

激光世界

LaserFocusWorld[®] China

www.laserfocusworld.com.cn

2016年1/2月 第1期

ISSN: 1817-6917

年度激光器市场回顾与展望

激光市场能否在 全球经济放缓中 脱颖而出?

8

半导体激光器的红外
照明应用 18

半导体激光塑料焊接
技术与应用 23

500W 半导体激光器
在钢材切割中的应用 27

44W 超高功率808nm
半导体激光器的设计
与制作 31



扫一扫 免费下载电子书

ACT

PennWell[®]

SOLUTIONS IN LIGHT



提供激光光学解决方案

扫描二维码关注微信并回复“手机号+杂志名”，
即可于现场获礼品一份！

微信登记，赢好礼！



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

慕尼黑上海光博会

LASER World of PHOTONICS CHINA

联系我们：

展会邮箱：laser@mimi-shanghai.com

上海电话：+86-21-2020 5500

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



您的技术信息平台

一系列产品—包括
国际专业技术杂志的中文版、网上
出版物、会议、培训和活动

欢迎免费索阅或参与活动

www.actintl.com.hk



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

香港
852-28386298

深圳
86-755-25988571

上海
86-21-62511200

北京
86-10-67484833



ACT ACT Media Group

激光光学件

现已登陆

中国市场!

致力于激光方面的应用?

超过250种不同的激光
光学件供选择, 可快速交货。

TECHSPEC®
可变扩束镜



TECHSPEC®
高功率Nd:YAG
激光反射镜



TECHSPEC®
λ/20 高功率
激光窗口片



马上采购吧!

EDMUND



更多激光光学件?

访问我们的网站获得完整目录!

www.edmundoptics.cn/laser-optics

EO Edmund
optics | china

Tel: +86 (0755) 2967 5435

目录

市场风向标

年度激光器市场回顾与展望

激光市场能否在全球经济放缓中脱颖而出?

8



应用天地

红外照明

半导体激光器的红外照明应用

18

塑料焊接

半导体激光塑料焊接技术与应用

23

激光切割

500 W 半导体激光器在钢材切割中的应用

27

应用简讯

半导体激光器焊接降低一次性针头的成本

30

技术中心

半导体激光器

44W 超高功率 808 nm 半导体激光器的设计与制作

31

编者的话

4

行业动态

5

前沿简讯

6

产品撷英

34

广告索引

36

激光世界
LaserFocusWorld® China

2016年1/2月 第一期

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 Watch

- **Annual Laser Market Review & Forecast**
Can laser markets trump a global slowdown? 8



Applications

- **Infrared Lighting**
Infrared lighting applications of diode lasers 18
- **Plastic Welding**
Plastic welding technologies and applications of diode lasers 23
- **Laser Cutting**
Steel cutting with a 500 W direct diode laser 27
- **Brief Report**
Diode laser welding helps to reduce the cost of disposable hypodermic needles 30

Technologies Center

- **Diode Lasers**
The design and production of 44W high power 808nm diode lasers 31
- **Editor's Notes** 4
- **Industry Updates** 5
- **Leading Edge Snapshots** 6
- **Products Highlight** 34
- **Ad Index** 36

激光世界
LaserFocusWorld China

Jan/ Feb 2016 Issue 1

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.



光子观测仪 (Roguescope)

世界上最快的光谱仪
(每秒一亿帧)!



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

应用

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

硬件规格

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

如果您对孤子观测仪有更多了解, 请联系我们

电话: +86 10 84783386

传真: +86 10 84783396

电邮: contact@amonics.com

网址: www.amonics.com.cn

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-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

经济放缓中的市场机会

在刚刚过去的2015年，全球经济低迷，发展放缓，全球GDP增长预期仅为3%；中国统计局公布的数据显示，中国2015年全年GDP增速为6.9%，创下了自1990年以来的最低增速。在这样的经济大环境下，激光行业的表现又如何呢？未来新的增长点在哪里？

作为开年献礼，本期内容中，我们与读者分享了《Laser Focus World》2016年全球激光器市场回顾与展望报告。报告显示，全球激光器市场并未在低迷的经济环境中萎靡不振，相反其恰恰为经济发展提振了士气。报告显示，2015年全球激光器市场比2014年增长5%，预计2016年将继续增长4.2%，达到近105亿美元。

全世界都在关注中国。虽然2015年中国的GDP增长创下了历年来的新低，但是其也远高于全球水平；另外从更长远的时间段来看，中国依然是拉动全球经济发展的一支主力军：中国每年有上千万的新城市公民消费群体诞生，他们所需要的住房、汽车以及日常消费电子产品，将是经济发展的推动力。虽然表面上中国经济发展在放缓，但是中国未来10-20年的城市发展需求将蕴育出一个强大的基本市场。

另外，中国制造2025纲领的出台，必将带动先进制造业在中国的发展，这使激光技术将在制造业中迎来更大的舞台，正如华工激光总裁闵大勇所言，中国制造2025将使中国激光产业迎来黄金十年。

市场中新的增长点是商业关注的永恒话题。未来激光市场中增长快速的应用有哪些？高功率激光器的材料切割焊接应用是大部头，特别是高功率光纤激光器。另外半导体激光器的直接应用也开始显露端倪，如本期介绍的功率高达500W的半导体激光器直接用于钢材切割、半导体激光器直接用于焊接塑料、薄钢材以及用于红外照明等应用，这都表明半导体激光器这种光源开始在中发力。

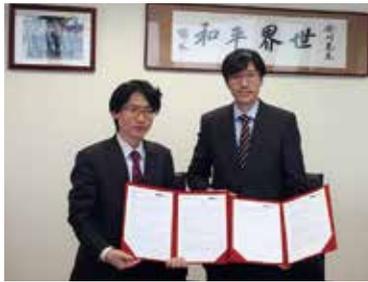
激光添加制造是一个增长点。2015年激光添加制造市场比2014年增长71%，预计2016年有望再次创下同等佳绩。此外，用于精密材料微加工的超快激光器也将是增长热点。还有一个值得一提的是激光投影与显示，虽然这部分市场的规模相对较小，但是增长率不低。

希望我们本期分享的全球激光器市场回顾与展望报告，能为读者带来些许参考价值。在此新年伊始之际，《激光世界》祝愿激光行业的所有企业及同人们，2016年更上一层楼！□

本刊编辑部

恩耐nLIGHT携手安川电机开创机器人激光应用高端市场

恩耐激光技术(上海)有限公司(nLIGHT)与安川电机(中国)有限公司于近日签署了关于共同开发销售机器人激光切割、焊接以及远程焊接系统的



战略合作备忘录。恩耐激光的核心高端技术与安川机器人相结合,将大力推动激光机器人高端应用市场。

根据双方签署的战略合作备忘录,安川将提供世界领先的机器人和周边相关零部件,而恩耐则提供新一代光纤激光器等产品。安川与恩耐共同开发的高端激光应用将首先在3C、家电等一般行业布局,后续将会进军汽车行业,其销售区域将辐射整个中国。根据计划,激光切割、焊接、远程激光焊接的机器人应用系统2016年预计可达100套。到2017年,整个激光应用高端市场可以全面展开。

IPG光子公司武汉办公室正式投入运营

IPG光子公司于2015年12月中旬正式宣布启用中国武汉的新办公室。武汉办公室位于武汉东湖新技术产业开发区,其包括以切割、焊接为主的应用实验室、中高功率维修实验室、备机备件中心、销售中心等功能区域。

以武汉为中心的华中地区是IPG中国市场一个非常重要的组成部分,IPG非常看好以武汉为中心、聚集了众多激光企业的华中市场,IPG武汉新办公室正是为了更好地服务这一市场应运而生。

IPG一向以对客户的服务为发展重心。武汉应用实验室将按照全功能钣金切割中心的标准配备先进的实验及检测设备,以具备完整的实验能力,满足高功率切割、焊接及精密加工应用需求,向客户提供可行性研究、样件开发、应用工艺开发等服务,以IPG在光纤激光器上的丰富产品线和应用经验,帮助客户改善激光应用工艺、拓展应用领域。“武汉办公室的启用,代表了IPG致力于支持华中地区激光产业的发展 and 为客户带来价值的长期承诺。”IPG中国总经理周建波表示。

免除延迟时间之激光打标



AGV 扫描头系统优势

- 行业最高之24位分辨率
- 热稳定之光栅编码器用于精密微加工工艺
- 10, 14与20毫米口径, 支援标准的F-THETA镜组, 提供最高等级之灵活性



Nmark CLS系统优势

- 100%全数码控制解决打标过程中的程式化延迟时间需求
- 直接与伺服轴同步扩大有效视野范围
- 实时监控真实打标位置供快速工艺最佳化

长春光机所液晶 / 聚合物有机激光器研究获进展

长春光机所宣丽研究团队在提高液晶 / 聚合物光栅激光器转化效率研究方面取得新进展：首次采用低官能度单体制备液晶 / 聚合物光栅，并且在涂有 PI 的玻璃基板上摩擦取向，使光栅中相分离出的液晶分子沿着液晶沟槽排列，增大了折射率调制量，从而使光反馈增强，最终提高了激光器的转化效率。

采用两束相干光照射单体和液晶混合的预聚物，在干涉条纹亮区单体发生聚合形成聚合物，由于浓度梯度

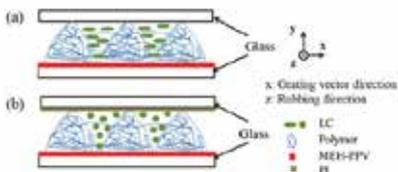


图1：(a) 原来样品示意图 (b) 采用低官能度单体并且对PI层摩擦取向样品示意图。

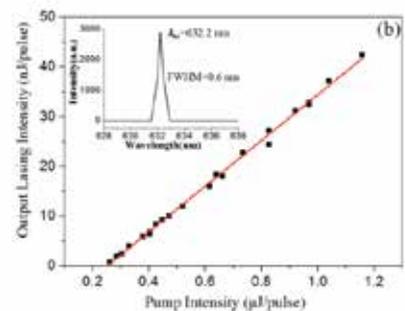
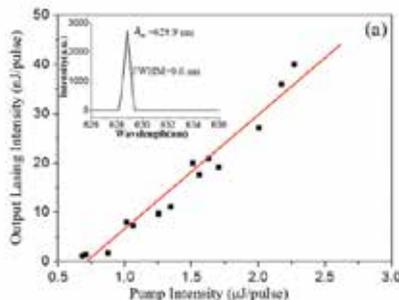


图2：(a) 原样品转化效率曲线图，插图为相应出射激光光谱图；(b) 取向后的样品转化效率曲线图，插图为相应出射激光光谱图。

液晶向暗区移动，单体向亮区移动，最终形成液晶层和聚合物层交替排列的周期结构，即液晶 / 聚合物光栅。采用低曝光强度制备的光栅无液晶微滴、散射低。由于暗区残余的单体发生反应形成聚合物拉丝，使相分离出的液晶分子沿着光栅矢量方向排列，导致折射率调制量很小，光反馈能力不强。直接对现有的预聚物体系进行

摩擦取向，效果不理想。

通过调研发现聚合物拉丝对液晶分子的锚定强度与参与反应的单体有关，研究人员采用低官能度单体降低锚定能，同时在玻璃基板上摩擦取向，最终使液晶分子沿着光栅槽方向排列，增大了折射率调制量。激光器的转化效率从 2.3% 提高到 4.6%，阈值从 0.71 降低到 0.25。□

岛津光纤耦合型高亮度蓝光直接二极管激光器获大奖

岛津公司研发的光纤耦合型高亮度蓝光直接二极管激光器“BLUE IMPACT”获得了日刊工业新闻社主办的“2015年度超级部件制造大奖”。该奖项主要用于表彰对日本产业、社会发展作出突出贡献的部件及部材。



本次荣获“超级部件制造大奖”的光纤耦合型高亮度蓝光直接二极管激光器“BLUE IMPACT”采用了蓝

光氮化镓类半导体激光，是全球首个完成产品化的激光加工用光源。

本产品通过将多个激光元件多重合成

为直径 100 μm 以下的微细光纤，在维持高输出效率的同时，实现了业界高水平的能源密度。原来经常使用的红外半导体激光，在进行金、铜等材料加工时，由于金、铜吸收红外光较少，很难完成加工。光纤耦合型高亮度蓝光直接二极管激光器可以作为这些材料微细加工的理想光源。□

红外激光系统用碳纳米管材料获进展

碳纳米管 (CNT) 具有独特的光学特性, 可在非常广泛的光谱范围根据材料的大小和形状变化进行优化。

它们在非线性光学 (NLO) 器件应用领域大有前途, 该器件主要用于光纤激光器, 能够在红外 (IR) 光范围内产生超短脉冲。红外范围为用于环境或生物医学传感的分子结构提供了一个窗口, 这对电信也很重要。欧盟资助的科学家发起的 TELASENS (用于电信和传感的脉冲光纤激光器中的碳纳米管技术) 项目, 主要开发碳纳米材料, 用于脉冲光纤激光器中的非线性光学器件。该材料用于可饱和吸收器、非线性光学器件时, 可促进激光谐振

器中超短脉冲循环的产生。

目前, 该研究组取得了令人瞩目的进展。结合计算机建模和物理化学实验, 研究人员将碳纳米管沉积在光纤微通道和光学反射镜上, 促进了新型饱和吸收器件的发展。然后将其与各种活性介质一起集成在光纤激光器上, 实现在 1000~2000nm 的广泛 IR 光谱范围内产生超短脉冲。研究人员正迅速接近最终目标: 高性价比光纤激光源。最终应用包括个性化医疗、新型传感器的制造和运输, 以及新的光纤通信系统。同时, TELASENS 项目也培养了新一代非线性光学器件和光纤激光技术的科学家, 其产生的影响远超越项目本身。□

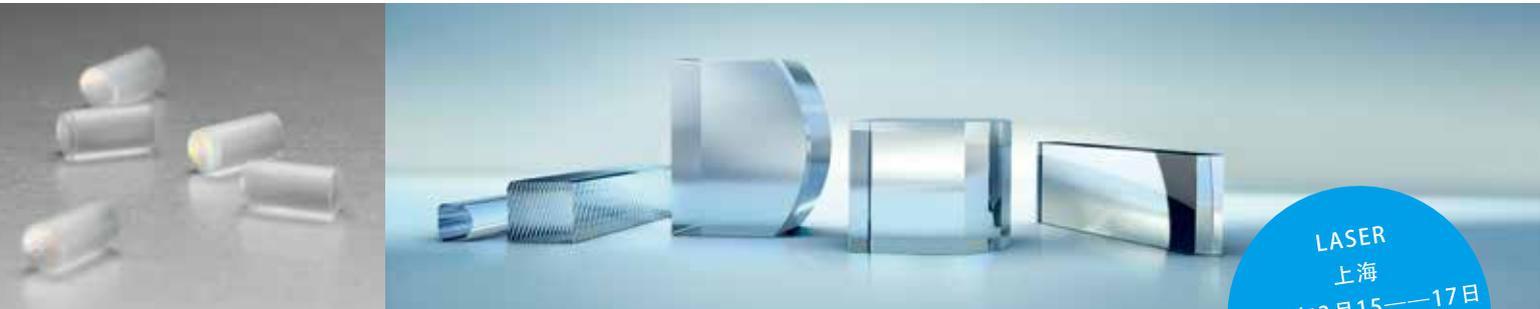
西安炬光科技 成功挂牌新三板

2016年1月14日, 西安炬光科技股份有限公司成功挂牌新三板, 股票代码: 835243。

炬光科技成立于2007年9月21日, 2015年6月12日整体变更设立为股份公司, 股本总额为4000万股。

截至2015年底, 公司拥有授权专利161项, 包括4项美国发明专利, 2项日本发明专利, 29项中国发明专利, 93项实用新型, 29项外观设计, 4项软件著作权; 拥有注册商标273件, 其中, 境内商标197项、境外商标76项。

炬光科技成功登录新三板, 正式开启了公司通往资本市场的大门, 为公司未来做大做强计划的实现奠定了坚实基础。□



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

LASER
上海
2016年3月15—17日
瑞士馆
展位3122.10
展厅W3

激光市场能否在全球经济放缓中脱颖而出?

