光学和光电子产业的主导刊物 www.laserfocusworld.com.cn 2020年3/4月 第2期
ISSN: 1817-6917

# 激光世界

# LaserFocusWorld® China

## 贴片机创新应对高功率激光二极管制造挑战 15

皮秒激光器满足PCB/FPC严苛的切割及钻孔需求 12
周期量级超快激光系统展示高达318W的平均功率 18
面向工业应用的千瓦级超短脉冲激光源 24
*Laser Focus World*“2019年创新奖” 31

ACT
ENDEAVOR BUSINESS MEDIA

微信公众号




# 可调谐激光器

FREE DEMO

以快速，精准，极致，可靠为本

- 稳定获取WDL & PDL数据
- 硅光子器件测试




santec The Photonics Pioneer since 1979

www.santec.com.cn

JPT | HiPA

# 全自动FPCB基板激光切割机

切割好 • 切割精 • 切割快 • 切割全 • 切割稳 • 切割准 • 智摆放



**双激光双工位同步高速精准切割**
**全自动切割、分板、摆放、自动上下料**



「**切割好**」 切口截面无变色，不凸起；竖直切割无倒角；
切后分板更容易；紫外切割低烟尘。

「**切割精**」 综合切割精度±30微米; CCD定位精度<5微米。

「**切割快**」 UPH高达6000; 治具切换调试时间<2小时。

「**切割全**」 兼容多种PCB基板；不同产品间快速切换；
高效软件支持多种语言。

「**切割稳**」 定制化载盘，完美贴合产品；
全面防震设计，保障系统稳定可靠。

「**切割准**」 单相机定位，实现基板整体特征点与Mark点识别；
双相机实时跟踪，实现切割效果与摆盘动作监控。

「**智摆放**」 高速视觉系统实现不良品分拣；
4PNP模组16吸嘴实现高速高精度摆放。

| UPH | 定位精度 | 切割光斑 | 切割精度 | 激光功率 | 机台功率 | 供电电源 | 设备尺寸(mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6000 | <5μm | Φ=12μm | ±30μm | 18W | ≤5KW | AC380V | 2500×1700×1900 |

JPT 股票代码 688025
深圳市杰普特光电股份有限公司
www.jpt-hipa.com
hipa_sales@jptoe.com



15 封面故事
高功率激光二极管
贴片机创新应对高功率二极管制造挑战
一种用于高功率激光二极管封装的贴片机，在无需任何工具转换的情况下，为激光器芯片或巴条的贴装提供了灵活的解决方案。

## 市场观察

8 中国工业激光市场发展现状与未来趋势



本文介绍了中国工业激光市场的最新经济状况、未来将出现的产品和价格竞争趋势，以及对中国乃至世界市场的影响。

## 应用天地

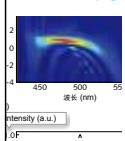
12 皮秒加工
皮秒激光器满足PCB/FPC严苛的切割及钻孔需求



HyperRapid NX系列皮秒激光器，能够以卓越的加工质量、极小热影响区和高加工速度，满足PCB/FPC电路板微加工的严苛要求。

## 技术中心

18 超快激光器
周期量级超快激光系统展示高达318W的平均功率



研究团队成功研制出单脉冲能量为毫焦级、重复频率100kHz、脉宽10fs的脉冲激光，平均功率高达318W，这为工业应用开辟了新的可能性。

20 调制器
基于硅光子的PIC调制器实现密集型数据中心互连



利用可扩展的硅光子架构的经济高效的小型相干调制器，在满足高波特率数据中心互连需求方面，比InP或$LiNbO_3$具有更高的集成度。

24 USP激光器
面向工业应用的千瓦级超短脉冲激光源



将皮秒和飞秒激光器的功率扩展到10kW甚至更高，使USP激光器成为一种具有CW光纤激光器的平均功率和USP激光器独特功能的工具。

## 光子学产品

28 直接二极管激光器
用于材料加工的直接二极管激光系统展示其功率和加工效率



随着直接二极管激光器的功率达到千瓦甚至万瓦级，以及光束质量的提升，特别是高功率蓝光直接二极管的出现，为工业应用开辟了更多可能。

31 2019创新奖



哪些公司的哪些产品荣膺*Laser Focus World*“2019年创新奖”？

4 编者的话
6 前沿简讯
37 产品撷英
40 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




## 15 COVER STORY

High-Power Laser Diodes

**Die-bonder innovations target HPLD manufacturing challenges**

A die bonder for packaging high- power laser diodes provides flexibility for both chip and bar on submount without changeover.

## MARKET TRENDS

**8** **The status of industrial lasers in China**



This article provides an update on the current economic situation in the world's single largest market for industrial lasers and systems.

## APPLICATIONS

**12** Picosecond Processing

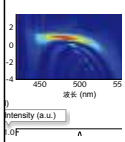


**Picosecond lasers meet changing demands of cutting/drilling in microelectronics**

Hyperrapid NX series picosecond lasers can meet the strict requirements of PCB/FPC circuit board micromachining with excellent processing quality, minimal heat affected zone and high processing speed.

## TECHNOLOGIES CENTER

**18** Ultrafast Laser



**Few-cycle ultrafast laser system demonstrates an average power of 318W**

The research team succeeded in generating multi-millijoule 10fs pulses at a 100kHz repetition rate and an average power of 318 W, which is opening up new possibilities for industrial applications.

**20** Modulators



**Silicon-photonic-based PIC modulators scale up for dense datacenter interconnects**

Cost-efficient small-form-factor coherent modulators that leverage scalable silicon photonic architectures reach higher levels of integration than InP or LiNbO3 for high-baud-rate datacenter interconnect demands.

**24** Ultrashort-Pulse Lasers



**Ultrashort-pulsed laser sources with kilowatt power for industrial applications**

Scaling picosecond and femtosecond laser sources to 10 kW and beyond, and make the USP laser a tool with average powers of current CW fiber lasers plus the unique features of USP lasers, including high precision and low or no dependency on the processed material.

## PHOTONICS PRODUCTS

**28** Direct-diode Laser Systems



**Direct-diode laser systems for materials processing show their power and efficiency**

With the power of direct diode laser reaching kilowatt or even 10 kilowatt, and also the improvement of beam quality, especially with the emergence of high-power blue light direct diode, all these open up more possibilities for industrial applications of direct diode lasers.

## 31 2019 INNOVATORS AWARDS



**Laser Focus World announces 2019 Innovators Awards**

4 EDITOR'S NOTES
6 LEADING EDGE SNAPSHOTS
37 PRODUCTS HIGHLIGHTS
40 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.

# 面对疫情 积极应对

2020 年伊始，一场突如其来的新型冠状病毒肺炎疫情，几乎让所有非必需的制造行业都暂时进入停摆状态；经过全国人民两个多月的努力，当国内战疫即将迎来胜利的曙光、企业逐渐复工之际，疫情又开始在全球范围内肆虐蔓延，尤其是在欧美这两个重要的激光市场，目前情况不容乐观。2020 年对于激光行业而言，将是艰难的一年。

面对无情的疫情，激光行业并未束手旁观，我们看到了行业内无数积极的行动，也被无数激光人的行为所感动。当最初武汉因疫情陷入困境时，很多激光企业纷纷捐款，在无情的疫情面前伸出了有情的援手。

疫情当下，面对口罩等防护用品急需的情况，有很多企业纷纷转产投入口罩生产，对口罩机的需求激增。一些激光设备制造商也应急迅速研发生产口罩机，据大族激光透露，公司已接到上百台口罩机订单，目前正在忙碌地生产与交付中。

除了积极为抗战疫情出钱出力外，在当下展览、会议等线下活动通通延期或取消的情况下，很多激光企业都在做线上演讲、线上展示等活动，以便让更多用户更多地了解他们的产品和技术，当一切恢复正常后，可以快速进入生产销售状态。

这场疫情也让全世界开始用新的眼光来看待中国；中国人的善良、勤劳、勇敢和担当，中国制造业所获得的迅猛发展，都让世人刮目相看。疫情终将过去，相信在不久的将来，中国激光市场尤其是工业激光市场，将重回上升通道。

目前中国的大部分传统制造业仍处于新旧交替的发展阶段，在接下来的产业转型升级中，激光技术将是一种不可或缺的重要工具；另外 5G 通信在中国的启用，也将对激光加工产生新的需求，进而促进产品和技术的发展（p8）。随着微电子产品制造向更高端发展，对 PCB/FPC 电路板的微加工要求越来越严苛，皮秒激光器能够满足高质量、极小热影响区和高速的 PCB/FPC 切割及钻孔需求（p12）。在高功率激光二极管的封装制造领域，贴片机的创新为激光器芯片的贴装工艺提供了灵活、快速的高精度解决方案（p15）；与此同时，随着这类激光器的功率提升到数千瓦甚至万瓦级，以及蓝光产品的出现，它们在材料加工领域获得的直接应用越来越多（p28）。

本期内容中，您还将了解到面向工业应用的千瓦级超短脉冲激光源、超快激光系统在功率输出方面的最新进展，以及 *Laser Focus World* “2019 年创新奖”评选结果等内容。

很多困难无法预期，但是面对困难积极应对的态度和行为，终将冲散所有阴霾，相信云开雾散后的天空会更加晴朗。❑

本刊编辑部

激光世界
LaserFocusWorld® China

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

免费赠阅咨询
电话 (86) 755 2598 8571
传真 (86) 755 2598 8567
电邮 circulation@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 dbelforte@endeavorb2b.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

ENDEAVOR BUSINESS MEDIA

尖端技术部通讯与光电子分部
副总裁 / 集团出版人 Alan Bergstein
电话 (1) 603-891-9178
电邮 alanb@endeavorb2b.com
副出版人/总编辑 John Lewis
电话 (1) 603-891-9320
电邮 jlewis@endeavorb2b.com
高级编辑 John Wallace
电话 (1) 603-891-9228
电邮 jwallace@endeavorb2b.com
高级编辑 Gail Overton
电话 (1) 603-305-4756
电邮 goverton@endeavorb2b.com
管理编辑 Lee Dubay
电话 (1) 603-891-9116
电邮 ldubay@endeavorb2b.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

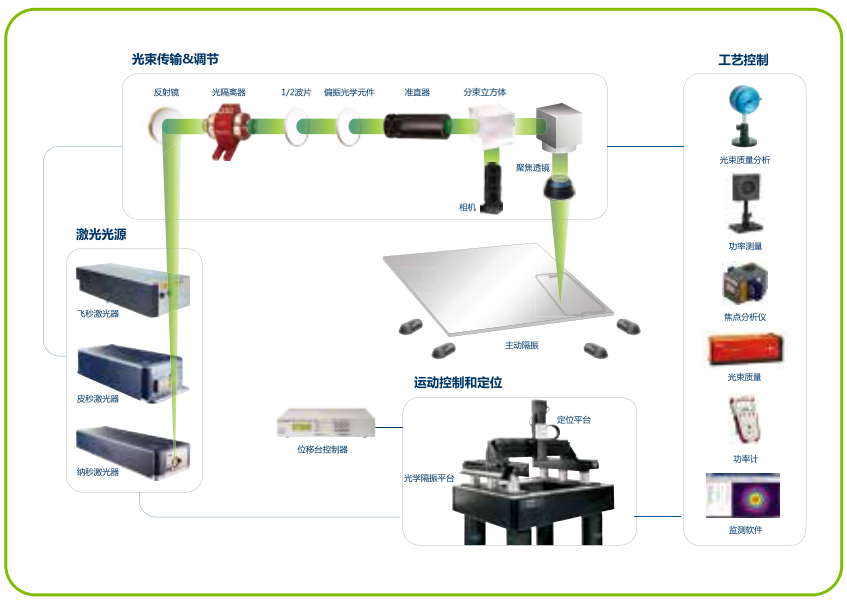
尖端技术分部
读者服务主任 Debbie Bouley

地址 Laser Focus World, 61 Spit Brook Road, Suite 501, Nashua, NH 03060
电话 (1) 603-891-0123
网址 www.laserfocusworld.com

ISSN 1817-6917
© 2020 版权所有 翻印必究

# Surround the Workpiece®

## 我们为先进激光应用提供一站式服务




针对先进激光解决方案的市场需求，MKS 提出了 Surround the Workpiece® ，我们提供关键的元件、系统以及服务以帮助客户成功实现这些解决方案。

- 全系列激光，光子学和光学解决方案
- 应用实验室和技术支持
- 集成业务解决方案
- 研发和工程支持
- 校验和维修

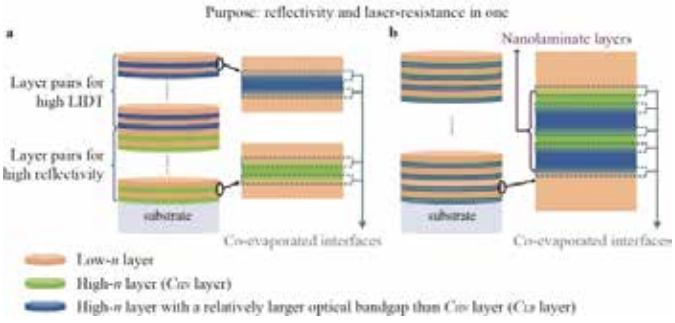
了解更多产品信息，请访问 www.newport.com.cn 或拨打热线 400 799 8000

mks | Newport™ | Ophir® | Spectra-Physics®

# 前沿简讯 Leading Edge Snapshots

## 上海光机所等在紫外激光反射薄膜方面取得进展

上海光机所薄膜光学实验室与美国新墨西哥大学合作，基于可调谐纳米叠层的思想设计紫外激光反射薄膜，实现了具有高反射率、宽带宽和高激光损伤阈值的355nm 激光反射薄膜。




图：高激光损伤阈值反射薄膜膜系设计结构示意图。（a）传统组合膜系设计；（b）新型纳米叠层膜系设计。

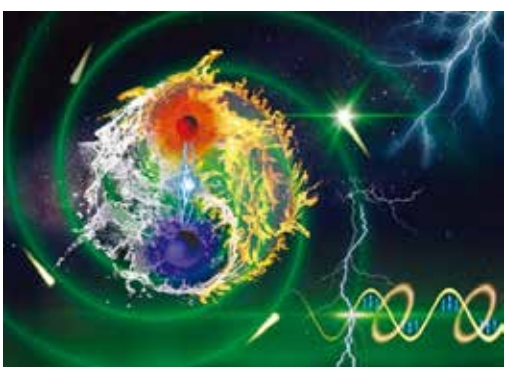
激光装置输出功率的不断提升，对激光薄膜的要求不断提高。理想的紫外激光反射薄膜需要同时具有高反射率、宽反射带宽和高激光损伤阈值。但这些要求很难同时满足。过去通常采用的组合膜系设计，需要对反射率、带宽和激光损伤阈值等进行权衡折衷。

该研究中，科研人员利用纳米叠层的折射率和光学带隙可调谐的特性，来设计新型紫外激光反射薄膜。采用两种材料交替的纳米叠层作为一层具有高折射率和大光学带隙的等效层，取代传统组合膜系设计中的高折射率膜层。在保持总光学厚度不变的前提下，通过改变纳米叠层中两种材料的厚度比例，可以调节纳米叠层薄膜的（平均）折射率和光学带隙。这使得发展出同时具备高反射率和高激光损伤阈值的紫外反射薄膜成为可能。

基于新型纳米叠层设计思想，科研人员设计并在实验上证明了基于 $Al_2O_3$-$HfO_2$ 纳米叠层的反射薄膜，在紫外波段具有更高的反射率、带宽和激光损伤阈值，适用于紫外激光领域。❑

## 科学家获得高品质稳定线性偏振单模激光

中科院上海光机所激光与红外材料实验室与华东师范大学、南京航空航天大学合作，在耦合双球微腔中获得了高品质、稳定的线性偏振单模激光。



微纳结构光学微腔激光，在微型光电子器件集成以及激光显示领域具有非常重要的应用价值。微纳结构微腔激光与传统的可添加偏振片或引入偏振种子光束的传统激光器不同，微腔中的激射是以不具有偏振特性的自发辐射作为“种子光”，这使得激射的偏振度普遍较低。基于游标效应既能减少激射的模式数、又能对偏振方向进行一定的筛选，是提高激射偏振度的有效办法。

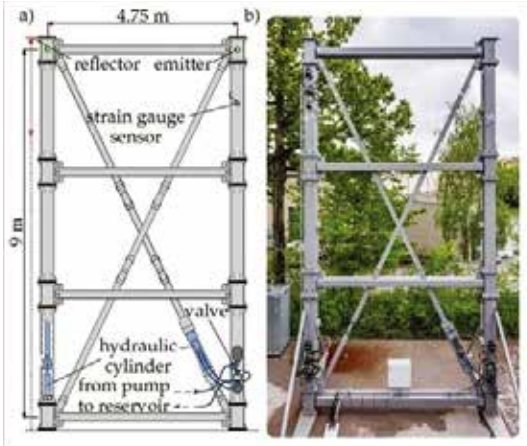
研究团队利用钙钛矿双球微腔进行耦合，通过游标效应成功地将激射的偏振度从 -0.2 提升至 0.78。当双球微腔间距为 -30nm 时，产生光场相互作用，获得了低阈值、高偏振度的单模激射，并且该激射可在 1.4 倍阈值功率泵浦下，以相对强度 1 维持 55 分钟。此外，研究团队还分析了单个和耦合微球的模态分布，解析了耦合前后谐振的物理图像。在游标效应作用下，由于简并模式的减少和 TE 与 TM 模式耦合效率的差异，激射的偏振度得到大幅度提高。专家表示，这项研究成果对于促进微纳结构光学微腔激光的基础及应用研究具有重要意义。❑

# 斯图加特大学开发出可监测建筑物形变程度的激光系统

斯图加特大学的一支研究团队，开发出了一套基于激光的建筑物形变监测系统。值得一提的是，该装置结合了多个被永久安装在建筑物正面、并向外部照射的多个激光器。该监测系统不仅检测速度较其他方案更快，而且成本也更加低廉。

