

半导体激光器泵浦技术为固体激光器注入了新的生机和活力,使全固态激光器同时具有固体激光器和半导体激光器的双重特点,它的出现和逐渐成熟是固体激光器的一场革命,也是固体激光器的发展方向。

全固态激光器的 研发与应用概况

◇李丽娜

北京国科世纪激光技术有限公司

半导体激光泵浦的全固态激光器是20世纪80年代末期出现的新型激光器。全固态激光器的总体效率至少要比灯泵浦高10倍,由于单位输出的热负荷降低,可获取更高的功率,系统寿命和可靠性大约是闪光灯泵浦系统的100倍,因此,半导体激光器泵浦技术为固体激光器注入了新的生机和活力,使全固态激光器同时具有固体激光器和半导体激光器的双重特点,它的出现和逐渐成熟是固体激光器的一场革命,也是固体激光器的发展方向。并且,它已渗透到各个学科领域,例如:激光信息存储与处理、激光材料加工、激光医学及生物学、激光通讯、激光印刷、激光光谱学、激光化学、激光分离同位素、激光核聚变、激光投影显示、激光检测与计量及军用激光技术等,极大地促进了这些领域的技术进步和前所未有的发展。这些交叉技术与学科的出现,大大地推动了传统产业和新兴产业的发展。

全固态激光器是其应用技术领域

中关键的、基础的核心器件,因此一直倍受关注。近年来,由于大功率半导体激光器迅速发展,促成全固态激光器的研发工作得以卓有成效地展开,并取得了诸多显赫成果。已经确认,传统灯泵浦固体激光器的赖以占据世界激光器市场主导地位的所有运转方式,均可以通过半导体激光器泵浦成功地加以实现。通常应用在激光打标机、激光划片机、激光切割机、激光焊接机、激光去重平衡、激光蚀刻等系统中。由于全固态激光器具有高光电转换效率、高功率、高稳定性、高可靠性、寿命长、体积小等优势,采用全固态激光器已成为激光加工设备的趋势和主流方向。

一、国外发展概况

目前,美国、日本、德国3个国家激光产业的发展代表了当今世界激光产业发展的趋势。日本在光电子技术方面占首位,在激光医疗及激光检测方面,美国占首位,而在激光材料加工

设备方面则是德国占首位。

半导体激光泵浦的全固态激光器已是工业用激光设备的核心器件,也可以单独作为激光器应用。

目前,国外千瓦级全固态激光器系统已有诸多报道,休斯航天航空实验室的研究人员们用侧面泵浦棒状Yb:YAG晶体获得了0.95kW的大功率输出。日本在2005年实现输出平均功率大于等于10kW,电光效率大于等于20%的高功率全固态激光器。国外工业发达国家,全固态激光器已开始成为工业用标准激光器。据文献报道:国外全固态激光器商品级单腔输出激光功率1.1kW,最高输出功率6kW以上。ROFIN公司已有千瓦级大功率全固态激光器及系统,相干公司、光谱物理公司、Lightwave electronics公司等都有多品种、多系列的全固态激光器出售。美国Lee Laser是世界一流的高功率50~100W 532nm绿激光的生产商,产品广泛应用于原晶的激光加工和处理。总体来说,国外全固态激光

器技术及应用设备工程化水平高,产品已趋向成熟。

在大功率全固态红色激光器问世后,大功率全固态蓝、绿激光器的相继问世,为彩色激光电视的发展奠定了基础。微电子技术及精密加工技术的发展使得激光大屏幕显示技术走向实用化。俄罗斯、美国、德国等相继成功开发了高功率激光显示系统、激光电视、激光数字影院等。高功率激光显示系统的功率已达到20W的水平,显示图像的面积大于10m²。随着技术的发展,全固态激光器的输出功率还将越来越大;另一方面,为了适应激光电视的发展,全固态激光器的体积将越来越小。当前激光电视正进入产业化的前期,产业化的高潮即将兴起。

全固态紫外激光器的发展和应用是当前国内外最引人注目的亮点之一,全固态紫外激光器与传统的准分子紫外激光器相比较,具有体积小、效率高、寿命长、光束质量好、无毒、不需要更换特殊气体、价格便宜等许多优点,在国外,全固态紫外激光器已成为激光划片、微细钻孔等微电子加工的最理想激光源。近几年,美国、德国、特别是日本都在加大力量发展全固态紫外激光器,特别是中大功率全固态紫外激光器的开发应用。由于1064nm或532nm波长激光对材料的加工主要是产生气化或熔融等热作用,所以加工出的产品往往很难达到精细、光滑,甚至有些材料(如陶瓷、硅片等)在加工时会引起碎裂,因此,全固态紫外激光器在激光微加工、激光精密加工有着广泛推广应用的趋势。目前国外工业发达国家,全固态紫外激光器已开始成为工业用标准激光器。据文献报道:日本M.Nishioka公司已研发出40W的266nm全固态紫外

