光学和光电子产业的主导刊物 www.laserfocusworld.com.cn 2022年7/8月 第4期
ISSN: 1817-6917

# 激光世界

# LaserFocusWorld® China

## 自动驾驶汽车市场升温催生新增长机会 20

钛蓝宝石超快激光器迎来革命性的变革 12
增材制造继续向前发展 24
激光加工促进医疗器械制造创新 28
激光实现复杂构件的精密加工 32

ACT
ENDEAVOR BUSINESS MEDIA

微信公众号




中国国际工业博览会旗下核心专业展：

# 数控机床与金属加工展

2022年9月26-30日 | 国家会展中心(上海虹桥)

金属加工技术的
国际化品牌展

ufi Approved International Event




Deutsche Messe
FIERA MILANO
汉诺威米兰展览(上海)有限公司

上海工业商务展览有限公司
SHANGHAI INDUSTRY & COMMERCE EXHIBITION CO., LTD.

www.metalworkingchina.com
欢迎垂询：021-2055 7138/7140

扫一扫
关注微信公众号

SCIIF
华南国际工业博览会
2022年9月14-16日
深圳国际会展中心

CDIIF
成都国际工业博览会
2022年10月19-21日
中国西部国际博览城



SCIIF
LFSZ

# 第十六届深圳国际激光与智能装备、光子技术博览会
# LASERFAIR SHENZHEN 2022

2022年9月14～16日
September 14-16, 2022
深圳国际会展中心（宝安新馆）
Shenzhen World Exhibition and Convention Center(New venue in Bao'an)

www.laserfair.cn

光联万物
激荡未来

2022

扫码关注
激博会LASERFAIR
更多详情等您来了解
www.laserfair.cn

Deutsche Messe
FIERA MILANO
上海工业商务展览有限公司 SHANGHAI INDUSTRY & COMMERCE EXHIBITION CO., LTD.
Deutsche Messe
XZQ
合作机构：
广东省激光行业协会 Guangdong Laser Industry Association

LMN

赋能智造 · 光耀未来
Intelligent Laser Manufacturing to Light Up the Future

# LMN 2022
# 世界激光制造大会
## LMN World Laser Manufacturing Conference 2022

中国·深圳
深圳国际会展中心（宝安新馆）

2022年9月14-16日

与国际大咖共话世界前沿激光技术

扫码关注
LMN 世界激光制造大会
更多详情等您来了解
www.world-laserconference.com

电话：0755-23207500
E-mail: jinrong.cai@hmxzq.com

电话：021-20557022
E-mail: karry.wang@hmf-china.com



20 封面故事
自动驾驶
**自动驾驶汽车市场升温催生新增长机会**
随着人们对自动驾驶汽车兴趣的高涨，激光雷达的潜在作用为愿意投身未来汽车行业的技术公司创造了新的增长机会。

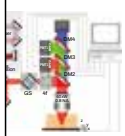
## 市场观察

10 到2028年，全球3D打印医疗器械市场将达近50亿美元

## 技术中心

11 新型光纤

**巧妙的方法将多模蓝宝石光纤变成单模光纤**
牛津大学的研究人员开发了一种新概念，其使用飞秒激光沿光纤长度写入光波导，能将多模蓝宝石光纤转变为单模光纤。

12 超快激光器

**钛蓝宝石超快激光器正迎来革命性的变革**
钛蓝宝石超快激光器目前正在经历一场革命性的变革，使用小型激光二极管直接泵浦，实现了超紧凑且价格合理的超快系统。

15 光学元件

**3D打印精密玻璃光学元件的新方法**
亚利桑那大学的研究人员，利用双光子聚合技术打印光敏液体二氧化硅树脂，最终得到了高精度光学元件

16 运动控制

**先进运动控制技术优化PCB微孔钻孔机的性能**
调试伺服参数、减小摩擦以及优化程序执行效率等先进的运动控制技术，极大地改善了PCB微孔机械钻孔机的产能和质量。

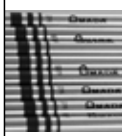
## 工业激光专栏

24 增材制造

**增材制造继续不断向前发展**
随着技术和材料的不断发展演进，增材制造继续为越来越多的应用提供独特的解决方案。

26 表面处理

**钛板的激光表面改性展现新潜力**
激光增材制造能创建可植入的钛微结构，激光还能改变钛表面的颜色，用于永久性识别用途。

28 医疗器械制造

**激光加工促进医疗器械制造领域的创新**
为医疗器械的打标、焊接、切割和微加工等工艺过程选择合适的激光器，对实现预期的加工效果和重复性至关重要。

32 复杂构件加工

**先进的激光加工系统实现复杂构件的精密加工**
激光加工系统与机器视觉系统相结合，实现了复杂构件上特征的精准、高质量加工。

34 激光焊接

**铁素体不锈钢激光焊的晶间腐蚀控制**
综合考虑焊接母材选型、焊前激光清洗、设置合理的工艺参数以及气体保护，防止在铁素体激光焊接中产生晶间腐蚀。

**4 编者的话**
**6 前沿简讯**
**38 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




## 20 COVER STORY

Autonomous

**Autonomous interest sparks growth opportunities**

As interest in autonomy spikes, LiDAR's potential role creates interesting opportunities for technology companies willing to wager on the future of mobility.

## MARKET WATCH

**10** By 2028, the global 3D printing medical devices market will reach nearly $5billion

## TECHNOLOGIES CENTER

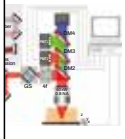
**11** Novel Optical Fibers



**Clever approach turns multimode sapphire optical fibers into single-mode fiber**

Researchers in University of Oxford developed a novel concept to transform a multimode sapphire fiber into a single-mode fiber by writing an optical waveguide along its length via femtosecond laser.

**12** Ultrafast Lasers



**A new generation of ultrafast Ti:sapphire lasers is underway**

Ti:sapphire ultrafast lasers are currently undergoing a revolutionary transformation—direct diode pumping with small laser diodes enables ultracompact and affordable systems.

**15** Optics



**A new way to 3D-print precision glass optics**

Researchers in the University of Arizona printed a photosensitive liquid silica resin (LSR) with the two-photon polymerization printing method, they ended up with complex optical elements with high accuracy.

**16** Motion Control



**Advanced motion control optimizes the performance of PCB micro hole drilling machine**

Advanced motion control technologies such as debugging servo parameters, reducing friction and optimizing program execution efficiency have greatly improved the productivity and quality of PCB micro hole drilling machine.

## INDUSTRIAL LASER COLUMN

**24** Additive Manufacturing



**Additive manufacturing continues to evolve**

Additive manufacturing involves a dynamic set of technologies and materials—and it continues to provide unique solutions for a growing number of applications as it evolves.

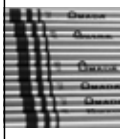
**26** Surface Treatment



**Laser surface modification of a titanium sheet**

Laser surfacing creates implantable microstructures in titanium and provides color changes to titanium surfaces used for permanent identification of parts and components.

**28** Medical Devices Manufacturing



**Laser processing promotes innovation in medical device manufacturing**

Selection of the right laser for marking, welding, cutting, and micromachining used for processing medical devices is important to achieve the desired results and stability for repeated success.

**32** Complex Parts Processing



**Advanced laser processing system realizes precision machining of complex parts**

The combination of laser processing system and machine vision system realizes the accurate and high-quality features processing on complex parts.

**34** Laser Welding



**Intergranular corrosion control of ferritic stainless steel by laser welding**

In order to prevent intergranular corrosion in ferritic laser welding, the selection of welding base material, laser cleaning before welding, setting reasonable technological parameters and gas protection are considered comprehensively.

**4** EDITOR'S NOTES

**6** LEADING EDGE SNAPSHOTS

**38** 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.

# 自动驾驶带来的潜在机会

自动驾驶正成为汽车行业的一大发展趋势。早在 2020 年就已经有百度的自动驾驶出租车在北京免费试乘，随着人们对自动驾驶兴趣的日益高涨，以及智能技术在汽车中的不断融合，自动驾驶技术迎来了新发展。目前，自动驾驶行业已经吸引了互联网巨头、科技精英、传统车企等竞相加码角逐，在自动驾驶这片新蓝海攻城略地。

全球领先的激光雷达供应商法雷奥预计，未来几年自动驾驶将会蓬勃发展，车载激光雷达市场将有望在 2025 年至 2030 年之间翻四倍，最终达到 500 亿欧元的全球市场总规模。

从国内的市场规模情况来看，来自华经产业研究院的统计显示，2021 年我国车载激光雷达市场规模达到 4.6 亿元，到 2025 年市场规模有望达到 54.7 亿元，复合年均增长率将高达 85.8%。

自动驾驶要依赖于强大的探测传感网络，通常自动驾驶程度在 L2 级别以上，都需要部署激光雷达技术。鉴于汽车这一规模巨大的消费市场所孕育的潜在商机，众多厂商奔赴激光雷达领域。

有人称 2022 年是激光雷达大面积普及的元年，将有大量产品上市。预计从 2023 年起，车载激光雷达赛道将进入持续高速成长期，未来发展空间巨大。

激光雷达市场的火爆发展，也将为激光产业链中的众多企业带来潜在机会。VCSEL 作为激光雷达中核心的发射器件，正在激光雷达的火爆下快速发展。最近，炬光科技推出的千瓦级 VCSEL 线光斑激光雷达发射模组，在功率水平、发散角、可靠性和成本等方面，都为激光雷达带来了新优势（p38）。长光华芯作为国内领先的激光芯片制造商，最近在多结 VCSEL 阵列芯片的研究中，在光电转换效率、斜率效率、功率密度和发散角方面都取得了新进展。

在自动驾驶车辆中，激光雷达的工作稳定性和可靠性至关重要，因为它直接关系到生命安危。激光雷达的工作时间长，只要车子行驶，它就得工作，大量的扫描和数据传输很容易导致器件温度升高，甚至有时候会超过水的沸点。因此为激光雷达器件提供一个可靠的工作温度环境非常重要。Phononic 公司提供的产品，能充当激光雷达器件的局部热环境调节器，帮助解决因为热量引发的工作可靠性问题（P20）。

本期中还精选了钛蓝宝石超快激光器在直接二极管泵浦方面的革命性进展（P12）、激光技术在增材制造（P24）、表面处理（P26）、医疗器械制造（P28）以及复杂构件的精密加工（P32）等方面的应用内容，还有铁素体不锈钢激光焊的晶间腐蚀控制（P34），供读者参考。❑

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 姚丽莹 Hatter Yao
电邮 hattery@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
技术顾问 顾正

免费赠阅咨询
电话 (86) 755-2598 8573
(86) 755-2598 8567
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
© 2022 版权所有 翻印必究



PRECITEC

**2D和3D激光切割**
最高功率30kW

**激光焊接**
最高功率20kW

**普雷茨特** 激光焊接精益之道

**2022.9.26-9.30 展台号: NH-D001**

www.precitec.cn

中國國際工業博覽會
CHINA INTERNATIONAL INDUSTRY FAIR
23 2022 THE 23 RD SESSION 第23届

# 前沿简讯 Leading Edge Snapshots

## 高动态聚焦技术 +USP 红外激光助玻璃焊接实用化

红外波长超短脉冲（USP）激光器适用于玻璃焊接。聚焦的红外激光束可以直接穿透玻璃，直到聚焦光束变窄、使得激光脉冲的高峰值功率能够在玻璃中触发非线性吸收，从而使玻璃局部熔融，并通过最终熔融体的凝固达到焊接目的。

USP 激光玻璃焊接也给实际操作带来了挑战，因为聚焦的激光光斑必须非常精确地保持在两个焊接组件之间的贴合处。而部件并不是完全平坦的，所以这很难实现。此外，在焊接系统中部件放置的位置可能并不完全契合。



图片来源：相干公司

一种解决方案是使用轴向拉长的焦点。这会延展激光束焦点的尺寸以解决位置敏感性问题。但是，这种方法的缺点在于，拉长的光束焦点会在玻璃中产生一个具有非圆形横截面的熔池。当玻璃在熔化区凝固时，非圆形熔池更容易形成微裂纹。

针对这个问题，相干公司采用了另一种方法，实现了无微裂纹的焊接效果，并能同时适应工艺中接口距离的重大变化。其关键在于：结合高动态聚焦技术，利用高数值孔径（NA）的光学器件，产生小焦点光斑。

相干公司的激光系统实现了高球面度的熔池，从而避免了微裂纹。它还会感应接口距离并不断调整光学器件，从而始终保持完美聚焦。其结果是，几乎在任何形状的部件上都能保证高质量焊接，并且该工艺不受部件公差和位置的影响。

这项焊接工艺将有望将激光玻璃焊接带入批量生产的实用化阶段。❑

## 上光所提出硅酸盐玻璃作为纯蓝光激光材料的新方案

上海光机所高功率激光单元技术实验室，提出一种基于稀土离子 $Nd^{3+}$ 掺杂硅酸盐作为纯蓝光激光材料的新方案。

目前获得纯蓝光激光器的主要方式有：(1) 蓝光激光二极管；(2) 近红外激光二极管倍频；(3) 固体激光器准三能级倍频。但是这些方法都面临着光束质量低、输入功率要求高、成本高或者设备复杂等一系列问题。这促使研究人员寻找新的玻璃基质材料。

研究团队提出了一种 $Nd^{3+}$ 离子掺杂硅酸盐玻璃实现纯蓝光发光、强化学和机械性能以及制备工艺成熟的激光基质材料的新方案。首先，他们研究了硼酸盐、氟化物、氟磷酸盐、锗酸盐、地酸盐、磷酸盐以及硅酸盐等不同基质的玻璃，对比计算了其不同的光学参数以及分析了不同的光学性能，研究得出 $Nd^{3+}$ 掺杂的硅酸盐玻璃具有较好的性能。在硅酸盐玻璃中，$Nd^{3+}$ 离子的光学 J-O 参数 $\Omega_2$ 和 $\Omega_4/\Omega_6$ 可分别达到 $5.14\times10^{-20}cm^2$ 和 1.08。$^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ 能级所产生的 900nm 蓝光的荧光分支比为 43%（见图 1），荧光寿命达到了 542.95μs（见图 2）。

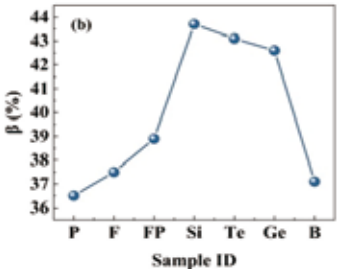


图1：不同基质下 $^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ 能级发光强度的荧光分支比。

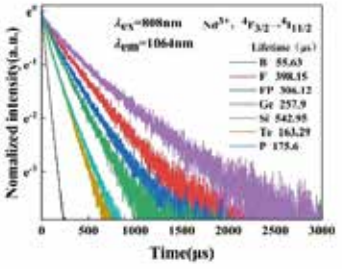


图2：不同基质下 $^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ 能级发光强度的荧光分支比。

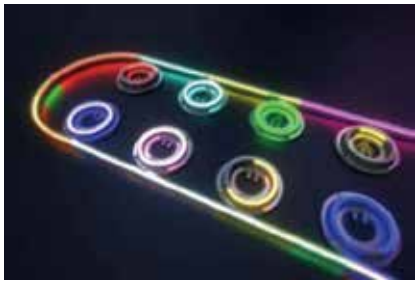
稀土离子 $Nd^{3+}$ 掺杂材料的可见光发光，在显示技术、海底探测和激光医疗领域具有重要应用潜力。❑

# 英特尔在硅片上展示 8 波长激光阵列

英特尔实验室宣布其集成光子学研究取得重大进展。最新的研究展示了多波长集成光学器件的行业领先进展，包括将八波长分布式反馈（DFB）激光阵列集成在可批量生产的硅芯片上。激光阵列的输出功率均匀性为 ±0.25dB，波长间距均匀性为 ±6.5%，英特尔表示，这超过了行业规范。

这项新研究表明，有可能在均匀和密集间隔的波长下，实现匹配良好的输出功率。最重要的是，该阵列这可以使用英特尔晶圆厂中现有的 300mm CMOS 制造工艺来完成，从而确保了未来的大规模批量生产。

Intel 的新进展确保了光源的一致波长分离，同时保持了均匀的输出功率，从而满足了光计算互连和密集波分复用（DWDM）通信的要求之一。



它将使光源的生产具有未来大容量应用所需的性能，例如用于新兴网络密集型工作负载（包括人工智能和机器学习）的共封装光学和光学计算互连。

在这项研究中，Intel 在 III-V 晶片键合工艺之前，使用高级光刻技术定义了硅中的波导光栅。该公司表示，与在 3 英寸或 4 英寸 III-V 晶圆厂中制造的传统半导体激光器相比，该技术具有更好的波长均匀性。此外，由于激光器的紧密集成，阵列还可以在环境温度变化时保持其通道间距。

此外，该激光阵列技术的许多方面正在由英特尔的硅光子学产品部门实施。作为未来光计算互连芯片产品的一部分，即将推出的产品将在包括 CPU、GPU 和内存在内的计算资源之间提供高能效、高性能的每秒多太比特互连，而集成激光器阵列是实现支持大批量制造和部署紧凑经济型解决方案的一个关键要素。❑

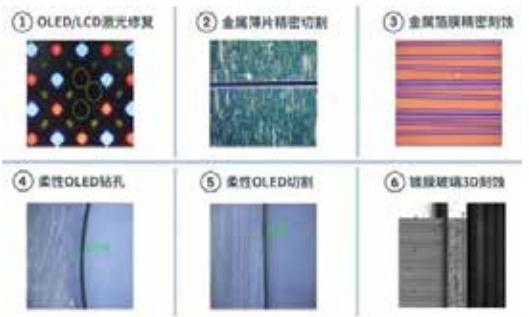


# 贝林激光量产 30W 工业级飞秒紫外激光器

贝林激光正式推出工业级飞秒紫外 30W 激光器（Axinite UV-30），并已进入量产阶段，为行业用户提供更多选择。该激光器的输出波长为 343nm，输出功率 30W@800kHz，单脉冲能量 37.5μJ@800kHz，频率 1Hz~2000kHz，脉宽 <500fs。

