

激光世界

LaserFocusWorld[®] China

年度激光器市场回顾与展望：

激光器，

你们都去哪儿了？

7

14



微信公众号

ACT

PennWell[®]

扫描振镜达到激光微加工所需的兆赫兹级重复频率

19

光纤激光器在铝合金IT构件产品中的应用

21

工作于1700nm窗口的掺铋光纤放大器

24

中国(深圳)激光智能制造博览会

2017年5月23-25日 中国·深圳会展中心

CHINA(SHENZHEN)
LASER INTELLIGENT MANUFACTURING FAIR
May 23-25, 2017 SZCEC · CHINA



激光追溯安全展 · 智能机器人展 · 金属智能加工展 · 激光技术展 · 3D打印产业展
同期会议: ALAT 2017 第十一届亚洲(深圳)国际激光应用技术论坛

联合主办机构: 广东省激光行业协会 中国仪器仪表学会 广东省激光产业技术创新联盟



深圳市星之球信息科技有限公司 (XZQ Laser)
Shenzhen XZQ Information Technology Co., Ltd
Tel: 86-755-2320 7500 86-769-2238 1699

中国(深圳)激光智能制造
博览会官方网站

www.laserfair.cn

激光世界

LaserFocusWorld® China

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

免费索阅





7 市场风向标

年度激光器市场回顾与展望:激光器,你们都去哪儿了?

激光公司无论大小都感受到了最近行业并购潮的汹涌。无论是加快上市时间还是寻求投资扩张,其中的诸多细节都揭示了未来十年激光行业将去向何方。

19 应用天地



扫描振镜

扫描振镜达到激光微加工所需的兆赫兹级重复频率

最大化烧蚀效率以及选择正确的峰值能量密度,能够实现高吞吐量和高质量的激光加工过程。

21 激光焊接

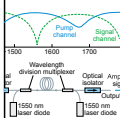


光纤激光器在铝合金IT构件产品中的应用

通过对脉冲激光器和光纤激光器焊接铝合金IT构件产品进行对比实验,表明光纤激光器能够获得更大的强度、更高的效率、更好的外观以及相似的变形量。

技术中心

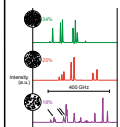
24 光纤放大器



工作于1700nm窗口的掺铋光纤放大器

为了利用新的光谱窗口满足未来的通信带宽需求,以及放大1600~1750nm光谱区域的信号,俄罗斯科学家开发出了工作在1640~1770nm波段的掺铋光纤放大器。

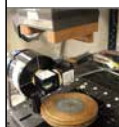
25 量子级联激光器



高度定向的电泵浦宽带随机太赫兹激光器

奥地利的研究人员,利用随机激光器的概念,提出了一种针对太赫兹量子级联激光器中光束发散问题的解决方案。

26 增材制造



激光源在增材制造中的重要性

通过定期测量激光器的输送功率、光斑尺寸和光束位置,可以指定增材制造工艺,重复制造出质量一致的产品。

30 访谈



高功率半导体激光器向“四高”迈进

炬光科技董事长刘兴胜博士,讲述了半导体激光器的四大发展趋势——高功率、高电光转换效率、高亮度和高泵浦效率。

32 致力于在国内实现光纤激光器的产业化



上海飞博激光有限公司总经理李骁军先生,在公司乔迁新址的活动上,介绍了飞博激光致力于在国内实现光纤激光器产业化发展故事。

34 让激光加工精益求精 毫厘不失



苏州德龙激光股份有限公司总经理赵裕兴博士,介绍了德龙激光在激光精密加工市场的机会和解决方案。

4 编者的话

5 前沿简讯

35 产品精英

36 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



7 MARKET TRENDS

Annual Laser Market Review & Forecast: Where have all the lasers gone?

Laser companies both small and large are feeling the recent surge of tech-sector M&A activity. Whether time-to-market or portfolio expansions play, the details reveal much about where the laser industry is heading in the next decade.

19 APPLICATIONS



Galvo scanners

Galvo scanners reach megahertz-scale range repetition rates for laser micromachining

Maximizing ablation efficiency and choosing the correct peak fluence enable both high throughput and a high-quality laser-machining process.

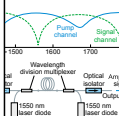
21 Laser Welding



Application of fiber laser in aluminum alloy IT components

By comparing the experimental results of pulsed laser and fiber laser in welding aluminum alloy IT components, it is shown that the fiber lasers can obtain greater strength, higher efficiency, better appearance and similar deformation.

24 TECHNOLOGIES CENTER

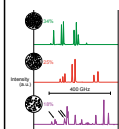


Optical Fiber Amplifiers

Bismuth-doped fiber-optic amplifier operates in the 1700 nm window

Scientists from Russian have developed a bismuth (Bi)-doped optical fiber amplifier that operates from 1640 to 1770nm for future communications bandwidth needs.

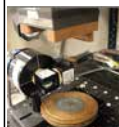
25 Quantum-cascade Lasers



Electrically pumped broadband random terahertz laser is highly directional

Researchers from Austria have come up with a solution to the divergence problem in terahertz-emitting QCL by drawing from a laser concept of the random laser.

26 Additive Manufacturing



The Importance of Laser Source in Additive Manufacturing

With regular measurements of the laser's delivered power, beam size, and beam location, Additive Manufacturing procedures can be specified that deliver consistent quality over and over again.

30 INTERVIEW



High power diode laser is developing towards 'Four High' goals

Dr. Victor Liu, the president of Foucs Light, said that the diode laser is developing towards four trends, which are high power, high electro-optical conversion efficiency, high brightness and high pumping efficiency.

32 Committed to the industrialization of fiber laser in China



Mr. Li Xiaojun, general manager of Shanghai Feibo Laser Co., Ltd, told the growth stories of promoting the industrialization of fiber laser in China.

34 Making laser processing excellence without loss



Dr. Zhao Yuxing, General Manager of Delphi Laser, introduced the market opportunities and its solutions in laser precision machining.

4 EDITOR'S NOTES

5 LEADING EDGE SNAPSHOTS

35 PRODUCTS HIGHLIGHTS

36 AD INDEX

About Laser Focus World China

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

Laser Focus World China is published every other month in simplified Chinese and distributed to over 9,500 qualified optoelectronics professionals in China. Through our digital magazine and website we provide coverage to an even larger audience base. Please visit our relevant website, www.laserfocusworld.com.cn.

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

在黯淡的经济中逆流而上

又是新一年的第一刊，激光行业权威市场调研机构 Strategies Unlimited 的全球激光器市场回顾与展望照例如期而至——一篇题为《激光器，你们都去哪儿了？》报告让人们更加确信的是：激光器正在越来越多地走近人们的生产和生活，现在和不久的将来，它们将遍布各类生产线、医疗、机场、商店、影剧院、娱乐表演、智能家庭等诸多我们现在能想到的、甚至是想不到的场所。

2016 年全球经济进入了缓慢增长的新常态。来自世界银行的报告预测，2016 年全球经济增长 2.4%，然而令人高兴的是，正如 Strategies Unlimited 的预测，2016 年全球激光器市场的增长率跑赢了全球经济增长率。预计 2017 年全球激光器的销售额将增长至近 111 亿美元，比 2016 年增长约 6.6%。

激光器厂商们似乎并不太关心缓慢停滞的经济新常态，而是兴高采烈、紧锣密鼓地忙活着蓬勃发展的新应用，很多公司都摘到了成功的果实。中国制造业的升级转型、自动化程度的提高，需要更多更高端的激光加工设备；2016 年各种人工智能如黑天鹅凌空而起，无人驾驶的汽车、无人机从“玩具级”向“实用级”的迈进，使得激光雷达技术仿佛在一夜之间炙手可热；人口老龄化趋势让激光器在医疗领域继续稳稳增长；增材制造的应用，从产品原型开发向实用零部件制造转变……激光技术已经成为一种重要的创新工具。

当然，激光器技术本身也在向前发展，半导体激光器实现了更高的功率、更高的亮度、更高的效率；很多厂商潜心光纤激光器，使得光纤激光器的功率、能量也越来越强大。

市场增长点在哪里，就会吸引厂商们涌向哪里。在这个要求快速将新产品推向市场抢占先机的年代，加上激光技术开发本身的复杂程度，催生了行业的并购潮。在刚刚过去的一年中，激光行业的并购可以用热火朝天来形容。从年初的万机仪器收购 Newport、相干和罗芬两大巨头强强联手、NKT 收购 Fianium，到下半年的炬光收购 LIMO、GE 收购 Concept Laser、大族激光收购 Coractive 大部分股权，这期间还有不少大大小小的并购和战略合作伙伴关系的建立，整个 2016 年，行业内的并购与合作可谓一波未平一波又起，热闹非凡，有望创下历史最高水平。随着激光应用不断在各个领域开疆拓土，预计 2017 年行业并购行为依然会继续。

最后，希望我们本期分享的全球激光器市场回顾与展望报告，能为大家带来一定的参考价值。新年伊始，《激光世界》祝各位同人 2017 年事业和生活都蒸蒸日上！□

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 麦协林 Mark Mak

电邮 markm@actintl.com.hk

中国区总经理 徐旭升 Michael Tsui

电邮 michaeltsui@actintl.com.hk

中文版主编 庞会荣 Rossie Pang

电邮 rossiep@actintl.com.hk

免费赠阅咨询

电话 (86) 755 2598 8571

传真 (86) 755 2598 8567

电邮 lfwc-sub@actintl.com.hk

特约编辑

In My View Jeffrey Bairstow

电邮 inmyview@yahoo.com

Industrial Lasers David A. Belforte

电话 (1) 508-347-9324

电邮 belforte@pennwell.com

Valerie Coffey

电话 (1) 978-263-4485

电邮 stellaredit@gmail.com

Photonic Frontiers Jeff Hecht

电话 617-965-3834

电邮 jeff@jeffhecht.com

Imaging Conrad Holton

电话 (1) 603-891-9161

电邮 cholton@pennwell.com

Europe D. Jason Palmer

电话 (44) 7960 363308

电邮 djonpalmer@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

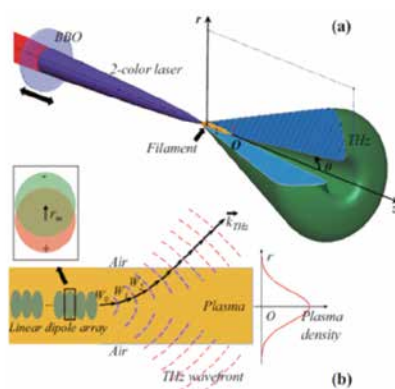
ISSN 1817-6917

© 2017 版权所有 翻印必究

上海交大利用强激光在空气中激发可控的太赫兹辐射

近期，上海交大研究团队利用千赫兹激光装置，在空气中激发可控的强太赫兹辐射。

利用双色激光场在空气中激发等离子体丝产生的宽带、强太赫兹辐射源，可以避免太赫兹波在空气中传输时被水分子吸收的问题，在近几年受到了广泛关注。其产生的微观物理机制目前主要由离子化电流模型和非线性四波混频模型描述。之前的大量研究表明，这种太赫兹辐射源是一种单周期的宽带脉冲。而实现对这种辐射脉冲各参数的精密操控，包括辐射角分布、载波包络相位、脉冲能量等，对



其广泛应用至关重要。

上海交大科研团队利用千赫兹激光装置，通过对双色激光场在空气中激发的等离子体光丝长度以及泵浦双

色激光的相对相位差的调控，成功实现了对辐射的单周期太赫兹脉冲的载波包络相位、空间分布以及峰值强度等参数的有效调控。理论上提出了“线性偶极阵列”宏观模型，在该理论模型中，长光丝中各个部分均被视为独立的太赫兹辐射点源，远场探测到的太赫兹信号，是这些点源阵列辐射的相干叠加，这是解释长光丝下太赫兹辐射产生的关键。该模型很好地解释了实验观测，为产生可控太赫兹辐射奠定了基础。□

1.2 万瓦光纤激光器在津问世

近日，中国电子科技集团公司光电研究院天津东方锐镭公司联合国防科学技术大学高能激光技术团队，成功研制出功率达 1.2 万千瓦的工业级光纤激光器，其综合性能指标达到国际一流水准。该产品的问世，彻底打破了国内万千瓦级光纤激光器依赖进口的局面，使得国产万千瓦级光纤激光器水

平再上新台阶。

目前，高功率光纤激光器主要应用于厚板切割和焊接领域。万千瓦级光纤激光器能够快速切割厚度达 40mm 的碳钢、30mm 的不锈钢以及 15mm 的铝材和铜材。在此基础上，高功率光纤激光器可以广泛应用于工业制造、汽车制造、航空航天等诸多领域。

此前，高功率光纤激光器市场一直被国外少数几家企业所垄断。锐镭公司 1.2 万千瓦光纤激光器的问世，有效填补了高功率光纤激光器在国内市场的空白，更为我国在高端重型设备制造领域的快速转型升级提供了核心源动力，尤其为推动天津激光智能制造产业的发展奠定了基础。□

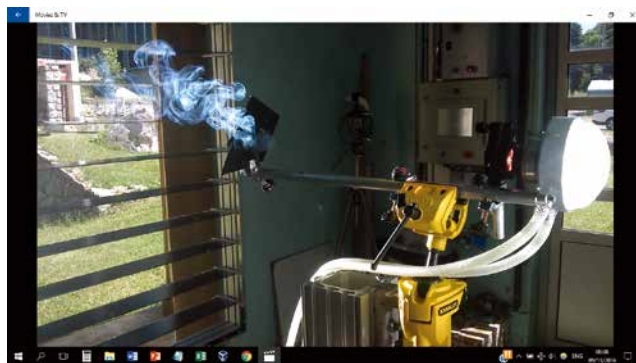
1064nm 太阳能激光器实现创纪录的功率输出和效率

文/Gail Overton

随着激光技术在空间遥感、无线激光功率束、小行星偏转和无燃料光子推进器等领域的应用，直接通过日光转换而发射能量的激光器（称为太阳能泵浦激光器）的性能再次获得提升，这得益于新里斯本大学（New University of Lisbon）所进行的研究项目。

与其他通过具有适度损耗的光纤传输来自太阳能跟踪系统的激光能量的结构不同，新里斯本大学的研究人员使用直径 4.0mm、35mm 长的 Nd:YAG 单晶棒的端面泵浦，并具有定日镜 - 抛物面镜太阳能集中系统。一个非球面熔融石英透镜，将来自 1.4m 有效直径抛物面反射镜聚集的太阳能，耦合到锥形泵浦腔内的激光棒中，产生 37.2W 的连续波（CW）多模 1064nm 太阳能激光功率，具有 8.9% 的斜率效率——研究人员表示，这是迄今为止最高的太阳能 - 激光效率。

此外，研究人员还测量到了 9.3W 的 CW TEM₀₀ 模式



($M^2 \leq 1.2$) 1064nm 太阳能激光功率， $7.9\text{W}/\text{m}^2$ 的基模激光收集效率，该收集效率分别是先前的菲涅耳透镜和抛物面镜记录的 2.6 倍和 2.0 倍。□

参考文献

D. Liang et al., Sol. Energ. Mat. Sol. Cells, 159, 435–439 (Jan. 2017)

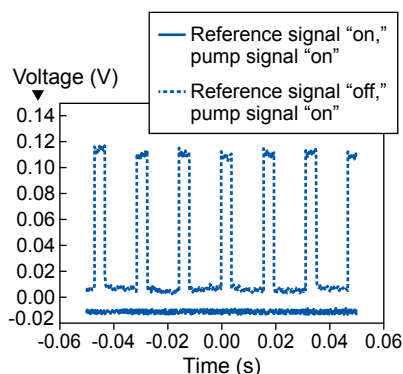
调制的硅掺杂提升 GaN 垂直腔表面发射激光器的性能

文/John Wallace

由于氮化物的自身特性，因此很难制造出发射蓝光的基于氮化镓（GaN）垂直腔表面发射激光器（VCSEL）。针对将这些器件商业化的设计结构，具有较差的导电性能，并且改善电导率的现有方法见增加制造的复杂性，同时性能也会受到限制。现在，日本明治大学和日本名古屋大学的研究人员，联合展示了一个基于 GaN 的 VCSEL 设计和实验原型，它能够提供良好的导电性，并且容易生长。

典型的 VCSEL 激光腔由分布式布拉格反射器（DBR）反射镜所定义。但是 DBR 结构具有低导电性，这是

由其氮化铝镓（AlInN）层和 GaN 层之间的极化电荷所导致。腔内接触可以帮助改善 GaN VCSEL 的导电性，但是这样做会增加腔尺寸，并且由于它们存在于腔内，会导致更高的阈值



电流密度和更低的斜率效率。

在最新的 VCSEL 中，AlInN/GaN DBR 氮化物层中的调制硅掺杂，不但降低了极化电荷效应，而且还提高了 DBR 层的导电性。46 对硅掺杂 DBR 镜的峰值反射率约为 99.99% 或更大——相比之下，40 层未掺杂 DBR 镜仅具有 99.7% 的峰值反射率。该激光器的阈值电流为 2.6mA，工作电压为 4.7V。□

参考文献

K. Ikeyama et al., Appl. Phys. Express (2016); <http://iopscience.iop.org/1882-0786/9/10/102101>.

年度激光器市场回顾与展望

激光器，你们都去哪儿了？

激光公司无论大小都感受到了最近行业并购潮的汹涌。无论是加快上市时间还是寻求投资扩张，其中的诸多细节都揭示了未来十年激光行业将去向何方。

文/Gail Overton, Allen Noguee, David Belforte, Conard Holton

激光技术已经成为打造下一代创新技术^[1]的一种重要工具。虽然许多激光器制造商都倾向于关注纯粹的激光器产品，并且以较高的个位数销售增长率跑赢了衰退的世界经济，^[2]但是许多激光公司和越来越多的非激光公司，都渴望利用激光技术的知识产权(IP)价值，加快上市时间。