虽然道琼斯工业平均指数在 2015 年年底上涨至超过 18000 点 (从 2009 年的约 7000 点), 但是全球依然存在着动荡不安的迹象: 欧洲继续出现的较高失业率以及眼下的难民危机; 美国的量化宽松政策已经结束、2015 年前 10 个月美国的非国防领域的订单下降了 3.8%、利率上升带来的担忧; 截至 2015 年 11 月, 在过去的 9 个月中, 中国的采购经理人指数 (PMI) 每月均低于标称值 50。

经济合作与发展组织 (OECD, 简称经合组织) 于 2015 年 11 月表示: “新兴市场的挑战、疲软的贸易和对潜在产出的担忧, 均暗示着较高的经济走低风险。”

经合组织预测, “今年全球经济增长约 2.9%, 而这一增长率远低于长期平均水平。”

尽管全球经济环境低落, 但是激光行业中一些公司的业界表现却分外抢眼。IPG Photonics 公司用于材料加工的光纤激光器产品, 继续从机械 / 传统切割和焊接工具手中攻城略地, 获得了更多的市场份额, 这也帮助

该公司在 2015 年第三季度实现了 2.435 亿美元的总收入, 增长率高达 22%。另一家表现抢眼的公司是致力于激光添加制造 (LAM) 或 3D 打印系统的 EOS 公司, 该公司 2015 年销售了 400 套激光加工系统, 使其激光加工系统的全球安装量达到了 2000 套; 如此骄人的业绩使得 EOS 2015 年的总收入飙升了 53%, 达到近 2.82 亿美元。

虽然这些高达两位数的增长率在我们跟踪的 15 家主要激光公司的 5.5% 的平均收入增长率 (2012-2014 年) 中异常突出, 但是光纤激光器和 3D 打印系统的全球性成功绝非异常现象。这两家公司只是更多快速增长的激

大多数经济预测都认为, 全球经济发展正处于在放缓状态。然而, 激光技术颇具吸引力的投资回报和能源效率, 将有望使全球激光器销售额于 2016 年再创佳绩。

文/Gail Overton, Allen Noguee, David A. Belforte, Conard Holton

激光技术被认为具备“打造 21 世纪创新”的能力, 同时联合国宣布 2015 年为“国际光年”, 也为激光技术赢得了空前的影响力。那么, 激光行业能否凭借着自身能力和新近获得的影响力, 在当前疲软的全球经济大环境中脱颖而出、事实上只需超越大约 3% 的全球 GDP 增长预期呢? 我们给出的回答是肯定的。我们预测, 2016 年全球激光器的总销售额将增长 4.2%, 达到近 105 亿美元。

2008/2009 年爆发的全球金融危机曾让激光市场一度处于高度焦虑状态。目前这场席卷全球的金融危机已经过去了七年多的时间, 股票市场已经复苏, 甚至在某些市场股指已经飙升到了新高点: 英国 FTSE 100 指数在 2014 年和 2015 年初接近 7000 点, 中国的上证指数也在跌落到 2000 点后于 2015 年中期再次触及 5000 点。

光公司中的两个简单例子而已。激光技术通过提高投资回报率和生产效率，已经在任何经济环境中力压群雄，脱颖而出。

牛市与熊市

“当邻国的经济不景气时，美国便不能依赖出口，”滨松公司 (Hamamatsu) 市场营销副总裁 Ken Kaufmann 说道，“中国的经济发展正在放缓，澳大利亚和巴西也因为依赖对中国的商品出口而处于经济衰退的漩涡中，而欧洲则陷入了经济增长低于 2% 的泥沼。”的确，全球经济是一个错综复杂、相互交织、相互依存的联合体。

然而，Kaufmann 却对光学技术的未来非常看好：“人口老龄化将转化为生物仪器和医疗行业的强劲增长；石油和天然气行业将要求更多的排放监测，这将相应地转化为对传感器和量子级联激光器技术的需求；而电子 / 相机 / 成像设备也将在物联网应用中激增。”

在日本，滨松公司的海外销售管理总经理 Atsushi Tsujimura 表示：“日本经济正在改善；企业盈利和个人消费仍然很高，而且由于有利的汇率，出口企业依然具有价格竞争力。”Tsujimura 指出，尽管全球经济放缓，但是光子和激光技术所实现的非侵入性、非接触和非破坏性方法，正在赢得市场的高度青睐。“我们预计，市场对我们的激光器、LED、探测器、光电倍增管、光电二极管和成像设备的需求会继续增长。”他说。

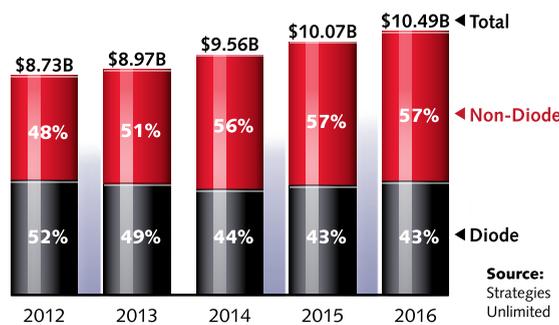
“虽然《华尔街日报》和《纽约时报》描绘了一副消极的经济画面，但是如果从中国未来 10-20 年的城市化发展需求来看，这里将蕴育一个强大的基本市场。”位于美国波士顿的市场咨询公司 Bos Photonics 的总裁顾波说道，“中国每年约有 2200 万新城市公民将拉动经济发展——他们需要住房、汽车以及中等级别的电子设备。世界可能只看到了中国经济增长的放缓，但是作为世界第二大经济体，中国 6.8% 的增长率仍然远高于全球经济名义上 3% 的增长率。”

金砖四国

首先，中国和中国放缓的经济增长始终是华尔街和欧洲金融机构乐此不疲的谈论话题，因为很多主流激光器制

造商的产品都将销往中国这一新兴强国。《经济学人》杂志给出了一个交互式图表，该图表基于 GDP 增长、通货膨胀和人民币的升值 / 贬值情况，来预测中国的 GDP 何时会超过美国。虽然这一预测年度会因很多因素而变化，但是预计这一情况可能会在 2020 年左右发生，尽管国际货币基金组织 (IMF) 预测 2016 年中国的 GDP 增长率将从 2015 年的 6.8% 下降到 6.3%，然而相比于美国 2016 年 GDP 增长率将从 2015 年的 2.6% 小幅上扬至 2.8% 的预测，中国 GDP 依然处于健康的成长态势中。

2016全球激光器总收入预测



相干公司继续在某些领域从中国市场获利，目前相干在亚洲的销售额已经占其总收入的 51%，其次是北美占 26%、欧洲占 17%。相干第四财季 (截至 2015 年 10 月 5 日) 的销售额温和增长至 8.025 亿美元，这主要有赖于其用于平板显示器 (FPD) 加工的 Linebeam 激光系统的强劲表现。

市场调研公司 HIS 预测，到 2018 年中国将主导 FPD 市场 35% 的市场份额，因此用于 FPD 加工的激光器产品在中国的销售将尤为强劲。

另外，在磁盘驱动器、CMOS 图像传感器、服务器、存储芯片和先进半导体封装和测试服务方面，中国也获得了相应的技术和知识产权。虽然 Gartner 公司预测 2015 年半导体资本设备支出将下降 1%、2016 年下降 3.3%，但预计中国的芯片生产将超过整个集成电路 (IC) 市场的增长，这要归功于中国政府在未来 5-10 年近 1700 亿美元的投资计划。

从历史上看，我们这一年度报告中的很多定性总结均聚焦于美国、欧洲和中国。那么，除了中国之外的其余金砖四国——巴西、俄罗斯和印度市场的情况又是怎样的呢？像非洲等其他新兴市场又有如何表现？这些国家进口或出口激光技术的情况如何？随着这些国家从新兴市场向工业化国家演进，他们是否能为未来的激光器销售额增长奠定坚实的基础？

“所谓金砖四国市场正在成漏斗型形成一个 C 市场；只有中国对激光器的销售额具有显著贡献，”德国 DILAS Diodenlaser 公司销售和市场营销总监 Jörg Neukum 说道，“巴西没有重要的 OEM 产业整合高功率激光二极管，并且巴西在激光加工方面的需求，除了少数当地激光设备

制造商外，主要是由欧洲或美国的激光系统供应商提供。汇率问题已经放缓了俄罗斯客户的海外购买能力，而且更为重要的是，因为乌克兰冲突俄罗斯一直在极端控制出口，这对我们的业务也有一定的影响。”最后，Neukum 补充说，“印度已经成为我们的一个主要科学市场。”

资料统计显示，印度市场中大功率激光切割机的存量约为 70 台，而中国的这一数字为 1500 台以上；因此可粗略获知印度市场的规模大约是中国的 5%。尽管印度生产和销售 6000 美元的轿车可能会受益于激光技术，但是印度固有的基础设施和生产模式，将会继续使用大量劳动力而较少采用自动化。

如今，许多销往印度和非洲市场的低功率激光器大多来自中国供应商，但是美国和欧洲供应商正在密切跟踪这些新兴市场和快速增长的市场，如墨西哥，这些市场中的汽车和电子制造商将会大量投资激光技术。此外，这些供应商也在密切关注俄罗斯市场的电信应用和用于支持采矿、石油和天然气业务的管道焊接与涂覆应用。

高功率激光器的光束传输技术的进步，已经使它们能够在厚材料切割方面超越传统的等离子技术，并且在某些情况下，激光焊接更快的焊接速度将带来生产效率的大幅提升，即使是在拥有廉价劳动力的新兴市场，也将会更青睐激光技术。除了主要的切割、焊接、消融和添加制造应用外，激光技术还拥有诸如医疗设备加工、激光投影等上百种应用，特别值得一提的是激光投影市场，该市场对任何激光公司而言都将蕴含强劲的增长机会。

商品化使利润走低

当开始着手写这篇年度激光市场报告时，我们总是向产业界和学术界询问“当下激光产业中的热点是什么？”以及“是否有一些‘杀手级应用’将大幅拉升激光器的销售额？”前几年的一些回答包括用于游戏/接近传感的红外 (IR) 激光器，如 JDSU 公司在微软 Kinect 上的成功；基于物联网的应用，例如用于光学火灾探测的低成本传感器；以及使用各种光子学和激光技术的智能手机附件。

事实上，几乎在每个街角和购物中心出现的监控摄像机，恰恰体现了技术在我们所处的社会中无处不在。正如摄像机一样，激光器也正在走进 OEM 的设备清单，用于服务大批量无处不在的应用。目前，微型光探测和测距 (LIDAR) 系统已经部署到无人机和自动驾驶的汽车中，自由曲面光学产品正在实现汽车激光二极管照明和复杂的 LED 光源设计。

然而不幸的是，随着激光解决方案在各类应用中的增多，生产数量的增加和生产成本（及销售价格）不可避免的下降，必将带来更低的利润率，这已经让很多通信器件供应商和 CD/DVD 光存储激光器制造商饱受困扰。

一个典型的例子是通用电气公司重新思考其照明业务的盈利模式的决策，特别是针对基于 LED 的灯泡。“照明是我们最古老的业务。将 LED 和分析能力相结合，相当于在过去安置灯泡的地点放置了一台电脑，”通用电气 CEO Jeff Immelt 在包含于该公司 2014 年年度报告内的总裁信中表示。“在世界各地的城市中，通用电气正在努力将路灯改造成城市生活的分析大脑。”

鉴于过去三年中一只 LED 灯泡

的价格已经从 25 美元降到了不到 4 美元，这基本已经没有什么利润空间，而且对于一个寿命长达 20 年的产品而言其更换率也近乎为零，因此 Lux Review 中刊登的一篇文章推测，通用电气此举无异于赔本赚吆喝，而其真正目的是想赢得那些更加有利可图的照明服务和基础设施业务。这种情况很容易地扩展到了大批量激光器应用领域，在该领域，某个“小众”产品可能确实会比下一个利润极低的大批量“热点”激光技术更加有利可图。

“当心你所渴望的东西，”美国光学学会 (OSA) 高级顾问 Tom Hausken 表示，“用于 400G 收发器、千瓦级光纤激光器或智能手机显示屏中的量子阱激光器，从技术层面看这是一项惊人的技术，对于一个普通人来讲，它甚至与魔法别无二致。但有时候，我们的工程师在开发技术方面太聪明了。实现快速技术进步并实施严格的标准，可能意味着它们无法获得应有的研发回报。最好的例子就是太阳能电池和 LED，”Hausken 补充说，“价格下降的雄伟目标已经实现，但现在却很难获利。相反，那些销售我称之为哑巴‘弯曲金属’产品的公司，往往可以通过购买低利润的产品，如 FTTH 激光器或 LED，并将它们插在满足客户需求的机箱中而获得更好的利润。”

Hausken 并非反对大批量激光器销售。“那些率先进入市场的公司，能通过价格、规模和投资回报等优势在市场中获利。这也将使这些公司在下一个大规模市场中占据更有利的地位。”

制造业重整旗鼓

在美国，政府机构认为下一个“热

门事件”只能来自于重点科学学科的定向投资。为此，美国提出了国家制造业创新网络（NNMI）计划，其目的是要协调在新兴的先进制造技术领域的公共和私人投资，致力于将产业界、学术界和政府合作伙伴整合在一起，以推动制造业创新，加快商业化。

为重振制造业，美国奥巴马政府已经建立了多个国家制造业创新研究所，其中第一个是 America Makes，其专注于添加制造和 3D 打印。在 2015 年年中，由纽约州立大学（SUNY）带领的一个团队，获得了美国国防部 1.10 亿美元的资助，用于建立制造创新集成光电子研究所（IP-IMI），现在被称为美国制造集成光子研究所或 AIM Photonics。IP-IMI 旨在推进光子集成电路（PIC）的设计、制造、测试、组装和封装技术的发展。

欧洲的框架计划和关键使能技术（KET），致力于先进制造业和材料、工业生物技术、微/纳电子学、光子学和纳米技术，其已经为欧盟的研究和创新项目“地平线 2020”在 2014-2020 年间获得了近 850 亿美元的资金支持（私人投资除外）。这些资金投入的目的是要在科学和工业领域获得突破，同时应对社会挑战，让技术从实验室走向市场。

再看中国市场，中国政府提出了《中国制造 2025》纲领，旨在未来的十年中将中国发展成为制造业强国，这十年也将使中国的激光产业迎来黄金十年。2015 年 11 月于武汉举行的中国国际光电博览会及论坛上，华工激光总裁闵大勇表示，作为一种先进的制造工具，激光技术将在“未来十年中国转变成世界领先的制造业巨头的历程中”发挥重要作用。

国际光电子计划继续通过提高对光技术的了解、以及改善小型和大型激光公司的资金状况，而让激光行业受益。

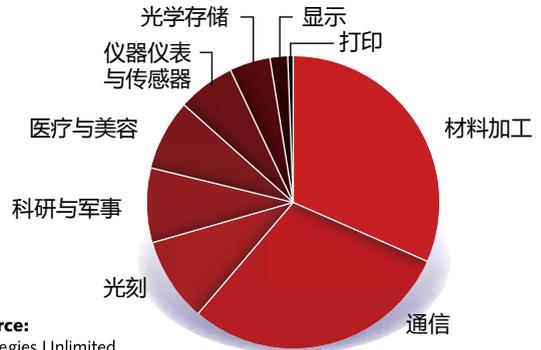
细分市场

今年，激光器在材料加工和光刻市场获得的总收入超过了通信和光存储市场，这主要是因为我们在前文中所讨论的商品化问题。科学与军事市场是激光器的第三大市场，随后是医疗与美容市场和仪器仪表与传感器市场。娱乐、显示器和图像记录市场继续是几个规模较小但却比较重要的激光市场。

（一）材料加工和光刻市场

全球制造业中充满着不确定性。在过去的数月中，世

激光器应用市场分类饼图



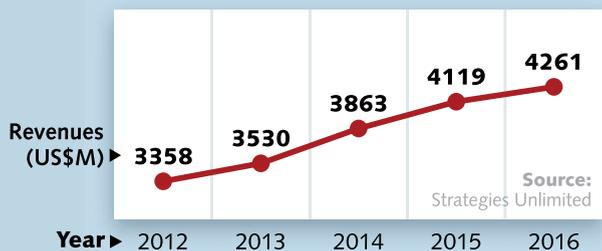
Source: Strategies Unlimited

界经济状况持续恶化，中国、东南亚、欧洲和中东地区的成品需求下降，致使美国西海岸港口时常有载着空集装箱的货船返航亚洲。与此同时，美国制造业也因为消费者对非必需商品的出口需求下降而开始感觉到市场的低迷。

这种充满惶恐的经济大环境，使得今年的全球工业激

材料加工和光刻市场

包括用于所有类型的金属加工（焊接、切割、退火、钻孔）的激光器、用于半导体和微电子制造（光刻、划线、修复、钻通孔）的激光器、用于所有材料打标的激光器，以及用于其他材料加工（如有机材料的切割与焊接、快速成型、微加工和光栅制造）的激光器。也包括用于光刻的激光器。