Axinite UV-30 采用高稳定飞秒光纤种子源配合光纤固体混合放大器，实现高功率飞秒激光输出，红外激光经过倍频及和频模块产生 30W 飞秒紫外激光。飞秒光纤种子源通过可饱和吸收镜换点技术实现 >40000 小时的寿命，放大器采用高增益固体放大器，有效克服放大过程中的非线性效应影响，实现了高功率、高脉冲能量输出。独特的倍频及和频模块，获得了 >40% 红外光到紫外光转换效率，通过特殊晶体保护措施，延长三倍频晶体使用寿命。强大的控制系统，实现了激光器长时间稳定运行，兼具多种控制功能，为客户现场使用提供有力的保障。





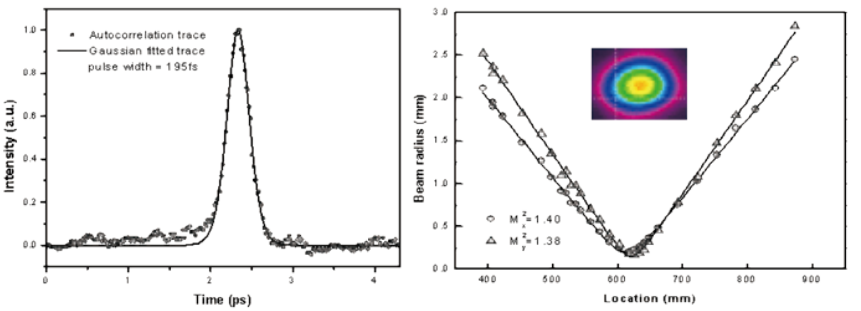

该激光器操作简单，界面直观，一键开机；数据实时监测并记录，可快速导出 LOG，方便远程查看状态。

这款激光器的具体应用领域包括 OLED/LCD 的激光修复、金属薄片的精密切割、金属箔膜的精密刻蚀、柔性 OLED 钻孔、柔性 OLED 切割以及镀膜玻璃的 3D 刻蚀等应用。

随着激光精细微加工越来越多地应用于高精尖元器件制造领域，高功率飞秒紫外激光器将在半导体、消费电子、面板显示、AR/VR、医疗、航空航天、科研等领域具有广阔的应用前景，为各种超薄、超硬、脆性、柔性、透明材料的激光加工提供更有竞争力的工具选择。❑

# 上光所在高功率、高重频飞秒激光器研制方面取得新进展

上海光机所强场激光物理国家重点实验室研究团队基于 Yb:YAG 碟片激光技术和啁啾脉冲放大（CPA）技术，通过近乎无损的脉冲后压缩，实现了兼具高平均功率、高重复频率和窄脉宽的 54W/200kHz/195fs 激光脉冲输出。




图：整个飞秒激光系统最终输出脉冲的（a）自相关特性曲线和（b）光束质量因子测量结果。

研究人员基于 CPA 技术，采用基于 Yb:YAG 碟片的高重频再生放大器，实现压缩后 56W/530fs/200kHz 的激光脉冲输出，再经过周期性排列的白宝石固体薄片组进行非线性光谱展宽，利用啁啾镜将脉冲宽度压缩到 195fs，整个压缩装置的功率转换效率高达 96%。“周期性”排列的固体薄片充分展示了其优势：由于相邻薄片之间距离相等，可以将每一层固体薄片和其后的一段自由空间看作非线性谐振腔的一个单元，激光束经过多个单元的传输可以看作非线性谐振腔中的多次往返，其中的固体薄片则被看作与光强相关的非球面镜，因而光束经多个单元的传输特性符合菲涅尔 - 基尔霍夫衍射积分理论。本工作是 PLKM 概念与碟片再生放大器相结合的成功验证：对于单脉冲能量 200μJ 以上的注入脉冲，这是利用固体薄片组方案获得的最高输出功率。此外，其最终输出光束质量因子（$M^2$）维持在 1.4 以内，光谱空间均匀性优异。

该飞秒激光系统可用于新兴的工业加工领域及时间分辨光谱测量。正在进行的第二级压缩有望实现 50fs 以下的脉冲输出，将进一步提升峰值功率，支持更多高重频窄脉宽激光的应用场景。❑

# 首个集成在铌酸锂芯片上的激光器面世

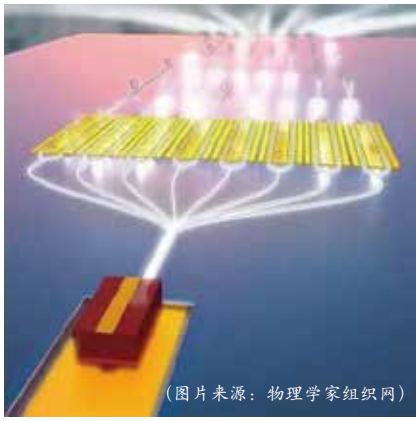
美国哈佛大学科学家研制出了首个集成在铌酸锂芯片上的激光器，为高功率通信系统、全集成光谱仪、光学遥感，以及量子网络的高效变频等应用铺平了道路。

长距离通信网络、数据中心光互连和微波光子系统都依赖激光来产生光载波以用于数据传输。但大多数情况下，激光器是独立设备，位于调制器外部，这会使整个系统更昂贵，且稳定性和可扩展性也较差。

在最新研究中，哈佛大学工程与应用科学学院（SEAS）的研究人员与行业合作伙伴携手，在铌酸锂芯片上开发了第一台全集成高功率激光器。他们将小型但功能强大的分布式反馈激光器集成在芯片上。这些激光器位于蚀刻在铌酸锂芯片内的小井或沟槽中，且与铌酸锂内的 50 千兆赫兹电光调制器相结合，构建了一个高功率发射器。

一位研究人员表示：“集成铌酸锂是开发高性能芯片级光学系统的重要平台，但将激光器安装到铌酸锂芯片上已被证明是一个极大的挑战。在这项研究中，我们借助纳米制造技巧和技术，克服了这些挑战，实现了在薄膜铌酸锂平台上集成高功率激光器的目标。”

另一位研究人员说：“集成高性能即插即用激光器将显著降低未来通信系统的成本、复杂性和功耗。这款集成激光器可以集成到更大的光学系统中，用于传感、激光雷达和数据通信等一系列应用。”


（图片来源：物理学家组织网）

研究团队强调说，将薄膜铌酸锂器件与高功率激光器相结合，是朝着大规模、低成本、高性能发射阵列和光网络方向迈出的关键一步。他们计划继续提高激光器的功率和可扩展性，以使其能应用于更多领域。❑




# 到 2028 年，全球 3D 打印医疗器械市场将达近 50 亿美元

文/LFWC

来自市场研究公司 MarketStudyReport 发布的题为《2022-2028 年全球 3D 打印医疗器械市场》的研究报告显示，2021 年全球 3D 打印医疗器械市场规模约为 18.97 亿美元，预计到 2028 年底将增长到 49.55 亿美元，在预测期内将以 14.7% 的复合年均增长率增长。

全球 3D 打印医疗器械市场可以分为软件和服务、打印材料、3D 打印机和 3D 生物打印机这几大部分。其中，3D 打印材料部分在 2021 年贡献了很大的收入份额，预计到 2028 年这部分市场将保持适度的稳定增长。

## 市场驱动因素

从驱动市场增长的因素来看，整容整形矫正、牙科及制药应用对 3D 打印产品的需求激增；与此同时，政府和私人机构对医疗设备的投资的增加，也是驱动全球 3D 打印医疗器械市场增长的一个原因。此外，定制医疗解决方案的日益普及，再加上矫形和牙科疾病的激增，这些都有利于 3D 打印医疗器械市场的扩张。

通过 3D 打印技术能制造的医疗产品种类广泛，比如各种手术器械、植入物、假肢、康复工具、助听器、牙冠等牙齿修复体和外部修复体、生物组织以及可穿戴医疗设备等。利用 3D 打印在技术上的优势，可以通过这种增材制造方式打印出几何形状复杂的产品，而这是通过传统的制造方式很难实现的。

## 主要技术

从技术实现角度来看，主要有以下几种 3D 打印技术：

- 选择性激光烧结（SLS）技术，可以用来打印一些生物可吸收植入医疗器械；
- 选择性激光熔融（SLM）技术，可以打印髋关节假体及一些骨科植入物等；
- 直接金属激光烧结（DMLS）技术，该技术常常被称为 3D 打印技术领域王冠上的明珠，通常是打印一些金属材质的医用器械；
- 激光固化技术，可以利用光敏树脂材料打印生物组织模型。

除了上述使用激光的 3D 打印技术外，还有电子束熔融（EBM）、液滴沉积和光聚合等 3D 打印技术，它们也都能为医疗领域提供相应的 3D 打印服务。

一般来讲，需要很高的能量才能使打印材料融化的场景，通常需要使用可提供较高热量的激光源，如打印金属粉末、陶瓷粉末等。

## 地域市场

从医疗 3D 打印市场在世界主要地区的分布来看，目前北美地区是最大的市场，占据的市场份额最高，达到 39.7%；其次是欧洲市场；而亚太地区所占据的市场份额偏低，仅为 14.4%。

这主要是因为以美国为代表的国家，在 3D 打印方面起步较早，出现了像 Stratasys、3D Systems 等这样的 3D 打印巨头，这些公司为 3D 打印在医疗行业的应用提供了技术支撑。另外，北美地区人均收入较高，且有较为完善的医保体系，这也有助于形成庞大的消费群体。

但是，随着亚太地区经济发展水平的提高和 3D 打印技术在医疗行业的逐步推广，亚太地区将成为增长最快的医疗 3D 打印市场。中国作为亚太地区最大的医疗消费国家，将为医疗 3D 打印提供巨大的潜力市场。

3D 打印是一种增材制造技术，通过构建连续的原材料层（如金属、塑料和陶瓷）来创建三维对象。如今，3D 打印技术代表着一个巨大的机会，可以帮助医疗公司制造更复杂的设备，实现医疗植入物的快速生产，并能改变医生的手术方式。3D 打印技术的创新和进步将会进一步优化产品的性能，使其在医疗领域得到更广泛的应用。

涉足该领域的一些主流公司包括 Stratasys、3D Systems、SLM Solutions、GE Additive、Carbon、Renishaw、EOS、Organovo、Formlabs、先临三维、铂力特、Envision TEC、联泰 Union Tech 等。❑

新型光纤

# 巧妙的方法将多模蓝宝石光纤变成单模光纤

*牛津大学的研究人员开发了一种新概念，其使用飞秒激光沿光纤长度写入光波导，能将多模蓝宝石光纤转变为单模光纤。*

文/Sally Cole Johnson

蓝宝石光纤可以承受高达2000℃的超高温以及高辐射。蓝宝石光纤柔韧灵活，可以实现几米的长度，因此其有潜能用来监测极端环境，例如喷气式发动机的工作环境。但是，一个基本问题限制了蓝宝石光纤的性能——所有蓝宝石光纤都是多模的。

英国牛津大学的研究人员开发了一种新概念，其通过飞秒激光沿光纤的长度写入光波导，从而将多模蓝宝石光纤转变为单模光纤。

光纤布拉格光栅（FBG）是沿光纤长度的折射率的周期性扰动。它反射称为布拉格波长的光，该波长基于光纤的微扰节距和有效折射率。

“温度和应变等参数会改变有效折射率和节距，因此FBG可以用作传感器，”牛津大学工程科学系研究成员Mohan Wang说，“而且许多FBG可以复用到一根光纤上，每组FBG都具有不同的波长，以实现多点传感。”

蓝宝石光纤以单晶形式生长，直径通常在60~425μm之间。然而，与石英光纤不同的是，它没有纤芯和包层。相反，光在大直径蓝宝石和周围空气之间导引，存在数千种光学模式。

“由于每种模式都有一组不同的有效折射率，这意味着每种模式都有不同的布拉格波长。”Wang说，“因此，蓝宝石FBG反射宽光谱的光，光谱中的功率分布会随着温度和弯曲而波动。”

当蓝宝石暴露在飞秒激光下时，它的折射率会降低。“我们选择横截面中的一个点作为纤芯，不处理该区域，”Wang解释说，“然后我们通过将其暴露在飞秒激光下以降低折射率，从而降低纤芯周围的折射率，在该纤芯周围创建包层。这被称为‘凹陷包层’波导。”

“我们还通过沿光纤长度的周期性系列环将FBG刻入波导中，”Wang继续说道，“由此产生的单模蓝宝石FBG在非常窄的光谱内（~0.3nm）反射，这是稳定的。这意味着可以测量小得多的波长变化，从而提供准确得多的传感。”

工作中所经历的一大挑战是防止蓝宝石开裂，研究人员花费了大量工作才将其最小化。

就应用而言，这些传感器可用于航空发动机、核聚变反应堆和太空应用等极端环境（例如高温和高辐射）中的测量。“能够在航空发动机燃气轮机内进行多个准分布式温度测量，将使飞行控制系统能够优化性能、减少排放并提高效率。”Wang说，“这是因为与现有传感器相比，其所具有的>1300℃的高温能力和更轻的系统重量。”

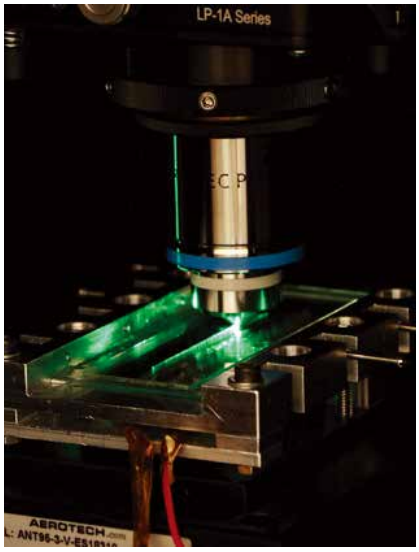



图1：牛津大学研究人员制造了单模蓝宝石光纤，其中也具有光纤布拉格光栅。

研究人员在1cm长的光纤上演示了传感器，现在计划延长这一长度。“我们即将对一些几厘米长的器件进行高温测试，”Wang说，“但最终我们的目标是达到几米长。”

现在，他们正在探索与罗尔斯·罗伊斯和克兰菲尔德大学合作的航空发动机试验台的机会。“我们将向英国原子能管理局提供器件，供其在具有挑战性的环境部门的远程应用评估；我们也将向MDA Space and Robotics提供器件，以便评估空间应用。”Wang补充道。❑

超快激光器

# 钛蓝宝石超快激光器正迎来革命性的变革

*钛蓝宝石超快激光器目前正在经历一场革命性的变革，使用小型激光二极管直接泵浦，实现了超紧凑且价格合理的超快系统。*

文/Ming Yang

自1961年激光器发明以来，它已经为科学研究和工业应用提供了前所未有的发展机会，这主要得益于其与传统光源相比无与伦比的优势。自此以后，激光器又在性能方面取得了巨大的进步，例如实现了更短的激光脉冲、更高的峰值强度或更高的功率。其中，超快激光器最受科学应用的追捧。

钛蓝宝石激光器（Ti:sapphire）自1986年首次问世以来，就一直凭借着较宽的增益带宽，雄踞着超快激光器领域的超级明星地位。40年后，也有许多其他增益介质被用于产生超短激光脉冲，但是没有一种能够挑战掺钛蓝宝石激光器可以直接从激光腔中产生6fs超短脉冲的能力。即使是现在，钛蓝宝石超快激光器仍然是获得最短脉冲的最佳选择。

## 钛蓝宝石会被取代吗?

钛蓝宝石激光器要想成为面向各种应用的价格合理的工具，当然也面临着自身的挑战。由于钛蓝宝石的泵浦吸收位于光谱的蓝绿光区域（中心波长约为490nm），因此很长一段时间以来，泵浦源一直使用体积庞大且价格昂贵的氩离子激光器和倍频固态激光器。

今天的二极管泵浦固态（DPSS）激光器，使用808nm的二极管泵浦掺钕或半导体增益材料，以产生波长约1064nm的激光输出，然后再倍频至532nm。所有这些中间步骤都需要很大的空间，并且会引入损耗、热量和光学噪声。因此，钛蓝宝石激光器通常配有一个笨重的激光头和一个巨大的控制单元，还得配上一台冷却器，用以消除复杂的频率转换所产生的热量。再加上高昂的成本（通常在10万美元左右），钛蓝宝石激光器尽管拥有无可争议的性能，但它从未成为日常应用可以使用的、且对用户友好的设备。如果不能克服这些限制，那么钛蓝宝石超快激光器将仍然是一个昂贵的系统，它只对一些小众客户来讲拥有最佳的性能。

由于钛蓝宝石超快激光器在紧凑性、成本和鲁棒性方面存在的明显不足，这导致许多用户选择了超快光纤激光器。与钛蓝宝石激光器相比，超快光纤激光器的性能适中，拥有大约100fs的脉冲持续时间和几百毫瓦的平均功率为；但它们并非在所有应用中都是钛蓝宝石超快激光器的合适替

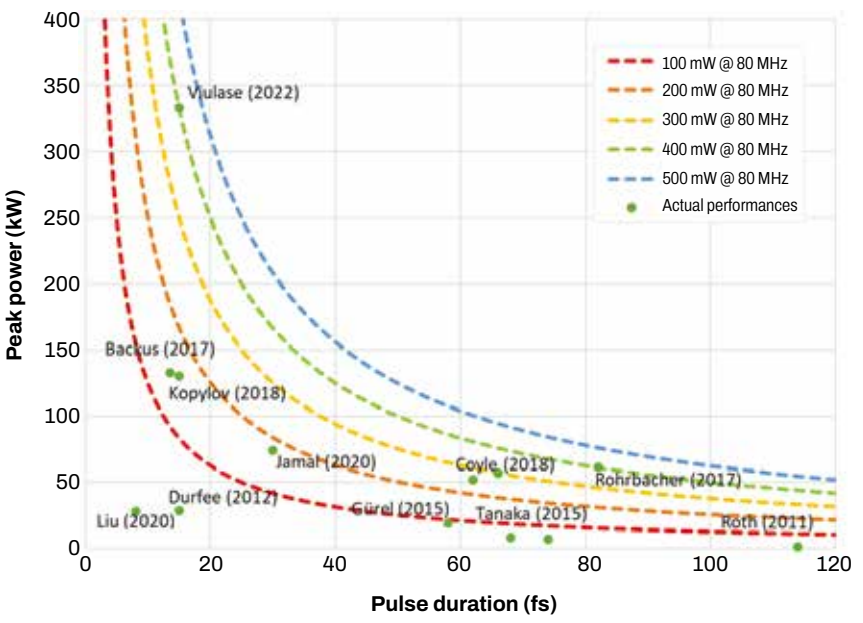



图1：在过去的十年间，直接二极管泵浦的钛蓝宝石振荡器的输出功率稳步增长。

代品。非线性效应和有限的增益带宽，阻止了超快光纤激光器与钛蓝宝石激光器在性能方面的竞争。

那么，钛蓝宝石激光器又如何在经济性和用户友好性方面，与光纤激光器相竞争呢?