然而不幸的是，当激光器只是垂直或上游系统产品中的一个组件时，预测纯激光器的销售收入将变得更加困难。激光器的收入会被淹没，特别是来自跨国企业集团的季度财务报表，很少会指明对财务业绩有贡献的产品或技术组合。

那么，所有的激光器产品都去哪儿了呢？无论是部分激光技术被寻求IP差异化和上市时间的非激光公司所收购、或是被另一家寻求增加其产品组合的纯激光器制造商所并购，甚至是作为非商品化的特色产品服务利基市场，毋庸置疑的一点是：激光器正在走近人们的生活，它们已经开始出现在机场、五金店、节目表演、影剧院、汽车经销商店或是您附近的牙科/医疗诊所等诸多场所中。

激光器将继续在全球的现有市场和新兴市场中发挥重要作用，我们估计，2017年全球激光器的销售额将增长至接近111亿美元，比2016年修订后的销售额104亿美元增长约6.6%。这其中的秘密是：激光技术面对的都是大生意，一些公司已经看到了丰收的果实。

凯普林光电2016年销售业绩再创新高，同比持续两

位数增长。2016年公司在激光泵浦、印刷等业务领域的出货量大幅拉升，海外市场销售也成为公司业绩增长的另一个强劲动力。未来，凯普林光电将在高功率、高亮度激光器方向上加大投入，新一代产品平台将搭载百瓦至千瓦级半导体激光器。“同时，随着业务规模的扩大，公司也希望借助资本市场的力量加快业务发展。”凯普林光电发言人透露。



“当产品成熟并进入商品化状态时，市场整合是正常的，”德国 Jenoptik 公司医疗保健业务部门销售总监 Markus Röhner 说，他负责的激光部门致力于为汽车、医疗技术和材料加工应用提供半导体激光器和超快激光器。“在过去的几年中，经济增长率一直保持在较低的个位数水平，为了增加销售和收入水平，进入新市场会更具吸引力。尽管在过去的几十年中，产品的复杂性有所增加，但是业界依然面临着缩短新技术开发时间的压力，这使得‘制造或购买’决策对企业的发展战略至关重要。”

例如，想一想光探测和测距（雷达）激光技术领域发生了什么。“2016 年 8 月，激光雷达公司 Quanergy Systems 公司以 10 亿美元估值的身份与自主机器人初创公司 Zoox 合作；行业巨头福特和中国互联网公司百度为激光雷达公司 Velodyne 投资 1.5 亿美元；^[3]2016 年 10 月，英飞凌公司收购 Innoluce 公司，用 MEMS 芯片补充其雷达 IC 产品组合，瞄准固态激光雷达应用市场。”Efficient Power Conversion 公司创始人兼首席执行官 Alex Lidow 说道，Efficient Power Conversion 是一家氮化镓（GaN）功率半导体制造商，相比于硅器件，在厘米范围内，GaN 功率半导体器件能使激光器在发射和探测光子方面快 100 倍。“最近雷达作为最热门的激光技术之一涌现出来，这已经不是什么秘密，但令人惊讶的是它发展的速度却是如此之快——仅仅在短短的 2-3 年内，激光雷达技术已经从谷歌车的好奇心发展到主流的辅助驾驶技术。”

激光雷达正在变得无处不在^[4]还有一个很重要的原因。激光器的测距能力不能通过视觉相机技术来匹配，例如 2016 年 6 月特斯拉无人驾驶汽车发生的车祸事件，如果这辆无人驾驶的特斯拉汽车配备了激光雷达系统，^[5]那么它就可以看到卡车，进而能避免悲剧性的碰撞事件。

尽管消费者受到了挫折，但是 Lidow 预测，无人驾驶汽车市场上的并购行为将会继续，因为很多公司正在寻求差异化其激光雷达系统产品，并以更低成本的激光雷达方案更快地进入市场。事实上，来自高盛集团的一份题为《Monetizing the rise of Autonomous Vehicles》^[6]的报告预测，到 2025 年，激光雷达市场将达到 106 亿美元！是的，你没看错，就是 106 亿美元！

2016 年 8 月，彭博社报道称，优步（Uber）收购自动驾驶技术公司 Otto，^[7]将帮助优步尽可能快地利用机器人驾驶员替换其 1 亿人工驾驶员。Lidow 将激光雷达看作是一种传感器选择，而这种传感器不仅适用于自动驾驶的车辆和辅助驾驶，并且还适用于无人机导航和自主型工业机器人。

“无论你什么时候听到‘自主性’这个词儿，你就可以肯定一点：光学传感技术将是关键，并且在某个地方必

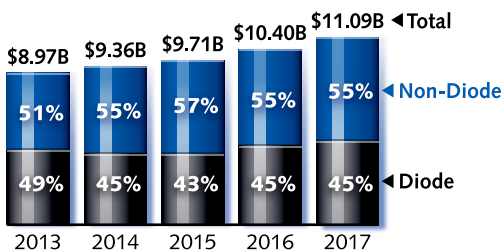
定有光子在运行。”洛克希德马丁公司（Lockheed Martin）高级技术实验室战略总监 Mark Bendett 如是说。Bendett 认为，激光雷达行业的投资、合并和并购行为，与激光技术的成熟度、商品化和可靠性相一致，无论是在国防、医疗还是工业领域，都是如此。“定向能武器正在从研发实验转移到

真实世界中，它们已被部署到船只以及其他地面和空中防御系统中；而超快激光器已经成为眼科和材料加工应用的主力军。”

但是 Bendett 强调，激光雷达和激光角膜手术（LASIK）市场并没有在一夜之间爆发。“美国 IMRA 公司早在 20 世纪 90 年代中期就证明了飞秒光纤激光技术^[8]适用于眼科应用。他们不仅制造出了一台能加工人体组织的激光器，而且还制造出了几十台、数百台这样的激光器，这些激光器年复一年地反复提供着相同的性能参数。IMRA 公司在 1992-1997 年间就生产出了自动驾驶车辆激光雷达系统原型，而这样的系统到现在才发展到足够便宜、足够可靠、以实现商业化大规模部署的阶段。”他补充说。

“激光技术似乎是突然爆发的，然而事实上市场是由价格驱动的。尽管早在数十年前 3D 全息图^[9]对于激光技术人员来说就已经不陌生了，但是只有当这种技术达到大众消费者能够接受的价格时，人们才会考虑用所谓的全息电视取代现有的电视产品。”Bendett 说道，“激光雷达终于等到了市场的爆发，因为其价格已经从 8 万美元下降到了 8000 美元，并且很快就降到了几百美元。在激光雷达领域发生的并购行为，事实上正在跟随着一种历史性的进展，即一种技术走过了“发明”阶段，进入了“可靠性、持续改进和降低成本”这个阶段。

全球激光器总收入和2017年预测



Source: Laser Markets Research/Strategies Unlimited, ©PennWell

翻涌的并购潮

激光行业的并购行为并不是一种新现象，但是在 2015/2016 年，由于种种原因，使得激光行业的并购行为有望创下历史最高水平。自从 2000/2001 年网络和电信泡沫破裂、^[10] 以及 2008/2009 年的经济大衰退^[11] 以来，英国的《Financier Worldwide》杂志报道，^[12] 截至 2015 年第一季度，从季度价值和季度数量上来讲，“科技行业的并购行为继续在创造新的后网络泡沫高点。”

德勤会计师事务所在总结其“2016 并购趋势报告”时补充说，^[13] “从行业来看，对于企业和私募股权投资并购而言，技术仍然是未来 12 个月中最具吸引力的行业。当然毫无意外的是，随着技术的渗透和传统商业模式的重塑，行业之间的边界将越来越模糊。”

激光雷达技术向无人驾驶汽车领域的渗透，肯定已经重新建立了汽车制造商和防御系统供应商对激光激光雷达供应商的看法，也就是说，小公司正在赢得巨额的投资。同样，在材料加工和医疗领域也出现了类似的情况：大型跨国公司已经确定激光系统能够创造可观的收益，并且对于消费者和工业领域都是有益的。

“我们正处于一局激光雷达游戏中；希望有更多的玩家带着更好的产品和知识产权（IP）进入这个领域，也希望这个领域会出现更多的联盟、交易和资金流动。” LightWave Advisors 公司总裁 John Dexheimer 说道，“汽车公司现在想要且需要激光雷达。激光雷达不只是设备，而是一个整合了硬件、软件、人工智能和数据分析的整体架构的重要组成部分，其目的是重新将汽车或无人机打造成一个连接到云端的具有丰富传感器的移动计算机。”

逆流而上

除了激光雷达外，Dexheimer 认为，激光增材制造（AM）也是激光行业中涌现出的另一个并购行为的集中地。如同激光雷达一样，增材制造是通过激光设备实现的，但是它却代表了一套完整的系统产品，允许公司跨越多个行业，并且再次为其终端用户提供丰富的数据或数字互联能力。

更深入的分析

有关全球激光器市场的更多细节分析，可从 Laser Markets Research / Strategies Unlimited (www.lasermarketsresearch.com/www.strategies-u.com) 获得。

事实上，通用电气公司（GE，现在该公司已经在其网站上称自己为“全球首屈一指的数字化工业公司”）在毕马威《2016 年全球制造展望》^[14] 中，就以利用其产品的 PB 级数据创造客户价值，来展示 GE 在数字化方向的野心。例如，可以用实时监控来替代飞机发动机的定期维护，这种实时监控是利用激光传感器实现的；激光传感器能够在问题发生时识别问题，并且还能使用 3D 打印的部件立即解决问题。

据悉，GE 在其位于南卡罗来纳州格林维尔市的、拥有 48 年历史的涡轮机厂附近，投资 7300 万美元设立了一个研发中心，^[15] 以加速新产品开发。在这个先进的制造工厂中有一个展示厅，用于展示 GE 正在测试的制造技术，包括 3D 打印机、激光器和机器人手臂。第一个卓有成效的产品是一个 3D 直接金属激光加工（DMLM）的涡轮机部件，^[16] 它是利用德国 SLM Solutions Group 公司的选择性激光熔化（SLM）系统制造的。

在德国法兰克福举行的 2016 年 formnext 大会，是全球最大的增材制造和 3D 打印活动之一，^[17] 有超过 300 家展商和 13,000 多名观众参加。在本次大会上，GE 宣布

适用于眼科的高级诊断

TECHSPEC® 精密非球面透镜



- 由爱特蒙特光学® 设计和制造
- 减少球面像差
- 镀有宽带增透膜

Edmund
75 YEARS OF OPTICS

www.edmundoptics.cn/017-8613

Tel: +86 (0755) 2967 5435

关于数据来源

关于激光器出货量的估计和预测，来自 Laser Markets Research 公司 (www.lasermarketsresearch.com) 总裁 Allen Noguee 根据供求双方的分析，数据使用与 Strategies Unlimited 公司 (www.strategies-u.com) 达成协议。Strategies Unlimited 致力于光电子领域的市场研究已超过 30 年之久，其特别专注于是激光器和高亮度 LED 市场。

计划在其纽约 Niskayuna 的全球研发中心投入 15 亿美元，创建 GE Additive，并且计划到 2020 年将该项业务的规模增长到 10 亿美元。由于部分股东以出价太低为由的阻止，GE 试图收购 SLM Solutions Group 公司的行为最终以失败告终；此后，GE 抬高了出价购买瑞典 3D 打印机制造商 Arcam；^[18] 然后又在 2016 年底，以近 6 亿美元的价格收购了激光增材制造领先厂商德国 Concept Laser 公司 75% 股权，^[19] 以及其旗下的 LaserCUSING 技术。

“上述收购行为，不但满足了 GE 在自身加工能力方面的战略需求，而且还收获了一个增长的市场。此外，由于市场上并没有很多取得重大成功或是拥有深度技术 IP 和专业人才的金属增材制造公司，诸多因素结合在一起，使得这些激光增材制造公司的收购价格远远高出单纯的激光器公司。” Dexheimer 补充说。

“GE 对 Arcam 公司和 Concept Laser 公司的出价大约都是其各自年收入的 8 倍，远超过了其他任何激光公司的收购出价；超过 IPG 的 4-5 倍收入的公开报价；远超过罗芬和 Newport 的 1.5 倍收入的报价；也超出了相干的报价，尽管自从宣布收购罗芬以来相干的股价已经翻了一番。”

“对于 Newport 和罗芬的收购案例——也即万机仪器 (MKS Instruments) 在 2016 年初以 9.8 亿美元收购 Newport，^[20] 以及相干以 9.42 亿美元收购罗芬，^[21] 这两项交易都不令人惊讶。” Dexheimer 总结说，“Newport 和罗芬这两家公司的内部增长都很低，或者没有内部增长，都有可剥离的业务部门，整合到相干和 MKS 中，可以很容易地节省公司开销，这也是增加盈利能力的可行方法。”

不要忘记的是，Newport 在 2004 年经济衰退前曾收购了 Spectra-Physics，以及在 2011 年和 2014/2015 年经济大衰退后，分别收购了 High Q Lasers 和 V-Gen/Femtolasers PRODUKTIONS。Newport 上述举措的目标

是增加 Newport 的激光产品组合，以及将年度销售额从 2005 年的近 4.04 亿美元（包括 Spectra-Physics 的收入）^[22] 增加到 2015 年的近 6.03 亿美元？^[23] 看起来，似乎收购这些单一业务的激光器公司，使得 Newport 成为了一家颇具吸引力的光子系统解决方案供应商，而这恰恰吸引了技术解决方案供应商 MKS 的眼球。

“对于买家而言，收购 Newport 是一项好交易；MKS 可以将 Spectra-Physics（利润最低的业务）出售给其他激光公司，作为其估计的 3500 万美元年度成本协同效应的一部分。” Dexheimer 补充说。毕竟，MKS 表示其通过收购 Newport 看到了一个机会^[24]——“通过扩大到相邻市场、同时增加我们在核心半导体业务中所服务的目标市场，进而实现可持续的利润增长。”在这种情况下，MKS 所追求的不仅仅是纯粹的激光技术。

再来看看投资公司 Zacks 的市场预测，^[25] “MKS 已经收购了 Newport 公司，并在短期内为光刻模块 / 系统和检查提供优越的集成解决方案，并且准备从半导体市场的好转中受益。现在的情况是：2016 年 11 月，SEMI (www.semi.org) 宣布 2016 年第三季度硅晶圆的出货量^[26] 达到了历史新高，并预计 2016 年半导体制造设备支出^[27] 将增长 4.1%，2017 年将增长 10.6%。

相干也将从改善的半导体制造前景中受益。截至 2016 年 10 月 1 日的第三季度，相干在微电子市场的收入^[28] 达到了 1.442 亿美元，比 2015 年同季度的 1.121 亿美元有了明显改善，比 2016 年同一季度其 OEM 零部件和仪器市场（4250 万美元）、材料加工市场（3640 万美元）、科学和政府市场（2530 万美元）的收入高出 3-5 倍。

相干公司最近的成功和获得的强劲订单，主要归功于用于平板显示器退火处理的准分子激光器的一些销售大单，以及在眼科激光器、增材制造激光器和碳纤维增强塑料切割激光器、以及用于强化玻璃切割的超快激光器（在 2016 年的《Optics Letters》中下载量最大的论文^[29] 是 ICFO 的“具有同步飞秒深紫外到中红外输出的大功率多色 OPCPA 光源”，显示了市场对超快激光器的持续兴趣）市场的成功。收购罗芬应该能使相干在 2017 年的收入超过 10 亿美元。

“相干和罗芬不论是在地理位置和技术方面，都具有高度互补性，双方整合在一起可以让我们提高效率，利用合并业务的规模，加强研发。”相干公司工业激光系统部门高级副总裁兼总经理、罗芬前首席执行官 Thomas Merk 说，

“相干和罗芬的整合，代表了创造世界上最全面的激光器、基于光子的技术和解决方案的产品组合的独特机会。”

如同相干的股价从 2014 年的平均 60 美元翻了一番、达到 2016 年 11 月的超过 120 美元一样，半导体激光器制造商 II-VI 公司的股价，也随着其在 2016 年初收购^[30] 外延晶圆厂 EpiWorks 公司和砷化镓 (GaAs) 领先厂商 Anadigics 公司、以及在 2016 年 10 月收购德国 Direct Photonics 公司而翻了一番，从 2015 年初的 14 美元增长到了 2016 年底的 28 美元。对于 Direct Photonics 公司的收购，II-VI 公司发言人表示：“Direct Photonics 公司的主要优势^[31] 是能够垂直整合我们供应链，因此我们的直接二极管激光器所需要的所有光学元件，现在均可以内部供应，这将意味着大量的成本降低。这会让我们更有竞争力。”

Dexheimer 总结说：“市场已经喜欢上这些交易，并通过它们进行经济预测。并购/整合行为和增加产品基础，至少是短期内华尔街想要看到的。”然而，我们更想知道的是，对华尔街有好处的事情，是否也会让普通老百姓受益呢？

经济黯淡

2016 年 6 月，世界银行发布了“全球经济展望”报告的 25 周年版本，然而这一消息并未能鼓舞人心。^[32] 该报告预计 2016 年全球经济增长 2.4%，比 2016 年 1 月报告的增长率调低了 0.5%，这主要是因为商品价格下跌、在具有高债务水平/低利率政策的发达经济体中的全球贸易和制造行为的疲软，以及增加的政治不确定性，如英国脱欧^[33] 和特朗普当选美国总统。

来自《Optics & Photonics News》发表的一篇关于英国脱欧后的报告^[34] 中，美国光学学会 (OSA) 高级行业顾问 Tom Hausken 表示，英国脱欧虽然会在市场上引发短期的“连锁效应”，例如英镑汇率下跌、英国技术工人的短缺等；但是英国只占整个欧洲光子劳动力总数的 22%，并且仅获得欧盟研究资金的 11% 左右，这意味着英国脱欧受影响最大的将是英国本身，而非除英国之外的其他世界。

在特朗普当选美国总统^[35] 的问题上，Hausken 指出：“超过 90% 的光学和光子公司都是小型企业，但是大型跨

我们专注半导体激光器
We Focus on Diode Lasers



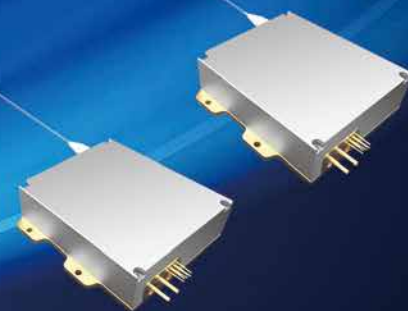
NewBeam™ 系列

915nm/ 210W 高功率半导体激光器

- 光纤芯径 135μm
- 数值孔径 0.22N.A.

