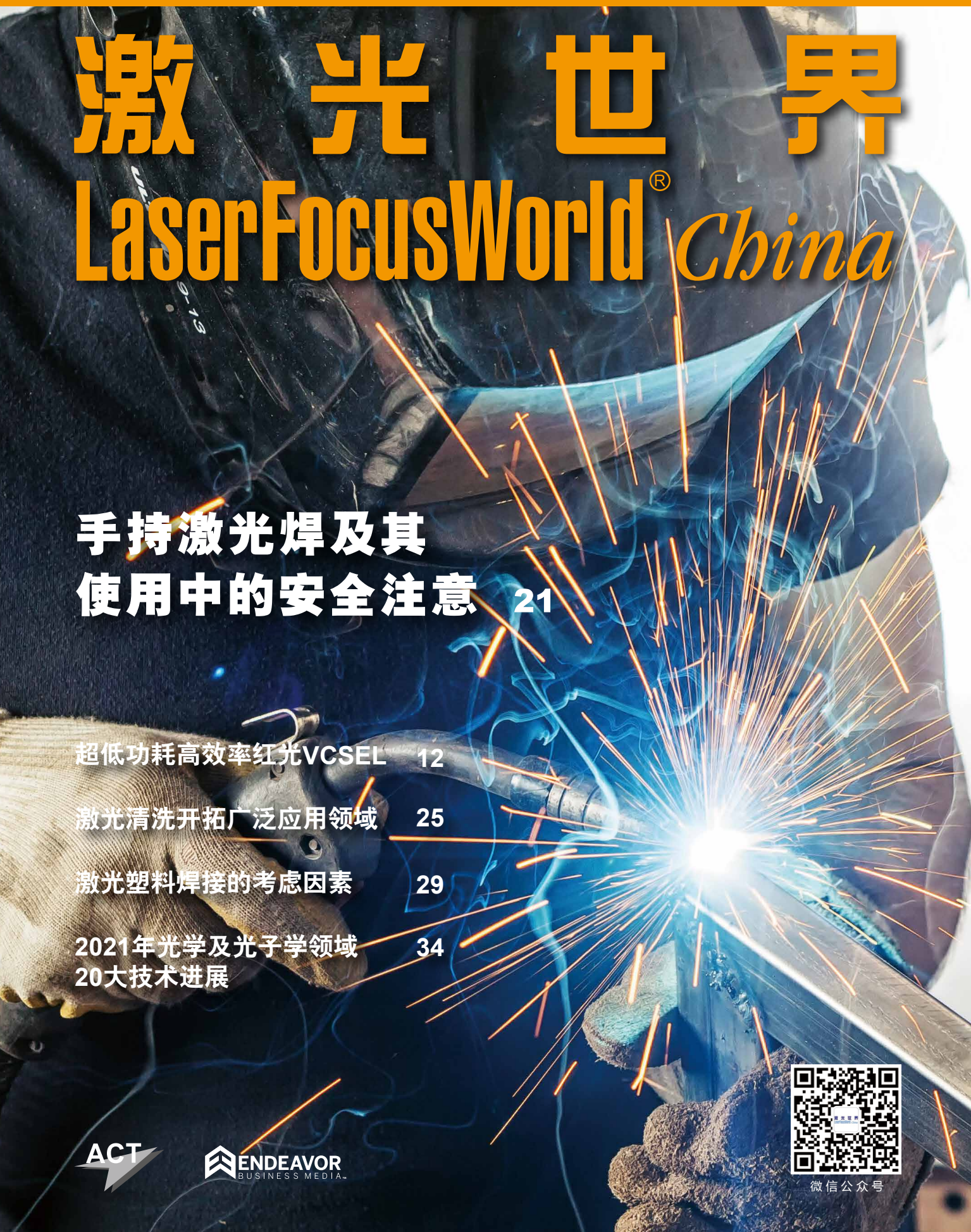
光学和光电子产业的主导刊物 www.laserfocusworld.com.cn 2022年1/2月 第1期
ISSN: 1817-6917

# 激光世界

# LaserFocusWorld® China



## 手持激光焊及其使用中的安全注意 21

超低功耗高效率红光VCSEL 12

激光清洗开拓广泛应用领域 25

激光塑料焊接的考虑因素 29

2021年光学及光子学领域20大技术进展 34

ACT

ENDEAVOR BUSINESS MEDIA

微信公众号

Connecting Global Competence

Messe München



# 智能光制造
# 积势蓄能 行稳致远

五大主题

激光器与光电子
光学与光学制造
激光智能制造
红外技术与应用产品特色展示
检测与质量控制

参观预登记
火热进行中

扫码报名参观

2022年3月23-25日，上海新国际博览中心

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

## 慕尼黑上海光博会

LASER World of PHOTONICS CHINA

深圳机械展 SIMM

ufi Approved Event 国际展览业认证展会

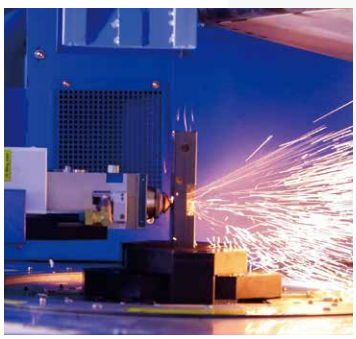
BPA WORLDWIDE EVENTS

# ITES 深圳工业展

**2022.3.30-4.2**
深圳国际会展中心（宝安新馆）

展会官网：www.iteschina.com







## 展览范围

金切机床及核心功能附件 | 激光加工及钣金设备

工业测量设备及技术 | 刀具、工具及夹治具 | 精密加工零件

模具模配、工业材料及紧固件 | 3D打印及三维扫描 | 机器人及自动化设备

运控技术与机械传动设备 | 电子智能制造

## ITES深圳国际工业制造技术及设备展览会

暨SIMM深圳机械展

**联系方式**

电话：0577-83458909
邮箱：info@simmtime.com

**主办方**

深圳市协广会议展览有限公司
深圳市环悦会议展览有限公司




## 21 封面故事

**手持式激光焊接及其使用中的安全注意**

手持激光焊接系统凭借焊接质量好、焊接方式灵活、使用简便等优势迅速走红市场；在其使用中也要特别注意安全防护，避免人身伤害。

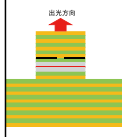
## 市场观察

**10 中国经济发展大潮中，活跃增长的中国激光市场**

中国激光市场正处于黄金发展期，虽然2021年受到了疫情影响，但中国激光市场依然收获可喜增长，并对2022年保持乐观。

## 技术中心

12 VCSEL



**超低功耗且高效率的红光VCSEL**

国产红光VCSEL芯片无论参数性能、还是可靠性指标均已达到甚至超越国际同类产品，已经能满足用户的不同要求。

15 激光测量



**确保激光功率测量的准确性**

只需七个简单的步骤，就可以让您像专家一样，精确且高效地测量激光功率。

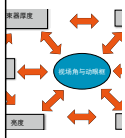
17 量子通信



**用于量子通信的集成光模块**

随着量子通信从实验室走向现实生活，光集成将成为关键。随着成熟技术的引入，研究人员已经在为过渡做准备。

19 高功率光学器件



**使用激光实现面向大众的增强现实**

尽管缺乏主流接受度且广泛采用滞后，但对增强现实（AR）技术的需求仍在继续增长。越来越多的公司正在投资以使其成为所有人的现实。

## 工业激光专栏

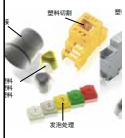
25 激光清洗



**激光清洗开拓更广泛的应用领域**

激光清洗技术的应用正在日益拓展到更广泛的领域，比如焊接前和焊接后的清洗、涂层去除及去污等。

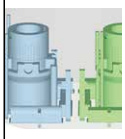
29 塑料焊接



**实现成功的激光塑料焊接，需要考虑哪些因素？**

在激光塑料焊接过程中，需要考量很多因素，包括塑料零件的热学、化学、光学和几何属性，以及焊接过程中的装配和固定、热量控制等。

31 增材制造

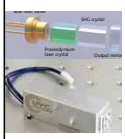


**为工业级金属增材制造奠定基础**

在石油和天然气生产的极其恶劣与苛刻的环境中，金属增材制造件正在接受现场测试。

## 技术回顾

**34 2021年光学和光子学领域20大技术进展**



2021年，光学和光子学的进展包含了激光光学、集成光子学、量子光学系统等众多领域，本文列选了其中20项重要进展。

**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




## 21 COVER STORY

**Handheld laser welding and the safety precautions in its use**

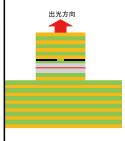
Handheld laser welding systems are rapidly becoming popular in the market thanks to their good welding quality, flexible welding methods and ease of use; special attention should also be paid to safety precautions in their use to avoid personal injury.

## MARKET WATCH

**10 China laser market grows dynamically amidst China economic prosperity**

China laser market is in a golden period of development and despite the impact of COVID-19 in 2021, China laser market is still reaping promising growth and remains optimistic for the coming 2022.

## TECHNOLOGIES CENTER



12 VCSEL

**Ultra-low power consumption and high efficiency red VCSEL**

Domestic red VCSEL chips have met or even surpassed international counterparts in terms of performance and reliability, and have been able to meet the different requirements of users.



15 Laser Measurement

**Ensuring accuracy in laser power measurement**

Measuring laser power with precise accuracy and efficiency in just seven simple steps? It's possible.



17 Quantum Communications

**Integrated optical modules for quantum communication**

As quantum communication moves from the lab to real life, optical integration will be key. Researchers are already preparing for the transition with the introduction of established technologies.



19 High-Power Optics

**With lasers: Augmented reality for the masses**

Despite the lack of mainstream acceptance and a lag in widespread adoption, the demand for augmented reality (AR) technology continues to grow. Increasingly, companies are investing to make them a reality for all.

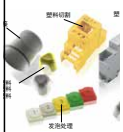
## INDUSTRIAL LASER COLUMN



25 Laser Cleaning

**Laser cleaning offers versatility for broad range of applications**

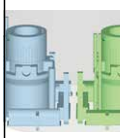
Laser cleaning is a technology increasingly used for a variety of applications, including welding pre- and post-treatments, coating removal, and decontamination.



29 Plastics Welding

**What factors need to be considered to achieve successful laser plastic welding?**

Achieving successful laser plastic welding need to consider many factors, including the thermal, chemical, optical and geometric properties of the plastic parts, as well as the assembly and fixation, and heat control during the welding process.

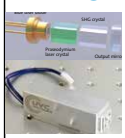


31 Additive Manufacturing

**Laying the groundwork for industrial 3D-printed parts**

Metal additive manufacturing parts are being field-tested in the extremely harsh and demanding environment of oil and gas production.

## TECHNOLOGY REVIEW



34 **Laser Focus World's top 20 photonics technology picks for 2021**

In 2021, advances in optics and photonics encompass the fields of laser optics, integrated photonics, quantum optical systems, and much more.

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.

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
记者 陈玉婷 Julie Chen
电邮 juliec@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

# 在不确定中乐观迎接 2022

尽管受到了疫情反复出现的影响，2021 年中国激光行业依然收获了不错的成果，大部分公司都实现了业绩大幅增长，并且对接下来的 2022 年充满信心。

从全球来看，激光市场是一个相对成熟的市场，基本上保持着一位数的稳定增长。但是中国市场因为自身经济发展特色，对激光应用有着巨大的需求。在中国经济内循环发展、制造业升级转型、大力发展中国芯，以及实现碳达峰、碳中和等目标的大趋势下，激光技术在中国市场迎来了广阔的应用天地，它们在新能源、汽车制造、半导体及电子制造等众多领域担当重任。中国激光市场因为发展起步较晚，因此目前仍然处于黄金增长期，未来仍然有着巨大的发展空间。

虽然临近农历新年，国内多个城市又陆续出现了疫情，让接下来的商业活动充满了不确定性，但是我们相信疫情能在大家的齐心协力下得到控制；从长远大趋势来看，中国经济会继续向前发展，中国激光市场依然利好。

激光技术的应用场景越来越丰富，并且也在走出高大上的场景，向一些相对低端的下沉市场渗透，比如这两年异常火爆的手持激光焊，就在大量应用于铝合金门窗、橱柜、卫浴件、金属栅栏、机箱、水箱、机柜等家用产品的焊接。本期的封面故事，分析了手持激光焊火热发展的原因，介绍了市场上的一些厂商和产品，并且给出了使用中要注意的安全防护问题 (p21)。

激光清洗应用也是一个颇具发展潜力的市场，特别是焊接前和焊接后的工件清洗需求，大体上会随着焊接市场共同发展。随着手持激光焊的兴起，手持式激光清洗也随之出现，让焊前清洁更加便捷。激光清洗技术的应用正在日益拓展到更多领域，比如去除汽车工件上的油漆和涂层、铜线的脱漆、除锈、清洗画作等。当然，如何提高清洗效率依然是主要挑战之一 (p25)。

在汽车和医疗器械制造中，经常要用到塑料焊接工艺，激光塑料焊接应运而生。要实现成功的激光塑料焊接，要在设计阶段就充分考虑多种因素，包括塑料的热学、化学、光学和几何属性，以及焊接过程中的装配和固定、热量控制等因素 (p29)。

本期内容还为读者精选了能够承受恶劣环境的工业级金属增材制造 (p31)、国产的超低功耗高效率红光 VCSEL (p12)，以及用 7 个简单步骤实现激光功率的准确测量 (p15) 等内容。另外，我们也回顾了 2021 年光学和光子学领域取得的 20 大技术进展 (p34)。

总之，对于中国激光市场，尽管前路会有阻挡，但我们依然乐观以待！❑

本刊编辑部



SCIIF 华南国际工业博览会

LFSZ LASERFAIR SHENZHEN

# 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6月7～9日
June 7-9, 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　XZQ　Deutsche Messe　FIERA MILANO　广东省激光行业协会 Guangdong Laser Industry Association

LMN 世界激光制造大会 LMN WORLD LASER MANUFACTURING CONFERENCE

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
国际会展中心（宝安新馆）

2022年6月7 - 9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

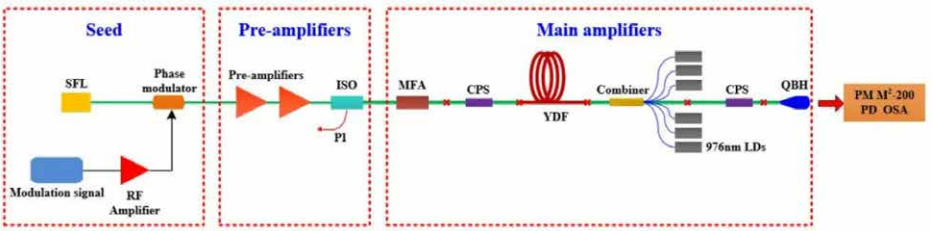
电话：0755-23207500
E-mail: jinrong.cai@hmxzq.com

电话：021-20557020
E-mail: joyce.wang@hmf-china.com

# 前沿简讯 Leading Edge Snapshots

## 保偏光纤激光器实现 10.6GHz 线宽 3kW 输出

目前，保偏超窄线宽光纤激光器的输出功率主要受限于受激布里渊散射（SBS）和模式不稳定（MI）效应。最近，中国工程物理研究所激光聚变研究中心通过 SBS 抑制技术和模式控制技术，实现了 3kW 线偏振激光输出，光束质量接近衍射极限。



图：全光纤保偏超窄线宽光纤激光器结构示意图。

基于主振荡功率放大结构搭建了 1064 nm 保偏超窄线宽光纤激光系统，种子源基于线偏振单频激光器，经过优化相位调制信号使调制后的激光光谱为近平顶型光谱，同时使光谱展宽为 10.6GHz。种子源经多级预放提升输出功率，主放大器采用反向泵浦方式进行功率放大，增益光纤采用保偏掺镱光纤（YDF），半导体激光器（LD）提供泵浦光，最终激光经石英端帽（QBH）输出。

放大器的测试结果显示，当泵浦功率为 3860W 时，激光器输出功率为 3050W，光 - 光效率为 78%，偏振消光比为 96%。随着输出功率的提升，输出光谱线宽不变，当输出功率为 3050W 时，光谱线宽仍为 10.6GHz，拉曼光抑制比达到 75dB。从返回光光谱上看，随着输出功率的增加，返回光光谱强度增加，当输出功率达到 3050W 时，返回光光谱中产生自脉冲峰，这说明该实验系统的 SBS 阈值为 3050W，输出功率的进一步提升受限于 SBS 效应。种子源的光束质量为 Mx2 = 1.159，My2 = 1.165，随着输出功率的增加，激光光束质量没有发生明显劣化，在最高输出功率下，光束质量为 Mx2 = 1.134，My2 = 1.178，在激光功率增长过程中没有发生 MI 效应。

该研究基于主振荡功率放大结构实现了 3kW 保偏超窄线宽激光输出，光谱线宽为 10.6GHz，光束质量接近衍射极限，这是全保偏光纤激光器在该光谱线宽下实现的最高输出功率。❑

## 直接激光 – 填丝拼焊汽车用铝硅涂层热成形钢

热成形钢是一种兼顾轻量化和安全性要求的超高强度钢，在高温下具有塑性好、成形能力强、回弹量小等特点，经热冲压成形后强度可达 1500MPa 以上，广泛应用于车身的 A 柱、B 柱、横梁等安全结构件的制造。为避免在热冲压成形过程中板材的氧化，提高板材的表面质量和成形精度，通常其表面会预制涂层。铝硅涂层凭借耐高温、低密度、耐磨损、高导热性以及膨胀系数小等优点，成为目前应用最广泛的热成形钢涂层。

采用激光焊接时，在焊接处涂层会熔化进入焊缝，产生较多的 delta 铁素体，严重降低焊接接头的力学性能。尤其对于铝硅涂层 1500MPa 级别及以上的热成形钢，要实现焊后抗拉强度和延伸率达到母材水平是非常困难。目前工业界主流的焊接方法存在工序复杂、成本高、去除涂层处在高温加热易发生氧化等不足。

为解决铝硅涂层中由于铝元素引起 delta 铁素体生成问题，降低因去涂层所增加的制造成本，中国科学院上海光学精密机械研究所激光智能制造技术研发中心杨上陆教授团队，开发了新的焊丝成分和直接激光 - 填丝拼焊铝硅涂层热成形钢新技术，该技术通过调控和优化接头微观组织，可抑制 delta 铁素体在焊接处生成，实现焊接热冲压

后接头性能与母材一致，已完成零部件级别测试。新方法具有如下优势：1）焊前无需去除涂层，可直接激光拼焊铝硅涂层热成形钢，降低工序和制造成本；2）焊料与不同强度热成形板材匹配，可焊性好，焊接过程稳定，降低焊缝开裂风险；3）焊后的焊接接头具有良好的淬透性、抗氧化性、耐磨性以及耐腐蚀性；4）可焊接 1.0~3.0mm 不同厚度；5）焊接速度高达 4.2m/min。

