光 学 和 光 电 子 产 业 的 主 导 刊 物

激光世界

LaserFocusWorld® China

www.laserfocusworld.com.cn

2015年7/8月 第4期

ISSN: 1817-6917



台式高次谐波光源照亮纳米世界 13

激光二极管走过漫长而激动人心的发展之路 16

激光功率计OEM应用 22

CLEO/《Laser Focus World》2015年创新奖评选结果揭晓 34

ACT PennWell®

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－为跨国公司及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。

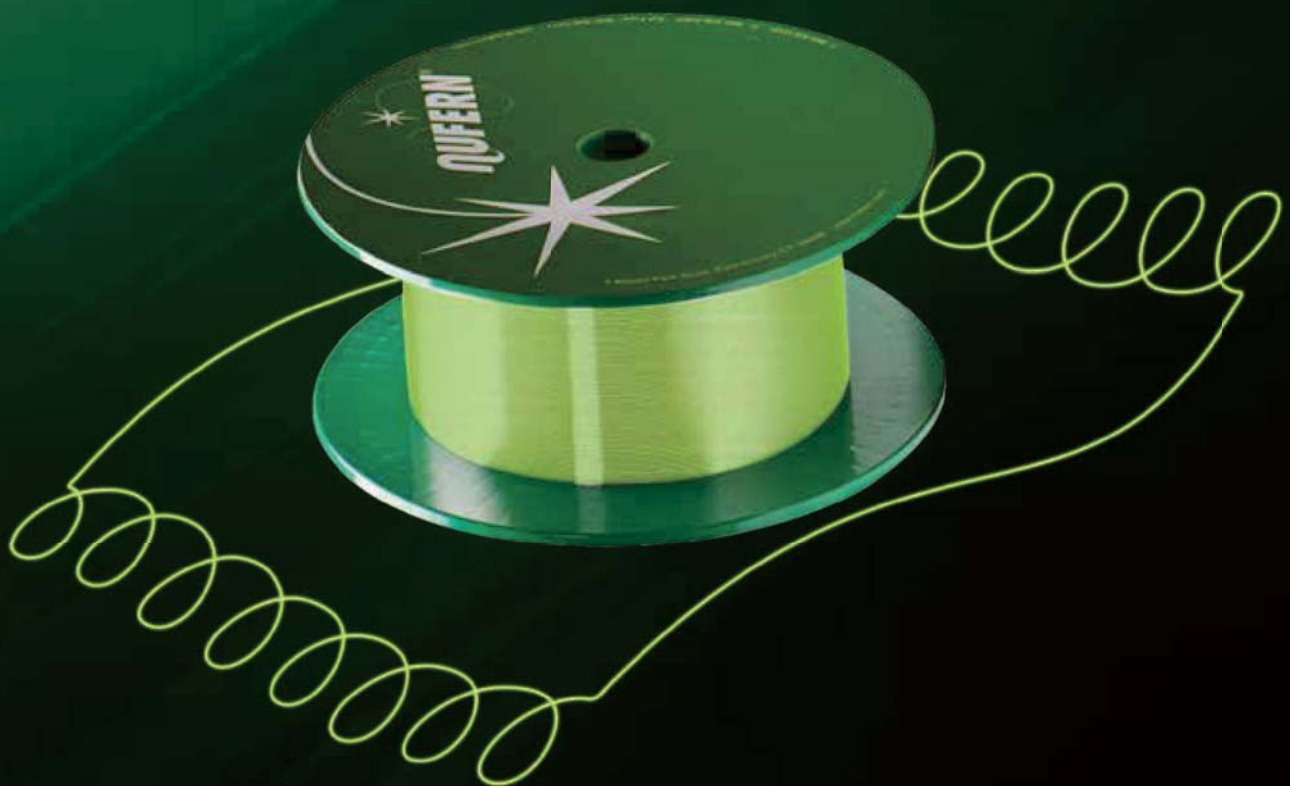
香港	深圳	上海	北京
852-28386298	86-755-25988571	86-21-62511200	86-10-67484833



ACT Media Group

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**FA 掺氟低折射率丙烯酸酯涂层的光纤

NUFERN®

860.408.5000 / www.nufern.com

OPTICAL FIBERS | FIBER LASERS & AMPLIFIERS | FIBER GYRO COILS | DEFENSE TECHNOLOGY

法国Quantel公司
全球激光器领先供应商



双脉冲YAG激光器

波　长　1064 / 532 / 355 / 266 / 213 nm
脉冲能量　最高达 850mJ X2
特　点　1. 倍频单元模块化设计，谐波相位自动匹配，搭积木般自由组合输出 2 / 3 / 4 / 5 倍频波长，傻瓜式操作，使用者专注于工具意外的事情。
2. 双脉冲间隔从纳秒到毫秒量级
3. 灯管寿命 >1 亿发，质保两年
应　用　由于其易用性和可靠性，广泛应用于 Pump 钛　宝　石、LISB、PIV、LIF&PLIF，化学原子物理特性及需要高能量紫外及红外脉冲光源的科学试验及设备集成中。



小型连续或微脉冲光纤激光器

波长范围　530-580nm&770-790nm 范围可选
输出模式　连续或微脉冲
功　率　高达 3W
功率稳定性　<1%
光束质量　M2<1.2
主要特点　小巧紧凑、功率较大（相对同光束质量的半导体激光器），光斑模式好，功率噪声低，维护成本低，低的设备开发成本。
适合眼科医疗设备（一般是黄光波段，用来诱发一些注入眼睛药物的药效），DNA 测序，激光多普勒测速仪等设备集成商。

先锋科技 010-62634840 www.teo.com.cn
北京金先锋科技有限公司
Titan Electro-Optics Co,.LTD.

目 录

市场风向标
到 2019 年全球激光器市场将超过 120 亿美元 9
超快激光器市场：价值与成本的对决 9
到 2019 年全球封装 LED 市场将达 220 亿美元 10

封面故事
纳米成像
台式高次谐波光源照亮纳米世界 13

光子学前沿
激光二极管回顾与展望 16
激光二极管走过漫长而激动人心的发展之路

应用天地
激光功率计 22
激光功率计 OEM 应用

技术中心
可调谐光源 28
掺铥光纤 MOPA 泵浦可调谐中红外 OPO
高功率激光二极管阵列 30
二极管阵列成为结构紧凑的高功率光源

创新奖
CLEO/《Laser Focus World》2015 年创新奖评选结果揭晓 34

精英访谈
靠提高成品率降低成本 发展光纤耦合技术 36
——访西安炬光科技有限公司董事长刘兴胜博士

编者的话 4
行业动态 6
前沿简讯 11
产品撷英 37
广告索引 40

激光世界 LaserFocusWorld China
2015 年 7/ 8 月　第四期

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

- Global laser market will exceed $12 billion by 2019 — 9
- Ultrafast laser market: the value versus the cost — 9
- Global packaged LED sales to reach $22 billion by 2019 — 10

cover story

- Nanoscale Imaging
  Tabletop high harmonics illuminate the nano-world — 13

photonic frontiers

- Laser diodes: Looking back/Looking forward — 16
  Laser diodes have come a long way and brought five Nobel prizes

applications

- Laser Power Meter — 22
  Laser power meter's OEM applications

technologies center

- Tunable Sources — 28
  Thulium-doped fiber MOPA pumps tunable mid-IR OPO
- High-power Laser-Diode Arrays — 30
  Diode arrays are compact, high-power light dynamos

innovation awards

- CLEO/Laser Focus World 2015 Innovation Awards — 34

elite interview

- Reduce costs by increasing the yield and strengthen the development of optical fiber coupling technology — 36
  ——Interview Dr. Victor X. Liu, Chairman & President of Xi'an Focuslight Technologies Co., Ltd.

editor's notes — 4
industry updates — 6
leading edge snapshots — 11
products highlight — 37
ad index — 40

激光世界 LaserFocusWorld China

Jul/Aug 2015 Issue 4

About Laser Focus World China

Published since 2005, Laser Focus World China, the Chinese editionof the world famous Laser Focus World magazine, is the professional magazine for engineers, researchers, scientists, and technical professionalsin China. It provides comprehensive global coverage of optoelectronictechnologies, industrial and R&D applications, and market information. The editorial content licensed exclusively from Laser Focus World magazine is supplement by content generated by our own editors in China.

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

Zolix 卓立汉光 www.zolix.com.cn

卓立现在 着眼未来

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

激光世界
LaserFocusWorld China

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

免费赠阅咨询
电话 (86) 755 2598 8571
传真 (86) 755 2598 8567
电邮 lfwc-subs@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

PennWell

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

编者寄语 *Editor's Notes*

静下心来做事

英国著名作家狄更斯在他的传世名著《双城记》中有一句经典的话：“这是最好的时代，这是最坏的时代。”用此话形容目前的中国激光产业，似乎也不乏贴切。

说这是最好的时代，相比于过去，现在无论从技术研究和产业发展的硬件和软件环境都大为改善，信息技术高度发达，各种科研生产设备也非常先进；中国拥有了像大族激光这样的市值在全球排名领先的上市领头企业；很多海归学子纷纷回国创业，新的激光公司不断涌现；中国激光产业目前正在以前所未有的速度发展，各个大大小小的激光产业基地不断形成；中国市场赢得了世界激光界的广泛关注……

但同时这也是最坏的时代，整个行业仿佛到处都充斥着浮躁的空气。多年来，“中国制造”已经成为了“山寨”和“廉价劣质”的代名词，很多中国企业往往喜欢搞价格优势，缺乏自主创新和精益求精的态度；市场上什么产品火大家就一窝蜂地扎堆进入，最终利润越做越薄，导致恶性竞争；一些核心器件依然要依赖进口；巨大的中国激光市场，中国企业大多占据中低端应用，高端市场仍被国外公司把控……

事实上，中国激光产业的起步并不比欧美晚，然而经历了半个世纪的发展后的景象却大相径庭。激光行业内顶尖的企业，细数一下中国公司占几何？笔者最近一次采访炬光科技董事长刘兴胜博士，觉得他说的话非常中肯：企业的生存发展要靠产品质量，降低成本绝对不能以牺牲产品质量为代价降低原材料的成本，要通过提高成品率来降低成本，提高利润。提高成品率，也就是保证产品质量，这简单的一句话背后所涉及的内容包括了产品的研发、原材料质量控制、生产工艺、生产环境、质量检测等等众多环节，哪一个环节出了问题，都会影响产品质量。这首先需要处于每个环节上的人员都能静下心来踏实做事；企业要为搞研发的提供好的条件安心寻求创新，留住研发的精锐力量。在这个浮躁的时代，做到这些往往并不容易。

当然，这几年中国激光产业界也意识到了问题的存在，很多企业已经开始非常注重自主核心技术的开发，每年会将固定比例的销售额投入到研发领域。另外从整个产业来看，也需要各界同人共同努力，规范产业的发展。最近，炬光科技主持编写了《半导体激光器总规范》和《半导体激光器测试方法》两项国家标准，其中蕴含了业界众多同人的共同努力，对规模半导体激光器的发展具有积极意义。呼吁更多的企业和业内人士能静下心来，齐心协力为激光行业的发展多做些有意义的事。❑

本刊编辑部

II-VI INFRARED

贰陆红外激光（苏州）有限公司

贰陆官方微信关注

贰陆红外公司的产品线涵盖了各种业界领先的精密光学产品，包括：

-用于低功率应用领域的扫描透镜，如：打标、雕刻和钻孔；

-OEM品质的CO2激光光学元件配件和喷嘴；

-MP-5®超低吸收率聚焦镜；

-可变曲率反射镜（VRM）

中国国际光电博览会
2015年8月31日-9月3日
深圳会展中心
展位号：1095
II-VI INFRARED展台欢迎您



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

行业动态 *Industry Updates*

通快投资7000万欧元发展极紫外激光器

近日，德国通快公司投资 7000 万欧元在德国总部迪琴根建设一栋多层厂房，用于为半导体芯片制造商所需要的新一代极紫外刻蚀设备制造超高功率激光器。据悉，通快此举主要是为荷兰半导体设备制造商 ASML 的刻蚀工具提供大型激光系统。

通快表示，该厂房占地 34000 平方米，将包括生产区、洁净区和设备测试区，大约历时两年建成。“我们将在这里开发和生产独特而复杂的激光系统。”通快公司总裁 Nicola Leibinger-Kammüller 表示。7000 万欧元的投资包括厂房的建设成本以及为满足半导体行业超洁净需求而建设的一些复杂的自动化功能。

Newport公布2015年Q1财报 总销售额同比增长7%

Newport 公布 2015 年 Q1 财务报告。第一季度总销售额 1.567 亿美元，同比增长 7 %。得益于国防和安全部门34%的高订单增长率，公司订单总额亦同比增长5%。此外，本季度的非 GAPP 净收入由去年同期的 1160 万美元增长至 1460 万美元，为公司带来更高的利润水平。

公司首席执行官 Robert J. Phillippy 表示，Newport 2015 年度的总销售额有望再创新高，这主要归因于 Newport 对奥地利超快激光器开发商 Femtolasers 和以色列光纤激光器制造商 V-Gen 的收购；据估计，这两项收购将在本年度为 Newport 增加 3000 万美元的营业额。

大族激光超50亿打造三大项目

6月15日，大族激光发布公告，公司计划以不低于30元/股的价格，向不超过10名特定投资者非公开发行不超过1.75亿股股份，募集资金总额不超过52.28亿元，这些资金用于高功率半导体器件、特种光纤及光纤激光器产业化、工业机器人关键技术研发中心等4个项目。

6月25日，大族激光在投资者关系互动平台上表示，试点机器人项目公司已完成申报，目前处于等待答辩阶段。大族激光表示，相关机器人项目则能显著提升公司工业机器人关键技术研发实力，将机器人自动化装备业务打造成为公司新的利润增长点。

德国通快落户武汉光谷

6 月 10 日，德国通快激光集团宣布落户武汉东湖高新区中欧激光产业园，这是世界顶级激光企业首次进入光谷。德国通快落户后将先期建设激光展示厅和销售平台，带来世界最先进的激光技术。多家激光企业获悉通快落户，纷纷联系园区希望入驻，巨头引发的磁极效应开始显现。

通快落户光谷的牵线“红娘”是本地企业楚天激光。德国通快激光集团中国区总裁乐安德表示，他一直对中国激光领域的最新动向保持高度关注，并同楚天激光、华工激光等企业建立了合作。通快在半导体等各类激光器及加工技术上世界领先，其激光焊接与切割技术广泛应用于钢铁、汽车、手机等领域，希望落户后与中国企业展开全方位合作。

IPG携众多激光焊接明星产品亮相第二十届埃森展

6 月 16-19 日在上海新国际博览中心，IPG 携众多明星产品亮相于第二十届北京　埃森焊接与切割展。在现场使用机器人演示的 LSS 代表了新一代激光线焊机，具有良好的光束质量和理想的光束监测系统，操作时达到 1 类激光（安全系数最高）标准，可以完全取代电阻点焊，相对于传统技术将效率提升一倍，甚至可以对热成型材料、高强钢轻易实现焊接。LSS-2 紧凑型激光线焊机摆动焊缝长度可达 40 mm，使用简单夹持技术的激光焊接，具有更高的连接强度、刚性和连接效率，可重复进行多层板材焊接。

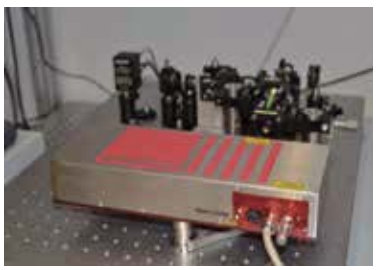
此外，IPG 还展示了 YLS-ECO 系列产品，其在保证焊接质量的同时极大地为客户降低了成本；已经在航空航天、石油天然气和汽车等多个领域广泛应用的 YLS、YLR 和 QCW 系列激光器；以及最新的 D50、D30 水平及垂直焊接头、准直镜和多路光闸，为客户展示了 IPG 在金属加工应用中强大的创新能力及雄厚的技术实力。



展会同期，IPG 还举行了“面向未来的激光焊接——光纤激光器焊接技术与应用研讨会”，进行了《光纤激光焊接、熔覆与3D打印应用》、《用于焊接的光纤激光新产品》以及《IPG 激光加工头》三场主题演讲，为现场观众分享了光纤激光焊接的最新进展、成功案例和最新产品。

激光世界 LaserFocusWorld China 广告索引 Ad Index | 目录 Content | 推荐朋友 Refer a friend | 免费赠阅 Subscribe ACT

瑞士Onefive公司携手顶尖科仪推进中国市场



瑞士 Onefive GmbH 公司是一家拥有十年发展历史的飞秒和皮秒光纤激光器厂商，主要为各种科研和工业需求提供简单、高性价比的超快激光产品及解决方案，其主要产品包括 Genki、Katana 及 Origami 系列飞秒激光器等，应用覆盖医学和生物、环境和国土安全、传感、通信、材料加工及研发等广泛领域。

Onefive 的产品均在瑞士制造，拥有高质量的生产过程和严格的质检标准，产品具备工业级可靠品质，性价比高，并实现了真正的量产，十年间累计销量超过 2000 台。Onefive 激光器可以在恶劣的环境中一周 7 天 / 每天 24 小时连续不间断运行。独特的封装技术提供了防尘密封、免维护、占地面积小的产品，以及交钥匙的易用操作。

Onefive 公司近日正式授权顶尖科仪（中国）股份有限公司为中国区指定代理商，负责其所有产品的市场推广、销售和技术服务，以便为不断壮大的中国市场和用户提供最便捷的专业产品服务和技术支持。

昊量光电与美国Conoptics公司签订独家代理协议

2015 年 6 月，昊量光电与美国 Conoptics 公司正式签订独家代理协议。昊量光电将从 2015 年 7 月 1 日起全面接手美国 Conoptics 公司所有产品在中国地区 (包括港澳地区) 的销售、商务拓展与技术支持工作。

