光 学 和 光 电 子 产 业 的 主 导 刊 物

激光世界

LaserFocusWorld® China

www.laserfocusworld.com.cn

2014年3月 第2期

ISSN:1817-6917



不同于材料去除的添加制造是如何‘堆叠’产品的? 30

- 碟片激光器实现更高的功率和更短的脉冲 12
- 如何实现皮秒激光器加工速度最大化 25
- 激光精细刻划技术在钻石珠宝行业的应用 28

ACT PennWell®



ML 3015eX-S Edition



eXcellent

easy to use

ecology

http://cn.mitsubishielectric.com/fa/zh/

三菱电机自动化(中国)有限公司
MITSUBISHI ELECTRIC AUTOMATION (CHINA) LTD.

地址: 上海市虹桥路1386号三菱电机自动化中心, 200336
电话: (021)2322 3030 传真: (021)2322 3000

400-821-3030

三菱电机
MITSUBISHI ELECTRIC
Changes for the Better

BWT BEIJING

我们专注半导体激光器



北京凯普林光电最新推出915nm/940nm光纤耦合输出半导体激光器，光纤芯径105μm，数值孔径0.15N.A.，出纤功率达65W，该产品极大的满足了光纤激光器对于泵浦源高亮度的要求。

同时，凯普林光电大功率光纤激光器泵浦源系列还包括9XXnm/100W/120W/200W，793nm/15W/30W，976nm稳波长系列18W/25W/50W/60W/85W。

了解更多新品信息，敬请关注凯普林光电官网：www.bwt-bj.com

<< 欢迎莅临凯普林展位.....

慕尼黑上海光博会
LASER World of PHOTONICS CHINA

2014慕尼黑上海光博会
时间：2014年3月18-20
地点：上海新国际博览中心
展位号：E2馆2118

北京凯普林光电科技有限公司
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：010-83681052
邮箱：sales@bwt-bj.com

新产品

超短波激光器

IFRIT-TD20（3ps, 20W）

新面市

提供世界最先进的皮秒、飞秒激光加工技术



按照客户的用途需求，定制激光加工设备，并为客户培训操作人员。

请您就加工样品等相关事宜致电或E-mail垂询东隆科技。

激光器规格

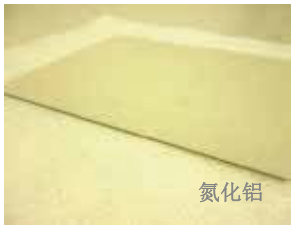
波　长	1030 nm
平均功率	20 W
脉冲能量	400 μJ (最大)
重复频率	50 ~ 200 kHz

Cyber Laser的超短脉冲激光加工机

- 采用世界最先进的皮秒、飞秒激光加工技术
- 独特加工技术，将不可能变为可能
- 自2003年，设备在工厂连续运转长达10年以上
- 2~3年免维护，停机维护时间极短
- 提供高成品率、降低成本的方案
- 已在主要大学、科研院所、大型制造企业中成功应用

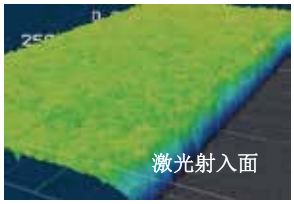
部分加工实例

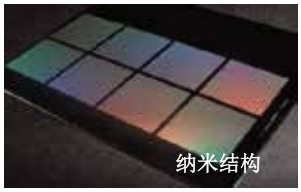
- 钛、镍、陶瓷、FRP、玻璃等
- 纳米结构——等距线型图案
- 去除薄膜（触摸屏）
- 蓝宝石切割（LED）
- 玻璃切割（平板机、智能手机）

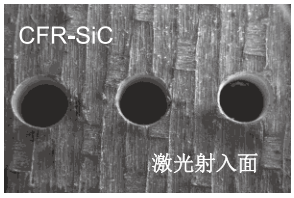


Cyber LASER www.cyber-laser.com

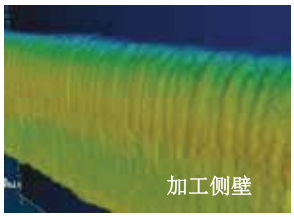


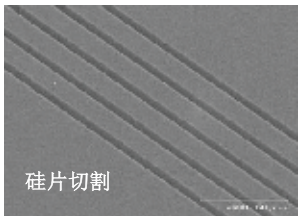


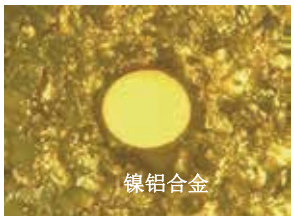


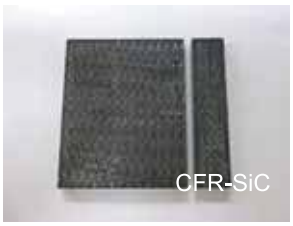












慕尼黑上海光博会

LASER World of PHOTONICS CHINA

诚邀莅临

2014年3月18日-20日

E3 馆 3640

销售

东隆科技有限公司

E-mail : sales@etsc-tech.com

电话： 027 87807177

网址： http://www.etsc-tech.com

制造

CYBER LASER INC.

E-mail : info1010@cyber-laser.com

电话： 81 335993803

网址： http://www.cyber-laser.com

激光世界
LaserFocusWorld China
2014 年 3 月 第二期
www.laserfocusworld.com.cn

目录

光子学前沿

12 碟片激光器
碟片激光器实现更高的功率和更短的脉冲

技术中心

16 X 射线源
可调谐、亮度增强千倍的激光驱动的康普顿 X 射线源

17 光纤激光器
为高功率激光器选择大模场面积光纤

20 激光二极管
高功率激光二极管模块泵浦碟片激光器

应用天地

25 超快激光器
如何实现皮秒激光器加工速度最大化

28 激光雕刻
激光精细刻划技术在钻石珠宝行业的应用

30 激光添加制造
不同于材料去除的添加制造是如何‘堆叠’产品的?

商业论坛

35 激光添加制造在特定市场竞争优势尽显

业界访谈

37 服务超越客户预期 永立行业潮头
——访 Edmund Optics 公司总裁兼首席运营官 Samuel Sadoulet 先生

39 运筹帷幄决胜千里 马到成功赢在创新
——记 2014 通快技术博览会

40 “一顾倾人城，再顾倾人国”纤体瘦身新技术
——2014 科医人美容激光纤体技术信息发布会后记

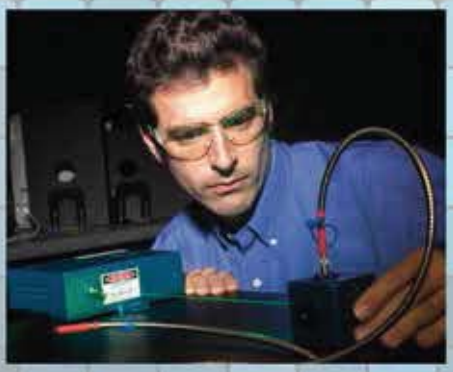
7 编者的话
8 新闻动态
10 前沿简讯
41 产品撷英
44 广告索引

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 8,600 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。

Ocean 海洋 Optics 光学
美国海洋光学助力
新型激光焊接控制



“HR2000+”微型光谱仪
• 原位 • 实时
• 在线 • 快速



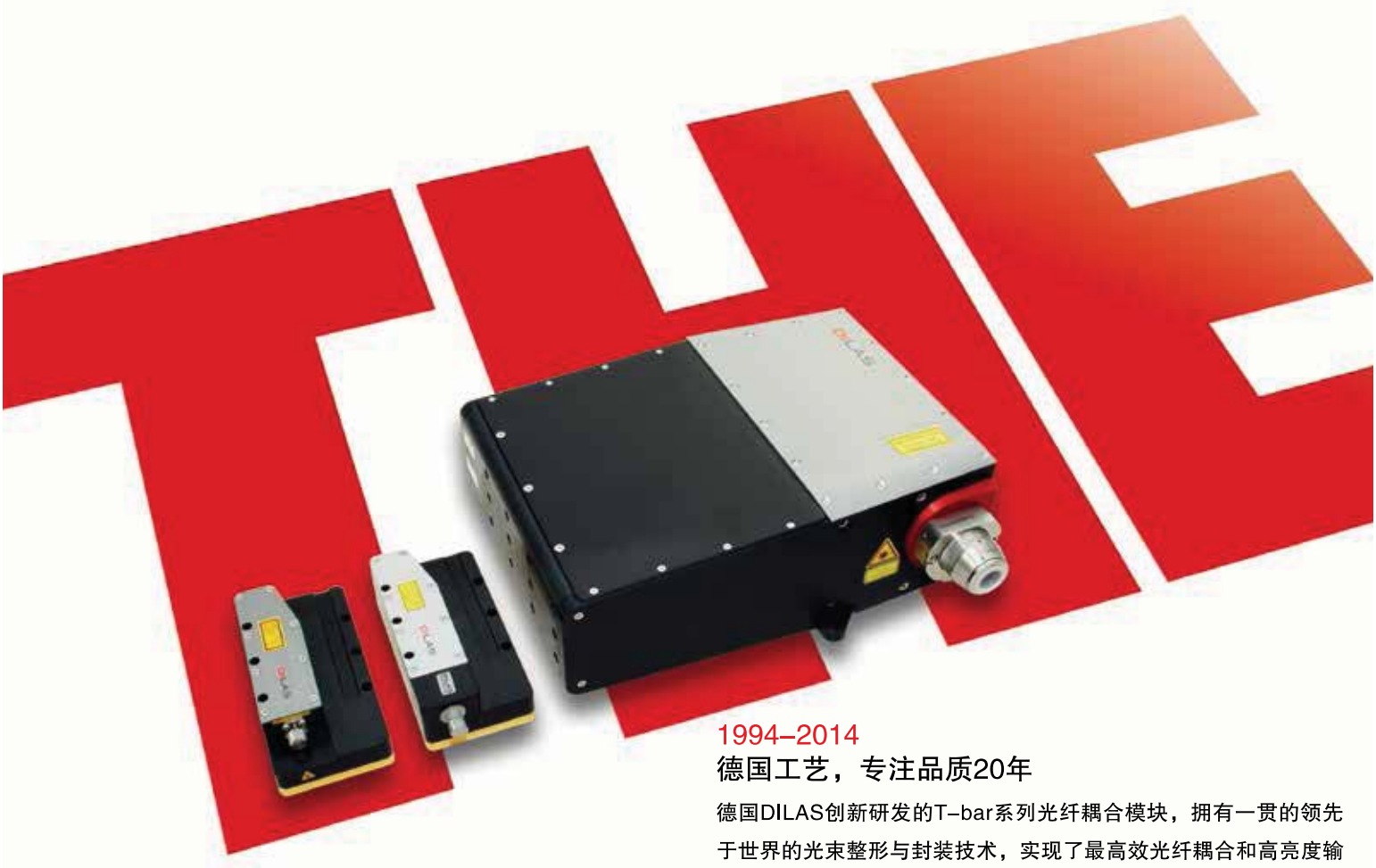
基于海洋光学微型光谱仪小巧、便携、快速的特点，科学家们开发了一种用于CO_2激光焊接机的闭环控制系统。该系统采用海洋光学的微型光谱仪校正测量的电子温度，通过穿透深度和电子温度的对应关系，控制激光的能量来稳定激光焊接过程中的穿透深度。

电话：400 623 2690
asiasales@oceanoptics.com

慕尼黑上海光博会
3月18 - 20 日
展位号：E1-1300
期待您的光临

千瓦级光纤激光器泵浦源

T–bar纤耦合模块全面超越多单管光纤耦合模块



1994–2014

德国工艺，专注品质20年

德国DILAS创新研发的T–bar系列光纤耦合模块，拥有一贯的领先于世界的光束整形与封装技术，实现了最高效光纤耦合和高亮度输出，全自动化封装线引领全球半导体激光器封装技术进入新阶段。

突破传统单管的限制，DILAS的T–bar系列将为您带来更具竞争力的高效集成。更便捷的冷却方法，保证了模块在恶劣环境中的突出表现。稳定的波长，紧凑的设计以及卓越的光学设计，让T–bar系列成为千瓦级光纤激光器泵浦源首选解决方案。适用于各种不同领域应用的T_Bar系列光纤耦合模块也在不断地研发与上市中。此外，T–bar系列的性价比也超越传统单管光纤耦合模块。

一直以来DILAS坚持不懈地致力于为客户提供更稳定、更可靠、更优异的光学输出效果，可根据客户要求定制激光解决方案。DILAS绝对是您值得信赖的全球合作伙伴。

2014 年 3月18 日–20日慕尼黑上海光博会，德国 DILAS 展位号 E3–3600，诚邀您莅临。

更多DILAS技术问题敬请联系：

电话：86–21–68552216–296

邮箱：sales@dilas_china.com.cn

DILAS

The diode laser company.

DILAS.COM.CN

激光世界 LaserFocusWorld China
March 2014 Issue 2
www.laserfocusworld.com.cn

CONTENTS

PHOTONIC FRONTIERS

12 **DISK LASERS**
Higher powers and shorter pulses from thin-disk lasers

APPLICATIONS

16 **ULTRAFAST LASERS**
Picosecond lasers: Achieving maximum processing speed

17 **LASER ENGRAVING**
Applications of fine laser scribing technology in the diamond jewelry industry

20 **LASER ADDITIVE MANUFACTURING**
How does additive manufacturing 'stack up' against subtractive methods?

TECHNOLOGIES CENTER

25 **X-RAY SOURCES**
Laser-driven Compton x-rays are tunable and 1000X brighter

28 **FIBER LASERS**
Selecting large-mode-area fibers for high-power lasers

30 **LASER DIODES**
High-power laser diode modules pump disk lasers

BUSINESS FORUM

35 Finding selective markets, additive manufacturing becomes competitive

INTERVIEWS

37 **Providing services exceed customer expectations and keeping ahead of industry**
—— Interview Mr. Samuel Sadoulet, President and COO of Edmund Optics

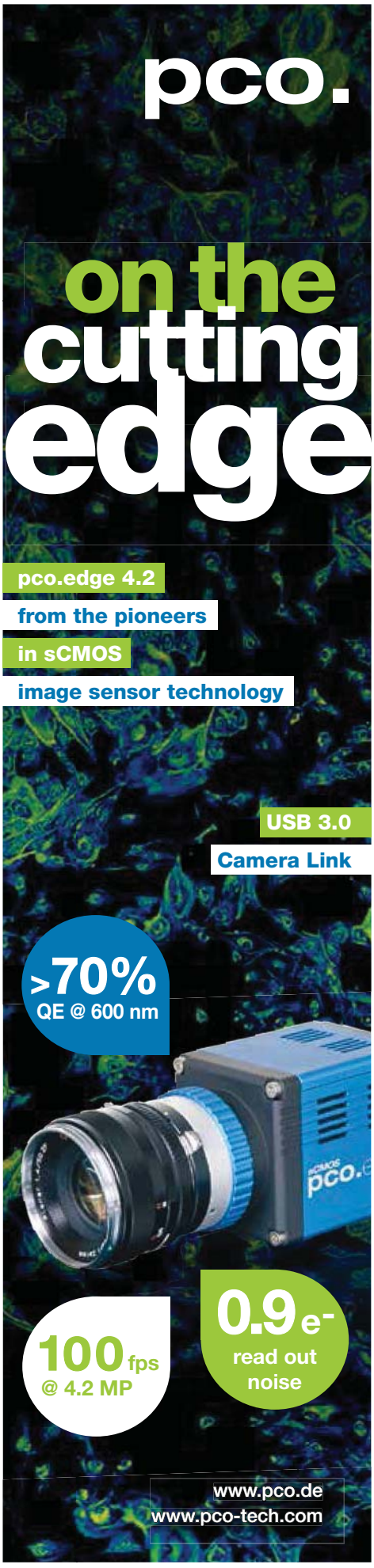
39 **Strategizing and making a good plan to win through innovation**
—— Report for TRUMPF TechDays 2014

40 **New technology for slimming**
—— Report for Lumenis' 2014 Laser Slimming conference

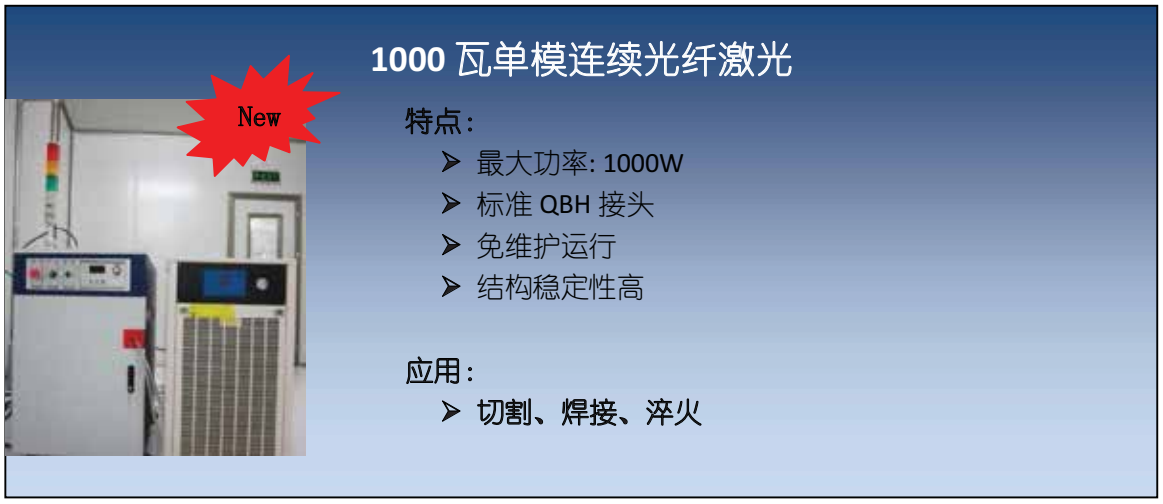
7 EDITOR'S NOTES
8 NEWS UPDATES
10 LEADING EDGE SNAPSHOTS
41 PRODUCTS HIGHLIGHT
44 Ad Index

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 8,600 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.



