光学和光电子产业的主导刊物 www.laserfocusworld.com.cn 2018年1/2月 第1期
ISSN: 1817-6917

激光世界

LaserFocusWorld® China



年度激光器市场回顾与预测
激光器应用促进新的激光器市场需求 6

高功率光纤激光器用于多层极耳与极柱的焊接 18

利用皮秒激光脉冲串提高硅晶圆材料的去除率和加工质量 20

纳秒脉冲光纤激光器在异质金属材料焊接中的应用 22

微信公众号

ACT PennWell®



您的技术信息平台

一系列产品－包括国际专业技术杂志的中文版、网上出版物、会议、培训和活动

www.actintl.com.hk

雅时国际商讯（ACT International）成立于1998年，为高速增长的中国市场中广大高技术行业服务。ACT通过它的一系列产品－包括杂志和网上出版物、培训、会议和活动－为跨国公司及中国企业架设了拓展中国市场的桥梁。 ACT国际的产品包括多种技术杂志和相关的网站，以及各种会议，服务于半导体制造、化合物半导体、电子制造、污染控制、激光/ 光电子、射频/ 微波、光伏/ 太阳能、光通信、LED 技术等领域的约十多万专业读者。ACT 亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。ACT总部在香港，在北京、上海、深圳和武汉设有联络处。

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

SS OTC　VisionCon 视觉系统设计技术会议　EDICON Electronic Design Innovation Conference 电子设计创新大会　LaserFocusCon 激光聚会　CleanRooms China





6 封面故事

年度激光器市场回顾与预测：

激光器应用促进新的激光器市场需求

消费类电子产品——尤其是智能手机和用于自动驾驶汽车的激光雷达，正在将激光器制造商和激光材料加工设备供应商的业绩增长推向新高，同时也促使市场对激光器产品有了更多需求。

18 应用天地



激光焊接

高功率光纤激光器用于多层极耳与极柱的焊接

采用IPG YLS-4000光纤激光器的焊接系统，能够实现平滑的焊缝，完全能够胜任多层铜镀镍极耳和多层铝极耳的焊接。

20 超快加工



利用皮秒激光脉冲串提高硅晶圆材料的去除率和加工质量

文中通过实验清晰地展示了IceFyre激光器能大幅提高硅材料的去除率，同时加工质量也获得了大幅提升。

22 激光焊接

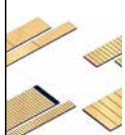


纳秒脉冲光纤激光器在异质金属材料焊接中的应用

SPI Lasers的纳秒焊接工艺提供了一种差异化金属材料焊接机制，目前已经证明这种焊接工艺足以胜任焊接各种异质金属。

技术中心

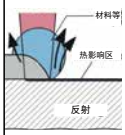
25 高功率激光二极管



泵浦激光二极管为尖端应用提供高功率

激光二极管凭借高效、窄带宽、亮度高、使用寿命长等特点，成为理想的激光泵浦源，可产生极高的光功率。

27 激光清洗



高效精细化激光清洗技术

激光清洗技术凭借环保、无接触、无损清洗等优势，广泛应用于PCB、文物、精密器件的清洗中。未来，配备过程监测功能的自动化清洗设备，将会在精细清洗领域得到广泛应用。

29 3D激光打印



增材制造工艺及其适用的材料

本文重点介绍了使用激光技术的几种增材制造方法，以及常见的增材制造材料和它们的特征。

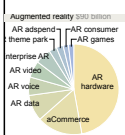
31 激光安全



展会上的激光演示安全问题

在激光展会现场，通常会有很多激光产品和技术的演示环节。如何保证所有演示都完全符合激光安全的设计要求、消除安全隐患呢？

32 商业论坛



新兴AR/VR市场为光学厂商带来新机会

当下炙手可热的AR和VR应用，能否为光学和光电子公司提供一个新的市场增长阵地呢？

3 编者的话
4 前沿简讯
34 产品撷英
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



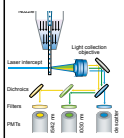
6 COVER STORY

Annual Laser Market Review & Forecast

Lasers enabling lasers

Consumer electronics—notably smartphones and autonomous vehicle lidar—are driving growth to new heights for laser manufacturers and laser materials processing equipment providers and, in turn, enabling markets that need yet more lasers.

18 APPLICATIONS



Laser Welding

High-power fiber lasers for multi-layer tab and pole welding

The welding system with the IPG YLS-4000 fiber laser enables smooth welds and is fully capable of welding multi-layer copper-nickel-coated tabs and multi-layer aluminum tabs.



20 Ultra-fast Processing

Using picosecond laser pulse train to improve silicon wafer material removal rate and processing quality

The experiment clearly shows that IceFyre laser can significantly improve the removal rate of silicon materials, while processing quality has also been greatly improved.

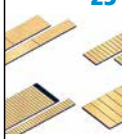


22 Laser Welding

Pulsed nanosecond fiber lasers can join dissimilar materials

SPI Lasers' nanosecond welding process has provided a differentiated mechanism that has to date proven itself to be extremely capable in joining a wide variety of dissimilar metals.

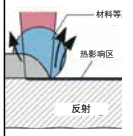
TECHNOLOGIES CENTER



25 High-power Laser Diodes

Pump laser diodes deliver high power for leading-edge applications

Laser diodes are efficient, narrowband, bright, and have a long life, making them the ideal laser-pump source, and can be made to produce extremely high optical powers.



27 Laser Cleaning

Efficient and refined laser cleaning technologies

Laser cleaning technologies have advantages such as environmental friendly, non-contact, non-destructive and have been widely used in the cleaning of PCB, artifacts and precision devices. Automated cleaning equipment equipped with process monitoring will find wide applications in future.



29 3D Laser Printing

Selecting and using materials for additive manufacturing processes

This article introduces several additive manufacturing methods that use laser technology, as well as common additive manufacturing materials and their features.

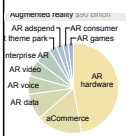
31 LASER SAFETY



Laser demonstration safety issues at the show

At the laser show, there are usually a lot of demonstrations about laser products and technologies. How to ensure that all demonstrations are fully in line with the design requirements of laser safety and eliminate security risks?

32 BUSINESS FORUM



Diving into emerging AR/VR markets -- opportunities for optics

Does augmented reality (AR) or virtual reality (VR) offer some optics and photonics companies a stronghold?

3 EDITOR'S NOTES
4 LEADING EDGE SNAPSHOTS
34 PRODUCTS HIGHLIGHTS
36 AD INDEX

About Laser Focus World China

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

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

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

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
© 2018 版权所有 翻印必究

挥别丰收的 2017 迎接 2018

由激光行业市场研究公司 Strategies Unlimited 提供的全球激光器市场年度回顾与预测报告再次出炉，2017 年，全球激光器总的市场销售额预计为 124.3 亿美元，比 2016 年大幅增长 18%，这是全球激光器市场自 2011 年以来经历的首次大丰收。

消费类电子产品是激光市场增长背后的主要推手。最近几年，想必自动驾驶、无人机对我们都已经不再是陌生的概念，各类这方面的新闻可谓铺天盖地，很多汽车厂商开始自动驾驶项目，无人机更是吸引了众多商业和资本的目光。这两大类应用，催生了巨大的激光雷达新市场。

接下来是智能手机对激光器市场的贡献。生产几乎任何一部智能手机都会涉及十几道甚至更多激光工艺，包括玻璃切割、零件雕刻和电路板钻孔等。另外，随着以苹果 iPhone X 为代表的智能手机开始采用 OLED 显示屏，用于制造 OLED 显示屏的准分子激光器迎来了市场大爆发，相干公司表示 2017 年其准分子激光器业务增长尤其突出。此外，越来越多的智能手机中包含 3D 传感、人脸识别等功能，这些应用都是激光器的潜在巨大市场。

从行业细分市场来看，材料加工和通信这两大应用，大约各自占据着 1/3 的市场份额。当然工业用激光器的市场份额在逐年增长，光纤激光器依然是这个领域的主要力量，稳稳地占据着近半壁江山；半导体激光器也开始在直接应用领域发力；准分子激光器正搭载着 OLED 显示屏这辆快车走在快速发展的康庄大道上。

激光美容也是一个增长强劲的市场，目前市场主要在美国和欧洲，但不容忽视的两大新生市场是中国和印度。美容是一个与经济条件密切挂钩的市场，随着经济环境转好，未来中国和印度这两块市场蛋糕会越来越大。

各种灯光表演秀、数字影院以及各种投影设备，为激光器打开了又一个市场。这两年用于显示应用的激光器市场销售额逐年增长，其中数字影院贡献很大，特别是中国市场，目前中国的影院数量已经超过了美国，并且中国拥有大量的电影消费观众。

回顾过丰收的 2017 年后，再来看看 2018 年甚至以后，还会有哪些新应用继续推动市场向前发展。

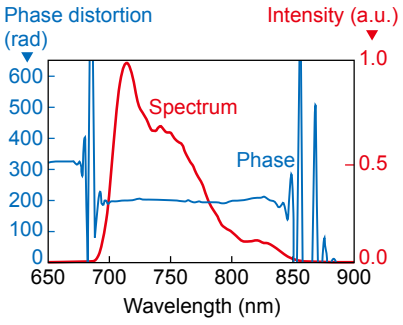
随着航空业对增材制造方式的认可，激光增材制造将迎来更多的实际应用，2018 年及以后，激光增材制造市场会更加活跃。另一个开始悄然兴起的市场是激光清洗，其已经在半导体晶圆片清洗、电路板清洗、液晶显示器清洗等领域发挥重要作用。增强现实 / 虚拟现实（AR/VR）也是一项值得关注的新应用，未来五年 AR/VR 方面的支出会激增，这对于光子晶体、光电子学和衍射光学而言无疑是一个利好消息，同时也能促进更多的激光加工设备和激光器需求。❑

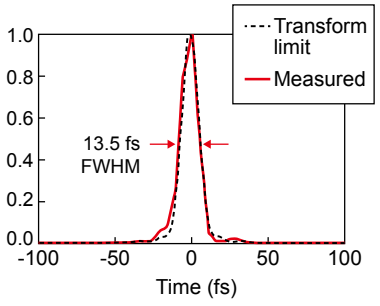
本刊编辑部

前沿简讯 Leading Edge Snapshots

直接二极管泵浦的钛蓝宝石超快激光器

经过多年的发展，KMLabs 公司终于推出了第一款商用的、使用蓝光激光二极管直接泵浦的钛蓝宝石（Ti:sapphire）超快激光振荡器。一直以来，Ti:sapphire 激光器都是用 Nd：YAG 激光器倍频后得到的 532nm（绿色）光进行泵浦，或者是最近用体积更紧凑的钒酸盐激光器倍频后泵浦。如果能够用二极管激光器直接泵浦，那么将会大大降低 Ti:sapphire 激光振荡系统的成本。事实上，KMLabs 已经发现，现在可以使用价格更便宜的 4W 蓝光激光二极管直接泵浦 Ti:sapphire 激光器。





据 KMLabs 公司介绍，采用二极管直接泵浦的新型 Ti:sapphire 激光器——Stryde Blue，是一款“基于单一牢固光机械平台的完全工程化的集成商用光源，并且其不需要使用昂贵的倍频钒酸盐激光器作为泵浦源”。

KMLabs 公司表示，Stryde Blue 由单个集成的激光二极管泵浦，其主要特征如下：能产生低于 15fs 的脉冲，光束质量（M^2）通常优于 1.2；平均功率为 150mW，重复频率为 78MHz 时，脉冲能量可达 2nJ；在超过 500 小时的时间内，表现出了优于 0.5%（RMS）的长期稳定性；其中心波长和光谱带宽可以通过计算机控制的方式进行调节；非常适用于独立实验、作为超快激光放大器的种子源，或是教学实验室。主要应用包括放大器种子源、材料研究、飞秒化学、光谱学、太赫兹产生、超快成像、双光子聚合和泵浦探针实验。❑

参考文献：https://goo.gl/vYXdV3。

苹果 iPhone X 有望引爆红外激光发射器市场

据麦姆斯咨询报道，自从苹果发布 iPhone X 以来，其最大的亮点 3D 传感功能已经引领了诸多智能手机厂商对 3D 传感嵌入式设备的追捧。根据 TrendForce 的 LEDinside 部门的报告数据显示，2017 年用于智能手机 3D 传感应用的红外激光发射器市场将达到 2.46 亿美元，到 2020 年将增长至 19.53 亿美元左右。

LEDinside 研究经理 Joanne Wu 评论道：“红外激光发射器包括三个主要元器件：垂直腔面发射激光器（VCSEL）或边缘发射激光器（EEL）、晶圆级光学器件（WLO）和衍射光学元件（DOE）。目前红外激光发射器的成本约为 3.5 ～ 6 美元，但随着技术进步和供应链战略的改善，成本会降低，从而推动市场需求增长。”

目前用于智能手机 3D 传感的解决方案包括结构光法和飞行时间（ToF）法。iPhone X 使用结构化光源，其点阵投影器在人脸上投射超过 30000 个红外光的光点。红外摄像头再接收从脸部反射回来的红外光线，以创建 3D 面部模型。

麦姆斯咨询认为，对于 3D 传感供应链来讲，算法、发射器模式和专利将成为未来 3D 传感发展的三项关键要素。

VCSEL / EEL 晶圆和芯片代工厂（如 IQE、全新光电、稳懋、II-VI、晶元光电、华立捷、宏捷科）都在扩大产能。主要的 VCSEL / EEL 封装厂商包括 Lumentum、菲尼萨（Finisar）、Princeton Optronics、NeoPhotonics、Philips Photonics 和欧司朗（OSRAM）。

除苹果以外，三星和华硕，小米、联想、华为和 OPPO 等中国智能手机供应商都有推出具有 3D 传感应用智能手机的计划。❑

OCT 技术在远程激光焊接中的应用研究

德国智能激光焊接解决方案厂商 Blackbird Robotersysteme、慕尼黑工业大学机床与工业管理研究所（iwb）、宝马公司和 OCT 传感器制造商 Precitec 等多家合作伙伴，正在探索光学相干层析（OCT）成像技术在汽车制造远程激光焊接中的应用潜力。

未来的生产系统和连接技术需要具备灵活的自适应工作能力，并提供连通性。为了使效率和自主性最大化，机器需要了解周围环境和待加工物体的更多信息。这正是非接触方法（如 OCT）与光子传感器结合在一起，在检测方向和状态、评估加工结果以及在制造过程中共享和记录这些信息方面提供巨大潜力的地方。

该项目采用 Blackbird 公司的扫描解决方案，其中包括来自 SCANLAB 公司的 intelliWELD PR 扫描头、ScanControlUnit 和 OCT 扫描仪。



集成的 OCT 技术使用基于干涉测量的单点高速测距。成像依赖于超快速工件扫描，这是通过一台同轴耦合到焊接扫描头中的专用 OCT 扫描仪实现的。因此，这种焊接方案提供了集成的边缘跟踪和焊缝测量。

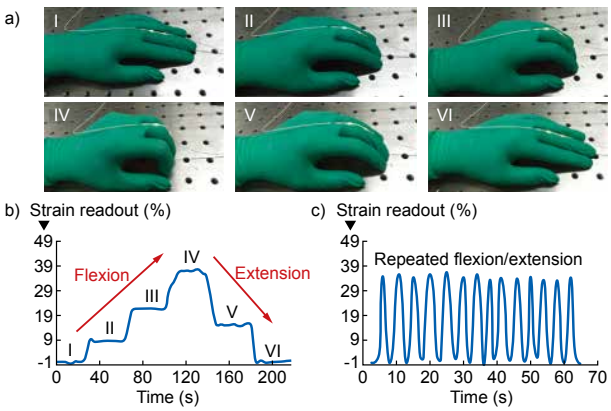
不同于其他测量方法，基于 OCT 的距离测量可以在实际激光加工区域之前、之内和之后，灵活地获取和评估详细的数据。这包括对待焊接部件的单独分析、焊缝跟踪，以及对焊接过程中潜在焊接缺陷的精确检测和参数化。这些数据可用于评估焊缝质量、检测并记录缺陷，如宽度不足、穿透、焊接孔隙和定位错误等。这些数据可用于质量保证过程中，从而减免了后续的质量保证步骤。

Blackbird Robotersysteme 公司首席技术官 Ulrich Munzert 博士表示，“可以想象，未来 OCT 技术的应用将有望超越汽车领域，拓展出其他更多的应用可能性。鉴于汽车行业的严苛要求，目前这个研究项目能使我们积累关于简化制造方法和流程的实践经验。”❑

弹性 PDMS 光纤实现更好的生物传感器

最近有外媒报道了柔性和可拉伸的水凝胶光纤的进展情况，当注入染料并作为波长函数进行监测时，这种光纤可以提供应力信息，这使得它们可以在各种广泛的应用中作为生物传感器使用。现在，清华大学的研究人员也开发出了一种类似的生物传感器，其使用的是聚二甲基硅氧烷（PDMS）染料掺杂光纤。清华大学开发的生物传感器也有着类似的工作方式，但是比采用水凝胶光纤的生物传感器具有更高的热稳定性和环境稳定性，因为水凝胶光纤会收缩并导致性能下降，除非它们被用于水相环境中。

在 450~850nm 的波长范围内，PDMS 光纤的测量应力精度 <1%，光损耗 <0.25dB/cm。对直径为 0.5mm、长度为 4cm 的 PDMS 光纤重复加载 500 次载荷，进行耐久性测试，测试结果显示光纤长度没有变化。事实上，随着光纤直径的减小，应力载荷提高到了最大轴向应力的 231%。为了演示手指运动的实时监测，将 PDMS 光纤连接到可佩戴的手套上，并准确记录对应于手指弯曲和伸展的应力，12 次循环后没有发现退化现象。该技术可用于可穿戴智能设备以及运动 / 功能性能监测和身体运动分析。❑