976nm/ 140W 波长稳定高功率半导体激光器

- 光纤芯径 106.5μm
- 数值孔径 0.22N.A.



北京凯普林光电科技股份有限公司
地址：北京市丰台科技园航丰路甲四号
<http://www.bwt-bj.com>

产品与技术咨询：
电话：010-83681052
邮箱：sales@bwt-bj.com

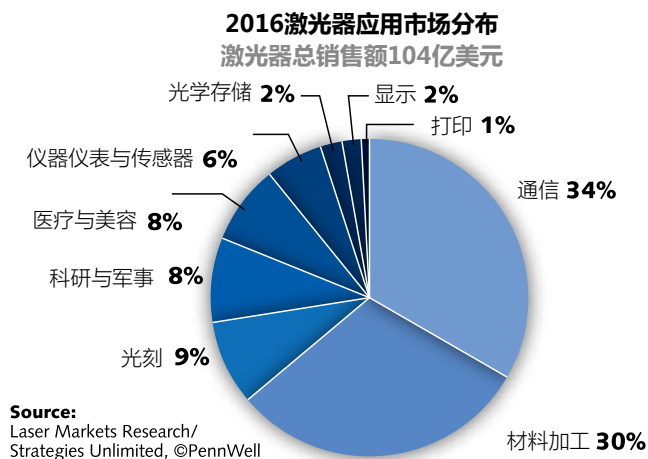
慕尼黑上海光博会
LASER PHOTONICS CHINA
2017年3月14-16日 上海新国际博览中心
欢迎莅临凯普林光电展位: **3-3532**

国公司却拿走了超过 80% 的行业总收入，如果全球贸易受到影响的话，这个行业可能会出现更糟糕的现象；然而，关键词是‘如果’，这意味着被称为美国联邦政府的这艘超级油轮不会急转弯。” Hausken 总结说，“在市场和预测方面，我们倾向于高估短期反应，低估长期反应。特朗普总统的红利，既不可能像他的支持者所想象的那样强大，也不会像希拉里 - 克林顿的支持者所想象的那样糟糕。特朗普对激光行业的整体影响，尚且需要时间才能显现出来。”

无论英国脱欧和特朗普的总统职位会推动或是放缓全球经济，世界银行的报告预测，2016 年欧洲、美国和日本的经济增长率低于 2%，而中国的经济增长率也仅为 6.7%。然而幸运的是，正如我们去年的预测，2016 年全球激光器市场的增长率跑赢了全球经济增长率。我们采访到的大多数激光器制造商，似乎对于缓慢停滞的经济新常态并不关心，而是兴高采烈地关注着蓬勃发展的和新兴的激光应用市场，例如，人口继续老龄化提高了医疗激光的销售收入；自动化和“智能”技术需要更多基于激光的传感器和 3D 打印的部件；物联网（IoT）和数字通信的增长，对于通信激光器的销售和激光光刻技术无疑是利好消息。

激光器细分市场

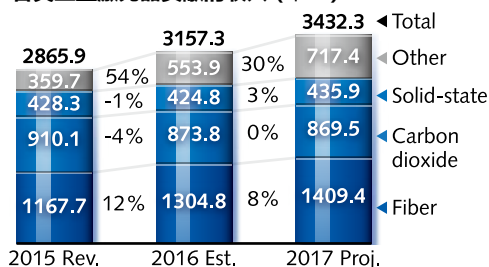
2016 年，来自材料加工和光刻市场的激光收入以 40.72 亿美元再次成为最大的细分市场。通信和光存储激光器的销售额为 37.32 亿美元，排在第二位。接下来依次是科研和军用市场 8.77 亿美元、医疗和美容市场 8.38 亿美元、仪器仪表和传感器市场 6.08 亿美元，以及娱乐、显示和打印市场的 2.68 亿美元。



材料加工和光刻市场

对于全球制造业而言，2016 年是最不稳定的一年。抛开正常的增长衰退周期不谈，对英国脱欧的担忧、中国的经济问题以及美国政界大事所带来的政治不确定性，不禁让人们担心制造业的增长前景。然而，2016 年工业激光器却在全球制造业中享受了又一个增长的头头，这主要得益于高功率光纤激光器高达两位数的销售额增长、准分子激光器收入的激增以及超快激光器应用的显著增长。

各类工业激光器贡献的收入 (\$M)



Source: Laser Markets Research/Strategies Unlimited, ©PennWell

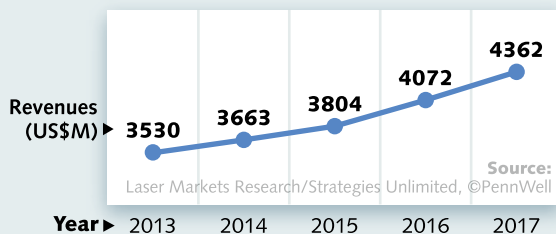
用于金属切割和焊接应用的千瓦级光纤激光器，占据了 2016 年工业激光器总收入的 41%。总体而言，2016 年光纤激光器的销售额增长了 12%，其中有部分原因是 CO₂ 激光器 (-4%) 和固体激光器 (-1%) 销售额的下滑。按照百分比计算，高功率直接半导体激光器和准分子激光器近年来赢得了最快速的年度收入增长 (54%)，这些激光器一直处于强劲的增长态势中，因为它们的市场基数较低，其中准分子激光器的退火应用也是一大推动力量。

光纤激光器销售额对激光器总收入的增长贡献了显著力量。2016 年，IPG 公司来自光纤激光器的收入有望接近 10 亿美元。相干公司是另一家有望跨入 10 亿美元年收入级别的公司，其 2016 财年的总收入超过 8.57 亿美元，同时其准分子激光器在 2016 年底销售强劲，并成功收购了罗芬公司。通快公司 2015/2016 财年的收入^[36]接近 28 亿美元，仅激光技术的收入就超过了 10 亿美元。

汽车、航空航天、能源、电子和通信（智能手机）材料加工应用，继续推动工业激光器销售额的强劲增长。在三大主要工业激光器应用类别（微加工、宏观加工、打标）中，微加工应用（包括使用功率 <500W 激光器的所有应用）占据了工业激光器市场总额的 35%，增长率达到了 105%，这包括需要准分子激光器的显示应用——相干表示，在其截至 2016 年 7 月 2 日结束的第三财季，^[37]“正如同预期的那样，我们收到了大量来自平板显示器退火应用领域的激光器订单，其中有单个订单额就超过 1 亿

材料加工和光刻市场

包括用于所有类型的金属加工（焊接、切割、退火、钻孔）的激光器、用于半导体和微电子制造（光刻、划线、修复、钻通孔）的激光器、用于所有材料打标的激光器，以及用于其他材料加工（如有机材料的切割与焊接、快速成型或 3D 打印、微加工和光栅制造）的激光器。也包括用于光刻的激光器。



英国脱欧和美国总统选举所带来的不确定性、相干收购罗芬以及疲软的美国和欧洲经济，对激光器在材料加工市场的销售毫无裨益。美元的走强以及欧元与其他国家的关系，让问题更加复杂化，使其他国家进口美国和欧洲的激光器更加昂贵。2016 年石油价格的下降确实促进了汽车的销售，特别是轻型卡车和 SUV 车，这驱动了用于金属切割的激光器销售额的增长。

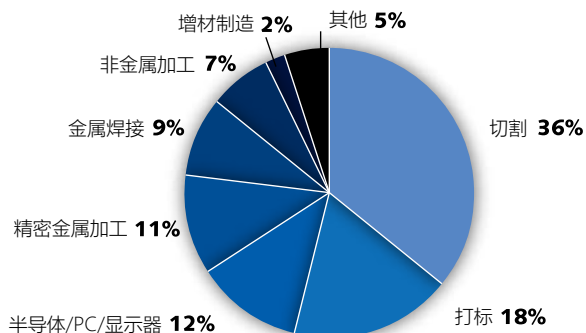
尽管中国的经济也有所下滑，但是出口到中国的激光器继续增长。2016 年日本和韩国也进口了大量工业激光器。除了大量光纤激光器外，也有很多准分子激光器出口到亚洲用于平板显示器的生产，特别是用于智能手机的 OLED 显示器。

2016 年用于光刻的激光器市场不景气，但是激光器在半导体市场开始复苏。2016 年，用于增材制造的激光器销售额大约增长了 20%。

美元。”宏观加工应用（包括所有需要 >500W 功率的激光加工）在工业激光器收入中占据最大的市场份额（47%），这要感谢光纤激光器，其拿下了宏观应用市场中 44% 的份额。最后，打标应用（包括雕刻）贡献了约 18% 的工业激光器收入，保持了 3.9% 的稳定增长，这部分市场主要由光纤激光器主导，占打标领域总销售额的 49%。

切割是两个层面上最重要的应用：一是产生的收入，二是对高功率光纤激光器的使用。切割对于工业化国家和新兴经济体都非常关键，其增长前景与一个国家的 GDP 密切相关。随着 2016 年经济的疲软，切割市场的增长率只有 3.5%。奇怪的是，由全球汽车工业和管道及井下油管焊接推动的激光焊接需求（3.4%），弥补了切割市场的不景气。纤维增强聚合物中的非金属加工应用与精细金属加工加在一起，为总的市场增长贡献了 5% 的力量。增材制造（更具体地说是激光金属沉积）在 2016 年强劲增长了 22.1%，增长的主要原因是这种制造方式获得了航空

2016年全球激光材料加工应用



Source: Laser Markets Research/Strategies Unlimited, ©PennWell

发动机行业的认可，增材制造中使用的多是中高功率 CO₂ 激光器和光纤激光器。

预计 2017 年制造业的状况将是 2016 年的翻版，一些市场（东亚、南美和东欧）的增长会继续放缓。预计工业激光器市场将实现 8.7% 的收入增长。从打标市场来看，随着单位价格的继续下降，打标激光器的收入将会下降；在微加工方面，随着准分子激光器的出货量持续增加，以及非金属加工的重要性不断提升，微加工激光器的收入将增长 38%；在宏观加工方面，预计 2017 年宏观加工仍将占据工业激光器市场总收入 47% 的份额，与 2016 年持平，其中光纤激光器市场将增长 8%。

来自光刻激光器的收入也在增加。荷兰 ASML 公司在 2012 年收购^[38]极紫外（EUV）和准分子光刻光源制造商 Cymer 后，又在 2016 年底收购了德国蔡司半导体有限公司（Carl Zeiss SMT）24.9% 的股份（11 亿美元）来扩张自身业务。ASML 公司宣布，^[39]“凭借着高性能的光学器件，蔡司半导体为 ASML 的半导体光刻扫描仪提供了一个重要的子系统，这将有助于公司在下一个十年的最初几年中，开发下一代极紫外光刻系统。”

通信和光存储市场

光网络和回程基础设施，如 100G 和 WDM 通信架构正处于繁荣期：网络组件和设备市场研究公司 Cigna AI 表示，2016 年第三季度，光网络系统的销售额^[40]同比增长 10%，其中 100G 和相干 WDM 系统销售强劲，特别是在中国市场，长途 WDM 支出比上年同一季度增长了 50%。电信行业协会（TIA）表示，物联网和网络虚拟化领域 30% 的复合年均增长率，催生了云计算、商业以太网、健康 IT 和机器人市场，TIA 预测 2015-2020 年间，通信和光存储行业将以 13.7% 的复合年增长率增长。^[41]市场

研究公司 LightCounting 预测, 2017-2021 年间, 光模块和光组件的销售额^[42] 将以 10% 的复合年均增长率增长。

2016 年, 似乎电信泡沫^[43] 已经成为历史, 市场对带宽的需求是实实在在的, 服务于 100G 市场的电信激光器, 将受益于强健的有线设备需求。例如, Oclaro 公司 100G 组件的销售额连续第五个季度实现了 20% 的高增长, 其 2017 年第一财季 (截至 2016 年 10 月 1 日) 的收入为 1.355 亿美元,^[44] 较去年同期的 8760 万美元急剧增长。

2016 年, 激光器在通信和光存储市场的总收入达到了 37.32 亿美元, 较 2015 年的 34.42 亿美元温和增长, 增长主要归因于 100G 市场的强劲增长 (光存储激光器的收入有所减少)。尽管像诺基亚这样的公司因为 4G 业务达到峰值^[45] 而在无线市场上出现了短期业绩下降, 但是预计 5G 无线网络 (以及支持其带宽扩展的回程光缆和电信激光设备) 将于 2020 年推出, 毫无疑问, 这将创造另一个通信基础设施需求周期, 并将有利于下一代通信激光器的销售。

2016 年 5 月, IPG 公司收购 Menara Networks 公司正是看中了其在 100G/400G 光学可插拔市场的优势,^[46] 这足以证明了 100G 市场的强劲发展。此外, 硅光子 / 集成光电子架构的日趋成熟和垂直腔表面发射激光器 (VCSEL) 应用的增加, 都在驱动与通信相关的并购行为。

Juniper Networks 公司 2016 年第三季度的净收入同比增长 3%, 达 12.85 亿美元。2016 年 8 月, Juniper Networks 收购了 Aurion 公司, 瞄准的正是其在磷化铟 (InP) 基硅光子领域的专长。^[47] 作为光通信中的关键技术, 硅光子学 “为网络系统提供了明显更低的每秒比特成本, 为网络接口提供了更高的容量, 以及为在网络系统的电子部分内部如何处理光带宽提供了更大灵活性,” Juniper 创始人 Pradeep Sindhu 在博客中表示。^[48]

同样是在硅光子学领域, 加拿大 POET Technologies 公司收购了新加坡 DenseLight Semiconductors 公司, 其相中的是后者的 III-V 集成技术; 此外, POET Technologies 还在 2016 年 6 月以 155 万美元收购了 BB Photonics 公司, 目的是使用 BB Photonics 的嵌入式介质技术实现片上无热波长控制, 降低数据中心光子集成电路 (PIC)^[49] 的整体解决方案成本。2016 年上半年, POET Technologies 公司的收入接近 57.7 万美元, 收入主要来源于 DenseLight 产品, 预计其 2016 年下半年的收入有望达到 200 万美元。

尽管端到端硅光子学平台仍然被视为通信技术的未来, 但 VCSEL 却占据着大量市场。自 1998 年进入 850nm

通信和光存储市场

包括用于电信、数据通信和光存储的所有激光二极管, 也包括用于光放大器的泵浦二极管。



2016 年对于通信激光器而言是个好年头, 全球的运营商都在紧锣密鼓地用 100G 收发器升级他们的网络。貌似运营商升级网络也是一种扎堆行为, 很多人认为 2016 年是 100G 变得在经济上可行的一年。虽然升级到 100G 都是与有线网络相关的, 但是无线运营商也正在准备让他们的网络具备处理 5G 技术的能力, 5G 有望在 2020 年开始推出。

光存储市场的前景依然暗淡。DVD、CD 和 Blu-ray 媒体的销售额继续下降, 更多基于云的解决方案, 省去了对大型本地存储的需求。热辅助磁记录 (HAMR, 其利用激光增加磁介质的存储容量) 产品的推出再次推后: 希捷 16TB 3.5 寸 HAMR 硬盘有望在 2018 年上市, 这会比西部数据和东芝早一年。

VCSEL 业务主要服务于高速数据通信和传感市场, 然后又扩展到用于 HDTV、家庭网络、光纤信道、以太网以及城市电信应用的 1310nm VCSEL, Finisar 公司已经出货了超过 1.5 亿只 VCSEL,^[50] 其截至 2016 年 7 月 31 日的一个财季, 创下了 3.143 亿美元的销售记录, 比上个财季增长 7.1%。

Philips Photonics 公司作为皇家飞利浦的全资子公司, 能为渡越时间 (time-of-flight) 和 3D 深度成像应用提供先进的 VCSEL 阵列, 该公司于 2016 年 11 月宣布, 其在德国乌尔姆 (Ulm) 的激光二极管制造工厂的产能增加了一倍, 并增加了最先进的自动化设备, 目的是满足市场对 VCSEL 的大量需求。

半导体激光器制造商 II-VI 公司在 2016 年初收购了 Epiworks 公司和 Anadigics 公司, 同时该公司也希望继续扩大 VCSEL 在消费电子、数据中心、传感、医疗和工业市场的应用基础, 预计其每年 VCSEL 的销售额将以超过 20% 的速度增长。^[51] 对于收购 Anadigics,^[52] II-VI 特别指出, “收购这家代工厂比建造一个新工厂更快、更经济……并且它让 II-VI 成为了 VCSEL 技术的世界领先者。”显然, 通信行业的并购行为正在加速某些高价值激光技术的上市时间。

科研和军事市场

尽管 2016 年全球研发资金预测^[53] 报告称, 美国的研发经费将增加 3.4% 至 5140 亿美元, 但是特朗普当选美国总统后却有文章称: “特朗普当选将威胁美国科学”,^[54] 文章详细介绍了新的管理层已经将气候变化视为一种骗局, 并将不顾可再生能源倡议, 支持矿石燃料工业。

