

激光世界

LaserFocusWorld® *China*

光束整形开创
新一代超快激光加工应用

14



微信公众号

ACT

PennWell®

高功率激光扫描振镜焊接
在动力电池制造中的应用 16

如何实现光纤涂覆层的高
质量剥除? 20

飞秒光纤激光器探测和加
工材料的新途径 32

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



雅时国际资讯 (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 ACT Media Group

LaserFocusCon

激光聚会 2016

激光技术助力于制造业升级转型

— LaserfocusCon 2016 激光技术聚焦峰会 武汉研讨会

您不容错过的几大理由：

- 全球激光市场最新报告
- 光源及整机厂商的实用案例
- 圆桌论坛，与行业大咖面对面
- 产品展示，应用工程师现场解答
- 业内人士共聚一堂，肯定有您想见到的他/她！
- 免费的精美午餐
- 还有幸运大抽奖呦！

会议内容（拟定）

- 全球激光和光电市场分析：趋势、新市场与应用和机遇
- 激光技术在钣金加工中的应用
- 激光技术在新能源（动力电池、光伏、LED 照明等）制造中的应用
- 超快激光微加工技术及应用
- 直接半导体激光器在材料加工领域的应用
- 激光增材制造 / 激光熔覆 / 激光金属 3D 打印

2016 年 11 月 3 日，武汉国际博览中心洲际酒店
我们与您不见不散！

听众报名及咨询

姚丽莹 Hatter Yao

hattery@actintl.com.hk

86-21-62511200 / 13917713422



主办单位

激光世界
LaserFocusWorld China

杂志社

联系我们

上海 86-21-62511200

北京 86-13552621310

深圳 86-755-25988571

<http://www.laserfocusworld.com.cn/lfc/index.html>

武汉 86-27-68852360

香港 852-28386298



目录

市场风向标

- 相干公司眼中的激光技术发展五十年 5

光子学前沿

- 滤光片与薄膜
激光技术的发展推动激光薄膜的进步 11

封面故事

- 工业激光器
光束整形开创新一代超快激光加工应用 14

应用天地

- 激光焊接
高功率激光扫描振镜焊接在动力电池制造中的应用 16
- 光纤涂层剥除
如何实现光纤涂层的高质量剥除? 20

技术中心

- 添加制造
匹兹堡大学为添加制造开发快速计算模型 26
- 量子级联激光器
中红外量子级联激光器覆盖更宽光谱 28
- 飞秒激光器
飞秒光纤激光器探测和加工材料的新途径 32

编者的话

4

前沿简讯

10

产品撷英

36

广告索引

40

激光世界
LaserFocusWorld[®] China

2016年9/10月 第五期

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

CONTENTS

MARKET TRENDS

- Fifty years of the laser - A Coherent view 5

PHOTONIC FRONTIERS

- Filters & Coatings
Laser advances drive development of specialized optical coatings 11

COVER STORY

- Industrial Lasers
Beam shaping enables new ultrafast laser manufacturing applications 14

APPLICATIONS

- Laser Welding
Application of high power laser scanning galvanometer welding in battery manufacturing 16
- Optical Fiber Coating Stripping
How to achieve high-quality fiber coating stripping? 20

TECHNOLOGIES CENTER

- Additive Manufacturing
UPitt to develop fast computational modeling for additive manufacturing 26
- Quantum-cascade Lasers
Mid-IR QCLs cover the mid-IR spectrum 28
- Femtosecond Lasers
Femtosecond fiber lasers probe and process materials in new ways 32

Editor's Notes 4

Leading Edge Snapshots 10

Products Highlight 36

Ad Index 40

激光世界
LaserFocusWorld[®] China

Sep/ Oct 2016 Issue 5

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 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.

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 michaelx@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-sub@actintl.com.hk

特约编辑
In My View **Jeffrey Bairstow**
电邮 inmyview@yahoo.com
Industrial Lasers **David A. Belforte**
电话 (1) 508-347-9324
电邮 belforte@pennwell.com
Valerie Coffey
电话 (1) 978-263-4485
电邮 stellaredit@gmail.com
Photonic Frontiers **Jeff Hecht**
电话 617-965-3834
电邮 jeff@jeffhecht.com
Imaging **Conard Holton**
电话 (1) 603-891-9161
电邮 cholton@pennwell.com
Europe **D. Jason Palmer**
电话 (44) 7960 363308
电邮 djasonpalmer@gmail.com

尖端技术部市场总监 **Adrienne Adler**
美术编辑总监 **Suzanne Heiser**
高级绘图 **Chris Hipp**
制作经理 **Sheila Ward**
广告协调员 **Steve Archer**
客户开发经理 **Debbie Bouley**



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
© 2016 版权所有 翻印必究

迈着超快的步伐向前发展

超快激光技术已经开始赢得业界越来越多的关注，我们在过往每期的内容中，也陆续涉及了这方面的内容，报道了超快激光技术领域获得的最新突破以及超快激光技术的各种应用。超快激光技术有着广泛的应用前景，其应用范围覆盖从生物医学到工业材料加工的广泛领域。

在本期的封面故事中，德国通快公司的工程师介绍了如何利用光束整形技术，为超快激光技术开创出了更多新应用。文中介绍了通快最近开发的超快激光技术的两项新应用：一种是用超快激光切割玻璃和人造蓝宝石；另一种是用超快激光实现热镀锌材料的钎焊。超快激光配合光束整形技术切割坚硬的薄片玻璃，切割轨迹可以是直线也可以是曲线，能够获得光滑的切割表面，切割精度可达到0.01mm，切割速度可达1m/s，这对于需要大量玻璃屏幕的消费类电子产品的制造而言，将意味着生产率的进一步提升。另外，在热镀锌材料的钎焊中，配合光束整形技术，实现了更加光滑的焊接表面和更快的焊接速度，这将为汽车制造行业带来福音。

最近通快公司还发布了一条超快技术方面的消息，即利用飞秒激光器实现了玻璃之间的牢固焊接，打破了过去玻璃工件都是通过胶合的方法才能接合在一起的限制。无疑，未来需要用到玻璃的各种工业生产，都将受益于超快激光焊接技术。

此外，在本期的技术中心栏目中，美国罗彻斯特大学激光材料加工中心的郭春雷教授及其同事，为我们介绍了超快世界中的另一番景象。主流的飞秒光纤激光器制造商，都在不断致力于提升超快架构的性能，包括实现更宽的波长范围、更短的脉冲、更多的功率输出选择，以应对下一代材料研究和加工的挑战。这些飞秒激光器能够广泛应用于生命科学、眼科及工业材料加工等领域。

在《激光世界》杂志于7月底在苏州举办的Laser Focus Con研讨会上，也显示出了业界对超快激光技术关注的热情。嘉宾的主题演讲不乏超快、微加工话题，在最后的圆桌论坛环节，现场嘉宾也就超快话题与台下观众有着积极的探讨与互动。此外，本刊也从最近走访的一些客户那里了解到，超快激光微加工，目前已经成为众多厂商关注的重点。

中国当前大力发展制造业、倡导制造业转型升级的大环境，将需要更多、更先进的加工制造工具，来提升自身的制造水平。超快激光技术，作为一种更加先进的加工制造工具，将具有广泛的发展潜力。□

本刊编辑部

相干公司眼中的 激光技术发展五十年

文/Paul Ginouves, Dave Clark, Mark Gitin, Rainer Patzel; Coherent公司

2015年,《Laser Focus World》杂志的特约编辑 Jeff Hecht 为了纪念该杂志出版 50 周年,撰文记录了在激光器技术发展历史上,具有里程碑意义的一些技术。在激光技术的发展历史中,我们注意到了有趣的现象:有些激光技术,如红宝石、氮气和氦镉(HeCd),在诞生之初可能令业界兴奋不已,但是这些技术充其量只是渗透到了一些特定的小众市场。相比之下,在今天数十亿美元的激光器市场中,大部分市场份额是由极少数获得重大商业成功的“杀手锏应用”贡献的。

今年是相干公司成立 50 周年,相干公司的历史和成功,在许多方面都反映了激光行业的这种发展趋势。虽然我们继续提供广泛的激光技术,这些激光技术所服务的市场对激光器的需求量从几台到数万台,但是我们获得的长期成功,主要得益于几个重要应用。本文将从相干公司的视角,探讨在过去的 50 年中,激光器在一些较大规模的商业市场中所获得的成功。

流式细胞术

今天,很多有用的诊断性血液检查,都是利用流式细胞仪来计数特定的细胞类型。通常情况下,血液样本

与一种或多种抗体混合,每种抗体用不同的荧光染料标记。因此,对于溶液中的每种抗体,都存在一种特定的发射波长,用于表征该抗体的存在。将准备好的细胞通过流体力学聚集,并通/流过一或多个紧密聚焦的激光束。分析得到的与细胞相关联的荧光,能够对样品中的每种目标细胞类型进行计数。

Wolfgang Gohde 于 1968 年在德国展示了世界上第一台荧光流式细胞仪。随着这台基于弧光灯技术的流式细胞仪的出现,很快 Kamentsky、Herzenberg 和 Fulwyler 等人就在 20 世纪 70 年代推出了基于激光技术的流式细胞仪产品。此外,流式细胞术引人注目的细胞分选能力,进一步扩展了该技术的实用性,并激发了一些公司的商业兴趣,如 Biophysics Systems (后更名为 later Ortho Instruments)、Becton Dickinson 和 Coulter 等公司,在整个 20 世纪 80 年期间真正燃起了多参数仪器的一场“军备竞赛”。

当时,最先进的流式细胞仪,采用的是水冷式氩离子激光器或氦离子激光器,因为它们是当时市场上仅有的、既能在可见光或紫外(UV)波段提供高功率、又能提供获得小聚焦光斑(到细胞尺寸)所需要的卓越的

光束质量的激光器。在荧光染料的发现和使用进程中,很大程度上会采用与可用激光器离散波长相一致的荧光染料。其中 488nm 可激发染料是焦点的中心。因此,异硫氰酸荧光素(FITC)和藻红蛋白(PE)几乎在每一个流式细胞术实验室中获得了普及。

自从 1969 年以来,作为氩离子激光器领域的应用先驱,流式细胞仪成为了相干的首个重大商业成功之一。从那时起,激光技术便开始从一种寻找应用的状态,转向了在应用中真正驱动重大创新。因此,相干公司的 Innova 系列水冷离子激光器,主导了 20 世纪 80 年代的流式细胞仪市场。然而,随着时间的推移,高度可靠且紧凑的风冷氩离子激光器的持续演进,实现了体积更小(尽管与今天的产品相比体积依然很大)、成本更低的流式细胞仪。虽然这些流式细胞仪在多参数及前沿应用方面仍存在不足,但是它们却获得了巨大的市场份额,并且在相对较短的时间内,重新改写了市场格局。

很显然,使用成本更低、体积更小、电光转换效率更高的光源,比使用风冷或水冷的氩离子激光器,更有助于大大扩展临床流式细胞仪市场。当二极管泵浦固体(DPSS)激光器首次推出时,仿佛它们有望成为流式

细胞仪中离子激光器的潜在替代者。然而，流式细胞仪中使用的大多数市场上可买到的试剂，均需要 488nm 的光激发，而 DPSS 激光器倍频后输出 532nm 的光，只能满足极少数应用。

在这场不可避免的技术转变中，相干公司致力于走在前沿领域，这也促使其在寻求替代技术的道路上不断求索。相干对光泵浦半导体激光器（OPSL）知识产权的收购，是其在这条努力道路上的一个转折点。由于是典型的核心技术收购情况，相干公司花了几年时间发展和完善 OPSL 技术，使其转化为真实的产品。2001 年，相干推出了 Sapphire 激光器——一款 OPSL，输出波长 488nm，输出功率 20mW，并具有基模 TEM₀₀ 光束质量。该激光器的体积比氩离子激光器小 90%，消耗少 98%，并且表现出更好的寿命和可靠性，使其成为了流式细胞仪的理想来源。

然而，市场最初并不接受它。为什么？原因之一是，首台 Sapphire 激

光器的价格几乎是风冷氩离子激光器的四倍。此外，由于 Sapphire 激光器的光束位置和安装方式都是全新的，因此使用它还需要额外的工作，也就是说它并不是一款能够拿来就用的替代产品。现在回想起来，如果当时 Sapphire 激光器在封装上多模仿离子激光器，则有可能加速它被采用的步伐。当然这并不是说人们对许多前沿的东西，没有真正的兴趣和激情，而是需要专门为 Sapphire 激光器设计新一代仪器，帮助它获得成功。这也是表明“市场上存在一项真正的颠覆性技术、但其商业应用相对迟缓的”一个经典案例。

Sapphire 的首次成功与流式细胞仪市场中一些较小、尚未知名的企业分不开。这些企业将 Sapphire 作为一次开发差异化产品的机会，他们的产品将明显不同于那些成熟公司的产品。这些小公司的努力，一方面刺激了终端用户的需求，另一方面也加速了大公司的研发力度。

与此同时，相干继续缩小 Sapphire 激光器的体积，并且由于 OPSL 技术的灵活性，Sapphire 系列产品所能提供的波长也迅速增多。同时，随着新型荧光染料的发展，这些技术进步实现了体积非常紧凑的多激光流式细胞仪，显著增加了可获得的荧光参数的数目。这些流式细胞仪的功能很快超过了上一代产品。今天，这样的仪器已经非常普遍，市场上的大部分流式细胞仪，采用的都是 OPSL（见图 1）。

LTPS 显示屏退火

Lambda Physik 公司是准分子激光技术领域的先驱之一，其主导着早期的准分子激光器应用市场。在准分子激光器的诸多应用中，其中最重要的一项应用是眼部手术（激光视力矫正手术，LASIK），它仍将是准分子激光器需求量最大的一项应用。准分子激光器的另一项重要应用，是工业领域的显微光刻应用，这项应用出现于 20 世纪 90 年代初期。那时候相干在这个领域并不算成功，因为显微光刻有很多特定的技术要求，如窄线宽，而当时相干激光器的核心设计并不能完美地满足这些要求。

在相干于 2003 年全资收购 Lambda Physik 后，我们便开始寻找其他的工业应用，以让我们的准分子激光器产品独特的高脉冲能量，能够有更好的用武之地。我们已经通过研究结果了解到，激光器可用于退火非晶硅来生成多晶硅；而多晶硅是低温多晶硅（LTPS）TFT 的理想基底。反过来，这能使液晶显示器（LCD）具有优异的亮度、更高的分辨率、更低的功耗和更宽的视角。随着智能手机市场的升温，LTPS 找到了自己的杀手锏应用，同时显示器制造商们对任何能提供这些优势的技术都倍感兴趣。

用于 LTPS 退火的理想激光器，要产生高能量和紫外脉冲，并且输出光束能够整形为一条细长线。然而，让我们独特的准分子激光器，能够满足 LTPS 退火的技术要求，只是一个起点。事实上，相干花了超过十年的时间，为基于准分子激光器的显示屏退火应用开发市场，包括与加工工艺的主要开发者紧密合作，并与显示器制造商进行了广泛深入的探讨。

除了优化激光器外，我们还必须



图1：使用多种激光波长，在BD FACSymphony系统是一款新颖的细胞分析仪，其能同时测量单个细胞的多达50种不同的特性。（图片来源：Becton Dickinson公司）

开发光路光学元件，以产生所需要的线光束形状。此外，光束轮廓的细节（如线性、均匀性）对加工产量有着重要影响，进而也会影响成本。为此，相干还与光路设计专家建立了战略合作伙伴关系，同时也通过收购增强了自身在光路优化方面的一些能力，比如在2015年收购了精密非球面光学元件制造领域的领导者 Tinsley Laboratories。

目前，显示器退火市场是相干公司最大的子市场。但是，我们不能枕着过去的成功停滞不前，因为这个市场是高度变化的。显示器制造商正在不断提高自身的产品质量和功

能，同时也在降低成本。他们努力的一个重要部分是增大“用于切割出单个显示屏的”玻璃面板的尺寸。这需要准分子激光退火系统具有更长、更高功率的线光束。

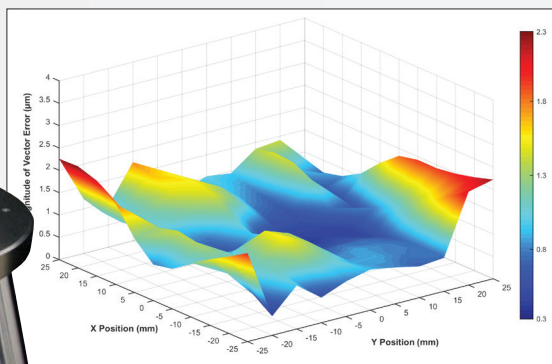
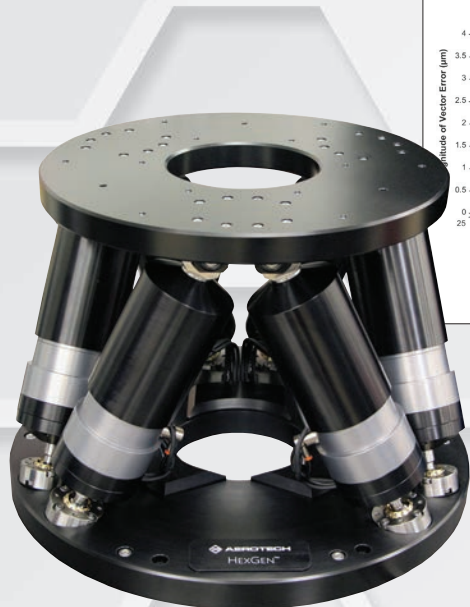


图2：相干公司可扩展的线性光斑激光退火系统，将多个准分子激光器的输出光束束束到一起，并整形成单一的线形轮廓。该系统满足着平板显示器市场不断变化的需求。

因此，我们可以清楚地看到，在过去的十年中，显示技术的发展与激光系统发展之间的相互配合。例如，我们的第一个线光束系统，输出功率 200W，光束长度 200mm，适合每个面板只切割为几个显示屏的早期产品。我们最新的系统，将来自三个独立激光器的输出光束束到一起，在 1.5m 长的光束中，获得了 3.6kW 的输出功率。