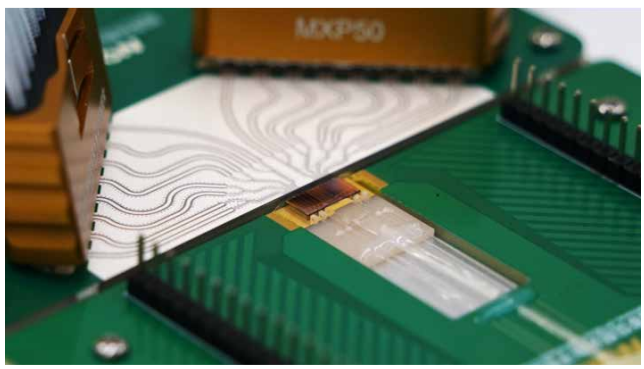
等强等厚激光拼焊板力学性能测试结果：1.0~1.0mm、1.5~1.5mm 激光拼焊接头抗拉强度均≥ 1350MPa，延伸率≥ 5%，焊接接头 100% 断裂于母材，焊接质量稳定。

等强等厚不同牌号激光拼焊板力学性能测试结果：1.5~1.5mm 不同牌号材料激光拼焊接头抗拉强度均≥ 1350MPa，延伸率≥ 5%，焊接接头 100% 断裂于母材，焊接质量稳定。

中试结果：1.0~1.0mm、1.6~1.0mm 零部件激光拼焊接头抗拉强度均≥ 1350MPa，延伸率≥ 5%，焊接接头 100% 断裂于母材，满足用户标准要求。❑

# 国内首款 1.6Tb/s 硅光互连芯片完成研制

最近，国家信息光电子创新中心（NOEIC）、鹏城实验室、中国信息通信科技集团光纤通信技术和网络国家重点实验室、武汉光迅科技股份有限公司，在国内率先完成了 1.6Tb/s 硅基光收发芯片的联合研制和功能验证，实现了我国硅光芯片技术向 Tb/s 级的首次跨越。



图：1.6Tb/s硅基光发射芯片。

研究人员分别在单颗硅基光发射芯片和硅基光接收芯片上，集成了 8 通道高速电光调制器和高速光电探测器，每个通道可实现 200Gb/s PAM4 高速信号的光电和电光转换，最终经过芯片封装和系统传输测试，完成了单片容量高达 8 × 200Gb/s 的光互连技术验证。

该工作刷新了国内此前单片光互连速率和互连密度的最好水平，展现出硅光技术的超高速、超高密度、高可扩展性等突出优势，为下一代数据中心内的宽带互连提供了可靠的光芯片解决方案。

NOEIC 一直致力于推动高端光电子芯片的技术演进、国内首产和产业转化，近年在超高速光收发芯片技术上获得持续突破，相继研制出一系列新型的超 100 Gbaud 硅光调制器和探测器成果。

NOEIC 同时积极参与和推动相关标准制定工作，牵头中国通信标准化协会（CCSA）“100G Baud 及以上高速光收发器件研究”、“800G 光收发合一模块：4 × 200G”标准，为我国高速光模块行业标准制定贡献力量。❑



# 国内首台 100kW 超高功率激光器正式启用

最近，锐科激光与南华大学联合研制的国内首台 100kW 超高功率工业光纤激光器及配套设备启用仪式在南华大学顺利举行。当天，这台激光器经过了满功率出光，工作情况稳定，已投入使用。

工业用产品相对于实验室用产品，无论是在设备稳定性上还是用户可接受性上，都提出了更为严格的要求。这台 100kW 超高功率激光器耗时六个多月研发而成，它主要进行了包括新一代 R-QS 输出光缆、超高功率合束器以及智能化控制系统这三大核心器件的升级，解决了输出端帽与高功率激光输出头高度匹配等多项技术瓶颈，打破了国外技术垄断的局面，大大提升了我国大型装备制造水平。

自今年 10 月份锐科激光将其交付给南华大学以来，经过联合实验室双方工作人员两个多月不分昼夜的现场出光调试，目前该激光器已经达到了十分稳定的状态。它将主要应用于核设施管道的厚管焊接、放射环境下核设施的退役拆除、核污染器件的表面去污、高放废液的玻璃固化处理等高端应用。



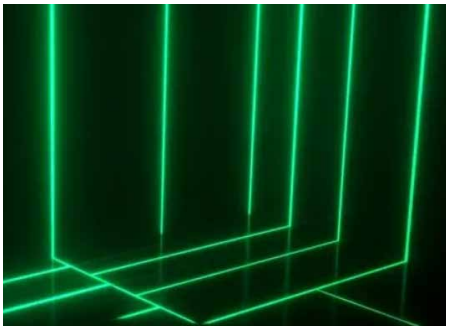

锐科激光与南华大学激光应用联合实验室的建立初衷是，希望彼此强强联合、优势互补，进一步探索激光器在核工业应用领域包括激光远程切割、高功率厚板焊接、激光清洗等方面的市场应用。未来锐科激光也将继续响应国家号召，通过校企联合的方式，进一步探索超高功率激光器在工业及其他更多应用领域的发展，将国产超高功率激光器带向新的高度，推动我国超高功率激光技术及其应用的快速发展。❑

# 纳米激光器研究获重大突破

纳米激光器，是指由纳米线等纳米材料作为谐振腔，在光激发或电激发下出射激光的微纳器件。近日，阿尔托大学（Aalto University）的一项新研究表明，磁场可以用来打开和关闭纳米激光器。这一发现背后的物理学原理，为开发不受外部干扰的光信号铺平了道路，从而使信号处理具有前所未有的稳定性。

到目前为止，打开和关闭纳米激光器，都需要直接操纵它们，无论是机械操纵还是使用热或光。如今，研究人员已经找到了一种可以远程控制纳米激光器的方法。

这项研究通过外部磁场控制激光信号，通过改变磁性纳米结构周围的磁场，可以打开和关闭激光，从而实现对激光器的控制。



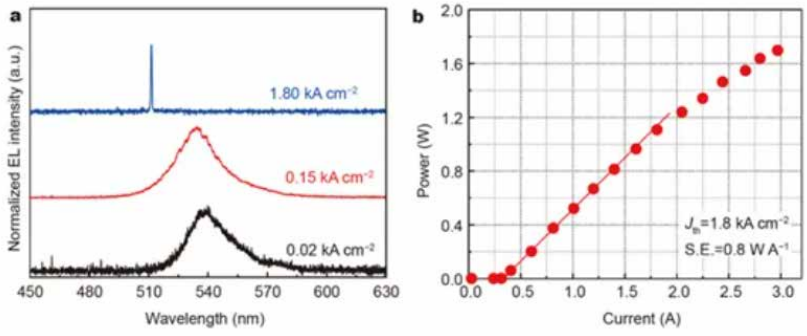
该团队使用了特殊材料制造等离子体纳米激光器来实现这一目标。他们没有使用普通的贵金属，例如金或银，而是使用了在连续的金和绝缘的二氧化硅层上图案化的磁性钴 - 铂纳米点。团队分析表明，材料和纳米点在周期性阵列中的排列，都是产生这种效果的必要条件。

这种新的控制机制，有望在一系列利用光信号的设备中起到一定的作用，尤其在新兴拓扑光子学领域的应用更是让人激动。拓扑光子学旨在产生不受外部干扰的光信号，通过提供非常稳定的信号处理，这将在许多领域中得到应用。研究者补充道，一般情况下，磁性材料可以引起光的吸收和偏振的变化非常少。但在这些实验中，磁性材料在光学反应中产生了非常显著的变化，高达 20%。

到目前为止，使用磁性材料创建拓扑保护的光信号需要强磁场。新的研究表明，在这种情况下，使用特定对称性的纳米粒子阵列，可以意外地放大磁性的效果。这项研究发现可以为新的、纳米级的、受拓扑学保护的信号指明方向。❑

# 国产 GaN 基绿光激光器性能再获突破

最近，中科院苏州纳米技术与纳米仿生研究所刘建平团队，在 SCIENCE CHINA Materials 上发表了关于 GaN 基绿光激光二极管（LD）的研究进展。

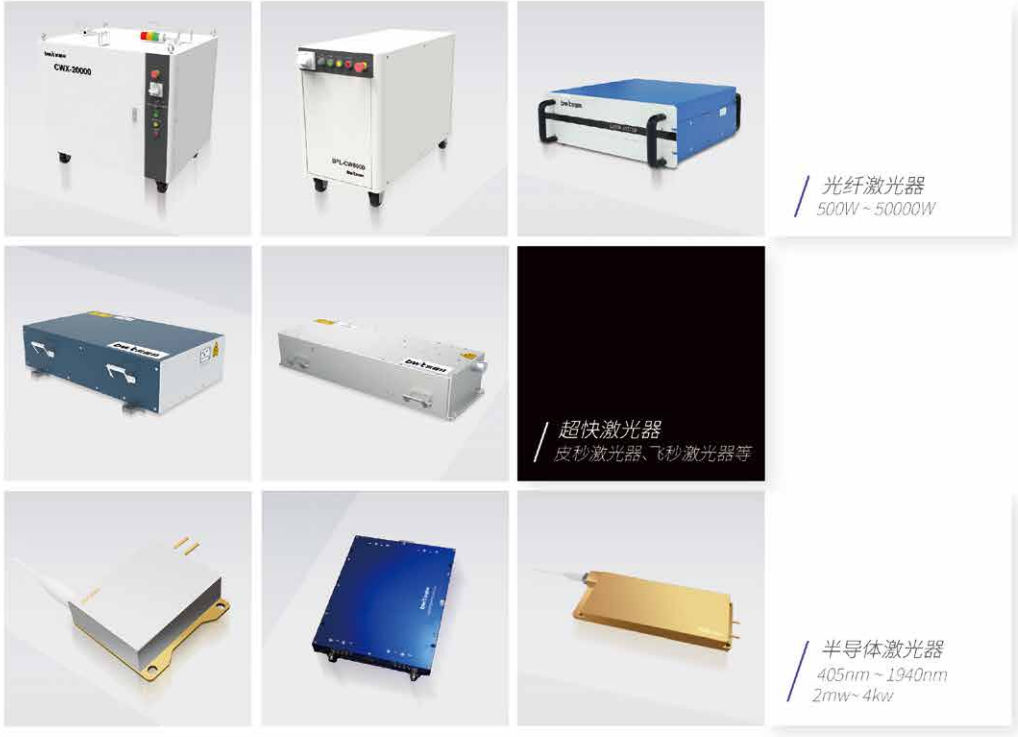



图：（a）不同电流密度下的EL谱，（b）绿光LD的输出功率。

文章采用各种光学测量手段对绿光 LD 结构和芯片进行了表征。表征结果显示，激发功率密度为 7W $cm^{-2}$ 时，300K 下光致发光半高宽为 108meV，电流密度为 20 A $cm^{-2}$ 时，电致发光半高宽为 114meV。这些研究结果表明，势能均匀性得到了显著改善。同时，由变温光致发光测试得到的表征局域态分布宽度的 σ 值，和由时间分辨光致发光测试得到的表征激子局域带尾态的 E0 值都很小，这进一步表明势能均匀性很好。由于势能均匀性的极大改善，实现了斜率效率 0.8 W $A^{-1}$，输出光功率可以达到 1.7W 的绿光 LD 芯片。

此外，刘建平团队还在 2021 年 11 月 8 日举行的第四届宽禁带半导体学术会议上，报道了 GaN 蓝光激光器研究成果。在前期工作基础上，通过采用倒装芯片技术和低热阻封装结构，大幅提高了连续工作的蓝光激光器的光输出功率，其封装热阻为 6.7K/W，连续工作输出光功率达到 7.5W。❑

bwt 凯普林
INSPIRE THE WORLD
全球激光解决方案领跑者
GLOBAL LEADER IN LASER SOLUTIONS




产品与技术咨询
电话 010-83681053
邮箱 sales@bwt-bj.com
凯普林光电
地址 北京市丰台区航丰路甲4号
网址 http://www.bwt-bj.com
官方网站二维码
官方微信二维码
微信视频号二维码
抖音号

# 中国经济发展大潮中，活跃增长的中国激光市场

*中国激光市场正处于黄金发展期，虽然2021年受到了疫情影响，但中国激光市场依然收获可喜增长，并对2022年保持乐观。*

文/Rossie Pang

经历了 2020 年疫情导致的经济放缓之后，2021 年上半年中国经济全面复苏，如同冲出樊笼的飞鸟般，迎来了快速发展。乘着中国制造业向高端智能化转型升级的大潮，2021 年中国激光市场的发展也是热火朝天：激光技术在新能源、汽车制造、半导体及电子制造领域担当重任；激光技术的应用场景越来越丰富，更适合下沉市场的手持激光焊火爆异常；中国激光公司的羽翼逐渐丰满，开始靠技术实力和服务打天下，而不再是一味地低价竞争；激光行业吸引了嗅觉敏锐的资本市场的更多目光，行业融资一波接一波；一些激光公司走上了上市之路谋求更大的发展……

总体而言，2021 年中国激光公司都获得了不错的收成；在中国经济内循环发展、制造业升级转型、大力发展中国芯、以及实现碳达峰、碳中和等目标的大趋势下，人们普遍对 2022 年的市场发展充满信心。当然，全球各地疫情的反复出现，会对 2022 年的市场发展带来多大影响，目前还是未知数；但是，从长远大趋势来看，市场向好。

## 中国激光市场仍处于增长黄金期

虽然从全球激光市场来看，这是一个在技术和应用层面都相对成熟的市场，发展趋于稳定；但是就中国激光市场而言，由于整体起步较晚，加之当前中国经济的发展策略以及国内巨大的行业应用空间，目前中国激光市场尚处于增长期，并且发展势头迅猛。

从国家政策层面看，中国政府一直将激光作为“先进制造技术”列为国家重点发展项目，国务院、发改委、工信部等部门陆续颁布了《“十三五”先进制造技术领域科技创新专项规划》、《高端智能再制造行动计划（2018-2020年）》、《战略性新兴产业分类(2018)》一系列法律法规和产业优惠政策，为中国激光行业的发展推波助澜。

从行业应用层面看，激光技术已经在光制造、光传感、光显示、光通信等领域逐渐渗透，并持续推动产业向智能化、自动化、节能环保的方向发展。单就目前中国新能源汽车市场而言，无论是动力电池还是整车及零部件的制造，都对激光焊接、切割等技术有着巨大需求。乘用车市场信息联席会 2022 年 1 月公布的数据显示，2021 年 1-12 月新能源车零售 298.9 万辆，同比增长 169.1%；根据最新发布的政策，2022 年国家对新能源车购置补贴大为利好，预计 2022 年新能源乘用车销量将达到 550 万辆以上，接近翻倍增长。因此，仅新能源车市场为激光应用带来的商机就相当可观，除此之外还有中国大力发展的半导体制造、3C、显示等行业，市场空间巨大。

从企业技术实力层面来看，目前已经有不少中国激光企业的综合技术实力，已经在快速追赶国外龙头企业。在一大批中国激光企业快速崛起的背后，是核心技术的突破，从光纤激光器打破国外巨头的垄断，到核心光学器件的规模化生产，以及半导体激光芯片的国产化取得的进展，都标志着中国激光市场后劲十足的发展潜力。

作为制造业大国，中国激光设备市场需求庞大，国内激光产业发展超越正当时。在巨大的市场需求驱动下，众多激光企业不断丰富业务，赢得市场青睐。比如凯普林光电，从过去的半导体激光器业务，拓展到光纤激光器、超快激光器业务，并在天津打造自动化生产基地，提升产能，满足市场需求。

# 凯普林光电：新形象，再出发，逐鹿三大激光市场


凯普林光电半导体事业部轮值总经理郎超

凯普林光电在2021年重新塑造了品牌形象，将自身定位为全球激光解决方案供应商。凯普林光电半导体事业部轮值总经理郎超在接受本刊采访时表示：“2021年凯普林光电的业绩相比2020年有较大增长，增长驱动力主要来自工业泵浦、材料加工和医疗美容三个领域。在中国经济飞速发展的背景下，相信2022年激光产业将迎来更快发展，凯普林光电也将继续保持快速增长势头。”

在过去的一年中，激光领域虽然并没有堪称颠覆性的技术创新，但是蓝光半导体激光器得到了越来越多的市场认可，光纤激光器及超快激光器市场体量也在不断增加。半导体激光器尤其是泵浦源领域在向高功率方向快速发展，以此作为基础，支撑着光纤激光器功率的提升和成本的降低。

凯普林光电的A0系列高功率半导体激光器系列泵浦源，支撑了国内外多家知名光纤激光器厂家推出性能优良、质量稳定的产品。“此外，我们的高功率蓝光半导体激光器也得到了越来越多终端客户的认可，增长喜人；而中高功率的光纤激光器及皮秒激光器，同样取得了不错的市场预期。”郎超介绍说，“未来凯普林光电会继续关注材料加工、医疗美容以及先进泵浦源三大方向。”

对于2022年的发展，郎超认为，国际形势和疫情依然严峻，充满不确定性，但是国内基础建设和消费领域依然是庞大的市场，为激光产业提供了很大的发展空间，预计激光行业将继续保持目前的增速，在2022年得到较快发展。2022年，凯普林光电将继续加大研发投入，以半导体激光器、光纤激光器、超快激光器为核心，开发出更多适合终端客户使用的产品，服务客户推动行业发展。

# Aerotech：以精密运动控制，服务增长的中国精密制造市场


Aerotech亚洲市场营销总监卢旭钦

随着中国制造业向着更高端发展，激光精密加工需求与日俱增。Aerotech作为一家深耕精密运动控制领域的公司，在中国精密激光制造市场收获颇丰。Aerotech亚洲市场营销总监卢旭钦表示，“2021年，Aerotech的业绩比2020年增长了60%-70%，其中激光精密制造、半导体及医疗器械这三个领域贡献最大。预计2022年一些领域仍会强势增长，但也充满挑战和风险，包括疫情及中美贸易摩擦等因素，都会左右行业的发展。”

回顾过去一年的发展，卢旭钦说，目前超快激光及应用是技术方面的热点。Aerotech的振镜及驱控方案广泛应用于超快激光及应用领域，并且某些方案如IFOV技术处于业内领先水平。

2021年Aerotech推出的Automation1新一代驱控系统，可驱控繁杂的运动要求，从IFOV到PSO，能提供复杂的运动控制解决方案；从开发、控制、驱动到链接，都拥有实现出色运动所需的工具。由于一个控制器平台可以协调所有运动轴之间的紧密同步，因此能实现更高精度的处理和更快的处理吞吐量。而且，Automation1可以将设置时间从几天缩短到几分钟，它也是唯一一个利用光纤HyperWire总线的Aerotech平台，能对多达32个运动轴进行准确和紧密协调的控制。

对于未来发展，卢旭钦认为，超快激光及应用是市场热点。伴随着可穿戴市场的高速发展，Micro LED等技术的日趋成熟，超快激光在这个行业的应用前景可期。

目前，中国激光市场依然处于增长期，2022年的中国激光市场发展可期，半导体、AI、智能穿戴设备将是市场热点，而且会延续，这确保了激光应用的市场空间。“Aerotech公司秉持着‘致力于运动控制技术及创新’的理念，基于产品服务市场。精密激光制造市场始终是我们关注的重点，公司的IFOV、AGV、驱控等产品技术及方案，也将一如既往地支持激光市场的发展。”谈及2022年的发展策略时，卢旭钦表示，“另外，我们也会紧跟政策导向，关注国内激光发展的规划及各地政府对激光的相应扶持政策。”❑

