

2017 年度技术发明奖公示内容

项目名称	面向电子制造装备点位操作的高速精密测量与运动实现技术
推荐单位（专家）意见	
<p>该项目围绕电子制造装备多点位操作高速精密测量与运动实现，发明了宏微复合绝对光栅尺新原理，解决了非均匀绝对编码栅格信号难以快速高精度细分、高速精密测量中速度与精度难以兼顾等行业共性技术难题。发明了多点高速精密定位运动规划及控制新方法，突破原有方法每个启动点均按静止状态的局限，解决了运动平台多目标点高速精密定位难题。发明了多类宏微复合平台及切换控制方法，实现了高速大行程运动的精密定位。获授权发明专利 45 件（美国专利 2 件）、PCT8 件、著作权 5 件，主专利授权转让。开发的高速精密宏微复合光栅尺、运动平台及控制器等核心基础件，产品多项技术指标优于国际同类知名品牌，实现产业化，广泛应用于系列电子制造装备与测量设备，经济社会效益显著，推动了行业整体技术进步。</p> <p>推荐该项目为国家技术发明奖<u>二</u>等奖。</p>	
项目简介（限 1200 字）	
<p>电子制造是国家支柱产业，封装与检测等高速精密点位操作的电子制造装备种类多、需求大，其高端装备长期依赖进口，特别是高速精密光栅尺、运动平台及控制器等核心关键零部件受制于人。主要技术挑战是高速条件下（速度 2-5m/s，加速度 3-5g）频繁的多点精密测量与定位（精度 1-3 μm）。</p> <p>在国家基金、973 等项目资助下，重点围绕多点位操作的高速精密测量与运动实现开展技术攻关，形成了较为系统的发明专利群，已授权转让和实际应用。获授权发明专利 45 件（其中美国专利 2 件）、PCT8 件、著作权 5 件，SCI/EI 收录 30 篇。</p> <p>1. 发明了高速精密宏微复合绝对光栅尺及其实现技术。包括：宏微交替、互为校验的里程碑/增量式、增量/绝对式两种复合模式，单轨双码道宏微复合编码、P 元 M 序列伪随机编码方法；高速图像读码解码技术及电路，三模态扫描、多级细分光学放大系统；矢量偏角纠正辅助安装技术、差异化滑轮高速滑车，预置目标点邻域温度补偿方法等。解决了非均匀绝对编码栅格信号难以快速高精度细分、高速精密测量中的速度/精度/可靠性冲突等基础性技术难题。开发的两类高速精密光栅尺测量精度 (2.5 μm / 0.74 μm) 优于国际同类知名产品 (3 μm)，高速多点位测量优势明显。</p> <p>2. 发明了离散多目标点高速精密定位的运动规划及控制新方法，从非线性动力学及运动学优化的角度建立优化模型，突破了传统运动规划时每个启动点均按静止状态的局限性，提出了目标点间的非对称变加速运动规划方法与启动相位优化方法，获得了各段最优运动曲线参数和最佳启动时机。研发了多种适应离散多点高速精密定位的运动平台及控制器，产品速度、加速度性能 (5m/s、5.25g) 达到国际同类先进水平 (5m/s、5g)；在定位精度为 3 μm 约束时，平台运动定位所需时间比国际通用对称型加速度运动规划方法缩短振动衰减时间 22.1%，离散多点定位优势明显。</p> <p>3. 发明了宏微复合运动平台及其切换控制方法，包括多种宏微复合平台构型、误差分级补偿、切换过程反向施力振动抑制等，补偿后定位过程中最大弹性振动振幅在 2ms</p>	

内从 15 μm 降到 1 μm 以下；发明了微动平台动态特性匹配调节方法及装置。开发的超精密微点阵列机床的精度(微动 Z 轴定位精度 0.2 μm)和速度(最大 65 点/秒)优于国际同类先进水平(最大 30 点/秒)。

研发的绝对光栅尺、运动平台及其控制器等核心基础件实现了产业化，并广泛应用于电子制造装备与测量仪器中。成果获国际同行高度认可，德国布鲁克公司首席研发官 Matt Novak 博士认为宏微复合高速精密光栅尺对主流光栅尺制造商来说是重大突破。两位院士参加的专家鉴定结论：项目整体水平达到国际先进水平，部分关键技术指标优于国际同类水平。近三年新增销售 7.6 亿，经济社会效益显著，引领了行业整体技术进步。

