎料通常是以银或银基固溶体为主的合金。这类钎料具有优异的工艺性能，熔点不高，润湿性能及填缝性能良好，强度、塑性、导电、耐热等性能优异。

栢林电子是中国预成型焊料的探索者，现已发展成为国内领先的电子微组装焊料整体解决方案提供商！



上海科发公司 创建于 2014 年，是一家高新技术企业，拥有多项技术专利和雄厚的技术基础，专业从事金属与玻璃封结类产品研发、生产和销售。

公司主营产品：

产品一、T0 管座广泛用于光通讯、传感器、探测器、衰减器等相关领域，可以供应的规格分别有 T046-(2-7PIN)、T056(2-7PIN)、T033(2-5PIN)、T038(3-4PIN)、T039(2-8PPIN)、T05(3-4PIN)、T08(2-22PIN)、T060(6-9PIN) 小型化 T018、T025 等系列产品，可以根据使用需求做定制开发；



产品二、光电子器件金属外壳广泛用于电源模块、光纤、微波、滤波、光电、传感、大功率器件等领域。可以供应的产品有蝶形管壳，横向出针、上下出针管壳，也可将射频绝缘钎焊至金属管壳中；

产品三、同轴射频连接器、微炬型连接器广泛应用于军工、航空航天、卫星、雷达、等相关领域，目前合作的企业有贵州航天、上海航天、苏州华旃等，现可供应的规格有(SMP、SSMP、SMA、SMB、SMC、BZ、J30J) 等类别；



自创建以来，公司始终坚持“品质卓越、顾客满意、全员参与、持续改进”的经营理念，通过了 ISO9001、GJB9001C-2017 质量管理体系认证。经过不断创新和完善，使得产品工艺技术领先，产品性能稳定。产品质量在客户中享有较高的声誉，深受客户的信赖。



# 深圳市诺可信科技股份有限公司

Shenzhen Nokoxin Technology Co.,Ltd.

深圳市诺可信科技股份有限公司成立于2009年,是一家国家级高新技术企业,注册资本500万元,公司总部位于深圳市光明区,并在湖南设有生产基地,员工人数达200多人。

公司主要产品有光模块、光纤跳线、光纤工具、光纤收发器、POE交换机、工业级交换机、分光器等产品。公司定位为电信、联通、移动、广电网络等电信运营商及DC数据中心提供最后一公里的终端产品和测试仪器仪表,为企业和政府单位数据机房提供传输备和技术咨询服务,同时为平安城市建设以及政府“雪亮工程”提供监控网络和数据传输所需要POE交换机、工业级交换机等所需的解决方案及技术咨询服务。

## 主营产品



光纤跳线



分光器



光纤收发器



光模块



交换机



光纤工具

## 联系我们

深圳市诺可信科技股份有限公司

深圳总部:深圳总部-深圳市光明新区公明镇长凤路福圳工业区A栋7楼

衡阳分厂:湖南省衡阳市祁东县衡缘物流园七栋

服务电话:4008-058-333



公司网站



公众号

赛格瑞是您身边

冷 **TEC** 热

都在的朋友!

### /// 核心优势 ///

- **核心材料自主研发, 拥有全部四大工艺:**

区域熔炼工艺、热压烧结工艺、热挤压工艺、放电等离子烧结工艺 (SPS) 的制造能力。目前国内唯一一家采用SPS技术实现批量生产纳米晶热电材料的企业, 也是国内唯一一家N型纳米晶材料生产商, 材料产能50吨/年。