每一个激光源，都可以被安装在三脚架上、距离建筑物 10m 远的图像传感器所捕获。与图像传感器连接的计算机，能够不断地接收全息光点图案，并分析是否存在结构问题。如果任何一个激光器的移动幅度都较其他激光器更小，这种模式的不匹配，就会触发系统的警报。

通常情况下，施工方可以在建造时就将监测系统内置到建筑物的结构体中，当然也可以选择后续再添加。现有一些系统能够将光照射到建筑物结构上，然后使用相机拍摄图像、并通过计算机展开视觉分析。但斯图加特大学的新系统，可以更快、更精确地工作，因其直接将激光照射到了相机的图像传感器上。




目前，研究团队已经在一座 9m 高的建筑物框架上展开了测试，发现激光 + 相机所获得的读数，与使用振动计和应变仪传感器检测到的精度相似。如果展开进一步的开发，这套系统不仅可以用于发出警告、甚至能够让建筑结构本身作出反应。这种类型的适应，需要调用极其精确的建筑物形变测量数据，以估算当前状态、并预测建筑物可能的移动方向。❑


大视场
激光扫描切割解决方案



**XL*SCAN*** 组合的激光扫描解决方案是由SCANLAB公司和ACS运动控制公司联合开发的. 它创新的理念是靠扩展的工作区域 使能宽范围的激光打标和大型基板的加工



SCANLAB
innovators for industry

ACS MOTION CONTROL

ACS Motion Control China
,肇嘉浜路798号,301室
上海,200030, 中国

Tel: +86-21-54830819
Cell: +86-13601639842
www.acsmotioncontrol.cn

Smarter Motion

# 中国工业激光市场发展现状与未来趋势

*本文介绍了中国工业激光市场的最新经济状况、未来将出现的产品和价格竞争趋势，以及对中国乃至世界市场的影响。*

文/顾波

经过了过去两年的快速增长后，2019 年中国工业激光市场遭遇了困难时期（见图 1）。中美贸易战的不确定性，无疑让中国工业激光市场面临更加凛冽的寒冬。一方面，激烈的市场竞争已经迫使激光器的价格急剧下降，特别是光纤激光器和超快激光器的价格。另一方面，前所未有的低售价，使得激光技术的应用比许多传统制造技术更具成本效益，因此这又促使激光应用迅速普及，特别是在钣金切割、激光打标以及计算机、通讯和消费电子（3C）制造领域。与此同时，不断改良的国产激光器的崛起，正在逐步取代进口激光器，这也极大地改变了中国工业激光市场的格局，而中国市场也正在主导着全球工业激光市场的收入。

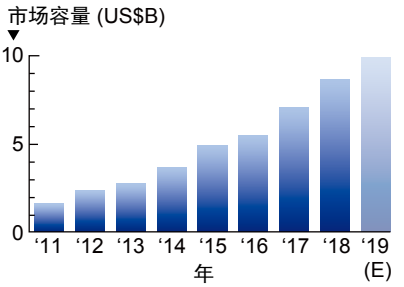



图1. 2019年中国工业激光设备市场市场。

过去几年，中国经济增长放缓，2018 年和 2019 年上半年，中国 GDP 的年增长率分别为 6.8% 和 6.3%。中国的制造业基础设施，正在从低附加值向高端智能制造转型。

以激光器为核心的光电产业，正在中国制造业的转型中扮演重要角色。2018 年和 2019 年上半年，战略性高科技行业的增长率远高于 GDP 的增长率，分别为 11.7% 和 8.9%，




图3. 上海CIIF展会上深圳创鑫激光展示35kW光纤激光器。

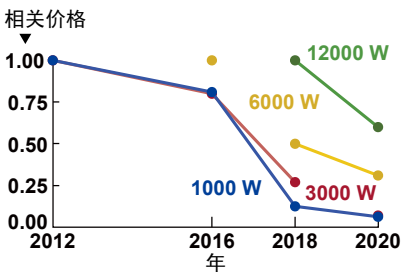



图2. 中国市场光纤激光器价格趋势。

激光器在这两个领域都有着广泛的应用。与遭受市场大环境影响的其他行业相比，许多激光公司的表现相对较好，尽管经济放缓也对短期收入造成了一定影响。

经济放缓导致的市场需求萎缩，再加上前两年受好形势的鼓励和推动而引发的对激光器领域的过度投资，已经导致国内激光器厂商的降价幅度超出正常范围。例如，光纤激光器制造商武汉锐科在 2019 年上半年的收入为 10.12 亿元人民币，较去年同期增长 34.75%；但是利润却比去年同期下降了 15.25%，降为 2.19 亿元人民币，利润降低主要是降价所致。图 2 显示了在中国市场销售的不同功率

表1.目前基于客户调查的中国市场光纤激光器的价格

| | 进口 | 国内 |
|---|---|---|
| 20 W pulsed | - | 700 |
| 1000 W CW | 11,000 | 4,700 |
| 3000 W CW | 29,000 | 19,000 |
| 6000 W CW | 86,000 | 43,000 |
| 10,000 W CW | 140,000-170,000 | 100,000 |

reci

专业工业激光器生产商

# 热刺激光
# [3000W、4000W]

## 单模光纤激光器新品上市




▶ 热刺激光 www.recilaser.com

▶ 联系电话：86-10-6436 6506

—关注我们—

水平的光纤激光器的价格走势。需要提醒的是，图 2 很可能还低估了价格下降的趋势，因为最近几个月，我们发现至少有 10 家国内公司能提供中高功率的光纤激光器。

一旦制造高功率光纤激光器的技术壁垒被攻克，就必然会有更多公司进入这个市场，参与竞争。竞争的结果将导致光纤激光器价格大幅下降，特别是功率在 2~6kW 范围内的产品（见表 1）。预计这种价格侵蚀将很快蔓延到 10kW 甚至更高功率的产品上。

2019 年 9 月 17 日至 21 日在中国上海举行的中国国际工业博览会（CIIF）上，我们看到了这种即将到来的趋势。在进口产品方面，我们见证了 IPG 的 30kW 光纤激光器和 nLIGHT 的具有智能光束调节功能的 20kW Corona 光纤激光器；而在国产阵营中，有锐科的 30kW 光纤激光器和创鑫激光的 35kW 光纤激光器（见图 3）。更有趣的是，大族激光也展示了自己研发的 6kW 和 12kW 光纤激光器。可见，高功率光纤激光器市场的竞争越来越激烈。

光纤激光器已成为中国材料加工的主要激光源，占据了激光加工市场 60% 以上的份额。激光器价格下降带来的积极效果是：激光应用在价格敏感的最终用户那里迅速普及，特别是在金属切割、打标和清洗应用领域。2018 年，在中国市场共售出 3 万台中功率和 6000 台大功率激光切割机，以及 13 万台激光打标机。

另一个值得注意的领域是快速增长的紫外（UV）激光器和超快激光器，这背后的主要驱动力是 3C 应用。目前，至少有 15 家超快激光器制造商在这个有吸引力的市场上参与竞争（见图 5、图 6）。2018 年，在中国市场共售出 1.5 万台紫外激光器，预计 2019 年该数字将达到 2 万台。

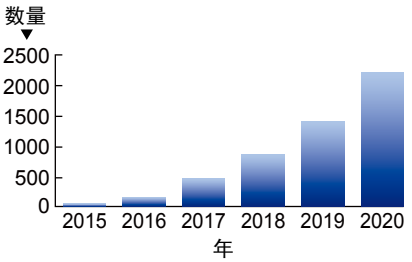


图5. 2015~2020年中国制造的超快激光器总数。

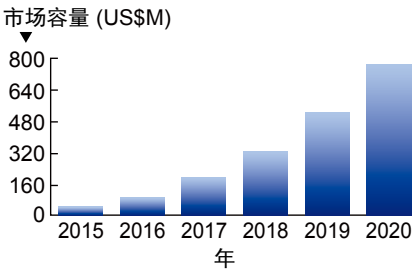


图6. 2015~2020年中国超快激光器市场容量。

## 结论

对中国激光产业而言，2019 年注定是不平凡的一年。中美贸易战和价格战都给中国激光产业的发展带来了机遇和挑战。其结果是激发了中国激光器制造商前所未有的自主创新意识和决心，他们加大对研发的投入，要靠自身实力谋求生存发展。

尽管全球经济形势依然不容乐观，但大部分中国传统制造业仍处于“新旧交替”的发展阶段，激光技术不仅可以促进传统产业的升级改造，而且可以利用自身优势，进一步开拓自身的市场空间。此外，中国的“一带一路”倡议为中国制造业以及中东、南美洲、东南亚等地的激光产业，创造了良好的经济增长机会。

## 未来趋势

5G 通信对激光加工产生的新需求，将促使激光制造商推出新产品和新技术。随着 OLED 屏成为主流产品，市场对激光加工、特别是超快激光器及其加工系统的需求，将迅速增长。

由于激光源和工艺条件的成熟，激光熔覆和激光修复应用正进入成长期。这将使电力、石油和天然气、冶金、航空和航天等行业受益。光纤激光器和直接二极管激光器都可用于这些加工领域，但是它们需要在恶劣的环境下工作，需要极高的可靠性和稳定性。

中国的激光焊接市场，也将随着电动汽车和动力电池行业的增长而增长。表 2 显示了针对该市场的需求和潜在投资预测，特别是对激光设备的资本投资。

表2：2018-2020年，中国在动力电池和相关激光加工设备方面的投资。

| | 2018 | 2019E | 2020E |
|---|---|---|---|
| 动力电池输出 (GWh) | 73.8 | 104.2 | 146.5 |
| 新的输出 (GWh) | 29.3 | 30.4 | 42.3 |
| 新的投资额 (US$B) | 3.35 | 3.47 | 4.83 |
| 新的激光设备的投资额 (US$B) | 0.34 | 0.35 | 0.48 |

在中美贸易战中，中国工业市场正在经历着光纤激光器和超快激光器的激烈价格战。多数国内企业正面临经济下行的压力。高功率光纤激光器和超快激光器的技术壁垒已经被国内制造商攻克，这些制造商正在迅速地改变中国工业激光市场的格局，世界其他地区也将随之受到影响。❑

# CASTECH®

福晶科技



## 全球先进的一站式超快方案供应商

- **激光光学元件**
  - 光栅
  - 啁啾镜
  - 高损伤光学元件
  - 超光滑镜片
  - ...
- **激光晶体**
  - Yb:CALGO
  - Yb:$CaF_2$
  - Yb:KGW
  - Yb:YAG
  - Nd:$YVO_4$
  - ...
- **激光器件**
  - 声光调制器
  - 高功率隔离器
  - BBO普克尔盒
  - ...

*Visit us at*

慕尼黑上海光博会 LASER PHOTONICS CHINA

展位号: *7.1Hall B449*

*2020.7.3-5*

国家会展中心(上海)

扫描二维码
了解更多信息
+86-591-83710533

皮秒加工

# 皮秒激光器满足 PCB/FPC 严苛的切割及钻孔需求

*HyperRapid NX系列皮秒激光器，能够以卓越的加工质量、极小热影响区和高加工速度，满足PCB/FPC电路板微加工的严苛要求。*

文/Hatim Haloui，Dirk M ü ller；Coherent相干公司

## 小孔径、低热影响区和高产能的方案

不断追求小型化和高能性是电子工业的一大特征，这几乎影响着电子制造业中的所有环节，包括刚性 PCB 板（含封装基板）和薄型柔性电路板 FPC 生产过程中的一些重要微加工步骤，尤其是钻盲孔和钻通孔（钻孔后需要进行电镀，以连接电路板的不同层上的电路）以及电路板 / 基板的切割和剪裁。在这些激光加工工艺中，有些要求已达到现有激光技术（如纳秒激光）的极限。因此，短波长（可见光和紫外光）的超短脉冲（USP）激光器逐渐崭露头角，得到越来越多客户的关注。超短脉宽激光器厂商也在提供更高功率和更低成本的激光器，以满足客户关于改进产品质量和提高产量的双重需求。

## 更短脉冲、更短波长

在对 PCB 和 FPC 进行切割和钻孔时，最大限度地减小热影响区至关重要。从某种程度上说，切面或孔附近的材料的热影响区是热降解。使用超短脉冲激光器可以最大限度地减小热影响区。使用短脉冲可实现“更冷”的激光加工过程，即“冷加工”，这是由于脉冲持续时间短于有机材料中的热扩散时间。也就是说，大部分激光脉冲能量还没来得及扩散，就已被喷射出来的材料带走了（见图 1）。

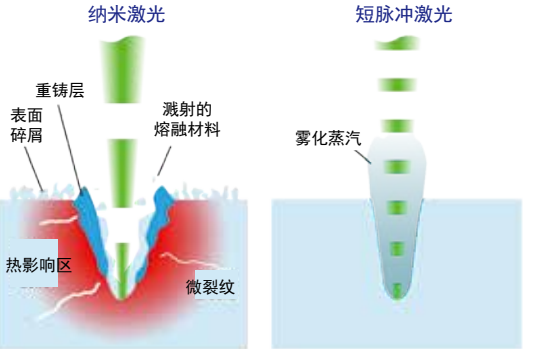



图 1：使用短脉冲激光器时，大部分脉冲能量会作用在喷射出的材料中被带走，从而大大缩小几乎所有材料中的热影响区域。

超短脉冲激光器的脉冲能量虽然比纳秒激光器小得多，但这类激光器较低的烧蚀阈值（较高的加工效率）抵消了降低的脉冲能量，因此产量更高。此外，超短脉冲激光器的脉冲重复频率更高，可以支持快速多次加工，非常适合在基板（通常为陶瓷）顶部选择性地加工较薄的层。在大多数应用场合，被加工材料的总厚度为 1mm 或更薄；但在有些特殊应用场合，被加工材料的总厚度可达 2mm，

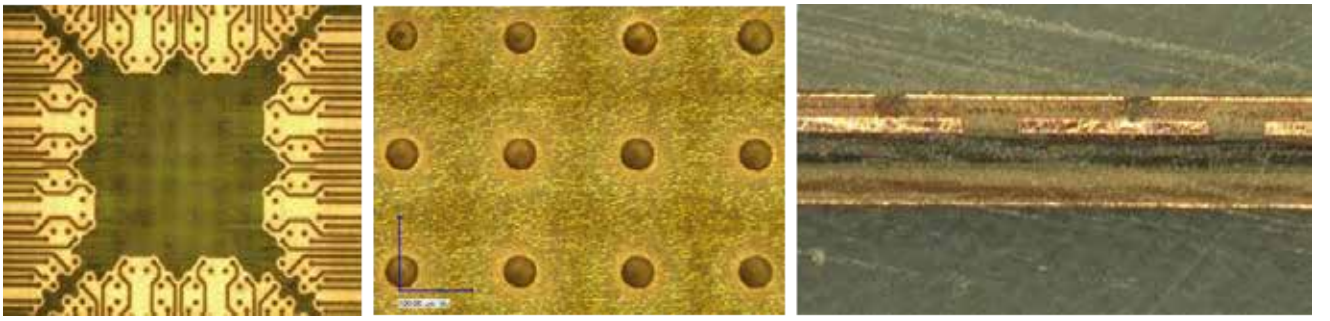


图 2：在不同的放大数倍和角度下观看在贴有 ABF 的铜材料上钻取的盲通孔。这些孔是使用 HyperRapid NX 皮秒级绿光激光器在 25W功率下加工出来的。孔的直径和深度均为 40μm。最大钻孔速率为每秒 1000个孔。

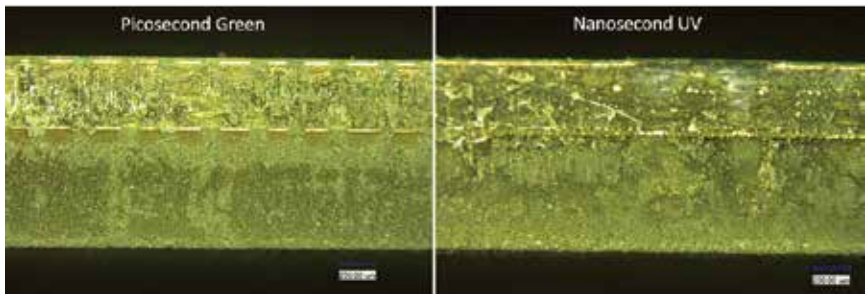


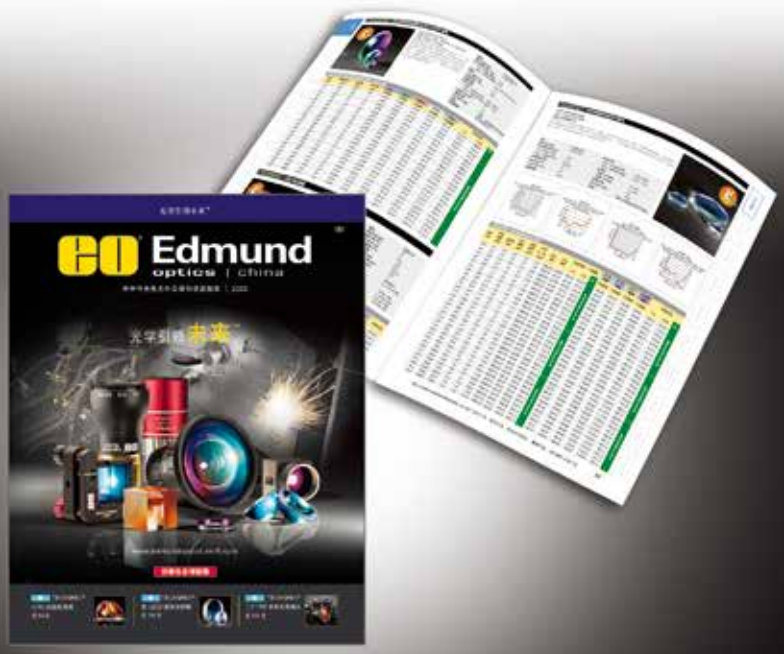

图 3：切割 1.2mm 厚的 SiP：左图使用 HyperRapid NX 皮秒绿光激光器，切割速度大于10mm/s。右图使用纳秒紫外光激光器，切割速度小于10mm/s。

