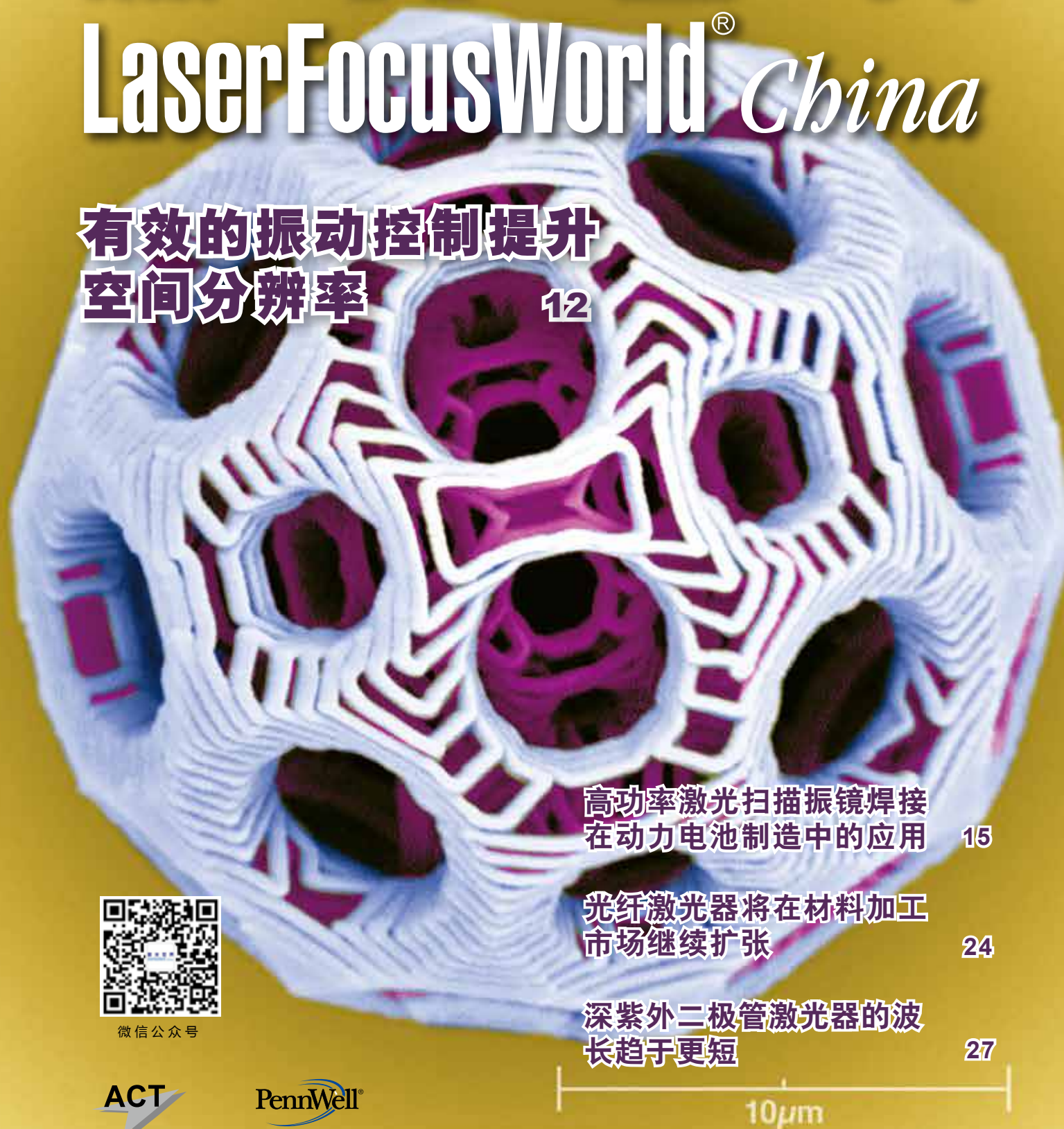
光学和光电子产业的主导刊物 www.laserfocusworld.com.cn 2016年7/8月 第4期
ISSN: 1817-6917

激光世界

LaserFocusWorld® China



有效的振动控制提升空间分辨率 12

高功率激光扫描振镜焊接在动力电池制造中的应用 15

光纤激光器将在材料加工市场继续扩张 24

深紫外二极管激光器的波长趋于更短 27

微信公众号

ACT

PennWell®

聚全球资源　做世界光谷
Gathering Global Resources, Building a World Optics Valley

光联万物 智引未来

Light Links World,
Wisdom Leads Future

2016.11.3-5 武汉国际博览中心 一场光电科技与信息智能融合的盛宴

激光光学　光通信　机器视觉　3D打印　AR/VR　无人机 无人驾驶　工业自动化 及机器人　地球 空间信息

扫一扫，获取更多资讯！

同期论坛

※ 亚洲通信与光子学大会（ACP 2016）
※ 国际光子与光电子学会议（POEM 2016）
※ 第十三届国际生物医疗光子学大会（PIBM）
※ 2016全球光纤光缆大会（CRU 2016）
※ 第十一届中国光谷（武汉）国际激光峰会
※ 2016中国武汉第四届增材制造技术（3D打印）国际论坛
※ 2016激光聚焦峰会 Laser Focus Con 2016
※ 第七届武汉国际地球空间信息技术与产业发展高峰论坛
※ 第十四届“中国光谷”知识产权国际论坛
※ 互联网+智慧城市与智慧家庭高峰论坛

OVC EXPO 2016
THE 13TH OPTICS VALLEY OF CHINA
INTERNATIONAL OPTOELECTRONIC EXPOSITION AND FORUM
第十三届“中国光谷”国际光电子博览会暨论坛

027-87115259　www.ovcexpo.com.cn

LaserFocusCon
激光聚会 2016

武汉 • 11月

激光技术是“打造 21 世纪创新”的主要动力之一，刚过去的一年更被联合国划定为“国际光年”，是对激光技术应用的充分肯定。中国制造 2025 行动纲领，设定了中国从制造大国迈向制造强国的目标，在接下来十年的中国制造业发展规划中，激光产业将会迎来哪些新机会？激光技术将为制造业带来哪些创新与突破？

LaserFocusCon 2016

激光技术于中国智能制造

武汉 • 11 月

预计 120 — 150 位技术人员和管理层代表参会

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 列印



Laser FocusCon 2015
激光技术聚焦峰会 — 武汉 11 月

主持：
Conard Holton
《Laser Focus World》英文版主编

赞助企业：
IPG、德国 DILAS、华工科技、Laserline、通快、罗芬激光、西安炬光

出席人数：
142

激光市场能否在全球经济放缓中脱颖而出？

大多数经济预测都认为，全球经济发展正处于在放缓状态。然而，激光技术颇具吸引力的投资回报和能源效率，将有望使全球激光器销售额于 2016 年再创佳绩。

《激光世界》 2016 年 1/2 月刊

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
香港 852-28386298
深圳 86-755-25988571
北京 86-13011108861
武汉 86-13723739991
上海 86-21-62511200
http://www.laserfocusworld.com.cn/lfc/index.html



目 录

市场风向标

未来五年工业激光器市场年均增长 6.6% 5

2016-2020 年激光二极管年均增长率超过 11% 6

光子学前沿

高效光学泵浦

“绿色环保”促进更高效的激光器泵浦 9

封面故事

振动控制

有效的振动控制提升空间分辨率 12

应用天地

激光焊接

高功率激光扫描振镜焊接在动力电池制造中的应用 15

光束分析

高功率单模激光器的光束质量分析 19

激光切割

激光改性实现清洁的玻璃切割边缘 22

材料加工

光纤激光器将在材料加工市场继续扩张 24

技术中心

新型激光器

深紫外二极管激光器的波长趋于更短 27

中红外激光器

“阴阳结构”的中红外激光器实现两路同步输出 31

商业论坛

变化和增长中的中国工业激光器市场 32

编者的话 4

前沿简讯 7

产品撷英 34

广告索引 36

激 光 世 界
LaserFocusWorld® China

2016 年 7/ 8 月 第四期

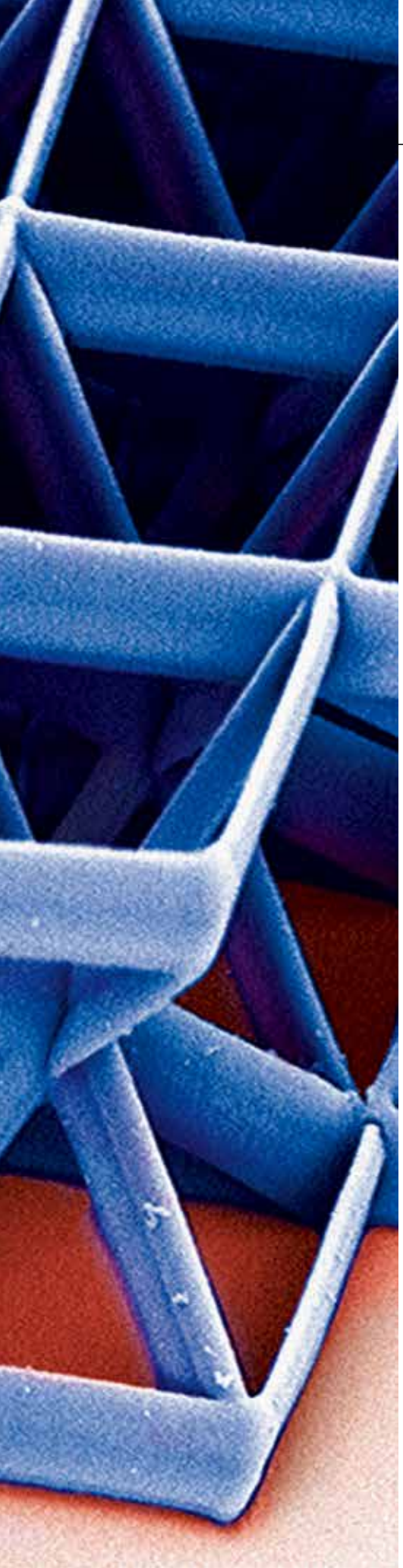
关于《激光世界》

《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



CONTENTS

MARKET TRENDS

Industrial laser markets 'to grow by 6.6% to 2020' 5

Growing use of laser diodes in industry, telecoms to drive market through 2020 6

PHOTONIC FRONTIERS

High-efficiency Optical Pumping
'Going green' cranks up high efficieny laser pumping 9

COVER STORY

Vibration Control
Effective vibration control expands spatial resolution 12

APPLICATIONS

Laser Welding
Application of high power laser scanning galvanometer welding in power battery manufacturing 15

Beam Analysis
Beam quality analysis of high power single mode lasers 19

Laser Cutting
Laser modification cut achieves a clean glass cutting edge 22

Materials Processing
Fiber lasers will continue to expand in the material processing markets 24

TECHNOLOGIES CENTER

Novel Lasers
Short, shorter, shortest: Diode lasers in the deep ultraviolet 27

Mid-IR Lasers
'Yin-yang' mid-IR laser has two synchronized channels 31

BUSINESS FORUM

Industrial laser markets in China - changing and still growing 32

Editor's Notes 4
Leading Edge Snapshots 7
Products Highlight 34
Ad Index 36

激光世界 LaserFocusWorld China

Jul/ Aug 2016 Issue 4

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.

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
© 2016 版权所有 翻印必究

制造业中的市场机会

工业 4.0、中国制造 2025 都在促使制造业向着更加高端、高效及智能化的方向发展，这必然要求在制造方式上从传统的制造工具向更新一代制造工具过渡升级，这无疑在一定程度上驱动了工业激光器市场的稳定增长。

市场研究公司 BBC Research 最新发布的一份关于全球工业激光器市场的报告表明，在接下来的 4-5 年中，全球工业激光器市场将会保持 6.6% 的复合年均增长率，其中消费电子产品制造是第一大推手。

提到激光的工业应用，可能最先出现在脑海中的便是焊接、焊接、打标等应用。没错，这的确是目前激光在工业中的一些主流应用。

本期的应用天地中，大族激光精密焊接事业部向读者分享了其高功率激光扫描振镜焊接在动力电池制造中的应用。扫描振镜焊接通过振镜引导光束传输，相较于传统的机械手臂或运动平台激光焊接，这种方式能实现光斑的快速移动和光斑的高精度定位，扫描范围大、焦平面不上翘、焊接均匀性高，能大幅提高焊接质量和焊接效率，这在当前要求品质和效率的时代，无疑是一种加工利器。目前，该系统已经在动力电池的盖帽防爆阀焊接、盖帽铝圈焊接、盖帽 - 电芯极耳焊接、模组汇流片焊接等应用中成为了“主要劳动力”。

在切割领域，亚智科技介绍了一种新的硬性玻璃切割工艺。各种强化玻璃广泛应用于消费电子产品中，最熟悉的就是智能手机屏。切割硬性玻璃通常会遇到机具磨损严重、切割边缘粗糙甚至有微小破裂等问题，切割质量和切割效率都不尽如人意。亚智科技开发的 M-Cut 玻璃切割工艺，能将玻璃基板切割成各种不同的几何形状，切割边缘质量高，切割效率高，既不同于以往的热切割，又不同于冷烧蚀，它到底是什么切割秘籍呢? 有兴趣的读者可以深入了解。

激光加工工艺的发展，也离不开激光源的发展。而在光源领域，光纤激光器在工业市场上跑马圈地的趋势依旧会继续。以 IPG 为首的光纤激光器厂商，正不断在输出波长、峰值功率以及其他各个性能参数方面获得新的进展。光纤激光器凭借着在成本、光束质量、可靠性、体积等方面的优势，有望成为材料加工市场的主流。一些大牌激光器制造商也进入了光纤激光器领域，正如 BCC Research 所断言，“光纤激光器市场尤其会呈现出惊人的增长”。❑

本刊编辑部

未来五年工业激光器市场年均增长 6.6%

文/BCC Research

工业激光市场的发展生机勃勃，正处于稳定的增长态势之中，即使是在全球经济不景气的那段时光，工业激光器市场也依然保持了增长的势头。市场研究公司 BBC Research 最新发布的市场报告表明，技术的演进将会继续驱动全球工业激光器市场的增长，“尤其是光纤激光器这一细分市场”。

报告显示，预计到 2020 年，全球工业激光器的市场规模将有望从 2015 年的 46 亿美元增长至 63 亿美元；换句话说，在未来五年内，全球工业激光器市场将以 6.6% 的复合年均增长率（CAGR）增长。作为其中一个部分，消费电子领域是工业激光器最大的终端应用产业，其市场总额将有望从 2015 的 15 亿美元增长至 2020 年的 20 亿美元，五年内的 CAGR 将达6.1%。建筑业将是第二大细分市场，市场总额将以 6.4% 的复合年均增长率增至 2020 年的 12 亿美元。

BCC Research 的报告显示，在驱动市场需求的诸多因素中，市场更加重视产品质量和生产效率这两点更加突出。报告中指出，“许多公司将有望在研发领域投入重金，目的是为终端用户提供更好的解决方案。市场对三维成像增材制造需求的提升，也将会极大地促进全球市场对工业激光器的需求。”

从地域上来看，亚太区仍将是全球工业激光器的最大市场。报告指出，“随着大量企业实体的涌入，以及业界对自动化的关注程度日益提升，因此在中国、日本和韩国等主要市场，工业激光器市场都将呈现出大幅增长。”



光纤激光器

与传统的工业设备产业不同的是，工业激光器产业仍然处于不断的发展演进中。尽管 CO_2 激光器和 Nd：YAG 激光器是最常用的工业激光器，但是在未来五年内，光纤激光器和碟片激光器将会经历明显的上升期；BCC Research 断言，“光纤激光器市场尤其会呈现出惊人的增长，这主要是因为光纤激光器的高输出功率和小巧紧凑的体积，将会刺激很对市场需求；此外，光纤激光器的可靠性也是驱动市场增长的因素之一。”

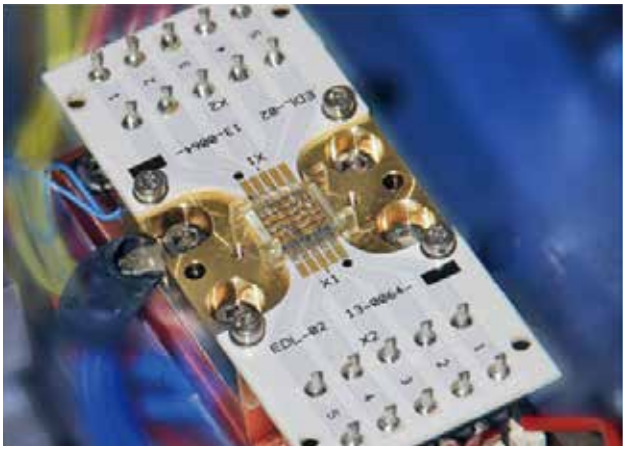
“光纤激光器能够提供很高的峰值功率和纳秒级脉冲，进而可以实现有效的打标和雕刻应用。此外，光纤激光器还能实现更快的切割度、同时提供更加清洁的切割边缘。”BCC Research 分析师 Sinha Gaurav 表示，“相比之下，光纤激光器更低的拥有成本，也会促使全球市场的需求量。2014 年全球光纤激光器的市场规模为 11 亿美元，预计到 2020 年该数字将增长到近 19 亿美元，未来五年的复合年均增长率高达 8.5%。”

BCC Research 的这篇报告的题目为《 Lasers for Industrial Applications: Global Markets》，报告分别从技术、类型和终端用户应用对工业激光器市场进行了分析，同时也涉及了新兴应用、趋势、价格、研发、政府规划及竞争技术等多方面的内容。此外，该报告还提供了全球工业激光器市场驱动力及趋势分析，包括 2014 年和 2015 年的数据，以及到 2020 年的 CAGR 预测。❑

2016-2020 年激光二极管年均增长率超过 11%

文/Technavio

来自市场研究公司 Technavio 的一份最新市场研究报告显示，2016-2020 年间，全球激光二极管市场的复合年均增长率（CAGR）将有望超过 11%。该报告中重点提及的主要厂商包括：相干、IPG Photonics、欧司朗、罗芬公司和通快。



这篇题为《Global Laser Diode Market 2016-2020》的报告，主要从收入和新兴市场趋势方面，对全球激光二极管市场进行了深度分析。报告主要分为六大市场部分，分别为：工业市场、通信和光存储市场、军事市场、医疗市场，以及仪器仪表和传感器市场。

工业市场

来自 Technavio 的报告显示，到 2020 年，工业领域的激光二极管市场规模将有望达到 40 亿美元，2016-2020 年间，这部分市场将以超过 11% 的复合年均增长率增长。报告指出，“在工业市场领域，激光二极管主要用于材料加工、光刻、切割金属及焊接塑料，因为激光二极管具有高效率、高功耗和高亮度。”

激光二极管也可用于激光熔覆应用中，用于在金属基板上沉积粉末金属或金属丝。激光二极管的其他应用包括塑料焊接、钎焊、烧蚀、焊接和表面硬化。

Technavio 公司负责嵌入式系统研究的分析师 Asif Gani 评论说，“激光二极管非常高效，具有较低的投资成本，产生更少的热量，并且具有很高的加工速度。这些因素都驱动了工业领域对激光二极管的需求。”