参考文献：J. Guo et al., Optica, 4, 10, 1285-1288 (2017)。

年度激光器市场回顾与预测

激光器应用促进新的激光器市场需求



消费类电子产品——尤其是智能手机和用于自动驾驶汽车的激光雷达，正在将激光器制造商和激光材料加工设备供应商的业绩增长推向新高，同时也促使市场对激光器产品有了更多需求。

文/Kathy Kincade，Allen Nogee，Gail Overton，
David Belforte，Conard Holton

2017 年全球激光市场增长的主要驱动力是消费电子设备和中国市场，技术方面的最大赢家是光纤激光器、光探测和测距（激光雷达）激光器和垂直腔面发射激光器（VCSEL）。这些趋势使得激光材料加工设备制造商和半导体制造设备供应商、以及许多向这些设备制造商提供激光器和光子器件的供应商，都实现了创纪录的利润增长。简言之，激光器在加速“半导体晶圆制造和需要更多激光器的消费电器制造方面”，正在发挥着关键作用。虽然行业整合仍在继续，大部分交易都旨在挑选关键的驱动性技术，但在经历了 2016 年行业并购的疯狂之后，2017 年行业并购的步伐有所放缓。

换句话说，2017 年对激光行业来说是丰收的一年，这应该不足为奇。我们调查统计的数据显示，预计 2017 年全球激光器收入比 2016 年增长 18.1%，增长的主要驱动力来自材料加工行业，该领域的激光器收入同比增长超过 26%，其中单是用于材料加工的光纤激光器收入，就实现了高达 34%的惊人增长。然而，我们确实也看到 2017 年市场的增长有些异常，预计 2018 年激光器的销售将恢复到温和增长态势，因为某些材料加工激光系统的资本设备支出会降温。

从 2017 年强劲的激光器销售数字来看，工业 4.0 和物联网已经不再仅仅是流行热词了。例如，由美国集成光子制造创新中心（American Institute for Manufacturing Integrated Photonics）于 2017 年 3 月发布的《集成光子系统路线图》预测，物联网应用将对该市场产生极大的影响。工业 4.0 的机遇正在不断涌现，2017 年，德国通快在美国芝加哥开设了智能工厂，重点是为钣金加工提供数字化生产解决方案；德国机床制造商协会（VDW）也推出了针对网络化生产的相关举措。

我们再来看看行业四大巨头——相干公司、大族激光、IPG Photonics 和德国通快 2017 的业绩情况：2017 年这四家公司的业绩表现都远远超出预期，年销售额均达到 10 亿美元以上，年度增长大幅飙升，相应的股价也跟着出现跳涨现象。

相干公司：如果说 2017 年对相干公司来说是标志性增长的一年，都有些过于低调保守。相干公司的财报显示，其 2017 财年第四季度的净销售额为 4.903 亿美元，净收入为 7380 万美元，相比于 2016 年同期 2.485 亿

关于数据来源

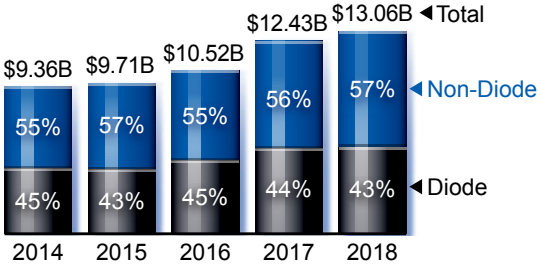
文中涉及的激光收入的估算和预测，均来自 PennWell 旗下激光市场研究公司 Strategies Unlimited 所做的市场供求分析；Strategies Unlimited 公司从事光电子领域的市场研究工作已有超过 30 多年的历史。研究考虑了季度和长期的发展趋势，并不断对结果进行比较和调整，纠正已知的误差。每年在 SPIE Photonics West 展会期间举办的“激光与光子市场研讨会”（www.marketplaceseminar.com）上和每年的《全球激光器市场回顾与预测》报告中，会提供更多信息。欲了解更多内容，可登录 http://www.strategies-u.com。

美元的净销售额和 3080 万美元的净收入，几乎都翻了一番。2017 财年，相干公司的净销售额为 17 亿美元，基本是 2016 财年 8.57 亿美元的两倍；净收入从 2016 财年的 8800 万美元，大幅增长到了 2.09 亿美元。

相干公司首席执行官 John Ambroseo 将这些可喜可贺的财报数字归功于：(1) 来自微电子行业的订单，特别是 OLED(有机发光二极管) 部署和服务的持续强劲增长以及先进封装的适度反弹；(2) 从罗芬收购的材料加工订单和自然增长；(3) 来自诊断和治疗领域 OEM 仪器销售的强劲增长；以及 (4) 航空航天和国防市场的增长。

大族激光：大族激光的财报显示，2016 年上半年公司销售额达 31 亿元（4.52 亿美元），同比增长 22.7%，预计 2017 年的销售额将达到 10 亿美元大关。大族激光增长背后的驱动力，包括收购加拿大光纤供应商 CorActive HighTech，这项收购进一步巩固了大族激光在光纤激光器技术领域的专业知识。

全球激光器总收入和2018年预测



Source: Strategies Unlimited

根据市场研究机构 Research in China 2017 年 3 月发布的报告，在 2016 年全球工业激光器市场销售额（估计为 31.6 亿美元）中，中国厂商占据的份额超过 17%。该报告预测这一比例会继续增长，预计在未来五年内，该数字将超过 20%。

IPG Photonics：IPG 公司 2017 年第三季度的营收为 3.926 亿美元，同比大幅飙升 48%；2017 年前 9 个月的营收超过 10 亿美元，比 2016 年同期的 7.26 亿美元实现了可喜的增长。市场增长的驱动力主要来自材料加工领域，2017 年 IPG 在材料加工市场的销售额比 2016 年激增了 52%，主要应用市场来自切割、焊接和 3D 打印。根据 2017 年第三季度的业绩，IPG 公司首席执行官 Valentin

FISBA Innovators in Photonics

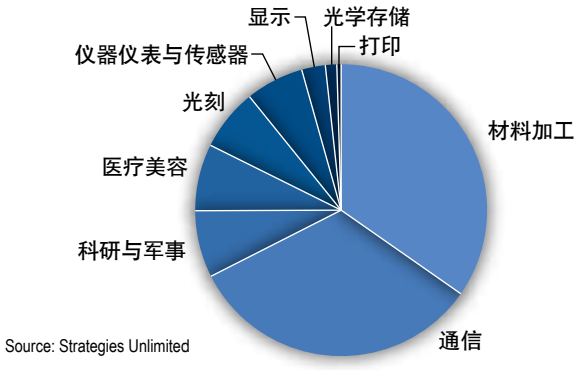
用于二极管激光器
精密准直和整形的
微光学器件

欢迎访问我们在美国西部光电展 Photonics West 的展台(编号1825)。

www.fisba.com

定制设计、原型开发和大批量生产，
确保产品能够快速上市。

2017激光器应用市场分布—激光器总销售额123亿美元



Gapontsev 表示，预计 2017 年 IPG 的营收将增长 37%-39%，这是 IPG 六年来实现的最强劲的年度营收增长。与此同时，IPG 的股价在 2017 年 1 月至 11 月间翻了一番还多、从每股 92 美元上涨到每股 200 多美元，也就不足为奇了。

德国通快：德国通快集团在 2016/2017 财年也实现了显著的业绩增长，税前利润增长 11.3%，接近 3.98 亿美元，销售额增长 10.8%，达到创纪录的 36 亿美元。德国通快将销售业绩的好转归功于全球经济环境的走强，指出“目前全球范围内的政治发展对欧洲、亚洲和美洲的业务影响甚微”。然而，德国通快首席执行官 Nicola Leibinger-Kammüller 女士仍然在 2017 年 10 月 19 日的财务公告中谨慎地表示：“全球经济的强健发展已经超越了潜在的投资障碍，如保护主义措施、中国传播信息的方式以及英国脱欧。但是我们仍然看到，中期内在投资环境上会有一些不明朗。”

消费需求

2017 年激光器市场的大部分增长，可以归功于“消费设备和制造这些设备”对激光器和光学器件使用的增长。例如，生产一部 iPhone 或几乎任何一部智能手机，都会涉及十几个甚至更多的激光工艺，包括玻璃切割、零件雕刻和电路板钻孔等。

iPhone X 是第一款采用 OLED 显示屏的 iPhone 手机（但不是采用 OLED 屏的第一款智能手机），这使得相干公司迫切希望未来该领域会有“前所未有的市场需求”，因为相干 公司是“用于制造 OLED 显示屏”的准分子激光器的主要供应商。OLED 协会预测，采用 OLED 显示屏的智能手机的普及率，将从 2016 年的 20.5%上升到 2017 年的 25.3%；2016 年采用 OLED 显示屏的智能手机约有 3.08 亿部，2017 年这个数字将增加到 4.1 亿部。

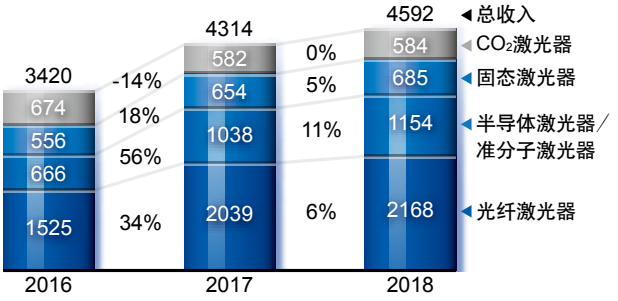
此外，包括 iPhone 8 在内的许多智能手机，都包含用于 3D 传感和测距应用的 VCSEL，这已经成为激光器销售增长的一个主要驱动力。事实上，VCSEL 还被广泛应用于除了智能手机以外的许多领域，如数据通信、电脑鼠标和汽车激光雷达系统，智能手机只是代表了 VCSEL 迎来的一个巨大的市场新机遇。

“可以肯定的是，2017 年是 VCSEL 爆发的一年，爆发的主要驱动力来自消费类应用。”LightWave Advisors 公司总裁 John Dexheimer 表示，“ VCSEL 是苹果、三星和所有智能手机制造商实现 3D 成像系统的核心器件。”据悉，飞利浦光子公司（Philips Photonics）在 2017 年底完成了一个 2700 万美元的项目来扩大 VCSEL 产能，此举也显示了 VCSEL 市场正在起飞。

iPhone 8 中另一个值得注意的特征是广为流传的人脸识别功能，这对于手机深度传感市场来说是个福音，而手机深度传感是包含 VCSEL 的又一项应用。

预计到 2022 年，来自 3D 相机模块的收入将达到 60 亿美元，来自镜头和照明元件的收入将分别达到 18

各类工业激光器收入 (US$M)

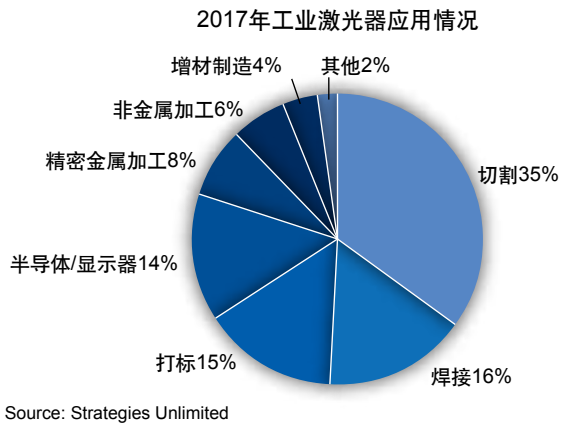


Source: Strategies Unlimited

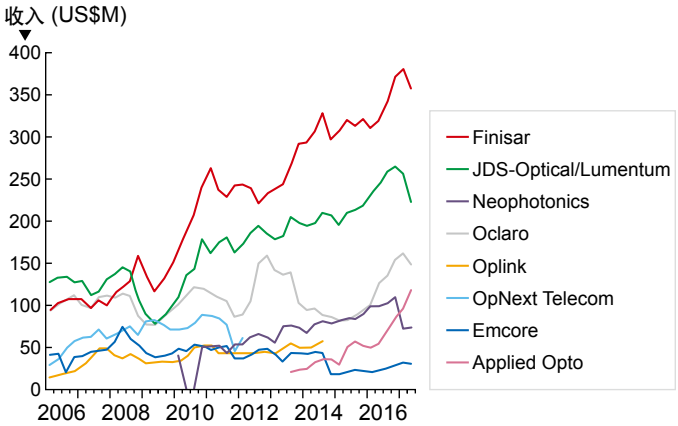
亿美元和 4 亿美元。为 iPhone 供应 VCSEL 器件的厂商 Lumentum 在 2017 年 11 月公布，其 2017 年第一季度的营收为 2.43 亿美元，该业绩背后的主要驱动力是 3D 传感业务的强劲增长。随着苹果公司新的 iPhone X 和面部识别功能（均以 VCSEL 阵列投影仪为基础）的推出，奥地利 ams 公司最近也公布了大规模扩产 VCSEL 器件的计划，该公司在 2017 年早些时候收购了 Princeton Optronics 公司。

激光无处不在

虽然上述给出的数字已经令人印象深刻，但是它们代表的仅仅是激光器在消费领域应用的冰山一角。激光器在



Source: Strategies Unlimited



人们日常生活中的使用越来越普遍，只是人们可能还没有意识到这一点。从人们的日常通信、所购产品的设计，到汽车、居家生活、医疗保健、杂货店、高尔夫球场，甚至是苹果园……激光器几乎无处不在，只是在大多情况下，人们并不知道它们的存在而已。

除了 VCSEL 之外，激光器在消费领域的另一个新兴领跑应用是激光雷达，预计在未来五年内，激光器在激光雷达市场的规模将会翻一番，这主要得益于一个新兴应用：自动驾驶汽车。多年来，激光雷达一直用于测距仪、航空测绘、物体和空间的三维扫描以及气溶胶速度监测。激光雷达初创公司 Luminar 的首席执行官 Austin Russell 表示，自动车辆驾驶有望将激光雷达这个数十亿美元的市场变成数万亿美元的市场；自动驾驶车辆中使用的激光雷达传感器，将在所有激光雷达应用中占据绝大部分市场

LUMENTUM

超快异型材料加工
——降低系统设计成本!!



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

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

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

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

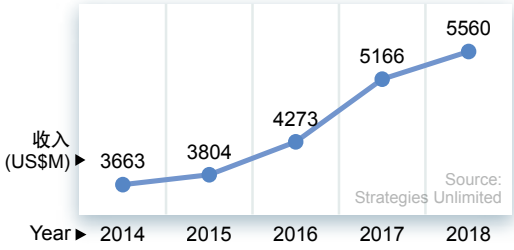
提高先进制造的效益

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

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、微加工和光栅制造）的激光器。也包括用于光刻的激光器。

虽然 2017 年世界上很多地方政治问题继续恶化，朝鲜曾威胁说要发射核导弹，但用于材料加工的激光器的销售并未受到政治环境的影响。事实上，从 2016 年夏天到 2017 年第三季度，激光器在材料加工市场的收入增长非常显著。



从地域上看，中国依然是最强劲的市场，但是欧洲和其他亚洲国家在激光材料加工方面也是表现不俗。虽然北美市场确实不如其他几个市场增长强劲，但也足以让人感到欣慰。日本是 2017 年唯一一个激光器市场萎缩的国家。

更高功率的光纤激光器是驱动材料加工市场增长的一大核心推动力。2017 年用于光刻的准分子激光器增长相当强劲；用于生产平板显示屏的激光器收入创下历史新高，但用于制造 OLED 显示屏的激光器依然不能满足市场需求，导致用于 iPhone X 的 OLED 显示屏出现短缺。2017 年，增材制造市场开始缓慢启动，2017 年中期，一系列大订单弥补了前期的缓慢增长。

份额。

激光雷达市场的竞争正在日益激烈，并购涌起，福特的 AI 部门收购 Princeton Lightwave 公司、通用汽车收购激光雷达制造商 Strobe 公司，当然并购绝不只这两起。Luminar 公司表示，其专门为自动驾驶汽车设计并生产的单激光器（1550nm）、单接收器（InGaAs）激光雷达传感器，将有望改变激光雷达市场的游戏规则。Luminar 公司正在参与包括丰田研究院在内的四个自动驾驶车辆开发项目，并且正在利用其最初为电信用激光器开发的晶圆厂基础设施，以便更快地扩大激光雷达传感器的产能。2017 年底，Luminar 开始在其位于佛罗里达州奥兰多的 70,000 平方英尺工厂中量产 10,000 个激光雷达传感器，相比于传统的激光雷达传感器生产，数量空前。

展望未来，另外两个值得关注的新兴应用领域是：量子技术和增强现实 / 虚拟现实（AR/VR）应用。在量子领域，2017 年宣布了两项关键举措：(1) 由德国 Toptica Photonics 公司主导的 QUTEGA 光学单离子钟项目，该项目中激光器被视为冷却原子钟的一个更好选择；(2) 英国政府投资 2.5 亿美元将量子物理学研究转化为商业产品，重点放在用于改进 GPS 通信的芯片级原子钟、量子传感器、量子通信和量子计算领域。

市场研究公司 IDC 预测，AR/VR 市场将有望从未来几年的大量投资中受益，预计 AR/VR 方面的总支出，将会从 2017 年的 114 亿美元增长到 2021 年的超过 2000 亿美元。这不仅对于光子晶体、光电子学和衍射光学具有重要的发展意义，而且也可以促进这些产品使用激光材料加工设备，并促使将更多的激光器集成到用于眼球追踪和投影应用的 AR/VR 设备（headset）中——激光器促使了更多的激光器市场需求。