美国 Conoptics 是世界知名的光学与激光器附件领域供应商，其电光调制器产品在高速调制的相关应用上有着出色的性能表现与高稳定性。Conoptics 公司针对多光子领域（Multiphoton Microscopy）的电光调制器；针对钛宝石 / 蓝宝石的飞秒 / 皮秒激光器的脉冲选择器（Pulse Picker，Pulse Selection）和紫外 / 超宽波段光隔离器等产品在相应的专业领域都取得了客户的广泛好评。

无与伦比的XY定位性能

一体的集成、低轮廓、XY、直线电机平台

防返，交叉滚柱轴承



卓越的几何性能（直线度 ±0.4 µm，平面度±1 µm）

多规格-9种不同行程和精度型号

Aerotech Planar$_{DL}$系列平台通过紧凑低轮廓的封装，可以提供卓越的几何和动态性能。高精度防返交叉滚柱轴承，精密加工表面和驱动于轴刚度中心的Aerotech直线电机保证了其作为定位平台的超低几何误差。一系列行程和性能选项使得此款平台适合于从表面轮廓测定到LED晶片划线的各种应用。即刻联系Aerotech了解Planar$_{DL}$如何提升您的应用。

Ph: +86 (21) 3319 7715 ▪ Email: sales@aerotech.com ▪ www.aerotech.com

AEROTECH Dedicated to the Science of Motion

AF0214A-PPG

MWCS
METALWORKING AND CNC MACHINE TOOL SHOW

亚洲领先金属板材加工展

2015年11月3-7日
国家会展中心(上海虹桥)

- 30,000平方米超大展出面积
- 专业观众达110,000人次
- 同期配套箱体箱柜、电力电工等应用行业展会

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

THE SMW MEETING 钣金制造技术峰会

同期举办国内针对金属板材加工的专业论坛
- 2015钣金加工技术峰会

上届赞助商



weibo.com/mwcs

Deutsche Messe
FIERA MILANO
东浩集团 EAST BEST GROUP

到 2019 年全球激光器市场将超过 120 亿美元

文/Strategies Unlimited

市场研究公司 Strategies Unlimited 近期发布了其年度《全球激光器市场报告》。该报告预计，2013-2019 年间，全球激光器市场的总收入将增长 5.5%，主要驱动力来源于激光器在显示和灯光秀领域两位数的年均复合增长率。“在很多有前途的技术和应用趋势的驱动下，”Strategies Unlimited 公司高级分析师 Allen Nogee 指出，“2014 年全球激光器总收入呈现出了喜人的增长，除了显示领域外，传感器、医疗、光刻和大型材料加工等领域的增长都超过了平均增长率。”

《全球激光器市场报告》对到 2019 年期间的全球激光器市场分别按照激光器类型、应用、供应商和地理区域进行了深入地分析和预测。今年的综合年度报告中新增加了光纤激光器和量子级联激光器。

2014 年全球激光器市场表现相对强劲，全球经济环境仍然在缓慢地从世界一些地区的强烈衰退中复苏。然而尽管如此，不但一些较小的行业强劲增长，而且令人鼓舞的是一些大规模应用领域也呈现出了强劲增长态势。2014 年通信和大功率工业市场（年度总收入均超过 10 亿美元）的增长了 7%以上。

Strategies Unlimited 公司预计，到 2019 年，高功率半导体激光器和光纤激光器将成为收入增长最快的激光类型。“这并不奇怪，”Nogee 评论道，“这两种类型的激光器都非常牢固可靠，具有较长的使用寿命，并且它们的价格也在下降，而且它们还非常节能环保。光纤激光器和直接半导体激光器均在工业领域发挥着重要作用，并且正在取代其他类型的激光器。光纤激光器正逐渐取代 CO_2 激光器；高功率半导体激光器正在取代许多其他类型的激光器，包括用于激光灯光秀中的固体激光器。”❑

超快激光器市场：价值与成本的对决

文/Allen Nogee，Strategies Unlimited高级分析师

最近市场研究公司 Strategies Unlimited 做了一项关于超快激光器的研究报告。尽管许多超快激光器已经在市场上存在了很多年，并且它们能够完成一些不可思议的工作，但是相对于其他类型的激光器而言，超快激光器在整个激光器市场中占据的份额仍然相对较小。如同所有的激光器市场一样，超快激光器为某些应用提供专门的工具。超快激光器是一种持久的工具，但是其价格通常较为昂贵，这限制了它们在很多领域的应用。对于工业应用而言，从技术层面看，超快激光器无疑是最好的解决方案；但从经济层面看它却不符合最佳解决方案的标准。

如果一个制造过程仅需要“相当不错”的品质而不是卓越的品质，这时候超快激光器并不是最好的选择。如果生产量相对不高，这时候往往非超快激光器解决方案是最佳选择。如果生产不是持续相当长的时间，制造商最好是将他们需要加工的部件送往第三方加工车间，而不是自己购买一台超快激光器。如果仅仅是希望钻出一个 150 μm 的“相当不错”的孔，那么一台相对廉价的 CO_2 激光器就能很好地胜任这项工作了。

超快激光器的应用数量有限，那么该领域那么多的超快激光器制造商将如何生存？所有这些公司在过去的 3-4 年中真的成长了吗？当然不是所有公司都会存活下来，但是能让这些制造商受益的是市场需要各种各样的超快激光器产品，并且对于任何一种

应用，能够胜任的超快激光器的数量相对较少。这些应用可能需要极短的脉冲持续时间、高重复频率、高平均功率或是高最大功率。再有就是波长，超快激光器覆盖的波长范围可以从深紫外到中红外波段。当然，还有一个更重要的因素，就是价格。

像通快和相干这样的大公司，已经占据了超快激光器应用市场中的大部分市场份额，如蓝宝石加工和燃料喷嘴钻孔等应用，其他公司只能争抢剩余的少量市场。然而一个好消息是：大量超快激光器公司的出现和不断进步的技术，已经导致超快激光器的价格迅速下降。

超快激光器价格的下降以及电子元器件的小型化革命（如智能手机、平板电脑和微型医疗设备），已经极大地拓展了超快激光器的使用。在未来的几年中，该市场应该只会变得更好。❑

到 2019 年全球封装 LED 市场将达 220 亿美元

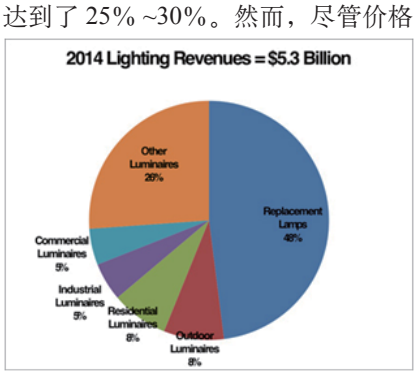
文/Strategies Unlimited

市场研究公司 Strategies Unlimited 研究 LED 产业已经超过二十年之久，该公司最近发布了其最新的全球封装 LED 市场调查报告。《全球 LED 市场：市场回顾与展望 2015》报告分析了“用于显示背光、汽车照明、移动应用、标牌、照明等应用中的”封装 LED 市场，并且针对上述领域的很多应用提供了详细预测。该报告还针对每种应用，按照材料和封装类型，包括 InGaN、InGaAlP、RGB 和低功率、中等功率、高功率和超高功率 LED 进行了分析。该报告中涉及了前 25 大封装 LED 企业，并按照区域进行了详细的供应商分析。

Strategies Unlimited 的报告显示，2014 年全球封装 LED 市场的总收入增长 7.6%，达到 156 亿美元。照明应用占据总收入的 34%，显示背光和移动应用两者结合占据了总收入的 35%。预计到 2019 年，照明应用将占据总收入的 45%，五年的年均复合增长率为 14.3%，增长幅度最大。

在照明应用中，更换灯泡、商用灯具和户外灯具将呈现出最大的增长。Strategies Unlimited 公司高级研究分析师 Stephanie Pruitt 表示，“毫无疑问照明是最大的应用市场，并且在该预测期内仍将继续保持最大。在照明应用中，一般照明应用占据了近 75% 的照明总收入。更换灯泡市场和灯具市场都非常大，而且随着 LED 采用量的增长，封装 LED 在这些领域的收入也将增长。”

在照明应用中，封装 LED 的价格在 2013-2014 年间出现了急剧下降。大部分供应商的价格均出现了约 20% 的下跌，更有供应商的价格下跌幅度达到了 25% ~30%。然而，尽管价格下降，但是 LED 照明在家庭和商业应用中的继续采用，已经使该市场呈现出了最大幅度的增长。



Pruitt 表示，LED 照明尚未达到其增长临界点。LED 的价格还将不断下降，退税不断激励 LED 照明发展，同时厂商也将不断推出令人兴奋的新方式使 LED 照明更令人满意。有了 LED，用户能够在他们之前绝不会想到的地方安装照明，这将开辟很多新机遇。智能可控的照明也将对 LED 采用率产生一定的影响，因为这将为消费者带来巨大的可能性，如节约能源、节约劳动力 / 维修费用、室内导航和增强的安全性。因此，照明应用仍将是封装 LED 的一个增长市场。

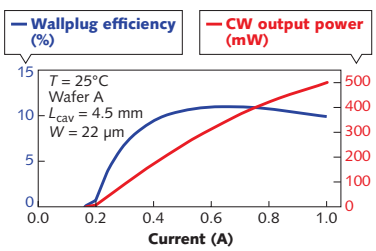
在该报告的预测期内，照明应用并非是唯一健康增长的市场。随着很多汽车（并不只是高档车）继续在大灯、日间行车灯中选用 LED，汽车市场也将呈现出强劲增长。预计 LED 在汽车外部照明应用中的总收入将达到 15%的复合年增长率。❑

前沿简讯 Leading Edge Snapshots

带间级联激光器发射高功率连续中红外光

文/John Wallace

带间级联激光器（ICL）通过带间跃迁产生光，而并非像量子级联激光器（QCL）一样通过子带间跃迁产生光。ICL 包含许多产生光子的级联，从而产生中红外（MWIR）光，这点与 QCL 是一样的。ICL 的优点之一是具有比 QCL 更低的耗散功率。美国 Sotera Defense Solutions 公司和海军研究实验室的研究人员已经开发出了基于热电冷却锑化镓（GaSb）的 ICL，发射 3.2 μm 或 3.45 μm 的光，分别由 10 级结构设计（3.45 μm）以及早期的 7 级结构设计（3.23 μm）构成。



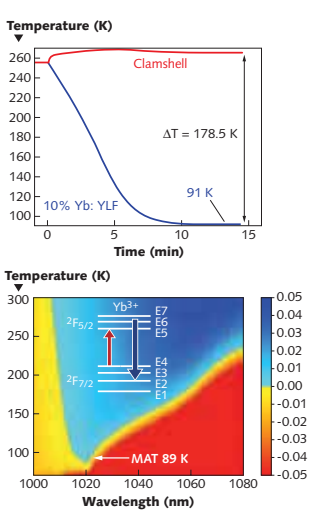
例如，脊宽为 18 μm、腔长为 4.5 mm、且具有高反 / 减反膜的 ICL，发射功率为 464 mW、波长为 3.45 μm 的光，光束质量因子（M^2）为 1.9，电光转换效率约为 10%（如图所示）。此外，研究人员还制造出了腔长更短（1 mm）的激光器；尽管输出功率较低，但它们在室温下的转换效率能够达到 18%。研究人员指出，较长的腔长能够获得更高的亮度（单位面积的功率）。研究人员相信，对于 3~4 μm 波长范围内的高功率 ICL，级联的数目在 7-10 之间为最佳。ICL 在中红外传感方面有许多潜在应用。❑

固态激光冷却接近液氮温度

文/Gail Overton

当将激光束调谐到低于材料吸收的平均荧光能量时，紧随其后的是高效荧光产生和逃逸，出射的光子通过声子湮灭消耗能量，从而冷却被照射的材料。作为首个通过激光冷却至 119 K（<123 K）低温的研究小组，美国新墨西哥大学和空军研究实验室的研究人员，通过减少寄生热损耗和使被吸收的激光功率最大化，目前已经找到了接近液氮冷却温度（77 K）的方法。

首先，该小组获得了更高纯度的晶体生长材料，使得晶体生长的背景（寄生）吸收系数为之前所获得吸收系数的一半。其次，环形非共振腔增加了冷却晶体中的吸收路径长度。这里，增加的泵浦光穿过增益晶体的可见截面（约为 3mm^2），这要归功于较小的反射镜距离，从而允许光束通过晶体 22 次（增加了 8 次），使得泵浦功率吸收比之前的构造高出了近 42%。这些改进使得研究人员能够在 10% 的掺镱氟化钇锂晶体（Yb:YLF）中获得破纪录的冷却温度，达到 91 K。为了达到液氮温度，研究小组正在测试提纯的晶体基质中的新激活稀土离子，同时也在开发新的激光光源。❑

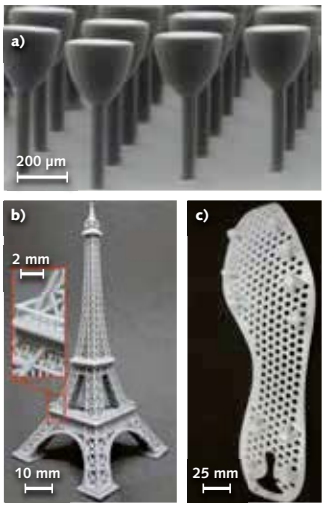


无分层 3D 打印仅需几分钟而非数小时

文/Gail Overton

目前，美国 Carbon3D 公司与北卡罗莱纳大学和北卡罗莱纳州立大学的研究人员合作，采用连续液态界面制造（CLIP）聚合工艺，可以在数分钟内（可能达到 500 mm/ 小时的速率）制作尺寸为数十厘米、分辨率为 100 μm 的 3D 打印物体；相比之下，传统的逐层光聚合的 3D 打印方法则需要数小时。

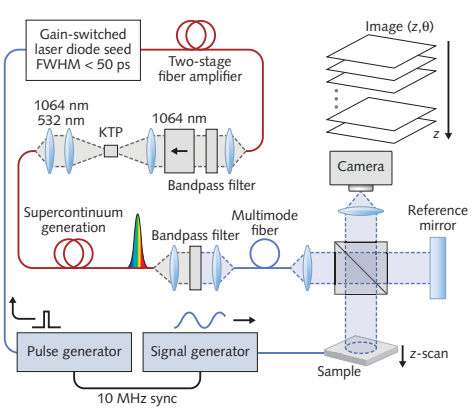
传统的自下而上的立体光刻打印机，分步进行紫外（UV）光照射、树脂更新和部件移动；与之相反，CLIP 工艺通过数字光处理单元，将 UV 光图像的连续序列投影到液态树脂浴下方的氧可渗透的、紫外透明的窗口上。含氧的死区抑制窗口上方的光聚合，并保持前进部分下方的液态界面。当从树脂中抽出固化部分时，吸力不断更新反应性液态树脂，并固化以形成物体。根据树脂的反应性，通过调节光源的光子通量率、树脂中光引发剂的浓度，以及树脂固化剂量来维持死区。Carbon3D 能够运用整本高分子化学教材，制作各种部件，从硬的原型和工程树脂到弹性体、完全可生物降解的材料，以及可能对金属铸造有用的材料。❑



利用表面频闪白光干涉仪测量表面声波

文/John Wallace

移动电话和其他设备中的特定电子元件使用表面声波（SAW）作为紧凑型滤波器。SAW 由工作在几十 MHz 到低 GHz 频率范围内的压电材料产生，其典型的最大振幅为几纳米或更小。传统的光学测量方法通过扫描激光干涉仪来表征 SAW，而另一种称为频闪白光干涉（SWLI）的技术，如果照明频率与该装置的激发频率同步，则具有能够“冻结”振动运动的优势。然而，SWLI 历来局限于几 MHz 的频率，振动则局限于微米级。现在，芬兰 Aalto University 的研究小组已经实验证明了一种高频率、低振幅的 SWLI 装置，可以产生 SAW 的三维定量空间分布图。



该装置依赖于“自制的”超连续谱白光光源，在该光源中，激光二极管发射半高全宽（FWHM）为 50 ps 的光脉冲，经过两级放大器后被放大到千瓦级的峰值功率，波长为 1064 nm。该光束中的一部分由 KTP 非线性晶体倍频，1064 nm 和 532 nm 两个波长的光束均被送入到微结构光纤中，以产生超连续谱。40 nm 的带通滤光片对所产生脉冲的光谱进行优化，用于迈克尔逊干涉仪。受限于光电检测器的时间响应，测得的脉冲宽度小于 310 ps。该系统被用于测量 73.728 MHz SAW 装置的振动场，为了降低到样品的光功率，以 72 次子谐波进行测量。最终，以优于 100 ps 的分辨率，精确测量平均波长约为 50 μm、振幅约 3 nm 的 SAW 驻波。❑

纳米成像

台式高次谐波光源照亮纳米世界

文/Daniel E. Adams，Christopher S. Wood，Margaret M. Murnane，Henry C. Kapteyn

高次谐波产生（HHG）和相干衍射成像（CDI）能够产生透射和反射的高对比度定量相位和幅度图像，以及探测三维动态现象。

21 世纪技术的一个永恒主题便是更小和更快。纳米技术已经成为经济的主要驱动力，目前电子器件的特征尺寸已经小至 14 nm——仅为可见光波长的几十分之一。然而，这种日新月异的进步也带来了巨大的挑战，因为在我们能够制作什么这方面，变得越来越难以看清。

许多先进的光学成像技术，例如 STORM、STED 和 PALM 显微（获得 2014 年诺贝尔奖），将显微镜推向亚衍射极限的分辨率，而电子显微能够分辨原子尺度的特征。然而，这些技术都具有严重的局限性——需要荧光标记或繁杂的样品制备，以及在对比度、元素识别和动态捕获能力等方面的限制。迄今为止，还没有技术能够具备 3D 纳米系统的捕捉功能，这一功能将能极大地辅助迭代设计和优化。

幸运的是，两个相对较新的技术在 21 世纪已经取得了巨大的进步：高次谐波产生（HHG）和相干衍射成像（CDI）。得益于这两种技术的进步，新一代强大的纳米相干成像技术正在涌现，该技术与其他方法相比具有诸多显著优点：在波长极限处进行 3D 幅度和相位对比度成像的能力；极为有效地利用照明；固有的元素和成分对比；对不透明结构进行成像的能力；以及在新材料和纳米系统中捕获热、旋转和电荷流动的能力，有望极大地增加纳米器件的开关和读 / 写速度及效率，并且具有 10 fs 的时间分辨率。

