光学和光电子产业的主导刊物 www.laserfocusworld.com.cn 2017年7/8月 第4期
ISSN: 1817-6917

激光世界

LaserFocusWorld® China

高功率单模光纤激光器的最新进展 10

国内外工业激光市场发展与展望 5

指纹识别模组的鉴定及激光加工 16

脉冲CO_2激光提高消融速率实现改进的玻璃加工 24

微信公众号

ACT

PennWell®

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、洁净及污染控制、电磁兼容等领域的约十多万专业读者。ACT 亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。ACT总部在香港，在北京、上海、深圳和武汉设有联络处。

香港	深圳	上海	北京	武汉
852-28386298	86-755-25988571	86-21-62511200	86-10-67484833	86-27-59221554



TRUMPF

The Power of Choice

LASERS BY TRUMPF

通快激光制造汽车



车身车间

- 远程焊接
- 激光熔焊和激光钎焊



轻量化设计

- 减小法兰宽度
- 直线型钣金设计
- 功能一体化
- 新型材料



车内配件

- 日光 / 夜光设计
- 激光打标
- 钻孔
- 表面处理



切割热成型零件

- 切割热成型零件
- 激光退火
- 感应加热
- 三维切割管材 / 板材



电动汽车

- 电池
- 电机
- 燃料电池



动力传动

- 齿轮焊接
- 离合器
- 差速齿轮
- 换挡拨叉

通快（中国）有限公司

江苏省太仓市经济开发区南京东路68号　邮编 215400

电话 +86 512 53287700　传真 +86 512 53287751

邮箱 info@cn.trumpf.com　网址 www.cn.trumpf.com

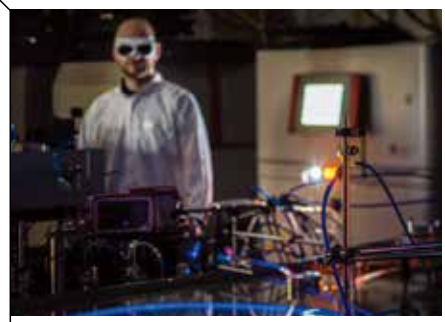
活动资讯

Webinar 通快网络在线会议

时间：2017年8月24日14:00

主题：IPFO 智能远程飞行焊接

报名方式：请扫描右侧二维码



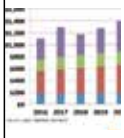
10 封面故事

光纤激光器

高功率单模光纤激光器的最新进展

通过确定高功率光纤激光器的挑战并相应地优化光纤，已经实现了4.3kW的单模输出，进一步的提升和新的超快激光应用正在开发中。

5 市场风向标



国内外工业激光市场发展与展望

激光技术在工业中的应用将无处不在，精密微加工、激光焊接、金属3D打印、激光清洗等都是未来潜力市场，未来30年激光技术将迎来发展的黄金时代。

14 应用天地



超快微加工

飞秒激光加工用于原型制作和批量生产

利用飞秒激光微加工平台，既能实现产品的原型制作和大批量生产，大大加速产品开发和上市时间。

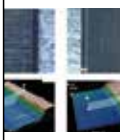
16 激光切割



指纹识别模组的鉴定及激光加工

用激光切割指纹识别的电路板和盖板玻璃，具有崩边小、速度快、切割道窄和厚度较大等优势。

19 超快加工

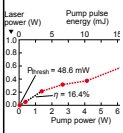


超快速激光器作为一种独特的制造工具大有可为

超快激光加工的优势包括近乎为零的热效应、最小的毛刺和碎屑、尺寸精度高，以及具备在金属、塑料、陶瓷和玻璃中加工高质量、小特征的能力。

技术中心

22 中红外激光器



三元晶体中红外激光器有望实现功率提升

发射波长在5 μm光谱区域的、特殊生长的Fe：CdMnTe晶体，在未来可以实现波长调谐。

24 激光材料加工



脉冲CO_2激光提高消融速率实现改进的玻璃加工

德国弗劳恩霍夫激光技术研究所开发的调Q CO_2激光加工过程，实现了玻璃材料的精密、复杂和自由形状加工。

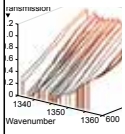
25 超快激光器



直接二极管泵浦的钛宝石激光器系统

现在可使用单个廉价的4W激光二极管来泵浦锁模钛宝石激光器，产生短至13fs的脉冲。

27 光谱仪



中红外光谱仪使用量子级联激光频率梳

使用锁相量子级联激光器（QCL）的四波混频来产生超稳定、可重复的中红外频率梳，这对宽带、紧凑型中红外光谱仪的开发至关重要。

28 激光安全



激光对人体危害机理介绍

介绍激光对人体组织的危害机理，确定激光安全等级所应用的辐射限值由哪些参数决定，全面了解激光安全、明确激光产品安全要求。

光耀荆楚

30 焊接头对RFL-C1000激光器焊缝成型的影响

31 华俄激光与您共同打造工业4.0

4 **编者的话**

8 **前沿简讯**

32 **产品撷英**

36 **广告索引**

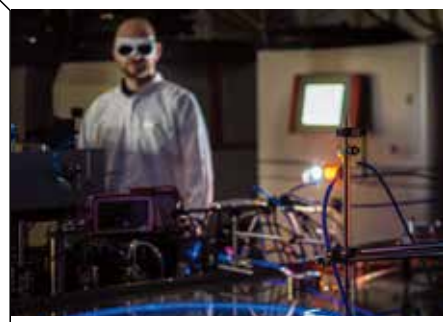
关于《激光世界》

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

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

请查询本刊专业网站：www.laserfocusworld.com.cn。

扫一扫 免费下载电子书



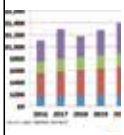
10 COVER STORY

Fiber Lasers

High-power, single-mode fiber lasers advance

By identifying high-power fiber laser challenges and optimizing the optical fiber accordingly, a 4.3 kW single-mode output has been achieved, with further upscaling and new ultrafast laser applications in development.

5 MARKET WATCH



Developments and prospectives of China & abroad industrial laser markets

Laser technologies will be everywhere in industrial applications, and applications such as laser micromachining, laser welding, metal 3D printing, laser cleaning are future potential markets. It will be the golden age for laser technologies in the next 30 years.

14 APPLICATIONS



Ultrafast Micromaching

Femtosecond lasers for prototyping and volume production

Both prototyping and volume manufacturing for a part could be achieved just by a single femtosecond laser micromaching platform, which will lead to time to market largely reduced.

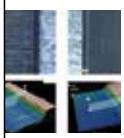
16 Laser Cutting



Identification and laser processing of fingerprint identification modules

Cutting circuit boards and cover glass of fingerprint identification modules with laser, achieves advantages such as small collapse, high speed, narrow cutting slot and large thickness.

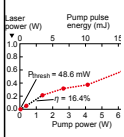
19 Ultrafast Processing



Ultrafast lasers offer great promise as a unique manufacturing tool

Ultrafast laser processing offers advantages including near-zero heat effect; minimal burring and debris; high dimensional accuracy; and the ability to produce high-quality small features in metals, plastics, ceramic, and glass.

22 TECHNOLOGIES CENTER



Mid-IR Lasers

Ternary-crystal mid-IR laser shows power-scaling promise

Specially grown Fe:CdMnTe crystal that emits in the 5 μm spectral region could be made wavelength-tunable in the future.

24 Laser Materials Processing



Pulsed CO_2 laser increases ablation rates for improved glass processing

Fraunhofer ILT has developed a more-powerful Q-switched CO_2 laser process ,which enabling bulk glass to be converted to sophisticated, complex, and even freeform shapes.

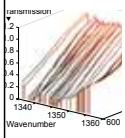
25 Ultrafast Lasers



Direct diode-pumped Ti:sapphire laser systems

It is now possible to use a single inexpensive 4 W laser diode to pump a modelocked Ti:sapphire laser generating pulses as short as 13 fs.

27 Spectrometers



Mid-IR spectrometer uses quantum-cascade laser frequency combs

Using four-wave mixing of phase-locked quantum-cascade lasers (QCLs) to fabricate ultrastable, repeatable mid-IR frequency combs that are critical to the development of broadband, compact mid-IR spectrometers.

28 LASER SAFETY



The damage principle of laser to human body

Learn about the damage mechanism of laser to human tissues, determining the decisive parameters of radiation limit used by laser safety levels, understanding laser safety and clearing laser product safety requirements.

LASER BRIGHTEN HUBEI

30 Effects of welding head on weld forming of RFL-C1000 Laser

31 HE Laser is building industry 4.0 together with customers

4 EDITOR'S NOTES
8 LEADING EDGE SNAPSHOTS
32 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.

迎接激光技术的黄金时代

在本刊于 6 月 2 日在苏州金鸡湖国际会展酒店举行的“LaserFoucsCon 2017 激光技术聚焦峰会”上，我们非常荣幸地邀请到了激光行业内的资深人士顾波博士，为大家带来了一场关于“国内外工业激光市场的发展与趋势”精彩演讲。顾波博士在演讲中表示，激光技术在工业中的应用将无处不在，激光精密加工和微细加工、激光焊接、金属 3D 打印、激光清洗、激光雷达、激光照明等都将在汽车制造、车船制造、微机械制造、电子、半导体等诸多领域发挥关键作用，智能化和中国制造 2025 将带来激光界的红利期，未来 30 年将是激光技术的黄金时代！

市场需求催生的大好机遇，同样推动着激光技术自身的发展完善。作为实现智能制造的一股核心力量，激光器本身正在向着“更高的功率、更快的脉冲速率、更好的输出光束质量以及更短的输出波长”这几大方向发展，以实现并开创很多过去无法实现、甚至想都没想过的新应用。

提升单模光纤激光器的功率是一项颇具挑战性的工作。在本期的封面故事中，由德国多家研究机构和几家公司联合组成的一个研究团队，系统地分析了提升单模光纤激光器的功率所面临的挑战，并研究相应的优化方案，最终实现了 4.3kW 的单模输出，进一步的功率提升方案仍在开发中，同时也在开发这类激光器的超快应用。

超快激光最为一种独特的微加工工具，将在制造业领域大有可为。本期技术中心栏目中的一篇文章，介绍了超快激光器方面的一个最新进展——使用廉价的激光二极管泵浦锁模钛宝石激光器，产生了短至 13fs 的超快脉冲。在本期的应用天地栏目中，读者还将了解到超快激光已经能够提供多种波长选择，从红外、绿光到紫外，能够实现金属、玻璃、陶瓷、树脂、PET 等多种金属和非金属材料的精细加工，并且已经有脉冲持续时间更短的工业级飞秒激光加工平台，在汽车、半导体、医疗器械和消费品制造等领域开始应用，既能实现产品的原型制作，又能满足一定的量产需求，大大加速产品开发及上市时间。

中红外激光器也是一个永恒的热门话题，因为中红外光谱区域与分子指纹区域重合，因此中红外光谱在许多物质的探测、分析及鉴定方面，具有重要价值。本期我们精选的两篇关于中红外激光器和中红外光谱仪的文章，希望能为感兴趣的读者带来参考。

这是一个充满和蕴育颠覆的时代。时代的演进，制造业的发展甚至变革……或许有人说这是一个最坏的时代，但对于激光行业而言，这也是一个最好的时代。迎接未来激光技术的黄金时代，你准备好了吗？❑

本刊编辑部

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
© 2017 版权所有 翻印必究

国内外工业激光市场发展与展望

编者按：

由本刊举办的Laserfoucs Con 2017激光技术聚焦峰会苏州会议，于2017年6月2日在苏州金鸡湖国际会议中心成功举办，会上我们非常荣幸地邀请到了业内资深人士顾波博士，就国内外工业激光市场的现状与未来趋势作了精彩演讲，现将其演讲精华整理如下，以飨读者。

文/顾波

相比于电子、半导体等行业，激光器行业的规模较小，2016 年全球激光器的市场规模为 104 亿美元，预计 2017 年将增长到 111 亿美元；目前中国激光器市场的规模大约为 600 亿元。

很显然，单从市场规模来看，激光行业似乎有些微不足道；但是激光技术的应用却几乎能覆盖生产生活的各个领域，从汽车制造、动力电池、到手机制造、航空航天、医疗器械乃至国防军事等几乎我们能想到的所有领域，都活跃着激光器的身影；而且对很多行业而言，激光技术已经成为一种不可或缺的支撑技术。众所周知，中国制造 2025 的核心是智能制造，智能制造的核心之一是光电技术，而光电技术的核心之一正是激光器。因此，激光行业本身的市场规模虽小，但它却是驱动制造业发展的一大核心力量，其重要性不言而喻。

细分市场

从市场增长来看，按照激光器种类划分，未来五年内，市场增长最快的是直接半导体激光器，主要是千瓦级的高功率半导体激光器；增长第二快的是量子级联激光器，这种激光优势明显，用途广泛，特别是在反恐、安保等应用中发挥重要作用，今后全球对量子级联激光器将有巨大需求。光纤激光器将一直保持着稳健的增长速度。

从激光器的应用市场来看，除去大约占据半壁江山的光通讯市场外，目前宏观材料加工是最大的市场，其次是微观加工，未来随着制造业不断向高端发展，微观加工市场将拥有很大的成长空间。

在激光微加工市场，2016 年的全球激光微加工市场的总规模大约为 11 亿美元，预计 2017 年将增长到 13 亿美元。目前最大的应用市场是半导体 /PC 板 / 显示加工市场，服务该领域的主力公司的是相干公司，另外还有两家是美国的 Cymer 和日本的 Giga Photonics。接下来分别是精密金属加工市场、非金属加工市场以及增材制造市场。

激光微加工应用所使用的激光



器，主要是准分子激光器、光纤激光器 CO_2 激光器和固体激光器，其中光纤激光器和准分子激光器的应用最多。值得一提的是，CO_2 激光器并没有从市场中消亡，实际上最近在非金属加工方面还迎来了很多新机会。

激光加工的另一个市场是千瓦级大功率激光加工市场，2016 年该部分市场的规模约为 15 亿美元，未来五年将呈比较平稳的增长态势。在千瓦级应用中，目前金属切割应用仍然是大部头，大约占据了 70% 的份额，另外两类应用是金属焊接和增材制造。虽然有业内人士预测金属焊接市场未来将有望超过切割市场，但是未来五年内，从销售额上看，增长最快的还是金属切割应用，预计到 2022 年，千瓦级光纤激光器在金属切割应用中将收获 14 亿美元的收入。目前，随着光纤激光器的发展，激光切割机已经做成了一种标配产品。

再来看一下全球激光打标市场。这是一个相对比较成熟和稳定的市场，总收入大约在 6 亿美元左右，未来市场增长也比较缓慢。目前用于打标的激光器主要是光纤激光器（大约占据一半的市场）和 CO_2 激光器（大约占据 1/3 的市场），半导体激光器的应用也在逐渐增多。

中国激光市场

中国的激光加工市场主要分布在华南(30%)、华中(24%)、华东(20%)、华北及东北（13%）地区，其中华南、华中和华东三大地区制造业发达，自然成为了激光加工的重点地域市场。

2016 年，中国工业激光与系统的销售额达 385 亿元，预计 2017 年将增长至 455 亿元，增长率高达 18%。

光纤激光器已经是工业激光市场中绝对的主力。2013-2016 年间，低功率光纤激光器（<100W）在中国市场的销售稳步快速增长，特别是 2016 年比 2015 年的销量增长了高达 75%，另外还有一个特别明显的现象，就是国产光纤激光器已经占据了国内近九成的国内市场份额。

中功率光纤激光器（<=1.5kW）在中国市场的销量，从 2013 年的 1200 台飙升到了 2016 年的 13000 台，其中 2016 年的销量是 2015 年的 3 倍！ 2016 年的一个更明显的趋势是，国产中功率光纤激光器的销量，已经以压倒性的优势超越了进口产品。

2013-2016 年间，高功率光纤激光器（>1.5kW）在中国市场的销量，从 600 多台飙升到了 3000 多台。与低功率和中功率光纤激光器截然不同的是，高功率光纤激光器市场主要由进口产品主导，国产产品数量稀少。但是，这种局面恐怕马上要改变。国产高功率光纤激光器应该首先在 4 kW 或以下有所突破。估计 2 到 3 年左右，4 kW 或以下功率，国产高功率光纤器会达到 50%以上。

最近两年，激光切割成套设备在中国市场的销量成倍增长。光纤激光器在激光切割系统中的应用，近两年开始跨越式增长，尤其是在中功率切割系统中。在焊接系统中，60% 的激光焊接设备已经使用光纤激光器，65% 的设备用于汽车制造。功率超过 3kW 的高功率系统数量也在稳步增长，激光切割焊接系统也在向着高功率发展。

