光 学 和 光 电 子 产 业 的 主 导 刊 物

激光世界

LaserFocusWorld® China

www.laserfocusworld.com.cn

2012年9月 第5期

ISSN: 1817-6917



半导体激光器：
激光二极管输出536nm绿光 15

应用天地

激光熔覆再制造技术修复工业领域转动设备的分析与应用案例 28

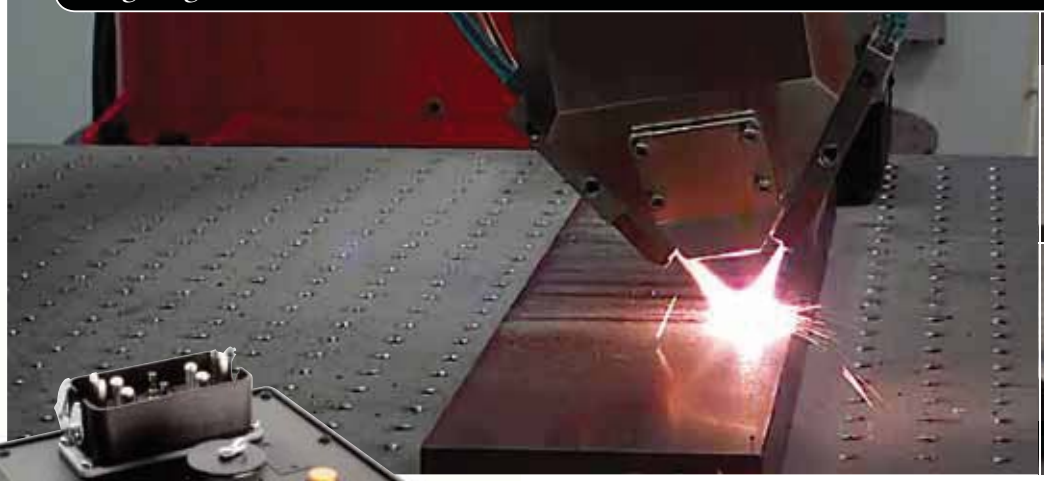
梯度场显微使无标记疾病诊断成为可能 31

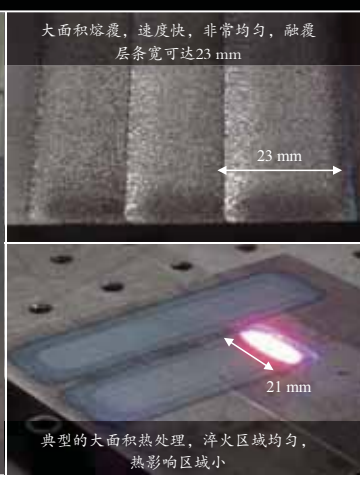
B2900A在半导体激光器测试中的应用 33

ACT PennWell

高沉积率熔覆
大面积热处理

HighLight D 系列高效率、高功率直接半导体激光器







HighLight D 系列直接半导体激光器是新一代直接半导体激光系统，激光波长975 nm，输出功率为2.8 kW、4 kW、6 kW和8 kW，多种光斑模式可选。HighLight D系列直接半导体激光器采用自由空间光束传输技术，是一款具有高能量效率，结构紧凑的工业级直接半导体激光系统。

- 波长975 nm，输出功率高达8 kW
- 电光转换效率>50%
- 光束宽度可扩展，3 mm – 24 mm
- 工作距离长达 270 mm
- 结构紧凑，密封可互换的光学整形器件
- 具有移动控制面板、远程诊断、准直光束和测温过程控制等功能
- 提供融覆和热处理应用所需的系列选购件及附件

关于HighLight–D系列高功率直接半导体激光器产品更详细的信息请联系相干公司400 610 0209或请访问我们的网站http://www.coherent.com.cn/pro.asp?idh=6。



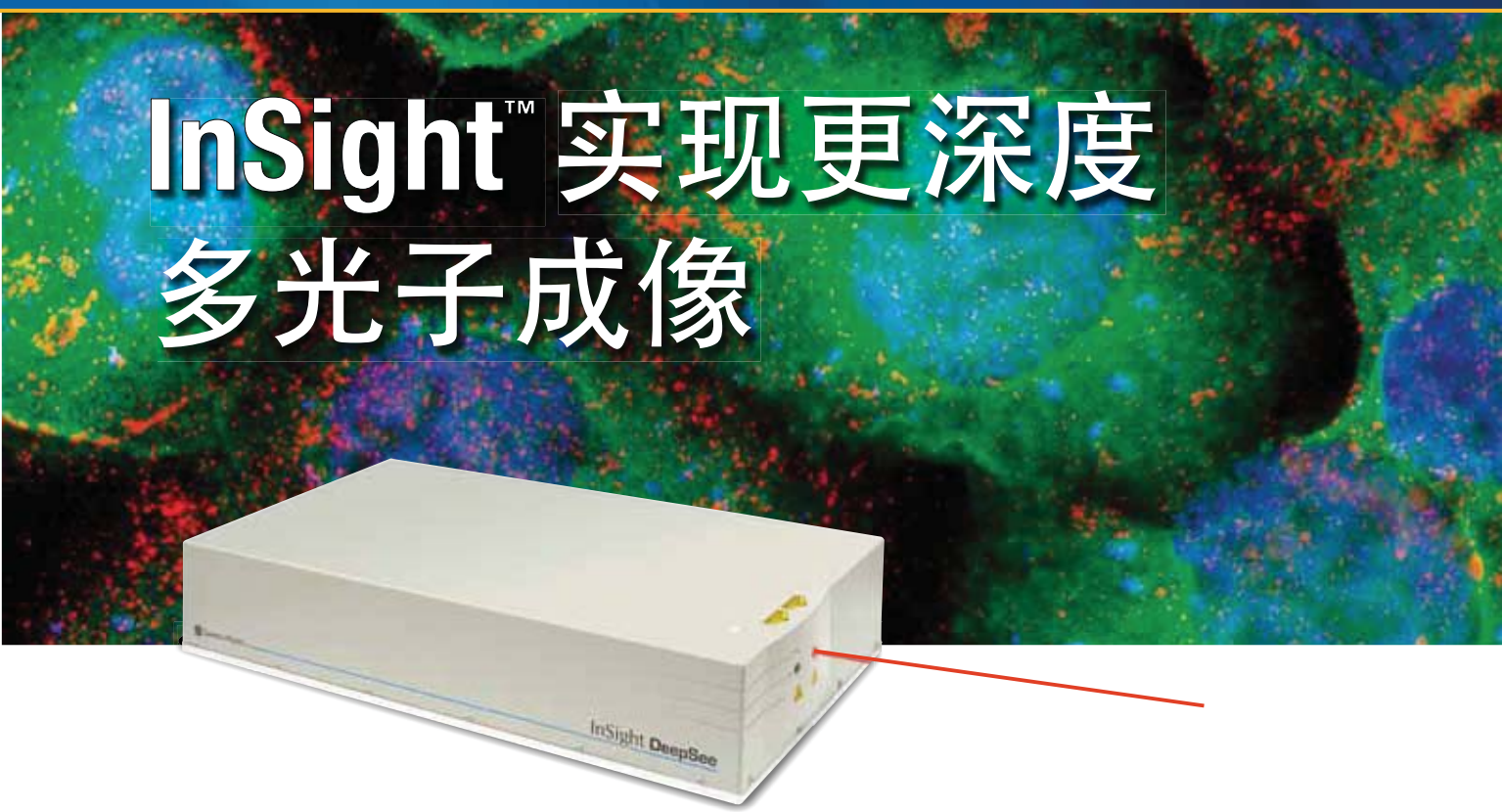
COHERENT®

相干（北京）商业有限公司
地址：北京市海淀区北四环西路9号
银谷大厦215室
邮编：100190
电话：010–8215 3600
传真：010–6280 0129
网址：www.coherent.com.cn
销售咨询：sales.china@coherent.com

相干（北京）商业有限公司上海办事处
地址：上海市浦东新区张衡路1000弄
张江润和国际总部园25–26号
邮编：201203
电话：021–6035 6200
传真：021–6448 5639
产品报修：service.china@coherent.com

Superior Reliability & Performance

InSight™ 实现更深度多光子成像



- 最宽广的调谐范围：680 nm to 1,300 nm 用于更深成像
- 短脉冲宽度和高峰值功率实现荧光最大化
- 集成专利的 DeepSee™ 用于向样品发送短脉冲
- 专为多光子成像优化的理想的光束特性
- 全自动交钥匙型系统

Spectra-Physics 新推出的 InSight™ DeepSee™，是一个全新的超快激光系统，其能实现更深的多光子成像。该先进的 InSight DeepSee 新平台基于 Spectra-Physics 专有的 DeepSee 技术，突破了以往多光子成像屏障，进一步拓展了深度组织成像及多光子成像研究的可能性。

InSight DeepSee 系统的调制范围几乎是其他超快激光器的两倍，并能提供长波红外光用于深度活体成像。该系统的短脉冲宽度和高峰值功率能实现更高亮度的成像。此 外，该系统牢固的全自动化设计，使其非常易于使用，且无需手工操作，从而能让用户将精力集中到他们的研究 项目上。现在就获得 InSight 来实现更深度的成像吧!

更多信息 请访问 **www.newport.com/insight-3**
或致电 **+86-10-62670065**

©2011 Newport Corporation

Spectra-Physics
A Newport Corporation Brand

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

紫外系列固体激光器



Pulse Width < 6ns

MBurn355, 355nm (0.5w-1.5w)



Pulse Width < 16ns

Excellent355, 355nm (2w-5w)

高品质·高可靠·高性价比

工业级高品质固体激光器提供商

主要特性:

1 激光波长354.7nm,重复频率覆盖范围宽（单脉冲至200kHz）
2 极短的脉冲宽度,特别微小的热影响加工区域。
3 优越的光束质量（M2<1.2），在所有频率范围内都严格保证。
4 在线刷新谐波控制技术，超长时间的功率稳定性。
5 独特的调Q控制技术，适合各种激光应用控制需求。
6 全数字智能电源控制技术，可通过RS232外部控制激光器。
7 工业化产品流程生产控制技术，产品质量稳定可靠。





RFH LASER 瑞丰恒激光

深圳市瑞丰恒科技发展有限公司

Add: 深圳市南山区高新技术产业区中区M-10二楼
Tel: 0755-86375012,18928466502,86375016
Fax: 0755-86028961
E-mail: sales@rfhlasertech.com

http://www.rfhlasertech.com

激光世界 LaserFocusWorld China
2012 年 9 月 第 5 期
www.laserfocusworld.com.cn

目录

光子学前沿

10 量子级联激光器
新设计进一步拓展量子级联激光器的能力

技术中心

13 集成光子学：集成 F-P 激光器阵列实现 100Gbit/s 数据传输
15 半导体激光器：激光二极管输出 536nm 绿光
16 太赫兹：纳米天线提升光混频太赫兹源的性能
19 特种光纤：高饱和能量掺镱光纤推动脉冲光纤激光器发展
22 光纤光学：二合一光纤实现切割与焊接的快速切换
24 可调谐光源：无需调谐的宽带 OPO 覆盖中红外波段

影像揭秘

26 生物医学成像：利用随机激光器实现无散斑成像

应用天地

28 激光熔覆：激光熔覆技术修复转动设备的分析与应用
31 生物光子学：梯度场显微使无标记疾病诊断成为可能
33 半导体激光器：B2900A 在半导体激光器测试中的应用

7 新闻简讯
36 新品展示
40 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。

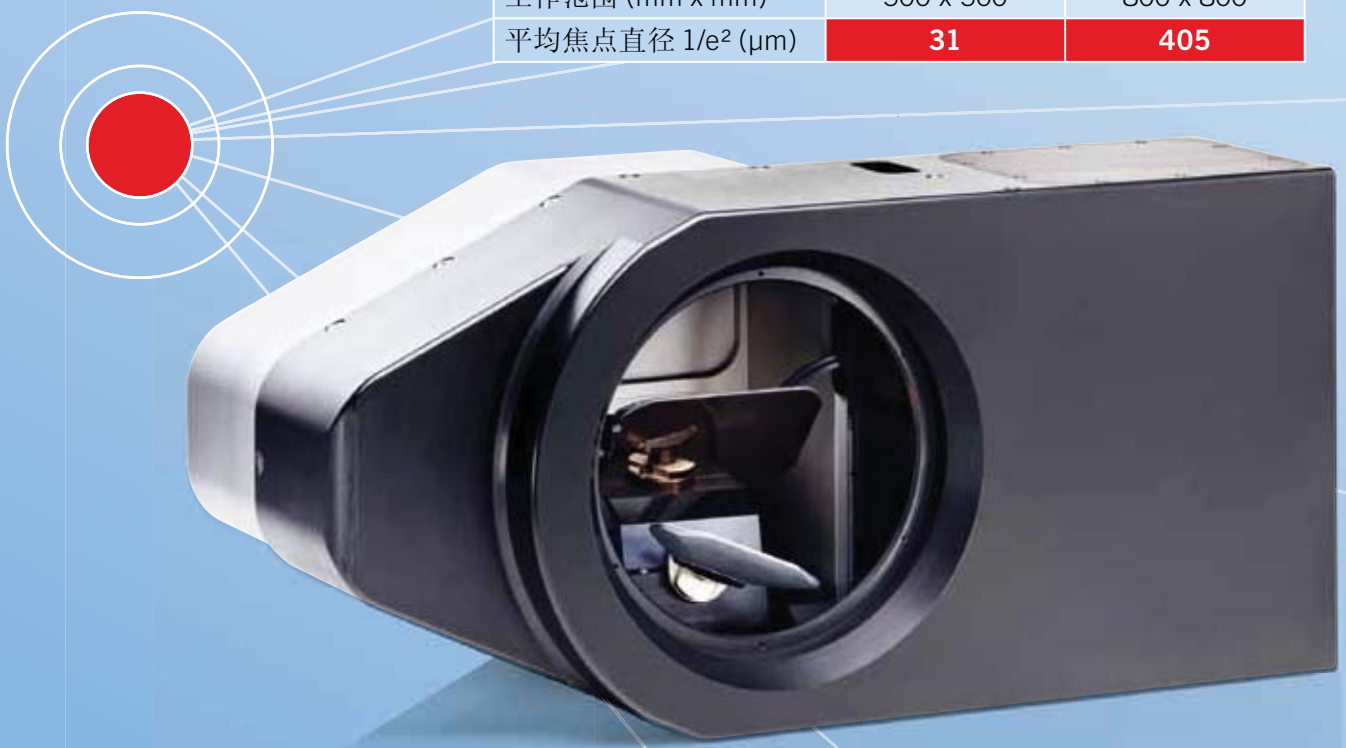
请查询本刊专业网站：www.laserfocusworld.com.cn。

三轴激光动态聚焦子系统 - 高速与精细光斑的完美结合

www.raylase.cn

THAT'S A SPOT!

配置示例	Nd:YAG 激光器	CO_2 激光器
波长 (nm)	1,064	10,600
工作范围 (mm x mm)	500 x 500	800 x 800
平均焦点直径 $1/e^2$ (µm)	**31**	**405**



AXIALSCAN-50

- 提供适合 CO_2 和 YAG 激光器的子系统
- 可承受功率至 4 kW，是高功率切割和焊接应用的最佳选择
- 工作范围大小灵活：从 300 x 300 至 1,500 x 1,500 mm²

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



与滤光片一同带给您
我们丰富的专业经验

请联系我们的本地支持

DynaSense

www.semrock.com
+1 585-594-7050

生命科学、激光及光学系统的滤光片标准

CONTENTS

激光世界 LaserFocusWorld China
September 2012 Issue 5
www.laserfocusworld.com.cn

Photonic Frontiers

10 **Quantum-Cascade Lasers:** New designs expand capabilities of quantum-cascade lasers

Technologies Center

13 **Integrated Photonics:** Integrated F-P laser array solves 100G problems
15 **Semiconductor Lasers:** Green laser diode emits at 536 nm
16 **Terahertz Sources:** Nanoantennas streamline photomixing terahertz source capabilities
19 **Specialty Fiber:** High-saturation-energy Yb fibers pump up pulsed fiber lasers
22 **Fiber Optics:** The 2 in 1 fiber makes it possible to weld and cut by means of simple optical exchange
24 **Tunable Sources:** Broadband OPO spans the mid-IR, no tuning needed

Imaging Inside

26 **Biomedical Imaging:** Random laser produces speckle-free images

Applications

28 **Laser Cladding:** The analysis of laser cladding remanufacturing technology in repairing rotating equipment
31 **Biophotonics:** Gradient field microscopy allows label-free disease diagnosis
33 **Diode Lasers:** Applications of B2900A in the measurements of diode laser

7 News Breaks
36 New Products
40 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.

高频 锁相放大器

- *25 kHz* 至 *200MHz* 频率范围
- 低漂移，高动态储备
- *X, Y, R, θ,* 噪音和比率测量
- 供数据记录的内部存储器
- 谐波检测*(F* 和 *2F)*
- *GPIB* 和 *RS-232* 计算机接口

SR844是现今市场上唯一的一个可测量高达200 MHz信号的锁相放大器。使用在其它SRS锁相放大器里可以找到的同样的DSP技术,此SR844几乎没有漂移或相位抖动，并提供高达80分贝的动态储备及超过5 ppm/°C 稳定性.

它具有多种特性，包括合成参考源，自动功能，偏移/扩张，谐波检测，内置存储器，计算机接口等。

该SR844是高频率同步检测应用的理想仪器。

欲了解更多详情，请访问 www.thinkSRS.com.



SR844 射频锁相放大器 ... $9295 (全球通价格)

Stanford Research Systems
1290-D Reamwood Ave. Sunnyvale, CA 94089 · www.thinkSRS.com
Phone (408) 744-9040 · Fax (408) 744-9049 · info@thinkSRS.com

先锋科技股份有限公司
电话：86–10–6263–4840
传真：86–10–8261–8238
Email: sales@teo.com.cn

欧陆科技有限公司
电话：86–10–6800–8213/16/17
传真：86–10–6800–8212
Email: euro-tech.bj@euro-tech.com

北京东方科泰科技发展有限公司
电话：86–10–6497–1708
传真：86–10–6497–1710
Email: sales@bost-ltd.com

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
© 2012 版权所有 翻印必究

光纤光学为材料加工带来的欣喜

光纤激光器在过去的几年中显示出了广阔的发展前景，并且正在日益侵蚀固体激光器和 CO_2 激光器的市场份额。从其应用来看，材料加工是主要应用，并且拥有巨大的发展潜力。当然，随着材料加工市场领域的不断拓展，也在促使光纤激光器向着高能量、高峰值功率和低成本的方向继续努力。

用于材料加工的波长接近 1μm 的脉冲光纤激光器，通常采用掺镱光纤作为增益介质，因为掺镱光纤效率高、掺杂浓度高并且泵浦吸收带宽。但是，当输出脉冲能量较高时，非线性效应将会导致脉冲失真，影响光束的性能，进而严重限制了光纤激光器的脉冲能量。利用 CorActive 公司的高饱和能量掺镱光纤，很好地降低了非线性效应的影响，利用重复率 20kHz、脉宽 80ns、功率 1W 的 Q 开关光纤激光器作为种子源，获得了 2mJ、40W 的高能量高功率输出!

