

宽禁带半导体材料氧化镓中的缺陷检测

赛青林^{1*} 卜予哲^{1,2}

¹激光晶体研究中心 中国科学院上海光学精密机械研究所 上海 邮编 201800

²光电学院 中国科学院大学 北京 邮编 100049

*Email: saiql@siom.ac.cn

摘要: β 相氧化镓材料作为一种新兴的超宽禁带半导体材料, 由于其具有禁带宽度大、击穿场强高等优点, 在高压电力电子有着巨大的应用前景。然而由于氧化镓结构缺陷种类繁多, 孪晶位错等缺陷密度高, 严重制约了其在高功率器件中的应用。氧化镓低对称性的晶体结构特性也大大增大了缺陷研究的复杂性。本次报告将介绍目前氧化镓在缺陷检测识别等方面的最新进展, 针对孪晶、位错等缺陷提出了多种不同方法的检测方案, 总结了氧化镓中主要缺陷的特征及三维分布规律, 并为氧化镓未来检测及应用提出了展望。

关键词: 氧化镓, 孪晶, 位错

个人简介:

赛青林, 副研究员, 2013 年毕业于中国科学院上海光学精密机械研究所, 获得博士学位。主要从事宽禁带半导体氧化镓单晶生长及缺陷研究等工作, 突破氧化镓大尺寸生长、热场设计及 n 型掺杂等关键技术, 发表论文 50 余篇, 申请发明专利 40 余项, 授权 20 项。作为项目负责人承担国家自然科学基金, 科技部重点研发计划课题, 上海市科委科技攻关等项目, 入选 2021 年度中国科学院青促会。



基于半导体纳米材料的拉曼光谱技术

赵冰*

吉林大学超分子结构与材料国家重点实验室, 吉林 长春 130012

*E-mail: zhaob@jlu.edu.cn

摘要: 拉曼光谱作为一种无损探测技术, 已成为许多领域研究的得力助手。表面增强拉曼光谱 (Surface-enhanced Raman Scattering, SERS) 由于其高灵敏度、高选择性获得了广泛的关注[1]。可作为 SERS 基底的材料主要为贵金属纳米材料, 其增强主要来源于贵金属纳米材料的表面等离激元 (Surface Plasmon Resonance, SPRs) 共振。基于半导体纳米材料的 SERS 研究, 不仅解决了活性基底匮乏的限制, 也拓宽了 SERS 技术的应用范围[2]。半导体纳米材料与贵金属纳米材料结合时, 贵金属产生的等离激元能促进光的捕获和转换。SPs 与电荷转移 (CT) 的协同贡献, 使体系具有独特的光电特性和巨大的 SERS 信号增强。金属-半导体异质结构允许 SERS 在 CT 研究中具有多样性和新颖性。半导体纳米材料的结构与带隙调控也会影响异质结构的 SPs。我们将报告 SERS 活性金属-半导体异质结构的构成、增强机理及应用。此外, 还根据最近的研究和其他相关研究, 整理了当前在这一领域开展研究的挑战和机遇。

关键词: SERS, 半导体, 纳米材料, SPRs

参考文献:

- [1] Xiaoxia Han*, Rebeca S. Rodriguez, Christy L. Haynes*, Yukihiro Ozaki*, Bing Zhao*, "Surface-enhanced Raman spectroscopy", *Nature Reviews Methods Primers* 1, 87 (2022).
- [2] Yawen Liu, Hao Ma, Xiao Xia Han* and Bing Zhao*, "Metal-semiconductor heterostructures for surface-enhanced Raman scattering: synergistic contribution of plasmons and charge transfer", *Materials Horizons* 8, 370 (2021).

个人简介:

赵冰, 吉林大学化学学院、超分子结构与材料国家重点实验室教授、博导。《Applied Spectroscopy》、《光谱学与光谱分析》、《光散射学报》等杂志编委。中国光学会分子光谱专业委员会副主任, 中国仪器仪表学会光谱仪器专业委员会副主任。



Perkinelmer 公司创新检测技术助力半导体材料 研发与发展

黄清发*

珀金埃尔默企业管理（上海）有限公司

摘要：目前中国半导体行业迎来的巨大的挑战和发展机遇，尤其是制约着半导体先进制程的半导体材料也进入了新的发展时代。珀金埃尔默在半导体材料（电子化学品，光刻胶，靶材，前驱体，电子特气等）的国产化进程扮演着非常重要的作用。珀金埃尔默为半导体材料的研发提供了重要的分析手段：珀金埃尔默提供 TGA-FTIR-GCMS 有效提供光刻胶产品的逆向研发的分析数据；NexION 系列 ICP-MS 解决先进制程半导体材料中痕量、超痕量（ppt）金属和非金属元素测试，具有很强的耐受基体性能，很好地解决了高基体，易干扰样品和组分的测试，与 VPD 联用可测试 12 寸晶圆表面超痕量（ppt）金属和非金属元素分析，与 LA-GED- ICP-MS 联用直接分析 SiC 晶圆体金属；GDI-ICP-MS 联用技术可直接快速，稳定，安全解决电子特气金属杂质测试。珀金埃尔默等一系列的产品分析方案可以很好地助力国内半导体材料国产化进展。



个人简介：

黄清发，华东理工大学，分析化学专业，硕士研究生，目前就职于珀金埃尔默企业管理（上海）有限公司，担任珀金埃尔默中国半导体行业销售总监。



SIMS 在 Si、SiC 和 GaN 材料分析测试中的应用

The application of SIMS in the analysis of Si, SiC and GaN

姜自旺*

欧陆埃文思材料科技(上海)有限公司 SIMS 经理

SIMS Manager, Eurofins EAG Materials Sciences China

*Email: Ziwanjiang@eurofinseag.com

摘要: 近年来随着半导体微电子与光电子器件的发展,高灵敏度和高分辨率(大约 10 Å)的二次离子质谱分析(SIMS)越来越被广泛重视,它已成为半导体研发和生产部门改进半导体工艺、提高材料生长质量和器件性能的不可缺少的手段。作为一种极其重要的表面分析技术,SIMS 高灵敏度的特性使其可以探测半导体材料生长和工艺中的微量掺杂和极低浓度(ppm~ppb)的杂质污染;高分辨率的特性使其可以将材料在纳米范围内的浓度变化给显现出来。Eurofins EAG 在全球共配置了 50 多台各种类型的 SIMS 设备,在 SIMS 的分析表征方面积累了 40 多年的经验,可以很好地满足各种半导体材料的掺杂和沾污分析测试需求,本报告将结合一些实际案例,着重介绍 SIMS 技术在 Si, GeSi, SOI, SiON, SiC 以及 GaN 等材料表征分析中的应用。

关键词: SIMS, 表面分析, SiC, GaN, Si

个人简介:

姜自旺,欧陆埃文思材料科技(上海)有限公司 SIMS 部门经理,硕士毕业于上海工程技术大学,曾就职于上海超导科技股份有限公司 3 年时间,期间积累了丰富的薄膜生长经验。2016 年 4 月加入 EAG 上海实验室后一直从事 SIMS 技术的应用与研究,至今已有 8 年多的时间,熟悉 SIMS 的理论,在 Si/GeSi/SiC/GaN/MCT 等半导体材料的掺杂,注入和沾污的 SIMS 分析表征方面有着丰富的经验。



一种新型具有超高灵敏度的 MS: ppq 级的核素 MS

姜山^{1,2*} 李军杰³ 兰长林⁴ 孙良亭⁵

¹中国原子能科学研究院 北京 邮编 102413

²启先核(北京)科技有限公司 北京 邮编 100043

³中国核工业地质研究院 北京 邮编 100029

⁴兰州大学 兰州 邮编 730000

⁵中科院近代物理研究所 兰州 邮编 730030

*Email: jiangshanams@126.com

摘要: 众所周知: 传统质谱仪 (MS) 最大的技术瓶颈是只能够测量质荷比(M/q)谱, 而不是真正的质量谱。姜山研究员等在经过 30 多年研究加速器质谱仪(AMS)^[1]基础上, 发明了一种新型 MS, 即超强电离 MS^[2]。突破了传统 MS 只能够测量 M/q 谱的技术瓶颈, 实现了每一个核素的测量。例如, 传统 MS 不能区分 $^{40}\text{Ar}^+$ 、 $^{40}\text{K}^+$ 、 $^{40}\text{Ca}^+$ 以及 $^{39}\text{KH}^+$ 和 $^{28}\text{SiC}^+$ 等分子离子, 见图 1(A)。超强电离 MS 技术就能够区分和测定这三个核素, 同时排除分子离子, 见图 1(B)。所以称为核素质谱仪。其检测下限可以达到 1.00-0.01 ppq 范围, 比目前最好的无机 MS 和同位素 MS 要降低 100-10000 倍。超强电离 MS 能够实现固态、气态和液态样品中从氢到铀所有元素和同位素丰度的高灵敏、高精度的测量。超强电离 MS 技术获得 2022 年全国首届颠覆性技术大赛一等奖, 到 2024 年上半年, 已经获得六项国际发明专利的授权。

关键词: 核素质谱仪, 超强电离技术, 超高灵敏, ppq 级

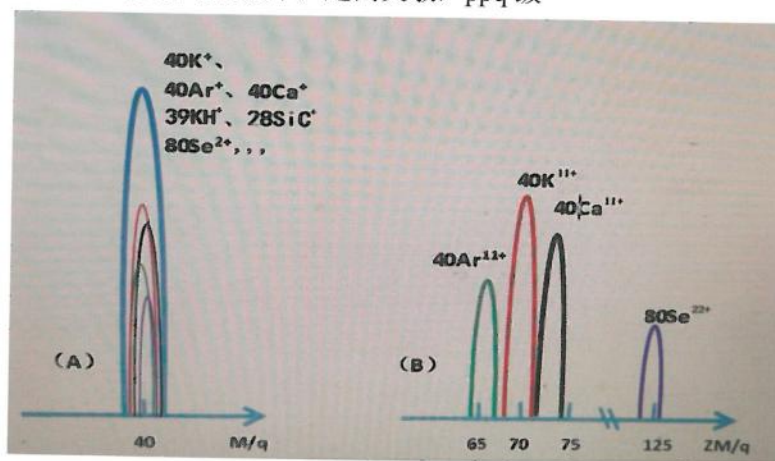


图 1 传统 MS 和超强电离 MS 测量结果比较。(A)为传统质谱仪测量的 M/q 谱, 所有 M/q 相同的离子都落在一起无法区分; (B)为超强电离质谱仪测得的真正质量谱 (ZM/q), 把(A)谱中 M/q 相同的不同核素全部区分开来。

参考文献:

- [1] 姜山、何明编著《加速器质谱仪技术及其应用》, 上海交通大学出版社 2020, ISBN 978-7-313-23028-7。
- [2] 姜山, 我国加速器质谱技术在国际上的地位, 质谱学报。第 42 卷, 第 5 期 (2021)。

个人简介:

姜山，二级研究员，博导。1983年毕业于兰州大学，1988年以来一直从事AMS研究。曾任北京核物理国家实验室常务副主任；国防有突出贡献的中青年专家。主要业绩：1) 建成了我国第一台AMS；2) AMS小型化研究，起到了引领国际的作用；3) 发明了超强电离质谱仪，测量灵敏度提高100倍以上；4) 获全国首届颠覆性技术大赛一



金属杂质检测能力的构建

黄传旭*

安捷伦科技（中国）有限公司

摘要：随着集成电路中半导体元件尺寸的不断缩小，痕量污染物（尤其是金属）对产量的影响越来越大。报告聚焦半导体产业中金属检测需要考虑和关注的问题，以及构建检测能力实践分享，可帮助半导体制造商在生产过程中的每个阶段执行检测并最大程度减少污染。

个人简介：

黄传旭 安捷伦大中华区光谱产品总监

亚像素位移超分辨成像技术与器件

夏豪杰¹ 潘成亮¹ 曹桂平² 张进¹

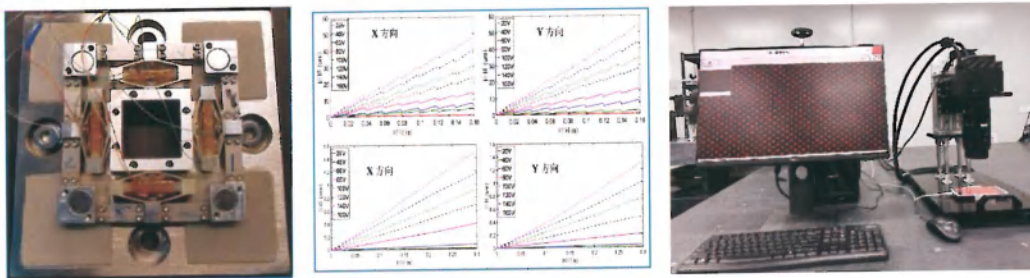
¹合肥工业大学安徽省集成电路制造检测技术与仪器工程研究中心 合肥

²合肥埃科光电科技股份有限公司, 合肥

*Email: hjxia@hfut.edu.cn

摘要: 高像素密度微型显示屏是扩展现实(XR)产业发展的关键器件, 分辨率数千乃至万级PPI的微型显示面板缺陷检测是当前机器视觉技术面临的挑战。为解决高密度显示面板的超分辨图像获取, 提出二维并联压电驱动控制策略和深度学习超分辨重构算法融合的超分辨成像方法, 研究亚像素位移超分辨成像系统中各误差因素对超分辨图像质量的作用机理和误差传递规律, 探索亚像素位移策略与超分辨率重构算法制约关系, 提出位移聚合自监督学习的多图像超分辨重构算法与模型的不确定度量化评价方法, 解决超分辨标签数据缺乏以及模型适应性差问题; 研制超分辨相机突破像素物理尺寸对图像分辨率的制约, 并降低纯图像超分辨算法对应用场景数据的依赖性。

关键词: 超分辨成像, 像素位移, 图像重构, 不确定度量化



参考文献:

- [1] Q. Wu, H.F. Zeng, J. Zhang H.J Xia*, Multi-image hybrid super-resolution reconstruction via interpolation and multi-scale residual networks, Meas. Sci. Technol. 34 ,(2023).
- [2] R.C. Song, H. Wang , H.J. Xia* , J. Cheng, L. Cheng, X. Chen, Uncertainty Quantification for Deep Learning-Based Remote Photoplethysmography, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 72, 5027812,(2023).