随着中国集成电路的大力发展，用于印刷电路板和消费电子产品微加工系统的紫外激光器数量大幅增长。与此同时，生物技术和医疗设备领域的应用也给紫外激光器提供了广阔的发展空间。2016 年，紫外激光器在中国市场实现了爆发式增长，销量较上一年翻了一番，达到 7800 台。



2016 年，CO_2 激光器在中国市场的销量增长不大，中小功率总量维持在 1 万台左右，主要用于赋码、打标、切割等非金属行业。2kW 以上的高功率 CO_2 激光器的销售，较 2015 年 200 台的总销量，有较大降低。随着汽车行业轻量化的推进以及复合材料市场的应用，未来 CO_2 激光器还会有新的发展前景。

激光器的发展趋势

激光技术作为工业制造领域的一股核心驱动力量，本身也在不断向前发展。总结来说，激光器正在向着“更快、更高、更好、更短”这四大方向发展。

更高：激光器的功率越来越高，平均功率已经超过 10 万瓦。2013 年，第一台商用的 10 万瓦级光纤激光器在日本名古屋 NADEX 中心安装，用于焊接 300mm 厚的钢板。激光切割应用也向着更高的功率发展，激光切割机的功率持续走高，已经达到 8~12kW。

更好：激光器输出的光束质量越来越好，光纤激光器的光束质量已经达到 10 万瓦级单模。在过去的一年中，光纤激光器、碟片激光器、直接半导体激光器的亮度都有大幅度提升。

更短：激光器的输出波长覆盖更短的波段，短波长激光器已经广泛应用。很多先进的制造工艺都需要冷加工，例如在智能手机制造中，很多时候需要用短波长、短脉冲的紫外激光来处理。短波长激光已经在表面标记、半导体晶圆加工、钻孔、切割等领域获得了大量应用。

更快：激光器的脉冲速度越来越快，超快激光器取得了快速发展，已经凭借着更简单的结构、更方便的操作、更低廉的成本和更稳定的性能，走出实验室进入工业应用中。

未来的潜力市场

关于未来市场中有哪些新的应用增长点，一直都是大家关注的话题。

激光清洗：随着环保意识的增强，各种环保清洗技术应运而生，激光清洗技术就是其中之一。激光清洗利用高能激光束与工件表面要去除的物质相互作用，发生瞬间蒸发或剥离，无需各种化学清洗剂，绿色无污染。可用于清除油漆、油污、氧化层、清洗螺杆、除锈、清洗焊缝等。激光清洗在微电子、建筑、核电站、汽车制造，医疗、文物保护、钢铁除锈和模具去污、汽车制造、建筑等领域拥有巨大市场空间。

金属 3D 打印市场：金属 3D 打印也即增材制造，通常使用的是选择

性激光器熔覆（SLM）技术，利用激光能量将金属粉末一层层熔化，最终制成想要的形状。2016 年，SLM 系统的销量超过 1000 台，其中使用的激光源主要是光纤激光器、碟片激光器 /CO_2 激光器和飞秒光纤激光器，功率范围 30W 到 1kW 以上。3D 打印的精细度也越来越高，打印出的精细结构的分辨率已经达到微米量级。

激光雷达：未来五年激光雷达市场将稳步增长，市场增长的主要驱动力来自于无人机、自动驾驶的汽车、机器人、军事及安全等领域。

激光照明：激光照明的一部分市场是汽车激光照明，主要是汽车头灯。宝马、奥迪等知名汽车制造商都采用了激光照明系统。另一部分市场是安全激光照明，如为夜晚环境中骑行的人们提供警示性标识。

激光焊接：激光焊接将首先在汽车制造、高速火车和飞机制造、农业机械和造船等领域铺开，这将是一个未来的增长点。

激光精密加工和微细加工：将是另一个未来的增长点。

趋势总结

激光器的研发正朝着高智能化、高功率、高光束质量、高可靠性、低成本和全固态等方向发展。

激光精密加工和微细加工技术将是发展重点，其在电子、半导体、通讯、光存储、微机械制造、生物、环境等行业进一步推广和使用，将为传统加工方式创造前所未有的可能性。在这里，超快激光器将随着精密加工和微细加工市场的扩大而迅速增长。

激光加工的自动化、集成化和智能化水平持续提高，在与工业机器人结合的基础上，实现三维的焊接、打标、切割等多维加工，激光技术的适用性和应用领域不断拓展。

激光技术在工业中的应用已经无处不在，新型激光技术不断涌现；超快激光器正在成为工业激光器，市场将要井喷；直接半导体激光器正进入固体激光器的应用市场；激光 3D 打印发展迅速，许多关键问题有待突破；激光焊接将迎来快速增长期；光子和半导体结合，将产生下一代光电技术；光电子技术已经成为下一个 30 年经济发展的支撑体；智能化和中国制造 2025 将带来激光界的红利。未来的 30 年将是激光技术的黄金时代！❑

LUMENTUM

超快异型材料加工
——降低系统设计成本！！



利用 PicoBlade®2，可将您的最苛刻的微加工应用的生产率提高40%。

PicoBlade 2——我们的智能控制、全功能皮秒激光器——能以最高的精度和可靠性加工几乎所有的材料的完美工具。经过优化设计的最新 PicoBlade 平台与我们的第一代激光器拥有同样高的灵活性，而且封装更小，极大简化了系统集成难度。

AccuTrig™ 独特的智能控制、高速变频功能使 PicoBlade 2 能够提供真正的实时外部触发，而该外部触发的定时抖动仅为 ±25纳秒，同时维持稳定精确的脉冲能量——这对处理复杂的异型加工应用至关重要。

想要更全面地了解？下载AccuTrig 白皮书，查找 PicoBlade 2 是如何改善您的微加工应用和结果。

提高先进制造的效益

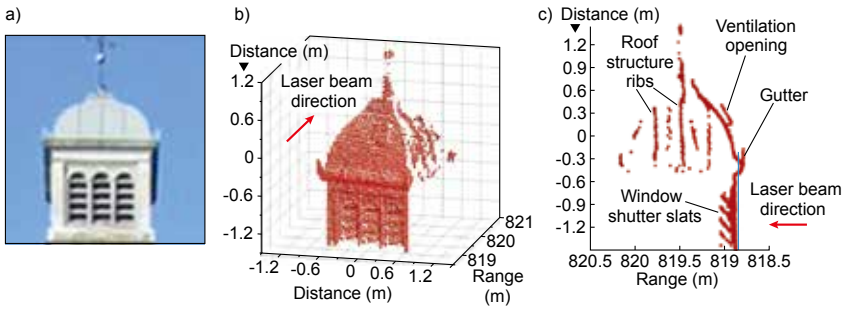
WWW.LUMENTUM.CN | CUSTOMER.SERVICE@LUMENTUM.COM | +1 844 810 LITE (5483)

前沿简讯 Leading Edge Snapshots

单光子 3D 成像的距离可达 10 公里

随着对空中和其他便携式平台的更紧凑、更轻便、更隐蔽的成像方法的需求越来越多，基于单光子的飞行时间（TOF）或激光雷达成像系统越来越受欢迎，因为这类成像系统的高灵敏度允许使用体积更小、功率更低的激光系统。

不同于使用功率几十毫瓦的可见激光源、硅单光子雪崩二极管（SPAD）探测器和逐像素读出图像处理算法，苏格兰 Leonardo MW 和赫瑞瓦特大学的研究人员开发出了一种单光子成像激光雷达系统。据悉，该系统对早期的单像素设计进行了改进，其使用了一台人眼安全的 1550nm/10mW 的激光器、砷化铟镓 / 磷化铟（InGaAs/InP）SPAD 探测器，以及专为时间相关的单光子计数（TCSPC）而设计的一些算法，最终实现了能在长达 10.5 公里的范围内进行成像。



该成像系统使用一台安全等级为一级、波长 1550nm、功率 10mW 的掺铒激光器，其以 25kHz 的重复频率提供 800ps 的脉冲；该系统中使用的探测器是具有 25μm 有效面积和 100ps 定时抖动的 SPAD 探测器；与此同时用振镜扫描光场，并管理出射光脉冲和返回的光子，物体可以通过一个直径 21cm 的反射望远镜系统观察，并转换为 3D TOF 图像。

例如，在超过 20 分钟的图像总采集时间内（170ms/ 像素），从 800 米远的距离处扫描钟楼，可以显示出包括屋顶和沟槽形状在内的深度图像信息，甚至能从一张分辨率为 85 × 85 像素（像素间隔 2.2cm）的图像中，估计出百叶窗上的通风板条的角度。❑

德国开发出世界上最小线宽的激光器



获得尽可能窄的线宽，是激光研究的目标之一。最近德国研究人员开发出了线宽仅 10mHz（0.01Hz）的激光器，堪称是世界上最小线宽的激光器。

通常，最好的激光器可以具有窄到几 kHz 的线宽，但是对于特别精确的仪器，如光学原子钟，就需要将之进一步收窄。另一种衡量激光束质量的方式是光频率的稳定性：在过了一段时间之后，光波的震荡会出现不同步，因此一束激光能维持更长的“完美”时间，其质量也就愈佳。

来自德国联邦物理技术研究院（PTB）和美国天体物理联合实验室 (JILA) 的科学家，共同研发的新型激光器在这两个领域均表现优异。除了其 10mHz 的极小线宽外，其光波能持续 11 秒保持稳定，此时光束延伸约 330 万公里，约是地月距离的 10 倍。

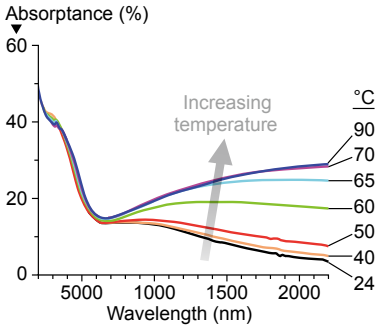
事实上，新的激光器非常精确的，为了证明它的价值，团队研发了两个激光器，并将它们相互比较。这两个设备由 Fabry-Pérot 硅谐振器制成，包含两个彼此相对的固定反射镜。由于谐振器的长度决定了光波的频率，所以研究人员利用长 21cm 的谐振器来获得理想的激光束。研究人员通过这样精确的测量，使仪器不受其他因素干扰，例如压力，振动和温度。

研究人员正在利用这种极小线宽的新型激光器来制造更准确的原子钟，并对超冷原子进行更精确的测量。研究人员认为，通过调整反射镜的组成并找到降低谐振器内部温度的方法，线宽能进一步收窄，甚至可以达到 1mHz 以下。❑

二氧化钒是一种折射率可调的新材料

由于金属 - 绝缘体相位变化，在接近 68℃的温度下，二氧化钒（VO_2）可以在透明状态和反射状态之间来回切换，这一特性使 VO_2 成为一种颇具吸引力的超高速光学开关材料。在其转变温度周围的区域，VO_2 的折射率也发生变化，这意味着它也可以作为一种折射率可调的新材料。

美国海军研究实验室的科学家通过测量 VO_2 的透光率和反射率，并将这两个参数作为温度的函数，来表征 VO_2 的可调折射率，并且通过该数据创建 VO_2 材料的复合光学折射率的波长相关模型和温度相关模型。该信息



可用于需要折射率可调的未来光学器件的设计中。

研究人员通过原子层沉积，在蓝宝石上生长厚度为 35nm 的高品质 VO_2 薄膜，产生了与蓝宝石衬底对齐的单斜晶（020）取向层。然后用钨灯以与法线方向成 6° 的角度照射 VO_2 薄膜，温度在 24℃ ° 和 90℃之间逐渐变化，在测量之间有两分钟的稳定时间。

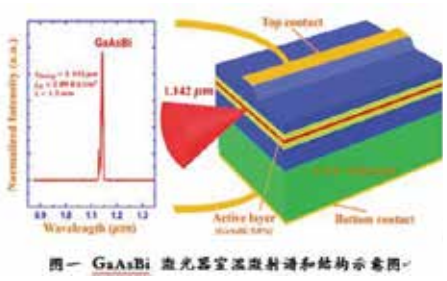
在三个光谱区域中记录了透射率和反射率的变化，这三个区域分别是：可见光区域（400~800nm）、近红外区域（800~1100nm）和红外区域（1100~2200nm）。VO_2 薄膜中的散射损耗可以忽略不计。然后在从金属到绝缘状态的整个过渡区域内，对 VO_2 薄膜的光学介电常数进行建模。研究人员指出，具有可调折射率的保形和 / 或柔性 VO_2 涂层的可行性，将会带来新颖的光学器件。❑

镓砷铋（GaAsBi）量子阱激光器研究取得重要进展

中科院上海微系统与信息技术研究所在镓砷铋（GaAsBi）量子阱激光器研究方面取得重要进展。王庶民研究员领导的研究团队，采用分子束外延方法生长了镓砷铋量子阱材料，并成功制备出目前发光波长最长（1.142μm）的电泵浦镓砷铋室温（300K）量子阱激光器，突破了之前波长 1.06μm 的世界纪录，脉冲激射最大输出功率达 127mW，并在 273K 首次报道连续激射。

镓砷铋材料由于其较大的带隙收缩效应、自旋轨道分裂能和较低的温敏性等特点，被认为是光通讯系统中非制冷激光器最具潜力的新材料之一。但是，为了有效凝入铋组分，镓砷铋材料生长需要较低温度，这就容易导致缺陷密度增大，从而影响材料的发光性能，因此在激光器材料生长方面面临极大挑战。

中科院上海微系统与信息技术研究所的吴晓燕、潘文武等人，基于分子束外延技术优化生长了高质量的镓砷铋量子阱材料，成功制备了较高性



图一 GaAsBi 激光器室温脉冲结构示意图

能的镓砷铋量子阱激光器，发光波长拓展到 1.142μm，同时其特征温度和波长温敏系数均优于当前商用的 InP 基激光器。该项研究有助于推动新型稀铋材料在光电器件领域的应用。❑

光纤激光器

高功率单模光纤激光器的最新进展

通过确定高功率光纤激光器的挑战并相应地优化光纤，已经实现了4.3kW的单模输出，进一步的功率提升和新的超快激光应用正在开发中。

文/Thomas Schreiber，Andreas T ü nnermann，Andreas Thoss

如果说激光技术领域有一个明显的趋势，那就是光纤激光器的兴起。在高功率切割和焊接应用方面，光纤激光器已经从高功率 CO_2 激光器和固体激光器手中抢占了大量市场份额。目前，一些主流的光纤激光器制造商正在探索许多新的应用，以满足更多市场需求。

在高功率光纤激光器中，单模系统具有令人满意的特性：它们具有最高的亮度，可以聚焦至几微米到最高的强度。它们还具有最大的焦深，这使它们最适合远程加工。然而它们难以制造，只有市场领先的美国 IPG Photonics 公司才能提供具有单模 10kW 功率的系统。不幸的是，没有关于其光束特性的细节，特别是可能与单模光束一起存在的任何可能的多模成分。

由德国政府资助、来自德国 Friedrich Schiller University 和弗劳恩霍夫应用光学与精密工程研究所（Fraunhofer IOF）的科学家团队与德国通快公司、Active Fiber Systems 公司、业纳公司和 Leibniz Institute of Photonic Technology 合作，分析了提升这种激光器功率的挑战，然后开发了新的光纤来克服这些限制。该团队成功地完成了一系列测试，展示了 4.3kW 的单模输出，其中光纤激光器输出仅受到输入泵浦功率的限制。

抑制单模光纤激光提升的效应

这种单模大功率光纤激光器面临的挑战是什么？这些挑战主要可分为三个领域：a）改进泵浦，b）设计具有低光学损耗且仅在单模运行下工作的有源光纤，以及 c）正确测量所得到的辐射。在本文中，我们假设挑战 a）可以通过高亮度激光二极管和适当的耦合技术得以解决，因此我们将主要精力聚焦在其他两个挑战领域。

在用于高功率单模运行的有源光纤设计中，有两组通用参数要优化：掺杂和几何形状。必须确定所有参数以实现最小损耗、单模运行以及最后的高功率放大。完美的光纤放大器将提供超过 90% 的高转换率、完美的光束质量，以及仅由可用的泵浦功率限制的输出功率。

