

激光世界

LaserFocusWorld® *China*

**千瓦级光纤激光器
已趋于成熟**

12

VCSEL市场呈现快速增长之势

5

**抗高反射的光纤激光器
用于切割及焊接应用**

17

**为打标和雕刻量身定制
的一体化DPSS激光器**

21



微信公众号

ACT

PennWell®

The Perfect Hand 好牌在手 胜券在握



与Nufern激光光纤合作共赢

最优异的性能，最低的使用成本

- 光谱覆盖面最广
- 效率最高
- 最佳光束质量
- 最长使用寿命
- 最高峰值功率



866.466.0214 / www.nufern.com

想了解更多或者需要购买Nufern光纤现在请访问www.nufern.com

激光世界

LaserFocusWorld® China

《激光世界》杂志创刊于 2005 年，是世界著名杂志《LaserFocus World》杂志的中文版本，也是在中国市场为激光与光电子行业的工程师、研究人员、科学家以及专业技术人员提供的一本专业期刊。《激光世界》的内容涵盖全球激光与光电子技术、工业与科研应用、市场讯息以及中国本地市场的相关报导。在内容方面，《激光世界》中目前有50%的内容精选自获得独家授权的行业知名杂志《Laser Focus World》，其余内容来自中国本土市场。

免费索阅



孤子观测仪 (Roguescope)

**世界上最快的光谱仪
(每秒一亿帧)!**



北京安力诺斯光电技术有限公司代理美国 Time Photonics Inc. 的孤子观测仪作为世界上最快的光谱仪, 可以在单次探测内获取实时光谱信息。其帧速可高达每秒一亿帧, 为目前最快光谱仪的一千倍。孤子观测仪的实时探测能力基于美国加利福尼亚大学洛杉矶分校 (UCLA) 所研发的光子学时段展宽 (photonic time-stretch) 技术。

应用

1. 激光瞬态现象、非重复性激光锁模、
2. 调Q、孤子现象的观测
3. 光学系统中的稀有事件的观测
4. 高速随机过程的观测
5. 复杂动力学系统的统计性研究
6. 调制不稳定性实时观测
7. 高通量光谱分析仪与光谱稳定性观测
8. 非线性光学系统中瞬态现象的观测

硬件规格

型号:	TS-DFT-100-NIR	TS-DFT-100-IR
波长范围:	650 - 1000 nm	1000 - 1650 nm
带宽:	< 650 nm	
光谱分辨率:	> 10 pm	
帧速:	高达1亿帧 / 秒	
最小输入功率:	300 μW	
最大输入功率:	10 mW	
接口:	FC/APC	
输入光纤:	SM / PM	
输入电压:	90 to 270 VAC, 50/60 Hz	
尺寸"	425 x 44 x 305 (mm)	

如欲对孤子观测仪有更多了解, 请联系我们

电话: +86 10 84783386

传真: +86 10 84783396

电邮: contact@amonics.com

网址: www.amonics.com.cn

目录

市场风向标	
➤ VCSEL 市场呈现快速增长之势	5
光子学前沿	
光纤通信	
➤ 将光纤传输速率提升至 100Gb/s 以上	9
封面故事	
➤ 高功率光纤激光器	
千瓦级光纤激光器已趋于成熟	12
应用天地	
➤ 切割与焊接	
抗高反射的光纤激光器用于切割及焊接应用	17
➤ 应用简讯	
可调谐半导体激光吸收光谱对水溶剂干燥进行实时监控	19
技术中心	
➤ 中红外激光器	
CMOS 蓝宝石上硅工艺产生宽中红外超连续谱	20
➤ 二极管泵浦固体激光器	
为打标和雕刻量身定制的一体化 DPSS 激光器	21
➤ 高功率半导体激光器	
1470nm 高功率半导体激光器的设计与制作	24
➤ 平面光波导	
平面光波导技术及其器件发展	28
访谈	
➤ 激光技术搭载工业 4.0 方案打造智能工厂	
——2016 通快上海光博会及技术博览会后记	31
➤ 在半导体激光器领域还有很多事可做	
——访北京凯普林光电有限公司产品市场总监陈燕丽女士	33
➤ 紫外激光在平板显示、光纤光学及半导体制造领域寻求新机遇	
——访 Xiton Photonics 公司总经理 Juergen Bartschke 博士	34
编者的话	4
前沿简讯	6
产品摘英	35
广告索引	37

激光世界
LaserFocusWorld® China

2016 年 5/6 月 第三期

关于《激光世界》

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

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

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



扫一扫 免费下载电子书

MARKET TRENDS

- VCSEL market tipped for rapid growth 5

PHOTONIC FRONTIERS

- Fiber Optic Communications
Pushing fiber line rates beyond 100 Gbit/s 9

COVER STORY

- High-power Fiber Lasers
Kilowatt-level fiber lasers mature 12

APPLICATIONS

- Cutting & Welding
Anti-highreflective fiber lasers used for cutting and welding applications 17
- Application Note
Tunable diode laser absorption spectroscopy used for real time monitoring of the aqueous solvent drying 19

TECHNOLOGIES CENTER

- Mid-infrared Lasers
CMOS silicon-on-sapphire process produces broad mid-IR supercontinuum 20
- Diode-pumped Solid-state Lasers
All-in-one DPSS lasers are tailored for marking and engraving 21
- High-power Diode Lasers
Designing and manufacturing 1470nm high power diode lasers 24
- Planar Optical Waveguide
Planar waveguide technologies and the latest developments of those devices 28

INTERVIEWS

- Creating intelligent plants with laser technologies and Industry 4.0
—Reports for 2016 Trumpf Shanghai Laser Show and 2016 TRUMPF TechDays 31
- We still have more things to do in the field of diode lasers
—Interview Ms. Chen Yanli, Product Marketing Director of BWT Beijing Co., Ltd. 33
- Opportunities of DUV lasers in flat panel displays, fiber optics and semiconductor manufacturing
—Interview Dr. Juergen Bartschke, General Manager of Xiton Photonics GmbH 34

Editor's Notes

Leading Edge Snapshots

Products Highlight

Ad Index

激光世界

LaserFocusWorld China

May/ Jun 2016 Issue 3

About Laser Focus World China

Published since 2005, Laser Focus World China, the Chinese edition of the world famous Laser Focus World magazine, is the professional magazine for engineers, researchers, scientists, and technical professionals in China. It provides comprehensive global coverage of optoelectronic technologies, industrial and R&D applications, and market information. The editorial content licensed exclusively from Laser Focus World magazine is supplemented by content generated by our own editors in China. Laser Focus World China is published every other month in simplified Chinese and distributed to over 9,500 qualified optoelectronics professionals in China. Through our digital magazine and website we provide coverage to an even larger audience base. Please visit our relevant website, www.laserfocusworld.com.cn.

Laser Focus World China, ISSN 1817-6917 is published bi-monthly by ACT International, Unit B, 13/F, Por Yen Building, No. 478 Castle Peak Road, Cheung Sha Wan, Kowloon, Hong Kong, under the license of PennWell Corporation, 1421 S. Sheridan Road, Tulsa, OK 74112. Copyright 2010. All rights reserved. This publication contains article reprinted from Laser Focus World magazine. Laser Focus World is exclusively owned and published by PennWell Corporation. PennWell Corporation is not responsible in any way for the editorial policy and expressly disclaims responsibility for, and makes no warranties, express or implied, with respect to the content of this publication or the performance or reliability of products described herein that are products described by independent vendors.

fluorescence lifetime imaging

pco.flim camera system

Fluorescence Lifetime Imaging

application simplified

frame
rate up to
90 fps

unique
resolution
1008 x 1008
pixels



operation
frequency
5 kHz -
40 MHz

www.pco.de
www.pco-tech.com

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 michaeltsui@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-sub@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**



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

公司行政人员
主席 **Frank T. Lauinger**
总裁兼行政总监 **Robert F. Biolchini**
财务总监 **Mark Wilmoth**

尖端技术分部
高级副总裁/出版主任 **Christine A. Shaw**
读者服务主任 **Gloria S. Adams**

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

ISSN 1817-6917
© 2016 版权所有 翻印必究

大咖并购将带来什么？

今年年初发生的两次激光大公司之间的收购行为——二月份万机仪器 (MKS) 宣布以 9.8 亿美元收购 Newport；三月中旬，相干宣布以 9.42 亿美元收购罗芬——应该是到目前为止 2016 年上半年激光行业发生的两件大事，尤其是相干收购罗芬的消息刚一透露出来的时候，让人有些难以置信。

其实，在全球的激光公司中，大规模的公司并没有几家，中等规模的公司也不算很多，很多激光公司的规模都很小。大多数这些中小型激光公司已经存在了很多年，并且他们都一直很好地服务于一个或几个特定的市场。大公司为了掌握新技术并进入新的潜力市场，会选择收购一些中小型公司。这事实上是一种非常积极行业现象，因为它最起码表明了大公司觉得仍然有新的技术值得去收购，还有新的市场值得进入。例如，IPG 就通过收购多家小公司进一步将其产品拓展到了紫外激光器、中红外激光器以及超快激光器等。当然，通过这样的并购我们也能窥探到大公司今后可能关注的重点方向。

如果说大公司收购小公司是件好事，那么大公司收购大公司，是不是就是好上加好了呢？

虽然，我们看到万机仪器和 Newport 以及相干和罗芬之间正在积极进行着并购后的协同工作，但当初为什么 Newport 和罗芬的股东也要促成这些并购呢？据传，Newport 已经打算出售多年，而罗芬的投资者也对这项投资多少存有不满意。

说到底，投资者把钱投资给一个公司的主要原因是获得利润，如果投资者不能快速获得利润，他们就会想放弃投资，尤其是当他们投资的公司的竞争对手每年的业绩都在快速增长的情况下。既然这样，那么投资者为何不选择投资业绩增长好的公司呢？

万机仪器收购 Newport 和相干收购罗芬，可能会为整个激光行业带来一些大的变化，比如为业绩提供更高品质的激光器产品、也有可能出现激光器价格迅速下降的情况，当然价格下降也有可能是来自中国本土厂商的更高品质的高功率激光器产品，已经开始对某些大型激光器厂商造成了一定的威胁。如果说巨头并购将带来更高品质、更低价格的激光器产品，这对于用户而言当然是能从中切实受益的。到底这些大咖并购，最终能为整个激光行业和最终用户带来些什么呢？我们拭目以待。□

本刊编辑部

VCSEL 市场呈现快速增长之势

文/BCC Research公司

据位于美国马萨诸塞州的市场研究公司 BCC Research 预测，未来十年，垂直腔表面发射激光器（VCSEL）的全球总收入将增长至现在的近三倍，超过 20 亿美元。

随着手势识别、数据存储等一些新应用的快速增多及逐渐普及，VCSEL 的年度销售额将有望在未来的几年中快速增长。

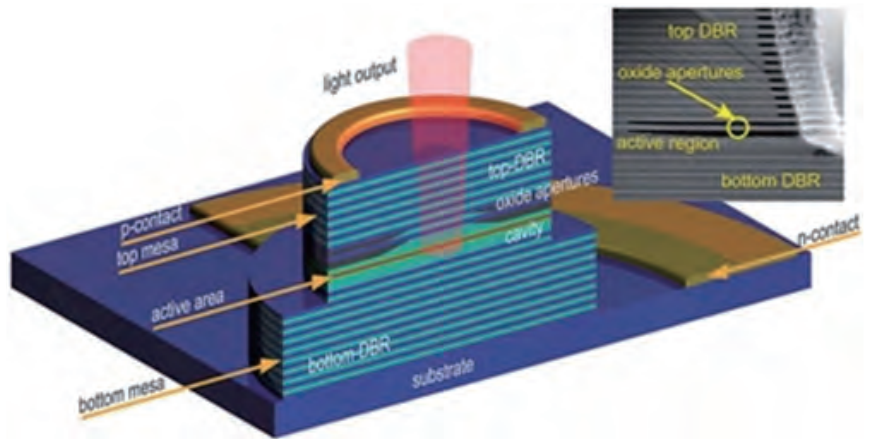
BCC Research 公司的分析师认为，目前全球 VCSEL 的总收入已接近 8 亿美元，预计到 2020 年该值会增长到 21 亿美元。

多元化市场

目前，VCSEL 的应用主要由短距离光纤数据传输链路的部署所主导，这部分市场大约占据了 VCSEL 市场近一半的份额。但是 VCSEL 自身的一些发展，包括实现更高的效率、更长的发射波长（大多数商用 VCSEL 的工作波长在 800nm 附近）以及可调谐性，将会为 VCSEL 创建更加多元化的应用市场。

“VCSEL 已经在数据通信行业内被广泛采用，” BCC Research 的分析师 Sinha Gaurav 评论道，“市场的增长归功于低能量光存储、服务器及大容量数据中心中的快速交换对 VCSEL 需求的不断增加。”

Sinha Gaurav 还看到了超高密度磁存储、工业加热（也许这一点有些令人吃惊）包括油漆固化和商业印刷店对 VCSEL 不断增长的需求。



“VCSEL 应该能够在消费电子产品中的手势识别和 3D 传感技术应用中发挥重要作用，” Sinha Gaurav 补充道，“预计手势识别技术在便携式电子设备中的持续需求，将使得 VCSEL 在电子产品中获得更广泛的应用。”

此外，预计医疗领域的医学诊断和治疗应用也是 VCSEL 的市场增长点，例如，在光学神经刺激和计算机 X 线摄影成像应用中，VCSEL 比 LED 具有出色的电效率，这一优势将使其在近程传感应用中被更多地采用。

II-VI 公司扩大 VCSEL 产能

II-VI 公司应该是从 VCSEL 需求增长中获益的一家公司，最近该公司通过收购位于新泽西州的射频组件制造商 Anadigics 公司和位于伊利诺伊州的晶圆厂 EpiWorks 公司，进一步扩大了其 VCSEL 的生产能力。

今年一月，II-VI 公司总裁 Chuck Mattera 告诉投资者，市场对 VCSEL

拥有浓厚的兴趣，但是具体产能的增加情况将部分取决于供应链的能力。

收购 Anadigics 公司，将使 II-VI 公司能够通过更大规模地制造来降低 VCSEL 的生产成本，从而使其在 6 英寸晶圆生产加工方面较竞争对手更有优势。

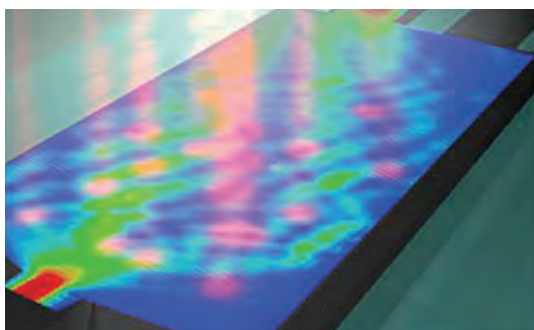
Mattera 和同事们预测，受数据通信和消费类电子产品领域新应用（如手势识别）的双重驱动，市场对 VCSEL 的需求将会急剧增长。美国 Lumentum 公司和 Finisar 公司也正在瞄准这部分市场。

另一个关键应用领域可能出现在新兴市场中的自主技术。日本电装（Denso）是汽车行业的一家主要供应商，该公司刚刚公布了对 TriLumina 公司的一项战略投资，TriLumina 公司是从美国桑迪亚国家实验室剥离出来的。TriLumina 公司已经开发了针对雷达设备的高功率 VCSEL 阵列，而这些雷达设备主要用于辅助驾驶和无人驾驶汽车的导航。□

研究人员正在研发可编程光学芯片

英国南安普顿大学和法国波尔多德 Optique 研究所的研究人员发现，通过控制光照来使硅芯片实现可编程逻辑。

研究人员认为，虽然光子芯片一般都是“硬连接”的，但是通过光学器件的重构可以使得光线走向更加灵活自由，使得可编程光学电路成为一种可能。他们称，“空间光调制器通常使用液晶或者透镜来实现像素的独立控制，这些技术对光学的发展带来了彻底的变革，使得近些年来在成像光学、全息光学以及自适应光学领域有了全



新的应用。”

该团队利用的是多模干涉设备 (MMI)，他们使用飞秒激光来实现 MMI 的动态模式变换。可以实现透射光的有效调制，实现部分模式通过，部分模式被反射。

通过使用一个 1×2 的 MMI 分光器和一个受飞秒激光扰动的投影图案，实现了光路由到单个出口 97% 的效率，并使得器件实现可编程。他们的研究成果证明了可以通过调制光线来照射芯片来达到继承光路的可编程性。集成的空间光调制器使得传统的硅光子学器件可以作为通用的重构器件。

此项技术的实际应用包括了全光学可重构路由器、光网络的超快光学调制器和光学开关以及微波光子电路等。现在需要的工作就是将这些想法尽快发展成实际应用。□

孔雀团队研发基于黑磷的光纤锁模激光器

由深圳大学 - 新加坡国立大学光电协同创新中心教授张晗带领的深圳市孔雀创新团队首次研发了基于黑磷的光纤锁模激光器，获得了超短脉冲激光输出信号。

近年来，在石墨烯产业蓬勃发展之际，另一种新型单元素二维原子晶体材料——黑磷被发现。与石墨烯类似，黑磷具有诸多优异特性，故被称为比肩石墨烯的“梦幻材料”。张晗透露，黑磷的研究和应用才刚刚开始，其非线性光学特性被国内外多家单位证实，并应用于超快激光的产生中。

在可预见的将来，它将成为“第二个石墨烯”。

张晗团队研究发现，黑磷具有宽带可饱和光吸收特性，波长范围可覆盖可见光到中红外波段。在激光领域中，具有可饱和吸收特性的器件是组建超短脉冲激光器的关键。黑磷这一特性的发现，为中红外超快光学器件的研发提供了可能。研究表明，石墨烯是一种无带隙的半金属半导体材料，拥有超高的电子迁移率以及宽带光吸收特性。然而，无带隙的能带结构限制了石墨烯在光电领域的应用

和发展。而黑磷的最大特点是拥有随着层数可变的直接带隙，这恰好解决了困扰石墨烯的难题。早在 2014 年，复旦大学的张远波团队利用少层黑磷实现了高速场效应管的应用尝试，为黑磷的广泛研究拉开了序幕。

黑磷的应用不局限于光电领域，其在生物医学领域也具有优势。为此，张晗与中国科学院深圳先进技术研究院研究员喻学峰、香港城市大学教授朱剑豪合作，成功研发出新型的超小黑磷量子点，并将其作为光热制剂应用于肿瘤治疗中。□