个人简介:

夏豪杰, 博士, 教授, 博士生导师。2006年博士毕业任教于合肥工业大学仪器科学与光电工程学院, 其中2015年在德国联邦物理研究院(PTB)访问学者, 安徽省集成电路制造检测技术与仪器工程研究中心主任, 中国仪器仪表学会理事、中国仪器仪表学会机械量测试仪器分会常务理事、中国光学教育委员会委员等。主要从事光电精密测量技术、微纳测控系统、仪器精度理论、精密仪器设计等领域的研究工作。作为项目负责人先后主持国家重点研发计划项目、国家自然科学基金国家重大科研仪器研制项目、国家自然科学基金项目、安徽省重大科技重大专项等项目, 在国外内期刊发表学术论文60余篇, 授权发明专利30余项。近年来先后获得中国仪器仪表学会科学技术奖一等奖1项, 安徽省技术发明奖二等奖1项。



可靠性感知的协同设计方法

纪志罡*

上海交通大学

摘要:摩尔定律持续放缓,单纯依靠工艺缩放难以实现性能增长,设计-技术协同优化(DTCO)被认为是未来不可或缺的技术,满足未来关键任务应用需求。如电动汽车以及远程医疗等新兴应用,针对功耗/性能/面积(PPA)的优化相比,其对于可靠性的考虑变得至关重要。虽然 DTCO 技术已经很好地帮助指导了有工艺涨落时的协同优化,但在 DTCO 框架内解决经时可靠性问题仍然是一个具有挑战性的难题,本次报告将讨论如何链接工艺和设计,进行可靠性感知的协同优化,最终以最低时间和经济成本实现工艺提升并支撑可靠性设计

个人简介:

纪志罡,上海交通大学教授、博导,微纳电子学系副系主任



Chiplet 先进封装设计探索与多物理场仿真

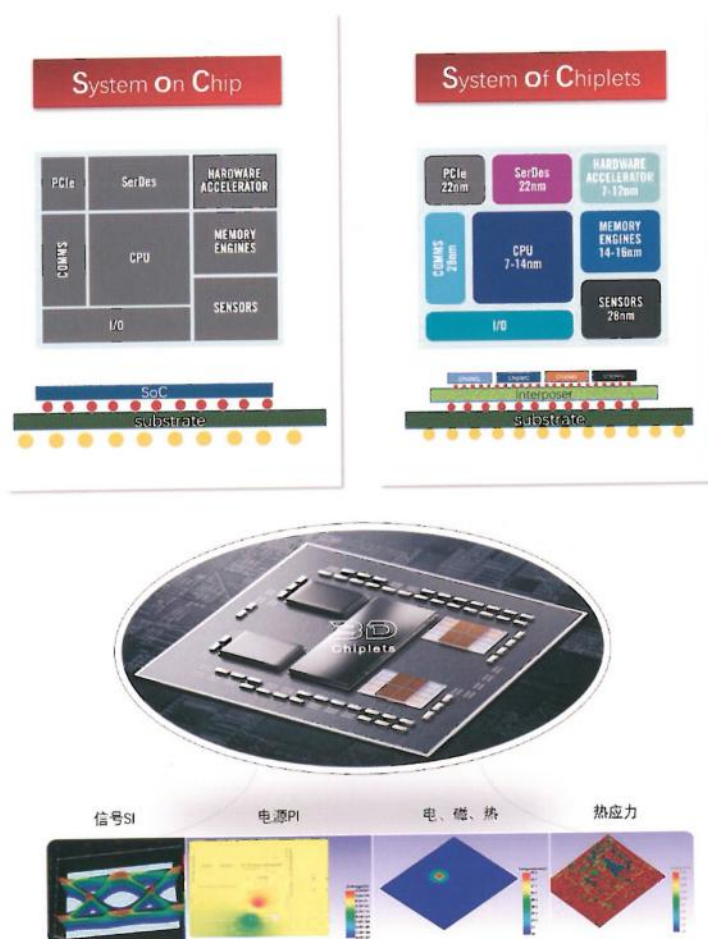
代文亮 黄晓波*

芯和半导体科技（上海）股份有限公司 上海 邮编 200120

*Email: xiaobo.huang@xpeedic.com

摘要：随着万物互联和数字智能的推进，全球数据量爆炸式增长，对算力的需求达到了前所未有的高度，高性能计算已成为新质生产力的一部分，算力设施将服务于社会发展的千行百业，加速数字化转型。过去几十年，在摩尔定律推动下，芯片算力以每 18~24 个月增加一倍的速度提升性能，但先进工艺节点逐步接近物理极限，通过晶体管尺寸微缩带来的收益越来越低，算力供给难以跟上通用人工智能（Artificial General Intelligence）时代的节奏。此时，基于 Chiplet 架构和异构集成先进封装的技术兴起，有效解决当前芯片先进工艺的痛点及算力提升的瓶颈，本次报告分享将聚焦 Chiplet 技术的发展现状及趋势，结合实际案例从 EDA 视角探讨 Chiplet 先进封装设计与仿真分析面临的问题，共建 Chiplet 产业发展生态，推动 Chiplet 集成系统的实现与应用。

关键词：Chiplet，先进封装，多物理场仿真，EDA 电子设计自动化



个人简介：

代文亮，芯和半导体科技（上海）股份有限公司创始人、总裁，上海交通大学博士，2023 年度国家科学技术进步一等奖获得者，现任国家自然科学基金集成电路领域评审专家、中国电子科技集团公司射频微系统客座首席专家、软件定义晶上系统技术与产业联盟专家委员会委员、上海交通大学集成电路学院产教协同专家委员会委员、广东省核心工业软件攻关联盟特聘顾问兼芯片 EDA 技术族组长。曾任工业和信息化部聘为国家信息技术紧缺人才培养工程专家(集成电路类)。



人工智能在半导体设备建模、高质量工程中的应用

史猛*

有恒精工 有恒集团 上海

*Email: ted.shi@uhuntgroup.net

摘要: 科学计算与 AI 计算的融合以及复杂系统的建模是人工智能在半导体工业的应用的方法论。基于模型的系统工程(Model-Based System Engineering)和模型封装(Model Type Package)技术提供了工艺设备建模和生产线建模的框架,人工智能体工作流(AI Agent work stream)在严格的逻辑框架内自动化生成仿真和控制代码,并完成测试、Debug、DevOps。工艺流程经过 AI 算法优化后,生产线的生产管理系统如 MES、APS 等,质量管理系统如 SPC、FDC 等,及设备的运维系统如预测运维(Predictive Maintenance),维修策略(Maintenance Strategy)等的业务控制代码均可自动化生成。在半导体设备模型云平台上,通过系统工程的框架和人工智能算法相结合,针对中试线 Cellular FAB,进行高效率的数字化设计、工厂模块化建造,快速地工艺定型,并向规模化生产进行转移。

关键词: 科学计算, AI 计算, 基于模型的系统工程, 模型封装, 人工智能体工作流, MES, APS, SPC, FDC, 预测运维, Cellular FAB

个人简介:

史猛 有恒集团 有恒精工科技有限公司 总经理

同济大学 热能工程 计算流体力学 硕士

从事半导体工业 26 年工作经验, 经历多个大型 FAB 的设计建设和生产运营。近年主要从事工艺设备与 FAB 工厂的数字化建模仿真优化与自动化控制工作。



半导体测试设备行业现状概览

关华*

上海芯智造信息技术咨询有限公司 上海

摘要：本报告对半导体测试设备（ATE: Automatic Test Equipment）的应用领域、市场规律和商业模式特点、技术分类和难点以及当下中国大陆本土测试机行业的现状和面临的发展挑战做了一个概括性的说明和讲解。

个人简介：

关华，上海芯智造信息技术咨询有限公司 创始人



X 射线技术在半导体材料与器件检测中的应用

程国峰*

中国科学院上海硅酸盐研究所 无机材料分析测试中心, 上海 200050

*Email: gfcheng@mail.sic.ac.cn T:021-69163558

摘要: 当 X 射线与物质发生交互作用时, 由于 X 射线波长与晶体的原子间距同一量级, 就会在物质中产生衍射和散射效应, 可以用来对半导体材料和器件的结构进行分析。其中高分辨 X 射线衍射被誉为半导体单晶材料结构分析的第一测试手段, 可以用来表征半导体晶体材料结晶完整性、缺陷含量、共格状态、膜厚和应变等。此外, 利用 X 射线还可以实现吸收成像和衍射衬度成像, 可用来检查和发现半导体材料和器件内部的三维结构以及层错、孔隙、裂纹等缺陷及其形态。

本报告首先简要介绍了高分辨 X 射线衍射和吸收成像等技术的原理、方法, 再结合一些典型案例阐述其在半导体材料与器件三维结构、缺陷(层错、孔隙、裂纹等)、晶格完美度、膜厚与应变等表征中的应用。

关键词: 高分辨 X 射线衍射, X 射线吸收成像, 三维结构, 缺陷、应变

个人简介:

程国峰, 理学博士, 博士生导师, 无机材料 X 射线衍射结构表征课题组组长。2022 年入选中国科学院技术支撑人才, 2023 年获中国科学院朱李月华优秀教师奖。曾先后主持国家自然科学基金、上海市科委基础研究重点等项目, 出版《纳米材料的 X 射线分析》、《二维 X 射线衍射》、《同步辐射 X 射线应用技术基础》等编译著 4 部, 发布国家标准、团体标准或企业标准 16 项, 获专利授权 7 项, 在 Nat. Mater., J. Appl. Phys., Mater. Lett., Ceram. Int. 等期刊上发表论文 90 余篇。现任中国晶体学会粉末衍射专业委员会委员, 中国物理学会固体缺陷专业委员会委员、上海市物理学会 X 射线衍射与同步辐射专业委员会副主任兼秘书长。



基于原位XRD技术的铅基铁电薄膜研究

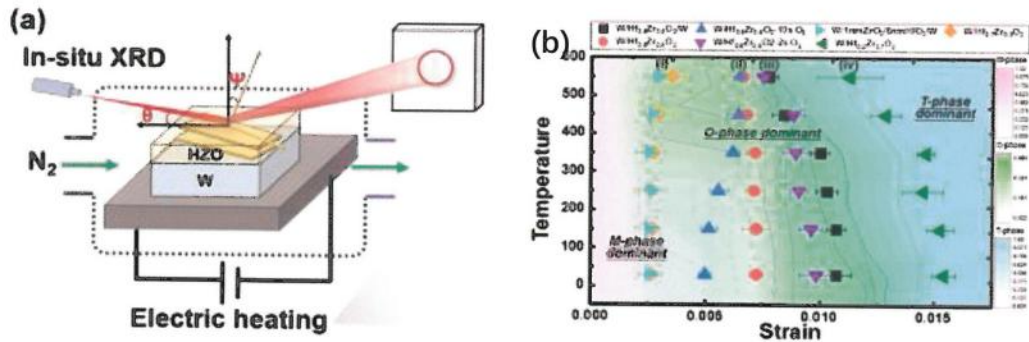
崔天宁 李秀妍*

上海交通大学 集成电路学院 上海 邮编200240

*Email: xiuyanli@sjtu.edu.cn

摘要: 铅基铁电薄膜材料因其良好的 CMOS 兼容性和尺寸微缩性能在新一代非易失存储领域具有良好的应用前景，但其多晶多相特征影响了铁电性以及耐久性存储相关性能的调控，因此铅基薄膜在退火和电场循环过程中结晶和相变动力学是该方向基础研究的关键之一。针对此需求，我们采用原位同步辐射XRD 技术对铅基薄膜在退火以及电场循环过程中的晶体结构进行追踪，并采用二维对薄膜在热退火过程的应变进行研究，在此基础上阐明了铁电相形成的动力学过程和影响因素，并阐明了铁电薄膜唤醒效应的晶相变化起源。该工作为铅基薄膜铁电性和耐久性调控提供了重要的指导思路。

关键词: 铅基薄膜，原位 XRD，相变动力学



参考文献:

[1] Böschke, T. S.; Müller, J.; Bräuhäus, D.; Schröder, U.; Böttger, U. "Ferroelectricity in Hafnium Oxide Thin Films." *Appl. Phys. Lett.* 2011, 99, 102903.