天元激光，点亮世界的每一角落！



江苏天元激光科技有限公司拥有一批在光电子和大功率激光器领域享有国际盛誉的技术专家，掌握了千瓦级全光纤激光器的整机集成及规模化生产的关键技术和相关工艺，围绕具有自主知识产权的核心技术申请专利 34 项，其中授权 12 项。公司开发生产的 1 千瓦单模连续光纤激光器 TY-1000，输出光纤为 20/400，输出波长 1070±5nm，可以实现激光能量从 1%-100%调节，电光转换效率大于 30%，具有稳定可靠的机械结构，智能化数控系统，能在工业环境中长期稳定运行。操作系统界面简洁、接口简单通用，易与各类机床、机器人加工系统实现集成。可根据客户要求对多种不同材料进行精细化加工。

更多产品资讯，敬请关注天元激光网站：www.skyeralaser.com



<< 欢迎莅临天元激光展会… …

慕尼黑上海光博会
LASER World of PHOTONICS CHINA

时间：2014 年 3 月 18 日-3 月 20 日
地点：上海新国际博览中心
展位号：E3 馆 3438

江苏天元激光科技有限公司
地址：江苏省丹阳市高新技术产业中区 8 号
电话：0511-86738588 转 8700
E-mail: zyqin@skyeralaser.com
www.skyeralaser.com

编者的话/Editor's Notes

又是一年三月春来到

转眼间，日历又翻到了2014年的三月份，在不经意间感叹时间都去哪儿了的同时，也真切体会着时光飞逝的感觉。三月对于激光与光电子行业来讲是个热闹非凡的月份——一年一度的慕尼黑上海光博会将如期在上海新国际博览中心拉开帷幕，作为中国乃至全球的重要展会之一，这里每年几乎都云集了行业内的主要厂商，因此该展会也是探知整个业界发展端倪与态势的一个良好时机。整个激光行业在经历了2013年的小幅增长后，预计2014年会有更好的表现，随着中国制造业水平的不断发展升级，将为激光行业蕴育巨大的潜在市场。

提到制造业中的机会，首先想到的便是激光添加制造，或者称为激光熔覆、激光3D打印。本期的《不同于材料去除的添加制造是如何‘堆叠’产品的?》一文，回顾了目前激光添加制造领域的最新技术，以及它们的优势、劣势以及未来的发展潜力。激光添加制造除了能制造金属部件外，也能用于制造聚合物和陶瓷部件，目前很多公司正在争先恐后地提升利用激光添加方式制造的更复杂部件功能的完整性。

在本期的商业论坛栏目中，德国亚琛工业大学激光技术研究所副主任、兼德国弗劳恩霍夫激光技术研究所部门主管Ingomar Kelbassa博士也从激光添加制造的概念、相比于传统机械制造所具有的优势、主要行业用户、对激光源和粉末的要求以及他正在开展的相关工作等多个方面，与读者分享了他的观点和见解。

材料加工是激光应用的一大市场。除了传统的固体激光器、CO_2激光器外，随着技术不断向前发展，光纤激光器、碟片激光器以及半导体激光器也开始在材料加工市场不断攻城拔寨。

本期的光子学前沿栏目，介绍了目前碟片激光器在技术方面所取得的一些最近进展。碟片激光器能够产生更高的连续波功率，而且其较低的非线性允许高峰值功率的皮秒脉冲用于高精密钻孔和冷烧蚀切割多种材料。

光纤激光器已经成为打标、微加工、切割、焊接、钻孔和雕刻等各种工业应用的新选择。如何实现具有优异光束质量的高功率光纤激光器，是业界非常感兴趣的话题。如何为光纤激光器选择最适合的大模场面积光纤、使得光纤激光器兼具高功率、优异的光束质量和最佳的成本效益呢?《为高功率激光器选择大模场面积光纤》一文将让您了解更多。

总之，三月是一个让人忙碌且兴奋的月份，我们期待着在即将举行的慕尼黑上海光博会上，能看到更多的新产品和新技术，期待着整个行业的发展更加富有生机。❑

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
© 2014 版权所有 翻印必究

新闻动态/News Updates

美国Photonics Industries公司在中国发展

为适应全球二极管泵浦固体激光器市场需求的增长，美国 Photonics Industries（PI）公司宣布将在中国苏州扩大中国区销售及服务团队。

随着激光器在亚洲（日本、韩国、台湾和中国）以及全球分销网络中的工业和科学领域市场需求的增长，为了更好的服务市场，PI 中国——富通尼科技（苏州）有限公司最近在苏州建成了 2500 平方米的厂房及办公楼。新办公室已经具备超净间等设施，美国 PI 将增加产品在中国的授权服务。

2013年IPG营收增长15%，高功率光纤激光器增长强劲

IPG 发布其 2013 年第四季度及全年财报。公司总裁 Valentin Gapontsev 博士表示：“在过去的第四季度里，IPG 业绩持续保持强劲，这主要归结于光纤激光器日益增长的需求。该季度 IPG 营收比 2012 年同期增长 14%，这主要得益于材料加工应用的高功率光纤激光器销售。该季度 IPG 净收益增长 5%。”

Gapontsev 博士强调道：“材料加工业绩已经在公司总营收总到最主要部分，2013 年第四季度达到了 22%。高功率激光器销售同比增长 24%，归功于汽车、重工业和制造业对激光切割和焊接需求增长。特别是在亚洲、北美和欧洲市场表现明显。”

IPG 2013 年全年营收增长 15%。其中亚洲市场表现的最为强劲。2013 年公司每股收益达到 2.97 美元，同比增长 6%。

GSI集团收购机器视觉公司Jadak Technologies

GSI 集团宣布以 9350 万美元的价格收购 JadakTechnologies 公司，后者致力于为 OEM 医疗设备制造商提供光学数据采集和机器视觉技术。预计该项交易将于 2014 年 3 月完成。

JadakTechnologies 公司的产品通过核实病人身份、验证规定的治疗或功能，有助于提升医疗安全性，减少医疗失误，增强治疗过程的准确性。在过去的五年中，JadakTechnologies 的业绩实现了翻倍增长，并且显示出了强劲的增长态势，其条形码、扫描仪、机器视觉相机、RFID 技术、磁条阅读器、便携平台及相关软件方面的资源，涉足超过 20 多种医疗应用领域。通过此次收购，GSI 集团将进一步丰富其产品线，为医疗设备制造商提供更广泛的工程技术。

爱特蒙特光学开始接受 2014 年度教育奖的申请

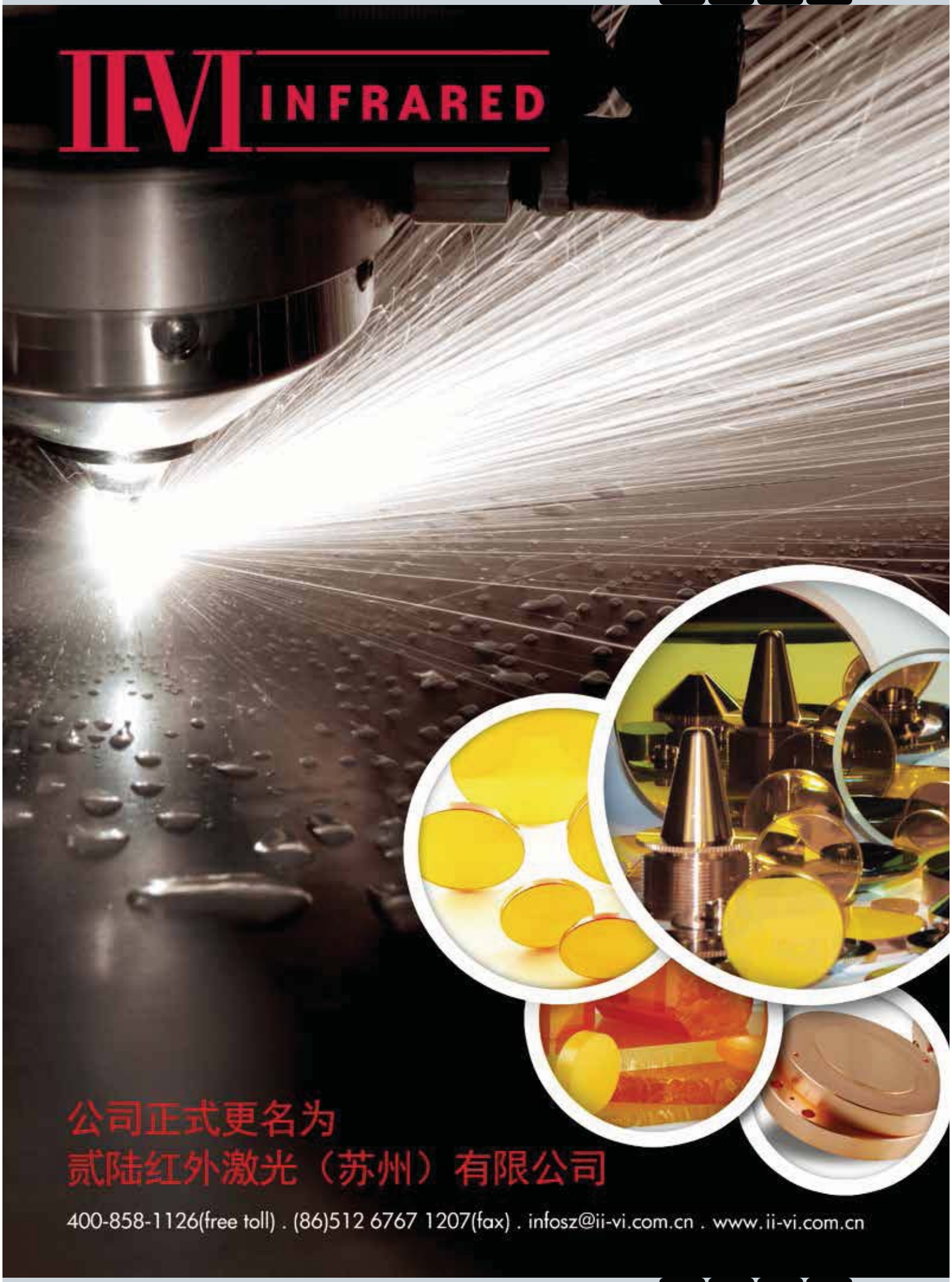
爱特蒙特光学开始接受 2014 年度教育奖的申请。这个一年一度的奖项将颁发给研发能影响未来应用的光学产品的出色项目。2014 年，爱特蒙特光学将在全球颁发 45 个奖项，奖项按产品发放，奖金从 500 美元到 10,000 美元不等。申请的项目必须是非营利研究院和大学的科学、技术、工程和机械 (STEM) 等领域的本科生和研究生项目。

秉承对更高教育奖项的追求，经过五年多颇为成功的探索，爱特蒙特光学将区域性资助项目合并成为一项全球性的教育奖项。和前几年一样，爱特蒙特光学奖项将颁发给全球最尖端的研究项目。今年的奖项更多，美洲、欧洲和亚洲三个区域分别设立了 15 个奖项，总数达到 45 个。

2014 年教育奖将在美国西部光电展拉开帷幕，分别为美洲、欧洲和亚洲设立金奖（产品奖金 10,000 美元）、银奖（产品奖金 7,500 美元）、铜奖（产品奖金 5,000 美元）和 12 个优胜奖（每个爱特蒙特光学 TECHSPEC® 产品奖金 500 美元）。每个区域将以当地货币颁发等额奖金。

要申请爱特蒙特光学教育奖，只需访问 www.edmundoptics.com/award 然后单击“立即申请”按钮，或访问公司的 Facebook 页面 www.facebook.com/edmundoptics，8 分钟即可完成申请流程。您需要在申请中说明您的个人信息、您参与的研究项目信息，以及如果获奖您的奖金将会应用于什么类型的产品。申请截止日期是 2014 年 6 月 30 日。

获奖人选将由爱特蒙特光学奖项团队评选。经过仔细评选，最终入围者需要提供相关项目的更多详细信息。最后将根据以下标准评选获奖者：研究项目或实验室的光电技术水平和创新应用。最终入围名单将在 2014 年 9 月 17 日公布，获奖名单则在 2014 年 10 月 15 日公布。完整的条款和条件可在网上查看。爱特蒙特光学教育奖获奖名单将在 2014 年 10 月 15 日公布。❑


II-VI INFRARED
公司正式更名为
贰陆红外激光（苏州）有限公司
400-858-1126(free toll) . (86)512 6767 1207(fax) . infosz@ii-vi.com.cn . www.ii-vi.com.cn

前沿简讯 Leading Edge Snapshots

355nm 紫外全固态激光精密切割专用设备研发通过验收

福建物构所承担的省科技重大专项专题“355nm 紫外全固态激光精密切割专用设备研发”通过福建省科技厅组织的专题验收。

该全固态激光精密切割专用设备取得了以下主要成果：

（1）采用创新性生长工艺，实现新型紫外变频晶体材料和大尺寸原生三段式 Nd：YVO_4 激光晶体生长；

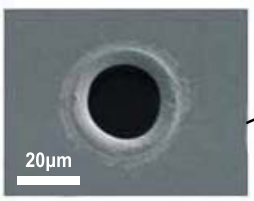
（2）突破伺服电机、线性导轨、高精度光栅尺等系统集成技术，并配合闭环负反馈移动控制系统，实现高精度精密平移台运动控制；

（3）突破 888nm 新型半导体泵浦技术、大斜面倍频晶体以及倍频晶体移点等关键核心技术，研制出高效、长寿命 355nm 紫外全固态激光器，在此基础上，通过显微成像、传输变换光学、系统控制等成套设备集成创新，成功研制出 355nm 紫外全固态激光 LED 芯片切割专用设备，该设备具有视频显微实时监控、晶圆自动找正和激光自动调焦等功能，在专题参研单位厦门三安光电科技有限公司 LED 芯片生产工业环境下实际应用，全面满足了商用化紫外切割设备的生产要求。❑

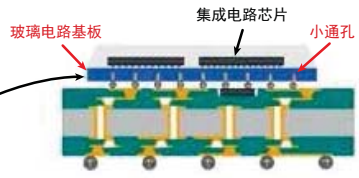
三菱电机开发出激光玻璃微加工技术

David Belforte

三菱电机宣布其已经利用脉冲 CO_2 激光开发出了一种玻璃微加工技术，能够在玻璃基板上钻出了目前世界上最小的孔——直径仅为 25 μm。目前该技术正在申请专利。该技术有望提高玻璃电路基板的使用，以进一步提升电子设备的性能。



在玻璃基板上钻出的小孔（厚度为 0.1mm的无碱玻璃）



先进的电子封装图示

该技术使用波长约为 10 μm 的远红外 CO_2 激光器，在透明的玻璃基板上钻孔。较短的微秒激光脉冲，能在激光钻孔的过程中减少对玻璃基板的加热。此外，该技术也应用了表面处理技术以抑制钻出的孔过度扩大。

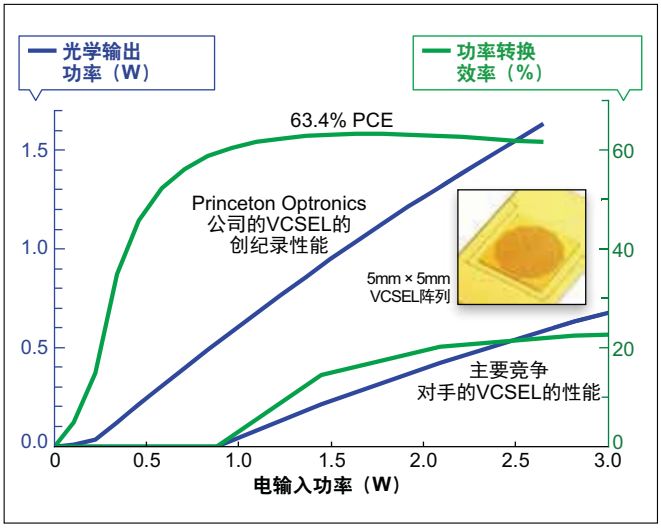
使用一个高精度、高速振镜扫描激光束，每秒大约能钻出 200 个孔。CO_2 激光器能够很容易地实现高功率，其已被广泛应用于工业领域，并能比传统的成本高昂的低效率紫外激光振荡器提供显著改进的生产能力。❑

激光世界 LaserFocusWorld China | 广告索引 Ad Index | 目录 Content | 推荐朋友 Refer a friend | 免费赠阅 Subscribe | ACT

垂直腔面发射激光器的功率转换效率提升至 63.4%

Gail Overton

在美国海军、陆军和国防部高级研究计划局（DARPA）的资助下，经过数年的研发工作，Princeton Optronics 公司的垂直腔面发射激光器（VCSEL）实现了创记录的性能。该 VCSEL（无论是单管还是阵列器件）具有 63.4% 的功率转换效率（PCE），创下了有史以来的最高水平，相比之下目前商品化产品的典型 PCE 约为 20%~25%。



该波长为 800~1100nm 的 VCSEL 阵列，为手势识别、3D 成像以及红外照明应用的飞行时间（TOF）和结构光应用而开发，有尺寸从 500μm×500μm 到 5mm×5mm，功率输出从 500mW 至几百瓦可供选择。该 VCSEL 器件在高温和高功率水平下也具有高效率：温度为 50ºC 时 PCE 通常为 55%。因此，VCSEL 阵列很容易组合，以提供高达 100kW 的连续波输出，用于周边和边境安全的高功率照明、透过烟雾和爆炸进行成像以及远程监视。更多信息请联系 Chuni Ghosh，email：atcghosh@princetonoptronics.com。❑

Er：YAG 激光器在美容治疗中分离消融和凝固过程

Gail Overton

当使用 CO_2 激光进行皮肤美容和治疗时，40% 的激光能量用于消融人体组织，而另外 60% 的激光能量将导致组织凝固。这样的治疗效果是非常普遍的，即便是使用不同的能量密度和脉冲参数也是这样，因为 CO_2 激光的能量无法被皮肤中的水完全吸收。大部分能量在皮肤内发生反射和折射，使组织变热，而不是将其汽化。最近，美国 Sciton 公司的科学家已经证明，Er：YAG（掺铒钇铝石榴石）激光器的输出能被皮肤中的水非常高效地吸收，这样医生就能分别控制组织消融和凝固的水平，以获得想要的治疗效果。

该全固态激光精密切割专用设备取得了以下主要成果：

Sciton 公司的可调谐 Er：YAG 激光器具有可调节的能量密度和脉冲宽度，以便独立选择消融和凝固的比例。消融脉冲的能量密度超过 1J/cm^2，单次脉冲能够汽化深度在 4~200μm 内的任何组织，并且具有极高的精度，没有余热残留。如果想要组织凝固，则子消融激光能量以一系列脉冲串的形式发射，能量密度小于 1J/cm^2，其将组织加热到一个可选择的深度，而不是将组织汽化。例如，一个超消融脉冲（能量远高于消融阈值）可以将组织汽化到一个受控的深度，以去除皮肤外部的皱纹、病变以及痤疮疤痕，随后使用一系列子消融脉冲串提高组织的温度，并在皮肤内部刺激真皮胶原蛋白基质，以达到紧致肌肤和增加弹性的效果。更多信息请联系 Rick Mendez，email：rick.mendez@sciton.com。❑

光子学前沿/Photonic Frontiers

碟片激光器实现更高的功率和更短的脉冲

薄碟片不仅提供了一种利用固体激光器产生更高连续波功率的途径，而且其较低的非线性允许高峰值功率的皮秒脉冲用于高精密钻孔和冷烧蚀切割多种材料。

作者：Jeff Hecht

十多年前，目前就职于德国航空航天中心的 Adolph Giesen 发明了碟片激光器。碟片激光器的固体几何外形，从传统的长细棒状完全转变为平坦的碟片状。板条激光器已经显示，增加表面积与体积的比值能够提高散热性，从而允许运行更高的功率。薄碟片是板条设计的逻辑极限：将厚度为 0.1~1mm 的碟片附加到热沉上，能够快速消散残余的泵浦能量。厚度为厘米量级的碟片的另一侧，由分布在其表面上的二极管激光器光束泵浦。

目前，碟片激光器的功率已经提升到了数千瓦的水平，其已经在工业应用中与光纤激光器展开竞争。碟片激光器和光纤激光器都为固体激光器带来了激动人心的效率提升，但是它们的特性却存在很大差异。光纤激光器可以产生更高的连续波（CW）功率；碟片激光器可以产生更高的峰值功率。这使得它们在一系列应用中广受欢迎，从智能手机的高强度玻璃的精密切割，到研究领域所用到的泵浦超短脉冲激光器。



图注：在主动多程单元内，锁模脉冲多次通过碟片激光器的中心，折叠腔的单程长为42.7m。

基础知识

图 1 给出了二极管泵浦碟片的两种通用设计，碟片的厚度通常为 0.1~1mm，直径为 5~15mm。在单碟片激光器中，泵浦二极管或阵列从侧面照射碟片表面，激发激光介质——通常为掺镱晶体，然后经由后表面反射再穿过碟片，激发更多的原子。碟片后面的反射层与输出镜形成谐振腔，产生激光束，在这个简单的例子中激光束垂直于碟片表面出射。也可以将两个或多个碟片在折叠腔内光学串联，如图 1 中的双碟片 W 型腔激光器，这将增加腔内增益和输出功率。