2011 年，Roth 等人演示了第一台直接二极管泵浦的超快钛蓝宝石激光器，这也让钛蓝宝石激光器领域出现了新的转折点。[1] 通过用氮化镓（GaN）激光二极管取代笨重的 DPSS 泵浦，钛蓝宝石激光器缓解了其在体积方面的最大不足。但是，GaN 激光二极管最初的发射波长并不理想，而且功率有限，光束质量也较差，因此这种直接二极管泵浦系统的输出功率仍然很低。

在过去的十年中，激光二极管直接泵浦的钛蓝宝石超快激光器的输出功率已经有了稳步提升（见图 1）。人们提出了不同的想法，如波束合成或轮廓整形，以最大限度地提高振荡器的输出功率；[2-5] 然而，其典型输出功率依然仅略高于 100mW，峰值功率不超过 150kW。人们期待着能以更低的成本和更紧凑的体积，实现能产生优质功率输出的超快系统。

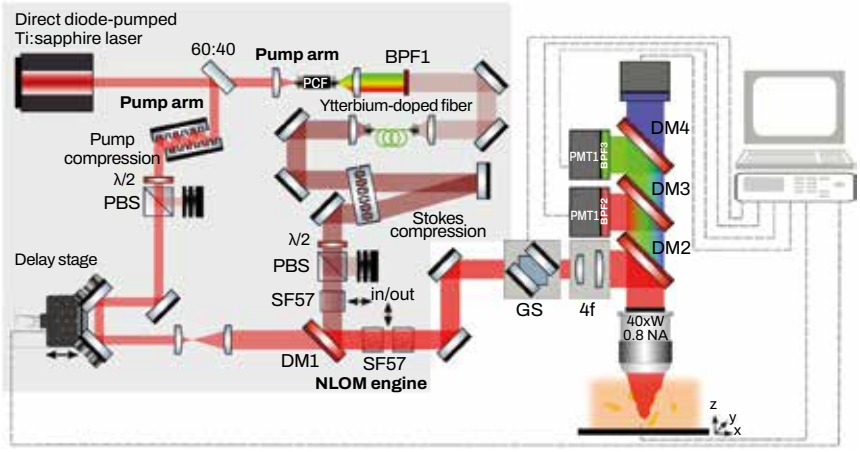
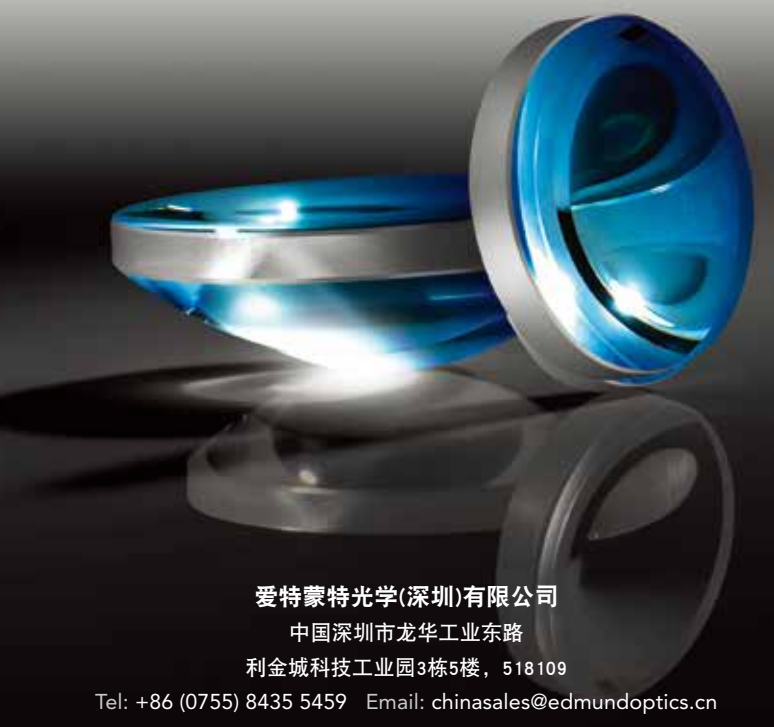



图2：基于直接二极管泵浦钛宝石激光器的多模非线性光学显微镜装置。

最近，奥地利 Viulase 公司推出了一款一体式直接二极管泵浦的钛蓝宝石超快激光器（DDPTL）系统——

光学引领未来™



新品 TECHSPEC®

近红外 (NIR) 精密非球面透镜

• 提供未镀膜或 VIS-EXT+ 增透镀膜 、NIR+ 以及 SWIR+ 等镀膜选项

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) 8435 5459 Email: chinasales@edmundoptics.cn

关注公众号

Edmund optics | china
欲了解更多信息，请点击此处:
www.edmundoptics.cn/072-8614

Tenacity。该振荡器能在 80MHz 的脉冲重复频率下，输出超过 400mW 的功率，峰值功率约为 400kW，脉冲持续时间小于 15fs，这表明它在性能上可以与传统振荡器相竞争。此外，它还实现了前所未有的紧凑性，外观仅比鞋盒稍大，也不需要额外的控制单元。

## 走出实验室投身实际应用

在飞秒激光振荡器的各种应用中，非线性显微成像是一项要求很高的应用，它需要光源具有高峰值功率和低光学噪声。在与维也纳医科大学合作的一项多模成像实验中，使用了 Viulase 公司的直接二极管泵浦钛宝石飞秒激光器作为主要激光源。

为了从样品中获得不同的信息，使用了多模式探测，包括双光子激发荧光（TPEF）显微镜、二次谐波产生（SHG）显微镜和相干反斯托克斯拉曼散射（CARS）显微镜。在多光子显微镜中，通常将可广泛调谐的飞秒激光器设置在某些特定波长，以激发生物组织中的酶或蛋白质。对于 CARS，需要不同激发波长的光子。因此，在本实验中，使用单个直接二极管泵浦的飞秒激光源，提供 400mW、约 50fs 的激光脉冲（FWHM：15nm；见图 2），演示了包含多光子和 CARS 显微镜的复杂成像平台。

DDPTL 的输出分为两束：一束工作在 805nm 处用作泵浦光；另一束在光子晶体光纤中展宽，并进一步放大，以在 1050nm 处产生斯托克斯光束。两个脉冲序列在时域内保持同步（见图 3）。然后，将这两个光束与二向色镜组合，并用显微镜聚焦在样品上。通过控制泵浦臂的延迟级，可以改变泵浦和探头脉冲的时差。路径中的 SF57 玻璃块用于控制脉冲的啁啾，以操纵 CARS 信号。

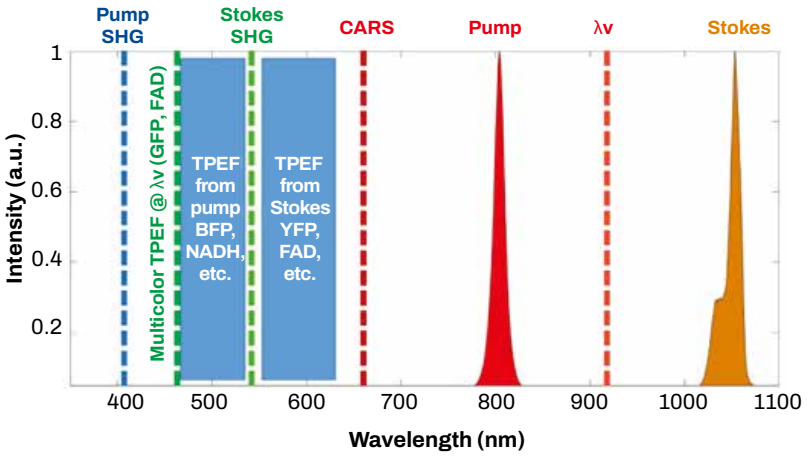



图3：泵浦和斯托克斯光束的光谱，以及多光子吸收的相对激发带宽：倍频、双光子吸收（TPEF）和 CARS。通过同步泵浦和斯托克斯光束，我们为双光子多色激发λv=2/(1/$\lambda_{泵浦}$+1/$\lambda_{斯托克斯}$）创建了对应于911nm的虚拟波长。

虽然以 805nm 和 1050nm 为中心的超快脉冲，都可以产生自己的二次谐波，但这两个光束的和频对应于 923nm 的二次谐波。这两束光可以在样品中产生多达六种不同的信号，包括三种不同染料的双光子激发荧光、SHG 和 CARS，以获取广泛的信息。

实验中成功地对秀丽隐杆线虫和斑马鱼幼体进行了多模式成像，并且能很容易获得合并图像。

这一要求苛刻的应用表明，DDPTL 的输出功率水平和稳定性，足以满足大多数生物成像应用的要求。因此可以放心地假设，这些新型飞秒激光器也可用于其他应用，如太赫兹产生和探测、双光子聚合等应用。

## 更快、更小、更高

替代固态激光器并将所有设备都整合到一个盒子大小的封装中，只是第一步。DDPTL 的潜力远远不止于此。

用激光二极管泵浦，不仅可以避免可能会为系统增加光学噪声的、复杂的光频率转换，而且也可以大大提高驱动电流的伺服回路带宽，以稳定最终输出。因此，任何主动反馈，例如功率稳定和载波包络相位稳定，都可以更快、更容易地完成。

消除频率转换环节，也意味着整个系统的散热会显著减少。更高的插座效率（wall-plug efficiency）可以使用更便宜、更小的水冷装置，甚至能使用更紧凑的空气冷却系统。这使得超快激光器可以在洁净室以外的各种情况下工作。

此外，随着绿光和蓝色激光二极管的输出功率不断提升，未来有望出现更强大的直接二极管泵浦的超快激光器和直接二极管泵浦的超快放大器。

我们已经预见到了超快钛蓝宝石激光器的稳固发展和光明的未来，它将会越来越多地进入更广阔的应用市场，成为每个激光光学实验室中标准的、价格合理的飞秒激光工具。它将以与鞋盒大小相当的体积交付给客户，并且安装非常简单，用户只需将其插入墙上的插座，即可操作。由于这些进步，超快激光器将有望像手机一样，在我们的生活中无处不在。❑

光学元件

# 3D 打印精密玻璃光学元件的新方法

*亚利桑那大学的研究人员，利用双光子聚合技术打印光敏液体二氧化硅树脂，最终得到了高精度光学元件。*

文/Sally Cole Johnson

双光子聚合技术，是用于打印基于有机聚合物的高分辨率微光学元件的一种新技术。但是，由基于聚合物成分打印的有机光学元件，在实际应用中往往受到一定的限制，因为它们的热稳定性和化学稳定性较差，在短波长和长波长的透射率低，并且折射率低。

玻璃光学元件是满足对紫外（UV）、可见光、近红外（NIR）和红外（IR）波长的需求所必需的。而且微光学元件太小（<1mm），无法通过传统的光学制造方法制造，因此需要额外的步骤，例如需要用于光学成型的制造模具来制造更小的光学元件。

这启发了亚利桑那大学 Wyant 光科学学院的 Rongguang Liang 教授实验室和化学与生物化学系 Douglas Loy 教授的实验室，开发了一种基于预缩合二氧化硅的光敏液体二氧化硅树脂（LSR），该预缩合二氧化硅通常用于制备低密度二氧化硅气凝胶。当博士生 Zhihan Hong 和 Piaoran Ye 将其与双光子聚合打印方法结合时，他们最终得到了高精度的复杂光学元件（见图 1）。[1]

“3D 打印是更小和更复杂光学元件的完美解决方案。透明玻璃光学元件可以通过 600℃的热处理制成，收缩率低至 17%。”Liang 说，“这是报道的打印光学元件的最低收缩率，但我们的目标是做到更低。我们将优化材料和打印工艺，以进一步降低收缩率。”

收缩是由烧结过程中有机物烧尽和颗粒熔化成玻璃引起的。“对于高性能成像应用，光学元件应按规格制造，”他补充道，“较小的收缩率对于更精确地控制最终形状更好。现在的挑战是优化 LSR 以获得更快的固化速度、更好的机械性能、更低的热处理温度和更低的收缩率。”

与传统的抛光和成型方法相比，该方法可用于制造自由形状和不连续形状的玻璃光学元件，以及具有可移动元件的复杂多元件免对准光学系统。

“我们的材料和打印方法，使快速制造以前不可能的高性能玻璃微光学元件成为可能，这对将先进的成像技术从实验室转化为临床内窥镜成像，会产生重大影响。”Liang 说，“精密玻璃微光学元件还将为各种应用在紫外、可见光和红外区域提供新的成像技术。”

打印复杂的光学元件需要多长时间？对于直径为 0.5mm 的微物镜，大约需要两小时打印，用丙二醇甲醚乙酸酯（PGMEA）去除未固化的材料需要另外的 20 分钟。



图1：3D打印的玻璃微物镜，数值孔径为0.4，直径为0.25mm。

目前这项技术的最新应用是生物医学成像：从小型内窥镜到可穿戴传感器。得益于其在热稳定性、机械性能、耐化学性，以及紫外、可见光、近红外和红外区域内的成像性能方面的独特特性，其他潜在应用范围从消费成像到集成光子学和空间光学。

“未来，我们将继续开发具有更高折射率、更快固化速度和更低收缩率的新材料，”Liang 说，“我们的工作为以前不可能实现的新型光学系统和应用打开了大门，例如带有移动元件的微光学系统。它还将促进材料开发方面的学术研究。”❑

参考文献

1. Z. Hong, P. Ye, D. A. Loy, and R. Liang, Optica (Apr. 25, 2022); https:// doi.org/10.1002/advs.202105595.

运动控制

# 先进运动控制技术优化 PCB 微孔钻孔机的性能

*调试伺服参数、减小摩擦以及优化程序执行效率等先进的运动控制技术，极大地改善了PCB微孔机械钻孔机的产能和质量。*

文/ Willima Yeh，Jerry Lin；Aerotech公司

机械钻孔和激光钻孔是两种最常见的微孔（<=150μm 的盲孔或通孔）钻孔方式。机械钻孔通常用于在较大的部件上开孔，比如在 PCB 或 IC 部件上开孔。激光钻孔通常用于在较小的部件上开孔，比如在硅晶圆、陶瓷和蓝宝石上开孔。

虽然机械钻孔和激光钻孔在很多方面是一样的，但是本文将重点讨论先进运动控制技术在机械钻孔机的性能优化方面所发挥的重要作用。机械钻孔机（尤其是六头 PCB 钻孔机）仍然是当前市场上应用最为广泛的 PCB 钻孔机。下文将探讨这类设备的开发难点和所应用到的技术。

## 大量点对点运动

PCB 机械钻孔机要求尽可能以最快的速度移动主轴和 PCB 板到目标钻孔位置。

图 1 是一台典型的 6 头 PCB 钻孔机，采用分立梁式设计。下轴移动 PCB 板，上轴移动主轴。这个应用最大的挑战包括：

（1）保证 XY 伺服平台调试快、稳、准；

（2）由于大多数行进采用滚珠丝杠驱动，需要减小摩擦效应的影响；

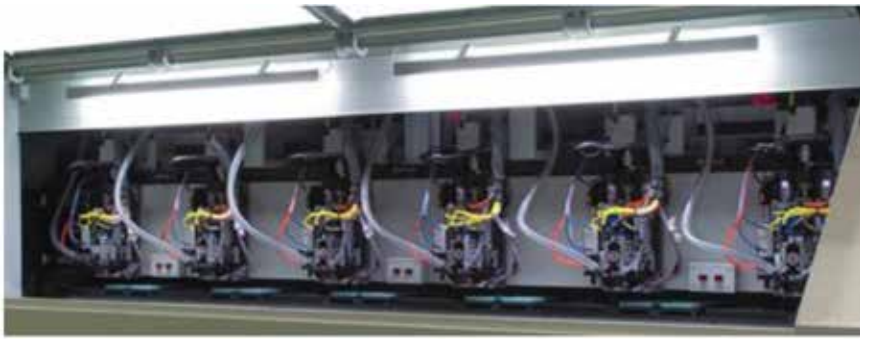


图 1：一台典型的 PCB 机械钻孔机。

（3）需要完整的软件接口，以满足设备制造商设计达到最终用户所要求的软件界面。

## 调试伺服平台

负载和平台尺寸、质量和动态性能要求，都会影响 XY 伺服平台系统的调试难度。通常 PCB 板的尺寸会大于 500mm × 500mm，由于 PCB 钻孔机对产能要求很高，因此调试伺服平台是一项非常有挑战性的任务，因为要追求最短的运动 & 整定时间，即平台从 A 点移动到 B 点、并整定到设定偏差窗口的时间。

通常，运动控制系统主要采用基于时域的自动整定或阶跃响应调试方法。对于简单的应用来说，这种调试方案是可行的。但是基于时域的调试方法无法识别共振点、零极点图或设计滤波器。基于这种情况，用户只能通过减小伺服增益来避免系统共振。而减小增益意味着设备产能的降低。