然而，将单模系统提升到较高功率可能导致激活纤芯内更高的功率密度，增加的热负载以及许多非线性光学效应，例如受激拉曼散射（SRS）和受激布里渊散射（SBS）。

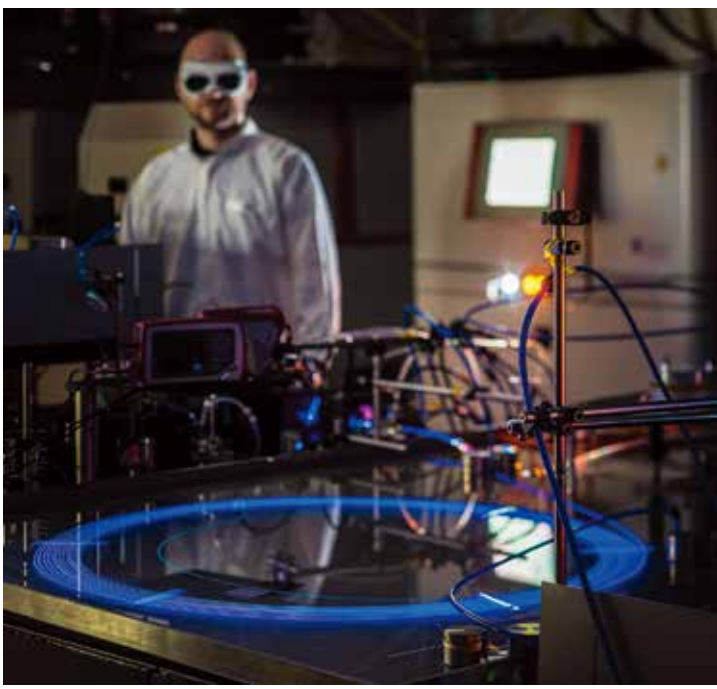


图 1：德国的一个研究团队已经展示了光纤激光器的4.3kW单模输出，其输出仅受到输入泵浦功率的限制。

最引人注目的是掺镱石英光纤典型的一种效应，并且在光纤激光器早期当光纤材料不像今天这样纯净时是众所周知的，这就是光致暗化。在该过程中，由于激光材料相互作用，在材料中形成缺陷中心或色心。这种效应是寄生的：它将泵浦光子转换成热，这导致较低的放大和增加的热负荷。

根据激活纤芯的尺寸，可以激发和放大几种横模。对于纤芯和包层之间给定的折射率阶跃，激活纤芯的截面越小，这些模式的数量就越小。然而，更小的直径也意味着更高的功率密度。一些技巧包括弯曲光纤增加高阶模式的损耗。

然而，对于较大的芯径，以及在热负载下，可能会出现其他模式。那些模式在放大期间经受相互作用，没有最佳传播条件，输出分布可能会在空间或时间上不稳定。

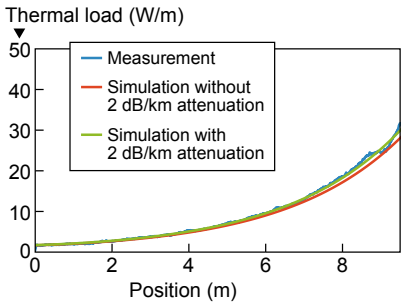


图2：与具有额外损耗和不具有额外损耗的模拟相比，有源光纤的测量热负荷。

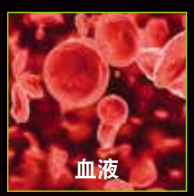
横模不稳定性

掺镱（Yb）光纤是高功率单模光纤激光器的典型主力介质。但超过一定的阈值，它们将显示出全新的效应，即所谓的横向模式不稳定性（TMI）。在特定功率水平下，突然出现高阶模式或甚至包层模式，能量在这些模式之间动态传递，并且光束质量降低。光束在输出端开始波动。

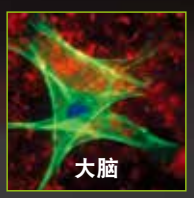
自从发现 TMI 以来，已经在从阶跃折射率光纤到光子晶体光纤的各种光纤设计中观察到 TMI。只有其阈值随几何形状和掺杂而变化，但粗略估计，这种效应在输出功率超过 1kW 后才显现。与此同时，该效应与光纤内部的热效应相结合，与光致暗化效应有很强的相关性。此外，光纤激光器对 TMI 的敏感性似乎受到纤芯模态组成的影响。

阶跃折射率光纤的几何形状产生了许多用于优化的参数。纤芯直径、泵浦包层的尺寸，以及纤芯和泵浦包层之间的折射率差异，都可以调整。这种调谐取决于掺杂浓度，也就是说，

光学实现
高级诊断









- 您的首选物镜供应商，品牌包括：Edmund Optics®, Mitutoyo, Olympus 和 Nikon
- 专业的光学工程专家
- 次日即可发货

立即联系我们

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
电话: +86 (0755) 2967 5435
电邮: chinasales@edmundoptics.cn

Edmund
75 YEARS OF OPTICS
www.edmundoptics.cn/077-8619

Yb 离子的浓度可用于控制激活光纤中泵浦辐射的吸收长度。可以添加其他掺杂剂以减少热效应，并控制折射率阶跃。

但有一些相反的要求。为了减少非线性效应，光纤应该更短。然而，为了减少热负荷，光纤应该更长。光致暗化随着掺杂浓度的平方增加，因此具有较低掺杂的较长光纤将更好。

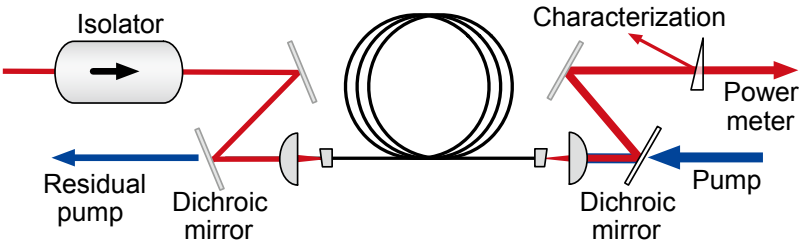


图3：用于光纤放大器测试的实验高功率放大器设置，其中光纤在反向传播方向上以976nm泵浦。

Table 1. Overview of the measured parameters for the fibers under test (MFD mode field diameter)

Fiber No.	Outer-core diameter (μm)	MFD (μm)	Cladding diameter (μm)	Fiber length (m)	Bending diameter (m)	Yb-doping (mol%)	Al-doping (mol%)	P-doping (mol%)
1	30.0	22.7	460	35	1.1	0.07	0.5	0.9

有关这些参数的最初建议，可以在模拟中发现。一些参数，例如热行为，可以模拟但难以预测，尤其是因为光致暗化很低，并且不能通过加速测试来测量。因此，直接测量光纤中的热行为，将有助于实验的规划。

对于典型的有源光纤，图 2 给出了从光纤放大器内部同时分布式温度测量提取的测量热负荷与模拟热负荷的比较。为了准确地预测纵向温度曲线，假定仅有 2dB/km 的额外损耗，这显示了非常低的损耗。

光纤设计的另一项重要参数是截止波长，这是允许在激活纤芯内有更多模式的最长波长。不支持大于该波长的高阶模式。

除了光纤本身的性质之外，还有几种方式来影响放大过程和损耗机制，例如光纤弯曲或种子光束的时间特性和光谱特性。

面向千瓦级功率的新光纤的测试

在深入模拟之后，在最近的实验中生产和检查了两种类型的掺 Yb 光纤。[1] 光纤 1 的纤芯直径为 30μm，并且共掺了磷和铝。与光纤 1 相比，光纤 2 具有较小的 23μm 直径，并且共掺水平较低，但含有更多的镱，以实现略高的折射率分布（见表 1）。

光纤 1 和光纤 2 的计算截止波长分别位于 1275nm 和 1100nm 附近。与芯径为 20μm、数值孔径（NA）为 0.06、截止波长约 1450nm 的典型光纤相比，这要接近单模得多。放大的激光波长中心为 1067nm。

两种光纤都已经在高功率泵浦方案中进行了测试（见图 3）。泵浦二极管激光和种子信号被自由空间耦合到光纤中，光纤制备有熔接的端帽和水冲洗接头，在静止水浴中用于冷却。种子是相位调制的外腔二极管激光器（ECDL），其被预放大，以实现 1067nm 的 10W 种子功率和 180pm 的光谱线宽。

在光纤 1 的测试中，在 2.8kW 的阈值下，在毫秒级上观察到突然的波动，这可以归因于 TMI。长度为 30m、种子线宽相同的光纤 2，被泵浦到 3.5kW 的输出功率，受到 SBS 而非 TMI 限制。

在第三个实验中，修改种子激光光谱，通过光谱展宽到比以前实验更高的程度，来提高光纤的 SBS 阈值。为此，将具有 300pm 移动中心波长的第二个二极管激光器与第一个二极管激光器组合。这种干扰导致时间跳动，由于自相位调制，使得带宽随功率增加。在与之前相同的主放大器中，获得非常相似的输出功率值和 90%的斜率效率，但是输出功率可以提升到 4.3kW，而没有任何 TMI 的迹象（见表 2）。

Table 2: Results of the fiber test

Fiber No.	Outer-core diameter (μm)	Fiber length (m)	Output spectral width (nm)	Max. output power (kW)	Limitation
1	30.0	35	0.18	2.8	TMI
2	23.0	30	0.18	3.5	SBS

测量挑战

测量高功率光纤激光器的所有方面是一项主要工作，需要专门的设备

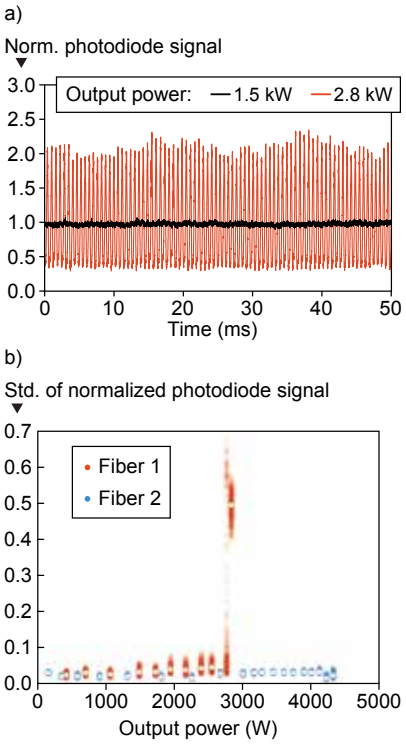


图4：使用光纤1，低于和高于TMI阈值时，用光电二极管测试的输出信号强度的测试曲线（a）；在各种输出功率下，PD追迹的归一化标准偏差如（b）所示。

进行多项不同的任务。对于光纤的完全表征，确定了掺杂浓度、折射率分布和光纤纤芯衰减。 例如，测量不同弯曲直径的纤芯损耗，对于与 TMI 阈值的相关性是有价值的。

在上述光纤放大器测试期间，使用光电二极管分析的一小部分功率来确定 TMI 阈值。功率波动的发生相当突然和显著（见图 5）。虽然在使用光纤 1 的测试中，这种信号变化是显著的，但对于光纤 2 的功率水平达到 4.3kW 都无法探测到这种情况。相应的斜率如图 5a 所示。

光谱和时间测量可以用常规技术来执行。它们允许探测诸如 SBS 发生（与 TMI 不同的时间特征）或 SRS（光谱特征）等效应。应当注意在高动态范围内进行测量，以观察寄生光谱特征的早期生长，如放大自发发射或 SRS。这种高动态光谱如图 5b 所示，并证明 SRS 是不可探测的。

光束质量测量是光纤激光表征中最困难的部分，值得单独讨论。简言之，不引入热效应的衰减是关键，可以用菲涅耳反射或低损耗透射光学元件来完成。

在这里介绍的实验中，使用楔形平板和脉冲泵浦，在比 TMI 出现的时间长的时间范围上进行衰减。在 4.3kW 的输出功率下，测得 x 方向上的 M^2 为 1.27，y 方向上的 M^2 为 1.21。

超快科学中的应用

在高功率单模光纤激光器功率提升大约十年的停滞之后，现在开发新一代具有优异光束质量的千瓦级光纤激光器似乎是可行的。业界已经展示了 4.3kW 的输出功率，并且输出仅受泵浦功率限制。确定了进一步提升的主要限制，并确定了克服这些限制的方法。

应当注意的是，对所有已知效应的仔细研究和随后的参数优化，带来了光纤设计的进步，并最终带来了输出功率的新记录。进一步提升和光纤适应其他应用看起来似乎是可行的，这将是接下来的目标。

这带来了一些有趣的观点。一方面，项目合作伙伴希望将结果转化为工业产品，但需要进一步的重大开发力量。另一方面，该技术与其他光纤激光系统（例如飞秒光纤放大器）的提升高度相关。

在超快激光脉冲的光纤放大中，单根光纤已经实现了近1 kW的功率，[2] 而通过组束技术，提升到 5kW 现在看来是可行的。[3] 虽然这些系统正在为诸如 ELI 等研究中心研发，开发可靠的光束传输手段仍然是工业系统的一项主要挑战。

单模光纤激光器和飞秒光纤放大器的提升，都将需要大量额外的研究工作。这一努力将得到 Fraunhofer IOF 旁边一幢全新大楼的支持。这个新的光纤技术中心建筑于 2016 年完工，并设有专门的实验室，用于制造和表征有源光纤、无源光纤以及纳米结构光纤。还将安装用于制造特种光纤的单独拉丝塔。❑

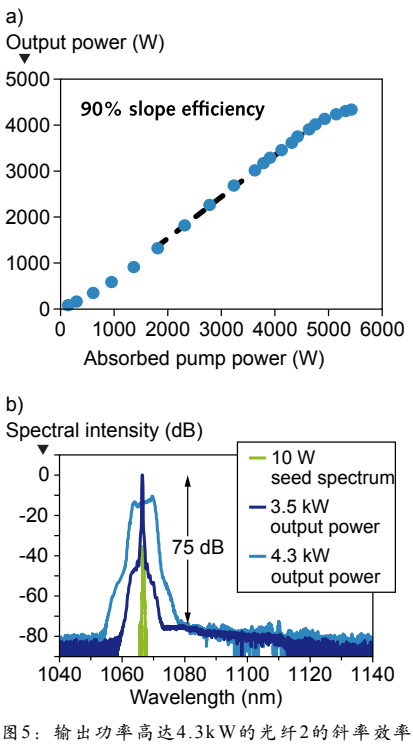


图5：输出功率高达4.3kW的光纤2的斜率效率（a）；3.5kW输出功率下的光谱，输出信号比ASE大75dB，线宽180pm，4.3kW输出功率下的光谱展宽到7nm的带宽（b）。

参考文献

1. F. Beier et al., "Single-mode 4.3 kW output power from a directly diode-pumped Yb-doped fiber amplifier," to be published in Opt. Express.
2. T. Eidam et al., Opt. Lett., 35, 94–96 (2010).
3. M. Müller et al., Opt. Lett., 41, 3439–3442 (2016).