例如在汽车行业。

在 PCB 的生产中，有两项基于激光的关键加工工艺：一是在 PCB 上钻盲孔，使上层电路和孔底部裸露的下层电路通过后续的电镀金属工艺实现导通；二是激光切割分板，从 PCB 大板上切割出单个 PCB 产品。目前，钻孔的直径在 50~100μm 的范围内，最终切割出来的 PCB 通常是简单的正方形或矩形，没有复杂的形状。除非激光只是切割 PCB 产品与大板之间的连接部分，这种方式的工艺可以加工多种形状的 PCB。

传统的切割和钻孔都是使用锣刀和钻头进行机械加工。用于 100μm 通孔的典型钻孔机器有六个钻孔头，每个钻孔头每秒可钻 20 个孔。然而，钻头钻取 2000 个孔后，就已经达到了其使用寿命极限。在过去的十年中，PCB 机械钻孔工艺已被二氧化碳（$CO_2$）激光器的激光钻孔工艺广泛取代，例如 Coherent 相干公司 DIAMOND 系列中的二氧化碳红外激光器，可提供出色的功率成本比。但是，如果要钻的通孔直径为 50μm 或更小，$CO_2$ 激光器则无法提供所需的加工精度，并且会产生较大范围的热影响区。在这类应用场合，通常首选纳秒绿光激光器。但现在，越来越多的客户寻求同时兼顾小孔径、低热影响区和高产能的方案，皮秒绿光超短脉冲激光器可以很好地满足这一需求（见图 2）。以 Coherent 相干公司开发的 HyperRapid NX 系列为例，这些绿光皮秒激光器在与快速扫描振镜配合使用时，能提供高达 2000kHz 的脉冲

光学引领未来™




新品

光学与光电元件目录！

Edmund Optics® 2020 全新光学与光电产品目录现已发布 – 2020年版目录版面继续扩展，全书用420页的篇幅介绍了各种优质光学与光机械元件…超过18,000款独特产品！本目录是了解EO核心产品及获悉光学行业最新趋势的必备工具之一。

立即索取！

Edmund optics | china

爱特蒙特光学(深圳)有限公司
中国深圳市龙华工业东路
利金城科技工业园3栋5楼，518109
Tel: +86 (0755) 2967 5435 Email: chinasales@edmundoptics.cn

欲了解更多信息，请点击此处:
www.edmundoptics.cn/030-8618



图 4：使用 HyperRapid NX 皮秒激光器切割的不同 PCB 材料的横截面。左图：包含金属层的 1.3mm SiP（使用 HyperRapid NX 绿光皮秒激光器，切割速度大于 10mm/s）。中图：陶瓷基板上 250μm 厚的 PCB“指纹传感器”（使用 HyperRapid NX绿光皮秒激光器，切割速度大于 40mm/s）。右图：1mm厚的PCB（使用 HyperRapid NX 红外皮秒激光器，切割速度大于 20mm/s）。

重复频率和每秒钻出 3000 个孔所需要的高功率。

切割 PCB 最常用的激光器是紫外纳秒激光器。但是，较长的脉宽会导致边缘变色，从而影响终端客户的外观评测，而且还会留下碎屑，导致必须在激光加工后安排清洗环节来清除这些碎屑。但是清洗环节有损坏电路的风险，并且污染环境。因此，PCB 制造商越来越多地寻求使用红外光或绿光超短脉冲激光器来执行单步切割工艺，无需清洗环节。在超短脉冲激光器中，红外光的成本最低、功率最高，但绿光的加工效果最好，见图 3 和图 4。

## 柔性电路

柔性电路由铜和 PI、稀有铜和液晶高分子材料（LCP）等柔性聚合物层压而成。为了提供必要的柔性，它们比厚度在 100~300μm 范围内的刚性 PCB 薄得多。最重要的激光加工工艺仍然是钻孔和切割。多年来，这些任务主要由波长 355nm 的纳秒紫外激光器完成。由于对“窄切割缝隙、复杂曲面和多样切面轮廓”的应用需求不断增加，现在很多 PCB 制造商都希望逐渐过渡到使用皮秒紫外光激光器。最新智能手机 OLED 显示屏背面的紧密折叠电路就是一个典型例子。此外，纳秒激光器的重复频率被限制在几百 kHz，而皮秒激光器的重复频率可以达到 几千 kHz。

如前所述，较低的烧蚀阈值配合较短的脉冲，Coherent 相干公司的 HyperRapid NX 355 激光器的切割速度可达到纳秒激光器的 10 倍。在具体演示中，当激光器的运行功率为 50W、重复频率为 5MHz 时，对于厚度高达 130μm、切割宽度小于 50μm 的聚酰亚胺柔性电路基板，有效切割速度高达 1000mm/s。

这些先进超短脉冲激光器采用了一项名为“Pulse EQ”的重要功能，这也是它们产生的热影响区较小的原因之一。当激光通过振镜在材料表面扫描复杂图形进行加工时，直线和曲线部分的切换必然造成扫描速度的变化。使用固定的脉冲重复频率，会使激光在曲线部分逗留时间过长，从而造成切割拐角的热影响区扩大。而使用 Pulse EQ 技术后，激光器的脉冲重复频率受控于振镜，更为重要的是，无论扫描速度如何，单脉冲能量都保持在恒定水平。这样可以保证在切割轮廓的各个角落，都能提供同样高的切割质量。同时，振镜的控制卡可以通过算法改变激光器的重复频率，保证激光脉冲的空间分布，以达到直线和曲线部分的切割效果相同。

而且，这些超短脉冲激光器钻孔的质量相较于纳秒激光器有明显改善（见图 5）。现在，柔性电路基板制造商都希望通过一种激光器同时完成钻孔和切割任务。因此，这些超短脉冲激光器已蓄势待发，将在这两种任务中大显身手。

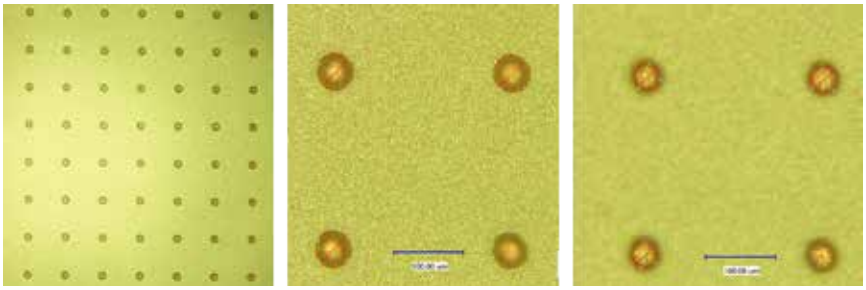


图 5：柔性电路基板上的盲孔。使用 HyperRapid NX 355 紫外光皮秒激光器在10W功率下，以1MHz 的重复频率在 30μm厚贴有ABF的铜上钻取直径为50μm的孔。钻孔速率为每秒超过3000个孔。这些孔几乎没有锥度。在中间的图像中，显微镜聚焦在孔的顶部，在右边的图像中，显微镜聚焦在孔的底部。

## 总结

刚性电路基板和柔性电路板的一些微加工要求，正在超出较长脉冲激光加工方法的极限。幸运的是，最新的超短脉冲激光器能以卓越的加工品质和较快的加工速度，满足这些日益严苛的应用需求。❑

高功率激光二极管

# 贴片机创新应对高功率激光二极管制造挑战

*一种用于高功率激光二极管封装的贴片机，在无需任何工具转换的情况下，为激光器芯片或巴条的贴装提供了灵活的解决方案。*

文/ Limin Zhou，Jason Liu，Julius Ortega，Jack Inocencio

高功率激光二极管（HPLD）是发展最快的激光器类别之一，其快速发展背后的主要驱动力，来源于光纤激光器对泵浦源的需求激增；目前光纤激光器已经成为材料加工应用的首选工具。此外，HPLD 还广泛应用于光动力学治疗、美容手术和组织外科手术等医学领域，以及直接用于材料加工中，包括熔覆、3D 打印、切割和焊接等应用。

HPLD 的另一个应用领域是国防工业，在这个细分领域其增长驱动力主要来自对定向能武器的需求。HPLD 能提供的 400~2000nm 的波长范围，是任何其他类型的激光器所无法比拟的；其能提供的输出功率范围为从 1W 到 300W 以上，同时能在极为紧凑的体积下实现高达 65% 的光电转换效率。目前，单管能在 0.5mm × 5mm 的外观尺寸下，提供高达 20W 的可靠功率输出。

## 关键工艺挑战

芯片贴合工艺是 HPLD 制造中最关键的封装工艺。在这个过程中，通常采用金锡（AuSn）共晶键合工艺，将单管或巴条形式的 HPLD 芯片贴合到热沉衬底上。芯片贴合工艺对 HPLD 的光学效率和可靠性起着至关重要的作用。芯片贴合工艺所面临的主要挑战主要包括如何保障：高精度、共晶质量、空隙率、共面性，以及如何实现高混合、大批量生产。

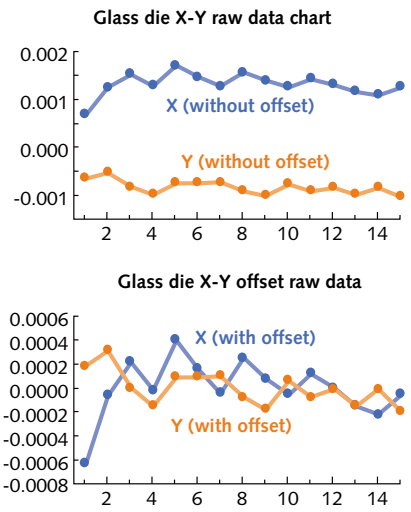



图1：实验测试显示，MRSI-H-LD贴片机在X方向和Y方向的放置精度分别小于1μm和0.5μm（@3σ）。

在芯片或巴条的发射前端面和热沉衬底的边缘之间，有着极高精度的定位要求。通常，芯片贴装工艺完成后，芯片的前端面到衬底边缘之间，不应有凹痕；并且芯片端面突出衬底边缘的部分，要小于 5~10μm。为了实现这个目标，贴片机贴装后的芯片端面凸出衬底边缘的尺寸，通常应小于 ±2.5μm。激光芯片和衬底边缘的公差分别小于 1μm。因此，贴片机的定位精度必须小于 ±1.5μm。

随着 HPLD 芯片功率的增加，单管变得更长，有些芯片的长宽比甚至超过了 10。在这种情况下，巴条的贴装极具挑战性，因为大的贴装表面积将放大贴装后的缺陷，如空隙率和巴条倾斜角度。

## 定位精度1.5μm的高速贴片机

为了解决 HPLD 生产中面临的芯片贴装工艺挑战，需要一种超高精度的、高速、高柔性的全自动贴片机。这台机器要具备如下特性：定位精度小于 ±1.5μm、提供可编程的键合力、共晶阶段和均匀施力过程（在可控力的作用下，沿 X、Y、Z 方向的微小运动）。根据这些要求，MRSI-H-LD 1.5μm 全自动贴片机应运而生。

针对 HPLD 芯片贴装工艺，MRSI-H-LD 贴片机实现了

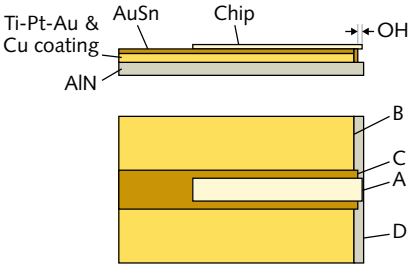



图2：对于典型的P侧向上CoS芯片贴装的工艺要求，最关键的一个尺寸参数是OH，即A的边缘（单管的端面边缘线）到C的边缘（AuSn表面线）的距离。



Area data: %
Window: 0.17

Void data: %
Largest: 0.05

***** ACCEPT *****

| Parameter | MIL-STD 883K Method 2030.2 | Typical HPLD specification | Measured | Result |
|---|---|---|---|---|
| Total voids | <50% | <1% | 0.17% | Passed |
| Single void | <15% | <0.5% | 0.05% | Passed |

图3：CoS空隙率测试表明，贴装后的空隙率远优于MIL-STD 883K Method 2030.2规范，并且还通过了更严格的HPLD空隙率规范。

±1.5μm@3σ 的机械定位精度。同时，并行处理能力大大缩短了机器的周期时间。尽管贴装速度高度依赖于具体的应用，但是典型的贴装速度仍可达到每小时超过 150 个 CoS（chip-on-submount）单元。

可编程的贴装头（bonding head）具有实时闭环力反馈和调节功能，可以对 III-V 族半导体元件进行精细处理。例如，通过对每种组件类型所施加的力进行编程，HPLD 制造商可以确保每种类型的高功率激光芯片，都可以对芯片施加经过独特编程和控制的力，进行抓取和放置。

## 无空隙共晶过程

除了定位精度外，回流焊工艺中的温度分布，对 HPLD 芯片贴装过程也至关重要。在共晶过程中，需要格外谨慎，以在芯片和热沉衬底之间形成一个薄的均匀共晶界面，使空隙最小，实现有效且均匀地散热。这就要求贴片机对整个贴装区域的共晶回流温度进行精确且均匀的控制。

HPLD 的贴装过程，需要一个快速升温和快速降温的可编程均匀共晶加热阶段，并且在贴装过程中温度必须保持稳定。加热阶段还必须有混合气体保护层，以防止键合表面氧化，并且在冷却时界面具有最小的空隙。

例如，贴片机提供一个独特的脉冲加热快速共晶键合阶段，该阶段处于保护气体之下，保护气体中含有 90%~95% 的氮氢混合物，用于防止键合表面氧化。使用共晶组合，使共晶键合工艺温度最小化，通常为 315℃左右。加热阶段可编程到 400℃，衬底的温度保持均匀。加热阶段是为了长期稳定性而设计的。

一种独特的可编程均匀施力解决方案，解决了共面性难题，在将芯片贴装到衬底上的过程中，以通过向一个器件施加垂直力和水平力及运动的方式，来最小化键合空隙。一个用于定制化 XYZ-theta 的库，可以在不同的芯片和衬底条件下实现共面性，提供近乎无空隙的过程控制。

## 共面控制

HPLD 芯片或巴条与热沉衬底之间的共面性非常重要，因为它会影响空隙率和诱导应力。因此，缺乏共面性会影响 HPLD 的性能和可靠性。

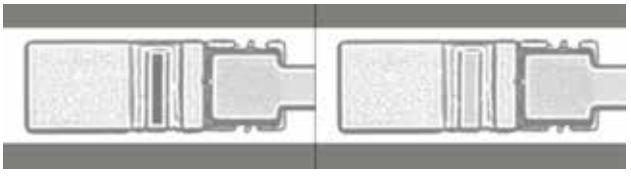
如果没有良好的共面性控制，由于贴装后的残余应力在巴条中的积累，巴条可能会产生翘曲，这通常被称为“smile 效应”，并且较长的芯片可能会产生不均匀散热，从而在沿单管的长度上产生热应力。因此，不同尺寸的单管芯片或激光巴条芯片，需要不同的键合力和精确的力控制。

特别设计的自流平（self-leveling）工具提高了键合力的均匀性，并且能挤出空气减少空隙。通过在整个芯片表面施加均衡的键合力，可以产生几乎无空隙的共晶键合，从而提供较高的芯片剪切强度和改进的共面性。

## 动态工具转换

目前，HPLD 行业正处于转型期，由于缺乏标准化，制造商必须要面对不同外观的产品增长以及由此所带来的复杂性。不同供应商所设计的 HPLD——CoS 和 BoS（bar-on-submount），呈现出多种不同的形式。因此，对于 HPLD 制造而言，高混合率的产品生产是一项极大的挑战，因为 HPLD 的封装设计必须面对许多不同的外观形式，以满足不同的应用需求。

MRSI-H-LD 贴片机能够在不停机的情况下，动态转换工具，以处理不同形状、不同尺寸的零件。该系统提供了业界领先的生产能力和灵活性，能够在一台机器上能够实现 CoS、BoS、chip on C-mount 以及其他 HPLD 封装工艺。



Area data: %
Window: 0.65

Void data: %
Largest: 0.09

***** ACCEPT *****

| Parameter | MIL-STD 883K Method 2030.2 | Typical HPLD specification | Measured | Result |
|---|---|---|---|---|
| Total voids | <50% | <1% | 0.17% | Passed more stringent HPLD spec |
| Single void | <15% | <0.5% | 0.05% | Passed more stringent HPLD spec |

图4：C-mount封装的空隙率测试表明，贴装后空隙率远优于MIL-STD 883K Method 2030.2规范，并通过了更严格的HPLD空隙率规范。

利用玻璃芯片对MRSI-H-LD贴片机进行了性能测试，并验证了设备的精度。实验内容包括测量CoS和BoS芯片贴装工艺的位置精度、测量HPLD巴条的平坦度，以及用扫描声学显微镜（SAM）测量空隙率。

基于15个数据点的样本情况，实验结果显示，在X方向和Y方向的放置精度分别小于1μm@3σ和0.5μm@3σ（见图1）。此外，MRSI-H-LD贴片机还具有倒装芯片功能，能够完成P侧向上和P侧向下的处理。

## CoS

对于典型的P侧向上的CoS芯片贴装的工艺要求，如图2所示，CoS芯片贴装中的关键尺寸是激光芯片相对于AuSn涂层的凸出量，即图2中OH的尺寸，也就是下面的俯视图中所显示的A的边缘（单管的端面边缘线）到C的边缘（AuSn表面线）的距离。对10个CoS进行测试的结果表明，贴装精度小于 ±3μm @3σ，无凹陷，凸出量OH小于4μm。

除了几何位置分析之外，为了检测焊料界面的空隙率，还使用扫描声学显微镜检测了尺寸为4mm×500μm×120μm的激光芯片样品，该芯片通过AuSn焊料贴装到AlN衬底上。贴装后空隙率远优于MIL-STD 883K Method 2030.2规范，并且还通过了更严格的HPLD空隙率规范（见图3）。