让人们看到希望的是, 政府机关彼此之间的制衡将有利于科学 (和激光器) 的发展。在一份 MSN 新闻简报中,^[55] 特朗普似乎已经 “对巴黎气候协议没有那么不满”。

《自然》杂志于 2014 年刊登的一篇文章^[56] 指出, 到 2020 年, 中国有望在科研经费支出方面超过美国。2016 年 6 月《自然》刊登的一篇题为 “通过数字看中国 (China by the Numbers)”^[57] 的新闻故事中, 作者 Richard Van Noorden 写道, 现在中国将超过 2% 的 GDP 投资到研发上, 该比例甚至超过了欧盟, 并指出许多 “世界上最好的” 科学成就都在中国, 包括从北京到上海的世界上最长的实验量子通信网络, 并且中国发表的研究论文数量也大幅增加。^[58]

2016 年, 激光器在研发市场获得的销售额, 约占 2016 年全球研发支出的 3.5%, 比 2015 年温和增长 4.2%, 达到 4.714 亿美元。NKT Photonics 公司在 2016 年初以大

约 2900 万美元收购了 Fianium 公司, 以加强其在用于科学和计量市场^[59] 的超快光纤激光器和超连续光谱激光器领域的市场地位。NKT Photonics 认为研发市场会继续表现强劲 (或至少是稳步缓慢增长) 以巩固未来的销售业绩。相比之下, 军事市场则为激光器提供了一个更光明的未来。

在 2016 年, 全球在军事领域的激光开支达到 4.06 亿美元, 比 2015 年增长 9.4%, 表明市场对激光军用技术的需求增加。总体而言, 斯德哥尔摩国际和平研究所 (SIPRI) 的报告称, 2015 年全球军事开支增加 1%,^[60] 达到 1.6 万亿美元, 这是继 2011 年以来的首次军事经费增长。

激光防御市场的增长率比总体军事市场更好, 一些关键技术领域的进展充分证明了这一点。美国国防工业协会 (NDIA) 表示, 激光定向能武器正在美国军方获得增长驱动力,^[61] 并且 2015 财年在定向能领域的投资, 相比之前四年的平均值增长了 23%, 达到 6 亿美元。红外对抗 (IRCM) 市场也在享受着强劲增长: 以色列 Elbit Systems 公司正在进入一份价值 2650 万美元合同^[62] 的第二年交付期, 目的是为宽体喷气式飞机提供光纤激光引导的多光谱 IRCM; Northrop Grumman 公司正在推进一个 3500 万美元的基于量子级联激光器 (QCL) 的常见红外对抗 (CIRCM) 项目。^[63]

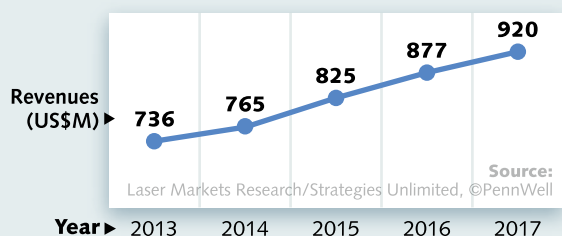
英格兰 Gooch & Housego 公司 (G&H) 首席执行官 Mark Webster 表示, G & H 在 2016 年年中收购^[64] Kent Periscopes 公司和固体激光器制造商 Alflight 公司, “旨在通过增加我们在航空航天和国防领域的市场份额, 来实现我们的战略目标, 即提升价值链和多元化。” 尽管 G & H 表示, 其来自航空航天和国防市场的销售额 (占其截至 2016 年 3 月 31 日的半年期间总收入的 21%, 近 4800 万美元) 在 2016 年上半年出现下跌, 但他们预计该市场会在下半年复苏。

大族激光在 2016 年初收购了西班牙 Aritex 公司的大量股份, 此举也将其业务从工业激光市场拓展到了航空航天和国防相关的装备领域。此外, 大族激光还于 2016 年 11 月收购了加拿大 CorActive 公司, 以提高其在光纤激光器和特种光纤市场的竞争力。^[65]

由此可见, 中国公司继续在高功率光纤激光器制造领域高歌猛进, 撼动了曾经由欧洲和北美供应商独霸天下的市场。2016 年 11 月, 武汉锐科宣布推出 10kW 光纤激光器, 中国航天科技工业公司第四研究所宣布其已经开发出了 20kW 的光纤激光器。^[66]

科研和军事市场

包括用于基础研究和开发的激光器, 用户为大学和国家实验室, 以及用于新型和现有军事应用 (如测距仪、照明器、红外对抗和定向能武器研究) 的激光器。



中国的科研经费正在快速赶上美国, 并且中国的科研项目并没有放缓迹象。在北美和欧洲, 科研经费的增长随着 GDP 情况而放缓。尽管此次, 用于激光器的研发经费却趋于增长。用于交通运输、照明、军事、材料加工和医疗研究领域的激光器研究经费, 都在增长。

2016 年军用激光器支出强劲增长, 其中大部分激光器被用于射击瞄准、成像、测距和通信应用。虽然 2016 年依然在开发激光定向能武器, 但是随着 Northrop Grumman 公司继续接到用于小型飞机的通用红外对抗系统 (CIRCM) 的新订单, 使得量子级联激光器在 IR 对抗系统应用中获得了收入增长。美国新任总统特朗普的就职, 将增加这部分市场的不确定性。

医疗和美容市场

2016 年是美容激光器销售非常好的一年。科医人公司 (Lumenis, 自称是世界上最大的激光医疗设备公司, 主要用于手术、美容和眼科应用) 2014 年第二季度实现了连续第八个季度的同比业绩增长, 该季度销售额同比增长 9.3%, 达到 7250 万美元。但是, 科医人公司于 2015 年被全球投资公司 XIO 集团以 5.1 亿美元收购,^[67] 现在其财务透明似乎不复存在。

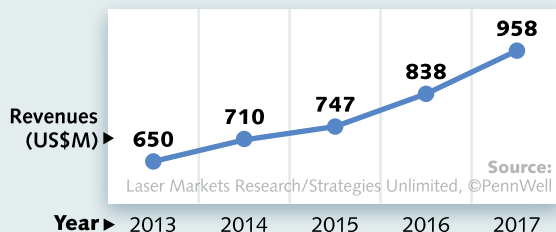
科医人能提供治疗泌尿病症的脉冲钕激光器系列、治疗干眼和红斑痤疮的强脉冲光 (IPL) 技术、用于中耳手术的 OtoLase 技术, 以及用于皮肤科和耳鼻喉科的点阵式 CO₂ 激光器, 其产品似乎覆盖了所有医疗应用。此外, 科医人用于经口激光显微手术 (TLM) 的 AcuPulse DUO CO₂ 激光器, 活跃在早期气道癌症治疗的第一线, 比放疗具有优异的治愈率。

Cynosure 公司提供的产品几乎与科医人相同 (除了 CO₂ 激光产品), 该公司 2016 年第三季度的收入飙升至 1.064 亿美元,^[68] 比 2015 年同期增长高达 36%。同样, Cutera 公司 2016 年第三季度的收入也比 2015 年同期增长 31%, 达到 3030 万美元。^[69]

仅凭强劲增长的美容激光器的销售业绩, 我们预测 2017 年激光器在医疗和美容市场的销售额将从 8380 万美

医疗和美容市场

包括用于眼科 (包含屈光手术和光凝治疗)、外科手术、牙科、皮肤科、脱毛、治疗和其他美容应用的激光器。



2016 年, 用于医疗应用的激光器的销售额达到历史最高水平, 随着价格的下降, 激光器已经被更多的医疗过程采用。其中增长最强劲的是美容激光器, 其在 2015 年强势增长的基础上, 又实现了 18% 的高增长。这些美容应用包括祛除纹身、祛皱、塑身及皮肤修复。用于眼科治疗的激光器, 在经历了 2015 年的收入损失后, 在 2016 年重回温和增长。用于牙科的激光器收入增长, 尽管这是一个相对较小的市场, 但是随着越来越多的牙医开始青睐激光技术, 2016 年该市场也实现了温和增长。2016 年激光器收入在医疗领域唯一出现下滑的是外科手术领域, 这主要是因为该领域 2015 年的增长太快了。

元增长到 9580 万美元, 增长幅度高达 14.3%。如果 LISA Laser USA 等公司能成功地将其 RevoLix 激光产品整合到机器人辅助的 da Vinci 手术系统^[70] 中, 预计 2017 年后, 该市场可能会出现更迅猛的增长。

医疗激光行业也涌现出了很多并购行为。2016 年 9 月, 强生公司 (J & J) 以 43 亿美元收购了雅培旗下的医疗光学部门 (AMO), 强生看中的是 AMO 在眼科保健、白内障手术、激光屈光手术或 LASIK^[71] 领域的专长。该收购价格是 AMO 2015 年 11 亿美元销售额的近 4 倍。

在收购方面的开支仅占强生 2016 年第三季度 178 亿美元销售额的一小部分, 强生公司糖尿病和眼健康部门负责人 Ashley McEvoy, 在 2016 年 6 月份收购 AMO 之前接受媒体采访时, 也透露了强生对眼科保健的兴趣。^[72] 飞秒眼科激光技术是由 IMRA 等公司在 20 世纪 90 年代发明的, 谁又能想到其价值会在近 30 年后光彩熠熠、并成为这种大型并购活动的关注点呢?

强生已经通过收购快速获得了 LASIK 和眼睛健康领域的专业知识, 同蔡司这样的 LASIK 供应商在市场上同台竞技。蔡司的 Visumax 飞秒激光器 (至少被一家 LASIK 眼科中心宣传过^[73]) 在 LASIK 手术方面堪称是激光器中的“麦克老爹”, 即“万人迷”, 其工作速度比其他激光器快得多, 治疗每只眼睛仅需 15-20 秒, 并能在角膜上实现超精确的治疗效果。

除了眼科以外, 其他医疗激光技术也在并购行为和 / 或销售快速增长中显示出来: 以色列 HIL Applied Medical 公司收购 Nanolabz 公司, 目的是商业化激光辅助质子疗法用于癌症治疗。^[74] AMETEK 公司收购 Lasera Technology Corporation, 以借助后者在微创外科手术设备、支架和基于导管的输送系统方面的激光制造和精加工优势, 增强其在医疗行业的影响力。加拿大 Theralase 公司的冷激光疼痛去除装置和光动力癌症破坏疗法, 让该公司在截至 2016 年 9 月 30 日的 9 个月中, 收入比上年同期增长 14%。^[75]

仪器仪表和传感器市场

激光雷达技术获得的不可否认的成功、以及围绕该技术引发的并购浪潮, 无疑是 2016 年仪器仪表和传感器领域的一大热点故事。与此同时, 基于激光的结构健康监测, 对于飞机、车辆、桥梁、铁路、道路和任何关键运输和基础设施资产而言, 正在变得越来越重要。

2016年8月,美国海军研究实验室(NRL)的科学家使用分布反馈光纤激光-声发射传感器,^[76]成功地检测了从铆接搭接接头中的裂纹产生的声发射。其原位能力超过压电技术,可以与现有的光纤应力和温度传感系统结合或“多路复用”。

加拿大 Opsens 公司以生产用于井下石油和天然气监测的光纤传感系统而闻名,该公司正在人体内进行结构健康监测项目。其获得 FDA 批准的 OptoWire II 光纤传感器,是一种光导丝,能够测量血流储备分数 (FFR),进而能够诊断心脏病患者的冠状动脉狭窄的严重程度。截至 2016 年 8 月 31 日结束的 2016 财年,Opsens 公司的 FFR 销售额增长了十倍(从 2015 财年的 50 万美元增加到 2016 财年的 520 万美元),2016 财年的总销售额达 960 万美元。^[77]

基于太赫兹激光的仪器也正在获得商业上的认可。据报道,英国 TeraView 公司 2016 年的销售额翻了一番,^[78]业绩增长的驱动力主要来自其 TeraPulse 太赫兹成像仪和光谱仪,以及其用于半导体封装检测的电光太赫兹脉冲反射系统 EOTPR 5000 的成功推出。在截至 2016 年 9 月 30 日的 9 个月期间,太赫兹和光纤传感系统制造商 Luna Innovations 公司的销售额从 2015 年同期的 2860 万美元增

长到 4330 万美元,^[79]这主要得益于市场对其用于测量复合材料应力的 ODiSI 系统的需求增加。

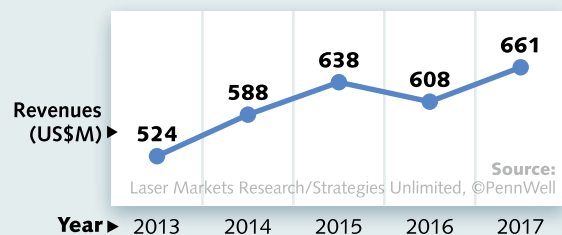
预计 2017 年激光器在仪器仪表和传感器市场中的销售额将达 6.61 亿美元,比 2016 年的 6.08 亿美元显著增长 8.7%。虽然仪器仪表和传感器市场的规模,大约是医疗和美容市场或科研和军事市场规模的 2/3,但是该市场拥有巨大的增长潜力,因为一些自主或智能应用(如激光雷达)对传感激光器的需求量非常巨大。

前文中我们已经讨论了激光雷达行业中涌现出的大量并购行为,同样仪器仪表行业中一个相关的部分也是 2016 年的焦点,即 3D 激光扫描。在美国有一档叫做 Time Scanners 的电视节目,在该节目中,激光雷达数据被转换为 3D 图像。这项技术也适用于制造和计量应用。例如,FARO 公司刚刚推出了具有高速成像(HSI)技术的激光雷达,^[80]能够合成 4 亿像素的图像,并且能为关键特征提供高分辨率放大功能。

在截至 2016 年 9 月 30 日的 9 个月中,FARO 公司的销售额为 2.333 亿美元,比去年同期温和增长 3.4%。2016 年 8 月,FARO 公司收购了 Laser Projection Technologies (LPT) 公司。对于此次收购,FARO 公司总裁兼首席执行官 Simon Raab 表示:“除了 LPT 领先的激光投影解决方案^[81]外,我们相信 LPT 专有的成像激光摄影测量和成像激光雷达技术,可通过先进的 3D 成像能力建立一种新的高速激光测量方法,其将拥有颠覆市场的巨大潜力,我们会集中力量快速利用这种潜力。这种技术比目前市场上可用的激光雷达产品快数千倍,同时结合了一种完善的激光投影功能来指导装配,使其成为一种完全自动化的高速协作工具,适用于手动或自动化组装与验证。”

仪表和传感器市场

包括用于生物医学仪器、分析仪器(如光谱仪)、晶圆和掩膜检测、光学测量、水平测量仪、光学鼠标、手势识别、激光雷达、条码阅读器及其他传感器中的激光器。



激光仪器和传感器包括各种应用,近年来这些应用已在诸多领域变得越来越重要。用于自动驾驶车辆中的激光雷达,已经吸引了世界的眼球。激光雷达也是用于具有遥控功能的工业和军用车辆中的重要技术。其他类型的激光传感器越来越多地用于国土安全和监视应用中。

随着更多的产品变得智能、依赖于自动化,使得其他类型的仪表和传感器的使用更为普遍,尤其是低成本激光二极管传感器的应用,现在最简单的激光雷达传感器的单价已经低于 10 美元。激光传感器的另一个增长领域是增材制造和减材制造中的质量控制。

娱乐、显示和打印市场

2016 年 11 月,比利时 Barco 公司公布了 RGB 照明的背投显示器^[82](两倍亮度、两倍对比度、三倍能效)与 LED 显示器相比的优势;2016 年 6 月,Barco 公司宣布其旗舰激光器和激光荧光投影仪的安装量已达 125 套,在数字影院行业中处于领先地位。^[83]

Barco 公司的竞争对手 Christie 公司,是日本 USHIO 公司的一家全资子公司,该公司也正在从激光影院市场中获得增长动力。2016 年 4 月,另一家 USHIO 公司的全资子公司 Necsel,收购了 PD-LD 公司。作为一家激光投影和照明公司,Necsel 公司看中的是 PD-LD 公司在稳定的

体布拉格光栅 (VBG) 激光二极管技术方面的价值。^[84]

Necsel 公司董事长兼首席执行官 William Mackenzie 表示,除了能加强其知识产权组合、并且更好地服务生物仪器和生命科学领域的客户外,“此次收购还增强了我们的垂直整合能力,继续满足我们的投影客户的需求,同时加强激光影院的全球推广。我们很高兴能与 PD-LD 公司一起,将我们‘让激光器像灯泡和 LED 一样普及’的愿望变成现实,并且与我们的客户一道,创造下一代投影显示器和生命科学产品。”

在打印领域,激光喷墨打印机的销售额^[85]继续增长,但是激光器在该市场的收入却有所下降,因为所使用的激光二极管的价格下跌。然而,制造商正继续寻求新的方法,在纸张和纺织品/塑料/有机印刷等应用中使用激光技术。

虽然称为“奇迹板”^[86]的使用超快激光器的计算机直接制版光刻发明从未达到效果,但是超短脉冲 (USP) 激光器或超快激光器正在不同类型的印刷应用中获得成功。“在目前追求产品差异化的大趋势下,对 CPG (消费类包装产品) 和工业产品的按需在线打标,已经成为当下的迫切需求。” Lincoln Laser 公司市场营销和销售总监 Bill

娱乐、显示和打印市场

包括用于灯光秀、游戏、数字影院、正向投影仪、背向投影仪、微型投影仪和激光指示器中的激光器。也包括用于商业印前系统和相片冲印系统中的激光器,以及用于消费和商业领域的传统激光打印机中的激光器。