激光器细分市场

在我们多年的年度激光器市场报告中，第一次，纯粹的工业激光器销售额（不包括光刻激光器）超过了通信和光存储激光器的销售额。电信市场随着带宽需求的增长而增长，2017 年末该市场经历了短期收入下滑，预计这一趋势不会在 2018 年重现。其他所有的激光器细分市场都获得了增长，特别是用于医疗美容和新兴手术应用的激光器。

（一）材料加工和光刻市场

尽管 2017 年在政治、文化和社会新闻方面不断有轰动性事件出现，但从经济层面看，2017 年是经济健康增长的一年。2017 年全球主要经济体的增长率均超过预期，2018 年这一趋势有望继续保持。正如《彭博商业周刊》中所说：“世界经济将在 2018 年再次好转，健康增长。”

2017 年工业激光器经历了高增长的一年，其中高功率光纤激光器的销售额实现了两位数的强劲增长，激光加工显示屏促进了准分子激光器收入的激增，此外超快脉冲激光器的销售额也显著增长。2017 年，CO_2 激光器的销售额下降了 14%，固态激光器（碟片激光器）的销售额增长了 18%。“其他”类别中的高功率直接半导体激光器和准分子激光器的销售额增长了 56%，准分子激光器因为在智能手机制造中的应用，在短期内保持了强劲增长。

从应用层面来看，工业激光器的收入在汽车、航空航天、能源、电子和通讯市场均保持了继续增长。打标

应用占据了所有激光器收入的15%左右，其中增长部分主要由光纤激光器主导。微加工应用（包括使用功率<500W的所有应用，包括使用准分子激光器的显示应用）市场增长了56%，这使得微观应用在整个工业激光器市场中的份额上升到了32%。在宏观应用中，切割依然是最主要的应用，贡献了该细分领域66%的市场份额。2017年，切割市场增长了29%，但预计2018年的增长幅度将不会再有这么高。

在微观应用领域，2017年增材制造应用（更具体地说是用于金属沉积和原型制造的激光增材制造LAM）增长了30%，这主要得益于航空发动机行业对激光增材制造方式的认可和接受。航空发动机行业主要使用中高功率CO_2激光器和光纤激光器。

经济预测显示，2018年制造业的发展将与2017年类似，呈缓慢增长态势，尤其是东亚、南美和东欧地区。因为在过去的两年中大功率光纤激光器和准分子激光器收入稳稳的急剧增长，预计2018年工业激光器收入将实现7%的增长。随着单位价格的继续下滑，预计打标激光器的收入将出现下滑。由于精密加工和非金属加工的重要性与日俱增，微观应用激光器的收入将增长9%。高功率直接半导体激光器和准分子激光器的收入将促使“其他类别”激光器的收入增长11%。

（二）通信和光存储市场

自2006年以来，全球最大的光通信公司的收入都出现了令人钦佩的增长曲线。在2014-2016这两年间，不少公司都取得了创纪录的业绩增长。Finisar公司在截至2017年4月的财政年度中，创下了14.5亿美元的收入记录，比上一财年增长了14.7%；Oclaro公司截至2017年7月1日的财政年度，收入增长了47%，达到了6.01亿美元；Lumentum公司截至2017年7月1日的财年，收入增长了11%，达到创纪录的10亿美元。

2017年下半年，市场发生了什么变化？来自市场研究公司IHS Markit的报告显示，2017年第三季度全球光器件市场环比下滑15%，因为“亚太地区市场的温和增长，不足以抵消欧洲、中东和非洲地区（EMEA）、北美和拉丁美洲市场的下跌”。虽然

光学引领未来



2017 年第三季度和第四季度的财务数据下滑趋势明显，但我们希望看过主要电信激光器供应商的前景报告后，这种趋势将不复存在。

尽管收入创下了历史新高，但 Finisar 公司在 2017 年 6 月公布，其 100G 收发器产品实现的同比 30%的增长（正如 IHS Markit 预测的那样，2016 年是 100G 技术的突破年），尚不足以抵消其中国 OEM 客户电信采购量的下降，这使得其截至 2017 年 4 月份的一个季度的营收环比下降 6.1%。在接下来的截至 2017 年 7 月 30 日的一个季度，Finisar 的收入仅下降了 4.4%，市场正在回到增长通道；Finisar 公司首席执行官 Jerry Rawls 在 2018 财年第一季度的财报中表示：“我们预计该财年的下半年将实现收入增长。这一增长背后的驱动力主要来自两方面，一是用于超级数据中心的 100G QSFP28 收发器的销售，另一方面是用于 3D 传感的高功率 VCSEL 阵列的销售。”

在我们的预测中，用于 3D 传感的 VCSEL 包含在仪器仪表和传感器部分，而并未包含在通信和数据存储部分。通信和数据存储部分包含的是用于数据通信（850nm）收发器的 VCSEL。

如同 Finisar 公司一样，Oclaro 公司业绩增长的驱动力也来自 100G 收发器；此外我们也注意到，Oclaro 第四财季的收入较上一季度出现了下滑，这主要是因为“中国市场的需求放缓。”但截至 2017 年 9 月 30 日的一个季度，因为 100G 收发器收入走强，Oclaro 该季度的收入较上一季度增长了 4%；其中 100G 收发器的收入占总收入的 81%。与 Finisar 公司的预测不谋而合，Oclaro 也预计“2018 年下半年将重新实现收入增长，增长的驱动力主要是 100G 及相关产品”。

最后，更多的证据表明，近期光通信硬件市场的衰退是暂时的。Lumentum 公司首席执行官 Alan Lowe 在其 2018 年第一季度财报中表示：“中国库存水平的减少已经持续了几个季度。随着库存下降到目标水平，随即将会有需求增加。”

InLC Technology 公司总经理 Clarel Thevenot 表示：“高速光网络硬件市场是一个周期性的市场，高速光网络硬件包括 DBR 激光器、调制器和相干器件，包含今天的大多数 100G 收发器产品。”InLC Technology 公司为可配置光分插复用器（ROADM）提供波长选择开关（WSS），而 ROADM 对于 100G 及更高级的网络至关重要。“电信服务提供商首先部署光纤、放大器、一些 WSS 和仅仅几个收发器来开始大型基础设施项目。随着更多的通道需要增加带宽，直到所部署的系统能达到最大容量，因此他们还需要更多的收发器。”Thevenot 表示在与全球电信服务提供商的交谈中，他了解到，电信系统容量的加速周期，正在从原来的 3-4 年缩短到两年，甚至更短。种种迹象都表明，电信市场在经历短暂的放缓之后，将会重返增长通道。

这也让我们乐观地相信，中国市场将在 2018 年中期及以后，恢复对通信激光器的更健康的购买需求。2018 年，中国移动将继续推进 5G 移动技术及其相关的光纤和激光骨干基础设施，并将从 2019 年起会有“较大的资本支出”。我们都熟悉工业 4.0，但是在泰国曼谷举行的“2018 亚洲电信世界”（TelecomsWorld Asia 2018）活动上，两天的时间都致力于探讨电信 4.0，主题演讲和小组讨论的主题包括“正在到来的新技术——AI、VR/AR 和 5G 技术”、“评估物联网时代的影响”、“连接下一个十亿用户”和“数字时代的网络安全”。

用于量子通信的激光器收入，也将会促进 2018 年及以后通信激光器收入的增长。量子通信能够直接解决

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。

通信激光器的收入呈现出一定的周期性，在经历了 2016 年底的高峰点之后，2017 年的收入走出下行趋势。这种周期性也很容易理解。无论是数据通信、电信还是有线通信或无线通信，全球新一代技术的大规模部署都是连锁发生的。但是，无线通信的升级，也对有线骨干网络（涉及光纤和激光器）提出了新需求。目前升级到 4G 的大潮正在平息，预计到 2019 年，全球将开始推出最新的 5G 无线通信技术。



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

市场对“网络安全”的急剧需求。但是这次使用的激光器不是 DBR、分布式反馈激光器（DFB）、外腔激光器和 VCSEL，而大部分是单光子源，当然其他类型的量子发射器正在开发之中。

2017 年 9 月，中国在济南建立了第一个商用的私有量子通信网络，供 200 多名政府官员使用。中国在量子技术领域的进步以及欧盟投资超过 10 亿美元的“量子技术旗舰”计划，将使量子计算成为现实，这对通信激光器收入的持续增长给出了承诺。

（三）科研和军事市场

尽管 2017 年激光器从科学研发和军事国防领域都拿到了很不错的销售业绩，但这个细分市场的可持续性如何，谁都很难说，尤其是美国的一些科学应用。特朗普政府为研发预算设定了优先级别，最首要的几个领域分别是军事、安全、繁荣、能源和健康。军事和安全领域开支的增加，对激光器行业来讲是个好消息，但是激光器在该细分市场中的其他几项关键应用，特别是空间科学和气候研究，在特朗普政府的名单中并未提及。

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。

2017 年用于研究和开发的激光器开支比 2016 年温和增长。在过去的几年中，中国都是这个细分市场中的最大贡献者，而美国在研发激光器方面的开销基本没有变化。

2017 年，军用激光器支出依然强劲增长，其中大部分激光器被用于射击瞄准镜、成像、测距和通信应用。从世界范围来看，军事领域对激光器的需要将越来越多，其中增长快速的应用之一是小型定向能激光武器，用于执行短程任务，如击落无人机。随着很多恐怖组织可以使用廉价的热跟踪导弹，对所有类型的航空器而言，红外对抗也正在变得越来越重要。



上海超时电子电器有限公司
Shanghai Chaoshi Electronic & Electrical Equipment Co., Ltd.
品质铸就成功，创新决定优势
ABJ2系列荣获 2项实用新型专利 1项发明专利
ABJ2系列的外形尺寸均为 61 (长)×20.5(宽)×73 (高) mm
客户 300+
系列产品 4大
专注电子电器领域 25年
上海超时电子电器有限公司主要设计、生产和开发单相、三相五线、三相四线、三相三线交流电压保护器和三相交流变频电压保护器等电器保护装置，应用的领域包括电梯、机床、空调、激光加工等行业。本公司的产品具有CCC认证和CE认证，并且拥有100%的自主知识产权，部分产品具有国家专利。
三相四线交流电压保护器 ABJ2-04W
特点 缺零线和零线超压保护功能
功能 过电压、欠电压、相序、动态断相、静态断相、电压不平衡保护、缺零线保护、零线带电保护、零线超
三相五线交流电压保护器 ABJ2-94W
特点 缺地线指示、零线带电、缺零线、零线超压保护功能
功能 包含ABJ2-04W的全部功能，并在其基础上增加了缺地线指示功能
单相三线漏电保护驱动器ABJ2-74W
特点 可直接驱动漏电保护器断开主电路
功能 过电压、欠电压、缺零线指示、零线带电保护、零线超压保护、蜂鸣器报警、继电器触点输出、漏电线
销售热线 021-65663671
网址 http://www.chaoshi18.cn
邮箱 info@chaoshish.com
地址 上海市平凉路2716号
销售经理：万经理 13817278761

美国政府的提议，将会对美国的国家科学基金会、国家标准与技术研究院、国家卫生研究院和能源部科学局等这些重点机构的支出方向产生重要影响。对于很多研发部门而言，来自这些机构的政府投资至关重要。不幸的是，在特朗普政府的 2018 年预算提案中，支持科学研发的大多数机构的预算都会出现两位数的下降，这促使美国 NPI 协会（National Photonics Initiative）和美国光学学会（OSA）对于削减当前和未来的科学发展预算所带来的潜在影响，表示担忧。

OSA 首席执行官 Elizabeth Rogan 表示：“持续的研发经费投入对于我们的行业至关重要，只有有了最根本的经费支持，这个行业才有可能创新、生产并推广下一代拥有尖端技术的产品和服务。科学和技术领域的投资将促进经济增长，光学和光电子行业尤其是高质量先进制造的一个主导力量。”

然而目前激光器在科研部分的收入基本保持稳定，相比之下，军事和国防市场则更为活跃。 2017 年用于研发的激光器支出略有增加，中国再次成为最大的贡献者之一。相干公司首席执行官 John Ambroseo 在公司的年终财务报告中简洁地指出，“科研市场基本上没有什么改变。北美、欧洲和亚洲的收入趋势保持稳定。相比于我们在商业市场上获得的大幅增长，目前来自科研市场的收入只占我们总收入的不到 10%。”

这是一个成熟的市场，技术创新会带来越来越多的商业成果。超快激光器的进步，已经使它们开始在核心的微加工市场以外开拓新应用，例如光与物质的相互作用、纳米材料研究等。先进的激光雷达和相干激光雷达也正在找到自身的新应用，如无人驾驶和测量、土木工程、考古学和环境科学等一些科学应用。LIGO、JWST 和 LISA 等太空研究项目，虽然从商业销售额方面来看它们并不是主要的市场驱动因素，但是每个项目都会用到各种激光器、光学和光电子器件，并且这些项目在 2017 年都取得了里程碑式的显著发展。

2017 年，军用激光器的支出再次增长，应用范围从射击瞄准镜、成像到测距、通信、定向能武器，以及用于监视和安全用途的无人机。美国的每个军事部门都有一个涉及激光技术的重点计划，包括海军的激光武器系统（Laser Weapon System）、陆军的高能激光移动发射器（High Energy Laser Mobile Demonstrator）和海军的陆战队地面防空系统（Ground Based Air Defense System）。鉴于目前特朗普政府有望在未来大幅增加国防开支，激光器在军事国防市场的增长趋势可能会继续下去。

因此，2017 年对于那些承包国防项目的厂商而言，无疑是一个标志性的丰收年，比如 Lockheed Martin 公司 2017 年就赢得了很多政府资助的涉及激光系统的国防项目。美国导弹防御局与 Lockheed Martin 公司签署了一份为期 9 个月、总价 940 万美元的合同，以开发一款低功率激光导弹拦截器；美国空军研究实验室与该公司签署了一份总价 2630 万美元的合同，以设计、开发和生产一款高功率光纤激光器，作为其“防御性高能激光盾”项目的一部分；此外，Lockheed Martin 公司在 2017 年还获得了空军的一笔总价 1.31 亿美元的合同，用于空军的 Paveway II Plus 激光制导炸弹装备的后续生产。

全球各地的军事国防经费支出都在增加。市场研究公司 BCC Research

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、治疗、皮肤科、脱毛和其他美容应用的激光器。

2016 年，医疗应用的激光器销售额达到历史最高水平；2017 年，医疗激光器在某些领域的销售更加强劲。在很大程度上，实际的医疗应用决定着医疗激光器的销售表现。



增长最强劲的是用于美容的激光器，这些应用包括祛除纹身、祛皱、脱毛、皮肤修复和嫩肤。很大程度上，这些应用都是医保不覆盖的部分，要消费者自己买单。美国和欧洲是最大的市场，中国和印度是两个重要的新兴市场。

第二个强劲增长的领域是手术激光器。对于某些类型的手术（尤其是心血管、泌尿科和妇科手术），激光器继续证明它们能以更低的总成本实现更好的治疗效果。未来手术激光器的市场会逐年更好。

2017 年用于牙科和眼科的激光器销售额基本没有增长。激光器在眼科手术中已经非常普及，如准分子激光原位角膜磨镶术（LASIK）和准分子激光角膜切削术（PPK）已经被广泛采用。2007 年大约进行了 150 万例这些手术，但此后手术数量大约减少了一半，并且下降趋势仍在继续。激光器在牙科领域的使用进展依然缓慢。

在最近的一份报告中预测，全球国防开支的增长将推动定向能和军事激光市场的增长——预计将从 2017 年的 74 亿美元增长到 2022 年的 120 亿美元以上。亚太地区在这个市场中占据了最大的市场份额，非洲和南美洲的发展中国家，拥有巨大的、未开发的增长潜力。

（四）医疗和美容市场

多年来，激光器的美容应用一直是这个细分市场的主要驱动力，2017 年激光美容应用再次创下历史新高。激光美容应用主要包括去除纹身、祛皱、除疤、脱毛、减脂 / 塑身和嫩肤。激光美容应用的最大市场在美国和欧洲，而中国和印度是两个重要的新兴市场。

激光美容市场已经吸引了众多公司的眼球，也引来了一些原本与这个行业并不相关的公司的投资。2017 年初，以针对女性的医疗影像而著称的 Hologic 公司，斥资 16.5 亿美元收购了激光美容领域的市场领导者 Cynosure 公司，后者在激光脱毛、嫩肤、塑身等方面拥有丰富的产品线。Cynosure 公司成立于 1991 年，其 2016 年的营收为 4.34 亿美元。Hologic 公司表示，目前，全球医疗美容市场的规模超过 20 亿美元，预计未来几年内将以较低的两位数增长。

Hologic 公司董事长、总裁兼首席执行官 Steve MacMillan 表示：“收购 Cynosure 将通过发挥我们核心的女性健康专业知识和 OB/GYN 渠道领导力，加速我们向高增长型公司转变。我们认为医疗美容是一个非常具有吸引力的互补式增长机会。”

激光美容市场领域的另一家领先公司是 Syneron-Candela，2017 年，这家公司被私募股权公司 Apax Partners 以 3.95 亿美元的价格收购。Apax 公司合伙人兼医疗业务联合负责人 Steven Dyson 表示：“鉴于医疗美容市场的长期增长前景，我们已经将医疗美容市场确定为极具吸引力的投资领域。早在 2009 年，Syneron 公司以 6500 万美元的价格收购了其竞争对手 Candela 公司，故而有了后来的 Syneron-Candela 公司。