虽然放置可重复性、精度和空隙率是HPLD芯片贴装的重要性能指标，但是这些指标还必须要高速实现。典型的温度分布用于共晶芯片贴装工艺；总周期时间为23s，或每小时贴装超过150UPH（units per hour）。

## Chip on C-mount

以下是在铜钨（CuW）C-mount封装中，贴装单管芯片所获得的实验结果。在实验中，尺寸为2mm×500μm×0.12μm的单管芯片，被贴装到尺寸为6.35mm×2.18mm×6.86mm（长×宽×高）的C-mount封装衬底上（预先沉积了AuSn焊料）。对9个样品的评估结果显示，芯片在C-mount封装衬底上的放置凸出量小于4.3μm@3σ，所实现的贴装后关键参数都能到达目标规范要求。

除了放置精度外，还使用SAM方法测量了焊料界面的空隙率。使用Sonoscan D-9000 C-SAM测量工具采集原始图像并进行处理，图4中给出了测量的空隙率结果。再次，在这个实验中，贴装后空隙率优于MIL-STD 883K Method 2030.2规范，并通过了更严格的HPLD空隙率规范。

## BoS

以下是将HPLD巴条芯片贴装到预沉积AuSn焊料的CuW衬底上的封装结果。实验中使用的HPLD巴条芯片的尺寸为10mm×2mm×130μm（长×宽×高），CuW衬底的尺寸为10.6mm×4.0mm×0.25mm（长×宽×高）。

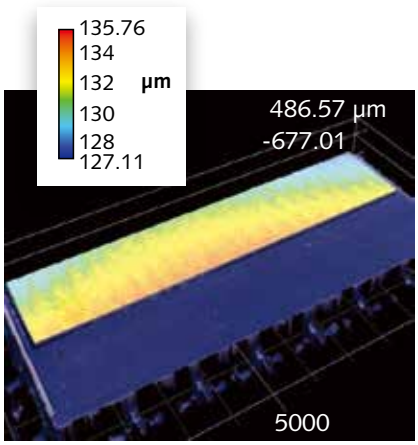



图5：用VR5000 3D表面轮廓仪（由Keyence提供）测量的HPLD巴条的平坦度表明，发射激光的前端面边缘的平坦度为130μm±1μm，或者说其机械smile范围小于2μm，这个结果对于AuSn共晶键合是可接受的。

MRSI-H-LD贴片机具有一个自调平装置，它通过在整个贴装表面区域施加均匀的压力来降低smile效应，从而保持激光芯片在衬底上的共面性。所贴装的激光巴条的平坦度（见图5）表明，发射激光的前端面边缘的平坦度为130μm±1μm，或者说其机械smile范围小于2μm，这个结果对于AuSn共晶键合是可接受的。

低smile效应的巴条能提供更高的光束质量，因此是所有高功率应用的一个关键指标。沿激光二极管巴条长度的线性偏移，也是一个重要的参数，因为激光二极管巴条的聚焦光束大小，会因这种偏移而变化。通常，激光巴条的边到边的线性偏移应小于5μm。根据实验结果，线性偏移的测量值为3.8μm@3σ,完全符合规范要求。

## 总结

实验结果表明，MRSI H-LD贴片机提供了一个综合性的柔性制造系统（FMS）解决方案，解决了HPLD芯片贴装工艺面临的所有难题。该机器的芯片放置精度小于1μm@3σ，优于1.5μm@3σ的规格，CoS和Chip on C-mount封装的凸出量分别小于4μm和4.3μm。

此外，BoS的线性偏移为3.8μm，优于5μm的规格要求。空隙率测试结果表明，该机器超过了所有三种封装类型的共晶键合工艺的空隙率要求。CoS、Chip-on-C-mount和BoS封装可以在一台机器上实现。对于一个典型的CoS，贴装速度超过150UPH，其独特的功能组合为大容量和高混合HPLD封装生产，提供了一个柔性的综合性芯片贴装解决方案。❑

超快激光器

# 周期量级超快激光系统展示高达 318W 的平均功率

*研究团队成功研制出单脉冲能量为毫焦级、重复频率100kHz、脉宽10fs的脉冲激光，平均功率高达318W，这为工业应用开辟了新的可能性。*

文/ John Wallace

只包括几个光学振荡周期的超快激光脉冲与物质相互作用，会出现特殊现象；这种特别的相互作用现象，除了用于实验室研究外，对工业应用（例如用于材料加工）也大有裨益。

目前，由德国 Active Fiber Systems GmbH 公司（AFS）、MaxBorn 非线性光学和短脉冲光谱学研究所（MBI）及哥廷根激光实验室（LLG）的研究人员组成的研究小组，已经成功研制出了能产生毫焦量级、三周期激光脉冲的超快激光系统，其平均功率能达到 318 W。[1] 该研究成果标志着周期量级激光技术的一个重要里程碑，它为工业应用铺平了道路。此外，这也是向实现 HR2 激光系统迈出的重要一步，该系统由 AFS 公司开发，最终用于极端光基础设施中的阿秒光源装置（简称 ELI-ALPS，位于匈牙利塞格德）。

极短的光脉冲只包含几个周期的电磁场振荡，是人类有史以来创造的最快速的现象。尽管周期量级的脉冲早在 30 年前就产生了，但它们一直只用于前沿科学领域，例如用于时间分辨研究或阿秒脉冲产生。将周期量级的激光脉冲光源应用到工业领域，还需要克服一些挑战，例如需要交钥匙型操作，以及进一步提升其能量和功率水平。

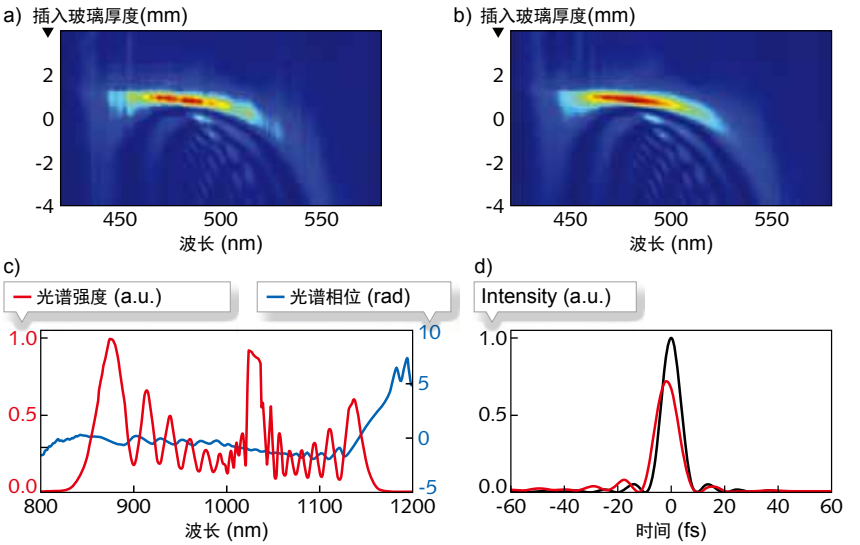



图1：利用色散扫描法对高功率、周期量级脉冲激光系统产生的10fs近红外脉冲进行完整的表征。首先，通过在光路中逐渐增加玻璃厚度来改变脉冲的光谱相位（产生啁啾）。然后，啁啾脉冲通过薄片非线性晶体产生二次谐波，并记录插入的不同玻璃厚度对应的频谱，以此获得一个二维的轨迹如图（a）。通过迭代数值算法可以从图（a）中提取出缺失的相位信息。相位检索算法给出的模拟轨迹如图（b）所示，其与实测轨迹具有惊人的相似性。图（c）所示为脉冲的实测频谱和相位，该频谱对应的傅里叶变换为脉冲的形状，如图（d）红色曲线所示。图（d）黑色曲线对应所测频谱中可能的最短脉冲。（图片来源：MBI）

利用可拉伸的柔性空心光纤与相干组合的多通道光纤放大器，科学家们将脉宽为 300fs 的高能量、高功率激光脉冲，直接压缩到几个光学周期（见图 1）。这种高达 30 倍的脉宽压缩能力，最近才由充惰性气体的空心光纤压缩技术实现，这种空心光纤提供了几乎不受限制的长度可扩展性。

在这项研究中，用于产生周期量级脉冲的激光光源是由 AFS 公司开发的相干组合的多通道掺镱（Yb）光纤激光器。该激光器是迄今为止开发的最大的光纤激光器，能够输出单脉冲能量 10mJ、平均功率 1kW、中心波长 1.03 μ m 的激光脉冲。而用于脉冲压缩的装置是由 LLG 和 MBI 公司共同研制的可弹性拉伸的 6m 长的空心光纤。

强激光脉冲在沿光纤传输过程中

下转第22页

AMTS
Automotive Manufacturing Technology & Material Show

# 上海国际汽车制造技术与装备及材料展览会

## Shanghai International Automotive Manufacturing Technology & Material Show

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



## 汽车工程行业盛会

### - 激光工程展区

聚焦集成化激光智能制造及
柔性加工系统在汽车行业的应用

SINCE
2004

**2020.07.08-11**

上海新国际博览中心
W1,W2,W3,W4,W5,E1,E2,E3馆

扫描二维码，提前预登记
限时减免50元门票

Reed Exhibitions® Hengjin
励进展览(上海)有限公司

86-21-64681300 amts-visitor@reedhengjin.com www.shanghaiAMTS.com

调制器

# 基于硅光子的 PIC 调制器实现密集型数据中心互连

*利用可扩展的硅光子架构的经济高效的小型相干调制器，在满足高波特率数据中心互连需求方面，比InP或$LiNbO_3$具有更高的集成度。*

文/Jianying Zhou

巨型数据中心以及分布式光通信体系结构的激增，正在对数据中心互连（DCI）相干传输系统产生大量需求。这些传输系统的每个信道和每条光纤都能提供高容量。

这些 DCI 链路的覆盖距离通常小于 100km，并使用 64Gbaud/16QAM（正交幅度调制）的调制方式，以每个波长 400Gbit/s 的速率运行，或使用 64Gbaud/64QAM 的调制方式，以 600Gbit/s 的速率运行，并将很快使用 90Gbaud/32QAM 的调制方式达到 800Gbit/s 的速率。

用于这些高速网络的相干调制器非常复杂，内嵌的马赫 - 曾德尔调制器（MZM）使用基于以下平台之一的光子集成电路（PIC）制成：磷化铟（InP）、铌酸锂（$LiNbO_3$）或硅光子学（SiPho）。

尽管这些平台中的每一种都有其优缺点，但是 InP 和 $LiNbO_3$ 通常具有更高的调制性能。然而，对于大批量应用，SiPho 能够实现具有成本效益的小型相干调制器，因为可以利用当下成熟的用于大规模生产、高产量和高可靠性的硅晶圆工艺，来实现高产的光子 - 电子集成。

## 基于SiPho的PIC

除了外形小巧、高产量和高可靠性外，SiPho 还通过在相干光学子组件（COSA）中结合相干接收器和相干调制器，提供了一条通往更高集成度和制造可扩展性的直接路径。

新飞通公司（NeoPhotonics）已开发出基于载流子耗尽 MZM 的同相正交（IQ）调制器，其使用 85Gbaud/16QAM 和 64Gbaud/64QAM 调制方式，运行速率为 600Gbit/s。[1] 该器件采用商业化的 SiPho 制造工艺制造，展示了超过 25dB 的消光比，半波电压（$V_\pi$，或诱导通过调制器的光产生 π 相变所需的电压）为 4V，片上插入损耗为 7dB。

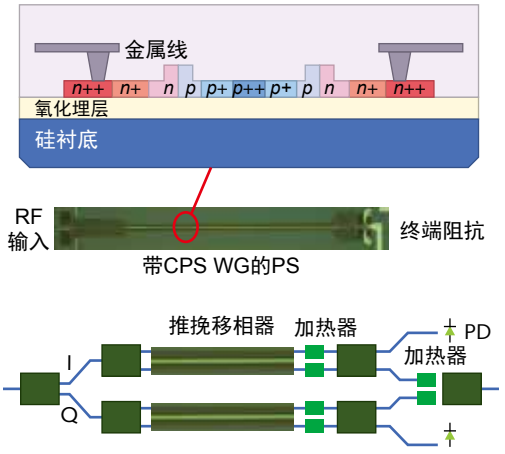



图1：功能框图显示了相间正交马赫-曾德尔调制器或IQ MZM（下图），差分共面带状行进波导或CPS TW（中图），以及推挽p-n结构（上图）。

通过精心的半导体掺杂和器件设计优化，可通过简单的差分共面电极结构实现高速电光响应。该性能级别和芯片尺寸适用于可插拔 400ZR 模块（400G 以太网标准）以及紧凑型 600G 线卡。

## SiPho调制器的挑战

硅光子（SiPho）调制器在设计上要比 InP 或 $LiNbO_3$ 调制器具有更多约束。大多数商用 SiPho 调制器都使用载流子耗尽的方式运转，因此相关的掺杂水平是个复杂问题。高载流子浓度可以提高调制器移相器（PS）部分的效率（降低 $V_\pi$），但同时也会增加损耗。此外，掺杂水平还影响着串联电阻 / 电容并因此影响带宽。

这些考虑是在“对 PS 长度和与电极相关的射频（RF）损耗的常规设计约束”之上，这也适用于 InP 和 $LiNbO_3$ 调

制器：较短的设备对带宽和损耗更有益，但是对于 $V_\pi$ 来说更糟糕。因此，与 InP 和 $LiNbO_3$ 调制器相比，SiPho 调制器有更多的抵消折衷方案。

虽然载流子耗尽行进波导马赫 - 曾德尔调制器（TW-MZM）可能是商用全硅材料中最具成本效益的，但是设计高速、高性能 SiPho 调制器却是一项颇具挑战性的任务，因为它涉及影响性能的几个关键要素，包括 *p-n* 结、PS、RF 行进波导和终端。

与基于 InP 和 $LiNbO_3$ 的常规调制器相比，SiPho 调制器具有高插入损耗，这是因为强自由载流子吸收和相对较低的电光效应。此外，宽带宽和高调制效率要求光学和 RF 传播波之间的相位匹配，以及 RF 行进波导和终端之间的阻抗匹配，这在很大程度上取决于 p-n 掺杂和施加的电压。然而，常规的分析等效电路模型对于载流子耗尽调制器的设计优化可能不够准确。

为了设计 NeoPhotonics 的这款调制器，设计人员使用创新的分段方法开发了一种混合模型，它允许设计人员将电磁和电路模型结合起来，以准确地表示 SiPho 行进波导调制器的分布特性。[2] 该模型不仅精度高，而且还能模拟波传播的效率，包括 p-n 结效应。为了最大化电光带宽和调制效率，通过优化掺杂光学和 RF 参数，来实现相位和阻抗匹配。

## 调制器设计优化

高性能、高速调制器的设计目标，必须要实现光学和 RF 行波之间的速度匹配，以及负载传输线（TXL）和终端阻抗之间的阻抗匹配。NeoPhotonics 的调制器，在设计上使用了由两条金属线形成的共平面带状（CPS）电极。金属线的宽度和间隙针对 TXL 的 *p-n* 结进行了优化。通过选择掺杂条件并结合器件的电光设计优化，来实现速度匹配。

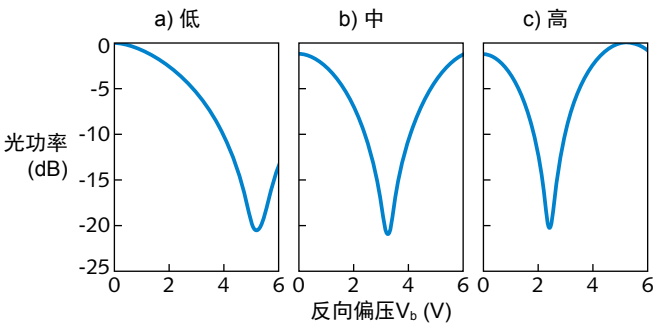



图2：在低掺杂（a）、中掺杂（b）和高掺杂（c）水平下测量的MZM传递函数与 p-n（PN）偏压的关系。

为了精确模拟 TXL 阻抗和 RF 群速度，将电磁（EM）模型与 *p-n* 结电路模型结合起来（见图 1）。用于 I 或 Q 的每个 MZM 都包含两个 PS 器件，以形成马赫 - 曾德尔干涉仪（MZI）结构。*p-n* 结在 500nm 宽的脊形波导和 90nm 厚的平板中具有横向结构，加热器用于 MZM 相位调谐。

为了优化调制器设计，改变了掺杂水平，并测量了 MZM 传递函数（即低掺杂、中掺杂和高掺杂条件下的 MZM 输出与 *p-n* 结偏压之间的关系）（见图 2）。正如预期的那样，对于给定的偏压，更高的掺杂水平实现了更高的调制效率。但是，增加掺杂水平也会增加器件中的传播损耗（见表 1）。例如，在不同的掺杂条件下，在 -3V 的偏压下，$V_\pi$*L（L= 移相器长度）从低掺杂到高掺杂减少了两倍以上，而传播损耗从 0.85dB/mm 增加到了 2.95dB/mm。

## 移相器掺杂

对于打算用于紧凑型可插拔模块的相干调制器而言，低掺杂情况显然是不切实际的，因为要么尺寸令人望而却步（太长），要么 $V_\pi$ 太高。因此，在调制器的设计和制造过程中探索了中高掺杂配置（见图 3）。对于中间掺杂条件，分析了 2mm 和 4mm 长移相器在不同 *p-n* 结偏压下的频率响应（EO S21）。从本质上讲，高偏压和较短的 PS 长度会导致更宽的电光带宽，而低偏压和较长的 PS 长度会带来调制效率的提升。测试数据表明，使用 4mm 和 2mm PS 长度的中掺杂 MZM 的 3dB 电光带宽，分别为 22GHz 和 36GHz。高掺杂会稍微降低带宽，但会带来更高的调制效率。