尽管相比于其他市场,娱乐和显示市场依然是一个相对较小的市场,但是该领域包含了一些非常有趣和快速增长的激光应用。其中之一是激光投影,包括用于数字影院投影仪中的激光器。今天,全球大约有 200 个最大的电影院投影仪使用了激光光源;在 150 个最大的 IMAX 投影仪中,有 50 个是基于激光技术的。除了这些高端剧院外,全球的其他 1500 家影剧院也正在使用一些较低价的激光光源。

激光器在家用和商用激光打印机领域的收入正在下滑,一是因为打印机的销量在持续减少,二是因为用于此类应用的激光二极管的价格也在继续下降。

Kuypers 说道,“此外,价格压力正在增加市场对高速打标解决方案的兴趣,激光打标不需要任何耗材,如传统喷墨打印所需要的油墨。为此,市场对于能够在包括塑料、纸和金属等材质的产品上打标的超短脉冲激光器和多边形激光扫描头的需求,将会大量增加。”

尽管上述应用中所使用的激光器归结到材料加工市场中的打标部分,但是消费市场对这种激光打标方法越来越多的接受,仍然证明了激光技术在全球的适应性。2016 年,激光器在娱乐、显示和打印市场的销售额再次增长至 2.68 亿美元,预计 2017 年将大幅增长 19%、达到 3.19 亿美元,增长的主要驱动力将来自激光影院设备。

娱乐和显示市场还包括一些更有趣的激光应用,其激光器用量也有很大潜能。2016 年市场上有几个与显示和照明相关的显著的激光创新——Blaze Laserlights^[87] 在道路上投射一个自行车标志,以警告汽车驾驶者在黑暗的道路上有自行车存在;安装有激光雷达的轻型无人机,为电影制作人创造了最佳边缘照明;^[88] 以及激光大鼠围栏^[89] 试图吓跑威胁农作物和花园的大鼠和其他害虫。

(有关本文参考文献的完整列表,请参见 www.laserfocusworld.com/jan2017references) □



诚聘英才

公司名称: 山东华光光电子股份有限公司

招聘职位: 半导体激光器高端研发工程师

职位描述: 作为研发团队主要成员,独立或参与负责公司半导体激光器产品的研发工作,参与分析、解决生产中出现的技术问题和工艺难题等。

任职要求: 掌握 635nm/808nm/9xxnm、GaIn 蓝光激光器外延、光刻、镀膜、封装等关键技术或光纤耦合方面关键技术,该技术具有国内领先或国际先进水平。(掌握其中某一个或某几项关键技术均可;全职兼职均可)

福利待遇: 一经录用,公司将提供“五险一金”、生日福利、节日福利以及富有竞争力的薪酬。

工作地点: 山东济南或潍坊

联系方式: Tel: 0531-88877500 / 0536-8102677;

简历投递方式: 邮件主题请以“岗位+姓名”发送至

hgpr@inspur.com

公司网站: <http://www.hggd.cn/>; <http://lchg.inspur.com/>

关注我们:



扫描振镜

扫描振镜达到激光微加工所需的兆赫兹级重复频率

最大化烧蚀效率以及选择正确的峰值能量密度，能够实现高吞吐量和高质量的激光加工过程。

文/ Holger Schluter, Beat Jaeggi, Beat Neuenschwander, Markus Zimmermann

超短脉冲（USP，也称为超快）激光器的可用性，提供了非常精确的加工能力，使激光微加工的能力不断扩展。然而，当优化 USP 激光器的高吞吐量和高质量的激光加工工艺时，必须考虑新的因素。首先，烧蚀效率（指以立方毫米每分钟和瓦表示的特定去除速率）必须最大化。特别是为了实现良好的表面质量，必须正确选择激光的峰值能量密度。

增加脉冲能量和光斑尺寸

以每单位时间体积来增加烧蚀效率的自然方式是简单地增加平均功率。然而，为了保持最高的加工质量，平均功率必须与激光脉冲重复频率或烧蚀面积一起增加，以将激光峰值能量密度保持在最佳点。另外，良好的加工质量需要脉冲到脉冲的距离（所谓的间距）在半个到一个光斑半径范围内的某个值，或者换句话说，脉冲重叠大约为 75%。对于给定的间距 p 和光斑半径 w_0 ，重叠 o 是：

$$v_{scan} = f_{rep} \cdot 2 \cdot w_0 \cdot (1 - o)$$

对于目前可用的 USP 激光系统，

脉冲重复频率的工作范围在个位数兆赫兹量级。因此，需要非常高的扫描速度来保持最佳脉冲重叠。图 1 示给了光斑半径 $w_0 = 6\mu\text{m}$ 、重复频率高达 $f_{rep} = 10\text{MHz}$ 时，计算得出的振镜扫描速度。

测试装置和首个结果

测试激光器系统使用的是美国 Lumentum 公司（前身为 Time-Bandwidth Products 公司）的 Fuego 模块，其能产生 10ps 的脉冲。从激光器发射的光，通过一个产生圆偏振的 $\lambda/4$ 波片，然后通过四个反射镜引导到扫描振镜的孔径。扫描振镜前面装有一个光束扩束器。

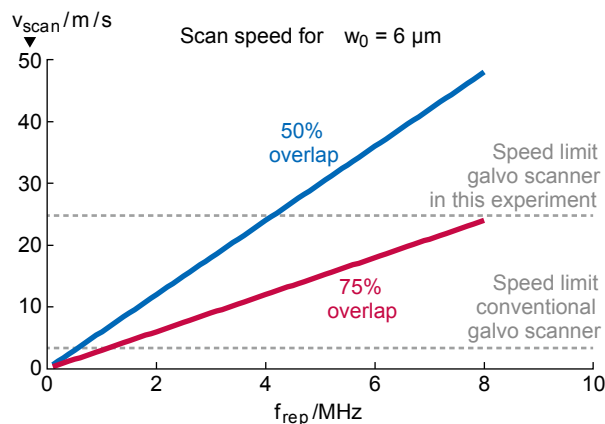
使用焦距为 100mm 的聚焦物镜，在 532nm 二次谐波（SHG）波长下进行实验，产生的光斑半径 w_0 为 $6.2\mu\text{m}$ ，光束质量

M^2 优于 1.1。（这两个值均用扫描狭缝光束轮廓仪测量。）

为了测试新振镜系统的精度，使用抛光的硅晶片作为样品材料。在具有 $0.064\text{J}/\text{cm}^2$ 阈值通量的抛光不锈钢 1.4301（在美国称为 AISI 304）上进行烧蚀工艺实验，产生 $0.47\text{J}/\text{cm}^2$ 的最佳激光峰值能量密度。在该激光峰值能量密度下进行烧蚀实验。

在实验中使用的振镜扫描系统是 SCANLAB 公司的 intelliSCANse 10。在闭环数字比例积分微分（PID）控制架构中，用于两个扫描轴的两个振镜马达的镜片位置，使用 SCANLAB 公司的光学数字编码器提供的位置信息进行控制，该编码器基于 SCANLAB

图 1：各种情况下振镜的速度限制。



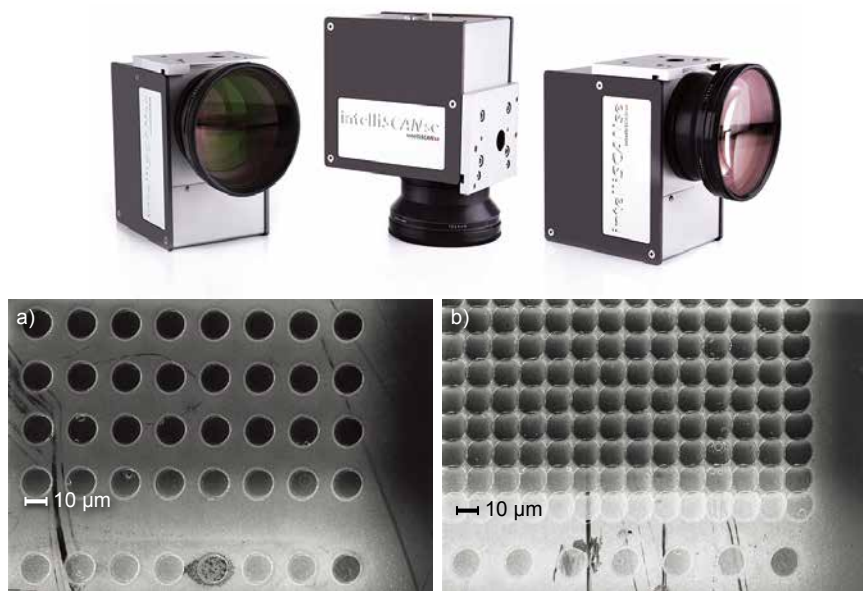


图2: (a) 以6m/s的扫描速度和285kHz的重复频率产生的孔阵列, 得到21μm的脉冲间隔; 最下面的线是具有21μm的脉冲间隔和<1μm的最大偏差的参考图案。(b) 以25m/s的扫描速度和2MHz的重复频率产生的另一孔阵列, 产生12.5μm (参考线中为25μm) 的脉冲间隔。使用带有数字编码器技术的intelliSCANse扫描系统 (上图) 来创建这些阵列。

获得专利的偏斜误差 (SE) 技术。数字编码器的使用允许位置角度关系具有更好的线性度, 这对于激光脉冲沿扫描路径的均匀分布至关重要。

与依赖于附接到振镜轴端部的盘标尺的常见角度位置编码器不同, SE编码器配有偏转光束的小反射镜。当振镜轴旋转时, 光束在固定的标尺上扫描。受益于该编码器设计所实现的低惯性和高信号质量, 即使在非常高的扫描速度下, 振镜也能保持动态性能和精度, 超过了通过振镜技术可获得的通常速度范围。

通常, 用于闭环 PID 位置控制的参数, 必须调谐到振镜的期望动态值。为了避免闭环 PID 位置控制的不稳定行为, 在动力学 (带宽) 和振镜运行的最大速度之间进行折衷。

为了能实施该实验, 专门开发了一套特殊的调谐系统, 允许最高速度, 消除振镜速度限制, 这是以牺牲不适当地位置轨迹的输入公差为代价的。

控制算法的轨迹需要仔细规划, 避免超出系统动力学的加速度。因为 PID 控制器具有有限的带宽, 所以振镜系统不会没有跟踪误差, 这可能限制应用中振镜系统的总体精度。性能必须通过实验测量。使用德国 Reflexxes 公司的 Reflexxes Motion Libraries 在线运动生成软件来规划轨迹。

为了评估振镜系统在高速下的精确度, 在振镜静止时拍摄孔的参考图案, 见图 2。

扫描速度为 6m/s 和重复频率为 285kHz 产生的脉冲间隔为 21μm (见图 2a)。所产生的孔的位置与基准线中孔的位置之间, 没有可见的偏差。在图 2b 中, 扫描速度增加到 25m/s, 重复频率设置为 2.1MHz, 所得到的脉冲间隔为 12.5μm, 并且可以看到, 孔的位置与参考线中孔的位置之间, 有 5μm 的最大偏差。

这些结果表明, 新的振镜系统可以实现具有高精度的 25m/s 的扫描速

度, 允许激光器在兆赫兹范围内工作。

增加重复频率

图 3 给出了以 2MHz 的重复频率和 6m/s 的扫描速度, 产生的鲨鱼皮图案的表面和 3D 结构。增加吞吐量意味着增加平均功率, 以获得更高的烧蚀率。只是通过使用更高的脉冲能量增加平均功率, 将导致不良的表面质量, 特别是对于不锈钢材料而言。因此, 通过与激光脉冲重复频率一起增加平均功率, 来维持最佳激光峰值能量密度。

使用单向和双向扫描模式进行实验。所实现的特定移除速率 (每单位时间和平均功率移除的材料) 不受所使用的扫描模式的影响。对于 8.2MHz 的最高激光重复频率, 获得的表面加工质量仍然良好。只观察到熔化的“蠕虫”和液滴的少量增加, 并且在两种扫描模式之间没有差异。这些结果引申出如下结论: 使用上述设置和参数的烧蚀过程, 振镜频率可提升到兆赫兹范围, 对加工结果没有任何负面影响。

新的扫描控制算法

虽然在实验中应用的方法显示与基于标准振镜的系统相比, 生产率显著增加, 但在某种程度上是以牺牲灵活性为代价的。到目前为止, 只实现了矩形加工区域——对于要处理的不同几何形状, 必须仔细调谐参数以实现满意的精度, 并且复杂的编程限制了其可用性。此外, 稳定振镜速度所需的前驱长度限制了占空比, 特别是对于短线 (小结构)。

为了解决这些问题, 计划进行进一步的实验, 其中将使用配有 SCANahead 控制平台的 excelliSCAN

下转第23页

激光焊接

光纤激光器在铝合金 IT 构件产品中的应用

文/大族激光精密焊接事业部

随着手机、平板电脑、笔记本等消费类电子产品的更新换代，大量新工艺、新材料、新结构得到了应用，而铝合金具有质量轻、强度高、耐腐蚀、成型性好等优点，被广泛应用于制作各种消费类电子产品结构件，并采用激光脉冲点焊工艺进一步加工。在使用激光进行脉冲点焊时，焊点极易产生裂纹，造成焊接强度下降，稳定性也大大降低。传统的 CO₂、YAG 等连续激光器焊接铝合金虽然能够避免裂纹的产生，但是传统激光器光束质量差、体积庞大、维护费用高、光电转换效率低，在一定程度上制约了其在消费类电子产品上的应用。尤其是消费类电子产品的结构件都具有厚度薄、体积小、精度高等特点，采用传统连续激光器焊接时易产生变形大、焊穿、烧熔等问题。

光纤激光器的快速发展为解决这一难题带来了契机，光纤激光器诞生于 20 世纪 60 年代，受当时技术条件限制，发展比较缓慢。自 1988 年 Snitzer 等人提出双包层光纤以来，基于这种包层泵浦技术的光纤激光器和放大器获得了快速发展，光纤激光器的输出功率水平快速提升，并广泛应用于高精度激光加工、激光医疗、光通信及国防等领域。

相对于传统激光器，光纤激光器光束质量好、体积小、精度高、光电转换效率高。在焊接消费类电子产品的铝合金结构件时，能够很好地避免传统激光器焊接时存在的一些缺陷和问题。在此将光纤激光器和在消费类电子产品铝合金结构件上应用广泛的脉冲激光器进行对比研究，以确定光纤激光器是否能够成功应用于此类产品上。

实验材料和设备

(1) 实验材料

实验选取了具有代表性的 5052 铝合金作为材料，并分析其化学成分，结果如表 1 所示。材料厚度为 0.8mm，焊接接头为搭接接头。

(2) 实验设备

实验所用脉冲激光器为 YAG 灯



图1: YAG脉冲激光焊接机



图2: 500W 光纤激光器

泵功率反馈脉冲激光器，激光器功率 300W，其外观如图 1 所示。光纤激光器采用单模光纤激光器，激光功率 500W，外观如图 2 所示。

实验过程中采用金相分析法评估焊接质量，通过拉力测试评估焊接强度，并通过测量焊后工件外观尺寸的方法评估焊接变形。实验中的焊接参数如表 1、表 2 所示。

焊接缺陷

铝合金激光焊接的主要缺陷是气孔和裂纹，这点在脉冲激光焊接时体现得尤为明显。一般认为铝合金激光焊接产生的气孔主要是氢气孔和低熔沸点合金元素蒸发导致的气孔。铝合金线膨胀系数高，焊接应力大，又是共晶型合金，易产生热裂纹。尤其是

表1 脉冲激光器焊接参数

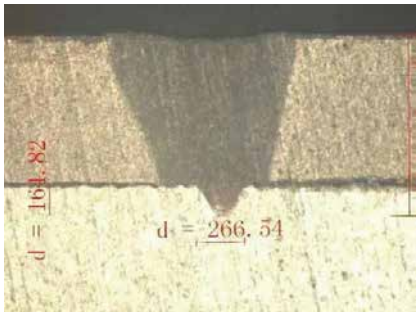
激光功率 p/kW	焊接速度 $v/\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$	脉宽 d/ms
5.5	10	17

表2 光纤激光器焊接参数

激光功率 p/W	焊接速度 $v/\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$	光纤长度 l/mm
500	30	10



a: 脉冲激光器铝合金点焊焊点金相



b: 光纤激光器缝焊焊缝金相

图3: 脉冲激光器铝合金点焊焊点与光纤激光器缝焊焊缝金相对比

激光脉冲点焊时，单个脉冲作用时间短，热循环速度快，裂纹倾向很大。而采用光纤激光器连续缝焊铝合金时，由于熔池存在时间大大延长，改善了焊接应力以及低熔点物质对焊接裂纹的影响，极大地减少了焊接过程中产生裂纹的倾向。同时，熔池存在时间的延长也有利于熔池中气体的排出，减少焊接气孔的形成。

脉冲激光器铝合金点焊焊点与光纤激光器缝焊焊缝金相对比如图3所示，由图3可知，光纤激光器连续缝焊条件下，裂纹和气孔都得到了明显的改善。

强度和稳定性

焊接裂纹会明显降低焊接接头的强度，对产品的实用性和可靠性有巨大影响，是最具危害的焊接缺陷之一。铝合金脉冲激光点焊时，裂纹是影响焊接强度的一个重要因素，由于裂纹的不可避免性以及不规则性，造成铝合金点焊的强度远远低于材料本身的强度，并且各个焊接产品之间的强度差异也很大，稳定性较差。而光纤激光器连续焊接方式焊接铝合金能够有效避免焊接裂纹的产生，有效提高焊缝的强度和稳定性。

