光学和光电子产业的主导刊物 www.laserfocusworld.com.cn 2021年9/10月 第5期
ISSN: 1817-6917

激光世界

LaserFocusWorld® China

光整形：数字激光器的到来 24

印度工业激光市场现状及发展预测 9

克服高功率超快激光系统中的热透镜效应 14

纳秒光纤激光器化身多才多艺的切割工具 26

新能源纽扣电池的激光焊接新工艺 32

ACT
ENDEAVOR BUSINESS MEDIA

微信公众号

EVERBRIGHT

直接半导体激光器

——开启激光加工新纪元



百瓦级系列产品
波长：915/976nm
功率：100/150/300/500W
光纤芯径：200/400 μ m

中功率系列产品
波长：976nm
功率：1500/2000/2500W
光纤芯径：300/400/600 μ m

高功率系列产品
波长：976nm
功率：4000/6000W
光纤芯径：600/1000 μ m



塑料焊接　锡焊　钎焊　熔覆　金属热传导焊接



高功率半导体激光芯片　VCSEL激光雷达芯片　高速光通信芯片　器件　光纤耦合模块　阵列

苏州长光华芯光电技术股份有限公司
定制需求请联系：+86-512-6937 2570　sales@everbrightphotonics.com
ADD:江苏省苏州市高新区科技城昆仑山路189号2幢

Think Precise

The next generation
Tunable Laser



全新 TSL-570

高速 扫描速度200nm/s、20kHz 可编程触发

高精度 亚皮米精度、亚皮米分辨率

高稳定性 可实现全波段无跳模及稳定的输出功率

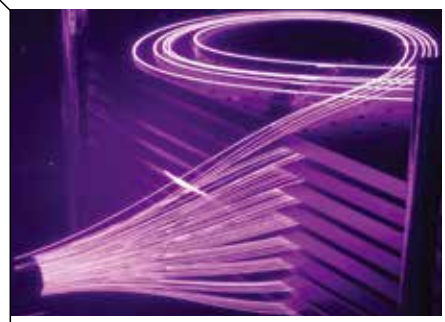
高灵活性 触摸屏和以太网通讯

www.santec.com.cn

The world's first and most widely used tunable lasers

santec

The Photonics Pioneer since 1979



24 封面故事

高能/高功率激光器

光整形：数字激光器的到来

一种新的相干合束方法为全数字激光器的新时代开辟了道路。全数字激光器具有在各种功率范围内进行光整形的潜力。

市场观察

9 印度工业激光市场现状及发展预测

疫情导致印度工业激光市场放缓，但是，基础设施建设和电动汽车等行业的发展，将为印度工业激光市场的增长提供动力。

技术中心

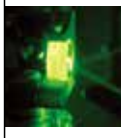
12 空芯光纤



空芯光纤针对应用和坚固性进行优化

空芯光纤将成为标准单模光纤的补充，满足那些要求“更低的延迟、极低的非线性和具有成本效益”的应用需求。

14 超快激光器



克服高功率超快激光系统中的热透镜效应

凭借其短脉冲持续时间和高峰值功率，让超快激光系统在从材料加工到显微镜学领域的各种应用受益匪浅。

17 光学制造



全流程高效制造精密自由曲面光学元件

制造自由曲面光学元件的工艺依赖于复杂的制造和计量工具（硬件和软件）之间的相互作用。

20 科研激光器



紧凑型深紫外连续激光器的新应用

一种蓝光激光泵浦的便携式深紫外激光器，开辟了深紫外激光器在日常灭菌消毒、拉曼光谱等方面的更多应用可能。

工业激光专栏

26 激光切割



纳秒光纤激光器化身多才多艺的切割工具

纳秒光纤激光器不仅是打标的出色工具，它也可以作为出色的切割工具，很好地切割金属和非金属材料。

29 增材制造



高功率同轴线材激光定向能量沉积技术最新进展

在增材制造中，激光线材定向能量沉积技术因其沉积速度快、原料成本低而成为研究的焦点。

32 激光焊接



新能源纽扣电池的激光焊接新工艺

MOPA和QCW激光精密焊接机，实现了纽扣电池的正负极与壳体、顶盖和引脚的精密、可靠及美观焊接。

商业论坛



36 2021年将是全球激光市场强劲增长的一年

激光行业资深市场分析师Allen Nogee，针对当前全球大环境的变化，积极调整分析方法，预计2021年将是激光销售强劲增长的一年。

5 编者的话
6 前沿简讯
37 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

OpticStudio®



全新 OpticStudio® STAR 模块

在设计工作流程中轻松进行结构、热以及光学性能分析

结构和热分析 & 结果模块

OpticStudio STAR 模块为您提供卓越的光机热分析功能

使用 OpticStudio 结构和热的分析与结果 (STAR) 模块来分析结构和热效应对你的光学设计的影响。基于有限元分析 (FEA) 数据，将 OpticStudio 的功能扩展至能够进行结构、热以及光学性能 (STOP) 分析。通过将 STOP 和 OpticStudio 设计流程整合优化到同一个工作流程中，来减少人为错误和重新创建设计所花费的时间。

OpticStudio 新模块 STAR 邀您一同体验

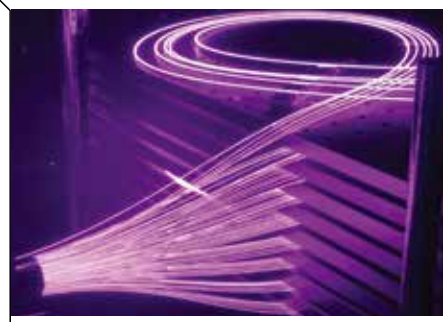
模块功能

了解 STAR 模块可以如何帮助你的工作

想要了解更多？请扫描右侧二维码申请免费试用并获取模块功能介绍

www.zemax.net.cn | china@zemax.com

Zemax



24 COVER STORY

High-energy/Power Lasers

Shaping the light: The advent of digital lasers

A new approach to coherent beam combining opens the path to a new era of full digital lasers with potential for light shaping in various power regimes.

MARKET WATCH

9 **Current situation and development forecast of the industrial laser market in India**

The Indian market was not expected to recover that fast after COVID-19; however, sectors such as infrastructure and automotive has given the boost to it.

TECHNOLOGIES CENTER

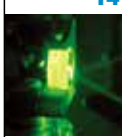
12 Hollow-core Fiber



Hollow-core fiber optimized for applications and ruggedness

Hollow-core fiber is serving demanding applications where its lower latency, very low nonlinearity, and other properties make it cost-effective.

14 Ultrafast Lasers



Combatting thermal lensing in high-power ultrafast laser systems

With their short pulse durations and high peak powers, ultrafast laser systems benefit and enhance a wide variety of applications, from materials processing to microscopy.

17 Optical Manufacturing



Efficiently manufacturing precision freeform optics, from start to finish

The process of manufacturing a freeform optic relies on the interplay between sophisticated fabrication and metrology tools, both hardware and software.

20 Scientific Lasers



Compact deep-ultraviolet CW lasers lead to new commercial applications

A portable deep ultraviolet laser pumped by blue laser diode opens up more applications of deep ultraviolet laser in daily sterilization, Raman spectroscopy and others.

INDUSTRIAL LASER COLUMN

26 Laser Cutting



Pulsed nanosecond fiber lasers excel as versatile cutting tools

Best known for laser marking, pulsed nanosecond fiber lasers can also be used for cutting both metals and nonmetallic materials.

29 Additive Manufacturing



High-power coaxial wire laser directed-energy deposition: An update

Laser wire directed-energy deposition has come into contention, based on its higher deposition rate and lower feed stock cost.

32 Laser Welding



New laser welding technology for new energy button battery

MOPA and QCW laser precision welding machine realize precise, reliable and aesthetic welding of the positive and negative poles of button batteries with the shell, top cover and pins.

BUSINESS FORUM

36



2021 will be a strong year for laser sales

Allen Nogee, senior market analyst for the laser industry, is actively adjusting his analysis methods in response to the changes in the current global environment, and expects 2021 to be a strong year for laser sales.

5 EDITOR'S NOTES
6 LEADING EDGE SNAPSHOTS
37 PRODUCTS HIGHLIGHTS
40 AD INDEX

About Laser Focus World China

Published since 2005, Laser Focus World China, the Chinese editionof the world famous Laser Focus World magazine, is the professional magazine for engineers, researchers, scientists, and technical professionalsin China. It provides comprehensive global coverage of optoelectronictechnologies, industrial and R&D applications, and market information. The editorial content licensed exclusively from Laser Focus World magazine is supplement 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.

激 光 世 界
LaserFocusWorld® China

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 姚丽莹 Hatter Yao
电邮 hattery@actintl.com.hk
中国区总经理 徐旭升 Michael Tsui
电邮 michaelt@actintl.com.hk
中国版主编 庞会荣 Rossie Pang
电邮 rossiep@actintl.com.hk
记者 胡婴 Lily Hu
电邮 lilyh@actintl.com.hk
记者 陈玉婷 Julie Chen
电邮 juliec@actintl.com.hk
技术顾问 顾正

免费赠阅咨询
电话 (86) 755-2598 8573
(86) 755-2598 8567
传真 (86) 755 2598 8567
电邮 circulation@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 Conard 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

ENDEAVOR BUSINESS MEDIA

尖端技术部通讯与光电子分部
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

ISSN 1817-6917
© 2021 版权所有 翻印必究

2021 年是激光市场强劲增长的一年

进入 9 月份，各家上市激光公司纷纷公布了 2021 年上半年的财报，国内超过半数的上市公司都实现了超过 100% 的利润增长。普遍来看，各家激光公司的业绩都呈现爆发式增长。上半年，从激光芯片、激光器件到整机设备，都需求旺盛。

这一情况与激光行业市场分析公司 Laser Markets Research 总裁 Allen Nogee 在 2021 年初的预测相吻合。Allen Nogee 说，尽管当下的市场大环境已经与以往发生了很大变化，先是中美贸易摩擦为激光公司的进出口业务带来了不利影响；紧接着 2020 年疫情的爆发，又一度让整个行业在大半年处于停摆状态；进入 2021 年生产逐渐恢复后，又出现了各种物料短缺情况，严重影响了交货；但是，市场需要的复苏和增长已是大势所趋，2021 年必将是激光市场强劲增长的一年（p36）。

印度，作为继中国之后备受关注的一个新兴市场，也呈现出了光明的发展前景（p9）。作为新兴市场，受到印度本土疫情的影响，印度激光市场的发展可能并不会很快，但是目前有很多积极的信号，都在暗示着这个市场的巨大发展潜力。首先是印度的基础设施建设和汽车行业的发展，将会为激光市场的发展提供动力，尤其是汽车行业，一旦疫情稳定，印度汽车行业将有望出现强劲反弹，随之将催生对激光切割和焊接应用的大量需求。其次，印度政府已经提出了“印度制造”和“自力更生的印度”这样的发展政策，这意味着印度要大力发展本土制造业，而在当前全球都在向智能制造发展过渡的大趋势下，印度制造业的发展部署，必然离不开对先进激光加工制造技术的引进。这也是很多激光公司已经开始部署印度市场的原因，他们已经不是简单地向印度出口产品，而是开始扎根印度本土打天下了。未来，印度迟早会成为激光器和光子学产品的制造中心。所以，想要开辟东南亚新兴市场的厂商，可以提早布局把握住好时机。

市场需求不光在数量方面有增长，在质量方面也不断提升。目前工业加工市场中除了成熟的打标应用外，占据主导的应用需求还是切割和焊接。切割和焊接的应用要求正在不断提升，新的技术和应用工艺也随之应运而生。比如，非常适合打标的纳秒光纤激光器，也可以实现金属薄片、太阳能电池板、金属首饰等多种材料的精密切割（p26）；而在焊接方面，MOPA 和 QCW 激光精密焊接技术，也实现了纽扣电池中包括铜铝薄片正负极与壳体之间、电池不锈钢顶盖与壳体之间、以及电池镍引脚的精密焊接（p32）。

本期内容中还包括优化的空芯光纤（p12）、自由曲面光学元件的制造（p17）、深紫外连续激光器（p20）和数字激光器（p24）等内容，供读者参考。❑

本刊编辑部

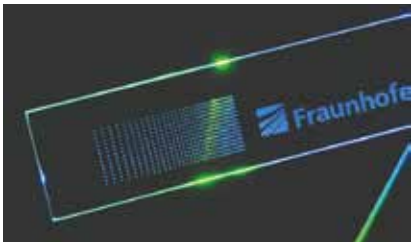
前沿简讯 Leading Edge Snapshots

可将玻璃切割成任何形状的激光器

弗劳恩霍夫激光技术研究所（ILT）开发了特殊形状的超短激光脉冲，使用超短脉冲（USP）激光器，可沿任何轮廓修改和破碎玻璃，且不会释放任何灰尘或残留物。

与其他玻璃切割技术不同，激光不会划伤玻璃表面，而是在材料体积内产生较小的材料应力，从而在材料分离时产生干净的边缘。这需要激光束内有一个特殊的强度分布，具有长束腰和陡峭倾斜的强度分布。现代衍射光学元件（DOE）几乎可以将光塑造成任何形状。DOE 还可以将单个光束的能量分配给一组相似的部分光束。复杂的衍射结构是 DOE 的一个特殊特征。经过几次迭代，DOE 的最佳结构以光刻方式刻在玻璃上。DOE 还可用作 100W 以上 USP 激光器的纯玻璃光学器件。

除了基于衍射的 DOE，折射光学元件（ROE）也经常用于波束形成，因为它们可以在数百瓦的功率范围内折射光束。DOE 和 ROE 具有高热稳定性，因此在提高 USP 激光系统的生产率方面具有很大优势。ILT 的科学家们开发出了一种可以从一个强大的 USP 激光束中，形成多达 196 束相似光束阵列的方法。然而，即使使用单个光束进行处理，这些光学元件也提供了许多可能性。特殊形状的 USP 激光束可以构造表面，将应力引入玻璃体或改变局部的折射率。



研究者专门致力于汽车行业平视显示器的玻璃加工。“Femto DPP”项目的专家在玻璃中创造了微米级大小的缺陷，这些缺陷能以一定角度反射 LED 光，这正是平视显示器所需的。加工中使用的激光还可用于产生预定的断裂点，这些断裂点以受控方式引入，用于随后的快速玻璃切割。预计该工艺在未来可以应用于任何曲面玻璃板。❑

超连续谱产生的新方式：只用中等能量即可获得

超连续谱的产生，可针对生物成像、光学通信和材料基础研究等领域的特定应用，产生量身定制颜色的光。目前创建超连续谱的方法有两种，一种是用特殊光纤，大约是人类头发宽度的 10%，可以用来将光集中到非常高的强度，超过几米的长度；另一种是来自放大激光器更强大的光，也可以紧密聚焦到普通玻璃上。



研究人员证明，将一个简单的激光器与一种特殊的非线性晶体相结合，可以直接产生超连续谱。不再需要大功率激光器，也不需要微妙的光耦合到微小光纤中，这里有一种全新的机制在起作用：研究特别设计的磷化镓晶体产生了级联效应。研究用红外线激光器发出的光照射晶体，其中一些转换成可见的绿光。

这反过来会在稍微长一点的波长上产生更多绿光，先变成黄色，然后变成橙色，然后一直变成红色。光线的较弱边缘可以在越来越长的波长上产生绿色，这在以前从未被发现。还需要进一步研究来确定这种效应是否是他们使用的特殊磷化镓晶体所特有，以及它是否可以进一步放大。

可见超连续光谱已经广泛应用于生命科学成像和光谱学领域，但受到特殊光纤特性的限制，新技术可为现有光源提供一种方便、小型的替代方案。❑

台积电推出用于硅光子芯片的先进封装技术

据悉，台积电已经针对数据中心市场推出了其新型先进封装技术——COUPE（compact universal photonic engine，紧凑型通用光子引擎）异构集成技术。

为了应对网络流量的爆炸式增长，数据中心芯片必须发展硅光子（SiPH）技术，以降低功耗并提高传输速度，这也推动了相关封装技术的进步，台积电 COUPE 技术由此应运而生。

COUPE 技术是一种光电共封装技术（CPO），其将光学引擎和多种计算和控制 ASIC 集成在同一封装载板或中间器件上，能够使组件之间的距离更近，提高带宽和功率效率，并减少电耦合损耗。

消息人士称，SiPH 应用市场将至少需要 2-3 年的时间才能起步，但台积电凭借其对 COUPE 技术的储备，有望在该领域抢占先机，特别是用于数据中心的 SiPH 网络芯片。微软和谷歌都在关注采用 SiPH ASIC 作为他们的数据中心芯片。

实际上，包括英伟达、思科、Marvell 和意法半导体在内的许多台积电客户，都在通过收购该领域的相关企业，加强其在服务器和数据中心高级 SiPH 芯片解决方案的长期部署。

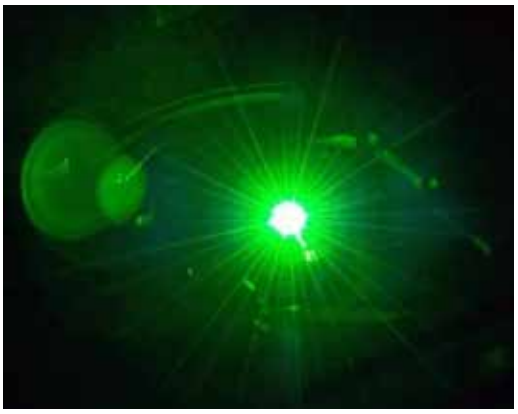
其中，美国网络芯片供应商 Marvell 于 2020 年底收购了数字信号处理器和云数据中心 SiPH 芯片制造商 Inphi，并据称评估了使用 COWS 封装技术在同一插入器上集成 SiPH 模块的外围芯片的可行性。被思科收购的 SiPH 专业公司 Luxtera，也开发了 7nm 和 5nm 的 SiPH ASIC，由台积电制造，使用 CoWoS 技术封装。