频域技术（频域响应分析）是一种更先进的调试方法，可以达到更高的性能。频域响应分析技术通过在电机上加入一个从低频到高频的整形激励信号，从而得到每个频率点的相频和幅频特性。通过评估相位裕度和幅值裕度，来调试出合适的伺服增益。Aerotech 的 A3200 高性能运动控制器，可以通过图形化的方式很方便地设计和调整伯德图、设计滤波器，从而使伺服增益到达最优化，实现最高性能。

## 减小摩擦效应影响

PCB 钻孔机市场对价格和性能的竞争非常激烈。基于以上原因，大多数 PCB 机械钻孔机都使用滚珠丝杠平台驱动。对这个市场来说，滚珠丝杠驱动系统在驱动大负载和达到高定位精度方面，性价比很高。然而，由于丝杠螺距大，摩擦效应将限制轴的

低频增益，这意味着运动 & 整定时间以及反向运动时间都会比预想的长。通常情况下，设备制造商通过增加伺服增益来减小摩擦效应的影响。但是，这会增加系统不稳定的可能性。

为了得到一个稳定的高带宽系统，Aerotech 开发了一种称为 Enhanced Tracking Control（ETC）的控制算法。导轨摩擦特性使轴在低频段响应缓慢，较低的环路增益意味着对扰动响应更慢。ETC 算法增强了低频段的伺服响应，从而使轴的动态特性非常接近于理想的无摩擦系统。通过实施 ETC 算法，PCB 钻孔机的运动 & 整定时间性能得到了极大提升。

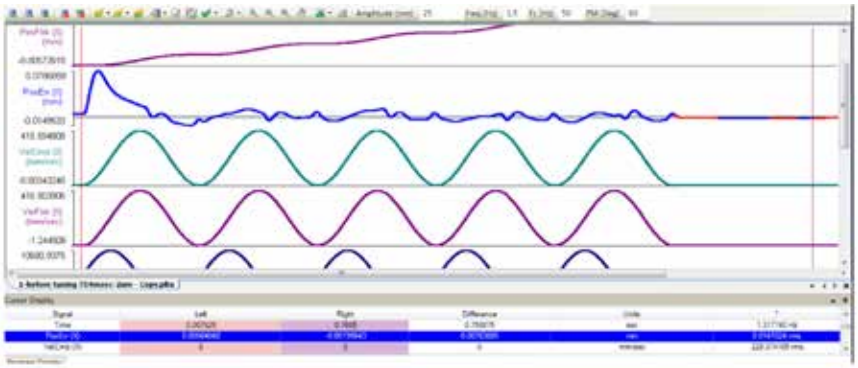


图2：未经整定前的运动&整定时间性能。

## 灵活的软件函数库

大多数 PCB 钻孔机用户期望系统是即插即用的，这意味着软件接口对设备的成功至关重要。Aerotech 提供了丰富的软件函数库，软件工程师可以灵活地设计软件界面、分析数据、实现操作流程、安全和 IO 等。G 代码和 M 代码也是 PCB 钻孔机所必须的，通常软件工程师将 PCB 图样转换成 G 代码，用来执行、显示和生成钻孔轨迹。Aerotech 的 C# 库和 C 库已经用于商用 PCB 机械钻孔机，可以满足所有的运动控制功能需求。

高端运动控制器有许多特定功能，能以极高的效率处理大量运动轨迹。例如，Aerotech 的速度前瞻功能可以前瞻和优化运动速度规划；队列模式能让数据以先进先出的方式处



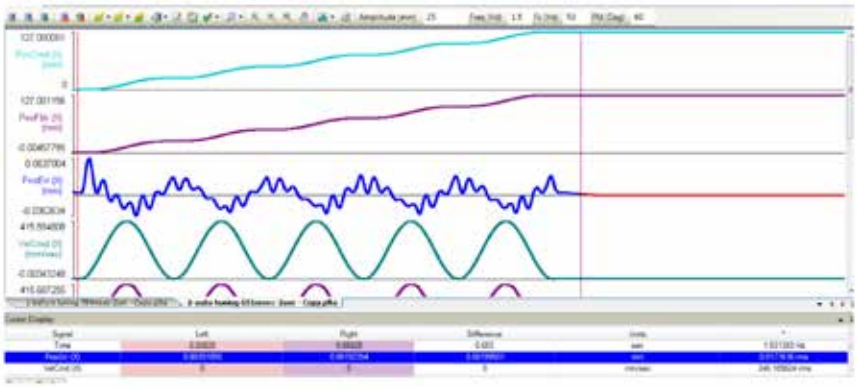



图3：AutoTune调试得到的运动&整定时间性能。

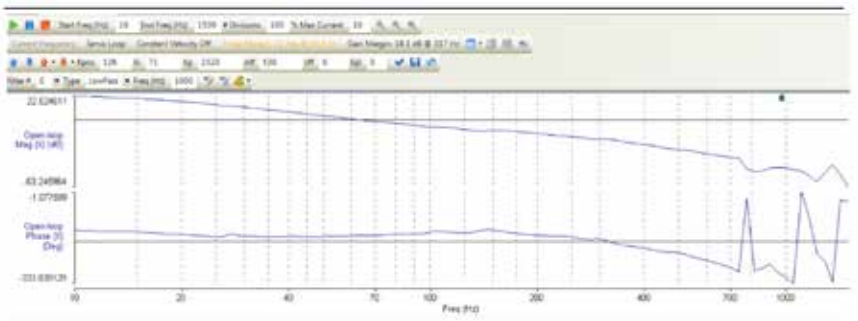


图4：应用Loop Transmission工具，通过环路整形将相位裕度从21度调整为 30度。

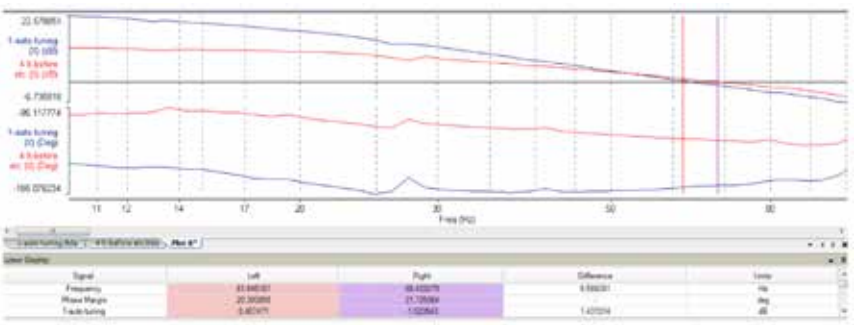


图5：应用环路整形将相位裕度增加到35.6度，穿越频率增加到68Hz。蓝色曲线是调试之前的，红色曲线是调试之后的。

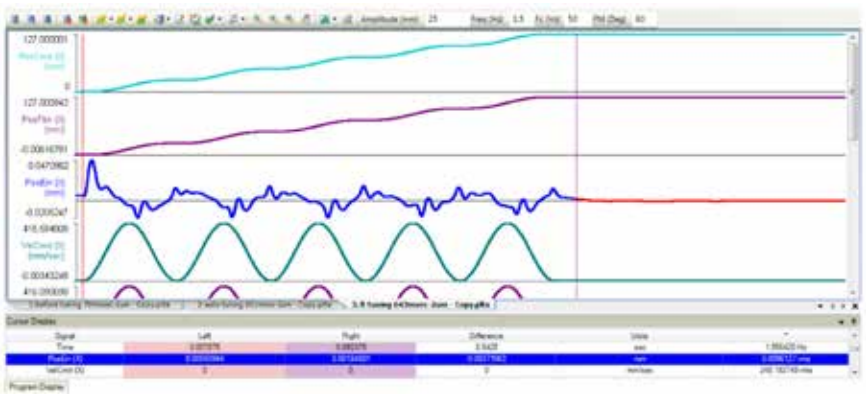


图6：最大跟随偏差为47μm和-20μm，运动时间为 615ms，整定时间为28ms。Loop Transmission调试技术将运动&整定时间减小到643ms。

理，使得内存容量不会限制能处理的数据点的数量。

另一相提高处理效率的控制技术是轨迹速度融合 Velocity Profiling。PCB 钻孔机的产能要求非常高，要求各段运动之间不能有等待延时。Aerotech 运动控制器中有两个功能用于处理这个问题：Wait Mode Auto 和 Velocity Profiling。Wait Mode Auto 命令使相邻两段运动之间的等待时间最少，从而减小程序的总执行时间。Wait Mode Auto 模式只应用于 Velocity Profiling 序列的最后一段，而不是中间段之间。另一方面，Velocity Profiling 用于将多段运动融合成一个连续的运动。在 Velocity Profiling 模式中，在相邻两段运动之间速度不会减小为零。

## 示例

下面的示例演示了 PCB 微孔机械钻孔机的优化过程。在该示例中，伺服平台连续进行 5 段运动，每段运动行程为 25.4mm。

运动参数

行程：25.4mm

速度：415mm/s

加速度：10680mm/s$^2$

Wait Mode Auto 功能开启，In Position Threshold 参数设置为 2μm。如下示例比较了各种不同的调试技术和工具，包括 Auto Tune、Loop Transmission 和 ETC。Aerotech 的 Digital Scope 工具用来测量运动 & 整定时间性能。

图 2 中，在未经调试之前，加减速阶段的最大跟随偏差为 78μm 和 -14μm。运动时间为 615ms，整定时间为 143ms。运动 & 整定时间为 758ms（整定窗口是 2μm）。

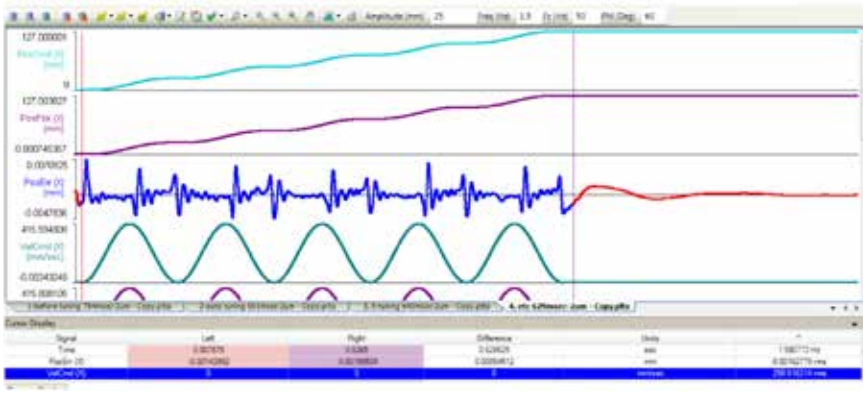


图7：ETC算法开启后，最大跟随偏差为7μm和-4.7μm，运动时间为615ms，整定时间14ms。ETC调试技术将运动&整定时间减小至629ms。

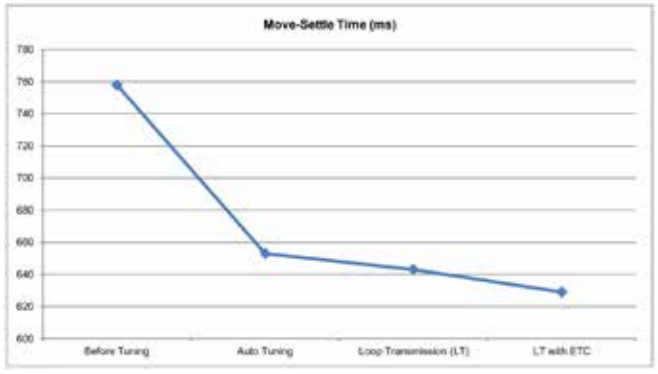



图8：对不同调试工具进行比较，Loop Transmission和ETC算法极大地改善了运动&整定时性能。

第二个示例是应用 AutoTune 工具来调试系统。AutoTune 将伺服增益从 Kp=3377、Ki=36.9、Kpos=48 增加到 Kp=2320、Ki=71、Kpos=126。从图 3 中可以看到，最大跟随偏差为 63μm 和 -36μm，运动时间为 615ms，整定时间为 38ms。AutoTune 调试方法将运动 & 整定时间减小为 653ms。

下一步我们应用了 Loop Transmission 工具。用从低频到高频的正弦信号来激励系统，从而得到整个频率段的相频和幅频特性。我们将基于伯德图进行系统性能的优化设计。

应用 ETC 算法进一步优化了运动 & 整定时间性能。通过增强低频增益，可以进一步减小运动 & 整定时间，同时在加减速段的跟随偏差也减小了。从图 7 中可以看到，运动 & 整定时间减小到了 629ms。

## 结论

通过频率响应方法调试伺服参数，增强低频增益来减小摩擦效应，以及优化程序执行效率来快速处理大量数据等先进的运动控制技术，可以极大地改善高性能 PCB 微孔机械钻孔机的产能和质量。❑

# Aerotech 为 Automation1 运动控制平台增加新功能

Aerotech 为 Automation1 精密机械和运动控制平台开发新产品和功能，最新进展包括：

**附加硬件产品支持**：兼容硬件产品的数量增加，更多系统可以使用 Automation1 作为核心运动控制器。新型伺服电机驱动器包括 XC6e 高功率 PWM 伺服电机驱动器、XL5e 和 XL2e 线性放大器伺服驱动器、XI4 伺服控制器和 GI4 振镜式激光扫描头控制器。此外，Automation1-iSMC 运动控制器可以在工业 PC（如 Automation1-iPC）或 Automation1 驱动器上运行，包括 iXR3、iXC4e、iXC4、iXC2e、iXC2、iXL5e 和 iXI4。

**构建自定义人机界面的能力**：新推出的 MachineApps 工具可让用户为其机器和运动系统快速构建和部署全新的图形用户界面。借助定型的布局和超快的拖放功能，用户能快速添加和配置机器接口模块，如编程接口、点动面板、数据可视化器和可定制的触控按钮。

**附加的 API 工具**：Automation1-iSMC 控制器使用新的 Python API 和 LabVIEW VI 连接更广泛的工厂和实验室自动化系统，后者基于现有的 .NET 和 C API 以及 EPICS 驱动程序构建而成。

**工业以太网连接选项**：Automation1 控制器使用工业以太网协议连接到 PLC 和其他自动化设备。基于 PC 的 Automation1 控制器支持 MODBUS/TCP，而基于驱动器的 Automation1 控制器支持 EtherCAT。

**改进的用户体验**：用户可以更快、更轻松地制定解决方案。Studio 开发软件包括几个简化开发过程的新工具，包括配置检查清单、回零点和电机相位辅助模块，以及参数比较 / 复制工具。升级的伺服调谐和数据可视化工具也是标准配置。




自动驾驶

# 自动驾驶汽车市场升温 催生新增长机会

*随着人们对自动驾驶汽车兴趣的高涨，激光雷达的潜在作用为愿意投身未来汽车行业的技术公司创造了新的增长机会。*

文/Peter Fretty

随着电动汽车和自动驾驶汽车的同步发展，汽车行业正呈现出前所未有的迅速发展态势。随之而来的是，这种转变也正在变革着汽车行业的传统供应链。虽然这两个变化都不是在一夜之间发生的，但是全球主要汽车制造商已宣布供应商需要认真对待当下呈现出的发展趋势。

汽车朝着电气化的方向发展，意味着其所需要的移动部件要比内燃机汽车少得多。在大多数情况下，动力传动系统可能不会再来自那些早已在业内根深蒂固的老牌供应商。



图1：自动驾驶将汽车中使用的技术提升到了一个新水平。



图3：在汽车内使用激光雷达技术，通过对激光器进行冷却，确保所有功能的正常运转。（图片来源：Phononic）

另一方面，自动驾驶汽车市场的潜在增长为整个汽车行业带来了一系列完全不同的变化，制造商必须重新思考如何生产出能够满足消费者不断变化的需求的汽车（见图 1）。尽管这种变化会让人感到危机和不安，但是这些新的发展趋势也创造出了新的机会市场。

例如，日益增长的自动驾驶汽车市场，将为激光雷达等导航技术带来极大的发展机会；事实上，目前这些导航相关的技术正在自动驾驶热潮的驱动下迅速发展。市场研究公司 ABI Research 在一份题为《揭开激光雷达的神秘面纱：物联网和汽车应用、行业和商业模式》的报告中指出，从保守乐观的态度来看，激光雷达处于重要位置，一旦人类驾驶员启动自动驾驶模式，激光雷达（LiDAR）就可以为当前的摄像头 - 雷达组合增加至关重要的“第三方意见”。

“激光雷达技术及其供应商生态系统，将在两个重要方面继续发展。首先，从机械到固态激光雷达传感器技术的转变，将推动更低的价格水平，最终会降至 500 美元以下，同时还具备更高的制造可扩展性，以及由于减少磨损而降低的维护成本。”ABI Research 常务董事兼副总裁 Dominique Bonte 说，“另一方面，目前由 100 多家公司组成的激光雷达供应商生态系统将会逐渐成熟，到 2030 年将会出现 10 到 20 家关键公司。”

## 感知市场机会

Phononic 公司是一家总部位于美国北卡罗来纳州的制造商，这家公司已经有十年的发展历史。Phononic 公司对汽车市场所孕育的潜力感到异常兴奋。通过与光纤通信领域的企业合作，Phononic 公司实现了高端、高数据速率的光纤组件，能够对收发器内的激光器和探测器进行精确的温度管理。

汽车激光雷达也有类似的需求。当激光器发射高频光脉冲时，它们需要非常高的功率、良好控制的波长，同时还能在较宽的温度范围内工作。激光雷达传感器还需要很长的感知范围、快速刷新或高帧率，能够提供其视野的高分辨率 3D 图像（见图 2）。

“这对一个传感器来说是一项非常严苛的要求，因为要考虑能在雨天或晴天、以及较为宽范的温度范围内稳定工作，这就要求传感器在工作时要不受阳光或雨水的干扰，同时也要不受路面上可能出现的其他激光雷达系统的干扰。”Phononic 公司的 Alex Guichard 说，“这个传感器还必须要非常可靠，因为它是汽车能否安全行驶的关键。”