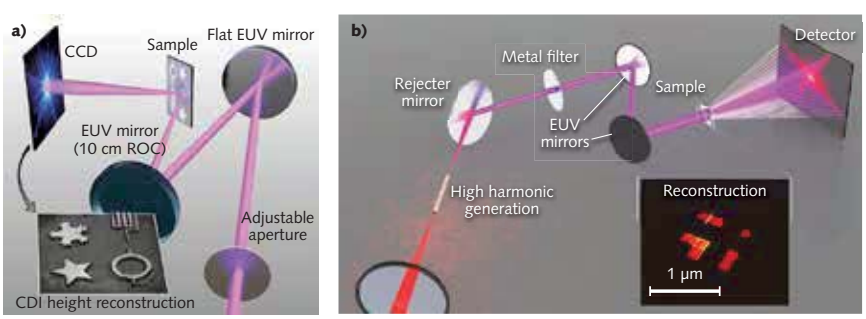


图1：典型台式CDI显微镜（a、透射，b、反射）的示意图。超短近红外脉冲被聚焦到中空毛细管中，高次谐波产生13 nm的光。通过硅反射镜（以基频光束的布鲁斯特角摆放）和薄的金属滤光片将基频光束导走。两个布拉格反射镜进行光谱滤光，并聚焦到样品上。来自样品的散射光被收集到探测器上。

相干短波光源和相干成像

目前，台式高次谐波光源正在经历着与超快可见激光器在上个世纪 90 年代所经历的相同的革命。对极端非线性光学元件限制的新认识，以及新的高平均功率红外激光器，推动了上述进展。HHG 是迄今为止观察到的最极端的非线性光学过程，用于将飞秒激光转换成更短的波长，跨越从紫外到软 x 射线的整个电磁波谱。本质上，其结果是一台台式 x 射线激光器，同时产生各种各样从深紫外到 x 射线的波长，脉冲持续时间从阿秒到飞秒的空间相干光束。

我们对 HHG 过程的理解已揭示了这种技术作为光源的广阔应用前景。直到最近，明亮的 HHG 光源被认为只可能实现大于 ~10 nm（hv <150 eV）的波长，并且只能是线偏振的。现在，我们知道如何产生深至软 x 射线区域、光子能量大于 1.5 keV（对应小于 8 Å 的波长）的明亮的 HHG[1]，具有线偏振态或圆偏振态。[2] 此外，HHG 与驱动激光器完全同步。

因此，高次谐波光束是相干衍射显微镜的理想光源，产生良好分离的谐波梳，能够进行光谱滤波或复用。HHG 光源与大型同步加速器和 x 射

激光世界 LaserFocusWorld China 广告索引 Ad Index | 目录 Content | 推荐朋友 Refer a friend | 免费赠阅 Subscribe ACT

线自由电子激光（XFEL）光源互补，使得更高的时间分辨率和台式外形成为可能。

CDI 是一种计算成像技术，有时也被称为无透镜成像。CDI 技术只需简单地照亮物体，直接利用探测器捕捉散射光，而不是先照明物体，然后利用透镜在探测器上产生图像。随后利用先进的相位恢复算法代替透镜来复原图像。

CDI 通常需要相干（也就是像激光这样的光源）照明，但它无透镜的特征使其与 x 射线成像理想匹配。这归因于 x 射线成像光学元件加工方面的挑战，这些元件必须是衍射型的，通常将分辨率限制到 25 nm 左右。HHG 和 CDI 的组合消除了对成像光学元件的需求，使得不但能够、而且可以非常简单地首次获得波长极限的 EUV 光源，最终进入光谱的 x 射线区域。

20 世纪 80 年代后期，CDI 首次得到验证，[3] 于 1999 年首次应用于 x 射线。[4] CDI 是一种非常普遍的成像技术，可以使用任何相干光源，包括电子。它是光子效率最高的成像方法，因为在样品和探测器之间无需光学元件，并且允许非常高数值孔径（>0.6）的成像。

JILA 和 UCLA 的研究团队利用这种相干台式光源、先进的算法和相干成像技术的罕见组合，创下了基于光的台式显微镜的世界纪录，以 22 nm 的分辨率对测试图样进行成像。[5] 图 1 所示为相干衍射显微镜所需要的、非常简单的设置——透射或反射模式均可。

下一代相干显微镜

扫描电子显微（SEM）和原子力显微（AFM）是用于表面成像的成熟技术，分辨率为纳米级。CDI 提供补充信息，具有如下优势：元素的选择性、与 AFM 相比具有非破坏性的长工作距离，且没有 SEM 的表面放电效应。CDI 是一种无需参考，同时进行相位和幅度成像的技术，能够以反射和透射模式产生高对比度、高保真的图像，横向分辨率为纳米级。

在反射模式下，CDI 的对比度机制是吸收和几何 / 材料相关相移的三重组合，可以产生具有亚纳米级轴向分辨率的图像。x 射线的穿透能力，使得 CDI 成为表面轮廓及 3D 层析成像的理想工具。

图 2 所示为利用反射模式对硅基底上的钛特征进行成像。图 2b 所示是对同一样品的 SEM 图像对比。黑色矩形突出显示的区域（见图 2b）被放大，并在图 2d 至图 2e 中进行比较。在 CDI 重构图像和 AFM 图像中（图 2e 和图 2g）很容易就能观察到精细的表面变化，但在 SEM 图像中几乎观察不到（见图 2f）。图 2h 和 2i 分别给出了重构的高次谐波光束强度和相位。

图 2 中的 CDI 图是采用一种被称作 ptychography 的先进而强大的技术获得的 [6]（目前市面上可以从 KMLabs 公司购买 EUV HHG，从 Phasefocus 公司购买 ptychography）。对于 ptychography，垂直于照明方向对样品进行扫描，记录几个衍射图案，确保相邻位置之间具有显著的重叠。重构算法利用这种冗余信息的增加量，不仅产生样品图像，还能同时表征高次谐波光束的幅度和相位。

Ptychography 最初被建议作为标准电子显微镜的补充，目前已经在获取扫描数据，当 Rodenburg 等人 [7,8]

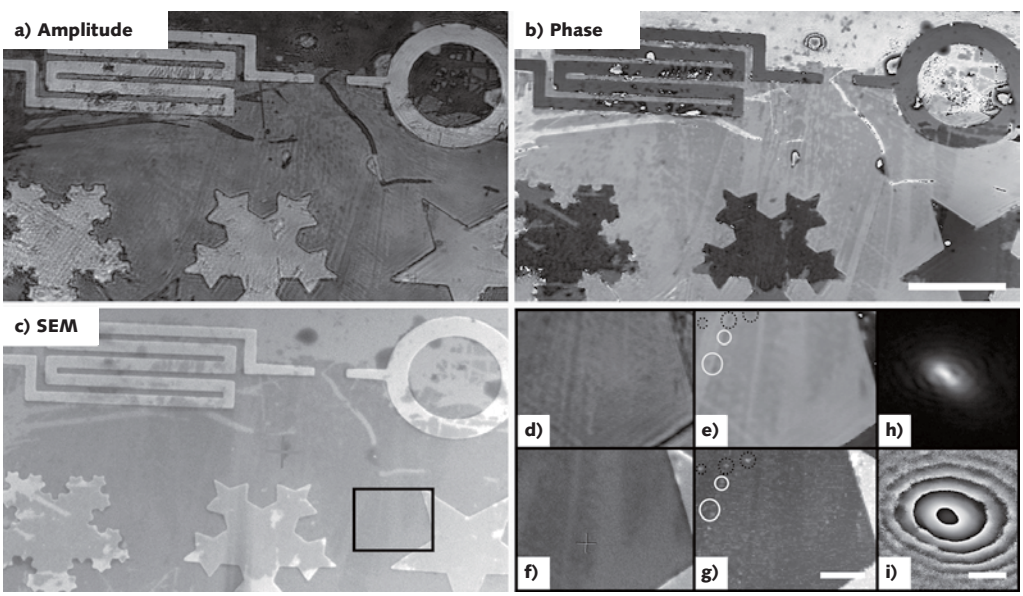


图2：重构的表面特征。分别为Ptychographic振幅（a）和相位（b）重构；用于对比的SEM图像（c）；图（c）中黑色矩形区域的高亮显示（d-g）；CDI振幅（d）；CDI相位（e）；高分辨率SEM（f）；高分辨率AFM（g）；重构的高次谐波光束（29 nm）的振幅（h）和相位（i）。白色圈出的区域在CDI相位和AFM图像中可见，但在SEM图像中几乎看不见。黑色圈出的特征在SEM图像中不可见。

改进了算法，以升级样品和照明波（称为探头）时，ptychography 的效果得到了巨大的推动。过去，对探头知识的不足直接导致样品重构的缺陷。这样，ptychography 因具备对探头和样品的迭代求解能力，已经成为用于稳固高保真图像重构的主要 CDI 技术。

Ptychography 为使用显微镜的技术人员提供了新的灵活工具，ptychography 才刚刚开始显现其真实的用途。[9] 利用多幅（有时上千幅）衍射图样中的信息冗余，研究人员已经找到一种方法将 ptychography 延伸到信息复用的新领域。Ptychographic 扫描有足够的数据，能够同时解析样品和探头，以及其他各种信息，例如真正的扫描平台位置（通常受到像热漂移之类的系统误差的影响）。

图 3a 所示的是与图 2 中相同的样品，但利用了 CDI 相位的优势获得 3D 图像。如图 3 所示，重构时对平台位置进行精细化处理，以获得高品质图像。图 3b 给出了图 3a 中白色虚线矩形框中高亮显示区域的 AFM（图 3c）和 ptychography（图 3d）轮廓。图 3b 中是沿着图 3d 中的白色虚线的两条轮廓线，一致性优于 6 Å（95%置信区间）。更令人吃惊的是，ptychography 甚至足以处理多个空间和光谱模式照明，并且通过光学厚度的散射介质进行传输。

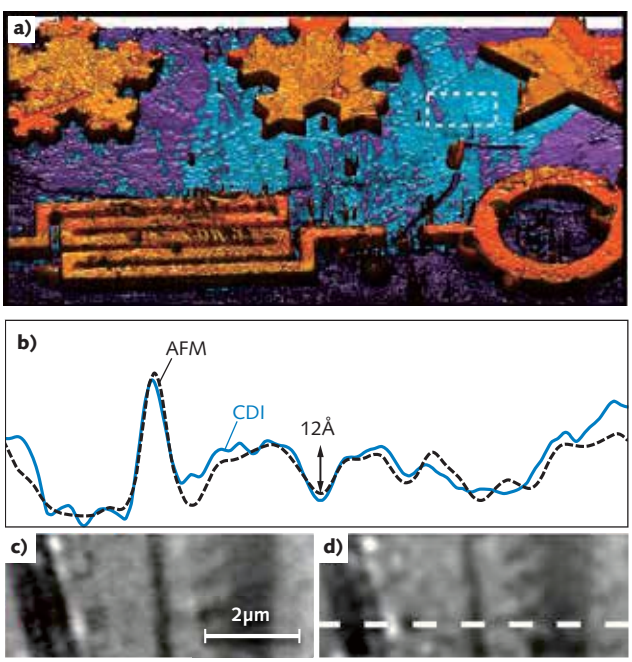


图3：CDI和AFM的定量比较。（a）从图2b的相位重构产生的CDI高度图的3D渲染。图a中高亮显示的白色矩形区域被放大，并与同一区域的AFM图像进行对比（c、d）。图b中轮廓线的一致性优于6 Å（95%置信区间）。图d中的AFM图像经过高斯点扩散函数平滑，以降低图c和图d之间横向分辨率的不匹配。

影响与展望

HHG 和 CDI 的组合正为纳米世界带来新的关注焦点。以元素灵敏度对厚物体进行成像，以透射和反射模式产生定量的相位和振幅高对比度图像，在三维空间以飞秒精度探测动态现象的能力，为 HHG-CDI 在科学和技术领域开辟了美好的未来。

尽管与电子和原子力显微技术互补，CDI 独自代表了非破坏性、长工作距离、高对比度的 x 射线显微，分辨率仅受波长限制。随着超快激光器的进步（钛宝石、光纤和直接二极管泵浦系统），高次谐波技术正在迅速发展，使得稳健的运行和不断减小的外形成为可能，并且应用范围正越来越广。

最直接的商业应用可能会在纳米电子学领域，台式商业化系统可以解决下一代纳米加工的挑战性测量需求。另外，高次谐波光源很好地涵盖了与当前和将来的 EUV 光刻相关的成像和计量所感兴趣的波长范围。❑

参考文献

1. T. Popmintchev et al., Science, 336, 1287–1291 (Jun. 8, 2012).
2. O. Kfir et al., Nat. Photon., 9, 99–105 (2015); http://dx.doi.org.10.1038/nphoton.2014.293.
3. J. N. Cederquist, J. R. Fienup, J. C. Marron, and R. G. Paxman, Opt. Lett., 13, 619–621 (Aug. 1988).
4. J. W. Miao, P. Charalambous, J. Kirz, and D. Sayre, Nature, 400, 342–344 (Jul. 22, 1999).
5. M. D. Seaberg et al., "Ultrahigh 22 nm resolution EUV coherent diffraction imaging using a tabletop 13 nm high harmonic source," Proc. SPIE: Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography Xxvi, Pts. 1 and 2, 8324 (2012).
6. J. M. Rodenburg and H. M. L. Faulkner, Appl. Phys. Lett., 85, 4795–4797 (Nov. 15, 2004).
7. A. M. Maiden and J. M. Rodenburg, Ultramicroscopy, 109, 1256–1262 (Sep. 2009).
8. P. Thibault, M. Dierolf, O. Bunk, A. Menzel, and F. Pfeiffer, Ultramicroscopy, 109, 338–343 (Mar. 2009).
9. J. Miao, T. Ishikawa, I. K. Robinson, and M. M. Murnane, "Diffractive imaging with coherent x-ray sources," Science, in press (2015).
10. F. Zhang et al., Opt. Express, 21, 13592–13606 (Jun. 3, 2013).
11. T. M. Godden, R. Suman, M. J. Humphry, J. M. Rodenburg, and A. M. Maiden, Opt. Express, 22, 12513–12523 (May 19, 2014).
12. D. J. Batey, D. Claus, and J. M. Rodenburg, Ultramicroscopy, 138, 13–21 (Mar. 2014).
13. P. Thibault and A. Menzel, Nature, 494, 68–71 (Feb. 7, 2013).

激光世界 LaserFocusWorld China 广告索引 Ad Index | 目录 Content | 推荐朋友 Refer a friend | 免费赠阅 Subscribe ACT

激光二极管回顾与展望

激光二极管走过漫长而激动人心的发展之路

文/ Jeff Hecht

曾经，激光二极管无法在室温下持续发射几毫瓦的激光，然而现在其已经发展成为了重要激光工具。今天，它们是互联网、泵浦数千瓦级激光器以及塑料焊接等应用中发挥着重要作用。在激光二极管的微小的芯片中，蕴含了诸多创新。

麻省理工学院林肯实验室从冷却至液氮温度的砷化镓二极管观察到令人难以置信的明亮复合辐射，从此激光二极管诞生了。这种光是如此明亮，以至于在 1962 年 7 月召开的固态器件研究会议上，有人听到 Bob Keyes 的报告后认为这违反了热力学定律。Keyes 说，“我很抱歉”，但这个实验没有错误。到 1962 年底，四个独立的研究团队受此启发，制成了首批激光二极管，在低温下以脉冲方式工作。[1] 图 1 所示为 1962 年通用电气研发中心的研究人员研制成了第一个激光二极管。

1963 年诞生了塑造激光二极管未来的关键概念，并且为相距半个世界远的两位独立发明者赢得了 2000 年的诺贝尔物理学奖。Herbert Kroemer（那是在加利福尼亚的 Varian Associates 公司）无法获得资金以跟进自己的想法。然而，Zhores Alferov 与 Rudolf Kazarinov 在俄罗斯 Ioffe Physico-Technical Institute 继续研制第一个异质结。异质结构控制电流和光的流动，其对激光二极管的成功至关重要。



图1：1962年，Robert N. Hall（中）与Gunther Fenner（左）和Jack Kingsley（右）在通用电气研发中心，他们在那里研制成了第一个激光二极管。

1965 年 1 月 1 日，Laser Focus（Laser Focus World 的前身）杂志创刊号报道了两个激光二极管的故事。IBM 研究团队使用 12 盎司的“音乐枪”，利用 GaAs 激光器的输出脉冲横穿一个房间传输低带宽音频（见图 2）。IBM 的另一个研究小组声称从冷却至 77 K 液氮温度的 GaAs 激光器中，获得了波长为 840~850 nm、功率为 1 W 的连续输出。

Laser Focus 在 1965 年 5 月 1 日刊的第 13 页引用了林肯实验室团队 Bob Rediker 的报告，Bob Rediker 预测将有可能实现在室温下连续输出 100 W 的激光二极管“闪光”。然而，他的实验室所获得的最佳结果是低温冷却的 1.5 W 激光二极管。

Laser Focus 在 1965 年 4 月 1 日刊中的一篇文章远远领先于其所处的时代。林肯实验室的 Ivars Melngailis 制成了首台“纵向注入式激光器”（见图 3）。光在锑化铟二极管的抛光顶面和底面之间振荡，发射脉宽为 50 ns、波长为 5.2 μm 的光，出射方向与电流方向平行。当工作于 10 K 时，阈值电流为 20 A，其厚度为 220 μm。虽然该激光器距离实用还很遥远，但



图2：操作人员在房间的另一端用传感器瞄准IBM的“音乐枪”（1965年）。

它却预示着现代垂直腔面发射激光器（VCSEL）的诞生。[2]

