

激光世界

LaserFocusWorld® China

2020年激光器市场年度回顾与展望：
在动荡不安的岁月中
砥砺前行的激光器市场

10

CO₂激光技术增加光纤端帽熔接和光纤阵列组装的灵活性 21

飞秒激光打印分辨率小于衍射极限的光学元件 23

半导体激光泵浦的新型黄光固体激光器 28

单片高功率锥形激光器实现真正的单模输出 31



微信公众号

VisionCon 2020

视觉系统设计技术会议

看风云变幻，“视”发展机遇

——VisionCon 2020，带你洞悉动荡环境中的转型升级之路

对于中国制造业而言，2019 年是艰难的一年。中美贸易摩擦的持续发酵，整个市场大环境的动荡不安，让很多制造企业遭遇困境，对于接下来该如何发展举棋不定，保持观望。与此同时，中国乃至全球制造业向更先进、更智能的方向发展的滚滚大潮，已经势不可挡。

在“大环境不景气、而制造企业要生存发展又必须投资更先进高效的生产技术”的艰难处境中，该从何处着手转型升级，是困扰众多制造厂商的一大难题。在高度自动化的智慧型工厂建造中，机器视觉已经是不可或缺的核心技术之一，它检测、识别、定位等这些生产过程中最为常见的应用中，发挥着关键作用。

为了让更多的制造企业更好地了解机器视觉技术在打造现代化智慧工厂中所发挥的作用，由雅时国际资讯（ACT International）和《视觉系统设计》（Vision Systems Design China）联合主办的 VisionCon 2020 视觉系统设计系列会议，将于 2020 年 4 月走进成都。

届时，我们将邀请机器视觉行业产业链上各个环节的关键厂商，与巴蜀地区企业用户共同探讨最新、最实用的机器视觉技术、产品及应用方案，希望为制造企业在智慧工厂的部署上提供有价值的参考！

4月16日成都

成都希尔顿酒店

6月苏州

超级会议

8月深圳

标准会议

8月东莞

标准会议

10月厦门

标准会议

12月上海

标准会议

研讨话题（部分）

- 视觉检测为汽车零部件生产及装配保驾护航
- 深度学习在半导体及电子制造与检测中的应用
- 红外热成像在工业制造及检测领域的应用
- 先进的镜头技术助力出色的成像性能
- 机器视觉技术打造智慧型仓储与物流
- 视觉检测在食品饮料及制药领域的应用
- 3D成像助力全方位检测与测量
- 机器视觉中的光源部署技巧
- 偏振成像与外观及表面缺陷检测

2019年合作企业（部分）



会议咨询

Hatter Yao 姚丽莹
Tel: 86-139 1771 3422

E-mail: HatterY@actintl.com.hk

Sophie Peng 彭珊
Tel: 86-137 6183 1915

E-mail: SophieP@actintl.com.hk

Lainy Gao 高秀芹
Tel: 86-188 5599 9175

E-mail: LainyG@actintl.com.hk

主办单位



大会媒体

视觉系统设计
Vision Systems Design China



扫码预报名



慕尼黑上海光博会
LASER & PHOTONICS CHINA

2020.3.18-20
上海新国际博览中心
W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7

欢迎莅临贝林激光展位: **W2-2428**



「脉宽 $< 15\text{ps}$ 」

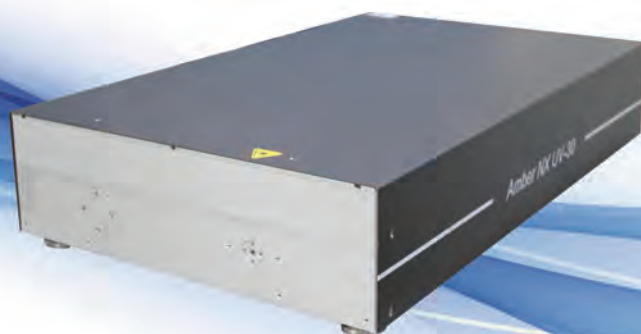
「DPSS 固体皮秒激光器」

「超过 1000 台皮秒激光器销售及应用」

「应用领域: 5G、半导体、显示、医疗等」

工业级

皮秒激光器



飞秒

紫外 5W | 10W
绿光 8W | 25W
红外 15W | 40W

皮秒

紫外 10W | 15W | 30W
绿光 5W | 15W | 30W | 45W
红外 2W | 10W | 30W | 50W | 75W

纳秒

紫外 $\leq 1\text{W}$ | 3W | 5W | 8W | 10W | 12W | 15W
绿光 8W | 12W | 30W
红外 定制



敬请关注微信公众号

苏州贝林激光有限公司(联系方式)

📍 苏州工业园区苏虹中路77号

☎ 0512-65070160

🌐 www.bellinlaser.com



10 市场观察

2020年激光器市场年度回顾与展望：

在动荡不安的岁月中砥砺前行的激光器市场

在制造业放缓和不确定的政治大环境中，材料加工、通信、医疗保健、仪器仪表、传感器、科研、国防和娱乐等多个细分激光器市场继续保持增长，尽管增长速度非常不均衡。

应用天地

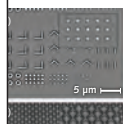
21 光纤熔接



CO₂激光技术增加光纤端帽熔接和光纤阵列组装的灵活性

CO₂激光可实现复杂光纤结构的光纤端帽熔接，将各种光学元件熔接到光纤端面，以及组装高功率光纤阵列。

23 3D打印光学元件



飞秒激光打印分辨率小于衍射极限的光学元件

飞秒激光高精度3D打印技术，为先进的零部件及产品的工业制造提供了广泛的设计自由度。

26 激光划线

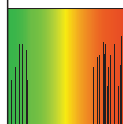


飞秒激光划线推进有机光伏电池的工业化生产

德国夫琅和费激光技术研究所（ILT）启动EffiLayers项目，旨在通过多种激光加工步骤，包括超短脉冲划线，来推进有机薄膜光伏电池工业化生产的进程。

技术中心

28 黄光激光器



半导体激光泵浦的新型黄光固体激光器

德国科学家们将高浓度三价铽离子掺杂到氟化镱锂（LiLuF₄）晶体中，通过半导体激光泵浦，实现了中心波长587.4nm的DPSS黄光激光器。

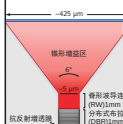
30 生物传感器



量子技术有望实现更好的生物传感器

将量子技术应用于生物传感领域，例如使用DNA稳定的金属“量子团簇”，将有助于扩展现代光学生物传感的功能。

31 半导体激光器



单片大功率锥形激光器实现真正的单模输出

单片MOPA技术使得锥形半导体激光器能够在当下的一些新兴领域获得广泛应用，如用于自动驾驶车辆的激光雷达。

34 商业论坛



将光子学研究转化为一项成功的事业

——访FBH总监Günther Tränkle先生

4 编者的话

6 前沿简讯

36 产品撷英

40 广告索引

关于《激光世界》

《激光世界》杂志创刊于 2005 年，是世界著名杂志《Laser FocusWorld》杂志的中文版本，也是在中国市场为激光与光电子行业的工程师、研究人员、科学家以及专业技术人员提供的专业期刊。《激光世界》的内容涵盖全球激光与光电子技术、工业与科研应用、市场信息以及中国本地市场的相关报道。

《激光世界》采用简体中文印刷，双月刊，每期发行量超过 9,500 册，面向激光与光电子行业内合格的读者群。同时，我们的电子杂志和网站将覆盖更广泛的读者群。

请查询本刊专业网站：www.laserfocusworld.com.cn。



扫一扫 免费下载电子书



10 MARKET TRENDS

Annual Laser Market Review & Forecast 2020:

Laser markets navigate turbulent times

Battling a slowdown in manufacturing and an uncertain political climate, the very diverse laser markets for materials processing, communications, healthcare, instrumentation, sensors, research, defense, and entertainment continue to grow, although at very uneven rates.

APPLICATIONS

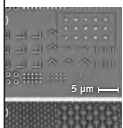
21 Fiber Splicing



CO₂ laser technology increases the flexibility of fiber end cap splicing and fiber array assembly

CO₂ lasers enable fiber end-cap splicing of complex fiber structures, splicing of various optical elements to the fiber end face, and assembling of high-power-capable fiber array arrangements.

23 3D- Printed Optics



Focused femtosecond pulses print optical components with Sub diffraction-limited resolution

High-precision 3D printing (HP3DP) via focused femtosecond pulsed laser light provides a wide range of freedom in design for the industrial fabrication of advanced components and products.

26 Laser Scribing

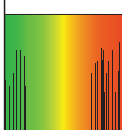


Femtosecond laser scribing to promote the industrial production of organic photovoltaic cells

Germany Fraunhofer Institute of laser technology (ILT) launched the EffiLayers project, aiming to promote the industrial production of organic thin film photovoltaic cells through a variety of laser processing steps, including ultra-short pulse scribing.

TECHNOLOGIES CENTER

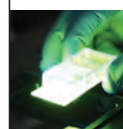
28 Yellow Lasers



New diode-pumped solid-state laser emits in the yellow region

Using highly Tb³⁺-doped LiLuF₄ as the gain material, German scientists realized a DPSS yellow laser with a central wavelength of 587.4nm by semiconductor laser pumping.

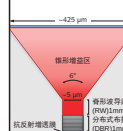
30 Biosensors



Quantum technology promises better biosensors

Applying quantum technology to biosensing, for example, using DNA-stabilized metal 'quantum clusters,' will help extend the capabilities of modern optical biosensing.

31 Laser Diodes



Monolithically unified high-power tapered laser enables true single-mode

Monolithic MOPA technology creates a tapered semiconductor laser for emerging applications, including lidar for autonomous vehicles.

34 BUSINESS FORUM



Turning photonics research into a successful business

—An interview with FBH director Günther Tränkle

4 EDITOR'S NOTES

6 LEADING EDGE SNAPSHOTS

36 PRODUCTS HIGHLIGHTS

40 AD INDEX

About Laser Focus World China

Published since 2005, Laser Focus World China, the Chinese edition of the world famous Laser Focus World magazine, is the professional magazine for engineers, researchers, scientists, and technical professionals in China. It provides comprehensive global coverage of optoelectronic technologies, industrial and R&D applications, and market information. The editorial content licensed exclusively from Laser Focus World magazine is supplemented by content generated by our own editors in China.

Laser Focus World China is published every other month in simplified Chinese and distributed to over 9,500 qualified optoelectronics professionals in China. Through our digital magazine and website we provide coverage to an even larger audience base. Please visit our relevant website, www.laserfocusworld.com.cn.

Laser Focus World China, ISSN 1817-6917 is published bi-monthly by ACT International, Unit B, 13/F, Por Yen Building, No. 478 Castle Peak Road, Cheung Sha Wan, Kowloon, Hong Kong, under the license of PennWell Corporation, 1421 S. Sheridan Road, Tulsa, OK 74112. Copyright 2010. All rights reserved. This publication contains article reprinted from Laser Focus World magazine. Laser Focus World is exclusively owned and published by PennWell Corporation. PennWell Corporation is not responsible in any way for the editorial policy and expressly disclaims responsibility for, and makes no warranties, express or implied, with respect to the content of this publication or the performance or reliability of products described herein that are products described by independent vendors.

在动荡中顽强前行的 激光器市场

由 *Laser Focus World* 和市场研究公司 *Strategies Unlimited* 联合出品的年度全球激光器市场回顾与展望文章，在 2020 年伊始之际如期而至。经历了让人感觉动荡不安、甚至是让一些企业遭受创伤的 2019 年，来自行业内的权威市场调研机构会给出一份怎样的市场报告呢？

中美贸易战的不断发酵升级，已经殃及了激光行业内的很多企业，加之欧洲一些市场的疲软和光纤激光器产品价格的大幅下降，2019 年全球激光器市场发展并不乐观，*Strategies Unlimited* 的市场数据显示：预计 2019 年全球激光器市场的总收入约为 150 亿美元，仅比 2018 年小幅增长 1.3%；相比之下，2018 年增长了 8.5%，2017 年增长了 19.2%。当然，略微能让我们感到一点点安慰的是，市场并未出现停滞甚至是负增长，尽管所处艰难的环境，但是整个激光器市场还是保持了温和增长，这背后也显示了从业者们顽强的努力与奋进，当然也有新生的市场机会。

另一方面，*Strategies Unlimited* 也给出了好消息：预计今年，也就是 2020 年全球激光器市场将有望反弹到正常水平，届时将恢复 10% 左右的年增长率。当然，这个好消息的实现还有待于经济和政治大环境的良性发展。

无论好坏，2019 年已然成为历史。接下来我们应该更多地聚焦 2020 年乃至以后的市场机会。从激光器的细分应用市场来看，2020 年各个细分市场都呈现出了复苏反弹的态势。涉及极紫外的光刻市场呈现出强劲发展趋势；5G 通信对激光加工产生的新需求，将促使激光制造商推出新产品和新技术，惠及通信市场；中国用于研发的激光器经费将继续增加；激光雷达在全球市场的风靡以及越来越多的参与者入局角逐该市场，虽然这部分市场相对较小，但是其热度的持续攀升依然使得该市场不容忽视；随着 OLED 屏成为主流产品，市场对激光加工、特别是超快激光加工的需求，将迅速增长。

此外，在全球激光器市场中，还存在着另一个起着越来越决定性的因子，那就是中国制造的激光光纤激光器。当下，激光光纤激光器已经成为工业应用中的绝对主力，而中国正处在其庞大的制造业从低附加值向高端智能制造转型升级的过程中，这正是激光光纤激光器应用的巨大市场。现在，中国制造商已经突破了万瓦级激光光纤激光器的技术壁垒，这意味着今后很可能会诞生很多激光光纤激光器制造商，并且能提供万瓦级产品，导致激光光纤激光器市场的竞争更加残酷，中国工业激光市场乃至全球工业激光市场的格局很可能会据此而改变。

有人的地方就有江湖，有江湖的地方必有纷争。愿躬身入局的我辈中人，直面挑战，砥砺前行，迎接新的一年！□

中国/香港特别行政区 China / Hong Kong SAR
电话 (852) 2838 6298
传真 (852) 2838 2766
地址 香港九龙长沙湾青山道478号
百欣大厦13楼B室
出版总监 麦协林 Adonis Mak
电邮 adonism@actintl.com.hk
社长及副总裁 麦协和 Mark Mak
电邮 markm@actintl.com.hk
中国区总经理 徐旭升 Michael Tsui
电邮 michaeltsui@actintl.com.hk
中国版主编 庞会荣 Rossie Pang
电邮 rossiep@actintl.com.hk
记者 胡雯 Lily Hu
电邮 lilyh@actintl.com.hk
记者 陈玉婷 Julie Chen
电邮 juliec@actintl.com.hk

免费赠阅咨询
电话 (86) 755 2598 8571
传真 (86) 755 2598 8567
电邮 lfwc-sub@actintl.com.hk

特约编辑
In My View Jeffrey Bairstow
电邮 inmyview@yahoo.com
Industrial Lasers David A. Belforte
电话 (1) 508-347-9324
电邮 dbelforte@endeavorb2b.com
Valerie Coffey
电话 (1) 978-263-4485
电邮 stellaredit@gmail.com
Photonic Frontiers Jeff Hecht
电话 617-965-3834
电邮 jeff@jeffhecht.com
Imaging Conrad Holton
电话 (1) 603-891-9161
电邮 cholton@pennwell.com
Europe D. Jason Palmer
电话 (44) 7960 363308
电邮 djasonpalmer@gmail.com

尖端技术部市场总监 Adrienne Adler
美术编辑总监 Suzanne Heiser
高级绘图 Chris Hipp
制作经理 Sheila Ward
广告协调员 Steve Archer
客户开发经理 Debbie Bouley



尖端技术部通讯与光子电子分部
副总裁 / 集团出版人 Alan Bergstein
电话 (1) 603-891-9178
电邮 alanb@endeavorb2b.com
副出版人/总编辑 John Lewis
电话 (1) 603-891-9320
电邮 jlewis@endeavorb2b.com
高级编辑 John Wallace
电话 (1) 603-891-9228
电邮 jwallace@endeavorb2b.com
高级编辑 Gail Overton
电话 (1) 603-305-4756
电邮 goverton@endeavorb2b.com
管理编辑 Lee Dubay
电话 (1) 603-891-9116
电邮 ldubay@endeavorb2b.com

公司行政人员
主席 Frank T. Lauinger
总裁兼行政总监 Robert F. Biolchini
财务总监 Mark Wilmoth

尖端技术分部
读者服务主任 Debbie Bouley

地址 Laser Focus World, 61 Spit Brook Road,
Suite 501, Nashua, NH 03060
电话 (1) 603-891-0123
网址 www.laserfocusworld.com

本刊编辑部

CASTECH®

福晶科技



全球先进的一站式超快方案供应商

• 激光光学元件

光栅
啁啾镜
高损伤光学元件
超光滑镜片
...

• 激光晶体

Yb:CALGO
Yb:CaF₂
Yb:KGW
Yb:YAG
...

• 激光器件

声光调制器
高功率隔离器
BBO普克尔盒
...

