

智能时代与仪器设备

褚君浩^{1,2*}

¹复旦大学光电研究院 上海 邮编 200438

²中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 邮编 200083

*Email: jhchu@mail.sitp.ac.cn

院士简介:

褚君浩, (1945.3~), 江苏宜兴人。红外物理学家。2005 年当选为中国科学院院士。中国科学院上海技术物理研究所研究员, 复旦大学光电研究院院长。1985 年加入九三学社。第十四届九三学社上海市委副主委。长期从事红外光电子材料和器件的研究, 开展了用于红外探测器的窄禁带半导体碲镉汞 (HgCdTe) 和铁电薄膜的材料物理和器件研究。褚君浩是上海市红外与遥感学会理事长, 上海市真空学会名誉理事长。



褚君浩发现窄禁带半导体碲镉汞带间光跃迁本征吸收光谱, 发展了碲镉汞能带结构理论和光跃迁理论; 提出了 HgCdTe 的禁带宽度等关系式, 被国际上称为 CXT 公式, 广泛引用并认为与实验结果最符合; 建立窄禁带半导体表面二维电子气子能带结构理论; 发现 HgCdTe 的带间跃迁、杂质跃迁等基本光电跃迁特性, 提出吸收系数、折射系数等多个表达式, 确定了材料器件的光电判别依据; 解决了碲镉汞薄膜材料和焦平面列阵器件研制中涉及的有关重要基础问题; 发展了碲镉汞材料器件设计理论。开展铁电薄膜材料物理和非制冷红外探测器研究, 研制成功 PZT 和 BST 铁电薄膜非制冷红外探测器并实现了热成像。

褚君浩发表学术论文 316 篇, 出版《窄禁带半导体物理学》专著一本。研究结果被美国依里诺依大学编入软件包, 被美国空军研究实验室、英国菲利浦研究实验室等二十多个单位作为碲镉汞材料器件和相关理论和实验研究的依据。碲镉汞带间跃迁本征吸收光谱等 14 项研究结果作为标准数据和关系式, 被写入国际上权威科学手册: "Landoldt-Boerstein 科学技术中的数据 and 函数关系" III/41B 卷(1999 年, 德国 Springer 出版)。美国学术界在评论褚君浩研究组的工作时写道: "现在他们不仅已经赶上世界, 并且在一些领域走在前面"。研究结果还被大段引入美国《固体光学常数手册》、英国《窄禁带镉基化合物的性质》、荷兰《混晶半导体光学性质》、前苏联《半导体光谱和电子结构》等著作。

褚君浩曾经获得国家自然科学奖三次(1987 年四等奖、1993 年三等奖、2005 年二等奖)、中国科学院自然科学一等奖 1 项、二等奖 2 项、中国科学院科技进步一等奖 1 项、上海市科技进步一、二等奖各 1 项。他于 2004 年获得国家重点实验室计划先进个人奖、国家 973 计划先进个人奖。褚君浩领导红外物理国家重点实验室成绩显著。他担任红外物理国家重点实验室主任期间, 实验室在 1997 年和 2002 年国家评估中两次评为优秀, 成为连续四次评为 A 级的实验室。

高精度半导体检测科学与技术创新

唐文新*

长三角先进材料研究院 苏州 邮编 215163

*Email: wenxintang@hotmail.com

摘要: 随着半导体器件尺寸缩小和结构复杂化, 半导体检测精度和可靠性要求愈发严格和重要。高精度半导体检测技术的创新, 是一个多学科交叉融合、协同发展的过程。它不仅需要材料科学、物理学、电子工程等基础学科的支持, 也离不开数据科学、人工智能等新兴技术的推动。本报告中将结合近期工作进展, 从科学和技术层面探讨高精度半导体检测技术的发展趋势。

个人简介:

唐文新, 教授, 博士毕业于复旦大学物理系, 是国际著名的表面物理学者, 在短波长太赫兹自旋波、III-V 半导体原位生长动力学以及尖端表面电子显微镜研发方面做出了杰出贡献。他率先在国际上成功研发了超快量子自旋极化电子显微镜, 并主持国家重大仪器专项。唐教授拥有近 28 年的表面物理和表面尖端原位电子显微开发与技术应用经验, 是国际表面物理领域的技术领军人物。他曾作为首席科学家, 成功推动并落地了重庆历史上第一个大科学装置——超瞬态大科学装置。曾担任重庆大学电子显微镜科研主任和特聘教授。



在尖端显微和能谱仪器设备及半导体薄膜应用领域, 唐文新教授取得了诸多创新成果和做出重要贡献。他独立完成了世界首套自旋极化能量损失谱 (SPEELS) 的全自动化研发; 成功开发了首套低温冷冻 III-V 族表面电子显微镜, 解决了 III-V 族半导体原位生长观测难题并发现了新的缺陷生成机制; 通过开发倾角表面电子显微技术, 发现了首个室温二维铁电材料; 研发了 CVD 原位电子显微镜, 成功实现了控制大尺寸石墨烯的生长; 通过分子束外延 (MBE) 结合表面原位电子显微镜, 发现了锂离子在石墨烯夹层中的动态扩散拓扑物理机制。目前, 唐教授致力于将尖端电子显微和能谱技术拓展到先进半导体制造, 成功开拓高通量表面检测技术和超高精度表面原子动态检测等重要应用。

国产明场缺陷检测设备助力集成电路制造良率提升

阎海滨

苏州天准科技股份有限公司

摘要：随着半导体新技术节点的不断发展，新工艺，新材料，新结构的引入，越来越小的关键尺寸，越来越多的工艺步骤，带来了更多的潜在缺陷，增加了良率损失的风险。有效的在线缺陷检测成为良率提升的重中之重。天准科技自主开发的 TB 系列全自动图形晶圆宽波段明场缺陷检测设备，可为 8 寸/12 寸晶圆提供高效，高灵敏度的缺陷检测，可广泛应用在前道，后道各工艺层中，满足不同工艺节点缺陷检测需求。

个人简介：

阎海滨，苏州天准科技半导体事业部，副总经理。



基于点激光扫描的晶圆缺陷检测技术的研究与产业化

彭博方

复旦大学微电子学院&澈芯科技创始人

摘要：澈芯科技自主研发的 PureChip Thea 系列产品，采用双波段点激光扫描散射检测的专利技术（DWLS: Dual-Wavelength Laser Scanning scattering inspection system）。Thea 系列产品已实现成熟量产，并获得头部客户的验证与订单，实现该细分领域的国产替代。

PureChip Thea 系列产品使用多束点激光（检测光斑尺寸 $<10\mu\text{m}$ ）在晶圆表面进行**高速旋转扫描**，结合专利的 DWLS 技术可同时测量两个入射角的散射、反射光强分布，可以捕捉到形貌变化、表面反射率、相位变化和光致发光，从而对各种关键缺陷进行自动检测与分类。Thea 为**碳化硅（SiC）**、氮化镓（GaN）、玻璃（Glass）、硅（Si）晶圆衬底及外延片提供表面和光致发光的内部缺陷检测。对多种化合物半导体的位错、凹坑和孔洞、基面位错、微管、堆叠层错缺陷、晶界和位错，以及对三角形、胡萝卜形、滴落物和划痕等形貌缺陷进行检测。

已成熟量产的 Thea C520 具备 sub-65nm 晶圆缺陷检测灵敏度，正在研发能够用于 28 nm 工艺节点晶圆缺陷检测的 Thea SP300 系列产品。

个人简介：

彭博方博士，专注于光刻及光学检测技术的研发与产业化十余年，所创立的澈芯科技，专注半导体前道检测测量设备的研发与产业化。

在创立澈芯科技(PureChip.inc)之前，曾先后在 SMEE 及 ASML 从事前道光刻和测量技术研发工作。

在 SMEE 作为光电系统研究员及技术线早期研发负责人及，完成基于衍射的套刻测量技术（DBO-Diffraction Based Overlay）技术的核心技术攻关；完成基于散射测量的硅通孔（TSV 深宽比 10:1）的 3D 形貌测量技术核心技术攻关。多项研究成果填补国内及业界空白，授权发明专利十余篇，国际专利一篇，发表学术论文数篇。

在 ASML 作为系统工程师，参与一体化光刻（Holistic Lithography）技术中 EUV 对准工艺和 DBO 测量系统的研发。



面向晶圆微纳制造的三维量测仪器方案

万新军*

苏州瑞霏光电科技有限公司

*Email: wxj@raphaeloptech.com

摘要：近年来，国内半导体制造业在衬底，器件和封装制造领域都有高速发展，尤其第三代化合物半导体领域更是全面布局。晶圆微纳制造在众多工艺环节上都需要光电量测仪器的数据支撑。本报告将介绍瑞霏光电面向晶圆微纳制造过程质量管控的系列光电量测仪器产品，涉及晶圆翘曲几何参数，三维粗糙度和形貌，晶圆薄膜应力和晶圆内应力测量等方面。

个人简介：

万新军，清华大学光学工程博士，长期从事晶圆/自由曲面/非球面等精密元件的三维检测技术研究和仪器开发，发表论文 20 余篇，授权专利 20 余项。2007-2012 年通用电气上海研发中心担任高级工程师。2012 年加入上海理工大学庄松林院士团队，承担并参与多项科技部仪器专项和国家自然科学基金项目。2018 年创立苏州瑞霏光电科技有限公司，公司致力于为半导体晶圆和精密光学制造行业提供高精度光电量测系统产品方案，目前已经服务比亚迪半导体，中微，华星光电，天科合达，中科光芯等数十家半导体制造企业。



半导体制程的量检测需求与挑战

董诗浩* 李仲禹 马骏

上海精测半导体技术有限公司 上海 邮编 201704

*Email: dong.shihao@pmish-tech.com

摘要: 晶体管密度和芯片总体性能提升依赖于半导体制程的迭代升级, 先进制程的技术节点、先进堆叠和先进封装都给所需工艺的量检测提出了新的要求和挑战, 光学、电子束、X 射线、原子力、电测技术和不断涌现的新型技术把工艺量检测能力推向极致。本报告旨在分享和交流当前制程端的量检测需求, 并提出可行的技术方案和技术发展方向。

关键词: Metrology, OCD, SEM, Photoacoustic, Interferometry, 3D DRAM

个人简介:

Shihao Dong, received his Ph.D degree from the University of Stuttgart, Germany, in 2018.

He was a research scientist in the Institute of Applied Optics, University of Stuttgart, Germany. By then, his research interests include adaptive optics, signal processing and optical metrology. After his academic research, he joined semiconductor industry and focused himself on optical metrology tool.

In 2020, he joined PMISH as expert in optical metrology and has managed the advanced technology development (ATD) department in optical business group since 2021. His focus is to research and develop innovative and reliable optical metrology tool and technology for semiconductor manufacture process.



高速高精度半导体运动台的应用与国产化替代探讨

曾旭 博士

江苏集萃苏科思科技有限公司 副总经理

摘要：近年来，我国在半导体设备国产化方面取得了显著进展，国产设备的市场份额逐步扩大。然而，目前来说半导体前道检测及量测设备的国产化率还较低，国产设备厂商还需进一步提升设备性能以达到先进制程的要求。对于半导体检测及量测设备，运动台是一个核心部件，对于设备整机性能提升发挥了重要的作用。本文探讨了高速高精度半导体运动台在前道检测及量测设备中的应用，并重点介绍了其在提升设备性能方面的关键技术。结果表明，苏科思高精度气浮运动台其重复定位精度达到 20 nm 以下，扫描跟随误差达到 0.05% 以内，结果在国产前道检测客户中已经实现量产。此外，苏科思的高加速度高响应机械运动台，其位置抖动达到 ± 2 nm 左右，10 mm@100 nm 误差窗情况下的运动整定时间小于 70 ms，已通过客户的验证并实现量产，结果已达到甚至超越国外领先水平。

关键词：气浮运动台，高加速度高响应机械台，前道检测，前道量测

公司介绍：

苏科思科技成立 26 年来，基于服务全球领先的半导体设备龙头企业多年的经验，拥有强大的机电一体化、光学、算法和软件在内的跨学科研发整合能力，积累了丰富的复杂精密系统级设计、精密机械设计、精密光学设计、高频高速板卡设计、运动控制算法开发等经验。

苏科思深耕中国多年，拥有强大的本土研发团队，为本土半导体设备客户提供精密气浮及机械运动平台、精密微动平台、光学对焦传感器、高精度晶圆对准系统、图像算法加速、控制系统等解决方案和深度定制化服务。

先进电性失效分析技术洞察和分享

杨向群

苏州凌光红外科技有限公司副总经理

摘要：随着集成电路设计和制造的复杂性越来越高，电性失效分析（EFA）在芯片的失效分析流程中扮演着越来越重要的作用，对于提高找到失效的 root cause 和提高分析的效率具有重要的意义。最近几年以凌光红外为代表的国产 EFA 设备厂商快速崛起，为半导体失效分析和材料的热特性分析等市场提供了中国人自己的 EFA 设备。



**InGaAs
100**

微光显微成像系统



**THERMO
100**

锁相红外显微成像系统



**THERMO
50**

锁相红外显微成像系统

LUXET InGaAs 100 是一款微光显微成像系统。

配备了全自动运动系统、深度制冷型 InGaAs 相机、不同倍率的显微镜头以及锁相测量模式，可以适用于半导体器件的失效点定位。

LUXET THERMO 100 是一款全国产化的锁相红外显微成像系统。

配备了全自动运动系统、高灵敏度制冷型中波红外相机、广角镜头与大倍率显微镜头、高压源表，可以适用于晶圆、电路板等多种不同种类器件的失效点定位。

LUXET THERMO 50 是一款基于非制冷红外相机的锁相红外显微成像系统。

配备了电动垂直运动系统、高帧频长波红外相机、广角镜头与显微镜头、高压源表，可以适用于封装器件、电路板等多种不同种类器件的失效点定位。

个人简介：

杨向群，工商管理博士，失效分析技术和市场专家，苏州凌光红外科技有限公司副总经理。



在线监测晶圆电性及工艺质量的新思路、新方法

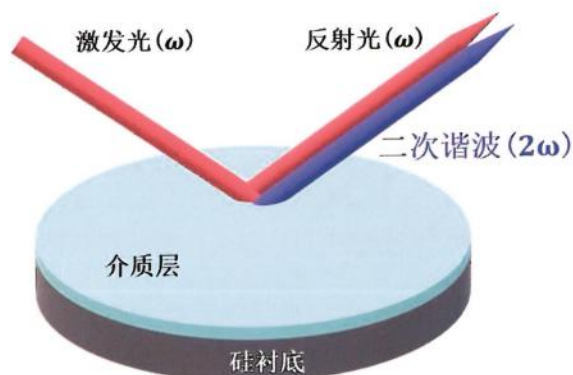
周朴希*

上海微崇半导体设备有限公司 上海 邮编 200090

*Email: zhou.px@aspiring.com.cn

摘要：二谐波检测技术是一种新兴的晶圆在线检测技术，通过非线性光学手段表征以电学特性为代表的晶圆特性与缺陷，具有非接触、快速、无损、无需测后处理、适用于有图案晶圆等诸多特点。二谐波作为一种综合表征手段，对晶圆诸多特性均有灵敏的响应，在工艺制程不断先进化、复杂化的趋势下，二谐波检测可在新制程研发、产能爬坡以及量产阶段为此前未能在线检测的问题提供新方法，为此前检测效果不理想的问题提供新思路。

关键词：二谐波，在线检测，电学特性，结构特性



个人简介：

周朴希，上海微崇半导体设备有限公司副总裁，长期致力于开发二谐波晶圆检测技术与设备，对二谐波晶圆检测设备软硬件以及应用开发具有丰富的经验。



功率半导体器件技术及其相关检测技术

王鹏飞

苏州东微半导体股份有限公司

摘要：随着新能源汽车、AI 服务器等高端领域对功率器件需求的迅猛增加，各种检测技术被应用以便提升器件可靠性和降低失效率。通过各种新技术的应用和检测能力上的提升，国产的功率器件品质可以达到车规级别水准。这个报告主要介绍当前功率器件技术的发展动态以及相关的器件检测技术。

个人简介：

王鹏飞，苏州东微半导体股份有限公司，首席技术官，博士毕业于德国慕尼黑工业大学。曾先后担任德国英飞凌科技存储器研发中心研发工程师、复旦大学微电子学院教授等职位。目前担任苏州东微半导体股份有限公司首席技术官。