VCSEL

# 超低功耗且高效率的红光 VCSEL

*国产红光VCSEL芯片无论参数性能、还是可靠性指标均已达到甚至超越国际同类产品，已经能满足用户的不同要求。*

文/柯毛龙，江西德瑞光电技术有限责任公司

VCSEL（Vertical Cavity Surface Emission Laser）是垂直腔面发射激光器的英文缩写，它意味着器件的出光方向与其材料生长方向相同，即垂直于芯片的衬底面（见图 1）。由于 VCSEL 具有若干独特的特点，比如，有源区可以做得很小，光功率密度低，无需解理腔面且出光方向垂直出射等。的确，典型单模 VCSEL 芯片的有源区体积只有 0.3μm$^3$ 左右，仅为同类型单模边发射激光芯片有源区的 1/30 左右，因为激光的阈值电流大致与其体积成正比，所以 VCSEL 的阈值电流可以小到 100μA 以下；VCSEL 的光功率密度通常不超过 10kW/cm$^2$，是边发射激光芯片的千分之一，这样就自然避免了因功率密度过高造成的腔面损伤这一致命问题；再则，无需解理腔面的特点意味着芯片后端工艺简单、且其尺寸可以做得非常小，从而有利于提升芯片产出，无需解理还意味着可以直接在晶圆上进行测量筛选，从而显著降低芯片生产成本。除此之外，VCSEL 还具有光束圆对称，易于光学耦合等特点。

红光 VCSEL 是种类繁多的 VCSEL 家族中一种重要分支，广泛应用于塑料光纤通讯、激光显示、光传感等领域。虽然在一般意义上红光的光谱范围为 622~780nm，然而对于红光 VCSEL 来说，目前在实验室能够获得最短的波长大致为 650nm，商业性产品的波长通常在 660~690nm 之间。红光 VCSEL 在结构上，大致由 n 型 AlGaAs/AlGaAs DBR、包括量子阱有源区在内的 λ 腔、p 型 AlGaAs/AlGaAs DBR 组成。为了确保器件能够激射并具有低阈值电流，DBR 的反射率必须足够高。

不同于 850nm 或 940nm VCSEL，红光 VCSEL 在设计、生长和制作上给人们带来相当的挑战，短波长红光（<670nm）VCSEL 的制作尤为困难。之所以如此，是因为红光有源区材料采用 InGaAlP 材料，而这一材料的固有缺陷是其带隙非常有限，势垒与势阱间的带隙差小，严重限制了短波长有源区对载流子的空间限制能力，从而导致器件的发光效率低下，温度特性差。

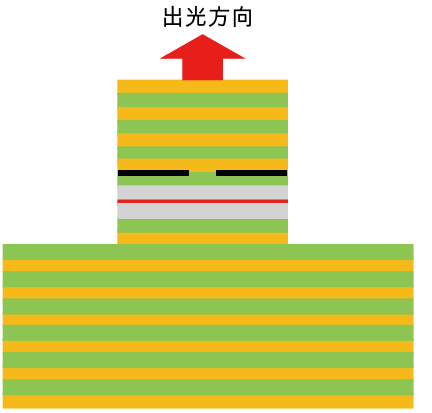



图1：VCSEL示意图。

在 VCSEL 工艺中，氧化工艺是其独有且至关重要的关键工艺。氧化工艺具有双重作用：第一，通过氧化，将含有高 Al 组份的 $Al_{0.98}GaAs$ 材料

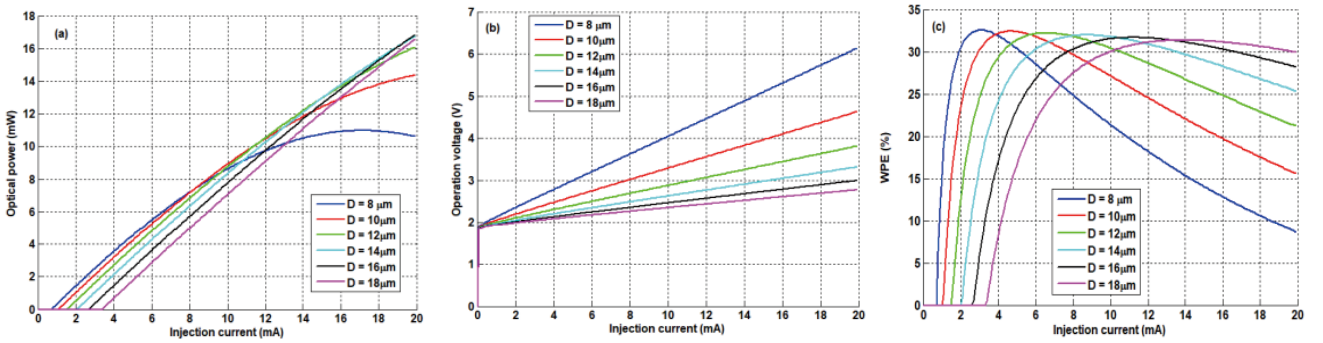



图2：不同氧化孔径时680nm VCSEL的功率（a）、电压（b）、以及电光转换效率（c）随电流变化的关系。

转换成铝的氧化物，从而变成不能导电的绝缘体，这样，可以将注入的电流限制在较小的区域内；第二，氧化工艺同时改变了被氧化区域材料的折射率，从而形成所谓的波导效应，对光起到空间限制作用。鉴于芯片的光电参数，如阈值电流、光功率、芯片电压等与芯片的工艺参数——氧化孔径密切相关，我们仔细研究了芯片参数与氧化圈孔径大小之间的关系。

图 2 为仿真计算的不同氧化孔径时，680nm 激光器在 TO56 封装条件下的光功率、电压以及电光转换效率随电流变化的关系。很显然，小氧化孔径的芯片阈值电流小，但因受芯片热效应的影响，能够输出的最高光功率也小一些；反之，对于较大氧化孔径的芯片，尽管阈值电流大一些，但能够工作在更高的光功率状态。

表1：德瑞光电680nm VCSEL 芯片典型性能参数

| 参数名称 | 参数符号 | 参数典型值 | 参数单位 |
|---|---|---|---|
| 工作电流 | Iop | 12 | mA |
| 阈值电流 | Ith | 2.7 | mA |
| 光功率@Iop | Pop | 9.9 | mW |
| 工作电压@Iop | Vop | 2.58 | V |
| 斜率效率 | SE | 1.06 | mW/MA |
| 波长 | λ | 680 | nm |
| 电光转换效率@Iop | WPE | 31.6 | % |
| 远场@FWHM | FF | 19.2 | ° |
| 远场@1/$e^2$ | FF | 22.9 | ° |

另一方面，从电光转换效率的角度看，尽管不同孔径的最高电光转换效率非常接近，然而，小氧化孔径芯片的最佳效率所对应的电流，要比大孔径芯片的最佳效率所对应的电流要小，而且在电光转换效率意义上说，小孔径的工作窗口更小一些。所以对于实际的应用而言，需要确切掌握实际应用所需要的功率参数，据此设计最佳的氧化孔径。图 3-5 为德瑞光电实际生产的孔径为 16μm 的 680nmVCSEL 芯片测试结果，表 1 为主要性能参数。

上述参数与某国际知名公司的同类产品相比，德瑞光电芯片的斜率效率达 1.06mW/mA，远远超出该国际公司 0.7mW/mA 的数值。正因为德瑞光电的芯片具有很高的外量子效率

光学引领未来™
光 学 新 动 态
极紫外光学
将光学推向极致
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/012-8618

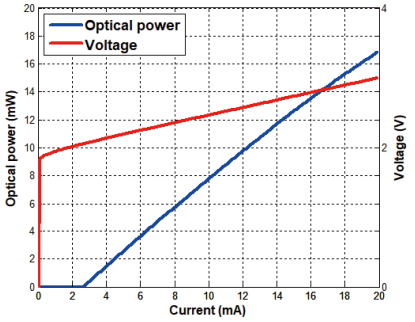



图3：德瑞光电680nm VCSEL的功率与电压电流（LIV）之间的关系。

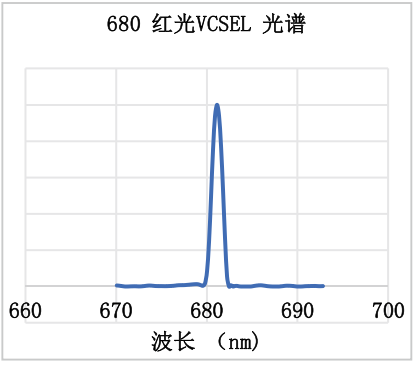



图4：德瑞光电680nm VCSEL的实际测试光谱。

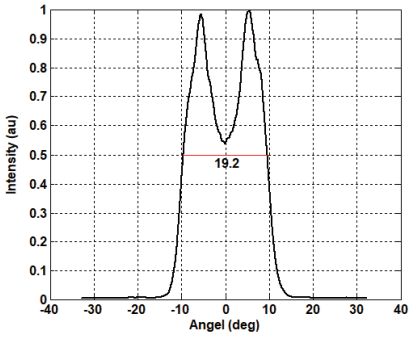



图5：德瑞光电680nm VCSEL的远场特性。

（斜率效率），从而保证了芯片的整体电光转换效率达到了 32% 左右。需要说明的是，上述测试仅仅代表着德瑞光电产品相对保守的性能水平。事实上，目前很多批次产品的斜率效率最高达 1.2mW/mA，对应的电光转换效率超过 35%。

另外德瑞光电的产品在远场发散角方面表现也比较不错：远场发散角较小（22.9° Vs. 25°）以及更理想的远场分布（45% dip Vs. 79% dip），这里 dip 是指光场分布中，0° 位置处的光场强度比最高光场强度减弱的程度。显然，dip 越大，意味着远场的角度分布越不理想。

除了上述参数外，其他参数，如阈值电流、工作电压都与竞品参数非常接近。总之，德瑞光电的 680nm VCSEL 的参数性能已经达到或优于国际同类竞品的性能，这标志着我国红光 VCSEL 芯片的国产化进程，已经达到了可以与国际同行平等竞争的程度。

除了上述参数外，器件的寿命必须经过严格的测试评估。半导体激光器的失效模式有两种：(1) 以光学灾变（COD，可以发生在腔内或腔面）为典型特征的突变死亡模式；(2) 功率随时间衰减的缓变模式。在 VCSEL 中，由于腔内的功率密度仅为对应的边发射激光芯片的功率密度的千分之一，所以 VCSEL 芯片几乎不存在所谓的光学灾变失效模式。但是，VCSEL 中的电流密度却是对应的边发射芯片电流密度的 3 倍左右，这意味着高电流密度导致的结温升高，将成为芯片失效的主要模式。

大量实验测试表明，随着电流密度的增加，芯片功率衰减速率显著增加。值得注意的是，芯片的可靠性与许多因素相关，包括材料结构设计、材料生长工艺，以及器件制作工艺等。图 6 显示了德瑞光电的 680nm VCSEL 芯片在 85° 的环境温度下、工作电流为 10mA 时的芯片功率随时间的变化。在长达 900 小时的寿命测试过程中，并未出现功率衰减现象。

如前所述，由于红光 VCSEL 采用 InGaAlP 量子阱发光材料，而 InGaAlP 材料的带隙非常有限，而材料带隙对芯片的内量子效率以及温度特性有着极为显著的影响。因此，短波长红光 VCSEL 芯片的性能要比长波长 VCSEL 的性能差，比如当波长变为 665nm 时，芯片的斜率效率以及对应的电光转换效率显著变差，图 7 为德瑞光电的 665nm VCSEL 的实际测试结果。从图 7 中可以看出，当波长变为 665nm 时，芯片的斜率效率减小到约 0.7mW/mA，对应的电光转换效率也减小到 20% 左右

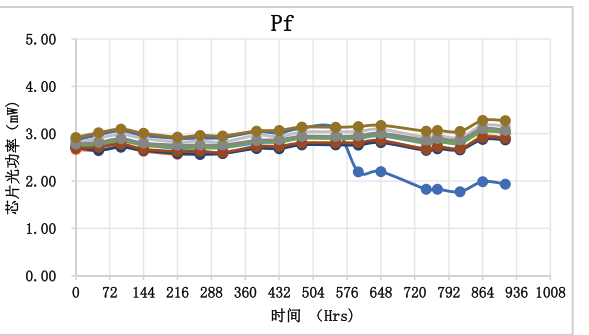



图6：德瑞光电680nm VCSEL 的寿命测试数据。

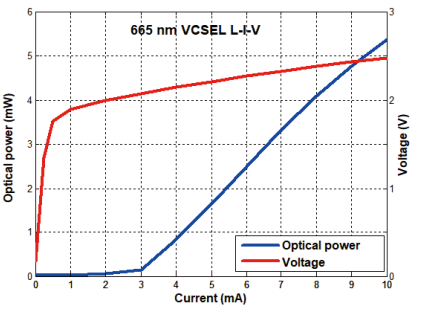



图7：德瑞光电665nm VCSEL的功率与电压电流（LIV）之间的关系。

总之，通过过去三年多的持续研发努力，德瑞光电的红光 VCSEL 芯片无论参数性能、还是可靠性指标均已达到甚至超越国际同类产品，大量小规模市场应用，已经满足了用户的不同要求。德瑞光电将持续投入大量资源，开展高性能红光 VCSEL 芯片的研发，包括芯片温度特性的提升、更短波长的 VCSEL 的研发等，推动我国 VCSEL 产业健康发展。❑

激光测量

# 确保激光功率测量的准确性

*只需七个简单的步骤，就可以让您像专家一样，精确且高效地测量激光功率。*

文/Alexandre Charbonneau，Gentec–EO

您是否需要更准确地测量激光功率？使用激光功率探测器，该过程相对简单。但是，需要一些重要的步骤来确保测量的准确性。

## 适合工作的正确工具

首先要做的是选择激光功率计。有多种专业功率计可供选择，但要准确确定哪一种最有效可能会有些棘手。然而，选择正确的功率计，对于给定应用获得准确可靠的功率测量至关重要（见图 1）。影响探测器技术选择的主要因素包括激光功率、光束尺寸和波长。对于脉冲激光器，单脉冲能量、重复频率和脉冲宽度也会影响选择。要找到耐用的产品，重要的是检查激光功率探测器是否能够应对能量和功率密度。

了解激光功率探测器技术的优缺点也很重要，以确保给定应用的最佳结果（见表 1）。

## 正确的光束直径

选择功率计时，请考虑测量所需的光束直径。这对于精度至关重要，考虑到较小光束的高功率密度，使用太小的光束直径会损坏功率探测器。

另一方面，太大的光束会导致浪费的功率无法传输到探测器。理想情况下，光束直径应介于光学孔径面积的 40%~60% 之间。这是优化功率探测器吸收热量的最佳方式。

## 设置波长

选择功率计的正确波长也会有所不同，因为光探测器的响应对于每个波长并不相同。探测器制造商在探测器芯片内对光谱响应进行编码，功率表头使用该校正因子来显示特定波长下的正确值。这对于光电二极管尤其重要，因为它们的灵敏度在整个光谱范围内变化很大。

例如，对于硅基光电二极管，如果表头显示波长为 1020nm 而实际为 1064nm，则可能会获得 2 倍的错误测量结果（见图 2）。

## 预热激光器和探测器

在测量激光功率时，预热是获得最佳结果的重要步骤，因为功率会随时间变化，尤其是在刚打开激光器系统之后。这是由于激光器内的温度和材料发生变化，随后激光器与环境达到平衡。因此，建议在打开激光器后的最初几分钟内不要测量激光功率。

预热功率探测器同样重要。确保




图1：测量光功率输出是关键；此处显示的是激光技术人员使用Gentec-EO的MAESTRO功率和能量表头，测量千瓦级光纤激光器的功率。

**表：激光功率探测器技术的优点和缺点**

| | 优点 | 缺点 |
|---|---|---|
| **热电堆** | • 宽带<br>• 可测量的功率范围广（从亚毫瓦到几千瓦）<br>• 损坏阈值高 | • 比光电二极管慢<br>• 对热波动很敏感 |
| **光电二极管** | • 噪声非常低<br>• 响应速度快<br>• 对热波动非常敏感<br>• 尺寸小 | • 狭窄的光谱范围<br>• 敏感性与波长有关<br>• 最大功率有限 |
| **热释电探测器** | • 宽带<br>• 响应速度快<br>• 噪声水平低 | • 连续波激光信号必须是脉冲或斩波<br>• 对振动和热波动敏感 |
| **水量热器** | • 宽带<br>• 高功率测量 | • 响应慢<br>• 需要稳定的冷却水 |

它与环境达到平衡，有助于获得尽可能准确的测量结果；否则，进一步的热传递会干扰测量过程。

激光功率探测器应该有效地散热，一些系统为此配备了风扇或水冷。如果功率计不能有效地散热，请务必在其周围提供足够的空间。

## 低功率测量的注意事项

尽可能保持室温恒定，以避免将热探测器放置在风扇、任何热源或空气对流附近。这将有助于消除热漂移的影响，从而降低热噪声和测量不确定性。

用户还应避免接触探测器的外壳或将其与热源接触，因为这可能会导致测量出现偏差。

将探测器与不需要的辐射源隔离很重要。光电探测器会受到环境照明的影响，非常灵敏的宽带探测器甚至可以对在房间内走动的人做出反应。光学滤光片和外壳可以阻挡不想要的干扰，并将探测器与热和气流隔离。

要记住的一件事是检查所选环境是否适合功率测量，可以在关闭激光器的情况下通过测量环境噪声，来确定这个环境是否适合功率测量。

## 将表头归零

激光功率表头具有一项功能，允许用户将设备“归零”，消除来自环境的偏移。在适当预热、并阻挡激光束后使用该功能很重要。使用合适的工具（而不是手）来阻挡光束也很重要。

如果测量存在不确定性或怀疑存在系统误差，那么可能需要重复归零过程。对于较长时间的测试，建议每四小时重复一次归零，尤其是在室温或光照条件发生变化时。

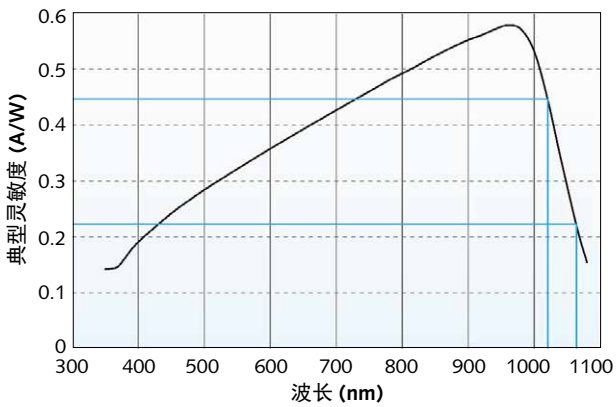



图2：硅基光电二极管在300~1100nm波长范围内的典型灵敏度曲线。

## 测量激光功率

现在可以打开光束并测量激光功率。至少提前一分钟让光束畅通无阻，以确保一切稳定。

如果激光功率表头具有预期或加速功能，则不需要整整一分钟，因为表头能够计算出测量值应该是多少。这在某些需要更快测量的情况下可能很有用。

## 潜在挑战

激光功率表头非常稳定，应该产生高度可重复的结果。功率测量中的变化不应超过大约 0.5%；如果大于此值，请尝试重新归零。由于环境的变化，这可能是必需的。重新归零应该有助于确定这是否是问题所在。或者，问题可能是激光器本身的稳定性造成的。