A Global Leader in Engineered Materials and Opto-electronic Components



关注贰陆官方微信

CO₂激光镜片、光学材料

产品涵盖了世界领先的精密光学产品，包括CO₂激光镜片、扫描激光系统光学元件、光学材料以及其他的红外光学元件产品



FiberLight FLEX 激光切割头

FLEX具有可变焦距的准直镜，使用者可以实现2倍率的焦距调整范围



BIMO-FSC 激光切割头

专用于高功率精密切割，准直动态调焦功能，极大提高加工效率和质量



RLSK 3D 焊接头

先进的3D振镜结构，大功率激光远程飞行焊接



LLK光缆

最佳的光束质量保护，高传输率，重量轻，是1微米激光光源，包括光纤激光器，光盘激光器，半导体激光器的首选



贰陆红外激光（苏州）有限公司

地址：苏州工业园区星汉街5号D幢01楼01-02单元

免费电话：400-858-1126

传真：0512-67671207

网站：www.ii-vi.com.cn

邮箱：infosz@ii-vi.com.cn



BEWC 北京新国展 德国展团

2016年6月14日-17日 展位号：W1582



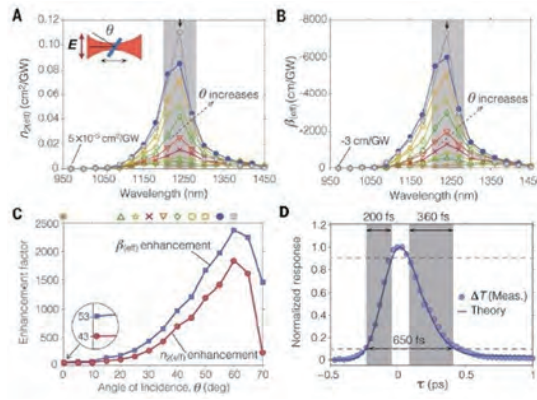
CIMES 北京新国展

2016年6月22日-26日 展位号：E3-A011

氧化铟锡具有优良的非线性光学性能

由加拿大、美国、墨西哥的研究人员组成的一个研究团队在近期出版的《科学》杂志上撰文指出，氧化铟锡（ITO）可以获得高于其他材料数百倍以上的光学非线性，未来有望在多个光子学应用领域大显身手。

与电子相比，光子传输信息具有并行处理能力强、运算速度快、能耗低等优势。为了更好地利用光子，科学家们需要在光通过材料时对其“一举一动”进行控制。一种控制方式是，调整材料的折射率使光更快或更慢地通过材料。有些材料能根据通过光强的不同（低能光源还是高能激光）而改变自身的折射率，即光学非线性。在光子学领域，光学



非线性越高的材料，对科学家们的吸引力越大。

该团队发现，常用于触摸屏和飞机窗户的材料 ITO 能获得特别高的光学非线性。在某些条件下，ITO 样本获得的光学非线性程度可超过其他材料数百倍。

此外，有些材料在光子通过后能快速恢复到最初的折射率，而其他材料可能会保持在新的状态。如果一种材料能更快地进行这种调整，对大多数应用来说是极有帮助的。材料改变自身折射率的能力越强，通过其光子速度范围就越大，从而使科学家能对光子的功能进行更大程度地控制，这一点在显微镜和数据处理等多个领域都有广泛用途。

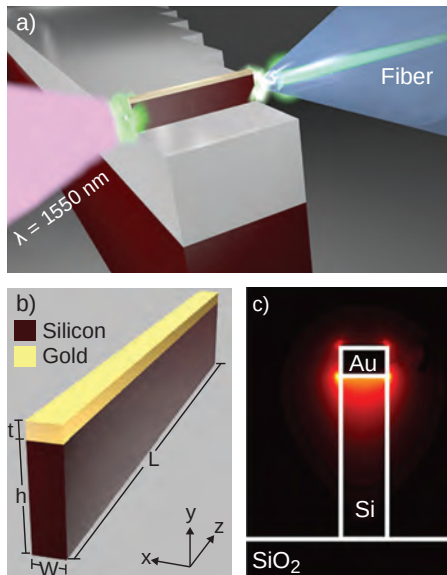
在这项新研究中，ITO 在 360fs 内就恢复了最初的折射率。研究人员表示，这一特定条件与波长约为 1.2μm 的光有关，该光波介于可见光与波长为 1.5μm 的光之间，对光子通讯意义重大。□

纳米等离子体器件将红外光有效地转换为绿光

文/Gail Overton

由加拿大阿尔伯塔大学进行的一项研究，已经成功展示了利用三次谐波产生（THG）的方法从硅绝缘体（SOI）纳米等离子体波导中产生了绿光。该三次谐波器件在输入端被 1550nm 的输入激光激发，该激光由建立在 SOI 衬底上的一个 340nm 高、95nm 宽、并具有 60nm 厚金涂层的波导引导，在输出端实现了 517nm 的绿光输出。

在所有的 CMOS 材料中，硅（Si）具有最高的三阶非线性系数和最高的折射率，其通常很难发射可见光，这是因为间接的硅带隙和其对所生成的任何可见光都具有很强的吸收。为了



攻克这些难关，该波导充分利用波导中的表面等离子体模式下强大的光-物质耦合优势以及红外电场的强约束，在短距离内实现了有效的非线性光学混合和三次谐波产生，该距离小于硅中绿光的吸收长度。该波导也可以通过在硅-金界面陡峭的场梯度中加速光激发的电子，以及在强纳米等离子体场中驱动电子雪崩倍增和冲击电离过程，产生宽带可见光。□

参考文献

S. Sederberg and A. Y. Elezzabi, Phys. Rev. Lett., 114, 22, 227401 (Dec. 2015).

光纤通信

将光纤传输速率提升至 100Gb/s 以上

文/Jeff Hecht

现在，超信道能在标准单模光纤上实现数百Gb/s的长距离传输。大模场面积光纤能进一步提升超信道的传输距离和传输速率，而新型多芯和少模光纤预示着未来的发展。

100Gb/s 的相干传输已经成为全球光纤骨干网的标准，预计未来的传输速度将更快。一些系统运行于数百 Gb/s，实验室已经在处于研发阶段的单根光纤中获得了超过拍比特 (1015bits/s) 的速率；该光纤能够在数十条独立的光路上传输光信号。这也许能让读者联想到上世纪 90 年代的爆炸式增长。

然而今天的情况更为复杂，因为该技术正在三个方面不断提升——基于阶跃折射率“标准”单模光纤的现有系统、采用大模场面积光纤的新系统、以及基于新型光纤类型的空分复用的开发。

上世纪 80 年代以来，相干传输和数字信号处理使得大部分 $9\mu\text{m}$ 纤芯单模光纤得以应用。在北美和欧洲的线路中，泡沫时期安装的闲置光纤仍可以广泛使用。今天的长距离相干系统，能够在这类光纤上以接近一百个 50GHz 光学信道传输 100Gb/s 的信号——总计每组光纤对 10Tb/s，而新技术可能提供进一步的提升。

大模场面积光纤是新型海底和陆地光缆的首选光纤。大模场面积光纤的低非线性使它们能够在更长的距离上承载更高的数据率。

长远来看，研究人员正致力于可

以通过空分复用增加容量的新光纤类型，如使用单根光纤内的分立纤芯，以及少模纤芯内的分立模式。潜在应用包括长距离传输和较短距离传输，从服务器场内到城市分布网络。

接近标准单模光纤的极限

今天的 10Tb/s 的光纤速率，已经比上世纪 80 年代中期的标准单模光纤 400Mb/s 的传输速率增加了 25000

倍。将相干发射器结合在一起以形成数百 Gb/s 的“超信道”，可以将容量额外增加约 30%。诀窍在于组合多个激光发射器的信号，消除了分离传统 50GHz 信道的缓冲区（见图 1）。

经展示的单信道数据率已经达到 Tb 级。2014 年，通过在匈牙利首都布达佩斯和斯洛伐克首都布拉迪斯拉发两地之间安装好的光纤环路，美国 Infinera 公司将 1Tb/s 的超信道信号发送了 500km。单个光子学集成电路包含 10 个激光源。Infinera 公司的 Geoff Bennett 介绍说，使用偏振复用正交相移键控 (PM-QPSK)，原型

的 1Tb/s 线路卡可以覆盖更长的距离。利用现有的生产级 500Gb/s 线路卡，Infinera 公司和 Facebook 在无需再放大的情况下，实现了超过 4000km 的传输距离。Bennett 将该进展归功于第二代相干系统中发射器和接收器之间的分离信号处理。

然而，标准单模光纤正接近无误传输容量的非线性香农极限。^[1] 噪声决定了传统的香农极限，所以可以通过复杂的编码机制增加线性介质的容量，这种机制将产生更高的功率以提高信噪比。然而，光纤是一种非线性介质，因此复杂编码引入的额外功率将产生非线性噪

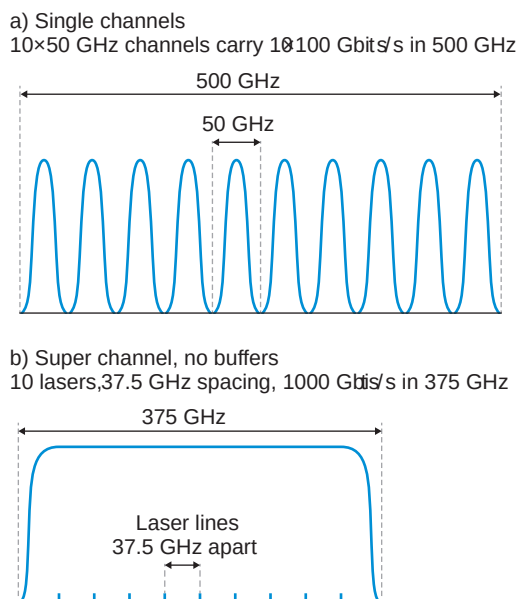


图1：使用间隔为50GHz的10个100Gb/s信道的1Tb/s传输 (a) 与使用横跨375GHz范围的间隔37.5GHz的10路激光实现的1Tb/s超信道进行比较。超信道在频带上没有常规50GHz信道之间所展示的缓冲区 (b)。

声。这将会降低信噪比，从而对传输效率施加更严格的限制，传输效率通常以 bit/s/Hz 来表征。结果是在编码速率与传输范围（见图2）之间形成一个固有的折衷。

大模场面积光纤承载更多数据

大模场面积光纤在较大面积上传播信号，降低功率密度和非线性噪声。大模场面积光纤能扩展传输容量和距离，因此实芯大面积光纤已成为新型长程陆地和海底光缆的标准配置。美国康宁公司和 OFS 公司均提供在 1.55 μm 波段、有效模场至少 125 μm^2 、衰减系数小于 0.19dB/km 的光纤。光子晶体光纤的有效模场面积已超过 1000 μm^2 ，但对通信应用而言它们的损耗还远远过高。

大模场面积单模光纤通常具有较高的色散。但是因为相干传输和数字信号处理已使强大的电子色散补偿成为可能，因此色散不再是问题。

大面积光纤的传播允许使用更高功率和更先进的编码技术，以提升数据率和传输距离。在美国 Comcast 公司的长程网络中，使用近千公里的这种大模场面积光纤，美国 Ciena 公司发送了 16-QAM 调制承载实时流量的 1Tb/s 超信道。得益于先进的编码机制，频谱效率达到了 500 bit/s/Hz。Bennett 介绍说，实验室测试结果将 PM-8QAM 信号的传输距离提升了近三倍，达到了跨大西洋的距离。

正如美国 TE Connectivity SubCom 公司的 Neal Bergano 所说，大面积、低损耗光纤也已成为长距离海底光缆的标准。具有八个光纤对和先进编码机制的越洋光缆，具有 80Tb 的容量。在最近的试验中，Bergano 的研究组在 9748km 试验台

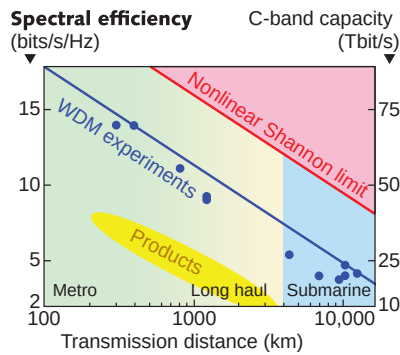


图2：标准单模光纤系统正逼近非线性香农极限，如右上图所示。蓝线表示实验演示，而黄色区域表示商业产品。垂直刻度显示掺铒光纤C波段容量（右）和频谱效率（左）。^[3]

上，发送了 152 路 200Gb/s 的偏振复用 16-QAM 信道，效率为 6b/s/Hz。^[2]但预计容量将在标准单模光纤的约 10 倍以上时达到极限。

空分复用

从长远来看，空分复用通过在两点之间的平行物理路线上发送信号，能提供潜在的百倍容量提升。贝尔实验室的 Peter Winzer 称之为继时间、相位、频率和偏振后，光学复用的第五物理维度。^[3]

在同根光缆中分离光纤的空间复用已被认可，但对集成其它组件，如放大器而言前景黯淡。多芯光纤和多模纤芯为集成提供了更多希望，但它们需要得到巨大的发展。“我们都知道并行系统将会出现。但问题是哪种形式的并行系统最具经济意义。” Winzer 说道。

早期的多模和多芯测试令人鼓舞。在 2012 年 European Conference on Optical Communications (ECOC) 会议上，日本电报电话公司利用 12 芯光纤，在 52.4km 上发送了创纪录的 1010Tb/s (1.01Pb/s)。^[4]每根纤芯在 222 个分立波长上分别承载 380Gbit/s，总计每纤芯 84.5Tb。另外，

在少模光纤上展示了模式分复用。

在去年的 Optical Fiber Communications (OFC 2015) 会议上，有三篇报告是关于在多芯光纤的每根纤芯中多模传输的。其中两篇描述了几公里光纤上超过 100 条路径的空分复用。日本的 J. Sakaguchi 在 5.5km 的 36 芯光纤中，每根发送三种模式，^[5]日本 KDDI R&D Labs 的 Koji Igarashi 在 9.8km 的 19 芯光纤中，每根发送六种模式。^[6]在第三篇文章中，日本 NTT Laboratories 的 Kouki Shibahara 及同事在具有放大器的 52.7km 12 芯光纤环路上，每根发送三种模式重复 10 次。尽管 NTT 研究组使用较少水平的空间复用，但是展示放大、光纤之间的信号传输，以及达到总距离超过 500 公里，仍是重要的步骤。^[7]

大的问题依然存在。在少模光纤的耦合和放大过程中，模式之间的串扰将有多少？放大器和耦合器集成得怎么样？以 bit/s/Hz 来衡量，空分复用可以增加多少效率？超过越洋距离的话，多少空分复用将有可能？

最近的理论工作暗示意想不到的局限。在 2015 年的 ECOC 会议上，OFS 的 Kasyapa Balemorthy 和 Robert Lingle 指出，如果要在 6000~12000 公里

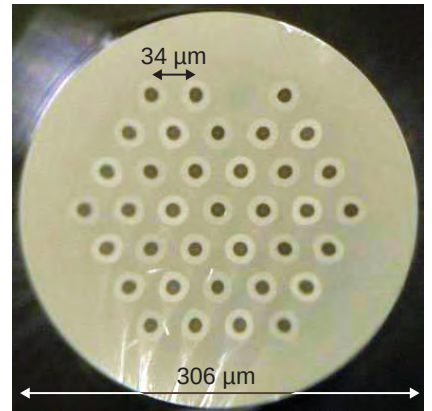


图3：包含三种不同类型纤芯、每根能承载三种模式的36芯光纤，用于日本东京一家科研机构的试验中。^[5]

后 100Gb/s 的信号不衰减,那么 220 μ m 光纤仅可容纳不超过 5~7 根纤芯。^[8]

展望

底线问题是什么技术能提供最佳价值。集成空分复用的主要吸引力是降低成本的潜力。然而,正如 Winzer 所说,“没有人能以比 19 根单根光纤更低的成本制造一根 19 芯光纤。”因此无论如何,多芯、多模光纤距离实用还有很长的路要走。

然而如果回顾过去,在上个世纪 70 年代晚期,很多人认为采用许多并行多模光纤将比单根单模光纤更实际。在上个世纪 80 年代,相干传输被认为是不切实际的,在有新技术打开通向 100Gb/s 相干传输的大门之前,它们将在货架上干等二十年。其他选

择依然存在,包括扩展传输光谱到超出 1530~1565nm 的掺铒光纤 C 波段。有兴趣的读者可以密切关注 2016 年 OFC 会议所带来的任何惊喜。□

参考文献

1. A. D. Ellis et al., "The nonlinear Shannon limit and the need for new fibres," Proc. SPIE, 8434, 84340H (Jun. 1, 2012); doi:10.1117/12.928093.
2. J.-X. Cai et al., Opt. Express, 22, 4, 9115 (Apr. 8, 2014); doi:10.1364/oe.22.009116.
3. P. Winzer, Bell Labs Techn. J., 19, 22 (2014); doi:10.15325/bltj.2014.2347431.
4. H. Takara et al., "1.01-Pb/s (12 SDM/222 WDM/456 Gb/s) crosstalk-managed transmission with 91.4-b/s/Hz aggregate spectral efficiency," Proc. ECOC, Th.3.C.1 (Sept. 2012).
5. J. Sakaguchi et al., "Realizing a 36-core, 3-mode fiber with 108 spatial channels," Proc. OFC, Th5C.2 (2015).
6. K. Igarashi et al., "114 space-division-multiplexed transmission over 9.8-km weakly-coupled-6-mode uncoupled 19-core-fibers," Proc. OFC, Th5c.4 (2015).
7. K. Shibahara et al., "Dense SDM (12 core $\times$ 3 mode) transmission over 527 km with 33.2-ns mode-dispersion employing low-complexity parallel MIMO frequency domain equalization," Proc. OFC, Th5C.3 (2015).
8. K. Balemorthy and R. Lingle Jr., "Upper limits on number of cores for multi-core SMFs over trans-oceanic distances at 100Gbps," Proc. ECOC, 0761 (2015).

