光学和光电子产业的主导刊物 www.laserfocusworld.com.cn 2017年5/6月 第3期
ISSN: 1817-6917

激光世界

LaserFocusWorld® China



8
应用参数决定激光雷达系统中激光源的选择

低成本高速激光打印满足消费品和工业部件的要求 12

激光产品安全等级介绍 30

激光在电池电芯模组及Pack制造中的应用 33

微信公众号

ACT

PennWell®



共求领先与创新
追求卓越

无论是切割超高强度的钢材，研究单个细胞，开启全新的制造模式，还是探索未知领域的奥秘，相干公司都能助您成功。从材料加工到生命科学，从微电子制造到科学研究，相干公司都能为您提供性能优异可靠的光学技术解决方案。

了解更多信息，欢迎访问我们的网站coherent.com/excellence

COHERENT®
Superior Reliability & Performance

CASTECH®
福晶科技

CLEO
展位号：#2022
参展时间：2017.5.16-18

LASER PHOTONICS
JUNE 26-29, 2017, MESSE MÜNCHEN
展位号：B1.464
参展时间：2017.6.26-29

福建福晶科技股份有限公司（简称“福晶科技”），主要从事非线性光学晶体、激光晶体和精密光学元器件的研发、生产和销售，其产品广泛应用于激光、光通讯、半导体、生命科学、医疗设备和检测探测仪器等各工业领域。公司于2008年3月19日在深交所上市（股票代码002222）。

公司目前拥有900多名员工，超过4万平方米的生产厂房。创立至今近三十年，公司逐步发展了熔盐法、提拉法、水溶液法等多种晶体生长技术；建立了包括德国LOH数控研磨机、韩国光进上下摆机、日本Speedfam双抛机、环抛机等在内的全套高精度光学元件生产线；开发了IBS、IAD、Ebeam等多种镀膜工艺以适应不同应用需求。此外，公司的检测技术与设备也处于业界领先地位，拥有Zygo、Nikon、Trioptics、Hinds等各类先进检测仪器。公司产品深受国际业界推崇，是全球众多顶级厂商的首选供应商。

PRODUCTS

晶体

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

精密光学元件

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

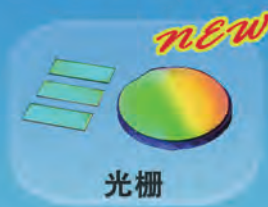
激光器件

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

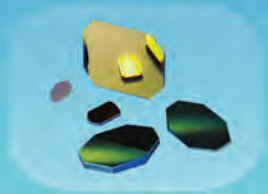

LBO


精密光学元件


BBO


new
光栅


new
CLBO


红外光学元件


TGG/TSAG
new


高功率光隔离器


$Nd:YVO_4$


扫描场镜


new
Er:Cr:YSGG

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



8 封面故事

激光雷达

应用参数决定激光雷达系统中激光源的选择

对于用于激光雷达的激光器，一种形式并不适合所有，系统设计人员需要了解其应用的物理环境和性能目标，才能着手选择激光源。

12 应用天地



激光打印

低成本高速激光打印满足消费品和工业部件的要求

脉冲纳秒级MOPA激光器与高速多边形扫描头相结合，可匹配在线和按需生产的打印速度，而不需要墨水之类的耗材。

16 非金属加工

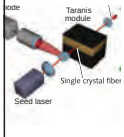


薄脆性非金属材料的激光加工

脆性材料在LED、智能手机、可穿戴设备等产品中的应用越来越多，致力于脆性材料加工的激光器厂商及科研机构，促进了脆性材料激光加工技术的不断发展。

技术中心

18 光纤激光器



单晶光纤在超短脉冲激光器中放大功率

传统的块体MOPA放大有许多不足，目前正通过下一代高功率超短脉冲光纤激光器的单晶光纤技术来解决这些问题。

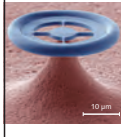
22 超快激光



新建成的大连自由电子激光器是迄今为止最亮的极紫外光源

对于新建成的极紫外自由电子激光器而言，超快激光系统是其重要组成部分。利用极紫外自由电子可以开展一些独特研究，探索分子、团簇和气溶胶的电子结构和化学动力学。

26 二极管激光器



利用可调谐二极管激光器探索微结构和纳米结构

可调谐二极管激光器在光学泵浦微腔、推动量子技术和开发量子点等方面的应用，将有望为光电子学带来显著影响。

30 激光安全



激光产品安全等级介绍

了解激光产品的安全等级划分，以及各个等级的危害性，帮助用户更加合理、安全地使用激光产品，免受激光的伤害。

光耀荆楚

32 浅谈工业设计对激光行业的影响

33 激光在电池电芯模组及Pack制造中的应用

访谈

36 应对市场趋势 侧重工业和医疗美容两大应用
——访Jenoptik公司医疗与工业部门总经理Juergen Sebastian博士

37 工业4.0促使激光产品向智能化发展
——2017通快智能激光新产品发布会后记

38 不断开发CO_2激光器唯我独行的新应用
——访美国大通激光总经理张永方博士

39 Polymicro Technologies光纤为激光的可靠传输保驾护航

40 中国机床消费217亿欧元领跑全球，机床向智能化发展

4 编者的话
6 前沿简讯
41 产品撷英
44 广告索引

关于《激光世界》

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

《激光世界》采用简体中文印刷，双月刊，每期发行量超过 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



8 COVER STORY

Lasers for Lidar

Application parameters dictate laser source selection in lidar systems

When it comes to lasers for lidar, system designers need to understand the physical environment and performance objectives of their application before source selection can be attempted.

12 APPLICATIONS



Laser Printing

Low-cost, high-speed laser printing meets requirements for consumer products and industrial parts

A pulsed nanosecond MOPA laser, combined with a high-speed polygon scan head, matches printing rates for in-line and on-demand production without consumables such as ink.

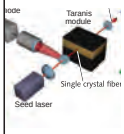
16 Non-metallic processing



Laser processing of brittle nonmetallic materials

Fragile materials have more and more usages in LED, smart phones, wearable equipments and other products, and there are many laser companies and research institutions are dedicated to the processing of brittle materials, which promotes continual development of the brittle materials laser processing technologies.

18 TECHNOLOGIES CENTER



Fiber Lasers

Single-crystal fibers amplify power in ultrashort-pulse lasers

Researchers have fabricated aluminum gallium nitride (AlGaN) laser diodes that produce deep-UV light at a 239 nm wavelength, operate at room temperature, and are electrically pumped.

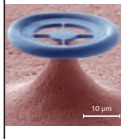
22 Ultrafast laser



New Dalian FEL is World's Brightest VUV Source

Ultrafast laser amplifiers are key components enabling a new FEL targeted at the vacuum ultraviolet (VUV) spectral region – wavelengths that will enable unique research probing the electronic structure and dynamics of bonding systems in molecules, clusters and aerosols.

26 Diode Lasers



Exploring micro- and nanostructures with tunable diode lasers

Optically pumping microcavities, advancing quantum technologies, and exploiting quantum dots are applications of tunable diode lasers that may significantly impact photonics.

30 LASER SAFETY



Introduction to laser product safety level

Learn about the safety classification of laser products as well as the harm of each level to help users use laser products more rationally and more safely, avoiding from laser damage.

LASER BRIGHTEN HUBEI

32 How will the industrial design affect the laser industry?

33 Application of laser in battery cell modules and pack manufacturing

INTERVIEW

36 Respond to market trends and focus on industrial and medical cosmetic applications
——Interview Dr. Juergen Sebastian, General Manager, Medical and Industrial Division, Jenoptik

37 Industrial 4.0 promotes laser products developing towards intelligentizing
——Reports of Trumpf's new smart laser launch event

38 Developing unique new applications of CO_2 lasers continuously
——Interview Dr. Zhang Yongfang, General Manager of Access Laser

39 Polymicro Technologies' fiber assure the stable and reliable transmission of laser beams

40 China become the biggest machine tool consumption market with 21.7 billion euros expenditure, and the machine tools developing towards intelligentizing

4 EDITOR'S NOTES
6 LEADING EDGE SNAPSHOTS
41 PRODUCTS HIGHLIGHTS
44 AD INDEX

About Laser Focus World China

Published since 2005, Laser Focus World China, the Chinese editionof the world famous Laser Focus World magazine, is the professional magazine for engineers, researchers, scientists, and technical professionalsin China. It provides comprehensive global coverage of optoelectronictechnologies, industrial and R&D applications, and market information. The editorial content licensed exclusively from Laser Focus World magazine is supplement by content generated by our own editors in China.

Laser Focus World China is published every other month in simplified Chinese and distributed to over 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.

6 月 2 日苏州研讨会，我们不见不散

无人机、自动驾驶汽车的风靡让激光雷达成为众人关注的焦点之一。激光雷达在众多的无人驾驶设备中发挥着一种“眼睛”功能，成为自动驾驶设备的核心传感模块之一。在激光雷达系统中，最核心的部分当然是激光源。本期的封面故事为大家介绍了在设计部署一套激光雷达系统时，系统设计人员应如何根据具体的应用环境和应用目标来选择激光源的各种参数，包括根据应用场景选择激光波长、根据测量精度要求选择激光脉冲持续时间等。

当然激光雷达在民用和商用领域的广泛使用，也让人们不禁担心起了另一个问题：安全性。通常大家最为担心的是激光会不会对人眼造成伤害。要回答这个问题，首先要了解激光安全等级分类。在本期的激光安全栏目中，我们继续邀请激光安全专家刘喜强先生为读者介绍了什么是激光安全等级、激光安全等级的分类、各个安全等级的激光对人身的危害性、如何看懂激光产品上安全警告标识，并对一些常见激光安全问题的讨论。更全面地了解激光的危害性，将有助于人们更加安全地使用激光。

在当下中国制造业转型升级的发展进程中，激光加工技术正在结合机器视觉技术、机器人技术和自动化技术，在各个领域取代传统的机械加工。单就激光加工而言，其不但在大功率的切割焊接等宏观加工领域成为了制造业中的主力军（如大功率钣金加工），而且在高精密微加工领域，也是日新月异，新技术新工艺层出不穷。

为了让大家更好地了解激光在宏观和微观加工领域的新应用新进展，为企业和用户之间创造一次更加“亲密接触”的机会，由《激光世界》杂志主办的“LaserFoucsCon 2017 激光技术聚焦峰会”将于 2017 年 6 月 2 日再次于苏州金鸡湖国际会展酒店举行。届时，来自相干、IPG、普雷茨特、Laserline、Convergent、亚智科技、德龙激光、嘉强激光等国内外的知名厂商，将与现场观众一起分享并探讨激光技术在宏观和微观加工领域的应用；圆桌论坛环节将汇聚企业高管、大学与科研机构的专家教授、以及来自市场分析机构的资深人士，与大家共同探讨当前经济大环境中，激光技术所面对的市场机遇。

此外，此次研讨会同期，还有机器视觉研讨会和 SMT 电子表面贴装研讨会在同一地点举行。因此，这将是一场别开生面的既跨界又有融合的行业大聚会，希望大家千万不要错过哟！6 月 2 日，苏州，LaserFocusCon 与您不见不散！❑

本刊编辑部

激光世界
LaserFocusWorld® China

中国/香港特别行政区 China / Hong Kong SAR
电话 (852) 2838 6298
传真 (852) 2838 2766
地址 香港九龙长沙湾青山道478号 百欣大厦13楼B室
出版总监 麦协林 Adonis Mak
电邮 adonism@actintl.com.hk
社长及副总裁 麦协和 Mark Mak
电邮 markm@actintl.com.hk
中国区总经理 徐旭升 Michael Tsui
电邮 michaelt@actintl.com.hk
中国版主编 庞会荣 Rossie Pang
电邮 rossiep@actintl.com.hk

免费赠阅咨询
电话 (86) 755 2598 8571
传真 (86) 755 2598 8567
电邮 lfwc-subs@actintl.com.hk

特约编辑
In My View Jeffrey Bairstow
电邮 inmyview@yahoo.com
Industrial Lasers David A. Belforte
电话 (1) 508-347-9324
电邮 belforte@pennwell.com
Valerie Coffey
电话 (1) 978-263-4485
电邮 stellaredit@gmail.com
Photonic Frontiers Jeff Hecht
电话 617-965-3834
电邮 jeff@jeffhecht.com
Imaging Conard Holton
电话 (1) 603-891-9161
电邮 cholton@pennwell.com
Europe D. Jason Palmer
电话 (44) 7960 363308
电邮 djasonpalmer@gmail.com

尖端技术部市场总监 Adrienne Adler
美术编辑总监 Suzanne Heiser
高级绘图 Chris Hipp
制作经理 Sheila Ward
广告协调员 Steve Archer
客户开发经理 Debbie Bouley

PennWell®

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

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

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

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

ISSN 1817-6917
© 2017 版权所有 翻印必究



mks Newport®

Newport 新品发布



New



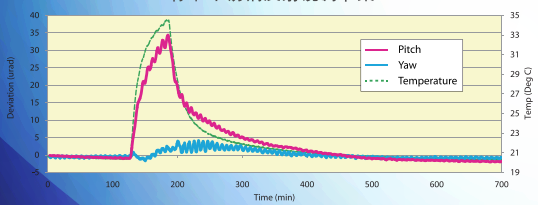
New

高性能

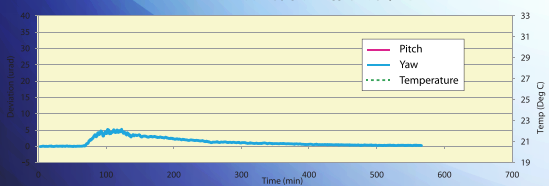
Zero Drift™ 系列热补偿反射镜调节架

- 减少85%的热漂移
- 热补偿后接近零偏差
- 可提供定制解决方案

标准不锈钢反射镜调节架



Zero Drift™ 系列热补偿反射镜调节架



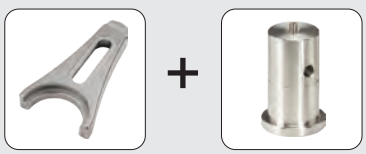
新型高性能产品

低价格

PX系列无叉式压块光学基座和接杆

- 相比标准基座，PX系列基座仅占1/3的空间
- 不需要叉式压块从而消除弯曲应力
- 多种尺寸可选

市场上常规设计
加上叉式压块



新型低价格产品

Newport 中国

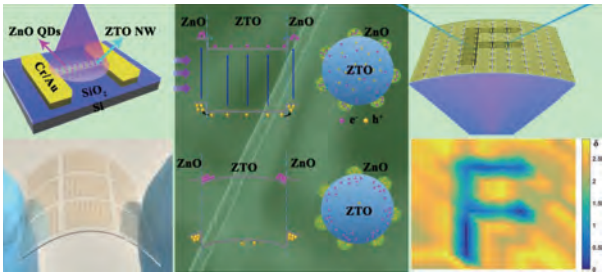
电话：+86 510 8113 5000
邮箱：china@newport.com
网址：www.newport.com

前沿简讯 Leading Edge Snapshots

中科院半导体所在柔性紫外成像研究方面取得进展

中科院半导体研究所与香港科技大学课题组，在柔性紫外成像的研究中取得新进展。

紫外成像技术在犯罪侦查、漏油探测、火灾监控以及高压线路检测等领域有着广泛的应用。然而传统的紫外图像传感器通常基于硅基等刚性衬底，这就决定了其本身无法弯曲、体积较大不易携带，无法满足现代多元社会对其在多个领域，如柔性电子领域的应用需求。与硅基器件相比，柔性紫外图像传感器具有体积小、可弯曲甚至折叠等特点，因而可以和传统的硅基器件形成互补，满足现代社会多元化的需求。



在此背景下，该团队采用在单晶 Zn_2SnO_4 纳米线表面修饰 ZnO 量子点的方法，成功研制出一种同时具备高光电导增益、低暗电流和快响应速度等特点的柔性紫外图像传感器。该器件制作在柔性 PET 薄膜衬底上，具有优异的可弯曲性和机械稳定性。由于 Zn_2SnO_4 纳米线和 ZnO 量子点之间形成了 II 型异质结，使得其光电导增益高达 1.1×10^7，比探测率为 9.0×10^{17} Jones，响应时间仅为 47 ms。此外他们还进行了理论模拟，结果与实验数据相吻合。

在弯曲条件下，所研制的柔性紫外图像传感器能够有效地对紫外图像进行感应并重现，证明了其在高性能柔性紫外成像方面的潜在应用。该项工作为获得高性能柔性紫外图像传感器提供了一个新的设计思路和可行性工艺。经过进一步的研究和改进，有望实现更高的像素集成度并为高性能柔性紫外成像在实际生产和生活中的应用带来可能。❑

宁波材料所在 CFRTP/ 金属激光连接技术上取得新进展

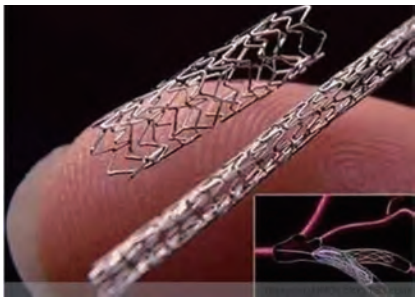
碳纤维热塑性复合材料（CFRTP）具有比强度高、耐腐蚀、抗疲劳、耐热性好等特点，是轻量化制造的重要材料，在航空航天、新能源汽车领域应用前景广阔。实现 CFRTP 材料之间及 CFRTP 与金属材料之间的高质量的连接，是其应用的一项关键技术。激光连接技术具有速度快、强度高、振动应力、工艺灵活等特点，在 CFRTP 与金属材料连接上较胶结、机械连接等技术具有优势。

宁波材料所先进制造技术所激光与智能能量场制造团队与北京大学深圳研究院合作，对 CFRTP/ 异质金属结构的激光连接机理和工艺进行了研究。利用激光直接连接技术实现了 CFRTP 与不锈钢的连接，研究了界面状态对 CFRTP/ 不锈钢激光连接质量的影响规律，对接头的连接机理和失效机制进行了分析，同时对缺陷控制工艺进行了探索性研究。在考虑 CFRTP/ 不锈钢界面接触热导率的基础上，建立了激光连接热热效应数学模型，利用有限元方法对连接热效应进行了仿真计算，分析发现该模型可准确表征夹具压力对激光连接质量的影响，较传统数学模型可有效提高热效应仿真的准确性。❑

我国工业化心脏支架飞秒激光高精细加工设备研制成功

近年来，心脑血管疾病患病率逐年提高，据卫生部统计，2015 年国内冠心病患者达到 6000 万人，急剧增长的心脏病患者刺激了心脏介入手术和心脏（冠脉）支架需求的快速增长。心脏支架植入数量从 2007 年约 23 万套增长至 2015 年的约 170 万套。

由于心脏支架壁管极薄，通常采用飞秒激光加工。利用飞秒激光短脉冲产生的强电场，消除材料切点附近的自由电子，使带正电荷的材料同性相斥，失去分子间的作用力，通过“分子摘除”的方式完成材料去除。这种方式加工的心脏支架断面无毛刺、表



面光洁平滑、无热损不会产生烧蚀、切割精度高并且筋宽均匀。

目前国产飞秒激光器工业化水平低、技术落后，因此我国的心脏支架市场基本被国外企业占据。

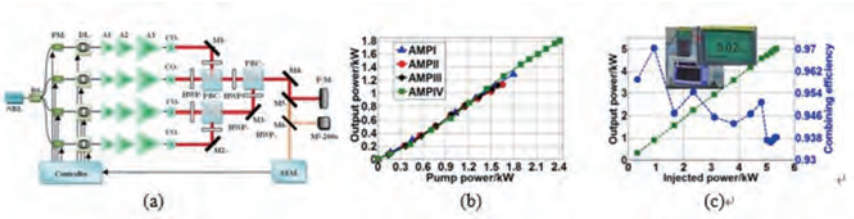
最近，中科院西安光机所结合自身传统优势学科，将飞秒激光精密智造作为研究所重点突破方向，成功研制出了工业化心脏支架飞秒激光高精细加工设备，解决了国产心脏支架加工精度低、筋宽不一致、毛刺多等加工缺陷，实现了多种材料高精细低损伤切割加工，提高了国产心脏支架的性能和使用寿命，达到国际一流质量水准。该设备解决了制约心脏血管支架激光切割加工的“瓶颈”技术问题，提升了我国超快激光产业和医疗器械行业共有的技术水平和核心竞争力，既能推动我国整个心脏血管支架行业迅猛发展，也将大幅减轻病人的高经济负担。❑