实际上，碟片激光器的光学设计远复杂于此。为了获得高光束质量，需要更复杂的谐振腔设计。由于碟片非常薄，泵浦光可以被重复导入到碟片上，以多次穿过碟片，从而增加光束的吸收和光 - 光转换效率。碟片激光器的泵浦强度高，但是低于光纤激光器，因为它是在整个碟片的表面扩散，而不是集中到双包层光纤的内包层，双包层光纤内包层的实测厚度通常为 125 微米到几百微米。通过薄片进行散热相当有效，此外，由于通过整个碟片的厚度范围内的热梯度是线性的，因而碟片激光器中的热透镜效应很弱。

输出镜通常将大部分光束反射回腔内，以保持高的增益饱和度，透过的光束量仅占百分之几，允许使用腔内谐波发生器。对于那些光束从工件反射的应用而言，该光学隔离器是理

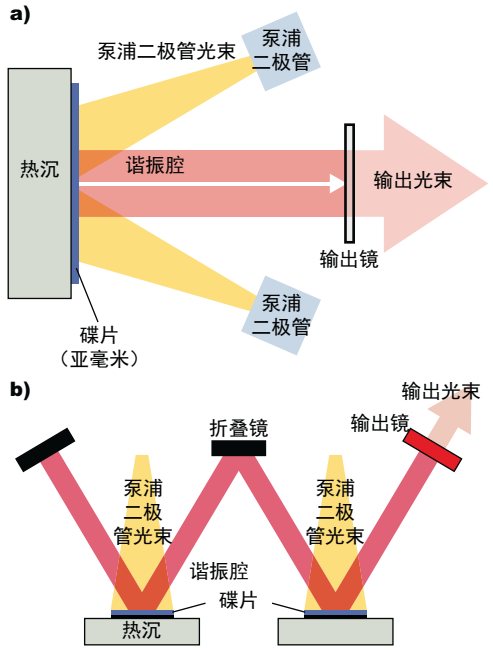


图1：碟片激光器谐振腔示意图，线性腔内有一块碟片（a），W形腔内有一对碟片（b）。二极管泵浦源发出的光（黄色）穿过宽度为5~15mm的碟片的整个表面，激发镱原子。红色表示谐振器的体积；蓝色所示为碟片。

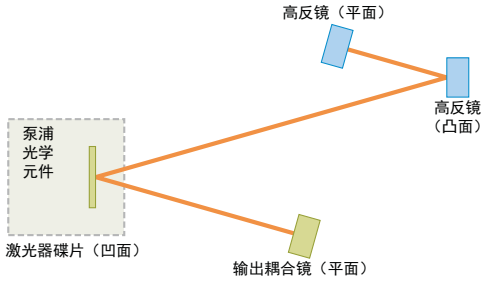


图2：产生4kW近基模光束的光学谐振腔示意图。图中未给出将泵浦二极管光束定向以通过激光器碟片44次的泵浦腔细节。

想的选择，否则光束可能会被耦合回到激光器。

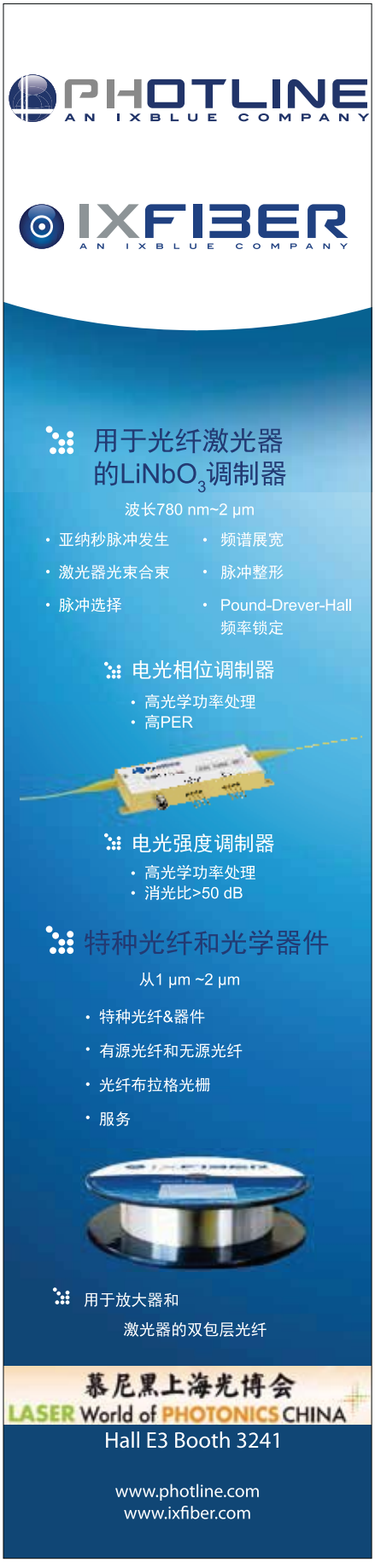
高功率连续波运转

对于连续波运行，碟片激光器“有一些很不错的特性”，通快激光公司的 Alexander Killi 说。通快激光公司提供一系列 CW 输出额定功率为 1~16kW 的碟片激光器。单碟片系统的输出高达 6kW，四碟片激光器的输出达 16kW。输出功率随碟片上的光束截面的增加而提高。光 - 光转换效率可以超过 50%。与泵浦具有更小纤芯的光纤激光器所需要的高亮度二极管相比，“泵浦厘米量级碟片激光器所需的（二极管）光束质量是相当低的”。较低亮度的泵浦是一项优势，因为这种泵浦源比高亮度二极管更便宜。

碟片激光器已经展示了更高的输出功率。在 CLEO 2013 会议上，Giesen 表示单碟片已经产生了超过 10kW 的功率，光 - 光转换达到 50% 以上。2013 年 8 月，Boeing Directed Energy Systems 展示了面向美国国防部高级研究计划局（DARPA）的 Robust Electric Laser Initiative 项目的一款功率为 30kW 的 CW 碟片激光器，供电量为 90kW。在 CLEO 会议上，Giesen 预测单碟片激光器的输出功率可能超过 100kW，并且将多碟片振荡器与带有额外碟片的放大器相结合，能够产生兆瓦级输出，并具有良好的光束质量。[1]

高功率会带来一些光束质量的损失；通快公司的 16kW 激光器的光束质量为 8 mm*mrad，对应的 M^2 <24。但是最近已经有实验已经展示了在 1kW 功率范围内的近基模输出。

目前出现的一项创新是：将泵浦从通常的 940nm 镱吸收带，转向激光上能级的 969nm 吸收线，称为“零声子”泵浦。斯图加特大学的 Birgit Weichelt 和同事们发现，969nm 泵浦将产生的热量减少了 32%，降低了衍射，并将光转换效率提高到了 58.5%，从而能够产生 742W 的输出，并且 M^2 接近 1.5。[2] 多模运行下的光



转换效率达到 72%，但 M^2 约为 15。随后，新加坡 DSO National Laboratories 的一个研究团队在真空室内使用简单的谐振腔，实现了 1.1kW 的输出，光束质量 M^2<1.4。[3]

现在，通快公司已经取得了另一项巨大进步——其利用水冷热沉上的单碟片激光器，获得了 4kW 的功率，M2 为 1.38。激光器碟片有一个凹面，其中一个谐振腔反射镜具有凸曲率，如图 2 所示。谐振腔处于洁净的空气中，泵浦腔对泵浦光束定向，使其通过激光器碟片 44 次。[4] 其中，许多光学和机械部件均与通快公司商用激光器中所用的相同，但其泵浦源使用的是六个发射波长为 969nm、功率 1.2kW 的波长稳定的泵浦二极管。

脉冲运行与泵浦

碟片激光器“特别适合脉冲运行，”Killi 表示，“碟片激光器的一项重要优势是几乎没有非线性”，这是因为在腔内，光仅仅通过很少的固体激光介质。相比之下，光纤激光器中的情况则完全不同。光纤激光器中的玻璃不是高度非线性的，但光被集中在很小的纤芯内，沿着光纤的长度方向产生很高的光密度。这会导致强烈的布里渊散射和其他非线性效应，从而将连续单模光纤激光器的输出限制在约 10kW 的水平。这同样限制了峰值功率和连续输出。

碟片在更大的碟片区域内分散光束，在激光器谐振腔内光束主要通过空气传播，因此其非线性效应是微不足道的。“在碟片激光器中，可以在不存在非线性的情况下获得几乎任意的峰值功率，”Killi 说道。对于许多材料加工应用而言，重复的高功率短脉冲是非常重要的。通快公司的 Sven Schad 表示，Robert Bosch GmbH 公司利用 10ps 的碟片激光器，对汽车燃油喷嘴进行钻孔，将发动机的燃油效率提高了 20% ——这项壮举赢得了德国未来奖（German Future Prize）。

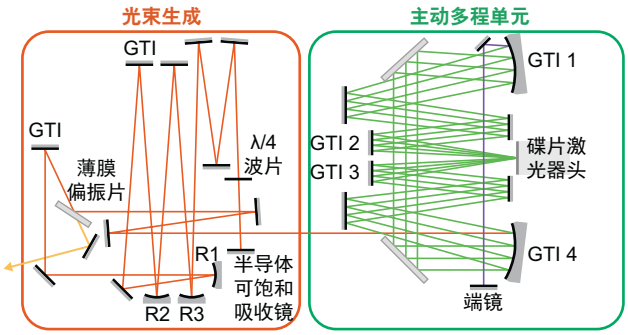


图3：具有主动多程单元的锁模振荡器。半导体可饱和吸收镜（SESAM）是谐振腔的一端，另一腔镜在右侧的多程单元内部。线条代表一些光路，总长展开后为42.7m以增加脉冲之间的延迟。[5]

皮秒激光器的吸引力是冷烧蚀，在不产生热量、不对体材料造成损伤的前提下，去除材料的表面层。皮秒激光器的一项重要应用是切割半导体或智能手机所用的强化玻璃。这些都是“非常好的应用，（皮秒激光器）可以切割任意材料”Schad 说道。

锁模可以产生皮秒脉冲，但此前面临的挑战是产生烧蚀所需的高脉冲能量。如图 3 所示的主动多程单元的研发，已被证明是一项重要的进步。如图 3 中左侧所示，在第一级中使用半导体可饱和吸收镜（SESAM）启动并稳定锁模。如图 3 中右侧所示，第二级为主动多程单元，将光束折叠以产生 42.7m 的腔长，对应于 3.51MHz 的重复频率。在该重复频率下，产生的 40 μ J 脉冲能量可以获得 145W 的平均功率。[5] 商用皮秒碟片激光器在 1030nm 基频波长处产生的平均功率为 100W，或在 515nm 的绿光波长处产生 60W 的平均功率。

瑞士联邦理工学院的 Ursula Keller 研究小组通过在真空中运行锁模碟片激光器，以减少空气的非线性效应，进一步提升了功率。在 CLEO 2013 会议上，该研究小组报道了创纪录的 275W 的平均输出，脉冲能量为 16.9 μ J，脉冲重复频率为 16.3MHz；脉宽为 583fs，峰值功率为 25.6MW。[6]

展望

碟片激光器正在迎来更多的好消息。皮秒碟片激光器也正被开发用作光参量啁啾脉冲放大器的泵浦源，产生周期量级脉冲。Trumpf Scientific Lasers 公司的 Catherine Teisset 和同事们已经通过 30mJ、1.6ps、重复频率为 10kHz 的碟片激光器实现了 300W 的平均功率。他们说这是迄今为止由再生放大器所产生的最高平均功率。[7] 这项技术可用于驱动 Extreme Light Infrastructure 装置，以产生阿秒极紫外脉冲。

研究人员还展示了利用其他材料制成的碟片激光器。目前正在探索几种掺镱基质。Giesen 的研究小组已经利用 1.85 μ m 的锑化物二极管激光器，以及 1.908 μ m 的掺铥光纤激光器泵浦掺铬硒化锌碟片激光器，在 2.35 μ m 波长处产生了 1W 的输出功率。[8] 他们还测试了钬掺杂 YAG 碟片激光器。看看还有什么其他材料能够制成良好的碟片激光器，这将是一件非常有趣的事。❑

参考文献详见网络版。

FOCUSLIGHT®
Never stop exploring

www.focuslight.com.cn


单管系列


单Bar系列


水冷垂直叠阵系列

高功率
半导体激光器
专业提供商


传导冷却
垂直叠阵系列


光纤耦合
模块系列

西安炬光科技有限公司

西安炬光科技有限公司是专业从事高功率半导体激光器及系统研发、生产、销售与应用的高新技术企业。公司拥有国际一流的人才团队、完善的封装结构设计－封装工艺－测试表征－光学整形和耦合－系统集成生产线，可为客户提供高功率、长寿命、大批量、OEM设计的12大系列100多种激光产品，技术指标达到国际先进水平。

Your Trusted Partner


材料加工


科研


医疗美容


红外照明

ISO 9001:2008 certified

慕尼黑上海光博会
LASER World of PHOTONICS CHINA
欢迎光临炬光科技展位
E3馆 #3354

技术中心/Technologies Center

X射线源

可调谐、亮度增强千倍的激光驱动的康普顿X射线源

作者：Gail Overton

紧凑型康普顿散射X射线源可获得的最高光子能量，目前受限于传统电子加速器最大容许的电场梯度，例如利弗莫尔国家实验室（LLNL）的射频（RF）驱动的X射线源，产生了478keV的X射线束，其光谱带宽为12%、时域持续时间为16ps、每发的通量为1×10^{5}photons，达到1.5×10^{15}photons/s-mm^2-mrad^{2}的峰值亮度（每0.1%带宽）。但是，通过改为使用紧凑型全光激光尾场加速器（LWFA），美国内布拉斯加大学林肯分校（University of Nebraska-Lincoln）的研究人员能够产生比传统的射频驱动的X射线源亮度高一千倍、每发光子数目多十倍的准单色（<50%半高全宽或FWHM）、可调谐X射线。[1]

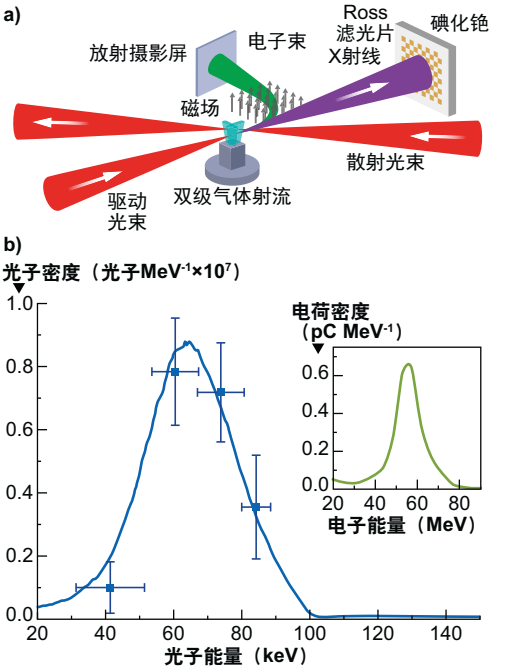
通过使用内布拉斯加大学林肯分校的100TW、800nm、脉冲持续时间为飞秒量级的的Diocles激光器，产生的LWFA电子束具有微米量级的横向尺寸和相应的明亮度，获得窄带宽、调谐范围从大约70keV至高于1MeV的紧凑型X射线束，使得光源亮度惊人地增加成为可能。

激光驱动的X射线的产生

经过分束器之后，1.3~1.7J Diocles激光器的一束光驱动LWFA，同时，另一束在LWFA出口下游1.5mm处以170º（几乎是直接背散射）的角度与电子束空间和时间上交叠（如图所示）。

利用1mm×1mm的正方形、1厘米深的碘化铯（CsI）晶体的40×40体素阵列，结合电子倍增CCD（EMCCD）相机来探测X射线。Ross滤光片被切成尺寸为1.2mm的正方形，并对准单个探测器体素；通过3D样条插值来重建X射线束的轮廓，并以测得的信号除以重建信号就能获得透射图。每个Ross滤光片对的两片滤光片的信号差值，用来计算该Ross对测量带宽内的光子数，从而生成光谱轮廓。

利用这个桌面大小的加速器，对于光子能量为70keV的光束，X射线束具有3×10^{18}photons/s-mm^2-mrad^{2}的高亮度；而对于光子能量为1MeV的光束，X射线束的亮度达到1×10^{19}photons/s-mm^2-mrad^2。在4.5mrad的光束中心内采用Ross滤光片的测量结果表明，X射线谱的中心为66±7keV，能量沿约50%的FWHM展开，以高斯分布进行拟合具有峰值（与其他激光驱动的康普顿源随能量



图：实验装置包括由驱动激光束（红色，从左向右）与在双级气体射流内产生的等离子体相互作用加速的电子（绿色），然后偏转到LANEX（放射摄影）屏幕上；第二束激光脉冲（红色，从右向左）被加速器后的电子束所散射，X射线束（紫色）在经过布置为棋盘图案的Ross滤光片后由探测器记录（a）。利用Ross滤光片对测量了单次辐照的X射线谱分布（下图中带有误差条的蓝色方块）（b）；通过实验测得的电子束谱（插图）获得了模拟的X射线光谱（主图中的实线）。

下转第24页

光纤激光器

为高功率激光器选择大模场面积光纤

通过选择具有最大化吸收的光纤，能够以较低的成本获得高功率。然而，如要兼具高功率、优异的光束质量和最佳的成本效益，则需要了解如何选择最适合的大模场面积光纤。

作者：Kevin Farley，George Oulundsen，Kanishka Tankala；Nufern公司

在过去十年中，随着有源光纤、无源光纤和二极管性能的改进，以及各种光纤光学组件已经发展到成熟的技术水平，光纤激光器和放大器的性能得到了极大提升。随着双包层（DC）光纤，尤其是大模场面积（LMA）双包层光纤的持续发展和工程化，具有高输出功率（峰值和平均功率）、同时保持衍射极限的光束质量的光纤激光器已成为可能。尽管单模（SM）光纤能够提供衍射极限的输出，但由于其固有的小模场面积，因此无法提

使用于激光微加工之高端位移系统

线性位移平台
- 提供自50 mm至1.5 m之有效行程
- 最高达2 m/s速度
- 侧向密封皮带与防尘硬壳设计
- 低成本与高性能
- 滚珠螺杆与直线电机版本



整合振鏡头与伺服控制系统
- 多种景深与孔径设计
- 业界最高之24+ bits分辨率
- 根据真实振鏡头与伺服反馈信息以触发激光



圆柱材料加工
- 整合直线/旋转运动平台
- 先进控制架构
- 单轴或双轴架构



直线电机龙门系统
- 最高至3 m/s速度与5 g加速度
- 杰出的定位精度与性能提供更高的良率与产能
- 密封版本与客制化版本以符合您的特定应用需求



AEROTECH Dedicated to the Science of Motion

Ph: +86 (21) 3319 7715
Email: sales@aerotech.com
www.aerotech.com

Aerotech Worldwide
United States • France • Germany • United Kingdom
China • Japan • Taiwan

AH0313A_ZH-CN

供高功率。多模（MM）光纤传播数十至数千个模式，可以获得高功率，但光束质量较差。

支持几个模式的LMA光纤，能提供更大的基模面积用于提升功率，并且通过合适地选择光纤，还能获得优异的光束质量。在为一项既定的应用选择LMA光纤时，需要仔细考虑光纤参数、所需的激光性能、制造成本和产品的可靠性。本文讨论了为了在既定应用中获得最佳激光性能，激光器制造商选择光纤时应考虑的因素。