Source: Strategies Unlimited

尽管欧洲大部分地区经济疲软、中国经济放缓以及美元走强，工业激光器的销售额依然努力保持了相当强劲的增长态势，特别是高功率光纤激光器的销售额。2015 年汽车销售创下了新纪录，尤其是轻型卡车和 SUV 车，这推动了用于金属切割的激光器销售额的增长。

在中国，受益于中国政府致力于发展先进制造业的雄心，用于制造业领域的激光器的销售额并未受到经济衰退的影响。用于打标和其他低功率应用的激光器的销售额，确实出现放缓，但是超快激光器的销售额一直保持强劲。

DRAM 和 NAND 闪存产能的过剩，是导致 2015 年用于光刻市场的激光器表现不佳的最大罪魁祸首，并且向极紫外（EUV）光刻过渡也没为光刻市场带来多大帮助。

激光器市场分析也处于一种黯淡的氛围中，我们从商业媒体的头条报道中可以对“全球热点对全球制造业的影响”窥见一斑。

正当欧洲在数月出现令人不安的经济新闻后设法表现出稳定迹象之际，世界领先的汽车公司爆出的丑闻和恐怖袭击带来的灾难震撼了整个西欧，忧虑的增加将扼杀欧元区经济体的增长。中国和日本（自亲商首相选举以来日本正处在其第二次衰退大潮中）经济的低迷导致亚洲经济增长放缓，而期望中的新兴国家和世界其他地区对提振经济所做的贡献并未发生，这使经济环境更加恶化。

好在来自工业激光器领域领先制造商的乐观消息，能在一定程度上冲淡一下这些令人沮丧的消息。世界上最大的工业激光器/系统供应商德国通快公司旗下的激光技术事业部，在2014/2015财年实现了16.8%的业绩增长，总收入达到9.46亿美元；该公司预计2015/2016财年的业绩增长率为一位数。

挑战通快公司市场领导地位的是光纤激光器制造商IPG Photonics公司，该公司2015年第三季度获得了22%的突出业绩增长，并在充分考虑季节性因素对第四季度销售业绩影响的情况下，预计该公司的年度总收入将达到近10亿美元的水平。紧随之后的两家公司是相干（8.02亿美元，增长1%）和罗芬（5.20亿美元，下降2%）。

那么，这究竟是怎么回事？在市场实力方面，激光行业与全球制造业不同步吗？毕竟只有IPG Photonics一家公司实现了强劲的两位数季度增长。Industrial Laser Solutions跟踪了四十几家全球上市公司，虽然整体的季度表现喜忧参半，但是大规模的公司都通过三个季度的财报显示了增长迹象。这些公司大多是光纤激光器和超快激光器供应商。难道这些激光器没有被那些正在经历经济困难的制造商所采用吗？

答案既是肯定的又是否定的。激光产业的发展曲线（其已经最终与国际机床销售周期同步）可能会再次落后于制造业曲线，其在关键市场的强劲销售将延伸到2016年上半年的营业收入中。而光纤激光器和超快激光器在特定行业的大幅收入增长，正在抵消其他市场的不佳表现。

2014年的收入数字已经比Industrial Laser Solutions于2015年一月发布的数字有所调整，因为市场研究公司Strategies Unlimited对分类进行了调整，以便更能反映技术的演进。另外需要指出的是，高功率碟片激光器的收入被计入到固体激光器类别中。

2015年工业激光器总收入增长6.9%，其中最大的驱动力是用于宏观加工应用的光纤激光器的持续强劲增长（22%）。宏观材料加工大约占据了所有工业激光器总收入的一半，这也是可以理解的，因为这些激光器的单位售价通常较高。总体而言，宏观材料加工增长9%，其中焊接设备增长17%。

2015年光纤激光器继续高速增长，其继续从CO₂激光器和固体激光器手中抢占市场份额。光纤激光器应用全面增长，其中用于打标低功率激光器增长6%，用于微观材料加工的中等功率激光器增长了10%，而用于宏观应用的激光器增长了22%，其中金属切割应用增长5%。

CO₂激光器从低功率到高功率的市场份额全线丢失，因为中等功率到高功率的光纤激光器和碟片激光器蚕食了原来CO₂激光器的市场份额。固态激光器保持了平稳增长，因为来自碟片激光器的较高收入抵消了二极管泵浦固体激光器（DPSS）在打标应用中的收入下滑。用于切割和焊接的高功率二极管的预期增长，将转入到2016年。

激光制造市场放缓的第一个迹象，显示在2015年打标市场（4%）和微观材料加工市场（4%）温和的个位数增长，相比之下宏观材料加工市场更加强健，增长了9%。

再有就是激光添加制造，有时也被误称为3D打印，因为从技术上讲，3D打印并不都是激光应用。激光添加制造利用各种类型的工业激光器作为动力源，实现直接金属激光沉积或烧结，其已经引发了全球制造商的想象力，从中型到大型激光添加制造系统的销售已经获得快速增长。2015年激光添加制造市场比2014年增长71%，预计2016年有望再次创下同等佳绩。

2015年，半导体/印刷电路板/显示器市场遭受重创，随之，工业激光器也在该市场中出现了在所有应用中最大的跌幅（-13%）。2015年半导体市场的严重疲软，在很大程度上是该行业此前曾经经历过的一种周期现象，尽管预测2015年该行业将为零增长，但是随着下半年消费者的购买增加，我们依然希望看到些许增长迹象。

2015年太阳能领域的材料微加工应用表现强劲（9%）。随着太阳能电转换效率的提升促使更多的美国家庭消费者开始拥抱太阳能技术。由于对太阳能行业补贴政策的修订，有可能使上述增长率在2016年放缓至5%。

纵观2015年的整个激光应用市场，很显然大多数应用都处于积极的增长态势中（少数例外）。这让我们再次回到了在本部分内容一开始提到的一点：即激光行

业与全球制造业不同步。似乎某些行业的确如此：航空航天、汽车（SUV和轻型卡车）、金属制品和医疗设备在2016年年初继续走强；而以消费者为导向的电子、电器及半导体领域的放缓将延续到2016年。我们预计，2016年将在一个良好的开端之后，增长更加缓慢。我们基本上认为2016年将是2015年的翻版；2015年的表现并非那么糟糕。

（二）通信和光存储市场

2015年，Oclaro、Infinera、Finisar和NeoPhotonics等公司，充分利用了各自在硅光子学及PIC方面的专长，拓展激光器在电信市场的销售业绩。

Oclaro公司2015年第一财季（截至2015年9月26日）的销售额，从上个季度的8220万美元增长到了8750万美元，其基于磷化铟（InP）PIC的100G产品系列的强劲表现功不可没。在同一季度，Infinera的销量额也从一个季度的2.073亿美元跃升到2.325亿美元，而其2014年同一季度的销售额仅为1.736亿美元，这主要归功于其在城域和长距离通信市场的强劲表现。

Finisar在截至2015年11月1日的一个财季，其面向电信应用的产品销售额增长了2.3%，受100G以太网收发器、10GB可调谐收发器及波长选择开关产品销售的驱动，收入走强。NeoPhotonics在截至2015年9月30日的一个财季，销售额较2014年同期增长2.4%，达到8360万美元，其中100G产品销售强劲。NeoPhotonics正在将产品拓展到400G甚至更高水平。

“多模光纤链路继续在数据中心繁荣发展，用于连接长达300米的距

通信和光存储市场

包括用于电信、数据通信和光存储的所有激光二极管，也包括用于光放大器的泵浦二极管。

尽管2013-2015年通信市场的表现依然相对比较强劲，然而有迹象表明2016年乃至以后，这部分市场可能会稍有放缓。这部分市场受有线和无线数据及语音需求的驱动，尽管有线和无线通信流量每年都在增长，但是增长速度正在放缓。此外，尽管当有更更新的技术在网络范围内广泛部署时，服务供应商往往趋向于以井喷式的方式升级他们的网络；然而有线和无线正处于过渡期，估计下一代无线技术在2020年前不会出现。



光存储市场的前景依然保持暗淡。DVD、CD和Blu-ray媒体的销售额继续下降，更多基于云的解决方案，省去了对大型本地存储的需求。热辅助磁记录（HAMR），其利用激光增加磁介质的存储容量，已经被看好了很多年；希捷表示2017年将推出相关产品，但到那时它能有真正的市场吗？也许大型数据中心会用到它。

离，尽管25 Gbit/s和50Gbit/s的日益增长的数据率会将距离限制在100米之内。”加拿大OneChip Photonics公司首席执行官Michael Leby说道，“目前单模光纤链路是2公里和10公里链路的首选平台，并且随着成本变得更具竞争力，单模链接将在100米距离范围内与多模链路展开更多竞争。”

Leby继续表示，“VCSEL作为多模链路的基础光源发射器，将继续把持100米之内的短距离链路市场；而集成到PIC平台中的1310nm FP和DFB激光器，也将随着其功耗水平、体积和成本等优势在大型数据中心客户的要求下不断提升、使得单模PIC解决方案继续增长，随之FP和DFB激光器也会赢得市场的青睐。此外，PIC平台在未来五年中将何去何从目前尚不清楚——磷化铟是当前的现役者，但是硅光子学和聚合物光子学都在争夺这一市场，这能显著改变收发器的设计。”

“基于PIC的硅光子方案仍比

立的FP和DFB激光器昂贵10倍，但是它们却对降低新建数据中心的功耗大有帮助。”Leby强调说，“不过，似乎很少有公司愿意接受超大型数据中心企业所主张的低利润，而这些超大型数据中心企业正在成为光纤收发器的大客户。事实上，正是这些大型数据中心企业，通过要求一定的价格/性能水平而不顾其供应商的利益，而搅乱了电信和数据通信市场。因此，从长远来看，中国台湾和中国大陆的公司可能从中受益，因为他们愿意接受薄利多销。”

“激光通信市场的利润，主要来自于基于InGaAsP/InP材料的低功耗单模激光器，”EPIC总干事Carlos Lee说，“这些激光器的客户主要是通信系统制造商：例如阿尔卡特朗讯和华为，他们使用这些器件设计符合网络要求的功能强大的通信系统。”

Lee继续表示，“这部分市场由Finisar公司主导，2014年其占据了这部分市场收入的16%，但是大多数供

应商来自美国或亚洲。由于通信器件市场通常是一个大批量、低价格的阵地，因此我们研究的每家公司都在拓展其产品种类，以满足其他细分市场的需求。”

我们预测，2016年激光器在通信和数据存储市场的销售额将超过35亿美元，比2015年增长约1.7%。

(三) 科研和军事市场

根据美国 Battelle 公布的《2014 年全球研发经费预测》，预计 2014 年和 2015 年的全球研发支出将会增长（尽管 2015 年的增长率会下降）。预计 2014 年全球研发总支出为 1.6 万亿美元，其中美国、中国、日本和欧洲占据了 78%。另外预计到 2022 年，中国的研发总支出将超过美国而位居世界第一。

尽管日本占据了全球研发总支出的 10%，Paradigm Laser Research 公司总裁 Kunihiko Washio 说道，“来自欧洲的大量进口已经放缓了日本激光器的发展，并且直到最近日本政府在工业激光技术领域的投资依然迟缓。” Washio 表示，日本正在重新考虑激光器在加工新型高附加值材料——如用于高温功率器件的宽带隙碳化硅 SiC，以及轻量、高强度复合材料 CFRP——方面的价值。他补充说，“日本现在要投资开发高亮度、高效率的短脉冲和超短脉冲激光器以及连续波激光器。”

超快或超短脉冲激光器继续处于新材料加工和科学应用的最前沿，需要实施大量的研发工作让这些激光器走出实验室、进入主流应用领域。特别需要注意的是，使用 Kagome 或光子晶体光纤的超短脉冲光束传输方案，

需要进一步提高到与传统 CW 固体激光器的能力相当的水平。

幸运的是，Photonic Tools 等公司已经开发出一种微结构空芯光纤 (MHCF) 超快激光束传输系统，其能传输平均功率超过 100W 的皮秒和飞秒脉冲，同时保持单模性能。

日本 Kimmon Koha 公司有 95% 的销售额来自 325nm 和 442nm 的氦镉 (HeCd) 激光器，该公司已经在多个应用领域（从检测到拉曼光谱、到光致发光研究）看到了平稳缓慢的增长态势。Kimmon Koha 公司执行董事 Masamori Nakahara 表示，紫外 HeCd 激光器正在享受着两位数的增长，但是日元的走弱使进口材料成本高昂，从而削弱了该激光器的利润。

在美国，Newport 公司为激光和光电子研发市场的健康发展提供了一个很好的例证，并且其在财报中公布了科研收入。截至 2015 年 10 月 3 日的第三财季，Newport 的销售收入为 1.476 亿美元，仅比上个财季下降

0.3%，但比 2014 年同期增长了 0.9%。然而，尽管 Newport 在微电子和工业制造市场走低，但是其该季度来自科研市场的销售额，却比上个季度增长了 9%、比 2014 年同期更是增长高达 13%，这一点与 Battelle 的全球研发经费预测的积极趋势相符合。

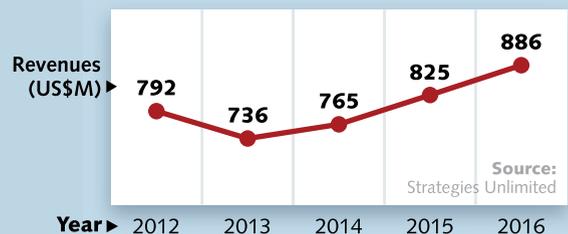
不同于在研发市场的强势发展，2015 年第三财季 Newport 在国防和安全市场的销售额较上一季度下降 2%，订单量下降了 13.7%，下滑量超过其他所有市场。但 Newport 的国防销售额与主要军事系统供应商的表现并无很好的相关性。截至 2015 年 6 月 30 日，英国 BAE Systems 公司在六个月内的销售额比上年同期增长了 11%，达到 127 亿美元。同样，法国 Thales Group 公司 2015 年上半年的销量也增长了 11%，达到 67.3 亿美元。

虽然我们并未看到军用激光器的销售额也以如此高的速率增长，但是我们预测军用激光器的收入将会增长，特别是受到高功率和中红外激光技术

科研和军事市场

包括用于基础科研的激光器，用户为大学和国家实验室，以及用于新型和现有军事应用（如测距仪、照明器、红外对抗和定向能武器研究）的激光器。

2015 年是不同的一年。尽管美国政府 2013 年关门极大地影响了在科研和军用激光器方面的支出（2014 年仅做了部分修正），但是 2015 年基本回归正轨。虽然美国和欧洲用于科研的整体支出依然与过去持平，但是在激光器方面的开支所占的比例却明确增加；在过去的一年中，用于照明、交通和医疗用途的激光器的研究经费均有所增加。中国的科研经费持续增加，并有可能在 2020 年超过美国。



激光在军事领域也发挥了更大的作用。激光导向武器正在用于消除攻击航母或地面目标的小型飞机和无人机的近距离威胁。2015 年 9 月，Northrop Grumman 公司获得了 3500 万美元的合同，用于首次使用量子级联激光器为轻量型飞机生产红外对抗系统。在未来五年内，仅针对这类系统的合同价值便有可能超过 15 亿美元。

增长的驱动。高功率激光器公司，如 IPG Photonics，正在受益于来自一级国防承包商的定向能武器（DEW）研发项目的激增，尽管其中许多项目有很长的酝酿期。

2015 年 8 月，美国军方授予了 Northrop Grumman 公司一份超过 3500 万美元的合同，后者将为通用红外对抗（CIRCM）计划开展相关的工程、制造及初始生产工作。Northrop Grumman 公司的合作伙伴 Daylight Solutions 通过为红外导弹威胁的定向激光干扰器提供量子级联激光器（QCL）技术而从中受益。

除了红外对抗市场，量子级联激光器也开始在国防、生物医学和安全市场大显身手；Pendar Technologies 公司正在开发一款紧凑型量子级联激光器阵列模块，其工作在 7~11μm 波段，用于爆炸物探测，该产品也是美国国土安全部（DHS）宽可调谐红外源（WTIRS）计划的一部分。

（四）医疗和美容市场

“我们的 OEM Instrument Quality IQ 激光器赢得了生物医学应用的青睐，这种应用对波长和功率的稳定性要求较高。” Power Technology 公司销售与工程副总裁 Walter Burgess 说道，“由于经济原因，迫使许多客户在 2014 年从亚洲采购成本较低的激光器产品，现在这些客户正积极追求美国制造的更高质量的产品。尽管 2014-2015 年间我们仅实现了温和的销售增长，但是我们预测 2016 年的业绩将增长 10%，这将得益于我们的输出功率高达 20W 的 Grande 激光二极管模块，该功率水平是去年我们提供的单一激光器的 10 倍。”