Aerotech 全新的
Nmark 和 AGV-HPO

扫描振镜电机

精准 · 稳定 · 灵活 · 可细分 · 经济



高精度

1微米精度

高稳定性

兼顾长时间工性能

配置灵活

10到30mm孔, 兼容不同波段激光波长

易于集成

无布线干扰激光束运动

经济实惠

开放式框架设计降低成本

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

WORLD HEADQUARTERS: USA
THE AMERICAS • EUROPE & MIDDLE EAST • ASIA-PACIFIC



Dedicated to the
Science of Motion

高功率光纤激光器

千瓦级光纤激光器 已趋于成熟

文/ John Wallace

尽管今天的高功率连续光纤激光器起源于通信技术，但是它们早已离开了通信领域，并成为可靠、高效的材料加工的自然选择。

光纤激光器将主动（激光增益）光纤与一个或多个泵浦激光器（通常是激光二极管）结合在一起。光纤激光器有许多类型，包括低功率连续（CW）激光器、低能量和高能量脉冲激光器，这其中又包括超快光纤激光器。但是提起光纤激光器，也许很多人想到只是千瓦级连续光纤激光器，这类光纤激光器主要用于材料加工，包括切割、焊接、钎接、表面处理及其他诸多应用，并且光纤激光器正研究用于军事领域作为定向能武器。

光纤本质上是一种非常细的长棒，这种构造使其成为两种具有特别高的表面积与体积比的激光器中的一种（另一种是碟片激光器——宽的、极短的棒），这类激光器更容易保持冷却。光纤激光器的结构相对比较简单，易于维护；而且这类激光器体积紧凑，并且由于采用激光二极管泵浦，坚固且寿命长。

大范围的功率和波长

IPG Photonics 公司市场开发经理 Alexei Markevitch 概述了千瓦级光纤激光器的波长和功率范围。“IPG 公司生产波长为 $1\mu\text{m}$ （掺镱光纤）和 $1.5\mu\text{m}$ （掺铒光纤）的标准千瓦级

CW 激光器，同时也生产波长为 $2\mu\text{m}$ （掺铥光纤）的定制千瓦级光纤激光器，以及通过拉曼频移实现的波长在 $1.1\sim 1.7\mu\text{m}$ 之间的激光器。”他说道，“较长的波长使得非金属材料加工和其他新应用成为可能，并且被认为是人眼安全的，因为这些波长处的人眼损伤阈值比在 $1\mu\text{m}$ 波长处高出很多数量级。”

Markevitch 指出千瓦级光纤激光系统工作在 CW 或高达 5kHz 的调制

模式下，并具有从 10% 到全功率、且光束发散或光束轮廓无变化的动态范围。

Markevitch 介绍说，在 $1\mu\text{m}$ 波段，IPG 公司的单模 YLS-SM 掺镱光纤激光器能提供 $1\sim 10\text{kW}$ 的功率范围。这些单模系统用于那些需要极高功率和极高亮度的先进材料加工应用中，例如精细切割和表面结构化、高反射率金属的切割、微焊接、烧结和雕刻，以及远程加工和定向能应用。

“IPG 公司的多模 YLS 掺镱 CW 光纤激光器，提供 $1\sim 100\text{kW}$ 的功率范围，甚至可以根据客户要求定制高

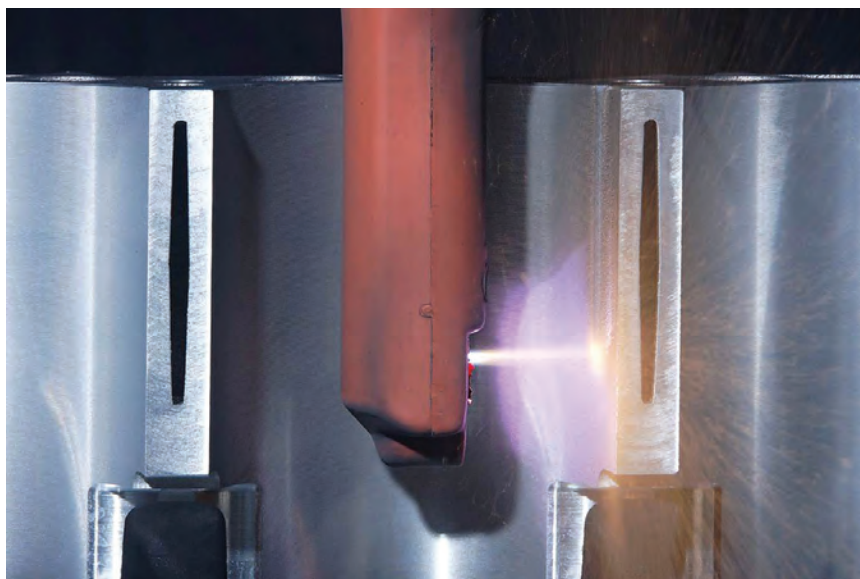


图1：采用IPG公司的2kW单模光纤激光器为汽车发动机加工的孔的圆筒形表面，然后采用等离子喷涂产生硬涂层，取代传统的气缸套。激光加工微槽有助于涂层粘附到气缸上。

达数百千瓦的激光器。”Markevitch 表示,“它们具有许多用途,包括切割、钻孔、钎接、焊接、退火、热处理和熔覆。随着设计的不断完善,标准工业 YLS 系统的电光转换效率现在已经达到了超过 40%,业界记录的 YLS-ECO 系列的电光转换效率超过 50%。”

相同的多模 YLS 激光器用于高、低亮度的应用,例如焊接、钻孔和精密切割——“这是一种前所未闻的能力。”Markevitch 说道,“高亮度允许使用长焦加工透镜,用于大大改进场深,并将对光学元件的损伤降到最低。”

虽然高亮度多模激光器在材料加工应用领域占据主导地位,但是单模千瓦级 CW 激光器正在赢得越来越多的关注,因为它们可以使那些需要高 CW 峰值功率、极小光斑尺寸、和/或远程加工能力的新应用成为可能。Markevitch 所描述的 YLS-SM 激光器的一些应用,包括用于筛选和过滤的不锈钢的高速切割、阳极和阴极电池箔的远程切削、铜 (Cu) 和铝 (Al) 箔的远程和气体辅助高速切削,以及最小畸变薄金属的大高宽比窄焊接。

Markevitch 强调的千瓦级 CW 单模激光器应用的一项特定案例,是在汽车工业中的铸铁和铝发动机的微结构加工。环境法规对更低能耗、以及减少污染和二氧化碳排放量的要求,需要更薄、更轻的发动机。一种具有减薄壁厚的马达模块的新型设计,辅以激光材料加工,使得每个气缸可减少 1 公斤的重量。

为了获得更高的机械阻力并优化热传导,气缸周围喷有较薄的等离子体涂层 (见图 1)。在实施熔覆加工之前,气缸表面加工有微结构槽,微结构的典型特征尺寸为 $100\mu\text{m}$ 或者更小。

以往这种表面结构化都采用机械

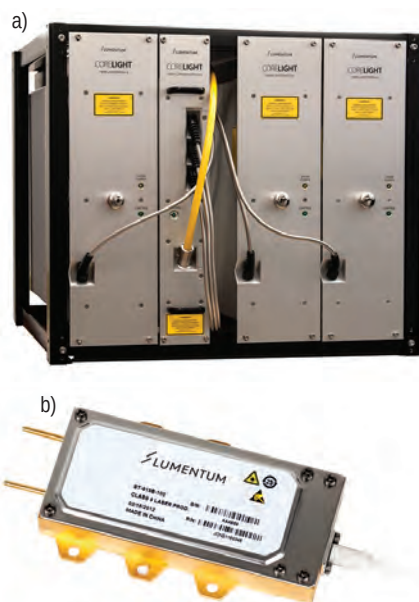


图2: 6kW的Lumentum光纤激光器包含三个2kW的模块和一个光纤合束器模块 (a)。该光纤激光器由该公司的ST系列高亮度光纤耦合激光二极管泵浦 (b)。

或水射流加工。这些传统技术有种种弊端。例如,机械加工效率较低,只能垂直于表面进行,且处理不同零件和槽尺寸时需要更换工具。水射流具有非常高的功耗 (每个喷嘴 120kW),以及较大的耗水量 (水受铝污染),在铝中产生海绵效应,需要在真空腔内干燥,并且只能在铝零件上完成。

“额定功率为 2kW 的单模 YLS-2000-SM 激光器,可以加工铁 (Fe) 和铝 (Al) 零件,易于适应处理不同直径且具有不同深度 (深达 $30\mu\text{m}$) 的槽的零件,最大功耗为 5.5kW。”Markevitch 解释道,“还可以实现不同的凹槽角度。槽的质量和生产率相比传统技术均大大改善。”

模块化设计

美国 Lumentum 公司激光器产品与技术高级主管 Erik Zucker,描述了该公司的 Corelight 千瓦级 CW 光纤激光器产品线的模块化特点和内部运

作。“我们的基本构建模块是一个输出功率超过 2kW 的双包层光纤、单振荡器模块,”他解释说,“可以将几个这种模块组合在一起,通过单光束提供明显更高的功率。我们的光纤激光器主要用于 2D 金属板切割,包括低碳钢、不锈钢、铝、铜和黄铜等多种材料。它们也可以用于金属焊接、钎焊和熔覆应用。”

2kW 光纤激光器模块由单光纤振荡器构成;该单光纤振荡器构成通过 Lumentum 公司的 ST 系列高亮度、光纤耦合激光二极管阵列进行端面泵浦,Zucker 表示该泵浦激光器也是由他们公司自己设计和制造的 (见图 2)。

“每个泵浦源从 $106\mu\text{m}$ 芯径的光纤中产生 140W 的输出功率,电光转换效率高于 50%。”他解释说,“多根泵浦光纤与单根光纤熔接在一起,再熔接到振荡器的一端。光纤布拉格光栅确定了腔和输出耦合器。由于 2kW 的功率是从单个模块产生的,光束参数乘积 (BPP) 很小,通常为 $0.8\text{mm}\cdot\text{mrad}$ 。这允许将大景深的小光斑直径聚焦到金属切削应用的工件表面,反过来又产生了非常高的强度,形成极其有效的切割。”

Zucker 指出,采用 Lumentum 公司光纤激光器的 2kW 输出,可对 25mm 厚的低碳钢进行切割,而 4kW 的 CO_2 激光器只能切割厚度最大为 22mm 的钢材。小的 BPP 带来快速切割:例如,4kW 的功率能够以 75m/min 的速率切割 1mm 厚的铝;而 6kW 的功率能以 94m/min 的速率切割 1mm 厚的铝。

日本 Amada 公司是 Lumentum 公司的一家研发伙伴和客户,该公司将 2kW 激光器整合到其切割工具中。2kW 激光器的小 BPP,使部件能

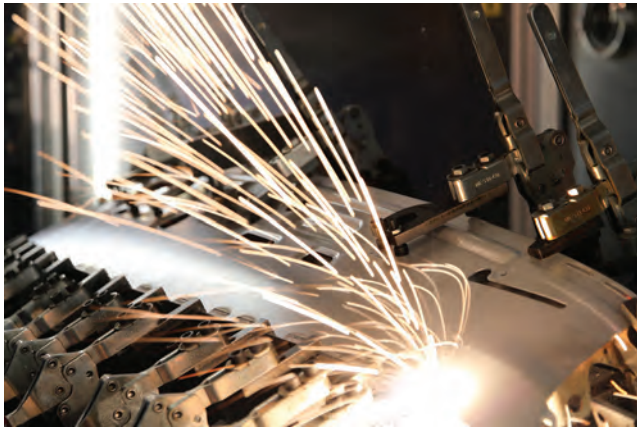


图3：罗芬公司基于扫描头的光纤激光器正在进行汽车零部件焊接。

具备一种被称作 ENSIS 的性能，允许对工件上的光斑尺寸进行动态电调节。对于自动切割工作，Zucker 介绍说，ENSIS 可以无需操作员干预，从薄到厚金属切削进行调整，提高加工车间的生产率。

将光辐照到工件

德国罗芬公司生产输出功率 500~8000W 之间的 CW 高功率光纤激光器（FL 系列），提供多种方案将激光器输出光辐照到工件上。该公司的激光器可以配备直接熔接光纤获得单模或多模光束质量；或者配备光纤至光纤耦合器或光纤至光纤开关，获得多模光束质量，这种方案允许用户插入多达四根光纤，用于串行或并行光束应用，罗芬公司的激光光源产品经理 Wolfram Rath 介绍说。

带熔接光纤的型号更加紧凑，为单机柜；而带光开关的型号具有独立的附件，实现光束管理。该激光器用于切割、焊接和表面处理，以及各种由集成扫描头加工支持的、基于扫描头的应用。

Rath 介绍说，FL 系列光纤激光器使用大模场面积双包层光纤作为增益介质。“包括主动单模纤芯和大直径包层，光束在其中传播，”他指出，“长寿命泵浦模块出射的泵浦光，通过泵浦耦合器从两侧送

入包层。它们为被动冷却，容忍独立的单个故障，需要时可以在现场进行更换。谐振腔镜通过刻写光纤布拉格光栅（FBG）形成。”

单个光纤激光器模块的激光输出功率达到 2.4kW，额定功率为 2kW。通过全光纤功率合束器，可以组合多达四个光纤激光器单元，获得 8kW 的总额定功率，这可以通过多达四根 100 μ m 芯径的加工光纤传输至加工单元。

Rath 表示，这些高功率光纤激光器是宏观应用分支中金属激光切割和焊接的标准工具（见图 3）。标准的切割系统通常配备紧凑的光纤激光器，根据切割系统的功率和板材厚度，配备芯径为 50 μ m 或 100 μ m 的直接加工光纤。“汽车部件焊接在几个工作站内频繁实现，几个工作站通过不同的、可长达 100m 的光缆与激光器相连接。”Rath 解释道，“这样的设置有助于减少周期时间，优化激光的利用。例如，当激光器在 B 工作站处焊接第二个工件时，A 工作站内可以装配并夹持零件。”

由于通过选择光纤尺寸可以使光纤激光器与应用相匹配，因此相同的激光器可以用于不同的操作。例如，制造一种汽车零件采用三种不同的激光加工方法在三个工作单元内顺序执行：去除涂层（采用高光束质量和集成扫描头加工实现）、切割孔径以

背反射隔离

在高度反射的材料上进行操作的千瓦级工业光纤激光器，面临背反射的问题。从工件上激光光学元件聚焦区域反射的光，通过激光系统后向传输。“由于工件表面的不平整性，缺乏与表面法线的精确对准，以及加工元件有限的收集角，典型的背反射仅为激光功率的一小部分；此外，在许多情况下，背反射的持续时间短（例如穿孔）。”美国 nLIGHT 公司总经理 Jake Bell 说，“然而，一些光纤激光器的设计使得加工反射材料变得困难或者不可能。”

nLIGHT 公司生产一系列材料

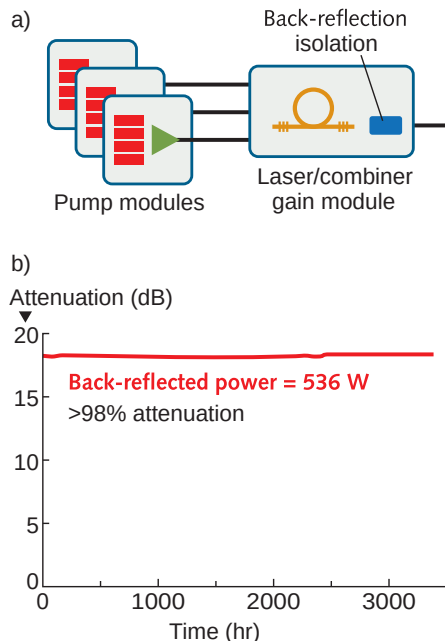


图4：nLIGHT alta设计成在激光器和传输光纤之间具有背反射隔离器（a）。直接背反射进光纤大于500W的连续激光稳定性数千小时的压力测试，显示没有不稳定运行的特征（b）。

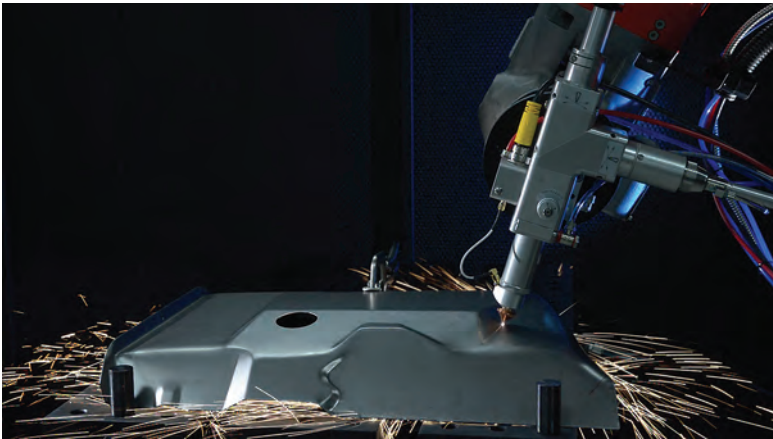


图5: 相干公司Highlight FL光纤激光器可以结合机器人使用,使白色家电(洗衣机、厨灶等)行业的高速3D零件切削成为可能。

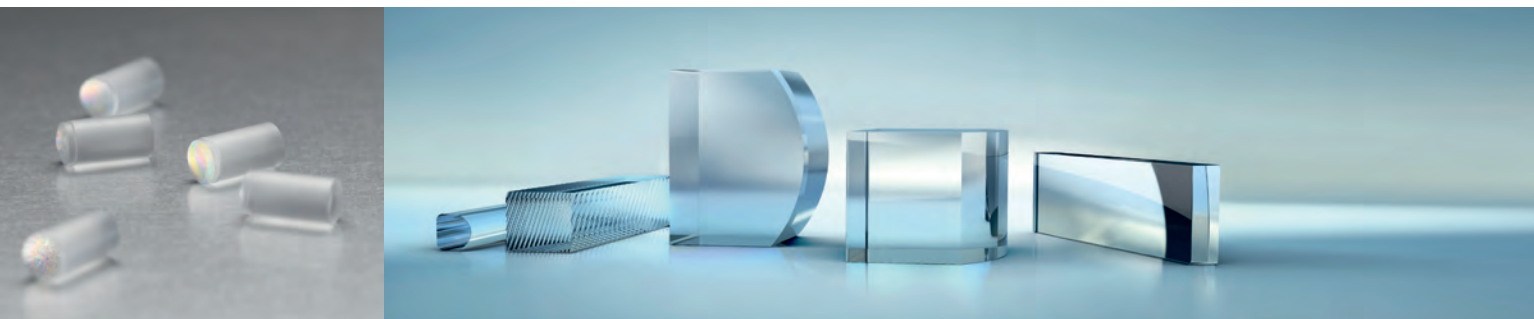
加工光纤激光器,输出功率范围 500W~4kW。在其他特性中,nLIGHT 公司的 alta 系列具有独特的配置,以最小化背反射。“背反射所造成的损伤通常是由于光学功率沉积到聚合物材料中,由于过热而烧坏的结果。”Bell 说,“nLIGHT 公司的 alta 将耦合进传输光纤中的背反射光剥

离,并将其引导到水冷光束收集器,在该处激光被转换成热而不与聚合物有任何相互作用,从而消除了主要损伤机理。该无聚合物隔离器设计成可持续收集超过 500W 的光(见图 4)。”

Bell 表示:“我们评估了穿孔时隔离系统的性能,在这种激光切割下产生最高的背反射信号。该测试成功处理了铜的连续 4000 次穿孔,没有中断或故障的穿孔。与由我们的背反射隔离器提供的可靠的、基于硬件的保护相反,一些其他的光纤激光器利用软件保护在背反射的情况下禁止激光;这种方法可能保护激光器,但它妨碍成功和连续的材料处理。”

Bell 指出,收集在隔离器中的背反射光,用光电二极管监测。该传感器的实时输出提供给用户,用于在过程监控、优化和控制(例如穿孔检测)中使用,或者是工具校准(如光束位置和焦点)。

Bell 概括的 nLIGHT alta 激光器的其他特质包括改进的切割和焊接性能,这些激光器可以提供高达 100kHz 的



FISBA

激光二极管和电信/数据通信应用的定制光学元件

慢轴准直透镜(SACs) 非球面设计能够实现单管的出色准直性能

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

用于光纤准直的高精度柱镜具有极高的中心度和直径公差

调制率，以及低于 $5\mu\text{s}$ 的上升和下降时间。这些功能允许更快的穿孔，精细特征更快的处理速度，并通过最小的热影响区实现更好的加工质量。

“大多数数千瓦级光纤激光器系统采用对基于多个低功率光纤激光器的输出合束的架构，导致成本、性能、可维护性、可升级性以及和技术进步的顺应性方面的显著缺点。” Bell 补充道，“我们介绍一种新颖的千瓦光纤激光器架构，通过将泵浦二极管和驱动器安放在单独的泵浦模块中，以及将增益光纤安放在可配置的增益模块中，解决了这些问题，可以产生超过 4kW 的输出功率。”

这些激光器具有可调整的光束质量 ($\text{BPP} \geq 1.1\text{mm}\cdot\text{mrad}$)，已经应用于低碳钢、硼钢、不锈钢、铝、黄铜和铜的高质量切割和焊接，并且也已经在新兴的应用，包括增材制造、表面纹理化和雕刻中得以使用。

快速组件更换或升级

根据美国相干公司材料加工市场总监 Frank Gaebler 的描述，第一代光纤激光器直接基于电信平台大规模扩展到更高功率，它们采用大量的单独泵浦激光二极管，每个都采用独立光纤耦合，并永久熔接在一起。

