光学和光电子产业的主导刊物

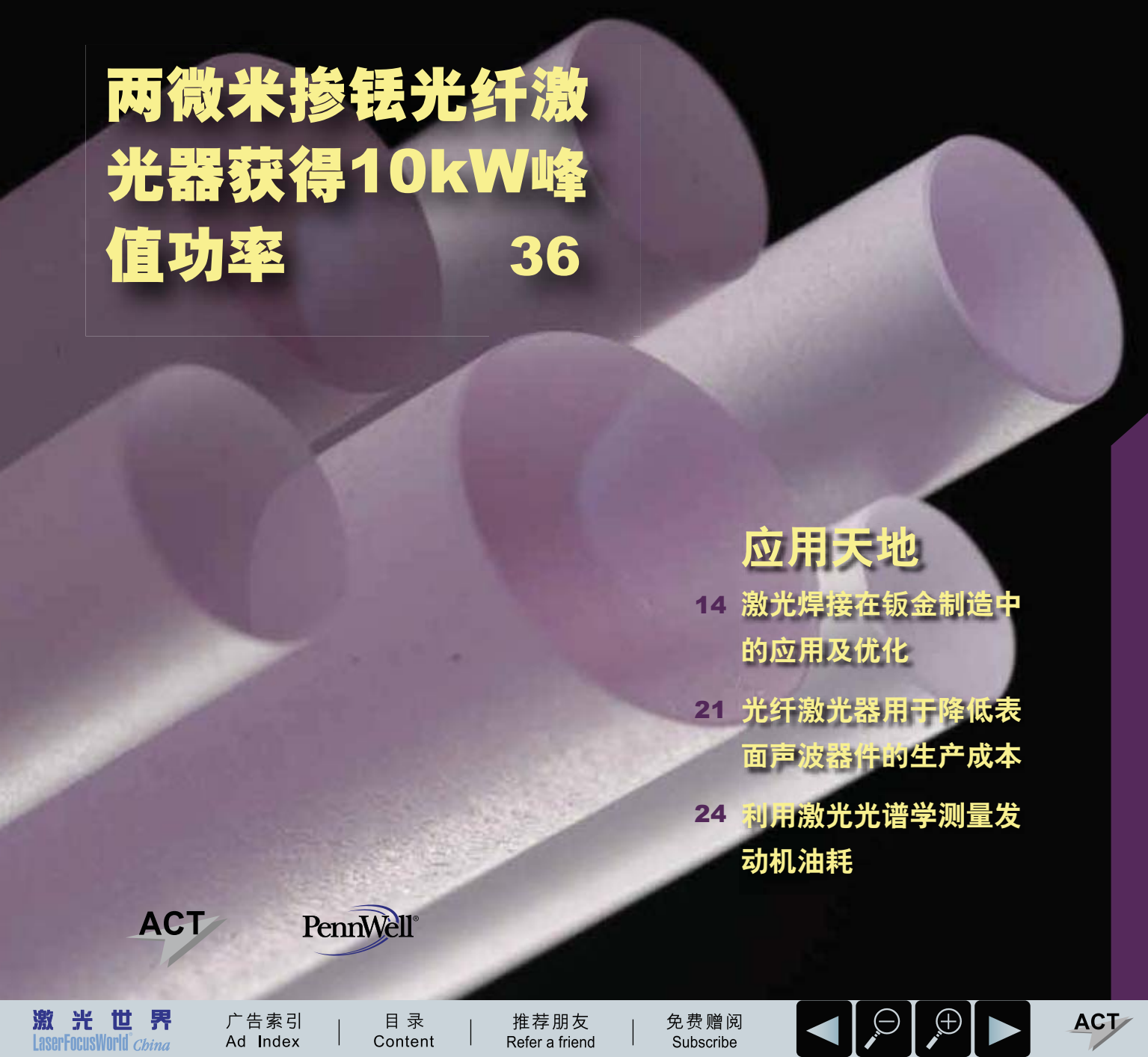
激光世界

LaserFocusWorld® China

www.laserfocusworld.com.cn

2013年3月 第2期

ISSN: 1817-6917



两微米掺铥光纤激光器获得10kW峰值功率 36

应用天地

14 激光焊接在钣金制造中的应用及优化

21 光纤激光器用于降低表面声波器件的生产成本

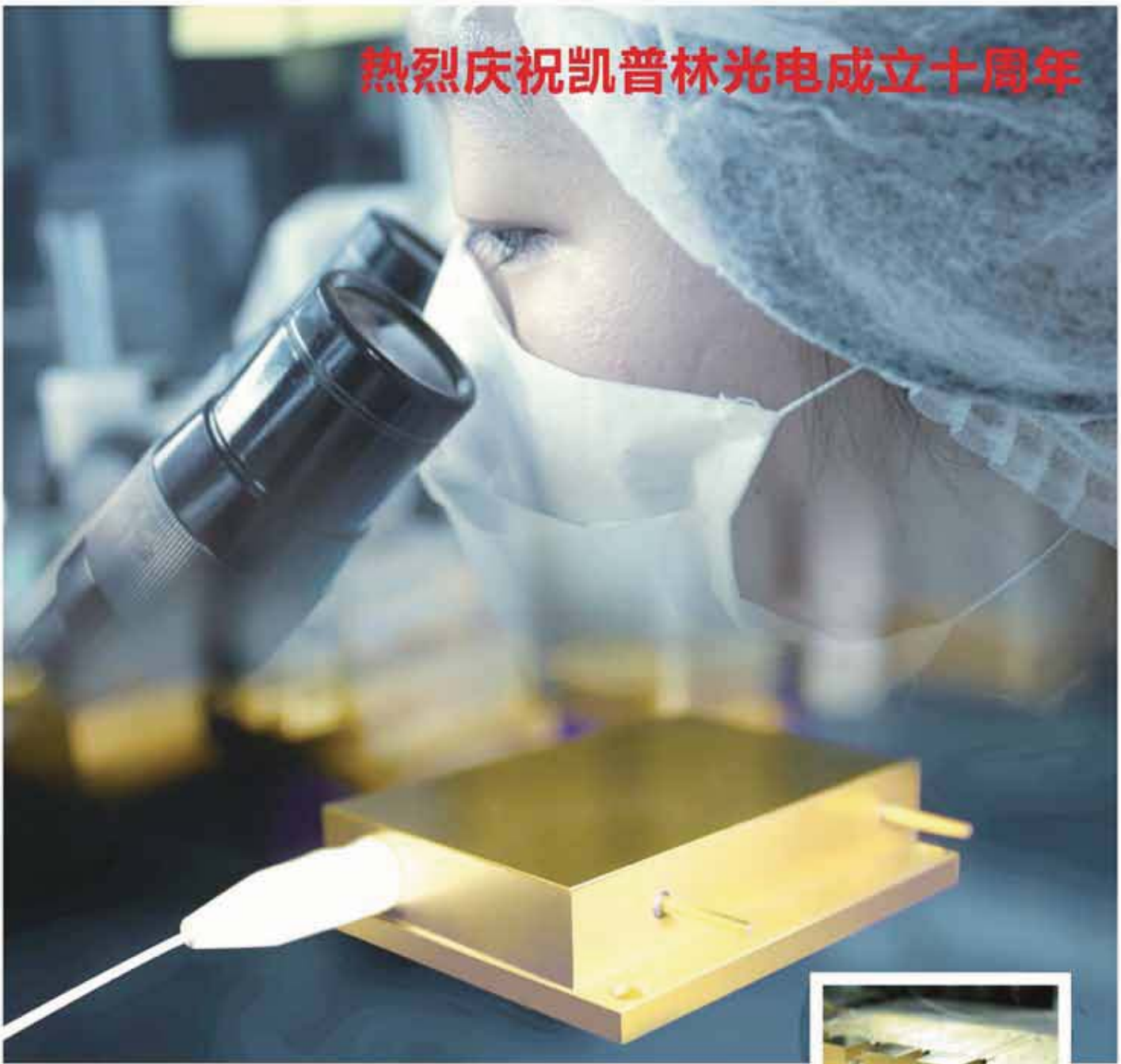
24 利用激光光谱学测量发动机油耗

ACT PennWell

BWT BEIJING

十年成长 十年相伴 十年深情 十年积淀

凯普林光电十周年 2003-2013



我们专注于半导体激光器

We Focus on Diode Lasers

凯普林光电

地址: 北京市丰台科技园航丰路甲4号

http://www.bwt-bj.com

产品与技术咨询:

电话: 010-83681052

邮 箱: sales@bwt-bj.com

ISO9001:2008 certified

慕尼黑上海光博会

LASER World of PHOTONICS CHINA

2013年3月19日-21日 上海新国际博览中心

欢迎光临我们的展位：W2馆2518号

BREAKTHROUGH INNOVATION



eX三菱精炼出的DNA

应对时代的变迁，坚持不懈，日新月异

CIMT2013
2013年4月22日–4月27日

E4-501

二氧化碳二维激光加工机

http://www.meach.cn

XCELLENT 高稳定、高性能、高安全型激光加工机

ASY TO USE 操作简单、初学者也能轻松胜任

COLOGY 最大限度降低运行成本、注重环保与生态

eX Series

三菱电机

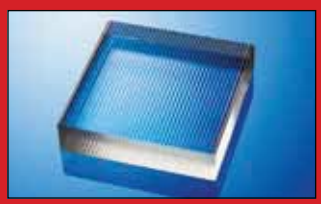
MITSUBISHI ELECTRIC

Changes for the Better

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

我们设计. 我们生产. 我们交付.

我们拥有26,500多种
现货光学产品供您选择！


柱面微透镜阵列

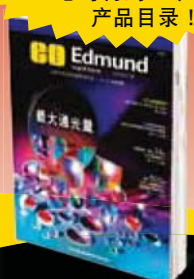

拉曼长波通边缘滤光片


定焦成像镜头


消色差透镜

请在3月19日到21日
到访我们在1号展馆1316号展位
上海新国际展览中心

需要批量价格?
请联系我们的销售部门，
您可得到一本免费
产品目录！



Edmund optics | china
Tel: +86 (0755) 2967 5435
www.edmundoptics.cn

激光世界
LaserFocusWorld China
2013 年 3 月 第 2 期
www.laserfocusworld.com.cn

目录

应用天地

14 激光焊接：激光焊接在钣金制造中的应用及优化
18 超快激光微加工：R-Drill 与 EDM 的对比：更快、更干净、成本更低的微加工解决方案
21 光纤激光器：光纤激光器用于降低表面声波器件的生产成本
24 激光光谱学：利用激光光谱学测量发动机油耗
28 量子级联激光器：量子级联激光器推动红外光谱应用
31 激光焊接：激光在 TFT-LCD 框架焊接中的应用

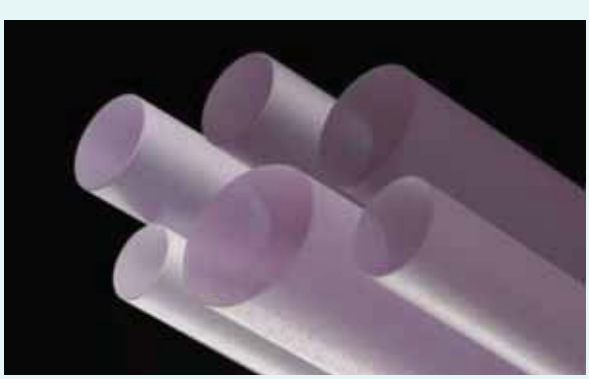
影像揭秘

34 红外成像
红外相机实现 SO_2 等污染物的远距离实时检测

技术中心

35 特种光纤：双纤芯光纤具有纳米机械开关特征
36 光纤激光器：两微米掺铥光纤激光器获得 10 kW 峰值功率

8 新闻简讯
11 展会聚焦
41 新品展示
44 广告索引



关于《激光世界》

《激光世界》(Laser Focus World China) 创刊于 2005 年，双月刊，是美国光电行业权威杂志《Laser Focus World》(LFW) 的中文版，秉承了 LFW 的高质量并为中国读者量身定做。《激光世界》从 LFW 中精选了目前行业中的热点内容进行翻译，同时也接受来自国内的投稿。主要栏目涉及研发简讯、产业新闻、深度技术报道、业界访谈、新品展示等。《激光世界》免费向专业人士赠阅，目前发行量为 8031 份。

请查询本刊专业网站：www.laserfocusworld.com.cn。

新 三轴激光动态聚焦子系统 紧凑机身

紧凑机身 – 卓越表现



AXIALSCAN-12

- 高达30,000毫米/秒的动态聚焦处理速度
- 轻松进行三维空间处理，非平面、倾斜面和弯曲面的扫描处理
- 简易方便地可与光纤激光器以及其它种类激光器进行集成
- 最小的光斑直径和高质量的标刻效果
- 工作范围 100 mm x 100 mm 至 300 mm x 300 mm

RAYLASE AG
Argelsrieder Feld 2–4
82234 Wessling
Germany
电话：+49-(0)8153-8898-0
传真：+49-(0)8153-8898-10
电子邮件：info@raylase.com
www.raylase.com

瑞镭激光技术（深圳）有限公司
深圳市龙岗区横岗镇228工业区
前程路6号5楼
邮编：518115
电话：+86-(0)755-8222 8324
传真：+86-(0)755-8222 8193
电子邮件：info@raylase.cn
www.raylase.cn

RAYLASE
focus on laser

顶尖 PINNACLE
Your Strategic Partner in Photonics
您的光电子战略合作伙伴

JENOPTIK D2.fs飞秒激光器



- 可集成OEM设计
- 脉冲宽度<400fs
- 波长1025nm
- 单脉冲能量>40μJ
- 重复频率30~200KHz
- 应用：高精度微加工（心血管支架的切割等），薄膜烧蚀，微外科手术等。

MenloSystems GmbH 飞秒光纤激光器



- 250MHz/100MHz重复频率
- 可选择重复频率稳定单元，Timing jitter <200 fs [0.1 Hz - 500 kHz]
- 1560nm/780nm/1030nm/515nm可选
- 应用：超快光谱学、瞬态反应、非线性光学、THz激发、频率计量、微细加工等。

A·P·E Pulsecheck自相关仪



- 测量范围为10fs～400ps
- 工作波长为260～2400nm
- 调节简单，可选择光纤输入

·应用：测量超快激光的脉冲宽度。

我司诚邀您参加如下展会，敬请光临：
慕尼黑上海光博会 2013年3月19日-3月21日
(LASER World of PHOTONICS CHINA 2013)
上海新国际博览中心 展位号：W2N2540号

顶尖科仪部分代理厂家（以开头字母排序）

A·P·E · BATOP · optics INC · First Sensor · HAMAMATSU · laserpoint · LEE LASER · LIGHTHOUSE PHOTONICS · MenloSystems · Ocean Optics · SOLAR

顶尖科仪（中国）股份有限公司
Pinnacle Scientific (China) Corporation
+86-571-88225151 | sales@pscl.cn | www.pscl.cn

CONTENTS

激光世界 LaserFocusWorld China
March 2013 Issue 2
www.laserfocusworld.com.cn

Applications

14 **Laser Welding:** Application of laser welding in sheet metal fabrication and optimization

18 **Ultrafast Laser Micromachining:** R-Drill Vs.EDM: faster, cleaner, lower-cost micro-machining solutions

21 **Fiber Lasers:** Fiber laser reduces the production cost of the surface acoustic wave device

24 **Laser Spectroscopy:** Laser spectroscopy measures motor oil consumption

28 **Quantum-Cascade Lasers:** QCLs enable applications in IR spectroscopy

31 **Laser Welding:** Laser welding makes high quality and reliable framework of the TFT-LCD

Inside Imaging

34 **IR Imaging:** Infrared camera detects remotely SO_2 and other pollutants in real-time

Technologies Center

35 **Specialty Fibers:** Dual-core fiber has nanomechanical switching properties

36 **Fiber Lasers:** Two-micron thulium-doped fiber lasers achieve 10 kW peak power

8 News Breaks

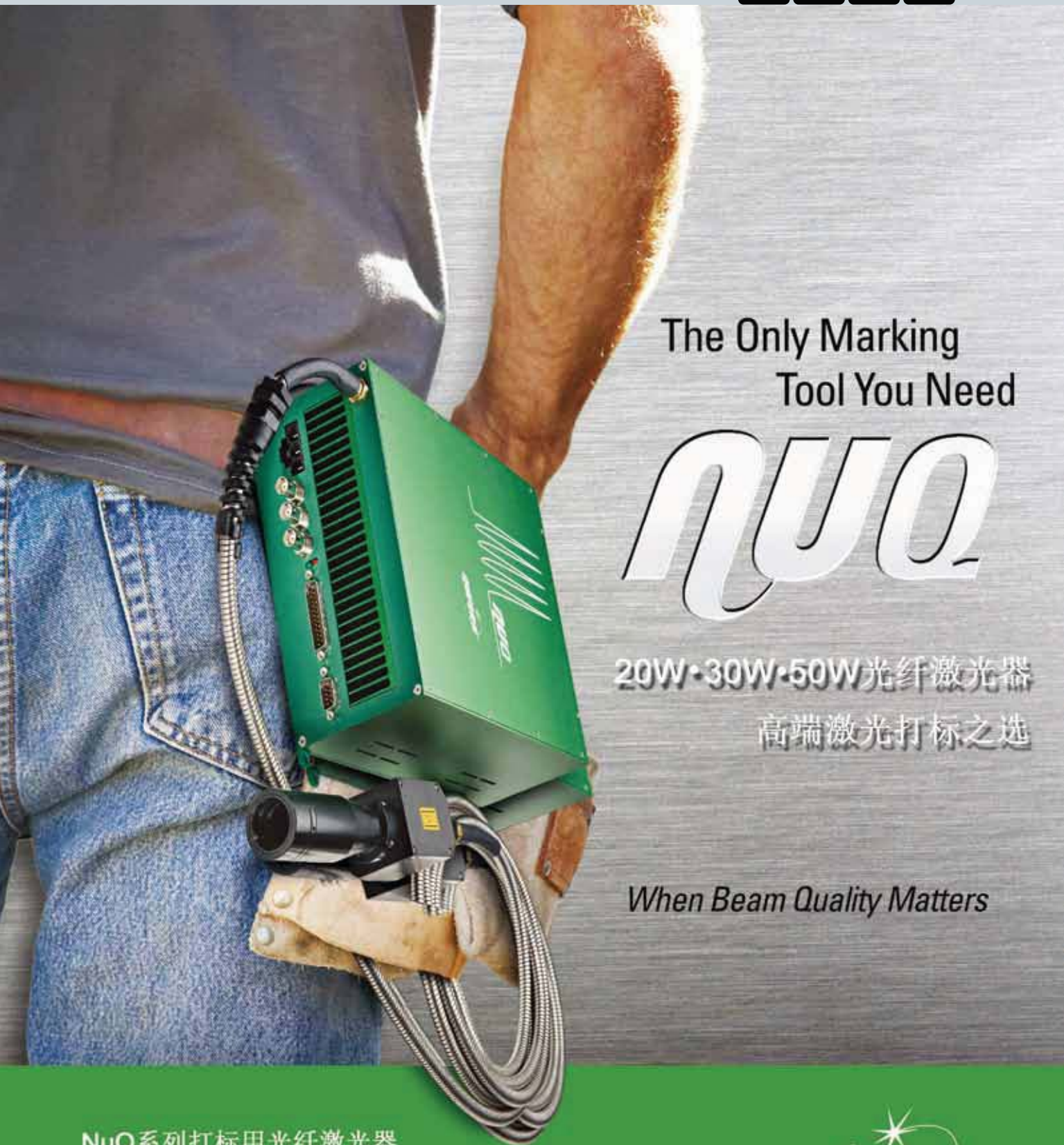
11 Focus on Laser World of Photonics China

41 New Products

44 Ad Index

About Laser Focus World China
Launched in 2005, Laser Focus World China (LFWC) Bimonthly is the Chinese version of the world famous Laser Focus World magazine, which circulating controlled-free to average of 8,031 professionals in the laser and optoelectronic industry. Providing in-depth, timely information on current developments within the global laser and optoelectronic industry for our readers in China, LFWC selects some hot topics from LFW and also covers the R&D and market information from China market. Please visit our relevant website, www.laserfocusworld.com.cn.

Laser Focus World China, ISSN 1817-6917 is published bi-monthly by ACT International, Unit 1011, 10/F., New Kowloon Plaza, 38 Tai Kok Tsui Road, 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.