客观评价

(1) 技术成果鉴定专家意见

2015 年 12 月以雒建斌院士、林忠钦院士等专家的鉴定结论：成果创新性强，理论与技术体系较为系统，项目整体水平达到国际先进水平，部分关键技术指标优于国际同类水平。成果对解决离散多点位高速精密操作工程技术难题提供了有效途径，对推动电子制造装备跨越发展起到了重要的引领与支撑作用。

(2) 第三方产品检测

大族运动平台 LMU-300-B 经国家机械产品安全质量监督检验中心检测，运动平台在定位精度为 $\pm 3\mu\text{m}$ 约束时，目标点定位所需时间缩短了 22.1%；定位精度为 $\pm 1\mu\text{m}$ 约束时，缩短了 16.1%，明显优于与国内外通行的对称加速运动规划效果。该平台定位精度 3 μm 、重复定位精度达 1 μm 时，最大速度 (5m/s)、最大加速度 (5.25g)，达到国际知名产品水平 (ACT115DL：精度等级相同，最大速度 5m/s，最大加速度 5g)

三轴超精密微点密集阵列加工机床经广东省质量监督机械检验站检测：X/Y 轴定位精度 0.8 μm ；微动 Z 轴定位精度 0.2 μm ；最大加工速度 65 点/s，优于国际同类水平 (HYT-017A 产品：精度等级相同，最大加工速度 34 点/s)。

经国家机械产品安全质量监督检验中心和华南国家计量测试中心广东省计量科学研究院检测：里程碑/增量式宏微复合光栅尺 GPS40R 检测精度达到 2.5 μm ，宏码最大速度 10m/s，经二次补偿检测精度为 1.2 μm (检测报告 4-2.4, 4-2.5)；增量/绝对式宏微复合光栅尺 GPA1001 检测精度 0.74 μm ，微码最大速度 0.1m/s，宏码最大速度 10m/s。均优于国际同类知名产品 (绝对复合光栅尺 LIC4113，精度 $\pm 3\mu\text{m}$ ，宏码最大速度 10m/s)。

(3) 同行学术评价

Matt Novak 博士(德国布鲁克公司首席研发运营官)对宏微复合高速精密光栅尺的评价：该技术可能对主流的光栅尺制造商来说是一个重大突破：“... their work may enable significant breakthrough for major encoder manufacturers.”。

Georg Schitter 教授(奥地利科技大学, 奥地利薛定谔学者奖获得者, IFAC Journal Mechatronics 副主编)在“IEEE-TIM, 2016, 1-7”上发表的论文对本项目成果评价“伪随机编码在光栅尺制造和使用上有效可行”。

Kok Lay Teo 教授 (Australia Curtin University 的 John Curtin Distinguished Professor) 对成果的评价：提出的基于宏微观复合理论的精密光栅测量系统……这个重大突破促进了精密测量技术的发展 (“Absolute optical imaging position encoder” ……，This significant breakthrough can facilitate the development of the precision measurement technology)。

G. Ron Chen 教授 (IEEE Fellow, Member of Academy of Europe, 香港城市大学教授) 对本项目成果的评价：……其建模、优化和控制是极具挑战的，是对运动规划理论的新发展……(modeling, optimization and control of the machine are very difficult

with great challenges……, where a novel method is developed in terms of the developed theory);

论文 The Residual Vibration Impact on the Multiple Target Positioning Time for Array Operation, IEEE ICIA 2016, 获唯一最佳会议论文。

(4) 行业评价

中国机床工具工业协会数显分会统计：万濠企业快速成长，2015 年度国内光栅尺行业排名第一。光栅尺获得 CE 认证、运动平台获得 CE 和 UL 认证，产品出口欧美发达国家。

推广应用情况

本项目重点围绕高速精密测量与运动实现开展了系统的理论与技术创新，发明了高速精密宏微复合绝对光栅尺新原理及其制造技术、离散多目标点高速精密定位的运动规划及控制新方法、宏微复合运动平台及其切换控制方法，形成了较为系统的发明专利群，开发了系列宏微复合绝对光栅尺、高速精密运动平台等基础零部件，实现了产业化，并在电子制造装备、精密检测仪器等中广泛应用，打破了国外技术和产品垄断，所研发产品主要性能指标达到或超过国际同类产品水平，近三年新增销售 7.6 亿元人民币，经济社会效益显著，有效推动了行业整体技术进步。