光纤激光器和脉冲激光器焊接同一铝合金产品的焊接拉力进行对比。经计算，光纤激光器的平均拉力是脉冲激光器的3.9倍，而拉力数据的标准偏差只有脉冲激光器的1/3。结合图3的金相分析可知，光纤激光器的焊缝结合部位的宽度比脉冲点焊小得多，但是拉力能达到脉冲激光器的近4倍，这是因为：(1) 光纤激光器焊缝在长度方向上仍有延伸，实际的有效结合面积并不比脉冲焊点小；(2) 脉冲焊点的气孔和裂纹等焊接缺陷造成其焊接强度远低于母材强度，而光纤激光器焊缝的强度接近母材。因此，光纤激光器在焊接该类型产品时，相比脉冲激光器能够有效提高强度和稳定性。

焊接效率

由于光纤激光器缝焊的拉力大大高于脉冲激光点焊，这为提高焊接效

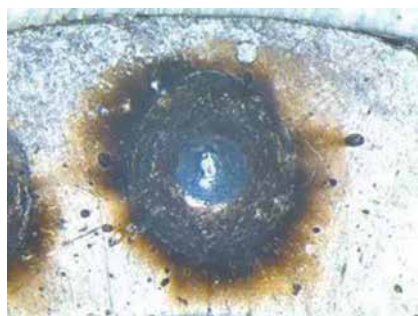
率提供了空间，通过减小焊缝条数和焊缝长度，能够在较高的焊接效率条件下，实现与脉冲激光点焊相同甚至更高的焊接拉力。

在实际操作过程中，通过合理优化焊接参数、焊缝条数、长度以及焊接位置等，光纤激光器分段连续缝焊工艺完全可以替代原有的脉冲激光点焊工艺。根据实际生产中的统计数据，该工艺获得了原有脉冲激光点焊工艺3倍以上的生产效率，同时，将焊接拉力提高到原有脉冲激光点焊工艺的1.5倍以上。

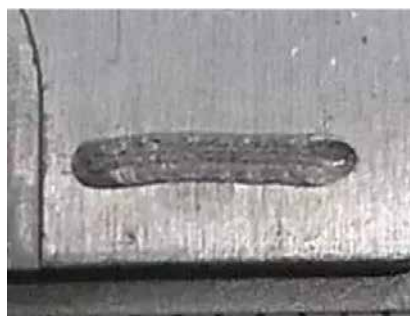
焊接变形

铝合金线膨胀系数大，易产生焊接变形。激光焊接铝合金的变形量相对较小，但是在焊接IT构件类精密程度较高的产品时，即使微小的变形仍然会产生较大的影响，需要进行预防控制。一般采用传统连续激光器进行缝焊的热输入量都要大于脉冲激光点焊，因此变形量也会比脉冲激光点焊大。而光纤激光器由于具有优异的光束质量，光斑更小，能量更集中，能够以更快的速度和更小的热输入量进行焊接，因此产品变形相对传统连续激光器更小。

由于光纤激光器具有上述特点，同时光纤激光器焊接铝合金IT构件产品时的强度远高于脉冲激光器，通过合理优化光纤激光器的焊接参数、焊缝条数、焊缝长度以及分布位置，在满足工件的强度要求的同时，减少了焊接过程中注入工件的整体热量，以达到进一步减小工件焊接热变形的目的。经测量，光纤激光器缝焊工件的整体焊接变形量超出脉冲激光点焊3.5%，相对脉冲激光点焊工艺差异不明显，能够满足实际需求。



a: 脉冲激光器铝合金点焊焊点



b: 光纤激光器铝合金缝焊焊缝

图4: 脉冲激光器点焊与光纤激光器缝焊外观对比

产品外观

IT 构件类产品对外观都有较高的要求,而铝合金材料受元素偏析、表面粗糙度、氧化层等影响,造成工件表面激光吸收率不一致,这种现象对激光脉冲点焊影响较大。采用脉冲激光点焊时容易出现未焊合、飞溅、烟尘等问题,影响产品外观和性能,需要进行二次清理。

脉冲激光器点焊焊点与光纤激光器缝焊焊缝的外观对比如图 4 所示。光纤激光器连续缝焊铝合金时,焊接过程更加平稳,不易产生飞溅和烟尘,无需进行二次清理,在外观和工序上均优于脉冲激光器。

结论

(1) 采用光纤激光器连续缝焊铝

合金 IT 构件产品可以避免脉冲激光点焊时常出现的焊接裂纹、气孔等缺陷,大大提高了焊接强度及其稳定性。

(2) 通过优化光纤激光器的焊接参数、焊缝条数、焊缝长度以及分布位置,可以减小焊接变形,提高生产效率。

(3) 光纤激光器焊接铝合金 IT 构件时,焊缝平滑美观,不易产生飞溅、烟尘等,不需要进行二次清理,减少了生产工序。

(4) 光纤激光器的分段缝焊工艺在焊接强度、整体外观、生产效率等方面均优于脉冲激光器的点焊工艺,并且在变形量与脉冲激光器相当,完全可以取代普通脉冲激光器在铝合金 IT 构件产品上的应用,具有较高的应用价值。□

上接第20页

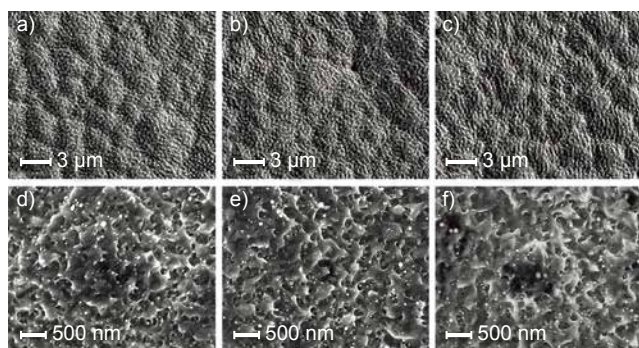
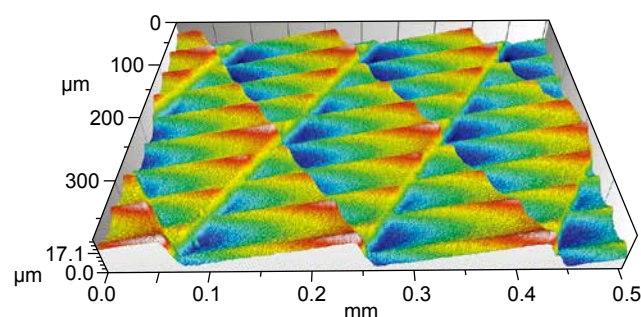


图3: 使用以下参数创建鲨鱼皮结构 (顶部): P_{av} 0.57W, f_{rep} 2MHz和Vscan 6m/s (波长532nm, $w_0=6.2\mu\text{m}$)。扫描电子显微镜 (SEM) 图像 (下图) 显示在单向模式中加工的结构表面质量: SE2探测器2MHz (a-c) 和4.1MHz和8.2MHz (d-f)。镜头内探测器显示2MHz、4.1MHz和8.2MHz。

扫描头。该技术依赖于直接在振镜控制电子设备中执行的零跟踪误差控制算法。

在 1ms 预览时间窗口内,自动预处理和执行由振镜控制器接收的定位命令,而没有跟踪误差的影响。优化控制算法,以在任何扫描速度下获得振镜扫描轴的完全加速潜力,以在更快的校正时间内稳定振镜速度,由此实现更高的吞吐量。内置的自动控制功能和高速修正的精确位置反馈,将允许编程更复杂的处理任务,如非矩形形状和更小的结构。

使用红外光而不是 532nm 波长,将扩大光斑尺寸,从而扩大烧蚀面积。因此,采用更高平均功率的加工,将能够充分利用目前 USP 激光器所提供的功率。对于给定的打标距离,通过选择适当的扫描速度,可以通过振镜来优化加工时间。在使用最佳扫描速度的情况下,可以观察到最大占空比,对于双向扫描为 50%。稳定振镜速度所需的前驱长度限制了占空比,因此使用处理这个问题的新控制算法,将能够获得更高的吞吐量。此外,还有一些克服这种限制的其他策略,例如将激光脉冲分配给多个振镜头。□

光纤放大器

工作于 1700nm 窗口的
掺铋光纤放大器

文/Gail Overton

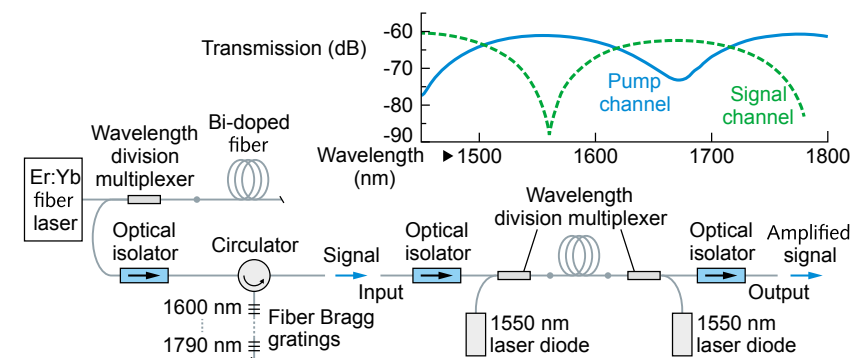
今天的光纤通信网络通常工作在 1550nm 的光谱窗口，并使用掺铒光纤放大器 (EDFA) 来扩展通信距离，或提高波分复用 (WDM) 技术的功率。

但是为了利用新的光谱窗口来满足未来的通信带宽需求，以及放大来自空芯光子带隙光纤在 1600~1750nm 光谱区域的信号，这是 EDFA 技术不能提供的信号，俄罗斯科学院光纤研究中心的科学家们，已经开发出了一种掺铋 (Bi) 光纤放大器，其采用市售的 1550nm 激光二极管泵浦，工作在 1640~1770nm 波段。^[1]

掺铋 MCVD 光纤

尽管掺铋 (Tm) 光纤放大器 (TDFA) 可以工作在 1700nm (以及高达 1900nm) 窗口，但是必须通过各种特殊的共掺和自制的 ASE 滤波技术，抑制低效率和强的放大自发发射 (ASE)，这使得 TDFA 很难用于 1700nm 窗口。

作为 TDFA 的替代产品，掺铋的锗硅酸盐光纤能在 1700nm 波段提供放大，研究团队通过开发具有高锗含量的特殊掺铋光纤，开发出了一种 1700nm 光学放大器。为了获得最佳的增益分布，使用改进的化学气相沉积 (MCVD) 方法制造了几种具有不



图：1700nm 的光学放大器 (右侧) 放大自制的多波长光源 (左侧)，波长范围 1615~1795nm、波长间隔为均匀的 15nm。顶部所示为 WDM 的透射光谱。

同掺铋纤芯浓度的光纤。

掺铋光纤放大器 (BDFA) 采用不同掺杂浓度的、包层为 125 μ m、芯径为 2 μ m 的掺铋光纤，使用两个功率为 150mW、波长为 1550nm 的激光二极管进行双向纤芯泵浦 (如图所示)。为了测量 BDFA 的性能，采用超发光掺铋光纤源和高反射率的光纤布拉格光栅 (FBG) 搭建自制多波长光源，以产生 1615~1795nm、均匀间隔 (15nm 间隔) 的光谱线。

1700nm 的性能

基于各种 BDFA 性能参数的测量，为了获得最大的光学增益，得出铋的掺杂重量百分比为 0.015~0.02% 是最佳选择。具有 50m 掺铋光纤的光学放大器，在 1710nm 处提供 23dB 的最大增益、40nm 的 3dB 带宽、0.1dB/mW 的增益效率和约 7dB 的最小噪声系

数。与 TDFA 相比，BDFA 的 3dB 增益带宽和效率更好。

“一个重要的问题是，在通信光纤的光学损耗值小于 0.4dB/km 的新光谱区域开发光纤放大器”，俄罗斯科学院光纤研究中心的科学主任 Evgeny Dianov 教授说，“这将使得在高速光纤系统中使用扩展光谱区域实现信息传输成为可能。这种放大器的发展是这个方向的第一个主要阶段。

Dianov 补充说，“在这种追求中，需要创造增益带宽大于 100nm 的宽带光学放大器，这将是使用这些放大器和有源光纤的光纤通信系统发展中的一项新突破。” □

参考文献

1. S. V. Firstov et al., Sci. Rep. online, 6, 28939 (2016); doi:10.1038/srep28939.

量子级联激光器

高度定向的电泵浦 宽带随机太赫兹激光器

文/John Wallace

商业化的相干太赫兹辐射源已经以量子级联激光器 (QCL) 的形式存在了十多年, 其在光谱学和成像领域发挥着重要作用, 通常用于安全应用。然而, 传统的太赫兹发射 QCL 的一大缺点是, 因其为亚波长约束结构, 故而具有非常发散的光束。

奥地利维也纳技术大学和奥地利科学院的研究人员, 提出了一种针对上述光束发散问题的解决方案, 即使使用过去几年经常在光子学研究中出现的激光器概念——随机激光器。

随机激光器通常在激光腔中有许多随机或伪随机分布的散射点, 这将产生多个激光模式, 可以在腔内从散射体到散射体循环。虽然用于可见光或近紫外的随机激光器倾向基于多晶散射体, 但是对于波长长三个数量级的太赫兹区域, 情况就截然不同了。事实上, 情况变得更加容易: 研究人员简单地通过产生随机图案的孔, 经过平面腔形成散射光垂直射出, 来创建散射体 (如图所示)。所得到的器件产生宽带发射 (约 3.9THz 的中心波长, 带宽为 0.4THz), 具有来自大腔径的、接近衍射极限的窄带远场输出。^[1]

不同的孔填充因子

这类激光器可以通过简化的方式

建模, 假设随机分布的孔是时间相干同相偶极发射器, 每个都具有给定的偏振方向。如果所有的偏振对准, 则结果是相长干涉, 这将形成衍射极限光束。如果所有的偏振最大程度的不对准, 则会产生有害的干扰效应。中间偏振对准会出现一些、但并非最大的相长干涉。

以更复杂的 3D 和矢量方式对激光器进行建模, 结果与中心波长为 3.9THz、带宽为 400GHz 的实验一致,

并且还展示腔虽然是圆形的, 但不支持边廊模, 因为被孔所抑制。

在实验中, 圆形的 10 μ m 厚的平面电泵浦半导体结构作为腔体。研究人员利用了这样的事实, 即因为 QCL 为单极工作 (仅电子, 而不是电子-空穴对), 所以腔可以几乎任意成形, 而不影响激光器的电操作。因此, 他们以随机图样穿过腔, 并冲出 20 μ m 直径的孔。研究人员已经制作了孔填充因子分别为 34%、25%、18% 和 8% 的不同版本。

器件的散热器被低温冷却到 5K, 尽管器件本身达到高达 130K 的温度。对于更密集填充的孔图样, 垂直方向的峰值输出功率达到 40mW, 对于低密度的图样, 峰值输出则低些。对于填充因子为 18% 的激光器, 激光发射的发散角为约 7° 半峰全宽 (FWHM)。因为接近衍射极限, 这意味着来自腔表面中孔的大部分发射是彼此同相的。

当然, 这种随机 QCL 的电泵浦特性, 是将来可能用作低发散太赫兹光源的一个优势。□

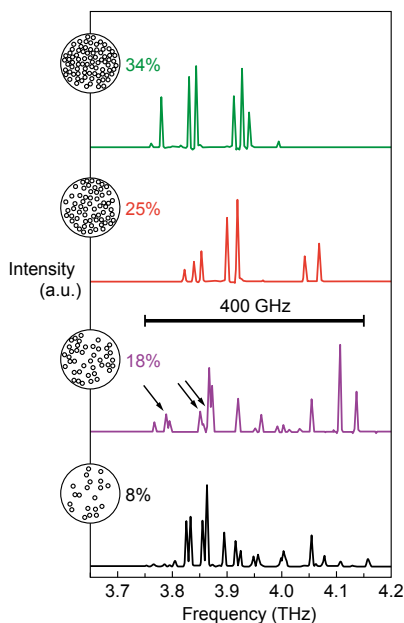


图: 直径500 μ m、圆形薄膜太赫兹量子级联激光器 (QCL) 的腔结构, 具有随机排列的、直径20 μ m 的穿孔, 其在垂直方向上相干散射辐射。孔填充因子分别为34%、25%、18%和8%。图中所示为来自四个实验装置的宽带发射光谱。

参考文献

1. S. Schönhuber et al., Optica (2016); <http://dx.doi.org/10.1364/optica.3.001035>.

增材制造

激光源在增材制造中的重要性

文/Dick Rieley, Ophir-Spiricon公司

增材制造 (AM) 是对 3D 打印更为准确的描述, 因为它描述了一种与去除材料的传统方法完全不同的生产方法。增材制造不是从现有的一大块固体材料中铣削出工件, 而是通过粉末材料, 一层一层地构建组件。增材制造可以使用多种不同的材料, 从塑料到金属、甚至是复合材料。

增材制造工艺依赖于激光热源的精确定输送以产生材料沉积, 通常通过熔化可预测厚度的粉末原料, 以完全熔融的方式一层一层地沉积材料。在这个材料熔融沉积的过程中, 激光源的关键特性, 包括激光束功率、激光束光斑尺寸和焦点, 都是决定该过程的关键参数。在上述三个激光变量中, 任何一个未被适当地测量和控制, 都不可能生产出符合要求的零件。

在宾夕法尼亚州立大学的直接数字沉积创新材料加工中心 (CIMP-3D), 有一项最新的应用, 在该应用中, 在其中一台激光器上运用完整的光束诊断程序, 用于开展增材制造研究。被评估的激光系统是 IPG 公司的一台 500W 的光纤激光器, 具有 50 μ m 芯纤。该激光器配有定制的透镜组件, 能够将约 50 μ m 的焦斑传递到加工点, 以便能够在沉积期间制造非常精细的特征。