超快微加工

飞秒激光加工用于原型制作和批量生产

文/Bill Peatman，Microlution公司

对于小型精密零件制造商而言，一直以来原型制作都是他们面临的一项挑战。为什么这么说呢？因为当零件的精度要求达到微米量级时，就很难创建可大规模制造的零件原型。虽然通过 3D 打印的方式几乎能够制造任何产品原型——从微型植入式医疗器件到完整的汽车发动机，但是如果创建产品原型所使用的设备和过程，与实际生产制造中使用的设备和过程不同，则意味着利用现有的生产设备，这个产品很可能不具备可制造性，这将延迟产品的上市时间。换句话说，快速原型制作并不总是意味着快速产品开发。

激光解决方案

激光加工平台用于原型制作已经有多年的历史，因为这种方式设置快速，并且可以实现高精度。此外，这种方式也不存在工具磨损对精度和可重复性所带来的影响。

然而，微型零件的激光原型制作却存在着更大的挑战，因为存在较为显著的热影响区（HAZ），其造成的热损伤（熔化、毛刺或重铸）对于那些对精度要求很高的微型零件而言，还是难以接受的。

针对这种情况，超快激光提供了一种可行的解决方案。脉冲宽度在飞秒量级的激光器，能够实现无热损伤的激光加工。这意味着可以使用超快激光实现完美的微型零件原型制作。图 1 中给出了分别用纳秒激光（上图）和飞秒激光（下图）加工的冠状动脉支架样品的图像。

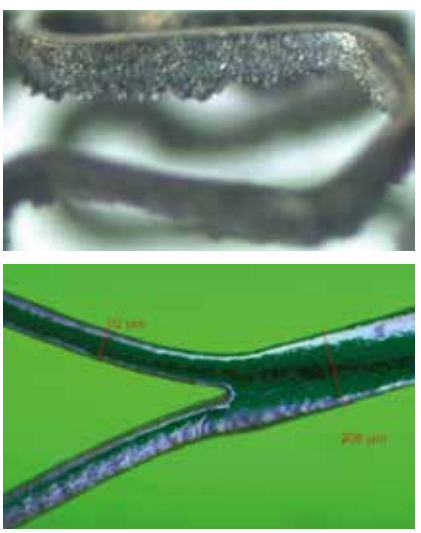


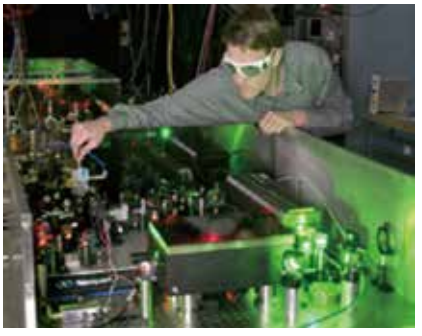
图1：冠状动脉支架样品图，上图是使用纳秒激光加工的，而下图是使用飞秒激光加工的。

商用级飞秒激光器

多年来，飞秒激光器在原型制作方面一直遭受着与 3D 打印类似的局限性。对于在实验室环境中创建产品原型而言，飞秒激光器非常适宜；但是对于全面的大规模制造来说，飞秒激光器还并不够强大，因此依然存在着原型的可制造性问题。

近年来，随着商业级飞秒激光器和能够提供稳定性、零件处理和光束控制的制造平台的出现，在 24/7 的制造环境中实现微型零件上的可重复的精密材料去除，已经成为可能。这意味着用于创建原型的完全相同的工具、设备和工艺过程，也同样适用于零件的大规模生产。图 2 显示了早期的飞秒激光器（上图）和 CNC 飞秒激光微加工平台（下图）。

工业级飞秒激光微加工平台的出现，使得新零件和新产品的快速设计与制造成为可能。一旦确定了产品原型，从原型到产品批量生产的时间已经大幅缩短。使用飞秒激光器实现从产品原型到成品零件制造的下一代设计案例，包括 OLED 面板、燃料喷射器喷嘴和上文提到的冠状动脉支架（见图 3）。



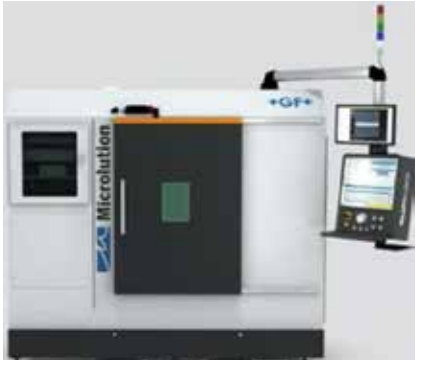


图2：早期的飞秒激光器（上图）和CNC飞秒激光微加工平台（下图）。



图3：使用飞秒激光器制造的成品零件包括OLED面板、燃料喷射器喷嘴和冠状动脉支架。

工业级飞秒微加工平台

2011 年，Microlution 公司推出了能够支持工业用途的飞秒激光微加工平台。该平台被命名为 ML-5，具有 5 轴激光扫描头、精密研磨的天然花岗岩基座、无铁直线电机、海德汉玻璃度盘和托盘式卡具，能够提供微型加工所需的精度。

现在，飞秒激光器已经能够实现真正的无热微加工，精度在 1 微米之内，重复性在亚微米之内。飞秒激光微加工已经在汽车、医疗器械、半导体和消费品制造领域得到应用。

灵活的量产解决方案

对于批量生产而言，飞秒激光器（以及其他激光器）的一个潜在缺点是制造速度。与允许同时加工多个零件的诸如冲孔、冲压和压花等大批量加工工艺相比，激光加工是一种串行加工过程。

飞秒激光加工技术的另一个限制是，在加工过程中，它通常一次仅可以移除少量材料。因此，要使用飞秒激光加工较大的特征时，加工速度会非常慢。❑

我们专注半导体激光器
We Focus on Diode Lasers
BWT BEIJING 北京凯普林光电
NewBeam™ 系列
• 976nm/ 140W 波长稳定高功率半导体激光器
• 9XXnm/ 210W 高功率半导体激光器
• 793nm/ 140W 高功率半导体激光器
北京凯普林光电科技股份有限公司
地址：北京市丰台科技园区航丰路甲四号
http://www.bwt-bj.com
产品与技术咨询：
电话：010-83681053
邮箱：sales@bwt-bj.com

激光切割

指纹识别模组的鉴定及激光加工

文/王承伟，苏州德龙激光股份有限公司

指纹识别模组的鉴定

指纹识别模组采用超声波、电容式传感器等，超声波指纹传感器利用高分辨超声波扫描指纹，根据超声波在指纹的脊和谷的返回时间，生成3D模型。虽然超声波指纹传感器抗静电强度、对湿手指的响应优于电容式指纹传感器，但是电容式指纹传感器的图像分辨率、灰度级、失真度、产品一致性、环境适应性、设备体积、使用寿命、功率消耗和设备成本都更有优势。超声波指纹传感器尚处于研发阶段，目前智能手机采用的指纹识别模组，大多是综合指标最佳的电容式指纹传感器。

电容式指纹传感器中包含256×256以上的像素点，每个像素点包含一个金属电极。当你的手指压在传感器的绝缘表面上时，手指上导电性能良好的真皮层构成一个电极，与金属电极、传感器表面的绝缘体构成电容器。指纹的脊与金属电极间的距离，小于指纹的谷与金属电极间的距离，由于电容近似与距离成反比，因此指纹的脊形成的电容，大于指纹的谷形成的电容。手指和金属电极间的电压固定，各个像素点存储的电量，与电容成正比，因此像素点上存储的电量，随指纹的脊和谷变化。若电容式传感器的刷新率为10fps，则每隔0.1s，读取一次各个像素点上的电量，构成指纹的图像，如图1所示。

指纹图像采集之后，与模板比对识别。主流的指纹识别算法基于E. R. Henry 1889年提出的指纹细节特征理论。特征点的类型分为岛、端点、叉点等10类，一枚指纹通常含有近百个特征点，假设只选用12个特征点进行识别。每个特征点具有水平位置、垂直位置和方向等7个参数。若每个特征点只识别3个参数，水平位置分为左右，用0和1来表示，垂直位置和方向也用0和1来表示，则12个特征点具有$(2^3)^{12}\approx 687$亿种排列方式，因此指纹人各有异。而手机上的9点式图案，只有$\sum_{m=2}^{9} A_9^m \approx 62.4$万种排列，远小于指纹识别的排列数目。



图1：指纹细节特征（图片来源《民用指纹识别技术》）。

综上所示，电容式指纹识别模组具有防伪性能好、随身携带和不易伪造等优点，是身份识别的理想选择。设置好指纹后，在下列条件进行实际测试，如果手机都能在1s内识别指纹并解锁，那么指纹识别模组鉴定合格。

测试条件：

1、手指倾斜15°~30°。

2、手指平移 ±3~5mm。

3、轻压或重压，指纹变形。

4、抗静电强度，穿化学纤维的衣服，让手指上产生足够多的静电。

5、手指轻微润湿。

此外，手指粘上较多粉尘后，指纹识别模组应当识别不出来。

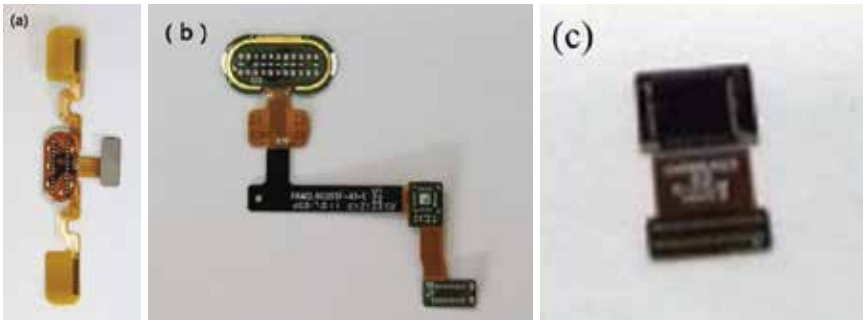


图2：激光切割出的指纹识别模组印刷电路板：(a)&(b) PCB；(c) FPC。

CASTECH®
福晶科技

CIOE

展位号：#2A28
参展时间：2017.9.8-9

ILOPE

展位号：4211
参展时间：2017.10.11-13

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4万平方米的生产厂房。创立至今近三十年，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。

PRODUCTS

晶体

1、非线性光学晶体
2、激光晶体
3、双折射晶体
4、磁光晶体
5、闪烁晶体

精密光学元件

1、球面&柱面透镜
2、反射镜、棱镜、窗片
3、波片、偏振元件
4、光栅
5、IBS,IAD 高损伤阈值镀膜

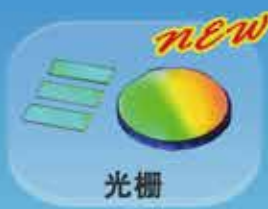
激光器件

1、高功率光隔离器
2、扫描场镜(355/1064nm)
3、扩束镜
4、声光&电光Q开关
5、温控炉（仪）


LBO


精密光学元件


BBO


new
光栅


new
CLBO


红外光学元件


new
TGG/TSAG


高功率光隔离器


$Nd:YVO_4$


扫描场镜


new
Er:Cr:YSGG

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

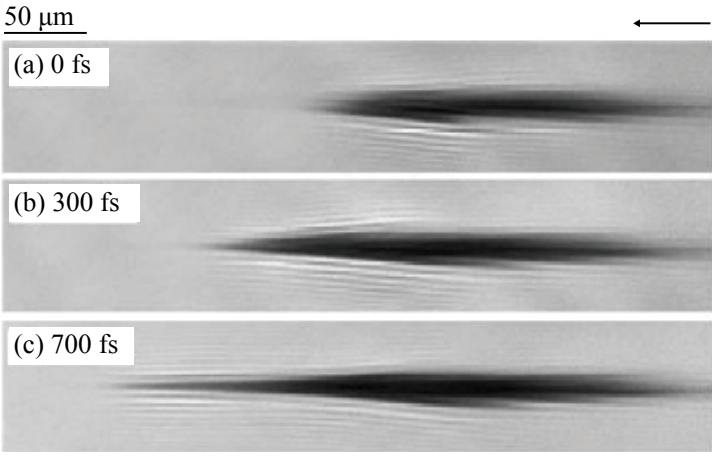


图3：激光在玻璃内激发的等离子体。

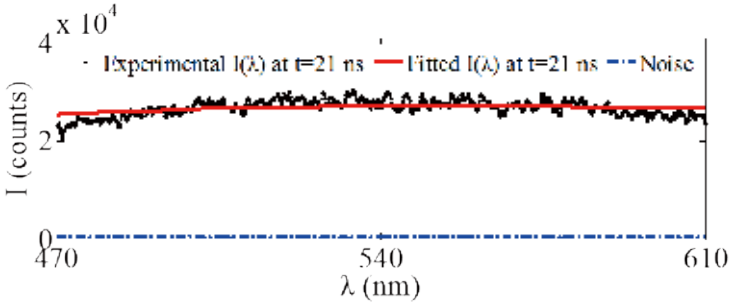


图4：玻璃被激光加工后发出的黑体辐射谱。

指纹识别模组的激光加工

无论是目前的电容式指纹传感器，还是今后的超声波指纹传感器，都要用到 PCB 或者 FPC 作为电路板，并采用玻璃作为一种盖板。指纹识别的电路板和盖板玻璃用激光切割，因为激光切割具有崩边小、速度快、切割道窄和厚度较大的优点。

激光切割的 PCB 及 FPC 如图 2 所示。典型 PCB 和 FPC 的加工效率为每小时 900 pcs，损伤区域宽度均控制在 20μm 以内。德龙激光的全自动 PCB 双头切割设备，使用高能量紫外激光实现 PCB、FPC 等线路基板的高效切割。设备配备有自动影像定位系统、环境安全与防静电系统、自动送料收料机构，可一次性实现整版材料上料，激光切割加工及单片收料动作。

除了印刷电路板，激光还用来切割指纹识别模组的盖板玻璃，玻璃的损伤区域宽度控制在 20μm 以内。如图 3 所示，单个激光脉冲从右向左传播，通过雪崩电离激发出等离子体。虽然透明的玻璃几乎不吸收激光，固态玻璃对激光的能量利用率低，但是激光在玻璃内激发的等离子体，会强烈吸收激光，提高能量利用率。等离子体吸收的光强随等离子体密度增大而增大，激光辐照区域的等离子体浓度高，该区域呈黑色，被称为等离子体通道。随着激光入射时间的增大，等离子体通道随着泵浦飞秒激光的传播而向前移动。

吸收激光后，等离子体能量提高，高温高压的等离子体通道向外扩张，排开周围的原子，形成孔洞。等离子体发出的黑体辐射光谱，用光谱仪收集，当激光未辐照时，光谱仪的噪声接近于 0，如图 4 中蓝色虚线所示。当玻璃被激光加工后 21ns，等离子体发出的黑体辐射谱，如图 4 中黑色点线所示。用 Planck 公式拟合出等离子体和玻璃温度为 5247±66K，红色的拟合实线与实验的黑体辐射曲线基本重合。

高温等离子体在温度梯度驱动下，将能量传递给固体。由于测量时间远大于脉宽，因此等离子体和固体的热传递充分，温度相同，玻璃温度超过沸点而气化。若等离子体区域宽度减小，则加工精度提高，崩边减小，但是等离子体区域沿激光传播方向的长度随宽度下降而减小，切割次数增加，切割效率降低。调整激光参数，优化等离子体分布，改善加工质量和效率。德龙激光的蓝宝石激光全自动切割设备，是玻璃盖板加工的理想之选。❑

征稿启事

《激光世界》长期征稿，欢迎投稿！

投稿要求：

1、内容可涉及：激光宏观加工与微细加工技术（如表面处理、切割、打标、焊接、雕刻、钻孔、划线等）及其应用；高功率半导体激光器在工业领域的应用；光纤激光器在工业领域的应用；其他热点应用话题。

2、用简体中文书写，语言流畅，请提供 word 文档。

3、图片要求：分辨率大于 300dpi。

4、文章长度：中文 3500 字左右，或英文 2000 字左右。

投稿联系：

Rossie Pang 庞会荣

Email:rossiep@actintl.com.hk

Mob: 15010313852

超快加工

超快激光器作为一种制造工具大有可为

文/Geoff Shannon

超快（也称为超短脉冲）激光器能提供独特的材料加工能力，因为这种激光器的脉冲持续时间小于目标材料的热传导时间。从本质上讲，这意味着可能实现零件的冷加工，材料通过升华过程被去除。这种让物质汽化的加工方法，具有任何其他方法无法简单获得的优势，包括近乎为零的热效应、最小的毛刺和碎屑、减少或消除后期处理、尺寸精度高，以及具备在金属、塑料、陶瓷和玻璃中加工高质量、小特征的能力。然而，超快激光系统成本昂贵，因此必须仔细考虑激光器和系统的选择。

较短的脉冲持续时间激发兴趣

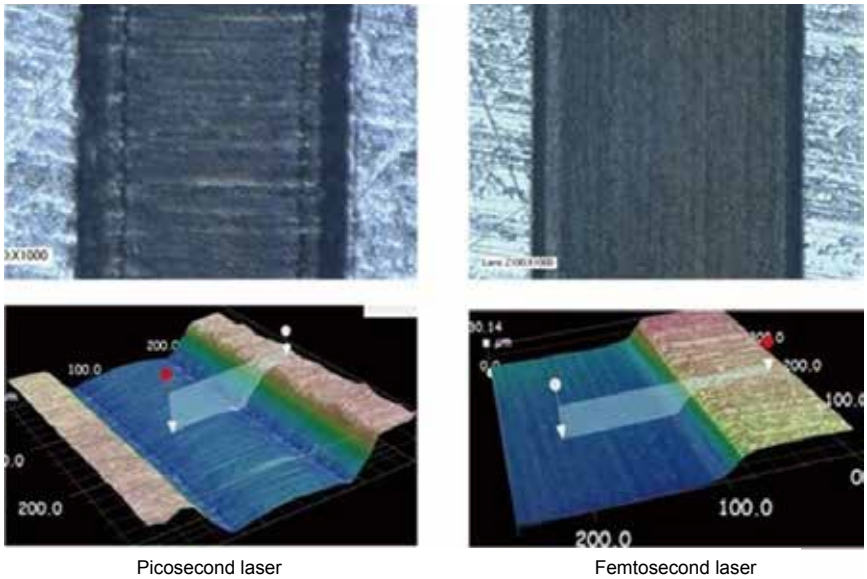
如同许多其他激光技术一样，超快激光器也是在研究实验室中诞生的。然而，超快激光器的脉冲持续时间（明显短于市售的纳秒激光器的脉冲持续时间）激发了人们将其用于微加工和材料加工领域的兴趣。超快激光几乎可以在没有热影响的条件下加工几乎任何材料，这为产品的创新和开发提供了一种独特的制造工具。在某些情况下，使用超快激光加工甚至能够降低成本。

超快激光器分为两大类。一类是皮秒激光器，发射脉冲的持续时间约为 10ps——刚刚超过万亿分之一秒（10^{-12}）或百万分之一微秒。另一类是飞秒激光器，发射脉冲的持续时间约为 400fs——小于万亿分之一秒。