[2] Cui, T.; Zhu, L.; Chen, D.; Fan, Y.; Liu, J.; Li, X. "Independent Effects of Dopant, Oxygen Vacancy, and Specific Surface re on Crystal Phase of HfO₂ Thin Films towards General Parameters to Engineer the Ferroelectricity." *Electronics* 2022, 11, 2369..

个人简介:

李秀妍，上海交通大学副教授，国家级青年人才计划项目获得者。2015 年从日本东京大学获得博士学位，之后在美国罗格斯大学从事博士后研究，2018 年底加入上海交通大学。致力于 MOS 器件物理和工艺研究，迄今为止，在Nature Communications、IEDM 等知名期刊和会议发表文章30 余篇，并承担国家自然科学基金重大研究计划、面上、青年、国际学术合作等研究项目。



晶圆缺陷的高灵敏度衍射相位显微检测技术

张祥朝* 郑倩茹

复旦大学上海超精密光学制造工程中心，上海，邮编 200438

*Email: zxchao@fudan.edu.cn

摘要：晶圆缺陷检测在半导体制造领域占据着至关重要的地位，是保障半导体产品性能和可靠性的关键。光的相位信息具有更高的灵敏度，为晶圆缺陷检测提供了一种新的视角。基于离轴点衍射干涉测量原理的晶圆缺陷检测系统实现了纳米级别的纵向分辨能力和亚波长级别缺陷的检测能力。并融合了基于时间延迟积分的暗场显微技术，显著提高了晶圆缺陷检测的效率和准确度。

关键词：晶圆缺陷，高灵敏度检测，相位衍射显微术，暗场成像

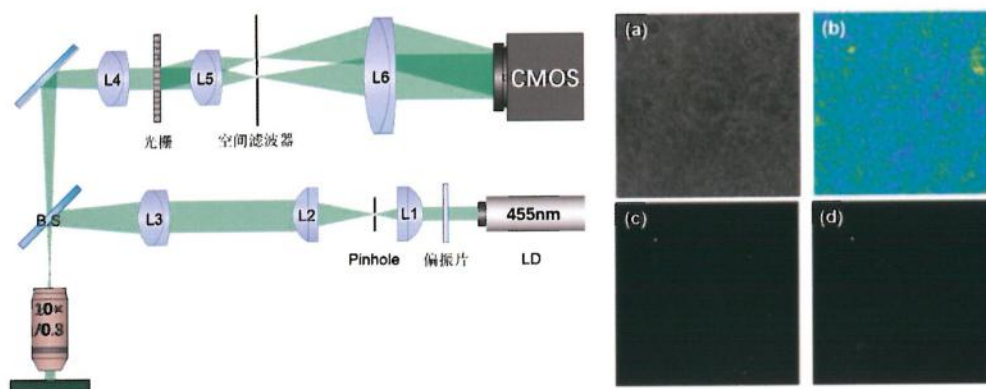


图 1 点衍射干涉显微检测光路及缺陷检测结果

参考文献：

- [1] X Zhang, H Yuan, R Xiong, J Wang, X Ma, Z Hu and M Xu. Fast measurement of surface defects on large components with dynamic phase-shifting digital holographic microscopy. Measurement 2023;208(1):112443
- [2] F Yu, M Xu, J Wang, X Zhang, X Tang. Balancing the efficiency and sensitivity of defect inspection of non-patterned wafers with TDI-based dark-field scattering microscopy. Sensors 2024;24:1622

个人简介：

张祥朝，研究员，博导，复旦大学上海超精密光学制造工程中心副主任，ISO TC213 中国代表专家，IMEKO TC21 委员，中国仪器仪表学会集成电路测量仪器分会、精密机械分会委员。2005 年毕业于中国科学技术大学，2009 年获英国哈德斯菲尔德大学博士学位。主要研究方向为智能光学测量技术、表面计量学以及计算成像技术。获教育部科技进步二等奖、日内瓦国际发明展金奖、中国光学工程学会科技进步二等奖等。担任 Surface Topography: Metrology and Properties、光学精密工程等期刊编委，承担了国家自然科学基金、科技部重点研发计划等多项科研项目。



基于莫尔条纹光学的平坦度测量技术

黄良斌^{1,2*}

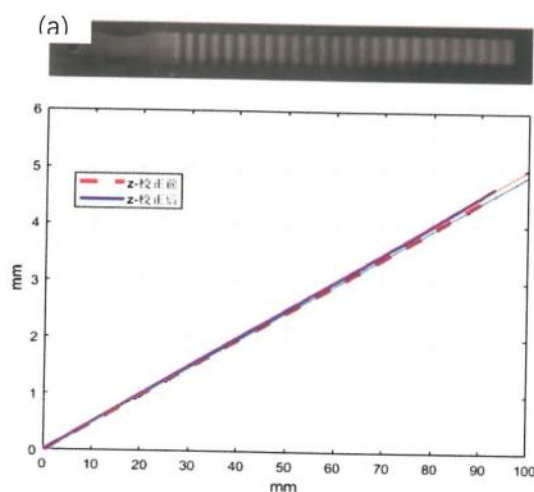
¹领先光学技术(江苏)有限公司 常州 邮编 213000

²复旦大学 信息科学与工程学院 微纳系统中心 上海 邮编 200433

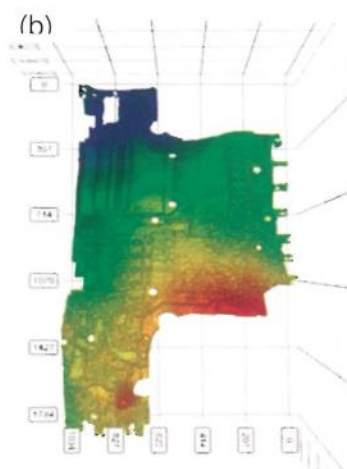
*Email: ahuangliangbin@jstoptics.com

摘要: 封测工艺及材料研发过程中,各种原因可能会产生翘曲,影响生产良率。为了研究分析在加热过程中翘曲形貌变化,指导封测及材料的设计和工艺改进,我们自主研发了模拟温度变化下的翘曲形貌变化的测量设备,最高可升温至 300 °C。通过莫尔纹法测量在不同加热温度段下的 3D 形貌变化, z 轴分辨率可达 100 nm。通过优化光学结构参数,提高了标定准确性。同时采用新型的莫尔条纹技术,可以实现对具有异性孔洞模版进行测量。单次测量时间小于 4 s,最大样品测量尺寸可达 400x400 mm,测量深度 15 mm,最小样品尺寸 2x2 mm。

关键词: 莫尔条纹, 平坦度, 温度变化



Calibrate result



Warpage (at T=30°C)

个人简介:

黄良斌, 领先光学技术(江苏)有限公司 创始人



集成电路领域用光电子谱联用分析仪的发展与思考

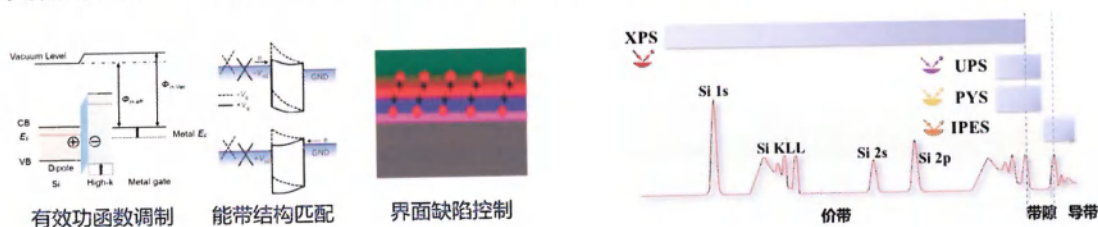
陈玉*

西安交通大学 电气工程学院 西安 邮编 710049

*Email: chenyu@xjtu.edu.cn

摘要: 研发先进制程集成电路极其困难,我国集成电路行业亟需追赶国外先进制程产业技术。进行新型半导体结构关键材料设计与界面调控是实现先进制程的必要途径,关键材料的设计、界面调控需要精确的成分分析和电子结构表征。光电子谱分析仪器是实现材料表面电子结构精确表征的重要分析手段,是进行关键材料研发的重要仪器。但是,相关材料分析仪器被美国、日本垄断,且对中国核心集成电路企业禁运。值得注意的是,先进制程材料研发需要进行关键材料全能带结构原位精细表征。现有的光电子谱仪器功能分立,无法实现原表征,迫切需要自主研发光电子谱原位联用分析仪。

关键词: 光电子谱分析仪, 集成电路, 先进制程, 原位, 联用



参考文献:

- [1] Taejoong Song, Hakchul Jung, Giyoung Yang, Hoyoung Tang, Hayoung Kim, Dongwook Seo, Hoonki Kim, Woojin Rim, Sanghoon Baek, Sangyeop Baek, Jonghoon Jung, 3nm Gate-All-Around (GAA) Design-Technology CoOptimization (DTCO) for succeeding PPA by Technology, IEEE CICC 2022.
- [2] Gangadhara Raja Muthinti, Nicolas Loubet, et al., Materials characterization for process integration of multi-channel gate all around (GAA) devices, Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XXXI, Proc. of SPIE Vol. 10145, 101451U-1.
- [3] Ma L., Wang Y., Liu Y.. "van der Waals Contact for Two-Dimensional Transition Metal Dichalcogenides". *Chemical Reviews*, 124(5): 2583-2616 (2024).
- [4] Knoch J., Richstein B., Han Y., et al. "Toward Low-Power Cryogenic Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistors". *Physica Status Solidi (A)*, 220(13): 2300069 (2023).

个人简介:

陈玉, 教授/博导, IEEE 高级会员, 国家重点研发计划项目首席科学家, 陕西省四主体一联合工程技术研究中心校方主任, 陕西省“光电子谱分析仪器技术及应用”科技创新团队带头人。陕西省仪器仪表学会科学仪器决策咨询专家团队首席专家, 中国仪器仪表学会科学传播专家团队首席科学传播专家, 中国仪器仪表学会电磁测量信息处理仪器分会理事, 中国核学会辐射物理分会理事, 陕西省仪器仪表学会理事, 《电测与仪表》编委。主要研究方向为高端材料表面分析科学仪器研发。



国产集成电路测试装备的发展机遇与挑战

钟锋浩*

杭州长川科技股份有限公司 杭州 邮编 30052

*Email: zhongfenghao@hzcotech.cn

摘要：随着人工智能、算力、5G、新能源等新兴领域的快速发展和大规模应用，集成电路制造工艺的复杂度不断提升，半导体测试的重要性和价值与日俱增，如何提高测试效率、降低测试成本、满足新应用的测试要求，这对集成电路测试设备带来了新的挑战。本报告结合国内集成电路测试技术和测试设备的发展情况进行分析，并从各类新应用下对测试技术的新要求以及未来发展趋势出发，阐述了国产测试装备当前的发展机遇和未来面临的挑战。



关键词：集成电路测试技术，国产测试设备，国产替代，测试设备未来挑战等

个人简介：

钟锋浩，杭州长川科技股份有限公司原创股东、公司副总经理。高级工程师，专注集成电路装备业近 30 年，是测试装备领域一流资深技术专家、浙江省科技厅入库专家、国内集成电路重要联盟标准技术组专家成员，参与/主导多个集成电路测试相关国家和行业标准编写。个人已申请集成电路测试技术相关专利 71 项，同时作为课题组长/项目负责人，先后主持完成了多个国家、省市级重点研发项目；带领团队开发了模拟、功率、数字等多款测试装备，累计实现销售收入 30 多亿。



先进封装芯片的测试筛选方法

祁建华*

上海华岭集成电路技术股份有限公司 邮编 201203

*Email: qjhhl@sinoicet.com.cn

摘要: 随着经典摩尔定律晶体管尺寸缩小的优势逐渐减弱, 依靠工艺收缩作为产品创新和改进系统性能的主要驱动力已不再是可行的方法, 3D 封装和 Chiplet 异构集成的先进封装技术为突破集成电路发展瓶颈提供新的增长驱动力。先进封装技术带来测试的复杂性增加, 测试技术的挑战在于实现对不同供应商之间“KGD”高质量的验证筛选, 可测性测试技术、以及对内部互联测试与访问, 确保整个系统集成的可靠。测试流程和复杂性的增加将直接体现在测试成本上, 测试策略需要考虑进一步减少早期的缺陷逃逸率降低报废成本, 提早发现影响可靠性的未知风险, 提高最终集成系统良率。

关键词: 先进封装, KGD, 3D, Chiplet, 测试筛选

先进封装芯片测试筛选流程



参考文献:

- [1] IEEE Heterogeneous Integration Roadmap, <https://eps.ieee.org/technology/heterogeneous-integrationroadmap/2023-edition.html>
- [2] M. Hutner, R. Sethuram, B. Vinnakota, D. Armstrong and A. Copperhall, "Special Session: Test Challenges in a Chiplet Marketplace," 2020 IEEE 38th VLSI Test Symposium (VTS), San Diego, CA, USA, 2020, pp. 1-12, doi: 10.1109/VTS48691.2020.9107636