激光器;三菱公司也在市场上推出了18W 355nm 25kHz全固态紫外激光器产品;另外相干公司的AVIV系列激光器已做到在266nm,30kHz时,平均功率大于3W,在355nm,40kHz时,平均功率大于10W;光谱物理公司的YHP-series系列激光器也达到在266nm,20kHz时,平均功率大于1.5W,在355nm,20kHz时,平均功率大于3.5W;Lightwave electronics公司所推出的Q301-SM激光器也达到了在355nm,10kHz时,平均功率大于10W的技术指标。总体来说,国外全固态紫外激光器技术及应用设备已趋向成熟,但价格昂贵。

高功率半导体激光阵列单光纤耦合模块可直接作为光源广泛应用于激光医疗、信息产业、激光加工、国防工业、激光武器和战术装备等领域。作为泵浦光源将是泵浦全固态激光器的核心器件,是一种高光-光转换效率(大于30%)的高功率泵浦全固态激光器的商用半导体激光光源模块,是替代灯泵浦激光器的理想产品。目前,国外半导体激光器单根光纤耦合模块的最高研究水平是耦合进入1个芯径400μm,输出功率200W。耦合进入1根800μm的光纤,输出功率700W;耦合进入1根1.5mm的光纤,输出功率超过2000W。国外出售的单光纤耦合模块产品水平如Apollo公司产品为光纤芯径100~600μm、光纤输出功率15~100W;LIMO公司产品为光纤芯径200~600μm、光纤输出功率10~50W。

二、国内研究进展

全固态激光器的发展方向大体为:输出功率为微/小/中型的器件将沿着多样化、智能化、产业化方向发

展,大功率器件将向高平均功率/高光束质量发展,而战略性应用的高能全固态激光器将得到特别加强从而开发出更多新技术,如目前正待发展的热容运转技术和功率合成技术。

目前,国内大功率全固态激光器研究水平最高的代表为中科院物理所,已研制出大功率全固态激光、全固态宽调谐飞秒激光器、深紫外至中红外全固态激光器。并用自行研制的全固态高功率红、绿、蓝三基色激光器为光源,于2002年在国内首次实现全固态激光全色显示,2003年实现60英寸前投和背投原理性演示样机,2005年成功研制出60英寸激光家庭影院、84英寸及140英寸大屏幕激光显示样机。先后参加了863'十五'重大成果展、科技创新展和上海国际工业博览会,获得博览会的科技创新奖。而我国对全固态紫外激光技术及应用系统的研究尚处在起步阶段。

国科激光与多年从事全固态激光器研究的中科院物理所合作,对该所在国家973项目、863项目和中科院重大项目等支持下的,并通过863验收、中科院院级成果鉴定的CW红光全固态激光器(国际领先)、多波段宽调谐全固态激光器(国际首创)、CW绿光全固态激光器(国内首创,国际先进)、QCW高光束质量全固态激光器(国内领先)等科研成果进行接产。还与该所合作完成全固态高功率红、绿、蓝三基色激光器,紫外全固态激光器,高光束质量、高功率QCW全固态激光器等项目,并研制成功国内第一台可调谐掺钛蓝宝石激光器。

中国科学院和中国工程物理研究院从20世纪80年代开始联合攻关,承担了“神光”系列激光系统的研制和ICF物理实验,取得了国际瞩目的成

就。其中,“神光-I”激光装置于1986年建成,达到国际同类装置的先进水平。“神光-I”连续运行8年,在ICF和X射线激光等前沿领域取得了一批国际一流水平的物理成果。90年代又研制小型的“星光II”激光装置和“神光-II”激光装置现已投入运行,总体技术性能进入世界前五位。1995年,ICF在国家863计划中立项为“惯性约束聚变”主题,在中国工程物理研究院开始研制“神光-III”激光装置。

尽管“神光III”激光装置的规模比美国目前在建的NIF要小许多,但“神光III”的建设集中了当前国内最先进的光学、激光、精密机械及计算机控制等系统为一体的综合性高科技工程项目。国科激光与中国工程物理研究院合作为“神光III”激光装置研制预放系统。

目前,在国内,国科激光属于具有很好的研究基础和产业化生产技术,是国内知名的高新技术型企业,已成功的掌握了大功率全固态激光器的核心制造技术,并制定了全固态激光器的企业标准,将此技术向产业化方向发展,必然会给激光技术的应用带来革命性的变革。