国防科大实现 5.02 kW 近衍射极限合成激光输出

高功率光纤激光器由于电光效率高、光束质量好、结构紧凑等优点，在生物医疗、激光加工、国防安全等领域得到了广泛的应用。相干偏振合成技术是光纤激光器获得高功率输出的一种有效方法。

相干偏振合成技术能够克服非线性效应、热效应、模式不稳定等多种因素，实现更高亮度的激光输出。然而，该合成技术对光源特性（模式、偏振、谱线）、合成元件特性（动态抖动、热像差）、相位控制系统锁相残差等因素均提出了严格要求，研制难度大。

国防科大刘泽金课题组通过锁相控制系统优化、离焦像差补偿、高精度光程控制，通过四路窄线宽、线偏振光纤放大器的相干偏振合成，实现了 5.02 kW 的近衍射极限合成激光输



出，合成效率达 93.8%。

实验中采用的合成系统结构示意图如图 1(a) 所示。窄线宽种子激光（NBL）首先经过分束器（BS）分为四路，随后依次注入到相位调制器（PM）和光纤延迟线（DL）。各路激光经过 DL 后注入三级全保偏级联光纤放大系统（A1、A2、A3）进行功率提升。放大后的光束经过自主研制的离焦补偿型准直系统（CO）准直输出后参与相干偏振合成。

图 1（a）实验方案示意图。图 1(b) 为四路放大器输出功率与泵浦功率的对应关系，放大后四路激光功率分别为 1.29kW、1.14kW、1.12kW、1.8kW，进一步功率提升受限于泵浦功率。图 1(c) 为合成功率与合成效率随总入射功率的对应关系。当总注入功率为 5.35kW 时，合成激光功率为 5.02kW，系统合成效率达 93.8%。

研究表明，合成激光功率为 5.02kW 时，合成激光光束质量测量值 M^2<1.3，此功率水平代表了当前国际上相干偏振合成系统的最高输出功率。❑

激光雷达

应用参数决定激光雷达系统中激光源的选择

对于用于激光雷达的激光器，一种形式并不适合所有，系统设计人员需要了解其应用的物理环境和性能目标，才能着手选择激光源。

文/Gail Overton

对于服务于自动驾驶车辆行业的光探测和测距（激光雷达）系统与元件制造商来说，并购行为异常活跃，同时也有很多其他行业的企业正在加入激光雷达领域。

“农业部门正在利用激光雷达测绘地形，以引导农民有选择性地分配化肥和杀虫剂。在生物和保护方面，激光雷达用于监测森林冠层高度或森林砍伐。军方使用激光雷达进行自主车辆和无人驾驶指导，识别可能的目标，以及战术的精确测绘。在采矿业中，用雷达测绘挖掘区域，并确定挖除的体积。”RPMC Laser 公司美国西海岸销售经理 Shawn Smith 表示，“对于测量应用，激光雷达测绘建筑物和周边地区以供将来开发，大气激光雷达系统测绘气溶胶和分子的三维分布，以表征从污染到云、风，甚至火山喷发的一切情况（见图 1）。

激光雷达系统用脉冲激光照射目标区域或场景，并测量反射信号返回接收器所需要的时间。激光雷达系统包括激光源或发射器、敏感光电检测器或接收器、同步和数据处理电子器件，以及运动控制设备或基于固态微机电系统（MEMS）的组件，用于精确激光扫描以创建 3D 地图和 / 或邻近数据。

在这些必需组件中，激光本身决定了整体系统性能。“例如，激光光束的质量和发散度决定了激光雷达的横向分辨率 [x，y]，而短脉冲持续时间和时间抖动则对纵向精度产生影响。Smith 说：“脉冲能量是实现长距离的关键参数，而高脉冲重复频率允许更快的扫描速度和更高的数据吞吐量。”

性能考虑

Smith 说：“高峰值功率（几十千瓦到几十兆瓦）脉冲（纳秒范围）固态激光器已经在激光雷达应用中使用了数十年。尺寸和重量、成本、功耗、液体冷却，对冲击和振动的敏感性，以及恶劣环境限制了激光雷达仪器在移动、机载和空间应用中的普遍使用；意大利 Bright Solutions 公司最近开发的新一代高峰值功率、亚纳秒级、空气或传导冷却

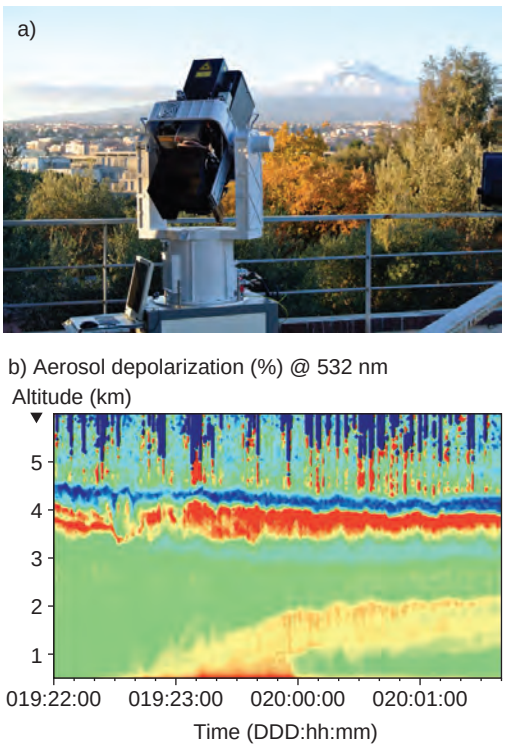


图1：气溶胶多波长偏振激光雷达实验（AMPLE）多波长激光雷达系统使用355nm、532nm和1064nm激光器，具有三个可寻址的输出通道、4mJ能量、1kHz重复频率和1ns脉冲持续时间，以监测埃特纳火山的喷发（a）。通过AMPLE测量的气溶胶去极化的时间演变（b）用于监测离地面6km高的矿物粉尘。

LaserFocusCon
激光聚会 2017

激光技术聚焦中国智能制造

苏州 • 6月　　武汉 • 11月

LaserFocusCon 2017 — 苏州会议：激光技术已成为现代制造业不可或缺的一种加工技术，配合自动化、机器人、机器视觉等技术发展，共同推进中国制造业向智能方向迈进。苏州地区汇聚了无数大大小小的制造企业，都是在追求着更先进的制造技术。苏州，这个重要的制造业基地，让我们的研讨会更贴近用户。

两大主题

- 先进制造环境中的精密激光加工技术
- 大功率激光加工及应用

LaserFocusCon 2017 — 武汉会议：将利用 ACT 媒体集团和《激光世界》杂志连续两年在武汉主办会议，积累了丰富的行业资源，会议可为华中地区的听众提供最新的全球激光技术和应用趋势，并将是一次与行业专家和专业代表交流探讨、联络及巩固关系的绝佳机会。



咨询

姚丽莹 Hatter Yao
hattery@actintl.com.hk
86-21-62511200 / 13917713422

激光世界
LaserFocusWorld® China

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

www.laserfocusworld.com.cn

的调 Q 固态激光器，可消除这些局限性，并提供从紫外（UV）到近红外（near-IR）的各种激光波长。”

对于机载地形测绘，通常使用 1μm 左右的波长，在这种情况下，光束会被扩大到足以被视为人眼安全。对于水深测量（海底和沿海地区的高分辨率测绘），经常使用高能量的倍频 532nm 激光源，因为绿光在纯水中有较高的高透过率，同时受海底颗粒物的后向散射也非常有限。

通常 532nm 到 1μm 的波长在成本和能耗方面都有益处，但是要达到相对较长距离的需求，可以很容易地将激光功率提高到超过 Class 1 激光安全的极限。在这种情况下，如果光束未扩束到可接受的直径（从而增加系统尺寸），使其符合人眼安全的规定，则激光发射可能对人眼造成危害。

在民用和商业应用领域，人眼安全激光器在高性能紧凑型激光雷达中越来越受欢迎。在人眼安全波长中，发射约 1.5μm 的红外激光，通常是检测固体物体时的选择，如地形测绘和避开障碍物。事实上，大气非常透明，探测器在 1.5 μ m 时非常有效。或者，355nm 或更短的 UV 波长是人眼安全的大气激光雷达系统的最佳选择，这里期望来自大气颗粒物的相对高的后向散射系数。

除了波长，要不要考虑脉冲持续时间呢？“理想情况下，”Smith 补充说，“激光雷达设计人员希望达到毫米至厘米的纵向测量分辨率，因此应考虑短脉冲持续时间。然而，非常短的脉冲（几皮秒量级）会导致激光光谱和接收器带宽展宽，从而恶化信噪比。”另外，超过 1ns 的脉冲会产生较低的噪声，但分辨率较差，使得脉冲持续时间在几百皮秒（或亚纳秒）数量级，是高纵向精度和信噪比的最佳折衷。

为了说明一种形式不适合激光雷达的所有激光源，我们来看看两种截然不同的应用：自动驾驶车辆和森林冠层测绘。

自动驾驶车辆激光雷达

根据市场研究公司 ABI Research 最近公布的一项调查结果，2026 年汽车设备的销量将达到 6900 万台。[1] 如法国 Guillaume Canat 公司的研发经理 Frédéric Chiquet 和 Keopsys 集团首席执行官 Marcle Flohic 所说，有两种主要类型的自动驾驶车辆激光雷达系统：3D 闪光激光雷达和扫描激光雷达。

Features	Pulsed laser diode	Fiber laser
Peak power	+	+++
Pulse repetition frequency	+	+++
Pulse duration	++	+++
Beam quality	+	+++
Beam divergence	+	+++
Compactness	+++	+
Reliability	+++	+++
Multi-emission pooling	+	+++
Optical arrangement ease	+	+++
Eye safety	+	++

图2：自动驾驶车辆激光雷达应用中脉冲激光二极管和光纤激光光源的比较。

闪光激光雷达使用广角发射源和广角光学元件，（例如鱼眼镜头）将在单次发射期间获得的背向散射光聚焦到矩阵探测器上，以获得所需的所有飞行时间（TOF）数据来建模车辆周围的区域。相反，扫描激光雷达逐行应对 3D 环境；在每个方向依次发射光，探测器逐一探测相应的回波。人眼安全的激光源必须以脉冲模式运行，足够强大到可以探测到 100m 外穿着深色衣服的行人，工作温度范围 -40~85℃，并发射与 10cm 的测量距离精度相适配的脉冲。

虽然许多激光雷达光源是基于激光二极管的，但是也有人使用无冷却的光纤激光器，并且提供了超过脉冲激光二极管的许多优点，包括使用光纤将高功率光束分光、并传送到多个传感器位置（见图 2）。使用主振荡器功率放大器（MOPA）架构，典型的 1550nm 激光雷达光纤激光器的功率水平分别为 10~15kW

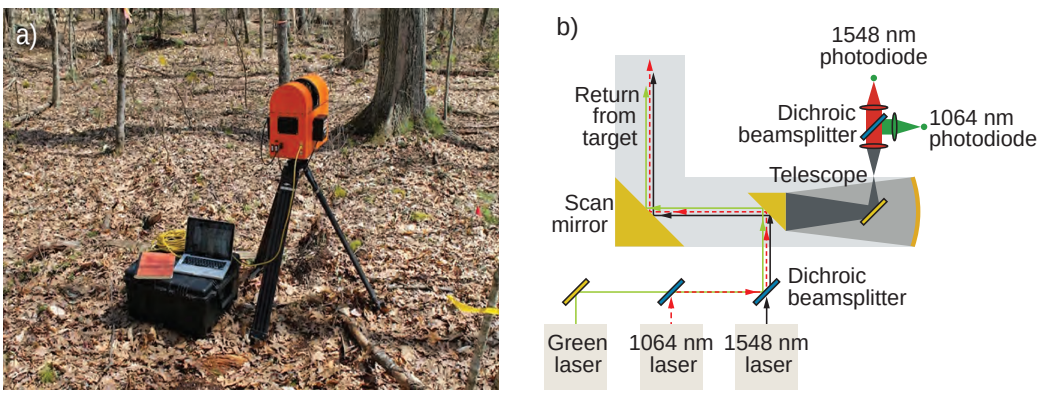


图3：在马萨诸塞州的哈佛森林运行的DWEL激光雷达仪器（a），包括其橙色盒中的所有光学和读出电子设备（b），以及用于管理现场数据的笔记本电脑。



图4：DWEL仪器在1548nm通道中的场景（a）和在1064nm通道中获得的相同图像（b）。

和 200~300W，脉冲重复频率为 5~250kHz。

专用于自动驾驶车辆的脉冲激光二极管，是混合器件。激光芯片安装有由 MOSFET 晶体管触发的电容器。每当晶体管栅极被打开，累积在电容器中的电荷被放电到芯片中，从而发出光脉冲。尽管这种光源具有成本效益，但由于其 905nm 输出容易被硅探测器探测，而不是昂贵的 1550nm InGaAs 光电二极管，激光二极管具有有限的脉冲重复频率和较低的峰值功率，并受到过热效应的限制。

用于 3D 闪光激光雷达的激光二极管光源，基于二极管堆叠技术，其中几个边缘发射巴条组装成垂直叠阵，每层由薄的散热片隔开，限制内部过热。不幸的是，叠阵的非相干叠加会产生高输出功率，通常不能满足 Class 1 的人眼安全要求。而垂直腔表面发射激光器是叠阵更具成本效益的替代方案，其较弱的输出功率限制了其只能用于较短范围的 TOF 应用中。

森林冠层测绘激光雷达

马萨诸塞大学和波士顿大学的研究人员开发出了一种新型地面激光扫描激光雷达仪器，并进行了现场测试，用于记录和检索森林植被的三维结构（见图 3）。

这种双波长 Echidna 激光雷达（DWEL）使用来自同步激光脉冲观察到的植被目标的差分反射（一个在短波红外 SWIR 范围内，另一个在近红外区域），以通过区分树叶和树干来表征森林结构，角度分辨率可以达到 1mrad。[2,3]

基于澳大利亚联邦科学和工业研究组织（CSIRO）获得专利的 Echidna 激光扫描技术，DWEL 使用快速旋转的天顶扫描镜和缓慢旋转的方位平台，以提供角度扫描空间的全面覆盖，6mm 准直光束的发散角为 1.25 mrad、2.5 mrad 或 5mrad。所得到的视场跨越 360° 方位角，仰角为 ±117°。该全波形（与第一次返回不同）激光雷达在其标准分辨率模式（2mrad）下，在约 36 分钟内以方位角旋转 180°，完成全半球扫描。

DEWL 包含绿光激光，允许操作人员可视化光束方向，利用森林中发现的树叶和其他含水材料在 SWIR（1548nm）波段比近红外（1064nm）波段吸收更强的原理，来量化植被用于结构环境应用，允许树叶的返回信号与森林中树干、树枝和其他干燥材料的返回信号分离（见图 4）。

标称激光脉冲长度（5ns 半峰全宽 FWHM）用于提供 2GHz 下数字化返回脉冲形状的完整记录。全波形记录允许通过扫描仪探测远达 100m 的多个目标。0.6μJ 的脉冲能量提供良好的信噪比，同时保持人眼安全标准。仪器外壳内的暗朗伯目标，用于每个扫描镜旋转校准。

返回信号由直径 10cm 的牛顿望远镜收集，其中光束被分光，并且使用窄带干涉滤光片消除带外波长。一对使用 InGaAs 光电二极管放大器的探测器，探测来自每路激光器的返回信号。

相比于大多数其他激光雷达系统，DWEL 的强大之处是其双波长植被识别能力：与 1064 通道相比，在 1548 通道中，含有比木质材料更多水分的树叶显得更暗。对于这种特殊的激光雷达任务，像其他所有行业一样，激光本身对于满足手头应用的独特性能要求至关重要。❑

参考文献

1. See https://goo.gl/Fs4VDH.
2. E. S. Douglas et al., IEEE Geosci. Remote Sens. Mag. (2015); doi:10.1109/LGRS.2014.2361812.
3. G. A. Howe et al., J. Appl. Remote Sens., 9, 095979 (2015).

激光打印

低成本高速激光打印满足消费品和工业部件的要求

脉冲纳秒级MOPA激光器与高速多边形扫描头相结合，可匹配在线和按需生产的打印速度，而不需要墨水之类的耗材。

文/Glenn Stutz，Lincoln Laser公司；Ken Dzurko，SPI Lasers公司

制造商普遍认为包装打印是降低成本所瞄准的一个领域，因为它使用纸质标签或者直接在塑料或金属容器上打印，提供客户产品变化以及生产跟踪。为了应对这项制造挑战，我们进行了一项测试研究，以验证使用新一代高速脉冲需求（POD）主振荡器功率放大器（MOPA）激光器与高速多边形扫描头联用的效果。验证结果解决了消费品（CPG）和工业产品制造商对于在线和按需打印的要求，并且这种方法具备可接受的成本和投资回报率（ROI）。

我们调查的目标包括在塑料、纸张和硬纸板上的直接打印，以及在标签上打印。这种打印的潜在细分市场包括消费品、医疗和制药产品，通用ID（UID）包装和工业产品。通过这种打印过程免去的相关成本包括诸如印刷油墨和喷嘴之类的耗材，拨备劳力和维护及维修费用，以及由于更高的吞吐量而减少的打印生产线。

MOPA POD激光器

可与多边形扫描头一起工作的激光器具有POD功能。这本质上是一项脉冲拾取选项，只有当需要像素时才允许激光输出。除了POD之外，具有脉冲均衡器模式的激光器是最佳选择。这些激光器在当前脉冲之前，可靠地输出与数据流无关的相等能量的脉冲。此外，展示更高频率内部时钟的激光器，当与多边形扫描头一起使用时，在1MHz或更高的数量级提供了最高的像素放置速度和精度。

为了达到性能和价格目标，我们使用了MOPA光纤激光器。该激光器由半导体种子二极管连接到连续密封光纤中的两级串联光纤放大器级，不需要对准或维护。该架构既能提供低功率半导体激光器的灵活性，又能提供光纤激光器的高峰值功率和光束质量，从而形成用于打标的高速光束源。光束质量由光纤波导保证，产生近似衍射极限的焦点，具有快速表面改性所需的高强度以产生打标效果。

在这些测试中使用的MOPA激光器是SPI Laser公司的G4脉冲激光

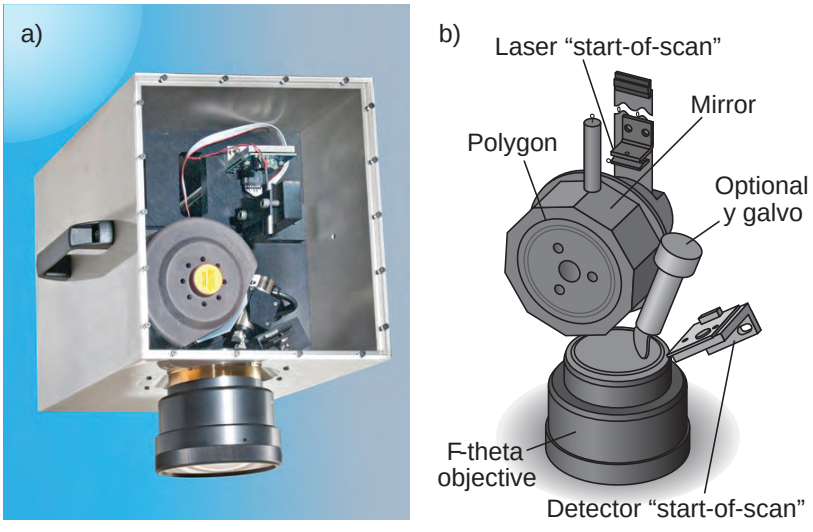


图1：Lincoln Laser公司的POLYtek高速多边形扫描头的内部组件（a）也在示意图（b）中给出。



图2：在测试台中，POLYtek高速多边形扫描头放置在测试框架的中间部分，激光器位于顶部。f-theta透镜朝下，面向位于其正下方的测试台。目标放置在下面的测试台上。控制器软件在笔记本电脑上运行。

器。G4 激光器集成了 PulseTune 技术，其提供调节脉冲参数（持续时间、峰值功率、重复频率）的能力，以满足目标材料的打标或加工敏感性。G4 激光器以经济的价格提供了灵活的激光源。

2MHz、50W EP-S-J 型号的激光器具有良好的光束质量、高脉冲重复频率和高峰值功率，与多边形扫描头技术的高速扫描速率匹配良好。光纤组件的光学系统密封在紧凑的空气冷却平台中，无需光学设置或维护。

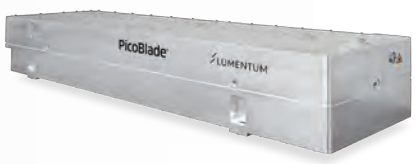
高速多边形扫描头

用于实现速度、精度、对比度和成本目标的扫描头是 Lincoln Laser 公司的 POLYtek 高速多边形扫描头。这种通用的可配置扫描头，包括与传统的基于振镜的扫描头相似的整体控制器和打标软件。该扫描头的关键部件（允许高速打印像素）是多面镜，转速高达 4000 rpm。通过使用积分振镜选件或诸如移动台的平移装置，来提供 Y 方向上的相邻线的线间距。

该系统以光栅扫描模式工作，多边形扫描头提供高速 x 轴，振镜

LUMENTUM

超快异型材料加工
——降低系统设计成本!!