随着激光雷达在市场上立足并有望占据更大的市场份额，成功的激光雷达方案可能会朝着两个截然不同的方向发展。

第一种是低成本、短距离、低性能的系统，它依赖于 flash LiDAR。Guichard 说：“人们今天正试图采用这种低成本的方法，目的是使性能能够达到足够自动驾驶所需要的水平。”

另一种是朝着高性能的方向发展。今天市场上已经有一些激光雷达系统能提供很高的性能，包括实现高级自动驾驶的规范和要求的能力。当然，这种方法目前的价格要高得多。“然而，我们的想法是，随着更多的参与者专注于进一步创新，有可能在保持现有性能优势的同时，降低系统成本。”Guichard 说。

当然，现在还很难说哪一种发展

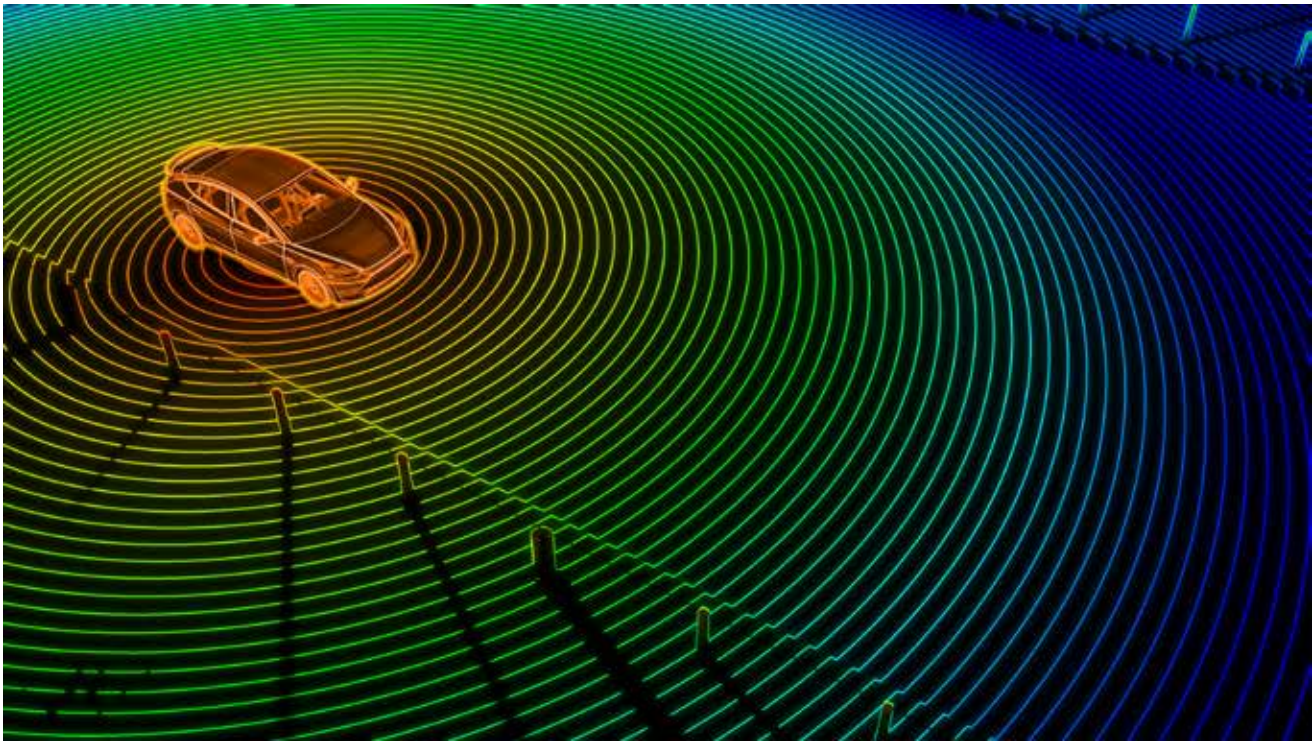


图2：激光雷达技术是确保自动驾驶汽车能像道路上的其他汽车一样，能检测周围物体的一种必要技术。（图片来源：Phononic）

方向会赢得更大的市场，或者是汽车制造商最终会采用另一种技术；但是对高性能方法的投资正在显著增多。

所有这些对于 Phononic 来说都是好消息。毕竟，无论在操作环境中发生什么，可预测、精确和一致的温度控制都至关重要。

## 解决挑战

考虑到激光雷达传感器不仅需要能正常工作、而且还有长时间正常工作的温度范围，可靠性显然是一个巨大的要求和重大问题。Guichard 说：“它们的工作温度超过了水的沸点，而激光器和探测器等器件并不喜欢这样的高温工作环境。”

Phononic 公司的主要技术产品，能充当激光器和探测器等器件的局部热环境调节器，进而能解决可靠性问题，因为激光器会免于暴露在剧烈的温度波动环境中（见图 3）。

当同时实现长距离、宽视场、高刷新率（高帧率）和高分辨率这些特性时，会出现信噪比的问题。Guichard 说：“上述四个指标在根本上是不一致的，试图提高一个，可能就会降低另一个。主动冷却可以提高探测器的灵敏度，也能提高激光器的稳定性和稳态功率输出。”

## 首要问题

不断学习。在了解激光雷达的工作方式方面，我们要不断学习。“我们知道这种操作与光纤通信非常相似，但我们专注于理解其中的不同，”Guichard 说，“例如，激光器和汽车激光雷达传感器需要更高的功率，而且工作温度范围也更极端。我们开始了解这是一个多么极端的环境，以及它如何影响我们的设备。我们需要弄清楚，我们可以在多大程度上进一步推进我们的产品。”

期待未知。具体使用效果会是什么样？预计的设计周期是多长？正如 ABI Research 所言，至少在未来五年内，市场占有率不会达到临界水平，因此任何投资都是长期的。“某种类型的激光雷达传感，某种非常详细的、高分辨率的 3D 点云技术是必要的。”Guichard 说，“我们认为，要实现如此高级别的自动驾驶功能，实际上需要一台更酷的激光雷达。”

目前，汽车激光雷达是一个非常拥挤的市场，有许多初创公司在这个市场参与角逐。当然，这对于整个行业来讲是一个激动人心的时刻，人们对未来可能发生的事情看到了无限可能。不断向更大规模发展的激光雷达市场，代表了一种赋能技术，它能够改变原始设备制造商（OEM）的商业模式，并改变汽车走向市场的方式。❑

MedTechWorld China

# Medtec

Technology · Networking · Education

国际医疗器械设计与制造技术展览会 · 中国

专注于医疗器械设计与制造技术的展览会

Exhibition Dedicated to the Design & Manufacturing of Medical Devices



## 2022
## 8.31-9.2

## 上海世博展览馆
## 1号馆&2号馆
## Hall1 & Hall2

Shanghai World Expo Exhibition & Convention Center

**40,000+** 人次专业观众

**800+** 展商

**1,900+** 会议代表

**80+** 会议活动


**参展 Exhibit**

Linc Cai 蔡锋

T: +86 21 6157 7217 E: Linc.Cai@informa.com

**参观 Visit**

Carina Li 李娜

T: +86 10 6562 3308 E: Carina.Li@informa.com


扫码预登记参观赢好礼

**www.medtecchina.com**

informa markets

增材制造

# 增材制造继续不断向前发展

*随着技术和材料的不断发展演进，增材制造继续为越来越多的应用提供独特的解决方案。*

文/Joseph Kowen，Nigel Bunt

增材制造（AM），又称 3D 打印，自 30 多年前首次推出以来发展迅速。1984 年，立体光固化技术的发明者 Charles Hull 获得了 3D 打印工艺的第一项重大专利。大约在同一时间，Stratasys 公司获得了专利，该公司开创了 3D 挤出热塑性零件。从那时起，3D 打印行业便逐渐开始热闹起来了。

立体光固化术基于工业激光技术，以及用于打印聚合物和金属的各种后期技术。

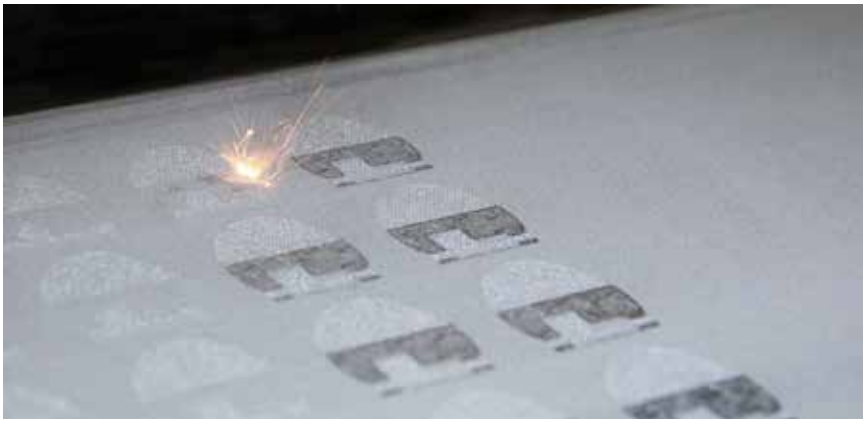


图1：在激光粉末床熔融（PBF）系统上打印的金属模具。

## 聚合物

市场上存在着几种制造聚合物零件的技术。光聚合（VPP）一般使用紫外（UV）光源来硬化光敏聚合物；热量也可以用作能量源。VPP 工艺，也称为立体光固化，它使用激光在构建缸内逐层固化液态树脂以形成物体。从 2002 年开始，Envisontec 公司（现为 ETEC）推出了一套系统，该系统使用数字光处理（DLP）投影仪作为替代光源，来固化光敏聚合物。这些系统在某些应用中取代了基于激光的立体光固化。除了一些例外，DLP 系统通常用于建造更小的零件。小零件 VPP 通常用于各种牙科应用。

聚合物部件生产的第二项主要技术是粉末床熔融（PBF）或选择性激光烧结（SLS）。激光能量熔化粉末状聚合物层，将它们一层一层地熔融在一起形成零件（见图 1）。SLS 最常用的材料是聚酰胺(PA)12，也称为尼龙。输出功能齐全，具有良好的材料特性。由于零件是由熔融粉末制成的，因此表面光洁度很粗糙，通常需要进行后处理，例如平滑或喷漆。在各种工业应用中，SLS 是传统注塑成型零件的替代品，可用于多达数万件的小批量生产，具体取决于零件设计。这一工艺始创于 1987 年，是由从德克萨斯大学奥斯汀分校分离出来的 DTM 公司（后来被 3D Systems 公司收购）开创的。

材料挤出（MEX）和材料喷射（MJT）完善了聚合物 3D 打印。前者被广泛称为熔融沉积成型（FDM），即通过喷嘴挤出热熔热塑性材料来制造零件。后者使用工业喷墨技术，将光敏聚合物选择性地喷射到构建板上，通过暴露在紫外光下固化。这两种工艺中没有使用激光技术。

## 金属与陶瓷

近年来，功能性金属和陶瓷部件的制造有了显著发展，因为基础技术的价格已经下降。PBF 是迄今为止最常见的金属增材制造工艺。与相关的聚合物工艺一样，激光束在惰性和加热的构建室内熔化金属粉末以形成零件。构建过程达到了所打印金属合金的熔点，并使得粉末熔融成功能性金

属零件。零件需要支撑结构，并且必须在建造完成后移除。

与聚合物 PBF 一样，打印出的金属零件也相当粗糙，因为它们是由熔化的粉末颗粒制成的，通常需要平滑、抛光或机加工才能达到所需的表面光洁度。通常需要对零件进行热处理，以减轻在 PBF 加工中产生的应力。对于某些应用，有时需要热等静压（HIP）来实现完全密度。该工艺可以加工多种材料，包括铝、钛、钴铬合金、不锈钢、镍基高温合金和铜等。

直接能量沉积（DED）工艺的特点，是通过类似于焊接的工艺，将金属原料熔化成金属部件。原料可由金属线或金属粉末提供，熔化原料的热源可由激光或电子束提供（见图 2）。



图2：LASERTEC 65在一台机器上结合了直接能量沉积增材制造和铣削工艺。

## 激光的替代品

立体光固化曾经是一项依靠工业激光器的开创性技术。目前，市场对大幅面立体光固化设备仍有需求。传统的制造应用，例如由 Align Technologies 公司开发并基于 3D Systems 公司提供的设备所支持的应用，仍然在生产大量的 AM 零件。据悉，Align 公司每天会生产 70 万个牙弓。大型零件仍然是激光光聚合具有优势的领域。

然而，如今激光驱动的工艺面临着来自配备 DLP 或 LED 光源的设备的激烈竞争。它们足够精确，可以替代激光，并且能够一次将整层暴露在光源下，从而提供速度优势。激光聚合是一种矢量过程，本质上是较慢的。光敏聚合物的喷墨打印也在与激光竞争，尽管零件尺寸有限，并且材料性能受到仅能喷射低粘度材料的限制。

激光驱动的 SLS 面临来自多喷头熔融的竞争，这是一种由惠普开发并商业化的喷墨和红外工艺。同样，高速烧结显示了以低于 SLS 部件的成本，生产功能性尼龙部件的潜力。

在金属方面，激光 PBF 仍然拥有最大的市场份额，一些激光驱动的 DED 技术的市场份额要小得多。电子束 PBF 正在取得进展，许多新玩家正在进入市场。但是后者仅占金属增材制造市场中的一小部分。

激光 PBF 的一个更重要的竞争对手是金属粘合剂喷射。这项技术提供了更低成本的金属增材制造。尽管许多资金雄厚的新公司进入了这个技术领域，但它的增长迄今未能达到预期。这可能归因于与处理零件生坯相关的工艺问题，更重要的是，客户在有效烧结零件方面遇到的困难。这种二次加工是激光 PBF 可以避免的。

增材制造涉及了一系列不断发展变化的技术和材料。每年都有越来越多的供应商推出令人兴奋的新进展，从而在增材制造具有优势的领域开辟新应用。增材制造并不是万能的，它只占制造领域非常小的一部分。但是，当它确实能发挥作用时，它可以为越来越多的应用提供独特的解决方案，甚至实现增值服务。该细分市场有望在未来几年继续活跃，实现增长。❑

# 大族激光 Micro–LED 巨量转移设备接受行业龙头客户验证

近日，大族激光自主研发的 Micro-LED 巨量转移设备正在 Micro-LED 行业龙头客户处验证，目前验证过程已接近尾声，验证通过后有望实现销售。

Micro LED 显示具有自发光、高效率、低功耗、高稳定等特性，是下一代主流显示技术的重要选择，在众多领域均有替代现有技术的潜力。要完成 MicroLED 现实屏的制作，必须采用巨量转移技术，即一次能够转移大量器件到驱动基板上；在保持巨量转移的基础上，还必须同时保证转移的精度、良率及工艺的可靠性等。目前 Micro LED 的商用尚面临重重困难，而巨量转移技术是最关键的一环，也引得众多行业巨头竞相发力。

对于竞争对手，大族激光表示，公司的业务范围包含光电子器件、运动部件及各行业的高端制造装备，是行业里产品种类最齐全、服务客户最广泛的头部企业。根据不同产品所服务的细分行业不一样，竞争对手也有大有小。总的来讲，国外的竞争对手有德国通快、瑞士百超、美国 IPG 公司、美国 II-VI 公司等，另一方面公司与这些国外公司也保持着良好的商务合作关系；国内的竞争对手主要体现在细分行业应用方面，如锐科激光、帝尔激光、华工科技、海目星、杰普特等。

表面处理

# 钛板的激光表面改性展现新潜力

*激光增材制造能创建可植入的钛微结构，激光还能改变钛表面的颜色，用于永久性识别用途。*

文/Eliana Fu，Daniel Huerta Murillo，Alonza Brown，Clinton Coleman

在过去的几十年里，激光技术成功地展示了在切割、焊接以及打标方面的能力。现在，可以通过电子束和激光加工实现表面结构化或表面修复。

钛是一种在航空航天、汽车和消费品等多个行业广泛应用的材料。在生物医学应用中，钛适用于人体内的植入物，因为它是一种生物相容性金属，适用于锻造、铸造、机械加工和增材制造等多种加工工艺。

长期以来，最受欢迎的钛合金 Ti-6Al-4V 一直被视为骨科植入物以及支架、缝合线、医疗工具及器械的主要金属材料。它的衍生物 Ti-6Al-4V ELI 是另一种流行的生物医学合金，其中 ELI 指的是“超低间隙”（Ti-6-4 的化学变化，其中氧、铁和碳保持在尽可能低的水平）。图 1 显示了通过 3D 打印（激光增材制造）生产的钛植入物组件的示例。

通过使用激光对钛进行表面结构化，可以形成微结构，通过熔化和快速凝固形成独特的轮廓和形状，从而增加表面积。轮廓形状和结构能促进硬组织和软组织的生长，从而将植入物机械键合到体内的植入区域。对于仪器和工具而言，也经常需要更容易抓握的表面，以符合人体工程学，便于操作。

## 表面结构化的实现

金属板的激光表面结构化，涉及使用高度聚焦的激光束撞击金属表面，形成快速凝固的熔池。当光束快速扫描穿过熔池时，可以创建微结构。



图 1：激光增材制造实现的钛组件，非常适合生物医学应用，例如面部（a）和肱骨（b）植入物。

虽然钛是一种高度活性金属，但由于暴露于空气中的氧气下容易形成高度坚韧的氧化物层，因此它在空气中很稳定。该氧化层厚度在埃级，如果受损，在氧气存在的情况下几乎会立即自我修复。钛有时被用作热处理其他金属的吸气剂，因为它对表面氧的亲和力极高。有趣的是，这种坚韧的氧化层可以用散焦激光束去除。当形成新的氧化层时观察到退火效应，颜色根据氧化层的厚度而显现，类似于使用加热炉处理对钛进行热着色。使用激光创建表面特征和颜色变化，对于组织粘贴等医疗应用很有用，还可使用颜色用于识别功能。