三、市场发展前景

目前,美国、日本、德国等国家在制造业,如电子、医疗、汽车、航空、航天、等领域已基本完成传统工艺的更新换代,步入“光加工”时代。近年来由于半导体激光的迅速发展,使半导体激光泵浦的全固态激光器加工设备所占的市场份额越来越大。德国Rofin激光公司所销售的激光加工设备中60%已是全固态激光器。

根据相关统计,国外全固态激光

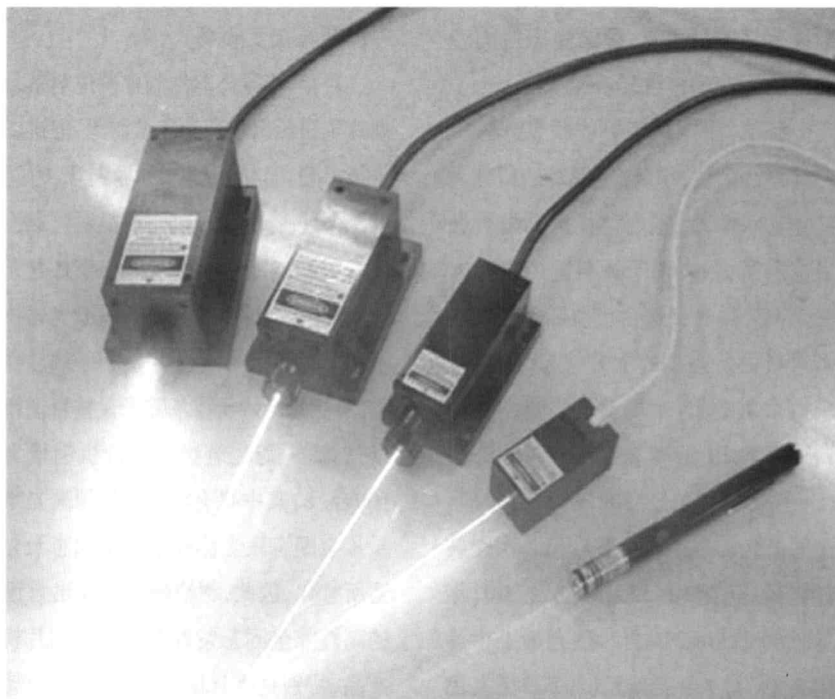
器产业2004年销售额已达近百亿美元,其中产品销售额的29%用于激光标记,15%用于激光微加工。全球全固态激光器加工系统年增长率约为23%,而全固态激光器是激光器加工系统的核心部件,市场需求也将同步增长,其年需求增长率将达到20%以上。因此,全固态激光器的发展趋势很好,市场前景非常广阔。

据《Laser Focus》杂志和《Laser Report》杂志的预测,目前全世界全固态激光器的需求量至2008年可达到20万台。这一需求量每年以20%以上的速度增加,每年实际的市场销售达到市场容量的90%,其中对大功率全色激光器的需求将是一个大的增长点。

近年来中国激光市场呈现出稳定、高速增长的态势。自1999-2005年,中国激光产品市场销售情况分别

为14.13亿、19.11亿、32.4亿、28.62亿、36.89亿、42.32亿、47.75亿元人民币。在整个中国的激光产业中,激光材料加工近几年的发展势头强劲,且有很大的空间,激光加工在中国激光产业中占的比例也是日益重大。在看到行业迅猛发展的同时,我们还应该看到我国激光产业起步晚、基础薄弱,与世界领先国家的差距还很大。例如:与国际上激光加工系统相比,我国的激光加工系统差距甚大,仅占全球销售额的2%左右。主要表现为:高档激光加工系统很少,甚至没有;主力激光器不过关;微细激光加工装备缺口较大。这些领域我国的生产企业正在积蓄力量稳步进入,国内应用市场有很大发展空间。

侧面泵浦全固态激光器可以单独作为1064nm激光器使用或是作为核心器件普遍被应用在激光打标机、激



↑ 由于半导体激光的迅速发展,使半导体激光泵浦的全固态激光器加工设备所占的市场份额越来越大。

光划片机、激光内雕机及其它应用系统中。根据统计,目前国内仅打标机及雕刻机的生产厂家就达100多家,年生产能力达到2000~5000套。应用系统对固体激光器需求量应在4000套以上,总销售额将达2亿元以上。由于全固态激光器具有高稳定性、高功率、寿命长等优势,其中约有60%将采用全固态激光器,其年需求量应在2000~3000套。国内市场主要集中在深圳、北京、上海、武汉、天津等激光加工产业比较发达的大中城市及其周边地区。根据上述全固态激光器的年需求量约在3000套左右。