除了能够降低减小非线性效应外，以高饱和能量掺镱光纤作为增益介质的光纤激光器，还可以获得 M^2 因子小于 1.4 的高斯光束，并且可以效率高，这使得它们成为高能量、高峰值功率光纤激光器设计的绝佳选择，进而也为光纤激光器在材料加工领域进一步拓宽了道路。

本期内容中介绍的光纤光学领域的另一项内容是二合一光纤。所谓二合一光纤，实际上是在一根光缆中，具有两个同轴的纤芯——内纤芯和外环芯，两者之间通过包层隔离。这是通快公司针对使用同一激光加工系统进行切割和焊接加工而专门设计的。有了这种二合一光纤，用户就可以使用同一激光加工系统轻松地在切割和焊接应用之间切换，而不用再更换输出光纤：只需在光路中增加一块楔形镜，随后便可通过楔形镜的有无来控制光束的路径。没有楔形镜，激光束通过耦合镜头直接进入二合一光纤的内纤芯，满足切割应用；插入楔形镜后，光束稍微偏移进入外环芯，满足焊接应用。

激光熔覆也是一种拥有巨大市场空间的应用，利用激光熔覆再制造技术修复工业领域的转动设备，已逐渐赢得了国内众多企业的青睐。目前我国使用的转动设备的数量十分庞大，而这些转动设备中的多个零部件的损伤，都具有周期性的特点，需要定期修护，激光熔覆修复技术已经是用户的首选。未来，激光熔覆技术将在石化、电力、冶金、军工、机械、矿山、船舶等行业中发挥重要作用。

除了上述内容外，本期读者还将了解到：激光二极管实现 536nm 连续绿光输出，输出功率超过 100mW、量子级联激光器取得的最新进展、梯度显微技术为疾病诊断带来的新机会，以及安捷伦 B2900A 在半导体激光器测试中的应用等。❑

本刊编辑部

炬光科技与Hanamura Optics公司签署代理协议

2012 年 7 月，西安炬光科技有限公司宣布与日本 Hanamura Optics 公司签订代理协议，授权 Hanamura Optics 公司代理炬光科技全系列高功率半导体激光器产品在日本的销售与服务。

此举是炬光科技在日本市场扩大其品牌影响力的又一举措。通过此次合作，炬光科技依托于 Hanamura Optics 公司丰富的行业经验、技术背景以及出色的销售能力，为日本客户提供满意的技术支持和优质的服务。

海洋光学与Tornado公司达成合作关系

海洋光学和 Tornado Medical Systems 近期就基于 Tornado 的 HTVS 技术研制的全系列光谱仪达成了一项共同开发、生产和分销的合作关系。HTVS 技术将成为新系列高性能光谱仪的核心，该系列光谱仪由两家公司共同研发，并由海洋光学销售。

HTVS 技术块可以使光谱仪在不使用额外移动部件和电路的情况下克服分辨率和光通量之间的矛盾关系。该技术适用于各种各样的光谱仪设计，并且可以适应不同类型的探测器、光栅和其他关键的光谱仪部件。

IPG在土耳其设立办事处

IPG 宣布在土耳其伊斯坦布尔开设新办事处，为土耳其及周边国家提供光纤激光器的支持与服务。该办事处人员包括销售、技术支持、工程师和行政人员。该办事处由 IPG 欧亚区域经理 Kubilay Yildirim 直接负责，现已正常运行。

在全球经济衰退的背景下，土耳其经济在 2010 年增长了 9.2%，2011 年增长了 8.5%，成为欧洲乃至全球经济增长最快的经济体。从 2011 年的 GDP 来看，土耳其已成为全球第 16 大经济体和欧盟第 5 大经济体。

新特光电工业园在武汉光谷奠基

新特光电工业园在武汉 • 中国光谷奠基，标志着新特光电工业园建设正式拉开序幕。这个具有里程碑意义的工程，标志新特光电进入了一个全新的跨越式发展阶段。

据悉，新特光电工业园的规划设计遵循了整体性、开放性、坚持生态优先、软硬件并重、统一规划和产业链建设的五大主要原则。该项目总投资 1 亿元，全部达产后可实现年销售额 30 亿元，将成为武汉 • 中国光谷具有国际影响力的战略性新兴激光产业示范园。

Oclaro与Opnext顺利完成合并

Oclaro 与 Opnext 顺利完成合并合，并后的新 Oclaro 将专注于光通信市场、工业与消费两大市场。公司将重组为三大业务部门以满足客户需求：光网络解决方案中心（北美）、模块和器件中心（亚洲和日本）和光子器件中心（欧洲和以色列）。

未来 Oclaro 的策略是专注于前端，也就是说公司自主设计制造芯片和晶圆。对于芯片之后的后端，未来三年里，Oclaro 会将之转移给合同制造商。

昂纳进军光纤激光器领域

以光网络产品作为核心业务的昂纳光通信集团，已经显示出了向多元化经营转变的决心。该集团总裁在其 2011 年年报中表示，昂纳除了向 40G 以及 100G 可调光通信产品继续发力外，还将考虑利用现有的技术平台，逐步进入光纤激光器领域。

据透露，昂纳已经成了了光纤激光器部门，并聘请了该领域专业人才，并将专业人才，并预计将于今年第四季度推出产品。昂纳表示，该业务日后将成为集团新的收入来源之一。

武汉金运激光纺织成套加工项目落户鞍山

武汉金运激光股份有限公司激光纺织成套加工项目正式签字落户辽宁（鞍山）激光科技产业园。

金运激光计划在鞍山高新区激光产业园建设拥有自主知识产权的激光磨砂、激光雕花及激光加工汽车用工业面料的激光纺织设备成套加工项目，主要是基于中小功率激光在工业柔性面料以及牛仔布和牛仔服装方面的应用，用激光加工逐步替代传统的水洗和磨砂加工工艺。项目达产后年产值 5 亿元以上，目前项目建设已启动。

大恒光学荣获“2012年上海市创新型企业”

8 月 21 日下午，在上海市科委、市国资委、市总工会、市知识产权局、张江高新区管委会五部门联合召开的上海市创新型企业建设推进大会上，上海大恒光学精密机械有限公司等企业被授予“2012 年上海市创新型企业”。

会上，相关部门还介绍了针对创新型企业的政策和服务举措。上海银行推出了针对创新型企业的信贷产品，在无实物抵押的情况下，可为每家创新型企业提供最低 1500 万元的授信额度。

新闻简讯 News Breaks

中意签署激光显示技术合作协议

山西傲维光视光电科技有限公司与意大利家庭影院产品制造商 SIM2Multimedia 公司签署合作框架协议。两家公司将合作开发激光显示设备，推动激光显示技术在山西省的产业化进程。

山西傲维光视光电科技有限公司主要从事激光显示技术中关键技术的研发与生产，在激光散斑消除、大功率激光光源集成等关键技术上获得技术突破，达到了国际先进水平。

激光在线监测技术研发成功

中钢集团武汉安全环保研究院有限公司主持的“CO 等工业过程气体气体激光在线监测技术与装备研究”项目通过了技术成果鉴定。该项目的主要任务是开发研究 CO 等工业过程气体激光在线监测技术与装备。

鉴定委员会一致认为：该项目成果采用的自主创新的在线自标定技术和自稳频技术已处国际先进水平。本项目开发的仪器系统通过了防爆、电磁兼容、计量等检测认证，现场应用试验取得满意结果。

台北科技大学用激光器制成光学无线网络

台北科技大学利用传统激光指示器设计制作了一个低成本、易实现的光学设备，用于传输数据，其速度达到了 USB2.0 的两倍。

该套设备使用的是红、绿激光指示器，并将激光指示器的供电由电池改为电源，使其开关速度变得更快——每秒钟 5 亿次，而两个指示器可在 30 英尺距离上每秒发射 10 亿次，误码率不超过 10 亿分之一。这样便可在实验室、医院或者无线信号容易受到其他设备干扰的地方轻松建立数据连接。

德国开发新型快速高灵敏激光检测技术

德国联邦教研部斥资 40.4 万欧元，支持联合研发项目“基于中红外激光源的光学直列流体分析仪（OIFA）”。该项目的目标是研发新型高敏感快速光学测量仪器，成品将是首个模块化的、坚固的光学传感器现场设备，可普遍用于测量各种的流体——气体或液体，可测量出最少量的毒素污染。

应用这项技术，原先复杂的样本制备与提取、用于运行实验室分析仪器的基础设施等均可放弃。

“好奇”号登陆火星 海洋光学光谱仪显身手

海洋光学 HR2000 光谱仪搭建的 LIBS 系统顺利完成八个月的太空之旅抵达火星。美国国家航空和航天管理局（NASA）于 2011 年 11 月发射了装载有海洋光学 HR2000 定制光谱仪的火星科学实验车——“好奇”号火星探测车，抵达后将对火星表面土壤成分进行探测。

采用激光诱导击穿光谱（LIBS）方法三套模块化的 HR2000 高分辨微型光纤光谱仪对火星岩石和土壤成分进行分析。

温州财政每年2000万支持激光应用建设

为了推进温州国家级激光与光电产业集群建设，温州市制定出台了激光应用专项规划，并将制定出台《加快激光技术应用的若干意见》，设立激光应用示范工程项目建设专项资金，在市财政相关专项资金中每年整合安排 2000 万元，重点支持重大应用技术研究开发项目、示范企业购买先进激光技术与设备补助、应用加工站建设补助等。高新区、经开区、瓯江口新区将为发展激光产业提供土地和空间支撑。

华工科技入列武汉“打造百亿企业”名单

武汉市科技局向武汉市人大报告“加快高新技术产业发展的五年行动计划”，武汉将着力打造一批“百亿企业”，华工科技入列该名单。

武汉市称将逐步加大投入。根据“加快高新技术产业发展的五年行动计划”，4 年内武汉光电子与新一代信息技术、先进装备制造产值过 3000 亿元，新材料、高技术服务产业超过 2000 亿元，并打造一批“百亿企业”，同期进入该名单的企业还包括烽火通信、长飞光纤等企业。

长光所成功获得钠激光导星图像设

由长春光机所和长春新产业共同承担的“钠激光导星实验系统及关键技术研究”项目顺利结题，成功捕获到钠激光导星图像，并已可长期稳定地进行观测实验。整个实验系统包括激光器、波长监测设备、发射望远镜、接收望远镜、高性能相机及跟踪架等，除波长监测及相机外，其他均为自主研发。

激光导星是地基大口径望远镜自适应光学系统的重要组成部分，可大幅扩大空间探测范围，提高成像清晰度，是大型望远镜的必备。

高功率半导体激光器

专业缔造品质



德国DILAS半导体激光器覆盖最广的波长范围、输出功率以及产品平台。DILAS的高功率半导体激光器注重结合每一项工程设计上的革新，致力于缔造卓越的光学输出效果。

我们提供可定制的机械和封装技术以及量身定做的光学耦合器件将为您创造最先进的均匀光束。无论是单阵列模块还是多阵列耦合模块，DILAS都能为客户提供业内独特的创新技术。

DILAS的一贯的专业精神便是产品品质的保障，竭诚为客户提供稳定、可靠、优异的光学输出效果。

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

量子级联激光器

新设计进一步拓展量子级联激光器的能力

量子级联激光器的最新进展包括室温下瓦级功率输出、超过20%的电光转换效率、更短波长、更窄带宽，以及来自带间量子级联激光器的新竞争。

Jeff Hecht

在2012年5月举行的CLEO会议上，来自瑞士联邦理工学院的Jérôme Faist在演讲中表示，量子级联激光器（QCL）的性能“已经超出了我的想象”。1994年，他在贝尔实验室工作时，曾针对第一台量子级联激光器发表了相关报道。[1] 他回忆道，第一台量子级联激光器只能在低温下发射微弱的10mW光功率，性能“简直糟透了”。

Jérôme Faist说他从未预料到室温条件下的量子级联激光器可以获得瓦级功率输出，并且能实现超过20%的电光转换效率！现有的先进设计及加工工具使得这些高性能量子级联激光器成为现实，并使它们成为传感器、精密测量装置以及军事对抗等红外（IR）应用中的关键工具。

通过量子阱实现级联

前苏联物理学家R.F. Kazarinov和R.A. Suris于1971年首次提出了量子级联激光器的概念，在此前一年，世界上第一台室温条件下连续运转的二极管激光器问世。[2] 他们提议通过一堆量子阱中的级联电子获得量子阱子带间的跃迁，以实现激光运转。

起初，他们的建议并不被人看好。子带间跃迁的吸收峰很窄，并且辐射寿命为亚皮秒量级，因此它们的自发发射比二极管激光器所采用的带间跃迁要小得多。然而，Faist称：“发光二极管效率低并不意味着激光器效率低。”通过一系列量子阱获得的电子级联，能够产生比自发辐射效率高的多的受激发射。对这一问题的认识，以及采用分子束外延方法生长的具有绝佳界面的极薄层，使得量子级联激光器在贝尔实验室诞生了。

最初的演示系统仅能在低温下输出毫瓦量级脉冲，但这已为进一步的性能提高开辟了道路。电子可以通过20-200个量子阱级联，并且在中红外波段的每次跃迁中仅损耗很小的能量。沿整个量子阱堆施加电压，能够减小克服接触电阻所消耗的那部分电压，因此其非常经济高效。

设计灵活性是量子级联激光器的主要优点之一。它们的性质很大程度上取决于装置结构而非半导体化合物，并且工作范围覆盖了中红外直到太赫兹波段，大致对应波段为3~300μm。设计人员可以采用其他半导体激光器所采用的结构，例如掩埋式异质结以及分布反馈。采用外腔设计可以获得超过中心波长10%的调谐范围。

优化量子级联激光器是一个复杂的过程，因为它需要在多种因素之间折中考虑。Faist称最新的数值模拟工具，可以利用遗传算法估计设计参量变化带来的影响，从而实现自动化设计。[3]

功率与效率

军事上对高功率中红外光源的兴趣推动了瓦级量子级联激光器的发展。2009年，美国Pranalytica公司一个由美国国防部先进研究项目局（DARPA）资助的研究小组，报道了室温下连续运转、输出功率3W的4.6μm量子级联激光器，这在当时是最高的输出功率。他们的新颖设计可以同时优化若干设计参量，从而将阈值电流密度降至



图1：Daylight Solutions公司开发的热激光笔。该系列产品可在3~20μm波段获得100mW输出，可用作激光笔、照明装置或信号灯。

0.86kA/cm^2，并且将电光转换效率提升到了 12.7%。[4]

去年，美国西北大学量子装置研究中心 Manijeh Razeghi 的研究小组报道了波长 4.9μm、输出功率 5.1W 的最高功率量子级联激光器。该装置采用掩埋型脊结构，腔体长度和宽度分别为 5mm 及 8μm，并能获得近似衍射极限的输出光束。该装置的浅阱设计，使得他们获得了高达 21% 的创纪录的连续波功率效率，脉冲效率达到 27%。[5] 此前，他们还报道了在 400μm 脊宽的波导中获得波长 4.4μm、峰值功率 120W 的 200ns 脉冲输出，占空比为 0.2%。[6] 图 2 显示了室温条件下，在多个波长处他们记录的量子级联激光器的最高连续波功率。

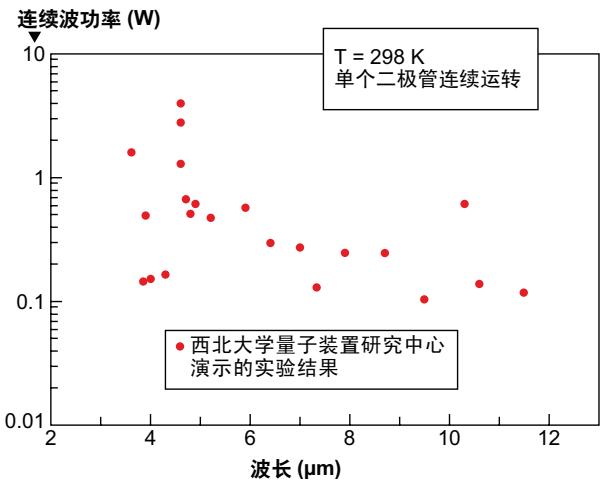


图2：西北大学量子装置研究中心获得的室温条件下、单个量子级联激光器输出的最高连续波功率。

美国 Daylight Solutions 公司的 Erik Takeuchi 表示，商品化量子级联激光器能够在 4~5μm 的中红外波段大气窗口输出 2W 的衍射极限光束，可达到的最大功率取决于波长。他说，从物理学角度出发，量子级联激光器最高功率波长在 6μm 附近，但由于大气传输损耗较大，因此人们对该波长并不感兴趣。目前，量子级联激光器可在 8μm 处获得 1.5W 左右的较低功率输出。

迄今为止，量子级联激光器的最高效率是在低温条件下实现的，此时内部量子效率可以超过 80%。然而，直到 2010 年以前，最高的电光转换效率要比这一效率小一半。Razeghi 的研究小组将 5μm 量子级联激光器冷却到 40K，获得了 53% 的电光转换效率。这是首台产生的红外光多于热量的量子级联激光器。[7]

波长及带间级联激光器

量子级联激光器的重要制约因素之一在于波长小于 4μm 时，它们的性能会变差，这是由砷化物量子阱系统的限制造成的。解决该问题的方法之一是将锑化物添加到量子级联激光器结构中。在 2012 年的 CLEO 会议上，英国 Dundee 大学的一个研究小组介绍了室温下锑化物量子级联激光器在 3.2μm 波段调谐范围可以达到 85nm。[8] 但锑化物需要特别的加工技术，并且 Faist 研究小组报道了脉冲运转的无锑化物量子级联激光器能够在 3.3μm 波段获得 450nm 的调谐范围 [9,10]。

与此同时，此前主要工作在 3~4μm 波段的带间级联激光器（ICL）正在向更长波长迈进。如图 3 所示，带间级联激光器是量子级联激光器与常规二极管的混合产物。尽管电子通过一系列量子阱级联，但它们在导带与价带之间跃迁以获得光输出，这一点与二极管相似。随后电子遂穿到下一个量子阱，与量子级联激光器相似。

2011 年，美国海军研究实验室 Jerry Meyer 的研究小组展示了重掺杂电子注入能够增加量子阱中的电子数量，从而将带间级联激光器在室温下的阈值电流密度降至 170A/cm^2，并且将电光转换效率提升至 13.5%。[11] 这使得带间级联激光器的输出波长能够向更长波长移动，并且在更长波长它们的低输入功率对那些低功耗应用（例如传感）而言更具吸引力。Meyer 在 CLEO 会议上表示：“我们的带间激光器输出波长可以超过 6μm。”他的研究小组已经演示了室温条件下 5.6μm 波长处的连续波运转，以及在 190 K 低温条件下 9.4μm 波长处的脉冲运转。[12]

美国俄克拉何马大学的一个研究小组采用等离子波导带间级联激光器获得了更长波长输出。在 CLEO 会议上，他们报道了 166 K 条件下单个激光器可以获得 10.3μm 的连续光输出。奇怪的是，该装置在 125 K 时的发射波长为 9.0μm，但在 150 K 时则跳到更长波长。该现象至今还没有理论解释。[13]

频率梳及宽带宽

中红外光谱学家已经将频率梳的较弱单频分量输出作为种子注入到量子级联放大器中，以获得精确校准的波长输出。由于增益恢复时间仅为 0.3ps，这比高性能量子级联激光器腔内几十皮秒的往返渡越时间短得多，因此很难从量子级联激光器获得锁模运转。这似乎阻止量子级联器产生飞秒频率梳。

然而在 CLEO 会议上，Faist 称除了令超短脉冲在锁模激光器中往返传输外，还有其他产生频率梳的方法。关键在于激光发射是周期性的，并且能够重复腔的往返渡越频率。因此拥