The Only Marking Tool You Need

NuQ

20W·30W·50W光纤激光器

高端激光打标之选

When Beam Quality Matters

NuQ系列打标用光纤激光器

- 最佳光束品质-更深，更快，更精细
- 紧凑式设计-与现有机械与控制接口完全匹配
- 快速开启与关闭-实现最高的生产效率
- 无重影与漏点-精密与品质的保证

NUFERN

866.466.0214 / www.nufern.com

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

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
© 2013 版权所有 翻印必究

编者的话 Editor's Notes

聚首行业盛会 享激光饕餮盛宴

年一度的慕尼黑上海光博会于每年 3 月份在上海新国际博览中心的如期而至，令激光与光电子行业内的厂商与相关人士激动不已，特别是对于中国的厂商和观众而言，因为这是在自己家门口举办的一场重量级的行业展会，为了他们了解行业发展、交流合作提供了便捷的机会。

从展会主办方处获悉，今年的展会将吸引来自近 30 个国家的 600 家国内外参展商，展馆数量为 3 个，展示面积达 34,500 平方米! 这与该展会最初亮相上海时仅 1 个展馆的情况相比，体现了该展会在几年之内规模的快速增长，同时也从一个侧面反映了中国市场的发展以及中国市场所受到的关注程度与日俱增。

今年的展会将集中展示涵盖激光加工与生产技术、激光器与光电子、光学与光学制造、成像与检测四大板块的全方位产品内容。届时，国内外知名厂商如 TRUMPF、Rofin、IPG、相干、大族、华工、奔腾楚天、金运等都将悉数登场。激光与自动化技术的结合将是此次展会的一大亮点，新松、史陶比尔、ABB、徕斯等自动化行业的领军企业将与激光系统集成商一起，展示各自的激光加工自动化解决方案。这也显示了自动化特别是机器人技术与激光技术甚至是机器视觉技术的结合、打造更加智能的加工方案，将是未来的一个发展趋势。也难怪很多业内人士表示，以前要了解行业最新发展动向要去参加国外的展会，现在只要来慕尼黑上海光博会就可以了。

针对此次展会，本期的“展会聚焦”栏目精选了一些厂商将要参展的产品进行了提前报道。另外本刊还将在此次展会结束后作相关报道，敬请留意。

超快激光技术的发展为金属微加工提供了一种新工具。在越来越多的金属微加工应用中，商业级的飞秒激光器正以出色的经济效益提供所需要的加工精度，Raydiance 公司的 R-Drill 就是为满足用户苛刻的精密孔制造要求而开发的飞秒激光解决方案。与传统的电火花加工（EDM）方式相比，R-Drill 在具备 EDM 所有优点的同时，避免了 EDM 的不足，为用户提供了更快、更干净、成本更低的微加工解决方案。

此外，本期还有掺铥光纤激光器获得 10 kW 峰值功率、激光焊接在钣金制造中的应用及优化、利用激光光谱学测量发动机油耗等更多精彩内容与读者分享。❑

本刊编辑部



高功率半导体激光器专业提供商

西安炬光科技有限公司是由归国留学人员团队、中国科学院西安光学精密机械研究所与国家发改委、财政部委托国投高科技有限公司共同投资的高科技企业，专业从事高功率半导体激光器研发、技术咨询、技术转让、技术服务、生产、销售与应用。公司注册资本3052万元，坐落于西安市高新区新型工业园，拥有2600平方米办公场所与洁净车间。

炬光科技的半导体激光器产品功率高、寿命长、波长全、式样多。可根据客户的不同需求量身定制个性化产品：功率连续输出从单管的数瓦，到Bar条的百瓦，到Bar条叠阵的上千瓦；准连续（QCW）输出功率从几百瓦到数千瓦。波长涵盖635nm、792nm、808nm、880nm、915nm、940nm、976nm、1060nm、1470nm和1550nm。根据客户使用要求可实现光纤耦合、准直输出等。产品的封装有单管式、多单管组合系统、单阵列式（Bar条）、Bar条垂直阵列式、Bar条水平阵列式及多Bar条组合系统等。同时可为客户提供配套电源、温控及保护系统等全方位的解决方案。

炬光科技的产品广泛应用于工业加工、医疗、印刷、科研、照明、激光显示等领域。

欢迎光临我们的展位 #W3-3242
2013上海慕尼黑光博会



● 叠阵系列　● 半导体激光表面处理系统　● 面阵系列

● 单管系列　● 单Bar系列　● 水平阵列系列　● 光纤耦合模块系列

西安炬光科技有限公司
Focuslight Technologies Co., Ltd.
地址：中国·陕西省西安市高新区新型工业园信息大道17号
电话：+86 29 88881149
传真：+86 29 88887075
邮箱：Sales@focuslight.com.cn

ISO 9001:2008 certified

FOCUSLIGHT®
Never stop exploring
www.focuslight.com.cn

新闻简讯 News Breaks

4Q12全球工业激光器市场乐观 美国市场增长

市场研究公司 Longbow Research 发布了其针对工业激光器与光学元件市场的最新报告——《2012 年第四季度全球激光器 / 光学元件调查报告》。该调查（涉及美国、德国、中国、巴西、法国以及墨西哥激光市场领域的销售人员、工程技术人员以及管理人员）的重点是激光器和光学元件，结果显示，2012 年第四季度美国市场需求有所提升，从全球来看，前景依然乐观。

Longbow Research 公司 2012 年第三季度的报告显示，与上年同期相比，市场对工业激光器的需求温和上涨。

调查显示，美国的市场需求自 2012 年第三季度以来明显有所改善，在受访者中，有 74%表示市场将增长（第三季度的比例为 50%）、13%表示持平（第三季度的比例为 32%）、，13%表示下降（第三季度的比例为 18%）。2012 年第四季度比上年同期实现了较高的一位数增长，超出了之前的许多预期。

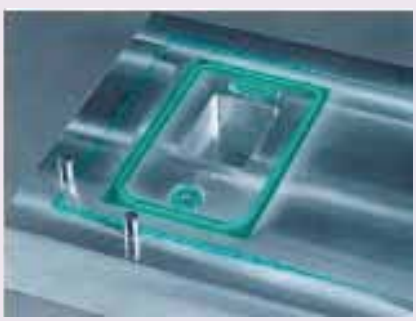
报告表示，中国该季度的表现基本与去年同期持平，欧洲呈现出了中等水平的一位数增长，这主要是由于德国市场需求的疲软所致。新兴市场的表现相当强劲，实现了两位数增长，其中墨西哥市场继续保持强劲，巴西市场情况也在改观。

报告指出。光纤激光器继续获得市场认可，并且继续在市场中攻城拔寨，当然该部分市场的竞争也在加强。

通快开设微加工实验室更好地服务客户

为继续向北美用户提供更好的服务，通快在位于美国法明顿的总部新开设了一个设施齐全的激光微加工应用实验室。

通过该新实验室的开设，通快的 TruMicro 团队能够为用户展示最新的激光微加工技术，解决用户具体的应用需求，并支持集成用户的生产线。



“新实验室和目前最先进的设备，使我们能够提供快速、灵活和更准确的样品加工，为我们在北美的制造商客户提供更好的应用支持。”通快微加工项目经理 Sascha Weiler 表示。

新实验室配备了最新的微加工技术，包括 TruMicro Series 5000 和 TruMicro Series 7000，可运行在红外、绿光和紫外波段，用于激光钻孔、切割、烧蚀等。该实验室还设有一台高分辨率显微镜诊断装置，通快的应用工程师可以就可行性测试、工时研究以及投资适用于用户特定应用的新解决方案，进行相应的分析并提供相关报告。

欧洲物理学会新奖项：激光科学与应用研究奖

欧洲物理学会（EPS）激光科学与应用研究奖，是欧洲物理学会通过其量子电子光学部（QEOD）颁发的一个新的重大奖项。该奖项每两年颁发一次，授予在近期内为激光科学与应用领域做出了卓越工作的个人。



申请该奖项的相关议题包括激光源的开发、功率调节概念、泵浦源的开发、非线性光学、超快光源、材料科学、光谱与表征技术，以及光学、光子学以及其他领域的应用。

因为做出卓越工作而申请该奖项的个人，在获奖前的 5 年期间，必须是进行这些卓越工作的一个重要成员。此外，该奖项所涉及的研究工作，要求其中一个重要的部分是在欧洲进行的，或者是与欧洲的研究人员合作进行的，并且不是单纯的研究或应用研究。

提交申请资料的截止日期为 2013 年 4 月 7 日，获奖结果将在 2013 年 9 月宣布。

II-VI INFRARED ... the world leader in CO_2 laser optics

CO_2 激光镜片



贰陆进出口（苏州）有限公司

(86) 512 6761 9295 (phone) · (86) 512 6767 1207 (fax) · infosz@ii-vi.com.cn · www.ii-vi.com.cn

II-VI

新闻简讯 News Breaks

Amada收购激光加工系统厂商Miyachi

焊接设备与激光加工系统的领先制造商 Miyachi Unitek 宣布，其母公司 Miyachi Corporation 已批准 Amada 的收购竞标。收购竞标期从 2013 年 2 月 13 日持续至 3 月 21 日，之后 Amada 将把 Miyachi 纳入旗下并购买 Miyachi 的全部股票。

此次收购旨在借 Amada 和 Miyachi 的联合力量，提高双方的技术实力和市场份额。联合效应包括结合双方激光技术，开发新技术和产品；将 Miyachi 的焊接技术应用到 Amada 的金属加工应用中；提供结合了多种技术的全面解决方案，拓宽市场、扩大销售额；增加销售额，以达到 Amada 的三年销售计划；利用双方的销售和服务网络及品牌认可度，发展全球业务；通过全球设施和职能整合，降低成本，提高运营效率。

Amada将继续支持Miyachi的单方面计划，并保留Miyachi的独立业务运营和Miyachi品牌。

激光黑化铜表面实现更好的热量吸收

来自英国邓迪大学的一项研究显示，利用纳秒激光可以黑化铜表面，使铜能用于更广泛的领域，包括太阳能吸收、辐射热传导装置以及热光伏系统等。

铜及其合金因为具有无与伦比的导热和导电属性，因此对许多技术应用而言至关重要。纳秒激光可用于改变铜表面的属性，使其黑化，进而吸收更多的热量。

“通过让铜吸收更多热量，意味着我们能利用铜来做更多事情。”邓迪大学功能材料和光子学领域教授 Amin Abdolvand 说，“由于铜表面具有很好的光泽，照射到铜表面的光大部分都被反射出去了。铜的表面经过黑化后，其能吸收的光谱范围更广，使其在应用中更加有效。”

以前人们认为，只有昂贵的超快激光器能够用于金属表面的黑化，现在纳秒激光器也能胜任这项工作了。

华工激光高端精密激光加工设备进入美国市场

自动化控制产品制造提供商美国 Honeywell 公司同华工激光签订了一台精密激光修调设备采购合同。华工激光精密激光修调机正式进入美国市场。

华工激光是国内最早自主研发、制造、销售精密激光修调产品的公司，经过多年的产品研发和项目实施，已形成种类齐全的系列机型，适用于不同产品、不同档次的标准机型，并具备丰富的非标定制能力。

华工激光在 2010 年同霍尼韦尔中国进行首次合作，将一台无人值守的自动化激光修调设备引入霍尼韦尔的传感器生产线，经过几年的运行，现在已是该套产线的核心设备。由于对华工激光产品品质、服务、竞争力高的价格很信任和满意，这次 Honeywell 直接订购了华工激光的产品。

RAYLASE公司拓展德国总部规模

扫描振镜制造商 RAYLASER 近日宣布已经进一步扩展了其位于德国 Wessling 总部的规模，拓展后的新总部包括更多的办公室、更多的生产设施和包含一个展示厅的应用中心。

此次扩展增加了大约 2500 平方米的新空间。新增设的办事室和生产设施，为 RAYLASE 提供了足够的空间来吸纳越来越多的高素质人才。新的应用中心，包括一个被称为“Factory B ”的展示厅，允许 RAYLASE 向客户及合作伙伴现场演示其用于激光光束偏转、调制与控制的元件以及子模块。

此举是 RAYLASE 于 2010 年在深圳建立中国子公司后的又一次规模扩张。

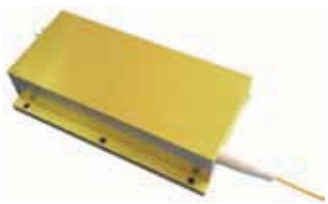
大族激光与北航联合实验室启用

近日，大族激光钣金装备事业部“大族 - 北航激光技术与自动化应用联合实验室”软硬件设备、人力资源、研发计划等相关筹备工作已接近尾声，正逐步投入使用。

联合实验室装备多台 10 千瓦级以上激光器及先进的平面、三维切割、焊接机床，并引进了研发所需的各类型、高精度检测设备，至此，联合实验室已具备了较强的研发及专业检测实力，正逐步依计划开展研发工作。同时，与实验室配套的人力资源方面工作也按计划进行中，北航及专业领域内多位具备高、精、专的技术人才将陆续进入实验室开展相关工作。

北京凯普林光电科技有限公司是一家致力于半导体激光器与光纤耦合封装的高新技术企业。公司集设计、开发、制造、销售于一体，产品线覆盖可见光到近红外波段，功率范围几毫瓦至几百瓦。产品应用于印刷、安防、加工、医疗等领域，常年出口北美、欧盟、东南亚、中东等市场，并在2008年北京奥林匹克运动会大屏幕激光电视、高功率光纤激光器、计算机直接制版等重大项目中得到成功应用。

作为中国最专业的商业化半导体激光器件供应商，凯普林经已经成为国内高功率激光领域的专家和一流品牌。2013年本公司将隆重推出新产品915 nm高功率半导体激光器，具有75 W、120 W输出功率，105/0.22 NA、200/0.22 NA光纤耦合输出，1030~1200 nm波段防反射保护，用于激光抽运源。



展位号：W2. 2518

网址：www.bwt-bj.com

长春新产业光电技术有限公司是依托中科院长春光机所设立的高科技企业，主要从事半导体激光器、固体激光器、激光成套设备、光谱仪器和机器视觉产品的研发、生产和销售，并提供光学镀膜产品的设计和加工。



公司最新推出全固态532 nm 1 W连续风冷绿光单频激光器，该产品采用紧凑的结构设计，在优化选频方法的基础上，实现单纵模的有效选取，通过精密调控激光晶体、倍频晶体及泵浦源的温度以达到有关参数的最佳匹配，实现了稳定的单频绿光输出，输出功率达瓦级。该产品运行可靠，是科研和工业应用的理想选择。

产品主要性能：

波长：532 nm；　　光斑横模：TEM_{00}；

纵模：单纵模；　　稳定性（rms，>4小时）：<1%；

M^2因子：<1.2；　　谱线宽度：<0.00001 nm；

噪声（峰-峰值，1~20 MHz）：<1%；

新产业公司还可提供一系列单频激光器产品，波长覆盖可见光到红外波段，包括457 nm、473 nm、532 nm、561 nm、671 nm、1064 nm、1342 nm等。

展位号：W2. 2734

网址：www.cnilaser.com；www.cnioptics.com

通快集团是当今世界上制造业领域的巨人之一。通快的创新技术涉及钣金机床、激光技术、电子和医疗技术，其在这些领域是行业标准的设立者。

在工业激光器和激光加工系统领域，通快是全世界最大的公司以及市场和技术上的领头羊。通快激光技术部门的产品线涵盖了平面和三维工件的焊接和切割系统、高功率二氧化碳激光器、灯泵浦和半导体泵浦的固体激光器以及激光打标机及系统。通快制造的激光器在工业上的应用包括切割、焊接、打标、注塑和成型等，这些产品广泛应用于汽车、航空、金属薄板制造、消费电子产品、医疗设备制造、光伏电池、铸型和压模等众多工业领域。

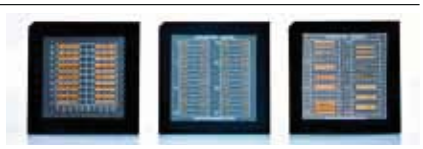
不断开发新技术和高性能的激光器系统和光源、快速将技术转换成为用户的创新能力、高水平和可靠的客户服务，确保了通快在工业激光器和激光系统领域独一无二的地位。

展位号：W3.3102

网址：ww.laserexpertise.trumpf.com

顶尖科仪独家代理的Jenoptik公司的915 nm、940/955 nm和976 nm单管和迷你巴条，为光纤激光器泵浦提供了理想选择，此外还可用于高功率直接半导体激光器系统。

9xx nm系列单管输出功率达12 W，发光截面为90 μm×2 μm，封装在被动冷却热沉上。输出功率为12 W时，其电光效率为64%，最高可达74%。远场分布为26°×6.5°（FWHM，12 W），非常适合耦合到芯径105 μm的光纤中。



9xx nm迷你巴条是单管和巴条在耦合效率与成本上的一种折中产品。迷你巴条有5个发光点，每个发

展会聚焦 Focus on Laser World of Photonics China

光点发光截面是 90 μm × 3 μm，周期是 1000 μm。推荐输出功率为 55 W。迷你巴条封装在被动冷却热沉上，其电光效率为 69%，远场分布与 9xx nm 单管相同。

Jenoptik 公司的所有半导体激光器都在严格的质量控制下生产，满足用户对质量、可靠性和长寿命的严格要求。Jenoptik 在 Photonics West 2013 展会上推出了 9xx nm 80W、填充因子为 20% 的巴条，电光效率达 67%；以及 9xx nm 250 W、填充因子为 50% 的巴条，电光效率达 64%。

展位号：W2.2540

网址：www.psci.cn

大恒光电公司最新推出 Virgo 系列半导体泵浦固体激光器。该激光产品采用独特的激光腔体封装和固定技术，并在千级超净间内安装、调试和密封，充分保证了产品的一致性和可靠性。该系列产品具有波长 1064 nm、532 nm 和 355 nm 的三款产品，每款产品的最大输出功率分别为 25 W（1064 nm）、12 W（532 nm）和 7 W（355 nm）。产品提供基模光束质量、短脉宽（典型值 35 ns）、高峰值功率、高重复频率（典型值 50 kHz）。大恒光电的激光控制系统具有设计简洁且人机交互良好的客户操作界面，安装调试非常方便，并能根据客户需求提供不同重复频率和不同输出功率。



该系列产品可广泛应用于激光打标、3D 打印、特种精密切割、打孔、划线等领域，并能在严苛的工业加工与制造环境下完成各种高端超精细微加工，是工业加工的良好工具。

展位号：W1.1430

网址：www.cdhcorp.com

Fianium 是世界领先的超快光纤激光器制造商，总部位于英国，并在美国和亚洲设有销售、技术支持和应用中心。公司产品包括高能量皮秒、飞秒光纤激光器和大功率超连续光谱光源。应用于生物医疗、荧光显微成像、微纳米组件构建、微加工等科研领域及工业生产装备系统。



Fianium 高功率超连续白光系统是通过皮秒级高功率光纤激光所产生的宽带超连续光谱光源。波长由 240~390 nm；输出功率 100 mW~10 W；重复频率 100 kHz~100 MHz；功率密度达 4 mw/nm；能量密度 1 nJ/nm；具有高功率稳定性和高光斑质量。WL-SCXXX 系列光源系统可配波长可调组件（由可见光至红外范围），包括声光可调滤波器 AOTF 系列及光栅可调滤波器 Superchrome 系列，用户可选择自由空间或光纤输出模式。

Fianium 高能量皮秒级光纤激光器提供高能量超快激光，专为工业应用设计。最大脉冲能量 20 μJ；脉宽 10~100 ps；重复频率由单脉冲到 1 MHz；中心波长为 1064 nm 或 532 nm；具有高稳定性和高光束质量，可以实现严格的加工要求。

展位号：W1.1721

网址：www.fianium.com

顶尖科仪独家代理的以色列 Duma Optronics 公司的 Beam Analyzer Touch 触摸屏式光斑分析仪，可用于检测 350~2700 nm 激光的光斑能量分布和光斑直径。采用 7 刀口分析方式，分辨率更高。

为适应不同激光功率的测量，Duma 还推出强光保偏衰减器，衰减比例高达 1:0.0016，且保持偏振态和光斑能量分布不变。配上该衰减器以后，Beam Analyzer Touch 可测量千瓦级激光器。