个人简介:

祁建华, 无党派人士, 高级工程师, 现任上海华岭集成电路技术股份有限公司总工程师、技术总监, 上海市科委、经信委、职称评审专家库专家, 临港集团科创导师, 从事集成电路测试技术研究 20 多年, 作为负责人或主要骨干完成 8 项国家科技重大专项课题和 50 多项国家和上海市重点科研项目, 获得授权发明专利 35 项, 获得 8 次上海市科技进步奖、浦东科技进步奖等奖励。



先进封装中焊点热-力疲劳寿命研究

陆宇青¹ 王琚^{1,2*}

¹复旦大学材料科学系, 上海, 邮编 200433

²复旦大学义乌研究院, 浙江, 邮编 322000

*Email: jun_wang@fudan.edu.cn

摘要: 射频封装通过玻璃通孔 (TGV) 转接板的热机械可靠性受到关注, 因为材料之间热膨胀系数 (CTE) 的不匹配在热载荷下会产生高热应力, 这可能导致较弱部分如铜微凸点和焊点失效。在本研究中, 通过有限元分析 (FEA) 对带有 TGV 转接板的 RF 封装进行了建模和分析, 以模拟热循环过程。计算了铜微凸点的塑性应变变化和焊点的非弹性应变能密度, 并根据 Coffin-Manson[1-2]和 Darveaux[3]疲劳模型分别预测疲劳寿命。为了提高准确性, 对铜柱采用双线性弹塑性模型、焊点采用 Anand 粘塑性模型。

图 1 分别显示了在峰值温度时铜微凸点和焊点的 Von Mises 应力分布, 确定危险微凸点和焊点的位置, 并基于疲劳模型预测了疲劳寿命。结果表明, 在热循环载荷下, SAC305 焊点比铜微凸点更容易发生疲劳失效。基于模型分析对进行了优化以提高焊点的热-力可靠性。

关键词: 玻璃通孔 (TGV), 射频 (RF) 芯片, 可靠性, 铜微凸点, 焊点, 疲劳寿命

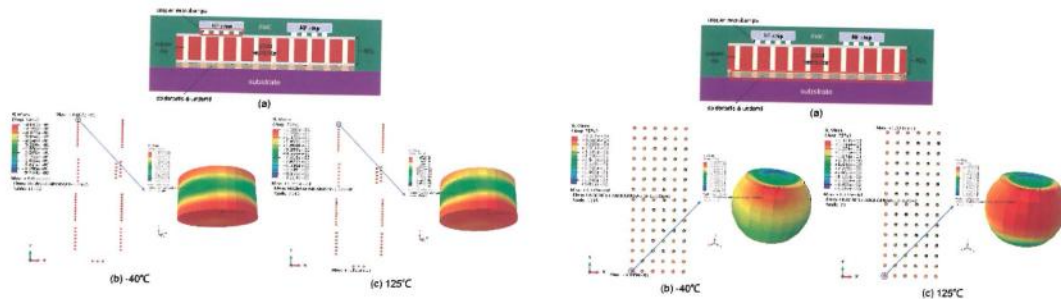


图 1. 铜凸点和焊点分别在 -40°C和 125°C下的应力分布.

参考文献:

- [1] Coffin L. The stability of metals under cyclic plastic strain. Journal of Basic Engineering, Transactions of ASME 1960; 82:671-682.
- [2] Manson S. Fatigue: A complex subject-some simple approximations. Experimental Mechanics 1965; 5:193-226
- [3] Darveaux R. Effect of simulation methodology on solder joint crack growth correlation and fatigue life prediction. Journal of Electronic Packaging, Transactions of the ASME 2002; 124:147-154.

个人简介:

陆宇青, 复旦大学在读硕士研究生, 主要从事微电子封装可靠性相关的研究工作。

半导体装备精密主动减振平台研究

孙煜^{1,2*} 杨晓峰^{1,2,3}

¹复旦大学 工程与应用技术研究院, 上海, 邮编 200433

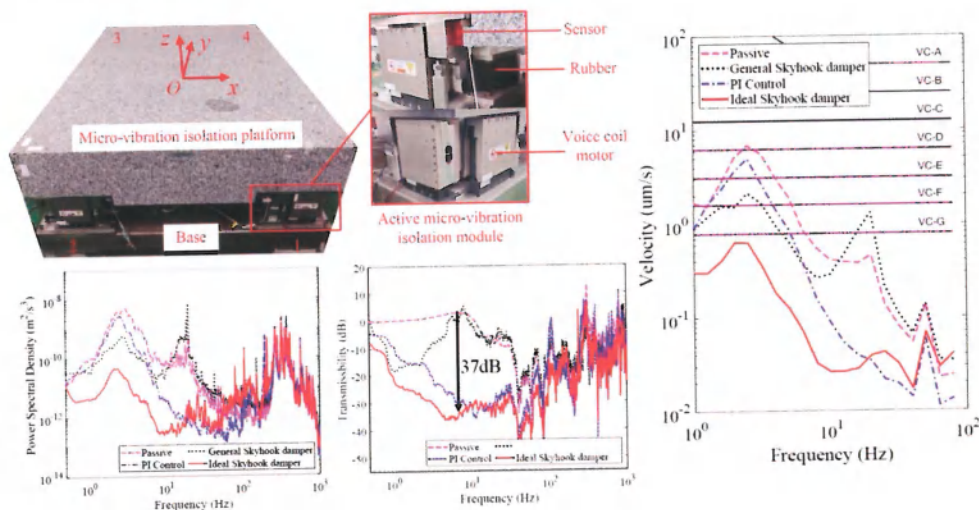
²复旦大学 超精密运动控制与检测工程研究中心, 上海, 邮编 200433

³复旦大学, 微电子学院, 上海, 邮编 200433

*Email: sunyu_aet@fudan.edu.cn

摘要: 随着半导体芯片制程的不断进步, 芯片加工中使用的诸多设备, 如光刻机、刻蚀机、量测设备等对内部振动环境的要求越来越高。为隔离大地振动, 通常采用 3 个或 4 个主被动一体的相同减振单元, 通过合理的位置布置与主动控制算法进行隔振。主动减振器单元是集成被动支撑原件、传感器、电机一体的总成部件, 可用于多种需隔离振动的设备, 也就是说, 同一款主动隔振器的被隔振对象是多样的, 而对于不同设备的隔振器控制参数需进行调整。为此, 本研究提出一种基于辨识模型的主动天棚阻尼控制方法。首先, 基于逆傅里叶变化的方式, 获取能量集中的限制频带的白噪声激励, 使用这样的激励得到高质量的辨识模型; 然后, 根据理想天棚阻尼的表达式, 推导出基于加速度反馈的天棚阻尼控制器参数设计方法; 最后, 通过实验对所提出的控制算法进行验证。结果表明, 本文提出的理想天棚阻尼控制算法能够大幅降低隔振平台的低频振动, 提升平台的振动评级。

关键词: 天棚阻尼, 主动减振, 模型辨识, 解耦控制



参考文献:

- [1] D. Karnopp, M. J. Crosby, R. Harwood, Vibration control using semi-active force generators, *Journal of Engineering for Industry* 96 (2) (1974) 619–626.
- [2] M. Heertjes, K. de Graaff, J.-G. van der Toorn, Active vibration isolation of metrology frames; a modal decoupled control design, *Journal of Vibration and Acoustics* 127 (3) (2005) 223–233.

个人简介:

孙煜, 复旦大学工程与应用技术研究院青年副研究员, 硕士生导师。从事半导体装备精密系统动力学、主动减振、隔振、吸振技术研究。在国内外权威期刊发表论文 20 余篇, 获授权发明专利 10 余项。主持国家自然科学基金青年基金、企业产品开发等项目, 入选上海市青年科技英才扬帆计划项目、上海市“超级博士后”资助计划。



封装级可靠性和失效分析

平来*

通富微电子股份有限公司 南通 邮编 226001

*Email: ping.lai@tfme.com

摘要: 半导体产品迭代的速度很快, 需要不断的进行新产品的开发和研究, 而可靠性技术和失效分析技术在新产品开发过程中起到至关重要的作用。本文主要介绍封装级可靠性和失效分析相关的知识。

可靠性主要包括: 可靠性试验流程, 可靠性试验项目和设备, 可靠性试验标准等。失效分析主要包括: FA 流程, FA 常用的设备, 传统封装的 FA 方法, 先进封装 FA 的方法等。

关键词: 封装, 可靠性, 失效分析

个人简介:

平来, 现任通富微电子股份有限公司实验室主任, 拥有 20 年以上集成电路封装测试工作经验, 主要从事可靠性技术和失效分析技术研究。在可靠性技术方面, 不仅精通一般环境可靠性试验如 TC/HTS/Uhast/PCT/THS 等, 而且对通电老化试验如 HTRB/HRGB/Bhast/THB 等也颇有研究。同时具备板级可靠性试验能力如 Drop test/BLT-TC/shadow moire/Bending test 等。



在失效分析方面, 坚持技术创新, 推进实验分析的多元化发展。随着封装技术水平不断提高, 产品结构也越来越复杂, 从技术研究出发, 积极拓展实验室分析技术, 不仅具备传统封装 FA 能力, 同时具备板级失效分析能力、具备部分芯片级失效分析的能力, 具备先进封装如 2.5D/3D/SIP/FO 等产品的失效分析能力。

超宽禁带半导体氧化镓关键技术与应用前景

唐为华*

南京邮电大学 集成电路科学与工程学院 江苏南京 邮编 210023

*Email: whtang@njupt.edu.cn

摘要: 超宽禁带半导体材料具有高击穿场强、高巴利加优值,且耐高温耐辐射,在大功率电力电子和高频电子应用方面前景巨大。其中,氧化镓(Ga_2O_3)是唯一可以通过熔融生长方式获得高质量单晶的材料,被认为最有希望实现大规模产业化生产。目前,通过对器件结构的不断优化, Ga_2O_3 在大功率器件方面展示出了优异的器件性能。其垂直型肖特基二极管(SBD)的击穿场强超过了 5 MV/cm [1],横向场效应晶体管(MOSFET)的击穿场强也几乎达到了 4 MV/cm [2],均已超越了碳化硅(SiC)和氮化镓(GaN)的材料极限。此外,通过对 $\beta\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3/\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 界面进行调制掺杂,在界面处产生二维电子气(2DEG),低温下可以获得高达 $2790\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 的迁移率[3]。本报告总结了 Ga_2O_3 当前的研究进展以及关键技术,结合当前研究成果,展望了 Ga_2O_3 未来的应用前景与产业的发展趋势。

关键词: 超宽禁带半导体, 氧化镓, 功率器件, 二维电子气

参考文献:

- [1] C. Joishi, S. Rafique, Z. Xia, L. Han, S. Krishnamoorthy, Y. Zhang, S. Lodha, H. Zhao, S. Rajan, "Low-pressure CVD-grown $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ bevel-field-plated Schottky barrier diodes", Appl. Phys. Express 11(3), 031101 (2018).
- [2] A.J. Green, K.D. Chabak, E.R. Heller, R.C. Fitch, M. Baldini, A. Fiedler, K. Irmscher, G. Wagner, Z. Galazka, S.E. Tetlak, "3.8-MV/cm Breakdown Strength of MOVPE-Grown Sn-Doped $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ MOSFETs", IEEE Electron Device Lett. 37(7), 902 (2016).
- [3] Y. Zhang, A. Neal, Z. Xia, C. Joishi, J.M. Johnson, Y. Zheng, S. Bajaj, M. Brenner, D. Dorsey, K. Chabak, G. Jessen, "Demonstration of high mobility and quantum transport in modulation-doped $\beta\text{-(Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{O}_3/\text{Ga}_2\text{O}_3$ heterostructures", Appl. Phys. Lett. 112 (17) (2018 Apr 23) 173502.