仔细检查以下因素：

- 激光束是否正确对准，并完全包含在探测器的孔径中？
- 在表头或软件控制中是否输入了正确的波长？
- 探测器表面是否有划痕或损伤？
- 探测器最近是否重新校准过？应多久执行一次取决于多种因素，但一般建议是每 12-18 个月执行一次。

就是这样！事实上，只需几个简单的步骤，就可以像专家一样测量激光功率了。❑

量子通信

# 用于量子通信的集成光模块

*随着量子通信从实验室走向现实生活，光集成将成为关键。随着成熟技术的引入，研究人员已经在为过渡做准备。*

文/Andreas Thoss，Moritz Kleinert，Patrick Runge

现在，量子通信已经被视为一种革命性的数据传输新方法。特别是，安全量子通信 (QC) 可能会受益于数十年来在集成光学发展过程中积累的专业知识。使传统技术适应量子通信的要求，利用成熟的生产技术，从而以合理的成本进行大规模生产。

QC 的要求是什么？首先，我们必须接受 QC 是关于单光子的。信息以它们的量子态存储。生成它们相当容易——例如，成对的单光子是在非线性下转换过程中产生的，其中偏振或其他属性携带实际信息。由于损耗而丢失单个光子意味着丢失信息。放大是不可能的，因为单个光子不能变得更强。复制光子意味着读取它的信息，破坏它的单一量子态。检测单光子也很困难，因为这需要极低的暗电流。因此，单光子的传输和探测是相当困难的。

## 建立德国QC网络

量子态的传输（例如以单光子或纠缠光子的形式）提供一种固有的安全通信形式。这已引起了各国许多政府机构的兴趣。2019 年，德国 QuNET 行动开始探索和实现安全的 QC 技术。QuNET 是弗劳恩霍夫协会、德国航空航天中心和马普学会发起的一项倡议，由德国联邦教育和研究部（BMBF）资助。BMBF 目前为 QuNET 行动提供了大约 6000 万欧元的资金。BMBF 计划在 2026 年之前提供 1.25 亿欧元的总资金，这也是德国联邦政府网络安全研究议程的一部分。这笔资金用于德国价值链上的技术开发，以实现相关组件和系统的工业生产，以及在德国和欧洲建立安全的基础设施。

弗劳恩霍夫海因里希赫兹研究所（Fraunhofer HHI）为该项目贡献了多项技术：用于量子网络的光子集成电路（PIC）、光纤网络方面的专业知识和量子密钥分发。这包括整个链条，从通过集成光学组件的关键功能，到基于光纤的量子通信可实时系统。

在第一阶段，组件开发的重点是量子密码发射器，以及未来小型化接收器芯片的单光子探测器。在系统方面，重点是 QC 设置的实时连接，以便通过现有光纤网络提供安全密钥。此外，Fraunhofer HHI 通过太赫兹链路、移动无线电和光纤提供经典通信通道，这些通道使用 QC 加密，从而实现保密通信。



图1：混合光子集成电路将成为未来量子设备的关键组件。

## 量子通信测试系统

图 1 显示了已经建立的一套完整的量子通信系统，用于所有 QC 组件的开发和测试。它是由 Fraunhofer HHI 的现成组件构建而成的，作为软件、协议和新组件的测试平台。

QuNET 项目的一个目标是基于现有技术为 QC 开发集成组件。光子源是混合 PIC 上的强衰减激光器（见图 2）。左侧的两个白色小立方体放置两个激光器，然后是集成光学元件，例如滤光片和波导，用于在混合 PIC 模块上进行偏振编码。

它基于 PolyBoard 技术，使用片上微光学平台，其中超薄薄膜元件、非线性晶体、导电聚合物和单光子探测器可以组合在一个光子集成芯片上。在 QuNET 中，系统采用偏振编码 BB84 协议和其他解决方案，例如使用延迟光子的时间段编码。

接收器部分看起来非常相似，但有一个重要区

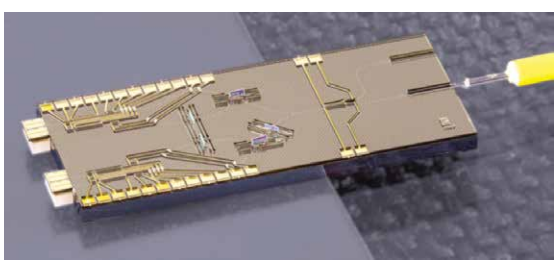


图2：用于产生和探测量子态的QC测试系统。

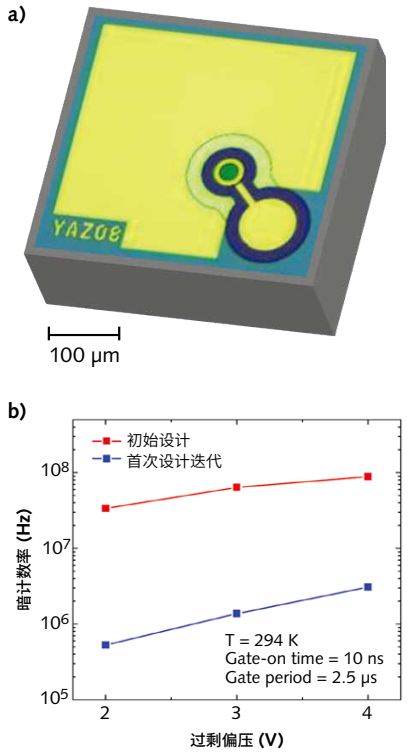



图3：基于InP的垂直照明单光子雪崩探测器芯片（a）和器件的首次测量（b）。

别：典型的光源每秒产生 $10^{17}$~$10^{18}$ 个光子，并以合理的速率衰减为单光子。损耗实际上是为了实现单光子运行而创造的。在接收器端，单光子简单地到达。因此，损耗需远远低于发射端。

实际的接收器是混合 PIC，它通过光纤接收信号。光子通过 PIC 上的偏振滤光片，最后在灵敏的探测器中计数。

## 光电探测器技术

单光子的探测仍然困难。标准单光子探测器方法的关键是冷却以减少噪声。到目前为止，大多数量子探测器必须冷却到 -200 ℃ 以下。Fraunhofer HHI 的团队从一开始就设定了准室温运行的目标。这不仅是常规现场运行的条件，它还可以大幅延长组件的使用寿命。

在 QuNET 项目中，开发了两种类型的单光子雪崩二极管（SPAD）。一种是顶部照明 SPAD 的经典方法。图 3 展示了开发的垂直照明 SPAD 在室温下运行的首个初步结果，显示了与初始设计相比的明显改进，并具有在后续设计迭代中挖掘改进的进一步潜力。QuNET 正在开发的第二种 SPAD 类型是波导集成光电二极管。由于较小的光电二极管体积，这种方法有可能降低噪声。此外，集成波导的 SPAD 允许与无源波导组件进行单片集成，以实现进一步的信号处理功能。

光电二极管芯片基于成熟的磷化铟（InP）技术，在 Fraunhofer HHI 的晶圆工艺线上制备，工艺符合 Telcordia 标准和空间合格。该研究所已设计、生产和表征 InP 元件超过 35 年。

## 集成

PolyBoard 项目开发了在单个小芯片上混合集成不同光子学功能的技术。如前所述，它使用片上微光学平台，其中有源和无源组件可以组合在一个光子集成芯片上。

在 QuNET 项目中，该技术将用于设计、制造和表征许多不同的新模块。这包括用于连续值（CV）和离散值（DV）量子密钥分发的混合集成接收器，以及用于在两个以上参与者之间分发私钥的低损耗无源路由。这种混合集成方法允许组合用于所需功能的最佳材料系统，尤其是低损耗无源、片上波导和有效的光子产生和探测。

在其他项目中，例如欧盟资助的 UNIQORN，已经开发了 QC 模块，包括光子对源（见图 4）、纠缠光子源和量子可重构光分插复用器（qROADM；见图 5）。由于集成允许小尺寸，QC 组件的目标是实现类似于电信和数据组件的尺寸。

光学集成是一项关键技术，它将使 QC 从研究实验室走入现实生活中。

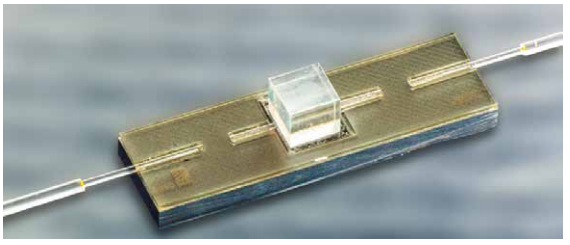


图4：通过在PolyBoard平台中集成非线性晶体实现的光子对源。



图5：用于在两个以上参与者之间分发私钥的量子可重构光分插复用器（qROADM），构建为混合PIC。

Fraunhofer HHI 的研究人员通过将来自于电信和半导体制造的成熟技术引入到 QC 系统，来准备这种过渡。通过这种方式，应用大规模工业工艺和开发高性能组件变得可行。

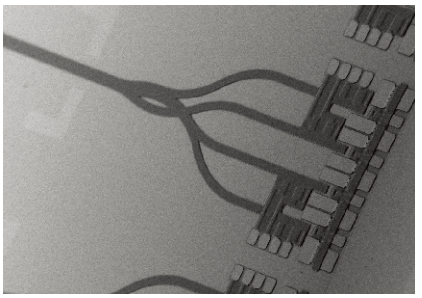


图6：单片集成InP基CV-QKD光电探测器芯片的SEM图片。

在模块层面，研究人员使用主要基于 InP 和 PolyBoard 技术的 PIC（见图 6）。他们已设计和制造了用于产生纠缠光子、操控 QC 信号和接收 QC 信号的模块。这些模块的原型目前正处于测试和表征阶段。到 2021 年底，在即插即用的基础上，这些集成光模块将逐步引入 QC 系统。❑

高功率光学器件

# 使用激光实现面向大众的增强现实

*尽管缺乏主流接受度且广泛采用滞后，但对增强现实（AR）技术的需求仍在继续增长。越来越多的公司正在投资以使其成为所有人的现实。*

文/Karl Leahy

多年来，我们已经在电影中看到了增强现实（AR），从2002年的《少数派报告》一直回溯到1986年的《壮志凌云》，影片中的目标是从战斗机飞行员的头盔内投射出来的。虽然那时这项技术看起来很有未来感，但实际上它在1980年代就可供战斗机飞行员使用。

如今，人们可以在车辆的平视显示器（HUD）中使用AR，将有用的符号和信息投射到驾驶员的视野中。我们也在专门的专业领域见到了AR。这方面的一个例子是汽车技术人员在美国各地的宝马经销商处使用的“Real Wear”AR耳机。

2014年，当谷歌发布谷歌眼镜（Explorer版）时，AR变得普遍可供消费者使用，尽管其销量从未达到预期。我们都知道，为消费者创造改变游戏规则的创新是困难的，而且每一项新技术的引入，总是有开始和停滞的时候。消费者在对谷歌设备的反应中明确表示，AR眼镜需要类似于一副标准眼镜，笨重的设计可能会给佩戴者贴上“技术极客”的标签，吓跑了许多消费者。

英特尔在2018年发布的智能眼镜Vaunt，给业界又上了重要的一课。它们的发布表明，AR眼镜可以既时尚又实用。Vaunt使用了单色红光垂直腔面发射激光（VCSEL）视网膜投影系统，其信息性胜过了功能性。但英特尔在发布后不久就关闭了该项目。

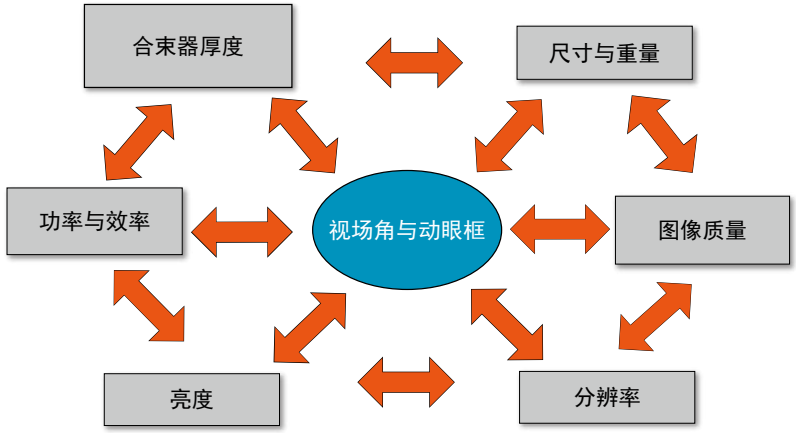



图1：为AR眼镜设计视觉技术时需要考虑的主题。

接下来是North公司发布的智能眼镜Focals（2019年初发货）；这副眼镜与雷朋眼镜几乎没有区别。不幸的是，它并未实现实质性的广泛消费者接受，这可能是由于高度定制，包括为用户安装眼镜。North最终被谷歌收购。

## 满足发展需要

为了在消费市场取得成功，大多数大玩家都已经懂得AR智能眼镜需要时尚的设计，接近或与标准眼镜相同，低功耗，以及几乎不需要定制。为协助这项工作，供应商们正在研究体积小且节能的照明和投影技术，以实现轻巧、紧凑的设计。此外，通过开发先进的波导光学元件，只需要对眼镜进行非常少的定制（如果有的话）。

在视觉技术正在完成的同时，一些公司已经用智能AR音频眼镜填补了市场空白。其中包括华为X Gentle Monster、Bose的Frames和带有Alexa的亚马逊Echo Frames。发布音频产品是重要的第一步，将帮助业界更多地了解消费者对这项新兴技术的需求和用途。

此外，脸书和雷朋发布的Stories（2021年9月）已经进一步推动了智能眼镜技术的发展。这些新型智能眼镜与具有标志性显酷要素的雷朋眼镜几乎相同。通过两个摄像头和音频功能，Stories允许用户拍照、录制30秒的视频剪辑、播放音乐和拨打电话。虽然没有视觉AR能力，但这些眼镜仍然是AR眼镜进化的重要一步。

脸书拥有约28亿用户的活跃基础，这是一个可观的营销机会。通过向用户进行营销，脸书可以鼓励数百万用户每天在脸上佩戴计算机。脸

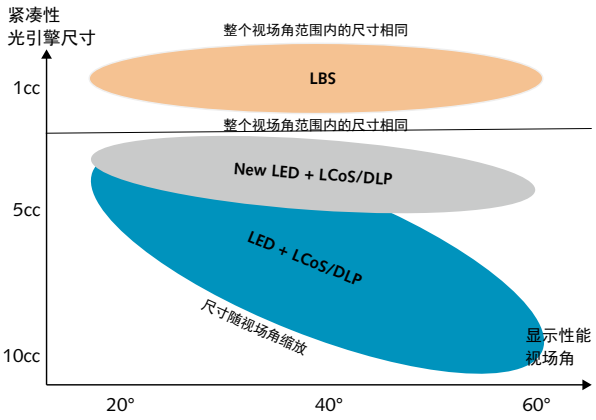



图2：不同的照明技术，以及它们的尺寸和视场角。

书只需要在未来几年内提供 AR 眼镜的视觉部分。

对于任何新兴技术，都必须进行权衡。图 1 展示了在 AR 眼镜中实现视觉技术需要讨论的一些不同主题。

## 新兴的AR眼镜类型及用途

AR 眼镜的特性和优势取决于目标细分市场。随着市场的稳定，这些细分市场将随着时间的推移而发展，但目前有一些可用。企业型眼镜是单目的 2D 和双目的 3D 视觉。它们需要能够显示高分辨率视频内容，并拥有包括摄像头和多个传感器在内的优质硬件。这些眼镜专为大众市场的专业和工业应用而设计，必须佩戴舒适，尽管功能优先于时尚。

目前有几种类似这样的型号处于初始生产阶段。混合现实（MR）眼镜将投影的视觉对象与现实融合在一起。它们具有大视场角（FOV），并且是具有多个焦平面和传感器的 3D 立体视觉。它们专为特定的利基专业和行业应用而设计，并且必须佩戴舒适。在这里，功能将再次优先于时尚。

消费者信息眼镜在用户视线中覆盖简单的信息，设想将当前的智能手表内容投射到眼镜上。这些通常具有较小的 FOV，并且是单眼的。因为是针对消费者的，所以这些眼镜需要看起来和感觉起来像普通眼镜。这种类型的消费者信息玻璃目前已准备好生产。North 公司的 Focals 是此类产品的一个例子。

产销型眼镜是单目的 2D 眼镜和双目的 3D 眼镜。它们需要显示高分辨率视频内容，并且可能包括许多传感器和摄像头。它们是为大众市场消费者设计的，需要看起来和感觉起来像普通眼镜。它们还没有准备好进行生产。

大的市场容量将来自产消型领域。由于多种原因，这些较高端的消费者眼镜尚不可用。一个关键因素是 AR 照明 / 投影仪需要对用户基本上不可见。这样做将需要非常强大但小型的投影仪。图 2 显示了一些可用的不同技术及它们可能的大小和 FOV。

## 激光束扫描

由于照明 / 投影仪必须极其紧凑且功耗极低，因此激光束扫描（LBS）是广泛消费者使用的明显选择。有多种类型的 LBS，包括 MEMS 配置中的激光器，具有以下特点：

- 全息反射器（直接视网膜扫描）
- 衍射波导
- 折射波导
- 全息波导

无论哪种类型，激光器都是不错的选择，因为它们具有小尺寸 / 功率密度比和重量 / 性能比，可实现出色质量的图像分辨率。尽管如此，在我们用 LBS 作为所有智能玻璃问题的答案“乘风破浪”之前，仍然存在一些图像质量挑战。其中包括散斑、像差、偏振（不需要的类型）、闪烁和剪裁。

LBS 投影仪、光学元件和整体系统设计的发展，正在解决这些挑战。例如，已经设计了新的激光器来克服所述问题。其中包括高速(<5ns)运行、更短腔长、多脊通道和创新封装的激光器，以及先进的激光二极管驱动器。

激光器的性能与其运行的 LBS 系统一样好。出于这个原因，艾迈斯欧司朗是 LaSAR 联盟的创始成员，该组织专注于从整体的角度处理整体系统设计。该联盟主要由开发和制造半导体技术和设备的欧洲公司意法半导体推动，该公司已为 LBS 投影仪开发了概念验证设计。如前所述，新兴技术存在许多系统权衡，如 LaSAR 联盟针对初始单目产品的目标规格表中所描述的（见表）。