Visit us at

SPIE. PHOTONICS
WEST

South Hall # 667

Feb 4-6, 2020

San Francisco, CA, USA

扫描二维码

了解更多信息

+86-591-83710533

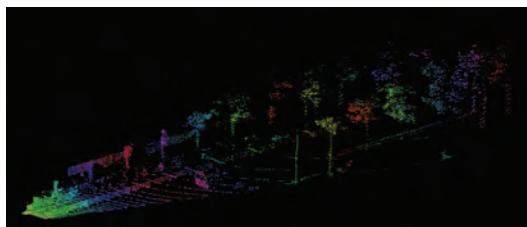


国内公司自主研发的激光雷达产品成功完成路面跑车试验

中国激光雷达初创公司 Advanced Optical Detect Technology Beijing co., LTD (AODTBJ) 宣布研发成功 Self-Homodyne laser radar, 并且已经完成路面跑车试验。该公司表示, 将在 2020 年国际消费电子展 (CES) 上演这款激光雷达产品。

AODTBJ 表示, Self-Homodyne laser radar 可以实现 4D 的激光点云输出, 即每个输出点云除了距离信息外, 还带有目标多普勒信息, 这将更有助于实现动目标检测, 进而有效提升自动驾驶的安全性和作用距离。

AODTBJ 研发的 Self-Homodyne laser radar 采用了具有核心专利的相干探测技术和伪随机相位编码技术。不同于传统的调频连续波 (FMCW) 激



3D laser point cloud image



Working scene, Peking street

光雷达, 伪随机相位编码技术, 只需要对激光进行“1010”的相位编码, 这能保证每台激光雷达都有自己独特的“ID”信息, 实现对自身发射信号的“身份”认定。同时, 采用伪随机

相位编码技术还可以解决传统 FMCW 技术对激光信号调制线性度要求极高的问题, 使系统具备极佳的温度和环境适用性, 更利于汽车的使用要求。

该公司透露, AODTBJ 下一步将开展 Self-Homodyne laser radar 芯片化的技术研制, 系统主体将集成在尺寸为 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 5\text{mm}$ 的芯片封装内, 这样能大幅降低 Self-Homodyne laser radar 的成本、体积和功耗。

目前, AODTBJ 研制的 Self-Homodyne laser radar 已全面接受样机预订和试用工作, 感兴趣的朋友可以联系 yaojian@laserradar.cn。□

Knight Optical 针对激光雷达应用的金刚石车削非球面透镜

据外媒报道, 为了满足自动驾驶汽车行业的技术创新需求, 英国 Knight Optical 公司提供了一系列适用于汽车激光雷达的光学元件。

Knight Optical 的金刚石车削非球面透镜因可靠性和高质量, 在汽车行业非常知名, 让业内基于激光雷达的自动驾驶系统具备极高的精确度。单透镜会因球差导致光学畸变, 从而导致图像失真, 但是非球面透镜会纠正球差, 避免不均, 因而, 单组分透镜就能够校准或聚焦高度散射的光

线, 进而取代多透镜系统。特别对于基于激光雷达的设备来说, 与多透镜设置相比, 此种设置能够提供更高质量的信号, 也更经济、更紧凑。



Knight Optical 只提供定制金刚石车削非球面透镜, 由各种近红外材料制成, 可用于激光雷达驱动的自动驾驶汽车应用。此类材料包括 N-BK7、蓝宝石、石英、UV 熔融石英等。

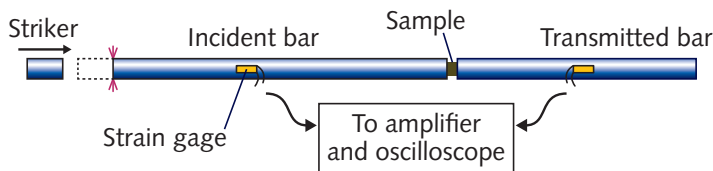
金刚石车削非球面透镜通常还用于导弹制导系统、夜视镜和其他军用仪器等光学组件中。例如, 在夜视镜中, 只利用一个非球面透镜就可取代多透镜阵列, 从而减少球面畸变、减轻重量、降低成本。□

激光增材制造的钛合金零件强度与锻造件相媲美

利用激光增材制造的零件的性能，特别是强度，已经能与使用传统减材方式制造的零件相媲美。

美国伊利诺伊大学香槟分校的研究人员，已经在这方面进行了应力测试。测试样品为用激光增材方式制造的钛合金 Ti-6AL-4V (Ti64) 气缸，钛含量约为 90%，铝含量约为 6%，钒含量约为 4%。钛合金以粉末形式逐层由高功率激光熔化，按照 CAD 模型逐层成形，每层厚度 30 μ m。

在应力测试实验中，气缸被夹在两条长而结实且相对较厚的钢筋之间 (incident bar 和 transmitted bar)。另一根



钢筋 (striker bar) 在压缩空气的推动下，去撞击第一根钢筋 (incident bar)。

这跟钢筋 (incident bar) 随即将一个应力脉冲传递给样品 (sample)，记录的信号绘制出气缸的应力 - 应变曲线。由于采用的是增材制造方法，因此气缸的微观结构具有方向性，形成晶粒结构。研究人员表示：“我们最初认为，逐层熔融制造会对气缸的强度特性产生巨大影响。这种结构与传统的锻造材料有很大不同。增材制

造产生的晶粒更细长、更大，达到数百微米；而在锻造材料中，晶粒更小、更圆。这意味着，即使在这种极端的环境和负荷下，

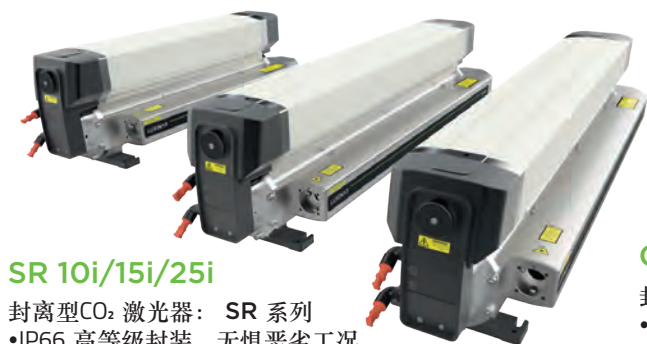
增材制造的材料也能保持相当完好。目前的金属增材制造技术生产的零件，比五年前要好得多。”

研究人员还用相同的实验测试了普通锻造方式制造的钛零件。研究人员说：“到目前为止，我们所看到的是，使用增材方式制造的零件表现出了很好的强度性能、很好的可靠性和一致性。也就是说，即便它们不比普通锻造方式制造的零件更好，但至少也是同样好。” □

LUXINAR 罗悉激光

引领封离型 CO₂ 激光技术 20 余年

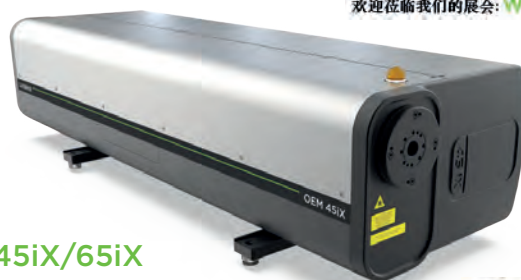
慕尼黑上海光博会
LASER & PHOTONICS CHINA
2020 年 3 月 17-20 日 | 上海新国际博览中心
欢迎莅临我们的展会: W3, 3635



SR 10i/15i/25i

封离型 CO₂ 激光器: SR 系列

- IP66 高等级封装, 无惧恶劣工况
- 小巧紧凑, 增强型自诊断系统
- 波长可选: 10.6 μ m, 10.25 μ m, 9.3 μ m.
- 工业应用: 切割, 标记, 穿孔, 焊接、雕刻



OEM 45iX/65iX

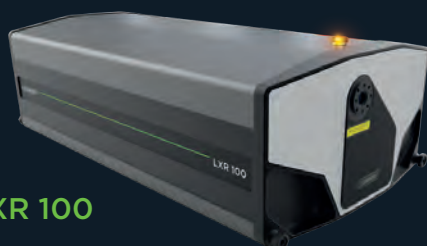
封离型 CO₂ 激光器: OEM 系列

- 输出功率充沛 (15-1000W), 光束质量优
- 高峰值功率的短脉冲或准连续的输出方式
- 波长可选: 10.6 μ m, 10.25 μ m, 9.3 μ m.
- 典型应用行业: 汽车、纺织、食品、包装、烟草



获取更多应用资讯
微信关注罗悉激光

NEW! 新产品首发预告!



LXR 100

LXR 100 工业级飞秒激光器

SR 25i AOM-声光调制器

将于2020上海光博会首次亮相!

敬请期待!



SR 25i AOM

Plessey 公司开发出基于 InGaN 的红光 LED

致力于增强现实和显示市场的 microLED 技术开发商 Plessey，宣布开发出“世界上首款基于 InGaN 材料的红光 LED”。

基于 InGaN 的蓝光和绿光 LED 已经在市场上实现商用，但是红光 LED 通常基于 AlInGaP 材料或通过颜色转换实现红光输出。Plessey 表示，对于 AR 应用，由于 AlInGaP 材料的严重边缘效应和颜色转换过程中的腔损耗，实现高效的超精细间距红色像素（跨度 $<5\mu\text{m}$ ）仍然非常困难。

相比于目前基于 AlInGaP 的红光 LED，基于 InGaN 的红光 LED 因为具有更低的制造成本、200mm 或 300mm 晶圆的可扩展性以及更好的热/冷系数，因此对市场而言颇具吸引力。



但是，要利用 InGaN 材料实现红色光谱发射是一项有挑战性的工作，因为这种材料的镓含量高，会在活性区产生显著应变，从而降低晶体质量，产生大量缺陷。

Plessey 公司使用一个专有的应变活性区，已经成功克服这些挑战，创造出了一款有效的 InGaN 红光 LED，其在 $10\text{A}/\text{cm}^2$ 时能输出 630nm 的红光，半高全宽为 50nm，热冷系数超过 90%，比传统的 AlInGaP 红光

LED 和颜色转换的红光 LED 具有更高的效率。

Plessey 表示，该公司现在有能力制造基于 InGaN 材料的蓝光、绿光和红光 LED，或者使用其 GaN-on-silicon 平台在 400~650nm 之间调节波长。Plessey 外延和高级产品开发总监 Wei Sin Tan 博士评论道：“这是一个令人兴奋的结果，因为它为超精细像素间距和高效的 InGaN 红光 LED 的低成本制造开辟了一条新道路，这将加速 microLED 在 AR 微型显示器和移动/大型显示器应用中的采用。”

Plessey 将亮相 2020 年国际消费电子展。同时，该公司还将与 Compound Photonics 公司联手，为 AR/MR 应用开发全球最小的 1080p microLED 近眼显示解决方案。□

国产激光雷达技术获突破有望普及自动驾驶技术

大疆创新内部孵化的独立子公司——览沃科技 (Livox) 推出两款激光雷达传感器 Horizon 和 Tele-15，分别适用于 L3 和 L4 级别的自动驾驶。让人震撼的是，Horizon 的售价为 6499 元，Tele-15 的售价为 9000 元。

激光雷达在自动驾驶车中的普及应用，一直受到激光雷达动辄几十万的高昂成本限制，让许多车企望而却

步。Livox 推出的这两款激光雷达产品，不仅让激光雷达的价格走向了平民化，而且在性能上也不逊色。

Horizon 地平线的探测范围为 260 米左右，水平视场 (HFOV) 为 81.7° ，可覆盖 10 米距离内的 4 条车道，当积分时间为 0.1 秒时，其视场覆盖率与 64 线机械激光雷达相当，可用于近距离探测。使用 5 个 Horizon 传感器组合，即可实现 360° 全方位覆盖，而总成本仅为 64 线机械激光雷达的 5%。

一般来说，传统的激光雷达传感器使用水平的线性扫描方法，这种方法会存在一些盲点，无论扫描多长时间，FOV 中的一些物体都无法被检

测到。Livox 团队研发了一种名为“非重复扫描”的新型扫描方式，其所生成图像的保真度会随着时间迅速增加，这种独特的非重复扫描方法，能够实现近 100% 的 FOV 覆盖率和更长的集成时间。

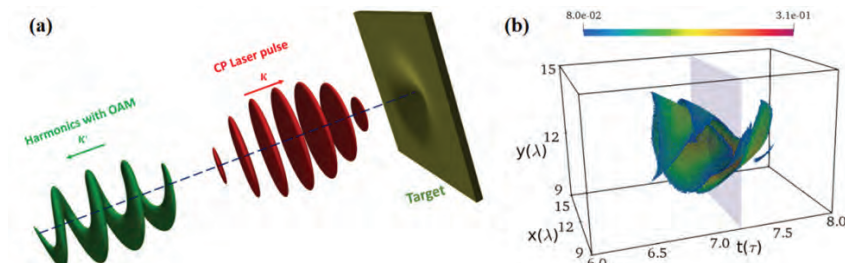
Livox Tele-15 专为远距离探测而设计，当积分时间为 0.1 秒时，Tele-15 可以在 15° 圆形视场范围内扫描 99.8% 的区域。Tele-15 可以检测到 500 米外的物体，而这是人眼或其他传感器难以达到的。Tele-15 结构紧凑，具有高精度和高可靠性等优点，其突破性性能，使自动驾驶系统能够提前检测到远处物体，即使在高速行驶时也能提供更多的反应时间。□



上海光机所在产生高强度阿秒涡旋脉冲方面取得重要进展

近期，中科院上海光机所强场激光物理国家重点实验室发现，利用相对论强度的圆偏振激光与固体靶作用，可以产生高强度的携带有轨道角动量的表面高次谐波，并揭示出其中的物理本质是光的自旋角动量转化为轨道角动量，且据此提出了一种产生单个阿秒涡旋脉冲的方案。

该项研究中，科研人员发现将相对论强度的圆偏振激光垂直入射到固体靶表面时，可以让平面靶的表面发生形变而形成一个凹槽结构。该凹槽结构使得垂直入射的非轴上的光变成了斜入射，从而能有效地振荡等离子体表面，进而产生表面高次谐波辐射。更为有趣的是，该等离子体振荡相位



图：圆偏振光转化为涡旋光的原理图和单个阿秒涡旋脉冲的空间结构示意图。

取决于等离子体所在的方位角，从而将轨道角动量引入到产生的高次谐波辐射中。进一步分析发现，谐波中光子的轨道角动量是由多个驱动光子的自旋角动量转化而来，而且该转化过程满足角动量守恒定律。

该项研究工作突破了之前难以通过光学器件产生高强度涡旋光的限

制，使得利用目前已有的拍瓦级强激光和固体靶直接作用，来产生相对论强度的涡旋光场成为可能。科研人员进一步提出，如果采用预先凹槽处理的固体靶与少周期的超短脉冲作用，可以产生高强度的单个阿秒涡旋脉冲。这为手性结构等材料的超快探测提供了一种可能的优良光源。□

光学引领未来™

BEAM EXPANDERS



开启 Edmund Optics® 定倍激光扩束镜发现之旅

爱特蒙特光学 (Edmund Optics®) 自主设计和制造的多款扩束镜，涵盖多种波长和放大倍率范围。这些扩束镜系列的命名受到恒星和其他天体的启发，这些恒星和天体之间的差异与不同扩束镜系列之间的差异有着异曲同工之处。

爱特蒙特光学(深圳)有限公司

中国深圳市龙华工业东路

利金城科技工业园3栋5楼，518109

Tel: +86 (0755) 2967 5435 Email: chinasales@edmundoptics.cn



Edmund optics | china

欲了解更多信息，请点击此处：

www.edmundoptics.cn/010-8616

2020年激光器市场年度回顾与展望：

在动荡不安的岁月中 砥砺前行的激光器市场

在制造业放缓和不确定的政治大环境中，材料加工、通信、医疗保健、仪器仪表、传感器、科研、国防和娱乐等多个细分激光器市场继续保持增长，尽管各个领域的增长速度并不均衡。

文/Conard Holton, Allen Noguee, Jeff Hecht, Barbara Gefvert



前言

文/Conard Holton, *Laser Focus World* 资深编辑

对于全球激光市场的许多领域而言,2019年是艰难的一年。激光制造商和全球经济中的其他制造商一样,在整个2019年都面临着艰难的经济和政治环境,并且真切地感受到了贸易战和关税所带来的负面影响。我们在年度回顾和展望中发现,目前一些激光应用领域正在市场上苦苦挣扎,而另一些激光应用正在日趋繁荣,展现出更好的未来前景。每个细分应用市场都各不相同,每个细分市场都在谱写着自己的故事。

首先我们看到的并不算是个好消息:预计2019年全球激光器市场的总收入约为150亿美元,年增长率为1.3%(见图1a和图1b);相比之下,2018年的增长数字为8.5%,2017年的增长数字为19.2%。

当然也有好消息:对于2020年的预测显示,2020年全球激光器市场将有望反弹到正常水平,即收入增长率达到10%。当然,实现这一预期的前提是:排除经济衰退情况,并且假设一些贸易冲突问题已经得到解决或者没有继续恶化。

全球经济浪潮

许多传统的全球经济指标都显示出激光制造商所面临的挑战。2019年11月底,经济合作与发展组织(OECD,简称经合组织)宣布,贸易冲突、商业投资疲弱和持续的政治不确定性,正在使世界经济面临巨大压力,并增加了经济发展长期停滞的风险。该组织预测,2019年世界GDP增长率将为2.9%,这是自经济大衰退(Great Recession,发生于2007年影响至今的经济危机)以来的

最低年增长率,并预测直到2021年都将保持在这一增长范围。

预计2020年和2021年,美国的GDP增速将放缓至2%

左右;欧盟和日本预计同期增速将在1%左右;中国2021年的GDP增速将降至5.5%,2018年为6.6%;而德国,由于关税和英国脱欧问题对贸易伙伴产生的影响,正在经历着一场深度工业衰退。

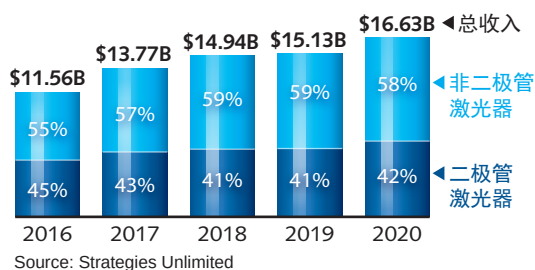
政治上的不确定性是经济放缓的一个主要因素,因为它引发了一个问题,即全球贸易体系几十年来运行的规则是否会改变或是消失。家庭支出一直保持增长,但也有减弱的迹象,过去一年中汽车的销售急剧下降。最重要的是,经合组织看到了更深层次的结构性变化,

数字化改变了商业模式,经济大环境和人口结构的变化正在颠覆现有的商业模式。

不过,这个消息也并不全是悲观的,因为包括激光公司在内的全球企业,都在适应新的环境以保持竞争力,甚至是将制造业务转移到不受美国关税影响的国家。此外,国际半导体产业协会(SEMI)还预测,2019年全球半导体制造设备的销量下降超过10%,该市场将在2020年复苏,并在2021年创下新高。

如何阅读这篇文章

为了进行市场分析和预测,我们将全球激光市场划分为六大细分市场,每个细分市场包含多个技术和应用领域,这些领域可能会呈现出非常不同的市场状况和结果。



Source: Strategies Unlimited

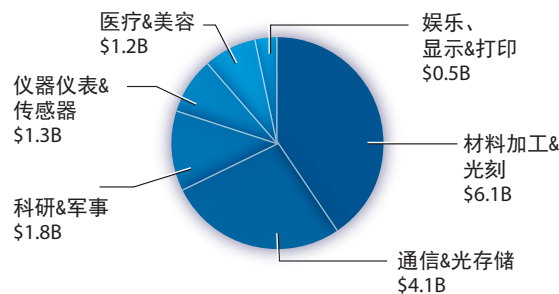


图1: 全球激光器总收入和2020年预测。

这六大细分市场包括：

- **材料加工与光刻市场：**包括用于所有类型金属加工（焊接、切割、退火、钻孔）的激光器；用于半导体和微电子制造（光刻、刻划、缺陷修复、钻孔）的激光器；用于所有材料打标用的激光器；以及用于其他材料加工（如切割和焊接有机物、快速成型、微加工和光栅制造）的激光器。
- **通信与光存储市场：**包括用于电信、数据通信和光存储应用的所有激光二极管，包括用于光放大器的泵浦源。
- **科研与军事市场：**包括用于基础研究的激光器，如大学和国家实验室；以及用于新兴和现有军事应用的激光器，如测距仪、照明器、红外对抗和定向能武器研究。
- **医疗与美容市场：**包括所有用于眼科（包括屈光手术和光凝固术）、外科、牙科、治疗、皮肤、脱毛和其他美容应用的激光器。
- **仪器仪表与传感器市场：**包括生物医学仪器、分析仪器（如光谱仪）、晶圆和掩模检验工具、计量工具、水平仪、光学鼠标、手势识别、激光雷达、条形码阅读器和其他传感器中使用的激光器。
- **娱乐、显示与打印市场：**包括用于灯光表演、游戏、

数字影院、前后投影仪、微型投影仪和激光指示器中的激光器；还包括用于商业印前系统和照片处理的激光器；以及用于消费者和商用的传统激光打印机中的激光器。

在下文的内容中，Allen Noguee——市场研究公司 Strategies Unlimited 激光行业分析师，将提供 2019 年六大细分市场的市场分析以及 2020 年预测，以及显示收入趋势的图表。Jeff Hecht——*Laser Focus World* 特约编辑，将提供影响通信投资的一些主要项目。Barbara Gefvert——*BioOptics World* 主编，将提供医疗和美容激光器领域的主要技术与商业趋势。

另外，*Industrial Laser Solution* 主编 David Belforte 关于“材料加工市场的全面分析”，可以登陆网站 www.Industrial-lasers.com 阅读。

在 2020 年的 SPIE Photonics West 期间，于 2 月 3 日举行的第 32 届激光与光子学市场研讨会（32nd Lasers & Photonics Marketplace Seminar）上，Allen Noguee 将对激光市场进行广泛分析，并提供最新数据和预测。

最终报告——《全球激光器市场：市场回顾与预测 2020》，将于 2020 年 3 月由 Strategies Unlimited 发布，其中包含全面的最新数据和分析。□