它们用于加工包含众多显示屏的大型面板。毋庸置疑，我们会密切关注这个市场的动向，以确保我们最新的准分子激光器，能够满足下一代显示器生产技术的需求（见图 2）。

无与伦比的定位性能



在XY平面Z方向的三维矢量精度误差为0 毫米

HexGen™是Aerotech的Hexapod(六自由度定位平台)系列产品最新一代的六自由度定位系统

HexGen™六自由度定位平台是具有大负载、高速度和超高定位精度需求的理想选择。HEX500-350HL具备无与伦比的定位精度（直线定位精度是 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ ，角度定位精度是 $\pm 2.5 \mu\text{rad}$ ）和定位分辨率（直线轴分辨率是20nm，角度分辨率是 $0.2 \mu\text{rad}$ ）。简而言之，HexGen™系列是六自由度定位平台市场上最好性能的产品。

请联系Aerotech的应用工程师，或者登陆我们的官方网站获取更多的信息，了解Aerotech的六自由度定位平台是如何提高您定位应用的。

通孔钻孔

随着微电子行业尺寸更小的精密微细加工要求的不断增多,越来越多的制造工艺已经不再适合用机械加工来完成。在早期,激光行业的一些厂商就确信,通孔钻孔过程,最终将不得不从机械钻孔转向激光钻孔。通孔是电路板上的小孔,用于在集成电路(IC)基板和印刷电路板(PCB)的各层之间,实现电气连接。

从一开始,激光钻孔就为生产盲孔(其并不穿透电路板中的所有层)提供了一种特别具有吸引力的替代方案,因为盲孔很难用机械钻头加工。CO₂激光器迅速成为这类应用的理想光源,因为它用一个简单的三脉冲过程,就可以钻出盲孔。第一个脉冲钻透覆盖的铜,铜表面有一层黑色氧化涂层,使其能够吸收红外光(IR)。第二个脉冲钻透玻璃树脂基板材料,其吸收IR光。第三个脉冲对钻出的孔进行清理,直到遇到底层铜(未加涂层)将光束反射出来,钻孔过程就此终止。这种方法能够快速生产出尺寸精确的孔,基本不需要后期处理。

因此,CO₂激光器成为了钻盲孔的主要激光技术。相干在这个领域取得了巨大的成功,因为我们的射频激励板条放电封离型激光器,提供了钻孔所必需的快速上升时间和高光束质量。

尽管在该领域获得了成功,我们认为,消费者对更小巧的电子产品的不断需求,将会导致钻孔的尺寸超出CO₂激光器的限制(CO₂激光器最小能加工出直径约70μm的孔)。我们相信,要加工出更小的孔,需要更短的波长。

在20世纪90年代中期,相干觉得自身在紫外激光器方面比大多数竞



图3: 用于通孔钻孔的最新激光器, 体积紧凑, 能够直接集成到高产量的微通孔钻孔站中, 如图中来自Schmoll Maschinen GmbH的钻孔站。

争对手具有更多专业知识, 包括倍频晶体材料、UV镀膜和光学安装技术, 并相信这一专长将能使我们开发出更好的产品。我们已经确定了几类应用, 其中包括通孔钻孔、柔性电路、打标和小型特征材料的结构化等潜在应用。因此, 我们投入了大量资源开发AVIA。这是一种紫外(355nm)全固态半导体激光器, 其能够为高产量的工业商业化应用提供输出功率、可靠性和使用寿命的完美组合。

但是, 即使在今天, 在主流的HDI电路板和IC基板的生产中, 依然没有大规模采用UV激光器用于钻孔应用。相反, UV激光器在很大程度上依然局限于一些小众应用, 如柔性PCB钻孔。出现这种情况的一个原因是, 通孔直径的缩小速度, 并没有如我们预期的那样快。另外, 紫外加工速度比较慢, 并且没有高效的三脉冲CO₂激光加工过程那样简单。

然而, 在过去的几年中, 一种针对HDI电路板和IC基板的混合钻孔过程已经开发成功。该过程首先使用UV激光器在铜(不需要黑色涂层)

上直接钻一个小孔。随后, 该孔将充当掩模, 以便能利用两个CO₂激光脉冲完成剩余部分的钻孔工作。这种方法能以市场可接受的速度, 钻出直径更小的孔(35~50μm)。我们预计在未来的几年中, 这种应用将会迅速扩展。

在此期间, 我们所瞄准的高功率紫外(绿光)全固态半导体激光器的其他应用呈现增长趋势, 并且也有新的应用出现。这其中包括智能手机制造和低k值半导体晶圆划线, 以及太阳能电池制造中的几个过程。这些应用的出现和AVIA激光器本身获得的技术进步(尺寸的最小化、成本的降低和可靠性的提升), 已经使AVIA成为了一个成功的产品线(见图3)。

总之, 如果一家公司开发出了能够满足预期市场需求的产品, 那将是一件非常有诱惑力事情, 接下来他们的成功将是水到渠成的。然而, 现实世界中的市场需求往往不可准确预测。我们的成功源于技术的广度, 以及快速响应我们预测的和未曾预测的市场趋势的能力。□

II-VI INFRARED

CO2激光镜片

- 聚焦镜
- 反射镜
- 扫描激光系统



红外光学材料

- 硒化锌
- 硫化锌
- 硫化锌多光谱



II-VI HIGHYAG

BIMO-FSC光纤激光切割头



BIMO激光焊接头



QCS 光纤激光切割头



LLK光纤光缆



贰陆红外激光（苏州）有限公司

电话：+86-400-858-1126 传真：+86-512-67671207

电邮：infosz@ii-vi.com.cn 网址：www.ii-vi.com.cn

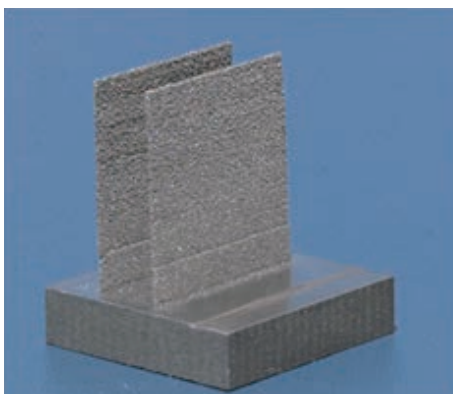
地址：江苏省苏州市工业园区星汉街5号D幢01楼01-02单元

飞秒激光器同时实现增材与减材制造

文/Gail Overton

大多数 3D 打印或激光添加制造 (AM) 系统,使用的都是连续波 (CW) 激光器。最近,美国 PolarOnyx 公司正致力于开发使用飞秒脉冲激光器的添加制造设备,从而能够使用高温材料创建 3D 物体。另外,众所周知的超快激光器的冷烧蚀特性,还可以在一个由计算机控制的扫描过程中,同时完成减材制造,将增材制造和减材制造结合在一起,从而使系统的能力倍增,进而能在不需要增加成本的情况下提高生产率。

通过利用瞬间的高温等离子体产生,飞秒光纤激光器可以烧蚀钨(具备 3422℃ 的熔解温度和 173 W/(m·K) 的热导率)等高温金属材料和陶瓷材料,包



括熔解温度为 3246℃ 的二硼化锆陶瓷 (ZrB_2)。通过调整脉冲宽度和能量,可以操控微观结构的形状和尺寸,使得熔融结构在机械应力和热应力方面,比常规的由连续激光实现的添加制造结构更加牢固。例如,已经使用飞秒脉冲激光

添加制造方式,制造出了钨齿轮和薄壁 (100 μ m) 元件。□

参考文献

S. Bai et al., Appl. Phys. A, 122, 5, 495 (May 2016).

太赫兹技术或将攻破癌症难题

近日,从中国科学院重庆绿色智能技术研究院太赫兹技术研究中心,历时三年研究的太赫兹生物医疗研究项目即将结题。

该研究项目发现,电磁波太赫兹波能直接“看到”DNA、蛋白质等生物大分子。如果用于生物医疗领域,有望在患癌之前检测到癌细胞,目前,中科院已经与第三军医大学展开合作,

太赫兹技术或将攻破癌症难治的大门。

太赫兹生物探测技术已经成为当下一个非常重要的交叉前沿领域。目前,通过太赫兹技术,中心在实验室里已经能检测出肺癌早期在支气管中癌变的细胞。而在太赫兹技术更为成熟的美国、日本等国家,研究人员已经通过该技术检测出皮肤癌、乳腺癌、结肠癌和胃癌等多种癌细胞。

业内人士指出,太赫兹是电磁波谱最后的处女地,具有独特的优越性及极重要的应用,是新一代产业的科学技术基础。太赫兹科学综合了电子学与光子学的特色,是典型的交叉前沿科学领域,蕴含着原创性重大机理和方法并亟待突破,具有重大的科学意义。太赫兹科学技术也将是后摩尔时代信息技术发展的重要支撑。□

滤光片与薄膜

激光技术的发展 推动激光薄膜的进步

文/邵建达, 易葵, 赵元安, 王胭脂, 朱美萍; 中科院上海光机所

在激光技术进步推动激光薄膜发展的同时, 薄膜的光学与力学性质必须不断进步, 以满足下一代高功率、超快、空间激光系统的需求。

近年来, 激光技术的迅速发展推动了光学薄膜空前的进步。不同的激光系统对薄膜元件有着各种各样的性能需求, 例如: 特定波长范围内的透/反射率、低的波前畸变, 以及高的激光损伤阈值。

为了获得理想的光谱性能, 首先需要进行严格的薄膜设计。尽管通过商业化的膜系设计软件能够获得特定的光谱性能, 但是, 应用于高功率激光系统的光学薄膜, 还需同时具有高的激光损伤阈值和低的薄膜应力。

中国科学院上海光学精密机械研究所光学薄膜研究与发展中心(简称薄膜中心), 隶属于中国科学院强激光材料重点实验室, 致力于研发高功率、超强超快和空间等激光系统所需的薄膜元件。

高功率激光薄膜

自上个世纪七十年代开始, 薄膜中心就开始开展膜层中电场和温度场分布对光学薄膜损伤阈值的影响。研究表明, 对于氧化铪/氧化硅

($\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$) 多层膜, HfO_2 膜层中的电场强度越低, 最强电场所处的位置, 离空气-膜层界面越远, 多层膜的损伤阈值就越高。^[1,2] 此外, 将外保护层和内保护层的思想运用于激光薄膜的膜系设计, 以提高薄膜元件的力学强度, 并抑制某些特定的损伤形貌, 进而提升激光损伤阈值。^[3]

薄膜总应力包括来源于各个膜层及其膜层界面应力的贡献。在薄膜总应力方面, 由于各种镀膜材料的应力不同, 调整不同镀膜材料的厚度比, 是平衡薄膜总应力的有效手段。因此,

薄膜中心发展了一套系统的激光薄膜设计方法, 包括: 光谱性能、电场分布、外保护层和内保护层的优化设计, 以及应力的平衡。

在薄膜制备过程中, 精确的膜层厚度控制, 对获得优良的光谱性能而言至关重要。我们提出一种基于多个光学监控片的膜厚监控方法, 为了减少厚度误差, 一些较厚的膜层被拆分成两层, 由不同的光学监控片进行监控。利用上述方法, 可以获得接近理论设计的光谱性能。

为了提升激光损伤阈值, 理解激光损伤的源头至关重要。缺陷是薄膜在激光辐照下产生损伤的主要诱因。^[4] 通常来讲, 降低缺陷密度和提高缺陷



图 1: 用于 SG II-UP 系统的大口径偏振片 (对角线尺寸达 900mm)。

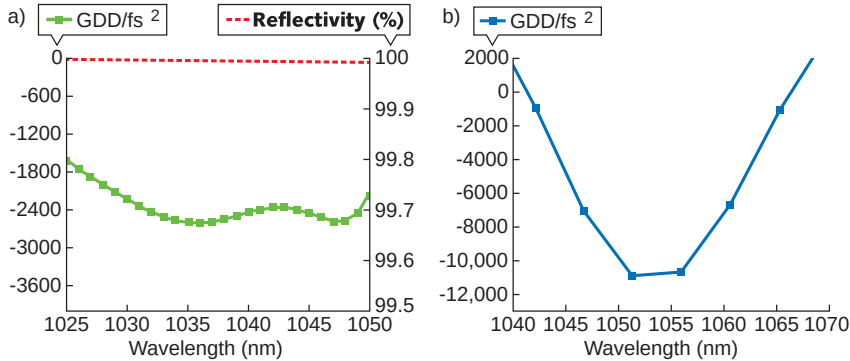


图2: 两种不同高色散镜的群延迟色散; 其中一种高色散镜在1030~1050nm的波长范围内, 具有约-2500fs²的群延迟色散 (a); 另一种高色散镜在1050~1056nm的波长范围内, 具有高于-10000fs²的群延迟色散 (b)。

的抗激光损伤能力, 是提升激光损伤阈值的有效方法。因此, 薄膜制备过程中的每一步都需要严格控制。

以基片加工与清洗为例, 基片抛光过程中产生的纳米级吸收性缺陷, 会严重降低减反射膜和分光膜的激光损伤阈值。同时, 基片表面的几何结构性缺陷, 会导致高反射多层膜中出现内部裂纹与电场增强, 最终显著降低激光损伤阈值。^[5,6] 为了减少源于基片的缺陷, 镀膜腔室外和镀膜腔室内分别采用超声清洗和等离子体清洗的基片清洗方法。

除了源于基片表面的缺陷, 镀膜材料的喷溅也是一类重要的缺陷源头。通过优化膜料预熔过程, 以及采用金属钪取代氧化钪作为初始镀膜材料, 可以有效地降低镀膜材料喷溅引起的缺陷。

为了提高缺陷点的抗激光损伤能力, 相对较高的氧分压和相对较低的沉积速率, 有助于薄膜的氧化。最近, 我们还提出了共蒸界面技术, 以提高多层膜界面性质, 并释放膜层应力。^[7] 此外, 后处理过程, 包括激光预处理和氧-等离子体处理, 也被用来提升激光损伤阈值。^[8]

薄膜元件的波前畸变依赖于基片的面形、多层膜的应力控制, 以及测试

与运行的环境。为了理解与控制薄膜沉积过程中的应力演化, 我们建立了一套在线应力测试系统。该系统能通过调整沉积参数, 对膜层应力进行调谐。

大口径薄膜元件

与美国的 NIF 装置与法国的 LMJ 装置一样, 中国的神光系列装置也需要大口径布儒斯特角偏振片和反射镜等元件来操纵激光光束。我们采用等离子体辅助沉积技术结合传统的

电子束蒸发技术, 制备出了大口径的激光薄膜元件。这两种沉积技术的结合, 具有可对膜层应力进行调谐、保持高的激光损伤阈值, 以及可扩展至大口径元件的制备等优点。

2012 年和 2013 年, 我们研制的布儒斯特角偏振片参加了由 SPIE 激光损伤年会 (在美国科罗拉多州博尔德市召开, 每年一度, 至今已有近 50 年的历史, 详见 www.spie.org/conferences-and-exhibitions/laser-damage) 组织的全球性激光损伤阈值竞赛。参赛样品的 P 偏振态损伤阈值高达 29.8J/cm², 是 2012 年提交的参赛样品中的最佳结果。参赛样品 S 偏振态损伤阈值高达 41.7J/cm², 仅比最高的结果低 1 J/cm² (在测试误差内)。

迄今为止, 我们制备的大口径偏振片对角线尺寸达 900mm, 在 1053nm 处的 P 偏振光透射率高于 98%, S 偏振光反射率高于 99%, 可以承受高达 14J/cm² (5ns 脉宽) 的激

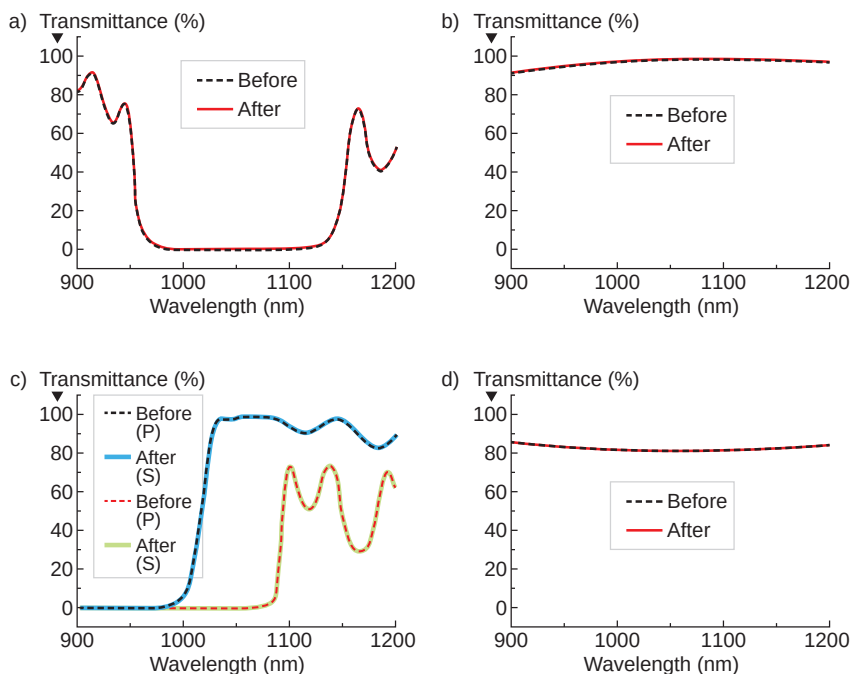


图3: 不同薄膜元件经高温循环测试前后的透射光谱曲线: (a) 高反膜、(b) 减反膜、(c) 偏振膜和 (d) 部分反射膜。

光通量, 已经在 SG II-UP 系统中获得良好应用。大口径的传输反射镜在 1053nm 处的反射率高于 99.5%, 可以承受的激光通量高达 $30\text{J}/\text{cm}^2$ (5ns, 如图 1 所示)。

超快激光薄膜

用于控制色散的色散镜, 例如啁啾镜对、高色散镜和低色散镜, 是超快激光系统中的关键元件, 可以提供“负啁啾”或“正啁啾”。啁啾镜对被广泛用于补偿特定带宽内的正色散或负色散。我们提出采用基于针式优化和局部优化的组合方式, 进行宽度啁啾镜对设计。利用离子束溅射技术制备出啁啾镜对, 在 700~1400nm 波长范围内, 具有高于 99.5% 的反射率, 在 505~540nm 波长范围内, 具有高于 99% 的透射率, 群延迟色散约为 -100fs^2 。

我们研究了啁啾镜在 800nm (脉宽: 38fs) 处的激光损伤特性。采用多波长耦合离子化模型描述激光诱导损伤行为, 有助于理解飞秒激光辐照下的损伤行为。^[9]

我们还研制了结合啁啾镜和 GTI 镜特性的高色散镜, 在

1030~1050nm 的波长范围内, 具有约 -2500fs^2 的群延迟色散, 或者在 1050~1056nm 的波长范围内, 具有高于 -10000fs^2 的群延迟色散 (如图 2 所示)。经群延迟色散为 -2500fs^2 的高色散镜反射 8 次后, 脉冲可以从 1.5ps 压缩到 150fs。

宽带、高反射的低色散镜, 可以有效避免在高功率激光系统额外引入色散。这些低色散镜在 700~900nm 的波长范围内, 可以获得接近零的群延迟色散以及高反射率 ($>99.5\%$, S 偏振光, 45°), 并已成功应用于 5PW 激光器中。^[10]

空间激光薄膜

应用于空间环境中的薄膜, 需要在高低温交替的真空环境中稳定使用, 并且要能承受长期的辐照。为了支撑我国嫦娥探月工程中所使用的激光高度计, 我们针对特定空间环境优化薄膜沉积工艺, 并研究了真空、污染、温度循环、长期辐照对薄膜性能的影响。目前这类空间薄膜元件已经得到成功应用。

在过去的 50 年中, 激光薄膜取得了迅猛发展。随着对激光诱导损伤

的理解与认识 (例如应力释放、界面缺陷抑制等), 激光薄膜技术有望取得更大的进步, 进一步促进下一代激光技术的发展。□

参考文献

1. Z. Fan et al., "Temperature field design of optical thin film coatings," Proc. SPIE, 2966, 362-370 (1997).
2. M. Zhu et al., Appl. Surf. Sci., 257, 15, 6884-6888 (2011).
3. M. Zhu et al., Opt. Commun., 319, 0, 75-79 (2014).
4. M. Zhou et al., Opt. Express, 17, 22, 20313-20320 (2009).
5. Y. Chai et al., Opt. Lett., 40, 16, 3731-3734 (2015).
6. Y. Chai et al., Opt. Lett., 40, 7, 1330-1333 (2015).
7. H. Xing et al., Opt. Lett., 41, 6, 1253-1256 (2016).
8. D. Zhang et al., Opt. Lett., 29, 24, 2870-2872 (2004).
9. S. Chen et al., Appl. Phys. Lett., 102, 8 (2013).
10. Y. Chu et al., Opt. Lett., 40, 21, 5011-5014 (2015).