据悉，台积电将继续推广其 3D Fabric 平台技术，包括 3D 堆叠和 SoIC 技术，以加强其为高端和利基型技术领域客户的“系统集成”服务。❑



丹麦技术大学研制出超相干性微型激光器

虽然目前微米级和纳米级激光器已经取得了相当大的进展，但这种激光器的相干性依然非常有限，这极大的限制了其在片上通信、可编程光子集成电路、生物 / 化学传感和量子 / 神经形态计算等领域的应用。



为了进一步提高微型激光器的相干性，丹麦技术大学纳米光子中心的 Yi Yu 和 Jesper Mark 等人，基于 Fano 干涉的现象提出了一种超相干微型激光器。该激光器与之前的微型激光器相比，线宽减少了约 20 倍，且相干性得到了大幅的提升，为微型激光器的众多应用铺平了道路。

Yi Yu 等人提出 Fano 共振和连续束缚态（BIC）相结合的概念，这是线宽减小的核心，在整个谐振区域具有光学相位的强频率依赖性。这意味着在结构的离散低损耗区域中有较长的驻留时间，即提供了光子的存储，抵消了有源区域中自发发射量子噪声引起的相扩散。

Yi Yu 表示：“这一观察结果是令人惊讶的，因为连续介质中的束缚态远不如激光器中常用的状态稳定，但我们从实验和理论上，都证明了这种新状态特性的可用性。”其实验结果表明，利用 Fano 共振和 BIC 的结合，可以将微型 Fano 激光器的线宽降低至 5.8MHz，且可以满足 40Gbits 相干通信的要求。

此外，这种激光器的概念还可用于实现集成传感器，经证明的线宽允许识别浓度为摩尔量级的蛋白质 /DNA，这是使用其他纳米传感器难以实现的，未来还可用于集成光子电路的光源中，实现几乎无损耗的数据传输。❑

2026 年汽车激光雷达市场将增至 23 亿美元，复合年增长率 111%

Yole development 预测，2020 年 -2026 年，汽车激光雷达市场预计将以 111% 的复合年增长率（CAGR）增长至 23 亿美元。

对于工业激光雷达来说，智能基础设施和物流的增长速度最快，到 2026 年将分别达到 5 亿美元。其中，智能基础设施激光雷达市场将在 2026 年达到 3.95 亿美元，2020 年 -2026 年的 CAGR 为 35%。

物流激光雷达市场将在 2026 年达到 4.66 亿美元，同期 CAGR 再次达到 23%。

在智能基础设施领域，智能城市应用有望成为最重要的领域。安全、公路监控和自动检测是其他重要应用。在物流领域，预计无人驾驶卡车和送货机器人将出现最显著增长。

主要大型激光雷达公司的收入在 2020 年有所下降。有几家一级汽车公司积极参与了激光雷达的研发：法雷奥（Valeo）在奥迪汽车上的应用，大陆航空（Continental）公司的闪光激光雷达在法雷奥的大多数设计中胜出。在汽车激光雷达的总体设计中，有 8 个是由法雷奥创建的。

现在有更多的机器人汽车公司参与了激光雷达的开发：如 Waymo、Argo AI 和 Cruise。

激光雷达在汽车和工业应用领域的市场，预计将在 2026 年达到 57 亿美元，2020 年 -2026 年的 CAGR 为 21%。

到 2020 年，ADAS 的激光雷达仅占汽车和工业激光雷达市场的 1.5%。但到 2026 年，ADAS 的比例预计将达到 41%。

激光雷达在包括机器人出租车和自动驾驶飞机在内的机器人汽车领域的增长，预计不会那么引人注目，但仍然很重要。该领域预计在 2026 年达到 5.75 亿美元，同期 CAGR 为 33%。

自 2005 年 Velodyne 公司的 David Hall 发明 3D 实时激光雷达以来，已有 80 多家激光雷达公司成立。其中不少都押注于新技术。这导致了激光雷达领域的高技术多样性。尽管如此，最早先的技术仍然代表着大多数设计的胜利。❑

印度工业激光市场现状及发展预测

疫情导致印度工业激光市场放缓，但是，基础设施建设和电动汽车等行业的发展，将为印度工业激光市场的增长提供动力。

文/Anant Deshpande

年多以前，《Laser Focus World》杂志曾经对印度激光器市场做过报道，当时预计，印度激光器市场将会以 19% 的复合年增长率（CAGR）增长，到 2020 年市场规模将达到 10 亿欧元。然而，由于新冠疫情的全球性爆发，全球整体激光器市场都出现下滑，印度市场自然也不能幸免。新冠疫情同样影响了市场 2020 年前六个月（2020 年 4 月至 9 月）的销售情况，随后市场开始复苏，在截至 2021 年 3 月的前 6 个月中，激光器市场出现了巨大的增长。预计印度激光器市场在新冠疫情后并不会恢复得那么快；但是，印度的基础设施和汽车等行业的发展，为印度激光器市场的增长提供了动力。

汽车行业对印度制造业国内生产总值（GDP）贡献了 49% 的力量，对印度的整体 GDP 贡献了 7.1% 的市场份额。在过去一年多的时间里，印度汽车行业的发展一直处于放缓状态；然而，一旦疫情导致的封锁解除的话，预计印度汽车行业将会呈现出 V 字型复苏态势。来自印度品牌资产基金会（IBEF）的数据显示，预计到 2026 年，印度汽车行业（包括零部件制造）的市场规模将达到 2514~2828 亿美元，并且仍将是市场增长的主要贡献者。随着新冠疫情的爆发和肆虐，人们对私家的、更安全的交通需求将会增长，加上新车购买者数量的膨胀，市场对新车的需求一直在增加。在 2021-2022 年间，这一领域应该会有比 2019 年更好的销售增长。

通快（印度）有限公司销售总监 Hidayath Mohammed 说：“汽车行业的增长是激光切割和激光焊接的主要驱动力，因为对汽车安全性的需求正在增长，这导致在汽车制造中要求使用热成型零部件。这为热成型零部件的激光切割带来了巨大的机会，这也是激光行业的一个重大变化。此外，随着电动汽车（EV）的制造在印度的积极计划，印度电动汽车的发展势头越来越好。电动汽车也是一个关键市场，该市场将成为激光器以及各种激光加工需求增长的主要贡献者。”



各类激光应用

从目前在印度市场售出的机器数量来看，激光打标机占据最高的比例；但是从收入层面来看，激光切割机则是主要贡献者。激光切割仍然是印度最大的激光器市场，而且看起来这个市场至少还要持续增长几年。这主要源于激光切割机价格的下降和政府在一些行业的推动政策，特别是在基础设施和汽车行业。印度市场上的大部分激光加工设备都是从中国进口的。Laser Technology（LTPL）公司总监 Rakesh Agarwal 说：“我们预计激光切割行业将有 1.5 倍的增长。从中国进口的激光切割机仍然主导着印度切割市场，在进口机器的数量上占 74% 的市场份额，而这其中 LTPL 公司又占据了 17% 的最高份额，预计这一领域将会进一步增长。”

印度激光市场的一个重要变化是：在印度本土制造这些激光切割设备，正迎来越来越好的发展势头。许多设备制造商，如 SIL Pune、SLTL Ahmedabad、Proteck Chennai、Delta

Automation 等众多公司，已经在印度本土制造 / 集成激光切割设备。另外还有十几家公司也正计划在印度本土制造这些机器。Suresh Indu Laser 是最大的激光切割设备制造商之一，该公司董事 Sanjay Shah 说：“在未来几年内，印度本土的激光切割机制造将会增长，这些在印度本土制造的厂商，将会通过提供更好的产品和服务与中国设备的价格进行竞争，尽管他们仍然会从中国进口一些关键部件，如激光源、切割头或数控系统（CNC）。”

然而，对于无法进行批量生产的印度本土制造商来说，他们面临的挑战是如何做到与中国机器的价格相当。这是由于中国生产的机器数量，比印度市场能消费的机器数量多出许多倍。一旦印度市场的需求增加，这种价格差距就会缩小。

激光切割市场的另一个重要方面是激光切割的功率水平，因为速度将是关键。Proteck Machinery 公司总经理 K. Bala 说：“1.5~2kW 是激光切割机市场中的基准入门设备，目前这些入门级设备仍然在整个印度切割市场中占据大多数。另外，4kW 及以上功率水平的切割设备需求正在涌现，我们预计这部分市场在 2021 年会进一步增长。随着每瓦激光功率价格的稳步下降，4kW 及以上功率的切割设备，将会成为印度激光切割市场增长的重要贡献者。目前印度切割市场正呈现出增加切割功率、让厚材料的激光切割变得更加经济的趋势发展。”

通快、Amada 等国际企业凭借新产品和有竞争力的价格，在印度切割市场中强势发展。另外，具有变化模式的可编程光纤激光器、IPG Photonics 公司的高峰值功率光纤激光器，以及其他不同制造商的光纤激光器的附加功能，都在推动着切割 / 焊接市场的发展。IPG Photonics 公司作为最大的供应商，仍然主导着印度激光器市场；与此同时，nLIGHT 等公司也正在努力追赶。中国的锐科激光和创鑫激光，也正在通过明显的低价策略积极地在印度市场推广他们的激光器。

除了激光切割和打标之外，激光熔覆、激光硬化和激光焊接市场也在稳步增长。但是，在这些市场我们并没有看到指数式的增长；似乎用传统的加工方式实现这些应用要比激光加工更具成本效益。然而，随着越来越多的自动化公司进入激光集成和工业 4.0 领域，预计金属和非金属（塑料）焊接应用会在未来几年内有一个快速的需求增长。

印度激光市场的未来

受到国防、基础设施、汽车等细分市场发展的推动，印度的制造业肯定会发生变化，其中一个关键驱动因素是印度政府的采购政策。由于新冠疫情的影响，印度政府已经提出了“印度制造”的倡议和“自力更生的印度”（Atmanirbhar Bharat，是印度总理设想的新印度的愿景，这是一个相当于印度 GDP 10% 的经济和综合方案，用于对抗新冠疫情对印度的影响）的政策，以减少对其他国家进口的依赖。

根据新的政府采购政策，在采购金额不超过 2600 万美元的情况下，将优先考虑能够在印度当地制造系统或至少有一定比例的部件能在印度当地制造的印度制造商 / 集成商。这将推动印度公司进入某种制造领域，如果他们必须与印度政府做生意的话。从长远来看，这是推动印度本地制造业发展所迈出的关键一步，尽管第一步是组装 / 集成，因为激光器的所有主要部件通常都是进口。

SLTL 集团执行董事 Maulik Patel 说：“世界正在为 China+1 做好准备；‘印度制造’的倡议已经有了一些知名度，激光行业肯定会受益于 FDI（外国直接投资）和其他直接或间接支持印度制造的倡议。”

光子学的本土化对于下一步的大发展至关重要。由于印度政府正在激励制造业发展，很多公司将开始建立生产部门，很有可能是通过建立合资公司和合作伙伴的形式。政府实验室，如 IIT、CGCRI 和 IISC 已经在开发不同的光纤激光器和其他技术。相信随着一些私营企业的进入，我们可能会看到激光或光子学部件开始在印度本地制造。

印度政府已经确定了 24 个行业将会进一步推动印度本地制造业的发展，这些行业包括航空航天、国防、汽车和汽车零部件、铁路、生物技术等，还包括即将到来的新技术，如增材制造和工业 4.0。印度的《2020 年国防生产和出口促进政策》在“自力更生的印度”政策下，为印度国防制造业的自力更生提供了动力。

印度政府的目标是到 2025 年，在航空航天和国防领域的产品及服务方面，实现 250 亿美元的营业额（包括 50 亿美元的出口）。印度国防部估计，在未来 5-7 年内（2025-2027），印度国内工业的潜在合同价值约为 572 亿美元。这将鼓励更多的初创企业以及微型、小型和中型企业（MSME）参与到国防研究与开发（R&D）中来，以实现“自力更生的印度”这一目标。当然，激光器将成为国防设备不同生产过程中的一个关

键工具，在切割、焊接、熔覆和增材制造等工艺中，都离不开激光器。

成立于 2019 年的印度激光行业协会（LIAI），为激光行业发声，协会向印度政府提出印度激光行业所面临的问题。随着协会成员的逐年增加，LIAI 将在保障和加强印度国内激光制造业和未来几年激光行业的发展方面，发挥积极作用。下一个即将增长的市场是电动车，预计到 2025 年，印度电动车市场将达到 70 亿美元。现在，印度大部分电动车的电池都依赖进口，然后在印度组装。

印度政府正在根据《印度加快采用和制造（强）混合动力和电动汽车计划》（FAME India）为电动汽车提供补贴，并为在印度建立电池制造厂提供 46 亿美元的奖励机制。特斯拉、松下等所有大公司都在印度设厂，这将进一步推动印度电动汽车市场的快速增长。

印度的激光增材制造市场一直在快速增长，并将在未来几年保持进一步增长，因为从航空航天、国防到医疗和珠宝等众多行业，都离不开激光增材制造。

除了粉末床熔融（PBF）技术，其他激光增材制造技术，如定向能量沉积（DED）和用于海洋 / 国防大型部件的线增材制造，将缓慢增长。成本和熟练的人力仍然是其他基于激光的增材制造技术（除 PBF 外）被工业界大规模采用的主要阻碍。研究实验室正在购买其他基于激光的技术，预计未来几年，这些技术也会被工业界使用。

总结

切割仍然主导着印度激光市场，并且随着切割市场向更高功率的光纤切割转变，在未来几年内，切割将会成为印度激光市场的主要贡献者。然而，随着电动车、增材制造、太阳能、国防和基础设施等新市场领域在印度的开辟，印度工业激光市场前景光明。

新冠疫情的影响依然会存在。在疫情改善之前，印度激光市场可能会出现发展停滞；但是，如果疫情持续更长时间，情况可能会改变。鉴于印度政府政策的变化，以及“印度制造”和“自力更生的印度”政策对国内制造业的推动，从长远来看，预计印度的制造技术会进一步发展，市场也将继续增长。因此，印度迟早会成为激光器和光子学产品的制造中心。❑

光学引领未来™

CIOE 中国光博会
2021年9月16-18日
深圳国际会展中心（宝安新馆）
5号馆 5A16展位



NEW
Edmund Optics®
2021《激光光学元件产品目录》发布！

2021 新版《激光光学元件产品目录》– 汇集各类激光光学解决方案，总篇幅达164页。其中包含 50 余页技术说明干货、种类齐全的精密产品介绍，以及各种公式和术语，此份资源手册旨在助您加深对激光光学复杂性的了解。



免费 电子版产品目录已同步线！

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) 8435 5459 Email: chinasales@edmundoptics.cn

关注公众号

Edmund optics | china
欲了解更多信息，请点击此处:
www.edmundoptics.cn/091-8615

空芯光纤

空芯光纤针对应用和坚固性进行优化

空芯光纤将成为标准单模光纤的补充，满足那些要求“更低的延迟、极低的非线性和具有成本效益”的应用需求。

文/Jeff Hecht

在2021年的线上光通信大会（OFC2021）上，空芯光纤再次成为关注的焦点，而且人们的关注点正在扩大。人们关注点，已经从去年创纪录的低损耗，扩展到了布线和应用，包括5G网络、数据中心和长距离传输的光纤回程。OFC 2021会议后，还报告了多个频段的最低损耗记录。这一热门研究领域正在成长为一项技术。

在OFC前一周，英国电信宣布它已经在英国电信实验室与Lumenisity公司和全球网络公司Mavenir合作，一起测试10km长的空芯光纤光缆。该光缆使用Lumenisity公司获得专利的嵌套式反谐振无节点光纤（NANF）；其平均损耗为1dB/km，尽管该损耗值远高于0.28dB/km的记录，但对于测试应用来说已经足够。

英国电信实验室光网络研究负责人Andrew Lord说：“我们正试图发现空芯光纤是否真的对5G移动通信和安全传输系统有用。”网络设备中的延迟和通过实芯光纤传输的延迟，使得5G网络的延迟要求很紧；而空芯光纤有望在光纤回程到分配中心的10~20km范围内，实现更快的传输。

空芯光纤的另一个好处是非线性非常低，这是安全网络的一个重要问题。根据Lord的说法，量子密钥传输一次发送一个光子，这使得实芯光纤的拉曼非线性成为“痛苦的遭遇，因为它会在你不希望出现的波长处产生光子”。

其他主要目标是测试新光缆的物理耐久性和热稳定性。Lord介绍说：“有了空芯光纤，通过光纤传输的数据包的抖动，要比实芯光纤小得多。”每秒数百吉比特的高抖动会成为一个问题，这种情况下可能需要主动稳定措施。

Lumenisity公司首席执行官David Park表示：“我们之所以关注光缆，因为它是客户实际使用的东西。到目前为止，英国南安普顿大学已经制出了NANF光纤，NANF光纤也是南安普顿大学开发出来的。现在，Lumenisity公司自己的工厂设施已经接近完工，并将在年底前投入使用。Park说：“我们相信空芯光纤将成为标准单模光纤的补充，满足那些要求“更低的延迟、极低的非线性和具有成本效益”的应用需求。

Lumenisity公司推出了其去年发布的CoreSmart光缆的第二代版本，它使用NANF光纤，在1310nm以及1530~1625nm全C和L铒波段上进行单模传输。新光缆还为数据中心和5G提供了更高的带宽和更长的传输距离。

在与英国电信实验室进行的一项测试中，通过一条10km长的光缆，在C波段加载38个信道，演示了无差错密集波分复用（DWDM），速度为400Gbit/s。该演示包括通过400ZR QSFP-DD收发器传输三个400Gbit/s的通道。400ZR是400Gbit/s的可插拔网络接口的行业标准，允许在联网操作中插入可互换的收发器——这是电信业公认的一系列标准中的一个。空芯光纤被接受是其成熟的标志。



图1：空芯NANF光纤的制造。（图片来源：Lumenisity）

在其他测试中，Lumenisity公司与Ciena公司合作，通过超过20km的CoreSmart光缆，在没有放大的情况下，点对点地传输48个800Gbit/s的通道，总计38Tbit/s。光缆和光子系统都是商用的。据Lumenisity公司称，到明年，新一代光缆应该能在无需放大的情况下覆盖50~100km。在OFC会议上展示的一个循环回路实验有45个通道，在1000km距离下跨越整个C波段，但使用了放大器。