通信和光存储市场

在通信和光存储市场，预计到 2020 年，激光二极管的市场规模将有望达到 36 亿美元，市场增长速度与军用系统的销售增长速度相同。激光二极管是通信和光存储市场的首选产品，因为它们很容易调制。

激光二极管是宽带通信的一个重要组成部分。激光二极管还可以作为光纤网络中的发射机，以用于泵浦掺铒放大器中的激光器，并且也在测试和测量应用中用作高功率脉冲激光器。

Technavio 认为，全球电信行业及其相关行业将会经历快速增长，这主要是由于不断增加的资本支出和网络质量的不断提升。”他补充说，“新技术将有助于提高现有固定和移动基础设施的性能。半导体激光二极管广泛应用于这一领域，并其在预测期内将获得更大的市场驱动力。”

军事

在军事市场，预计到 2020 年，激光二极管的市场规模将有望达到 18 亿美元，2016-2020 年期间，同样以超过 11%的复合年均增长率增长。在这一领域，激光二极管主要用于反导弹系统、机载激光水雷探测系统、照明器以及固态和高能激光器泵浦源。它们还可以用于测距和目标位置锁定。

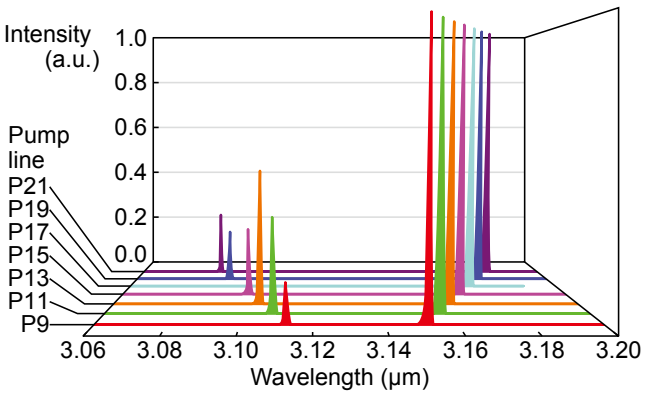
Technavio 的分析师 Asif Gani 表示：“二极管激光器也被用来改善任何使用红色激光二极管的武器的瞄准质量。使用这些激光二极管的军事应用包括，指向标和目标指示、户外通信、红外照明、3D 定位和距离感应，这些可以通过遥控空中和地面车辆实现。此外，激光二极管也正在用于障碍物测距和绘图应用，这对于在夜间作业的军用直升机和喷气机是特别有用的。”❑

前沿简讯 Leading Edge Snapshots

填充乙炔的中空光纤中红外激光器简单牢固

文/John Wallace

红外（mid-IR）激光器的类型不断增多，如有量子级联激光器（QCL）、基于硫化物玻璃增益介质的激光器、老式中红外激光器、光参量振荡器等等。所有这些中红外激光器都有其各自的优点和缺点，因此如果市场上有新的中红外激光器出现，应该永远都不会是一件坏事情。



英国巴斯大学的科学家们，已经公布了一种新的中红外激光器，其采用激光二极管泵浦中空的硅光纤，而硅光纤内充满乙炔气体。该激光器能够在 3.1~3.2μm 波段实现多种输出之间的转换，其主要优势包括：整体结构简单、牢固可靠，无论是工作在连续波（CW）状况还是工作在同步泵浦脉冲发射状态。

该激光器中采用的光纤，每个端部封有一个小的透明气体单元；在 1.53μm 的泵浦波长处和 3.1~3.2μm 的发射波段，该光纤的衰减分别为 0.11dB/m 和 0.10dB/m。光纤的低损耗，允许使用约 0.3mBar 的低气体压力，以在每个过程中产生高增益。

对于脉冲运作，泵浦激光二极管正好按照光纤空腔的再循环频率发射脉冲，这将确保泵浦脉冲与再循环激光脉冲重合。对于 CW 泵浦（这种情况将产生连续输出），能够看到两条密集的线。该激光器的泵浦耦合效率为 80%——连续波输出的斜率效率为 6.7%（仅测量两个双向激光输出中的一个）；脉冲输出模式下的斜率效率为 8.8%。❑

纳米等离子体器件将红外激光转化成绿光

加拿大 Alberta 大学的科研人员成功用绝缘硅纳米等离子体波导，通过三次谐波发生产生了绿光。该三次谐波发生器件由 1550nm 激光激发，被加工在绝缘硅衬底上 340nm 高、95nm 宽、60nm 厚的金层波导导向，最终在输出端输出 517nm 的绿光。

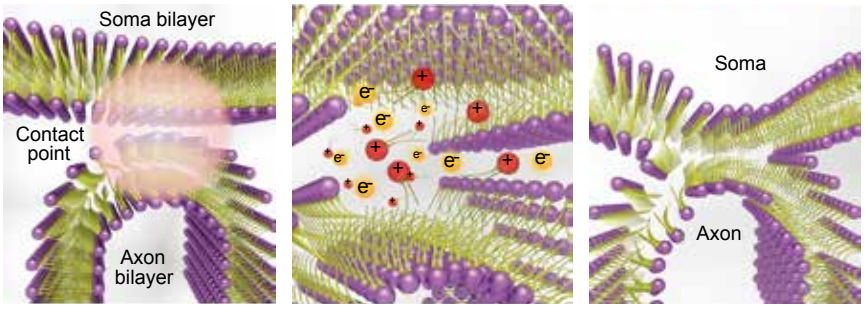
已知硅是所有 CMOS 材料中具有最高三阶非线性系数和最高折射率的材料，可见光波段发射光通常很困难，因为硅带隙不是直的，而且产生的任何可见光都会被强烈吸收。为了克服这些障碍，波导利用其内部表面 - 等离子模式的强光 - 物质耦合作用和强局域红外电场，实现了有效的非线性光混合和短距离内的三次谐波发生。通过有质动力加速硅 - 铜界面上陡峭梯度场中的光激发电子，并且驱动强纳米等离子体场中的电子雪崩式倍增和冲击离子化过程，波导能够产生宽带可见光。❑

飞秒激光器用于“焊接”神经元

文/Gail Overton

完整的神经元细胞包括神经元胞体（主细胞体）、树突（从神经元胞体分支出来的结构）和轴突（主细胞体的一个长扩展结构，连接到其他神经元胞体、树突或轴突）。完整的神经元，通过电脉冲和化学信号处理并传输信息。当然，当这些神经元通路被破坏时，通信将被中断，这将导致通常由这些联合路径支配的肌肉，走向萎缩和 / 或死亡。

到目前为止，还不可能将破坏的神经元组织重新连接到一起。但是最近加拿大阿尔伯塔大学的研究人员正在进行的一个超快激光器应用开发项目，已经使用一台强度为



$1.7\ (\pm 0.08) \times 1012 W/cm^2$ 、瞄准精度为 ±0.5μm 的近红外飞秒激光器，来执行健康神经元胞体和轴突的“半融合（hemifusion）”。

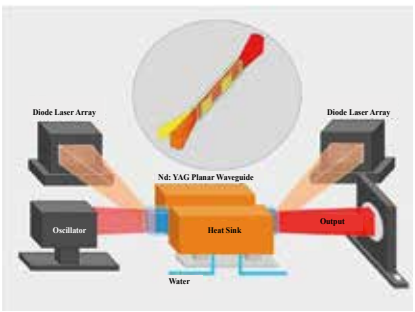
通过超快多光子和雪崩电离过程，激光脉冲诱导磷脂双层的分子重排，从而使光诱导的离子和电子跨越至磷脂双层的中央非极性区域，打破脂肪酸尾的键合，在这之后电离的磷脂分子寻求一种平衡状态，与附近的离子形成一种新键合。这种交叉链接的过程，形成了一个强大的、共用磷脂双层或半融合的膜，这对于神经元再生和修复研究而言，意义重大。❑

我国 YAG 激光陶瓷研究取得重要进展

近日，中国科学院上海硅酸盐研究所李江研究员团队研制的 YAG/Nd:YAG/YAG 陶瓷平面波导，作为激光放大器的增益介质，经中国工程物理研究院应用电子学研究所高清松研究员团队验证，获得了 100Hz 重复频率下 327mJ 单脉冲能量的激光输出。

据研究团队所知，这是国际范围内采用非水基流延成型制备的该种陶瓷平面波导达到的最大单脉冲能量输出。

平面波导结构激光陶瓷不仅可及时传导激光发射中产生的废热，避免热透镜效应，还能增加增益介质中的光密度，从而实现低阈值、高功率的激光输出。流延成型技术是一种精度高、膜厚度和组分可控性强的陶瓷成



型工艺。2014 年，上海硅酸盐所的研究团队在国际上首次采用流延成型和陶瓷烧结技术，克服了单晶键合技术的缺陷，实现了平面波导结构激光陶瓷的一体化制备，成功制备了高质量的平面波导结构 YAG/Nd:YAG/YAG 透明陶瓷，样品在激光工作波段 1064nm 处的直线透过率大于 84%（接近理论透过率）。

研究团队制作的激光器系统包括三个主要部分：种子源、种子光耦合系统，以及放大器。种子源为双棒串接的 Nd:YAG 振荡器。放大器增益介质尺寸为 1mm × 10mm × 60mm，1mm 厚度上为 YAG/Nd:YAG/YAG 陶瓷波导结构，并且两端各有 5mm 的非掺杂 YAG 端帽。泵浦源经过慢轴缩束快轴聚焦后，以特定的角度倾斜泵浦平面波导介质。种子光从波导一端注入，放大光从另一端输出。高清松研究员认为，该平面波导结构陶瓷激光放大器不仅具有输出能量高、效率高的优点，而且它的体积非常小，能够实现激光器系统的小型化、轻量化，是未来数年高能全固态激光器的主要发展方向之一。❑

高效光学泵浦

“绿色环保”促进更高效的激光器泵浦

文/Jeff Hecht

提高光学泵浦效率已经使固体激光器成为具有成本效益的工业工具。持续改进将通过减少非线性效应提升激光器性能，并开辟新应用。

有效的激光二极管泵浦引发了固体激光器的革命。1990 年的固体激光器泵浦的标准是闪光灯泵浦，但是经过三十年的发展后，钕激光的典型电 - 光转换效率仅为 1%。二极管泵浦通过三种方式显著提升了固体激光器的电 - 光转换效率：电力更有效地转化为光，更具方向性的输出，以及更好的匹配窄泵浦带。这使得采用 808nm 二极管泵浦钕激光器时，达到了 10%左右的电 - 光转换效率。

现在，二极管泵浦已经在固体激光器泵浦市场中占据主导地位。高功率下，二极管泵浦固体激光器的典型电 - 光转换效率已经达到 30%，市场上最佳的转换效率已经超过 50%。镱凭借更高的二极管泵浦效率，已经取代钕成为主导性的激光增益介质。光纤和碟片具有更高的效率，已取代棒状介质成为市场的新焦点。研究人员继续争取更高的光学泵浦效率，以提高激光的性能，特别是高功率下的性能。

测量效率

光学泵浦效率可以用不同的方式来测量。

整体或“墙插(电 - 光转换)”效率，是测量有多大比例的输入电功率能够转换成为激光功率。电 - 光转换效率是多种因素的综合产物，涉及：电源效率、激光二极管的发光效率、泵浦光耦合进激光介质的效率、泵浦光吸收、多少泵浦光子激发发射、泵浦和输出光子之间的量子亏损或能量差异，以及激光腔。这是通常的整体测量。

另外两种效率也是有用的：

- **光 - 光转换效率**：输出激光功率与输入泵浦功率的比值；
- **斜率效率**：高于阈值时，输出功率增加量与输入功率增加量的比值。这是图 1 曲线中的线性部分，图 1 显示了输出如何呈线性增加，然后在达到最大输出功率之前减慢。

泵浦激光二极管

美国 nLight 公司的首席光学工程师 Marty Hemenway 说，泵浦激光二极管是效率公式中的关键部分，其重要性超越了单纯的电 - 光转换效率。二极管巴条的发光比单发射体二极管芯片的发光更为有效，它们的每瓦功率成本更低。然而，二极管芯片能发射出更亮、更集中的光束，因此能够更有效地激发激光增益介质。

二极管泵浦方案的设计，取决于具体的泵浦应用（见图 2）。当泵浦光纤激光器时，系统效率强烈依赖于传送给光纤的亮度，因此相比于巴条更高但更发散的功率，光纤激光器泵浦应用更倾向于选择二极管芯片的高亮度。碟片激光器和块体固体激光器则不同，因为二极管能够泵浦较宽的区域。然而对于碟片激光器和固体激光器的泵浦应用，Hemenway 介绍说，“它们与亮度的关系较小，而与功率关系更大”，因此这类应用选择巴条泵浦将会更加有效。另外，还有很多因素会导致泵浦方案的进一步复杂性，如温度会影响芯片的性能和可靠性，以及应用的其他细节等。

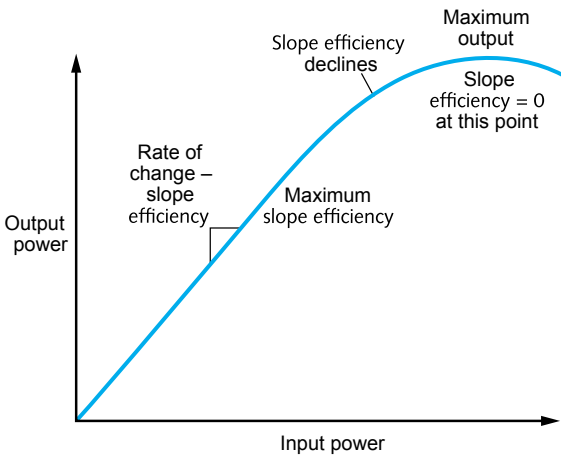


图 1：激光输出与输入功率的函数关系，曲线上任何点处的效率是由输出功率除以输入功率得到的，斜率效率测量输出相对于输入增加有多快。一般情况下，功率线性增大，直到激光开始饱和，然后达到峰值，如图中右侧所示。

镱和高效率

效率取决于激光材料的选择及

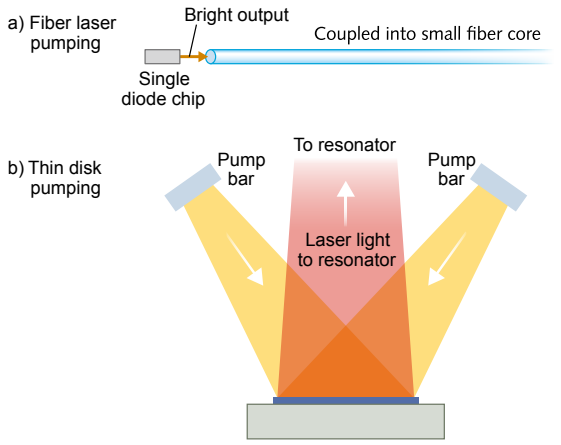


图2：二极管泵浦的不同形式，其中高亮度单管用于泵浦光纤激光器的小尖端（a）。高功率低亮度的二极管巴条，用于泵浦薄碟片的大区域（b）。薄碟片激光器的谐振腔未给出。

其结构，镱能提供最佳的效率。镱在 915~940nm 拥有较宽的泵浦带，而在 976nm 峰值处有更窄且更强的泵浦带。这两个泵浦带均落在铟镓砷（InGaAs）激光二极管的范围内，InGaAs 激光二极管是非常有效的发射体；对于二极管的效率，较长波长的峰值“尽善尽美”，美国 WFK Lasers 公司的首席 Bill Krupke 说。

此外，在镱材料中，泵浦和输出之间的斯托克斯位移小。976nm 的泵浦二极管可以产生强大的 1030nm 激光发射，量子亏损仅有 6%。在主振荡器 / 功率放大器配置的放大器级中，这有助于掺镱光纤激光器达到 90%的光 - 光转换效率。

非常高效率的光纤激光器

泵浦光进入增益介质的良好耦合，也提高了光纤激光器的效率。典型的光纤激光器采用双包层结构（见图 3），泵浦光耦合进较大的内包层（outer-core），激光粒子掺杂进内纤芯中 (inner-core)，并产生激光发射。内包层的不对称性保证了全内反射可使泵浦反复穿过纤芯，激发激光粒子。纤芯约束受激发射，并产生高质量的光束。

工业应用的典型高功率掺镱光纤激光器，具有超过 30 % 的电光转换效率，输出达到单模 10kW 和多模 100kW。商业激光器的最高电光转换效率是 IPG Photonics 公司制造的 ECO 激光器系列所达到的高于 50%，输出高达 6kW 的连续波（CW）。为了实现如此高的效率，泵浦二极管以最高效率、而不是峰值功率运行。因为需要更多泵浦二极管来达到更高的功率，导致激光器的价格提升，但是对于能源非常昂贵的国家（如日本）而言，这是一种高性价比的选择。

光纤激光器的长相互作用长度也需要在高功率下权衡。非线性随着激光介质的长度而增加，特别是在单模激光器中，因此研究人员已转换到大模场面积光纤，以减小光纤中的功率密度。这样能减少非线性布里渊散射，这种效应会消耗纤芯内的激光功率，从而降低工作效率。

在高功率下，效率也非常重要，以避免约五年前发现的问题：多模不稳定性引起的突然功率下降。多余的热量引起热 - 光效应，在光纤内产生梯度。在阈值之上，这可以在大面积光纤的 20~25μm 纤芯内产生两种模式，这些模式的跳动造成严重的波动。目前正在开展工作抑制这种现象，并且正在取得进展。在 2016 年 2 月的 SPIE Photonics West 会议上，美国空军研究实验室的 Nader Naderi 及同事报道了放大器中具有 84%斜率效率的千瓦输出，接近衍射极限，并且“没有模态不稳定的迹象”。他们把成功的原因归结于采用伪随机比特序列调制单频主振荡器，以及优化设计。

追求人眼安全的高功率激光器

1030~1080nm 的镱激光器在对高功率的追求上遥遥领先，但美国五角大楼更倾向于战术使用的人眼安全激光器，以保护士兵和平民。两种领先的候选方案是 2μm 的铥激光器、以及约 1.6μm 的铒激光器，目前已经可以提供 200W 的 CW 功率。

铥的一项重要吸引力是采用 790nm 光子泵浦、通过交叉弛豫过程激发两个铥原子可能达到的效率。在 2016 年的 Photonics West 会议上，中佛罗里达大学的 Alex Sincore 和同事报道了利用该过程实现了 55%~60% 的光 - 光转换效率。Krupke 认为铥是高功率人眼安全激光器最接近的技术，同时也表示 2μm 波段的传感器（需要监测激光）并没有得到很好的开发。

