

激光世界

LaserFocusWorld® *China*

www.laserfocusworld.com.cn

2015年11/12月 第6期

ISSN: 1817-6917

纳秒脉冲光纤 激光器用于金属切割 15

皮秒激光器实现陶瓷
薄膜材料的高效钻孔 18

激光材料加工的去、
现在和未来 24

半导体激光器输出包
括白光在内的多色光 32



SOLUTIONS IN LIGHT



扫一扫，加微信！



四大展区：激光器与光电子 激光生产与加工技术
 光学与光学制造 成像，检测和质量控制

展位预定，先到先得！☎ +86-21-20205500*887

2016年3月15-17日
上海新国际博览中心W2、W3、W4、W5馆
中国光学行业最佳展示平台

慕尼黑上海光博会

LASER World of PHOTONICS CHINA

您的技术信息平台

一系列产品—包括
国际专业技术杂志的中文版、网上
出版物、会议、培训和活动

欢迎免费索阅或参与活动

www.actintl.com.hk



雅时国际商讯(ACT International)成立于1998年,为高速增长的中国市场中广大高技术行业服务。ACT国际通过它的一系列产品—包括杂志和网上出版物、会议和活动—为跨国公司与中国企业架设了拓展中国市场的桥梁。ACT国际的产品包括十种技术杂志和相关的网站,以及各种会议,服务于半导体制造、化合物半导体、光伏/太阳能、电子制造、污染控制、激光/光电子、光通信、LED技术、射频/微波等领域的十多万专业读者。ACT国际亦是若干世界领先技术出版社及展会的销售代表。ACT国际总部在香港,在北京、上海和深圳设有联络处。

香港
852-28386298

深圳
86-755-25988571

上海
86-21-62511200

北京
86-10-67484833



ACT Media Group

激光光学件

现已登陆

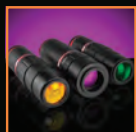
中国市场!

致力于激光方面的应用?

超过250种不同的激光

光学件供选择, 可快速交货。

TECHSPEC®
可变扩束镜



TECHSPEC®
高功率Nd:YAG
激光反射镜



TECHSPEC®
λ/20 高功率
激光窗口片



马上采购吧!

EDMUND



更多激光光学件?

访问我们的网站获得完整目录!

www.edmundoptics.cn/laser-optics

Edmund
optics | china

Tel: +86 (0755) 2967 5435

目录

市场风向标

- IDTechEx: 未来十年内 3D 打印市场将增长 20 倍 6
- 通快: 极紫外激光技术处于决定性阶段 6

光子学前沿

- 回顾与展望
光纤光学——历经繁荣、泡沫破裂、重新迎来光明未来 11

封面故事

- 激光切割
纳秒脉冲光纤激光器用于金属切割 15

应用天地

- 气体激光器
皮秒激光器实现陶瓷薄膜材料的高效钻孔 18
- 激光焊接
利用高亮度 1μm 激光器实现先进的焊接技术 20
- 激光材料加工
激光材料加工的去、现在和未来 24
- 激光焊接
中等功率光纤激光器在精密熔焊中的应用 30

技术中心

- 多色激光器
半导体激光器输出包括白光在内的多色光 32
- 随机激光器
金刚石为电泵浦氧化锌激光提供空穴 34

精英访谈

- 罐装饮料市场增长, 快消品制造商加强对激光打码机的需求
——访伟迪捷公司激光打码机业务部经理 Sascha Benke 先生 35

编者的话

4

行业动态

5

前沿简讯

8

产品摘英

37

广告索引

40

激光世界

LaserFocusWorld® China

2015 年 11/12 月 第六期

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 8,600 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。

www.laserfocusworld.com.cn

CONTENTS

market watch

- IDTechEx: 3D printing market will grow 20 times over the next decade 6
- Trumpf: EUV technology 'in decisive stage' 6

photonic frontiers

- Looking Back/Looking Forward 11
Fiber optics—booms, one spectacular bust, and a bright future

cover story

- Laser Cutting 15
Nanosecond pulsed fiber lasers advance in metal cutting

applications

- Laser Drilling 18
Efficient drilling of ceramic films with picosecond lasers
- Laser Welding 20
Advanced welding techniques with optimized accessories for high brightness 1 μ m lasers
- Laser Materials Processing 24
A review of the origin, current status and an outlook
- Laser Welding 30
Applications of medium-power fiber lasers in precision welding

technologies center

- Multicolor Lasers 32
Semiconductor laser can produce many colors, including white
- Random Lasers 34
Diamond supplies holes for electrically pumped ZnO laser

elite interview

- Growth in Beverage and Canning, FMCG manufacturers stress the need for Laser 35
—interview Mr. Sascha Benke, Business Unit Manager for Laser, Videojet Technologies

editor's notes

industry updates

leading edge snapshots

products highlight

ad index

激光世界

LaserFocusWorld® China

Nov/ Dec 2015 Issue 6

About Laser Focus World China

Published since 2005, Laser Focus World China, the Chinese edition of the world famous Laser Focus World magazine, is the professional

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

Laser Focus World China is published every other month in simplified Chinese and distributed to over 8,600 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.

www.laserfocusworld.com.cn

顶尖 PINNACLE

Your Strategic Partner in Photonics

DUMA OPTRONICS LTD. **Alignmeter USB**
指向稳定性测量仪



- 波长范围: 350-1100nm
- 角度分辨率: 最小1 μ rad
- 位置分辨率: 最小1 μ m
- 应用: 用来测试激光执行稳定性, 测量平移台的运动俯仰及偏摆。



光纤飞秒激光器



- 波长: 515 / 780 / 1030 / 1560nm
- 脉宽: 70-1000fs
- 结构: 2W@515nm; 300mW@780; 4W@1030nm; 3W@1560nm
- 重复频率: 40-200MHz

Xiton Photonics **SLM单频调Q固体激光器**



- 波长: 1064 / 532 / 355 / 213nm
- 线宽: < 80MHz
- 功率: 8W@1064nm
- 应用: 雷达通讯, 拉曼系统等领域



关注“顶尖科仪”微信平台:

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

顶尖科仪部分代理厂家 (以开头字母排序)



顶尖科仪 (中国) 股份有限公司

Pinnacle Scientific (China) Corporation

+86-571-88225151 | sales@psci.cn | www.psci.cn

微博: <http://weibo.com/pinnaclesci>

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

免费赠阅咨询
电话 (86) 755 2598 8571
传真 (86) 755 2598 8567
电邮 lfwc-subst@actintl.com.hk

特约编辑
In My View Jeffrey Birstow
电邮 inmyview@yahoo.com
Industrial Lasers David A. Belforte
电话 (1) 508-347-9324
电邮 belforte@pennwell.com
Valerie Coffey
电话 (1) 978-263-4485
电邮 stellaredit@gmail.com
Photonic Frontiers Jeff Hecht
电话 617-965-3834
电邮 jeff@jeffhecht.com
Imaging Conard Holton
电话 (1) 603-891-9161
电邮 cholson@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



尖端技术部通讯与光电子分部
集团出版人 Christine A. Shaw
电话 (1) 603-891-9178
电邮 christines@pennwell.com
副出版人/总编辑 Stephen G. Anderson
电话 (1) 603-891-9320
电邮 stevega@pennwell.com
高级编辑 John Wallace
电话 (1) 603-891-9228
电邮 johnw@pennwell.com
高级编辑 Gail Overton
电话 (1) 603-305-4756
电邮 gailo@pennwell.com
管理编辑 Carrie Meadows
电话 (1) 603-891-9382
电邮 carriem@pennwell.com
执行助理 Katherine McIntosh
电话 (1) 603-891-9224
电邮 katherinem@pennwell.com

公司行政人员
主席 Frank T. Lauinger
总裁兼行政总监 Robert F. Biolchini
财务总监 Mark Wilmoth

尖端技术分部
高级副总裁/出版主任 Christine A. Shaw
读者服务主任 Gloria S. Adams

地址 Laser Focus World, 98 Spit Brook
Road, LL-1, Nashua, NH 03062-5737
电话 (1) 603-891-0123
网址 www.laserfocusworld.com

ISSN 1817-6917

© 2015 版权所有 翻印必究

探索新的市场机会

激光技术经过半个多世纪的发展,正在生产和生活中获得越来越广泛的应用。最近今年,全球激光器市场一直保持着一位数的稳定增长,预计2015年的总销售额有望达到110亿美元。从应用层面来看,通信和材料加工应用依然是大部头,特别是精密微加工应用开始逐渐增多;此外,激光添加制造、医疗、军事、激光舞台表演、激光显示等应用,也都是近几年市场中增长的热点。从光源方面看,光纤激光器、半导体激光器、碟片激光器在市场中的接受度日趋增加。

光纤激光器一直在市场上攻城拔寨,其已经在材料加工领域分食二氧化碳激光器和固体激光器的市场蛋糕,从2014年的统计结果来看,光纤激光器已经在工业材料加工领域占据了最多的销售份额。除了工业材料加工应用外,光纤激光器还将在石油天然气行业中的传感、探测及钻孔应用中发挥作用,这将为光纤激光器提供又一片广阔的应用舞台。从光纤激光器的供应商来看,目前市场上依然是一家独大的局面;但是已经有很多现有厂商像大族激光和一些初创公司都开始涉足光纤激光器的研发和生产,未来这个市场将会更加热闹。

从全球范围来看,激光技术的主要市场目前仍然是北美、欧洲和亚洲,并且大多数激光公司也都是来自这三大地区。欧美市场相对成熟,但是最近几年亚洲市场发展迅猛,新增公司数量远超过欧美,无疑亚洲是一个充满巨大潜力的市场。

大家都在寻求市场中的增长机会,中国无疑是亚洲的重要市场。在《中国制造2025》的政府规划下,在中国加强制造业建设的大环境中,激光作为一种先进制造工具,将在工业制造升级中扮演哪些重要角色?未来激光市场的增长机会在哪里?全球最新的市场和技术趋势是什么?资金应该投向哪里?产品应该卖到哪些市场?生产什么样的产品才能满足市场需求……

由《激光世界》杂志和武汉光博会联合主办的“Laser Focus Con 2015 激光技术聚焦峰会”,将于2015年11月13日在武汉国际博览中心洲际酒店举行,届时相信您会从中获得上述问题的答案。相关会议内容将在会后更新到网站上,敬请关注。□

本刊编辑部

通快推出金属3D打印机进军3D打印市场

德国激光巨头通快公司宣布，将于11月17-20日在德国法兰克福举行的Formnext展会上，展示其最新的激光金属熔融(LMF)和激光金属沉积(LMD)3D打印设备。此举表明通快开始进军3D打印市场，这将令目前发展得如火如荼的3D打印市场更加热闹。

通快已经在其德国迪琴根总部设立了一个新部门发展3D打印系统。通快激光技术部负责人Peter Leibinger博士表示，“我们推出最新的3D打印设备是一个重要里程碑，添加制造技术不但能补充未来的生产技术，而且也将对未来的生产技术产生重要影响。我们将提供坚固耐用且高效的3D打印设备，用于生产具有复杂结构的小型 and 中型零部件。”

通快认为，市场对3D打印机的需求将不断增长，3D打印机完全能生产出满足工业应用的足够牢固的金属零部件。通快能够提供LMF和LMD这两种3D打印技术，用户可以根据特定应用的具体要求来选择最适合的加工过程。

IPG第三季度营收增长22%

IPG Photonics公司公布2015年第三季度财报。财报显示，IPG三季度再度实现强劲增长，销售额比去年同期增长22%，达到了创纪录的2.435亿美元。IPG首席执行官Valentin Gapontsev博士表示，“这一喜人的增长结果，恰恰反映了我们的光纤激光器产品正在不断向新的和现有的应用领域深入渗透。”

其中材料加工销售额比去年同期增长了16%，这主要得益于切割、添加制造、消融和焊接应用的驱动。高端应用和通信领域也有强劲表现。从地域来看，北美、欧洲和中国市场强劲增长，而日本和韩国市场有所下滑。高功率、中等功率和QCW激光器的销售表现良好，但脉冲激光器和低功率激光器的销售不佳。

诺派激光获ISO9001:2008质量管理体系标准认证

南京诺派激光顺利通过ISO9001:2008质量管理体系标准认证，获得ISO9001:2008质量管理体系认证证书，为今后的产品质量管理奠定了坚实的基础。

全面实施ISO9001质量管理体系认证，标志着诺派激光强化生产过程与产品质量的一次阶段性成果。

三维激光扫描技术联盟在成都成立

第一届三维激光扫描技术国际论坛近日在成都召开。论坛共吸引了来自美国、英国、澳大利亚、瑞典、意大利及国内的数十位专家，以“三维科技，数字未来”为主题，探讨三维激光扫描技术的运用情况、实际案例和未来前景。论坛期间，来自德国、瑞典、澳大利亚等国专家于10月27日与四川省安全科学技术研究院签订了“三维激光扫描技术战略合作协议”。

美国DotProduct有限责任公司现场展示了能在一分钟内快速扫描人体的手持式三维激光扫描产品。通过3D扫描获得的实景模型可以全方位、多角度地观察扫描对象的整体和局部，对扫描对象的维护修缮、规划布局、设计评价、安全论证等具有重大意义。

大族激光业绩符合预期 注重新能源领域

大族激光发布本年第三季度财报，公司营业收入为17.11亿元，同比减少13.24%；公司归属于上市公司股东的净利润为2.95亿元，同比增加2.46%；基本每股收益为0.28元，同比增长3.70%。

公司营收的下降源于2015年消费电子领域高端客户应用需求有所下降。随着全球智能手机和平板电脑的市场需求放缓，大族激光作为苹果产业链上重要的加工装备制造厂商，今年中小功率激光设备业务受到明显影响。目前大族激光看好新能源领域，新能源汽车是未来的发展方向，相关产业链已进入飞速发展阶段，并有望在未来2-3年内将呈爆发式增长。大族激光中小功率激光和精密焊接技术将是进军新能源产业的排头兵。

温州有望成中国新的激光产业重地

中国(温州)智能制造·激光展览会于10月中旬在温州会展中心召开，在这块以小商品市场而著称的传统市场，吸引了通快激光、大族激光、华工科技、奔腾激光、博纳激光、博业激光、艾瑞斯激光等企业展示最新的技术装备、激光产业链产品和激光应用解决方案，更有温州企业当场下单买下激光设备。

自从温州在2013年6月入选全国首批创新性产业集群试点后，温州激光光电产业迅速发展，将有望与武汉、深圳渐成三足鼎立之势。相较于武汉的研发优势、深圳的资本优势，温州以应用促进发展，从打造全球激光应用中心出发，通过激光引导传统优势产业的发展。

IDTechEx：未来十年内 3D 打印市场将增长 20 倍

来自英国市场研究公司 IDTechEx 的最新报告《3D Printing 2015-2025 : Technologies, Market, Players》显示，3D 打印行业将继续强劲增长，到 2025 年，3D 打印市场规模将从 2012 年的 10 亿美元增长到 200 亿美元。

该份报告的主要作者 Jon Harrop 博士介绍说，这种增长得益于现有打印技术的发展以及新技术的涌现。通过参加活动以及采访主要业内人士，IDTechEx 跟踪研究 3D 打印行业已经有几年时间。

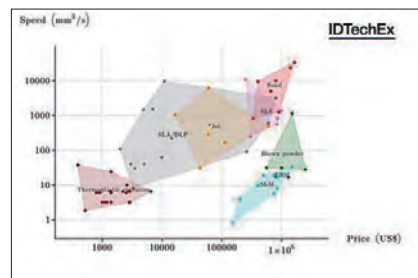
图中显示了不同类型 3D 打印机所占的区域，热塑挤压技术在左下角（低成本低速度），沙印技术在右上角

（高成本高速度），金属选择性激光熔化技术在右下（高成本低速度）。

材料趋势

塑料打印技术（包括热塑性挤压、SLA/SLP、Jet 和 SLS）随着热塑性挤压价格的增高打印速度加快，工艺流程也转向 SLA/DLP 和喷射 SLS。对于塑料打印机而言，成本与打印速度之间的权衡是市场上不同产品之间的最大差异。

相比之下，金属打印机虽在速度方面相差较大，但价格变化相对不太。具体地说，金属打印机打印速度 $1\sim 3000\text{ mm}^3/\text{s}$ 不等，相应的价格也在



15~300 万美元之间。报告指出，当使用金属打印机的时候，价格并不是最主要的因素。

市场当然喜欢既便宜速度又快的 3D 打印机。目前具备该能力的厂商并不多，但是也已经有很多厂商开始致力于进入到这个领地，如 Carbon3D 公司和惠普公司。□

通快：极紫外激光技术处于决定性阶段

德国激光巨头通快公司最近一个财年激光技术的销售额增长了 17%，盈利能力也急剧增长，并预计其高功率 CO₂ 激光器放大器将在未来的几个月内迎来大订单，将主要用于极紫外（EUV）光刻应用。

在最近的一个财年，通快集团的税前利润增长了 44%，达到了 3.57 亿欧元，总销售额增长了 5%、达到了 27.2 亿欧元。激光器相关产品的销售（其中包括通快采用激光器的机床配备）同比增长 8%，达到 18.6 亿欧元。

通快最近一个财年的亮点之一是，在柔性显示器的生产中采用通快的紫外激光器，通快将今年描述为向

EUV 技术“过渡”的一年——尽管最初用于测试系统的订单爆发后，出现了一段安静时期。然而，今年 4 月来自芯片制造商 ASML 的消息无疑提振了市场信心——ASML 公司订购了 15 台通快的 EUV 光刻工具，通快表示在不久的未来积极布局极紫外激光器。

“这项技术目前正处于一个决定性阶段，”通快表示，“客户针对 EUV 技术的实验室阶段正接近尾声，目前正在准备最新一代芯片的大规模生产。”该公司在其年度报告中补充道：“有了积极的实验室结果和长期的大订单，制造商大都已经接受了 EUV 技术的突破，而不再对该技术持怀疑态度。”

目前通快公司正投资 7000 万欧元在德国迪琴根建设一座占地 34000 平方米的工厂，用于生成极紫外光刻所需要的激光器产品。“我们已经准备好了在未来的一个财年迎接大订单，”通快公司补充说，今年 5 月，通快已经与 ASML 建立了一个“战略框架协议”。

预期 EUV 应用订单的迅猛增长，是通快预期目前财年中激光技术销售将进一步快速增长的一个关键因素。“我们预计 EUV 产品的主要订单将来自于智能手机所使用的强化玻璃显示屏的切割，”通快表示，“此外，紫外激光器在柔性平板显示屏制造中的采用也将增加。”□

