

揭开国产高性能 SESAM 的神秘面纱

■本报记者 赵广立

半导体可饱和吸收镜(SESAM),这个对于许多非专业人士而言有些生硬甚至拗口的名词,对于我们所熟悉的超短脉冲(皮秒激光、飞秒激光等)的产生而言,意义非凡。最近,北京大学教授张志刚及中国科学院半导体研究所研究员马骥宇团队,就因国产高破坏阈值高性能 SESAM 的研制成功大大缓解了该器件对国外产品的依赖而备受业界关注。

SESAM 是什么?它有哪些用途?它的研制存在什么样的难度?近日,《中国科学报》通过专访张志刚,试图揭开 SESAM 的神秘面纱。

产生超短脉冲“最简单可靠”

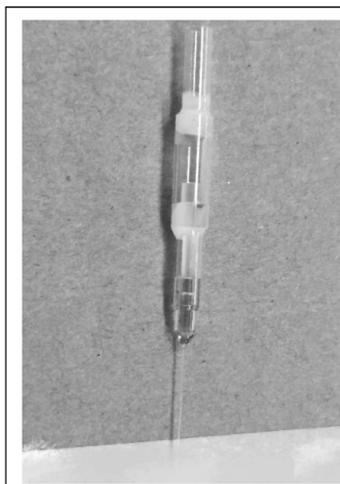
“SESAM 是产生皮秒和飞秒脉冲的核心器件,不仅是光纤激光器,固体激光器也可以用,而且最早是在固体激光器中用起来的。”张志刚向《中国科学报》介绍说,20世纪90年代,人们发现了钛宝石激光器新的锁模技术,可以比较容易地产生超短脉冲激光。但是,这种脉冲不能自己从连续光状态过渡到脉冲状态——也就是不能自己启动,需要一个机制,比如打它一下,踢它一脚,而 SESAM 就是这样理想的启动器。

张志刚解释说,SESAM 本质上是利用半导体的高速可饱和吸收特性,在激光器噪声系列中选出能量最高的脉冲。具体的原理是,给高能脉冲以较高的反射率,让其放大并在激光腔内占据主导;给低能量的脉冲以低的反射率,让其逐渐损耗掉。他告诉记者,除了 SESAM,超短脉冲尤其是皮秒激光的产生,还有别的方法,“但 SESAM 是最简单可靠的一种”。

张志刚进而介绍道,SESAM 的主要结构是在半导体布拉格反射镜结构上面“生长”出一个或几个量子阱。从半导体专业的角度来看,它的结构并不复杂;但在激光研究者看来,SESAM 很多参数都需要设计和控制,例如饱和和通量、饱和和恢复时间、调制深度、非饱和损耗、非线性吸收系数、破坏阈值等。

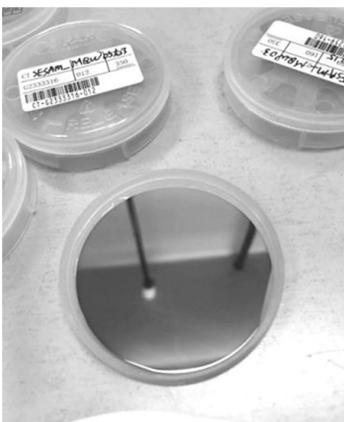
“这些参数和结构设计及生长条件有关。”张志刚说,不同的激光器要求的参数也不同,但不管哪种 SESAM,都是在半导体衬底上外延生长的,因此要实现晶格匹配,而量子阱并不都与衬底匹配。

“比如要在 GaAs 衬底上生长吸收波长长于 860 纳米的量子阱的话,问题就来了——因为晶格不匹配了,



▲ SESAM 集成模块

▼ 未切割的 SESAM



超短脉冲不能自己从连续状态过渡到脉冲状态,也就是不能自己启动,总是需要一个机制,比如“打它一下”“踢它一脚”,而 SESAM 就是这样理想的启动器。

生长质量就不好了。而且,吸收波长要求越长,掺杂就越多,晶格失配就越大,由此带来一系列问题,包括容易被激光“打坏”。“张志刚说,这就需要材料选择和特殊技术来解决。”