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

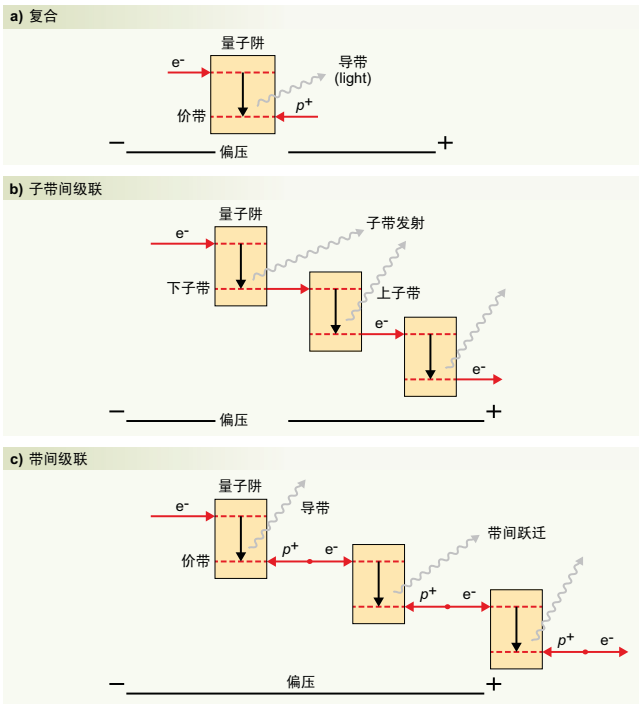


图3：通过带间跃迁发射的激光二极管（a）与量子级联激光器（b）以及带间级联激光器的比较。在激光二极管中，导带电子与单个量子阱中的空穴复合，从而通过带间跃迁发射。在量子级联激光器中，单个电子通过一系列量子阱跃迁，并且每次在量子阱子带间跃迁发光。在带间级联激光器中，电子在量子阱中向右运动，空穴向左运动。每个量子阱都会产生新的电子-空穴对。在两种级联激光器中都施加高的偏压，但量子级联激光器仅掺杂电子，而带间级联还包括p掺杂以产生空穴。

有低群速度色散的理想频率调制激光光谱，可以看作一系列离散的、等频率间隔的频率梳。

在 CLEO 会议上，Faist 的学生 Andreas Hugi 报道了在自由运转宽带量子级联激光器中获得了 7μm 处 490nm 宽的频率梳。单个频率的拍频线宽仅为 10Hz。[14]

前景与应用

量子级联激光器已经成为一种商用技术，应用包括毫瓦量级传感应用，以及中红外对抗、中红外相机和热相机用的激光笔等更高功率应用。Takeuchi 称新的发展趋势之一是将传感应用拓展到 14~16μm 波段，在此碳氢化合物的标志将比中红外波段更为与众不同，而在中红外波段它们之间有很多重叠。他还称：“可以在更长波段很清晰地区分苯、甲苯以及二甲苯，这是一个绝佳的商业应用。”

即便是没有“制胜应用”，商用市场依然前景广阔。Takeuchi 称过去的六年间，量子级联激光器的成本已经下降了一个数量级。制造商们也已经建立起了在采用新技术前所需要的可靠性数据。Takeuchi 补充道，Daylight 公司对大约 100 个装置超过 5.5 万小时的总运行时间测试中，“还没有发现装置失灵”。直到现在，它们看起来非常棒。❑

参考文献：

1. J. Faist et al., “Quantum cascade laser,” Science, 264, 553–556 (April 1994).
2. R.F. Kazarinov and R.A. Suris, “Possibility of amplification of electromagnetic waves in a semiconductor with a superlattice,” Fiz. Tekh. Poluprov., 5, 797–800 (1971); transl. in Sov. Phys. Semicond., 5, 707–709 (1971).
3. R. Terazzi and J. Faist, New J. Phys., 12, 033045 (2010).
4. A. Lyakh et al., “3 W continuous-wave room temperature single-facet emission from quantum cascade lasers based on nonresonant extraction design approach,” Appl. Phys Lett., 95, 14, 141113 (2009).
5. Y. Bai et al., “Room temperature quantum cascade lasers with 27% wall-plug efficiency,” Appl. Phys. Lett., 98, 181102 (2011).
6. Y. Bai et al., “High power broad area quantum cascade lasers,” Appl. Phys. Lett., 95, 221104 (2009).
7. Y. Bai et al., “Quantum cascade lasers that emit more light than heat,” Nat. Photon., 4, 99 (February 2010).
8. T. Kruczek et al., “3190–3275 nm tuneable, room temperature, external cavity InAs/AlSb Quantum Cascade Laser,” CLEO Tech. Dig., paper CF1K.6 (2012).
9. A. Bismuto et al., “Sb-free quantum cascade lasers in the 3–4 μm spectral range,” Semicon. Sci. Technol., 27, 045013 (2012); doi:10.1088/0268-1242/27/4/045013.
10. S. Riedi et al., “EC tuning of broadband QCL active region designs around 3.3 μm and 8 μm,” CLEO Tech. Dig., paper CF1K.2(2012).
11. I. Vurgaftman et al., “Rebalancing of internally generated carriers for mid-infrared interband cascade lasers with very low power consumption,” Nat. Commun., 2, 585 (Dec. 13, 2011); doi:10.1038/ncomms1595.
12. C.L. Canedy et al., “Improved interband cascade lasers for LAMBDA=3-5.6 μm,” CLEO Tech. Dig., paper CF1K.3 (2012).
13. L. Li et al., “Interband cascade lasers at long wavelengths,” CLEO Tech. Dig., paper CF3K.2 (2012).
14. A. Hugi et al., “Mid-IR broadband quantum-cascade laser frequency comb,” CLEO Tech. Dig., paper CTh3N.3 (2012).

集成光子学

集成 F-P 激光器阵列实现 100Gbit/s 数据传输

Gail Overton

100G 光互联空间的主要挑战在于设计和制造能够支持大型数据中心长达几千米传输距离的高速、低成本激光器。尽管垂直腔表面发射激光器（VCSEL）已经广泛用于 1~10Gbit/s 数据传输应用，但是它们却无法胜任 100G 系统，因为受到 OM3 光纤（多模光纤，纤芯 / 包层直径为 50 μ m/125 μ m）的限制，VCSEL 的传输距离仅为 100m，该距离对于大型数据中心而言显然太短了。

美国 Kotura 公司市场营销总裁 Arlon Martin 表示：“10km 传输距离、100GBase LR（100Gbit/s、基带调制及长距离传输）的 IEEE 802.3 规范几乎覆盖了任何数据中心，但是该规范需要四个直接调制分布反馈（DFB）或电吸收（EA）激光器，通过波分复用（WDM）将所有四个通道的信号耦合到一根光纤中。该方法存在成本、功耗以及尺寸方面的问题。由于结构复杂，这些收发器的成本是能达到同等传输距离的 10G 收发器的 100 倍。”

Martin 表示，那些期待下一代收发器能够以更低成本传输更多数据量的客户十分失望，除了成本问题外，其功耗也高达 20~24W，相比之下 10G 数据传输的功耗仅 1~2W。最后，100G 的 C 型可插拔（CFP）封装模块的尺寸也很大（比 iPhone 还要大），以至于在 19 寸开关面板上仅可安装四个模块，这使得 100G 收发器的密度要比 10G 收发器的密度小。

Martin 表示 100G 收发器的成本较高，因为其对激光器的要求更为严格：频率间隔 800GHz，在 1300nm 波长处对应的波长间隔约为 4.5nm，这意味着激光器的中心波长必须精准的为 1295.56nm、1300.05、1304.58nm 以及 1309.14nm。此外，为了实现复用和系统可互用性，激光器仅能利用 4.5nm 窗口中的 2.1nm。激光器制造商们不但要开发高性能的 25GHz 激光器以匹配这一高标准的波长需求，而且还要抛弃那些无法满足该波长需求的高品质激光器。

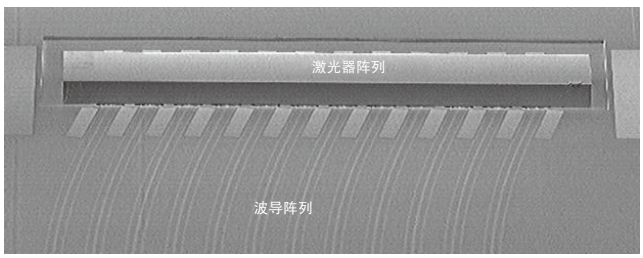


图1：单条12个激光器阵列通过倒装焊接到硅光子芯片上，并且耦合到对应的波导中。

更好的解决方案

F-P 激光器是一种很容易制造的激光器，它们具有较宽的增益带宽，并且不需要复杂的分布反馈式光栅，也不需要多段电吸收激光器的电吸收级。F-P 激光器的尺寸很小，因此可将 10,000 个甚至更多 F-P 激光器集成到单片磷化铟（InP）晶片上，并且产量很高。然而，F-P 激光器通常不能用于高速数据中心应用，因为它们的调制速度太慢，并且它们的激射模式不能满足波分复用系统的需求。

美国 Kotura 公司开发出一种新方法，能够将低成本 F-P 激光器转换为高速 WDM 激光器，以满足数据中心的应用需求。Kotura 公司采用自动取放机以及无源光路调节（激光器处于关机状态），将激光器阵列倒装焊接到硅光子芯片上。利用物理特征以及光路调节标志，将整个激光器阵列焊接到位，并且每个激光器精确地与硅光子芯片上相应的波导相耦合（见图 1）。

将宽带激光谱转换为精确的 WDM 波长，需要在硅芯片的每个波导上都安装光栅。采用光刻掩模可以同时刻划光栅，因此每个激光器都有其精确的光栅，并且该光栅由硅加工过程定义，而非 InP 加工过程。这意味着每个激光器可以产生所需波长，并且几乎可以获得所有波长。如果需要更多通道，可以采用更大的阵列，并向硅芯片中增加额外的波导和光栅。采用这种方法，可以

下转第23页

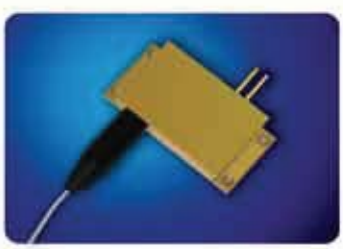
BWT BEIJING
北京凯普林

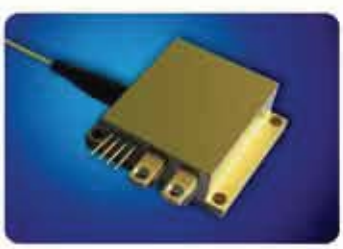


中国的光纤耦合专家

产品应用：
本公司产品广泛用于医疗、工业加工、监控显示、科研等多个领域，并且参与了北京奥运会大屏幕激光显示、高功率光纤激光器光源供应、计算机直接制版印刷等多个国内重大项目的研发。

服务范围：
本公司主要提供的产品有半导体激光器组件、半导体激光器电源、半导体激光器系统、固体激光器、光学耦合器等，波长由405nm至1550nm，1mw~50W出光功率，多样的封装形式，灵活的应用解决方案和全面、专业的技术服务，满足用户个性化需求。







欢迎莅临

2012年9月6日-9日 CIOE-2012（深圳会展中心）展位号：1E02
2012年10月16日-18日 ILOPE-2012（北京三元桥国展）展位号：3107

北京凯普林光电科技有限公司
地址：北京市丰台区科技园航丰路甲4号6层 邮编：100070
电话：010-83681053 传真：010-83682949
邮箱：sales@bwt-bj.com 网址：http://www.bwt-bj.com

BWT BEIJING

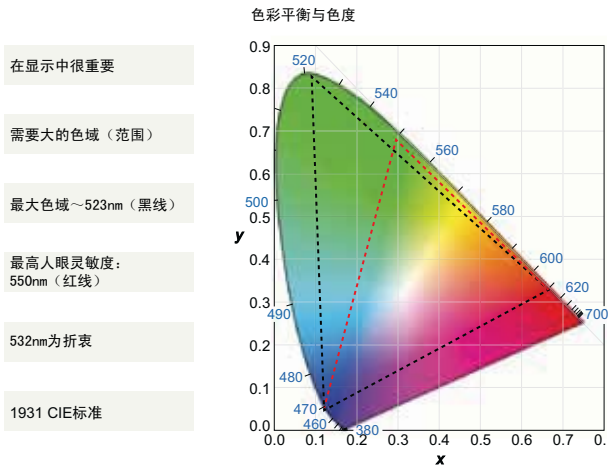
ISO9001:2008 certified

半导体激光器

激光二极管输出 536nm 绿光

Jeff Hecht

铟镓氮化物（InGaN）激光二极管的性能已经达到了一个新的顶峰：能在比 532nm 倍频 Nd：YAG 激光器更长的绿光波长处连续输出。此前的长波长纪录是日本住友电工（Sumitomo Electric）实现的 527nm。现在，住友电和索尼公司先进材料实验室的一个研究小组报道，他们实现了波长大于 532nm 的连续波二极管，输出功率超过 100mW；另外还实现了 536.6nm 连续波发射，但并未给出该波长处的输出功率。



图：如CIE色度图所示，当绿光激光器的发射波长为523nm时，三色激光显示所产生的颜色范围最大；但当绿光激光器在人眼最灵敏的550nm波长发射时效率更高。

研究人员获得的此项成功，有望成为激光显示和投影仪发展领域的一个里程碑。在激光显示和投影应用中，虽然可以使用倍频钕激光器，但它们需要外部调制，较为复杂繁琐。由于绿光激光二极管可以直接调制，并且体积小巧、更加有效，因此其更具吸引力，特别是对于移动设备而言。据住友半导体技术研发实验室的研究人员介绍，激光投影仪研发人员一直在寻找功率 50mW、电光转换效率达 4.5%的绿光激光器。[1]

他们还希望激光二极管的发射波长在 530~535nm 范围内，而不是目前商品化绿光激光二极管发射的 515~520nm。对于大多数应用而言，10nm 的波长偏移并不算重要，但是激光投影是一个例外，这主要是因为绿光在人眼视觉中的重要性所致。

这其中的一个原因是：人眼中感应色彩的视锥细胞的峰值响应位于绿光波段的 555nm，与地球表面上的太阳光谱峰值相匹配。第二个原因是色觉取决于眼睛的色彩受体的相对响应，红色和绿色受体靠得很近，峰值分别在 540nm 和 570 nm。这种响应使得用于激光投影仪的绿光波长在决定可显示的色域（或颜色范围）方面尤其重要。如国际照明委员会（CIE）给出的图中所示，最大颜色范围对应的波长约为 523nm，但由于人眼在更长波长具有更高的灵敏度，显示的最佳波长偏移到了 530~535nm。

半极性晶面

目前所面临的挑战是生长含有约 30％的铟、达到 520~530nm 波段的优质二极管。商品化 InGaN 激光二极管在基底的六角形 C 晶面上生长，该晶面具有强极性，因而电场将电子和空穴分隔开。这样，无需添加更多的铟就能将发射波长红移，但代价是复合率和发光效率的降低。

一种替代方案是在与 C 晶面正交的非极性 M 晶面上生长，但二极管的制造却较为困难。鉴于这种情况，研究人员采取了折衷方案。他们在与 C 晶面和晶轴均成 45° 角的半极性晶面上生长二极管，这样生长更容易，效率更高，尽管需要更多的铟。

目前，研究人员报道了在半极性 GaN 基底上所生长的 InGaN 二极管，在创纪录的长波长处实现了 100mW 的连续输出。研究人员制备了一系列 2μm 宽和 500μm 长、以不同波长发射的脊形波导激光器，并在 525.1nm、532.1nm 和 535.7nm 分别测得了 167mW、107mW 和 75mW 的输出功率。研究人员还观察到了 536.6nm 的连续波，但是没有报道功率，可能是因为功率低于他们认为的激光投影仪所必需达到的 50mW。

高电光转换效率

研究人员报道，该激光二极管在 525~532nm 的电光转换效率为 7.0％~8.9％，远高于投影仪的最低要求，相比之前的半极性激光器已有所改善。“斜率效率的提升是获得更高输出功率的关键因素，”研究人员表示。将阈值电压从先前激光二极管的 6.4

下转第18页

技术中心 Technologies Center

太赫兹源

纳米天线提升光混频太赫兹源的性能

与使用典型交叉指型结构的光混频器相比，通过将纳米天线结构加入到光混频器中，能将太赫兹发射的功率提高两个数量级以上。

Hendrix Tanato，Jing Hua Teng，Stefan A. Maier

得益于半导体激光器和光电子集成技术的发展，采用光混频技术的太赫兹源有望实现连续波（CW）发射、波长可调谐以及更加紧凑的结构。然而，缺乏有效的室温运转能力，仍然是开发紧凑型太赫兹系统所面临的重大技术障碍。新加坡科技局（A*STAR）与伦敦帝国理工学院的一个研究小组发现：与使用典型交叉指型结构的光混频器相比，通过将纳米天线结构加入到光混频器中，能将太赫兹发射的功率提高两个数量级以上。这种新的集成纳米天线的光混频器，可能会成为用于高分辨率成像和光谱系统的高效、紧凑型连续太赫兹源的关键技术。

为什么选择光混频？

事实上，人们对远红外（IR）电磁波（包括太赫兹波）的研究始于20世纪初，主要受到黑体辐射等研究的驱动。[1] 在过去的二十年中，受到强大的公众和国家需求的驱动，包括面对如隐蔽武器和复杂走私活动的安全问题、超宽带通信不断增长的需求，以及日益增加的生物医学成像及生物科学需求，业界对太赫兹波的科研兴趣日益高涨。[2]

现代太赫兹系统应当具有紧凑、高效、价格可承受的特点，这使得半导体自然而然成为所选择的材料，尤其是在集成电路和光电子学显著发展的背景下。基于Auston开关的脉冲太赫兹源，是首批实用的半导体太赫兹源之一。[3] 这种太赫兹源由具有高脉冲能量的飞秒激光泵浦，能够提供毫瓦级的峰值功率，并已广泛用于太赫兹时域光谱和成像系统。这些系统目前正用于一些特定的细分市场，尤其用于生物医学、制药和食品行业的无损检测。

不幸的是，基于飞秒激光的太赫兹时域系统缺乏可调谐性，并且体积大、成本高。业界一直希望能有一种由低成本连续波半导体太赫兹源驱动的便携式、低成本、波长可调谐、并且具有高光谱分辨率的太赫兹系统。

半导体连续太赫兹源发展中最令人兴奋的技术之一是量子级联激光器（QCL），它在半导体多量子阱（MQW）结构的重复堆叠中采用单极载流子和带内跃迁，而不是传统半导体激光器中的“电子-空穴”对的带间跃迁。[5]

量子级联激光器的发射波长取决于量子阱结构带内能量水平的设计，并不再完全由组成半导体的带隙能量决定。但是随着光子能量的下降，尤其是运行在较低太赫兹范围的情况下，电子的热能将占主导地位，因此低温冷却必不可少。虽然一些新的量子级联激光器结构（例如散射辅助设计）可以运行在1.8THz、163K的条件下，在较低的太赫兹范围内实现量子级联激光器的室温运行，仍然是业