“这种获得更高功率的方法有几个限制。”他说，“特别是所有部件被永久熔接在一起。如果一个组件出现故障或退化，就没有办法进行更换。例如，早期的产品对来自于金属加工的背反射非常敏感。如果光纤熔接、泵浦二极管、传输光纤，或任何其它激光器组件由于这种背反射损坏，必须将激光器拿到工厂修理或更换，这将影响正常运行时间和生产效率。

相干公司制造了基于灵活的模块化架构的第二代千瓦级光纤平台 (Highlight FL) (见图 5)。相干公司的工程师们使用实质上不同的设计方法，消除了多个泵浦和熔接的复杂性，具备模块化架构，还允许简单替换和 / 或升级各种组件，包括传输光纤。

“我们使用光纤耦合高功率激光二极管巴条，而不是多个独立的激光二极管，” Gaebler 说，“然后它们的输出采用自由空间耦合进入增益光纤；这种耦合模块也可用于将增益光纤连接到可拆卸的传输光纤。”他补充说，这样的做法对 OEM 系统集成商特别具有吸引力，因为他们可以根据专业知识水平或者深度集成的要求，购买完整的激光器或单独的模块，并且可以迅速改变或更换传输光纤以适应不同的应用。

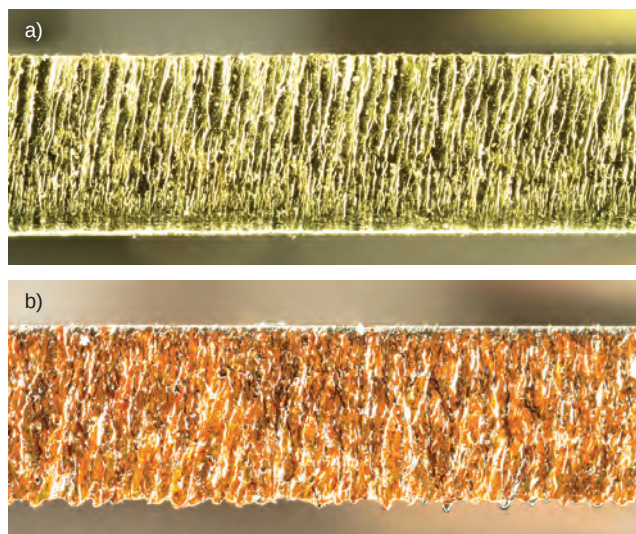


图6：不受背向反射的影响，使得某些高反射金属材料的切割成为可能。横截面视图显示了用相干的 Highlight FL 激光器切割 1.25mm 厚的黄铜 (a) 和 1.2mm 的铜 (b)。

在规格方面，目前相干公司的 Highlight FL 光纤激光器瞄准大功率的稳定增长，Gaebler 介绍说，最新型号可提供 3kW 的功率，并有望在 2016 年增加到 4kW 。“目前，我们的传输光纤模块提供 $100\mu\text{m}$ 纤芯，其对应的 BPP 约为 $4\text{mm}\cdot\text{mrad}$ 。”他说，“对于某些型号，最近已可以提供 $50\mu\text{m}$ 纤芯的传输光纤，BPP 可以降低高达两倍。由于具有高功率和低 BPP，这些 HighLight FL 激光器非常适合用于处理厚度从薄箔到几毫米的金属。”

Gaebler 指出，早期的光纤激光器有时受困于切割、钻孔和焊接某些金属。例如，光纤激光器的基频输出波长通常在 $1\mu\text{m}$ 附近。在该波长区域，黄铜和铜表现出非常高的反射率，铜镜广泛用于各类近红外激光器的光束传输就是证明。背向反射已经使这些金属成为第一代光纤激光器加工的显著挑战。

根据 Gaebler 的描述，不同于第一代光纤激光器，Highlight FL 激光器架构不受背向反射损伤的影响有两大原因：1) 二向色光束合束器的几何形状和光学性质，意味着任何背向反射不能到达泵浦二极管巴条；2) 不存在光纤熔接，从而不会被任何背向反射损伤。其结果是该激光器不受“对反射性金属需格外小心加工”这一因素的限制 (见图 6)。□

激光切割与焊接

抗高反射的光纤激光器 用于切割及焊接应用

文/Dahv A. V. Kliner、Jake Bell、Lynn Sheehan; nLight公司

高反射材料的激光加工在目前的制造环境和市场应用中至关重要，然而很多类型的激光技术都由于对回返光的固有敏感而受到影响，导致在加工过程中出现运行不稳定和破坏性自动关机现象，甚至还会对激光器造成永久性损害。恩耐激光新一代光纤激光器采用高性能元件和创新型架构应对这些限制，从而实现对高反射材料的不间断处理。

大部分千瓦级光纤激光器采用的是“以熔融光纤耦合器合束多路低功率光纤激光器输出”为基础的架构，这种方法在技术和经济性上都存在不足之处。更重要的是，光纤激光器和耦合器模块，可能由于材料处理期间发生的回返现象而易于出现不稳定或损坏现象。

nLIGHT alta™ 光纤激光器（见图1）采用的是一种新型架构，其通过将泵浦二极管和驱动器合并在独立的泵浦模块中，以及将增益光纤安装在可配置的增益模块中，可实现

>4kW 的输出激光，并解决了以往架构中所存在的一些问题。

此增益模块中含有一个可靠的、可集成的回返光隔离器，可以保护所有模块免受工件反射光的影响，进而做到稳定、不间断加工高反射材料。这个部件已经通过寿命测试，并在客户实际生产环境中得到了验证。使用恩耐光纤激光器的用户，都已成功具备了处理包括铜、金、银和高度抛光金属等各种高反射材料的能力。在谈及这些结果时，客户称这是他们首次体验了满功率、不间断地加工高反射材料，并且丝毫未对设备造成暂停或损害。

回返隔离

因为工件表面的不规则、与表

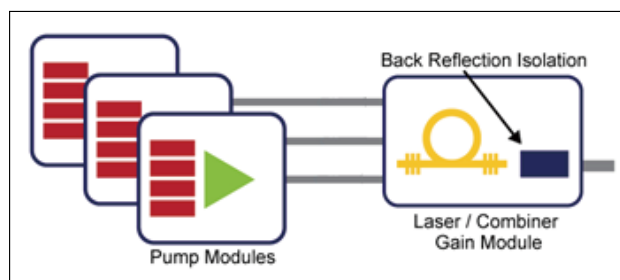


图2: nLIGHT alta™激光器的设计在激光器与传输光纤之间集成了一个回返光隔离器。

面法线对齐不精确以及处理光学元件采光角度的限制，典型的回返激光通常只占激光器功率的一小部分。此外，回返现象通常持续时间很短，例如打孔这样的应用。但是，部分光纤激光器的设计会难以处理甚至无法处理反射材料。回返造成的损伤，通常是由于光功率在聚合物材料上的能量堆积而导致过热或燃烧引起的。nLIGHT alta™ 光纤激光器会剥除耦合到馈送光纤的回返光，并将其引导到水冷光束吸收器，激光在此被转换为热量，不涉及任何



图1: nLIGHT alta™工业光纤激光器。

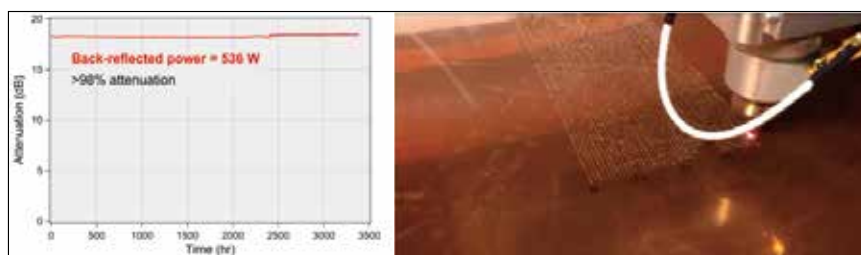


图3: 在>500W连续消除回反光的条件下，数千小时的连续稳定性压力测试中并无任何运行不稳定的迹象；以3kW nLIGHT alta™光纤激光器快速连续执行4000次打孔的客户测试，无处理中断或打孔失败。

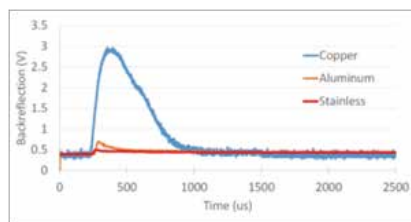


图4: 在进行不锈钢、铝和铜金属板打孔时从工件返射的激光信号示例。

聚合物，从而消除了主要的损坏原因。无聚合物的隔离器，旨在连续吸收消除 >500W 的回返激光，如图3寿命测试所示。

我们评估了隔离系统在打孔应用中的性能，其中最高回返信号发生在激光切割期间。在测试中，成功处理了4000例铜材料连续打孔，没有中断或打孔失败的情况。与我们的回返隔离器所提供的基于硬件的稳定保护相反，部分光纤激光器采用了在出现回返时会导致激光器无法使用的软件保护。软件方法可以保护激光器，但是也妨碍了连续的材料加工。

通过光电探测器可监测被吸收在隔离器中的回返光。此传感器的实时输出可供用户用于生产监测、优化和控制，例如打孔监测或包括光束位置 and 焦点等的工具校准。

高反射切割结果

金属板材切割是千瓦级光纤激光器的最大市场。汽车、航空航天、电子工业（例如轻质材料与锂离子电池电芯等）的应用正逐渐转向采用包括不锈钢/镜面不锈钢、铝、黄铜、铜、银和金等在内的高反射材料。

很多这些材料由于其打孔时产生的高反射现象，在加工时，都极具挑战性。然而，采用恩耐新型光纤激光器后，尚未发现不稳定或故障现象。目前，采用3kW光纤激光器的最大切割厚度为12mm（不锈钢、铝、黄铜）

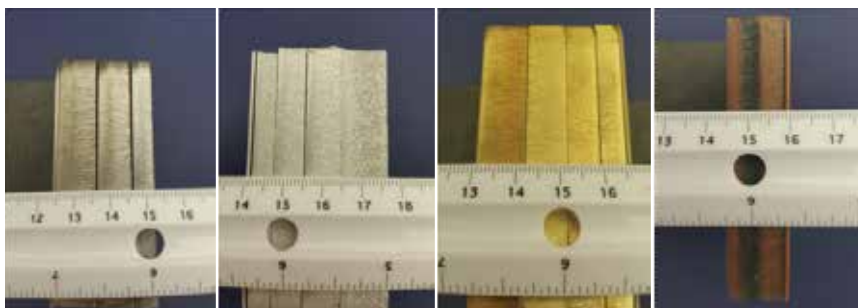


图5: 不锈钢、铝、黄铜、紫铜的切割边缘。

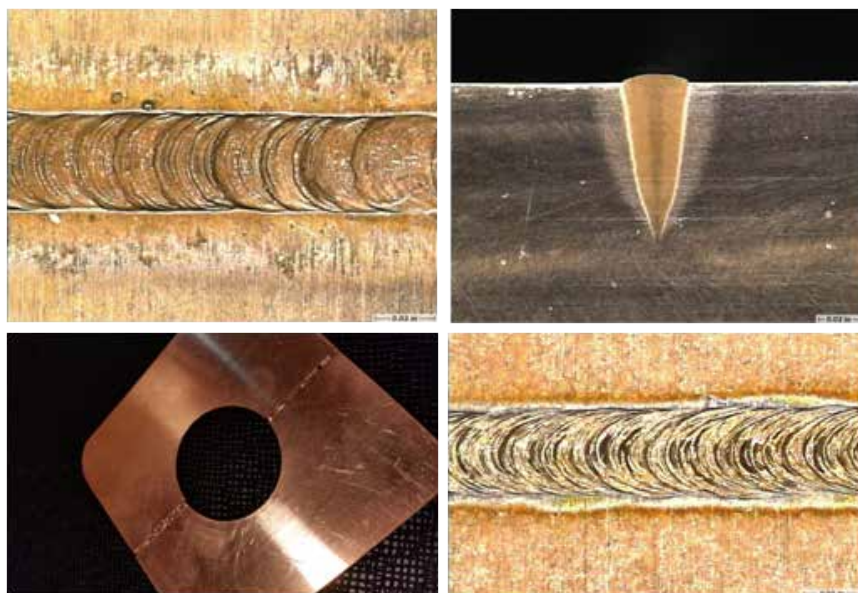


图6: 510系列铜焊接缝(a)及其横截面(b)，以及纯101系列铜焊接缝(c)与焊接后的采样部分(d)。

和10mm（铜）。切割速度与切割质量等同或优于其他光纤激光器能达到的程度，且不断进行工艺优化，增加切割厚度、提高切割速度并改善边缘质量（见图5）。

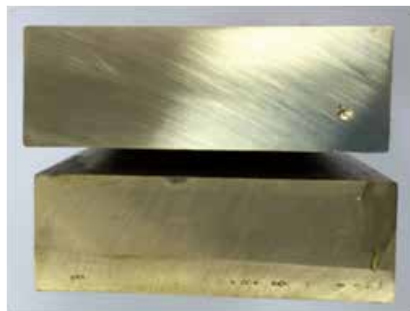


图7: nLIGHT alta 3kW光纤激光器(a)和传统3kW光纤激光器(b)进行黄铜焊接后的打磨横截面表面 (a)的超卓焊接质量。(b)中沿着焊缝可见焊接缺陷(气孔)。

高反射焊接结果

nLIGHT alta™ 光纤激光器也已经成功应用于低碳钢、不锈钢、铝、黄铜和铜材料的焊接。焊接通常会产比切割程度更高或持续时间更长的回返现象，然而即使以法线入射焊接，也没有出现激光器不稳定或损坏的情况。图6所示为铜焊接示例，这是非常有难度的应用，该应用已经导致其他光纤激光器的严重损坏。

图7所示为恩耐 nLIGHT alta™ 光纤激光器与某传统光纤激光器进行黄铜焊接后的截面比较，前者卓越的焊接质量显而易见。

传统光纤激光器本身存在的局限性以及强制停机等问题，都导致无

下转第32页

应用简讯

可调谐半导体激光吸收光谱 对水溶剂干燥进行实时监控

文/ AMETEK公司

目前制药企业普遍采用加热加压真空等方法脱除溶剂。药品质量管理要求周期性地停止干燥过程，并取出样品用于干燥重（LOD）分析。如果产品还没有完全干燥，则干燥过程必须继续进行，而所需时间仍是未知数。这个耗时的过程将被重复，直到 LOD 达到预定值而符合要求。

AMETEK Process Instruments (www.ametekpi.com) 成功地展示了可调谐半导体激光吸收光谱（TDLAS）可以为那些用水作主要溶剂的制药厂提供药品干燥连续过程控制的优势。AMETEK Process Instruments 是 AMETEK 公司的一个业务部门。AMETEK 公司是电子仪器和电磁器件方面的领先制造商，它以十一种鉴别技术平台为基础，为业界提供广泛的过程分析仪器，应用领域遍布石油、天然气和发电、制药、半导体芯片制造等诸多行业。

现在，越来越多的改用水基处理过程的制药企业，可以使用 TDLAS 技术作为一种成本更低、更节省时间的程序，来确定干燥器终点。连续实时监控即可得到产品已经尽可能地干燥的精确时刻。随后，再通过 LOD 分析证实这一决定，从而消除了干燥过程的多次停止和重新启动。



图1：AMETEK Process Instruments公司的5100 HD分析仪，展示了实时监控水溶剂干燥的能力，为制药厂节省大量时间和成本。



图2：TDLAS决定干燥器终点，为使用水作为主要溶剂的粉末生产消除了干燥过程的重复停止和重新启动。

TDLAS 在水溶剂干燥过程中的有效性

AMETEK Process Instruments 公司与制药商合作，使用其 5100 型 HD 分析仪设置了一个生产试验，用来监测普遍使用的处方药的批量生产，这些药品的合成涉及使用水作为最后冲洗剂。

该试验展示了 TDLAS 技术可用于在线、实时、无需操作员干预或过程中断的连续监测和控制溶剂的干燥过程。结果进一步表明，TDLAS 具有显著减少干燥时间、同时为依靠水作为其过程中的主要溶剂的制药厂和其他散装粉末生产商提高产量和产品质量的潜力。由于 TDLAS 是一种非接触式技术，因而能够提供较快的响应速度，这将意味着在时间和成本方面的大幅节省。

5100 型分析仪是在各种配置中利用 TDLAS 技术的多用途仪器，包括用一个或两个样本细胞同时测量不同过程分量的单激光平台和双激光平台。它可以根据干燥室的水汽含量要求，在很宽的范围内提供在线、实时水汽控制。该分析仪器非常适合用于制药及散装粉干燥和加工过程。□

中红外激光器

CMOS 蓝宝石上硅工艺产生宽中红外超连续谱

文/Gail Overton

硅除了在 1.5 μm 左右的通信波段具有众所周知的光电子能力、以及绝缘体上硅 (SOI) 形式在 2.5 μm 波段的功能性外, 目前它又进入了一个新的前沿领域: 蓝宝石上硅 (SOS) 纳米线已被用于展示从 1.9 μm 到 6 μm 以上、倍频程中红外 (mid-IR) 超连续谱的产生。^[1]

这种宽带超连续谱光源通过互补金属氧化物半导体 (CMOS) 工艺实现, 是澳大利亚悉尼大学光学系统超高带宽设备中心 (CUDOS)、麦考瑞大学和 Silanna Semiconductor 公司、澳大利亚国立大学 CUDOS 激光物理中心、法国国家科学研究中心 Institut des Nanotechnologies de Lyon 以及澳大利亚皇家墨尔本理工大学的研究人员的合作成果。该研究团队表示, 这种中红外超连续光源是“迄今为止在任何硅平台上产生的光谱最宽、波长最长的光源。”

紧凑型廉价中红外光源正变得越来越重要, 尤其是在十亿分之一 (ppb) 甚至万亿分之一量级的分子传感应用中。虽然使用硫系玻璃光纤已经展示了达到 13 μm 的超连续谱产生, 但是与 CMOS 兼容的 SOS 平台提供可扩展性, 并有望实现新型非线性集成 (具有成本效益) 的硅器件, 例如这些工作于远远超出传统硅窗口的中红外超连续谱光源。

超连续谱SOS

首个 SOS 波导于 2010 年制成, 其在 4.5 μm 处的损耗为 4.3 dB/cm。^[2] 为了避免通常在 2.5 μm 以上波段硅中产生的更高的多光子吸收, 研究人员设计了 SOS 纳米线, 在 2.4 $\mu\text{m} \times 0.48 \mu\text{m}$ 的纳米线上使泵浦波长的色散和光学损耗最小化。通过采用化学氧化和氧化物退除的方法处理纳米线, 以降低表面粗糙度, 同时使用相对较宽的纳米线来提升模式约束, 将 4 μm 处的传输损耗最小化到 1.0 ± 0.3 dB/cm 的水平。

为了产生超连续谱, 将可调谐光参量放大器 (OPA) 输出的波长 3.7 μm 、脉宽 320 fs、重复频率 20 MHz 的光

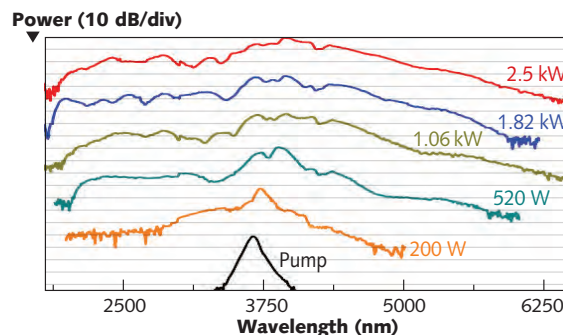


图1: 基于蓝宝石上硅 (SOS) 的超连续光源的功率输出, 输入功率水平在 200 W~2.5 kW 之间。

束输入至纳米线的 TE 模, 准直后传送至单色仪, 利用 1.5~4.8 μm 的硒化铅 (PbSe) 和 4~6.5 μm 的碲镉汞 (MCT) 两种探测器进行探测。对于峰值功率在 200 W~2.5 kW 之间的耦合输入, 输入功率为 1.82 kW 时, 最宽的连续输出光谱 (-30dB 带宽) 跨越了从 1.9~5.5 μm 的 1.53 个倍频程。甚至在远高于 -45 dB 的本底噪声水平上, 产生的光波长超过 6 μm (见图 1)。

为了在更宽的带宽内获得更平坦的色散轮廓, 可以构造基于 SOS 的柱状波导。此外, 预计通过减少硅 / 蓝宝石界面的晶格失配, 可以改进 SOS 纳米线的外延生长, 从而最小化近红外损耗。研究人员表示, 这些改进将有可能使用单根纳米线, 在硅的整个透明光谱区域内展示超连续谱产生。

“蓝宝石上硅平台为在单个设备上集成电子和光子学铺平了道路,” 悉尼大学 CUDOS 的 Neetesh Singh 说, “这将促成从近红外到中红外范围的电致可调谐、芯片上、线性和非线性超宽光学操作。” □

参考文献

1. N. Singh et al., Optica, 2, 9, 797–802 (September 4, 2015).
2. T. Baehr-Jones et al., Opt. Express, 18, 12, 12127–12135 (2010).