张志刚介绍说,除了 SESAM 之外,还有很多可饱和吸收体,如碳纳米管、石墨烯、二维拓扑材料、黑磷等,都可以在锁模激光器上起到类似的效果,我国科研人员在这些新材料上做了很多高水平的工作。但是,在材料制备和性能控制、破坏阈值、长期稳定性等方面,SESAM 仍然独具优势,无可替代。

以解决国家急需为己任

飞秒激光、皮秒激光等超短脉冲的主要用途是科学研究、精密测量和激光精密加工。常提到的用激光做近视矫正手术,用到的就是飞秒激光;而在工业上,飞秒或皮秒激光器常用于手机玻璃切割、液晶面板打孔、柔性电路板切割等。张志刚告诉记者,这些工业需求虽然谈不上特别高精尖,却是我国产业升级的需要。

在国际市场上,外国公司生产的高性能 SESAM 价格高昂,成本只几百元的 SESAM 片,售价约四五千元。“我们自己做的话,对于降低激光器成本是非常有好处的。当然,加上高破坏阈值这一条优点,性价比会更高。”

而在一些特殊用途的激光器上,国外还会拿 SESAM 来“卡脖子”。张志刚举例说,中科院某研究所用的星载测距用的,用 SESAM 调 Q 的薄片皮秒激光器,以前是有国外公司出售的,但现在“断货”了。“不管什么原因,不卖了你就没用,没米下锅。一下子没有了供应源,你着急人不急人?现在我们有了这种 SESAM,就可以做自己的薄片皮秒激光器了,这就解决了国家的急需。”

记者了解到,近年来,张志刚通过与中科院半导体研究所研究员马骥宇等的合作,研制出用于光纤激光器锁模及薄片皮秒激光器调 Q 的高调制深度 SESAM (调制深度 12%)和用于固体激光器锁模的低调制深度 SESAM (调制深度 1%)。通过材料选择和应变补偿,使 SESAM 破坏阈值达 8 兆焦耳每平方米以上。通过提供给公司、研究所和高等院校试验,结果证明,这些

SESAM 完全可以满足光纤激光器锁模、薄片激光器调 Q 和固体激光器锁模的要求,并在破坏阈值和锁模动态范围等方面好于国外产品。

对此,张志刚告诉《中国科学报》,目前用在光纤激光器上、自主研发的 SESAM 看起来比外国的产品要好。外国某公司用 SESAM 锁模的光纤激光器,每开关一次机,都要把 SESAM 自动换个位置,为的是不让 SESAM 被激光打坏;用自主研发的 SESAM 的激光器不用换位置,经得起时间的考验,不用担心被打坏。

“这在工业应用上是很关键的,因为一旦 SESAM 被打坏,加工生产线就要停摆,这和科研用的激光器是不一样的。从这个意义上说,是比外国的产品先进的。”不过,张志刚同时表示,在用于几百瓦功率的锁模固体激光器的 SESAM 上,国外如瑞士联邦工业大学的产品仍然遥遥领先,“所以不能下结论说什么器件都比外国的强”。

希望迅速把实验装置变成产品

在采访中,张志刚自言,从 1982

年起,除了博士期间,他一直在超短激光脉冲领域摸爬滚打。而谈起从事 SESAM 的相关研究,其中还有一段因缘。

1988 年,张志刚赴澳大利亚留学,在他面前有两个选择:新南威尔士大学的“半导体薄膜的光学性质”研究方向和莫纳什大学“小型铜蒸汽紫外激光器”方向。当时他的硕士生导师建议他选择跟其硕士专业更相近的后者,但张志刚表示“当时‘半导体薄膜的光学性质’这个似懂非懂的概念就像种子一样种在了我的心里”。