- **专业的核心研发团队:**

核心研发团队具备从材料研发、芯片设计、仿真设计、界面技术的能力, 可为广大客户提供更专业的产品选型与定制化服务。

- **掌握核心技术:**

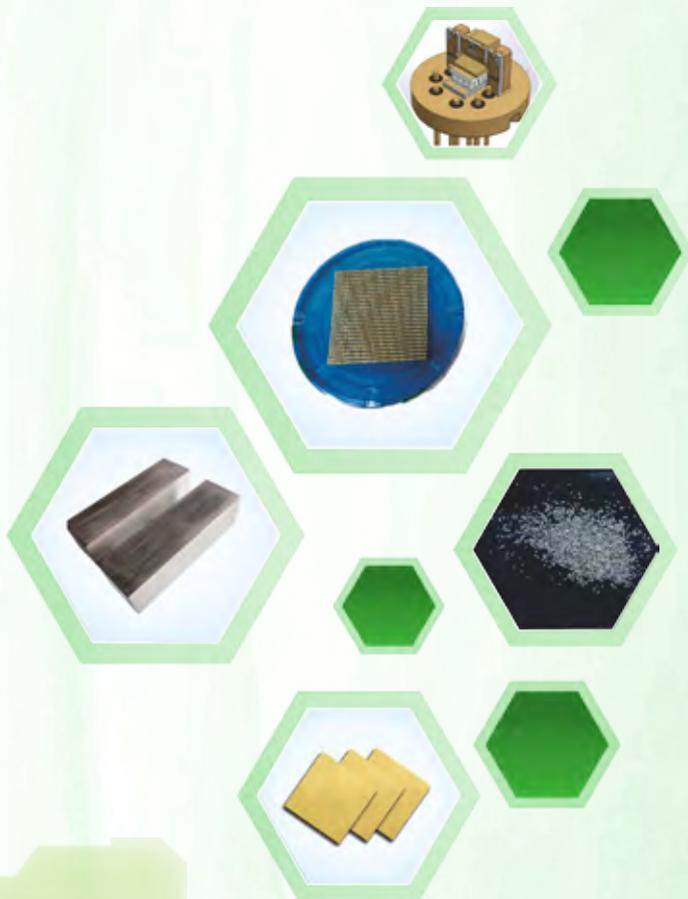
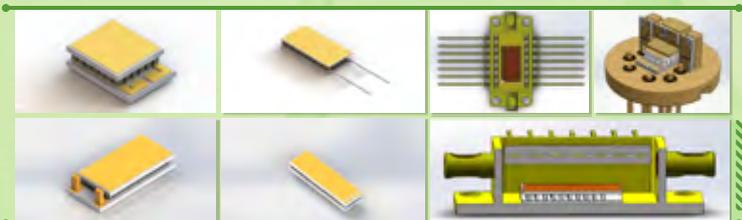
公司拥有从粉末冶金、晶圆切割到芯片封装的垂直整合能力和全套自动化产线。全球首创晶圆级封装技术, 可自动封装小于3mm<sup>2</sup>的芯片, 封装效率提高5倍以上, 良率超过90%, 封装成本大幅度降低。

- **打破国际垄断:**

Micro-TEC自主可控, 打破国际垄断完全国产化。不惧国际形势变化, 拥有敏锐的市场响应速度, 以及稳定的交付周期。

- **具有批量交付能力:**

Micro-TEC产能300万只/年, 通过国内光通行业多家客户的验证, 实现批量交付。



为客户创造价值



为员工实现价值



为社会奉献价值



# 长沙升华微电子材料有限公司

Changsha Saneway Electronic Materials Co.,Ltd

## 公司简介

长沙升华微电子材料有限公司位于湖南宁乡金洲新区工业园，系湖南省高新技术企业，专业生产W/Cu、Mo/Cu、Cu/Mo/Cu、Cu/Mo70Cu/Cu的高性能电子封装材料，公司凭借先进的材料制备技术、完备的材料检测设备和现代化的科学管理制度，同时依托中南大学雄厚的技术开发实力，在电子封装材料领域处于国内领先地位，其技术成果处于国际先进水平，产品先后获国防科学技术进步二等奖，湖南省科学技术进步二等奖，并获得中小企业创新基金重点资助和被评为国家重点新产品。



公司主营下列四种新型电子封装材料：

W-Cu系列，具体牌号：W90Cu、W85Cu、W80Cu、W50Cu等；

Mo-Cu系列，具体牌号：Mo70Cu、Mo60Cu、Mo50Cu等；

Cu/Mo/Cu系列：厚度比例可从1:1:1到13:74:13等；

Cu/Mo70Cu/Cu系列：厚度比例1:4:1及其他。

产品已广泛应用于微波器件、激光器功率管壳、通讯等领域，满足了我国航空航天、国防军工、电力电子、光通讯等行业的需求，此外，还远销美国、德国、日本、韩国，新加坡等国家和地区。公司愿意通过优质高效的服务，锐意开拓，真诚与广大客户共同发展。



地址：长沙宁乡金洲开发区澳洲路恩吉创业园

电话：0731-82573919

邮箱：junzhou@saneway.com

联系人：周先生

传真：0731-82573908

网址：www.saneway.com



## 公司简介

## INTRODUCTION

云南驰宏国际锗业有限公司是A股上市公司云南驰宏锌锗股份有限公司(600479)全资子公司,成立于2018年3月16日,注册资本25000万元,位于云南省曲靖市经济技术开发区,是一家专业从事锗材料生产、研发、加工的高新技术企业,国家专精特新“小巨人”企业,国家“科改示范企业”优秀企业,也是国内锗行业龙头企业之一。

公司拥有完善的锗产业生态链,从原料提取到产品加工、再到资源回收,主要有高纯四氯化锗、高纯二氧化锗、区熔锗锭、高纯锗粉、红外锗单晶、红外锗镜片等产品,产品质量稳定,信誉可靠。

公司始终秉承“融入市场、创新发展”的理念,依托锗资源优势 and 平台影响力,不断向高端锗材料、红外光学、光纤光缆等应用领域延伸发展,努力打造从矿山到冶炼、再到加工和应用的锗全价值链体系,肩负起集科技之大成、育锗业之栋梁、立行业之标杆的使命,打造世界一流的锗光电子产业基地!