二极管泵浦固体激光器

为打标和雕刻量身定制的一体化 DPSS 激光器

文/Marin Iliev, Heidi Gardiner; RMI Laser公司

受益于半导体技术和晶体学的进步，当涉及到快和超快（纳秒到皮秒）高功率、工业级激光系统时，二极管泵浦固态（DPSS）激光系统已经成为业界熟知的产品。目前，这些系统中最普遍的放大材料是 Nd : YAG 和钕酸盐 (Nd : YVO₄)，因为它们具有高增益、大热负荷能力，以及接近单频的发射光谱。

这些四能级系统通常为端面泵浦棒状或碟片配置，以确保与泵浦光束接近完美的模式重叠，这反过来又提高了谐振光束对晶体中储能的提取效率。泵浦二极管的窄谱精确地调谐到钕的 808nm 吸收线，从而减少了晶体的热负荷。

二极管阵列的光输出具有椭圆形截面，使其难以操控。将光直接耦合到光纤容易将泵浦光再导入增益晶体，同时清理阵列输出的光束形状，允许多个二极管发射器堆叠获得更高的泵浦功率。光纤的输出端通常置于靠近增益晶体，从光纤尖端到晶体平面之间，仅有高反镜和两片再成像透镜。这种光纤耦合不仅改善光束传输，也减少了设计上的热提取约束，因为它将谐振器的较大

部分生热（激光二极管）分离出去。为了管理一些高数值孔径（NA）光纤输出的固有后果，光束用透镜重新缩放，在增益晶体处提供更柔和、更平滑的束腰。

不同类型的打标

对于打标和工业应用，最重要的激光器特性是脉冲能量、重复频率和干净的激光横模。这种激光器的主要目标，是能够在各种材料表面上快速打标。我们区分几种类型的打标，如深雕、深色退火，以及在特定表面上的颜色退火。

在纳秒脉宽区采用 Nd : YAG 和 Nd : YVO₄，需要非常精确的光束性能，以允许在这些打标模式之间的切换。通常情况下，深雕要求完美的高斯光束。这是因为高斯模式是一种传

播时常规轮廓不发生改变的自由空间模式，因此会由于实际光束的聚焦（离焦）使峰值功率发生改变。高斯光束可以在其最强的区域达到峰值功率远远高于电离水平，并创建微观等离子体，可以去除打标材料精确的一部分。与等离子体的相互作用在表面上创建圆形印记，并具有一定深度。当光束以特定图案进行扫描时，由若干脉冲所产生的连接点形成雕刻对象的外观。

对于具体的激光源，光束被聚焦得越小，单点将越小，并且将需要越多的点来填充相同大小的区域。更小点的尺寸最终受限于光束质量和衍射极限。使用相同的激光源光束质量的打标头，532nm 系统能比 1064nm 系统打标出更小的点，完全基于衍射极限。

由于谐振腔内的各种效应，输出通常不是完美的高斯形。这种偏离表示为光束质量 (M^2) 值，对于典型的 RMI Laser 系统，该值为 1.2 或更好，其中值为 1 对应于完美的 TEM₀₀ 高斯模式。重要的是要注意到，在谐振器中，改变泵浦条件可以影响增益晶体中的热梯度，改变光束的 M^2 值，甚至破坏模式结构。对于一些更高功率的应用，一个用与增益材料相同但未掺杂的晶体作成的端帽，用于耗散热量、减



图1: 对峰值功率、打标速度和脉冲个数的精确控制，能够实现具有大量细节的不锈钢彩色激光退火（打印）。这里显示了一些可获得的颜色 (a) 和复杂图案的高印刷质量 (b)。

小热透镜效应。该端帽可以与晶体的常规增益部分光学粘合或生长在一起。

脉冲特性

泵浦光束束腰尺寸的选择,意味着横单模和多模运行之间的差别。在许多应用中,如纳秒脉宽打标和材料加工,纵模不加以控制,因为它们在工艺过程中不起大的作用。然而,单纵模运行可以通过加入基于法布里-珀罗谐振器的带通滤光片来实现,而该谐振器具有类似于振荡频率整数倍的增益带宽滤波的谐振间隔。具有 10~15cm 腔长(包含两块互相平行的反射镜)、增益晶体和声光调制器的典型 DPSS Nd:YVO₄ 激光器,可以产生短至 10ns、单脉冲能量 0.5mJ 的 1064nm 脉冲。该输出可以通过二次或三次谐波产生(SHG 或 THG),很容易上转换分别获得 532nm 或 355nm 的输出。

RMI Laser 公司生产数瓦级的 1064nm 和 532nm 系统。较短的波长通常被认为是“冷”打标,并且适用于玻璃、塑料以及其他易裂的类似材料,这是由于使用常规 1064nm 光束所产生的吸收导致的温度梯度。较短波长也等同于打标面更小的焦斑尺寸和更高的峰值强度,从而提高了精度和打标质量。

有一种不同类型的激光打标,表面不被激光破坏而是由于氧化改变颜色,称为退火。典型的深色退火打标要求非常精确的聚焦和能量条件,一项关键因素是所使用的光束轮廓。顶帽或几乎正方形轮廓的光束将创建均匀强度分布,从而均匀加热光束照射区域。然后,空气中的氧可以结合到金属(通

常为钢)表面改变其颜色(见图 1)。表面的这种重组是无损的,在需要考虑无菌环境的应用中,该方法为首选。

该工艺的少许改变是彩色打标。彩色打标工艺在表面重构中形成气泡,固化后反射入射环境光的不同波长。采用 RMI 的内部 U-20 机器,我们已经在产生这些标记方面获得了巨大成功,通常需要极佳的稳定性和可调谐性,以在特定材料上获得一致的结果。

一体化解决问题

虽然市场上的许多 DPSS 激光器瞄准高脉冲功率,并具有复杂的系统设计,我们选取的方案之一却是制造非常稳定、低功耗(约 1W 调 Q)、便携式桌面设备,可以 OEM 集成。UM-1 激光打标机(见图 2)在打标头中包含了与工作相关的所有组件,它解决了典型 DPSS 系统长期以来一直存在的一些问题,如泵浦光纤弯曲,以及电子和 RF 组件热稳定性引起的激光输出功率变化,同时其轻量化特性(50 磅,包括罩壳)也使其更加便携。该系统采用空气冷却,并且能防尘和抵御各种环境。

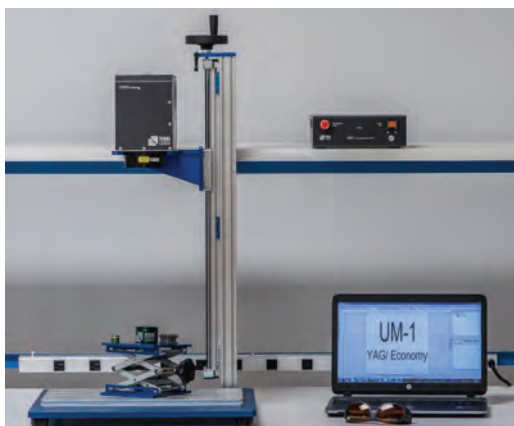


图2: UM-1激光系统的典型桌面设置。与打标工艺相关的所有组件封闭在打标头内(图左),只需要单根常规电缆连接电源(图右)。无典型的控制器/打标头设置节省空间,同时为集成优化了模块。

系统的稳定性是通过使用所谓的 RF 控制模式增强的,为实现脉冲功率的改变,泵浦二极管在恒定电流下工作,取而代之的是改变腔内损耗(通过 Q 开关调制)。改变泵浦电流时,增益晶体内的热透镜可以显著改变。为了提供打标期间改变脉冲能量的灵活性,或者需要晶体中的能量更少(二极管更低的泵浦电流),或者是腔内损耗必须增加。后一种方法提供更稳定的谐振腔,因为在这种调制期间几何光束传播几乎保持恒定。

在 UM-1 系统中,谐振腔在一侧具有稍微弯曲的光学元件,以补偿由泵浦光束引起的热透镜,并且只有当特定泵浦功率水平达到时最稳定。我们使泵浦二极管保持在该功率水平下,以锁定腔的物理稳定性。然后, Q 开关调制器相应地改变,以完全抑制激射,或允许最高可能的脉冲从谐振器输出。

腔内 Q 开关驱动器有逻辑时钟信号,也有模拟输入。当模拟线路上的电压达到最大值时,腔由 Q 开关实现抑制激射,但间歇电压使得光束的输出功率可调谐。这转化为打标头的多功能打标能力。一体化的热包装使 Q 开关驱动器恒温,从而使由于电气元件的电阻率随环境温度的变化所引起的抑制功率漂移最小化。此外,一体化方案最大限度地减少密封点,从而减少了维护。

未来,数瓦的激光打标系统无疑会采用一体化设计,这是由于一体化设计所具备的稳定性、简便性和在工业生产环境中的集成能力。然而,像 UM-1 一样的较小系统,会将市场扩大到基于报摊的应用以及综合小卖部,使激光打标突破工业环境,就像过去的传统打印技术一样,走向日常用户。□



高功率光纤耦合半导体激光器



LDF 光纤耦合半导体激光器系统

• 功率可达 20000W



熔覆



表面硬化处理



焊接 - 汽车后挡板



焊接



LDM 光纤耦合半导体激光器模块

• 功率可达 3000W

500W-20000W



CEPHEUS 皮秒激光器



自 2001 年以来, PHOTON ENERGY 在发展工业和研究方面, 以及固态激光器的制造和销售方面, 一直是一个值得信赖的合作伙伴。OEM 激光光源在工业上的应用, 是我们产品系列所主要专注的。自 2006 年以来, 我们公司一起依照 ISO 9001 标准认证来运行。

激光模式	锁模, 脉动选择 Nd:YVO ₄ F
最大平均功率	12W@500kHz
脉动能量	> 300 μJ@20kHz; 100 μJ@100kHz
脉动持续时间	< 15 皮秒
频率范围	单次激发 500kHz (-20MHz 可选)
光束质量	TEM ₀₀ (M ² < 1.5)
光束直径 (出口)	1.5mm
冷却	风冷
激光口尺寸	480 × 302 × 2005 (mm)

CEPHEUS 是一款具有非凡品质的皮秒激光光源



4.5W-15W



DirectPump 900 系列

适用于高级应用的直接发光二极管激光系统



- 波长: 976 nm
- 功率: 600 W

应用:

- 高级激光泵浦应用
- 固体、碟片和光纤激光器的应用
- 脉冲光纤激光器的研究
- 激光制造
 - » 资质
 - » 老化
 - » 测试

DIRECTBOND 系列

适用于热处理应用的直接发光二极管激光系统



- 波长: 808 nm
- 功率: 30 W, 60 W

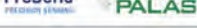
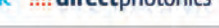
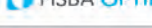
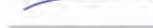
应用:

- OLED 显示器的熔融焊
- 热处理应用
 - » 锡焊
 - » 塑料焊接

30W-2000W

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

☎ 400-886-0017



香港 HONGKONG
T: (852) 2755 6578
F: (852) 2755 4549
info@anp.com.hk

北京 BEIJING
T: (010) 6207 4835
F: (010) 6207 7434
bj@anp.com.hk

上海 SHANGHAI
T: (021) 5523 3800
F: (021) 5523 3811
sh@anp.com.hk

广州 GUANGZHOU
T: (020) 6683 0899
F: (020) 6683 0898
gz@anp.com.hk

深圳 SHENZHEN
T: (0755) 8220 2428
F: (0755) 8220 2438
sz@anp.com.hk

成都 CHENGDU
T: (028) 8521 6348
F: (028) 8524 2667
cd@anp.com.hk

武汉 WUHAN
T: (027) 8759 1299
F: (027) 8759 1239
wh@anp.com.hk

台湾 TAIWAN
T: (886) 2295 3164 6
F: (886) 2295 3986 3
tw@anp.com.hk

新加坡 SINGAPORE
T: (65) 6655 0909
M: (65) 9090 0909
sg@anp.com.hk

高功率半导体激光器

1470 nm 高功率半导体激光器的设计与制作

文/仇伯仓，深圳瑞波光电子有限公司

高功率半导体激光器芯片有若干重要技术指标，包括能量转换效率以及器件运行可靠性等。器件的能量转换效率主要取决于芯片的外延结构与器件结构设计；而运行可靠性主要与芯片的腔面处理工艺有关。本文首先简要介绍深圳瑞波光电子有限公司高功率激光器的设计思想以及腔面处理方法，随后展示深圳清华大学研究院和深圳瑞波光电子有限公司在研发 1470nm 高功率单管激光器芯片方面所取得的主要进展。

外延结构与器件结构设计

图 1 给出了一个典型的基于

InGaAlAs 量子阱材料的 1470nm 半导体激光器外延结构示意图，由此可见，外延结构由有源区多量子阱、InGaAlAs 波导以及 InP 包层材料组成。为了形成波导结构，波导材料的折射率要小于量子阱材料的折射率；因此，在生长方向上，材料对其中的光场便形成很强的限制作用，光场最强的区域恰好与有源区重叠，从而使得量子阱材料有很高的光增益（见图 2）。

此外，为了实现电子与空穴在量子阱内产生受激辐射复合，材料必须掺杂成 p-i-n 结构，其中有源波导区通常为非掺杂的本征区域。有源区的设计主要参数为量子阱组分、厚度、

量子阱数目以及势垒组分等，而设计的主要考虑是阈值电流、量子效率等。

有源区确定后，接下来的设计便是波导设计以及掺杂优化。波导设计时通过选取合适的波导材料、厚度来获得所需要的量子阱光场限制因子、远场分布等。在器件设计方面，通常采用腔长较长的结构，这是因为整个芯片的封装模块的热阻与腔长近似成反比，芯片越长，模块热阻越小，芯片的结温越低。

图 3-5 为芯片的工作电流、阈值电流以及结温这三项指标分别与腔长和腔面反射率之间的关系。在计算中，我们严格采用数值分析方法分析了器

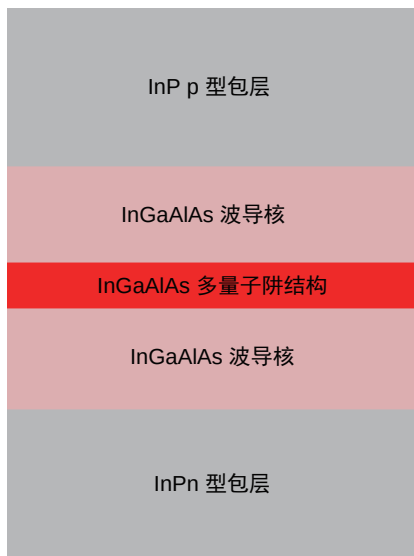


图1：半导体激光器外延结构示意图。

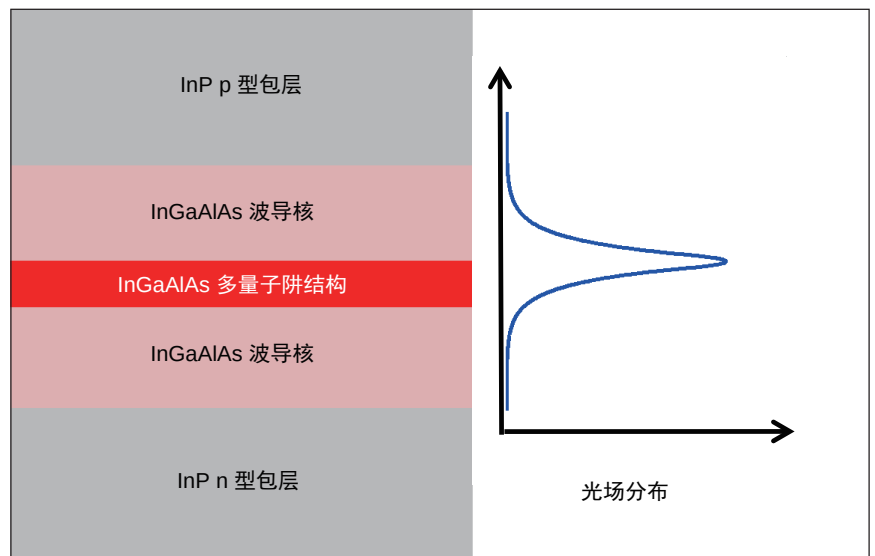


图2：外延结构以及与之对应的光场分布。

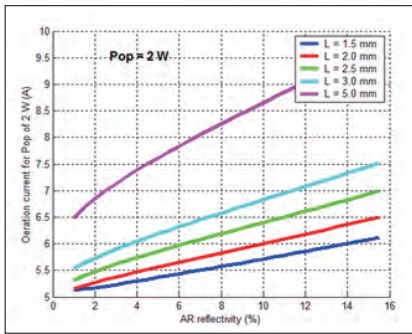


图3: 工作电流与腔长和腔面反射率之间的关系。

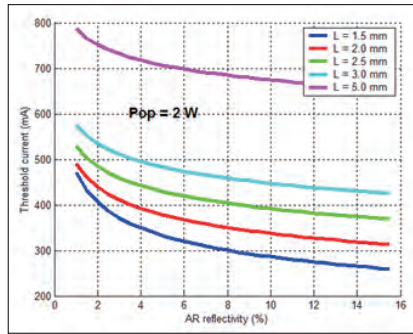


图4: 阈值电流与腔长和腔面反射率之间的关系。

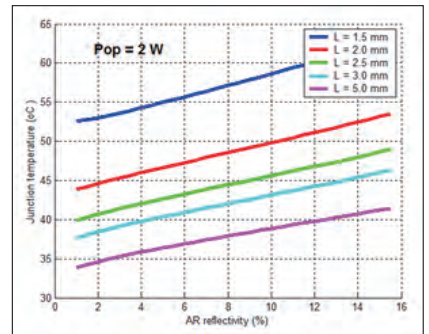


图5: 芯片结温与腔长和腔面反射率之间的关系。

件在实际封装结构下,整体封装模块的热阻抗。由图可见,对于2W的输出功率,当腔长为2mm时,工作电流约5.5A,阈值电流约450mA,芯片的结温为45℃,比运行环境高出20℃。

制作工艺

高功率半导体激光器因为需要输出很高的功率,所以其有源区条宽一般为几十微米甚至几百微米,具体宽度依应用而定。为了区别单模窄波导激光器,这种激光结构有时会被称之为宽条激光器。

RB-14xx系列激光器芯片是瑞波光电自主设计与制作的激光波长范围覆盖1400~1600nm的高功率半导体激光器芯片,输出功率1~5W,还可根据需求定制其他输出功率。该激光器芯片的发光区宽95μm,可耦合到芯径为105μm的多模光纤中。激光腔长选取2~3mm,具体长度与额定输出功率有关,腔长较长的芯片输出功率更高。

为了改善宽条激光器的稳定性,可以通过刻蚀形成脊波导,波导结构不仅会对电流形成隔离作用,而且因为刻蚀形成的波导对光在横向形成波导限制。图6给出了刻蚀后形成的宽波导激光器。瑞波光电采用简单的化学湿刻方法来形成横向波导。波导刻蚀完毕后,还需要进行一系列工艺处理,包括电流注入窗口刻蚀、金属电极制作、芯片减薄、快速退火以及腔面镀膜等。腔面镀膜参数选用前述的计算结果,即高反射腔面的反射率约为95%,而低反射腔面的反射率约为2%~4%。

性能测试

高功率半导体激光器测试参数主要包括光-电流-电压(LIV)特性曲线、温度特性、光谱曲线、光束特性、

可靠性以及偏振性质等。

由于半导体芯片对环境温度、环境湿度、静电、尘埃、电流电压的过脉冲以及光的回反射等参数都非常敏感,这些参数的任何变化不仅影响到测量精度,而且还可能引起器件的突然失效。为此激光的测试环境必须经过认真考虑。

瑞波光电提出了一套完整的芯片参数测试分析方案,构建了能够精确控制测试环境、对各种参数进行快速自

激光光学

1,675 种现货高功率激光产品, 开卖啦!