目前市场上有数种LMA光纤可供激光器制造商选择。为了针对特定应用选择最合适的光纤，理解光纤属性和特性对激光器性能的影响、以及如何在各项指标间进行权衡，是至关重要的。以最低成本获取原始输出功率、但对光束质量要求不高的应用，以及以稍高的成本获取兼具高功率和优异光束质量的应用，两者选择的LMA光纤是不同的。选择具有高吸收（提供最短的光纤设备长度）的LMA光纤，能够降低激光器的整体成本，但这些光纤可能难以实现良好的光束质量。另一方面，选择吸收略低的光纤，将有可能在最高功率下获得优异的光束质量。

掺镱（Yb）光纤的吸收取决于Yb的浓度和整个光纤纤芯的组分。图1给出了两种掺Yb光纤在915nm处的包层吸收。通过最大化Yb的浓度，以及对光纤纤芯的组分进行调整，数值孔径（NA）为0.07的光纤B，可以提供比NA为0.065的光纤A高出25%~30%的吸收。光纤B将允许激光器制造商使用长度更短的光纤，从而潜在地降低了制造成本。

如果应用只要求一定的功率输出、而不需要接近衍射极限的光束质量，那么这可能是一种良好的选择。然而，如果应用要求激光器能输出像单模光纤一样的光束质量，则应该根据光纤所支持的导模数量，以及光纤能够提供优良光束质量的难易程度，谨慎地选择光纤。对于给定的纤芯尺寸，模式的数量随着NA的增加而增加。导模数量越多，实现基模运行的挑战就越大。

归一化频率，或V#，决定了由标准公式 $V = 2\pi aNA/\lambda$ 所确定的线偏振模式的数量；其中，a为纤芯半径；NA为纤芯的数值孔径；λ为工作波长。图2给出了具有不同纤芯尺寸和NA的光纤，所能支持的模式数量。随着纤芯的NA和/或芯径的增加，光纤内的V#和模式将随之增加。具有特定芯径和NA公差的商品化LMA光纤，其所能够支持的模式数量可以由图2确定。

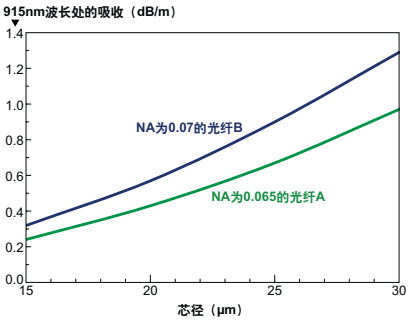


图1：包层为400μm的掺Yb光纤在915nm处的包层吸收与芯径之间的关系。NA为0.065的光纤A（绿色曲线）经过优化，用于以良好的光束质量输出高功率。NA为0.07的光纤B（蓝色曲线）针对一个给定的芯径最大化包层吸收。

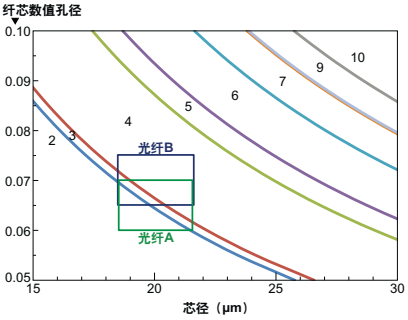


图2：具有不同纤芯尺寸和NA、工作波长为1064nm的光纤所支持的线偏振模式的数量。相邻曲线涵盖的区域为支持固定数量模式的纤芯尺寸和NA。

模式和NA

一般情况下，光纤的纤芯尺寸是由特定应用对激光功率的要求来确定的。通过选择较低NA的光纤，激光器制造商可以限制模式的数量，因而必须设法获得最佳光束质量。这可以以考虑两根芯径均为20（±1.5）μm、NA略有不同的LMA光纤为例来说明。光纤A的NA为0.065±0.005，而光纤B的NA为0.07±0.005。图2描述了光纤A（绿色方框）和光纤B（蓝色方框）所支持的模式数量。

图2清晰地显示，光纤A主要支持两至三种模式（绿色阴影区域），而光纤B主要支持四种模式（蓝色阴影区域）。模式数量的差异可能会对实现良好光束质量的能力产生显著影响。能够意识到这项优势的光纤制造商不仅会提供光纤A，而且也能确保其所制造出的光纤的纤芯尺寸和NA处于绿色阴影区域。

LMA光纤纤芯所支持的每一种模式都能获得增益。通过抑制高阶模（HOM）的增益，基模可以获得所有的增益，提供衍射极限的光束质量。其中一种用于抑制HOM增益的技术是将光纤环绕起来。[1] 对于给定的绕环直径，HOM的弯曲损耗大于基模的弯曲损耗。因此，通过选择适当的环绕直径，可以将基模损耗保持在较低的水平，而对第二阶和其他高阶模实现高损耗。

更高的弯曲损耗抑制HOM的增益，保持基模中的所有功率。对于给定的纤芯尺寸，具有更少模式的光纤，能够很容易地抑制HOM中的弯

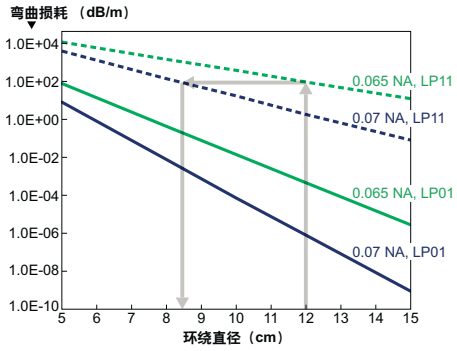


图3：对于芯径为20μm的光纤，LP01和LP11模式在1060nm处的弯曲损耗，光纤A（NA为0.065）和光纤B（NA为0.07）的弯曲损耗分别如绿色和蓝色曲线所示。

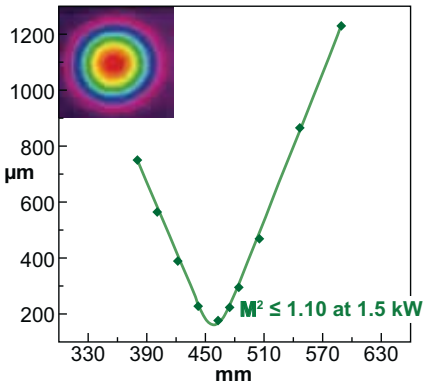


图4：NA为0.06、25/400μm的Yb光纤，在输出功率为1500W时获得的光束质量（M^2）。

曲诱导损耗。相反，光纤中模式越多，HOM就变得越稳定，需要更小的环绕直径，以产生所需的弯曲损耗。

图3描述了光纤A（NA为0.065）和光纤B（NA为0.07）在1060nm处，基模（LP_{01}）和第一高阶模（LP_{11}）的弯曲损耗与环绕直径之间的函数关系。光纤B支持图中未给出的两种额外的模式，这两种模式具有比LP_{11}模式甚至更高的弯曲损耗。这些额外的模式很容易抑制，不是此例中的主要关注对象。检查两种最低阶模的弯曲损耗，足以理解激光器制造商试图利用光纤B获得高光束质量时所面临的挑战。光纤A和光纤B之间看上去很微小的NA差异，使得LP_{01}和LP_{11}模式的弯曲损耗之间，以及抑制LP_{11}增益所需的环绕直径呈现出了明显的差异。

权衡选择

激光器制造商使用915nm处的吸收为0.45dB/m的光纤A（见图1），将需要约30m长的光纤以实现约13dB的总吸收。当环绕直径为12cm时，基模的弯曲损耗小于0.03dB（0.01dB/m，30m）。在相同的直径下，无益的LP_{11}模式在30m长的光纤中经历了3000dB的损耗。高损耗确保能够明显抑制LP_{11}增益，使得基模运行成为可能，因而具有优异的光束质量。

激光器制造商使用光纤B（吸收为0.55dB/m），将只需要24m长的光纤，就能获得约13dB的总吸收。对于与光纤A相同的12cm的环绕直径，光纤B中无益的LP_{11}模的弯曲损耗只有30dB。光纤B中LP_{11}模的弯曲损耗比光纤A中低很多（低100倍），使得利用光纤B难以实现基模运行。如果激光器制造商试图利用光纤B实现基膜运行，必须使用小于12cm的环绕直径。图3显示了利用光纤B，必须将环绕直径控制到小于8.5cm的水平，以获得与环绕直径为12cm的光纤A中相同的LP_{11}损耗。

LMA大直径双包层光纤质地较硬，因此对其进行适当地环绕和封装均具有一定的挑战性，并且比较耗时，尤其是对小直径光纤而言。此外，随着芯径的减小，光纤的应力增大，这也将对光纤的机械可靠性产生不利影响。

当光纤被弯曲到更小的直径时，拉伸应变增加，更高的拉伸应变可导致过早出现机械故障。光纤的拉伸应

下转第38页

顶尖 PINNACLE
Your Strategic Partner in Photonics
conoptics INC. 光隔离器

透过率高（约90%）
工作波段覆盖390nm～1135nm
隔离度最高可达到60dB
MenloSystems
工业级光纤飞秒激光器 BlueCut
最大脉冲能量>4μJ;
最大平均功率>3W;
脉冲宽度<500fs;
中心波长1030nm;
最大重复频率10MHz;

SOLAR LASER SYSTEMS SHR高分辨率光谱仪

输出190~1100nm（也可选600~1800nm）
分辨率6pm
波长校准简单
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）
APE ATTODYNE AVESTA
BATOP conoptics INC. OUMA OPTRONICS LTD.
HAMAMATSU laserpoint
LIGHTHOUSE PHOTONICS First Sensor MenloSystems
mgglabs Ocean Optics OSTECH
mikron SOLAR LASER SYSTEMS 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

技术中心/Technologies Center

激光二极管

高功率激光二极管模块泵浦碟片激光器

具有膨胀匹配热沉的激光二极管系统，具备卓越的可靠性和性价比，是碟片激光器泵浦和其他泵浦应用的理想选择。

作者：Robert Roff，Viorel Negoita，Haiyan An，Thilo Vethake，Stefan Heinemann，Georg Treusch，Tina Gottwald；Trumpf公司

二极管泵浦的固体激光器（DPSSL）具备拥有成本低、效率高、可靠性高等优势，已经成为许多行业中的成熟工具。随着光束质量和功率的提高，DPSSL也已经开始进军激光切割市场，取代CO_2激光器。连续波（CW）DPSSL所取得的最新进展，使其功率提升到了几十千瓦，从而能适用于更广泛范围的应用，这些应用从材料加工到空中防御系统。超短脉冲激光器实现的高精度冷加工，进一步加速了DPSSL在市场中的应用。

碟片激光器和光纤激光器是两大主要的DPSSL设计。光纤激光器在设计上通常采用直径0.3mm、长度30m的光纤作为激光谐振腔；而碟片激光器在设计上则通常采用直径为10mm、厚度小于1mm的薄碟片作为激光谐振腔。这两种设计都通过有效的散热，减轻了热透镜效应，这对于实现高光束质量和高功率是至关重要的。

由于光纤激光器和碟片激光器的谐振腔具有不同的尺寸规格，因此这两种设计对泵浦二极管的要求也完全不同。光纤激光器需要光束质量小于90mm*mrad的高亮度二极管，以耦合到小直径光纤中。泵浦光被整个光纤吸收。碟片激光器通常使用光束质量为450mm*mrad的激光二极管来泵浦。为了实现泵浦光的有效吸收，需要穿过碟片的多个路径。几十年来，获得泵浦二极管的亮度和功率提升，同时又能保持成本与性能之间的平衡，一直是一项非常具有挑战性的工程任务。

碟片激光器系统和光纤激光器系统都使用掺镱（Yb）的主动激光介质，这种激光介质在940nm附近具有一个较宽的吸收峰，在970nm附近具有一个较窄的吸收峰。确切的波长取决于特定的激光器设计，图2中给出了掺镱钇铝石榴石（Yb：YAG）碟片激光器的典型吸收光谱。宽吸收光谱的中心大约位于937nm，90%强度的带宽约为8nm，二极管的波长易于匹配。为了在高功率、短脉冲条件下获得高光束质量，低量子亏损和短谐振腔是必不可少的。这可以通过在969nm泵浦得以实现；然而，90%强度的带宽约为1nm，如此窄的带宽需要波长稳定的泵浦模块。

泵浦模块

目前，市场上已经有功率高达12kW的连续波高功率激光二极管模块用于碟片激光器的泵浦。[1-3]该系列泵

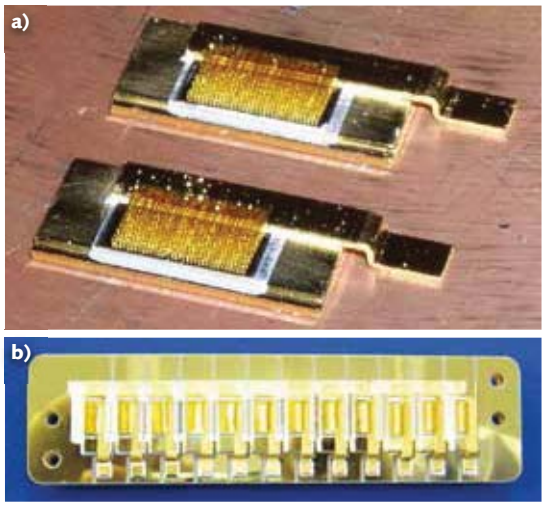


图1：（a）为了建立高功率激光二极管泵浦模块，Trumpf公司首先使用焊接到铜钨合金（CuW）基底上、并通过引线连接到电气n型接触的激光二极管，创建了一个带基底的芯片（chip-on-submount，CoS）；（b）随后，将12个CoS组件安装在一个共同的冷却器上。

www.osram-os.com/CN-ir-oslon



OSRAM LED CREATING TOMORROW

IR OSLON® 黑色系列

布局紧凑、光功率卓越

在光功率超过 1 W 的现有红外 LED 中，欧司朗光电半导体的 IR OSLON® 黑色系列是目前最小巧的一款。它的细小封装配有集成透镜，能够实现功率密度极高的超紧凑布局。IR OSLON® 黑色系列是诸如 CCTV、机器视觉、夜视或车牌识别系统等应用的理想选择。

Light is OSRAM

OSRAM
Opto Semiconductors

浦模块基于一种新型平台，解决了大部分（如果不是全部）与传统的微通道冷却器叠阵相关的问题。在传统的微通道冷却器设计中，电流和冷却水流过及围绕铜冷却通道流动，并且两者之间没有隔离。这种设计对入口和出口的O型圈密封件具有电腐蚀效果，可能导致其过早失效（漏水）。

为了提高功率，将多个冷却器进行堆叠，相邻冷却器之间采用O型圈隔开，以实现非常紧凑的高功率泵浦模块。然而，电腐蚀、O型圈泄漏以及光束质量受限等问题仍然存在。该平台的设计在冷却器中采用了一种具有金属化结构的氮化铝（AlN）层，作为多个二极管激光器共同的安装底座。它也能有效地将电流与水隔离开来，使密封成为可能，这样就可以将水限制在整体式冷却器结构中。

激光器巴条包含通过MOCVD方式生长的单量子阱砷化铟镓（InGaAs）/砷化铝镓（AlGaAs），并针对低内部损耗、高功率转换效率（PCE）以及快慢轴低发散角进行了优化。尺寸为10mm×4mm的激光器巴条具有55个单管，填充因子为55%。封装技术经过优化，在高输出功率下具有高可靠性以及较低的微笑效应，从而获得良好的光束质量。

巴条安装到一个膨胀匹配的CuW基底上，该基底上具有硬焊料锡金（AuSn），用以消除使用软焊料铟（In）时会产生的焊料蠕变。将激光器的前端面对准到基底上，对于实现良好的散热以及避免干扰激光器的发射是至关重要的。采用五轴对准将激光器对基底定位，并将激光器对准到焊料界面，以获得无空隙的焊点。

调整接合参数以诱导焊料润湿到前端面，从而提供良好的热接触。通过仔细控制接合工具的表面规格和清洁度，该装置获得的典型微笑效应小于1.5μm。采用外观检验、干涉表面测量以及扫描声学显微镜（SAM）成像来验证接合质量。

这个组件称为带基底的芯片（CoS），通过焊线连接到n型接触。与采用其他实现n型接触的方法相比，焊线接合二极管激光器的n侧大大减少了机械应力。接下来，采用类似于后续在泵浦模块中的使用条件，对CoS进行测试，筛选出发生轻微退化的小部分装置。将12个CoS装置安装在共同的冷却器上。冷却器的平坦表面，使得能够在一个回流焊过程中实现自动组装。冷却器由对称的AlN对和铜（Cu）层组成，提供优异的机械稳定性，以及对环境影响（例如温度循环）的坚固性。

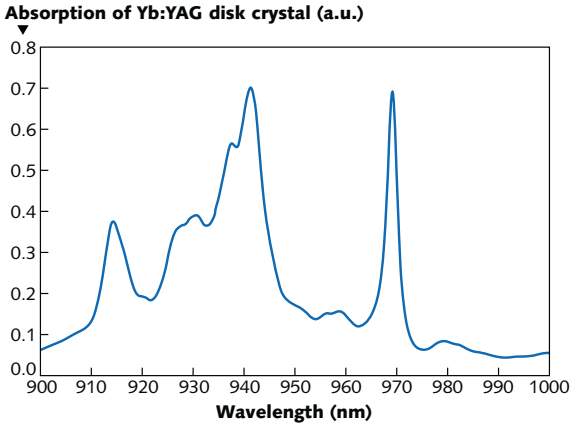


图2：Yb：YAG碟片晶体的吸收光谱显示，可以利用非波长稳定系统在940nm吸收波段进行泵浦，或者采用波长稳定系统在969nm波长处进行泵浦。

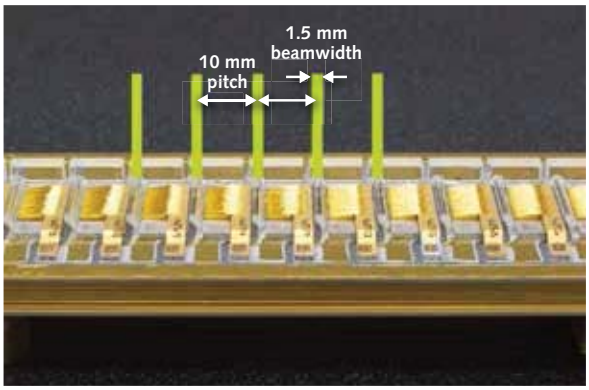


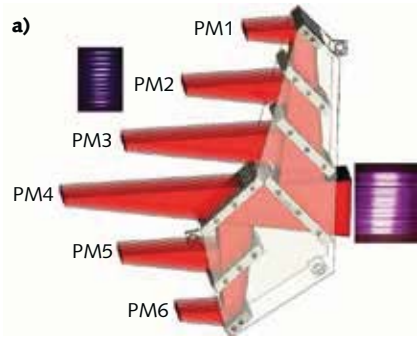
图3：称为PriFAC的定制光学元件，将单个激光二极管的光束在快轴方向上准直并重新导向。

内部结构采用钻石形的铜岛，带有修改过的冷却通道重新连接，与已知的微通道不同。这种设计最大限度地减少了潜在的堵塞所造成的问题，并且与微通道相比，它还降低了通道内的流速。冷却水流过冷却器的内部铜结构，并完全与外部的AlN层隔离。因此，消除了在非绝缘微通道冷却器中存在的电腐蚀效应。此外，冷却器为所有的激光二极管提供冷却水，起到多支管的作用，减少了对O型圈的需求。