业纳联手瑞镭为中国客户提供超短脉冲激光应用解决方案

业纳最新的超短脉冲激光器在瑞镭激光科技(深圳)有限公司的激光应用实验室成功安装, 为中国客户合作开发应用解决方案创造了新机遇。

通过结合彼此在激光行业的专业技术和多年经验, 瑞镭和业纳已经在中国激光材料加工领域迎来了一个重要的里程碑。业纳已将其用于工业微加工应用的最新激光器 JenLas® femto 16, 安装在瑞镭位于深圳的激光应用实验室中。

中国激光市场是工业激光材料加工领域最具活力和吸引力的市场之一。此次合作为这两家科技公司在中国激光市场的未来联合行动提供了新机遇。此外, 客户还能从能力拓展中获益, 未来还能提供更复杂的解决方案, 包括激光源、光学元件、光束分析和工艺控制。

“业务实力与专业技术的结合, 奠定了为客户提供综合解决方案的基

础、能够对市场做出更好的反应、实现客户定制的激光应用解决方案。”业纳中国激光业务高级销售经理贺日东表示。这些解决方案主要应用于从医疗器械到汽车行业, 从电子元件到精密机械和钟表业的工业生产。

“通过应用实验室的设备, 客户有机会直接体验我们激光技术的综合竞争力。这将会帮助我们尽可能地满足客户的要求。”贺日东补充道。□

工业激光器

光束整形开创 新一代超快激光加工应用

文/Yvonne Guertler, Max Kahmann; 通快公司

激光光束强度分布可以沿着x、y和z轴三个方向调整，使得热镀材料的焊接以及人造蓝宝石和玻璃的切割等应用，均能受益于此。

多年来，光束整形不仅使用户制造出了更好的产品，同时还帮助他们有效控制一些具有挑战性的应用。随着工业激光器和加工用光学元件的最新进展，光束整形技术也随之前迈进，使得用户能以一种非常灵活的方式，通过调整光束形状来满足特定应用的需求。作为优化材料加工的最佳前提条件，在过去的几年里，通快已经完全掌握了在工件上形成任意光束的技术，从而改进材料加工。

光束整形技术基于优化的波动光学设计和对熔融石英透射元件制造方法的改进。光束整形技术不但适用于超快（也就是超短）脉冲激光器，也适用于多千瓦级连续（CW）激光器。光束整形技术在带来高效率 and 功率处理能力的同时，还能为各种不同的应用提供灵活的光束整形方法，从基模到多模、从超快到连续发射，且能覆盖较宽的光谱范围。

能够在 x、y、z 轴三个方向调整

光束强度分布，将为应用带来最大的灵活性。除了能够调整光束强度外，还可以产生多个光斑。这种方法具有一定的成本优势，因为该技术能使用标准的激光产品，这意味着可以使用标准的激光源（如连续激光器）和标准的传导光纤，无需进行任何特定的调整或改造。

利用这种光束整形技术，通快公司已经开发出了一些优化的新加工方式。最近新开发的两项应用分别是：用超短脉冲激光器切割玻璃和人造蓝

宝石；以及提高汽车应用中热镀锌钢材的钎焊能力。这两项新发展，使生产流程更加有效灵活，打开了进入新市场的大门。此外，它们既能应用于单模激光源，也能用于多模激光源，这充分显示了光束整形技术的潜力。

切割人造蓝宝石和玻璃

由于玻璃对可见光和近红外光是透明的，因此用波长位于这些透射波段的激光器来加工玻璃，好似并不合乎逻辑。但是，当使用脉宽在皮秒或飞秒范围的超快脉冲激光加工玻璃时，光并不是简单地穿过被加工材料。相反，脉冲中光子的巨大空间和时间密度，有利于一个生成自由电子的非线性、多光子吸收过程。随后，这些电子吸收更多的光子。这种透明材料中改良的吸收机制，使得利用激光加工人造蓝宝石和玻璃成为可能。

这种加工的成功，主要取决于材料的改性。不同于使用逐个脉冲直接穿过材料（即消融），超快脉冲激光束被聚焦于玻璃的内部，在玻璃内部，超快脉冲激光束能够沿着想要的切割线，改性一个狭窄的区域。随后，玻璃会沿着这个由激光产生的特定狭窄改性区而断裂。无论是直线切割还是曲线切割，这种方法都能获得光滑的切割表面，切割精度可达到 0.01mm。

这项技术是专门为切割坚硬的薄

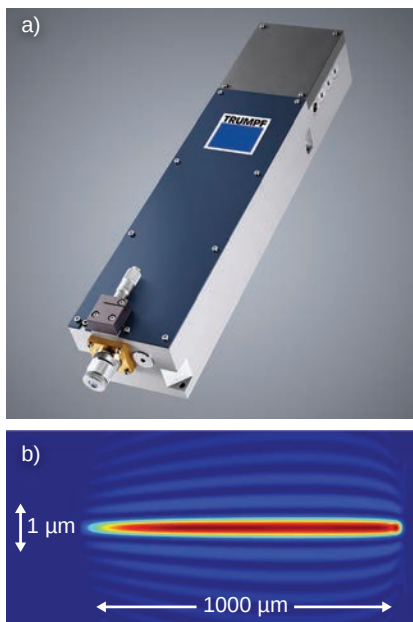


图1：利用通快的Top Cleave光束整形镜组切割坚硬的薄玻璃（a）。激光强度沿着光束的传输方向z轴均匀分布，形成一条长宽比大于1000:1的聚焦线（b）。激光脉冲一次性改性完整的内部分割表面。

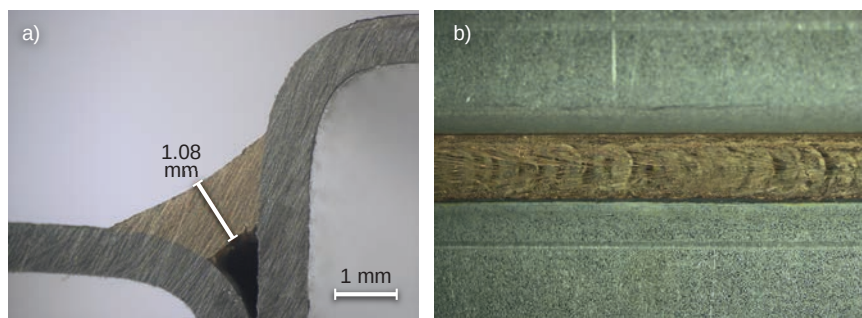


图2: 使用光束整形镜组, 将光束分成多个光斑, 从而使钎焊热镀锌材料成为可能 (a), 并且利用机器人获得了4.5m/s的钎焊速度和令人满意的加工质量, 包括完全没有飞溅和气孔的光滑材料表面 (b)。

玻璃而开发的, 例如智能手机显示屏的盖板玻璃。切割智能手机显示屏玻璃盖板时, 利用通快的 Top Cleave 光束整形镜组, 可以获得高达 1m/s 的切割速度。激光强度沿着光束的传输方向 z 轴均匀分布, 因此, 焦点被拉长, 光斑变成了一条长宽比大于 1000:1 的聚焦线。激光脉冲不再一层层地将玻璃消融, 取而代之的是一次性改性完整的内部分割表面 (见图 1)。

根据脉冲能量和材料的不同, 可切割的玻璃厚度可厚达 2mm。如果用配备 Top Cleave 光束整形镜组的 TruMicro 激光器切割 2mm 厚的玻璃, 切割速度可达 1m/s, 该速度是不配备 Top Cleave 的 100 倍。即使是切割世界上第二坚硬的透明材料蓝宝石, 也是如此。例如, TruMicro 5080 激光器 (重复率高达 1000kHz、脉冲能量高达 500μJ、平均功率大于 150W) 配备 Top Cleave 光束整形镜组, 可以形成一条激光聚焦线, 能切割厚度超过 1mm 的玻璃。

热镀锌材料的钎焊

汽车行业越来越热衷于使用热镀锌材料。除了如耐腐蚀性增强的实际差别之外, 热镀锌金属的成本比电镀锌更低, 并且在全球各地更容易获得。

不过, 采用钎焊方法来焊接热镀锌

材料确实有些难度。在加工过程中, 由于材料上存在涂层, 通常会在加工后的材料上形成飞溅、气孔以及表面不平整等问题。然而, 使用光束整形镜组, 可以将光束分成多个光斑, 从而使钎焊热镀锌材料成为可能, 并且

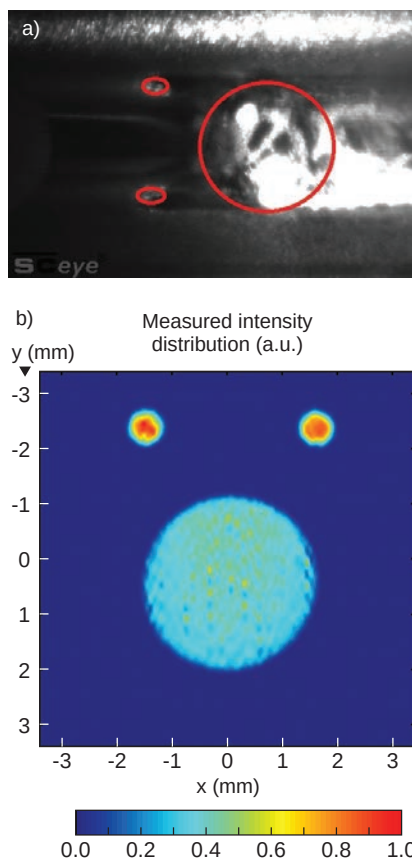


图3: 在钎焊热镀锌材料时, 材料表面上的三个光点 (a), 具有不同的直径和功率密度 (b)。利用光束整形镜组, 确保各个光斑彼此之间的位置和相对于焊丝的位置, 不受加工头的机械手臂在旋转和定位时的影响。

获得了惊人的钎焊速度 (与机器人配合实现 4.5m/s) 和令人满意的加工质量, 光滑的材料表面上完全没有飞溅和气孔 (见图 2)。

这个钎焊加工过程是利用一台标准的 6kW 光纤传导的碟片激光器 TruDisk 6002 实现的。该激光器配备了标准传导光纤, 将光束传送至 Scansonic 公司的接触式焊缝跟踪镜头。Scansonic 公司的 Adaptive Laser Optic ALO3 作为激光加工头, 在这该应用中仅需要稍作调整即可使用。

在钎焊热镀锌材料时, 材料表面上的三个光斑, 具有不同的直径和功率密度。小光斑发挥着至关重要的作用。锌涂层可以预处理, 零件表面也被预热。全新的钎焊加工技术, 实现了更加光滑的焊接表面和更快的焊接速度。

通过这种方法, 有望确保各个光斑彼此之间的位置和相对于焊丝的位置, 不受加工头的机械手臂在旋转和定位时的影响。因此 Scansonic ALO3 在使用上没有任何限制, 特别有利于汽车后挡板加工, 以及在在焊缝的起始点或终结点, 加工机器人需要进行较大重新定位的情况 (见图 3)。

光束整形可以实现钎焊加工, 并且如果需要更换光纤, 也非常简便。从标准维护流程中也能看出其优势, 用户只需一个激光加工头作为备件, 用于铝焊接和钎焊。光斑的几何形状和强度分布, 尤其是各个光斑之间的能量分布, 都在该光束整形元件中标明。此外, 光斑的方向相对于整形元件是固定的, 不受其他任何参数的影响。

对于利用这种光束整形技术的定制光束而言, 这是第一个多千瓦范围内的应用, 还有可能实现其他光束整形机制, 这将为小型应用打开无限潜能, 比如可以加工出不同尺寸的焊缝。□

激光焊接

激光焊接技术在动力电池行业中的应用

文/大族激光科技产业集团股份有限公司-精密焊接事业部

动力电池是典型的新型清洁能源，也是当今世界的研究热点。动力电池即为工具提供动力来源的电源，多指为电动汽车、电动列车、电动自行车、高尔夫球车提供动力的蓄电池。动力电池作为主要电源蓄电池广泛应用于工业、生活等方方面面。

动力电池作为新能源汽车的核心零部件，直接决定整车性能，其一般由正极材料、负极材料（碳素材料）、隔膜、电解液、电池壳等原材料构成（见图1），激光焊接是上述原材料焊接成电池电芯、PACK 模组等化零为整的融合制造过程，是整个动力电池生产流程中的关键工艺。

动力电池中常见的焊接方法比较

动力电池实际生产过程中涉及的封装技术十分广泛，如激光焊接、电阻焊、超声波焊、冷金属过渡焊、钎焊、真空电子束焊接等。合理的焊接方法与优化的工艺参数选择，对动力电池的生产成本、一致性、可靠性和安全性具有重大影响。

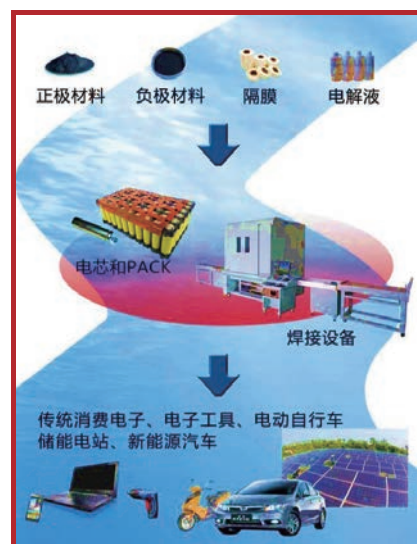


图1：动力电池的构成及应用。

激光焊接是一种非接触式工艺，极为灵活、精确和高效，能够满足动力电池生产过程中的性能要求，同时具备高效精密的特点，为新能源动力技术的发展提供了重要保障。

图2为几种常见的焊接方法实现的焊缝效果，

每种焊接方法在其特定的应用领域都有一定的优势，但也有很多不足，如：真空电子束焊的焊接效果和激光焊接都属于高能量密度焊，焊接效果相差不大；但是电子束焊对条件及设备要求较高，需要真空环境，大规模生产难度大，

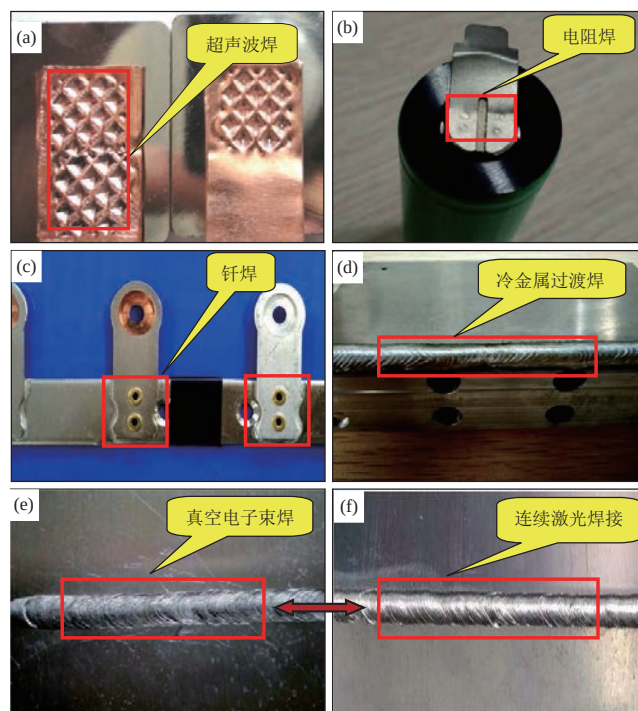


图2：常见焊接方法的焊缝对比。

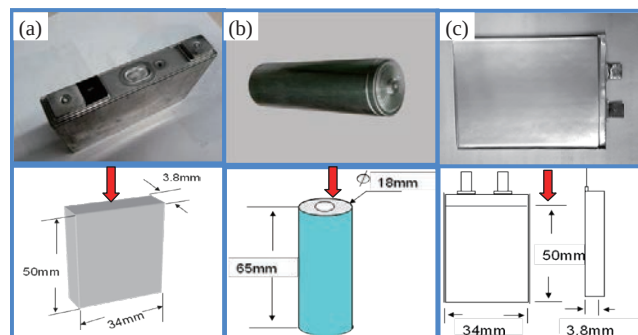


图3：常见动力电池外形及尺寸：(a)方形、(b)圆柱形、(c)软包。

方形动力电池激光焊接工艺流程



图4：方形动力电池激光焊接工艺流程。



图5：各种电池的激光焊接焊接部位。

目前只在一些特殊的超级电容生产中有应用。激光焊接的优势在于焊材损耗小且无需焊料、焊缝美观、设备性能稳定易操作、焊接质量及自动化程度高、工艺可重复度高等，其工艺上的优势是其他焊接方式无法比拟的。