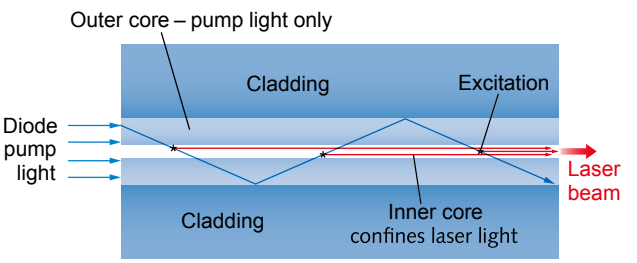


图3：双包层光纤约束泵浦光（蓝色），因此泵浦光反复通过纤芯，激发激光粒子，从而发射激光（红色）。在这种光纤长度上的紧耦合，产生高效率的光学泵浦。

相比之下，接近 1.6μm 的传感器要好得多，Krupke 认为对人眼安全而言，长远来说更可能是掺铒光纤。他指出美国陆军研究实验室已将可泵

浦铒的 1480nm 铟镓砷磷（InGaAsP）泵浦二极管的效率增加了一倍，之前被限制在约 20%。另一种选择是采用 InGaAs 二极管泵浦，在 2016 年 Photonics West 会议上，BAE Systems 公司的 Daniel Creeden 及同事描述了 207W 的铒：镱（Er：Yb）放大器，实现了 50.5%的斜率效率，他们称之为在 900nm 波段泵浦的最高值。

二极管泵浦碱蒸气激光器

美国五角大楼对于长程兆瓦级激光器抱有不同的光学泵浦期许：二极管泵浦碱蒸气激光器，是具有非常小的量子亏损的准二能级激光器。在本世纪初，Krupke 展示了商业二极管激光器能够有效地泵铷、铯和钾蒸气。德国 DILAS 公司已经展示了用于泵浦这三种激光器的高功率泵浦二极管。

截至目前，领先的方案是铷，在 780nm 处泵浦，该波长易于由砷化镓二极管产生。在未发表的实验中，据说铷蒸气的输出已经达到了 10kW 范围，更高的功率正在酝酿之中。但是其有效运行需要约 10 个大气压的氦作为缓冲气体，这使得激光器的运行复杂化。

从更长远来看，Krupke 认为钾应该被证明更加实用，因为它需要不到 1 个大气压的氦缓冲气。当在 766nm 泵浦时，其输出光为 770nm，量子亏损非常小。到目前为止，钾激光器的输出功率已经达到 1.5kW，光-光转换效率为 50%。希望流动的气体系统可以扩展到比固态激光器更高的功率，因为它们具有高效率，并且更容易冷却。

效率的未来

光学泵浦效率将继续增加，但我们正在进入过渡区，益处将发生变化。将固体激光器的电-光转换效率从 1% 提升至 50%，也即完成同样的工作，所需要的能耗和尺寸缩减了 50 倍。而再将效率提升至 99%，而上述两个因素仅是又减少一半。

但将效率从 50% 提升到 99%，能将废热大幅减少 50 倍，带来其他益处。最明显的益处将是大大减少冷却水或大型制冷系统的需求。更巧妙的益处将来自于通过减少热致非线性和折射率变化，挑战激光性能的极限。使用更少的能源来做更多的事情，那样我们的感觉会更棒的。❑

无与伦比的XY定位性能

一体的集成、
低轮廓、XY、
直线电机平台

防返，交叉滚柱轴承



卓越的几何性能
（直线度±0.4 μm，
平面度±1 μm）

多规格-9种
不同行程和
精度型号

Aerotech Planar$_{DL}$系列平台通过紧凑低轮廓的封装，可以提供卓越的几何和动态性能。高精度防返交叉滚柱轴承，精密加工表面和驱动于轴刚度中心的Aerotech直线电机保证了其作为定位平台的超低几何误差。一系列行程和性能选项使得此款平台适合于从表面轮廓测定到LED晶片划线的各种应用。即刻联系Aerotech了解Planar$_{DL}$如何提升您的应用。

Ph: +86 (21) 3319 7715 • Email: sales@aerotech.com • www.aerotech.com
WORLD HEADQUARTERS: USA
THE AMERICAS • EUROPE & MIDDLE EAST • ASIA-PACIFIC

AEROTECH® Dedicated to the Science of Motion

AH0315A-RAD-ZH-CN

振动控制

有效的振动控制提升空间分辨率

文/Sylvia Tan

随着科学与工程工艺、以及产品尺度的不断缩小，对更高性能、无振动平台的需求越来越大。硅光子学、微加工和超分辨显微方面的特定应用，更加突显了对针对特定应用的振动控制平台的需求。

技术的进步使观察、操纵和制造极其详细的物体成为可能。这些物体及尺寸的例子从纳米尺度的光波导结构、到活体细胞和蛋白分子支架。在这种微型尺度上的研究和技术，在整个系统设计层面上，要求更高的精度和公差，包括振动控制平台。

硅光子学、微加工和超分辨显微这三项具有挑战性的应用，在制造和测试过程中均需要超高的空间分辨率，要求振动控制平台在设计上消除可能干扰最终产品或工艺的振动。

硅光子学：气动和调谐阻尼

硅光子是对以硅（Si）作为光学平台的光子学系统进行研究和应用。与传统的光子学装置不同，硅光子学组件高度集成化和小型化，因为它们是以纳米级分辨率在芯片上制备的。例如光学接头、环形谐振器、滤波器和调制器之类的设备，都是在严格的机械公差下使用各种高分辨率光刻方法制造的，随后进行测试和表征。

相比其他类型的光学表征，在硅光子学中，测试夹具和光源通常不在同一芯片上。这意味着，光需要精确地和不受干扰地被引导到芯片并从芯片导出，以便合适地测试芯片的功能性。考虑到芯片上制造的波导和其他器件的超紧凑特性，为了保持较高的空间分辨率，必需使用光纤耦合。

“振动控制对我们非常重要，”硅光子芯片设计及解决方案的领先供应商之一——美国 MACOM 公司 Integrated Photonic Solutions 研发总监 Rich Grzybowski 说，“当分辨率降到大约 100nm 时，周围有很多振动源会影响到测试过程。”

MACOM 公司的一些测试结构涉及通过光纤阵列表面法线光学耦合进光栅耦合器。在这种设置中，空间容差通常为 1μm，因此对分辨率和振动控制的要求并不严格。

在其他应用中，MACOM 公司使用边缘耦合器，它们用不同的锥形耦合器和光纤耦合在芯片边缘。这种边缘耦合将公差要求提高了 10 倍，大约能达到 100nm。对于这方面的测试，减少来自于地板、测试工作台上的设备堆放，以及人员走动甚至说话这些接近测试阵列的微振动，对于维持整体耦合效率而言就变得极其重要了（见图 1）。

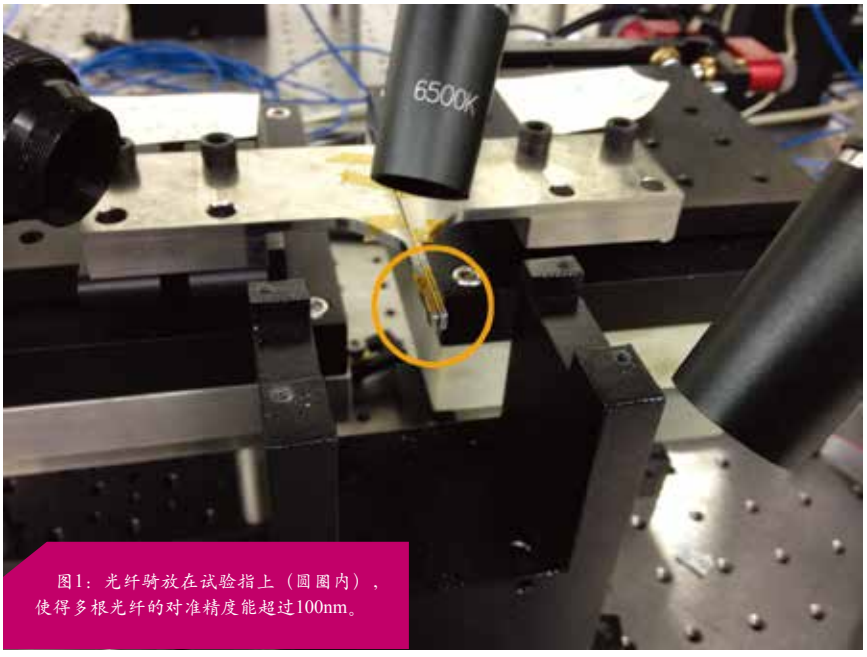


图1：光纤骑放在试验指上（圆圈内），使得多根光纤的对准精度能超过100nm。

对于这种应用，MACOM 团队使用理波公司的 S-2000A 气动隔离器（即需要具备一定压力的空气或气体的振动隔振器）和调谐质量阻尼的 ST-UT2 光学平台。

气动隔离器 (如理波的 S-2000A) 具有大腔室容积，以及准确的 (0.25mm) 自动再水平 (re-leveling) 功能，以隔绝地面振动。在 10Hz 下，大约能将来自地面的振动消除 99%。作为替代选择的传统橡胶 / 弹性体隔离器和机械弹簧隔离器，不能为这种类型的耦合应用提供足够的隔振功效来获得所需的空间分辨率。

橡胶 / 弹性体隔离器采用材料自身作为减震器，通常在高于 25Hz 后开始隔离；相比之下，气动隔离器从 2Hz 开始隔离。橡胶 / 弹性体隔离器的减振量，对于亚微米级的定位要求通常是不够的。

弹簧隔振器广泛用于机械应用中，用于减少噪音、冲击和振动的传输。通过特殊设计，隔离可从低至 8Hz 开始，如理波的 VIBe 隔振器。然而，相比于针对周围的交通和建筑物晃动所造成的低频振动工作良好的气动隔离器，VIBe 机械隔离器对低于 8Hz 无效，通常不足以维持硅光子学应用所需的空间分辨率。

对于工作台面，非常刚性和精密调谐质量阻尼的光学平台，用于防止由于台面振动造成的激光束不对准。调谐质量阻尼 (TMD) 是最有效的被动阻尼方法，因为它集中在主要共振模式的频率衰减上。理波的 TMD 技术（美国专利 8857585）无需使用油，而是使用专有的质量弹簧机制，获得更好的减振性能，以及更精确和更容易的频率调谐。

相比于其他宽带阻尼方法，TMD 将减振性能提高了 10 倍以上。宽带阻尼台面在很宽的频率范围内，吸收并耗散适中的振动能量，但是因为不针对任何特定的台面共振，它们通常不适合需要稳定性 <1 μ m 的应用。这些 TMD 台面，使得 MACOM 能够配置光学测试平台，用于开发和测试 PIC 和 L-PIC 光子集成电路 (PIC) 产品。

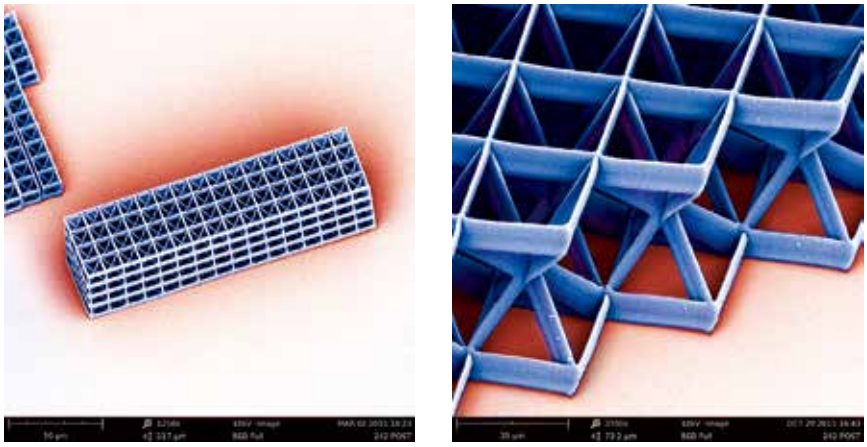


图2：着色扫描电子显微镜 (SEM) 图像显示了在SmartTable上制造的微型格子结构。

微制造：气动和主动阻尼

推动分辨率极限的另一项应用是通过激光直写实现的微制造 / 微加工。得益于超快激光系统的发展，高分辨率、三维 (3D) 微制造技术正在蓬勃发展，将创造出更加紧凑的设备。

在理波的技术与应用中心 (TAC)，科学家们利用双光子聚合 (TPP) 技术、以大约 100nm 的特征尺寸制造没有拓扑约束的三维结构。对这种类型的应用而言，振动控制是必不可少的，因为 3D 制造过程需要超高水平的稳定性和精度（见图 2）。

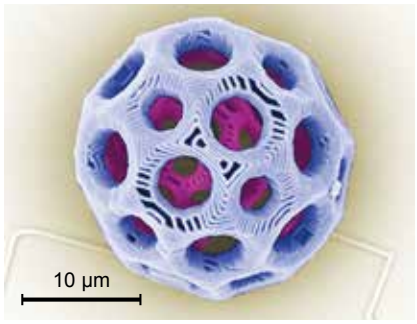


图3：着色SEM图像显示了通过仔细重叠聚合物体素，以形成能够维持其自身的连续聚合物网络，进而创建的复杂三维微结构。

“整个系统稳定性的一项重要组成部分是振动控制平台，”TAC 研究人员 Tommaso Baldacchini 说，“在制造过程中控制振动，有助于实现明确定义的边缘和超精细结构。”当使用高数值孔径物镜将激光束聚焦到感光材料内、并以刚好高于聚合强度阈值的激光强度工作时，可以很容易地形成具有 100nm 径向尺寸的 TPP 体素 (3D 体像素)。通过仔细重叠这些体素，以形成能够维持其自身的连续聚合物网络，可以创建复杂的三维微结构（见图 3）。

允许聚合物体素以预定方式重叠的直写，是利用计算机控制的平台或一组振镜来实现的。在每种情况下，振动控制都是必不可少的，以确保 TPP 工艺所需要的水平精度。这在 TPP 用于生成微光学组件的情况下尤其如此，因为表面粗糙度和材料密度均匀性必须精确地控制。

这里，气动撑脚和主动阻尼的理波 SmartTable，是创建复杂微结构所

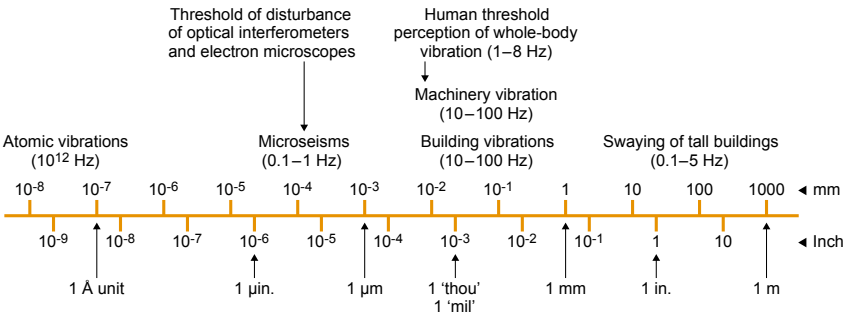


图4：在宽谱上表示出了几种不同的振动来源。

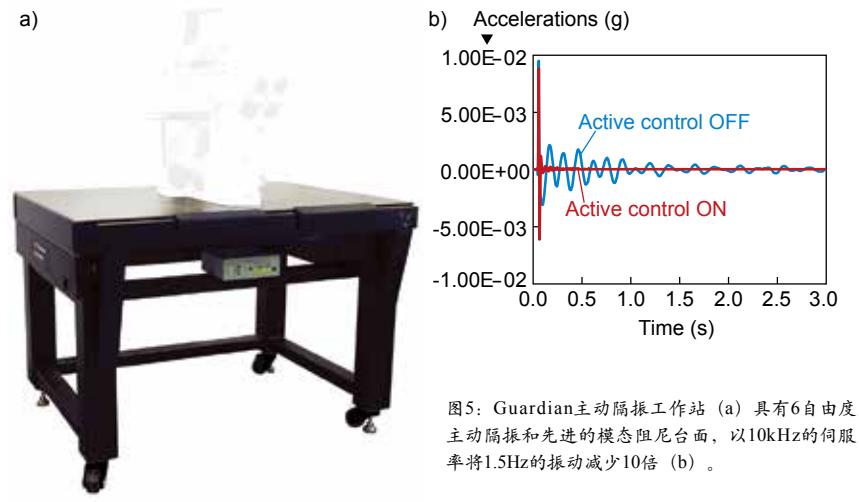


图5：Guardian主动隔振工作站（a）具有6自由度主动隔振和先进的模态阻尼台面，以10kHz的伺服率将1.5Hz的振动减少10倍（b）。

必不可少的组成部分。SmartTable 光学平台使用振动传感器来感应桌面振动，然后使用内部制动器实时阻尼那些振动。相比于被动阻尼台面（宽带阻尼和调谐阻尼台面），该主动阻尼台面能在 40~550Hz 的更宽频率范围内，提供更快的响应和更精确的实时补偿。

主动阻尼比被动阻尼功能更强大，因为它能在较宽的频率范围内减少每个谐振峰。对于采用超精细分辨率运动平台的激光直写，SmartTable 具有更快的稳定时间和更有效的减振性能。该系统还能执行自动一键式自适应调谐，对于给定的负载分布找到并消除谐振峰，并提供桌面频率监控与振动数据流和收集能力。

超分辨显微：主动隔振

1873 年，阿贝（Ernst Abbe）推导出描述光学衍射如何限制光学显微镜分辨率的公式。这种限制持续了将近一个世纪，直到一些创新的科学家开始研究如何绕过该物理屏障，以获得更高的分辨率。

2014 年，诺贝尔化学奖授予了 Eric Betzig、Stefan W. Hell 和 William Moerner，以表彰他们超越了衍射极限。因为他们的成就，光学显微镜现在能够以更高的分辨率来窥视纳米世界。

隔振和阻尼是纳米级显微镜的关键。成像系统的常见振动源包括机械源和声源。具体而言，经常观察到的有害振动源包括中央加热和冷却单元（HVAC 系统）、低温孵化器、离心机，附近人员的说话和走动、建筑物晃动，以及附近街道的交通（见图 4）。这些来源中的许多可能不在进行实验的相同房间内，因此难以探测和去除。

虽然各种技术可用于减少由环境引起的振动，包括气动支撑和低成本的柔性合成聚合物隔振垫，但是超分辨成像极其严格的稳定性要求（所需的分辨率通常 <100nm），通常要求主动隔振。[1]

与气动隔振方法相比，主动隔振实时感应多自由度的振动，利用电磁或压电致动器来瞬间抵消那些振动，来隔离来自环境的低到 0.5Hz 的振动。主动隔振系统，如理波最新的 Guardian 工作站，从约 0.5Hz 开始隔振，并在所有六个自由度上保持非常高的隔离功效。

基于 VIBe 隔离器，Guardian 的主动模块将 1.5Hz 的振动减少 10 倍。该系统采用高精度、低噪声电磁振动传感器（对低至 0.1Hz 灵敏），并传递电信号到亚赫兹、超低噪声控制系统，对信号进行先进滤波和调节。然后，经处理的信号发送到致动器以补偿振动，伺服率高达 10kHz。

主动隔振已经大幅降低了到达台面的振动，创建超稳定的基础，使超分辨图像成为可能（见图 5）。与集成在工作表面的先进减振技术相结合，这样的工作站将作为基本构建块，以在未来实现更高分辨率的应用。❑