**LaSAR联盟初始双目产品的规格**

| 目标 | 参数 | 值 |
|---|---|---|
| 全天佩戴 | 轻量化 | <60 gr |
| 全天佩戴 | 形状因素 | Fashionable |
| 全天开机 | 低功率显示 | <1 W (<0.5 W) |
| 户外使用 | 亮度 | >1000 nits |
| 性能:显示 | 视场角 | 30°–50° |
| 性能:显示 | 分辨率 | 720p |
| 轻松适配(一种尺寸适合所有人) | 动眼框 | >10 × 10 mm |

由几家 LaSAR 联盟成员进行的概念验证设计正在发挥作用。它包含 MEMS 反射镜、驱动电路和其他电子设备，以及意法半导体的整体设计、欧司朗的激光器、Dispelix 的波导和 Mega One 的光引擎。意法半导体正在通过与广达电脑在 AR 智能眼镜参考设计方面的合作，进一步推动其发展。因此，感谢 LBS 和 LaSAR 联盟，我们离在不久的将来为数百万消费者将 AR 变成现实又近了一步。❑

# 手持式激光焊接及其使用中的安全注意

*手持激光焊接系统凭借焊接质量好、焊接方式灵活、使用简便等优势迅速走红市场；在其使用中也要特别注意安全防护，避免人身伤害。*

文/Rossie Pang

手持激光焊接机堪称是最近几年激光市场上涌现出的网红产品，特别是在过去的一年中，网络上经常会看到操作员手拿激光焊枪，演示焊接各种金属产品的视频。手持激光焊优良的焊接质量、灵活的焊接方式和简单易上手使用的优势，让它在众多需要传统氩弧焊的应用场景中快速走红，赢得了用户认可的和青睐。

曾经，人们认为只有那些高大上的加工需求才能用得起激光焊接。现在，随着技术的发展和成本的下降，激光焊接正在拓展到新的“下沉市场”——铝合金门窗、不锈钢管材、金属栅栏、卫浴件、定制家具、工艺品、机箱、水箱、机柜、橱柜、不锈钢护栏等产品的焊接，这类焊接往往不规则、并且不需要夹具就进行，而手持激光焊正是开拓这个新市场的一把利器。

手持激光焊的火热发展，吸引了众多光源厂商和设备厂商竞相涌入；很多能提供光纤激光器的厂商都在为手持焊设备提供光源，光纤激光器龙头企业 IPG 也进入了这个领域，不仅提供光源，而且还直接推出了手持激光焊接系统整机；包括大族激光、华工激光等行业巨头的激光设备厂商，仿佛一股脑儿蜂拥而至，一时间数百家企业都在提供手持激光焊系统，市场热度可见一斑。

来自相关机构的数据显示，自 2018 年以来，激光手持焊接市场每年的复合增长率超过 100%，预计 2021 年活跃在市场上的手持式激光焊接设备厂商约有 500 家，短短两三年内就呈现出爆发式增长。目前，传统焊机的年需求量约为 1000 万台，可见替代空间巨大，未来几年仍有可观的增长空间。

## 走红背后的驱动因素

一个市场的火爆发展，背后往往是在需求端和供给端之间恰好达到了某种程度的良好契合；或是一种新产品能以压倒性的优势替代旧产品。

### （1）焊工难招

对于手持激光焊而言，市场需求端正出现焊工缺乏的现象。首先，焊工属于特殊工种，需要经过考核取得焊工证之后才能上岗，这就大大限制了可用工的数量。其次，现在年轻人越来越不愿意进入工厂劳动，导致工人难招，而焊工就更难招，好焊工“可遇不可求”。再次，焊工是靠手艺吃饭的工种，对操作员的手艺要求比较高，如果焊工手艺不好，将直接导致产品报废，损失成本。

焊工供不应求和高级焊工的稀缺，直接导致焊工人力成本提高。因此，钣金加工企业都在寻求低成本、并且高水准的焊接方案。



### （2）光纤激光器竞争激烈谋求新市场

手持式激光焊接机中最基础、也是最核心的器件之一就是激光器，目前大多使用的都是光纤激光器。众所周知，近年来光纤激光器市场竞争激烈，特别是中低功率市场，随着国内厂商的崛起，光纤激光器价格大幅下降。现在，一台手持式焊接机的价格在几万到十几万的区间，很多钣金制造商都还是可以接受的。

另一方面，光纤激光器厂商们也努力在竞争激烈的大功率市场之外，为中低功率产品寻求新的舞台，而这些传统的手持焊应用领域，恰好涌现出了这样的新需求。

### （3）手持激光焊的优势

相比于传统的氩弧焊，手持激光焊具有很多优势。

首先，它使用简单，不用持证上岗，工人只需要简单培训即可上手。

第二，焊接方式多样，可拉焊，可点焊；能实现对接焊、搭接焊、叠焊、阴角焊、阳角焊、穿透焊等。

第三，焊接牢固，焊缝美观，无需后续打磨；无耗材（只有间隙大于 0.5mm 时，才需要使用焊丝）；比传

统焊接速度快 2-10 倍；能耗低。这些都能变相地降低使用成本。

第四，可以配备多种焊接嘴，能对工件进行任意部位、任意角度的焊接，一次成型，无变形。

第五，可焊接材料广，包括不锈钢板、铁板、镀锌板、铝板等（但是不能焊接紫铜；不能焊接太薄的材料，被焊接的板材厚度通常要求在 0.5mm 以上）。

虽然手持激光焊接系统的一次性购置成本相对稍高，但是考虑到这么多优点，从长远来看，很多客户还是愿意投资的。

因此，市场需求、光纤激光器价格的下降以及手持激光焊具备的诸多优势，共同促成了手持激光焊接市场的热闹景象。也许在不久的将来，手持激光焊接机也会像博世电钻那样，成为一种通用型工具，甚至还可能会走入寻常百姓家，帮助人们实现各种创意 DIY。

## 市场上的一些玩家及产品

相比于切割应用动不动就达万瓦级的功率，手持式激光焊接属于中低功率应用，功率范围通常为 300W~3kW。虽然这是一个新兴的市场，但是目前涉足该领域的企业，大大小小已经多达数百家，纷纷将产品推向市场。



图1：使用LightWELD 1500进行焊接作业。（图片来源：IPG Photonics）

光纤激光器领头羊 IPG 这次并没有单纯地做光源供应商，而是自己推出了 LightWELD 1500 手持式激光焊接系统，此举引起了业界的极大关注。LightWELD 1500 采用风冷而不是水冷，外观紧凑，体积仅 0.1m$^3$，重量约 50kg，可以直接放到小轿车后备箱携带，这无疑是一大亮点。LightWELD 1500 最高功率 1500W，对于不同的材料和厚度，可以通过旋钮直观地调节焊接设置；内置 74 个工厂预置和用户自定义的加工参数，新手简单培训后即可上手使用；标配摆动焊接，最大能实现 5mm 的焊缝宽度，保证焊接质量。

而 IPG 从去年 11 月份开启的全国手持焊接路演活动，在客户的见证下亲自焊接展示，并指导客户使用，再次吸粉无数。用户焊接的产品五花八门，有压塑机部件，有烧烤架，有新能源汽车零件等，客户在焊接牢固性、焊缝的光滑度、美观度等方面，都给出了实实在在的肯定。

另外，针对材料的焊前清洗需求，如去除材料上的油污、锈迹等，IPG 还推出了手持式焊接清洗一体机 LightWELD XC，它不仅能在焊前快速清洁材料，而且能在焊后清除碎屑和变色，焊缝更美观。清洗和焊接只需要简单地更换喷嘴即可实现。



图2：凯普林光电适用于手持焊的1500W掺镱光纤激光器。

凯普林光电的 1~2kW 掺镱光纤激光器，也受到了广大手持激光焊厂商的青睐。这款激光器拥有极佳的光束质量，激光光束可被聚焦到接近衍射极限，实现精密加工；有连续和调制脉冲两种工作模式可选择，能极大地降低加工热影响区；其性能可靠，采用模块化全光纤设计，所有的光电器件被封装在坚固机壳内，能忍受严苛的工业应用条件；具备稳定性高、抗高反等特性，并顺利通过多项严格、苛刻的破坏性测试；创造性地增加了机器智能部分，能自动感知并记录使用环境和自身的工作状态。




图3：热刺激光适用于手持焊的FCA1500风冷光纤激光器。

热刺激光自主研发和生产的 FCA 系列风冷连续光纤激光器，中心波长 1080nm，连续工作模式，其中 FCA1500 的输出功率在 300~1500W 间可调，能实现厚度为 0.5~4mm 的碳钢、不锈钢和铝的焊接。可以实现摆动焊接，摆动频率 200Hz，摆动幅度 1~2.5mm。可进行填丝焊接。采用 QBH 输出接口。这款激光器电光转换效率高，光束质量好，功率稳定性好，免维护，体积小，便于携带。

光惠（上海）激光科技有限公司推出的 1500W 便携式智能光纤激光手持焊机 A1500W，基于 976nm 泵浦技术，电光转化效率 ≥42%；输出波长 1070nm，输出功率为 1500W，焊接熔深可达 4mm；配备单摆式焊接头，焊宽可调；整机重量＜ 60kg，结构小




图4：光惠激光1500W便携式智能光纤激光手持焊机。

巧紧凑，便于携带型；采用独特的风冷设计，低电耗，节能环保；三重保护设计，内置气压检测装置。这款机器很好地解决了深熔焊、风冷、功耗和便携性问题。

相比于使用光纤激光器做光源的手持焊接机，使用半导体激光器做光源的产品，在效率、成本和体积方面都又更进一步。江苏星链激光科技有限公司首次推出了以半导体激光器作为光源的便携式手持焊接机，成为手持焊市场中的一颗新星。

用半导体激光器做光源，免去了



图5：星链激光300W便携式激光手持焊接机，适用于1mm以下薄板焊接。

光纤激光器中通过半导体激光泵浦有源光纤的光-光转换导致的功率损失，电光效率大幅提高，对供电要求也大幅降低，同时也能大大降低功耗。另外，因为直接用半导体激光器做光源，没有了有源光纤和相关器件，成本也较使用光纤激光器消减了近一半。而且，用半导体激光器做光源，体积小巧，整台设备的体积和台式电脑主机相当，轻巧便携。

星链激光自主研发的半导体激光焊接枪头，采用了全密封的机械结构，光学镜片等易损件的使用寿命成倍增加。同时，增加了保护窗口片洁净度的监测传感器和枪身 OLED 显示，提高了激光焊接的在线质量监控能力，增加了手持枪的智能化水平。其中 300W 产品适用于 1mm 以下的薄板焊



接；1000/1500W 产品适用于 3mm 以下碳钢及铝合金焊接。

## 手持激光焊的安全问题



在使用手持激光焊接机时，要特别要注意一点：那就是安全性。

手持激光焊接系统属于 4 类激光产品（大于 500mW），对皮肤、眼睛都可能造成不可逆的伤害，因此在使用时要特别注意防护，绝不能掉以轻心。

不同于传统的激光焊接设备，焊接过程在一个密闭防护空间进行；手持激光焊接过程中，人会暴露在有激光存在的环境中。在安全防护方面，国内很多企业和个人比较容易忽视，经常只是简单地佩戴上防护眼镜就开始操作。这是非常危险的做法。激光焊接过程中的激光辐射和烟雾微粒，都会对人体带来危害。

**（1）激光辐射的危害**

在使用手持激光焊系统时，必须要佩戴防护眼镜。无论是直视激光束还是反射的光束，都可能对操作者或者周围的人造成眼部伤害。在焊接过程中，光束并不是与工件垂直，通常是有一定的角度；以用波长 1μm 的激光焊接钢材为例，大约有 50% 的光被材料吸收，而另外 50% 的能量则被反射到周围；如果是高反性材料，反射的能量会更多。一些激光系统的标称眼危害距离（NOHD）在几米范围内，有的可达几十米！因此，有时往往我们认为的安全距离，实际上并不安全。

佩戴防护眼镜并不能确保任何地方都能得到完全保护，因为不但很多激光能在几秒钟内穿透防护镜，而且焊接过程中反射的光，不仅仅对眼睛有危害，它甚至能点着很多东西，比如头发、衣服、甚至是建筑物本身，进而引起火灾甚至爆炸，危及性命。

比如在铝的焊接中，会产生非常细微的铝微粒，一旦温度够高，它们与空气中存在的氧气相遇，很可能会燃烧起来。因此，无论是操作员还是观看者，如果只佩戴防护镜并不安全，应该戴上头盔，手套，穿上阻燃的防护服，避免让头发、皮肤暴露在激光环境中。

**（2）烟雾微粒的危害**

相比于激光辐射带来的伤害，人们更容易忽视焊接过程中产生的烟雾微粒所带来的伤害。事实上，它们是更加可怕的隐形杀手！

焊接结束后，工件表面及周围会存有非常微小的、致癌的、可燃烟雾微粒；虽然吸入这些烟雾不会导致立即死亡，但是它们对身体的伤害会潜伏 10-20 年之久。

例如，在焊接不锈钢的过程中，铬和镍会以微观粒子的形式被释放出来，如果手或其他皮肤接触到这些金属蒸汽，会引发接触性皮炎的风险；如果吸入这些金属蒸汽，虽然当时并没什么感觉，但是它们伤害会在今后 10-20 年内慢慢显现出来。

来自英国的一组数据显示：自有记录以来，英国还没有人因为被激光束击中而死亡；但是英国却有 150 人死于激光点燃的火灾，每年至少有 50 人死于因吸入激光加工产物而引起的癌症或呼吸道疾病。

因此，在激光加工区域应该配备专用的烟雾排除装置。简单地在工作场所安装排风扇并不能解决问题，应该使用专用的烟雾排除系统，从空气中吸走这些烟雾，直到空气中的烟雾含量达到一个对人体安全的水平。至于空气中的烟雾含量为多少是安全的，这方面的相关法规仍有待建立和完善。

**（3）将 4 类产品转变成 1 类产品**

如果在使用的过程中，最好能保持光束与加工表面垂直，这就意味着反射光也会沿与工件垂直的方向反射回来，这样就可以在整个加工位置上方放置一个防护装置，来收集反射及散热光。这个防护装置不但能捕获背向反射光，而且还包括了烟雾回收技术、接触传感器和背反射传感器。一旦有传感器探测到防护装置远离了加工表面，或者是激光束没有作用在目标上，系统就会在一微秒内关闭激光器。

这种防护装置非常有效，能将属于 4 类激光产品的手持焊接系统，转变为 1 类激光产品，这将意味着人们在使用手持激光焊系统时，不再需要佩戴防护镜、面罩，甚至也不需要任何烟雾回收技术。据悉，已经有公司在开发这样的防护装置，但是该公司不愿意透露关于防护装置的更多细节，只是表示这种防护装置不但有效，而且使用方便，价格经济。

相信随着人们日趋意识到手持式激光焊接系统所带来的潜在风险，这种防护装置将会作为手持焊接系统的标配出售。

就现阶段而言，手持激光焊使用中的安全防护，并不只是戴上防护镜那么简单，而是应该从手套、防护面罩、头盔、防护服、烟雾排除等方面全面入手，保证人身安全。❑

激光清洗

# 激光清洗开拓更广泛的应用领域

*激光清洗技术的应用正在日益拓展到更广泛的领域，比如焊接前和焊接后的清洗、涂层去除及去污等。*

文/Francesca Moglia, Antonio Raspa

激光清洗技术可以追溯到1970年代早期。在当时的威尼斯，J. F. Asmus 和 L. Lazzerini 在石制品上做了一系列实验，证明激光清洗可以用来保护艺术品。[1] 如今，激光技术已经被用来修复珍贵的艺术品。例如，挂在意大利米兰 Saladelle Asse-Castello Sforzesco 墙上的达芬奇的画作正在用激光修复。修复中使用的激光器是由 QuantaSystem 公司研发的波长为1064nm、脉宽为 10~120ns 范围可选的激光光源（见图 1）。



图1：达芬奇的画作《Tiny Landscape》经过三个不同阶段（右侧三个图）的激光清洗后，所呈现出的效果图。

除了用于艺术品修复，J. F. Asmus 也将激光清洗用于飞机油漆的剥离。随着激光清洗技术的发展，激光清洗已经吸引了多个行业的关注。激光清洗是一种经济环保的激光工艺，可以替代化学腐蚀、喷砂等工艺，用来去除模具和金属表面的铁锈、油漆、油脂、氧化物和其他污染物，并且不会破坏底层材料。市场报告预测，到 2026 年，全球激光清洗市场将近 7450 亿美元，复合年均增长率约为 4.3%。[2] 市场增长背后主要有三大驱动因素：一是小型化和工业 4.0 带来的自动化清洗需求，需要提供满足多个部件和加工流程的适应性清洗系统；二是汽车和航空航天领域的制造商在确保框架结构的完整性之前，需要用一种快速和简单的方法来处理和清洁复合材料部件；三是电子元件如连接器、绝缘器件、衬垫和半导体器件等产品的小型化，对清洁系统的需求越来越多。

## 激光清洗技术

激光清洗是基于激光烧蚀，通过激光辐照从固体表面去除材料的过程。每一种材料都由不同的分子键组成，这些分子键决定了激光的烧蚀阈值，即克服污染层的结合能并将其分解所需的能量。为了去除污染层，激光的能量必须高于材料的烧蚀阈值；一般来说，随着烧蚀阈值的增加，清除污染物所需的能量也会增加。为了实现有效的激光清洗，激光清洗对应的烧蚀阈值应该始终高于激光去除对应的烧蚀阈值。

根据污染物、底层材料、处理方式以及需要清洗的表面面积的不同，用于烧蚀的激光类型也会不同。功率为几十瓦或者更高的近红外脉冲激光器使用率最高，因为它比连续激光更容易达到烧蚀阈值。同时，激光脉冲短的另一个优点是不会对清洗的表面产生热效应。

激光烧蚀将材料蒸发形成废气，因此会伴随着环境和安全问题。例如，在去除金属氧化物表面时，氧化物粒子会从表面分离，产生高度压缩的等离子体（非平衡态的电离气体），然后膨胀并产生冲击波，将污染层冲碎，喷射到大气中。因此，需要在激光清洗系统附近安装抽气系统。