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

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

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

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

提高先进制造的效益

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

提供低速 y 轴。内部的 Cambridge Technology 振镜将打印的文件内容移动到下一行，从而无需外部平台来移动目标。

光点重叠可以在每个轴上单独控制。对于该测试，POLYtek 高速多边形扫描头使用 10 面镜和可更换的 150mm 焦距扫描镜头，在目标上产生 25μm 的 $1/e^2$ 光点尺寸。扫描头可配置为高达直径 15mm 的光学孔径，和 70~350mm 焦距的 f-theta 扫描镜头，以及根据应用要求从 10 个到 14 个面的多面镜。图 1 描绘了扫描头的内部视图。

Winlase 控制器软件通过多边形扫描头驱动的定时信号配合内置的扫描子系统，以栅格化模式输出数据。该应用程序将数据流与多面镜的位置同步。通过运动控制器在 X 线扫描轴上实现了速度稳定性以及低抖动的控制。

用于打标塑料、金属和纸张的最常用波长是 10.6μm 和 1064nm，使用这些波长的打标 / 打印涉及的过程本质上是热过程。[1] 激光能量被目标吸收并对局部加热，通过漂白、碳化或烧蚀材料来获得打标效果。在测试中，使用的是 MOPA 1064nm 激光器，其重复频率为 2MHz，焦距为 250mm，场尺寸为 20mm × 20mm。

测试方法

测试实验室设在位于美国 Laser Mark 公司的工厂，对实际生产车间的特性和物理参数进行建模，用于按需或在线直接打印到塑料容器或包装材料上。MOPA 激光器安装在框架的顶部（见图 2）。该激光器能够以高达 2MHz 的重复频率，产生 70nJ 的 9ns 脉冲。设备的平均功率为 50W。

激光器的重复频率经过优化，以便调整脉冲能量获得最佳对比度的打标。使用两个 90° 的折叠镜，将激光输出提供给高速多边形扫描头。在第二个折叠镜和扫描头之间使用了扩束器，以扩大进入扫描头的光束尺寸。

为了使测试与打印的典型喷墨图像具有可比性，测试过程打印了一幅代表性的 QR 码以及一些文字。图 3 所示为分辨率 300dpi 的位图（.bmp）



图3：加载到POLYtek高速多边形扫描头测试程序中的典型测试内容的图像。内容被转换成位图文件，然后通过用户控制面板加载到程序中。

文件格式上传到扫描头的 OS 程序中的内容示例。测试目标是在 0.2s 内打印完整的图像。

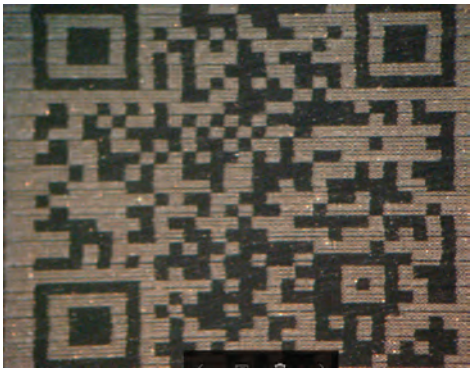


图4：激光打印的图像可以从12英寸的距离处容易地读取，并且QR码可以由典型的手持式QR码读取装置读取。

测试结果

在执行重复频率和激光功率水平的迭代试验之后，在可重复的基础上，在目标时间内打印合适的打印图像。肉眼可以从 12 英寸的距离处容易地读取这些打印的图像，并且 QR 码可以由典型的手持 QR 码读取装置读取（见图 4）。

目标上的最佳光点尺寸为约 25μm 的 $1/e^2$。为了在目标上获得理想的对比度，需要约 70μJ 甚至更高的脉冲能量。通过使用互补添加剂，降低对激光能量的需求，进而得到更高的打标速度，以及具有最佳打印色彩的增强对比度。[2]

考虑到光点尺寸、焦距和多面镜特性，以及 MOPA 激光器的内容文件和配置优化，可能需要获得这些打印参数。该图像在快速扫描轴上和慢速扫描轴上的像素位置重复性分别为 ±20μm 和 ±10μm。

使用 MOPA 1064nm 激光器结合高速多边形扫描头的测试结果表明，这种方法能够实现理想的 ROI，并且满足打印规格目标，使得该技术与传统的喷墨打印生产线相当，但无需耗材或紫外固化，并且打印速度要快得多。

灵活性是用激光打标和打印的另一项关键应用考量。[3] 具有高速多边形扫描头的适当的 MOPA 激光器，提供允许在线和按需打印不同信息、直接打印到目标或标签上的打印速度。❑

参考文献

1. J. Heller, "Precision laser marking for medical applications," Industrial Laser Solutions for Manufacturing, 30, 6, 28-30 (Nov/Dec. 2015).
2. S. R. Sabreen, "Laser marking plastics," Industrial Laser Solutions for Manufacturing,http://bit.ly/2hLL7C6 (Jan. 2008).
3. D. Belforte, "PhotoScribe laser enables marking of 410,000 pills per hour," Industrial Laser Solutions for Manufacturing online, http://bit.ly/1DqhC9i (Jul. 22, 2014).

TRUMPF

工于精巧，锐不可当

通快新一代智能碟片激光器 TruDisk 系列全新发布



通快（中国）有限公司

江苏省太仓市南京东路68号　邮编 215400
电话 +86 512 53287700　传真 +86 512 53287751
邮箱 info@cn.trumpf.com　网址 www.cn.trumpf.com

2017 北京•埃森焊接与切割展览会

时间：2017.6.27-6.30
地点：上海新国际博览中心
通快展位号：N5-444

关注通快官方微信

非金属加工

薄脆性非金属材料的激光加工

文/Rossie Pang

激光作为一种先进的加工工具，已经越来越广泛地在工业生产中发挥着举足轻重的作用。随着激光技术自身的不断发展完善，其凭借着在加工质量、加工复杂度、加工效率及清洁环保等优势，不但在不锈钢、铜、合金等各类金属材料加工中获得青睐，而且也正在玻璃、陶瓷、蓝宝石、半导体硅晶圆、PCB 板等各种非金属材料加工中突显出独特优势。

薄脆性材料的加工挑战

在非金属加工领域，薄脆性材料的激光加工备受关注。随着智能手机、LED 照明、平板电脑、以及可穿戴设备等消费电子产品的不断发展迭代，玻璃、蓝宝石和陶瓷等材料，凭借着自身具备的独特优质属性而获得了广泛应用，比如坚硬的钢化玻璃用作于智能手机的显示屏；坚硬且化学性质稳定的陶瓷用于制作电子零部件衬底和绝缘材料；坚硬耐划的蓝宝石用于 LED 衬底、手机摄像头保护玻璃、智能手机显示屏、智能手表的盖板玻璃等。

在这些应用中使用的玻璃、蓝宝石或陶瓷等材料，厚度通常较薄，硬度越来越高，非常易碎。而在加工要求上，上述应用通常需要在这些薄脆易碎的材料上实施非常精密的切割、钻孔甚至开槽等加工过程，这使得传统的铣、钻、磨等机械加工工艺面临着极大的挑战，因为材料极薄极脆，加工过程中因接触而施加到材料上的任何应力，都可能导致材料碎裂，最终报废。

然而，传统机械加工方式所面临的挑战，却为非接触性的激光加工带来了更多机会。

超快激光应对加工挑战

玻璃、陶瓷、蓝宝石等薄脆性非金属材料的精密加工，通常使用超快激光。超快激光脉冲持续时间极短，在纳秒、皮秒甚至是飞秒级别，将适度的激光能量作用在材料表面，通过打断材料的化学键而实现材料去除目的，在这个过程中，激光能量还来不及向加工范围周围传递，加工过程便已结束，因此产生的热量几乎可以忽略不计，材料不会产生热损伤。

随着这些脆性材料在 LED、智能手机、可穿戴设备等产品中的应用越来越多，致力于这类脆性材料加工的激光器、激光系统及相关科研机构也不断增多，他们的努力也促进了这类脆性材料激光加工技术的不断发展。以下简单整理了一些相关方案，希望对读者有一定参考。

（一）汉诺威中心的薄片玻璃钻孔方案

2016 年 12 月初，德国汉诺威激光中心（LZH）和德国巴伐利亚激光中心（BLZ）联合举办了一场主题为“玻璃材料的激光加工”的研讨会，主要探讨激光玻璃加工领域的最新发展与趋势。

当前，激光玻璃加工领域的发展快速，一些创新的加工过程和系统，正在使薄片、平板和管状玻璃产品的加工不断进步。

研讨会上，汉诺威激光中心由 Philipp von Witzendorff 领导的一个研究团队介绍了一种新颖的薄片玻璃钻孔方案，其将单个脉冲与不同的脉冲持续时间相结合，成功避免了钻孔过程中在玻璃边缘出现碎片，加工出的表面非常光滑，能力成功化学强化薄



图1：利用激光实现薄片强化玻璃的精密钻孔（图片来源：LZH）



图2：Spectra-Physics的高功率工业皮秒混合光纤激光器IceFyre（图片来源：MKS Instruments）

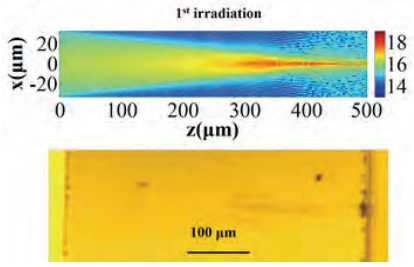


图3：德龙激光的皮秒激光应力诱导加工设备，在蓝宝石切割过程中累积的光强的分布。（图片来源：德龙激光）

片玻璃的钻孔，如用于手机屏中的强化玻璃。

汉诺威激光中心新开发的玻璃钻孔工艺，比水射流方式更具成本效益，并且还能加工厚度 4mm 的玻璃。汉诺威激光中心在玻璃加工方面的创新，将为消费电子等产品提供有价值的推动力。

（二）万机仪器的皮秒混合光纤激光器 IceFyre 将改变行业游戏规则？

在玻璃 / 蓝宝石加工方面，万机仪器（MKS Instruments）旗下的光谱物理业务部门（Spectra-Physics）在这方面实力不俗。早在 2015 年 12 月，光谱物理就针对化学强化玻璃、非强化玻璃和蓝宝石的快速高质量切割应用，推出了 ClearShape 飞秒激光器，其能够达到 1m/s 的切割速度，并且切割边缘无毛边碎屑，边缘粗糙度 Ra <0.1μm。

在今年 2 月的 Photonics West 展会上，Spectra-Physics 首次亮相的紧凑型高功率工业皮秒混合光纤激光器 IceFyre，堪称是一款改变游戏规则的产品——集高功率、短皮秒脉冲以及前所未有的通用性、重于一身复频率可调、可编程的皮秒脉宽灵活性和脉冲按需触发等诸多功能及成本优势于一身。IceFyre 在 1064nm 波长处提供 > 50W 的平均功率和高达 > 200μJ 的脉冲能量，可调节的重复频率范围从单发脉冲到 8MHz，加之灵活的脉冲编程能力，是精密加工蓝宝石、玻璃、陶瓷、塑料及其他材料的理想光源。

IceFyre 在性能、成本、尺寸和可靠性方面的表现，是否如其所愿能够改变工业微加工激光器市场的游戏规则？我们拭目以待。

（三）德龙激光的激光应力诱导切割技术

国内厂商德龙激光，凭借着其自主研发的激光应力诱导切割技术，在非金属精密加工方面也有着不错的表现，几年前其 LED 芯片划片机曾在国内市场占据大量份额。最近几年，智能手机等消费电子产品的发展，驱动蓝宝石和强化玻璃加工市场走俏，德龙激光的业务领域也随之拓展。

在对德龙激光总经理赵裕兴博士的一次采访中，赵博士详细介绍了激光应力诱导切割技术。它将短脉冲激光光束透过材料表面聚焦在材料中间，短脉冲激光极高的瞬时能量，在材料中间形成改质层，从而使被切产品达到断裂效果。这是一种全新的激光切割工艺，具有速度快、不产生粉尘、无基材耗损、所需切割道小、完全干制程等优势。

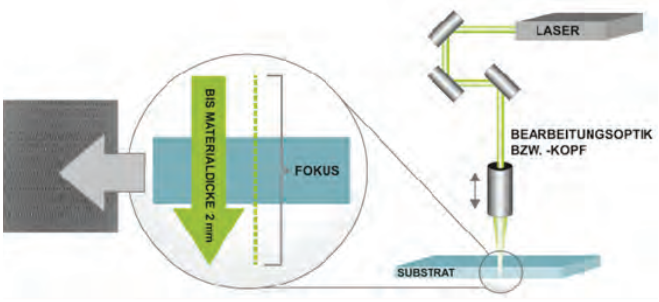


图4：亚智科技的M-Cut激光切割工艺，基底材料能被线性地“穿透”。（图片来源：亚智科技）

德龙激光自主研发的皮秒激光应力诱导加工设备，在蓝宝石和玻璃等材料的切割方面，收获了成功，相比于传统的机械切割，在切割效率、切割成本上、材料损耗、产品产出和产品性能方面都有稳步提升。

（四）亚智科技的 M-Cut 切割工艺

M-Cut 是亚智科技开发出的一种改性切割工艺，其以类似穿孔的方式修改材料基板。M-Cut 工艺的光源中具有特别调整的光学系统，形成改良的光束源，能够纵向聚焦形成线性的切割痕迹。这种切割工艺产生的切割界面的粗糙度低于 0.5μm，可免去对切割边缘的昂贵研磨抛光工作。

M-Cut 适用于切割各种强化玻璃及蓝宝石等脆性材料，切割 0.5mm 厚的玻璃时，切割速度可达 1m/s ；不会产生崩边、破裂，切割边缘粗糙度值低于 0.5μm，不需要抛光。此外还能提高切割后玻璃的抗裂度。M-Cut 工艺可以切割不同几何形状的工件，甚至能以 90° 角切割转角，是一把灵活的激光刀。

（五）罗芬的 SmartCleave FI 切割工艺

罗芬针对蓝宝石和陶瓷等脆性材料加工，除了其使用脉冲光纤激光器的熔融切割技术之外，其 SmartCleave FI 激光切割工艺，自从 2014 年推出以来，已经在工业生产和一些利基市场中获得了成功应用。这种切割工艺，能在加工



图5：罗芬SmartCleave FI激光加工工艺实现的薄片玻璃切割与钻孔。（图片来源：罗芬激光）

下转第43页

光纤激光器

单晶光纤在超短脉冲激光器中放大功率

传统的块体MOPA放大有许多不足，目前正通过下一代高功率超短脉冲光纤激光器的单晶光纤技术来解决这些问题。

文/Daniel Guillot，Julien Didierjean，Patrick Beaure D'augeres; Fibercryst公司

在激光微加工应用中，短脉冲提供精确的高平均功率，能够实现更高的处理速度，而高能量则提高了加工吞吐量。短脉冲可以容易地实现，但是在能量或平均功率方面的提升更具挑战性。例如，光纤内的非线性效应限制了放大期间的峰值功率。

在短脉冲或超短脉冲（USP）激光器中实现更高功率的公认解决方案，是通过主振荡器功率放大器（MOPA）架构，使用各种技术和材料来影响放大。下一代 USP 激光器依赖于新颖的基于光纤的架构，以克服传统块体和光纤放大器的不足。

放大比较

由于在增益介质内部产生强烈畸变的热透镜效应，块体晶体放大器受到光束退化的影响。由于这个基本限制，高功率放大器的几何形状已经发展演进，以改善这些材料内部的热管理。

由于增益介质的厚度较薄（约 100μm），薄碟片单程的增益有限。因此，只能通过多程或再生技术实现有效放大。

多程放大器使用精细的光路使光多次穿过激光晶体，而再生放大器则使用昂贵的电光调制器作为复杂光束切换过程的一部分。尽管存在缺点，但是薄片放大器可以产生非常高的千瓦级输出功率，并且是最终放大级的理想选择。

虽然由于其高增益，可以在板条放大器中实现高达千瓦级的极高平均功率，但所使用的之字形光路会引入椭圆度并降低光束质量。

除了用于产生短脉冲的块体替代方案之外，基于光纤的放大器通常使用大模场面积光纤（LMA）或大模场面积光子晶体光纤（PCF LMA），而棒状 PCF 可实现更高的峰值功率。

市售光纤的最大芯径为 85μm，传播模式为 650μm，即使掺杂水平较高，长度也约为 1m。超大纤芯和极低数值孔径的光纤设计，输出衍射极限光束，但会导致系统体积较大，灵活性降低。

引导泵浦和引导激光模式之间的重叠，产生良好的光学效率。可以实现平均功率高达 200W、光束质量良好的输出；尽管在更高功率下，热光效应可以显著影响波导机制。这些扰动导致 LMA 光纤在高功率下还支持高阶模式，这使得光束质量劣化，并最终使输出光束在毫秒级上波动（横模不稳定性）。在工业激光系统中，棒状光纤的峰值功率通常限制在 1MW 左右，以避免非线性效应。

在飞秒光纤激光器中，啁啾脉冲放大（CPA）减缓了这一局限性，并能实现基于 400μm 纤芯柔性 PCF 光纤的高功率系统。然而，峰值功率限制迫使采用相应的压缩器实现大的展宽比，这又增加了成本和系统尺寸。

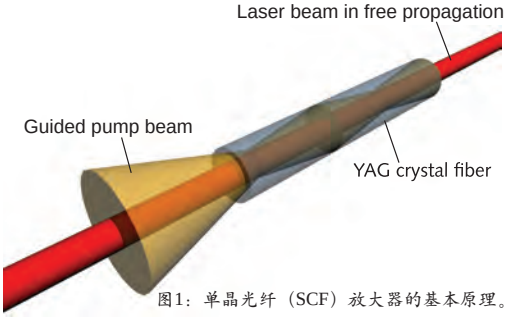


图1：单晶光纤（SCF）放大器的基本原理。

单晶光纤

单晶光纤（SCF）通常为单晶钇铝石榴石（YAG），长度大，直径小，导光性能好。

激光加热基座生长（LHPG）技术可以生产小直径光纤（约 1000μm），并且通过不断改进，目标是实现与用于高平均功率激光系统的经典光纤类似的纤芯 / 包层结构。然而，这种结构的制造是尚未实现的艰难挑战，特别是在需要维持线偏振的情况下。尽管与传统光纤相比，相互作用长度减小，但是在任何情况下，所得到的结构在高峰值功率脉冲方面仍然受到与石英光纤相同的限制，并且由于 YAG 材料更高的非线性性质，这些问题将进一步恶化。显然，这并

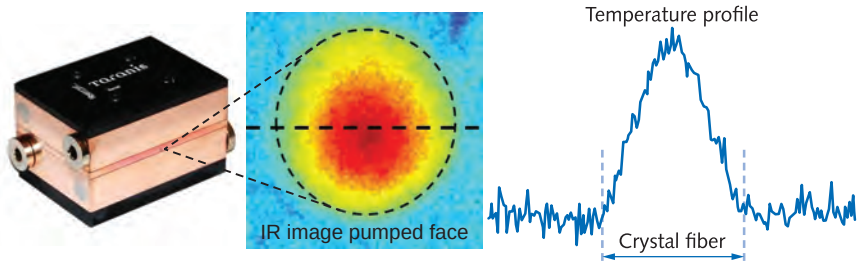


图2：集成在Taranis模块中的单晶光纤的泵浦面的红外成像（左），水冷，并且比块体晶体放大器设计更有效。

不是超快高功率放大器的解决方案。

采用微下拉技术，已经生产了直径为 1~2mm 的较大 SCF，能够维持兆瓦峰值功率，使其成为高能量短脉冲放大的理想选择。

SCF放大器

用于放大的优选配置使用直径 1mm、长度约 30~50mm 的掺钕或掺镱的 YAG SCF。Yb：YAG 介质是 USP 激光系统的首选，因为它具有更大的吸收和发射带宽、更高的上激光能级寿命和每单位泵浦功率较低的热负荷。