参考文献

1. J. Fisher, "Is vibration control really necessary for microscopy,"BioPhotonics (Jul/Aug. 2010).

激光焊接

高功率激光扫描振镜焊接在动力电池制造中的应用

文/大族激光科技产业集团股份有限公司-精密焊接事业部

扫描振镜激光焊接系统

扫描振镜是一种优良的矢量扫描器件，它是一种特殊的摆动电机，基本原理是通电线圈在磁场中产生力矩。但不同的是，振镜不能像普通电机一样旋转，只能偏转，偏转角度与电流成正比，与电流计一样，所不同的是用镜片取代了表针。

图 1 为扫描振镜系统的结构示意图，该系统主要由激光器、扩束镜、电机底座、振镜电机、X 轴和 Y 轴反射镜、F-THETA 聚焦镜组等几大部分组成，其中 X 轴、Y 轴反射镜和 F-THETA 聚焦镜为该系统最重要的组成部分。

激光束以脉冲或连续方式入射到振镜上，两个反射镜可分别沿 X 轴、Y 轴扫描，用计算机控制反射镜的反射角度，实现激光束的偏转运动，从而对待加工材料进行对位焊接。普通聚焦镜的焦平面为一个曲面，无法保证焊接的均匀性；而 F-THETA 镜的焦平面为一个平面，该镜组具有平场聚焦的效果，能在激光束的不同入射角方向（远场与近场）上获得平整焦平面的聚焦效果，因此可以使扫描系统的焦平面与待加工的工件表面相重合，保证焊接的均匀性。

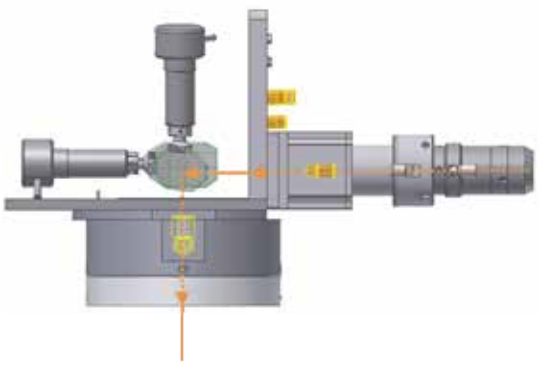


图1：扫描振镜结构示意图。

小功率激光扫描振镜系统焊接应用

小功率激光扫描振镜焊接，通常是指使用功率在 1kW 以下、以 Nd：YAG 脉冲激光器或光纤激光器作为焊接光源、扫描振镜作为输出装置的激光振镜焊接系统。该系统具有激光光斑移动速度快（3000mm/s）、定位精度高（0.001mm）、焊接范围大、无需水冷等特点，在电池制造行业中有着大量应用，尤其在 18650 电池及其模组制造中的应用最为广泛。

图 2 给出了小功率激光扫描振镜焊接系统在 18650 电池及其模组制造中的一些应用，主要包括：18650 盖帽防爆阀焊接、盖帽铝圈焊接、盖帽 - 电芯极耳焊接、模组汇流片焊接等，几乎 18650 电池制造的激光焊接都会采用扫描振镜激光焊接系统。

18650 盖帽 - 电芯极耳焊接通常是在自动化流水线上完成，工件流转

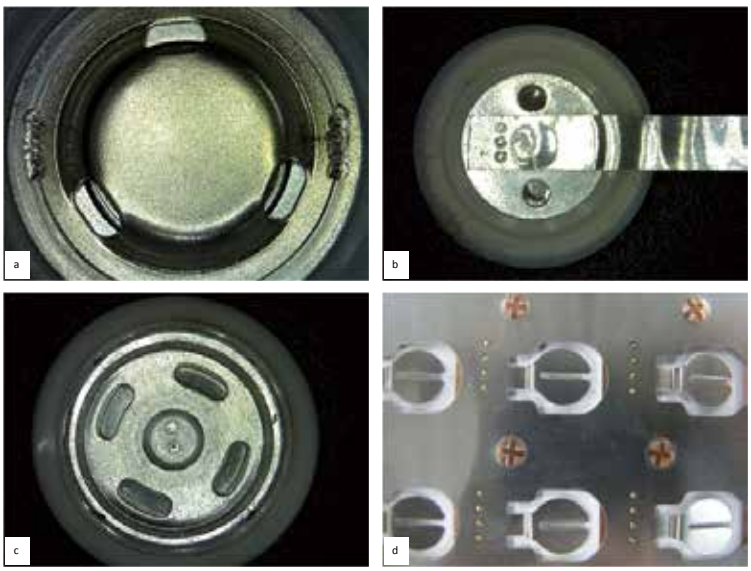


图2：（a）盖帽铝圈焊接；（b）极耳-盖帽焊接；（c）防爆阀焊接；（d）汇流板焊接。

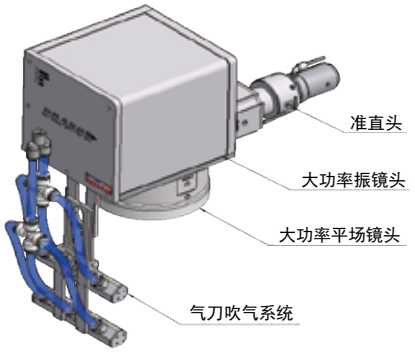


图3：Dragon系列高功率激光振镜加工系统。

到振镜焊接头下时，夹具压紧工件，振镜高速完成焊接，焊接时间仅需不到 1 秒。大族激光公司针对这些应用开发了 ST300 高速时间分光激光焊接机，一台 ST300 激光器可以同时搭配到几台振镜焊接系统上，工作时可由激光器内高速振镜摆动将每个脉冲激光分配输出到各个振镜系统上，充分利用了激光功率，如接到 4 台振镜系统上，1 秒种可以完成 4 个以上的电池极耳焊接。

图 2.d 中的 18650 模组汇流板，是并联模组中数十到数百个电池电极的装置，通常由薄铜板和薄镍板组成，需要激光将两者焊接到一起，焊点通常分布在 50cm × 30cm 或更大的范围内。使用振镜系统焊接，激光光束能以 3000mm/s 的速度快速在各个焊点间跳跃，比其他激光焊接方式快数倍。

高功率激光扫描振镜焊接系统

高功率激光振镜焊接通常采用功率 1kw 以上的激光器作为焊接光源，常搭配功率 4~6kW 的光纤激光器，可高速穿透焊接厚度为 2~3mm 的铝及铝合金。更高的激光功率意味着镜片需要承受更高的热量，这对镜片材料、镜片的镀膜、散热结构、制造工艺和装配工艺等都提出了极大要求。

首先，由于镜片需要承受的功率很高，需要镜片本身具有很强的热稳定性，这就导致了镜片肖材选择很单一，无法利用多种折射率的肖材组合设计，所以高功率平场镜头及准直镜头的光学设计难度大大提高；其次为了承受更大能量的激光，对镀膜工艺的要求也极为严格，需要更为专业的镀膜设备及更加合理的膜系；第三，由于激光功率很大，必然带来系统的温度升高，系统的冷却是必须要解决的重中之重，既要确保光学部件、电器部件的工作温度保持在合适的范围内，还要保证工作过程中的绝对可靠性及冷却线路布置的合理性，水冷系统需要反复试验和设计更改，最终确认最优效果。

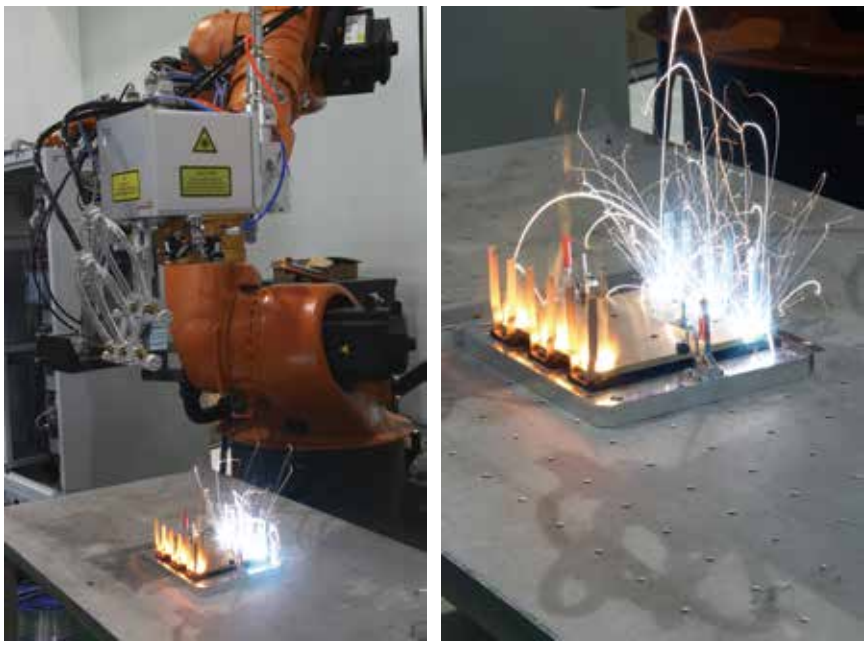


图4：高功率激光扫描振镜焊接软连接片。

经过大量研发工作，大族激光于 2015 年推出了首台自主研发的工业用高功率激光振镜加工系统 Dragon 系列，如图 3 所示。Dragon 系列适用于 6kW 以下的光纤激光器加工应用，特别适用于动力电池模组的激光焊接。

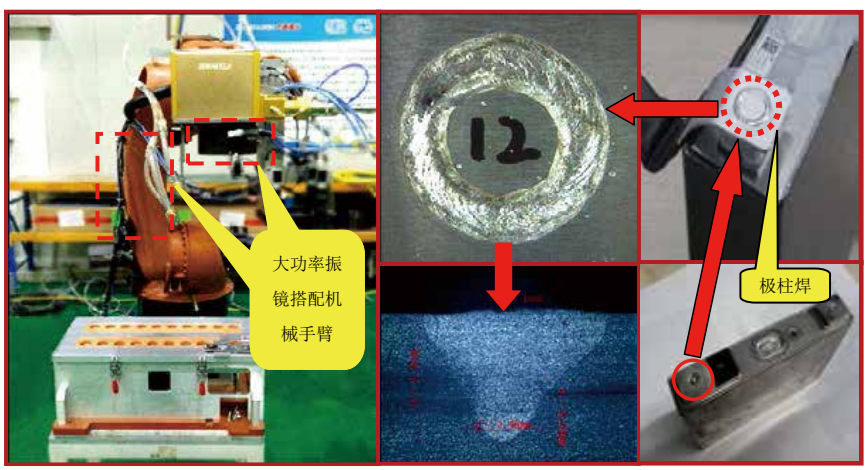


图5：电池模组连接片的焊接。

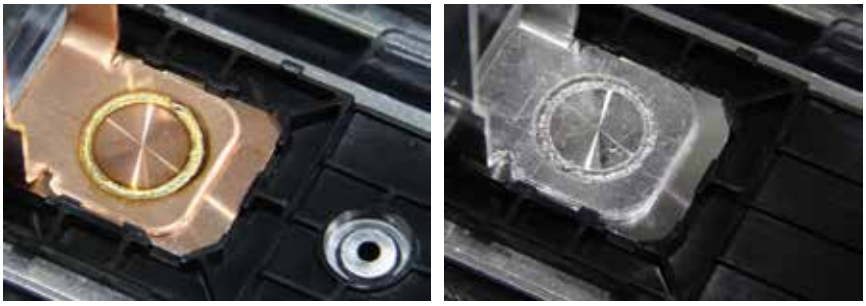


图6：电芯软连接焊接效果。

高功率激光振镜系统在动力电池制造中的应用及其特点

目前，新能源汽车的发展步入关键时期，而当前动力电池产能缺乏，扫描振镜激光焊接系统焊接速度快、强度高，焊接过程能够实现准确定位，易于实现自动化，振镜系统安装在机械手上，可实现灵活的远程焊接，具有较大的空间自由度，在焊接电池模组、电芯软连接片、电池防爆阀等工序上，有着广泛的应用。

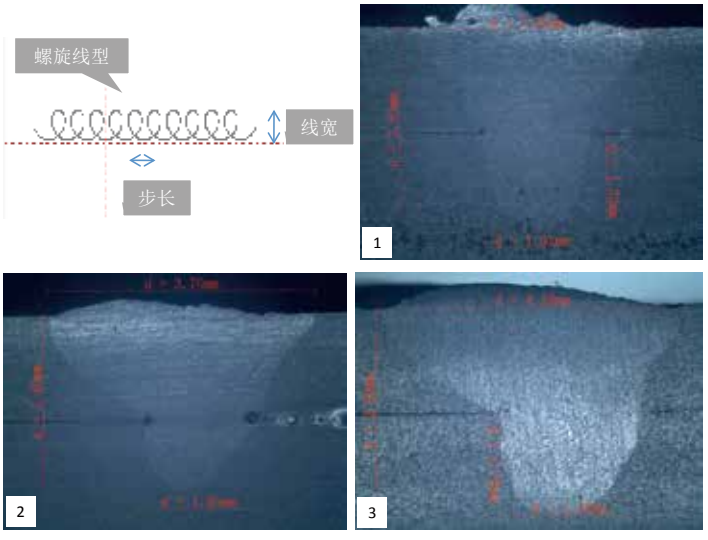
灵活的远程扫描焊接：高功率激光扫描振镜系统通常会搭配焦距较大的 F-THETA 聚焦镜头，焦距通常不低于 350mm，扫描范围大。Dragon 系列扫描振镜加工系统通常搭配焦距达 460mm 的 F-THETA 聚焦镜头，焊接范围达到 220mm × 180mm，在不移动扫描振镜系统的情况下，可在同一夹具中放置多个电池顶盖进行电芯软连接片焊接，焊接位置可通过软件可视化编写。安装在机械手上的振镜可以灵活地焊接各种尺寸的电池模组，焊接范围可达 1~2m。图 4 中显示的是 Dragon 扫描振镜加工系统 3 秒内完成了 3 个电池盖板软连接焊接。

更快的光斑跳转速度：由于扫描振镜是由镜片高速偏转、使反射的激光光斑照射到不同位置，光斑运动速度可以达到 3000mm/s，即从一个焊接位置跳到另外一个位置，速度可达一般的伺服电机平台的 10 倍以上，极大地提高了焊接效率。例如：焊接一个含 16 个 47178 电芯的电池模组，32 个电极连接片，其中的激光光点位置运动时间，伺服平台需要至少 14 秒；而由安装在机械手上的 Dragon 扫描振镜系统焊接，光点位置运动时间只需要 7 秒，更大的模组更能体现其效率差别。

高速稳定的焊接复杂轨迹：对于丝杆导轨式的伺服电机平台系统，高速下带动焊接头运动复杂轨迹，在轨迹拐弯，特别是转弯半径小时，焊接头的运动速度会降低，从而造成了焊接过程的速度不稳定，影响焊接效果。单振镜焊接圆弧或其他复杂轨迹时就不会存在这些问题，比如在高功率激光振镜系统焊接一些电芯软连接片时（如图 6），激光可在 200~300mm/s 的速度下焊接圆形轨迹，一些模组上还会用到 S 形轨迹的方式进行焊接。

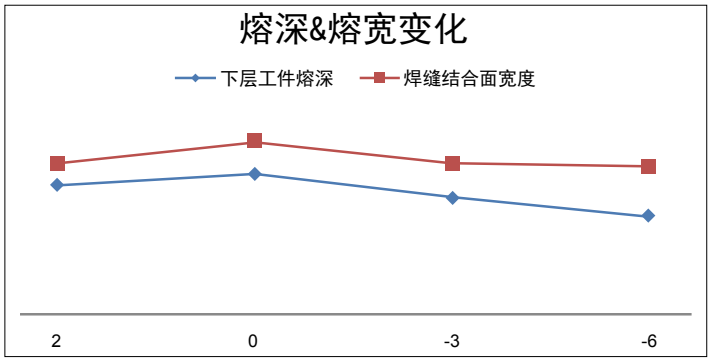
螺旋线型轨迹：作为高能束焊接，较大的焊缝深宽比是激光焊接的一大特点，但有时候我们不希望焊缝深宽比过大。例如，在进行电池模组连接片焊接时，通常需要焊缝有更大的宽度（以增加载流面积），降低焊缝深度（以使用更薄的电池极柱，获得更大的电芯空间），采用螺旋线形轨迹焊接，通过光斑沿焊接方向高速旋转运动，可以在不改变外光路条件的情况下，获得不同焊缝的深宽比。图 7 显示了在 4kW 激光功率下，以 100mm/s 的焊接速度，在不同螺旋线轨迹参数下焊接获得的不同焊缝截面效果。

大焦距带来的稳定性：由于 Dragon 系列振镜搭配的 F-THETA 镜头焦距为 460mm，较大的焦距时其有较大的



序号	功率	离焦量	线宽	步长	下层工件熔深	工件结合面焊缝宽度
1	4	0	0.6	0.4	1.32	1.61
2	4	0	1.2	0.6	0.9	1.65
3	4	0	0.8	0.4	1.4	1.92

图7：在同一激光功率和焊接速度下，不同螺旋线参数焊接的效果。



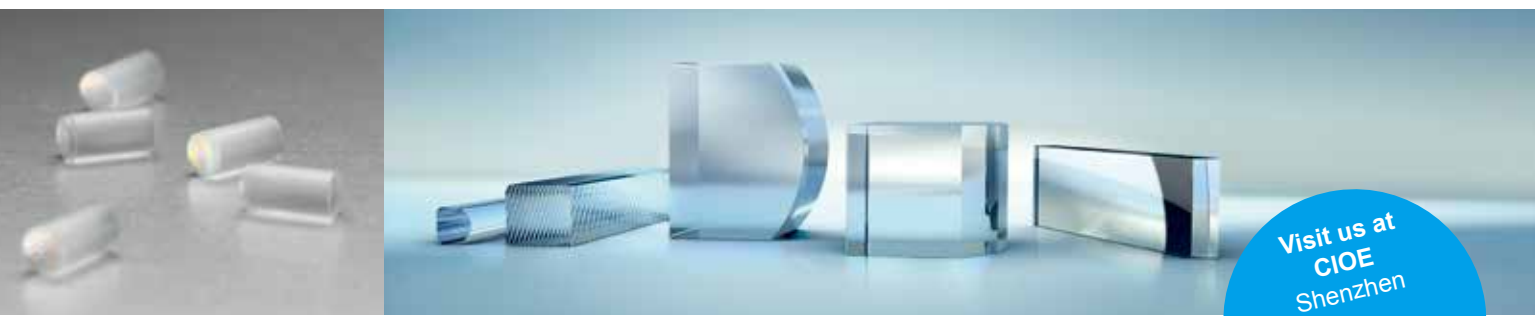
序号	功率	离焦量	线宽	步长	下层工件熔深	焊缝结合面宽度
1	4	2	0.8	0.4	1.29	1.5
2	4	0	0.8	0.4	1.4	1.72
3	4	-3	0.8	0.4	1.16	1.48
4	4	-6	0.8	0.4	0.97	1.48