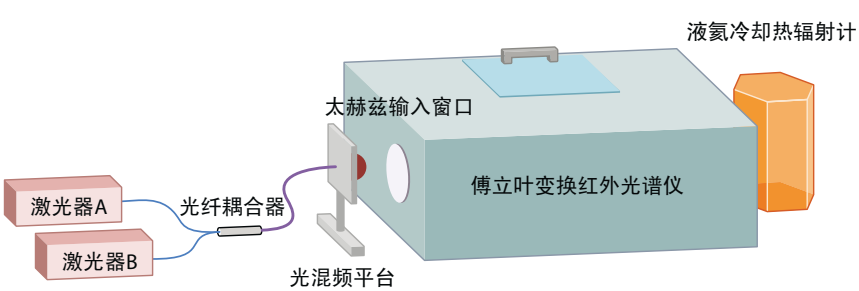


图1：光混频器装置示意图显示了两个频率略有偏移的激光器耦合到光纤中，用作在光电导设备中产生载流子的光泵浦。产生的交流电流驱动平面金属天线，辐射太赫兹波到真空傅立叶变换红外光谱仪（FTIR）系统的输入窗口。最后，利用液氦冷却的热辐射计来探测太赫兹波。

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

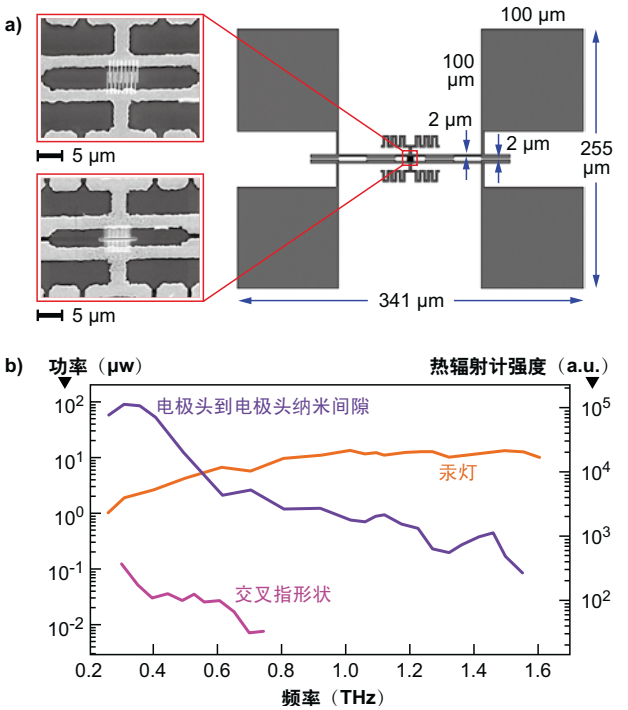


图2：扫描电子显微镜（SEM）图像（a）给出了太赫兹光混频装置（右）中具有交叉指形电极（左上）和电极头到电极头纳米间隙电极（左下）的激活区域。图（b）给出了光混频器的输出功率，以汞灯为参考。

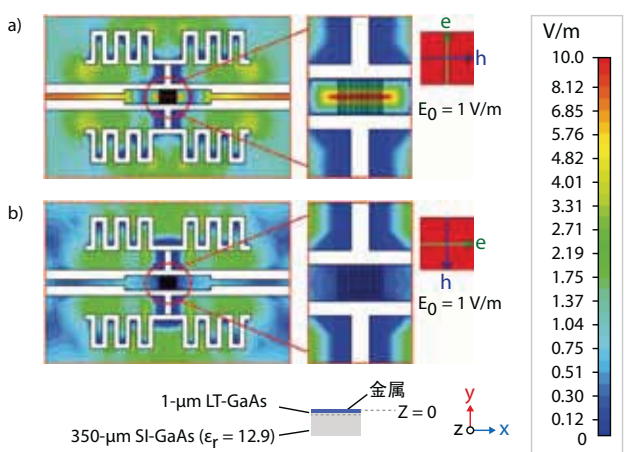


图3：光混频器在1THz平面波照射下的模拟电场太赫兹分布，（a）图所示为具有电极头到电极头电极激活区域的光混频器，（b）图所示为带交叉指形电极激活区域的光混频器。插图所示为模拟中用到的样品结构。

内面临的一个重大挑战。[6] 尽管半导体电子设备使用共振隧道二极管技术，可以运行至高达 1.1THz，但所获得的最大发射功率只有 100nW。[7]

光混频能够在室温下产生连续的太赫兹辐射，并且具有适当的输出功率水平和高分辨率的调谐，是一种颇有前途的技术。[8] 半导体激光器和光电子集成技术领域所取得的进展，以及近期业界在太赫兹超材料研究方面获得的迅速发展，为控制和操纵太赫兹波提供了许多新的解决方案。[9]

在该研究小组的光混频实验装置中，两个具有特定太赫兹偏移频率的可调谐激光器用作光泵浦源（见图 1）。激光被聚焦到光混频器的激活区域，以在光电导材料中产生载流子。外部施加的电场随后在激活区域内将这些载流子驱动到指状电极，产生以太赫兹频率振荡的电流。该电流驱动一个辐射太赫兹波的平面金属天线。在这个过程中，光混频器载流子产生区域（激活区域）的载流子捕获效率，是影响太赫兹波功率的最关键因素之一。

在一个典型的最先进的连续波太赫兹光混频器中，激活区域由原先用于“金属 - 半导体 - 金属”光电二极管中的交叉指形状的电极组成。为了改善这种电极配置的载流子捕获效率，必须在指状电极分离和载流子产生强度之间进行权衡。

电极头到电极头纳米间隙电极结构

该研究小组研发的激活区域结构由电极头到电极头配置的独特纳米金属电极组成，各个针尖之间的间隙仅为 100nm，这在本质上发挥了纳米天线的作用，从而增强了太赫兹发射功率。[10] 研究人员利用低温生长的砷化镓（LT GaAs）材料制造光混频器，该材料展示出了满足上述目标的合适特性：亚皮秒的载流子寿命、高电阻率和高载流子迁移率。

研究人员采用典型的光刻工艺加工微天线结构，并用电子束光刻工艺加工纳米间隙电极工作区域。随后通过电子束金属沉积和金属剥离工艺产生具有交叉指形电极以及电极头到电极头纳米间隙电极的光混频器（见图 2）。

激活区域内指状电极的宽度和间隔分别为 100nm 和 300nm，交叉指形电极和电极头到电极头纳米间隙电极相同。这两种装置都采用改进的弯曲太赫兹天线用于太赫兹辐射，并在相似的条件下进行测试。砷化镓基底端发出的太赫兹波被耦合到硅超半球形透镜，然后通过真空傅里叶变换红外光谱仪（FTIR）测量太赫兹波。真空傅里叶变换红外光谱仪中具有液氦冷却的硅热辐射计探测器。

为了得到连续波太赫兹光混频器的近似输出功率，研究人员使用汞灯黑体功率辐射源作为参考。测得的光混频

器（带交叉指形电极和电极头到电极头纳米间隙电极）的连续波太赫兹发射表明：在大约 1.3THz 的带宽内，输出功率显著增强。在该工作范围内，与仅具有交叉指形电极的光混频器相比，该光混频器的输出功率大约增强了两个数量级（并且发射带宽翻倍）。

太赫兹功率增强的原因

利用时域有限差分法（FDTD）和德国 Computer Simulation Technology（CST）公司的 CST Microwave Studio 仿真软件，研究光混频器在 1THz 平面波照射下的电场（近场）分布，研究人员发现：在电极头到电极头纳米间隙的激活区域内，电场强度大幅增强（见图 3）。在模拟中使用的尺寸与实际制造的光混频器尺寸一致，入射到两种光混频器的太赫兹平面波的强度都保持在 1V/m。

入射太赫兹平面波的电场沿 y 轴传播，与直流偏置电场的方向相同。与交叉指形结构相比，电极头到电极头纳米间隙结构的太赫兹波透射率约增强 100 倍。光混频器的激活区域发挥纳米天线的作用。如果激活区域具有更强的电场，太赫兹天线辐射的电场强度也将得到增强。

与此相反，交叉指形结构的光混频器表现出低得多的电场振幅。入射太赫兹平面波的电场设置为沿 x 轴传播，平行于直流偏置电场的主导方向。尽管在这种配置中太赫兹功率也有所增强，但电场并没有辐射，而是被限制在基底中。由于交叉指形电极结构类似于平板电容器，与电极头到电极头纳米间隙电极结构相比，其大部分电磁能量都被存储、而不是被辐射。

最后，利用瑞典 COMSOL 公司的 COMSOL Multiphysics 仿真软件，展示了电极头到电极头纳米间隙电极的电容比交叉指形电极的电容小 1/3 以上。更小的电容意味着更低的 RC 时间常数，这有利于设备的操作——尤其是在较高的太赫兹频率下。测得太赫兹功率的显著增强，源于更强大的太赫兹天线辐射的累积效应和纳米天线的辐射。❑

参考文献

1. E.D. Palik, J. Opt. Soc. Am., 67, 7, 857-865 (1977).
2. M. Tonouchi, Nat. Photon., 1, 97-105 (2007).
3. X.C. Zhang et al., J. Appl. Phys., 71, 326-338 (1992).
4. C. Jansen et al., Appl. Optics, 49, E48 (2010).
5. B.S. Williams, Nat. Photon., 1, 517-525 (2007).
6. S.Kumar et al., Nat. Phys., 7, 166-171 (2011).
7. M. Feiginov et al., Appl. Phys. Lett., 99, 233506 (2011).
8. E.R. Brown et al., Appl. Phys. Lett., 66, 285-287 (1995).
9. H. Tao et al., IEEE J. Select. Topics Quantum Electron., 17, 92-101 (2011).
10. H. Tanoto et al., Nat. Photon., 6, 121-126 (2012).

Hendrix Tanoto 为新加坡科技局（A*STAR）材料研究与工程研究所的科学家，Jing Hua Teng 为该研究所的高级科学家、超材料项目经理；Stefan A. Maier 为伦敦帝国理工学院等离子体和超材料中心的联合主任及教授。

上接第15页

V 降低至 4.7 V，对更高的电光转换效率也有贡献。研究人员在工作温度为 80℃的 528.1nm 激光器中测得了 90mW 的输出功率，这表明他们的激光器可用于散热受限、内部温度较高的便携设备中。

索尼公司先进材料实验室还报道了更多好消息：发射波长在 527~530nm 的类似半极性 InGaN 激光二极管，具有更长的使用寿命。[2] 从持续约 1000 小时的测试外推，研究人员估计 50mW 激光器的使用寿命应该超过 5000 小时，70mW 激光器的使用寿命至少为 2000 小时。

这些结果特别是那些可靠的数据，都令人印象深刻。接下来要迎接的挑战就是如何实现商品化生产。❑

参考文献：

1. S. Takagi et al., Appl. Phys. Expr., 5, 082102 (2012).
2. K. Yanashima et al., Appl. Phys. Expr., 5, 082103 (2012).

特种光纤

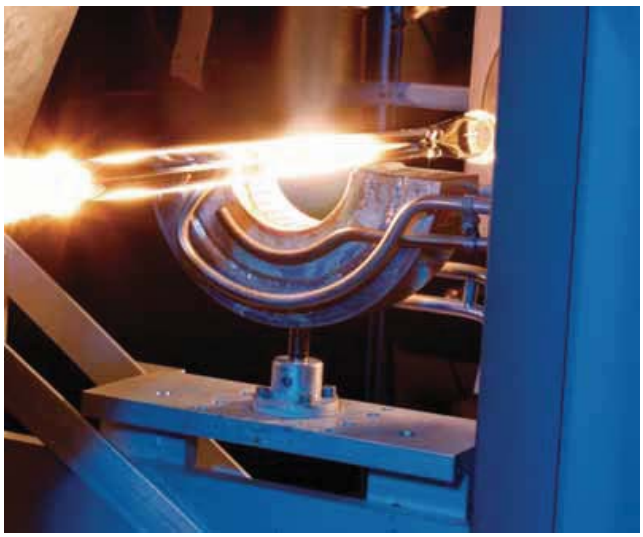
高饱和能量掺镱光纤推动脉冲光纤激光器发展

采用掺镱玻璃基质的40W、2mJ的高饱和能量脉冲光纤激光器，解决了传统掺镱光纤的许多问题，同时还显现出了若干其他优点。

Michel Begin，Bertrand Morasse；CorActive公司

工业、医疗以及太阳能市场的新型材料加工应用，需要高能量、高峰值功率的脉冲激光器。为了满足这些新的应用需求，日益变化的市场条件向激光制造商们不断提出新的挑战，进而促使他们不但要降低成本，而且还要开发出更具创新性和更具成本效益的技术。鉴于这种市场环境，光纤激光器在过去的几年中显示出了广阔的发展前景，并且正在日益侵蚀固态激光器和 CO_2 激光器的市场份额。

用于材料加工的波长接近 1 μm 的脉冲光纤激光器，通常采用掺镱的硅玻璃。但是，高能量脉冲光纤激光器在设计中存在诸多挑战，并且常规的掺镱玻璃光纤无法轻松地克服这些问题。幸运的是，采用高饱和能量玻璃基质的掺镱高能脉冲光纤激光器，克服了常规掺镱光纤遇到的很多限制，同时还显现出了其他诸多优势。



光纤激光器的光纤选择

硅光纤凭借光束质量好、散热快、功率高并且耐用性好等优势，成为了光纤激光器中普遍采用的增益介质。因此，硅光纤激光器也比传统的气体激光器和晶体激光器具有显著的优势。

在光纤激光器中，要获得 1 μm 波段的激光输出，通常采用掺镱光纤，因为掺镱光纤效率高、掺杂浓度高并且泵浦吸收带宽。此外，双包层光纤（DCOF）结构使得来自低亮度、高功率泵浦二极管输出的光，可以大量耦合到双包层光纤的包层中。采用这种结构，能在较小的纤芯内将高亮度信号光放大到很高的功率水平，并且具有很好的光束质量。输出波长为 0.9~1.0 μm 的高亮度光纤耦合半导体泵浦二极管，其输出波段恰好与掺镱双包层光纤的吸收带相匹配，并且这些二极管很容易在市场上获得，因此使得光纤激光器更加具有吸引力。

在设计高能量、高峰值功率的脉冲光纤激光器时，选择最佳的增益光纤以满足性能和成本需求是最为关键的因素。由于互作用长度很长，双包层光纤容易受到非线性效应的影响，例如受激拉曼散射（SRS）和自相位调制（SPM），因此需要对这些非线性效应进行适当管理。[1] 在主振功率放大器（MOPA）中，半导体种子激光器的输出线宽很窄，因此在放大过程中会产生受激布里渊散射（SBS）。要获得可靠的系统运转，也必须要充分抑制受激布里渊散射。

为了减少这些非线性效应，有源光纤的选择至关重要，需要选择具备以下特征及特性的增益光纤：饱和能量高以减小脉冲失真、非线性效应阈值高、泵浦吸收率高以缩短光纤长度并提高非线性效应阈值、效率高以降

技术中心 Technologies Center

低泵浦功率需求并降低热管理、稳定的长期输出功率以避免光暗效应导致的光纤变差，此外增益光纤还要能输出高品质光束。

当然，在实际中也要对上述众多参数进行折中考虑。例如，要想获得高的饱和能量需要采用更大的纤芯直径，而这通常又会导致光束质量变差；要想获得高的泵浦吸收，可以采用更大的纤芯直径或者提高镱掺杂浓度，而后者通常导致光暗效应更加严重。

常规的掺镱光纤

在高脉冲能量下（>50 μ J），脉冲失真可以严重影响输出脉冲形状，使其偏离设计预期，并且会产生不需要的高峰值功率从而降低非线性效应阈值。众所周知，有多种方案可以对种子二极管信号脉冲进行整形，以降低非线性效应。然而，尽管种子二极管输出可以很容易获得任意脉冲形状，但是在放大过程中，特别是在输出能量较高的情况下，要想维持脉冲形状却极为困难。当放大达到功率放大器的饱和能量时，脉冲前沿将耗尽增益，因此脉冲后沿将不会放大。

有很多报道都指出过光纤放大器中的这一现象，它是由增益介质的饱和能量造成的，可通过下式计算：

$$E_{sat} = \frac{(hc_O/\lambda_O)\mathrm{A}}{(\sigma_e + \sigma_e)\Gamma}$$

其中 h 是普朗克常数，c_0 是真空中的光速，λ_0 是信号光在真空中的波长，A 是光纤的纤芯面积，Γ 是信号模场分布与掺镱离子区域相重合的部分，σ_e 和 σ_a 分别是信号波长处的发射和吸收截面。[2-6]

对于波长 1.06 μ m、重叠因子接近 1、芯径 20 μ m 的光纤而言，传统玻璃光纤的饱和能量约为 0.15mJ。这意味着将脉冲放大到 0.15mJ 会导致脉冲失真。

表1：CorActive公司FA系列掺镱高饱和能量光纤的规格

型号	纤芯直径 (μm)	包层直径 (μm)	纤芯数值孔径 (NA)	泵浦吸收 @ 915 nm (dB/m)	应用
DCF-YB-7/128-FHA	7	128	0.19	1.3	预放大器
DCF-YB-15/28P-FA	15	128	0.13	5.5	功率放大器 (10 W/0.5 mJ)
DCF-YB-20/128P-FA	20	128	0.11	9	功率放大器 (20–30 W/1 mJ)
DCF-YB-30/250P-FA	30	250	0.11	5.5	功率放大器 (30–40 W/1–2 mJ)
DCF-YB-50/400P-FA	50	400	0.11	4.5	功率放大器 (>40 W, >2 mJ)

尽管光纤放大器能提供卓越的光束质量，并且易于集成，但是较小的纤芯面积会很快限制系统的饱和能量。在增加纤芯面积方面并没有很大的空间，因为光束质量会随纤芯面积增大而变差，并且光纤集成以及包装也更加困难。

高饱和能量玻璃基质

另一种方案是减小增益光纤的截面参数，它取决于所采用的玻璃基质。采用不同的玻璃基质更具吸引力，因为掺镱截面仅为传统玻璃光纤的一半，并且保有纯硅光纤绝佳的机械属性和热属性。值得一提的是，它们与标准的硅玻璃光纤之间的焊接一点也不会受到影响。

例如，采用不同的玻璃基质，芯径 20 μ m 的光纤的饱和能量可以达到 0.35mJ，这是常规采用硅玻璃掺镱光纤的两倍还要多。也可以采用锗硅酸盐或氟化物玻璃等玻璃基质，但它们的光致以及机械性能相对较差。还可以选择高饱和能量玻璃基质制造的 FA 系列掺镱光纤，并且纤芯 / 包层直径可调，以满足多种高功率脉冲光纤激光应用的需求（见表 1）。

实验结果

采用 CorActive 公司的 DCF-YB-30/250P-FA 光纤制成

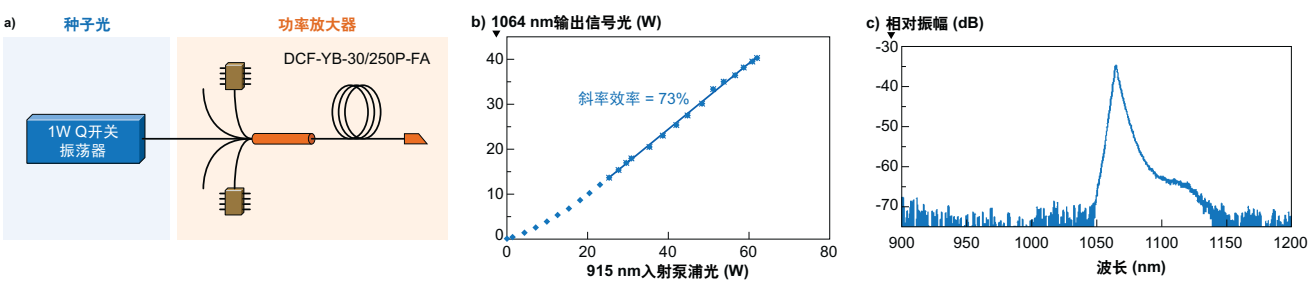


图1：（a）采用芯径30 μ m的掺镱光纤制成的光纤激光器，利用重复频率20kHz、脉宽80ns、功率1W的Q开关光纤激光器作为种子源，获得了2mJ、40W的高能量高功率输出。（b）17kW峰值功率下，功率放大器相对于915nm泵浦功率的斜率效率达73%。（c）由于高饱和能量光纤较少受非线性效应的影响，因此光纤激光器的输出光谱仅显示很小的拉曼散射。