1965 年，激光二极管还完成了首次太空之旅。Laser Focus 在 1965 年 8 月 1 日刊中描述了双子座 7 号宇航员 Frank Borman 和 James Lovell，利用四个波长为 900 nm、总功率为 16 W 的激光二极管，测试语音下传链路至地面的计划。他们计划瞄准来自地面站的绿光氩激光光束来进行下传。美国航空航天局向 RCA 支付了 88657 美元，用于建造三台 6 磅重的二极管发射器。但是，原计划 12 月开展的实验受到恶劣天气的阻碍，它们的信号没有聚焦到地面。[3]

室温下的连续运行仍然是难以捉摸的，一直到异质结可以沉积在有源层的上面和下面。1970 年春，Alferov 的研究小组成功研制出条状几何激光器，仅比贝尔实验室的 Mort Panish 和 Izuo Hayashi 的宽面积二极管早了几个星期。然而，由于冷战铁幕对沟通的阻碍，Laser Focus 和贝尔实验室都认为贝尔实验室是第一个实现的，因此 Laser Focus 在 1970 年 10 月刊中将此归功于贝尔实验室。贝尔

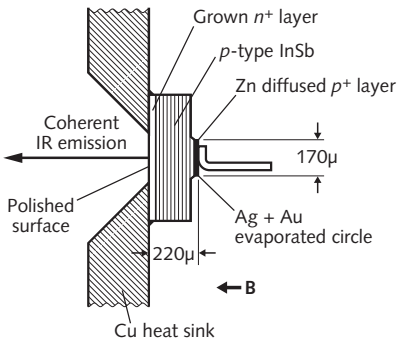


图3：1965年，林肯实验室的Ivars Melngailis演示了“纵向”激光二极管的设计，这是VCSEL的先驱。

实验室官方淡化了立即应用的前景。该公司研究负责人 Rudy Kompfner，没有指望激光二极管在短于十年之内应用于通信系统，而其他系统专家预计还需要 20 多年。所有人都敏锐地意识到，激光二极管在实验室演示的数小时是远远不够的。

连续波（CW）室温激光二极管



中国国际光电博览会（CIOE）
中国深圳
2015年8月31日——9月3日
1号展厅
展位1A13-12

FISBA RGBeam™
带有单模光纤的迷你型激光模块

精确的波长耦合
将可见波长导入到单模光纤中

照明均匀
最高的强度和亮度，囊括各种色彩

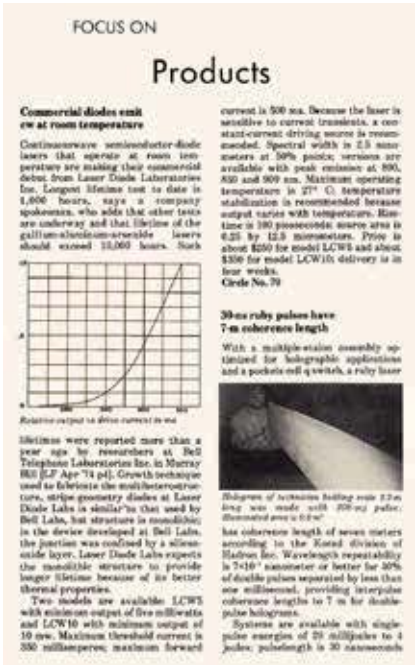
方便快捷的定制
量身定制的设计方案与创新技术相结合

FISBA Innovators in Photonics

Rorschacher Str.268
St.Gallen, 瑞士

电话 +41 71 282 31 31
传真 +41 71 282 31 30

info@fisba.com
www.fisba.com



FOCUS ON

Products

Commercial diodes emit cw at room temperature

Continuous-wave semiconductor-diode lasers that operate at room temperature are making their commercial debut from Laser Diode Laboratories Inc. Longest lifetime test to date is 1,000 hours, says a company spokesman, who adds that other tests are underway and that lifetime of the gallium-aluminum-arsenide lasers should exceed 10,000 hours. Each current is 500 ma. Because the laser is sensitive to current transients, a constant-current driving source is recommended. Spectral width is 2.5 nanometers at 50% points; versions are available with peak emission at 800, 850 and 900 nm. Maximum operating temperature is 27° C; temperature stabilization is recommended because output varies with temperature. Rise time is 100 picoseconds; source area is 0.25 by 12.5 micrometers. Price is about $250 for model LCW8 and about $350 for model LCW10; delivery is in four weeks.

Circle No. 70

30-ns ruby pulses have 7-m coherence length

With a multiple-etalon assembly optimized for holographic applications and a pockels-cell q-switch, a ruby laser has coherence length of seven meters according to the Kentel division of Hadron Inc. Wavelength repeatability is 7×10⁻³ nanometer or better for 30% of double pulses separated by less than one millisecond, providing interpulse coherence lengths to 7 m for double-pulse holograms.

Systems are available with single-pulse energies of 25 millijoules to 4 joules; pulselength is 30 nanoseconds

图4：CW室温激光二极管历时五年才进入市场，当进入市场时，笔者在1975年8月刊中报道了新产品故事。

历时五年才进入市场，当进入市场时，笔者报道了新产品故事（见图 4）。一家位于新泽西州、名为 Laser Diode Laboratories 的小型公司，提供波长为 800 nm、850 nm 或 900 nm 功率为 5 mW 或 10 mW 的激光二极管产品，售价为每台 250~350 美元。Laser Diode Laboratories 公司产品的寿命测试仅达到 1000 小时，而贝尔实验室一年之前就已报道了类似的使用寿命。然而，Laser Diode Laboratories 公司有足够的信心出售封装在标准晶体管型罐中的激光器。

到 1976 年春，贝尔将激光二极管的平均室温寿命推升至 5~10 年。经过又一年的加速老化试验，Laser Focus 在 1977 年 8 月刊中报道了贝尔预计百万小时的二极管寿命，这足以用于电话网络。贝尔在 GaAs 激光二极管技术方面的显着进步，是贝尔实验室工程师们所展示的一项绝技。

更长和更短的波长

讽刺的是，激光二极管技术成功的到来，刚好是当光纤系统的研发向光纤损耗较低的更长波长处转移的时候。那需要新的半导体材料，Laser Focus 在 1979 年 2 月刊中报道了新型 InGaAsP 化合物的快速进步。林肯实验室的 J. J. Hsieh 已研制成了 CW 单模 InGaAsP 激光器，发射数毫瓦的 1300 nm 光，持续时间为 1700 小时。[4] 东京工业大学的研究团队研制了带分布式布拉格反射镜的 InGaAsP 二极管。考虑到 Hsieh 刚在 1977 年 4 月报道了首个 1250 nm 的 InGaAsP 激光器，这些都是令人印象深刻的壮举。Laser Focus 在 1979 年 5 月刊中描述了三菱电机的商品化单模 InGaAsP 激光器，发射 3 mW 的 1300 nm 光，售价 2390~2590 美元。这是向通信市场转移的开始。



News

The Philips disk

图5：Laser Focus在1979年7月刊中，描述了飞利浦公司基于其780 nm GaAlAs激光器的音频光盘播放器的初步版本。

当 Laser Focus 在 1979 年 7 月刊中描述飞利浦公司基于 780 nm GaAlAs 激光器的音频光盘播放器的初步版本时（见图 5），一个新兴的大市场开始向 GaAlAs 激光器打开。氦氖激光器过去被用于视盘播放机，但飞利浦却认为二极管对于音频播放器而言是必不可少的。1982 年第一台 CD 播放器上市，售价约 1000 美元，但是随着价格的下跌，CD 播放器的销量将大幅增加。

Laser Focus 在 1979 年 9 月刊中报道了 GaAlAs 激光器的另一种新用途：最初围绕气体激光器研发的激光电脑打印机的小型版本。佳能美国公司表示将推出一款基于 810 nm GaAlAs 二极管的 OEM 台式打印机，售价为 12000~15000 美元。该市场增长缓慢，直到苹果公司在 1985 年推出其 LaserWriter 打印机，售价为 6995 美元。笔者最近一次购买打印机是在数年前，价格不到 100 美元。

1985 年，当索尼公司展示其发射波长为 671 nm 的 AlGaInP 激光器时，首个室温可见激光二极管诞生了。两年后，NEC 公司的 Tohru Suzuki 在 1987 年的 CLEO 会议上突出了他的报告，作为红光二极管指示器，波长为 678 nm 的 GaInP 二极管在室温下的运行时间超过 4500 小时。不久，它们成为标准的演示工具，后来，从 DVD 播放器到猫玩具，都能找到它们的应用。1985 年的另一项第一，是东京工业大学的 Kenichi Iga 在室温下实现了室温下运行 VCSEL，Kenichi Iga 独立于 Melngailis 开展了早期工作，于 1977 年提出了设想。后来加州大学圣巴巴拉分校的 Larry Coldren 在器件制作过程中，在顶部和底部增加了沉积多层 DBR 反射镜。VCSEL 已经在许多低功率应用中取代边发射二极管，因为它们的制作和封装廉价，



图6：在Laser Focus 1987年7月刊中，供应商展示二极管泵浦激光器的一个例子。

并且提供更好的光束质量。

高功率二极管和二极管泵浦

1987 年的 CLEO 会议还见证了一个完全不同的激光二极管趋势：泵浦固体激光器的高功率激光二极管，Laser Focus 在 1987 年 7 月刊中有报道。多年以来，由 Xerox Palo Alto Research Center 的 Don Scifres 和同事所开创，激光二极管的功率已经稳步上升，辅以单个半导体巴条上的许多条形激光器，获得了每个面超过 100 mW 的功率。[5]

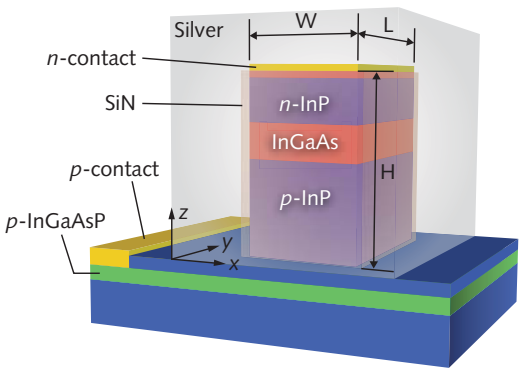


图7：2012年9月刊报道，亚利桑那州立大学的Cun-Zheng Ning和同事研发的Goldfinger纳米激光器是首个电激发的亚波长激光器，在室温下发射CW光。发射是通过底部的蓝色层实现的。

GaAlAs 是二极管泵浦的正确工具，因为它可以有效地在钕激光器的 808 nm 泵浦带上产生光。Scifres 继续在美国 Spectra Diode Labs 公司将该技术商品化，并在 1987 年的 CLEO 会议上展示了高功率二极管，包括 1 W 的量子阱相控阵，发射波长为 800~840 nm。其他展出二极管泵浦激光器的公司还包括光谱物理、Lightwave Electronics、A-B Lasers 和 Amoco Laser。在 Laser Focus 1987 年 7 月刊的封底广告上，光谱物理展示了三款二极管泵浦激光器（见图 6），发射 CW 或调 Q 的 1.06 μm 光，或发射脉冲的二次谐波绿光。

并在 1987 年的 CLEO 会议上展示了高功率二极管，包括 1 W 的量子阱相控阵，发射波长为 800~840 nm。其他展出二极管泵浦激光器的公司还包括光谱物理、Lightwave Electronics、A-B Lasers 和 Amoco Laser。在 Laser Focus 1987 年 7 月刊的封底广告上，光谱物理展示了三款二极管泵浦激光器（见图 6），发射 CW 或调 Q 的 1.06 μm 光，或发射脉冲的二次谐波绿光。

令人惊讶的蓝光激光二极管

二极管结构和制造的一系列改进带来了 20 世纪 80 年代的进步。蓝光激光二极管从令人惊讶的突破之中脱颖而出，为其背后的三位男士赢得了 2014 年诺贝尔物理学奖。

笔者在 1991 年 12 月召开的 Materials Research Society 会议上预先看到了蓝光激光二极管，一位朋友对

IXBLUE
新产品! 1000nm低损耗调制器
新产品! 适用于高功率2μm激光器的掺杂光纤

特种光纤
光纤布拉格光栅
铌酸锂调制器
各种调制方案
www.photonics.ixblue.com light.augmented IXFIBER AN IXBLUE BRAND PHOTLINE AN IXBLUE BRAND

笔者说“你一定要看看这个”，并且把笔者介绍给名古屋大学的赤崎勇。他从口袋里掏出一个看起来像红光激光指示笔的东西，但发出的是明亮的蓝光。赤崎勇解释了他和天野浩已经报道了通过如何操控氮化镓，研制成了第一个明亮的蓝光LED，而此前氮化镓一直仅限于非常低效的运行。1993年，日亚化学工业株式会社的中村修二拿下了第二项突破，实现了2.7%的转换效率和明亮的蓝光商业LED。[6]

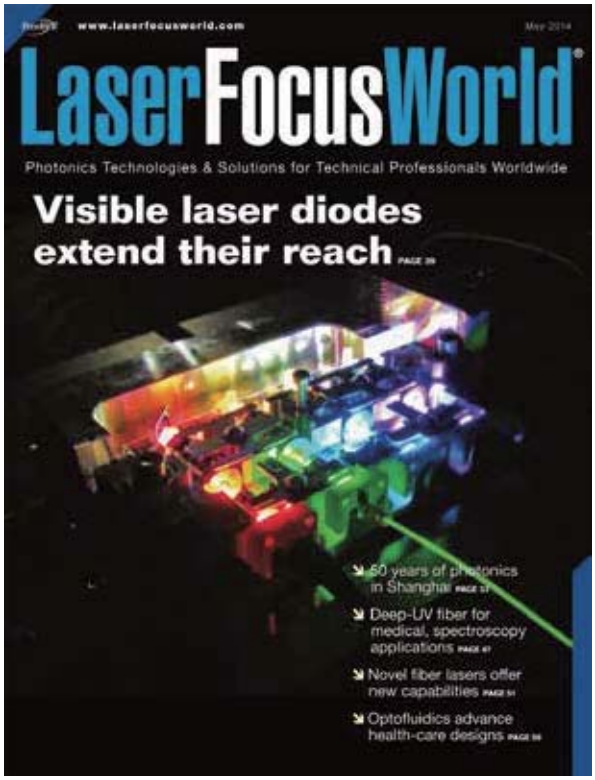


图8：2014年5月刊封面展示了单个Toptica iChrome模块中的激光二极管通过保偏单模光纤发射不同的颜色。

在1994年8月对蓝光激光器的前景展望特刊中，两位SDL研究人员提到了蓝光氮化镓LED，但写到“基于这些材料的商业半导体激光器至少需要几年的时间”，并建议通过近红外二极管的谐波来产生。其他研究人员继续研发ZnSe激光二极管，1994年12月刊报道了463 nm的纪录。

但这并没能阻止中村修二。1995年11月，他通过展示明亮的蓝光和绿光LED阵列，在Materials Research Society会议上取得了巨大成功，然后他演示了第一台InGaAs激光二极管，发射417 nm的脉冲光。[7]“GaN材料将成为II-VI族激光器有力的竞争对手”，笔者在1996年3月刊中这样写道。

事实证明这句话是多么的轻描淡写。GaN二极管完全打败了短命的II-VI族激光器。这是对光盘开发者们梦想的回应，他们曾希望通过405 nm紫光将整部完全高清短片挤进一张12 cm的光盘中。格式战争和下载使得蓝光市场缩水，但基于相同技术的明亮蓝光氮化镓LED被证明是固态照明的福音。

更高的销售额和更高的功率

上世纪90年代中期，电信市场和互联网一起蓬勃发展，在1997年1月刊的市场回顾中，估计通信激光器的销售额将占据1996年激光二极管16亿美元全球市场额的一半以上。相应的，激光二极管的销售超过1996年所有激光器28亿美元总额的一半。

高功率二极管的销售额要低得多，但增长迅速。在1994年12月的技术回顾中，我们注意到高功率二极管已经超越了二极管泵浦，在图形艺术、医学和材料加工领域取得进展。线性GaAlAs阵列已经达到了70 W的CW功率，那些巴条可堆叠在二维阵列中，以准连续运行模式发射5 kW的峰值功率。新的生长技术使得InGaAs二极管在泵浦铒和镱、以及直接二极管应用的900~1000 nm波段提供高功率。

直接二极管的首个应用是软焊和塑料焊接。奔驰采用直接二极管对其首个遥控车钥匙进行塑料焊接，德国通快公司的总经理Georg Treusch回忆说。该系统将巴条发射的40~60 W功率耦合到光束传输光纤的圆形纤芯中。现在，直接二极管可以提供数千瓦的功率。“软钎焊和焊接需要4~6 kW的功率，以及要400~600 μm的光斑，这些直接二极管都可以提供，”Treusch说。

切削金属需要更高的强度，以及仅为100 μm的光斑尺寸，利用二极管达到那些水平需要光束合束，正如我们在2012年6月刊中所描述的。通过复用多个波长，美国TeraDiode公司目前能够通过100 μm的光纤提供2 kW的功率。但问题是它的成本与碟片或光纤激光器相比怎样，Treusch说。不过，他指出光纤和碟片激光器都需要激光二极管泵浦。二极管泵浦正一路迈向固态激光器功率的顶峰，驱动能够输出100 kW CW光束的光纤和板条激光器。

在2015年1月刊的市场回顾中，2014年激光二极管的销售占到94亿美元全球市场总额的44%——但没有包括光纤或固态激光器内置的泵浦二极管。我们没有计算多少比例的二极管泵浦激光器销售可以归因于内置泵浦二极管，但显然是巨大的。因此，如果能够将那些泵浦二极管的销售额与其他激光二极管的销售额相加，将

会使激光二极管在激光器市场占据的份额提高到一半以上。

展望

激光二极管在材料加工领域有着光明的未来，Treusch 说。“密集波分复用可以在很宽的波长范围内耦合单模发射器，以实现千瓦级范围的单模输出。”但他预计二极管将继续与光纤、碟片以及二氧化碳激光器分享市场份额，各自占据自己的位置，因为应用需求千差万别。例如，工程师需要柔性光纤光束传输用于热处理，因为与直接二极管阵列的宽光束相比，它能够更好地覆盖汽车部件复杂的几何形状。

目前二极管的峰值效率为 72%~74%，虽然在更高的运行功率下会有所下降。“每个人都正致力于逐步提升效率，”Treusch 说，有可能达到 80%。这种效率是任何其他电激发激光器所不能比拟的。

在尺寸和功率天平的另一端，纳米激光器已经成为一项热门的研究领域。半导体和金属边界的表面等离子体效应，可以将能量集中投入到小于一个立方波长的体积内，正如笔者在 2012 年 9 月刊中 的“Nanolaser Progress: Surface plasmons and nanolasers”一文中所写到的（见图 7）。小的体积预示着快速调制和低阈值，但使发射集中是一项挑战。纳米级 LED 可能会做出更好的光源，约翰·霍普金斯大学的 Jacob Khurgin 提出。[8] 然而，这却带来了这样一个问题：在纳米尺度上，激光器和 LED 的区别在哪儿？

半导体材料是另一项前沿。资深编辑 John Wallace 在 2014 年 5 月刊中写道，绿光 InGaAs 激光二极管已经进入市场（见图 8）。然而，商业化的 InGaAs 激光器尚未达到超过 530 nm 的波长，在黄光以及短于 370 nm 的紫外波长留下激光二极管的空白。LED 也许可以填补部分市场空白。

由于大多数激光二极管藏在更大的系统中，很容易遗漏它们的影响，这种影响远远超出孕育了五位诺贝尔奖得主。如果没有激光二极管，“就没有互联网，”美国 Infinera 公司的联合创始人兼总裁 David Welch，在激光二极管 50 周年的激光与光子学市场研讨会上如是说。❑

参考文献

1. J. Hecht, "The breakthrough birth of the laser diode," Opt. & Photon. News 38 (July/Aug 2007).
2. I. Melngailis, "Longitudinal injection-plasma laser of InSb," Appl. Phys. Lett. 6, 59–60 (1965).
3. Gemini 7: The NASA Mission Reports.
4. J. H. Hsieh and C. C. Shen, "Room-temperature CW operation of buried-stripe double-heterostructure GaInAsP/InP laser diodes," Appl. Phys. Lett. 30(8), 429–431 (1977).
5. D. R. Scifres, R. D. Burnham, and W. Streifer, "Phase-locked semiconductor laser array,"Appl. Phys. Lett. 33(12), 1015–1017, 1978.
6. S. Nakamura, T. Mukai, and M. Senoh, "Candela class high brightness InGaN/AlGaN double heterostructure blue light emitting diodes," Appl. Phys. Lett. 64, 1687 (1994).
7. S. Nakamura et al., Jpn J. Appl. Phys. 35, L74–L76 (Jan. 15, 1996).
8. J. B. Khurgin and G. Sun, "How small can 'Nano' be in a 'Nanolaser'?" Nanophotonic 1, 3–8 (2012); DOI: 10.1515/nanoph-2012-0017.