蓝、绿DPL当前国际市场商品价格约1万美元/W,如CW(连续)532nm器件,10W价格为10万美元,5W约5万美元,蓝、绿光的国际需求很大,Laser Focus World杂志预计为20亿美元/a。

紫外355nm DPL 目前国际市场价格约为2万美元/W,并且,目前中大功率的全固态紫外激光器的市场份额全部被国外占据,建立自主全固态紫外激光产品产业迫在眉睫。

目前,国内对半导体激光阵列单光纤耦合模块及其应用系统的研究尚处在初级阶段,国内市场主要是被进口产品所占领。由于近年国内半导体激光阵列单光纤耦合模块随经济发展需求量保持强劲的上升状态,国内市场需求量较大,市场前景广阔。

据中国光学光电子行业协会(COEMA)激光分会的统计,2002年全国激光加工系统设备产值首次突破10亿元,达到10.355亿元,比2001年增长65%。2002年全球激光加工市场销售额为29.9亿美元(约260亿人民币),两者相比,中国约占1/26。工业激光加工设备首先在中国国内经济较

发达、较活跃地区获得快速应用。例如,在广东省于2002年底约有1500多台CO₂和Nd:YAG激光打标机,用于PC键盘等其他元器件的加工,约有100多台激光划片机用于太阳能电池晶片和芯片的加工,例如,浙江省桥头镇用于衣服纽扣打标的激光打标机已有100多台,该小镇生产的衣扣占全球衣扣市场的40%多。国内激光打标占国内工业激光市场45.3%,并且主要应用于轻工业品、小五金工业品等领域。这表明国内激光打标将要占领的应用领域很大。

目前,国内激光设备厂商主要以提供低端设备为主,激光器也以传统的灯泵YAG固体激光器和低端的CO₂激光器为主。各种激光加工设备中的很多关键器件都需要进口。虽然中国激光技术研究一直处于世界前列,但是激光产业发展确实与国际先进水平的差距悬殊。例如,国际上汽车制造业中的激光应用早已非常普遍,而国内所有的汽车生产线都是采用国外的激光加工设备。

目前,半导体器件制作单位对紫外划片机显示出强烈的需求愿望,但进口价格昂贵,且售后服务不尽人意,时间无法保证。作为激光加工产品对可靠性要求很高,若产生故障没有3个月是无法修复的,而国外公司对这类激光器技术是绝对保密的,绝不可能将维修放在国内。激光划片机市场需求量按目前市场估算,一般传统激光划片机销量为100台/a,其中将有60%为基频高光束质量全固态激光器或紫外全固态激光器所替代。因此,尽快研制开发出自己的高性能全固态紫外激光器及划片机产品,特别是将其尽快产业化,并带动相关产业实现技术跨越,进入高端领域,这无论从技术创新上来说,还是从

提高产品档次,扩展出口品种,占领国际市场方面来说,都有重要的意义。

国内激光加工应用市场巨大,而这个市场自加入WTO以来,正在迅速形成的“全球制造基地”而获得快速增长。国内外投资者和激光业者正在抢占这一市场。因此,国内的激光加工应用市场将迅速增长,激光加工技术产业化应加速实现。国内从事全固态激光器和激光加工技术系统研发、生产和经营的企业正面临极好机遇和挑战。

但目前国内激光加工设备制造所用的全固态激光基本依靠进口,购买价格昂贵且售后服务滞后,使工业化应用受到很大制约,严重地影响了我国激光加工制造业的快速发展,成为制约我国激光加工行业的瓶颈之一。现阶段,我国激光技术的发展正处于一个关键的抉择时刻,将对我国今后激光技术和激光产业的发展产生深远的战略性影响。为了促进全固态激光器及应用系统的产业化和制造水平的发展,提升我国激光技术水平和国际竞争力,满足国内对可靠稳定的激光技术和器件的急切需求,在“十一五”期间,有必要加强在全固态激光器及应用系统产业化的技术再创新,以全固态激光器件的产业化为起点,提高全固态激光器件的稳定性和可靠性,满足国家在制造业、医学、科研、国防等的需求,打造拥有自主知识产权的品牌全固态激光器及应用系统,解决工程化关键技术与共性技术,推动激光技术产业的发展,根据市场需要研究和开发,全固态激光器及应用系统新产品,努力创造中国名牌产品,为我国激光应用领域,提供稳定、可靠的全固态激光器及应用系统。