该装配与GaAs激光巴条的热膨胀相匹配，减轻了在其他采用热膨胀不匹配材料的系统中发现的任何应力问题。AlN镀有较厚的铜层，用于安装CoS，并在220A的电流下提供较低的电阻抗。

输出功率及功率提升

单个巴条发射的快轴发散角约为40°（95%的功率量），慢轴发散为8°（95%的功率量），定位在平行于冷却器表面的平面内。一种被称为PriFAC（棱镜FAC）的定制光学元件，对快轴进行准直，并将光束偏转90°垂直于安装平面（见图3）。准直后，发散角小于2mrad（90%的功率量），包括



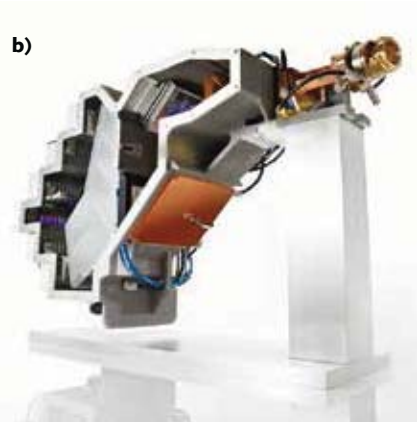


图4：（a）通过光学堆叠多达6个泵浦模块，可以实现功率提升，每个模块具有2.2kW的CW输出功率；（b）具有6个泵浦模块和匀化器的泵浦系统，可以提供超过12kW的功率。

0.5mrad 的指向精度。单个光束的光斑尺寸为 0.14cm × 1cm，光束之间的轴向偏移为 1cm。

每个巴条以 180W 的 CW 光运行，每个泵浦模块的 CW 输出功率为 2.2kW。泵浦模块与供水的连接部分仅为两个自密封的快插接头，并辅以控制和监控电子设备。

进一步的功率提升是通过光学堆叠实现的。基于 10mm 的间距和约为 15%的填充因子，可以实现多达 6 个泵浦模块的光学堆叠，将输出功率提升至高达 12kW。对于所有 2~12kW 的功率水平，光束参数乘积约为 450mm*mrad。

泵浦模块以级联配置排布。因此，所有模块的光程长相同，并且通过以 45° 安装槽形反射镜（见图 4），实现几何堆叠。组合光束被聚焦至光束匀化的玻璃棒内，光束在其中通过全内反射传播。数值孔径不发生变化，但在整个出射表面内光束是均匀分布的。

从由 6 个 937nm 泵浦模块组成的泵浦源测得的输出功率接近 14kW，输出功率受限于二极管驱动（见图 5）。整个系统的最大效率为 50%，包括几何堆叠和光束匀化光学元件的功率损耗，而在 12kW 的额定功率下，效率约为 49%。发射光束表现为 10nm 的宽光谱，与 Yb：YAG 碟片的吸收特性非常匹配。

从光源到输出功率

此外，还开发了 1nm 线宽的泵浦源。在该设计中，单个泵浦模块是使用了体布拉格光栅（VBG）的波长稳定模块。通过使用具有较低防反射（AR）端面的激光巴条，以及将 VBG 置于紧随 PriFAC 透镜之后实现了波长稳定。

为了消除激光器冷却器中残余应力引起的任何潜在的失调，在连接稳定光栅之前，激光器叠阵经过了几次温度循环。由于在该位置上光束未在慢轴上准直，VBG 只需要在快轴上准直，因为慢轴是自准直的。VBG 之后的光路与非稳定化装置相同。

与非稳定化装置相比，该光源的 PCE 低几个百分点，但由于碟片激光器具有高光学效率以及改善的光束质量，这点容易得到补偿。这些泵浦源被用于高功率、高亮度的碟片激光器，例如具有衍射极限光束质量的 4kW 碟片激光器。[4]

泵浦源的额定功率为 12kW，超过 16000 小时的寿命测试，表现出了最低的性能衰退。该系统的可靠性体

RFH LASER 瑞丰恒激光
高品质 高可靠
高性价比
工业级紫外固体激光器系列
—— 优越的光束质量（M²<1.2），在所有的频率范围内都严格保证
—— 在线刷新谐波控制技术，超长时间的功率稳定性
—— 独特的调Q控制技术，适合各种激光应用控制需求
—— 全数字智能电源控制技术，可通过RS232外部控制激光器
—— 工业化产品流程生产控制技术，产品质量稳定可靠

Mburn 355 (1.5w-5.0w) 脉冲宽度 (<6ns@40k)

Excellent 355 (2.0w-10.0w) 脉冲宽度 (<16ns@40k)

Expert 355 (1.0w-3.0w) 脉冲宽度 (<40ns@30k)
慕尼黑上海光博会
LASER World of PHOTONICS CHINA
E3馆3172，2014年3月18-20日
深圳市瑞丰恒科技发展有限公司
地址：深圳市南山区高新技术产业园中区M10二楼
电话：0755-86375012, 18928466502, 86375016
传真：0755-86028961
邮箱：sales@rfhlasertech.com
www.rfhlasertech.com

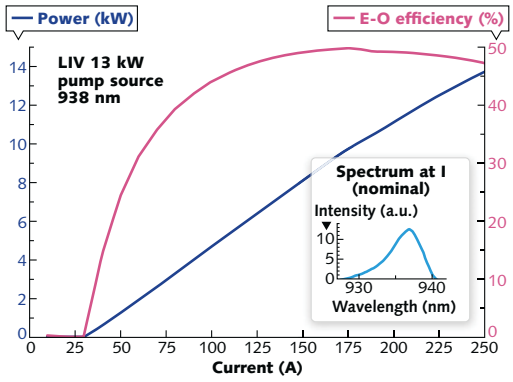


图5：波长为937nm、功率为12kW的泵浦系统的光强-电流特性。电光转换效率达到50%。插图显示了额定功率下的光谱。

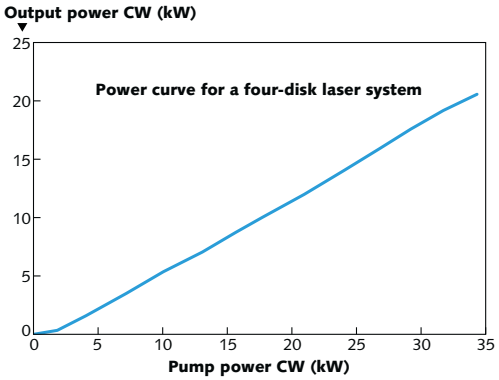


图6：由四个碟片系统串联耦合的输出功率与泵浦功率之间的关系。

现在寿命测试系统中，在寿命测试中，装置运行于加速条件下（~5X，30~250A，0.5Hz 和 50%的占空比，温度 25℃）。具有甚至更大加速的多电池测试系统，在驱动电流增加高达 20%的条件下，所预测的使用寿命远远超过 50000 小时。[5]

利用由抛物面反射镜和回复反射棱镜布局所组成的泵浦装置，将泵浦源出射的光束成像到碟片晶体上。由于单程只能吸收一小部分光束，使用了 44 程泵浦光束通过，激活介质中的总泵浦光吸收为 90%。剩余部分（<10%）被反射回泵浦源，并在那里被耗散。

在具有两个光纤输出的碟片激光器中，传输光纤通常为 100μm，光纤出射端的光束参数乘积约为 5mm*mrad。这样的系统能够传输超过 6kW 的功率。

基于之前泵浦源中每个巴条的功率为 130W 的装置，碟片激光器的额定输出功率为 4kW。通过级联单个碟片激光器，实现了功率的进一步提升，并且具有几乎相同的光束质量。目前，由四个碟片组成的激光器系统，可以实现 16kW 的额定功率（见图 6）。利用所描述的额定功率为 12kW 的泵浦源（每个巴条的功率为 180W），每个碟片的额定功率增大到 6kW，预计由四个碟片组成的激光系统，额度输出功率可提高到 24kW。

这种具有膨胀匹配热沉的激光二极管系统，具有出色的可靠性和性价比，是许多泵浦应用的理想选择。激光二极管和冷却的进一步改进，将使每个巴条具有更高的输出功率，并进一步降低泵浦源的成本。❑

参考文献

1. A. Giesen et al., Appl. Phys. B, 58, 365 (1994).
2. D. Havrilla, T. Ryba, and M. Holzer, "High-power disk lasers: advances and applications," Proc. SPIE, 8235, 82350W (February 9, 2012); doi:10.1117/12.906765.
3. T. Gottwald et al., "Recent disk laser development at Trumpf," Proc. SPIE, 8547, 85470C (November 8, 2012); doi:10.1117/12.978990.
4. V. Kuhn et al., "Near fundamental mode thin-disk laser with 4 kW of output power," in preparation for publication.
5. H. An et al., "Advances in high power and high brightness laser bars with enhanced reliability," Photonics West (2013).
6. G. Treusch, R. Srinivasan, D. Brown, R. Miller, and J. Harrison, "Reliability of water cooled high power diode laser modules," Proc. SPIE, 5711 (2005).

上接第16页 的增加呈现指数衰减不同），因而具有少得多的低能光子。

这种激光驱动的康普顿源的高能量、卡车或房间大小的特性，对于超快放射摄影以及可部署的核探测领域的应用而言，非常有价值。“我们相信，这种小型化激光驱动的康普顿 X 射线源，具有重要的商业和研究应用，”内布拉斯加大学林肯分校的物理学教授、项目负责人 Donald Umstadter 表示，“这将改进 X 射线放射摄影技术，从而影响医疗诊断、无损检测（涡轮叶片中毛细裂纹的探测）以及特殊核材料的防护性探查。”

Umstadter 补充说：“研究这种新的 X 射线源，还可以提升我们对强光与电子相互作用的基本理解。在以后的实验中，我们打算在超高激光强度下研究康普顿散射。这将测试几种目前感兴趣的理论，包括非线性康普顿散射、辐射反作用力和天体物理喷流。”❑

参考文献

1. N. D. Powers et al., Nat. Photon. online (November 24, 2013)；see http://bit.ly/1frH3wK.

超快激光器

如何实现皮秒激光器加工速度最大化

对于皮秒激光器加工，每个脉冲的烧蚀量是有限的，主要解决方法是在工件上创新性的施加更高的脉冲重复频率。

作者：Hubert Ammann，Andreas Oehler；Time-Bandwidth Products公司

在过去的十年中，用于材料微加工的皮秒激光器阔步前进。自从第一台合适的皮秒激光器出现以来，皮秒激光器已取得了可观的进展，现在其已被广泛认为是工业应用的可靠工具。在同一时期，加工知识也获得了相当大的进展，这也为皮秒激光器更广泛地被接受进一步铺平了道路。

妨碍任何创新技术实施的一个主要障碍是相关的投资成本：用于激光器和加工系统的资本和运行成本，以及可靠和有效的加工工艺的开发成本。一般情况下，只有当现有的工艺方法不能提供所需要的加工、该加工本身只能通过超快激光器才有可能实现时，或者可以使得制造更具经济效益时，这些花费才显得有据可依。经济效益的提高，可以通过省略任何后处理步骤、增加吞吐量、减少加工系统的磨损和/或提高产量等方式来实现。

当然，任何工艺开发的根本目标是最大限度地挖掘所有这些领域的潜力，这通常是以改变激光参数、测试不同的光束控制系统这样一种有条不紊的反复尝试的方法来实现的。在激光器能够提供灵活的脉冲输出（灵活的重复频率、脉冲调制和突发模式）的情况下，它能够有助于最大限度地提高任何工艺的潜在效率和整个系统的生产力。

生产效率

超快激光器的大多数加工涉及材料去除。单个脉冲能够去除大约0.1μm深的薄片材料，对于20μm的光斑尺寸，对应的材料体积约为$10^{-8}mm^3$。因此，要去除仅仅$1mm^3$的材料，大约需要一亿个脉冲。

在吞吐量方面，任何有效的加工需要满足两个标准：（1）每个单位脉冲能量所烧蚀材料的体积（$mm^3/\mu J$）已经优化，以及（2）以最大可能的脉冲重复频率加工工件。

理论和实验都已证实，对于给定的光束尺寸，为有效地去除材料，每个脉冲存在一个最佳能量。[1] 在较高的脉冲能量下，不仅烧蚀效率降低，而且会有更多的能量以热的形式沉积，从而会偏离所要求的“无热”（冷）加工，并且会潜在地牺牲加工质量。

许多商品化超快激光器的一个显著问题是：只能通过光学衰减来设定脉冲能量。激光器可提供的脉冲能量可能比加工要求的能量高出10倍，因此，必须将50W的激光器有效衰减到5W，以防止热效应。理想情况下，人们可以改为使用一种能够允许通过增加重复频率来降低脉冲能量的激光器。这样，加工中仍然可以使用激光器的全光功率，而不受所需脉冲能量



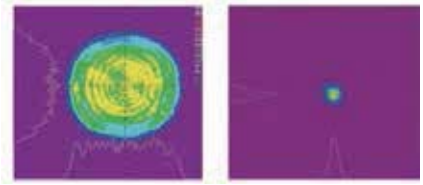
图1：使用线扫描头或多边形扫描头，每行4000个激光点，在工件上扫描单行需要2ms。

Leader in Solid-State laser



模块化纳秒 Nd YAG 新型激光器 — Q-smart

- 脉冲能量>850mj
- 倍频晶体自动相位匹配，快速和最大化能量输出
- 触摸屏面板操作激光器，便利安全
- 闪光灯寿命＞1亿发
- 整机质保2年
- 紧凑小巧激光头及电源，输出功率与体积之比最大
- 可抗性高，对环境温度的适应能力强



More Products, Please Find Quantel !



北京金先锋光电科技有限公司
Titan Electro-Optics Co., Ltd.
北京市海淀区中关村大街新中关B座1701-1706室
电话:010 62634840
http://www.teo.com.cn

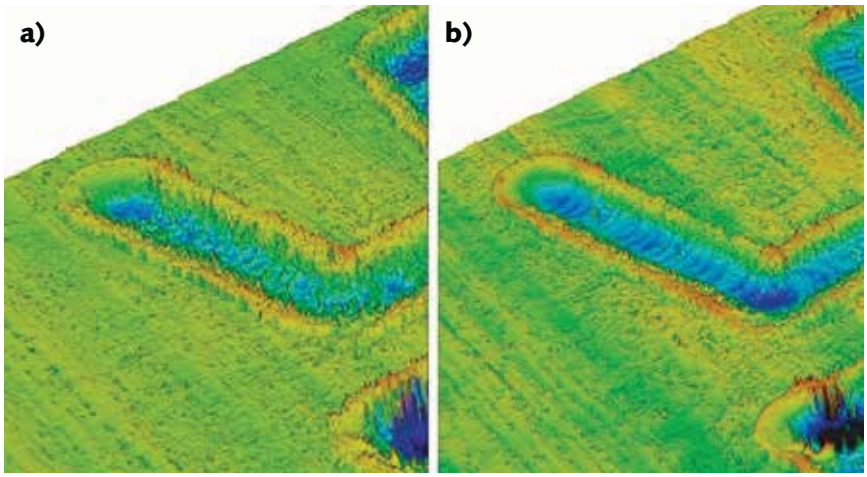


图2：采用FlexBurst技术时，脉冲串参数会影响激光材料加工，图中所示为利用两种具有相同脉冲能量而脉冲间隔略有不同的激光束，单次辐照不锈钢工件加工而成的线，脉冲间隔分别为12ns（a）和24ns（b）。

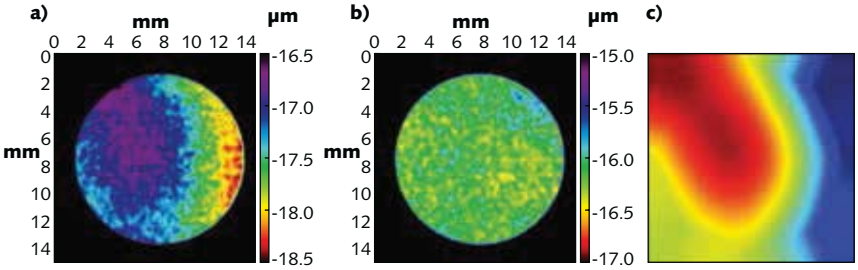


图3：在氧化铝板（直径为12.5mm）上加工的圆柱状凹孔的深度轮廓图。第一个轮廓（a）是利用恒定的激光功率加工而成的，而第二个轮廓（b）是利用基于功率调整图（c）进行功率校正加工而成的。

的影响。

考虑到可用脉冲能量和每个脉冲去除量的限制，可用来提高吞吐量（效率）的主要方法是：在工件上创新性的施加更高的脉冲重复频率。例如，只要由扫描头动力学和工件定位引起的“死区时间”能够保持到最短，就能提高重复频率，从而线性地提升吞吐量。

光束控制的瓶颈

尽管“超快加工是无热（冷）过程的概念”作为一项普遍正确的事实被广为传播，但事实上这一概念仅仅在较少的脉冲数量下是正确的。如果有足够数量的脉冲入射到工件上的同一个点，仍然会有剩余能量的积聚，随后以热量的形式沉积到工件上，这并不利于所需要的加工过程。

解决这一问题的方法是：最大限度地减少脉冲交叠以及使用飞秒激光多次作用于工件，以实现所需要的加工工艺。如果利用光斑为40 μ m、脉冲交叠为 50%、重复频率为 2MHz 的激光，则等同于在工件上的移动速度为 40m/s。迄今为止，实施更高重复频率的最大限制并不是没有此类商品化激光器系统，而是找不到合适的高速扫描系统。尤其是传统的扫描头，其最大移动速度约为 10m/s，这已经限制了兆赫兹及更高重复频率的使用。

原则上，通过使用并行加工系统，在多工位之间对可用的脉冲能量进行分束，能够缓解重复频率的限制；然而不幸的是，这种方法同时也引入了相当高的复杂性和成本。

另外，也可以通过衍射光学元件为单个工作站引入并行加工，但这种方法通常只适用于特定应用。

事实上，人们的确已经认识到对更高速度扫描系统的需求，目前业内已经在研发一些解决方案。[2] 其中，最有前景的方案包括多边形扫描头（见图 1）、声光和电光偏转、压电和微机电（MEMS）扫描头，以及这些方法的组合。

进一步的加工改进方案

如果在工件上的可用脉冲能量和可得到的最大脉冲传输速率受到限制，还有什么方法可以改善加工过程？一些激光器提供所谓的突发模式，因为一些研究已表明：通过使用脉冲串取代单脉冲，能够改进某些加工的烧蚀速率和 / 或加工质量。[3]

脉冲串是一组超短脉冲，每个脉冲之间的间隔约为 10ns，通常总的持续时间为 100ns。值得注意的是，这些脉冲串只有在线性光学放大配置中才能实现，而在再生激光器系统中是无法实现的。