激光功率计

激光功率计 OEM 应用

文/顶尖科仪（中国）有限公司

随着社会的发展，物质基础和消费水平都在提高，人们对产品的要求也不再停留在只是实现功能的最初级标准。特别是有可能危及人身安全的激光医疗以及高功率激光加工领域，在线实时检测光功率的要求更加迫切。下游用户的要求促使越来越多的设备集成商完善功率监测方面的功能，这是 OEM 功率计得到广泛应用的根本原因。

OEM 功率计相对于独立使用的功率计有以下优势：

（1）价格低。便宜就是王道，因为量程小，封装简单，不带制冷等方面的因素，OEM 功率计的价格比标准功率计便宜很多。这对于重视成本的工业集成领域来说非常重要。成本越低，无论对提高利润空间还是对目前日益激烈的设备价格竞争，都是一大优势。

（2）使用方便。不需要设备的最终使用者再额外购买功率计，而是将这个功能集成到设备里，更多的功能本身就是设备的卖点。

（3）实时监控功率。所谓“实时”的意义体现在两方面：可以在加工之前，就预先判断激光功率是否正常；还能在不中断加工的情况下进行功率监控。前者对激光医疗领域和工件比较昂贵的加工领域意义重大；后者有利于提高工作效率。最终体现的特点是安全、经济和效率。

（4）模拟信号输出。模拟信号表征探测到的光功率值，可进入反馈电路进行反馈控制。如果光功率下降了，通过相应地提高电流来补偿模拟信号的下降量，保持光功率不变，从而自动实现功率的稳定，保持设备长期良好运行。这样的模拟信号还能通过模数转换电路，转换成数字信号，很容易显示给最终用户。

OEM功率计分类

在 OEM 应用功率计产品中，Laserpoint 公司的产品具有典型性，其产品可根据集成程度分成以下几类。

传感片：（也有人称之为传感盘）是最简单、最初级的功率探测器件（见图 1）。它适合于设备集成需求量大、研发团队比较强大的厂家。

初级探测器：将传感片经过专业封装后，就可以输出模拟信号，成为初级探测器（见图 2）。

OEM 功率计：再将初级探测器封装在热沉上就可以工作了。只不过输出的信号比较弱，通常还无法直接使用。通常需要结合 OEM 表头，通常是 RS232 或 USB 的模块，直接接到工控机上。

这种集成后的 OEM 功率计实际上已经具备了功率计的完整功能，是一个需要封装在热沉上的廉价功率计（见图 3）。这个适合于需求量不大的设备集成。不需要任何研发力量都可以办到。在设备集成的初级阶段，这种产品的需求比较多。

集成放大模块的探测器：另外，



图1：Laserpoint公司的SD系列传感片。



图2：Laserpoint公司的CSA/CSW系列封装的探头。



图3：Laserpoint公司USB系列OEM功率计。



图4：Laserpoint公司AHA / AHW系列集成放大电路的探头。

对于有电路研发实力的团队来说，还可以给这种封装好的探头制作放大电路，将微弱的 mV(毫伏) 信号放大到可用的大信号。

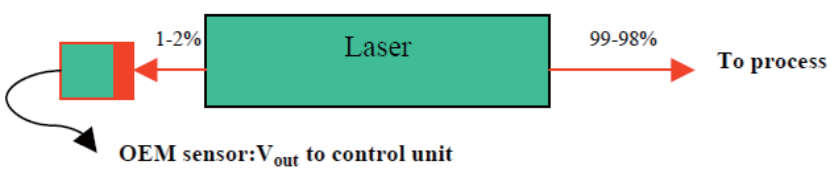
当然，如果你没有能力研发放大电路，或者觉得不值得投入大量人力物力研发这种小电路模块，那么还是建议直接使用带放大的探测器（见图 4）。这种集成了放大模块的探测器输出的是最高几伏的电压模拟信号。

无论是输出弱信号的封装探测器，还是集成放大电路的探测器，都还需要集成在热沉上进行工作，功率更高的情况下甚至还要用水冷方式制冷。别担心，高功率探测器自然会带有水路接口，您只需要把水通过水管接到探测器上就行了。当然，接水管毕竟是件麻烦事，不到万不得已，笔者还是建议通过优化结构来采用低功率的 OEM 风冷探头。

OEM功率应用方案

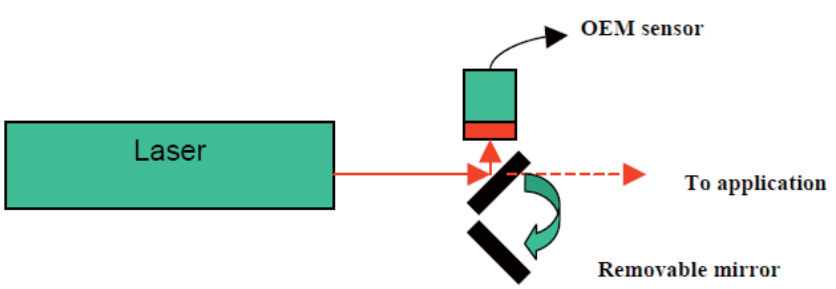
首先来探讨一下 OEM 功率计的常规应用方案。

（一）利用激光器的腔镜漏光来监测功率



这是利用腔镜的部分透射光来监测。虽然是全反镜，仍然会有部分透射光，根据透射光和输出激光的强度比例来监测光强变化。这种方案适合于激光器生产制造商。现在大多数进口的高端激光器都是利用这种方案来实现功率的可视性。

（二）激光器输出后再检测



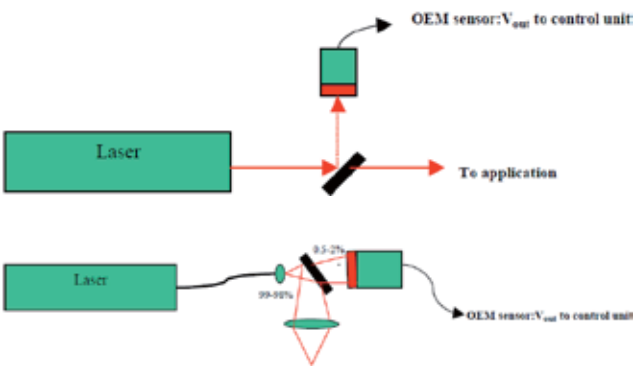
很多设备集成商并不能自己生产激光器，买来的激光器不具备功率显示功能的事实已经无法改变，他们也不能对激光器进行任何改造。这种情况下，他们只能在激光输出之后，在光路上想办法。在光路上增加一个移动的反射镜来切换光路。当需要检测光功率的时候，移动反射镜将光路切换到 OEM 探测器中，检测一下功率，看看是否正常，如果正常，再把反射镜移开，进行加工。这种方案比单纯的向上游激光器厂家提出功率显示功能更有效。因为激光传输系统是有损耗的，激光器的功率并不代表最终作用在工件上的光功率，二者可能有偏差，对于紫外激光系统来说，这种偏差可能还很大。另外，激光器可视的光功率值很难被嵌入到设备加工软

顶尖 PINNACLE
Your Strategic Partner in Photonics
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
S100光纤光谱仪
波长：180-1100nm
分辨率：0.5nm
Xiton Photonics
调Q固体激光器
波长：213nm 功率：150mW
脉宽：<7ns 重频：0.1-30KHz
能量：>15μs M²：<1.6
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

件中，也很难被用来作为反馈信号。因此，对于大多数设备集成商而言，这种光路中 OEM 功率集成是比较切实可行的。

当然，这个结构还有两个缺点：一是功率监测不具备实时性，检测的时候无法加工，加工的时候无法显示实际功率；二是将全部光功率都切换到功率探测上，对于 OEM 探测器的量程和散热都提出了考验。特别是对于几十瓦、甚至几百瓦的光功率，如果全部被 OEM 探测器接收，则水冷必不可少。接水管显然是很麻烦的事。因此，我们还可以将该方案改造一下。

（三）激光器输出后部分分光监测



利用分光片，分出一部分光，或者在某个 45° 全反镜后面检测漏过去的光。显然，通过这种改造以后，能够全面克服之前全光路切换的缺点，能够实现：实时监测，不影响加工；分光比例小，不需要大功率 OEM 探测器，也不需要水冷，通过热沉传导散热就可以了，而且价格便宜，强烈推荐这种方案。

OEM功率计标定

OEM 功率计与标准功率计不同，它不是拿来就能直接用的，它是需要集成的，信号（数据）也需要处理。这个信号的处理过程就是读数标定。OEM 功率探测的标定包含两个方面：

（一）模拟信号和数字读数的标定

SD 系列和 CSA/CSW 系列 OEM 功率计的灵敏度是标称指标，由于传感器个体差异，热沉封装以及散热等方面的不同，实际的灵敏度需要在封装结束后进行标定。也就是说实际功率值和电压值之间的对应关系还需要用标准功率计进行标定。

（二）分光比例标定

如果只是部分分光测量，测量的读数和总光功率之间的比例也需要标定。建议在设备应用软件上增加一个管理员密码管理的比例系数，用来校准实际功率值。



IPL探针

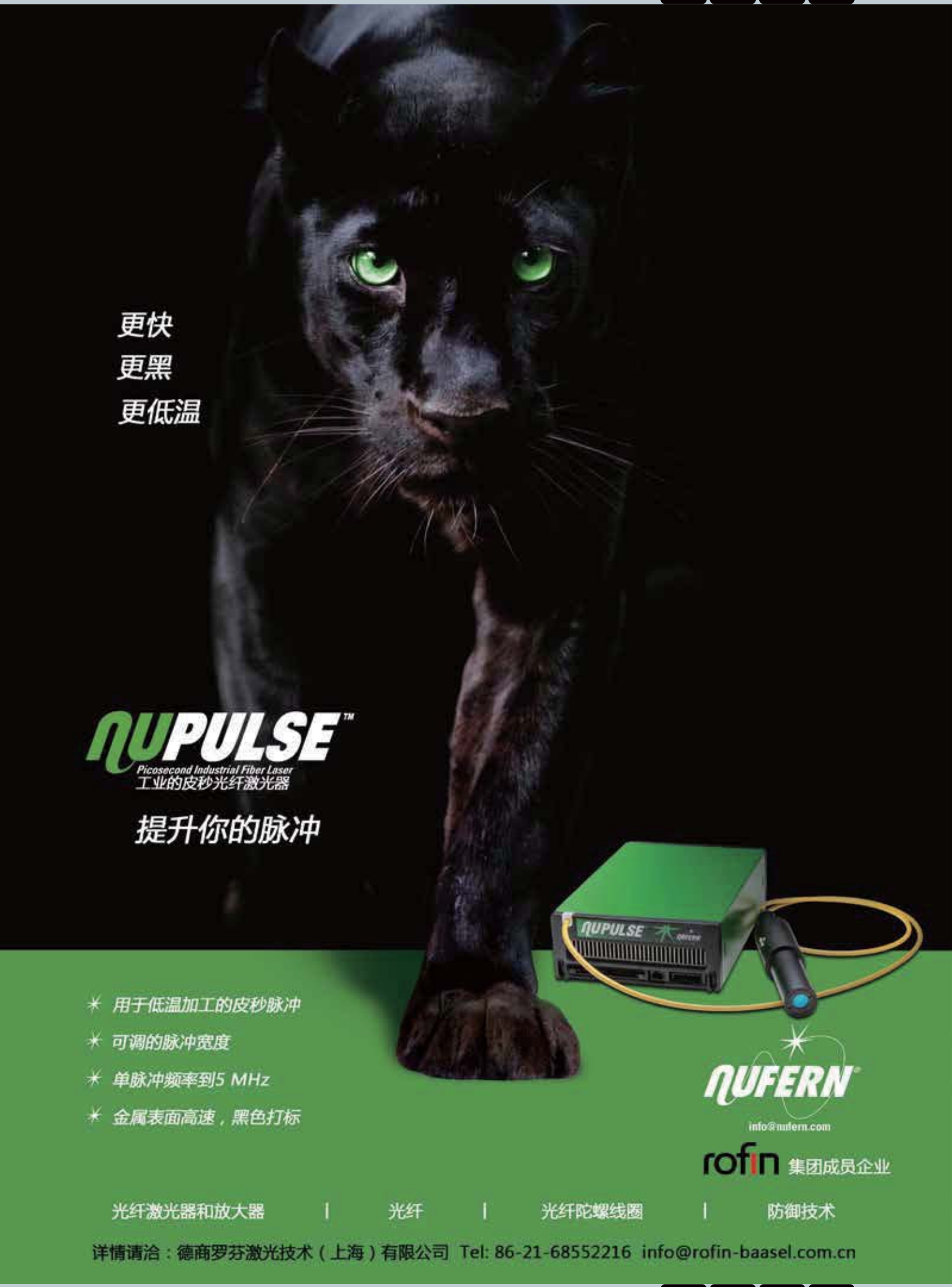
结语

OEM 功率计根据封装程度、功率量程、有效口径、膜层材料的不同，分为很多款式。除了以上介绍的常规款式，为了满足功率特别高的应用需求，还有 OEM 探针。当然，OEM 探针使用比较麻烦，除了 IPL 应用外，通常不建议。

对于 OEM 应用来说，独立的表头就成了累赘，不但价格贵，而且占用空间。事实上最终用户只需要在应用软件上能看到功率值即可，这样，OEM 功率计通过 USB 线直接和工控机连接就成了最佳的选择。在此需求上，逐渐形成了用电脑取代表头的新趋势，因为无论是在实验室还是在工厂车间，电脑都是比较常规的设备。

Laserpoint 的产品，无论是独立工作的探头还是 OEM 探头，现在都有 USB 版本。特殊情况下，由于功率过高或者单脉冲能量过大的问题，有的应用也需要把标准的功率计探头集成在设备里面；还有的环境比较特殊，人工无法在设备旁边（例如隧道、有辐射的环境），表头存在与否已经无关紧要，重要的是测量结果能够通过数据线传输出来。因此，USB 版本的标准独立探头就显得很实用了。

有需求就会有对应产品。探测器永远跟着需求的方向发展。而我们要做的就是根据实际的测量需求、根据研发实力、根据实际情况来选择适合的探测器。❑


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
NUPULSE
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

OVC EXPO 2015

第12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

OVC EXPO

2015年11月12-14日 武汉国际博览中心

中国最大光电子产业基地的国际盛会

展示范围：激光 | 光学 | 3D打印 | 工业自动化

2014 展会回顾

- 420家 参展商
- 50,000m² 展出面积
- 2,1493名 专业观众及买家
- 15个 境外展团
- 15场 行业高峰论坛
- 88家 专业媒体全面推广

扫微信二维码 了解更多精彩

“中国光谷”国际光电子博览会暨论坛组委会

电　话：+86-27-87115260

传　真：+86-27-87115261

邮　箱：ovcexpo@ovcexpo.com.cn

展馆地址：湖北省武汉市汉阳区鹦鹉大道619号

TRUMPF IPG Raycus CHUTIAN 楚源激光 Newport rofin 华工激光 MITSUBISHI ELECTRIC HAN'S LASER 大族激光 MADA TERADIODE Huaray 武汉团队 DILAS