该测试的第一部分包括验证由操作者输入、并由激光电源控制所选功率水平, 该功率是确实被传送到工

作表面的。如果所需要的功率不是所传递的功率, 则该工艺可能不能按照期望执行, 并且存在产生粉末材料熔合不足的可能性, 导致在制造部件过程中出现缺陷。

设置: 功率测量

为了进行该测试, 需要对激光光学头进行定位, 使得 Ophir 500W 风扇冷却热探头上的光束直径, 保持功率密度低于吸收盘的损伤阈值。在光斑尺寸为 5mm 的情况下, 光束的功率密度 (或辐照度) 约为 2546W/cm², 对应于探头损伤阈值的 33%, 这是一

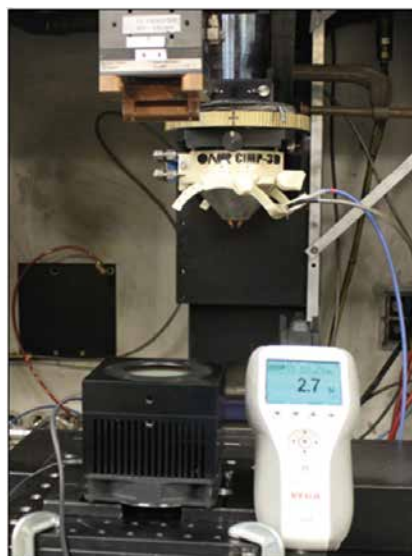


图1: 图中所示为实验装置。从图中可以看到光学头和铜环, 500 W 风扇冷却探头位于光学传感器的正下方, Ophir Vega 数字显示表头 (用作每次测量的读数设备) 直接位于探头的右侧。在生产环境中, Ophir Juno 将用于替代 Vega 表头。因为 Juno 允许探头直接连接到 PC, 从而能实时将数据反馈到监视控制器或 PC。

个非常安全的功率密度水平。

操作人员进行了一系列测试, 包括以 100W 增量增加激光功率; 100W、200W 直到 500W, 在每个步骤中记录操作人员输入的功率, 以及激光控制器上相应的功率设置, 然后利用位于激光器工作表面的 500W 探头, 对实际的功率输出进行最终测量。

结果: 光功率

图 2 所示为结果曲线 (X 轴为探头上的激光功率, Y 轴为相对输入设置的百分比)。第一个测量表明, 正如预期的那样, 输送到零件的实际功率小于设定值。然而, 有趣的是, 我们注意到, 与较高功率设置相比, 在低功率下明显有着更大的满量程百分比差异。图 2 中, 蓝线表示激光器应当运行的每个水平上的设定值; 红线是激光控制器上的显示输出; 而绿线是实际输送到工作表面上 500W 探头处的功率。

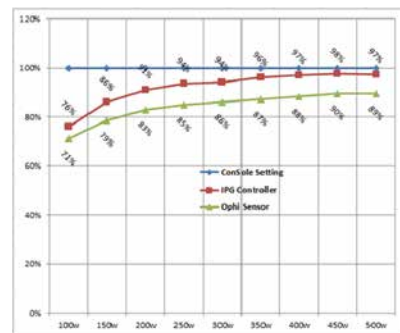


图2: 蓝线表示激光器应当运行的每个水平上的设定值; 红线是激光控制器上的显示输出; 而绿线是实际输送到工作表面上 500W 探头处的功率。

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(355/532/1064nm)
- 3、扩束镜
- 4、声光&电光Q开关
- 5、温控炉(仪)



LBO



BBO



CLBO



TGG/TSAG



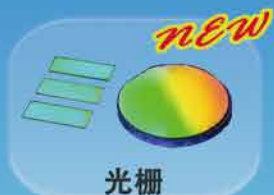
Nd:YVO₄



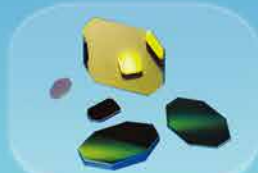
Er:Cr:YSGG



精密光学元件



光栅



红外光学元件



高功率光隔离器



扫描场镜

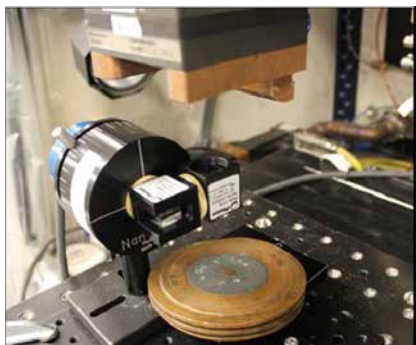


图3: 用于测量的实验设置。

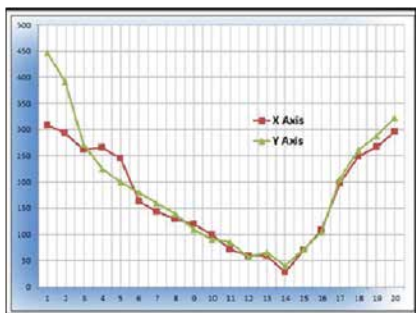


图4: 图中显示了从每个预设增量位置处获取的X方向和Y方向的光斑尺寸。

初步看来,当激光器在较低功率设置下运行时,在设定值和实际输送功率之间可能存在高达29%的差异。而当激光设置需要完全的500W时,实际传送的功率只少11%。该测试提供了该激光器的性能基线。当进行随后的功率测试时,结果可以容易地确定针对该基线的稳定性或变化。如果有变化,则应采取适当的诊断和纠正措施。

该信息还使操作人员有机会在激光器内,确定导致输入设置和输出结果之间差异的原因。对于每个校正操作,可以根据随后的功率,验证操作为正确或无效。

空间光斑尺寸和位置测量

实验的第二部分涉及测量光斑尺寸和焦点位置。为了实现这一点,使用具有 $9\text{mm} \times 5\mu\text{m}$ 狭缝的Ophir-Photon NanoScan旋转狭缝光束轮廓仪。在该设置中,激光器的光学头被

定位,以至于能将约 $50\mu\text{m}$ 的光束,直接传送到用于测量的光束轮廓仪的扫描狭缝上。

必须首先对光束轮廓仪进行设置,以应对传送500W功率的 $50\mu\text{m}$ 激光束的功率密度;计算的功率密度为 $25.46\text{MW}/\text{cm}^2$ 。为了在狭缝上允许这种高功率密度而不引起测量装置的损伤,将双前表面分束器附接到NanoScan的前面,与光楔相结合,提供 $100\text{kW}/\text{cm}^2$ 的最大可测量功率密度。

图3显示了用于进行这些测量的实验设置。NanoScan有一个双棱镜,位于激光器的光学头下面。在第一个棱镜下面是5/8英寸厚的铜板,作为光束收集器,吸收来自第一个棱镜的460W的激光束功率。

在该设置中,第一个光楔分光最大输送功率的90%或460W。而第二个光楔分光剩余部分的90%或36W,

NanoScan Beam Profile Near Focus Measuring $\sim 50\mu\text{m}$ (FWHM)

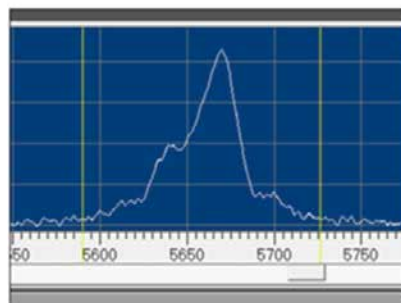


图5: X方向。

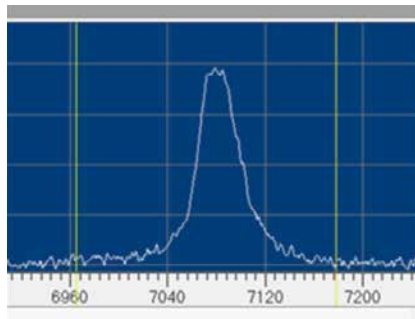


图6: Y方向。

在此使用简单的40W功率计进行光束收集(图中未显示)。

结果: 光斑尺寸和位置

图4显示了从每个预设增量位置处获取的X方向和Y方向的光斑尺寸。初始结果显示,光束在焦点处比计算的稍小。此外,焦点的位置略近于估计的焦点。结果还确定焦点的“计算”位置不是精确地处于期望的位置——这也是激光器性能中的另一项关键元素,而且该元素会影响生产高质量的产品。需要进一步测试来验证该信息,但这提示在生产部件之前,需要进一步诊断激光设置和操作过程。

测量程序包括从距离估计焦点(标识为零-零)0.375英寸处开始,并以0.03126英寸的增量,减小到小于估计焦点0.375英寸处,进行25次独立的读数。图4中的图表显示了光斑尺寸(X刻度,Z轴在0.000英寸,Y刻度,单个目标测量点处的值),图5和图6(X刻度,相对光束强度,Y刻度,光束尺寸单位为 μm)所示为焦点附近激光束功率的横截面测量结果。

从这些测试中得到的结果是:

- (1) 设定点和基线之间的激光束功率损失被量化;
- (2) 激光束空间能量分布被量化;
- (3) 焦斑的预定位置被量化。

利用该信息,可以定义增材制造工艺,规定功率水平,输送到工作面的激光束空间能量分布和焦斑,确保可重复的结果。

通过定期测量激光器的输送功率、光斑尺寸和光束位置,可以指定增材制造工艺,重复制造出质量一致的产品。没有激光束的定期测量,整个工艺无法控制到既能实现指标要求、又能交付客户使用的水平。□



SYNRAD CO₂ 激光器

firestar v-series



30W



40W

48-series



10W



25W

firestar f-series



200W



400W



firestar ti-series

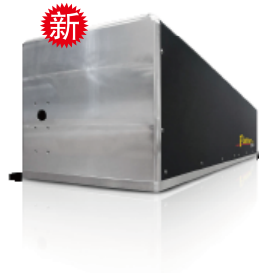


60W-80W-100W

Pulstar series P100



Pulstar series P150



**PHOTON
ENERGY**

皮秒激光系统



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

风冷 体积小 稳定 低成本

内置 PHOTON ENERGY
CEPHEUS 皮秒激光器



CAMBRIDGE TECHNOLOGY 高速光学扫描振镜 / 扫描头 / 三轴高功率扫描振镜 / 模拟和数字伺服驱动电路板



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

400-886-0017



香港 HONGKONG

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

北京 BEIJING

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

上海 SHANGHAI

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

广州 GUANGZHOU

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

深圳 SHENZHEN

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

成都 CHENGDU

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

武汉 WUHAN

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

台湾 TAIWAN

T: (886) 2-22468133
F: (886) 2-22468138
tw@anp.com.hk

新加坡 SINGAPORE

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

高功率半导体激光器向“四高”迈进

——听炬光刘老师讲半导体激光器的发展趋势

文/Rossie Pang

2016年的11月24日，古城西安在早早地迎来冬天的第一场瑞雪后，天气已有些寒冷。但是当天，在位于西安高新区的炬光科技有限公司院内，却是一派热火朝天的火爆场面。在这里，炬光科技组织的“第二届高功率半导体激光器应用行业论坛”正拉开大幕。

炬光科技本着与各行各业用户共同探讨高功率半导体激光器的发展及应用的原则，携手解决发展中遇到的难题，谋求而广阔的发展空间和潜力。炬光科技自去年开始组织这样的论坛活动，并赢得了业界好评。今年的论坛以“创新·合作”为主题，依然分主论坛和生命科学、固体激光器泵浦、微光学及应用三个分论坛，有来自中科院、德国、韩国的多位行业大咖莅临，25场精彩的演讲让大家如享半导体激光器领域的饕餮盛宴，共吸引了来自海内外的200多位业内人士积极参与，规模较去年又有扩大。

主题演讲：把握高功率半导体激光器的发展趋势

在主论坛中，刘老师主题演讲毋庸置疑是一部重头戏。刘老师以他在半导体激光器领域多年的从业经验和辛勤的研究探索，为大家带来了一堂精彩的报告——高功率半导体激光器的发展现状和趋势。

半导体激光器是业界非常看好的一种光源，其未来的发展风头甚至有



天冷也挡不住小伙伴们热情！

可能盖过当前走红的光纤激光器。那么，半导体激光器未来将朝着什么样的方向发展？发展过程中需要解决哪些问题？……我们来听听高功率半导体激光器领域的专业权威刘老师是怎么说的。

趋势一：更高的功率。高功率是大家都在追求的一个目标，功率提升后，半导体激光器会赢得很多应用市场。最近几年，半导体激光器输出功率的发展非常快，目前单管的输出功率已经达到了15~20W的水平；单巴条连续波（CW）输出功率，也已经从过去的40~50W发展到了100W甚至150W，测试功率已经有达到300~400W的产品；单巴条准连续（QCW）输出功率，也从过去的几十



刘老师的主题演讲

瓦发展到了600W的标准产品，国际上已经有报道900W甚至是1kW的测试峰值功率。

因此，高功率是半导体激光器的一个发展趋势，未来的功率会越来越高。

那么限制半导体激光器功率提升的因素有哪些呢？刘老师讲道，腔面损伤（COD）和温度是限制半导体激光器功率提升的两个主要因素。如何克服这两个限制因素呢？首先降低结温非常关键，这可以从少产生热量和降低热阻的方面入手解决，而降低热阻可以从芯片和封装两个方面考虑。

随后，刘老师又从详细讲解了如何提升半导体激光器的输出功率，包括做大芯片面积降低热阻、封装中的先进键合工艺、在封装过程中使用纳米银粉和金刚石铜等高导热率的先进材料、以及采用金属液体和相变方式制冷等环节，来帮助半导体激光器的输出功率再次迈上一个新的台阶。

趋势二：更高的电光转换效率。在过去的几年中，半导体激光器的电光转换效率也在不断提升。目前808nm产品的效率基本达到了65%左右；9xxnm产品的效率已做到70%-75%，一般也能做到65%。

效率是由什么决定的呢？刘老师指出，除了芯片本身的设计因素外，结温和封装过程中的串联电阻也会对效率产生重要影响，而这两点归根到底，都跟温度有关。因此，在高功率半导体激光器中，如何控制温度真的

非常重要。

趋势三：更高的亮度。亮度这个参数就是通常说的 Beam quality，也即光束质量。决定亮度的因素有哪些呢？

首先也是芯片设计，目前芯片的快轴和慢轴发散角都有越来越小的发展趋势，亮度自然会更高。影响亮度的另一个因素是封装，刘老师表示这里一个非常重要的方法就是做 Mini bar，它会使亮度大大增加，因此 Mini bar 的应用会越来越广，“我认为这这也是一个趋势，”刘老师说道。此外，亮度还与合束和偏振有关，其中偏振度是一个非常重要的因素，而偏振度又与封装热应力关系密切。

刘老师还指出，提高亮度要做光学整形。值得一提的是，炬光科技已经在 2016 年 8 月完成了对德国 LIMO 公司的收购，后者在光学整形方面拥有世界领先的技术，该项收购将会帮助炬光科技在高功率半导体激光器市场中如虎添翼。

趋势四：更高的泵浦效率。

泵浦应用是高功率半导体激光器的一项重要应用，也是市场份额较大的一部分应用，主要用于泵浦固体激光器或是光纤激光器。在泵浦应用中，若增益晶体不能有效地吸收泵浦光，那么即使半导体激光器的输出功率做得再高，也没有多大意义。炬光科技已经在这方面研发出了一套自己的方法，提升泵浦效率。

此外，刘老师还谈到了产品的可靠性问题。随着功率和亮度的不断提高，必然会对产品的可靠性带来一定的挑战，如引发热迁移和热疲劳问题。炬光科技的所有产品都在采用“无钎化封装”，刘老师表示这是降低热疲劳和热迁移的一个根本是的办法。

最后，刘老师总结道，从芯片到

热产生的机理研究，到贴片的界面，再到热应力效应，都会影响半导体激光器的输出。总之，高功率半导体激光器正在向着更高的功率、更高的电光转换效率、更高的光束质量、更高的可靠性及更高的泵浦效率这几个方向发展。

三场分论坛精彩纷呈

下午的三场分论坛也各自云集了不少行业大咖前来助阵。



杨林博士在演讲

在生命科学应用分论坛上，来自交大第一附属医院、西京医院皮肤美容中心、第四军医大学口腔医院的医疗界精英们，分别就激光手术刀的研究进展与应用、激光美容仪器、激光在牙体牙髓疾病治疗中的应用，以及用弱激光治疗急性脊髓损伤的研究等话题，与现场参会人员做了临床研究与应用的分享和探讨。此外，武汉洛英科技董事长杨林博士和炬光科技医疗美容事业部总经理杨凯先生，分别就半导体激光医疗和美容技术的现状与发展，与现场嘉宾进行了交流。

医疗美容是半导体激光器的一个



来自德国伊尔梅瑙工业大学的教授在演讲

重要市场，最近几年该市场的发展尤其快速，已经成为众多半导体激光器制造商的一块必争之地。

在微光学及应用分论坛上，来自德国伊尔梅瑙工业大学、中科院光电技术研究所、兰州理工大学的教授及研究人员，分别与大家分享了激光光学整形技术、微纳光学技术与应用、激光窄间隙焊接技术等话题。此外，LIMO 公司介绍了激光整形技术在高速材料处理中的应用；山东能源机械集团和韩国 DAWON Nextview 公司分别介绍了大功率半导体激光器的熔覆应用和先进的激光锡焊和键合技术。



固体激光器泵浦应用分论坛会场

固体激光器泵浦应用分论坛上，来自中科院上海光机所、中科院大连物化所、中国航空工业集团等科研机构的专家们，就超短脉冲激光微加工、全固态 Nd:YAG 激光器、高功率碟片激光技术、激光清洗、半导体激光器泵浦的全固态模块化皮秒激光系统等话题进行了讲解与讨论。最后，炬光科技首席科学家王警卫博士，向大家介绍了高功率半导体激光器巴条的封装进展与挑战。