通快公司使用 TruMark 5020（掺镱光纤激光器）纳秒激光器，在 TruMark 5000 工作站中进行了一些激光表面改性试验，该激光器具有 1064nm 红外波长和 20W 的平均功率。SCANcube 10 2D 振镜，具有 160mm 焦距的平场聚焦透镜用于光束聚焦和传输。这种光学设置可创建 110mm × 110mm 的扫描场尺寸和 67μm 的光斑尺寸。所用材料为 Ti-6Al-4V 薄板，

板厚为 1~3mm。激光束参数可以根据脉冲频率和持续时间进行更改和调整。

图 2 显示了如何通过结构化来创建金字塔结构，实现表面积增加和互锁的表面结构，这种结构可用于组织粘合。表面结构范围从 1μm（较细）到 500μm（较粗）。

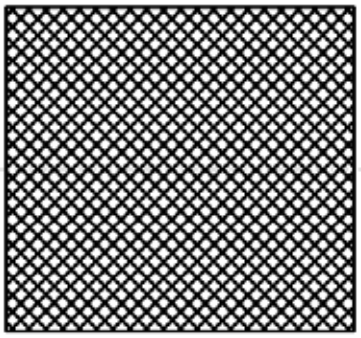


图2：通过表面结构化创建的金字塔结构。

图 3a 显示了一种类似于金属魔术贴的结构。以“X”目标形状表示激光打到金属的位置（图右），激光束沿这些位置扫描，从而产生所示的尖峰（图左）。该过程类似于冲击钻孔方法，每个 X 形目标被单脉冲多次（最多 100 次）轰击。图 3b 显示了当激光沿 45 度线扫描横穿时的结果；在激光与前一条线交叉的地方获得了有趣的形状（来自于激光轰击金属表面的额外能量）。

如前所述，当原有氧化层损坏或去除时，钛很容易形成新的氧化层。激光引入的热量会产生类似于传统加热炉方法带来的热着色的退火过程。

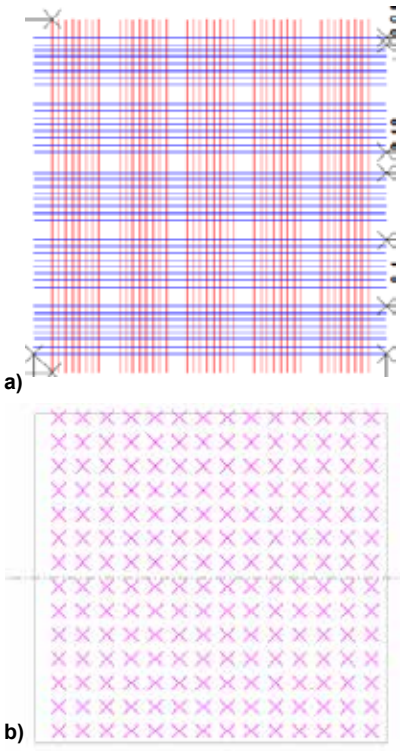



图3：创建的粘附结构（a）和45度图样（b）。

当光通过氧化层的厚度并被折射，就会显示颜色。为了产生不同的颜色，激光束略微散焦以提供更大的光斑尺寸，并控制沉积在材料中的能量密度。产生的能量密度低于钛的熔点。激光加工后形成新的氧化层，产生的颜色耐温达 200℃。

## 额外功能

基于暴露在空气中的所有钛表面上的牢靠氧化层的厚度，激光加工还可以通过光的折射，为钛表面提供颜色变化。颜色变化很大程度上取决于材料化学。但在实验基础上，它可用于对零部件提供永久标识。通过进一步优化参数，可以实现传统钛阳极氧化难以实现的其他颜色。

尽管钛及其合金的传统阳极氧化工艺已经成熟，但由于形成氧化层的厚度会跳过一些值，该工艺无法实现人眼识别为深红色（朱红色到猩红色）、深蓝色和翠绿色的某些波长对应的色值。在 Pantone（潘通）色卡中，这些通常是 185-187、192 和 199-200 的红色，以及 280-282、286、287、288 和 294-295、541 的蓝色。在绿色中，举例来说这些可能是 315-316、322、323、330、335、336、564 和 662，并且几乎不可能通过阳极氧化实现。然而，随着激光参数的进一步优化，有可能产生传统阳极氧化难以获得的这些和其他所需的颜色。展望未来，看看颜色如何随着 β 合金含量的增加而变化，可能也是一件很有趣的事情（将 CP 钛与例如 Ti-6242 的近 α 钛合金，例如 Ti-6-4 的 α-β 钛合金，与例如 Ti-15-3-3-3 的高度稳定化 β 钛合金进行比较）。

激光表面着色和表面结构化也为航空航天业开辟了更广泛的可能性。对于特别大的结构组件，例如钛翼梁，在阳极氧化槽中浸泡巨大的部件是极其困难的，仅对小区域进行着色或纹理化的能力非常有吸引力。无论是用于创建微结构还是颜色变化，激光技术都为钛及钛合金的加工提供了许多令人兴奋的潜力。❑

# 炬光科技建设激光相关产业基地

近日，炬光科技公告，拟投资建设炬光科技泛半导体制程光子应用解决方案产业基地项目，投资金额 5 亿元。

炬光科技将利用其在泛半导体制程应用领域积累的技术优势和产品开发经验，在合肥建立炬光科技泛半导体制程光子应用解决方案产业基地，进行泛半导体制程应用相关产品的研发、生产和销售，并推进旗下较为成熟的泛半导体制程业务的产业化进程，实现新的利润增长点。

医疗器械制造

# 激光加工促进医疗器械制造领域的创新

*为医疗器械的打标、焊接、切割和微加工等工艺过程选择合适的激光器，对实现预期的加工效果和重复性至关重要。*

文/Brennan Decesar，Mark L. Boyle；Amada Weld Tech公司

激光器被广泛用于医疗器械制造领域，各种不同的激光器类型适用于不同的加工工艺，包括打标、焊接、切割和微加工等。每种工艺对应特定的加工需求，并且各种新应用还在不断涌现。

## 激光打标：用于产品信息标记和溯源

激光打标是在设备上永久性地标记公司标识和产品信息的一种很好的方式，以确保产品的可追溯性。激光打标是一种直接零件打标（DPM）工艺，激光灵活的加工方式可以轻松地创建唯一的设备标识符（UDI）、公司标识和有关设备使用的文本、图形等信息（见图 1）。激光打标被广泛用于医疗和牙科设备，例如用于接骨螺钉的打标，以及装载心脏起搏器、听觉植入物、人工晶体和内窥镜工具等精密电子器件的容器外壳的打标。

适合激光打标的工业激光器，根据波长、激光介质或脉冲持续时间，可分为紫外激光器、绿光激光器、光纤激光器、二氧化碳（CO2）激光器和超短脉冲(USP)激光器。材料特性、打标类型及相应的质量要求，决定着哪种光源是最佳选择。

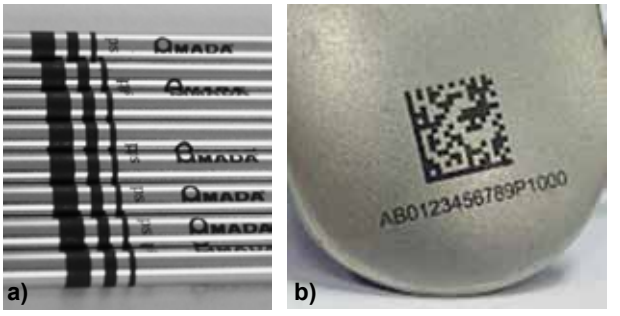



图1：激光打标在不锈钢上实现（a）带状和（b）二维码黑色抗腐蚀标记。

在不锈钢医疗器械上打标，已经成为激光打标的一项专门应用，并且这类应用正呈现出日益增长的趋势。医疗器械打标需满足以下条件：

- 颜色呈深色或黑色，并且从各个角度可见
- 耐腐蚀
- 无表面夹杂物（无雕刻）
- 生物相容性
- 耐受多次高压灭菌清洗

经过大量的盐雾、高压锅和酸性清洗等严格的测试，证明 USP 激光器用于医用级激光打标的效果最佳。这类打标通常用于在医用插管和套管上形成带状标记，以标定插入深度。

## 激光焊接：用于精密复杂零件的微焊接

医疗器械通常是一些手持工具或是小型部件，它们经常在手术中使用或是被植入到人体内。将这些部件连接在一起的焊缝，对患者的健康至关重要。因此，需要严格控制焊缝质量，这就要求可重复的激光脉冲、较小的光斑直径以及激光能量能穿透材料被有效吸收。一般将穿透深度和焊点尺寸小于 1mm 的焊接工艺，叫做激光微焊接。激光微焊接通常用于心脏起搏器、手术刀片、内窥镜仪器和电池等产品的精密焊接。

适用于微焊接的激光源有多种，包括脉冲掺钕钇铝石榴石（Nd:YAG）激光器、连续波（CW）光纤激光器、纳秒光纤激光器、准连续波（QCW）光纤激光器及高亮度直接二极管（HBDD）激光器。采用哪种类型的激光光源最合适，最终由工艺要求、制造需求及材料决定。

激光微焊接可分为两种类型：点焊和缝焊（见图 2）。医用管、细弹簧电触头、挂钩组件、医用导丝和医用海波导线等需要点焊工艺。点焊工艺需要将激光能量精确地输送到焊点

处，因此需要合适的激光光斑。激光光斑的大小取决于激光器类型及其光束质量，例如：

- 光纤激光器（CW、QCW 及纳秒）的光斑大小为 20~200μm
- Nd:YAG 和 HBDD 激光器的光斑大小为 200~1000μm

缝焊是用来密封人体植入设备的方法，可以使用脉冲 Nd:YAG 激光器或 CW 激光器实现。具体采用哪种激光器，由焊接件的几何形状或材料对热的敏感性决定。

随着零件的复杂性不断增加，将不同种类的材料焊接在一起已经成为一种趋势。例如，将铜和铝、或两种不同的铝合金材料焊接到一起。一般而言，需要避免不同种金属间的焊接，因为由此形成的焊缝可能会产生脆性的金属间化合物。

然而，新的研究表明，通过缩短与激光的作用时间，使熔池最小化，可以实现异种金属间的连接。像其他任何一种焊缝一样，尽管这些异种材料的焊缝也需要进行适用性和用途测试，但这种异种材料的焊接方法为新型材料间的连接提供了可能性，将进一步推动医疗器械的发展。

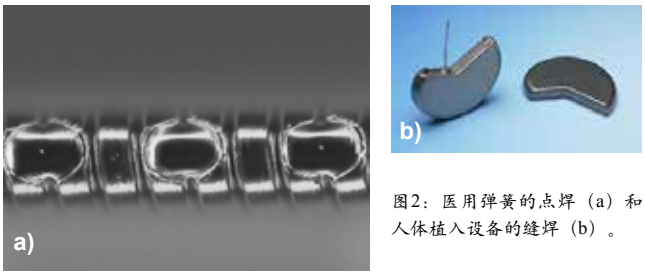



图2：医用弹簧的点焊（a）和人体植入设备的缝焊（b）。

## 激光切割：用于人体可植入设备和手术工具的切割

在医疗器械领域，激光切割最常用于制造管状产品，如植入式支架、内窥镜和关节镜工具、柔性轴、针头、导管和海波管，以及扁平用具，如夹子、框架及网筛结构等。这些设备对实现先进的外科手术、改善数百万患者的健康和生活质量至关重要。

医疗器械的激光切割通常需要使用加压辅助气体，一般是氧气、氩气或氮气，气体随着光束同轴流动。用于切割的激光源，可以选择微秒、纳秒光纤激光器，或者脉宽为百飞秒量级的 USP 激光器。光纤激光器因其




多阶贝塞尔曲线，
A3200控制器，
BEZIER QUAD,
BEZIER CUBIC

AEROTECH

本文首先介绍了贝赛尔曲线的由来和相应的发明者，以及贝赛尔曲线的应用场合。其次用数学图形和数学表达式简要阐述了什么是贝赛尔曲线。又基于贝赛尔曲线的多个控制点的特点，分别介绍了一阶贝赛尔曲线、二阶贝赛尔曲线、三阶贝赛尔曲线的数学表达式和数学图形。同时针对这三类不同的曲线，又介绍了A3200控制器中与之对应的...

白皮书

价格低廉、光束质量好、易于与光纤集成传输而得到广泛应用。

光纤激光器擅长切割较厚的金属，如不锈钢、钛、钴铬和镍钛合金等，切割厚度可达 0.5~3mm。

因此，光纤激光器成为切割手术锯、刀片和具有软轴的大型手术钻的理想选择。然而，由于光纤激光切割是一个热加工过程，零件在切割后通常会出现毛刺、浮渣和热影响区，因此需要使用后加工清洗技术，如翻滚、去毛刺和电解抛光等，对加工后的产品进行抛光、清洗后才能使用。

USP 激光器与光纤激光器有着本质的区别，其脉冲持续时间极短，能达到飞秒量级，可以在几乎没有热输入的情况下从表面去除材料。USP 激光脉冲的峰值功率特别高，能够实现高效的非线性吸收，使吸收的能量能够用于材料去除。USP 激光单个脉冲的持续时间比电子弛豫时间短，激光能量在热传导到周围材料之前就已经将目标材料汽化了。因此 USP 激光实现的切割质量非常好，切割边缘干净，热影响区小，切割表面几乎不再需要后处理清洁步骤。

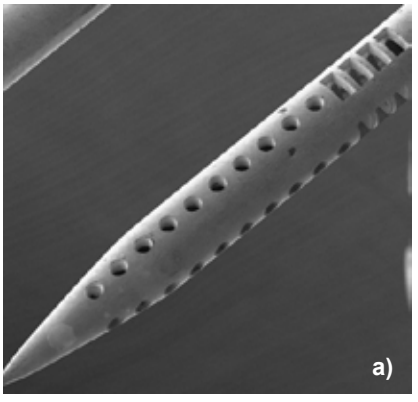
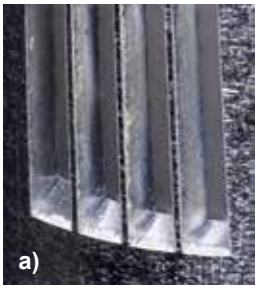



图3：USP激光切割不锈钢针插管（a）和柔性植入支架结构（b）。



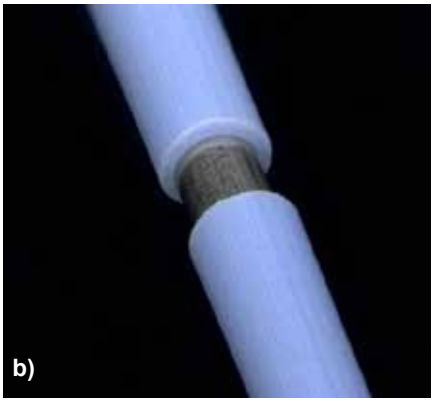




图4：用镍钛合金加工的支柱（a）和不锈钢管的聚合物选择性烧蚀（b）。

由于后处理昂贵、费时，而且会引起零件破损而导致产量下降，因此 USP 激光器特别适用于镍钛等昂贵材料的零件加工。这些材料制成的零件一般体型小，精致，容易破损。神经血管支架、插管、针头和壁厚小于 0.5mm 的极小直径管道，最好用 USP 激光器加工（见图 3）。

## 激光微加工：用于表面结构化

对于需要微观结构、良好的抛光表面以及对材料和几何形状具有高度灵活性的医疗器械而言，激光微加工是一种强大的技术，正在迅速取代传统的数控（CNC）铣削、电火花加工（EDM）和化学蚀刻等方法。与激光切割一样，USP 激光能提供最佳的加工精度、稳定性和加工质量。此外，USP 激光有多种波长可选，包括红外、绿光和紫外光等。因此，可以根据材料的种类如金属、聚合物、陶瓷、玻璃和有机物等，选择合适的激光波长。

当需要在医用的细针、导丝、插管、导管以及由金属和聚合物组成的多层工具上钻圆形、椭圆形或方形孔时，USP 激光微加工是绝佳选择（见图 4）。例如，USP 激光可以在很薄的材料上钻出直径小于 25mm 的圆孔，从而对产品的流体输送或抽吸进行精确控制。

使用 USP 激光微加工技术可以很容易地制造精密的表面结构和纹理，材料去除深度在金属中能够精确到 ±1μm，在聚合物中能精确到 ±2.5μm。表面结构对于制造粘附表面和一些手术工具的纹理表面至关重要。

USP 激光器提供的高度工艺控制能力，使其能够有选择地从表面上烧蚀或剥离材料。对于多层医用导管来说，这是一项很有用的功能，因为多层医用导管通常需要去除特定区域的聚合物涂层，直到露出底层的金属界面，并且不能对金属本身造成任何损害。

USP 激光微加工是通过一系列标准光学和光学机械组件完成的，这些组件可以提供精确的光束传输控制。Galvo 振镜扫描头、固定光学聚焦头和多轴扫描头，可以实现灵活且精确的工艺开发和优化。

在医疗器械的制造中，激光器已经广泛应用于打标、焊接、切割和微加工等工艺过程。为每种加工工艺选择合适的激光器，对实现预期的加工效果和稳定的重复性非常重要。因此，对工艺基础的全面理解，为推动医疗器械领域的创新开启了新机会。❑

AMTS
SOUTH CHINA
Automotive
Manufacturing
Technology & Material
Show

AHTE
SOUTH CHINA

# AMTS & AHTE South China 2022

SINCE
2004



## 汽车工程与自动化
## 智能装配行业盛会

SINCE
2006

**微信预登记**

**2022.10.12-14**

**深圳国际会展中心（宝安新馆）**

RX Hengjin
励进展览(上海)有限公司

www.shanghaiamts.com
www.shanghaiahte.com

扫码立即微信预登记

关注公众号，查看更多信息！

复杂构件加工

# 先进的激光加工系统实现复杂构件的精密加工

*激光加工系统与机器视觉系统相结合，实现了复杂构件上特征的精准、高质量加工。*

文/Jonathan Magee

激光材料加工利用聚焦的光束对材料进行切割、焊接、钻孔、打标、雕刻以及表面织构化。激光可加工广泛的材料，包括金属、塑料、陶瓷、玻璃及有机物等。激光具有光束可聚焦和能与材料匹配的特性，非常适合精密制造。