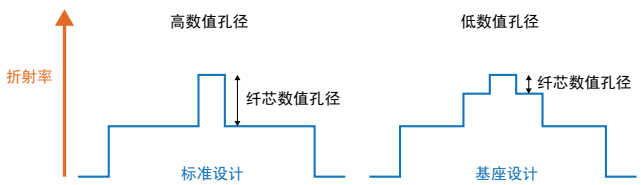


图2：采用基座型折射率设计，可以减小高饱和能量光纤的数值孔径。

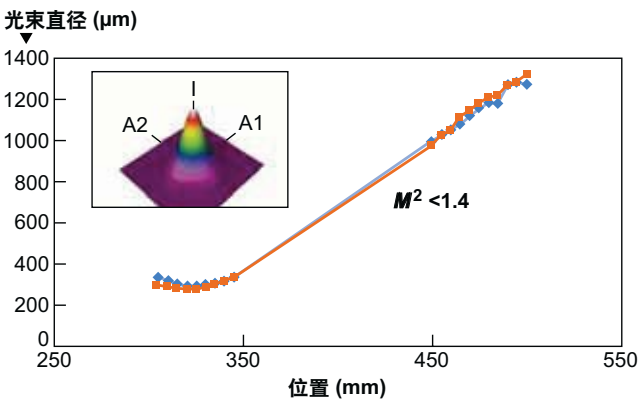


图3：采用CorActive公司的DCF-YB-30/250P-FA高饱和能量光纤可以获得绝佳的（M^2<1.4）高斯光束输出。

的光纤激光器，利用重复频率 20kHz、脉宽 80ns、功率 1W 的 Q 开关光纤激光器作为种子源，获得了 2mJ、40W 的高能量高功率输出（见图 1）。尽管该系统的峰值功率为 17kW，但是该光纤可以支持超过 40kW 的峰值功率，并且不存在显著的拉曼散射。这对于芯径 30 μ m 的增益光纤而言已经是很高的峰值了。最大峰值功率取决于泵浦方式、泵浦波长以及传输光纤长度。采用 915nm 泵浦，功率放大器的斜率效率（与入射到光纤的泵浦功率之比）达 73%。

与标准光纤相比，高饱和能量光纤本质上较少受非线性效应的影响。如图 1 中的输出光谱所示，40W/2mJ 功率放大器的输出信号光仅存在很少量的拉曼散射。受激布里渊散射以及自相位调制等其他非线性效应，在高饱和能量光纤中也会相应减少，这是因为大多数非线性效应直接正比于光纤中传输的峰值功率。因此，具有更高饱和能量以及较低峰值功率的光纤，可以在一定程度上避免光纤非线性效应。

光束质量

高饱和能量光纤的玻璃基质属性往往会导致高数值孔径（NA），通常可达 0.20。采用基座型光纤设计，即在纤芯周围添加一层高折射率区，可以减小等效数值孔径（见图 2）。[7,8]

高饱和能量光纤的基座型设计具有以下优点：高掺杂水平可以提高泵浦吸收、模面积增加可以提高非线性效应阈值、模式数减少可以提高光束质量、放大受激发射减少可以减小自激射效应、便于焊接到常规光纤以减小焊接损耗（<0.1 dB）。

采用基座型设计的高饱和能量光纤的纤芯数值孔径通常降至 0.10 附近。但是将数值孔径降到 0.06 左右并没有带来任何好处。事实上，使用低数值孔径、大模场（LMA）光纤（纤芯直径大并且数值孔径小）限制了支持的模式数，因此通常将它们缠绕到很小直径以消除更高阶模式，以获得准单模运转。

由于将光纤缠绕到很小的直径通常具有不可重复性，并且在生产环境中很难控制，因此业界更青睐于采用高数值孔径、多模高饱和能量光纤以获得有效的单模运转，其优点在于无需缠绕光纤。单模运转通过将高饱和能量光纤的基模匹配到传输光纤的基模实现。

高饱和能量掺镱玻璃光纤可以减小非线性效应，效率高，并且可以获得 M^2 因子小于 1.4 的高斯光束，这使得它们成为高能量、高峰值功率光纤激光器设计的绝佳选择（见图 3）。❑

参考文献

1. G.P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, Academic Press, San Diego, CA (2001).
2. K.T. Vu et al., Opt. Exp., 14, 23, 10996–11001 (2006).
3. D.N. Schimpf et al., Opt. Exp., 16, 22, 17637–17646 (2008).
4. M.N. Zervas et al., "High peak power, high rep-rate pulsed fibre laser for marking applications," Proc. SPIE, 6102, 61020Q-1 (2006).
5. F. He et al., Opt. Exp., 14, 26, 12846–12858 (2006).
6. A.E. Siegman, Lasers, University Science Books, Sausalito, CA (1986).
7. P. Laperle et al., "Yb-Doped LMA Triple-Clad Fiber Laser," Proc. SPIE, 6343, 63430X-1 (2006).
8. P. Laperle et al., "Yb-Doped LMA Triple-Clad Fiber for Power Amplifiers," Proc. SPIE, 6453, 645308-1 (2007).

技术中心 Technologies Center

光纤光学

二合一光纤实现切割与焊接的快速切换

Wolfgang Anderschs，Rudolf Huber，Daniel Mock；通快（德国）有限公司

当用同一激光加工系统进行切割、焊接加工时，通常需要根据具体应用来改变激光光束质量，以实现最佳加工效果。因此，当转换应用时（如从切割转换为焊接），通常需要更换激光输出光纤，操作较为繁琐。通快公司为其 TruLaser Cell 7040 激光系统开发出的新型二合一光纤，实现了只用一根输出光纤就能获得优化的切割与焊接解决方案，免去了更换输出光纤的烦恼。该二合一光纤中包括内、外两根同轴纤芯，在切割过程中，激光被导入内部纤芯；焊接时激光则被导入外部纤芯。该二合一光纤能够确保激光束能以合适的穿透深度和正确的光斑直径到达被加工工件。

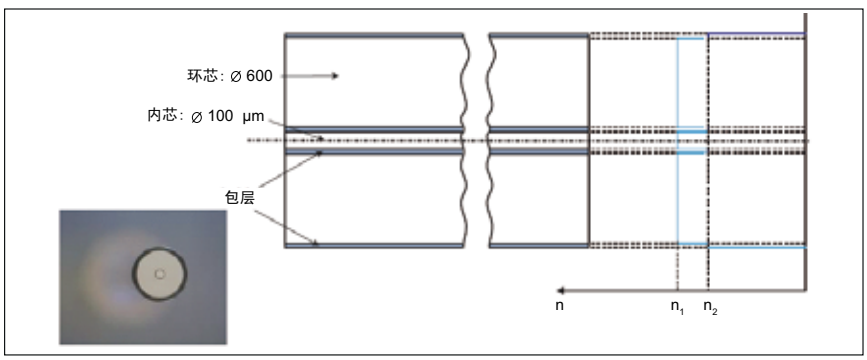


图1：二合一光纤的设计结构以及光纤末端截面图。

固体激光器系统中的光束导引技术

使用固体激光器的激光系统，通常使用石英光纤将激光导入到加工机床中。在该激光器中，耦合镜头将激光束聚焦到激光光缆（LLC）的纤芯中，之后激光束被导向加工镜头。在加工镜头中离开 LLC 末端的激光束，随后经过准直镜变成平行光束，然后在用聚焦镜将激光束聚焦到工件上。换句话说，这种方法会将 LLC 末端的光纤纤芯描绘到工件上。

每种激光加工应用对光束的光斑直径、光束发散度和瑞利长度都有特定的要求。切割加工需要直径小于 200 μm 的光斑和更长的瑞利长度，也就是说需要更高的光束质量，以确保足够的加工带宽。相比之下，焊接加工通常使用直径大于 200 μm 的光斑获得足够的连接截面。在焊接过程中，较差的光束质量会导致瑞利长度更短，可以通过离焦（焦点的变化）的方式确保有针对性的影响，并最终在加工过程中取得稳定效果。

使用单一的镜头配置不可能实现不同的激光加工应用。光纤芯径、准直镜头和聚焦镜头的焦距，必须独立适合特定的加工应用。在实际应用中，激光系统用户需要更换 LLC、准直或加工镜头。为了便于更换这些元件，加工系统内部的光路必须是开放的。而这样做的风险是周围环境中的尘埃和污垢可能进入光路导引系统，使镜头表面变脏。这将会改变镜头的光学特性并影响光束质量，导致工件的加工质量变差。另外，改变光路导引系统也会引起其他偏差，如零部件配合混乱（例如光纤直径）或光路导引的偏差。特别是对于那些在光路中装有旋转轴的三维机器而言，激光束必要要平行于旋转轴，以防止焦点摇摆。

有几种可能的解决方案能够避免上述问题。例如，可以用几根具有不同直径的 LLC 将激光导入到机床中。当然，这种方案要求激光器和加工机床中的光束开关具有复杂的光束管理功能。在相对恶劣的工业环境中，在机床中采用光束开关并非实用之选。

通快公司开发出了一种更简便、更耐用的解决方案，能够避免在机床中使用光束开关所产生的问题，并且只需要一根 LLC，就能将激光导入到机床中。

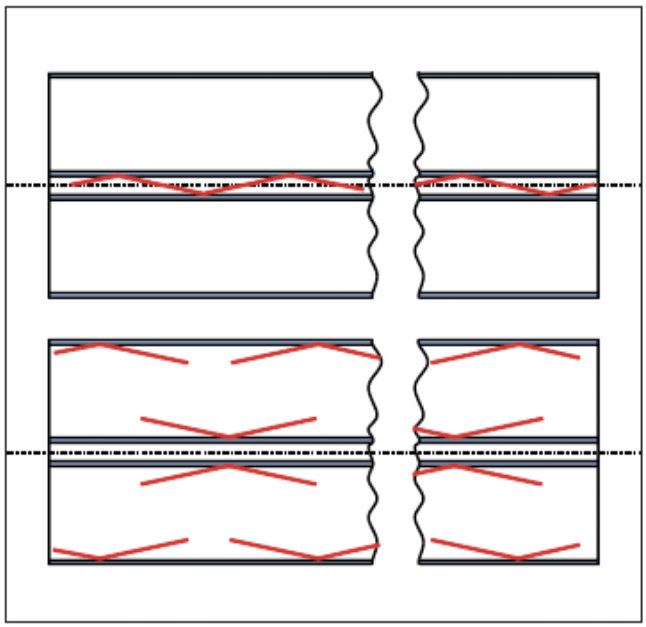


图2：内纤芯和包层、环芯和包层之间折射率的不同，确保光束在内纤芯和环芯中发生全反射，从而能够在二合一光纤中传输。

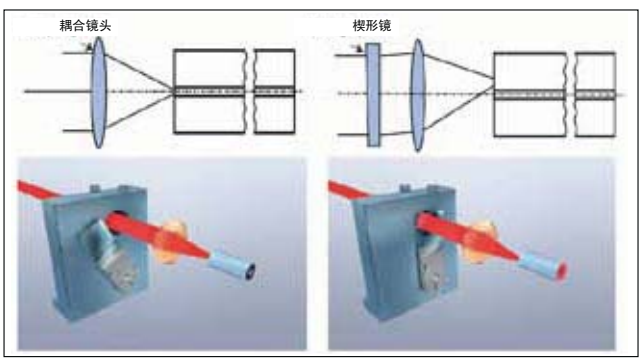


图3：一块楔形镜能使激光束在内纤芯（左图）和外环芯（右图）之间交替输出。

二合一光纤设计：内纤芯与外环芯

二合一光纤由一根芯径较小的典型阶跃光纤（内纤芯）、外包芯径更大的第二层芯径（外环芯）组成。内纤芯和外环芯同轴，并且通过低折射率包层分离开来。外环芯也通过另一个低折射率包层与外界隔离（见图 1）。

由于内纤芯和包层之间的折射率不同，光束在内纤芯中发生全反射而得以传输；光束在外环芯中的传输原理相同（见图 2）。

在实际应用中，用户可以根据不同的加工应用对光束质量和光斑直径的不同要求，选择二合一光纤中的内纤芯或外环芯作为光束的输出路径。例如，在内纤芯直径为 100 μm、外环芯直径为 600 μm 的配置中，由内纤芯输出的良好的光束质量，非常适用于切割加工。而对于焊接应用，其对光束质量的要求并不高，但却需要较大的光斑直径，此时外环芯则是更好的输出路径选择。

在激光加工系统中，光束输出路径可以在二合一光纤的内纤芯和外环芯之间切换。为了实现这种切换操作，一块楔形镜被置于激光器光路的耦合镜头前（见图 3）。没有楔形镜，激光束通过耦合镜头直接进入二合一光纤的内纤芯；插入楔形镜后，光束稍微偏移进入外环芯。在激光器和加工镜头之间，外环芯中的输出光沿光纤长度均匀分布。

相比标准光纤同样具有良好的加工效果

在切割测试中，二合一光纤的内纤芯能与同样直径的标准阶跃光纤达到相同的切割速度和切割质量。同样，通过外环芯输出的光束也能很好地实现深度焊接。在薄钣金加工范围内，利用该二合一光纤实现的焊缝质量和焊缝形状，可以与用相同直径的传统阶跃光纤实现的加工效果相媲美。使用传统阶跃光纤加工参数的二合一光纤，能够安全、可靠地产生高质量热传导焊缝。

总结

二合一光纤和楔形镜“纤芯转换开关”，能够有选择性地转换光束质量。两种光纤芯径可在一根同轴光纤中实现，并能保证出色的切割和焊接质量。焊接时，聚焦光的环状光学能量分布能够与传统阶跃光纤的传输效果相媲美。该二合一光纤适用于切割、深熔焊和热传导焊接应用。❑

上接第13页

在单个芯片上将 4 个 WDM 通道扩展到 12 个甚至 40 个。

由于 Kotura 公司采用直径 3 μm 的波导，其能够近似匹配激光空间光场分布、以及阵列上特定的波导端面和镀膜，因此不需要准直器、透镜以及两级隔离器，从而能降低成本、简化封装。为了实现 25GHz 甚至更高的调制速度，激光器以连续波模式运转，并将调制器集成到硅芯片上——将四个 25G 的编码数据流相结合可以获得 100G 信号输出。

Kotura 公司的 WDM 100G 装置可以封装到紧凑的四通道小型可插拔模块中，从而将前面板密度提升 10 倍以上，超过 4.4Tbit/s。此外，相比于许多数据中心覆盖长度超过 2km 的 CFP 方案而言，该方案的功耗要小很多。❑

技术中心 Technologies Center

可调谐光源

无需调谐的宽带 OPO 覆盖中红外波段

双共振、中红外简并光学参量振荡器（OPO）产生了极宽的瞬时输出带宽，消除了非简并OPO所需要的严格苛刻的调谐。

Nick Leindecker，Konstantin Vodopyanov

长久以来，光参量振荡器（OPO）被认为是在激光光源无法实现的重要光谱范围内产生光学输出的通用方法。中红外就是这样的一个重要波段，该波段能提供丰富的光谱信息，但是却缺乏可产生中红外输出的便捷激光源。在过去的几年中，研究人员已经研究了一类特殊的双共振 OPO，用于产生宽带中红外光源。

典型的 OPO 通过一束强激光泵浦适当的光学材料来激发其二阶非线性磁化率。当与适当的谐振腔组合用于光学反馈时，可在一个或多个更长波长处产生振荡。通常通过调节谐振腔或非线性材料的参数来调谐振荡波长。

凭借其宽带可调谐性和可观的输出功率，OPO 被广泛应用于中红外光谱中。现在，量子级联激光器（QCL）提供了一种诱人的替代方案，但是由于受到单个设备可调谐性的限制，使得量子级联激光器在宽带测量中的应用受到了一定阻碍。另一方面，尽管 OPO 能够在较宽的光谱范围内调谐，但是以精确和连续的方式进行调谐仍然具有挑战性。

双共振、简并OPO

相比之下，研究人员已经开发出了一套瞬时宽带 OPO 系统。该 OPO 系统特别适合基于傅里叶变换红外光谱仪的并行、高分辨率光谱学应用。[1]OPO 设计为低泵浦阈值（小于 10mW）双共振运行，并且锁定在接近简并的情形下，输出的中心波长为泵浦波长的两倍，非线性过程的容许带宽非常宽。当与低色散谐振腔耦合时，研究人员获得了极宽的输出带宽，并且不需要波长调谐。

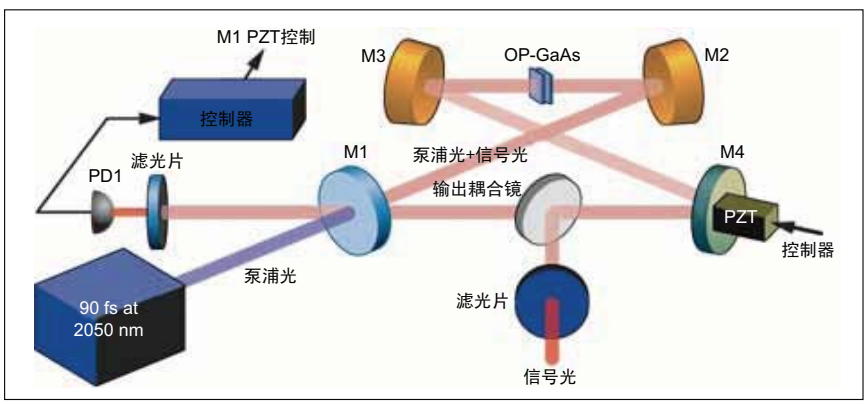


图1：同步泵浦宽带低次谐波OPO系统的组成示意图。泵浦激光器是一个600mW的掺铥光纤振荡器-放大器系统，重复频率为75 MHz，脉宽为93fs。泵浦光束通过介质反射镜M1进入到OPO。其余的谐振腔光学元件为镀金反射镜。在谐振腔的短臂中，曲率半径为50mm的反射镜将紧聚焦的本征模限制在0.5mm长的OP-GaAs晶体中。其通过压电驱动器（PZT）精确地稳定腔长。氟化钙或YAG（标注为OC）平板用于补偿砷化镓的色散，并借助Fresnel反射提供输出耦合。

实现这些设计的关键是稳定的近红外锁模超快光纤激光器的商品化。当用于同步泵浦上述研究系统时，近红外泵浦激光器的“梳状”模式通过锁相和锁频下转换，严格转换成为中红外光谱，并且获得了广泛的光谱展宽，这是双共振简并 OPO 的一个特点。[2]

