**项目公示信息**

申报奖项及等级：陕西高等学校科学技术奖励、一等奖

项目名称：高性能吸收体及脉冲激光器研究

主要完成单位：陕西师范大学、中国科学院西安光学精密机械研究所

主要完成人情况：王勇刚、王江、刘思聪、程光华、吕瑞东、

陈振东、刘欢

项目简介：

超短脉冲激光器是激光微细加工的利器。锁模和调Q吸收体是超短脉冲激光和短脉冲激光器的核心部件，相当于计算机中的“CPU”。目前，产业化的锁模吸收体是半导体饱和吸收镜，产业化的调Q吸收体有半导体饱和吸收镜、Cr:YAG等。但是，这些吸收体存在一些缺点，如（1）设计的特定的吸收体工作带宽窄，仅对特定波长有效；（2）衬底依存性高，如1064nm波长的半导体饱和吸收镜，必须采用MOCVD等特定设备在砷化镓衬底上生长；（3）恢复时间长，如半导体饱和吸收镜的恢复时间在几十皮秒。

宽带吸收体材料，如碳纳米管、石墨烯、二维材料等，具有相对于半导体饱和吸收镜的几个优点，（1）工作带宽宽，可以用于1微米到3微米等很多激光波段；（2）衬底依存度底，可以使用多种衬底材料，甚至不需要衬底材料进行生长，生长设备多种多样；（3）恢复时间短，通常在1皮秒左右，这样有利于实现短脉冲激光输出。但是，宽带吸收体也有若干缺点，导致至今未能实现产业化。（1）吸收体材料多为纳米量级的薄层，与衬底结合力不足，工作时间长了容易脱落；（2）有些材料在工作时与外界环境物质发生反应，导致使用寿命缩短；（3）材料本身的激光抗损伤阈值低。因为这些原因，目前国际上文献报道的宽带吸收体材料种类数以百计，但尚不能取代半导体饱和吸收镜。

本课题组是国内少数几个可以制作半导体饱和吸收镜的课题组之一。但是半导体饱和吸收镜在国外发展较早，创新的余地较少，难以获得自主的知识产权。因此，本课题组致力于宽带吸收体材料的实用性研究。我们的重心放在宽带吸收体材料制备的方法上，希望从制备方法上入手，克服宽带吸收体的机械性能弱、稳定性差等缺点，发挥出其恢复时间短、工作带宽宽、衬底依存性弱等优势来，最终使其成熟。这样，有利于获得自主的知识产权，有利于研制成功更多波长类型及小型化的锁模激光器。虽然这个过程可能较长，但是探索工作是非常有意义的。本课题组近几年探索了10多种制备宽带吸收体的方法。本项目涉及到其中的四种方法，具体如下：

1. 溶胶凝胶型吸收体。

裸露在空气中的宽带吸收体因为材料很薄，同时大部分制备方法导致其与衬底结合力很弱等原因，在与激光相互作用时，容易脱落。这类材料中有一些与外界空气和水汽等物质反应，因此会被缓慢消耗。我们采用溶胶凝胶方法，将宽带吸收体材料封闭在二氧化硅无机玻璃体内，隔绝外界的影响，同时也牢固地固定在基质中。在常温下制备这种掺入吸收体材料的玻璃体，在500度以下温度退火，不会伤及宽带材料本身。我们制备的溶胶凝胶型吸收体，分别用于固体激光调Q和光纤激光锁模。在数月的实验中未发现损伤。而且固体调Q激光输出高达3瓦，为宽带吸收体材料固体调Q输出功率最高的几个报道之一。

（2）宽带材料水溶液吸收体。

宽带吸收体生长时对衬底选择灵活是它的优点。我们将其灵活性继续拓展，探索了水溶液状态下的宽带吸收体，实现了固体激光调Q及光纤激光锁模。水溶液状态下的宽带吸收体，即使有某处被消耗，还有其他地方的吸收体材料过来补充。我们探索了重水溶液的宽带吸收体。这种溶液在一微米波长和一点五微米波长的饱和损耗比普通水容易低很多。我们使用宽带材料水溶液吸收体进行固体激光调Q，脉冲宽度小于3纳秒，是目前采用宽带吸收体调Q固体激光器的最短脉冲宽度。

（3）云母衬底吸收体。

我们探索了云母衬底的宽带吸收体。云母衬底是一种无机介质，类似于石英，机械性能比曾经广泛使用的聚合物好很多。和石英相比，它可以做成薄层甚至厚度20-30微米的单层，但韧性很好，不易碎，能弯曲，易切割。采用这种衬底的宽带吸收体，激光抗损伤阈值提高了很多。我们一般将云母衬底的宽带吸收体用于光纤激光器锁模。

1. LB法制备吸收体。

LB法制备吸收体，可以控制吸收体的厚度，最薄可以达到单原子层。制备时间短，可以系统地研究吸收体厚度、非线性参数与锁模及调Q效果的关系。我们利用LB法制备吸收体实现了光纤激光器锁模和固体激光器调Q。