自动化与工业激光技术的结合，已经能够加工许多复杂的几何形状和多种材料；而就在几年前，这些工作还是用激光加工的方法无法高效实现的。激光加工复杂构件的案例包括对三维自由曲面的聚合物和金属构件进行大规模纹理加工，如汽车仪表板、外部保险杠或是其他米级以上尺寸的大型构件。

另外，激光还能加工尺寸较小的精密机械零件，如用于疏通脑血管栓塞的医疗设备中的微细线和线圈，它们由灵敏的绕线材料制成，如铂金和镍钛合金，直径低至几十微米。

## 选择激光源

在为加工这类结构复杂的产品确定解决方案时，第一步是选择激光源。激光源是系统的核心，必须精心选择激光源，只有当激光参数与材料的光吸收和热力学特性相匹配时，才能实现想要的加工质量和加工效率。

激光源类型众多，涵盖了一系列技术，包括半导体激光器、气体激光器、光纤激光器及固态激光器等。每种激光器都各有特点，需要根据加工件的性质和具体加工要求，选择合适的激光器。

复杂构件涉及的主流加工工艺包括激光打标、雕刻、构造、切割、钻孔、焊接和表面处理。选择合适的激光源，应该综合考虑多种变量，以确保在加工性能、质量、产量和成本之间取得最佳平衡，特别是加工易损的精密构件更是如此。

需要注意的是，在应用实验室中进行工艺开发时，就要使用最终集成到系统中的那台激光源；要尽早使用精确的激光配置，以避免在机器集成的后期重复昂贵且冗长的开发工作。

## 考虑整体解决方案

激光材料加工解决方案是一套机器系统（见图 1）。基于激光制造的解决方案的挑战在于：要将自动化、硬件组件、视觉系统、光学器件、激光束传输、软件、数据库和激光源成功地集成到一套系统中。

将激光源集成到一个加工复杂构件的激光加工系统中，是一项非常专业的工作，这需要企业在多个学科领域内拥有重要的技术专长。当面向的是汽车和医疗等消费产品市场时，情况更是如此。此外，激光加工系统还必须要遵守相关的安全、机械和电气标准及监管规定，确保稳定的高质量加工。

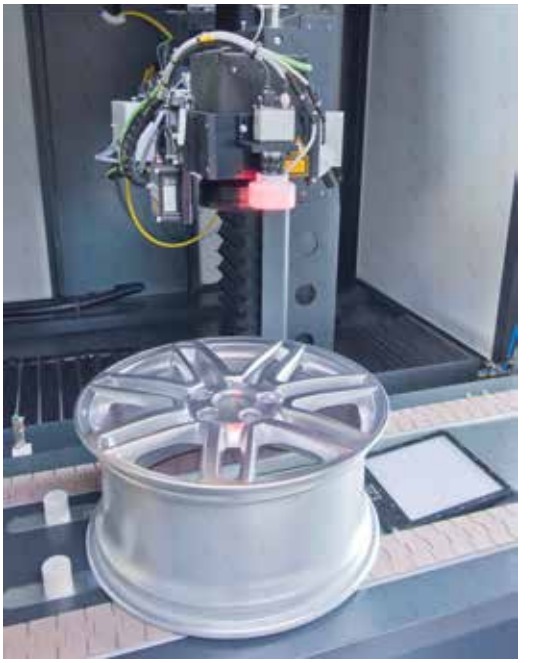


图1：用于汽车轮毂加工的集成激光系统，包括光学零件识别、自动输送、激光加工和质量检测等功能。

## 一种先进的解决方案

激光成型、纹理加工、激光打标和激光雕刻，需要短且尖锐的激光脉冲，这类脉冲通常使用光纤激光器产生。激光源与振镜扫描头相连接，通过一些标准的光学元件传输，使激光束能在 110mm × 100mm 的小加工区域内扫描。对于较大的三维构件，如复杂的汽车合金轮毂，需要在其上打标出非常微小的图案，传统的振镜扫描方法就会相当繁琐。事实上，通过多次步进式运动和对准，以需要的分辨率加工整个表面往往是不可能实现的。此外，通过多次扫描，打标图案的拼接也不会严丝合缝。

一种先进的激光系统可以解决以上问题。该系统可以将二维 CAD 设计包裹在尺寸达 2000mm × 2000mm 的三维可展开曲面上，在加工过程中，工件或激光头没有任何偏移运动，并且加工过程连续不间断。同时，该系统能在整个加工区域内都保持较小的激光光斑尺寸，以保持高分辨率，便于实现微细特征的加工。该系统通常被称为大面积加工系统，它能减少加工步骤，并能简化复杂零件的加工（见图 2），很快引起了工程师和设计师们的兴趣。



图2：激光机器视觉系统识别加工构件的位置、方向及细节特征，确保可重复的高质量加工。

## 机器视觉系统的辅助

确定了用激光以连续不间断的方式、加工大型三维构件的解决方案后，接下来面临的问题包括：

- 在给定公差的情况下，如何准确定位复杂构件上待加工的位置？
- 工件的加工方向是否正确？
- 加工位置和方向的准确性如何验证？

将工业激光视觉系统与自动化工件处理结合起来使用，能够解决上述问题。这项任务通常需要一台高分辨率工业相机，将其沿着与激光束相同或者平行的视线扫描（见图 3）。这需要使用图像处理软件识别工件上的参考位置，例如基准标记（如一个特定形状的孔等特征），或是材料在某些区域的颜色对比度等特征。

有了这些参考信息和零件的预编程 CAD 数据，激光系统可以在加工前确定偏移量，以正确定位零件或激光头。可能仅使用激光振镜扫描头、机器人系统、笛卡尔坐标轴系统或某些组合，就能实现加工任务。

机器视觉系统不仅能探测加工区域的偏移量，而且还能报告加工件的高度和深度信息。在复杂构件上成功应用机器视觉的决定因素是可实现的照明和对比度，以及定位系统的准确性和可重复性，以便能在正确的位置启动加工过程。此外，该机器视觉系统还能在加工过程结束后对加工件进行光学识别，并根据检测标准对加工件进行质量检查。

通常，当加工区域在 100μm 以下时，相应的激光集成系统解决方案就变得更加复杂。这些微小型的加工件不仅会让激光视觉系统的相机分辨率达到极限，也会使机械轴和工件处理设备的可重复性和精确性达到极限。此外，针对微小型工件的加工，激光源一般在其较低的功率范围内工作，以确保可重复性和加工的均匀性。例如，通过机器视觉系统找到一根直径为 50 ~ 100μm 的铂丝或镍钛丝的位置，并成功将其焊接到另一根丝上，这是一项具有挑战性的任务，需要对整个系统进行仔细集成。

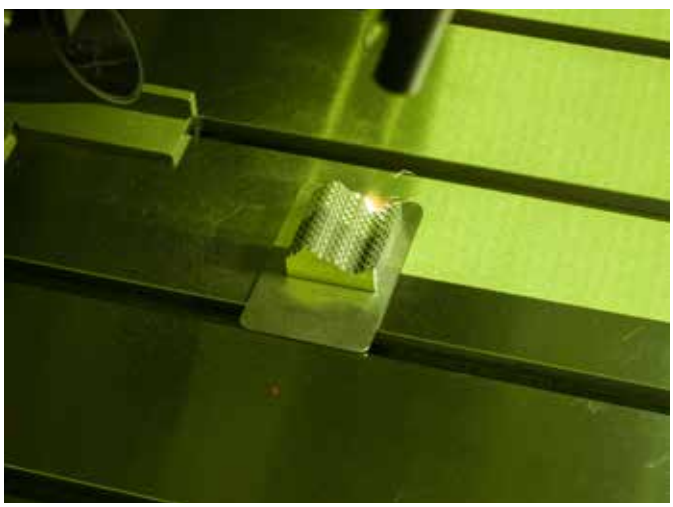


图3：利用先进的光学技术对可展开的表面进行三维激光加工，加工件保持静止。

在加工复杂的构件时，首先要做的就是非常清晰地了解客户的需求规格。规格的微小变化，如材料、工件几何形状或质量要求方面的任何变化，都将对整个机器系统的设计产生重大影响。❑

激光焊接

# 铁素体不锈钢激光焊的晶间腐蚀控制

*综合考虑焊接母材选型、焊前激光清洗、设置合理的工艺参数以及气体保护，防止在铁素体激光焊接中产生晶间腐蚀。*

文/杨雨，蔚然（南京）储能技术有限公司

由于全球镍资源紧张，铁素体不锈钢作为一种资源节约型不锈钢，越来越多地应用于焊接生产中。激光焊接具备热输入量低、热影响小、深宽比大、自动化程度高等特点，可有效解决不锈钢传统焊接过程中晶粒严重粗化、接头裂纹、接头脆化及晶间腐蚀等问题。

不锈钢在 450~800℃温区时，是产生晶间腐蚀的敏化温区，在这一温区停留时，沿晶界会析出以 Cr23C6 为主的碳化物，造成晶界附近铬含量降低，耐蚀性下降，从而在腐蚀介质中应用时容易发生晶间腐蚀。

碳和氮能在很大程度上提高铁素体晶间腐蚀敏感性，且在铁素体中的溶解度要远低于奥氏体中的溶解度，而合金元素在铁素体中的扩散速度要比在奥氏体中大得多。[1] 铁素体不锈钢在被高于 900~950℃的高温加热后，在随后的冷却过程中，即使冷却速度很快，也常常难以防止高铬的碳、氮化物沿晶界析出并形成贫铬区，[2] 进而出现晶间腐蚀。

如何控制铁素体不锈钢的表面质量，直接影响到产品的安全质量和使用体验。不锈钢外观质量问题多是由于晶间腐蚀造成。本文将重点探讨对铁素体激光焊中的材料选型、表面清洗、参数控制以及气体保护方面的控制，以达到防止晶间腐蚀的目的。

## 试验材料与方法

激光焊接样品如图 1 所示。母材选取 SUS439 铁素体不锈钢，化学成分如表 1 所示，厚度为 0.6mm。对接焊缝 0 间隙，无焊丝填充。

激光设备为 Trumpf 6002，镜头 PFO2D，光斑直径 0.6mm。激光清洁设备为德国 CleanLaser 的 CL100，平均功率 100W，镜头 stamp14(f=330)。保护气体 Ar5.0。

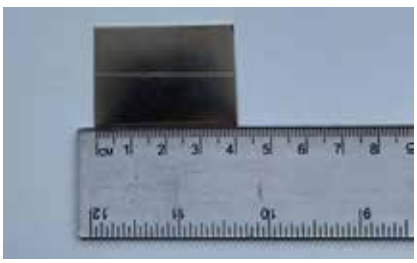


图1：焊接样品。



图2：加热装置。

晶间腐蚀试验采用 GB/T 4334-2020 中铜 - 硫酸铜 -16% 硫酸腐蚀试验方法。将 100g 符合 GB/T 665 的分析纯硫酸铜（$CuSO_4 \cdot 5H_2O$）溶解于 700mL 的蒸馏水或者去离子水中，再加入 100mL 符合 GB/T 665 的优级纯硫酸，用蒸馏水或去离子水稀释至 1000mL，配制成 16% 硫酸 - 硫酸铜溶液。加热装置如图 2 所示，可将试验溶液加热至微沸状态。

试验前试样采用丙酮除油并干燥，在烧杯底部铺一层纯度不小于 99.5% 的铜屑、铜粒或者碎铜片，保证每个试样与铜屑接触的情况下，保证各试样之间不接触。

试样溶液量按试样表面积计算，

表1：439铁素体不锈钢化学成分

| 国家 | 标准 | 牌号 | 化学成分(%) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | N | Ti |
| 美国 | ASTM | 439 | 0.03 | 1.00 | 1.00 | 0.04 | 0.03 | 17.0–19.0 | ≤0.5 | ≤0.04 | 0.2+4(C+N) – 1.10 |
| 德国 | DIN | 1.4510 | 0.05 | 1.00 | 0.00 | 0.04 | 0.015 | 16.0–18.0 | – | – | 4(C+N) – 0.80 |



图3：晶间腐蚀背弯试样。



图4：未经清洗的焊后表面。

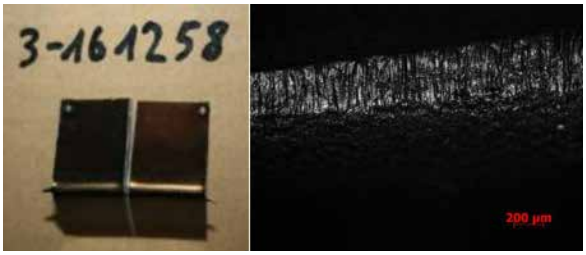



图5：晶间腐蚀失效。

其量不少于 8 mL/cm²，根据本次试验样品表面积 2×3cm×4cm=24cm²，每个试样大于 200mL 试验溶液，试验溶液总体高过试样 20mm 以上，试验溶液不重复使用。

将装有试验溶液的烧瓶放在上述加热装置上，使之保持微沸状态，连续煮沸 24±0.5h 后取出试样洗净、干燥后，如图 3 所示，对试样进行背弯，背弯半径 0.6mm（与板材厚度相同），背弯角度 90°。

弯曲后的试样放在 10× 放大镜下观察试样表面是否有因晶间腐蚀产生的裂纹，弯曲的裂纹难以判定时，采用金相法。

## 结果与讨论

### （1）母材选取

铁素体不锈钢的晶间腐蚀敏感性，随含铬量的升高而降低。最大限度地降低焊缝金属中的含碳量，降低铬的碳化物的产生，避免了晶界处形成的贫铬区。[3] 碳的质量分数在焊缝金属中小于 0.03% 时，就能提高焊缝金属的抗晶间腐蚀能力。

另外在钢中加入钛和铌，可以明显提高铁素体不锈钢耐晶间腐蚀的能力，由于钛和铌与钢中碳和氮超过铬与钢中碳与氮的亲和力，可以作为稳定化元素形成钛和铌的碳、氮化物，抑制钢中铬的碳、氮化物的形成。[4]

439 钢中加入 Ti 等稳定化元素的同时降低 C 的含量，降低了贫铬区的形成风险，提高了钢种焊接及耐晶间腐蚀性能。[5]

### （2）焊前激光清洗

由于待激光焊接的金属片料会经过前道工序分切，冲压等，不可避免地会在过程中附着皂化液、油污等。如果不经过清洁处理，直接进行焊接会产生图 4 所示严重的回火色，造成母材表面氧化及增碳，如图 5，通过晶间腐蚀试验敏化处理背弯后，发生晶间腐蚀失效。

激光清洗是通过用激光束照射从固体（有时为液体）表面去除材料的过程。在低激光通量下，材料被吸收的激光能量加热并蒸发或升华。在高激光通量下，材料通常会转换为等离子体。激光清洗后如图 6 所示，表面无油污及杂质，晶间腐蚀敏化处理背弯后，如图 7 所示无失效产生。（3）合理的工艺参数

在激光焊接中，选取合理的工艺参数，并在工装与焊接区域的接触位置全部采取铜质接触，风冷处理。在保证焊接强度的前提下，采取合适的热输入，避免在敏化温度区停留时间过长，同时得到均匀平滑的焊缝，避免外观缺陷的产生。

经工艺验证，得到适用于量产的焊接工艺参数（功率 1800W，速度 80m/min，0 焦距）。在此参数下，得到平滑圆润的焊缝外观及如图 8 所示的优异金相。

在此基础上分别将功率调整至 1500W 及 2100W，焊缝表面开始变得粗糙并且有局部外观缺陷产生，如图 9 和图 10 所示。经过盐雾喷淋试验后，这些外观缺陷成为晶间腐蚀的根源。

### （4）有效的气体保护

保护气体能有效隔绝空气中的氧气，防止焊缝氧化，同时促进焊缝成型，降低焊接过程中的飞溅及气孔产

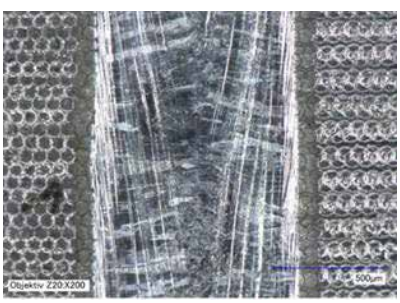


图6：激光清洗焊后的表面。

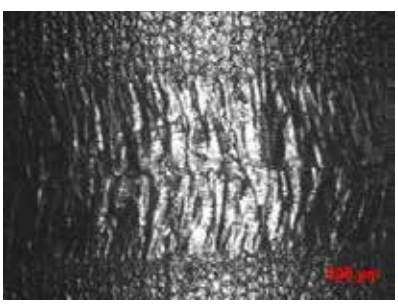


图7：晶间腐蚀无失效。

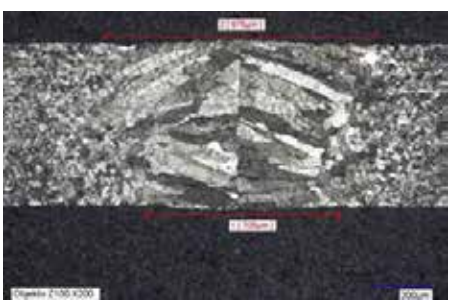


图8：焊缝金相。

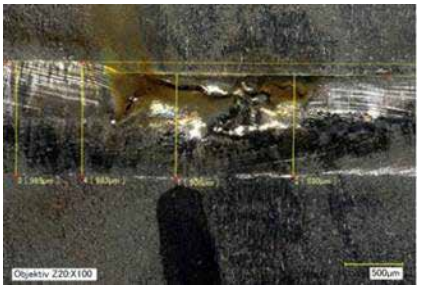


图9：1500W焊接缺陷生锈。

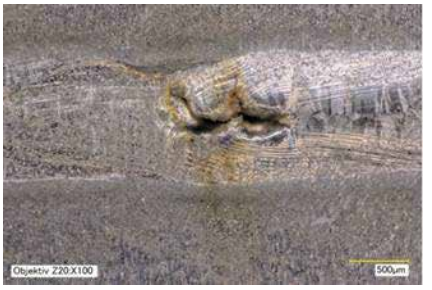


图10：2100W焊接缺陷生锈。

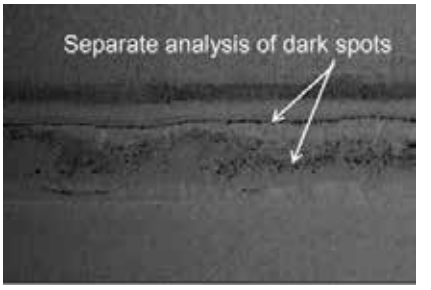


图11：保护气体纯度为99.99%时的焊缝表面。

生。有效吹散等离子云，能降低等离子云遮盖带来的功率损失。

在工况条件下，气体的保护效果受喷嘴的分布、气体流量、气体纯度等因素的影响。在气体保护严重失效情况下，产品表面氧化会出现明显的回火色，表现形式与未经清洗的焊缝外观类似，可以明显识别。本文从气体纯度变化角度探究其对晶间腐蚀的影响。