商业 SCF 放大器，如 Taranis 激光增益模块，使用一种特定的泵浦方案：泵浦光束聚焦在晶体内部（而不是其表面上）直径为 400μm 的点处，并且深度足以使放大器输出最大化。然后通过全内反射引导高度发散的光束，并在增益介质中重新聚焦（见图 1）。

根据泵浦的亮度，泵浦的初始聚焦点沿光纤长度成像数次。为了获得优异的光束质量，泵浦光束在增益介质中传播时与激光束保持共线，从而避免了出现在板条或薄碟片中的离轴像差，如像散。

与块体晶体相比，掺杂水平通常低一个数量级，而长度通常大一个数量级。没有泵浦导，由于泵浦的高度发散，这些差异是无效的。然而，通过泵浦导引，这种大长度 / 低掺杂程度比，使得沿着晶体光纤整个长度的泵浦吸收增加，从而降低了增益介质中的热应力。

MOPA 配置中的单晶光纤，已经在现场证明了它们的效率和灵活性。实际上，Fibercryst 公司生产的 Yb：YAG SCF 增益模块在 940nm 下被泵浦到 600W，没有损坏，远远高于通常块体晶体的典型泵浦水平。[1]

冷却在数百瓦的泵浦功率下的 1mm 直径 YAG 棒并不容易，但 Tarranis 模块完成了这一壮举，该技术专利是由 Fibercryst 公司和 CNRS Laboratoire Charles Fabry（LCF） 公司的专利实现的，将晶体光纤直接集成入金属底座。冷却效率非常高，热交换系数为 5W/cm^2/K，比典型的铟压方案高 5 倍（见图 2）。

泵浦晶体光纤中的热梯度是径向对称的，即使在高功率下也能保证优异的光束质量。已经展示了 140W 的高平均功率，这还没有达到 SCF 技术的极限。[2]

高平均功率和高能量

在棒状放大器中，激光模式的典型表面为 3000μm^2。包括自相位调制（SPM）或拉曼干涉在内的非线性效应，会在高峰值强度在长相互作用长度下的如此小的表面传播时，迅速出现。

然而，在典型的 SCF 放大器中，由激光模式覆盖的表面大 50 倍，因此可实现高得多的峰值功率。高增益、



AMTS
Shanghai Int'l Automotive Manufacturing Technology & Material Show

上海国际汽车制造技术与装备及材料展览会

Shanghai International Automotive Manufacturing Technology & Material Show

材料 Materials	设计 Design	工艺 Processing	装备 Equipment	质量 Quality	装配 Assembly	工程 Engineering	服务 Service



中国汽车装备第一展

The leading Exhibition for Automotive Manufacturing in China



SINCE
2004

► 2017.9.5-9.8

上海新国际博览中心E1-E7馆

800+ 展商　80,000+ 专业观众

80,000+ 平方米展示面积

参展热线：

Tel: +86-021-64681300/64681550

Email: info@for-expo.com

关注AMTS官方微信
获取更多展会信息

forever 恒进展览

www.shanghaiAMTS.com

小长度和大光束直径的组合已经展示了大约 30dB 的小信号增益，以及高达 50MW 的峰值功率。

作为改进的“块体晶体”放大器，SCF 技术保持了通常块体放大器的所有优点，特别是它们在许多不同的重复频率、脉冲持续时间和种子功率下独立运行的能力。可以使用相同的 SCF 放大器，无需调整，放大从几千赫兹至≥ 20MHz 的脉冲种子激光，或从几十纳秒到几百飞秒的种子激光。已经成功地展示了从几百毫瓦的种子功率放大到几十瓦（见图 3）。[3,4]

典型的工业单程 Yb：YAG SCF 放大级，只有六个光学元件组。这与碟片或板条技术相比是有利的。

SCF 放大器已经与各种种子激光器一起使用，以显示设置的灵活性和简单性。例如，我们报告一种基于 SCF 和分离脉冲放大（DPA）设置联用的架构，专用于高能量，能以 12.5kHz 的重复频率提供能量为 2mJ 的 6ps 脉冲。

对于高平均功率应用，已经获得了具有 20MHz 重复频率和 750fs 脉冲宽度的无 CPA 的 100W 系统。[5] 在两种配置中，输出光束质量优异，M^2 值小于 1.2。[6]

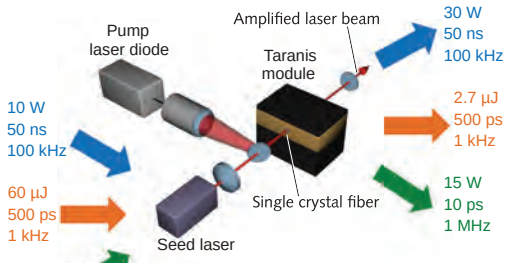
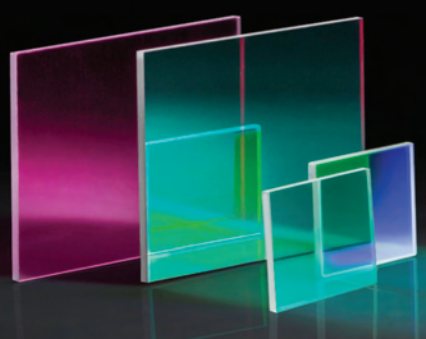


图3：使用各种不同的种子激光器，基于单晶光纤（SCF）的Taranis模块产生具有各种相应性能水平的放大脉冲。

在级联和飞秒光纤种子中使用 SCF 放大器，Fibercryst FEMTO25 工业激光器具有非常大的工作范围，具有优异的 M^2 和椭圆度。该激光器每脉冲的能量可以即时改变以用于工艺开发，并且激光器的整体模块化适应于任何应用。❑

参考文献

1. X. Delen et al., Opt. Lett., 37, 14, 2898 (2012).
2. S. Piehler et al., Opt. Express, 21, 9, 11376 (2013).
3. I. Martial et al., Opt. Express, 19, 12, 11667 (2011).
4. X. Delen et al., Opt. Lett., 38, 2, 109 (2013).
5. F. Lesparre et al., Opt. Lett., 40, 11, 2517 (2015).
6. F. Lesparre et al., Opt. Lett., 41, 7, 1628 (2016).

光学启迪高级诊断
TECHSPEC® 高性能荧光二向色滤光片

• 改善平面度，透射波前和表面质量
• 非常适用于荧光显微镜或高倍率成像应用
• 最常见的荧光和长波通二向色滤光片截止波长
爱特蒙特光学(深圳)有限公司
中国深圳市龙华工业东路
利金城科技工业园3栋5楼，518109
电话: +86 (0755) 2967 5435 电邮: chinasales@edmundoptics.cn
Edmund 75 YEARS OF OPTICS
www.edmundoptics.cn/057-8617

超快激光

新建成的大连自由电子激光装置是世界上最亮的极紫外光源

对于新建成的极紫外自由电子激光装置而言，超快激光系统是其重要组成部分。利用极紫外自由电子可以开展一些独特研究，探索分子、团簇和气溶胶的电子结构和化学动力学。

文/Joseph Henrich，Marco Arrigoni，卢兴发；Coherent公司

简介

自由电子激光装置（Free Electron Laser）是一种无与伦比的工具，它可以获得飞秒或皮秒脉宽的相干激光输出，其波长的调节范围、峰值功率，都是任何其他方法无法实现的。迄今为止，自由电子激光的研制主要瞄准输出波长尽可能短的激光脉冲，比如低至 1nm 的 X 射线波段。相比之下，中国科学院大连化学物理研究所在建的自由电子激光装置（大连相干光源），是专门针对极紫外波段的自由电子激光装置，输出 50~150nm 的波长可调谐脉冲。大连相干光源得到了国家自然科学基金委员会的资助。大连相干光源输出脉冲的重复频率为 50Hz，并且能够针对窄线宽或短脉冲宽度的应用需求进行优化，为开展光化学和物理化学的创新研究奠定了基础。由于大连相干光源能够提供无与伦比的高强度脉冲，因此可以在密度极低的样品（即气相分子、团簇和气溶胶）开展研究。在本文中，我们将介绍超快激光系统在支持大连相干光源运行、以及在利用大连相干光源开展研究（例如泵浦 / 探测）中发挥的重要作用。这些研究涉及众多领域，包括提高燃烧效率、表面催化、温室效应和雾霾形成等。

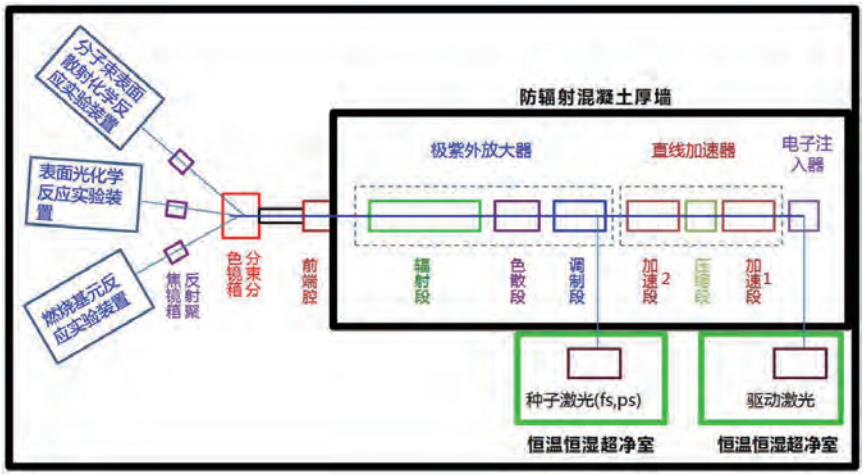


图 1：大连相干光源示意图。涉及到两套超快激光系统：驱动激光和种子激光。另外在试验站还会涉及到其他超快激光系统，以实现泵浦/探测试验。

自由电子激光基础知识

与其他任何类型的脉冲激光器相比，自由电子激光装置不仅体积要大几个数量级（最长可达千米量级），而且复杂程度更高，但基本原理类似。自由电子激光利用电子束作为增益介质。具体来说，就像同步加速器的工作原理，加速和减速高速运动的电子，就会发射电磁辐射。在自由电子激光中，该机制被用来实现相干、短波长、超短脉冲输出。

图 1 展示了新建的大连相干光源的主要组成部分。首先，电子注入器产生皮秒量级的电子脉冲，然后电子脉冲通过强电场进行加速。接近光速运行的电子束被压缩后通过波荡器。波荡器由垂直于电子运动方向的一系列周期性排列的磁铁组成（见图 2）。这些磁体的极性交替变化，从而导致电子沿正弦路径加速，从而发射电磁辐射。在自由运行条件下，发射的辐射会反过来对电子的能量和密度进行调制，从而形成以辐射波长为间隔的“微束团”。然后，微束团会以这一波长相干辐射。（在某些注入种子



图 2：波荡器。

的运行模式下，产生的自由电子激光辐射波长也可能处于微束团间隔的约数，例如微束团间隔的一半，见下文。）随着光强增加，电子束会变得更加紧密，这会增加增益并会让电子束变得更加紧密，如此不断进行。最佳自由电子激光的条件在最短的距离内达到饱和输出。

在自由运行的自由电子激光中，发射波长主要取决于波荡器周期、磁场强度和电子能量等。因此，可以通过改变电子能量、波荡器配置等实现在非常宽的范围内调节波长。实际中，针对目标波长范围，波荡器和其他硬件均会进行优化。就大连相干光源而言，目标波长范围为 50~150nm。加速场产生约 300 百万电子伏（MeV）的电子能量，然后输出波长可以通过更改波荡器的间隙来进行调节。

钛宝石超快激光放大器驱动电子注入器

自由电子激光要产生高脉冲能量，首先需要很高的束流强度。产生高亮度电子束的一种成熟方法是使用脉冲激光轰击光阴极，通过光电效应产生电子束。通过控制激光脉冲的时序，这也可以精确地优化电子离开光阴极的时间，让电子束脉冲与加速器的其余部分紧密同步。此外，通过对激光脉冲的横向和纵向整形，还能实现对初始电子束空间和时间分布的优化。

大连相干光源采用铜阴极的电子注入器。当使用基于钛宝石的超快激光放大器的三次谐波轰击时，铜能在可靠性（不易损坏和受污染）和量子效率之间取得良好平衡。大连相干光源采用定制化的商用放大器 Legend Elite Duo HE+。该放大器由相干公司制造，出厂配置为固定 780nm 输出，即三次谐波波长为 260nm，脉宽约 1ps。正如这款钛宝石超快激光放大器的名字所示：Duo，该款放大器包含两级放大。它的出厂优化工作频率为 100Hz，可选工作频率为该优化频率的约数，即 50Hz、25Hz、20Hz 等。无论是第一级放大（再生）还是第二级放大（单通），均采用调 Q Nd:YLF 激光器（相干公司 Revolution 系列）泵浦，单脉冲能量分别为 30mJ 和 45mJ。

中国科学院大连化学物理研究所的吴国荣研究员表示：“我们之所以选择这款放大器系统是出于几个原因。首先，这款放大器的早期版本被美国的 LCLS 和意大利的 FERMI 这两个知名的自由电子激光装置采用，获得了比较好的使用记录。另外，只需在工厂稍加定制，就能满足我们所有的指标要求。这样一来，我们不仅得到了定制系统的高性能，而且还拥有标准产品的可靠性、稳定性（例如指向稳定性、能量稳定性）和较低的成本。另外，相干公司在中国拥有一支强大的本地化服务团队，服务及时可靠；大连相干光源是国家加大基础研究投入资助的科学装置，将来会有国内以及世界各地的科学家来进行合作研究。我们绝对不容许因为任何原因造成长时间宕机。”

自放大自发辐射（SASE）和高增益谐波发生（HGHG）工作模式

与许多其他类型的激光器一样，

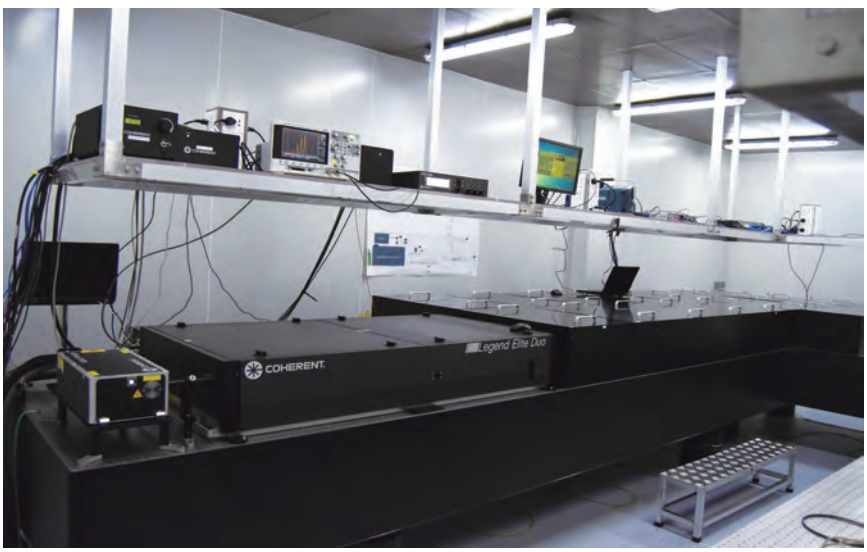


图 3：大连相干光源驱动激光系统。

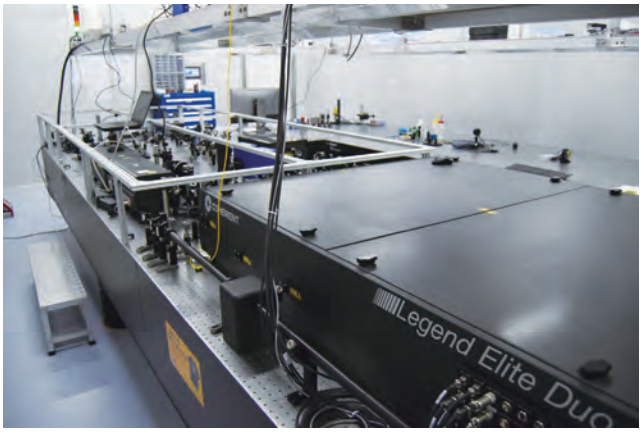


图 4：大连相干光源种子激光系统。

像大连相干光源这样的自由电子激光装置既可以在自由运行放大模式下工作，也可以在接受外部种子注入控制的模式下操作。在自由电子激光中，自由运行的工作模式叫做自放大自发辐射（SASE）模式。在这种模式下，自由电子激光输出是从噪声开始放大起来的。SASE 工作模式能够提供具有高峰值功率和可调谐中心波长的辐射脉冲。然而，输出的时间（纵向）相干性通常有限，并且脉冲能量抖动比较大。

由于在大连相干光源的研究应用中，有很多实验要求最大时间分辨率或者最高光谱分辨率，因此大连相干光源设计人员需要采用其他方案来产生全相干的输出。为了引入时间相干性和 / 或窄线宽性能并且提高脉冲能量稳定性，利用外部激光进行种子注入是一种广泛使用的方法。这需要使用具有一定脉冲能量，全相干的光源来做种子。自由电子激光面临的挑战是，它工作的目标波长范围是其他任何类型的激光器难以或根本无法企及的，因此这种简单的常规种子注入方法往往很难。

幸运的是，近二十年前成功提出的高增益谐波发生（HGHG）的种子注入模式能够克服这一障碍。在 HGHG 模式中，自由电子激光种子注入使用的不是目标输出波长，而是这一波长的整数倍。自由电子激光电子束中的微束团以种子激光波长密集形成，但是能够产生种子激光的谐波并得到放大和饱和输出。因此，假设一款基于钛宝石的激光器系统拥有 400nm 倍频输出，那么它可以在 HGHG 模式下用来产生 200nm、133nm、100nm、80nm 等波长。

与驱动激光一样，大连相干光源团队再一次选择了使用以 800nm 标准波长工作的改进型商用钛宝石系统（相干公司 Legend Elite Duo HE+）作为种子注入激光器。不过，这套系统既包含产生 400nm 和 267nm 固定输出的三倍频系统，也包含光学参数放大器（OPA）（Light Conversion TOPAS）以提供波长可调的输出，从而支持产生波长可调谐的自由电子激光输出。吴国荣研究员表示：“这套放大器系统已经在实践中得到了其他采用 HGHG 模式的自由电子激光装置的检验。我们大连相干光源使用这套系统的主要原因是它非常灵活，特别是能在飞秒和皮秒两个模式下切换。使用可调谐 OPA，Legend Elite 将以 1ps 脉宽运行，从而实现自由电子激光的窄线宽输出。为了覆盖 50~150nm 调谐范围，OPA 将运行在 240~360nm 波段。自由电子激光输出脉冲预期会接近变换极限（< 30cm^{-1} @1ps）。对于注重时间辨率的实验，我们将利用以 100fs 模式运行的 Legend Elite 放大器的倍频输出（400nm 或 267nm）进行 HGHG 种子注入操作。这样将能让自由电子激光在 HGHG 模式下输出 133nm、100nm、89nm、80nm、67nm、53nm 和 50nm 等波长。”

多样化研究

与其他自由电子激光装置一样，大连相干光源得到了科研资金大力支持，旨在建设成为一个向世界各地的科学家开放的平台。大连相干光源的 50~150nm 波长可调范围，窄线宽和超短脉冲两种运行模式为尽可能多的研究者提供了工具。研究范围既包括基础科学研究（如光化学和化学反应动力学），也包括具有重要潜在价值的实用研究（如表面催化和大气污染）。例如，中国和其他工业化国家 / 地区对解决雾霾问题的需求越来越强烈。大连相干光源规划开展的一些光化学研究有望增进对雾霾中大气气溶胶形成过程的了解，为设法让雾霾消散提供依据。反过来，它也能帮助确定提高燃烧效率的策略、以其他途径减少烟雾的形成，同时最大限度地减少任何负面经济影响。

总结

大连相干光源是一个重大建设项目，旨在通过提供一个工具，在重要的基础层面上延伸我们对光化学和化学物理学的理解。不过，像许多其他“大科学”事业一样，它的建设者没有选择完全定制的组件，而是通过基于一些现有成熟的商业化产品，做最小的定制，来更经济、可靠地完成项目、取得更好的成果，并且缩短了建设时间。❑

