光学和光电子产业的主导刊物 www.laserfocusworld.com.cn 2016年11/12月 第6期
ISSN: 1817-6917

激光世界

LaserFocusWorld® China



级联多次谐波产生全固态深紫外发射 12

2021年拉曼市场将达18亿美元，复合年均增长率近10% 5

光纤激光打标机实现更快更经济的金属微加工 21

多种应用受益于高性能Er:Yb共掺双包层光纤的进展 27

微信公众号

ACT

PennWell®

Connecting Global Competence

Messe München

SOLUTIONS IN LIGHT



为制造行业提供最佳激光加工解决方案

切割丨焊接丨打标丨修复丨钻孔丨微调丨其他

扫描二维码关注微信并回复“手机号+杂志名”，即可得“关注礼品”一份!

微信登记，赢好礼!

2017年3月14-16日

上海新国际博览中心N1、N2、N3、N4馆

中国光电行业完美展示平台

慕尼黑上海光博会

World of LASER PHOTONICS CHINA

联系我们：

展会邮箱：laser@mm-sh.com

上海电话：+86-21-2020 5500

www.world-of-photonics-china.com.cn

您的技术信息平台

一系列产品－包括
国际专业技术杂志的中文版、网上
出版物、会议、培训和活动

欢迎免费索阅或参与活动

www.actintl.com.hk

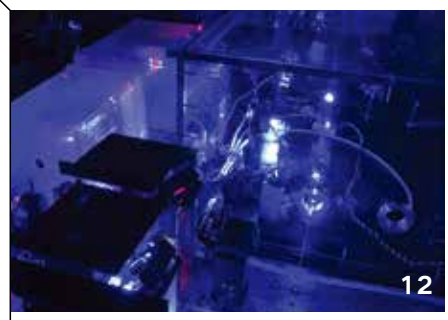


雅时国际商讯 (ACT International) 成立于 1998 年，为高速增长的中国市场中广大高技术行业服务。ACT 国际通过它的一系列产品－包括杂志和网上出版物、会议和活动－为跨国公司及中国企业架设了拓展中国市场的桥梁。 ACT 国际的产品包括十种技术杂志和相关的网站，以及各种会议，服务于半导体制造、化合物半导体、光伏/太阳能、电子制造、污染控制、激光/光电子、光通信、LED 技术、射频/微波等领域的十多万专业读者。 ACT 国际亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。 ACT 国际总部在香港，在北京、上海和深圳设有联络处。

香港	深圳	上海	北京
852-28386298	86-755-25988571	86-21-62511200	86-10-67484833



ACT Media Group



封面故事

固态激光器

级联多次谐波产生全固态深紫外发射

通过掺钕钒酸钇激光器的级联高次谐波以及和频产生，可以获得全固态深紫外光源。

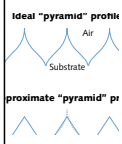
5 市场风向标



2021年拉曼市场将达18亿美元，复合年均增长率近10%

生命科学应用的快速增长，推动了市场对光谱技术的需求急剧上升。

8 光子学前沿



薄膜涂层

理解减反射膜的关键设计原则

无论是单波长还是宽带运行，减反射膜的性能可能性及局限性由许多关键的光学设计原理决定。

15 应用天地



运动控制

振镜辅助的支架加工提升下一代器件的生产能力

超短脉冲激光和振镜支持药物洗脱聚合物支架的生产要求。

18 激光微加工



超短脉冲激光微加工实现近乎完美的零件加工

超短脉冲激光加工技术的进步，消除了昂贵耗时的后处理工作。

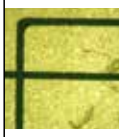
20 超快加工



超快激光器在薄片玻璃中实现微加工

科学家正在研究如何使用超短脉冲激光器将微结构蚀刻到薄片玻璃中。

21 光纤激光打标机



光纤激光打标机实现更快更经济的金属微加工

具有卓越光束质量的光纤激光打标机，可以取代传统的微加工设备。

24 技术中心



光纤激光器

无包层Yb：YAG晶体光纤纯波导激光器

更长、更薄的二极管泵浦无包层掺镱YAG（Yb：YAG）晶体激光器，已经展示了纯波导激光器运行模式。

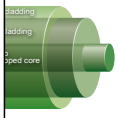
26 材料加工



基于KABRA激光器的SiC晶圆划片将生产率提升四倍

KABRA激光材料加工技术，可以将碳化硅晶圆的生产率提升到原来的四倍，并能减少材料损耗。

27 特种光纤



多种应用受益于高性能Er：Yb共掺双包层光纤的进展

稀土掺杂的双包层光纤，为光学泵浦提供了大量空间，在诸如CATV、激光雷达和医疗系统等应用中具有提升性能的巨大潜力。

32 访谈



创新的激光切割技术开创厚薄板切割新纪元

——德国普雷茨特2016年上海工博会活动后记

4 编者的话 **6 前沿简讯**
34 产品撷英 **36 广告索引**

免费下载白皮书



NIT
A World Class Supplier of CMOS Sensors

宽动态对数 InGaAs 传感器适用于眼睛安全主动成像
www.laserfocusworld.cn/NIT_white_paper.asp

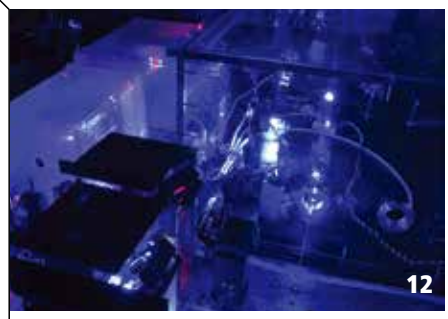
关于《激光世界》

《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



COVER STORY

Solid-state Lasers

Cascaded, multi-harmonic generation yields all-solid-state deep-UV emission

An all-solid-state, deep-UV light source is achieved through cascaded high-harmonic and sum-frequency generation of neodymium yttrium vanadate lasers.

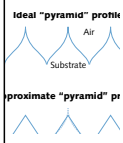
5 MARKET TRENDS



Analyst sees $1.8BN market for Raman by 2021, with an average annual growth rate of close to 10%

Rapid growth in life sciences applications behind sharp rise in demand for the spectroscopic technique.

8 PHOTONIC FRONTIERS



Thin-film Coatings

Understanding key design principles of antireflection coatings

Whether for single-wavelength or broadband operation, antireflection coatings with performance possibilities and limitations dictated by a number of key optical design principles.

15 APPLICATIONS



Motion Control

Galvanometer-assisted stent processing increases next-generation device throughput

Ultrashort-pulse lasers and galvanometers support production requirements for drug-eluting polymer stents.

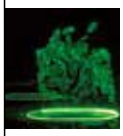
18 Laser Microprocessing



Ultrashort-pulse lasers make near-perfect walls and edges possible

The progress of ultra-short pulse laser micro-processing technology eliminates cost and time of post-processing.

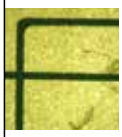
20 Ultrafast Processing



Ultrafast lasers enable micromachining in thin glass

Scientists are investigating how to use ultrashort-pulse lasers to etch microstructures into thin glass.

21 Fiber Laser Marker



Micromachining of metals is cheaper and faster with new laser technology

Fiber laser marker with superior beam quality can replace traditional micromachining equipment.

24 TECHNOLOGIES CENTER



Fiber Lasers

Unclad Yb:YAG crystalline fiber acts as purely waveguided laser

A longer and thinner diode-pumped unclad ytterbium YAG (Yb:YAG) crystalline fiber recently developed and tested by researchers has demonstrated pure waveguided laser operation.

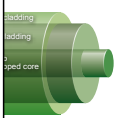
26 Materials Processing



KABRA laser-based SiC wafer slicing quadruples productivity

Using a technique called KABRA, scientists can quadruple the productivity of silicon carbide (SiC) wafer production, as well as reduce material loss.

27 Specialty Fiber



Multiple applications benefit from advances in high-performance Er:Yb co-doped double-clad fiber

Rare-earth doped, double-clad fibers offer large volumes for optical pumping, with the potential for improved performance in applications such as CATV, lidar, and medical systems.

32 INTERVIEW



Innovative laser cutting technologies open new era for thin & thick sheets cutting

——Post-report for Precitec's activities at the 2016 MWCS Exhibition

4 EDITOR'S NOTES

6 LEADING EDGE SNAPSHOTS

34 PRODUCTS HIGHLIGHTS

36 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 michaelt@actintl.com.hk
中国版主编 庞会荣 **Rossie Pang**
电邮 rossiep@actintl.com.hk

免费赠阅咨询
电话 (86) 755 2598 8571
传真 (86) 755 2598 8567
电邮 lfwc-subs@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 belforte@pennwell.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**

PennWell®

尖端技术部通讯与光电子分部
集团出版人 **Christine A. Shaw**
电话 (1) 603-891-9178
电邮 christines@pennwell.com
副出版人/总编辑 **Stephen G. Anderson**
电话 (1) 603-891-9320
电邮 stevega@pennwell.com
高级编辑 **John Wallace**
电话 (1) 603-891-9228
电邮 johnw@pennwell.com
高级编辑 **Gail Overton**
电话 (1) 603-305-4756
电邮 gailo@pennwell.com
管理编辑 **Carrie Meadows**
电话 (1) 603-891-9382
电邮 carriem@pennwell.com
执行助理 **Katherine McIntosh**
电话 (1) 603-891-9224
电邮 katherinem@pennwell.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
高级副总裁/出版主任 **Christine A. Shaw**
读者服务主任 **Gloria S. Adams**

地址 Laser Focus World, 98 Spit Brook Road, LL-1, Nashua, NH 03062-5737
电话 (1) 603-891-0123
网址 www.laserfocusworld.com

ISSN 1817-6917
© 2016 版权所有 翻印必究

激光精密微加工市场升温

技术进步与市场需求的不断发展，在以消费电子为首的各个行业中，所需要的元器件尺寸越来越小，精密度要求越来越高，这自然引发了市场对精密微加工的需求。通过 EDM 设备实现的精密微加工方式，通常存在电极损耗和加工速度方面的不足；相比之下，通过激光实现的精密微加工则更具优势。

通常使用超短脉冲激光实现材料的微加工，比如纳秒、皮秒和飞秒脉冲。由于激光脉冲的持续时间，比材料吸收激光热量的时间还短，所以这种加工方式几乎不会对工件造成热损伤，脉冲宽度越短，加工精度越高。

在本期内容中，涉及了较多微加工方面的内容。例如 Microlution 公司推出的工业级超短脉冲激光微加工平台，可以配置用于钻孔、铣削和切割，如精确地切割一只精密手表中所使用的数百个复杂齿轮，以使这些齿轮能够完美地配合在一起；加工医疗器械和微型植入式医疗器械中的各种微型槽；钻出精度达微米级的小孔等。目前，该平台已经用于汽车、医疗、消费品、生命科学和半导体行业。

另一方面，德国的一些科学家正在研究如何使用超短脉冲激光将微结构蚀刻到薄片玻璃中。这种方法可以用来创建微型孔，将完整的微流体系统蚀刻到玻璃体中，或者实现具有极高表面质量的切口。

此外，具有卓越光束质量的光纤激光打标机，也可以胜任很多微加工任务。例如 Miyachi America 公司推出的 LMF2000-SM 单模光纤激光打标机，通过独特的参数以及对这些参数的控制能力，能够实现细小特征的微加工，如在厚度为 200 μm 的钢板中钻出直径 150 μm 的孔、加工厚度仅为 50 μm 的铜箔、在厚度为 0.008 英寸的不锈钢上钻孔、在薄陶瓷片上钻孔等，其除了能用于打标外，还能用于钻孔、切割、划线和烧蚀加工，并且其比紫外激光器在成本上更加具有优势。

当然，精密的微加工与精密的运动控制过程也是密不可分的。不同于以往通过运动平台移动被加工工件的方法，在加工医用聚合物支架的过程中，通过高速振镜来使加工工具——激光束高速运动，进而减少工件的运动，既消除了工件运动带来的动态加工误差，同时又能大幅提升工件的加工效率。

制造业不断向着高端发展，市场对精密工件的需求日趋增多，更多的精密加工技术和方法也见应运而生。❑

本刊编辑部

2021 年拉曼市场将达 18 亿美元，复合年均增长率近 10%

生命科学应用的快速增长，推动了市场对光谱技术的需求急剧上升。

文/BBC Research

今市场研究公司 BCC Research 的分析师预测，在未来几年内，拉曼光谱市场将呈现强劲增长态势，这主要归功于最近的拉曼技术进步和不断扩大的应用基础，特别是拉曼技术在生命科学领域的应用。

基于来自激光器的入射光的非弹性散射，过去，拉曼技术一直具有以下缺点：拉曼频移信号非常微弱，并且容易被更强的激光诱导现象（如荧光）所淹没。

但是拉曼技术的巨大优势，是其基于分子的“指纹”信号模式来识别分子的能力，其涉及独特的振动模式和旋转模式——并且随着超灵敏探测器和复杂的时间选通电子器件的出现，信号微弱已经变得不再是问题。

CAGR高达10%

BCC Research 公司的分析师 Sinha Guarav 预测，到 2021 年，所有拉曼光谱设备的市场规模将从 2016 年的 11 亿美元，增加到 2021 年的 18 亿美元，年均增长率接近 10%。

Guarav 认为，生命科学、半导体、碳材料和材料科学将是拉曼技术的主要应用领域。其中，生命科学是规模最大的应用领域，目前的市场规模刚刚超过 4 亿美元，预计在未来五年内将增长到约 6.6 亿美元。

由于具备分子指纹识别能力，拉曼技术为区分健康组织和患病组织提供了巨大的潜力，例如为癌症筛查区分恶性肿瘤，以及帮助外科医生更有效地移除肿瘤。在脑肿瘤手术过程中，手术期间的拉曼试验正在发展之中；此外，在结肠镜检查和黑素瘤筛选的评估过程中，拉曼技术也在获得进一步的应用。

然而，Guarav 认为，半导体市场将是拉曼技术增长最快的应用领域，该市场将有望从 2016 年的 1.6 亿美元增长到 2021 年的 2.7 亿美元，复合年增长率接近 11%。



图：Cobalt Light Systems公司的Insight 200M扫描仪，能够通过拉曼光谱（特别是空间偏移拉曼光谱）识别封闭塑料容器和金属容器内的液体。目前，该拉曼系统已经在欧洲大多数主要航班枢纽中投入使用。

安全检查

拉曼技术的更高级的应用之一是用于机场安检过程中的液体检查，英国 Cobalt Light Systems 公司开发的名为 Insight 100M 的拉曼扫描仪，现在已经部署到了 70 多个机场，包括欧洲的许多主要枢纽。

Cobalt Light Systems 公司是从阿普尔顿实验室（Rutherford-Appleton）剥离出来的，该公司最近发布了 Insight 100M 扫描仪的升级版本，其利用空间偏移拉曼光谱（SORS）技术，据悉可以将误报率降低至 1.5%。

Cobalt 特别强调拉曼技术的指纹识别性质，在大多数情况下，能够直接从探测到的散射光信号中识别出威胁物质。

Guarav 表示，在技术类型方面，拉曼市场最大的单一区域与探测光谱学有关。

“在采样技术方面，表面增强拉曼散射（SERS）占据了最大的市场份额，2015 年在全球市场中的占有率为 40.9%，”Guarav 说，“在最恶劣的条件下，对样品进行实时分析的需求增加，预计这将推动 SERS 在预测期内的需求。”

此外，Guarav 还列举了几个限制拉曼市场发展的因素，例如缺乏熟练的劳动力、较高的安装成本，尽管像 Cobalt 表示他们的系统简单易用，用户仅需要最少的培训就能上手使用。❑

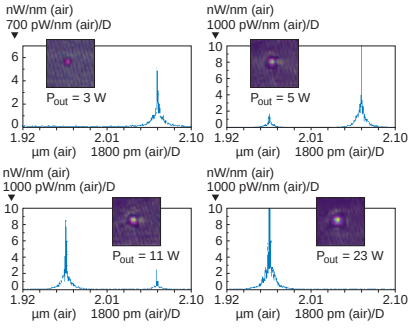
前沿简讯 Leading Edge Snapshots

低成本 2μm 激光手术刀使用陶瓷增益材料

文/Gail Overton

来自俄罗斯科学院、俄罗斯下诺夫哥罗德州立大学、NTO IRE-Polus 和莫斯科物理和技术研究所的科学家们，已经开发出了一种陶瓷激光器，其能以最小的创伤切割组织，并且从成本上看，这种陶瓷激光器的成本，比使用激光晶体材料的激光器至少低两倍。

大多数 2μm 激光器被认为是外科应用的优先选择，因为这个波长容易被人体组织中的水分子吸收，并且穿透深度小，这类激光器通常使用铥（Tm）或钬（Ho）掺杂的激光玻璃来实现高峰值功率。



然而，俄罗斯的科学家们使用 1670nm 拉曼频移铒光纤激光器（RSEFL）泵浦铥氧化镥（Tm^{3+}：Lu_2O_3）陶瓷激光器，实现连续波（CW）和 Q 开关操作，并具有卓越的光束质量。

特别地，在 1966~2064nm 的输出波段，科学家们观察到了 23W CW 输出，光 - 光转换效率达 59.1%，用于 Q 开关模式的 15W 平均功率，以及 40~80ns 的脉冲持续时间和 15~30kHz 的重复频率。不同的振荡光谱和远场分布都是激光输出功率的函数。

Lu_2O_3 倍半氧化物陶瓷，克服了在高熔融温度（高于 2400℃）下的单晶生长问题，允许以更低的成本制备具有更高铥浓度的大型增益元件。相比于 2μm 晶体激光器或光纤激光器，这种陶瓷激光器能提供更经济的外科手术和碎石术方案。❑

德国开发适用于 CFRP 工件精密钻孔的激光源

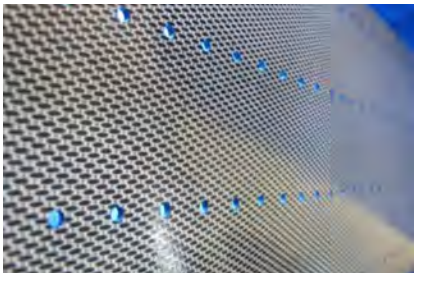
碳纤维增强塑料（CFRP）在制造轻量型产品方面颇具潜力，现已广泛用于航空领域。CFRP 具有吸引人的性能，质量轻，稳定性高，但是使用传统的机械工艺加工 CFRP 相当复杂，可能导致较高的工具磨损和质量问题。