**主要论文专著目录（限8条）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文专著名称 | 刊名 | 第一完成单位 | 作者 | 年卷页码 | 发表时间 | 通讯作者 | 第一  作者 |
| 1 | Improved optical damage threshold graphene oxide/SiO2 absorber fabricated by sol-Gel technique for mode locked erbium-doped fiber lasers | *Carbon* | 陕西师范大学 | Zhendong Chen（陈振东），HongYing Wang（王红英）, Yonggang Wang（王勇刚）, Rui dong Lv（吕瑞东）, Xiguang Yang（杨西光）, Jiang Wang（王江）, Lu Li（李璐）, Wei Ren（任卫） | 2019, 144, 737-744 | 2019年4月 | 王勇刚 | 陈振东 |
| 2 | Soliton and bound-state soliton mode-locked fiber laser based on MoS2/fluorine mica (FM)Langmuir—Blodgett (LB) film saturable absorber | *Photonics Research* | 陕西师范大学 | Ruidong Lv（吕瑞东）, Yonggang Wang（王勇刚）, Jiang Wang（王江）, Wei Ren（任卫）, Lu Li（李璐）, Sicong Liu（刘思聪）, Zhendong Chen（陈振东）, Yongfang Li（李永放），HongYing Wang（王红英）, Fuxing Fu（付福兴） | 2019, 7, 431-436 | 2019年3月 | 王勇刚 | 吕瑞东 |
| 3 | CH3NH3PbI3perovskite thin films as saturable absorber for passively Q-switched Nd:YAG laser | *Journalof materials Chemistry C* | 陕西师范大学 | Jiang Wang（王江）, Yonggang Wang（王勇刚）, Zhendong Chen（陈振东）, Xiguang Yang（杨西光）, Lu Li（李璐）, Xi Yao（姚曦） | 2019, 7, 5047-5050 | 2019年3月 | 王勇刚 | 王江 |
| 4 | Optical properties and applicationsofmolybdenum disulfide/SiO2saturable absorber fabricatedby Sol-GelTechnique | *Optics express* | 陕西师范大学 | Ruidong Lv（吕瑞东）,  Zhendong Chen（陈振东）,  Sicong Liu（刘思聪）,  Jiang Wang（王江）,  Yongfang Li（李永放）,  Yonggang Wang（王勇刚）,  Yishan Wang（王屹山） | 2019, 27, 6348-6356 | 2019年2月 | 王勇刚 | 吕瑞东 |
| 5 | Nonlinear optical response of graphene oxide Langmuir-Blodgett film as saturable absorbers | *Nanomaterials* | 陕西师范大学 | Jiang Wang（王江）,  Yonggang Wang（王勇刚）,  Taijin Wang（汪太进）,  Guangying Li（李广英）,  Rui Lou（娄锐）,  Guanghua Cheng（程光华）,  Jing Bai（白晶） | 2019, 9, 640 | 2019年4月 | 王勇刚 | 王江 |
| 6 | Several nanosecond Nd:YVO4 lasers Q-switched by two dimensional materials: tungsten disulfide, molybdenum disulfide and black phosphorous | *Optics Express* | 中国科学院西安光学精密机械研究所 | Huan Liu（刘欢）,  Zhe Sun（孙哲）,  Xi Wang（王茜）,  Yonggang Wang（王勇刚） , Guanghua Cheng（程光华） | 2017, 25, 6244-6252 | 2017年3月 | 程光华 | 刘欢 |
| 7 | Femtosecond passively Er-doped mode-locked fiber laser with WS2 solution saturable absorber | *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* | 中国科学院西安光学精密机械研究所 | Lu Li（李璐）, Yulong Su（苏玉龙）, Yonggang Wang（王勇刚）, Xi Wang（王茜）, Yishan Wang（王屹山）, Xiaohui Li（李晓辉）, Dong Mao（毛东）, Jinhai Si（司金海） | 2017, 23, 1100306 | 2016年3月 | 李璐 | 李璐 |
| 8 | WS2/fluorine mica (FM) saturable absorbers for all-normal-dispersion mode-locked fiber laser | *Optics Express* | 中国科学院西安光学精密机械研究所 | Lu Li（李璐）, Shouzhen Jiang（姜守振）, Yonggang Wang（王勇刚）, Zhen Li（李真）, Baoyuan Man（满宝元）, Hang Sun（孙航）, Lina Duan（段利娜）, Xi Wang（王茜）, Dong Mao（毛东）, Jinhai Si（司金海） | 2015, 23, 28698-28706. | 2015年10月 | 王勇刚 | 李璐 |

**主要知识产权证明目录（限10条）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家  （地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 发明专利 | 一种固体锁模激光器吸收器件的制备方法 | 中国 | ZL2015 1 0944020.9 | 2015-12-16 | 第3436680号 | 中国科学院西安光学精密机械研究所 | 王勇刚，王茜，李璐，孙航，段利娜 |