迄今为止，研究人员已经在一系列以周期性极化铌酸锂（PPLN）和定向图案砷化镓（OP-GaAs）作为非线性光学材料，以包括掺铒光纤（1.5 μm）、掺铥光纤（2.05 μm）和 Cr：ZnSe（2.45 μm）锁模激光器作为泵浦源的系统中，展示了宽带中红外光谱的产生。[3-5] 在最近的研究系统中（见图 1），泵浦激光器是 IMRA America 公司提供的掺铥光纤振荡器 - 放大器系统，其在中心波长 2.05 μm 处的平均功率为 600mW。它产生重

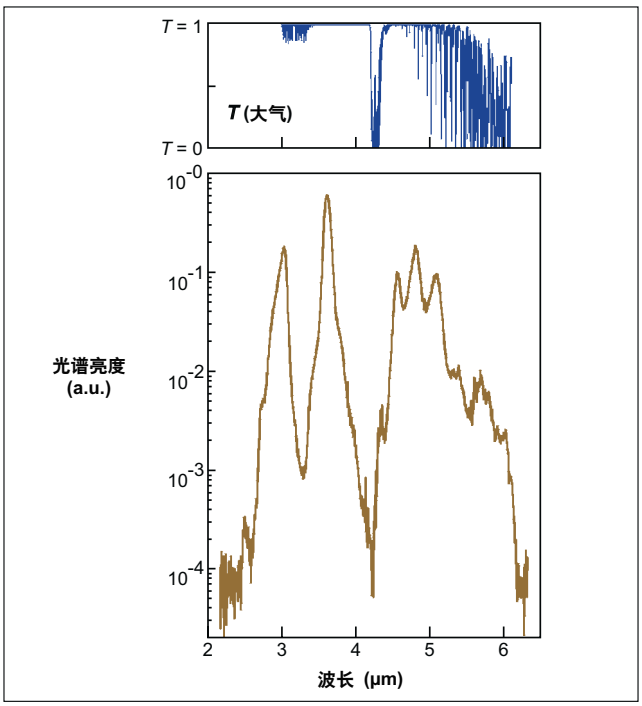


图2：当锁定时，OPO在光谱上重要的“指纹”区域中间产生了稳定且具有极宽带宽（2.6~6.1μm）的输出。4.25μm附近透过率的下降，是由于光谱分析仪未净化光路中的CO_2吸收造成的。上图中所示的是大气的透过率。

复频率为 75MHz、脉宽为 93fs 的脉冲。OPO 谐振腔是一个 4 米长的环形腔，长度与泵浦重复频率相匹配。腔内光学元件包括一个平面介质反射镜 M1，该反射镜对泵浦波长具有高透过率，而在 3~6μm 波段内具有高反射率；另外还包括几片在中红外波段具有高反射率的镀金反射镜。

OP-GaAs晶体提供增益

0.5mm 长的准相位匹配（QPM）OP-GaAs 晶体，提供中心波长在 4.1μm 处的宽带增益，该晶体由 BAE Systems 公司结合分子束外延和氢化物气相外延法生长而成，QPM“膜层”的厚度大于 1mm。样品可用的口径为 1mm×4mm。QPM 周期为 60.5μm，相当于在总长度为 0.5mm 的晶体上，仅有 8 个畴反转周期。该晶体经过切割和抛光，以便能工作在布儒斯特角（73°），所有相互作用波的偏振态平行于 GaAs 的 <111> 晶向。在 4.1μm 处具有负群速度色散（GVD，$d^2k/d\omega^2$）的钇铝石榴石（YAG）或氟化钙（CaF_2），以接近布儒斯特角的角度插入到腔内，部分补偿了 GaAs 的正群速度色散。该平板的菲涅尔反射形成输出。

双共振在 OPO 将起振的谐振腔长度上施加了严格的相位约束。通常情况下，当扫描往返腔长时，会在输出中观察到几个由泵浦波长分隔开的峰值。在阈值附近（泵浦功率为 20mW），振荡发生在单一长度。随着泵浦功率的增加，可以在邻近长度失谐处观察到振荡，泵浦功率为 600mW 时约有 20 个峰。由于附加的谐振腔相位和未补偿色散的相互作用，输出光谱随着腔长的改变而变化。然而，当锁定在最佳谐振长度时，光谱是稳定的，且具有 2.6~6.1μm 的极宽带宽（见图 2）。研究人员已经利用色散补偿片的菲涅尔反射，从该系统中实现了高达 40mW 的耦合输出。

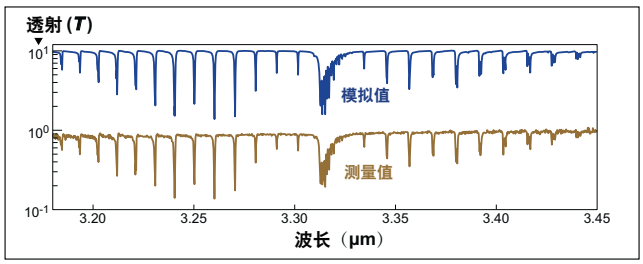


图3：通过腔内光谱获得了3.3μm附近甲烷气体（浓度在10ppm量级）的吸收光谱。图中还给出了目前由美国史密松天文台（Smithsonian Astrophysical Observatory）维护的HITRAN（高分辨率透射分子吸收）数据库中的甲烷吸收光谱用于对比。

吸收光谱

谐振腔被封闭在一个塑料盒中，以便充入干燥的氮气。否则大气中 CO_2 和水的腔内吸收和色散，将会对输出光谱造成严重影响。通过向 OPO 谐振腔内引入示踪气体以及它们对 OPO 光谱的影响，能够灵敏地测量它们的吸收光谱。图 3 给出了 3.3μm 附近甲烷气体的吸收光谱。

这些结果表明，简并同步泵浦 OPO 在获得中红外波段超宽带输出方面，具有很好的发展前景。利用掺铒光纤激光器泵浦基于 GaAs 的简并 OPO，提供了从 2.6~6.1μm 的超过倍频宽的输出——在该波段内 OH、CH、CO 和 NH 化学键具有最强的振动特征。适当的腔内色散管理对获得如此宽的带宽至关重要。除了较宽的频率覆盖范围以外，达到 OPO 阈值的低泵浦功率、以及信号光 / 闲散光对泵浦光的锁相，使得该系统成为中红外波段精密频率梳光谱的潜在理想光源。❑

参考文献

1.F. Keilmann et al., Opt. Lett., 29, 1542 (2004).
2. A. Marandi et al., Opt. Expr., 20, 7255 (2012).
3. N. Leindecker et al., Opt. Expr., 19, 6296 (2011).
4. N. Leindecker et al., Opt. Expr., 20, 7047 (2012).
5. K. L. Vodopyanov et al., Opt. Lett., 36, 2275 (2011).

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

生物医学成像

利用随机激光器实现无散斑成像

Jeff Hecht

随机激光器有望在成像领域赢得广泛应用前景。美国耶鲁大学的一个研究小组于去年研发了一台低空间相干随机激光器，目前该激光器被用于无散斑成像。这项应用实践有望为激光器在生物成像、微型投影仪以及电影放映机等领域找到用武之地。

激光散斑是激光相干性的产物，当激光束通过散射介质时会产生明暗移动的图案。许多应用可以接受激光散斑，但是散斑会使激光记录的图像或激光投影仪显示的图像质量变差。

耶鲁大学的物理学家曹辉（音译 Hui Cao）表示：“散斑是一种随机微粒状图案，当人眼聚焦该图案时，确实会对人类感知有害。”散斑是医学成像中的一个特殊问题，它会隐藏医生想要看到的图像细节。即使使用超亮光源也会产生散斑，因此大多数成像系统采用非相干灯或者 LED，尽管它们的亮度比较低。

曹辉是世界上首位在无序材料中演示随机激光的科学家，并且从事随机激光器研究长达十多年。随机激光器的特别之处在于它们没有腔镜，仅靠分布在激光介质中的粒子导致的光散射维持激光振荡。目前已经有多种材料用于随机激光器，包括激光染料以及半导体。但是直到去年，研究人员才在随机激光器中获得相干输出。

散斑与光学相干层析

在与耶鲁大学医学院成像专家 Michael Choma 讨论过光学相干层析（OCT）中的散斑噪声后，曹辉开始探索减小相干的途径。“这使我们开始考虑采用随机激光器。”曹辉说。

曹辉与其博士后研究员 Brandon Redding 一道探索减小随机激光器相干性的方法。他们将 240nm 直径的聚苯乙烯小球散布在激光染料溶液中，通过 532nm 脉冲泵浦，研究不同密度的激光散射球、不同激光介质尺寸和形状所带来的影响。他们发现：提高泵浦面积或减少散射体之间的距离，可以增加激光模式数，从而降低空间相干性。该研究成果于去年发表，并介绍了如何设计随机激光器以减小相干。[1]

目前曹辉研究小组报道了通过调谐随机激光器发射低空间相干光，可以获得无散斑成像。[2] 他们开展了一系列实验，比较低相干随机激光器与 LED、放大自发发射、宽带激光器以及窄带激光器照射物体所获得的图像。在所有图像中，随机激光器成像的锐度仅次于 LED 成像，并且显著优于放大自发发射光源及其他激光器获得的图像。

该研究结果对于生物医学成像而言是个好消息，因为亮度更高的激光源能够开辟新的应用领域，例如成像那些移动或者变化的物体。Choma 称：“所使用的光源实际上决定着成像的速度。当然人们想获得更快的成像速度。”无散斑激光器对于激光投影而言也极具吸引力。目前，激光投影需要运动光学元件以消除散斑。采用随机激光器可以避免这一复杂问题。

在演示了随机激光器的非相干成像后，曹辉表示其研究小组计划展

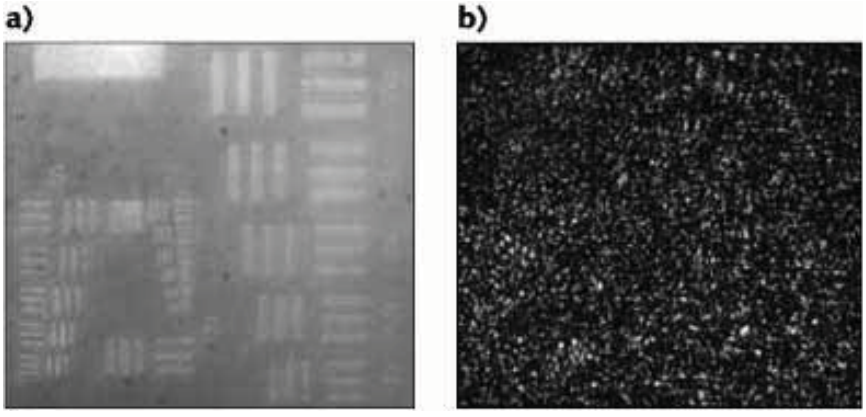


图1：采用随机激光器（a）和传统激光器（b），通过散射薄膜（位于靶的探测一端）后获得的空军分辨率图像。

示能够去除相干成像过程中的相干伪像。她还想开发更为实际的低相干随机激光器，例如采用量子点以及随机气孔的半导体，或者光子晶体光纤。她还在考虑调节随机激光器的方法，使它们有足够的相干性以记录全息图，当然相干性要不至于高到产生散斑。

爱尔兰国立大学的 Chris Dainty 将这一演示称为“令人印象深刻的成就”，并表示降低激光束的相干性是以增加光束发散度和降低激光亮度为代价的。斯坦福大学的 Joseph Goodman 也认为无散斑激光器很有价值，但指出它要与降散斑技术（如运动扩散器）相竞争。Goodman 还描述了静态多模光纤也可以用在大型激光投影仪中减少散斑。[3]

参考文献

1. B. Redding et al., Opt. Lett., 36, 3404 (Sept. 1, 2011).
2. B. Redding et al., Nat. Photon. (advance online publication, (Apr. 29, 2012); doi:10.1038/NPHOTON.2012.90.
3. J. Manni and J. Goodman, Opt. Exp., 20, 11288 (2012).

蓝菲光学发布全球首款便携式光谱通量分析仪

蓝菲光学通过推出 illumia®lite 光谱测量系统，进一步丰富了原有的 illumia 系列 LED 以及光测量产品。便携式系统采用高性价比的手持装置确保基于积分球测量的准确性。这种装置适用于生产车间、实验室和户外场地。



illumia lite 内置积分球和光谱仪的设计，有效避免了普通手持式设备在校准绝对光谱通量上的缺陷。相对于仅仅使用近余弦接收器进行简单的照度测量，这种组合能够得出更加完整的测量光谱通量。符合人体工学设计的手提式仪器既能测量光通量，又能识别待测设备的颜色，其应用范围包括 LED 发光二级管，以及其他直径小于 1cm 的光源。一盏内置的辅助灯可以实现自吸收修正，以便得出更精准的测量结果。

illumia lite 的光通量范围处于 0.1~5000lm 之间，波长分辨率小于 5nm，精确性小于 0.5nm。数据可以通过 USB 连接任意笔记本或台式电脑进行检索，并且可以使用蓝菲光学方便快捷的 MtrX-Spec 软件进行分析。MtrX-Spec 软件可以很便捷地分析测量结果，可计算 X、Y、色温、显色指数、流明以及光谱辐照度等所有行业标准的颜色参数。❑



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

应用天地 Applications

激光熔覆

激光熔覆技术修复转动设备的分析与应用

李永波，于恩洪，刘书宏；沈阳新松机器人自动化股份有限公司

激光熔覆技术是利用高能密度的激光束，瞬间将被加工件表面微熔，同时使预置于零件表面或与激光束同步送入的合金粉末完全熔化，获得与基体冶金结合的致密覆层。该技术是最近 10 年内发展起来的应用于工业领域中高温、高压、高转速转动设备修复的一项全新技术，已先后赢得了石化、电力、冶金等十几个行业的认可与青睐。截至 2011 年底，已开发的利用激光熔覆再制造技术修复的市场规模已经接近 30 亿元。但另一方面，利用激光熔覆再制造技术进行工业产品维修、再造的激光应用厂商尚不足以满足当前市场的需求，特别是工业转动设备修复市场，仍然存在着大量市场空间等待新厂商的开发进入。

激光熔覆再制造技术的特点

激光熔覆再制造是以丧失使用价值的损伤、废旧零部件作为再制造毛坯，利用以激光熔覆技术为主的高新技术对其进行批量化修复再生、性能升级，所获得的激光再制造产品在技术指标、使用性能和质量方面均能达到甚至超过新产品的水平。

其主要特点有：

1、激光熔覆层与基体为冶金结合，结合强度不低于原基体材料的 90%。

2、基体材料在激光加工过程中仅表面微熔，微熔层厚度为 0.05~0.1mm。基体热影响区极小，一般为 0.05~0.2mm。

3、激光加工过程中基体温升不超过 80℃，激光加工后基本无热变形。

4、熔覆层与基体均无粗大的铸造组织，熔覆层及其界面组织致密，晶体细小，无孔洞、夹杂、裂纹等缺陷。

5、激光熔覆层可根据具体工件的技术要求，实现梯度功能熔覆材料的选择。

6、激光熔覆再制造技术可控性好，易于实现自动化控制。

图 1 为一张典型的激光熔覆再制造金相组织照片，从中可以清晰地看出激光熔覆层金相组织的四个区域，分别为：

（1）最底层为基材：灰色区域，激光熔覆再制造的基材基本包括了所有金属材料，工业领域最常用的为黑色金属；

（2）第二层为热影响区：深灰色区域，化学成份与基材相同，在激光熔覆过程中基体组织因受热发生金相变化。原则上热影响区控制的越小越好。热影响区与基材的分界线不是很清晰，但与过渡区的分界线却十分清晰。

（3）第三层为过渡区：浅灰色区域，化学成份受基材与熔覆材料的双重影响，组织结构最为复杂，金相组织很难显现出来，与热影响区和熔覆层的分界线都非常明显（下层黑线，上层亮线）。

（4）第四层（最上层）为熔覆层：仍为浅灰色区域，但可清晰地看出熔覆层中的枝晶结构。基化学成份完全为熔覆材料形成的快速凝固铸态组织，特点为组织细密、晶粒细小，枝晶生长具有明显的方向性。

工业领域转动设备现状分析

工业透平机械（又叫涡轮转动设备）是目前世界工

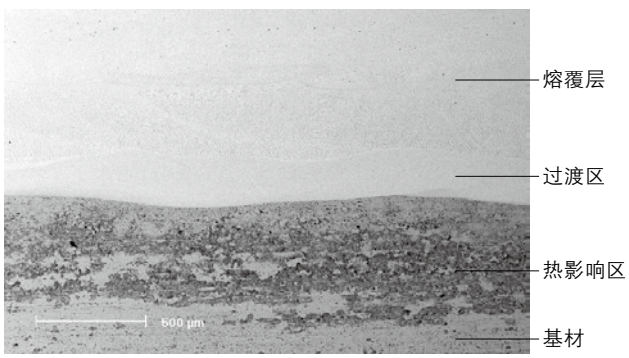


图1：典型的激光熔覆再制造金相组织照片。

Applications 应用天地



图2：某石化公司压缩机转子汽封轴颈激光熔覆。

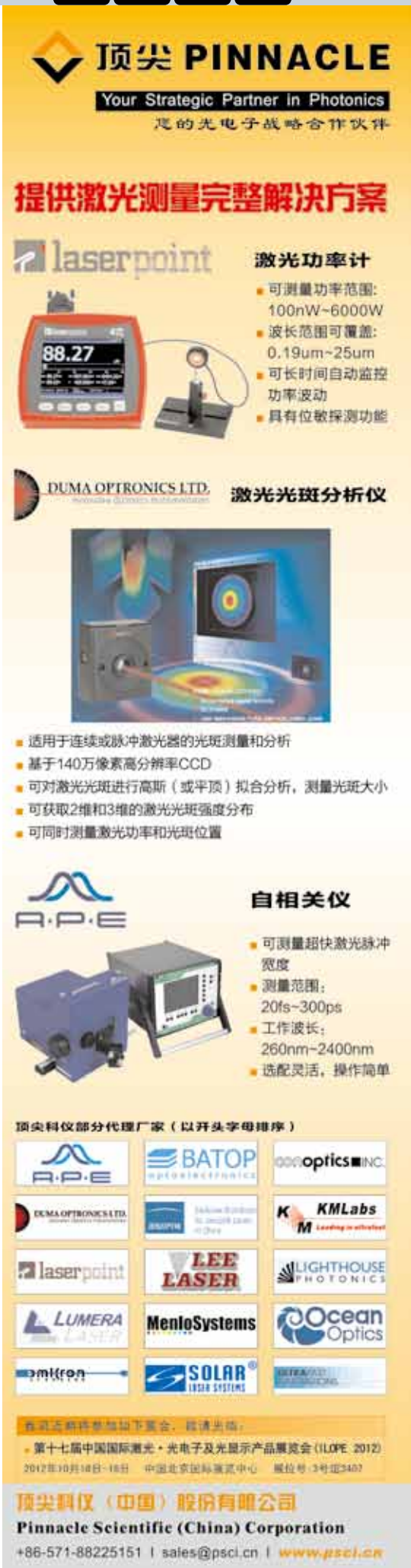


图3：某电厂300MW汽轮机铆钉激光再制造。

业领域范围通用的能量转换或能量回收装置，是工业企业生产线正常运转的核心，也可以称为国家经济命脉的核心。机组类型包括压缩机、风机、汽轮机、TRT，烟气轮机、地面燃机等。根据机组大小的不同，国产机组每台套价在100万到几百万元之间，进口机组每台套价在几百万到几千万元之间。在使用过程中，透平机械的转动部分如主轴颈、汽封颈、推力盘推力面、轮盘/流道/叶片及键槽位，静止部分如缸体内壁、缸体中分面都是易损部位。在激光熔覆/再制造技术产生之前，该类转子的维修方法主要集中在返厂更换损伤部件。而这样的维修方法不但周期长，价格高（尤其进口设备），而且更换下来的损坏部件无法再次利用，造成资源的极大浪费。而利用激光熔覆再制造技术，将透平机械的损伤部位进行局部修复，则在工期、成本方面比返厂维修节省一倍到十几倍、甚至几十倍，且维修后的产品质量达到或超过原厂设计要求。同时，对于一台机组的同一损伤部位可进行多次修复，这就在资源利用方面体现出更大的优势，社会价值难以估量。

