

一、项目名称：面向广义芯片的全自主系列化紫外（350~450nm）光刻机

二、提单位：中国科学院成都分院

三、提单位意见

本成果自 2007 年起，在多个国家级、省部级重大项目支持下，中国科学院光电技术研究所与电子科大组成联合攻关团队，相继攻克“多维度光刻空间光场调控技术”、“复杂基底的偏振调制纳米焦面控制技术”、“基于位相解析的特种纳米级对准套刻技术”等核心关键技术，形成五大类面向广义芯片的全自主系列化紫外（波长：350~450nm）光刻机。

项目研制过程中，获得发明专利 138 项，发表学术论文 225 篇，实用新型及外观专利 8 项。本成果进行了科技成果评价，专家认为：“面向广义芯片的全自主系列化紫外光刻机处于国内领先水平，其中在基底材料和尺寸适应性、特种套刻、深曝光等紫外光刻技术达到国际先进水平，取得了较好的经济效益和显著社会效益”。

项目成果应用于中国工程物理研究院、航天科技、航天科工、中船重工、中国电科、清华大学、中航电测、京东方等军工单位、科技公司、高校及科研院所，并实现国产光刻机对外出口，创造直接经济效益超 49 亿元。

同意提名该项目为 2024 年度四川省科学技术进步奖。

四、项目简介

广义芯片广泛应用于雷达、显示照明、智能终端设备等，支撑了国防军事、极端装备、航空航天等重要领域的快速发展。光刻机是广义芯片加工中最核心的装备，当前光刻机及关键技术基本被美西方国家垄断，对我国实行严格出口管制并限制应用领域，充当“芯片讹诈”的主要筹码，已形成事实上的“卡脖子”。因此，突破光刻核心技术壁垒，实现广义芯片光刻机自主可控，意义十分重大。

研制面向广义芯片的光刻设备存在三大难点：高精度光刻光场调控难、复杂基底焦面控制难、特种套刻精度保证难。自 2007 年起，在多个国家重大科技专项、国家自然科学基金、四川省应用基础研究等项目的持续支持下，中国科学院光电技术研究所与电子科大、清华大学、中航电测等单位组成联合攻关团队，以“产学研用”的模式协同攻关，历时 15 年，相继攻克多项核心关键技术，破解了这三大难题，形成五大类面向广义芯片的全自主系列化紫外（波长：350~450nm）光刻机，设备的技术指标达到国内领先水平，其中基底材料和尺寸适应性、特种

套刻、深曝光等技术达到国际先进水平。主要科技创新成果如下：

(1) 发明多维度光刻空间光场调控技术

基于 Abbe-Hopkins 理论，结合有效频谱压缩，充分考虑强度、位相、偏振等光学特性，构建高精度光刻空间光场模型。基于该模型，引入矢量衍射光场调控、光瞳调制、纳米波前校正、啁啾仿生复眼匀化、亚尺度三维操控、时空域能量积分、位相调制、波长协同等光场操控手段，实现高质量多维光刻空间光场输出，保障不同广义芯片高精度光刻成像需求。

(2) 发明复杂基底的偏振调制纳米焦面控制技术

提出基于偏振调制的纳米焦面检测技术，结合空间像剪切干涉、偏振移相、差动像散调制等手段，解决了复杂基底检焦信号误差和噪声问题，实现最高精度 $\leq 10\text{nm}$ 的离轴检焦和最高精度 $\leq 1\text{nm}$ 的同轴检焦，满足不同类型广义芯片光刻焦面控制需求。

(3) 提出基于位相解析的特种纳米级对准套刻技术

发明基于位相解析的特种对准套刻技术，提出叠光栅和多级次光瞳互参考波前干涉两大调制方法，引入时-频域快速位相解析算法，保证了最高 $\pm 10\text{nm}$ 对准精度。建立了光刻整机复杂空间坐标映射模型，实现了对准、检焦、曝光系统等多个核心坐标系高精度解耦。

基于上述成果，研制接近接触式、投影式、纳米压印式、数字三维式、空间直写式五大类系列化紫外(UV)广义芯片光刻装备，获得发明专利 138 项，发表学术论文 225 篇。成果进行了科技成果评价，以蒋庄德院士为组长的专家组认为：“面向广义芯片的全自主系列化紫外光刻机处于国内领先水平，其中在基底材料和尺寸适应性、特种套刻、深曝光等紫外光刻技术达到国际先进水平，取得较好的经济效益和显著社会效益”。系列光刻机广泛应用于中国工程物理研究院、航天科技、航天科工、中船重工、中国电科、清华大学、中航电测、京东方等军工龙头单位、领军科技公司、高校及科研院所，并实现国产光刻机对外出口，创造直接经济效益 49.35 亿元，从根本上打破了欧美对紫外波段广义芯片光刻机垄断，实现了全国产自主可控。

五、主要知识产权目录

序号	知识产权具体名称	知识产权类别	国家(地区)	授权号	授权(标准发布)日期	发明人(标准起草人)	权利人(标准起草单位)
1	METHOD FOR DETECTING FOCAL PLANE BASED ON GRATING TALBOT EFFECT	发明专利	美国	US20160091372	2016-3-31	Zhu, Xianchang; Hu, Song; Zhao, Lixin	中国科学院光电技术研究所

