

项目公示信息（陕西省自然科学奖）

一、项目名称：高性能吸收体及脉冲激光器研究

二、提名者及提名意见(专家提名项目应公示提名专家的姓名、工作单位、职称和学科专业)

提名单位：陕西省教育厅

提名意见：该项目在国家自然科学基金面上项目，陕西省百人计划、科研启动经费、横向等项目的持续资助下，围绕探索多种新型制备宽带吸收体的方法开展了系列原创性、实用性研究工作。其中发明的四种新型方法对宽带吸收体的改进很大，有望为下一步产业化奠定基石。我们的重心放在宽带吸收体材料的制备方法上，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。目前，依托于我们所研究的制备方法，二维材料可饱和吸收体器件的研制及超快激光器的应用方面取得了多项原创性成果，相关成果对推进基于二维材料可饱和吸收体器件的研制、实际应用方面均具有重要的科学意义和应用价值。

5篇代表性论文其中4篇发表在光学领域顶级期刊 *Photonics Research* 和 *Optics express*，1篇发表在物理化学领域顶级期刊 *Carbon* 中。这些工作得到国内外同行专家的广泛引用和高度认可，产生了广泛的学术影响。研究成果获2020年度陕西高等学校科学技术一等奖。目前，2020年已毕业陕西师范大学博士生1名，聘用为西北工业大学副教授。西安光机所参与研究的3位博士生全部获得国家奖学金，其中2人获得院长优秀奖。

现申报成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，

符合陕西省自然科学奖提名条件，特提名为陕西省自然科学奖二等奖及其以上。

三、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）衬底依存度低，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，这四种方法都是项目完成人首次将其用于吸收体的制备。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，同时也将其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。代表论文目录中论文 1 和论文 3 为此类吸收体在光纤激

光器锁模中的应用。

(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主要优点。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，是目前国际上采用宽带吸收体调Q固体激光器的最短脉冲宽度。代表论文目录中论文4为此类吸收体在固体激光器调Q中的应用。

(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，且韧性很好，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。代表论文目录中论文5为此类吸收体在光纤激光器锁模中的应用。

(4) 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。代表论文目录中论文 2 为此类吸收体在光纤激光器锁模中的应用。

五、代表性论文专著目录（不超过 8 篇，其中代表作论文不超过 5 篇）

序号	论文专著名称	刊名	作者	第一完成单位（全称）	年卷页码（xx 年 xx 卷 xx 页）	发表时间（某年某月）	通讯作者（按照文中标注的，无标注的不填）	第一作者	国内作者	他引总次数	知识产权是否归国内所有
1	Improved optical damage threshold graphene oxide/SiO ₂ absorber fabricated by sol-Gel technique for mode locked erbium-doped fiber lasers	Carbon	Zhendong Chen, HongYing Wang Yonggang Wang, Rui dong Lv, Xiguang Yang, Jiang Wang, Lu Li, Wei Ren	陕西师范大学	2019 年 144 卷 737-744 页	201904	王勇刚	陈振东	陈振东, 王红英, 王勇刚, 吕瑞东, 杨西光, 王江, 李璐, 任卫	7	是

2	Soliton and bound-state soliton mode-locked fiber laser based on MoS ₂ /fluorine mica (FM) Langmuir—Blodgett (LB) film saturable absorber	Photonics Research	Ruidong Lv, Yonggang Wang, Jiang Wang, Wei Ren, Lu Li, Sicong Liu, Zhendong Chen, Yongfang Li, HongYing Wang, Fuxing Fu	陕西师范大学	2019 年 7 卷 431-436 页	201903	王勇刚	吕瑞东	吕瑞东, 王勇刚, 王江, 任卫, 李璐, 刘思聪, 陈振东, 李永放, 王红英, 付福兴	9	是
3	Optical properties and applications of molybdenum disulfide/SiO ₂ saturable absorber fabricated by Sol-Gel Technique	Optics express	Ruidong Lv, Zhendong Chen, Sicong Liu, Jiang Wang, Yongfang Li, Yonggang Wang, Yishan Wang	陕西师范大学	2019 年 27 卷 6348-6356 页	201902	王勇刚	吕瑞东	吕瑞东, 陈振东, 刘思聪, 王江, 李永放, 王勇刚, 王屹山	7	是