适用波长从
193 nm到10.6 μm

激光反射镜

光学组件

激光用镜片

马上采购吧!

邀请您亲临
国际光电大展
2016年6月15日 - 17日
台北世贸中心
南港展览馆, 1F, 'J' 区
展位号: J1016

Edmund
optics | china

Tel: +86 (0755) 2967 5435

www.edmundoptics.cn/laser-optics



图6: 宽波导高功率激光器示意图。



图7: 测试工作台照片。

动测试、最后自动生成主要参数测试报告的测试系统。针对半导体激光器的关键制造环节的表征测试需要,研发了一系列测试仪器,包括针对裸芯片的单管/巴条测试系统和 full-bar 巴条测试系统(这里 full-bar 巴条测试是指共电极测试,测试电流可达 200~400A)、针对贴片后器件的 COS (chip-on-submount) 测试系统、针对光纤耦合蝶形封装的模块测试系统、以及大容量并可以实时监控器件功率和波长的老化寿命测试系统等。

特别地,瑞波光电的寿命测试系统具有容量大、检测参数多、可提供加速寿命测试等诸多优势。图7为瑞波光电的 COS 测试台图片,该系统主要由电子学系统、机械组件、控制系统以及数据处理与分析系统组成,可以对各种参数进行快速和准确的测试。芯片工艺制作完毕后,芯片以 P 面朝下的方式被焊接在厚度为 350 μ m 的镀金 AlN 陶瓷片上,焊锡材料采用的是金锡焊料。COS 测试是用瑞波光电开发的测试系统完成的,该系统可以在连续和脉冲

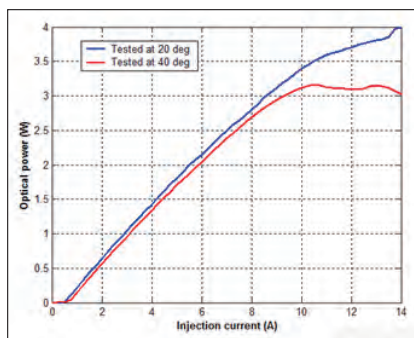


图8: 1470nm单管COS模块在不同测试温度下的光-电流曲线 (CW测试)。

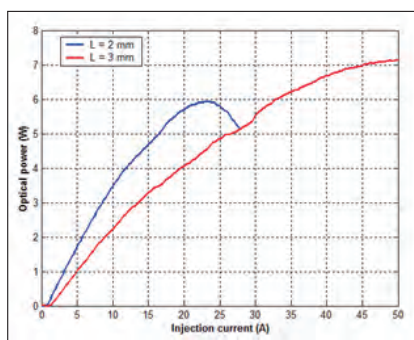


图9: 1470nm不同腔长单管COS模块在20℃下的光-电流曲线 (QCW测试)。

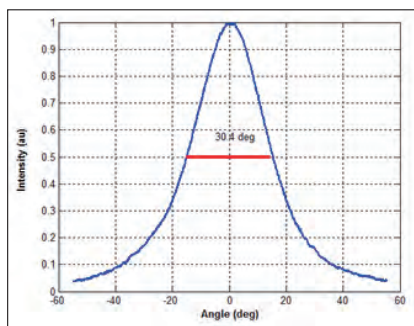


图10: 1470 nm芯片的垂直方向的光束特性。

电流下,全方位表征器件的光电特性,包括 LIV 特性、光谱特性及光束特性等。该系统已经在多家激光器芯片制造企业和封装企业的研发实验室和生产线上使用。

超高功率1470 nm 高功率激光芯片

图8为在不同温度下以持续电流方式 (CW) 测试的光-电流

(L-I) 特性曲线。由其可见, COS 在 20℃ 测试环境下, 阈值电流大约为 490mA, 斜率效率约为 0.42W/A, 而达到 2W 输出功率时所需的工作电流为 5.6A, 实际测试参数与前述的理论预测高度吻合。当温度为 40℃ 时, 器件的阈值电流与外量子效率稍有下降, 表明芯片有很好的温度特性。芯片的最高输出功率超过 4W。

图9为 20℃ 环境温度下以连续电流方式 (QCW) 测试的不同腔长芯片的光-电流 (L-I) 特性曲线。在 QCW 测试中, 采用了脉冲宽度为 1ms、脉冲占空比为 10% 的脉冲测试方式。从图10可看出, 腔长较长的激光器可在更高的电流下工作, 其缺点是外量子效率稍低, 阈值电流更高。另外, 对于腔长为 3 mm 的器件, 芯片可以在高达 50A 的电流下工作, 一方面演示了芯片在 QCW 模式下的最高输出功率, 另一方面也表明芯片的可靠性水平, 因为芯片的可靠性与工作电流及输出功率密切相关。

图10为输出功率为 2W 时所测得的光束发散角。很显然, 在垂直方向上(即外延生长方向)光束发散角的全宽半高值 (FWHM) 约为 30°。图11为输出功率为 2W 时的实际激光波长, 其值约为 1458nm。

除上述典型参数之外, 高功率激光器的一个至关重要的参数是其可靠性水平。器件寿命主要与三个参数密切相关, 即输出功率、器件结温以及工作电流。为了能在相对较短的时间内获得可靠的器件寿命估计, 在器件可靠性评估中, 人们通常采用所谓的加速寿命测试, 即器件在高于额定输出功率、高于额定工作电流以及更高的可控环境温度

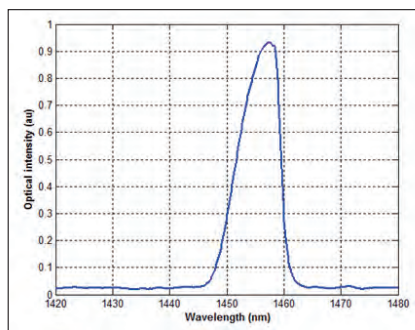


图11: 激光光谱。

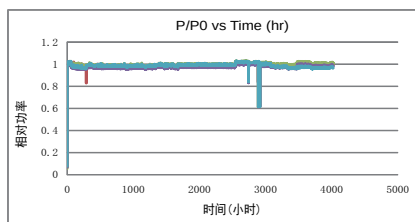


图12: 器件加速寿命测试 (CW, 40℃) 测试。

下工作,通过监控芯片的工作参数与时间的关系来评估芯片在正常运行时的使用寿命。图12为5只COS连续测试4000小时的功率变化记录。测试功率为2.7W,测试电流为9A,测试温度为40℃。另外,图中的数据噪声是由于系统切换等引起的;而实际上,到目前为止我们尚未检测到任何功率衰减迹象。

结论

本文简要介绍了1470nm高功率半导体激光器的设计以及腔面工艺处理方法,随后展示了深圳瑞波光电子公司在高功率1470nm芯片研发方面所取得的进展。测试表明,我们所研发的器件性能指标包括可靠性水平均达先进水平。□

参考文献

1. G. Bacchin, A. Fily, B. Qiu, D. Fraser, S. Robertson, V. Loyo-Maldonado, S. D. McDougall and B. Schmidt, "High temperature and high peak power 808 nm QCW bars and stacks", SPIE Vol. 7583, (2010)
2. Matthew Peters, Victor Rossin, Bruno Acklin, "High-efficiency high-reliability laser diodes at JDS Uniphase", Proc. SPIE 5711, High-Power Diode Laser Technology and Applications III, 142, (March 17, 2005)
3. K A Bulashevich, V F Mymrin, S YuKarpov, D M Demidov and A L Ter-Martirosyan, "Effect of free-carrier absorption on performance of 808 nm AlGaAs-based high-power laser diodes", Semicond. Sci. Technol. 22, 502-510, (2007)
4. H. C. Casey, Jr and P. L. Carter, "Variation of intervalence band absorption with hole concentration in p-type InP", Appl. Phys. Lett., 44, 82-83, (1984)
5. N. A. Pikhtin, S. O. Slipchenko, Z. N. Sokolova, A. L. Stankevich, D. A. Vinokurov, I. S. Tarasov and Zh. I. Alferov, "16W continuous-wave output power from 100 μm-aperture laser with quantumwell asymmetric heterostructure", ELECTRONICS LETTERS, Vol. 40, No. 22, (8th October 2004)
6. Stephen P. Najida, Gianluca Bachin, Bocang Qiu, "Benefits of quantum well intermixing in high power diode lasers", SPIE Vol. 5356, (2004)
7. B.C. Qiu, O. Kowalski, S.D. McDougall, X.F. Liu, and J.H. Marsh, "High reliability, high power arrays of 808 nm single mode diode lasers employing various quantum well structures", SPIE Vol. 6909, (2008)

九年技术沉淀

紫外打标首选



● 一体化设计

● 调Q技术独特

● 光束质量卓越

● 光电转换率高

● 超窄脉宽, 高峰值功率



2016 www.laserfair.cn
LASERFAIR
China Laser Innovation Conference

国际激光智能制造展暨论坛

2016.5.19-21 Booth: 4号馆B010

RFH LASER
瑞丰恒激光

电邮: sales@rfhlasertech.com
电话: 0755-86028963, 18928466502
传真: 0755-86375012 网址: www.rfhlasertech.com
地址: 深圳市南山区高新技术产业园中区M10栋

高功率半导体激光器

平面光波导技术及其器件发展

文/陈波，余朝晃，彭彦斌：湖南新中合光电科技股份有限公司
向桂花，曲星；国网湖南省电力公司湘西供电分公司

高容量、高速率、高智能是光纤通信技术的发展趋势。随着全球经济一体化进程的全面加速，全社会对音视频、数据、多媒体及电子商务等业务的需求急剧增长，建设具有大容量、高速率、高智能的全光通信网络已成为必然。20 世纪是微电子的世纪，其发展遵循著名的“摩尔定律”；21 世纪是光电子的世纪，其发展也将遵循“光摩尔定律”，即光纤通信的传输带宽平均每 9~12 个月增加一倍，用户数每 3~6 个月翻一番。要实现大容量数据的高速传输与交换，对以密集型波分复用为基础的全光网络器件提出了新的要求。光纤通信器件的发展也将发生很大变化，从原来的分立元器件向阵列器件发展，从体块型器件向波导型器件发展，从离散器件向集成化发展。

平面光波导技术

1969 年，贝尔实验室的 Miller S. E. 首次提出了“集成光学”的概念，宣告了光纤通信产业进入集成器件的时代。采用集成电路技术（Integrated Circuit）制造波导芯片的光路，将常规分立光学元件的各种功能集成到同一光学衬底表面，完成常规由多个分立光学元件所构成的庞大光学系统的光信息处理能力，实现光波信号生产与探测、光功率分配、光开关、光滤波等功能。随着光纤通信技术的快速

发展，该技术也得到了快速发展，逐步形成了自身特色。且大多数功能结构均在同一光学衬底上，主要结构是光波导通道，因此称该技术为平面光波导技术（Planar Lightwave Circuit）。

平面光波导技术是在集成电路技术的基础上发展起来的，有其独特的地方。集成电路的基本元件是电阻、电容、电感和晶体管（二极管、三极管），集成电路技术是在硅衬底上通过薄膜沉积、扩散、外延、光刻、刻蚀、退火等工艺制作这些基本的元件，并且用导线互联。平面光波导的基本元件是激光器、光波导和探测器，所用衬底材料各异，如 InP、GaAs、SiO₂、LiNbO₃ 等，材料各异工艺也不尽相

同。集成电路技术对所成薄膜的厚度、折射率和残余应力要求不甚严格，但对于平面光波导技术而言，厚度、折射率和残余应力则要求精细控制，否则不能实现光波信号的产生、控制、传输与探测。

目前平面光波导技术主要是针对 6 英寸衬底，国内生产厂家有河南仕佳光子、上海鸿辉、杭州晶诚、湖南新中合。国外厂家有韩国的 PPI、Fi-Ra、Wooriro、Neon，美国的 NeoPhotonics、Enablence，日本的 NTT、AiDi 等。8 英寸衬底目前只有韩国 Way optics 可提供。下面以 SiO₂ 平面光波导器件为例，说明平面光波导技术的工艺流程，如图 1 所示。

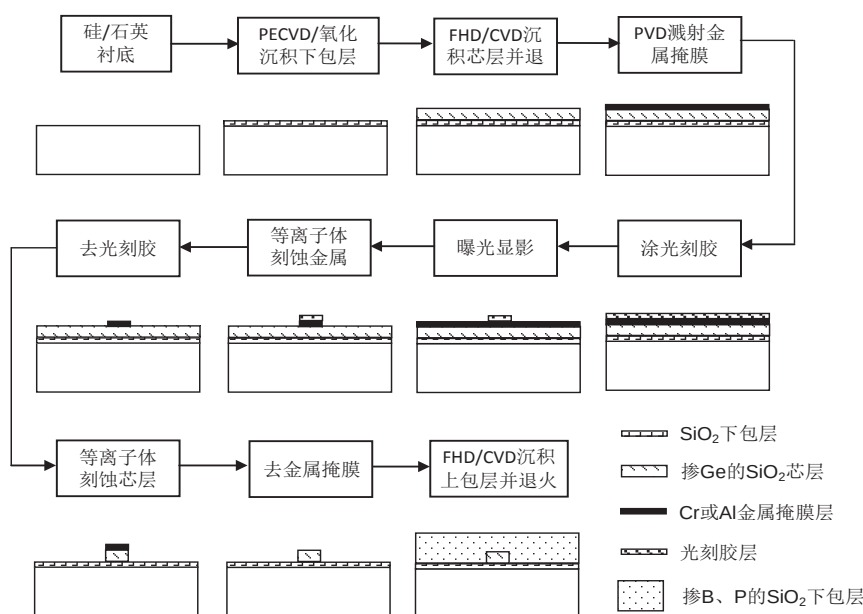


图1：典型SiO₂平面光波导器件工艺流程。

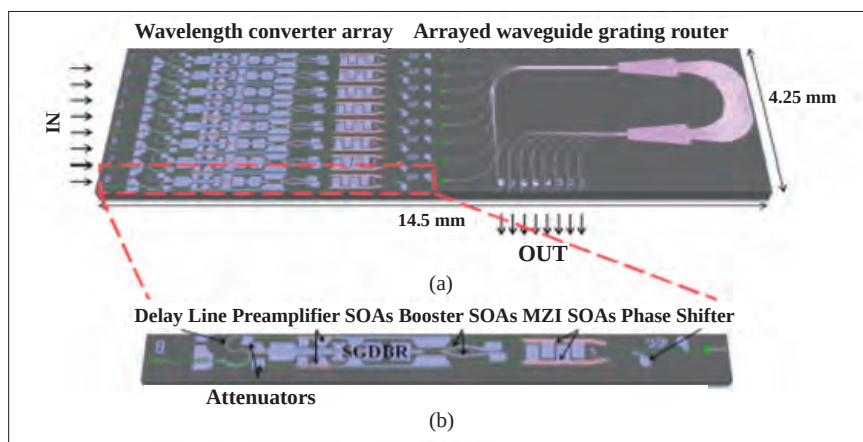


图2: 集成型有源平面光波导器件。

(1) 沉积下包层。根据衬底材料的不同, 沉积下包层的方法也不一样。选择 Si 作为衬底, 则可用氧化的方式制作下包层 (直接氧化 Si 衬底表面), 折射率一般控制在 $1.457@633\text{nm}$, 厚度 $10 \sim 15\mu\text{m}$, 低残余应力。批量化制造相对较容易, 但折射率难以控制。

选择高纯熔融石英玻璃作为衬底, 则可用 PECVD (等离子体增强化学气相沉积法) 来沉积, 典型工艺气体为 SiH_4 、 N_2O 。薄膜沉积完成之后, 然后进行高温退火。折射率一般控制在 $1.457@633\text{nm}$, 厚度 $10 \sim 15\mu\text{m}$, 低残余应力。工艺模式可以是一腔多片或者是多腔多片, 设备可选用 Novellus C1、SPTS Delta fxP/c2L 等。

(2) 沉积光波导芯层。沉积方法主要有两种, FHD (火焰水解法) 和 PECVD。FHD 是日本 NTT 发明。典型工艺气体为 SiCl_4 、 GeCl_4 、 H_2 和 O_2 。PECVD 的典型工艺其他为 SiH_4 、 GeH_4 、 N_2O 。薄膜沉积完成之后, 然后进行 He 和 O_2 气氛中高温退火。根据平面光波导器件的设计要求, 控制芯层折射率与下包层折射率差为 0.3%、0.45%、0.75%、1.5% 等, 均匀性小于 0.0005; 厚度 $3 \sim 8\mu\text{m}$, 均匀性小于 $0.3\mu\text{m}$ 。工艺模式可以是一

腔多片或者是多腔多片, 设备可选用 Novellus C1、SPTS Delta fxP/c2L 等。

(3) 掩膜。单采用光刻胶作为掩膜层, 在刻蚀芯层光波导的时候, 光刻胶也被刻蚀了。如此则要求厚的光刻胶, 厚光刻胶成膜、均匀性等难控制, 通常采用复合掩膜的方式。可采用金属掩膜, 如 Cr 或 Al, 也可采用晶体掩膜, 如 Si_3N_4 等。金属掩膜可采用 PVD (物理气相沉积) 溅射的方式沉积。晶体掩膜可采用 LPCVD (低压化学气相沉积) 法进行。