图8：不同焦点位置下焊缝熔深、熔宽变化。

焦深（3~5mm），即在一定高度范围内焊接，工件都可以获得稳定的熔深，避免了工件高度偏差带来的熔深不稳定。图 8 为两层 1.5mm 铝板穿透焊接，工件在扫描振镜的不同焦点位置下，都能获得焊缝熔深、熔宽数据，从数据上可以看出，在 +2~ -3mm 范围内，焊缝熔深、熔宽变化不大。另外镜头在500mm 以上的工作距离内，镜头镜片不易受焊接飞溅影响，拥有更好的焊接稳定性。

小结

相较于传统的机械手臂激光焊接，扫描振镜激光焊接的最大优点是不受机械手臂电机速度限制，在振镜头的 X 轴、Y 轴镜片的快速摆动下，能够很容易地在大范围内灵活实现平面内任意曲线的高速焊接，更能体现激光高速焊接的效率优势和工艺优势。特别是高功率激光扫描振镜焊接系统，正在越来越多地成为动力电池大规模生产设备的选择，从模组焊接逐渐向其他电芯产品焊接应用发展，在未来的动力电池大规模制造中，激光焊接会有更加广泛和普遍的应用。❑



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

FISBA Innovators in Photonics

Rorschacher Str. 268
St.Gallen 瑞士

电话 +41 71 282 31 31
传真 +41 71 282 31 30

info@fisba.com
www.fisba.com

光束分析

高功率单模激光器的光束质量分析

文/东隆科技

高功率全光纤连续激光器由光纤、泵浦耦合器和光纤光栅等元件组成，具有结构紧凑、性能稳定、转化效率高和光束质量好等优点，已经成为当前激光技术领域的热点技术。大功率全光纤激光器在材料加工、激光打标、生物医学、自由空间通信和国防安全等领域有着广泛的应用。

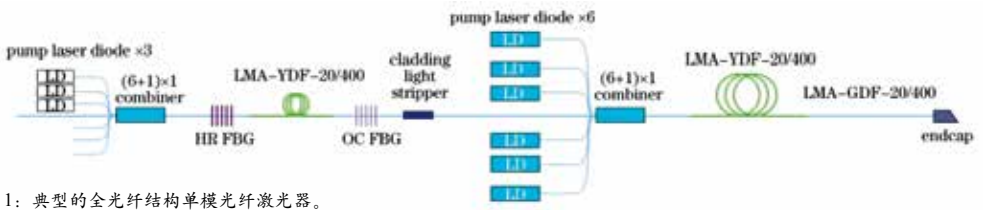


图1：典型的全光纤结构单模光纤激光器。

近年来，国内科研机构的研究工作主要集中在提高泵浦耦合功率、减小增益光纤的光热损伤和非线性效应，以及采用光束合成技术获得较高功率的激光输出等方面。随着双包层光纤的出现以及二极管泵浦技术的不断成熟，光纤激光器的输出功率不断提升，目前国内外已经有数家公司实现了千瓦级光纤激光器的商品化。

激光作为一种新型能源能够完成一系列加工任务，其主要是利用激光的能量特性，不仅要重视激光光束的高能量，还要重视光束的高品质，这是对应用于制造业领域的激光器提出的基本要求。激光作为用于制造领域的“光能源”和“光工具”，其能源特性，包括激光能量（或功率）、光束质量以及对光的控制等，不仅是衡量激光制造系统性能的标准，也是激光制造工艺选择的依据，所以要兼顾到激光功率和光束质量两个方面。激光能量表征激光制造系统加工能力的可能性；光束质量直接限定了可能实现的加工方法、可能传输的距离、可获得的焦斑尺寸，以及最终可以获得的加工质量。

M^2因子概念与激光的本质参数

光束质量是从质上来评价激光的特性，对激光器设计、制造、检测、应用等有重要作用。90 年代初，Siegman 对描述激光光束质量的 M^2 因子给出了较为完整的理论。

根据国际标准化度量局的定义，用 M^2 来衡量光束质量。

$$M^2 = \frac{\text{实际光束束腰直径} \times \text{远场发散角}}{\text{理想 Gauss 光束束腰直径} \times \text{远场发散角}} = \frac{\pi}{4\lambda} w_0 \theta \quad (1)$$

w_0 为光束的束腰直径，即其光斑宽度 W(z) 的极小值；θ 为聚焦后的发散角；λ 为激光器的波长。

由此可知：

①以光束束腰直径和远场发散角的乘积来表示光束质量，乘积越小，激光束相干性就愈好，亮度就愈高，因此用这个乘积来表示光束质量，就能把激光束的本质特征表示出来。

②采用 M^2 因子概念时，实际上是用一个相对值，即衍射极限倍数作为光束质量参数，作为光束质量统一比较的标准是理想高斯（Gauss）光束（基模 TEM_{00}），高斯光束有最好的光束质量 $M^2=1$。

③当高斯光束通过无像差、衍射效应可忽略的透镜、望远系统聚焦或扩束时，虽然束腰直径或远场发散角要变化，但作为比较的物理量，即束腰直径与远场发散角的乘积，当光束一定时是一个不变量。对理想高斯光束有：

$$W_0\theta = \frac{4\lambda}{\pi} \quad (2)$$

因此，使用 M^2 因子，比仅用聚焦光斑尺寸或发散角衡量光束质量更为全面。实际光束的 M^2 值一般大于 1，M^2 值越大，实际光束偏离高斯光束越远，光束质量也越差。由激光束亮度公式：

$$B = \frac{P\ (\text{or}\ E)}{\Delta S \cdot \Delta\Omega} \quad (3)$$

可以得到用 M^2 表示的亮度公式：

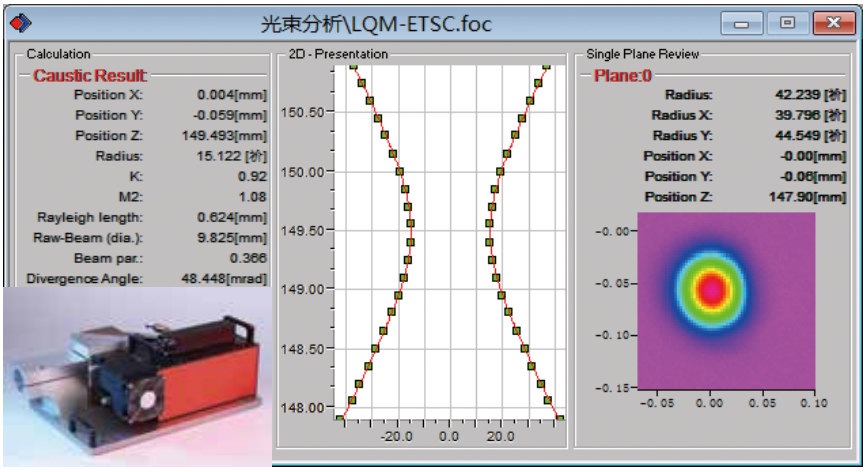


图2：LQM系统对高功率单模激光器的测试结果。

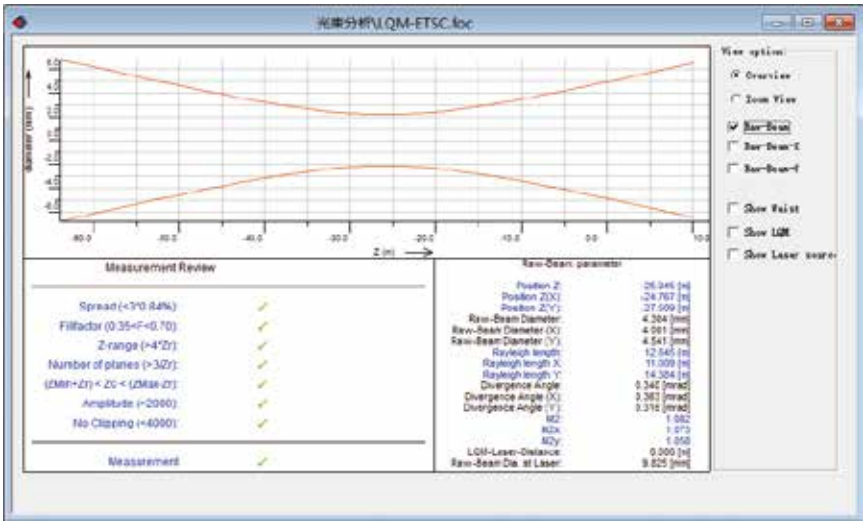


图3：激光器的远场分布及测试数据。

$$B = \frac{P\,(\text{or } E)}{(M^2)^2 \cdot \lambda^2} \qquad (4)$$

这样，激光束的特征就可以用功率（能量）、波长、光束质量这几个参数表示出来。M^2 表征了激光束亮度高、空间相干性好的本质参数。因此，对于高功率单模激光器的设计而言，如何测量及优化 M^2 值就变得愈发重要了。

Laser Quality Monitor光束品质分析系统

由于高功率单模激光器的功率密度较大，对测量设备的各项参数要求也十分苛刻，从光纤输出的激光经过准直器准直后，可以直接进入测量系统内部进行测试。对于 CCD 探测器而言，待测光斑在入射到探测器之前，需要经过多级的能量衰减，同时还需要注意对准直器及各级衰减器做及时的温度冷却，以避免热透镜效应对最终测量结果的影响。

如图 2 所示为 LQM 系统测得的高功率单模激光器的束腰分布图，从图中我们可以直观地看出光斑的腰斑形状，并可以通过左侧的具体数据，得到待测光斑的焦点半径、瑞利长度、M^2 值、发散角以及 K 值、BPP 值、原始光斑直径等参数，通过对以上参数进行分析调整，可以对激光器的结构设计进行优化调整，得到最佳的输出光斑光束质量。

图 4 显示的是测试光斑的能量在二维和三维上的分布情况，从图中可以看出，该测试光斑的模式为近高斯模式的基模光斑，从中心至边缘能量分布状态均匀，并且在焦点位置的能量比较集中，束腰曲线非常平滑。该测试激光的 M^2 值在 1.08 左右，光束质量较好。

通过以上测量参数，可以明确看出受测激光器的各项参数的详细结果，在激光器设计过程中或者进行出厂前测试，对其进行详细的各项参数测试，可以尽早发现激光器设计中存在的问题，从而极大地提高激光器的良品率及光束质量。

影响光束质量的因素

光束质量受激光产生、发射和传输过程影响。在激光器部分，泵浦、冷却的非均匀性和增益饱和，都会引起激光介质非均匀增益分布，光学元件的静态像差和动态热像差（热畸变）、光腔的失调和抖动、硬边光阑衍射，以及多模工作等都会降低光束质量，发射光学系统的像差和抖动也是影响光束质量的原因。对高功率激光而言，在传输通道（大气）中的线性（如湍流）和非线性（热晕等）效应常是导致光束质量劣化、限制高功率激光远程有效传输的重要因素

（1）增益介质对光束质量的影响

当激光器工作时，介质中的能量流将引起介质发热，从而使介质密度发生变化，进而导致折射率变化，并最终对光束质量产生影响。在低压气体激光器中这种影响较小，而在高压气体激光器及固体激光器中则可能相

当严重。

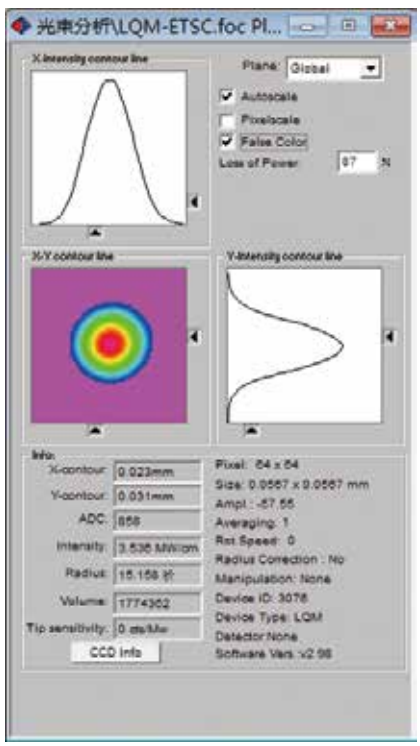
（2）谐振腔对光束质量的影响

谐振腔畸变对整个光束质量起决定性作用，光束在腔内多次往返，腔反射镜将其畸变逐次累加到波前上。谐振腔对只有两个反射镜的腔来说还比较简单，但对包括多个反射镜的腔则变得非常复杂。

（3）热晕对光束质量的影响

光学路径上热晕的影响使光斑弥散，从而导致光轴上能量减小。通过合理设计和使用空间滤波器、高斯光阑或高斯反射镜等光学元件和系统，可减小 M^2 因子值，提高光束质量，其实质是“滤去”高阶模。另外，优化光腔设计和泵浦方案等，也可以提高光束质量。

M^2 因子与其他质量因子相比，仍是一个较为完善、合理的光束质量评价标准。对于一台激光器而言，要提高其输出光束的质量，不但要减少其模式数目，提高其相干性，还必须保证光束的波前畸变小，这一点在设计高性能激光器时必须充分考虑。❑



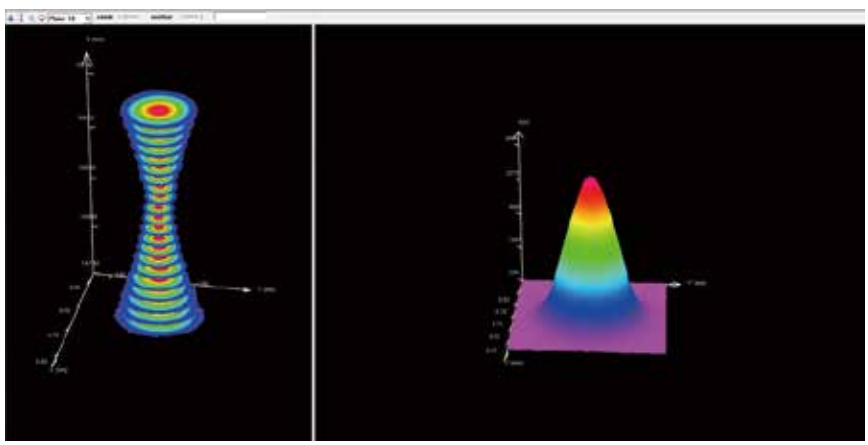


图4：激光器的模式分布及能量分布情况。

参考文献

1. 代守军，何兵，周军，赵纯，陈晓 1.5kW 近单模全光纤激光器《中国激光》, 2013(7):1-6
2. 刘泽金，冷进勇，郭少锋，王文亮，黄良金 全光纤结构 2kW 准单模光纤激光器《中国激光》, 2013(9):183-183
3. 闫平，肖起榕，付晨，王亚平，巩马理 1.6kW 全光纤掺镱激光器《中国激光》, 2012(4):218-218
4. 段开椋，赵保银，赵卫，王屹山，周良 1000W 全光纤激光器《中国激光》, 2009(12):3219-3219

顶尖 PINNACLE
Your Strategic Partner in Photonics

SOLAR LASER SYSTEMS S150-II双通道光谱仪

波长范围：200-1100nm
光谱分辨率：0.06nm@85nm带宽下
特点：双通道切换，可兼顾大范围和高分辨率的应用要求

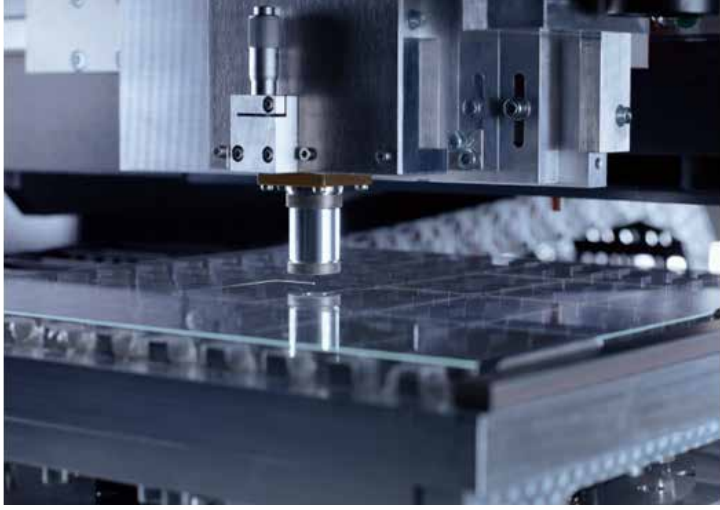
Xiton Photonics Impress213 固体激光器
波长：213nm
脉冲能量：>15μJ
功率：150mW
重复频率：0.1-30KHz
应用：制备光纤布拉格光栅FBG


Xiton Photonics 1342nm调Q激光器
波长：447 / 671 / 1342nm
脉宽：<12ns
应用：Idol系列1342nm适合用于半导体晶元刻用切割，447/671双波长激光器
Impress HP适合用于液晶大屏幕的修复领域。


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

顶尖科仪部分代理厂家（以开头字母排序）
A·P·E　AVESTA　BATOP optoelectronics
DCMA OPTRONICS LTD.　JENOPTIK　HAMAMATSU
laserpoint　LIGHTHOUSE PHOTONICS　First Sensor
MenloSystems　moglabs　onefive
Ocean Optics　OSTECH　micron
SOLAR LASER SYSTEMS　Xiton Photonics　TYDEX

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



激光切割

激光改性实现清洁的玻璃切割边缘

文/ Dmitrij Walter 博士，亚智科技

利用光斑直径仅为 2μm 的光束切割已经是老生常谈了。当然大家都知道，最新的 M-Cut 激光切割过程，使用细如发丝的材料改性功能，搭配超短脉冲皮秒激光（类似于穿孔），用于切割硬度超高的防刮玻璃，切割厚度最高可达 2 毫米。激光加工技术演进发展的下一个阶段，将是适用于加工目前电子行业中所需要处理的所有脆性材料。未来激光加工技术将尤其适用于加工化学及热强化玻璃，同时应用于蓝宝石加工的情形也将日渐增加。蓝宝石可用于制造平板电脑、智能型手机和穿戴式设备所需要的显示器或相机的盖板玻璃。

M-Cut 是 modification cut 的简写，代表着改性切割，是实现洁净切割边缘的一种基础工艺：其以类似穿孔的方式修改材料基板。M-Cut 工艺采用适中的能量输入，能够非常温和地处理加工的基板。这是因为使用了改良的光束源，而这种光源不同于之前的超短脉冲激光器。该光源中具有特别调整的光学系统，能够纵向聚焦形成线性的切割痕迹（见图 1）。这种切割工艺产生的切割界面的粗糙度低于 0.5μm（见图 2）。这样就不必再对切割边缘进行昂贵的研磨抛光作业。

因此，M-Cut 非常适合作为替代方案，取代使用微秒级短脉冲激光器的“热”激光束切割，避免玻璃基板在切割边缘出现融化现象。这种新的 M-Cut 加工工艺也展现出了更好的切割质量，超越了“冷”烧蚀的切割方法。“冷”烧蚀也是以皮秒级的超短脉冲激光进行作业，材料在作业时会局部气化，这可能会造成材料出现轻微的变色或崩边。