II-VI INFRARED

贰陆红外激光（苏州）有限公司

中国国际工业博览会
2015年11月3-7日
国家会展中心（上海虹桥）
展位号：2H-F217
II-VI INFRARED展台欢迎您

FiberLight FLEX 激光切割头

FiberLight FLEX 系列切割头是紧随II-VI FiberLight产品之后的又一创新产品，是针对不同厚度的各种材料的综合解决方案，是切割金属片的全能工具。



贰陆官方微信关注



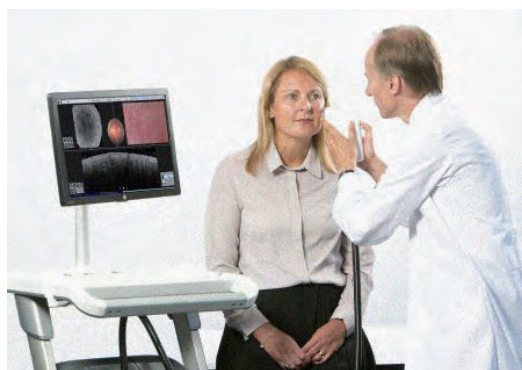
400-858-1126(free toll). (86)512-6767-1207(fax). infosz@ii-vi.com.cn .www.ii-vi.com.cn

OCT 扫描仪改善早期皮肤癌诊断，减少皮肤活检需要

文/Lee Dubay

来自英国多光束光学相干断层扫描 (OCT) 设备制造商 Michelson Diagnostics 公司的最新数据显示，使用该公司的 VivoSight OCT 扫描仪，能够显著提高早期基底细胞癌 (BCC) 的诊断，并且能够将活检诊断减少 36%。使用这款扫描设备，能够为临床医生提供皮肤的表皮和真皮浅层的连续图像，这些图像能够在诊断过程中被医疗专业人员所使用。

当皮肤科医生使用 VivoSight OCT 扫描患者的皮肤时，屏幕上会显示出相应的扫描图像。“数据显



示，相比于单一的临床检查，使用 VivoSight OCT 扫描仪能将 BCC 确诊的准确性提高四倍，诊断的准确性提高了 50%。”美国西奈山伊坎医学院的医学博士兼助理皮肤科教授 Orit

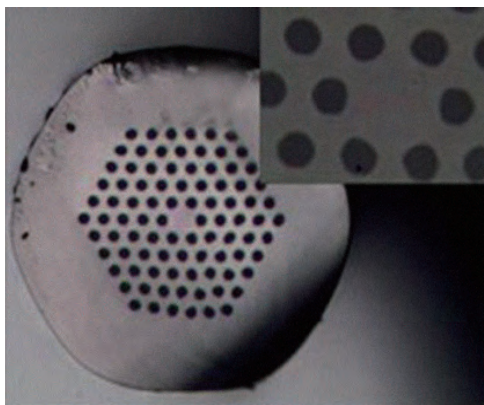
Markowitz 说道。

相比临床和皮肤镜评价，VivoSight OCT 扫描仪显著 ($p < 0.01$) 提高了灵敏度和特异性，使得 BCC 的正确诊断率达到了 87.8%；相比之下，临床的正确诊断率为 57.4%、皮肤镜的正确诊断率为 69.6%。在 BCC 的诊断中使用 VivoSight OCT 扫描仪，能使大约 36% 的患者避免活检诊断。

VivoSight 已经获得 CE/ TGA 监管机构和美国 FDA 的批准，其可在欧洲、美国和澳大利亚销售。□

上海光机所在硅酸盐全固态光子晶体光纤研究领域获进展

上海光机所高功率激光单元技术研发中心，利用自行制备的 1.2 wt% 钕离子掺杂的 N0312 型号高质量硅酸盐玻璃和其他商用的未掺杂硅酸盐玻璃，通过理论设计模拟，最终利用管棒法和堆积法相结合的方法，成功制备出了纤芯直径为 45 μm 的单模激光输出硅酸盐全固态光子晶体光纤，在波长 1064 nm 处，利用 97 cm 长的光纤实现了 0.8 W 的



单模激光输出。

目前，国际上主流的大模场光子晶体光纤集中在石英空气孔光纤的研究，相比于石英玻璃，硅酸盐玻璃具有熔点低、稀土离子掺杂浓度高、均匀性好等特点，利用相对较短的光纤便可以实现激光输出。同时，本研究中的全固态结构更有利于光纤的焊接，避免了空气孔结构的污染等。□

更快
更黑
更低温

NUPULSE™
Picosecond Industrial Fiber Laser
工业的皮秒光纤激光器

提升你的脉冲

- * 用于低温加工的皮秒脉冲
- * 可调的脉冲宽度
- * 单脉冲频率到5 MHz
- * 金属表面高速，黑色打标



NUFERN®

info@nufern.com

rofin 集团成员企业

光纤激光器和放大器

光纤

光纤陀螺线圈

防御技术

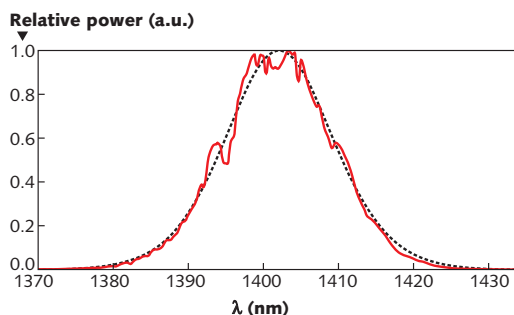
详情请洽：德商罗芬激光技术（上海）有限公司 Tel: 86-21-68552216 info@rofin-baasel.com.cn

中红外飞秒光纤激光器实现高峰值功率脉冲

文/John Wallace

加拿大拉瓦尔大学 Centre d'Optique, Photonique et Laser (COPL) 的一个研究小组报道了一款中红外飞秒光纤激光器, 其发射波长为 $2.8\ \mu\text{m}$ 。这将飞秒光纤激光器的波长范围拓宽到了分子指纹区, 对该领域的超快科学而言非常重要。该激光器基于掺铒氟化物玻璃光纤。

环形腔由 $3\ \text{m}$ 长的双包层光纤以及形成部分腔的体光学元件组成, 光纤由法国氟化物玻璃专业公司 Le Verre Fluoré 制备。光纤芯径为 $15\ \mu\text{m}$, 数



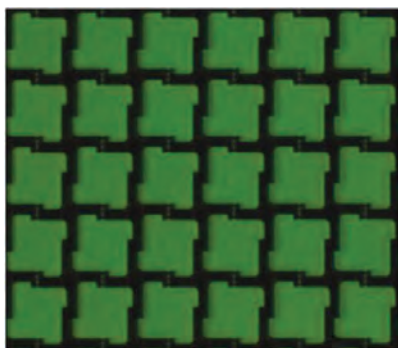
值孔径 (NA) 为 0.12, 内包层直径为 $260\ \mu\text{m}$ 。内包层外圈是具有较低折射率的聚合物外包层, 从而允许包层泵浦。利用功率为 $7\ \text{W}$ 的 $976\ \text{nm}$ 多模激光二极管对光纤进行泵浦, 通过二

向色镜将泵浦光耦合进入光纤的一端, 通过包层模式剥离器在光纤的另一端吸收泵浦光。非球面硒化锌 (ZnSe) 透镜将光耦合进光纤一端, 并将光从光纤另一端准直出来。结果获得了锁模脉冲串, 半高全宽 (FWHM) 为 $207\ \text{fs}$, 重复频率为 $55.2\ \text{MHz}$, 峰值功率为 $3.5\ \text{kW}$ 。由于该光纤工作于反常色散区域, 脉冲呈现稳定孤子的性质, 通过检查用偏硼酸钡 (BBB) 晶体聚焦激光产生的二次谐波, 能够观测到其接近理想的形态。□

薄膜 MEMS 像素实现色彩丰富的自然光显示

文/Gail Overton

依赖于自然光的反射式显示器, 在要求非常低功耗的应用中, 经常深受低亮度和/或较差色域的困扰, 因为所用的彩色像素通常吸收三分之二的入射光。但是, 美国高通光电 (Qualcomm



$74\ \mu\text{m}$ 的节距内, 最大的反射镜凹陷小于 $10\ \text{nm}$, 然后装配成 1.58 英寸对角线的阵列, 即 384×384 像素, 对于完全漫射的自然光输入, 在偏离表面 8° 的方向, 具有 40% 的反射率和 50% 的色

域。MEMS Technologies) 公司的研究人员研究出的新型干涉吸收设计, 使像素能够在连续的颜色范围内进行调谐 (包括高对比度的黑、白反射状态), 从而具有高亮度和丰富的色彩。

干涉仪的配置包含独立的微机电系统 (MEMS) 驱动的像素, 由反射

镜、薄金属吸收 (但也透过) 层, 以及两者间的空气间隙组成。在每个像素中, 入射光和反射光互相干涉, 产生的驻波图样具有周期性, 其周期可以通过反射镜移动和空气间隙的变化进行调节, 对应于光的特定波长 (和颜色)。这些单个的反射镜在其整个

域。相对于传统的基于 RGB 像素的反射式显示, 包括高通公司生产的第一代基于 RGB 的 Mirasol 显示, 这些功能代表显著的进步。其他改进, 例如专门设计的屏前漫射体, 或者涉及漫射和定向光混合的照明条件, 能够显著提升反射率和色域数。□

回顾与展望

光纤光学——历经繁荣、泡沫破裂、重新迎来光明未来

文/Jeff Hecht

通过为全球电信网络提供骨干，光纤光学帮助创建互联网，并帮助我们更多地了解世界其他地区。

早 在半个多世纪前，光纤光学就已发明用于医疗和军事成像领域，目前仍应用于成像、光导等诸多应用中。

但是光纤光学的主要应用还是在电信领域，在该领域，激光器的发明导致人们发现了与空气相关的一些小问题。雾、霾以及天气状况可以遮挡光束，空气湍流可能使光束发生转向或者畸变。最后，贝尔实验室模仿用于 60 GHz 微波开发的空心毫米波导，在地面通信中使用空心导光管。激光链路在空间领域显得更有前途。在《Laser Focus World》1965 年 8 月刊中，曾描述了 RCA 公司 Astro-Electronics 部门拟采用 10 Mbit 激光链路，支持首次载人火星任务，当时 RCA 认为可能会在 1980 年发射。

《Laser Focus World》1966 年 4 月刊中报道的一则故事，则更加具有预见性。当时文章报道了英国 ITT Standard Telecommunications Laboratories 的高锟，在伦敦举行的一次会议上，报道了单模光纤如何能以 GHz 带宽传输光信号。高锟提出了如何制备透明玻璃的问题，英国谢菲尔德大学的 Harold Rawson 指出衰减可以降低至低于 20 dB/km，足以让信号在电话交换局之间传输几公里。图 1 所示为高锟正在测量熔融石英的透明度。

意想不到的突破

《Laser Focus World》1969 年 7 月刊中，美国 Optics Technology 公司的 Narinder S. Kapany 列出的最大光纤市场是成像和光传播。用于军用视觉系统的熔融光纤光学元件的年销售额为 700 万美元，像内窥镜之类的柔性对准束

的销售额为 200 万美元，非对准光纤组件的销售额为 200 万美元，特种非相干光纤组件的销售额为 100 万美元。

1970 年，美国康宁公司的 Robert Maurer、Donald Keck 和 Peter Schultz 通过制备损耗仅为 17 dB/km 的熔融石英光纤，取得了两个关键突破中的首个突破。1972 年，他们取得了第二项突破，制成了更加耐用的光纤，损耗约为 2 dB/km。这带来了光纤光学的迅速发展。在本刊 1974 年 9 月刊中，Forrest M. Mims 写道：“激光通信当前的商业未来，似乎在于用于同城或相邻团体之间的电话、视频和计算机系统的光纤链路。”军事机构也是光纤光学发展的一大支持领域，军事应用追求体积小、重量轻以及抗电磁干扰等特性。

《Laser Focus World》1975 年 11 月刊中报道了 AT&T 公司、通用电话电子公司（GTE）当时正在进行的测试。经过详尽测试，AT&T 公司保守设计了一套标准系统，通



图1：高锟在Standard Telecommunications Laboratories测量块体石英的衰减。



图2：技术人员安装光缆，用于AT&T的芝加哥现场试验。

过 10 km 的多模光纤，利用 820 nm 二极管激光以 45 Mbit/s 进行传输。《Laser Focus World》1977 年 3 月刊报道了 AT&T 将安装两根短的 24 芯光缆来传送实时电话，以及贝尔在芝加哥提供的 Picturephone 视频会议服务。1977 年 5 月刊报道了 GTE 计划进行适度的 6.3 Mbit/s 测试，他们于当年的 4 月 22 日在美国加州长滩启动和运行了测试。1977 年 7 月刊报道 AT&T 的光缆从 5 月 11 日开始传输数据。1978 年 1 月刊的封面（见图 2），显示的正是安装芝加哥系统的一组工作人员。1978 年 7 月刊报道了贝尔系统公司将“在 1981 年之前”把类似的光纤链路投入到普通电话业务中。

梦想家和宏大的系统

其他人对光纤有着更大的愿景。1972 年，GTE Labs 的工程师 John Fullenwider 提出在“有线城市”项目中用光纤代替同轴电缆。《Laser Focus World》1976 年 11 月刊报道了日本计划在大约 300 个家

庭和中央计算机信息服务之间实现光纤链路。Visual Information System Development Association 的总经理 Masahiro Kawahata 想要“为现代社会探索一种理想的信息传输系统。”1980 年 1 月刊中介绍了前八个月的 Hi-OVIS 系统。用户们很开心，孩子们喜爱视频点播，但在 Higashi Ikoma 服务 158 个家庭耗资约 4000 万美元（见图 3）。

随着日本研究人员打开了较长波长的窗口，光纤技术发生了改变。1976 年初，日本电报电话公司（NTT）的 Masaharu Horiguchi 和藤仓电缆公司的 Hiroshi Osanai 测得 1.3 μm 的损耗为 0.47 dB/km，后来在 1.51 μm 发现更低的损耗。1980 年 8 月刊报道了 NTT 已用 1.3 μm 以 100 Mbit/s 发送达到创纪录的 30 km，以及以 1.6 Gbit/s 发送 13.3 km。

1980 年 3 月刊报道了 AT&T 的一项 7900 万美元的系统计划，该计划多达 144 根多模光纤，各自在 820 nm 具有 44.7 Mbit/s 的速率，沿东北走廊从波士顿到华盛顿，每隔 6.4 km 配备一个中继器。该计划随着时间而演变，增加了 875 nm 和 1300 nm 的额外波长，并提升数据传输速率至 90 Mbit/s。

本刊 1980 年 5 月刊报道了贝尔计划部署世界上第一条跨大西洋的光纤，通过两对单模光纤以 274 Mbit/s 的速率传输。“由于有光纤，将不会再开发下一代同轴电缆，”贝尔实验室的 Peter K. Runge 说。1.3 μm 的光纤传输允许实现 30~35 km 的中继器

间距，是最后一根海底同轴电缆的三倍以上。当时该光缆计划于 1988 年完成。

本刊 1981 年 7 月刊报道了单模技术的迅速发展，使得 NTT 计划于 1982 年年中开始 400 Mbit/s 的 1.3 μm 单模传输现场试验。从 0.49 dB/km 的光纤损耗来看，他们预计 20 km 的中继间距，于 1983 年开始商业服务。美国的单模转折点在 1982 年末出现，MCI 选择其用于国家骨干网，速率 400 Mbit/s。当 AT&T 公司的开拓性多模波分复用（WDM）系统于 1984 年完成时，从本质上讲它已经过时了。

光纤放大器和波分复用

随着南安普敦大学的 David Payne 开发出了掺铒光纤放大器（EDFA），在上世纪 80 年代末开始掀起了另一场光纤革命。早期的长途网络需要繁琐的电光中继器，因此全光放大器是答案。更妙的是，EDFA 在 1550 nm 波段，光纤衰减最低。1989 年 2 月刊报道了 British Telecom Research Laboratories 在 EDFA 中以 8 dB 增益放大 140 Mbit/s 的信号。1990 年 7 月刊报道了 BT 与杜邦的合资公司推出的首个商品化 EDFA，具有覆盖 25 nm 波段的 15 dB 增益（见图 4）。



图3：Masahiro Kawahata在Hi-OVIS的控制中心，当时大约是1981年。

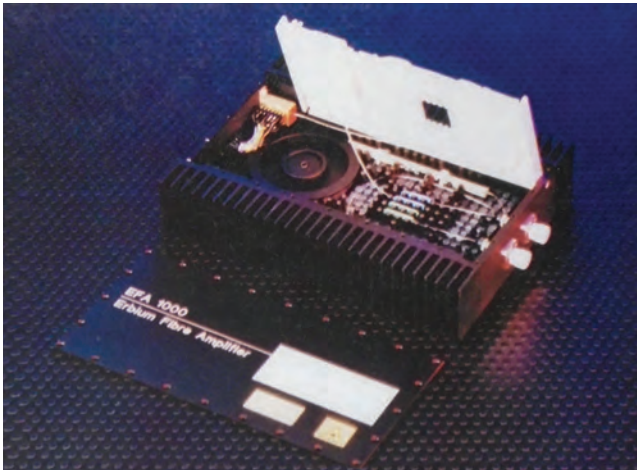


图4：首个商品化掺铒光纤放大器（EDFA），由BT与杜邦的合资公司推出，具有覆盖25 nm波段的15 dB增益。

EDFA 的宽带宽恢复了对波分复用的兴趣，虽然其增益必须平坦，但很快就到来了。1994 年 12 月刊报道了贝尔实验室的 Andrew Chraplyvy 通过包含 14 个 EDFA 的 1420 km 长光纤，传输了 16 个 2.5 Gbit/s 的信道。

光纤性能与互联网流量同步增长，创造了一个繁荣的市场。1999 年 4 月刊报道了在圣地亚哥的光纤通信会议，创纪录地迎来了 11300 名参会人员以及拥挤的展品。日本 KDD R&D Laboratories 通过在 4000 km 内发送间隔为 50 GHz 的 50 个 10 Gbit/s 光学信道，达到创纪录的 2.15 pbit-km/s 的比特率距离乘积，为未来的系统指明了道路。该数据速率和信道间隔将成为接下来许多年骨干系统的标准。该业务蓬勃发展，以至于在 1999 年，《Laser Focus World》杂志分离出一本名为《WDM Solutions》的独立杂志以涵盖光纤组件。