值得注意的是，这里的“超快”一词并不是指材料的去除速度。事实上，材料的去除速度恰恰相反，这也是为什么超快激光器在加工厚度 <250μm 的材料时表现优异。当然，超快激光也可以加工较厚的材料，但在这种情况下，必须要更仔细地考虑加工时间问题。

在某些情况下，皮秒激光器和飞秒激光器之间的加工差异可能非常微小；而在另外一些情况下，两者之间的差异可能非常明显。当加工金属材料时，两者之间的差异非常微小——使用飞秒激光器加工，没有毛刺，具有略胜一筹的指定加工特征和较低的表面粗糙度。飞秒激光也可以加工更广泛的塑料材料。皮秒激光器通常需要绿光或紫外（UV）波长来有效地加工塑料材料。皮秒激光器和飞秒激光器之间的加工质量比较，有赖于被加工的材料。当需要最好的加工质量时，飞秒激光器无疑是首选。但是，皮秒激光器往往加工速度更快，所以问题就变成了“加工质量到底要多好，就足以满足需求了？”

了解哪种激光器能最好地满足应



Picosecond laser　　Femtosecond laser

图1：皮秒激光器（左）和飞秒激光器（右）在金属上加工100μm宽的通道。

用需求，只能通过零件测试来确定。作为定义应用和系统的一部分，Amada Miyachi 美国公司通常使用飞秒激光器和皮秒激光器加工样品，并且根据需要，两种激光器都尝试使用多种波长。

在实际测试中，需要对两种激光器的加工质量、材料去除速度和加工时间进行仔细权衡。一套超快激光系统的典型价格在 40 万美元甚至以上。所以，在开始选择之前，用户应该清楚地了解他们的投资回报（ROI），以便他们可以根据成本降低、独特的加工能力、或者是两者兼备的情况，来决定是否值得投资。经过测试后，用户可以最终决定选择哪种激光器，该测试过程通常包含小批量的零件加工。

图 1 比较了使用皮秒激光器和飞秒激光器在金属材料上加工一条 100μm 宽的通道的情况。使用相似的材料去除方法和加工时间，飞秒激光能加工出更清洁的通道边缘和更光滑的通道基底。

丰富的超快波长选择

皮秒激光器和飞秒激光器都能在红外（IR）、绿光和紫外波段，提供波长选择。某些波长对于特定的材料是最佳选择，或者用户也可以根据所需的特定特征尺寸来选择波长。可实现的最小光斑尺寸与波长直接相关。因此，在所有条件都相同的情况下，UV 激光的光斑聚焦尺寸，将是红外激光光斑聚焦直径的 1/3。在本文中，我们用所属波段来表示波长（比如 IR），而不是用数字（如 1030nm），因为不同的激光技术在略有不同的波长下工作。

每台飞秒激光器和皮秒激光器，都可以提供多种输出波长。这种多波长输出选项通常用于研究和开发应用，而不是生产系统，因为在实际的生产应用中，通常使用单一特定波长的机器来实现特定材料的加工。例如，用于玻璃切割的皮秒 IR 激光和用于医疗塑料（如 PEBAX）加工的皮秒绿激光。

对于飞秒激光器而言，关于用不同波长加工不同材料的使用和讨论，并不太明显。起初，很多人认为，对波长的正常吸收依赖性将不再适用于这样短的脉冲持续时间，并且“多光子吸收”将占主导地位。然而对于某些塑料而言，情况并非如此，聚合物支架就是一个很好的例子。使用飞秒绿光加工聚合物材料，不仅获得了更好的加工质量和更快的切割速度，并且相比于使用 IR 光，处理窗口也更大。当在塑料材料上加工微米量级的微小特征时，绿光能够提供更稳定的加工过程。

表1：加工特定材料的最佳超快激光波长选择

	皮秒IR光	皮秒绿光	皮秒UV	飞秒IR	飞秒绿光
玻璃	☺				
陶瓷	☺	☺			
PLA, PLLA				☺	☺☺
PET			☺	☺	
硅树脂					☺☺
FEP	☺				
PEBAX	☺	☺☺			
金属(较小毛刺)	☺	☺	☺☺		
金属(最小毛刺)				☺	

图 2 显示了用皮秒 IR 光（左）和皮秒 UV 光（右）在聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）上钻孔的效果比较图。在加工时间相同的情况下，皮秒 UV 光实现的钻孔深度是皮秒 IR 光的三倍，并且炭化现象更少。但是，当用皮秒激光器和飞秒激光器加工金属材料时，选择不同波长的唯一原因是特征尺寸。从加工的角度来看，IR 光、绿光和紫外光之间几乎没有区别。表 1 中给出了加工特定材料的最佳波长选择。

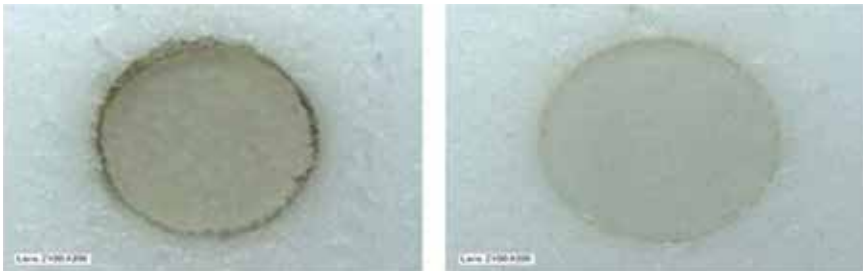


图2：用皮秒IR光（左）和皮秒紫外光（右），在聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）上钻孔的效果比较。

将超快激光器集成到制造中

超快激光器的关键特性是能以很高的尺寸精度进行材料加工。因此，要在制造中使用超快激光器，第一个系统要求便是支持超快激光加工的精度水平。然而，如果放置系统的环境不稳定，特别是存在温度变化的情况，那么即便是世界上所有最好的硬件，也无法提供稳定的系统。在精度达微米级的世界中，几摄氏度的温度变化，不仅会影响固定夹具和平台的

稳定性，而且还会影响激光器的指向稳定性。例如，每摄氏度的温度变化，将会给长度 300mm 的铝带来 7μm 的变化。因此，机器需要安装在一个温度控制良好的空调环境中。

超快激光系统主要由以下几个部分组成：激光器、将激光传送到聚焦光学器件的光路、聚焦光学元件、运动控制、机器视觉、碎屑控制和工具。每个部分都必须要作为最佳系统解决方案的一部分仔细考虑。

使用反射镜和可变光束扩展器，将激光引导到聚焦光学元件，其能够灵活地改变进入聚焦光学元件的光束直径以及聚焦光斑的尺寸。采用这部分装置有两个原因。首先，每台激光器的输出都会略有不同，所以除非所有的加工都是由同一台激光器完成，否则便可以使用可变光束扩展器来调整最终的聚焦光斑尺寸。其次，主要针对灵活的设置机器，可变光束扩展器可以针对不同应用改变聚焦光斑尺寸。

了解并保持焦点在零件上的位置非常重要，因为在许多情况下，激光的焦深或 z 高度偏差可以 <250μm。如果加工工具不能保持该公差，则可以使用非接触式激光距离传感器，将焦点位置保持在零件上。

聚焦光学元件可以是固定聚焦头或扫描头。固定聚焦头仅聚焦光束，并且依赖于平台来移动零件或其自身，而扫描头具有较小的振镜，其将光束引导到特定尺寸的 xy 区域中，并且将聚焦激光。扫描头的优点是：其可以在小区域内快速移动激光，而这正是许多微加工应用的典型要求。所有平台都是线性驱动的。对于扫描头而言，零件在加工过程中保持静止，但可根据需要引入另一个加工区域。扫描头可以加工的区域通常相对较小——大约 40mm × 40mm。选择具有数字反馈功能的扫描头非常重要。否则，位置误差（特别是由热漂移引起的）则能引起加工误差增大。

为了在精确的位置加工需要的特征，机器视觉通常是这些系统的一个组成部分。在使用机器视觉的时候，通常要考虑相机分辨率、照明风格和波长等因素。在大多数情况下，加工特征可以定位到目标位置的 ±5μm 范围内，并且当基准位置接近特征位置时，定位精度会更高。如前文所述，激光器可能会有一些漂移，所以这也是必须要考虑的因素。需要一个基准程序来知道光束在空中的位置。

碎屑管理是这些系统中容易被忽视的一个方面。所有被去除的材料去哪里？如果碎屑重新粘附到零件上，会造成什么样的后果？超快激光器产生带电的纳米粒子，因此这些粒子倾向于粘附到被加工零件的表面上。在某些情况下，这些粒子可以使用超声波清洗器清除掉；但是在另一些情况下，系统可能需要使用碎屑抽走装置，而且有可能需要使用多种抽取方法。

与任何精密加工一样，工具是一种关键因素。加工薄的平面零件通常使用真空吸盘，而加工非平面零件通常需要使用定制工具。在每种情况下，位置特征和基准特征可用于视觉系统的零件位置和“特征 - 特征”的位置。

总结

在超快激光系统实施之前，必须满足诸多必要条件，包括应用可行性、生产应用开发、生产足够数量的预生产零件，以及（并且也是最重要的）为生产机器开发明确的技术解决方案。与一家公司合作完成这些步骤是合理的选择。❑

顶尖 PINNACLE
Your Strategic Partner in Photonics

mikron QuixX皮秒激光器

•波长范围：405nm-642nm
•最小脉冲宽度：<70ps
•最大输出功率：300mW@CW
•模拟调制：>3MHz
•数值调制：>1MHz
•可适各类光纤耦合输出

DUMA OPTRONICS LTD. 高功率M²仪
•可测波长范围：350-1100nm/IR Version
•可测功率：>4kW
•最大输入光斑尺寸：8mm
•M²精度：±10%
•位置精度：±10μm
•分辨率：1μm


DFM Danish National Metrology Institute
StabiLaser 1542 单频激光器

•波长：1542.3837nm
•线宽：300Hz
•稳定性：≤3×10⁻¹³（ADEV>1s）
•长时间精度：≤2×10⁻¹²/year
•输出功率：10mW locked, 100mW unlocked

关注“顶尖科仪”微信平台：
(A) 扫一扫左图二维码
(b) 在“查找微信公众账号”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）
A·P·E　ATL LASERTECHNIK　AVESTA
BATOP optoelectronics　DUMA OPTRONICS LTD.　HAOPTIK
HAMAMATSU　H+P SPECTROSCOPY　laserpoint
LIGHTHOUSE PHOTONICS　MenloSystems　moglabs
onefive　INFRARED　OSTECH
mikron　SOLAR LASER SYSTEMS　Xiton Photonics

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

中红外激光器

三元晶体中红外激光器有望实现功率提升

发射波长在5μm光谱区域的、特殊生长的Fe：CdMnTe晶体，在未来可以实现波长调谐。

文/John Wallace

由于中红外（mid-IR）光谱区域与分子指纹区域重合，因此中红外光谱区对于许多有机和无机分子的光谱探测和鉴定至关重要，这也使得新型中红外激光源的开发成为了一个永恒的热门话题。

一种传统类型的相干中红外光源，利用非线性光学频率转换来产生中红外光。两个众所周知的例子是光参量振荡器（OPO）及光参量放大器（OPA）。然而，这些光源都使用非线性光学晶体，将更短波长的激光输入光束转换成相干中红外光束，其较为复杂、效率较低且成本昂贵。

量子级联激光器（QCL）和带间级联激光器（ICL）的发展，使得小型、坚固的商品化中红外光源得以诞生，它们适用于低功率和低能量应用，但当需要更高输出时仍存在不足。

中红外激光增益材料的另一类竞争者是过渡金属（TM）掺杂的II-VI族半导体，例如掺铁硫化锌和硒化锌（Fe：ZnS和Fe：ZnSe），以及掺铬的ZnS和ZnSe。事实上，这些材料可以用在输出功率高达20W的光纤激光器中。

该类型的另一种中红外激光器基于碲化物，使用铁作为掺杂剂，以碲化镉或碲化锌为基质（Fe：CdTe和Fe：ZnTe）。这些材料产生比Fe：ZnS和Fe：ZnSe更长的波长，从而扩展了这类激光器可实现的波长范围。然而，一直以来，这些碲化物材料都难以制造。

现在，来自美国空军研究实验室、美国Berrie-Hill Research Corporation公司，以及美国NAS/NRC Research Associates Programs的一组研究人员，已经研制出了Fe：CdMnTe（与Fe：CdTe类似，但含有一些锰）激光晶体。[1]采用这种晶体材料的首个激光器原型的输出波长为5.223μm，输出功率为810mW，斜率效率为16.4%。

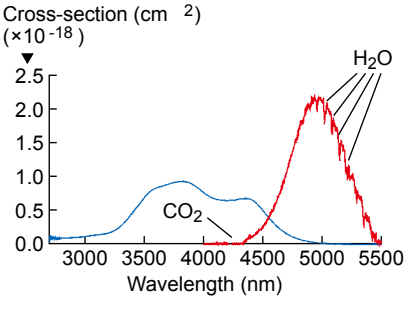


图1：在80K下测定Fe：CdMnTe样品的吸收和发射截面；图中包含水（H_2O）和二氧化碳（CO_2）的吸收特征。

材料特征

研究人员让美国Brimrose公司从熔体中生长出一块Fe：CdMnTe，采用称为所谓的Bridgman技术，该技术通过将熔体从炉子较热的部分逐渐向较冷的部分移动而产生熔体的定向凝固。折射率测量结果表明，Fe：CdxMn1-xTe材料的合金分数x为0.91。

采用傅立叶变换干涉仪（FTIR）对所制作样品的吸收进行表征，然后将样品切成矩形片。其中一片被低温冷却，并通过FTIR测量其透过光谱。此外，采用来自OPO的3.45μm波长的激光脉冲激发该样品，对其中红外荧光特性进行表征。

通过指数曲线拟合测量结果来确定荧光寿命——发现在10K和80K下的荧光寿命分别为111μs和78.5μs。使用美国Princeton Instruments公司的光谱仪测量荧光光谱。根据该信息计算出发射截面（见图1）。

激光器原型

板条状Fe：CdMnTe实验样品的尺寸为2.65mm×4mm×7mm，2.65mm×7mm的侧面抛光且镀制

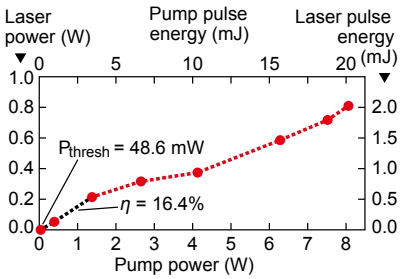


图2：激光输出功率与泵浦功率的函数显示，在810mW的激光最高输出下的总效率为10.1%。激光阈值为50mW。在较低功率下，斜率效率达到16.4%。激光腔内剩余空气对激光的吸收，以及实际/理论光束不匹配，降低了首个原型的整体效率；在更高的功率下，热效应也对降低效率有一定影响。