深圳国际电子展
ELEXCON 2017

暨第六届深圳国际嵌入式系统展
EMBEDDED EXPO 2017

从元件到系统、从设计到制造

跨界融合，电子+汽车+工业+物联网

50,000+专业观众，**1,000+**展商，**60,000**㎡展示面积

2017年12月21-23日

深圳会展中心

往届参展企业：

Panasonic　MITSUBISHI ELECTRIC Changes for the Better　ASM　ABB　HAN'S LASER 大族激光　YUEMING 大族粤铭激光　Sun Young　鸿泽自动化 HONZE AUTO-TECH

HKD 和科达　SIMSUKIAN 森鹏强　axxon　科瑞 Colibri　TETE　YOUNGSUN　IDEEDA 爱迪达

Nordson EFD　Nordson ASYMTEK　KUKA　KANA　FLUKE　KEYSIGHT TECHNOLOGIES　NATIONAL INSTRUMENTS　HAMRON

GORE　SEMBLANT　Henkel　YCCFAN　华慧能源　RAKINDA 远景达　鑫東邦 PROSPER DOBOND　FAVORED

同期举办：

深圳国际先进制造与智能工厂展
MECHATRONICS CHINA 2017

第十四届中国手机制造技术论坛
CMMF2017

热线电话：86-755-88311535
Email：sales@cetimes.com

更多详情请登陆：
www.elexcon.com

创意时代
Creativity
Convention & Exhibition

二极管激光器

利用可调谐二极管激光器探索微结构和纳米结构

可调谐二极管激光器在光学泵浦微腔、推动量子技术和开发量子点等方面的应用，将有望为光电子学带来显著影响。

文/ Rudolf Neuhaus；Toptica Photonics公司

微结构和纳米结构对于基础研究和应用量子技术变得越来越重要。该结构的突出应用实例是微腔和量子点，重要的应用实例包括单个或纠缠的光子源、量子计算机的量子位和各种传感器。这些结构还能够使得量子极限下的研究变成可能，例如微腔中的量子振荡、量子点的量子电动力学（QED），或者甚至在空腔中具有单量子点的腔QED研究。

许多应用需要具有合适的可调谐连续波（CW）激光器的共振光学激发。通过以正确的波长光学泵浦微腔，甚至可以产生微观的相干频率梳和短的光脉冲——这是一项非常有前景的应用，有望对光电子学产生重大影响。

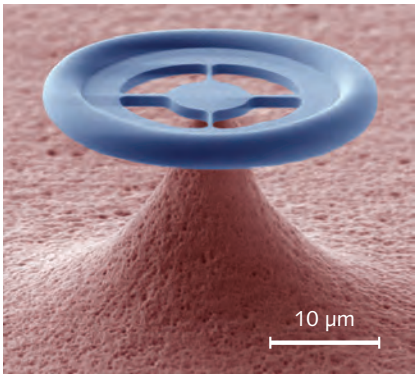


图1：微型光学和机械结合谐振器。

微腔

由于环境的去相干，在宏观物体中通常观察不到量子特性，除非使用特定的样品几何形状和冷却。例如使用微腔，是在相对较大的微米级结构中观察量子效应的一种可能性。图1展示了一种隔离的、直径约30 µm的环形玻璃微腔，结合了宏观机械振荡器和环形高Q光学腔。光经由倏逝场耦合到空腔中，通过全内反射从环形壁反射，通过辐射压力在结构上传递小的力。

通过这种方式，耦合的光可以影响结构的振动特性，反之亦然。该特性使得微腔成为量子研究中激动人心的研究对象。例如，研究人员观察到光和机械振荡之间的参数耦合，[1] 并且还使用基于光学机械耦合的传感器，对这种微腔进行主动反馈冷却。[2]

由于其小尺寸，微腔的自由光谱范围相对较大，微小的尺寸偏差将导致腔谐振出现大的光谱偏移。因此，宽范围的无跳模可调谐激光器是发现和研究微腔共振频率，或扫描腔的一个以上自由光谱范围的重要工具。此外，激光器必须在功率和频率上具有低噪声，以避免有害的杂乱无章的机械振荡。

微腔谐振频率对尺寸和其他环境参数的依赖性，有望开发用于有前景的应用：溶液中单个生物分子的无标记检测。使用微型光学谐振器结合宽范围的无跳模激光器（例如Toptica公司的DLC CTL），使得上述应用成为可能。研究人员已经描述了这样的激光器如何被频率稳定到微型光学谐振器，并且观察到由结合到谐振器的分子引起的光共振频率如何移动。[3] 通过这种方式，检测并区别出半径在2~100nm之间的粒子。

该结果进一步拓展到用于非侵入性肿瘤活检测定，以及为溶液中的光学质谱仪提供依据。对于这种应用，不仅需要宽范围的无跳模调谐，而且能够方便地将激光器稳定到微腔。例如，CTL激光器具有内置的全数字稳定电子器件，并且可选择使用高带宽模拟或快速数字锁定电子器件。

基于微谐振器的频率梳

微谐振器也越来越多地被用于产生光学频率梳。由于导引光场的小模式体积和高达10^{10}的高Q因子，这些谐振器的强度变得非常高，使得非

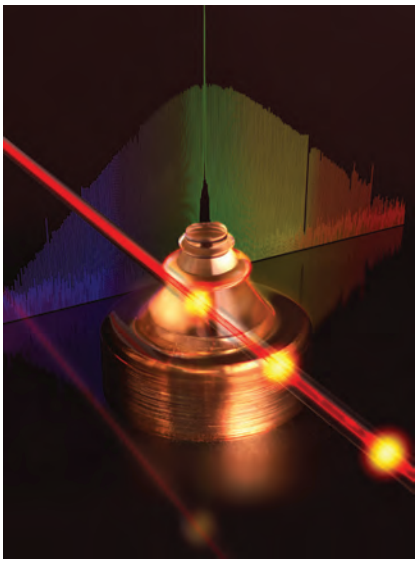


图2：连续光泵浦的微腔用于产生频率梳。

线性效应变得非常强烈。微谐振器可以通过非线性四波混频将 CW 激发光转换成其他频率分量，从而产生频率梳（见图 2）。

所得到的频率梳的性质，在很大程度上取决于泵浦激光波长，因为 CW 激光器可以激发非相干高噪声状态以及孤子态。孤子态是有利的，因为所得到的频率梳是相干的并且具有极低噪声、窄线宽和短脉冲。如果从较高频率到较低频率扫描泵浦激光器，将发生不同孤子态间的急变阶段。每个阶段对应于在微谐振器中循环的孤子数量的连续减少。通过反馈至激光器，可以在其中一个阶段稳定微型梳，从而允许稳定的孤子操作。图 3 所示为由可调谐二极管激光器泵浦氮化硅（SiN；见图 4）制成的这种微腔的光学单孤子光谱。[4]

基于晶体的微谐振器特别有前途，因为它们具有最高的 Q 因子。迄今为止，它们只是用低噪声光纤激光器泵浦。这种光纤激光器不是宽调谐的，而传统的可调谐二极管激光器由于噪声较高而不合适。然而，新一代连续可调谐二极管激光器现在具有超低噪声电流驱动器和激光谐振器，允许低于 10kHz 的窄线宽和低漂移。使用这些可调谐二极管激光器，甚至可

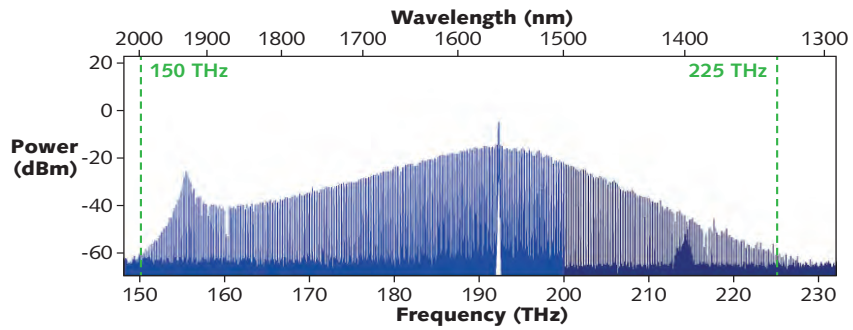


图3：低噪声相干微频率梳的光谱。微谐振器将合适的CW激发转换成具有短脉冲的基于相干光子芯片的光学频率梳。

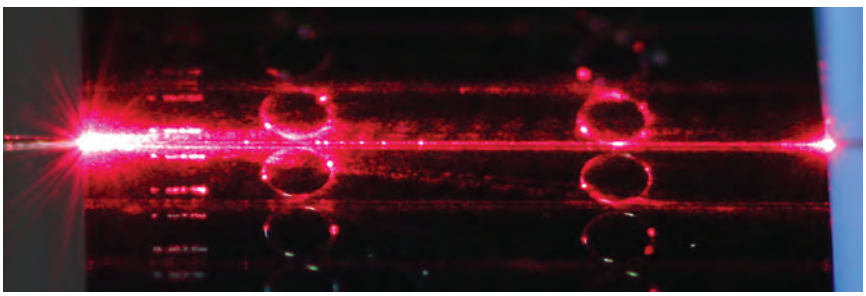


图4：用于创建微型频率梳的SiN集成微腔。

顶尖 PINNACLE
Your Strategic Partner in Photonics

Xiton Photonics XHB倍频器

•为TRUMPF TruMicro5000系列激光器特制的倍频器
•输出波长：1030nm,515nm,343nm
•M^2<1.3
•光斑直径：5mm
•高转化效率

mikron 皮秒半导体激光器
•输出波长：375nm-2090nm
•脉冲宽度：70ps-1000ps
•可CW模式工作
•重频：>100MHz
•输出功率：>500mW @ CW


FJW Optical Systems, Inc. 红外观察仪
•可视波段：350nm-1550nm
•视场角：24°
•图像倍率：≈1：1
•C-Mount选项


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）
A·P·E | ATL LASERTECHNIK | AVESTA
BATOP | DUMA OPTRONICS LTD. | JENOPTIK
HAMAMATSU | H+P SPECTROSCOPY | laserpoint
LIGHTHOUSE PHOTONICS | MenloSystems | moglabs
onefive | INFRARED | OSTECH
mikron | SOLAR LASER SYSTEMS | Xiton Photonics

顶尖科仪（中国）股份有限公司
Pinnacle Scientific (China) Corporation
+86-571-88225151 | sales@psci.cn | www.psci.cn
微博：http://weibo.com/pinnaclesci

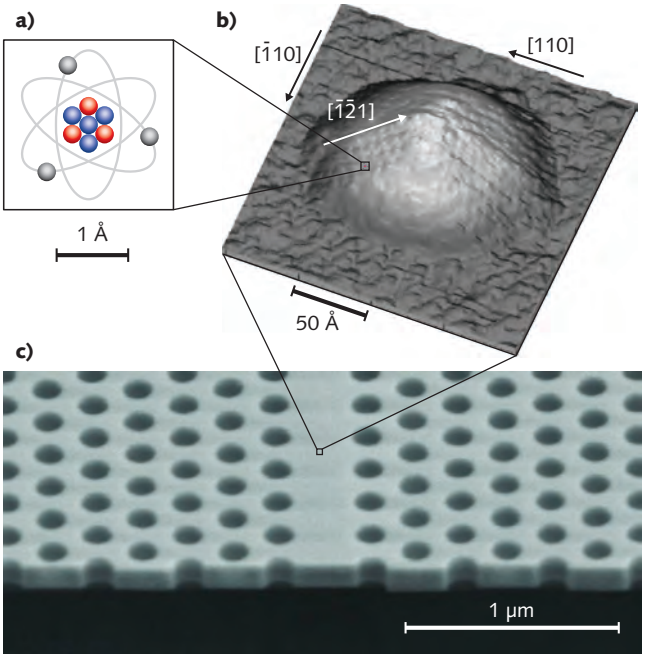


图5：带有类原子特性（a）的量子点（b）。它们可以集成到光子晶体结构（c）中，以增强光与物质间的相互作用。[9]

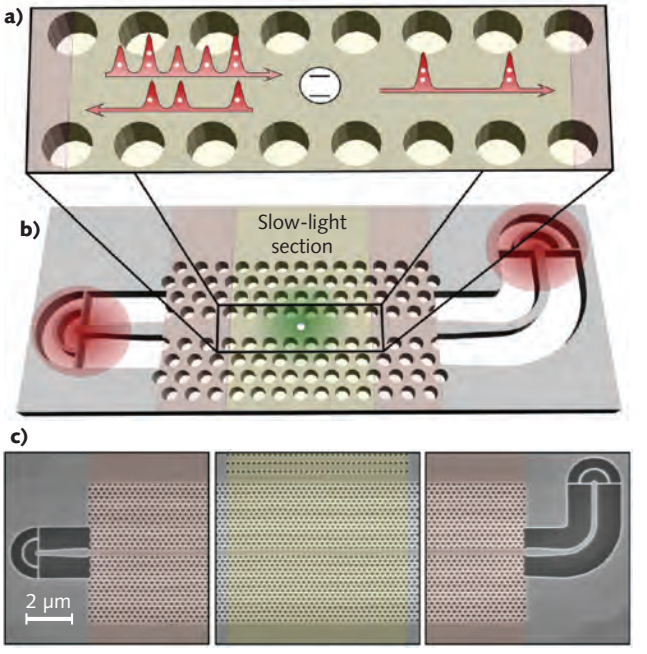


图6：波导中具有量子点的单光子非线性光学器件，其中单个光子被量子点反射，而多个光子通过（a）。（b）和（c）所示分别为样品的示例和扫描电子显微镜照片。[8]

以泵浦基于晶体的微型频率梳。通过高带宽主动频率稳定，激光器的线宽可以降低到 1Hz 的水平，以研究泵浦激光器的噪声对微型频率梳的影响。

表征微谐振器中的色散，对于设计具有理想特性的器件是极其重要的。在这里，最终的工具是锁定到以非常受控的方式移动的稳定梳 [5] 无跳模可调激光器。[6]

量子点

半导体量子点在三维尺寸上具有纳米尺寸，使得它们的电子状态由于紧约束而被量化。这些量子点也显示出其他的类单原子特性，如较强的光子反聚束和近寿命极限的线宽，通常被称为人造原子。它们是有趣的系统，可用于实现量子位，并且由于半导体加工已被很好地理解，半导体量子点是可扩展量子计算机尤为有希望的候选者。与实际原子不同，半导体量子点可以以固态的方式生长，像光子晶体腔和波导等其他结构可以在其周围构建（见图 5）。

量子点状态的共振光学激发，对于相干状态的操纵和检测而言尤为重要。然而，由于本征随机生长过程，所有量子点的尺寸略有不同，因此具有不同的光学共振频率。为了发现和共振激发单个量子点的光学跃迁，宽范围、无跳模的可调谐窄带激光器是理想的工具。

对于耦合的量子点尤其如此。在通往可扩展量子位阵列的路途中，耦合量子点最近引起了相当大的兴趣。耦合量子点上的电子传输测量已经展示了电子和核自旋的自旋敏感耦合和操纵，并且已经在自组装耦合量子点中测量和计算了耦合激子的光谱。

一种方法是在彼此之上生长自组装的耦合量子点。这种量子点分子中的量子点相互耦合，可以通过电子 - 空穴交换相互作用和电子 - 电子交换耦合来支配。通过其栅极电压改变量子点电荷状态，然后在这两个机制之间切换并改变 / 控制耦合强度。[7]

这样的可变耦合强度使得这种双量子点对于量子比特和量子计算应用是有趣的。然而，它们的光学谐振可以相差几十纳米（约 10THz），以再次共振激发两个量子点，需要宽范围可调谐的无跳模激光器，来容易地从一个量子点改变到另一个量子点。

光子纳米结构中的量子点

单光子级量子光学实验的一个重要方面，是有力地增强和控制光与物质间的相互作用，使得发射的单光子优先耦合到明确定义的光学模式中。通过将量子点集成到诸如波导或光子晶体结构（例如空腔）的其他半导体结构中，甚至腔 QED 实验也是可能的，而不需要捕获原子。

光子纳米结构提供了一种调节光与物质间相互作用的手段。它们使得一系列实验成为可能，例如自发发射

控制、改进的兰姆位移和增强的偶极 - 偶极相互作用，以及高效的单光子源和非常大的非线性。

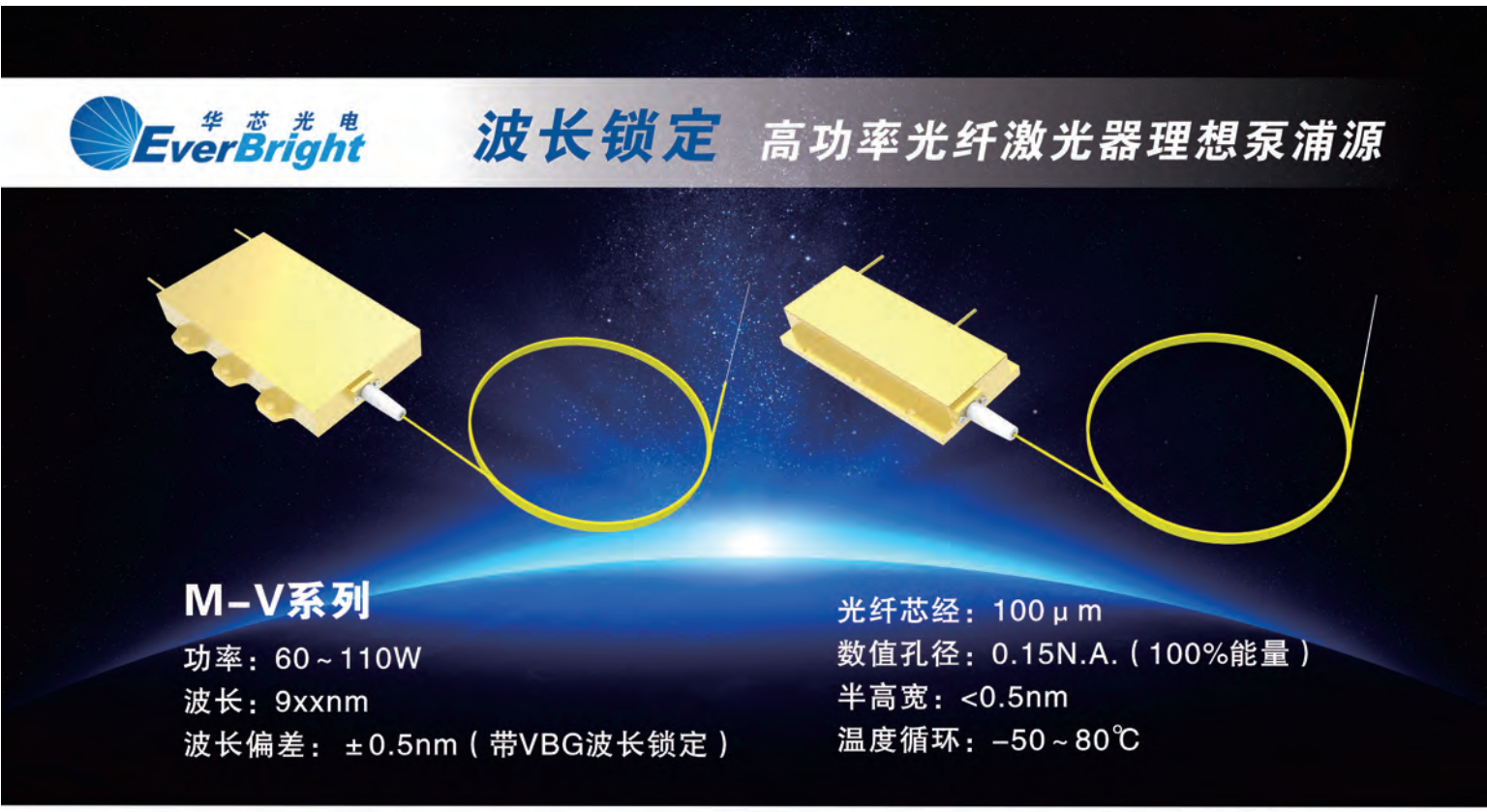
例如，通过将量子点集成到光子晶体波导中，丹麦哥本哈根 Niels Bohr Institute 的研究人员能够证实单光子水平的非线性光学元件——单个光子被量子点反射，而多光子将通过（见图 6）。[8] 光子间的这种非线性相互作用，使得经典和量子信息技术的逻辑运算成为可能，为可扩展的基于波导的光子学量子计算架构铺平了道路。

这里讨论的微纳和量子应用和实验有一个共同点——它们需要宽范围无跳模的可调谐激光器。新一代外腔二极管激光器（ECDL）可以提供非常高分辨率、非常宽范围的调谐，同时表现出窄线宽、低噪声和低漂移。这些改进的性能部分源于全数字控制器，确保主动反馈回路中的单模运行，以及在必要时自动优化激光腔的能力。

可调谐二极管激光器的最新进展，使得探索微纳和量子世界变得更加方便。本文所讨论的一些主题，可能会对未来的技术发展产生相当大的影响，例如当微频率梳置于手机或汽车中时，它们的卫星通信由量子加密保护，通过光子晶体中的量子点来实现。❑

参考文献

1. E. Verhagen, S. Deléglise, S. Weis, A. Schliesser, and T. J. Kippenberg, Nature, 482, 63-67 (2012).
2. D. Wilson, V. Sudhir, N. Piro, and T. J. Ghadimi, Nature, 524, 325-329 (2015).
3. T.-T. Su, "Label-free detection of single biological molecules using microtoroid optical resonators," dissertation, California Institute of Technology, Pasadena, CA (2014).
4. V. Brasch et al., Science, 351, 6271, 357 (2016).
5. T. Puppe et al., Opt. Lett., 41, 8, 1877-1880 (2016).
6. R. Neuhaus et al., "1THz synchronous tuning of two optical synthesizers," Proc. SPIE, 9900, 99001E (Apr. 29, 2016).
7. S. Fält et al., Phys. Rev. Lett., 100, 106401 (2008).
8. A. Javadi et al., Nature Commun., 6, 8655 (2015).
9. P. Lodahl, S. Mahmoodian, and S. Stobbe, Rev. Mod. Phys., 87, 347 (2015).