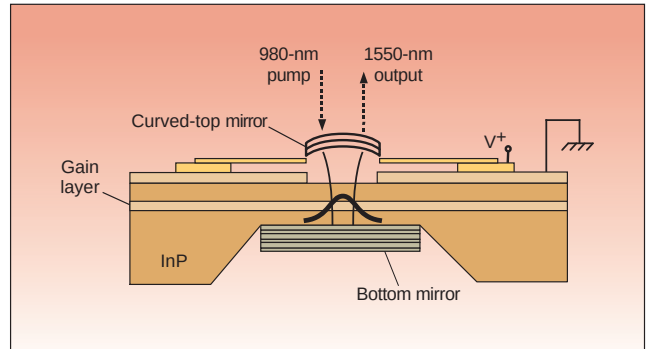


图5：在2000年3月举行的OFC会议中，CoreTek公司报道了光学泵浦可调谐VCSEL。

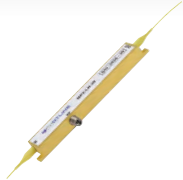
泡沫期

本刊 2000 年 5 月刊报道了 2000 年 3 月 OFC 出现了“量子飞跃”，参会人数增长了约 50%，达到 17378 名。会议期间纳斯达克指数攀升到 5000 点，新闻发布厅满是市场分析师，注册的队伍环绕巴尔的摩会议中心。空气中弥漫着资金和技术。美国 CoreTek 公司报道了光学泵浦可调谐 VCSEL（见图 5），而北电迅速斥资 14.3 亿美元将 CoreTek 收入麾下。

OFC 会议后，网络泡沫破裂，带动纳斯达克指数下跌，但光学方面的交易在增长。JDSU 公司斥资 18.7 亿美元收购 E-TEK Dynamics，2000 年 8 月刊对此进行了报道。最大的交易是 2000 年 7 月 10 日 JDSU 与 SDL Inc. 的合并，金额达到了惊人的 410 亿美元。JDSU 公司的市值在夏季达到峰值 1810 亿美元，然后开始与市场上其他公司一道下滑。



light.augmented



特种光纤
光纤布拉格光栅

铌酸锂调制器
各种调制方案

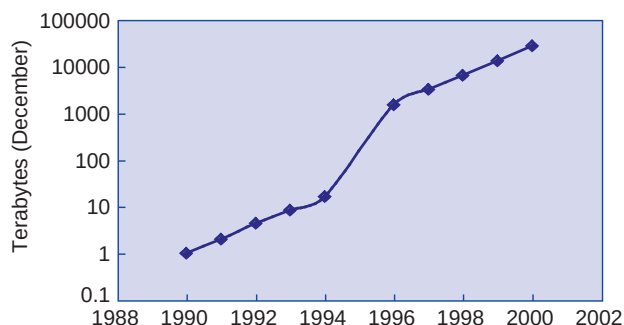


图6: 从1990年开始的互联网流量增长, 由Andrew Odlyzko以每年12月传输的总字节数计算。

2001年在阿纳海姆会议中心举办的 OFC 会议, 在许多方面似乎令人鼓舞, 2001年5月刊对此进行了报道。参会人数倍增至超过 38000 名, 而参展商也翻了一番达到 970 家。在迪士尼乐园酒店的展前市场研讨会上, 显示了行业决心勇往直前。但股市下跌, 经济正在放缓, 康宁公布其光子学的增长将低于先前预期的一半。现在回想起来, 该行业已经掉下了悬崖, 在半空中双腿翻腾, 就像卡通人物 Wile E. Coyote 往下看时一样, 等着万有引力定律在起作用。

我们在 2002 年 5 月报道了 2002 年阿纳海姆的 OFC 参会人数下降至 32000 名, 但参展商数量上升到 1227 家。“上一年的 OFC 是壮观的风险投资规模, 但相比之下今年近乎平凡, 反映了光网络行业在过去 12 个月所经历的日益增长痛苦。”展馆中稀稀拉拉的空展位让人感觉到了行业的惨淡。股票继续下滑, 而《WDM Solutions》杂志也并入了《Lightwave》。

现在回想起来, 很惊讶当时我们对网络流量和容量知之甚少。互联网流量每三个月翻番的再三重复的咒语来源于美国世通公司 1997 年 2 月的新闻发布。这可能在 1995 年和 1996 年是真实的, 美国明尼苏达大学的 Andrew Odlyzko 说, 但从那以后它已是逐年翻番 (见图 6)。他估计 2002 年末美国互联网流量平均约为 300 Gbit/s, 只是承载每通道 10 Gbit/s, 含 80 个 WDM 信道的单根光纤容量的一半不到。美国 RHK 的市场分析师 Shing Yin 把平均值估计的仅略高些, 即在 2002 年末为 500 Gbit/s。

未用的光纤和新技术

泡沫留下了未用的光纤这一积极的遗产, 促进了未来的增长。流量持续以健康的速度增加, 新一代的 100 Gbit/s 相干传输系统开始上线, 笔者于 2010 年 3 月写道。上一

年 12 月, Verizon 公司已经启用了从巴黎到法兰克福的 100 Gbit/s 的 893 km 线路, 它使用同样的 50 GHz 带宽作为 10 Gbit 信号。令人印象深刻的性能来自于相干传输、电子色散补偿、相移键控、每个符号的多个比特以及偏振分路复用。

100 Gbit/s 的系统目前安装在 1500~2000 km 的长距离线路上。在 2014 年 2 月, 前沿已经转移到采用先进调制以大于每赫兹带宽每秒一个比特来传输的, 承载数百千兆位每秒的光学“超通道”。在 2013 年 9 月欧洲光通信会议的一篇论文中, TE Subcom 报道中在一项 9100 km 的实验中, 在 2.5 dB 的限制范围内, 获得了 4.93 bits/s/Hz 的效率。实验室实验正在测试通过单根多芯光纤, 或单芯内的多种模式, 来实现空间分路复用。

在 OFC 2015 年会议论文报道的两个实验中, 使用多模光纤中的少模纤芯承载超过 100 个信道。日本情报通信研究机构 (NICT) 的 Jun Sakaguchi 和在 5.5 km 长的光纤内, 通过所有 36 根纤芯发送三种模式。^[1] 日本 KDDI R&D Labs 的 Koji Igarashi 在 9.8 km 长的光纤内, 通过 19 根纤芯发送六种模式。^[2]

这项技术面临着许多实际问题, 特别是制备和连接多芯光纤内的纤芯, 并有效地隔离少模光纤中的模式。在未来若干年, 利用未用的光纤可能是更具成本效益。但是, 专门的超高容量光纤可能找到它们的利基市场, 如连接数据中心。

同时, 梦想家们光纤入户的梦想正在变成现实, 笔者家现在的光纤接入为 25 Mbit/s, 而 Verizon 公司正在为我提供 50 Mbit/s 的服务。此外, 谷歌光纤和 AT&T 提供千兆比特。我们还不确定如何处理所有的带宽, 但是回顾历史, 我们一定会从中找到些东西。□

参考文献

1. J. Sakaguchi et al., "Realizing a 36-core, 3-mode fiber with 108 spatial channels," Optical Fiber Communication Conference Post Deadline Papers, OSA Technical Digest (online), paper Th5C.2 (2015).
2. K. Igarashi et al., "114 space-division-multiplexed transmission over 9.8-km weakly-coupled-6-mode uncoupled-19-core fibers," Optical Fiber Communication Conference Post Deadline Papers, OSA Technical Digest (online), paper Th5C.4 (2015).

激光切割

纳秒脉冲光纤激光器用于金属切割

文/Jack Gabzdyl, SPI Lasers脉冲激光器系统副总裁

尽管纳秒脉冲激光在材料打标应用领域中的成功众所周知，但在微切割应用中的报道较少，然而这一市场正在不断增长。纳秒脉冲激光能够实现多种金属材料的微切割，并且无需辅助气体。

在过去的十年中，纳秒脉冲光纤激光器已经成为金属打标领域占主导地位的激光源，随着其平均功率的持续增加，纳秒脉冲光纤激光器在雕刻领域的应用也在不断增长。这类激光器的脉冲能量通常低于几个毫焦，脉冲峰值功率在 10 kW 左右，平均功率现在高达 100 W，并且体积紧凑，颇受市场青睐。

英国 SPI 公司生产的脉冲光纤激光器基于主振荡器功率放大器 (MOPA) 设计，使用半导体种子激光器结合光纤放大器，使其与传统调 Q 设计相比，在脉冲特性方面具有更显著的控制力。

与具有标称高斯能量分布的传统调 Q 脉冲相比，这些纳秒脉冲光纤激光器产生的脉冲具备独特的快速上升时间，使得光束能更加有效地耦合到目标材料中。通过基于扫描头的光束传输系统，工作波长为 1.06 μm 的纳秒脉冲光纤激光器，可以提供非常快的材料加工速度。

尽管纳秒脉冲光纤激光器过去常常用于打标应用，但是今天的纳秒脉冲光纤激光器的通用性和控制

能力，使得它们在多种微加工应用领域表现出了强大的竞争力，这些应用包括雕刻、烧蚀、划线、毛化和微切割。这些纳秒级脉冲光纤激光器具有从 1 kHz~1 MHz 的宽重复频率范围，从 3~500 ns 的可变脉宽控制，并且能以连续波 (CW) 和调制准 CW 模式运行。

切割金属箔

为了实现激光在金属箔类材料中的完全渗透，可以用纳秒脉冲光纤激光器进行简单的单程加工，而切割速度是决定因素。由于该加工通常是基于扫描头的，因此不需要处理气体。

基于扫描头光束传输的金属箔切割，是通过烧蚀和熔体喷射实现的，以获得具有最小热影响区域的无毛边切割。例如，铜和铝电池箔片是一种复杂材料，通常具有 20~40 μm 的金属芯，夹在几个专有层之间，总厚度约为 100 μm (见图 1)。可以使用功率为 70~100 W 的脉冲光纤激光器，以大于 1 m/s 的线性切割速度切割这些电池箔，使得激光切割成为比机械切割技术更好的选择，因此机械切割技术要受到工具磨损、定期维护以及普遍缺乏灵活性等因素的限制。

在该应用中，切割质量极其重要，毛边最少以及对薄膜层无损伤是至关重要的。切割质量可以通过优化脉冲和工艺参数来控制，但已有结果表明，

对于某些材料，双程加工可以提升边缘质量。

切割厚金属

对于切割厚达 0.5 mm 的金属材料，通常需要光路重合的多路光束，以实现材料的完全渗透。但是，该技术的局限在于：随着槽的深度和高宽比在光束多个来回后增加，材料表面的光束参数优化随之变差，导致光束衰减，降低材料加工的效率。该过程能够有效的自限：调整光斑尺寸，并移动焦点在材料中的位置，但是也只能对上述情况有轻微的改善。

当采用 CW 激光切割时，光束质量是一个重要影响因素。然而，当采用脉冲光纤激光器时，光束质量与 M^2 关系更少，而更多受到可达到的脉冲能量和峰值功率的影响。

直接对比三种不同光束质量的激光器 (采用相同的光学布局，功率均为 20 W)，可以发现， $M^2 < 1.3$ 、光束质量最好的激光器并没有达到最佳的

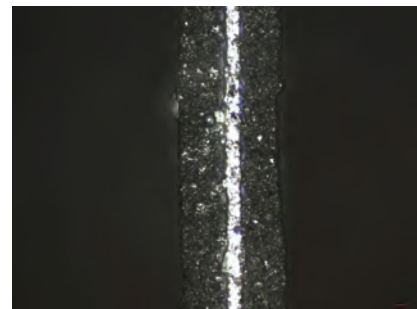


图1：纳秒脉冲光纤激光器可以很容易地切割电池箔，通常仅需单程操作。

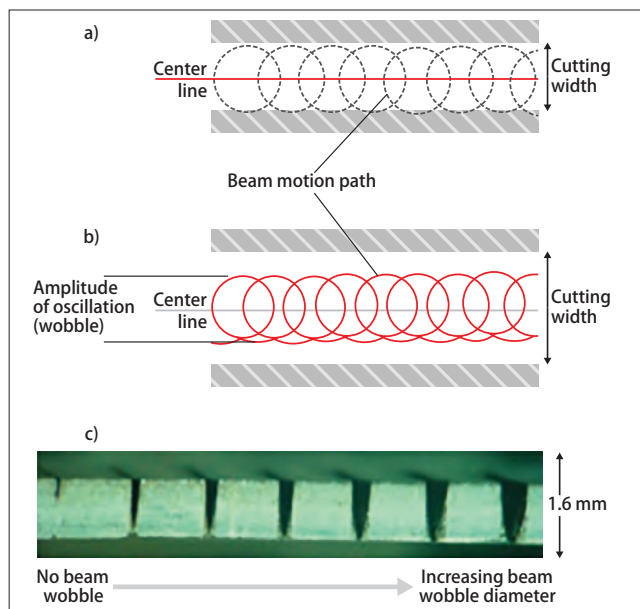


图2: 摆动切割示意图 (a) 给出了标准的切割路径和产生的切口宽度 (b); 通过对光束施加摆动, 可以增加有效切割宽度。通过增加摆动直径, 能够提高金属去除效率和切割深度 (c)。

切割效果, 因为高品质光束较低的脉冲能量和峰值功率, 不是较小的光斑尺寸所能充分补偿的。 $M^2 < 2$ 的激光器效果最差, 因为虽然它具有较高的脉冲能量和峰值功率, 但是其光斑尺寸较大, 作用在材料上的能量密度明显更低。最后, $M^2 < 1.6$ 的激光器获得了最好的切割效果, 因为它以适中的光斑尺寸提供了脉冲能量和功率的最优组合。

为了充分切割较厚的材料, 需要采取新的切割方式, 以有效扩大切口, 以及允许去除更多的材料。虽然这是通过增加激光光斑尺寸来实现的, 但该方法的不利之处在于减少了入射能量密度, 从而降低了材料的去除效率。

一种更有效的方法是将每程光束的切割线偏离相同的距离, 偏离值在焦点直径量级, 从而有效地将切口宽度翻倍, 该方法尤其适用于基于 x-y 平台的系统。编程时需要特别小心, 以确保完成成品零件的尺寸可以接受。随着切割材料厚度的增加, 在切割边缘会产生轻微的锥度。

通过基于扫描头的光束传输, 标准商用激光打标软件的“摆动”功能 (最初开发用于加宽打标线, 使其更可见) 可以很好地使用 (见图 2)。从本质上讲, 这种摆动功能使得光束以用户自定义的直径和频率, 沿着切割路径轨迹作圆周运动。

使用这种摆动功能, 光束以预定的幅度沿着切割线有效地螺旋。需要仔细控制摆动宽度、摆动频率和切割线速度, 以优化脉冲交叠, 从而实现材料去除最大化。



图3: 在珠宝首饰行业, 纳秒脉冲光纤激光器现在已经司空见惯, 用于生产精细金属切削和毛化, 如图中这款银百合的设计。

切割较厚的反射性金属

为了切割厚度大于 0.5 mm 的金属, 可以使用更为复杂的多程加工策略, 对每程的参数进行优化。这些技术可用于所有的金属材料, 但切割速度和可切割的厚度不同。例如, 利用 100 W 的脉冲光纤激光器, 可以对 1 mm 厚的铝板实现 0.9 m/min 的切割速度; 然而对于 1 mm 厚的银板, 切割速度则要降至仅为 0.2 m/min。

激光切割速度受材料反射率的影响, 但是, 与 CW 光纤激光器相比, 纳秒脉冲光纤激光器能够以相对较低的平均功率水平加工高反射性材料。这是因为这些纳秒脉冲光纤激光器的峰值功率可以比 CW 光纤激光器高 100 倍甚至更多, 很容易超过较厚金属材料的阈值。

对于反射性材料的传统 CW 激光切割, 一般需要大于 200 W 的平均功率 (对于 1 μm 光源), 以实现稳定的吸收和足够的切割性能, 这意味着平均功率明显更低的脉冲光纤激光器, 可以切割那些需要更高平均 CW 功率水平才能切割的材料。

带和不带辅助气体

传统切割需要切割头, 激光束聚焦到工件上, 通过喷嘴施加共轴切割辅助气体。激光束熔化材料, 辅助气体吹走熔体, 从而产生切割作用。

虽然使用基于扫描头技术的金属切割通常局限于厚度小于 1 mm 的材料, 以及可落入扫描透镜工作范围内 (约 100 mm $\times$ 100 mm) 的小零件, 更厚的部分可以采用脉冲光纤激光器进行加工, 但可能需要周期性调整焦点位置, 以保持能量密度。作为选择, CW 激光器不适合基于扫描头的切割, 因为不能产生实现材料熔融喷射的足够汽化,

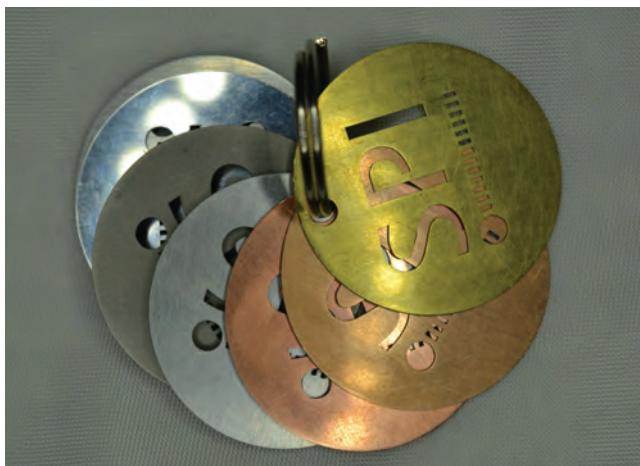


图4：纳秒光纤激光器使用辅助气体，可以切割各种金属（钢、不锈钢、铝、紫铜、青铜和黄铜），甚至是非金属材料。

因此通常使用固定的光学元件和辅助气体。

除了不需要辅助气体这一明显的优势外，用于微切割应用的基于扫描头的纳秒脉冲光纤激光器，还具有相对低的资本费用。CW 光纤和二氧化碳 (CO₂) 激光器具有固定光学元件、切割头和辅助气体，通常是高于 10 万美元的机床，而用于金属切割的基于扫描头的 20 W 脉冲光纤打标系统，尽管适用于薄片和有限的零件尺寸，但其成本只有 2 万美元。

此外，纳秒脉冲激光器还有其他诸多优势，如可用于打标、雕刻和毛化以及切割和焊接。这种通用性能很好地用于珠宝首饰行业，纳秒脉冲光纤激光器是加工（包括切割和雕刻）基于精细金银丝的金银饰品的标准产品，为设计人员和制造商提供了极大的灵活性（见图 3）。