了解更多详情，请登陆 www.ovcexpo.com.cn 专业观众登陆官网进行预登记，即可享受免费住宿！

sungoal尚格会展 20年，再出发！

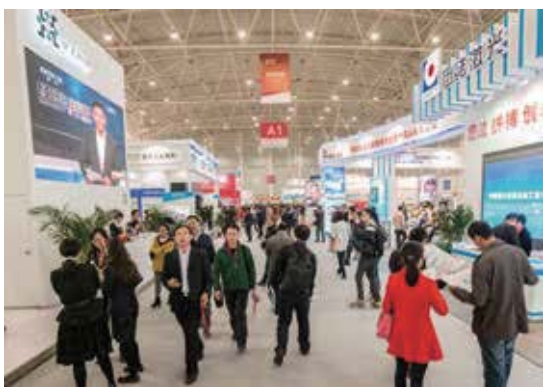
OVC EXPO 2015

新转变中的武汉光博会

“中国光谷”国际光电子博览会暨论坛（以下简称“光博会”）由国家八部委和湖北省人民政府共同主办，已成功举办十一届，获得了 50 家国内外行业联盟的鼎力支持。目前，光博会已经跻身全球知名光电子专业展会行列，是继美国 OFC 光通信展、德国慕尼黑激光展和日本东京光电展后，成长起来的世界光电子领域国际知名、国内最具影响力和吸引力的光电子专业博览会。







2014 年第十一届光博会展览面积 5 万平方米，参展企业 420 家，境外展团 15 个。中兴、华为、长飞、烽火科技、光迅科技、华工正源、电信器件、日本电计、扇港、联想、新芯、中国移动、中国联通、中国电信、国家广电、国家电网、IBM、微软、西门子、新思等世界 500 强及国内外行业领军企业纷纷亮相光博会。展会为期三天，共接待专业观众 21493 名，同期举办的 15 场高峰论坛共吸引 2700 余名专家学者与会聆听。现场签约项目 18 项，协议金额达 133 亿元。

第十二届光博会定于 2015 年 11 月 12-14 日在武汉国际博览中心举行，本届展会依据光电子、物联网在先进制造业、信息产业全产业链上的价值和地位，初步形成了互联网 + 产业跨界融合的格局。

光博会在保持自身权威优势的同时，也在不断“寻求改变”。

首先，参展商服务更加细致有成效：“促成展期现场交易”成为展商服务重点。组委会首创“参展商采买邀请提名表”，将“展商展出展品”、“需重点推广新品”、“最新技术”、“企业计划拓展业务的重点厂商”等方面的信息进行收集，便于一对一地开展邀观工作，提升现场交易率。

其次，观众买家服务更加系统更用心：打造舒心观展体验成为工作重点。为专业观众及买家提供免费星级住宿、免费摆渡车、交通现金补贴，让观众免于旅途劳顿；组委会甚至为买家提供采买签约奖励，并提供一对一服务，扫除现场采购的后顾之忧。

第三，现场活动更具创新意识。结合现今“全球经济放缓、中国经济进行转型”的大环境，光博会不仅将“互联网 +”贯穿于展会其中，更打造光博会“创客展区”，将最新奇的创客点子融入展会。通过网罗优秀的创客团体参展，为创客提供绝佳的展示平台，吸引有人才、资金、创意、物资需求的企业家关注，促进光电产业的创新创业。配合全新升级的定制版“穿越光谷”等活动，将中国光谷乃至全国的光电产业发展成就以活动形式得以展现。

本届光博会还将进一步提升激光光电子、光通信及新一代信息产业、3D 打印等强势板块的展览品质，配合 10 余场高规格论坛和卓有成效的采购对接活动，为中外企业、行业领域的交流合作搭建广阔的平台。

（广告）

可调谐光源

掺铥光纤 MOPA 泵浦可调谐中红外 OPO

文/ John Wallace

中红外光谱区域是很多分子吸收共振的区域，其有助于识别有机和无机分子。因此，中红外光谱区域已经成为生命科学、医药、农业、食品、安全和取证以及军事等领域传感和遥感应用的焦点。

中红外区域中包含几个低吸收大气窗口，从而能够实现远程传感。此外，由于中红外光不能渗透到人眼中，因此该区域被认为是人眼安全的光谱区域。

对于中红外光谱的应用，至关重要的一点是开发具有足够高峰值功率 / 能量、从而允许可靠的光谱测量的可调谐光源。一个常用的方法是利用光学参量振荡器（OPO）实现光源的非线性频率转换，进而达到想要的波长。

用于此目的脉冲光纤激光源，过去一直由于光纤中的非线性光学特性而在脉冲能量方面受到限制，并且这种情况会因为光纤的严格束缚和需要较长的长度而恶化。为了克服这一障碍，中央佛罗里达大学 CREOL 汤斯激光研究所的研究人员，正在研究一种新型的基于光纤的主振功率放大器（MOPA）光源，其包含一个掺铥（Tm）单模光纤振荡器和两个灵活的掺铥光子晶体光纤（PCF）放大。[1] 该光源用于泵浦二磷化锗锌（$ZnGeP_2$ 或 ZGP）OPO。

4 m 长的保偏振荡器，其纤芯直径和包层直径分别为 10 μm 和 130 μm，用激光二极管输出的波长 793 nm、功率 35 W 的光泵浦；一个声光调制器 Q 开关用于切换振荡器，最终在 20 kHz 重复频率下产生了 100 ns、25 μJ 的脉冲。

来自振荡器的每第五个脉冲（4 kHz 重复频率）的一个 6.5 ns 长的部分，被电光调制器选取并放大。第一部分 Tm：PCF 放大器长 2.7 m，用激光二极管输出的波长 793 nm、功率 100 W 的光泵浦；第二部分放大器长 1.4 m，可以用激光二极管输出的波长 793 nm、功率高达 300 W 的光泵浦（由于 PCF 聚合物包层的熔化，最终选定的泵浦功率为 45 W）。最终，送入 OPO 的脉冲能量约为 0.84 mJ，围绕中心波长 1980 nm 附近不足 1.8 nm 的 10 dB 线宽，脉冲持续时间为 7 ns，并且呈非对称形状（见图 1），其产生的峰值功率为 121 kW。

该 OPO 具有双重共振振荡器（DRO）和一个 20 mm 长的裂反射（split-reflectivity）DRO 腔；一个 4X 还原望远镜（reduction telescope）使泵浦光与 OPO 腔的 335 μm $1/e^2$ 模式半径匹配。研究人员分别使用 7 ns 和 100 ns 脉冲进行了两个单独的实验，以分别获得最高的中红外峰值功率和脉冲能量。最终，7 ns 泵浦脉冲获得了 28 kW（165 μJ 能量）的峰值功率；100 ns 脉冲获得了 280 μJ 的脉冲能量。研究人员表示，在 3.3~4.7 μm 的波长范围内，用于信号和雷达的 OPO 的波长调谐也得以展示；利用优化的反射镜，还能在较长的波长获得良好性能。❑

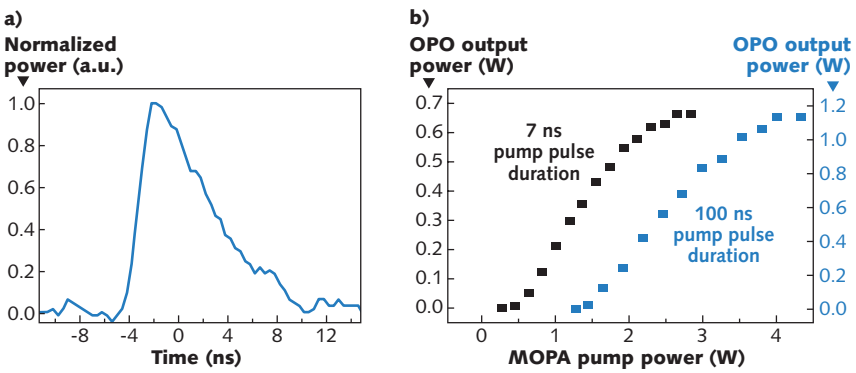


图1：由于第一部分放大器的高增益，导致Tm:fiber MOPA所产生的脉冲具有非对称形状（左图）。右图中显示了对于持续时间为7 ns和100 ns的MOPA脉冲，MOPA泵浦的OPO输出功率与MOPA泵浦功率之间的关系。

参考文献

1. M. Gebhardt et al., Opt. Lett. (2014); http://dx.doi.org/10.1364/OL.39.001212.

CASTECH® 福晶科技

欢迎光临：

CIOE 2015

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，创立至今二十余年，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





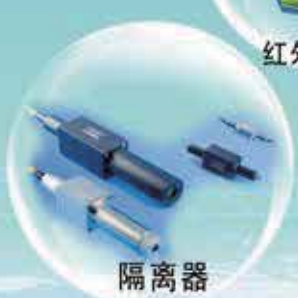














产品系列

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)

地址：中国福建省福州市软件大道89号F区9号楼 邮编：350003
电话:+86-591-83710533（总机）83771604 83512926（中国区）
传真:+86-591-83711593 Http://www.castech.com
E-mail:sales@castech.com

技术中心 Technologies Center

高功率激光二极管阵列

二极管阵列成为结构紧凑的高功率光源

作者：John Wallace

激光二极管阵列凭借着自身的高功率密度、高效率和长寿命等特性，已经成为材料加工、激光器泵浦以及其他一些应用中不可或缺的光源。

高功率激光二极管阵列由单个激光二极管堆叠或多条激光二极管制成，或者在某些情况下采用垂直腔表面发射激光器（VCSEL）。高功率激光二极管阵列能够输出瓦级到千瓦级的光功率，可用于激光器泵浦、工业加热、照明或者作为光纤直接二极管激光器的输入，用于材料加工或医疗领域。

激光二极管通常比其他类型的激光器具有高得多的电光（墙插）效率；实际上，它们是目前已知的最高效的光发射器之一。激光二极管阵列的缺点是其光束质量相对较差——在近期内尚无法预期到会有单模千瓦级激光二极管光源。然而，有很多应用并不要求单模光束；而且，激光器制造商正在不断改进光束合束技术，以实现亮度更高的高功率激光二极管光源。

从瓦级到千瓦级

“高功率二极管激光器通常基于巴条或单管，”德国 DILAS 公司副总裁兼总经理 Steve Patterson 说道，“事实上，它们是连续关系，一端为单管，另一端为巴条；巴条的宽度通常为 1 cm 或更窄，由单片半导体上的多个单管组成。二极管激光器随后安装在各种类型的热沉上，热沉的选择取决于工作条件、以及二极管激光器巴条最终可能采用的封装类型。

Patterson 介绍说，德国 DILAS 公司可提供输出功率从几瓦到数百瓦的巴条，输出波长范围从 635 nm（可见红光）到超过 2300 nm，并且某些情况下的电光转换效率能达到 70% 以上。

已安装好的巴条可以封装为阵列，产生高达千瓦级的总输出功率，无论输出是进入自由空间还是耦合入光纤中。Patterson 表示，有了这些各种各样的能力，“高功率激光二极管阵列可以满足固体激光器和光纤激光器的传统泵浦、皮肤病或光动力疗法等医学领域的直接二极管应用、激光熔覆等工业领域的材料加工、以及投影显示和提升先进医疗成像技术等新兴市场的各种应用需求。”

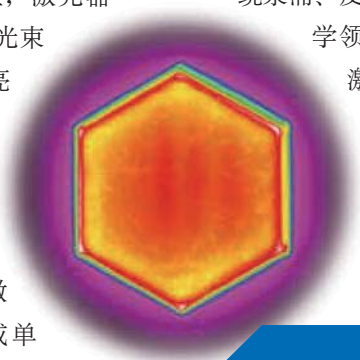


图1：德国DILAS公司制造的200 W激光二极管阵列的输出光束，用于增强MRI成像，输出光束为六边形，光束尺寸约为63 mm。

Patterson 指出，在过去一年中已经涌现出了很多新发展：用于影院显示和医疗光动力疗法的红光和蓝光激光二极管的输出获得增强；输出为 10 kW 级、波长范围从 800~1000 nm 的光纤耦合系统，通常适用于各种材料加工，包括焊接；并且还开发出了用于提高磁共振成像（MRI）的产品。

“二极管激光器技术的方方面面都面临着挑战。”Patterson 说道。这些挑战包括二极管激光器的基本外延设计的发展、将二极管激光器的光谱线宽窄化到能适用于特定应用的体布拉格光栅的进步、允许对模块发射的光谱线进行调谐的定制封装设计、某些应用还要求采用定制光学元件以便能够形成精确的光束形状。

Patterson 介绍了 MRI 模块的背景（见图 1），并解释说通过一个被称为自旋交换光泵浦的过程，它允许氙的特定同位素超极化；从模块出射的窄线宽、精密波长圆偏振激光激发气池内的铷电子。MRI 使用超极化气体，从而允许观测其他手段无法触及的身体过程，例如肺功能和大脑的血液丰沛。该模块发射波长为 794.7 nm、线宽小于 0.3 nm 的圆偏振光，并且采用光学隔离，能够耐受 100% 的背反射。

直接二极管

尽管激光二极管巴条被广泛地用作激光器泵浦源，通过使用合适的光

激光世界 LaserFocusWorld China 广告索引 Ad Index | 目录 Content | 推荐朋友 Refer a friend | 免费赠阅 Subscribe ACT

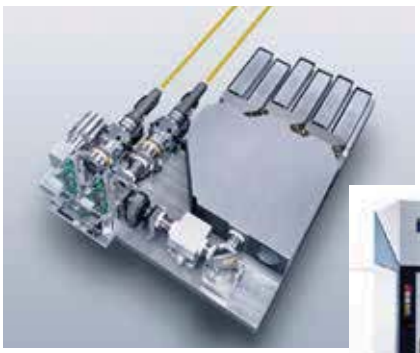




图2：在通快公司的直接二极管光源单元中，高功率激光二极管巴条的出射光经过光学合束，被送入光纤（黄色）中，用于材料加工。插图所示为6 kW直接二极管激光器。

学技术，同种类型二极管输出的光可以直接耦合进入光纤，以产生高功率的“直接二极管”激光器，通快激光技术中心的激光器生产经理 Tracey Ryba 如是说。例如，通快的碟片激光器的泵浦源所使用的 940 nm 二极管巴条平台，也是通快千瓦级直接二极管系统所采用的光源。

合并激光二极管输出以提高功率、同时保持亮度的光学技术包括空间合束和光谱合束。然而，包括如何进行精心的光学设计以及如何使最终的光束亮度大幅提升等细节问题，通常都是是保密的。

通快公司直接二极管系统的二极管巴条安装在被动冷却热沉上，不需要高质量的去离子（DI）水，并消除了微通道失效的可能，Ryba 解释道（见图 2）。“最终的光纤耦合直接二极管激光器使用了一个、两个或者三个波长的组合，具体取决于激光器的功率，波长范围在 920~1020 nm 之间。”Ryba 说道。该公司的 150 W 和 300 W 直接二极管激光器具有 8 mm-mrad 的光束参量乘积（BPP）；600 W 和 900 W 激光器的 BPP 为 12 mm-mrad；2~4.5 kW 高功率激光器的 BPP 为 30 mm-mrad，3~6 kW 最高功率型号的 BPP 为 50 mm-mrad。

“功率 150~300 W 的激光器通常用于塑料焊接、软钎焊以及其他一些低功率焊接应用；”Ryba 表示，“功率 600~900 W 的激光器的理想应用是薄金属焊接和少量切割；BPP 为 30 mm-mrad 的产品适用于深度渗透和热传导焊接、热处理和激光金属熔覆；BPP 为 50 mm-mrad 的激光器的典型应用是铜焊、热处理和激光金属熔覆。”

输出位于 9xx nm 波段的激光器的波长，稍短于传统的 1 μm 激光器的输出波长，例如碟片激光器、光纤激光器和 Nd:YAG 激光器。这些较短的波长使得高反射性材料，如紫铜、黄铜和铝具有更好的吸收，Ryba 说道。此外，低光束质量的产品由于具有大发散角和更明显的平顶模式分布，是铜焊和表面处理的理想选择，尤其是与高光束质量的碟片激光器和光纤激光器相比，后两者需要相对复杂的光束传输以及长焦才能在工件上实现相同的预期效果。

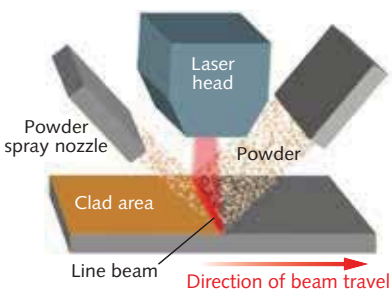


图3：用于高功率激光二极管粉末熔覆的典型工艺几何特征。金苹激光利用相干公司的10 kW近红外高功率直接二极管激光器，对顶支撑油缸加工熔覆层（右图）。

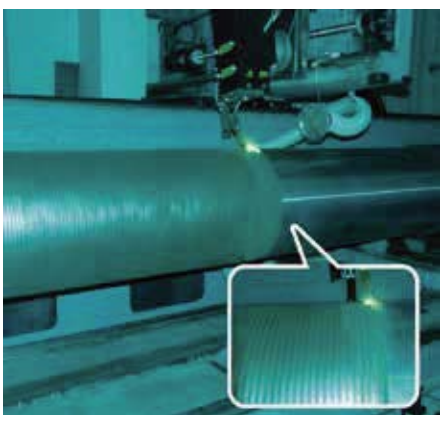
正在取代传统工艺

高功率激光二极管的可以在材料加工的特定区域改变物质的属性。“这些产品的主要‘直接二极管’应用，是通过热处理（历史上被称为表面硬化）和熔覆层改变大型金属零件的表面性质。”相干公司市场总监 Frank Gaebler 解释道。

相干公司生产多种激光二极管和激光二极管阵列，具备广泛的功率范围，具体产品从单管到线性巴条（光纤耦合输出和自由空间输出），再到巴条的二维阵列。相干公司最强大的系统能够产生 10 kW 的输出功率，输出波长 975 nm，据 Gaebler 介绍该系统内包含五个巴条，每个巴条的额定值降至 2 kW，以确保系统能在标称功率甚至更高功率下运行数万小时而无需维护。

激光器系统的自由空间输出可以配置为提供各种交替的光束形状（宽度 1~12 mm，长度 6~36 mm），以确保能够通过精密控制工艺参数实现大面积快速加工。

该产品主要面向大面积熔覆应用，以在金属表面（通常是某种类型的钢）形成一种冶金结合层（见图 3）。“通常这样做是为了能够在不改变零件的预期整体特性（如拉伸强度和刚性）的前提下，改变材料的表面