车规级 SiC MOSFET 精准特性表征与可靠性测试挑战 及解决方案

毛赛君*

忱芯科技(上海)有限公司, 上海, 邮编 201203

*Email: saijun.mao@unisic.tech

摘要: 以新能源汽车应用为导向的 SiC 功率半导体器件精准特性表征与可靠性测试, 是解决 SiC 功率半导体器件在新能源汽车主驱逆变器以及车载充电机, 车载 DC-DC 功率转换装置中的量产应用的卡脖子难题, 加速 SiC 功率半导体器件工艺迭代优化与可靠性提升的关键。首先介绍以新能源汽车应用为导向的碳化硅功率半导体器件关键特性表征与应用挑战, SiC 功率半导体器件在新能源汽车应用的可靠性测试面临极大挑战, SiC 功率半导体器件偏置温度不稳定性动态可靠性测试和双极退化可靠性测试急需从器件级和晶圆级进行按新能源汽车实际运行工况的可靠性测试, 全面提升车规级 SiC 功率半导体器件的可靠性。其次介绍碳化硅功率半导体器件精准特性表征与可靠性测试以及 SiC MOSFET 高温高压短路 KGD 与动态晶圆老化测试挑战, 最后介绍 SiC MOSFET 从晶圆级到裸芯片再到器件级与系统应用级的精准特性表征与可靠性测试解决方案。

个人简介:

毛赛君, 忱芯科技(上海)有限公司创始人, 博士毕业于荷兰代尔夫特理工大学, 曾担任复旦大学研究员, 博士研究生导师, 曾在 GE 全球研究中心工作 10 余年, 获“GE 个人技术卓越成就奖”等 10 余项 GE 重大奖项, 研究领域主要集中在碳化硅功率半导体器件精准测试与特性表征与高频电力电子系统集成与产业化, 发表国际、国内论文 60 余篇, 获得 100 余项国际、国内发明专利与申请。



功率 MOSFET 分立器件技术以及失效分析

陈帆

安世半导体技术（上海）有限公司

摘要：本报告将阐述硅基 MOSFET（VDMOS, TrenchMOS, SGT, SJ）的发展历程和未来趋势，以及 Nexperia 的 MOSFET 的技术路线和市场前景。本报告还会以某款 MOSFET 产品为例，介绍一件可靠性失效分析事例，通过 FA 检测分析预测了失效机理并提出了一种失效模型，最终解决了 HAST 失效问题。

关键词：硅基 MOSFET，屏蔽栅沟槽型 MOSFET，HAST

个人简介：

陈帆，博士毕业于复旦大学微电子系，由 20 年以上的半导体制程和器件研发经验，任职于华虹，中芯，台积电，格罗方德，安世等诸多半导体知名公司。



半导体器件可靠性及失效分析

王晨^{1,2*}

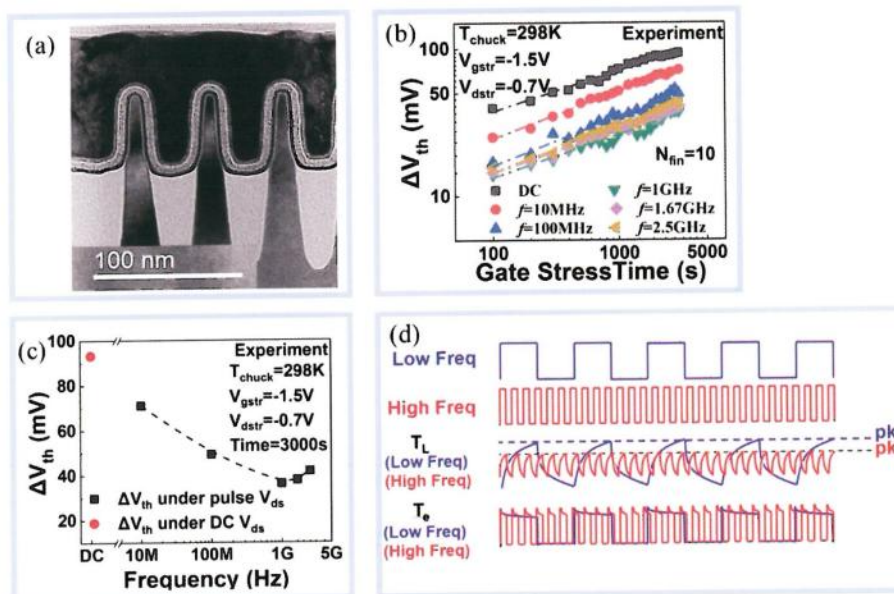
¹复旦大学 微电子学院 专用集成电路与系统国家重点实验室 上海 邮编 200433

²国家集成电路创新中心, 上海, 邮编 201203

*Email: chen_w@fudan.edu.cn

摘要: 基于电荷泵测试方法, 实现了室温下量子点单电子电流测试, 并对商用 90 nm、65 和 45 nm 节点晶圆器件的界面态进行了精确表征; 利用亚纳秒级超快脉冲, 在商用 14 nm 多鳍式晶体管中实验发现了载流子热导致的偏置温度不稳定现象; 利用纳秒级快速脉冲研究了栅致漏端漏电致热载流子退化恢复的机制, 澄清了热退火效应的非主导因素, 得出空穴注入是恢复机制的关键因素; 基于铅钨氧铁电存储电容器件研究了一套超快电流信号提取技术, 实现了较小电压 2 V 条件下最快 740 ps 超快的速度响应。

关键词: 单电子电流测试, 亚纳秒级超快脉冲, 可靠性及失效分析



参考文献:

- [1] Xianghui Li, Chengkang Tang, Yi Gu, Xin Chao, Chen Wang*, Hao Zhu, Qingqing Sun, David Wei Zhang, Investigating of Hot Carrier Degradation Recovery by Gate Induced Drain Leakage in nFinFET, IEEE Electron Device letters, 2023, under revision.
- [2] Chengkang Tang, Kun Chen, Xianghui Li, Xin Chao, Qingxuan Li, Chen Wang*, Hao Zhu, Qingqing Sun and David Wei Zhang, Localized Thermal Effect Exacerbated NBTI in Multi-fin pFinFETs under Low Drain Bias, IEEE Electron Device letters, 2023, accepted.
- [3] Xin Chao, Luyu Wang, Xianghui Li, Chengkang Tang, Lin Chen, Chen Wang*, Hao Zhu, Qingqing Sun, David Wei Zhang, The ID Instability Induced by Reverse Conduction Stress in p-GaN Gate HEMTs, IEEE Electron Device letters, 2023, 44(8): 1264-1267.

- [4] Xianghui Li, Chengkang Tang, Yi Gu, Xin Chao, Chen Wang*, Hao Zhu, Qingqing Sun, David Wei Zhang, Analysis of Traps Behavior Related to Body-biased Hot Carrier Degradation in 14nm nFinFETs, IEEE Transactions on Electron Devices, 2023, 70(12): 6169-6174.

个人简介:

王晨, 复旦大学微电子学院, 副教授, 博导。2012 年博士毕业于复旦大学, 博士期间在美国普度大学和美国国家技术标准局联合培养。博士毕业后先后在美国橡树岭国家实验室、清华大学与大连理工大学工作。近年来利用先进晶圆级电学测试表征技术, 围绕先进工艺鳍式和堆叠栅环栅 CMOS 器件、阻变存储器阵列、GaN HEMT 器件等半导体器件进行了可靠性表征和失效分析研究, 并取得了阶段性的研究成果, 以第一/通信作者在领域内高影响力期刊 IEEE Electron Device Letter (EDL)、IEEE Transactions on Electron Devices (TED) 和可靠性领域顶级会议 IRPS 等发表三十多篇科研论文, 授权多项国内及国际 PCT 专利, 积累了大量关于电学表征、机理分析和模型研究的经验。作为项目负责人, 承担了国家自然科学基金青年基金、国家实验室项目、长三角联合攻关项目和校企合作多项项目。



原子级成像低温扫描探针技术研发进展

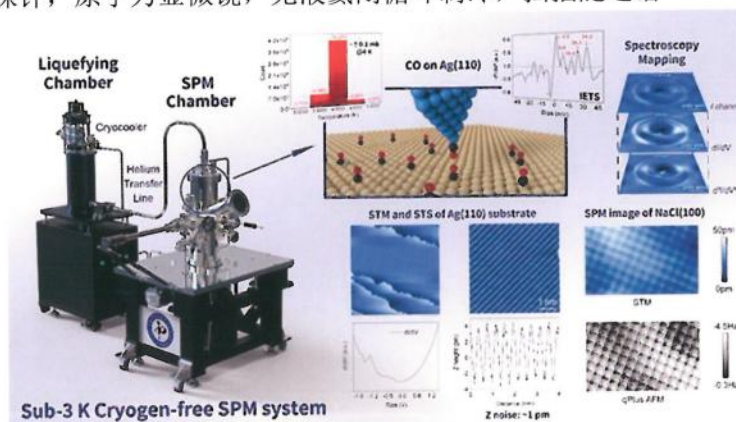
郇庆* 马瑞松 黄远志

中国科学院物理研究所 纳米物理与器件重点实验室 北京 邮编 100190

*Email: huanq@iphy.ac.cn

摘要：本报告将介绍一种基于全新远端液化无液氦闭循环制冷方案的 SPM 系统，该系统实现了 3 K 以下温区的高分辨成像与谱学表征。该系统的综合性能指标处于国际领先水平，解决了现有无液氦 SPM 方案近端安装制冷机存在的不耐烘烤、磁场敏感、安装角度受限、橡胶波纹管透气结冰、难以升级等诸多弊端，具有接近 ± 0.1 mK 的温度稳定性、约 1 pm 振动水平、小于 10 pm/h 的温度漂移，实现了从低温（2.8 K）到室温宽温区连续变温成像。

关键词：扫描探针，原子力显微镜，无液氦闭循环制冷，扫描隧道谱



参考文献：

- [1] R.S.Ma, Q.Huan*, H.J.Gao*, et al. *Rev. Sci. Instrum.* 2017, 88, 063704.
- [2] Z.B.Wu, Z.Y.Gao, Q.Huan*, H.J.Gao*, et al. *Rev. Sci. Instrum.* 2018, 89, 113705
- [3] G. He, J. Yuan*, K. Jin*, Q. Huan*, et al. *Rev. Sci. Instrum.* 2020, 91(1), 013904
- [4] J.H. Yan, Q. Huan*, H.J. Gao*, et al. *Rev. Sci. Instrum.* 2021, 92, 103702
- [5] R.S.Ma, Q.Huan*, H.J.Gao*, et al. *Rev. Sci. Instrum.* 2023, 94, 093701

个人简介：

郇庆，现为中科院物理研究所研究员，纳米物理与器件重点实验室副主任/课题组长，博士生导师，学术委员会委员。



如何突破半导体光学检测的分辨极限

——一种新型超分辨光学成像技术

叶安培^{1,2*} 刘畅¹

¹ 北京大学 电子学院 纳米器件物理与化学教育部重点实验室 北京 邮编 100871

² 北京雅谱光仪科技有限公司, 北京, 邮编 102206

*Email: yap@pku.edu.cn

摘要: 在半导体芯片、集成电路、高分辨显示器及 MEMS 器件的制造过程中不可避免地会产生各种缺陷, 为保证产品良率几乎每个生产工艺过程均需进行缺陷检测。光学检测由于其高精度、快速、无损等优势在半导体检测仪器中占有重要地位。然而, 由于受传统光学衍射极限的限制, 光学检测仪器的分辨率极限约为 $\sim\lambda/2$ (200 nm), 无法满足当前半导体高精缺陷检测的需求, 而成为光学检测技术的卡脖子世界难题。本文基于近场光学与远场光学相结合的物理学原理, 利用置于样品表面的微透镜将携带样品高频精细结构信息的渐逝波投射到远处 (光子纳米喷嘴效应, photonics nanojets effects) (Fig.1), 以便处于远场的物镜所接收, 从而突破了传统光学的衍射极限, 分辨率达到 50 nm 的国际领先水平。同时我们还攻克了单个微透镜视场 (FOV) 太小难以对大样品成像, 以及在样品表面精确操控微透镜, 使其精确定位在样品的任意感兴趣区 (ROI) 的技术瓶颈问题。从而开发出实用的超分辨光学显微镜。该显微镜具有空气中成像, 无需导电和真空环境、白光照明、宽场成像、速度快、成本低、操纵方便等显著优势。可用于半导体芯片制造工艺中的晶圆、光罩、薄膜、图案、封装的缺陷检测, 以及集成电路、微纳光电器件、高密度显微器、MEMS 器件等的快速检测。未来该显微镜与显微 Raman 光谱相结合, 还可以在发现缺陷 (如污染颗粒物) 的同时检测其化学成分, 以便快速溯源。

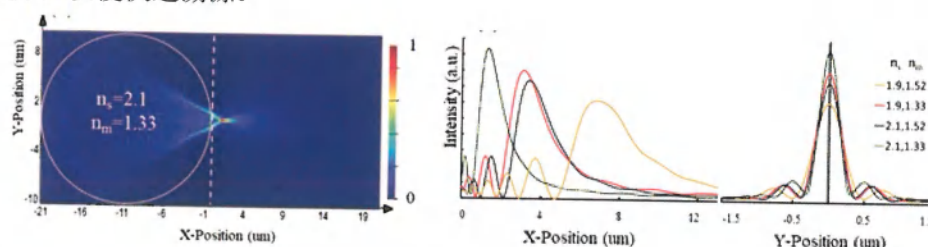


Fig.1 、FDTD 模拟窄带光 (510-560 nm) 照明下平行光透过微球后的光强分布。(左) 纳米喷嘴效应 (Photonics nanojets effects)。(右) 不同微球折射率(n_s)与浸没介质 (n_m)组合下的光强分布。

关键词: 超分辨光学成像, 光学测量, 缺陷检测

参考文献:

- [1] Chang Liu, Anpei Ye*, Microsphere-assisted optical super-resolution imaging with narrowband illumination Optics Communications 485 (2021) 126658.
- [2] Chang Liu, Anpei Ye*, Super-resolution imaging on multilayer sample by microsphere-assisted microscope, Optik- International Journal for Light and Electron Optics 247 (2021) 167889.

个人简介:

叶安培, 北京大学教授, 博士生导师。研究方向: 微纳生物光子学。



高精度扫描探针显微镜的研制与应用

毕宗宇¹ 李文卓¹ 李绍新¹ 王尊承¹ 孟奕辰¹ 荀向阳¹ 张金娥¹ 魏家琦¹
张学莹^{1, 2, 3, 4*}

¹北京航空航天大学 集成电路科学与工程学院 北京 邮编 100191

²北京航空航天大学青岛研究院, 青岛, 邮编 266104

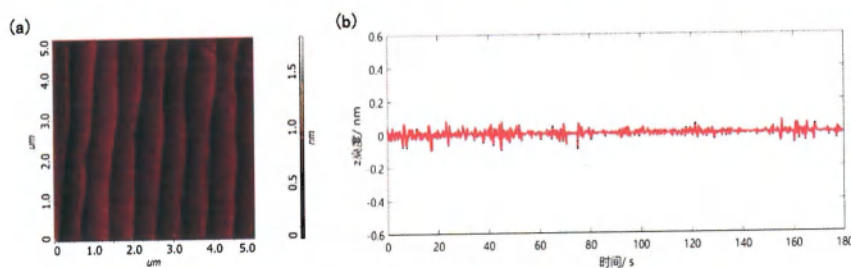
³北京航空航天大学杭州国际创新研究院, 杭州, 邮编 311115

⁴致真精密仪器有限公司, 青岛, 邮编 266104

*Email: xueying.zhang@buaa.edu.cn

摘要: 扫描探针显微镜在材料科学、生物医学、清洁能源、集成电路及半导体等多元领域具有广泛应用。尤其是在集成电路测试领域, 随着工艺节点缩小, 基于原子力测量的扫描探针显微镜在纳米级精度形貌表征、关键尺寸量测等方面作用日益凸显。我国高端扫描探针显微镜长期面临严重依赖国外进口的被动局面。近年来, 北航-致真团队聚焦高精度扫描探针显微镜研发。通过机械、自动化、电子、光学、控制软件等的优化迭代研发, 突破了高精密度位移控制系统、FPGA 硬件系统及减震隔音系统等关键核心技术, 实现了形貌表征成像达亚纳米级及 Z 方向噪音水平在 30pm 内的科研级和晶圆级原子力显微镜[1]。在此基础上, 进一步实现了多功能模块集成, 包括磁力显微镜、静电力显微镜、扫描开尔文显微镜、压电力显微镜、纳米刻蚀和液下成像等, 解决了纳米尺度下的几何量、力学、电学和磁学等特性参数的测量难题, 并实现了产业化应用, 将支撑我国相关基础研究和先进制造领域的高质量发展。

关键词: 扫描探针显微镜, 原子力显微镜、微纳形貌表征, 集成电路制造过程量检测



图(a)高度为 0.39 nm 钛酸锶单原子层台阶图像, (b) Z 方向单点噪声为 17 pm (rms)

参考文献:

- [1] Ke Bian, Christoph Gerber, Andreas J. Heinrich, Daniel J. Müller, Simon Scheuring, Ying Jiang, "Scanning probe microscopy", *Nature Reviews* 1, 36 (2021).