通常，激光器的状态稳定性不光体现在光斑能量分布上，有时还体现在指向稳定性上，强大的软件功能使 Beam Analyzer Touch 不但能检测能量分布，也能检测光斑位置的漂移情况。该功能可用于检测激光器的指向漂移和传输光路的稳定性。

目前，Duma 的光斑分析系列产品已经应用于激光切割、焊接、精细加工及医疗等领域。强大的软件功能使其既能测量光斑形状，监控位置，还能监测功率，更适合高端集成 OEM 需要。



展位号：W2.2540

网址：www.psci.cn

Take Another Look

最佳性价比的解决方案—来自Newport

厚度可选203 mm, 305mm 和最新 152 mm – 基础光电实验的最佳选择

尺寸 从900mm x 1800mm直到 1500mm x 3000mm 包括 最新尺寸 2100mm及2700mm



承载支撑可选2Hz优异性能气浮隔振腿，或非气浮刚性腿支撑

可选配件包括滚轮，集成的仪器平台架(可选是否带有电源插座)及超静音空气压缩机等

三种阻尼减振性能级别，包括最新的混合调谐阻尼块技术，满足各种性能和经费要求

Integrity VCS™振动控制系统

Newport 新推出的Integrity VCS 振动控制系统专为基础光电研究与开发的需要设计，结构稳固、经济实用且性能优越。每套系统都由两部分组成：承载支撑腿和高品质不锈钢光学平台（蜂窝式垂直键合内芯及专利设计独立密封螺孔确保卓越的稳定性、安全性及平台清洁）。

无论您的应用是教学、光纤通信、基础光谱学、显微分析、基础成像或是全息术，Newport 最佳性价比的Integrity VCS一定是您最实惠、最值得信赖的解决方案。

请登陆www newport com 搜索"Integrity VCS—5"，或 联系**(0510) 8113 5000**
china@newport.com 询问详情。

登陆 优酷搜索"Integrity VCS" 观看 产品演示视频

Newport
Experience | Solutions

©2013 Newport Corporation

Newport Family of Brands – ILX Lightwave® • New Focus™ • Ophir® • Oriel® Instruments • Richardson Gratings™ • Spectra-Physics® • Spiricon®

应用天地 Applications

激光焊接

激光焊接在钣金制造中的应用及优化

王锦军，通快（中国）有限公司

激光焊接是利用极高能量密度的激光束熔合材料，具有焊接速度快、强度高、焊缝窄、热影响区小、工件变形量小、后续处理工作量少以及灵活性高等优点。激光焊接不仅能焊接常见的碳钢和不锈钢，还能焊接传统焊接方法难以焊接的材料，如结构钢、铝、铜等金属，并且能够焊接各种形式的焊缝，如图 1。

现代钣金制造对焊接强度和外观效果等质量的要求越来越高，尤其是高附加值的且对焊接质量要求极高的部件，这些严苛的焊接要求可以通过无需后续加工或者极少后续加工的焊接方式得以满足。传统的焊接手段，由于极大的热量输入，不可避免地会带来工件扭曲变形等问题。为了解决工件变形问题，需要大量的后续加工手段，从而导致费用上升。相比之下，激光焊接具有最小的热输入量，因此热影响区极小，其在显著提高焊接质量的同时，还减少了后续处理所需要的时间。此外，由于激光焊接速度快、焊接深宽比大，进而能够极大地提升焊接效率和稳定性。激光焊接凭借着上述诸多优势，已经在钣金制造中获得了越来越普遍的应用，如图 2。

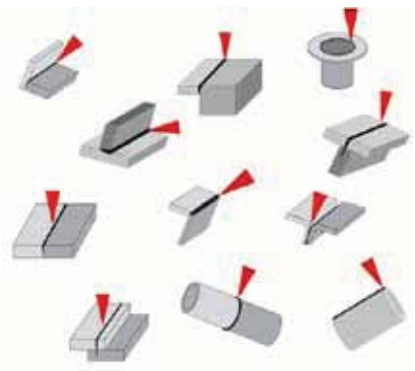


图1：适于激光焊接的焊缝类型。

激光焊接：合二为一的工具

在现代钣金制造中，不同产品对焊接强度和外观效果等质量的要求不尽相同。比如电梯、厨具、食品设备等外观件，需要非常美观、光滑、无变形的焊接效果；而一些内部结构件或者是后续需要喷涂的零件，则对焊接强度和焊接速度有较高的要求。这些不同的要求，恰恰能够令激光焊接体现出自身的优势：激光焊接既可以实现焊缝美观的热传导焊接，也可以实现高焊接强度、高焊接速度的深熔焊接，如图 3。

热传导焊接需要较低的激光能量密度和较低的焊接速度，其能够实现非常美观的焊接表面效果。相比之下，深熔焊接则需要较高的激光能量密度，其能够实现很高的焊接强度和较高的焊接速度。

作为全球最大的激光器制造商，通快公司为用户提供可以实现深熔焊和热导焊的激光焊接头。通过调整激光功率密度，该焊接头可以在热导焊和深熔焊之间自动切换，以便达到理想的外观效果和焊接强度。该焊接头不仅可以实现无焊丝的激光焊接，从而发挥激光高速焊接的优势；而且还能很好地使用冷送丝焊接功能，适用于在接头缝隙过大、或者对于焊接区域金相结构有特殊要求的情况。通快公司的焊接头和碟片激光器可以轻松地集成到国内的机器人激光焊接系统中，满足大多数中国钣金制造用户对于激光设备的高质量、低成本要求。

现代钣金生产流程

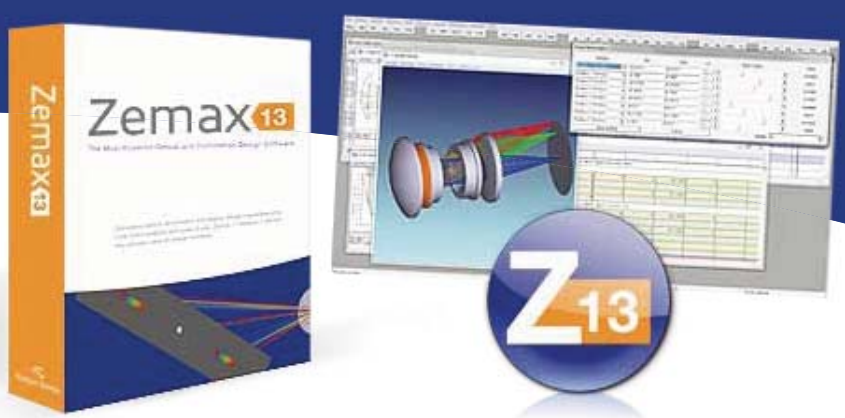
由于激光焊接时热量输入极低，



图2：激光焊接在钣金制造中的一些应用实例。

Zemax 13

The Most Powerful Optical and Illumination Design Software



Try it Today

RadiantZemax.com/Demo13

Zemax 13在全球是光学和照明设计行业标准的典范。现在升级到Zemax 13可以给您带来最快速、最准确的设计软件使用体验。

本地的技术支持和服务

您购买的Zemax 13包括了在中国的技术支持与服务。您的设计工作无需孤军奋战，Zemax的额外资源将会给您带来很大的帮助。

突破性新功能

包括道路照明设计、LightningTrace™以及其它更快捷、更准确的系统设计功能。

广泛的资源

您可以使用Zemax自带的材料库、光源库、样例文件等各种资源来帮助您缩短创新应用的时间。

同CAD软件的无缝整合

工作中可以同CAD软件的零件和装配文件无缝整合在一起。

Radiant Zemax
SEE THE DIFFERENCE

瑞淀曦脉贸易（上海）有限公司
上海市长宁区中山西路1065号SOHO中山广场B301室
Zemax销售热线：021-6271 3200
Zemax技术热线：021-6271 3255
Zemax中文邮箱：zemaxchina@radiantzemax.com

应用天地 Applications

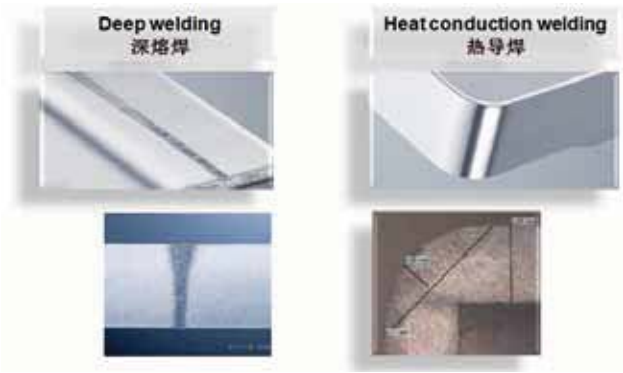


图3：激光焊接可实现深熔焊和热导焊。



图4：现代钣金生产流程。

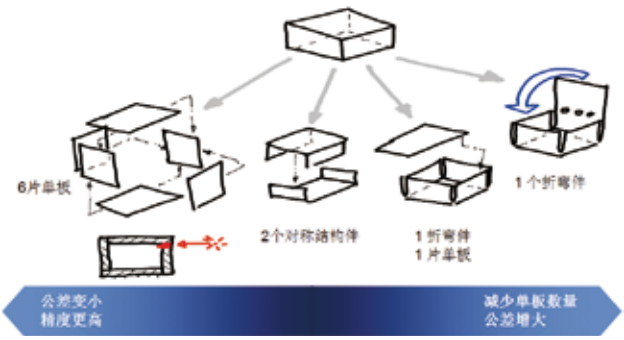


图5：激光焊接钣金工件的设计思路。

焊接后的变形量很小，且能够实现非常美观的焊接表面效果，因此激光焊接的后续处理很少，能够大大削减或者取消庞大的抛光与整平工序所需要的劳动力。这在劳动力成本不断上升的今天，尤其具有现实意义。激光焊接是在密闭的安全防护罩内进行的，并配有自动抽尘装置，其在保证员工的健康与安全的同时，还能保持厂房内干净整洁的工作环境。

典型的现代钣金生产工序流程如图 4 所示。通快公司可提供现代钣金生产工序所需要的设计、激光切割、冲压、折弯、激光焊接、激光标刻、自动化料库等整套解决方案，并通过生产管理软件统一管理各个设备，最大程度地提高生产的自动化程度。

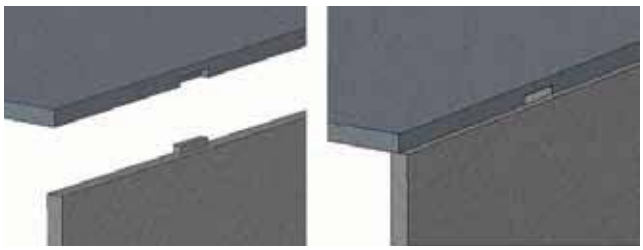


图6：适合激光焊接的角部焊缝设计。



图7：通快位于江苏太仓工厂的激光加工工艺中心的激光焊接系统样机，配有6.6 kW TruDisk碟片激光器。

优化钣金生产流程：采用适合激光焊接的友好设计

相对于传统焊接方式，激光焊接的优势非常明显；但同时激光焊接对于工件的前道加工精度及工装夹具的要求也相对较高。要最大程度地发挥激光焊接的优势，降低生产成本并提高生产效率，需要优化产品的设计、激光切割、冲压、折弯和激光焊接等整个钣金生产工艺。

在实际生产中不难发现，使用激光焊接技术的钣金产品的主要成本，不是由激光焊接工序决定的。实际生产经验证明，钣金产品 70% 的成本是由产品设计决定的。因此，要降低生产成本、提高焊接效率，首先需要从产品设计入手。在初期的产品设计中，需要考虑激光焊接对工件的要求，比如减少生产中的折弯工序、尽量采用激光切割板材、采用自定位设计等等（如图 5），这样需要的激光焊接程序和夹具更为简单，从而达到降低成本、提高效率的目标。

在进行激光焊接前，使用通快冲床的 EasyJoin 技术，可以在板材结合处冲出定位孔 / 齿，如图 6。这样装夹时在定位孔 / 齿的辅助下，焊接夹具可以变得更为简单，而且激光焊接后不留痕迹，实现高质量焊缝。

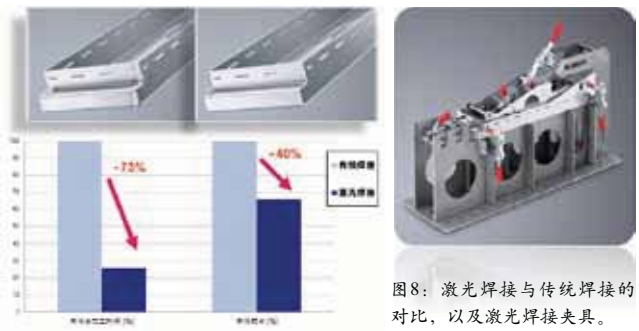


图8：激光焊接与传统焊接的对比，以及激光焊接夹具。

针对如何设计钣金产品才能满足激光焊接的要求、获得最佳焊接效果并降低成本，通快公司提供全面的技术咨询与培训服务。此外，通快还在其位于江苏太仓的工厂内设立了专门的激光加工工艺中心，能够在项目初期为国内用户提供产品的激光焊接可行性测试。图 7 为通快激光加工工艺中心的激光焊接系统样机，其配有 6.6 kW TruDisk 碟片激光器。

激光焊接钣金产品的优化分析

图 8 展示的是一家公司的实际应用案例。该公司每年需要生产 1000 件图中所示的铝合金产品。采用传统焊接方式加工后，需要大量的抛光工序。抛光每个产品的成本约为 5 欧元。

采用激光焊接技术后，增加的激光设备运行成本和夹具约 3500 欧元，但是却节省了高额的抛光成本；每件产品的总加工时间降低了 73%，单件产品的成本降低了 40%。

考虑到激光焊接夹具的投入和前期的准备时间（如编程、焊接工艺调试）是一次性的，因此对于需要大批量生产的产品而言，激光焊接方式更加经济。

总结

激光焊接应用于钣金生产中已有多年，随着近年控制技术和激光技术的不断进步，激光焊接的使用也越来越简单。如何发挥激光焊接在钣金生产中的优势，需要具有掌控全局的眼光，优化整个产品制造流程。采用适合激光焊接的友好设计，将是获得美观焊接表面效果、提高生产效率、降低生产成本的关键。❑

光纤激光打孔技术在涡轮发动机制造工艺中的应用

在 Prima Power Laserdyne 公司近期举行的技术交流开放日活动中，该公司技术总监 Peter Thompson 先生作了有关光纤激光器打孔技术的报告，并在 6 轴 LASERDYE 795 设备上展示了其应用，该设备中配备的激光器为 IPG 公司功率 15 kW 的光纤激光器。报告总结了目前常用的 Nd:YAG 激光器和低功率光纤激光器打孔技术，以及使用这两种激光器进行高温合金各种孔径范围的孔加工能力、质量和产量。最新的 LASERDYNE 系统配备高功率光纤激光器可提供更高的功率、更高的光束质量以及更优异的聚焦能力，可高速加工垂直于工件表面及低至20° 倾斜角的冷却孔。

该报告展示了使用样机进行打孔加工后各种孔的照片，包括孔的切面图，用以展示冶金特性。照片显示了使用高功率光纤激光器加工后的孔具有优良的一致性、精度和孔质量，并显示了孔加工的效率。样机实现了以下加工：(1)环切孔，加工速度从 0.5 秒每孔（工件无涂层，45° 倾斜角）到 5 秒每孔（工件有涂层，20° 倾斜角）；(2)飞行打孔，加工速度每秒 2 孔至 10 孔；使用 Laserdyne 公司独有的 CylPerf 软件功能和穿孔加工技术，0.08 秒每孔（单脉冲）至 0.25 秒每孔（多脉冲）。

对涡轮发动机制造商来讲，这些工艺非常重要。现代涡轮发动机的热段部件需要上百万的冷却孔，这些冷却孔对发动机提高工作效率、减少燃料消耗以及降低排放方面有着至关重要的影响。

“激光打孔是提高发动机性能的一项重要技术，”Prima Power Laserdyne 公司副总裁 Mark Barry 先生强调说，“使用光纤激光器钻孔技术比传统的 Nd:YAG 钻孔技术具有更多的优点和改进。通过研发部门和应用工程师持续 30 多年的努力，我们公司在激光应用方面已经积累了丰富的知识，并努力将这些知识应用于 LASERDYNE 系统，使世界范围内的客户和其他潜在客户受益”。❑

应用天地 Applications

超快激光微加工

R-Drill 与 EDM 的对比：更快、更干净、成本更低的微加工解决方案

微加工已经成为医疗、工业和消费品行业向市场推出新产品的一个关键因素。要实现下一代的燃料喷射器、冠状动脉支架和显示器玻璃的设计，需要超出使用传统电火花加工（EDM）生产设备所能实现的加工极限的精确度。

Raydiance公司

Raydiance 公司已经开发出了世界上第一台工业级飞秒激光器，并开发了专门设计用于加工硬质金属的系统——R-Drill。R-Drill 使用超快飞秒（千万亿分之一秒）激光脉冲，能够在没有物理接触并且不产生热量的情况下，精确地去除材料。无热加工意味着能够通过单个步骤制造零件：不存在热量产生的损伤，并且不需要后续处理就能完成零件的加工。R-Drill 解决方案正在取代传统的电火花加工（EDM），以及其他诸多行业中使用的其他激光微加工系统。R-Drill 系统可以通过设置，钻出精确的几何形状，并具有精密的公差和优异的表面质量，实现快速生产、消除返工，使得很多新设计能够在生产中得以实现，极大地提高了精密制造的成本效益。

2010 年，市场研究公司 Dedalus Consulting 对全球 EDM 市场进行了调查，并总结了 EDM 加工的优点和不足。相比于 EDM 加工，Raydiance 公司的解决方案既具备 EDM 的所有优点，同时又避免了 EDM 的不足。

表1：EDM加工的优点与不足。

EDM优点	EDM不足
能够加工更传统的切削工具难以加工出来的复杂形状。	无法加工绝缘材料。
能以极其严格的公差加工非常坚硬的材料。	材料去除速率缓慢。
能加工非常小的工件，而传统的切削工具加工可能由于过高的刀具压力而损坏工件。	生产模具电火花成形的电极需要额外的时间和成本。
能轻松切割像细缝一样的非常精细的形状。	由于电极损耗，难以重复一致地生产工件上的形状角。
除极其坚硬的材料和粘性材料外，还可以加工淬火金属。	
使用单根线就可以切割任意形状，包括曲线和复杂形状，无需更换工具。	
当机器根据数控程序运行时，能够实现自动运行。	
尤其适合在硬质合金工件上钻小孔，并且性能优于传统的钻孔技术。也适用于具有导电性的特殊材料。	

EDM

EDM 利用电极放电来去除材料，与被它所取代的技术——机械钻孔或冲孔技术相比，EDM 能够有效地加工硬质金属，并且能实现更严格的公差和更小的几何尺寸。不过 EDM 也有其自身的不足之处。由于 EDM 通过热来去除材料，所以有显著的重铸发生，因此需要大量的后续处理工艺，才能最终满足制造商的零件质量指标。此外，由于 EDM 电极会随着使用时间而磨损，所获得的轮廓可能不平整，并且必须定期更换电极。电极磨损加上重铸，还需要不断地冲洗工作区域来去除堆积的碎屑，这些是 EDM 的明显不足。 EDM 也被认为是一种慢加工，零件制造商一直在寻找其他方式来快速生产更高质量的零件。

飞秒微加工

在越来越多的微加工应用中，商

Applications 应用天地

业级飞秒激光器正以出色的经济效益提供所需要的精度。聚焦到工件上的每个飞秒激光脉冲蒸发少量的材料，而不影响周围的材料。飞秒激光加工不会有熔化、毛刺或热影响区产生，其能精确地去除材料，从而获得更高质量的成品。

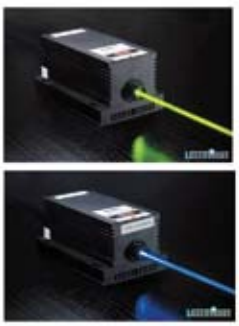
理解飞秒激光是如何做到这一点的，要从传统的连续波（CW）激光如何通过熔融加工材料的基本解释开始。简单地说，激光是一种高强度、高度方向性的电磁（EM）波，波长通常在紫外、可见或红外波段。当激光束轰击金属表面时，强烈的电磁波引起金属中的电子加速，并与其他电子和金属离子（带正电荷的原子）碰撞。所有碰撞的直接结果是金属的快速加热，直到光束照射的区域熔化。所产生的大量热量扩散到附近区域，并对周边区域造成损伤。