许多脉冲光纤激光器是在 24/7 生产环境中使用，在众多应用领域，这些激光光源的可靠性对销售的强劲增长至关重要。改变光纤激光器脉宽的能力，为加工优化提供了一条额外的路线，即根据材料类型影响材料去除速率。

脉冲光纤激光器也可以配合标准的切割头和带有辅助气体的喷嘴使用，就像传统的 CW 光纤激光器一样。甚至 50 W 的纳秒脉冲光纤激光器可以切割银、黄铜和紫铜，而这通常需要连续光纤激光器的功率

水平 >200 W（见图 4）。

当使用辅助气体切割时，取决于应用，光纤激光器可以在脉冲、CW 或准 CW 模式下使用。在脉冲模式下，高峰值功率光束容易耦合进入材料，从而能够以低平均功率切割高反射性材料，虽然有时切割速度可能较低。在 CW 模式下，强度仅限于激光的平均功率，因此不能用在反射性材料切割，因为未达到耦合阈值。使用高重复频率 (> 200 kHz) 的长纳秒脉冲 (> 200 ns)，可以产生峰值功率 > 200 W 的调制准 CW 脉冲串，特别适合该应用，并且平均功率 < 100 W 的激光器能够切割厚度达 1 mm 的多种材料。

不止切割金属

应当指出的是，纳秒脉冲光纤激光器能够切割的材料并不仅限于金属材料。这些激光器还可以有效地切割多种非金属材料，只要这些材料在标称的 1 μm 波长显示出至少一些水平的吸收。可以切割的其他材料包括硅、碳纤维增强塑料 (CFRP)、陶瓷、橡胶、某些塑料和聚合物，甚至是电子工业中常用的多层材料。□

精密位移解决方案



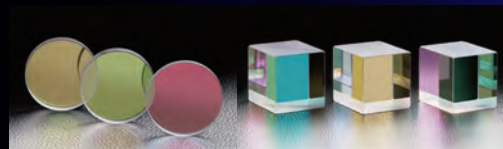
高稳定工业专用调整架



精密隔振光学平台



优质光学元件



北京卓立汉光仪器有限公司

地址：北京市通州区金桥产业基地
联东U谷中试区68号B座

电话：010 56370168

传真：010 56370118

邮箱：info@zolix.com.cn

网址：http://www.zolix.com.cn



官方微信

激光钻孔

皮秒激光器实现陶瓷薄膜材料的高效钻孔

文/Dmitrij Walter博士,Manz AG激光与光学器件开发部主任

电子器件越来越多地采用各种陶瓷部件。它们或应用于外壳，或作为无源或有源电子组件的激发基础。就生产而言，由于这种材料很难进行机械加工，因此激光加工是最好的选择。

激光可在陶瓷外壳上切割或钻出扬声器孔、控制器孔或摄像头孔；同时，还可对陶瓷薄膜钻孔或进行结构处理，以便安装结构部件。因此，Manz 公司研发了多种适用于不同应用的特殊激光工艺。

生产电气微电路的微型线圈需要薄陶瓷膜。通常需要在这种薄膜上钻出成千上万的微孔。最新研发的激光工艺，能在不到 40 s 的时间内，在待处理表面上 130 mm × 130 mm 的区域内钻出 20 万个直径为 15~25 μm 的微孔。钻孔的位置与目标位置之间的偏差值不超过 2 μm。

为了获得高速和最大的精确度，在研发激光加工工艺时，将超短脉冲激光器的性能与经精确校正的远心镜头的最佳精度结合在一起。

每孔需100发激光脉冲

采用超短激光脉冲钻孔，能够防止材料融化及形成熔坑。这是因为在 6~10 ps 的脉冲长度下，材料的热松弛时

间会比脉冲长度长得多。由于激光束电场的加速，只有电子才会得到激励活化，而原子仍保持在“冷静态”。材料开始热化之前，晶格键已全部打开。这表明在材料发热之前就已经被去除了。这样一来就在实现精确钻孔的同时，保证不会产生熔坑。

通常待处理的陶瓷薄膜厚度约为 15~50 μm，承载薄膜的厚度约为 30~50 μm。钻一个孔需要 50~100 发激光脉冲。这包括在可见光谱内发射光束的激光源。红外激光器因为其波长更长、焦点直径更大，因此不能钻出这种尺寸的位孔。

通过改良的光学部件获得高精度

使用高精度的双轴振镜将激光束引导到远心透镜，从而确保将光束精确地聚焦到陶瓷膜表面。这两个部件均是根据客户要求定制的，从而能够在加工过程中实现高速度和所需要的最高精确度。

采用远心透镜时，焦平面弯曲就不可避免，但这是可以进行校正的。然而，Manz 的光学系统并没有发生焦平面弯曲的现象，这是因为通常透镜系统可以使用各类玻璃，但只有石英玻璃才能满足皮秒激光器对光学材料的要求。

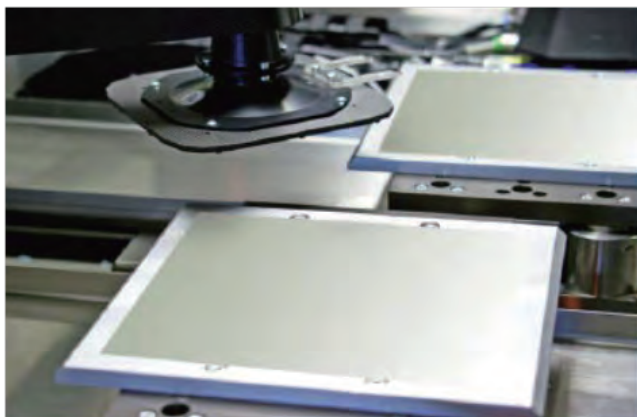


图1：为使产量翻倍，可以同时处理两个陶瓷薄膜。因此，激光束被分束到两个独立控制的扫描头。

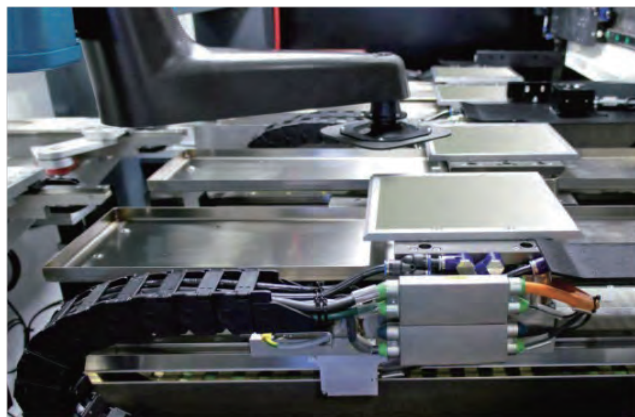


图2：通过伯努利吸盘（Bernoulli gripper）传送130 mm × 130 mm的正方形陶瓷薄膜。

石英玻璃之所以与众不同，不仅是因为其具有极低的吸收率，而且其拥有独特的较低色心形成倾向性——即使是激光束以极高的峰值功率穿过石英玻璃。此外，另一个用于调节焦点位置的可移动石英玻璃透镜，也弥补了这种焦平面弯曲。

因此，可使用机械执行机构移动石英玻璃透镜来改善光学部件的性能，所述机械执行机构的位置则取决于焦平面弯曲的情况。可以用一套专门研发的 3D 校正工具来确定其位置。

时间和速度

激光加工的速度很大程度上由钻出每个孔需要的激光脉冲数目和振镜移至每个钻孔位置所需要的时间来决定。

采用微焦级别的脉冲能量时，激光钻出一个孔需要的脉冲数量不超过 100 发，这意味着钻每个孔需要约 0.1 ms（在给定的重复频率下）。振镜将反光镜移动到下一个钻孔位置则需要更长的时间，大约为 0.25 ms，这对振镜的动态性能提出了非常高的要求。为了节约时间，采用状态计算机而不是 PID 控制器来调节振镜的转动。因此，能够

提前计算出反光镜所需的电压脉冲，而无需重新反复调整。

要获得更高的速度，主要通过数字化控制来实现。过去，振镜的位置依旧由模拟组件决定，模拟组件是一个能够在光电二极管前面移动的遮光组件。目前，一些振镜生产商正在测试一种数字编码器，以加快控制器的速度。然而，这种工艺还尚未实现量产。

加工每件需40 s

因此，移动振镜和进行钻孔需要 0.35 ms 的时间。要在 130 mm × 130 mm 的陶瓷膜上钻出 10 万个孔，总共需要的时间不少于 40 s——包括不可避免的缓冲时间。为了同时处理两块陶瓷薄膜，通过均等的分光，将光束传导到两个独立可控的振镜中。这可以使生产量翻倍，从而能够在 40 s 内钻出 20 万个孔。

最初，激光加工工艺是专为大批量生产微型线圈而研发的。将 20~40 个陶瓷薄膜堆放在一起，并且按照定位标对准，那么加工出的所有小孔都是上下准确对准的。然后，便可从这堆材料上切割出多达 10 万根线芯直径仅为 200 μm 的线圈。□

大孔径直驱转台



Aerotech的ALAR系列直驱转台具有卓越的角度定位和速度控制性能，最大孔径325mm，最大负载600kg。大孔径、高负载能力和直驱电机使得ALAR系列能够为您的应用提供多种多样的、高速（最大300rpm）、无空回的超高精度解决方案。

获取更多的关于Aerotech ALAR系列的信息，请联系我们的应用工程师或访问我们的网站 www.aerotech.com

- 5种不同的中空孔径(100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 325 mm)
SP型具有更高的刚性 LP型轮廓较低
- 高达600kg的轴向负载能力
- 无齿轮传动电机提供平滑运动和零空回
- 45-300rpm连续转动速度
- 最适合于负载须在旋转中心和AZ万向节应用；
- 10⁻⁶ Torr真空兼容性能
- 大直径安装孔和高分辨率是制造折轴和可伸缩望远镜的理想选择

激光焊接

利用高亮度 1 μm 激光器实现先进的焊接技术

文/ Andreas Weller, 通快（中国）有限公司激光技术部总经理

波长在 1 μm 左右的碟片激光器和光纤激光器，正日益应用于各种不同的焊接任务中，并且正在从 CO₂ 激光器手中抢占到越来越多的市场份额。尤其是在薄板焊接、三维部件焊接以及大型部件焊接等应用中，1 μm 波长通过柔性光纤导光的优势是非常有用的。但是如果关注的重点是焊接质量标准，比如焊缝表面和焊缝底部的焊接质量以及焊接飞溅物，那么 CO₂ 激光器则是最常用的光源选择。

本文将着重探索深熔焊引发加工过程不稳定的机理，并通过高速成像设备记录画面，以便探讨提高固体激

光器焊接质量的解决方案。首先要解决的问题是如何在工业生产环境中优化加工工艺，从而优化加工的可靠性。第二，如何抑制金属羽辉，从而优化应用结果和增加熔深。第三，如何使用远程扫描头焊接和摆动技术来优化应用结果。

优化应用结果的方法

(1) 试验装置

采用通快的 Yb:YAG 固体碟片激光器 (TruDisk 16002) 对低碳钢 S235 进行局部穿透和全部穿透的深熔焊，光束质量为 8mm*mrad，波长

$\lambda = 1.03 \mu\text{m}$ 。为了实现更大的穿透深度和更高的焊缝质量，焦点位置设定在工件表面以下 2 mm 处。在焊接材料底部安装有一台高速相机，其与一台 EOS 7D 相机和安装在焊接材料顶部的其他高速摄像机结合使用，可以非常详细地以可视化的方式记录整个焊接过程。下面我们将主要研究三个主要现象：熔滴、飞溅物和金属羽辉。

(2) 使用 1 μm 碟片激光器或光纤激光器实现全熔透焊接

对于全熔透焊接，焊接参数对焊缝质量的影响非常大。图 2 中显示了

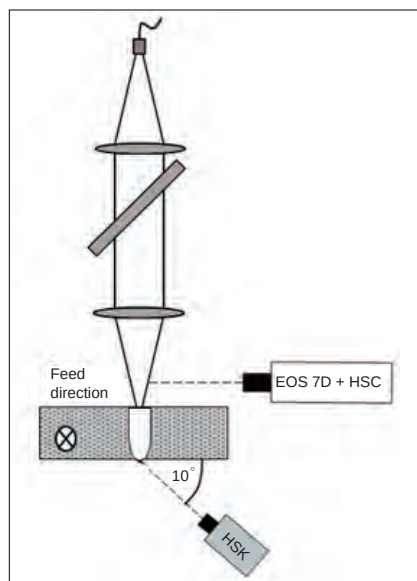
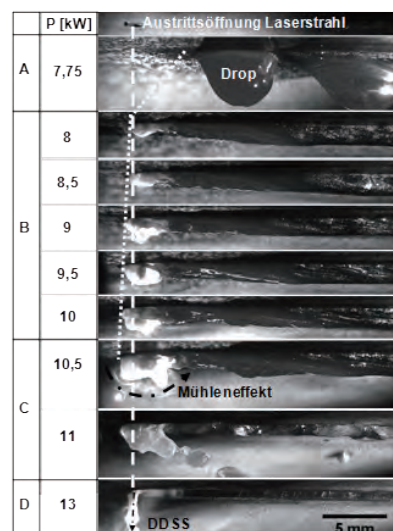
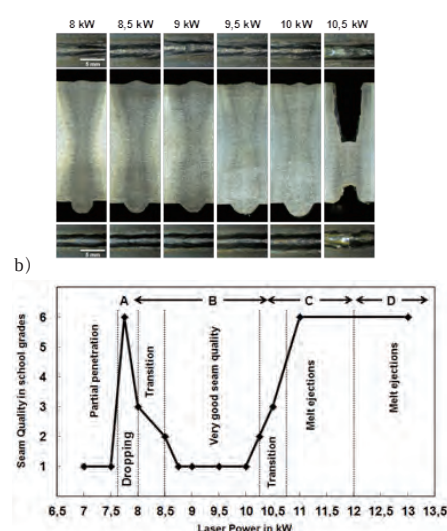


图1：试验装置。



a)



c)

图2：以 1 m/min 的速度对厚度为 12 mm 的薄板进行全熔透焊接时，激光功率对焊接质量的影响。a) 在左边可以看到焊接材料的底部，包括出射激光束的位置。b) 材料上表面的焊接质量、截面和下表面的焊缝质量。c) 焊接质量处于实验级别，这里 1 表示质量非常好。

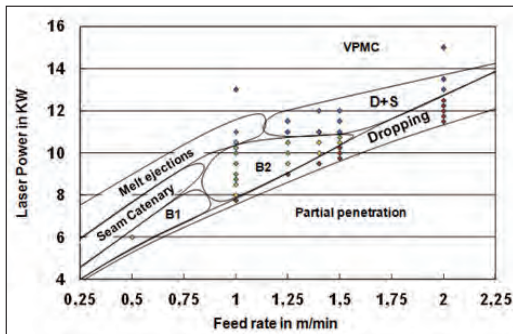


图3：在厚度为12 mm的低碳钢S235材料上的应用结果。

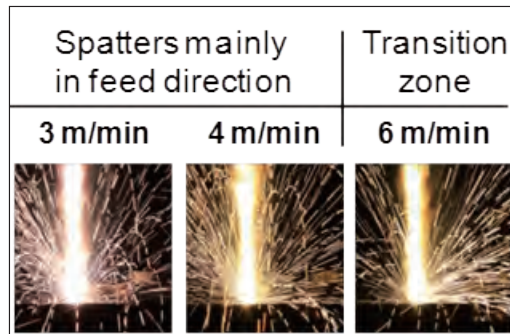


图4：不同进给速度下的侧面图。

致熔化节点和激光束出现点之间更大的差距。当功率为 10 kW 时，能获得 1.1 mm 的最大熔深。熔池动态受到了影响，并且在底部可以检测到一个旋转的熔体流动。

(3) 飞溅物和金属羽辉

激光功率参数对焊缝质量的影响。从图中可以看到，当激光功率从 7.75 kW 增加到 13 kW 时对焊缝质量的影响。该试验是在厚度为 12 mm 的低碳钢 S235 上进行的，焊接速度恒定为 1 m/min。当激光功率为 7.75 kW 时，我们可以看到熔池的影响。在进料的反方向上，处于熔化节点和激光束出现点之间存在一个几毫米的缺口。当激光功率为 8 kW 时，熔池移动到了激光束出现之前，从而出现微小熔化增多，避免了熔滴。进一步增加激光功率，会导

由于毛细管后方的表面张力，熔体向工件偏转——一种所谓的“研磨效应”由此产生，导致在工件底部的焊缝强度得到加强。因此，当激光功率在 8.5~10.25 kW 之间时，可以获得非常好的焊缝质量。在这样的功率水平下，熔池底部没有开口的毛细管，因此在根部没有检测到飞溅物。当激光功率达到 10.5~13 kW 时，这种现象会有所改变，这时候熔体会在底部喷射出来。当激光功率达到 13 kW 时，熔体喷射非常厉害，导致工件分离，从而形成切割

FISBA

全球市场领先者 激光二极管应用光学元件

快轴准直透镜 (FAC) 卓越的性能和紧凑的设计让高功率激光二极管准直更高效

慢轴准直透镜 (SAC) 专门针对单管镀膜设计可以获得接近衍射极限的准直效果

FISBA Beam Twister (FBT) 透镜
高耦合效率，更长使用寿命

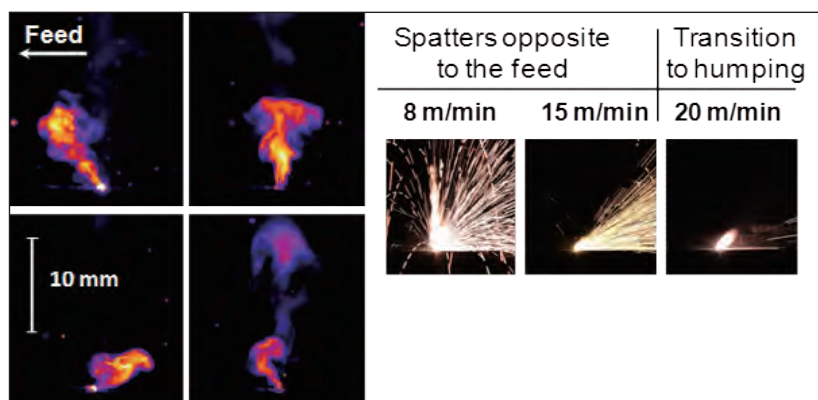


图5: 在3 m/min的进给速度下, 不同时段侧面图。

(没有任何辅助切割气体)。这种效应被称为蒸汽压力熔切 (VPMC)。图 2b 中分别显示了工件顶部、底部以及截面的焊缝质量。若将焊缝质量的等级以数字区分, 1 代表质量非常好, 而 6 代表质量很差。我们可以看到, 对于 12mm 厚的低碳钢来说, 在激光功率为 8.7~10 kW 之间时, 可以实现深熔焊并获得良好的焊接效果。在实际工业应用中, 我们建议的选择功率为 9.25 kW (即大约处于功率中点), 以便增加激光加工过程的可靠性。正如上文提及, 该试验是在进给速度为 1m/min 的情况下进行的。