属性，以提高零件的耐磨性和耐腐蚀性，”Gaebler 说到，“激光熔覆也经常用来于修复磨损的零件。”

Gaebler 解释道，传统上，大型零件主要通过热喷涂（例如高速氧燃料喷涂，HVOF）、等离子转移弧（PTA）或者较不常见的电镀方式来实现熔覆加工。热喷涂是一种快速且相对便宜的工艺，金属粉末被熔化并喷射到基材上，随后在那里固化；但问题是这种喷涂层不是通过冶金方式结合到表面上的，因此限制了其长期耐磨性，而且最终涂层还具有不同程度的孔隙率，进而影响其耐腐蚀性。

相比之下，采用激光二极管的方法不仅能熔化粉末，而且还能将熔化基材表面非常薄的一层，因此能够产生具有非常低孔隙率的完全结合的层。

上海金萃激光技术有限公司致力于激光熔覆应用，其在激光熔覆、热喷涂、加工 / 研磨和材料 / 合金专门技能等方面具有丰富经验，Gaebler 介绍说。

金萃激光目前拥有两台基于高功率直接二极管激光器的激光熔覆系统，其中采用了相干公司的 10 kW 半导体激光器。金萃激光为一些重工业领域的客户提供服务，如石油化工行业和煤炭开采。需要熔覆的典型高价值部件是用于防止隧道和画廊坍塌的液压顶支撑（见图 3）。金萃激光采用像不锈钢之类的材料熔覆顶支撑的油缸和活塞，以便获得更好的耐腐蚀性。

直到最近，金萃激光一直采用电镀作为涂覆这些支撑零件的首选方法。金萃激光的 Kenneth Liao 经理表示：“简单来讲，激光熔覆提供了更好的耐腐蚀性，从而使这些支撑零件具有更长的寿命，这主要是因为激光熔覆能够产生完全致密的涂层，而电镀工艺则通常达不到这样的效果。”

用于成像和手势识别的VCSEL阵列

高功率激光二极管阵列并非都得由边发射二极管制成。例如，美国 Princeton Optronics 公司使用垂直腔面发射激光器（VCSEL）用于照明和其他用途。

“激光二极管的一项主要大批量应用是用于计算机、平板电脑和手机中的 3D 成像和手势识别，”Princeton Optronics 公司 CEO Chuni Ghosh 说，“像 Google Project Tang 和 Intel RealSense 这样的项目，是正被制造商采纳、在不久的将来进行生产的平台技术。VCSEL 阵列特别适合这样的应用。”

深度传感是通过结构光、飞行时间和立体方法实现，Ghosh 解释说。“与上述三种方法中的其他技术相比，VCSEL 颇具优势。其中的一项优势是 VCSEL 能够实现表面安装（与边缘发射器的 TO-can 封装相比），这使得高度非常小。”他还补充说，带投影透镜的完整照明器需要 3 mm 甚至更小的高度。

Princeton Optronics 公司生产的 VCSEL，在温度为 60℃ 的情况下具有高于 40% 的墙插效率，在 70℃ 下运行具有超过 100 年的可靠性（平均失效时间或 MTTF）；这些指标是通过“一些专利的工艺创新”所获得的，Ghosh 说道。

在结构光应用中，光斑图案被投影到感兴趣的物体上（见图 4）；使用一台相机，就可以从所述光斑的分布和形状来估计深度。在飞行时间测量中，需要非常快的上升和下降时间，Ghosh 解释说。VCSEL 阵列提供非常快速的上升和下降时间，通常小于 300 ps，采用低电感基座可以获得小于 100 ps 的上升和下降时间。

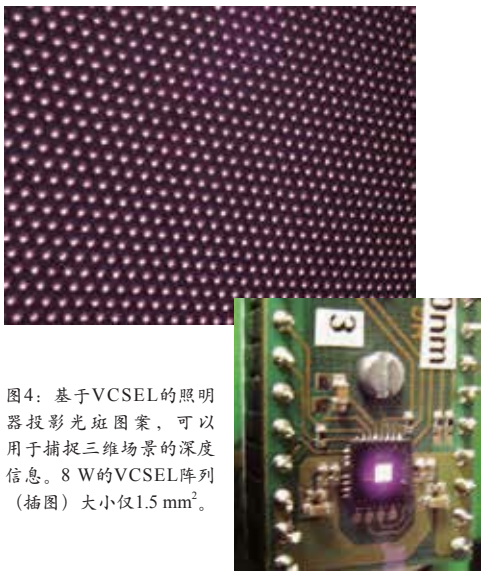


图4：基于VCSEL的照明器投影光斑图案，可以用于捕捉三维场景的深度信息。8 W的VCSEL阵列（插图）大小仅1.5 mm^2。

VCSEL 阵列还具有窄发射波长（<1nm）和较低的波峰变化温度依赖性（0.07 nm/℃），当相机芯片与窄带滤光片相连时，这一特性有助于抑制背景照明。

Ghosh 表示，在美国国防部高级研究计划局（DARPA）和一些其他机构的资助下，Princeton Optronics 公司已经研发了该技术。“我们已经利用 5 mm × 5 mm 阵列，获得功率水平高达 1 kW 的 VCSEL 芯片，电光转换效率高于 55%，”他指出，“这项技术正被用来制造很多用于 3D 成像应用的不同类型的产品。”

其中的这样一种产品是用于飞行时间和结构光应用的 8 W VCSEL 阵列。激光器芯片的尺寸为 1.5 mm × 1.5 mm，其采用了大量 VCSEL 器件，以表面安装形式安装在陶瓷基板上。该器件可应用于计算机、平板电脑和移动电话等应用中。❑

A & P INSTRUMENT® 科藝儀器

激光 / 颗粒 / 教育 / 实验室设备的专家

德国系列

关注微信平台

laserline 高功率光纤耦合半导体激光器

500W-20000W



LDF 光纤耦合半导体激光器系统

• 功率可达 15000W







焊接 - 汽车后挡板





LDM 光纤耦合半导体激光器模块

• 功率可达 3000W

PHOTON ENERGY CEPHEUS 皮秒激光器

4.5W-15W



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专注的。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_4F
最大平均功率	12W@500kHz
脉动能量	> 300 μ J@20kHz；100 μ J@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



directphotonics

30W-2000W

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

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

400-886-0017

Apico SYNRAD laserline SPI Newport Cambridge Technology eternal sun UNIVERSAL MSP Cole-Parmer PASCO NORTHROP GRUMMAN CEDRAT TECHNOLOGIES FISBA OPTIK directphotonics QIOPTIQ YAMAMOTO PreSens PALAS MATRIX

香港 HONGKONG	北京 BEIJING	上海 SHANGHAI	广州 GUANGZHOU	深圳 SHENZHEN	成都 CHENGDU	武汉 WUHAN	台湾 TAIWAN	新加坡 SINGAPORE
T: (852) 2755 6578	T: (010) 6207 4835	T: (021) 5523 3800	T: (020) 6683 0899	T: (0755) 8220 2428	T: (028) 8521 6348	T: (027) 8759 1299	T: (886) 2295 3164 6	T: (65) 6655 0909
F: (852) 2755 4549	F: (010) 6207 7434	F: (021) 5523 3811	F: (020) 6683 0898	F: (0755) 8220 2438	F: (028) 8524 2667	F: (027) 8759 1239	F: (886) 2295 3986 3	M: (65) 9090 0909
info@anp.com.hk	bj@anp.com.hk	sh@anp.com.hk	gz@anp.com.hk	sz@anp.com.hk	cd@anp.com.hk	wh@anp.com.hk	tw@anp.com.hk	sg@anp.com.hk

CLEO/《Laser Focus World》2015年创新奖评选结果揭晓

文/Gail Overton

Aurea Technology公司、Northrop Grumman Cutting Edge Optronics公司和Inrad Optics公司分别是本年度分析仪器或系统、激光器和光源以及光学元件类的获奖者。

由《Laser Focus World》杂志和国际激光与光电子大会（CLEO）赞助的2015年度CLEO/ Laser Focus World创新奖项目，继续表彰了光子学和激光科学领域的最具突破性的最新产品。

创新奖的参赛者需要展示他们的应用、服务或产品（2013年8月23日至2015年3月2日之间的18个月内所发布）如何满足三个关键条件，包括独特的功能性和稳妥的专利地位、长寿命预期，当然最为重要的是卓越的创新水平。

2015年评选出了三家获奖者，其中分析仪器或系统、激光器和光源和光学元件这三大类别中，每个产品类别中分别评选出一家获奖者。该奖项每年在CLEO大会期间颁发，今年的奖项是在2015年5月12日举行的CLEO会议期间颁发的。本刊特将获奖产品的信息简要整理如下，供读者参考。对创新奖的更多信息感兴趣的读者可登录以下网址进一步了解www.cleoconference.org/home/reserve-exhibit-space/cleo-laser-focus-world-innovation-award。

2015年CLEO/ Laser Focus World 创新奖获得者

（一）法国AUREA Technology公司
类别：分析仪器或系统

AUREA Technology今年在分析仪器或系统类别中胜出，该公司推出了全球首款一体化的时间相关单光子计数（TCSPC）分析仪，该仪器在非常紧凑的封装中集成了450~1700 nm范围内超高的光子探测效率、高质量的皮秒激光激发以及新颖的时间-数字转换器技术，并带有易于使用、以客户为中心的图形用户界面（GUI）。

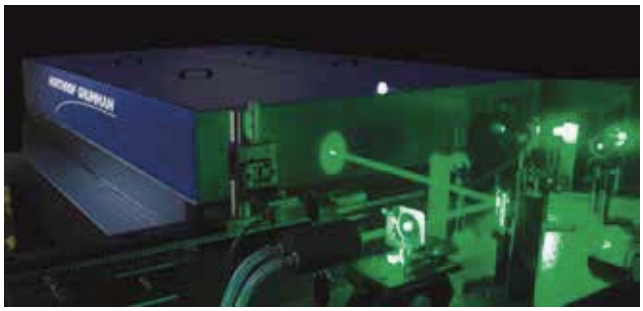


AUREA公司的TCSPC分析仪在单个小盒子内，同时集成了硅和铟镓砷（InGaAs）先进盖革模式雪崩光电二极管（盖革SPAD）、最佳的高时间分辨率皮秒脉冲激光器（50 ps、120 MHz重复频率）以及高时间分辨率皮秒时间-数字转换器（TDC）技术。光子探测效率在可见光波段可高达80%；在近红外波段可高达30%；而在可见光和近红外波段的暗计数分别低至25 cps和1000 cps。TDC的时间分辨率也低至27 ps。该产品具有快速数据处理、快速USB数据传输以及直观的图形用户界面，与LabVIEW及大多数编程语言如C++兼容。

AUREA的集成TCSPC单元在单个紧凑的仪器内具备激光头、激光控制单元、单光子探测器以及多信道TDC，能够取代传统的构件模块。相比于用于时间分辨、低光子计数、快速事件分析的任何其他商业TCSPC系统，TCSPC单元的体积缩小了五倍，而价格却降低了30%。

（二）美国Northrop Grumman Cutting Edge Optronics公司
类别：激光器和光源

Northrop Grumman Cutting Edge Optronics 公司凭借创新的 Gigashot-HE 高能量、全二极管泵浦固态（DPSS）Nd：YAG 激光器系统在激光器和光源类中胜出，该系统波长 532 nm、重复频率 10 Hz、脉宽 <10 ns、单脉冲能量大于 2 J。该激光器具有近场平顶光束轮廓，其主要作为“用于太瓦 / 拍瓦高能科学领域的高能量钛宝石放大器的”长寿命、超稳定泵浦源。



尽管高能量闪光灯泵浦激光器已经存在了几十年，但是该 Gigashot-HE 是市场上首台焦耳级、全二极管泵浦的商用激光器。激光二极管允许对 Nd：YAG 棒进行有效泵浦，二极管的输出波长进行定制，以匹配增益介质的吸收峰，从而大幅降低多余废热所引起的热透镜和退偏损耗。该系统中使用是体积更加紧凑的 DC 电源，取代了传统上带有巨大电容器组（用于闪光灯的充电）的大电源。

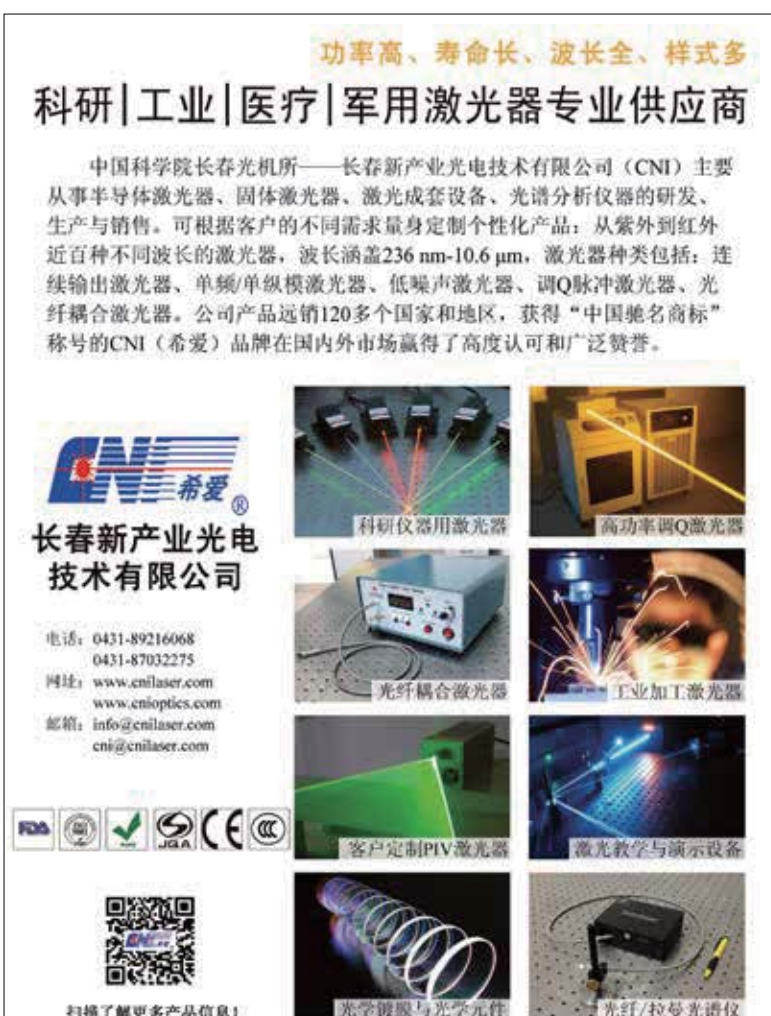
高效率、超长寿命的准连续波泵浦二极管使得 Gigashot-HE 激光器可运行超过 100 亿发次，等同于以 10 Hz 频率连续运行 30 年。它的主振荡器功率放大器（MOPA）配置可扩展为超过 100 Hz；4 J、1064 nm 的版本也可作为标准品提供。

（三）美国Inrad Optics公司
类别：光学元件

通过扩展在劳伦斯·利弗莫尔国家实验室影响深远的专有研究，以及在美国国内核探测办公室（DNDO）SBIR 支持的帮助下，Inrad Optics 公司成功生长出了尺寸为 4×4 英寸的圆柱体均二苯代已烯单晶，提升了辐射探测装备的技术前景。均二苯代已烯的应用包括国土安全、核不扩散和核设施的中子探测。



人们早已知道均二苯代已烯在中子探测方面的优异特性；然而，高昂的价格一度限制了它的广泛使用。作为一种固态、非有害材料，均二苯代已烯解决了液体闪烁体所固有的许多问题，同时还能提供更高的性能和更低的成本。这些晶体的商业可用性，可以使下一代探测系统更好地保护公众免受大规模杀伤性武器非法贩运的威胁。



精英访谈 *Elite Interview*

靠提高成品率降低成本 发展光纤耦合技术

——访西安炬光科技有限公司董事长刘兴胜博士

文/Rossie Pang



刘兴胜博士致本次活动欢迎辞

2015 年 5 月 28 日，西安炬光科技有限公司在陕西省高功率半导体激光器产业园成功举办“合作共赢 共同推动高功率半导体激光器的应用和发展”主题研讨与行业论坛，吸引了国内外百余名行业人士共同探讨高功率半导体激光器的发展、趋势以及在各行业中的应用。中国工程院院士范滇元为此次活动开幕典礼致辞。

炬光科技董事长刘兴胜博士在主论坛中介绍了国内外高功率半导体激光技术与发展趋势；随后到场嘉宾参观了炬光科技新厂区的展厅、产品演示厅及生产车间。在下午的医疗美容、工业加工、科研应用三大论坛中，来自各大院校和企业的嘉宾分别针对上述三个领域进行了深入交流，共同探讨高功率半导体激光器应用及发展，推动产业化进程。最后，刘兴胜博士又接受了记者采访，介绍了目前的几大热点市场及今后坚持的发展策略。

关注五大重点市场

第一大市场是**光纤激光器泵浦市场**。“我认为光纤激光器市场还会高速增长，对于半导体激光器而言，这是一个充满巨大潜力的市场。”刘兴胜说，“在接下来的几年内，炬光科技将会重点投入该领域，加强对光纤耦合技术的研发。”

第二是**医疗美容市场**。目前炬光科技医疗美容应用主要集中在净肤、美体健康、口腔医学以及抗衰老四大领域。在脱毛领域，“今后我更看好面向家庭应用的便携式脱毛产品，这类产品将更受欢迎，产品价格也将越来越亲民。”刘兴胜表示，“另外随着人们对口腔保健及口腔美容越来越重视，口腔医院也是炬光的关注点，目前我们在这个领域已经有不错的出口市场。”

第三是**表面处理应用**，炬光科技为此推出的 DLight 大功率半导体激光器，力求做到最简单最可靠，主要满足工业领域的某种大批量生产需求。“针对这种应用，往往最简单的产品就是最好的产品。”