上世纪80年代以前，国有工业企业的重大转动设备主要依靠进口。本世纪，很多国有支柱性产业的重要转动设备都实行国产化改造，并投入到国有经济运行体系中。随着国家经济的高速发展，在役的转动设备数量十分庞大。仅以我国火力发电厂汽轮机为例，国内各级电厂拥有各种不同规格型号的汽轮机组几千台，且每台汽轮机必匹配一台发电机。在我国，仅100MW以上的发电机组就超过1500台。而发电机组中汽轮机的动静叶片、静叶环、隔板(喷咀)、主轴颈、气封颈、推力盘、围带、铆钉及汽机缸体等部件的损伤，都具有周期性的特点。目前，很多电厂已经采用激光熔覆再制造技术维修这些部件。

在冶金行业，利用激光再制造技术修复钢厂的转动部件、易损部件及重载部件，已经被越来越多的钢铁企业认可并使用，无论是钢厂第一大宗消耗品——轧辊的激光强化再制造、能量回收与转换装置TRT机组各部件的激光熔覆再制造，还是热轧机牌坊的现场修复技术，都为企业带来了巨大的经济利益和直接效益。



应用天地 Applications



图4：某钢厂大型型材轧辊激光强化再制造。

由于涡轮转动设备具有“周期性维修”的特点，促使企业必须不断寻找更合理、更可靠、更快捷的技术来解决转动设备的修复。激光熔覆技术凭借着不可替代的技术优势，首当其冲地成为了国有工业企业修复转动设备的首选。

激光再制造通用工艺流程如下：

产品入厂检测——部件分解——强度计算及寿命评估 / 无损检测——损伤部位清理——着色探伤检测——损伤部位激光熔覆再制造——损伤部位机械加工复形——机加后检测（包括尺寸、无损等）——表面涂层处理（若需要的话）——检测——机组回装——动平衡检测——总检测——包装出厂

激光熔覆再制造的八大关键技术

- 强度计算与寿命评估技术
- 无损检测与缺陷判断技术
- 故障诊断与失效分析技术
- 激光熔覆专用材料制造技术
- 激光加工工艺技术
- 梯度功能材料技术
- 机组改造与制造技术
- 激光再制造涡轮动力设备企业标准

激光熔覆再制造应用案例

案例一：石化行业压缩机转子轴颈激光再制造（见图 2）

选用设备：5000W 横流 CO_2 激光器
维修部位：第二级叶轮汽封颈
熔覆方式：重力送粉，螺旋式进给编程熔覆
工艺参数：功率：2500~3500W；
扫描速度：300~600mm/min；光斑尺寸：φ4mm；
熔覆厚度：1mm；搭接率：40%；
熔覆材料：一种铁基双向不锈钢超 合金粉，熔覆后硬度：HRC35-40

案例二：电力行业汽轮机叶片围带上铆钉的现场激光再制造（见图 3）

作业方式：电厂现场作业
选用设备：2000W 全固态光纤输出激光器
维修部位：末级叶片围带铆钉
熔覆方式：侧向送粉，方型块编程熔覆
工艺参数：功率：1500~1800W；
扫描速度：450mm/min；
光斑尺寸：φ2.5mm；
熔覆厚度：0.8mm；搭接率：40%；
熔覆材料：一种适合 600℃工况的镍基高温合金粉，
熔覆后硬度：HRC25-28。

案例三：冶金行业轧辊激光强化再制造（见图 4）

作业方式：钢厂现场作业
选用设备：5000W 横流 CO_2 激光器
强化位置： 轧辊工作面
强化方式：预置涂层，螺旋式编程熔覆
工艺参数：功率：4000~4500 W；
扫描速度：1000~1200mm/min；
光斑尺寸： φ1.8mm；
强化深度：0.8~1.2mm；
搭接率：30%；
涂层材料：Al_2O_3、TiC 等多种硬质相混合，
强化后硬度：HRC55-62

结束语

利用激光熔覆再制造技术修复工业领域的转动设备，已逐渐赢得了国内众多企业的青睐与好评，同时该项技术也受到了国家各部委及各地方政府的高度重视。激光熔覆再制造技术在石化、电力、冶金三大主导工业领域中已经得到很好的应用，并且创造出了可观的经济效益和社会效益。但是，由于该项技术在市场上的推广仅有大约十年的时间，因此其在军工、机械、矿山、船舶等行业的应用还需要更多的激光再制造厂商共同努力开发。❑

生物光子学

梯度场显微使无标记疾病诊断成为可能

依赖于光通过透明样品的本征对比方法有望改变临床病理学。这些技术因为具有无创性、且不需要像荧光染料这样的标记而格外有价值，其能够实现生物标本的无干扰研究，以及用于疾病诊断。

Taewoo Kim，Shamira Sridharan，Gabriel Popescu

对未染色的活体细胞和薄片组织（活组织检查）进行成像极具挑战性，因为这些结构是透明的，导致图像缺乏对比度。在过去的四个世纪中，获得半透明结构的高对比度图像这一挑战，已经推动光学显微镜技术获得了诸多发展。[1]

根据是否需要外源性对比剂，可将产生对比度的显微方法分为两大类：非本征性和本征性。非本征性方法包含染色剂（如那些在标准临床病理学中使用的）和荧光染料（广泛用于细胞生物学中）。本征性方法包括相差显微技术和微分干涉差（DIC）显微技术。[2] 这些方法利用光源和组织之间的特殊相互作用，而不是在感兴趣的结构上附加吸收体或发射体。因此，本征性对比方法由于其无干扰，因此在研究细胞和组织方面颇具优势。

定量相位成像（QPI）技术是一种新兴的本征性对比方法，该方法测量视场内光通过标本每一点的延迟量。[3] 所得到的光程长或相位信息与标本的折射率和厚度相关，从而使新的生物学研究成为可能——尤其是细胞结构和动力学。[4-6] 最近，伊利诺伊大学香槟分校的研究小组发现 QPI 在临床病理学方面拥有巨大潜力；也就是说，通过空间光干涉显微技术（称为 SLIM），利用活组织检查获得的光程长图样可用于癌症诊断。[7]

SLIM 方法结合了 Zernike 相衬显微技术和 Gabor 全息技术，来生成定量相位图像，并且对空间上 0.3nm 和时间上 0.03nm 的路径长度变化非常敏感。[8] 研究人员利用 40X/0.65 数值孔径（NA）的目镜，从病理学家诊断的高级前列腺上皮内瘤（HGPIN）中，获得了前列腺穿刺活检的内核图像（见图 1）。

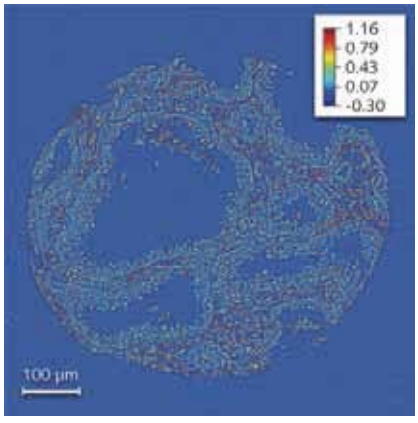


图1：由100张（10×10）较小视场图像拼接在一起的前列腺活检定量相位图像。量化的数据由不同的颜色表示，红色表示长光程长度，蓝色表示短光程长度。颜色条指示出了以弧度为单位的相移。数据显示在高级前列腺上皮内瘤（HGPIN）的内核中，基底细胞层清晰可见。

梯度场显微

值得注意的是，研究人员发现光程长度具有空间波动，并且决定该显微方法真正诊断能力的，并不是其平均值。换句话说，虽然肿瘤和正常组织中的平均相移值接近，但是空间波动的统计（如方差）却完全不同。具体来说，研究人员发现与正常组织相比，前列腺肿瘤的构造更加无序、具有更高的方差，而正常组织则更为平滑。这些结果可能会为新型无标记定量癌症诊断方法奠定基础。

从光学角度来看，组织诊断只与相移的相对变化、而非绝对值相关，这一点非常重要。这意味着可以开发新的更简单的方法，未必需要量化相移，而只需要测量相图的一些空间差值。最近研发的梯度场显微技术（GFM）就是这样一种方法。[9]GFM 方法可提供透明标本，包括细胞和组织的高对比度图像。GFM 方法通过光携带的相位信息的一阶或二阶导数，来测量光程长的空间改变。

目前，GFM 作为商品化明场显微镜的一个附加模块。为了使照明达到尽可能高的空间相干性，孔径光阑是关闭的。该系统由一系列双透镜形成的 4f 系统组成，以实现对图像场

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

应用天地 Applications

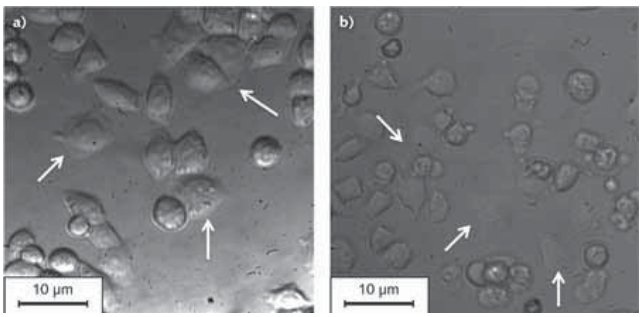


图2：（a）利用梯度场显微技术（GFM）和（b）传统微分干涉差（DIC）显微技术观察到的在塑料陪替氏培养皿中的HeLa细胞培养图像。白色箭头指示的是扁平细胞，由于采用双折射材料，这些扁平细胞只有在GFM下才能表现出增强的对比度。

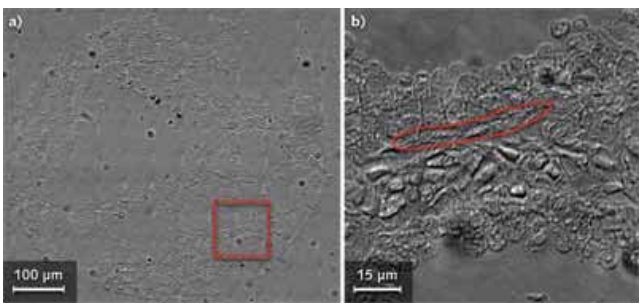


图3：GFM图像（a）显示了图1中所示的同一活检组织。图像由利用100X/1.4 NA的明场物镜所采集的225张独立图像（15×15阵列）拼接而成。腺体区域（b）经过放大后显示了基底细胞层，显示了HGPIN的状况。

的傅里叶变换读取。在该傅立叶平面上，通过空间光调制器提供空间幅度调制。根据该平面放置的调制板，像平面处的相位导数类型（和级次）就会改变。研究人员已经使用了三种不同模式的 GFM，以获得不同的相位导数：沿着单个方向的一阶导数（梯度组件），一阶导数振幅（梯度强度）和二阶导数（拉普拉斯算子）。

GFM的优势

GFM 装置带来许多优势特性，如快速采集速度、稳定性，以及使用不同操作模式的灵活性。由于 GFM 是单次技术，图像采集后不需要任何处理，因此该系统的采集速度与所采用的相机一样快。此外，可以通过电子手段改变空间调制，而无需移动系统的机械部件。这与传统 DIC 显微技术形成鲜明对比：传统 DIC 显微技术中需要物理移动双折射棱镜。由于成像系统中不存在棱镜，还使得 GFM 可以通过双折射材料（如塑料底培养皿）成像，这通常是使用 DIC 很难实现的（见图 2）。通过 GFM，在通常的 DIC 显微下表现出低对比度的细胞明显可见。

GFM 的一项令人振奋的功能是它可以对未染色的组织切片进行成像，显示 HGPIN 的状况，其中前列腺腺体的上皮细胞具有前列腺癌的形貌特征，如明显的核仁和罗马桥形成（见图 3）。[10] 进一步的研究表明，HGPIN 腺体也显示出与癌症相关的基因和免疫组织化学变化。[11] 然而，基底细胞膜仍然存在于这些腺体中，片状基底细胞的存在排除了肿瘤的存在。目前，利用抗 34BE12 角蛋白和 p63 标记的抗体来检测基底细胞。通过将 GFM 组织图像放大到一个更特定的区域，通过显示存在未染色的基底细胞，可以成功对活检进行诊断。此外，归因于 GFM 的快速成像，原则上它可以实时获取诊断信息。

目前，研究人员的工作重点在于识别用于诊断和自动化过程的“光学标记”。期待着基于这种先进的成像原理，在不久的将来能够开发出一种“智能显微镜”，其能够获得知识而不是图像。换句话说，研究人员相信有可能研发出一种成像系统，它甚至能够不对图像进行保存就能实现实时分析和诊断。先进的光学成像和并行图像处理相结合，已经展示出了彻底变革标准病理学的前景，允许更快的无标记诊断，并且其成本也是全球范围内都能支付得起的。❑

参考文献：

1. Editorial, “Milestones in light microscopy,” Nature Cell Biol., 11, 1165 (2009).
2. M. Pluta, Advanced light microscopy, Polish Scientific Publishers, Warsaw, Poland (1988).
3. G. Popescu, Quantitative phase imaging of cells and tissues, McGraw Hill, New York, NY (2011).
4. Y.K. Park et al., Proc. Natl. Acad. Sci., 107, 15, 6731–6736 (2010).
5. H.F. Ding et al., Phys. Rev. Lett., 101, 23, 238102 (2008).
6. M. Mir et al., Proc. Natl. Acad. Sci. 108, 32, 13124–13129 (2011).
7. Z. Wang et al., J. Biomed. Opt., 16, 11, 116017 (2011).
8. Z. Wang et al., Opt. Exp., 19, 2, 1016–1026 (2011).
9. T. Kim, S. Sridharan, and G. Popescu, Opt. Exp., 20, 6, 6737–6745 (2012).
10. J.I. Epstein and G.J. Netto, Biopsy Interpretation of the Prostate, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA (2007).
11. J.I. Epstein and M. Herawi, J. Urol., 175, 820–834 (2006).

半导体激光器

B2900A 在半导体激光器测试中的应用

谭少阳，翟腾；中国科学院半导体研究所

半导体激光器是光纤通讯、激光显示、气体探测等领域中的核心部件，受到全世界科技人员的广泛关注。在半导体激光器的生产、研发过程中，对激光器的光电特性的测量尤为重要，其是控制激光器制备工艺的稳定性、激光器性能可靠性的关键环节。

半导体激光器是半导体光电转换器件。如图 1 所示，半导体激光器由多层材料构成。自下而上包括背电极、衬底、下光限制层、下波导层、有源层、上波导层、上限制层、上电极。不同层由不同的外延材料组成。如此层状结构是为了达到：(1) 载流子（电子、空穴）的注入复合发光；(2) 光子横向限制，形成光波导的目的。外延完成的层状结构要经过刻蚀工艺形成脊波导，在脊波导上制备接触电极。如此脊波导的目的是：(1) 限制电流侧向扩散，(2) 形成光子的侧向波导。

制备完的圆片经过解理、镀膜、烧焊、压焊引线等工艺得到待测量的激光器，如图 2 所示。当向激光器电极注入电流时，激光器 PN 结两侧的电子和空穴大量涌入有源区。在有源区电子空穴对复合，产生大量光子，光子在波导的作用下沿轴方向传播。在激光器端面，反射光形成激射条件，透射光则为激光器输出的激光。

激光器的工作特性主要体现在：(1) PN 结特性、串联电阻，(2) 激光器的激射阈值、激光器斜率效率。这些特性决定了激光器的出光功率 P_o、功率转换效率 η_p 以及工作寿命等特性。生产和科研过程中经常采用 PIV 测量方法获得这些重要参数。

半导体激光器 PIV 特性即：当激光器注入电流为 I 时，激光器的出光功率 P 和激光器两极电压 V 的响应特性。与普通的 PN 结二极管等两端器件不同，半导体激光器 PIV 测试不仅要测量激光器的电压 - 电流（V-I）特性，重要的是同时还要完成激光器的功率 - 电流（P-I）特性的测试。因此，半导体激光器 PIV 测试系统包括精密电流源、电压表、功率计和负责控制、仪器间通讯、数据采集和处理的软件部分。

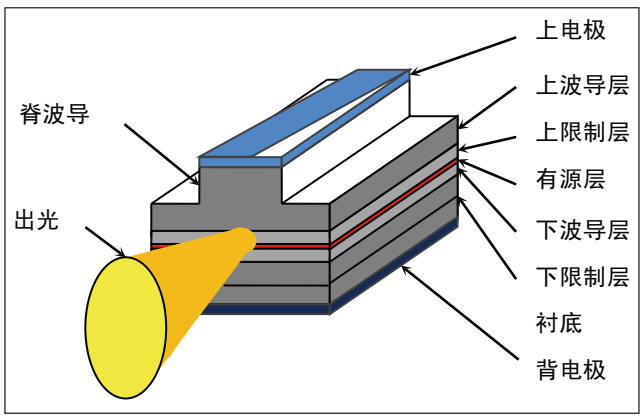


图1：半导体激光器的结构图。

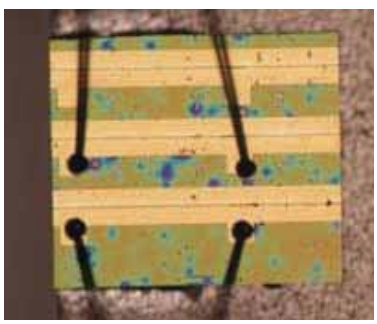


图2：半导体激光器在显微镜下的照片。

传统的 PIV 测试系统由分立的电流源（集成有电压表）、电流计和控制软件组成。电流源用于提供激光器注入电流和测量电压；电流计连接积分球用于测量激光器功率。电流源和电流计通过 GPIB 端口与软件联接，完成测量触发，数据传输等任务。

复杂的 PIV 测试系统存在的问题包括：(1) 测量速度不高，单位时间内测量的点数少，增加了测量耗时；(2) 系统的稳定性差，由 GPIB 端口连接的仪器间会出现数据传输阻塞的问题，系统容易瘫痪；(3) 系统的可控性差，测量速度、扫描点数，扫描方式不可根据测量要求进行调整。在大量的半导体激光器光电测试过程中，传统的 PIV 测试系统出现了效率低、可靠性、可控性差等问题。

B2900A集成PIV测试系统

安捷伦 B2900A 集成 PIV 测试系统（简称集成 PIV 系统）由本实验组自行设计搭建，采用精密源测量单元

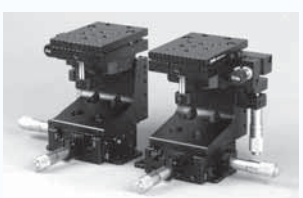
卓立现在 着眼未来
http://www.zolix.com.cn

精密位移解决方案









高稳定光学镜架







精密隔振光学平台



Zolix 卓立汉光
北京卓立汉光仪器有限公司 (邮编:101102)
地址:北京市金桥产业基地联东U谷中试区68B
电话:(010)56370168 传真:(010)56370118
http:www.zolix.com.cn e-mail:info@zolix.com.cn
深圳分公司: Tel:(0755) 83293053
上海分公司: Tel:(021) 62227575
成都分公司: Tel:(028) 68080921
西安代表处: Tel:(029) 88320872