在 2017 年的美容市场中，塑身占据了大部头。塑身技术中通常会包含 532~680nm 范围内的低水平激光治疗。继 Hologic 公司收购 Cynosure 后，爱尔兰生物制药巨头 Allergan 公司以 25 亿美元收购了 Zeltiq Aesthetics 公司，此举被看作是直接向 Hologic 公司发起了挑战。虽然 Zeltiq 的减脂技术并不使用激光，但是 Allergan 公司清晰地看到了全球塑身市场 40 亿美元的市场机会。该领域的另一家公司 Cutera，2017 年第三季度实现了 26% 的收入增长，该季收入达到了创纪录的 3820 万美元，增长背后的主要动力是其北美市场的收入增长了 57%。这是 Cutera 公司连续第 13 个季度实现两位数的收入增长。

2017 年手术激光器的销售也呈现出乐观态势。对于某些类型的手术（尤其是心血管、泌尿科和妇科手术），激光器继续证明它们能够以更低的总成本实现更好的治疗效果，预计到 2021 年，全球手术激光器市场将以超过 9% 的复合年增长率增长。德国 Biolitec 公司以基于激光技术的静脉科、直肠科和妇科手术系统而闻名，该公司推出的 XCAVATOR 产品能为良性前列腺增生激光手术提供最快的组织烧蚀。2017 年，荷兰飞利浦公司斥资 20 亿美元收购 Spectranetics 公司，也预示了这个细分市场的持续健康增长，Spectranetics 公司的产品线中包括用于外周和冠心病治疗的唯一一个准分子激光治疗系统。

尽管激光器在许多牙科和眼科应用中仍然较为流行，但是 2017 年用于这些治疗的激光系统的销售额基本与 2016 年持平。尽管如此，眼科激光器制造商 Iridex 公司 2017 年第三季度的收入仍然实现了 11% 的同比增长，达到 1090 万美元。牙科激光器供应商 Biolase 公司 2017 财年第三季度的营收为 1080 万美元，比 2016 年同期的 1320 万美元有所下降。Biolase 公司表示，其销售业绩的下滑主要是受到了佛罗里达州和得克萨斯州自然灾害的影响，另外公司裁员和销售人员重组也在一定程度上影响了销售业绩。

展望未来，一些投资正在关注神经光电和光遗传学等新兴的应用领域。2017 年 10 月，美国国立卫生研究院宣布，将通过“推进创新神经技术（BRAIN）脑研究计划”为 110 个新奖项提供总计 1.69 亿美元的资金用于脑研究，这使得该计划在 2017 年的总投资达到了 2.6 亿美元。此外，2016 年 12 月通过的“21 世纪治愈法案”（21st Century Cures Act），计划到 2026 年为该计划拨款 16 亿美元。

BRAIN 脑研究计划于 2013 年启动，这是一项规模浩大的工程，致力于推进神经科学研究的边界，为科学家提供研究和治疗脑部疾病所需的工具和见解，这些疾病包括老年痴呆症、精神分裂症、自闭症、癫痫和创伤性脑损伤等。

（五）仪表仪表和传感器市场

根据我们 2017 年的数据，激光器在仪器仪表和传感器领域的市场规模，正在迅速接近其在医疗美容和科

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。



未来几年，仪器仪表和传感器市场将呈现出非常强劲的增长，背后的驱动力主要是各种激光雷达应用和智能手机中的手势 / 面部识别应用。激光雷达和智能手机应用将对 VCSEL 产生巨大需求。

传感领域快速增长的其他应用包括光谱仪、流式细胞仪和 UV 检测。用于电脑鼠标的激光器正在减少。

研军事市场的规模，并且拥有巨大的增长潜力，因为很多自动驾驶或智能应用，需要大量的传感激光器，如智能手机中的激光雷达和 3D 感应应用。基于激光的结构健康状况监测，对于飞机、车辆、桥梁、铁路、公路以及世界范围内的任何重要交通和基础设施资产而言，也都在发挥着越来越重要的作用。

在仪器仪表领域，生物仪器应用处于领先地位，诸如流式细胞仪和基因测序等应用，促进了许多公司的业绩增长。流式细胞术领域涌现出了很多新应用，如为医学筛选有用的纳米粒子、探索类风湿性关节炎的新疗法等。气候变化研究也是该技术的一个不断增长的市场。光谱学继续在医疗诊断中发现新应用，如从呼出气体中探测细菌感染、在手术过程中提高探测侵略性癌细胞的能力，而超快激光正在神经科学领域开辟新的研究能力。紫外（UV）激光器和太赫兹激光器继续在检测领域获得发展动力，特别是在太阳能电池和半导体制造领域。

相干公司的 John Abbott 在 LASER World of PHOTONICS 2017 大会上的一次演讲中表示，仪器仪表行业的一个有趣的趋势是：仪器仪表的设计者和制造者正在越来越多地寻求子系统，而不仅仅是激光器。子系统能够缩短他们的时间和成本，改进最终仪器仪表的性能、尺寸和维护参数，但这也意味着激光器制造商必须对整个子系统进行相同的改进，而不仅仅是改进激光器。

在传感器市场，用于智能手机的激光雷达和 3D 深度传感是主导应用，预计未来激光雷达和 3D 传感应用将继续向多个领域发展，这对于 VCSEL 来说无疑是个好消息。工业激光公司 Tykma Electrox 表示，2017 年激光雷达传感器的热点应用包括：

- 现场排水 / 洪水地图和模型
- 自动驾驶汽车
- 无人机技术
- 商业航空
- 美国宇航局自动驾驶设备

用于智能手机的 3D 传感，涵盖了深度传感、飞行时间技术所提供的方方面面。正如 3dprint.com 网站于 2016 年 2 月刊登的一篇文章所预测的那样，“很快，智能手机就能够对周围环境产生高度认知，并且几乎可用于任何事情，从 VR 应用到能在建筑物内指引行走方向的谷歌地图，再到网购服装和鞋子时，给出准确的尺寸建议…... 事实上，这项技术可以将智能手机变成一款令人难以置信的高级手持式 3D 扫描仪。2017 年 7 月，独立投资银行 Woodside Capital Partners 和市场研究公司 Yole Développement 联合发布的一份报告预计，到 2022 年，深度传感和成像市场将有望增长近 40%，市场规模达到 90 亿美元。

（六）娱乐、显示和打印市场

2017 年，在所有非材料加工市场中，激光器在显示和娱乐市场的收入实现了最快速的增长，这其中的一个关键原因是：激光器越来越多地被用作显示器件，特别是在电影放映领域，激光器正在成为首选光源。目前，全球的电影院都必须与 Netflix 和 Hulu 等流媒体服务竞争，这推动了这些影院采用激光照明的投影仪。

对于 Barco 这样的公司而言，这是个好消息；2017 年，Barco 公司在全球安装了 100 个激光影院多路复用器，具有里程碑意义。影院所有者将从较低的维护成本中受益，而观众观看激光电影时，将享受更亮的屏幕、更好的 3D 体验以及更丰富的色彩。最大的市场推动力来自中国，中国市场正在经历强劲增长，中国不但有许多拥有最先进的激光投影设备的新影院，而且还拥有热情的大众消费市场。据估计，目前中国的影院数量已经超过美国。

娱乐市场中的第二大应用领域是激光表演。近年来，灯光表演中使用的激光器数量大幅增长，这主要是因为新型高功率二极管激光器已经取代了昂贵的固态激光器。尽管如此，2017 年用于灯光表演的激光器总收入仍然出现了小幅下跌，这主要是因为

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。

尽管短焦激光投影仪并未取得成功，但激光器正被越来越多地用于商业、微型投影仪和数字影院中。2017 年，大约有超过 2600 家新的影院屏幕使用了激光照明。



该细分市场中的第二大应用是激光表演。在过去几年中，用于这些娱乐应用的激光器数量飞速增长，这主要是因为新型高功率二极管激光器已经取代了昂贵的固态激光器。2017 年，用于灯光表演的激光器收入略有下滑，主要是价格下降所致。

价格下滑所致。当然这一年也有喜讯：2017 年 11 月，激光表演和系统设计专家 ER Productions 公司，因为上演有史以来规模最大的激光秀而获得了吉尼斯世界纪录。为庆祝成立十周年，ER Productions 公司在美国内华达州的拉斯维加斯举办了一场 30 分钟的激光秀，并以一场时长七分钟的创纪录压轴表演收场，最后一场共使用了 314 个独立的激光设备。据悉这场激光秀共使用了价值约 350 万美元、重量约 13 吨的设备。该公司表示，在闭幕表演中，1377 瓦的激光功率几乎照亮了内华达州的天际。

在桌面打印市场，激光打印机的商业应用继续推动着市场发展。这个细分市场中最重磅的消息是惠普以 10.5 亿美元收购了三星电子的打印机业务。通过这项交易，惠普获得了三星的 6500 项专利，以及在激光技术、成像电子、耗材和配件方面拥有专业知识的近 1300 名研究人员和工程师。2017 年 8 月，惠普宣布其 2017 年第三季度净收入为 131 亿美元，超出市场预期，该季度的打印净收入同比增长 6%，达到 47 亿美元。❑

用光创造美好未来

BWT BEIJING

千瓦级直接应用半导体激光器子系统

- 波长9XXnm
- 输出功率1000W/ 2000W/ 3000W
- 光纤芯径300μm/ 600μm
- QBH 输出
- 红光指示光
- 应用于熔覆、焊接、热处理……



北京凯普林光电科技股份有限公司
地址：北京市丰台科技园区航丰路甲四号
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 World of PHOTONICS CHINA
2018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: W3-3422

高功率光纤激光器用于多层极耳与极柱的焊接

文/陈勇，IPG Photonics应用工程师

随着节能环保意识的提升，越来越多的汽车、城市公交车等各类交通工具正逐渐采用动力电池替代燃油作为其动力来源，这促使了动力电池行业随之迎来了蓬勃发展，同时也使激光焊接技术在动力电池制造中找到了大显身手的广阔舞台。在动力电池的制造过程中，激光焊接凭借焊接安全可靠、工艺精密、环保等优势，成为了很多焊接任务的首选方案，极耳焊接就是其中之一。

众所周知，电池分正负两极，而极耳是从电芯中将正负极引出来的金属导电体。极耳通常分为三种材料，电池的正极使用铝（Al）材料，负极使用镍（Ni）材料或铜镀镍（Ni-Cu）材料。在动力电池的制造过程中，其中的一个环节是将电池极耳与极柱焊接到一起。

多层极耳与极柱的焊接

在本案例中，采用实验的方法测试了多层极耳与极柱之间的焊接情况。该案例需要测试两项焊接：(1) 将叠加在一起的 4 片总厚度为 0.8mm 的铜镀镍极耳，焊接到铜极柱上；(2) 将叠加在一起的 4 片总厚度为 0.8mm 的铝极耳，焊接到铝极柱上。

焊接不仅要保证极耳与极柱之间的可靠连接，而且要求焊缝平滑美观。

焊接系统配置

该案例中选用的是 IPG 公司的 YLS-4000 光纤激光器，光纤芯径 100μm，工作波长 1070nm，额定输出功率 4kW，工作在连续模式下，光束质量参数 BPP<4。YLS-4000 光纤激光器除了具备在成本和易于操作方面的优势外，还能提供柔性导光系统，易于集成到用户系统中，其卓越的光束质量和高功率，适用于焊接、熔覆和切割等高端应用。

该焊接系统采用四轴数控运动平台，配备 IPG 公司型号为 FLW-D50-S 的激光焊接头，准直焦距 FC=200mm，聚焦焦距 FF=250mm。该焊接头附带污染实时监测功能，具有摄像头选项、焦距微调等功能。

焊接参数选择与测试结果

首先将焊接头调节至倾斜约 11° 角；调试好焦点位置。安装条形指示光，并将其调至与点状指示光重合。

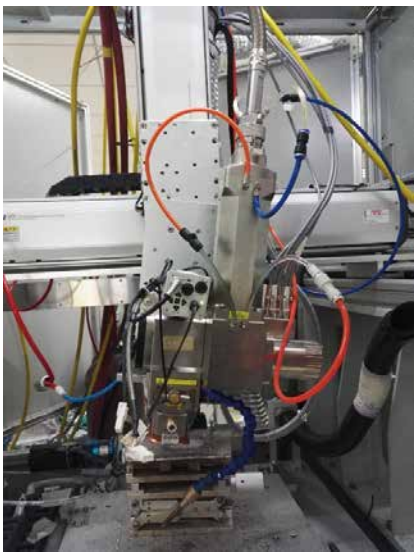


图1：该焊接测试中所使用的激光焊接头。

接下来就要确定各个焊接参数。焊接参数的选择主要取决于所焊接的材料和生产要求。

激光功率是焊接中的一个重要参数，根据焊接材料对光的吸收特性等属性，每种材料都有自己适合的功率选择，功率过大，容易使焊缝过宽，形成飞溅现象；功率过小，则不能焊透材料，导致焊接不牢。本案例中，铜镀镍极耳与铜极柱之间的焊接，使用的功率为 2.4kW；铝极耳与铝极柱之间的焊接，使用的功率为 1.6kW。

另一个很重要的参数是离焦量，离焦量是指激光焦点位置距离被加工工件的距离。离焦量对焊接质量有着重要影响，通常焦点处的激光功率密度过高，容易使被焊接的材料蒸发，形成穿孔与飞溅；而离开焦点位置的激光功率密度，会逐渐减小。因此在焊接过程中，要使用离开焦点一定距离的激光能量，离焦量的具体选择取决于被焊接的材料。本案例中，铜镀镍极耳焊接设置的离焦量为 2.5mm；铝极耳焊接设置的离焦量为 4.5mm。从功率和离焦量的选择上也可以看出，焊接铜镀镍极耳比焊接铝极耳需要更大的能量。

焊接速度也是一个比较重要的参数，速度过快，不易焊透，影响焊接质量；速度过慢，则容易焊穿，引起工件较大的变形，生产效率低下。因此要选择能够满足焊接质量要求的最

大焊接速度。本案例中的两个应用所选择的焊接速度均为 100mm/s。

表 1 和表 2 汇总了所有的参数选择；图 2 和图 3 给出了各自的焊接效果图，可以看出，焊缝基本较为平滑，达到了想要的焊接效果。

小结

本次焊接是一条焊缝一条焊缝地分开焊接。通过焊接测试可以发现，采用 YLS-4000 光纤激光器的焊接系统，能够实现平滑的焊缝，完全能够胜任多层铜镀镍极耳和多层铝极耳的焊接。测试还发现，在设定了合适的各个焊接参数后，影响焊接效果的最大因素是极耳是否被压紧。压紧后的焊接效果明显好于没有压紧的焊接效果。因此，要获得良好的极耳焊接效果，除了选择合适的激光源、确定合适的各个焊接参数外，还需要考虑适合具体应用的合适的夹紧机制，要达到理想的焊接效果，这些环节都必不可少。❑

表1：4片铜镀镍极耳与铜极柱焊接的参数选择

将4片铜镀镍极耳焊接到铜极柱上				
激光参数		材料		焊接速度(mm/s)
功率 P/W	离焦量/mm	材料	厚度/mm	
2400	2.5	Cu铜	4 x 0.2	100

表2：4片铝极耳与铝极柱焊接的参数选择

将4片铝极耳焊接到铝极柱上				
激光参数		材料		焊接速度(mm/s)
功率 P/W	离焦量/mm	材料	厚度/mm	
1600	4.5	Al铝	4 x 0.2	100



图2：4片铜镀镍极耳与铜极柱的焊接效果图。



图3：4片铝极耳与铝极柱的焊接效果图。

EVERBRIGHT
心所往 · 光所至

中国激光“芯”，光耀美好生活

高功率半导体激光器芯片
高效率半导体激光雷达3D传感芯片
高速光通信半导体激光芯片

激光芯片、半导体激光器、集成系统全产业链企业

苏州长光华芯光电技术有限公司
地址：江苏省苏州市高新区科技城昆仑山路189号2号厂房
邮编：215163
电话：+86-512-69372570
传真：+86-512-66806323
邮箱：sales@everbrightphotonics.com
网址：www.everbrightphotonics.com

微信扫一扫
获取长光华芯更多资讯

超快加工

利用皮秒激光脉冲串提高硅晶圆材料的去除率和加工质量

文/Newport

硅加工在集成电路 (IC) 后端处理、微电子封装和太阳能制造等各个行业中，都发挥着至关重要的作用。多年以来，随着晶圆厚度不断缩小，使用机械工具加工较薄的脆性材料面临着严峻的挑战，因此机械加工正在日益被激光加工技术所取代。各种纳秒脉冲激光器技术已经在薄脆性材料加工中得到广泛应用，常用的激光器包括准分子激光器、二极管泵浦固态（DPSS）激光器和光纤激光器。超短脉冲激光加工技术，正越来越被视为未来可进一步提升加工质量和加工速度的技术。

因此，脉宽较纳秒激光器更短的皮秒激光器，在高质量、高产量的加工领域获得了广泛应用。

IceFyre皮秒激光器

IceFyre 以独特的设计重新定义了皮秒微加工激光器，它能以优异的性价比实现卓越的性能和多功能性。IceFyre 皮秒激光器基于 Spectra-Physics 的 It's in the Box™ 设计，其将激光器和控制器集成在一个小巧紧凑的封装中。IceFyre 的独特设计利用光纤激光器的灵活性和 Spectra-Physics 独有的功率放大能力，实现了 TimeShift ps 可编程脉冲串模式技术和广泛的重复频率可调节性。每台激光器配备一组标准波形；可选的 TimeShift ps GUI 可用于创建自定义波形。该激光器能为高扫描速度的优质加工（如使用多面扫描镜）提供低抖动的按需脉冲触发。