个人简介:

张学莹, 北京航空航天大学集成电路学院博士生导师, 北航青岛研究院微电子分院校长。主要研究方向为集成电路测试设备研发。先后主持国家自然科学基金青年项目、北京市科技计划项目、山东省重大科技创新工程等。带领团队自主研发高分辨率磁光克尔显微镜、产线级自旋芯片测试机等, 多项技术实现成果转化。获得中国国际大学生创新创业大赛全国决赛金奖、中国仪器仪表学会技术发明一等奖等荣誉。入选国家级科技创业领军人才计划。



特种原子力显微镜探针的研发和产业化应用

胡欢^{1,2*}

¹浙江大学-伊利诺伊大学厄巴纳香槟校区联合学院, 浙大海宁国际校区, 邮编 314400

²浙江大学流体动力与机电系统国家重点实验室

*Email: huanhu@intl.zju.edu.cn

摘要: 报告将介绍一种用于界面力学测试的新型纳米球形原子力显微镜探针, 简称“纳米球探针”。该探针采用了一种全新纳米制造工艺实现一体化成型球面。利用聚焦氦离子束注入单晶硅构成的微悬臂梁顶端, 引起衬底隆起形成球面, 球面粗糙度约 0.2 纳米, 比其他纳米制造工艺制造的球面粗糙度低至少一个数量级。通过控制氦离子的能量和注入面积可以控制隆起程度和球面直径。隆起的原理是因为氦离子穿透单晶硅衬底, 造成单晶硅材料的非晶化, 在此过程中失去动能, 在单晶硅材料内部几百纳米的深度形成氦气分子, 引起单晶硅材料的膨胀, 注入氦离子剂量超过一定量之后, 会形成高压氦气实现几百纳米甚至 1 微米直径的隆起的硅球结构。该纳米球探针可靠性高, 往复摩擦 1 万次以上没有明显变化, 而且非常耐磨, 同普通尖探针项目比显示出了优异的测试可靠性。而且球面完美, 能够精准预测接触面积, 因此纳米球探针在界面纳米尺度吸附力测试, 细胞力学测试, 以及二维材料异质结界面提升方面都展示了非常好的应用前景。

关键词: 原子力显微镜探针, 球探针, 胶体探针, 微纳力学测试, 二维材料异质结

参考文献:

- [1] H. Hu*, B. Shi, C. Breslin, L. Gignac, Y. Peng*, A sub-micron spherical atomic force microscopic tip for surface measurement, *Langmuir*, 36, 27, 7861-7(2020).
- [2] X. Wen, R. Mao, H. Hu*, “3-D Nanofabrication of Silicon and Nanostructure Fine-tuning via Helium Ion Implantation”, *Advanced Materials Interfaces*, 2101643(2022).
- [3] P. Uzoma, X. Ding, X. Wen, L. Zhang, P. Oleksiy*, H. Hu*, Wear-resistant silicon nano-spherical AFM probe for robust nanotribological studies, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 24, 23849-23857(2022).

个人简介:

胡欢, 清华本科硕士、美国伊利诺伊大学厄巴纳香槟校区(UIUC)博士、IBM 沃森研究中心博后。从事先进微纳制造和测试、传感及微流控芯片技术。任中国仪器仪表学会微纳器件与系统分会理事和中国微纳技术学会青工委委员。发表 78 篇同行评审论文, 涵盖工程、生物医学、材料、化学和力学等领域。申请 29 项美国专利(19 项授权)和 11 项中国发明专利(5 项授权)。2020 年发明纳米球探针技术, 获得科学网、浙江新闻、人民日报公众号等媒体报道, 创立探生科技(诸暨)有限公司, 从事原子力显微镜探针及精密仪器开发和生产。



多探针原子力显微技术提高表面形貌测量信噪比

周向前^{1*} 杜川^{1,2} 钮旋¹ 武中奇¹ 朗格诺²

¹百及纳米科技(上海)有限公司 上海 邮编 201800

²德国 Parcan GmbH, 德国

*Email: parcan@parcantech.com

摘要:在芯片制造领域,随着高端制程越来越先进,工艺流程中检测工序数量骤然增加,用于晶圆表面质量评定的量化检测(量测)的需求进一步提高,以至于在 5 纳米制程中,每一道制造工序之后就需要执行一道检测工序。量测的重点包括 20 纳米以下表面结构缺陷在高速量测情况下的量化分析。目前的芯片工厂表面量测普遍使用光学和/或扫描电子显微镜检测手段。光学检测的平行性检测速度极高,对表面无损,但分辨率不高(一般在 50 纳米以上),且非三维形貌量测。扫描电子显微镜检测,量测速度高,分辨率极高(2 纳米左右),但非三维形貌,尤其是对非导电表面会因电荷积累而产生破坏。与之相反,扫描探针显微检测既能非接触、无破坏地对表面进行三维量测,又具有极高的分辨率(≤ 1 纳米),但其显著的问题是量测速度慢。单纯提高量测速度,会损失信噪比,即量测质量。此外,测量环境对探针量测有很大的干扰。环境噪音不仅会降低表面量测的分辨率,更会引进大量“伪缺陷”,这是晶圆量测中不允许的。因此,如何大幅提高探针量测的信噪比即成为核心挑战,才能实现在有限的时间内获得清晰的表面成像。

目前,解决探针量测信噪比问题或者量测速度问题是通过完善减振机制(被动式减振和主动式减振)来实现,然在 1 至 100 赫兹振动范围内的噪音仍然很难得以完全抑制。这些噪音会引入“伪缺陷”,从而干扰晶圆表面检测效果。此外,探针量测都是通过单个探针传感进行量测,单个探针感知到表面形貌的同时也不可分离地感知到环境噪音,目前只能通过提高取样积分时间,即减慢量测速度,来提高信噪比。这恰恰不是工业在线量测系统的改进方向。由此导致目前扫描探针量测系统不能满足在线检测要求,一般只能满足芯片工厂实验室级别的个别抽样量测需求。本工作使用多个探针同时量测的主动式探针原子力显微技术来提高信噪比,即提高量测速度。首先使用双探针同时测量获得各自的形貌量测信号,通过合适的差分技术来达到去除噪音分量的目的。相比于市场上单探针显微镜,本工作涉及的双探针量测能将量测信噪比提高 ≥ 5 倍。再者,通过进一步增加多探针的数量,实现在总体量测时间不增加的情况下,通过多探针同时取样,以达到单个探针时间的并行增加,达到量测结果信噪比的进一步大幅增加,为扫描探针技术满足晶圆表面在线量测需求方向大幅提高量测速度。

本工作的多探针高信噪比技术还奠定了探针电子束光刻技术,探针定位技术等领域实现更高精度的技术基础。

关键词: 晶圆表面形貌量测, 扫描探针显微镜, 多探针, 高信噪比, 量测速度

个人简介:

周向前, 百及纳米科技(上海)有限公司董事长/首席科学家。浙江大学电子工程系学士, 德国亚琛工业大学电子工程系博士, 德国马克斯-普朗克固体研究所博士后, 中科院半导体所超晶格国家重点实验室客座研究员, 中国科协海智计划特聘专家。



环境原位 TEM 芯片的设计与制备

殷智伟¹ 张学林² 于海涛^{1,2*}

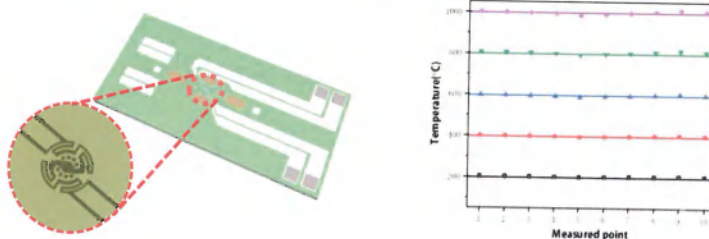
¹厦门海恩迈科技有限公司 厦门 邮编 361026

²中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海, 邮编 200050

*Email: yht@highend-mems.com

摘要: 透射电子显微镜 (Transmission Electron Microscope, TEM) 作为人类探索微观世界最有效的技术之一, 在科学研究领域居于不可或缺的地位。然而, 传统的透射电镜技术大都仅能表征材料处于常温高真空环境下静态的微观特征, 无法实现对样品动态变化的观测, 因此缺少支持解释物质处于真实反应条件下的结构变化规律和化学反应机理的直接证据。针对传统电镜存在不能原位观测的局限性, 本研究提出了一种用于透射电镜中, 对观测样品提供气体和加热环境的 MEMS 芯片。利用该原位芯片技术能够研究样品在气体和加热的服役条件下的动态变化, 为正确解释在温度条件下气-固反应机制和物质结构变化规律提供新的角度。围绕该主题, 开展了原位气体加热 TEM 芯片的技术研究, 采用微机电与微加工技术设计并制备一款能实现优异的温度均匀性、气体分布均匀的高性能原位 TEM 芯片, 为解决传统电镜非原位的局限性提供了一种新的手段。

关键词: MEMS, TEM, 原位 TEM 芯片, 温度均匀性



参考文献:

- [1] Urban K W, Barthel J, Houben L, et al. Progress in atomic-resolution aberration corrected conventional transmission electron microscopy (CTEM). Progress in Materials Science, 2022: 101037.
- [2] Zhang C, Firestein K L, Fernando J F S, et al. Recent progress of in situ transmission electron microscopy for energy materials. Advanced Materials, 2020, 32(18): 1904094.

个人简介:

于海涛, 博士, 厦门海恩迈科技有限公司总经理, 中国科学院上海微系统与信息技术研究所研究员, 福建省高层次人才 (A 类), 国家重点研发计划首席科学家, 中科院青年创新促进会会员, 全国气湿敏专业委员会委员。分别于北京大学和中国科学院上海微系统与信息技术研究所获学士和博士学位, 曾在 Nano Lett.、Anal. Chem. 等领域高水平期刊和 IEEE MEMS 等领域顶级国际会议上发表论文 70 余篇, 授权各类专利 30 余项, 编写专著 1 本, 编写国家标准 1 项。2020 年创立了厦门海恩迈科技有限公司, 已获数千万元风险投资, 主要从事基于谐振 MEMS 技术的创新科学仪器的研发、制造与销售, 已服务于新加坡国立大学、清华大学、复旦大学等数十所国内外知名高校与研究所, 推动其创新成果在国际知名期刊如 Nat. Commun.、Angew. Chem. Int. Ed.、Nano Lett. 等的发表。



进化：第二代 HIMA5D 多维结构光系统(MST)登场，持续 助力高端封测的演进

陈弼梅* 高海军 蒋俭威

匠岭科技（上海）有限公司，上海 邮编 201306

摘要：目前，高端先进封装芯片上采用超高密度的 Microbump（微凸块）工艺，而少量 Microbump 的缺陷，就将导致整颗芯片的失效。因此，对 Microbump 进行 100%全检已成为行业一个刚性需求。为突破行业的新技术挑战，2024 年，匠岭科技正式推出了第二代 HIMA 5D 巨量检测系统，多方面升级了多维结构光学检测技术（SuperMST™, Super Multi-Structural Technology），以创新的第二代 3D 巨量检测技术，再结合完整的 2D 检测技术，在高端先进封装工艺过程中，完成更高精度和更高速度的 5D 检测，支撑封测厂的 100%全检需求。同时，HIMA 5D 也支持 2um 以下 RDL 量测线宽和量产级 TSV 量检测，更好地助力高端先进封测的良率提升和技术演进。

关键词：多结构光 3D 检测，Microbump 5D 巨量检测，光学 3D 检测，高端先进封测

个人简介：

陈弼梅，匠岭科技（上海）有限公司的技术市场副总裁，浙江大学滨江研究院的特聘研究员，正高级工程师，皇家特许工程师 Chartered Engineer，英国工程与技术学会会士 IET Fellow。曾任杭州广立微电子股份有限公司的副总经理、Globalfoundries 的高级主任工程师等。博士毕业于美国康奈尔大学（师从美国工程院院士），本科（第一等荣誉）毕业于英国帝国理工大学。



面向集成电路关键尺寸的纳米计量技术

施玉书*

中国计量科学研究院, 北京, 邮编 100029

*Email: shiys@nim.ac.cn

摘要: 计量是集成电路的关键使能技术之一, 国际权威的半导体技术蓝图 (ITRS) 组织明确指出, 集成电路关键尺寸量值 10% 的误差将导致器件的失效, 长期以来我国集成电路产业一直从国外溯源, 使得关键尺寸量值长期受制于人, 随着我国集成电路制造向 14nm 及以下节点迈进, 这就要求纳米级甚至亚纳米级准确度国家计量能力的支撑。面对溯源方式与测量原理双重极限的挑战, 多年来中国计量科学研究院纳米计量团队开展了针对性的计量与溯源技术研究[1], 成功研制了用于量值溯源的基于不同测量原理的纳米计量国家标准装置[2]与用于量值传递的多特征结构的国家标准物质[3], 面向我国集成电路产业的纳米计量能力正在逐步的形成, 并建立完善的计量溯源体系。随着研究的深入与产业的对接, 相关计量能力与标准物质已在国内广泛应用, 计量溯源体系随之延伸到了产业最前线, 为我国集成电路的发展提供坚实的保障。

关键词: 集成电路, 纳米计量, 计量装置, 量值溯源, 标准物质

参考文献:

- [1] 施玉书, et al. "基于原子力显微术的 5 nm 台阶高度标准物质溯源与定值技术研究." *仪器仪表学报* 41.3 (2020): 79-86.
- [2] 施玉书, et al. "毫米级纳米几何特征尺寸计量标准装置多自由度激光干涉计量系统." *计量学报* 41.7 (2020): 769-774.
- [3] Wang F, Shi Y, Li W, et al. "Characterization of a nano line width reference material based on metrological scanning electron microscope." *Chinese Physics B* 31.5 (2022): 050601.