采用 Ar5.0 气体纯度 99.999%，通过 SEM+EDS 检测均处于正常状态，降低气体纯度到 99.99% 时，发现焊缝表面散布如图 11 所示的黑色斑点且不可移除。通过 SEM+EDS 发现黑色斑点处富集 Ti-O-Al-N，Cr 含量明显降低，大大增加了晶间腐蚀风险，如图 12 所示。

对此样品切片，制备横截面金相，如图 13 所示，通过 SEM+EDS 发现焊缝内部合金元素分布与正常状态几乎无差异，可见此保护气体纯度的变化只对不锈钢表面产生了影响，但依旧增加了晶间腐蚀的风险。

## 结语

综上所述，铁素体激光焊接应用中，可从以下几方面防止晶间腐蚀的产生：

**（1）母材选取。**选择低碳或者超低碳，富集钛、铌等稳定化元素的钢种，降低晶间腐蚀敏感性。

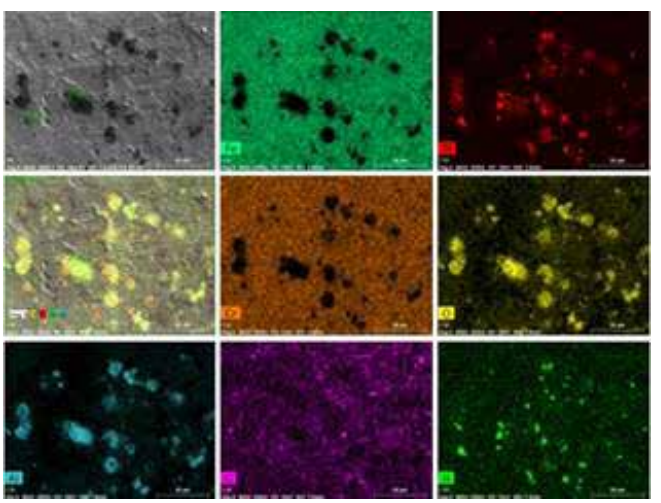
**（2）高效的激光清洗。**用激光清洗代替传统的化学清洗，去除油污、杂质等，避免焊接过程中焊缝的增碳及氧化，同时也避免了化学清洗带来的处理成本。

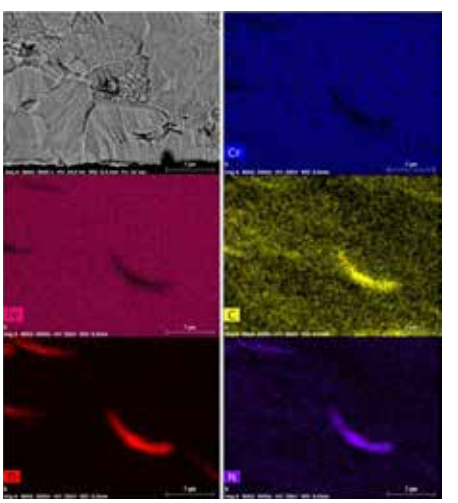
**（3）合理的工艺参数。**通过 DOE 找出工艺窗口，得到平滑圆润的焊缝，避免外观不良造成的晶间腐蚀风险。

**（4）有效的气体保护。**保护气体的重要功能是防止焊缝氧化，促进焊缝成型。保护效果变差，会很大程度上增加晶间腐蚀敏感性。需要通过前期流体模拟及测试，合理设置喷嘴位置、气体流量、气体纯度，在生产过程中也要进行监控。❑

参考文献

1. 陆世英，张廷凯，杨长强等 . 不锈钢 [M]. 北京 : 原子能出版社 , 1995: 77-78.
2. 万章 . 铁素体不锈钢晶间腐蚀问题的探讨 , 石油化工腐蚀与防护 ,2015, 32(4): 62-64.
3. 余存华 . 现代铁素体不锈钢应用综述 [J]. 石油化工腐蚀与防护 , 2010, 27(4): 1-3.
4. W. Gordon and A. van Bennekom. 铁素体不锈钢的稳定化 [J]. 冶金译丛，1997（1）：44-51.
5. 肖纪美 . 不锈钢的金属学问题 [M]. 北京 : 冶金工业出版社 , 1983 ：207-312.


图12：黑色斑点处合金元素分布。


图13：焊缝内部合金元素分布。

深圳电子元器件及物料采购展览会
Electronics Sourcing Show

# 聚焦五大展示主题

**打通电子制造全产业链，解决“缺芯少料”之困**




主办单位：深圳市电子商会 Shenzhen Electronic Chamber Of Commerce　励展博览集团 同励百业·共展商机

同期展览：NEPCON ASIA　AUTOMOTIVE WORLD CHINA New Energy New Intelligence New Trends 新动力·新智能·新趋势　S)FACTORY　国际全触与显示展 C-TOUCH & DISPLAY

展会时间 **2022年10月12-14日**

展会地点 **深圳国际会展中心(宝安)**

参展热线 **0755-83759287**

官方微信公众号

参观预登记

*此展览只供业内人士参观，18岁以下人士恕不接待

## 用于微加工的功率>70W的绿光脉冲激光器

MKS Instruments 推出 Spectrum Physics®Talon®532-70 绿光纳秒脉冲激光器，能以 250kHz 的重复频率输出 70W 以上的绿光，并能在高达 700kHz 的重复频率下提供高功率、高脉冲间稳定性和出色的光束质量，同时具有持久的高功率和低噪声。




该激光器可以实现光伏材料和先进电子材料的高吞吐量加工，包括用于电动汽车和其他高要求应用的系统级封装（SiP）和 PCB。它不仅实现了新的应用，而且还在微加工吞吐量、工艺和材料能力以及降低每个零件的制造成本方面，取得了重大进步。

Talon 激光器的 It's in the Box ™设计，将电源和激光头集成到了一个单一的通用型牢固封装中，以实现简单的集成和型号之间的直接切换。Talon 激光器已经通过了广泛的环境鉴定测试，每台激光器都经过了严格的生产测试，以确保全天候运行的高可靠性和最低的拥有成本。

MKS，www.spectra-physics.com/talon

## 6kW高功率智能切割头BS06K



嘉强推出的 6kW 高功率智能激光切割头 BS06K，能通过 LED 灯实现实时切割状态反馈功能，为用户带来更大的应用灵活性。

BS06K 设计轻巧，加速度快。它同时具有优化的光学配置和平滑高效的气流设计，能显著提高切割质量和切割效率。具有 EtherCAT 总线通讯及总线控制调焦单元，用户可以通过程序设定实现连续快速调焦。其多方位的保护镜片设计，使系统更加牢固可靠。

用户可以通过无线网络，在移动终端和数控系统上读取监测数据。

嘉强，www.empower.cn

## 四路输出激光器TruMicro 7000

通快推出的新一代短脉冲激光器 TruMicro 7000 系列，可提供脉宽 30ns 的红外光束，脉冲能量高达 100mJ，平均功率可达 2kW。支持四路光束输出。其中，TruMicro 7000 Large 可以实现基于四条光纤同时满功率输出，也支持使用单条光纤全功率输出。



基于多光路分光，客户可以选择能量共享或时间共享操作模式。两种不同的操作模式能帮助客户充分利用激光器，同时也能加快生产节拍。该激光器甚至可以在两个不同的工作站上进行同时加工，提高加工效率。

基于碟片激光器技术，实现了短脉冲和高单脉冲能量。用户可以调整激光器的重复频率，同时保持脉冲宽度不变，以便为特定的材料或应用优化激光参数。通过搭配扫描振镜，在大面积的表面涂层去除应用中，提高加工效率。

通快，www.trumpf.cn

## 千瓦级VCSEL线光斑激光雷达发射模组

炬光科技发布千瓦级 VCSEL 线光斑激光雷达发射模组 LX02，其采用 5J 大功率 VCSEL 芯片和独特的光学设计，可实现千瓦级的出光功率，产生水平发散角小于 0.15°、垂直方向发散角 23° 且均匀度大于 90% 的线光斑。产品内置短脉冲驱动电路，可实现 <5ns 脉冲宽度，尤其适用于线光斑扫描式激光雷达，取代 EEL 激光发射方案实现更高可靠性、更低量产成本，同时也适用于三维传感和工业传感领域。



LX02 解决了 LX01 功率相对较小的问题、显著提高了峰值功率（由 200W 升级到 1000W）。与基于 EEL 的线光斑模组相比，VCSEL 线光斑发射模组在宽温度范围内（-40℃ ~105℃）无需借助额外的控温元件，就可以实现小幅功率衰减（<20%）和低波长漂移系数（0.07nm/℃），同时在环境可靠性和量产成本方面也具有明显优势。

炬光科技，www.focuslight.com

## 500W单模连续绿光激光器



深圳公大激光有限公司推出可用于高反金属 3D 打印及精密焊接的 500W 单模绿光激光器 GCL-500。它采用全光纤基频加腔外倍频的方案，获得了最高超过 500W 的单模连续绿光输出，填补国内空白。

该激光器的输出功率稳定性良好，光束质量优异，对高反材料尤其是铜的高吸收率，使其有望应用于纯铜材料

的 3D 打印。通过进一步增加空间调制器，还可以获得高速调制频率的脉冲绿光，这使得它在高反材料的精密切割和焊接上也具有广泛应用前景。

采用自由空间输出，有利于保证光束质量。也可以提供耦合至光纤的柔性传输方式，应用于高反材料焊接工艺。采用不同能量分布的输出光斑，可获得更优的焊接效果。另外也可以进行多模块空间或者光纤合束，既可获得灵活光束能量分布的绿光输出；也可以获得数千瓦级乃至上万瓦的连续光纤绿光输出，为高质量、高效率、高良率的激光焊接提供高功率短波光源。

公大激光，www.gongdalaser.com

## 80W绿光纳秒激光器




奥创光子推出 80W 绿光纳秒激光器，采用自主研发设计光纤 + 固体方案，自研自制保偏光无源核心器件，可实现绿光激光功率 80W，并具备高重频、窄脉宽、高光束质量、高单脉冲能量输出等特征，同时具有较高的稳定性和可靠性。

产品采用光、电一体化设计，通过独特的固体光路设计，针对开发的调制工艺，激光器可在兼具高功率输出和优秀的光束质量。

该款激光器能在加工中产生非常小的热影响区，能在太阳能电池板切割设备上实现高效率和高稳定性，且能明显改善切割时材料上产生的碳化，同时还能将加工速度提升 30% 以上。可广泛应用于材料微加工、太阳能光伏加工、玻璃基油墨去除 / 标记、线路板加工等领域。

奥创光子，ww.ultronphotonics.com

## 紫外、红外和绿光超快工业激光器



Lumentum 公司推出的模块化 FemtoBlade 飞秒激光器，可提供紫外、红外和绿光波长输出，可以输出功率范围 12~50W 的紫外光，功率高达 200W 的红外光或功率高达 100W 的绿光。该模块化激光器专为微机械应用而设计，主要功能包括 FlexBurst 和 MegaBurst 能量分割、AccuTrig 触发功能和 SYNC 定时控制。

Lumentum，www.lumentum.com

## 2kW 光纤激光器TruFiber 2000 P



通快推出一款新型 2kW 光纤激光器 TruFiber 2000 P，其集成了通快最新一代的光学模块作为能量源，能提供多种解决方案。TruFiber 2000 P 具有极高的灵活性，适用于激光切割、激光焊接以及增材制造等一系列应用。

该光纤激光器的一个重要特征是 TruControl 控制系统。该激光控制器为用户提供了便捷开机、定义和存储多达 1000 种不同的激光程序。此外，它提供了所有相关的接口总线。TruFiber 2000 P 在 8 小时的轮班工作时具有稳定的激光输出功率。如使用自动激光功率控制选项，稳定性可以进一步提高。更重要的是，此选项可消除二极管老化带来激光功率衰减的影响。

这款激光器具有出色的光束质量，光纤长度可达 10m，新能源汽车、传统汽车以及医疗等行业的用户，可轻松地将 TruFiber 2000 P 集成到他们的生产系统中。

通快，www.trumpf.cn

## 10W飞秒光纤激光器



NKT Photonics 公司推出的 aeroPULSE FS10 飞秒光纤激光器，具有从 350fs 到 10ps 的可调谐脉冲。它采用完全风冷，能在最大脉冲能量为 20μJ 时，提供 10W 的功率，重复频率从 500kHz 到 20MHz，并能为医疗、外科和工业应用提供从单次激发到 1MHz 的额外脉冲频率控制。

NKT Photonics，www.nktphotonics.com

## 手持式激光焊接与清洗系统



IPG 公司推出的 LightWELD XR 手持式激光焊接和清洁系统，使用较小的光斑尺寸，可以焊接厚度达 6.35mm 的钢和铝，厚度达 5mm 的钛和镍合金，以及厚度达 2mm 的铜。该系统还提供预清洁功能，用于在焊接前去除材料表面的油脂、油、铁锈和氧化物涂层，以及在焊接后去除材料表面的烟尘和与焊接相关的碎屑和变色。

IPG Photonics，www.ipgphotonics.com

| Advertiser | 广告客户 | 网址 | 页码 |
|---|---|---|---|
| Aerotech, Inc. | 艾罗德克 | www.laserfocusworld.com.cn/aerotech.asp | 29 |
| Ante Laser | 安特激光 | www.antelaser.com | 17 |
| BWT | 凯普林 | www.bwt-bj.com | 9 |
| 第十七届Medtec中国展暨国际医疗器械设计与制造技术展览会 | | www.medtecchina.com | 23 |
| 第十六届深圳国际激光与智能装备、光子技术博览会 | | www.world-laserconference.com | 1 |
| Edmund Optics China | 爱特蒙特光学 (深圳) 有限公司 | www.edmundoptics.cn/072-8614 | 13 |
| ES SHOW 2022 | 2022年深圳电子元器件及物料采购展览会 | http://esshow.cn/ | 37 |
| Mean Well | 明纬 | www.meanwell.com.cn | 7 |
| MWCS 2022 | 中国国际工业博览会-数控机床与金属加工展 | www.metalworkingchina.com | IFC |
| 普雷茨特精密技术（上海）有限公司 | | www.precitec.cn | 5 |
| 上海国际汽车制造技术与装备及材料展览会 | | www.shanghaiamts.com | 31 |


**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

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
Paul Andrews
pandrews@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)**
Floyd Chun (秦泽峰)
floydc@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 8573 / 2598 8567

**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
Floyd Chun (秦泽峰)
floydc@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




**国际授权翻译**
**国内发行高新科技杂志**

**8本杂志免费送一年**
**（6期/印刷版）**

**包揽全年行业资讯**

ACT

www.actintl.com.cn

# 免费订阅

**扫一扫添加**
**ACT读者服务号免费订阅**

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的产品包括多种技术杂志和相关的网站，以及各种技术会议，服务于机器视觉设计、电子制造、激光/光电子、射频/微波、化合物半导体、半导体制造、洁净及污染控制等领域的约二十多万专业读者及与会者。

LaserFocusCon
激光聚会2022

# 激光技术
# 助力半导体制造精益求精

中国制造业的制造方式正在从传统的劳动密集型向更高水平的自动化、智能化、甚至无人化的方式转变。在这种深度转型升级的过程中，中国制造也在逐渐摆脱“低端制造”的标签，高端精密加工已经成为了中国制造业发展的一个重要方向。随着激光技术的发展，更短的脉冲作用时间、更高的激光能量，使得对更广泛材料的各种精密加工成为可能，激光技术在高端精密加工中发挥着越来越重要的作用。在半导体芯片的制造及封装测试过程中，激光技术正在越来越多地参与其中，从晶圆的光刻到切割划片，从清洗到钻孔，激光已经成为半导体制造中不可或缺的关键工具。

为了进一步探讨激光技术在半导体制造中的应用，雅时国际商讯（ACT International）旗下《激光世界》杂志将于 8 月 30 日在苏州举办“激光技术助力半导体制造精益求精”主题研讨会，诚邀您的参与！

## 大会主题（拟定）

- 紫外激光在晶圆划片中的应用
- 超快激光用于晶圆的精密切割
- 准分子激光在半导体光刻及退火中的应用
- 激光精密打标用于半导体芯片及器件的标识
- 激光技术在钻通孔中的应用
- 激光技术用于半导体晶圆清洗
- 其他相关主题

## 会议信息

时间：2022年8月30日
地点：苏州站
规模：150–180名工程师/管理层

## 会议咨询

如您感兴趣，可添加“小镭助手”
微信号“LFC-RA”咨询报名

小镭助手微信

# 激光技术聚焦峰会

主办单位

ACT 雅时国际商讯 ACT International

大会媒体

激光世界 LaserFocusWorld China

LaserFocusCon