在航空领域，CFRP 钻孔具有诱人的市场潜力，因为飞机制造商生产需要加工的孔的数量越来越多，用于铆钉和螺纹结合。这需要可靠、快速和具有成本效益的工艺来抵抗竞争，这使激光钻孔成为了传统工艺的一种理想替代方案。

在一个名为“用于航空应用的激光复合材料钻孔（LABOKOMP）”项目中，合作伙伴将重点关注使用新型高脉冲激光源进行定制加工策略的开发。

为了设计一种适合工业需要的加工过程，将向用户提供量身定制的系统、处理和监测技术。这样，可以实现高质量元件的精密和动态处理与加工。

德国汉诺威复合材料公司的激光中心将进行材料试验，以最大程



度减少激光钻削 CFRP 工件的热应力，同时通过量身定制的过程控制提高效率。除了大量制造小工件之外，过程策略可以转移到将来的大型结构组装中。❑

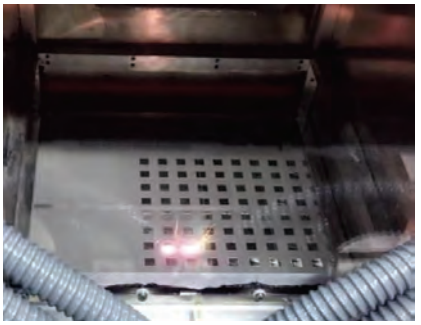
Adira 为大体积零件开发添加制造解决方案

文/David Belforte

葡萄牙激光切割机厂商 Adira，基于粉末床熔合（PBF）和定向能量沉积（DED）技术，开发出了用于制造大型金属添加制造部件的机床工具。Adira 是利用 PBF 技术制造大型零件的先驱。

该技术称为平铺激光熔融（TLM），其将现有的工作区域分割为多个更小的区域段，然后顺序处理各个小区域段。在加工过程结束时，将生产出一个大部件或几个小部件。

该系统将激光扫描仪运动与散焦能力相结合，针对结构复杂的细部轮廓形状或是更快的填充处理，分别制定不同的扫描策略，进而提高处理速度和生产率。



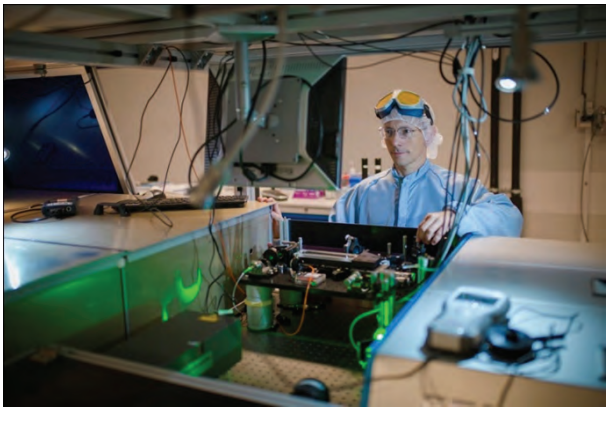
TLM 工艺使用可拆卸的模块化进料系统，用于快速更换材料，最小化机器停机时间，因为进料装置的清洗和准备工作可在机器加工时并行进行。

关于 DED 工艺，Adira 公司开发了一种称为直接激光加工（DLP）的混合工艺，终端用户可以选择通过激光切割、以减材方式进行钣金加工，或者利用激光添加制造技术进行修复、形状修改，或是通过更换处理头上的喷嘴实现三维添加制造。

独立的双料斗进料系统，可以装载不同的粉末材料，并可通过机器命令进行配置。终端用户可自由选择最适合应用的材料。另外，用于 DLP 工艺的工作台可以从机器上移除，这允许在工艺进行期间进行外部平台准备。这种并行的工作方法，可以根据用户需求定制开发。

Adira 公司将激光添加制造技术与其成熟的激光切割能力相结合，为用户提供了一种真正的三向处理解决方案，其中包括了先进的激光加工技术，这将大幅提升制造潜能。❑

瑞典正在筹建阿秒激光实验室



欧瑞典于默奥大学正在筹建前沿的超快激光系统实验室，希望能够通过该项目产生强烈的阿秒脉冲。

在今年早些时候，研究员 László Veisz 及其团队已经在重新启动并升级该系统。

“我们正在努力重新启动激光器和两个实验，”Veisz 说道，“预计这项工作将需要 12 个月。一部分工作已经在进行中，但是我们还需要花很多时间改进系统，而不仅仅是重新启动。”

Veisz 表示，这项工作的主要目标是产生强烈的极紫外（XUV）阿妙脉冲，以及“电子束”。

他希望这个独特的系统能够观察和控制电子在原子、分子、固体和等离子体中的运动。Veisz 解释说：“各种实验的目标是从气体介质或等离子体中产生不同类型的阿秒脉冲。”

该系统一旦启动并运行，它将能够产生持续时间为 100 阿秒的脉冲，这个脉冲时间已经足够短，能用于观察并影响基本的物理现象，如化学键的振荡。

Veisz 甚至认为，该系统有望在未来实现商业化，虽然他承认这将是一个长期目标。“从硬件上来看，它是一个大块头的产品，会占据光学平台上的大量空间。”他说，“我期待将来能逐步开放出体积更小的系统，以适用于商业用途。”

对于该系统的科学应用，Veisz 设想了更快的光驱动电子学、以前所未有的细节研究大分子结构，用于生物医学和“下一代”时间计量学领域。❑

薄膜涂层

理解减反射膜的关键设计原则

文/Ronald R. Willey，Willey Optical公司

无论是单波长还是宽带运行，减反射膜都是世界上最常用的膜层，其性能可能性及局限性由许多关键的光学设计原理决定。

减反射膜（AR）作为世界上最常用的光学膜层，涉及的范围从单波长（用于窄带激光器）到在非常宽的光谱波段起作用的膜层，例如380~1550nm 或 3~12 μ m。

无论是由单层还是几十层膜层构成，理想 AR 膜的基本特性及其实际效果，可以用反射率和透射率与波长的依赖关系来描述。反射率与膜厚、以及折射率与膜厚的关系，只是展示的部分内容，帮助说明现代 AR 膜技术的可能性和局限性。

减反射基础

冕牌玻璃的未镀膜表面，例如 Schott 公司的 N-BK7 玻璃，在 550nm 处的折射率约为 1.52，在整个可见光谱范围内，对入射光的反射约为 4.26%。不幸的是，在相机和显微镜的镜头中，这种反射将导致鬼像（ghost images），并且会损失所需图像通量的透射率。为了防止这种反射，Smakula 在其 20 世纪 30 年代的授权专利中提出了单层 AR 膜的思想，John Strong 在 1936 年报道了单层 AR 膜（SLAR）。[1, 2]

AR 膜的基本原理是：来自单层膜外表面的反射光和膜层 - 基底界面的反射光发生干涉。如果膜层材料的折射率（n2）等于基底折射率（n3）和周围介质折射率（n1，空气或真空）乘积的平方根（SQRT），则可以消除反射（使其为零）。也就是说，n2 = SQRT(n1*n3)。

本质上而言，在膜层前、后表面反射路径延迟为 180°（或其倍数）的波长处，即该波长的四分之一波长光学厚度（QWOT），反射率将为零。例如，在 510nm 处，通过在折射率为 1.52 的基底上沉积折射率为 1.52 的平方根（1.233）的膜层，将满足该条件（见图 1）。

单层增透膜

对于上述的 N-BK7 基底，折射率约为 1.38 的氟化镁（MgF_2）将会产生约 1.26%（不是 0%）反射率。另一种在设计波长处（QWOT）产生 0% 反射率的情况，是基底折射率为 1.9，膜层折射率为 1.38，例如 MgF_2。折射率为 1.9 的玻璃基底，在未镀膜时的反射率为 9.63%，但在这种情况下，MgF_2 的 SLAR 膜层将 550nm 的设计波长处的反射率减小至 0%。

这种 MgF_2 SLAR 膜层对于波长为 550nm 的激光器而言，是非常合适的 AR 膜层，也可以根据需要调整膜层厚度，使其在某些其他激光波长为 QWOT。

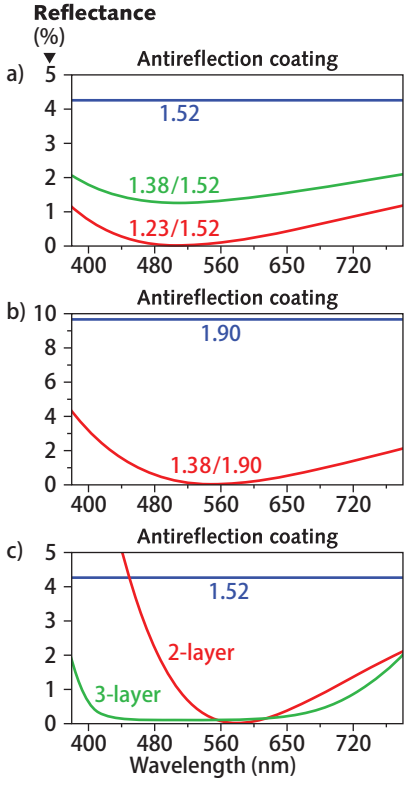


图1：（a）未镀膜的N-BK7玻璃（蓝色曲线），带有MgF2单层膜（折射率为1.38，绿色曲线）和折射率为1.233的单层膜（红色曲线）的反射率光谱曲线。（b）折射率为1.9的未镀膜玻璃，带有光学厚度为一个QWOT、折射率为1.38的单层膜的反射率光谱曲线。（c）用于波长为580nm激光器的双层AR膜系设计（V-Coat），和三层宽带减反膜（BBAR）的反射率光谱曲线。

II-VI INFRARED

CO2激光镜片
- 聚焦镜
- 反射镜
- 扫描激光系统



II-VI HIGHYAG

BIMO-FSC光纤激光切割头



红外光学材料
- 硒化锌
- 硫化锌
- 硫化锌多光谱



BIMO激光焊接头





QCS 光纤激光切割头

LLK光纤光缆



贰陆红外激光（苏州）有限公司

电话：+86-400-858-1126　传真：+86-512-67671207

电邮：infosz@ii-vi.com.cn 网址：www.ii-vi.com.cn

地址：江苏省苏州市工业园区星汉街5号D幢01楼01-02单元

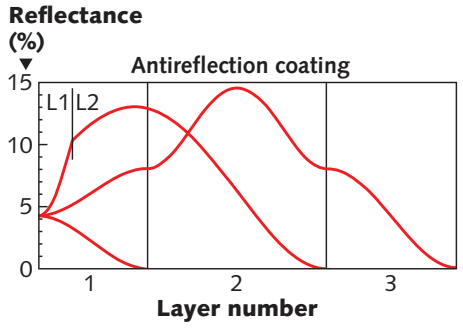


图2：单层、双层和三层AR膜在设计波长处的反射率随膜层厚度的变化关系曲线。

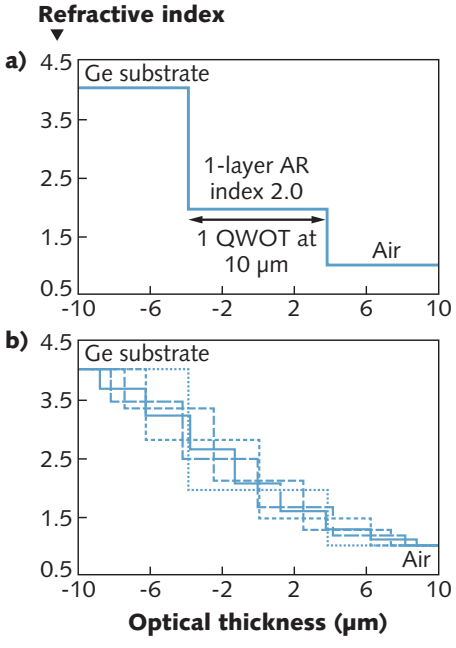


图3：在折射率为4.0的基底上沉积折射率为2.0的QWOT层，以便在设计波长处获得最佳的AR膜层，图（a）所示为折射率与厚度的关系曲线。对于更宽的宽带膜层，可按照规定的折射率递减分布，增加额外的膜层（b）。

两层和三层AR膜层

对于单波长（或窄带宽）激光器用的 AR 膜层，通过使用高、低折射率两种材料克服折射率的限制是很实用的。本质上，首先在基底上沉积一层适当厚度的高折射率（例如 2.3）材料的薄层（非 QWOT），使得基底与新膜层的组合更像上述的折射率为 1.9 的玻璃基底，这样，折射率为 1.38 的膜层对于这个组合而言，更接近理想的 AR 膜层折射率（在设计波长处）。

这种高、低折射率材料的组合通常被称为“V 形膜”，因其接近 0% 反射率的带宽较窄，曲线接近“V”形。实现更宽带宽减反射膜的另一选择是在 N-BK7 基底上沉积三层宽带 AR（BBAR）膜层。该膜系结构包含一层中等折射率（1.65）的一个 QWOT 层，一层高折射率（2.1）的两个 QWOT 层和一层折射率为 1.38 的一个 QWOT 层，该膜系结构有时被称为 QHQ 或 MHL 设计。

通过在 N-BK7 玻璃上沉积折射率为 1.233 的单层膜，和上述的两层和三层膜系的反射率光谱曲线图（见图 2），可以进一步理解减反射膜层设计。SLAR 膜层反射率从裸基底的 4.26% 单调下降到 0%。双层膜在设计波长处的反射率，在薄的高折射率膜层中，随着厚度的增加而升高，反射率在低折射率层中进一步升高，直至反射率掉头，随后下降至 0%。三层膜的反射率在第一层膜和第二层膜的前半层中逐渐升高，随后在最后一层膜中下降至 0%。这种三层设计是世界上大多数 BBAR 膜层的基础。

理想的BBAR

为了设计能够在尽可能宽的波段工作的膜层，可以采用一些简单的设计原理。如果在红外波段存在折射率为 4.0 的基底，例如锗，那么平方根方程意味着最佳的 QWOT AR 膜层的折射率将为 2.0。如果使用两层膜，它们的折射率和厚度可以进一步优化，以获得更宽的 AR 波段（见图 3）。

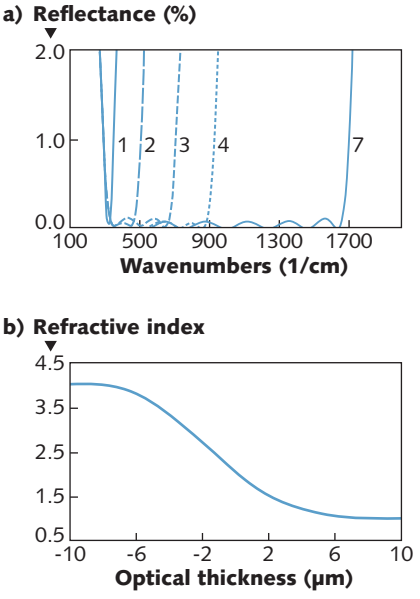


图4：（a）图3中七个折射率分布的光谱反射率结果，横坐标为波数（频率，1/cm）；（b）从图3（b）中得到的理想的折射率/厚度分布。

通过遵循递减折射率 / 厚度分布曲线中的折射率，可以将该流程扩展到三层、四层、五层，甚至更多层。

为了更好地展示这些折射率递减的分布曲线，横坐标为波数（1/cm）或频率（见图 4）。需要指出的是，每种设计的带宽随着阶数（层数）的增多而增加。所有这些设计最初均是在约 300cm^{-1}（最长波长 33.3μm）的最低频率处，具有优良特性的 AR 膜层。AR 波段的最高频率或最短波长取决于阶数。[3]

在无限层数的极端情况下，折射率分布将呈现高斯形状。这种理想的 AR 膜层的总厚度，略大于通带中最长波长或最低频率（300cm^{-1}）的两个 QWOT。这种理想的 AR 膜层，将从最长的波长扩展到所有更短的波长！

光刻织构表面

随着光刻技术和可刻蚀材料的迅速发展，现在可以制造出机械表面，

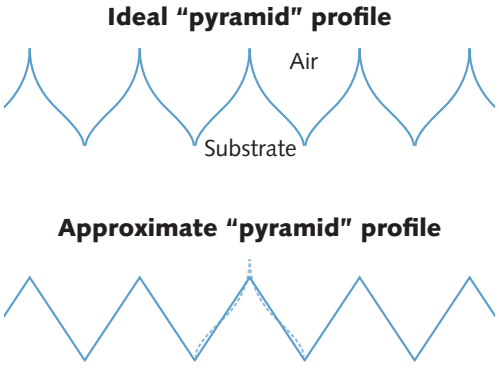


图5：可以通过光刻刻蚀基底，在基底表面形成微观表面轮廓，可以提供理想AR膜层的近似。

其织构 / 形状在微观尺度上产生接近于非常宽的 BBAR 膜层所需的折射率 / 厚度分布。这种刻蚀表面的各个特征的高度和宽度，必须小于所需 AR 波段中的最短波长。

对于刻蚀的 AR 膜层，理想的结构是一系列具有弯曲斜面的金字塔型（见图 5）。这里，在任何给定的垂直面，空气（或真空）和基底材料的平均面积比，与图 4 左侧所示的轮廓匹配。但是在一些应用中，具有直边缘的金字塔型轮廓，足够为一些 AR 膜层应用提供理想刻蚀分布的充分近似。

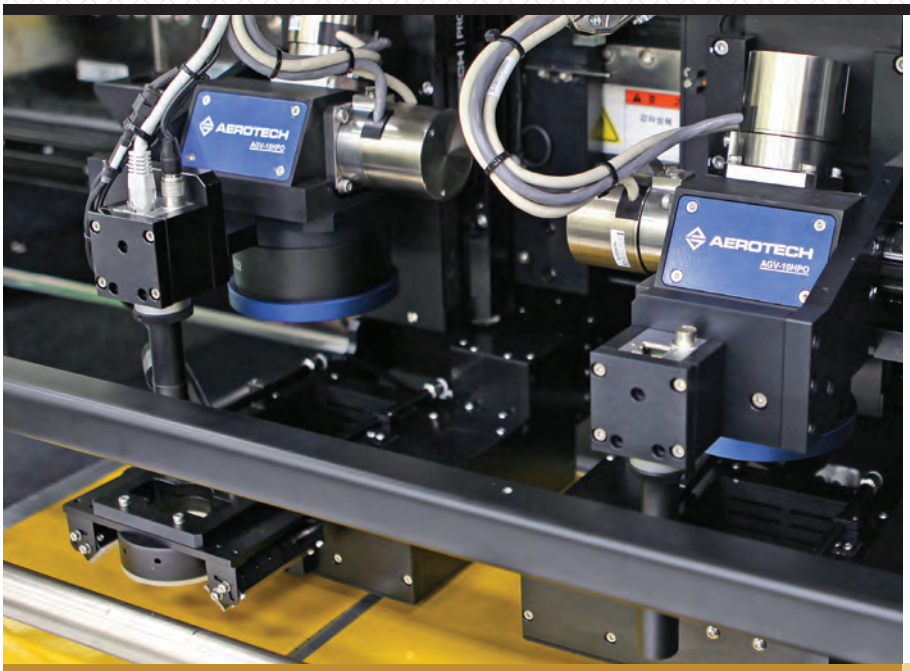
对于非常宽带的 AR 膜，从基底到介质（通常为空气或真空）的理想折射率 / 厚度分布，是从基底折射率开始的高斯状曲线，经过约为减反射带中最长波长处的一个半波光学厚度的厚度 / 距离后，到达介质的折射率。这可以通过用于较窄 AR 波段、均匀折射率的较简单膜层，或者通过对某些材料进行光学刻蚀来近似获得。

最后，对于某些仅在单一波长（例如激光器）需要 AR 带的特殊情况，单层或双层 AR 膜层可以工作得很好。❑

参考文献

1. O. Smakula, "Verfahren zur Erhoehung der Lichtdurchlaessigkeit optischer Teile durch Erniedrigungdes Brechungsexponenten an den Grenzflaechen dieser optischen Teile," German patent DE685767 (C) (1935).
2. J. Strong, J. Opt. Soc. Am., 26, 1, 73–74 (1936).
3. R. R. Willey, Practical Design of Optical Thin Films, Fourth Edition, Sec. 2.10, Willey Optical, Consultants, Charlevoix, MI (2014).