目前欧洲的许多公司正在开发激光清洗技术，并且越来越多的用户愿意投资此项技术，以期从激光清洗技术中获利。

激光清洗技术在电动车生产中有

诸多应用，包括电动车外壳及粘接密封区加工，以及电池单元、模块和电池外壳 / 框架的涂层去除等。这些应用成为激光清洗市场的重要驱动力。

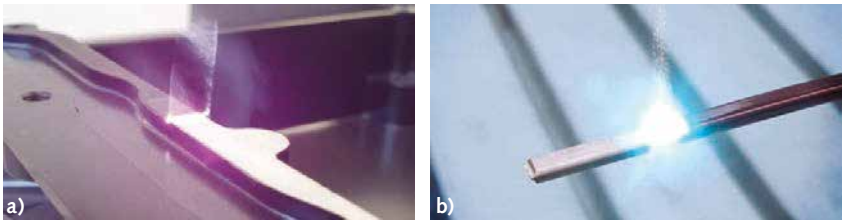



图3：（a）激光脱漆可以轻柔地去除电池托盘的阴极浸渍涂层；（b）除了电池外壳，铜线也可以无残留地脱漆，这是电机定子生产中最需要的。

清洁的表面是成功实现高质量焊接、粘接和贴合的基本要求。电动汽车中的组件通常通过阴极浸漆等工艺涂上油漆和功能层。激光清洗和脱漆可以精确去除粘合区的油漆或功能层。高峰值功率的激光脉冲，能去除组件表面超薄的涂层而不会对底层材料产生影响。为此，德国通快公司和 Systemtechnik 公司与 Thyssenkrupp 汽车车身解决方案公司共同设计了一款激光加工头（见图 2）。

这款激光加工头包含一个振镜（PFO 33-2）和一个专门开发的带有集成分离器的吸嘴。因此，在清洗 / 除漆过程中，被清除的颗粒和产生的烟雾可以直接被提取和分离。

为了实现工业级激光表面加工，特别是在电动车生产过程中使用激光表面加工工艺，CleanLASER 公司专门开发并生产了高精度激光加工系统。

激光清洗比较有挑战的一个案例是对铜或铝制的发卡型绕组进行涂层去除，这些发卡型绕组是电机的重要组成部分。它们是由铝或铜等基础材料制成，并涂有各种耐温塑料。面临的挑战在于如何在焊接之前，有效去除发卡型绕组的部分涂层，以形成非常好的表面质量。具体来说，需要从绕组四周去除涂层而不对电线产生影响。在不同的涂层厚度下，需要有很高的可重复性，并且要求去除周期短，成本低。激光清洗，不仅可以对铝或镀锌钢板制成的电池外壳进行点状脱漆，而且还可以无残留地去除漆包铜线上的油漆。这样一来，空白铜线就为电动机定子绕组的焊接做好了准备（见图 3）。

与在空气中的焊接相比，真空激光焊接具有更好的质量，即使是难以焊接的合金，焊缝中也没有气孔或裂缝。由于在真空中使用较低的激光功率就可以达到相同的焊接效果，因此，真空焊接效率更高。此外，真空激光焊接避免了飞溅、气相沉积和氧化，穿透深度从 10 μm 到大于 100mm 可调。

LaVa-X 是一家开发和生产真空激光焊接设备的公司，目前正在与 CleanLASER 公司合作焊接铝制发卡型绕组。无污染的清洁表面对高质量的铝焊接工艺至关重要。铝表面上的任何油脂、油或有机材料在激光作用下就会蒸发，在焊接过程中容易形成大量气孔和飞溅，甚至还会导致熔池喷出。



图2：；专为激光清洗而设计的激光加工头。

4JET 公司也是一家激光加工设备生产商，其产品用于激光清洁、制版、打标、切割和材料修饰等，以实现高质量的表面。该公司的激光清洗和表面处理技术，在轮胎制造及其他汽车产品中都有应用。一些面向工业级的激光清洗，需要灵活性更高或者便携式系统，为此 4JET 公司开发了灵活的 JETLASER 系列手持式激光清洁系统（见图 4）。这些手持式激光清洗系统只需按下电源键就可以工作，主要用于橡胶生产、注射成型、复合材料制造及食品工业中的模具清洗。

4JET 公司开发的便携式激光清洗系统，其手持式激光清洗头与电源车之间通过 15m 长的柔性光路传输，能够连续工作数小时。这种高度灵活的激光清洗设备能够清洗大型和复杂的模具，也可以直接在压机中进行清




图4：用4JET公司开发的便携式激光清洗系统除锈。

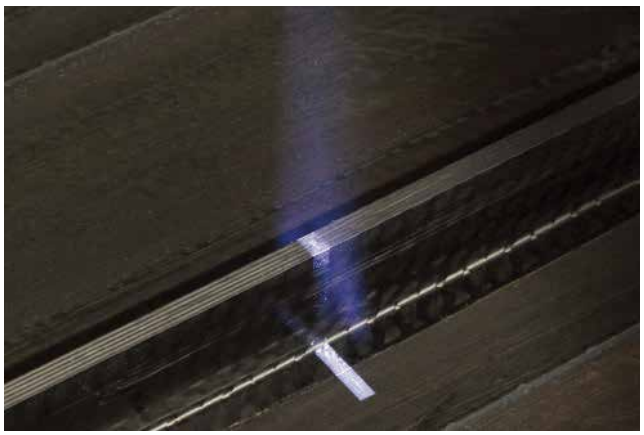


图5：用紫外准分子激光对纤维增强塑料（FRP）进行预处理。

洗。这款清洗系统的一个显著优势是，通过内部系统切换聚焦透镜，就能轻松调整激光能量密度。因此用户能够改变工作距离和激光能量，从而大大地扩展了应用范围。

激光束的波长、脉宽和功率可以根据去除的材料种类来定制。因此，短波长的紫外光可以成为激光清洗的最有效选择。紫外波段的激光系统在纤维增强塑料（FRP）的粘合或涂层预处理方面，显示出了巨大潜力。由于脉冲能量主要被树脂材料吸收，因此可以避免对纤维造成损伤。脉冲能量必须高于树脂的烧蚀阈值，以达到清除和轻微活化的效果。当然，在激光清洗过程中，应避免过度处理，因为如果纤维周围的树脂材料被完全清除，将导致纤维增强塑料在界面处的



**提高紫外准分子激光清洗系统灵活性和加工效率的方法**

| | 扫描系统 | 机器人加工系统 |
|---|---|---|
| 装置 | • 束整形以实现特定形状的能量分布<br>• 激光扫描头对不能移动的样品进行选区清洗 | • 激光或样品安装在机器人上<br>• 在激光出口处安装聚焦镜片，以优化脉冲能量密度 |
| 效果 | • 提高表面处理效率<br>• 使用紧凑的激光进行全尺寸处理时，只需样品一维移动（当前设置） | • 可以处理简单的三维几何图形<br>• 选择性激光处理（例如用于粘接） |

（信息来源：Fraunhofer IFAM）

机械稳定性下降。

相干公司开发了多种类型的紫外准分子激光系统，激光波长包括 193nm、248nm 和 308nm，平均功率 3W~3kW，单脉冲能量能达到 10~6000mJ。此外，相干公司还为客户提供与应用相适应的光束整形光学器件，将光束整形成平顶光束，使能量分布更均匀，提高激光清洗效率。由于紫外激光不能通过光纤传输，大尺度或简单的三维部件的激光清洗是一个复杂的问题。通常情况下，待处理零件需要移到光源的输出端，这就限制了应用范围。

德国弗劳恩霍夫制造技术研究所（IFAM）正在开发一些新的技术，使紫外准分子激光清洗更加灵活，同时用较低的功率（最高 30W）就能实现较高的加工效率。下表列出了两种主要方法，一是扫描系统，二是机器人加工系统。

对于机器人协助的激光清洗，可以采用低功率、重量轻的紧凑型激光器。激光器或待处理的部件都可以移动，因此处理不同几何形状的部件时具有高度灵活性。而对于扫描方案，30W 的激光器与光束整形光学系统（COMPexPro 205F/Coherent）相结合，加上一维振镜光学系统（由 Arges-Novanta 公司定制）和一个自行开发的光通量校正系统，可以实现线性激光清洗，处理速度可达到每小时平方米量级（见图 5）。例如，用该系统对环氧树脂基纤维增强塑料进行激光清洗，清洗速率高达 11m2/h。除了以更高的速率处理表面外，这款系统还可以用来对需要粘接的表面进行局部清洗。

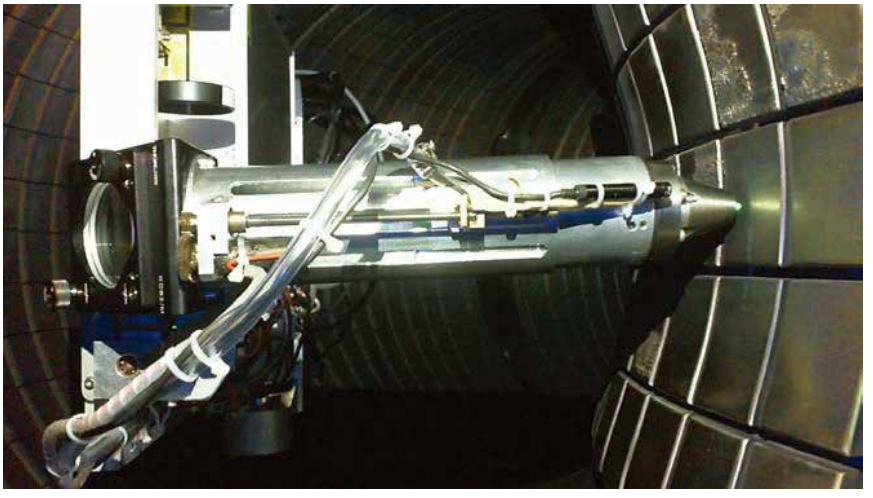


图6：对托卡马克装置（FTU）真空容器进行激光清洗的过程中，利用在线LIBS技术测量污染物氚的含量。[3]

位于弗拉斯卡蒂研究中心的托卡马克装置（FTU）用于聚变研究，意大利 ENEA 研究所的研究人员，利用激光清洗装置选择性去除托卡马克装置真空容器内壁的氚污染，并用激光诱导击穿光谱（LIBS）技术对氚的含量进行测量（见图 6），以实现对氚的精确去除。激光清洗与在线 LIBS 测量相结合，是去除氚污染的有效方法。

未来几年里，激光清洗由于其经济环保等优势，在制造业中的应用将不断增加。一些中小型企业（SME）虽然认识到了激光清洗技术的优势，但由于缺乏测试能力而无法在企业使用这些技术。为此，欧盟资助了一项支持激光清洗和一般激光工艺发展的计划——PULSATE，该计划旨在将欧洲众多的数字创新中心与激光制造技术和最先进的设备联系起来，为所有希望适应数字制造和工业 4.0 的中小型企业提供技术支撑平台。激光清洗将会是得到进一步应用和发展的技术之一。

目前，激光清洗仍然面临一些挑战，例如提高激光清洗的效率，在涂层厚度变化的情况下保持高重复性，以及将激光清洗与表面图案化处理相结合。通过扫描和机器人技术可以克服这些挑战。此外，激光清洗设备制造商也急需一些新兴技术，如支持 1m/s 的进给速度的快速在线加工过程监测系统和适合高速应用的光束整形技术。❑

参考文献

1. J. F. Asmus et al., First International Conference on the Deterioration of Building Stones, 72, 1, 63–68 (1972).
2. See https://bit.ly/3qfKaVR.
3. S. Almaviva et al., Fusion Eng. Des., 169, 112638 (2021); doi.org/10.1016/j.fusengdes.2020.111685

塑料焊接

# 实现成功的激光塑料焊接，需要考虑哪些因素？

*在激光塑料焊接过程中，需要考量很多因素，包括塑料零件的热学、化学、光学和几何属性，以及焊接过程中的装配和固定、热量控制等。*

文/Jonathan Magee，ACSYS Lasertechnik UK Ltd

工业激光器被广泛应用于工程塑料的各种加工，服务着众多行业市场。一些常见的塑料加工应用包括激光打标、激光切割和激光焊接（见图 1）。激光塑料焊接主要应用在汽车和医疗器械领域。

## 为什么用激光塑料焊接？

相比于传统的接触式焊接，激光塑料焊接优势明显。首先，激光焊接是无接触式焊接；其次，焊点位置通常位于两个重叠件的界面处，焊接区域被隐藏，看起来比较美观，并且不污染焊接零件的表面。因此，从外观来看，无法判断两个相接触的零件已经从上到下焊接在一起。

传统的塑料焊接技术，如超声波或热冲压，两块塑料焊接在一起都不可避免地影响外表面。非接触激光塑料焊接，利用激光在聚合物链中部分透射、反射、散射以及吸收实现焊接。通过选择合适的激光参数，可以在塑料的选定位置产生足够的热量，以实现熔化和粘接。

激光焊接工艺应该在产品开发的早期就建立起来。有些不是为激光焊接专门研发的塑料产品，有时也能用激光实现焊接；但如果在塑料产品研发的早期阶段，就将激光焊接工艺考虑进来，将会大大减少激光焊接中可能出现的一些问题。



图1：激光塑料焊接。

## 设计考量

塑料产品具有优异的机械、几何、热力学和光学等特性（见图 2），因此塑料产品的激光可焊接性由以下因素决定：

- 所选择的材料是否适配？适配性是指被焊接的两种塑料，在熔化温度、化学性能、机械特性以及几何和光学属性方面所表现出的特性，是否适合焊接在一起。
- 激光束能否有效地通过上层塑料传输到交界面，以及底层塑料能否在焊接区吸收激光能量产生热量？
- 在焊接过程中，零件是否能够有效地贴合在一起，施加的力是否能够控制？零件的几何形状是否能让零件很好地贴合而不会产生间隙？
- 在几何形状固定的情况下，激光能量能否有效地传递到塑料零件并产生热量？

## 热力学和化学性质相适配

塑料的熔点比金属低很多。工程塑料的熔点约为 250 ℃。有些塑料的熔点要高一些，例如聚醚醚酮（PEEK），熔点在 350~400℃之间。当两种塑料的熔点温度相匹配的时候，有助于熔池的混合，提高再凝固时的机械强度。熔化温度相匹配的两种塑料，特别适合用激光焊接。

此外，塑料的化学成分也是一个重要的影响因素。例如，尽管高密度聚乙烯（HDPE）与低密度聚丙烯（PP）属于同族材料，但是这两种塑料却无法焊接到一起。而低密度聚乙烯（LDPE）与聚丙烯就能实现焊接。因此激光塑料焊接必须要考虑被焊材料的组合。

## 光学性质匹配

在材料加工中，所用的激光是单色或者带宽很窄的相干可聚焦光束，波长在 800nm~2μm 范围内的近红外和红外激光，在塑料焊接中应用最为广泛。这些波长比人眼可见的 532nm

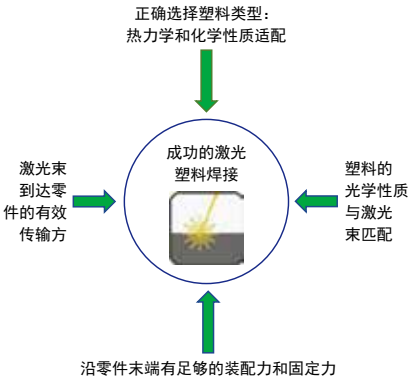



图2：激光塑料焊接的设计考量。

的绿光及 635nm 的红光要长。激光波长为 800~2000nm 时，被焊接的塑料必须在这个范围内有一定程度的透射和吸收。

塑料一般是半晶态结构，有晶相和非晶相。激光照射塑料时，除了引起透射和吸收外，非晶态和晶态之间的折射率差异，还会对激光产生散射和反射。半晶态结构对焊接的影响，主要取决于对激光产生的散射和反射的强度。因此，通过有效的光学设计，可以让激光透过上层塑料，在下层塑料上产生吸收（见图 3）。有时，需要在塑料中掺入添加剂，提高对激光的吸收能力。在塑料产品的设计阶段就应该考虑掺入添加剂是否合适——例如在用于医疗器械的塑料中掺入添加剂能否通过 FDA 测试?

一些塑料中含有玻璃纤维（如聚酰胺 PA-66，通常称为尼龙）。玻璃纤维的含量，会影响激光的透过率，玻璃纤维浓度较高的地方，激光透射率较低。

关于塑料焊接的一个常见问题是：哪些颜色的塑料可以焊接在一起？这个问题没有统一答案，事实上许多颜色组合的塑料都能焊接在一起。

此外，通过对塑料成分的精心设计，也可以实现同种颜色塑料，如透明塑料、白色塑料、黑色塑料之间的激光焊接。可见光一般不能透过彩色塑料，而单色波长的激光却有可能透过。

## 零件装配和固定

塑料零件应该确保被塑型成某种几何形状，通过装配部件的良好配合，使其适合激光塑料焊接，并确保接头处可以充分贴合。由于激光不易在空气间隙中传递热量，因此，激光焊接时，零件的焊接部位应保持充分接触。搭接焊就是一个很好的例子。在某些情况下，对接焊也能实现很好的焊接质量，这在很大程度上取决于激光束如何作用于焊缝，以及塑料成型机产生的零件公差。将盖子焊接到容器上就是一个很好的零件配合的案例。

在焊接过程中实施向下的力，对焊接复杂的零件来说是必不可少的，特别是对于那些难以在其边界自然地实现良好装配的大型零件。夹紧力可以通过伺服驱动产生，也可以通过气动夹紧产生。塑料焊接时有一个坍塌力，它决定了塑料在受热熔化变形之前能承受多大的力，以及熔化时将零件推到一起需要多大的力。通常，激光塑料焊接过程中，通过集成力 - 位移传感器来监测和控制在焊接过程中施加在零件上的力。

## 有效控制热量

在激光焊接中，将激光传输到工件的方法有多种。在此简单介绍几种方法。第一种，保持激光焊接头固定，XYZR 工作台相对激光头运动。由于运动平台在开始和停止点以及改变方向时需要加速，因此在焊接时可能不会导致大型部件的均匀加热。然而，这种焊接方法很灵活，因为激光路径可以通过 CAD 数据生成。

第二种方法是使用高速振镜使激光束以 10m/s 的速度快速移动。高功率激光束以非常高的速度移动，可以使整个焊缝从一端到另一端几乎瞬间加热，加热比较同步且均匀。

第三种方法是用激光透过掩膜照射零件。这种方法需要掩膜孔径与焊缝形状一致。每当焊缝形状变化的时候掩膜就得重新制作，因此这种方法灵活性不大。

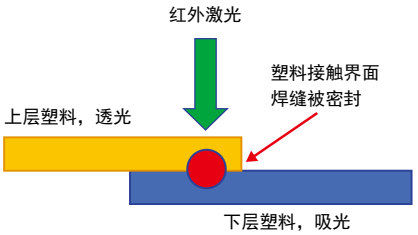



图3：塑料焊接中理想化的激光传输和吸收模型。

第四种方法使用率不太高，是用专门的激光透镜，产生一个线状焦点，在规定方向上实现缝合焊缝。在焊接过程中可能需要控制激光功率，通过高温计测量焊接过程中的工件温度，并将此信息反馈给激光控制器的功率控制回路。

## 总结

本文介绍了激光塑料焊接过程中的一些基本考量因素。最重要的是，塑料产品本身的设计必须要适合激光焊接——这就要求在产品设计的早期阶段，研发团队就应该与客户合作，充分了解激光焊接的要点。生产复杂塑料产品的模具制造成本很高，模具设计者必须事先了解面向激光焊接存在的模具设计与制造问题。解决了模具问题，就可以确保从模具上下来的塑料零件的几何形状可以直接进行激光焊接。