激光器与光源：

激光器细分市场回顾与展望

文/Allen Noguee, *Laser Markets Research* 总裁

材料加工与光刻市场

包括用于所有类型金属加工（焊接、切割、退火、钻孔）的激光器；用于半导体和微电子制造（光刻、刻划、缺陷修复、钻孔）的激光器；用于所有材料打标的激光器；以及用于其他材料加工（如切割和焊接有机物、快速成型、微加工和光栅制造）的激光器。

总体而言，2019 年对于用于材料加工领域的激光器来说，并不是一个好年头（见图 2）。2019 年我们面临着

两个不可回避的问题：对进出口美国的产品征收各种关税，以及中国激光器公司的竞争力日益增强。

尽管来自中国激光器公司的竞争已经不是什么新鲜事儿，但是最近有越来越多的中国激光器公司如雨后春笋般涌现，并且其光纤激光器的功率水平也在不断攀升。曾经，中国厂商生产的光纤激光器，其功率水平大多局限在打标应用的级别；但是在过去的几年中，中国生产的光纤激光器的功率更多地处于 2~6kW 的范围，而这些产品将



图2: 材料加工与光刻市场。

能满足千瓦级材料加工领域的很大一部分业务需求。随着中国公司能够广泛提供更高功率的光纤激光器产品,已经导致光纤激光器价格急剧下跌,其中一些地区的平均售价在一年内就下降了 25% 甚至更多。

虽然中国光纤激光器的崛起对于中国以外的激光器公司而言非常不利,但这还不是最糟糕的影响因素。美国最近对进口产品征收的贸易关税和其他国家(主要是中国)回击性地征收类似关税,已经对正常的激光贸易产生了巨大影响。尽管像 IPG 和通快这样的大型激光公司有能力和制造业务转移到其他国家以避免关税,但是一旦将激光制造业务转移到其他国家,同时也可能伴随着其他负面影响,如增加的税收、更高的运费以及更高的劳动力成本。较小型的激光器制造商往往别无选择,只能接受关税,而这极有可能对他们的业务带来严重打击。

就应用层面而言,2019 年销售的用于材料加工的激光器中,焊接应用市场的表现超过切割市场。总体而言,6kW 及以上的大功率激光器增长最为强劲,尤其是在焊接领域。这无疑对于中国以外的公司是个利好,因为目前中国制造商还难以在更高功率水平上生产高质量的激光器。然而在未来几年,这种情况将会改变。

用于增材制造的激光器在 2019 年表现不佳,当然其在 2018 年的表现也不算太好。这些激光 3D 打印机大多是由欧洲公司制造的,而增材制造这一细分市场以及欧洲许多地区在 2019 年表现疲弱。2019 年,用于半导体和 PC 板制造的激光器表现相对强劲,但有许多迹象表明,这一市场领域也正在衰减。2019 年用于太阳能制造的激光器表现疲软,因为中国是太阳能电池板的主要消费国,而且中国经济的疲软影响了太阳能市场的增长。

我们看到,2020 年光刻市场将会呈现相对强劲的发展,因为这类激光器需求的增长,大多与极紫外 (EUV) 的部署有关,而无论半导体业务是否出现暂时低迷, EUV

部署应该都会发生。2020 年的材料加工市场更难预测。如果贸易关税放松,特别是针对中国的关税,激光器的销售可能会有所反弹;但是中国制造的低成本光纤激光器的过剩,也将未来几年对价格产生负面影响。

通信与光存储市场

包括用于电信、数据通信和光存储应用的所有激光二极管,包括用于光放大器的泵浦源。

2019 年,来自通信市场的激光器收入下降,这一细分市场也是受到中国贸易关税负面影响最大的市场(见图 3)。2018 年,来自通信市场的激光器收入在多年的市场周期中触底,但当时我们曾认为 2019 年将是一个上升年份。然而不幸的是,中国的贸易关税对通信市场造成重创,使得该市场的复苏难以实现。

事实上,来自通信市场的激光器收入是非常具有周期性的,因为该细分市场与全球范围内新的、大规模通信网络的部署趋于同步。2017 年和 2018 年,大多数 4G 蜂窝网络部署已经完成,而 2019 年是 5G 网络开始加速发展的一年。正常而言,这一细分市场仍然遵循通信市场的发展规律,但是由于中国关税的增加,使得一些设备的部署被推迟。



图3: 通信与光存储市场。

我们认为,2020 年来自通信市场的激光器收入,至少应该达到平均水平,因为即使中国经济有所放缓,5G 仍将继续加速增长,并且不太可能有什么因素能推迟这一增长,除非再次出现经济大衰退。

至于光存储市场,对于激光器的应用前景继续暗淡。DVD、CD 和蓝光媒体的销售额继续下降,更多基于云和流媒体的解决方案,正在取代对大容量本地存储的需求。热辅助磁记录 (HAMR, 利用激光来增加磁介质的存储容量) 再次被推后,希捷 16TB 3.5 英寸 HAMR 产品可能有望在今年上市。西部数据公司已经开始转向微波辅助磁记

录 (MAMR) 技术, 这是一种与 HAMR 类似的技术, 但不使用激光。至于 HAMR 最终能否实现商用这个问题, 有谁会介意呢?

科研与军事市场

包括用于基础研发的激光器, 如大学和国家实验室; 以及用于新兴和现有军事应用的激光器, 如测距仪、照明器、红外对抗和定向能武器研究。

2019 年, 全球科研用激光器支出略有增长 (见图 4)。虽然美国政府减少了科研用激光器的支出, 但是中国政府在这一领域的支出增加, 抵消了美国支出的减少。欧洲市场尽管经济放缓, 但 2019 年科研用激光器的支出与上年基本持平。企业领域在研发激光器方面的支出变化很大, 一些公司用于研发的激光器支出越来越少, 特别是临近 2019 年底, 随着对经济衰退的担忧, 大多数企业的研发支出都在下降。



图4: 科研与军事市场。

2018 年, 军用激光器收入表现出色, 但在 2019 年达到顶峰停滞增长。自从 1983 年美国前总统里根 (Ronald Reagan) 提出星球大战激光导弹防御系统以来, 美国一直试图将激光用于军事目的, 但是大多数系统都极其昂贵, 最终没有成功。然而最近几年, 随着无人机和类似小目标的新威胁, 小型定向能 (DE) 激光武器引起了美国军方的新兴趣。这些设备已经在船上和陆地车辆上进行了测试, 目前也在为小型飞机配备该武器。由于激光发射的是光而不是实弹, 因此这些武器虽然制造成本高, 但从长远来看它们的操作成本较低。

预计未来几年, 军用激光器的收入增长将保持高位。定向能激光武器被认为是应对“无人机和其他越来越多被恐怖组织使用的小型飞机和船只”所带来的威胁的完美解决方案。我们还预计, 2020 年中国用于研发的激光器经费将增加, 而在中国以外的地区, 研发用激光器的支出将

保持平稳。

医疗与美容市场

包括所有用于眼科 (包括屈光手术和光凝固术)、外科、牙科、治疗、皮肤、脱毛和其他美容应用的激光器。

医疗与美容激光器市场在连续几年实现超过 10% 的收入增长后, 2019 年该市场稍作喘息, 收入增长放缓至 6.7%, 当然这在 2019 年仍然是一个非常可观的增长幅度 (见图 5)。这一细分市场的收入主要来自四大应用领域: 牙科、美容、眼科和外科。

在经历了 2018 年异常强劲的增长后, 2019 年用于牙科的激光器销售额略有上升。虽然在牙科使激光器能为医生和病人都带来更多的便利性, 但是保险公司却迟迟不将这项费用纳入医保范围, 并且由于大多数牙科诊所规模都较小, 因此激光器的成本可能会高得令人望而却步。

在 FDA 批准了新的激光器用于前列腺手术后, 2019 年外科用激光器的收入表现极好。激光器在外科领域的应用正在增长, 因为激光通常可以提供更加精确的治疗结果, 而且与传统外科工具不同, 激光束本身并不传播细菌。

在过去的三年里, 准分子激光原位角膜磨镶术 (LASIK) 和其他眼科治疗使用的激光器一直处于增长通道。这反映出许多地方经济状况很好, 而且有越来越多的人能够负担得起这种手术, 因为在大多数情况下, 这些手术都是自愿选择的, 并不是非做不可。当然最近, 我们确实也看到这一领域显现出了一些放缓趋势。



图5: 医疗与美容市场。

相比之下, 美容用激光器的表现就不那么乐观了。多年来, 来自美容领域的激光器收入都有着非常不错的表现, 这不仅得益于低成本激光二极管的使用, 也得益于倾向非手术治疗的老齡化人群。然而 2019 年, 来自该市场的激光器收入增长率, 从以往的超过 10% 降至 4%。中美贸易关税很可能对该市场产生了一些负面影响, 因为中美之间

有着大量的美容激光器业务往来。另外，中国、欧洲和亚洲其他地区经济的放缓，也在一定程度上影响了该市场的增长。

未来，我们预计医疗美容激光器的收入增长将会放缓。这一细分市场的大多数增长，是由亚洲许多地区不断增长的中产阶级所驱动的，但是随着这些地区的经济放缓，这种自发性的激光治疗（特别是美容消费）可能会减少。

仪器仪表与传感器市场

包括生物医学仪器、分析仪器（如光谱仪）、晶圆和掩模检验工具、计量工具、水平仪、光学鼠标、手势识别、激光雷达、条形码阅读器和其他传感器中使用的激光器。

仪器仪表与传感器市场并不是一个很大的激光器应用市场，但是这部分市场却有着很高的增长潜力（见图 6）。这部分市场包括用于光谱学和流式细胞术的激光器、用于激光雷达的激光器，以及用于智能手机中的 3D 传感功能的激光器。下面我们来看看为什么这一细分市场具有强大的增长潜力。



图6：仪器仪表与传感器市场。

首先来看科学 / 医学 / 犯罪传感应用。在过去的几年中，廉价的激光二极管与低成本的强大处理能力相结合，催生了各种便携式设备。这些便携设备可用于快速安全筛查或威胁检测（国土安全、机场筛查）、执法（毒品和其他非法材料的识别）和快速纯度或真实性测定（产品安全和掺假检测、产品真实性检测和防伪）应用中。综合 2019 年的数据，这些应用约占该细分市场 40% 的份额。

第二个快速增长的应用领域是激光雷达。激光雷达不仅能用于自动驾驶车辆，而且也开始用于商用汽车（如奥迪 A8）、地理测绘、无人机导航和建筑施工等诸多领域。激光雷达的价格正在迅速下降，这使得该技术有望应用到更多领域，尽管仍然有很多人不相信激光雷达，并且将永远也不需要自动驾驶车。

第三个快速增长的应用领域是垂直腔面发射激光器 (VCSEL)、边缘发射激光二极管和 3D 传感。使用激光器的传感器的大批量应用，可以追溯到 2010 年推出的第一款微软 Kinect（用于 Xbox）。从那时起，应用进一步拓展到激光测量和智能手机的激光测距。2017 年，苹果开始在 iPhone 手机中使用更多的激光器，包括实现一种名为 Face ID 的面部解锁功能。苹果的行为导致其他大多数手机制造商紧紧跟随；直到 2019 年，安卓开发者才让这项技术可靠地工作。总的来说，这一领域的收入和增长是所有感知领域最大的，未来几年可能会翻一番。2019 年，3D 传感激光器的收入仅有小幅增长，因为带有 3D 传感功能的安卓手机和中国手机增长缓慢。

2020 年及以后，将有更多的智能手机采用传感器技术，这将有助于这一细分市场的增长。然而，随着全球经济的放缓，智能手机的购买也将放缓，这可能会对这一细分市场的收入产生负面影响。目前来看，激光雷达和其他自动驾驶汽车技术的应用前景广为看好，但这部分应用市场相对较小。

娱乐、显示和打印市场

包括用于灯光表演、游戏、数字影院、前后投影仪、微型投影仪和激光指示器中的激光器；还包括用于商业印前系统和照片处理的激光器；以及用于消费者和商用的传统激光打印机中的激光器。

用于显示和娱乐领域的激光器收入比其他细分市场都要少，但是在过去的几年中，这一市场一直在增长（见图 7）。这部分市场主要包括三大激光应用领域：灯光表演、商业和家庭电视及投影仪，以及电影院使用的电影放映系统。

经过几年的增长，激光灯光表演市场在 2019 年遭受重创。许多用于灯光表演的激光器都来自中国，而受中美贸易关税的影响，导致这些激光器的成本大幅增加。用于



图7：娱乐、显示和打印市场。

灯光表演的激光器约占娱乐显示市场 30% 的份额。

对于商用和家用电视及投影仪市场，随着激光器逐渐被应用到更多的商用投影仪以及短距离电视投影仪中，这个应用领域一直在增长。最近 LG、海信和索尼都推出了这类高端产品。

该细分市场中最大的激光应用、也是最有趣的应用，即在商业电影院中使用激光器作为光源来代替氙灯。实现这一点通常有两种方法：一种是使用红、蓝、绿激光混合在一起产生白光，另一种是使用蓝色激光和黄色荧光轮产

生全彩色光谱。RGB 激光器通常用于大型剧院，而激光荧光粉通常用于多幕影院。中国一直在推动这一市场的发展，仅 2018 年一年中国就建造了 9000 多个激光放映屏幕，在这一点上已经超过了美国。

2020 年，中国正在建设的激光数字影院数量可能会继续增加，但有迹象表明，市场已经饱和。用于电视机和投影仪的激光器将继续增长，特别是在价格迅速下降的情况下。2019 年，中美贸易关税对激光灯光表演市场产生了负面影响，2020 年这种影响可能会继续存在。

通信用激光器：

新一轮网络浪潮正在不确定性中来临

文/Jeff Hecht, *Laser Focus World* 特约编辑

电信是一项全球性业务，美国和中国这两个最大参与者之间令人不安的贸易关系，正使得 2020 年的开局变得扑朔迷离。两年前，太平洋光缆网（PLCN）以每秒 144 兆兆位的创纪录传输能力而备受瞩目，但是该网与美国网络连接的最终审批，不得不由于安全问题而停滞。

该跨太平洋光缆网于 2019 年开始服务，在香港和洛杉矶之间使用 C 波段和 L 波段的铒光纤放大器，每 6 个光纤对承载 24Tbits/s 的数据传输率，传输距离超过 12000km。Facebook 和 Google 是该项目的合作伙伴，双方都拥有光缆中的一个光纤对。在这个价值 3 亿美元的系统里，剩下的 4 个光纤对归中国第四大电信公司——彭博士电信传媒集团所有。

2018 年 1 月，美国国土安全部要求美国联邦通信委员会在完成安全审查之前，推迟批准该光缆与美国网络一起投入运营。美国联邦通信委员会在 2019 年 12 月表示，安全审查仍在进行中，但在 2019 年 9 月底，已经允许该光缆的施工和测试持续 180 天，直至 2020 年 3 月。据悉，安全方面的担忧是基于彭博士电信传媒集团与中国政府的合同，包括北京警方的一个光纤监控系统，以及华为作为

主要供应商的顾虑。

截至发稿时间，太平洋光缆的命运仍有待确定。跨太平洋的通讯流量继续快速增长，而阻止使用几乎完工的主要国际光缆，将产生潜在的政治和商业影响。

宽带传输、光纤到户和 5G

尽管无线运营商大力推广 5G，但其部署也存在着不确定性。美国联邦通信委员会以安全问题为由，禁止无线运营商使用联邦补贴从华为和中兴购买电信设备。重要的问题仍然是关于其技术实施的。

5G 作为下一代蜂窝网络，旨在提高更广泛用户的带宽，包括物联网、自动驾驶车辆、移动视频和游戏。终端用户最终将在大气具有高吸收率的超过 26 千兆赫的频率上，获得大部分额外的无线带宽，因此将需要更多的基站，并且要更接近终端用户。

如今，光纤被广泛用于从服务提供商网络到蜂窝基站的“回程”应用中，随着带宽的增加，它应该更接近家庭用户。然而，在基站上安装高增益自适应天线，可以扩展高频固定无线通信的范围，因此光纤可能不必一直延伸到

家中才能提供 5G 宽带。

到目前为止，光纤到户或到大楼已经吸引了东亚地区和一些小国的大多数客户。例如，新加坡 90% 的家庭使用光纤到户服务，韩国的比例为 80%，日本为 70%，中国为 60%，乌拉圭和拉脱维亚的比例超过 50%。来自 FTTH 欧洲委员会的数据显示，相比之下，美国和较大的欧盟国家在这方面则相对落后，只有 15% 的家庭购买光纤服务。

CRU 集团首席分析师 Richard Mack 表示，这一差异反映出，美国和五个主要欧盟国家的家庭中，只有大约 40% 的家庭使用光纤，而购买光纤服务的家庭则更少。相比之下，有线电视系统在这两个地区都颇具竞争力，40% 的美国家庭购买宽带有线电视服务。在一些欧洲市场，光纤连接至一个邻近的节点，家庭通过增强型 VDSL 与之相连。

美国联邦政府和地方政府、公用事业公司和其他团体，正在努力将光纤扩展到家庭系统，特别是在乡村地区。在美国，光纤宽带协会（Fiber Broadband Association）正在开展活动，致力于将全光纤网络扩展到大多数家庭中，该协会首席执行官 Lisa Youngers 表示，“在未来 10 年中，通过额外投入 700 亿美元，有可能让美国 90% 的家庭享用光纤宽带网络。”

用于卫星互联网业务的激光骨干网

从计划中的近地轨道来看，卫星间激光链路将在通信卫星群中发挥重要作用，这些卫星群为全球一半的人口提供宽带服务，而全球光纤网络仍然无法覆盖这些人口。这项技术正在迅速到来。2019 年，号称硅谷钢铁侠的传奇企业家埃隆·马斯克（Elon Musk）的 SpaceX 公司，为其 Starlink 系统发射了两批 60 颗测试卫星。激光发射器制造商德国 Mynaric AG 公司的 Paul Cornwell 介绍说，第一批搭载激光发射器用于空间通信的测试卫星，可能将于今年晚些时候部署。

这个想法是在近地轨道上运行成百上千个小型卫星，这些卫星将以编队的方式运行，为世界各地的地面站提供互联网连接。其目标是使目前通信服务较差的地区能够接入宽带服务，包括非洲和南美的大部分地区、中亚、北美中部乡村地区和北极地区。与地面的连接链路可以通过微波或激光实现，但大多数计划中的系统将使用激光链路在卫星之间传输数据。该网络将通过一系列卫星间的激光链

路，将数据路由到目的地。由于卫星在距地面数百公里的轨道上运行，通过空间传输的信号延迟可能比地面光缆要低，也比对地同步轨道上的卫星要低得多。除了传输数据（最初为每秒 10 千兆比特）外，激光链路还有助于保持卫星之间光束的正确对准，以及保证卫星在正确的轨道上的运行。

目前已经有超过 30 家公司宣布了这种小型卫星计划。最具雄心壮志的当属 SpaceX 公司，该公司已经申请将多达 42000 颗卫星送入轨道。亚马逊和波音已经宣布发射数千颗卫星，另有很多公司计划发射数百颗卫星。SpaceX 计划在每个卫星上使用四个激光发射器。

第一个商用卫星间链路由德国 Tesat Spacecomm 公司部署，其将低轨道成像卫星的数据传输到地球同步轨道。Mynaric 公司正在生产激光发射器，用于连接低轨道卫星，该公司与一家不愿公开身份的客户签订了一份合同，其将为这家客户提供多台设备用于在轨道中进行验证性测试。这些测试对确保系统能够满足卫星运行和通信的要求至关重要，预计测试将于今年开始。Paul Cornwell 说，“2020 年，我们将有望看到第一颗带有卫星间激光链路的运行卫星服务终端用户。”这将是一项新技术的快速起飞。