动力电池常见焊接部位

动力电池的电芯按其外形可分三种，如图3所示，分别是方形、圆柱形以及软包电芯，其命名方法一般按电池外观尺寸来命名，如：方形锂离子383450型号，就是指电芯实体部分宽34mm、厚3.8mm、长50mm；圆柱型18650型号，就是指电芯直径18mm，长65mm；软包383450型号，就是指电芯实体部分宽34mm、厚3.8mm、长50mm。

目前，在国内外生产的电动汽车当中，这三种外形的电池都有应用，

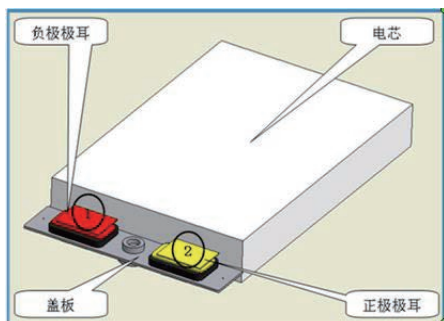


图6：方形电池结构示意图。

但以方形电池和圆柱形电池应用最为广泛。

不同外壳形状的动力电池，焊接工艺参数也存在一定区别。例如：美国特斯拉电动车就采用由7000多块松下NCR 18650 3100mah电池合成的PACK电池组，以此来满足高续航能力；目前国内市场上销售最多的电动汽车比亚迪王朝系列，采用的就是铝壳方形电池合成的PACK电池组。一般方形动力电池的激光焊接工艺流程如图4所示。

动力电池的激光焊接部位主要有六个：盖板防爆阀焊接、电芯极耳与极柱的焊接、电池壳体的焊接、密封钉（电解液注入口）的焊接、电芯极耳、电芯极耳与顶盖的焊接；另外，超级电容的焊接以连接片和负极封口焊接为主。各种动力电池及超级电容的焊接部位如图5所示。

动力电池激光焊接工艺研究

动力电池的壳体材料主要有铝合金和不锈钢，其中采用铝合金的最多，一般为1系和3系铝合金。

不锈钢具有较好的激光焊接性能，如304不锈钢，无论使用脉冲激光还是连续激光，都能够获得较好的焊缝外观和力学性能；铝合金的焊接难度相对较大，生产中可能会面临焊缝表面凸起、内部气孔、炸火等问题。铝合金焊缝表面凸起和内部气孔问题，可能是由于采用的光纤芯径过小、激光能量设置过高或焊接速度过快等原因所致；引起焊缝处炸火的因素有很多，如材料的清洁度、材料本身的纯度、材料自身的特性等。

实际生产中，焊接工艺人员会根据电池的材料、形状、厚度、拉力等要求，来选择合适的激光器和焊接工艺参数，包括焊接速度、波形、峰值、焊头倾斜角度等，以保证最终的焊接效果满足动力电池厂家的要求。1系和3系铝合金可以采用脉冲激光焊接和连续激光焊接，其他系列的铝合金最优选择连续激光焊接。

下面将以方形动力电池为例，介绍其激光焊接工艺特点。

(1) 方形电池壳体激光焊接

图6为方形电池的常见结构示意图，其外壳盖板的焊接主要分为顶焊和侧焊两种。其顶部有一个长方形盖板，板上带有正极引出端，将盖板塞入外壳与上口平齐，然后用激光将盖板与外壳之间的长方形缝隙隙，以重复连续激光的方式焊好密封，这个焊接

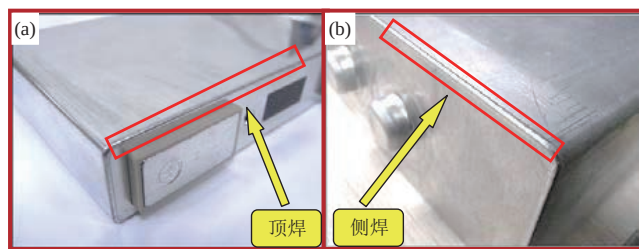


图7：采用顶焊和侧焊工艺的方形电池壳体。

过程即称为顶焊。

顶焊中激光束可以不动，将电池固定在工作台上，激光束对准焊缝后，开动工作台使电池沿工作台的 x、y 坐标依次走出与焊缝相同的长方形图形。对于方形电池的盖板采用顶焊密封结构工艺时，盖板放置没有定位台阶，而长度尺寸公差的要求也较为严格，焊接装配精度要求较高。相比于动力电池盖板的顶焊工艺，侧焊时对上盖尺寸公差要求宽松，且容易压紧，有明显优点，但是侧焊时工件需要旋转，需要夹具，成本较高、效率较低。例如，以 27148 方形电池为例，顶焊结构焊接一个产品可以比侧焊结构快约 1.5 秒，每小时产能多 120 个。

图 7 为采用顶焊和侧焊工艺的方形电池壳体。对比顶焊和侧焊这两种方式可发现：侧焊的优点是对电芯内部的影响较小，飞溅物很难进入壳盖内侧，缺点是焊接后可能会凸起，这会影响后续工艺的装配，所以侧焊工艺对激光器的稳定性、材料的洁净度和顶盖与壳体的配合间隙有较高的要求；而顶焊工艺是在一个面上焊接，四条边可一次焊接完成，效率较高，但对前一道工序入壳定位要求很高，同时也对设备的自动化要求较高。

方形电池采用顶焊时，在四个拐角处容易出现问題，需要根据实际情况进行调节波形、功率及焊接速度；但是圆柱形电池激光焊接就不存在这个问题，一般将圆柱形电池固定在三爪卡盘上进行侧面焊接，但是圆柱电池后期集成电池模组难度较大。

(2) 方形电池防爆阀的激光焊接

防爆阀是电池封口板上的薄壁阀体，当电池内部压力超过规定值时，防爆阀阀体破裂，避免电池爆裂，图 8 为常见的两种防爆阀形貌。防爆阀结构巧妙，很多是电池厂家的专利设计，但其基本原理多为用激光焊接牢固的、一定形状的两个铝质金属

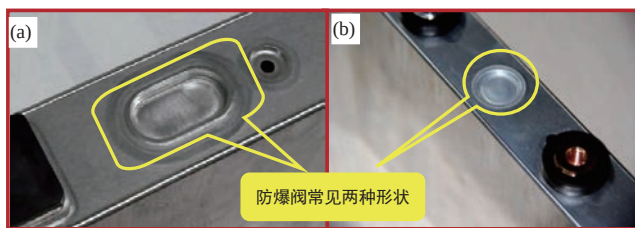


图8：电池防爆阀常见形状。

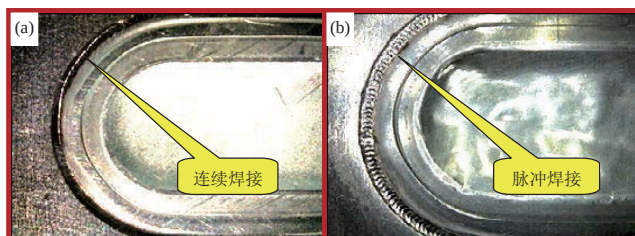


图9：连续激光和脉冲激光焊接的防爆阀焊缝。

片。当电池内部压力升高到一定值时，铝片从设计的凹槽位置处破裂，防止电池进一步膨胀造成爆炸，因而这道工序对激光焊接工艺要求极为严格，要求焊缝密封，并且焊缝的破坏压力要大于铝片凹槽位置的破坏压力。

图 9 为采用连续激光和脉冲激光焊接的防爆阀焊缝。防爆阀可采用脉冲激光和连续激光焊接。脉冲激光焊接主要通过焊点与焊点的重叠和覆盖，来实现连续密封焊接，焊接效率相对较低，且密封性相对较差（脉冲激光焊接防爆阀，在参数调节不当的情况下，可能产生裂纹）。采用连续激光焊接对产品装配精度要求高，但是可以实现高速、高质量焊接，焊接稳定性、焊接效率以及良品率都能得到保障。例如，一个 25mm×15mm 的防爆阀膜片，使用 300W 脉冲激光器进行焊接需要十几秒，而使用 1000W 单模光纤激光器焊接则只需不到 2 秒的时间，效率大大提升。

(3) 方形电池电芯极耳、连接片的激光焊接



图10：振镜焊接电芯极耳-极柱。

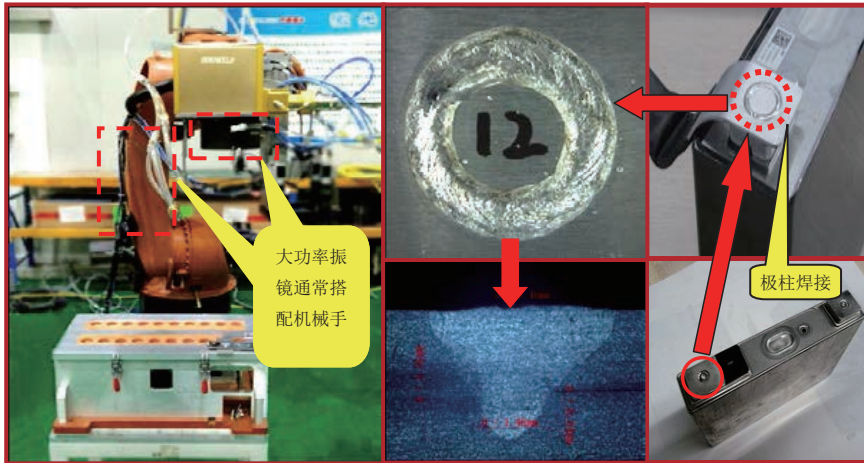


图11：电池极柱与连接片的焊接。

电池盖板上的极柱，分为电池内部和电池外部连接。电池内部连接，是电芯极耳与盖板极柱的焊接；电池外部连接，是电池极柱通过连接片焊接，形成串联、并联电路，组成电池模组。

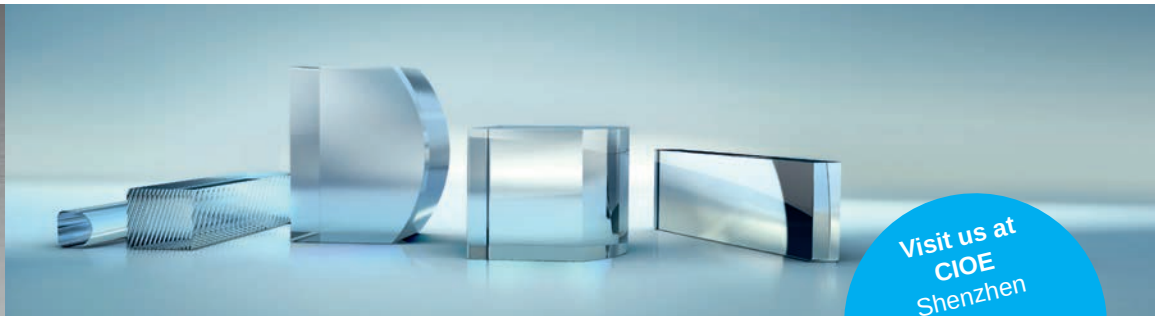
接强度。

在将电池连接成电池组 PACK 时，电池极柱间的连接片厚度通常为 1.5 ~ 2mm，需要使用功率为 4 ~ 6kW 的光纤激光器焊接，同时使用大功率振镜、机械手配套，

电池的极耳即电池的正负极，一般正极采用铝，负极采用铜。针对不同型号的电池，其极耳的尺寸大小各不相同。焊接时，再满足达到设计要求的拉力和导电性能的情况下，优先选择光束质量好、焊斑小的光纤激光器，图 10 为采用光纤激光器焊接所实现的电池极耳铝 - 铝焊接、铜 - 铜焊接的形貌。

电池内部极耳、外部连接片的材料、结构、焊接方式都是类似的，所以工艺上也相似。不同的是，连接片由于在电池外部，通常要求更高的焊

下转第24页



FISBA

激光二极管和电信/数据通信应用的定制光学元件

慢轴准直透镜(SACs) 非球面设计能够实现单管的出色准直性能

快轴准直透镜(FACs) 提供针对覆盖420到1550纳米特定波长和各种有效焦距的优化设计

用于光纤准直的高精度柱镜 具有极高的中心度和直径公差

Visit us at
CIOE
Shenzhen
6-9 September 16
Booth 1
Hall 1A13-6

光纤涂层剥除

如何实现光纤涂覆层的高质量剥除？

文/陈德玺，金朝勇 北京凌云光子技术有限公司(编译)

日本藤仓公司的新型剥除工具PCS-100，具有重复性高、抗拉强度高等特点，其剥除的涂覆层边沿非常平整，有效解决了光纤激光器熔接点附近的局部发热问题。

聚酰亚胺涂覆层光纤广泛应用在要求耐高温、抗化学腐蚀的工业领域，其涵盖的应用非常广泛，从油井、气田中的光纤传感器装配的工业应用，到医学领域的内窥镜应用。在这些应用中，使用聚酰亚胺光纤的关键是剥除聚酰亚胺涂覆层。

目前，剥除聚酰亚胺涂覆层比较流行的方法，是使用热硫酸和基于火焰燃烧剥除的化学方法。然而，这两种方法都有非常大的缺点。使用热硫酸的剥除方法要求有充分的文件说明，并且对操作人员非常危险；而使用火焰燃烧剥除聚酰亚胺涂覆层的方法，经常导致裸露的光纤炭化。

最近，日本藤仓公司发布了一款能够实现精确控制、机械剥除光纤的聚酰亚胺涂覆层的设备——聚酰亚胺剥除器 PCS-100（见图1）。

剥除方法

PCS-100 具有两种剥除方法：标准剥除和窗口偏移剥除。

（1）标准剥除



图1：日本藤仓公司推出的聚酰亚胺剥除器PCS-100。

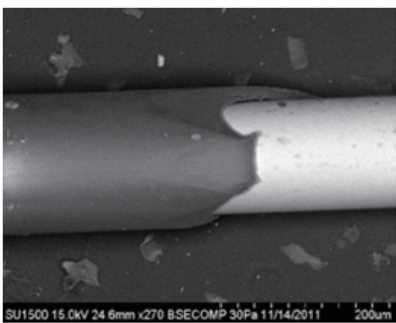
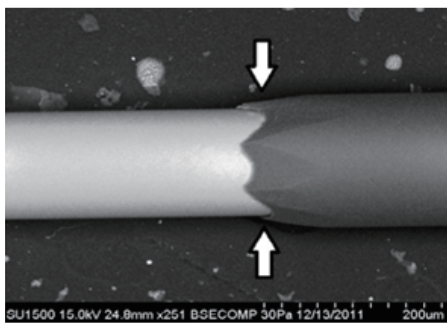


图2a-b：聚酰亚胺光纤均匀剥除及非均匀剥除图例。



标准方法是用于普通光纤的准备，仅需要一个平整的涂覆层边沿。如果需要两个平整的边沿或要求再涂覆，建议使用窗口偏移剥除的方法。

标准剥除和窗口偏移剥除，都需要两个关键的参数来优化剥除的质量：剥除的次数和刀的高度。剥除的次数是指刀片在光纤上剥除的次数。每剥除一次，光纤夹具平台旋转一定角度，这个角度由剥除的次数决定。例如，剥除次数为6次，说明刀片要在光纤上剥6次，光纤夹具平台就要以60°为旋转步长，旋转6次，见公式（1）。

$$f(x) = \frac{360^\circ}{x} \quad (1)$$

公式（1）中，“x”是剥除次数，f(x)是每次剥除后旋转的角度。

刀片调试的是刀片的垂直位置，从-150 ~ 150μm可调。减小这个数值将使刀片更加接近光纤；相反，增加这个数值将使刀片远离光纤。完美的标准剥除，可以通过观察最后的结果，优化这两个参数实现（见表1）。

表1：PCS-100剥除优化指导

	刀片高度	剥除次数
刀片未剥到光纤	降低	不变
光纤断裂	升高	减少
涂覆层未剥除干净	降低	增加

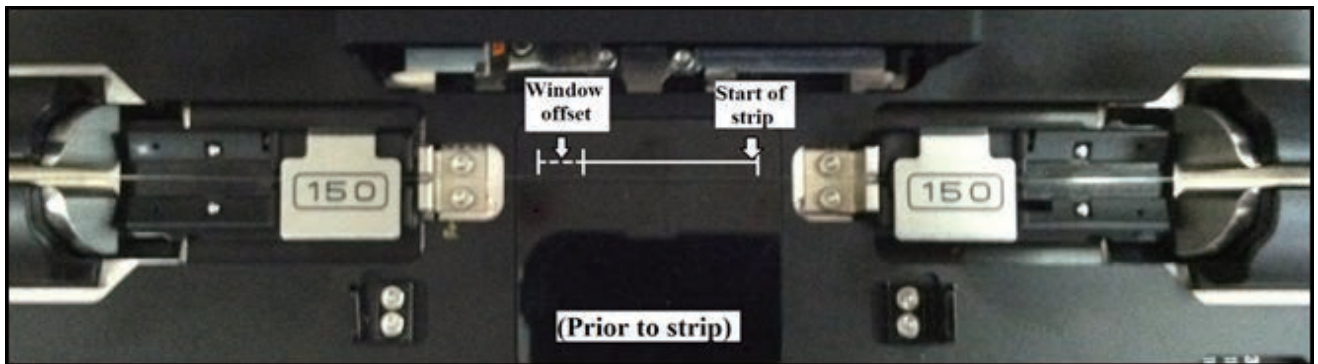


图3: 窗口偏移: 在这个过程中第一步从右到左, 剥除停止的预定距离, 被称为窗口偏移。

(2) 窗口偏移剥除

当想得到两端干净平滑的涂覆层剥除效果时, 可以利用“窗口偏移剥除”功能, 如果这个区域不平滑 (见图 2a), 将会在再涂覆时形成空气间隙, 从而影响最终产品的性能。图 2b 所示的为上下平滑对称的剥除, 它有一个理想的表面。利用“窗口偏移剥除”功能, 可以达到这样的效果。

“窗口偏移剥除”过程, 主要是设置剥除时刀片的截止位置与设置长度的距离。这个距离是根据光纤类型等参数优化得到的, 它称为窗口偏移。例如, 如果想得到长度 30mm 两端平滑的光纤剥除效果, 应将参数设置为剥除长度 30mm 及窗口偏移量 4mm。这样设置后剥除时, 刀片将停止在 26mm 处 (见图 3)。

当光纤完成设定数量的旋转和剥除, 右侧涂覆层边缘

激光光学

1,675 种现货高功率激光产品, 开卖啦!