与 CW 激光加工相比，当使用高能量脉冲激光时，更强的电磁波以一连串的短脉冲轰击材料。每个脉冲过程中的电磁波强度非常之高，使电子不仅被加速，还有很多实际上从光束照射的金属区域喷出，并使电离的材料形成高压等离子体。通过微爆炸释放压力，并且从该电离的区域产生材料碎片喷溅。在这种情况下，虽然材料是通过光致电离去除的，但较长的脉冲激光（包括纳秒和皮秒脉冲激光）仍然会在每个脉冲光的上升沿产生大量的电子碰撞和热扩散，导致被加工零件上出现显著的热影响区。

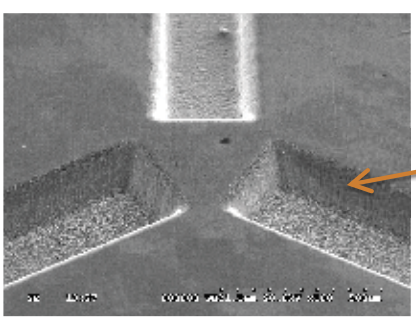
金属加工

飞秒脉冲激光加工金属与以往的激光加工形成鲜明的对比。它能够有效地电离和去除材料，并且几乎没有热扩散和热影响区。关键是沉积每个脉冲内的所有激光能量比材料对热扩散的响应更快。热扩散是通过电子及离子与它们最近的粒子之间的连续能量交换发生的。每次交换都需要一定的时间，在可观察到的距离内发生扩散就需要许多倍的这些时间。

飞秒激光烧蚀工艺的结果是在高度界定的范围内去除材料——只有激光束所聚焦的区域，而余下的材料保持初始状态，即使材料离光束聚焦点只有 1 μm。图 1 给出了该结果的一个示例。左图是利用 Raydiance 公司的飞秒激光解决方案，在不锈钢表面铣削而成的三个凹槽的扫描电子显微镜（SEM）图像。右图所示是其中一个凹槽侧壁

北京镭志威 LASERWAVE
www.laser-wave.com
德国品质，中国制造
专业固体及半导体激光器生产厂家
■ 低噪声系列激光器:375/395/415/420/445/460/488/515/520/525nm

★ 民族品牌，打破国外垄断
★ 噪声低<0.5%
★ 稳定性<1%
★ 内置Lasorb模块，100%静电防护
★ 品质保证，3年无故障运行
■ 单纵模系列激光器:532/635/642/658/670/690/705/730/780/830/850nm

★ 波长全
★ 性能稳定，模式好
★ 内置Lasorb模块，100%静电防护
★ 品质保证，3年无故障运行
北京镭志威光电技术有限公司
北京市朝阳区酒仙桥东路1号
电话:010-84574732/49
邮箱:marketing@laser-wave.com
网址:www.laser-wave.com
扫描了解更多信息



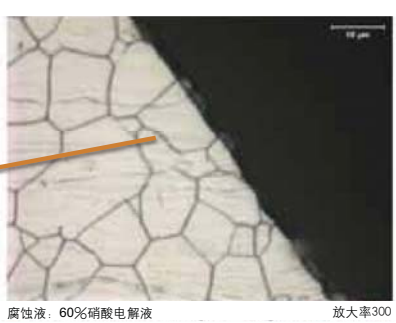


图1：利用R-Drill系统在不锈钢中铣削而成的精密表面凹槽的SEM图（左图），以及凹槽侧壁的钢铁颗粒分析（右图）。从图中可以看出，该加工没有产生热影响区。

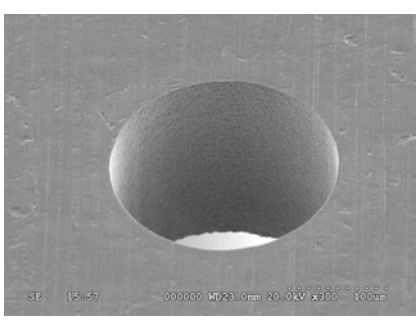


图2：基于飞秒激光的R-Drill在1s内加工好的典型孔（直径200 μm，厚度250 μm）。

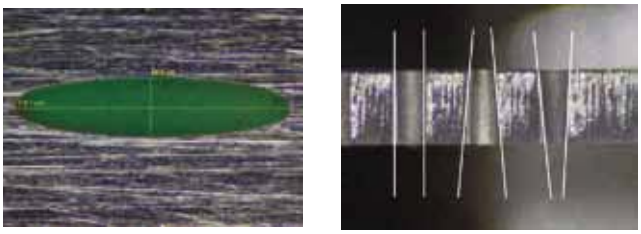


图3：基于飞秒激光的R-Drill钻出的椭圆孔（左）和锥孔（右），表明该技术具备极强的几何灵活性。

表2：Raydiance公司R-Drill系统与EDM钻孔技术的比较。

微钻孔能力	EDM	Raydiance
速度	10 秒	1 秒
材料	导电材料	任何材料
表面质量		Ra , 0.2 μm
可加工锥度	不可以	可以
直径变化量	3%	1.5%
后处理工艺	AFM	不需要
耗材	电极，冲洗用化学药品	不需要

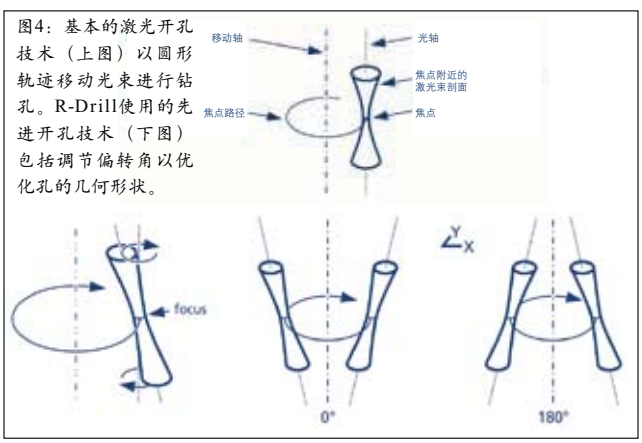


图4：基本的激光开孔技术（上图）以圆形轨迹移动光束进行钻孔。R-Drill使用的先进开孔技术（下图）包括调节偏转角以优化孔的几何形状。

截面的放大至更高倍率的 SEM 图像。图像中暗的部分是材料已被飞秒激光烧蚀去除的区域，而亮的部分是残留的金属，已经过化学处理以暴露金属的颗粒结构。从图中可以看出，从烧蚀发生的边缘处往外，所有的颗粒结构都没有改变。因此，飞秒激光加工没有牺牲材料的完整性，并且无需进行后续处理来消除热影响区。

钻孔

最先进的 EDM 可以钻出直径小至 80 μm、纵横比高达 10:1 的孔。通过控制 EDM 电极的形状，和 / 或当电极放电对材料钻孔时，根据规定的路径操纵电极，就可以精细调节孔的几何形状。EDM 加工留下的一些不规则毛刺、粗糙的表面和重铸，可以在后续处理工艺步骤中通过磨粒流加工（AFM）去除。AFM 也能用于稍微扩开钻孔，以更好地匹配喷射器的燃料流指标。

飞秒激光系统能以全速钻出更高质量的小型精密孔洞。每个飞秒激光脉冲去除一个明确界定的材料量，不留下任何缺陷。由于激光源每秒可以提供高达一百万个脉冲，因而可以实现非常快的钻孔加工。质量和速度的结合使得 Raydiance 公司的飞秒激光钻孔能力超出了 EDM 技术的能力。

飞秒激光钻孔可用于制造雾化和喷雾系统中的精密钻孔，如燃料喷射器、涡轮叶片、喷丝头和药物输送装置。孔的直径范围通常在 100 μm 到几百微米之间。金属的厚度没有下限，而机械加工是有下限的，板的厚度可以达到 1 mm。孔的纵横比通常小于 10:1，当使用激光时这是一个约束：对于给定的孔开口直径，激光束聚焦的物理特性限制了加工深度。

图 2 给出了用 Raydiance 公司的飞秒激光系统加工的典型孔的 SEM 图像（放大倍数 300）。孔的直径为 200 μm，316L 不锈钢的厚度为 250 μm。该孔具有零锥度，并具有平均粗糙度 Ra<0.1 μm 的表面质量。该孔的总激光加工时间为 1 s。图中给出的是孔钻好后的样子。该零件没有以任何方式做过后续处理。

飞秒激光解决方案还为钻孔的几何形状增加了新的灵活性。图 3 所示的是一个椭圆形轮廓的通孔的显微镜图像（左图）和三个并排的圆柱通孔（右图），分别具有零锥度、正锥度和负锥度。所有的孔都钻在厚度为 250 μm 的不锈钢（440）上。椭圆形孔为俯视图，以显示约 5:1 的纵横比（156 μm × 33.5 μm 的共轭半径）。并排的圆形通孔给出的是将样品剖开后的侧视图，以显示孔的圆柱锥度。从左至右，锥角分别为 0°、+6° 和 -6°。

R-Drill解决方案

Raydiance 公司的 R-Drill 是为满足用户最苛刻的精密孔制造要求而开发的飞秒激光解决方案。R-Drill 将 Raydiance 公司的飞秒激光器、激光束传输硬件和钻孔加工协议集成到单个封装中。R-Drill 可以选择包含完全制造工作间的其他功能，如零件定位自动化、机器视觉系统、加工气体处理，以及其他系统集成组件。R-Drill 解决方案可以根据应用需求定制。

下转第32页

光纤激光器

光纤激光器用于降低表面声波器件的生产成本

激光器在高性能表面声波器件的生产中发挥着重要作用。本文将回顾高性能表面声波器件的生产工艺，介绍在这些工艺中采用激光器的优点。同时还将进一步介绍新型光纤激光器相比于传统的固体激光器，在这些工艺中的生产效率和投资成本优势。

Ajay Patel，Brian Lincoln，Drew Stone；Nufern（Rofin集团成员企业）

表面声波（SAW）器件和模块已经被广泛用于制造国防及航空领域的精密器件，如调制器、传感器和过滤器等。军工产品的严格要求对很多生产流程的关键环节都是全新的挑战。其中，相位校正掩模板的制造是众多 SAW 元件生产过程中关键的一步。过去，该制造过程利用固态激光器切割薄膜荫罩。激光可以切割任意形状的掩模并提供干净的切割边缘。最近，光纤激光器凭借着更高的生产率、更好的切割质量以及降低整体工艺成本等诸多优势，已经成为该切割过程首选的激光系统。



图1：高性能SAW器件提供了关键的射频信号处理功能。

SAW器件的背景及制造工艺概述

Phonon 公司是位于美国 Simsbury 的一家 SAW 器件制造商，公司的产品主要服务于国防与航空领域。公司致力于为用户提供各种滤波器、延迟线、振荡器和高水平模块，用于实现高性能 RF 信号处理。SAW 技术使用线性带通滤波器或延迟线，可以产生随机振幅和相位的合成，直至线宽和基板尺寸能容许的极限。许多定制的器件积小、坚固耐用、性能稳定，能批量生产，生产成本低。延迟线是增加了换能器之间路径长度的带通滤波器，以获得想要的插入延迟。

常见的器件（如色散滤波器和延迟线）中均包含线性滤波器。这些滤波器的群延迟在通带之间的有限时段变化。这种器件的脉冲响应是一个调频（FM）脉冲，其瞬时频率随其通带时间而变化。由于其振幅响应是平坦或加权抑制旁瓣，因此经常采用线性调频（LFM）。当然也可以使用非线性调频（NLFM），但是需在更好的多普勒检测灵敏度和提高信噪比之间权衡。

多种技术可用来制造这样的滤波器，这些技术都随着频率的变化而改变传播路径长度。其中一种技术采用反射阵列压缩机（RAC）设计，这是目前为止大色散时延中广为采用的设计。这种器件通常使用石英或铌酸锂压电基板。由于这类基板的频率 - 温度特性，通常需要加热。光刻产生两个短的换能器和一个 RAC。RAC 通过两个长斜声学反射器阵列产生色散时延。由于 RAC 的不规则周期，产生的色散具有频率选择性。通过在阵列间插入金属膜图案，RAC 允许光刻后进行相位误差校正。这些金属膜图案模具通常使用激光系统切割。雷达脉冲压缩和通信信号分析是这种技术的典型应用案例。

为了实现这类器件的生产，Phonon 公司建造了一个 2000 平方英尺的晶圆制造工厂和一个 5000 平方英尺的元件装配厂，两个工厂都具备独立控制和监视的 100 级洁净室。密

封的零部件在模块组装工厂中进行模块子系统的封装集成。最后，组件和模块的电气与环境测试在 Phonon 公司的多个测试站完成。

SAW 器件的生产制造工序流程如下所述。首先将三到四英寸的基板清洗后，用特殊的光阻剂曝光处理；随后在真空蒸镀机中将铝金属沉积在处理好的基板上，实现 SAW 光掩模；最后的“Lift-Off”步骤是将处理好的基板浸在专门的溶剂中，以去除多余的金属。完成后的基板可以切割出 1~200 个芯片。再来将这些基板移到元件组装线上进行背面喷砂、刻蚀，以去除不需要的反射，并切割成单个芯片。在该过程中有一个重要的“Auto-Dispance”步骤，会将一种吸收材料精确地沉积到芯片上，用以吸收不需要的反射。接下来，技术人员根据“控制制造指令”封装芯片并接线。在封装的同时还要进行电气测试，以确保器件的性能。在密封及测漏完成后，会在元件上进行激光打标，以提供永久性的识别信息，如零件编号、生产日期和序列号等。如果元件要用在更高水平的模块中，还会在模块组装阶段做额外处理。最后，用网络分析仪、频谱分析仪、环境测试机以及其他必要的测试设备对元件或模块进行最终测试。

降低掩模板切割成本

SAW 器件制造中的关键过程之一是生产相位校正掩模板。该掩模板以金属真空沉积方式在基板表面上创建所需要的图案，让气态铝凝结在已经创建开口的基板上。

这些掩模板用金属箔制成，厚度范围 0.003~0.010 英寸。每个掩模板都非常独特，其几何大小都是为了匹配每个元件的声学响应、用特殊软件计算出来的。软件将设计结果用矢量模式输出，并将其导入 Prolase® 软件。掩模板设计、制造得越精确，SAW 器件就能在更大的频率范围内实现更均匀的时间延迟——这是高质量 SAW 器件的一个至关重要的性能参数。

多年来，这些掩模板的制造均采用标准的工业灯泵 Nd：YAG 20W 激光器。这种激光源体积庞大（包括电源和其他电子器件在内，体积与一个冰箱类似），需要 208V 的 3 相电源供电，同时还需要不断流动的冷冻水。此外，YAG 激光器还需要很多消耗性元件，如需要周期性更换的昂贵的 YAG 棒（每个 2500 美元）和频繁更换的闪光灯（每个 150 美元）。上述 YAG 激光器的维修保养服务，均需要训练有素的工程师或技术人员。更换 YAG 棒是件非常棘手的工作，同时也增加了损坏整个系统的风险。而且，这些维修操作需要激光系统的停机时间，从而降低了生产能力并中断了制造流程，这又在满足客户交货时间方面增添了许多不必要的麻烦。

光纤激光器是 YAG 激光器的良好替代品。1064 nm 光纤激光器用 915 nm/976 nm 单发射体激光二极管泵浦，增益介质为掺镱光纤，输出了与 YAG 激光器波长相同的激光。在增益光纤 中，低能级离子吸收泵浦光，形成离子数反转，激发离子由于受击辐射产生 1064 nm 的光子，在腔内的反馈作用下，1064 nm 的光源不断振荡放大，最后形成稳定的激光输出。激光二极管的电光转换效率通常高于 30%，而增益光纤的转换效率大约为 50%，因此光纤激光器的效率大约是 YAG（效率为 8%~10%）和 CO_2 激光器（效率为 10%~12%）的两倍。

为了使用掺镱光纤作为增益介质，一些技术先进的光纤制造商开发了相匹配的无源光纤和光敏光纤，以制造光纤布拉格光栅、光纤耦合器和其他核心器件。这些通过特殊设计的无源光纤，可以降低无源与有源光纤的焊接损耗，增加激光器的总输出功率，提高激光器性能。

具体来讲，Q 开关脉冲光纤激光器是代替 Nd:YAG 技术的另一种选择。Q 开关脉冲光纤激光器结构紧凑，光电转换效率更高。而且，Q 开关脉冲光纤激光器几乎无需维护保养，并且能够直接使用标准的 24VDC 电源（对于 20 W 和 30 W 激光器而言，电流消耗小于 8 A）。其不但内部集成风扇降温，而且还为用户提供了工业标准的数控接口来操作激光器。

用光纤激光器加工相位校正掩模板

在相位校正掩模板的金属片加工过程中，用光纤激光器替代 YAG 激光器无疑是明智之举。将 30 W Q 开关光纤激光器与一个装有 330 mm F-Theta 透镜的扫描头（ScanCube）准直，使用 RTC4 控制板和 Prolase 激光软件，金属片的切割时间减少到仅需 1 分钟。相比于过去使用 YAG 激光系统需要 30~40 分钟的情况，相位校正掩模板的产量大幅度提高了 3000%~4000%。

更高的功率和更好的光束质量，使得在加工这些复杂的蒸汽掩模板时，可以获得更干净的切割边缘和更快的切割速度。因为不需要使用 YAG 激光器而产生的部件与人力维

护成本，因此Q开关光纤激光器一年可为用户节省成本5000美元。同时，由于光纤激光器使用集成风扇制冷，从而进一步节省了因使用YAG激光器所需要的专门制冷器所产生的费用，包括制冷器本身、能耗以及制冷器维护费用。当然，结构紧凑的光纤激光器也比YAG激光器节省了不少占地空间。

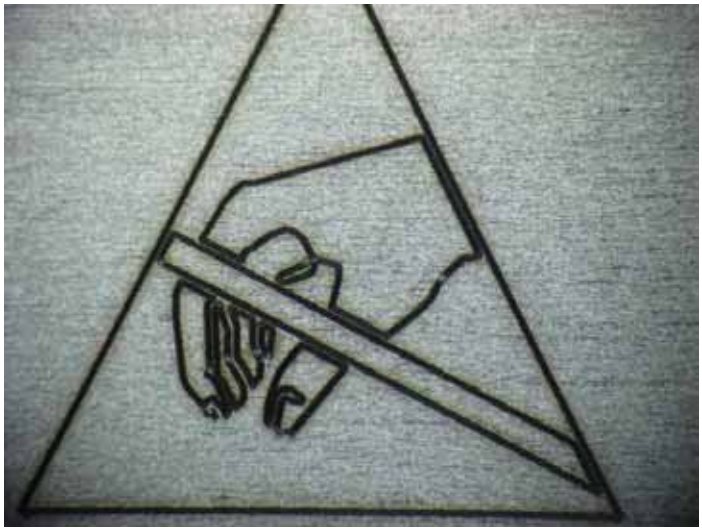


图2：使用光纤激光器在金属表面标刻的永久性ESD警告标识。

产品打标工艺

使用相同的光纤激光器系统还可以实现产品打标。由于每一个掩模板都是不同的，因此需要在掩模板上刻上SAW序列号，以便它们在进行金属镀层前更加容易配对。这种可追踪性制造能提高生产率，减少生产过程中半成品的浪费现象。



图3：用30 W光纤激光器标刻二维码。

除了标记不锈钢外，该激光系统还可用于许多不同材料的打标，如铝、镍合金、电镀表面或是纯金。标记的字形大小，可以在0.5毫米到数十毫米之间任意调整。无论是图像、标识、符号或是二维码，都可以在打标软件的辅助下轻松完成。

图2展示了一个用激光打标的ESD标识，这是一块用来保护SAW器件的镀镍铝板。为了在金属表面实现对比度强烈的打标效果，打标过程需要较强的激光曝光量。打标过程中可以调整打标参数，改变打标效果。相较于较低功率（10 W或20 W）的激光器，30 W激光器可以大幅缩短打标时间，提高产能。