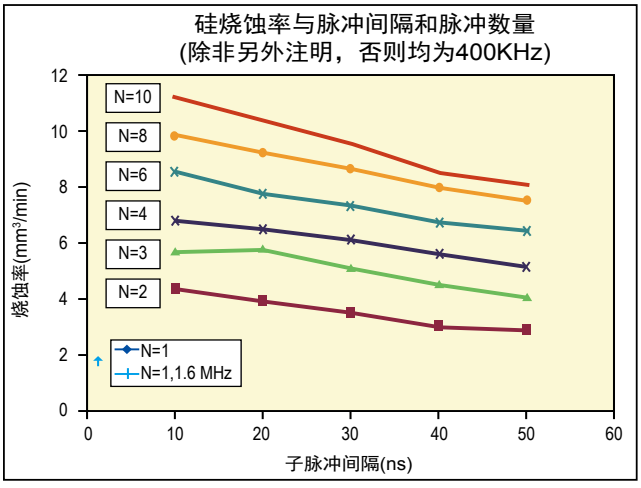


图1：烧蚀率数据表明，在脉冲串中，脉冲数量更多和子脉冲间隔时间更短，可以提高材料的去除率。

晶圆加工实验

Spectra Physics 的应用工程师使用 IceFyre 1064-50 皮秒激光器进行了一系列实验，对各种材料（包括晶体硅）的脉冲串加工效果进行表征。

IceFyre 1064-50 皮秒激光器，输出波长 1064nm，能提供 >200μJ 的脉冲能量和 >50W 的平均功率。IceFyre 激光器中采用的 TimeShift ps 技术，通过单个脉冲序列中的可变间隔时间，提供全能型脉冲串模式操作。TimeShift ps 的独特属性之一是：脉冲串包络中的子脉冲数量和时间间隔可以广泛变化，但仍然能保持约 50W 的最大输出功率。

工程师对脉冲串中可变脉冲数量以及子脉冲间不同时间间隔的硅晶圆体积烧蚀率进行了表征。实验包括使用

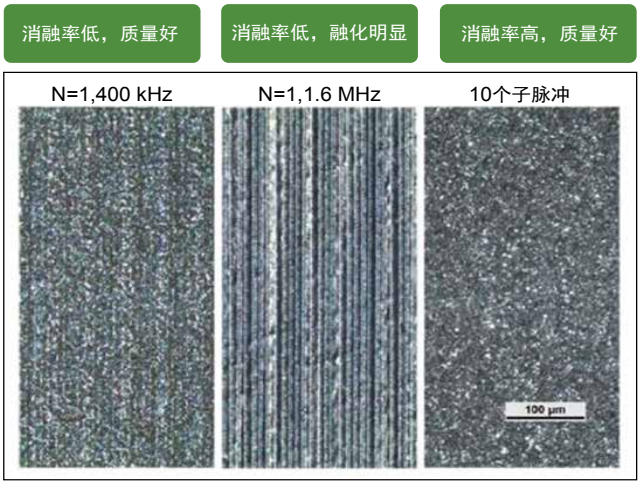


图2：光学显微镜图像显示烧蚀特征的表面质量。

各种实验条件，对厚度为 0.8mm 的抛光硅晶圆中的体积测定区域进行凹槽铣削，测量铣削凹槽的深度，并确定体积烧蚀率和效率。此外，工程师还使用光学显微镜对铣削表面进行了质量评估。

图 1 中展示了单脉冲输出和包含 10 个子脉冲的脉冲串的烧蚀率（N 表示单个脉冲串中的脉冲数量）。对于脉冲串，脉冲重复频率（PRF）固定在 400kHz，而脉冲串中子脉冲之间的短暂间隔在 10~50ns 之间变化。对于单脉冲输出，工程师对 400kHz 和 1.6MHz 脉冲重复频率下的烧蚀率进行了表征。

图 1 中的数据显示了使用脉冲串模式输出进行硅体积烧蚀的明显优势。包含 10 个子脉冲的脉冲串的烧蚀率，比单脉冲的烧蚀率提高了 5 倍。

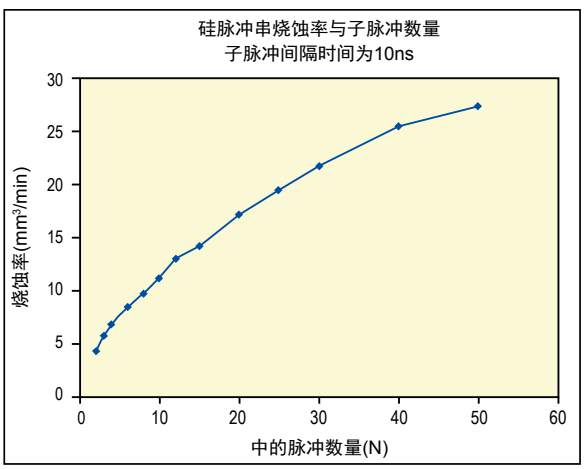


图3：脉冲串中的脉冲数量从10增加到50时，能进一步提高材料去除率。

从这些数据中还可以明显看出，脉冲串中各个脉冲之间的时间间隔越短，烧蚀率就越大。因此，脉冲串中更短的脉冲间隔时间在硅晶圆的烧蚀加工中具有明显优势。

在光学显微镜下，检查这些脉冲的烧蚀效果。从图 2 中可以看出不同的脉冲串对加工质量的影响。图 2 中左侧和中间的图像分别显示了脉冲重复频率为 400kHz 和 1.6MHz 时，单脉冲输出的加工表面；右侧图像显示了脉冲重复频率为 400kHz 时，包含 10 个子脉冲的脉冲串的加工表面。

从图 2 中可以看出，脉冲重复频率为 400kHz 和 1.6MHz 时，单脉冲烧蚀表面的外观明显不同，而图 1 中的数据显示，烧蚀率几乎相同。脉冲重复频率更低时，由于皮秒脉冲宽度短，精细外观表明去除材料时产生的热量极少。然而，当脉冲重复频率为 1.6MHz 时，烧蚀表面出现了明显的熔融迹象，这很可能是因为在高脉冲重复频率下，脉冲间的热量积累所导致的。数据显示，使用激光器的包含 10 个子脉冲的脉冲串输出模式，不仅可将材料去除率提高 5 倍，还可以实现干净、无熔融的去除表面。

工程师还进行了另一个实验，将脉冲串中的子脉冲数量从 10 增加到 50、子脉冲的间隔时间为 10ns 时，对脉冲串的烧蚀率进行了表征。图 3 中给出了此次实验的测试数据。

从图 3 中的数据可以看出，随着脉冲串中子脉冲的数量从 10 增加到 50，材料的去除率实现了更显著的增长。当脉冲串中的脉冲数量为 50 时，烧蚀的去除率 >27mm^3/min，比单脉冲 1.7mm^3/min 的去除率提高了 13 倍以上。

凭借 IceFyre 皮秒脉冲激光器的 TimeShift ps 技术提供的极其灵活的脉冲定制功能，该实验清晰地展示了 IceFyre 激光器能大幅提高硅材料的去除率，同时加工质量也获得了大幅提升。❑

顶尖 PINNACLE
Your Strategic Partner in Photonics

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

Xiton Photonics
IMPRESS213 固体激光器
•中心波长：213nm
•平均功率：150mW
•脉冲宽度：<7ns
•单脉冲能量：>15μJ
•重复频率：0.1-30kHz
•M²：<1.6

FJW Optical Systems, Inc.
红外观察仪
•可视波段：350nm-1550nm
•视场角：24°
•图像倍率：≈1：1
•可调节光阑
•多种波片选配

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

顶尖科仪部分代理厂家（以开头字母排序）
APE · ATL LASERTECHNIK · AVESTA · BATOP · DUMA OPTRONICS LTD. · JENOPTIK · HAMAMATSU · H+P SPECTROSCOPY · laserpoint · LIGHTHOUSE PHOTONICS · MenloSystems · moglabs · onefive · INFRARED · OSTECH · SOLAR LASER SYSTEMS · Xiton Photonics

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

激光焊接

纳秒脉冲光纤激光器在异质金属材料焊接中的应用

文/Jack Gabzdyl，Daniel Capostagno；SPI Lasers

众所周知，纳秒激光器能够胜任打标、雕刻、切割甚至微加工等诸多工业应用，但使用纳秒激光器实现焊接过程，却是个相对较新的话题。[1] 通常，高峰值功率、短脉冲激光器的大多数应用都与材料去除有关，因此用它们作为焊接光源，听起来似乎有些违反直觉。但业内人士都知道，基于主振荡器功率放大器（MOPA）的纳秒光纤激光器的多功能性，能在控制输出特性方面提供无与伦比的灵活性。例如，这些激光器可提供脉宽可调的高峰值功率纳秒脉冲输出模式和高频调制准连续波（QCW）输出模式，还可以作为更传统的连续波(CW)激光器使用。

理论上，人们可能会非常质疑纳秒激光器的焊接能力。与 CW 和 QCW 激光器相比，纳秒脉冲激光器具有非常低的平均功率（通常 <100W）和仅仅 1mJ 的脉冲能量，这比典型的二极管泵浦固态（DPSS）激光器和 QCW 激光器的能量小 1000 倍。目前，这些因素确实将脉冲光纤激光器的焊接应用限制在厚度不超过 0.5mm 的相对较薄的金属范围内；但是最近的测试结果表明，这类脉冲光纤激光器的焊接深度已经达到 1mm。纳秒脉冲光纤激光器的脉冲持续时间通常在 100~500ns 的范围内，峰值功率可高达 10kW，脉冲重复频率 > 50kHz，它们与传统的 QCW 激光器有着显著的不同。根据应用量身定制输入能量的特性，是这类激光器作为焊接工具的关键。

一般来说，当焊接较薄的材料时，需要可靠的焊接过程，以避免工件被焊穿、发生变形和翘曲。这个问题可以使用 CW 激光器的常规锁眼焊接工艺来解决，但是需要克服材料阈值要求的相对较高的功率（通常 > 200W）。当然，焊接表面光亮的金属所面临的挑战就更大；焊接异质材料时，挑战更甚。



图1：焊接到不锈钢按钮上的各种金属。

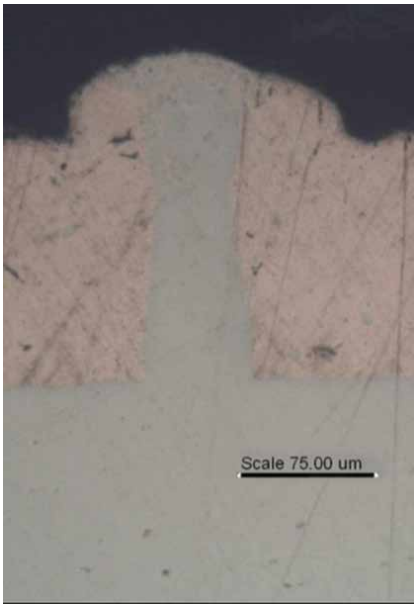


图2：使用redENERGY G4脉冲激光器进行铜-铝焊接（铜在上方，铝在下方）的横截面。

突破传统

长期以来，焊接异质金属材料始终面临巨大挑战，设计工程师经常被告知他们的设计难以完成或者根本无法实现。每个焊接手册中都会有个表格，详细说明哪些材料组合可以焊接、哪些材料组合不可以焊接。正如任何冶金学家都会告诉你的那样，材料的物理属性和冶金不相容性，决定着材料的可焊性。然而，人们对焊接异质金属的研究兴趣始终不减，因为有很多潜在的应用需要这种焊接，特别是光亮金属与钢材和铝合金的焊接。

多年来，人们在异质金属焊接方面开展了大量研究，不断有更多创新涌现，目前进步仍在继续。SPI Lasers 的纳秒焊接工艺（专利申请中）提供了一种差异化金属材料焊接机制，目前已经证明这种焊接工艺足以胜任焊

接各种异质金属（见图 1）。

异质金属的熔融焊接，会因为形成脆性金属间相而带来一系列相关问题。这些问题会导致薄弱面的形成，使焊接处容易断裂。这些金属互化物通常出现在熔池界面上，并且它的形成受时间和温度的影响。热量输入是其形成的关键因素。

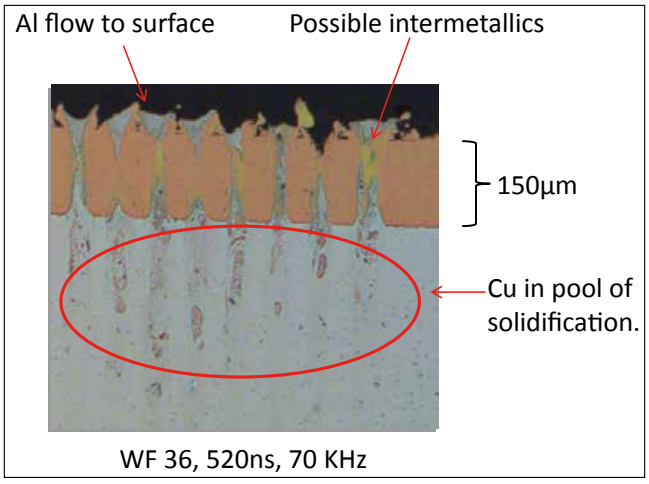


图3：通过螺旋路径点焊形成的焊接截面示例图。

不同于传统的焊接方法，使用纳秒激光器焊接，由于不会产生较大的熔池，因此抑制了形成不想要的金属间相的形成机会。由于纳秒脉冲激光的光斑尺寸非常小（通常在 30µm 范围内），所以为了进行点焊或线性焊接，进而使用了螺旋运动和光束摆动等技术。通过选择适当的扩束准直器，可以轻松改变光斑尺寸。SPI Lasers 的 70W EP-Z 激光器（光束质量 M^2 <1.6）能够胜任大多数焊接应用。然而对于某些应用，SPI Lasers 的 70W HS-H 激光器（光束质量 M^2 =3.0）能提供更宽的能量分布，从而实现改进的焊接性能。

铜 - 铝的焊接（铜在铝的上面）引起了广泛的商业兴趣。铜 - 铝焊接在技术上的挑战性在于铜的高反射性和高传导性，使得激光器必须突破较高的阈值，才能使入射光束耦合到材料中，并开始焊接。纳秒脉冲激光的高峰值功率对于克服这个阈值至关重要，并且有助于光束耦合到材料中。纳秒脉冲激光在焊接中的表现非常出色，由此产生的焊接效果也非比寻常。铜 - 铝焊接的焊缝横截面，显示了这种焊接可以获得的微观结构特征（见图 2）。从图 2 中可以看出，光束穿过上面的铜层使其下面的铝熔化。铜 - 铝并未完全混合，铝被铜吸收，在两层之间形成金属键，类似于铆钉一样。

单程焊接的焊缝宽度仅为 30~50µm，这对于一般应用来说可能是不够的。由螺旋形光束路径创建的点焊是更加实用的解决方案，其中焊点的尺寸由螺旋中的圆形路径数决定。这些点焊并没有显示出传统点焊的特征，传统点焊中存在明显的单个焊点熔核。螺旋路径的空间尺寸可以改变，以改变焊接特性，以至于路径重叠，可以产生更均匀的焊接。使用 SPI Lasers 的 redENERGY 70W EP-Z 脉冲激光器，在 300ms 的时间内，将厚度 150µm 的铜焊接到厚度 400µm 的铝上，获得了直径 0.8mm 的焊点。拉伸测试显示，焊接强度 > 26lbs（测试了 3 个直径 0.8mm 的焊点，焊接时间约 1s）。测试还表明，沿着第一次路径二次焊接，可以改善焊点的美观度，特别是在不使用保护气体的情况下。另外值得注意的是，测试还观察到了二次焊接还有助于提升焊接强度。

缝焊可以通过摆动焊接技术来实现，摆动幅度和摆动频率应该根据被焊接的材料类型和厚度进行优化。目前已经实现了广泛的异质材料焊接，但是大家普遍感兴趣的几种异质材料焊接是铜 - 铝焊接（Cu-Al）、铝 - 铜（Al-Cu）焊接，以及不锈钢 - 铝（SS-Al）焊接。

控制功率

目前大家关注最多的一个领域是电池单元的焊接。在电池单元的焊接中，最关键的挑战是将多个电池单元焊接到一起。目前正在研究各种材料的焊接，包括铝、铜和铜镀镍材料。研究的目标是希望能创建一种能接受的可靠焊接过程，实现牢固焊接，并防止焊穿或在电池接触点上没有可见标记。输入到工件中的热量是关键，这个热量可以通过纳秒焊接工艺来精确控制。焊接片的材料厚度一般在 250~500µm 范围内，这通常处在纳秒脉冲焊接的范围内。

纳秒焊接工艺可以在焊接设计中提供多种选择——例如，可以产生单个大焊点或多焊点阵列。研究表明，尽管这两种焊接方式在给定的焊接时



图4：摆动焊接技术实现的铜-铝、铝-铜和不锈钢-铝焊接实例。

间内，能够实现的焊接面积大致相同，但是多焊点阵列能实现更高的焊接强度（拉伸强度和剥离强度），并且对热量输入有更好的控制。使用 100W 激光器在约 2s 内完成 3×3 的焊点阵列（见图 5），可以看出，在电池盖的内侧没有烧穿或可见标记出现。剥离测试显示这些焊点异常牢固，剥离测试的失效点出现在临近焊点熔核的热影响区（HAZ），焊接头完好无损。图 5 显示了将铜镀镍和铝片焊接到标准锂离子电池上的示例。

通过使用基于扫描振镜的光束传输，纳秒焊接工艺可以提供灵活的几何焊缝形状，这为设计满足需求的焊接方案提供了更多可能性。无论是导电性、拉伸强度或剥离强度、焊接深度和熔核形状，还是最小化热量输入（无可见标记）和焊接外观等，都可以被优化。