1992 年博士毕业后张志刚赴日本做博士后研究工作,回到了刚刚发展起来的飞秒激光的领域。一期结束之后,合作导师把他介绍到电子技术综合研究所,给的题目是“半导体超晶格器件的超高速光学性质”。“当时我眼前一亮:这不就是半导体薄膜的光学性质吗?8 年前埋下的种子,该发芽了。”于是他毫不犹豫地去了那里,追寻这个似懂非懂之梦。

在张志刚 30 多年科研历程中,他告诉《中国科学报》,自己一直对科研成果如何尽快转化为应用感触比较深刻。“如果只是做几个片子,做几个实验,发表几篇论文就完了,那意义就不大了。”

从日本回国之前,有人告诉他,做工业界有用的 1 微米波长的 SESAM 会有前途。“但是回国后,我看不到应用的场景,也没努力开拓工业应用。直到最近几年,工业界逐渐接受了皮秒激光加工,外国的激光器逐渐占领了中国市场,我才醒悟过来,感到了做这件事的紧迫性和重要性,才把多年的技术积累又捡起来。”张志刚略显自责地说道,“这都是因为我眼界太窄,只看到科研应用的小市场。”

2016 年,张志刚再次与马骥宇合作,用 MOCVD (金属有机化合物沉积)来生长 SESAM 结构。他们把 SESAM 片做成薄片激光器后,效果不错,测量了各种参数,包括破坏阈值都提高不少。2017 年春节前,张志刚利用相关技术指导广东华快光子公司做出了锁模光纤激光器成品,并将脉宽降低到 5 皮秒。

“2018 年,这种皮秒激光器就卖出了几十台。预计 2019 年会有几百台的量产,我们自己做的 SESAM 这才有了真正的用武之地。”张志刚说,自己多年来最有感触的就是,要迅速把实验装置变成产品。“谁不希望自己的技术和器件被广泛应用呢?”

纵览

中科院苏州医工所 流式细胞仪投入临床使用

本报讯 近日,中国科学院苏州生物医学工程技术研究所(简称“中科院苏州医工所”)将自主研发的两台流式细胞仪提供给吉林大学第一医院,经过初步装机验证,确认其结果不亚于临床日常使用的进口品牌,基本满足临床检验和医院科学实验的需求。

2018 年 11 月,中科院苏州医工所与吉林大学第一医院签订了先进自主知识产权医疗器械产品临床应用示范合作协议,并成立了“苏州医工所-吉林大学第一医院先进自主知识产权医疗器械产品临床应用示范基地”,积极促进临床医学和工程技术的紧密融合,使先进自主知识产权医疗器械产品通过临床应用示范市场推广,总结经验,从而进一步拓展临床需求和工程技术合作的深度及广度。

流式细胞仪是在国家“十二五”“863”重大项目支持下,由中科院苏州医工所团队历经 5 年自主研发的,通过测量单列流动中标记细胞的荧光,实现细胞或其它生物颗粒的快速、准确定量分析和分选。流式细胞仪集成了激光技术、计算机技术、流体力学、图像技术、微弱信号处理、细胞化学和生物探针等众多领域的知识和成果,被誉为生物实验室的“CT”。

(赵利利)

仪器巨头赛默飞看好中国市场

本报讯 日前,跨国仪器巨头赛默飞世尔科技(简称赛默飞)披露了其 2018 年度财报,全年营收增长 16%,达到 243.6 亿美元。

财报发布后的电话会议中,赛默飞在中国市场的表现受到投资者们的高度关注。公司总裁兼 CEO Marc N. Casper 对中国的营收情况做了专门说明,他表示:“2018 年赛默飞在中国的最大市场。”

2018 年赛默飞在新兴市场取得高速增长表现,这些市场目前占公司收入的 21%,约为 50 亿美元,其中印度市场增长为两位数,中国市场全年的增长达到了 20%。

对于在中国取得的增长,Casper 解释称,“我们明显受益于继续建立的规模,这使我们能够为客户提供差异化的体验,特别是我们的商业基础设施正在推动强劲增长和收益分享。”