这些 IQ 调制器可设计用于不同的高波特率应用，并在掺杂水平和 PS 长度之间进行权衡。为了评估高波特率 / 高 QAM 性能，NeoPhotonics 公司使用 3.9mm PS 和中等掺杂制备了 IQ 调制器，估计其芯片上的光损耗为 7.3dB，$V_\pi$ 为 4.1V。该 IQ 调制器的光学损耗包括来自 PS 的损耗，以及来自耦合器的假定 0.5dB 的额外损耗，但不包括光纤耦合损耗。

表1：在-3V p-n结偏压下的测量值

| | $V_\pi$*L (V*mm) | | | 光学损耗 (dB/mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 模拟值 | 测量值 | 误差 | 模拟值 | 测量值 | 误差 |
| 低掺杂 | 25 | 25.5 | 2.0% | 0.76 | 0.85 | -11.8% |
| 中掺杂 | 18 | 16 | -11.1% | 1.55 | 1.75 | -12.9% |
| 高掺杂 | 14.5 | 12 | -17.2% | 2.75 | 2.95 | -7.3% |

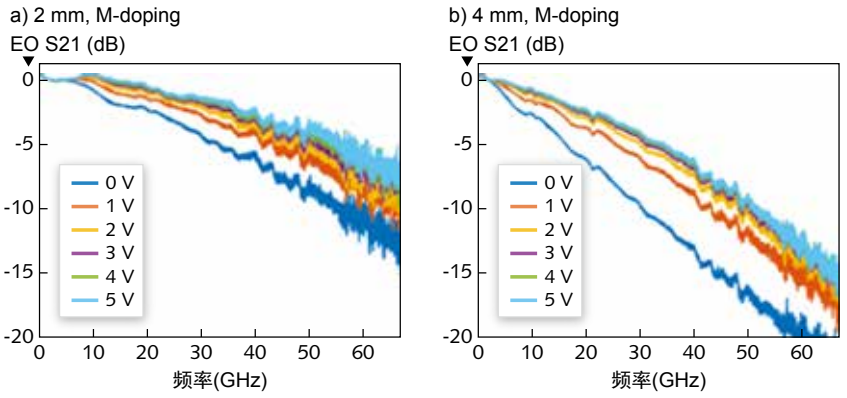



图3：中掺杂条件下，2mm（a）和4mm（b）长移相器在不同的p-n结偏压下的MZM频率响应（EO S21）。

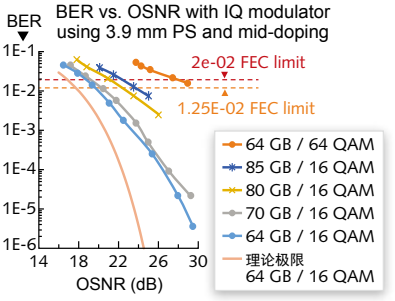



图4：具有3.9mm长移相器（PS）和中掺杂条件的IQ调制器的误码率（BER）与光学信噪比（OSNR）的关系。

## 传输实验

在电信C波段波长上的高波特率调制器测试，包括：NeoPhotonics公司的微集成可调谐激光器组件（uITLA），其输出功率为19dBm，线宽<50kHz；是德科技（Keysight）的M8196A任意波形发生器（AWG），具有92GSa/s的采样率和大约32GHz的带宽；是德科技的N4391A光学多通道分析仪（OMA），具有160GSa/s的采样率和大约63GHz的带宽；以及一个光学信噪比（OSNR）负载测试站。

使用映射到灰色编码的QAM符号的15级伪随机数据位生成发送符号。在测试中使用根升余弦滚降因子α为0.2的奈奎斯特整形，并记录了在-2V p-n结偏压下IQ调制器的测量误码率（BER）与OSNR的关系（见图4）。

16QAM的测试数据表明，OSNR灵敏度（在400ZR中定义的前向纠错编码误码率阈值$1.25e^{-2}$下）为19.4dB和23.4dB，其中10dB的光学带宽约为70GHz和90GHz，分别适用于64Gbaud和85Gbaud速率。需要注意的是，对于64Gbaud/16QAM配置，OSNR灵敏度的相应理论极限为17.6dB。假设15%的前向纠错编码（FEC）冗余，则在$2.0e^{-2}$的FEC误码率阈值下，针对64Gbaud/64QAM的测试数据显示27.8dB的OSNR灵敏度。

## 迈向600G

这些实验表明，在设计中的相位匹配和阻抗匹配方面使用精确的电光模型，优化掺杂水平和行进波导设计，可以在商业代工厂中制造高性能、高速全SiPho载流子耗尽调制器。在多种掺杂条件下，调制特性的实验测试数据与仿真数据吻合良好。

通过在-2V *p-n*结偏压下使用2mm的PS，所制造的MZM在中等掺杂条件下，在60GHz以上的频率范围内，实现了54GHz的6dB电光带宽而不会快速滚降。以85Gbaud/16QAM和64Gbaud/64QAM工作的全硅IQ调制器，具有高电光带宽和>25dB的消光比，能以紧凑的方式轻松支持每波长400Gbit/s和600Gbit/s的数据传输。❑

参考文献

1. J. Zhou et al., “Silicon photonics carrier depletion modulators capable of 85Gbd 16QAM and 64Gbd 64QAM,” Optical Fiber Conference (OFC) 2019, paper Tu2H.2, San Diego, CA (Mar. 2019).
2. J. Zhou et al., “Model and design of silicon photonic carrier-depletion Mach-Zehnder modulators for 400Gb/s and Beyond PAM & QAM Applications,” Proc. SPIE, 10923, 1092318 (Feb. 2019).

上接第18页

与填充在空心光纤中的氩气作用，产生自相位调制效应，从而使激光光谱得到展宽。

通过空心光纤光谱展宽后的激光脉冲，用一组啁啾反射镜补偿其光谱相位后，可以获得更短的压缩激光脉冲。通过这种方法，研究团队成功地研制出了单脉冲能量为毫焦级、重复频率为100kHz、脉宽为10fs的脉冲激光，其平均功率达到318W，这是迄今为止获得的平均功率最高的周期量级超快激光器。

研究表明，通过采用空心光纤压缩技术，高功率工业级激光器可以实现周期量级激光脉冲输出，这为工业应用开辟了新的可能性，如用于并行材料加工。除了为欧洲ELI-ALPS项目提供HR2激光系统外，空心光纤压缩技术有望使周期量级激光技术完成从科学研究走向工业应用的转变。❑

参考文献

1. T. Nagy et al., Optica, 6, 1423–1424 (2019); https://doi.org/10.1364/optica.6.001423.

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

# 第22届
# 中国国际光电博览会

# 专注于激光精细加工和创新应用

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

预计
160,000M² 展出面积
85,000+ 专业观众
3,000+ 参展企业

同期展会联动

- 信息通信展
- 精密光学展 镜头及摄像模组展
- 光电传感展 Optoelectronic Sensor Expo
- 红外技术及应用展 Infrared Applications Expo
- 光电子创新展 Photonics Innovation Expo

关注CIOE官方微信
了解展会最新动态

**2020.9.9-11**

深圳国际会展中心(宝安新馆)

**WWW.CIOE.CN**

USP激光器

# 面向工业应用的千瓦级超短脉冲激光源

*将皮秒和飞秒激光器的功率扩展到10kW甚至更高，使USP激光器成为一种具有CW光纤激光器的平均功率和USP激光器独特功能的工具。*

文/ Dieter Hoffman，Jens Limpert，Andreas Thoss

自从脉冲宽度在皮秒（ps）甚至飞秒（fs）范围内的超短脉冲（USP）激光器，在用于移动设备的玻璃切割应用中找到了早期的大规模使用之后，这类超短脉冲激光器在工业领域的应用已长达十多年之久。超短脉冲能以微米级精度加工多种材料，并且不会产生飞溅或热副作用，这有望扩大工业级超短脉冲激光器的潜在应用范围。然而，超短脉冲激光器在同时满足高重复频率、高功率、高吞吐量以及经济可行性的应用领域，受到了限制。

问题的关键在于，尽管目前市场上有少数超短脉冲激光器能够提供超过 150W 的功率或 150μJ 的单脉冲能量，但是绝大多数产品还达不到这个水平。即使有更强大的光源，但使用额外的功率也是一项挑战，因为当太多的超短脉冲聚焦到一个点时，超短脉冲将会失去其“冷加工”的能力。[1]

德国弗劳恩霍夫应用研究促进协会（Fraunhofer-Gesellschaft）意识到了这一挑战，已经将超短脉冲激光系统视为巨大的机会，并汇集了不少于 13 家研究所的专业知识，以开发新一代 USP 激光加工系统。弗劳恩霍夫的卓越集群先进光子源（CAPS）计划，不仅为了克服 USP 激光器的功率限制，而且还将开发整个工艺链中的技术，从脉冲产生到加工技术，再到实际应用。

## 将功率提升到千瓦级

CAPS 项目由弗劳恩霍夫激光技术研究所（Fraunhofer ILT）和弗劳恩霍夫应用光学与精密工程研究所（Fraunhofer IOF）共同管理。这两家研究所都将拥有应用实验室，并且具备双重设施，可以并行开发激光源和应用测试。位于亚琛的设施于 2019 年 9 月开放使用，位于耶拿的设施将于 2020 年初开始运营。

将功率转换为吞吐量的问题，需要针对 USP 激光系统的新加工技术，该技术将从对“高重复频率和高脉冲能量下的激光 - 物质相互作用”的基础研究开始。[1] 另一项挑战是功率分配：具有更高能量的脉冲的一个概念涉及将光束分成许多平行的子束。[2] 大量相似的子束实现并行加工以及具有周期性结构的加工模式，可以潜在地实现实质性的生产率提升。

另一种方法涉及将声光调制器置于子束中，从而产生可以通过打开和关闭单个子束来实现的一种激光矩阵打印机。在第三种且极为灵活的版本中，子束可以通过液晶调制器发送，该调制器可以从原始光束产生几乎任何图案或光束特性。

这些相当复杂的解决方案是与更常规的高速扫描头技术并行开发的。这种多边形扫描头应用于

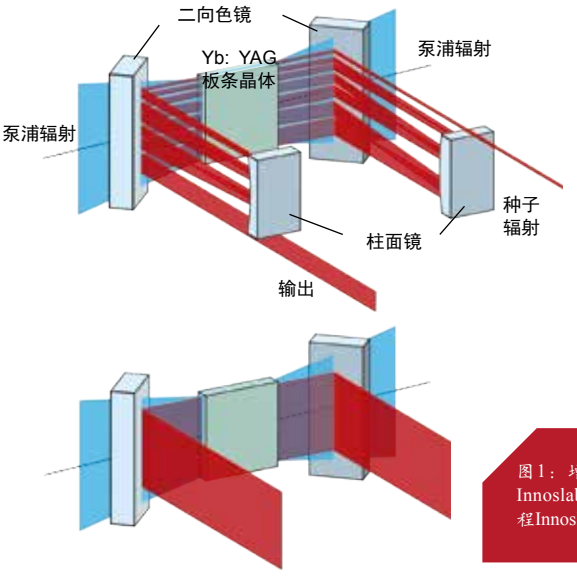



图 1：增益为 53 的七程配置的 500W 级 Innoslab 放大器，和增益为 2 的 500W 级单程 Innoslab 功率放大器。

CAPS 内，扫描速度 >300m/s。为了开发有效的扫描策略，该项目将使用软件对激光吸收期间和吸收之后的物理过程进行详细模拟。使用 Fraunhofer ILT 的软件模拟工具，可以研究热效应，还可以测试加工模式。

## 板条概念

创建大功率超短激光脉冲的关键之一是找到正确的放大方案。《*Industrial Laser Solutions*》中最新的一篇文章详细介绍了将功率提升至 100W 以上的技术，并且讨论了光纤和板条 / 棒的概念。CAPS 项目研究人员还将以非常具体的进展实施此类概念，这将使实现 10kW 平均功率的工作取得实质性进展。一种是基于相干耦合的光纤放大器，另一种是使用特定的二极管泵浦的板条。

板条激光器系统基于 Innoslab 概念，该概念由 Keming Du 和 Peter Loosen 于 1996 年申请了专利。那时，Keming 在 Fraunhofer ILT 任职。仅仅五年后，他创立了 EdgeWave 公司，开拓该技术的商业应用。在 Fraunhofer ILT，Innoslab 概念得到了进一步完善，如今已应用于千瓦级 USP 激光放大器中。[3] 基于这些成果，另一家衍生公司 AMPHOS 成立了。

Innoslab 激光器的谐振腔设置基于两个热沉之间的矩形晶体，该晶体由准直的激光二极管纵向泵浦（见图 1）。最初，该设计是为使用连续波（CW）泵浦的 Nd：$YVO_4$ 和 Nd：YAG 激光晶体开发的。研究人员已经展示了几种用于不同目的的晶体材料；对于持续时间为亚皮秒的短脉冲系统来说，掺镱晶体是最有利的。

图 1 显示了 Innoslab 放大器的设置。中心是部分端泵的板条晶体。晶体旁边是两面反射镜，可将光束折叠多次。板条晶体具有两个光学表面，具有减反膜（用于泵浦光和放大的激光束）。安装晶体并对其两个大表面冷却。研磨四个未镀膜的表面以抑制寄生振荡。

在晶体的高长宽比的矩形横截面上，对晶体进行端面泵浦，该矩形横截面仅填充 y 方向上晶体的一部分和 x 方向上的整个宽度。这种几何形状与激光二极管巴条的发射特性相匹配。泵浦的增益体积和较大的冷却安装表面之间的距离较短，可以有效地散热。一维热流建立了均匀的圆柱热透镜，并避免了双折射引起的退偏。

为了获得更高的功率水平，可以增加晶体的尺寸（见图 2）。另一种选择是对由标准化构件组成的放大器链进行排布（见图 1），其在 2012 年展示了 1.1kW 的输出功率、0.6ps 的脉冲。用于 CAPS 项目的新系统，设计为从单个放大器实现 2kW 输出功率。在接下来的两年中，亚琛的团队计划

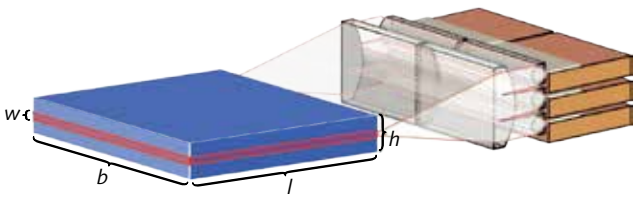
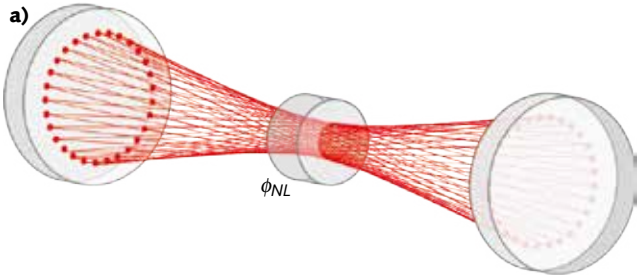



图2：被部分泵浦的Innoslab晶体（蓝色），以及通过沿b和l方向增加晶体的泵浦面积（红色）和提升功率。



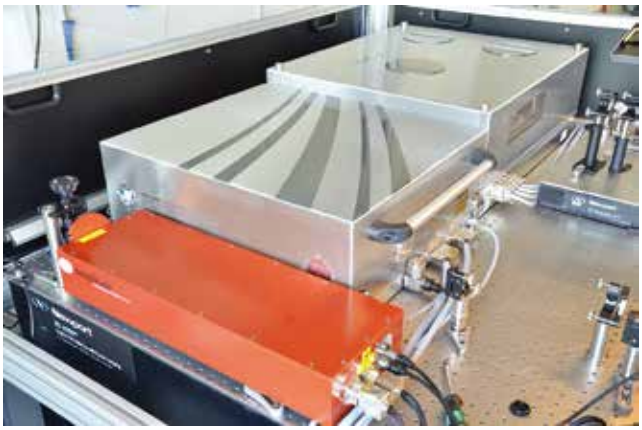



图3：德Innoslab主振荡器功率放大器（MOPA）包括商用飞秒种子源（左），500W功率放大器（中），以及515nm频率转换器（右）。

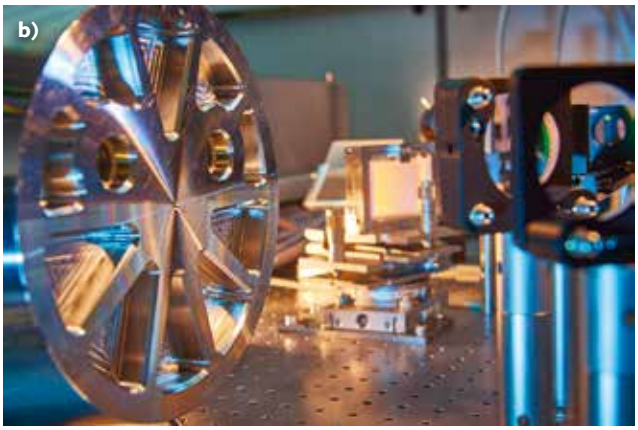



图4：多程气池（MPC）概念基于带有内部非线性介质的Herriott气池（a）；充气MPC的照片（b）。

使用两个放大器将系统的输出功率提升至 5kW。最终目标是使用基于碟片的功率放大器，将功率翻倍至 10kW。

除此设置外，该团队已准备了基于固态介质或气体（作为非线性介质）的多程气池选项，以进一步缩短脉冲。使用充气的 Herriott 型气池，他们已经展示了从 590fs 到 30fs 的脉冲缩短。该脉冲缩短过程非常有效，只有不到 5% 的能量损耗。在 500kHz 时能量略高于 1mJ 的压缩脉冲，产生的平均功率为 530W。[4] 该概念实现了类似钛宝石的性能，即在高平均功率水平下的脉冲能量和脉冲持续时间，以及 Yb：YAG 激光器的高效率。