Aerotech全新的
Nmark和AGV-HPO
扫描振镜电机
精准 • 稳定 • 灵活 • 可细分 • 经济



高精度
1微米精度

高稳定性
兼顾长时间工性能

配置灵活
10到30mm孔，兼容不同波段激光波长

易于集成
无布线干扰激光束运动

经济实惠
开放式框架设计降低成本

Ph: +86 (21) 3319 7715 • Email: sales@aerotech.com • www.aerotech.com
WORLD HEADQUARTERS: USA
THE AMERICAS • EUROPE & MIDDLE EAST • ASIA-PACIFIC

AEROTECH® Dedicated to the Science of Motion

AH0416B-LPM-ZH-CN

固态激光器

级联多次谐波产生全固态深紫外发射

文/Peter Koch，Jurgen Bartschke，Johannes A. L'huillier

通过掺钕钒酸钇激光器的级联高次谐波以及和频产生，可以获得全固态深紫外光源，用于替代准分子激光器，并具备高光束质量和高稳定性的额外优点。

很多应用对于波长短于 200nm 的深紫外（DUV）光谱区域的相干辐射非常感兴趣，例如光刻、计量、光谱学以及光纤布拉格光栅（FBG）的制造等应用。这些应用中的大多数，都受益于窄线宽和衍射极限的光束轮廓。例如，使用干涉刻写技术，由于自变迹（self-apodization），FBG 的最大长度受限于刻写激光器的带宽。

虽然没有可以在 DUV 光谱范围内提供直接激光发射的固态激光材料，但是氟化氩（ArF）准分子激光器能直接发射 193nm 的激光，输出功率高于 100W，其主导了类似光刻这样的高功率应用。

相比之下，全固态 DUV 光源则为计量和 FBG 制造这类低功率应用提供了诸多优点。这些全固态光源是通过红外（IR）激光器的频率转换实现的，提供具有比 ArF 准分子激光器更为优越的光束质量和优异的光谱性能，但是全固态 DUV 光源的实现，仍然是一项非常具有挑战性的工作。

对于半导体工业中的计量应用，例如复杂步进光学元件的表征，193.368nm 的发射波长和窄带宽是必要的；而对于 FBG 制造应用，在 DUV 光谱范围内短于 200nm 的任何波长，都足以胜任该任务。

红外转换

全固态 DUV 光源通常是基于 IR 固态激光器的级联二次谐波产生（SHG）、和频产生（SFG）和差频产生（DFG）来实现的。因此，可能的概念，包括基频波长和转换方案的选择，都由在 DUV 光谱范围内提供相位匹配和透明度的材料所决定。

市面上易于获得的具备这些必要性质的非线性晶体包括：硼酸钡（BBO）、三硼酸锂（LBO）、四硼酸锂（LTB）、六硼酸锂铯（CLBO），以及最近的氟代硼铍酸钾（KBBF）。然而，由于其片状结构，只能得到仅几毫米长的 KBBF 晶体。因此，KBBF 主要用于皮秒和飞秒脉冲的有效转换，尚不足以用于有效转换窄带纳秒脉冲。

由于 BBO、LBO、LTB 和 CLBO 晶体的低双

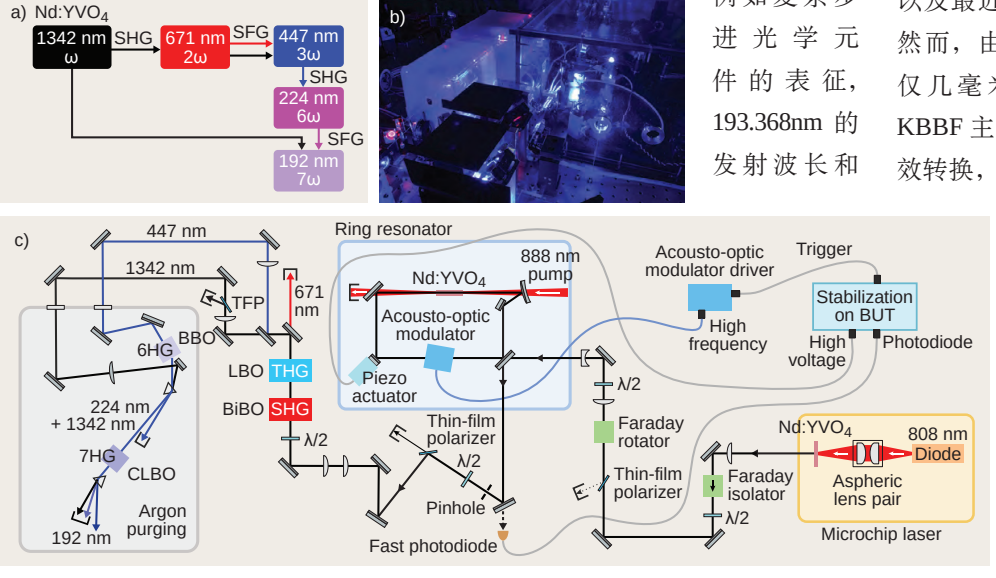


图 1：图中的转换方案（a）详细描述了如何产生 1342nm Nd：YVO4激光的七次谐波，以及产生单模深紫外（DUV）激光系统（b）的实验装置（c）。

折射，短于 200nm 的 DUV 辐射只能通过长于 200nm 的 UV 光源，使用可见光或 IR 辐射通过和频产生获得。由于 LTB 只具有小的非线性，大多数窄带、全固态 DUV 光源在最后的和频、混频阶段使用 BBO、LBO 或 CLBO 晶体。

之前，基于钛宝石（Ti:sapphire）主振荡器和功率放大器、光纤放大器，以及 1μm 钕（Nd）激光器，或组合使用上述光源的 DUV 光源已经得到展示。由于 Nd 激光技术的可靠性和成熟度，许多用于从全固态频率转换到 DUV 的方法，都从 1064nm 的基频波长开始。然而，和频、混频产生 190~200nm 波长的 DUV，需要参量转换级，这不但限制了效率，并且需要带宽窄化。

七次谐波产生DUV

获得短于 200nm DUV 光谱范围的一个比较有吸引力的替代方案，是利用 1342nm 掺钕钒酸钇（Nd：YVO_4）激光器的级联 SHG 和 SFG，产生波长为 191.7nm 的七次谐波。这对于制备 FBG 尤其有意义，FBG 加工不需要 DUV 光谱范围内特定的波长。

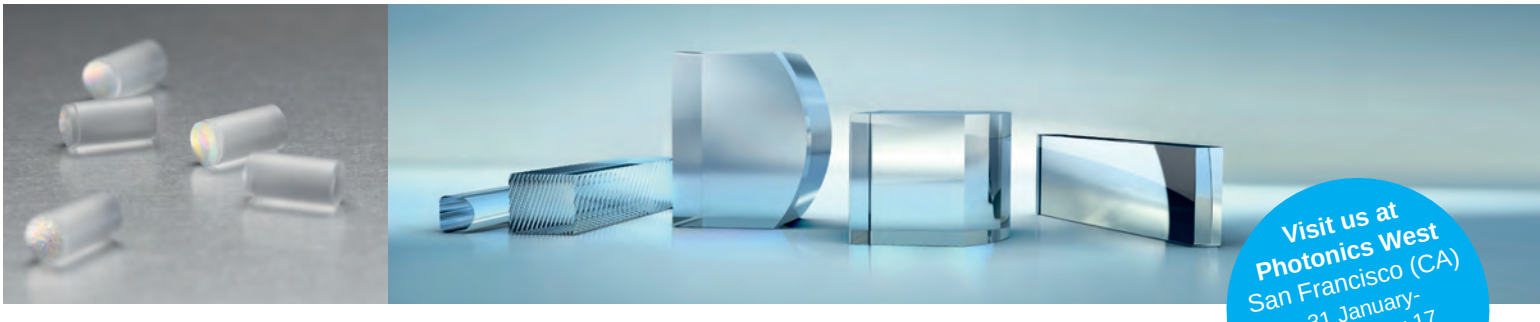
在这种转换方案中，存在四个转换级，在硼酸铋中产生 671nm 的二次谐波（BiBO 中的面积 SHG），在 447nm 通过将二次谐波与基频进行和频混频产生的三次谐波（LBO 中的 THG），通过将三次谐波倍频在 224nm 处的六次谐波（BBO 中的 6HG），以及最后通过将六次谐波与基频进行和频混频，以产生 191.7nm 的 DUV 光源（CLBO 中的 7HG）（见图 1）。

前两个转换级使用非临界相位匹配，允许使用长晶体，而没有走离和有限角接受带宽的有害影响。这些级联的高次谐波产生方法，使 Photonik-Zentrum Kaiserslautern 团队展示了宽带、单纵模 DUV 源。

宽带DUV

宽带设置基于多纵模调 Q 1342nm Nd：YVO_4 激光器，其提供 15.2W 的平均功率和 16.3ns 的脉冲持续时间，脉冲重复频率为 10kHz，光谱带宽为 29GHz。[1] 激光器具有 <1%的非常低的脉冲能量波动，以及衍射极限光束质量（M^2 <1.1）。

通过利用相位不匹配 SHG 过程的非线性相移来优化三倍频级。[2] 原则上，这种相移是由未转换的基频与



Visit us at Photonics West
San Francisco (CA)
31 January-
2 February 17
Moscone Center
South Hall
Booth 2330

FISBA
激光二极管和电信/数据通信应用的定制光学元件

慢轴准直透镜(SACs) 非球面设计能够实现单管的出色准直性能

快轴准直透镜(FACs) 提供针对覆盖420到1550纳米特定波长和各种有效焦距的优化设计

用于光纤准直的高精度柱镜具有极高的中心度和直径公差

FISBA Innovators in Photonics

Rorschacher Str. 268
St.Gallen 瑞士

电话 +41 71 282 31 31
传真 +41 71 282 31 30

info@fisba.com
www.fisba.com

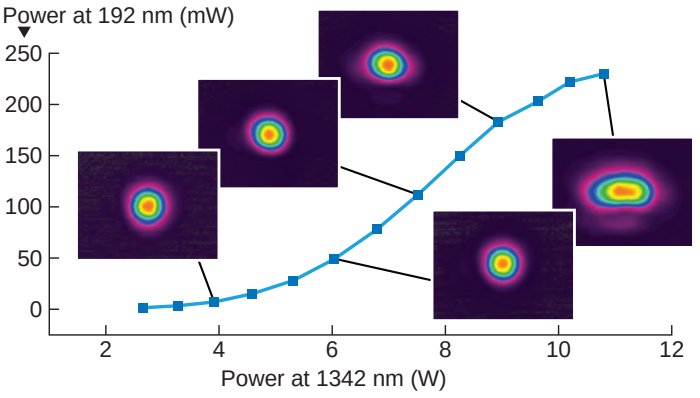


图2：192nm处平均功率相对于可变衰减器之后的1342nm处功率的关系图。插图显示出了七次谐波在对应的输出功率下的光束轮廓。

基模的叠加引起的，这由二次谐波的后向转换产生。这种非线性相移是基频克尔样自作用的原因。利用这种自作用，可以匹配 THG 晶体中二次谐波和基频的光束直径，显著改善三次谐波的光束质量。通过失谐 SHG 晶体的相位匹配温度，优化基频到二次谐波的功率比和空间重叠，从基频到三次谐波的转换效率以及三次谐波的光束质量，得到最优化。

在 SHG 级前使用偏振旁路，用于分走 1342nm 的一部分功率，以避免在最后转换级中使用残留的 1342nm 光束。与残余光束相反，旁路的 1342nm 光束具有卓越的光束质量，这改善了 7HG 转换级的性能和光束质量。对于 38% 的旁路，已经展示了在 191.7nm 处高达 240mW 的功率，对应 1.8% 的总效率。在可变衰减器之后的总泵浦功率为 9.45W 时，获得了具有高斯形光束轮廓和 M^2 <1.9 的 190mW 功率(总效率 2%)。

使用 25% 的旁路和 8W 的总泵浦功率，展示了 M^2<1.7 的甚至更好的光束质量，在 191.7nm 处获得了 155mW 的输出功率。七次谐波的脉冲持续时间为 12.1ns，并且由于多纵模运行，脉冲能量波动相当高(<10%)。

单模DUV

单模 DUV 装置基于注入锁定的调 Q 1342nm Nd：YVO_4 环形激光器，其平均功率为 13.9W，脉冲持续时间为 18.2ns，脉冲重复频率为 10kHz。[3] 脉冲能量波动非常低（<0.6%），光束质量 M^2 <1.05。种子激光器是连续波（CW）单频 Nd:YVO_4 微芯片激光器，并且环形谐振器采用建立时间（BUT）方法来稳定。

在二次谐波级，单模调 Q 激光在 11ms 的测量时间内，展示出 45MHz 的光谱宽度，而长期光谱宽度为 75MHz，这是由振动以及通过 BUT 缩短调制腔长实现稳定而展宽的。通过 BUT 缩短调制腔长实现稳定，以及用于转换到 DUV 光谱范围的实验装置，是宽带装置的优化版本。

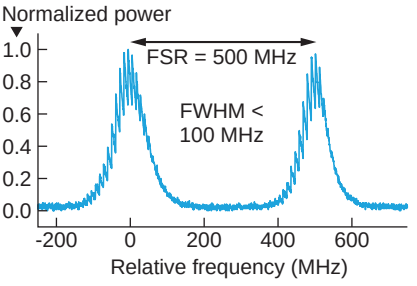


图3：使用具有500MHz自由光谱范围（FSR）的自制扫描共聚焦法布里珀罗干涉仪，测量192nm DUV光源的光谱宽度，测量持续时间小于10ms。

类似地，6HG 和 7HG 在氩气吹扫的密封箱中进行，以避免晶体和棱镜的退化。在我们的单模装置中使用了 22% 的偏振旁路。为了避免在 7HG 级之后对分离棱镜的损伤，我们将可变衰减器之后的总功率限制为 10.8W。在总功率为 10.8W 的情况下，我们的七次谐波装置在 191.7nm 处产生了 230mW 的功率水平，对应于 2.13% 的总效率（见图 2）。

但是因为七次谐波的光束质量在泵浦功率高于 8.94W 时轻微恶化，所以该泵浦功率水平是更好的选择，并且仍然获得了非常可观的 191.7nm 下 185mW 的功率水平和 2.07% 的总效率。在这个工作点，我们的窄带 DUV 光源具有 9ns 的脉冲持续时间，M^2<1.5，以及由于其单纵模运行而具有 <3% 的非常低的脉冲能量波动。

最后，我们的 DUV 光源由具有 500MHz 自由光谱范围的自制扫描共聚焦法布里珀罗干涉仪（FPI）进行了表征（见图 3）。对于短于 10ms 的测量时间，光谱宽度小于 100MHz 半高全宽（FWHM）。增加与谐振器稳定相关的振动和频率抖动，长期光谱宽度值在 240MHz FWHM 的量级。由于其在 191.7nm 的高相干性，我们的 DUV 光源非常适合 FBG 生产线中的长光栅刻写应用。❑

参考文献

1. P. Koch et al., Opt. Express, 22, 11, 13648–13658 (2014).
2. P. Koch et al., Opt. Express, 23, 10, 13648–13658 (2015).
3. P. Koch et al., Opt. Express, 23, 24, 31357–31366 (2015).
4. P. Koch et al., Appl. Opt., 55, 8, 1871–1877 (2016).