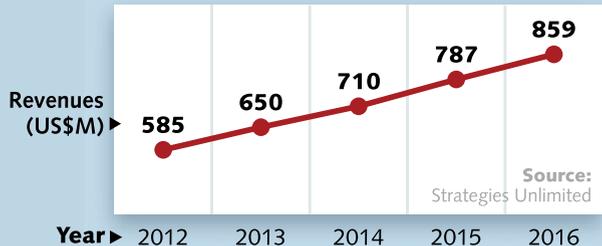
光动力疗法（PDT）应用需要特定波长的激光二极管。例如，Theralase Technologies 公司正在开发一系列能够吸收红光、绿光和近红外光的光动力化合物（PDC），用于破坏癌细胞，目前该公司正在与加拿大卫生部合作，并且获得了 FDA 批准。在最近的一项大鼠试验中，该公司的钕光动力化合物完全破坏了肌层浸润性膀胱癌（MIBC）肿瘤，同时保持周围的组织和血管不受治疗影响。

同去年一样，芬兰 Modulight 公司并未感受到经济放缓的迹象，其医疗激光系统的销售额再次增长 30%。Modulight 公司执行总裁 Seppo Orsila 表示，该公司的 ML7710 PDT 激光系统的输出波长为 400~2000nm，适用于从牙科到外科手术、再到光消毒的各种应用，目前该产品的客户数量已从过去的一家制药公司拓展到六家以上。

GSI 集团 2015 年第三季度的总收入为 9230 万美元，

医疗和美容市场

包括用于眼科（包含屈光手术和光凝治疗）、外科手术、牙科、皮肤科、脱毛、治疗和其他美容应用的激光器。



医疗激光器市场一直保持着增长态势，似乎能够轻松地应对任何经济波动。2015 年，用于美容和皮肤治疗的激光器增长尤为强劲，用于手术的激光器紧随其后。虽然激光器在医疗领域的应用已有多年历史，但也仅仅是在最近几年，激光器才发展得足够牢固可靠而能满足小型医疗机构的需求：既要成本合理，又不需要昂贵的维护和调节费用。牙科激光器仍然是一个相对较小的市场，它们依然未被众多小型牙科诊所采用。

比上年同期的 8880 万美元增长了 4%。GSI 集团旗下拥有 Synrad、Cambridge Technology 以及最近收购的 Lincoln Laser 公司。GSI 集团首席执行官 John Roush 在公司的季度财报中表示：“在本季度，我们收到了来自医疗应用的强劲订单，这在很大程度上帮助我们缓解了高级工业终端市场的疲软。”

2015 年全球医疗和美容激光器的销售额为 7.87 亿美元，我们预测 2016 年该市场仍将保持健康的发展轨道，总销售额将增长至 8.59 亿美元。

在激光美容市场，Cutera 公司 2015 年第三季度（截至 2015 年 9 月 30 日）的总收入为 2310 万美元，比去年同期增长 23%（其中北美市场增长 80%），这是其连续第五个季度实现销售收入的两位数增长。Cutera 公司显著的销售增长归功于其用于去除纹身和良性色素病变治疗的双波长（1064nm+ 532nm）双脉宽（750ps + 2ps）激光系统，以及其 HR 长脉冲 1064nm Nd:YAG 激光器和新推出的用于脱毛的高功率 755nm 紫翠玉激光器。

从地域上来看，美容激光器的销售在北美地区增长最快。2015 年第三季度，Syneron Medical 公司在北美市场的收入增长 15%，达到 6210 万美元——比去年同期增长 3%。同样，Cynosure 公司 2015 年第三季度的收入增长了 10%，达到 7840 万美元，其中有 29% 的收入来自北美市场。

Cynosure 表示，来自国际市场的收入基本与去年同期持平，这主要是因为汇率带来的不利影响以及欧洲和中国市场的持续疲软。

“我们有 75% 的销售额来自欧洲市场、10% 来自中东市场、15% 来自亚洲市场，我们很高兴地看到，随着南欧经济正在从长达七年的高失业率中缓慢复苏，南欧消费者在非必要物品上的消费也随之回暖。”西班牙 Monocrom 公司销售和市场营销总监 Carles Oriach Font 说道，“2015 年我们的 OEM 激光器的销售额增长了 40%，这主要受益于一些系统供应商要获得某些 FDA 和 CE 认证。目前，我们的销售重点正在从高功率激光器 (>2kW) 转向美容激光设备所需要的更低功率的激光器 (<1.2kW)，我们预测 2016 年的销售额将增长 25%。”

曾有人声称美容激光器代表了激光器的一个真正的“杀手铜应用”，然而除了美容乃至外科手术应用外，激光器还意欲通过高通的 Tricorder X-Prize 大赛吸引更多眼球。截至 2015 年 11 月，Tricorder X-Prize 大赛已经选出 7 家决赛单位展示他们的手持设备，这些手持设备能够测量血压、呼吸和体温等关键健康指标，并能诊断 15 种疾病。在入围的 7 家决赛单位中，至少有两家公开了采用的激光技术：美国 DNA Medicine Institute 利用了激光荧光技术；印度 Danvantri 采用了多种器件，包括一个基于光的脉搏血氧仪和红外激光二极管。

无论最终谁赢得 Tricorder X-Prize 大奖，医疗激光器市场都将继续朝着多样化的方向发展，即使是在困难的经济环境中。例如，对于大多数工业化国家而言，人口老龄化是一个残酷的现实问题，而基于激光器的定点护理诊断工具，如针对结核病的基于二极管激光器的气息屏幕、用于早期阿尔茨海默氏病检测的基于激光器的眼科测试，将继续为工业化国家和新兴国家提供服务。

（五）仪器仪表和传感器市场

光谱学、多光子显微镜学、光学相干断层扫描 (OCT)、激光雷达以及分布式光纤和声光传感系统，正广泛应用于基于激光的各种仪器仪表和传感系统中，并且它们的应用正日益变得无处不在。我们预测，2016 年激光器在仪器仪表和传感器市场的销售额将增长到 6.75 亿美元。

非常有趣的是，大大小小的国家都在各种仪器仪表和传感应用中使用激光器并从中获益。立陶宛激光协会在 2013 年的一次演讲中表示，立陶宛占据着世界高能皮秒激

光器和超快参量光发生器市场 50% 以上的份额。

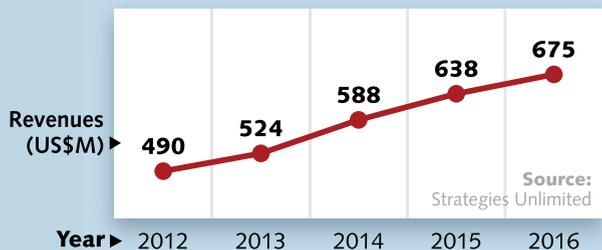
尽管有 25% 的销售额来自工业材料加工市场，但是立陶宛的激光公司均致力于为仪器仪表和传感应用供应激光器：Brolis Semiconductors 公司的中红外半导体宽带增益芯片，广泛适用于可调谐光谱应用；Ekspla 公司提供太赫兹、二次谐波产生 (SHG)、振动和频产生 (SFG) 和相干反斯托克斯拉曼光谱仪 (CARS) 等产品；Integrated Optics 公司在面向拉曼、荧光光谱以及表面增强拉曼散射 (SERS) 衬底应用的微型 MatchBox 系列激光器方面拥有专利；TeraVil 公司制造太赫兹时域光谱系统及元件。

“我认为 2015 年是超快激光器在工业领域获得突破的一年，特别是超快光纤激光器。”Toptica Photonics 公司总裁 Wilhelm Kaenders 表示，该公司 2015 财年（截至 2015 年 9 月 30 日）的销售额增长了 10%。“这样的增长势头适用于 Toptica 服务的所有市场，从生物光子学到生物医学、从双光子聚合到高速材料加工。”

Kaenders 表示，多光子 / 非线性显微镜领域正在越来越

仪表和传感器市场

包括用于生物医学仪器、分析仪器（如光谱仪）、晶圆和掩膜检测、光学测量、水平测量仪、光学鼠标、手势识别、激光雷达、条码阅读器及其他传感器中的激光器。



激光仪器和传感器包括各种应用，近年来这些应用已在诸多领域变得越来越重要。对于大多数自动驾驶的车辆而言，不但激光雷达必不可少，而且激光传感器正越来越多地出现在一些常规的汽车应用中，如自助泊车功能、车道偏离应用、自动巡航控制及其他安全应用。虽然用于天然气和石油钻井的光纤传感器的销量急剧下降，但是光纤传感器的其他应用，如桥梁监测和安全应用等，已经大幅抵消了石油天然气市场的下跌。

虽然该市场中的一些应用需求基本与过去持平或正在下降，如用于条形码阅读器和电脑鼠标中的激光器（以及那些将无法回到以前水平的应用），新的应用，如手势和面部识别正处于非常早期的阶段。此外，智能手机正在提供一系列低成本应用，这将帮助激光传感获得更广泛的用户。

越多地采用新颖的激光方案，特别是那些基于光纤激光器的解决方案，它们能相对容易地获得钛蓝宝石激光器无法实现的波长范围。“我们还看到了市场对我们的多色激光引擎的广泛兴趣，它们频频被用于共聚焦显微镜或流式细胞仪中”。

除了显微镜、光谱仪和流式细胞仪，OCT 和光纤传感领域也并未显示出放缓迹象。OCT 先驱 Eric Swanson 估计，2013 年 OCT 仪器仪表市场的规模为 4.5 亿美元，预计 OCT 市场将以超过 10% 的年度增长率增长。眼科 OCT 仍然是最普遍的应用，其次是心血管和胃肠道应用。德国 Carl Zeiss Meditec 公司表示，在其第三财季之前的九个月，来自其眼科系统事业部的收入增长了 13.9%（或经货币调整后为 5.7%），特别是屈光激光器在该收入增长中发挥了重要作用。

虽然燃油价格处于历史低点，但是美国 Strategic Directions International 公司 (SDi, 该公司是《Instrument Business Outlook》的出版者，同时也提供有关拉曼和傅立叶变换红外 (FTIR) 光谱、石油和天然气传感以及粒子分析等市场报告) 在 2015 年 8 月的石油天然气总结报告中表示：“石油价格在 2014 年下半年下跌了大约 50%，而且目前尚未恢复。尽管这可能表明石油公司正在勒紧裤腰带过日子，而对仪器仪表的需求也可能会因此而受到影响，但事实却是另一回事。在 SDi 针对石油和天然气市场的调查中，有超过半数的受访者预计，明年他们将增加在仪器仪表方面的预算。”

（六）娱乐、显示和打印市场

今年，我们将以往的“娱乐和显示市场”与“图像记录和打印市场”整合为了“娱乐、显示和打印市场”。尽管这些领域中的一些市场正在经历着健康的成长，但是相比与我们跟踪的其他激光市场，这部分市场的规模依然较小。

2015 年，基于激光的娱乐和灯光表演继续在大多数电视音乐会和颁奖节目中得到普及。最近几年，这部分市场并没有显著的技术变化，只是可见光娱乐激光器的成本（通常为红光、绿光和蓝光）继续下降，使得它们在经济上能被更广泛的受众群体所接受。

基于激光的电影放映继续向世界各地的电影院渗透，甚至一些光纤激光器制造商也正在寻求进入该领域。在最近的一次新闻发布中，Christie 公司宣布，其 6-Primary (6P) 双头激光投影系统是 3D 电影的首选，并表示“迄今为止，

娱乐、显示和打印市场

包括用于灯光秀、游戏、数字影院、正向投影仪、背向投影仪、微型投影仪和激光指示器中的激光器。也包括用于商业印前系统和相片冲印系统中的激光器，以及用于消费和商业领域的传统激光打印机中的激光器。



虽然这一市场领域的大多数激光器收入来源于激光表演应用，但是已经有越来越多的激光器正用于商用数字投影仪、激光微型投影仪、汽车大灯以及一些激光投影电视中。然而，尽管所有这些显示应用都在增长，但有一种应用将脱颖而出：即用于数字电影放映的激光器。迄今为止，全球大约有 15 家激光数字影院在运营，随着越来越多的电影院支持这项技术，这一数字有望快速增长。IMAX 已运营 9 家这样的影院，预期到明年年底会有更多家激光数字影院投入运营。

约有 100 台最先进的 RGB 激光投影仪和数百个激光模块，已经运往世界各地的高端影院和主题公园。”

“显示和投影终将发展成为一个不容忽视的市场，”德国 DILAS 公司的 Neukum 说道，“我们有 40W 638nm 光纤耦合半导体激光器和 25W 450nm 光纤耦合产品服务于该市场。目前我们正在开发 80W 638nm、150W 675nm 以及 50W 450nm 的更高功率的光纤耦合器件。”Neukum 表示，2015 年的销售额比 2014 年增长了约 7%，他希望 2016 年能实现类似的增长率。

在微型投影市场，Microvision 公司的 PicoP 技术已经被集成到夏普的新一代 RoBoHoN 机器人中——这是一个非常可爱的 20cm 高的机器人，其集成了智能手机和摄像机功能，能从其前额投影图像，其背部装有一个液晶屏，并配有麦克风、扬声器以及面部和语音识别系统。

在图像记录市场，市场研究公司 IDC 表示，2015 年全球打印机销售略有下滑，估计每个季度激光打印机的销量约为 1000 万台。但是大多数预测认为，多功能激光打印机将继续以大约 8% 增长率强劲增长。

我们预测，2016 年来自娱乐、显示和打印市场的综合收入将增长近 19%，达到 3.07 亿美元。□

红外照明

半导体激光器的红外照明应用

文/高雷 王敏 宋涛，西安炬光科技股份有限公司

近红外和短波红外激光用于主动照明，具有照射距离远、隐蔽性好、成像质量高、透雾性好等优点，在远距离视频监控照明、轨道交通检测、安全侦查照明等领域日益广泛应用。近年来，随着半导体激光器工艺快速发展，激光波段不断向可见光和短波红外波段拓展，输出功率、可靠性都有显著提高的同时成本快速下降，这使得半导体激光器照明已成为主要的红外机器视觉光源。

本文针对远距离视频监控照明、轨道交通检测照明以及安全侦查照明的具体应用，分析了不同应用场景对半导体激光器的需求及炬光科技 FocusFlux™ 系列半导体激光照明解决方案。

远距离监控红外照明

红外半导体激光照明作为视频监控技术领域一个高速发展的新兴方

向，已经广泛应用于高速铁路、高速公路、平安城市高点监控、边境线、重要战略设施的夜间视频监控补光照明。相比传统的闪光灯照明及LED红外照明，红外激光具有非常明显的优势：1) 照明距离远：可将传统的夜视百米距离提升到3~5公里；2) 隐蔽性好：采用人眼不可见的近红外波段激光照明(808~1550nm)，可实现全黑环境下隐蔽监控；3) 低功耗：红外半导体激光器50%以上的光电转换效率，大大降低了夜视监控的功耗；4) 寿命长、可靠性高：远距离夜视监控设备多在野外环境使用，维修成本高，半导体激光器寿命能达到20000小时，并可在-45~60℃温度环境中可靠工作，夜视设备维护周期得以延长，从而降低了维护成本。正是基于上述优势，红外半导体激光照明开辟并大大拓展了视频监控应用的领域。随着半导体激光器成本的不断降

低，一些传统的视频监控应用领域也正在逐渐采用激光夜视设备。

将红外激光照明用于远距离视频监控照明，要着重解决激光器在极端恶劣环境下的可靠性、寿命问题，以及激光散斑对于照明成像分辨率的影响。远距离监控设备多安装在野外环境，环境恶劣。极端高低温环境、高湿度等都对激光器的可靠性和寿命提出严峻考验。要解决这个问题，采用无钎化的金锡焊料封装是提高激光器性能和可靠性的有效手段。相比传统的钢封装工艺，金锡封装工艺具有以下显著优势：1) 金锡焊料熔点(283℃)是钢焊料熔点的近2倍(156℃)，因此在高温工作环境下，金锡焊料激光器的可靠性更为突出；2) 金锡焊料作为共晶焊料，电迁移现象远远小于钢焊料。从图1和图2中可以清楚地看到钢焊料封装易引起激光芯片焊接面电迁移和空洞，钢封装的器

件寿命明显较低^[1]；相比之下，金锡焊料封装激光器的寿命远高于钢封装激光器；3) 金锡焊料抗热疲劳能力明显优于钢焊料，在环境温度变化剧烈或者长脉冲工作模式下，钢封装材料的热疲劳现象会导致激光器寿命大大缩短。