个人简介:

施玉书, 博士、研究员, 中国计量科学研究院纳米计量研究室主任, 国际计量委员会长度咨询委员会纳米工作组成员、ISO/TC213 与 ISO/TC201 专家委员、全国几何量长度计量技术委员会委员及纳米计量工作组组长。主持/参与制定国家标准与计量技术规范 20 余项, 建立社会公用计量标准 8 项、获批国家标准物质 29 项, 致力于全链条国家纳米计量体系的建立。获省部级科技奖励 7 项, 学会科技奖励 3 项。



面向集成电路量测设备产业的自溯源纳米计量技术

邓晓*

同济大学 物理科学与工程学院 国家集成电路微纳检测设备产业计量测试中心(上海)

上海 邮编 200092

*Email: 18135@tongji.edu.cn

摘要: 集成电路微纳检测设备产业是把核心的原材料与零部件, 结合技术和软件集成后开发微纳检测设备产品为集成电路芯片中的晶圆制造工艺服务。纳米长度计量体系是集成电路微纳检测设备量值溯源, 误差控制与测量准确性的核心支撑。激光汇聚原子光刻技术是研制自溯源纳米标准物质的有效手段, 光栅关键参数可以溯源到自然界常数, 具有极高的准确性、一致性与稳定性。汇报人将介绍基于激光汇聚铬原子光刻技术研制纳米长度标准物质、自溯源位移传感器及新型计量型 AFM 的研究思路与成果。系列光栅的准确性水平得到国际权威机构计量认可, 并获批多项国家标准物质。系列可以溯源到铬原子跃迁频率的标准物质、位移传感器与计量仪器有望构建新型自溯源纳米长度计量体系。

关键词: 集成电路测量仪器、纳米计量、自溯源、原子光刻

个人简介:

邓晓, 同济大学物理学院长聘副教授, 博士生导师, 国家集成电路微纳检测设备产业计量测试中心(上海)副主任。主要研究方向为集成电路计量测试技术。2021 年入选中国科协“第六届青年人才托举工程”, 2023 年入选上海市青年科技“启明星”、上海市教委东方英才(青年)计划, 是全国新材料与纳米计量技术委员会委员。作为项目负责人主持国家重点研发计划项目、基金委面上与青年项目多项。研究成果获批国家一级标准物质 2 项、国家二级标准物质 2 项。共申请发明专利 16 项(授权 6 项), 其中作为第一发明人拥有授权美国发明专利 1 项、授权中国发明专利 2 项。共发表 SCI 论文 35 篇(含一作/通讯共 17 篇); 完成软件著作权登记 4 项。



半导体测试封装设备技术创新

艾兵*

上海赢朔电子科技股份有限公司

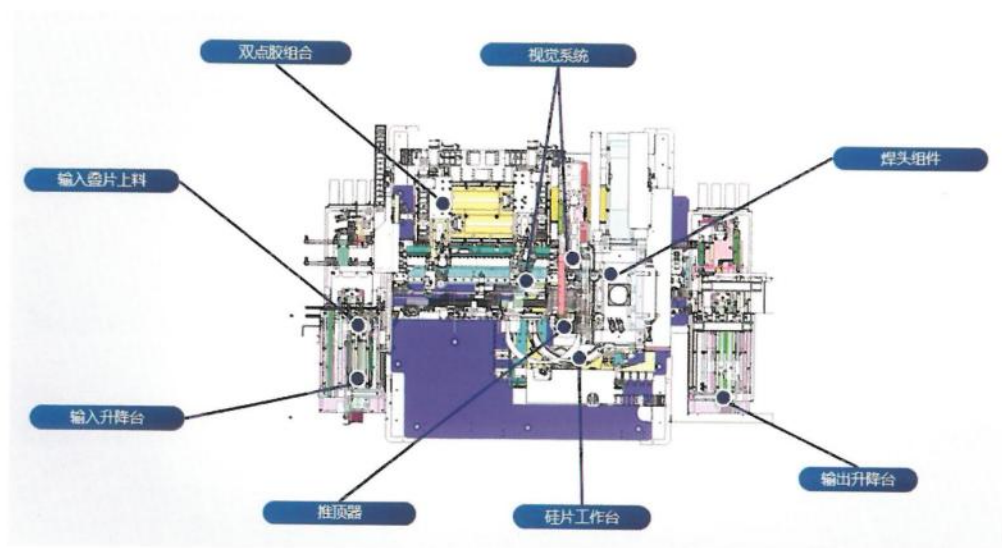
上海市青浦区久远路 389 号

联系电话: 18930050118

*Email: ab@zy-diode.com

摘要: 芯片固晶 (Die bonder), 是半导体制程中的重要环节。2010 年之前固晶机一直被欧美日韩垄断, 国内设备很少见。传统固晶设备大都采用摆臂式吸取芯片固晶, 这种固晶方式弊端在于速度快了, 固晶精度很差, XY 精度超过 $\pm 50 \mu\text{m}$ 以上, 且芯片破损检测不出。而直线型固晶设备虽然固晶精度高, XY 固晶精度能达到 1 mil, 即 $\pm 25 \mu\text{m}$, 但速度很慢, 实际生产 UPH 最高不超过 18 K/H。赢朔科技最新发明的高速高精度固晶机解决了这一难题。公司采用转塔式固晶方式 (发明专利), UPH 达到 45 K/H 的同时, XY 固晶精度达到 $\pm 20 \mu\text{m}$, 同时解决了速度与精度不能兼容的问题。

关键词: 固晶机, 固晶精度, 转塔式固晶, UPH



个人简介:

艾兵, 清华大学硕士研究生,
上海赢朔电子科技股份有限公司创始人/董事长。



面向集成电路测量仪器的纳米长度计量与测试技术

雷李华^{1,2*} 刘丽琴^{1,2} 梁利杰^{1,2}

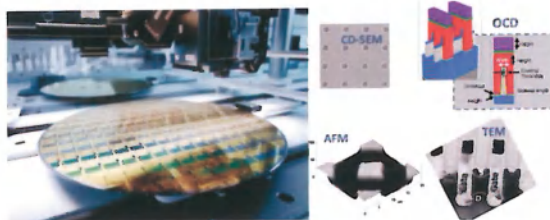
¹上海市计量测试技术研究院, 上海 201203

²上海市在线检测与控制技术重点实验室, 上海 201203

*Email: leilh@simt.com.cn

摘要: 集成电路芯片制造是纳米量级的先进制造, 制造过程需经过涂胶、光刻、沉积等近 600 道工序, 若每道工序的良率为 99.5%, 则总良率将小于 5%, 因此, 进行精密位移、线宽、膜厚、台阶、套刻、缺陷等关键纳米几何量计量对保证芯片良品率至关重要, 是集成电路晶圆制造过程的重中之重。近年来, 美国对于发展晶圆制造中的微纳检测技术布局明显, 特别是以 KLA 为主体处于世界领先地位, 为了遏制中国先进晶圆制造微纳检测设备与技术的发展, 美国于 2021 年将晶圆制造微纳检测设备列入对中国的管制技术清单, 其中包括尺寸计量系统、线性位移测量仪、半导体器件检测设备、芯片检测设备等。2022 年, NIST 出台了具体的行动方案《美国半导体制造业的战略机遇: 通过测量和标准方面的优势促进美国的领导地位和竞争力》, 这更加证实晶圆制造微纳检测设备对先进芯片制造的重要作用。因此, 需从集成电路测量仪器的测量准确性、一致性与可比性发展需求出发, 建立我国微纳检测设备的量值溯源体系, 实现我国计量测试技术服务我国集成电路产业的独立、自主发展。

关键词: 集成电路; 晶圆芯片制造; 纳米长度计量; 微纳检测设备



参考文献:

- [1]. Lei L, Liang L, Liu L, et al. A Study on Length Traceability and Diffraction Efficiency of Chromium Gratings[J]. Photonics, 2024, 11(3): 233.
- [2]. 刘丽琴, 管钰晴, 邹文哲, 等. 基于光栅干涉仪的纳米位移台校准方法研究[J]. 计量科学与技术, 2023, 67(06): 37-43.
- [3]. 梁利杰, 刘丽琴, 管钰晴, 等. 自溯源光栅衍射效率的分析与研究[J]. 红外与激光工程, 2023, 52(11): 299-307.
- [4]. 梁利杰. 基于自溯源型光栅干涉仪的纳米光栅间距测量研究[D]. 中国计量大学, 杭州, 2024.

个人简介:

雷李华, 高级工程师, 理学博士, 上海市学术带头人, 上海市人才发展基金获得者。先后参与或主持国家自然科学基金、国家重大仪器开发专项等多项国家重大项目。在国内外发表学术论文 100 余篇, 其中 EI/SCI 检索论文 60 篇; 授权发明专利 11 项; 先后获上海市优秀发明金奖 1 次, 上海市科技进步奖二等奖 2 项、三等奖各 1 次。



数字化硅晶圆和蓝宝石衬底形貌检测仪

徐继东¹ 韩森^{1,2*}

¹苏州慧利仪器有限责任公司 江苏 邮编 215123

²上海理工大学, 上海, 邮编 200093

*Email: senhanemail@126.com

摘要: 硅晶圆和蓝宝石衬底是电子电路和 LED 芯片的基础元件, 衬底面形参数表征了衬底的质量, 对面形参数的量测和分析, 能够提高芯片的成品率。硅晶圆和蓝宝石衬底平整度的要求有两个极端: 其一是平面横向上需要跨几个数量级, 从 300 毫米到 100 微米再到 1 微米的量级跨度; 其二是对纵向起伏, 要求从 10 微米到 1 纳米的精度跨度的量测。慧利自主研发的激光干涉仪可以精确检测硅晶圆和蓝宝石衬底形貌, 满足其特殊的检测的需求。

关键词: 硅晶圆, 蓝宝石衬底, 形貌, 激光干涉仪

个人简介:

徐继东, 德国斯图加特大学物理博士毕业。苏州慧利器有限责任公司技术总监 (CTO)。

荣获 IEEE 主席颁发的卓越贡献奖, 以及 CCSA 科技进步二等奖, 担任国际电联 ITU 的 FG-QIT4N/D1.2 主任编辑。

慧利产品获得中国计量测试学会科学技术进步奖一等奖, 中国产学研合作创新成果奖一等奖, 中国光电博览奖金奖, 瑞士日内瓦国际发明展特别金奖, “金燧奖”中国光电仪器品牌榜金奖等。

从事光通信工作三十余年, 在中兴通讯工作了 15 年。参与多个国际和国内学术报告: 做大会特邀报告、学术报告、技术讲座和座谈近百次。120 余项专利等, 以及多篇学术论文。



半导体量检测装备的精密运动平台研发与应用

江旭初¹ 杨晓峰^{1,2*}

¹上海隐冠半导体技术有限公司, 上海 邮编 201206

²复旦大学 微电子学院, 上海, 邮编 201203

*Email: xf_yang@fudan.edu.cn

摘要: 上海隐冠半导体技术有限公司是一家专注于半导体制造、量检测和封装装备领域核心精密运动零部件研发的高科技创新型企业。本文围绕半导体量检测设备, 介绍了其核心部件精密运动平台的研发与应用, 分析了当前半导体量检测设备概况、机遇与挑战、精密运动平台的技术路线, 阐述了隐冠半导体的产品研发策略, 产品系列及其在产业中的应用。

关键词: 量检测装备, 精密运动平台, 磁悬浮, 定位精度

个人简介:

江旭初, 北京航空航天大学工学硕士, 上海隐冠半导体技术有限公司副总经理兼研发总监, 申请 40 余项技术发明专利, 获得第五届中国(上海)国际发明创新展览会金奖, 并荣获上海市浦东新区“明珠工程师”荣誉称号。



杨晓峰, 复旦大学微电子学院教授、博士生导师; 国家重大专项 02 专项总体组专家; 国家集成电路零部件创新联盟副理事长; 上海市超精密运动控制与检测工程研究中心主任; 上海隐冠半导体技术有限公司创始人兼首席科学家。



精密位移传感器与压电致动器研究

李伟*

安徽见行科技有限公司 总经理

*Email: liwei@actustech.com

摘要：精密测量与致动是精密制造和加工设备的基础，是影响系统整体控制精度的决定性因素之一。常见的非接触式位移传感器有电涡流式、电容式、光学式等。电涡流传感器以其非接触、宽带宽、灵敏度高、可靠性高、适应恶劣工作环境等优点，广泛的应用于产品质量检测、状态检测、和运动耦合等方面。电容传感器相比电涡流传感器具有更高的检测精度和稳定性，但对使用环境要求更高。压电致动器常用于小行程、高精度、高动态的定位场景，特别适用于需要 nm 级步进的场景中。结合高精度电容传感器和光栅尺，压电致动器可以达到极高的定位精度。

安徽见行科技有限公司专注于高精度位移传感器与致动器的研发，推出的电涡流位移传感器、电容位移传感器、压电致动器已在多个应用场景实现了国产化替代。本文将结合公司的产品介绍位移传感器和致动器的相关技术问题和发展趋势。

关键词：位移传感器，电涡流、电容传感器、压电致动器

个人简介：

李伟，博士，毕业于中国科学技术大学，现任安徽见行科技有限公司总经理。



适用于高洁净高真空极端环境的电机

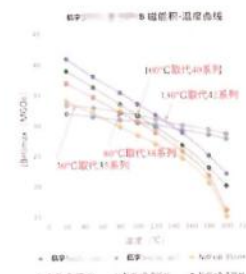
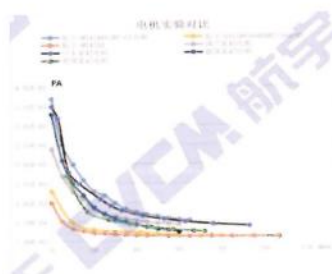
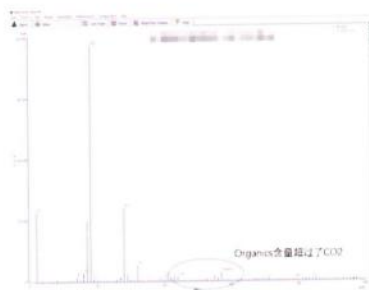
鹿启帅* 黄莉 王刚 王飞

苏州航宇九天动力技术有限公司 苏州 邮编 215000

*Email: qishuai.lu@szcvc.com

摘要: 随着国内大科学装置、半导体、科学仪器等高端装备的高速发展, 高端电机配件基本上处于滞后国外的困境。一方面是高端装备的电机配件需求量不大, 且单价占整个项目的比重微乎其微。另一方面这些电机往往研发难度大、见效周期长。正如此, 国内真空电机一直基本处于空白。直到 2017 年, 航宇九天团队逐渐涉足该领域, 2019 年正式加大投入研究此行业, 目前累积投入 4000 万+, 在中科院、航天、高校、半导体、光学、科学仪器等行业的专家支持和指导下, 研发、生产、服务等硬件和软件的实力均得到了大力提升。工艺从最开始的“洗干净”, 细化到如今多项工艺和几十类工艺文件。对不同配件的性能做深入研究, 比如轴承、硅钢片、磁铁、定转子、骨架、漆包线等不同配件具备不同清洗方法, 也具备不同检测方法。以及对电机内材料和电磁性能做了全面系统的分析, 甚至重新进行电磁设计, 使得电机有利于在真空环境内的运行。极大的解决了洁净度、真空度、总质损 TML、可凝结挥发物 CVCM、真空温升、真空放电等难题。

关键词: 真空电机, 极端传动, 洁净工艺, 洁净检验, 空间环境



参考文献:

- [1] 西安微电机研究所. 实用微电机手册 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000. 521 523
- [2] 都亨, 叶宗海. 低轨道航天器空间环境手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- [3] 盛磊. 原子氧环境对聚合物及其复合材料性能的影响[J]. 中国空间科学技术. 1994, 5: 54-60.
- [4] Kleiman J I, Iskanderova Z A, Perez F J et al. Protective coatings for LEO environments in spacecraft applications. Surf Coat Technol, 1995, 76/77: 827~834

个人简介:

鹿启帅, 苏州航宇九天动力技术有限公司联合创始人, 2006 年毕业于河南理工大学电气工程专业, 毕业至今一直从事于微特电机(步进、伺服、空心杯等)领域。2017 年开始从事极端环境传动部件的研究。主要从事高温、低温、真空、辐射等环境的传动部件研究。在 2021 年 4 月主导研制的真空电机在空间站核心舱中无容器材料科学实验系统成功应用。在航天科技某院、航天科工某院、中国工程某院等数十个大科学装置, 为国家任务提供了优秀产品和服务, 部分甚至全部解决了极端环境电机的卡脖子问题。



面向半导体晶圆检测应用的单频窄线宽光纤激光器

文建湘^{1,2*} 郑玉霞^{1,2} 陈昭宇^{1,2} 付祯玮^{1,2}

¹ 上海大学, 特种光纤与光接入网省部共建国家重点实验室培育基地

² 上海大学通信与信息工程学院 上海 邮编 200433

*Email: wenjx@shu.edu.cn

摘要: 单频光纤激光器具有线宽窄、噪声低、稳定性高等特点为半导体芯片检测分析提供清晰的焦点和最小化误差测量。适用于半导体材料和结构分析以及晶圆检测技术, 尤其是单频激光强度的精确控制。为了实现高性能激光稳定输出, 本文采用自主研发 CO₂ 激光加热拉丝技术制备 Yb:YAG 晶体衍生硅纤维(YCDSF), 其增益系数高达 6 dB/cm, 突破了有源光纤的增益极限。利用 0.7 cm 长 YCDSF-10, 在超短线形腔激光器中实现 255 mW 单模激光输出; 进一步利用 0.8 cm 长 YCDSF-15, 在 1030 nm 处获得线偏振单频激光, 光-光转换效率高达 63%, 单位长度(cm)增益光纤最高输出功率超过 500 mW。利用 13 cm 长 YCDSF-15 搭建环形腔激光器, 获得线宽小于 2.8 kHz, 相对强度噪声低至-155 dB/Hz; 利用 10 cm 长 EYDSF 搭建环形腔激光器, 获得小于 660 Hz 的超窄线宽且相对强度噪声低到-145 dB/Hz。最后, 将 13 cm 长 YCDSF-15 引入环形腔激光器, 在 1009 nm-1070 nm 波段实现宽带可调谐单频激光输出。研制的光纤激光器具有良好性能, 可在高功率激光加工、半导体芯片与晶圆检测及清洗等先进制造领域具有广阔的应用前景。

关键词: 有源光纤, 单频光纤激光器, 晶体衍生光纤, 激光拉丝技术,



参考文献:

- [1] Ying Wan, **Jianxiang Wen***, Tingyun Wang, and et al., "Over 255 mW single-frequency fiber laser with high slope efficiency and power stability based on an ultra-short Yb doped crystal-derived silica fiber" *Photonics Research*, 9(5), 649-656 (2021).
- [2] Ying Wan, **Jianxiang Wen***, Tingyun Wang, and et al., "Over 60% optical-to-optical conversion efficiency linearly polarized single-frequency fiber laser based on Yb: YAG crystal-derived silica fiber" *Journal of Lightwave Technology*, 41(16), 5452-5459 (2023).
- [3] Ying Wan, **Jianxiang Wen***, Tingyun Wang, and et al., "Exceeding 50% slope efficiency DBR fiber laser based on a Yb-doped crystal-derived silica fiber with high gain per unit length" *Optics Express*, 28(16), 23771-23783 (2020).