激光塑料焊接在工业中的应用越来越深入，从汽车灯组件到喷墨打印机墨盒等各种大批量产品的制造，都用到了激光塑料焊接。❑

增材制造

# 为工业级金属增材制造奠定基础

*在石油和天然气生产的极其恶劣与苛刻的环境中，金属增材制造件正在接受现场测试。*

文/ Lynn Manning

石油和天然气运营商越来越愿意考虑使用金属增材制造(也称3D打印)的零部件，以应对现阶段存在的产品库存交货延迟、部件过时和地区偏远等问题。随着这个行业的原始设备制造商(OEM)与其客户——运营商之间的深入合作，他们也希望通过增材制造，实现更高效、更经济的生产方式，克服产品库存以及地理障碍方面的问题。

然而，在石油和天然气行业大范围采用增材制造的零部件，目前仍然存在一些阻碍。

大多数现有的金属增材制造技术，仍然无法高效、快速地适应不断变化的几何形状和特征。当零件的形状和特征变化时，需要对其进行重新设计使其适合打印，而不是按照零件的最初设计来打印。打印过程中的数据对最终打印质量的评估至关重要，然而现有打印技术通常无法提供打印过程中的数据。

更重要的是，在没有用户干预的情况下，在一台增材制造设备上设置的打印文件不能在另一台设备上使用，即使这两台设备的品牌和型号都相同；因此，每个独立增材制造设备上的打印校准文件也不一样，这就造成了数字库存的挑战，类似于目前石油和天然气运营商面临的物理库存问题。

一直以来，美国石油协会（API）都没有发布关于增材制造材料的采购或规范指南。英国IMI Critical Engineering公司的研发总监Steve Freitas说，“由于没有规范的指南，这对于有兴趣将先进的增材制造技术应用到实际生产领域的用户来说是一个挑战。”该公司为新工厂的建设设计、制造和安装提供定制化、工程化的流程控制解决方案，并提供全面的工厂生命周期服务支持。

直到2021年10月19日，美国石油协会才发布了API20S行业规范，这是有史以来第一个石油和天然气行业出台的金属增材制造规范。该规范对用于石油和天然气设施的金属增材制造件的制造流程、测试、打印文件和可追溯性等要求进行了说明。

API20S草案获得了数百家公司的参与，包括运营商、原始设备制造商及增材制造设备制造商。虽然API20S没有详细列出完整的标准（即所需的机械或无损检测验收标准），但规范中明确了根据石油和天然气作业中的不同风险等级，需要进行哪些类型的测试和验证。

IMI Critical公司对API20S规范的发布表示非常欢迎。几年前，该公司就开始研究用不同的增材制造设备打印阀门。Freitas说，“直到最近，我们才发现先进的增材制造技术果然不负众望。”

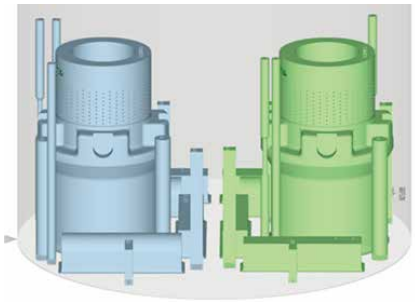


图1：使用IMI Critical公司的DRAG技术优化的两个节流阀示意图。（该示意图是Velo3D Flow软件中的打印文件图）

美国Velo3D公司是一家增材制造设备制造商，为IMI Critical公司提供先进的增材制造技术。IMI Critical与一家石油和天然气运营商（也是API委员会成员）合作，现已交付了首个用于现场服务、具有最高临界值的打印件（增材制造规范3级）。这些打印件是在合约制造商美国Knust-Godwin公司生产的Velo3D Sapphire系列增材制造设备上打印的，同时也符合API20S的要求。

Velo3D以其全栈式增材制造解决方案而闻名，该解决方案包括自动预打印系统校准和端到端打印质量监测和报告，这些功能提供的数据正是API20S规范的数据基础。该联合项目的长期目标是建立一个现场测量数据的汇编，以支持增材制造打印件的认证，以及未来建立更精确的材料性能和测试方法规范。

对于这个合作项目，石油和天然气运营商选择了一种常用的节流阀。该种节流阀在制造时有简单的槽孔，在高低压转换操作中会产生振动和因

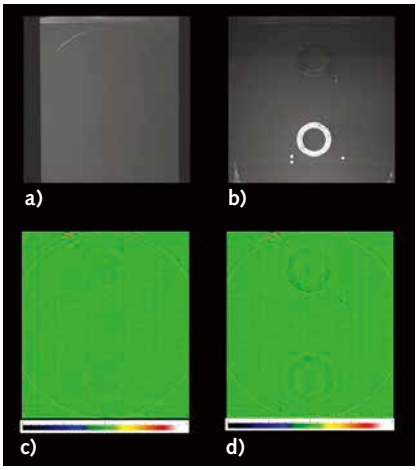



图2：在Velo3D Sapphire金属增材制造设备中实际的逐层打印图。(a) 重新铺粉后的粉末床；(b)激光融化后的粉末床；(c) 重新铺粉后的粉末床单层铺粉层厚图；（d）激光融化后的粉末床单层铺粉层厚图。（单层铺粉层厚测绘软件提供观察零件性能的窗口，并为下一次重新铺粉提供安全的环境）

边沿腐蚀而导致损坏问题。

从节流阀这个传统器件的诞生到今天，流量控制行业已经发生了很大的变化。IMI Critical 公司发明了一项 DRAG 技术，该技术由一系列离散的多级流道组成，可以更好地控制流体速度，并且防止振动和边沿侵蚀等问题。多年来，IMI Critical 公司一直生产金属增材制造件，不仅可以按需替换部件，还可以通过 DRAG 技术改善其性能。

下一步是评估使用 In718（镍基高温合金）进行 3D 打印的设计（见图 1），Freitas 说，“Velo3D 对我们的节流阀设计进行了早期评估，并提出了有价值的建议，包括如何提高打印零件的质量和经过精加工后的零件的质量。”

## 准备打印

零件的 CAD 设计完成后，下一步就是增材制造。与其他金属增材制造设备不同，Velo3D 的打印软件 Flow 可以自动响应零件的几何形状，对任何复杂的零件都无需输入特定参数。Flow 软件根据 CAD 设计的原始几何图形和用户输入的一些与表面相关的重要参数，就能识别零件的形状。这种功能使得工程师只需要注重最终打印件的性能，而无需进行其他的预打印参数操作。

设计人员还可以利用该软件测试不同的表面精细处理工艺，以选择最佳工艺。这不仅使项目快速完成首产品交付，而且还建立了一个标准化的框架，简化打印操作，以满足 IMI Critical 公司提出的表面光洁度要求。

Velo3D 公司能量解决方案总监 Zach Walton 与 IMI Critical 公司在该项目上密切合作，他说，“Flow 软件大大减少了从 CAD 设计到建立打印文件的时间，这让工程师们更容易和有效地完成金属增材制造。与此同时，我们的软件系统能够让相同的打印文件在任何一款 Velo Sapphire 增材制造设备上运行。这对石油和天然气运营商的数字库存和直接更换零件的愿景非常有吸引力。”







图3：3D打印完成后（a）基板上的两个打印的后节流阀和（b）精加工后的成品。

## 打印过程的质量控制

Velo3D 的内部质量控制软件 Assure 提供的自动化服务非常有益。Walton 说，“在打印之前进行一键校准，Assure 将数据与打印过程中收集的大量信息一起进行逐层汇编，然后自动生成包含重要信息的打印报告。”

“原始数据和高度图图像（见图2）对评估打印件的质量非常重要。与 Flow 预打印软件相结合，相同的打印文件能在任何一款 Velo Sapphire 增材制造设备上运行。无论谁在操作打印设备，无论设备放在什么地方，都能获得相同的打印质量。先进的增材制造技术使数字化仓库和按需零件替换成为可能。

“现在，我们可以帮助客户减少库存需求，同时优化重要打印件的功能特性，”Freitas 说，“这使得石油和天然气运营商可以将注意力从维修和零部件供应链问题，转移到提高设备可靠性和控制成本上。”

两个首款交付的节流阀打印件已在 Knust-Godwin 工厂成功打印（见图 3a）。打印结束后，将阀门和 API20S 测试样本一起从基板上取下。

然后将打印件精加工后形成最终产品（见图 3b），同时按照 API20S 的要求对样品进行测试。这些打印件阀门先在 IMI Critical 公司进行流量测试，然后再交付给石油和天然气运营商用于现场试验。随着初步测试的成功，这些打印件正在运往石油和天然气生产的现场进行试用。利用首款产品的打印程序，正在进行批量化的产品打印。此外，还将进行更多的现场测试，以收集更多的操作数据。最终的实验结果是，所有将要投产的打印件都符合当前 API20S 标准，并将在运营站点进行现场试验。❑




**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。

技术回顾

# 2021 年光学和光子学领域 20 大技术进展

*2021年，光学和光子学的进展包含了激光光学、集成光子学、量子光学系统等众多领域，本文列选了其中20项重要进展。*

文/ John Wallace，高级技术编辑

许多（如果不是大多数）当前的高科技进展都要归功于复杂的软件；我们从过去一年的光学和光子学进展中选出的 20 项技术进展也不例外。这在人工智能（AI）等领域是显而易见的，但也几乎普遍适用于其他领域。例如，超光学（meta-optics）的发展只能通过使用复杂的设计和建模软件来实现；对于新型空芯光纤、量子光学系统和相干光束组合的发展而言，也是如此。当然，如果没有引导软件，3D 激光打印根本无法工作。

因此，尽管在我们今年选择的一些光子学应用中，计算机软件提供的基础作用并不显眼，但是我们想对那些为不断进步的光学和光子学领域提供设计能力和其他形式指导的算法、脚本、程序、甚至可能是 Excel 电子表格大声叫好。以下我们选列出了 2021 年光学和光子学领域的 20 项技术进展，它们都是独立的重要成就，下文中的编号并不代表排名。

## 激光器方面的进展

**1** **垂直腔表面发射激光器（VCSEL）阵列可以相干地组合起来，作为一个单独的激光器。**以色列理工学院的研究人员将 VCSEL 放置在一个所谓的拓扑绝缘体平台上，以便在发射器之间提供足够的激光面内耦合，形成相互相干的垂直发射光束——这是迈向新型高功率激光器的重要一步。

**2** **东北大学的研究人员正在利用双光子聚合（当光聚合物暴露在聚合波长两倍的飞秒激光脉冲下时，会发生双光子聚合），来创造自组装的三维微笼，以机械地捕获单个生物细胞。**而由上海交通大学何浩领导的一个国际团队，正在用飞秒激光激活野生型细胞（这意味着细胞不必经过基因改造）中的 $Ca^{2+}$ 通道，该激光以两倍于标称吸收波长激发荧光标签。这两种技术将允许进行各种生物科学研究，包括对阿尔茨海默病的研究。

**3** **基于镱的深紫外连续波（CW）激光器实现了小巧紧凑的外观（22mm×24mm×71mm）和坚固性，看起来与二极管激光器颇为相似（见图 1）。**这些激光器将有助于开辟紫外拉曼光谱、荧光显微镜、光学测试和消毒等新的应用领域。

**4** **人们早就知道，激光可以通过反斯托克斯荧光来冷却一些固态物质，反斯托克斯荧光会将能量从材料中带走。**现在，一个国际研究小组利用这种方法，创造了一种自冷却的硅光纤激光器，其在熔融石英中掺入了镱、氧化铝和氟。研究人员看到了在低功率应用中制造极其稳定的激光器的机会，如极其精确的计量学。

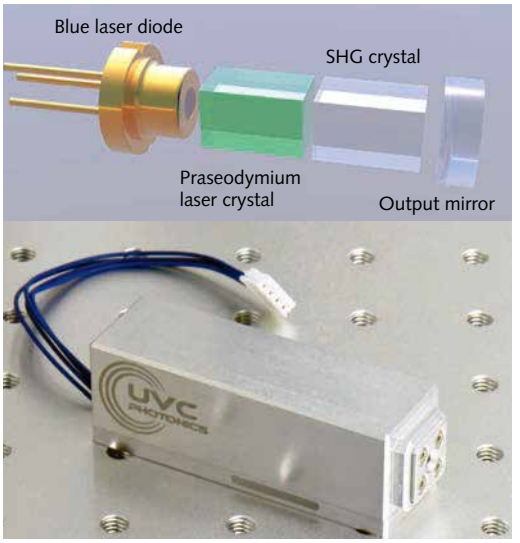


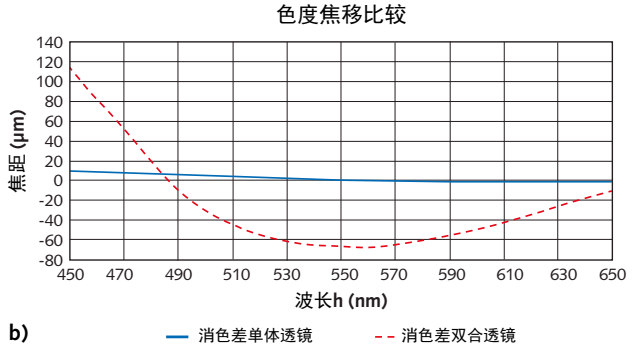

图 1：紧凑的深紫外激光器中包括一个蓝光泵浦二极管激光器、一块镱激光晶体作为第二谐波生成晶体和一个输出镜。该激光器的长度仅为71mm。（图片来源：UVC Photonics）

## 光学和光学元件制造

**5** **可见光区域的消色差透镜通常是由两个或更多透镜粘合在一起的。**Edmund Optics 已经开发并正在销售消色差单体透镜，它不仅减少了将两片透镜粘在一起带来的公差问题，而且在整个可见光区域的色度焦移，也远低于传统的消色差双合透镜（见图 2）。这种设计是非球面的。




图2：Edmund Optics公司的这种消色差单体透镜是由一种低双折射的聚合物Zeonex E48R（a）经钻石加工而成的。一个100mm焦距、0.097数值孔径(NA)的单体消色差透镜的焦距偏移，比传统的消色差双合镜少20倍(b)。



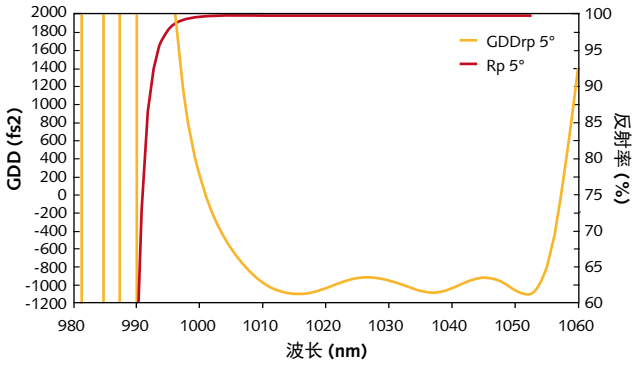




图3：超快激光镜的设计具有负群延迟色散（补偿其他激光光学器件的正色散）和极高的反射率（几乎能消除热透镜效应）。

**6** **美国 microGlass LLC 公司的 John Wasserbauer 和德国 LightFab 公司的 Jens Gottmann 描述了选择性激光诱导蚀刻（SLE，一种减材玻璃加工方法，利用飞秒激光脉冲聚焦在一块玻璃内部，改变玻璃属性，然后去除被改变的玻璃）与激光焊接（用于连接需要）的结合。**产品可以被分割成单个器件。传感器、MEMS、光电子学和电子学可以在这个大批量生产过程中被结合起来，以创造未来的器件。

**7** **使用晶圆步进器，可以在 300mm 的晶圆上制造自由形状的微型光学器件。**该晶圆步进器结合了紫外 LED 光源和 " 数字网纹 "，实际上是一个像素化的微型显示器，可以改变每个像素的偏振（从而改变最终强度）。由德国弗劳恩霍夫应用光学和精密研究所（Fraunhofer IOF）创建的 HighFive C 高动态灰度光刻系统，以 100nm 的可重复性定位玻璃晶圆。各种折射和衍射光学结构、定制的微透镜和棱镜排列以及确定性扩散器（具有精确控制的特性），都可以在这个系统上制造。

**8** **超快激光器中需要具有负群延迟色散（GDD）的光学镜，以补偿其他激光光学器件的正群延迟色散，从而实现良好的脉冲压缩。**然而，这些光学镜中的热透镜效应会为激光器带来问题。德国 UltraFast Innovations 公司在电介质涂层设计方面的进展，使得高色散超快反射镜的开发成为可能，它能保持高反射率和所需的脉冲压缩，同时还能表现出可忽略的热效应（见图 3）。这种光学镜在高功率固态超快激光器中非常有用，如 Er:YAG、钬和铥激光器。

**9** **超表面光学器件的能力正在迅速增长。**在哈佛大学约翰 - 保尔森工程与应用科学学院（SEAS）的研究人员开发的一个例子中，一种叫做超级细胞超表面的元光学器件，可以作为波长可调激光器的可调谐腔镜；或者在另一种实现中，可以从一束激光中同时产生高斯光、螺旋光和贝塞尔光。SEAS 小组首席研究员 Federico Capasso 表示，这预示着新一代超表面的来临，它将 " 设计光源的发射并控制多种功能 ..... 很多事情都可以在一个超表面中同时进行。

## 集成光子学扩大其范围

**10** **通常情况下，硅在可见光区域具有非常高的光学损耗，因此人们不会考虑用硅作可见光波导光学器件。**但是，IBM 欧洲苏黎世研究中心的研究人员已经创造了硅光子波导，它是空心的，但是用光栅围起来，以便有效地引导可见光。它将固体硅在 550~650nm 区域的 13,000dB/cm 的损耗降低到了 6dB/cm，这是一项相当大的进步。该小组有兴趣将他们之前展示的全光晶体管集成到能够进行简单逻辑操作的集成电路中。

**11** **在非线性集成光子学中，精心选择的波导材料的光学非线性，能够实现有趣的非线性光学过程，如从激光输入产生连续体。**美国国家标准与技术研究所（NIST）的研究人员正在探索一种新材料——五氧化二钽的用途，他们表示这是一种很有前途的 CMOS 兼容的非线性光学材料，具有良好的机械性能和线性光学特性。在 320nm~8μm 的波长范围内，它的折射率超过 2，可以进行严格限制；钽环形共振器原型的品质因数（Q）为 $1 \times 10^6$。

12 量子通信（QC）是关于单光子的；因此用于量子网络的光子集成电路（PIC）需要谨慎的低损耗设计。弗劳恩霍夫海因里希 - 赫兹研究所（Fraunhofer HHI）是德国量子计划 QuNET 的成员；Fraunhofer HHI 建立了一个完整的量子通信系统，用于开发和测试所有的 QC 组件。该系统是在 Fraunhofer HHI 用现成的组件（为了坚固和简单）建造的，作为软件、协议和新组件的测试平台。在其他项目中，如欧盟资助的 UNIQORN，已经创建了 QC 模块，包括一个光子对源（见图 4），一个纠缠光子源，以及量子可配置的光分插复用器。