运动控制

振镜辅助的支架加工 提升下一代器件的生产能力

文/Scott Schmidt，David Gillen

超短脉冲激光和振镜支持药物洗脱聚合物支架的生产要求。

圆柱激光微加工成为支架生产的标准手段，已经有些时日了。在这种应用中，典型的运动控制解决方案是使用两个伺服电机控制的平台，即由线性轴承载的旋转轴，位于通过共轴气体辅助喷嘴传输的固定激光束下方。

在过去几年中，特定的平台选择已经发生了变化，开始于皮带或螺杆驱动的线性和蜗轮蜗杆旋转平台，最终聚焦于用于两个轴的直接驱动技术。虽然这种演变已提供了大量的处理时间和部件精度改进，但是基本架构本身可能正在接近其优化的基本极限。

对当前的圆柱激光微加工系统的分析产生以下结论：

1、这种系统性能的两项确定的性能指标是生产单个部件的周期，以及最终部件的总体形状误差。此外，周期相对形状误差的比较曲线，是对于开发任何给定支架切割系统自然的指标（见图 1）；

2、可实现的加速度值受到线性平台的移动质量与电机力比，以及（类似地）旋转平台的旋转惯性 / 电机转矩比的约束；

3、零件中引起的所有动态误差，源自轴速度（即加速和减速）的变化，在恒定（或零）速度下无动态误差产生；

4、结合结论（2）和（3），我们可以确定，随着质量 / 力或惯性 / 转矩比降低，部件生产量和 / 或周期将受到影响。

介入心脏和神经装置技术已朝着更小直径的支架发展，这恶化了上述结论（1）中的周期 / 形状误差图。较小的支架意味着不太有利的惯性 / 扭矩比，因为与该（可能更小的）旋转台的固有惯性相比，工件夹具（通常是精密夹头）变得大体上更为显著。此外，这些较小的直径具有较小的周长，因此旋转台需要更快速的加速，以保持部件上相对激光相同的表面速度。如上所述，更高的加速度等同于更大的误差。

介入医疗装置的制造商面临许多新的挑战，并且这些可以通过三个标题总结：

1、现有和更小直径的支架，更快吞吐量的需求；

2、引入新材料；

3、改变激光源。

更快的吞吐量

当一个新的医疗设备投放市场时，制造成本不是主要的驱动因素，并且费用将被分摊以确保设备投放到市场，满足投资者的期望，并保持股价。然而，随着器件的成熟，制造商将通过降低制造成本以寻求提高效率。

降低成本的关键是提升生产系统的吞吐量，确保资本支出保持在最低水平。然而，这种吞吐量的改进不能以牺牲精度为代价。

新材料

基于不锈钢的裸金属支架（BMS）被引入，作为提供机械支撑和防止动

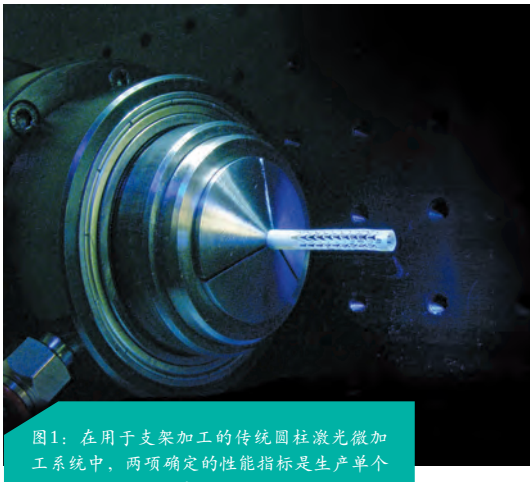


图1：在用于支架加工的传统圆柱激光微加工系统中，两项确定的性能指标是生产单个零件的周期和最终部件的总体形状误差。

脉壁在球囊血管成形术后闭合的手段。不锈钢被替换为生物相容的记忆合金，如镍钛诺，改善了支架在动脉内的输送和扩张。

尽管生物相容，BMS 可能导致血栓形成和炎症，因此医疗器械公司寻求了新方法来预防这些继发性并发症。一种方法是用可降解聚合物涂覆 BMS，释放随时间抑制组织生长的药物并防止动脉再狭窄。这些被称为药物洗脱支架（DES），并已超越 BMS 作为支架的选择。

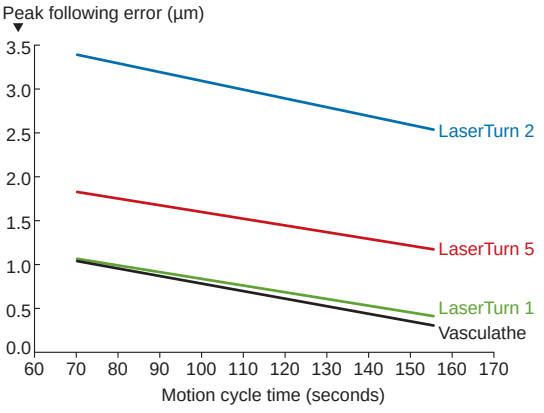


图2：使用超短脉冲激光器和振镜来切割聚合物支架，使得能够在确保材料钝化并去除所有粗糙边缘的同时提高吞吐量。

第三种途径是完全除去金属组分，并且由生物可吸收材料制成支架。这些生物可吸收支架可以由诸如镁、锌和聚乳酸的材料制成，并且需要非标准激光切割技术，以确保低热输入，高耐受性制造。

新激光源

最初，使用适合于不锈钢的基于 YAG 的激光系统切割 BMS。引入镍钛诺与使用基于光纤的激光切割系统的增加同时发生。光纤激光器可以高达 60kHz 脉冲工作，给出更精细的热输入控制。这允许支架撑杆宽度甚至进一步减小，亚百 μm 变为工业规范。

通常，支架必须经过一系列后处理步骤，以确保材料被钝化，并且所有粗糙边缘被去除。这些后处理步骤降低了生产线吞吐量，并增加了制造成本。

有两个原因让超短脉冲（超快）激光器成为用于支架生产的成功的新工具。首先，超短脉冲激光器对材料具有较低的热影响，并且可以减少表面碎屑的积聚，这是引入它们的主要营销工具。也就是说，缺乏使用超短脉冲激光器降低后处理成本的证据。边缘仍然需要通过电抛光进行平滑，并且鉴于超短脉冲激光器的高成本，要获得广泛接受需要进行更深入的经济论证。

其次也是更重要的，是超短脉冲激光往往是材料无关的，现在可以用亚十 ps 激光源加工几乎任何医疗设备材料。当考虑机器材料如聚乳酸时这是重要的，其不存在 1μm 的吸收。

在支架制造中，尚未完全利用的超短脉冲激光器的一个重要特性是：高重复频率（高达 500kHz）。该高脉冲频率允许激光器相对于支架以高速（米 / 秒）移动，同时仍保持足够的脉冲重叠。采用线性平台的传统支架制造受到系统动力学的限制，不能达到这样的高速度，从而限制了超短脉冲激光器的主要益处之一。

考虑到在支架生产中推进技术的需求，在保持部件精度的同时，实现总体系统动力学所需的增加，似乎不可能通过传统的线性和旋转轴实现。那么可以做什么呢？

推进支架生产技术

一种可能的解决方案可以是新的旋转平台设计。当工件变得更小（或者甚至保持相同尺寸，但需要多个加工往返）时，与线性平台相比，旋转轴通常是限制因素。我们可能试图设计具有减小惯性的更小旋转台，或者可能发明不同于当前使用的精密夹头机构的工件夹持策略。然而，较小的夹具不那么硬，并且具有较小的闭合表面，在夹紧和加工期间产生较大的轴向和径向误差。在不久的将来，同时解决这些问题似乎不可能。

另一种解决方案是设计一个从根本上不同的策略，用于将激光输送到零件。与其使用静态工具（激光光斑）和移动工件，为什么不替代分配一些所需的高速运动到工具？换句话说，我们应该考虑使用安装在工件顶部的高速振镜系统，并移动激光器，而不是移动部件（见图 2）。

仍然需要线性和旋转平台（如下面场景中所定义的旋转，以及线性以实现零件向前移动和截止），但是它们所

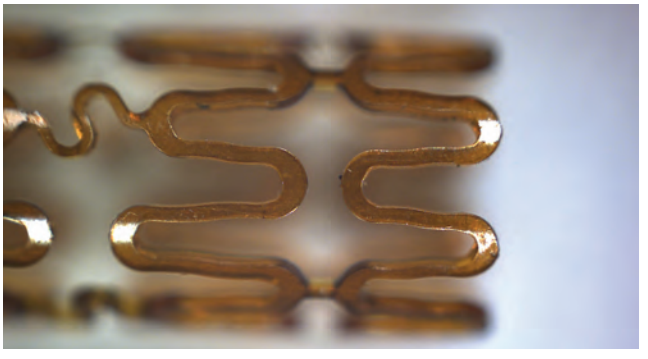


图3：支架加工使用高扫描速度结合多道切割策略，使得热输入保持在最小；可以获得20μm的支柱厚度。

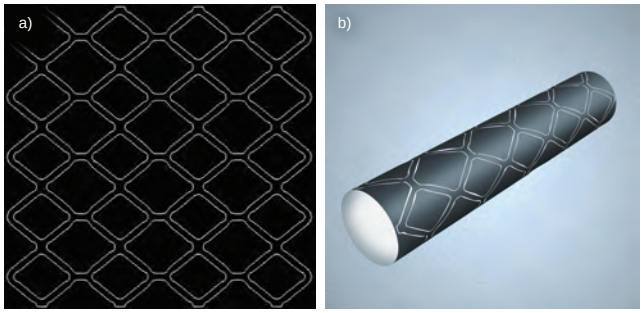


图4：改进支架加工的一种方法是首先将支架向量图样转换成位图图像（a）；当光束沿着支架轴向来回扫描时，旋转台在下方单向旋转，以继续将支架的整个圆周暴露给扫描束斑（b）。

需的动力学将少得多，基本上消除了它们对动态误差的影响。我们可以通过至少两种不同的方式来实现这一点。

子图样处理

在子图样处理中，将完整的支架图样分成每个单独的子图样，然后通过双轴振镜执行该子图样轮廓。线性和旋转平台仅用于从一个子图样位置移动到下一个子图样位置。一旦在正确的位置，调用相关的子图样轮廓，由振镜切出形状。

该方法允许振镜以非常高的速度移动激光器，在多次来回过程中切割材料。考虑到高扫描速度加上多道切割策略，热输入保持在最小，并且可以获得 20μm 的支柱厚度（见图 3）。

由于与切割相关的所有加速，都是当线性和旋转平台静止时执行的，所以主要是振镜反射镜的动态响应将影响精度，并且考虑到这些反射镜的小质量，精度得到优化。

子图样加工有相关的许多优点。然而，需要考虑权衡这些优点。使用振镜固有地允许进行离轴切割，这可以给许多医疗装置带来功能益处。然而，对于支架制造，其将意味着支柱壁将具有锥度变化。这种支柱锥形（这意味着壁不再是垂直的）可能引起支架放置的问题，在没有测试前可能是好事，也可能是坏事。

恒旋转振镜扫描

采用振镜扫描技术进行支架制造的第二种方法，是将支架向量图样转换成位图图像，并光栅扫描激光器，沿着每次通过在适当的像素位置发出脉冲（见图 4）。[1] 图像后处理将位图转换成定义像素的点阵（黑白或灰度）。

当光束沿着支架轴向来回扫描时，旋转台在下方单向旋转，以继续将支架的整个圆周暴露给扫描束斑。扫描器的一个轴（主轴）执行线性扫描，而第二轴（次轴）在单个光栅线中补偿工件的旋转（即确保线在工件上不是对角线）。

一些源于高级运动控制器的“即时标记”功能，促进了旋转台和次扫描轴之间的同步。选择旋转速度和扫描速度，使得激光光斑不“走离”工件或变得散焦。

线性平台轴在零件加工过程中根本不移动，旋转平台以恒定速度（无加速度）移动。结果，粗略的轴对动态误差没有影响。主扫描器轴在部件加工期间不加速，因为它在实际图样外反转扫描方向。次轴具有一些小的加速度向量，但肯定不足够大到可以在伺服平台动力学的级别上贡献误差。

面对越来越大的技术挑战，提高部件吞吐量必须满足新的和创新的制造策略。这里概述的方法提供了一些关于此主题的新思维，并且可以推动行业令人振奋的未来增长。❑

参考文献

1. S. Schmidt, "Laser raster scanning patterns on cylindrical workpieces using advanced drawing post-processing tools," Medical Design Briefs (Jul. 1, 2015).



激光微加工

超短脉冲激光微加工实现近乎完美的零件加工

文/Bill Peatman，Microlution公司

超短脉冲激光加工技术的进步，消除了昂贵耗时的后处理工作。

世界上需要的各类产品对更小、更智能零部件的需求，正在激励着激光微加工领域中不断涌现出激动人心的创新。超短脉冲（USP）激光微加工的不断进步，正使得超快技术从一种科学研究工具演变成实用的工业微加工解决方案（见图 1）。

由于飞秒激光脉冲的持续时间，比被加工的材料能够吸收热量所需要的时间更短，因此飞秒激光脉冲能够以极高的精度去除材料，并且不会产生任何热影响区（HAZ），也不会对加工的工件造成热损伤。此外，因为加工工具是光，所以它是一种没有磨损的加工方式，因此没有因为工具衰减而引发的加工效果变化。相比之下，这些机械微加工方式中，热损伤和工具磨损，以及较慢的脉冲激光加工技术，限制了加工可以获得的精度，并且还将需要昂贵、耗时的后续处理工作。

图 2 中显示了使用纳秒、皮秒和飞秒这三种不同脉冲宽度的激光钻出的小孔。从图中可以明显地看出，使用飞秒激光脉冲钻出的小孔，拥有近乎完美的表面和边缘质量，没有热影响区和热损伤的情况发生，因为也就消除了昂贵耗时的后处理需求。



图1：超短脉冲激光微加工的不断进展，正使其从一种科学研究工具演变为实用的工业微加工解决方案。

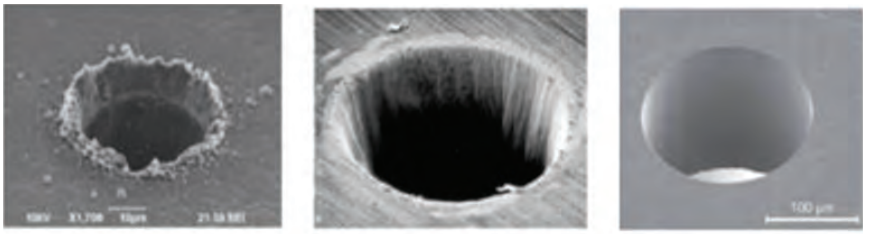


图2：使用纳秒、皮秒和飞秒这三种不同脉冲宽度的激光钻出的小孔对比图。

新兴应用

超短脉冲激光微加工的一种新兴应用是为微型零件创建完美垂直壁，使复杂的运动和连接成为可能。过去，上述特征通常是使用电火花加工（EDM）技术来实现的，但是在许多情况下，使用超快激光器可以实现更好的加工效果和更短的加工时间。

手表齿轮。一只精密的手表，通常包含了数百个复杂的齿轮，这些齿轮必须非常完美地配合在一起，以实

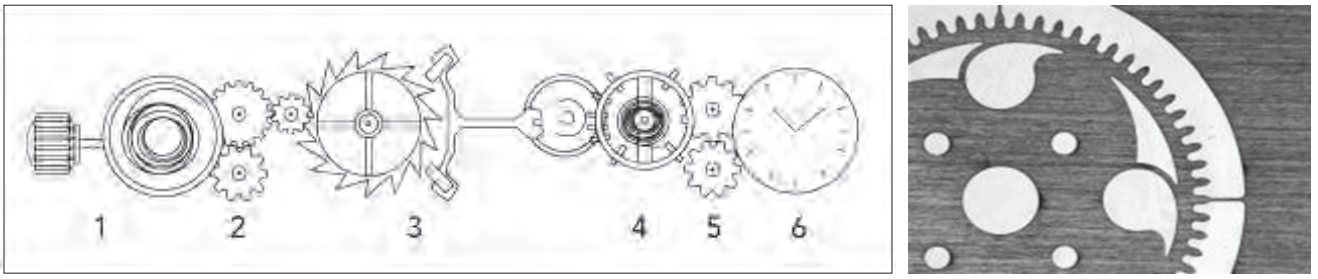


图3：超短脉冲激光技术能够精确地切割一只精密手表中所包含的数百个复杂齿轮，这些齿轮必须完美地配合在一起。

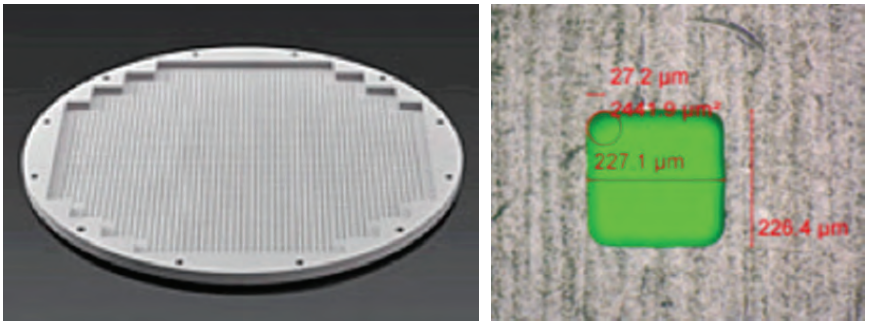


图4：超短脉冲激光平台，能够以极高的速度和精度加工出这些微孔，显著缩短了加工时间、提高了部件质量。

现精准的计时功能（见图 3）。高端精密手表市场日益激烈的竞争，正在促使手表制造商寻求更有效的制造工艺，以更高的产量和更快的工艺实现更加精密的零部件加工。超短脉冲激光技术，能够实现任何材料的高速精密切割，并且没有热损伤，这就消除了昂贵耗时的后续处理工作。因此，超短脉冲激光技术，正在推动着精密手表行业向前发展。

半导体探针卡。对于任何微加工平台而言，半导体探针卡上的小孔制造，都是一种最艰难的、和技术上最具挑战性的一种应用。探针卡是用于集成电路上的数千个微米级电线和连接器的测试插座。单个探针卡可以在 25mm × 25mm 的区域中需要 50,000 个微孔，微孔的精度要求为微米级。半导体探针卡的新型设计需要不同形状的插座，包括正方形和圆角形状（见图 4）。超短脉冲激光平台，能够以极高的速度和精度加工出这些微孔，显著缩短了加工时间、提高了部件质量。

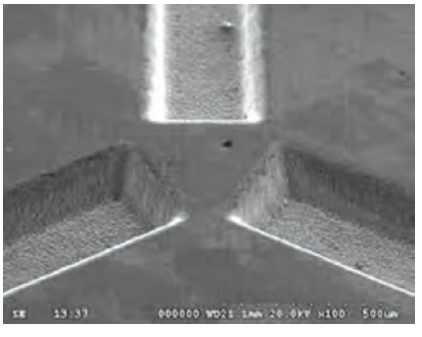


图5：使用超短脉冲激光微加工制造的微型槽。

微型槽。对于许多应用而言，高精度的微型槽至关重要，例如在微流体通道加工应用中，槽的大小必须能够以分子水平分离流体，传输待提取和测试的流体，并过滤掉所有其他流体。

微型槽也是需要精确流体分配的医疗器械以及微型植入式器械的关键特征。超短秒冲激光微加工，能够在生产速度下制造出垂直度极好的微型槽（见图 5），通过集成部件验证和表征来确保加工精度。