NANF设计中一个看似微小的变化，实现了在一系列波长范围内最小损耗的新记录。具有六个嵌套管的空芯光纤创造了最后一轮记录，但要

做到这一点，需要对微结构包层进行非常仔细的调整：要么以增加串扰为代价减少基模的损耗；要么以增加基模损耗为代价，增加高阶模式的消隐。[1] 后来，南安普顿大学的 Francesco Poletti 报告说，只使用了五个嵌套管。[2] 增加管内的体积可以减少基模损耗，同时增加高阶模式的损耗，解决了这些问题（见图 2）。

五管光纤在两个短波段产生了迄今为止报告的任何光纤类型的最低损耗：0.6dB/km@850nm 和 0.3 dB/km @1060nm。在这两个波长处，实芯光纤的损耗更高。这些损耗是实芯光纤损耗的一半，加上低色散和低延迟，空芯光纤在这些波长开辟了新机会。他们还报告了空芯光纤在两个较长波长处的最低损耗：0.4dB/km@1310nm

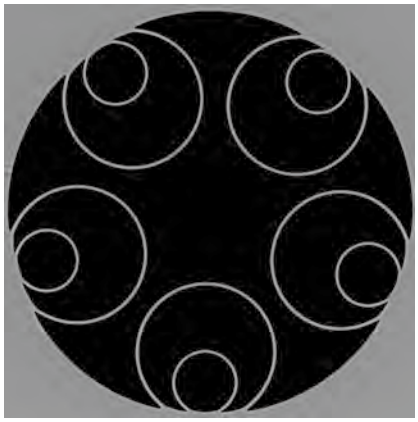


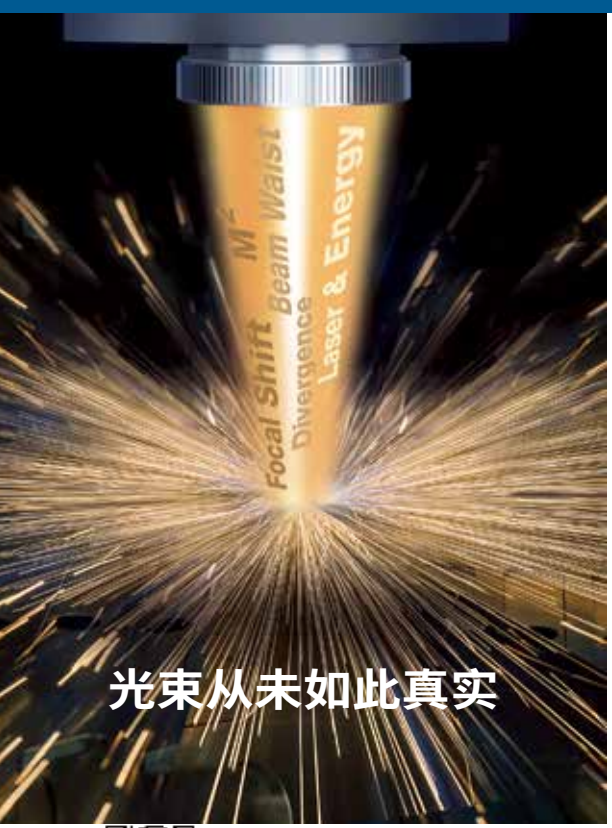
图2：五管NANF光纤的横截面。（图片来源：Lumenisity）

和 0.22 dB/km@1625nm。在这两个波长处，最好的实芯光纤有较低的损耗，但空芯光纤有其他优势。

来自意大利 Politechnico di Torino 和 LINKS 基金会的一个小组，在一对循环回路实验中使用了 11.5km 的五管空芯光纤。[3] 在一个案例中，NANF 光纤和实芯光纤的组合，在 C 波段的 41 个信道上循环传输 32Gbaud，长达 2070km。在另一个案例中，他们只使用了空芯光纤，达到了 4020km，其中有几个通道超过了 5000km。❑

参考文献

1. M. A. Iqbal, “First demonstration of 400ZR DWDM transmission through field deployable hollow-core fiber cable,” OFC 2021, paper F4C.2.
2. F. Poletti, “Hollow core NANFs with five nested tubes and record low loss at 850, 1060, 1300 and 1625nm,” OFC 2021, postdeadline paper F3A.4.
3. P. Poggiolini, “Ultra-long-haul WDM transmission in a reduced inter-modal interference NANF hollow-core fiber,” OFC 2021, postdeadline paper F3B.5.



光束从未如此真实

自动化制造中的综合激光束测量

Ophir工业应用激光测量系统有着坚固的外壳以及ProfiNET、以太网IP和RS-232接口

Helios Plus–紧凑型功率测量
- 测量值可达 12 kW 且曝光时间短
- 不采用水冷
- 遥控保护罩
- 简单集成

集成了光束监视-全光束诊断
- 非接触式焦点偏移和光斑尺寸
- 实时聚焦参数
  不到1秒即可完成测量





关于更多信息，请访问 www.ophiropt.com/photonics 或致电 +86-10-62634840

mks | Ophir®

超快激光器

克服高功率超快激光系统中的热透镜效应

凭借其短脉冲持续时间和高峰值功率，让超快激光系统在从材料加工到显微镜学领域的各种应用受益匪浅。

文/Tony Karam，Vladimir Pervak

超快激光系统可用于材料加工应用以及医疗激光、半导体检测、非线性成像和显微镜学。这些应用将超快激光器推向越来越高的功率，尽管该技术对热透镜等热效应特别敏感。

热量会积聚，并导致增益介质和腔内光学元件经历折射率梯度甚至变形。这些效应不但阻碍了超快系统的性能，还可能使它们无法锁模和产生脉冲。此外，热透镜效应会导致激光腔中出现像散。然而，新的高色散腔内反射镜膜层，能最大限度地减少热效应。这些进步可以创造出热效应可忽略不计的腔内光学元件，进而促进顶级超快激光系统的产生。

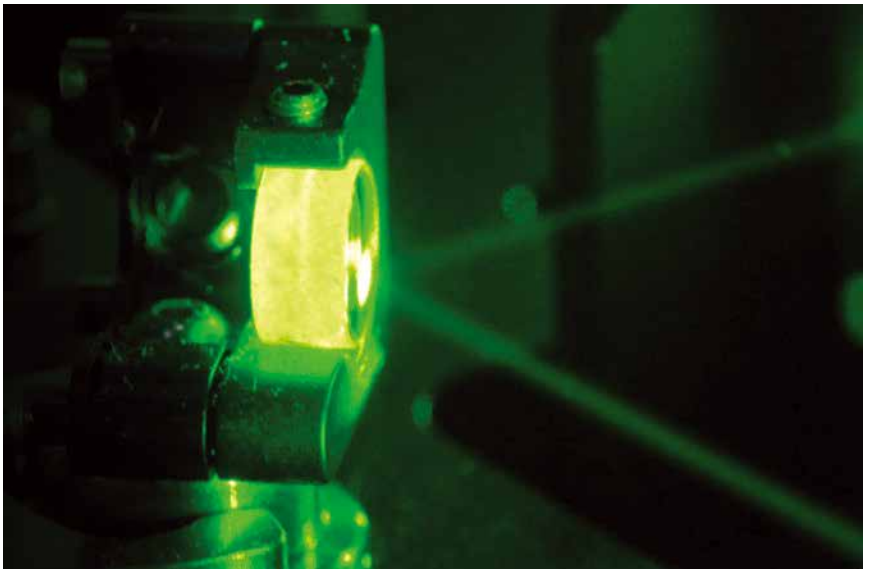


图1：当与高功率超快系统一起使用时，设计用于最大限度减少热透镜效应的高色散反射镜膜层，有利于腔内和外部光学元件。

这些类型的系统也有利于在激光腔外使用的外部光学元件，例如高能超快振荡器和放大器中的外部光学元件。采用热透镜限制技术的外部色散镜，可以高度控制光束稳定性和脉冲压缩，同时最大限度地减少有害的热效应（见图 1）。

热透镜

热透镜效应限制了激光系统的光束质量和功率输出，尤其是那些以高功率运行的系统。对于超快激光系统而言，这些效应会阻止设备锁模以产生激光脉冲，从而最终导致系统故障。用于腔对准时，超快激光器以连续波（CW）模式运行，然后将激光器切换到脉冲配置以供实际使用，但热透镜可能会阻止这种配置中的锁模和脉冲产生。

热透镜会使激光腔未对准，产生不需要的激光模式，导致光束指向漂移和在激光腔中出现像散。所有这些效应都会导致最终系统性能不可预测和降低，并可能阻止超快激光器实现更高的功率。由于热量积聚而引起的热膨胀，也可能使光学组件变形，从而改变反射镜的曲率半径。这种变形会改变这些反射镜的焦点位置，由于腔未对准，这可能会阻碍超快系统形成锁模。

无法产生脉冲光束使超快激光器无用。虽然没有多少可用的方式可以用来操纵增益介质和光学组件衬底的固有热特性，但仍有机会仔细选择合适的色散镜膜层，以防止热透镜效应。

专用高色散反射镜

最近，介质膜层设计的进步，已使高色散超快反射镜的开发成为可能。该反射镜保持高反射率和所需的脉冲压缩，同时表现出可忽略不计的热效应。这种规格的组合，是通过在

Amonics
Specialist in Optical Amplifiers

ISO 9001 : 2015
Certificate No.: CC 5346

我们可按客户需求度身定制最优解决方案，请联系我们。

高增益、极低噪声

高功率扩展L波段 DWDM掺铒光纤放大器

高输出功率 > +27 dBm
扩展工作波长: 1570 nm ~ 1620 nm
增益平坦度 (峰间值) < 2.0 dB





高功率扩展C波段 DWDM掺铒光纤放大器

高输出功率 > +27 dBm
扩展工作波长: 1527 nm ~ 1567 nm
增益平坦度 (峰间值) < 2.0 dB

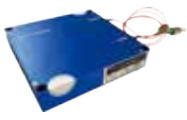
ALiDAR 系列



300μJ激光雷達引擎

高脉冲能量 >300μJ
人眼安全波长 1550nm
脉冲持续时间 100-1500ns
脉冲重复频率 7kHz
窄线宽 < 5kHz
低相对强度噪声 <150 dBc/Hz

1550 / 1064nm 光纤放大器



连续波光纤放大器/脉冲光纤放大器/保偏光纤放大器





微型光纤放大器模块（USB 接口和供电）

1550 / 1064nm光纤激光器



脉冲光纤激光器



高功率窄线宽光纤激光器



测风雷达激光器（LiDAR）

测试/测量/教育



光纤发射器、接收器



光通信平台



超短脉冲分析仪



EDFA 教育套件

光源



ASE宽带光源/可调谐光源



超辐射发光二极管(SLD)光源 / 分布式反馈(DFB)激光器

网站： https://www. amonics.com
电话： +852 2428 9723
地址： 香港九龙新蒲岗五芳街12号利景工业大厦14楼
邮箱： contact@amonics.com

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

深圳国际会展中心(宝安新展馆)
2021.9.16-18
展位号: 2D 182-183

Advancement of Optical Technology
Brightening the world with Advanced Photonics platform

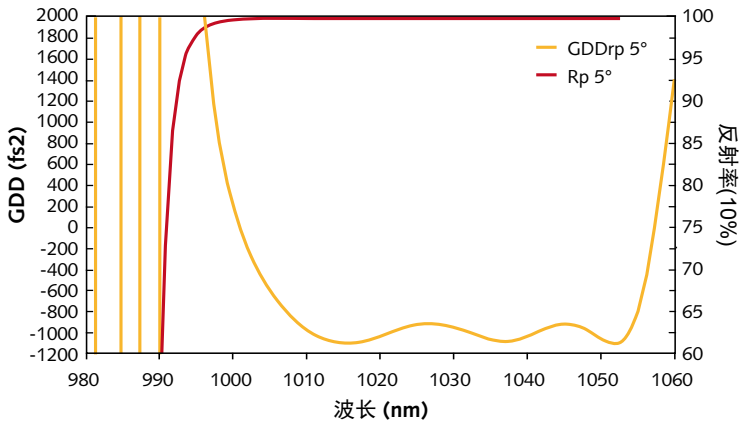


图2：该反射镜设计用于1030nm激光器，保持了较高的光谱和色散补偿性能，而热效应可以忽略不计。

膜层沉积过程中仔细调控各种工艺参数来实现的。虽然最小化热稳定性很重要，但这不能以高反射率和足够的负群延迟色散（GDD）为代价。大多数光学介质表现出正 GDD，因此需要色散镜的负 GDD 来对此进行补偿，并将脉冲压缩到特定应用所需的脉冲持续时间。

图 2 展示了具有新型热透镜减少膜层的 1030nm 高色散反射镜的反射率和 GDD。这种新的膜层技术，有利于 Yb：YAG、铥和钬激光系统等高功率固态超快激光器。

热性能测试

测试这些新型色散镜膜层，以确定存在的热透镜水平。使用红外相机（FLIR SC305）测量了 Yb：YAG 碟片激光器内腔内色散镜的温度。激光器在连续波操作下进行了测试，因为这是实现锁模之前激光器的行为方式。标准的高反镜的 GDD 为 -3000fs^2，但没有减少热透镜效应的膜层，温度升高 >50K（见图 3）。这种温度变化了导致振荡器稳定性恶化，以及发射激光模式的变化。

接下来，使用相同的实验装置，测试了 GDD 为 -1000fs^2 和 -3000fs^2 的热透镜减少膜层的高色散反射镜。这些反射镜的温度变化分别为 10K 和 20K（见图 4 和图 5）。请注意，不同图之间的温度标尺不同。具有新型膜层的反射镜没有显示出可检测到的热致效应，保持了模式和振荡器的稳定性，并且激光系统能够如预期实现锁模和其他功能。

然而，并非所有超快系统都需要这项技术。钛宝石激光器通常没有足够高的平均功率来使热透镜成为重要问题。光纤激光器系统不包含可能发生有害热效应的固态激光腔。在这些情况下，使用没有新型热稳定膜层的高色散光学元件就足够了。然而，低热透镜效应对于高功率固态超快激光器（如 Er：YAG、钬和铥激光器）却至关重要。❑

参考文献

1. O. Pronin, “Towards a compact thindisk- based femtosecond XUV source,” Dissertation an der Fakultät für Physik der Ludwig–Maximilians–Universität (2012). Tony Karam is Ultrafast Product Line Manager at Edmund Optics (Barrington, NJ) and Vladimir Pervak is Head of Optical Coatings at UltraFast Innovations (Garching, Germany); e-mails: tkaram@edmundoptics.com and pervak@ultrafast-innovations.com; edmundoptics. com and ultrafast-innovations.com.

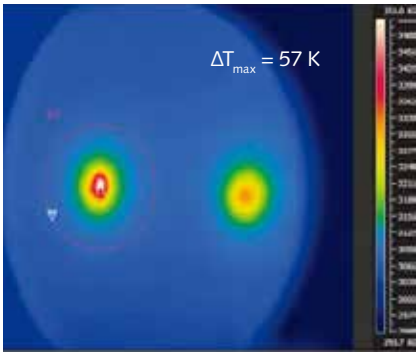


图3：没有采用新的低热透镜镀膜的高反镜，经历了57K的温度变化，明显高于采用新膜层的反射镜。前一个高反镜导致系统性能下降。

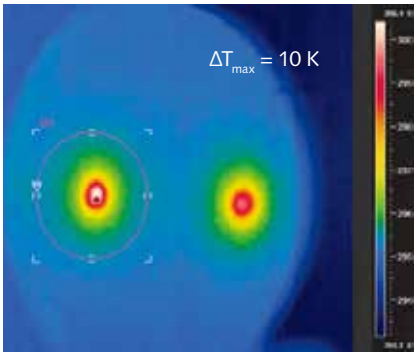


图4：GDD为-1000fs^{2}的低热透镜反射镜，表现出10K的温度变化。该反射镜没有导致任何可检测到的热致性能降低。

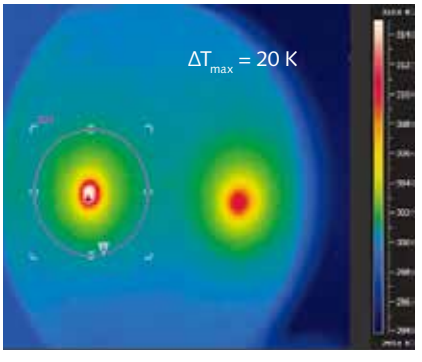


图5：GDD为-3000fs^{2}的低热透镜反射镜，表现出20K的温度变化，并且没有导致任何可检测到的热致性能降低。

光学制造

全流程高效制造精密自由曲面光学元件

制造自由曲面光学元件的工艺依赖于复杂的制造和计量工具（硬件和软件）之间的相互作用。

文/ Pat Bechtold，Josh Hamel，Frank Wolfs

自由曲面光学元件是复杂的组件，它们通过克服旋转对称光学元件的限制，提供比传统球面和非球面透镜更高的性能。一个自由曲面光学元件通常可以替代光学系统中的多个透镜。

由于自由曲面是非旋转对称的，因此它们在制造过程中没有旋转轴来旋转光学元件。这给制造这些组件带来了挑战，因为这些形状无法使用通常用于旋转对称光学元件的方法制造。为了经济高效地生产自由曲面光学元件，美国 OptiPro Systems 公司已不断改进其 CNC 光学研磨技术和 UltraForm Finishing（UFF） 亚孔径抛光系统。此外，OptiPro 公司在 2015 年推出了 PROSurf。PROSurf 是一款自由曲面 CAM 软件，与传统 CAM 软件包相比，它可以为自由曲面光学元件生成更精确的刀具路径。PROSurf 还支持在研磨和抛光自由曲面光学元件时进行计量驱动的校正。

根据客户反馈，自 PROSurf 首次发布以来，已对其进行了多次更新，以优化自由曲面光学元件制造工艺。该工艺包括四个步骤，涉及三台 OptiPro 机器：用于生成自由曲面的五轴 CNC 光学磨床，用于将表面抛光至所需质量的五轴 UFF 机器，以及用于执行过程中和最终计量的 UltraSurf 5X 400 非接触式计量系统。下面是对自由曲面制造工艺中所有四个阶段的详细说明，以在 eSX 150 CNC 光学研磨机和 UFF 300 自由曲面抛光机上用光学玻璃生产椭圆体为例。