图3给出了用光纤激光器标刻永久性二维码的效果图。图3基本上是按照标准格式形成的二维图像矩阵。所有的数据都借着这个二维矩阵被标识下来。这样的永久性条码被大量用于标识和识别军用器件。在这个打标例子中，底板是一个覆盖了锌化物和铜的镀锡铝板。由于底板材质非常光亮，打标过程中会有很大一部分激光被反射掉，因此大大降低了打标速度。在该例子中，用30 W以上的激光器能大幅提高生产速度。

打标品质和激光器的各项参数与底板材质有直接关系。激光器的功率、聚焦光斑大小、脉冲频率、扫描速度、重复扫描次数等参数，均会带来不同的打标效果。在打标过程中调整这些参数，可以在打标效果和速度之间取得一个最佳平衡。当然，一个设计良好的激光器能够让使用者在很大范围内自由地调整这些参数。

小结

光纤激光器技术已经较为成熟稳定，目前其正在许多应用中快速取代YAG激光器或其他较为老旧的激光技术。光纤激光器的优点包括极低的电耗、小巧的体积、安装方便、气冷、无需耗材、无需定期维修、稳定可靠。这些优点将大幅降低使用者的生产成本。无论材质是金属、塑料或是陶瓷，功率介于20~100 W之间的光纤激光器便是打标、雕刻和薄膜切割的利器。相较于缓慢的化学蚀刻和所制造的污染，或是机械打标所需要的实体接触及模具，激光打标更加灵活、高速，这使得光纤激光器成为了任何需要永久打标应用的理想之选。❑

应用天地 Applications

激光光谱学

利用激光光谱学测量发动机油耗

基于可调谐紫外激光器的光谱痕量分析方法，通过检测发动机排放物中的SO_2，实现了分析发动机油耗的系统原型。

Stefan Sellmeier，Eduardo Alonso，Ulrich Boesl；慕尼黑工业大学
Christian Menhard，Reinhard Kelnberger；InnoLas Laser公司
Heinz Bacher；宝马集团

随着汽车尾气排放限制与环境保护法规的日趋严格，开发工程师在设计新发动机时需要合理权衡。在尽可能多地降低汽车排放与燃油消耗的同时，他们还必须要确保发动机的高可靠性、易于维护性和耐用性。准确了解不同工作点的发动机油耗，是实现这些目标的一个不可缺少的工具。

在诸多参数中，对发动机性能起着决定性影响的是活塞环的数量和位置，或者说是气缸壁的类型和表面质量。为了优化这些参数，理解燃油消耗至关重要。

测量发动机油耗的最常用方法是重量分析测定法（gravimetric determination）。首先在发动机中填充定量的燃油，然后让发动机在恒定转速下运转多个小时。接下来，燃油被排出并称重。这个过程非常耗时、耗财，并且无法实现动态测量。

超过90%以上的发动机油耗是由来自内部气缸壁的油膜蒸发引起的，随后被排放到尾气中。因此，所有分析发动机油耗的现代方法，都致力于尾气中存在的燃油的痕量探测。这是一项要求非常苛刻的分析任务，因为需要测量的物质浓度非常低，并且物质的混合也非常复杂。

德国慕尼黑工业大学、宝马集团和InnoLas Laser公司已经联合开发出了一种能够快速、准确、可靠地测量发动机油耗的方法。该方法使用硫作为机油指示剂，用以检测尾气中最小痕量的机油。自从引入了无硫（或者硫含量相当低）燃料后，这种发动机油耗分析方法才具备了实际可行性。

该方法所面临的挑战是，硫存在于许多不同的化学物质中。为了有效地检测到它们，所有的含硫燃油成分必须被转换成易于检测的SO_2。[1] 目前，已经有几种方法用来检测SO_2，但是在硫的浓度为十亿分之一（ppb）的情况下，这些方法都缺乏必要的检测灵敏度。

该联合研究团队所开发的新颖检测过程是：(1) 在一个小的气体放电单元内将含硫分子转换成SO_2；(2) 利用激光诱导荧光技术（包括SO_2的激光光谱）[2] 和新开发的紧凑型可调谐紫外激光器检测SO_2。

这种方法通过完全分解含硫尾气形成SO_2，实现了束缚于分子中的硫

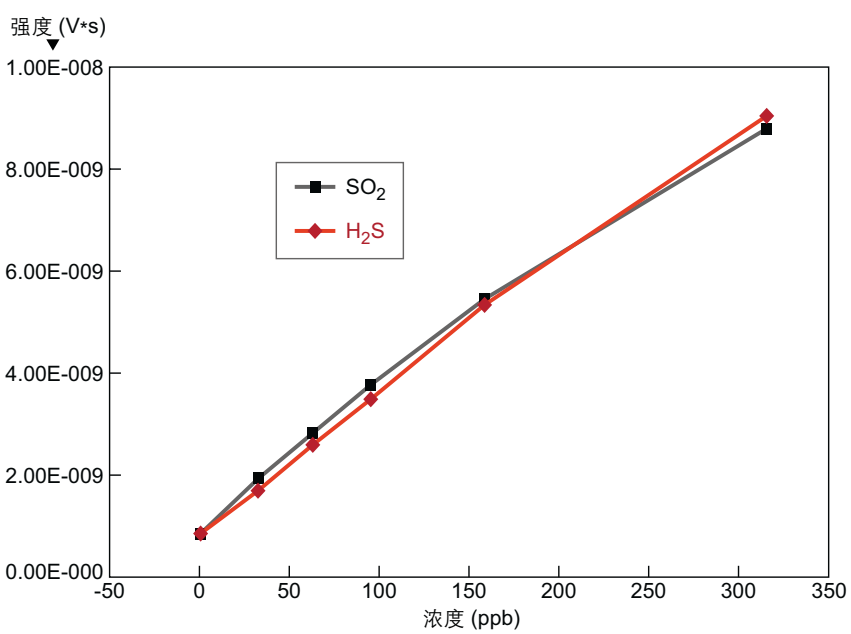


图1：基于脉冲、可调谐紫外激光器的原型系统，实现了SO_2的高灵敏度（<20 ppb）快速检测。H_2S实验证明了含硫物质完全转化成SO_2是在放电单元中实现的。

Applications 应用天地

的高灵敏度（<20 ppb）、快速（<2 s）及可靠检测（见图 1）。此外，还可以使用一个小型质谱仪或环式腔吸收单元测量其他痕量物质，从而极大地拓展了这种新方法的应用范围内。

硫氧化及检测

在这种方法中，尾气中的硫完全氧化形成 SO_2 是非常关键的一个步骤。传统方法通常使用高温炉实现硫的热氧化。在该研究团队新开发的方法中，氧化过程是通过一种非热等离子体的方式进行的。在多环芳烃的氧化中，这种方法的优势非常明显。多环芳烃很难甚至是不可能用热氧化的方式实现完全氧化；但是在实施放电的情况下，多环芳烃可以完全降解，即使是在低放电电流的条件下。

SO_2 的高灵敏度检测非常困难，因为在尾气中存在许多可能干扰测量的化合物，并且这些化合物的浓度非常高。测量基于激光诱导荧光原理，用一个可调谐紫外激光器激发该气态混合物（尾气）。激光在两个不同的波长之间快速切换，使得测量对于尾气中存在的几乎所有其他物质都不敏感，以此来实现测量的高度选择性。该测量对于 NO 的灵敏度（NO 与 SO_2 具有相似的吸收和荧光波段）则可以利用 NO 和 SO_2 这两种物质在荧光寿命方面的巨大差别加以区分。

最后，通过合理的放电单元设计、以及从放电单元到荧光单元的适当的气体流量管理，消除了所有负面影响。图 2 给出了该原型装置的原理示意图。

在发动机测试现场测量

该方法在实验室中获得了良好结果后，研究人员针对发动机测试工厂的测量应用，开发出了一套移动原型系统。最初，该原型系统使用的激光源是 Nd：YAG 激光器泵浦的染料激光器。随后，该光源被 Innolas Laser 公司开发的光学参量振荡器（OPO）激光系统所取代。

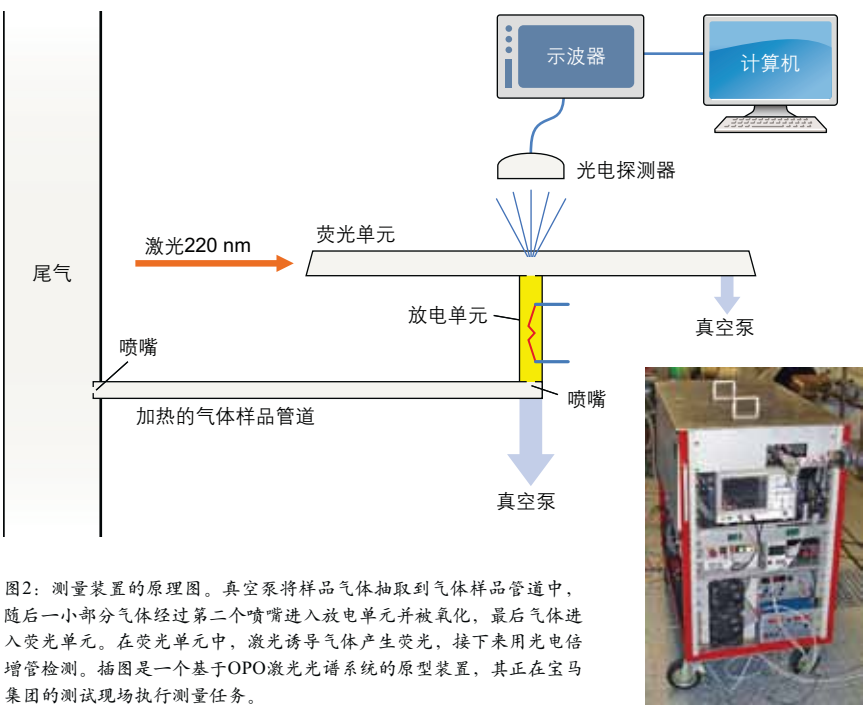
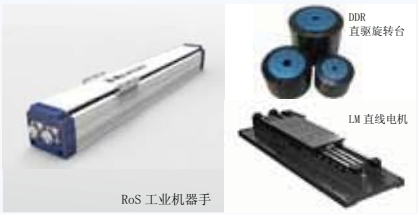


图2：测量装置的原理图。真空泵将样品气体抽取到气体样品管道中，随后一小部分气体经过第二个喷嘴进入放电单元并被氧化，最后气体进入荧光单元。在荧光单元中，激光诱导气体产生荧光，接下来用光电倍增管检测。插图是一个基于OPO激光光谱系统的原型装置，其正在宝马集团的测试现场执行测量任务。

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

应用天地 Applications

该移动测试设备中还集成了一个利用真空泵单独供给新鲜空气的进气喷嘴。这样能够确保被加热的、包含粒子的尾气完全氧化，特别是在氧气不足的情况下。在与德国兰茨胡特应用科技大学（Landshut University of Applied Sciences）的合作中，最初的原型设备在6缸汽油发动机的油耗测量中，实现了非常高的检测灵敏度和选择性。

此外，该设备甚至还能解决燃油变化（从旧燃油变换到新燃油）对发动机油耗的影响。如图2中的插图所示，该设备正在宝马集团测试工厂的工业环境中执行测试任务。

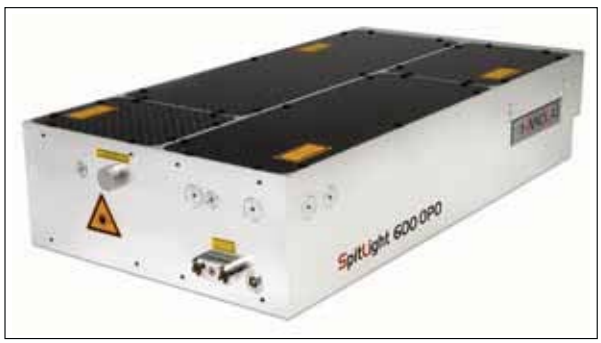


图3：InnoLas Laser公司开发的可调谐深紫外OPO，用于测量尾气中的SO_2，其调谐范围为215~225 nm，谱线宽度<5 cm^{-1}，最大输出能量1.5 mJ，光束发散角<10 mrad，脉冲持续时间<6 ns，脉冲重复频率20 Hz。

激光系统

激光源对于该项目至关重要。该项目需要处于深紫外（215~225 nm）波段的可调谐光源，并且其必须能发出能量达100 μJ的准直辐射。随后该辐射被引入到测量室，诱导分子激发并发出荧光。

在该波段范围内，可供使用的激光源相对较少。虽然准分子激光器的输出处于该波段，但是它们却被限制在离散的波长（例如193 nm、248 nm）。因此，只有两种类型的系统能够满足这类实验的要求：倍频染料激光器和OPO。

染料激光器。开发第一阶段采用的是染料激光器。尽管染料激光器具有发射极窄带宽激光的优势，但是其对于维护和调整的要求也非常高。在所选择的波长处，染料激光器运转10小时后就需要更新染料。因此，使用染料激光器不但非常耗时，而且还需要专业技能处理危险溶剂。

此外，在测量前甚至是测量过程中，必须要调节染料激光器，这个过程非常复杂（例如受温度影响波动较大）。最后，染料激光系统较为庞大笨重，不适合紧凑的移动测量设备。所有这些因素都导致染料激光器不适合用于要求牢固、低维护、服务人员在测试现场经过简单培训就能操作的测量设备中。

光学参量振荡器（OPO）。作为染料激光器的一种替代方案，InnoLas Laser公司为该测试原型设备开发出了一种OPO。不同于染料激光器，该OPO基于光学晶体元件，能够实现可靠、简单的操作。该OPO包括三大模块：（1）一个紧凑的灯泵Nd：YAG激光器，重复频率20 Hz；（2）用于二次谐波和三次谐波产生的晶体，用于将波长从1064 nm转换到355 nm；（3）集成倍频器的OPO单元，以实现215~225 nm之间的输出波长（见图3）。

OPO的三大模块集成在单一封装中，因此其对外部干扰并不敏感。前两个模块已经被大量激光器广为采用，而OPO部分则是专门为这个项目开发的。具体而言，OPO振荡器使用了Type Ⅱ BBO晶体，其用于将泵浦光（355 nm）同时转换成信号光（430~450 nm）和闲散光（1680~2000 nm）。

通过旋转BBO晶体，辐射光可以被连续调谐到所需的波长。信号光利用振荡器内的另一块可旋转的BBO晶体被转换到紫外波段，振荡器也是可旋转的。晶体的旋转速度非常高，以至于每个单一脉冲的发射波长可以自由选择。

在该方案中，首先出现的一个潜在问题是：OPO的辐射光谱宽度超过了染料激光器输出光谱宽度的10倍以上。然而实验已经表明，这并没有降低测量过程的灵敏度和选择性。

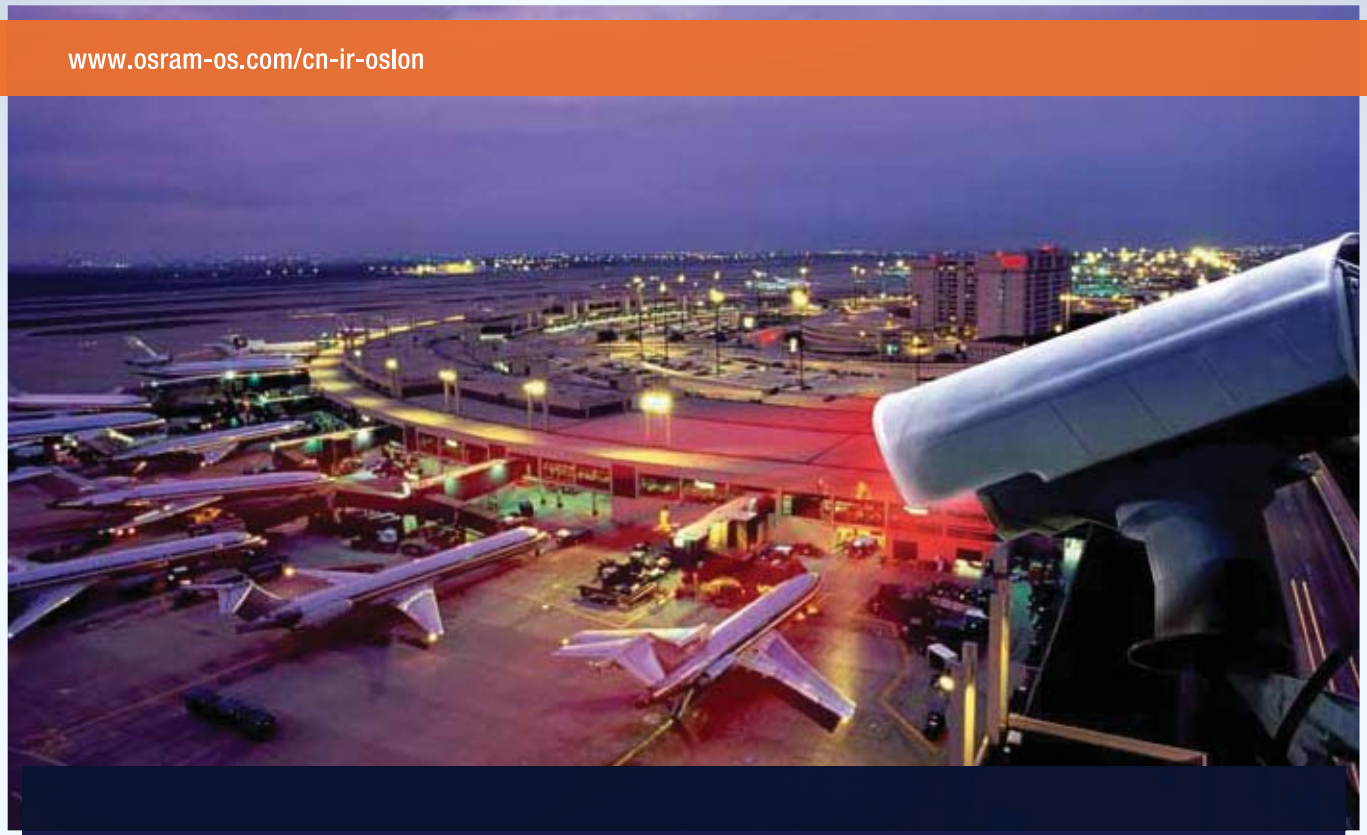
该移动测量原型结构紧凑（光源尺寸560 mm × 280 mm × 91 mm），运转过程几乎免维护（只是闪光灯在输出2000万个光脉冲后需要更换）。该方案的其他优势还包括OPO快速、精确的可调谐性，这将显著提升差分测量的速度。

该项目开发出了一种快速、准确、可靠测量发动机油耗的新方法。结合紧凑的激光系统，该方法可以进一步用于流水线生产平台中。虽然该测量系统是专门为测量发动机油耗而开发的，但是研究人员表示该系统还有望适用于更多更高级的任务。因此，该原型设备被开发成为商业系统后，必将为工程师开发发动机提供一种新工具。❑

参考文献：

1. MEXA-1170SX, Horiba online (2011); http://bit.ly/S7Fysk.
2. Y. Matsumi, H. Shigemori, and K. Takahashi, "Laser-induced fluorescence instrument for measuring atmospheric SO2," Atmospheric Environment, 39, 3177 (2005).