Microlution 公司是 GF Machining Solutions 公司旗下的一家子公司，Microlution 公司推出了世界上首款工业级超短脉冲激光微加工平台（见图 6）。

ML-5 五轴工作站，可以配置用于钻孔、铣削和切割，没有热影响区产生，能够在几秒钟的时间内加工出精密的零件。目前，该工作站已经应用到了在世界各地的汽车、医疗、消费品、生命科学和半导体行业中，其通过超短脉冲激光实现精密材料去除，具有出色的稳定性、运动控制和零件处理能力，同时集成了测量和验证功能。❑

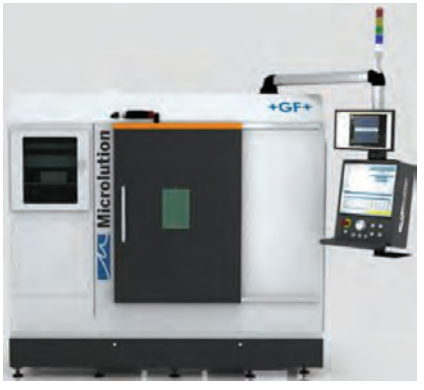


图6：Microlution公司推出的工业级超短脉冲激光微加工平台。

超快加工

超快激光器在薄片玻璃中实现微加工

文/David Belforte

科学家正在研究如何使用超短脉冲（也称为超快脉冲）激光器将微结构蚀刻到薄片玻璃中。在分析应用（片上实验室）和电子及消费领域，将微结构刻蚀到薄片玻璃中存在着很多可能的应用。

用超快激光以特定的方式照射玻璃，能够使玻璃对随后的湿法化学蚀刻的敏感度提升一千倍。这意味着可以通过玻璃块引导直径几微米的激光束，并且随后在玻璃体内刻蚀出精细的管道。这种方法可以用来创建微型孔，将完整的微流体系统刻蚀到玻璃体中，或者实现具有极高表面质量的切口。

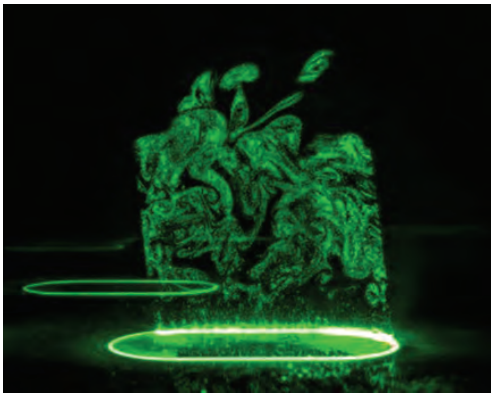


图1：使用超快激光脉冲激光直接刻蚀出的玻璃中的微型结构。

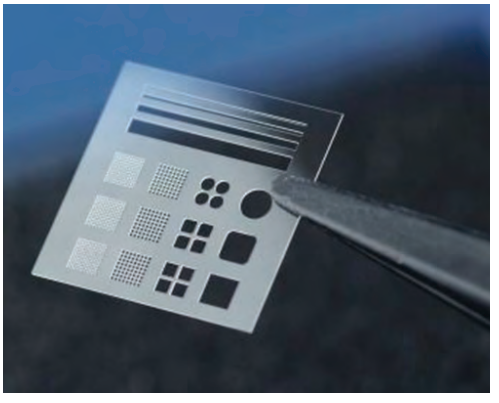


图2：使用SLE技术，能够透过薄片玻璃钻出具有极度光滑边缘的孔。

在这种现象可以成为工业过程之前，首先必须要回答一些问题。回答这些问题，也是德国联邦教育和研究部（BMBF）资助的飞秒数字光子生产（Femto Digital Photonic Production）联合研究项目的目标。

自 2014 年以来，德国亚琛工业大学和弗劳恩霍夫激光技术研究所（ILT）的代表们，已经与六家公司合作，研究用超快激光脉冲加工透明材料时所出现的新现象。他们已经开发了选择性激光刻蚀（SLE）技术，并且已经测试了用技术加工几种不同类型的玻璃材料，包括石英玻璃、蓝宝石、Borofloat 33 玻璃和康宁 Willow 玻璃。在 Borofloat 33 中，激光结构化区域和非结构化区域之间的刻蚀选择度达到了 1000:1，而在 Willow 玻璃中该数字约达到了 100:1。

在该项目的下一阶段，将在亚琛工业大学进行实验，并在激光制造过程指令的非线性动力学研究部（NLD）运行复杂的模拟。光学系统技术（TOS）主席将专注于优化系统中的光学器件。

研究人员正在与三家激光源制造商（Amphos、Edgewave 和 Trumpf）和三家系统供应商（4JET、LightFab 和 Pulsar Photonics）合作。他们的目标是为大表面应用开发多光束系统，以及为微加工开发较小的系统。

LightFab 公司是诞生于亚琛工业大学的一家初创公司。LightFab 公司使用 SLE 技术生产由石英玻璃制造的 3D 精密零件。LightFab 公司的机器，大大提高了用于原型制造和系列产品生产的玻璃部件 3D 打印的生产率，使得可以利用 SLE 工艺实现部件的批量生产。

该项目的合作伙伴们看到了该技术的众多潜在应用。对于微流体而言，它不仅能在玻璃材料中生产通道，而且还能生产喷嘴和其他微型器件。该技术还能在钻孔和切割过程中提供独特优势。刻蚀能够实现无张力材料烧蚀，这一特性具有很多优势，例如在半导体技术中制造中介层结构时，这项技术就非常有利。它能够产生 10μm 以下的微型结构。

对该话题有兴趣了解更多信息的读者，可以访问 www.rwth-aachen.de 和 www.ilt.fraunhofer.de。❑

光纤激光打标机

光纤激光打标机 实现更快更经济的金属微加工

文/Geoff Shannon

具有卓越光束质量的光纤激光打标机，可以取代传统的微加工设备。

在各个行业应用中，特别是在医疗、汽车和电子行业，所需要的元器件越来越小，已经是一个不争的事实。

市场正在使用新的微加工技术，包括具有优良光束质量的先进激光打标机，来获得类似于传统加工技术的加工效果，但是加工方式却更便宜、更快速、更灵活。光纤激光打标技术的成本能比传统加工技术便宜两到三倍。

正在寻求降低制造成本、同时满足小型化加工挑战的批量制造商们，可使用单模光纤激光打标机在一系列材料（包括钢、镍、钛、硅、铝和铜）上实现出色的加工效果。考虑更换电火花加工（EDM）设备的厂商，以及那些正在考虑采用新工艺时可能转向532nm 和 355nm 激光器的厂商，都可以考虑使用光纤激光打标机。

微加工：只能看到结果，看不到细节

微加工是指使用诸如钻孔、切割、划线和开槽这些标准的机加工操作，来制造非常细小的特征。实际上并没有一个官方的尺寸标准来确定何时一种操作是微加工，但是一个好的经验法则是，不借助辅助观察工具，这些特征就不能被看到，或者说你只能看到结果，但是看不到细节。换句话说，你可能不知道对材料做了什么来获得特定的加工效果。例如，如果你在一块铜上钻了 50μm 的孔，你只会看到光，但是却不能看到让光通过的孔，到底多大或多小。

光纤激光打标机：正确的微加工工具

在一个熟练操作工的手中，使用光纤激光打标机用于微加工的最新进展，可以创建出想要的特征。这种方法的主要优点是：光纤激光打标机比用于微加工的传统设备便宜两到三倍。

成功地实现细小尺寸的微加工，不仅需要正确的工具，而且要具备如何使用工具获得想要的结果这方面的

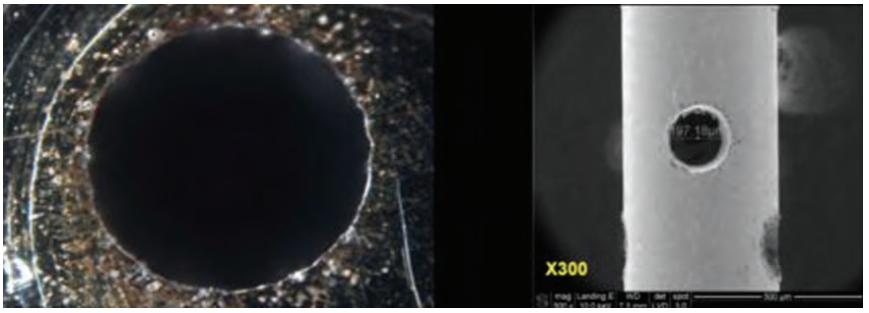


图1：左图显示的是在厚度为200μm的钢板中钻出直径为150μm的孔，孔径公差为±10μm，无需后续处理。右图显示的是在厚度为50μm的铜箔中，加工100μm的孔。

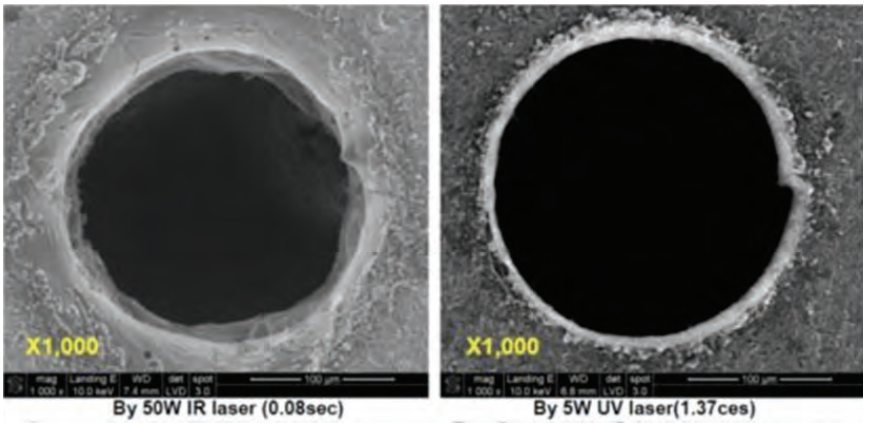


图2：使用光纤激光打标机（左图）和355nm 紫外激光器（右图）在硅上钻孔的效果比较。

知识，同时也要考虑材料去除的质量和速度。

例如，Miyachi America 公司最近推出的 LMF2000-SM 单模光纤激光打标机，其特点是具有独特的参数以及对这些参数的控制能力，能够实现细小尺寸特征的微加工和卓越的材料去除速度。

LMF2000-SM 光纤激光打标机，具有极高的光束质量，可生成直径低至 20μm 的聚焦光斑，因此特别适用于各种材料（包括氧化铝、硅、铜和铝箔）的划线和切割。此外，使用具有不同脉冲宽度和峰值功率特性的可选脉冲宽度波形，能够调整特征表面的去除速度和加工质量。

脉冲宽度和峰值功率的独立控制，相比于传统的 Q 开关激光器（其提供固定的脉冲宽度/峰值功率设置），具备明显的控制优势和过程可调谐性。快速移动激光束的扫描头也是该系统的关键部分，其需要以适当的重复性和精度提供足够高速的运动。

光纤激光微加工技术可用于各种应用中，例如用于阻焊层的选择性去除、太阳能电池划线和钻孔，用于医用低碳钢管和流体流动控制系统的不锈钢的钻孔，以及为快速零件原型制造切割厚度为 0.02 英寸以下的金属。

光纤激光打标机Vs.其他微加工技术

单模光纤激光打标机可以替代更昂贵的微加工技术，包括 EDM 设备或 532nm 和 355nm 的 Nd：YVO_4 激光器。

图 1 中显示了光纤激光打标机是可以替代 EDM 机器的。左图中显示了使用光纤激光打标机，在厚度为 200μm 的钢板中钻出直径 150μm 的孔，孔径公差为 ±10μm，无需后处理工作。仅使用 EDM 设备所需时间的 50%，光纤激光打标机就实现了最小量的碎屑和紧密孔径公差加工。

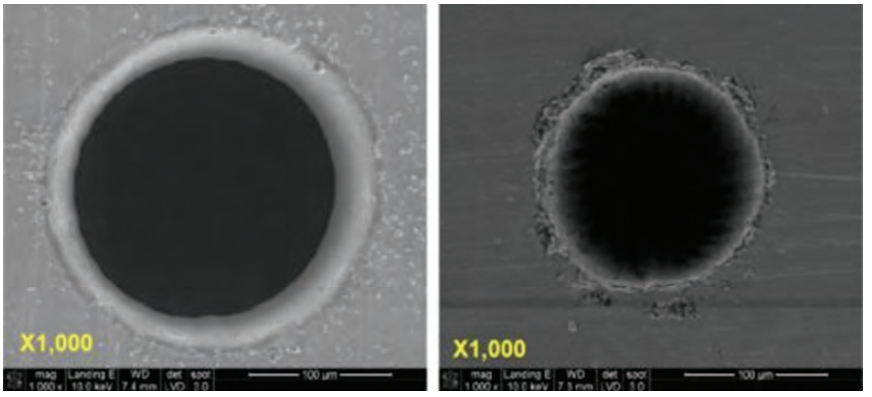


图3：在相同的加工时间内，使用20W的光纤激光器（左图）和5W的355nm紫外激光器（右图），在厚度为0.008英寸的不锈钢上钻孔的效果图。

此外，由于激光打标机提供 XY 工作区域，其可以在单次装载操作中完成多个零件的加工，这也是与 EDM 设备的不同之处（除非在运动设备中进行额外投资）。这种优势使得光纤激光打标机的投资回报（ROI）更加具有吸引力。光纤激光器还可以加工薄片材料和箔等加工困难的材料，正如图 1 中所显示的，其可以加工厚度仅为 50μm 的铜箔。

图 2 中分别给出了使用光纤激光打标机（左图）和 355nm 的紫外激光器（右图）在硅上钻孔的效果图。尽管紫外激光器能提供比光纤激光器更好的加工质量，但是对于这种特定应用而言，光纤激光器的加工效果已经足够好，其加工质量足以满足应用要求。此外，光纤激光器的加工速度比紫外激光器快 17 倍，且其成本仅为紫外激光器的 50%。由于激光路径程序误差，紫外激光器加工的孔的圆度略有缺陷。

图 3 中比较了在相同的加工时间内，分别使用 20W 的光纤激光器（左图）和 5W 的 355nm 紫外激光器（右图），在厚度为 0.008 英寸的不锈钢上钻孔的效果图。

图 4 中突出显示了使用单模光纤激光器可能实现的精细度和加工控制，在此，光纤激光打标机用于在厚度为 25μm 的金属箔上实现深度为 13μm 的加工。加工的通道宽度为 75μm，整个区域内的深度变化为 ±1μm。

陶瓷也是微电子学中的一种常用材料，355nm 的紫外激光器通常用

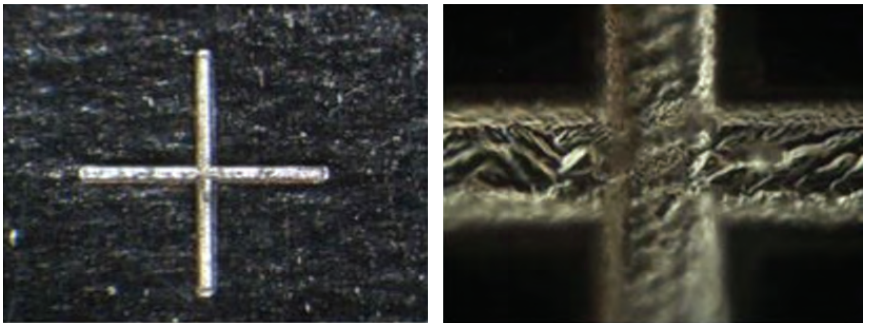


图4：使用光纤激光打标机在厚度为25μm的金属箔上实现深度为13μm的加工。

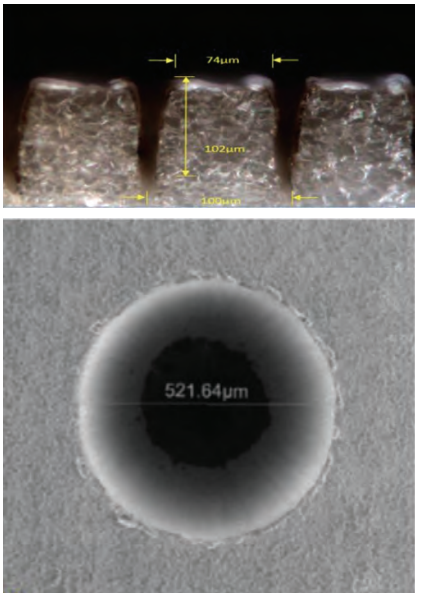


图5：光纤激光打标机可用于陶瓷加工，它可以避免陶瓷材料中容易出现的各种微裂纹。

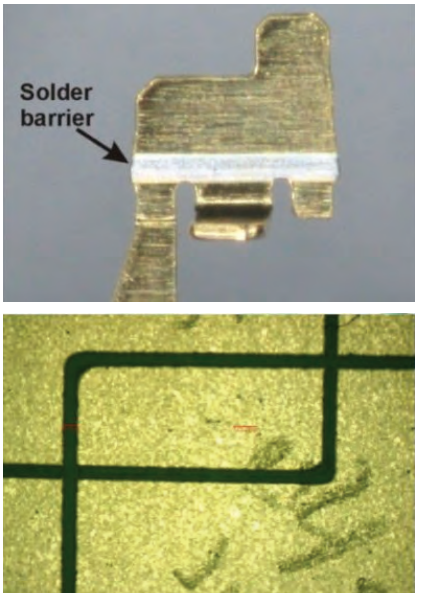


图6：使用光纤激光技术创建的两个阻焊层示例。

于陶瓷材料的划线和钻孔。图 5 中显示了光纤激光打标机可以用于陶瓷加工，因为它可以避免陶瓷材料中容易出现的各种微裂纹。

有许多应用需要（或可受益于）激光的选择性去除能力，例如去除金属、陶瓷甚至是塑料上的镀层或涂层。光纤激光加工技术，已经在阻焊层微加工、薄膜电阻器 / 电容器修整、以及用于焊接目的的电池箔中的活性层去除方面，显示出良好的加工结果。在元器件或零件的生产过程中，这种选择性和定制的层去除过程通常是无法实现的，因为简单的掩盖该区域并不是一种可行的方法。