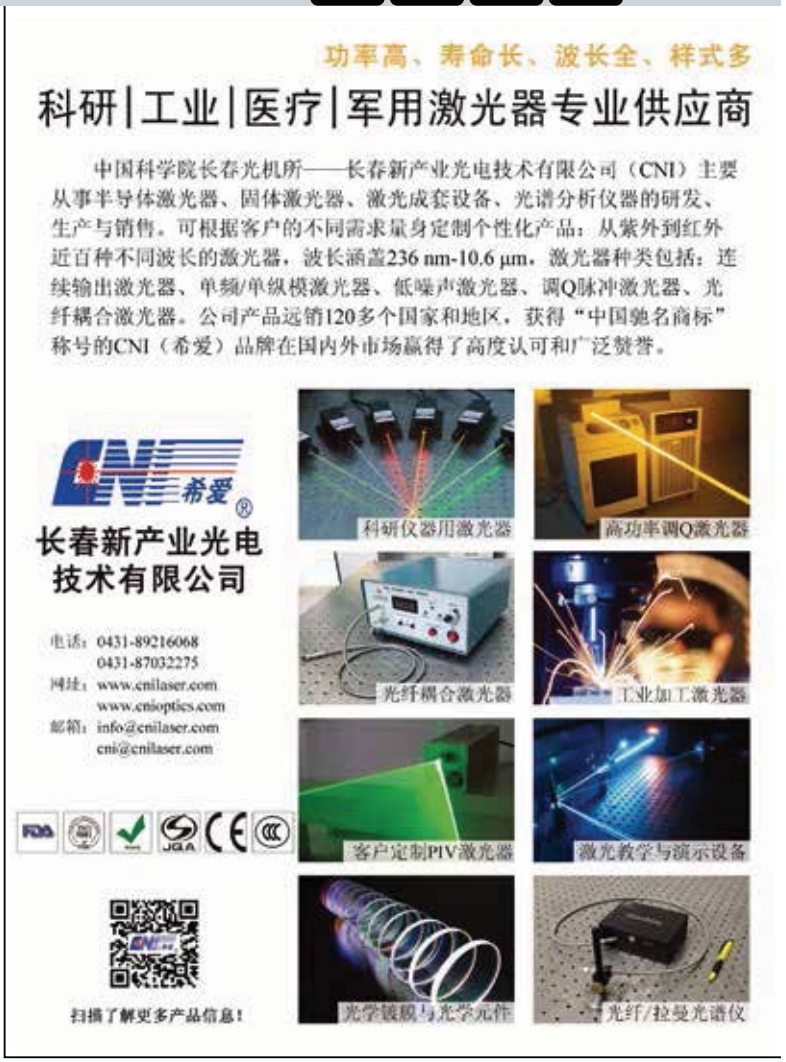
作为展示脉冲串、甚至脉冲串的亚结构能够对加工质量产生影响的例子，考虑将两种不同的脉冲串应用到工件上（见图 2）。在微模具制造中，激光以两种略有不同的脉冲串配置单次辐照工件：在每种情况下，脉冲串包含 4 个能量相同的脉冲，但脉冲串的脉冲间隔分别为 12ns 和 24ns。通过采用 24ns 的间隔，实现了所需要的改进，即降低表面粗糙度。不仅沿扫描线的深度变化得到改善，而且局部、中程粗糙度 Ra 也从 0.4 降低到了 0.25。

对于灵活的激光器系统，另一项有用的功能是实时改变工件上平均功率的能力，正如 Lightmotif 公司开发的应用所展示的一样。该应用的目标是在氧化铝（Al_2O_3）板上加工圆柱状凹孔，随后其将作为一种模具使用。该模具的凹陷深度要求在整个 12.5mm 的尺寸范围内均匀，精确到小于 1 μm 的水平；初步测试表明，即使是光路中最小的瑕疵也会对侧壁的平整度产生显著影响。导致的深度变化是系统性的，因此在每个加工的模具中都将会出现同样的情况（见图 3）。

这里采用的解决方案是测量模具中的瑕疵，然后生成一张功率校正图，使得过于深的凹陷区域通过适当降低激光功率来进行校正。功率校正图、以及在每一点上相关联的所需功率调整，获得了良好的加工改进：在加工区域内，深度变化的峰峰值减小到小于 1 μm。同样，这种特性也可以用来主动调制加工深度。

利用扫描光学元件加速阶段的优势，也可以得到相同的激光性能。如果扫描工件的速度是变化的，将改变脉冲交叠，从而也改变材料的去除量。不断地调整激光功率以适应瞬时扫描头速度，允许更有效地使用扫描头运动的这些阶段，从而获得更高的整体吞吐量。

因此，为了最大限度地提高加工吞吐量，有必要在工艺开发的早期阶段，就结合更高脉冲重复频率的灵活传输。这样做需要开发人员具备高超的技术知识和创造力，此外也需要激光器具备脉冲传输选择方案，以促进而不是阻碍创新加工的实施。❑



参考文献

1. B. Neuenschwander et al., "Processing of industrially relevant non metals with laser pulses in the range between 10 ps and 50 ps," Proc. ICALEO, M103, Orlando, FL (2011).
2. Bavarian Photonics Workshop: Schnelle Strahlablenkung für Laseranwendungen, Nürnberg, Germany (April 2013).
3. W. Hu et al., Appl. Phys. A, 98, 407-415 (2010).

应用天地/Applications

激光雕刻

激光精细刻划技术在钻石珠宝行业的应用

作者：刘薇，高文博；长春新产业光电技术有限公司
牛振亚，郑权；中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

激光精细刻划技术具有标记速度快、字迹和图形清晰美观、安全无污染、不影响基材品质的特点，在钻石珠宝行业引发了革命性的变化，并且正在以其独特的优势取代传统的刻划方法。长春新产业光电技术有限公司依托中国科学院长春光机所的技术优势，成功研制了具有多项核心技术和自主知识产权的激光精细刻划系统。该系列激光精细刻划设备是综合了激光技术和计算机技术的光机电一体化系统，其主要性能指标已经达到与国际同类产品同等的水平。

激光刻划技术的原理与优势

激光精细刻划系统主要由激光器、激光聚焦与成像光学系统、平移台和驱动系统、输入/输出控制卡、计算机和控制软件等组成。

激光器输出高峰值功率的激光，经扩束镜和物镜形成直径很小的光斑并聚焦到物件表面，在局部形成高能量密度的光辐照，材料吸收一部分光能，并将其转换成热量，热量会通过材料传导使物件气化，达到打标的目的。激光器的功率强度和脉宽是影响激光束与材料相互作用的关键因素。强度越强，脉宽越窄，刻划越深。聚焦斑点的大小和质量是影响激光精细刻划的重要因素，激光聚焦的大小还受激光光束质量的影响，因此聚焦光斑的大小决定激光精细刻划线条的粗细。

图1和图2为长春新产业光电技术有限公司研制的EP10系列激光精细刻划机和AHB-Scribe系列带有CCD摄像头和电动平移台的钻石激光微刻机。

激光精细刻划机的工作过程：激光束经过振镜系统，再经物镜聚焦于物件的表面，计算机控制振镜运动，实现光束按照设定的路径移动，并在物件表面形成刻蚀。

钻石激光微刻机的工作过程：光学系统将钻石成像于CCD的像元面上，CCD采集其图像并显示在计算机屏幕上，用于选取刻字的位置，以保证激光光束聚焦于所选区域的表面。钻石激光微刻机采用物件移动的方式进行扫描，电动平移台将物件按照设定的路径作二维移动，从而实现激光光束聚焦于物件表面形成刻蚀，该方法更适合精细标刻。



图1：EP10系列激光精细刻划机。



图2：AHB-Scribe系列带有CCD摄像头和电动平移台的钻石激光微刻机。

EP10系列激光精细刻划机使用的是光束质量M^2<1.1、脉冲宽度<5ns、波长为1064nm的YAG调Q红外脉冲激光器，该设备具有以下特点：

1、体积小巧，结构紧凑，方便携带；

2、实现完全风冷，热耗损低，无需单独配备冷却系统；

3、输出激光光斑较小，打标线条较细，更适合一些较精细图文的标记；

4、光束质量好，输出激光稳定性高，打标效果易调试；

5、整机性能稳定，体积小，功耗低。

AHB-Scribe系列钻石激光微刻机使用的是光束质量M^2<1.05、脉冲宽度<3ns、波长为1064nm的YAG调Q红外脉冲激光器，该设备有以下优点：

1、使用自主研发的具有国际领先水平的调Q激光器，激光光束质量好，与物质作用时间<3ns，热效应极小；

2、高倍扩束器和双波段消像差聚焦镜联合使用，完美的设计使聚焦光点小至5μm；



图3：国检30分钻石腰线刻字。


图4：在钻石腰线上刻出现任美国总统的名字。


图5：戒指


图6：戒指


图7：项链吊坠


图8：项链吊坠

内刻出400个字符。这种标刻对钻石形成的损耗仅为万分之一克拉，对以克拉为单位的钻石商业销售不存在任何影响，反而却可以提高钻石标刻后的售价。图3和图4为长春新产业光电技术有限公司的AHB-Scribe系列钻石激光微刻机在钻石上标记的个性化样品，美国总统的名字在钻石上清晰可见。

3、使用高精度X-Y-Z数控电移平台，重复定位精度达到 ±1μm；

4、使用激光和CCD显微共焦瞄准光学系统，使微米级被刻钻石图像和激光刻线同时显示在屏幕上，操作人员的眼睛不感到疲劳；

5、特殊设计的软件可以输入编辑任何文字图形，操作简单易学；

6、设备使用寿命 >20,000 小时，总耗电量 <200W，无水冷，免维护。

应用领域

与传统的钻石粉研磨和离子束刻划方法相比，激光精细刻划技术具有标记速度快、可随意选择字符和图案、字迹清晰美观、对钻石的光泽度和纯度不产生任何影响、安全无污染、操作简单和成本低廉等诸多优点，因此在钻石珠宝行业得到了广泛应用。

众所周知，钻石是世界上最坚硬的物质，比红蓝宝石的硬度高出150倍。人们日常做珠宝首饰用的钻石体积非常小，因此想在其表面上实现微标记，难度可想而知。长春新产业光电技术有限公司研制的AHB-Scribe系列钻石激光微刻机，可以在钻石腰线上刻出字高50μm的英文字母和阿拉伯数字，相当于在1mm^{2}的面积

结束语

激光精细刻划技术所具有的优点正在改变传统的刻划方法，并将对珠宝行业产生革命性的影响。中国钻石珠宝行业从20世纪90年代便开始进入一个迅猛的发展期，其中钻石业的发展速度更是惊人！中国作为世界第二大钻石消费国，有着乐观的发展前景。相信随着钻石珠宝行业的发展和人们对此类物品赋予的特殊附加意义，激光精细刻划技术将得到更加广泛的应用。❑

卓立现在 着眼未来
http://www.zolix.com.cn
精密位移解决方案




高稳定工业专用调整架

精密隔振光学平台

优质光学元件

Zolix 卓立汉光
地址：北京市通州区金桥产业基地 环科中路16号联东U谷中试区68号B座
电话：010 56370168 传真：010 56370118
邮箱：info@zolix.com.cn 邮编：101102
网址：http://www.zolix.com.cn

激光添加制造

不同于材料去除的添加制造是如何‘堆叠’产品的?

尽管用激光添加制造（LAM）方法制造的金属和聚合物部件在珠宝和牙科植入物领域已经司空见惯，但是很多公司正在竞相提升更复杂的LAM部件的功能完整性。

作者：Gail Overton

3D 打印已经成为当下最热门的制造趋势之一。据市场研究公司 Global Industry Analysts 预 测，到 2018 年 3D 打印的市场规模将达到 45 亿美元。另据市场研究公司 Wohlers Associates 表示，2012 年添加制造设备及相关服务的销售额为 22 亿美元，预计到 2017 年该数值将增长到 60 亿美元。

2013 年 5 月，一支被称为“解放者”的完全 3D 打印手枪的创造者 Cody Wilson，从该手枪中射出了一颗 38 口径的子弹。Cody Wilson 是美国 Defense Distributed 的创始人兼董事，这是一个非营利组织，通过 3D 打印枪械“授权”公众。关于制造方法，福布斯的 Andy Greenberg 在网上透露，“尽管过去 Wilson 的武器几乎全部是塑料的，但与最初不同的是‘解放者’是钢质的：其 16 个零件中的 15 个是利用价格 8000 美元的二手 Stratasys Dimension SST 3D 打印机创建的……唯一的非打印零件是一根常见的五金钉子。”

然而，光电子行业需要弄清的问题是：Stratasys 公司的 3D 打印机并不使用激光，而是利用热量来固化热塑性塑料。因此，认识到并不是所有的 3D 打印都是基于激光的，这一点非常重要。目前市场上炒作得沸沸扬扬的 3D 打印，大多是面向家庭和小型商店应用的、基于热量的通过喷嘴挤压出聚合物的低成本系统，而不是更昂贵、具有更高分辨率和更高元件质量的激光添加制造（LAM）系统。本文要讨论的是激光添加制造，而非基于热量的 3D 打印。

激光添加制造技术还有许多名字和技术变种，如激光熔融沉积、选择性激光熔化（SLM）、激光烧结、直接金属激光烧结（DMLS），或激光 3D 打印等。激光添加制造产业能否取得成功，主要取决于其是否能满足或超过用传统的材料去除制造方法（如机械加工和成型，或者是有竞争性的电子束熔炼（EBM）技术）制成的部件的强度、耐用性、易于制造性和成本 / 产量等目标。那么与利用传统方法制造的部件相比，激光添加制造的部件到底如何呢?

金属部件

德国 Concept Laser 公司注册的 LaserCUSING 加工过程，可以使用不锈钢和工具钢、铝钛合金、镍基超合金、钴铬合金或贵重金属，如金或银合金。2013 年年底，Concept Laser 公司开设了一个占地面积达 600 平方米的研发中心，以应对珠宝、牙科植入物甚至是汽车和航空零部件领域对利用激光添加制造方法制成的部件日益增长的需求。

随着光纤激光器的输出功率提升到高达 1kW，Concept Laser 公司基于粉末床的部件，是逐层建立起来的，每层的厚度从 15~200 μ m 不等，粉末床的尺寸范围从 5cm 宽、5cm 深、8cm 高到目前最大的 63cm 宽、40cm 深、50cm 高，加工速率为 1~100cm^3/hr。瑞士牙体修复制造商 Unicim 公司采用 Concept Laser 公司的 Mlab Cusing R 系统，其利用

CASTECH®
福晶科技

欢迎光临：

Laser World of Photonics China 2014
展位号：B1.1442
展览时间：2014年3月18-20日

Optatec 2014
展位号：Hall 3.0 A29
展览时间：2014年3月20-22日

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。

公司新大楼



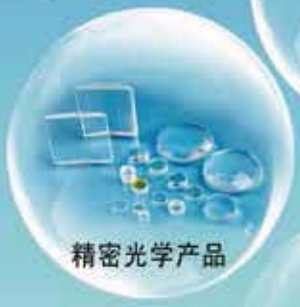
产品系列

















一、晶体

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

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Q开关
4. 温控炉(仪)
5. 光准直器
6. 标准具

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

应用天地/Applications

一台 100W 的连续波（CW）光纤激光器来创建金属（如钛）牙科植入物。Unicim 公司表示，利用激光添加制造方法制成的部件，在密度和形变等方面均优于铣削制成的部件。

英国 Renishaw 公司表示，其利用 LAM 建造的钴铬合金牙科植入物 LaserBridges，具有很高的精度和超级棒的牙齿咬合细节，并能提供卓越的陶瓷保留（见图 1）。Renishaw 公司的 AM250 激光熔融机采用的是功率 200W 或 400W 的镱光纤激光器，在 25cm × 25cm × 30cm 的粉末床表面提供直径 70 μm 的光束，用于沉积 20~100 μm 厚的层，这种方法能在一小时内建立一个 5~20cm^3 的部件。

总之，许多牙科植入物公司都预测铸造和铣削 / 机械加工将走向消亡，他们会转而青睐更具成本效益的 LAM 创建的植入物，他们之所以给出这样的结论是具备充分理由的：《Lasers in Medical Science》杂志在 2013 年 5 月进行的一项研究中，评估了利用机械加工（表面进行氧化铝喷砂 / 酸蚀刻处理）生产的牙科植入物和利用激光烧结制成的植入物的可靠性和失效模式。整个评估过程共使用了 42 个植入物，机械制造和激光烧结制造的各 21 个。在所有 42 个植入物经过逐步应力加速寿命测试、并进行极化光和 SEM 断口分析后发现，用这两种方法制造的植入物之间，并没有出现可靠性和断裂模式方面的差别。



图2：空中客车A320钢铸发动机舱铰链支架（左图）与利用EOS公司的DMLS技术制成的具有优化拓扑结构的钛支架（右图）的对比。比较结果显示，DMLS技术制成的钛支架在整体能耗和材料节省方面均具有明显优势。

SmarTech 公司估计，到 2019 年，单是 3D 打印的医疗和牙科产品市场，就将到达 28 亿美元。然而，对于那些经受更恶劣环境的更复杂的金属部件，又是什么情况呢？2013 年 7 月，美国航空航天局（NASA）完成了对一个火箭发动机喷油器的测试，该喷油器是 Aerojet Rocketdyne 公司利用选择性激光熔化方法制成的。液态氧和气态氢火箭喷油器总成点火，演示了这个非常关键的火箭发动机部件的完整性，也许更为重要的是，美国航空航天局表示，采用传统工艺制成喷油器将需要一年多的时间——相比之下，选择性激光熔化制造方法仅需要四个月，并且降低了 70%的制造成本。



图1：研究表明，像Renishaw公司通过激光烧结钴铬合金制成的LaserBridges这样的牙科植入物，与用机械方式加工的部件具有同等的可靠性。

除了降低成本外，针对航空航天应用的 LAM 部件或许还具有另一个显著优势：重量的减轻。在激光添加系统制造商 EOS 公司提供的一个案例研究中，将传统的空中客车 A320 钢铸发动机舱铰链支架与利用 EOS 公司的 DMLS 技术制成的具有优化拓扑结构的钛支架进行了比较（见图 2）。EADS IW 能耗分析不仅包括生产步骤，也包括原材料的采购与运输、以及金属粉末材料的雾化过程所消耗的氩气和产生的废物。部件的整个生命周期，包括支架的静态制造阶段和运转阶段。研究结果显示，DMLS 技术制成的部件，能源消耗减少了 40%，原材料消耗



图3：直升机模型（插图）的外壳是利用EOS P 396激光添加制造系统制成的，所用材料为聚酰胺PA 2200。

降低了 25%，并且还将每架飞机的重量潜在地降低了大约 10 公斤。

聚合物和陶瓷部件

2013 年 2 月，Oxford Performance Materials 公司获得了 FDA 510（k）许可，允许其采用具有生物相容性、化学惰性和射线可透过的聚醚酮酮（PEKK）热塑性塑料，制造聚合物激光烧结的特定病人头颅植入设备（OPSCD），用于恢复由外伤或疾病所造成的头骨损伤。

添加制造具备的低加工成本、减少浪费和定制能力等优势，使其成为了颅骨植入物制造的一个合乎逻辑的选择。然而，由于聚醚酮酮的熔点很高（360℃），因此无法使用基于热量的 3D 打印机，而是需要像 EOS 公司的高温 EOSINT P 800 激光烧结系统这样的具有更高能量的添加制造系统。

不同于 EOSINT P 800 使用两台功率 50W 的 CO_2 激光器创建厚度为 120 μm 的层，EOS P 396 系统用于创建厚度为 60~180 μm 的层（根据应用和所使用的粉末材料）。德国 Mikado Model Helicopters 公司选择 EOS P 396 系统为其直升机模型制造外壳。外壳所用材料为聚酰胺 PA 2200，平均粒子大小为 60 μm（见图 3）。