4	Several nanosecond Nd:YVO ₄ lasers Q-switched by two dimensional materials: tungsten disulfide, molybdenum disulfide and black phosphorous	Optics Express	Huan Liu, Zhe Sun, Xi Wang, Yonggang Wang, Guanghua Cheng	中国科学院西安光学精密机械研究所	2017 年 25 卷 6244-6252 页	201703	程光华	刘欢	刘欢, 孙哲, 王茜, 王勇刚, 程光华	18	是
5	WS ₂ /fluorine mica (FM) saturable absorbers for all-normal-dispersion mode-locked fiber laser	Optics Express	Lu Li, Shouzhen Jiang, Yonggang Wang, Zhen Li, Baoyuan Man, Hang Sun, Lina Duan, Xi Wang, Dong Mao, Jinhai Si	中国科学院西安光学精密机械研究所	2015 年 23 卷 28698-28706 页	201510	王勇刚	李璐	李璐, 姜守振, 王勇刚, 李真, 满宝元, 孙航, 段利娜, 王茜, 毛东, 司金海	38	是

六、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
王勇刚	1	无	教授	陕西师范大学	陕西师范大学、中国科学院西安光学精密机械研究所	负责项目的总体设计，并指导吸收体材料制备、超快光纤激光器和调 Q 固体激光器的搭建。先后首创了宽带材料水溶液吸收体、溶胶凝胶型吸收体、云母衬底吸收体、LB 法制备吸收体等制备吸收体的新方法。
刘思聪	2	无	无	陕西师范大学	陕西师范大学	从事 LB 法制备吸收体器件的研制工作；从事溶胶凝胶型吸收体器件的研制工作。
吕瑞东	3	无	无	无	陕西师范大学	研制 LB 法吸收体器件进行掺铒光纤激光锁模工作；采用溶胶凝胶型吸收体器件进行掺镱光纤激光锁模工作。
程光华	4	无	教授	中国科学院西安光学精密机械研究所	中国科学院西安光学精密机械研究所	指导学生采用宽带材料水溶液吸收体器件进行固体激光调 Q 工作。

七、主要完成单位情况

项目第一完成人王勇刚 2013-2016 年在中国科学院西安光学精密机械研究所工作，研制了宽带材料水溶液吸收体及云母衬底吸收体。指导学生采用上述两类吸收体实现了光纤激光锁模和固体激光调 Q。其中，代表性论文 4,5 是在中国科学院西安光学精密机械研究所完成，包含协助中国科学院西安光学精密机械研究所程光华课题组采用宽带材料水溶液吸收体实现固体调 Q。

项目第一完成人王勇刚在 2016 年-至今于陕西师范大学工作，继续深入此类研究，分别于陕西师范大学研制了溶胶凝胶型吸收体、LB 法制备吸收体等新型可饱和吸收体器件方法，并在陕西师范大学实现光纤激光锁模及固体激光调 Q 等实用性应用研究。其中，代表性论文 1,2,3 是在陕西师范大学完成。

八、完成人合作关系说明

项目完成人王勇刚长期致力于该项目研究。项目完成人刘思聪在陕西师范大学主要负责材料制备和光纤激光器锁模，目前仍在就读博士研究生阶段。项目完成人吕瑞东曾在导师王勇刚指导下从事该项目的研究工作。项目完成人程光华为完成人王勇刚的合作者。各篇论文合作情况如下：

1. 王勇刚/3、吕瑞东/4，合作发表论文 1
2. 吕瑞东/1、王勇刚/2、刘思聪/6，合作发表论文 2
3. 吕瑞东/1、刘思聪/3、王勇刚/6，合作发表论文 3
4. 王勇刚/4、程光华/5，合作发表论文 4
5. 王勇刚/3，发表论文 5
6. 第一完成人王勇刚前期在中科院西安光机所工作，完成论文 4、5，后期在陕西师范大学工作，完成论文 1、2、3。