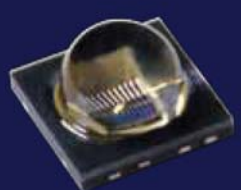
www.osram-os.com/cn-ir-oslon



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。



OSRAM
Opto Semiconductors

应用天地 Applications

量子级联激光器

量子级联激光器推动红外光谱应用

具有宽可调谐范围的量子级联激光器正在成为“指纹”区中的重要光源；这些器件可以集成到现场和实验室中所使用的坚固耐用的小型化光谱仪中。

Petros Kotidis，Block Engineering公司

1994 年，贝尔实验室的 Federico Capass（目前在哈佛大学）和 Jerome Faist（目前在 ETH Zurich 公司）首次演示了量子级联激光器（QCL），此后在 21 世纪初，量子级联激光器在商业上达到了成熟和可行性。量子级联激光器能够获得如此成功的首要原因之一，是用于其生产的有机金属化学气相沉积（MOCVD）和分子束外延（MBE）设备的广泛可用性及其可靠性的增加，这也是通讯行业快速增长期间大力发展和投资的结果。

不同于使用 p-n 结发光的传统半导体激光二极管，量子级联激光器具有多个激活区，由多层半导体材料结构构成，并专门设计成具有合适的电子能带。这些层具有极高的精度，厚度精确到纳米级，因此需要像 MOCVD 这样的机器。注入的电子“级联”通过激活区的层，发射多个光子，提高激光增益，并提供了宽范的波长范围（见图 1）。

目前，市面上有三种类型的量子级联激光器：超宽带可调谐、窄带可调谐，以及高功率窄带可调谐。为了实现其中一些特性，有时将量子级联激光器的增益介质集成到外腔构造中，在外腔构造中还有波长选择元件，如衍射光栅，用于实现激光调谐。通过这样的配置，并且在增益介质的端面镀上合适的膜层，这些激光器可以提供超宽的可调谐性，这已经使得一些非常激动人心的新应用成为可能。

光谱与红外指纹区

受益于使用这些激光器的技术之一是红外（IR）光谱。一个多世纪以来，人们已利用红外光谱的吸收或透射来表征物质的化学特性；更具体地说，5~14 μm 范围内的光谱，即所谓的“指纹区”的一部分，为许多物质提供了强大而独特的（类似指纹）特征。

尽管激光器早已为红外光谱带来了巨大的益处，但是在量子级联激光器发明之前，市场上尚没有商用激光器可以提供覆盖中红外波段整个指纹区的光源。几十年来，傅里叶变换红外（FTIR）光谱仪已成为获得物质光谱特性的标准设备；与这些设备相比，基于量子级联激光器的新型光谱仪器具有很多显著优势。

量子级联激光器的亮度比指纹区的其他相干光源高出几个数量级，为高度吸收或散射目标的远距离、非接触式传感及分析提供了足够亮度。量子级联激光器的输出端面足够小，它们发出的光可以被成像为本质上衍射极限的

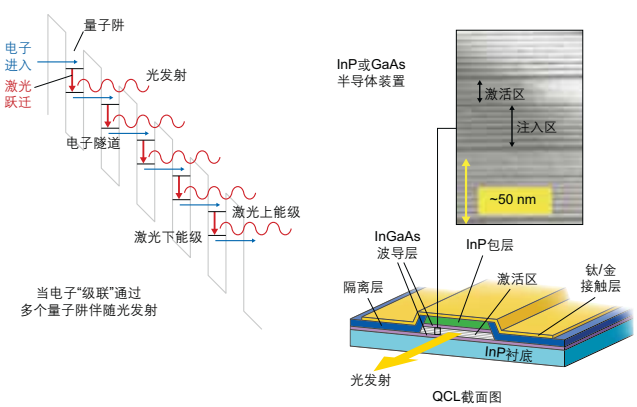


图1：量子级联激光器具有多个激活区，电子级联通过这些激活区，每个量子级联激光器沉积了数百层半导体层，精度达到纳米量级。

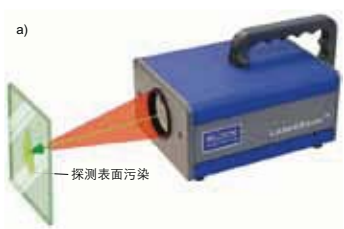






图2：图中所示为LaserScan分析仪（a）以及LaserScope红外光谱仪与特殊的光学元件或光纤探头耦合（b和c）。

光斑，使其能够在长距离（多达几百米）内分析微型目标，而且其输出光能以非常小的光学耦合损耗耦合到小直径光纤中。

与拉曼光谱仪不同，量子级联激光器系统不需要高功率的激发激光；因此，对于大多数应用而言，用低功率量子级联激光器便能实现高信噪比（SNR）。量子级联激光器的高亮度能够获得足够高的信噪比，免去了对高灵敏度低温探测器的需求以及液氮供应的滋扰。量子级联激光器自身通过标准的热电冷却器（TEC）冷却，可以使用电池工作。因此，量子级联激光器可以实现一个基本无运动部件的低功耗小型光学元件系统，使手持式现场仪表成为可能。

现场和实验室应用

Block Engineering 公司最近推出了首款完全集成的手持式红外光谱仪——LaserScan 分析仪，见图 2。LaserScan 基于工作在 5~14 μm 光谱范围内的人眼安全的量子级联激光器，其能够对距离 6~12 英寸的化学物质进行实时表征。可见指示光与不可见的量子级联激光器输出对准，照亮物质表面上的激光光斑（约 2 mm × 4 mm），加上内置的算法能够实现实时检测和物质表征。痕量物质和大量物质都能在现场探测，探测灵敏度低至 0.5 μg/cm^2。

基于量子级联激光器的光谱仪也可以用于实验室设置中，应用范围从化学合成、药物开发到多相催化和摩擦学。Block Engineering 公司还推出了适合此类应用的量子级联激光器光谱仪——LaserScope 红外光谱仪，见图 2。LaserScope 在单个盒中集成了电路、激光控制元件和光学元件。激光从一个端口出射，并在系统中的另一个单独端口检测，从而允许在仪器前面放置光学配件、采样设备或指向反射镜。红外光纤可以直接连接到端口，进而能够实现基于探头（例如衰减全反射）的测量，或耦合到用于分析气体或液体的光学池中。

这些仪器均使用高重复频率（高达 1 MHz）的量子级联激光器，其峰值脉冲功率高达 200 mW，平均功率高达 10 mW。所有的电路、激光控制元件和光学元件都集成在单个盒子中，如图 2 所示，这个盒子能很容易地与任何台式机或笔记本电脑连接。仪器的关键指标包括波长精度优于 0.5 cm^{-1}，波长重复性优于 0.1 cm^{-1}，大于 10 ms 的功率变化小于 0.05%，光束发散角优于 5 mrad，指向稳定性优于 0.5 mrad，以及光谱分辨率达 1~2 cm^{-1}。

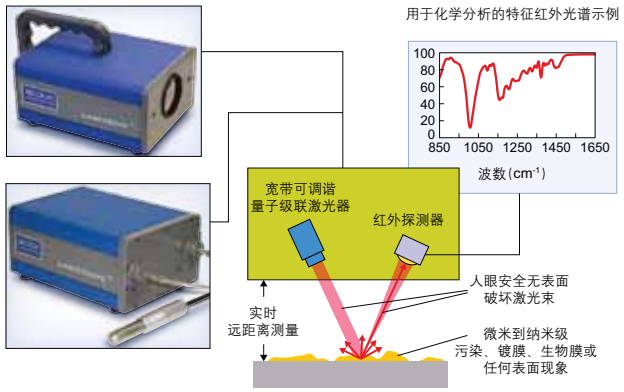


图3：在基于量子级联激光器的表面分析中，明亮的宽带可调谐激光束使得采用非制冷红外探测器的远距离测量成为可能。

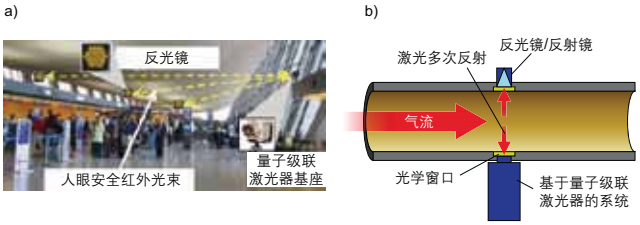


图4：基于量子级联激光器的长程系统，用于（a）开放式客运站保护和（b）气流的在线过程控制，并不需要气体取样。

非接触式远距离应用

指纹区的许多光谱应用可以从远距离检测中受益（见图 3）。例如，在制药清洗验证中，手持式 LaserScan 可用于扫描生产容器的内壁，以确保它们在生产批次之间已经过正确清洗。在零件制造中，其能够在生产零件的表面上检测残留的硅酮、油污或其他润滑剂或污染，以确定哪些零件在进入后续工序（如上漆或镀膜）前需要进一步清洗。对于上漆和涂覆应用，量子级联激光器光谱使得表面层的化学分析成为可能：例如，对用于骨科植入物表面的特殊亲骨性涂料进行分析，以改善人体组织对植入物的接受程度。

其他非接触式应用包括原子力显微镜（AFM），该应用中量子级联激光器可用于提供额外的化学信息。在多相催化反应领域，通过分析表面反应现象，可以更好地理解和改善催化剂的性能；这里，这些材料的表面通常处于非常高的温度（因此无法进行接触测量），并具有很高的光学吸收，需要使用高亮度量子级联激光器。在摩擦学（摩擦研究）中，通过对表面现象进行表征，可以延长高性能润滑油的寿命。

一种广为人知的非接触式测量需要，来源于防止爆炸物质和化学武器的努力。随着世界面临越来越多的恐怖威胁，探测化学危险品的市场需求巨大。

应用天地 Applications

开放式和在线气体传感

量子级联激光器的高光束质量使其具有很长的工作距离，这对于保护大型室内和室外设施，如客运站、化工厂、炼油厂和军事基地非常有用。例如，用基于量子级联激光器的系统扫描机场候机楼内的空气；用人眼安全光束检测空气中释放的化学危险品（见图 4a）。类似的系统还可用于在线监测管道内的气体，以进行过程控制（见图 4b）。在某些情况下，光学窗口和反射镜可以进行实时分析，并不需要对气体进行采样或提供采样管。

红外显微光谱

基于量子级联激光器的光谱仪的一种潜在突破性应用是红外显微镜学。由量子级联激光器产生的衍射极限的聚焦光点（尺寸为 5 μm 左右），可实现对微观目标的高灵敏度化学分析。这种增强形式的显微光谱具有大量应用，包括分析人体或动物细胞以检测癌症，对细菌和其他生物威胁进行检测和分类，对微观样本（例如毛发样品或血迹）进行取证分析，识别半导体产品上的微型污染物，以及对表面的微型有机污染物进行分析等。❑

2013 年慕尼黑上海光博会展前预览

作为亚洲最大的激光、光学、光电行业盛会，2013 年慕尼黑上海光博会（LASER World of PHOTONICS CHINA 2013）将于 3 月 19-21 日在上海新国际博览中心 W1、W2、W3 举办。从基础研究到产业应用，慕尼黑上海光博会引领行业发展趋势，集中展示涵盖激光加工与生产技术、激光器与光电子、光学与光学制造、成像与检测四大板块的全方位产品内容，是绝对不容错过的行业盛会。



预计本届展会将吸引来自近 30 个国家 600 家参展商，展示面积达 34,500 平方米！展区划分更为清晰：W1 馆集中展示光学与光学制造、成像与检测；W2 和 W3 馆集中展示激光器与光电子、激光加工与生产技术，便于观众更方便地找到所需产品。国内外品牌展商如 TRUMPF、Rofin、IPG、徕斯、史陶比尔、ABB、蔡司、Olympus、相干、大族、华工、奔腾楚天、金运等都将在今春 3 月同台竞技，上演激光技术饕餮盛宴。

重描激光加工技术新方向

作为今年展会的一大亮点，W2 与 W3 馆内将展出结合了自动化制造技术的各类产品，自动化技术与激光的结合将全新演绎“激光自动化加工”新技术。新松、史陶比尔、ABB 等自动化领军企业将携手激光系统集成商，展示技术整合与革新所带来的划时代进步，重描激光加工技术的发展方向。

光学技术大会再次隆重登场

展会同期举行的光学技术大会（PHOTONICS CONGRESS CHINA）议题包括：先进激光器和激光加工自动化及应用、激光宏观加工、激光微观加工、激光器与激光光学、光电子学、红外技术等，全面覆盖多个激光和光电子领域。光学技术大会包括：第八届国际应用激光技术中国研讨会 (LPC 2013)、第八届全国激光技术与光电子学学术会议、OSA 光学技术论坛、培训班四个部分。展会同期还将举办中国（上海）国际机器视觉展览会暨机器视觉技术及工业应用研讨会。

线上采供平台全新上线

本届展会全新互动体验平台——在线采供网站现已正式上线。该平台将全面展示业内最大最全的激光、光学行业产品与技术，为用户带来更为便捷的产品体验、最领先的创新技术和最有效的解决方案。

观众预登记火热进行，“千人计划”重磅推出！

本届展会还将联合参展企业、各相关行业协会、媒体合作伙伴等共同发起“千人计划”活动，邀请并资助 3,000 名对激光器或激光加工设备有采购意向和需求的用户共同参会，全力为供需双方架起稳固桥梁。❑

激光焊接

激光在 TFT-LCD 框架焊接中的应用

刘汝宏

随着数字化技术的发展，应运而生的电子数字应用产品为人类生活带来了极大的便利与乐趣，而所有数字产品都需要通过一个显示接口来呈现内容，因此，显示接口已成为产业关注的焦点。不同显示技术相互竞争，相关厂商投入资源开发新技术、新应用，致力于提升人类视觉享受。其中，薄膜晶体管液晶显示器（TFT-LCD，Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) 具有轻、薄、节能、低幅射等优点，已被视为主流显示技术。

TFT-LCD 的发展，为人类提供了更宽大的视觉接口与更高分辨率的色彩，而制造出此显示器的各世代液晶面板的差异在于玻璃基板的尺寸，由于大尺寸面板的需求与日俱增，越新世代的液晶面板，其玻璃基板愈大。大尺寸的玻璃基板可以切割出更多、更大的面板，以达到降低成本及扩大经济效益的目的。

预期 2013 年 TFT-LCD 面板供应商的出货量将增长 8%，达到约 7.57 亿片，营收将增长 13%，达 853 亿美元。因此，金属外边框作为 TFT-LCD 液晶面板整体的重要组成部分，其市场需求量也将非常可观。

应用需求

传统的液晶显示器金属边框是直接冲压制作完成的，例如要制作 19" 的金属边框，就要用 19" 的金属材料去冲压，中间的要么冲压小的边框，要么废弃，这必然会造成材料的大量浪费。采用新工艺后，首先直接冲压金属边框的框条，然后利用激光焊接机将其拼装焊接起来，产品质量牢固可靠。

由于相关设计专利问题，不同厂家对于冲压的形状会有不同选择。具体来说，有 L 型、U 型或者单独的条状边框等。图 1 所示为 L 型。

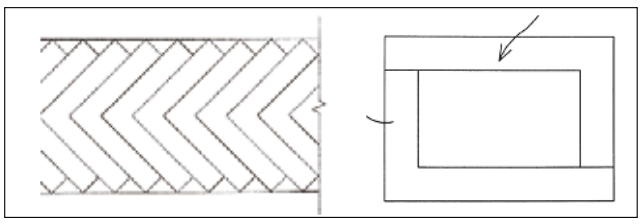


图1：L型冲压示例。



图2：液晶显示器金属边框。

在完成冲压后，通过激光焊接的方式将不同形状的冲压件拼装焊接起来。然后再通过后续制程，最终完成液晶显示器金属边框，如图 2 所示。

激光焊接解决方案

TFT-LCD 液晶面板金属边框所使用的材料通常为镀锌不锈钢或低碳钢，其厚度通常在 0.4~0.6 mm 之间。金属边框对接焊缝处的不平度一般要求不超过 0.1 mm。

焊接该金属边框可以使用的激光器有：CO_2 激光器、固体脉冲式激光器、固体连续碟片激光器以及半导体激光器等，以上各种激光器都已经获得了成功应用。但是从激光器的光电转换效率、生产效率、稳定性以及综合性价比等方面全局考虑，固体连续碟片激光器或半导体激光器将是最佳选择。应用表明，这两种激光器正在越来越多地在 TFT-LCD 液晶面板金属边框的大规模生产中大显身手。

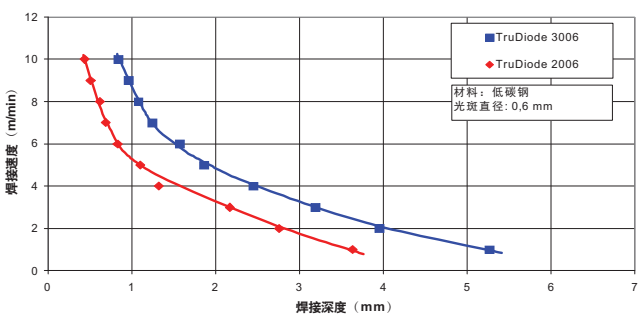


图3：TruDiode 2006激光器实现的焊接曲线图。

应用天地 Applications

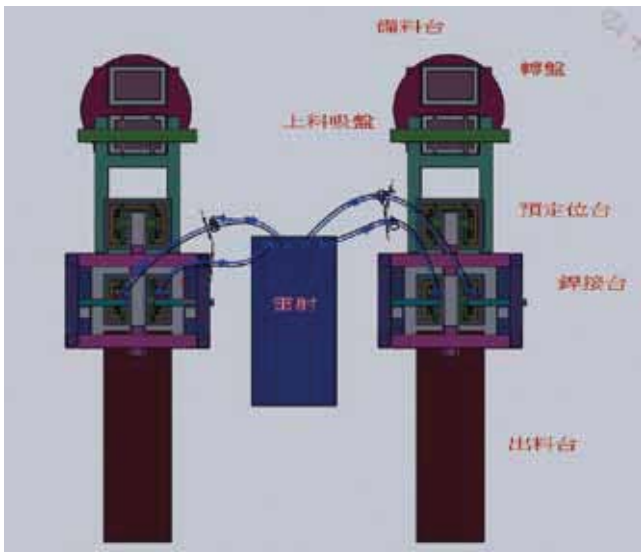


图4：高效的TFT-LCD框架激光焊接解决方案。

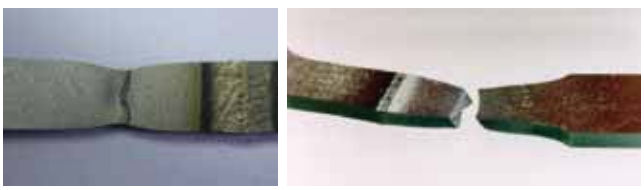


图5：激光焊接后的焊缝强度测试图。

图 3 是使用通快 TruDiode 2006（2 kW）激光器获得的焊接曲线图。

焊接时所使用的激光光斑直径也非常重要。在焊接深度相同的情况下，光斑太大则会降低焊接速度；光斑太小则可能会导致焊接质量问题，如接缝间隙大于光斑直径，则焊接不牢固。但是，如果要求接缝间隙非常小，则会导致冲压件生产成本增加。因此考虑到实际生产情况，并综合各方面因素，最终表明 0.6 mm 的焊接光斑直径是最优选择。

图 4 给出了一种适用于 TFT-LCD 框架大规模生产的高效激光焊接解决方案，此方案已经在多个大型 TFT-LCD 框架生产工厂中获得了成功应用。此方案用于一个工件两条焊缝，其采用一台激光器连接两条自动化生产线。

该方案所选用的激光器为通快的 TruDisk 1000 或 TruDiode 2006，四路激光分时输出，分别配备 15~20 m 长的激光光缆和激光焊接头。在工件表面处，激光光斑直径为 0.6 mm。

当第一条线上料 / 定位 / 夹紧完成后，在开始焊接的同时，另一条线进行上料 / 定位 / 夹紧动作，然后交替进行。整个过程，激光器的四个光路切换时间均在 50 ms 以内。根据每条激光焊缝长度的不同（通常在 40~60 mm 之间），此方案可以实现每个工件生产节拍仅需 1.5~2 s，包括上下料时间和焊接时间。如果按每个工件耗时 2 s 计算，那么每小时能达到 1800 个工件的高产能。

焊接质量

激光焊接后的框架质量非常好，其表面光洁平整，变形小，焊缝强度可以接近或达到材料母材的强度。图 5 给出了激光焊接后的焊缝强度测试图。

小结

采用先冲压后激光焊接的方式生产 TFT-LCD 液晶面板金属边框，其优势在于大幅提高了原始板材的利用率，避免了资源的大量浪费，降低了成本。

仅使用一台通快的激光器，并配以四路输出，同时连接两条自动化生产线的生产方式，在保证生产节拍不受影响的情况下，最大限度地提高了激光器的利用率，提高了生产效率。同时，焊缝的高质量和生产的稳定性也得以保证。❑