“我们对 2019 年的机遇感到兴奋,将继续扩大赛默飞在中国的规模和深度,持续关注公共卫生、环境和食品安全等市场,让客户的生活更健康、更清洁、更安全。”Casper 表示,“赛默飞在中国的领导团队非常看好 2019 年的市场前景。我期待在本季度末前往中国,与我们的团队和客户共度时光。”

(赵利利)

匠人匠心

祝普强:做一名真正的“深海勇士”

■本报记者 贡晓丽

“对于 6000 年前《圣经·传道书》中提出的那个问题‘谁能探测深渊的深处呢’,现在,我相信人类中有两个人有资格来回答这个问题。那就是我和尼莫船长。”这是来自《海底两万里》中博物学家阿龙纳斯的独白。现实中看来,能“探测深渊深处”的已经不止两个人。我国从 2002 年起开始研制深海载人潜水器,目前,“蛟龙号”与“深海勇士号”两代载人潜水器能够分别下潜 7000 米与 4500 米。不久前,“深海勇士号”还在南纬 37 度海域采集到一株珍稀的红珊瑚,惊艳世人。

作为中国科学院沈阳自动化研究所研究员,祝普强同时也是“深海勇士号”载人潜水器控制系统负责人,从 2002 年起就参加了“蛟龙号”研制的全过程,倾力参与打造潜水器的最强大脑。可在采访中,祝普强一再向《中国科学报》强调:“我只是因为恰好参加的国家项目受到关注而被大家看到,我背后还有许多兢兢业业、默默无闻的同事们,我们能够亲历并见证中国载人深潜事业的兴起,何其幸运!”

摸着石头过河

潜水器的控制系统究竟有什么用?如果把载人潜水器想象成智能生物的话,控制系统就像生物的大脑和神经系统。“控制系统就是要控制潜水器在水下的姿态,比如前进、作业、悬停。现在汽车也在往无人驾驶或者自动驾驶方向发展,而我们的潜水器已经具备自动驾驶的能力。”祝普强说。

要让潜水器达到以上的能力并

不容易,从初代的只能完成简单的操作,到拥有最强大脑,经历了 16 年。“基本上是摸着石头过河。”祝普强介绍,刚开始做载人潜水器控制系统时,几乎查不到任何相关的参考文献,“我们就按照自己的理解把这个事情往下推,在解决问题的过程中不断优化迭代、更新进步。”

“最难解决的应该是大系统集成的兼容性问题,分系统调试的时候一切正常,到大系统集成的时候就有可能出现各种问题。遇到类似的问题,我们就组织团队专题研讨、技术攻关,一个一个地解决掉。”祝普强说,“随着出现的问题越来越少,潜水器就可以稳定可靠地潜行了。”

控制系统在优化过程中功能也逐渐明确,“我们发现在‘蛟龙号’第一次下潜过程中,产生了大量的数据,而这些数据对科学研究、系统优化、故障诊断,都有很大的可利用性。”祝普强说,“其实,当时的我们都没有考虑到要如何分析和使用这些数据。”

祝普强当时一直负责“蛟龙号”潜水器的信息显示与数据融合处理工作,就尝试研发了“蛟龙号”的数据分析软件。“后来领导知道了,就把软件拿给大家看,获得了大家的认可。”

从技术员到领头羊

说起参与海试的经历,祝普强提到,在他参加的第一次为期七天的“蛟龙号”前期海试当中,因为晕船严重,只能勉强喝粥,“七天时间瘦了 10 斤”。身体的不适没能阻止祝普强思考,也就是在这七天时间里,他发现

支撑船域网的水面支持系统可以解决潜水器水面指挥的问题,回到所里祝普强就把“蛟龙号”水面指挥系统开发了出来。

“拿手机随时都可以看到船载指挥系统数据,使用非常便捷。”祝普强说,而这也是合同任务书之外的工作。由于“蛟龙号”积累了潜水器运维、海试、设计的诸多经验,到“深海勇士号”这一代,许多试验性的成果已经成为潜水器上的常规装备。