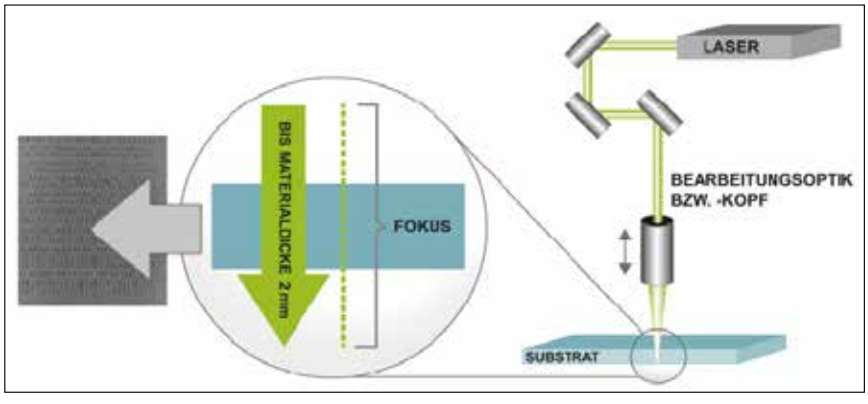


图1：利用M-Cut 激光切割工艺，基底材料能够被线性地“穿透”，光束的直径只有2μm。

玻璃是电子行业中的高科技材料

玻璃作为一种在电子行业中广泛应用的材料，不仅要坚硬耐磨，而且对弹性、柔软和触控灵敏度的需求也在日渐增加，例如触摸显示器用的玻璃。激光工艺的创新，是以具有成本效益的方式高质量地生产这类显示器、并将技术推向大众市场的一个先决条件。特别是在移动终端设备中，它们对材料的机械要求非常高。

因此，显示器基板都需要进行化学强化，不过通常要先切割成最大

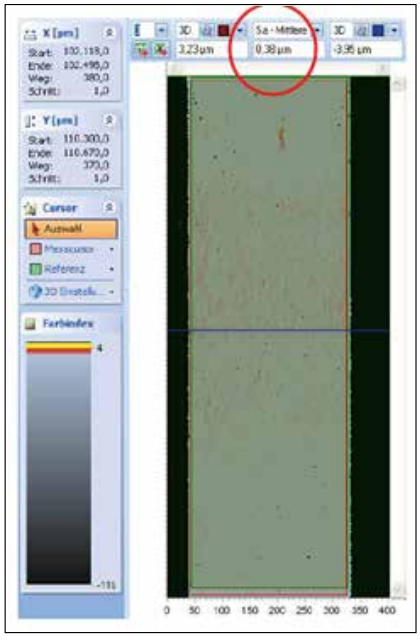


图2：利用M-Cut工艺切割蓝宝石，切割截面粗糙度达到令人惊艳的 0.38μm。



图3：盖板玻璃、镜头和显示屏：M-Cut 激光切割工艺能够切割各种几何形状的工件，没有限制。

2.2m × 2.5m 的大块玻璃，才能进行强化。在强化之后，以机械方式切割具有外轮廓和内轮廓的显示屏，或是切割智能手机的相机盖板玻璃，一直都是一项巨大的挑战：机具磨损严重，并且切割边缘必须进行昂贵的研磨抛光处理。而且，机械切割过程有可能造成微小破裂，这将影响玻璃基板的抗裂度。因此需要先切割玻璃，然后再对其进行化学强化，但是这会导致加工效率大大降低。

即使在第一代激光切割工艺问世之后，仍然保留此项工艺，因为第一代激光切割工艺仍然不适合切割已经强化的材料。相比之下，M-Cut 可以先硬化大块的玻璃基板，然后再对其进行高质量切割。这样可以让材料非常稳定，不会在切割过程中破裂。由于化学强化玻璃本身具有特定的内部应力，只要穿透材料就能达到完美的切割效果，随后可以轻松地将单个的切割产品从玻璃基底中分离出来。蓝宝石并没有这样的内部应力，因此显示器制造商需要第二个步骤，才能将切割的轮廓与材料分离。

M-Cut 是一把灵活的激光刀

利用最新的 M-Cut 激光切割工艺，可以切割不同几何形状的工件（见图 3），这其中甚至包括以 90° 角切割转角。该系统基于 XY 轴而不是扫描仪，也就是说没有扫描区域限制切割轮廓的大小。这样材料的使用率就非常高：两个切割的几何形状之间，只需要留下 0.5mm 的空间就足够了。未来，甚至只要切割一次，就可以同时切割出具有两种几何形状的一个边缘。四头 M-Cut 系统不仅能够切割相机的盖板玻璃，也能切割直径仅 1mm 的相机镜头，即使是椭圆形或矩形也没问题。由于不需要移除材料，因此生产时不需要粉尘收集系统。M-Cut 适合加工的材料种类非常广泛，用户只需要改变一下激光加工参数，每天就可以轻松切换需要加工的产品，享有高度的加工灵活性。

M-Cut 激光切割工艺概观

- 切割速度高达 1m/s（切割 0.5mm 厚的玻璃）；非常高的边缘切割质量，粗糙度值低于 0.5μm；不需要抛光。
- 玻璃不会产生崩边，没有微小破裂。
- 没有切割机具磨损问题。
- 切割后玻璃的抗裂度提升四倍，对移动终端器件用户特别有利。
- 更高的生产量。
- 能够加工多种材料，切割出各种不同的几何形状。❑



材料加工

光纤激光器将在材料加工市场继续扩张

文/ Bill Shiner，IPG Photonics工业激光器副总裁

早在2002年，IPG就推出了第一台千瓦级光纤激光器。自此，采用光纤激光器的生产应用迅速增长。今天，光纤激光器已经取代传统焊接与切割工艺，成为大多数采用激光技术的主流生产应用的首选方案。

IPG公司近几年来超过两位数的同比业绩增长，证明了市场对光纤激光器的青睐这一发展趋势。相比之下，传统的用于材料加工的CO_2激光器及固体激光器制造商，却经历了销售业绩的下降或最多个位数的增长。尽管目前市场上有越来越多的公司开始推出光纤激光器产品，然而IPG Photonics已经持续占有超过70%的光纤激光器市场份额。

光纤激光器之所以如此受市场欢迎，原因很简单：光纤激光器为用户提供了最低的运行成本，最好的光束质量，最低的用电量和最少的维护。重量轻、体积紧凑的激光器可以在几小时内安装完成，无需许多固体激光器所需要的防护罩。

光纤激光器不同于采用光纤传输的固态碟片激光器，因为碟片激光器不具备真正的全光纤激光器所能提供的性能优势。市场上有几种类型不同、波长为1070nm、供不同应用选择的光纤激光器。这些包括了功率50~100, 000W、连续操作模式的激光器。另外还有具有高峰值功率、低平均功率、被称为QCW的激光器，例如脉冲模式下的峰值功率为20kW、连续模式下的平均功率为2000W。第三种主要的光纤激光器是高峰值功率、脉宽范围为皮秒至纳秒的短脉冲激光器。

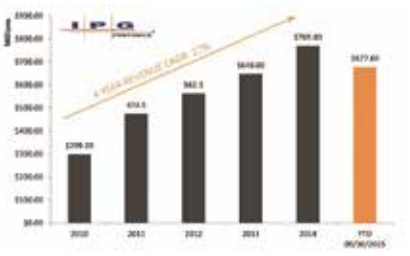
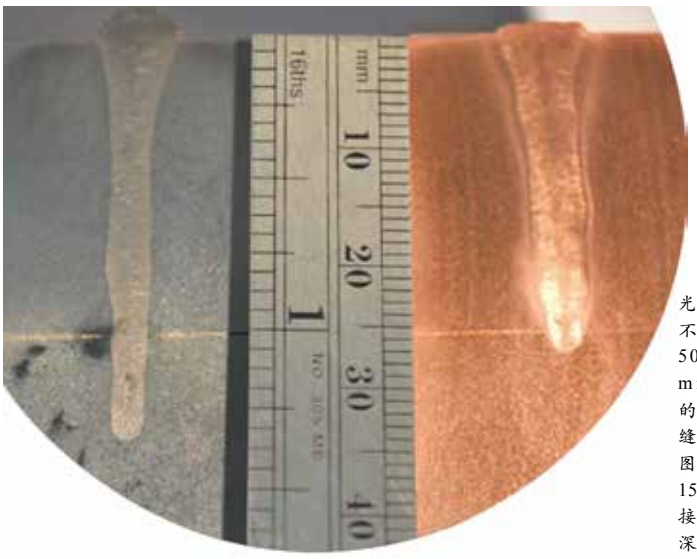


图1：IPG Photonics销售增长图。

所有这些激光器都使用电信级高稳定性激光泵浦二极管和掺镱激活光纤作为增益介质。千瓦级激光器采用模块化设计。比如，一台20kW的激光器由多个1200W的模块，通过一根100μm的输出光纤合束而成。这就可以通过增加模块来不断提高输出功率，而非增加元件或降低稳定性制造这些激光器。低功率连续光纤激光器包含单个模块，采用风冷。脉冲激光器还可以通过放大频率获得紫外或绿光输出。



光纤激光器焊接两种不同材料。左图为50kW激光器以1524mm/min的速度焊接的不锈钢样件，焊缝深度为33mm。右图为50kW激光器以1524mm/min的速度焊接的黄铜样件，焊缝深度为28.6mm。

连续光纤激光器在制造业广泛应用

光纤激光器在汽车行业中的应用越来越广泛，并呈现出快速发展的趋



图2：8kW以上功率的切割版光纤激光器，被越来越多的切割集成商使用。

势。由于光纤激光器易于与工业机器人集成，能够减少焊接保护气体氦气的使用，并具有卓越的光束质量，所有主流汽车公司及他们全球的供应商，均采用光纤激光器来满足对生产的严格要求。

汽车工业一直为生产轻量化和更安全的车辆而不断努力。这就产生了能使用激光工艺的许多应用。更多采用了高强钢和铝合金的车辆设计，以及轻量化自动变速器的引入，为使用光纤激光技术创造了大量机遇。用于汽车制造的光纤激光器通常功率为2~6kW，具体情况根据切割或焊接应用的需求决定。这些应用包括焊接拼焊板、切割及焊接高强钢、焊接气囊组件、焊接铝车门内部和框架等。

钣金及3D切割市场，经历了从CO_2激光器到光纤激光技术的转变。2015年，在美国金属加工展及焊接展会FABTECH上，12家激光切割机系统集成商采用IPG的千瓦级光纤激光器进行展示。这些激光器表现出比CO_2激光器更快的切割速度，切割成本也更低，却具有CO_2激光器所不具备的切割能力，例如切割黄铜和紫铜的能力。

切割行业的趋势是采用更高功率的光纤激光器，因为集成商提高了切割机的切割速度和切割厚度能力。标准的切割机功率最低为2kW，功率为6kW的切割机开始普及。切割速度和厚度也随着功率提升的趋势发生了变化。美国一家公司在2015 FABTECH上展示了采用IPG Photonics 12kW光纤激光器的切割机，以超过12,700mm/min的速度在现场切割，切割厚度为16mm。值得注意的是，光纤激光切割已在该厚度的切割上胜过了等离子切割。

焊接市场使用的光纤激光器大部分功率范围为2~6kW，多用于焊接、钎焊和熔覆。这些激光器通常与机器人集成，所涉及的应用不胜枚举，因为它们几乎可用于生产制造中的任何领域。

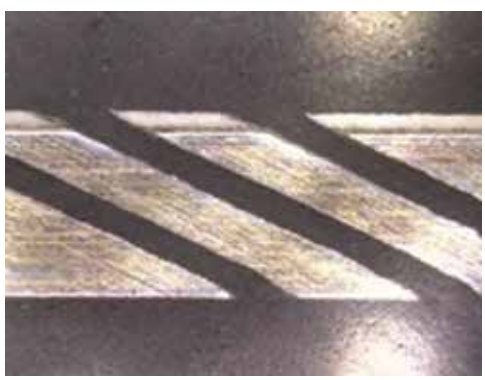




图3：峰值功率为23kW的QCW激光器用于航天零件的钻孔。

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
OVC EXPO 2016
“中国光谷”国际光电子博览会暨论坛
2016.11.3–5 Booth: A1馆1T12
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



图4：用于打标等精密加工应用的脉冲光纤激光器。

光纤激光器在焊接应用上的增长不仅归功于取代传统技术，还归功于从 MIG 焊和 TIG 焊接系统的转变。焊接应用也有向更高功率拓展的扩张趋势，这其中一部分原因是由于运营成本的降低，但更多是由于意识到高功率光纤激光器在焊接厚壁结构时的潜力。具有 10~100kW 连续输出功率的能力，光纤激光器在全球石油天气燃气、航天及科研实验室的广泛应用，推动了焊接技术的发展。由于紧凑、高效光纤激光器的出现，一些超高功率连续波光纤激光器实现了室外移动材料加工应用。

第一台安装在美国的 50 kW 系统于 2015 年秋季交付使用。该系统用于深熔焊，焊接包括紫铜在内的多种材料，焊缝深度超过 25mm，获得了高质量焊缝。第一台 100kW 光纤激光器于 2014 年运往亚洲市场。该激光器采用 300 μ m 传输光纤，焊缝深度超过 125mm。这些超高功率激光器将继续争夺通常由电子束焊接所涉及的应用，而且具有无需真空的优势。

既有单模又有多模配置的低功率连续激光器，也获得了两位数的增长。输出功率为 400~1000W 的单模激光器，成为激光 3D 打印光源的首选。激光 3D 打印需要有固定熔池的 40~60 μ m 的光斑以及快速响应时间，IPG 的单模光纤激光器均能满足这些条件。单模激光器还广泛的应用于高速切割电池行业中的薄板材料，以及其他各种应用中的微米级孔的加工。具有连续输出功率和高调制频率的多模激光器，在传感器、医疗器材和电脑行业持续扩展市场份额。切割医用支架、焊接压力传感器和不锈钢剃须刀片，都是规模化生产改用光纤激光器的实例。

QCW激光器在工业生产中的使用

QCW 光纤激光器的研发初衷，是在连续模式输出时还要具备激光焊接、切割或钻孔等所需要的高峰值脉冲。这类激光器可以动态转换连续和调制的操作模式及功率水平。

QCW 激光器，具体从峰值功率为 1.5kW、平均功率为 250W 的产品，到峰值功率为 23kW、平均功率为 2300W 的产品，有几种不同型号。该激光器的应用包括低功率范畴内被医疗器材、电脑、移动电话和电池行业广泛应用的低功率精密焊接、切割和钻孔。峰值功率高达 20kW、平均功率为 2000W 的激光器，正在航天行业用于制造飞机发动机上成千上万个冷却孔，其正在快速取代 YAG 激光器。这些激光器钻孔质量更高、速度更快，具有更高的符合制造标准的一致性。

QCW 光纤激光器已成为需要高峰值功率的点焊和高速连续输出模式的线焊应用的理想选择，在这类应用中它们正在成为 YAG 激光器的直接替代者。

替代全球成千上万现有生产系统中使用的 YAG 激光器，这样的机遇使 QCW 光纤激光器获得了巨大成功。QCW 激光器的易用性，使客户体验到了光纤激光器稳定、低成本等诸多优势。

脉冲光纤激光器的使用

应用于打标等精密加工应用的脉冲光纤激光器，确实为行业掀起了一场革命。

2014 年 IPG 交付了超过 13,000 台脉冲激光器。这些激光器通过打标集成商出售给所有制造领域中的终端用户。

主要的终端用户包括电池、医疗器材、电脑、移动电话和消费品制造商。用于金属打标的光纤激光器，在市场中占有的份额预计超过 80%。其他大量使用脉冲激光器的应用包括太阳能行业的涂层烧蚀、移动电话行业的玻璃及蓝宝石切割、以及汽车和电池制造商需要的多种清洗应用。

脉冲激光器产品线新增了波长为 355nm 的紫外激光器和波长为 532nm 的绿光激光器。这些激光器已经向传统技术所占领的市场进军。

光纤激光器的未来

新的光纤激光器以不同的波长、峰值功率、性能参数以及成本优势进入市场，将持续获取现有激光技术具有的市场份额，因此光纤激光技术在材料加工领域有着光明的未来。几家激光器制造商都进入了光纤激光器领域，努力通过其光纤激光器重新获取市场份额，这将进一步助推光纤激光技术成为市场的主流技术。❑

新型激光器

深紫外二极管激光器的波长趋于更短

文/Ulrich Elsmann，Matthias Scholz，Tim Paasch-Colberg，Jürgen Stuhler; Toptica公司

频率转换二极管激光器在波长短至小于200nm的真空紫外波段提供连续光。

在研究和工业领域，大量的光子学应用都需要紫外（UV）激光；然而目前只有少数类型的传统激光器系统提供 UV 激光，并且这些激光器只能发射固定的波长。

在本文中，我们展示了基于二极管的激光器系统的最新进展，其能产生连续（CW）可调谐 UV 输出，并且借助数字控制电子技术使得性能和用户友好性得以提升。新型倍频技术可以实现更高的输出功率和长期运行的稳定性；而晶体材料的研究有助于克服非线性转换方面的传统局限，使得波长短于 193nm 的倍频输出成为可能。

工作在深紫外（DUV）波段（波长短于 300nm 的区域）的新型激光源，有助于简化工业和科学应用。例如，最先进的半导体光刻和检验应用，目前采用的是输出波长为 193nm 的脉冲准分子激光器，其价格较为昂贵。曝光晶片的光化检验（即在曝光波长下检验）可得益于连续光源。

深紫外激光器在科学方面的应用包括：角分辨光电子能谱学（ARPES），在该应用中，研究人员需要较高的光子能量，用于测量新材料的大部分布里渊区。波长在 170~205nm 波段的窄带发射激光器，已被证明在这种应用中是最有效的。高带隙材料的光致发光研究中，也需要 200nm 以下的波长，目前正在研究用这类材料创建 UV LED。[1] 此外，深紫外激光器也正在拉曼光谱领域涌现出新应用，例如蛋白质结构分析和太阳光背景以外的拉曼光谱。[2]

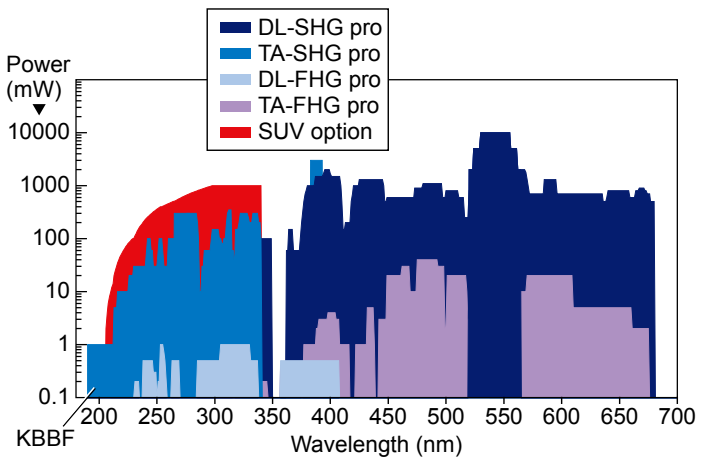


图1：输出功率与波长曲线展示了Toptica公司频率转换系统的波长覆盖190~780nm，功率高达10W。基频激光器在650~1560nm范围内发射。图中标出了KBBF的独有区域，而Toptica的高功率水平（SUV选件）范围显示为红色。