一个有趣的焊接选择是使用网格模式，这可以在极高的速度下完成，以覆盖想要焊接的区域。这已经被证明是焊接各种异质金属的非常有效的方法，可以焊接的金属组合包括铜 -718 超合金焊接、铝 - 黄铜焊接、铝 - 铜焊接、不锈钢 - 铝焊接、不锈钢 - 铜焊接、钛 - 铝焊接，以及钛 - 铜焊接上。事实上，我们尚未发现无法焊接的金属材料组合（见图 6）。

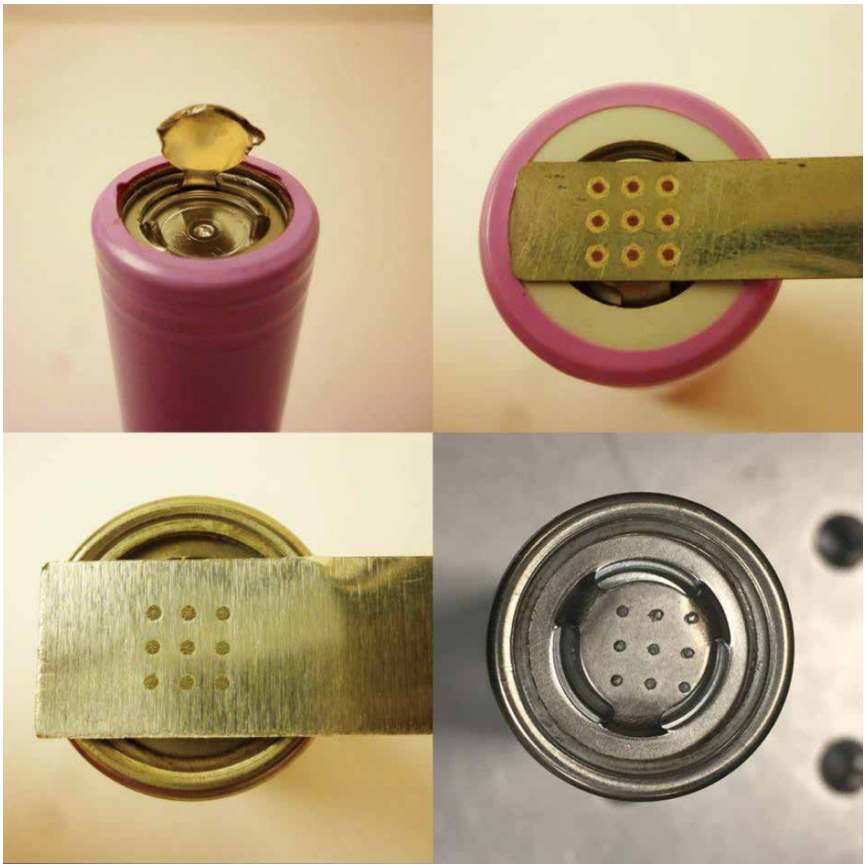


图5：电池焊接案例，从图中可以看到，没有烧穿现象也没有明显的可见标记。

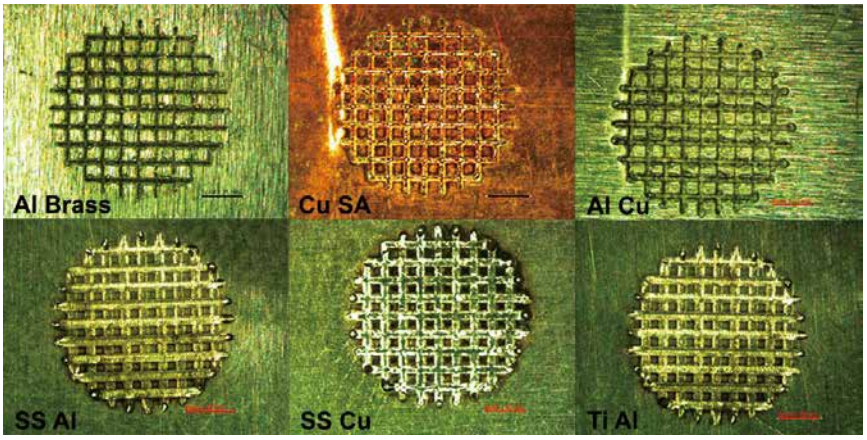


图6：网格模式焊接实例，焊接区域直径约4mm，约在1s内完成焊接。

为更好的未来而努力

消费类电子产品、半导体、电池、传感器和医疗等多个行业的工程和设计人员，都对焊接异质薄片金属表现出了浓烈兴趣。测试表明，大多数异质金属组合，都可以用纳秒焊接工艺将它们焊接到一起，以为各个行业的众多应用提供可接受的焊接强度。

当然，要对各种材料组合进行分类、并更全面了解工艺基础，还依然有很多工作要做，但可以肯定的是，纳秒焊接已经为今天的制造设计工程师提供了新机会。SPI Lasers 的纳秒激光器将为同质和异质金属材料焊接开启一条激动人心的新道路。❑

参考文献

1. J. Gabzdyl and D. Capostagno, “Pulsed nanosecond fiber lasers can weld, too!” Industrial Laser Solutions, 30, 5, 21–25 (Sept/Oct. 2015).

高功率激光二极管

泵浦激光二极管为尖端应用提供高功率

文/LFW

激光二极管（LD）除了使用寿命长和体积小外，还在所有的已知激光源中具有最高的电光转换效率。因此，它为现代激光技术提供了很多基础，并通过两种方式来实现这一点。首先，激光二极管为许多应用提供从紫外到中红外波长的光。其次，对于许多类型的光学泵浦固态激光器（从科学到工业、从超快到连续波）以及非固态高功率激光器，如二极管泵浦碱金属蒸气激光器（DPAL）而言，激光二极管都是非常有用的泵浦源。

用于激光泵浦的高功率激光二极管产品可以提供很大范围的波长、物理配置、光束特性和其他特性。激光二极管配置包括单管、巴条（一排单管）、叠阵（二维阵列）、模块和裸芯片等，输出类型有连续、准连续（QCW）和脉冲输出。由于不可能在一篇文章中全面地涵盖各种产品，所以本文将只涉及一小部分样例。

众所周知，目前业界两家最大的高功率泵浦激光二极管生产商是 IPG Photonics 公司和德国通快公司。但是，这两家公司生产的泵浦激光二极管都供自身使用，因此本文将不会涉及这两家公司的产品。

高效设计

因为光泵浦数千瓦级固体激光器或光纤激光器所需的功率太大，所以设计高效的泵浦源必不可少。“对于任何高功率应用，功率效率都是最关键的参数之一，特别是在处理可能会在错误的地方产生热量的几千瓦能量时，”德国欧司朗光电半导体公司高级市场营销经理 Pedro Muñoz 表示，“热量不仅会降低激光器的寿命和性能，而且还需要更多的激光器芯片才能达到一定的功率水平，并且需要更加复杂的制冷设计。设计不佳、效率低下的系统通常更加昂贵，而且性能也更差。”

Muñoz 解释说，为了提升效率，不仅需要高效的激光器，而且必须以有效的方式组合来自不同 LD 光源的激光功率。“为了避免杂散激光，必须将光直接导向需要的地方，”他说，“虽然自由空间耦合设计可以达到一定的功率水平，但是激光器的冷却和电力驱动要求通常是在紧凑的叠阵单元内完成的，而叠阵放置在激光器中的其他地方。为了使输出激光不受电子元件和热问题的干扰，通常使用光纤实现激活介质的泵浦。”

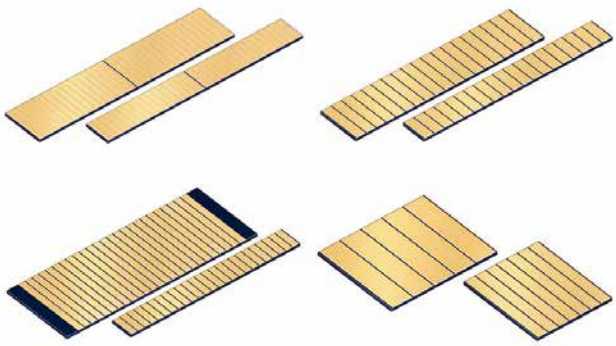


图1：欧司朗光电半导体公司生产的泵浦激光二极管芯片包括高功率准连续（QCW）巴条（左上）、低填充因子连续巴条（右上）、高功率连续巴条（左下），以及定制的迷你巴条（右下）。

Muñoz 表示，欧司朗公司的 LD 巴条的输出激光发散角小于 8°，能在高工作电流和热条件下保持稳定，这使其几乎能将所有的光耦合到较小的光纤芯径中，从而提高激光器的整体效率。

欧司朗生产基于铟铝镓砷（InAlGaAs）的高功率红外（IR）激光巴条，由多个宽带条单管构成（见图 1），用于泵浦固体激光器和光纤激光器，也可用于直接材料加工。标准波长包括 808nm、880nm、915nm、940nm、960nm、980nm 和 1020nm，1060nm 的标准产品也即将推出。典型的连续（CW）输出功率高达 250W，准连续（QCW）模式下的输出功率高达 500W。9xxnm 的典型电光转换效率为 65%，峰值效率 >70%。

Muñoz 介绍说：“我们提供用于光纤耦合的低填充因子激光巴条，用于连续运行的 50% 填充因子的激光巴条，以及用于准连续耦合的 80%填充因子的巴条。我们只为熟悉激光巴条安装技术的客户提供未安装的裸芯片，因为这是一项非常具有挑战性的工作，本身就是一项专门的技术。”

可扩展性

对于功率极高的应用，泵浦 LD 输出功率的可扩展性是关键。因此，激光二极管叠阵必不可少。Coherent-DILAS 公司高功率二极管激光器产品经理 Jörg Neukum 介绍说：“微通道冷却的热沉由于其最佳的热管理，使得每个激光二极管阵列可以提供最高的功率，并且可以形成垂直叠阵和水平叠阵（见图 2），最终形成适合泵浦几何结构的二维泵浦源。产生双轴准直光束的微光束整形，可以与使用体布拉格光栅（VBG）的波长稳定和光谱线窄化相技术结合，为 DPAL 泵浦提供温度不敏感、光谱稳定的窄线宽输出，或者用于三能级钕（Nd^{3+}）泵浦、镱（Yb^{3+}）的零声子线泵浦，以及发射波长为 1645nm 的掺铒 YAG（Er^{3+}:YAG）激光器的 1532.25nm 泵浦。”

Neukum 说，通过适当的双轴准直和光谱稳定，许多垂直叠阵可以并排排列，以产生数千瓦级的高功率。



图2：Coherent-DILAS公司的一维（左）和二维（右）激光二极管叠阵，提供了泵浦功率的可扩展性。

Coherent-DILAS 公司生产多种泵浦波长的高功率泵浦激光二极管，适用的激活介质包括棒状、碟片、板条、光纤激光器以及 DPAL。如 Neukum 所解释的，这些激光二极管所泵浦的激光掺杂离子主要是固体激光器和光纤激光器中的 Pr^{3+}（镨，440~450nm）、Cr^{3+}（铬，640~670nm）、Tm^{3+}（铥，785nm）、Ho^{3+}（钬，1908~1940nm）、Nd^{3+}（钕，792~888nm）、Yb^{3+}（镱，915~976nm）和 Er^{3+}（铒，960、1470 和 1532nm），以及 DPAL 应用的铯（852nm）、铷（780nm 和 795nm）和钾（766nm）。泵浦功率范围从 10W 到几千瓦。

波长稳定

许多二极管泵浦的固体激光器和光纤激光器，以及光纤耦合的激光二极管，应用于医疗和牙科领域。“这些医疗应用需要明确指定的功率、波长和安全特性，最终的产品设计要完全符合这些指标，”德国 LIMO 公司激光系统产品经理 Andre Timmermann 表示，“在广泛的环境范围内保持所有光学特征的稳定性，是医疗产品和应用获得 FDA 批准的关键。”

因此，LIMO 公司针对这些应用生产的泵浦 LD 模块，都采用了光学波长稳定技术，能在较大的功率输出范围内保持输出波长不变。Timmermann 补充说，该设计经过优化，可以保持电光效率不变，而且没有任何明显的漂移。

LIMO 公司的 LIMO15-F200-DL981-EX1524 模块，在 981nm 的中心波长处输出功率 15W，外形尺寸为 108mm × 19mm × 25mm，可通过即插即用光纤接头实现光纤耦合输出。由于其波长稳定，该器件的波长温度漂移仅为 0.01nm/K。

美国 QPC Lasers 公司生产的光谱稳定的泵浦 LD，在二极管结构中集成了光栅，无需 VBG，旨在满足一些需要光谱窄化、稳定泵浦的新老应用，包括 976nm 的光纤激光器泵浦、785nm 和 795nm 的铷泵浦，用于医疗成像和碱金属激光器（DPAL）。

在需要波长稳定性的一个例子中，光纤激光器制造商正在将 976nm 作为主要的泵浦波长，因为 976nm 的吸收比 915nm 的吸收要强三倍。这样，光纤激光器可以更短，减少光学非线性效应。然而，976nm 波长的窄增益峰值需要精确的泵浦波长控制和窄线宽（见图 3）。

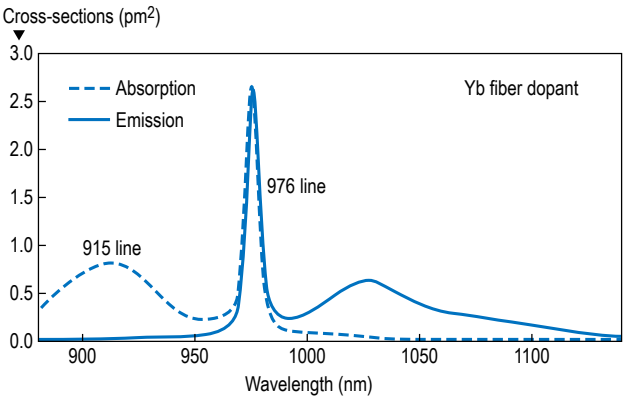


图3：光纤激光器的光纤增益介质在976nm激光泵浦带的吸收比在915 nm处泵浦带的吸收高，吸收线宽更窄，这得益于波长稳定的窄线宽二极管泵浦。

QPC Lasers 公司表示，其波长稳定的激光二极管的成本、功率和效率与传统二极管泵浦相同。QPC Lasers 生产输出波长范围 785~2000nm 的激光二极管，可提供多种类型的配置，包括未封装的芯片、开放式热沉激光器、单模光纤密封蝶形封装、多模光纤耦合模块、微通道冷却叠阵以及带有冷却、电源和控制的 OEM 子系统。❑

激光清洗

高效精细化激光清洗技术

文/袁冬青，苏州德威尔卡光电技术有限公司/淮海工学院

自从 1960 年第一台激光器诞生以来，激光已经在各个领域得到了广泛应用。在工业领域中，激光主要用于工业生产中的切割、钻孔、焊接等应用。近年来随着光纤激光器技术的突破，以及我国对于环保要求的日趋严格，传统的工业清洗技术面临着严峻的挑战，如何寻找更清洁、且不具损伤性的清洗方式，是我们不得不考虑的问题。激光清洗作为一种革命性的技术，具有高效、便携、环保、无研磨、非接触、无热效应和适用于清洗各种材质的物体等特点，能够替代传统的化学清洗及机械清洗，使其在日常生产生活中的各个领域具有极大的应用潜力。

激光清洗是一种非接触式的干式清洗方法，具有传统的清洗所不具备的优势，尤其对于清洗要求较高的应用领域，如 PCB 板的后期处理、磁性介质表面清洗、激光刻蚀溅射颗粒去除、文物表面清洗以及各种精密器件的清洗，在这些应用中，激光清洗均具有无可比拟的优势。配备了过程监测功能的自动化清洗设备，将会在精细清洗领域得到广泛应用。

清洗原理

图 1 中给出了激光剥离基体表面附着物的原理示意图。激光清洗多采用高能脉冲激光进行清洗，其具有超高的能量密度，在光与物质的相互作用过程中，使得表面附着物脱离基体表面、并被集尘系统收集，从而能在周围环境不受影响的情况下，有效地去除基材表面上的附着物。

激光清洗的一个突出的优势是在去除表面附着物的过程中，基材不会受到破坏。而为了实现这种无损检测，需要调节好清洗过程的各个参数，确保与物质作用能量密度小于基材的损伤阈值。通过实验研究以及理论分析，目前普遍认为激光清洗过程中，去除附着物的两种机理分别是瞬间气化附着物以及激光冲击波使得附着物脱离基材表面。

应用现状

激光清洗技术研究起步于 20 世纪 80 年代中期，但直到 20 世纪 90 年代初期才真正步入工业生产中，并在许多场合逐渐取代传统的清洗方法。

在国外，激光清洗的范围非常广泛，从厚锈层到表面微细颗粒，都可以用激光去除。在去污中涉及激光清洗实验所使用的设备种类比较多，所用激光器的波长范围较广。激光清洗技术的发展并不平衡，有些已实现工业化，有些还处于实验室阶段。随着