- 1) 广工大向广东万濠精密仪器股份有限公司授权使用宏微复合绝对光栅尺专利技术，专利技术转让收入 500 万元。
- 2) 大族电机的多种高速精密运动平台及控制系统等产品累计新增销售万余台套，新增销售额 32756 万元。技术支撑了企业处于国内同行业龙头地位，产品国内市场占有率处于行业前列，并出口欧美、日本等国。
- 3) 广东万濠的光栅尺及衍生仪器设备，近三年来，累计新增销售光栅尺 8 万坐标、衍生测量仪器产品 2000 余台/套，新增销售额 30511 万元。其光栅尺销售量在国内 2015 年度光栅尺及数显行业排名第一。
- 4) 高速精密运动规划、测量与控制技术应用于固高科技，研发了系列新一代高性能运动控制器。通过提高产品附加值，累计新增销售额 10738 万万元。其运动控制器国内销售量国内排名第一，并出口欧美。
- 5) 高速精密直线电机与运动平台在大族集团下属其他装备制造企业的应用，包括大族数控、大族激光、大族上海等，主要在 PCB 钻孔机、激光打孔机、导光板打点机、太阳能光伏制造设备等进行了应用，为相关设备达到国内外技术先进水平提供了重要的支撑作用，多项产品销量全球前三；
- 6) 高速精密直线电机与运动平台、光栅尺与检测仪器等产品推广到其他电子制造装备或产品制造企业，如富士康、华为等一批企业中，有效支撑了智能终端行业制造装备的国产化和技术进步；
- 6) 宏微复合光栅尺、精密检测仪器、运动控制器与运动平台等推广应用到台湾新代等一批企业；
- 7) 超精密微点密集阵列加工机床等成果推广到深圳精石等企业应用；
- 8) 其他行业的推广应用，如广州皇牌、深圳日东电子等企业的 SMT、COG、点胶机等产品。

主要知识产权目录（不超过 10 件）							
序号	知识产权类别	知识产权具体名称	授权号	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
1	中国发明专利（1）	一种单轨绝对光栅尺及其图像编码方法	ZL201210165294.4	1573369	广东工业大学	陈新；王晗；陈新度；刘强；李克天；马平；李锻能；陈学松	有效
2	中国发明专利（2）	一种光栅尺的多窗图像数据高速扫描及采集装置及方法	ZL201310691827.7	2243944	广东工业大学	陈新；范朝龙；陈新度；王晗；刘强	有效
3	中国发明专利（3）	基于主频能量时域最优分布的非对称变加速度规划方法	ZL201410255068.4	1895776	广东工业大学	陈新；白有盾；杨志军；高健；杨海东；王梦；陈新度	有效
4	美国发明专利	METHOD OF ASSISTED MOUNTING AND ERROR COMPENSATION FOR ABSOLUTE GRATING RULER	US009417100B2	US9417100B2	广东工业大学	王晗；吴志雄；陈新；陈新度；陈彬；韦小海；范朝龙	有效
5	中国发明专利	一种绝对光栅尺的滑车固定装置	ZL201310318827.2	1868150	广东工业大学	王晗；陈彬；陈新；陈新度；刘强	有效

6	中国发明专利	一种绝对光栅尺编码宏微复合采集方法	ZL201310318826.8	2119656	广东工业大学	王晗 ; 范朝龙 ; 陈新 ; 陈新度 ; 刘强	有效
7	中国发明专利	一种同轴宏微复合直线运动平台装置及其精度补偿方法	ZL201310008098.0	1484624	广东工业大学	杨志军 ; 白有盾 ; 陈新 ; 高健 ; 陈新度 ; 刘冠峰 ; 李克天 ; 李泽湘 ; 杨海东	有效
8	中国发明专利	基于压电陶瓷的高速高精度宏微平台及切换方法	ZL201310065633.6	1888431	广东工业大学	高健 ; 谭国成 ; 陈新 ; 姜永军 ; 曹占伦 ; 杨志军 ; 刘冠峰 ; 李泽湘	有效
9	美国发明专利	MOTOR USED TO DRIVE OPTICAL ELEMENTS	US7683512B2	US7683512B2	深圳市大族电机科技有限公司	高云峰, 廖有用, 王光能, 付晓辉	有效