适用波长从
193 nm 到 10.6 μm



马上采购吧!

www.edmundoptics.cn/laser-optics

EO Edmund
optics | china

Tel: +86 (0755) 2967 5435

表 2: Verrillon公司VHS300和VHM3000光纤规格

光纤类型	纤芯/包层/ 涂覆层 (μm)	涂料	温度
VHS300 (SMF-40-P-125-1)	9.2/125/155	聚酰亚胺	-65℃ ~ 300℃
VHM3000 (MMF-50-6-P-125-6)	50/125/155	聚酰亚胺	-65℃ ~ 300℃

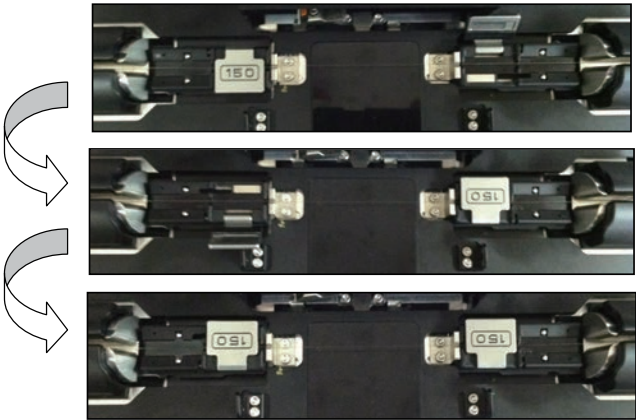


图4: 反转光纤夹具位置自上而下分别是: (a) 松开右侧夹具位置; (b) 同时取出两次光纤夹具反向放置; (c) 重新装载左侧光纤夹具。

是平滑的, 而左侧光纤是不平滑的。为了使左侧光纤也能得到均匀的涂覆层剥除效果, 并停止在设定的距离处, 光纤夹具需要被拉回, 并将光纤重复处理 (见图 4a-c)。

当光纤夹具反转放置后, 重复剥除过程。在反转光纤夹具前, 要在右侧光纤处产生一个均匀的剥除面, 然后停止在图 3 所示的截止处。最终能够形成一个设定距离两端平滑的光纤剥除效果 (见图 2b 所示)。

特殊涂覆层剥除

(1) 聚酰亚胺涂覆层光纤

正如前文所述, 聚酰亚胺涂覆层用于遍及石油、天然气和生物医学等行业中, 需要耐高温、耐化学腐蚀的光纤

表 4: Verrillon聚酰亚胺涂覆层光纤剥除损伤点抗拉强度数据分析

	Verrillon VHS300 聚酰亚胺光纤	Verrillon VHM3000 聚酰亚胺光纤
N =	20	20
平均	544.4	527.4
标准	91.1	54.0
最大	697	609
最小	417	423

表3: VHS300和VHM3000 聚酰亚胺涂覆层光纤的剥除参数

	Verrillon VHS300 聚酰亚胺光纤	Verrillon VHM3000 聚酰亚胺光纤
剥除次数	8	8
剥除长度	25mm	25mm
涂覆层直径	155μm	155μm
包层直径	125μm	125μm
刀片高度	0μm	0μm

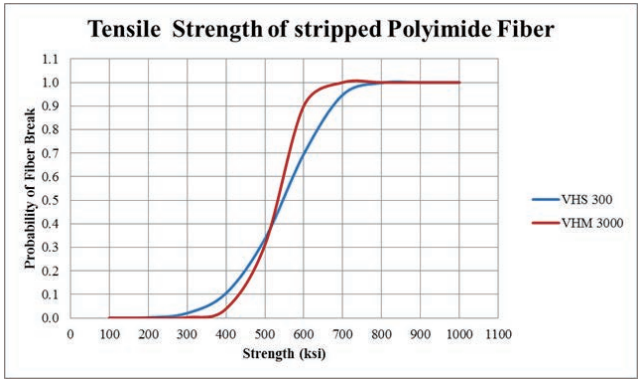


图5: VHS300和VHM3000 聚酰亚胺涂覆层光纤的抗拉强度, 显示了增大拉力时光纤断裂的可能性。

应用场所。由于这些光纤的应用环境很不稳定, 所以光纤剥除过程必需高度可控, 包括涂覆层边缘在内的光纤必需剥除的干净, 而且要能达到可接受的抗拉强度。

光纤制造商 Verrillon 公司生产了多种类型可用于恶劣环境的光纤, 尤其是单模和多模的聚酰亚胺涂覆层光纤 (见表 2)。

测试剥除质量需要很多数据, 比如涂覆层边缘的图像数据和抗拉强度测试数据。这两个参数是光纤剥除设备整体性能的重要参考指标。

涂覆层边缘质量是评估光纤剥除工具的一个重要方面。分界面平坦且没有任何碎片至关重要。任何偏离标准

表5: 康宁SMF 28e+光纤损伤点抗拉强度数据分析

	Corning SMF 28e+ 丙烯酸酯光纤
N =	20
平均	588.6
标准	79.1
最大	718
最小	454

pco.

on the
cutting
edge

pco.edge family

now with advanced sCMOS

image sensor

1.1
GByte/s
image data
bandwidth

up to
82%
quantum
efficiency



CAMERA
LinkHS
available

available
LinkHS
available

www.pco.de

www.pco-tech.com

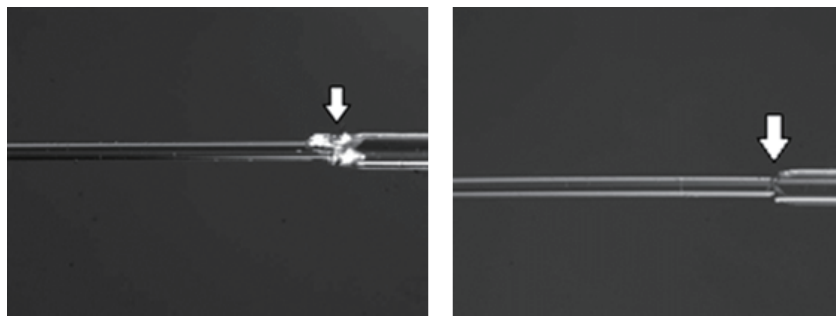


图6a-b: 光学显微镜下, 用剥纤钳类剥除工具剥除的SMF丙烯酸酯涂层光纤剥除端的图像 (左) 和用PCS100 剥除的相同光纤剥除端的图像 (右), 箭头指示为涂层的边缘。

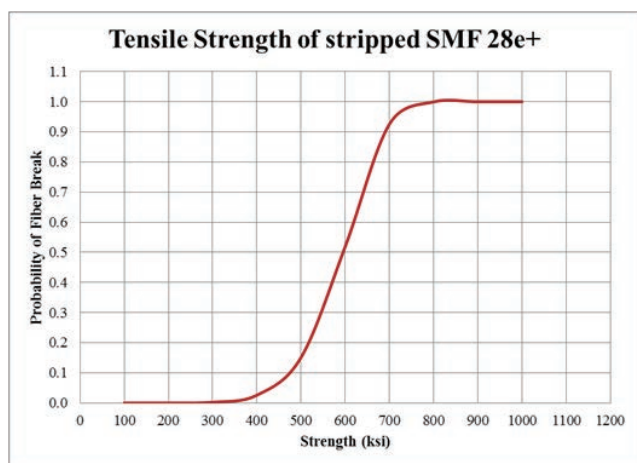


图7: 康宁SMF 28e+的抗拉强度, 显示增加拉力时光纤断裂的可能性。

的变化, 都可能导致光纤出现气孔、切割角度差以及熔接质量低。

我们已经使用 Verrillon 公司的 VHS300 和 VHM3000 聚酰亚胺光纤, 对 PCS-100 的剥除质量进行了大量测试。用于评估 PCS-100 剥除聚酰亚胺光纤性能的剥除参数, 请参照表 3, 在此参数下, 聚酰亚胺光纤具有高平均抗拉强度以及窄数值分布范围 (见图 5、表 4)。

(2) 丙烯酸酯涂层的光纤

丙烯酸酯涂层的光纤, 在光纤应用中无处不在。剥除这种纤维的传统方法, 一般是利用剥纤钳等剥除工具。虽然这种方法可以快速及时的剥除涂覆层, 但会导致光纤的边缘质量变差 (见图 6a)。使用 PCS100 剥除

相同的光纤时, 光纤边缘质量大幅改善 (见图 6b)。

抗拉强度是衡量光纤剥除质量的另一个重要指标。剥除时刀片对光纤包层的任何损伤, 都会降低光纤的拉伸强度。对于

丙烯酸酯涂层光纤, 要求剥除涂覆层后抗拉强度高、变化幅度小 (见图 7、表 5)。

(3) 高功率光纤激光器中大芯径光纤涂覆层的剥除

随着工业、军事等领域对激光功率的需求, 光纤激光器的输出功率逐年提高, 但在生产高功率光纤激光器的工艺过程中, 大芯径光纤的涂覆层剥除、熔接等关键工艺, 都影响着光纤激光器功率的进一步提升及产品的稳定性。

如熔接时对光纤表面造成污染、剥除时涂覆层断面的不平整及空气层, 都可能引发光纤激光系统中产生热点, 造成产品不稳定, 甚至烧损光路。图 8 所示为不良的涂

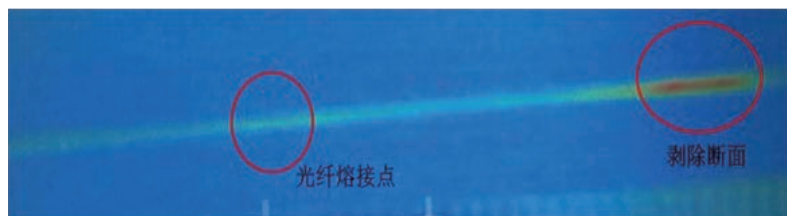


图8：不良剥除断面测试时的发热现象。



图9：20/400光纤PCS-100剥除断面。

覆层剥除断面，在低功率测试时的发热情况。

经过反复试验发现，不良的涂覆层剥除，是高功率光纤激光器中局部发热甚至烧毁光路的一个重要原因，而采用 PCS-100 进行剥除的光纤断面，具有非常齐整平滑的切口（见图 9），并且涂覆层不会与光纤产生分离上翘现象，有效地克服了高功率光纤激光器的局部发热问题，大大提高了产品的稳定性。

总结

光纤光学已经广泛应用于诸多环境恶劣的工业领域。

世界范围内对石油、天然气等资源开发的增长，成为光纤在这些恶劣环境中使用的动力，尤其是对聚酰亚胺涂覆层光纤的特殊要求。随着这个趋势的发展，需要一种具有可重复的精确剥除聚酰亚胺的方法，用来实现与各种不同的温度传感器或压力传感器进行装配。

PCS-100 可以实现高重复性、高品质、高抗拉强度的聚酰亚胺光纤的剥除。另外，这个设备还可用于许多丙烯酸酯光纤涂覆层的剥除，用于得到平坦光滑的涂覆层边沿从而再涂覆。PCS-100 已经成为一款在许多应用领域中通用的光纤处理工具。□

上接第19页

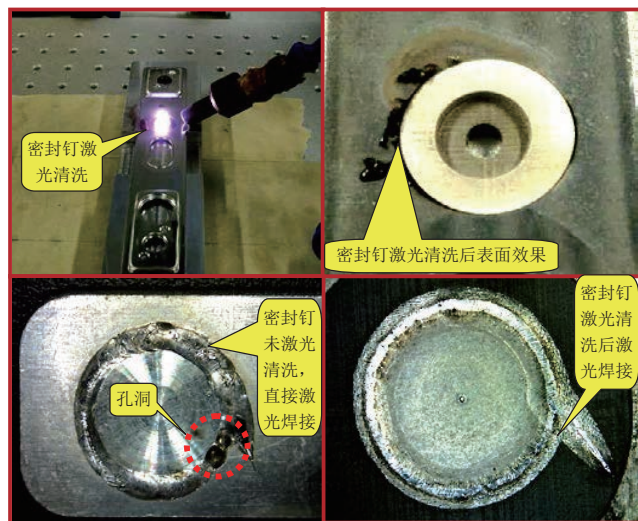


图12：密封钉连续激光焊接。

能最大的发挥生产效率：在振镜驱动下，光斑能以极快的速度焊接（通常为 100 ~ 300mm/s）、空跳（2 ~ 3m/s），机械手运动一个位置，振镜可以焊接 4 ~ 8 个极柱，效率大大高于同样功率的激光器与 xyz 平台、焊接头配置，如图 11 所示。

（4）方形电池密封钉的激光焊接

密封钉（注液孔盖帽）的形式也较多，其形状通常为一个直径 8mm、厚度约 0.8mm 的圆形盖帽，用脉冲激光器即可较好的焊接。但需要注意的是，由于一些盖帽是冷加工成型，冷作硬化和残余应力易导致焊缝产生裂纹，焊前对盖帽进行热处理，可以改善这一问题。

方形动力电池的密封钉通常采用铆压或激光焊接，通常采用 YAG 脉冲激光器焊接。用一台 300W 的 LP YAG 脉冲激光器焊接直径约 8mm 的密封钉，生产效率可达 6PPM。为了进一步提高产能，需加快焊接速度，即使用光纤激光器连续焊接。但是光纤激光器连续焊接，对产品的清洁度要求更高，残留的电解液及其结晶更易造成焊接飞溅，形成小孔，所以激光清洗，也是该工艺中的一大重要工序。

结语

不管是哪种动力电池，都需要根据实际情况解决工艺上的问题，激光焊接凭借其自身优势已获得越来越多的应用。激光焊接工艺相比于其他焊接方式拥有诸多优势，但仍有未解决的问题，有待进一步研究，以为广大电池厂商提供更好、更快、更稳定的焊接设备和工艺。□

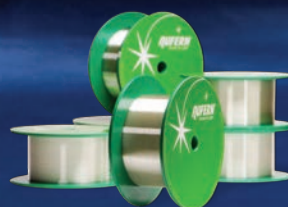
致力于光的传输 一直是我们的创新灵感基石

从传统的硅胶、尼龙到现代的氟化聚合物涂层，
连同我们创新的智能平顶光束传输专利技术，
NUFERN公司的能量传输光纤带给您：

- 稳定的质量
- 值得信赖的可靠性
- 无需调整免维护

机遇一触即发！

联系我们：inspire<inspire@nufern.com>，或者访问 www.nufern.com。



866.466.0214 / www.nufern.com

添加制造

匹兹堡大学为添加制造开发快速计算模型

文/Gail Overton

随着添加制造变得越来越普遍，研究人员和产业界都在寻求各种方法，以在这种几何形状复杂的部件制造过程中，减少其本身固有的变形和应力。美国匹兹堡大学斯旺森工程学院的研究人员，和运动控制系统制造商 Aerotech 公司，获得了美国国家科学基金会（NSF）的一项 35 万美元的拨款，通过为添加制造开发新的、快速计算方法来解决这些设计问题。

该课题组的工程团队，总部设在匹兹堡大学斯旺森工程学院的机械工程与材料科学系，团队成员包括副教授兼首席研究员 Albert To 和助理教授 Sangyeop Lee 和兼职副教授 Stephen Ludwick。

在与匹兹堡大学的合作中，Aerotech 公司提供设计和评估。该团队的研究是之前宾夕法尼亚州先进制造研究计划（RAMP）的扩展。

“通过添加制造的方法创建几何形状复杂的产品，这不仅蕴育巨大的利益，同时也面临着巨大的挑战。” Albert To 说道，“通过优化设计来减少残余变形、残余应力以及后续的加工要求，可能需要花上几天甚至几个月的时间。”

为了应对这些挑战，Albert To 和他的研究小组将首先开发一个简单、但是准确的热力学模型，来预测一个添加制造生产的部件的残余应力和变形。接下来，他们将开发一种拓扑优化的方法，从而使他们的设计，既能实现自由形态的表面，同时这些表面也便于加工。Albert To 表示，这将解决添加制造部件的几何形状复杂性和本身固有特性方面的问题，有助于解决变形和后续机械加工问题。然后，该研究团队将使用 Aerotech 公司提供的真实部件，并根据其提出的设计要求，对这种方法进行开发和测试。

Aerotech 公司机电一体化研究总监 Ludwick 预测，“通过此次合作开发的工具，将使我们能够利用添加制造的方法，通过最少的试验和重复工作，生产出结构复杂的零件。