恢复使用多模光纤

学校、医院、工厂和军事基地正在使用新的光束整形技术，通过传统多模光纤传输 10Gigabit/s 的信号，以此来节省资金。法国 Cailabs 公司首席执行官 Jean Francois Morizur 表示：“在传统的渐变折射率光纤中，经过几百米的传输距离后，数据传输率只能达到 100Megabit/s。新的光束整形技术，可以将 99.5% 的光从单模光源耦合到渐变折射率光纤的多种模式中的一个。然后，光在该模式下保持长达 10km，从而避免了通常限制渐变折射率光纤传输范围的模式色散。然后，用一个匹配的耦合器从该模式中提取光。

Morizur 介绍说，到目前为止，Cailabs 公司已经安装了超过 4km 的这种光纤传输系统，下一步是将数据速率提升到 100Gbit/s。该系统还可以支持波分复用。Cailabs 公司的大部分业务都在欧洲，2019 年 11 月，Cailabs 与 Exclusive Networks 公司签署了一份协议，目的是在美国和加拿大市场推广该系统。然而，Richard Mack 提醒说，网络运营商通常更喜欢符合标准的设备。

医疗与美容用激光器：

全球市场呈现出不断增长的需求态势

文/Barbara Gefvert, *BioOptics World* 主编

Lasertel 公司发布的关于“全球激光医疗 / 美容市场”的年度白皮书中，第一大要点就是：虽然技术进步和随之而来的治疗成本降低，正在驱动激光医疗美容市场以两位数的复合年均增长率增长，但到目前为止，这一增长背后最大的驱动因素是“消费者对激光皮肤治疗的需求激增”。

该白皮书中给出了激光皮肤治疗需求爆增的四个原因：

- 消费者对激光美容治疗更对的认可和接受。越来越多的激光脱毛、激光美肤和其他基于激光的治疗服务得到了消费者的认可，认为它们是经济、高效的服务。
- 消费者可支配收入的增加。收入的增加和激光治疗成本的下降，意味着激光治疗正在走向更广泛的受众。
- 生活方式的改变。闲暇时间的增加以及闲暇时间度过方式的转变，也促进了消费需求。
- 医疗旅游。机票价格的降低，促使很多人到国外旅游并顺便接受治疗，一些国家还建造了专门的、类似度假胜地的美容治疗设施。

这篇题为《美容激光器市场前景展望：2019 年医疗设备制造商的机会在哪里？》的白皮书称，到 2024 年，全球医疗美容市场（包括所有技术）将超过 210 亿美元；到 2026 年，激光美容在整个医疗美容市场中所占的市场份额，将以 10.8% 的复合年均增长率增长，达到 19.3 亿美元。事实上，在美容治疗方面，更小、更节能的半导体激光器已经在很大程度上取代了气体激光器，这一点至关重要。半导体行业持续不断的进步，让半导体激光器的发展直接获益；而美容行业的激烈竞争，推动了对这些采用更先进技术的新型临床仪器的需求。

Lasertel 公司表示，虽然美容激光器市场的大部分收入来自北美，但是亚太地区对激光皮肤治疗的需求增长最快，在过去的三年中增长了 20% 以上。随着一些国家（如日本）继续放宽美容激光管理条例，预计这一高速增长率将会持续下去。消费者对激光治疗态度的转变，也推动了欧洲、中东和非洲的激光治疗市场实现了 16% 的年增长。

Lasertel 预计，一旦供需达到相互匹配的水平，欧洲市场将会基本稳定保持住上述增长率，但是中东和非洲市场的发展情况则会受到经济波动的阻碍，这两个市场也是两个重要的未开发市场。

IPG 公司首席执行官兼董事会主席 Valentin P. Gapontsev，在其 2019 年 9 月 30 日结束的财报中表示，IPG 医疗激光器业务的销售额比去年增长了近一倍，增长的主要驱动力源于 FDA 批准了其铥光纤激光解决方案在泌尿外科中的应用。

激光眼科治疗的争论

2018 年 12 月，美国一名 35 岁的气象女主播、也是两个孩子的妈妈自杀。据说这起自杀事件与她做过小切口晶状体摘除（SMILE）手术有关，这种手术是激光辅助原位角膜磨镶术（LASIK）的一种变体。手术非但没有改善她的视力，反而导致她视力下降。2019 年初，大量新闻报道开始质疑激光矫正视力的安全性。报道中不乏其他人在接受激光眼科治疗后，因为饱受慢性、衰弱性眼痛的折磨而自杀的案例。报道中也再次重申了前美国 FDA 眼科设备司诊断和外科设备处处长 Morris Waxler 博士的观点，他领导了于 1999 年批准 LASIK 的团队。十多年来，Waxler 一直对这一批准表示遗憾，并呼吁提高关于这类手术的风险和不良后果的透明度。

很难说这样的新闻报道是否会对激光眼科治疗的需求产生影响。正如 Allen Noguee 在前文中所报道的，激光在眼科治疗中的应用（包括视力矫正手术）在过去几年中有所增长，但最近出现放缓。

另外一个积极的消息是，在《柳叶刀》杂志（*The Lancet*）上发表的一项研究中，比较了选择性激光小梁成形术（2001 年获得 FDA 批准）与使用滴眼液治疗高眼压和青光眼的疗效。研究得出的结论是：这种无痛激光手术具有良好的安全性，在一次门诊中就能提供有效的治疗。

并购行为

尽管 2019 年对于“医疗和美容激光市场的收购行为”而言，并不是一个重要年份，但这一年依然用三起并购画上了句号。

Lumibird 集团旗下子公司 Quantel Medical 于 2019 年 9 月宣布收购斯洛文尼亚 Opotek Medical 公司，后者专门为医疗应用开发光学和激光解决方案。Quantel Medical 公司表示，这项收购为两家公司“通过 OEM 合同开发和供应用于 Quantel 眼球前房激光器的器件”的长期合作搭建了桥梁，双方的合作将为治疗继发性白内障和青光眼提供创新的解决方案。Lumibird 集团董事长兼首席执行官 Marc Le Flohic 说：“我们不仅在进一步加强眼科激光治疗产品的范围，而且还在为一些具有发展潜力的应用（如皮肤病治疗或关节臂耳鼻喉科手术）提供更多 OEM 解决方案。”

2019 年 10 月，AngioDynamics 公司（一家为血管通路、外周血管疾病和肿瘤治疗提供微创医疗设备的厂商）宣布以 6600 万美元的价格收购以色列 Eximo Medical 公司。这项收购将使 AngioDynamics 获得 Eximo 专有的用于治疗外周动脉疾病（PAD）的 355nm 激光技术，从而进一步扩大其血管动力学干预和治疗（VIT）产品组合。AngioDynamics 公司总裁兼首席执行官 Jim Clemmer 说：“市场已经成熟到可以进一步颠覆创新的地步，而且这种激光技术为医生提供的精确性、安全性和效率水平，实际上是为传统粥样硬化切除设备提供了一种完全不同的替代品。”据报道，Eximo 的激光器能提供高功率短脉冲激光能量，且不损害其光缆的完整性，这代表了一种技术突破。此次收购实现了关键的多功能性，并有望将应用拓展到“血管内和其他地方”。

2019 年 11 月，妇女健康技术制造商 Hologic 公司出售了其两年前收购医疗美容激光公司 Cynosure 后创建的

子公司。私人股本公司 Clayton, Dubilier & Rice 以 1.38 亿美元收购了 Cynosure，这个价格还不到当初 Hologic 所支付的 16 亿美元的 1/10。Hologic 首席执行官 Steve MacMillan 在一份声明中表示：“自从 2017 年收购 Cynosure 以来，它的表现就大大低于我们的预期。”Cynosure 表现不佳的部分原因是，FDA 于 2018 年对基于能量的阴道年轻化治疗发出警告，并决定不批准 Cynosure 的 MonaLisa Touch 激光系统用于该应用。据《波士顿环球报》报道，对此，Cynosure 不得不将该产品的营销范围缩小，并暂时取消另一款类似产品。

FDA 的指导和批准

2019 年，FDA 涉及激光器的活动包括：2019 年 5 月初，发布关于“用于医疗和美容应用的激光设备的国家标准和国际标准相冲突”的指导意见。该出版物解释说，由于 FDA 已确定符合国际电工委员会（IEC）标准会提供充分的保护，因此该机构不打算对符合某些 IEC 条款的制造商强制执行自己的要求。FDA 打算最终将其要求与 IEC 达成一致，以提供一套通用的设备标准。

这一年，FDA 还批准了大量激光产品在美容和医疗领域的应用。

2019 年 4 月，日本 Nipro 公司旗下的 Infraredx 公司，宣布通过 FDA 510 (k) 认证，从而能扩大其 Makoto 血管内成像系统的适应症。这项批准是基于对 44 个地点的 1563 名患者进行研究的结果。这项工作表明，使用近红外光谱（NIRS）检测脂质核心斑块（LCP），结合血管内超声（IVUS）技术，可以识别出患者和冠状动脉斑块是否处于发生重大不良心脏事件（MACE）的高风险中。纽约长老会医院 / 哥伦比亚大学医学中心心血管研究和教育主任 Gregg W. Stone 博士说，这项技术有望开发新的治疗方法，改善高危患者的病情诊断。

2019 年 7 月，Erchonia 公司获得 510 (k) 认证，将其用于“暂时缓解慢性伤害性肌肉骨骼疼痛”的 FX635 弱激光治疗仪推向市场。Erchonia 在向 255 名患者提交双盲和安慰剂对照临床试验结果后，获得 FDA 批准。使用 FX 635 治疗的患者，在治疗后平均疼痛减轻 49%。没有其他治疗方法与激光治疗一起使用。

Erchonia 副总裁 Charlie Shanks 指出，FDA 的所有其他许可证都是针对身体特定部位的，而且“现在 Erchonia 的治疗仪，是唯一基于一级临床数据的适用于全身的产



图8: AngioDynamics公司宣布收购以色列Eximo Medical 公司，包括其专有的用于治疗外周动脉疾病（PAD）的355nm激光技术，这项技术凭借其精确性、安全性和高效性，有望取代传统的粥样硬化切除设备。

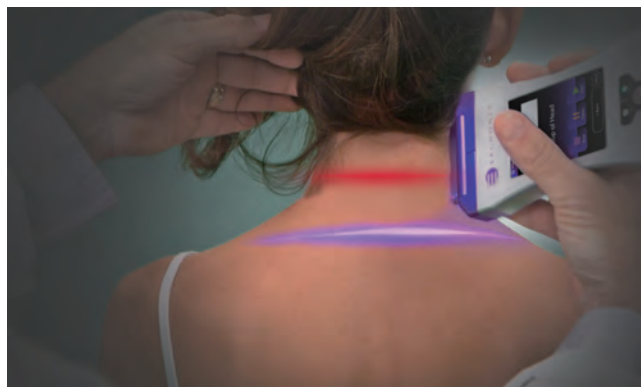


图9: Erchonia宣布获得第二个FDA 510 (k) 认证, 批准其用于暂时缓解颈部和肩部的慢性肌肉骨骼疼痛的EVRL紫光激光治疗产品上市。在一项旨在确定EVRL有效性的研究中, 即使是患有慢性疼痛6年以上的患者, 仅用EVRL治疗一次, 疼痛就能明显减轻。

品。”不过, 该许可证还是基于该公司之前的慢性颈肩痛(2002年)、足底筋膜炎疼痛(2014年)和腰痛(2018年)临床试验批准的。

Erchonia 公司将其结果与 2018 年美国医学会杂志(JAMA)发表的 SPACE 随机临床试验结果进行了比较。后者比较了阿片类和非阿片类(主要是 NSAIDS)药物治疗全身慢性肌肉骨骼疼痛的效果。这项研究显示, 在三个月内, 阿片类药物和非阿片类药物治疗的疼痛减少率分别只有 20% 和 26%。而且这项研究还实施了许多辅助治疗, 如运动、物理治疗和脊椎按摩护理。相比之下, Erchonia FX 635 治疗仪的疼痛减少率高达 49%。

2019 年 10 月, Erchonia 宣布通过第二个 FDA 510 (k) 认证: 这一次批准了其 EVRL 紫光激光治疗产品的上市。该产品用于暂时缓解颈部和肩部的慢性肌肉骨骼疼痛。Erchonia 指出, 紫光以前只用于皮肤病治疗。一项测定 EVRL 治疗有效性的研究表明, 在不使用辅助疗法的情况下, 测试用 EVRL 治疗 13 分钟的效果。FDA 预先设定: 如果个体受试者的疼痛减轻 30% 以上, 就认为这项治疗是成功的。测试结果表明, 所有受试者都感受到了疼痛的减轻(平均减轻 50%), 许多受试者还报告了活动范围的增加。“让研究结果更加令人印象深刻的是: 这些受试者的慢性疼痛已经持续了 6 年以上, 仅用 Erchonia EVRL 激光仪治疗一次, 他们的疼痛就明显减轻了。” Erchonia 公司总裁 Steven Shanks 说道。

2019 年 9 月, LAP LLC 公司宣布其 Apollo

MR3T 成为同类产品中第一款(也是迄今为止唯一一款)获得 FDA 510 (k) 认证的产品。兼容磁共振的激光用于在放射治疗前, 对患者进行高精度定位。Apollo MR3T 可作为一个单一激光源或定制的激光桥。

同样在 2019 年 9 月, 韩国医疗器械公司 WONTECH 宣布 FDA 批准了其 Holinwon Prima (据称是韩国开发的第一款钛激光医疗设备) 用于前列腺增生(BPH) 治疗、内窥镜手术治疗脊髓疾病(如突出的髓核和消除尿路结石)等应用中。WONTECH 公司与首尔国立大学医院(SNUH, 该医院是一家全球性的 Ho:LEP 手术权威机构)的 Seung jun Oh 教授共同开发了 Holinwon Pro 系列产品, 并且正在向 60 个国家出口这些产品。

2019 年 12 月, 全球牙科激光器领导者 Biolase 公司, 宣布其 Epic Hygiene 通过 FDA 510 (k) 认证。Epic Hygiene 系统能让牙医提供微创且几乎无痛的非手术牙周炎治疗, 不仅能缩短治疗时间, 而且还能加快患者恢复速度。

虽然强生公司 2019 年 10 月获得的 FDA 批准不是针对激光产品的, 但是这一批准将直接影响激光治疗: FDA 批准强生公司的 iDESIGN Refractive Studio 软件应用于波前引导 PRK 激光眼科手术。在“2019 年美国眼科学会大会”上公布的最新临床数据显示, 在术后 6 个月, 该软件帮助实现了: 1、使 99% 的患者达到 20/16 或更好的双眼未矫正视力; 2、99% 的受试者对自己的

视力感到非常满意。“这扩大了患者对真正个性化激光视力矫正的选择, 并为更广泛地采用这项令人惊叹的技术打开了大门。” Inland Eye Institute 总裁 Christopher Blanton 博士说道。

Conversion Labs 公司表示已经为其 Shapiro MD Laser Cap System 提交了 510 (k) 认证申请。这是一种用于头发再生的便携式光生物调节装置。Conversion Labs 公司首席技术官兼首席运营官 Stefan Galluppi 表示, 该产品旨在打造“美国临床证明的最强健的防脱发产品”, 并预计该产品将会“为未来 12 个月的收入增长做出积极贡献”。□



图10: 韩国WONTECH公司宣布, 美国FDA批准其Holinwon Prima (据报道是韩国研发的第一台钛激光医疗设备) 用于前列腺增生(BPH) 治疗、椎间盘突出症(HNP) 等脊柱疾病的内镜手术以及尿路结石的清除。

光纤熔接

CO₂ 激光技术增加光纤端帽熔接和光纤阵列组装的灵活性

CO₂激光可实现复杂光纤结构的光纤端帽熔接，将各种光学元件熔接到光纤端面，以及组装高功率光纤阵列。

文/Thomas Theeg

CO₂ 激光功率的空间和时间控制，能够自动、可靠和定制地生产复杂的熔融单模和多模光纤组件，用于光纤激光器和放大器以及基于光纤的光束传输系统。除了熔接灵活性之外，CO₂ 激光还提供可重复使用且无污染的各种玻璃加热方法，维护需求显著减少。

空芯和大模场面积光纤的端帽熔接

大模场面积 (LMA) 光纤，尤其是空芯光纤的熔接必须极度小心。因此，将端帽（由纯熔石英制成的光学棒）熔接到这些类型的光纤上，需要极为精密控制的玻璃焊接工艺，因此基于激光的玻璃加热工艺被认为是一种有前途的方法。^[1,2] 在该熔接技术中，两项基本任务是在熔接区内准确定位激光束，以及准确设置光纤和端帽玻璃的粘度。玻璃的粘

度随温度而变化。^[3,4] 因此，至关重要的是可重复的高质量光纤端帽熔接工艺，必须具有连续且精确控制的熔接温度。

德国 FiberBridge Photonics 公司开发了一款基于 CO₂ 激光的熔接机，称为 End Cap 2540，它可以在整个过程中实时（毫秒范围）控制光纤熔接温度（见图 1）。这款基于 CO₂ 激光的垂直熔接机，可以熔接端帽和尺寸高达 50mm 的其他光学元件。较大的端帽不需要额外的引锥，因此可以使用市场上广泛的标准光学元件。

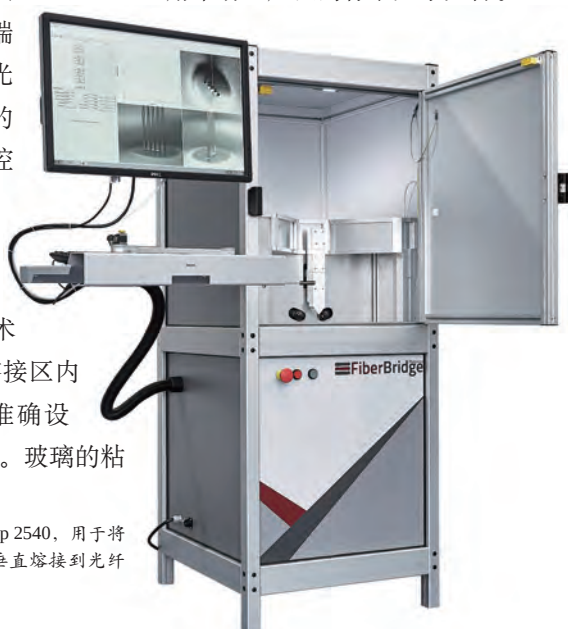


图1：基于CO₂激光的熔接机End Cap 2540，用于将不同尺寸和不同形状的光学元件垂直熔接到光纤端面上（参见图5中的熔接示例）。

该系统还具有用于激光束的自动定位系统，确保激光束在熔接区域内的精确对准。这种高水平的工艺控制，为空芯光纤和 LMA 光纤提供了出色的光学（光束质量和偏振）和机械（拉伸强度）性能。图 2 显示了在六根空芯光纤（NKT Photonics 的 HC-1060 光子晶体光纤）的端帽熔接之后，与光束轮廓和最大测量抗拉强度有关的熔接结果。镀有减反射 (AR) 膜的端帽的直径为 6mm，长度为 5mm。对于每个端帽熔接，空芯光纤的光束轮廓均能保留。通过在激光熔接过程中使用温度和光束位置控制，可以实现熔接的可重复性。

对 LMA 光纤 (PM-DC-10/125、PM-DC-25/250、PM-DC-30/250、PM-DC-20/400 和 PM-DC-25/400) 的研

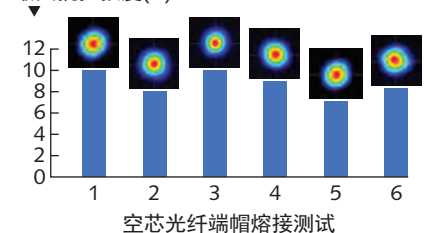


图2：使用基于CO₂激光的熔接机End Cap 2540，对六根空芯光纤（NKT Photonics的HC-1060光子晶体光纤）进行端帽熔接处理后，显示的光束轮廓和最大测量抗拉强度。