在量子技术领域，可调谐 DUV 激光用于高分辨率光谱和激光冷却。例如，通过直接介入铝离子或汞离子的光学跃迁，能够大幅改善原子钟；在不久的将来，人类将有望利用钍实现原子光学钟。[3,4]

短波长二极管激光器

二极管激光器紧凑、轻便、非常节能，很少需要甚至不需要维护，并且成本相对较低。很多科学和研究领域的应用均受益于激光二极管技术，尤其是那些依赖发射光束的性能改进或可调谐性的应用。例如，使用外部反射光栅的窄光谱激光器，也称为外腔二极管激光器（ECDL）。Toptica 公司使用这种技术生产的该类激光器，获得了数千赫兹的自由运行线宽；相比之下，未采用 ECDL 技术的二极管激光器，获得的线宽则为数百千兆赫兹。

ECDL 的另一个优点是能够连续调谐激光发射波长，同时具有良好的控制方式，无跳模。通常，能够实现

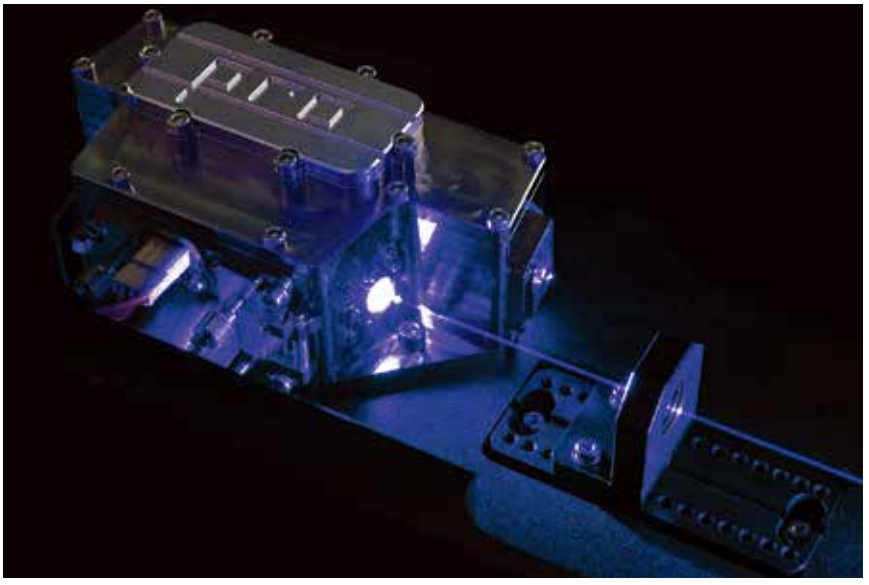


图2：这款SHG pro谐振器是密封的，包括所有的电气和机械引入。残余空气泄漏率为10^{-3}~10^{-5} mbar l/s。

30~50GHz 的无跳模调谐范围，粗调谐达到数纳米。先进的 ECDL 技术允许在无跳模的情况下扫描甚至 110nm 以上。

寻找半导体材料及其发射波长的完美匹配，以产生可靠、长寿命的二极管激光器仍然是一项挑战。迄今为止，采用不同的半导体材料，仅能在红外范围获得准连续输出。对于蓝光和紫外波长，存在少数材料，覆盖包含 488nm、445nm、405nm 和 375nm 的光谱区域，商品化产品的最短波长约为 370nm。直到今天，也不可能利用直接二极管激光技术产生位于 DUV 波段的光束。

通过倍频实现更短的波长

延伸二极管激光器波长范围的另一种方法是通过倍频激光产生二次谐波（SHG）。高效的倍频过程存在几大技术挑战。除了能量守恒，还需要考虑涉及的三个光子（两个输入和一个输出）的动量守恒准则。这需要相同的相速度，因此需要非线性晶体内的光子具有相同的折射率。

色散通常使得不同波长具有不同的折射率，除非创造特殊条件，优化光子的极化和传播方向，以及晶体温度，使得相速度相同。这种所谓的相位匹配，需要以特定角度切割非线性晶体。此外，还需要机械稳定、但安装座可以调节，以及温度稳定。

由于其非线性特性，SHG 过程需要充足的基频激光功率。将非线性晶体置于光学谐振腔中，使初始光穿过非线性晶体后的残余光，可以再返回穿过晶体，能够将倍频效率提升几个数量级。只有当激光线宽比腔的线宽明显低几百兆赫兹时，才能实现干涉功率的积聚。

最先进的 ECDL 能够轻松满足这一标准，使用半导体锥形放大器（TA）能够放大输出功率，使得它们成为频率转换激光器系统中基频光源的理想选择。

为了保持谐振运行，腔的光程长必须是基频激光波长的整数倍。这通过在控制回路中利用压电致动器进行调节来实现。对于误差信号产生，Toptica 公司的 SHG 系统使用 Pound-Drever-Hall 方法，因为它是最快、最可靠的技术。对控制信号进行数字化处理，双压电致动方案为缓慢变化或波长扫描提供了较大的幅度，以及约 30kHz 的高带宽以补偿噪声和振动。

必需的光学半导体材料（如那些用于 TA 芯片和倍频技术的材料）的稳定改进，已经使得倍频二极管激光器系统的可用输出功率获得提升（见图 1）。目前，在可见光范围和近紫外波长，可以获得超过 2W 的输出功率。[5] 此外，在这些范围内的许多光谱间隙，最近也得以填补，例如约 400nm（冷却镱离子和钙离子）、461nm（冷却锶）、480nm（铷 Rydberg 激发）、556nm（镱激光冷却）、589nm（钠激光冷却）以及 671nm（锂激光冷却）。

Toptica 的倍频和四倍频二极管激光器的基频噪声，已经通过激光器系统的数字控制减至最小。基频激光的低频率噪声水平，同样也转移到了频率转换光上。

表：不同非线性晶体中二次谐波产生的相关参数比较

Material	LBO	CLBO	BBO	KBBF
UV transmission edge [nm]	155	180	185	147

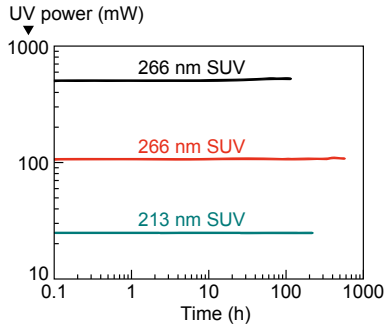


图3：各种波长和输出功率水平下的SUV长期稳定性测量结果。

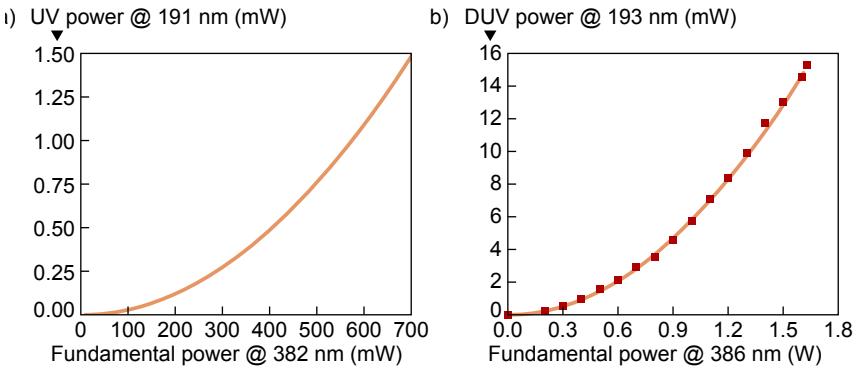


图4：图中给出了谐振倍频级使用KBBF的VUV输出功率与循环基频功率的函数关系。分别产生191nm(a)和193nm(b)的光。

波长更短的深紫外挑战

为了产生 DUV 范围内的波长更短的激光，第一级 SHG 的输出可以通过一个第二级 SHG 再次进行倍频。这种两级 SHG 激光器通常被称为四次谐波产生（FHG）系统。在深紫外范围会出现额外的技术挑战，如光学材料的吸收增加，这会导致输出功率降低。这可以通过密封所有的光学、机械和电引入来避免，使得残余泄漏率达到 10^{-3}~10^{-5}mbar l/s（见图 2）。通过设计，无需打开腔体，所有内部的镜片和非线性晶体都可以接近和对准。

使用这种技术，很容易实现波长大于 300nm 的 300mW 输出。在 243nm 和 254nm（氢或汞光谱所需的两个波长），输出功率 60mW 是可能的。此外，在汞波长，可通过绿光 ECDL 的直接 SHG 实现几毫瓦的输出功率。[6]

即使在 230nm，也能实现超过 20mW 的输出功率，可用于研究铷离子或锂的 Rydberg 态。在 205nm 以下，非线性频率转换无法通过使用传统的晶体进行 SHG 来实现，因为相位匹配无法在这样短的波长下实现。尽管如此，FHG 系统依然在 205nm 这一“典型壁垒”处实现了 1mW 的输出功率。

这类系统在使用寿命和输出功率方面的相对不足，可以通过采用 Toptica 为数字控制 FHG 系统所开发的技术来克服。图 3 给出了相应的长期输出功率稳定性测量结果。红色曲线为 266nm、100mW 输出功率的测量结果，在无任何主动稳定的条件下，运转超过 500 小时后，没有出现任何退化迹象。

随后在测量中，输出功率和波长范围继续增加。266nm 五倍的功率增加，在超过 110 小时后未产生可见的退化。在 213nm，应用了内置的 PowerLock 函数，以保持恒定的 25mW 输出功率值；超过 220 个小时的测量时间后，没有观察到退化，而预计总寿命超过一万小时。目前，测量仍在进行中。

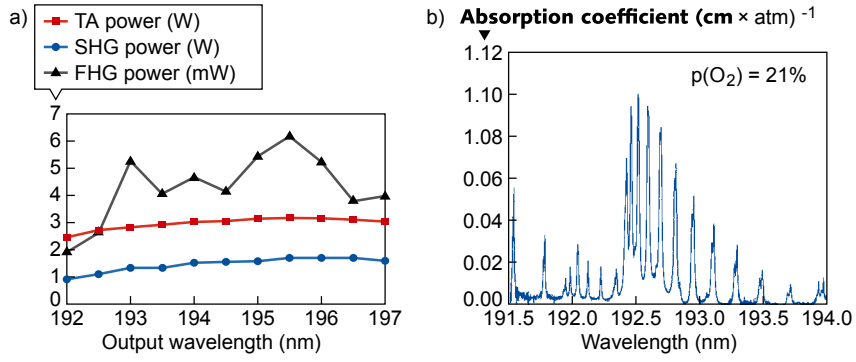


图5：粗调谐KBBF激光器时输出功率与波长的关系（a），以及氧在空气中的吸收光谱（b）。

利用KBBF获得最短波长

晶体研究的最近发展，使得通过使用氟代硼铍酸钾（KBBF），可以实现波长短于 205nm 的 SHG 过程。[7] 相比于其他非线性晶体，KBBF 在 UV 波段具有更高的透过率，并且还允许 200nm 以下波长（见表）、真空紫外范围（VUV）以及特定情况下的相位匹配。

因为采用层状生长工艺，目前只能获得沿 c 轴生长的 KBBF 晶体，这使其难以在相位匹配角（光从 386nm 通过 SHG 转换至 193nm，需要 56.5° 的相位匹配角，这超过了全内反射的值）切割。因此，该晶体被耦合在两个棱镜之间，使其可在 SHG 级使用。[8]

图 4 中显示了一个系统的测量结果，该系统中一块上述的棱镜耦合 KBBF 晶体，以及在 386nm 具有 1.6W 功率的基频 TA-SHG pro 激光器，其在 193nm 波长产生了高达 15mW 输出功率。图 4 中给出了 191nm 和 193nm 波长的输出功率与基频输入功率的函数关系。[9,10]193nm 系统在单频运行下，能达到 15mW 的惊人峰值功率。该 VUV 光具有低于 1MHz 的线宽，以及超过 80GHz 的无跳模

频率调谐范围。这使最高分辨率的VUV光谱成为可能。

通过对高精细度谐振腔的快速频率参考，线宽也可以降低至1Hz以下。[11, 12] 该KBBF系统实现优于0.3%的超低强度噪声（相对强度噪声10Hz~10MHz），以及达到使用该原型系统支持要求苛刻的科学应用的寿命要求。

输出波长可以在宽范围内调谐（见图5），其中所述KBBF系统的光功率显示为波长的函数。调谐对772nm TA级和386nm SHG级的功率只有很小的影响，而193 nm FHG级的输出功率表现出较大的变化。这是由KBBF的不均匀性引起的。光谱被氧分子的吸收所支配，该测量结果与21%氧浓度的预期值吻合，对应于标准大气条件。❑

参考文献

1. L. Trinkler and B. Berzina, "Luminescence properties of AlN ceramics and its potential application for solid state dosimetry," InTech, doi:10.5772/18658 (2011).
2. I. K. Lebedev et al., Anal. Bioanal. Chem., 381, 431–437 (2005).
3. T. Rosenband et al., Science, 28, 1808–1812 (2008).
4. See http://www.nuclock.eu.
5. U. Eismann et al., "Active and passive stabilization of a high-power violet frequency-doubled diode laser," CLEO 2016, JTu5A.65 (2016).
6. G. Almog et al., Rev. Sci. Instrum., 86, 3, 033110 (2015).
7. C. Chen et al., J. Appl. Phys., 77, 2268 (1995).
8. J. Lu et al., Opt. Commun., 200, 415 (2001).
9. M. Scholz et al., Opt. Express, 20, 18659 (2012).
10. M. Scholz et al., Appl. Phys. Lett., 103, 051114 (2013).
11. N. Hoghooghi et al., "Frequency comb with Hz level line widths," Proc. ICOLS, 129, Singapore (2015).
12. Y. N. Zhao et al., Opt. Commun., 283, 4696–4700 (2010).

天津滨海新区激光产业“起飞”

近日，记者从天津滨海新区科协与天津市激光技术学会共同主办的“2016激光技术学会产学研供需对接会”上获悉，天津滨海新区目前已聚集了数百家激光技术领域企业，产业集群逐步形成，部分企业技术已达到国际领先水平。随着产学研合作的不断深入，新区激光技术产业将迎来持续利好，不断取得产业突破。

高新区企业天津欧泰激光科技有限公司是一家成立仅3年的年轻企业，但已经初露锋芒。不久前，欧泰激光自主研发的百瓦级高峰值功率全光纤化皮秒超快激光器，通过了科技成果鉴定，被鉴定为达到国际领先水平，并获得了2016年中国光学工程学会科技创新奖创新产品二等奖。目前，欧泰激光的这款激光器已推向市场，由于与国外同类产品相比具有性价比优势，为公司带来了不少合作机会。天津雷克斯激光科技发展公司通过不断技术创新，研发出最新的激光焊接融覆技术，可将激光焊接、自动化、材料融化等方式结合，使得焊接后的零件几乎等同甚至超过原有水平。由于技术先进，公司成功进军石油领域，并与全球领先的石油钻井商达成了合作。

天津滨海新区具有良好的产业基础和创新环境，在激光技术产业的发展中，理应站上更高位置。目前新区激光技术产业发展虽快，但同产业发达地区相比，产学研沟通较少、整体技术水平较落后、人才储备不足等问题仍较突出。

为解决产业发展瓶颈，新区科协与天津市激光技术学会签署了合作协议，双方将为新区企业和学会之间搭建起产学研合作交流平台。未来，学会将利用丰富的学术资源，为企业提供技术攻关服务。同时，通过牵线搭桥，把高校的技术人才输送到有需求的企业，建起长效合作机制，不仅能够加速高校科研项目的产业化，还能保证企业源源不断的技术创新能力，助力新区激光技术产业驶上发展“快车道”。❑

中红外激光器

“阴阳结构”的中红外激光器实现两路同步输出

文/Gail Overton

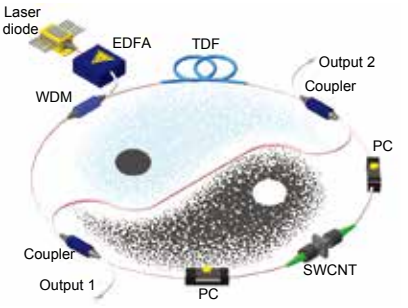
相比于其他类型的激光器，光纤激光器的优势越来越多，因为它们高度集成的设计，实现了紧凑的体积、更低的成本，以及暴露在环境中的出色的耐用性。输出波长为2μm以及其他中红外波长的脉冲光纤激光器，能适用于广泛的应用领域，如激光雷达、分子研究、光通信、大气监测、医疗诊断及外科手术应用。

最近，来自英国阿斯顿大学和上海大学的研究人员展示了一款改良的环形光纤激光器，其采用了一种“阴阳结构”，据悉这是一种不需要光隔离器的设计。[1]

阴阳结构

工作在中红外波段的光纤元件（如光隔离器）不但价格昂贵，而且制造起来也非常复杂。但是，阿斯顿大学和上海大学的研究员联合开发的这种新设计，采用一种“阴阳结构”和一个单壁碳纳米管（SWNT）可饱和吸收器，克服了传统光纤激光器的基本限制，进而提供更高的输出功率和/或脉冲能量。

该激光器使用掺铥光纤作为增益介质（见图）。两个标准的熔融耦合器拼接在一起，形成混合非线性环形镜。当掺入的碳纳米管聚合物复合材料作为可饱和吸收器时，激光器可以工作在Q开关模式，产生亚微秒级的脉冲，最大输出功率为197mW，脉冲能量1.7μJ。研究人员表示，这是目前为止含有碳纳米管聚合物（夹在光纤套管之间）的掺铥Q开关光纤激光器所能实现的最高功率。



图：采用阴阳腔结构的光纤激光器，包括高浓度的掺铥光纤（TDF）、偏振控制器（PC）、一个1550/2000nm的波分复用器（WDM）、一个单壁碳纳米管（SWCNT）可饱和吸收器，夹在两个光连接器之间、具有可变耦合率的两个输出耦合器，以及一个1550nm的法布里-珀罗(F-P)激光二极管，被一个掺铒光纤放大器（EDFA）放大至1.2W的最大泵浦功率。

嵌入聚合物的碳纳米管可饱和吸收器的应用，最初被认为对光纤激光器的设计是不利的，因为当它与光场中最密集的中心部分相互作用时，具有较低的热破坏阈值。然而，通过这种“阴阳结构”，非线性环形镜作为基于非线性光学克尔效应的额外可饱和吸收器，因此稳定了高功率下的脉冲操作。