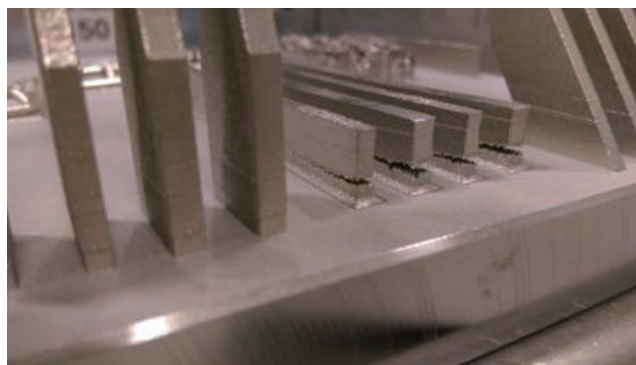


图1：四个疲劳测试棒的支撑结构失败了。棒的较长长度上的应力积聚，在支撑结构的外边缘产生了过多的卷曲力，从而导致了断裂。

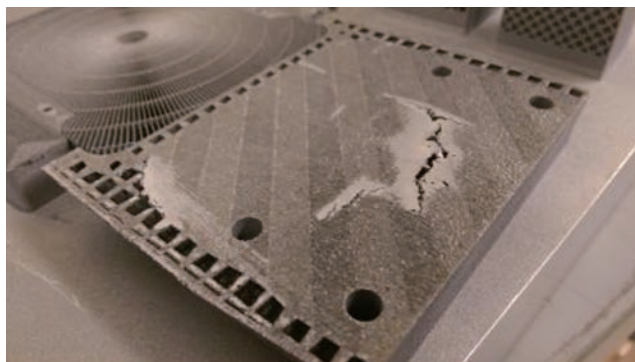
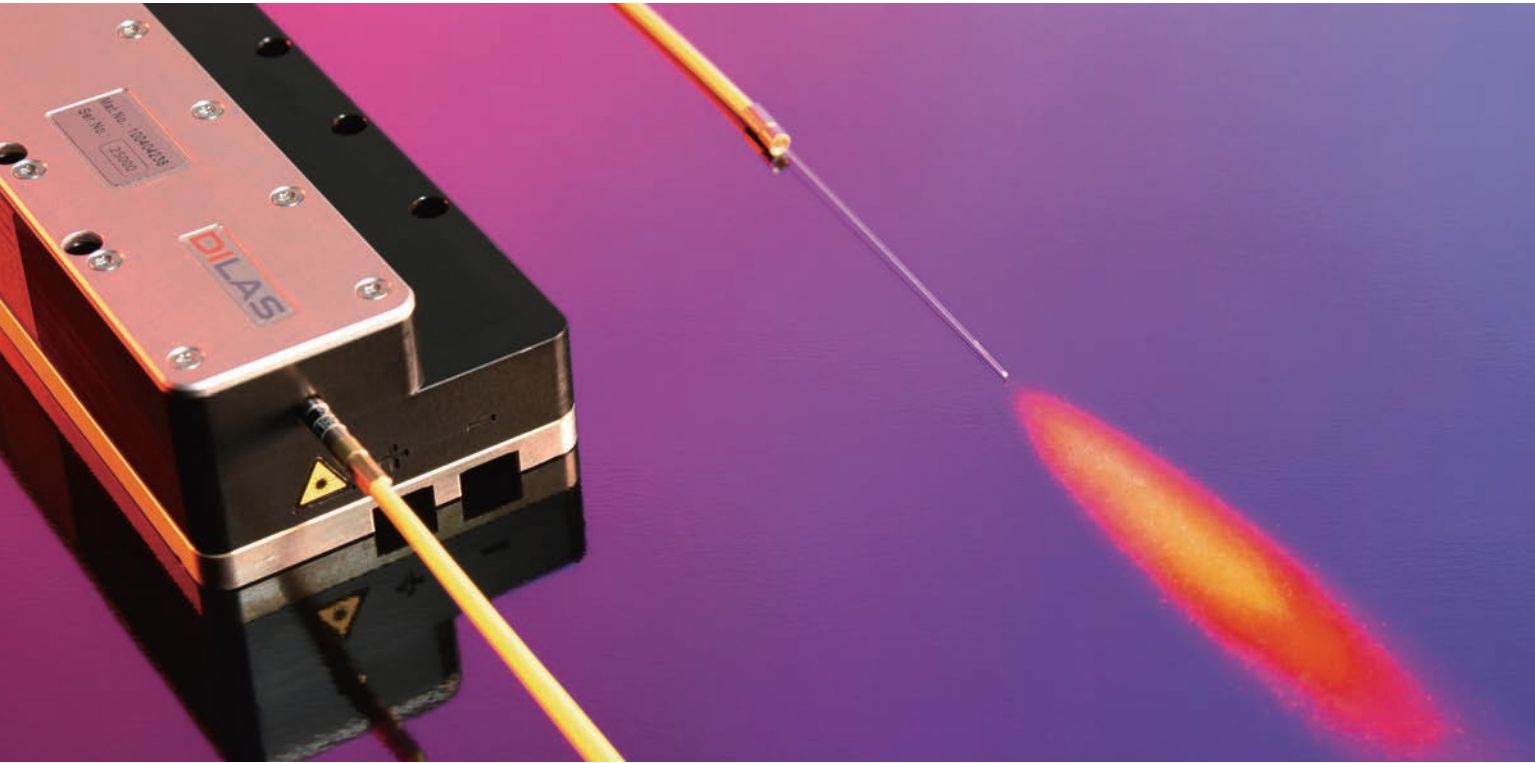


图2：对于较大的内部晶格网络，如果晶格网络的开放运行接近最大构建跨度，晶格网络的固体蒙皮顶表面（solid skinned top surface）将存在不完全闭合的风险。因为在建造过程中产生的内部应力，这些未连接的区域增多，引起重新涂覆的薄片撞击它们，从而导致构建的失败。

这反过来又使我们能在自身的高速运动系统中，设计出坚固的轻量级部件。目前市场上也有其他公司使用我们的高速运动系统从事先进制造工作。”

“通过利用先进的机械原理，我们希望能数分钟内完成添加制造部件的设计优化，从而减少产品的设计周期。” Albert To 补充说，美国的制造业将广泛采用添加制造，并将进一步提高添加制造过程的经济可持续性。□

千瓦级光纤激光器泵浦源



德国DILAS的T-Bar系列光纤耦合半导体激光模块专为实现高亮度输出与最大限度地提升光纤耦合效率而设计的全方位高效产品，基于定制的特殊巴条，产品能输出千瓦级别的高质量激光光束。小身材大功率的创新产品集高功率、高亮度、轻重量、设计紧凑、工业水冷却等各种特点于一身。完全自动化控制的微光学元件能更大程度的优化光束质量，提高光纤耦合效率。德国工艺、创新技术，为您带来性能稳定的光纤激光器抽运和材料处理应用的理想选择。

更多产品信息，敬请联系：

德国帝纳斯半导体激光有限公司

电话: +86 (0) 21-6855-2216

DILAS

The diode laser company.

DILAS.COM.CN

量子级联激光器

中红外量子级联激光器覆盖更宽光谱

文/John Wallace

通过合适的封装，量子级联激光器紧凑而坚固，是许多中红外应用光源的合适选择。

量子级联激光器（QCL）是人类智慧的证明，通过一种创新的方式将物质结构化（包含数百层重复顺序材料的超晶格，形成一系列多量子阱异质结构），从而克服了看似不可改变的材料属性（激光波长由体材料组分决定）。不像普通的半导体激光器中在 p-n 结处激发电子与空穴复合产生的单光子，QCL 中的电子使得一个频带内的量子子带之间产生无数的子带间跃迁，从而形成光子“级联”。通过调节 QCL 中超晶格的属性，就能调谐发射波长。需要注意的是：带间级联激光器（ICL）与 QCL 有些相似，它通过带间跃迁而不是子带间跃

迁产生光子，ICL 本身也很有趣，但本文不做讨论。

QCL 是当今最常用的中红外（mid-IR）激光器之一（也是太赫兹辐射领域的潜力光源），因为它远比像光参量振荡器（OPO）和光参量放大器（OPA）这些中红外光源更紧凑、更坚固。因此，对于那些在 IR 分子“指纹”光谱区使用的光谱仪器，以及表 1 中列出的许多其他应用而言，QCL 是最为合适的光源。如果需要的话，这类仪器可以做成小型、电池供电且耐用的仪器，可在野外使用。

“中红外应用跨越多个市场，包括科学研究、生命科学、工业过程控

制、环境监测，以及国防和安全。”美国 Daylight Solutions 公司科学产品总监 Leigh Bromley 说，这促进了 QCL 和基于 QCL 的仪器的产生。“中红外应用多样化的本质，包括从敏感分子的探测与成像，到保护飞机免受导弹攻击等，正促使市场对各种中红外激光系统的需求。”

范围与灵活性

Bromley 指出，QCL 的灵活性使得它们非常适用于多种用途。QCL 的灵活性包括中心波长从小于 4μm 到大于 12μm，能够适应脉冲或连续波（CW）操作，可获得超过 500cm⁻¹ 范围调谐的宽增益带宽芯片，以及功率可以放大至数瓦。

归功于不断进步的 QCL 芯片设

表1：中红外应用案例和需要的激光源

Mid-IR application examples and laser source requirements

Application	CW	Pulsed	Low noise	Wide tuning	Narrow linewidth	Fast tuning	High power	Beam quality
Gas-phase spectroscopy	■		■		■			■
Standoff detection	■	■	■	■		■	■	■
IR countermeasures	■	■					■	■
Nanoscale imaging	■	■	■	■		■		■
IR microscopy		■	■	■		■		■
Environmental monitoring	■	■	■	■	■	■		■

(Courtesy of Daylight Solutions)

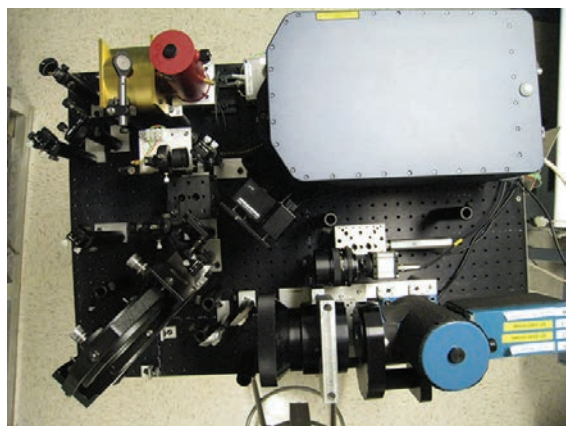


图1: 用于进行IED探测研究的实验装置中, Daylight Solutions公司的MIRcat QCL (右上) 被用作激光源。^[1,2]

计, 单个 QCL 的调谐范围在过去几年中迅速增加。“今天, 一些 QCL 通常可以提供超过 500cm^{-1} 、或者大于中心波长 30% 的调谐范围。” Bromley 说, “然而, 许多应用对更广泛调谐范围的持续渴求, 已经在推动多 QCL 激光架构的发展。”

他指出, Daylight Solutions 公司的 MIRcat 就采用了多 QCL 架构, 其在一个密封激光头中集成了多达四个可调谐 QCL 模块。所有 QCL 光路的良好光机设计和共轴轴线校准, 确保了单个高度准直的输出光束 (见图 1)。MIRcat 可以提供脉冲和 / 或 CW 运行; 峰值或平均输出功率高达约 1W; 相对强度噪声 (RIN) 低至 -145dBc/Hz ; 中红外调谐范围至 $>900\text{cm}^{-1}$ (或者 $>6000\text{nm}$)。

Bromley 介绍说, MIRcat QCL 位于该公司红外显微镜平台的核心部分, 该显微镜平台结合了多 QCL 激光光源和 IR 照相机, 可以实现视频速率离散频率, 以及进行生物组织、聚合物和半导体材料的高光谱中红外成像, 结合了用于高刷新率快速扫描激光引擎的分子传感器, 以及多品种分子探测。

美国 Block Engineering 公司生产

紧凑、密封封装的脉冲外腔 QCL (见图 2), 用作该公司仪器内的“引擎”, 其中包括开放路径气体传感系统 LaserWarn Detector, 用于保护重要设施免受化学品的侵蚀或防止有毒物品泄漏, Block Engineering 公司 CEO Petro Kotidis 说。

Kotidis 称, LaserTune

QCL 可以在扫频模式或在 $5.4\sim 12.8\mu\text{m}$ 范围内任意选定的波长下运行。该范围内的调谐能在小于 40ms 的时间内完成, 光谱分辨率约 $1\sim 2\text{cm}^{-1}$ 。该系统具有优于 1mrad 的光束指向稳定性, 脉冲频率高达 3MHz, 脉宽 $3\sim 300\text{ns}$ 。

QCL 可以与外部探测器 (同样由 Block 公司生产) 组合, 以创建用于 IR 分析和光谱评估的实验室工具, 或者可以与采样和气体或液体流动池集成, 用于加工、工业和环境应用。Kotidis 列出的 LaserTune 的主要应用包括: 红外显微 (其中, 微型样品的分析是通过在衍射极限尺寸下对目标成像而实现的)、光纤耦合和原子力显微, 这利用的是发射器的宽光谱覆盖范围和快速光谱扫描能力。

单独的QCL激光器

QCL 既可以如上文所述以模块形式提供, 用于在野外应用中实现长寿命和耐用性, 也可用于其他形式的实验中。除了密封和准直的 QCL 模块外, QCL 还能以其他形式提供, 如瑞士 Alpes Lasers 公司提供的裸芯片 QCL (未焊接、未连接)、板载芯片 (焊接在基座上), 以及可更换激光器的实验室外壳。

最新版本包含一个温度能达到 -30°C 的珀尔帖冷却器, 镀有抗反射硒化锌窗口, 在 $3.5\sim 12\mu\text{m}$ 之间具有高透射率, 用于各种脉冲或 CW QCL 板载芯片; 此外还包含一个温度传感器 (须对封装采用外部空气冷却或水冷, 移除珀尔帖冷却器的热量)。Alpes 公司还生产价格低廉的脉冲 QCL, 其采用尺寸仅为 $38.8\text{mm} \times 25.4\text{mm} \times 20.5\text{mm}$ 的 TO-3 can 封装形式。

英国 Stratum 公司生产的 Bruar, 是一款安装在基板上的脉冲 QCL 芯片, 峰值功率 50mW, 能够发射 $2.8\mu\text{m}$ 、 $3.3\mu\text{m}$ 和 $10.0\mu\text{m}$ 的几种波长, 设计用于气体传感、精密计量和光谱学应用, 能够精确探测甲烷 (CH_4)、氯化氢 (HCL)、甲醛 (CH_2O)、一氧化碳 (CO)、二氧化碳 (CO_2)、一氧化

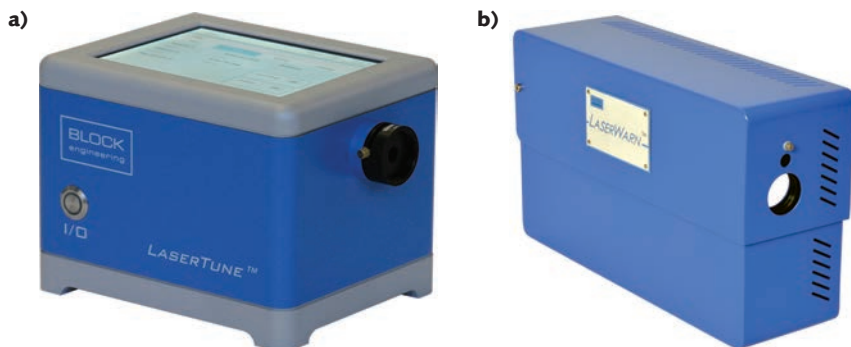


图2: (a) LaserTune是Block Engineering生产的一款封装好的QCL, 它是该公司的LaserWarn“触发式报警装置”开放路径气体传感系统 (b) 的光源。

氮 (NO) 以及其他痕量气体。

美国 AdTech Optics 公司生产分布反馈 (DFB) 式基座上芯片 QCL, 波长非可调谐, 常备波长有 4.34 μm 、4.54 μm 、4.58 μm 、4.72 μm 、5.26 μm 、6.23 μm 、7.83 μm 、9.47 μm 或 10.26 μm , 也能够根据要求定制设计和制造其他波长。AdTech 公司的 QCL 所能提供的波长范围, 与密闭封装或 TO-3 can 封装以及 VHL 封装 (小外壳, 顶部有个窗口用于传输 QCL 发射的未准直光) 的 QCL 所提供的波长相似。

美国 Thorlabs 公司生产法布里-珀罗腔 QCL 和 DFB QCL, 法布里-珀罗腔 QCL 具有适用于医疗成像、照明和显微应用的宽带输出; DFB QCL 具有更窄的输出波段, 并且还能在窄频率范围内调谐。采用金属 C-mount 封装的产品, 只有 6.4mm × 4.3mm × 7.9mm 这种尺寸, 激光器与 C-mount 电气隔离。这些 QCL 在使用上非常灵活, 如果客户需要, Thorlabs 公司也提供安装座、驱动器和温度控制。由于 QCL 没有内置监控光电二极管, 它们必须在恒电流模式下运行。

内置到模块中适用于野外应用的 QCL, 通常能够抵御一定的恶劣环境, 但是在实验室中使用的 QCL, 必须妥善处理以免造成损坏。Thorlabs 建议避免静电电击和焊接烟雾, 以及尘埃和其他微粒, 实验室 QCL 应该与合适的电流源配套使用, 并且需要配备实现温度管理功能的硬件。注意还要避免摔碰激光器。

许多 QCL 制造商为 QCL 提供自产的激光驱动器和温度控制器。美国 Wavelength Electronics 公司是该领域的专家, 提供用于包括 QCL 在内的一系

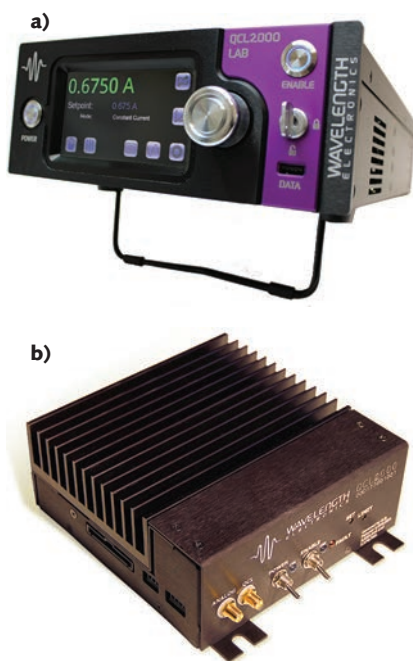


图3: Wavelength Electronics公司生产的QCL2000 2A QCL驱动器, 可提供实验室版本 (a) 和用于集成到系统中的小型密封盒版本 (b)。

列激光器的驱动器、温度控制设备和其他配件。在一个案例中, 该公司生产不同形式的 QCL2000 2A QCL 驱动器, 包括带有显示器和旋钮的实验室仪器版本, 以及带有散热片的小得多的密封盒 (见图 3)。两种版本都可以与计算机联网, 实现自动控制和监视。

基于QCL的即用系统

正如前面提到的, 一些 QCL 公司将自产的 QCL 集成到光谱仪和其他仪器中, 用于科学、工业和国防应用。例如, 上文介绍的 Daylight Solutions 公司的 MIRcat QCL, 其脉冲版本已被集成到该公司的 Spero 成像显微镜中。Bromley 介绍说, Spero 设计用于测量高清红外成像和光谱数据, 用于识别和定量分析分子、化合物的化学成分和包含不同成分的样品。