个人简介:

唐为华, 南京邮电大学教授、博士生导师。主持国家级省部级重大课题等二十多项,曾在法国国家科研中心、美国国家标准与技术研究院等境外机构开展合作研究。已在国内外重要学术杂志上发表SCI收录论文350多篇,ESI高被引论文20多篇,论文被引用16000多次,H因子62,授权发明专利30多项,受邀在相关领域重要学术大会做邀请报告20多次。担任国家自然科学基金委、教育部、科技部国家重大研究计划等科技与人才项目函评和会评专家、国内外十余种学术杂志特邀评审、中国物理学会X射线衍射专业委员会委员、中国物理学会固体缺陷专业委员会委员、中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟标准化委员会委员、“中关村标准”智库,首批特聘专家。享受国务院政府特殊津贴,入选国家“新世纪百千万人才工程”、中国科学院“百人计划”,江苏省“双创人才”,江苏省“双创团队”领军人才,获北京市科学技术一等奖和二等奖各一项。近十年来专注超宽禁带半导体氧化镓材料、物性及器件研究,发表氧化镓相关学术论文数量及引用国际排名前五,拥有氧化镓相关专利20多项,是国内开展氧化镓科学研究与产业化实践的先行者。



脉冲技术优化氧化镓薄膜质量、生长速率及 掺杂效率的研究

冯倩* 王焱 王龙 张雅超 张进成

西安电子科技大学微电子学院宽带隙半导体技术国家重点学科实验室, 西安, 710071

*Email: qfeng@mail.xidian.edu.cn

摘要: 采用脉冲缓冲层技术显著优化了氧化镓薄膜的质量。通过精确控制脉冲参数, 成功改善了薄膜的晶体质量和表面平整度。在此基础上, 引入脉冲 In 辅助技术, 进一步提升了薄膜的质量和生长速率。实验结果表明, 脉冲 In 辅助技术不仅有效减少了薄膜中的缺陷密度, 还显著加快了生长速度。此外, 采用脉冲 Si 掺杂方式, 有效提高了掺杂效率。实验结果表明, 这些技术的结合显著改善了薄膜的晶体质量和电学性能, 为高性能氧化镓薄膜的制备提供了新方法。此研究为未来半导体材料的发展开辟了新的应用前景。

关键词: 氧化镓薄膜, 脉冲 In 辅助技术, 薄膜质量, 生长速率, 脉冲 Si 掺杂

个人简介:

冯倩, 现为西安电子科技大学集成电路学部教授, 博士生导师, 主要研究方向为宽禁带半导体材料的外延生长与相关器件的研究。先后承担和作为主要成员参加了省部级以上科研项目 20 余项, 获得国家技术发明二等奖 1 项目, 省部级科技奖 4 项, 获得授权国家发明专利 10 余项, 受理国家发明专利 30 余项, 在国际国内核心刊物上发表学术论文 30 余篇, 其中 SCI 收录 20 余篇。目前重点开展超宽禁带半导体氧化镓材料结构的理论计算与仿真, 对其特有的能带结构、电学特性以及光学特性展开分析, 并在此基础上基于金属有机化学气相沉积、激光脉冲沉积以及雾化气相沉积等方法在蓝宝石衬底、氧化镓衬底以及镁铝氧等衬底上展开不同晶型的氧化镓薄膜材料外延生长与表征分析, 分析生长参数对材料结晶状态、表面形貌、电学性能与光学性能的影响。并采用外延生长的氧化镓材料开展日盲紫外探测器、高压肖特基二极管与金属-氧化物-半导体电子器件的研制。现为 IEEE Electron Device Letter, IEEE Transactions on Electron Device, Applied Physics Letter, Applied Surface Science, Journal of Alloys and Compounds, Optical Material Express, IEEE Photonics Journal, 物理学报等国内外期刊审稿人。



SiC 装备与工艺整体解决方案

张轶铭*

北方华创微电子装备公司

摘要：北方华创始终秉承“推动产业进步，创造无限可能”的企业使命，基于现有成熟产品的技术积累和创新动能，成功开发出 8 英寸兼容 6 英寸的全新 CCP 介质刻蚀机 NMC 508RIE。采用多频射频技术，具有刻蚀速率高、工艺均匀性佳、工艺窗口大等特点，能更好地满足深孔小 CD 的应用发展趋势，可延展至 90nm 技术代。晶圆传输平台系统采用北方华创自制的通用平台，拥有成熟的软件系统，并具备晶圆自动定心（AWC）功能，能满足晶圆稳定传输作业；腔室设计采用独特的防等离子打火结构和精确的电极控温设计，具备温度分区控制等工艺均匀性调节功能和终点检测系统等，满足关键刻蚀工艺的均一性、终点抓取等需求，且颗粒控制佳；耗材寿命长，维护便捷，具备客户拥有成本（COO）和耗材成本（COC）低的优势。

全新 NMC 508RIE 设备的成功研发，助力北方华创全面覆盖 6、8 英寸全领域介质刻蚀工艺需求，目前已在多家客户通过量产验证。该产品在前道工艺上具有刻蚀形貌好、选择比高、工艺性能优越等特点；后道工艺可实现对金属副产物的有效控制，维护周期长。在原有硅刻蚀、深硅刻蚀、金属刻蚀、化合物半导体刻蚀（SiC、GaN、GaAs、InP、LiNbO₃、LiTaO₃ 等）以及去胶设备的基础上，6、8 英寸兼容的介质刻蚀机的成功开发，实现了北方华创在 6、8 英寸刻蚀设备上的整体解决方案，完成了该领域国产设备工艺的最后一块拼图。

个人简介：

张轶铭博士，在北方华创微电子装备公司、国家重点实验室等单位完成、在研国家科技重大专项、973、863、国家自然科学基金等多项国家级、省部级科研课题与产业化项目，在半导体器件、工艺等领域的著名期刊发表多篇 SCI、IEEE 学术论文，在国内外大型学术会议、产业界论坛研讨会发表多个演讲。



大尺寸氮化铝晶体 PVT 法同质扩径生长研究

覃佐燕 李文良 何广泽 谭俊 武红磊*

深圳大学 物理与光电工程学院 射频异质异构全国重点实验室 深圳 邮编 518060

*Email: hlwu@szu.edu.cn

摘要: AlN 晶体是发展深紫外光电子、功率电子和微波射频器件的理想材料。由于缺乏大尺寸同质籽晶,通过同质扩径生长成为 PVT 法制备大尺寸 AlN 晶体的优选方法。PVT 法扩径生长 AlN 晶体的研究中,出现扩径及非扩径区晶体颜色不一致等现象。本文以 Al 面为生长面进行同质扩径生长 AlN 晶体研究,对比研究扩径及非扩径区的晶体结构、组分及光学特性。XRD 及 Raman 测试表明,晶体非扩径区与扩径区的结晶质量无显著差异。结合晶体 XPS 的测试以及激发波长分别为 266nm、405nm 和 532nm 的 PL 测试分析,发现非扩径区所呈现的浅黄色主要由 V_{Al} 引起,而扩径区域的氧含量较高,所呈现的深黄色由 $V_{Al}-O_N$ 导致。进一步分析发现,扩径生长的晶面(m 面)相较于轴向生长的晶面(c 面)对 O 吸附能力较强,即为扩径区氧含量较高的原因。对晶体进行表面化学腐蚀后,SEM 测试发现部分扩径区出现了生长面由 Al 面反转成 N 面的现象。N 极性面较强 O 吸附性等因素,使得晶体沿 m 面扩径时,Al、N 原子在 B_1 键处成键时,晶体会出现极性反转。通过降低杂质含量、控制扩径率及多次稳定迭代生长等优化生长方式,制备出直径为 4 英寸 AlN 晶体。

关键词: 氮化铝晶体, PVT, 扩径, 杂质, 极性



参考文献:

- [1] Chen W H, Qin Z Y, Tian X Y, Zhong X H, Sun Z H, Li B K, Wu H L 2019 *Molecules* 24(8) 1562
- [2] Qin Z Y, Li W L, Sun Z H, Ji J H, Wu H L, Jin L 2023 *Vacuum* 214 112237.
- [2] Zhou Q, Zhang Z, Li H, Golovynskyi S, Tang X, Wu H, Wang J, Li B 2020 *APL Mater.* 8(8) 081107.
- [3] Yan Q, Janotti A, Scheffler M, Van de Walle C G 2014 *Appl. Phys. Lett.* 105(11) 111104

个人简介:

覃佐燕, 深圳大学博士后, 主要从事超宽禁带半导体-氮化铝晶体材料制备研究工作。

超宽禁带半导体氧化镓单晶衬底制备技术

穆文祥*

山东大学 新一代半导体材料研究院 晶体材料国家重点实验室 济南 邮编 250100

*Email: mwx@sdu.edu.cn

摘要: 氧化镓禁带宽度 4.8 eV, 禁带宽度相比第三代半导体更大, 并且氧化镓可以通过熔体法生长单晶, 晶体生长速度、晶体质量方面都更优异, 在高压、高效率功率器件、紫外探测、微波等领域具有重要应用。氧化镓材料、器件研究发展迅速, 然而在材料制备方面仍存在大量问题影响其产业化进程。热力学稳定相的 β -Ga₂O₃ 单晶属于单斜晶系, 晶体对称性低且存在两个解理面, 导致体块单晶生长、衬底切磨抛过程中容易出现开裂, 碎片问题。此外, 氧化镓不同晶面面内对称性、缺陷分布、外延速度、外延薄膜质量存在较大差异, 最优晶向仍有待探讨。

本团队长期从事氧化镓单晶生长、衬底加工研究, 并初步开展了不同晶面氧化镓外延特性分析。在单晶生长方面, 研究了氧化镓孪晶形成的热力学及动力学过程, 构建了导模法生长氧化镓孪晶形成模型, 并优化放肩工艺获得了 0 孪晶(001)面单晶, 有效提升了氧化镓单晶良率, 目前已经具备氧化镓批量制备能力。

以 β -Ga₂O₃ (100)面、(001)面和(010)面衬底为研究对象, 对氧化镓衬底超精密加工过程的塑性变形机制、材料去除机理、损伤演化规律和化学机械抛光工艺进行了系统研究, 实现了氧化镓衬底低粗糙度、无损伤加工。 β -Ga₂O₃ 单晶不同晶面的抛光质量具有明显的各向异性。在相同工艺参数下, 表面粗糙度有如下关系: (100)面>(010)面>(001)面; 亚表面损伤层深度有如下关系: (010)面>(001)面>(100)面。针对不同晶面的加工难题优化工艺参数, 最终获得高质量(100)面、(010)面和(001)面衬底, 衬底表面达原子级平坦, Ra<0.2 nm, 亚表面无损伤, 具备批量化衬底制备能力。相关专利成果, 成功实现 2000 万元转化。

关键词: 氧化镓, 超宽禁带半导体, 功率器件, 紫外探测光

参考文献:

[1] T. Hou, W. Zhang, W. Mu, et al, The anisotropy dependence of deformation mechanism of cleavage planes in β -Ga₂O₃ single crystal. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 158, 107357, 2023.

[2] P. Wang, Q. Li, W. Mu, W, et al, Nucleation kinetics of twins in bulk β -Ga₂O₃ crystal. *Materials & Design*, 113012, 2024

个人简介:

穆文祥, 副教授, 博士生导师。2013 年和 2018 年分别获得山东大学理学学士和工学博士学位。致力于超宽禁带半导体 β -Ga₂O₃ 单晶的生长、衬底加工、性能优化及器件研究。设计、优化了导模法单晶生长装备, 从无到有生长获得了高质量、大尺寸 β -Ga₂O₃ 单晶, 与国内外相关单位开展合作, 获得了高性能半导体器件。研究工作获得了国家重点研发计划、国家自然科学基金重点项目、山东省重大科技创新工程等一系列重大项目资助。发表学术论文 50 余篇, 申请发明专利 15 项。



基于高迁移率半导体材料的压阻式压力传感器

张睿*

浙江大学 集成电路学院 浙江杭州 邮编 311200

*E-mail: ruizhang@zju.edu.cn

摘要：压阻器件能够感知器件所受到的力或形变，是实现压强、加速度、载荷等参数的测量与实时监控的基本元件，因此将压阻器件与传统逻辑器件集成形成压力传感片上系统，在消费电子、航空航天、石油化工、动力机械、生物医学工程等诸多领域具有广泛的应用前景。尤其是近年来物联网、智能终端和可穿戴设备等技术的高速发展，使得集成了压阻器件的片上系统芯片需求日益高涨。硅（Si）半导体电阻应变片型压阻器件，通过压阻材料在形变过程中的电阻率变化实现压力传感，具有响应速度快、可靠性高、抗干扰能力强等优势（图 1），但是器件的灵敏度有待提高 [1-2]。针对传统 Si 压阻材料与压阻器件的瓶颈，引入锗（Ge）基新材料和压阻器件新结构的方法（图 2），能够制备具有更高量规系数的压阻器件，实现制备高灵敏度、高集成度、高可靠性、CMOS 工艺兼容的压阻传感片上系统。

关键词：压阻材料，锗，应变调制

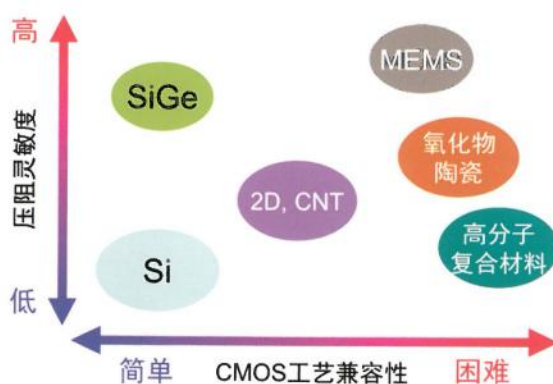


图 1 不同类型的压阻传感器灵敏度/集成难度对比。

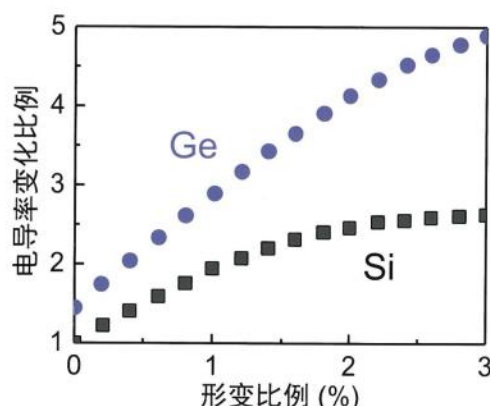


图 2 硅和锗在形变时的电导率变化比例对比。

参考文献：

- [1] A. A. Barlian, W-T. Park, J. R. Mallon, et al. Review: Semiconductor piezoresistance for microsystems. Proc. IEEE, vol. 97, pp. 513-552, 2009.
- [2] D. R. Kerr, A. G. Milnes. Piezoresistance of diffused layers in cubic semiconductors. J. Appl. Phys., vol. 34, pp. 727-731, 1963.