炬光科技组织的本次论坛活动，为半导体激光器企业、科研机构及产业用户之间提供了一个学术交流和商业探讨的好机会。希望国内企业能多组织类似的行业交流活动，共谋中国激光产业的健康发展。□

致力于在国内实现光纤激光器的产业化

——访上海飞博激光有限公司总经理李骁军先生

文/Rossie Pang

光 纤激光器技术近年来发展迅速，自身技术和应用领域方面都在不断获得突破。市场上光纤激光器厂商，也从过去的一家独大，发展到现在的百花齐放，尤其在中国本土，这几年涌现出许多初创型光纤激光器厂商，上海飞博激光有限公司就是其中的佼佼者。

创业初衷

飞博激光成立于2012年，与中科院上海光机紧密关系，主要致力于将上海光机所在光纤激光器方面雄厚的科研优势，与飞博激光团队在经营管理方面的丰富经验相结合，实现光纤激光器的产品化和产业化。在这一过程中，嘉定高新区也给予了大力支持。

“之前国内用户所使用的光纤激光器产品，多来自国外厂商，不仅价格较高，而且购买周期较长，这必然会对客户的应用和效率带来一定的影响。”飞博激光创始人李骁军博士表示，“中国市场对光纤激光器产品有着大量需求，如何能实现光纤激光器的国内生产，实现国产光纤激光器的产业化，这将会满足中国市场的迫切需求。”李骁军博士介绍说，“因此，飞博激光成立的初衷非常简单，就是要在国内实现光纤激光器的产业化，以本地化的生产和服务来满足中国市场的庞大需求。”李骁军博士还强调，飞博激光的成立，必须要感谢上海光机所和上海嘉定工业区的大力支持。

从成立之初到现在，飞博激光已经从孵化期进入到了成长期。李骁军博士介绍道，飞博激光在过去的三年中，累积销售额已经超过1亿元；“预计在未来的两年中，我们的销售额都会以每年超过100%的速度迅猛增长！”他还透露，飞博激光每年的研发投入接近1000多万元，

过去三年累积投入超过3000万元，这些都是在为未来的技术领先做储备。

乔迁新址 扩大产能

2016年11月28日，飞博激光正式迁入嘉定高科园区智能制造创业中心。公司的厂房面积由先前的800多平米扩大至3400多平米。

李骁军博士表示，搬到新厂房后，计划在未来的3-6个月，投资1000多万元用于为产能扩增做准备。研发的物料和人员投入都将会比以前大幅增加，预计在明年3月份，能将现有产能提升约200%，即产能扩大到现在的3倍，实现光纤激光器的大规模生产。



飞博激光乔迁庆典



飞博激光创始人李骁军博士

国产光纤激光器实现批量生产后，将会迫使国外品牌大幅降价，服务质量也有所提升，让国内用户确实享受到了实惠，“我们的产品推出后，迫使国外产品很快降价30%,”李骁军博士说道。从长远角度来看，我们做的是一件关系转型升级的事，当然这也是让一家民族企业颇感到自豪的事。“比如在医疗应用领域，目前很多医院90%的采购成本都花在了进口医疗设备上，导致很多老百姓看不起病；如果我们提供能满足医疗要求的国产医用激光器，将会使医疗成本大幅下降，使很多人能够享受得起先进的医疗技术，将好处切实落实到国计民生上。”

两条发展之路

今后飞博激光将沿着两条路发展。

一条是替代之路，即提供能替代竞争对手的光纤激光器，为市场提供更好的选择，这是飞博激光的“安身”之路。“作为一个企业，我们要以营利为目标，要对我们的股



飞博激光生产的2 μm光纤激光器，可用于医疗、非金属材料焊接和切割等领域



飞博激光的光纤激光器用于金属切割应用

东负责，因此提供更优质的产品，替代竞争对手在国内拥有的现成市场，这样就能帮助我们的产品快速进入市场，实现盈利。”

另一条是差异化之路，即在产品差异化、技术差异化方面不断的提升，做不同于竞争对手的产品，增加产品的附加值。这一条是飞博激光的“立命”之路。“我们一定要从中国制造，走向中国创造，中国厂商要摆脱一味模仿和跟随的状态。”李骁军博士在说此话的时候，有一种让人听到就为之振奋的决心。

李骁军博士表示，飞博激光将依托上海光机所的核心技术平台，将研发出的新技术转化为产品，并实现产业化。

他表示，在光纤激光器的生产过程中，系统设计和一些关键器件是影响性能的主要因素。与上海光机所的合作，使飞博激光在这方面掌握优势。在他的带领下，飞博激光已经陆续开发出6大系列20余种激光产品，包括MARS中功率连续光纤激光器、PLUTO大脉冲能量光纤激光器、VENUS亚纳秒脉冲光纤激光器、URANUS MOPA光纤激光器等产品，其中还包括2 μm、亚纳秒和线偏等高端型光纤激光器，在细分市场领先国际水平。这些产品广泛应用于工业、高分子材料加工、医疗、3D打印等应用领域。

锁定重点应用 打造朝阳产业

激光产业虽然是一个规模较小的产业，但却是一个正在发展中的朝阳产业。在这个开始蓬勃发展的市场中，“飞博激光目前的销售主要针对切割市场，”李骁军博士说道，“但是未来我们将关注焊接应用，特别是新材料的焊接，比如新能源汽车中所使用的铝镁合金的焊接、碳纤维材料的复合焊接。此外增材制造也是我们关注的一项应用，主要包括激光熔覆和激光3D打印。”

李骁军博士还特别提到了汽车应用市场，这是一个备受瞩目的市场，他表示目前飞博激光已经与一些汽车整机和配件厂商建立了合作关系，在实现汽车轻量化的铝镁合金焊接或切割，是一种非常复杂的工艺过程，而激光作为一种加工工具，能够提供一种非常有效的解决方案。

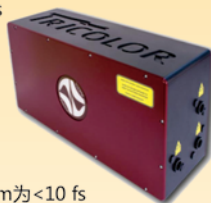
“过去在电子元器件的精加工应用中，激光加工设备几乎都依赖于进口。现在飞博激光推出了一款能够完全替代国外进口产品的新型激光器。包括台湾、日本、韩国等在内的客户都纷纷采用了我们的激光光源，而且近来还有更多的海外客户对我们的产品表示了兴趣。”

李骁军博士表示，未来，飞博激光将致力于扩大高功率光纤激光器的市场份额，成为国内领军的光纤激光器制造商。□

AVESTA Lasers and optical systems

Tricolor三波长飞秒激光器

- 1050, 525, 800nm同时输出
- 输出脉宽200fs, 100fs, 200fs
- 1050nm单独输出功率>6W
- 输出功率>1.2 W, >300 mW, >300 mW
- 可选配和频产生
- 自启动飞秒
- 时间延迟抖动1050nm到800nm为<10 fs



mqglabs

MOA002光放大器

- 用于外腔可调谐半导体激光器功率放大
- 波长630-1064nm
- 增益带宽10nm-30nm
- 输出功率500mW, 1W, 2W
- 增益最高23dB (200x)
- 近衍射极限光斑



JENOPTIK

JenLas@femto飞秒激光器

- 波长1030/525nm
- 输出功率16W/8W
- 输出脉宽550fs
- 单脉冲能量最高80μJ
- 重复single pulse-510KHz
- 用于飞秒精密加工



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）



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



苏州德龙激光股份有限公司
总经理赵裕兴博士

让激光加工精益求精 毫厘不失

——访苏州德龙激光股份有限公司总经理赵裕兴博士

苏州德龙激光股份有限公司是一家致力于精密激光加工应用解决方案的供应商，公司研发、生产和销售各类高端工业应用激光设备，尤其是基于紫外激光和超短脉冲激光技术的设备，已经广泛应用于半导体、触摸屏、激光特种加工以及太阳能电池等精密加工领域。

德龙激光一贯重视研发方面的投入，目前公司拥有授权专利近百项，其中发明专利 20 余项，软件著作权 10 余项。在苏州、无锡、厦门、深圳、美国、日本、香港等地设有子公司。

把握制造业中的机会

苏州德龙激光股份有限公司总经理赵裕兴博士表示，“近几年，中国制造业受技术及成本控制限制等因素和外部压力的影响，开始迈入制造业的新常态，很多行业都在积极转型。激光加工由于其柔性加工特性，具有非接触、精度高以及材料适应性好等特点，尤其是对软、脆、硬等材料加工有着不可替代的作用。”

德龙激光的加工设备凭借高精度、高效率、高性价比的特色，“已经在消费电子的显示屏切割和刻蚀、摄像头模组主要部件的切割、太阳能等

领域获得了大量应用，替代了很多进口产品，帮助客户大幅降低生产成本。”赵裕兴博士介绍说，“未来，在高端制造业如半导体、集成电路、消费电子等领域，激光技术将迎来更多、更广泛的应用，我们非常看好未来的前景。”

非金属材料加工

非金属脆性材料加工，是目前激光加工技术关注的焦点之一。非金属脆性材料主要包括蓝宝石、石英、玻璃等材质的产品，这些产品广泛应用于 LED 和消费电子领域。“这些产品通常采用的都是透明材料，符合应力诱导切割要求，所以在这些产品上，德龙激光主推应力诱导切割，效率是传统激光的两倍以上，没有热影响，加工品质好。”赵裕兴博士介绍说，“德龙激光很看好非金属材料加工这块市场，我们对此也有相应的产品满足市场需求。”

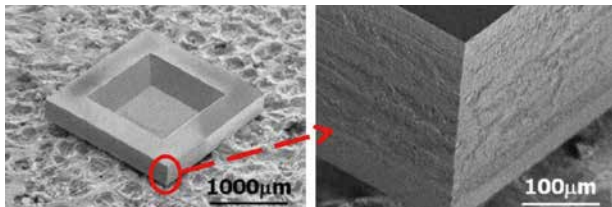
几年前德龙激光成功研发出了应力诱导切割技术，并申请了专利。激光应力诱导切割是将短脉冲激光光束透过材料表面聚焦在材料中间，由于短脉冲激光瞬时能量极高，在材料中间形成改质层，使被切产品达到断裂效果。激光应力诱导切割是一种全新的激光切割工艺，具有切割速度快、切割不产生粉尘、无切割基材耗损、所需切割道小、完全干制程等诸多优势。

目前激光应力诱导切割技术广泛应用于 LED 芯片、MEMS 芯片、FRID 芯片、SIM 芯片、存储芯片等诸多晶圆的切割，如下图以硅衬底 MEMS 晶圆为例，可以看到应力诱导切割的芯片几乎没有崩边，芯片没有机械损伤。

“此外，这种新的切割技术还让我们在蓝玻璃切割领域收获成功。相比于传统的刀轮切割，我们的切割技术彻底解决了蓝玻璃切割上的技术难题，不但在切割效率、切割成本上具有明显优势，同时在材料损耗、产品产出和产品性能方面也有了稳步提升。”赵裕兴博士说道，“蓝玻璃切割正式从刀轮时代进入到了激光时代。”

另外，赵裕兴博士还介绍了公司的另一款非金属加工设备——全自动 IC 双头切割设备。此设备主要应用于指纹识别芯片切割，包括 LGA、IC、PCB 等材料。该设备的切割尺寸精度为 $\pm 30 \mu\text{m}$ ，切割崩边小于 $20 \mu\text{m}$ ，切割速度 2.5s/pcs。此设备实现了从来料到下料分拣的全自动制程，可以节省上料、下料、摆盘等操作人员，大幅节省人力成本，减少由于人为误操作导致的报废和待机时间，增加切割良率和效率。

最后赵裕兴博士总结说，德龙激光将一如既往地专注于激光精密加工技术，并继续加大研发投入，同时不断开拓新应用和新市场，特别是消费电子和特种材料加工领域，争取在未来 3-5 年内发展成为一个有国际影响力的公司。□



MEMS 晶圆激光切割加工效果图

SuperCut 8kW光纤激光切割机

SuperCut 激光切割机升级了从激光器到切割头的基本配置，高质高效的解决了超厚不锈钢和铝合金板切割断面质量、挂渣和切割锥度过大等问题，同时对于中薄板的切割可以实现任意切换，再无后顾之忧。



该设备广泛应用于钣金加工站、汽车制造、机械制造、健身器材、智能家具、白色家电、航空航天、机车制造、船舶等行业。

SuperCut 激光切割机的最大亮点：能够实现亮面切割，更光滑的截面，更高的精度，近乎完美的垂直度；多样化的板材选择，一台设备可切割不同厚度、不同材料；智能切割，切割气体自动控制、自动调焦、智能切割机可扩展自动上下料机构及料库单元等。SuperCut 激光切割机可配备最大功率 8kw 的激光器，可以切割 30mm 厚不锈钢甚至更厚的板材。

华工法利莱，www.farleylaserlab.cn

12kW激光切割头

Eagle Group 公司的 eVa 激光切割头，能提供高达 12kW 的切割功率，并且可以处理厚度为 1~60mm 的材料。该切割头的独特之处是光束传输过程中没有运动部件，结构设计相对简单，只有两个固定透镜，但是到达材料的焦点直径和光束角度是可变的。切割过程有保护玻璃防护，因此不易受切割过程中产生的污染的影响。



该切割头为钣金加工提供了高效、耐用和可靠的解决方案，通过更高的加工功率，实现了更快的生产、更高的效率，以及更低的运营和维护成本。

Eagle Group，www.eagle-group.eu/en

高功率半导体激光冰点脱毛仪

高功率半导体激光冰点脱毛仪 Artemis 600，采用脱毛的最佳波长 810nm 半导体激光器，具有良好的单一性

和穿透力，也是黑色素细胞吸收相对较好的一段波长，应用于选择性光热原理。

毛囊的黑色素是目标基色，强烈的吸收激光能量，因而能在不影响正常组织的情况下，使之迅速升温，从而破坏毛囊，实现较好的脱毛效果。600W 功率提供了治疗效率，保证了疗效。

采用最先进的半导体金属制冷系统，接触式 0-4 度高效冷却，可以在治疗中有效降低表皮温度，不仅去除毛发远期效果好，而且能够保护正常的皮肤组织不受到伤害确保治疗安全。

武汉洛美科技股份有限公司，www.lotuxs.com.cn

用于激光切割的CO₂激光镜头

Laser Research Optics 公司提供的现场可更换的 CO₂ 光学镜头，适用于切割复合材料，如制造精密的垫圈，这些精密加工场合往往需要具有平滑的边缘。该系列 CO₂ 光学镜头包括硒化锌 (ZnSe) 透镜和反射镜，其专为 10.6 μm 应用而优化。镜头外径尺寸 1~1.5 英寸，焦距 1~12 英寸，并提供双频带抗反射涂层，以帮助系统对准。

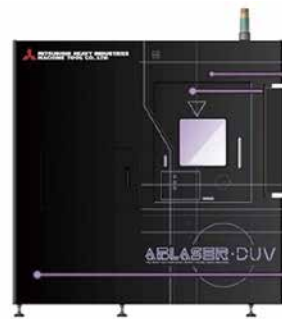


Laser Research Optics，www.laserresearch.net

深紫外激光加工系统

三菱重工的 ABLASER-DUV 深紫外 (DUV) 激光系统，使用短脉冲 DUV 激光器，提供更小的焦斑直径 (10 μm)，同时保持长焦深，可用于高精度微加工和钻孔应用。

其主要特性包括短脉冲振荡器用于激光的快速激发，使用与公司其他 ABLASER 产品相同的光学头，以及高精度透镜和棱镜，用于随意折射和旋转激光束。由于 DUV 激光器的光子能量大，它能加工之前难以处理的诸如玻璃、化合物半导体等材料。



三菱重工，www.mhi-machinetool.com/en

Advertiser	广告商名称	网址	页码
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	BC
A & P Instrument Co., Ltd.	科艺仪器有限公司	www.anp.com.hk	29
北京凯普林光电		www.bwt-bj.com	11
Castech Inc.	福建福晶科技股份有限公司	www.castech.com	27
Edmund Optics China		www.edmundoptics.cn/017-8613	9
Laser Fair	中国(深圳)激光智能制造博览会	www.laserfair.cn	IFC
LASER World of PHOTONICS CHINA	慕尼黑上海光博会	www.world-of-photonics-china.com.cn	IBC
Pinnacle Scientific (China) Corporation	顶尖科仪(中国)股份有限公司	www.psci.cn	33
华光光电		www.hggd.cn	18

文章投稿指南

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

具体要求

- 1、最好配两幅以上相关图表。
- 2、应在预定发表日期之前一个月投到编辑部。
- 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。

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

发布新产品投稿指南

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

行政及销售人员 Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

HK Office (香港办公室)

ACT International (雅时国际商讯)
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)
hatterya@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

SOLUTIONS IN LIGHT



为制造行业提供最佳激光加工解决方案
切割 | 焊接 | 打标 | 修复 | 钻孔 | 微调 | 其他

扫码预登记，
即可得“预登记好礼”一份！

扫码即获胸卡



2017年3月14-16日
上海新国际博览中心N1、N2、N3、N4馆
中国光电行业完美展示平台

慕尼黑上海光博会

LASER World of PHOTONICS CHINA

联系我们：

展会邮箱：laser@mm-sh.com

上海电话：+86-21-2020 5500

www.world-of-photonics-china.com.cn



Aerotech全新的Nmark和AGV-HPO 扫描振镜电机

精准·稳定·灵活·可细分·经济



高精度
1微米精度

高稳定性
兼顾长时间工性能

配置灵活
10到30mm孔,
兼容不同波段
激光波长

易于集成
无布线干扰
激光束运动

经济实惠
开放式框架
设计降低成本

请马上联系我们激光加工和微机械机加工组讨论您的应用。

Ph: +86 (21) 6126 1058 • Email: sales@aerotech.com • www.aerotech.com

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



*Dedicated to the
Science of Motion*