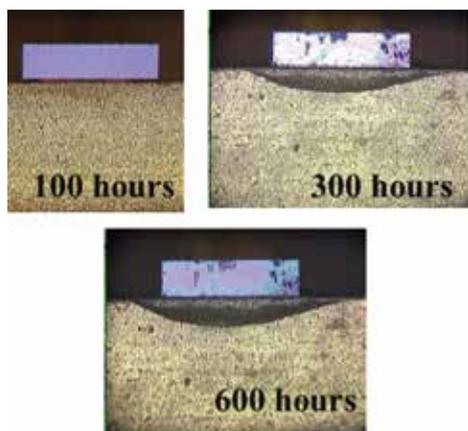


图1：钢封装导致的电迁移和空洞。

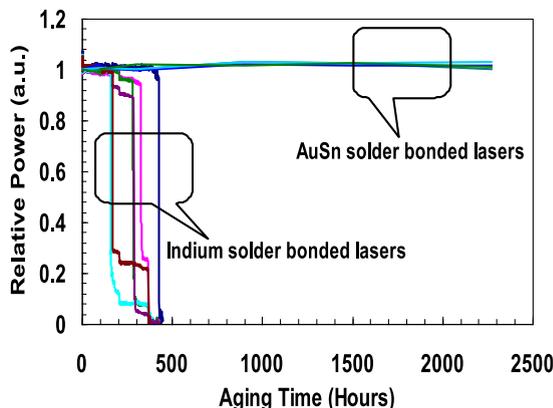


图2：钢封装和金锡封装器件寿命比较。
(测试条件：单发光点激光器 6A @ 35℃)

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

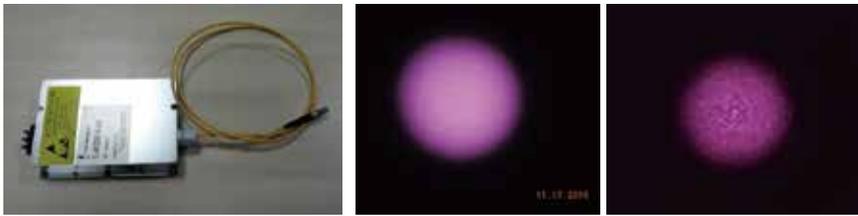
LASER PHOTONICS CHINA

上海光博会

March 15th, 2016 Booth: W5.5572

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



a) FocusFlux™ NV3000光纤耦合激光器 b) NV3000激光光斑 c) 普通光纤耦合激光器光斑

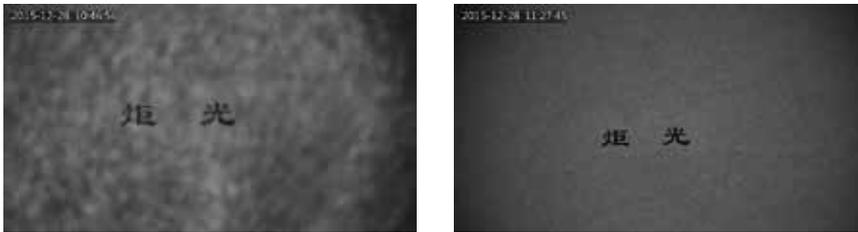


图3: 非相干合束匀化照明效果对比(左:普通光纤耦合照明;右:NV3000照明)。



a) FocusFlux™ FM01 5W/808nm b) FocusFlux™ NV05 3W/808nm



图4: 时域积分动态匀化后照明效果对比(左:非匀化光直接照明;右:匀化光照明)。

FocusFlux™ 照明系列激光器已全部实现金锡封装,可在高温恶劣环境下保证长寿命使用。

激光照明散斑现象是由于激光具有非常好的单色性,用于直接照明时光的干涉效应会在被照物体表面形成明显的明暗条纹或斑点,严重影响高清成像效果。为了实现高分辨率照明成像,需要解决散斑问题。目前较为成熟的激光散斑抑制技术有非相干光合束匀化,以及时域积分动态匀化等方法^[2]。FocusFlux™ 系列中的光纤耦合输出激光器采用非相干光合束匀

化技术,有效解决了散斑问题,光斑均匀,成像清晰(见图3)。同时充分考虑到远距离照明成像应用的实际情况,激光器采用散热优化设计,保证了激光器在野外高温环境下的长时间可靠运行。

时域积分动态匀化技术利用了视频采集积分原理。视频中每一帧信号都是光在微小时间片的能量积分,采用动态匀化片使得激光的模式发生抖动,当抖动的频率高于图像采集频率时,采集到的图案就是反射光振动模式的积分,从而达到匀化效果。基

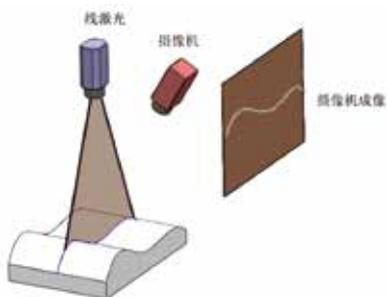


图5: 激光三角测量法实现三维重构原理。

于单发光点器件 FM01 的 FocusFlux NV05 产品采用时域积分动态匀化技术, 实现了匀化照明 (见图 4)。采用该方法散斑抑制效果好、成本低、可靠性高。

轨道交通检测照明

近十年来, 中国轨道交通建设突飞猛进, 运营公里数已稳居世界第一。随着轨道交通技术的快速进步, 对于高速运行的轮毂、轨道、接触网等设备的在线检测要求也越来越高。基于机器视觉的三维重构和二维图像识别技术分别被引入轨道交通在线检测领域。

三维重构用于对列车轮轨、刹车盘、受电弓等关键部件进行三维重构, 分析磨损情况; 二维图像识别用于外观识别, 如列车连接件缺失、输电网高压端子破损等识别预警、列车编号识别等。两种检测方式互相补充, 对于高速轨道交通安全运行发挥重要作用。

三维重构基于三角测量法, 采用高速线阵相机 + 线性激光束照明的方式实现。通过窄的线性激光束在被测物体表面扫描产生变形的激光线, 线阵相机根据激光线的变形情况就可以计算出物体表面高度的变化, 从而在三维实现对于物体表面的重构^[3], 如图 5、图 6 所示。

这类三维重构激光目前多采用近红外波段的 808nm 半导体激光器整形输出线性结构光束作为照明光源, 激光线的宽度和在长度方向的均匀度, 对于后端相机成像处理的测量精度至关重要。线宽需小于或保持在 1mm 左右, 均匀度 >80% 才能达到比较理想的重构精度。

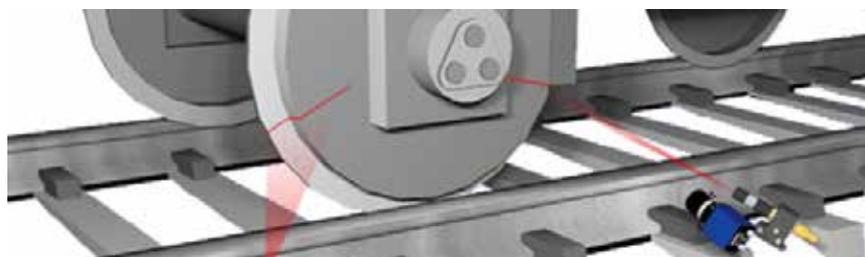
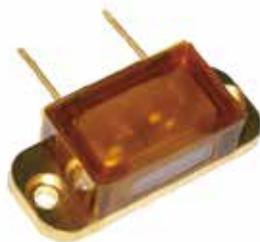


图6: 激光三维重构用于列车轮毂表面检测示意图。



a) FocusFlux™ NV02 10W/808nm



b) FocusFlux™ FCMSE55 15W/808nm

图7: FocusFlux™ 大功率的光纤耦合输出半导体激光器。

FocusFlux™ 系列中的 NV02 产品已大量应用于此类应用, NV02 最大输出功率 10W (808nm), 封装过程中已加入微准直透镜, 输出光斑发散角小, 有利于后端整形输出非常窄的激光线。

另一类二维图像识别的检测方式也是采用高速线阵相机和线性激光束照明来实现, 但区别于三维重构, 这种检测不需要采集物体表面高度等立体信息, 只是成二维平面图像后进行目标识别。因此对于照明光束的要求也与三维重构不同, 需要照明光束较宽 (7~10mm), 并且在宽度方向上能量分布也尽可能均匀。由于照明区域的增大, 对于激光束的功率要求要高于三维重构光, 通常在 10~20W 之间。这类照明多采用较大功率的光纤耦合输出半导体激光器 (见图 7), 经过后端光学整形后输出 7~10mm 线型光斑。

安全侦查照明

激光照明用于安全侦查照明领域有两种方式, 一种是小功率半导体激光主动连续照明成像, 采用近红外波段 (800~900nm) 激光照明, 为便携式微光夜视设备补光, 可有效提高微光夜视距离和清晰度。或者采用短波红外 (1400~1700nm) 半导体激光直接照明, 配合 InGaAs 成像器件成像, 具有人眼安全、隐蔽性高、较强的透雾、透烟能力等特点。主动连续照明受体积、散热、功耗等多重因素制约, 采用的半导体激光器多为小功率、小体积的单发光点器件, 如 C 封装、TO 封装或是单管光纤耦合封装, 作用距离一般在 200~300 米内 (见图 8)。

另一种照明方式是采用纳秒脉

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

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

公司新大楼



产品系列

一、晶体

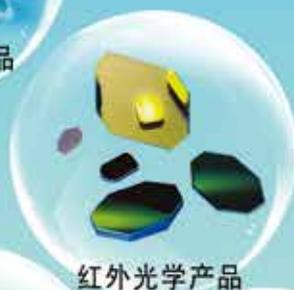
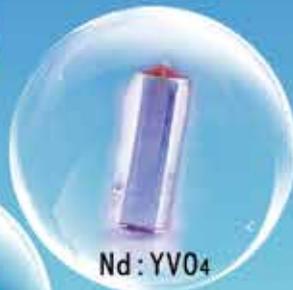
1. 非线性光学晶体
2. 激光晶体
3. 绿光晶体组件
4. 闪烁晶体
5. 声光和电光晶体
6. 双折射晶体
7. 磁光晶体

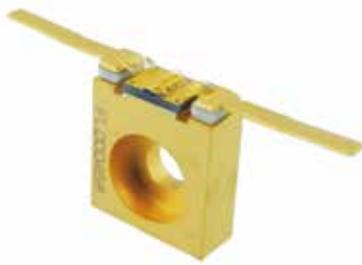
二、精密光学元件

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

三、激光及光通讯器件

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





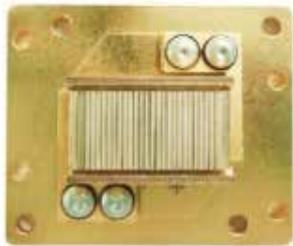
a) FocusFlux™ CM04 1W/1550nm



b) FocusFlux™ FCSE08 8W/808nm



图8: 1550nm激光 (100mW) 主动照明下的暗室成像 (左: 可见光; 右: 短波红外激光)



FocusFlux™ 5KW传导冷却叠阵



图9: 雪天主动连续照明与激光距离选通照明成像对比 (左: 主动照明; 右: 距离选通照明)。

冲激光照明的距离选通成像技术 (也称为激光成像雷达)。距离选通成像具有作用距离远、分辨率和信噪比高、能显示目标细节、可在雨雪等恶劣天气环境下工作的特点。特别是将距离选通成像系统和热成像系统集成到同一平台的组合应用模式, 可使主动和被动成像系统各自的优势互补, 有效提升夜视装备在恶劣天气下的识别效能, 已成为国内外

关注的发展趋势之一^[4]。

距离选通成像需采用纳秒级脉冲光源。传统技术是采用固体激光器作为成像光源, 但是固体激光器体积大、效率低、维护复杂、成本高。随着脉冲型半导体激光器的峰值功率和光束质量不断提高, 国内外装备厂商纷纷将目光投向了半导体直接输出的脉冲照明光源 (见图9)。通过与激光成像、雪天主动连续成像效果比较,

激光距离选通照明在透窗成像及恶劣天气下成像均具有明显优势。国内也已经出现了半导体激光器作为选通照明光源的研究热潮。传导冷却叠阵半导体激光器脉冲输出功率高, 光斑小, 体积紧凑, 是用于距离选通成像的理想光源。随着半导体激光器光束质量的不断提升, 未来更多的距离选通成像系统将采用半导体激光器作为直接光源。

小结

半导体激光器作为红外照明光源, 已广泛应用于远距离监控照明、轨道监测照明及安全侦查照明等领域。半导体激光器在恶劣工作环境下的可靠性和寿命问题、激光散斑抑制问题已得到有效解决。随着半导体激光器光束质量的不断改善和成本的不断下降, 半导体激光器作为直接照明的应用领域将更加广泛。□

参考文献:

- [1] Xingsheng Liu, Ronald W. Davis, Lawrence C. Hughes, Michael H. Rasmussen, and Chung-En Zah, "A Study on the Reliability of Indium Solder Die Bonding of High Power Semiconductor Lasers," Journal of Applied Physics, Vol. 100, Issue 1, 013104, 2006.
- [2] Laser Beam Homogenizing Limitations and Constraints, R Voelkel, KJ Weible - Optical Systems Design, 2008
- [3] 基于线结构光扫描的三维表面缺陷在线检测的理论与应用研究, 吴庆华, 2013
- [4] 激光距离选通成像技术及其组合应用模式综述, 许凯达、金伟其、袁溯、刘敬、张强辉 - 红外技术, 2012

塑料焊接

半导体激光塑料焊接技术与应用

文/ 德国LIMO公司

激光塑料焊接相对于传统的热塑焊接、胶合焊接以及超声波焊接方法具有机械应力低、对表面无损伤、焊接强度高、焊缝小、加工柔性好、绿色环保等优点而越来越得到工业界的青睐。激光焊接技术已经成功应用于医疗器械、汽车零部件制造、传感器制造、化妆品包装瓶等高端加工生产线。随着激光光源、塑料材料、助焊添加材料的进步，激光塑料焊接逐渐成为一种新兴的、潜在需求巨大的激光焊接技术。

激光塑料焊接原理

与热熔焊和超声波塑料焊接类似，激光焊接也是将被焊接的塑料焊点加热，热塑性塑料在软化后相互流动导致大分子链相互交联从而达到焊接的效果；但最大的不同是热熔焊是热传导加热，超声波焊接是采用机械振动产生的热量加热焊点，而激光焊接的加热主要靠的是塑料本身或助焊

添加材料对光的吸收、散射而对焊点进行加热。由于这种特殊的加热方式严重依赖于塑料材料对光的吸收特性，因此激光塑料焊接工艺与传统塑料焊接工艺的差别巨大。

几种常用的工程塑料对不同波长激光的吸收率如图1所示^[1]，大多数塑料材料对800~1200nm的激光能较好的透过；1200~2500nm波段的激光在塑料大分子链中可以产生二阶伸缩振动而部分吸收；2.5~25 μm波段的激光将在塑料大分子链中产生一阶伸缩振动，从而具有较高的吸收率。

正是由于塑料对不同波段激光的吸收效率不同，合理的使用激光光源就可以实现激光穿透焊接、全透明塑料焊接，以及薄膜塑料的表面焊接。半导体激光器可选择的波长范围宽，是塑料焊接的理想光源。

激光透射焊接一般选用800~1100nm波段的激光，这一波段的激光对于大部分可焊接的热塑性塑料有较高的透射率。两种被焊接的材料，上层材料为透射材料，激光能够很好地透过而不产生热，下层材料为热作用区，对激光的吸收率较高，激光在被焊接材料结合面处产生热量，使得该处的塑料熔化，在适

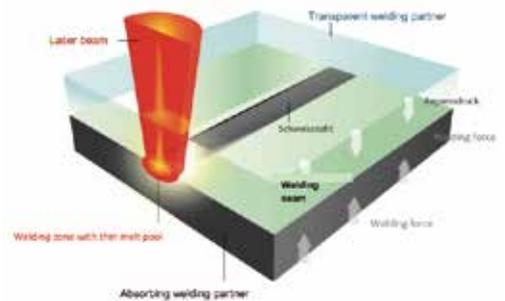


图2：激光穿透塑料焊接原理。

当的压力作用下发生二次聚合，冷却之后即形成可靠的焊缝（见图2）。这种焊接方法对上层材料表面几乎不产生影响，焊接表面质量高。下层材料需要对激光有较高的吸收率，常用方法是在塑料中添加吸光剂，炭黑是经济、且吸收效果良好的助焊添加材料，但是添加后塑料的颜色将会成为黑色或深灰色，不能应用于下层浅色材料。为此工业界开发出了可用于透明或浅色塑料的有机和无机助焊添加材料，如 Clearweld、Lumogen、Lazerflair、Fabulase 等，这些助焊添加材料可混入塑料之中或者在焊接之前采用涂刷或喷涂的方式应用在焊接结合面处。