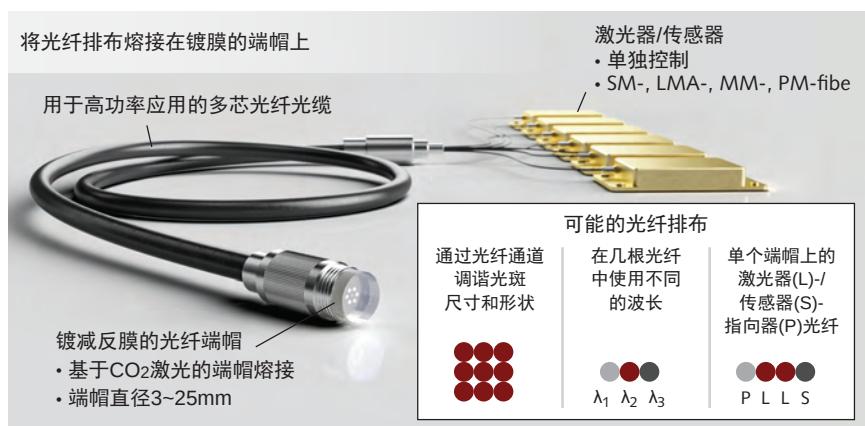


图3: 图中显示了在特定排布中, 用于高功率应用的多根光纤的端帽熔接。可以使用基于CO₂激光的End Cap 2540光纤熔接机(少量光纤), 或Fiber Array 3010工作站(可以线性排布多达30根光纤)对这些多根光纤排布进行端帽熔接。

究显示, 镀 AR 膜的光纤端帽可以用特殊的、对温度敏感的熔接工艺制造, 并且不会损坏端帽的 AR 膜。在研究中使用直径分别为 3mm、6mm 和 12.7mm 的端帽(见图 3)。

所有熔接端帽的 LMA 光纤的光束质量和偏振都得以保持。熔接的低光学插入损耗, 与适用于镀 AR 膜端帽的熔接工艺相结合, 允许通过光纤端帽传输高功率激光。对熔接端帽的 LMA 光纤的研究结果显示, 其可以轻松应对 1kW 的激光功率。

基于CO₂激光的高功率光纤阵列熔接

将多根光纤熔接到端帽上是一项艰巨的任务。作为热源, CO₂ 激光提供了将多光纤排布熔接到不同光学元件上的自由度。图 4 中显示了将具有 20 根 LMA 光纤 (DC-25/250) 的光纤阵列, 熔接到直径为 0.5 英寸的镀 AR 膜的光纤端帽上的示例。该光纤阵列的熔接是由 End Cap 2540 熔接机的高级版本 Fiber Array 3010 熔接机完成的。

为了以各种排布熔接多根光纤, 需要根据端帽上的光纤数量和排布来

调整熔接区域。基于 CO₂ 激光的光纤熔接系统 (End Cap 2540/Fiber Array 3010), 能够熔接具有不同光纤排布和光纤类型的光纤阵列。可以熔接单模光纤、多模光纤和保偏光纤。

带端帽的光纤排布, 可以通过单独的光纤通道控制, 合束出高激光功率, 以及调整合束后的

激光束的大小和形状。另外, 可以使用单独的光纤通道, 作为传感器或用于对工件或样品进行定位/标记。这种针对高激光功率水平的一体式坚固设计, 有望用于材料加工领域, 如半导体激光器的直接焊接应用、激光焊接、激光打标、3D 打印、光谱学、光纤医疗应用以及高功率 RGB 照明。



图5: 图中的案例显示了使用End Cap 2540熔接工作站, 熔接光学元件的灵活性; 镀有AR膜的最大端帽的直径为12.7mm, 可以熔接的光学元件的最大尺寸在50mm范围内。

将各种光学元件熔接到光纤输出

对于许多应用, 必须以某种方式对光纤的输出光束进行整形和导引。这可以通过形成光纤尖端, 或将明确的光学元件熔接到光纤端面来实现。图 5 显示了用 End Cap 2540 激光熔接机熔接的不同的光学元件。这里的熔接灵活性也归因于以下事实: 在整个处理时间内, 激光束在空间和时间上都得到了很好的控制。利用这种技术, 可以熔接球透镜、立方体、球形和聚光透镜、光学窗口、分束器或任何形状的光学元件。

此外, 通过将较小的光学元件熔接到光纤端面上来制造光纤尖端, 对于医疗设备来说非常有用, 例如用于

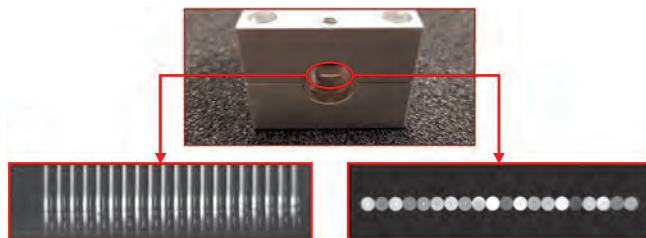


图4: 具有20根LMA光纤 (DC-25/250) 的光纤阵列, 将其熔接到直径为0.5英寸的镀AR膜的端帽上。

制造外科手术或泌尿外科探针。^[5] 传统上, 诸如弯曲的球 (透镜) 之类的光纤头形状, 是利用传统熔接机系统 (电极或细丝) 加热光纤尖端来制备的。^[6] 因此, 光纤端部可以用光纤材料形成, 当然这也会受到一定的限制。光学元件的熔接, 具有可以将任意光学元件连接到光纤端面的优点。这为

下转第25页

3D打印光学元件

飞秒激光打印分辨率
小于衍射极限的光学元件

飞秒激光高精度3D打印技术，为先进的零部件及产品的工业制造提供了广泛的设计自由度。

文/Benedikt Stender, Fabian Hilbert, Jonas Wiedenmann, Alexander Krupp, Willi Mantei, Ruth Houbertz

作为21世纪的一种赋能技术，3D打印不依赖于复杂且昂贵的传统工具加工，具有一步成型的加工特点，在快速成型与制造领域越来越受欢迎。3D打印不仅能对加工原型实现快速评估，并且在中-低规模的生产中，其生产效率也高于传统制造方式。在多数情况下，与传统的组装件相比，3D打印的部件重量更轻，整体机械稳定性更好。尽管3D打印的零部件已经获得了许多应用，但是由于加工精度低和缺乏合适的材料，打印具有光学功能的元器件仍然无法实现。

然而，飞秒激光诱导的双光子吸收，能够实现亚微米级的打印分辨率，从而可以实现真正的高精度3D打印。^[1]飞秒激光3D打印，是将激光束聚焦到盛有液体胶的特殊玻璃或高分子容器中。由于双光子或多光子吸收，液体胶仅在激光焦点区域被光固化，以此实现高精度3D打印。目前大多数的3D打印使用的是逐层打印技术，与此相比，飞秒激光高精度3D打印技术，在固体材料内部和表面都有一样的打印效果，因此不仅可以实现增材制造，也可以实现减材制造。

高精度3D打印将微纳米制造和传统制造有机地连接起来，其打印的分辨率小于衍射极限，打印的元器件的尺寸可以从亚微米扩展到厘米范围。高精度3D打印技术能够制造高宽比高达43:1的结构，并且通过控制焦点移动实现快速制造，因而能够打印出传统方法无法制造的超高质量的微光学、微流体及其他功能部件。

分辨率和可扩展性

高精度3D打印技术于1997年被首次报道。^[2]随着国际上多个学术研究机构进入该领域研究，高精度3D打印技术一直处于稳步推进发展中。目前高精度3D打印技术已经发展到可以适用于工业应用的水平。由于双光子吸收效应仅限于达到光聚合阈值的激光焦点区域，并且双光子吸收的

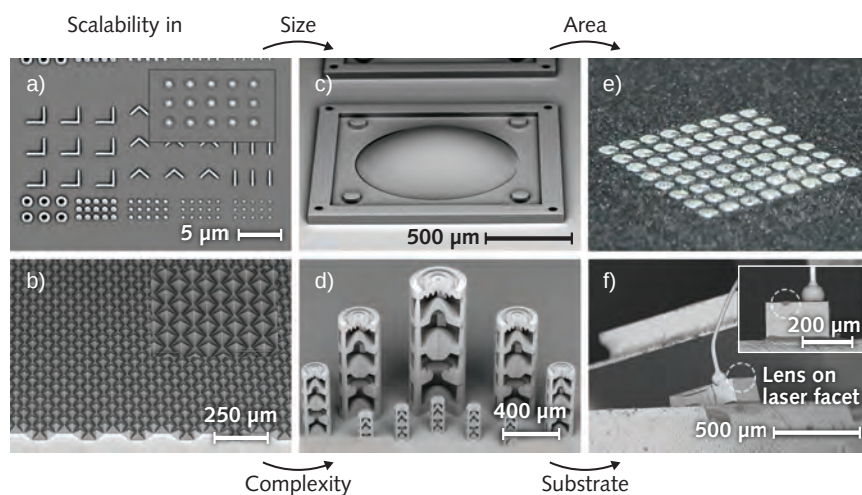


图1：高精度3D打印对构件的尺寸、复杂度、形状及衬底都具备很高的加工自由度。打印的结构如电镜图所示：(a) 任意排列的亚微米结构；(b) 具有确定角度的微米级锥形光导结构；(c) 由1毫米镜头组装而成的宏观结构；(d) 一步成型的微透镜堆叠结构（图中的构件被部分剪切掉，以展示打印构件的不同局部）；(e) 1cm×1cm镜头阵列，用于复制制作的母版；(f) 用于光束整形的圆柱形微透镜，该微透镜直接打印在分布式反馈激光器激光发射端面上（图中的分布式反馈激光器来自nanoplus公司）。

概率正比于激光功率的二次方,因此最小的打印尺寸可低于衍射极限,达到百纳米的精度。^[3]这种打印的最小尺寸又叫做体元,就是这些一个小小的体元,最终构成了宏观的功能部件。通过调节激光功率、光路中的聚焦光学元件、制造方法及加工原料,可以实时调整最小打印尺寸的大小。

用于高精度3D打印的激光直写技术,由于其高效的产出,不依赖掩模的数字化数据预处理,无论对构件的尺寸、复杂度、结构化的区域及衬底都具备很高的加工自由度(见图1)。图1(a)-(c)展示了3D打印结构在尺寸上的可伸缩性,如图1a是任意排列的亚微米结构,图1b是微米级的图形,图1c则是将直径1mm的透镜集成到一个具有校准功能盒体中形成的一个宏观结构。

高精度3D打印是一种真正意义上的3D制造。如图1d这种复杂的堆叠微透镜组,只需要一步成型,而传统的方法是将一个个光学元件相互对齐排列起来搭建透镜组结构。这种堆叠的微透镜组结构在医学上可以用作内窥镜,传统的搭建方法很容易造成内窥镜的透镜组结构在使用中失灵。

大规模生产的前提是能够实现大面积制造。通过实施精密制造方法,^[4]高精度3D打印可以制造出用于紫外纳米光刻的晶圆级光学元件,如透镜阵列(如图1e,为1cm×1cm的透镜组),或者制造用于诸如注塑、热压等其他大规模生产的复制模具。

此外,通过合适的设计,高精度3D打印可以实现直接大规模生产制造。与其他3D打印技术不同,高精度3D打印不是逐层打印,因此不涉及材料的去除步骤,所以也就不受基板的限制。如图1f,用于光束整形的

微透镜直接打印在分布式反馈激光器发射端面上(激光器来自nanoplus公司),用来补偿由于快慢轴传播引起的椭圆光束。

尽管用传统的微距镜头也可以把畸变的光束整形成球面波,但是高精度3D打印可以在诸如波导、光纤、探测器等任何主动或被动元器件的端面打印需要的器件,因而为设计新的小型化器件及产品封装提供了很高的自由度。此外,也可以打印合束器之类的器件,将多个波长的光束合并输出,其在片上实验室(lab-on-chip)上可以得到很好的应用。

大高宽比结构

大高宽比结构特别适用于三维微机电系统。微机电结构一般通过

构件高度越高,需要涂覆的光刻胶就越厚,制造难度就越大。

与LIGA工艺相比,高精度3D打印是将激光束聚焦到液体光刻胶中。液体光刻胶盛在容器中,容器的深度范围在从毫米量级到厘米量级。当激光束由上而下聚焦到光刻胶中时,容器深度由显微镜物镜的工作距离决定;当激光束由下而上聚焦到光刻胶中时,容器深度则由运动轴的行程决定。高精度3D打印的这种工作方式,可以很容易地打印出高度为厘米量级的构件。当打印高度大于100μm的大高宽比构件时,还需要考虑另一个因素——光刻胶的稳定性。高精度3D打印通常使用的是液态光刻胶,如ORMOCERs。ORMOCERs是一种无机-有机混合的聚合物,具

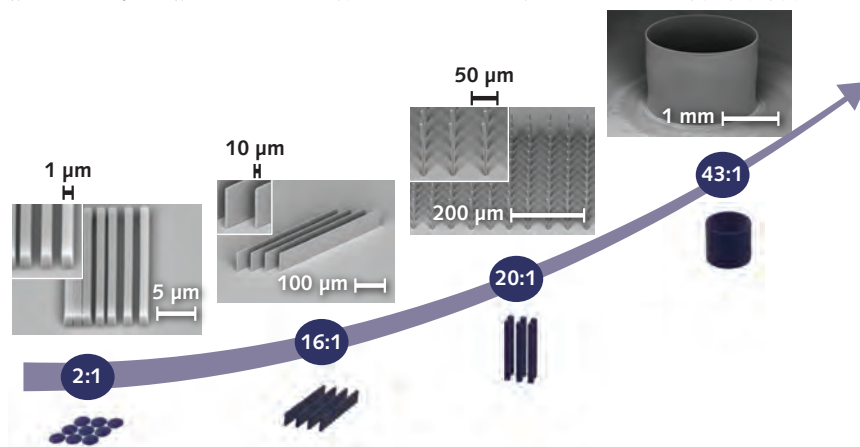


图2: 高精度3D打印成型的高宽比在2:1到43:1范围的结构。高精度3D打印技术可以打印出高度从毫米到厘米范围的结构,能实现更大的高宽比。

LIGA (LIGA是德文Lithographie、Galvanoformung和Abformung三个词,即光刻、电铸和注塑的缩写)工艺实现,主要用到SU-8光刻胶和铬掩膜板。LIGA工艺包括好几个工艺流程,其中最具有挑战性的步骤就是在基板上均匀地涂上几百微米厚的光刻胶。例如,最小打印宽度为1μm时,在基板上涂100μm厚的光刻胶,就可以实现100:1的高宽比结构。然而,

有玻璃般的透光性和硬度。

高精度3D打印可以打印出高宽比为1:1或2:1的波导结构,也可以打印出高宽比为16:1的墙壁结构(见图2)。这种墙壁结构宽5μm,高80μm,是通过无限视场(Infinite Field of View, IFOV)模式加工而成。无限视场是一种智能运动控制技术,它通过控制扫描振镜和位移平台实现激光焦点的同步偏转。无限视场这种

加工模式,使得打印尺寸大于物镜视场范围的元件成为可能。图2给出的高宽比为16:1的例子中,打印的墙壁结构的长度就是物镜视场的4倍。当然,也可以打印高宽比为20:1的结构,如图2所示的针状结构。这种针状结构高100 μm ,底座5 $\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$,可以将外部光源导入到活体标本中,用于活体细胞的光激发研究。这种针状结构也可以作为原子力显微镜的悬臂,用于评估特殊的形貌结构。

除了以上几种结构,还可以打印等值曲面结构。等值曲面的打印,先用激光固化光刻胶,形成一个封闭的壳体结构,然后冲洗掉未曝光的光刻胶。显影之后,用紫外灯曝光壳体内部的光刻胶,使壳体与内部形成均匀连接。用这种方法打印微透镜组,每个透镜的加工时间只需1~5s,^[5]其打印效率比传统加工方法提升了95%。

图2中右上方给出的是3D打印的高宽比为43:1的柱面结构,该柱面高1.7mm,直径2mm。该柱面结

构也是通过无限视场模式打印的,柱面的圆周结构由线性位移平台和激光焦点的径向偏转配合形成的圆周运动打印而成,这种打印方法也叫做轨道光束操控。为了展示柱面结构的壁厚为0.04mm,所以没有打印柱面结构上面的盖子。打印这种类似结构的效率为3.6mm³/h,当然也可以通过光束整形工具将光束分束,或者整形成平顶光束来进一步提高打印效率。

值得注意的是,图2中给出的微结构只是用来展示大高宽比结构的几个例证,并不是极限案例。图中显示的高宽比43:1,也不是极限值。通过优化设计,可以打印更大的高宽比结构,宽度尺寸甚至能缩小到亚微米量级。

结论

高精度3D打印由于打印精度高,对打印的尺寸、复杂度、形状及衬底具备良好的加工自由度,将越来越多地用于工业应用中。高精度3D

打印的分辨率小于衍射极限,打印的元器件尺寸可以从亚微米扩展到厘米范围,因此微光学应用中的光学质量表面结构的3D打印,将是主要应用。高精度3D打印技术能够制造出高宽比达43:1的结构,并且能够通过控制焦点移动实现快速制造,因而能够打印出超高质量的微光学、微流体及其他功能部件。这样一种先进的加工方式,其加工能力是传统加工方法所无法企及的。□

参考文献

1. X. Zhou et al., AIP Advances, 5, 3 (2015).
2. S. Maruo et al., Opt. Lett., 22, 2, 132–134 (1997).
3. S. Steenhusen, “Untersuchungen zur sub-100 nm Strukturierung von Hybridpolymeren mittels Zwei-Photonen Absorption und Anwendungen,” Friedrich-Schiller-Universität Jena (2018).
4. B. Stender et al., Adv. Opt. Technol., 8, 3–4, 225–231 (2019).
5. B. Stender et al., Laser Tech. J., 14, 2, 20–23 (2017).

上接第22页

光纤输出辐射的整形和导引几乎带来了无限可能。

另一种常见的光纤尖端类型是带角度的光纤头(侧面出射技术)。这些光纤尖端用于在人体中去除组织。对于这种应用,还可以用控制良好的CO₂激光束,将单独设计的光学元件熔接到光纤端面上。根据特定的医学要求,可以使用CO₂激光熔接技术,来调整光纤尖端的侧面或径向(内辐射)激光发射。

用于光纤到光纤熔接的成熟熔接装置已经在市场上存在很多年了。可以控制加热区位置和大小基于CO₂激光的光纤熔接系统的出现,为“将单根和多根光纤熔接到各种尺寸和形状的光学元件上”开辟了新的可能性。实时控制熔接温度的能力,使精确和可重复的熔接结果达到了新水平。温度控制的熔接还为熔接不同的玻璃类型(例如软玻璃光纤)带来了可能性。□

参考文献

1. H. Fujita, Y. Suzuki, and A. Tachibana, Appl. Opt., 15, 320–321 (1976).
2. J. H. Chong and M. K. Rao, Opt. Express, 11, 1365–1370 (2003).
3. See <http://bit.ly/HeraeusRef>.
4. See <http://bit.ly/SchottRef>.
5. G. Keiser, F. Xiong, Y. Cui, and P. P. Shum, J. Biomed. Opt., 19, 8, 080902 (Aug. 28, 2014); <http://bit.ly/JBiomedOpt>.
6. K. Bescherer, D. Munzke, O. Reich, and H.-P. Looock, Appl. Opt., 52, B40–B45 (2013).