上接第20页

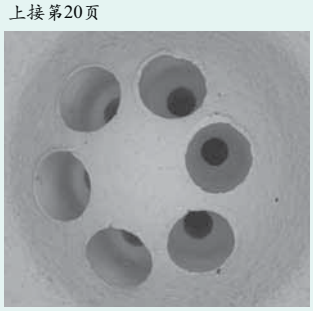


图5：R-Drill以每孔加工时间小于1s所制造的典型六个GDi喷洒孔阵列的SEM图，锥度为零，Ra<0.1μm。

R-Drill 将飞秒激光脉冲光束聚焦到喷嘴板处，喷嘴板经过精确定位，以获得合适的孔方向。光束通过多轴扫描器聚焦并定向成圆形图案。这种形式的激光加工通常被称为开孔。通过 R-Drill 进行开孔远远先进得多，因为当光束沿着圆形轨迹移动时，光束可以改变偏转角和焦平面。图 4 中展示了这些自由度，除了对所有的喷射器加工而言至关重要的一致性和高质量外，还具有多种孔的几何形状可选。

R-Drill 是目前能够以与生产相符的吞吐量、按所需要的质量水平钻孔的先进解决办案。Raydiance 公司的 R-Drill 解决方案已经在多个制造工厂全天候运行。如图 5 所示为 R-Drill 所钻的孔，它以每秒钻一个孔的速度，达到 99% 的成品率，标准偏差为 0.5 μm。无需后续处理工艺，每个零件的平均成本比 EDM 解决方案至少低 50%。❑

TRUMPF

成功源于选择
通快激光

慕尼黑上海光博会
LASER World of PHOTONICS CHINA
2013年3月19-21日
上海新国际博览中心W1-W3馆
欢迎光临我们的展位：W3.3102
TRUMPF










适用于每个应用需求的激光解决方案

如果您需要CO2和固体激光器加工技术 – 通快可以提供
如果您需要最具安装经验的优质服务 – 通快可以提供
如果您需要完善加工过程的应用技能 – 通快可以提供
如果您需要选择未来的发展蓝图 – 通快可以提供

通快（中国）有限公司

上海市淮海中路381号中环广场6楼 200020
+86 21 61719000 info@cn.trumpf.com

www.laserexpertise.trumpf.com



Every image is a work of art!
The **pco.dimax HD** unites innovative CMOS and electronics technology – for exceptional results in industrial applications and in off-board use for automotive safety tests!
The **pco.dimax HD** offers an amazing frame rate (1547 images/s), dynamic range (12 bit) with high resolution (1920×1080 pixel) and exceptional image quality.

pco.
www.pco.de
in America: www.pco-tech.com

红外成像

红外相机实现 SO_2 等污染物的远距离实时检测

Gail Overton

SENSIA Solutions 公司开发出了第一台用于检测二氧化硫（SO_2）的新型红外（IR）相机，该红外相机能够在几百米的范围内检测并测量 SO_2 和其他人眼通常无法看到的污染物（如一氧化碳、氮氧化物、六氟化硫、碳氢化合物）。

SENSIA Solutions 公司的这种用于检测和测量气体浓度的方法和装置，能够使那些平时人眼无法看到的化合物显示出各自特有的红外特征，从而使它们变得们可视化。这是对于识别道路上的高污染车辆、以及像发电厂烟囱等工业生产设备所排放或泄漏的废气来讲，是非常有用的。

虽然目前市场上已经有多种仪器用于检测这些气体，但这些仪器尚且无法提供 SENSIA Solutions 公司的最新红外方案所具备的能力：确定混合气体中每种气体各自的浓度，并且能够实现远距离实时探测与测量。因此，该方案使任何用户都能够在数百米之外检测这些污染气体，并且是以一种非常直观的方式。该红外相机可以被各行各业的工人轻易地安装并处理，甚至它也可以成为永久性检测系统的一部分，这种系统一旦检测到有某种特定的气体泄漏（如 SO_2），便会自动激活报警。这些系统的成本并不会高于任何经典的红外相机，尽管价格可能会因某些不同的参数而有所不同，如需要检测距离或浓度，或者其他因素。

SO_2 是导致能源、冶金、食品和造纸行业产生酸雨的最重要原因之一。目前，中国已经是全球 SO_2 产量最大的国家，目前我国很多地区经常是酸雨飘落。当空气中的水分与 SO_2 和氮氧化物（SENSIA Solutions 的红外相机也能检测到）结合时，便会形成硫酸和硝酸，其随降水落到大地上，便形成了酸雨。酸雨将严重污染湖泊和河流中的水源，阻碍水生生物的发展；它也会影响植被，造成森林区域的严重损害。此外，酸雨还会腐蚀由大理石或石灰石制成的各种基础设施，如建筑物等。

在城市中心，交通系统和供热系统是这种污染的主要来源。因此，为了减少因交通而造成的污染，对高污染车辆进行检测并控制非常重要，SENSIA Solutions 的红外相机可以在执行此任务中发挥重要作用。

研究人员表示：“我们所提出的方案的通用性，使我们能够在车辆经过的时候测量其排放的尾气，无论车辆是在何种道路上行驶，同时我们还能实现远程、实时检测。由于这种检测设备的灵敏度极高，它甚至可以检测浓度及其低的排放物。这种新的红外成像检测技术将为保护人类环境做出更多贡献。”❑

特种光纤

双纤芯光纤具有纳米机械开关特征

Jason Palmer

英国南安普顿大学的研究人员展示了一种新型双纤芯光纤结构，其特点在于耦合可以在纤芯之间变化，光能够在微小的压力下从一个纤芯跳到另一个纤芯中。[1]

该来自英国南安普顿大学光电研究中心（ORC）的研究小组，已经用了十年的时间开发这项技术，并最终克服了工程上的挑战、拉制出了这种独特的光纤。这项突破，为具有更多数目纤芯的光纤开发铺平了道路，并且开辟了从精密传感、光学缓存到光束扫描等领域的多种新应用。

来自光电研究中心的研究员 Wei Loh 提到，虽然多纤芯光纤已经是一项成熟的技术，但到目前为止，它们仍然缺乏功能上的灵活性。他解释道：“通常来说，光纤一旦被制作出来，它的机械性能便是固定的。但是现在随着制作光纤技术获得了长足的发展，我们能够制作出纤芯可以机械运动的光纤，这使它们与微机械系统（MEMS）装置非常类似。”

这个小组选用了掺铅硅酸盐光纤（得益于它的低熔点和易模压）和一个具有两个圆形狭缝的钢模。将模压过程制成的光纤拉成直径 1 mm 的预制棒，随后将其放入玻璃套管，并拉制成最终的光纤结构：光纤具有两个亚微米纤芯，每个纤芯通过 200 nm 厚的玻璃膜固定在光纤总体靠近外层的地方。两个纤芯之间的距离为 2 μm（见图 1）。

气压变化导致开关

为了使一个纤芯相对于另一个纤芯移动，从而改变它们之间的光学耦合，在光纤端面靠近某个纤芯的位置预留一个狭缝。靠近另一个纤芯的光纤壁被刻蚀掉。这样，在依旧封闭的半段光纤内，施加少量氮气就可以使得包含一个纤芯的玻璃膜向另一个玻璃膜发生移动。

该研究小组展示了仅仅将纤芯移动 8 nm，就可以实现光从一个纤芯跳到另一个纤芯。该现象可用于精密压力以及运动传感，当然研究小组还在继续开发移动纤芯的新途径。

Loh 表示：“目前我们正致力于开发静电驱动，就像硅 MEMS 一样，通过施加静电场实现运动。如果可以做到这一点，我们便可以对其进行精密控制。”

该技术的一项十分重要的应用是光学缓存，即令光信号速度减慢或对其存储以实现信号路由。Loh 称：“如果你观察一个很小的纤芯，大多数光实际上存在于外面的空气中，因为这是模式的所在之处。因此光速接近于空气中的传输速度。如果有两个纤芯并让它们靠得很近，光模式所存在的空间就会有更多的玻璃而非空气，因此光会更好地在空间受限并且速度减慢。如果玻璃纤芯比较大的话，情况就与常规光纤非常相像了。”

该技术应用前景十分广泛，如用于全光纤网络。当然，在将该加工过程成倍提升以及开发多纤芯光纤等方面，还有大量工作要做。

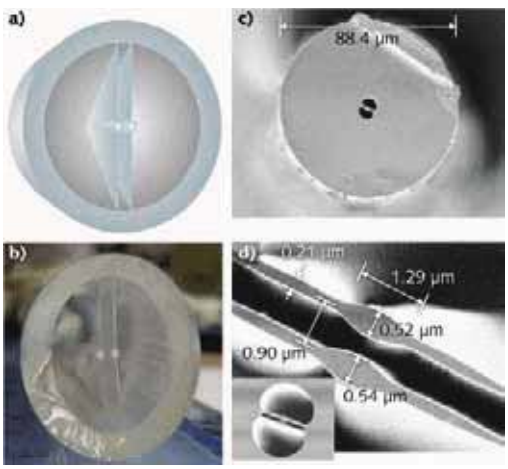


图1：双纤芯光纤示意图（a）、预制棒示意图（b）以及成品光纤示意图（c和d）的扫描电子显微图像。

Loh 表示：“接下来将会有许多的挑战。既然我们现在可以制造这些光纤，我想这些挑战便能够克服。这更多地关系到工程以及设计方面的问题。”

除了可调光缓存外，Loh 还补充道，该技术的潜在应用还包括可调滤波器，以及将多纤芯光纤用于‘相控阵雷达’，即多个纤芯共同合作以实现精密光束扫描。❑

参考文献：

1. Z. Lian et al., Opt. Exp., 20, 28, 29386–29394 (2012); doi:10.1364/OE.20.029386.

技术中心 Technologies Center

光纤激光器

两微米掺铥光纤激光器获得 10 kW 峰值功率

高掺铥硅酸盐玻璃光纤可用于开发工作波长位于1.9~2.1 μm范围的单频光纤激光器，并且Q开关光纤激光器以及自启动被动锁模光纤激光器可以获得高达10 kW的峰值功率。

Shibin Jiang，AdValue Photonics公司

掺铥光纤激光器的斜率效率可以超越斯托克斯极限，其在 $^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$ 能级跃迁的量子效率接近200%，这归因于铥粒子之间所谓的交叉迟豫能量转移。采用管棒法制成的高掺铥（质量百分比为 3%~7%）硅酸盐玻璃光纤，可以获得斜率效率高达 68.2%、单位长度增益大于 2 dB/cm 的激光增益光纤。这些掺铥硅酸盐玻璃光纤已经实现了工作波长在 1.9~2.1 μm 范围内的 Q 开关光纤激光器和锁模光纤激光器，峰值功率高达 10 kW。

高峰值功率、高光束质量（由于是单模光纤输出）的 2 μm 光纤激光器的一种普遍应用是作为泵浦源，通过非线性光学频率转换获得中红外频率产生。另一种新兴应用是中红外超连续谱的产生。

高掺铥硅酸盐光纤

与波长 1 μm 和 1.55 μm 的激光器相比，波长 2 μm 的激光器更加适合作为中红外产生的泵浦源，其原因主要有以下几点：首先，2 μm 处的量子缺陷更小，因此产生中红外波长的量子效率更高；其次，许多用于中红外产生的非线性晶体在短于 2 μm 波长处不透明，或者吸收很大；第三，一些非线性晶体在更短波长处色散太高，因此无法实现非线性参量过程所需要的相位匹配条件；最后，2 μm 光纤纤芯更大，因此非线性阈值更高，从而可以获得功率更高的 2 μm 激光器和功率更高的中红外输出。

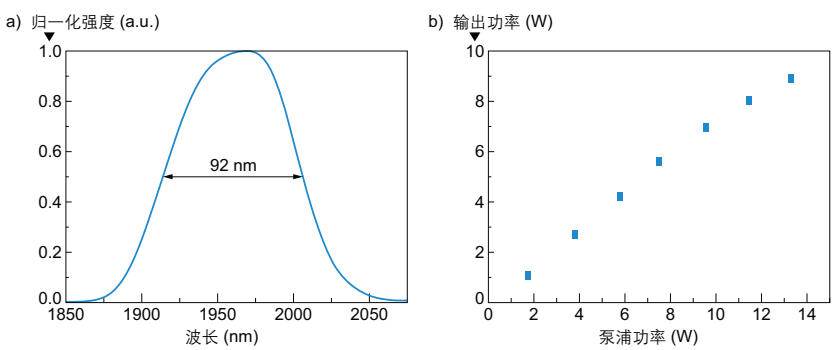


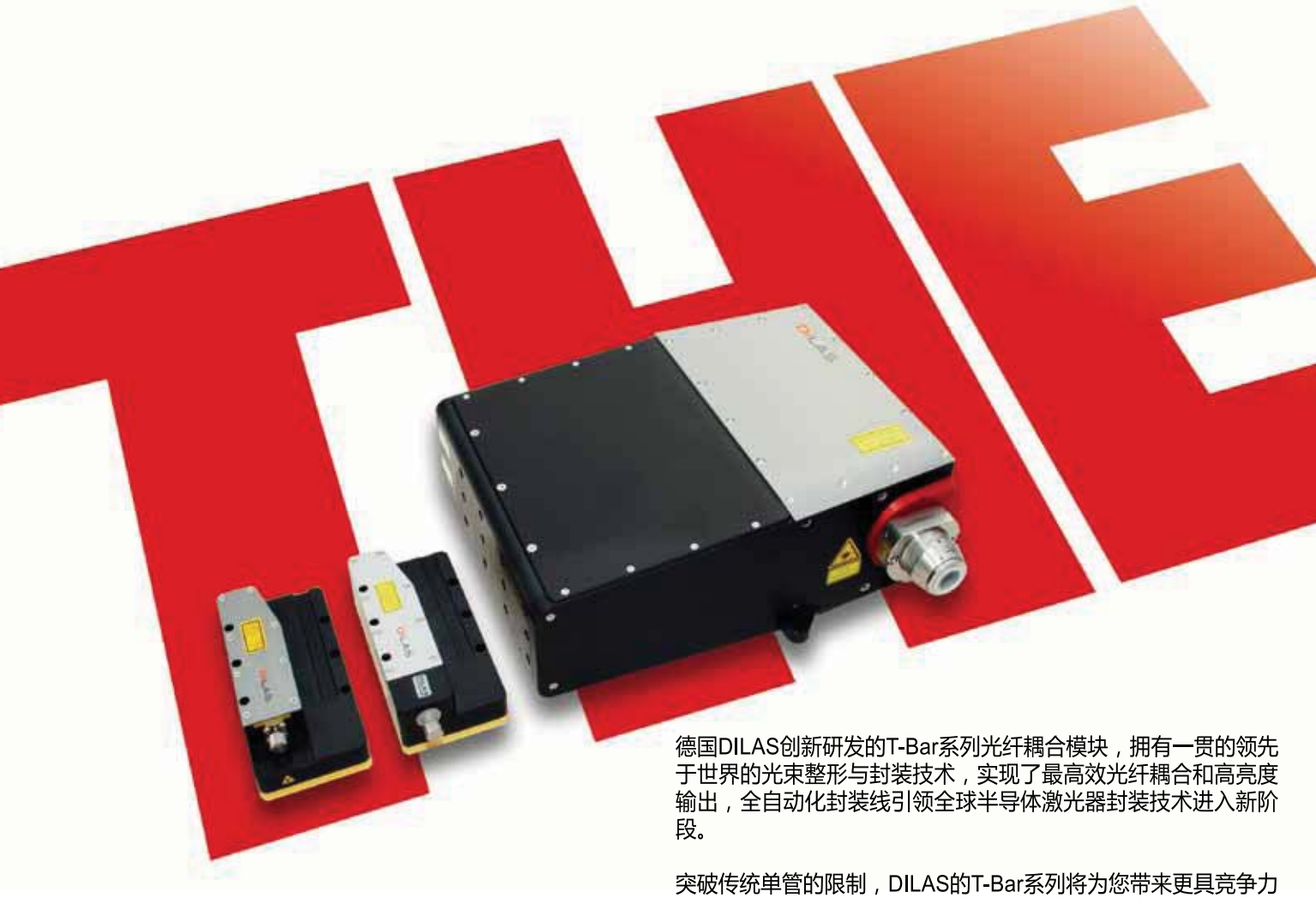
图1：掺铥硅酸盐玻璃光纤的放大自发射（ASE）(a)，实现了波长2 μm的掺铥硅酸盐玻璃光纤激光器（光纤长度20 cm，纤芯直径18 μm），采用包层泵浦方式，泵浦波长798 nm。该光纤激光器的输出功率与吸收的泵浦功率呈函数关系（b）。

到目前为止，许多不同的玻璃基质材料已被用于制造 2 μm 激光运转所需的掺铥光纤，包括石英和非石英玻璃光纤，例如锗酸盐光纤和亚碲酸盐光纤[1-3]。众所周知，石英光纤中稀土离子的掺杂浓度受到本征玻璃网络结构的限制。目前业界已经开发出各种不同的方法用以提高掺杂浓度，包括共掺 Al_2O_3、B_2O_3 和 P_2O_5 等氧化物，以及使用纳米颗粒技术。目前，石英光纤的最高掺杂浓度限制在大约 2%（质量百分比）。由于铥离子掺杂浓度的限制，掺铥石英光纤激光器的量子效率也受到限制。

幸运的是，多成分非石英玻璃为更不确定的玻璃网络结构，使得铥离子的掺杂浓度可以更高，从而可以在相对较短的增益光纤内获得更高的泵浦吸收，并且可以在高掺铥系统中利用一个二合一（2-for-1）交叉迟豫过程。AdValue Photonics 公司已经开发出制造高掺铥（3%~7% 的质量百分比）多成分硅酸盐玻璃以及光纤的专利技术。由于玻璃网络主要是二氧化硅（与标准石英玻璃光纤的材料相同），因此掺杂光纤的机械强度有所提高，并且与其他多成分玻璃光纤相比，掺杂光纤与石英光纤具有更好的

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



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。

2013年3月19日-21日，即将在上海新国际博览中心举办的慕尼黑上海光博会中，DILAS展位号W3 3600，敬请光临。

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

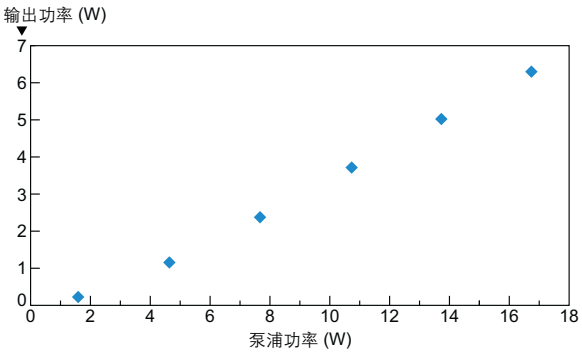


图2：Q开关掺铥脉冲放大器输出功率与泵浦功率的函数关系。

兼容性，因此可以实现掺杂光纤与标准非掺杂石英光纤更为牢靠的熔接。

单模光纤和大模场（LMA）双包层硅酸盐玻璃光纤，都是采用管棒光纤拉制技术制成的。这些掺杂光纤的内包层由一层数值孔径高达 0.6 的外包层硅酸盐玻璃包围，用以将多模泵浦激光束限制在内包层区域。外包层能够比标准聚合物双包层石英光纤承受更高的功率。

通常，将低折射率的硅酸盐棒插入内包层中，用来增强包层的泵浦吸收。采用类似方法，我们还制造出了保偏高掺铥硅酸盐玻璃光纤，用于包层泵浦激光运转，其斜率效率超过 68%（见图 1）。

Q开关单频掺铥光纤激光器

2011 年，AdValue Photonics 公司演示了第一台全光纤 Q 开关单频激光器，其工作波长接近 2 μm。该激光器基于短腔光纤激光器的偏振调制，采用压力感应双折射。[4-6] 采用 AdValue Photonics 公司内部的光纤扫描法珀干涉仪证实了单频激光器的 Q 开关运转，测量到的光谱线宽达到傅式变换极限。

现在，利用单模掺铥光纤放大器（纤芯直径 7.8 μm，数值孔径 0.153）来提高这些 Q 开关脉冲的输出功率，我们能够从单个全光纤掺铥激光源中产生千瓦级的单频激光。[7] 由于泵浦吸收大、激光增益高，因此只需要几十厘米长的增益光纤就可以制造出 2 μm 光纤放大器。对于 20 cm 长的增益光纤，放大激光脉冲随总泵浦功率变化的斜率效率约为 64%（50 kHz 重复率）和 40%（10 kHz 重复率）。