应用天地 Applications



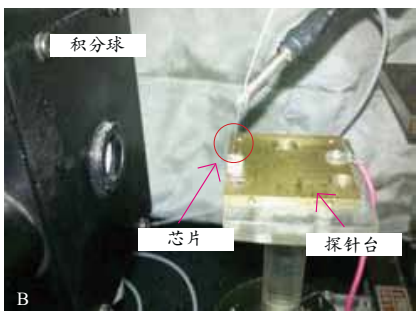


图3:(a) PIV系统实验连接图;(b) 芯片连接图

SMU 和积分球探测器组合系统进行 PIV 测试。系统结构简单、精度高、可靠性好、速度快,提高生产效率的同时也增加了测试精度和可靠性,降低了大量测试的成本。

集成 PIV 系统由系统主要由 B2900A 双通道精密源测量单元 SMU、积分球、夹具及软件组成。B2900A 的一个通道 CH1 作为激光器的电流源,同时测量激光器的电压 V。LD 的激射出光耦合入积分球,由积分球探测器转化成光电流进入 B2900A 的另一个通道 CH2,用 B2900A CH2 测得的光电流乘以积分球探测器功率电流转换系数,就得到了激光器的出光功率。

B2900A 由 USB 端口与 PIV 测量软件连接,完成测量控制和数据采集。图 3 为实验连接图。

测量时,通过 PIV 测试软件设置测试的参数,CH1 和 CH2 内部同时触发进行 PIV 测量,数据通过 USB 端口实时的返回软件。通过软件界面可以实时观测激光器的动态特性。同时,可以根据软件测量数据快速分析出每个激光器的特性参数,包括正向压降 V_F、光功率 P_O、阈值电流 I_{th}、拐点 I_{kink} 等参数。

集成 PIV 系统在进行大量激光器 PIV 测试过程中,表现出了易操作、高精度、高效率、高可靠等优越性能。激光器的所有测试参数都可以在软件界面上轻松设置,包括电流源电压源切换、直流脉冲切换、电流范围、限制电压、扫描方式、扫描点数、扫描时间及速度等。这使得不同测设条件间的参数调整方便快捷。

其次,B2900A 精密源测量单元的电流测量精度可以达到 0.1nA。在高阻半绝缘结构($10^{7\sim8}\Omega$)测量时,在较小的驱动电压(<1V)下就可以精确测量出高阻结构的电阻值。同时,激光器的功率与电压电流同步测量,无需外部协同触发。扫描测量时,在 8 秒内可以完成超过 400 点的测量。

集成 PIV 系统的可扩充性也是其在半导体激光器研发领域应用中的突出优势。集成 PIV 系统的硬件部分,包括 B2900A 精密测量单元、测量平台,由 GPIB 或 USB 等端口与计算机连接。因此,集成 PIV 系统硬件部分可以配合用户通过 National Instrument 等软件平台编写的测试软件程序,完成用户需要的更为复杂的测量任务。

在半导体激光器的生产和研发过程中,要对半导体激光器芯片进行大量的 PIV 测试。相比传统的分立复杂的 PIV 测试系统,B2900A 精密测量单元集成的 PIV 测试系统具有系统结构简单、操作方便、精度高、可靠性强、测量迅速等优势,大大降低了激光器芯片 PIV 性能测量的操作成本和时间成本,同时增加了 PIV 测量的灵活性。❑

中国光学行业最佳展示平台

China's Platform for the Photonics Community

慕尼黑上海光博会

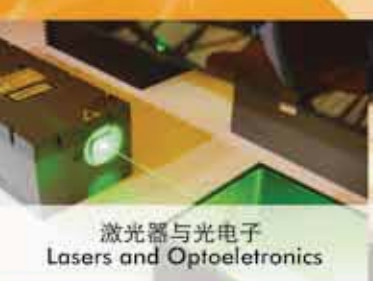
LASER World of PHOTONICS CHINA

SOLUTIONS in LIGHT

2013年展会亮点：
Show Highlights in 2013:

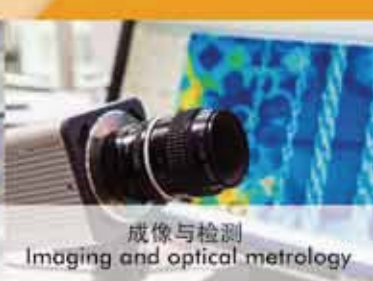
- 600 家国内外展商 Exhibitors from both home and abroad
- 34,500 平米展示面积 Exhibit spaces
- 35,000 名专业观众 Trade visitors

抢位热线 Hotline：021-2020 5587









2013年3月19-21日
March 19-21, 2013
www.photonicschina.cn
www.photonicschina.net

上海新国际博览中心W1-W3馆
Hall W1-W3, Shanghai New International Expo Centre

新品展示 New Products

紧凑的三轴扫子系统AXIALSCAN-12



三轴扫描子系统AXIALSCAN-12采用紧凑双马达驱动z轴系统，能以非常小的光斑直径快速、精确、高质量地加工各种形状、尺寸和类型的材料。其动态聚焦速度可达30m/s，紧凑的机身使得AXIALSCAN-12适用于许多需要灵活的工作区域、非常小的聚焦光斑直径、以及工作区域内聚焦光斑直径及范围可调的复杂应用。

AXIALSCAN-12在加工三维形状表面比如倾斜或弯曲表面时，表现出了精确、高速与可靠的卓越性能。RAYLASE正在通过这项创新和高效的产品建立新的性能标准。

AXIALSCAN-12采用新型叠壳体设计，可极大地减少环境温度或工艺条件造成的负面热效应。超低的温度漂值使其实现了高精度加工和长期稳定性。

目前AXIALSCAN-12专为1.064nm波长而设计，最大激光功率密度为500W/cm^2，最大加工尺寸为300mm×300mm。这款子系统可兼容XY2-100标准，并能与光纤激光器组合使用。

RAYLASE AG，www.RAYLASE.cn

RIO Colorado可调谐激光源



RIO Colorado可调谐激光源是RIO公司的ORION™和PLANEX™系列产品的延伸，其更加客户需求设计，功能丰富，易于操作且集成化度高。

除了无与伦比的可靠性及性能外，RIO Colorado可调谐激光源还可提供20mW的输出功率、宽波长可调性、C波段或L波段的波长选择、非常低的RIN、低相位噪声、窄线宽以及快速的频率和幅度调制。

RIO Colorado能帮助用户减少开发周期，容易集成到R & D实验室环境、相干通信架构和先进的光纤传感系统中。激光源的外部监控可通过图形用户界面（GUI）及USB接口实现。

RIO，www.rio-inc.com

微型齿轮驱动旋转平台

紧凑轻薄型MPS-GR旋转平台专为360°测量、光学、光电子及激光校准和检查而设计，为实验室和工业应用提供准确、经济的定位选择。



这些平台具有20mm或30mm的通光孔，能够有效地用于需要通孔的场合，这些应用包括光束偏光镜片的清晰度测试、线缆或空中布线的通孔或视觉/摄像机/检查。其采用精确的蜗轮传动机制和轴承部件，并提供直流伺服马达或步进马达，定位精度高达80弧秒，分辨率1弧秒，重复精度6弧秒，最大速度180°/s，最大负载能力12kg。

两种平台都备有高达10^{-6}托的可选真空制备，包括一台真空额定马达/反馈连接器。一个可选电路安装板可用于在英制和米制光学平台上的直接安装，镜头安装选项能够轻松安装标准镜头。

Aerotech，www.aerotech.com

新型illumia®光源测量系统满足各种应用及预算需求



illumia和illumia pro系列LED和光源测量系统，能够灵活地测量LED、LED阵列和固态及传统照明产品的热学、光学和电学特性。

illumia系统有四种光谱仪，积分球尺寸从25cm至195cm可供选择，较高的定制化程度可满足各种预算或应用需求。光谱仪较宽的动态范围意味着单一的积分球系统即可测量宽范围的照明亮度。

illumia系统可以测量总光谱通量、光通量、辐射通量、色度、色温和显色性、峰值波长、主波长、电流、电压和光效。再加上TEC温度控制和监测部件，illumia pro可以测量LED所有的热学、光学和电学特性。

所有系统都使用蓝菲光学Spectraflect高反射率漫反射涂层，提供近乎完美的漫反射以实现最佳测量精度。

Labsphere，www.labsphere.com.cn

海洋光学Jaz新增可调节激光指示器

海洋光学为其Jaz模块感应系统增添了全新组件，增强支座式测量应用性能。Jaz可调节激光指示器是大范围幻灯屏幕、平面显示和媒体墙以及其他需要对大范围发光区域进行精确聚焦的取样区进行精确单点测量的有效工具。

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

CASTECH® 福晶科技

欢迎光临我司展位：

CIOE 2012
展 位 号：1506
参展时间：2012年9月6-9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、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　传真:86-591-83711593
Http://www.castech.com　E-mail:sales@castech.com

新品展示 New Products



Jaz ALP 将正在测量中的样本上的采集光聚焦成一个精准的点。除了在 Jaz 堆叠中加入 ALP 模块以外，单独提供的 Gershun Tube 工具包，可帮助将光谱仪的视角维持在 1°~28° 之间。一个低功耗的激光指示器可以在 2~14m 的工厂校准距离精准定位样品区域，重新调节可以实现更远的距离。四个内梅花头调节螺钉可实现激光束方向的垂直和水平控制。Jaz-ALP 通过三节 AAA 电池单独供电，并包括一个电源开关，开关的指示器上带有红色的 LED 灯。

海洋光学，www.oceanopticschina.cn

用于标记PET瓶的激光打标系统



美国 ID Technology 公司的 Macsa K-1000 激光打标系列产品又添新丁，在原有 30W 产品的基础上，又增加了 60W 和 80W 两款更高功率版本。该系列产品专门针对 PET（聚对苯二甲酸乙二醇酯）塑料瓶的标识应用。

ID Technology 公司的 Macsa K-1000 激光打标系列，采用波长 9.3 μm 的 CO_2 激光器，用该系列打标 PET 瓶体，能够使瓶体表面产生“发泡”，从而创建白色标识，并且具有较高的对比度，人眼易于观看。这种打标方法几乎没有任何材料渗透或穿刺。

ID Technology 公司的激光打标系统能够标识文字（可多达四行）、LOGO、图形、二维码和线性条码。K- 系列激光器使用反光镜跟踪系统，并且当使用简单的代码触发日历设置时，还具有“自动启动”功能。该系列产品非常适合高速 PET 材质标识。

PET 是一种可循环再用的塑料材料，广泛应用于饮料行业。

ID Technology，www.idtechnology.com

适用于材料加工的光纤耦合模块头

德国 DILAS 公司针对光纤激光器泵浦和激光微材料加工应用，发布了波长 793nm、105 μm 的光纤耦合模块。

该模块基于二极管激光器巴条，输出波长 793nm，功率 32W，数值孔径 NA<0.22。其工作电压为 1.8V，典型工作电流小于 60A，电光转换效率大于 40%。模块的输出波长偏差为 ±3nm，光谱宽度小于 5nm。



在 793nm 波长处，该光纤耦合模块非常适合泵浦掺铥光纤激光器和放大器、人眼安全应用，以及新兴的医疗应用和遥感应用。模块的外形尺寸为 90mm × 31mm × 20mm。该模块还可提供 35W@808nm、40W@976nm 的版本。

DILAS，www.dilas.com.cn

龙门外壳式光纤激光打标系统



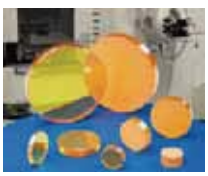
美国 Technifor 专门针对铝、不锈钢以及大多数塑料的打标应用，推出了一款具有龙门外壳的光纤激光打标系统 TFG20。

TFG20 龙门外壳具有一个 12 × 24 × 6 英寸的加工平台，并设有 X 轴和 Y 轴数值参考，以简化大批量打标和部件序列化。紧凑的龙门外壳（26 × 40 × 18 英寸）可置于工作台或手推运货车上。具有人体工程学特征的通道门，可以很容易地加载和卸载工件。该系统采用功率 20W 的光纤激光器，可标记广泛的材料，从铝到不锈钢、再到大多数塑料，并且能够很容易地标记多种尺寸和多种形状的工件。

Technifor 公司还专门针对龙门式打标应用推出了 T8000w 软件，一旦导入程序，便可通过控制面板操作简化文件选择。选项包括旋转工件、聚焦透镜和排烟设备。

Technifor，www.technifor.us

用于光谱仪和探测器的ZnSe窗口片



Laser Research Optics 公司硒化锌（ZnSe）窗口片具有广泛的透射范围，适用于光谱仪和探测器。

该 ZnSe 窗口片的透射范围为 0.1~18 μm，具有非常低的吸收系数（0.0005/cm@10.6 μm）并且不易潮湿。该产品可以提供空白、抛光成品、0.5~3.0 英寸厚 DBAR 涂层等形式。产品的外径尺寸和厚度针对不同的应用需求而变化。

该 ZnSe 窗口片采用化学气相沉积方法生长而成，应用目标是运行在位于材料透射范围内的不同频带上的系统，其在 IR 波段典型的表面质量为 40-20 scratch-dig，在 0.8~7 μm 波段为 60-40 scratch-dig，在 7~16 μm 波段为 60-40、80-50 或 120-80 scratch-dig。

Laser Research Optics，www.laserresearch.net

A&P INSTRUMENT® 科艺仪器
www.anpico.com
专业·品质·服务

为您提供激光、光学及运动控制产品及系统的整体解决方案



redEnergy 系列脉冲光纤激光器
- 功率范围 10 - 40 W
- 主要用于打标和微加工



redPower 系列高功率光纤激光器
- 功率可达 500 W
- 主要用于微加工、精密切割和焊接等

SYNRAD CO_2 激光器

firestar v-series



30 W



40 W

48-series



10 W



25 W

firestar f-series



200 W



400 W

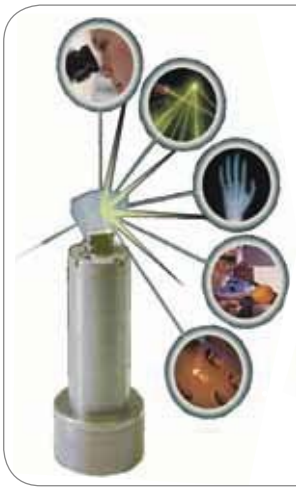


新 firestar series Vi30

firestar ti-series



60 W · 80 W · 100 W



高速光学扫描振镜 / 模拟驱动电路板 / 数字伺服驱动电路板

Cambridge Technology





专业的电源，高频发生器和控制技术供应商

bkt



CPS/HVPS 电容充电器



QSD 系列声光驱动电源



LPC 高压电源

科艺仪器为以下品牌提供销售及其服务

产品咨询热线 400-886-0017

SPI | SYNRAD | Cambridge Technology | Northrop Grumman Cutting Edge Optronics | Newport | Apico | CEDRAT TECHNOLOGIES | DAYLIGHT SOLUTIONS | DataRay | EOT
FISBA OPTIK | HAAS Laser Technologies | intense | International Light Technologies | laserline | bkt | QIOPTIQ | ULTRAFAST SYSTEMS | YAMAMOTO | Bossa Nova Tech

香港 HONGKONG	北京 BEIJING	上海 SHANGHAI	广州 GUANGZHOU	深圳 SHENZHEN	成都 CHENGDU	武汉 WUHAN	台北 TAIWAN	新加坡 SINGAPORE
T: (852) 2755 6578 F: (852) 2755 4549 info@anp.com.hk	T: (010) 6207 4835 F: (010) 6207 7434 bj@anp.com.hk	T: (021) 5523 3800 F: (021) 5523 3811 sh@anp.com.hk	T: (020) 6683 0899 F: (020) 6683 0898 gz@anp.com.hk	T: (0755) 8220 2428 F: (0755) 8220 2438 sz@anp.com.hk	T: (028) 8521 6348 F: (028) 8524 2667 cd@anp.com.hk	T: (027) 8759 1299 F: (027) 8759 1239 wh@anp.com.hk	T: (886) 2295 3164 6 F: (886) 2295 3986 3 tw@anp.com.hk	T: (65) 6241 3359 M: (65) 9090 0909 sg@anp.com.hk

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
A&P Instruments Co., Ltd.	科艺仪器有限公司	www.anpico.com	39
BWT Beijing Ltd.	北京凯普林光电科技有限公司	www.bwt-bj.com	14
Castech Inc.	福建福晶科技股份有限公司	www.castech.com	37
CIOE	第14届中国国际光电博览会	www.cioe.cn	IBC
Coherent (Beijing) Commerical Co., Ltd.	相干（北京）商业有限公司	www.coherent.com.cn/pro.asp?idh=6	IFC
DILAS Diodelaser China Co., Ltd.	南京德商帝纳斯激光有限公司	www.dilas.com.cn	9
LASER World of PHOTONICS CHINA 2013	2013 慕尼黑上海光博会	www.photonicschina.cn www.photonicschina.net	35
PCO AG		www.pco.de	27
Pinnacle Scientific (China) Corporation	顶尖科仪 (中国) 股份有限公司	www.psci.cn	29
RAYLASE Laser Technology (Shenzhen) Co., Ltd.	瑞镭激光技术（深圳）有限公司	www.raylase.com	3
Semrock, Inc.		www.semrock.com	4
Spectra-Physics, A Newport Corporation Brand		www.newport.com/insight-3	1
Shenzhen RFH Laser Technology Co., Ltd.	深圳市瑞丰恒科技发展有限公司	www.rfhlasertech.com	2
Stanford Research Systems		www.thinkSRS.com	5
Zolix Instruments Co., Ltd.	北京卓立汉光仪器有限公司	www.zolix.com.cn	34

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, Eastern Canada
Diane Donnelly
dianed@pennwell.com
Tel: 1-508-668-1767

Southeast, Midwest, Mid-Atlantic
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)

France, Belgium, Spain, Greece, Portugal, West Switzerland and Netherlands
Luis Matutano
luism@pennwell.com
Tel: 33-1-3076-5543

Germany, Austria, North Switzerland, Eastern Europe
Holger Gerisch
holgerg@pennwell.com
Tel: 49-172-2160933

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

全球领先的光电品牌展

CIOE 中国光博会

3,000 多家参展企业, **100,000** 平米展出面积

第15届中国国际光电博览会

OPTICAL COMMUNICATIONS EXPO
光通信展

LASERS & INFRARED APPLICATIONS EXPO
激光红外展

2013.9.6-9 中国·深圳会展中心

同期展会:

PRECISION OPTICS EXPO
精密光学展

LED EXPO
LED展

CIOE 中国国际光电博览会组委会

地址：深圳市南山区海德三道海岸大厦东座607室 邮编：518059
传真：+86 755 8629 0951 E-Mail：coco@cioe.cn
联系人：
魏 珂 +86 755 8629 0861 / 136 026 01075 / +852 5163 7115
何燕霞 +86 755 8629 0848 / 130 888 45684

了解更多详情，请登陆：
WWW.CIOE.CN

ufi Approved Event

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