## 光纤概念

CAPS 项目中的光纤放大器基于 Fraunhofer IOF 与耶拿大学（Friedrich Schiller University）的应用物理研究所之间紧密合作所获得的光纤激光器经验。他们的光纤放大器系统取得了许多记录，包括连续波工作的 4.3kW 单模输出。[5]

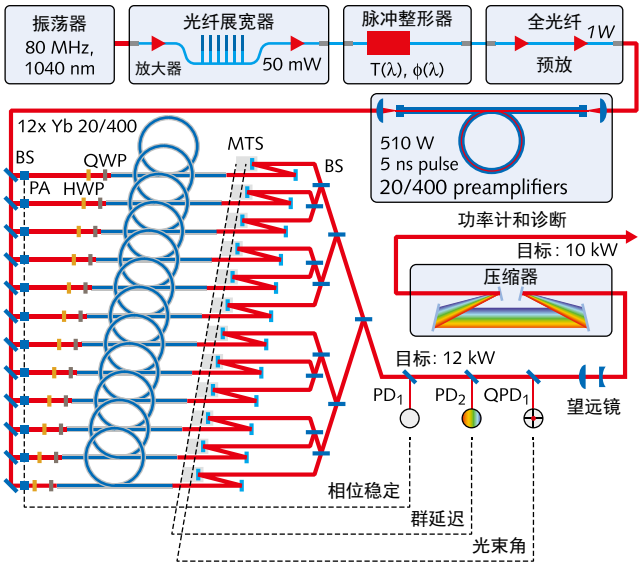



图5：10kW光纤放大器的主要设置。

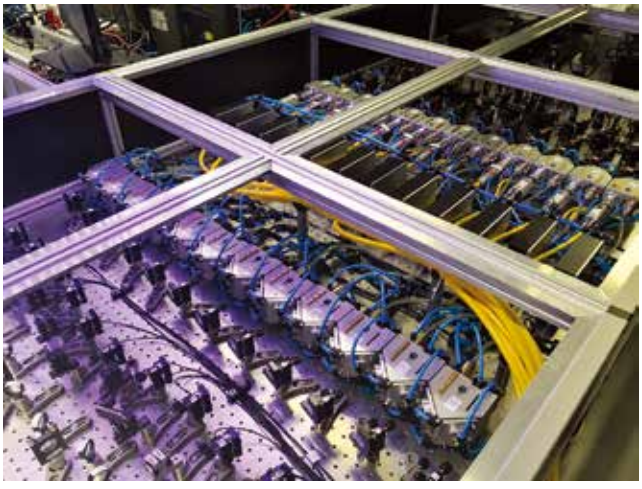


图6：新型光纤放大器使用12路独立的光纤，产生10kW的总输出。

光纤放大器的主要设置众所周知。来自种子振荡器的脉冲被展宽、放大和重新压缩。这种方法的实际局限性，在于有害的非线性效应的影响，以及光纤的损伤阈值。放大后的光束必须耦合进相当小的纤芯。一种方法是采用放大大模面积光纤，这是耶拿光纤激光器团队多年来追求的方向。

为了进一步扩展性能，使其超越单孔径光纤的限制，需要一种新的方法。一种解决方案是将光束分成多路，然后将每路放大，同时将强度保持在临界水平以下，然后将它们相干重合束为一路光束。

然而，实际的挑战在于相干重合束。[6] 在这种方法中，线偏振光束被分成两路正交偏振光束。放大后，使用偏振分束器以分离光束的相同方式，重新合束光束。该方法需要完美的空间和时间交叠才能进行重合束，因此所有光束都具有主动相位稳定系统。

该方法行之有效，已经实现了高达 97%的合束效率，并且具备两大优点。首先，分束的数量没有限制；其次，放大方案与增益介质的架构无关。

较早的设置使用 4 路放大器产生 3.5kW 的平均功率，[7] 而新的升级系统基于 12 路并行光纤。在最近的测试中，它实现了单模辐射中 8.9kW 的平均功率，光束质量 $M^2$<1.2。

项目组计划在 2020 年初对其进一步优化，朝 10kW 以上的功率迈进。压缩脉冲的持续时间短至 250fs。后续模块将允许脉冲缩短为几个周期的脉冲，或者转换为许多应用所感兴趣的光谱区域（从太赫兹到软 X 射线）。

该光源可供其他 Fraunhofer 团队在耶拿的实验室中进行应用实验。该实验室中将有一套额外的激光器系统，将高能脉冲转换为 20~90eV（60~13nm）的超短极紫外（EUV）脉冲。

## 应用开发

如前所述，在开发适当的加工技术的同时，光源也将得到进一步发展。应用实验室提供几种光源、广泛的诊断方法，以及越来越多的光束传输技术。

CAPS 协作的 13 个合作伙伴中，大多数都在研究这

些新型 USP 激光源的应用。他们的研究主要分为四个主题。

**系统技术和组件**。除了实际的高功率激光器开发之外，该小组还将重点研究超短脉冲的分布、转换、模拟和测量技术。

**生产**。CAPS 项目的最终目标是在大规模生产过程中引入 USP 激光器系统，以获得高产量。使太阳能电池纹理化或在电池制造中的应用，是其中的一些想法，这些想法将与新的激光器一起发展。

**成像**。相干红外或 EUV 光束中强大的激光辐射作用，将为技术或生物医学材料的无损分析提供新的有效成像过程。激光驱动的康普顿光源，甚至可以实现更短的波长。

**材料**。10~20kW 范围内的 USP 激光器，将能有效地生产完全人造的材料。其他选项包括用于量子技术材料的研究，例如氮空位（NV）钻石。

## 展望

CAPS 目前与其 13 个合作伙伴机构一起，着手开发新一代高平均功率 USP 激光系统。此次合作使用了两个应用实验室，利用基于光纤和板条的放大器，产生几千瓦的亚皮秒激光脉冲。与激光光源同步，开发了光束传输技术以有效利用辐射。在合作伙伴开发一系列新技术的同时，他们的目标实际上是使 USP 激光器成为一种具有当前 CW 光纤激光器的平均功率、以及 USP 激光器的独特功能（包括高精度，对加工材料的依赖性低或不依赖）的工具。CAPS 用户设施也已开放，可用于测试和演示行业中的新应用。❑


参考文献

1. J. Finger et al., Adv. Opt. Technol., 7, 3, 145–155 (2018).
2. A. Thoss and J. Finger, “High throughput USP laser micromachining,” Industrial Laser Solutions (Jan/Feb. 2020); http://bit.ly/ILSRef2.
3. P. Russbueldt et al., IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., 21, 1, 3100117(Jan/Feb. 2015).
4. P. Russbueldt et al., Opt. Lett., 44, 5222–5225 (2019).
5. T. Schreiber, A. Tünnermann, and A. Thoss, Laser Focus World (2017);http://bit.ly/LFWRef5.
6. E. Seise, A. Klenke, J. Limpert, and A. Tünnermann, Opt. Express, 18, 26,27827 (2010).
7. M. Müller et al., Opt. Lett., 43, 24, 6037–6040 (2018).



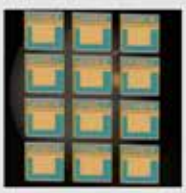
EVERBRIGHT
心所往 · 光所至

中国激光芯，光耀美好生活

全自主半导体激光芯片

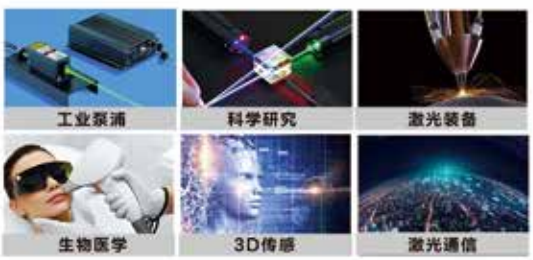

高功率半导体激光芯片


高功率高效率VCSEL


高速光通信激光芯片

长光华芯拥有外延设计与生长、芯片制备、封装测试、光纤耦合模块、直接半导体激光器等完整的研发、量产垂直工艺平台。

应用领域：




定制需求请联系

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

直接二极管激光器

# 用于材料加工的直接二极管激光系统展示其功率和加工效率

*随着直接二极管激光器的功率达到千瓦甚至万瓦级，以及光束质量的提升，特别是高功率蓝光直接二极管的出现，为工业应用开辟了更多可能。*

文/John Wallace

激光二极管的所有优点都适用于直接二极管系统：小体积、长寿命以及高墙插效率。尽管有时与光纤激光器归类在一起，但是所谓的直接二极管激光器实际上是非常不同的品类。光纤激光器包含端泵或侧泵的增益光纤，而直接二极管激光器实际上是由非增益光纤组成，只是简单地将来自众多激光二极管的光耦合到光纤中。

高功率光纤激光器和高功率直接二极管激光器都用于材料加工领域。高功率光纤激光器既可以提供单模输出，也可以提供多模输出；但是高功率直接二极管系统始终提供多模输出，因为来自许多激光二极管的合束光的光学扩展量，将大大高于单模极限。尽管如此，直接二极管制造商仍在不断提高产品的亮度；而且，许多材料加工应用也不需要单模光束。大多数（但不是全部）直接二极管激光器发射的是近红外光。

尽管本文只涉及了当今市场上提供的一部分直接二极管产品，但它们已经提供了具有代表性的产品范例。

## 灵活的光束特性

在约 1μm 的近红外光中，单模激光束的光束参数乘积（BPP）约为 0.3mm-mrad，这是直接二极管激光器无法实现的，直接二极管激光器的 BPP 在几到几十 mm-mrad。例如，德国 II-VI 公司生产多种直接二极管激光器产品，功率从几瓦到数千瓦；同时提供多种类型的单器和巴条，它们可用于其直接二极管激光器产品中。II-VI 公司业务开发和技术经理 Haro Fritsche 表示：“中低功率范围内的所有系统，均基于 II-VI 专有的单管产品。通过垂直堆叠多模、高功率单管，并使用偏振合束，可以在功率高达 300W 的小型传导冷却型模块中，实现约 6~15mm-mrad 的 BPP 值。II-VI 将这些模块集成到广泛的光纤尾纤模块中，用于光纤激光器的泵浦。这些模块还可以集成到具有可拆卸光纤的交钥匙直接二极管激光系统中，例如 II-VI 的 DirectLight900 产品线，该系统可以实现非常高的功率，非常适合材料加工应用。”

Fritsche 介绍说，在 DirectProcess900 产品中，高功率光束是通过波长复用激光器叠阵和偏振合束子模块实现的。这种方法使 DirectProcess900 能够在 100W 至超过 1kW 的大功率范围内，实现 6mm-mrad 的 BPP 值。然后，平顶光束轮廓可以在自由空间或通过芯径 100μm 或 200μm 的光纤传输到工件上。由于波长复用，这些系统发射光的波长范围在 900~980nm 之间。

为了进一步提升功率，II-VI 最近扩展了 DirectProcess900 产品系列，提供具有高功率、波长稳定的基于巴条的模块，该模块具有平顶光束轮廓，BPP 值为 5mm-mrad。基础模块可实现小于 25nm 的带宽和 1.5kW 的输出



图1：II-VI公司的DirectProcess900 FlexShape激光引擎具有6mm-mrad的自由空间矩形BPP，能够实现低至0.2mm的光斑尺寸。

功率。这些基础模块可以直接应用于加工领域，例如用于切割和焊接，以及高能激光器泵浦。波长复用将该平台的功率水平扩展到几千瓦范围，而光束特性没有任何变化。这些产品的冷却系统和驱动器电子产品也将很快提供。II-VI 还生产光束传输产品，例如高功率光缆和激光加工头。

DirectProcess900 FlexShape 激光引擎（见图 1）具有 6mm-mrad 的自由空间矩形 BPP，并配备了远程控制的可变光束整形器，可生成矩形光束轮廓，其长度和宽度可在 0.2~50mm 以上的范围内快速调整。这使其在“要求长度和宽度可调节的矩形光束、同时保持光束强度高度均匀分布的应用中，表现出色”。Fritsche 说，“该系统是焊接微电子零件的理想选择，能在相当长的工作距离内，调节 0.2~3mm 的相对较小的焊点尺寸。这些长工作距离是由激光系统的低

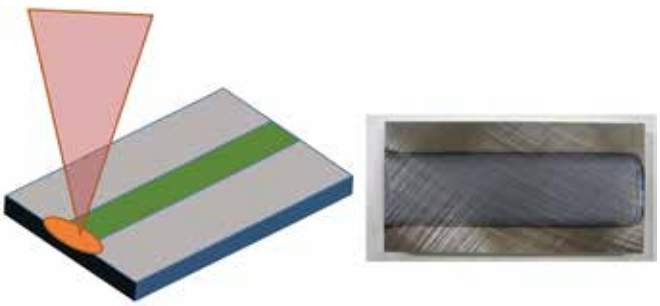


图2：日本滨松公司的千瓦级直接二极管系统用于钢材的硬化。硬化仅限于外表面附近。

BPP 实现的。平顶光束轮廓均匀地照亮工件区域。利用灵活的光斑尺寸，FlexShape 使客户能够将一种激光系统用于所有几何形状的焊接。”

机架安装式模块的高度为两个机架单位，宽度为 19 英寸，提供的功率水平为 800~1200W。Fritsche 说：“该系统的另一项关键特性是其上升和下降时间非常短，不到 10μs，同时在整个光束上保持了非常均匀的功率分布，这使得该系统成为众多热处理应用的理想选择。”DirectProcess900 也可以具有线偏振，这是用波长复用代替偏振耦合来实现的。通过保持激光束的偏振方向与切割方向一致，切割质量和切割速度显著提高。

“与诸如光纤激光器之类的泵浦激光系统相比，直接二极管激光系统（例如 DirectProcess900）的另一项好处是，能够在更短的波长和更宽的带宽（通常为 900~980nm）下工作，以实现某些材料（例如硅和铝）更好的吸收。”Fritsche 解释说。

## 功率高达数万瓦

某些高功率直接二极管系统的输出功率与高功率光纤激光器的功率相当，并且由于直接二极管系统完全基于高效激光二极管，因此其墙插效率比光纤激光器高得多。

美国 Lasertel 公司专为各种材料加工应用量身定制高功率直接二极管激光系统。Lasertel 公司销售总监 John Goings 表示，这些系统的输出功率可以从连续波 100W~50kW 以上，脉冲功率超过 1 兆瓦。这些系统支持的应用包括碳纤维复合材料连接、食品包装、熔覆和半导体衬底加热。

Goings 表示：“Lasertel 的 T6 激光二极管阵列，最高可提供 25kW 峰值功率或 2kW 平均功率，可用波长范围 760~ 1700nm。通过添加量身定制的准直和调节微光学元件，可以对光学能量进行整形，以加热特定应用的工作区域，例如线、矩形或介于两者之间的任何形状。”

Goings 补充说，T6 已被用作自动纤维铺放（AFP）机器内部的热源。AFP 工具利用激光二极管光源的光学能量，来加热浸渍有非金属纤维的树脂，以进行碳纤维复合材料的连接。他说：“传统的 AFP 工具使用的是电线圈，效率低下，并且吞吐量受到限制。激光二极管可提供高于 60%的电光转换效率，优化的窄波长以匹配复合材料的光学吸收，以及定制的光束形状以均匀加热工件。激光二极管光源已成为热源的替代选择。与光纤传输的激光二极管相比，T6 的自由空间设计提供更小的外形尺寸。操作人员可以打开和关闭单个阵列，以控制所材料加工的数量和速度。”

## 千瓦级加工工具

北京凯普林光电（BWT）的 BDL-CW 系列直接二极管系统，专为精密材料加工而设计，可提供 1kW、2kW 或 3kW 的输出功率，输出波长 915nm 或 976nm。美国 RPMC Lasers 公司是 BWT 在北美的分销商。RPMC Lasers 公司总裁 Dean Micke 表示：“该交钥匙型系统基于采用熔融光纤合束的多单管设计，能从芯径 300μm 的光纤获得 1kW 输出，从芯径 600μm 的光纤获得 3kW 输出。该系统具有结构简单、单波长、直接二极管输出且亮度适中的特点。该千瓦级直接二极管激光系统提供 QBH（光纤）接头，其与大多数商业加工头兼容；输出的平顶光束提供均匀的能量分布。与其他类型的激光器相比，该千瓦级直接二极管激光系统具有更高的墙插效率，结构更加紧凑，并且价格具有竞争力。”

BDL-CW 系列的用途主要包括焊接、熔覆、表面处理和锂离子电池制造。Micke 介绍说，通过连续和脉冲这两种操作模式，可以将热影响区（HAZ）最小化。该系统可以在恶劣的工业应用环境中使用。

## 自产芯片和光学元件制造

日本滨松公司生产的一系列直接二极管系统，其输出功率也达到了材料加工通常需要的千瓦级水平。该公司的 DDL 系统基于堆叠式激光二极管模块，在 940nm 处的输出功率高达 1kW。

“滨松公司自己生产激光二极管芯片、水冷散热器、模块，并自己组装，所有这些都是在严格的质量控制下完成的。”滨松公司海外销售经理 Toshiaki Kakei 表示，“这就是我们能够生产出可以长时间在工业生产线上运行的、高可靠性激光应用产品的原因。”他补充说，滨松公司的直接二极管单元使用公司内部制造的光学元件，实现了高均匀光束。

DDL 系统的主要用途包括表面硬化（见图 2）、熔覆、焊接、加热以及固体激光器的泵浦。Kakei 指出：“我们聚焦于更均匀的表面硬化和熔覆。”高均匀（顶帽）光束可以防止使用高斯光束形状时，因中心区域加热过度而导致的熔化，或者周边区域加热不足而导致的硬度不够。”

## 蓝光直接二极管系统

在能够用于加工铜的蓝光激光器出现之前，只有近红外直接二极管激光器才能提供足够的功率，用于铜得加工，如焊接、切割和熔覆。美国 Nuburu 公司通过引入蓝光直接二极管系统改变了游戏规则，该系统通过