- [4] Ying Wan, **Jianxiang Wen***, Tingyun Wang, and et al., “Over 100 mW stable low-noise single-frequency ring-cavity fiber laser based on a saturable absorber of Bi/Er/Yb co-doped silica fiber” *Journal of Lightwave Technology*, 40(3), 805-812 (2022).
- [5] Ying Wan, **Jianxiang Wen***, Chen Jiang, and et al., “Broadband high-gain Yb: YAG crystal-derived silica fiber for low noise tunable single-frequency fiber laser” *Optics Express*, 30(11), 18692-18702 (2022).

个人简介:

文建湘，上海大学教授/博士生导师，副主任。目前在上海市特种光纤与光接入网省部共建教育部重点实验室（国家实验室培育基地）从事新型特种光纤结构设计与制造，光纤激光器及光纤传感应用研究。担任上海市先进光波导智能制造与测试专业技术服务平台副主任；上海市惯性技术学会理事/副秘书长；多次受邀参加国际重要会议 OFS/CLEO/AFL/ACP/APOS 等，并做邀请报告。发表学术研究论文百余篇，授权发明专利十余项，美国专利 1 项；受邀参与撰写三本英文书籍多章节，并担任英文书籍 *Bismuth-Fundamentals and Photonic Applications* 联合主编。精通特种光纤的研制与开发工艺，参加国家“十五”科技攻关计划“光纤预制棒产业化技术开发”，国家 863“保偏光纤”项目，其产品应用于神舟六号、七号宇宙飞船，2008 年获江苏省科学技术进步奖二等奖；参与的国家重点研发计划，在全波段、低噪声放大光纤领域得重大突破。2022 年获上海市科学技术进步奖一等奖与中国光学工程学会科学技术进步奖一等奖；2020 年在国际先进光纤激光研讨会(AFL2020)获光纤激光领域最佳创新奖“**Fiber laser in 2020**”；2023 年获中国光学工程学会“光纤激光五年优秀成果奖”。



芯片制备工艺中流量计的种类与应用研究

王哲*

夏罗登工业科技（上海股份有限公司）上海 邮编 201602

*Email: z.wang@schalod.com

摘要：半导体芯片制备工艺的复杂性和精确性要求对工艺介质的流量进行严格监控。流量计作为关键的监测设备，在不同的半导体设备中发挥着至关重要的作用。本文详细探讨了在半导体制备过程中，各类流量计的应用及其对工艺质量的影响。

关键词：芯片制备过程、工艺、设备、流量计、种类、应用

个人简介：

王哲，来自夏罗登工业科技（上海）股份有限公司的运营总监。毕业于上海大学机械工程及其自动化专业。流量计行业十年丰富的工作经验，10 年的销售、市场管理经验，以丰富的战略和实践经验，带领团队实现行业破冰和业绩的快速增长。同时参与了公司整个流量计研发生产工作，为研发人员提供了方向，并协助生产人员以市场为导向，不断优化产品品质。



超高纯 PVDF (HP-PVDF) 介绍以及运用

何玉荣

摘要：亚斯亚阀门成立于 1983 年，是台湾第一家自主开发设计且规模最大的塑胶阀门管道公司。建厂 40 年来，从不满足于现状，不断的创新突破，以一丝不苟的工艺精神打造每个细节，精心设计并制造极致可靠的产品，始终保持卓越品质与优质服务。

我们的高性能 PVDF 产品系列可运输超纯水和强腐蚀性化学品，超越了 SemiF57 标准，并且满足 12 英寸微电子制造工厂的超纯水需求。我们为半导体、光伏、生命科学和纳米技术等行业提供完整的红外焊接系统，尺寸范围从外径 20mm 到 315mm。

多样化的材质选择，如：UPVC，CPVC，PPH，CLEARPVC 和 PVDF，彰显了我们技术创新和成长的承诺。我们结合创新技术的工艺，正式于 2022 年推出 HP PVDF 超洁净管材、管道和阀门，将其应用于半导体行业超纯水系统，从此开展未来不容撼动的高端管路系统地位。

个人简介：

何玉荣，昆山协羽阀门管道有限公司的业务部经理。



超高速 UTC 探测器件及其光电混频模块

陈佰乐*

上海科技大学 信息科学与技术学院 上海 邮编 201210

*Email: chenbl@shanghaitech.edu.cn

摘要：高速、高功率光电探测器在微波光子学、太赫兹无线通信等领域具有重要应用。高速探测器的饱和输出功率通常决定了微波光子系统的动态范围和射频输出功率。本次报告将介绍课题组在高功率探测器和超高速探测器方面的最新进展。我们成功制备了键合在氮化铝基底上的背照式单行传输载流子探测器 (UTC PDs)。由于氮化铝的高热导率，直径为 40 微米和 28 微米的器件分别在 15 GHz 时实现了 23 dBm 的输出功率，以及在 25 GHz 时实现了 20 dBm 的输出功率，器件的响应度为 0.65 A/W。此外，光载太赫兹 (THz) 技术的发展推动了对超高速探测器的需求。本报告还将讨论倏逝波耦合 UTC 波导性探测器，该器件具有 220 GHz 以上的 3 dB 带宽和 0.18 A/W 的外响应度。本报告还将介绍课题组将 UTC 器件和无源电路封装成 140 GHz 至 220 GHz 金属波导输出的光电混频模块，并对其性能进行测试。该模块成功应用于光子辅助的太赫兹无线通信系统中，实现了 4.6 km 的远距离 THz 通信。

关键词：UTC 探测器，光载太赫兹，超高速探测器，高功率探测器

个人简介：

陈佰乐，现为上海科技大学信息科学与技术学院常任副教授 (tenured)、研究员、博士生导师。近年来，陈佰乐带领团队实现了超高速近红外探测器 (3dB 带宽>220GHz @1550nm，是国际上少数能实现 200GHz 带宽探测器的课题组之一)、高速-高响应度中红外宽光谱探测器(3dB 带宽>12 GHz @3-5 μ m)和低噪声雪崩光电二极管等一系列高性能 III-V 族半导体光电探测器。至今发表期刊论文 90 余篇，其中 50 余篇论文以第一作者或者通讯作者发表于 Nature



Communications, Optica, ACS Photonics, IEEE Electron Device Letters, IEEE Journal of Lightwave Technology, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics,等国际知名期刊，相关工作被多家媒体报道。陈佰乐主持科技部国家重点研发计划，国家自然科学基金面上项目，上海市青年扬帆计划，以及多项中科院重点实验室项目。现为美国光学学会 Optica 旗下知名期刊 Optics Express 的副主编，同时也是 IEEE Senior Member 和中国光学工程学会高级会员。

研测相长，卷中求胜：新一代光电芯片从研发到量产的 测试保障

张骞

柯泰光芯(常州)测试技术有限公司

摘要：新的应用催生出对光电器件的新要求。在需求变化快、指标不断涨的行业内卷背景下，面对测试标准不成熟、测试方法不完备的不利条件，如何快速获得准确指标，高信心送样，高概率获得订单，再高良率生产，从而快速成长、做大做强，这是众多从业者的普遍期望。本次报告内容将为听众带来柯泰光芯的研发到量产测试保障解决方案。

个人简介：

张骞，柯泰光芯总经理，毕业于上海理工大学测控技术及仪器专业，8年美国泰克科技（中国）高端测试仪器华东区销售总监，2012年成立柯泰测试技术有限公司。



硅基光学相控阵芯片及光学传感应用研究

孙全程 李俊豪 刘海鹏 杨存亮 冯吉军*

上海理工大学 光电信息与计算机工程学院 上海市现代光学系统重点实验室, 上海, 邮编 200093

*Email: fji jun@usst.edu.cn

摘要: 硅基集成光学相控阵芯片具有集成度高、损耗小、能耗低、CMOS 工艺兼容且可低成本大批量制备等特性, 可实现速度快、精度高、视场大的光束扫描, 有望替代现有的机械式或 MEMS 激光雷达, 其在光通信、航空航天等领域也具有广泛的应用前景。本报告将从硅光芯片空间光应用的视角, 介绍硅基相控阵的基本工作原理、空间光场调控及相关关键技术瓶颈, 并探讨硅基光子器件在光学传感方向的潜在应用。

激光雷达作为自动驾驶技术的核心关键功能部件, 受到广泛关注。传统的车载激光雷达有机械式、半固体 MEMS、全固态 FLASH 等体制, 但存在着机械稳定性、视场、处理算法等瓶颈。硅基光子芯片具有集成度高、损耗小、能耗低、CMOS 工艺兼容且可低成本大批量制备等特性, 其集成光学相控阵芯片可实现速度快、精度高、视场大的光束扫描[1,2], 且有着与控制系统电子芯片实现一体化集成的潜力, 其在光通信、航空航天等领域也具有广泛的应用前景。除了激光测距相关应用, 硅基光子器件在其他光学传感方向的应用也越来越受到广泛关注[3-5], 商业前景广阔。

关键词: 光学相控阵, 硅光子学, 传感

参考文献:

- [1] W. Ren, Qi. Liang, J. Feng*, H. Liu, J. Hu, S. Yuan, X. Xia, W., Q. Zhan, and H. Zeng, "Free-space beam shaping and steering based on a silicon optical phased array," *Photonics Research* 11(12), 2093 (2023).
- [2] H. Liu, J. Feng*, J. Chen, W. Zhou, Q. Bi, and H. Zeng, "Silicon nano-bridge waveguide assisted polarizing beam splitter," *Optics & Laser Technology* 167, 109684 (2023).
- [3] A. Zhang, J. Feng*, J. Yan, M. Hu, L. Zhang, and H. Zeng, "Laser reshaping of gold nanoparticles for highly sensitive SERS detection of ciprofloxacin," *Applied Surface Science* 583, 152543 (2022).
- [4] H. Jia, A. Zhang, Y. Yang, Y. Cui, J. Xu, H. Jiang, S. Tao, D. Zhang, H. Zeng, Z. Hou, and J. Feng*, "A graphene oxide coated tapered microfiber acting as a super-sensor for rapid detection of SARS-CoV-2," *Lab Chip* 21, 2398–2406 (2021).
- [5] J. Chen, J. Feng*, X. Wu, Y. Zhao, F. Zhang, and D. Zhang, "Multi-layer hollow-core PMMA grating tube waveguides for THz sensing applications," *Optics and Lasers in Engineering* 142, 106587 (2021).

个人简介：

冯吉军，上海理工大学光电信息与计算机工程学院教授，博士生导师，中国科学技术大学理学、工学学士，中国科学院上海光学精密机械研究所获光学工程博士。博士毕业后赴日本产业技术综合研究所（AIST）进行研究工作，2015 年回国加入上海理工大学庄松林院士团队，主要从事微纳光子器件及传感应用等方面的工作，研制了包括半导体黄绿光激光器、超高速全光开关、硅基三维集成光子功能芯片等系列微纳光电子器件。发表论文近百篇、授权专利 10 余项，先后主持科技部国际合作、国家自然科学基金联合、面上等项目，获得日本学术振兴会（JSPS）特别研究员、JSPS 访问学者、日本信息通信研究机构(NICT)访问学者、上海市“东方学者”及跟踪计划、上海市青年科技启明星、上海市自然科学二等奖等资助和奖励。



射频芯片测试技术与设备研究

张建¹ 陈国炜¹ 南建军^{1,2*}

¹上海铭剑电子科技有限公司 北京 邮编 116023

²清华大学 自动化系, 北京, 邮编 100084

*Email: phil@matrix-system.com.cn

摘要: 随着 5G/6G、WiFi7 应用的高速发展, 射频芯片测试设备的发展也呈现出蓬勃的态势, 同时对射频芯片测试设备在测试效率和准确度等方面也提出了更高的要求。本文提出并实现了一种射频芯片测试机台方案, 该方案融合了高速仪表框架, 装配有基于直接射频和数字变频的射频功能板卡、基于底层 FPGA 的供电与测量板卡和射频通道切换板卡, 并拥有基于开放软件的测试开发生态环境。充分覆盖当前和下一代射频芯片的测试要求, 实现了该领域测试设备的国产化, 为国内射频技术的发展提供了具备自主知识产权的解决方案, 实现了产业赋能, 是新质生产力的典型代表。基于上述技术实现的机台覆盖了 10MHz-110GHz 频率, 矢量调制带宽最高到 400MHz, 测试设备所配置的各类信号板卡具有多通道输出、多芯片并行测试能力, 提高了生产测试效率, 降低了单颗芯片的测试成本。

关键词: 射频芯片测试机台, MXI, 直接射频, 数字变频, 测试开发生态



个人简介：

南建军，西安交通大学探测与制导专业本科，清华大学“创新领军”工程博士集成电路方向。现任铭剑电子董事长、首席技术官，中国兵工学会先进个人、工信部电子信息口人才库专家，中国电子学会会员，中国电子学会计量分会专委。15 年以上射频测试设备开发、应用经验。



短波长光电子器件的高速测试：从蓝光激光器到光子集成

王军飞 胡俊辉 贾浩林 关超文 沈超*

复旦大学 信息科学与工程学院 电磁波信息科学教育部重点实验室 上海 邮编 200433

*Email: chaoshen@fudan.edu.cn

摘要：短波长光电子器件在可见光通信、水下无线光通信、智能显示、光电感知等领域有广阔的应用前景。其中 GaN 基半导体激光器是一类重要的光电子器件[1,2]。本报告讨论了面向光通信用光电子器件和集成芯片的高速测试技术，报告了蓝光高速激光器的电学特性、光学特性、热学特性、相对强度噪声特性、调制特性与通信速率特性等的测试分析。电学特性包括了电流-电压特性，电容-电压特性，以及输出光功率-电流特性。激光器的寄生串联电阻与寄生并联电容对于其低频段响应影响有重要影响。光学特性包括了芯片输出光谱，激光器的横向光场分布等。热学特性包括了激光器的结温特性，激光器的热阻等。激光器的结温与热阻对于激光器的可靠性与调制特性有重要影响。激光器的相对强度噪声影响了其通信测试中的信噪比，对于其通信性能有重要影响。激光器的调制带宽测试，直接反应了激光器的调制带宽，其直接影响到通信测试中的可利用带宽。

关键词：半导体激光器，氮化镓，光子集成，发光二极管

参考文献：

- [1] Wang, J.; Hu, J.; Guan, C.; Hou, Y.; Xu, Z.; Sun, L.; Wang, Y.; Zhou, Y.; Ooi, B.S.; Shi, J. High-speed GaN-based laser diode with modulation bandwidth exceeding 5 GHz for 20 Gbps visible light communication. *Photon. Res.* 2024, 12(6), 1186. <https://doi.org/10.1364/PRJ.516829>.
- [2] Hu, J., Guo, Z., Shi, J., Jiang, X., Chen, Q., Chen, H., He, Z., Song, Q., Xiao, S., Yu, S., Chi, N., and Shen, C., "A Metasurface-Based Full-Color Circular Auto-Focusing Airy Beam Transmitter for Stable High-Speed Underwater Wireless Optical Communications," *Nature Communications*, 2024, 15, 2944.