在某些应用中，如医疗器械塑料焊接，由于认证的问题，不容许使用任何助焊添加材料。针对这类材料的焊接常常选用1200~2000nm的直接半导体激光器，这个波段的激光在塑料中即可部分透射，又可部分吸收。为了有效加热焊接界面并防止非焊接部分的熔化，对应的

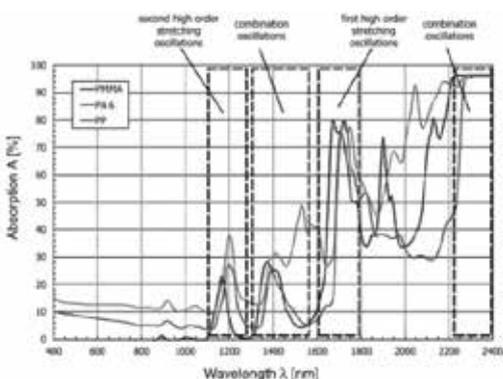


图1：几种常见材料对不同波长激光的吸收效率。

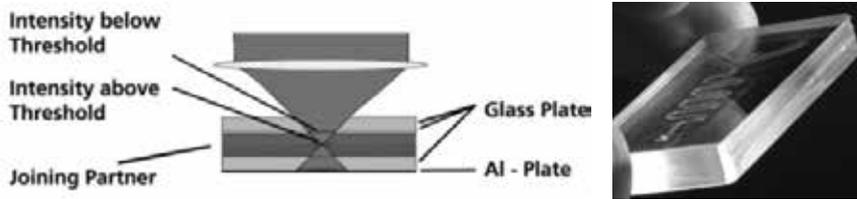


图3: 无助焊添加材料的透明塑料激光焊接原理。

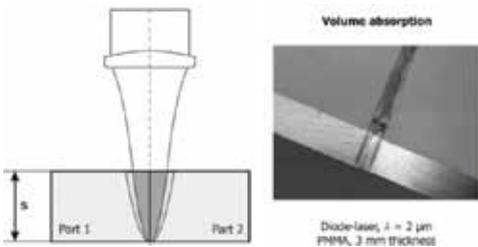


图4: 体加热对接塑料焊接原理。

激光聚焦系统输出口径大、焦深短,如图3所示^[2],光束的焦点布置在结合面处,从而产生足够高的激光强度软化塑料,在离焦情况下,由于焦深短,激光的强度迅速下降,从而避免非结合面处的熔化。

透射塑料焊接加热下层材料,热通过结合面传导至上层材料产生熔融结合,这种方法多用于搭接焊。针对对接接头的塑料焊接则要采用半透射半吸收的体加热焊接,如图4所示^[3];此类焊接需要采用1200nm以上的激光光源,或者控制在塑料中添加特定波长的吸收剂的添加量、而产生半透射半吸收的效果。工业界中激光对接塑料焊接的应用还比较少,但是潜在需求量巨大。随着中短波红外半导体激光器以及助焊添加材料的发展,对接焊很有可能成为热塑性塑料焊接领域新的研究与应用热点。

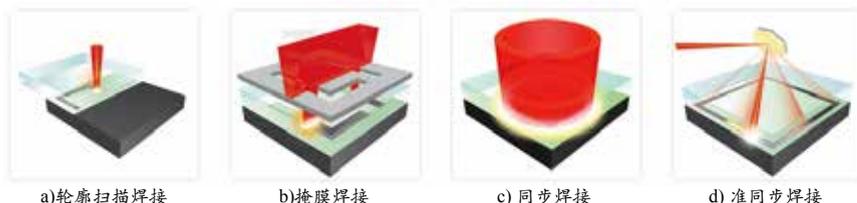


图5: 激光焊接工艺分类。

激光塑料焊接工艺与应用

激光焊接的工艺类别可以分为轮廓扫描焊接、掩膜焊接、同步焊接、准同步焊接、激光辅助缠绕焊接等,如图5所示。

轮廓扫描焊接采用单光束聚焦在结合面处,并沿着被焊接部件的轮廓进行扫描,在焊接过程中需要确保被焊工件的紧密贴合,贴合度的降低会降低吸光工件对透明部件的热传导,从而直接影响到焊接点的强度与一致性。此类焊接需要激光器具有较小的光斑直径和较大的聚焦长度。为确保焊缝的质量,需要实时监控焊点的温度。为此德国LIMO公司针对塑料焊接应用开发出了系列化的半导体耦合模块与塑料焊接加工头,如图6所示。LIMO公司的半导体耦合输出模块波长覆盖绝大部分塑料焊接所需波长,功率范围覆盖几瓦至千瓦量级,光纤芯径有100 μm、200 μm和400 μm可选。加工头集成了精密温度检测功能,可与主激光形成闭环控制回路,从而稳定焊接质量,提高焊接加工效率。半导体激光系统集工业水冷机、电源和控制器于

一体,通过24V接口控制,19"标准机箱外壳中包含激光器和冷却系统的设计,为OEM集成商提供最简洁的组装模式,具有运行稳定、可靠性高等优点。

图7所示为德国Treffert公司制定颜色的轮廓线焊接。该系统采用60W光纤耦合激光器,光斑尺寸为1.5mm,被焊接材料为PE,加工过程中的焊接线速度达300mm/s,焊接一个零部件仅需不到1秒钟。焊缝拉力满足DVS22032-5标准(拉力测试2203-2,拉力冲击测试2203-3,拉力蠕变测试2203-4,弯曲测试2203-5),系统免维护、工艺稳定、寿命长、重复性好。

针对复杂的焊接轮廓以及精密焊缝的应用场合,单束轮廓焊接难以保证,为此可采用掩膜焊接工艺。加工过程中金属掩模板靠近放置于被



图6: 光纤耦合半导体激光塑料焊接系统。

焊接的工件上方,线形的激光沿着掩膜的方向进行扫描。金属掩模板采用激光或者化学刻蚀的方法制成,掩模板的精细程度可以做到很高水平,采用掩膜焊接,焊缝的宽度可以从轮廓焊接的100 μm提高到5 μm^[4]。

LIMO公司的L³系列高功率线光斑激光器系列产品,可为掩膜塑料焊接提供完美的解决方案。L³系列高功率线光斑系列激光器,可以满足10W~15kW、光斑长度范围1~350mm、光斑宽度0.05~10mm的广泛掩膜塑料焊接需求。L³系列激光器线光斑的均匀度可达到99%,是



**PHOTON
ENERGY**

皮秒激光系统



内置 PHOTON ENERGY
CEPHEUS 皮秒激光器

風冷 體積小 穩定 低成本

CEPHEUS 是一款具有非凡品质的皮秒激光光源

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)

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。

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**



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



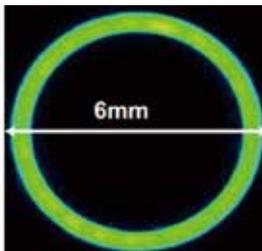
图7: 激光塑料轮廓焊接。



图8: L³系列高功率光纤激光器。



a) 单激光光束整形的同步焊接



b) 多光束同步焊接

图9: 同步焊接工艺原理。

高质量焊接的有力保障。

同步焊接在整个焊接的路径上同时施加激光辐射加热, 在焊接过程中无需移动工件和激光器。同步焊接的激光光斑有两种实施办法, 一种是多个激光器联合作业; 另一种是将同一种激光器的光斑激光光学整形形成焊接

轮廓的形状。其中多个激光器联合使用的同步焊接方法, 因柔性好、容易根据零部件的不同形状进行灵活配置、激光器的复用度高等特点而在工业中应用广泛, 其工作原理如图9所示。

LIMO 公司拥有塑料同步焊接的整体解决方案, 系列化的光纤耦合激光器整形模块可以实现圆形光斑、矩形光斑、线光斑、圆环光斑、矩形框光斑等各种定制光斑需求, 光斑内能量分布均匀, 是同步焊接的理想光源。

图10所示为塑料同步焊接在燃料泵中的应用。该燃料泵为POM材料, 采用多个线宽为1.5mm线形激光器从不同角度同时加热, 系统的整体输出功率为600W, 焊接一个燃料泵仅需要1~2秒钟。同步焊接焊接表面质量好、焊缝均匀、内应力小、加工效率高, 非常适合在大规模生产线中应用。

准同步焊接是介于轮廓焊接和同步焊接的一种塑料焊接方法。该方法的特点是单束激光沿着焊接路径快速扫描, 激光移动极其迅速, 以至于

整个焊接轮廓几乎被同时加热。这种方法既具有轮廓焊接的便捷性, 又兼具同步焊接均匀应力小等优点, 但这种方法的加工效率低, 不适合大批量的生产线使用。

激光辅助缠绕焊接是复合材料制备的一种特殊焊接方法, 其原理如图11所示^[4]。该方法可有效增强复合材料层间的结合强度, 从而提高复合材料的整体强度。该焊接方法已经在航空航天、高速铁路、风电、家具封条等领域使用。LIMO公司的L³系列产品适用于该类焊接技术。

小结

激光塑料焊接技术由于具有焊接表面质量高、非接触焊接、无机械振动、精度高、绿色环保、柔性好等特点而在塑料制品加工领域日益广泛应用。半导体激光器覆盖的波长范围宽、功率扩展性好、经济可靠, 是塑料焊接的优良光源。随着半导体光源技术和塑料以及相应助焊添加材料技术的发展, 半导体激光塑料焊接技术前景光明。□

参考文献:

- [1] Herziger, G. and Loosen, P.(1993) *Werkstoffbearbeitung mit Laserstrahlung*. C Hanser Verlag, Munchen.
- [2] Roesner, A.(2007) *Welding of transparent thermoplastics with fiber lasers*. Proceedings LIM 2007 Conference, Munich, DE.
- [3] Ebert, T.(1999) *Den Durchblick behalten-Transparent Kunststoffe mit Laser Fugen*, Kunststoffe, 12/1999c. Hanser Verlag, Munchen, pp.58-60
- [4] <http://www.afpt.de>



图10: 激光同步焊接燃料泵。

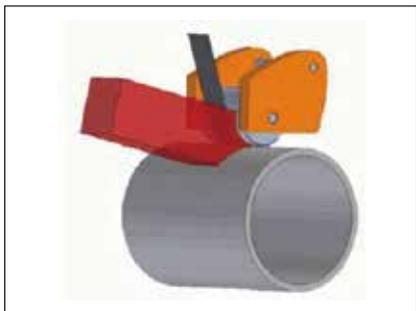


图11: 激光辅助缠绕焊接。

激光切割

500 W 半导体激光器在钢材切割中的应用

文/A&P公司

德国 DirectPhotonics 公司致力于为宏观和微观材料加工市场开发超高亮度的直接半导体激光器产品。利用德国 Fraunhofer 研究所的专利技术，该公司已显著提高了光纤耦合和直接半导体激光器系统的亮度，为切割和焊接应用提供了新选择。

本文着重讨论了 DirectPhotonics 公司的 500W DirectProcess 900 直接半导体激光器在钣金钢材加工方面的应用。分别切割了厚度为 6.4 mm 的低碳钢和 3.4 mm 的不锈钢样品，并分析了切割结果。切割速度和切割质量可与当前的光纤激光器相比较。

产品与应用

DirectProcess 900 激光系统的超高亮度，能够完美适用于苛刻工业环境下的直接半导体激光材料加工。表 1 中显示了本次切割测试使用的激光器产品型号的切割样品。

表1: 产品型号与应用领域

产品	DirectProcess 900-500-200-01
应用	500 W 直接半导体激光器的材料加工
加工	切割
材料	低碳钢、不锈钢

设置

所有的切割测试都是依据 ISO9013:2002(E) 标准执行的。

DirectProcess 900 直接半导体激光器采用的参数设置见表 2。

用于测量比较的测试光纤激光器，其输出功率分别设置为 500 W 和 1.5 kW。在所有的测试过程中，光纤激光器采用芯径 200 μm 的传输光纤、焦距 100 mm 的准直器和焦距 160 mm 的聚焦镜。

切割速度

对于厚度 0.9 mm 的低碳钢，DirectProcess 900 的切割速度可达 7 m/min；对于厚度 6.4 mm 的不锈钢，切割速度可达 0.7 m/min。这些速度与使用 500 W 光纤激光器所获得的切割速度近似（见图 1、图 2）。

切割不锈钢时，DirectProcess 900 所选用的聚焦镜及对应的焦斑大小见表 2。这种配置下，DirectProcess 900 获得的切割速度可与光纤激光器相比拟。如果需要的话，还可以使用更加强化的准直系统（减小焦斑尺寸），来

表2: DirectProcess 900的切割参数设置

	低碳钢	不锈钢
输出功率（光纤耦合）	500 W	
传输光纤的芯径	200 μm	
准直器	f = 100 mm	
切割透镜（平凸）	f = 160 mm	f = 125 mm
焦斑大小	320 μm	250 μm
样品厚度（mm）	0.9 ~ 6.4	0.6 ~ 3.4
辅助气体	氧气	氮气

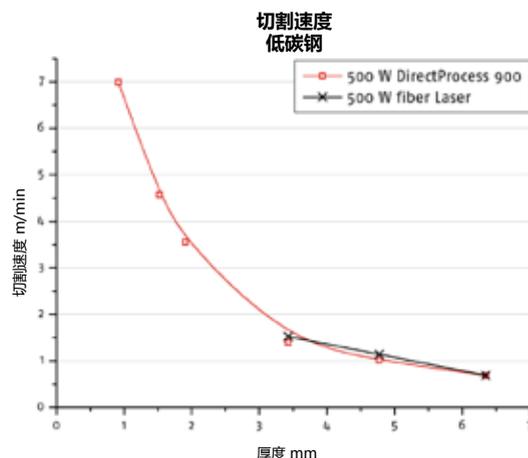


图1: 针对不同厚度的低碳钢的切割速度。

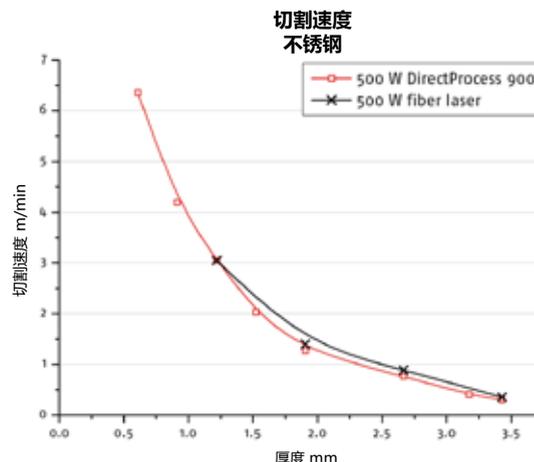


图2: 针对不同厚度的不锈钢的切割速度。

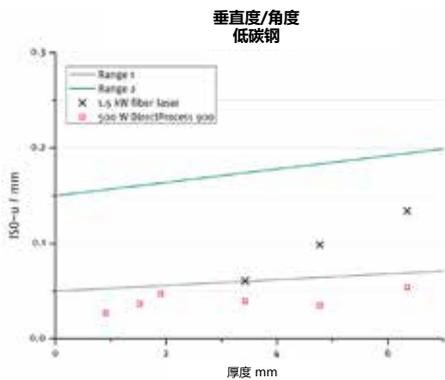


图3: 低碳钢切割的边缘角度。图中实线表示角度公差ISO范围。

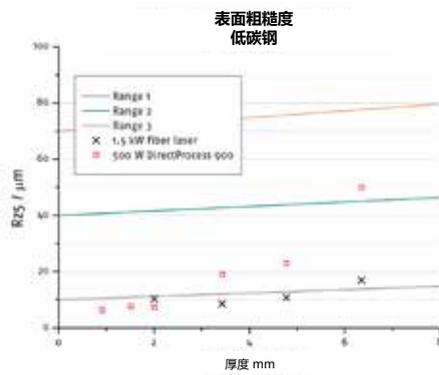


图4: 低碳钢切割的表面粗糙度。图中实线表示ISO公差。

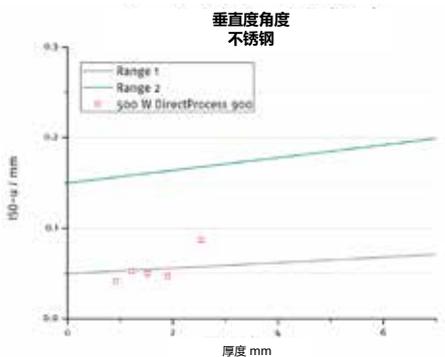


图5: 不锈钢切割的边缘角度。图中实线表示角度公差ISO范围。

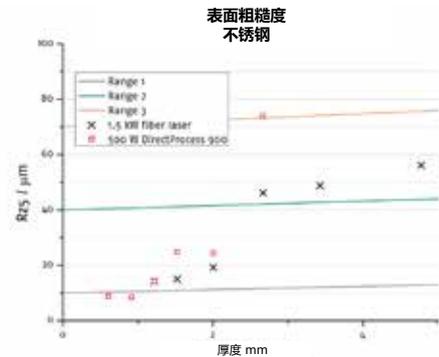


图6: 不锈钢切割的表面粗糙度。图中实线表示ISO公差。

DirectProcess 900 半导体激光器切割厚度为 5 mm 的不锈钢时，获得表面粗糙度公差处于 ISO Range1 或 Range 2，与高质量激光切割相比并不逊色。总之，使用 DirectProcess 900 半导体激光器切割低碳钢和不锈钢样品，获得的表面粗糙度质量要略优于用 1.5 kW 光纤激光器获得的表面粗糙度。这个影响可以被 DirectProcess 900 的高输出功率抵消。