激光在选择电路的精确电阻值时非常有用。当用于电阻或电容修整时，作为动态迭代去除和测量调整过程的一部分，其中每个元件的去除面积可能不同，激光加工技术在这类应用中的表现非常优秀。

图 6 中给出了使用光纤激光技术产生阻焊层的两个实例。对于每个部分，激光选择性地去除金层。在金涂层之后，激光可以用于选择性地去除材料；这是一个快速的加工过程，工作得很好。

单模光纤激光打标机是一种具有成本效益的微加工工作站

单模光纤激光打标机可以作为一种具有成本效益的微加工工作站，用于为各种应用提供钻孔、切割、划线和烧蚀加工。当然，它更可以用于打标！这种台式微型加工中心，能提供诸多优势，以最大限度地提高投资回报率。

必须注意的是，除了拥有正确的工作工具外，更重要的是知道如何有效和高效地使用工具。Miyachi America 开发了许多加工方法，以确保单模光纤激光器能够实现稳定的批量生产任务。❑

大族激光收购特种光纤公司Coractive 加强布局

11 月初，大族激光以约 1.7 亿元收购加拿大特种光纤公司 Coractive 80% 的股权。

Coractive 公司致力于为工业激光、通信、传感器、医疗等行业的客户开发制造先进的特种光纤产品。Coractive 的产品主要销往中国、日本、韩国、印度、英国、以色列和瑞士。其 2014 年 12 月 -2015 年 11 月营业收 1360 万加元，2015 年 12 月 -2016 年 9 月营业收入 1180 万加元。

以工业应用为目的高度专业化光纤是 Coractive 的主要产品，包括：

(1) 通讯光纤：衰减光纤、紫外光纤、掺铒光纤。

(2) 光纤激光器解决方案：有源和无源光纤、光纤激光器、放大器、组件和模块、高功率连续光纤激光器模块。

(3) 中红外光纤激光器解决方案：传输光纤、玻璃硬盘、中红外光纤激光谐振器。

这是一场双赢的股权收购，如果大族入股 Coractive 成功，将有助于提高其光纤激光发生器的研制技术，创建从低功率到高功率应用的解决方案，加强大族在电信通讯传感器市场的业务拓展。由于市场推广和效益实现是一个渐进的过程，Coractive 在拥有较强的技术能力和较好客户资源的情况下，同样需要面对未来团队整合及核心技术实现产业化所遇到的挑战。大族可通过拓展 Coractive 原有的海外业务，同时发挥本土优势，努力拓展 Coractive 在中国地区工业激光等领域的业务，提升盈利能力。❑

光纤激光器

无包层 Yb：YAG 晶体光纤纯波导激光器

文/John Wallace

正如块体固态激光器一样，从使用掺杂玻璃到使用掺杂单晶增益介质的转变，是提升单台光纤激光器输出功率的重要一步。出于这个原因，单晶光纤（SCF）正处于紧锣密鼓的发展状态。目前市场上已经存在各种构造，包括使用无粘合剂粘合形成的晶体包层晶体光纤（难以制造，因此不适合大规模生产）、玻璃包层晶体光纤（由于玻璃包层的热绝缘性能，因此不适合功率提升）和无包层 SCF（非常适合于研究应用，但若要适合更广泛的应用，还需要合适的包层沉积技术）。

先前测试的无包层 SCF 配置，包括具有 1mm 或更小直径的短（长度 30~60mm）泛光照明晶体棒，其中泵浦光由于全内反射而被约束在棒内，但输出激光本身的模式结构仅由腔镜所确定。换句话说，SCF 没有起到激光波导的作用，相比光纤激光器更像块体激光器。



图1：无包层Yb：YAG单晶光纤（SCF）的直径仅为100μm，并且展示出纯波导激光器运行模式。

相比之下，最近由美国陆军研究实验室（ARL）和美国 Shasta Crystals 公司的研究人员，联合开发和测试的更长且更薄的二极管泵浦无包层掺镱 YAG（Yb：YAG）晶体激光器，已经展示了纯波导激光器运行模式（见图 1）。[1] 该 SCF 由 Shasta Crystals 公司制造，直径为 100μm，长度为 100mm，掺杂浓度为 1%，使用激光加热基座生长（LHPG）技术，具有适用于大规模生产 SCF 的潜力（尽管将需要开发可大规模生产的晶体包层沉积方法）。该光纤使得 SCF 的实验和优化成为可能。

高转换效率

在实验装置中，SCF 的非减反涂覆部分夹在两片激光腔镜之间，来自线偏振激光二极管的发射波长为 969nm、带宽为 3nm 的激光，聚焦在光纤的一端上，通过后（二向色）腔镜进入光纤。光纤松弛地放置在 V 形槽中，以使其具有最小的物理接触，而凸透镜准直激光器的输出。一片会聚透镜、激光线滤光片以及激光功率计，用于收集有关激光输出的数据。

由于考虑到对光波导会产生不利影响，所以没有使用导热脂从光纤吸热，二极管泵浦以 1% 占空比的准连续波（QCW）模式工作，以保持光纤冷却。1ms 的泵浦脉冲长度与 YAG 中 Yb^{3+} 的上激光能级寿命在同一量级上，因此实验结果代表了 CW 运行，只是在降低的热负荷下。

研究人员尝试了从 18%~70% 的各种输出镜反射率，发现最佳反射率为 25%。使用 91.6W 的 QCW 泵浦输入（由于 1% 的占空比，平均值略低于 1W），QCW 激光输出功率在 1030nm 波长处约为 53W，这表明光纤激光器即使在未经优化的实验配置中也有效。

对于 SCF 参数本身，Shasta Crystals 公司总裁兼首席执行官 Giselle Maxwell 解释说，1% 的掺杂水平是通过光谱研究确定的，以帮助决定什么浓度将提供最佳的激光发射条件；通过相同的光谱研究来确定晶体的长度，以确定对于一定浓度的掺杂离子，晶体应该是多长、以实现泵浦光束的最大吸收，以及晶体中最有效的激光作用；并且晶体直径根据用户的便利性和期望什么效果来确定（更小的直径获得更好的光波导）。

“我们的下一步工作将是改进包层技术（主要是包层的厚度），以提供真正的全晶体双包层单晶光纤，因为改善的导热属性，其性能将胜过任何双包层玻璃光纤。”Maxwell 指出。❑

参考文献

1. J. Zhang et al., Laser Phys. Lett., 13, 075101 (2016); doi:10.1088/1612-2011/13/7/075101.

One Source
一处资源



Infinite Possibilities
无限可能

您值得信赖的高性能光纤

- 新资源发现开发
- 全球互通互联
- 海陆太空探索
- 精密质造
- 最重要的是，拯救生命！

与客户合作与众不同！



NUFERN®

866.466.0214 / www.nufern.com

请通过inspire@nufern.com联系我们或者访问www.nufern.com

材料加工

基于 KABRA 激光器的 SiC 晶圆划片将生产率提升四倍

文/Gail Overton

日本 DISCO 公司的科学家们使用一种称为关键无定形黑色重复吸收（key amorphous-black repetitive absorption，KABRA）的专利和正在申请专利的激光材料加工技术，可以将碳化硅（SiC）晶圆的生产率提升到原来的四倍，并且在提高产量的同时减少材料损耗。[1] 该技术适用于单晶和多晶锭，不管晶体层的取向如何。

目前，SiC 功率器件在市场中的渗透较慢，主要是因为其产量小、且生产成本高。然而，KABRA 方法能够显著提高 SiC 器件的产量，并且应该能够使 SiC 器件作为功率器件、空间反射镜、超稳定光学模具和辐射热测量计等产品而获得更多的市场驱动力量。

为了使用厚度为 20mm、直径为 4 英寸的晶锭生产厚度为 350μm 的 SiC 晶圆，传统的使用金刚石线锯的加工工艺，切割每片晶圆需要 1.6~2.4 小时，随后还要进行双面研磨工艺和最终抛光工艺，从一个晶锭生产 30 片晶圆，总共需要 2.5~3.5 天的时间。

虽然许多抛光工艺正在开发中，但 SiC 仍然是一种非常坚硬的易碎材料，由于在机械切割过程中形成深的起伏凹槽，所以 SiC 必须非常仔细地进行研磨。

KABRA晶圆分离

从其名字上可以看出，KABRA 工艺本质上将激光聚焦在 SiC 晶片的内部，通过重复通过或“无定形黑色重复吸收”，将 SiC 分解成无定形硅和无定形碳，并形成作为晶圆分离基点的一层，即黑色无定形层吸收更多的光，从而能够很容易地分离晶圆（见图 1）。

与传统工艺中的 1.6~2.4 小时相比，KABRA 工艺仅用 25 分钟来分离每片晶圆，与使用常规切片工艺、每片晶圆将带来 200 μ m 的材料损耗相比，KABRA 工艺在分离期间并不产生材料损耗。此外，金刚石锯片分离的晶圆需要 16 小时的最终研磨时间，这在 KABRA 工艺中也是不需要的。

总之，利用传统工艺，从一个晶锭中生产出 30 片晶圆，需要 2.5~3.5 天的时间；而使用 KABRA 工艺，从一个晶锭中生产出 44 片晶圆，仅需要 18 小时的时间，这相当于 3~5 倍的生产率提升（或者说产能大约为原来的四倍）。❑

参考文献

1. See http://www.disco.co.jp/eg/news/press/20160808.html.

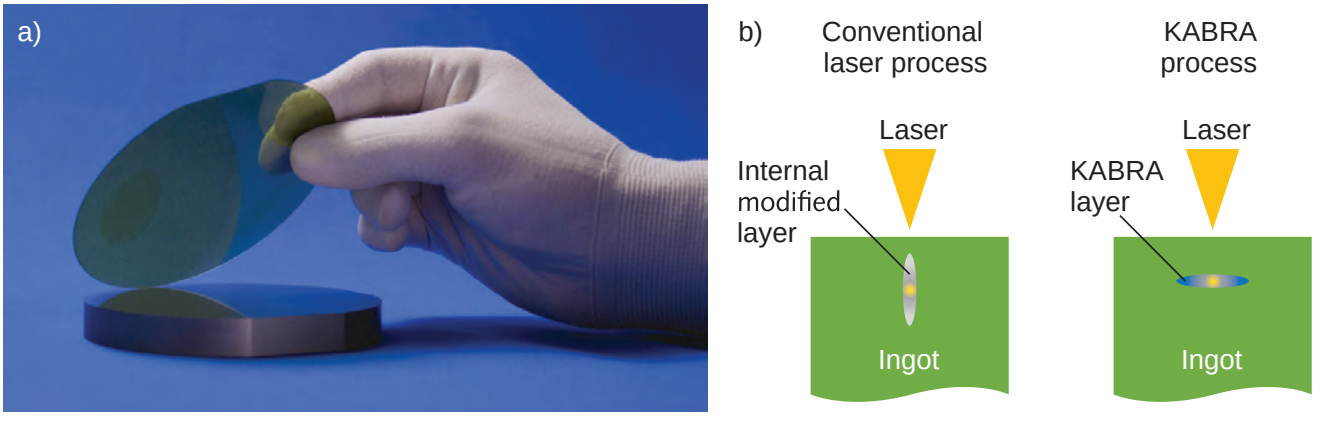


图1：为了将碳化硅（SiC）晶锭分离成薄晶圆（a），科学家们已经开发出了一种基于激光的关键无定形黑色重复吸收（KABRA）方法（b）。这种方法能够将生产能力提升为原来的四倍，并提高每个晶锭的晶圆产量。

特种光纤

多种应用受益于高性能 Er：Yb 共掺双包层光纤的进展

文/Clemence Jollivet，Kevin Farkey，Adrian Carter，Kanishka Tankala

稀土掺杂的双包层光纤，为光学泵浦提供了大量空间，在诸如CATV、激光雷达和医疗系统等应用中具有提升性能的巨大潜力。

在过去的二十年中，双包层有源光纤已经发展到了一种相当卓越的水平，目前被认为是市场上可用的最有效的、坚固紧凑和具有成本效益的光源。双包层光纤提供大的光学泵浦体积和稀土离子掺杂纤芯，最常见的掺杂离子如镱（Yb^{3+}）、铒（Er^{3+}）、铥（Tm^{3+}）和钬（Ho^{3+}）。

通常，基于半导体的光源用于在相应的吸收带内泵浦稀土离子，用于放大光学信号或是在其中的一个发射带内产生激光辐射。因此，泵浦源的可用性，以及稀土离子的吸收和发射带，是放大器和激光器设计的主要驱动因素，并且也决定可获得的光学性能的极限。

以掺铒（Er）光纤为例，它们由于在 1.55μm 附近的发射（第三通信窗口）而得以广泛应用。Er^{3+} 离子具有几个吸收带，其中 980nm 和 1480nm 由于具有有利的吸收截面而成为优选。然而，980nm 二极管的功率和稳定性受限，而 Er^{3+} 离子在 1480nm 处有限的粒子数反转，极大地增加了信号的噪声，抑制了放大器的性能。

为了克服这些限制，并且提供高效率、高功率的 1.55μm 光源，Grubb 等人于 1991 年提出了 Er 和敏化离子（如 Yb）共掺的想法。[1] 自此以后，业界便已经成功开发了基于 Er：Yb 共掺光纤的放大器和激光器系统，并且在市场上广泛适用于各种应用领域。

关于Er：Yb共掺双包层光纤

双包层光纤的典型结构（如图 1a）包括：由具有较低折射率的内包层和外包层围绕的中心纤芯，从而形成双包层结构。中心纤芯被设计成引导约 1.55μm 的单模或多模发射，并且在这种情况下包含 Er 和 Yb 掺杂离子。内包层用作泵浦引导，并且通常成形为使泵浦纤芯交叠最大化，以有效吸收。

Er：Yb 共掺介质的能级图和 Yb^{3+} 离子的敏化作用如图 1b 所示。受益于 915nm、940nm 和 976nm 的高效、高可靠二极管的可用性，在 Yb^{3+} 离子的能带内发生粒子数反转，随后通过有利的能量转移过程使 Er 激发到某一激发态，产生约 1.55μm 波长的受激发射。当能量转移速率和 Er 激发态的寿命短于 Yb 激发态的寿命时，敏化效应被优化。当不满足该条件时，Yb 激发态将首先自发弛豫，产生在 1μm 波长范围内的寄生放大自发辐射（ASE）。

在非优化的 Er：Yb 光纤中，寄生的 1μm ASE 与所需要的 1.55μm 激光发射相竞争，在超过某些泵浦水平时，会导致显著的后果。将磷共掺入纤芯的石英玻璃基质，有利于能量转移速率，减轻寄生的 1μm ASE，并且能够以与其他标准光纤相容的方式，实现高效的 1.55μm 发射。

掺磷石英玻璃的另一个优点可以

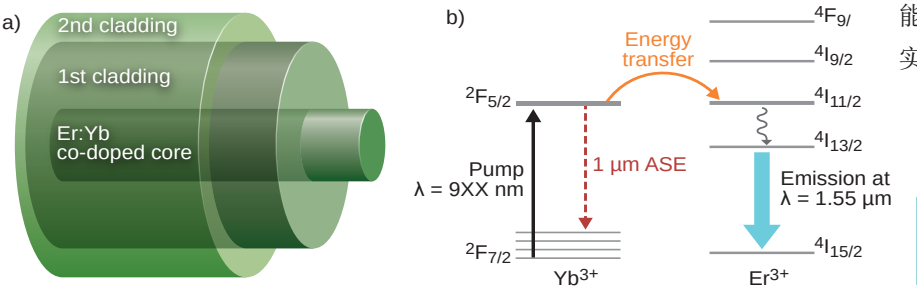


图 1：双包层有源光纤结构示意图（a）和表示主要跃迁的Er：Yb共掺玻璃的能级图（b）。

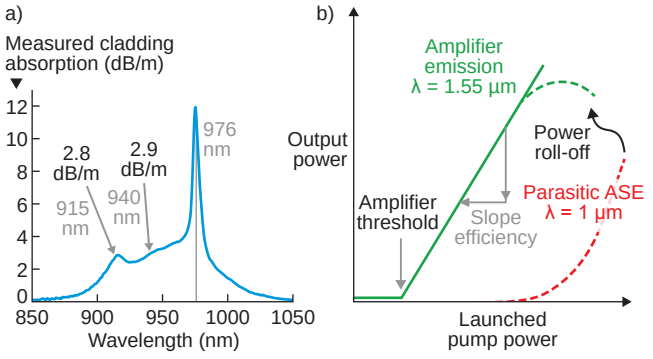


图2：来自典型Er：Yb共掺光纤的测量包层吸收光谱，曲线上标示了三个泵浦带（a），以及基于光纤放大器的输出性能示意图（b），显示了与寄生的1µm ASE（红线）相比的1.55µm激光行为（绿线）。

在 Er：Yb 光纤的测量吸收光谱上看到（见图 2a）。添加磷使 915nm 处的吸收平坦化，而在 940nm 和 960nm 处甚至作用更明显。因此，可以使用非波长稳定的 915nm、940nm 和 960nm 泵浦二极管，因为光谱偏移不会对光纤放大器性能产生负面影响，并且提供更高的稳定性。此外，915nm 和 940nm 泵浦二极管的每瓦价格显著低于 976nm，因为在 976nm 波长处的吸收峰尖锐，将需要波长稳定。

Er：Yb 共掺光纤放大器的典型输出性能如图 2b 所示，图中显示输出功率随注入泵浦功率线性增加。1.55µm 发射通过激光阈值和斜率效率来表征。脉冲系统包括额外的时间特性。当使用非优化的 Er：Yb 光纤时，在某个泵浦水平以上，寄生的 1µm ASE 产生，并与 1.55µm 放大信号竞争，影响效率稳定性，并且使系统遭受不可逆的损坏。因此，Er：Yb 共掺光纤的纤芯组成必须平衡且仔细调整，以满足特定应用的要求。

高分辨率家庭娱乐

目前，直接向家庭提供娱乐的有线电视提供商，正在使用共用天线电视（CATV）放大器来开发高灵活性网络。这些平台通过使用光学放大器来实现，并且基于用户需求不断发展。基于光纤的放大器优于基于半导体的器件，因为它们不需要光电能量转换。