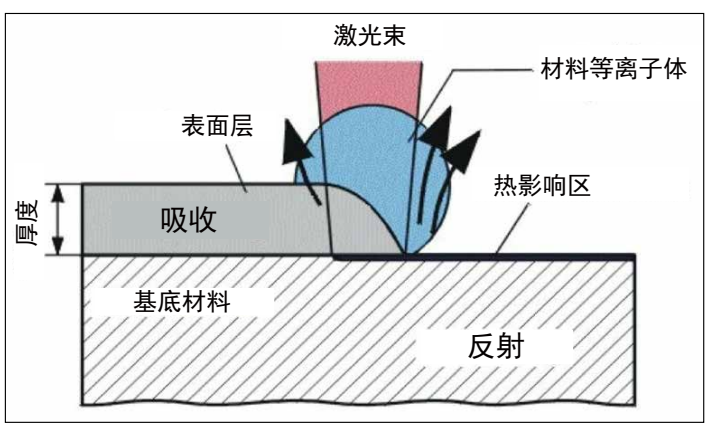


图1：激光剥离基体表面附着物的基本原理图。

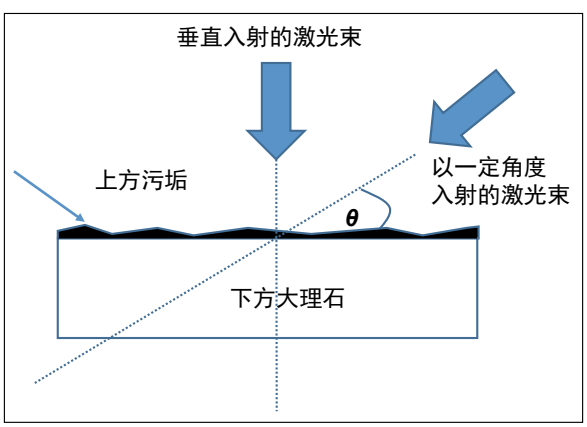


图2：激光束斜入射的清洗示意图。

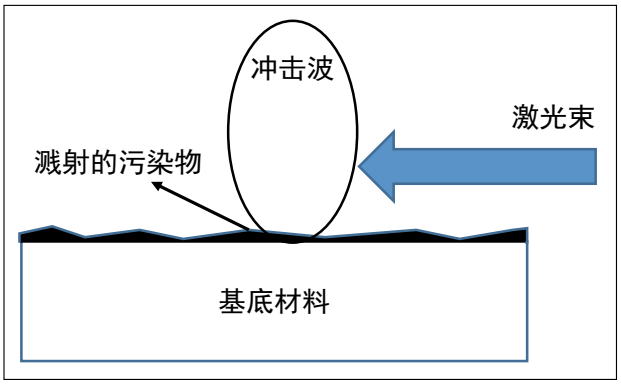


图3：激光冲击波清洗示意图。

工业机器人的发展，结合激光与机器人技术，使得激光清洗系统在各个行业拥有了极大的应用前景。目前在国内市场，激光清洗设备在汽车制造、半导体晶圆清洗、军事装备清洗、建筑物外墙清洗、文物保护、电路板清洗、液晶显示器清洗、口香糖残迹去除等领域，均可发挥重要作用。

据统计，目前国内从事激光相关的企业有近四千家，而从事激光清洗产品开发的企业数量不足 1%，对于一个具有庞大需求的市场来说，这个数量远远不能满足实际需求。造成这种现状的原因主要有以下几点：(1) 设备的单价较高，对于清洗附加值较低的产品，首次投入设备资金过大，这导致企业对激光清洗设备的接受度较低；(2) 清洗效率和清洗效果尚有待提升；(3) 需要有效地结合过程监测技术，确保清洗的安全性。

技术突破

目前市场上常见的激光清洗设备，大多针对基体表面的有机污染物、氧化物、表面涂覆层等附着物的清洗进行研究并开发相关产品。需要有针对性地开发出高效、低功率、多模式的精细激光清洗设备，尤其对于光学模组的开发，需要满足各种行业的功能化需求。

图 2 中给出了采用斜入射脉冲清洗的示意图。试验表明，在清洗大理石表面的污渍以及清洗铜表面的氧化物时，采用一定的光束入射角度，相比于垂直入射，清洗效率能提高 5-10 倍。通过开发合适的光学模组，在不增加激光器功率的情况下，提高清洗效率。通过该技术，能够在同样清洗效率的基础上降低设备成本。

图 3 给出的是激光冲击波清洗示意图。在清洗精密器件表面的微小颗粒时，由于附着物的粒径较小，附着物与基体之间的结合力主要有三种，分别为范德华力、毛细力和静电力。由于该种污染物尺寸较小，因此采用传统方法很难清洗，而直接通过高能脉冲等离子体化时，很容易对基体材料造成损伤。

在这种情况下，可以选择激光冲击波清洗方式。通过精细的控制，在被清洗物上方一定距离处，对空气进行击穿，并形成冲击波，破坏污染颗粒与基体之间的结合力，并辅以负压来收集颗粒，从而达到无损清洗的效果。

另外，对清洗过程的实时监测，也是激光清洗设备开发中的一个热点和难点。目前常用的实时监测技术主要有激光诱导击穿光谱技术、声波技术、图像识别技术、散斑干涉测量技术。

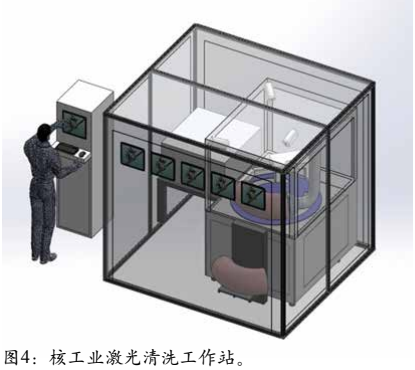


图4：核工业激光清洗工作站。

在这几种技术中，光谱技术由于其成本高且对环境因素敏感，因此不具备集成的条件；声波技术同样由于对周围噪声较为敏感，也限制了其集成的可行性；图像识别技术由于在确定评估阈值时随机性强，比较难以定量化，需要进一步研究其可行性；散斑技术可以实时表征表面粗造度，只要建立粗造度与洁净度之间的定量关系，就能使该技术具备实时监测的可能性。

小结

激光清洗技术的推广和普及建立在技术安全可行的基础上，并且符合国家绿色制造的倡导。苏州德威尔卡光电技术有限公司联合多所高校，在激光清洗技术以及实时监测技术上取得了一定的突破，并向客户交付了全球首台核工业清洗工作站，如图 4 所示。未来激光清洗设备的发展方向是，在保证安全清洗的情况下，更多地满足客户的柔性和高效清洗需求。❑

3D激光打印

增材制造工艺及其适用的材料

文/David L. Bourell，Christopher E. Roberts；德克萨斯大学奥斯汀分校

某些聚合物、金属和陶瓷比其他材料更适用于增材制造（AM）工艺。各种增材制造方法之间，也存在着一定的差异。随着增材制造的零部件的机械性能不断提升，增材制造正在逐渐赢得诸多应用领域的认可，适用于增材制造的各种材料也因此受到了业界更广泛的关注。

材料与增材制造工艺密不可分，对于传统制造方式而言同样如此——例如众所周知，并不是每种材料都是可焊接的或可铸造的，因为材料必须要与适当的工艺想配合，反之亦然。增材制造也是如此，要将制造工艺和原材料一起考虑。对增材制造材料感兴趣的读者，若想了解更多信息，可以在参考文献 1 中查阅最近发表的一篇关于该主题的评论文章。

2016 年增材制造材料的销售额为 9 亿美元，同比增长 17%。自 2010 年以来，增材制造材料的销售额大致呈线性增长，预计到 2025 年，增材制造料的销售额将达到 50-80 亿美元。

增材制造联盟（AM community）目前已经将增材制造工艺分成了七大类（见表 1）。其中需要使用激光的三种工艺分别是：粉末床熔合（PBF）、定向能量沉积（EDE）和容器内光聚合。

粉末床熔合工艺先在基底上铺洒一层薄薄的粉末，并用计算机控制的激光束扫描表面的粉末；然后再加入另一层粉末，再扫描，并重复该过程。在定向能量沉积工艺中，粉末或细丝从侧面进入能量源（激光或电子束）。粉末床熔合和定向能量沉积这两种方法通常使用 50~500W 的激光器，用于材料的加热熔化。容器内光聚合工艺通常使用适当波长的毫瓦级激光器，用于在液体热固性聚合物原料中实现光引发交联。

用于增材制造的聚合物材料

根据增材制造研究机构 Wohlers 的报告，在 2016 年消耗的所有增材制造聚合物中，有 46%为容器内光聚合树脂和材料沉积热固性树脂。用于材料挤出工艺的材料中，无定形聚合物占 24%；用于粉末床熔合工艺的材料中，半结晶热塑性塑料占 30%。

用于粉末床熔合工艺的聚合物通常为半结晶热塑性塑料，如聚酰胺、PEEK 和 TPU。无定形热塑性塑料通常不能很好地运行，因为其熔化温度具有较大的粘性范围，使得工艺温度范围最小化，并且经常导致高粘度熔体，这是粉末床熔合工艺所不希望发生的。较宽的熔化温度范围，也会产生过分烧结的零部件结块问题。图 1 中显示了无定形 PLA 粉末用于激光烧结工艺的一个例子，其结果并不理想。



图1：用无定形热塑性聚乳酸（PLA）材料实现的粉末床熔合制造效果，结果并不理想。

粉末床熔合工艺中使用的半结晶聚合物的一个重要特征是，加热时较高的熔点和冷却时较低的结晶温度之间的差异。这个温度窗口应该很大。粉末床熔合建造室被加热到正好低于聚合物的熔点，建造温度恰好足够低以防止粉末层结块。该温度应该处于结晶温度以上和熔点以下的温度范围内。

当激光扫描并熔化粉末时，其冷却回建造室温度，但由于未达到结晶温度而保持其熔体状结构。因此，熔化的部分保持熔化，通常在多层粉末已经放置在顶部之后缓慢地结晶。这在减少残余应力和减小零部件变形方面具有显著优势。然而，这种现象对于金属来说通常是不可能的，并且需要大量的支撑结构来防止零部件在构建期间变形。

霍普金森提出了一种新颖的金属制造方法，其中合金原料被分成两种高熔点成分。当激光（或电子束）扫描并熔化原料时，会形成较低熔点的金属（如共晶），保持熔化状态。这种方法模仿聚合物方法，

消除了对支撑物的需求。

对于材料挤出工艺而言，高粘度的糊状聚合物最好控制挤出和材料放置。适用于这种工艺的常见聚合物原料是无定形材料（如 PLA、ABS 和聚酰亚胺）。尝试在材料挤出压过程中使用半结晶材料，通常会导致质量较差的结构，就像用巧克力和 PEEK 制成多层零部件一样。

用于容器内光聚合和材料喷射工艺的聚合物，通常为热固性聚合物，其含有光引发剂（通常是苯偶姻、苯乙酮、苯偶酰缩酮和环已基苯基酮），其能在给定波长的光存在的条件下，实现交联。早期的商业材料都是基于丙烯酸酯，但是由于这种材料具有较大的收缩性和有害的氧气效应，因此引入了环氧树脂。

用于增材制造的金属材料

适用于增材制造的金属材料的一般规则是，如果一种金属很适合焊接或铸造，那么它很可能也适用于增材制造。除了薄片层压工艺（超声波增材制造，其使用超声波发生器在加工前形成固态焊接金属箔）和金属粘合剂喷射工艺（一种粘合剂被喷射到金属粉末床上）外，金属增长制造过程主要依赖于熔合。

常见的金属增材制造合金材料，自然也适用于焊接 / 铸造，这些材料主要包括 Ti-6Al-4V、AlSi10Mg、316L 不锈钢和 CoNiCr。当使用可焊性 / 可铸性有限的金属材料用于增材制造时，其制造出的零部件通常具有高度缺陷。图 2a 中使用铝合金 6061 材料用于增材制造的情况就说明了这一点：其使用的原料是预合金 Al 6061，这是一种 AlMgSi 合金。凝固的温度范围很大，加上较大的热膨胀系数，这些都会在凝固过程中引起垂直方向（z 方向）的晶粒间断裂。

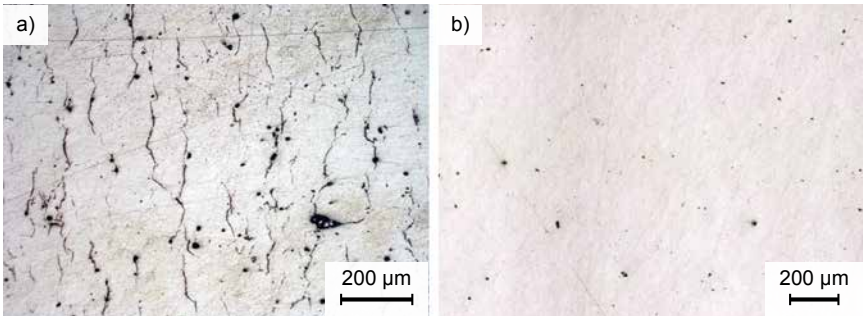


图2：（a）使用Al 6061预合金粉末原料实现的粉末床熔合制造，在垂直方向上出现晶粒间断裂；（b）使用纯铝粉末原料，并未显示断裂现象。

将 Mg_2Si 微粒混合到纯铝粉末原料中，再通过增材制造方式生产出的零部件就不会开裂了。在这种情况下，原料的熔化 / 凝固特性由纯铝主导，因为 Mg_2Si 在激光扫描过程中并不熔化。如图 2b 所示，使用可焊接的纯铝材料，并没有显示出开裂现象。

此外，哪种金属合金可能适用于增材制造工艺，也要根据所使用的条件和所使用的设备而定。例如有报道称，Renishaw 公司的增材制造机器能够成功处理 Al6061 材料，而 EOS 系列 DMLS 机器则不能毫无裂纹地处理这种材料。

用于增材制造的陶瓷材料

使用熔合方法实现陶瓷材料的增材制造面临几大挑战。大多数时候，陶瓷材料具有非常高的熔点和极低的韧性，这些都会在冷却过程中导致开裂。有几个小组已经报道了一些处理氧化物陶瓷的成功案例。

利用激光加工陶瓷的更常见的方法是使用一种间接途径，将聚合物粘合剂与陶瓷粉末混合在一起使用。这种混合的原料，可以使用聚合物粉末床熔化或粘合剂喷射的工艺处理，但是制造出来的零部件要经过一道后处理步骤，以烧掉 / 转化粘合剂并且烧结该零部件。陶瓷原料的间接增材制造，类似于陶瓷注射成型，两者的不同之处在于增材制造使用了较低比例的粘合剂，因为在增材制造中不需要使混合物流动。

陶瓷的机械性能取决于固有的材料行为和缺陷的大小和分布。通常使

表1：增材制造工艺分类

工艺类型	使用激光吗	可使用的材料
粉末床熔合	是	金属、聚合物、陶瓷*
定向能量沉积	是	金属
容器内光聚合	是	聚合物、金属*、陶瓷*
薄片压层	**	金属、聚合物、陶瓷*
粘合剂喷射	否	金属、聚合物、陶瓷*
材料喷射	否	聚合物
材料挤出	否	聚合物

* 间接方法
** 薄片压层过去使用激光，但是目前使用刀片。

下转第35页

展会上的激光演示安全问题

文/刘喜强，激光安全专家、TÜV 莱茵技术（上海）有限公司副总经理

年一度的激光展会为广大激光加工制造从业人员提供了非常好的技术经验交流平台，促进了激光技术在各行各业的快速应用与普及。

例如目前在国内最具影响力的德国慕尼黑激光展，每年大约吸引近800家激光零部件、设备、技术方案等领域的厂商前来参展。该展会主要展示激光加工技术在汽车、钣金制造、船舶、航空航天、国防军工、制造技术、材料加工、自动化、模具、橡塑、电子等多个应用行业的领先加工技术优势，这些新科学、新应用的出现，大大推动了传统产业和新兴产业的发展，助力应用升级换代。在现场的激光演示中，有的是演示完整的产品，有的是演示模块或解决方案；因此并不是所有演示都完全符合激光安全的设计要求，仍然存在一定的安全隐患。

如何保证展会的激光安全是参展商和展会主办方的重要工作。下面，我们就来聊聊，展会主办方和展商怎样才能确保激光展会的安全呢？

充分的安全提示和说明

因为展会现场人员密集，参展商要利用参观手册以及现场提示进行充分的安全提示和说明，确保参展人员能够通过简单明了的标识，注意到危险的现场演示以及注意事项。



图1：TÜV 莱茵演示激光安全警示标识。

图一是德国莱茵为激光展会设计的三种简易的标识。

利用这三种标识，结合展商说明书中的介绍，参展人员在现场看到不同的标识，就能很容易识别某个演示的危害等级，以及是否需要个人防护设备。

演示激光产品审核

参展商要提前提交开机演示激光产品的基本参数，使得展会主办方可以提前判断激光产品的演示安全特性，比如激光的波长、功率或能量、人员可以接触辐射的等级、所需个人防护设备等等；主办方将委托有资质的第三方审核机构，对报名参展的演示激光产品以及演示方案按照国际演示安全规范进行审核，审核通过的演示才能进场。审核不通过的产品或演示，可以不开机展示，也可以和展商协商进行现场的演示安全评估，采取必要的防护措施。

德国莱茵 TÜV 为慕尼黑激光展开发了演示安全数据库，能够高效地管理上千家展商的激光演示资料，进行实时地审核并最终生成展商报告，帮助展商持续不断地改进演示激光的设计。

展会现场的演示安全检查

展会现场需要定期进行激光演示安全巡查，确保所有的激光演示满足审核的要求。对于违反激光安全演示条例的演示，应要求展商立即停止演示，并视严重情况采取相应的措施。展会现场也要安排一个安全负责人员，负责收集和处理紧急激光安全事件。



图2：德国莱茵演示激光安全检查数据库。

通过以上三种方案，我们相信激光展会主办方能够确保演示激光的安全，更好地系统管理演示激光产品，帮助参展商更科学、更安全地演示激光产品。❑

新兴 AR/VR 市场为光学厂商带来新机会

文/Michele Nichols，Launch Team公司总裁

目前，虚拟现实（VR）和增强现实（AR）已经成为同人工智能（AI）一样火爆的话题。消费电子对于光学制造厂商而言，无疑是一个需求量巨大的市场机会，但是由于成本限制，消费电子市场也往往令人难以捉摸。那么，当下炙手可热的增强现实和虚拟现实应用，能否为光学和光电子公司提供一个新的市场增长阵地呢?