## 锗产品介绍 GE PRODUCTS

### 光纤四氯化锗

分子式:  $\text{GeCl}_4$  分子量: 214.40 熔点:  $-49.5^\circ\text{C}$

沸点:  $82-84^\circ\text{C}$  密度:  $1.8443\text{g}/\text{cm}^3$  ( $20^\circ\text{C}$ )

用途: 主要用于制作光纤预制棒,是光纤预制棒里的掺杂剂,能有效提高纤芯的折射率,减少光纤色散和传输损耗;也可以作为二氧化锗水解原料,用于制备高纯二氧化锗。



### 高纯二氧化锗

分子式:  $\text{GeO}_2$  分子量: 104.59 纯度:  $\geq 99.9999\%$

用途: 可用于制作高纯金属锗、锗基化合物、有机锗、PET催化剂、BGO晶体及化合物晶体等。用二氧化锗作为催化剂制造出的PET性能好,安全无毒;BGO晶体则广泛应用于新一代辐射探测器材料。

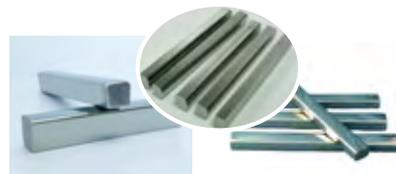


### 区熔锗锭

分子式:  $\text{Ge}$  分子量: 72.59 纯度:  $\geq 99.99999\%$

阻率:  $\geq 50\Omega \cdot \text{cm}$  ( $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ )

用途: 用于制造半导体和探测器、制备超纯锗材料的基本原料、拉制红外光学锗单晶和太阳能锗单晶、制造锗合金等。



### 红外锗单晶 / 红外镜片

分子式:  $\text{Ge}$  分子量: 72.59 晶体方向: (111)

电阻率:  $5\sim 40\Omega \cdot \text{cm}$  ( $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ )

用途: 主要用于制作红外窗口及透镜,广泛应用于红外热成像领域。锗单晶具有较高的折射系数,对 $8\sim 14\mu\text{m}$ 红外光透明,且具有耐腐蚀、不易潮解、机械性能好等优点,在红外热成像领域具有不可替代性。

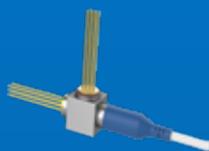




- 专注于光通讯与微电子环氧粘接剂领域，产品线追求少而精；
- 资深国外行业专家与本土丰富产品开发经验研发团队紧密合作；
- 核心材料定期信息搜集，特殊材料一手信息收集。



单双组份光纤用胶



BOSA用单组份热固化胶



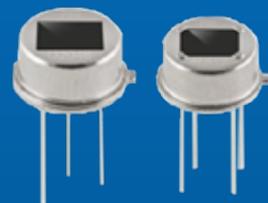
可伐合金专用胶



**专注成就专业，专业服务客户**



器件保护软胶



红外传感器环氧胶



光模块用环氧UV胶



超低CTE UV热固化胶

广州芯泰通信技术有限公司成立于2013年1月，是一家光通信领域集研发、生产、销售、技术服务为一体的创新型设备制造商和服务商，系广东省高新技术企业和5G企业，并荣获“专精特新”企业。

芯泰通信产品包括波分传输系统、DCI城域波分系统、OTN智能光网络系统、光放大系统、光保护系统、光模块等产品，已为全球的多个电信运营商、ISP/IDC服务商、广电、电力、交通、金融、网络安全等行业客户提供专业的服务，得到客户的一致认可。



OTN-DCI设备 (1.6T系统)



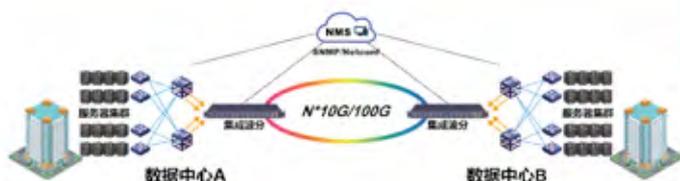
高集成波分传输系统 (N\*10G/100G)



DWDM波分系统 (10G-400G)



全系列光模块 (1.25G-400G)



地址：广州市黄埔区埔南路63号之中科研办公楼4层

电话：400-6677-515

官方网站：[www.sintai.com.cn](http://www.sintai.com.cn)





# 第24届中国国际光电博览会 欢迎您!

# WELCOME

## 同期七大主题展



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



CIOE官方小程序



关注CIOE官方公众号



智能传感展  
INTELLIGENT SENSING EXPO



红外技术及应用展  
INFRARED APPLICATIONS EXPO



光电子创新展  
PHOTONICS INNOVATION EXPO



新型显示璀璨展  
DISPLAY TECHNOLOGY EXPO

2023.9.6-9.8 深圳国际会展中心(宝安新馆)