市场上可获得掺 Er 光纤放大器（EDFA）和掺 Er：Yb 光纤放大器（EYDFA）。这些模块将输入信号放大、并分为多路输出通道。EDFA 和 EYDFA 需要以具有成本效益的方式提供高连续波（CW）输出功率、低噪声和高可靠性能。一个模块通常由 915nm 或 940nm 的单个 10W 泵浦二极管组成，泵浦几米长的 Er：Yb 双包层光纤，以提供瓦级 1.55µm 信号。

EDFA 通常是能够提供高达 500mW（或 27dBm）输出功率的纤芯泵浦放大器。另一方面，包层泵浦 EYDFA 提供高达数瓦的功率水平。由于单泵浦二极管设计要求，优化的 Er：Yb 光纤必须结合最低阈值和最高效率，以提取尽可能高的增益。此外，必须有效减轻寄生的 1µm ASE，以确保稳定性和低噪声。

图 3 中的数据给出了 Er：Yb 光纤（EYDF）的组成和设计，对于 1.55µm 发射（a）和寄生 1µm ASE（b）这两项放大器性能的影响。当使用优化的 EYDF 设计时，斜率效率可以增加超过 40%（从 25.6%提升到 35%）。例如，在单个放大器中使用 SM-EYDF-6/125-XP（Nufern）光纤，可以实现高达 2.7W（34dBm）的单模 1.55µm 发射。在 10W 的最大泵浦功率下，寄生 1µm ASE 在 30mW 下，得到有效降低。

通过使用更大的纤芯尺寸，有望进一步提升 EYDFA 功率。具有 10µm 纤芯优化的 MM-EYDF-10/125-XP（Nufern）光纤，展示了低阈值和 38%的斜率效率，提供大于 3W 的 1.55µm 光，几乎没有寄生 ASE（见图 3）。当然，功率还有可能进一步提升，所需要付出的代价是放大器阈值，这是泵浦功率限制应用的一项重要考虑。

雷达和医疗应用

光探测和测距（激光雷达）应用使用 CW 或脉冲激光，在多种配置和部署条件下，实现远距离探测目标。适合于激光雷达的系统必须发射约 1.5µm 或 2µm 的激光，以提供良好的大气传输和人眼安全操作。

紧凑性、简单性和成本效益是激光雷达应用的额外要求，这些也是

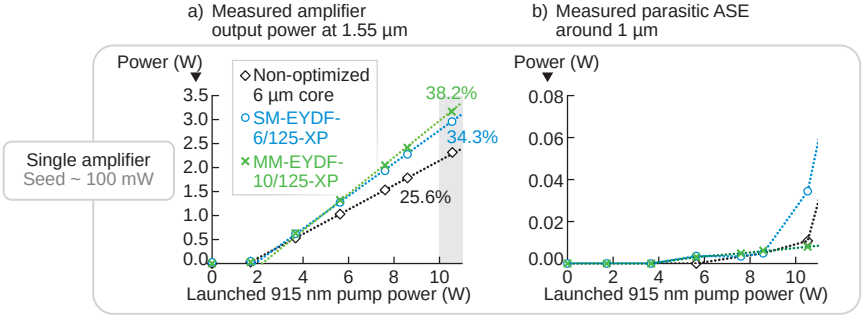


图3：在单级放大器配置中，三种不同的Er：Yb共掺光纤（100mW的固定输入种子光功率）在940nm下泵浦时测得的1550nm输出功率。比较了非优化（菱形）以及优化的6µm纤芯（圆形）和10µm纤芯（十字）（a）。测得的寄生ASE显示了不同光纤的阈值（拐点）（b）。

CASTECH®
福晶科技

福建福晶科技股份有限公司（简称“福晶科技”），主要从事非线性光学晶体、激光晶体和精密光学元器件的研发、生产和销售，其产品广泛应用于激光、光通讯、半导体、生命科学、医疗设备和检测探测仪器等各工业领域。公司于2008年3月19日在深交所上市（股票代码002222）。

公司目前拥有900多名员工，超过4万平方米的新生产厂房。创立至今二十余年，公司逐步发展了熔盐法、提拉法、水溶液法等多种晶体生长技术；建立了包括德国LOH数控研磨机、韩国光进上下摆机、日本Speedfam双抛机、环抛机等在内的全套高精度光学元件生产线；开发了IBS、IAD、Ebeam等多种镀膜工艺以适应不同应用需求。此外，公司的检测技术与设备也处于业界领先地位，拥有Zygo、Nikon、Trioptics、Hinds等各类先进检测仪器。公司产品深受国际业界推崇，是全球众多顶级厂商的首选供应商。

公司新产品



产品系列

一、晶体

1. 非线性光学晶体
2. 激光晶体
3. 磁光晶体
4. 闪烁晶体
5. 声光和电光晶体
6. 双折射晶体
7. 绿光晶体组件

二、精密光学元件

1. 球面和柱面透镜
2. 反射镜、棱镜、窗片
3. 波片、偏振元件
4. IBS、IAD高损伤阈值镀膜

三、激光及光通讯器件

1. 高功率光隔离器
2. 扫描场镜
3. 电光及声光开关、温控炉(仪)



地址：中国福建省福州市软件大道89号F区9号楼　邮编：350003
电话:+86-591-83710533（总机）83771604　83512926（中国区）
传真:+86-591-83711593　Http://www.castech.com
E-mail:sales@castech.com

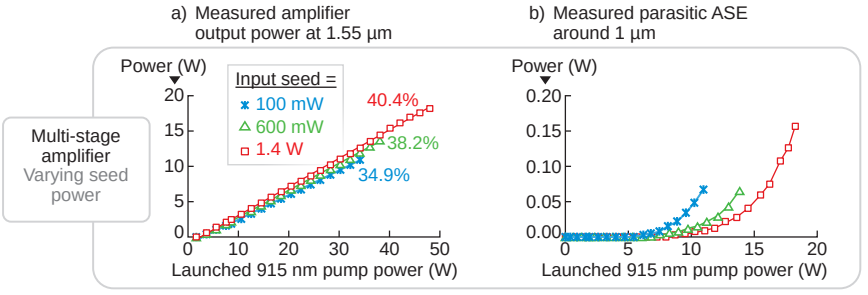


图4：针对高功率和多级放大器优化的MM-EYDF-10/125-XPH光纤，在940nm泵浦下测量的1550nm处的输出功率。记录了输入种子功率100mW、600mW和高达1.4W的结果（a）。测量的寄生ASE显示不同输入种子功率下的阈值（拐点）（b）。

绕纤芯添加基层以有效降低数值孔径（NA）、并提供稳定的单模运行。市场上提供各种几何形状的LMA-EYDF。最近，美国BAE Systems公司的研究人员报道了使用25µm纤芯和300µm包层直径的光纤（Nufern LMA-EYDF-25P/300-HE），实现单频Er：Yb光纤放大器在1.55µm处的最高效率。

该研究结果（见图5）分别给出了测量的输出功率和光束质量。使用940nm泵浦二极管，研究人员在单频区实现了高达50.5%的斜率效率，并能够达到高达207W的平均功率。此外，M^2测量值为1.05，表明非常高的准衍射极限光束质量，这是迄今为止已经报道的具有LMA基层光纤

几种医疗应用所共有的。这些系统通常组合一级或多级放大器，并且不受可用泵浦功率的限制。定制的基于EYDF光纤的放大器，必须设计为提供几十瓦的输出功率，同时大大减轻寄生现象，包括1µm ASE和非线性效应，如受激布里渊散射（SBS）。因此，纤芯直径为10µm或更大的光纤设计，通常与优化的组分相结合。

图4中显示的是我们最新的双包层有源光纤——MM-EYDF-10/125-XPH的性能总结。在具有100mW输入种子功率的单级设计中，使用高达10W的输出功率，可以实现35%的效率。超过这个水平，寄生ASE开始累及放大器性能。通常优选使用两级（或多级）放大器设计，或主振荡器功率放大器（MOPA）架构，来进一步提升输出性能。

可以使用两级放大器设计。用高效和低阈值EYDF（例如Nufern的SM-EYDF-6/125-XP）制成的第一级，可以作为用几米长的MM-EYDF-10/125-XPH光纤制成的第二级的种子源。这种EYDF针对高效率和低ASE进行优化，由六个组合的10W泵源泵浦。受到泵浦限制的测量获得了40%的效率和18W的输出功率。

使用级联MOPA设计（使用MM-EYDF-12/130-HE光纤）的最近结果显示，在1.55µm处的受泵浦限制输出为56.4W，斜率效率为约40%。这种单频设计能够在最大输出功率下达到83.5kHz的线宽。[2]

用于功率提升的大模场面积光纤

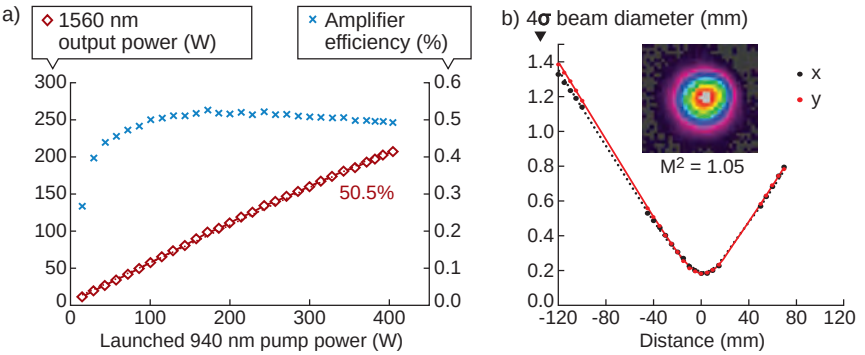


图5：测量的1560nm处输出功率随940nm注入泵浦功率的变化关系，其中斜率效率保持恒定在约50.5%（a），并且测量的光束质量具有1.05的计算M2值（b）。

正在进行的研究集中于进一步推进EYDF的性能。几个研究小组正在开发基于光纤的放大器和激光器系统，提供几百瓦的输出功率，以为千瓦级应用铺平道路。在这些功率水平下，有源光纤的优化是关键，不仅必须优化组成，而且必须增加芯径以提供高掺杂水平、并减轻非线性效应，同时提供高光束质量。

大模场面积（LMA）Er：Yb光纤设计的开发，是随着光纤的纤芯尺寸增加，限制横模的数量。通常，围

设计的最高值。这些发表于2015年的结果，展示了Er：Yb共掺双包层光纤在满足未来功率提升应用需求方面，所蕴含的巨大大潜力。❑

参考文献

1. S. G. Grubb, D. W. Anthon, W. L. Barnes, and J. E. Townsend, "Sensitized erbium fiber optical amplifier and source," U.S. patent 5,225,925 (1993).
2. X. Bai et al., IEEE Photon. J., 7, 6, 7103106 (2016).

A&P INSTRUMENT®
科 藝 儀 器

激光 / 颗粒 / 教育 / 实验室设备的专家

关注微信平台

SYNRAD

SYNRAD CO_2 激光器

firestar v-series



30W

48-series



10W

firestar f-series



200W



新 firestar series Vi30

Pulstar series P100 新



Pulstar series P250 新





40W



25W



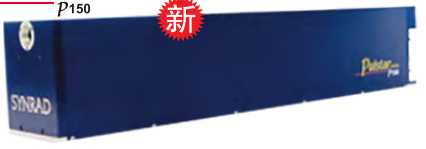
400W

firestar ti-series



60W·80W·100W

Pulstar series P150 新



PHOTON ENERGY

皮秒激光系统



激光模式	锁模，脉动选择 Nd:YVO_4F
最大平均功率	12W@500kHz
脉动能量	＞ 300 μ J@20kHz；100 μ J@100kHz
脉动持续时间	＜ 15 皮秒
频率范围	单次激发 500kHz（-20MHz 可选）
光束质量	TEM_{00}（M^2 ＜ 1.5）
光束直径（出口）	1.5mm
冷却	风冷
激光口尺寸	480 × 302 × 2005（mm）

风冷 体积小 稳定 低成本



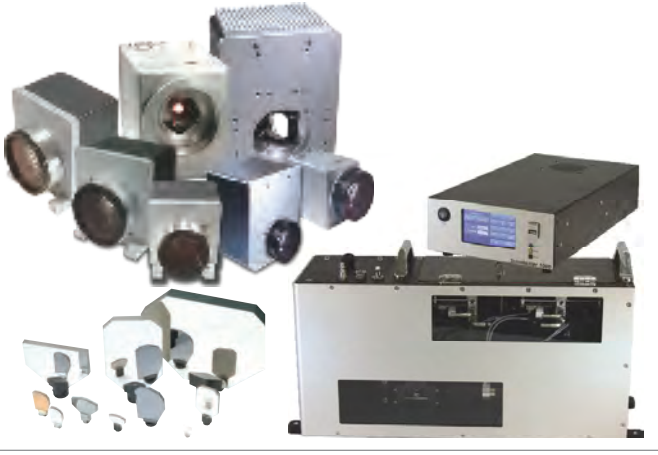
内置 PHOTON ENERGY CEPHEUS 皮秒激光器

CAMBRIDGE TECHNOLOGY

高速光学扫描振镜 / 扫描头 / 三轴高功率扫描振镜 / 模拟和数字伺服驱动电路板







科艺仪器还为以下品牌提供销售及服务，更多品牌请登录 www.anp.com.hk

400-886-0017

Apico SYNRAD laserline SPI Newport CAMBRIDGE TECHNOLOGY eternal sun UNIVERSAL LASER SYSTEMS INC.

MSP Cole-Parmer PASCO scientific

NORTHROP GRUMMAN CEDRAT TECHNOLOGIES FISBA OPTIK directphotonics QIOPTIQ YAMAMOTO SAFETY & HEALTHCARE DIV. PreSens PALAS MATRIX

香港 HONGKONG	北京 BEIJING	上海 SHANGHAI	广州 GUANGZHOU	深圳 SHENZHEN	成都 CHENGDU	武汉 WUHAN	台湾 TAIWAN	新加坡 SINGAPORE
T: (852) 2755 6578 F: (852) 2755 4549 info@anp.com.hk	T: (010) 6207 4835 F: (010) 6207 7434 bj@anp.com.hk	T: (021) 5523 3800 F: (021) 5523 3811 sh@anp.com.hk	T: (020) 6683 0899 F: (020) 6683 0898 gz@anp.com.hk	T: (0755) 8220 2428 F: (0755) 8220 2438 sz@anp.com.hk	T: (028) 8521 6348 F: (028) 8524 2667 cd@anp.com.hk	T: (027) 8759 1299 F: (027) 8759 1239 wh@anp.com.hk	T: (886) 2-22468133 F: (886) 2-22468138 tw@anp.com.hk	T: (65) 6655 0909 M: (65) 9090 0909 sg@anp.com.hk

创新的激光切割技术开创厚薄板切割新纪元

——德国普雷茨特2016年上海工博会后记

文/本刊记者

在11月初刚刚结束的2016年上海工博会上，德国普雷茨特公司（Precitec）首次发布了前沿性的厚板亮面切割技术EdgeTec和优质穿孔技术PierceTec，为厚板加工带来革新性的变化，实现用一台设备即可切割不同厚度的板材。本刊有幸在此次工博会上采访到了普雷茨特首席执行官Wersborg博士。

Wersborg博士谈到，所有的钣金加工商都希望使用一台切割机切割厚板和薄板。过去通常使用CO_2激光器作为光源，其既能切割厚板，也能切割薄板，但是其效率、维护和成本方面没有优势。相比之下，固体激光源如光纤激光器和碟片激光器则更具有成本效益，其能胜任高速薄板切割，但是切割厚板的质量却差强人意。

如果一台采用固体激光光源的切割机，既能胜任高速薄板切割，又能实现高质量的厚板切割，再加上其成本效益优势，那就堪称完美组合了。普雷茨特在此次工博会上推出的全新切割技术，将这种了这种完美组合变成了现实。

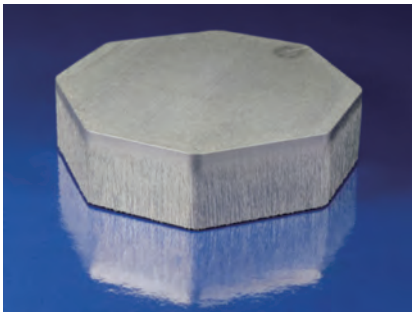


普雷茨特首席执行官Wersborg博士

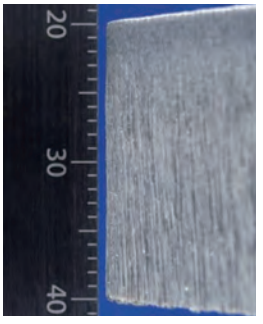
独特的厚板亮面切割技术EdgeTec

Wersborg博士介绍说，普雷茨特升级了光源及切割头的硬件和软件系统，用了2年的时间成功研发从点光斑到环形光斑的切换技术——这就是EdgeTec的核心所在。

EdgeTec厚板亮面切割技术，大大改善了用氮气切割不锈钢和铝材的切割质量。用EdgeTec切割30mm厚的不锈钢，可实现完美的垂直度和最优化的切割端面——毛刺极小，粗糙度也小于100μm。切割铝材也可同样获得高品质的切割质量。其核心原理是EdgeTec对焦点的可调范围进行了改进，不仅可以实现高速切割，又可保证高质量的切割品质。



EdgeTec – 20mm厚不锈钢的切割端面



EdgeTec –20 mm不锈钢切口斜度

EdgeTec可以对切割模式进行切换，客户仅用一台设备就能对不同厚度材料都实现高质量切割，可以更加灵活的配置他们的生产线，更具有市场竞争力。

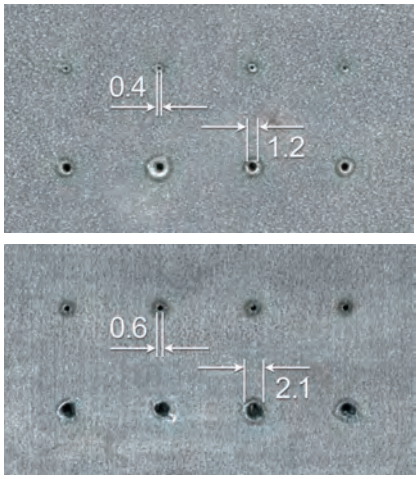
优质高效的穿孔技术PierceTec

Wersborg博士同时提到，厚板切割的关键在于穿孔质量。PierceTec可以实现快速高质量穿孔作业。PierceTec内部传感器可实时监控穿孔过程，并且会根据穿孔时的数据优化激光功率。按照切割需求做到最小的穿孔的大小，并保证快速以及高质量切割。