10	中国发明专利	基于应力刚化原理的刚度频率可调一维微动平台	ZL201410214605.0	2128688	广东工业大学	杨志军 ; 白有盾 ; 陈新 ; 高健 ; 杨海东 ; 王梦 ; 汤晖	有效
----	--------	-----------------------	------------------	---------	--------	-------------------------------------	----

主要完成人情况

第 (1) 完成人	姓名	陈新	完成单位	广东工业大学机电学院	工作单位	广东工业大学机电学院
	<p>发明了宏微复合绝对光栅尺及系列制造技术，发明高速精密运动平台非对称变加速运动规划技术，指导技术成果的产业化。对所有的3个发明点均做出了创造性贡献，是宏微复合平台、宏微复合光栅尺、非对称变加速运动规划算法创新思想的提出者，是专利1、2、3的第一发明人，专利4-8，10的共同发明人，共获授权发明专利36件、PCT8件。</p>					
	<p>曾获得国家科技奖情况：半导体器件后封装核心装备关键技术与应用，2014年国家科技进步二等奖, 排名1</p>					
第 (2) 完成人	姓名	王晗	完成单位	广东工业大学机电学院	工作单位	广东工业大学机电学院
	<p>发明了宏微复合绝对光栅尺的编码方法以及高速解码方法等。对发明点1做出了重要创新性贡献，负责宏微复合光栅尺的研发，参与成果转化与产业化。是专利4、5、6的第一发明人，专利1、2的共同发明人，共获授权发明专利25件、PCT2件。</p>					
	<p>曾获得国家科技奖情况：无</p>					
第 (3) 完成人	姓名	杨志军	完成单位	广东工业大学机电学院	工作单位	广东工业大学机电学院
	<p>发明微动平台动态特性可调方法和宏微复合运动平台，参与发明了高速精密运动平台的非对称变加速运动规划方法等。对发明点2、3做出了重要创新性共献，是专利7、10的第一发明人，专利3、8的共同发明人，共获授权发明专利15件、PCT专利6件。</p>					
	<p>曾获得国家科技奖情况：半导体器件后封装核心装备关键技术与应用，2014年国家科技进步二等奖, 排名5</p>					

第 (4) 完成人	姓名	陈新度	完成单位	广东工业大学 机电学院	工作单位	广东工业大学机电学 院
	发明了光栅尺防振装置、宏微复合平台及控制补偿方法等。对发明点 1、2、3 做出了重要创新性共献，是专利 1-7 的共同发明人，共获授权专利 26 件。					
	曾获得国家科技奖情况：无					
第 (5) 完成人	姓名	高健	完成单位	广东工业大学 机电学院	工作单位	广东工业大学机电学 院
	发明宏微复合运动平台切换方法。对发明点 3 做出了重要创新性共献，是专利 8 的第一发明人，专利 3、7、10 的共同发明人，共获授权发明专利 15 件。					
	曾获得国家科技奖情况：半导体器件后封装核心装备关键技术与应用，2014 年国家科技进步二等奖, 排名 3					
第(6) 完成人	姓名	高云峰	完成单位	深圳市大族电 机科技有限公 司	工作单位	深圳市大族激光科技 股份有限公司
	发明了精密扫描电机，主持了直线电机、运动平台、精密扫描系统等产品的产业化。对发明点 3 做出了重要创新性共献，是专利 9 的第一发明人，共获授权专利 6 件。					
	曾获得国家科技奖情况：半导体器件后封装核心装备关键技术与应用，2014 年国家科技进步二等奖, 排名 4					
完成人合作关系说明						

陈新与王晗、杨志军、陈新度、高健等是一个长期合作的科研团队。其中，陈新与陈新度、高健合作超过 20 年，杨志军（2007 年）、王晗（2011 年）是陈新指导的博士后，博士后期间加入团队至今。本项目完成期间，共同承担高速精密运动检测与规划技术相关国家 973、国家基金重点/面上项目多项，共同获得系列授权专利、并共同发表系列论文，长期坚持产学研合作，进行技术成果转化。

陈新为首的科研团队从 2008 年开始与高云峰领导的大族电机团队（王光能、丁兵等）进行合作，先后承担了多个广东省科技计划项目（2008A010300009、2013B011301016），研发了多种高速精密电机与运动平台及其控制器，并在电子制造装备中进行广泛应用。

如有论文不超过 10 篇，请参考自然科学奖格式补充。