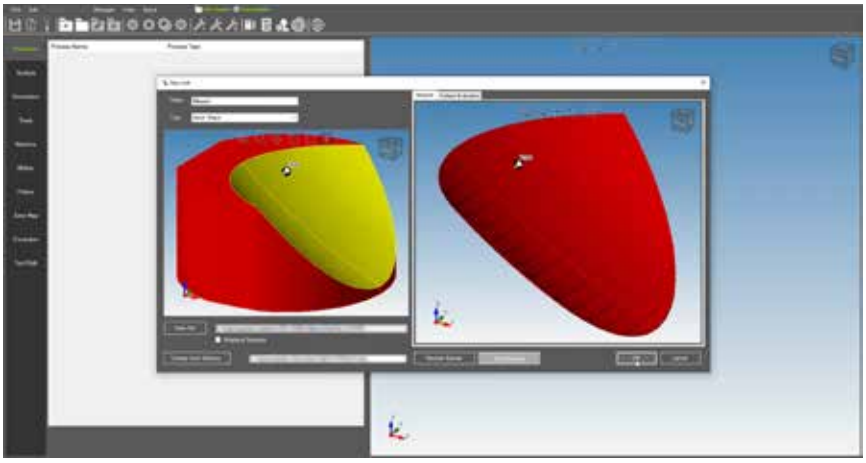


图1：通过导入CAD模型在PROSurf软件中定义的自由曲面ID。

步骤1：自由曲面生成

要制造自由曲面光学元件，必须首先从光学毛坯中“粗加工出”表面。为此，操作人员必须首先在 CAM 软件（例如 PROSurf）中通过导入 CAD 模型、方程或表面点云来定义表面（见图 1）。

定义表面后，可以通过将刀具和工艺参数输入 PROSurf 软件，生成快速材料去除刀具路径。启用快速材料去除功能后，PROSurf 可以通过让刀具从毛坯的平坦顶部开始，粗加工出整个表面，将大块材料去除编程为指定数量的毛坯。这种方法通过跳过刀具可能切割空气的任何运动，来最大化切割效率，有效地减少循环时间并提高效率。因为 PROSurf 是一个离线程序，一旦生成快速材料去除刀具路径，它就会保存在与机器分开的计算机上。然后将刀具路径移动到 CNC 光学磨床（例如 eSX 150）上，以创建适合粗磨的自由曲面的近净形状。

图 1 中的椭圆体是在 eSX 150 上使用直径 12.7mm 的环形刀具生成的，粒度为 180。

步骤2：自由曲面的粗磨/精磨

第二步涉及使用球头刀粗磨自由曲面（见图 2）。导入自由曲面的 CAD 模型后，输入刀具和工艺参数，



图2：球头刀用于粗磨和细磨该椭球表面。加工前，表面覆盖有黑色记号。这在研磨和抛光光学元件时很常见，以确保在整个表面上一致地去除材料。

以生成初始粗磨刀具路径。粗糙的球头刀将从表面底部开始绘制轮廓，并朝顶部移动。当刀具在表面顶部进行最后一次粗加工时，循环完成。

在表面完全粗加工后，将零件从机器中取出，在能够测量自由曲面的计量系统上进行测量，例如 UltraSurf 5X 400。使用该测量的误差图，在 PROSurf 中创建另一个粗磨刀具路径，并在光学研磨机上运行。重复计量驱动的校正，直到表面误差适合进行精细研磨。

精磨加工使用具有更细粒度的相同尺寸的球头刀，并且涉及与粗磨相同的工作流程：

- 使用细砂刀具设置刀具路径的点分布；
- 输入刀具和工艺参数，以生成刀具路径；
- 在 CNC 控制中加载刀具路径，并在五轴光学磨床上运行程序；
- 从机器上取下初始精细研磨表面，并在 UltraSurf 5X 400 上进行测量以创建误差图；
- 执行修正刀具路径，以产生更精密的精磨表面；
- 如有必要，重复计量驱动的校正运行，直到表面准备好进行抛光（见图 3）。

对于该椭球表面，粗磨使用了直径为25.222mm、粒度为220的球头刀。在细磨加工中，使用了粒度 1200 的相同尺寸的球头刀。

步骤3：自由曲面的亚孔径抛光

对自由曲面进行精细研磨后，在



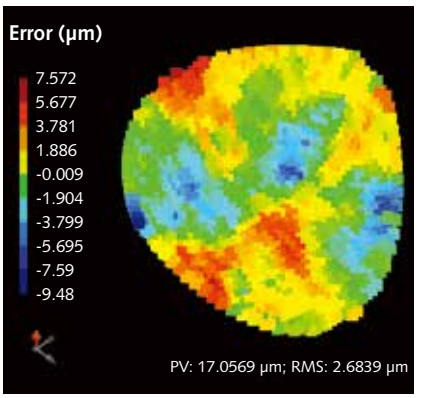
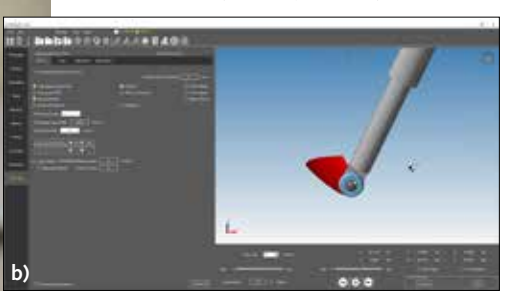


图3：在UltraSurf 5X 400上测量细磨椭圆体表面后的误差图。

采用亚孔径抛光工艺的五轴 CNC 机床上（例如 UFF 300）对自由曲面进行抛光。亚孔径抛光是指抛光体与表面尺寸相比较小。UFF 包括一条缠绕在压轮上的抛光材料带（抛光体），以一定速度（每分钟转速）移动。

UFF 高效抛光能力的关键，是通过精确的去除功能，在整个表面上保持恒定的去除效果。使用 UFF，去除功能是通过“取一个点”来创建的，这意味着在与精细研磨的自由曲面具有相同特性的牺牲部件上抛光一个点。然后使用 UFF 的机载计量测量该点（见图 4）。随后，运行所有 UFF 机器的 U 系列抛光软件，通过根据皮带速度、车轮硬度、压缩和停留时间计算体积去除率，来计算去除函数。

然后生成使表面变灰的初始 UFF 刀具路径。这是通过在 下转第25页



4：（a）在UFF机器上使用机载探测测量“点”零件，以计算去除函数；（b）PROSurf中的UFF刀具路径模拟，以确保最佳的抛光周期图。

新品

紧凑，
灵活和高智能



SCANcube IV: 适用于标准应用的紧凑型扫描头

- 具有高动态特性的针对特定应用的调校
- 系统线性度提高30%
- 可选的进程监控回读功能
- 最优性价比

www.scanlab.de

SCANLAB
innovators for industry

科研激光器

紧凑型深紫外连续激光器的新应用

一种蓝光激光泵浦的便携式深紫外激光器，开辟了深紫外激光器在日常灭菌消毒、拉曼光谱等方面的更多应用可能。

文/ Scott Buchter

处于深紫外光谱范围（λ<300nm）的连续波（CW）激光器可用于许多应用，包括拉曼光谱、荧光显微镜、光学测试和灭菌等。这种类型的激光器传统上是由波长 1μm 左右的近红外掺钕激光器的四倍频产生的。由于这种架构需要单频基频激光器，以及一个（在腔内二次谐波产生（SHG）的情况下）或两个用于频率转换的敏感外部谐振腔，因此这些系统在很大程度上仅限于在研究实验室中使用。

由于这种复杂性，即使是最紧凑的设备也有鞋盒那么大，这从根本上阻碍了它们在便携式或手持式仪器中的使用。在过去的几年中，芬兰 UVC Photonics 公司一直在开发基于镱的 CW 深紫外激光器，其外形和坚固性通常与二极管激光器相关。

掺镱激光器的历史

镱并不是一种新的可见激光离子，早在 1977 年，就有在室温下镱从氟化钇锂（YLF）基质中发射蓝光激光的首次演示。[1] 在那项实验中，泵浦源是脉冲准分子激光泵浦的染料激光器，这使得整个系统既不紧凑也不实用，因此无法开发成商业产品。

二十年后，人们首次使用氩离子激光器作为泵浦源，展示了室温连续波可见光发射。[2] 同样，这是一种仅适用于实验室研究的架构。1998 年，第一台全固态镱激光器展示了红光、绿光和蓝光输出。[3] 这是朝着紧凑型激光器方向迈出的一大步，但仍然需要闪光灯泵浦的固态激光器作为泵浦源。

大约在同一时间，首个蓝光发射激光二极管也正在开发中。这为在可见光中的几个波长下工作的紧凑型镱光源提供了希望，并具有通过 SHG 转换为紫外光的潜力。然而，蓝光二极管的输出功率要达到适合用作泵浦源的水平，还需要几年的时间。2004 年，首台二极管泵浦的镱激光器问世。[4] 这些首批激光器的输出功率只有几毫瓦，但蓝光二极管泵浦源在迅速改进，这主要是由用于投影仪的显示市场驱动的。几年之内，掺镱激光器的连续波输出的实验室演示，已经上升到整个可见光和紫外波长范围内的数百毫瓦水平。[5]

尽管镱激光器的未来看起来很有希望，但商业系统很少见，而且出现的系统也很短暂。这在某种程度上，可以由可见光直接二极管技术的快速发展来解释。到 2010 年代初，二极管已经可以提供红、绿和蓝波长的瓦级 CW 输出功率。尽管这些器件的光束质量通常不如固态激光器，但它们已经能适用于绝大多数应用，而且它们的简单性和成本是无法比拟的。

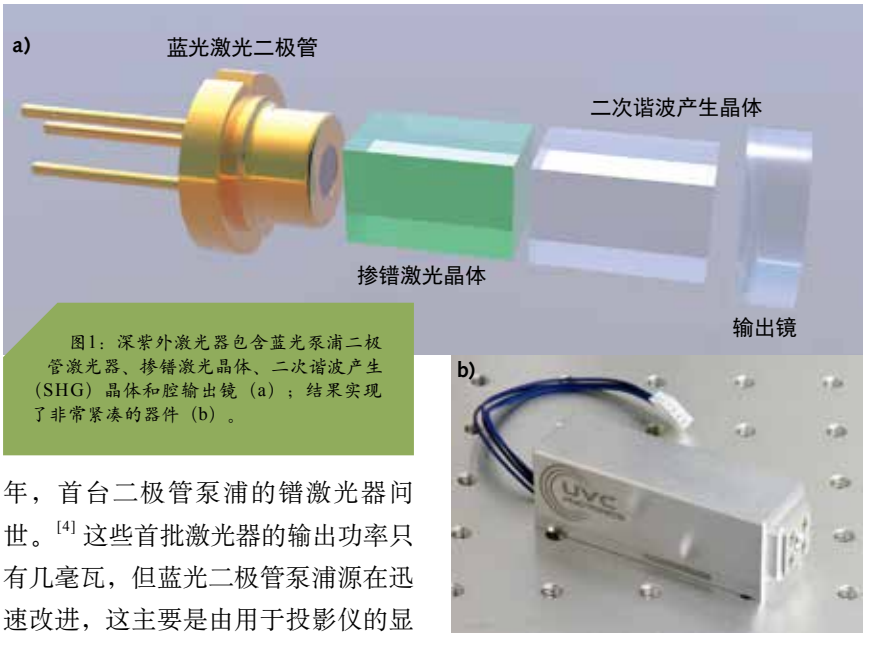


图1：深紫外激光器包含蓝光泵浦二极管激光器、掺镱激光晶体、二次谐波产生（SHG）晶体和腔输出镜（a）；结果实现了非常紧凑的器件（b）。

掺镱激光器没有得到快速发展的另一个原因，在本质上更具科学性。尽管在详细介绍出色的激光结果的文献中很少提及，但以商业产品所需的质量和一致性来看，掺镱氟化物晶体非常难以生长。UVC Photonics 公司的晶体生长专家从事氟化物晶体生长已有 50 多年。事实上，他们在 1977 年生长了前面提到的初始激光演示中使用的晶体。正是这种经验最终带来了材料纯化和生长工艺，以实现激光产品所需的可重复性。

使掺镱激光器的商业可行性

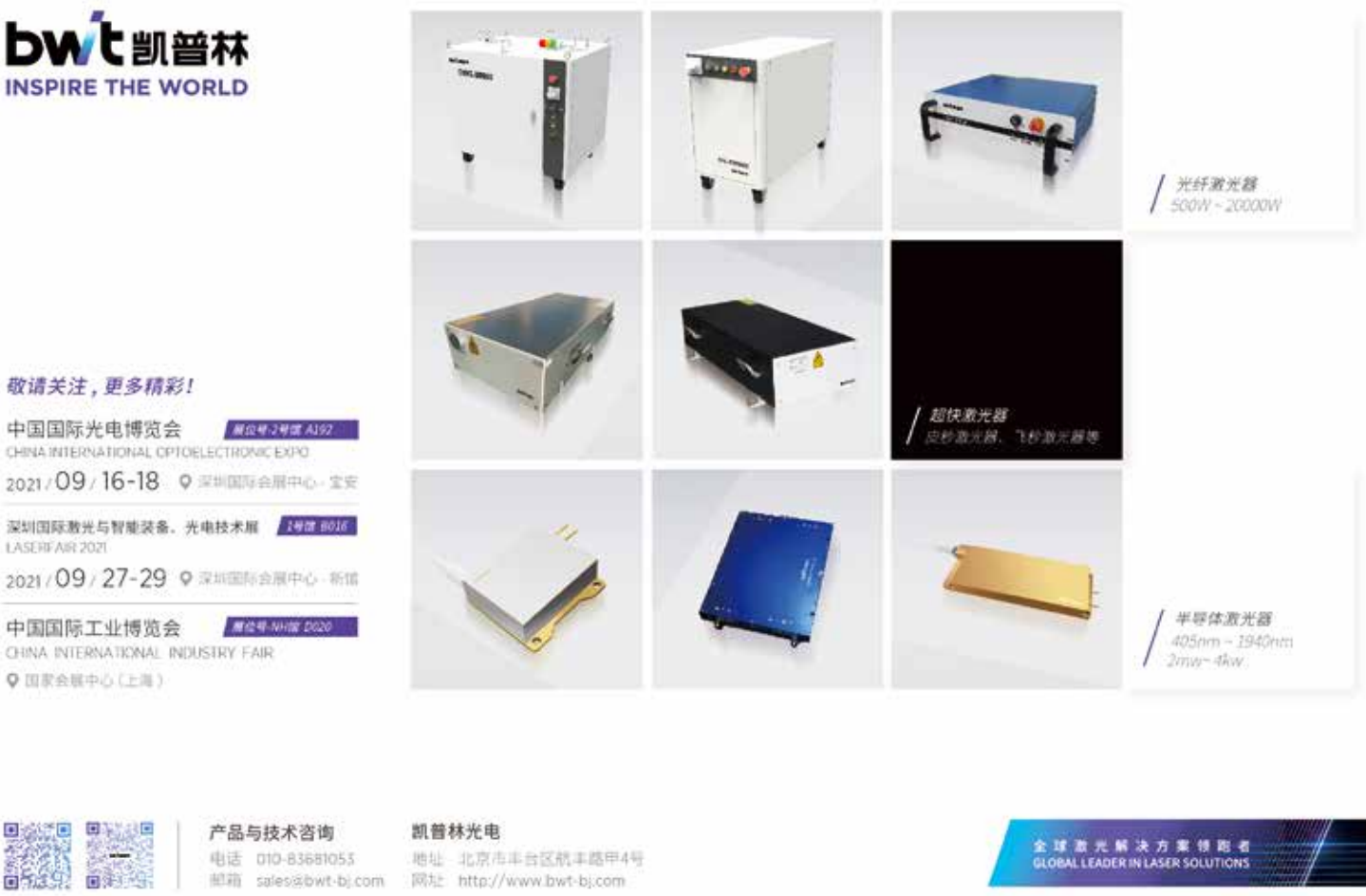
乍一看，我们的深紫外激光器的光学配置，与曾经无处不在的基于掺钕晶体的倍频绿光激光指示器非常相似。它们仅由单发射泵浦二极管、激光晶体、非线性晶体和输出镜组成（见图 1）。激光器设计为在 522nm 的基频波长下工作；腔内倍频产生的输出波长为 261nm。然而，除了材料生长的挑战之外，还有一些细微的差异使情况复杂化。



图2：深紫外消毒系统使用紧凑型镱激光器作为光源，实现深紫外光束的受控瞄准消毒。

这首先与泵浦二极管有关。在 YLF 中，镱在 444nm 处具有最大吸收，带宽相对较窄，约为 1nm；这意味着所需工作电流下的泵浦二极管波长也应该是 444nm。在以接近 808nm 泵浦的钕激光器中，通常的做法是通过改变二极管温度来实现这一点。

近红外二极管的波长随温度的变化约为 0.3nm/℃。考虑到二极管自由运行中心波长的典型变化为 ±5nm，因此，在让泵浦波长匹配钕的吸收峰，并不需大幅度的温度调谐即可轻松实现。然而，对于基于氮化镓（GaN）的蓝光二极管，温度调谐系数要小得多，约为 0.09nm/℃。考虑到中心波长的相同典型变化为 ±5nm，这意味着可能需要在高达 ±50℃的范围内进行调谐，以使泵浦波长与晶体吸收最大值相匹配。显然，这在紧凑型设备



中是不切实际的，因此需要其他手段来实现所需的结果。

一种选择是手工挑选具有正确波长的二极管，但这既昂贵又耗时。少数蓝光二极管激光器制造商也不愿意在这方面合作，因为他们的重点是每年为显示器和照明市场提供数百万件的出货量。即使是对深紫外激光器最乐观的预测，也完全达不到显示和照明市场的需求体量，厂商不愿多耗精力也是可以理解的。