PierceTec最大的特点是能够根据切割的材质和厚度来调整激光功率，并在穿孔结束时报告给控制系统。随后，CNC会无延迟地开始切割。同轴集成的传感器模组与激光光束路径提供了优良信号和保证高质量的过程控制。该传感器模组可以外置安装在ProCutter切割头上或者集成在All-In-Light激光器中。集成在激光器中有许多优势，除了防止污染飞溅物等安全性以外，还能够保持ProCutter精简紧凑的空间设计。

All-In-Light系统整合方案

普雷茨特为客户提供从激光光源、光纤和切割头的一整套工业解决方案。普雷茨特的All-In-Light激光切割组合配置，包含一台通快的碟片激光器、一个切割头以及适用于



上排用 PierceTec穿孔，下排没有用PierceTec穿孔 (10mm碳钢正面图)

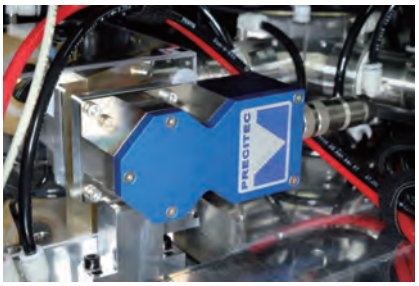
1~8kW 功率的光纤。

在激光钣金加工过程中，激光器的质量起着至关重要的作用。通快的碟片激光器，采用能量闭环反馈控制技术，能始终保持稳定的输出功率，实现高光束质量和稳定的加工过程。激光器内模块化的设计和即插即用的光纤，方便维护。与此同时，普雷茨特独创的 EdgeTec 和 PierceTec 技术，也都融合到了 All-In-Light 系统中。此外，该系统中还融合了先进的切割过程控制功能。

市场与服务

谈及对中国市场的看法，Wesborg 博士表示，中国是一个对激光切割设备需求量巨大的市场，当然也是一个价格竞争激烈的市场。激光切割机制造商要想获利并长久存活下去，从低端市场转向高端市场是一个





激光器中PierceTec同轴传感器

机会，而普雷茨特致力于帮助激光切割机制造商实现他们的目标。

中国是一个成长中的重要市场，特别是在钣金和汽车行业蕴育着大量市场机会。普雷茨特也非常重视中国市场，在 2005 年正式进入中国市场之初，就非常注重与中国本土的大型激光切割设备制造商紧密合作，比如在本次上海工博会上，普雷茨特就携手武汉华工集团，联合展示了华工首台采用 EdgeTec 技术的 SuperCut 切割机。除了钣金切割，汽车行业也是普雷茨特一个很重要的应用市场。此次工博会展出的 WeldMaster 智能焊接系统，就是应用在铝车身的焊接应用上。

目前普雷茨特在德国、瑞士、美国、中国、日本、韩国等地拥有办事处，在全球拥有 500 多名员工；在中国的上海、北京和深圳设有代表处，拥有 70 多名员工。自 2009 年以来，普雷茨特在全球的销售额始终保持了稳固的高速增长。

在客户服务方面，得益于普雷茨特全球化的办公网络，客户可以随时随地获得普雷茨特服务。普雷茨特在亚洲、欧洲和美洲的员工，对各种切割头和 All-In-Light 激光器都有着丰富的应用经验，同时也可以为客户提供产品培训。通过远程诊断和当地配件贮备，可以快速响应客户的服务需求。❑

九年技术沉淀
紫外打标首选


●一体化设计
●调Q技术独特
●光束质量卓越
●光电转换率高
●超窄脉宽,高峰值功率
Laser South China
华南（广州）先进激光及加工应用技术展览会
2016.12.7–9 Booth: 4F21
RFH LASER 瑞丰恒激光
电邮：sales@rfhlasertech.com
电话：0755-86028963,18928466502
传真：0755-86375012 网址：www.rfhlasertech.com
地址：深圳市南山区高新技术产业园中区M10栋

nLIGHT 恩耐激光发布全新8kW高功率光纤激光器

恩耐激光 nLIGHT alta ™系列激光器产品家族新增两款新产品——6kW 和 8kW 高功率光纤激光器，专为满足先进工业金属切割和焊接应用而设计。



该系列产品能够稳定加工各种高反材料，如镜面不锈钢、铝、黄铜和紫铜等，nLIGHT 恩耐激光独创的背反射隔离技术，真正实现满功率不间断地加工各种高反射材料。

而且，该系列产品具有超长的机器运行时间，以及超低的运营成本。nLIGHT alta ™系列光纤激光器具备了独特且专利的光纤激光器架构，使系统集成商和最终用户能够在现场完成常见的设备维修，这将很大程度提升机器运行时间，从而降低用户运营成本，改善用户体验。

恩耐激光 nLIGHT alta ™系列光纤激光器可提供 500W~8kW 的不同功率段的产品。

恩耐激光，www.nLIGHT.cn

用于材料微加工的皮秒激光器JenLas pico 16

业纳公司的皮秒激光器 JenLas pico 16，是其超短脉冲激光器产品家族中的一员，该产品家族涵盖从皮秒到飞秒的全部应用。该产品不仅可以提供高精密的性能，而且在切割、打孔、雕刻以及划线应用有很高的生产效率，适用于医疗和工业应用领域，尤其是医疗器械领域的精密黑色打标。



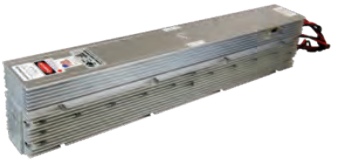
在医疗市场，需要对医疗器械提供精确唯一的标识，以方便进行追溯，例如序列号或代码。得益于其高性能，JenLas pico 16 是一种在金属上进行打标工艺的理想工具。JenLas pico 16 可以在医疗器械上打下永固的、深黑色的、高对比度的标记，以及在医疗器械环保材料上做标记，无需后续加工。该标记可以承受无数次的高压灭菌和钝化处理，仍保持高对比度和永固性。此外，它不会对材料表面造成热损伤，如微裂纹，从而避免了细菌聚集的风险。

除了在医疗方面的应用，JenLas pico 16 也适用于其他材料微加工应用，如在玻璃或陶瓷制品上打标，在半导体材料上雕刻，以及薄金属板的切割。

业纳公司，www.jenoptik.com/cn

美国大通激光推出一体式CO_2激光器L15i

美国大通激光公司推出一款一体式 CO_2 激光器，波长 10.6μm，输出功率 15W，全新的陶瓷腔设计，比传统的金属腔有更好的光束质量，光束质量因子 M^2<1.1，全角发散角 5.5mrad。



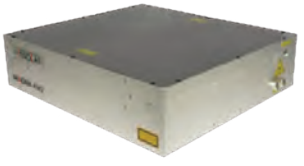
采用先进的腔体设计，上升下降时间更快，上升时间可达 100μs，下降时间可达 150μs。内置电路保护系统，即使操作错误，如电极反转，也不会烧毁电路板。

带有 LED 指示灯，可以显示激光器的工作状态和故障代码。一体化的设计，采用 DB-9 接口，体积更小，操作更简单，使用更方便。此外，该产品可提供 9.3μm 和 10.2μm 特殊波长版本。

ACCESS LASER美国大通激光，www.accesslaser.cn

InnoLas Laser高能量DPSS 激光器提供1000Hz脉冲重复频率

MAGNA EVO 二极管泵浦固态（DPSS）激光系统，能在 500ps 的脉冲宽度下提供最大 250mJ 的脉冲能量，适用于激光雷达、时间分辨光谱、等离子体物理及非线性光学等应用。



它可提供 100~1000Hz 的脉冲重复频率，能大幅减少测量时间，以及超过 20 亿次脉冲的长二极管使用寿命，维护简便、成本低。

InnoLas Laser, www.innolas-laser.com

多轴激光加工工作单元

IPG Photonics 公司的 Micro-Multi-Axis 激光加工工作单元，通过步进电机驱动实现精度定位，并与该公司的平均功率高达 500W 的免维护光纤激光器兼容。



准连续波（QCW）激光的高脉冲能量和高峰值功率，能够实现包括钢、铝及合金在内的广泛材料类型的焊接、切割和钻孔。

该系统已经在多工位的生产设备中和空间受限的研发环境中使用。

IPG Photonics, www.ipgphotonics.com

8kW切割版光纤激光器YLS-8000-CUT



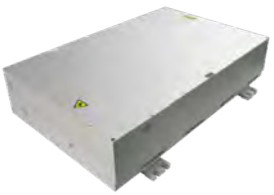
IPG 推出适用于切割应用的 YLS-CUT 系列光纤激光器，已经推出 8kW 甚至 12kW 产品。该系列千瓦级光纤激光器特别适合对性能有极高要求的切割应用，其特点是设计紧凑，并置于密封的机柜中。机柜内配有除湿器，以保持最佳的内部环境湿度。该系列电光转换效率超过 35%，可显著节省电力成本，并且这一数据还在不断提升。此外，热冗余设计确保在整个操作过程中输出功率不发生变化，从而使机器表现出卓越稳定的性能，且免维护。

YLS-CUT 系列最新产品的主要特性包括：连续输出功率 8kW，多模光纤输出，直接调制，性能满足工业应用需求，卓越的通讯稳定性，低成本。

适合的应用包括 2D/3D 薄板切割、厚板切割、铜、黄铜及铝加工等。

IPG Photonics, www.ipgphotonics.com

30W皮秒激光器P303



苏州德龙激光的 P303 皮秒激光器，结合了光纤激光技术和自由空间固体放大器的优点，实现大于 30W 高功率皮秒激光输出，单脉冲能量大于 200 μJ，输出脉冲宽度 <15ps。采用光纤种子源，使得 P303 相比传统的固体种子激光器具有性能更加稳定，体积紧凑，输出参数灵活等优点。同时采用固体放大器保证在及其优良的光束质量下，实现高峰值功率激光输出，确保了激光器的稳定运行。

激光器主要特点：输出功率＞30W@1MHz；重复频率 150~1000kHz 可调；TEM_{00} 基模输出（M^2<1.3）；脉冲宽度 <15ps；脉冲能量 >200μJ；实现 Burst Mode 输出；体积小，结构紧凑；RS232 和外部 GATE 控制；1000 级洁净室组装。

适用于玻璃切割、钻孔，半导体切割，材料精细微加工，蓝宝石切割、钻孔，薄膜蚀刻及科学研究等应用。

德龙激光，www.bellinlaser.com

深紫外激光加工系统



日本 Mitsubishi Heavy Industries Machine Tool 公司的 ABLASER-DUV 深紫外（DUV）激光加工系统，使用短脉冲 DUV 激光器，能提供更小的焦斑直径（10μm），同时保持长焦深，适用于高精度微加工和钻孔应用。

该深紫外系统的主要特性包括：用于快速激发激光的短脉冲振荡器，与公司其他 ABLASER 产品上相同的光学头，以及用于折射和旋转激光束的高精度透镜和棱镜。由于 DUV 激光器的光子能量大，因此适用于加工之前难以处理的玻璃和化合物半导体等材料。

Mitsubishi Heavy Industries Machine Tool, www.mhi-global.com

顶尖 PINNACLE
Your Strategic Partner in Photonics

APE自相关仪 TPA系列
- TPA探测器
- 灵敏度 > 0.01W²
- 测量范围：340-3200nm
- 测量脉宽：50fs-3.5ps
- 无需调节非线性倍频晶体



应用：超快激光脉宽测量，易携带便于现场服务及安装

FJW Optical Systems, Inc.
B&C系列红外观察仪
- 视场：28°
- 光谱响应范围：350-1550nm
- 调焦范围：100mm
- 分辨率：38lp/mm



应用：弱光监测，生物研究，电器维修，热点检测，临床医学，摄影暗房内观察等。

Xiton Photonics SLM193单频激光器
- 输出波长：193.368nm
- 平均功率：>10mW
- 脉冲宽度：<10ns
- 重复频率：6kHz
- 光谱线宽：<120MHz



应用：193nm度量，紫外光谱校准，准分子种子源

关注"顶尖科仪"微信平台：
(A) 扫一扫左图二维码
(b) 在"查找微信公众帐号"中输入"顶尖科仪"，即可添加"顶尖科仪"为好友，我们将及时与您分享顶尖科仪的最新信息。

顶尖科仪部分代理厂家（以开头字母排序）

APE · AVESTA · BATOP · DUMA OPTRONICS LTD. · JENOPTIK · HAMAMATSU · laserpoint · LIGHTHOUSE PHOTONICS · First Sensor · MenloSystems · moglabs · onefive · Ocean Optics · OSTECH · mikron · SOLAR LASER SYSTEMS · Xiton Photonics · TYDEX

顶尖科仪（中国）股份有限公司
Pinnacle Scientific (China) Corporation
+86-571-88225151 | sales@psci.cn | www.psci.cn
微博：http://weibo.com/pinnaclesci

Advertiser	广告商名称	网址	页码
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	11
A & P Instrument Co., Ltd.	科艺仪器有限公司	www.anp.com.hk	31
Castech Inc.	福建福晶科技股份有限公司	www.castech.com	29
Edmund Optics China		www.edmundoptics.cn/laser-optics	17
LASER World of PHOTONICS CHINA	慕尼黑上海光博会	www.world-of-photonics-china.com.cn	IFC
FISBA OPTIK AG		www.fisba.com	13
New Imaging Technologies		www.laserfocusworld.cn/NIT_white_paper.asp	2
Nufern		www.nufern.com	25
Pinnacle Scientific (China) Corporation	顶尖科仪(中国)股份有限公司	www.psci.cn	35
Shenzhen RFH Laser Technology Co., Ltd.	深圳瑞丰恒激光技术有限公司	www.rfhlasertech.com	33
South China (Guangzhou) Advance Laser Technology and Application Exhibition	华南(广州)先进激光及加工应用技术展览会	www.lasersouthchina.com	IBC
II-VI	贰陆	www.ii-vi.com.cn	9

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

Publisher & VP of Sales & Marketing (社长及销售副总裁)
Mark Mak (麦协和)
markm@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

PennWell Corporation
98 Spit Brook Road, Nashua,
NH 03062-5737 USA

Group Publisher
Alan Bergstein
alanb@pennwell.com

Editor in Chief
Conard Holton
cholton@pennwell.com

销售人员 Sales Offices

China (中国)

Hong Kong (香港特区)
VP of Sales & Marketing (销售副总裁)
Mark Mak (麦协和)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

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

Wuhan (武汉)
Sky Chen (陈燕)
skyc@actintl.com.hk
Tel: 86 137 2373 9991
86 27 5923 3884/1564

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

Beijing (北京)
Cecily Bian (边团芳)
cecilyb@actintl.com.hk
Tel: 86 135 5262 1310
86 10 67484833

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

Asia (亚洲)

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

Taiwan (台湾地区)
Rebecca Tsao (曹宇容)
rebecca@arco.com.tw
Tel: 886-2-23965128 x 203

Singapore, Malaysia (新加坡，马来西亚)
Peggy Thay
peggy.thay@publicitas.com
Tel: 65-6836-2272

North America (北美)

East, South & Central
Jeff Nichols
Jeffn@pennwell.com
Tel: 1-413-442-2526

West & Mountain
Anne Marie St. John-Brooks
annemarie@pennwell.com
Tel: 1-510.606.0630

Austria, France, Germany, Ireland, Russian Federation, Switzerland, UK (奥地利、法国、德国、爱尔兰、俄罗斯、瑞士、英国)

Holger Gerisch
holgerg@pennwell.com
Tel: 49-(0)8856-8020228

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

华南（广州）先进激光及加工应用技术展览会

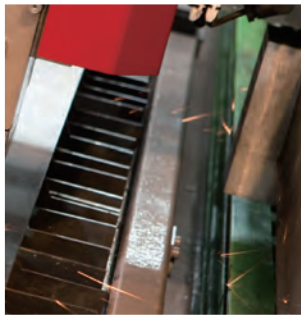
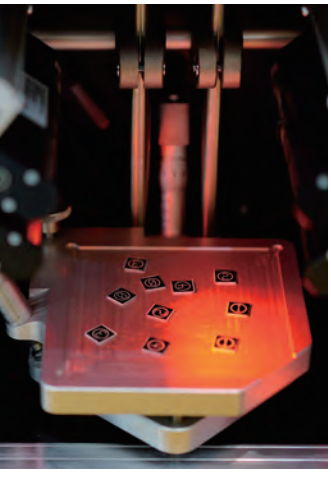
2016年12月7-9日

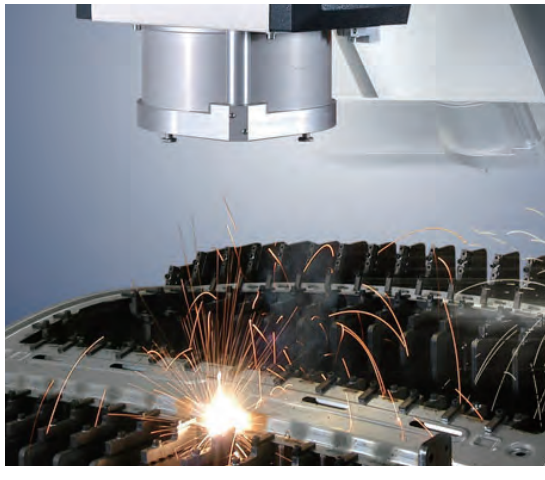
广州琶洲 · 保利世贸博览馆 4号馆

www.lasersouthchina.com

扫我
参观注册





联系方式

中国光学学会激光加工专业委员会
陈超 021-6485 2528
chenchao@chinalaser.org

慕尼黑展览（上海）有限公司
洪燕 021-2020 5527
sky.hong@mm-sh.com

参观注册

www.lasersouthchina.com → 观众预登记

技术展示范围

- 激光打标
- 激光切割
- 激光熔覆
- 激光焊接
- 激光钻孔
- 激光淬火

激 光 世 界

LaserFocusWorld® China

《激光世界》杂志创刊于 2005 年，是世界著名杂志《LaserFocus World》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一本专业期刊。《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、市场讯息以及中国本地市场的相关报导。在内容方面，《激光世界》中目前有50%的内容精选自获得独家授权的行业知名杂志《Laser Focus World》，其馀内容来自中国本土市场。

免费索阅



www.laserfocusworld.com.cn

ACT