在放大器中，有可能在低重复频率（10 kHz 及以下）下获得几千瓦的峰值功率，并且脉宽没有明显缩短。较短的增益光纤长度抑制了许多非线性效应。此外，单频脉冲较短的脉宽阻止了受激布里渊散射发生——不仅是在光纤放大器中，在放大器后更长的无掺杂光纤中也是如此。

Q开关掺铥光纤放大器

实验中所采用的 Q 开关种子激光器是全光纤主动 Q 开关掺铥光纤激光器。种子激光器的工作波长为 1950 nm，重复频率在 1~100 kHz 之间可调。在 10 kHz 的重复频率下，平均功率 30 mW，脉宽约 30 ns。为了获得更高的脉冲能量，需要在功率放大器前添加预放大器。

当预放大器的输出功率为 200 mW、重复频率为 10 kHz 时，脉冲宽度为 36.4 ns。重复频率为 50 kHz 时，放大脉冲的光谱宽度与种子激光器在 10 kHz 重复频率时的光谱宽度相同。但是随着重复频率的下降（预放大器泵浦功率不变），光谱宽度变得更宽，这是由于更低重复频率下的更高峰值功率所致。

功率放大器采用 55 cm 长的掺铥（5% 的质量百分比）保偏光纤，其纤芯和内包层的直径分别为 21 μm 和 127 μm。纤芯数值孔径设计为 0.08，用以匹配输出光纤 (2+1)×1 泵浦耦合器的数值孔径（纤芯直径 20 μm，数值孔径 0.08）。当入射脉冲能量为 20 μJ、重复频率为 10 kHz 时，功率放大器输出的斜率效率约为 40%，在最大输出时的脉宽为 21.4 ns（见图 2）。

通过光谱仪测量可以看到，在脉冲重复频率为 40 kHz 时，吸收泵浦功率 16 W 的功率放大器输出的激光光谱，在不同重复时的放大自发射抑制得很好。放大自发射在重复频率为 20 kHz 时开始积累，并且在 10 kHz 时显著增强，但依然比脉冲小 40 dB。绝佳的放大自发射抑制，归功于较短的大纤芯高掺铥硅酸盐光纤。根据在 10 kHz 重复频率下测得的光谱，计算所得到的放大自发射功率低于总功率的 5%。因此，从放大器抽取的最大脉冲能量约为 600 μJ，峰值功率高达 28 kW。

锁模光纤激光器

用于启动并维持掺铥硅酸盐玻璃光纤激光器锁模运转的关键元件是共

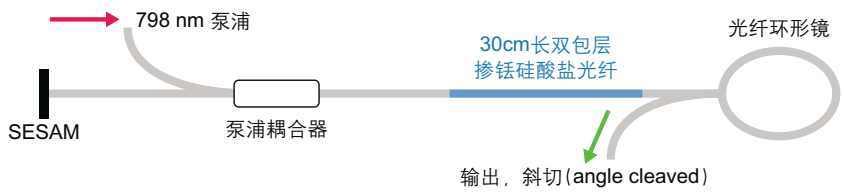


图3：锁模掺铥硅酸盐玻璃光纤激光器示意图。

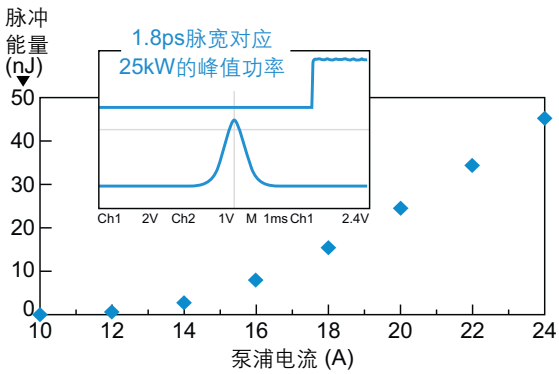


图4：采用掺铒放大光纤进行脉冲放大获得的输出脉冲能量与泵浦电流之间的函数关系。自相关轨迹如插图所示。

振锑化物（Sb）半导体可饱和吸收镜（SESAM，见图 3）。[8] 激光器具有直线腔结构，由 SESAM、泵浦耦合器、30 cm 长的双包层掺铒硅酸盐光纤（纤芯直径 10 μm）以及光纤环形镜构成。多模泵浦耦合器将泵浦光从 798 nm 的泵浦激光二极管（数值孔径 0.22，尾纤纤芯 / 包层直径为 105 μm/125 μm）传输到掺铒光纤中。波长 2 μm 时，光纤环形镜的反射率约为 90%。

由于不掺杂光纤（商品化单模石英光纤）和掺铒光纤之间存在折射率差别，我们采用光纤端面斜切，并将两种不同光纤熔接在一起从而避免任何反射，因为反射不利于锁模运转。我们还将光纤输出端面斜切以消除背向反射。在耦合器输出光纤与掺铒硅酸盐光纤之间的熔接处，我们还进行低折射率重新镀膜，从而实现对泵浦光更为有效的耦合。此外，泵浦耦合器信号光纤输入端直接对接耦合到 SESAM（见图 3）。

随着泵浦功率的增加，光纤激光器的工作呈现多级状态。首先其在达到激光阈值后获得连续光运转，此后是 Q 开关以及 Q 开关锁模运转，最后随着泵浦功率提高实现连续锁模。在更高的泵浦功率条件下，激光器能实现从单脉冲到多脉冲的跃变，这是由于孤子光纤激光器的脉冲能量存在上限。该上限值由激光腔参数，例如可饱和吸收体的饱和能量、调制深度、腔色散以及自相位调制等因素决定。

超出这一脉冲能量上限后，由于锁模稳定性，激光器倾向于多个能量更低、脉宽更长的脉冲，而非单个短脉冲。在单脉冲条件下，最大平均输出功率为 10 mW，单脉冲能量约为 0.76 nJ。通过自相关仪测得的脉冲的半高全宽（FWHM）为 340 fs。

我们还开发了一些用于锁模脉冲放大的高掺铒硅酸盐光纤。对于这其中的一种光纤，我们用 45 cm 长的掺铒硅酸盐光纤（纤芯直径 22 μm，数值孔径 0.06）对锁模种子脉冲进行放大（见图 4）。在没有脉冲畸变的条件下，最大脉冲能量为 46 nJ，对应的脉宽为 1.8 ps，峰值功率超过 25 kW。这是目前获得的最大峰值功率，现有的采用这种结构的锁模光纤激光器的峰值功率通常是超过 10 kW。❑

参考文献：

1. S.D. Jackson and T.A. King, Opt. Lett., 23, 18, 1462–1464 (1998).
2. J. Wu et al., IEEE Photon. Technol. Lett., 18, 334–336 (2006).
3. J. Wu et al., Appl. Phys. Lett., 87, 211118–211120 (2005).
4. J. Geng et al., Opt. Lett., 34, 23, 3713–3715 (2009).
5. Y. Kaneda et al., Proc. Advanced Solid-State Photon., Vol. 94 of 2004 OSA Trends in Optics and Photonics Series, post-deadline paper PD5, Santa Fe, NM (2004).
6. M. Leigh et al., Opt. Lett., 32, 8, 897–899 (2007).
7. J. Geng et al., Opt. Lett., 36, 12, 2293–2295 (2011).
8. Q. Wang et al., Opt. Lett., 34, 23, 3616–3618 (2009).

浙江雷鸣科技推出聚焦平顶型光束整形器

激光加工中，高斯光束往往需要转化为平顶光束，以在目标面得到均匀的效果，雷鸣的光束整形器专为这类应用而设计。聚焦平顶型光束整形器将平行入射的基模高斯光束聚焦为平顶光束，在焦点前形成平顶型的能量分布。产品根据波长不同，有不同的型号，透镜表面镀有增透膜，整个系统的透过率达到 97% 以上。最新型号为：FFTBS-355-50，入射光为准直过的基模高斯光束，波长 355 nm，光束束腰直径 3 mm，发散角全角小于 0.7 mrad，会聚平顶光斑小于 φ60 μm，景深为 ±0.15 mm。❑





SCORE WITH ROFIN

ROFIN集团是全球工业材料加工用激光器及激光加工系统的领导者，自1975年设立以来，已在全世界安装各类激光器及激光加工系统数万余台套，现拥有员工2100多名，在全球50多个国家和地区设立了营销与技术服务分支机构，我们就在您的身边。

更多资讯，
敬请关注罗芬德光中国官方微博

新浪微博 weibo.com
登陆新浪微博
扫描二维码

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

R-Drill 200微细钻孔解决方案

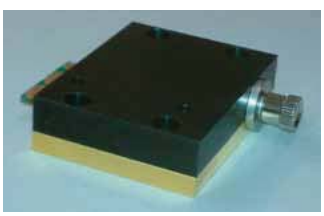


R-Drill 200 微细钻孔解决方案能在不到一秒钟的时间内创建完美无暇的微细孔，基于 Raydiance 公司的 R-200 平台，R-Drill 200 比目前市场的任何电气、机械或激光微细钻孔技术更快、更精确、更具有成本效益，是有着苛刻要求的精密制造商的理想之选。

飞秒激光加工不会产生热量，这意味着材料按照加工要求被去除后，并不需要昂贵的后续处理步骤；而在以往有热量影响的加工方案中，必须要有相关的后续处理以弥补热影响带来的副作用。最新的 R-Drill 200 集成了 Raydiance 公司的 R-200 飞秒激光器、多轴扫描、以及使该系统能够通过单一步骤钻出精密几何形状的微孔的软件。该系统能取代汽车、医疗设备和消费电子制造应用中传统的电火花加工和较慢的激光加工方案，可大大降低医疗、工业和消费市场中单个部件的成本。

Raydiance，www.raydiance.com

多波长激光二极管模块



Akela Laser 公司推出一系列多波长激光二极管模块，波长范围 650~1950 nm。

这些模块可以输出多达五种波长，另外还可提供指示光束，指示光通过单一光纤输出。该模块结构紧凑，可方便集成标准的高功率热电冷却器，并提供可选的光学屏蔽、光纤传感 / 内锁以及红色或绿色指示光束。

未来该模块还将提供更高功率的版本，以及带有驱动电子设备的模块产品。

这些多波长激光二极管模块具有独立的发射器，并且还为每种波长提供了功率监视器，输出光纤有芯径 100 μm、200 μm 和 400 μm、0.22NA 可选。Akela 还可以调整这些模块以满足特定要求。

Akela Laser，www.akelalaser.com

低阶模式焊接用激光器

SPI Lasers 公司推出的新型 CW 低阶模式激光器，专为薄膜材料的点焊应用而设计。

具有高强度高斯光束的单模激光器，其光束穿透能力较强，而有时一些应用并不需要如此高强度的光束。当焊接薄板材料或是要求材料背面看不见焊点的应用，该 200 W 的新型低阶模式激光器已被证明是此类应用的理想解决方案。该激光器的能量在较宽范的区域内分布，从而消除了单模光束固有的高强度峰值。

SPI 对该激光器的光束进行了专门设计，以适合一些应用对强度和模式稳定性的需求。该激光器提供了较好的性能，以避免点焊中出现的坑槽或穿孔现象。

该激光器能产生低于 10 μs 的脉冲，输出功率变化 <1%，是智能手机、电池接触、医疗器械和精细连接器等产品的微焊接应用的理想选择。

SPI Lasers，www.spilasers.com

面向OEM应用的激光二极管模块



Optoelectronics Company 公司发布了一系列新型激光二极管模块，以提供具有成本效益的 OEM 解决方案。

这些专为 OEM、终端用户和系统集成商设计的激光二极管模块中主要包括 Opnext 激光二极管和外部可调的光学元件以及 Panasonic 非球面玻璃镜片，并采用模块化的阳极氧化铝外壳封装，是工业、商业和医疗应用，如检查、调整和激光感应等广泛的应用的理想光源。

这些模块结构紧凑，外观呈圆柱形，直径 12 mm，长 53 mm。可实现连续波可见光或红外光输出，产生椭圆光束。模块具有噪音低、输出稳定的特点，可提供的波长有 635 nm、639 nm、660 nm、830 nm 和 852 nm，功率最高 75 mW。

Optoelectronics Company，www.oe-company.com

面向微加工应用的工业级高功率飞秒激光器 Spirit 8W

Newport 公司旗下的 Spectra-Physics 品牌针对微加工应用推出工业级高功率飞秒激光器 Spirit 8W。

Spirit 8W 超快激光器能在 1040 nm 的红外波段提供大于 8 W 的高平均功率和小于 400 fs 的脉宽，脉冲能量大

新品展示 New Products



于 40 μJ，并且其重复率可以通过电脑在很宽的范围内调节，从单点到最高 1 MHz。并且，其二次谐波能产生绿光飞秒脉冲。

高度可靠的 Spirit 8W 完全自动化运转，并且具有 TEM_{00} 模式的光束质量，能够实现快速、灵活的飞秒激光微加工，没有多余热量损坏被加工材料，是医疗设备、平板显示器以及半导体制造的理想选择。

Newport，www.newport.com

用于管道切割的新型激光切割机

Mazak Optonics 发布了其新款 3D Fabri GearMk II 切割机，进一步拓展其用于切割导管、管道及结构应用的激光切割产品。

3D Fabri GearMk II 可提供 2.5 kW 和 4 kW 两种版本 220 MK II 和 400 Mk II，能够切割各种各样的导管和管道，包括圆形、方形、长方形和三角形。它还可以处理 I 梁和 H 梁、C 形槽钢、角钢和用户定义的其他形状的低碳钢或不锈钢。



3D Fabri GearMk II 拥有一个强大的高精度 6 轴激光器，其能够比同类机器处理更大、更长、更厚和更重的材料。它也能进一步提高切割速度，提供更严格的公差，并且可用于钻孔和攻丝。

220 MK II 模型能以 3937 IPM 的快速移动速度处理直径达 8.6 英寸的圆管。 400 Mk II 能处理直径为 16 英寸的圆管。

Mazak Optonics，www.mazakoptonics.com

面向激光加工应用的三轴扫描振镜

CTI 公司推出的三轴扫描振镜 FlexScan-3D，适合激光加工应用，提供光纤激光器版本和 CO_2 激光器版本，采用模块化和封闭配置。30 mm 和 50 mm 镜孔径，可以针对应用选择工作区域大小和光斑大小。

其他可选功能包括数字化控制技术，其可以通过外部接口编程，生成的工作区域大小和工作距离，可以通过调整内部光学路径实现。

CTI，www.camtech.com

918D-IS新系列光纤探测器



Newport 公司推出一系列基于光电二极管的光纤探测器 918D-IS 系列，新产品具有极大的灵活性和三个简单的不锈钢适配器，同时还包括 FC/PC 适配器，另外有 FC/APC 和 SMA 连接器可选。包括的四个不同的探测器分别是：紫外（200~1100 nm）、硅（400~1100 nm）、砷化铟镓（800~1650 nm）和锗（780~1800 nm）。

918D-IS 系列通用光纤探测器采用一英寸的对称积分球，以确保精确的校准，无论测量的光纤是何种类型。

双探测器设计包括特殊的光学系统，以提高温度敏感性，工作波段为 400~1650 nm。918D-IS-IG 具有一个单独的 InGaAs 探测器，工作波段为 800~1650 nm；918D-IS-SL 采用一个单独的硅探测器，工作波段为 400~1100 nm。

Newport，www.newport.com

紫外光纤激光器Daytona 355-20



新型紫外光纤激光器 Daytona 355-20 不但能提供短脉冲皮秒激光器的精密加工能力，而且还具有二极管泵浦的 Q 开关固体激光器的高吞吐量。Daytona 355-20 发射的亚纳秒脉冲可提供超过 20 W 的功率，重复频率超过 1 MHz（波长 355 nm）。

Daytona 能实现 TEM_{00}（M^2 <1.3）的输出光束，是精密微加工的理想选择。Daytona 是一个高度灵活的平台，其可在宽泛的工作范围调整，以满足特定应用需求。例如，脉冲宽度可以在不足 1~20 ns 之间调整，重复频率可以从单脉冲发射调整到超过 2 MHz。

对周边无热损伤的微加工的关键是：用很短的波长驱动冷烧蚀，并用短脉宽限制烧蚀过程中的热传导，Daytona 是为这些应用而推出的首个精密、高功率激光源。

Daytona 适用的应用包括晶圆切割、划线、钻孔（特别是低 k 材料）、触摸屏和液晶显示器的玻璃划线、触摸屏刻图，以及太阳能制造领域的薄膜划线。

Coherent，www.coherent.com

CASTECH®
福晶科技

欢迎光临：
Laser World of Photonics China 2013

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、蓝光晶体组件
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、光通讯器件
1. 标准具
2. 光隔离器
3. 光准直器
4. 电光Q开关
5. 温控炉（仪）





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

www.laserfocusworld.com.cn

广告索引 Advertisers & Web Index

激光世界 LaserFocusWorld China

Advertiser	广告商名称	网址	页码
Beijing Laserwave Optoelectronics Technologies Co., Ltd.	北京镭志威光电技术有限公司	www.laser-wave.com	19
BWT Beijing Ltd.	北京凯普林光电科技有限公司	www.bwt-bj.com	IFC
Castech Inc.	福建福晶科技股份有限公司	www.castech.com	43
DILAS Diodelaser China Co., Ltd.	南京德商帝纳斯激光有限公司	www.dilas.com.cn	37
Edmund Optics Singapore Pte Ltd.		www.edmundoptics.cn	2
II•IV Trading (Suzhou) Co., Ltd.	贰陆进出口 (苏州) 有限公司	www.ii-vi.com.cn	9
Mitsubishi Electric Automation (China) Ltd.	三菱电机自动化 (中国) 有限公司	www.meach.cn	1
Nufern		www.nufern.com	5
OSRAM Asia Pacific		www.osram-os.com/cn-ir-oslon	27
PCO AG		www.pco.de	34
Pinnacle Scientific (China) Corporation	顶尖科仪 (中国) 股份有限公司	www.psci.cn	4
RAYLASE Laser Technology (Shenzhen) Co., Ltd.	瑞镭激光技术（深圳）有限公司	www.raylase.com	3
Radiant Zemax Trading (Shanghai) Co., Ltd.	瑞淀曦脉贸易（上海）有限公司	RadiantZemax.com/Demo13	15
Rofin	德罗芬激光技术（上海）有限公司	www.rofin-baasel.com.cn	40
Spectra-Physics,A Newport Corporation Brand		www.newport.com	BC,13
TRUMPF (China) Co., Ltd.	通快 (中国) 有限公司	www.laserexpertise.trumpf.com	33
Xian Focuslight Technologies Co., Ltd.	西安炬光科技有限公司	www.focuslight.com.cn	7
Zolix Instruments Co., Ltd.	北京卓立汉光仪器有限公司	www.zolix.com.cn	25

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 Buiding,
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
Christine Shaw
christines@pennwell.com

Group Editorial Director
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)
Associate Publisher & Sales Director-China (副社长及中国区销售总监)
Angela Zheng (郑晓勤)
angelaz@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)
Hatter Yao (姚丽莹)
hattery@actintl.com.hk
Tel: 86 21 6251 1200

Asia (亚洲)

Japan (日本)
Masaki Mori
mori-masaki@ics.co.jp
Tel: 81-3-3219-3641

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)

New England,
Katrina Frazer
katrinaf@pennwell.com
Tel: 1-603-891-9231

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

US-West and Western Canada
Paul Dudas
pauld@pennwell.com
Tel: 1-949-489-8015

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

激光世界
LaserFocusWorld® China

最新推出电子书(eMagazine)

laserfocusworld.com.cn



直接连结广告商网站 | 一点即开想看的文章 | 推荐朋友下载免费的电子书 | 申请成为免费印刷版或电子书的读者 | 上页、下页，放大/缩小文章



Take Another Look

最佳性价比的解决方案—来自Newport



仔细一看，貌似普通的组件也能如此富有设计和巧思。Newport专利待审的最新设计，给您的实验带来最佳性价比的实惠选择。

假如您有段时间没关注Newport了，take another look —用我们的创新造就您的优势！

想了解更多，请访问www.newport.com 搜索"M1-5"及"BPH-5"观看全新M1和BPH产品演示视频，或联系**(0510) 8113 5000 / china@newport.com**。

Newport
Experience | Solutions

©2013 Newport Corporation

Newport Family of Brands – ILX Lightwave® • New Focus™ • Ophir® • Oriel® Instruments • Richardson Gratings™ • Spectra-Physics® • Spiricon®