激光划线

飞秒激光划线推进 有机光伏电池的工业化生产

德国夫琅和费激光技术研究所 (ILT) 启动EffiLayers项目, 旨在通过多种激光加工步骤, 包括超短脉冲划线, 来推进有机薄膜光伏电池工业化生产的进程。

文/LFWC

能源稀缺让人类更多地思考新能源, 而如何更有效地利用太阳能这种清洁的天然能源, 始终是人类努力的方向之一。

一直以来, 人们更多地使用晶硅等无机材料来制备太阳能电池。这种光伏产生方式存在的问题是生产工艺复杂、能耗大、成本高, 而且有污染。所以, 人们一直在探索低成本、高效率、柔韧性好且对环境友好的新型太阳能电池。相比于硅光伏电池, 有机薄膜太阳能电池具有生产成本低、柔韧性好等优势, 但也面临着转换效率低、难以实现大规模量产的挑战, 攻克这两大挑战也是业界努力的一个方向。

EffiLayers项目

最近, 德国夫琅和费激光技术研究所 (ILT) 启动了一个名为“EffiLayers”的项目, 该项目的目标是通过多种激光加工步骤 (包

括超短脉冲划线), 来推进有机薄膜光伏电池工业化生产的进程, 因为迄今为止, 有机薄膜光伏电池较低的转换光电效率和难以制造大面积面板的现状, 仍在限制其商业化的脚步。

EffiLayers 项目在 ILT 的指导下, 来自产业和研究领域的五个项目合作伙伴, 正在开发“用于有机光伏电池的卷对卷 (roll to roll) 生产技术”。这个市场项目旨促进柔性薄膜太阳能

电池的生产流程更加适应工业化生产。

有机光伏电池具备柔韧性好和透明这两大优势, 能够使其集功能性和装饰性于一身, 这使得它很适合集成到建筑物的外立面上, 一来能采集太阳光的能源, 二来还能起到外观装饰作用。EffiLayers 项目组通过开发一种高效的生产工艺, 来促进有机光伏电池的工业化大规模生产。



图1: EffiLayers项目正在开发“用于有机光伏电池的卷对卷生产技术”, 旨促进柔性薄膜太阳能电池的生产流程适应更加适应工业化生产。(图片来源: ILT)

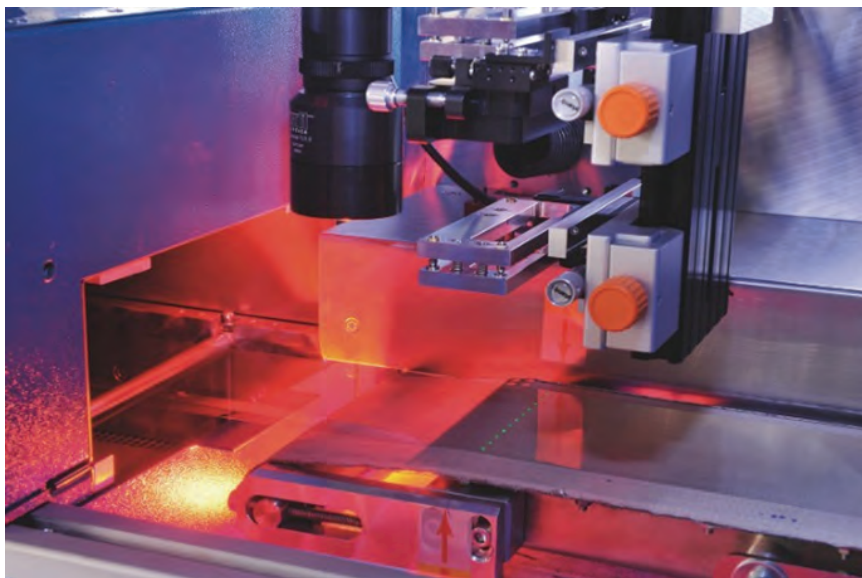


图2：在EffiLayers项目中，使用高分辨率线扫相机来监控激光划片过程。（图片来源：ILT）

柔性薄膜的创新

由于有机薄膜光伏电池的单层厚度只有几个纳米，因此这种技术只需要少量的材料，就能够覆盖很大面积的柔性基底。很显然，生产者也能节省材料资源。卷对卷工艺也使得工业化生产成为可能。与传统的硅光伏电池生产相比，卷对卷工艺具有更低的生产成本，因为不再需要高能耗、高成本的工艺步骤。

ILT 之前已经开展了两个名为“FlexLas”和“PhotonFlex”的项目，这两个项目的重点是解决“有机光伏电池卷对卷生产工艺中的各个步骤”；而 EffiLayers 项目的目的，是要将创新的工艺技术实施并整合到实际生产过程中。其中，每个过程步骤都由高分辨率线扫相机进行监控。

激光加工

EffiLayers 项目的研究人员表示，“我们希望以一种面向行业的方式实施加工过程，我们的方法是用湿化学镀膜工艺代替昂贵的高能溅射工艺，

来实现薄膜涂覆步骤。”

功能层将通过湿化学溶液和加热涂层实现覆盖。利用短脉冲和

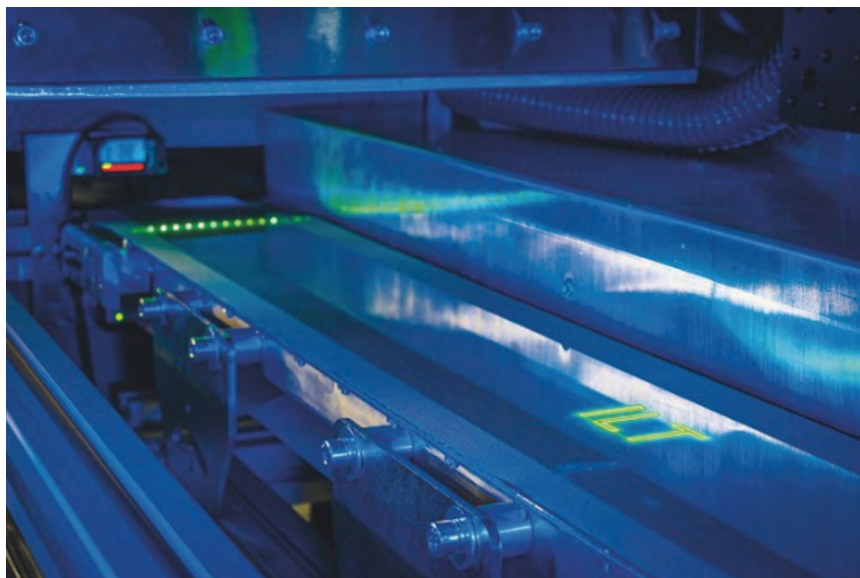


图3：在薄膜移动过程中，使用飞秒超短脉冲激光烧蚀厚度为纳米级的薄膜。（图片来源：ILT）

超短脉冲范围内的各种激光源，对10~250nm厚的薄膜进行加工。在连续过程中，激光干燥和激光薄膜烧蚀用于分离单个电池，以及去除边缘区域的层。然后，用激光对有机光伏电池进行封装：用一层屏障膜保护电池

免受环境因素的影响。

有机光伏电池的主要理论优势之一是：面板中需要的活性吸收材料极少。研究人员解释说，“要生产面积为10m²的有机光伏电池，我们只需要3克的有机活性材料。”

在 EffiLayers 项目中，飞秒超短脉冲（USP）激光器发挥了重要作用。它将各个层分开，使得各个电池可以串联在一起。研究人员介绍说：“通过激光划片，我们在薄膜移动的过程中，将11束光打到薄膜表面上。激光束有选择地分离复合层，最后能在单一薄膜上产生12个串联的子电池单元。这项加工的主要挑战是：在不损坏底层材料或造成短路的情况下，有选择地烧蚀单个纳米厚的层。”

EffiLayers 项目获得了欧洲区域发展基金（ERDF）的支持，以及众

多企业和研究机构的积极参与。与此同时，有机材料领域的发展也达到了新标准。这些新材料将被纳入到 EffiLayers 项目中，以进一步提高有机光伏电池的效率，并使它们也能用到室内应用中。□

黄光激光器

半导体激光泵浦的新型黄光固体激光器

德国科学家们将高浓度三价铽离子掺杂到氟化镱锂 (LiLuF_4) 晶体中, 通过半导体激光泵浦, 实现了中心波长587.4nm的DPSS黄光激光器。

文/LFW

当前, 常见的半导体激光器无法直接输出波长位于530~620nm之间的绿光(见图1)。但是最近, 一款由蓝光半导体激光泵浦、发光波长为588nm的连续波固体激光器正式面世。该激光器使用的晶体材料是在无氧环境中生长的氟化镱锂 (LiLuF_4) 晶体。这款激光器的开发成功, 是向实现紧凑型、经济型绿光激光器迈出的重要一步。

这种新型的激光晶体, 是由位于德国柏林的莱布尼兹晶体生长研究所 (IKZ) 的激光材料中心的科学家们研制的, 而且科学家们已经成功地测试了该晶体的各种发光谱线。使用波长为487.5nm、功率为200mW的InGaN激光器二极管泵浦, 这款新开发的激光器输出了功率为14mW的黄色激光(波长587nm), 并且其输出功率仅受泵浦功率的限制。而且, 该晶体还能通过泵浦输出功率为42mW、波长为542nm的绿色激光。

这款黄光激光器的斜率效率为22%, 研究人员介绍说, 这个效率是目前已知的直接发射黄光的半导体泵浦固态 (DPSS) 激光器的最佳值; 在发射绿光的情况下, 斜率效率则更高, 能达到52%。

黄色激光在医学和天体物理学领域的应用

黄色激光在许多领域都有着重要应用。在医学上, 血红蛋白对黄光具有强吸收效果, 利用这种强吸收, 在皮肤和眼部手术中, 可以选用黄色激光进行治疗。例如, 对于血管性皮肤病变的医治, 就以用黄光治疗作为黄金标准。用适当剂量的黄光照射后, 脸上的小血管就会消失。同样, 利用血红蛋白对黄光的高吸收率, 也会产生其他在生物医学领域的应用, 如流式细胞术。

黄色激光的另一项与望远镜系统相关的应用, 依赖于钠原子对589nm的黄色激光的吸收。在距地球表面大约90km的高度处, 有一层薄薄的钠原子层——这些原子可以被地面望远镜系统发射的黄色激光激发, 在天文台上空形成激光导引星。在地面上, 探测到大气扰动引起的激光导引星的波前畸变, 并将其作为自适应光学系统的输入信号, 来校正望远镜的入射波前。通过这种方式, 钠原子可以提高这些大型望远镜系统的成像质量。

天体物理学家用来激发钠原子的黄色激光器, 由Toptica Photonics公司生产, 这是一种复杂的激光系

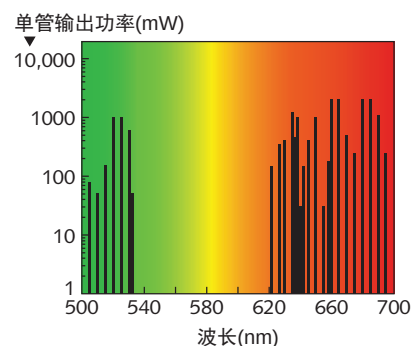


图1: 目前, 常见的半导体激光器无法直接输出波长位于530~620nm之间的“黄绿波段”的光。(图片来源: IKZ)

统。它包括一个发射波长为1178nm的窄光谱半导体激光器、一个拉曼光纤放大器, 以及一个频率转换器将1178nm的光倍频到589nm。除此之外, 也可以用其他方法产生黄色激光。比如利用频率转换光学元件, 将Nd:YAG激光器发射的红外光转换成黄光。使用染料激光器, 可以产生更高功率的黄色激光; 而溴化铜激光器则会产生脉冲能量更高的黄色激光。

氟化物是关键

开发DPSS黄光激光器具有重要的应用前景, 遗憾的是只有少数活性离子具有合适的发光能级。镱离子和钐离子的受激发射峰呈黄色, 但是这两种离子很容易发生交叉弛豫和其他离子间过程, 会使上能级寿命发生淬灭, 从而限制增益介质中掺杂离子的

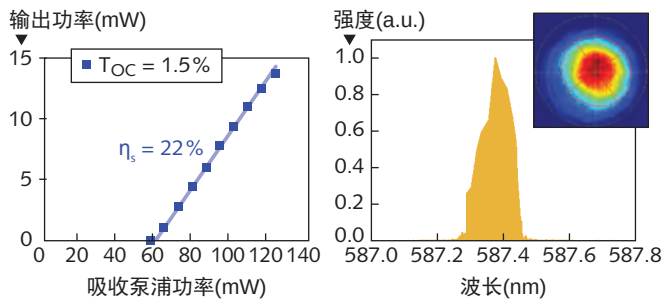


图2: (a) 半导体泵浦的掺三价铈离子的氟化镥锂 (LiLuF_4) 激光器的输出性能; (b) 最大输出功率下的激光发射谱, 中心波长位于587.4nm处。插图显示了在该条件下, 激光输出的光束质量。(图片来源: IKZ)

最大浓度, 最终导致激光器没有良好的输出性能。

而三价铈离子即使在高掺杂浓度下, 也不会发生交叉弛豫或寿命猝灭现象。并且它在绿色、黄色和橙色光谱范围内都有很强的发射谱线。因此三价铈离子, 常被作为柠檬黄荧光粉, 用于荧光灯和彩电显像管中。

该离子也会存在激发态吸收现象, 这也不利于激光的高性能输出。

IKZ 激光材料中心的科学家们, 将高浓度的三价铈离子掺杂到氟化镥锂 (LiLuF_4) 晶体中, 成功地避开了三价铈离子作为激光材料活性离子的这些限制 (见图 2)。氟化物晶体的晶体场强度比较弱, 能够有效降低三价

然而长期以来, 三价铈离子由于其低吸收和低发射截面 (该现象由自旋禁戒跃迁导致), 其并未被当作理想激光材料的活性离子。此外,

铈离子的激发态吸收。并且, 三价铈离子的高掺杂浓度, 能对其低吸收和低发射截面起到一定的补偿作用。但是生长这种氟化物晶体是一项特别具有挑战性的工作, 因为这样的晶体必须在完全无氧的环境中才能生长。

IKZ 的研究人员表示, 希望通过增加泵浦功率、优化晶体结构和泵浦机制, 来进一步提高该 DPSS 黄光激光器的输出功率和转换效率。□

参考文献

1. E. Castellano-Hernández et al., Opt. Lett., 43, 19, 4791-4794 (2018).
2. E. Castellano-Hernández et al., "Diode-pumped yellow laser emission of $\text{Tb}^{3+}:\text{LiLuF}_4$," in Laser Congress 2019 (ASSL, LAC, LS&C), OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2019), paper ATu1A.8.

2020 年全球工业激光器市场规模将达 53 亿美元

2008 年全球金融危机后, 全球经济缓慢复苏, 美国、中国、德国等主要工业国家推行以精密制造、智能制造为核心的制造产业升级, 对工业激光器的需求持续增加。来自市场研究公司 Strategies Unlimited 的数据显示, 2018 年全球各类工业激光器的销售收入持续增长, 由 2017 年的 48.55 亿美元增长到 50.58 亿美元, 预计 2019 年将达到 51.61 亿美元, 2020 年达 53.42 亿美元。

由于各类激光器各具优点, 在工业应用中分别侧重于不同领域, 且下游应用市场需求情况差异较大, 其市场规模存在一定差异。得益于光纤激光器的快速增长及固体激光器在微加工领域的优异表现, 全球工业激光器

市场近年来保持持续增长态势。

从全球范围看, 光纤激光器发展备受瞩目, 金属切割和焊接的宏观加工是目前激光器的主要应用, 光纤激光器因加工效率高、稳定性强、能耗低等优点迅速在宏观加工领域替代了传统加工设备。

在固体紫外激光器的带动下, 固体激光器近年来取得了令人瞩目的成绩。目前工业紫外激光器一般指输出纳秒级紫外光的脉冲固体激光器, 具有效率高、重频高、性能可靠、体积小、光束质量好以及功率稳定等特点, 主要应用于电子产品打标、电器外壳标记、食品药品生产日期的标记、消费电子微加工等领域。另外深紫外/极深紫外固体激光器在一些精密加工

领域, 如手机金属外壳的切割与焊接、PCB/FPCB 板的切割与分板、陶瓷打孔划片、玻璃/蓝宝石/晶圆切割和细微打孔等领域, 具有不可替代的作用。未来微加工应用在工业和生活消费领域的持续增加, 也会带动固体纳秒激光器以及超快激光器市场规模的不断增长。

材料加工是工业激光器的主要应用领域, 汽车、航空航天、能源、电子和通信 (智能手机) 等行业材料加工应用, 持续推动工业激光器销售额强劲增长。Strategies Unlimited 的数据显示, 在三大主要应用类别 (大功率加工、微加工、打标雕刻) 中, 微加工应用占据了材料加工市场 32% 的市场份额。□

生物传感器

量子技术有望实现更好的生物传感器

将量子技术应用于生物传感领域，例如使用DNA稳定的金属“量子团簇”，将有助于扩展现代光学生物传感的功能。

文/Barbara Gefvert

种 生物传感器被认为是解决广泛的生物医学和公共卫生问题的最有前途的工具之一，这些问题包括疾病诊断、鉴定抗药性生物体、迅速蔓延疾病的早期发觉，以及探测食物和饮用水中低浓度的毒素和病原体。实际上，所有这些应用都是当前研究项目的目标。

但是，致力于解决这些问题的科学家和工程师们，正面临着巨大的挑战。例如，为了提高医学诊断的可靠性和效率而开发的生物传感器，必须足够灵敏以探测血液或其他生物流体中的最小量病原体。同时，生物传感器还要求能够实时识别甚至难以诊断的疾病，从而可以尽早部署治疗方案。

据两家德国弗劳恩霍夫研究所和荷兰莱顿大学物理研究所合作的 Project BioSensing 项目的科学家们表示，实现这些目标已经超出了当前开发的技术的范围。而 Project BioSensing 项目旨在通过应用量子技术，来克服现代生物传感器的局限性。

Project BioSensing 项目专注于一类新型的荧光生物纳米材料，称为 DNA 稳定的金属量子团簇 (QC-DNA)，其可以作为“量子生物传感器”。在最简单的形式中，这些生物传感器由一个短的 DNA 序列组成，包含一

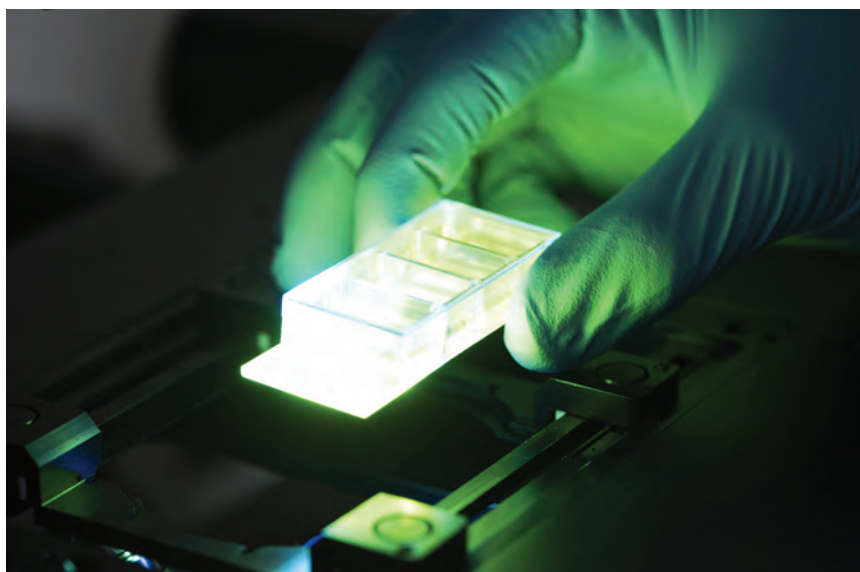


图1：具有荧光特性的生物纳米材料，DNA稳定的金属量子团簇有望实现快速可靠的生物传感器。

组 6~15 个金属原子（所谓的金属团簇）。DNA 序列的选择决定了传感器的特性，例如能够探测出哪种疾病。可以通过添加特定的生物分子来扩展量子生物传感器的基本结构，从而可以探测选定的生物标记。金属团簇的荧光特性可以实现报告：探测到目标时，金属团簇发出的光会改变波长。该技术的显著优势是具有成本效益的生产方式。