2	用于传感芯片投影光刻机的空间像预测及像质优化方法	发明专利	中国	ZL 202211417846.6	2023-3-31	刘俊伯,孙海峰,张清延,全海洋,杜婧	中国科学院光电技术研究所
3	基于拼接光栅莫尔条纹相位解调的纳米光刻对准方法	发明专利	中国	ZL201410085381.8	2016-4-27	程依光,朱江平,胡松,赵立新,陈磊,刘俊伯	中国科学院光电技术研究所
4	一种用于光刻设备中的光束稳定装置	发明专利	中国	ZL201010582736.6	2013-10-2	王建,赵立新,徐文祥,严伟,胡松	中国科学院光电技术研究所
5	传感芯片投影光刻机匹配方法	发明专利	中国	ZL202211416778.1	2023-3-31	刘俊伯,张清延,孙海峰,全海洋,杜婧	中国科学院光电技术研究所
6	一种基于超声波的温度场重建方法	发明专利	中国	ZL202110507379.5	2023-3-28	钟其水;朱波;陈尹胜;李辉	电子科技大学
7	一种用于 i 线大面积平板投影光刻机的物镜	发明专利	中国	ZL201410076488.6	2016-4-27	刘俊伯,赵立新,陈铭勇,朱咸昌,胡松,何渝,陈昌龙	中国科学院光电技术研究所
8	一种双面光刻工件台	发明专利	中国	ZL201610827264.3	2019-1-22	杜婧,赵立新,龚健文,杨春利	中国科学院光电技术研究所
9	FOCUS DETECTION APPARATUS FOR PROJECTION LITHOGRAPHY SYSTEM	发明专利	美国	US20130027679	2013-1-31	LI, Jinlong; HU, Song; Zhao, Lixin; XU, Feng; LI, Lanlan; Sheng, Zhuang;	中国科学院光电技术研究所
10	一种镜片六自由度微动平台	发明专利	中国	ZL202111270428.4	2023-5-30	周吉; 康霞; 刘文静; 程阳洋; 胡松; 赵立新	中国科学院光电技术研究所

六、论文专著目录

序号	论文专著名	刊名	类型	地区	级别	发表时间	年卷页码	国内作者
----	-------	----	----	----	----	------	------	------

1	Global optimisation of source and mask in inverse lithography via tabu search combined with genetic algorithm	Optics Express	■论文 □著作	■国内 □国外	■EI 收录	2022年07月4日	Sun, Haifeng(1,2,3); Du, Jing(1); Jin, Chuan(1,3); Quan, Haiyang(1); Li, Yanli(1); Tang, Yan(1,3); Wang, Jian(1,3); Hu, Song(1,3); Liu, Junbo(1)
2	Intensity modulation based optical proximity optimization for the maskless lithography	Optics Express	■论文 □著作	■国内 □国外	■EI 收录	2020年1月6日	Liu, Jianghui(1,2); Liu, Junbo(1); Deng, Qingyuan(3); Feng, Jinhua(1); Zhou, Shaolin(4); Hu, Song(1)
3	Dose-Modulated Maskless Lithography for the Efficient Fabrication of Compound Eyes with Enlarged Field-of-View	IEEE Photonics Journal	■论文 □著作	□国内 ■国外	■外文期刊	2019年6月18日	Liu, Jianghui(1); Liu, Junbo(1); Deng, Qingyuan(2); Liu, Xi(1); He, Yu(1); Tang, Yan(1); Hu, Song(1)
4	Four-quadrant gratings moiré fringe alignment measurement in proximity lithography	Optics Express	■论文 □著作	■国内 □国外	■其他	2013年2月11日	Zhu, Jiangping(1,2,3); Hu, Song(1); Yu, Junsheng(2); Zhou, Shaolin(5); Tang, Yan(1); Zhong, Min(4); Zhao, Lixin(1); Chen, Minyong(1); Li, Lanlan(1,3); He, Yu(1,3); Jiang, Wei(1)
5	Fourier-based analysis of moiré fringe patterns of superposed gratings in alignment of nanolithography	Optics Express	■论文 □著作	■国内 □国外	■中文核心	2008年05月26日	Zhou, Shaolin(1,2); Fu, Yongqi(1); Tang, Xiaoping(1); Hu, Song(1); Chen, Wangfu(1,2); Yang, Yong(1,2)

七、主要完成人情况

项目第 1 完成人胡松（中国科学院光电技术研究所），项目第 2 完成人赵立新（中国科学院光电技术研究所），项目第 3 完成人刘俊伯（中国科学院光电技术研究所），项目第 4 完成人王建（中国科学院光电技术研究所），项目第 5 完

成人龚健文（中国科学院光电技术研究所），项目第 6 完成人钟其水（电子科技大学），项目第 7 完成人朱咸昌（中国科学院光电技术研究所），项目第 8 完成人杜婧（中国科学院光电技术研究所），项目第 9 完成人周吉（中国科学院光电技术研究所），项目第 10 完成人杨金（电子科技大学）。

八、主要完成单位情况

本成果由中国科学院光电技术研究所、电子科技大学合作共同完成，包括研发团队和项目方案的总体规划，以及时空场联合的复杂光场调控技术、基片动态感知自适应技术、全场景多元特征识别方法关键技术研究，开发了各类型特种套刻模式，形成全自主系列化紫外光刻设备，并进行了知识产权建设和推广应用。