第二种选择是为二极管提供波长选择性反馈，以强制其在 444nm 下运行。有多种方法可以做到这一点，包括使用外部角度调谐衍射光栅、晶体上的波长选择膜层或体布拉格光栅（VBG）。在这些选择中，VBG 是最紧凑、最可靠的方案。

与绿光激光指示器相比，第二个区别与激光晶体本身有关。在常用的钕晶体，如钇铝石榴石（YAG）或钒酸钇（YVO_4）中，由二极管端面泵浦引起的热透镜具有正焦距，该焦距取决于泵浦功率和光束参数。对于短线激光器，这具有稳定激光腔的作用。事实上，在大多数激光指示器设备中，腔体的光学表面是平坦的。腔稳定性完全来自于泵浦诱导热透镜。

在掺镨 YLF 中，情况正好相反：泵浦诱导热透镜是负的。如果光学元件没有设计成抵消这种情况，便会导致腔体不稳定。实际上，这意味着激光晶体或输出反射镜，或两者都需要曲面。通过适当的曲率选择，激光腔在感兴趣的泵浦功率范围内保持稳定。

当考虑到上述细节时，可以构建非常紧凑和低成本的深紫外激光器。UVC Photonics 公司的标准设备尺寸仅为 22mm × 24mm × 71mm，能像直接二极管激光器一样工作。电流施加到泵浦二极管后，发射深紫外光。无需像以前的四倍频钕激光器那样，使用复杂的电子器件来锁定腔体，或提供精确的温度稳定性。因此，UVC Photonics 公司实现了许多过去未曾想过的器件和应用。

紧凑型深紫外激光器应用案例

在过去的一年半中，对日常生活中使用的物品进行灭菌或消毒，受到了人们的广泛关注。众所周知，利用 UVC 波段的深紫外光，是灭活病原体的有效技术。汞灯和最近的深紫外 LED 已用于消毒应用。但是，这两种光源都缺乏可从激光器获得的光束质量；因此，它们以泛光照明模式使用。

尽管有效，但这并不是一种非常有效的方法，因为众所周知，病原体大多集中在人们经常接触的物体上，例如门把手、电梯按钮等。而使用泛光照明，墙壁和天花板会接收到与高接触物体相同的紫外线能量，这基本上可以视为紫外线能量的浪费。

此外，由于深紫外光的潜在危害，当有人在场时是不能使用这些系统的。NeuraViolet 公司正在开发使用紧凑型镨激光器的下一代深紫外线消毒系统（见图 2）。该设备的尺寸类似于典型的屋顶式云台安保摄像头。通过预编程，可以实现用激光顺序照射物体进行消毒，而复杂的人工智能软件则确保环境中人员的安全。

另一项新兴应用是荧光显微镜技术，称为紫外表面激发显微镜（MUSE）。使用 MUSE 技术，无需执行与组织切片相关的耗时步骤，即可获得高质量的荧光图像。MUSE 通常使用深紫外 LED 进行照明，但其光束质量差、亮度低，只能将显微镜放大倍率限制在 10 倍范围内。使用紧凑的深紫外激光源，可以使用更高的放大倍率，因此可以改进样品细节，媲美传统的荧光显微镜技术。

长期以来，紫外拉曼光谱被认为是一种用于分子研究和材料鉴定的强大技术。然而，由于缺乏紧凑型深紫外激光器，紫外拉曼几乎只限于研究实验室。使用深紫外光测试拉曼光谱有几项优点。拉曼光谱中的信号强度与激发波长的四次方的倒数成正比，因此与更传统的波长（如 785nm）相比，移至深紫外可提供比拉曼系统高



图3：镨激光器使商用便携式深紫外拉曼光谱系统成为可能。

得多的信噪比。此外，在许多材料中，由于电子跃迁和振动跃迁之间的耦合存在共振效应，这可以将信号额外增加高达 10^5 倍。

另一个好处是，通过将激发波长移到足够深的紫外波段，能避免使用传统激发波长可能带来问题的样品荧光。Spectralence 公司已经开发了首款便携式电池供电的深紫外拉曼系统，该系统使用基于镨的激光器（见图 3）。其应用领域包括采矿、半导体、一般材料科学，以及爆炸物和其他危险材料的探测和识别。

以上只是镨激光器的几个应用示例，随着这类紧凑型激光器的进一步发展，其新的应用也将会随时出现。❑

参考文献

1. L. Esterowitz et al., J. Appl. Phys., 48, 650 (1977).
2. T. Sandrock et al., Appl. Phys. B, 58, 149- 151 (1994).
3. S. C. Buchter et al., “Advanced Solid State Lasers,” OSA Trends in Optics and Photonics Series, Optical Society of America, paper VL1 (1998).
4. A. Richter et al., Opt. Lett., 29, 22, 2638– 2640 (2004).
5. A. Richter et al., Opt. Express, 15, 8, 5172– 5178 (2007).

至纯科技拟 6.7 亿元在天津建设激光芯片项目

上海至纯洁净系统科技股份有限公司将在天津投资 6.7 亿元建设激光芯片项目，未来可带动形成百亿元的光电子产业链；将在天津创建高性能光电设备产业生态，同时争取至纯子公司合肥至微半导体有限公司再生晶圆及备件清洗业务二期项目落地天津。

据悉，7 月 15 日，由至纯科技投资 10 亿元的至微半导体晶圆再生基地（一期）项目在合肥新站高新区举行量产仪式。该项目包括晶圆再生和半导体部件再生。其中，晶圆再生项目是服务于中国半导体高阶市场的首条投产的 12 英寸晶圆再生产线。

至纯科技成立于 2000 年，致力于半导体设备、半导体工艺系统以及相关专业服务，2017 年初在上交所上市。至微半导体是至纯科技旗下半导体晶圆再生和部件再生项目的载体，为集成电路企业 12 英寸晶圆提供晶圆再生及零部件再生服务。❑



高能/高功率激光器

光整形：数字激光器的到来

一种新的相干合束方法为全数字激光器的新时代开辟了道路。全数字激光器具有在各种功率范围内进行光整形的潜力。

文/Jean–christophe Chanteloup，SÉverine Bellanger，Louis Daniault

定制光分布以匹配特定的实验或工业需求，是一项与光学工程一样古老的任务。然而，直到 1960 年激光的发明，人类才能开始利用相干光来实现这一目标。

虽然第一台光纤激光器在不久之后推出，但直到 1980 年代后期才出现在市场上。这与啁啾脉冲放大（CPA）技术的引入是同时发生的，CPA 技术允许通过随时间拉伸功率分布来放大超短脉冲。为了进一步扩大峰值和平均功率，最近业界演示了相干合束（CBC）的概念。它依赖于在最终相干叠加之前，在整个放大过程中将功率分配到几个光束。

XCAN 是由巴黎综合理工学院和法国 Thales 公司联合开发的一种 CBC 飞秒光纤激光器。它基于在高峰值和平均功率（100GW/1kW）状态下运行的 61 路平铺通道。每个通道都被视为近场单像素，其中幅度和相位可以独立寻址。

凭借其高度可扩展的平铺孔径架构，该原型可以引领全数字激光器的新时代，具有在各种功率范围内进行光整形的潜力。

用于优化材料加工的专用光分布控制，是一项重要的工业需求，具有非常不同和特殊的整形要求。尽管 XCAN 架构方法可以生成任意形状的光分布，但实验重点是轨道角动量（OAM）激光束产生。这样的光束带有螺旋相前，因此 XCAN 的六边形平铺分布看起来完美适合这种相对称产生。此外，OAM 光束具有广泛的应用——从光学操纵、量子光学和成像（如在天文学或流体流动表征中）到光通信和密码学。考虑需要更高功率的应用也很重要，包括减少自由电子激光器装置中的微聚束不稳定性，或超强激光束的传播（用于引导雷击或探测大气污染物）。

产生 OAM 光束的传统方法，通常依赖于激光腔调谐、相位板、锥透镜和空间光调制器（SLM）。激光腔调谐和相位板允许高输出功率运行，但缺乏可调谐性，因为不同的腔设计或光学元件，必须为每个特定的横向光束分布而设计。SLM 提供高可调谐性，但输出功率（峰值和平均值）受到光学损伤阈值的限制。XCAN 数字激光器提供了一种替代的、更通用

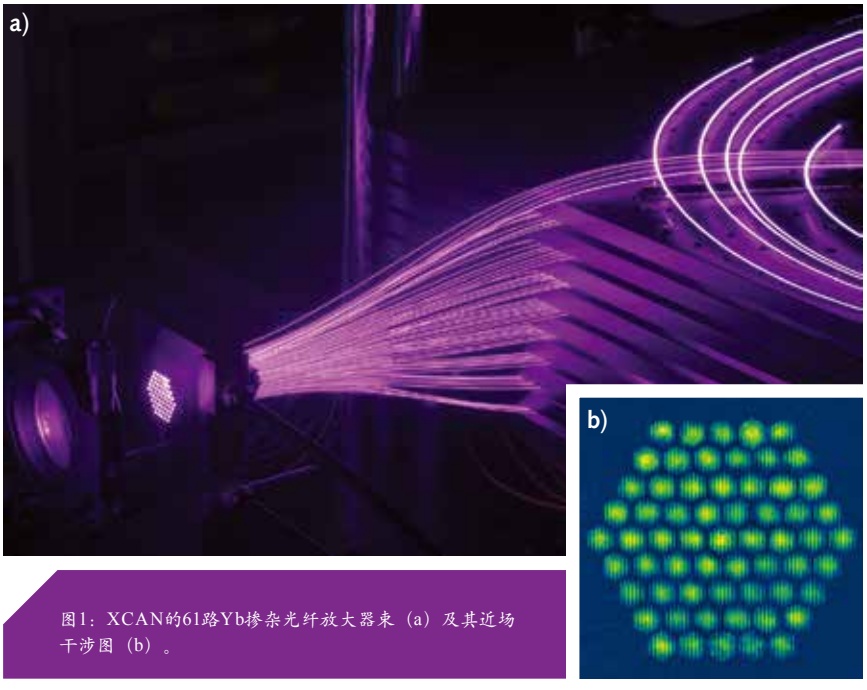


图1：XCAN的61路Yb掺杂光纤放大器束（a）及其近场干涉图（b）。



图2：由XCAN（a）和XCAN的激光头（b）产生的甜甜圈形远场。

的方法，提供高吞吐功率、可调谐性和 OAM 光束的实时产生。在 XCAN 的平铺孔径配置中，61 路光纤放大激光束，以平面六边形阵列排列方式并排分布在近场中，并尽可能地彼此靠近（见图 1）。图 1a 还显示了用于同时准直光束的六边形小透镜。

当使用单个镜头聚焦这个复合大光瞳时，CBC 很容易实现。在该透镜焦平面上观察到的电场横向分布，是所有 61 路平铺光束精确相干相加的结果。与填充孔径相比，平铺孔径 CBC 的效率本质上受限于集中到远场主瓣的功率（理论上为 67%）。然而，它在远场光束整形方面提供无与伦比的灵活性。对于所有近场子光瞳相互叠加的全孔径 CBC 激光系统而言，这一关键特性是无法实现的。

在集成激光器时做出技术选择，是要保持其高可扩展性的潜力。在最终功率光纤放大器级尤其如此，其中由 Optical Engines 公司设计的灵活光纤解决方案（基于 NKT Photonics 光纤）已受到青睐，因为它们提供紧凑性、低成本和可扩展性。预放级依赖于 Keopsys 光纤放大器。通过可变光学延迟线和由 Idil Fibers Optiques 公司封装在一起的压电机械光纤拉伸器的组合使用，每路单独光束的相位是实时（千赫兹）控制的。通过主动相位控制和随机平行梯度下降算法，使用集体干涉测量方法执行相位稳定。此设置生成一组自定义的相位。每个光束幅度（即功率）可以通过放大器增益控制进行调整。图 1b 给出了 61 路光纤的近场干涉图，展示了数字激光器的概念。

通过生成在 XCAN 61 像素上数字化的 OAM 螺旋光束相位，可以获得特征性的“甜甜圈形”远场横向分布（见图 2a）。在产生 OAM 光束的同时，激光器设置已在亚皮秒和千瓦平均功率范围内运行。

XCAN 的高度可扩展架构，很快就会被视为新激光架构范式的出现：数字激光。这种方法具有很大的潜力，可以大大拓宽结构光的应用领域，超越 OAM 中心对称光束。得益于其二极管泵浦、掺镱（Yb）光纤放大链架构，它确实关联了高峰值（飞秒区域运行）和高平均（千瓦级）功率。它本质上是紧凑和可扩展的，被设计和实施为与多达 10,000 个通道兼容，为高分辨率横向幅度和相位激光束控制铺平了道路。

这些光束特性的实时可调性（目前最高可达千赫兹范围），为需要动态能量或功率分布控制的应用（如材料的钻孔、切割或焊接）提供了额外的自由度。❑

上接第18页

PROSurf 中添加抛光工艺、输入 UFF 刀具的参数，然后输入工艺参数（包括点零件的体积去除率和抛光深度）来完成的。一旦表面被抛光并且去除了残留的磨痕，自由曲面光学元件就移动到 UltraSurf 5X 400 进行测量。

椭圆体的自由曲面抛光，需要在 UFF 300 五轴抛光机上使用氧化铈带和直径 20mm、硬度 50 的 UFF 轮。

步骤4：计量驱动的校正运行和最终计量

要在 UFF 上执行校正运行，首先在五轴 UltraSurf 上测量自由曲面。测量完成后，误差图可以以多种不同的文件格式从 UltraSurf 中导出。用户在 PROSurf 中创建了新的抛光过程，以区分灰度参数和校正参数。在这个过程中，校正文件被导入到 PROSurf 中。加载误差图后，生成修正刀具路径，并在 UFF 300 上运行。在 UFF 上完成第一次抛光修正后，在 UltraSurf 上再次测量自由曲面，以确定是否需要再次修正运行，或指定的表面不规则度已完成。如果自由曲面已达到可接受的精度水平，则可以从 UltraSurf 中以 PDF 格式导出最终计量报告。❑

激光切割

纳秒光纤激光器化身多才多艺的切割工具

纳秒光纤激光器不仅是打标的出色工具，它也可以作为出色的切割工具，很好地切割金属和非金属材料。

文/Jack Gabzdyl

激光切割是一种应用范围较广的材料加工方法，其应用范围仅次于激光打标。一般而言，激光切割使用的是高功率连续（CW）激光器（包括 CO_2 激光器和光纤激光器），而激光打标使用的是纳秒脉冲光纤激光器。然而令人欣喜的是，纳秒脉冲激光器在切割应用中的表现也很出色。

纳秒光纤激光器的多功能性和可控性，使其在过去十年中成为了众多微加工应用的首选激光器，这些应用包括激光雕刻、烧蚀、划线、钻孔、表面纹理化以及激光切割等。

尽管纳秒光纤激光器的脉冲能量通常只有几毫焦（mJ），但在高光束质量下，其峰值功率能超过 10kW。近年来，纳秒光纤激光器的平均输出功率不断增加，目前已高达 300W。纳秒光纤激光器一般采用两种设计，一种是简单的 Q 开关设计，但是其脉冲控制功能比较有限。另一种是比较复杂的主振荡功率放大（MOPA）结构，正如德国通快公司的 TruPulse nano 系列纳秒激光器所展示的那样，这种设计对脉冲宽度和重复频率的控制功能更强。

纳秒光纤激光器由于其脉冲能量低且功率不高，通常不会用于切割应用，并且也确实无法与千瓦级系统的

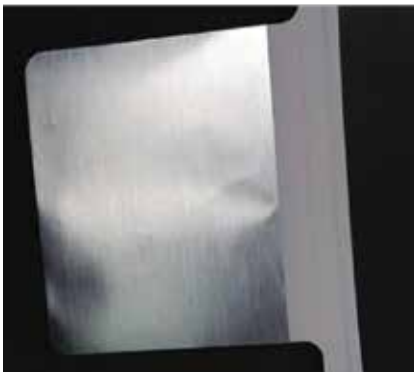


图1：带有陶瓷涂层的阴极铝片。

板材切割能力相媲美。然而，纳秒光纤激光器在越来越多的特定应用领域展现出了卓越的加工能力。

混合材料切割

纳秒光纤激光器最常与振镜结合使用，用以提升加工速度。因此激光器的输出光斑尺寸需要足够小，以确保有足够的功率密度来熔化和汽化基底材料。

激光单线扫描，需要有足够的脉冲重叠，以便能通过汽化和熔体喷射相结合的方式去除材料。降低扫描速度以增加脉冲重叠，会使表面标记变为轻度的材料去除，最终变为作用程度更深的雕刻。如果材料足够薄，上述作用过程的结果就是切割；反之，如果材料很厚，就形成划线。这种激光单程切割作用机制，仅限于相对较薄的材料，它在电池制造中找到用武之地。

纳秒脉冲光纤激光加工非接触、无磨损，具有无与伦比的灵活性和控制性，正在快速取代传统的机械分切和冲压工艺。锂离子电池由涂层阳极 / 阴极层组成，涂层阳极 / 阴极层又由很薄的铝 / 铜箔片制成。这些箔片非常薄，铜阳极厚度仅为 6~10μm，铝阴极厚度为 10~15μm。电极的两面都涂有特制的混合物，包括锂金属氧化物和石墨，混合物厚度可达 100μm。因此一些涂层箔的总厚度会超过 0.2mm。尽管单模连续光纤激光