小结

用 DirectProcess 900 直接半导体激光器切割低碳钢和不锈钢，其切割速度与使用光纤激光器切割的速度相近。至于切割质量，用 500 W DirectProcess 900 直接半导体激光器切割低碳钢获得的

边缘角，要优于一台 1.5 kW 的测试光纤激光器，尽管有时会在切割边缘产生稍微粗糙的表面。结果表明，该直接半导体激光器在此类金属切割应用方面，完全可以与光纤激光器相媲美。此外，直接半导体激光器还具备紧凑、高效、易于使用和易维护等典型优势。

此外，DirectProcess 900 激光器还能用于切割其他金属材料，如铝、铜和黄铜。然而在这种情况下，若切割的金属超过一定厚度，则需要更高的激光功率，因为这些金属均具有良好的导热性，因此需要对由此造成的能量损失提供相应的补偿。□

更正：本刊2015年9/10月刊中，24页图1应与25页图2互换位置，特此更正。

进一步提高切割速度。

切割质量

根据 ISO 9013:2002(E) 标准定义的品质公差，可以将切割边缘划分为不同的等级。切割质量的主要决定因

素有：(1) 垂直或角公差 u，与边缘角相关；(2) 轮廓的平均高度 Rz5，或表面粗糙度。

图 3- 图 6 给出了 DirectProcess 900 和 1.5 kW 光纤激光器的切割对比结果。使用 DirectProcess 900 切割时选用相对较低的功率（500 W），

得使切割速度最优，便于比较。

对于切割低碳钢样品，DirectProcess 900 半导体激光器比 1.5 kW 光纤激光器获得了更好的边缘角切割质量，角公差处于 ISO Range1。当用

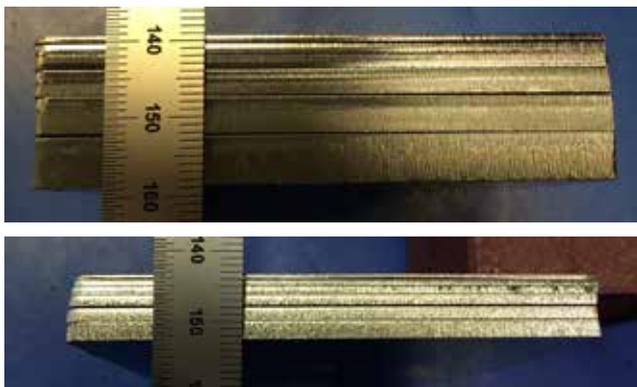


图7: 图中显示了一些样品的切口照片。上图：切割低碳钢，厚度依次为0.9 mm、1.5 mm、2 mm、3.5 mm、4.8 mm和6.4 mm。下图：切割不锈钢，厚度依次为0.6 mm、0.9 mm、1.2 mm、1.5 mm、1.9 mm和2.6 mm。



第十届亚洲(深圳)

THE 10th ASIA (SHENZHEN) INTERNATIONAL

国际激光智能制造展暨论坛

LASER INTELLIGENT MANUFACTURING FAIR & FORUM

2016·5·19-21 中国·深圳会展中心
SHENZHEN CONVENTION & EXHIBITION CENTER

同期展会 CONCURRENT EXPO

第二届亚洲(深圳)国际工业4.0展暨论坛
The 2nd Asia (Shenzhen) International Industrie 4.0 Expo & Forum

2016亚洲(深圳)激光医疗设备及美容展暨论坛
Asia (Shenzhen) Laser Medical & Beauty Equipment Fair & Conference



2016 www.laserfair.cn
LASERFAIR
China Laser Innovation Conference



应用简讯

半导体激光器焊接降低一次性针头的成本

文/Trumpf公司



皮下注射针头属于一次性产品。利用巧妙的管体成型工艺和半导体激光器焊接，耐克森公司(Nexans)有望在不久的将来大幅降低一次性针头的制造成本。

上世纪中期，得益于金属成型和焊接工艺的发展，空心不锈钢针头的价格大幅下降。低廉的成本使医生和医护人员可以使用一次性针头，而无需反复消毒重复使用。正如最初开始使用针头注射一样，这一改变挽救了很多人的生命。

十亿只的巨大日消耗量

一次性针头的用量巨大。虽然没有官方的统计数字，但据了解，在全球范围内，每天消耗的一次性皮下注射针头数量超过十亿只！即便一只针头的价格仅为几分钱，如此巨大的用

量也将累积成一笔巨大的金额。

耐克森设备和低温系统主任 Relf Egerer 表示：“我们正努力将一次性皮下注射针头的成本降低一半！我们计划利用耐克森公司生产的 NanoWema 设备实现这一目标。NanoWema 可将非常窄的不锈钢带卷成超薄管形，然后再使用激光焊接。”

耐克森公司是全球知名的电缆制造商。Egerer 说：“其实从电缆到皮下注射针头并非很大的跨越。电缆制造使我们在制造长而薄的金属管材方面拥有了技术基础和经验。利用 NanoWema，通过改进工艺，工艺制造出更窄、更薄的管材——直径 1.8mm、壁厚 0.05mm。”

该类管材通常使用 TIG 焊接工艺生产；但是 TIG 系统在可加工的钢材量和可实现的壁厚上存在技术局限，要达到生产要求，需要多道复杂的工序，耗时耗力。“相比之下，使用半导体激光器焊接后，制成的管材能非常接近要求的尺寸，可客户大量后续加工成本。” Egerer 说道。

5000米长的焊缝

在生产过程中，NanoWema 设备首先将 5000m 长的薄钢片加工成圆形的开口管。成型加工完成后，金属片的外侧边缘会并排平行排放。

接下来是利用半导体激光器焊接开口边缘。由于边缘之间的间隙极其微小，激光焊接必须非常精确，光束

的聚焦精度需达到 0.2mm。为此，耐克森开发了一个机械固定间隙的系统，使激光器固定不动，而让焊缝精准地从光束的聚焦点下通过。

“激光束可以从上部将 5000m 长的焊缝一次性焊接完成，无需再次调节聚焦。” Egerer 说：“半导体激光器能以每分钟 20m 的速度持续焊接数千米长的管材，这个速度是 TIG 焊机速度的两倍。此外，在材料加工过程中也不会产生需要后续清除的任何杂质颗粒。使用 TIG 技术焊接经润滑的管材时，焊丝表皮上的油脂会造成杂质。而激光器可以将油脂烧除。”

Egerer 说：“在过去的十年中，激光技术的成本大幅下降。我们的单位能耗显著降低，效率却大幅提升。综合上述因素，半导体激光器和 NanoWema 工艺可以使我们以比市场价格低一半的价格制造超薄型管材，并有望在未来将一次性皮下注射针头的成本降低一半。”

TruDiode 半导体激光器

完成该焊接任务的正是通快公司生产的 TruDiode 半导体激光器。TruDiode 半导体激光器稳固的设计以及功率控制能力，可保证产品加工的高度稳定性和可靠性。TruDiode 在保证高效率的同时却保持着极低的投入和运行成本，是钎焊以及表面加工应用的理想之选，如用于熔覆和硬化。□



使用 TruDiode 半导体激光器钎焊零件

44 W 超功率 808 nm 半导体激光器的设计与制作

文/仇伯仓, 胡海, 何晋国; 深圳清华大学研究院, 深圳瑞波光电子有限公司

高功率激光器结构设计

图 1 是一个典型的基于 AlGaAs 材料的 808 nm 半导体激光器外延结构示意图。由此可见, 外延结构由有源区量子阱、AlGaAs 波导以及 AlGaAs 包层材料组成; 在材料选取上包层材料的 Al 组分要高于波导层材料的 Al 组分, 以保证在材料生长方向形成波导结构, 即材料对其中的光场有限制作用 (见图 2)。

另外, 为了实现电子与空穴在量子阱内产生受激辐射复合, 材料必须被掺杂成 p-i-n 结构, 其中有源波导区通常为非掺杂的本征区域。因为半导体激光器的主要性能参数对温度非常敏感, 所以在设计外延与器件结构时, 必须仔细优化芯片结构参数, 尽可能减小器件的内损耗以及串联电阻, 尽可能提高器件的内量子效率, 以获得尽可能高的电光转换效率。

在器件设计上通常采用腔长较长的结构, 这是因为整个芯片封装模块的热阻与腔长近似成反比, 芯片越长, 模块热阻越小, 芯片的结温越低。另一个考虑因素是器件的可靠性, 可靠性也与芯片工作时的电流密度有关, 电流密度越大, 寿命越短。不同于低功率器件, 在高功率激光器设计中, 阈值电流的大小不是最优先考虑的因素。研究表明, 高功率激光芯片的寿命主要与芯片内的光场密度、电流密度以及芯片结温有关, 而在上述

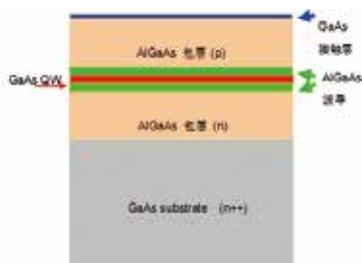


图1: 半导体激光外延结构示意图。

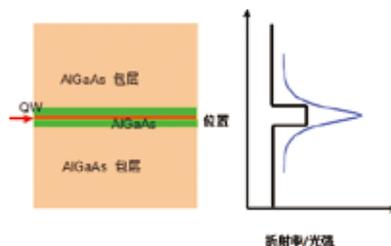


图2: 外延结构以及与之对应的光场分布。

三个因素中, 光场密度对寿命以及可靠性的影响最为显著。事实上, 激光芯片失效在很大程度上与光场密度相关的两种失效模式有关: 一种为因光场密度造成的腔内光学灾变 (简称 COBD); 另一种为光场密度过高而在腔面引起的光学灾变 (简称 COMD)。在高功率激光外延结构设计中, 为了降低因光功率密度过高而引起器件失效的几率, 通常采用低光场密度或是低限制因子设计。在低限制因子设计中, 虽然阈值电流会有所上升, 但考虑到高功率激光器的工作电流是阈值电流的 10~20 倍以上, 阈值电流的些许增加并不会显著影响器件的整体效率。

低限制因子设计可以通过调整分别限制异质结 (SCH) 层厚度来获

得。图 3 给出了量子阱光场限制因子 γ 与 SCH 厚度之间的关系。由此可见, 低限制因子可用两种不同方法获得: 一种是采用 SCH 厚度很薄的设计; 另一种是采用 SCH 厚度很厚的设计。SCH 厚度达到 $1 \mu\text{m}$ 左右的波导设计通常称为大光场 (LOC) 设计。大光场设计因较易兼顾芯片的腔内损耗和串联电阻的优化, 因此这一设计理念被广泛采用。

高功率激光工艺制作与腔面处理

高功率激光器的有源区条宽在几十微米甚至几百微米, 具体条宽根据应用而定。为了区别于单模窄波导激光, 这种激光结构有时会被称为宽条激光。宽条激光的工艺处理相对简单, 一些公司为简化工艺, 仅通过几个步骤的工艺处理 (如离子注入) 形成电隔离区域, 然后制作 p 面金属电极、晶片减薄、n 面金属电极沉积、快速退火以及腔面镀膜等, 即完成所有工艺流程。但用这种方法制作的激光器, 其水平方向的光束特性随电流变化较大。

为改善宽条激光器相对于注入电流的稳定性, 也可以通过刻蚀形成脊波导, 波导结构不仅会对电流形成隔离作用, 而且刻蚀形成的波导也会对光在横向形成波导限制。图 5 给出了刻蚀后形成的宽波导激光器。

高功率激光器制造工艺中最具挑战之处在于腔面处理与镀膜工艺。腔

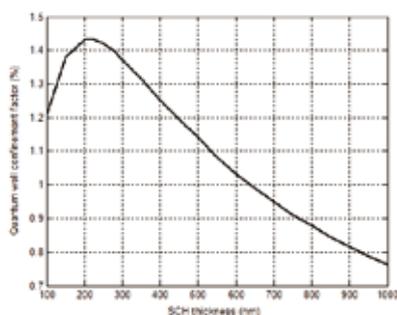


图3: 量子阱限制因子与SCH层厚度之间的关系。

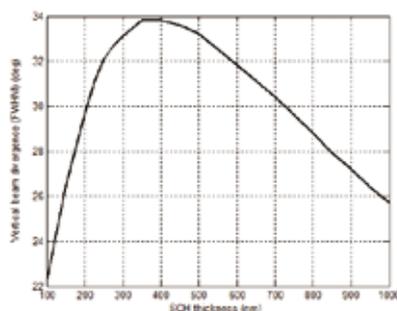


图4: 光束发散角与SCH层厚度之间的关系。

面处理主要有无吸收腔面技术、腔面钝化技术等。

无吸收腔面技术是通过材料生长完毕后的工艺处理技术(通常称为量子阱混杂技术),在腔面附近区域改变材料的性质,使得材料的吸收峰蓝移,从而使腔面区域的材料对芯片发射出的激光呈透明状态。无吸收腔面技术也可通过材料再生的方法来实现,所生长材料的能带宽度要足够大,以便使其对芯片发射的光呈完全透明状态。

腔面钝化技术是在腔面的半导体材料上沉积一薄层其他材料,这种材料最好具有如下特性:1)能中和因半导体界面晶格缺陷而产生的复合中心;2)钝化材料应对激光无吸收;3)钝化材料应与半导体材料的热膨胀系数接近;4)与本底半导体材料有很好的化学与物理吸附。腔面钝化的目的是中和半导体激光腔面的非辐射复合中心,从而消除因非辐射复合而引

起的腔面光学灾变。

腔面镀膜是在激光腔的后端面镀膜上多对由两种不同介质材料组成的介质膜,使其对腔内的反射率达到90%以上;而在激光腔的前端面,通过蒸镀一定厚度的介质膜材料,使其反射率在2%~10%左右。

高功率激光器性能测试。

高功率半导体激光器测试参数主要包括光-电流-电压(LIV)特性曲线、温度特性、光谱曲线、光束特性、可靠性以及偏振性等。由于半导体芯片对温度、湿度、静电、尘埃、电流电压的过脉冲以及光的回反射等因素都非常敏感,这些参数的任何变化不仅会影响测量精度,而且更有可能引起器件突然失效。

激光的测试环境必须认真考虑。深圳瑞波光电子有限公司技术团队提出了一套完整的芯片参数测试分析方案,构建了能精确控制测试环境、快速自动测试各种参数、最后自动生成主要参数测试报告的测试系统。

针对半导体激光器关键制造环节的测试需求,瑞波公司研发了一系列测试仪器,包括针对裸芯片的单管/巴条测试系统和full-bar巴条测试系统(full-bar巴条测试指共电极测试,测试电流可达200~400A)、针对贴片后器件的COS(chip-on-submount)测试系统、针对光纤耦合蝶形封装的模块测试系统、以及大容量并可实时监控器件功率和波长的老化寿命测试系统等。



图5: 宽波导高功率激光器示意图。

单管超高功率808nm激光芯片

RB-808系列808nm高功率激光芯片由瑞波公司自主设计制作。在808nm单管的外延结构设计上采用了有源区无铝的InGaAsP量子阱结构。这种结构没有腔面解理后在大气中的氧化问题,从而避免了与大气氧化有关的可靠性问题。芯片工艺制作完毕后,芯片以P面朝下的方式,用瑞波公司焊接到厚度为350μm的镀金AlN陶瓷片上。我们将这种方式封装的芯片称为COS(chip-on-submount)。