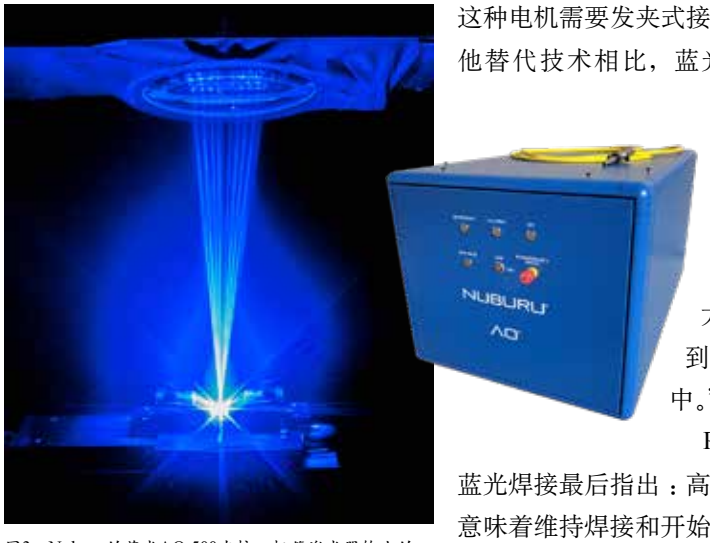



图3：Nuburu的蓝光AO-500直接二极管激光器输出的光束聚焦在焊接目标上。激光的BPP值为30mm-rad。

合束二维激光二极管阵列的输出来实现高功率（见图 3）。“为了保持光束质量，其将转化为亮度，进而转化为功率密度，每个二极管都经过单独的圆形化，并通过专用的微光学元件准直，”Nuburu 公司联合创始人兼首席营销官 Jean-Michel Pelaprat 说，“这些‘细光束’然后通过空间交错和偏振控制进行合束。合束后的光聚焦到光纤中。基准系统可以合束，为工件加工提供功率超过 1kW 的 440μm 点光斑。”

Pelaprat 解释说，蓝光是焊接铜和类似金属的理想选择，因为材料对蓝光的吸收比对绿光的吸收高 20%，效率比红外辐射高十倍多。铜焊接在蓝光下比在其他波长下更有效，但是这必须要有有足够高的功率密度做支撑。

“通过 BlueWeld 焊接透镜耦合的两个 AO-500 的输出功率密度约为 800kW/cm$^2$，足以焊接 1.5mm × 3mm 发夹式接头而无缺陷，”Pelaprat 说，“电动汽车制造厂商在迅速接受密集、有效的电机设计：条状绕线电机，而这种电机需要发夹式接头。与任何其他替代技术相比，蓝光激光加工的接头更加紧凑，并且在当前的输出水平下，其功率已经强大到可以集成到电机制造工艺中。”

Pelaprat 针对蓝光焊接最后指出：高的材料吸收率意味着维持焊接和开始焊接需要相同的功率密度。他说：“其他波长的情况并非如此，在提供足够的启动焊接所需的能量，与维持焊接需要的、且不会高到使材料从焊接处蒸发的能量之间，必须找到一个很窄的能量范围。这种蒸发会导致微粒沉积（称为‘飞溅’）和连接处的空洞。蓝光激光产生的焊缝基本上无飞溅、无空洞。”

Nuburu 激光器用于对铜或铝进行高质量焊接，能够实现极高的机械和电气性能。焊接质量取决于焊缝无飞溅，连接处无缺陷。Nuburu 激光器可用于锂离子电池的生产，用于将铜或铝电极焊接到电池接线片上，随后再从接线片焊接到总线。❑




# 哪些公司哪些产品荣庸 *Laser Focus World* “2019 年创新奖”？

文/John Lewis

*根据“Laser Focus World 2019年创新奖”评委会的公正评分，将创新奖项分为四个不同的级别——白金奖、黄金奖、白银奖和青铜奖。这四类奖项分别授予在2019年中在产品、技术、应用或研发方面表现优异的公司或组织。*

*评委会对提交的参评产品的评判依据是：原创性；创新性；是否对设计师、系统集成商或用户有积极影响；是否满足了新的市场需求；是否利用了新技术；是否有助于提高生产率。*

*本文特将这些获奖产品分享给读者。*

## 白金奖获得者

### 激光器和光源

#### Hyperion VUV 飞秒激光器

Hyperion VUV 是第一款提供真空紫外光（VUV）的商业级飞秒激光器，它允许研究人员以前所未有的灵活性和超快时间尺度来探测材料和分子特性。光源的离散可调谐性（一个简单的计算机选择的光子能量变化）提供了一种强大的能力，而以前这种能力只有同步加速器可以提供。轻松改变激光波长的能力，可以让许多实验受益。该光源还具有高聚焦性，使用合适的光学元件，可以获得小于 10μm 的光斑尺寸。当脉冲持续时间低于 250fs 时，研究人员能够使用该光源探测分子和材料的超快动力学特性，1MHz 的重复频率能够快速收集数据并避免空间电荷效应。



KMLabs公司的Hyperion VUV飞秒激光器

KMLabs，*www.KMLabs.com*

### 光谱学

#### 带有云和 AI 功能的 XI 智能手持拉曼光谱仪

XI 智能手持拉曼光谱仪，是一款基于云和 AI 的拉曼光谱仪，提供 785nm 的激光发射，能与 CloudMinds Data A1 安卓智能手机完全集成。通过利用 TensorFlow，该手持拉曼光谱仪采用 AI 深度学习算法，即使面对由三种固体或液体构成的混合物，也能实现更快（<40ms）的高精度数据分析，这将为一些现场应用提供最佳解决方案，这些应用包括但不限于：现场药物实时检测的执法和急救、制药原料材料标识、用于过程控制的质量保证 / 质量控制（QA/QC）、假冒产品检测等。CloudMinds Technology，*www.CloudMinds.com*


CloudMinds公司的XI智能手持拉曼光谱仪

激光器和光源

### 用于激光雷达的高功率多通道超快激光驱动器

激光雷达技术面临的一个问题是，它在保持高峰值功率的同时，不能以短脉冲发射激光，而这又是确保激光雷达能够远距离工作、实现高分辨率、并保证人眼安全的必要条件。为了满足这一需求，Osram 与 GaN Systems 合作开发了一款脉冲上升时间为 1ns 的激光驱动器，同时以 40A 的电流驱动所有四个通道，从而能在一个小型热效率设计中，提供 480W 的持续光功率和小于 3ns 的 FWHM 波形。



Osram OptoSemiconductors公司的超快激光驱动器

Osram OptoSemiconductors，*www.Osram-os.com*

# 黄金奖获得者

工业激光系统

### Corona 光纤激光器

改变光束特性的典型方法，如使用机械式自由空间光学元件和光束合并，这会增加系统的尺寸、成本和复杂性。Corona 是一款革命性的新型光纤激光器，其光束质量可快速调节。采用一种新颖的全光纤机制，通过改变直接从激光器输出的光束特性（尺寸、发散角、形状等），实现了前所未有的适用于各种工艺、材料和应用的最佳光束特性。实时可编程特性允许使用单个激光源，对每个过程步骤进行快速调整和优化，通过显著提高工具生产率和多功能性，最终为工具集成商和最终用户提供帮助。




nLight公司的Corona光纤激光器

nLight，*www.nlight.net*

激光器和光源

### ALBALUX FM 白光激光模块

ALBALUX FM 将 LED 的可靠效率与金属卤化物和氙的明亮、狭窄的光束相结合，提供了对比度丰富且精确的照明方案。利用来自 SLD Laser 公司的 Laser Light 技术，能产生 100 倍于 LED 的光强，发光强度能达到 1000cd/mm$^2$；其优化的光纤耦合，确保了最大的白光照明，非相干光 >150Lux，光束角度仅为 LED 光源的 1/10。该模块将高光密度与窄光束发射角相结合，其高对比度和定向照明特性，非常适用于医疗、机器视觉和特殊照明应用。



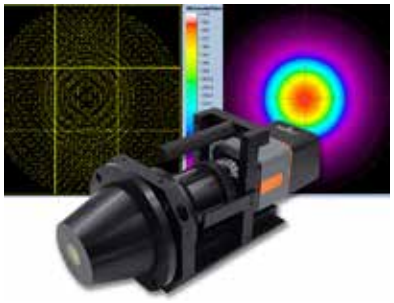
Laser Components公司的ALBALUX FM白光激光模块

Laser Components USA，*www.laser-components.com*

测试与测量

### 近红外光（NIR）辐射强度镜头系统

来自 Radiant Vision Systems 的近红外光（NIR）辐射强度镜头系统，将一个傅里叶光学镜头与 16MP 的 CCD 辐射计相结合，为用于面部识别的近红外辐射源（LED、激光）提供了精确表征。该系统能在单个图像中测量采集 ±70° 的完整锥体数据，提供极其快速、准确的测量结果，非常适用于线上质量控制。该系统的镜头将来自 NIR 光源的每个发射角映射到成像系统的 CCD 上，以捕获二维极坐标图，用于评估整个 NIR 辐射范围，以确定 3D 空间的辐射强度、功率和辐射通量的不一致性。



Radiant Vision Systems公司的近红外光（NIR）辐射强度镜头系统

Radiant Vision Systems，*www.radiantvs.com*

激光器和光源

### AO-500 高功率高亮度蓝光激光器

AO-500 是一款采用光纤输出的高功率、高亮度蓝光激光器，其在 450nm 波长下可提供最低 500W CW 输出，全调制频率高达 500Hz。由于蓝光的吸收性好，AO-500 能够在无飞溅的情况下实现高质量的黄色金属（如铜和金）




Nuburu公司的AO-500高功率高亮度蓝光激光器

LaserFocusCon
激光聚会2020

# 动荡与机会并存
# 如何把握制胜商机

工业 4.0、中国制造 2025、5G ……为制造业带来了发展机遇，中国制造业处于向上发展的历史大潮中；然而，中美贸易摩擦影响持续蔓延，也为中国制造业带来了挑战。在这个机遇与挑战并存的关口，制造企业该从何处着手谋求长远发展？如何通过部署先进制造技术快速实现转型升级、让自身在市场竞争环境中拥有“硬本领”？激光，作为一种先进的加工工具，随着自身技术的不断提升和市场需求的发展，已经在制造业的发展中挥发着举足轻重的作用。

那么，最近激光在技术方面有哪些新的进展？这些新发展又将如何应用到制造业中、能为制造业带来哪些好处？为了让制造企业及时了解先进的激光加工技术、让激光技术厂商及时了解市场需求，由雅时国际商讯旗下的《激光世界》杂志举办的 LaserFocusCon 激光研讨会，将于 2020 年再次走进苏州、深圳，为制造企业和激光技术供应商，搭建面对面交流探讨的平台。

## 大会主题（拟定）

- 超快激光技术在精密加工中的应用
- 激光技术在全面屏精密加工中的应用
- 手持式激光加工系统现状、前景与挑战
- 激光加工在 5G 产业链中的新机会
- 数字光子制造提升 3D 打印效率
- 高功率光纤激光器的切割焊接应用
- 激光加工技术助力汽车轻量化
- VCSEL 激光器的市场机会

## LFC2019 听众分析




## 会议规模

时间地点：深圳 · 2020年09月10日
苏州 · 2020年11月19日
目标人数：150-180名技术和管理人员

## 会议咨询

Hatter Yao 姚丽莹
T：86-21-62511200　E：HatterY@actintl.com.hk

# 激光技术聚焦峰会

主办单位
ACT

大会媒体
激光世界 LaserFocusWorld China
工业激光应用 INDUSTRIAL LASER APPLICATIONS · CHINA

关注我们
公众号

LaserFocusCon

焊接，大大提高了焊缝和接头的机械与电气性能，并显著提高了工艺性能。400μm 的输出光纤包括一个 QBH 连接器，并提供一系列焊接透镜，为客户提供一套完整的焊接光机解决方案。

Nuburu，*www.nuburu.net*

## 光学元件

### 灵活的波长选择器（FWS）Poly

FWS-Poly 是一款外观紧凑的自动化器件，它能调整中心波长和带宽，圆形孔径最大为 10mm，具有独立的中心波长、带宽调整范围和高传输效率。该器件可与相机一起用于光谱成像应用，或与宽带光源一起用于可调谐照明源。结合准直光束，该器件可在 350~900nm 的范围内调节中心波长，并通过软件和 USB 将带宽从 3nm 调至 15nm。应用范围包括高光谱成像、荧光显微镜、生命科学仪器、机器视觉以及实验室研究等。



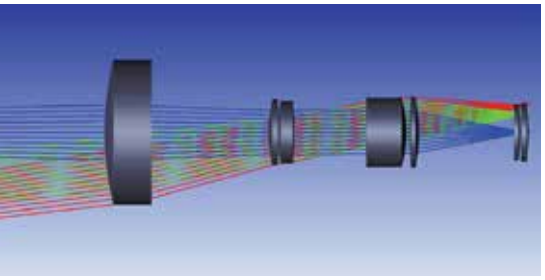
Spectrolight公司的FWS Poly波长选择器

Spectrolight，*www.spectrolightinc.com*

## 软件

### High-Yield Optimization 光学设计软件

传统上，光学设计的计算机优化，通常使用数值优化函数表征模拟系统的光学性能。传统的设计方法最大化了标称的设计性能，然后再将制造公差作为一个单独的步骤增加进来，然而在制造时却很难达到预期效果。一种称为 High-Yield Optimization 的新设计方法，从一开始就将制造缺陷集成到设计过程中，而不是作为设计后的一个步骤再将其增加进来，它对传统设计方法进行了改进，在制造时能提供优异的性能。



Zemax的High-Yield Optimization光学设计软件

Zemax，*www.zemax.com*

# 白银奖获得者

## 光子器件制造设备

### MRSI-HVM 系列贴片机

MRSI-HVM 系列贴片机的产品性能、操作方式、操作系统与以往的产品相比有了明显改进，它可以在不牺牲灵活性、准确性和可靠性的前提下，实现 24/7、大批量、高混合度光电器件的高速自动化生产。它在一台机器上实现了真正的多芯片、多工艺、多功能、高混合光电器件的灵活、大批量生产；在高精度（±1.5 μm @ 3 sigma）下，设备效率 >1,800 UPH；双键合头设计，每个双键合头的集成转塔上配备 12 个吸头，可零时吸头切换，无需重新校准；平缓的受力设计，具有真正的实时感应和闭环力控制，可用于敏感物料的处理。



MRSI Systems公司的HVM系列贴片机

MRSI Systems，*www.mrsisystems.com*

## 激光器和光源

### 自适应 RGB Pure 激光器

这款低成本的坚固耐用型三激光二极管产品，采用精心设计，能确保卓越的功率和光谱稳定性。具备可调的横向和倾斜对准特性，部署了一个机械精密光学元件，用于将三束激光导入一个端口。这种设计不仅比使用离散 WDM 器件能提供更牢固可靠的组装，而且 RGB 光束还具有相同的光路长度，能提供具有低光束发散度的均衡光斑尺寸。它适合于增强现实和虚拟现实行业，是光学工程师优化表面凹凸和全息波导性能的关键产品。



OZ Optics公司的自适应RGB Pure激光器

OZ Optics，*www.ozoptics.com*

## 测试与测量

### LambdaMeter 波长测量系统

LambdaMeter 系统在实时波长测量方面实现了重大

进展。该系统使用多通道光电二极管系统，能提供振幅反馈，而无需使用昂贵的阵列光谱仪或敏感的光学对准。三个光电二极管，每个都具有一个独立的跨阻放大器电路，每个通道具有五个增益范围，采用专有的光学滤波技术，可实现±0.25nm的波长精度，可重复性为±0.01nm。一个温度稳定的反馈回路结合PID反馈，提供稳定性并降低本底噪声。



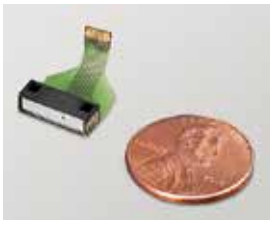
Gamma Scientific公司的LambdaMeter波长测量系统

Gamma Scientific，*www.gamma-sci.com*

## 探测器和成像

### 微型光谱仪 C14384MA

C14384MA微型光谱仪将让设计师和工程师获益匪浅。这款基于色散的SWNIR光谱仪，外观尺寸仅为11.7mm×4mm×3.05mm，它能够帮助更先进的手持和便携式现场分析应用真正发挥潜力。C14384MA在640~1050nm的波长范围内提供高灵敏度，非常适合与食品相关应用。例如，该产品可在670nm处检测叶绿素的吸收，在930nm处检测脂肪的吸收，在960nm处检测水的吸收，在980nm处检测葡萄糖的吸收，这些都是农产品评估中所涉及的主要指标。


Hamamatsu公司的C14384MA微型光谱仪

Hamamatsu Corporation，*www.hamamasu.com*

## 光子器件制造设备

### 6532HP 贴片机

6532HP贴片机专为光电器件的封装而设计（尤其是VCSEL和光电二极管的封装），它将高容量和高精度结合在一个独特的双头解决方案中，具有并行处理能力和1.5μm的精度，大幅提高组装吞吐量。一个大的工作区域，能够为上料提供极大的灵活性，可以选用晶圆、凝胶盘、胶带和定制上料方式。贴片选项包括脉冲加热、稳态共晶附着、原位紫外光固化、环氧涂抹等。可靠和准确的零件定位，有助于实现吞吐量最大化。


Palomar Technologies公司的6532HP贴片机

Palomar Technologies，*www.bonders.com*

## 光学元件

### X Line 物镜

这些采用专有透镜抛光技术制造的超薄凸透镜和超薄凹透镜，使得X Line系列物镜能够克服平场性、数值孔径和色差校正之间的权衡。通过在每个外壳中封装更多透镜，该设计增加了数值孔径、图像平场性和色差校正范围，并将物镜的总长度保持在45mm的国际标准。即插即用，与现有显微镜兼容，允许设计者和系统集成者在不改变系统的情况下，提高成像性能。