除了测试不同的激光功率对焊接质量的影响外, 我们也评估了不同的进给速度对焊接质量的影响。试验所用板材的厚度仍然为 12 mm, 并且采用相同质量标准。结果如图 3 所示。

在所有的激光焊接进给速度下, 我们可以看到有的区域全熔透了, 但同时伴有熔滴滴落。激光功率的增加可以使这个区域扩大, 从而实现足够好的焊缝质量 (见图 3,

B1 和 B2 区域)。由于高能量的输入, B1 区 0.2~0.7 m/min 的低焊接速度, 会导致更宽的焊缝。随着进给速度的增加, 焊缝随之变小, 但是焊缝所处的功率范围也在缩小 (图 3, B2 区域)。当焊接速度 $v = 1 \text{ m/min}$ 时, 功率变化范围 ΔP 约为 2.5 kW; 当焊接速度 $v = 1.5 \text{ m/min}$ 时, 功率变化范围缩小到 $\Delta P = 0.25 \text{ kW}$ 。当焊接速度超过 1.5 m/min 时, 就很难获得较好的焊接效果, 将会产生熔滴滴落, 或者出现蒸汽压力熔切。

当焊接速度为 $v = 3 \sim 4 \text{ m/min}$ 的中等速度时, 飞溅物将从前部、后部以及各个方向上的毛细管侧壁喷出, 尤其在焊接方向上会有增加 (见图 4)。总之, 这些飞溅物很小, 不会粘到工件表面。但是有一些大的飞溅物会污染到工件表面。尽管如此, 其焊缝质量仍然非常好, 焊接强度很大。

一方面, 这种飞溅源于熔池振荡: 流出的高能量金属蒸气羽辉, 沿激光光束向各个方向倾斜 (见图 5)。另一方面, 由于金属羽辉和入射激光束之间强烈的相互作用, 这

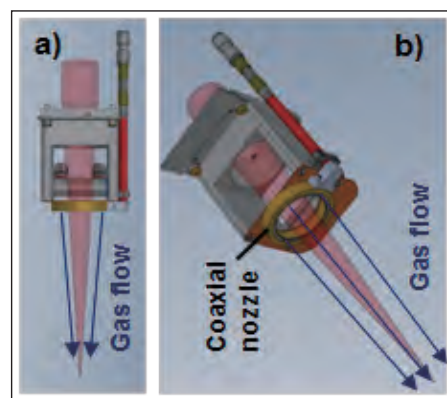


图6: 同轴喷嘴与 cross jetz 相连。

导致耦合的激光将在不同时段不同位置射入焊接工件。在光束方向上的发光效果使这种相互作用变得可见 (见图 4)。

随着进给速度的增加, 毛细管前部变得越来越平坦。当进给速度增加至 6 m/min, 焊缝熔池表现出很高的动态性。结果显示, 在毛细管孔径背后的焊缝熔池开始膨胀, 变得更加动荡不安。一个有点不均匀的上珠出现。在这个焊接给进速度下, 形成了一个介于高速和低速焊接的过渡区。

当焊接进给速度进一步增至 8 m/min 时, 位于毛细管的尾部, 在焊接进给速度

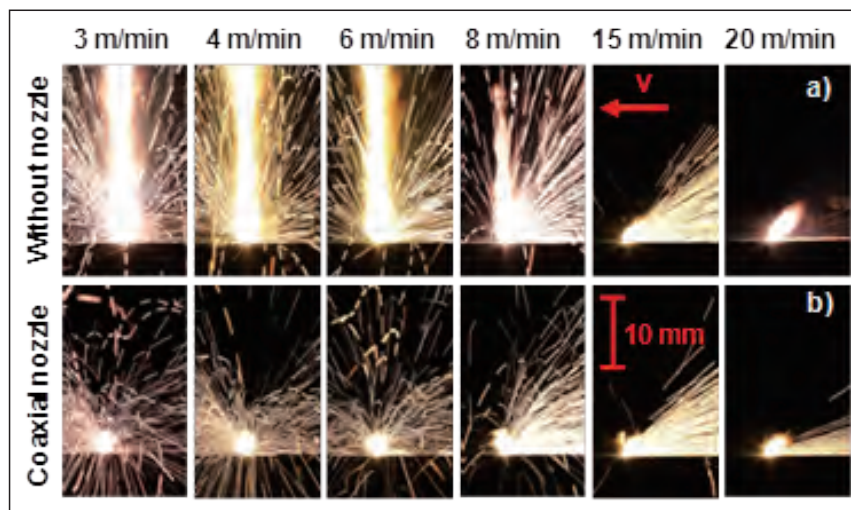


图7: 在不同的进给速率下, 使用和不使用同轴喷嘴情况下的侧面图。

您的安全您做主!

Your security that you call the shots

美国Laservision公司具有超过30年的激光防护设备生产经验, 可以为您提供激光防护设备的一站式解决方案。

激光防护眼镜

- 数十种激光防护镜片可选;
- 防护波长从深紫外到远红外, 总能适合您;
- 提供业界最高的防护值: OD10+;
- 多达20种镜框可选, 满足您不同的佩戴需求;

EYEWEAR & FILTERS



激光防护墙

- 多种材质, 多种设计可选;
- 提供业内超高防护标准: 100s@300W/cm²

BARRIERS



激光防护玻璃

- 多种防护材料可选, 可满足您的不同防护需求;
- 防护波长从深紫外到远红外;
- 提供业界最高的防护值: OD10+;

WINDOWS



TEO 先锋科技
Titan Electro-Optics Co., Ltd.
激光防护产品专业提供商

北京金先锋科技有限公司

010-62634840 www.teo.com.cn

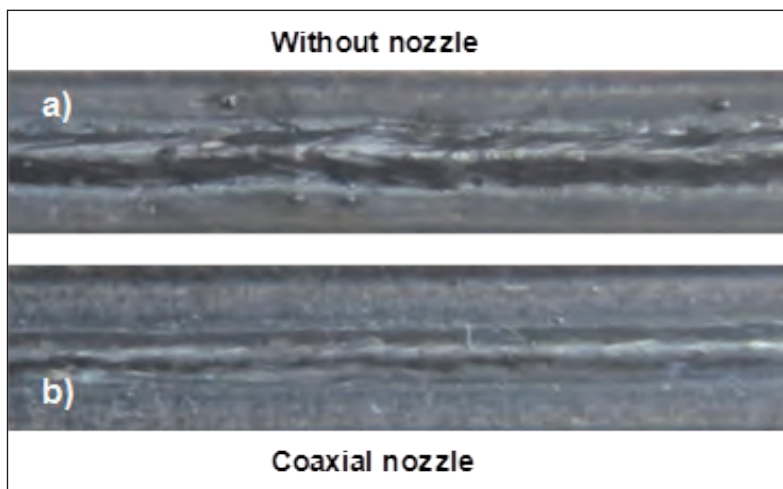


图8: 不使用同轴喷嘴 (a) 和使用同轴喷嘴 (b) 时, 顶部的焊缝质量。

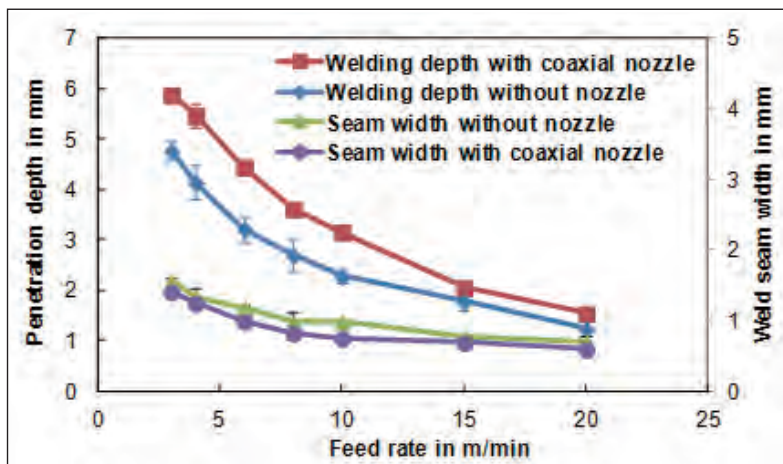


图9: 使用和不使用同轴喷嘴情况下的穿透深度和焊缝跨度。

的反方向, 将出现大量由熔化产生的飞溅物 (见图 4)。这不仅污染焊缝表面, 还将导致焊缝内大量材料损失, 因而焊接无法得以强化, 焊缝强度降低, 尤其在动态加载时。这种现象称之为匙孔倾斜, 在这种情况下激光功率的吸收, 更多发生在毛细管前部。随后熔化会使得材料吸收更多热量, 并产生更大的蒸发率, 这是激光焊接中所有动态效应的推动力量。

如上所述, 金属羽辉对飞溅和焊缝质量也有很大的影响, 因此同轴喷嘴由此设计而成 (见图 6)。压缩空气在被吹向工件冷却熔池的过程中, 同时将金属羽辉吹离工作区域, 从而降

低激光光束与金属羽辉之间的相互影响。当焊接进给速度小于 8 m/min 时, 效果清晰可见 (见图 7)。

由于在时间上和空间上, 激光功率可以被更加均匀地耦合到工件上, 毛细管内的蒸发也会更加均匀。从而毛细管变得更加稳定, 飞溅带来的材料损失减少。当焊接进给速度为 $v < 6$ m/min 时, 相较于没有同轴喷嘴的焊接, 通常可以获得更高质量的焊缝表面 (见图 8)。除此之外, 使用同轴喷嘴使得焊缝宽度变窄, 并且增加了穿透深度 (见图 9) 和穿透深度的稳定性。□

激光材料加工

激光材料加工的过去、现在和未来

文/ Wolfram Rath, Corinna Brettschneider; Rofin公司

在过去的四十多年中，激光技术已经在广泛的应用领域谱写了无数成功故事，甚至有很多应用是离开激光无法实现的。本文将从激光源和应用技术不断完善的角度，介绍了用于宏观材料加工的激光技术的发展情况。

第一步总是最艰难

激光材料加工开始于上个世纪六十年代后半期，那时候脉冲固态激光器开始用于钻孔和点焊，连续波 CO₂ 激光器开始用于切割和连续波焊接。

宏观激光应用（切割、焊接、硬化和熔覆等）于上个世纪七十年代末和八十年代初被引入到工业生产实践中。CO₂ 激光器是当时颇受欢迎的光源，因为它们在当时具有最高的效率，并能提供工业生产所需要的功率。

并非所有的技术和元件在早期都是可用的。激光器、用于光束传输的光学元件、聚焦元件如透镜和离轴抛物面铜镜、气体喷嘴、加工工艺以及气体供给系统，都必须针对高功率和工业环境进行开发和优化。此外，所有的安全法规都有待开发并在国际上标准化，同时用于光束质量定义和测量的标准也有待发展。

工业突破

（一）CO₂ 激光器

随着工业领域对激光加工的兴趣越来越浓，工业领域对可靠的激光加



图1：1973年的横流CO₂激光器（左图）和2014年的CO₂板条激光器（右图）。

工系统的需求开始增长。对于 CO₂ 激光器和系统而言，铜光学元件和低损耗 ZnSe 透射元件具备有反射或抗反射薄膜涂层，对于谐振器元件、光束传输和聚焦而言具有重要价值。这时出现的一项主要进展是用于焊接应用的高度可靠耐用的、具有钼涂层的聚焦镜。为了保证始终如一的切割质量，带有自动喷嘴远程控制和优化的气流切割头也被开发了出来。

CO₂ 激光器市场中存在三个不同的竞争技术，这三种技术主要通过气体冷却的类型加以区分：慢流的高光束质量中等功率（约 150 W）激光器、横流和快轴流激光器，功率高达 20 kW。一个附加的区分技术是气体放电激励的类型。该气体既可以被直流（DC）放电激励，这种方法比较高效；或者是通过 RF 放电激励，这种方法的优点是电极可以位于气体管外，有助于保持气体清洁。

以下几个因素决定了 CO₂ 激光



源的拥有成本：

- 气体消耗
- 电力消耗，特别是待机时的消耗
- 光学元件的消耗（主要是光束输出耦合元件）
- 其他备件的消耗

虽然上述几个决定 CO₂ 激光器的拥有成本的要素都在不断发展完善，但是一项新理论的出现明显地降低了 CO₂ 激光器的总体拥有成本，并且没有什么不足，它就是扩散冷却射频激励 CO₂ 板条激光器。

有了这种新的扩散冷却技术，CO₂ 板条激光器不需要任何复杂的排气系统设置，气体消耗量基本可以忽略不计，实现了待机功耗最小化，并且不要求任何维护用的通风技术。此外，只由铜反射镜制成的谐振器以及一个用于光束传输的金刚石涂层窗口，使其无需再定期更换光学元件。

出色的基本横向模式光束质量，



图2: 4 kW的二极管泵浦固体激光器 (左图) 和4 kW的光纤激光器 (右图)。

允许在切割应用中使用更小的切口宽度、在焊接应用中使用更窄的焊缝, 换句话说, 这意味着更低的功率或更高的加工速度。Rofin 公司于1993年将第一款板条激光器引入市场, 并于2005年将该技术的功率提高到了8 kW, 其已经能够覆盖工业激光应用的主要范围。对于很多加工而言, 10 μm 的长波长更具优势, 因此这些激光器依然是当今和未来的最佳选择。

(二) 固体激光器

另一种在工业材料加工领域获得主导地位的激光器是输出波长约为1 μm 的固体激光器。

使用固体激光器的一个主要优势是可以利用高度柔性的光纤传输光束, 这种方法已经在八十年代后半期进入市场。Rofin 连同其子公司 Optoskand 一起, 为脉冲固体激光器开发出了传输光纤, 输出功率可达500 W。那时光纤的纤芯直径为800~1000 μm , 光束质量80 mm·mrad。

在上个世纪九十年代中期, 在光纤端面使用石英, 使得光纤技术迎来了发展历程中的重要一步。更大的表面实现了更低的功率密度, 不但改善了机械安装, 而且降低了防反射 (AR)

涂层造成的损耗。

在汽车车身焊接应用中, 芯径600 μm 的光纤曾代表了最先进的水平。由于光束质量获得了显著改善, 二极管泵浦的固体激光器要求将纤芯直径减小到300~400 μm 。

今天, 芯径为50 μm ~1 mm 的损耗低、高可靠的 Optoskand 光纤, 已经获得了广泛应用。

众所周知的固体激光器的一种最古老的设计是在采用 Nd:YAG 晶体棒做增益介质。直到上个世纪九十年代末, 这种晶体都是用闪光灯泵浦。这类激光器只有3%的电光转换效率, 闪光灯的寿命大约为1000~2000小时。所有的激光专家都希望用激光二极管取代闪光灯。激光二极管具有以下两大技术优势: 更高的效率和更低的热负荷, 能获得更好的总体效率和改善的光束质量。

Rofin 公司于1997年收购了半导体激光器公司 DILAS, 并且仅在一年之后就推出了第一款几千瓦级的二极管泵浦固体激光器。这些激光器能够达到大约10%的更高效率、12 mm·mrad 的光束质量和更长的激励模块使用寿命。下一步技术发展

光子观测仪 (Roguescope)

**世界上最快的光谱仪
(每秒一亿帧)!**



北京安力诺斯光电技术有限公司代理美国 Time Photonics Inc. 的孤子观测仪作为世界上最快的光谱仪, 可以在单次探测内获取实时光谱信息。其帧速可高达每秒一亿帧, 为目前最快光谱仪的一千倍。孤子观测仪的实时探测能力基于美国加利福尼亚大学洛杉矶分校 (UCLA) 所研发的光子学时间展宽 (photonic time-stretch) 技术。

应用

1. 激光瞬态现象、非重复性激光锁模、
2. 调Q、孤子现象的观测
3. 光学系统中的稀有事件的观测
4. 高速随机过程的观测
5. 复杂动力学系统的统计性研究
6. 调制不稳定性的实时观测
7. 高通量光谱分析仪与光谱稳定性观测
8. 非线性光学系统中瞬态现象的观测

硬件规格

型号:	TS-DFT-100-NIR	TS-DFT-100-IR
波长范围:	650 - 1000 nm	1000 - 1650 nm
带宽:	< 650 nm	
光谱分辨率:	> 10 pm	
帧速:	高达1亿帧 / 秒	
最小输入功率:	300 μW	
最大输入功率:	10 mW	
接口:	FC/APC	
输入光纤:	SM / PM	
输入电压:	90 to 270 VAC, 50/60 Hz	
尺寸"	425 x 44 x 305 (mm)	

如欲对孤子观测仪有更多了解, 请联系我们

电话: +86 10 84783386

传真: +86 10 84783396

电邮: contact@amonics.com

网址: www.amonics.com.cn



图3：七十年代初期的Messer切割系统：激光源倾斜45°。这使得用户通过使用一个相移延迟90°的光束弯曲装置，在工件上获得圆偏振光（左图）。2014年的Messer切割系统：配备4.5 kW CO₂板条激光器的大型系统。所有Rofin的CO₂激光器发射与水平面成45°的偏振光束（右图）。

则是将增益介质的形状从棒状改变到碟片状，以提供高于20%的整体效率和大约5 mm•mrad的更好的光束质量。

除了泵浦模块的使用寿命外，固体激光器领域的一个重要的问题是如何有效地带走激光增益介质中的热量。如果是典型的增益介质为棒状的固体激光器，则光束质量受径向热梯度的影响显著，即所谓的“热透镜效应”。使用碟片状增益介质，能够减少热透镜效应，因为其能够在碟片的背面实施高效的大面积散热，从而能产生连续一致的高光束质量。在2003-2010年间，Rofin曾提供用于工业切割和焊接应用的高功率碟片激光器。