第四是**夜视应用**。从目前国家的整个形势来看，反恐怖、区域安全保障、交通安全、偷渡、贩毒、森林防火等问题不断威胁着人们的生命和财产安全，夜视将为上述领域提供很好的解决方案。

第五是**激光投影与显示市场**。“目前这是一个火热的市场，我认为激光投影显示的时代已经到来了。这将是一个增长非常快的市场，这也是我们要重点发展的一个领域。”刘兴胜说道。

产品质量是核心竞争力

对于目前半导体激光器市场激烈的竞争，刘兴胜呼吁业界避免单纯靠价格战的恶性竞争。一个企业要生存发展，产品质量是关键。

对于企业的生存之道，刘兴胜给出了自己的独到见解：企业只有盈利才能生存发展；那么如何提高企业的利润空间？决不能以牺牲产品质量为代价来降低原材料的成本，降低成本最好的办法就是提高成品率，成品率提高了，客户的退货率就会减少，这将免去很多分析处理的耗时耗力的工作，对于降低成本而言效果显著。炬光搬到新厂房后，更加注重加强各道生产工序，严格保证产品质量。

炬光科技成立于 2007 年，目前已经发展成为半导体激光器领域颇具实力的公司，并且还赢得了海外市场的认可，海外市场销售额已经于 2014 年首次超过国内市场。刘兴胜表示，炬光科技将会继续以产品质量赢得客户。❑

深紫外带通滤光片提供低至122 nm的带通



爱特蒙特光学推出的最新款深紫外(UV)带通滤光片，适用于各种涉及荧光显微镜、拉曼光谱学、准分子激光或生物过滤的应用。

该款深紫外带通滤光片备有各种尺寸可供选择，并提供低至 122 nm 的带通。它们由高质量的基片制造而成，包括 MgF_2 以及紫外级熔融石英。每个滤光片在交货前均经过视觉与光学方式的检测，并以个性化的透射率特性交付。这款精密的带通滤光片提供 20-10 的表面质量，通光孔径达到 85% 以上。

该款滤光片符合 RoHS 标准，提供 12 种款式，包括 122 nm、193 nm、248 nm 和 308 nm 四种中心波长，以及 12.5 mm、25 mm 和 50 mm 三种直径。每个带通滤光片均安装于铝环内，方便识别和系统集成，并免于损伤或磨损。现货供应，可立即交货。

爱特蒙特光学

www.edmundoptics.cn

用于切割玻璃和蓝宝石的工业级飞秒激光器



Newport 旗下的光谱物理公司推出 Spirit®ClearShape ™（简称 Spirit CS）工业级飞秒激光器，该激光器专门针对透明脆性材料微加工应用进行了优化。

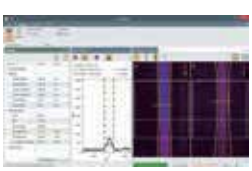
Spirit CS 是一款高能量、高重复频率的飞秒激光系统，提供 >40 μJ 的脉冲能量，工作频率在 100 kHz 或 200 kHz。Spirit CS 激光器能够对化学强化玻璃、非强化玻璃和蓝宝石等材料进行最高质量的快速曲线和封闭形状切割。对于化学强化玻璃切割，切割速度可高达每秒数米，切割质量优于其他激光加工方法数倍，边缘粗糙度 <0.1 μm。

Spirit CS 工业级飞秒激光器为显示器和移动设备、可穿戴设备、汽车和其他应用所需要的显示屏的 24/7 生产提供了优化的性能。目前客户在大批量生产中对这种激光器兴趣浓厚。

Spectra-Physics

www.spectra-physics.com

BeamWatch 2.0同时在两个轴上测量高功率激光束



Ophir-Spiricon 公司的 BeamWatch 仪器基于瑞利散射光以非接触方式测量功率高达 100 kW 的激光束。新推出的 BeamWatch2.0 可以同时在两个正交轴上测量一个高功率光束的参数。

BeamWatch 专门为用于焊接、切割等工业材料加工的高功率 YAG、光纤和半导体激光器而设计，这些激光器通常应用于汽车、重型设备、家电制造及石油天然气钻探领域。在 Beamwatch 的双轴版本中，测量并计算每个轴上的能量，提供激光器如何工作的详细信息。可以跟踪两个轴上的焦点偏移，测量结果可用于确定光束的发散程度。该仪器采用高倍率光学元件，单轴版本能测量尺寸 55 μm 的光斑；双轴版本能测量尺寸 155 μm 的光斑。

BeamWatch 每 60 ms 测量一次，能在加工过程中提供焦点尺寸和光束位置的快速读数以及焦平面位置的动态测量。BeamWatch 可用于监视 980~1080 nm 的高功率 YAG、光纤和半导体激光器。该系统测量关键光束尺寸、位置和质量参数，包括焦点尺寸、光腰直径和光束质量因子（M^2）。

Ophir-Spiricon

www.ophiropt.com

用于塑料打标的紫外激光器TruMark 3330



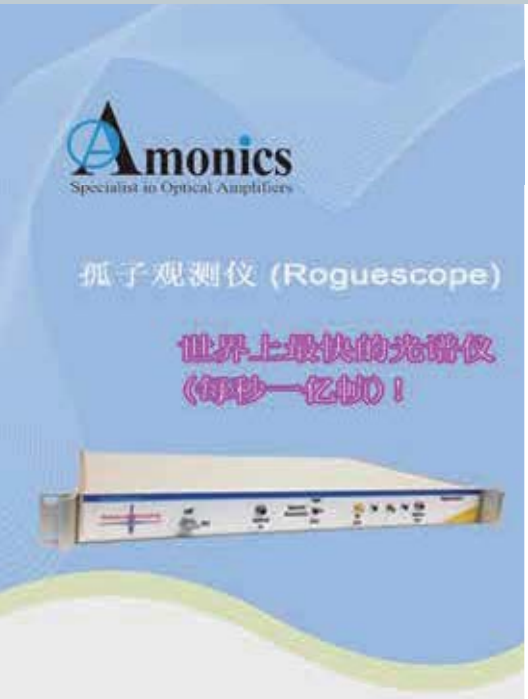
通快的 TruMark 3000 系列家族中再添新丁——TruMark 3330 紫外激光器。除了用于雕刻玻璃、陶瓷和有机材料外，该款二极管泵浦的固体激光器的主要用途是塑料打标。

TruMark 3330 的输出波长为 355 nm，提供卓越光束质量（M^2 <1.5），其为塑料打标应用开辟了新的可能性。由于人工合成材料对短波紫外光的吸收远好于对红外光的吸收，因此紫外激光能提供更好的雕刻、更大的对比度和最佳打标质量及高处理速度。TruMark 3330 的输出光被塑料吸收后，主要发生光化学反应，因此这种加工方式非常柔和，能实现非常良好的表面质量。而且 TruMark 3330 输出脉冲之间的高稳定性，也保证了打标质量的高度一致性。

TruMark 3330 采用高效空气冷却系统，显著减少维护工作，降低激光器的运行成本。TruMark 3330 的使用非常灵活方便，即插即用，能轻松集成到新的或现有的装配线中，并可与生产系统中采用 Profibus、PROFINET 或 EtherCAT 等标准接口的组件通信。

Trumpf

www.trumpf.com



具有颠覆性性价比的高脉冲能量紫外激光器



Newport 旗下光谱物理公司推出新的高能量紫外和绿光 Q 开关二极管泵浦固体（DPSS）激光器产品线——Talon® HE。

Talon HE 提供三种型号。Talon HE 355-500 输出 > 500 μJ 的紫外脉冲能量和长脉冲宽度，重复频率为 20 kHz；Talon HE 355-275 输出 > 275 μJ 的紫外脉冲能量，脉冲重复频率为 40 kHz；Talon HE 532-1000 提供 1 mJ 的绿光输出，脉冲重复频率为 15 kHz。激光器采用“It's in the Box ™”式设计，将电源和激光头整合在一个单一的牢固封装中，方便集成到机床中。每台激光器都经过了严苛的生产测试，确保 24/7 的高度操作可靠性和低拥有成本。

Talon HE 提供颠覆性的性价比，是各种广泛的制造应用的理想选择，包括 PCB 板钻孔和切割、半导体划线和切割以及平板显示器加工等。

Spectra-Physics

www.spectra-physics.com

功率50 mW直接发射520 nm绿光的激光二极管



欧司朗光电半导体推出一款直接发射绿光的激光二极管——PLT5520，其输出波长为 510~530 nm，典型波长为 520 nm，目前提供 50 mW 和 30 mW 两种版本。采用标准 TO56 封装，集成了用于监控激光输出的光电二极管。

相比于红外激光倍频的产品，直接发射绿光的激光二极管结构紧凑、可靠性高、热阻稳定。PLT5520 支持的工作温度范围为 -20~+60℃，非常适合室外使用。

在测量应用方面，这款产品能出色地取代红光产品，在距离测量和水准测量等线激光器和点激光器应用方面表现出色。人眼在绿色光谱范围内最为敏感，对绿光的感知能力比对红光强，绿光能覆盖更远的距离。另外在人眼安全方面，直接发射绿光的激光二极管也更加安全。

欧司朗光电半导体

www.osram-os.com

TECHSPEC®最佳形态非球面透镜在指定波长提供最佳性能



爱特蒙特光学推出了最新的 TECHSPEC® 最佳形态非球面透镜，可在特定波长提供高性能表现。

TECHSPEC 最佳形态非球面透镜以 TECHSPEC 平凸（PCX）透镜作为基础，利用最先进的 QED MRF（磁流变抛光）Q22-Y 非球面抛光机打磨成非球面形态。这种转变无需修改透镜的表面特性，包括表面精度和质量。TECHSPEC 最佳形态非球面透镜可以在设计波长产生达到衍射极限的光斑尺寸，非常适用于聚焦或准直应用。

这款透镜拥有 V- 镀膜，可以在焦距规格波长提供小于 0.25% 的绝对反射率。提供 12 种不同的 25 mm 直径型号；提供 25 mm、50 mm、75 mm 和 100 mm 焦距；可用于 532 nm、633 nm 和 1064 nm 焦距规格波长；现货供应，可立即交货。

爱特蒙特光学

www.edmundoptics.cn

强大的超连续谱激光器WhiteLase SC480-20出货

Fianium公司宣布在今年2月美国西部光电展上发布的WhiteLase ™ SC480-20超连续谱激光器已经出货。SC480-20代表了世界上最高亮度的超连续激光器，总功率20 W，可见光波段（350~750 nm）的功率超过3 W；扩展可见光波段（350~850 nm）的功率达4.5 W；并能在480~2400 nm波段连续输出。

SC480-20以80 MHz的重复频率产生皮秒脉冲，可以利用脉冲选择器改变到100 kHz，从而在稳定状态和寿命测量中实现大量新的应用可能性。WL-SC480-20为超连续输出功率创建了一个新标准，采用触摸屏控制，操作直观。

Fianium www.fianium.com

新型CO激光器为工业和医疗应用提供解决方案



相干公司在CO激光器领域取得技术突，使其具有跟板条激励CO_2激光器类似的寿命、可靠性和维护特性，开启了一些潜在的应用可能性。

相干新推出的这款CO激光器输出波长5 μm，输出功率200 W，光束质量$M^2 < 1.2$，可以更好地发挥小光斑加工的优势，有望提高材料加工领域从玻璃切割钻孔到细小皮肤修复的加工特性。

陶瓷塑料膜、聚合物及水等材料对5 μm波长吸收较好，使CO激光器在这些材料加工领域有独特的优势；此外其也适用于一些电介质材料和PCB版的氧化铜。相反的，硫化物光纤对5 μm波长的吸收低，这使CO激光器为光纤传输提供可能性。另外，CO激光器因为波长更短，其光斑更小，这在加工小孔方面会有很大优势，同样也适用于要求更窄切缝的切割应用。

相干公司 www.coherent.com.cn

用于高效铜焊接的脉冲绿光激光器



德国通快公司开发出了用于铜的高效焊接的脉冲绿光激光器——TruDisk 421 pulse，其能输出平均功率为400 W的515 nm激光。通快表示，该激光器的倍频是在激光谐振腔内部完成的。

通快表示，使用该绿光激光器焊接铜，实现了更少的溅射、更低的能量、焊缝更加均匀。其在铜上获得了统一的焊缝质量，而不必考虑铜的表面是否被氧化、被喷砂、粗糙度或是被抛光等因素。并且，如果使用氩气和氮气等保护气体，还能获得更高质量的焊缝。这样的保护气体只有在使用绿光焊接时才非常有效；因为如果使用红外光，熔池的表面会因为气体而产生更强烈的发射，这将导致需要更高的激光功率。

Trumpf www.trumpf.com

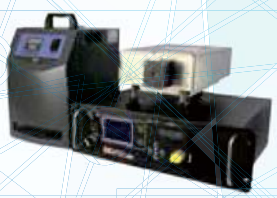
输出功率30W的793 nm光纤耦合激光二极管



PhotonTec Berlin公司推出输出功率为30 W的793 nm光纤耦合激光二极管系列。耦合光纤芯径105 μm，能够更加容易地为铥光纤激光器提供整合更多二极管的泵浦源。该激光二极管采用密闭封装，并带有热敏电阻和监视光电二极管。

PhotonTec Berlin www.photontec-berlin

RFH LASER 瑞丰恒激光
工业级紫外固体激光器系列
全新升级
新品预定中
Excellent II 355 系列产品
Expert II 355 系列产品
新品更高品质、更高性价比

Excellent II 355(8.0W-10.0W)
(Pulse Width<30ns@50k)

Expert II 355(3.0W-5.0W)
(Pulse Width<30ns@30k)

Expert II 355(0.5W-2.0W)
(Pulse Width<30ns@30k)

MBurn355(1.5W-5.0W)
(Pulse Width<6ns@40k)
深圳市瑞丰恒科技发展有限公司
地址: 深圳市南山区高新技术产业园中区M-10二楼
电话: 0755-86375012, 18928466502, 86375016
传真: 0755-86028961
邮箱: sales@rfhlasertech.com
www.rfhlasertech.com

www.laserfocusworld.com.cn

广告索引 Advertisers Index

激光世界 LaserFocusWorld China

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	33
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	7
Amonics Ltd.		www.amonics.com.cn	38
Castech Inc.	福建福晶科技股份有限公司	www.castech.com	29
Changchun New Industries Optoelectronics Tech Co., Ltd.	长春新产业光电技术有限公司	www.cnilaser.com	35
Edmund Optics Singapore Pte Ltd.		www.edmundoptics.cn/laser-optics	21
FISBA OPTIK AG		www.fisba.com	17
IXBLUE SAS		www.photonics.ixblue.com	19
MWCS	亚洲领先金属板材加工展	www.metalworkingchina.com	8
Nufern		www.nufern.com	1, 25
OVC Expo	"中国光谷"国际光电子博览会暨论坛	www.ovcexpo.com.cn	26, 27
Pinnacle Scientific (China) Corporation	顶尖科仪(中国)股份有限公司	www.psci.cn	23
Shenzhen RFH Laser Technology Co., Ltd.	深圳市瑞丰恒科技发展有限公司	www.rfhlasertech.com	39
Titan Electro-Optics Co., Ltd.	北京金先锋光电科技有限公司	www.teo.com.cn	2
Zolix Instruments Co., Ltd.	北京卓立汉光仪器有限公司	www.zolix.com.cn	3
II-VI Infrared Laser (Suzhou) Co., Ltd.	贰陆红外激光 (苏州) 有限公司	www.ii-vi.com.cn	5
华南（中山）先进激光暨加工应用技术展览会		www.zshjexpo.com	IBC

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

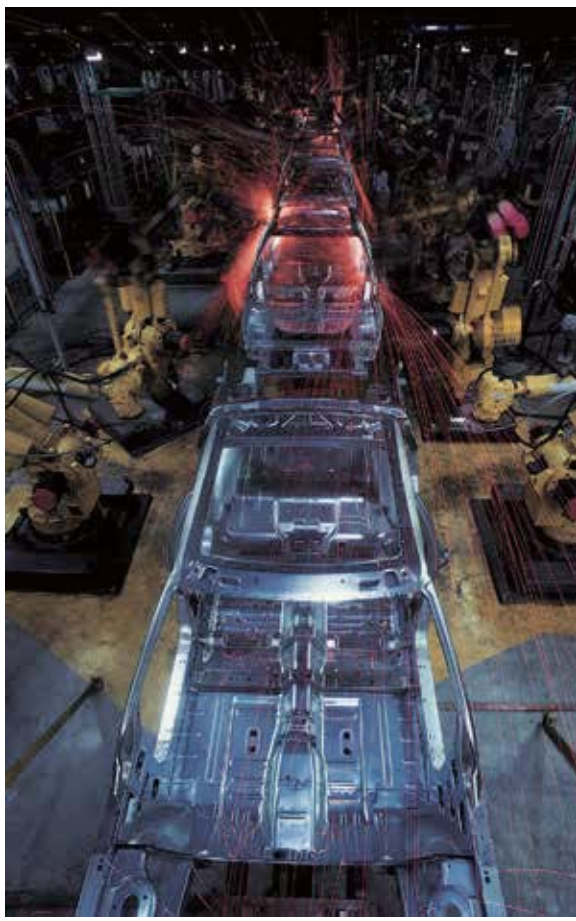
Europe & Middle East (欧洲及中东)

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

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







2015 华南（中山）先进激光暨加工应用技术展览会

2015 年 9 月 17 日至 19 日
广东省中山火炬国际会展中心

同期举办：第十一届全国激光加工产业论坛







主办方：

- 中山火炬高技术产业开发区管理委员会
- 中国光学学会激光加工专业委员会

参展和赞助请联系：

- 中国光学学会激光加工专委会
  陈超 先生
  电话：021-6483 2315
  E-mail：lpcchina@126.com
- 慕尼黑展览（上海）有限公司
  洪燕 小姐
  电话：021-2020 5500*827
  E-mail: sky.hong@mmi-shanghai.com

激光世界
LaserFocusWorld® China
电子书(eMagazine)

laserfocusworld.com.cn



直接连结广告商网站 | 一点即开想看的文章 | 推荐朋友下载免费的电子书 | 申请成为免费印刷版或电子书的读者 | 上页、下页，放大/缩小文章