了4.5~5.5μm的减反射膜。样品安装在铜冷金手指上，并置于几乎抽空(1mTorr)、液氮冷却至77K的杜瓦瓶中。

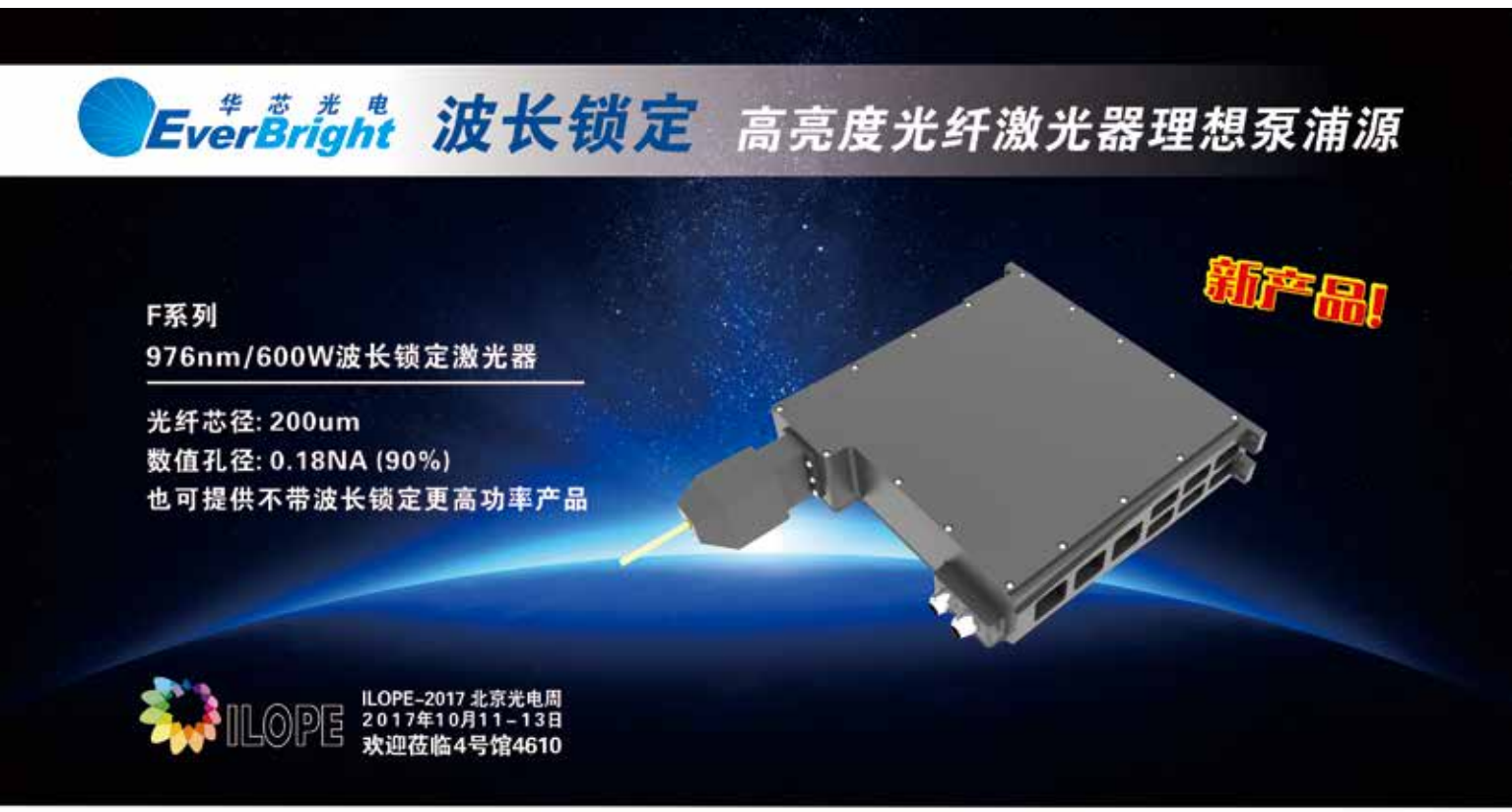
X型腔激光器配置包含三块反射镜，在4μm泵浦激光波长处具有>98%的透射率，而在4.5~5.5μm波长带具有高反射。腔体输出镜在5.2μm处具有65%的反射率。虽然腔内的最佳光束束腰计算为95μm，但是测得的实际光束束腰约为190μm，具有很大的差异。因此，并未预计首个实验原型会以接近最高的效率运行。泵浦激光器为美国IPG Photonics公司制造的Fe：ZnSe光纤激光器，以400Hz重复频率发射220μs脉冲。

采用美国Thorlabs公司制造的中红外光谱分析仪（OSA）测量Fe：CdMnTe的输出光谱，显示激光的中心波长在5.223μm，光谱宽度1nm。研究人员惊讶于激光器的窄带宽，因为诸如Fe：CdMnTe的三元晶体通常比诸如Fe：ZnS等二元晶体具有更多的缺陷，因此通常显示出一些展宽。研究人员将窄线宽归因于通过Bridgman晶体生长技术实现的掺杂均匀性。

在8.05W输入泵浦功率下，激光输出耦合器后测得的输出功率为810mW（见图2），总效率为10.1%。研究人员接下来计划优化激光腔设计，并创建更高的真空度，使得激光较少被剩余空气吸收。在Littrow配置中，用闪耀光栅替换一片激光腔镜，将允许波长在4.6~5.4μm范围内调谐。❑

参考文献

1. J. W. Evans et al., Opt. Mater. Express (2017); https://doi.org/10.1364/ome.7.000860.



地址：江苏省苏州市昆仑山路189号2号厂房
邮编：215163
电话：+86-512-6937 2570
传真：+86-512-6937 2559
网址：www.everbrightphotonics.com
邮箱：Sales@everbrightphotonics.com

微信扫一扫
获取华芯光电更多资讯

玻璃加工

脉冲 CO_2 激光提高消融速率 实现改进的玻璃加工

文/Gail Overton

熔融石英和其他玻璃材料的消融可以使用 CO_2 激光器或超快激光器来实现。然而，之前典型的调 Q CO_2 激光器的低峰值功率（<50W）限制了消融速率，仅允许对光学材料进行微小的形状校正和表面处理。但是，由德国弗劳恩霍夫激光技术研究所（Fraunhofer ILT）的研究人员开发的更强大的调 Q CO_2 激光加工正在改变这种情况，仅通过三个步骤就可以将块体玻璃转换成精密、复杂甚至自由形状，这三个步骤分别是消融、表面抛光和最终的选择性激光形状校正。[1]

强大的脉冲

与传统的 CO_2 激光器相比，Fraunhofer ILT 使用平均功率 200W、峰值功率 40kW、M^2 = 1.33、脉冲持续时间≥ 250ns、最大重复频率为 150kHz 的调 Q 脉冲 CO_2 激光器。由于使用两个声光调制器，激光辐射能以两种模式传送：用于消融的调 Q 脉冲（模式 1）和用于最终表面校正的调制脉冲（模式 2）（见图 1）。

使用如下扫描策略：以速度 v_s 和脉冲距离 d_x，将脉宽 t_{pulse} 和重复频率 f_{rep} 的脉冲功率 P_{avg} 沿着块体玻璃材料传递，使用模式 1 操作可实现 z_{ab} 的消融深度。实验计算表明材料去除率为 2.35mm^3/s，允许在熔融石英或甚至自由形状光学元件上制造粗糙的玻璃光学元件，如蜂窝结构（用于减轻重量）。白光干涉测量最初消融的光学表面，可以优化激光的重复频率和能量密度，以最大限度地进行材料去除。

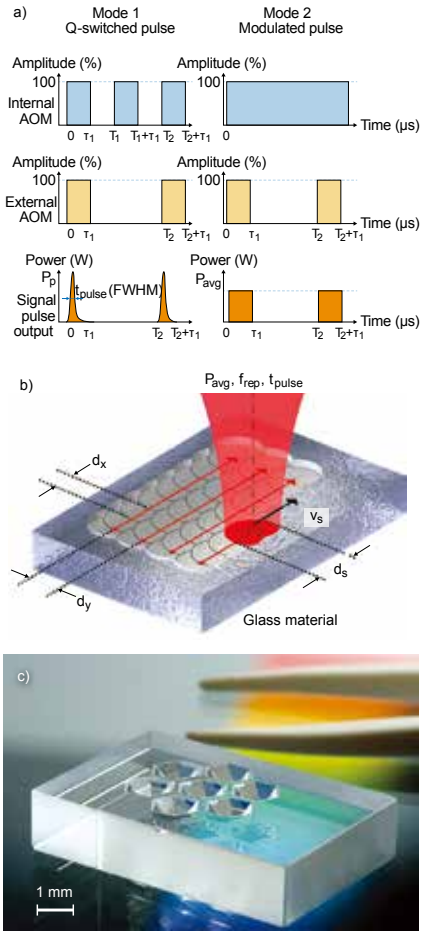


图 1：不同的 CO_2 激光脉冲模式（调Q和调制激光脉冲）实现加工光学玻璃材料的不同功能，从消融到表面校正抛光（a）。这其中的秘密在于精心构造的扫描图案和优化的激光参数（b），允许激光产生复杂的自由形式结构，如图中的蜂窝状玻璃元件（c）。

在第二个基于激光的工艺步骤中，消融加工之后的高粗糙度得以降低。使用连续 CO_2 激光辐射，表面通过重熔工艺得以平滑，微观粗糙度可以降低到 <0.1nm。

为了减少残余波纹，需要第三步工艺：使用矩形脉冲和仅 50W 的功率水平，来校正抛光。该过程限制了消融以降低材料去除速率，允许在称为“激光束雕刻（Laser Beam Figuring）”的最终误差校正步骤中，选择性地雕刻玻璃表面。通过控制每个激光脉冲的脉冲持续时间，可以选择性地对玻璃材料进行消融，消融深度低至 3nm。消融工艺的横向分辨率为 100µm，垂直分辨率约为 3nm。

Fraunhofer ILT 的 Christian Weingarten 说：“基于激光的工艺链，使仅用单个激光光源制造由熔融石英制成的复杂形状的光学元件成为可能。所制造的光学元件的表面质量对照明光学元件已经足够，但随着基于激光的校正抛光工艺的发展，未来我们将会制造更高质量的照明光学元件。”❑

参考文献

1. C. Weingarten et al., Appl. Opt., 56, 4, 777–783 (2017).

超快激光器

直接二极管泵浦的钛宝石激光器系统

可使用单个廉价的4W激光二极管泵浦锁模钛宝石激光器，产生短至13fs的脉冲。

文/Sterling Backus，Henry C. Kapteyn，Matt Kirchner和Margaret M. Murnane

毫无疑问，用于飞秒脉冲产生的掺钛蓝宝石（钛宝石）激光增益材料的发展，已经改变了超快科学。超快激光脉冲需要宽扩的光谱带宽，而钛宝石的增益带宽跨越从 <700nm 到 >1000nm 的近红外波段，无疑是超快增益材料方面的冠军。结合蓝宝石基质材料的坚固性和高导热性能，以及与其他宽带激光介质（如染料）相比优异的储能能力，钛宝石几乎是一切的基础，从用于生物显微的锁模超快速激光器，到能够产生拍瓦（10^{15}W）惊人峰值功率、脉冲持续几个光学周期的系统。

钛宝石激光器已经使全新的技术和探索领域成为可能，例如在高阶谐波产生（HHG）中产生相干极紫外光（EUV）和 X 射线光的应用中，使之前需要进入同步加速器设施、或根本不可能的研究成为可能。在 2005 年诺贝尔物理学奖中得到认可的频率梳技术，也是使用超快钛宝石激光进行首次演示的。此外，通过由钛宝石激光驱动的各种非线性过程，在可见光区域已获得短至 3fs 的脉冲，在 EUV 区域已获得 60 阿秒的脉冲。

然而，尽管在二十多年的时间中，钛宝石一直是超快材料方面的冠军，但近年来，其他技术已经取得了长足进展。例如，现在光纤激光器能够产生持续时间 <100fs（包括美国 KMLabs 公司公文包大小的 Y-Fi 光纤激光放大器）的脉冲，以及其他基于镱（Yb）晶体的激光器。

但为什么要使用这些其他技术呢？这归结于“可调谐性和脉冲持续时间”与“成本和复杂性”之间的折衷。光纤和 Yb 激光器可以直接用二极管激光器泵浦，而钛宝石激光器需要绿光，通常来自 532nm 倍频 Nd：YAG 激光器。虽然现代泵浦激光器现在是激光二极管泵浦，但成本高昂（约 $20,000 至≥ $100,000）。此外，这种方法的复杂性意味着钛宝石激光器的可靠性较低，需要更多的手工维护工作。

第二个考虑因素是钛宝石的宽带宽，需要在泵浦光和激光之间存在较大的波长间隔，也就是大量的量子亏损。这也意味着显著的热耗散。在 Yb 掺杂的激光器（包括 Yb 光纤）中，由于窄得多的增益带宽，量子亏损可以降低几倍。此外，在光纤激光器中，热耗散可以通过在较长的材料长度上的分布来减轻。因此，所做的权衡是：1）成本和可靠性，以及 2）脉冲持续时间与平均功率。

直接二级管泵浦钛宝石激光器

随着直接二极管泵浦钛宝石（DDPTS）激光技术的发展，现在可能会减少上述权衡的必要性。从本世纪开始，另一项诺贝尔奖获奖技术——基于氮化镓（GaN）的光电子器件，使有效地产生用于泵浦的紫外光、蓝光和绿光成为可能。进入本世纪的第二个十年后，基于 GaN 的激光二极管开始在 445nm 波长处，达到了 >1W 的输出功率水平。利用这一创新，由苏格兰斯特拉斯克莱德大学（University of Strathclyde）的 Alan Kemp 和 Keith Roth 领导的一个研究小组，展示了首台飞秒 DDPTS 激光器。虽然最初性能不太好，但这是一项突破，因为它表明此类激光器实际上是可行的。



图 1：在二极管泵浦的超快钛宝石振荡器放大器系统中，克尔透镜锁模钛宝石振荡器用单发射体 465nm二极管（3.1W）泵浦，而放大器由高功率光纤耦合450nm二极管（高达100W），或空间/光谱组束的465/450nm单发射器（高达30W）泵浦，并被低温冷却。

随后，我们在 KMLabs 公司与科罗拉多矿业学院（CSM）的 Charles Durfee 的合作中，进一步展示了在钛宝石中已成功用于产生几个周期脉冲的克尔透镜锁模（KLM）工艺，也可以可靠应用于直接二级管泵浦，同时考虑泵浦激光的特定光束特性（见图 1）。这意味着我们在 20 世纪 90 年代所使用的成本约 $50,000 的连续(CW)绿光激光器，可以用成本几百美元的二极管代替。自从首次展示以来，紫外光、蓝光和现在的绿光激光二极管的可用功率的增长一直在继续。现在，可以使用单个廉价的 4W 激光二极管来泵浦锁模钛宝石激光器，产生短至 13fs 的脉冲。

首次展示DDPTS激光放大器

第二项突破是我们最近展示的直接二极管泵浦钛宝石超快激光放大器系统。为了产生最高的峰值功率，来自锁模激光器的短脉冲以降低的重复频率注入到功率放大器中，通过使用啁啾脉冲放大的主振荡器功率放大器配置，脉冲能量增大 3~10 个数量级。

与锁模激光器的泵浦形成对比，其中的主要目的是简单地产生短脉冲，放大器系统涉及的是峰值功率和平均功率。通常，用于泵浦最高峰值功率的钛宝石系统的脉冲倍频激光器，使用大量激光二极管来泵浦介质。此外，Nd 需要相对低的泵浦亮度，以产生实质的激光增益。然而，在钛宝石中，宽带宽必然伴随着高泵浦亮度的需要。能够组合激光二极管、同时保持光源亮度的能力是一项关键要求。

最近，KMLabs 公司和 CSM 展示了由 450nm 光纤耦合二极管激光器模块泵浦的首台再生放大器。德国 DILAS 公司的泵浦模块，将来自大量单发射体的功率组合在一起，耦合到数值孔径（NA）0.22、纤芯直径 200μm、发射功率 50W 的光纤中。该亮度足以克服腔体损耗，并允许用于超快脉冲的再生放大器工作。在首次工作中，我们获得了 >1W 的输出功率，放大器重复频率 >50kHz(见图 2)。

在这项工作中，另一项关键技术是使用专利的用于钛宝石晶体的低温冷却技术。低温冷却增加了钛宝石的激发态寿命和蓝宝石基质介质的热导率，这些是允许放大器运行的综合效应。随着这些模块的亮度进一步提升，阈值和总体效率将持续提高。进一步的工作也展示了用光谱和 / 或空间单发射体二极管泵浦放大器。

未来如何?