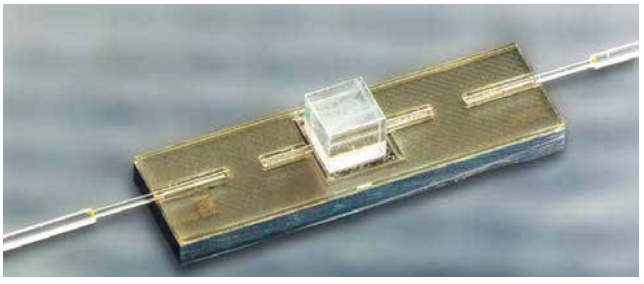


图4：包含集成非线性光学晶体的光子对源，为量子通信系统产生纠缠光子。（图片来源：UNIQORN）

13 光子集成电路已经渗透到数据中心，并被广泛用于电子数据到光学数据的转换，再返回到光纤传输。这种重要的应用刺激了集成光子学的新发展，其中一个例子是由微软和加州大学圣巴巴拉分校的一个团队创造的基于波长选择的硅光子学光开关。该装置用于可扩展数据中心中电子分组交换机的互连。与旧式的 8×4 交换机相比，新的 4×4 交换机的光损耗减少了 70%；并且通过交换机的不同路径，以 111Gbit/s 的脉冲振幅调制 4 级（PAM4）信号进行无差错传输。

## 软件解决了光子学问题

14 如前所述，对于大多数技术设计和研究任务来说，软件不是一个可有可无的工具——现在，它几乎是每个研发人员用来将概念变为现实的工具。光学模拟是一个最好的例子，尽管光学设备需要在很大范围内进行模拟。COMSOL 公司的 Christopher Boucher 是该公司 COMSOL Multiphysics 软件套件中光学部分的主要开发者，他解释了如何在同一模拟中处理这些巨大的不同尺度，例如，在波长尺度上对散射中心进行建模，看看发射光将如何与周围环境中尺度为数万个波长量级的其他物体相互作用，以便充分了解正在发生的事件。

15 深度学习和其他形式的人工智能（AI）在成像领域的地位越来越高，特别是在增强成像能力方面。一个例子是解决传统显微镜自动对焦技术的不足之处，这些技术需要额外的传感器或通过焦距体积进行轴向扫描，导致生物标本可能出现光漂白。加州大学洛杉矶分校（UCLA）的研究人员创造了一种新的图像自动对焦技术，他们通过一种基于深度学习的自动对焦方法，以数字方式将给定的显微镜图像对焦，这种方法经过训练，可以快速地对在焦平面外获得的任意标本的显微镜图像进行自动对焦（见图 5）。Deep-R 网络将显微镜的自动对焦速度提高了 15 倍。




图5：一种基于深度学习的显微镜自动对焦方法，将自动对焦的速度提高了15倍，同时也简化了硬件，并减少了光漂白。（图片来源：加州大学洛杉矶分校）

## 研发方面的成就

16 已知的最高传输率的实芯光纤是由熔融石英制成的，其制造过程经过几十年的改进，在 1300nm 和 1550nm 波长处的损耗逐渐降低。由于石英在此波长处的固有低损耗，这种性能不会很快被其他类型的光纤所取代。然而，在 600~1200nm 之间的可见光和近红外区域，石英的瑞利损耗更大。英国南安普顿大学的光学研究中心及其商业子公司 Lumenisity，已经研制出了一种新型空芯光纤，其损耗比最好的实芯石英光纤还要低。这种光纤的用途包括激光束传输、量子计算和数据网络。

17 除了市场上三种主要的光学镜移动方法（万向节安装、基于弯曲的快速转向镜和电流计），Light Steering Technologies 公司在商业上推出了第四种方法，它称之为多轴扫描器（Multi-Axis Scanner）。该设备使用横向无约束的磁性接头将有效载荷（最常见的是平面镜）连接到三个线性致动器上；每个接头由连接到镜子上的永久磁铁和连接到致动器上的具有球形端部的金属尖端组成。磁铁将镜子固定在适当位置，但是充分考虑到了镜子的热膨胀和快速更换受损件的需求。

18 加州大学圣地亚哥分校的一个团队，创造了一种将传统显微镜变成超分辨率版本的新方法。在这项技术中，显微镜载玻片上涂有光收缩的双曲线超材料，

下转第37页

## 500W单模MOPA光纤激光器YFPN–500–CUT



光至科技作推出的YFPN-500-CUT单模激光器，实现了500W的平均功率，最大单脉冲能量2mJ，频率范围1~4000kHz，脉冲宽度10~500ns可调，光束质量$M^2$<1.8，输出功率不稳定度≤3。可实现120m/min产能的极耳飞行切割、高速打孔、高速清洗等制程，具备了批量导入产线的条件。

拥有多种峰值功率产品可选、大的单脉冲能量及高光束质量、在线功率频率快速切换（<10μs）等众多优势，能满足锂电行业的各类需求。

光至科技，www.gzlasertech.com

## TruFiber P系列光纤激光器

通快推出的全新光纤激光器TruFiber P系列，功率范围覆盖500~6000W，加工过程高度稳定可靠，并有单模和多模选项。



TruFiber P激光器展示了卓越的时间和空间光束稳定性，提供长达数年的产品稳定规范。通快的GT Wave专利技术使得光纤的泵浦能量均匀稳定地进入激光器，为激光器长时间的稳定运行奠定基础。此外通过精心设计的防背反系统，即使在加工高反材料时也无需担心。

TruFiber P还提供整套先进的加工解决方案，包括TruFiber P系列激光器、光缆、激光焊接头、智能传感器模块、应用和技术支持等。TruFiber P的应用场景包括动力电池加工、医疗器件加工、新能源电机焊接、汽车生产、3D打印、激光熔覆等。

通快，www.trumpf.cn

## LB3015系列三维五轴激光切割机

领创激光与意大利普玛宝共同研发的领宝LB3015系列三维五轴激光切割机，采用整体式焊接钢龙门结构，保证了极佳的刚性。X轴和Y轴应用直线电机和直线驱动，无减速箱、传动带、齿条和滚珠丝杠，可减少磨损和维护。Z轴采用铸铝材质，用无刷电机驱动，硬度高而且轻，光路穿梭于中空且密封的Z轴中。



此外，该系列激光切割机的激光加工头同时也是测量头，精度高，一般在0.1mm范围内，可提供标准的测量基准块，自动程序重定位，自动测量加工头各轴的几何位置，自动测量激光束的对中位置。

该激光切割机可应用于大型零件加工、汽车、航空航天、机车车辆、工程机械、农机、涡轮组建、白色家电等行业的小批量、原型件的加工以金属热成形件的批量加工。

领创激光，www.whleadlaser.com

---

上接第36页

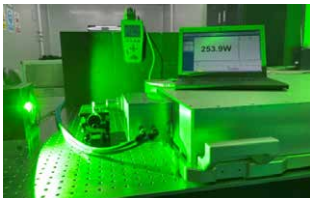
其由纳米级的银和硅玻璃交替层组成。当光线穿过超材料时会发生散射，产生一系列随机的高分辨率斑点图案，通过不同的图案以不同的方式照亮样品。一系列低分辨率图像被创造出来，通过一个重建算法将其拼凑起来，产生一个高分辨率图像。研究中使用了一台商用倒置显微镜。这种新材料使研究小组能够对荧光标记的Cos-7细胞中的精细特征，如肌动蛋白丝，进行成像。研究人员指出，这种特征仅用显微镜是无法清楚辨认的。

**19 反物质可能是所有物质中最难处理的，因为它与任何普通物质接触时立即湮灭，成为纯能量。**同时，反物质研究可以回答物理学中一些最基本的问题。基于欧洲核子研究中心的反氢激光物理装置（ALPHA）合作，现在已经实现了世界上第一个基于激光的反物质操纵；其使用了加拿大不列颠哥伦比亚大学与ALPHA的加拿大团队（ALPHA-Canada）开发的真空-紫外线（121.6nm）激光系统，用激光多普勒冷却方式将将反氢样品冷却到接近绝对零度。然后，磁体一次最多可容纳1000个反氢原子。

**20 在量子光学中，原子或分子中的编码信息，在理想情况下与单个光子进行交换而不会损坏或丢失。**为了追求这种理想状况，马克斯-普朗克量子光学研究所（MPQ）的一个小组设计了高Q值光学谐振器，该谐振器由一对放在超高真空室中、位于相反位置的镜子组成；光子一旦进入光腔，在透射通过其中一片镜子之前将被反射100,000次，使单个光子有许多机会与原子相互作用。❑

## 200W工业绿光皮秒激光器

盛镭科技推出国内首款 200W 工业绿光皮秒激光器，该款激光器最大输出功率超过 253W，单脉冲能量大于 80μJ，高重复频率可达 2~6MHz，脉冲宽度均小于 7ps，可实现超高速加工。



支持 Burst1-10 可调，工艺参数调整更加灵活；工业化设计，可满足 7×24 工作模式；核心器件自主可控，维保更快捷。该款产品可用于光伏硅片切割、陶瓷钻孔和 PI 覆盖膜切割等。

盛镭科技，www.super-wave.com.cn

## 新一代激光智能切割头

普雷茨特新一代激光智能切割头，配备高度跟踪传感器技术，确保高品质切割效果和稳定的工艺窗口。卓越的光学镜片可实现出色的一致性切割效果；高精度驱动电机确保位置控制精度更高，使用寿命更长；优化后的切割气路进一步降低气体污染对切割质量的影响，保护镜片更耐用。



新设计还能将材料反射的热量隔绝在切割头之外，即使在严苛的生产环境中也能确保工艺窗口的稳定性。此外，该切割头的“无尘背”设计呈现了创新的维护理念，独特的防尘设计延长了切割头的使用时间，减少了维护频率。该切割头专为中国市场用户量身定制，以更好的适应性贴近实际激光加工需求。

普雷茨特，www.precitec.com

## GMC系列清洗专用MOPA脉冲光纤激光器

光至科技推出的 100~500W 清洗专用 MOPA 脉冲光纤激光器，旨在轻便简化清洗头设计，是专用 GMC 系列激光器。该系列激光器同时有单模和多模系列，其中单模系列产品具有高光束质量、功率高效率快，QCS 输出等特点，



适合清洗金属氧化层、镀层、管材焊道等领域；多模系列产品具有平顶光束、大能量、长焦深、QCS 输出等特点，适合除锈、除油、除漆以及磨具清洗，且不伤基材。

光至科技，www.gzlasertech.com

## 单脉冲400μJ工业级红外飞秒激光器

盛镭科技成功研制出单脉冲 400μJ 工业级红外飞秒激光器，该款激光器在 200kHz 重复频率下实现了单脉冲能量 400μJ/ 脉冲宽度 550fs 的脉冲激光输出。该产品拥有大脉冲能量，平均功率 >80W；拥有高峰值功率，峰值功率 >700MW，同时具有极佳的时域信噪比；拥有高光束质量，光束质量 $M^2$<1.15，远近场光斑圆度 >90%，像散低于 0.1；脉冲可编辑，最多支持 burst 10，支持 POD 功能；高稳定性，工业需求设计，激光器稳定可靠。



此外，光电一体化设计，光学仓和电气仓整合成一体，结合自主研发的 supercontrol 电控系统，可为微纳加工行业提供飞秒激光光源。

盛镭科技，www.super-wave.com.cn

## Spectra–Physics Quasar UV80紫外激光器

MKS 推出的 Spectra-Physics Quasar UV80 激光器，是一种新的高功率、高脉冲能量紫外波长产品。新型激光器提供 >80W 的紫外光功率、>400μJ 的脉冲能量和出色的单模光束质量。新激光器的 TimeShift 可编程脉冲能力，可调整脉冲宽度、脉冲形状和重复率，从而优化激光微加工工艺。

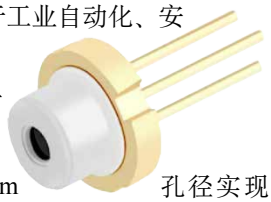



该激光器适用于电子封装和组件、陶瓷、PC 板、半导体、太阳能电池板、锂离子电池和轻质碳纤维增强聚合物（CFRP）部件的高产量制造应用领域。

MKS，www.mksinst.com

## 面向工业激光雷达应用的红外激光器

艾迈斯欧司朗推出面向工业激光雷达应用的红外脉冲激光器 SPL TL90AT03，适用于工业自动化、安防和隐蔽交通监控等应用。



SPL TL90AT03 专门针对 5~100ns 的短激光脉冲而开发，可在 20A 的正向电流下通过 110μm 孔径实现 65W 的光输出，相当于具有大约 34% 的转换效率。该器件采用 TO56 MetalCan 先进封装技术。红外元器件发出 905nm 既定波长的光，既适用于激光雷达应用，同时由于其紧凑的尺寸，也适用于各种其他应用。该款激光器的另

一个优点是其发射宽度（光线离开元器件的区域）非常窄。它可以用于紧凑的光学器件，从而缩小系统的整体尺寸。此外，该激光器还提供其他引脚配置。

艾迈斯欧司朗，www.ams-osram.com

## 适用于304不锈钢标记的皮秒激光器

杰普特的 JPT-PS 系列皮秒激光器，基于目前领先的工业用皮秒激光器放大方案，采用紧凑的双层腔体结构和简洁可靠的电控设计，适应全天候工业级生产要求以及前沿科学表征测试需要。JPT-PS 系列目前提供红外与紫外输出版本，脉宽达到 6ps。具备脉冲开关（Pulse on Demand）与脉冲串功能（Burst Mode），可以实现单脉冲到 1MHz 频率输出。




适用于工业、食品、医疗，建材等领域广泛应用的 304 不锈钢的表面标记，这些标记具有非常好的耐腐蚀性。

杰普特，www.jptoe.com

## 新型可变光斑光纤激光器

动力电池焊接过程中，紫铜、铝合金作为一种常见导体，具有高热传导率、高反射率、低红外激光吸收率等材料特性，从而导致焊接时出现飞溅、裂纹、难熔合、易变形、小孔不稳等问题。

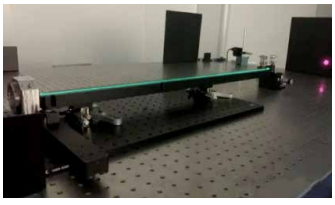



大族光子研发团队针对紫铜、铝合金材料焊接过程中的难点痛点，经过不断地改进和验证，最终推出 HL-CM-ABS 系列可变光斑光纤激光器，利用环形光斑对材料进行预热，并软化匙孔，增大匙孔开口，有效减少 90% 以上飞溅，从而优化焊接性能，使得熔深更稳定、焊缝更光滑，高速高质完成动力电池各部件的焊接。

大族光子，www.hansphotonics.com

## 支持mJ级百瓦飞秒光纤激光器的棒状光纤放大器

安扬激光开发了新一代超大模场保偏掺镱光子晶体棒状光纤（LCF rod，Large Core Fiber rod），且成功实现批量生产。



该 LCF rod 产品具有完全自主知识产权，其中纤芯直径可达到 80~90μm 量级，且同时保持优异的单模特性，光束质量因子 $M^2$ 小于 1.1；模场面积超过 3000μm$^2$，超过传统 LMA 光纤 10 倍以上。结合独特的结构设计和材料设计、创新的纤芯掺杂工艺以及精准的微结构工艺控制技术，使得该光纤支持单脉冲数百 μJ 和 mJ 级的脉冲串输出，可稳定工作在平均功率百瓦量级。

安扬激光，www.yslphotonics.com

## 高功率一体式紫外激光器

长春新产业激光推出高功率工业级一体式紫外激光器 AO-355 系列，输出波长 355nm，重复频率 10~200kHz，功率范围 3~12W，光束质量 $M^2$<1.2，脉冲宽度 <12ns@30kHz，可有效支持各类精密加工。



独特的产品设计及生产工艺，多道产品检测工序，保证了激光器寿命更长，运行更稳定；全数字智能电源控制技术，操作简单、方便监控，支持激光机通信与 RS232 外控；一体化设计，体积更小巧，设计更精致，方便设备集成，有效节省空间和装配时间。

适用于 PE/PCB/FPC 切割；玻璃微孔加工、切割、划线；晶圆打标、划线、精加工；薄膜刻蚀、覆盖膜及碳纤维切割；消费电子外壳打标及各类管材飞行打标。

长春新产业激光，www.cnilaser.com

## 高功率紫外激光器Coherent AVIA LX 355–30

相干公司推出一款新型的高功率紫外激光器 Coherent AVIA LX 355-30，这款产品可降低 PCB 板切割和钻孔、SiP 切割等的单个零件成本。

AVIA LX 355-30 纳秒紫外激光器输出波长 355nm，脉冲能量高达 500μJ，输出功率 30W，并提供了无与伦比的 20,000 小时连续三倍频晶体寿命，没有任何光斑偏移。这将提高工艺一致性，缩短维护停机时间。其高输出功率、可靠性和长使用寿命，极大地提高了高精度切割、钻孔和微结构任务的生产效率，尤其是在微电子生产领域。




相干公司，www.coherent.com

| Advertiser | 广告客户 | 网址 | 页码 |
|---|---|---|---|
| Edmund Optics China | 爱特蒙特光学 (深圳) 有限公司 | www.edmundoptics.cn/012-8618 | 13 |
| Ante Laser | 安特激光 | www.antelaser.com | 23 |
| Amonics Ltd. | | www.amonics.com | 7 |
| BWT | 凯普林 | www.bwt-bj.com | 9 |
| CDIIF 2022 | 成都国际工业博览会 | www.cdiif.com | IBC |
| LFSZ 2022 | 第十六届深圳国际激光与智能装备、光子技术博览会 | www.laserfair.cn | 5 |
| Mean Well | 明纬 | www.meanwell.com.cn | 27 |
| 2022 ITES深圳国际工业制造技术及设备展览会暨第23届深圳机械展 | | www.iteschina.com | 1 |
| 2022 慕尼黑上海光博会 | | world-of-photonics-china.com.cn | IFC |

**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

CDIIF
成都国际工业博览会

# 成都国际工业博览会
## Chengdu International Industry Fair

工业引领　赋能产业新发展

**2022年4月27-29日**
**中国西部国际博览城**

www.cdiif.com




上海工业商务展览有限公司
电话：021-2206 8388
CDIIF@shanghaiexpogroup.com

汉诺威米兰展览（上海）有限公司
电话：021-5045 6700
CDIIF@hmf-china.com

四川天府国际会展有限公司
电话：028-8025 6232
stex@cdtf.gov.cn

四川鹏璨文化传媒有限公司
电话：028-67646118
邮箱：CDIIF@pengcan.com

LaserFocusCon
激光聚会2022

# 激光技术聚焦峰会

## 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 4 月 19 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4月19日
地点：苏州站
规模：150–180名工程师/管理层

### 会议咨询

如有问题，可添加“小镭助手”
微信号“LFC-RA”进行咨询

小镭助手微信

### 主办单位

ACT 雅时国际商讯 ACT International

### 大会媒体

激光世界 LaserFocusWorld China

### 支持单位

慕尼黑上海光博会 LASER PHOTONICS CHINA

LaserFocusCon