“有别于基于 FTIR (傅立叶变换红外) 的显微镜系统采用的低亮度非

相干热源需要冗长扫描以建立光谱和图像, MIRcat 激光器的高输出功率和亮度, 允许使用大画幅、室温微测辐射热计相机。” Bromley 说, “使用这些相机能够实现视频速率离散频率成像。同样地, 可以通过以分立波长步长调谐 MIRcat, 迅速构建高光谱数据立方体, 并在每个波长记录中红外图像。实时成像的能力, 以及根据中红外光谱响应 (化学成分) 解析图像内容, 正将图像分析吞吐量和对红外显微的化学特异性带到新水平, 并为如组织病理学和癌症诊断之类的领域带来新的、改变游戏规则的能力。”

Block Engineering 公司的 LaserWarn 开放路径气体传感系统, 采用人眼安全、的不可见光 QCL, 创造了针对有威胁的气态化学物的“触发式报警装置”, Kotidis 说。该传感系统的覆盖距离长达 2~3km, 当在保护区域内任何地方, 有危险化学品穿越“触发式报警装置”时, 系统便会在不到一秒钟的时间内报警。

“该系统提供目前可达到的最敏感化学探测能力, 并且能以 24/7 的连续模式在室内或室外工作, 无需耗材。” Kotidis 解释道, “这款产品的商业应用案例包括: 监控工厂排放以便进行更好的过程控制, 减少环境污染, 并符合环境排放要求。政府和安全应用的例子包括: 保护交通枢纽、使馆、政府设施和前线作战军事基地免授化学攻击。”

Kotidis 补充说, 使这种应用成为可能的 QCL 性能包括: 超宽可调谐性, 这确保了利用少数几台激光器探测大量化学品的能力; QCL 横跨中红外波段的亚秒级扫描, 提供实时探测; 能够无耗材工作, 这是在偏远地区持续运行所必不可少的要求。

展望未来

量子级联激光器有着光明的未来,这种未来的景象之一正在美国 Pendar Technologies 公司呈现,该公司已开发了包含许多不同波长 QCL 的单芯片。

“QCL 阵列继续发展,作为集成到最现代和最紧凑传感器中的潜在改变游戏规则解决方案,” Pendar 公司化学分析和安全事业部副总裁 Mark Witinski 说,“目前的前沿包括扩展波长覆盖,以适应 IR 的更宽部分;便于坚固集成的整体化和小型化光束合束技术;以及定制电子元件,足够紧凑用于新仪器,但也足够强大以恰当地驱动电光效率相当低的

QCL。

Pendar Technologies 公司目前正在开发一款单电子调谐 QCL 阵列,覆盖从 6.7~11 μm 的整个长波红外区。一旦完成,它将支撑该公司将于 2017 年推出的天然气和凝聚相便携式检测平台。” □

参考文献

1. C. A. Kendziora et al., "Broadband infrared imaging spectroscopy for standoff detection of trace explosives," Proc. SPIE, 9836, 98362G (May 25, 2016); doi:10.1117/12.2224049.
2. R. Furstenberg et al., Appl. Phys. Lett., 93, 224103 (2008).

2020年太赫兹系统市场估值预计增长16%

早在 2013 年,市场分析师 Tematys 发布了关于太赫兹系统的市场报告及技术趋势,涵盖了从 200GHz 到 10THz 的频谱波段的分析。自此之后,太赫兹技术除了在其核心科学领域进行了长足的发展之外,在越来越多的领域中有了新的应用,包括工业、国防、安全以及生物无损检测等。根据法国一个公司的最新报告显示,太赫兹技术领域展现了快速增长的市场和销售趋势。

整个太赫兹系统的市场份额有望从 2015 年的 5 千万欧元增长到 2020 年的 1 亿欧元,大约持续保持 16% 的复合增长率。Tematys 认为,工业无损检测是太赫兹系统发展的主要驱动力,几乎占到了 2015 年整个市场收入的一半 (46%),而且预计到 2020 年之前将会持续保持 19% 的复合增长率。

伴随着市场应用的革新以及对太赫兹技术的进一步的了解,将会推动这一市场的进一步的发展。报告分析了工业无损检测、国防安全、电信行业、生物医学等市场领域,认为太赫兹技术将会在这些领域大展身手。

目前,太赫兹产品及系统主要满足三个方面的太赫兹市场需求:

1、成像探测:构造便宜的紧凑型成像系统,在有限的事件被可以探测大面积区域,主要配套系统是太赫兹相机。

2、厚度测量:具有性价比的高品质高速测量系统,主要配套系统是随时间谐变的时域频谱。

3、特性检测:物体化学和结构特征的高分辨率高可靠性的实时探测系统,典型的系统是目前在研的实时 TDS 系统。□

九年技术沉淀

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



“中国光谷”国际光电子博览会暨论坛

2016.11.3-5 Booth: A1馆1T12

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

飞秒激光器

飞秒光纤激光器为材料研究与加工提供新途径

文/Subhash Singh, Nick Reilly, Chunlei Guo

最早的光纤激光器能提供几十毫瓦的单模连续输出；而现如今，数千瓦级光纤激光器能提供兆赫兹的重复频率和飞秒脉宽，大大扩展了其材料研究和加工能力。

光 纤激光器使用稀土掺杂光纤作为激活介质，用激光二极管作泵浦源，本身固有一些关键优势，使它们在通过锁模产生超短脉冲方面颇具吸引力。掺杂光纤的高增益带宽和效率，允许制造相对便宜、紧凑、坚固的光纤激光器系统，这些系统提供适合广泛应用的光纤耦合输出光束。

飞秒架构

光纤提供较高的表面积 - 体积比，从而可实现有效的冷却，并且可以根据特定性能参数进行定制。光纤激光器最初仅限于连续波 (CW)、低功率、单模运行；经过了三十多年的发展，现在光纤激光器已经能够实现单模和

多模运行，波长范围覆盖紫外 (UV) 到远红外 (far-IR) 波段，并且能提供非常高的功率水平、可变的重复频率，以及（也许的最显著的）毫秒到飞秒级的脉宽。

不同于传统的自由空间激光器，光纤激光器采用光纤和光纤布拉格光栅 (FBG)，后者取代了常规的介质反射镜，用于光学反馈。大多数高功率光纤激光器采用双包层光纤架构，其中增益介质在光纤的纤芯，由两层包层包围。来自激光二极管或另一个光纤激光器的多模泵浦光束，在内包层中传播并受到外包层的约束，激发激活介质，并产生在光纤纤芯中传播的激射模式。

为了产生超快激光脉冲，需要采用主动或被动锁模技术。今天用于被动锁模的一些技术，包括非线性偏振旋转和饱和吸收技术，而电光或声光调制器用于主动锁模。^[1]

在半导体可饱和吸收镜 (SESAM) 中，半导体量子阱生长在半导体分布式布拉格反射器上，SESAM 已成功地用于制造工作在 1.0 μm 和 1.5 μm 波长处的飞秒光纤激光器。通过采用石墨烯可饱和吸收体的掺铒 (Er) 光纤激光器，已经展示了自启动锁模和稳定的孤子脉冲产生。这些只是商业激光器制造商正在采用的几种飞秒光纤激光器架构，以满足各种科学和工业应用。

非线性锁模

对于可重复的长期稳定运行，德国 Menlo Systems 公司的 “figure 9”



图1: 采用Menlo Systems公司的BlueCut微焦飞秒光纤激光器，切割的骨骼样品的剖面图 (a)，在聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 内制备的人工晶体 (b)，以及微波应用的金螺旋 (c)。

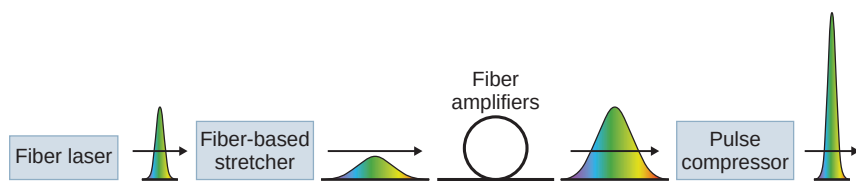


图2: IMRA 光纤啁啾脉冲放大 (FCPA) 技术的基本架构, 在FCPA μ Jewel DE1050上部署, 能够提供高达50 μ J的脉冲能量。

技术采用行之有效的非线性光学环境 (NOLM) 锁模机制。振荡器和放大器均只使用保偏光纤组件, 实现高稳定性和低噪声, 运行免维护。

Menlo 的掺铒光纤激光器在中心波长 1560nm 和 780nm 处具有宽带增益, 提供标准和高功率型号, 在 50~250MHz 的重复频率范围内, 具有 <90fs 的脉宽。Menlo 的掺镱 (Yb) Orange 飞秒光纤激光器, 工作在 1040nm 和 520nm 波长处, 平均功率 >10W, 并提供 <150fs 的脉宽。作为一家光学频率梳开发商, Menlo 的所有激光器系统均能够以高精度同步。这些系统广泛用于光谱学、显微、计量、引力观测和材料加工领域。^[2,3]

BlueCut 包含一个振荡器、一个配备脉冲拾取单元的放大器, 以及用于高能短脉冲的压缩器, 是 Menlo 的工业级微焦耳光纤激光器系统。基于全光纤集成技术, 该系统坚固、稳定, 可用于微加工应用 (见图 1)。

光纤CPA

基于其光纤啁啾脉冲放大 (FCPA) 技术, 美国 IMRA America 公司的 FCPA μ Jewel 系列, 由具有足够脉冲能量的掺镱光纤激光器组成, 甚至在 1045nm 波长处 (见图 2)。^[4] FCPA 架构允许用户在两种模式下进行选择: 100kHz 或 200kHz 的重复频率、高达 50 μ J 的高能量模式; 以及 1MHz 下 10W 和 20W 的高平均功率

模式。该选择允许用户根据应用需求, 以更快的速率进行材料加工。

IMRA 的拉曼频移技术, 让掺铒拉曼频移飞秒光纤激光器在 810nm 波长处, 产生了干净的脉冲形状和光谱, 从而使 Femtolite 光纤激光器能够替代钛蓝宝石 (Ti:sapphire) 激光器——这类激光器一直是临床和工业飞秒应用中的主力军。在 810nm 和 1620nm 波长处, Femtolite 的功率范围覆盖 150~200mW, 这在太赫兹波产生和探测、多光子荧光显微镜, 以及二次谐波成像中非常有用。^[5]

此外, 飞秒脉冲可通过光纤传送到最终用户设备中。Femtolite FD 系列提供光纤耦合输出, 重复频率 50MHz, 平均输出功率高达 1W。这种水平的脉冲能量, 对于需要将飞秒脉冲光源灵活地集成到设备中的许多非线性成像或计量应用而言, 已经足够用了。

同样地, 光纤激光器啁啾脉冲放大器 (FLCPA), 也是美国 Calmar Laser 公司 Cazadero 高能量 (高达 30 μ J) 超快激光器的基础, 该激光器在 1 μ m 或 1.5 μ m 波长处产生超快脉冲 (<0.5ps), 重复频率数百千赫兹。这些超快激光器产品可以输出绿光 (515nm) 和紫外光 (343nm), 并能与该公司的 Bodega OPA 耦合, 进而能在整个近红外 (near-IR) 区域提供较宽的波长范围。

Cazadero FLCPA 超快激光器始



PeakDetect 峰值功率探测器

- 峰值功率和脉冲质量监控
- 简单、高性价比测量
- 波长范围: 700nm-1100nm
- 脉宽范围: 100 fs-5 ps
- 灵敏度: 500W2



连续绿光激光器

- 超快钛宝石激光器和染料激光器泵浦源
- 最高功率: 18W
- 低噪声: <0.03% rms
- 长期功率稳定性: <0.5% rms
- 结构紧凑、免维护



空间光调制器

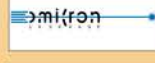
- 纯相位、反射式空间光调制器
- 1280*1024像素数, 12.5 μ m像素尺寸
- 填充因子96%
- 波长范围400nm-1550nm
- 光利用效率最高97%
- 高线形度、高相位稳定性
- 高损伤阈值



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

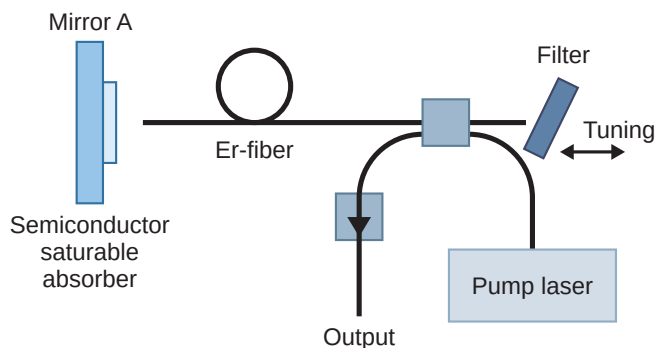


图3: Carmel X系列激光器中使用的被动锁模技术示意图。

于 27MHz 的被动 SESAM 锁模种子光纤激光器，采样低至 120kHz 或更高。超快脉冲是通过频率时间展宽（啁啾），使得通过高功率光纤放大器级、以较低的峰值强度进行放大。高达 30μJ 的短脉冲能量传输到自由空间中。这种 FLCPA 是固态飞秒激光放大器的一种具有成本效益的替代方案，用于精密生物医学材料加工和纳米结构化。^[7]

由于能够产生超过 4000℃ 的高熔融温度，可用于材料熔化、微结构操作或多材料合成，高功率飞秒光纤放大器已经被越来越多地用于材料加工和制造领域。2014 年，美国 Laser-Femto 公司首次实现了 0.5mJ 的飞秒光纤激光器，提升了基于光纤的飞秒技术的高功率极限。

被动锁模

SESAM 被动锁模技术也是 Calmar 公司的 Carmel-CFL 超快光纤激光器种子平台的基础。Carmel X 系列是高功率、风冷、780nm（以及可选的 1550nm）、基于光纤的飞秒激光器，输出功率从 0.2W 到超过 1.0W（在 1550nm 高达 2.5W；见图 3）。

Carmel 激光器能提供 <90fs 的脉宽，并且体积小巧，比许多 Ti:sapphire 激光器更加紧凑，但是输

出功率水平却之接近，能够满足一系列超快激光应用的需求，包括生物成像、多光子显微、光学计量、3D 微打印、太赫兹成像和眼科学。^[8]

Carmel X 系列包括远程数据采集、功率监控、系统诊断和二次谐波晶体的自动调节，实现长时间的使用寿命及 OEM 服务支持。对于多光子显微应用，Carmel 超快激光器可用于细胞组织成像，提供最小的散射，并降低光损伤的风险。紧凑的激光头及配套的铠装光缆，使其只需要最少的光学元件就可以集成到现有的光学显微镜中。

另一种具有低相位噪声和低时间抖动的被动锁模、工业级飞秒激光器，是瑞士 Onefive 公司的 Origami。其变换限制的孤子脉冲发射，在不同的波

长和不同的重复频率下，提供衍射极限的光束质量和指向稳定性。

为了能在恶劣环境中工作，Origami 封装在采用风冷和密封外壳内，专为高稳定性和低漂移而设计。Onefive 公司的 Origami (<100fs，高达 5nJ)、Origami HP (<100fs，高达 100nJ) 和 Origami XP (<400fs) 等飞秒激光器产品，是超低噪声计时和频率梳应用的理想选择。^[6]Origami XP (<400fs, >40μJ) 非常适用于飞秒眼科学 (LASIK 和白内障手术) 和材料微加工应用。

多波长输出

德国 Toptica Photonics 公司的 FemtoFiber 系列飞秒光纤激光器使用饵光纤和镱光纤，能够提供多种输出选择：1560nm/780nm、可见 / 近红外可调谐输出，红外 / 近红外超连续谱和短脉冲型号，可用于非线性显微、双光子聚合、时域太赫兹和阿秒科学应用，并且还可以用作种子激光器。

可饱和吸收镜 (SAM) 锁模和保偏光纤技术，使得交钥匙型 FemtoFiber ultra 系列可用于生命科学、阿秒科学、光学相干断层扫描 (OCT)，以及工业 / OEM 集成应用，这些应用通领域常缺乏具有激光专业知识的工程师。FemtoFiber 激光器的光纤振荡器，可用于为一个或多个光学放大器提供种子源。同步的多个激光器系统，有益于诸如频率计量和泵

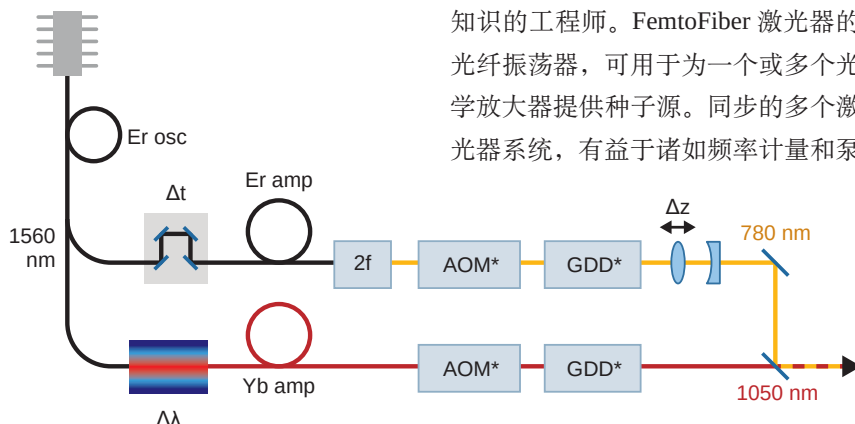


图4: FemtoFiber dichro bioMP激光器多波长输出示意图。

浦 - 探测实验等应用。

Toptica FemtoFiber dichro 系列从同一孔径输出不同波长的两路同步激光束。该平台设计上特别注重经常需要不止一种颜色的应用, 如生物光子学应用, 包括双光子荧光和二次谐波产生 (SHG) 显微。

FemtoFiber dichro bioMP 型号从一个孔径发射亚 150fs 脉冲, 输出波长 780nm (>500mW) 和 1050nm (>1000mW), 可独立调制强度、脉宽 (啁啾) 以及相应的脉冲间延迟, 这些可调节的参数在活体细胞多色双光子成像、宽带相干反斯托克斯拉曼光谱 (CARS)、受激拉曼光谱 (SRS) 研究, 以及泵浦 - 探测实验和脉冲受激发射耗尽 (STED) 显微 (见图 4) 应用中, 能够大显身手。^[9]