DDPTS 激光技术的未来是光明的，在很大程度上是由于二极管的开发是由消费应用所驱动的。最近取代爱迪生白炽灯泡的 LED 灯泡，使用蓝光 LED 加上磷光体，能可靠、有效且经济地产生白光。蓝光激光二极管是这些蓝光 LED 的直接后代，此外先进消费照明应用已经开始采用蓝光激光技术。

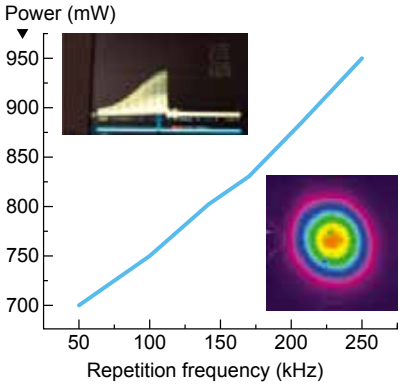


图2：图中显示的是直接二极管泵浦超快钛宝石激光放大器运行的首个结果；显示了在445nm、45W 光纤耦合二极管的泵浦下的功率与重复频率。左上角的插图显示了再生放大器的腔聚积，右下角的插图显示了光束图像。

在需要精心雕琢照明的地方，蓝光二极管激光器可以聚焦在荧光粉上，以产生白光照明的明亮点光源。主要应用包括：激光驱动的汽车前大灯，这样可以将道路照得更亮，同时可以避免迎面而来的刺眼光导致的交通事故；以及激光驱动的液晶业务和影院投影仪。随着成本的降低和效率的提高，激光驱动照明可能会变得无所不在。事实上，LED 泵浦钛宝石也是一种可能。

因此，相比于二极管泵浦的固态 Nd 和 Yb 掺杂激光器（需要 IR 激光二极管），直接二极管泵浦钛宝石可以受益于远高得多的经济驱动。从单发射体激光器的功率已经可以看出，过去几年中功率已增加了约五倍，而价格也在成倍下降。

完全可以想象的是，蓝光激光泵浦光的每瓦成本，在未来几年内将低于红外二极管激光器，而效率却更高。这可能意味着最高性能、最高峰值和平均功率的超快激光器，以数万赫兹及以上的重复频率运行，总功率达到千瓦，而且很可能是 DDPTS。这将开辟很多新的工业应用，例如产生 13.5nm 的高功率相干 EUV 光，用于支持 EUV 光刻的纳米成像。即使是钛宝石材料的大量子亏损也可以得到改善，非常初步的钛宝石荧光测量，表明一些这种能量可以在进一步的激光激发中恢复。

对于需要较低重复频率脉冲更好地与 Nd 和 Yb 掺杂材料的储能寿命（几毫秒量级，而不是钛宝石的 5μs）匹配的许多应用，以及非常紧凑的超快光纤激光器，各种超快技术将继续共存，并在市场上取得成功。然而，现在看来，过去对超快钛宝石技术消亡的预测显然是不成熟的。❑

光谱仪

中红外光谱仪使用量子级联激光频率梳

文/Gail Overton

认识到基于下转换近红外源（使用非线性晶体实现）的中红外（mid-IR）频率梳，会受累于非线性相互作用，而基于连续波（CW）激光泵浦微谐振器的光梳依赖于有限光谱范围的有损体元件，瑞士 IRsweep 公司的工程师们正在使用锁相量子级联激光器（QCL）的四波混频来产生超稳定、可重复的中红外频率梳，这对宽带、紧凑型中红外光谱仪的开发至关重要。[1]

通过与频率调制激光器类似的操作，可以获得中心频率在 6~8μm 之间、模间拍频线宽 <10Hz 的基于 QCL 的频率梳。因为该频率梳是通过 QCL 激光器芯片中的四波混频产生的，所以电泵浦的单片集成光梳源，比其他系统更坚固、更简单，使其可以很方便地集成到紧凑型光谱仪中。这样得到的宽带（66cm^{-1}）、基于吸收的、散粒噪声极限中红外光谱仪，能够在 0.25cm^{-1} 的光谱采样下获得 10MHz 的分辨率。

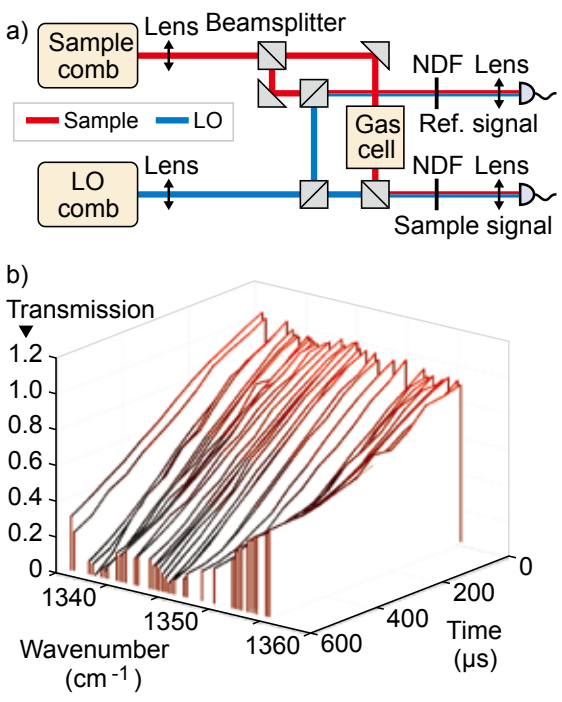


图 1：光频齿间距不同的两个频率梳的多外差拍是双光梳光谱技术的基础（a），其中一个光梳用作本地振荡器，而另一个光梳通过快速检测器评估样品的吸收特征，进而获取样品的数据。显示界面给出时间步长为 10μs的时间分辨吸收（b）。

双光梳QCL装置

该仪器称为 IRspectrometer，使用两个光频齿间距稍微不同的、基于 QCL 的频率梳的多外差拍。其中一个光梳由大约 6mm 长的铟镓砷 / 铟铝砷（InGaAs/InAlAs）QCL 腔形成，具有大约 200 根间距为 7.5GHz（0.25 cm^{-1}）的光频齿；而另一个光梳的光频齿间距稍有不同，使得能够观察探测器模拟带宽内的多外差光谱。

与其他的双光梳光谱仪装置一样，一个光梳用作本地振荡器，而另一个光梳用于从样品中获取数据（见图 1）。QCL 频率梳的频率调制特性，降低入射到检测器上的峰值功率，拓宽了光谱仪的动态范围——事实上，QCL 中红外双光梳光谱仪的信噪比与系统的散粒噪声接近。

在早期实验中，低精度标准具和水蒸汽的实验测量，在 40ms 的积分时间内展示了 1.4% 的精度。市售 IRsweep 光谱仪的分辨率为 10MHz、光谱采样 <0.5cm^{-1}、带宽 150cm^{-1}，在 5~10μm 的范围内有几个中心波长，外形尺寸 103cm × 63cm × 34cm。

“我们很高兴能将中红外双光梳光谱仪的优势，提供给那些不想从零开始建立自己系统的用户，”IRsweep 公司联合创始人兼总经理 Markus Geiser 说，“该仪器对于要求微秒级的高时间分辨率应用，以及高光谱带宽和高亮度特性很重要的应用场合而言，尤其有用，例如生命科学领域的应用，与传统 FTIR 光谱仪相比，该仪器能够实时观察厚得多的样品中的蛋白质共形变化。”❑

参考文献

1. A. Hugi, "Mid-Infrared spectrometer featuringμ-second time resolution based on dual-comb quantum cascade laser frequency combs," CLEO Conf., Photonic Instrumentation & Techniques for Metrology & Industrial Process, San Jose, CA (May 2017).

激光对人体危害机理介绍

文/刘喜强，激光安全专家/TÜV 莱茵技术（上海）有限公司副总经理

众所周知，激光辐射对人体有多种危害，那么不同波长、不同功率、不同光束特性的激光会对人体产生什么样的危害呢？激光安全等级的限值是如何确定的呢？

激光辐射对人体组织的危害机理包括热危害、热声瞬变和光化学危害以及非线性效应。激光危害是一个复杂的过程，通常是一种或者几种危害的共同作用。危害的部位和程度取决于激光辐射的参数，其中最重要的参数有波长、脉宽、聚焦尺寸、辐照剂量和辐射时间。激光对人体的危害汇总如表 1 所示。

激光对眼睛的危害及限值

人眼是一种复杂的光学器件，不同的组织对不同波长的激光吸收特性不同，危害的程度与辐射功率大小、瞳孔大小、观看距离等都有关系。由于眼睛能将可见光和近红外光透射并汇聚在视网膜上，因此这两种光对眼睛的危害程度会显著增大。接下来，我们通过表 3 来了解决定激光对眼睛危害的关键参数。

根据以上眼睛的特性，结合眼睛组织对激光的耐受程度，国际电工委员会（IEC）确定了不同等级激光器的可

表1：激光对人体的危害汇总

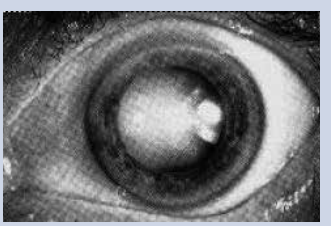
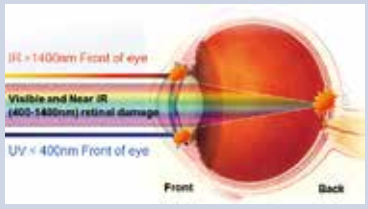
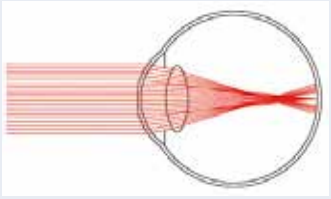
	热危害	光化学危害	非线性效应
波长	所有波长	选择吸收特定波长	所有波长
照射时间	照射时间越长，危害越大； 照射时间为毫秒至数秒时，为热效应	照射时间越长，危害越大； 照射时间超过10s时，为光化学效应	照射时间越长，危害越大；照射时间为纳秒和亚纳秒时，主要是热声瞬变效应和非线性效应
光斑大小	眼睛：聚焦尺寸越小，危害越大； 皮肤：面积越大，危害越大	眼睛：聚焦尺寸越小，危害越大； 皮肤：面积越大，危害越大	眼睛：聚焦尺寸越小，危害越大； 皮肤：面积越大，危害越大
辐射剂量	辐射剂量越强，危害程度越高	辐射剂量越强，危害程度越高	辐射剂量越强，危害程度越高
危害机理	人体组织吸收激光辐射能量，增加分子的振动而产生热量。过多的热量导致蛋白质变性，继而引起组织损伤	特定人体组织吸收低剂量的激光能量，产生特殊化学反应	高峰值功率短脉冲能在瞬间使温度上升，致使组织细胞由液态变为汽态。因为相变极快，可使组织爆裂，细胞崩解，由此产生的压力瞬变在照射中心的外周产生环状的爆破带
危害特点	长脉冲或连续激光加热照射区域，并导致热危害面积以照射区域为中心逐渐扩大；短脉冲高峰值功率激光导致细胞崩解，组织爆裂损伤	中等剂量的紫外或短波长激光长时间或高频率照射，会引起光化学反应	破坏程度严重，不仅照射区域受损，而且会影响周围组织
典型危害照片	视网膜灼伤 	白内障 	角膜灼伤 

表2：过量激光照射的病理效应和常见疾病汇总

CIE 光谱范围	危害		眼睛	皮肤
紫外辐射C (180~280nm)	光化学危害	热危害	光致角膜炎	红斑（阳光灼伤） 加速皮肤老化 色素沉着
紫外辐射B (280 ~ 315nm)				
紫外辐射A (315 ~ 400nm)			光化学白内障	色素加深 光敏感作用 皮肤灼伤
可见光 (400 ~ 780nm)			光化学和热效应所致的视网膜损伤	
红外辐射A (780 ~ 1400nm)			白内障、视网膜灼伤	皮肤灼伤
红外辐射B (1.4 ~ 3.0μm)			白内障、水分蒸发、角膜灼伤	
红外辐射C (3.0μm ~ 1 mm)			仅为角膜灼伤	

表3：激光对眼睛危害的关键参数

眼睛特点	机理	
光谱选择性吸收或透射	短波长（180~400nm ）：角膜、晶状体； 可见光和近红外光（400~1400nm）：视网膜； 红外辐射B（1.4~ 3.0μm）：角膜、晶状体、玻璃体； 红外辐射C（3.0μm~1mm）：角膜、玻璃体	
光束汇聚	眼睛可将进入瞳孔（直径7mm）的可见光及近红外光束汇聚到视网膜上直径为10~20μm的点，光束能量会放大约20万倍。	
瞳孔大小	青年人的瞳孔可以达到7mm，瞳孔随年龄增大而减少，标准采用7mm光圈作为视网膜危害评估；非视网膜部分的危害评估采用不同的光圈。	
观察距离	对于发散光束，危害随着激光光束束腰与眼睛之间距离的减小而增加。由于眼睛的调节能力限制，不能汇聚小于100mm的物体。	
眼睛运动	眼睛的自主运动将增大视网膜上的成像大小，从理论上可以降低视网膜热危害的风险。	

接受辐射限值（AEL）。

激光对皮肤的危害

皮肤是人体最大面积的组织，因此也是最容易遭受激光辐射的组织。最容易被激光照射的部分是手部、头部以及胳膊。一般来说皮肤比眼睛能耐受更大激光能量的照射。激光对于人体皮肤的危害，也有光化学危害和热危害两种。不同波长的光束可能穿透表皮层和真皮层，造成立即的危害或慢性危害。

立即危害：可见光和红外光谱范围的激光照射皮肤，会引起包括轻度红斑到严重水疱等生物效应。表面吸收较强的组织受到极短脉冲、高峰值功率激光照射后，普遍会出现灰白色炭化，而不出现红斑。

慢性危害：重复或慢性激光照射，比如在光谱的紫外线区域的光学辐射，会导致长期激光危害效应，比如加速皮肤老化和皮肤癌。

通过以上介绍，我们了解了激光对人体组织的危害机理，以及确定激光安全等级所应用的辐射限值由哪些参数来决定。了解这些内容，对于我们全面了解激光安全、明确激光产品安全要求有着重要意义。❑

焊接头对 RFL-C1000 激光器焊缝成型的影响

文/李响；武汉锐科光纤激光技术股份有限公司

光纤激光焊接具有焊接效率高、焊缝深宽比大、焊接变形小等特点，在汽车生产、航空航天、船舶制造等行业广泛应用。但是由于光纤激光焊接设备价格昂贵，限制了其在工业领域的广泛应用。随着国产高功率光纤激光器的量产和质量的提升，其价格也大幅降低，使得越来越多的企业和单位有条件配备光纤激光焊接设备。

表1：不同焊接头不同配置参数

焊接头	准直镜焦距（mm）	聚焦镜焦距（mm）
焊接头1	100	150
焊接头2	100	200
焊接头3	125	250

表2：不同焊接头焊接不锈钢的数据

焊接头1的焊后效果					
焊接速度	1m/min	2m/min	3m/min	4m/min	5m/min
断面形貌					
焊接速度	6m/min	7m/min	8m/min	9m/min	10m/min
断面形貌					
焊接头2的焊后效果					
焊接速度	1m/min	2m/min	3m/min	4m/min	5m/min
断面形貌					
焊接速度	6m/min	7m/min	8m/min	9m/min	10m/min
断面形貌					
焊接头3的焊后效果					
焊接速度	1m/min	2m/min	3m/min	4m/min	5m/min
断面形貌					
焊接速度	6m/min	7m/min	8m/min	9m/min	10m/min
断面形貌					

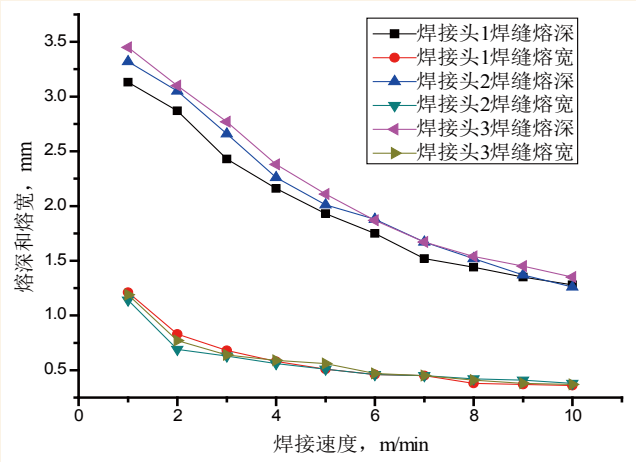


图1：焊接速度与焊缝熔深和熔宽关系曲线。

焊缝熔深和熔宽是光纤激光焊接效果的重要指标。焊接头的光学配置影响焊缝熔深和熔宽。本文主要讨论不同配置的焊接头对 1kW 激光器焊接性能的影响。焊接头主要配置如表 1 所示。

在满功率状态下，以不同焊接速度在 6mm 不锈钢表面进行焊接试验。焊后试样进行金相制作，使用低倍放大镜观察、记录焊缝熔深和熔宽，焊后结果如表 2 所示。

根据表 2 中提供的数据，绘制出焊接速度与熔深和熔宽之间的关系曲线，如图 1 所示。从图 1 中可以看出，焊缝的熔深和熔宽均随着焊接速度的增大而减小，焊缝熔深下降趋势明显，焊缝熔宽变化范围较小，这主要是由于光纤激光焊接时聚焦光斑小、能量集中，熔池存在“小孔”现象并快速冷却形成焊缝。因此激光焊接得到熔深较大、熔宽较小的焊缝。

根据表 1 中给出的各个焊接头的参数，焊接头 1 聚焦光斑直径为 0.15mm，焊接头 2 聚焦光斑直径为 0.2mm，焊接头 3 聚焦光斑直径为 0.2mm。聚焦光斑越小，能量越集中，焊接深度越大；而焊接熔深还与焊接头焦深有关，焦距越大，对应的焦深也越大。因而从图 1 中可以看出，焊接头 1 产生的焊缝熔深小于焊接头 2 产生的熔深；焊接头 2 产生的焊缝熔深，也小于焊接头 3 产生的熔深。同时光纤激光焊接会产生飞溅现象，焦距较大，更容易保护焊接头光学镜片。因此在 1kW 光纤激光焊接时，选用焦距为 250mm 的焊接头更有利于焊接工作的长期进行。❑