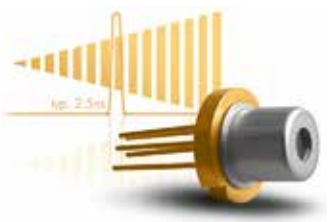

Olympus Life Science的X Line物镜

Olympus Life Science, *www.olympus-lifescience.com*

## 激光器和光源

### QuickSwitch 脉冲激光二极管（PLD）

QuickSwitch PLD每秒可提供多达200,000个激光脉冲，典型脉冲持续时间为2.5ns，峰值功率范围30~89W，短脉冲持续时间为1.5~5ns，上升时间为500ps。将905nm的激光二极管、开关和电容器集成在TO56金属外壳内，以最小化电感回路，能够以较低价格提供更低的工作电压和更短的脉冲。该器件有望在乘用车中实现更精确的激光雷达系统，提供更快的数据采集速度和更长的工作范围。


Laser Components USA的QuickSwitch PLD脉冲激光二极管

Laser Components USA, *www.laser-components.com*

## 光学元件

### 能提供现货的极紫外反射镜

极紫外（EUV）反射镜适用于波长从10~100nm的光刻、纳米成像和光谱应用。随着台式EUV激光器和类激光光源的出现，EUV研究不断扩展，因此，需要能够立

即发货的现货 EUV 光学元件。现在，从订购 EUV 反射镜到发货之间的时间，是以小时计算而不是以月来计算，这对于快速修复损坏的系统或探索原型制作的新思路尤为重要。这种 EUV 元件的可用性，有助于设计人员和系统集成商在 EUV 系统中进行试错和实验，而不需要巨大的时间投资。


Edmund Optics的In-Stock Extreme Ultraviolet Mirrors

Edmund Optics，*www.edmundoptics.com*

## 测试与测量

### Tridex 蛋白质分析仪

Tridex 蛋白质分析仪使用一个耐用型紫外 LED 作为光源，包含一个紫外光电二极管检测器，带有集成的跨阻抗放大器和一个需要较少光学校准的简单光学带通滤波器。集成蓝宝石球透镜的固态 LED 改善了对准和光学传输，而无需昂贵的聚焦光学元件。单一的光学滤光片易于组装且成本较低。与使用氘灯或氙气闪光灯的现有分析仪相比，该仪器能在更紧凑的设计中提供高性能，并且功耗更低。除了快速的分析时间外，该设计还不含汞或其他重金属，这是符合 RoHS 标准的关键。


IDEX Health & Science的Tridex蛋白质分析仪

IDEX Health & Science，*www.idexcorp.com*

# 青铜奖获得者

## 定位、支撑和附件

### TORNOS 微型光隔离器

TORNOS 微型光隔离器专为集成到标准蝶形封装的二极管激光器中而设计，适用于涉及光学反馈对性能产生不利影响的广泛应用，可以始终在 >30dB 的隔离度和 >90% 的传输率下工作。将隔离器置于蝶形封装内，使光束在耦合到光纤之前，在自由空间中通过隔离器。这提供了光隔离器的所有益处，而不会因为光纤的拼接和重新耦合承受损耗。目前可用于 633~785nm 波长，也可提供用于偏振操控的可选波片。


Electro-Optics Technology的TORNOS微型光隔离器

Electro-Optics Technology，*www.eotech.com*

## 定位、支撑和附件

### CT-1 桌面隔振平台

CT-1 采用专利技术，提供 0.5Hz 的垂直固有频率和 2.0~2.25Hz 水平固有频率，仅需 2.25 英寸高的隔离平台，就能提供比全尺寸空气桌高 10-100 倍的性能。完全无源的机械隔离器不需要空气或电力，适合直接在台式仪器下使用。由于只有两个调整项，因此易于设置和使用。CT-1 不仅优化了关键的空间利用率，而且还为通过显微镜目镜观看提供了更好的人体工程学设计。


Minus K Technology的CT-1桌面隔振平台

Minus K Technology，*www.minusk.com*

## 光学元件

### 高色散超快反射镜

用于色散补偿的高色散超快反射镜，是超快激光系统的重要组成部分。然而，由于所需涂层的原因，这种反射镜通常价格昂贵，并且可能需要长达 16 周的交货时间，这使得在需求量不大的情况下，很难对超快系统进行原型制作或开展研究。现在，EO 可以快速交付标准的高色散超快镜。通过实现小批量生产的可行性并改变交货周期长的局面，此类高色散超快反射镜有助于设计师和系统集成商开发并制作超快激光源原型。


Edmund Optics的高色散超快反射镜

Edmund Optics，*www.edmundoptics.com*

## 光纤光学

### 光通信封装模块

Optispac 公司的高质量、低成本光通信封装模块，采用金属陶瓷封装，能实现最小 0.635mm 的针脚间隔，适用于光收发器、调制器解调器、衰减器、探测器、泵浦激光器和工业高功率激光器应用。这些器件采用底座 / 散热器 + 管道 + 窗口的结构，提供高功率操作、电磁屏蔽和射频导通，同时提供密闭的微电子封装，能在恶劣环境下实现光电连接。


Optispac的光通信封装模块

Optispac，*www.optispac.com*

## 新型一体化飞秒放大器实现创纪录的脉冲能量输出



Coherent 相干公司的新型一体化飞秒放大器 Astrella HE，提供高达 9mJ@1kHz 的脉冲能量，这一脉冲能量超过了市场上所有水冷、单级、kHz 再生放大器。使用闭环水冷技术，不仅简化了 Astrella HE 的安装，同时也降低了其拥有成本和使用成本。Astrella HE 与现有 Astrella 放大器具有相同的外形尺寸、一体化设计和易于使用的操作软件；同时提供 35fs 或 100fs 两种脉宽选项。

与其他 Astrella 放大器一样，Astrella HE 内置一台钛宝石振荡器、一台单级再生放大器以及一台作为放大级泵源的绿光 (527nm) 脉冲激光器。所有组件均一体化集成在尺寸仅 1247mm ×755mm×262mm 的系统中。钛宝石激光放大器面临的一个主要挑战在于功率 / 能量放大时的热管理，特别是对增益晶体的冷却。通过巧妙的设计优化，Astrella HE 能提供比任何其他 kHz 再生放大器更高的脉冲能量，以及优异的光束质量（$M^2 \leq 1.25$）。同时，从设计到制造环节，Astrella 均采用了创新的 HALT/HASS 测试（高加速寿命测试和高加速应力筛选），不仅实现了尖端的性能表现，还提供工业级 24/7 连续不间断使用的可靠性和稳定性。

Astrella-HE 可用于泵浦多台可调谐光参量放大器（OPA），无论是同时运行多个实验，或运行需要多个可独立调谐波长的单个实验，均可满足。许多应用要通过复杂和更昂贵的分体超快放大器才能实现，而 Astrella HE 大幅降低了这些应用的研究成本。现在，可以通过紧凑的超快放大器实现近水窗 EUV 生成或激光等离子体加速等应用，从而打造出一套既具成本效益又可靠的紧凑型装置，将为 EUV 相干辐射或高能电子应用于工业诊断、生物学、材料科学和微电子学领域奠定基础。

Coherent，www.conherent.com

## 杰普特HiPA全自动FPCB基板激光切割机

杰普特 HiPA 全自动 FPCB 基板激光切割机，采用定制激光器，突破了传统手动 PCB 切割机在切割精度方面的瓶颈。实现了自动上料、激光切割、摆盘一体化，为客户提高生产效率、提供最佳性价比，带来超凡体验。其主要特点如下：



**切割好**：切口截面无变色，不凸起；竖直切割无倒角；切后分板更容易；紫外切割低烟尘；

**切割精**：综合切割精度 ±30μm；CCD 定位精度 <5μm；

**切割快**：UPH 高达 6000；机种间切换时间 <2 小时；

**切割全**：兼容多种 PCB 基板；不同产品间快速切换；高效软件支持多种语言；

**切割稳**：定制化载盘，完美贴合产品；全面防震设计，保障系统稳定可靠；

**切割准**：单相机定位，实现基板整体特征点与 Mark 点识别；双相机实时跟踪，实现切割效果与摆盘动作监控；

**智摆放**：高速视觉系统实现不良品分拣；4PNP 模组 16 吸嘴实现高速高精度摆放。

深圳市杰普特光电股份有限公司，www.jpt-hipa.com

## IPG发布体积最小的4kW连续光纤激光器



IPG 重磅推出新产品 YLR-4000 机架式单模块光纤激光器，提高激光器的电光转换效率成了在竞争中取得优势的关键。本次 IPG 将发布的 YLR-4000 集高功率密度、完美光束质量、光纤传输和高电光转换效率于一身。与密封柜式激光器 YLS-4000 相比，新款 YLR-4000 尺寸更迷你，是全球体积最小的 4kW 连续光纤激光器，更便于安装和集成。

新款 YLR-4000 在激光切割应用中可实现最高经济效益，在洁净室系统或需要集成到生产线上的情况下更是最佳的解决方案。

IPG，www.ipgbj.com

## Nurubu千瓦级超高亮度蓝光激光器

Nurubu 新推出的 Al-1500 千瓦级半导体蓝光激光器，连续输出功率高达 1500W，可匹配 100μm 芯径 QBH 光纤输出，光束质量 BPP 值＜ 11mm · mrad。它不仅是超高

亮度的千瓦级蓝光激光器，也是唯一可配合振镜使用的半导体蓝光激光器。




若配套使用监测系统，则可满足客户“同步监测”和“飞行焊”的工艺要求，已测老化 850 小时下的功率衰减＜ 0.05%，可保证生产高效、稳定、可追溯，适合工业级应用场景。该激光器可在 320mm 焦距位置保持 450um 的光斑直径，扫描范围可覆盖 110mm × 110mm。还可以配套 Nurubu BlueWeld 焊接头使用，并且能在 100mm 焦距处保持 100μm 直径光斑，或在 200μm 焦距处压缩光斑直径＜ 125μm。

该激光器适用于各类航空航天、内燃动力、医学结构等科研应用中的 SLM 选区融化、LMD 激光增材等工艺，是科研机构进行轻型工程材料 3D 成型制造的首选光源。

Nurubu，www.nurubu.com

## NKT发布覆盖210nm~11μm的超宽波段飞秒激光器

NKT Photonics 发布了重磅产品 ORIGAMI IRO，它是由 ORIGAMI XP 系列飞秒激光泵浦的光参量放大器（OPA），拥有 210nm~11μm 的超宽波段覆盖。能提供 μJ 级的脉冲能量，脉冲宽度＜ 400fs（典型值为 350fs），脉冲重复频率从单发到 600kHz 可调（可定制 2MHz）；





标准单元波长范围 630~2600nm，UV/VIS 拓展单元 210~630nm，IR 拓展单元最长到 11μm。

主要应用领域包括光学材料和器件表征、泵浦探测光谱、时间分辨光谱和光致发光（TR3/TRPES/TRPL）、光电子 - 光离子符合光谱学（PEPICO）、相干反斯托克斯拉曼光谱（CARS）、二维红外光谱（2D-IR）、太赫兹研究以及非线性显微镜等。

凌云，www.lusterinc.com

## 光库科技ClearCut光纤光栅系列新品

光库科技推出了三款 ClearCut ™光纤光栅系列新品——光纤光栅反射镜、脉冲展宽器和 1939nm 光纤光栅。该系列新品基于光库科技独创的 ClearCut 光纤光栅技术，在低温升率、长期可靠性方面表现出色。

光纤光栅反射镜的主要特点是没有引入额外的色散。产品沿袭了 ClearCut 系列无金属外封的设计，用户安装使用时更加灵活便利。



产品可在 1030nm 和 1064.3nm 中心波长下使用，并提供 PM980、PM1060、PM10/125 等多款常用的保偏光纤选项，是皮秒光纤激光系统理想的配件选择。

脉冲展宽器引入大色散量，从而将短脉冲展宽到亚纳秒量级，非常适合飞秒激光系统使用。可提供无封装和带金属封装两种设计，可以选择不同的色散量和光纤类型。

1939nm 系列光纤光栅是高功率单腔中红外光纤激光器的核心部件，功率承受可高达 200W，可在 1917nm、1925nm 和 1939nm 三种波长下使用。

光库科技，www.afrlaser.com

## Aerotech五轴激光扫描振镜AGV 5D

Aerotech 公司推出的 AGV 5D 五轴激光微加工扫描振镜，提供五轴扫描的自由度，可满足更复杂、更精确的各种高难度工艺需求，是目前市场上快速、精准、灵活的加工解决方案，主



要用于生成精确的孔、轮廓槽和具有完全定义横截面的其他几何图形。通过它，用户能控制整个精密微加工过程，从激光器到扫描头，再到工件的定位。

AGV 5D 能与各种商用飞秒激光器配套使用，选择与 1030nm、1064nm、515nm 或 532nm 波长兼容的光学元件。采用水冷和空气冷却，稳定性好，能提供卓越的加工精度，使用友好，能方便地集成到系统中。

其适用的加工领域包括医疗器械制造、微电子加工、汽车零部件制造、喷油嘴加工、激光微加工系统等需要高精密度的应用领域。

Aerotech，www.aerotech.com

Connecting Global Competence

Messe München



# 新时间 新地点

# 慕尼黑上海光博会

# 2020年7月3-5日

## 国家会展中心（上海）

扫码关注光博会

**参观报名**

rock.wang@mm-sh.com

+86 21 2020 5691

慕尼黑上海光博会

LASER World of PHOTONICS CHINA

国家会展中心（上海）

15 since 2006

| Advertiser | 广告商名称 | 网址 | 页码 |
|---|---|---|---|
| ACS Motion Control (China) | | www.acsmotioncontrol.cn | 7 |
| AEROTECH INC. | | www.aerotech.com | BC |
| CASTECH INC. | | www.castech.com | 11 |
| CIOE | | www.cioe.cn | 23 |
| Edmund Optics China | | www.edmundoptics.cn/030-8618 | 13 |
| 华芯光电 | | www.everbrightphotonics.com | 27 |
| JPT | | www.jpt-hipa.com | 1 |
| Newport | 理波光电 | www.newport.com.cn | 5 |
| 慕尼黑上海光博会 | | www.photonicschina.cn | 39 |
| Reci Laser | 北京热刺激光 | www.recilaser.com | 9 |
| Santec | | www.santeccom.cn | IFC |
| 上海国际汽车制造技术与装备及材料展览会 | | www.shanghaiAMTS.com | 19 |
| 安扬激光 | | www.yslphotonics.com | IBC |


**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

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**

ENEADOR Business Media, LLC
61 Spit Brook Rd, 5th Floor Nashua,
NH 03060
Group Publisher
Alan Bergstein
alanb@endeavorb2b.com

Editor in Chief
John Lewis
jlewis@endeavorb2b.com

### 销售人员 Sales Offices

**China (中国)**

**Hong Kong (香港特区)**
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 8484 4007

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

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)**
Regional Sales Director
Mark Mak (麦协和)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

**North America (北美)**

**East & Central**
Jeff Nichols
jnichols@endeavorb2b.com
Tel: 1-413-442-2526

**West & Mountain**
Anne Marie St.John-Brooks,
amstjohn@endeavorb2b.com
Tel: 510.606.0630

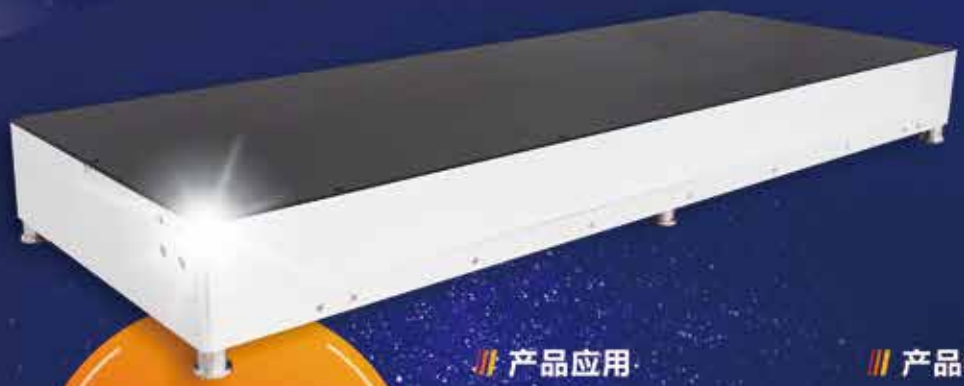
**Europe & Middle East (欧洲及中东)**

**Europe**
Holger Gerisch
hgerisch@endeavorb2b.com
Tel: 49(0)8801 9153791

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

YSL 安扬激光
Photonics

武汉安扬激光技术有限责任公司
+86 27 87204039 Sales@yslphotonics.com
www.yslphotonics.com



# 100W 飞秒光纤激光器

## 产品应用

- OLED 模组切割
- 全面屏切割
- 蓝宝石&陶瓷盖板&玻璃切割与钻孔
- 复合薄膜材料加工
- 半导体晶圆加工
- 锂电池隔膜切割

## 产品特点

- 平均功率 >100W
- 脉冲宽度 ~300fs-10ps(可调)
- 重复频率 25-5000KHz(可调)
- 脉冲能量 >200uJ
- 支持 PSO/POD控制
- 支持 Burst脉冲串功能

# 20W 超连续谱光源

## 产品应用

- 光电流显微检测
- 纳米光子学
- 荧光光谱与成像
- 超分辨成像（STED）
- 光学相干断层扫描（OCT）
- 光声显微成像




## 产品特点

- 总功率 >20W
- 外部触发 1-80MHz
- 波长 400nm-2400nm
- 重复频率 0.01-200MHz
- 单脉冲能量 >1.5uJ
- 单模光纤输出

# 高精密运动控制全方位解决方案



驱控



压电



电机



平台



振镜




系统

AEROTECH

www.aerotech.com • +86 (21) 5508 6731
中国上海市杨浦区长阳路1687号B号楼B101-3室
sales@aerotech-china.com