（三）光纤激光器

进入2000年之后，通过光纤提供单模光束质量输出的高功率光纤激光器的发展，可以说是固体激光器技术领域最重要的一项发展。

大模场面积、稀土掺杂的大包层直径双包层光纤、集成泵浦耦合器的光纤以及高功率激光二极管泵浦源的发展，无疑对光纤激光器的发展起到了推波助澜的作用。这种技术能将高功率光纤激光器模块设计实现为“集成的光纤设计”，这使得模块更加简单、牢固、高效，非常适合用于“在工业生产中使用的激光器中”。将这些模块通过全光纤组合器组合到一起，能获得更高的功率，并且能够提供具有高光束质量的多模输出。

Rofin于2007年通过一系列战略收购推出了光纤激光器，如其收购了Corelase、Nufern、m2k Laser和PMB等专业公司。激光二极管、活性双包层大模场面积光纤、光纤泵浦耦合器、高功率光纤组合器和光束传输以及电源等组件的开发和生产，都是由Rofin集团旗下的这些专业公司完成的。

随后，Rofin提供了与众不同的单模和多模光纤激光器产品，功率高达6 kW，并具备以下特性：

- 比碟片激光器更简单的模块化设计
- 坚固耐用，无需机械稳定性
- 光束质量适用于不同的应用，从单模（0.4 mm•mrad）到多模（40 mm•mrad）
- 高效：光转换效率超过80%，插墙效率超过30%。

这些光纤激光器可以作为工业生产领域的通用加工工具，它们比之前的所有其他激光器显示出了更广泛的适用性，因为其具有广泛功率和光束质量，以及灵活的光束切换、分束和扫描的可能性。此外，它们的效率、波长和最小维护要求，能够在大量行业中实现高度经济化的加工过程。

总之，工业激光器获得成功的一个重要因素是：从一个科学实验室装置发展成为一个在维护和服务要求方面获得工业领域认可的产品。第一台工业激光器的维护周期约为1000小时，维护工作约需要一周的时间。客户已经完全接受了这种情况，因为他们只关心这个新的有前途的工艺——能够实现改进的新产品，降低生产时间，实现更高的加工质量。

在随后的几年中，总拥有成本和可维护性等问题变得越来越重要。在CO₂激光器领域中，从横流激光器到快轴流激光器的维护周期，从1000小时到2000小时不等，但也降低了维护工作。随着扩散冷却板条CO₂激光器的发展，Rofin能够提供“具有非常低的服务和维护费用、维护周期为3000小时、维护工作仅需6小时便可完成的”激光器产品。

在固体激光器领域，从灯泵产品到二极管泵浦的激

光器, 在服务和维护费用方面存在很大差别, 而最新的光纤激光器技术又几乎是免维护的。另一个重要的问题是激光源在生产工厂中的可用性。在 CO₂ 激光器领域, 从横流激光器到板条 CO₂ 激光器及现代光纤激光器, 可用性显著增加。如今, 激光已经被视为一种加工工具, 所有要求和工业标准都如同可扩展的备件, 以 24/7 的模式和电子服务能力服务全球市场。此外, 在所有的战略市场提供快速的本地化支持, 也是获得业务成功的关键。

从光源到解决方案——今天的工业实践

四十多年来, 激光器已经成功地用于各种工业应用领域, 其中切割和焊接是最主要应用。另外也有淬火、熔覆及表面处理等其他重要的应用。下面将主要介绍切割和焊接应用。

早在 1967 年, TWI 就展示了激光切割。现在激光切割仍然主导着金属板材切割、管道和轮廓切割、汽车车身部件的三维切割等宏观应用; 此外激光还用于切割非金属材料, 如安全气囊、塑料显示器、砂纸、模具模板等。

CO₂ 激光器是切割应用的理想激光源: 高光束质量 (3.5~8 mm•mrad) 下的高连续 (CW) 功率, 能在高于 1 kHz 的频率下产生脉动, 比灯泵浦固态激光器的效率高三倍, 可靠性更高。最初, 快速轴流激光器是首选, 因为其相比于横流激光器能提供更加对称和更好的光束质量, 但是这两种类型的激光器在市场上都依然存在。CO₂ 板条激光器的优势主要来自于其光束质量: 对于较薄和中板厚度的板材, 它们能比低光束质量的激光器获得更高的切削速度。

当通过光纤输出的高功率 Nd:YAG 激光器出现以后, 这些切割应用能使用波长 1 μm 的激光器与机器人结合来实现。最初使用的是高平均功率的脉冲灯泵浦 Nd:YAG 激光器, 后来使用的是连续灯泵浦 Nd:YAG 激光器。一直以来人们希望二极管泵浦的 Nd:YAG 激光器能够实现一个重大突破是: 能够设计成具备 CO₂ 激光器大约 10% 的典型效率。

二极管泵浦的光纤激光器和碟片激光器的最新发展, 获得了大约 30% 的典型电光转换效率, 并且光束质量等同或好于基本模式的 CO₂ 激光器。光纤激光器是目前最先进的切割光源, 其通过“全光纤”方式生成光束并将其传输到激光切割头。

当考虑使用这些激光器切割金属板材时, 的切割使用这些激光器进行了调查, 一些意想不到的看法, 引起了对切割工艺调查的兴趣:

- 对于一般的金属板材切割应用, 单模光束质量并没有用
- 薄片可以非常有效地切割, 没有 CO₂ 激光器典型的等离子体作用
- 铝能被快速可靠地切割, 但是板条 CO₂ 激光器能获得更好的切割质量
- 中等厚度和大厚度的不锈钢板材, 不能获得 CO₂ 激光切割实现的典型切割质量
- 光学元件的任何污染都将严重影响切割结果——操作者和系统制造商需要满足洁净需求
- 对安全防护罩的更高需求, 增加了系统成本

由于快速、精确的激光功率切割系统控制, 受益于 CNC 针对部件加工而控制开发的准自动化设计, 这使得市场能够及时提供切割样品。

八年技术沉淀

紫外打标首选



- 一体化设计
- 调Q技术独特
- 光束质量卓越
- 光电转换率高
- 超窄脉宽, 高峰值功率

OVCEXPO 2015 武汉光博会

November 12th, 2015 Booth:A1.1080

RFH LASER
瑞丰恒激光

电邮: sales@rfhlasertech.com
电话: 0755-86028963, 18928466502
传真: 0755-86375012 网址: www.rfhlasertech.com
地址: 深圳市南山区高新技术产业园中区M10栋



图4：用4 kW光纤激光器进行汽车零部件的扫描焊接。

如今，平板（飞行光路）系统、激光打孔两用系统、管材和型材切割系统、5轴3D切割系统和基于机器人解决方案，都是可靠的工业生产工具，它们可以配备CO₂激光器或光纤激光器。

激光焊接解决方案需要考虑到部件准备、机械接合、夹紧等因素，激光焊接在根本上是不同于激光切割的。

因此，更多的系统制造商针对他们的特定市场提供特殊的解决方案。

在汽车行业的率先应用

- 1973年——福特采用配备3 kW CO₂激光器的车身底部焊接系统
- 1976年——菲亚特开发用激光焊接同步齿轮
- 1979年——通用用CO₂激光器焊接不锈钢
- 1980年——丰田和本田使用富士配备CO₂激光器的3轴系统用于冲模更换
- 1983年——蒂森钢铁用1 kW的

CO₂激光器焊接两块镀锌钢板。这是首个“拼焊板”。

- 1984年——福特（Saline）采用500 W CO₂激光器修剪塑料仪表盘
- 1986年——宝马使用配备CO₂激光器的5轴龙门架焊接车顶

八十年代后期应用激光焊接的进一步例子是汽车行业中的气门挺杆、燃油过滤器、减震器及齿轮的焊接。在九十年代早期，开始是通过CO₂激光器结合铰链式反射镜臂和机器人，实现了车顶焊接；后来通过使用柔性光纤和灯泵浦Nd:YAG激光器实现车顶焊接。

随着激光源实现了更高的可靠性、更高的效率和更好的光束质量，以及新技术的涌现，使得激光加工市场拓展到了更广泛的新领域，如：

- 差距、车轴（填丝，感应前，后热处理）
- 金刚石锯片
- 拼焊板，一维，二维，刀具硬化（铝硅涂层的烧蚀）
- 激光焊接管材，主要由板条CO₂

激光器连续焊接

- 热交换器（夹紧技术）
- 铝合金焊接：燃油滤清器、汽车车身、混合激光焊接（光束质量好，功率稳定）
- 机身部分的铝合金焊接（空中客车，板条CO₂激光器）
- 复合金属板设计，采用激光焊接，如排气部件（自动化）
- 喷油嘴焊接（光束质量）
- 基于扫描仪的焊接技术（光束质量）
 - 远程焊接系统（座椅结构，板条CO₂激光器）
 - 远程飞行扫描焊接（白车身焊接，光纤/碟片激光器）
 - 热交换器的扫描焊接

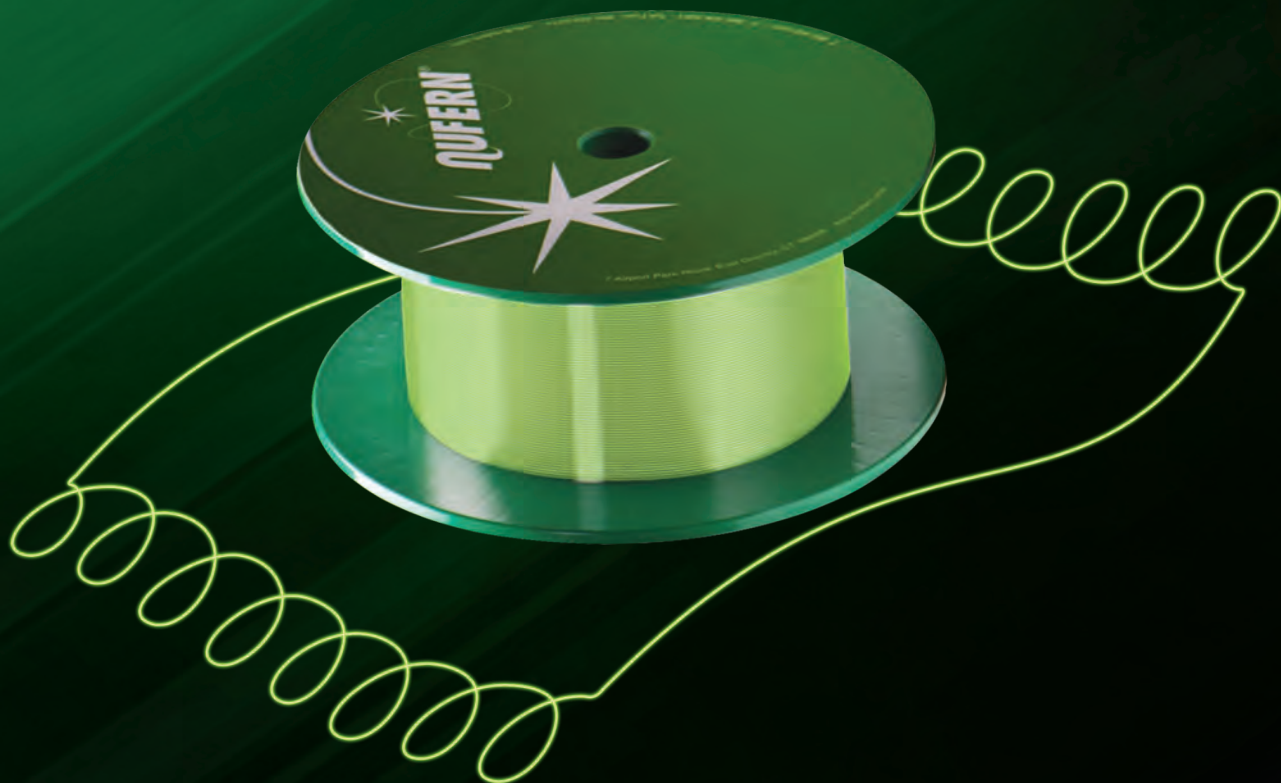
大多数的应用可以通过CO₂激光器或光纤激光器系统实现。今天的CO₂激光焊接过程，具有更少的飞溅产生，这使得它们成为动力系统应用或是管道焊接应用的首选。光纤激光器的效率、波长和最少的维护需求，加之灵活的光纤传输，使得光纤激光器是一种经济的工具选择。

工业激光器的未来

面向宏观应用的激光技术获得了很好的发展，并且目前已经非常成熟，当然也会根据市场的需求进行性能上的改进，但不是变革。有专家预计新一代高效率的二极管激光器，提供强大的光束，能用于一般的切割应用。这些概念需要在效率、成本、适用性和可靠性方面，都优于现代光纤激光器，因为目前光纤激光器已经引起了市场的高度注意。成熟应用市场还会增长，并且会继续向新领域拓展，特别激光熔覆、远程切割等新应用。□

Expect Magic

期待魔法的威力...



NUGEN9 下一代光纤激光器和光纤放大器光纤

- 更高的吸收
- 极致的单光纤功率承受能力
- 最低的成本，最高的系统集成产出率
- 衍射极限的光束质量

业界唯一的拥有专门设计的 **NuCOAT_{ra}** 掺氟低折射率丙烯酸酯涂层的光纤



860.408.5000 / www.nufern.com

激光焊接

中等功率光纤激光器在精密熔焊中的应用

文/SPI Lasers

光纤激光器已经广泛应用于高端制造业领域，如精密切割、微加工、快速成型以及焊接等领域。光纤激光器在光束质量、景深、参数动态范围、电光转换效率、多功能性、可靠性以及成本方面的优势也已经为人们所熟知。

在焊接应用中，中等功率的光纤激光器不仅能为工业生产技术人员和用户带来更高程度的操作自由和过程控制，还能让用户享受到持续运营成本方面的好处，这完全得益于光纤激光器在维护支持、日常“调谐”以及耗材消耗等方面的优势。

这些优势对于大批量连续生产过程至关重要，因为在这些生产环境下，全年无休的全天候连续高产量运行和“一次准确、每次准确”的特性，都对成本和产量起着关键作用。

光纤激光器用于焊接

使用波长为 $1\ \mu\text{m}$ 的激光源进行焊接，人们有多种光源选择。过去，“焊接激光器”通常是指能传输巨大脉冲能量（焦耳级）、且在毫秒级脉冲持续时间能达到千瓦级峰值功率的“长脉冲”设备。这类脉冲源的最大占空比通常为 10%（满功率），脉冲重复频率一般不会超过 1 kHz。这种光源有限的脉冲重复频率常常成为工艺的限制因素。这类激光器通常是基于“传导”焊接，即激光器发射一系列脉冲将能

量注入材料内并为材料表面吸收，此时材料次表面会发生熔化，能量便通过熔化区内的热传导和对流，以热的形式扩散至整个焊接区。焊接速度和熔深取决于各种激光参数，尤其是脉冲频率、脉冲能量和平均功率。传导焊的焊缝横截面为半圆形，纵横比为 1:2 或更小。由于形成熔化区的热扩散过程非常慢，因此焊缝周围的热影响区（HAZ）可能会非常大。

光纤激光器和碟片激光器等高亮度连续波激光器，也是可选用的熔焊设备：假设光束在金属表面的聚焦强度超过了某一临界值，即入射能量使金属温度升高至沸点以上，则会产生一个金属蒸汽通道（小孔），该通道会吸收入射激光的功率、并将其转换为热量。随着激光沿通道向下移动，其能量不断被吸收，形成一条深而窄

的焊缝，这类焊缝的纵横比（深度/宽度）可高达 10:1。此外，由于此类激光器可发出连续波，因此，只要小孔一旦形成，它便能一直持续而不会闭合，最终形成热影响区小得多的均匀（狭窄）焊缝。

更重要的是，连续波调制（CWM）光纤激光器还为工艺设计师提供“脉冲模式”和“连续波模式”两种焊接模式选择。上文提到，连续波能提供持续的能量输入，从而达到“速度”要求，而在着重强调“精度和控制”的情况下，加工速度稍慢的脉冲波不失为明智之选。通过对光束传输元件进行适当调整，便能根据不同的加工需求对入射光斑的尺寸和功率密度加以控制。

目前，中等功率光纤激光器的焊接应用范围和适用材料范围都在不断

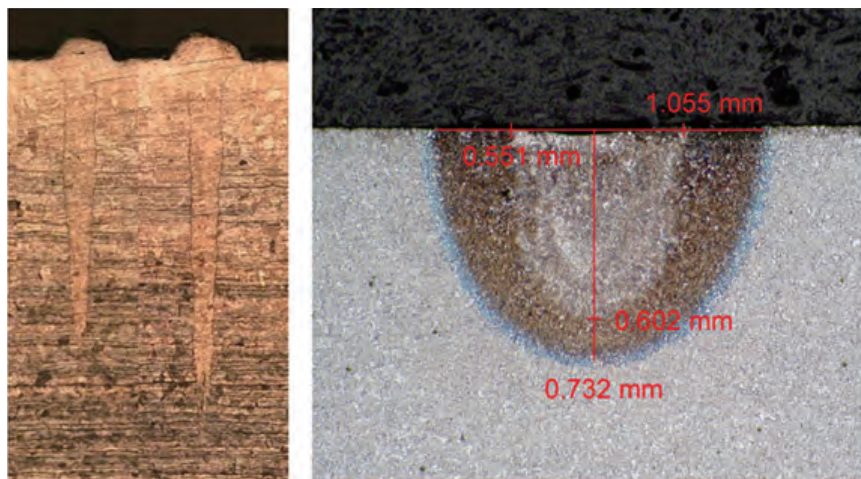


图1：两种有代表性的焊缝形状：a) 软钢中的传导焊缝；b) 1.4301 不锈钢中的小孔焊缝（光斑尺寸 $60\ \mu\text{m}$ ，连续波功率 400 W，左图的焊接速度为 9 m/min，右图的焊接速度为 8 m/min）。

"Bead on plate" profiles: 1.4301 stainless / 3 mm thickness, shielding gas N ₂ , Z=0, 375W at work-piece		
		
spot size 15 μm	spot size 60 μm	spot size 120 μm
4 m/min	8m/min	4 m/min
1.50 mm	1.35mm	1.26 mm

图2：不锈钢焊接：在规定速度下不同光斑尺寸（15 μm/60 μm/120 μm）对焊接熔深的影响。

扩大，从医疗器械生产中的精细焊接应用发展到更趋于主流的工业应用中。连续波焊接的焊缝具有表面光滑和表面质量良好的优点，不仅能达到外观要求，还有利于进行消毒（医疗应用中）。在总成本越来越受重视的今天，通过调整光束光斑尺寸（如上所述）来放宽表面加工公差以及焊接部件之间配合公差的做法，也显得日益重要。