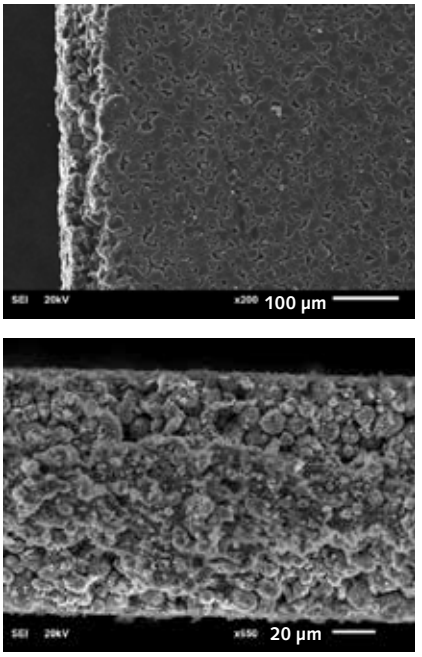


图2：用纳秒光纤激光器（型号TruPulse 2020）切割，形成的低损伤切割边缘的扫描电子显微图像。

reci 热刺激光

全密封防结露

高功率光纤激光器

多重抗高反能力 | 高可靠性、长寿命

电光转换效率高 | 免维护运行

万瓦级



400 002 0565售后专线

▶ 热刺激光 www.recilaser.com 联系电话：86-10-6436 6506

关注我们

器可以非常有效地切割金属箔，实现极高的切割速度和优异的切割质量，但其并不是切割涂层电极的最佳选择。

在电池加工工艺中，只有少数应用是只切割一种材料，大多数应用，如异型片凹槽切割，需要同时切割金属片和涂层材料，有时还要再切割绝缘陶瓷层，这进一步增加了切割的复杂性（见图 1）。在这些切割应用中，纳秒光纤激光器表现出色，平均功率仅为 200W，却能够以大于 1m/s 的速度切割涂层电极。而 MOPA 设计是纳秒光纤激光器优异性能的关键，它可以使用户调节脉冲特性，优化工艺性能，使切割质量和加工速度达到平衡（见图 2）。

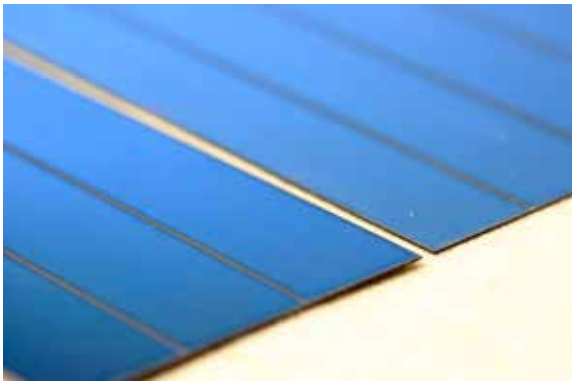


图3：用纳秒脉冲光纤激光器（型号TruPulse 1005）分割硅太阳能电池。

激光划线分割

激光划线也被广泛应用，特别是在太阳能行业中，利用单模纳秒激光器来分割硅太阳能电池。目前的趋势是：将较大的电池切割成较小的条状，通过减少电阻损失来提高电池性能。电池的半单元和带状单元的设计依赖于高质量、低热损伤的激光划刻工艺（见图 3）。

珠宝加工

对金属材料，多道加工（即沿同一条线多次加工）可以增加切割深度，但这个过程是自我限制的。随着切割深度和深宽比的增加，激光的有效能量密度会逐渐下降，进一步加工对切割深度或材料去除没有影响。

为了增加切割深度，需要增加有效切割（切口）宽度。切口宽度由焦斑决定，但不能通过简单地增加焦斑大小来实现，因为这将降低入射能量密度，使其低于加工阈值。增加切割深度，可以通过多种方式实现。

首先，多道切割时使每次扫描线有所偏移，从而使切割宽度加倍，这特别适用于基于 X-Y 工作台的系统。在编程时，要注意确保成品零件的尺寸可以加工，并且随着材料切割厚度的增加，切割边缘会产生轻微的锥度。其次，在基于振镜扫描的光路传输系统中，可以利用打标软件的“摆动”特性（最初是为了加宽打标线宽度而开发的）来增加切割深度。打标软件的这种特性产生了光束沿切割线以预定的振幅旋转的现象。通过控制摆动宽度、摆动频率和切割线速度，可以优化脉冲重叠，以最大限度地去除材料。

纳秒脉冲的高峰值功率可以有效地将能量耦合到银、金等高反射率的金属上，因此这项能力在珠宝行业得到了很好的利用。光纤激光器成为加工金银细工的标准，可以用于切割、打标、雕刻和表面纹理化，给设计师和制造商带来更多的灵活性(见图 4)。许多光纤激光器都能保持 24/7 的工作时间，激光源的可靠性确保了其在珠宝行业应用的强劲增长。

线状材料切割

另一个特定的应用是线状材料切割。这对于会变形的软金属或易碎硬脆材料来说尤其重要。例如，对于钨丝，机械切割会导致断裂和剥落，并会留下不平整的表面。使用 20W 纳秒激光器和多通道摆动技术切割钨丝，可以得到良好的、可重复的切割效果（见图 5）。

使用振镜扫描技术进行切割，通常仅限于材料厚度小于 1mm 的情况。然而，也可以通过不断调整焦点相对材料的位置以保持足够的能量密度，实现更厚材料的切割。这种切割方法，与传统的固定头激光切割相比，会使切割边缘的锥度略大。纳秒光纤激光器也可以与切割头、带有辅助气体的喷嘴一起使用，就像传统的连续激光器一样。用一台 50W 的纳秒 下转第31页



图4：银首饰精细切割。图6：利用激光多道加工技术，在3mm厚的碳纤维增强材料上钻孔。

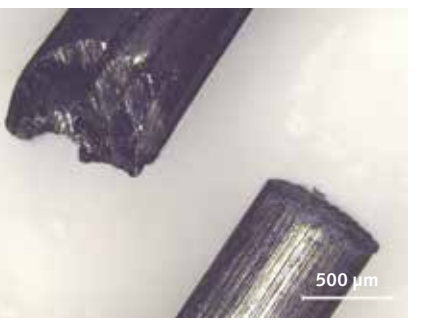


图5：0.7mm钨丝的机械切割与激光切割的效果对比。

增材制造

高功率同轴线材激光定向能量沉积技术最新进展

在增材制造中，激光线材定向能量沉积技术因其沉积速度快、原料成本低而成为研究的焦点。

文/Stan Ream，Jacob Hay，Craig Walters

随着增材制造技术不断发展，美国爱迪生焊接研究所（EWI）发现，高沉积率金属增材制造技术相比现阶段金属增材制造技术，可以打印更大的尺寸结构。但是该项技术难度很大，目前发展相对欠缺，因此也成为人们关注的焦点。

EWI 根据其激光“吹粉”、电子束和金属电弧焊增材制造技术打印大型物件的经验，清晰地意识到：高沉积率金属增材制造技术面临着多重挑战和机遇。因此，大约两年前，EWI 就承诺将内部研发资金用于探索和开发高功率、高沉积率的激光解决方案，以实现大型物件的增材制造。这份报告为上一年报告的延续，为仍在发展中的高沉积率金属增材制造技术，提供了更多的新信息、新见解，并分析了仍然面临的挑战。

数十种增材制造技术让设计师、制造商、甚至业余爱好者产生了浓厚的兴趣。在众多增材制造技术中，使用的材料包括聚合物、砂、金属等。金属增材制造的粉末床激光熔融技术（LPBF）吸引了最多的关注，基于 LPBF 的打印系统比其他金属增材制造类型都多。增材制造实现了“从 CAD 设计图到零件”一步转化的生产理念，简化了制造工艺，具有独特的吸引力。

虽然 LPBF 技术的许多重要细节仍有待解决，但其对其他增材制造解决方案的整体刺激作用是相当大的。最重要的是，对更高沉积率的金属增材制造的需求，促使人们越来越关注定向能量沉积（DED）解决方案，包括使用传统的电弧、电子束和激光技术进行金属熔化。而激光 DED 技术，可以分为两种，第一种是激光金属沉积（LMD），也被称为“吹粉”DED 技术；第二种是金属线材送丝技术，这种技术发展相对较慢。

为什么用金属丝，如何融化它?

早在增材制造出现之前，就出现了使用电弧工艺作为加热源的金属熔覆方法。气体保护金属电弧焊（GMAW）增材制造工艺，最初是用来制造“各种装饰性和实用性物品”的，并于 1925 年获得专利（美国专利号 #1,533,300）。这种加工工艺实际上就是今天所说的增材制造，虽然当时并未这么命名。

气体保护金属电弧焊定向能量沉积（GMAW DED）工艺起步很早，

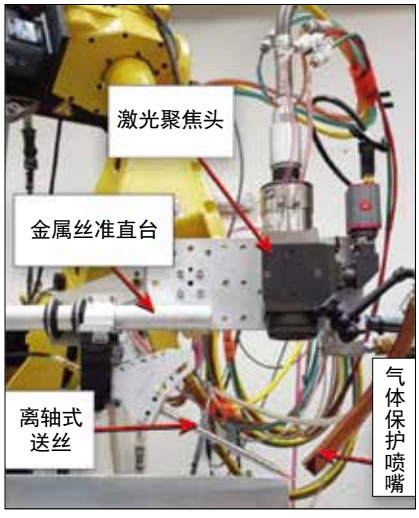


图1：离轴式激光DED送丝装置。

但主要用于维修、防腐和构建耐磨表面。如今，GMAW DED 已经重新在增材制造领域发挥作用。而激光粉末 DED 技术除了用来打印完整的物体，甚至已经集成到机床中（包括铣削和车削），用于加工精密零件。那么，为什么线材对 DED 增材制造越来越有吸引力呢?

首先，所有形式的增材制造都变得越来越有趣，也越来越被人们所接受。那些以前从未考虑用增材制造打印大型物件的行业，目前正在密切关注着增材制造技术。航空航天、运输、金属成形和海军应用等领域，是大型

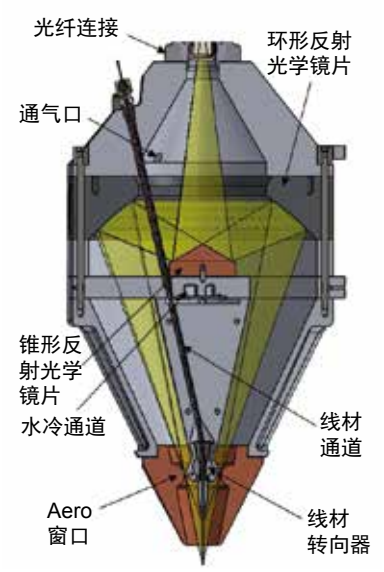


图2：EWI同轴激光线材增材制造光学解决方案（专利申请中）。

构件激光增材制造的重点领域，而选择金属粉末还是金属丝作为金属源，具体对比如下：

- 线材比粉末更经济
- 线材利用率远高于粉末
- 线材定向能量沉积（DED）比粉末沉积更“整洁”
- 线材不会出现爆炸或引起呼吸问题

但线材也有其缺陷：

- 使用激光作为热源，丝材比粉末更难熔化
- 线材的输送以及直线度（缺乏直线度）可能存在问题
- 线材表面的辐射率变化很大，使工艺开发更具挑战性

将金属丝输送到激光加工区，已经在激光钎焊和激光焊接中应用了几十年，金属丝的送丝方向几乎都是与加工方向一致的。因此，激光线材DED最初的工艺开发，也是使用相同的线材进给方向和工艺移动方向。离轴式送丝方式（见图1）有利于激光加热/熔化，但这也使增材制造过程复杂化。因为在零件制造过程中，需要将送丝部件及所有相关的线路和管道结构等有效衔接起来，这对增材制造打印大型构件来说，非常具有挑战性。

对于激光线材DED，另一种方法是送丝方向与工作面垂直，激光就作用在线材的四周。这种“同轴”式加工方法，已经被众多激光系统制造商、增材制造系统制造商和光学器件供应商引入，包括Precitec、Laser Mechanisms、Fraunhofer、Meltio以及EWI等公司。在谷歌上搜索“同轴激光线材定向能量沉积”，能很容易找到许多相关应用案例。

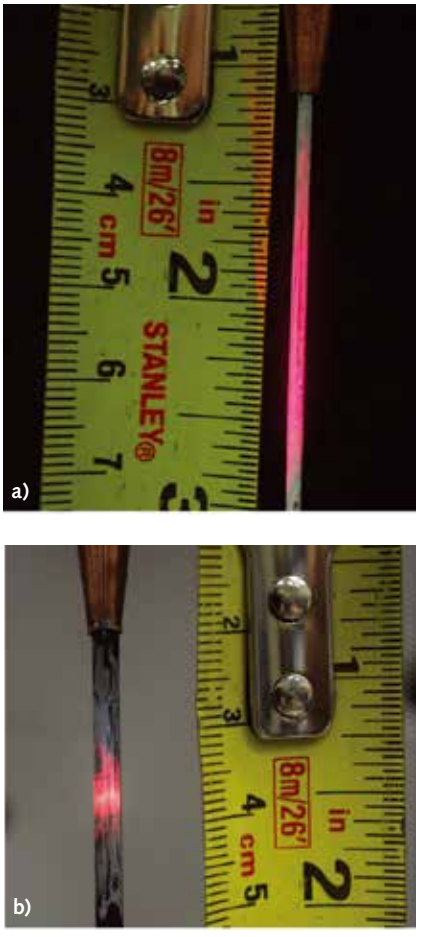


图3：金属线材上的（a）初始同轴光束和（b）修正后的同轴光束。

同轴线材DED解决方案

大多数现有的“同轴”线材DED解决方案，使用多个单独的激光聚焦光束来加热和熔化线材和工件表面。通常三束激光中的每一束，都必须精确地定位在线材周围，而且线材必须是笔直的，并且工作过程中不能摆动。在EWI的设计中，激光束是以真正的同轴方式传输到线材四周（见图2）。

EWI开发的这种激光线材DED方案，可以使用高功率激光，目前已测得的能够使用的激光功率高达20kW。两个反射式光束整形光学元件由Craig Walters博士设计，并由II-VI公司生产。这些光学元件都配备水冷装置，远离工作区，受Aero窗口保护。这种设计使设备的光学性能和线材的熔化能力都非常优异。

- 激光功率：20kW
- 功率传输：94%的光纤功率
- 不锈钢线材直径：1.6mm
- 送丝速率：855ipm
- 熔化速率：46lb/hr
- 熔化效率：36mm^3/kJ

在金属线材四周产生圆柱形激光光束这样的光学设计，使光束在线材上产生了一段较长的照明区（见图3a）。但是由于线材的直线度不均匀，如存在“铸型”和“螺旋”等问题，

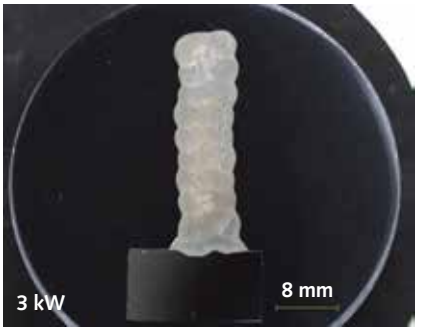


图4：修正后的光学系统实现了“墙”状结构的打印效果。

致使增材制造沉积不均匀。

为了解决上述增材制造沉积不均匀的问题，EWI 对光学系统进行了重新设计。改进后的光学系统也是使激光束形成圆柱形，围绕在金属线材的四周。但是聚焦效果更好，线材上产生的照明区域明显缩短，而辐照度明显升高（见图 3b）。

激光辐照度升高，会诱导等离子体形成以及工件表面产生一定程度的飞溅，但对金属线材直线度的灵敏度降低，因此提高了工艺的稳定性。回过头来看，修正光学系统增加激光辐照度走了点弯路，但最终还是实现了比较理想的增材制造能力（见图 4）。

图 4 中用 308 不锈钢增材制造打印的“墙”状结构的金属沉积率为 28lbs/hr，这与典型的 GMAW 快速成型制造的沉积率相比更具竞争力。激光 DED 技术使金属线材与基体金属完全融合，形成单一的金属相，因此加工效果比较出色。

对激光线材DED增材制造技术的建议

- EWI 的激光线材 DED 增材制造解决方案，已经证明具有较高的打印效率；
- 同轴设计中的光学系统，提供了较多的线材照明选择；
- 激光线材 DED 技术最终实现的沉积率，可能超过 100lbs/hr；
- 需要对加热 / 熔化速率和沉积流动动力学进行数值建模；
- 其他线材、线材装置、激光波长和激光功率仍有待探索和实现。❑

上接第28页

脉冲光纤激光器，就可以切割银、黄铜、铜等金属材料；而使用连续激光器切割，功率则要大于 200W。

在很多应用中，光纤激光器多才多艺的加工能力，意味着同一个激光源可用于切割、打标，甚至还能用于医疗设备行业复杂的微型部件的焊接，这能大大简化工艺制造流程。

切割非金属

值得注意的是，纳秒光纤激光器不仅能用于金属切割，还可以切割其他对 1μm 的波段有一定程度吸收的非金属材料，包括硅、碳纤维增强材料、陶瓷、橡胶、塑料和聚合物等（见图 6）。



图6：利用激光多道加工技术，在3mm厚的碳纤维增强材料上钻孔。

小结

纳秒光纤激光器，特别是采用 MOPA 设计的激光器，在激光切割市场的占有率正在显著提高，它们主要用于切割薄层硬脆材料和高反射率材料。随着激光器平均功率的提升，纳秒光纤激光器在某些应用中将会替代传统的连续激光切割。此外，纳秒光纤激光器也将会为未来产品的制造提供多种创新应用。❑

mks | Ophir®



白皮书下载：

电池生产的难题
从一开始就优化并控制激光工艺

汽车制造商大量投资于电动汽车领域：重大投资也伴随着重大挑战。但那些有着战略性规划并将最新技术直接集成到生产过程中的公司，不仅可以长期节约成本，而且可以确保电池质量和车辆安全运行。新的...