个人简介：

张睿，浙江大学集成电路学院教授。长期从事高迁移率半导体器件与芯片领域的研究，研发表学术期刊和学术会议论文 100 余篇，曾获北京市科学技术三等奖、IEEE Paul Rappaport Award 等学术奖励十余项。



微纳光纤探针超快原位温场检测

陈娜*

Biography: Na Chen is a professor of school of communication and information engineering, Shanghai University. She received the B. E. degree in Electronic Science and Technology, M.E. degree in Optical Engineering, and Ph. D. in Physical Electronics from Southeast University. After graduation in 2007, she works on specialty fiber and fiber sensing with the key laboratory of specialty fiber optics and optical access networks at Shanghai University till now. From Dec. 2012 to Jul. 2014, she was funded by FFCSA/CSC Cooperation Program, and researched on photonic crystal fibers and fiber optic devices at Laboratory of Physics of Lasers, Atoms and Molecules (PhLAM UMR 8523) in France. Her current research interests mainly focus on semiconductor core fiber, micro-nano fiber probes and their sensing applications in biomedical and other interdisciplinary field. She has more than 50 journal articles published and over 10 invention patents granted.

Title: Ultrafast and in-situ temperature field measurement with micro-nano fiber optic probe

个人简介:

陈娜, 是上海大学通信与信息工程学院教授。2007 年博士毕业于东南大学, 物理电子学专业。2007 年 11 月至今, 在上海大学特种光纤与光接入网重点实验室, 从事特种光纤与光纤传感研究。2012 年 12 月至 2014 年 7 月获国家留学基金委与法中科学及应用基金会 (CSC/FFCSA) 资助, 在法国国家科技研究院激光原子分子物理实验室 (PhLAM UMR CNRS 8523) 从事光子晶体光纤及光纤器件的研究。主要研究兴趣包括半导体芯光纤、微纳光纤探针、光纤传感及其交叉学科应用等。陈娜至今已发表学术论文五十余篇, 获授权发明专利十余项。



新型二维半导体器件的高场热输运特性研究

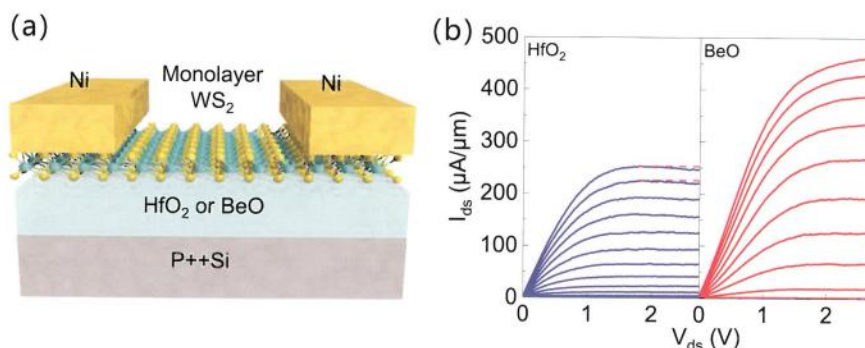
史新航, 李学飞*

华中科技大学, 湖北省武汉市洪山区珞喻东路 1037 号, 邮编 430074

*Email: xfli@hust.edu.cn

摘要: 随着场效应晶体管尺寸的不断微缩, 传统的硅基场效应晶体管逐渐逼近物理极限。原子级厚的二维过渡金属硫族化合物单层材料为延续摩尔定律提供了可能的解决方案。然而对于短沟道器件来说, 在高电场和大电流的情况下会产生大量的热, 热的积累会反过来限制器件的电学性能和可靠性。因此研究热输运对于高性能二维晶体管器件至关重要。对于沟长为 100 纳米的硫化钨器件, 在 20 K 时其沟道电流达到 $800 \mu\text{A}/\mu\text{m}$ 。同时, 首次观察到了负阻现象。利用脉冲 IV 的方法对其机理进行了研究, 发现这主要是由于自热效应导致的 (栅介质 SiO_2 的热导率为 $1.4 \text{ W/K}\cdot\text{m}$) [1,2]。进一步, 利用高热导率的氧化铍作为单层二硫化物晶体管的栅介质, 与栅介质为氧化钬的晶体管相比, 2 V 源漏电压下可以达到 $461 \mu\text{A}/\mu\text{m}$ 的饱和电流, 没有出现负微分电阻和明显的自热效应的现象[3]。该结果有望为未来高性能二维半导体器件的热输运提供理论和技术支持。

关键词: 原子层沉积, 掺杂的 HfO_2 薄膜, 界面, 极化强度, 可靠性



参考文献:

- [1] Xuefei Li, et L., Performance Potential and Limit of MoS_2 Transistors. *Advanced Materials* 27, 1547, (2015).
- [2] Xuefei Li, et al., Effect of Dielectric Interface on the Performance of MoS_2 Transistors. *ACS Applied Materials and Interfaces* 9, 44602 (2018).
- [3] Xinhang Shi, et al., Improved Self-Heating in Short-Channel Monolayer WS_2 Transistors with High-Thermal Conductivity BeO Dielectrics. *Nano Lett.* 22, 7667 (2022).

个人简介:

李学飞, 华中科技大学副研究员, 博士生导师。研究方向为基于新型半导体的先进逻辑器件。主持“后摩尔时代新器件基础研究”重大研究计划(培育项目)等国基金项目 3 项。在 *Nature Nanotechnology*, *Science Advances*, *Nano Letters*, *ACS Nano*, *IEEE Electron Devices Letters* 等国际权威期刊发表论文 40 余篇。入选 2022 年湖北省青拔人才计划, 荣获华中科技大学“学术新人奖”等荣誉。



半导体器件的纳米热检测

安正华*

复旦大学物理系

摘要：随着半导体技术的不断进步，晶体管器件尺寸不断缩小，集成器件工况下的功率密度和发热急剧增加，器件严重的热积累使得性能严重下降，因而集成芯片面临严重的热瓶颈问题，芯片的电热联合设计和热管理也成为后摩尔时代集成芯片和功率器件研发的重要内容。然而，半导体器件在纳米尺寸的热检测存在巨大的挑战。本报告中展示一种新型的超分辨热显微镜技术，通过红外近场技术实现对半导体微纳器件在工作条件下的热成像观测，揭示器件中热电子的非经典输运行为和热电、电热互相转换机制。研究结果表明微纳尺度半导体器件中存在超越传统宏观焦耳定律的热电效应，对后摩尔时代的芯片底层热管理具有重要的启发作用。

个人简介：

安正华，男，博士生导师，复旦大学物理系研究员，入选“万人计划”科技创新领军人才。研究方向为红外单光子探测和超分辨红外热显微技术。1999年毕业于南京大学并获理学学士学位，2004年毕业于中国科学院上海微系统与信息技术研究所获微电子学与固态电子学工学博士学位，2004-2007年在东京大学任JST特别研究员，2007.6进入复旦大学。主要研究工作包括发明电荷敏感型红外光晶体管（简称CSIP）并实现中长波单光子探测，利用超导实现中长波红外感存算一体化探测，首次采用超分辨热显微技术发现室温半导体器件中的热电子非局域能量耗散、绝热输运和非平衡热电帕尔贴效应等。成果发表在《Science》、《Nature Communications》、《Science Advances》、《Light: Science & Applications》等国际学术期刊160余篇。曾获2018年度中国光学十大进展和2021年度中国半导体十大进展提名等奖项。



高迁移率、高可靠性的 InGeO 薄膜晶体管

王嘉义^{1,2} 白子恒¹ 张括^{1,2} 李冷^{1*} 王盛凯^{1*}

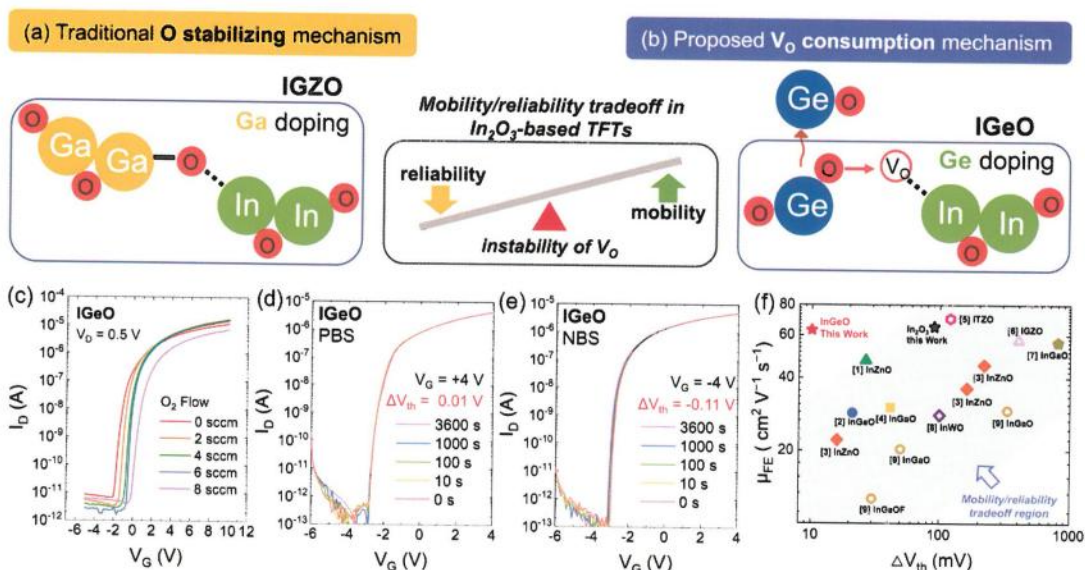
¹ 中国科学院微电子研究所, 集成电路制造技术重点实验室, 北京, 100029

² 中国科学院微电子研究所, 高频高压中心, 北京, 100029

*Email: wangshengkai@ime.ac.cn

摘要: 我们首次展示了高性能的掺杂 Ge 的 In_2O_3 (InGeO) 薄膜晶体管 (TFT)。通过全面了解 Ge 诱导的氧空位 (V_O) 消耗和结晶机制, 我们在提高沟道层结晶度的同时抑制了 V_O 的生成。本论文所提出的部分掺杂 Ge 的 InGeO TFT (通过 SIMS 检测, 原子浓度约为 0.4%) 具有更高的可靠性 ($\Delta V_\text{th} = 10 \text{ mV}$, 3600 s, +4 V) 和更高的迁移率 ($\mu_\text{FE} = 62.7 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$), 这使它成为克服基于 In_2O_3 的 TFT 的迁移率/可靠性制约的一种可行方法。

关键词: In_2O_3 , 薄膜晶体管, Ge 掺杂, 氧空位, 可靠性



(a) (b) Ge 掺杂与传统的掺杂调控 In_2O_3 -基薄膜晶体管性能的比较; InGeO TFT 的 (c) 转移特性曲线和 (d) 正偏压、(e) 负偏压可靠性; (f) 本研究与国内外其它研究结果对比。

参考文献:

- [1] Shiah, Y. S., et al., Nat. Electron. 2021. 4: p. 800-807.
- [2] Li, J., et al., J. Phys. D: Appl. Phys, 2019. 52(31): p. 315105.
- [3] Kai Wang, et al., Appl. Phys. Lett., 2012. 101(6): p. 061907.