个人简介：

沈超，复旦大学信息学院研究员、博士生导师。主要研究方向为宽禁带半导体器件设计与工艺，光电子器件与光子集成芯片，半导体激光器，高性能超辐射发光芯片与可见光通信技术。发表学术论文 100 余篇，引用次数超过 3400 次，合著有《可见光通信新型发光器件原理与应用》。兼任 IEEE Photonics Journal 副主编，IEEE Electron Device Society Young Professional Committee Member 等。



大容量先进 FPGA 系统芯片测试方法探讨

来金梅*

复旦大学 微电子学院 集成电路与系统全国重点实验室 上海 邮编 200433

*Email: jmlai@fudan.edu.cn

摘要: 大容量先进 FPGA 系统芯片内含各种丰富的异质可编程资源, 按需重构灵活实现各种定制逻辑功能, 是电子信息系统里不可或缺的高端通用核心电子元器件之一, 对我国科技水平的全面提高具有非常重要的推动作用。芯片、软件、测试是其三大核心技术, 其中的测试是综合其芯片、软件基础上的一项高科技软硬协同技术。

FPGA 测试包括各测试项的位流生成、测试下载、结果分析, 其过程繁琐复杂又费时。大容量先进 FPGA 系统芯片可编程资源更丰富、器件容量规模更庞大, 芯片性能更卓越, 带来测试项目更繁多、位流生成更悠长、测试下载更缓慢, 测试任务更繁重复杂而艰难。高效鉴别出合格的 FPGA 器件, 繁多复杂测试项的合理非冗余分割、完整可编程资源的结构抽象建模与存储、高效测试配置的智能自动化生成是关键。本报告将探讨可信、安全、强劲、可靠的大容量先进 FPGA 系统芯片测试方法, 乃至测试标准、ATE 测试设备。

关键词: 大容量先进 FPGA 器件, FPGA 测试方法, FPGA 测试标准, FPGA 测试设备

个人简介:

来金梅, 复旦大学微电子学院教授; 中国材料与试验团体标准委员会科学实验基础通用技术/试验装置技术委员会委员; 中国电工技术学会标准工作委员会委员。



高精度白光干涉三维形貌与薄膜测量技术

徐黎轩^{1,2} 陈成¹ 苏榕^{1*}

¹中国科学院上海光学精密机械研究所高端光电装备部 上海 邮编 201800

²上海大学微电子学院, 上海, 邮编 201800

*Email: surong@siom.ac.cn

摘要: 在逻辑芯片和存储芯片制造工艺中, 薄膜工艺的复杂性与多样性极大程度影响了半导体器件的性能和良率, 因此, 精准监控薄膜工艺是半导体器件制备中必不可少的一环。扫描白光干涉技术是目前最精确的表面形貌测量技术之一, 具有测试效率高、非接触式测量的特点。团队基于自主研发的白光干涉仪, 实现了 100 nm-1000 nm 厚度薄膜的全显微视场纳米级精度测量, 测试结果与椭偏仪的结果具有良好的一致性。

关键词: 集成电路制造, 白光干涉技术, 形貌测量, 薄膜测量

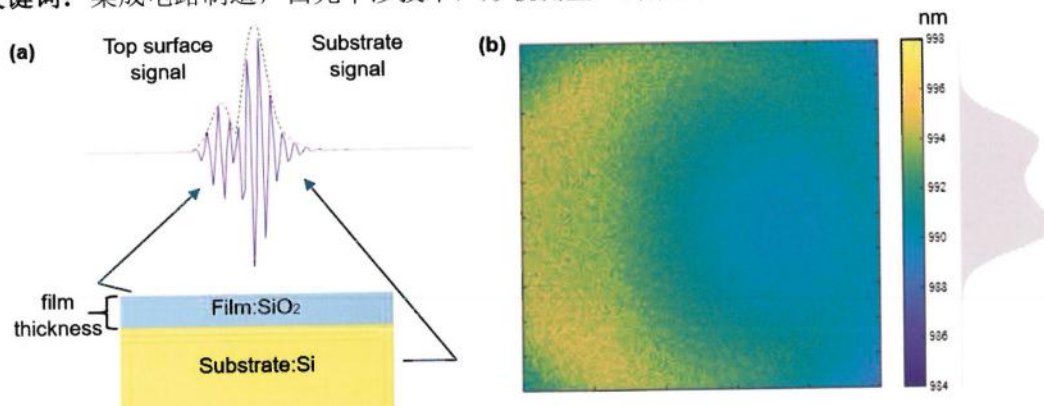


图1 扫描白光干涉术测薄膜厚度的原理与实验结果

参考文献:

- [1] 苏榕*, 刘嘉宇, 乔潇悦, 简振雄, 张政, 温荣贤, 陈成, 任明俊, 和 朱利民, “用于表面形貌测量的扫描白光干涉技术进展”, *激光与光电子学进展* 60, 0312005 (2023).
- [2] Su R. Coherence scanning interferometry [M]// Leach R K. *Advances in optical surface texture metrology*. Bristol: IOP Publishing, 2020: 2-12-27.

个人简介:

苏榕, 中国科学院上海光学精密机械研究所研究员、博导, 装备部副部长, 精密光学装备研发中心主任, 高层次海外引进人才; 获瑞典皇家理工大学光子学硕士和光学测量学博士学位, 曾就职于英国国家物理实验室和英国诺丁汉大学; 长期致力于先进成像与纳米计量仪器与技术研究, 发表领域内代表性期刊论文近 50 篇; 主持多项国家和省部级重点研发项目; 主持 Light 先进光学制造产业大会, 担任《Light: Advanced Manufacturing》等期刊编委, 以及全国产品几何技术规范标委会 (TC240)、中国仪器仪表学会集成电路测量与仪器分会/显微分会、中国计量测试学会计量仪器专业委员会等机构委员。



椭圆偏振光谱技术在半导体工艺测量中的应用

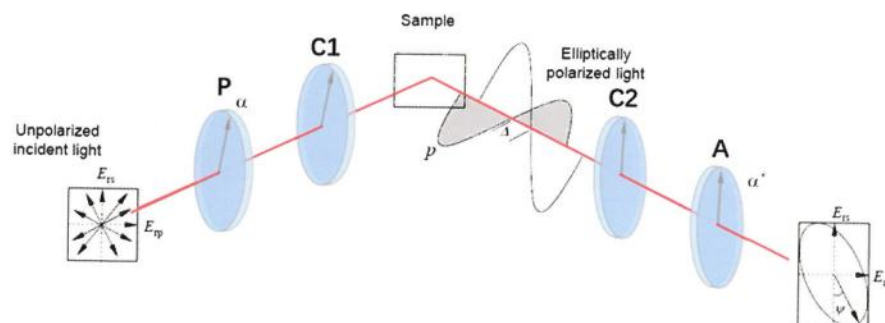
庄源* 杨峰 焦猛江

睿励科学仪器有限公司，上海，邮编 201203

*Email: zhuangyuan@rsicsh.com

摘要：半导体光学量测设备是晶圆生产制造中良率检测的重要工具。椭圆偏振光谱技术是半导体光学量测中的一项关键技术，广泛应用于晶圆膜层厚度及光学关键尺寸测量，在半导体工艺检测中发挥着重要作用。随着半导体工艺制程的不断发展，对晶圆结构的测量精度也提出了更高的要求。在此背景下，旋转检偏器、旋转补偿器及对偶旋转补偿器等不同类型的椭圆偏振仪相继应用于半导体工艺测量，以满足先进半导体工艺实时在线监控的需要。本报告主要介绍椭圆偏振光谱技术的主要原理，对偶旋转补偿器类型椭圆偏振仪在光学量测中的应用，以及适用于逻辑器件、存储器件及三维封装中不同工艺的光学量测技术。

关键词：光学量测，椭圆偏振仪，对偶旋转补偿器，薄膜厚度，光学关键尺寸



参考文献：

- [1] Fujiwara Hiroyuki, Spectroscopic Ellipsometry: Principles and Applications. 2007.
- [2] Thomas Schweizer, Handbook of Ellipsometry (Harland G. Tompkins, Eugene A. Irene, Eds.)[J]. Applied Rheology, 2005, 15(1):10-11.

个人简介：

庄源，睿励科学仪器（上海）有限公司光学量测产品总监，中国科学院数学博士。曾在科磊半导体公司工作多年，历任算法工程师，资深算法工程师，算法团队技术主管，专注于先进光学量测机台研发。2021 年加入睿励公司，负责 TFX4000 型号光学量测机台研发工作，该型号机台成功应用于国内各大晶圆厂生产线，性能匹配国外龙头企业产品。



面向复杂纳米薄膜在线测量的后焦面椭偏仪研究进展

王健*

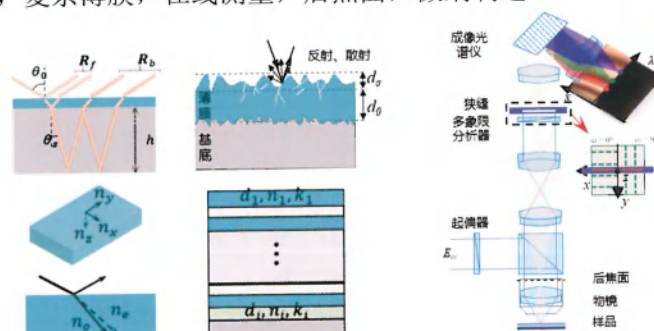
华中科技大学 机械科学与工程学院 智能制造技术与装备全国重点实验室

武汉 邮编 430074

*Email: jianwang@hud.ac.uk

摘要: 薄膜制备是 3D-NAND 晶圆、太阳能电池、LED 显示面板等半导体产品制造的关键环节之一。使用反射计、椭偏仪等手段对薄膜厚度、复折射率等参数进行过程在线监测对于提升制造质量与效率至关重要。然而, 这些方法对于薄膜振动、超薄叠层、各向异性、非相干基底反射、表界面粗糙及亚表面损伤等因素可能产生显著测量偏振乃至失效。为此, 我们开发了一种基于高数值孔径物镜后焦面成像的椭偏测量技术 (BFPE)。由于后焦面方位角的并行偏振调制效应, BFPE 无需运动元件, 仅通过单帧光谱快照分析即可获得样品的偏振响应特征, 如椭偏参数 Ψ/Δ 、穆勒矩阵元素 N/C/S 等。为保证测量结果的准确, 复杂薄膜的光学建模方法与测量系统的全穆勒矩阵标定方法也进行了相应的开发。实验结果表明, BFPE 可用于多种复杂纳米薄膜的动态表征, 并兼具亚纳米测量灵敏度。该方法在下一代原子级制造可能会具有重要作用。

关键词: 椭偏仪, 复杂薄膜, 在线测量, 后焦面, 微纳制造



参考文献:

- [1] Lihua Peng, Jian Wang*, Feng Gao, Jun Zhang, Wenzheng Zhai, Liping Zhou*, Xiangqian Jiang, Incoherent partial superposition modelling for single-shot angle-resolved ellipsometry measurement of thin films on transparent substrates, Optics Express, 32, 15774-15787, 2024
- [2] Jian Wang, Lihua Peng, Fuqi Zhai, Dawei Tang*, Feng Gao, Xiangchao Zhang*, Rong Chen, Liping Zhou*, Xiangqian Jiang, Polarized angle-resolved spectral reflectometry for real-time ultra-thin film measurement, Optics Express, 31, 6552-6565, 2023

个人简介:

王健, 华中科技大学机械学院副研究员, 从事复杂表、界面的精密视觉检测与光学计量。先后于 2008 年在中国科学技术大学精密机械与仪器系获学士学位, 2013 年在英国哈德斯菲尔德大学 EPSRC 先进制造中心获博士学位, 后在英国国家物理实验室纳米计量实验室开展博士后研究。2015 年进入华中科技大学。迄今主持国家自然科学基金 2 项, 参与国家自然科学基金重点项目与湖北省技术创新专项重大专项各 1 项。



宽禁带半导体衬底损伤层及外延膜椭偏测量方法及仪器

崔长彩*

中国计量大学 计量测试与仪器学院 杭州 邮编 310018

*Email: cuichc@cjl.u.edu.cn

摘要: 随着集成电路、人工智能等产业的蓬勃发展,以 SiC、GaN 等为代表的高性能宽禁带半导体材料方兴未艾,是新一代产业和未来产业的重要支撑。其产业链主要包括单晶制备、外延层制备和芯片生产三大环节,其中衬底和外延处在产业链的上游,占绝大部分成本。为了满足整个产业链高质量、低成本的发展需求,高质量的晶圆衬底和外延薄膜制备是核心技术之一。其中,衬底表面质量要求达到原子级光滑、无亚表面损伤的水平。金刚石和碳化硅等宽禁带半导体材料由于其硬度大,加工难度远远高于硅材料。目前工艺虽然可实现表面超光滑(表面粗糙度 $Sa < 1\text{ nm}$)、无损伤加工,但是难免会在表面留下非晶损伤层。同时高性能器件对外延薄膜也提出高质量要求。衬底和薄膜质量评价及工艺优化,离不开高精度的测量和表征方法与仪器。

针对衬底损伤层和外延膜的高质量测量需求,提出了基于椭偏光谱的测量方法和仪器。衬底损伤层具有几个纳米的极薄厚度,但是厚度相对均匀、表面光滑,基本满足椭偏光谱的测量和分析条件。外延薄膜则涉及从纳米到微米尺度,亦满足椭偏光谱的测量和分析条件。所提方案,作为无损高精度测量可满足全流程工艺监控的需要。实现了 SiC、GaN 和金刚石等宽禁带衬底亚表面非晶损伤层和光学特性的表征,以及类金刚石薄膜、 SnO_2 薄膜和钙钛矿薄膜等薄膜厚度和光学特性的表征。

为了进一步提高测量精度,满足衬底和外延膜的个性化测量需求,构建了基于菲涅尔棱镜的高灵敏度椭偏测量系统,提高了仪器的灵敏度,实现了微弱光学各向异性的测量和表征。研制了垂直扫描白光干涉谱辅助椭偏测量系统,丰富了仪器的测量能力,实现了衬底表面形貌和亚表面非晶损伤层无损、高精度、同位测量和表征。为了研究宽禁带半导体材料高温性能,提出了一种多光谱原位增强椭偏测量系统,实现晶圆几何、光电等属性参数及其温度依赖性的高精度原位共基准测量。

关键词: 半导体衬底, 损伤层, 外延膜, 椭偏分析, 仪器研制

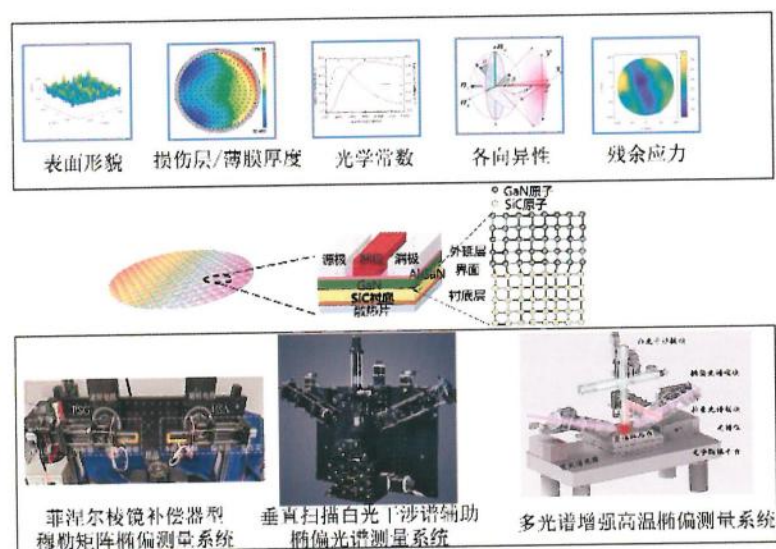


图1 半导体衬底和外延膜测量参数与测量系统

参考文献:

- [1] Z. Q. Li, C. C. Cui*, O. Arteaga*, S. B. Bian, H. Tong, J. Lu, X. P. Xu. "Full-field measurement of residual stress in single-crystal diamond substrates based on Mueller matrix microscopy", *Measurement* 234, 114790 (2024).
- [2] 李子清, 崔长彩*, 卞素标, 李慧慧, 陆静, Arteaga Oriol, 徐西鹏. "单晶金刚石衬底超精密加工损伤层无损测量与表征", *机械工程学报* 60, 239-249 (2024).
- [3] 崔长彩*, 李慧慧, 陈希, 周志豪, 胡中伟. "蓝宝石衬底损伤层厚度和折射率的椭圆偏测量", *仪器仪表学报* 44, 37-43 (2023).
- [4] S. B. Bian, X. P. Xu, C. C. Cui *, O. Arteaga *. "Calibration of achromatic Fresnel rhombs with an elliptical retarder model in Mueller matrix ellipsometer", *Thin Solid Film*, 763, 1-6 (2022).
- [5] Z. Q. Li, C. C. Cui *, X. L. Zhou, S. B. Bian, O. Arteaga, X. P. Xu. "Characterization of amorphous carbon films from 5 nm to 200 nm on single-side polished a-plane sapphire substrates by spectroscopic ellipsometry", *Frontiers in Physics* 968101, 1-10 (2022).
- [6] W. P. Yu, C. C. Cui *, H. H. Li, S. B. Bian and X. Chen. "FDTD-Based Study on Equivalent Medium Approximation Model of Surface Roughness for Thin Films Characterization Using Spectroscopic Ellipsometry", *Photonics* 621, 1-15 (2022).
- [7] H. H. Li, C. C. Cui *, J. Lu, Z. W. Hu, W. Q. Lin, S. B. Bian, X. P. Xu. "Mueller matrix ellipsometric characterization of nanoscale subsurface damage of 4H-SiC wafers: from Grinding to CMP", *Frontiers in Physics* 820637, 1-10 (2022).
- [8] S. B. Bian, C. C. Cui *, O. Arteaga *. "Mueller matrix ellipsometer based on discrete-angle rotating Fresnel rhomb compensators", *Applied Optics* 60, 4964-4971 (2021).
- [9] H. H. Li, C. C. Cui *, S. B. Bian, J. Lu, X. P. Xu, O. Arteaga. "Double-sided and single-sided polished 6H-SiC wafers with subsurface damage layer studied by Mueller matrix ellipsometry", *Journal of Applied Physics* 128, 235304 (2020).