激光焊接

新能源纽扣电池的激光焊接新工艺

MOPA和QCW激光精密焊接机，实现了纽扣电池的正负极与壳体、顶盖和引脚的精密、可靠及美观焊接。

文/铭镭激光设备有限公司

纽扣电池也因体形较小，在各种微型电子产品中作为后备电源得到了广泛应用。目前广受关注的电子产品，如 TWS（无线蓝牙）耳机、智能手表、智能音箱等所用到的电源，都是新型可充电式纽扣电池，在消费者对电子产品的高强续航力、高安全性和个性化需求下，各大电池厂商开始争相生产能量密度更高、规格多样、材料多样的新型可充电式纽扣电池。

随着 3C 电子行业的纵深发展，对配套电池的装配与焊接精度、焊接质量都提出了更高要求，传统焊接加工技术很难达到新型纽扣电池的高标准焊接指标。相比之下，激光焊接技术能够满足纽扣电池的加工技术多样性，如异种材料（不锈钢、铝合金、铜、镍等）焊接、不规则的焊接轨迹、优秀的焊接外观、牢固的焊缝、更细致的焊接点以及更精准的定位焊接区域等。激光焊接技术不仅能提高产品焊接的一致性，而且还降低了焊接过程中对电池造成的伤害，成为新能源纽扣电池的最佳焊接工艺方式。

新能源纽扣电池电芯正负极与不锈钢壳体之间的焊接

此部位焊接工艺难度系数较高，负极铜箔厚度 0.05mm，正极铝箔厚度 0.05mm，不锈钢壳体厚度 0.12~0.15mm，如果参数设置不合理，治具压合不到位或者操作不当，很容易造成虚焊、焊穿、不锈钢壳体外观面氧化变色等不良情况。

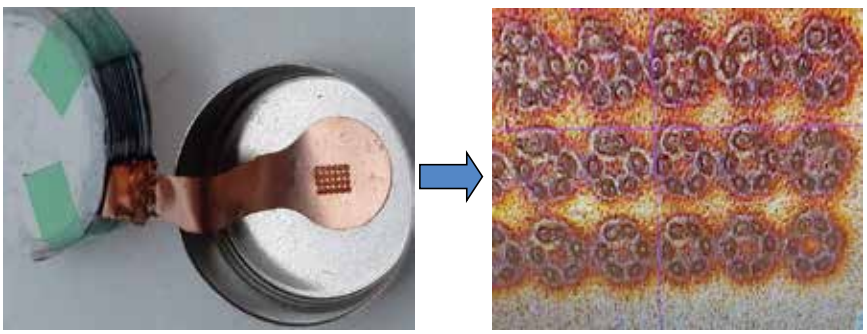


图1：纽扣电池的负极（铜箔）与电池不锈钢壳体之间的焊接。

所以，这里选用的焊接方式为精密 MOPA 激光点焊或者螺旋线焊接，在需要焊接的部位瞬间产生高温熔合，实现无接触焊接，精准定位，高效生产优质电池。焊接效果图如图 1、图 2 所示。

图 1 为纽扣电池电芯负极与不锈钢壳体的焊接成品图，负极为红铜箔。铜材的导电性很好，但是对于焊接而言，它为高反光材料，对激光的吸收率很低，不到 10%；加上材料极薄，在受热区域面积过大、受热时间过长或者激光功率密度不够的情况下，铜箔极易变形，造成焊接不良，这在很大程度上增加了焊接工艺的难度。

目前我们采用的 MOPA 激光焊接设备具有更高的能量密度，更容易达到材料吸收阈值，有效地避免了上述缺陷。如图 1 所示，单个焊接点的

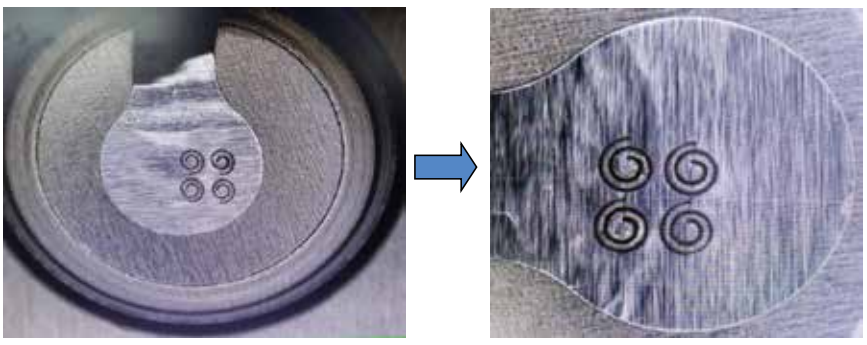


图2：纽扣电池的正极（铝箔）与电池不锈钢壳体之间的焊接。

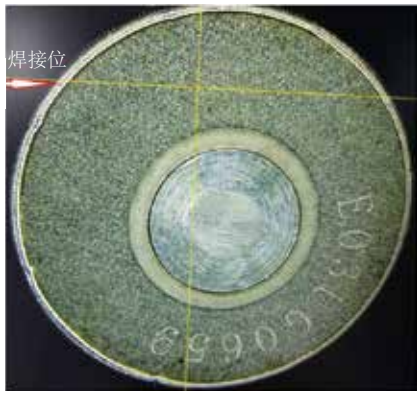


图3：纽扣电池顶盖与壳体之间的激光密封焊接效果图。

区域直径为 0.25mm，以直径 0.25mm 的圆周为基准，将其平均分布为 6 等分。在 MOPA 激光高峰值、高速度、小脉宽、小受热面积的情况下，能很好地将铜箔跟不锈钢壳体紧密牢固地焊接在一起，并且不会引起铜箔变形。焊接效果放大后如图 1 中右图所示，焊点均匀，无虚焊，铜箔无变形，电池壳体背面无变色等不良情况，焊接牢固可靠。

图 2 为纽扣电池电芯正极与不锈钢壳体的焊接成品图，正极为铝箔。铝材导电性较好，也属于高反光材料，对激光的吸收率较低，在 20% 左右。采用 MOPA 激光螺旋式焊接方式，焊接能量均匀，焊接点形状、熔深、牢固度一致性较好，外观平滑美观，无变形。焊接效果放大后如图 2 中右图所示，螺旋线焊接轨迹均匀，线条无虚焊，铝箔无变形，电池壳体背面无变色等不良情况，焊接牢固可靠，符合客户要求。

新能源纽扣电池顶盖的密封焊接

这个部位的焊接工艺有一定难度。纽扣电池顶盖是厚度为 0.12~0.15mm 的不锈钢材料，纽扣电池壳体与盖板连接处，加工后为厚度 0.1mm 的不锈钢材料。两块如此薄的材料进行密封焊接，且要求外观平整顺滑、无变形，对于传统焊接来说根本无法实现。

此工序焊接难点在于材料极薄，如果焊接工艺参数设置不当，功率过大容易直接击穿电池壳，伤到内部电芯且材料极易变形，热影响区大；功率小了无法形成熔池达到焊接目的。

铭镭激光推出的 QCW 激光精密焊接机，成功攻克了纽扣电池薄材料焊接难题，使得这一工序能顺利完成，并已在电池生产商处正式投入生产。

图 3 所示为纽扣电池顶盖与壳体之间的激光密封焊接放大效果图。激光焊接光斑直径小于 0.2mm，激光机器采用模块化结构设计，激光输出稳定，光 - 电转换效率高达 30%，支持任意波形设定，使得每种材质均有最适合的波形参数。焊接密封性压力测试符合要求，牢固可靠，外观平整顺滑、无变形，达到客户要求。

新能源纽扣电池的引脚焊接

此工序焊接需格外注意，引脚一般为镍片或镀镍材料，与成品电池以叠加方式穿透焊接来实现。在执行这道焊接工序时，电池已经封装完成，且电池内部注有电解液，如果操作不当，很容易导致内部隔膜焊坏造成短路；或者电池外壳焊穿，导致电解液外流等不良现象。

此焊接工序较复杂，铭镭激光推出的 MOPA 激光精密焊接机、QCW 激光精密焊接机都能满足焊接要求，MOPA 精密焊接机焊接效果图如图 4 所示，其中右图为螺旋焊接点局部放大图如。

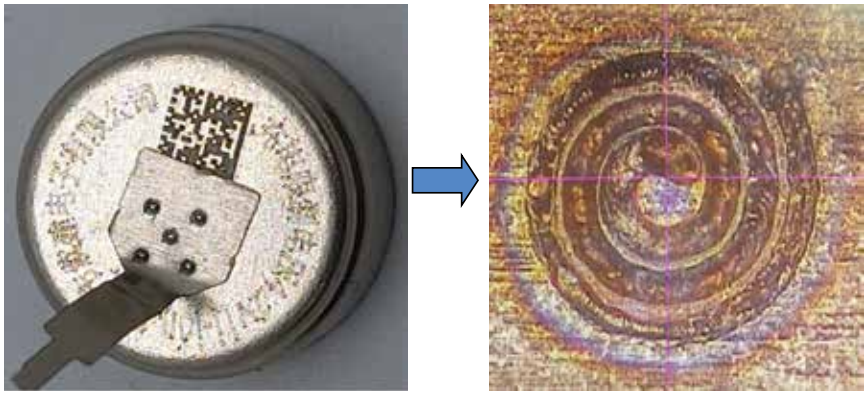


图4：MOPA精密焊接机实现的纽扣电池引脚焊接图。

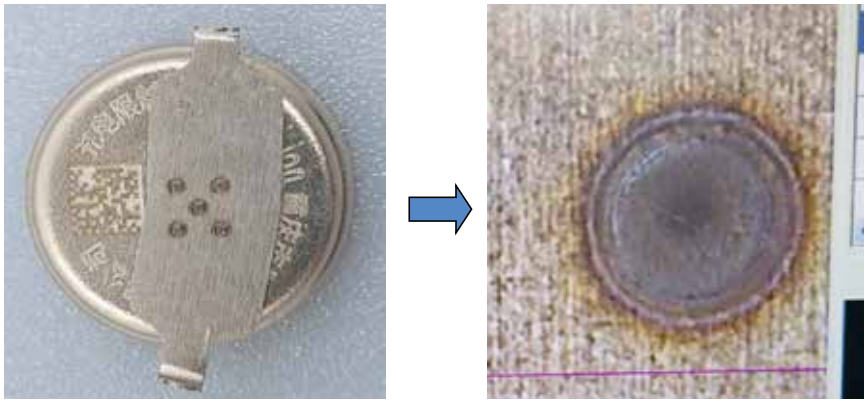


图5：QCW精密焊接机实现的纽扣电池引脚焊接图。

图 5 为使用 QCW 精密焊接机的焊接效果图，右图为单焊点局部放大图。

使用这两款设备焊接引脚，焊点均匀稳定，外观美观，拉力强度牢固，均满足客户需求。这两款设备在焊接新能源纽扣电池方面，主要有如下优势：

- 无电流通过电池，避免电池内部击穿；
- 非接触焊接，避免加工物件因加压而变形；
- 精密激光束瞬间加热，避免电池热损伤；
- 焊接能量、时间均匀，焊接点形状大小、熔接深浅牢固一致，外观平滑美观，热影响区小；
- 设备体积小、便携，可实现自动化，配合流水线作业。

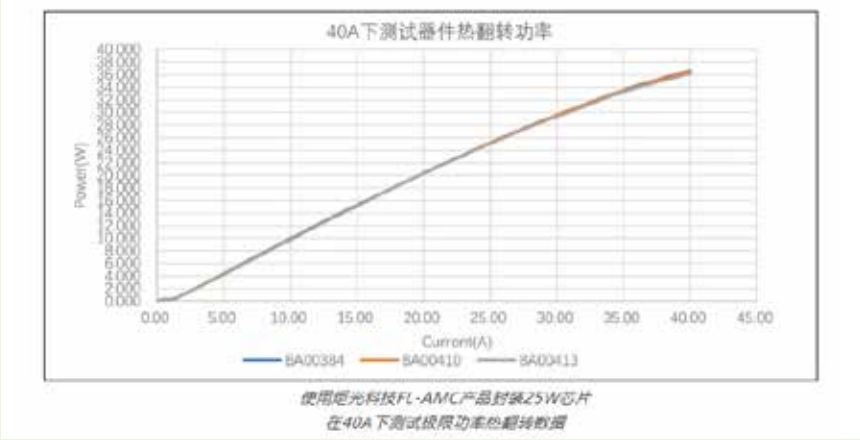
电子产品的高速发展，将对新型纽扣电池有着大量需求。MOPA 激光精密焊接机和 QCW 精密激光焊接机，为新能源纽扣电池生产中的焊接需求，做好了准备。❑

炬光科技发布预制金锡氮化铝 (AlN) 陶瓷衬底 AMC 产品系列及金锡薄膜制备服务

炬光科技发布预制金锡 AIN 陶瓷衬底 AMC 产品系列及金锡薄膜制备服务。

预制金锡薄膜键合材料是保证光电子器件长期可靠使用的关键技术。与传统铟、锡铅、锡铋等键合材料相比，金锡键合贴片的器件在耐用性、抗氧化能力和抗热疲劳能力上有更优异的表现。金锡除了主要应用于光电芯片的贴片封装之外，用于器件外壳封装时可显著提高密封性，用于光学元件封装时可避免传统胶工艺在温度影响下发生的位置变化现象，大大增强光学元件的封装对位精度。根据应用环境不同，金锡可以被预制在 AIN、铜钨、碳化硅、玻璃、CVD 金刚石以及铜金刚石等不同衬底材料之上。

此次，炬光科技推出预制金锡 AIN 陶瓷衬底 AMC 产品系列及金锡薄膜制备服务，预制金锡工艺采用物理气相沉积工艺，厚度可以做到 10μm 以内，公差为 ±1μm，厚度均匀性可以达到 3% 左右。在应用时大大增加了芯片封装界面焊料铺展的均匀性，降低封装界面空洞，再结合高精度表面加工水平，更能满足高功率芯片键合的需求。



使用炬光科技FL-AMC产品封装25W芯片
在40A下测试极限功率热翻转数据

炬光科技预制金锡 AIN 陶瓷衬底 AMC 产品系列具备如下特点：

• 低热阻

凭借多年对产品共晶键合技术能力的经验，炬光科技从应用需求出发，优化了整个 AMC 产品各层材料的最佳热管理设计，实现低热阻封装应用，保证器件的更高功率输出。

• 低应力

AMC 产品系列在研发阶段就优化了各材料层的厚度设计和材料的热膨胀系数（CTE）匹配设计，最终使得产品整体的 CTE 与芯片的 CTE 尽可能接近，实现低应力封装，大大增强器件的长期使用寿命。

• 成熟的预制金锡技术

炬光科技采用物理气相沉积工艺，在材料上表面预制一层均匀的金锡薄膜，用于满足客户芯片金锡共晶键合应用的需求。由于预制金锡为整个产品的核心工艺环节，炬光科技使用完善的质量管理体系，以保证预制金锡性能的可靠性和大批量生产制造的一致性。

• 大批量生产制造能力

AMC 产品系列采用“从 wafer 加工到单颗”的批量化模式，大大提高了产品一致性和生产效率，专业面向大批量化光电子器件封装市场。

炬光科技还能利用高功率芯片共晶键合和测试的技术经验，为客户提供更多支持，并可提供定制服务。❑

高端工业大秀 | 制造业全产业链
展示先进技术新产品

DMP 2021
大湾区工业博览会
Greater Bay Area Industrial Expo

2021年11月23-26日 深圳国际会展中心（宝安新馆）
Shenzhen World Exhibition & Convention Center

覆盖行业：

精密零件加工、模具制造、3C电子、家电、汽车、
铸造、压铸、轨道交通、生物医疗、建材、
新能源、机械制造及配件、塑胶及包装、
非标设备及自动化、工业互联网



主题专区：

1 机　床 | 金属成形机床
Machine Tool | Metal Forming Machines

2 数控刀具 | 先进涂层薄膜
CNC Cutting Tools | Advanced Coating & Film

3 工业测量 | 模具材料 | 配件
Industrial Measuring | Mould Materials | Parts

4 数控刀具展
CNC Cutting Tool Show

5 国际机床 | 电加工
International Machine Tool | E.D.M.

6 数控机床核心零件 | 机床配件展区
Core Parts of CNC Machine Tools | Machine Tool Accessories

7 机　床 | 金属加工
Machine Tool | Metalworking

8 数控机床系统 | 机器人 | 自动化
CNC Machine Tool System | Robot | Automation

9 第十一届国际（深圳）铸业展
11th International (Shenzhen) Metal Casting Show

10 塑胶展 | 深圳国际精密注塑技术展览会
Plastics Exhibition | Shenzhen Int'l Precision Injection Molding Technology Exhibition 2021

11 工业互联网 | 自动化
Industrial Internet | Automation

12 塑胶展 | 深圳国际精密注塑技术展览会 | 3D打印
Plastics Exhibition | Shenzhen Int'l Precision Injection Molding Technology Exhibition 2021 | 3D Printing

13 中欧绿色金融科技 | 汽车制造及零部件
Sino-Euro Green Fintech Forum | Auto Manufacturing Parts

14 亚洲国际创新发明展
Asia International Innovative Invention Exhibition

参展查询：

讯通展览公司
Paper Communication Exhibition Services

BPA WORLDWIDE

微信关注号：DMP工博会

展会网站：www.DMPsz.com　电邮：info@paper-com.com.hk

香港 852-27639011 | 广州 020-87612356 | 上海 021-63045419 | 深圳 0755-22671503 | 东莞 0769-85981968

2021 年将是全球激光市场强劲增长的一年

文/Allen Nogee，Laser Markets Research总裁



Laser Markets Research总裁 Allen Nogee

当预测像激光技术这样的市场规模和增长率时，我通常使用三个指标来做指导参考。首先，我会看一下正在推动激光器使用的应用，并深入挖掘，以确定是什么在应用中推动了这种增长。接下来，我会看一下有多少应用是由独特的技术驱动的，有多少是由价格驱动的。最后，我会研究一下外部条件，比如经济情况，以确定这些领域的问题是否会对技术的采用产生负面影响。

同时，我会将数据与各种计量经济学的因果模型一起使用，以预测激光市场。计量经济学家估量了过去的经济、激光技术的采用、激光器的价格趋势、工业生产、就业等变量之间的关系，然后试图预测一些变量的变化将如何影响其他变量的未来走向。在“正常”时期，这些方法非常有效；但在过去的三年里，时代已经不正常了。

比如中美贸易战问题，导致从中国进口到美国的商品要征收关税；同样从美国进口到中国的商品也征收关税。美国此举的意图是鼓励美国公司购买美国商品，但至少对于激光器来说，这种情况并没有发生。向中国出售激光器的美国公司，只是将其生产转移到美国境外，以避免关税。有时，只有激光器的一个关键部件必须在美国境外生产，才能完全避免关税。计划购买中国激光器的美国公司，在大多数情况下，只是推迟了他们的购买计划。很难预测接下来会发生什么。