微信扫一扫
获取华芯光电更多资讯

地址：江苏省苏州市高新区科技城锦峰路8号
邮编：215163
电话：+86-512-6937 2570
传真：+86-512-6937 2559
网址：www.everbrightphotonics.com
邮箱：Sales@everbrightphotonics.com

激光产品安全等级介绍

文/刘喜强，激光安全专家/TÜV 莱茵技术（上海）有限公司副总经理

随着激光技术的快速发展和广泛应用，我们的生活、工作环境中随处可见各种各样的激光产品。有的激光产品可以安全使用，但有的激光产品使用不当就会对我们的眼睛和皮肤造成严重伤害，甚至会引起火灾、电击、烫伤等严重的伴随危害。

那么大家怎么样才能知道一个激光产品是否安全呢?

激光安全等级概述

为了让使用人员能够很简单地识别激光产品的危险等级，我们可以根据激光产品对人体组织的危害机理以及造成的伤害程度，将激光产品进行分类。

激光产品的波长和功率决定了激光对人体不同组织的伤害。波长决定不同人体组织对激光的吸收特性以及危害的机理，功率和能量则会决定激光危害的程度。国际电工委员会标准依据激光产品的波长、最大输出激光功率或能量，将激光产品分为了几个大的安全等级，它们就像激光产品的名片一样，代表了激光产品的危害程度、用户需要注意的事项。



图1：IEC 60825-1激光等级分类及其代表的危害程度。

因此，不管是普通消费者还是专业操作人员，我们都要正确认识激光的等级，明白其代表的危害程度、注意事项，才可以避免很多激光伤害事故的发生。

激光安全等级分类详述

国际电工委员会标准（IEC 60825-1）依据激光产品的波长以及最大输出激光功率，将激光产品分为了以下7个等级：1、1M、2、2M、3R、3B、4。 其中1M、2M

表1：激光等级分类代表的危害详述。

激光等级	激光危害情况描述	举例
Class 1	基于现在的医学知识，被认为是安全的。 在任何条件下，眼睛都不会受到有危害的光学辐射。或者虽然是产品含有有伤害性的激光，但被放置在相应的密封产品里，没有任何有害的辐射能逃出封闭装置。	眼科激光曲率测量仪、DVD播放器
Class 1M	大直径或高发散度光束。正常使用时没有危害，当使用望远镜等光学设备时会有超过Class 1限值的危害。	小功率光纤通讯激光器
Class 2	小功率、可见激光（400~700nm），属于低危险激光。通常人眼自然厌光反应(Aversion response)会保护人眼，只有故意持续凝视时，才会造成眼部伤害。	激光扫描仪、激光笔
Class 2M	小功率、可见激光（400~700nm），大直径或高发散度光束。正常使用情况时通Class 2，当使用望远镜等光学设备时危害会超过Class 2。	激光水平仪器
Class 3R	正常使用没有危害，直视光束有危害。	激光测距仪
Class 3B	直视或看到二次光束时可能会造成伤害，散射光束没有危害。	演示激光器
Class 4	直接光束，反射或散射光束都可造成眼睛或皮肤伤害。	激光焊接、打标机

两个等级代表产品的安全等级分别和 1、2 级一致，但在使用如望远镜等光学设备时，可能将危害程度放大，从而超越 1、2 级的危害。3 级也分为 3R 和 3B 两个子级别。

接下来我们通过图 1 和表 1 来了解具体的分类情况，以及不同类别代表的危害程度。

了解了激光危害等级的意义，下面再来看看当我们见到一款激光器时，怎么能够知道它的安全等级呢?

其实，经过严格检测和认证的激光产品，都在用户可以看得见的地方有明显的激光安全等级标识，如以下表 2 所示 ：

激光等级常见的问题剖析

根据激光安全等级分类条件，不同等级代表着不同的危害程度和使用限制，所以并不是所有产品都可以做成任意激光等级在市场上销售。接下来我们通过几个对激光等级常见的问题进行讨论，希望引起大家的注意 ：

表2：激光安全等级标识及警告语。

激光等级	激光警告标识	警告语	个人防护设备
Class 1		1类激光产品	不需要
Class 1M		激光辐射 请勿使用望远镜观看光束 1M类激光产品	不需要
Class 1C		激光辐射 参考使用指导 1C类激光产品	参考使用指导
Class 2		激光辐射 请勿注视光束 2类激光产品	不需要
Class 2M		激光辐射 请勿注视光束或使用望远镜观看光束 2类激光产品	不需要
Class 3R		激光辐射 避免眼睛直接暴露在光束中 3R类激光产品	不需要
Class 3B		警告– 激光辐射 避免暴露在光束中 3B类激光产品	防护眼镜， 防护手套， 防护服等
Class 4		危险-激光辐射 避免眼或皮肤暴露在直接或散射激光光束中 4类激光产品	防护眼镜， 防护手套， 防护服等

1. 儿童玩具类激光产品必须满足 Class 1 的要求吗?

当玩具中应用了激光技术，不管是可见或不可见的激光，都要特别注意儿童会因为好奇心强，不明白警示标识的含义，可能会以非常危险的方式持续注视激光而造成严重的眼睛伤害。目前，尤其在中国，很多儿童都可以轻易的获得激光笔或玩具型激光投影机之类的产品，有些产品的激光功率远远高于 Class 1 的限值，是非常大的安全隐患。

因此，各国都强制要求玩具激光产品必须满足 Class 1 的等级。

2. Class 1 的激光器就绝对安全吗?

有一部分 1 类激光器因为其自身固有的发射功率非常小，因而不会对人产生危害，但并不是所有的激光器都是如此。有很多分类为 1 类的激光器，其内部可能使用 Class 3B 或 4 的激光源，如果我们使用不当，当打开机器防护外壳或故意改变光路时，可能会造成更高等级的激光光束泄露，从而造成人身危害。

3. 指示类激光器为什么一定要先定在 Class 2 以内?

激光笔、激光测量设备、带激光指示的工具类设备等普通消费者可以接触到或使用的产品，其等级一般不能高于 Class 3R。有一些市场，比如欧洲、澳大利亚等要求指示类激光器，如激光笔等必须符合 Clsss 2 或更低等级的要求才能销售。

4. 如果我们不能确定激光器的等级该怎么办?

在研发、调试过程中，我们有时无法确定产品内部某一部分的激光等级。这时，我们不能因为麻烦而简单地假定其等级就和激光源等级相同或是很低的等级 ；相反，我们一般要假设其是 Class 3B 甚至 Class 4 的等级，做好充分的安全防护措施，比如佩戴激光防护眼镜、防护手套等，避免意外事故的发生。

在下期的内容中，我们将详述激光对人体的危害机理及限值的确定，让大家对激光的危害有更进一步的认识。❑

浅谈工业设计对激光行业的影响

文/杨春，武汉华夏星光工业产品设计有限公司

在激光产业的发展过程中，工业设计从外观造型、结构设计、安装运输、成本控制、人机操作等方面，都对激光类产品进行极大程度的提升，提升其竞争力。

工业设计发展现状

很多企业对工业设计理解欠缺，目前中国的工业设计存在以下现象：(1) 中国制造的产品已遍布世界各地，但绝大部分是没有自主知识产权、设计粗糙的低端产品，价格低廉，经常遭到国外的反倾销投诉；(2) 设计观念陈旧，无力应对市场竞争和变化；(3) 真正适合消费者需求的独创性设计少，很多产品模仿国外产品的外观，但质量相去甚远，时有因抄袭设计而被国外起诉；(4) 企业重技术轻设计，认为只要产品核心技术领先就能保证销路，忽略了工业设计的作用；(5) 企业对工业设计的重视和投入不够，宁愿斥资数千万做广告也不愿投资几万元做工业设计，没有认识到企业形象的根本是产品。

随着中国制造 2025 目标的确定，政府已经把大力推进工业设计提上日程，并有了实施方案，很多企业已感受到了工业设计所带来的好处。

激光产品工业设计的考虑因素

同其他的工业产品一样，激光产品的设计不仅要满足用户需求，还应该代表企业实力、企业文化和形象，在设计中应考虑以下因素。

(1) 人性化设计

人性化设计，要求设计以人为本。设计不应以机器功能为出发点，而应该把人作为设计的出发点。以人对产品的使用为基础，使机器能够很好地为人服务。

人性化设计，一是要符合人的尺度；二是要有很好的操作界面。这两个概念要求在机床产品设计过程中，运用人机工程学所提供的数据，对操作的空间大小、操作台面的高低等进行综合考虑。激光产品中的人性化设计，主要体现在数控系统的人机交互、显示器的视角应在斜下 5° 左右、键盘与鼠标的操作与收放、按键面板的排布与安装等，都是人性化设计的需要考虑的因素。

(2) 文化特色与品牌设计

产品同样体现着一定的文化特征，产品地设计体现着一个企业、一个行业的形象和设计水平。产品设计不是单纯的外观造型，应该将其纳入生产制造、宣传和使用到最后产品废弃回收这一生命周期中，是品牌经营的一个环节。

目前市场上很多激光产品非常类似，设计上缺少品牌独特性。因此在产品造型设计时需要注意：产品的造型能否体现品牌的特性。要体现品牌的特性需考虑两点：一是要注重产品整体要素的统一，即要求激光产品在形态、色彩、材料、细节方面的选择有利于企业形象的识别；二是系列产品品牌形象要保持统一。这是项长期的系统工程，需要生产企业不仅要有长远的战略目标，更要有持之以恒的努力。

(3) 成本控制体现设计的意义

随着人工和原材料成本的上涨，激光企业正在寻求降低成本的突破点，工业设计就是有效控制成本的突破口。激光产品大多都是金属外罩，大概占据整个激光产品售价的 3%~10%，若合理控制这部分的比例，即可降低部分成本；其次在安装上提高效率也可以降低成本，例如我们为奔腾激光设计的全包围 4020 光纤激光切割机，在设计前他们的外防护罩需要 5 人安装 4 天才可完成，而在设计后仅需 3 人两天即可完成，无形中降低了成本；再次就是运输，无论是国内运输还是出口的航运跟海运，对外尺寸都有要求，若超宽超高都要缴纳大量额外费用，比如一台半包围的 3015 光纤激光切割机，一般横梁宽度在 2.2 米左右，再加上电机罩、拖链槽等部件，宽度很容易超过 2.5 米。而出口的集装箱的宽度时 2.35 米，超宽产品需要定制集装箱，并且缴纳超宽费用；汽车运输也一样。

工业设计在外观造型设计时就要充分考虑长宽高等要求；在外壳结构设计时考虑安装的结构形式、钢架的安装、钣金外罩的链接形式、配件的选用等环节；最后在生产阶段指导加工保证质量，以降低激光产品成本，提升市场竞争力。

下转第35页

激光焊接

激光在电池电芯模组及 Pack 制造中的应用

文/冉昌林，杨毛三；武汉逸飞激光设备有限公司

自1990 年问世以来，锂电池因其能量密度高、电压高、环保、寿命长以及可快速充电等优点，深受 3C 数码、动力工具等行业的青睐，其对新能源汽车行业的贡献尤为突出。作为提供新能源汽车动力来源的锂电池产业，市场潜力巨大，是国家战略发展的重要一环，预计未来 5-10 年，产业规模有望突破 1600 亿元。

动力电池作为新能源汽车的核心部件，其品质直接决定了整车性能。锂电池制造设备一般为前端设备、中端设备、后端设备三种，其设备精度和自动化水平将会直接影响产品的生产效率和一致性。而激光加工技术作为一种替代传统焊接技术已广泛应用于锂电制造设备之中。

本文通过激光在动力电池行业中的应用情况，阐述了激光焊接的工艺特点，分析了铝合金激光焊接难点以及焊接模式对焊接质量的影响，列举了方形动力电池及电池 PACK 工艺特点及设备发展趋势。

激光焊接工艺

从锂电池电芯的制造到电池 PACK 成组，焊接都是一道很重要的制造工序，锂电池的导电性、强度、气密性、金属疲劳和耐腐蚀性，是典型的电池焊接质量评价标准。

焊接方法和焊接工艺的选用，将直接影响电池的成本、质量、安全以及电池的一致性。在众多焊接方式中，激光焊接以如下优势脱颖而出：首先，激光焊接能量密度高、焊接变形小、热影响区小，可以有效地提高制件精度，焊缝光滑无杂质、均匀致密、无需附加的打磨工作；其次，激光焊接可精确控制，聚焦光点小，高精度定位，配合机械手臂易于实现自动化，提高焊接效率，减少工时，降低成本；另外，激光焊接薄板材或细径线材时，不会像电弧焊接那样容易受到回熔的困扰。

电池的结构通常包含多种材料，如钢、铝、铜、镍等，这些金属可能被制成电极、导线，或是外壳；因此，无论是一种材料之间或是多种材料之间的焊接，均对焊接工艺提出了较高要求。激光焊接的工艺优势就在于可以焊接的材质种类广泛，能够实现不同材料之间的焊接。

工艺难点

动力电池电芯的制造由于遵循“轻便”原则，通常会采用较“轻”的铝材质，而且还要做得更“薄”，一般壳、盖、底的厚度基本都要求达到 1.0mm 以下，目前一些主流厂家的基本材料厚度均在 0.8mm 左右。据统计，铝合金材料的电池壳体占整个动力电池的 90% 以上。

铝材焊接的难点在于铝合金对激光束的高初始反射率及其本身的高导热性，使得铝合金在未熔化前对激光的吸收率低，由于铝的电离能低，焊接过程中光致等离子体不易于扩散，使得焊接稳定性差。另外，焊接过程中合金元素的烧损，使铝合金焊接接头的力学性能下降。由于焊接过程中气孔敏感性高，焊接时不可避免地会出现一些问题缺陷，其中最主要的是气孔和热裂纹。铝合金的激光焊接过程中产生的气孔主要有两类：氢气孔和匙孔破灭产生的气孔。由于激光焊接的冷却速度太快，氢气孔问题更加严重，并且在激光焊接中还多了一类由于小孔的塌陷而产生的孔洞。

热裂纹问题。铝合金属于典型的共晶型合金，焊接时容易出现热裂纹，包括焊缝结晶裂纹和 HAZ 液化裂纹，由于焊缝区成分偏析会发生共晶偏析而出现晶界熔化，在应

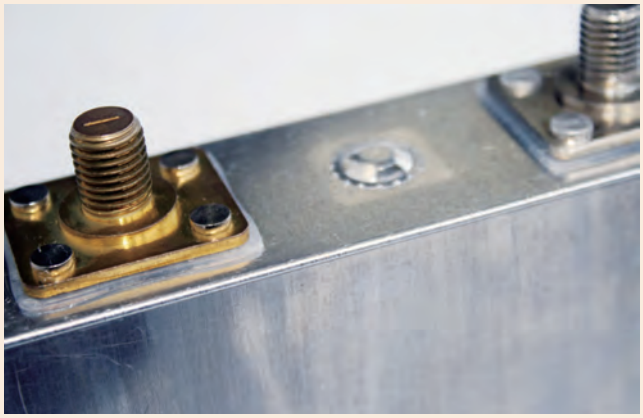


图1：利用脉冲激光焊接实现的方壳动力电池侧焊样品。

力作用下会在晶界处形成液化裂纹，降低焊接接头的性能。

炸火（也称飞溅）问题。引起炸火的因素很多，如材料的清洁度、材料本身的纯度、材料自身的特性等，而起决定性作用的则是激光器的稳定性。壳体表面凸起、气孔、内部气泡，究其原因，主要是光纤芯径过小或者激光能量设置过高所致。

针对以上出现的问题，寻找到合适的工艺参数才是解决问题的关键。

焊接模式分析

（1）脉冲模式焊接

脉冲激光器常用的脉冲波形有方波、尖峰波、双峰波等几种，由于铝合金表面对光的反射率太高，焊接时应选择合适的焊接波形。当高强度激光束入射到材料表面，金属表面将会有 60%~98% 的激光能量因反射而损失掉，且反射率随物件表面的温度而变化。一般焊接铝合金时最优选择尖形波和双峰波，这两种焊接波形后面缓降部分脉宽较长，能够有效地减少气孔和裂纹的产生。

由于铝合金对激光的反射率较高，为了防止激光束垂直入射造成垂直反射而损害激光聚焦镜，焊接过程中通常将焊接头偏转一定角度。焊点直径和有效结合面的直径，随激光倾斜角的增大而增大，当激光倾斜角度为 40° 时，获得最大的焊点及有效结合面。焊点熔深和有效熔深随激光倾斜角减小，当激光倾斜角度大于 60° 时，其有效焊接熔深降为零。所以倾斜焊接头到一定角度，可以适当增加焊缝熔深和熔宽。另外在焊接时，以焊缝为界，需将激光焊斑偏盖板 65%、壳体 35% 进行焊接，这样能有效减少因合盖问题导致的炸火。

（2）连续模式焊接

连续激光器焊接由于其受热过程不像脉冲骤冷骤热，焊接时裂纹倾向不是很明显，为了改善焊缝质量，采用连续激光器焊接，焊缝表面平滑均匀，无飞溅，无缺陷，焊缝内部未发现裂纹。在铝合金焊接方面，连续激光器优势明显：与传统焊接方式相比，生产效率高，且无需填丝；与脉冲激光焊相比，可以解决其在焊后产生的缺陷，如裂纹、气孔、飞溅等，保证铝合金在焊后有良好的机械性能；焊后不会凹陷，抛光打磨量减少，节约生产成本，但是因为连续激光器光斑较小，所以对工件的装配精度要求较高。



图2：连续激光焊接方式实现的方壳动力电池立焊样品。

在动力电池焊接过程中，焊接工艺技术人员会根据电池材料、形状、厚度、拉力要求等选择合适的激光器和焊接工艺参数，包括焊接速度、波形、峰值、焊头倾斜角度等来设置合理的焊接工艺参数，以保证最终的焊接效果满足动力电池厂家的要求。

方形电池焊接

在方型电池的焊接工艺中，最重要的工序是壳盖的封装，方形电池外壳的封口办法一般是在电池顶部有一个长方形盖板，板上带有正极输入端，将盖板塞入外壳与口平齐，然后用激光将盖板与外壳之间的长方形缝隙以脉冲或者连续激光焊接的方式，焊好密封即可。



图3：高效（生产效率12PPM）的激光立焊接设备。

方形电池的焊接方式主要分为侧焊和顶焊，其中侧焊的主要好处是对电芯内部的影响较小，飞溅物不会轻易进入壳盖内侧。由于焊接后可能会导致凸起，这对后续工艺的装配会有些微影响，因此侧焊工艺对激光器的稳定性、材料的洁净度等要求极高。而顶焊工艺由于焊接在一个面上，对焊接设备集成要求比较低。

目前，动力电池立焊接方式是业内广为青睐的焊接方式，立焊只需一个收口节点，便可大大降低侧焊接四个



图4：方形电池立焊接样品。

收口节点的侧漏风险，而且有利于量产。武汉逸飞激光设备有限公司的“高速电池壳体激光立焊接设备”，实现了99.5% 以上的焊接良品率和 12PPM 的生产效率。

电池PACK工艺

（1）电池 PACK

电池电芯通过加装保护电路、外壳、输出而形成的应用电池组的生产过程称为 PACK。电池 PACK 是实现电池在不同领域应用的一道重要工序。随着 PACK 工艺的不断发展，连接方式也不断改进，从最初的锡焊到到后来的电阻焊，发展至今，激光焊接因其焊接精度、可靠性及自动化程度高的优势，已成为目前 PACK 工艺最为广泛的连接方式，而搭载着激光焊接工艺的智能自动化设备已成为方形、圆柱、软包、18650 等不同类型电芯 PACK 成组的高端制造装备。