未来的基石

BioSensing 项目由弗劳恩霍夫的国际合作与网络 (ICON) 计划资助，该计划支持与国际卓越中心的合作研究，并创造将基础研究成果

转化为实践的机会。它利用了莱顿大学的量子光学和量子信息学教授 Dirk Bouwmeester 的专业知识，以及对 DNA 稳定的金属量子团簇的浓厚兴趣。^[1] 他的 QC DNA 研究有望洞悉这些材料的量子物理关系，以及它们可能如何提高生物传感器的效率。Bouwmeester 的实验包括开发一种实际上可以同时占据两个位置的纳米镜。

弗劳恩霍夫硅酸盐研究所 (ISC) 正在为材料的化学合成和表征、以及用于设计和制造量子生物传感器的生物材料的开发提供经验。莱顿大学的生物物理学教授 Doris Heinrich 和她的 3D NanoCell 小组，正在通过研究

下转第32页

半导体激光器

单片高功率锥形激光器实现真正的单模输出

单片MOPA技术使得锥形半导体激光器能够在当下的一些新兴领域获得广泛应用，如用于自动驾驶车辆的激光雷达。

文/Adam Erlich

输出功率大于 10W 的多模半导体激光器很容易获得。但是，在不进行光泵浦的情况下，以同样功率水平输出的单模激光器，目前只能在大学或政府部门的实验室中才能实现。美国 Sheumann Laser 公司正在与马萨诸塞州洛厄尔大学 (University of Massachusetts Lowell) 合作，开发出一款商业可行的、基于 MOPA (主振荡功率放大) 技术的单片集成锥形激光器。该激光器输出功率大于 8W，且能够实现真正的单纵模输出。^[1] 双方的这次合作，是首次尝试开发可制造的、经久耐用且性能可靠的商用型高功率锥形激光器。

这款锥形激光器是一个单片集成的光子器件，能够实现真正的单模高功率输出。它包括一个主振荡器，主振荡器又由种子光源、集成的布拉格反射器和功率放大部分组成。

激光雷达、医疗、激光泵浦和拉曼光谱等应用领域，对可靠的紧凑型高功率单模半导体激光器的需求正在迅速增长。^[2,5] 但是，目前市场上的单模激光器并不具备足够高的输出功

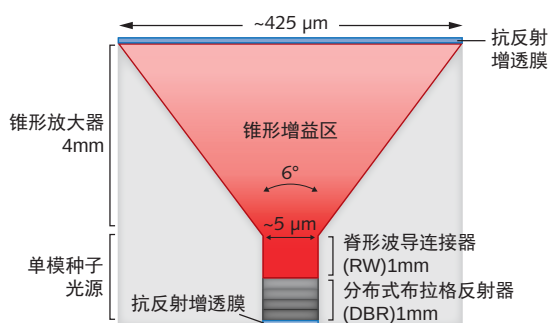


图1: Sheumann Laser公司开发的单片锥形激光器示意图。

率，并且体积大、结构复杂难集成，同时价格也比较昂贵。^[3,4] Sheumann Laser 公司开发的这款单片锥形激光器，克服了目前市场上单模激光器低功率、成本高、体积大等缺点，实现了真正的单模输出。

这款锥形激光器的独特之处在于：输出功率高，且单片集成，因而结构紧凑，批量生产成本低。单片集成的另一个好处是：它比二极管泵浦的固态 (DPSS) 激光器具有更高的总转换效率。这是因为 DPSS 激光器是光泵浦的，而锥形激光器由电泵浦，直接将电转换为激光输出。

开发细节

开发锥形激光器，尽管其他的设计方案还有很多，但是其他方案都需

要进一步集成，因此它们并不具备单片器件优势。单片结构将整个激光器占用的空间减少了大约两倍，同时也降低了封装成本。此外，单片结构还避免了不同元器件之间的机械对准误差，从而更易于光纤耦合集成。值得一提的是，设计这款单片激光器、并使其正常运转，是一个非常复杂的开发过程。

该集成系统需要开发人员拥有丰富的建模和实证经验，这样才能同时优化该锥形激光器外延层及每个组成部件的生产。例如，要想维持良好的模式输出，就要对外延层进行优化设计；此外，分布式布拉格反射器 (DBR) 的光栅设计也同样重要。光栅的一些参数如占空比、蚀刻深度等必须要优化到最佳值，才能保证良好的光束质量输出。光栅是 DBR 的一部分，但是光栅的设计不只是影响 DBR 的性能，而且也关系到 DBR 和放大器之间相互配合的性能。这是因为 DBR 部分与放大器共同组成的一个更长的腔体结构。

开发锥形激光器的另一个关键因素是，需要恰当的电连接和电源管理。

主振荡器由种子光源、集成的布拉格反射器和功率放大模块组成。主振荡器部分只需要几毫安的电流就可以工作，但是紧挨着振荡器的锥形放大器部分，其工作电流需要几个安培。这样就需要提供有效的电连接将主振荡器和放大器部分连接起来，并且将串扰降到最小，否则就会导致种子光源工作故障。在一块很小的半导体芯片上管理不同的电流要求，不是一件容易的事，因此在电源管理和电连接方面，需要创新的方法做支撑。

单片结构最大的优势是：减少了封装所占用的空间，并避免了不同元器件之间的机械对准误差。Sheaumann Laser 公司的工程师在开发这款锥形激光器的过程中克服的一个关键挑战是：获得稳定的高光束质量、高功率单模输出，并且这种高功率是在可接受的阈值电流和斜率效率下获得的。

激光器的热管理直接影响着其可靠性和使用寿命。因此，高功率半导体激光器需要创新的封装和冷却技术，来保证整个系统的可靠运行。研究人员创造性地将底座与散热器连接起来，起到了很好的散热效果。此外，

腔面镀膜不仅能维持高功率激光输出，同时也能保障激光器的使用寿命和可靠性。

将多个独立的元器件集成到一个单元上，并且这个单元是晶圆时，就特别需要精心的设计、合理的规划和良好的执行，才能开发出一个统一标准的结构。Sheaumann Laser 公司开发了一种工艺流程，以在子部件级和晶圆级满足每个元器件的需求。

技术优势

与现有的一些先进技术相比，MOPA 锥形激光器有诸多实际好处。由于是单片集成，因而可以封装成紧凑型结构，易于光纤耦合集成。尽管 DPSS 激光器也能实现高功率单模输出，但是其尺寸要比锥形激光器至少大一个数量级，并且效率更低。

目前最常用的单模激光光源有：DBR 半导体激光器、分布式反馈 (DFB) 激光器、脊形激光器和宽发射域半导体激光器。^[4] 与单片 MOPA 锥形激光器相比，DBR 激光器在单模运转、输出 500mW 功率时，有明显的光谱模式跳跃和较高的热漂移。^[2] 脊形激光器虽然光束质量好，但是其

输出功率比较低。宽发射域半导体激光器的输出功率虽然高，但是光束质量较差，并且其热效应明显，会引起光学灾变损伤 (COD)。^[1,4] 相比之下，锥形激光器克服了上述几款激光器的缺点，能够同时实现高光束质量的高功率输出。

Sheaumann Laser 公司目前正在开发 1060nm 的锥形激光器，另外 780~1080nm 的其他波长的激光器也在开发中。该公司很快将可以应用磷化铟 (InP) 晶圆，将其半导体激光器的波长扩展到 1875nm。该公司可以定制锥形激光器及其他半导体激光器，并能实现可靠的大批量生产。□

参考文献

1. J. M. G. Tijero et al., IEEE Photon. Technol. Lett., 19, 20, 1041–1135 (2007).
2. N. Werner et al., Proc. SPIE, 10553, 105531D, 1–9 (2018).
3. C. Rablau, Proc. SPIE, 11443, 111430C, 1–14 (2019).
4. G. Kochem, M. Haverkamp, and K. Boucke, Proc. SPIE, 6997, 69971A (2008); <https://doi.org/10.1117/12.780241>.
5. J. A. Beil et al., Proc. SPIE, 10514, 10514U, 1–7 (2018).

上接第30页

量子生物传感器合成与起始材料和合成工艺条件的关系，来推动这项工作。^[2] 他们也在开发用于诊断的微流体芯片实验室系统。

Greta Nölke 和她在弗劳恩霍夫分子生物学与应用生态研究所 (IME) 的团队，在重组蛋白和抗体技术、生物分子功能化，以及病原体 and 毒素探测技术和测定方法的开发方面，贡献了专业知识。^[3] 进一步的研究工作包

括基于细胞的样本检测，以用于生物标记物的高通量显微镜检查和毒性评估 (例如纳米材料)。

QC-DNA 适用于生物系统中高灵敏度传感器的开发，并有望提供先进、智能且价格合理的疗法。目前，该项目合作伙伴正在设计大量量子生物传感器，他们计划扩大规模并为大学医院中的可行性研究做准备。在后续项目中，他们计划开发一种高度灵敏且

具有成本效益的便携式读出装置，该装置可快速可靠地探测各种病原体、毒素和癌细胞。□

参考文献

1. D. de Bruin et al., J. Nanobiotechnol., 16, 37 (2018).
2. N. Bossert et al., Sci Rep., 7, 45882 (2017).
3. S. Achtsnicht et al., PLoS One, 14, 7, e0219356 (2019).



深圳机械展
SIMM

24万平方米 8大主题

深圳工业展

移师深圳国际会展中心（新馆）



深圳国际工业制造技术展览会 暨第21届深圳机械展

时间地点 2020.3.30-4.2
深圳国际会展中心（宝安新馆）



主办
单位

深圳市协广会议展览有限公司
深圳市环悦会议展览有限公司

联系
方式

电话/ 0755-83458909
官网/ www.simmtime.com
邮箱/ info@simmtime.com



将光子学研究转化为一项成功的事业

——访FBH总监Günther Tränkle先生

文/Andreas Thoss, LFW特约编辑



FBH总监Günther Tränkle先生

位于德国柏林的费迪南德布劳恩研究所 (FBH)，在过去的 20 年中创建了 11 家初创公司，这个成绩对于任何一个组织（尤其是一家研究机构）而言，都是一项令人印象深刻的记录。这项成就基于商业化的文化，同时又增强了技术专长，例如开发千瓦级激光二极管、及其在太空飞行中演示第一个玻色-爱因斯坦凝聚体中所发挥的作用。我有幸采访到了 FBH 总监 Günther Tränkle 先生，请他分享了 FBH 的生态系统以及他创建新公司的方法。

Andreas Thoss : 作为一家研究机构的总监，实际上您只需要做研究就可以过着令人兴奋的生活。但是您却在此过程中创建了无数家初创公司。您为什么这么做？

Günther Tränkle : 事实上，我发现我作为一名研究人员，我的生活也是充满乐趣的，我喜欢这份工作，尽管我们的研究集中在相对成熟的 III-V 半导体领域。不过，仍然有很多工作蕴含着众多令人兴奋的机会。毕竟，这些研究结果最终应该被真正利用才有价值。

例如，就拿我们正在为量子技术而研制的激光器来说，这些激光器的应用可能会覆盖商业和科学领域。这

些小巧且牢固的光源，能够在具有挑战性的环境下顺利工作。虽然到目前为止，这还只是一项纯粹的科学应用，但是我们已经思考如何将其用到未来的工业领域中。

Andreas Thoss : 在这种情况下，您通常会采用什么方法实现商业化？会创建一个创业团队吗？

Günther Tränkle : 在我们更多的商业项目中，我们首先要看看是否已经有一家公司能够满足市场需求。例如，我们能否在特定的应用领域与 Trumpf、Jenoptik 或 Toptica 这样的公司建立长期合作关系？如果市场上还没有明显的合作伙伴，我们已经多次决定，在这种情况下就支持分拆出一家公司。

Andreas Thoss : 回顾过去，您总共帮助创建过多少家初创企业？

Günther Tränkle : 在过去的 20 年里，我们已经创建了 11 家初创公司，也就是说，我们已经经历了 11 次这样的企业分拆过程。总的来说，我们的方法还是相当成功的，这些公司中只有三家没有存活下来。在柏林，我们与 Jenoptik 之间的分拆合作可能是最成功的。与我们一起合作创建初创公司，一直是 Jenoptik 的职责，当然

我们提供人员和技术。Jenoptik 的生产设施距离 FBH 只有 5 分钟的步行距离，所以我们与 Jenoptik 能够很容易地保持紧密互动。当我们开发新技术或新设备、并看到市场成功的机会时，我们会与 Jenoptik 或其他合适的工业合作伙伴讨论可能的转让事宜。

Andreas Thoss : 那么，您认为从零开始创建公司好？还是更倾向于与一家知名公司合作？

Günther Tränkle : 这些年来，我们清楚地认识到，将一项技术发展市场成熟的程度是一回事，而真正将该技术推向市场，则又是另一回事。这是一个非常耗时的过程，也需要具有相应资历的合格人员。如果你能依赖一个可靠的合作伙伴，那么你的产品就更容易被销售出去。

Eagleyard Photonics 公司的创建过程就是一个典型的例子。这家公司是 15 年前由 FBH 光电部门前负责人 Götz Erbert、Jenoptik 驻柏林现场经理 Jürgen Sebastian 和我共同创立的。当时为什么决定创建这家公司呢？很简单，因为我们有很好的宽发光面激光器，但当时没有人真正想用它们。我们确信看到了市场机遇，因此就成立了我们分拆出的第一家公司。

Götz 和我继续留在 FBH，而

Jürgen 与 Jenoptik 联合打理分拆出去的公司,我们也寻找了新的管理人员。最后,我们说服了前西门子公司子公司的 Jörg Muchametow 来管理 Eagleyard,并得到了 FBH 的所有科学基础和知识支持。

Eagleyard 在销售和营销活动方面做得非常成功,它也为 FBH 开拓了市场,将我们的半导体激光器卖给了全球的工业和科学用户。2013 年,Eagleyard 被 Toptica 收购,我们将继续通过 Toptica 这个新渠道来销售我们的研究成果。

Andreas Thoss : 您与 Toptica 的关系如何?

Günther Tränkle : 非常好!目前,我们主要与他们合作进行芯片级的设计,但 FBH 拥有一些非常有趣且强大的激光器模块,它们可用于各种应用领域。有了这些产品,我们再次扪心自问:谁能接手将它们推向市场的下一步业务?接下来我们可能会说服 Toptica 来做这项工作。

Andreas Thoss : 所以,在将技术进一步工程化和推向市场方面,您有两种方案选择:一是为一项新业务寻找一个合适的合作伙伴,另一个是自己创办一家新公司?

Günther Tränkle : 是的,如果我们没有在市场上找到合适的合作伙伴,并且我们对预期的市场成功充满信心的话,那么我们将会选择自己创建一家公司。

Andreas Thoss : 在决定一项技术是否适合分拆出一家公司时,您采用的衡量标准是什么?您认为这项技术在什么情况下就可以上市了?

Günther Tränkle : 每个案例的情况各不相同。例如,在我们的原型工程实验室里,我们有一个由工程师和技术人员组成的小组,由他们来构建系统,并为潜在客户测试设备做好准备。在得到市场的积极反馈后,我们会决定由谁来完成进一步的开发或生产步骤。

一开始,FBH 对这一进程给与大力支持。最终,合作公司或剥离出的公司必须考虑市场因素,必须在目标应用中测试设备或系统,必须将产品推向市场。

Andreas Thoss : 在这个过程中涉及的财务问题如何解决?您考虑过风险投资吗?

Günther Tränkle : 我们正在寻找外部资金来刺激 Eagleyard 的业务。硬件驱动型公司需要相对大量的资金才能开始生产,而在德国获得风险投资是非常困难的。但我们很幸运,一位金融投资者和一家当地银行支持了这项投资。

因为我们开发的技术通常只是用于解决特定的应用问题,所以很难开发出一种能赚很多钱的商业模式,因为不能提供一个明确的退出策略。投资者不想在一家公司呆太久,而且如果你是开发硬件的公司,这需要很长时间。

Andreas Thoss : 但另一方面,这也正是您获取成功的一部分,您并没有寻找那些赚大钱的领域,而是专注于一些严谨持久的业务,即使只是一个很小的特定市场?

Günther Tränkle : 是的,我们就是这么做的。而且很多业务都依赖于 FBH 的设施,互惠互利。这是我

们当地生态系统的一部分。FBH 及其合作伙伴建立一个可持续的生态系统,花了 20 多年的时间。我们已经在 FBH 安装了价值约 6000 万欧元的装置。我们目前正在建造第二个洁净室设施,其将投资提高到了 1 亿欧元。

Andreas Thoss : 如果你发展新公司,他们会利用 FBH 的实验室,利用实验室中的硬件设施。这些公司既是 FBH 的合作伙伴、又是客户吗?