个人简介:

王嘉义, 中国科学院微电子研究所副研究员。



孙子兵法视角看半导体产业知识产权攻守之道

郭国中*

摘要：知识产权是企业的核心竞争力，成为社会经济增长的新引擎。近年来，知识产权侵权纠纷频发，尤其是半导体相关产业，既是技术之争，同时也是知识产权之争。郭国中律师将从孙子兵法视角，强调知识产权关系产业“存亡之道”，并从“道、天、地、将、法”五个方面解读知识产权工作战略，重点介绍知识产权的“攻守之道”，研发之初做好专利全面检索，进行规避侵权分析，做到“知彼知己，百战不殆”，同时注重知识产权“数量”和“质量”，做到“以正合，以奇胜”，进而实现“不战而屈人之兵”。讲座将结合大量实战案例，独特视角剖析孙子兵法在科技创新与知识产权保护中的应用。

个人简介：

郭国中，上海段和段（虹桥国际中央商务区）律师事务所主任、律师、专利代理师、技术经纪人。

中国上市公司知识产权保护联盟长三角工作站秘书长、上海市闵行区知识产权协会秘书长、上海市创业指导专家志愿团闵行分团团长、上海市律师协会闵行区工作委员会副主任。

全国知识产权师资成员、全国第一期专利信息实务人才、中国三星级专利代理人、强国知产论坛年度十佳知识产权大律师、上海市知识产权服务领域杰出人物、上海市知识产权服务之星、上海市科技创业导师、上海交通大学/同济大学/华东理工大学/华东政法大学/上海政法学院等高校兼职教授或校外导师。

带领团队已代理了近六万项专利申请、百余项涉外专利申请、数千项商标申请、近百项商标复审案、数百项知识产权保护法律分析与诉讼案件，举办近千余场讲座，助力十余家企业成功上市。

经办商业秘密案件入选最高人民法院五十大典型案例，经办专利案件被媒体称为科创板以来最为重要涉外专利纠纷案。



整合优化，半导体投资的必经之路

王智*

上海韦豪创芯投资管理有限公司 上海

*Email: VictorWang@inno-chip.cn

摘要：中美地缘政治引发的中国半导体投资热潮，在 2019 年科创板开闸后已经持续到第 5 年。随着前期国产替代的规模化落地，半导体领域“低垂的果实”基本上被采摘殆尽，投资金额同比明显减少。一方面，叠加近 3 年的产业需求下行和中国资本市场再次进入收缩期，前期在资本追逐下创建的大量同质化项目，面临新的融资困难和原有投资人到期退出的双重压力，有强烈的出清需求。另一方面，半导体产业内在的“赢家通吃”特性，有利于龙头型上市公司通过并购整合，快速补齐产品线或者关键技术；而大量小市值传统行业上市公司，也有投资或收购成长型半导体企业，打造第二业务成长曲线或者“腾笼换鸟”的需求。因此，如何在既定监管政策下，通过整合优化，推动中国半导体产业尽快向核心企业集中资源，为半导体产业投资寻找更高效的路径，是产业界和投资界共同关心的话题。

关键词：同质化项目，整合优化，赢家通吃，腾笼换鸟

个人简介：

王智，毕业于上海交通大学，获得工学硕士及商学双学士学位。

在加入投资行业之前，他在华为和阿尔卡特朗讯工作超过 10 年，经验覆盖海外业务拓展、公司战略等多个管理岗位。

王智先生先后在中信证券、太平资产、长江成长、联创永宣等投资机构从事 TMT 产业的一二级市场研究及投资管理工作。2020 年，他参与创建上海韦豪创芯投资管理有限公司，目前担任负责风控的合伙人，已主导和参与了 60 多个泛半导体领域的投资项目。



集成电路材料市场展望以及分析检测技术探讨

张克云

上海集成电路材料研究院

摘要：简述了集成电路材料的演变，市场规模的预测分析，以及材料国产化的机遇。展开讨论了集成电路材料的分析手段，方法以及特定材料如光刻胶，抛光垫，晶圆盒等广泛用于集成电路产业材料的检测手段以及零部件的检测方法讨论。介绍了计算模拟技术在材料研发中的应用。

个人简介：

张克云，毕业于复旦大学电子工程系；上海集成电路材料研究院资深总监。平台运营负责人，兼质量流程部长。曾就职于新加坡特许半导体（现格罗方德），上海华虹宏力，无锡华润上华，上海新阳半导体，兆芯集成等国内外晶圆代工厂，半导体材料企业，芯片设计公司，拥有三十年的芯片工艺技术整合研发，质量管理，项目开发管理等丰富工作经验。



摩先进封装的发展与检测分析需求

林伟

摩诃咨询工作室

摘要：先进封装随着半导体的持续发展，在最近几年夺得全的很大一部分目光，尤其是人工智能应用的 chiplet 架构的爆发，全球 2.5D/3D 封装产能受限的现实情况下，各种先进封装技术及厂商如雨后春笋；在制程架构，良率及成本考量下，对于制程中的各种检测设备及性能需求也不断的增加，本次报告将根据个人过去的产业经验，针对各种主流先进封装的发展及相关制程检测分析设备的需求做一简单的分享与交流。

个人简介：

林伟，美国加州大学洛杉矶分校（UCLA）博士，清华大学（台湾）学士，卡玛管理顾问有限公司资深顾问。

30 多年半导体上中下游包含芯片制造（晶圆厂），IC 设计及封装设计研发/工程/管理经验。近年来主要研究和管理方向为：

- 功率半导体芯片制程
- 功率模块规划设计
- 封装可靠性设计评估
- 先进封装（异质集成）设计及制程开发

曾任：

- 上海易卜半导体生产中心副总（先进封装生产及工程）
- 华为科技有限公司 独立顾问
- 深圳第三代半导体研究院封装专家
- 通富微电子 研发副总
- 日月光（上海）制造副总
- 矽格微电子（无锡）有限公司总经理
- 无锡中普微电子（IC 设计） 首席运营官
- 葵和精密电子（封装） 资深副总（封装工程及设计开发）
- 开源集成电路（苏州）有限公司（IC 设计）总经理（MOS 芯片设计及芯片 trench 制程开发）
- 立錡科技股份有限公司（IC 设计）品质与可靠性工程协理（品质及可靠性工程分析及管理）
- 台湾旺宏电子（Fab）失效分析技术部部长（芯片制造失效分析及良率改善）
- 台湾工业技术研究院（ITRI）研究员（新材料开发）



原子层沉积 Ga₂O₃ 基掺杂薄膜及其光电探测器特性

丁思同¹ 石蔡语¹ 沈磊¹ 张卫^{1,2} 卢红亮^{1,2*}

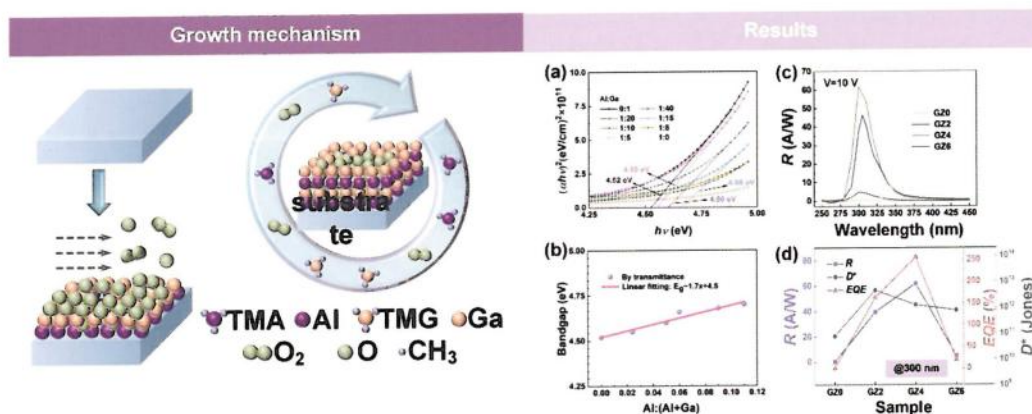
¹复旦大学 微电子学院 专用集成电路与系统国家重点实验室 上海 邮编 200433

²国家集成电路创新中心, 上海, 邮编 201203

*Email: honglianglu@fudan.edu.cn

摘要: 先进的宽禁带半导体材料因其在加密通信、工业检测和紫外线检测等方面的应用而引起了人们的极大兴趣。氧化镓被认为是日盲光电探测器和电力电子最有前途的材料之一。采用原子层沉积(ALD)法制备了掺铝 Ga₂O₃(AGO)和掺锌 Ga₂O₃(ZGO)薄膜。系统地研究了 AGO、ZGO 薄膜的生长机理、表面形貌、化学成分, 并制备了金属-半导体-金属结构光电探测器。带隙工程方面, 所得 AGO 薄膜的带隙可以在 4.5~6.8 eV 之间灵活调控。后处理方面, 通过氧气氛围退火将 ZGO 光电器件响应率提高 308 倍。初步结果表明, 生长的 AGO 1:10 光电探测器的 $PDCR > 10^3$, D^* 为 3.2×10^{11} Jones (@10V 254 nm); 生长的 ZGO 1:1 光电探测器的 R 可达 61.8 A/W, EQE 为 255.9 %。 D^* 为 1.2×10^{12} Jones (@10V 300 nm)。该研究有利于开发高性能深紫外光电器件, 并为大面积生长掺杂薄膜提供了有益的参考。

关键词: 原子层沉积, 氧化镓基掺杂薄膜, 可调谐带隙, 光电探测器



个人简介:

丁思同, 复旦大学微电子学院微电子与固体电子学专业在读博士研究生, 主要研究方向为宽禁带半导体材料及器件。



基于快速测试的 LDMOS 器件可靠性研究

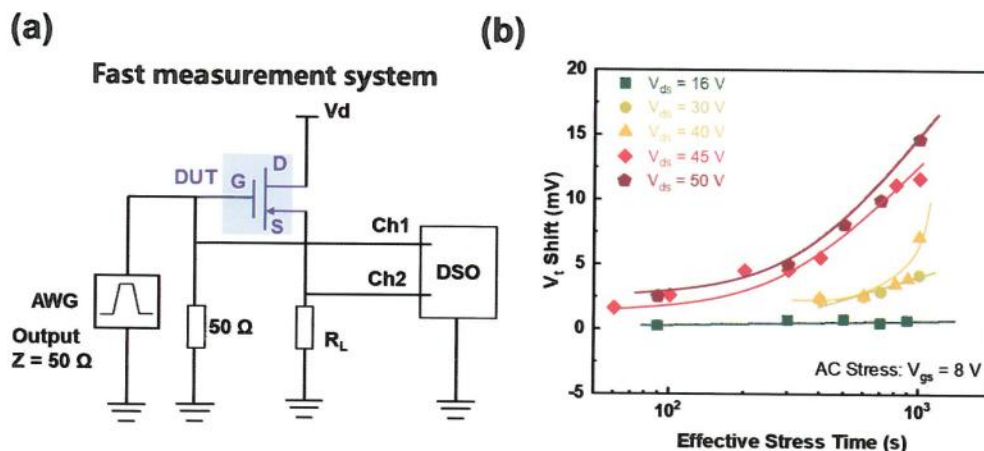
郭乾文¹ 苏蕊¹ 杨若诚¹ 李骏康¹ 张睿^{1*}

¹浙江大学 集成电路学院 先进集成电路制造技术研究所 杭州 邮编 311200

*Email: ruizhang@zju.edu.cn

摘要: 随着现代社会的不断发展,功率集成电路对于器件的能量密度和工作频率的要求日益增长。LDMOS (Lateral Double-Diffused Metal-Oxide-Semiconductor)器件因其特殊的平面结构和优异的开关性能,成为智能电源管理芯片中高速开关的理想选择。由于 LDMOS 的大功率导通的工作状态,器件的自热效应成为 LDMOS 可靠性研究的重要内容。常规的器件可靠性研究主要基于直流(DC)电学测试技术,难以分析 LDMOS 在高速开关状态下的退化过程。本报告基于一种快速的器件电学表征技术,探讨了 LDMOS 在高速开关状态下的热载流子注入退化(HCD)机理,并分析了自热效应对器件退化的影响,从热量管理角度提出 LDMOS 可靠性优化的新思路。

关键词: LDMOS, 快速测试, 热载流子注入, 自热效应, 可靠性



参考文献:

- [1] S. Poli et al., "Temperature Dependence of the Threshold Voltage Shift Induced by Carrier Injection in Integrated STI-Based LDMOS Transistors," IEEE Electron Device Letters, vol. 32, no. 6, pp. 791-793, 2011.
- [2] C.-C. Cheng et al., "Impact of self-heating effect on hot carrier degradation in high-voltage LDMOS," in 2007 IEEE International Electron Devices Meeting, pp. 881-884, 2007.