（2）智能装备发展趋势

新能源汽车产业的发展，并未对其所使用的动力电池及电池模组的规格标准定型并标准化，出现了众多规格体系不兼容的问题，当前的工艺流程和人工操作制约了企业的生产节拍和效率，从而无法有效提升产品质量和产能。所以，提升动力电池模组组装的自动化水平非常必要。现今，实现“整线设备 + 机器人 + 软件控制”的智能化解决方案，既要解决用户重点关注的兼容性、整线节拍和效率问题，又要解决用户电池 PACK 订单批量小、规格多的问题。

管理软件方面。整套 MES 系统直接将产线打造成准无人化生产车间，人工只需要在线外进行物料补充，既提高了安全性，又减少了人为介入。焊接工序环节，只需要将激光焊接工艺数据集成在 MES 管理软件系统中，以方便用户直接调用、切换。从电芯到 PACK 成组，每一道工序的参数、数据及其他来料信息等，都可以通过 MES 系统快速查询并及时分析处理，既要做到过程可控，又要有效保障生产效率，用户还通过预留的工业通讯接口实现远程监控管理，充分体现智能化自动化的制造特点。搭载激光解决方案的产品已向着高智能化、高自动化的趋势方向发展。



图5：电池模组PACK智能自动化产线。

小结

虽然我国激光焊接工艺日趋成熟，但是，高质量的动力电池仍需生产厂家设计人员和激光焊接技术人员密切协作，从材质、形状、厚度、工艺、实时检测等各方面优化设计，才能达到理想的焊接效果。武汉逸飞激光设备有限公司在动力电池焊接领域有十多年的经验，致力于打造高精度、高效率、高可靠性、无人化、可视化和信息化的电池电芯、模组及 PACK 智能自动化制造产线解决方案。❑

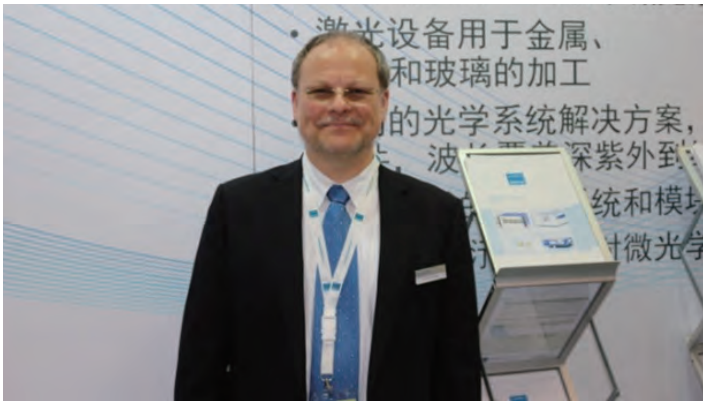
上接第32页

随着工业设计的发展，对激光产业的影响将越来越大，无论是外观造型的美观性、家族特征、人机交互等方面，还是结构设计的安装形式、配件选用、工艺流程等都对激光产品的发展起到了促进作用，纵观现今的激光产业的产品从原来的仅满足使用功能，到现在的功能更强大、技术更成熟、造型更美观、结构更完善、性价比更高可以说已经有了翻天覆地的变化，这其中工业设计起到了关键的作用。❑

应对市场趋势 侧重工业和医疗美容两大应用

——访 Jenoptik 公司医疗与工业部门总经理 Juergen Sebastian 博士

文/ Rossie Pang



Jenoptik公司医疗与工业部门总经理Jurgen Sebastian博士

在当今瞬息万变的市场大环境下，企业必须跟上时代的发展趋势，才能获得更好的发展。“我们去年根据市场大的发展趋势，对公司部门进行了重新组合，组合方式从过去按照技术划分，变为按照市场发展趋势来划分。”Jenoptik 公司医疗与工业部门总经理 Juergen Sebastian 博士表示，“重组后，我们更加关注工业和医疗美容这两大领域。工业 4.0 和中国制造 2025 促使全球制造业都在不断转型升级，向着更高端的方向发展，激光技术作为一种先进的工业加工手段，在机会面前定是当仁不让；另外随着人口老龄化趋势的凸显以及人们对自身形象美的日趋重视，激光医疗和美容应用市场呈现出了巨大的机会。”

在中国这两个市场的增长也特别明显。Jenoptik 在中国的独家代理商顶尖科仪公司总经理张全博士透露，JenoptiK 在中国市场的业务每年都在增长，2016 年中国市场的增长幅度高达 50%，其中工业和医疗美容市场基本上平分秋色。

脱毛应用是 Jenoptik 重点关注的一个医疗市场。“产品向着多波长的方向发展，是脱毛应用市场的一个发展趋势。”Juergen Sebastian 博士说道，“过去针对脱毛应用的产品通常是单波长的，但是由于人体毛发的颜色各不相同，需要不同的波长才能达到更好的脱毛效果，多波长半导体激光器应运而生。”Jenoptik 新推出的一款可提供 808nm/9xxnm/1060nm 的半导体激光器，就是专门针对多波长脱毛应用的。这款准连续（QCW）半导体激光器新增加了 1060nm 这个新的波长，可以达到 300W 的脉冲功率，经过一定的光束处理，能够一次实现更大的脱毛面积，患者的舒适度也非常好。过去需要多个激光器才能完成的任务，现在只用一个激光器就解决了。

在医疗市场，绿光激光器在眼科治疗中占据很大的市场份额。随着年龄的增大，老年人会出现视网膜脱离的现象，另外随着人们每天观看智能手机和平板电脑等电子产品的时间越来越长，这也导致很多年轻人甚至是小朋友出现视网膜脱落。Jenoptik 推出的一款 532nm 的碟片激光器，就是主要用于视网膜固定治疗的，据说这种治疗方式已经在海外临床中应用了很长时间。

在工业市场，半导体激光器的直接应用是近年来业界关注的一个焦点。Jenoptik 新推出的可提供 1060nm 波长的 200W CW 激光器，能够通过耦合实现几千瓦甚至上万瓦的功率，而且半导体激光器的成本、效率都较其他激光器具有优势，因此在金属切割、焊接及表面硬化等应用中逐渐发挥作用。此外，这款可提供从 9xxnm 到 1060nm 的波段的波长、输出功率 200W 的多波长产品，还可通过腔面镀增透膜用于外腔半导体激光器，这是半导体激光器的一种新应用。

中国是 Jenoptik 非常重视的一个市场，“我们在中国市场的持续快速增长，除了产品自身的优势外，也还要感谢我们在中国市场的独家合作伙伴顶尖科仪，在过去长达十年的过程中，我们之间始终保持着稳固愉快的合作。”Juergen Sebastian 博士说道。❑

工业 4.0 促使激光产品向智能化发展

——2017 通快智能激光新产品发布会后记

文/ Rossie Pang

由德国发起的工业 4.0，号称是以智能制造为主导的第四次工业革命，智能化已经成为全球制造业发展的新趋势。激光作为一种先进的加工工具，在工业制造中的应用日趋广泛；而随着工业智能制造理念的兴起，激光产品也开始走上智能化的道路。

在 2017 年慕尼黑上海光博会上，通快在全球首发了“新一代 TruDisk 碟片激光器”，其特有的可持续智能技术，将有助于实现更智能更高效的工业加工。同时，通快还推出了 IPFO 智能扫描振镜，通过新型振镜技术实现高效、智能加工。通快在发布这两款智能激光产品，足以彰显其将智能制造进行到底的决心。

全球首发新一代TruDisk碟片激光器

“新一代 TruDisk 是通快研发的最智能、最先进的碟片激光器，紧凑节能。”通快集团激光技术部全球销售负责人 Klaus Löffler 先生在新产品发布会上说，“结合我们基于状态监控的服务来对激光器运行状态和趋势进行分析，新一代 TruDisk 碟片激光器将成为工业 4.0 生产线上完美的生产工具。”

智能 TruDisk 激光源的核心是称为 CPX 的内置控制系统。它就像是激光器的大脑，激光器在这里收集所有的状态数据和加工参数。新一代 TruDisk



激光器还新增了一个智能特征：能显著提高从扫描识别中获取的数据质量，该特征被称为精确时间协议，它可以同步所有的传感器并为它们提供一个完全相同的时间戳。通快正计划如何在未来更好地利用基于状态监控的服务。在客户允许的情况下，这项服务将会用于分析数据参数，进行基于运算法则的趋势分析，然后采取有针对性的措施来预判潜在的激光停机风险，并预防计划外产生的停工期。

新一代 TruDisk 激光器中的另一项重大改进是内部采用了全新的半导体激光器，体积紧凑，能耗低，节约了成本。此外，它还配备了一种全新的脉冲功能；能够承受住从工件上反射回来的激光辐射。

智能扫描振镜IPFO

能够监控生产进程的光学传感器和测量装置，在工业 4.0 的垂直领域中将扮演提供数据的重要角色。这些传感器并不只是给云端提供数据，它们同时还能优化程序和使用智能设计。

以汽车车门制造为例。在本次光博会上，通快展示了最新的智能扫描振镜 IPFO 以及 SeamLinePro 焊接传感器，它们能减小法兰尺寸，实现智能车门设计，从而降低了车门的重量及生产制造成本。通过 CalibrationLine 传感器和每台激光器上自带的各种传感器，通快激光器可以收集到 500 个数据点，为机器设备、零部件、夹具及工具的工作状态提供高价值的信息。所以不仅仅是生产单元本身，就连之前和之后的生产工序都能被监控和改进。通过使用智能的预见性维护，能够减少机器的故障时间。

智能监控及远程服务

工业 4.0 可以解读为利用智能生产、通过智能物流来打造智能工厂。作为德国工业 4.0 核心成员之一，通快始终立足于“工业 4.0”的核心理念，从“物联网”和“互联网服务”两大方面为客户搭建起“智能工厂”。通快可以提供全套的工业 4.0 互联制造解决方案、全部配备传感器的激光器、一个稳健安全的工厂网关、Axoom 云端服务软件和稳健安全的云服务系统，并能为预见性维护服务提供强大的数据分析。大数据时代，数据将在工业制造中发挥更重要的作用。在这种大环境下，传统的激光、传感器和设备制造商正在转型成为以软件技术为核心的硬件制造商。❑

不断开发 CO_2 激光器唯我独行的新应用

——访美国大通激光总经理张永方博士

文/ Rossie Pang

众所周知，近年来光纤激光器的迅猛发展，正在不断蚕食着 CO_2 激光器的市场份额，特别是在金属加工领域，几年之间，CO_2 激光器的主力军地位已不复存在。在光纤激光器、碟片激光器、半导体激光器等产品开始大行其道的当下，CO_2 激光器仿佛正在开始退出历史舞台。

那么，CO_2 激光器这种古老的激光技术，真的到了要“退休”的时候了吗？事实并非如此。

“事实上，CO_2 激光器的应用市场并不是越来越小，而是越来越大。”在今年的慕尼黑上海光博会上，美国大通激光公司总经理张永方博士说道，“不可否认，光纤激光器的发展的确对 CO_2 激光器的一些应用市场带来了巨大冲击，但同样不可否认的是，市场上依然有很多应用是其他类型的激光器所不能胜任的，只能使用 CO_2 激光器，比如一些非金属加工应用；与此同时，CO_2 激光器也在不断开辟出前所未有的新应用。”

CO_2 激光器本身独特的波长，使它成为加工一些非金属材料的不二选择。一个最简单的应用案例是饮料瓶上生产日期等信息的打码，过去这些信息通常是用油墨印刷到饮料瓶上，这种方式既不环保，成本又高，而现在这些信息的打码则越来越多地使用 CO_2 激光器来实现，清洁环保，没有油墨消耗。光纤激光器是无法胜任这项工作的。类似这样的只能用 CO_2 激光器才能实现的应用，还有很多，“目前我们主要侧重的市场就是其他激光器做不了、只能用 CO_2 激光器才能实现的应用。”张永方博士说道，“除了市场上已有的一些传统应用外，我们也在不断开发一些前所未有的新应用。”

他重点介绍了 CO_2 激光器的三种新应用。第一种是光纤激光器的制造。虽然光纤激光器从 CO_2 激光器手中抢走了大量市场，但是现在 CO_2 激光器能够参与到光纤激光器的制造过程中，那么它同样也能从光纤激光器市场的增长中受益。张博士介绍说，大功率的光纤激光器，对光纤纯度要求极其苛刻，用传统的火焰方法加工光纤，可能会带入一些杂质到光纤中，因此现在很多客户用 CO_2 激光器来加工光纤激光器中的零件，如拉光纤、光纤连接器等。这对 CO_2 激光器的波长和功率等参数的稳定性要求都是极高的。

第二种应用是产生极紫外光。在半导体制造工艺中的光刻环节，过去几十年大多数是通过波长 100 多纳米的深紫外激光实现的，但是随着摩尔定律的发展，芯片上需要刻划的电路越来越多，要求的精细度越来越高，这需要波长 10 纳米左右的激光来完成这项任务。“所以客户就用我们的 CO_2 激光器生成等离子体来产生 13.5nm 的极紫外光。”

还有一种新应用是牙科手术。“这也是我们经过两年的研究刚刚突破的一项全新的应用。”张永方博士说，“我们最新的 HPP 超高脉冲激光器就是专门针对这个应用市场的”。用激光实施牙科软组织手术早已实现，但是要用激光取代牙医的钻头在牙齿的硬组织上钻洞，却一直是个难题。这类应用首先要求的是 9.3 μm 和 9.6 μm 的特殊波长，同时又要求脉冲上升下降非常快，而激光与牙齿作用的时间又不能太短。“现在我们最新的 HPP 超高脉冲激光器已经能够很好地满足牙齿硬组织的手术需求。这款产品将有望为医科治疗带来革命性的变化，很显然这是一个非常具有潜力的巨大市场。”



美国大通激光总经理张永方博士

大通激光专注于 CO_2 激光器已经有近二十年的历史，“我们拥有若干不同的技术来实现波长、功率、频率等参数的稳定性，同时我们还能实现除了 10.6 μm 之外的一些特殊波长，这些是我们的核心优势。”张永方博士说。激烈甚至残酷的市场竞争，让 CO_2 激光器重新在市场上看到了新的曙光。❑

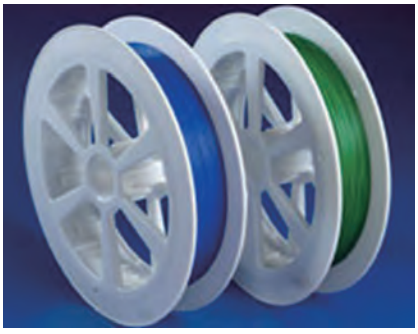
Polymicro Technologies 光纤为激光的可靠传输保驾护航

文/ Rossie Pang

在激光行业中，人们往往对激光器的发展和其应用给予更多关注，通常很少关注从光源到应用的中间传输媒介——光纤。其实在光纤纤细的身材中同样蕴含着大智慧，在这个不大显眼的细分市场中，同样有很多公司在光纤技术的发展道路上一路耕耘，Polymicro Technologies 公司就是一家这样的公司。

Polymicro Technologies 公司成立于 1984 年，三十多年来，公司始终专业从事纯熔融石英光纤及毛细管解决方案，提供全系列的光纤、高功率光纤束、毛细管产品以及相关的组件，其产品的应用领域覆盖激光加工、医疗、生化检测、石油勘探、生命科学等诸多领域。十年前（2007 年），Polymicro Technologies 公司被全球连接器领导厂商 Molex 公司收入旗下，以增强 Molex 在全球光纤组件市场的占有份额。

在今年 3 月的上海慕尼黑光博会上，Molex 展示了 Polymicro Technologies 公司的一系列光纤及毛细管产品。“在激光传输过程中，光纤产品的稳定性和可靠性至关重要，这涉及光纤能够承受较高的激光能量，能够耐高温，不同批次的同类产品之间要保证高度的产品一致性；除此之外，还要有较低的光损耗。”Polymicro Technologies 中国销售经理 Eugene Li 表示：“Molex Polymicro Technologies 凭借在光纤生产制造方面的独特工具和加工工艺，满足了客户对光纤产品的各种广泛的需求。”他补充说，Polymicro Technologies 在光纤生产制造领域超过三十多年的沉淀积累，客户已经对 Polymicro Technologie 的产品非常放心。



高速增长的医疗行业是 Polymicro Technologies 的一大市场，其 MediSpec 中空二氧化硅波导就是针对医疗激光应用而设计的，它在一条轻量级的光纤中集成了具有可见目标光束对准特点的红外激光功率输送功能。这种波导的传输针对二氧化碳激光或 Er:YAG 激光的波长进行了优化。此外，Polymicro Technologies 的熔融石英毛细管具有生物相容性，强度和柔性极高，因此对于医疗应用来说是一种极为出色的毛细管产品。这种聚酰亚胺涂层毛细管一般用于侵入性外科手术和液体药物的输送。其他的医疗应用包括流量控制系统、临床与诊断设备，以及可穿戴的药物输送设备。

另外，传输紫外甚至深紫外激光也是 Polymicro Technologies 的产品大显身手的一个领域。使用普通光纤传输紫外光，通常存在较大的损耗。相比之下，Polymicro Technologies 的二氧化硅芯线 FDP 光纤，具有超高的紫外线透射效果，而紫外线负感作用则极低，同时具备出色的耐辐射性。FDP 光纤的工作范围低至 190nm，具有出色的深紫外线负感作用耐受性，可以承受更长时间的透射，同时将对光纤的损伤保持在最低程度。因此，FDP 光纤是光谱检测、紫外固化等应用的理想选择。

Polymicro Technologies 还提供丰富的光学组件设计方案，包含多种光力学与光电学元件，其中整合了可定制配置的熔融石英元件和精密光学元件，满足客户对高功率激光传输的需求。

谈及市场发展，Eugene Li 指出，激光加工是一个非常重要的市场，特别是在中国制造业转型升级的过程中，激光加工将取代很多传统的机械加工，市场对传输光纤的需求同样必不可少。当然市场对光纤产品的需求也在向着芯径更粗和芯径更细这两个不同的方向发展，如何保证产品的稳定性和一致性是光纤制造厂商要面临的挑战。Polymicro Technologies 会利用 Molex 品牌的优势大力开拓市场，在新产品开发方面以客户需求为导向，在维护好现有客户的基础上更上一层楼。❑

中国机床消费 217 亿欧元领跑全球，机床向智能化发展

文/ Rossie Pang

2017 年 4 月 17-22 日，第十五届中国国际机床展览会（CIMT）在北京成功举办，作为中国久负盛名的机床展，CIMT 自然吸引了世界各地的厂商参展。德国机床制造商协会（VDW）在 CIMT 期间举办新闻发布会，VDW 经济部长 Gerhard Hein 先生在发布会上公布了全球机床市场的相关数据，特别强调了中国市场；同时德国具有代表性的几家机床企业的高管也发表了演讲。

“在今年的 CIMT 上，约有 200 家德国公司参展，这也是此次展会上规模最大的外国展团，这也显示了德国制造商已经将中国视为最重要的出口基地。”Gerhard Hein 说，“中国是德国机床制造商最重要的销售市场，在中国，超过 1/4 的机床都是从德国进口。2016 年，来自中国的订单量增长 1/4 以上。”

中国俨然已经成为世界机床的重要市场，特别是在“中国制造 2025”战略框架的指导下，高端机床将成为中国制造业中不可或缺的工具。来自 VDW 的全球统计数据表明，尽管 2016 年全球机床消费下降 3%，但中国仍以 217 亿欧元再次夺魁，以欧元计算降幅不足 1%。同期，机床消费榜单上排名第二和第三的分别是美国和德国，消费金额分别为 78 亿欧元和 60 亿欧元，其中美国市场下降 2%，德国市场增长 4%。也就是说，中国



机床消费市场的规模几乎是美国或德国市场的三倍。此外，在位居前列的市场中，意大利、印度和日本也实现了两位数增长。

从消费市场上来看，中国市场无疑以压倒性的优势遥遥领先；从机床产值方面来看，中国同样以 172 亿欧元的规模无可争议地成为全球市场中的领头羊；德国以约 112 亿欧元的产值位列第二；日本以 110 亿欧元排在第三位。