为了解决微细加工所需要的更精细的细节问题，最近 EOS 公司和德国 3D-Micromac 公司联合成立了一



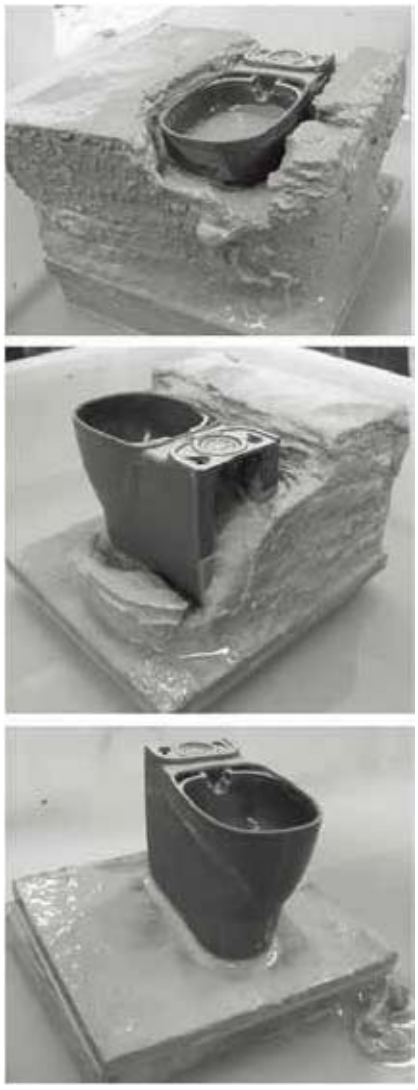


图4：利用分层泥浆沉积（LSD）工艺创建的激光烧结的卫生的硅酸盐坐便器。

家名为 3D Micromac 的新公司。3D Micromac 公司将致力于生产 LAM 系统，这些系统将利用聚焦直径≤ 30 μm 的激光和粒度≤ 5 μm 的粉末材料创建厚度≤ 5 μm 的层。

为了利用更加紧凑的粉末床实现陶瓷的选择性激光烧结，德国联邦材料测试研究院（BAM）没有沉积干燥粉末，而是选择沉积一种粉末悬浮液（在陶瓷行业称为‘浆液’），其能结合亚微米大小的颗粒，以获得 65% 的理论填充密度。这项专有的工艺（美国专利号 6827988 B2）称为分层泥浆沉积（LSD），已经在 BAM 自己的 LSD 100 系统中使用。LSD 100 系统可以沉积浆液层并对其干燥，创建激光烧结的陶瓷部件所使用的光纤激光器输出分别为 1034nm（100W CW）和 1940nm（50W CW）。

“使用精细陶瓷浆液，允许我们能调整激光与粉末颗粒之间的相互作用，从而可以调节激光进入材料床的穿透深度。”BAM 陶瓷加工与生物材料事业部负责人 Jens Günster 表示，“此外，由于浆液床的密度高，我们并不需要建立支撑结构，因为床本身就提供了足够的支撑。”在加工时间方面也能与材料去除方法相当，加工时间中甚至包括某些耗时的浆料洗涤过程。用这种方法，BAM 可以创建自己想要的对象，如创建微观结构精美的卫生的硅酸盐陶瓷坐便器（见图 4）。

部件的完整性

粉末颗粒的大小主要关系着 LAM 制造的部件成品的表面质量和密度，这也是针对颗粒表征正在开发的一项美国 ASTM 标准指南的主题。该项标准指南获得了美国国家标准与技术研究院（NIST）的支持，其目的是为了维护 LAM 系统的用户和制造商的利益。

“许多基于激光的粉末床熔融系统，通常的平均金属颗粒大小在 20~40 μm 之间，但是粉末中也包含更大和更小的颗粒。”NIST 生产系统集团的物理学家 John Slotwinski 表示，“具有大小不同的颗粒是非常重要的，因为它允许颗粒能在构建层中更好地粘附，较小的颗粒可以填充空隙，从而降低了孔隙率。”

目前，一些企业、大学和研究机构正在开展更深入的探讨工作。英国焊接研究所（The Welding Institute）、美国添加制造联盟（Additive Manufacturing Consortium）、美国 Joining Technologies 公司正在与德国弗劳恩霍夫激光技术研究所（Fraunhofer ILT）、北京航空航天大学和美国宾夕法尼亚大学合作，积极探讨 LAM 方法以及颗粒大小、激光能量和其他制造参数是如何影响最终部件的。

“我们目前的主要研究方向是理解并开发改进的加工过程，降低形变和残余应力，例如降低用激光和电子束沉积技术制成的金属（特别是钛镍合金）部件中的形变和残余应力。”宾夕法尼亚大学材料科学与工程学院高级研究员兼副教授 Todd A. Palmer 说道。Palmer 表示，虽然 LAM 在生产具有独特几何形状的部件方面，比传统的机械加工或铸造成型工艺更具优势，但是 LAM 过程仍然无法生产具有锻造属性的零件。“后续的热处理等加工过程依然是非常必要的，以便使这些部件的属性更接近于传统锻造工艺制造出的部件。”

Palmer 提醒道，LAM 部件还在材料属性方面显示出了显著的各向异性，并且常常会有一些缺陷会对成品部件的疲劳属性产生一定的负面影响。“在文献中有很多关于机械性能的报道，但是在大多数情况下，用于制造部件的处理参数并没有很好地设置或引用。”Palmer 补充道，“目前，我们正在努力确定不同的添加制造工艺的重要可变因素，以期对这一制造过程有更深入的理解。”❑

激光添加制造在特定市场竞争优势尽显



作者：Milton Chang



Ingomar Kelbassa博士

3D打印是当前的一个热门话题，甚至《经济学人》杂志也于2013年9月7日刊发的一期杂志中发表了一篇题为《3D打印，从牙套到宇航员座位》的文章。据报道，波音和空客这两家公司正在使用12米长的设备来打印钛喷气机身。本期我采访的嘉宾是Ingomar Kelbassa博士。他目前担任德国亚琛工业大学（RWTH Aachen University）激光技术研究所的副主任，同时也兼任德国弗劳恩霍夫激光技术研究所部门主管。本期我们讨论的话题是金属零件的激光添加制造。

Milton Chang：什么是激光添加制造？

Ingomar Kelbassa：简单来讲，激光添加制造就是用激光将金属熔化，然后以一层一层叠加的方式来制造出想要的金属工件。在单步制造过程中，即激光材料沉积（LMD），金属粉末或金属丝原料在相互作用区被激光熔化，并通过快速凝固的方式沉积。在两步制造过程中，即选择性激光熔化（SLM），金属粉末被铺撒在一层中，然后利用调制过的激光束扫描，并在下一层粉末铺撒之前选择性的熔化粉末，反复重复该过程直至零件制造完毕。

SLM的材料性能可以与机械加工的零件相媲美；而LMD具有较小的尺寸限制，可以实现更高的加工吞吐量。SLM在加工的零件结构复杂性方面几乎没有限制，但是预成型件的起点必须是平坦的。

MC：为什么人们会青睐于激光添加制造而不是传统的金属加工技术？

IK：有了激光添加制造这种新的制造工艺，零件在设计中只需要考虑实现其特定的功能性，而无需再考虑零件的制造问题。现在我们可以生产出很多过去根本不可能实现的零件。例如，利用激光添加制造方法，能够制造出用于能源产生的燃气涡轮结构，该结构相当复杂，其内部具有冷却通道，外部具有陶瓷涂敷。如果您仅从生产零件方面来看，激光添加制造这种方法在本质上成本更为高昂；但是如果您考虑制造的整体成本的话，包括模具摊销或管理供应链的成本，那么激光添加制造在成本方面还是有竞争优势的。

MC：激光3D打印机的客户有哪些？

IK：目前，个人3D打印机正在以每年增长百分之几百的速度快速发展，因为3D打印机能够使发明家、企业家、能工巧匠和研究人员制造出自己的作品。目前，激光添加制造被视为一种重要的制造方法，并且其正在对航空航天、国防、牙科、汽车零件以及消费品行业产生重要影响。

在牙科应用中，自从2002年以来，SLM方法已被用于制作涂覆有陶瓷的金属牙科植入物。如今，牙冠、牙桥和牙科植入物的添加制造已经成为一种标准制造工艺。在汽车制造行业，宝马正在使用SLM方法制造“pre-series”零件。在消费品行业，用添加制造方法制成的产品有家具、照明灯具、家居饰品、艺术品、珠宝、奖杯、体育用品以及时尚商品。

某些零件可能需要二次加工或后续的热处理，以解决更加微小的问题，但是与焊接的零件不同。在从原始材料到成品的加工过程中，始终要从整体上考虑整个加工过程的特点。SLM方法所能加工的零件包括任何尺寸限定在SLM加工室容积（$630 \times 400 \times 500 mm^3$）内的东西。

MC：激光添加制造需要使用何种激光器？需要哪些改进？

IK：在激光添加制造中，激光器并不是主要问题，主要问题在于金属粉末，因为金属粉末太细的时候容易出现堵塞情况。在LMD制造中，晶粒尺寸限制

商业论坛 / Business Forum

为约 35~150 μm；在 SLM 制造中，晶粒尺寸限制为约 15~45 μm。激光添加制造所使用的光源可以是光纤激光器、碟片激光器和半导体激光器，偶尔也使用 CO_2 激光器。激光器是只用于熔化金属的一个功率源。

MC：弗劳恩霍夫激光技术研究所是由政府 / 行业资助联合成立的一个非盈利性机构。那么像激光添加制造这样的项目在该研究所是如何开展的？

IK：当我们有了一个深信不疑的想法时，可以从该机构申请内部研发资金。这些资金通常来自通过授权 IP 所产生的版税收入。这样的过程可以持续 3-5 年，以证明新工艺的通用可行性，以获得企业的兴趣。然后，我们便可以从被授权该技术的系统集成商那里获得资金，开发具体的制造过程。知识产权所有权共享问题则需要进一步协商。

我们与获得该技术授权的系统集成商一起开发第一台机器。该机器的原型通常位于我们的实验室，以便于我们加速开发过程。从本质上来说，我们成为了提供用于改进机器的反馈信息的第一个客户。我们通常不会亲自向我们的合作伙伴咨询。弗劳恩霍夫激光技术研究所是咨询机构，我们为弗劳恩霍夫激光技术研究所工作。我们也可以创建公司；我的一些同事已经这样做了。但是获得初始资金或做成首单生意并不像在美国那么容易。

MC：目前您的机构中有多少人从事激光添加制造工作？未来的发展方向是什么？

IK：目前我们有 40 名技术人员从事激光添加制造工作，分为三个小组。我们相信今后会有更多产品使用激光添加制造方法。现在，我们在几何形状和材料方面拥有极大的设计自由，以实现质量和性能目标，而不再受生产方面的制约。例如，我们可以逐层改变制造材料，或者可以使用逐层堆积的方法，来实现具有定向机械特性的纤维增强结构。我们一直致力于材料组成和添加方式，以提高原料的添加速率。❑

Milton Chang：曾任 Newport 和 New Focus 公司总裁，现任 mBio Diagnostics 及 Aurrion 公司总监；加州理工学院受托人；小型及新兴公司 SEC 咨询委员会成员；专业顾问；IEEE、OSA 和 LIA 会员。Email：miltonchang@incubic.com；网址 www.miltonchang.com。



服务超越客户预期 永立行业潮头

——访Edmund Optics公司总裁兼首席运营官Samuel Sadoulet先生

作者：本刊记者



Edmund Optics公司总裁兼首席运营官Samuel Sadoulet先生

爱特蒙特光学（Edmund Optics，EO）是一家全球知名的光学与光电子元件供应商，在过去的70多年中，其始终以业内首选供应商的角色在行业中保持着领先位置。2014年伊始，EO任命公司首席运营官Samuel Sadoulet先生为公司新总裁，他将进一步增强公司服务，致力于提供超越客户预期的服务，带领EO继续迈向新的目标。

一位全球化的现代公民

Samuel于1997年加入爱特蒙特光学，曾经担任过技术、运营和管理等不同的职务。他拥有美国罗彻斯特大学理学学士学位和美国亚利桑那大学理学硕士学位。最近，他又获得了欧洲工商管理学院（法国）的MBA学位，这将使拥有雄厚技术与工程基础的他具备更加科学的商业与管理技能。此外，Samuel还是美国光学学会（OSA）、国际光学工程学会（SPIE）和国际自动化图像协会（AIA）的会员。

一年多前，Samuel刚刚被任命为公司的首席运营官，升任新总裁后，他将继续担任首席运营官一职，领导公司的技术、全球工程与生产运营。公司首席执行官Robert Edmund和董事会都认为Samuel是领导公司运营的正确人选，他将进一步致力于客户服务，领导EO在不断变化的全球市场环境中走向新的未来。Robert Edmund形容Samuel为“一位全球化的现代公民”，他花了很多时间前往世界各地拜访客户，加之其在销售、技术开发及生产方面丰富的工作经验，使得他能更加深入地理解客户需求。“随着EO在全球业务的增长，特别是在亚洲市场，需要我们所有的人都是‘世界公民’，要能够理解客户所在市场的需求和应用，这样才能确保通过我们的业务和技术能力，为客户提供超出他们预期的产品和服务。”Samuel说道。

Samuel接着表示：“作为公司的总裁兼首席运营官，我的工作就是带领EO全球的高层管理团队，进一步促进‘我们作为世界首选的光学和成像元件供应商’的愿景。我的工作重点将聚焦在业务增长方面，特别是确保我们能时刻聆听客户的需求。我本人的工程知识背景以及在工程和制造岗位上多年的工作经验，使我对整个行业有着独到的见解，这将帮助我理解客户的技术需求，紧跟行业的发展趋势。”

在满足客户需求的基础上超越客户预期

1942年Norman Edmund老先生创建EO公司的时候，就十分强调满足客户预期的重要性。70多年来，EO始终秉承着“以客户为中心、客户是最重要的资产”的发展理念，这一点也让EO的员工感到非常自豪。

EO的产品多元化，种类繁多。EO正在服务两种独特的客户类型：小批量/产品需求种类繁多的（high-mix）的科研客户，以及大批量/产品需求种类较少（low-mix）的制造业客户。此外，EO还特别关注那些刚刚启动业务的客户，这些客户一开始通常需要各种各样的现成产品，但是随着业务的发展，这些客户接下来便会进入批量生产阶段，发展成为大批量制造客户。EO希望成为创新者的合作伙伴：帮助他们实现从实验室到生产车间的过渡，其能够为客户提供从设计工程师到解决方案工程师的重要支持资源，帮助客户完成这种过渡。

EO拥有世界上最大的光学和成像元件库存，并且拥有广泛的专家和技术人员来管理每星期收到的来自全球数十个国家的成千上万的订单。EO在新加坡、中国和日本设有生产工厂，满足客户的大批量制造业务需求，这其中包括现有产品和客户定制的产品。EO每年会根据客户的具体要求生产数以百万计的光学元件。

Samuel表示：“我们将竭尽全力与客户保持愉快的合作关系。事实上，现在我们的目标不仅仅是满足客户的预期。我将继续致力于寻找方法来超越客户的预期，在未来

赢得客户的信任和信心。”

“除了与客户保持愉快的合作关系外，我们还要确保走在行业、技术和发展趋势的前列，这样我们才能在未来继续为我们的客户提供服务。EO 的产品涵盖从光源到传感器的众多品种，这让我们能密切洞察行业的发展趋势。随着激光器越来越广泛地应用于生活的各个方面，我们将继续向客户学习，因为他们在激光技术应用方面拥有广泛的经验。从商业角度来看，在整个产品开发周期中，客户的期望往往会发生快速的变化。我们希望与客户合作，满足他们从早期的原型一直到批量生产的所有需求，而且我们知道客户在每个阶段所面临的技术和商业挑战。我们的目标是可靠地提供超越客户预期的高品质光学元件。”

新策略与市场发展

作为公司的新总裁，Samuel 表示他会致力于发展 EO 的全球领导地位。“我们的脑海中始终保持着全球化的概念，我们将尽可能地靠近客户。随后我们将综合来自各个不同地区的客户需求及最佳方案，并且在行之有效的时候在全球各地加以实施。”Samuel 说道。

亚洲市场对光学和光电子元件不断增长的需求，远远超过了美国和欧洲的传统市场。亚洲市场的发展潜力将成为 EO 业务的一个重要部分。这里已经不仅仅是制造基地，中国及亚洲其他国家已经涌现出了大量的创新。Samuel 表示：“亚洲目前正涌现出越来越多的研究和新兴技术，客户用我们的产品所做的工作，给我带来的惊讶和兴奋从未停止过。亚洲客户的原型批量采购快速增长，并且来自大学和研究实验室的新订单也在快速增长。我们正在亚洲扩大工程团队，以为我们在中国、日本和韩国等国家不断增长的客户提供服务。”

Samuel 指出，未来他希望带领 EO 继续扩大全球视野和领导力，他认为这是保持公司业绩持续增长的关键。他最后总结道：“Robert Edmund 一直说，EO 成功的秘诀是‘更多光学元件、更多的技术和更多的服务。’我坚定地支持这一说法，并且会继续推进与客户的业务关系，因为针对客户的这些‘更多’一直闪耀在我的脑海。”❑

上接第19页

变与环绕直径成反比。如上面所讨论的，光纤 B 必须环绕到直径近 8cm 的水平，才能获得与光纤 A 环绕至 12cm 直径时类似的光束质量。此时，光纤 B 中产生的拉伸应变将会比光纤 A 高 50%。由于光纤激光器设计用于持续使用数千小时，并且环绕所诱导的应变是光纤上的一个恒定力，因此光纤的环绕直径是一项重要的考虑因素。

如果应变足够大，随着时间的推移，则会引起光纤的机械故障；因此，为了确保良好的激光器可靠性，最小化光纤的应变非常重要。保持环绕直径尽可能大，有助于提高光纤的机械可靠性，并防止昂贵的激光器组件和激光器本身在运行过程中出现灾难性的故障。选择光纤 A，不仅更容易实现优异的光束质量，而且还有助于保证良好的激光器可靠性。

尽管前面的讨论集中在 20 μm 纤芯的光纤，在选择具有更大纤芯尺寸的光纤时，也可以采用类似的方法。如图 4 所示，根据本文中讨论的选择光纤的相同过程，利用一根纤芯为 25 μm 的掺 Yb 光纤，能够获得近衍射极限的光束质量。

光纤激光器正在成为许多工业应用的选择，例如打标、微加工、切割、焊接、钻孔和雕刻。虽然光束质量不佳的原始功率可能足以适合某些应用，但目前人们对具有优异（单模）光束质量的高功率光纤激光器有着极大的兴趣。目前市场上有数种 LMA 光纤可供激光器制造商选择。通过选择最大化吸收的光纤，能够以较低的成本获得高功率。但是，如果需要同时具备高功率和优异的光束质量，激光器制造商必须仔细在可用的光纤中进行选择。明智的光纤选择，将最终为目标应用提供最佳的性价比优势。❑

参考文献

1. J. P. Koplow, D. A. V. Kliner, and L. Goldberg, Opt. Lett., 25, 442-444 (2000).

运筹帷幄决胜千里 马到成功赢在创新

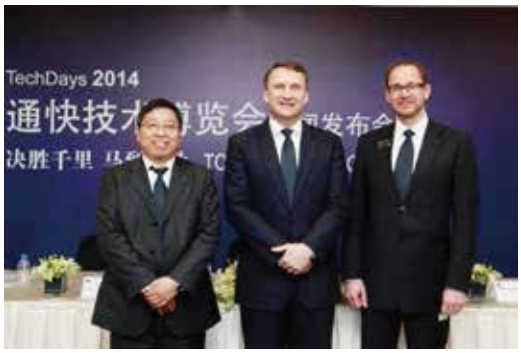
——记2014通快技术博览会

作者：本刊记者

近日，全球领先的数控钣金机床制造商德国通快公司在江苏太仓成功举办了主题为“决胜千里，马到成功”的2014通快技术博览会（TRUMPF TechDays 2014）。本次博览会是通快集团在中国举办的第二次技术博览会，历时四天，通过各种技术讲座、新品演示、工厂参观等方式，向与会嘉宾展示了通快最新的技术和生产理念，吸引了国内外众多制造和激光领域的企业代表、专家学者以及媒体记者等1500多人参加。