- [10] H. H. Li, **C. C. Cui** *, X. P. Xu, S. B. Bian, C. Ngaojampa, P. Ruankham, A. P. Jaroenjittchai. "A review of characterization of perovskite film in solar cells by spectroscopic ellipsometry", *Solar Energy* 212, 48-61 (2020).
- [11] H. H. Li, **C. C. Cui** *, S. B. Bian, J. Lu, X. P. Xu, O. Arteaga. "Model-free determination of the birefringence and dichroism in c-cut crystals from transmission ellipsometry measurements", *Applied Optics* 59, 2192-2200 (2020).
- [12] **崔长彩**,李子清,陆静,胡中伟,徐西鹏,黄辉,黄国钦. 一种金刚石薄膜厚度及光学常数检测方法, 日本专利, 授权专利号: 7468959 , 授权公告日 2024-04-08.
- [13] **崔长彩**,李子清,陆静,胡中伟,徐西鹏,黄辉,黄国钦. 一种单晶金刚石衬底光学常数测量方法, 授权专利号: ZL202011296318.0, 授权公告日: 2023-06-20.
- [14] **崔长彩**,李子清,卞素标,陆静,胡中伟,徐西鹏,黄辉,黄国钦. 垂直扫描白光干涉谱辅助穆勒矩阵椭偏测量系统及方法, 授权专利号:ZL 2022 1 0374730.2, 授权公告日 2023-05-05.
- [15] **崔长彩**,李子清,陆静,胡中伟,徐西鹏,黄辉,黄国钦. 一种多层膜厚度及光学特性检测方法, 授权专利号:ZL202011296374.4, 授权公告日 2022-11-01.
- [16] **崔长彩**,李子清,陆静,胡中伟,徐西鹏,黄辉,黄国钦. 一种金刚石薄膜厚度及光学常数检测方法, 授权专利号:ZL202011296380.X, 授权公告日 2022-07-29.
- [17] **崔长彩**, 杨栖凤, 陆静, 胡中伟, 黄辉, 徐西鹏. 一种抛光碳化硅衬底变质层厚度和光学常数椭偏检测方法, 授权专利号 ZL201910086651.X, 授权公告日 2021-12-31.

个人简介:

崔长彩, 女, 山东青岛人, 中国计量大学计量测试与仪器学院教授, 博士生导师。2003 年于哈尔滨工业大学, 仪器科学与技术学科博士毕业。主要研究方向半导体材料几何特征及性能测量方法与表征、超硬磨料磨具几何形貌及磨损测量和表征、现代智能优化算法原理及应用等。主持参与科研项目累计 20 余项。发表论文 170 余篇, 授权发明专利 60 余项, 软件著作权 10 余项, 参与英文专著编写 1 部, 培养博士硕士研究生 40 余人。



基于低相干干涉技术的半导体光学检测方法

郭彤^{1*} 袁琳² 祝敏豪¹ 郭心远¹ 万一夫¹

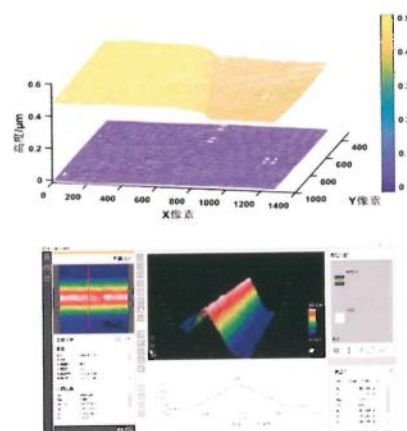
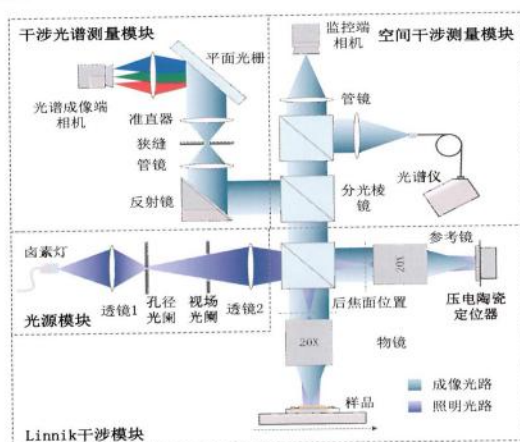
¹天津大学精密测试技术及仪器全国重点实验室 天津 邮编 300072

²天津商业大学机械工程学院 天津 邮编 300134

*Email: guotong@tju.edu.cn

摘要: 干涉技术具有高精度、快速、非接触及无损的优点,被广泛应用于半导体检测中,可以实现加工过程的控制,建立表面特征与功能间的联系。论文介绍了几种不同的低相干干涉技术在微结构/薄膜表面三维形貌、透明介质厚度与光学属性、晶圆厚度等测量中的应用,重点介绍其测量系统组成与相关信号处理方法,测量精度达到纳米量级。

关键词: 干涉术, 低相干, 三维表面形貌, 薄膜, 干涉光谱



参考文献:

- [1] Lin Yuan, Tong Guo*, Dawei Tang, Haitao Liu, Xinyuan Guo, Simultaneous film thickness and refractive index measurement using a constrained fitting method in white light spectral interferometer, *Optics Express*, 2022, 30(1): 349-363
- [2] Tong Guo*, Guanhua Zhao, Dawei Tang, Qianwen Weng, Changbin Sun, Feng Gao, Xiangqian Jiang, High-accuracy simultaneous measurement of surface profile and film thickness using line-field white-light dispersive interferometer, *Optics and Lasers in Engineering*, 2021, 137: 106388

个人简介:

郭彤, 天津大学教授, 博士生导师, ISO TC213/WG16 委员, SAC/TC240 委员, 中国计量测试学会几何量专业委员会委员。研究方向为微纳米测试系统与方法。获得教育部技术发明一等奖和科技进步一等奖各 1 项。已完成和正在承担的国家及省部级科研项目 20 余项。在国内外重要学术期刊和会议上发表学术论文 150 余篇, 获得授权发明专利 10 余项, 制定国家标准 8 项。



钙钛矿光伏器件的界面稳定策略及产业应用研究

李培舟^{1,2} 董化^{1,2*}

¹ 西安交通大学 电子学院 陕西省信息光子技术重点实验室 西安 710049

² 西安天交新能源有限公司, 西安, 邮编 710049

*Email: donghuaxjtu@mail.xjtu.edu.cn

摘要: 钙钛矿太阳能电池, 作为一种新型的太阳能电池, 目前已取得令人瞩目的发展。钙钛矿太阳能电池迅猛发展得益于钙钛矿材料优异的光电特性, 例如: 高光吸收系数、可调的直接带隙、超长载流子寿命以及双极传输特性等。目前, 钙钛矿太阳能电池的实验室认证光电效率已达 26.1%, 但是距离其理论上最大光电转换效率还有差距, 有着极大的发展潜力。要制备光电转换效率更高的钙钛矿太阳能电池, 需要抑制电池内部的非辐射复合。而非辐射复合往往由钙钛矿薄膜的表面和界面缺陷引起, 因此需要采取策略降低钙钛矿电池内部的界面缺陷。团队对钙钛矿电池中钙钛矿薄膜的上界面和下界面缺陷钝化策略进行了探索。对于钙钛矿薄膜的下界面, 提出了采用铷相钙钛矿钝化钙钛矿薄膜下表面晶界缺陷; 对于钙钛矿薄膜的上界面, 提出了采用低维类钙钛矿以及纯相低维钙钛矿钝化钙钛矿薄膜上表面缺陷。基于相关稳定性技术, 可以有效解决大面积组件放大应用中的关键产业化技术瓶颈问题。

关键词: 钙钛矿太阳能电池, 界面, 稳定性, 大面积组件

参考文献:

[1] R. Y. Xu, Hua. Dong,* et al.; Adv. Mater. 2023, 2308039.

[2] J. B. Chen, Hua. Dong,* et al.; Sci. Adv. 8, eabk2722 (2022).

个人简介:

董化, 西安交通大学电子科学与工程学院研究员。西安天交新能源有限公司总经理。中国光学学会全国光学青年学术论坛副主席。陕西省信息光子技术重点实验室副主任。主持国家自然科学基金项目、陕西省重点产业链项目、华为公司战略合作项目等。在 *Science Advances*、*Advanced Materials* 等期刊发表论文多篇。研究方向为钙钛矿半导体光电技术在“光-电”转化过程中的理论机制、关键策略与产业应用。



高空间分辨光电表征技术及其应用

王鹏*

中国科学院上海技术物理研究所 上海 邮编 200083

*Email: w_peng@mail.sitp.ac.cn

摘要: 红外探测器是红外遥感、气象观测、深空探测和夜视侦察的眼睛，是远距离探测本领的关键元部件。研制高性能的红外探测器是国家在多个领域的迫切需求。目前，我国红外探测器正处在跨越发展过程中，它的标志性特征是红外探测器具有：1) 长波长红外探测能力，即更低的暗电流；2) 高分辨探测能力，即小光敏元大面阵；3) 高工作温度，基于微纳结构实现室温探测能力。要实现上述红外探测能力，必须从机理上澄清红外探测器单元和阵列的微区特性。本次报告将围绕高性能红外探测器技术的发展需求，介绍具有空间分辨能力的光电表征技术在红外探测器研发中的应用。

关键词: 红外探测器，光电表征，暗电流，焦平面阵列，低维半导体

个人简介:

王鹏，博士，博士生导师，青年研究员，现工作于中国科学院上海技术物理研究所红外物理国家重点实验室。主要从事红外光电探测器的机理、研制和器件应用研究，近年来以第一、通讯作者在 Nature Communications, Science Advances, Advanced Materials 等期刊发表 SCI 论文 30 余篇。曾获上海市自然科学一等奖，国家优青，中国科学院青促会，中国科协青托工程、上海市扬帆计划、IEEE-ICOCN 青年科学家奖。



新型光电子材料、器件及同步辐射研究

杨迎国^{1,2*}

¹微电子学院, 复旦大学, 上海 201433

²上海同步辐射光源, 中国科学院上海高等研究院, 上海 201204

*Email: yangyingguo@fudan.edu.cn

摘要: 第一部分: 首先介绍我们原位观测钙钛矿光电薄膜的制备、退火处理、湿度及工况(如外载力拉伸)条件下薄膜的退化过程, 探索钙钛矿薄膜的形成机理、降解机制及先进工艺; 其次介绍我们在钙钛矿表界面、埋底界面、梯度晶相的同步辐射 GIWAXS 观测技术及器件应用[1-11]。

第二部分: 首先介绍同步辐射原理、技术及一些典型应用; 其次介绍我们依托复旦大学微电子学院、上海同步辐射光源等大科学平台开展, 率先建立的钙钛矿半导体薄膜和器件制备及先进表征系统, 形成了具有同步光源特色的半导体薄膜表界面微结构、形貌分析方法和在线同步辐射原位研究平台, 在半导体薄膜结晶调控、结晶动力学过程、表界面工程及工况等研究方面取得了系列特色成果及高水平合作研究[1,12]。

第三部分: 总结与展望。

参考文献:

- [1] *Nature*, 2024, 630, 631-635.
- [2] *Acta Phys. Sin.*, 2024, 73(6): 063201; *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2024, 63, e202318754.
- [3] *Advanced Science*, 2024, 202403778; *Adv. Energy Mater.* 2023, 2300168.
- [4] *Adv. Energy Mater.* 2023, 202300661; *Advanced Materials*, 2023, 2305314.
- [5] *Science Advances*, 2022, 8: 1-9; *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, 62, e202217173.
- [6] *Energy & Environmental Science*, 2022, 15, 3321-3330.
- [7] *Energy & Environmental Science*, 2021, 6: 3447-3454 (Cover)
- [8] *npj Flexible Electronics* 2022, 6: 47; *Nano Research*, 2022, 15, 9359; *JPCL.*, 2022, 3377.
- [9] *Nature Communications*, 2021, 12(6603): 1-11.
- [10] *Advanced Materials*, 2020, 1906347; *Advanced Materials*, 2019, 1901519.
- [11] *ACS Energy Letters*, 2020, 5, 1, 8-16; *ACS Energy Letters*, 2020, 5, 1923.
- [12] *Nature* 2024, 10.1038/s41586-024-07531-9; *Nature* 2023, 493; *Nature* 2022, 612, 679; *Nature* 2021, 592, 381; *Science* 2023, 382, 1399; *Science* 2020, 370, 74; *Science* 2019, 365, 591.

个人简介:

杨迎国，博士生导师，复旦大学、中国科学院上海高等研究院(上海同步辐射光源)双聘研究员。入选国际先进材料协会会士(fellow of IAAM)、中科院青促会，荣获国际先进材料协会科学家奖章(IAAM Scientist Medal)担任 eScience 等期刊编委等。主要从事新型光电材料与器件的制备及其同步辐射研究，率先发展了钙钛矿光电材料晶体结构与器件光电性能关系的同步辐射研究方法，研制出多套国际先进同步辐射衍射和散射原位成膜/工况观测平台，解决了钙钛矿等光电子薄膜原位制备和实际工作中的微结构形貌与器件性能构效关系的动态实时观测难题。相关成果发表在 Nature、Science、Advanced Materials、EES 等期刊 200 余篇，h 因子 55，引用>1.3 万次。入选全球前 2%顶尖科学家榜单(2022-2023)。



晶体调节和表面界面修饰实现高稳定无铅太阳能电池

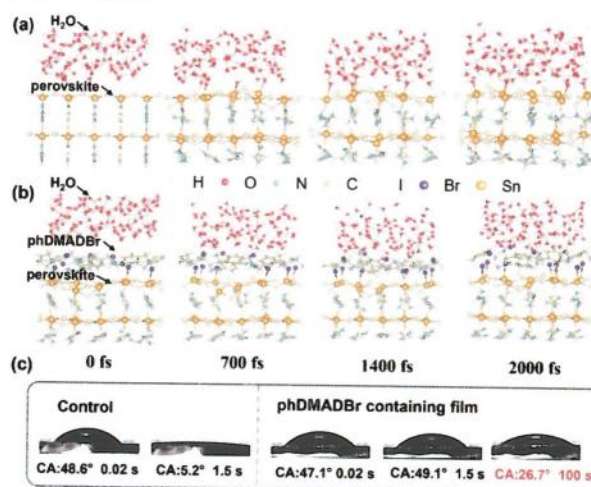
李萌*

河南大学 纳米科学与材料工程学院 开封 邮编 475000

*Email: mengli@henu.edu.cn

摘要: 卤化锡钙钛矿是铅钙钛矿的一个有吸引力的替代品。然而, 由于二价锡/四价锡的氧化还原电位较低, 特别是在氧气和水存在的情况下, 四价锡在表面层的积累将对器件的性能和稳定性产生负面影响。为此, 我们引入了一些功能材料(非富勒烯 n 型半导体)或双氨基卤化物盐(1,4-苯基二甲基二溴二胺)来重建钙钛矿的上表面和晶体结构, 获得了稳定性和光电性能良好的锡基钙钛矿材料和器件。这些发现提出了提高锡基钙钛矿器件工作稳定性的新方法, 为推进无铅光电应用提供了策略。

关键词: 钙钛矿, 稳定性, 锡基



参考文献:

- [1] F. Yang, R. Zhu*, Z. Zhang, Z. Su*, W. Zuo, B. He, M. H. Aldamasy, Y. Jia, G. Li*, X. Gao, Z. Li, M. Saliba, A. Abate, and M. Li*, "High-Stable Lead-Free Solar Cells Achieved by Surface Reconstruction of Quasi-2D Tin-Based Perovskites", *Advanced Materials*, 36, 2308655 (2024).
- [2] Z. Zhang, Z. Su, G. Li, J. Li, M. H. Aldamasy, J. Wu, C. Wang, Z. Li*, X. Gao*, M. Li*, and A. Abate, "Improved Air Stability of Tin Halide Perovskite Solar Cells by an N-Type Active Moisture Barrier", *Advanced Functional Materials*, 34, 2306458 (2024).