从出口方面来看，2016 年德国机床制造商表现优异，超过上一年度出口冠军日本，以 76 亿欧元总额登上全球出口冠军宝座。相比之下，日本受亚洲市场需求疲软影响，出口额损失近五分之一，下降至 66 亿欧元。

德国机床制造商协会经济部长 Gerhard Hein 在发布会上表示，2017 年对于数字网络化生产以及可用于工业 4.0 的解决方案领域来说，挑战与机会并存。

工业 4.0 和数字网络化生产也为机床行业带来了新的机遇，这使得机床产品向着更加智能的方向发展。通快（中国）有限公司总经理顾永麟先生在发表演讲时表示：“未来市场对产品的需求将趋向于多品种、小批量，定制化需求会增多；生产本身占用的时间将下降，而生产的准备时间将增加。鉴于这种市场需求变化，在机床产品中更多地融合软件服务理念，机床产品将向着越来越智能化的方向发展，比如在机床中融合激光加工和机器视觉等工具，这将是未来的一种趋势。”他表示，通快非常重视研发创新的技术来应对不断变化的市场需求，通快每年会拿出多达 10% 的营收会投入到研发领域；为了更好地开拓中国市场，通快在中国实施本地化策略。

随后，埃马克（中国）机械有限公司 CEO Uwe Ronde 先生和巨浪（太仓）有限公司中国区总经理任家平先生分别发表了主题演讲，各自重点介绍了其最新的机床产品和技术发展趋势，以及各自对中国市场的重视。最后，Gerhard Hein 先生总结说，德国机床行业状况良好，正在加强自身抵抗风雨的能力，在全球范围内提供研发、销售及服务，有很多德国机床制造商，都正如通快、埃马克和巨浪一样，在中国开设了自己的子公司、销售办事处、服务及生产，争夺中国这个重要市场。❑

鹰眼系列制冷型光谱仪

鹰眼 TM 系列光谱仪分别使用两款 NIR 和 UV 增强背照式制冷型感测器及高性能 32bits RISC 微控制器，具有卓越的灵敏度、高光学分辨率（0.2~10nm）、高 SNR(=500)、高动态范围 (=5000) 、低热噪声等高阶性能。

完善的制冷系统设计能降温 25℃，采用独有的杂散光校正，将杂散光比例降至 0.01%，在长时间曝光下，也能保有稳定的温度控制 (<0.015nm/℃) 和精准的量测性能，适合用于 785nm 激光 2800cm^{-1} (790~1010nm) 或 3500 cm^{-1} (790~1090nm) 拉曼波段及全波长 (180~1100 nm) 范围量测。

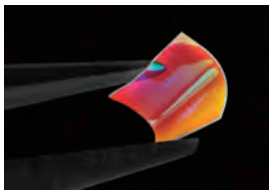


可存储 4000 个光谱；连续高速曝光，可自定义积分时间，达到精准连续曝光，搭配 OtO 主板的储存空间，可以一次储存数千张光谱信息，节省与计算机之间不必要的传输时间；内建 ARM9 CPU，可即时计算所有的光信息和颜色参数。鹰眼系列是拉曼、椭偏仪、膜厚量测、高阶 LED 量测的理想选择。

台湾超微光学，www.otophotonics.com

超薄柔性长波通滤光片

爱特蒙特光学公司推出全新的柔性长波通滤光片，拥有深度截止，可在 400~1600nm 光谱范围内提供卓越的透射率，适用于各类应用。



柔性长波通滤光片由数百到数千层聚合物和染料制成，厚度仅为 200~500μm，能够适应平坦和弯曲的表面，可以方便地切割成复杂的形状，最小尺寸低至 0.5mm，客户可使用剪刀、刀片或激光进行裁剪。

该滤光片在可见光和近红外光谱范围内实现长波透射，在该范围之前提供 OD2 截止。它在可见光范围可提供大于 90%的透射率，此时通光孔径大于整个滤光片的 90%。

该滤光片不易被划伤，拥有与大多数工业硬质氧化物镀膜同等的耐久性，坚固耐用。可定制，用于 OEM 集成，能实现超薄陷波、边缘和带通滤光片设计。其低成本、重量小及纤薄等特点，非常适用于对重量和空间敏感的应用，包括视觉和电子设备，或小型和紧凑型诊断设备。

爱特蒙特光学，www.edmundoptics.com

Standa亚纳秒单频微片激光器

立陶宛 Standa 公司的 MOPA 微片激光器，采用 Standa 公司已被广泛使用的 STA-01 系列微片激光器作为种子源，采用主振功率放大技术，在保持种子源优异的空间、光谱和时间特性的同时，将输出功率增加到 5W。



主要技术参数：

最大输出功率：5W；	单脉冲能量：500uJ；
脉冲宽度：200~800ps；	重复频率：1~50kHz；
峰值功率：>1MW；	光束质量：M^2<1.2；
光谱特性：SLM；	外触发：可以

波长：1064nm/532nm/355nm/266nm

主要应用包括激光测距、激光雷达；LIBS、LIPS、PIV 光谱；非线性光学；激光超声；精密材料加工；激光医疗、美容。Standa 可根据客户的具体应用提供灵活的激光器定制以及特殊参数的 OEM 激光器。顶尖科仪（中国）股份有限公司作为 Standa 在中国提供售前技术咨询、售后安装等全方位服务。

顶尖科仪，www.psci.cn

带背向反射保护的CF系列光纤激光器

Convergent Photonics 公司新推出的 CF 系列光纤激光器，带有有先进的预防背向反射技术以及很好的分散各向背向反射激光，通过专有的模式剥离技术使背向反射激光束被剥离掉、以及在激光的临界点处安全耗散掉干扰光。



这项复杂精致的背向反射技术已通过测试，其稳健性已得到证实，在千瓦级光纤放大器中，对背向反射激光具有更大的灵敏性。CF 系列光纤激光器中结合了这些背向反射保护方案，在切割和焊接厚度薄至 <0.5mm 到厚至 25mm 的各种高反射金属材料时，其性能得到了验证。

Convergent Photonics 光纤激光器根据其特殊的光学配置，拥有高达3~30倍的抵抗导致焦点失误的背向反射能力。

CF 系列激光器在大量切割黄铜和红铜的过程中，允许毫米级的焦点位置偏移误差，其展示了更小的焦点位置偏移误差；可靠性高。

Convergent-photonics，www.convergent-photonics.cn

ATL Lasertechnik新一代准分子紫外激光器

ATL Lasertechnik 公司的 ATL EX 系列短脉冲准分子激光器使用金属陶瓷技术，并用全新的电离技术发明了设备的大能量概念，强化的超快预电离技术可在几纳秒的脉宽条件下产生较大的单脉冲能量，并大幅增加了所有高压部件的可靠性。



ATL 激光器主要特点：超快预电离技术、激光腔体＜ 3L、全新技术的金属陶瓷反射腔、风冷、重频高达 500Hz、系统集成多项控制接口、光纤接口、带有能量稳定模式、符合欧洲 CE 标准。

ATL 激光器结构紧凑，安全性能高，可应用于医疗、眼科手术、光学器件加工（光纤布拉格光栅刻写）、微加工等众多科研领域。

ATLEX-I 系列

输出波长：157nm/193nm/248nm/308nm/351nm

单脉冲能量：1~15mJ

最大重频：300Hz/500Hz

脉冲宽度：4~6ns

ATLEX-1000-I 系列

输出波长：193nm/248nm

单脉冲能量：10mJ/15mJ

最大重复频率：1000Hz

脉冲宽度：5~8ns

ATL-S OEM 系列

输出波长：193nm/248nm

单脉冲能量：10mJ/15mJ

最大重复频率：300Hz/500Hz

脉冲宽度：5~8ns

ALEX-FBG 系列

输出波长：193nm/248nm

单脉冲能量：10mJ/15mJ

最大重频：300Hz/500Hz

脉冲宽度：5~8ns

顶尖科仪，www.psci.cn

高性能2μm可调谐光纤激光器

NPI Lasers 诺派激光推出 2 μ m 宽谱连续可调谐激光器 SuperTune。此款产品专为 2 μ m 器件测试定制。

Supertune 覆盖了 1900~2050 nm 的光谱范围，带宽小于 0.1nm，能实现 0.1nm 级的精细波长调节。SuperTune 的平均输出功率大于 1 mW，能与 NPI Lasers 的高功率掺铥光纤放大器 TDFA 配合使用，将功率提升到瓦级。

SuperTune 采用触屏操作界面，数据显示清晰，操作简单方便，不仅能实现指定单一波长输出，而且能对设定范围进行波长扫描。

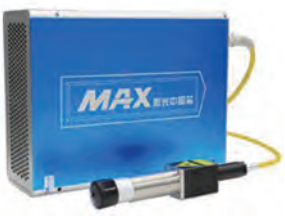


SuperTune 可应用于被动光纤、光学涂层、光探测器以及集成光学元件的测试。其简洁而精巧的设计为工业探测，光学测试，光学成像等应用提供了绝佳的平台。比如对于无源光纤器件或者波导器件，使用 SuperTune 的宽带波长扫描功能，约 30s 即可获得 2 μ m 附近的宽谱透射（反射／吸收）特性，联机附带的测试软件可自动生成测试报告直接打印。

NPI Lasers，www.npilasers.com

新一代20W声光调Q脉冲光纤激光器

创鑫激光针对声光调 Q 脉冲光纤激光器系列持续改进，推出新一代 20W 声光调 Q 脉冲光纤激光器。优化后的光路结构，在加工高反射材料时表现更稳定。全新的光路方案及熔接工艺，获得了更加优异的光束质量（M^2<1.5），能满足绝大部分塑料打标、所有金属标记、蚀刻、深雕、表面清洗、高精度薄板切割、钻孔等应用需求。其优异的性能及高可靠性，使打标效率及效果得到显著提升。



新一代 20W 声光调 Q 脉冲光纤激光器，具有更宽的频率调节范围（20~80kHz），单脉冲能量 20kHz 时能达到 1mJ，在深雕领域有优异表现。峰值功率提升 30%，超过 11kW。

通过提升光路传输效能，优化控制系统及采用新一代的回返光控制技术等一系列技术提升措施，新一代 20W 声光调 Q 脉冲光纤激光器的高可靠性主要表现在：在 -20℃ ~60℃ 工作温度与满功率条件下极限测试，其输出功率、打标效果稳定、脉冲无尖峰，激光器运作正常。

创鑫激光，www.maxphotonics.com

适用于增材制造的热塑性弹性体材料

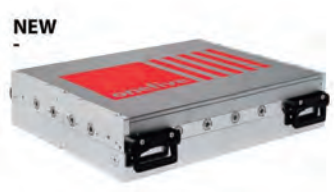


意大利 CRP Technology 公司生产的一种称为 Windform RL 的热塑性弹性体材料，非常适用于增材制造应用，例如制造那些要求具备复杂的几何形状、极好的灵活性、同时又具有良好的减震作用的产品。这种材料具备一定的耐化学品腐蚀性和耐热性，同时具备较好的撕裂强度和爆裂强度。

Windform RL 具备出色的类似橡胶的特征，它的机械属性使其特别适用于形状复杂、结构灵活的产品的增材制造。Windform RL 能承受反复的弯曲和变形，能够制造出精确、可靠、超级耐用的产品原型以及耐用的最终部件。Windform RL 材料还具有防水性，并有多种颜色可以提供。

CRP Technology，www.windform.com

平均功率100W的微加工皮秒激光器



Genki XP 平台进一步推动了高能量高功率皮秒激光器的工业化。该系统基于超稳定的 Genki 种子激光器，能提供短于 10ps 的清洁脉冲，这是许多微加工应用的最佳脉冲持续窗口。

为了满足皮秒激光工作站日益增长的需求，Genki XP 经过优化，能在 1064nm 的工业标准波长条件下，提供高达 100W 的平均功率和 300μJ 的脉冲能量。激光器可以定制，工作在更低的重复频率和更高的能量，或几 MHz 跟随高速自动化过程。

Genki XP 专为简单且具有成本效益的系统集成而设计，可以任意方向安装，并提供完全的远程控制功能。

主要特性：10ps 脉冲持续时间；突发模式；卓越的能量和指向稳定性；可任意方向安装；免维护，不需要对齐。

主要应用领域包括材料加工、玻璃和蓝宝石切割、等离子体生成及非线性光学等。

Onefive，www.onefive.com

能量约达80mJ的紫外激光器



Photonics Industries 公司最新推出的 DM40-351 紫外（UV）激光器，能在 351nm 波长处提供 40mJ 的最高脉冲能量，并且这种高脉冲能量在双头配置中可扩展至 80mJ，同时拥有良好的光束质量（M^2~10），适用的应用领域包括 UV 诱导荧光、粒子图像测速（PIV）以及平板显示器行业的 OLED 材料退火等应用。

此外，Photonics Industries 之前还发布了 DM100-527 激光器，这是一款最高脉冲能量 100mJ 的绿光 YLF 激光器，其在双头配置中的能量可扩展到 200mJ。

Photonics Industries，www.photonix.com

上接第17页

过程中在工件上产生足够的内应力，从而达到加工区域自动分离。对于非强化玻璃、蓝宝石或陶瓷，可以借助较低的机械力或热力很容易地实现分离。

SmartCleave FI 工艺可以切割任意形状，如直线、曲线、有角度的或倒角切割，可切割管状或曲面件；表面光洁，基本没有碎屑，典型的表面粗糙度值小于 1μm；切割速度大于 300mm/s；切割玻璃的厚度范围在 100μm~10mm 之间；适用于玻璃、蓝宝石、水晶、陶瓷等脆性材质。

强化玻璃、蓝宝石和其他脆性、透明材料的独特性能，这将促使这些材料在消费电子、医疗设备、集成电路、建筑、汽车、航空航天等市场领域涌现出不断增长的用途。特别是在以智能手机、可穿戴电子产品为首的消费电子产品中，对强化玻璃和蓝宝石的应用，具有很大的增长空间。因此，市场对脆性材料激光加工的需求非常看好。

在市场高需求的同时，来自市场要求减少加工步骤、减少材料浪费以及干性制程等因素的持续驱动，也正在强烈地推动着激光器制造商和激光系统集成商提供不断探讨，要求他们不但能提供传统机械加工的替代方案，而且还要不断提升激光加工方案的综合性能，以在加工质量、产品良率、加工速度及量产化方面有所突破。上文提及的厂商仅是活跃在非金属加工领域的少数几家，这个领域的发展背后，是更多厂商的努力，其他像华工激光、通快、武汉华日激光、等国内外厂商，都为激光非金属加工特别是强化玻璃和蓝宝石等脆性材料的加工的发展，贡献了不小力量。❑

Advertiser	广告商名称	网址	页码
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	BC
AMTS	上海国际汽车制造技术与装备及材料展览会	www.shanghaiAMTS.com	20
CASTECH Inc.	福建福晶科技股份有限公司	www.castech.com	1
Coherent Inc.		coherent.com/excellence	IFC
Edmund Optics China		www.edmundoptics.cn/057-8617	21
ELEXCON	深圳国际电子展	www.elexcon.com	25
华芯光电		www.everbrightphotonics.com	29
InterOpto			IBC
LaserFocusCon	激光聚会	www.laserfocusworld.com.cn	9
Lumentum Operations		www.lumentum.com	13
Newport	理波光电	www.newport.com	5
PCO AG		www.pco.de/ www.pco-tech.com	19
Pinnacle Scientific	顶尖科仪	www.psci.cn	27
莱茵技术		www.tuv.com	30-31
TRUMPF		www.cn.trumpf.com	15

eFOCUS VIDEO Magazine Webcast
www.laserfocusworld.com.cn

行政及销售人员 Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

HK Office (香港办公室)

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

Publishing Director (出版总监)
Adonis Mak (麦协林)
adonism@actintl.com.hk

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

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

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

US Offices

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

Group Publisher
Alan Bergstein
alanb@pennwell.com

Editor in Chief
Conard Holton
cholton@pennwell.com

销售人员 Sales Offices

China (中国)

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

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

Wuhan (武汉)
Sky Chen (陈燕)
skyc@actintl.com.hk
Tel: 86 137 2373 9991
86 27 5923 3884/1564

Eva Liu (刘婷)
eval@actintl.com.hk
Tel: 86 138 8603 3073

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

Shanghai (上海)
Sales Director-China (中国区销售总监)
Hatter Yao (姚丽莹)
hattery@actintl.com.hk

Amber Li (李歆),
amberl@actintl.com.hk
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: 49-0-8847-6986656

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

为您提供最新光学及产品应用开发技术的商洽展览会！

～ 集中展示车载・自动驾驶 /医疗・生化科技 / 机器人 /宇宙航空 / 农业等最尖端光学应用技术 ～

A Brighter Way to Innovation

All about PHOTONICS 2017

Oct.4-6 Wed. Fri. 2017

10:00-17:00 会场: 幕张Messe, 日本



Business Partnering to Kickstart the Next Generation of Optical Technology

最尖端国际光学技术展	光学技术生化/医疗应用展	尖端激光加工技术展	LED设计・应用领域开发展
INTERNATIONAL OPTOELECTRONICS EXHIBITION 2017 interOpto® 2017	BioOpto Japan 2017 Conference + Exhibition	LaserTech2017	LED JAPAN 2017

为何参展？

1.可与众多应用产品开发/设计专家进行商谈！
半数参展观众为研发，设计·制造行业的专家，专业的应用领域观众群体　将助您实现高质量的商谈。

2.众多高端研讨会助您实现商业配对。
同期举办众多以汽车，电子，通信，生化等为主题的研讨会，为您提供与他领域的光学技术及产品制造开发商的配对。

3.“传感+网络”，“CPS+IoT”:与CEATEC JAPAN 2017，MEMS SENSING & NETWORK SYSTEM 2017同期举办，致力创造更多的商机！

【同期举办展会】CEATEC JAPAN 2017 / MEMS SENSING & NETWORK SYSTEM 2017

与集结日本众多知名企业，吸引15万观众参展的CEATEC JAPAN同时举办！

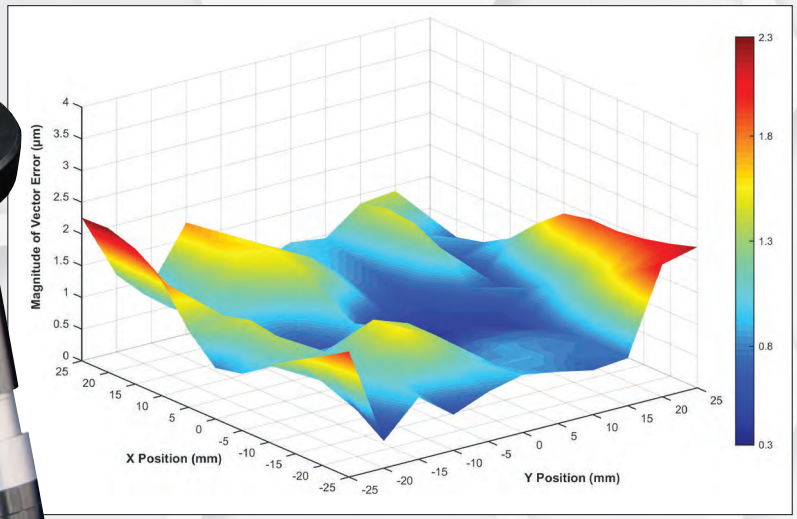
Contact

Secretariat **JTB Communication Design, Inc.**
Tradeshow Business Unit
Business Promotion Department

Celestine Shiba Mitsui Bldg.
3-23-1 Shiba, Minato-ku, Tokyo 105-8335, Japan
Tel: +81-3-5657-0769　**Fax**: +81-3-5657-0645
E-mail: all_about_photonics@jtbcom.co.jp

无与能比的定位性能





在XY平面Z方向的三维矢量精度误差为0 毫米

HexGen™是Aerotech的Hexapod(六自由度定位平台)系列产品
最新一代的六自由度定位系统

HexGen™六自由度定位平台是具有大负载、高速度和超高定位精度需求的理想选择。HEX500-350HL具备无与能比的定位精度（直线定位精度是 (±0.5 µm，角度定位精度是 ±2.5 µrad）和定位分辨率（直线轴分辨率是20nm，角度分辨率是0.2 µrad）。简而言之，HexGen™系列是六自由度定位平台市场上最好性能的产品。

请联系Aerotech的应用工程师，或者登陆我们的官方网站获取更多的信息，了解Aerotech的六自由度定位平台是如何提高您定位应用的。

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

AEROTECH®
Dedicated to the Science of Motion

AF0216B-RAD-ZH-CN