MOPA功率

英国 Fianium 公司 (2016 年初被 NKT Photonics 公司收购) 的光纤激光器系列产品基于主振荡功率放大器 (MOPA) 构建模块, 生产输出皮秒或飞秒光学脉冲的锁模激光器光源。Fianium 提供的高平均功率 (>20W) 和高能量系统, 能以兆赫兹重复频率到单次发射工作, 光谱范围覆盖 240~2500nm。

Fianium 公司的超连续谱 (SC450-4) 或“白光”光纤激光器发射超宽光谱, 通常从紫外到超过 2 μ m, 并具有激光般的光束质量。所有 Fianium 公司的超连续谱激光器, 均以兆赫兹重复频率提供皮秒脉冲, 使它们与稳态应用中的 CW 源或寿命测量中的脉冲光源同样有效。单个超连续谱激光器, 配合可调谐滤光片使用, 可以在一系列应用中取代无限数目的单频激光器。

Fianium 公司的 FemtoPower 激光

器, 采用被动锁模 MOPA 结构, 输出波长 1064nm、具备高平均功率和固定重复频率。也可以提供脉宽 200fs 的 532nm 二次谐波。

Fianium 公司可机架安装的 High-Energy 系列光纤激光器, 能够提供高达 10 μ J 的脉冲能量。其内部集成输出调制器, 允许用户定制从单次发射到高达 1MHz 的连续模式的输出。该产品线具有 <500fs 脉宽的选项, 最大平均功率 2W, 以及 <5ps 的选项产生 5W 的功率, 适用于更高能量的应用, 包括微结构和纳米结构、组织消融和眼科手术。^[10]

LightWire FF1000 为非线性显微 (双光子、SHG) 应用进行了优化。高平均功率 (1.5W)、短脉宽 (80fs) 以及良好的光束质量, 结合在一起获得样品的锐利、明亮图像。1030nm 的激光发射波长, 对深激发和收集来自组织的光都非常理想。飞秒脉冲的高峰值功率 (625kW), 也在许多其他非线性光学应用中有广泛的用武之地, 如太赫兹产生或双光子聚合。

基于完善的 MOPA 方案, 立陶宛 EKSPLA 公司的 1030nm、平均功率 1.5W 的 LightWire FF1000 激光器, 专门为非线性显微 (双光子、SHG) 应用进行了优化, 脉宽低至 80fs。LightWire FF50 飞秒光纤激光器, 能在 1064nm 波长提供 <130fs 的脉宽, 是传统钕钇铝石榴石 (Nd : YAG) 激光器的低成本、紧凑及坚固的替代产品。

中红外选择以及更多

美国 IPG Photonics 公司的红外脉冲光纤激光器, 提供 1.03~1.06 μ m、1.55~1.65 μ m、2.09 μ m 以及 2.1~2.6 μ m 的波长。非线性外部转换产生绿光输出, 皮秒和飞秒脉冲选择提供 1.5 μ m

处达 10W、1.06 μ m 处达 100W, 或者 0.52 μ m 处达 5W 的二次谐波源。

这些飞秒选择的范围从 400fs 到 600fs, 重复频率高达 3MHz, IPG 的 CLPF 超快振荡器提供 40fs 脉冲, 在 2.1~2.6 μ m 范围内提供客户选择的固定波长, 重复频率 80~800MHz, 输出功率 2W。IPG 的超快放大器提供了在 2~3 μ m 光谱范围内, 实现数瓦输出功率的能力。克尔透镜锁模振荡器和超快放大器头, 由 IPG 的连续光纤激光器泵浦, 满足了一系列科学和生物医学应用的需求。

所有的飞秒光纤激光器制造商持续提升超快架构的性能, 包括更宽的波长范围、更短的脉冲以及更多的功率输出选项, 以应对下一代材料研究和加工的挑战。□

参考文献

1. D. Y. Tang et al., Phys. Rev. Lett., 101, 15, 153904 (2008).
2. T. Steinmetz et al., Science, 321, 5894, 1335-1337 (2008).
3. J. Kim et al., Nat. Photon., 2, 12, 733-736 (2008).
4. K. Hartinger and R. Holzwarth, Laser Tech. J., 11, 2, 34-35 (2014).
5. U.S. Patent No. 8,503,069 B2 (Aug. 6, 2013).
6. A. C. Millard et al., Appl. Opt., 38, 36, 7393-7397 (1999).
7. M. Eisele et al., Nat. Photon., 8, 841-845 (2014).
8. N. G. Horton et al., Nat. Photon., 7, 205-209 (2013).
9. W. R. Zipfel et al., Proc. Nat. Acad. Sci., 100, 12, 7075-7080 (2003).
10. P. Blandin et al., Appl. Opt., 48, 3, 553-559 (2009).

GLX-3激光焊接机

艾默生子公司必能信超声出产的最新 GLX-3 激光焊接机，可对形状复杂的大型塑料工件进行清洁高速的激光焊接。

必能信获得专利的 Simultaneous Thru-Transmission Infrared (STTIr) 工艺，可同时对两个或多个工件执行加热、熔化、接合整个焊缝部位的操作，焊接深度达 1.0mm 或更深，焊接紧度差严格控制在 0.05mm 以内。

GLX-3 激光焊接机可在具有 2.0m 长焊缝的大型工件上实现 0.5~5s 的焊接周期，远远快于同类跟踪式激光焊接机。若配备模具自动更换功能（模具更换时间小于 5min），生产效率可进一步提高。

艾默生子公司必能信超声，www.branson-k.de



TECHSPEC OD4短波通、OD4长波通和成像滤光片

爱特蒙特光学推出三款全新的 TECHSPEC 硬质镀膜滤光片：高性能 OD4 短波通滤光片、高性能 OD4 长波通滤光片和成像滤光片。

TECHSPEC 高性能 OD4 短波通滤光片和长波通滤光片的截止斜率 <1%，截止 OD ≥ 4.0，通带透射可达 91%。短波通滤光片有 103 个型号，波长范围 400~1300nm，直径有 12.5mm、25mm 和 50mm 三种。该 VIS 短波通滤光片套件包括七个波长范围在 400~700nm 之间的滤光片，并可以集成到我们的滤光轮上。长波通滤光片有 99 个型号，波长范围 400~1300nm，直径有 12.5mm、25mm 和 50mm 三种，全新的 325nm、350nm 和 375nm 波长版本于九月推出。短波通和长波通滤光片可以组合使用，创建定制的精密带通滤光片以消除杂散光。

TECHSPEC 成像滤光片可满足机器视觉和成像应用的要求。特别适合与 LED 光源一起使用，成像滤光片可通过或阻止特定的紫外线、可见光、红外线，提供范围很广的入射角。TECHSPEC 成像滤光片有 90 个型号，有多种安装尺寸和螺纹以方便系统集成。

爱特蒙特光学，www.edmundoptics.com



双色飞秒光纤激光器

TOPTICA 的 FemtoFiber dichro bioMP 是用于非线性显微镜的最新激光光源。它能提供 780nm 和 1050nm 的两种同步激光脉冲，脉冲持续时间低于 150fs，输出功率超过 1.5W。

该激光器通过双色双光子激发，实现了一种全新的非线性显微镜方法。当两种光束在样品内的聚焦点处发生时间和空间重叠时，可以刺激第三个虚拟波长的激发，对应的波长为 900nm。

三种波长的组合，对于用于双光子激发荧光（TPEF）显微镜（包括 GFP）的最常见的荧光标记物和蛋白质而言，是一件激动人心的事。

而且，从激光器输出的两种光束，可以在强度和脉冲持续时间（啁啾）和各自的脉冲间延迟方面进行单独调制。因此，该激光系统非常适合用于活细胞多色双光子成像和宽带 CARS 和 SRS 研究，以及泵浦 - 探测实验。

TOPTICA，www.toptica.com



新型封装的超窄线宽光纤激光器Koheras BASIK

NKT Photonics 公司推出的 Koheras BASIK 工业级超低噪声光纤激光器，采用新封装，其超低相位噪声、超窄线宽性能可与科研系统相媲美。BASIK 光纤激光器灵活耐用，可轻松集成到多通道系统（ACOUSTIK）中，方便多波长系统布阵。

新封装的 Koheras BASIK 超窄线宽光纤激光器跟原来相比，性能更加优异，能满足客户更高需求。首先，PZT 快速波长调制的范围由 20pm 改为 60pm，允许激光波长更大范围的调制；其次，调制方式改进，之前的 BASIK 激光器需要 0~200V 电压驱动才能满量程工作，新封装的 BASIK 仅需 5V 电压即可驱动。此外，新封装 BASIK 的 PZT 具有内部调制信号，可以在不外加驱动电信号的情况下，通过软件来产生调制信号。BASIK 光纤激光器是相干传感应用的理想选择，主要应用包括：地震波传感、干涉测量传感器、激光雷达、运动与入侵检测、激光振动测量、计量学、原子物理学、频率转换、相干通信、量子物理学等。

凌云光技术集团，www.lusterinc.com





SYNRAD CO₂ 激光器

firestar v-series



30W

48-series



10W

firestar f-series



200W



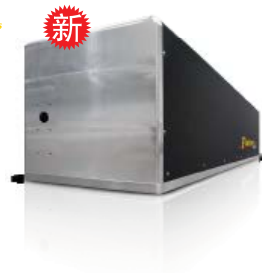
firestar ti-series

60W-80W-100W

Pulstar series P100



Pulstar series P150



**PHOTON
ENERGY**

皮秒激光系统

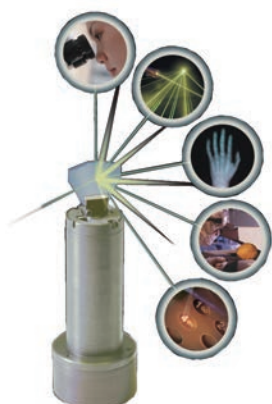


激光模式	锁模, 脉动选择 Nd:YVO ₄ F
最大平均功率	12W@500kHz
脉动能量	> 300 μJ@20kHz; 100 μJ@100kHz
脉动持续时间	< 15 皮秒
频率范围	单次激发 500kHz (-20MHz 可选)
光束质量	TEM ₀₀ (M ² < 1.5)
光束直径 (出口)	1.5mm
冷却	风冷
激光口尺寸	480 × 302 × 2005 (mm)

内置 PHOTON ENERGY
CEPHEUS 皮秒激光器



CAMBRIDGE TECHNOLOGY 高速光学扫描振镜 / 扫描头 / 三轴高功率扫描振镜 / 模拟和数字伺服驱动电路板



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) 2-22468133
F: (886) 2-22468138
tw@anp.com.hk

新加坡 SINGAPORE

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

全新手动激光焊接系统

Rofin 全新的手动激光焊接系统 Performance Unlimited, 提供高灵活性的零件处理以及封闭的激光防护工作腔。因此, 激光工作站无需昂贵的额外防护即可运行。激光安全防护是由机械摇杆(也可作为扶手)与激光高防护多层安全幕实现。

Performance Unlimited 全新激光安全工作腔设计, 可自由焊接大型工件。

细节之处的妥善处理使得新系统非同凡响。符合人体工程学的扶手是由木头制成的, 有着非常舒适的触感。

此外, 扶手作为机械摇杆遵循划臂动作并且随着操作者的工作位置而进行调试。

作为一个可选选项, 两侧都可安装水平或垂直安装的内嵌刷; 特别对与焊接长零件或任意长度的工件或管材圆形表面非常有用。

底座的特点是有可移动拆入件和激光防透柔性纺织袋。这个设计, 使长条零件端面焊接这种通常需要特殊解决方案的任务变得十分简单。

Rofin, www.rofin.com



可连续调制的激光器CTL

TOPTICA 公司推出的 CTL 激光器, 能够在较宽的范围内实现无跳模调制, 并具有高功率、窄线宽和高波长精度。

CTL 激光器的主要特性:

- 110nm 范围的无跳模调制
- 可提供 950nm、1320nm、1500nm 和 1550nm 的中心波长
- 高达 80mW 的输出功率
- 高分辨率和高波长精度
- 用户友好的触摸屏界面、旋钮和遥控功能

CTL 采用全数字、低噪声和漂移的 DLC pro 控制器, 易于使用, 通过触摸屏和旋钮操作, 也可通过远程 PC GUI 和指令语言操作。CTL 激光器非常适合那些需要大范围无跳模调制的应用, 如量子点和微腔等小结构的共振激发、分子光谱和组件测试等。

TOPTICA, www.toptica.com



三维五轴激光切割机

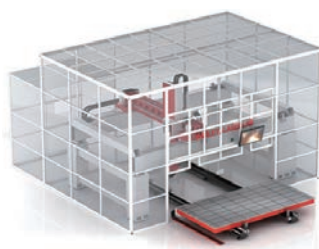
法利莱推出的 Pentacon 4020 三维五轴光纤激光切割机, 是一种对具有复杂曲面的三维工件进行精密加工的尖端设备。

设备加工范围 4000mm × 2000mm × 800mm, X/Y/Z 轴定位精度 ≤ 0.05mm、X/Y 轴重复定位精度 ≤ 0.03mm、A/C 轴定位精度 ≤ 0.03°、A/C 轴重复定位精度 ≤ 0.01°; X/Y 轴最大定位速度 80m/min, Z 轴最大定位速度 50m/min, 最大加速度可达 1.5G。

三维切割头创新采用传动轴 DD 马达直接驱动方式, 可沿垂直方向无限制连续回转的旋转轴 C 轴和可沿一个垂直方向做 ±135° 摆动的摆动轴 A 轴, 均安装在 Z 轴溜板上, 能随 Z 轴上下移动, 使得切割头在执行各种复杂的轨迹运动中不受任何限制。

激光器选用 IPG 2kW 光纤激光器, 针对主要用于汽车、航空等领域的三维异形件金属板材, 实现切割厚度碳钢 ≤ 12mm、不锈钢 ≤ 6mm、铝合金 ≤ 5mm、钛合金 ≤ 3mm 的高质量、高精度、高效率三维切割, 切口粗糙度 Ra3.2 ~ 25.4μm, 无需二次加工。

法利莱, www.farleylaserlab.cn



工业级高功率光纤激光器QUBE

SPI Lasers 公司推出的 QUBE 千瓦级工业级连续光纤激光器, 可提供 500W、1kW、1.5kW、3kW、4.5kW 和 6kW 的输出功率, 并且工作过程中只需要连接电力线路和水路。

QUBE 激光器收集和分析来自金属板切割过程的反射光, 提供一个 PLC 兼容的控制信号, 并利用一种称为 Pierce Detection 的技术, 使切割机在更短的时间窗口开始任务。相比于传统的需要延时的预编程切割过程, 大大节省了生产运行时间。

低功率版本 (500W~1.5kW) 还提供多模或单模光纤输出, 这在金属添加制造和其他高精度应用中非常实用。

SPI Lasers, www.spilasers.com



视觉系统设计
Vision *Systems* China
DESIGN

《Vision Systems Design》杂志是美国领先的媒体品牌，主要致力于报道机器视觉及影像处理系统领域的内容。其深度的技术杂志、投稿邮箱投递的电子快报以及网站内容，每月为全球143个国家的超过94,000名工程师和设计专家提供最新报道，是同类媒体中的佼佼者。《Vision System Design》杂志是机器视觉与自动化解决方案领域非常受欢迎的一本杂志。

《视觉系统设计》在内容方面将以《Vision System Design》为蓝本，同时增加中国机器视觉领域的相关报道，为读者提供机器视觉及影像处理系统领域的技术、设计、应用和市场等诸多方面的最新发展状况，欢迎该领域内的广大厂商积极参与，踊跃投稿及宣传。《视觉系统设计》的权威性内容是视觉及相关应用领域使用者所关注。

免费索阅



Advertiser	广告商名称	网址	页码
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	7
A & P Instrument Co., Ltd.	科艺仪器有限公司	www.anp.com.hk	37
DILAS Diodelaser China Co., Ltd.	南京德商帝纳斯激光有限公司	dilas.com	27
Edmund Optics China		www.edmundoptics.cn/laser-optics	21
FISBA OPTIK AG		www.fisba.com	19
MWCS	数控机床与金属加工展	www.metalworkingchina.com	IBC
Nufern		www.nufern.com	25
PCO AG		www.pco.de www.pco-tech.com	23
Pinnacle Scientific (China) Corporation	顶尖科仪(中国)股份有限公司	www.psci.cn	33
Shenzhen RFH Laser Technology Co., Ltd.	深圳瑞丰恒激光技术发展有限公司	www.rfhlasertech.com	31
II-VI	贰陆	www.ii-vi.com.cn	9

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文章。只有文章内容需要或主题相关时，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交到编辑部。
- 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。

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

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。

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 5923 3884/1564

Eva Liu (刘婷)
eval@actintl.com.hk
Tel: 86 138 8603 3073

Beijing (北京)

Cecily Bian (边团芳)
cecilyb@actintl.com.hk
Tel: 86 135 5262 1310
86 10 67484833

Shanghai (上海)

Sales Director-China (中国区销售总监)
Hatter Yao (姚丽莹)
hatterya@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)

East, South & Central

Jeff Nichols
jeffn@pennwell.com
Tel: 1-413-442-2526

West & Mountain

Anne Marie St. John-Brooks
annemarie@pennwell.com
Tel: 1-510-606.0630

Austria, France,
Germany, Ireland,
Russian Federation,
Switzerland, UK
(奥地利、法国、德国、
爱尔兰、俄罗斯、瑞
士、英国)

Holger Gerisch
holgerg@pennwell.com
Tel: 49-(0)8856-8020228

Israel

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

匠心工艺 质造强基



数控机床 与金属加工展

工业4.0及中国制造2025的顶级首发平台



MWCS 2015数据回顾

参展商：**489**家，来自20个国家和地区
(MWCS 2014: 来自18个国家和地区共计539家)

观众数：**136,598**人次，来自85个国家和地区
(MWCS 2014: 来自83个国家和地区共计121,108人数)

展览净面积：**24,699** m²
(MWCS 2014: 23,105 m²)

26%的观众表示不参观除工博会以外的其他展会

2016年11月1-5日

国家会展中心(上海虹桥)



www.metalworkingchina.com
欢迎垂询: 021-5045 6700-222/284



同期举办国内针对
金属板材加工的专业论坛
- 2016钣金加工技术峰会

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