焊接工艺设计的注意事项

设计焊接工艺时，设计师必须恰当地选择关键参数，如光斑尺寸、光能级、焊接速度和保护气体 / 气流条件等，以形成符合要求的焊缝（深度、宽度或点焊缝的直径），并留有一定的工艺裕度，以抵消配合公差、材料性能波动以及金属蒸气羽辉的影响。图 2 对比显示了两种不同的聚焦光斑尺寸（比例为 2:1）对不锈钢的焊接熔深和焊接速度的影响。从图中可以看出，光斑尺寸越大，熔合区和工

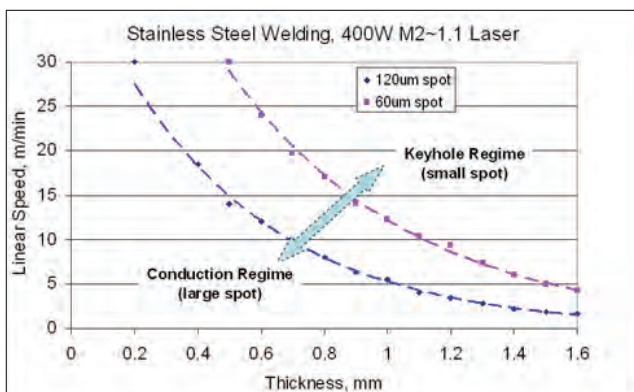


图3：两种不同光斑尺寸（60 μm/120 μm）下不锈钢焊接熔深与线性速度之间的关系图。

艺公差就越大，在焊接速度上也有相应的取舍。

请注意图 2 两个小孔焊接的例子，尽管后一次焊接的速度是前一次焊接速度的大约两倍，熔深却相差无几；这就表明，对于光斑尺寸为 15 μm 的焊接，其工艺限制因素在于通过材料表面的蒸汽羽进入到材料内部的能量。当光斑尺寸进一步增大到 120 μm 时，熔合区的形状便发生改变，变成由上部传导熔合区和一条较宽较浅的小孔熔合区组成的“混合形状”；如要以这种方式来增大焊缝的体积，必须相应地降低焊接速度。

图 3 是利用“板上堆焊”获得直线焊缝的试验中，光斑尺寸分别为 60 μm 和 120 μm 时的焊接工艺性能。

单模中等功率光纤激光器非常适用于各种应用范围内的金属精密焊接。□

功率高、寿命长、波长全、样式多 科研 | 工业 | 医疗 | 军用激光器专业供应商

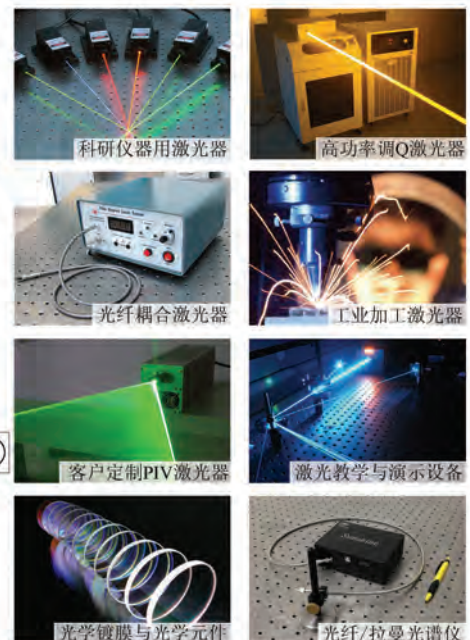
中国科学院长春光机所——长春新产业光电技术有限公司（CNI）主要从事半导体激光器、固体激光器、激光成套设备、光谱分析仪器的研发、生产与销售。可根据客户的不同需求量身定制个性化产品：从紫外到红外近百种不同波长的激光器，波长涵盖236 nm-10.6 μm，激光器种类包括：连续输出激光器、单频/单纵模激光器、低噪声激光器、调Q脉冲激光器、光纤耦合激光器。公司产品远销120多个国家和地区，获得“中国驰名商标”称号的CNI（希爱）品牌在国内外市场赢得了高度认可和广泛赞誉。


长春新产业光电技术有限公司

电话：0431-89216068
0431-87032275
网址：www.cnilaser.com
www.cniptics.com
邮箱：info@cnilaser.com
cni@cnilaser.com



扫描了解更多产品信息！



多色激光器

半导体激光器输出 包括白光在内的多色光

文/John Wallace

人眼看起来为白光的激光可以通过混合单独的红光、绿光和蓝光激光获得。这样的输出刺激人眼中所有三种不同类型的光感受器，如果能正确地平衡，将出现所需的白光特征。通过这种方式，可以分别调节任意或全部激光器的强度，以产生任何饱和或非饱和色。这种技术已经以激光表演的形式存在了几十年。

制造能够发射不同比例红光、绿光和蓝光的微型白光激光器，将可能使每个像素具有明亮、有效的白光激光显示。虽然传统的半导体激光器可以作为微型发光体，它们只能发射单个波长，因此将只适用于单色显示。

美国亚利桑那州立大学和清华大学的研究人员最近开发出一种真正的白光半导体激光器，激光腔的尺寸只有 $28.0\ \mu\text{m} \times 18.0\ \mu\text{m} \times 0.3\ \mu\text{m}$ 。^[1] 该激光腔采用光学泵浦，从不同的腔体区域发射不同颜色的光，可以独立和同时由三个不同的聚焦激光点进行泵浦，以产生白光或者彩色光。研究人员正在开发未来电泵浦的版本。

单片激光器

激光器本身是单片、多段的硫化镉（ZnCdSSe）纳米片，每段中 Zn、Cd、S 和 Se 的比例都不相同。

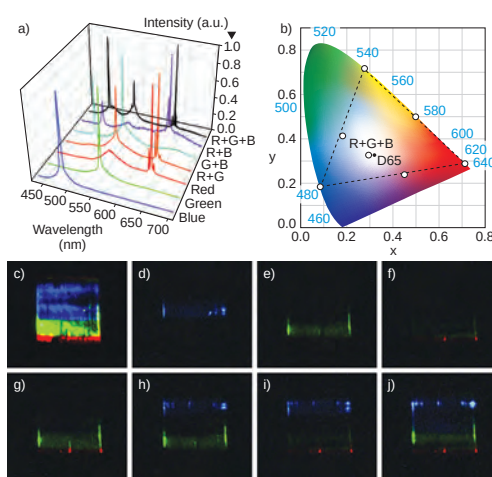


图1：多段组成的多色激光器含有不同元素比的半导体硫化镉（ZnCdSSe），可以发射白光、单色光，或者各种组合，如（a）图所示，展示了各种组合的激光光谱。（a）图中颜色组合的色度在（b）图所示的CIE色度图中；该白光组合非常接近CIE标准白光源D65。（c）图给出了低于阈值的泵浦，而（d）图至（j）图所示为高于阈值的泵浦，产生（a）图所示的颜色组合。（c）图的比例尺为20 μm 长。

研究人员开发了自己的方式进行化学气相沉积（CVD）制造，允许分别控制各段的化学组成和结构（结果是改变带隙），从而使得发射波长随位置而变化。

尽管装置每次都精心制作而成，但有需要较大规模生产的潜在性，研究人员之一宁存政说。“这是我们已思考很多的问题，”他说。“是的，原则上我们可以实现大规模生产。这需要我们更加商业级的CVD系统，以便在大的衬底上实现更均匀的生长。”

扫描电子显微镜（SEM）拍摄

的结构图表明，结构约 $60\ \mu\text{m}$ 长， $45\ \mu\text{m}$ 宽，厚度 $60\sim 250\ \text{nm}$ 。结构中的每段均为单晶，没有可探测的缺陷。

为了形成激光谐振腔，采用弯曲断裂法切割获得高质量的断面，形成（在一个例子中）尺寸为 $28\ \mu\text{m} \times 18\ \mu\text{m} \times 0.3\ \mu\text{m}$ 的多色激光腔。为了产生不同颜色的可见光及组合，利用波长为 $355\ \text{nm}$ 、脉宽为 $9\ \text{ns}$ 的聚焦激光，对该结构的一个或多个区域进行泵浦（如图所示）。

获得的独立红光、绿光和蓝光（RGB）的光谱峰值，分别位于 $642\ \text{nm}$ 、 $530\ \text{nm}$ 和 $484\ \text{nm}$ 。感知的白光输出非常接近 CIE 白光标准，通过同时对 RGB 泵浦可以直接产生。三种波长在远场均匀混合。

什么是计划中最重要的未来研究？“电注入，”宁存政说。“目前的结构由另一台激光器泵浦，以证明我们结构的概念，展示材料的质量。我们需要立即展示通过简单的电池也可以产生相同的激光。这是半导体的巨大优势，因为原则上它们可以由电池供电。这也是为什么我们追求基于半导体方法的原因之一。” □

参考文献

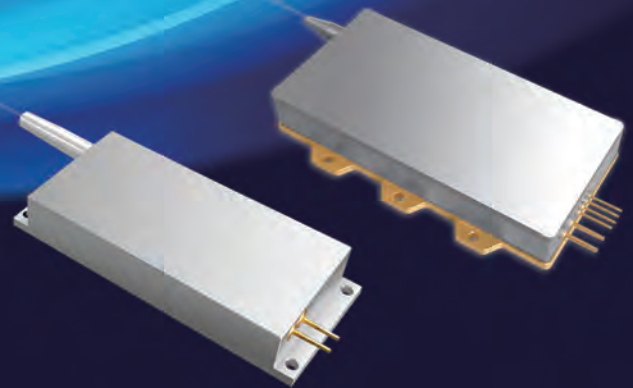
1. F. Fan et al., Nat. Nanotechnol. (2015); doi:10.1038/NNANO.2015.149.

高功率高亮度泵浦源系列

固体和光纤激光器的 高端泵浦源

产品线丰富：

- 793nm /15W-80W
- 808nm /15W-100W
- 9xxnm /50W-200W



北京凯普林光电科技有限公司

地址：北京市丰台科技园区航丰路甲四号

<http://www.bwt-bj.com>

产品与技术咨询：

电话：010-83681052

邮箱：sales@bwt-bj.com

2015年11月12-14日 武汉国际博览中心



第十二届“中国光谷”国际光电子博览会暨论坛
The 12th Optics Valley of China International Optoelectronic Exposition and Forum

欢迎莅临凯普林光电展位：**#1068**

随机激光器

金刚石为电泵浦氧化锌激光提供空穴

文/John Wallace

随机激光器包含增益材料（例如多晶材料和 / 或具有粗糙表面的材料），散射光在其中以随机路径传播，形成许多小的激光腔（可以是环形的），产生漫射激光。随机激光器在传感和生物成像领域已有应用案例。最为人熟知的随机激光器使用氧化锌（ZnO）作为增益介质，发射近紫外光。

然而，典型的随机激光采用光学泵浦，这使得整个实验装置太过于笨重复杂。一些 ZnO 电泵浦随机激光器由 p 型（空穴）掺杂的 ZnO 制成，ZnO 本质上是 n 型（提供电子）半导体，但结果不是很有效。

现在，一组来自中国科学院、郑州大学、吉林大学、复旦大学、长春理工大学和内蒙古民族大学的研究人员，采用一种优异的空穴源，即 p 型掺杂金刚石，并通过使其与带有掺镁（Mg）壳层的 ZnO 核 - 壳纳米线混合，能够提供足够的电子（ZnO）和空穴（金刚石），产生电泵浦的随机激光。当电子和空穴复合时就产生了激光。

掺硼金刚石

为了产生空穴，金刚石中掺有 0.5 wt.% 的硼；利用温度梯度合成法，大约耗时 24 小时可以生长成尺寸 3 mm 的材料。然后将金刚石切割、抛光至 1 mm 的厚度。ZnO 纳米线生长在独立的蓝宝石衬底上，然后镀有 Mg 掺杂层以形成异质结构。

纳米线以纤锌矿型结构结晶，具有 c 轴择优取向；3.6 μm 长的纳米线被定向成彼此平行，并垂直于衬底。纳米线的光致发光光谱表明预期的尖峰在 378 nm，来源于 ZnO 的近带边发射。在约 500 nm 的所谓“深能级”发射几乎完全不存在，如存在则意味着制备质量差。

作为初步测试，改变光强对 ZnO 纳米线进行光学泵

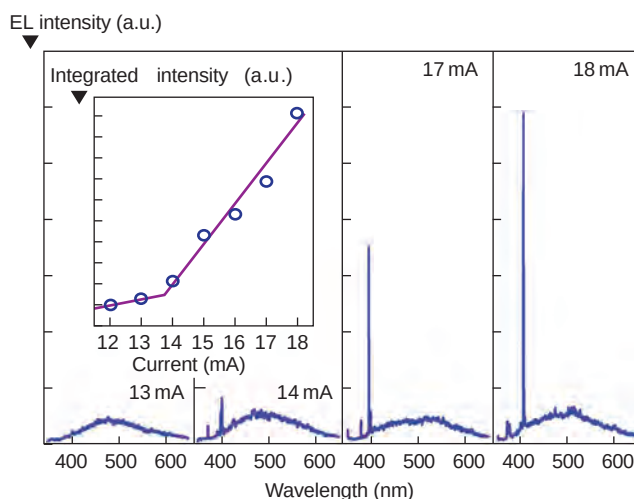


图1：电泵浦随机激光器由在蓝宝石衬底上生长的基于氧化锌(ZnO)的核-壳纳米线组成，与掺硼金刚石接触，具有有效的电子和空穴源。当电流从低于阈值增加到高于阈值时，在电致发光 (EL) 光谱中出现尖峰。该装置的激光阈值为13.8 mA。

浦，在 383.7 nm 和 387.2 nm 产生尖峰，光发射与纳米线呈 60° 锥角。这种光锥是随机激光器的特征。

接着，用夹子夹持，将该核 - 壳纳米线异质结构与掺硼金刚石压接在一起。该组件通过 ZnO 上的钢焊盘和金刚石上的金焊盘经受约 6 V 的电压。当注入电流为 13 mA 时（低于激光阈值），形成半高全宽 (FWHM) 为 138 nm 的宽光谱；当注入电流为 14 mA 时，在 400 nm 附近出现两个尖峰，每个峰的 FWHM 为 0.9 nm。这两个峰来自于先前测量的光致发光峰的红移，研究人员将其归因于电流注入对装置的加热。□

参考文献

1. Y.-J. Lu et al., Optica (2015); <http://dx.doi.org/10.1364/optica.2.000558>.

罐装饮料市场增长，快消品制造商 加强对激光打码机的需求

——访伟迪捷（Videojet Technologies）公司激光打码机业务部经理Sascha Benke先生

文/ABI

来自市场研究公司Marketsandmarkets的报告显示，由于消费者对快速消费品（如饮料）日益增加的需求，全球饮料包装市场的销售额将有望从2012年的972亿美元增长到2018年的1257亿美元。这意味着生产商需要持续提高生产线速度和改进贴标系统功能。若干打码和标识系统可用于生产行业，了解哪种系统最能满足生产需求至关重要。在所有的可用选项中，激光系统备受灌装饮料生产商的推崇和信任，该类系统可增加产量，延长正常运行时间，从而满足日益增长的消费需求。为了更好地了解饮料行业以及激光打码解决方案如何为该行业提供支持，美国伟迪捷（Videojet Technologies）公司激光器业务部经理Sascha Benke先生就这个话题，与我们一起分享了饮料包装行业所面临的挑战、未来的发展趋势以及不断增长的市场需求。

Q：在罐装饮料行业，打码和标识解决方案的主要发展趋势是什么？

从长远的角度来看，我可以看到两个趋势。第一个趋势是产品激增。大型和小型企业都开始通过吸纳其他品牌来扩展其产品组合，同时针对其新的目标消费者推出多样性的产品。可口可乐公司就是其中



一个典型的例子，它通过吸纳其他品牌（如樱桃可乐和香草可乐）来扩展其产品组合，旨在适应消费者对其他口味和成分不断变化的消费需求。我们也看到越来越多的大公司通过收购小品牌来扩展其产品组合。如此一来，产品激增导致生产商提高生产线速度以应对需求增加，并导致更多对既能满足提速生产线的需求、同时又能高效地交付合格产品的标识和打码系统的需求。

第二个趋势我们业内人士称之为“后期定制”，即对于面向多个市场生产并供应的产品，直到生产阶段后期才在产品或包装上打印产品信息。这使货物能够针对每个市场和所需数量进行定制，从而最大限度地提高了效率。通常情况下，大型或中型公司以及为多个市场供应产品的公司，会使用这种生产方法。例如，如果一家美国本土食品生产商想向欧盟出口其产品，产品包装上的信息会使用各个不同市场的当地语言。另外，监管准则和要求因市场而异。例如，成分列表在某些市场可能必须标明，而在其他市场可能就无需标明。生产商可能还需添加特定的数据（如责任信息）或插入一个地理跟踪编码以实现产品的可追溯性。利用在最后一刻标识数据的功能，可以增加生产商的生产灵活

性。后期定制的额外优势在于其包装转换时间更短、包装耗材更少。

Q：在过去的 3-5 年中，饮料行业发生了怎样的变化？

为了扩大市场份额、维持和获得新客户，公司需要满足多样化的客户需求。因此，饮料行业提供新产品的压力日益增加。在过去，该行业全天候生产同一类型的产品，但是由于产品范围的多样化，这一需求已经变成必须高效、更快速地进行产品转换。可在早间时段生产一种产品，在当天晚些时候生产另一种产品，这两种产品还可存在尺寸上的差异。对更快速转换的需求，将继续增加对可满足时间要求的打印贴标系统的需求。

生产商和零售商越来越多地使用打码技术以进行市场营销和品牌促销。例如，QR 码是一种可用于记录产品信息的二维码：消费者通过使用智能手机扫描编码，可即时访问相关网站，了解当前或即将推出的品牌活动和特别优惠等信息。这是品牌所有者用以获取消费者信息以及首选购买习惯的一种很好的方法。

编码内容的增加要求必须优化时间，这增加了日常运营的压力。现今的生产设施必须考虑打码机适应产品变化的能力，其中包括选择不同的编码以及这些编码在产品和生产线上的定位情况。这是一种前所未有的挑战。值得庆幸的是，现在已有新技术可应对这种挑战，如用以简化转换的打码硬件和软件设置工具。