个人简介:

李萌, 2018年7月获苏州大学博士学位, 师从廖良生、王照奎教授, 主要研究方向为半导体光伏器件。2018年10月至2021年9月在柏林亥姆霍兹材料与能源中心(HZB)和中国开展博士后研究, 师从 Antonio Abate 和李永舫教授。目前, 他是河南大学纳米科学与材料工程学院独立PI。主要研究方向为无毒光伏材料及器件应用、大面积器件及模块稳定性研究。



多结太阳能电池的绝对值电致发光检测分析技术研究

陈少强^{1,2*} 杨盼盼^{1,2} 王酉杨³

¹ 华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室 上海 邮编 200241

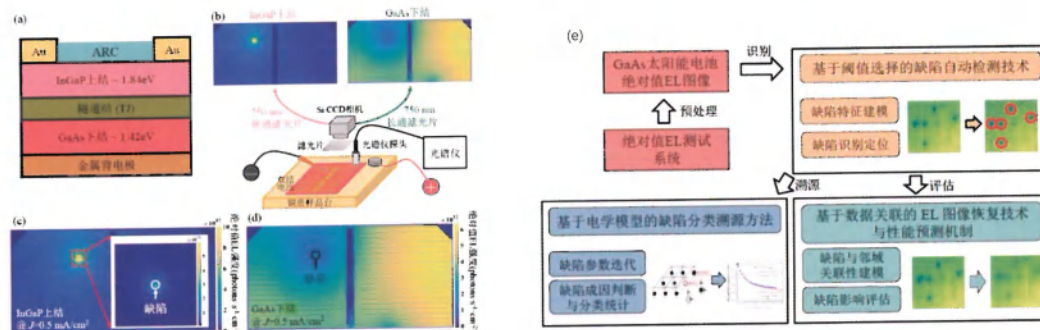
² 华东师范大学 集成电路学院 上海 邮编 200241

³ 南京理工大学 集成电路学院

*Email: sqchen@ee.ecnu.edu.cn

摘要: 绝对值电致发光 (Electroluminescence, EL) 发光谱和成像技术是一种定量获取太阳能电池辐射复合强度空间分布的分析技术, 被广泛应用于太阳能电池的性能分析以及缺陷的可视化研究。利用该技术研究 GaAs 多结太阳能电池的缺陷诱导电流耦合机制, 构建了包含缺陷的多结电池载流子平衡模型和三维等效电学模型, 揭示了缺陷引起的局部载流子产生和损耗现象 [1]。通过对 GaAs 多结太阳能电池进行长期的绝对值 EL 跟踪监测, 定量评估了缺陷对 EL 强度分布的影响, 并分析了缺陷随时间老化的过程。结果显示, GaAs 多结电池在存放 26 个月后转换效率降至初始效率的 97.91%, 造成该现象的主要原因是非辐射复合损失 [2]。最后, 提出一套 GaAs 太阳能电池缺陷自动化诊断方案。通过阈值选择技术识别缺陷位置, 基于电学模型迭代拟合缺陷参数, 实现缺陷分类溯源, 并通过数据关联技术恢复无缺陷状态下的 EL 强度分布, 进一步评估缺陷对电池性能的影响。实验结果表明, 该自动化诊断方案在缺陷定位、分类溯源和影响评估等方面具有显著优势 [3]。

关键词: 绝对值电致发光, 缺陷检测, 多结太阳能电池, 自动化诊断, 转换效率



参考文献:

- [1] Wang Y, Li L, Jia Y, et al. Defect - induced current coupling in multi - junction solar cells revealed by absolute electroluminescence imaging. Prog. Photovoltaics Res. Appl. 2022; 30(12):1410-22. DOI: 10.1002/pip.3601.
- [2] Wang Y, Li L, Hu X, et al. Revealing Sub-Cell Degradation of Multi-Junction Solar Cells by Absolute Electroluminescence Imaging. 49th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. 2022;0468-71. DOI: 10.1109/PVSC48317.2022.9938663.
- [3] Wang Y, Li L, Sun Y, et al. Adaptive automatic solar cell defect detection and classification based on absolute electroluminescence imaging. Energy. 2021; 229. DOI: 10.1016/j.energy.2021.120606.

个人简介:

陈少强，华东师范大学精密光谱国家重点实验室副主任、教授、博士生导师。



低维金属铋基化合物中的谷电子学

梁佳*

复旦大学 材料科学系 上海 邮编 200433

*Email: jialiang@fudan.edu.cn

摘要: 谷电子器件由于具有处理速度快、存储密度高、能耗低、非易失性等优点,在下一代电子器件的信息存储和传递中具有重大发展前景。半金属铋的体相材料制备相对容易,被认为是一类有望发展的谷电子材料,然而由于这些谷的简并度较高,谷极化的载流子在这种情况下难以调控与探测。为了解决以上问题,我们提出在半金属铋基化合物 $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{I}_9$ 中实现谷自由度的调控。这是一种全新的谷材料体系,避免了半金属铋简并度较高问题的同时,突破了传统二维金属硫族化合物仅在单层薄膜中存在谷载流子的束缚,实现了可以在较高温度下对谷载流子进行调控与探测的目的,为推动谷电子学的应用奠定构筑材料和调控机制的重要基础。此外,为了进一步提高半金属铋基化合物 $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{I}_9$ 的谷极化性能,我们利用构建异质结的方式,大幅提升载流子的寿命,有望进一步提升半金属铋基化合物 $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{I}_9$ 在谷电子学中的应用。

关键词: 谷电子学; 二维材料; 异质结薄膜

参考文献:

- [1] J. Liang, Q. Ai, X. Wen, X. Tang, T. Zhai, R. Xu, X. Zhang, Q. Fang, C. Nguyen, Y. Liu, H. Zhu, T. Terlier, G. P. Wiederrecht, P. M. Ajayan, X. Qian, J. Lou,* "Strong interlayer coupling and long-lived interlayer excitons in two-dimensional perovskite derivatives and transition metal dichalcogenides van der Waals heterostructures", *Mater. Today* 74, 77-84 (2024).
- [2] J. Liang, Q. Fang, H. Wang, R. Xu, S. Jia, Y. Guan, Q. Ai, G. Gao, H. Guo, K. Shen, T. Terlier, X. Qian, H. Zhu, J. Lou,* "Perovskite-Derivative Valleytronics", *Adv. Mater.* 2004111, 32 (2020).

个人简介:

梁佳, 复旦大学材料科学系, 青年研究员、博士生导师, 入选国家级和上海市海外高层次人才计划。2010 年和 2015 年分别于东南大学和北京大学获得学士和博士学位。目前研究方向主要涉及低维功能材料谷电子学。迄今以第一作者和通讯作者身份在 JACS, Joule, AM 等知名期刊发表论文 60 余篇。



车电子芯片及质量管控核心技术

汪建强^{1,2} 卢红亮^{2*}

¹苏州国芯科技股份有限公司, 苏州, 邮编 215011

²复旦大学 微电子学院 专用集成电路与系统国家重点实验室 上海 邮编 200433

*Email: honglianglu@fudan.edu.cn

摘要: 随着经济的不断增长, 汽车电子行业市场规模持续增长, 并呈现出强劲的增长势头。汽车电子行业的技术发展与创新是推动市场增长的关键因素。汽车电子是汽车的重要组成部分, 电动化和智能化推动汽车电子占汽车总成本的比例不断提高。汽车电子芯片是其最核心的部件, 随着电子信息技术的持续革新, 汽车电子技术在汽车产业中的应用范围不断扩大, 电气化部件的日益普及和汽车工业的创新推动了汽车电子逐渐取代机械部件, 汽车电子芯片的重要性越发凸显, 汽车电子芯片质量对汽车性能和整体安全性会起到至关重要的作用。汽车电子行业需要高质量高可靠性, 进而对于汽车电子芯片质量可靠性提出非常高的要求, 中国的汽车电子芯片属于起步阶段, 国产化要求越发重要, 我们要从一开始就严抓质量管控, 苏州国芯经过多年的积累, 形成了一系列高质量高可靠性的汽车电子芯片产品, 并建立并逐步完善了一整套汽车电子质量管控流程, 从技术到质量都积累了较多的核心技术。

关键词: 汽车电子, 高可靠性, 芯片, 国产化, 质量管控



个人简介:

汪建强, 男, 1982 年 7 月出生, 中国国籍, 2003 年加入中国共产党, 集成电路硕士学位, 复旦大学微电子学院在读博士研究生, 现任苏州国芯科技股份有限公司核心技术人员、芯片设计中心副主任, 兼任计算与信息安全芯片设计部总监。



射频微波的典型测试与应用

徐宁飞*

上海遥芷科技有限公司 上海市闵行区虹梅南路 4289 号 231

*Email: jim@yaozhi.tech

摘要: 介绍了射频微波测量仪器的应用, 包括矢量网络分析仪、频谱分析仪和探针台的测试功能和方法。探讨了射频微波测试在不同领域的应用, 包括光电器件、太赫兹、无线通信、射频微波芯片、材料测试等领域。

关键词: 射频微波测量, 矢量网络分析仪, 频谱分析仪, 探针台

个人简介:

徐宁飞, 毕业于南京邮电大学, 在校期间系统学习了光电子学与通信技术领域的核心课程。他深入研究了光学原理、激光原理、电路分析基础、通信原理等理论知识, 同时掌握了模拟电子线路、信号与系统、通信电子线路等关键应用技能。在半导体物理、固体电子导论等课程中, 他进一步夯实了电子材料的基础理论。



徐宁飞在光电子学和通信技术领域拥有丰富的实战经验。他擅长将理论知识与实际应用相结合, 解决各种复杂的技术问题。他曾在多个项目中担任核心角色, 参与系统的设计、开发与优化, 并成功将新技术应用于实际产品中, 显著提升了产品的性能和可靠性。

在光电子学领域, 他熟悉光电器件的选型、设计与测试流程, 能够根据实际需求进行定制化开发。在通信技术领域, 他熟练掌握了各种通信协议和标准, 能够高效实现数据的传输与处理。此外, 他还具备跨领域合作的能力, 能够与电子、机械、软件等不同领域的工程师紧密合作, 共同完成项目任务。

徐宁飞工程师凭借丰富的实战经验和扎实的专业技能, 在光电子学与通信技术领域取得了显著的成就。他将继续深耕这一领域, 为推动行业的发展贡献自己的力量。

Investigating the Application of Low Accelerating Voltage 4DSTEM on Semiconductor Failure Analysis

Shaohong Cao*, Lingyi Xu, Changjin Yang, Hao Ma, Yangyang Tian,
Aijun Zhang, Yunchuan Kong, Jeffery Xu and Heng Liao
HiSilicon Technology Co., Ltd., No. 2222 Xinqin Road, Shanghai
*Email: caoshaohong@hisilicon.com

Abstract: Four-dimensional scanning transmission electron microscopy(4DSTEM) is a technique to reconstruct the sample information from a four-dimensional dataset which contains a set of diffraction patterns collected by a pixelated electron detector at each beam scanning position. The application of 4DSTEM mainly aims for 1) lower dose imaging to reduce the electron radiation damage, 2) higher spatial resolution to deconvolve the point spread function [1], 3) multidimensional material information like electric/magnetic field, strain, phase etc. [2] [3]. Low acceleration voltage 4DSTEM has its special advantages of more sensitive electric or magnetic field mapping and low cost [1]. In this abstract, we demonstrate the characterization of the build-in electric field of PN junctions with a low-accelerating-voltage 4DSTEM apparatus developed in house.

Keywords: Low-accelerating-voltage 4DSTEM apparatus, Electric field, PN junction

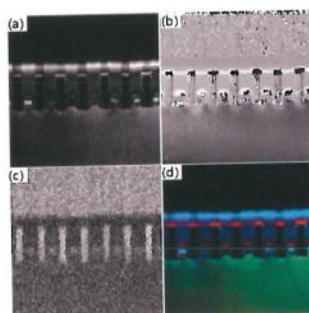


Fig.1 (a) and (b) shows the modulus and phase of the PN junctions reconstructed with differential phase contrast; (c) shows the secondary electron image collected synchronically; (d) shows the color image combined with the modulus (brightness) and phase (color).

References:

- [1] S. Cao, A.M. Maiden and J.M. Rodenburg, "Image feature delocalization in defocused probe electron ptychography," *Ultramicroscopy*, pp. 71-83, 2018.
- [2] Y.Y. Wang, R. Yuan, S. Wang, Z. Wang and Q. Jin, "Internal Electric Field Profiling of 2D P-N Junctions of Semiconductor Devices by 4D STEM and Dual Lens Electron Holography," *Microscopy today*, pp. 24-29, 2022.
- [3] S. Cao, C. Liang, H. Xu, H. Peng, X. Sun, Z. Zhang, K. Pu, A. Zhang, J. Xu and H. Liao, "Combining 4D Scanning Transmission Electron Microscopy and Electron Precession for Mapping of Electric Field at the Nanoscale Over Large Field of View," *International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA)*, Malaysia, 2023.

Biography:

Dr. Lingyi Xu and Changjin Yang are R&D engineers in the 4DSTEM group of Hisilicon Technology Co., Ltd..



Dr. Lingyi Xu



Changjin Yang

表面分析技术在半导体材料器件检测中的应用

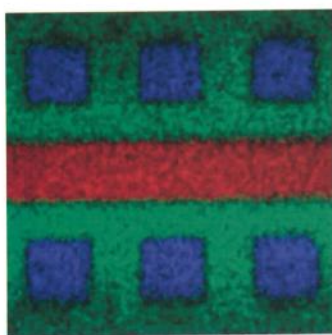
鞠焕鑫*

PHI 南京实验室 爱发科费恩斯（南京）仪器有限公司 南京 邮编 211110

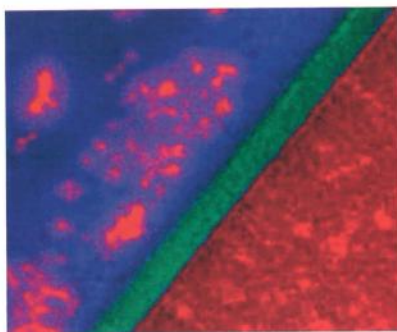
*Email: huanxin_ju@ulvac.com.cn

摘要：表面分析技术已经广泛应用于科学研究以及高科技产业中，不仅有助于深入理解其中基本物理化学性质，表界面特性和电子结构等关键科学问题，为材料性能的优化提供主要的实验依据，而且也为材料/器件产业生产中的新材料研发、质量控制和失效分析提供了强有力的工具。面对半导体产业中的基础研究和技术创新，先进表征分析技术的发展和具有重要的意义。在本报告中，将介绍 X 射线光电电子能谱(XPS)、扫描俄歇电子能谱(AES)和二次离子质谱仪(TOF-SIMS 和 D-SIMS) 分析方法的最新进展以及在半导体材料器件检测中的应用。

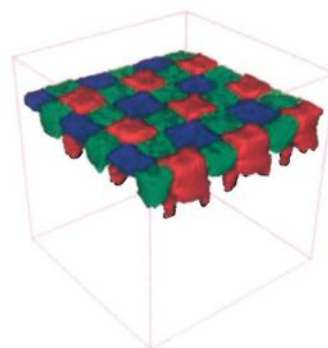
关键词：表面分析技术，表界面，物理化学，新材料研发、质量控制、失效分析



Si Chemical mapping



Surface segregation of Cu



OLED 3D Image

个人简介：

鞠焕鑫博士，现任爱发科费恩斯(南京)仪器有限公司应用科学家，先后于 2009 年和 2014 年在中国科学技术大学获得学士和博士学位，于 2012 年在华盛顿大学（西雅图）David Ginger 教授课题组联合培养。于 2014 年-2018 年，先后在中国科学技术大学国家同步辐射实验室担任博士后和特任副研究员。自 2018 年，加入表面分析仪器公司，担任应用科学家和应用与市场总监。长期致力于软 X 射线谱学方法学研究以及能源材料/器件界面电子性质研究，在学术研究方面与用户合作在 Science, Nature, Nature Photonics, Nature Chemistry, Nature Energy, J. Am. Chem. Soc., Angew. Chem. Int. Ed, Adv. Mater, Adv Funct Mater 等期刊发表学术论文百余篇，主持并参与多个国家级科研项目。