华俄激光与您共同打造工业 4.0

文/田承新；武汉华俄激光工程有限公司

“工业 4.0”不断从各种新闻和媒体进入我们的视野，那么到底什么是工业 4.0 呢？它会如何改变我们生活？我们又将如何迎接这样的变革？这些问题确实是值得我们认真思考和对待的事情。

工业 4.0 的概念最早于 2013 年由德国提出，用来形容第四次工业革命，人们在这一阶段可以通过应用信息通讯技术和互联网将虚拟系统信息与物理系统相结合，进而完成各行各业的产业升级。美国通用电气也提出了与工业 4.0 相类似的“工业互联网 +”的概念，它将智能设备、人和数据连接起来，并以智能的方式利用这些可交换的数据。这两种提法有一个共同点，既人与互联网与工业设备的结合实现工业产业升级，德国将它称为第四次工业革命。

我们回顾一下技术进步推动人类发展的标志性事件。以蒸汽机的发明为标志的第一次工业革命，使人类从农业社会进入工业社会；爱迪生发明电灯，使人类从工业时代进入电气化时代；电子计算机在工业领域的普及，完成了工业电子自动化的变革。以上三次的工业变革可以形象地比作为 1.0~3.0 的版本升级，在以上各个时期，都是以工业为核心的时代。如何理解工业 4.0 呢？我们可以通过下面的一个虚拟工作场景畅想一下。

工业4.0时代的工作场景

2025 年某月某日，太平洋的某个无人岛屿的海边沙滩，两棵椰树间的吊床上，一个戴墨镜的帅哥，一边喝着冰镇果汁，一边欣赏着海上日出。

时间到达 8 点 00 分 00 秒，耳机里发出“工作时间到”的提示。听到工作时间提醒后，他在自己眼前用食指画了个三角形，无线全息眼镜将在世界各地工作的全自动激光切割设备信息投到他的视网膜上。线上设备 5 千多台，5 台新设备已经由物联网系统送到客户现场，并由客户公司的机器人根据华俄天网提供的安装程序组装，预计 30 分钟后与板材料库对接，1 小时后提供使用测试程序和验收测试程序，1 个半小时内提供工作授权，可以进入武汉华俄激光工程有限公司的全球激光加工网上系统华俄天网。其中三台结算为整机购买，两台为提供设备租用，收费按照实际切割不同材料的“厚度乘以切割长度”自动结算。

从现在起之后的 4 小时内，100 台设备需要维护保养，每台设备保养程序执行用时为 15 分钟。所有的维护程序已经授权，现场维护机器人按授权程序自动进行。刚果客户 0123 型机器人版本较低，控制需要使用华俄服务器远程操控，事件启动程序已经打开。画面上的一排机器图标，一个个由黄变绿，表示维护工作逐台完成。11 点 00 分 01 秒，印度德新里的一台设备报警，语音提示一只蟑螂进入设备加工区域，请示超声波驱赶还是次声波击毙。由于印度蟑螂的基因快速进化，它对超声波驱赶保护频率已产生抗体，系统已经提出解决预案列，为了得到这个样本，选择使用 12% 的次声波强度击昏设置，并得到系统确认由这位帅哥发令执行，机器自带的次声波发生器瞄准并击发，这只基因突变蟑螂被击昏，11 点 00 分 31 秒，设备恢复正常工作。

物联网滴滴快递的小型冷藏无人机，以超音速将活体样本运到华俄故障处理升级中心，对其 DNA 进行排序实验和样本深度冷藏，一组基因突变蟑螂超声波防护升级程序经过系统验证。华俄激光设备生物防护系统进行了免费升级，同时此升级程序进入天猫商业网可有尝下载，11 点 45 分 01 秒，距离发生报警只有 45 分钟，完成这项工作的这位帅哥，就是武汉华俄激光工程有限公司的售后服务工程师小明，到 12 点整，他完成了全天的工作任务，他还有五位同事分布在地球的 6 个时区，每个人在当地时间的 8 点到 12 点工作，以华俄天网为依托，利用全球物联网和已经普及的智能机器人，保证了华俄激光能为客户提供 24 小时无缝隙的全方位维护工作。

以上就是未来工业 4.0 环境下的工作场景，是以智能制造为主导的第四次工业革命，它带来的是无人化工业时代，华俄愿与大家共同去实现这样的美好愿景。❑

大族激光新型透明塑料激光焊接系统



W421 透明塑料激光焊接系统，焊接过程无需添加任何吸光添加剂，是一种洁净的连接方式，实现透明塑料产品的完美焊接。系统采用模块化设计理念，集激光器、外光路运动焊接部件与具有特殊功能的夹具部件为一体，结构紧凑、操作方便、安全稳定。该系统采取多轴联动方式、采用特殊的透射焊接技术，解决了透明塑料产品的洁净焊接需求。

可焊接的材料有：氟树脂（PFA）、烯烃类树脂（PE、PP）、工程树脂（PBT、PA6、PC、POM）、超级工程树脂（PSF、PPS、PEEK、PEI、LCP）、透明材料（PC、PVC、PP、PMMA、PET）的焊接。可实现壁厚 3mm、5mm 的叠加焊接、非织造布（PP 材）的焊接、实现各种网格密度的非织造布的连续直线焊接、膜焊接、实现氟树脂膜（25~100μm）的无损伤焊接。

大族激光，www.hanslaser.com

相干推出连续输出光纤耦合半导体激光模块



相干公司推出了一款 Coherent | DILAS 连续输出光纤耦合半导体激光模块，具备两种可见光波长：520nm 波长的绿光模块，输出功率 2W；以及 638nm 波长的红光模块，输出功率 1.4W。两种波长的模块都配备了 SMA 光纤接口，能搭配芯径 200μm、数值孔径 0.22 的光纤，从而实现激光的简单准直，并高度聚焦至一个尺度很小、强度很大的光束束腰。

产品外观紧凑（尺寸仅 17mm × 30mm × 62mm），采用独特的光纤耦合技术和传导冷却技术，内置 NTC 温度传感器，易于集成到各种设备和系统中，主要应用包括科研、机器视觉及其他 OEM 等行业的应用。

相干公司，www.coherent.com

可取代灯泡的超稳定SuperK COMPACT白光激光器

NKT Photonics 公司的 SuperK COMPACT 是颇具具成本效益的超连续激光器，已被世界各地的诸多实验室广泛采用。



最新的 S 系列 SuperK COMPACT 白光激光器，旨在替换测试和测量市场中使用的灯泡产品。在测试和测量应用中，卓越的功率稳定性（低至 ±0.1%）和广泛的光谱是理想的光源选择。SuperK COMPACT 白光激光器输出波长范围 450~2400nm，通过宽带准直仪或与标准电信设备兼容的 SMF-28 光纤连接器进入光纤传输。

NKT Photonics，www.nktphotonics.com

nLIGHT公司采用高掺杂纳米离子沉积技术的特种光纤

美国 nLIGHT 公司特种光纤制备，采用高掺杂纳米离子沉积技术（DND），既可实现掺杂光纤的高性能，同时又能保证高可靠性。其产品系列包括掺 YB 单 / 双包层光纤、掺 Er 单包层光纤以及相应匹配的无源传输光纤。nLIGHT 公司特种光纤产品广泛应用于光纤激光器工业及科研领域。



产品特点：

- 高掺杂浓度，用纤短，非线性效应小；
- DND 掺杂工艺确保有效均匀掺杂，光纤的一致性高。

凌云光技术集团光纤器件与仪器事业部，全面负责 nLIGHT 有源光纤和无源光纤的销售和技术支持工作，推进光纤激光器行业研发和工业生产的发展。

凌云光技术集团光纤器件与仪器事业部，www.lusterinc.com

柔性激光清洁系统

德国 4JET Technologies 公司的 JETLASER 柔性激光清洁系统，有四种功率级别，功率范围 50~500W（平均值），并为手动使用或与机器人集成使用而进行了优化。该清洁系统使用的是光纤耦合固体激光器，并将其集成到移动机柜中。



JETLASER 可用于清洁模具、工具和夹具等工业清洁应用，以及油漆和涂层去除，也可用于焊接、胶合或涂覆之前对材料表面进行预处理。

4JET Technologies，www.4jet.de



数控机床与金属加工展

2017年11月7-11日 国家会展中心(上海虹桥)

2H & 3H & NH馆



Deutsche Messe

FIERA MILANO

东浩兰生

www.metalworkingchina.com

欢迎垂询：021-5045 6700-222/284

扫一扫
关注微信公众号

高频振荡扫描头



Scanlab 公司的 welDYNA 振荡扫描头，适用于要求高度动态光束振荡的激光切割和激光焊接任务。它能焊接不同的接头或切割厚金属板。

welDYNA 振荡扫描头使得很多高功率应用成为可能。该扫描头的主要特性有：适用于多千瓦级激光器、为极高光束质量而设计、振荡频率超过 2kHz、低温漂、完全的数字伺服控制、集成用于实时监测的传感器系统，以及在牢固的封装中集成水冷和空气冷却系统。

该扫描头采用一种创新的光学配置，便于集成到汽车或金属加工应用中。

Scanlab，www.scanlab.de

用于精密微加工的100 W工业级飞秒激光器

MKS Instruments 推出其 Spectra-Physics®Spirit®1030-100 工业级飞秒混合光纤激光器，可提供 >100W 的红外功率和 >100μJ 的脉冲能量，脉冲持续时间 <400fs，能实现快速、高质量微加工。



Spirit 1030-100 提供高灵活性，可选择集成二次谐波发生（SHG）实现大于 50W 的绿光输出、突发模式和触发脉冲输出，并具备 24/7 的工业级可靠性，非常适用于消费电子、清洁能源、汽车、医疗设备等需要大批量生产的工业应用。

Spirit 1030-100 提供可调的重复频率（从单发到 10MHz）和最佳光束质量，提供 >100W 和 >70W 的配置，非常适用于加工脆性材料，包括玻璃、蓝宝石和多晶金刚石以及薄金属和聚合物。

Spectra-Physics，www.spectra-physics.com

10kW光纤激光器



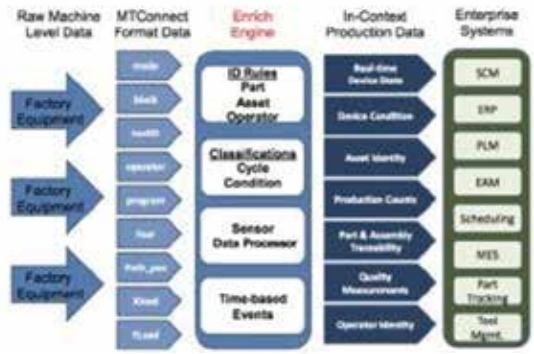
Coherent 公司的 HighLight FL10000 光纤激光器，将四个单独的 2.5kW 激光模块的输出组合到单根输出光纤中，总输出功率达 10kW。10kW 激光器的可分离输出光纤直径范围为 150μm~1mm。

HighLight FL10000 提供连续波（CW）操作模式或重复频率高达 5kHz 的脉冲操作模式，可用于机床、汽车、能源和其他重工业应用中的金属板和管加工，能提供合适的功率和光束特性，快速实现各种厚度的金属材料的切割、焊接和表面处理。

Coherent，www.coherent.com

制造过程监控软件

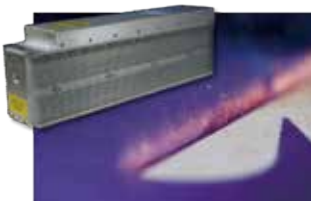
System Insights 公司的 Vimana Enrich 制造过程监控软件，能够捕获并集成来自车间、制造过程和业务系统中的相关数据，并为制造过程增加适当地调整，无需增加编程和系统集成的时间和成本。



Vimana Enrich 能够识别当前的机器活动、资产健康、零件生产和操作员状态。可以创建事件和警报，以深入了解维护、调度、库存和零件质量等所需的操作。Vimana Enrich 能实现端到端流程自动化，可与其他上游计算机辅助制造（CAM）和下游企业资源规划（ERP）、调度和维护系统集成。

System Insights，www.systeminsights.com

Synrad推出40W连续波CO_2激光器



Synrad 公司推出的新一代超紧凑型 vi40 CO_2 激光器，专为满足工业领域严苛的编码、打标和雕刻应用而设计。针对 OEM 应用，vi40 体积小巧，非常适合空间狭小和对重量敏感的应用。

Vi40 包含一种新的温度广播功能，用于实时状态监测；其 Gen2 tube 设计能有效地管理热阻和功率，以实现稳定的精确光束输出。Vi40 可提供 40W 连续波功率和 100kHz 最大脉冲频率，并且不需要外部校正光学元件。

Synrad，www.synrad.com

ILOPE

www.ilope-expo.com

ILOPE - 2017 北京光电周

第二十二届中国国际激光、光电子及光电显示产品展览会

22nd China International Lasers, Optoelectronics and Photonics Exhibition

2017.10.11-13

北京 · 中国国际展览中心（静安庄馆）

扫码关注

体验国内外光电行业展会“一站式”服务!

CIEC

北京华港展览有限公司

Tel：+86-10-84600314，84600836
84600343，84600384

Email: zhanghaijiao@ciec.com.cn
chendeyun@ciec.com.cn
wangxinyan@ciec.com.cn
menglin@ciec.com.cn

COEMA

中国光学光电子行业协会

Tel: +86-10-84321499

Email: coema@coema.org.cn

Advertiser	广告商名称	网址	页码
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	BC
北京凯普林光电		www.bwt-bj.com	15
CASTECH Inc.	福建福晶科技股份有限公司	www.castech.com	17
Edmund Optics China		www.edmundoptics.cn/077-8619	11
华芯光电		www.everbrightphotonics.com	23
ILOPE	北京光电周	www.ilope-expo.com	35
Laser South China	华南（广州）先进激光及加工应用技术展览会	www.lasersouthchina.com	IBC
Lumentum Operations		www.lumentum.cn	7
MWCS	数控机床与金属加工展	www.metalworkingchina.com	33
Pinnacle Scientific	顶尖科仪	www.psci.cn	21
莱茵技术		www.tuv.com	28-29
TRUMPF		www.cn.trumpf.com	1

eFOCUS VIDEO Magazine Webcast
www.laserfocusworld.com.cn

行政及销售人员 Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

HK Office (香港办公室)

ACT International (雅时国际商讯)
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 and Taiwan (香港及台湾)
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

Amy Ma (马能能)
amym@@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

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: 49-0-8847-6986656

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

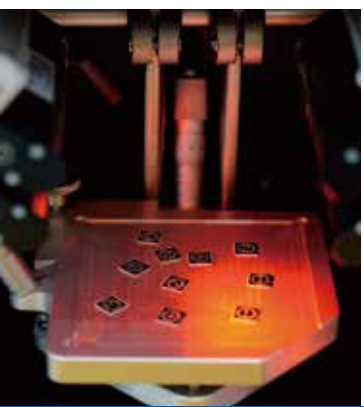
华南（广州）先进激光及加工应用技术展览会

2017.9.18-20

广州琶洲·保利世贸博览馆

Laser South China





扫码预登记

2017年展会预登记火热进行中！

展示范围

- 先进激光制造技术及高端智能装备
- 先进光源
- 光学元器件
- 其 它

展位预订热线：

严飞

Tel: +86 021-2020 5587

E-mail: Annie.yan@mm-sh.com

主办单位

中国光学学会激光加工专业委员会

慕尼黑展览（上海）有限公司

大孔径直驱转台



Aerotech的ALAR系列直驱转台具有卓越的角度定位和速度控制性能，最大孔径325mm，最大负载600kg。大孔径、高负载能力和直驱电机使得ALAR系列能够为您的应用提供多种多样的、高速(最大300rpm)、无空回的超高精度解决方案。

获取更多的关于Aerotech ALAR系列的信息，请联系我们的应用工程师或访问我们的网站 www.aerotech.com

- 5种不同的中空孔径(100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 325 mm)
  SP型具有更高的刚性 LP型轮廓较低
- 高达600kg的轴向负载能力
- 无齿轮传动电机提供平滑运动和零空回
- 45-300rpm连续转动速度
- 最适合于负载须在旋转中心和AZ万向节应用；
- 10^{-6} Torr真空兼容性能
- 大直径安装孔和高分辨率是制造折轴和可伸缩望远镜的理想选择

Ph: +86 (21) 6126 1058 • Email: sales@aerotech.com • www.aerotech.com
WORLD HEADQUARTERS: USA
THE AMERICAS • EUROPE & MIDDLE EAST • ASIA-PACIFIC

AEROTECH® *Dedicated to the Science of Motion*

AF0416B-LPM-ZH-CN