COS测试由瑞波公司开发的测试系统完成,该系统可以在连续和脉冲电流下全方面表征器件的光电特性,包括LIV特性、光谱特性以及光束特性等。图6为不同温度测试的光-电流(L-I)特性曲线;由其可见,COS在20℃测试环境下,阈值电流约1.8A,斜率效率约1.2W/A,而达到10W输出功率时所需的工作电流为10A。

图7为中心波长与电流之间的关系,考虑到对于808nm激光芯片,温度每升高一度,波长红移约为0.25nm,意味着在工作电流为10A时,芯片的结温大约比环境测试温度高出约16℃,这一温度升高与我们的计算完全相符。

图8为工作电流10A时测得的光束发散角,很显然在垂直方向(即外延生长方向)光束发散角的全宽半高值(FWHM)约为25°,比常见的同类型808nm芯片36°的发散角减少了30%;而水平方向上包含95%光场能量的光束发散角约为10°。

瑞波公司808nm芯片优异的远场特性,使得后续封装模块光束整形和光纤耦合得到改善。在器件可靠性评估中,对器件进行加速寿命测试及

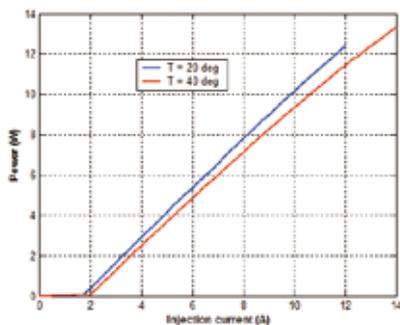


图6: 808 nm连续电流, 不同温度情况下的单管COS模块光-电流特性曲线。

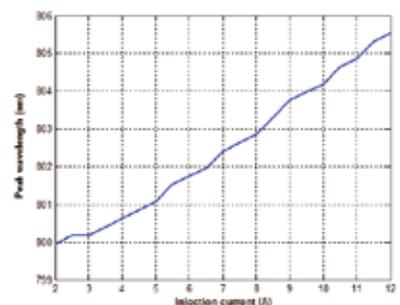


图7: 激光波长随温度变化关系。

COMD 破坏性测试。

加速寿命测试是在更高的可控环境温度下, 以及比额定工作电流更高的注入电流下, 以连续波方式工作, 通过监控芯片的工作参数与时间的关系, 来评估芯片在正常运行时的使用寿命。COMD 破坏性测试是在特定脉冲工作方式下, 对器件施加不断增加的电流, 直到器件因 COMD 发生而停止工作为止, 这一测试容许我们获得芯片发生 COMD 时腔面功率的大小。

在 COMD 测试中, 采用周期为 10 ms、占空比为 10% 的脉冲电流对芯片进行破坏性测试, 测试结果见图 10。由图可见, 当注入电流为 48 A 时, COS 的功率为 44 W, 随后芯片失效。分析发现, 图 9 给出的测试结果并非由腔面灾变失效引起器件功率下降, 因为失效分析发现: 芯片失效是由于电流过大导致金线熔断引起的, 而熔断的金线导致芯片局部温度过高, 最终致使芯片失效。从光 - 电

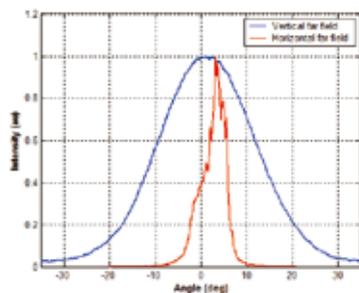


图8: 水平与垂直方向的光束特性。

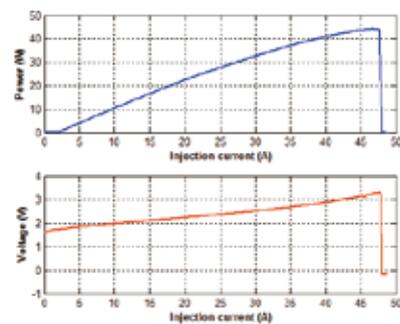
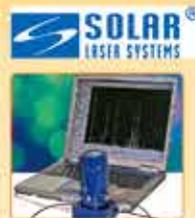


图9: 激光腔面失效功率 (COMD) 测试。

流 - 电压 (L-I-V) 特性来看, 芯片失去功率的同时, 电压也降为零, 而真正的 COMD 发生时, 电压会升高约 150 mV, 电压升高的原因是当芯片输出功率瞬间减小, 腔内的载流子浓度因为辐射复合减小而随之升高, 抬高了量子阱内的费米能级, 进而导致电压上升。此外, 还需要补充的是, 尽管 COMD 测试是在脉冲状态下进行的, 但因为脉冲宽度达 1000 μ s, 远超过芯片本身的热时间常数, 所以这一测试在热学上几乎等效于持续电流测试模式。

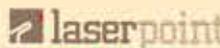
结论

本文简要介绍了高功率 808 nm 半导体激光的设计以及腔面工艺处理方法, 随后展示了深圳瑞波光电子公司在高功率 808 nm 芯片研发方面所取得的进展。我们最新测试的单管 COMD 功率达 44 W 以上, 这一功率水平表明我们的芯片腔面处理工艺能够满足 10 W 单管芯片所需要的工艺水平。□



S100-3648光谱仪

- 波长范围: 190-1100nm
- 光谱分辨率: 1nm



光功率计



- 最大量程: 50mW-12000W
 - 表头: 独立表头或者USB接电脑
- *USB型价格经济, 体积小, 便于长时间检测记录功率

Xiton Impress213固体激光器



- 波长: 213nm
 - 脉冲能量: > 15 μ J
 - 功率: 150mW
 - 重复频率: 0.1-30KHz
- 应用: 制备光纤布拉格光栅 FBG



关注“顶尖科仪”微信平台:

- 扫一扫左图二维码
- 在“查找微信公众号”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

炬光科技推出多功能耦合类激光器电控模块

西安炬光科技股份有限公司旗下 FocusDriver™ 半导体激光器电控系列近期推出一款新品——多功能电控模块，该模块可配套



目前市场上各类单管或多单管光纤耦合激光器使用，集“LD 驱动电源、红光指示驱动电源、TEC 控制电路”等多种功能于一体，已大量应用于祛红血丝、牙科等医疗领域。

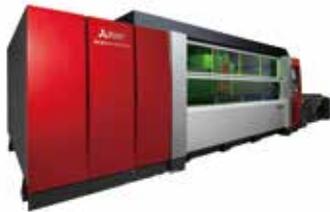
该模块的四大特点：①多种保护功能：具备温度保护、过流保护、插拔保护等功能。②接口多样化、控制方便：具备 RS232 串口、模拟控制接口、DC 风扇供电接口及脚踏开关接口等多种接口。③多工作模式选择：LD 驱动电源可在 CW 或 QCW 两种模式下工作，开关频率 1 ~ 1 kHz，脉宽 $\geq 100 \mu\text{s}$ ，输出波形良好，符合激光器专用电源标准。④定制化：可根据客户需求定制“多功能电控模块 + 散热器 + LD”的系统产品。

炬光科技

www.focuslight.com.cn

三菱电机配备 6 kW 激光器的光纤激光机

三菱电机将于 2016 年 1 月推出 6 款用于钣金加工的二维光纤激光加工机，以应对汽车、建筑机械、钢材及电气设备等领域日益扩大的需求。



新推出的产品包括：额定激光输出功率为 6 kW、支持工件尺寸为 3.0 m × 1.5 m、4.0 m × 2.0 m、6.0 m × 3.0 m；额定激光输出功率为 4 kW、支持工件尺寸为 4.0 m × 2.0 m 以及额定激光输出功率为 2 kW、支持工件尺寸为 3.0 m × 1.5 m。

新产品中，配备 6 kW 光纤激光器的四款机型加工 16 mm 厚软钢时的速度提高到了原机型 ML3015eX-F40 的 1.4 倍。由此，可将加工时间缩短 33%，同时将运行成本降低 14%。新产品配备了使光束的开关与轴的移动高速同步、轴移动时不用停止加工的技术“F-CUT”，加工 9 mm 厚的软钢的加工时间可比原机型缩短 35%。

三菱电机

www.meach.cn

百超简单高效的 BySmart Fiber 光纤激光切割机

瑞士百超公司新推出的 BySmart Fiber 光纤激光切割机可快速进入切割状态，无需冗长的工作准备，实现了高效率切割，只需几个操作步骤。



BySmart Fiber 光纤激光切割机的核心优势是：用最简单和最经济的方式切割工件。

BySmart Fiber 光纤激光切割机在薄板切割应用中，发挥出光纤的全部潜力，速度明显优于 CO₂ 激光器。同时 BySmart Fiber 在厚板领域也确保了优秀的质量。此外，用户可受益于相对较低的运营成本和维护保养需求。因此，在薄板和中厚板材料范围，该款机型实现了更快的切割工艺，更低的使用成本，确保了每个工件的最大利润。

BySmart Fiber，配备 22 英寸触摸屏操作清晰快捷。ByVision 用户界面稳定友好，一切尽在掌控，只需轻松几个按键，上传切割计划，即可启动切割程序进入工作状态。ByVision 拥有庞大信息的数据库，包括常用板材的所有相关参数。根据板材的材质和厚度以及零件的形状，生成最优化的切割流程。

百超

www.bystronic.com.cn

元素六全金刚石光学窗口可将高功率激光系统性能提高 10 倍

Diamond PureOptics™ 是人造金刚石和其他超硬材料生产商元素六公司在金刚石光学领域获得的全新技术研发成果。该全金刚石解决方案的灵感源自飞蛾眼睛的抗反射结构，其能为高功率 CO₂ 激光系统提供更高的可靠性和更高的功率密度。

传统金刚石光学窗口通常包含抗反射薄膜，然而当光学功率密度增加时，这些薄膜的热、力性能损耗也同时增加。元素六采用金刚石结构表面取代了这些薄膜，以降低反射损耗。Diamond PureOptics 技术适用于极紫外应用，其激光损伤阈值远高于抗反射 (AR) 膜制窗口 (相当于 10 倍)，而发射率 (低于 0.5%) 和传输率 (高于 99%) 与其相当。

适用于 10.6 μm 波长的 Diamond PureOptics 光学窗口经过设计、制造和实地试验，现已备妥待售。

元素六

www.e6.com

通快TruMicro 5000皮秒激光器搭配TOP Cleave光束整形镜组

通快的超短脉冲激光器 TruMicro 5000 搭配全新的光束整形镜组 TOP Cleave, 为透明材料加工带来了最先进的激光解决方案。

TruMicro 5000 皮秒激光器, 是行业内具有最高稳定性的超短脉冲激光器, 能够实现高光束质量和光斑圆度, 持有行业内独特的双回路反馈技术专利, 能够达到超过 150 W 的平均功率。

TruMicro 5000 搭配 TOP Cleave 光束整形镜组, 可用于加工蓝宝石和不同的玻璃, 能够为客户实现高达 1 m/s 的高动态切割速度, 提升加工透明材料效率至 100 倍。同时, 还可以实现极其细小的几何形状, 精度高达 0.01 mm 以及出色的边缘质量, 以此降低加工成本。

通快

www.cn.trumpf.com



炬光科技发布祛红血丝激光模块

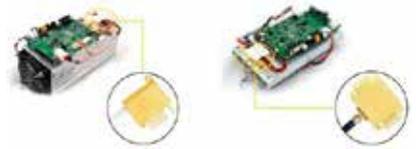
西安炬光科技股份有限公司推出祛红血丝激光模块系列, 是基于炬光

科技 FocusFiber® 光纤耦合模块系列中的单管光纤耦合模块及多单管光纤耦合模块技术平台, 结合客户应用特点, 集成散热及驱动的半导体激光器模块, 具有较高的可靠性, 可提供 10 W 和 16 W 两种模块。

该系统还提供: 温度保护、过流保护、插拔保护等多种保护功能; 具备 RS232 串口、模拟控制接口、DC 风扇供电接口及脚踏开关接口等多种接口, 满足多样化控制需求; LD 驱动电源可在 CW 或 QCW 两种模式下工作, 开关频率 1 ~ 1 kHz, 脉宽 ≥ 100 μs, 输出波形良好, 符合激光器专用电源标准。LD 电流的大小、开关频率以及红光电流的开关频率均可通过 RS232 接口或模拟控制接口控制。

炬光科技

www.focuslight.com.cn



Aerotech 公司高精度定位用经济型双轴电动平衡支架

Aerotech 推出的新型 AMG-GR 双轴光学镜架, 有标准行程和从 90 度到连续旋转多种定制化行程供选择。±10 弧秒的精度, 和多种类型的马达与元件设计, 使这些平衡支架适用于传感器校正或激光束控制。

标准环形元件, 外径 100~300 mm。安装选购件包括一个中(平衡)元件或一个前表面反射结构。平衡支架可配备无刷伺服电机或步进电机, 以及一个全方位配套驱动器和控制器; 也有真空兼容版本可供选择, 选配直接编码器则可提升精度和重复性。

专用的配置可装配各种非圆形光学器材、相机、传感器以及直径超过 300 mm 的圆形光学器材, 平衡支架的模块化设计, 使每个镜框单元可以很容易修改或更换, 以装配传感器或其他非对称形状的有效负载。

应用范围: 测试与检测、政府与高校实验室、军事、纳米技术、显微镜、半导体、微电子、光学、光子、数据存储、精密机械、金属加工、生命科学、医疗器械等。

Aerotech

www.aerotech.com



武汉安扬激光最新皮秒光纤激光器

安扬激光最新推出的应用于精细加工领域的皮秒光纤激光器 PicoYL-15-0.1, 拥有最大 60 kW 的峰值功率以及 500 ps 脉宽 (100ps@5MHz), 单脉冲能量高达 150 μJ, 是锂电池金属膜切割、金属打标、薄膜刻蚀、热敏材料标记以及阳极氧化铝表面打黑等应用的首选。PicoYL-15-0.1 拥有工业标准 DB25 和 USB 接口控制。

产品特点:

- 快速开关光 <3 μs
- 高光束质量: $M^2 < 1.3$
- 脉宽 500 ps
- 支持子脉冲裂变功能: 1~16
- 峰值功率高达 60 kW
- 待机功率选项
- 重复频率 100k ~ 5000 kHz 可选

产品应用:

- 锂电池金属膜切割
- 薄膜打标
- 阳极氧化铝表面打黑
- CIGS 切割
- 金属表面精细打标
- 单晶硅和多晶硅加工
- 聚化合物打标

安扬激光

www.yslphotonics.com



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	25
Aerotech Inc.		www.aerotech.com	5
Amonics Ltd.		www.amonics.com.cn	3
Castech Inc.	福建福晶科技股份有限公司	www.castech.com	21
Edmund Optics China		www.edmundoptics.cn/laser-optics	2
FISBA OPTIK AG		www.fisba.com	7
Laser Intelligent Manufacturing Fair & Forum	国际激光智能制造展暨论坛	www.laserfair.cn	29
Laser World of Photonics China	慕尼黑上海光博会	www.world-of-photonics-china.com.cn	IFC
OPTO Taiwan	国际光电大展	www.pida.org.tw	IBC
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.	深圳市瑞丰恒科技发展有限公司	www.rfhlasertech.com	19

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与主题相关时，才可偶尔提及某一具体产品。

具体要求

- 1、最好配两幅以上相关图表。
- 2、应在预定发表日期之前一个月投到编辑部。
- 3、切勿一稿多投。
- 5、编辑部有权修改稿件。作者或供稿公司如需在出版前确认修改后的稿件，请事先声明。
- 6、请留下作者的各种联系方式。

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)
 michaeltsui@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)
 jennyli@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)
 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)
 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

台北國際光電週系列活動

PHOTONICS FESTIVAL in TAIWAN

Total Solution @ One-stop Shop for Global Customers

2016/6/15~6/17, 10:00~17:30

TWTC Nangang Exhibition Hall / 台北世貿南港展覽館

Special Zone 展出專區

- ▶ **Taiwan Vacuum Society Technology Exhibition Zone** 台灣真空科技專區
- ▶ **Automotive Photonics Zone** IoT×車用光電專區
- ▶ **Biophotonics Zone** 生醫光電專區
- ▶ **Optical Transport Zone** 光傳輸寬頻專區
- ▶ **Laser Applications Zone** 雷射應用專區
- ▶ **Academic Research Zone** 前瞻學術專區

Concurrent Expo 同期展覽



Plant Factory & Agriculture Facilities Expo
植物工廠暨農業設施展

Hot Topic 特別推薦



3D Printing Zone
3D列印專區



UV LED / IR LED
UV/IR專區



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