(4) 光刻。光刻是把设计好的版图转移到芯层光波导上。包括涂胶、前烘、曝光、坚膜、显影、后烘等。工厂批量化过程中, 只需两台设备即可完成, 一台 Track 完成除曝光以外的工艺, 一台光刻机完成曝光工艺。Track 可选用日本 TEL、沈阳芯源 KS-L150, 效率高, 控制可控。光刻机可选用步进扫描式或接触式, 接触式如 SUSS MA-150, 生产效率略低, 需要经常清洗光刻版。步进扫描式生产效率高, 设备价格也高, 可选用 Nikon 的 NSR 系列或上海微电子装备的 200 系列。

(5) 刻蚀。刻蚀金属或晶体掩膜和光波导芯层, 残留光刻胶、掩膜可采用湿法化学腐蚀除去。为了保证掩

膜精度, 通常采用 RIE (反应离子刻蚀法) 刻蚀掩膜层, 速率慢、刻蚀精度高。采用 ICP (感应耦合等离子刻蚀) 刻蚀光波导芯层, 速率快, 方向性好, 要求光波导侧壁刻蚀粗糙度小于 200nm , 否则过大的侧边粗糙度将会引起大的传输损耗。刻蚀机台可采用单机多腔室组合, 如 SPTS fxP/c2L 平台、AMAT CENTURA 平台等。

(6) 沉积上包层。刻蚀完成后, 经过清洗, 然后可进行上包层沉积。可采用 FHD 法和 PECVD 法。PECVD 法典型工艺气体为 SiH_4 、 N_2O , 需要进行多次沉积多次退火, 不能一次完成, 否则过厚的薄膜在退火中易析出晶体或在表面产生龟裂, 尽管可在包层中掺杂少量的 B_2O_3 和 P_2O_5 来提高 SiO_2 的热膨胀系数, 同时降低 SiO_2 的软化温度, 但仍然难控制其中的残余应力。多次沉积、多次退火工艺难控制。采用 FHD 法, 优化退火工艺, 可一次性成膜一次性退火完成。

平面光波导器件

平面光波导器件是采用平面光波导技术制造而成的器件, 分为无源器件、有源器件以及有源/无源混合集成器件。

无源平面光波导器件, 顾名思义, 无需能 (电) 源的器件就是无源器件, 仅作为光波信号的传输、分波/合波滤波等功能。主要有平面光波导分路器、阵列波导光栅 (AWG)、光滤波器。目前平面光波导分路器在国内外市场非常火爆, 根据 2016 年 4 月 5 日市场及技术咨询公司 ElectroniCast 报告, 2015 年全球平面光波导分路器市场总额达到 6.96 亿美元, 同比增长达到 14%。中国目前已经成为平面光波导分路器市场的主导者, 占市场总额

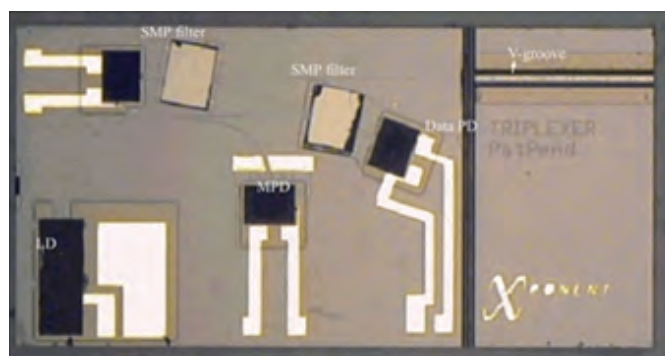


图3: 无源/有源混合集成平面光波导器件。

的 35% 以上。2012 年之前, 国内的光分路器器件全都是从韩国和日本进口, 国内仅能做封装, 大部分利润都被韩、日、欧美拿走。经过多年的潜心研究与开发, 2015 年之后, 河南仕佳光子一跃成为全球最大的光分路器芯片供应商, 月产 6 英寸晶圆可达 3000 片。目前国内围绕平面光波导分路器专门从事封装制造的企业不下 100 家。

AWG 是 WDM (波分复用 / 解复用) 系统的关键器件, 其设计与制造较平面光波导器件难, 目前国内还没有规模化量产, 还处于量产攻关阶段。目前采用串联的 AWG 滤波结构可获得信道间隔达到 10GHz (波长间隔 0.08nm), 信道数超过 1000。商用的 AWG 通常为 100GHz (波长间隔 0.8nm)。

有源平面光波导器件, 是指需要能 (电) 源才能工作的光波导器件, 可作为光波信号的生成、调控、放大与探测等。以 III - V 半导体化学物材料来制造。主要半导体激光器 (LD)、光探测器 (PD)、光波导放大器 (OSA)、可调光衰减器等, 可单片, 也可集成, Infinera 是此类器件技术及产业的领导者。图 2 为集成型的无源平面光波导器件, 其制造工艺复杂, 需要用到 MOCVD (金属气相沉积法)。这类产品欧美日较发达, 国

内只能生产 10G 以下产品, 高端产品全部依赖进口。

无源 / 有源混合集成平面光波导器件。无源器件和有源器件的材料各异, 其制造工艺不尽相同, 近来出现了以 SiO₂ 或 Si 做好光波导回路, 然后将 PD、LD 以倒装或贴装的方式混合在一起, 如图 3 所示。

硅光子集成

用于光波导器件的材料种类非常多, 二氧化硅和玻璃、III - V 族化合物半导体 (GaAs 和 InP)、砷化镓和铟化镓、有机聚合物、硅和锗半导体, 因此器件的种类也很多。光波导器件能否像集成电路产业一样, 只采用硅这一种材料呢? 由于作为激光器的介质要求是直接带隙才能激射, 而硅是间接带隙。因此自光纤通信技术发展伊始, 其器件的发展始终不能像集成电路的发展一样, 可实现大规模、超大规模的集成, 而只能是几个、几十个、几种功能的集成, 能做到上百、上千的个数或功能的集成异常困难。

硅基集成电路已经发展到近乎完美的程度, CMOS 工艺已经堪称完美。能否把光子器件与 CMOS 工艺相结合, 使得光子器件材料统一, 实现大规模集成? Intel 和 IBM 早在本

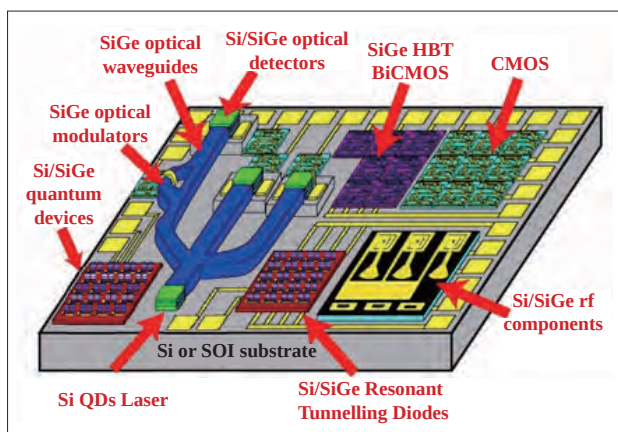


图4: 基于CMOS工艺的硅基光子器件。

世纪初就开始重点发展硅芯片光学信号产生和处理技术, 先后突破了硅基光子调制与探测技术。2007 年 7 月, Intel 研究人员实现了硅激光调制器带宽为 40Gbps, 2008 年 5 月采用 8 路硅调制器实现了 200Gbps。2015 年 5 月, 实现了在 10~40Gbps 的带宽内具有稳定的增益, 且增益带宽积保证在 300GHz 以上的硅基光探测器。

硅基激光器是弱项。2006 年 9 月, Intel 公司和 UCSB (加州大学圣芭芭拉分校) 联合发布了世界上首个采用标准 CMOS 工艺制造的混合硅激光器, 7 年之后, 该团队展示了速度达 1000Gbps 的混合硅基激光器。到目前为止, 拉曼散射是在硅材料中产生激光的唯一可行的方法, 2004 年, 首次验证了受激拉曼散射效应的硅基激光器, 而后 2005 年, 连续拉曼散射激光器也得到了验证。如果硅基激光器技术得到了全面的解决, 硅基放大器也将得到全面解决, 届时即可实现全面硅基 CMOS 技术, 光纤通信技术将会得到前面的发展, 如图 4 所示。

平面光波导技术及其器件是全面提升信息技术的关键技术与核心器件, 是衡量一个国家技能水平和能力的关键。□

激光技术搭载工业 4.0 方案打造智能工厂

——2016通快上海光博会及技术博览会后记

中国制造业正处于转型升级、面临挑战又蕴育机遇的特别时期，激光作为一种先进的加工工具，将在中国的制造业发展中迎来更多机会。在通快于 2016 上海光博会期间举办的新闻发布会上，中国光学学会激光加工委员会主任王又良先生表示：“尽管 2015 年中国制造业的表现有喜有悲，但与激光加工相关的行业都实现了业绩增长，比如汽车制造、电子制造甚至机械制造等行业。”激光技术在制造业中发挥的作用已不容小觑。

中国将成为通快的第一大市场

作为激光领域公认的领先企业，“通快激光技术部门上一财年实现了约 15% 的业绩增长，”通快公司董事长 Peter Leibinger 先生说道，“其中亚洲是一个巨大的市场，特别值得一提的是中国市场，该市场首次超过了美国成为继德国之后通快的第二大市场。中国成为通快的第一大市场仅仅是时间的问题。预计在未来的十年中，中国市场的市场份额将有望从目前的 14% 增长到 25%。”通快的业务增长主要来源于固体激光器，包括用于柔性显示器生产的高功率紫外激光器。

通往工业4.0的快捷之路

去年“中国制造 2025”纲要的出台，表明了中国政府要推动中国从制造大国迈向制造强国。在中国制造业正处于从传统方式向更先进的制造

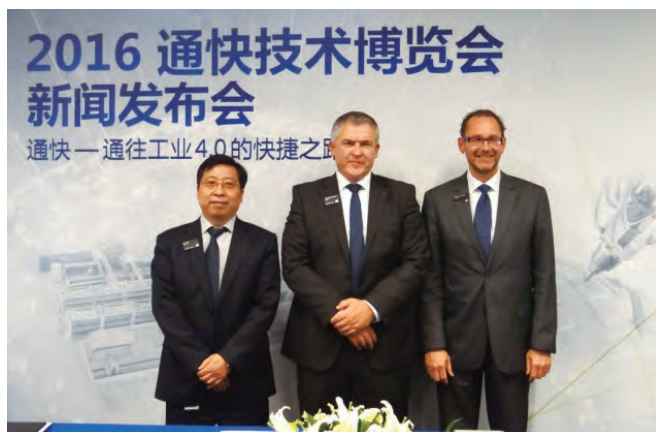
模式转型升级的大环境下，起源于德国的工业 4.0 概念无疑会对中国制造业的发展起到一定的借鉴作用。

3 月 16 至 19 日，通快在其江苏太仓工厂举办了为期

四天的 2016 通快技术博览会 (2016 TRUMPF TechDays)。此次博览会以“通快——通往工业 4.0 的快捷之路”为主题，这是不是也可以看作是对通快名字的一种最好解释呢。

在“通快工业 4.0 现场体验之旅”中，现场讲解人员以钣金加工为例，针对目前市场中出现的多批种、小批量生产以及人力成本增加等现象，介绍了通快“基于网络和大数据、融合其硬件和软件”的工业 4.0 方案，通过智能工厂、管理软件、手持移动设备、可视化图像操作、智能物流、全球解决方案、最新 Boost 软件以及 3D 打印等环节，实现生产过程信息的透明化和设备布局的合理化，使得从产品的订单报价到生产的整个过程，更加简易、智能、可靠。

在此次技术博览会中，通快集团最新推出的理念 TruConnect 成为一大亮点，它展示了通快为工业生产网络化、管理智能化、商务数字化提供的创新支持。TruConnect 建立了工



业领域全新的商务模式、生产模式和服务模式，为中国制造业企业搭建未来的智能工厂。通快新一代设备已融合了最新的传感技术，可实时获取设备状态及加工状态，为生产交互提供可靠的信息源。而生产管理移动终端 TruTops Fab 实现对设备信息进行收集、汇总与处理，公司管理人员可以实时了解生产状态。同时，TruTops Fab 也实现了快捷的电子商务模式，通过构建客户数据库，轻松实现客户的管理与新订单的建立。其附带的智能成本估算中心，能够根据不同的客户共建，提供预估生产成本的参考，为用户的快速初步报价提供依托。从生产管理到电子商务，TruConnect 为制造企业提供了“工业 4.0”的最佳范本。

在展示现场，通快向来宾重点展示了平面激光加工机床、高速数控冲床、数控折弯机、自动折弯中心、带有中央料库存的全自动化柔性钣金生产系统、激光器、三维激光加工机器

人系统、三维激光系统等系列产品。

全面的激光器产品

通快能为工业应用提供多种激光器产品，从固体激光器到气体激光器、从半导体激光器到碟片激光器，可谓种类完备。

在要求大功率、高光束质量的金属加工领域，碟片激光器是最佳选择。通快的 TruDisk 6001 碟片激光器，在进行金属切割时可提供高达 6 kW 的输出功率，以确保最高的质量和效率。碟片激光器的特点是光束质量更高，其模块化设计，即插即用，比起依赖于工具和人工进行部件更换和维修的光纤激光器，大大提高了工作效率，适用于航空航天、汽车行业零部件的焊接、切割加工。



TruDiode 半导体激光器不仅能效率高，加工效果好，且使用成本低。在深熔焊、热传导焊接、熔覆焊接或是塑料焊接中，功率高达 6 kW 的 TruDiode 6006 激光器凭借其稳定的性能，可达到近乎完美的焊缝质量。高功率 TruDiode 激光器特别适用于汽车及其零配件加工、管材和型材加工行业。TruDiode 激光器的输出功率可实时调节、控制系统、运行快速且动态性好。通过保证稳定的激光输出功率和高光束质量，激光器可从源头上确保加工效果的最优和一致性。同时还保持着极低的投入和运行成本。节省空间的模块化设计使激光器可以很容易地被集成到现有生产线系统

中。模块化结构也使得任何部件均可现场快速维修和更换。

此外，通快还展示了 TruMicro 5280 超短脉冲激光器、TruMark 1108 激光打标机、TOP Cleave 光束整形镜头、TruLaser Cell 3000 三维激光系统以及汽车零部件激光加工展示区。

通快激光技术部总经理 Andreas Weller 显示在博览会期间表示，“质量是企业生命，创新是企业的灵魂。作为激光行业的领导者，通快已经在高功率激光切割、焊接、微加工、激光打标、三维激光应用等各个激光加工领域成为行业的标杆，但我们仍将着重关注这些方面，不断进行创新发展，开拓更大的中国市场。”

服务中国市场

在当前制造业面临多重危机，产能过剩、劳动力成本上升等问题的情况下，传统制造业走上结构优化、转型升级将是不然之路。激光科技将凭借其高效率、高成本效益而逐渐成为尖端行业的首选。通快卓越全面的激光技术加上工业 4.0 解决方案，将为中国制造业的转型升级推波助澜。目前，通快可提供适应于各种加工技术（冲、折、板材与管加工等）且能满足不同程度的自动化需求的解决方案。通快的自动化解方案从三维软件为客户进行方案设计开始，包括单机的自动化（含自动上下料、自动加工、零件分检及残料处理）与全自动柔性加工系统（中央料库 + 机床 + 周边设备、全过程控制软件）等，可实现全年无人自动化连续生产。通快机床事业部总经理顾永麟先生表示，“通快集团在为制造企业提供工业 4.0 解决方案领域一直处于领先地位。在过去的几年中，我们与国内相当多的企

业在这一领域进行了卓有成效的合作，提供了众多的自动化及智能制造解决方案，赢得了客户的广泛好评。未来，通快中国机床的主要业务增长点着眼于为用户提供更新、更好的全面解决方案，其重点在于提供适合中国特色与需求，包括硬件与软件在内的自动化智能解决方案。”

通快（中国）有限公司总裁 Jens Hirschgaenger 先生表示，在当下的转型过渡期，通快仍然致力于为客户提供高科技、高效率、高质量的产品与服务，助力传统制造业企业迈向工业 4.0 时代。“在技术研发方面”，Jens Hirschgaenger 先生表示，“通快将与包括中国高校在内的多家研究机构进行深入合作，加大本地研发和生产的力度，不断开发出更适合本地市场需求的高性价比产品，为中国工业的转型升级提供强大的支持。” □

上接第18页

法有效处理高反射材料。而恩耐新一代光纤激光器架构，为千瓦级激光器材料处理、尤其是高反射材料的处理带来了一场新革命。nLIGHT alta™ 回返隔离器完全集成到了激光器架构中，而其它解决方案试图在处理光纤或有自由空间的光学部件上集成保护装置，或者在有损坏风险时强制关闭激光器；这些方法并未从根本上解决机器损坏问题，反而减少了设备使用寿命，也限制了处理高反射材料的能力。nLIGHT alta™ 光纤激光器已经被部署在了全球各地极具挑战的工厂环境中，并且已经在各种应用中展现了无与伦比的高性能、高稳定性和超长开机时间、以及不间断地加工处理各种高反射材料的优势。□

在半导体激光器领域还有很多事可做

——访北京凯普林光电有限公司产品市场总监陈燕丽女士

“虽然 2015 年经济大环境普遍低迷，但是我们的业绩仍然保持了两位数的增长，增长幅度约 20%。我们对 2016 年的市场预期依然比较乐观，预计我们会继续保持两位数的业绩增长。”在 2016 慕尼黑上海光博会期间，北京凯普林光电有限公司产品市场总监陈燕丽女士在接受采访时如是说。

做好光纤激光器泵浦源

“虽然经济大环境对很多公司的业绩造成了一定影响，但是我们的业务所涉及的几个行业的表现都不错。”陈燕丽说道，“首先在光纤激光器泵浦源市场，去年我们的业务继续向上趋势，增长主要来源于高功率光纤激光器市场，我们 50W 以上用于中、高功率光纤激光器的泵浦产品出货突破万支，销售额实现了数量级的增长。在过去的几年中，随着光纤激光器市场的迅猛发展，我们的泵浦源业绩也一直在顺势高速发展，目前在公司业绩中所占据的比例，已经从前几年的 20% 增长到了大约一半的水平。”

随着光纤激光器技术水平的不断进步，其对泵浦源的要求也不断提升。针对千瓦级的高功率光纤激光器泵浦应用，凯普林光电正在进一步开发亮度更高的泵浦源。“其实从去年开始，我们就在着手一些新的项目，预计今年晚些时候，我们会推出针对高功率光纤激光器泵浦应用的新产品。”陈燕丽透露，“光纤激光器产品设计在

不断进步，功率不断提升，这必然会

对泵浦源提出新的要求。我们会提早做相关的技术储备，跟上光纤激光器技术发展的步伐。”

近年来我们清晰的看到国内光纤激光器的发展速度，例如超快光纤激光器领域，我们从这两年客户结构的变化中就可以发现，2015 年以前，国外客户大部分是公司购买，用于商业化产品；而当时国内购买超快光纤激光器泵浦源的客户，基本上还是高校及科研院所。但是在 2015 年，我们发现国内有更多的公司开始采购，用于商业化超快光纤激光器产品。