“中国目前正处于转型时期，创新和升级这样的话题将是今后发展的重点。通快一直以来都在以自己的力量应对着这些挑战。我们不仅是全球钣金加工领域和工业激光市场的领导者，也已经成为众多客户在激烈的市场竞争中最信赖的合作者。”通快（中国）有限公司总裁Peter Hoecklin先生在新闻发布会上表示，“这次技术博览会我们重点展示了通快最新的自动化解决方案、拥有全方位功能的最新5轴管切割机，以及通快在激光领域内的各项成果和最新技术。”

本届博览会期间通快工厂全面开放，在现场重点展示了高速数控机床、激光切割机、激光管切割机、数控折弯机、自动化系统、三维激光加工焊接系统、激光器以及激光打标机等系列产品，所有产品在现场展示的同时，伴有专业人员做现场讲解。此外，本次博览会期间还举办了以自动化和激光技术为中心的7大主题共计56场技术讲座，详细介绍了通快在自动化、数字化方面的优势以及激光切割和焊接方面先进的管理技术。



图：通快（中国）有限公司总裁Peter Hoecklin先生（中）、通快（中国）有限公司机床事业部总经理顾永麟先生（左）以及通快（中国）有限公司激光技术部总经理Andreas Weller先生（右）。

通快自动化解决方案是从三维软件为客户进行方案设计开始，包括单机的自动化（含自动上下料、自动加工、零件分拣及残料处理）到由中央料库+机床+周边设备与全过程控制软件等组成的全自动化柔性加工系统，可实现每周7天和每天24小时的无人自动化连续生产。通快在展会现场展示了冲床自动化上下料装置（SheetMaster）、紧凑型激光自动上下料装置（LifeMaster Compact）、料库系统（TruStore 3030）以及折弯自动化单元（TruBend Cell）等一系列的自动化产品。

通快的激光技术也是此次技术博览会的一大亮点。激光已从只针对特殊应用的高端工具发展到现在可普遍使用的标准工具，并凭借其高质量、高速度以及低成本的特点，正逐步替代传统加工工艺。据介绍，通快拥有全世界最丰富的激光产品系列，通快的TruMicro系列短脉冲和超短脉冲激光器已获得德国未来奖（German Future Price），Bright Line Fiber专利技术为光纤激光切割机厚板材加工建立了新的质量和生产标准，而在此次博览会上更是推出了最新的TruDisk及TruDiode激光器技术。❑

业界访谈/Interviews

“一顾倾人城，再顾倾人国”纤体瘦身新技术

——2014科医人美容激光纤体技术信息发布会后记

崭新的2014年让一切关于美丽的愿景都充满了朝气与能量。2014年2月16日，科医人在美丽的古城西安举办了主题为“轻松享瘦”的美容激光纤体技术信息发布会。科医人医疗激光公司荣幸地邀请到了美容激光三大激光缔造者、美国哈佛大学医学院教授和麻省总医院Wellman光医学中心主任、被誉为“现代美容激光之父”的Dr.Rox Anderson教授，就纤体瘦身技术的最新发展趋势与来自全国各地的200余名相关领域的专家学者进行了精彩的交流与探讨。

Rox Anderson教授一直是激光美容界的世界精神领袖，他对整个人类的医学事业做出了跨时代的贡献，他提出的选择性光热作用原理、扩展性选择光热作用原理和点阵光热作用等理论被认为是光医学领域的里程碑，其临床研究更带来了整个领域的突破性进展。

激光纤体瘦身

2月16日下午两点，包括北京军区总医院杨蓉娅教授、上海华山医院项蕾红教授等业内知名专家在内的全国200多位激光皮肤、整形美容领域的专家学者云集西安威斯汀大酒店，翘首等待着Rox Anderson教授的到来。但是当天天公不作美，Rox Anderson教授所乘坐的航班因为天气原因迫降兰州，已经在兰州滞留了长达15个小时。当天晚上十点半，Rox Anderson教授终于赶到现场，他不顾旅途的疲劳，立即开始了精彩演讲，与大家分享了全球无创纤体技术的最新进展情况。在场所有人均被Rox Anderson教授的敬业精神所感动。



被誉为“现代美容激光之父”的Dr.Rox Anderson教授

在会上，Rox Anderson教授指出：就无创纤体技术而言，冷冻和超声技术的临床效果更有效。他强调，冷冻溶脂技术利用人体脂肪内的三酸甘油酯在0℃的低温下转化成固体，指定部位的脂肪细胞在受冷达到特定的低温时，将转化为脂肪冰晶，结晶老化后陆续凋亡，通过新陈代谢排出体外，体内脂肪逐渐减少，从而达到局部溶脂的纤体瘦身效果。而超声纤体技术则是通过超声波穿透皮肤，使脂肪细胞内的脂质在超声波的作用下，被分解液化迁移到淋巴系统，然后使用淋巴手具加速将其排出。

ROX Anderson教授的精彩演讲与现场参会者积极踊跃的讨论一直持续到17日凌晨。此时会场仍然高朋满座，大家依旧兴趣盎然、意犹未尽，科医人为激光美容瘦身领域的专家学者们创造了一次创纪录的“跨夜学术交流”。ROX Anderson教授的敬业精神、现场近200名皮肤科、整形科专家权威人士及医疗工作者对知识的热情渴望，也潜在地显示了激光美容瘦身市场蕴育的勃勃生机。

在发布会现场的“享瘦”展示区，科医人提供了相关设备供医生积极学习和了解。2014年，科医人将全力进军纤体瘦身市场，其即将上市的冷冻及纤体设备，将为您塑造“一顾倾人城，再顾倾人国”曼妙身材。❑

普林光电推出915nm 65W/0.15NA高亮度半导体激光器

为了满足低功率脉冲激光器、高功率连续激光器和超快光纤激光器强劲的泵浦需求，凯普林光电推出915nm 65W/0.15NA高亮度半导体激光器。该产品采用多单管技术光纤耦合输出，光纤芯径105μm，数值孔径0.15，出纤功率达65W，实现了更高的输出亮度。



该产品在结构上设计巧妙，通过有效的热管理，实现了稳定的功率输出。有源光纤吸收效率高，光纤熔接、合束效率高，大大降低了热效应可能存在的风险。在产品可靠性方面，凯普林光电激光器产品的平均失效时间（MTTF）在世界范围内处于领先水平。

北京凯普林光电科技有限公司，www.bwt-bj.com

线性可变带通滤光片取代多个专用滤光片



爱特蒙特光学推出新型线性可变带通滤光片。这些多功能滤光片提供了隔离窄光谱区域所必需的高透射率和深度截止，并且可广泛用于各种应用。

线性可变带通滤光片是一种精确镀膜的光学滤光片，其光谱性质会随着滤光片长度的变化而呈现线性变化。滤光片能够提供最佳的输入光束直径，即0.5mm×10.0mm。这些滤光片具有OD4截止，并且在窄宽带中提供高透射率。滤光片能够以仅仅1.5%的激光波长提供超过4.0光密度的最佳光线截止。深度截止不必要的光源，能够在所需的波长内最大限度地提高系统性能。用户只需移动滤光片改变其相对于光源的位置，即可方便地调整光谱响应。单个线性可变带通滤光片可取代多个专用滤光片，从而简化系统设置，最小化系统重量，实现最佳价值。

线性可变带通滤光片具有VIS和NIR两种型号可供选择。滤光片为现货供应，可立即交付，提供快速周转时间及卓越价值。

爱特蒙特光学，www.edmundoptics.cn

25W紫外纳纱激光器和单脉冲能量100mJ的YLF晶体激光器

美国Photonics Industries（PI）公司开发了出新的25W腔内紫外纳纱激光器DSH-355-25和单脉冲能量可到达100mJ的YLF晶体激光器DM100-527。



DSH-355-25激光器能在一个结构紧凑、坚固的激光腔内提供高达30W的腔内谐波平均功率。PI公司专有的腔内紫外技术，拥有非消耗的THG晶体优势，它允许一个简单的光学谐振腔更好地不受环境温度变化的影响，并能拥有更有效率的谐波转换、更小的体积和更轻的激光头，使其可以方便地被安装在可移动平台中。

DM100-527激光器能从单独的激光腔内单偏振产生单脉冲能量达到100mJ的紫外光，适用于钛蓝宝石放大泵浦、粒子图像测速、激光退火、软板切割、晶片划线等应用。

Photonics Industries，www.photonix.com

单发自相关仪

俄罗斯Avesta公司主要生产和研发各种超快激光器、超快激光配件以及超快检测设备。该公司推出的ASF自相关仪采用CCD探测器，同其他二阶自相关仪一样，ASF也通过探测倍频信号来获取输入光脉冲宽度信息。不同的是，该产品既可测量高重复频率（>10Hz），又可测量1～10Hz的超快激光放大器，工作波段可选择700～1300nm或1300～2000nm，可测量的脉冲宽度为20～200fs或200～2000fs。



Avesta，www.avesta.ru

产品撷英/Products Highlight

外腔式可调谐半导体激光器

外腔式可调谐半导体激光器厂商 Moglabs 的主要产品 ECD004 和 CEL001 均采用外腔式结构，并分别采用光栅和滤波片实现波长调谐和线宽压缩。



Moglabs 的产品体积小巧，波长范围从 375 ~ 1092nm，线宽可小于 100kHz，加上放大器以后功率可达到超过 2W，适用于长度计量、频率标准、冷原子等需要波长调谐的应用，也可用于干涉实验、拉曼光谱等窄线宽激光应用。

Moglabs，www.moglabs.com

千瓦级单模连续光纤激光器

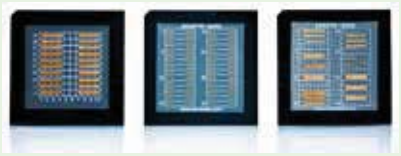
江苏天元激光科技有限公司自主开发生产的 1kW 单模连续光纤激光器 TY-1000，输出光纤为 20/400μm，输出波长 1070±5nm，可以实现激光能量从 1%~100% 之间调节，电光转换效率大于 30%，具有稳定可靠的机械结构，智能化数控系统，能在工业环境中长期稳定运行。



该产品操作系统界面简洁、接口简单通用，易于与各类机床、机器人加工系统实现集成。可根据客户要求对多种不同材料进行精细化加工。

江苏天元激光科技有限公司，www.skyeralaser.com

高功率、高效率的半导体激光器芯片



德国 Jenoptik Laser GmbH 公司针对光纤激光器泵浦应用，推出高功率 9xxnm 单管和迷你巴条。条宽 90μm、腔长 4mm 的 9xxnm 单管可实现 12W 的稳定输出；5 个发光点、腔长 4mm 的 9xxnm 迷你巴条可实现 55W 的稳定输出，电 - 光转换效率超过 65%。针对 9xxnm 高功率单管的寿命测试已超过 6000 小时，进一步的测试还在继续进行中。

针对高功率直接应用半导体激光器需求，该公司推出新一代高填充因子、腔长 4mm 的巴条，输出波长包括 940nm、976nm 和 1020nm，连续输出功率超过 200W，电 - 光转换效率超过 63%。同时也推出了腔长 4mm、低填充因子的高亮度巴条。

针对高峰值功率泵浦源市场，该公司推出了 500W 的 880nm 准连续巴条，效率超过 55%，且具有更小的快轴发散角。此外公司还将推出 760nm 的巴条。

Jenoptik Laser GmbH，www.jenoptik.com

激光投影仪可采用光纤耦合激光技术

Z-LASER 将为其所有的 LP-HFD 激光投影机配备其光纤耦合激光系统 ZFSM。最近开发的 ZFSM 系统利用了光纤固有的优良光学属性。新产品特别适用于对投影精度有极高要求的应用。



ZFSM 系统通过一根带有电控功能的光纤，将光学器件和激光源分离开来。电控部分和激光源产生的热量不会直接影响光学器件，从而实现更高的投影稳定性。

相比于激光二极管直接输出的光束质量（M^2~1.05）和几何发射角，光纤输出的光学性能均更有优势。ZFSM 为点投影光学产生了浑圆的小光斑点（如在 30mm 的工作距离光斑点为 8μm）。

LP-HFD 投影仪具备以下优势：完美的圆形光斑；投影面积内更均匀的激光功率分布；光学和电控分离部件，最大限度的降低温漂；标准的光学聚焦为 7m，远程光学聚焦可为 15m；所有 LP-HFD 采用更小镜头的振镜。

Z-LASER，www.z-laser.com

光隔离器

美国 Conoptics 公司的光隔离器，主要用于阻止反射光回波，避免对激光器造成损坏。例如置于振荡器与放大器之间、光纤激光器输出口之后、以及高功率激光器输出镜之后。



Conoptics 的光隔离器基于法拉第磁光效应，体积小巧，透过率约高达 90%，隔离度最高可达 60dB，工作波段覆盖 390 ~ 1135nm，并可根据波长、隔离度等要求选择不同产品。

Conoptics，www.conoptics.com

2014

LASERFAIR

China Laser Innovation Conference

第八届亚洲（深圳）国际激光应用技术论坛暨激光制造展

The 8th Asia (shenzhen)International Laser Application Technology Conference & Fair

2014.6.12–14 深圳会展中心

Shenzhen Convention & Exhibition Center

六大论坛，精彩纷呈。



激光再制造（模具加工）技术大会
Semiconductor Laser & Remanufacture Solutions Conference



超快激光技术与微加工技术大会
Ultrafast Laser Technology & Microprocessing Solutions Conference



光纤激光技术与柔性加工技术大会
Fiber Laser Technology & Industrial Solutions Conference



大功率激光与钣金加工技术大会
High–Power Laser & Metal Sheet Processing Solutions Conference



3D打印(增材制造)产业发展与应用技术论坛
3D Printing(AdditiveManufacturing)Technology Forum



汽车工业激光制造应用技术大会
Automobile Laser manufacturing industry application solutions Conference

►►► www.laserfair.cn

论坛火热报名中!

☎ +86-755-2697 9397

✉ event@laserfair.com

广告索引 Advertisers & Web Index

www.laserfocusworld.com.cn

激光世界 LaserFocusWorld China

Advertiser	广告商名称	网址	页码
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	17
BWT Beijing Ltd.	北京凯普林光电科技有限公司	www.bwt-bj.com	1
Castech Inc.	福建福晶科技股份有限公司	www.castech.com	31
Changchun New Industries Optoelectronics Tech Co., Ltd.	长春新产业光电技术有限公司	www.cnilaser.com www.cnioptics.com	27
CIOE	中国国际光电博览会	www.cioe.cn	IBC
CYBER LASER INC.		www.cyber-laser.com	2
DILAS Diodelaser China Co., Ltd.	南京德商帝纳斯激光有限公司	dilas.com.cn	4
Edmund Optics Singapore Pte Ltd.		www.edmundoptics.cn	33
Focuslight Technologies Co., Ltd.	西安炬光科技有限公司	www.focuslight.com.cn	15
iLuma Photonics Co., Ltd.	深圳激扬光电有限公司	www.iLumaphotonics.com	36
Jiangsu SkyEra Laser Technology Inc.	江苏天元激光科技有限公司	www.skyeralaser.com	6
Mitsubishi Electric Automation (China) Ltd.	三菱电机自动化 (中国) 有限公司	http://cn.mitsubishielectric.com/fa/zh/	IFC
Nufern		www.nufern.com	BC
Ocean Optic (Shanghai) Co., Ltd.	海洋光学 (上海) 有限公司	www.oceanoptics.cn	3
OSRAM Opto Semiconductors		www.osram-os.com/CN-ir-oslon	21
PCO AG	蔚海光学仪器(上海)有限公司	www.pco.de	5
Photline Technologies		www.photline.com	13
Pinnacle Scientific (China) Corporation	顶尖科仪 (中国) 股份有限公司	www.psci.cn	19
Shenzhen RFH Laser Technology Co., Ltd.	深圳市瑞丰恒科技发展有限公司	www.rfhlasertech.com	23
TRUMPF (China) Co., Ltd.	通快 (中国) 有限公司	www.laserexpertise.trimpf.com/zh.html	插页
Titan Electro-Optics Co., Ltd.	北京金先锋光电科技有限公司	www.teo.com.cn	26
The 8th Asia (shenzhen) International Laser Application Technology Conference & Fair	第八届亚洲 (深圳) 国际激光应用技术论坛暨激光制造展 Fair	www.laserfair.cn	43
Zolix Instruments Co., Ltd.	北京卓立汉光仪器有限公司	www.zolix.com.cn	29
II-VI Infrared Laser (Suzhou) Co., Ltd.	贰陆红外激光 (苏州) 有限公司	www.ii-vi.com.cn	9

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
Susan Smith
susans@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

Beijing (北京)
Oasis Guo (郭镜园)
oasisg@actintl.com.hk
Tel: 86 10 6418 7252

Shanghai (上海)
Sales Director-China (中国区销售总监)
Hatter Yao (姚丽莹)
hattery@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)
Monica Liu (刘方美)
monica@arco.com.tw
Tel: 886-2-23965128 x 204

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

North America (北美)

UK, Ireland
Jim Ajayi
jima@pennwell.com
Tel : +44 (0)1992 656 657

Southeast, Midwest, Mid-Atlantic and Eastern Canada
Jeff Nichols
Jeffn@pennwell.com
Tel: 1-413-442-2526

US-West and Western Canada
Anne Marie St.John-Brooks
annemarie@pennwell.com
Tel: 510.606.0630

Europe & Middle East (欧洲及中东)

Europe
Holger Gerisch
holgerg@pennwell.com
Tel: 49-8856-8020228

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

10万人次专业观众 | 3000余家参展企业 | 11万平米展出面积

全球最大规模光电展

16TH

CIOE
CHINA INTERNATIONAL
OPTOELECTRONIC
EXPO

第16届中国国际光电博览会

了解更多精彩活动
添加CIOE官方微信

ufi Approved Event

OPTICAL COMMUNICATIONS EXPO
光通信展

LASERS INFRARED APPLICATIONS EXPO
激光红外展

2014年 9月2-5日
深圳会展中心

同期展会：

PRECISION OPTICS EXPO
精密光学展

LEDTechina
技术及应用展

同期论坛：

中国国际光电高峰论坛
CHINA INTERNATIONAL
OPTOELECTRONIC CONFERENCE

CIOE 中国国际光电博览会组委会

地址：广东省深圳市南山区海德三道海岸大厦东座607室
联系人(Contect)：魏 珂 (COCO)　手机(Mobile)：136 026 01075 / +852 5163 7115
电话(Tel)：+86 755 8629 0861 / 8629 0848　传真(Fax)：+86 755 8629 0951
QQ：272861232　SKYPE：cioe-coco　E-Mail：cioe-coco@foxmail.com

了解更多展会信息，请登陆
WWW.CIOE.CN



NuQ™
Fiber Marking Lasers

When Beam Quality Matters

光束品质，决定标记品质



采用Nufern精密匹配光纤，NuQ系列标记用
光纤激光器，提供最佳的光束品质 ，且保证：

- 最清洁的雕刻
- 最大的景深
- 最快的薄片切割
- 最精细的标记
- 最稳定的效果



NUFERN®
866.466.0214 / www.nufern.com

为生产能力的最大化而生！

rofin 集团成员企业

详情请洽：德商罗芬激光技术（上海）有限公司 Tel:86-21-68552216 info@rofin-baasel.com.cn