随后进入 2020 年，疫情爆发了。很容易预测的是，2020 年第二季度，中国和世界各地的激光器制造厂的停工，无疑对激光器的出货量造成了负面影响。事实也确实如此。更难预测的是疫情带来的所有次级影响。销售人员不能出差，展会被取消或变成线上形式，交货被推迟，芯片短缺使汽车制造业发展缓慢。如果你最近开车经过一家汽车经销店，看到半空的汽车停车场，你就会意识到汽车产量不足是真实存在的。另外，还有商品价格的上涨——木材价格在去年上涨了 250%，钢铁价格上涨了 210%。现在人们更多的是在家里工作，因此，许多大城市的办公室空置率大大增加。

在生活的许多方面都在迅速变化的情况下，传统的预测技术失效了，所以解决方案是密切关注激光市场上正在发生的事情，然后向后推导出可能导致这些变化的原因。当事情在一两年内稳定下来后，再转回旧的预测技术应该会再次发挥作用。

尽管经历了中美贸易战和新冠疫情，但是一些激光器市场并没有下滑。在过去的几年里，用于传感的激光器市场规模已经增长到了 20 多亿美元；而最近的疫情也并没有对增长造成什么困扰。大部分用于传感的激光器是智能手机中使用的二极管激光器，其中大部分是苹果公司销售的手机。2020 年，苹果公司销售了 1.96 亿部 iPhone，超过了 2019 年的 1.87 亿部——所以不管有没有疫情，人们仍然会购买他们心仪的智能手机。

在医用激光器市场，中国的贸易关税和疫情都减缓了销售，但在疫情已经缓解的国家，激光器的销售正在恢复正常。军用激光器大多不受贸易关税或疫情的影响，但一些交货期将被推迟。

我们之前曾预计由于疫情的影响，通信激光器的收入会增加，因为通信供应商需要支持许多新的在家工作者；但这种需求并没有实现。相反，疫情导致了许多通信项目的延迟，中国电信市场受到的影响尤为严重。我们希望到 2022 年初，情况会发生逆转。

至于用于材料加工的激光器，这里有许多移动部件。总体而言，中美贸易战带来的突然冲击，对材料加工激光器市场造成的负面影响比疫情的影响更大。也许这种影响在一定程度上是因为中国在 2018 年底和 2019 年，已经经历了经济放缓；但是在疫情后，中国的经济正在很好地恢复。在美国，疫情对经济产生了强烈的负面影响，但事情很快就恢复了正常——至少在出货延误、材料短缺和国际旅行限制方面恢复了正常。

综合来看，你就能体会到全球激光市场的多样性和广泛性。2019 年是市场下降的一年，2020 年是不错的一年，预计 2021 年将是激光销售强劲增长的一年。也许市场增长并不像我们在 2017 年底和 2018 年初看到的那样快速，但还是很强劲。当然，在我们经历了过去几年的情况后，这应该是个非常振奋人心的好消息。❑

20kW光纤激光器

飞博激光的20kW激光器，采用多种非线性抑制技术，可实现满功率＞20kW、100μm纤芯的光纤输出。整机采用合束方案，运用特殊的拉曼抑制技术，模块和整机的拉曼得到有效地抑制。在光纤光缆长度40m的情况下，信号拉曼抑制比达35dB以上，大大提升了应用效率，可满足多样性的应用场景需求，比如切割厚度达40mm的碳钢。



飞博激光，www.fiber-laser.cn

FC-W-450nm工业级蓝光激光器

长春新产业的FC-W-450nm系列工业级蓝光激光器，能够实现最高1kW的蓝光输出，光束质量BPP＜15mm*mrad@250W、BPP＜25mm*mrad@1kW，能充分满足锂电池焊接以及消费电子行业客户对铜、铝等高反金属材料的加工需求。此外，长春新产业还能根据客户需求，提供完善的产品方案建议与技术支持。



长春新产业，www.cnilaser.com

LPKF CuttingMaster 2122 激光分板系统

乐普科（LPKF）最新推出的高性价比CuttingMaster 2122激光分板系统，配备了新开发的激光器。该系统的切割速度较以往提高了25%。在切割覆盖膜方面，该系统也实现了性价比的显著提升。与先前技术相比，LPKF CuttingMaster 2122加工性能优异，实现了附加值，且投资成本保持不变。

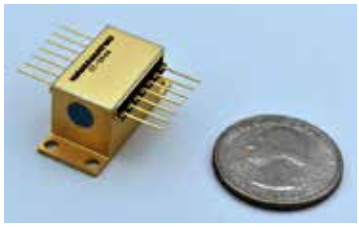


此外，该系统加工完全通过智能软件控制，只需轻点鼠标即可导入设计文件，无需花时间进行数据转换以及事先准备加工工具。用户可根据材料的加工数据库，将加工参数调整至最佳。根据应用，还可以选择紧凑型系统的高度自动化模块，实现高产能，且产品一致性高。

LPKF，www.lpkf.cn

微型波长扫描量子级联激光器

滨松公司开发了一种微型波长扫描量子级联激光器（QCL），通过采用小型磁铁，减少了不必要的空间，并采用独特的光学封装技术，其占位尺寸仅为前代QCL产品的1/150。它将使分析仪体积小、重量轻，可以方便携带到任何地方。



它实现了中红外光在易于吸收SO_2或H_2S的7~8μm的波长范围内的扫描输出；可以高速获取中红外光的连续光谱，能在不到20ms的时间内获取中红外光的连续光谱，可捕捉和分析随时间快速变化的现象。

滨松公司，www.hamamatsu.com

千瓦级风冷激光智能焊接机

GWLaserTech的A1500风冷手持激光焊接机，基于自主产权的风冷976nm高效节能技术、高亮度单模组激光器技术，内嵌激光焊接工艺软件，是国内首款千瓦级风冷激光智能焊接机。



其体积＜0.2m³、重量＜60kg，远小于目前水冷式的手持激光焊接机，一人即可提起，可轻松装进后备箱随带随走。该手持激光焊接机控制装置直观、简洁，机器出厂预置常用焊接参数，同时用户可以自定义保存所需的加工参数，普通人员经过几个小时的简单培训即可轻松上手。

它的焊接速度可达2～10cm/s，效率是传统手工电弧焊的2～10倍，一年至少可省两个人工成本。焊接钢材时，熔深可达4mm；焊接铝合金/黄铜，熔深可达3mm。可焊接常见钢材（如碳钢、不锈钢、镀锌钢等）、铝合金、黄铜，焊缝美观、无变形，无需进行后续处理。

GWLaserTech，www.gwlaser.tech

LHSW200手持摆动焊接头

欧斯普瑞的LHSW200手持摆动焊接头，适用功率为2kW，重量为0.94kg，使用更轻松。同时，该手持摆动焊接头拥有双抽屉式保护镜设计，可进一步延长聚焦镜片的使用寿命，易于维护；人体工程学设计，操作时更舒适；

多种焊接喷嘴可匹配不同工艺需求；全光学及本体水冷，提高焊接头使用寿命；电容式安全防护，避免疲劳工作所造成的激光伤害。



欧斯普瑞，www.ospri.cn

单模4kW连续光纤激光器DGSM4000W-H

中久大光的单模4kW连续光纤激光器DGSM4000W-H，是一款采用25μm芯径输出光纤的超高亮度单模光纤激光器，能够较好地满足用户高熔深焊接、高反材料焊接等应用场景。



在相同发散角、相同功率下，该激光器的焦点处功率密度是其他4kW多模（单模组）光纤激光器的5.25-25倍。该激光器还拥有很多优势：输出铠缆长度不低于5m时，能够实现4.4kW的近衍射极限激光输出，光束质量M^2<1.4，BPP<0.48mm · mrad，可满足用户高熔深材料的需求；高抗回返光能力，内部设计多重抗回返光设计，可稳定加工以紫铜为代表的高反材料；高电光效率，采用976nm泵浦技术，节能省电，有效降低用户运行成本；具备波形编辑功能，适应复杂工艺需求。

中久大光，daguanglaser.com

ByCut Smart 4020 + 6225激光切割机

瑞士百超的ByCut Smart 4020 + 6225激光切割机，激光功率可达15kW，长度达6.2m，宽度达2.5m，高效快速，能实现极高的材料利用率。

该产品每个工作循环可加工更多的工件，而无需中断切割过程，可将各种材料轻松地切割成各种工件尺寸；利用高达15kW的激光功率，能以很高的精度切割厚达30mm的不锈钢；独特的BeamShaper选装装备，各种板材质量都能实现整洁的切割断面；通过21.5英寸触摸屏，可以像智能手机一样方便地操作Bystronic百超软件ByVision Cutting。



瑞士百超，www.bystronic.com.cn

双振镜扫描头

大族激光的双振镜扫描头，在一个方头内安装了两套X/Y振镜，两套振镜共用一个聚焦镜头。在聚焦镜头一定的情况下，提升扫描范围。方头内两套振镜分别控制，同时工作，加工效率提高100%。比起使用多个方头同时工作，双振镜方头结构更加紧凑，占用空间减小，效率更高，而且可以有效解决晶圆翘曲时加工效果变差的问题。



该方头相比于已有的单振镜方头，扫描范围增加了近30%，有效地减少了需要拼接的部分，使加工精度得到提高。

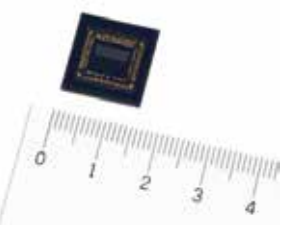
该产品在使用F250mm焦距的镜头聚焦时，可以实现BOX 200mm × 200mm范围的标记，在做拼接使用时，拼接精度<20μm。

该产品主要用于晶圆的标记、划线、打码等应用。

大族激光，www.hanslaser.com

用于汽车激光雷达的SPAD ToF深度传感器：

索尼半导体宣布推出直接飞行时间（dToF）堆叠式SPAD（单光子雪崩二极管）深度传感器IMX459，可用于汽车激光雷达，助力高级驾驶辅助系统（ADAS）和自动驾驶（AD），样品预计将于明年3月出货。



索尼利用在CMOS图像传感器开发过程中创造的背照式像素结构、堆叠结构和Cu-Cu连接等技术，成功地构建了一种将SPAD像素和测距处理电路封装在单个芯片的独特元器件结构。

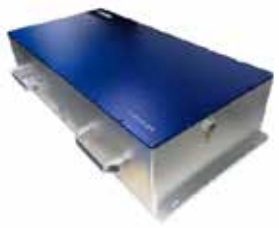
这种设计令微小至10μm^{2}的像素尺寸得以实现，在小型化的同时在1/2.9型尺寸规格上达到约十万有效像素的高分辨率。同时，还能增强光子探测效率和提升响应能力，以每15cm作为一个单位范围，从远距离到近距离进行高速度、高精度距离测量。

该产品符合汽车应用的功能安全标准，有助于提高激光雷达的可靠性，单芯片结构有助于实现更小型、低成本的激光雷达。

索尼半导体，www.sony.com

3.5μm中红外超快激光器

南京科韵光电通过自主研发的 KY-Fibre 光纤飞秒激光器平台，成功将飞秒光源的波长拓展到了 3.5μm 左右，功率最高可达 20mW，峰值功率高达 50kW。这一技术有望应用于工业加工、通讯、雷达探测、医疗健康等领域。

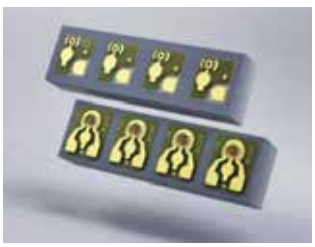


KY-Fibre-MidIR 采用了科韵光电自有的锁模振荡技术，可上万小时不间断工作。同时利用非线性转化，得到了稳定且持续的中红外飞秒 / 皮秒光源。其采用一体化机械设计，结构简单，模块化单元可以单独维护。配有专用软件，使用方便快捷，是科学研究与工业应用的理想光源。

科韵光电，www.manderalaser.com

全新一代VCSEL和光电二极管

通快发布新一代 VCSEL 和光电二极管，每通道 56Gbps。通过制造平台的广泛升级以及工艺控制的增强，该器件可以在更高的温度范围内保持卓越性能。



其中，VCSEL 被设计为完全钝化的芯片且加以额外的机械保护，使其可靠性得到了大幅度的提高；而与之匹配的光电二极管暗电流被大幅降低且增加了额外的接地端，使其屏蔽效果得到了加强，还提供了 ground-signal 和 signal-ground 的选项进行安装。两者的结合，不仅可以通过减少冷却以降低能源成本，还可以减少现场设备的故障率，从而为数据中心和高性能计算客户节省成本。

通快，www.trumpf.cn

TOPTICA连续可调谐激光器

TOPTICA 无跳模的宽可调谐激光器 CTL，具备高功率、窄线宽，还可以保证很高的绝对 / 相对波长精度。另外，大范围扫描时可实现极高的分辨率。独创的光学机械设计以及称为 SMILE（单模智能环路引擎）的有源反馈回路，能够使激光始终处于相同模式。



主要特征：无跳模可调范围高达 120nm；可选波长：950nm，1050nm，1320nm，1470nm，1500nm 和 1550nm；输出功率最大可达 100mW；高分辨率，低噪音，低漂移；用户友好的触摸屏界面、旋钮及远程控制。

配合全数字化、低噪声、低漂移的 DLC pro 控制器，CTL 激光器既可通过触摸屏和旋钮简单操作，也可通过电脑用户界面和命令语言（Python SDK）进行远程控制。是量子点和微腔这些需要激发精细结构谐振腔应用的理性光源。

TOPTICA，www.toptica.com

蓝光激光二极管

LASER COMPONENTS 公司提供广泛的蓝光激光二极管，功率范围从 15mW~1.6W。



对于更高功率的应用，我们提供紧凑的直接发射激光二极管模块，其蓝光输出功率高达 21W。这些模块的标准配置是在光纤中。这些模块的标准配置是光纤耦合封装，但也可以提供自由空间设计。这些产品拥有超过 30,000 小时的长寿命，适用于数字投影、激光灯光表演、荧光粉照明，甚至是法医等广泛的应用。还提供电源、热电冷却器和各种光纤附件，以帮助新的开发商将这些模块集成到他们的系统中。

LASER COMPONENTS，www.lasercomponents.com

532nm超快光纤激光器

诺派激光的 Rainbow 532 OEM 超快光纤激光器，通过该公司的 Rainbow 1064 OEM 倍频实现，光路及电路机构高度集成化，紧凑便携。



主要特性：输出波长 532nm，重复频率 50MHz，平均输出功率 >20mW，脉冲宽度 <10ps。提供空间准直输出方式和光纤跳线输出方式。

Rainbow 532 OEM 适用于荧光寿命测试（TCSPC）、谐波成像、非线性光学、双光子聚合等领域科研平台的搭建，同时也适用于工业及商用系统集成用户。

诺派激光，www.npilasers.com

Advertiser	广告客户	网址	页码
爱特蒙特光学 (深圳) 有限公司		www.edmundoptics.cn/091-8615	11
Ante Laser	安特激光	www.antelaser.com	7
Amonics Ltd.		www.amonics.com	15
BWT	凯普林	www.bwt-bj.com	21
Mean Well	明纬	www.meanwell.com.cn	23
Ophir Photonics		www.ophiropt.com/photonics	13
RECI	热刺激光	www.recilaser.com	27
Santec		www.santec.com.cn	1
Scanlab Gmbh		www.scanlab.de	19
Suzhou Everbright Photonics Co., Ltd.	苏州长光华芯光电技术股份有限公司	www.everbrightphotonics.com	IFC
Zemax		www.zemax.net.cn	3
2021大湾区工业博览会/DMP第二十四届国际模具及金属加工、精密注塑展		www.DMPsz.com	35

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的文章。只有文章内容需要或与主题相关时，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

行政及销售人员 Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

HK Office (香港办公室)

ACT International (雅时国际商讯)
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

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
Paul Andrews
pandrews@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)
Floyd Chun (秦泽峰)
floydc@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 8573 / 2598 8567

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
Floyd Chun (秦泽峰)
floydc@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



国际授权翻译
国内发行高新科技杂志

8本杂志免费送一年
（6期/印刷版）

包揽全年行业资讯

ACT

www.actintl.com

免费订阅

扫一扫添加
ACT读者服务号免费订阅

雅时国际商讯（ACT International）成立于1998年，为高速增长的中国市场中广大高技术行业服务。ACT通过它的一系列产品－包括杂志和网上出版物、培训、会议和活动－为跨国公司及中国企业架设了拓展中国市场的桥梁。 ACT的产品包括多种技术杂志和相关的网站，以及各种技术会议，服务于机器视觉设计、电子制造、激光/光电子、射频/微波、化合物半导体、半导体制造、洁净及污染控制等领域的约二十多万专业读者及与会者。

LaserFocusCon
激光聚会2021

激光技术助力半导体制造 合力打造中国芯

随着激光技术的不断发展，半导体制造中的激光应用越来越广泛且多样化。多种激光技术已经整合进入许多重要的半导体工艺中，包括激光切割、通孔、焊接、剥离、标记、测量等。它们广泛用于加工半导体器件，高密度互联印刷电路板，以及集成电路封装应用。

雅时国际商讯（ACT International）旗下《激光世界》杂志将于 10 月 28 日慕尼黑华南展（LEAP）期间，联合 LEAP 组委会举办“激光技术助力半导体制造，合力打造中国芯”技术研讨会，欢迎对此话题感兴趣的业内同仁们积极参与。

大会主题（拟定）

- 紫外激光在晶圆划片中的应用
- 超快激光用于晶圆的精密切割
- 准分子激光在半导体光刻及退火中的应用
- 激光精密打标用于半导体芯片及器件的标识
- 激光技术在钻通孔中的应用
- 激光技术用于半导体晶圆清洗

会议信息

时间：2021年10月28日
地点：深圳国际会展中心
规模：150+工程师/管理层

会议咨询

如有问题，可添加“小镭助手”
微信号“LFC-RA”进行咨询

小镭助手微信

激光技术聚焦峰会

主办单位

ACT 雅时国际商讯 ACT International

大会媒体

激光世界 LaserFocusWorld China

支持单位

慕尼黑上海光博会 LASER PHOTONICS CHINA

LaserFocusCon