专注于半导体激光器

在最近几个月的时间里，激光行业可以说热闹非凡：楚天团结激光合并，IPG 宣布进入下游切割机市场，紧接着是上海光博会期间相干收购罗芬的重磅消息……行业整合并购，企业调整新的发展战略，这仿佛让激光行业开始活动起来了。

“我们会继续专注于半导体激光器领域，充分发展我们在半导体激光器封装和光纤耦合技术及专业人才方面的优势，集中精力做好我们的产品和服务。事实上在半导体激光器领域还有很多事情等着我们去做。”谈及凯普林光电未来业务打算时陈燕丽说道，“凯普林光电自 2003 年成立发展到今天，相继在激光泵浦、激光印刷、医疗、安防等方向开发了多个半导体激光器产品系列，在国内市场占

有了相当的市场份额，在客户心目中也成为首选品牌之一。未来我们还是希望在市场上保持一个独立供货商的身份，虽然现在市场上流行垂直整合，但是讲“术业有专攻”，我们通过和上、下游以及平行的器件厂商紧密合作，发挥各自的专业优势，形成分工合作，互惠共赢，实现价值增长，我们认为这种方式也可以成功。对于已有业务，我们将继续不遗余力的投入，根据客户需求提供更好的产品和服务，同时，我们也希望在新的应用市场有所作为，在横向上进行业务扩展。

加大研发投入

对研发的重视程度往往决定着一家公司能够走多远。陈燕丽表示：“今年我们将加大对研发的投入比例，这个比例已经从过去的 5% 左右增长到了大约 8%。”这已经是一个不小的比例。

“过去我们的研发可能更多地注重于如何实现产品的性能指标，但是好的产品技术不仅在于实现了高的性能指标，市场要求我们在追求高水平商业化产品的同时还要具备强势的价格竞争力。我们的产品开发方向就是要为客户提供高性能、高品质以及最优性价比的半导体激光器产品。”

专注成就品质，我们都时常感叹德国产品的精湛工艺和牢固品质，或许这背后恰恰是他们能几十年甚至几百年专注于一件事情上。真心期待中国激光界也能有让世界为其产品品质而赞叹的公司成长起来。□

紫外激光在平板显示、光纤光学及半导体制造领域寻求新机遇

——访Xiton Photonics公司总经理Juergen Bartschke博士

德国 Xiton Photonics 公司成立于 2004 年，致力于提供各种非标准波长的工业类二极管泵浦的固体激光器产品，其产品的波长范围可覆盖从深紫外（DUV）到近红外（NIR）的广泛波段。

在今年 3 月的慕尼黑上海激光展上，笔者有幸采访到了 Xiton Photonics 公司总经理 Juergen Bartschke 博士，请他分享了公司的基本信息和他对市场的发展看法。

Juergen Bartschke 博士介绍说，尽管最近经济大环境不景气，并且制造业受到了很大牵连，但是 2015 年 Xiton Photonics 公司依然实现了超过 20% 的业绩增长，其中制造业大约贡献了 70% 的份额。随着工业 4.0、中国制造 2025 的逐渐推广，中国制造业开始由传统方式逐渐转型升级，向着更加先进智能的方向发展。“中国制造业的发展将为 Xiton Photonics 公司的激光器产品带来更多新的市场机会，尤其是我们的紫外固体激光器产品。” Juergen Bartschke 博士说道，“我

们将会重点关注平板显示、光纤光学以及半导体制造这三大主要市场。”

Juergen Bartschke 博士介绍说，Xiton Photonics 公司目前能提供多种非标准波长的紫外甚至是深紫外固体激光器产品，比如波长 213nm 和 193nm 的产品。特别值得一提的是 193nm 的固体激光器产品，Xiton Photonics 能做到很窄的线宽，并且结构紧凑，相比于目前市场上波长同样为 193nm 的准分子激光器而言，其在线宽和体积方面都具有无与伦比的优势。“213nm 和 193nm 这两种波长的产品，主要用于光纤布喇格光栅的刻写，这在通信领域和当前发展迅猛的光纤激光器中，有着巨大的应用市场。” Juergen Bartschke 博士说道，“其中光纤光栅刻写应用为我们 2015 年的良好业绩贡献了巨大力量。”

在此次慕尼黑上海激光展上，Xiton Photonics 展出的 IMPRESS 213 激光系统，是输出波长处于深紫外波段的 213nm 固体激光器，其不但拥有卓越的光束质量，而且性能可靠，

堪称是光纤布喇格光栅生产线上的主力军。高质量的光纤布喇格光栅，在通信领域和光纤激光器中大量应用。

除了光纤光学领域的光栅刻写应用，Xiton Photonics 公司的产品还在 LCD 修复以及半导体制造

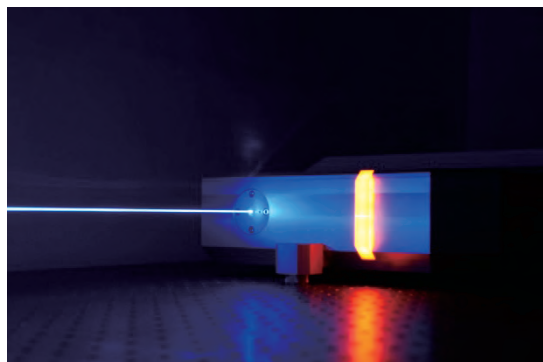
领域发挥重要作用。“我们之所以能够提供诸多非标准波长的紫外激光器产品，均得益于我们在非线性光学频率变换方面的独特技术。” Juergen Bartschke 博士说，“在这方面，我们还与通快有着密切的合作，为通快的皮秒激光器提供倍频方案，从而实现多种波长选择。”

Juergen Bartschke 博士强调说，在产品开发方面，Xiton Photonics 一直都乐于听取客户的需要和愿望，其开发的所有产品均源于客户需求的驱动。目前，Xiton Photonics 已经在加拿大、韩国和美国拥有非常成熟的产品线，并希望将来也能在中国拥有生产线。

谈及对 2016 年的发展预期，Juergen Bartschke 博士表示：“预计 2016 年 Xiton Photonics 至少将比 2015 年获得 20% 的业绩增长。我们提供的非标准波长的紫外甚至是深紫外固体激光器产品，不仅体积紧凑，而且光束质量好，性能稳定，这些产品将成为光纤光栅刻写、LCD 平板显示修复以及半导体制造领域的生力军。”此外，Juergen Bartschke 博士还补充说，未来 Xiton Photonics 在中国市场与顶尖科仪密切合作，进一步开拓中国的科研与工业应用市场。□



Xiton Photonics 公司总经理
Juergen Bartschke 博士



976nm 9W稳波长窄线宽光纤耦合激光器

天元激光推出 976 9W 稳波长窄线宽激光器，具有高可靠性、高性价比、波长稳 ($976 \pm 1\text{nm}$)、窄线宽 ($<0.5\text{nm}$) 等特点。



产品内置光栅，波长温漂系数小 ($< 0.02\text{nm}/^\circ\text{C}$)。采用两针平行封装，尺寸小，安装方便，耦合光纤芯径 $105\mu\text{m}$ ，数值孔径 0.15/0.22 可选。此款产品专为掺铋光纤激光器泵浦这类对高频脉冲有要求的应用而设计，产品内置 1060~1100nm 高反装置，隔离度达 30dB 以上，是光纤激光器泵浦的理想选择。

天元激光近期还将推出可用于人眼安全应用的掺铋光纤激光器泵浦源，产品包括 $793 \pm 3\text{nm}$ 3W 和 9W、 $1064 \pm 3\text{nm}$ 4W 和 10W，采用芯径 $105\mu\text{m}$ 的多模光纤，数值孔径 0.15/0.22 可选。内置 1800~2100nm 高反装置，隔离度达 25dB 以上。

天元激光还将拓展 $808 \pm 3\text{nm}$ 系列，有单管光纤耦合 808nm 5~6W 产品，芯径 $105\mu\text{m}$ ，数值孔径 0.15/0.22NA 尾纤；单管光纤耦合 808nm 9~10W 产品，芯径 $200\mu\text{m}$ ，数值孔径 0.22NA 尾纤。

天元激光, www.skyeralaser.com

1200W单模光纤激光器和4kW光纤激光器

nLIGHT 恩耐激光推出 nLIGHT alta™ 系列下的两款全新光纤激光器——nLIGHT alta™ 1200W 中等功率光纤激光器和 nLIGHT alta prime™ 高功率光纤激光器。

nLIGHT alta™ 中等功率光纤激光器目前可提供的功率为从 500W 至 1200W，并且提供最快的重复频率，最短的上升/下降时间以及优质的光束质量，应用于工业材料加工如金属板材切割、焊接、钻孔，3D 成形制造，医疗设备生产和脆性材料加工等。

nLIGHT alta prime™ 高功率



光纤激光器可提供 2~4kW 的不同功率，提供最快的调制频率和最短的上升/下降时间，广泛应用于切割、焊接和先进材料制造业加工。如今 nLIGHT alta prime™ 系列光纤激光器集合了可编程的脉冲整形技术，能极大程度优化

加工过程，广泛应用于汽车焊接、3C 行业等高端金属加工领域。

nLIGHT, www.nLIGHT.cn

YLP-V2-1-100-50-50掺铋脉冲光纤激光器

IPG Photonics 公司的 YLP-V2-1-100-50-50 掺铋脉冲光纤激光器，波长 1064nm，平均功率 50W，单脉冲能量 1mJ，脉冲宽度 100ns，峰值功率 10kW，重复频率 2~200kHz，光束质量 $M^2 < 2$ ，非常适用于精密打标和材料加工。

YLP 系列激光器是专为 OEM 系统设计的风冷型免维护光纤激光器。所有光纤设计均由



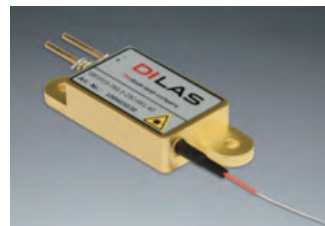
坚固的机箱进行保护，可适应苛刻的工业环境。全光纤设计，允许进行峰值功率和/或脉冲重复频率调节，不会对光输出参数产生任何影响。该光纤激光器相对于当前市场上的常规激光器，其效率更高，结构更紧凑。其主要特点是具有极大的工作参数调节空间，能够对薄膜和表面涂层进行精细加工。它是精密加工、划线、毛化处理、烧蚀、太阳能/光伏领域、钻孔、调阻及打标等应用领域的理想选择。

IPG Photonics, www.ipgphotonics.com

793nm高亮度光纤耦合单管泵浦模块

德国 DILAS 推出高亮度光纤耦合单管泵浦模块，输出波长 793nm，输出功率 9W，采用芯径为 $106.5\mu\text{m}$ 、数值孔径 0.15 的光纤输出。

其封装紧凑，产品尺寸仅 $61.9 \times 21.5 \times 9.6\text{mm}^3$ 。模块是由多个串联的单管产生功率，并通过光学整合进入光纤输出。当输出



功率达 9W 时，模块的最大工作电流为 4.0A，电光效率 $>40\%$ 。值得注意的是，该产品可在 45°C 的环境中正常工作，大大降低了对冷却能力的要求，可良好地应对恶劣的工作环境。

这款高亮度光纤耦合单管泵浦模块，是用于人眼安全应用的掺铋光纤激光器泵浦源的理想选择。

DILAS, www.dilas.com



USB接口OEM

功率计

- 用于设备集成监控激光功率
- 软件显示功率值
- 功率范围: 2mW-200W
- 能量范围: 2mJ-200J
- 光谱范围: 0.19 μm -25 μm



AVUS高功率 光参量放大器

- 1 μm 泵浦fs-OPA
- 全自动调谐、风冷
- 可调谐范围: 630nm-2600nm
- 输出功率: 最高5W (信号光+闲频光)
- 脉冲宽度: 约200fs



XHB倍频器

- 用于通快TruMicro 5000系列皮秒激光器
- 高转换效率、高光束质量、24/7连续使用
- 最高输出功率: 90W @ 1030nm, 60W @ 515nm, 15W @ 343nm
- M2: <1.3



关注“顶尖科仪”微信平台：

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

顶尖科仪部分代理厂家（以开头字母排序）



强大的780nm飞秒光纤激光器

TOPTICA 推出的 FemtoFiber Ultra NIR 光纤激光器，提供强大的 780nm 飞秒脉冲，脉冲持续时间低于 150fs，重复频率 80MHz。该系统提供超过 500mW 的平均输出功率。



该 FemtoFiber Ultra 是 TOPTICA 的第三代超快飞秒光纤激光器。它结合了最先进的光纤激光器技术和卓越的实用性，具备强大的性能和稳健性。该系统不需要水冷，交钥匙型操作提供独特的用户友好性。FemtoFiber Ultra NIR 非常适合生物光子学、显微镜应用以及半导体检测和表面分析等应用。

TOPTICA, www.toptica.com

高性能二极管激光器

nLIGHT 恩耐激光推出其光纤耦合二极管激光器 element 系列下的两款新产品——高亮度二极管激光器和高功率波长锁定二极管激光器。



其中高亮度二极管激光器输出功率 155W，采用芯径 105 μm 、0.15NA 的输出光纤，应用于光纤激光器泵浦。

高功率波长锁定二极管激光器输出功率 175W，采用芯径 200 μm 光纤输出，波长锁定在 880nm，应用于固体激光器泵浦。

element 系列波长覆盖 793~976nm，功率最高可达 210W，适用于新一代光纤激光器和固体激光器泵浦。

nLIGHT, www.nLIGHT.cn

用于材料加工的多聚焦镜头

德国 AdlOptica 公司推出的 foXXus 镜头，适用于利用超快激光器切割玻璃和蓝宝石等微加工应用。它们沿着光轴重新分配激光能量，能在材料加工过程中实现更高的生产率，并提升加工质量。该镜头可用于工作在不同波长的基模和多模激光器，它们紧凑的设计和对偏差的低灵敏度，使其能够快速、方便、简单地集成到现有设备中。



AdlOptica, www.adloptica.com

多功能激光微加工站

德国 4JET 公司 TWIN 激光微加工站，是一个模块化平台，其集激光钻孔、切割和薄膜加工技术于一身，主要用于在玻璃或薄膜基底上制造显示屏和其他光学器件。该机器的加工精度在微米范围内，是部件切割、薄膜刻图或通孔定位的理想选择。



4JET, www.4micro.de

Advertiser	广告商名称	网址	页码
A & P Instrument Co., Ltd.	科艺仪器有限公司	www.anp.com.hk	23
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	11
Amonics Ltd.		www.amonics.com.cn	2
Edmund Optics China		www.edmundoptics.cn/laser-optics	25
FISBA OPTIK AG		www.fisba.com	15
LaserFocusCon	激光聚会	www.laserfocusworld.com.cn/lfc/index.html	BC
Nufern		www.nufern.com	IFC
Pinnacle Scientific (China) Corporation	顶尖科仪(中国)股份有限公司	www.psci.cn	36
PCO AG		www.pco.de www.pco-tech.com	3
Shenzhen RFH Laser Technology Co., Ltd.	深圳瑞丰恒激光技术发展有限公司	www.rfhlaser-tech.com	27
II-VI	贰陆	www.ii-vi.com.cn	7

文章投稿指南

《激光世界》不发表公然推销某一具体产品或服务文章。只有文章内容需要或与主题相关时，才可偶尔提及某一具体产品。

具体要求

- 1、最好配两幅以上相关图表。
- 2、应在预定发表日期之前一个月交到编辑部。
- 3、切勿一稿多投。
- 5、编辑部有权修改稿件。作者或供稿公司如需在出版前确认修改后的稿件，请事先声明。
- 6、请留下作者的各种联系方式。

请将您的新闻或文章E-mail至庞会荣女士 Rossie Pang, E-mail:rossiep@actintl.com.hk,电话: 13641292731

发布新产品投稿指南

- 1、请清晰地写明新产品的名称、型号、功能、独特之处和用途等。
- 2、请附上产品照片。照片的分辨率不低于300dpi，大小不低于100万像素。最好是在单色背景下的简单的产品实物照片。
- 3、请提供能查阅产品更多信息的网址。
- 4、写清负责答复读者咨询的人员的姓名和联系方式。
- 5、写清能提供进一步信息的人的姓名、电话、e-mail。
- 6、本刊有权决定稿件录用与否。编辑部有权修改稿件。
- 7、本刊收到的稿件会在最近的一期发表，时间最长会延迟2个月。当提供对时间敏感的信息时，请注意预计发表的时间。
- 8、出版日期前5天截稿。

行政及销售人员 Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

HK Office (香港办公室)

ACT International (雅时国际商务)
Unit B, 13/F, Por Yen Building,
No. 478 Castle Peak Road,
Cheung Sha Wan,
Kowloon, Hong Kong
Tel: 852 2838 6298

Publishing Director (出版总监)

Adonis Mak (麦协林)
adonism@actintl.com.hk

Publisher & VP of Sales & Marketing
(社长及销售副总裁)
Mark Mak (麦协林)
markm@actintl.com.hk

General Manager - China (中国区总经理)
Michael Tsui (徐旭升)
michaelt@actintl.com.hk

Editor-in-Chief (总编辑)
Rossie Pang (庞会荣)
rossiep@actintl.com.hk

US Offices

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

Group Publisher
Alan Bergstein
alanb@pennwell.com

Editor in Chief
Conard Holton
cholton@pennwell.com

销售人员 Sales Offices

China (中国)

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

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

Wuhan (武汉)
Sky Chen (陈燕)
skyc@actintl.com.hk
Tel: 86 137 2373 9991
86 27 6885 2360

Eva Liu (刘婷)
eval@actintl.com.hk
Tel: 13886033073

Beijing (北京)

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

Shanghai (上海)

Sales Director-China (中国区销售总监)
Hatter Yao (姚丽莹)
hattery@actintl.com.hk
Tel: 86 21 6251 1200

Asia (亚洲)

Japan (日本)

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

Taiwan (台湾地区)

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

Singapore, Malaysia (新加坡, 马来西亚)

Peggy Thay
peggy.thay@publicitas.com
Tel: 65-6836-2272

North America (北美)

East, South & Central

Jeff Nichols
Jeffn@pennwell.com
Tel: 1-413-442-2526

West & Mountain

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

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

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

Israel

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

LaserFocusCon

激光聚会 2016

激光技术助力于制造业升级转型

— LaserfocusCon 2016 激光技术聚焦峰会 苏州研讨会

您不容错过的几大理由：

- 全球激光市场最新报告
- 光源及整机厂商的实用案例
- 圆桌论坛，与行业大咖面对面
- 产品展示，应用工程师现场解答
- 业内人士共聚一堂，肯定有您想见到的他/她！
- 免费的精美午餐
- 还有幸运大抽奖呦！

会议内容（拟定）

- 全球激光和光电市场分析：趋势、新市场与应用和机遇
- 激光技术在钣金加工中的应用
- 激光技术在新能源（动力电池、光伏、LED 照明等）制造中的应用
- 超快激光微加工技术及应用
- 直接半导体激光器在材料加工领域的应用
- 激光增材制造 / 激光熔覆 / 激光金属 3D 打印

2016 年 7 月 28 日，我们与您不见不散！

听众报名及咨询

姚丽莹 Hatter Yao

hattery@actintl.com.hk

86-21-62511200 / 13917713422



主办单位

激光世界

LaserFocusWorld China

杂志社

联系我们

上海 86-21-62511200

北京 86-13552621310

深圳 86-755-25988571

<http://www.laserfocusworld.com.cn/lfc/index.html>

武汉 86-27-68852360

香港 852-28386298