在谈到 AR 和 VR 的时候，我们常常会倾向于考虑到游戏和娱乐市场，但事实上，游戏和娱乐市场在整个 AR/VR 应用中占据的市场份额并不大（见图）。培训、检测和健康应用，为 AR 和 VR 技术提供了更广泛的终端用户和一系列新兴需求。

医疗保健和军事领域的监管控制，以及工程领域的精密考量，都有望为光学和光电子厂商带来一些优势。我们知道的很多光学公司都在积极参与 AR 和 VR 的原型设计，但是全面生产还要取决于广泛应用。

应用障碍

AR 和 VR 应用的进展较为缓慢，这也是可以理解的，这主要是因为平台标准化、定价等级融合以及内容可用性等方面相互依赖。

像 Facebook 的 Oculus Rift、HTC Vive 和三星 Galaxy 的 Gear VR 等 VR 平台的推出，都遇到很多障碍，但它们仍然充满希望。不过，AR 的未来似乎更为清晰。即使 Google Glass 重新出现，几乎可以肯定的是，AR 会以智能手机为基础。更重要的是，AR 及其背后的光学元件，为手机制造商提供了一项重要的创新能力，以便能克服缓慢的更换周期。

成本、尺寸和性能优势

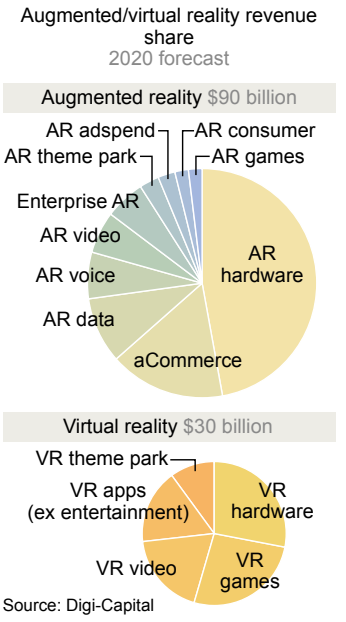
如果光学设计师和制造商能够证明在以下领域提供优势，相信他们会立足于这个新兴的市场：

- 性能
- 效率，有助于延长电池寿命
- 尺寸减小（特别是从桌面到智能手机，光子晶体提供了希望）
- 随着价格类别的形成，成本降低

具体而言，AR/VR 对于在以下领域具有核心竞争力的公司而言，是一个重要机遇：

- 光子晶体
- 光电设计与工程
- 衍射光学元件
- 具备生产途径和扩产能力
- 具有合作灵活性，在前景预期和技术方面具备成熟的能力，具有明确的内部投资政策。

消费类 AR/VR 所需要的大视野，带来了一个典型的工业设计挑战——如何满足成本、尺寸和重量的限制。当然，目前有许多投资都致力于推动这项研究。2017 年 7 月，WaveOptics 为其显示技术筹集了 1550 万美元的资金。



除了最终用户设备之外，AR 和 VR 技术还在以下领域蕴育机会：

- 相机视场——非球面光学元件将有助于满足视场需求，同时保持相机的结构紧凑性；
- 运动传感器——来自红外和光学陀螺仪领域的机会。

无论您的能力如何与市场机遇相匹配，都请您做好研究，了解消费背后的驱动因素，并确保自己有资格把握住市场机会。❑

Michele Nichols，Launch Team 公司总裁，其已经为光学和科技公司开发市场营销计划超过 15 年之久。他的联系方式：电子邮件 michele@launchsolutions.com; www.launchsolutions.com。

CASTECH®
福晶科技

SPIE. PHOTONICS WEST
PHOTONICS WEST 2018
展位号：南馆 #1847
参展时间：2017.1.30-2018.2.1

慕尼黑上海光博会 LASER PHOTONICS CHINA
展位号：W4.4342
参展时间：2018.3.14-16

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

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

PRODUCTS

晶体

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

精密光学元件

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

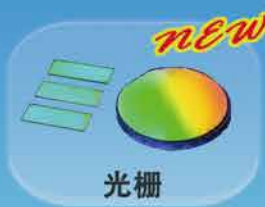
激光器件

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


LBO


精密光学元件

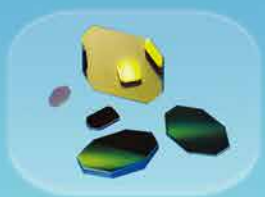

BBO



光栅



CLBO


红外光学元件



TGG/TSAG


高功率光隔离器


$Nd:YVO_4$


扫描场镜

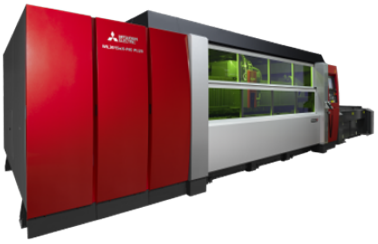


Er:Cr:YSGG

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

2kW/3kW光纤激光切割机

MC Machinery Systems 公司的 SR-F 光纤激光切割机，占地面积 3m × 1.5m，可提供 2kW 和 3kW 两种版本。切割机配备一台光纤激光器、一个加工头、一个安全罩和三菱 M700 系列控制器，该控制器采用 64 位数字控制的 15 英寸触摸屏。



该切割机的主要特性：三菱的高速激光器控制（MHC-L）方法，实现了光纤激光器高速切割能力的最大化；Eco 模式能将待机成本缩减 70%；功率控制系统可提供 ±1%的功率稳定性；自动聚焦实现轻松一致的聚焦；能快速执行指令，减少切割时间；能实现长期稳定加工；MC Remote 360 提供实时数据，以帮助提高生产力和生产效率，减少停机时间。

MC Machinery Systems，www.mcmachinery.com

四步轻松实现陶瓷标刻的激光标刻机

菲镭泰克新推出的 F10 激光标刻机，小巧精致，安装便捷，菲镭泰克提供三种类型的锥形座具选配，满足不同品牌激光器的安装需求。



F10 采用菲镭泰克自主研发的专利软件 LenMark 操作系统，将大幅面标刻、3D 曲面标刻、浮雕功能集成在一起，实现“多功能”。

F10 为用户带来了新的标刻体验，只需如下四个步骤，就能在陶瓷上标刻出不同造型的图案，纹理清晰，不易磨损。第一步：准备好陶瓷片、笔刷、打黑原材料涂料，用毛刷将涂料刷到陶瓷片上；第二步：在 LenMark 软件中导入图形矢量图，进行参数设置；第三步：使用 F10 进行标刻；第四步：将完成图形标刻的陶瓷片用清水清洗干净即可。

菲镭泰克向客户免费开放 F10LenMark_3DS 功能（曲面标刻、浮雕），提供产品使用培训和 24 小时技术服务，并且售出三个月内免费换新。同时提供菲镭泰克独家代理的打黑涂料。

菲镭泰克，www.feeltek.cn

LT系列全自动切管机



华工激光的 LT 系列全自动切管机，可实现对圆管、方管、矩形管以及异型管等型材进行高速、高质量激光切割。相比于传统切割，LT 系列全自动切管机具有如下优势：柔性好、无须开模；节省新产品开发时间；速度快、精度高；可实现管材开孔、断切、相贯线及常规方式难以实现的各种异形复杂图形的精密切割；一次成型，节约成本，提高效率。

设备特点：

- 全自动上料系统：圆管、矩形管等管材可全自动上料，无需人工干预。异型管可进行人工辅助半自动上料。
- 先进卡盘装夹系统：卡盘自我调整中心，根据型材规格自动调整夹紧力大小，保证薄管装夹无损。
- 拐角快速切割系统：拐角快速响应，极大提高切割效率。
- 高效的下料系统：切割后的工件可自动下料到不同区域。

主要应用于健身器材、办公家具、厨具橱柜等行业的圆管、方管、矩形管以及异型管的加工。

华工激光，www.hglaser.com

TruPrint 5000金属3D打印机

德国通快公司推出新款大尺寸激光金属融覆（LMF）3D 打印机 TruPrint 5000，其专门为高速批量生产可定制金属部件而设计，是当前市场上速度最快、生产力最高的一款中幅面 3D 打印机。



TruPrint 5000 几乎适用于所有可焊接的金属，配备三台 500W 光纤激光器，且全部由扫描仪引导，可以照射到打印仓内的任何位置，因此比其它多激光系统更加快速高效。

TruPrint 5000 已经为客户打印出了一款经过重新设计的伺服阀，与原先的产品相比，新的伺服阀不但更轻更紧凑，而且由于内部通道被完美实现，节流损失率明显降低，能源效率明显提高。

通快，www.trumpf.com

皮秒脉冲二极管激光器

德国 Omicron 公司最新推出的皮秒高调制半导体激光器 QuixX，可同时输出小于 50ps 和 CW 模式的激光。波长范围从 405~642nm 可选，输出平均功率大于 300mW。在脉冲模式下，峰峰抖动小于 2ps，用户可自行调节脉冲形状、脉冲高度和重频等。内置任意重频发生器，重频可调范围 1Hz~100MHz。



为了方便与其他设备完美集成，该款激光器内自带有延迟发生器，输出一个延迟可调的同步信号，最大延迟时间可达 28ns@10ps。可消除激光器的色散以达到最完美的聚焦输出，在自由空间模式下，可聚焦成近衍射极限的高斯光斑。Omicron 还可以实现高耦合效率光纤输出。此款激光器匹配 Omicron 通用软件，保证了简便、快捷、人性化的操作和控制。

顶尖科仪（中国）股份有限公司；www.psci.cn

高功率飞秒光纤激光器

FemtoYL ™ -100 系列激光器基于安扬激光公司全光纤飞秒激光器平台而开发，是面向工业应用而设计开发的高功率超快激光器。其平均功率 >100W，峰值功率 >500MW，脉冲宽度 400fs~6ps 可调，频率 25~5000kHz 可调，脉冲能量约 200μJ，光束质量 M^2<1.3，支持 Burst 脉冲串功能。

该激光器按工业应用标准和使用环境设计，可 24×7 可靠运行。内置丰富的激光参数检测，提供激光运行的各种性能数据。这些数据成为激光器日常维护和故障诊断的基础信息，提高激光器管理维护效率，降低设备运维成本。

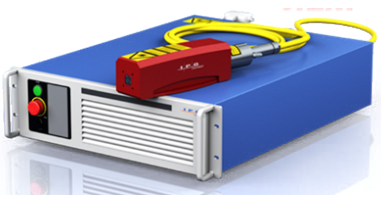


主要应用包括 OLED 模组切割、全面屏切割、蓝宝石陶瓷盖板切割、复合薄膜材料加工、半导体晶圆加工、锂电池隔膜切割、金刚石加工等。

安扬激光，www.yslphotonics.com

YLPP–25–3–50掺镱皮秒光纤激光器

YLPP-25-3-50 掺镱皮秒光纤激光器，输出波长 1030nm，典型脉宽 2ps，最大脉冲能量 25uJ，标准平均功率 50W，最大峰值功率约 10MW，脉冲频率范围 50kHz~2MHz。采用标准 2m 传输光纤输出，水冷方式，并采用对热量不敏感的远程激光头设计。



该激光器主要适用于蓝宝石、超薄超硬玻璃基板等脆性材料的加工，也可用于高效材料清除。

IPG Photonics，www.ipgphotonics.com

上接第30页

用威布尔统计用来描述陶瓷的强度。最常用的术语是威布尔模量，它描述了可能发生脆性破坏的应力范围。威布尔模量低，表明破坏应力范围大，导致难以预测特定零部件的破坏应力；威布尔模量越高越理想，因为破坏应力范围很小，所以也更容易预测特定零部件的破坏应力。

很多时候，通过增材制造方式生产的陶瓷零部件，相比于传统的压制和烧结的陶瓷零部件，具有较低的威布尔模量。但是，随着较大缺陷的消除，威布尔模量也会随之增加。

增材制造材料的机械性能

增材制造方式所生产的零部件，通常与传统加工方式制成的零部件一样坚硬牢固，甚至是更好。这通常与增材制造所产生的精细微结构有关。

增材制造的零部件的弹性模量，通常与手册值相同或略低。这主要归因于残余孔隙度，其会降低模量。增材制造的零部件的延展性（疲劳耐久极限和断裂韧性）通常较低，这似乎与缺陷结构的程度有关。消除增材制造的零部件中的缺陷（例如通过金属的热等静压工艺），通常能将这些机械性能恢复到手册值。

粉末床熔化聚合物的延展性是个例外。在增材制造过程中，长链聚合物不会在原料颗粒边界上混合，而对于注塑成型来说，聚合物长链由于剪切而彻底混合。例如，增材制造的聚酰胺（尼龙）具有约 50%的延伸率，而注塑聚酰胺具有 200%～400%的延伸率。❑

参考文献

1. D. Bourell et al., CIRP Annals, 66, 2, 657-680 (Aug. 2017).

Advertiser	广告商名称	网址	页码
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	BC
北京凯普林光电		www.bwt-bj.com	17
CASTECH Inc.		www.castech.com	33
CIOE	中国光博会	www.cioe.cn	IBC
Edmund Optics China		www.edmundoptics.cn/018-8614	11
FISBA		www.fisba.com	7
华芯光电		www.everbrightphotonics.com	19
Lumentum Operations		www.lumentum.cn	9
莱茵技术		www.tuv.com	31
Pinnacle Scientific	顶尖科仪	www.psci.cn	21
上海超时电子		www.chaoshi18.cn	13

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

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

Amber Li (李歆)
amberl@actintl.com.hk
Tel: 86 21 6251 1200

Shenzhen (深圳)
Jenny Li (李文娟)
jennyl@actintl.com.hk

Gavin Hua (华北平)
gavinh@actintl.com.hk
Tel: 86 755 2598 8571

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

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

Grace Zhu (朱婉婷)
gracez@actintl.com.hk
Tel: 86 159 1532 6267

Asia (亚洲)

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

Taiwan, Singapore, Malaysia (台湾，新加坡，马来西亚)
Mark Mak (麦协和)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

North America (北美)

Southeast, Midwest, Mid-Atlantic and Eastern Canada
Jeff Nichols
Jeffn@pennwell.com
Tel: 1-413-442-2526

US-West and Western Canada
Anne Marie St.John-Brooks,
annemarie@pennwell.com
Tel: 510.606.0630

Europe & Middle East (欧洲及中东)

Europe
Holger Gerisch
holgerg@pennwell.com
Tel: 49(0)8801 9153791

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

CIOE | 中国光博会

UBM

20th ANNIVERSARY

CHINA INTERNATIONAL OPTOELECTRONIC EXPO
中国国际光电博览会

激光技术及智能制造展
Lasers Technology & Intelligent Manufacturing Expo

专注于激光精细加工和创新应用

同期展会

- 光通信展 Optical Communications Expo
- 红外技术及应用展 Infrared Applications Expo
- 精密光学展 镜头及摄像模组展 Precision Optics, Lens & Camera Module Expo
- 光电创新及军民融合馆 Photonics Innovation Pavilion

2018年9月5-8日
深圳会展中心

展出面积：**110,000平米**
参观观众：**65,000+人**
参展企业：**1,700+家**

*以上为CIOE 2018预测数据

关注CIOE官方微信
了解展会最新动态

电话：0755-86290901
E-mail：cioe@cioe.cn

WWW.CIOE.CN

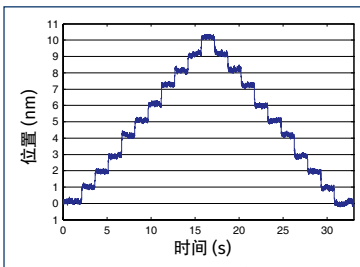
Aerotech 纳米级定位科技

直线定位平台 • 旋转定位平台 • 垂直举升与Z轴平台 • 测角仪

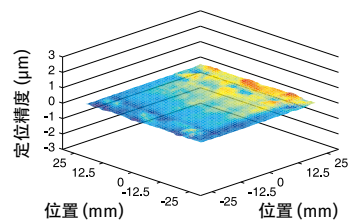


免费索取Aerotech
纳米科技产品相关
型录! 请连结至网址

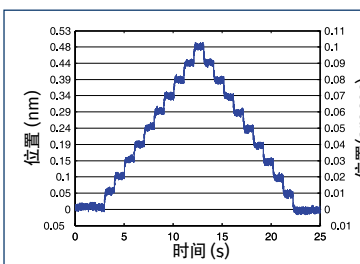
aerotech.com



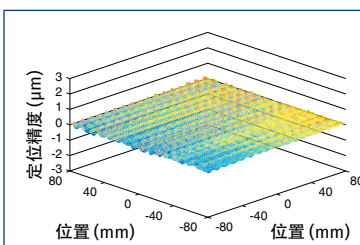
ANT95-L 1 纳米步阶图



ANT130-XY-ULTRA 2D定位精度测试图面



ANT95-R 0.01 arc-sec步阶图



ANT95-XY-ULTRA 2D定位精度测试图面

Aerotech之奈米定位平台系列提供纳米等级之线性定位精度与次弧秒之角度定位精度， 可符合现今最高规格之研究，开发，与生产之需求。

Aerotech生产之直线奈米定位系统提供:

- 1 nm 分辨率
- <1 nm 定位稳定性
- ±75 nm 重复定位精度
- ±250 nm 定位精度
- 最高至160 mm 之行程

Aerotech生产之旋转奈米定位系统提供:

- 0.01 arc-second 分辨率
- 0.005 arc-second 定位稳定性
- 1.5 arc-second 重复定位精度
- 3 arc-second 定位精度
- 360° 连续旋转运动或有限行程旋转运动

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

WORLD HEADQUARTERS: USA

THE AMERICAS • EUROPE & MIDDLE EAST • ASIA-PACIFIC

AEROTECH® *Dedicated to the Science of Motion*

AF0216B-RAD-ZH-CN