Günther Tränkle : 正如我在开始时所说的,我们的研究工作的价值往往取决于它是否最终被使用。我们必须找到使用它的人,但最终我们不应该成为制造商。

但是,如果你有一个独立的制造商,而且如果你的业务没有真正达到将整个技术转让给第三方所需的数量时,那么我们也必须为这些目的开放我们的基础设施。

这种安排也是考虑到德国在这一领域的生态系统:德国在光子学领域有很多大大小小的公司,其中很多公司都是某些特定市场中的领导者。例如,在受激发射损耗(STED)显微镜中,开发人员目前正在寻找能发射黄光的小型模块。这个市场很小,并且在技术上也极具挑战性;此外,还需要经过培训的人员来开发和生产此类器件。这是我们要进入的领域。

德国的生态系统包括与大大小小的公司合作,进行基础研究和应用研究。FBH 在整个生态系统中扮演的角色是研究光源、开发光源,当然有时也会进行小规模生产。在这个研究过程中,我们需要有客户、备件供应商以及所有能涉及到的其他需求。所以这些都是德国生态系统的一部分,也是德国在这一领域如此成功的原因。□

相干公司用于多光子显微成像的高功率宽调谐飞秒激光器

相干公司发布新产品 Chameleon Discovery NX 激光器。这款激光器可以实现高亮度和高对比度的深层多光子显微成像，非常适用于神经科学的活体组织成像和其他活体研究。



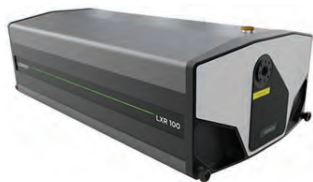
Chameleon Discovery NX 可以在样品表面提供高平均功率（高达 3W）的超短脉冲激光，从而实现复杂的双光子显微成像结构。短脉冲是获得高亮度 / 高对比度图像的一个关键指标，它可以通过增强的动态范围内 GDD 色散预补偿来实现。即使是在使用高折射物镜的宽场显微镜中，GDD 色散预补偿能够避免不必要的脉冲展宽，可以帮助用户减少不必要的样品热量和最大限度提高成像深度。

此外，Chameleon Discovery NX 具有 660~1320nm 的宽波长调谐范围，同时还能提供 1040nm 的高功率固定波长输出。它具有全功率控制（TPC）功能，可以实现内置快速功率调制。结合最新的声光技术，TPC 功能可以对可调谐飞秒输出和 1040nm 输出进行高对比度调制，确保显微镜扫描头上具有优异的光束质量。

相干公司, www.coherent.com

Luxinar用于材料加工的LXR 100飞秒激光器

Luxinar 的 LXR 100 是一款用于材料加工的飞秒激光器。激光器的短脉宽，能够消除加工过程中的激光热量向加工区域周围扩散，能最大限度地减少热影响区的形成，实现高精度微加工和纳米级加工。LXR 100 具有较大的平均功率、脉冲能量和工作模式范围。脉冲宽度为 $900 \pm 100\text{fs}$ ，脉冲重复频率在单脉冲至 40MHz 之间，最大额定脉冲能量为 100μJ。可提供突发模式和按需脉冲模式。



LXR 100 的高峰值功率能在材料内部实现新颖的加工模式，而不是限制与材料表面的相互作用。主要应用范围包括消费电子、医药、汽车、研发、航空航天和国防等。

Luxinar, www.luxinar.com

锐科激光多模组连续光纤激光器

锐科激光研制的多模组连续光纤激光器系列涵盖了 3000W 至 30kW 之间的产品，具有电光转换效率高、光束质量好、能量密度高、调制频率宽、可靠性强、寿命长、运行免维护等优点，可广泛应用于焊接、精密切割、熔覆、表面处理、3D 打印等领域。其光纤输出特征，使其更易于与机器人集成为柔性制造装备，满足三维加工的需求。



该系列产品的输出光学系统采用了加固铠装的输出光纤，输出接头为 QBH/QD，更方便客户配置；动态工作范围在额定输出功率的 10%~100% 之间，电光转换效率高于 35%，调制模式工作频率最高可达 5kHz，能满足绝大多数应用场合的需求，并具备多种控制模式，其良好的兼容性得到了市场的广泛认可，产品畅销国内外。

锐科激光, www.raycuslaser.com

Pharos系列高功率飞秒激光器

Light Conversion 的 PHAROS 单一集成飞秒激光系统，拥有毫焦脉冲能量和高平均功率。PHAROS 的机械和光学设计，专门针对工业应用而优化。激光器采用固态激光二极管泵浦 Yb 介质，维护成本低，使用寿命长。



PHAROS 的输出参数均可以通过 PC 根据特定应用进行设置，在几秒钟内即可轻松完成。激光器输出参数可以调谐，使 PHAROS 系统适合通常需要不同类型激光器的应用。可调参数包括：脉冲持续时间（190fs~10ps）、重复频率（单脉冲 ~1MHz）、脉冲能量（高达 2mJ）和平均功率（高达 20W）。可交付功率适合高加工速度下的大多数材料加工应用。

内置脉冲选择器允许在按需脉冲模式下方便地控制激光输出。配有丰富的外部控制接口，可轻松将激光器集成到更大的机构和加工工作站。PHAROS 拥有紧凑牢固的光机设计，包括易于更换的模块，控制温度稳定的密封外壳，确保在不同环境下稳定的激光操作。PHAROS 配备了丰富的软件包，确保流畅的自动化操作。

Light Conversion, www.lightcon.com

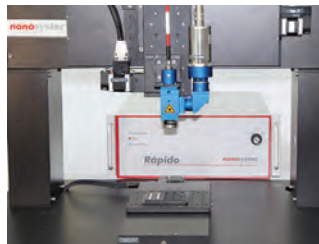
安扬激光紧凑型40W/双路、50W/单路飞秒光纤激光器

安扬激光的 FemtoYL-40-Dual 飞秒光纤激光器，可以在一个机壳内实现双路光同时输出，每个输出口功率能达到 20W，单脉冲能量达到 70μJ，脉冲串能量大于 200μJ。若配置为单路输出，该激光器的输出功率可达 50W，脉冲能量同样能达到双路同时输出的水准，能够极大地提升加工效率，降低成本。
安扬激光，www.yslphotonics.com



Nanosystec 蓝光激光焊接光源

Nanosystec 公司的 Rapido-450 是一款具有温度控制功能的蓝光激光焊接光源。Rapido-450 发射的蓝光波长非常适用于镀金零件、预制件和锡膏焊接。相比于近红外光源，该蓝光光源的能量能够被更有效地吸收，从而增强焊接过程的稳定性。



可选的共线温度测量 (CTM) 功能，能实现焊点位置的精密聚焦，并允许闭环操作。集成工业相机，能够通过机器视觉算法提供加工过程的图像，简化过程控制。

Nanosystec，www.nanosystec.com

Aeva 首款 FMCW 芯片激光雷达

Aeva 发布突破性的调频连续波 (FMCW) 芯片级激光雷达 (LiDAR-on-chip) 传感系统 Aeries，该系统将激光雷达传感器的所有关键元件都集成于一颗微型光子芯片中。这是汽车行业第一款结合大范围探测性能及低成本优势的激光雷达解决方案，将助推汽车自动驾驶技术的大规模应用。

这款 4D 芯片激光雷达将传统光电探测设备的尺寸和功率显著降低了几个数量级，同时针对低反射率物体实现了超过 300m 的远距离探测性能，并能测量每个点的瞬时速度。Aeva 激光雷达还不会受到其它传感器或太阳光的干



扰，并且，其运行功耗仅为同性能其它产品的几分之一，从而提供了自动驾驶要求的安全性和可扩展性。这款芯片激光雷达量产后的售价不到 500 美元。

Aeva，www.aeva.ai

Intel 发布 RealSense L515 高分辨率激光雷达

Intel 发布号称是全球体积最小、能效最高的高分辨率激光雷达摄像头 RealSense L515。

RealSense L515 的直径只有 61mm，厚度 26mm，重量仅 100g，异常小巧，可以集成到智能硬件中，也可以安装在手持设备上移动使用。RealSense L515 集成了



1920 × 1080p/30fps RGB 传感器、1024 × 768/30fps ToF 深度传感器、博世 BMI085 惯性测量单元 (加速计 + 陀螺仪)，工作范围 0.25~9m，每秒可捕捉数 2300 多万个深度点信息，RGB 视场范围 70 ± 3° × 43 ± 2°，深度视场范围 70 ± 2° × 55 ± 2°。出厂前经过校准，日常使用中无需重新校准。

RealSense L515 的光子到深度延迟仅为 4ms，对于自主式应用具备极快的响应速度，同时利用视觉处理器尽可能消除运动模糊和残影，可快速、精确地捕捉高速场景。功耗低于 3.5W，配有 Intel 自研的 MEMS 微振镜系统，能让激光以较低功率扫描。

英特尔，www.intel.cn

II-VI 用于大功率工业激光器的非球面蓝宝石透镜

II-VI 宣布推出用于下一代激光系统的非球面蓝宝石光学透镜，其耐受功率远超过 10kW。

II-VI 是业内首家使用高品质蓝宝石制作亚微米级非球面透镜的公司，使得蓝宝石在单光学元件设计上超过石英成为可能，并将光学元件导热性提高了 20 倍，极大地降低了激光功率过大造成的温度变化、焦距偏移现象。在极高的激光功率下，蓝宝石光学元件的使用寿命也比熔融石英光学元件长得多，从而降低了激光系统使用寿命内的总成本。



II-VI，www.ii-vi-photonics.com

长光华芯808nm/878.6nm光纤耦合模块

长光华芯的 808nm 与 878.6nm 光纤耦合固体激光器泵浦源，基于长光华芯自主研发并实现量产的单管芯片，通过精密的光学封装和严苛的工艺过程控制，实现了稳定可靠的光纤耦合输出：808nm 400 μ m 芯径输出功率 25~40W，光谱宽度 < 3nm，波长偏差控制在 ± 2.5 nm；878.6nm 200/400/600 μ m 芯径输出功率 40~175W，光谱宽度 < 0.5nm，并可实现 ± 0.5 nm 的波长锁定 (VBG)。

产品体积小，经过近两年在客户处的使用示范验证，性能稳定可靠，光 - 光转换效率高，波长控制优异，性价比高，是固体激光器和固体皮秒激光器的理想泵浦源。

长光华芯，www.everbrightphotonics.com

瑞丰恒Expert III 355高功率紫外激光器

瑞丰恒的 Expert III 355 系列紫外激光器，是一种半导体泵浦脉冲固体激光器，功率达 10~15W，可以实现很多低功率激光器实现不了的工艺目标，如 PE/PCB/FPC 的切割、蓝宝石玻璃的切割、打孔、划线。蓝宝石玻璃被应用于手机保护镜头、屏幕、电子仪器的覆盖面板制造等多个方面。

该激光器具有出色的稳定性，光束质量卓越 ($M^2 < 1.2$)，在所有频率范围内都能严格保证；脉冲宽度 < 20ns@40k，加工时热影响区域很小；具备完美的光斑特性（光斑椭圆度 > 90%）。

该紫外激光器的制造工艺十分严谨，全程无尘车间生产，在其采购、生产、整机验收、出货各环节由品管部严格把控，检测设备功率、光斑椭圆度、光束指向、性等参数，准确率达 100% 才发货，确保设备在不同环境下运行的一致性。

瑞丰恒激光，www.rfhlasertech.com

HUBNER Photonics 785nm拉曼激光器

HUBNER Photonics 公司 Cobolt 08-01 系列拉曼激光器再添新成员 08-NLDM 785nm ESP（增强光谱纯度），波谱覆盖范围 405~1064nm，适用于高分辨率拉曼光谱市场。

可用于实验室和工业环境。

其光学设计允许在距主峰约 0.3nm 处具有 > 60dB 的光谱纯度；该多横向模式激光器的输出功率 < 400mW；在单个紧凑型封装中集成所有电子器件。所有 Cobolt 激光器均使用专有的 HTCure™ 技术制造，并且所形成的紧凑型密封封装，提供了高可靠性，能在各种环境条件下使用。

HUBNER Photonics，www.hubner-photonics.com

诺派激光532nm超快光纤激光器

诺派激光的 Rainbow 532 OEM 超快光纤激光器，是在 Rainbow 1064 OEM 版本的基础上外置倍频模块而来，实现了 532nm 的超短脉冲激光输出。光路及电路结构高度集成化、紧凑便携，提供电脑软件远程操作功能，特别适用于工业或者 OEM 商用系统集成用户。此外，Rainbow 532 OEM 可适用于二次 / 三次谐波成像、非线性光学、双光子聚合等领域科研平台的搭建，极大地满足了科研用户的系统研发需求。

诺派激光，www.npilasers.com

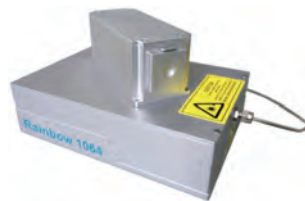
Amada Miyachi America的WL-300A激光加工工作站

Amada Miyachi America 推出的 WL-300A 激光加工工作站，专门配置用于纳秒脉冲光纤激光加工应用。该工作站的加工空间更加宽敞，是专门为容纳更大的零部件加工而设计的。

WL-300A 工作站中包括了 Amada Miyachi America 公司的 LMF 光纤激光器 (10~70W)，并可提供台式机或落地式机型选择。工作站提供的标准选项包括 XY 工作台、旋转工作台、覆盖气体模块、排烟机制、条形码阅读器和相机系统，以满足不同加工过程的需求。

WL-300A 可以处理多种多样的标记类型。虽然其激光源主要设计用于激光打标和激光雕刻应用，但是也可以用于焊接应用和切割应用（可切割厚度达 250 μ m 的薄金属）。

Amada Miyachi America，www.amadamiyachi.com





数控机床与金属加工展

金属加工技术的国际化品牌展

2020年9月15-19日 国家会展中心(上海虹桥)



扫一扫
关注微信公众号



成都国际工业博览会
2020年4月27-29日
中国西部国际博览城



华南国际工业博览会
2020年6月2-5日
深圳国际会展中心

www.metalworkingchina.com

欢迎垂询: 021-2055 7138/7139/7140/7141

Advertiser	广告商名称	网址	页码
AEROTECH INC.		www.aerotech.com	BC
贝林激光		www.bellinlaser.com	1
CASTECH INC.		www.castech.com	5
Edmund Optics China		www.edmundoptics.cn/010-8616	9
ITES	深圳机工业展	www.simmtime.com	33
Luxinar	罗悉激光	www.luxinar.com	7
MWCS 2020	2020 数控机床与金属加工展	www.metalworkingchina.com	39
安扬激光		www.yslphotonics.com	IBC

文章投稿指南

《激光世界》不发表公然推销某一具体产品或服务文章。只有文章内容需要或主题相关时，才可偶尔提及某一具体产品。

具体要求

- 1、最好配两幅以上相关图表。
- 2、应在预定发表日期之前一个月投到编辑部。
- 3、切勿一稿多投。
- 5、编辑部有权修改稿件。作者或供稿公司如需在出版前确认修改后的稿件，请事先声明。
- 6、请留下作者的各种联系方式。

发布新产品投稿指南

- 1、请清晰地写明新产品的名称、型号、功能、独特之处和用途等。
- 2、请附上产品照片。照片的分辨率不低于300dpi，大小不低于100万像素。最好是在单色背景下的简单的产品实物照片。
- 3、请提供能查阅产品更多信息的网址。
- 4、写清负责答复读者咨询的人员的姓名和联系方式。
- 5、写清能提供进一步信息的人的姓名、电话、e-mail。
- 6、本刊有权决定稿件录用与否。编辑部有权修改稿件。
- 7、本刊收到的稿件会在最近的一期发表，时间最长会延迟2个月。当提供对时间敏感的信息时，请注意预计发表的时间。
- 8、出版日期前5天截稿。

请将您的新闻或文章E-mail至庞会荣女士 Rossie Pang, E-mail:rossiep@actintl.com.hk,电话: 13641292731



www.laserfocusworld.com.cn

行政及销售人员 Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

HK Office (香港办公室)

ACT International (雅时国际新闻)
Unit B, 13/F, Por Yen Building,
No. 478 Castle Peak Road,
Cheung Sha Wan,
Kowloon, Hong Kong
Tel: 852 2838 6298

Publishing Director (出版总监)
Adonis Mak (麦协林)
adonism@actintl.com.hk

General Manager - China (中国区总经理)
Michael Tsui (徐旭升)
michaelt@actintl.com.hk
Editor-in-Chief (总编辑)
Rossie Pang (庞会荣)
rossiep@actintl.com.hk

US Offices

ENEADOR Business Media, LLC
61 Spit Brook Rd, 5th Floor Nashua,
NH 03060
Group Publisher
Alan Bergstein
alanb@endeavorb2b.com

Editor in Chief

John Lewis
jlewis@endeavorb2b.com

销售人员 Sales Offices

China (中国)

Hong Kong (香港特区)
Mark Mak (麦协林)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

Shanghai (上海)
Sales Director-China
(中国区销售总监)
Hatter Yao (姚丽莹)
hattery@actintl.com.hk

Amber Li (李歆)
amberl@actintl.com.hk
Tel: 86 21 6251 1200

Shenzhen (深圳)
Jenny Li (李文娟)
jennyl@actintl.com.hk
Gavin Hua (华北平)
gavinh@actintl.com.hk
Tel: 86 755 2598 8571

Beijing (北京)

Cecily Bian (边团芳)
cecilyb@actintl.com.hk
Tel: 86 10 8484 4007

Wuhan (武汉)

Sky Chen (陈燕)
skyc@actintl.com.hk
Tel: 86 137 2373 9991

Eva Liu (刘婷)
eval@actintl.com.hk
Tel: 86 138 8603 3073

Grace Zhu (朱婉婷)
gracez@actintl.com.hk
Tel: 86 159 1532 6267

Asia (亚洲)

Japan (日本)
Masaki Mori
masaki.mori@ex-press.jp
Tel: 81 3 6721 9890

Taiwan, Singapore, Malaysia
(台湾, 新加坡, 马来西亚)
Regional Sales Director
Mark Mak (麦协林)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

North America (北美)

East & Central

Jeff Nichols
jnichols@endeavorb2b.com
Tel: 1-413-442-2526

West & Mountain

Anne Marie St.John-Brooks,
amstjohn@endeavorb2b.com
Tel: 510.606.0630

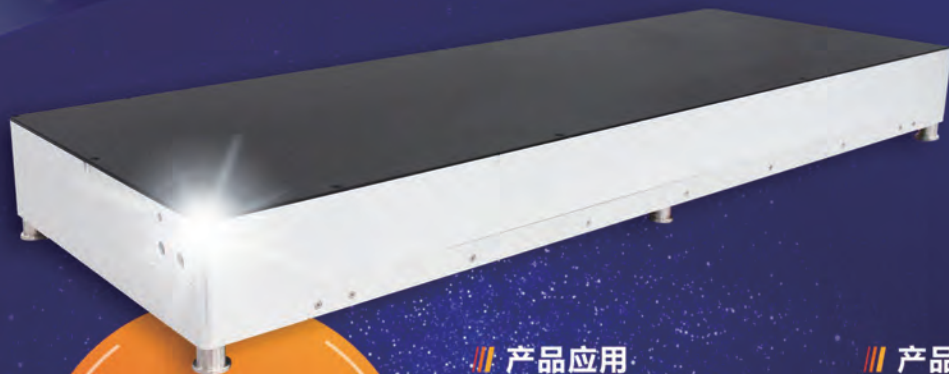
Europe & Middle East (欧洲及中东)

Europe

Holger Gerisch
hgerisch@endeavorb2b.com
Tel: 49(0)8801 9153791

Israel

Dan Aronovic
aronovic@actcom.co.il
Tel: 972-9-899-5813



100W
飞秒光纤
激光器

产品应用

- OLED 模组切割
- 全面屏切割
- 蓝宝石&陶瓷盖板&玻璃切割与钻孔
- 复合薄膜材料加工
- 半导体晶圆加工
- 锂电池隔膜切割

产品特点

- 平均功率 **>100W**
- 脉冲宽度 **~300fs-10ps**(可调)
- 重复频率 **25-5000KHz**(可调)
- 脉冲能量 **>200uJ**
- 支持 **PSO/POD**控制
- 支持 **Burst**脉冲串功能

产品应用

- 光电流显微检测
- 纳米光子学
- 荧光光谱与成像
- 超分辨成像 (STED)
- 光学相干断层扫描 (OCT)
- 光声显微成像

产品特点

- 总功率 **>20W**
- 外部触发 **1-80MHz**
- 波长 **400nm-2400nm**
- 重复频率 **0.01-200MHz**
- 单脉冲能量 **>1.5uJ**
- 单模光纤输出

20W
超连续谱光源



Aerotech 纳米级定位科技

直线定位平台 · 旋转定位平台 · 垂直举升与Z轴平台 · 测角仪

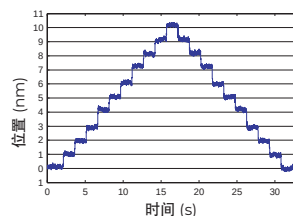


Aerotech生产之直线
奈米定位系统提供:

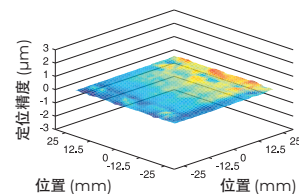
- 1 nm 分辨率
- <1 nm 定位稳定性
- ± 75 nm 重复定位精度
- ± 250 nm 定位精度
- 最高至160 mm 之行程

Aerotech生产之旋转
奈米定位系统提供:

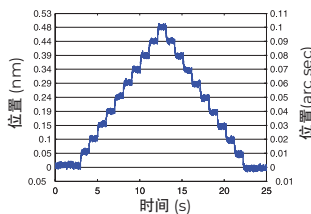
- 0.01 arc-second 分辨率
- 0.005 arc-second 定位稳定性
- 1.5 arc-second 重复定位精度
- 3 arc-second 定位精度
- 360° 连续旋转运动或有限行程旋转运动



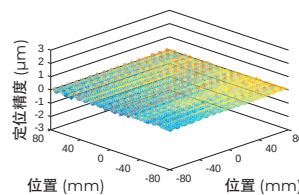
ANTI95L 1 纳米步阶图



ANTI30XY 2D定位精度测试图面



ANTI95R 0.01 arc-sec步阶图



ANTI95XY 2D定位精度测试图面

AEROTECH

www.aerotech.com • +86 (21) 5508 6731

AF0118B-RAD-ZH-CN