由于工作出色,在“蛟龙号”海试结束后祝普强被国家海洋局与人力资源和社会保障部评为“蛟龙号载人潜水器 7000 米级海试先进个人”。他也从一名普通的科研人员成长为科研骨干,并于 2013 年起接管了蛟龙号控制系统后期的运维与大修及技术升级等工作,成为载人潜水器控制系统团队负责人。

从项目参与者到团队负责人,身份的转变,改变的是思考问题的角度:作为负责人就需要更多去思考团队如何发展,项目如何推进。

“载人潜水器是全国性的由多学科多单位共同合作完成的项目,多个单位之间也要搞好协作,从‘蛟龙号’开始大家就一直共患难,到了‘深海勇士号’也并没有发生大的分歧,就是各司其职,遇到困难了,大家一齐往前走。”祝普强介绍,有问题不推诿是这个大团队的工作宗旨。

“深海勇士号”的国产化推进器就曾因干扰性太大,造成整个潜水器的控制能力降低。实际上,控制系统的设计目标中并没有抗如此大强度干扰的设计要求,这种情况下如果改进推进器,时间周期太长。“这个时候

当我站在船上看到满天星斗和银河倒映在平静的海面,我想,我找到了我的星辰大海。
——祝普强



祝普强(右)对“深海勇士号”电子舱进行优化。

就不能推卸责任了,谁有能力去改,就要尽快站出来,把责任承担起来,只有我们改进系统,才能保障整体项目的进度。”祝普强说。

作为控制系统负责人,祝普强遇到的并不都是上述棘手的问题,自己团队人员的利益协调,也放在他的心上。“一个团队不只是几个人的问题,而是几个家庭的问题。谁家妻子生了小孩需要陪伴,谁家老人看病需要照顾,这些在分派出海任务时都要考虑。”

时刻为别人考虑的祝普强,2017 年在外参与“深海勇士号”外场试验与海试的时间突破了 240 天。

致力实现中国造

中国的深海载人潜水器从研制到如今,经历了十几个年头,可是我国的载人深潜事业才刚刚起步。潜水器部件实现国产化、解决重大技术装备受制于人的问题,是中国载人深潜人的心愿。

与“蛟龙号”相比,“深海勇士号”的最大突破就是国产化程度达到 95%,在“蛟龙号”研制与应用的基础上,成功实现了潜水器核心关键部件的全部国产化,在研制过程中先后突破总体设计与优化、大厚度钛合金载

人舱设计制造、大深度浮力材料、低噪声深海推进器等一系列关键技术。“深海勇士号”载人潜水器全部由中国人自主研发建造,控制系统作为载人潜水器的核心系统,国产化之路并不是一帆风顺。

祝普强介绍,第一代控制系统主要满足的是工程需求,也就是完成最简单的潜水器控制,潜水器能动、能干活、能下潜就可以。为了满足科学需要,之后潜水器控制系统将深海地形图加入其中,让潜水器在深海摸清方向,到了最新一代,则实现了诸多高级指令和功能,打造出目前国际一流的潜水器大脑和神经。

“中国载人深潜事业不仅是完成现在的两台载人潜水器,还会有第三代载人潜水器。”祝普强认为,这项事业最大的收获,是培养了中国第一支载人潜水器研发团队,这个团队的骨干在各自的岗位上发挥着重要的作用,影响着中国深潜事业的发展,对年青一代的深潜人起着传帮带的作用。

“整个团队在不断辐射能量,人员与技术不断传承接替,我们的团队随中国载人深潜事业不断成长。”祝普强说。

关于工匠精神,祝普强认为,就是要坚持把一件事做到极致。他正在遵循这一标准,投身于中国万米级载人潜水器的研制当中,“预计 2020 年完成海试,万米级载人潜水器建成投入使用后,将会创造新的‘中国深度’”。

本期图片除署名外均来自网络,稿费事宜请与编辑联系。E-mail: glzhao@stimes.cn