阴阳腔包含两个耦合的非线性光环形镜，其中一个光纤回路作为第二个光纤回路的反馈机制。在实验中，研究人员用一组光纤耦合器形成非线性反射镜。改变耦合率，能直接改变腔内的总功率分配，并修改其增益以及脉冲动力学行为。结果，该设计允许预先定义操作方向。通过调整适当的耦合率，能在单一方向上实现激光传播的自维持。这有效地消除了对中红外波段的成本高昂的光隔离器件的需要。此外，阴阳腔结构能很容易地扩展到那些需要复杂和昂贵的光隔离器的其他波长。

耦合率可以调节的其他价值在于，这种设计能够产生两路同步输出。通过两个方向之间的切换，单一激光器能够同时作为两个不同的飞秒激光器来工作。研究人员预测，用一个可变耦合器来取代标准光纤耦合器，可以对两个输出的功率比进行连续调节。

“我们的技术可以应用到成像和传感应用中，能够同时进行两种不同类型的测量，极大地减少了整个测量系统的成本。”阿斯顿大学的研究人员Maria Chernysheva表示，“简言之，这种新颖的阴阳结构激光器，不仅提供了一种具有成本效益的设计方案；更为重要的是，它显示了一种强大的多用途激光能力，具有更好的可调性、改善的光束质量，以及更容易功率调节功能。”❑

参考文献

1. M. Chernysheva et al., Sci. Rep., 6, 24220 (Apr. 11, 2016).

变化和增长中的中国工业激光器市场

文/Milton Chang

今年年初，我参加了在旧金山举办的“2016 年激光与光电市场研讨会”2016 Lasers & Photonics Marketplace Seminar），这次研讨会的信息量非常丰富。这里，我将总结顾波博士题为“变化中的中国激光器市场”的演讲精华，当然也会增加一些我的观点。


顾波博士

顾波博士曾于 2008-2012 年间担任 IPG Photonics 公司亚洲运营总监兼 IPG 中国区总经理。随后他离开 IPG 公司成立了 BOS Photonics 公司，致力于发展光电子技术并提供咨询服务。顾博士是美国光学学会（OSA）和国际光学工程学会（SPIE）的成员，也是中国光学学会执行委员会成员及中国激光加工专业委员会副会长。

顾波博士在演讲中介绍了中国的经济情况，并对工业激光器在中国市场的销售做了综合报告。正如想象的那样，在手机、汽车零部件、石油 / 天然气管道、高速列车等产品的制造中，工业激光器的应用已经非常普遍。此外，国家也表示对激光三维制造予以优先支持。市场发展的趋势正朝着购买完整的自动化系统发展，包括视觉检测、自动上下料、自动清洗、检查和分类。目前 OEM 厂商正在加强自身的垂直整合能力，并且在经济增速放缓的过程中，出现了很多行业并购案。

目前，中国市场中所使用的工业光纤激光器，大部分都产自国内制造商，其中国内厂商占据了 70% 的低功率市场、50%的中等功率市场和 5% 的高功率市场，预计高功率市场的比例有望继续增长。当然在产品价格方面，也出现了显著的下降：例如，曾在 2011 年售价 3 万美元的一套打标系统，目前的售价降到了 7000 美元，预计 2016 年这个价格会进一步下降到 3000 美元；一台功率 3W 的紫外激光器，2011 年的售价为 7 万美元，现在降到了 2.2 万美元。尽管激光器的单价大幅下降，但是激光器公司的总收入仍然保持在稳定水平，因为产品的销量显著增加，但是产品的利润空间正在不断缩减。

任何事物都有其两面性。虽然顾波博士在演讲中提到的中国经济中的低迷因素，与我们已经在新闻报道中读到的内容非常相符，但这些信息留给我的印象是：中国经济正处于合理的发展状态。2015 年中国新增加了 1370 万个就业岗位，失业率为 4.2%，相比之下美国的数字分别为 270 万个就业岗位和 5%的失业率；2015 年中国技术领域的大学毕业生为 700 万，相比之下美国是 180 万非技术领域的大学毕业生。此外，中国政府计划到 2030 年，将城镇人口的比例从现在的 56% 增加到 70%，这将会对经济的发展起到很大的刺激作用，因为城镇人口的增加，必将需要大量的住房和基础设施建设，这必然会促进经济发展。



另外值得注意的是，中国政府对重振制造业也有着非常积极的举措，例如受德国工业 4.0 计划的启发，中国政府出台了“中国制造 2025”纲要，倡导中国制造业的全面转型升级（类似于美国的先进制造计划）。❑

Milton Chang 曾是 Newport 和 New Focus 的总裁。他目前是 mBio Diagnostics and Aurrion 的主任。他是加州理工的理事，是 IEEE、OSA 和 LIA 会士。可将您的商业、管理和事业问题发送至 miltonchang@incubic.com 与他沟通。

500W-20000W

laserline 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











LDM 光纤耦合半导体激光器模块

• 功率可达 3000W

4.5W-15W

PHOTON ENERGY 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_4F
最大平均功率	12W@500kHz
脉动能量	> 300 µ J@20kHz；100 µ J@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

风冷 · 脉冲小 · 稳定 · 低成本

30W-2000W

directphotonics

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

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

400-886-0017

Apico · SYNRAD · laserline · SPI · Newport · Cambridge Technology · eternal sun · UNIVERSAL · MSP · Cole-Parmer · PANCO · NORTHROP GRUMMAN · CEDRAT TECHNOLOGIES · FISBA OPTIK · directphotonics · QIOPTIQ · YAMAMOTO · PreSens · PALAS · matrix

香港 HONGKONG	北京 BEIJING	上海 SHANGHAI	广州 GUANGZHOU	深圳 SHENZHEN	成都 CHENGDU	武汉 WUHAN	台湾 TAIWAN	新加坡 SINGAPORE
T: (852) 2755 6578 F: (852) 2755 4549 info@anp.com.hk	T: (010) 6207 4835 F: (010) 6207 7434 bj@anp.com.hk	T: (021) 5523 3800 F: (021) 5523 3811 sh@anp.com.hk	T: (020) 6683 0899 F: (020) 6683 0898 gz@anp.com.hk	T: (0755) 8220 2428 F: (0755) 8220 2438 sz@anp.com.hk	T: (028) 8521 6348 F: (028) 8524 2667 cd@anp.com.hk	T: (027) 8759 1299 F: (027) 8759 1239 wh@anp.com.hk	T: (886) 2295 3164 6 F: (886) 2295 3986 3 tw@anp.com.hk	T: (65) 6655 0909 M: (65) 9090 0909 sg@anp.com.hk

上海奥镭光电推出新一代半导体激光脱毛仪



上海奥镭光电科技有限公司推出的全新一代半导体激光脱毛仪，主要具备如下特点：

1）采用多巴条结构，出光口光斑更匀化，提高了治疗效果及减轻疼痛感；

2）激光器叠阵采用金锡焊料封装，解决了铟焊料易氧化的问题，产品可靠性更高；

3）激光器采用独特的冷却方式，介于微通道和宏通道之间，即保证了激光器的充分散热，又大大降低了对水质的要求，实现了工业水冷却，方便客户使用。

4）模块化设计，为客户提供核心组件、整机 OEM 等灵活合作方式。

奥镭光电专为整机厂商、经销商提供组件及整机 OEM。

奥镭光电，www.allasers.com

400万像素超高速DMD空间光调制器

上海昊量光电最新推出的 400 万像素超高速 DMD 空间光调制器 V-9001VIS，采用 TI 的 DLP9000X 芯片组。DLP9000X 芯片组由 DLP9000X DMD 数字微镜和 DLPC910 组成，其数据带宽达到 60Gbps。



V-90001VIS 在充分利用 DLP9000X 芯片组的高带宽基础上，还在硬件驱动电路中集成了高达 64GBit 的片上内存和高速 USB3.0 数据接口。图形刷新速率为 12,987Hz。

V-9001VIS 的应用领域主要包括：3D 打印、光刻、3D 扫描、激光打标和高光谱成像。在 3D 打印应用中，V-9001VIS 能节省打印光头数量，且支持小于 1μm 的 3D 打印精度。12,987Hz 的图形刷新速率、400 万像素的微镜数量及 7.6μm 的微镜尺寸，为光刻、激光打标和 3D 打印应用提供了先进的光调制方案。

随着 DLP 技术的不断进步，DMD 空间光调制器被用在越来越多的新兴应用中，如单像素相机、关联成像、超分辨显微、3D 数字全息、波前传感及三维全息光镊等。

上海昊量光电，www.auniontech.com

IPG推出中功率扫描振镜



IPG 推出 2 kW 远程扫描方案的中功率扫描振镜，实现 IPG 准连续及连续光纤激光器的远程扫描应用。

该振镜适用的波长范围为 1070~1080nm，振镜通光孔径 12mm，采用 HLC-8 光纤接口。其主要动态性能包括跟踪延迟 <0.1ms、重复性（rms）<5μrad。

适合应用：激光焊接、激光切割、激光深雕、激光增材制造。

IPG Photonics，www.ipgphotonics.com

瑞淀光学系统提供快速、精确的高分辨率成像色度计



ProMetric I 成像色度计的设计可满足平板显示器（FPD）、背光键盘和 LED 照明产品的量产需求。ProMetric I 基于科学级 CCD 传感器设计而成，分辨率范围涵盖 I2 的 200 万像素到 I29 的 2900 万像素。该 CCD 传感器可实现对 FPD 的像素级测量，对背光键盘字符内部亮度差异的测量，以及对具有大型 LED 阵列的照明器的 LED 亮度和色度的高精度测量，同时。ProMetric I 支持 USB 2 接口和千兆以太网通信，可在各种远距离甚至最为严苛的生产环境中提供高度可靠的操作。

ProMetric I 优点：针对速度、分辨率和测量精度进行了优化；提供与人类视觉感知高度相关的色度和光度测量；结合了 Smart Technology ™创新技术，加快测量设置并简化操作；柔性系统，能够处理目前和将来的多种应用；可无缝搭配 TrueTest ™ 自动化外观检测系统进行工作。

瑞淀光学系统，www.radiantvisionsystems.com

通快工业级激光粉床金属3D打印机



通快的大型工业级金属 3D 打印机 TruPrint 1000，采用的是激光金属熔融（LMF）技术，能通过一个 200W 的激光器照射金属粉末进行打印，可处理高达 1.4 升的不锈钢、工具钢、铝或其他可焊接材料。打印的同时，构建室会逐渐下降，然后将多余的粉末倒入一个回收容器，以实现材料的再利用。另外，为防止氧化和火灾等意外，所有这些都会在充满氮气和氩气、氧含量仅有 0.1% 的封闭空间内进行。

TruPrint 1000 结构紧凑，最大打印尺寸为 100mm（直径）×100mm（高），配备一个内置触摸屏。TruPrint 1000 的一些技术参数：打印尺寸：1445mm × 1680mm × 730mm；重量：705kg；涂层厚度：20μm；聚焦直径：55μm；扫描速度：最高 6m/s。

通快，www.trumpf.com

天弘激光推出o'laser CO_2激光器

天弘激光自从SPI收购了JK Lasers 二氧化碳激光器后，对二氧化碳激光器采用了双商标 JKTM Lasers 和 O'laser。

O'laser 二氧化碳激光器性能卓越，集切割、焊接、打孔等多种应用于一身，具备如下特点：

- 具有理想的光束波形，高稳定输出；
- 使用寿命长，高真空技术，使用时间超过 45000 小时；
- 扩散冷却设计；
- 真空密封装置，无需换气；
- 集成方便，有独立激光管系统或全封装系统；
- 采用特色密封防尘保护镜片，HV 电源；
- 有准直光备选。

天弘激光，www.tianhonglaser.com

大族激光推出8kW光纤激光切割机

大族激光最新推出的 G3015F-IPG8000 光纤激光切割机，拥有 8kW 的最大输出功率，是钣金加工的利器。其采用光纤传输，柔性加工，可实现任何形状的高质量切割，并适于切割铜、铝等高反材料。其切割厚度进一步扩展，可批量切割厚度为 30mm 的不锈钢与铝合金。

G3015F-IPG8000 采用智能加工，真正实现高速度、高品质、高稳定性，比 CO_2 激光切割机在切割中等厚度板材方面具有更大优势。它能与自动化生产线完美组合，提高生产效率。



大族激光，www.hanslaser.com

Thales推出高平均功率的Nd:YAG激光器ETNA HP

ETNA HP Nd:YAG 激光器具有独特的规格、出色的稳定性、高度灵活性、免维护等特点，是工业应用环境的理想选择。



ETNA HP 能在 10kHz 提供 170W 的绿光输出，能在高平均功率、重复频率和成本之间实现最佳权衡。

ETNA HP 基于 Thales 公司在二极管泵浦头领域的最新技术，拥有更加出色的功率稳定性，是需要大批量生产的高科技产品和消费产品市场的理想之选。

ETNA HP 的主要特征包括：工作频率 4~40kHz；170W 输出 @532nm；220W 输出 @1064nm；出色的功率稳定性；M^2 介于 15~40 之间；结构紧凑，坚固耐用的工业设计。

Thales，www.thalesgroup.com

低噪声16W激光器提供50GHz光谱带宽

Laser Quantum 公司的 532nm 激光器提供 2 μ rad/℃ 的光束指向稳定性和 0.02% 的噪声。该激光器的提供 16W 的功率输出，50GHz 的频谱带宽，光束质量参数 M^2<1.1。它具有现场可更换的二极管，二极管的使用寿命为 40000 小时。



该激光器的应用领域包括钛蓝宝石泵浦、钛 / 染料光泵浦、光镊、打标和蚀刻以及半导体检测等。

Laser Quantum，www.laserquantum.com

Advertiser	广告商名称	网址	页码
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	11
A & P Instrument Co., Ltd.	科艺仪器有限公司	www.anp.com.hk	33
Edmund Optics China		www.edmundoptics.cn/laser-optics	23
FISBA OPTIK AG		www.fisba.com	18
MWCS	数控机床与金属加工展	www.metalworkingchina.com	IBC
OVC EXPO	第十三届“中国光谷”国际光电子博览会暨论坛	www.ovcexpo.com.cn	IFC
Pinnacle Scientific (China) Corporation	顶尖科仪(中国)股份有限公司	www.psci.cn	21
Shenzhen RFH Laser Technology Co., Ltd.	深圳瑞丰恒激光技术发展有限公司	www.rfhlasertech.com	25

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的文章。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投到编辑部。
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。

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。

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

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
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

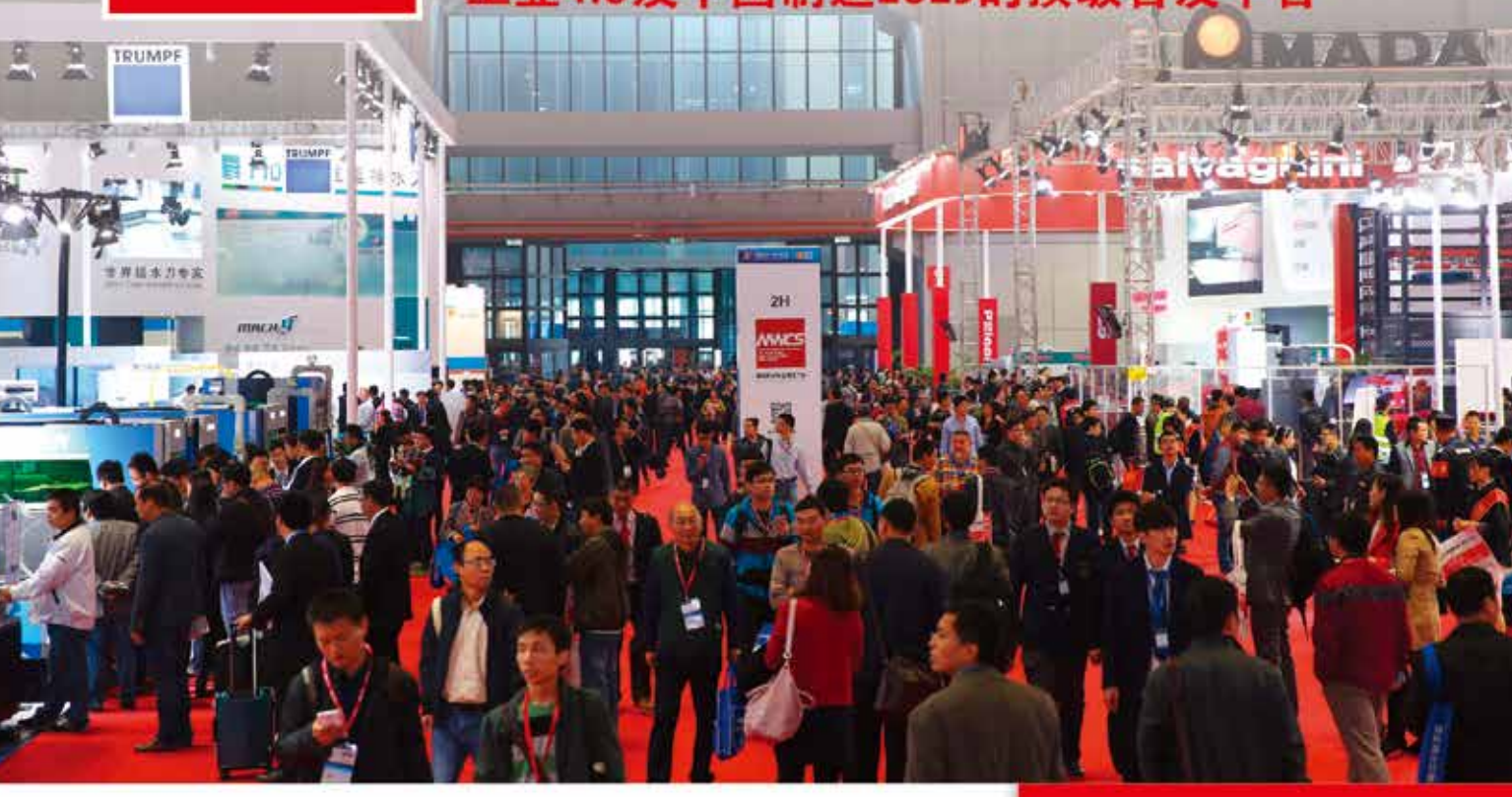
Israel
Dan Aronovic
aronovic@actcom.co.il
Tel: 972-9-899-5813

匠心工艺 质造强基

MWCS
METALWORKING AND CNC MACHINE TOOL SHOW

数控机床与金属加工展

工业4.0及中国制造2025的顶级首发平台



2016年11月1-5日
国家会展中心(上海虹桥)

MWCS 2015数据回顾

参展商：**489**家，来自20个国家和地区
(MWCS 2014: 来自18个国家和地区共计539家)

观众数：**136,598**人次，来自85个国家和地区
(MWCS 2014: 来自83个国家和地区共计121,108人数)

展览净面积：**24,699** m²
(MWCS 2014: 23,105 m²)

26%的观众表示不参观除工博会以外的其他展会

Deutsche Messe　FIERA MILANO　东浩兰生 EAST BEST & LANSHENG

www.metalworkingchina.com
欢迎垂询：021-5045 6700-222/284

SMW

同期举办国内针对
金属板材加工的专业论坛
- 2016钣金加工技术峰会

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》，其馀内容来自中国本土市场。

免费索阅



www.laserfocusworld.com.cn

ACT