Q：行业需求如何影响生产商的采购趋势？

生产商需要提高生产线速度（甚至增加生产线数量）以满足对快速消费品日益增长的生产需求，同时最大

限度地增加产量。高端生产商不会大幅提升其生产线能力，这是由于太多的变动可能会导致错误发生。因此，他们只提高生产线速度，并在必要时可能会增加第二条生产线。成本始终是一个重要因素，重要的是要考虑使用什么类型的打码技术。例如，喷墨喷码机和热转印打码机 (TTO) 需要墨水 / 溶剂和色带等耗材。而激光打码机是唯一一种只需电力而无需任何耗材的打码技术。随着生产量的增加，激光打码进入了具有成本意识的生产商的视野。

Q：消费者、生产商和零售商目前主要关注哪些主要的打码和标识问题？

生产商关心的是有关可能出现并导致产品召回和销毁的有关产品质量、品牌管理以及声誉影响的法律问题，这些都很有可能导致代价高昂的后果。从打码的角度来看，可追溯性是至关重要的，因为这样才能保证产品信息正确性。

然而，零售商更关心的是他们的物流链，他们希望它尽可能地简单化，产品在完全可追溯的同时，能继续使用他们现有的贴标系统。生产商和零售商使用自己的系统定义变量编码的构成元素。因此，打印贴标系统的生产商需要通过了解顾客所需，来确定他们需要的是高质量的 QR 码打码机、还是一套可实现可追溯性的高效系统。消费者主要关注产品质量和完整性，因此产品信息必须清晰可读，包含保质期等信息。

编码内容的日益增加，意味着激光打码机打印头的空间容量必须足以满足需求。因此，随着要标识的字符数的增加，时间优化要优先于其他需求。更高的产量和更多的内容是伟迪

捷公司当前重点关注的领域。我们正在整合其他技术，以便有助于针对直径变化的产品（例如瓶）进行相应的灵活调整，从而确保编码质量，并减少错误数据条目。

Q：罐装饮料的最新包装趋势是什么？某些应用是否存在约束条件？这些约束条件是否会对激光标识系统造成影响？

几年前，饮料行业显着减少了罐装，但是现在，这种包装方式似乎重获青睐。因此在铝罐上进行标识再次变得越来越普遍了。铝罐重量轻，易于运输，在其上打码要比在其他类型的包装上打码容易得多。铝罐上的保质期编码要比玻璃上的保质期编码持久得多，这个事实很可能是铝罐再获青睐的一个理由。

瓶装水和软饮生产商采用的超薄聚对酞酸乙二酯 (PET) 已经令激光标识系统制造商感到头疼。传统激光打码机还存在一种风险，即可能在 PET 材料上烧出一个洞或薄弱点，这可能导致瓶子破裂或泄漏。然而，伟迪捷公司已对激光打码机进行了相应改造，以减少激光标识深度，从而保护 PET 的结构完整性。

Q：激光标识系统拥有哪些其他标识解决方案不具备的优势？

激光打码持久耐用，可充分实现可追溯性并防止假冒。这种打印方法比其他打码解决方案更为适用于饮料包装，它在粘贴标签可轻松去掉的应用中效率更高，也不会出现容易变模糊而不可读的喷墨标签。激光标识质量最高，例如，可以标识很美观的直线。虽然激光标识系统的价格高于喷墨系统的初始成本，但它可最大限度地降低运营成本，从长期来看，可降低总拥有成本。□

适用于机器视觉及成像应用的TECHSPEC成像滤光片

TECHSPEC 多功能成像滤光片经过精心设计和制造,可以满足高标准的机器视觉和成像应用,并为各种解决方案提供高品质的滤波性能和耐用性。TECHSPEC 成像滤光片也可用于改善图像对比度,同时隔离光谱区域和颜色。



TECHSPEC 成像滤光片可使特定的紫外、可见光或红外波长通过或截止,并提供极广的入射角范围。它们具有极高的透射率和平坦的透射轮廓,可以提供均匀的照明。相对于传统的滤光片,具有硬镀膜的 TECHSPEC 成像滤光片由离子束溅射技术制造而成,可提供高截止能力以截止多余的光线,同时具有更长的使用寿命。

TECHSPEC 成像滤光片有多达 30 款不同的型号可选,提供多种接口尺寸和螺纹。该滤光片有 470 nm、524 nm、548 nm、634 nm、660 nm 和 880 nm 六种中心波长可选,透射率高达 97%,并提供淡红色、暗红色、绿色、蓝色、UV/VIS 截止和 UV/IR 截止等不同类型。

爱特蒙特光学

www.edmundoptics.cn

PCB基激光功率探头

瑞士 GreenTEG 公司推出结构简单、高性价比的 PCB 基热电功率探头,其具有价格低、体积小等特点,可以集成在激光加工设备中,在线实时监测激光器的输出功率,是激光医疗、工业激光设备制造商的最佳选择。



PCB 基激光功率探头虽然设计上省去了热沉(可直接安装在客户提供的相应热沉上),但丝毫不影响其测量的准确性及一致性。Green TEG PCB 基激光功率探头通过两种方式完美的补偿了基本功率变化带来的测量误差。

这种 PCB 芯片式激光功率探头量程虽然比较小,但客户一般会采用分光测量的方式将高至上千瓦的激光分出一小部分进行监测。此款功率探头装配简单、方便,只需要将芯片固定在要求的热沉上即可。

昊量光电

www.auniontech.com

用于脱毛的高峰值功率半导体激光器Vsilk

西安炬光科技股份有限公司

FocusMed® 激光医疗美容系列又添新成员——Vsilk™ 高峰值功率脱毛激光器。该系列产品能在更短的脉宽(≤ 30 ms)下达到瞬间爆破脱毛的能量要求,实现快速无痛脱毛,即行业所谓的“爆焦”效果。Vsilk 特别适用于大光斑脱毛设备和高端无痛高效脱毛设备的开发。



Vsilk 的主要特点有:输出功率 3 kW 或 1.5 kW,可实现 30 ms 超短脉宽无痛脱毛;采用全硬焊料封装工艺,大幅提高产品可靠性及寿命,产品质保 2 年(或 2 千万次脉冲),客户年均投入成本降低 50%;采用自来水冷却,可有效避免水路堵塞,降低客户设备水质维护成本,更加方便终端用户使用;出光面积大均匀光斑输出,适用于大光斑脱毛,能够有效提高临床效果和治疗效率,治疗速度与传统光斑相比可提高 5-6 倍。

Vsilk 列产品结构紧凑、重量轻,能满足客户手具多样化开发需求,是医疗美容行业特别是脱毛领域的理想光源。

炬光科技

www.focuslight.com.cn

千瓦级光纤激光切割机GF3015Plus

华工激光旗下品牌 FARLEY•LASERLAB 新推出一款千瓦级光纤激光切割机 GF3015Plus,其专门



针对不锈钢板、碳钢、金属钣金、铝板、铜板的切割,切割速度快,切割热影响小,切缝平整光滑,能达到高精度、无瑕疵切割,是中薄板切割全能王。

GF3015Plus 数控光纤激光切割机的主要特征:采用专业的激光切割数控系统,集成度高;采用 P 级精度直线导轨,精准稳定;采用航空 401 铝材,经久耐用;量身定制的人机界面窗口,提升设备的人性化操作性能;配有交换工作台,方便客户上下料,提高生产效率;装有安全防护光栏,符合国家激光安全标准。

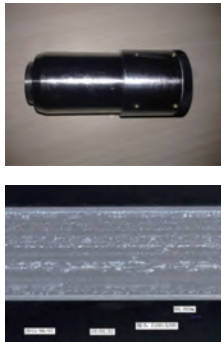
GF3015Plus 已经成功应用于五金制品、精密机械、汽车配件、金属工艺品、管材加工、机箱机柜、灯具、电梯、厨具等行业。

华工激光

www.hglaser.com

多焦点激光切割镜头

北京润和微光科技有限公司生产的多焦点切割镜头具有性能优异、焦点间距精确、各焦点间能量均匀性好等优点。其结构化、紧凑化的设计为客户提供理想的透明材料切割方案。多焦点镜头，顾名思义，能实现对于单一入射光束，在传播方向上不同的距离上，得到不同的焦点。



图中显示的是 11 焦点切割镜头实物图及其切割蓝宝石的截面切割效果，其切割端面粗糙度小于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 。产品可根据客户需求定制，包括外部材料、接口参数、焦点位置、焦点个数、焦点间距等。

北京润和微光科技有限公司

www.homolaser.com

可调脉宽纳秒光纤激光器 YLPN-1-1x120-100-M

IPG 推出的 YLPN-1-1x120-100-M 纳秒掺镱光纤激光器，可提供 15 kW 峰值功率，平均功率最大 100 W，脉冲波形可调，脉宽范围 1~120 ns。YLPN-1-1x120-100-M 由外部触发，具有 2~14000 kHz 的脉冲频率选择范围，脉冲能量 1 mJ，并可按比例调整平均功率，不受能量影响。输出隔离器的设计能确保稳定输出，使其可用于加工高反材料。



主要特性有：操作参数灵活、极佳的光束指向稳定性、瞬间调制相应、电光转换效率超过 20%、免维护、OEM 封装、风冷、结构紧凑、成本低，设计稳固。

YLPN 系列采用全光纤设计，使用户可以调整峰值功率和 / 或脉冲重复频率，同时不影响输出光束的各项参数。YLPN 能够进行箔材精细加工、涂层去除及表面处理，是微加工、划线、织构、烧蚀、太阳能 / 光伏、钻孔、电阻微调及打标等应用的理想选择。

IPG Photonics

www.ipgphotonics.com

1 μm 金属片切割头 FiberLight FLEX

FiberLight FLEX 系列金属片切割头针对不同厚度的各种材料的综合解决方案。FLEX 具有可变焦距的准直镜，使用者可以实现 2 倍率的焦距调整范围。除了具有标准的 10 mm 焦点位置手动调节能力外，FLEX 还可以通过变曲率反射镜 (VRM)，使用户获得额外 15 mm 的动态聚焦调整范围。这些先进的特性，使 FLEX 成为切割金属片的全能工具。



主要特性有：可选四种不同结构，90° 无变焦反射镜，90° 带有 45° AOI 变曲率反射镜 (VRM)，90° 带有接近正入射的变曲率反射镜 (VRM)；除标准的手动调焦外，变焦反射镜 (VRM) 提供额外的自动变焦功能；最大 25 mm 的焦点位置调节能力；针对不同应用，使用者可通过调整准直镜焦距来实现最优光斑大小；倍率变化范围 1.25x~2.5x；可选安装平台和水冷功能；在准直径和聚焦镜保护窗之间可实现快速保护窗互换；可选的高度电子传感器。

贰陆红外激光 (苏州) 有限公司

www.iiviinfrared.com.cn

Jenoptik 3D 激光切割机 JENOPTIK-VOTAN BIM

Jenoptik 公司推出的 VOTAN BIM 三维 (3D) 激光切割机，能够加工各种各样的金属零件，而不需要使用特殊的切割模具。



JENOPTIK-VOTAN BIM 能实现高达 50 μm 的重复精度，基于机器人内部的光束导引，其能在 1 s 的时间内切出一个圆或沟槽，并允许使用功率高达 4 kW 的激光源，而不必使用复杂的外部光束导引。该系统已经在汽车行业投入使用，如切割负责的车身和机构部件、切割用于排气系统的液压成形管道或是车身钢轨制造。

Jenoptik

www.jenoptik.com

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

公司目前拥有900多名员工，超过4万平方米的新生产厂房。创立至今三十余年，公司逐步发展了熔盐法、提拉法、水溶液法等多种晶体生长技术；建立了包括德国LOH数控研磨机、韩国光进上下摆机、日本Speedfam双抛机、环抛机等在内的全套高精度光学元件生产线；开发了IBS、IAD、Ebeam等多种镀膜工艺以适应不同应用需求。此外，公司的检测技术与设备也处于业界领先地位，拥有Zygo、Nikon、Trioptics、Hinds等各类先进检测仪器。公司产品深受国际业界推崇，是全球众多顶级厂商的首选供应商。

公司新大楼



产品系列

一、晶体

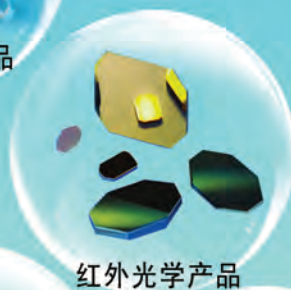
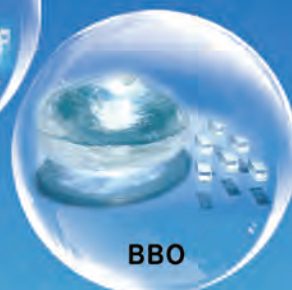
1. 非线性光学晶体
2. 激光晶体
3. 绿光晶体组件
4. 闪烁晶体
5. 声光和电光晶体
6. 双折射晶体
7. 磁光晶体

二、精密光学元件

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

三、激光及光通讯器件

1. 高功率光隔离器
2. 合束器
3. 包层功率剥离器
4. 被动调Q激光光源
5. 扫描场镜
6. 电光Q开关、温控炉(仪)



Advertiser	广告商名称	网址	页码
A & P Instrument Co., Ltd.	科艺仪器有限公司	www.anp.com.hk	IBC
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	19
Amonics Ltd.		www.amonics.com.cn	25
BWT Beijing Ltd.	北京凯普林光电科技有限公司	www.bwt-bj.com	33
Castech Inc.	福建福晶科技股份有限公司	www.castech.com	39
Changchun New Industries Optoelectronics Tech Co., Ltd.	长春新产业光电技术有限公司	www.cnilaser.com	31
Edmund Optics Singapore Pte Ltd.		www.edmundoptics.cn/laser-optics	2
FISBA OPTIK AG		www.fisba.com	21
IXBLUE SAS		www.photonics.ixblue.com	13
LASER World of PHOTONICS CHINA	慕尼黑上海光博会	www.photonicschina.cn	IFC
Nufern		www.nufern.com	9, 29
Pinnacle Scientific (China) Corporation	顶尖科仪(中国)股份有限公司	www.psci.cn	3
Shenzhen RFH Laser Technology Co., Ltd.	深圳市瑞丰恒科技发展有限公司	www.rfhlasertech.com	27
Titan Electro-Optics Co., Ltd.	北京金先锋光电科技有限公司	www.teo.com.cn	23
Zolix Instruments Co., Ltd.	北京卓立汉光仪器有限公司	www.zolix.com.cn	17
II-VI Infrared Laser (Suzhou) Co., Ltd.	贰陆红外激光(苏州)有限公司	www.ii-vi.com.cn	7

行政及销售人员 Administration & Sales Offices

行政人员 Administration

HK Office (香港办公室)

ACT International (雅时国际商讯)
Unit B, 13/F, Por Yen Building,
No. 478 Castle Peak Road,
Cheung Sha Wan,
Kowloon, Hong Kong
Tel: 852 2838 6298

Publishing Director (出版总监)
Adonis Mak (麦协林)
adonism@actintl.com.hk

Publisher & VP of Sales & Marketing
(社长及销售副总裁)
Mark Mak (麦协和)
markm@actintl.com.hk

General Manager - China (中国区总经理)
Michael Tsui (徐旭升)
michaelt@actintl.com.hk

Editor-in-Chief (总编辑)
Rossie Pang (庞会荣)
rossiep@actintl.com.hk

US Offices

PennWell Corporation
98 Spit Brook Road, Nashua,
NH 03062-5737 USA

Group Publisher
Alan Bergstein
alanb@pennwell.com

Editor in Chief
Conard Holton
cholton@pennwell.com

销售人员 Sales Offices

China (中国)

Hong Kong (香港特区)
VP of Sales & Marketing (销售副总裁)
Mark Mak (麦协和)
markm@actintl.com.hk
Tel: 852 2838 6298

Shenzhen (深圳)
Jenny Li (李文娟)
jennyl@actintl.com.hk
Tel: 86 755 2598 8571

Wuhan (武汉)
Sky Chen (陈燕)
skyc@actintl.com.hk
Tel: 86 137 2373 9991/ 86 27 6885 2360

Beijing (北京)
Oasis Guo (郭镜园)
oasisg@actintl.com.hk
Tel: 86 130 1110 8861/ 86 10 6748 4833

Shanghai (上海)
Sales Director-China (中国区销售总监)
Hatter Yao (姚丽莹)
hattery@actintl.com.hk
Tel: 86 21 6251 1200

Asia (亚洲)

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

Taiwan (台湾地区)
Rebecca Tsao (曹宇容)
rebecca@arco.com.tw
Tel: 886-2-23965128 x 203

Singapore, Malaysia
(新加坡, 马来西亚)
Peggy Thay
peggy.thay@publicitas.com
Tel: 65-6836-2272

North America (北美)

UK, Ireland
Jim Ajayi
jima@pennwell.com
Tel: +44 (0)1992 656 657

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

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

Europe & Middle East
(欧洲及中东)

Europe
Holger Gerisch
holgerg@pennwell.com
Tel: 49-8856-8020228

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



高功率光纤耦合半导体激光器



LDF 光纤耦合半导体激光器系统

• 功率可达 15000W



熔覆



表面硬化处理



焊接 - 汽车后挡板



焊接



LDM 光纤耦合半导体激光器模块

• 功率可达 3000W

500W-20000W



**PHOTON
ENERGY**

CEPHEUS 皮秒激光器



自 2001 年以来, PHOTON ENERGY 在发展工业和研究方面, 以及固态激光器的制造和销售方面, 一直是一个值得信赖的合作伙伴。OEM 激光光源在工业上的应用, 是我们产品系列所主要关注的。自 2006 年以来, 我们公司一起依照 ISO 9001 标准认证来运行。

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

CEPHEUS 是一款具有非凡品质的皮秒激光光源



4.5W-15W



DirectPump 900 系列

适用于高级应用的直接发光二极管激光系统



- 波长: 976 nm
- 功率: 600 W

应用:

- 高级激光泵浦应用
- 固体、碟片和光纤激光器的应用
- 脉冲光纤激光器的研究
- 激光制造
 - » 资质
 - » 老化
 - » 测试

DIRECTBOND 系列

适用于热处理应用的直接发光二极管激光系统



- 波长: 808 nm
- 功率: 30 W, 60 W

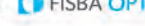
应用:

- OLED 显示器的熔融焊
- 热处理应用
 - » 锡焊
 - » 塑料焊接

30W-2000W

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

☎ 400-886-0017



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

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

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

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

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

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

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

台湾 TAIWAN
T: (886) 2295 3164 6
F: (886) 2295 3986 3
tw@anp.com.hk

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

激光世界

LaserFocusWorld® China

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

免费索阅