个人简介:

郭乾文, 浙江大学在读博士研究生, 主要研究方向为功率 MOSFET 器件。

Ga 掺杂 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 铁电电容器性能及可靠性提高

黄子滢¹ 李煜淳¹ 卢红亮^{1,2*}

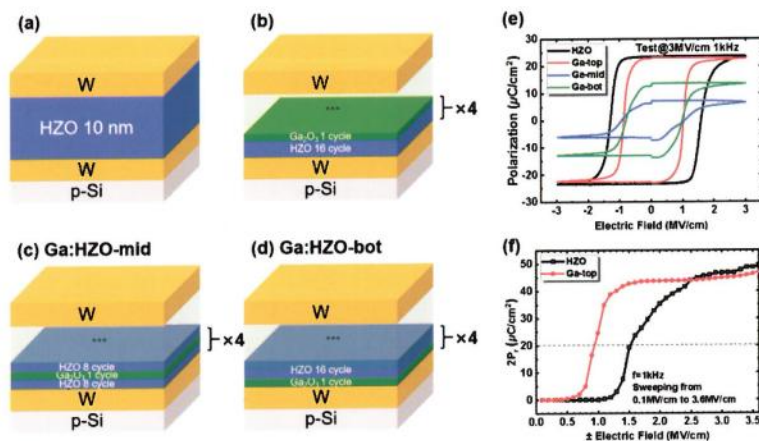
¹复旦大学 微电子学院 专用集成电路与系统国家重点实验室 上海 邮编 200433

²国家集成电路创新中心, 上海, 邮编 201203

*Email: honglianglu@fudan.edu.cn;

摘要: 与传统铁电材料相比, HZO 具有优良的 CMOS 工艺兼容性和可微缩性等特点, 使其成为下一代非易失性存储器和先进逻辑器件的理想选择^[1]。然而, 高矫顽电场导致了较差的耐久性和较大的工作电压。在现有降低矫顽电场方法中往往以牺牲剩余极化为代价^[2], 存在相互制约关系。本研究采用 ALD 方法制备了在 $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ 不同生长位点掺 Ga (Ga:HZO = 1:18) 的铁电电容器, 并对其铁电特性和耐久性进行了表征。结果显示, Ga 掺杂的 HZO 具有更低的矫顽电场和更高的击穿电场。不同生长位点带来了不同表现形式的铁电特性。其中, 在每单元结构中顶部掺杂样品具有与 HZO 相当水平接近的剩余极化值, 在 3 V 测试电压下 $2P_r$ 达到 $44 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, 矫顽场降至 $0.94 \text{ MV}/\text{cm}$, 击穿电场增加到 $4.3 \text{ MV}/\text{cm}$, 并且开关时间减少了 32%。在 1.5 V 小操作电压下 $2P_r$ 高达 $42 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 。此外, 在 $3 \text{ MV}/\text{cm}$ 的工作条件下耐久性超过 10^9 个周期以上, 相较 HZO 提升了 3 个数量级以上。这种改善主要是由于 Ga 掺杂有效地降低 E_c/E_{BD} 比值, 并减少循环过程中出现击穿概率。该项工作利用多元掺杂体系为优化 HfO_2 基铁电器件可靠性以及实现小操作电压提供了前景。

关键词: 原子层沉积, HZO, 铁电材料, 矫顽电场



参考文献:

- [1] Schroeder, Park, M. H., Mikolajick, T., & Hwang, C. S., "The fundamentals and applications of ferroelectric HfO_2 ", *Nature Reviews. Materials*, 7(8), 653 – 669 (2022).

个人简介:

黄子滢, 复旦大学在读博士研究生。主要研究方向为氧化铪基铁电存储器。



量子点荧光近场光纤探针扫描热成像

李韶颖¹ 陈娜^{1*} 刘真民¹ 刘书朋¹ 商娅娜¹ 刘勇¹ 陈振宜¹ 王廷云¹

¹上海大学 通信与信息工程学院 特种光纤与光接入网重点实验室 上海 邮编 200444

*Email: na.chen@shu.edu.cn

摘要: 工作状态下的功率、宽禁带半导体器件会在微纳米区域产生大量的热，导致局域内温度过高，从而降低器件使用寿命。但是受到空间分辨率和电磁干扰等因素限制，在微纳米尺度内对电子器件进行原位高精度的温度测量仍然较为困难。为了解决这一问题，我们提出了一种基于近场光纤探针的荧光测温法。该方法在光纤探针尖端修饰了具有良好荧光稳定性和电磁兼容性的量子点作为纳米温度传感器，实现了 $0.11 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 的温度灵敏度。探针针尖的通光孔径将有效传感面积缩小到纳米级，实现了高空间分辨率测量。通过探针与样品表面微纳米区域的热交换，并结合扫描探针显微镜的工作原理，实现对样品表面的扫描热成像。这一方法有望应用于电子设备的性能评估和故障分析。

关键词: 微纳米探针，原位器件测量，局域温度检测

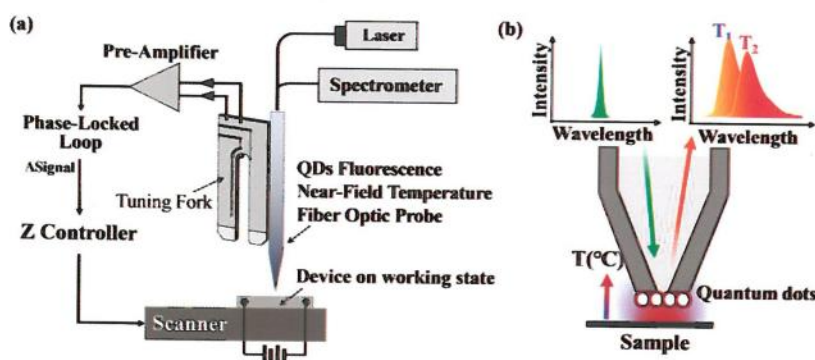


图 (a) 原位微纳米区域热成像和温度传感系统图。(b) 量子点荧光近场光纤探针示意图。

参考文献:

- [1] S. Deshmukh, M. M. Rojo, E. Yalon, et al. "Direct measurement of nanoscale filamentary hot spots in resistive memory devices," *Science Advance*, 8, eabk1514 (2022).
- [2] S. Li, K. Zhang, J. Yang, et al. "Single quantum dots as local temperature markers," *Nano Letters*, 7, 3102-3105 (2007).

个人简介:

李韶颖，上海大学通信与信息工程学院在读博士研究生。主要研究方向为微纳米光纤热传感。



通过调节铁电层中的氧剂量以提高 HZO 铁电薄膜的极化开关速度和耐久性

李煜淳¹ 黄子滢¹ 卢红亮^{1,2*}

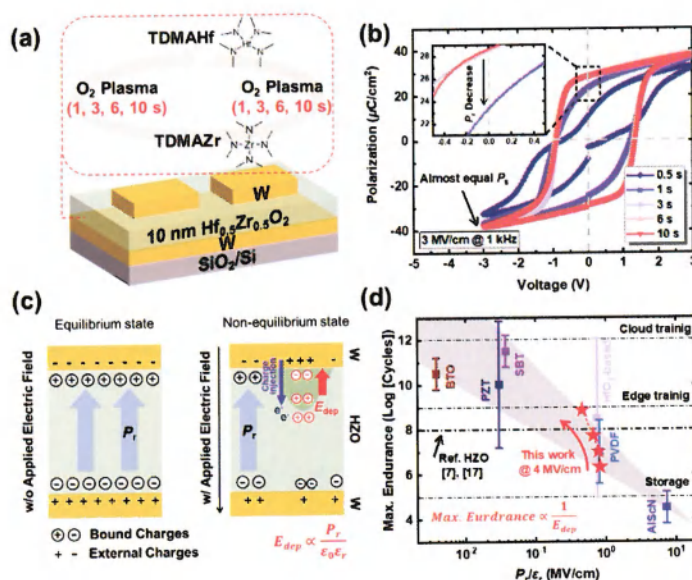
¹复旦大学 微电子学院 专用集成电路与系统国家重点实验室 上海 邮编 200433

²国家集成电路创新中心, 上海, 邮编 201203

*Email: honglianglu@fudan.edu.cn;

摘要: 由于具有良好 CMOS 工艺兼容性, 氧化铪 (HfO_2) 基铁电薄膜材料在先进逻辑和存储领域展现出巨大的应用潜力。近年来, 研究者对 HfO_2 材料的基础铁电性和可靠性的认识有了很大的发展, 对其极化切换过程同样高度关注。迄今为止, 从纳米晶粒、缺陷、非铁电相等角度为提高极化切换速度或循环耐久性进行了探索。然而, 所提出的方法往往伴随着铁电性的牺牲。由于对 HfO_2 材料的动力学过程缺乏统一的认识, 在铁电性、可靠性和极化切换速度之间取得平衡仍然是一项具有挑战性的任务。本文构建了具有不同氧剂量的 Zr 掺杂 HfO_2 (HZO) 薄膜的铁电电容器^[1]。结果表明, 在缺氧条件下生长的样品具有更小的剩余极化、更大的介电常数、更快的开关速度和更好的循环可靠性 ($>10^8$ 次 @ 4 MV/cm)。通过开关诱导电荷注入 (Switching-Induced Charge-Injection, SICI) 模型, 建立了其介电和铁电特性与较优的可靠性和极化切换速度之间的关系。我们的研究表明, 较大的界面去极化场阻碍了早期成核过程中的畴切换, 磨损了金属/铁电界面, 导致材料耐久性下降。剩余极化较小且介电常数较大的缺氧样品在界面附近具有较小的退极化场, 易于更快地切换, 从而也有利于可靠性。本工作为优化 HfO_2 基铁电器件的耐久性和开关特性提供了见解。

关键词: 铁电薄膜材料, HZO, SICI 模型, 耐久性



(a) 器件制备工艺及结构示意图; (b) 在不同氧剂量下生长的样品的电滞回线; (c) 电畴翻转早期阶段的平衡状态和非平衡状态示意图; (d) 器件耐久性和退极化场的基准图。

参考文献:

- [1] Y. -C. Li, X. -X. Li, Z. -Y. Huang, X. -N. Zhu, D. W. Zhang and H. -L. Lu, "The Enhanced Polarization Switching Speed and Endurance in $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ Ferroelectric Thin Film by Modulating Oxygen Dose in Ferroelectric Layers," in IEEE Electron Device Letters, vol. 45, no. 5, pp. 829-832, May 2024.

个人简介:

李煜淳，本科毕业于华中科技大学，现为复旦大学在读博士研究生，微电子与固体电子学专业。主要研究方向为“新型氧化钪基铁电存储器”，以第一作者在 Nano Letters、IEEE Electron Device Letters、Applied Physics Letters 等期刊上发表论文 7 篇。



面向单片三维集成的高性能、高可靠性氧化物半导体铁电存储器件及其性能优化

刘胤池¹ 卢红亮¹ 丁士进¹ 刘文军^{1,2*}

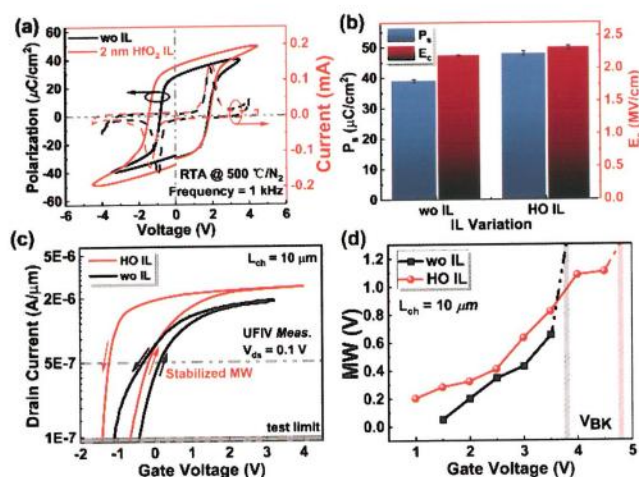
¹复旦大学 微电子学院 上海 邮编 200433

²复旦张江国家集成电路创新中心, 上海, 邮编 201203

*Email: wjliu@fudan.edu.cn

摘要: 近年来, 基于氧化物半导体的铁电存储器件因其高写入速度、优异的 CMOS 工艺兼容性以及出色的可微缩性而备受关注, 被视为大规模存储电路及单片三维集成(M3D)架构的有利候选者之一。然而, 铁电存储晶体管(FeFET)在实际中的应用仍存在一些限制, 如存储窗口小、耐久特性差($< 10^5$)等问题。这不仅与铁电材料的铁电性有关, 半导体沟道与铁电栅介质间的界面性质也对其产生较大的影响。本文中, 我们在金属牺牲层工艺的基础上, 创新性的引入超薄氧化铪(HfO₂)作为界面修饰层, 设计并制备出了具有大存储窗口(~ 1.1 V)和高可靠性($\sim 10^7$)的 FeFET。相比于无界面层的器件, 引入超薄 HfO₂ 界面层可以优化栅介质的电场分布并抑制电荷注入等现象, 使得器件在可靠操作电压下的存储窗口和可靠性($\sim 1000\times$)得到提升的同时, 具有外推十年的保持特性。

关键词: 原子层沉积, HfO₂ 铁电材料, 存储窗口, 可靠性



个人简介:

刘胤池, 博士研究生, 现就读于复旦大学微电子学院, 集成电路工程与科学专业, 主要研究方向为“与后道工艺兼容的新型铪基铁电存储器件及其电路设计”, 以第一作者发表 IEEE EDL 论文 2 篇。



基于 TS-DFT 的近场光纤 FBG 探针局域温度原位检测

刘真民¹ 陈娜^{1*} 李韶颖¹ 刘勇¹ 商娅娜¹ 陈振宜¹ 刘书朋¹ 王廷云¹

¹上海大学 通信与信息工程学院 特种光纤与光接入网重点实验室 上海 邮编 200444

*Email: na.chen@shu.edu.cn

摘要: 在微型电子器件中, 局部过热是导致器件失效的主要原因。由于器件内部的发热区域较小且持续时间较短, 传统测量方法往往难以捕捉到瞬态热事件[1,2]。本研究利用扫描探针显微镜和光纤布拉格光栅 (FBG) 近场探针, 精确识别热点位置。我们采用时间拉伸色散傅里叶变换 (TS-DFT) 技术, 将探针频域信号映射到时域上来提高解调速率。通过对光脉冲在色散介质中传播过程的数值计算, 并结合近场温度标定实验, 我们验证了该技术实现 51.43 MHz 解调速率的能力。在实验中, 当一个用于气体传感的微型电子器件受到 2 ms 电激励信号时, 我们捕捉到了微加热器产生的 6°C 热脉冲响应, 并且测量过程不会影响器件的正常工作。

关键词: 局域温度, FBG 近场探针, 时间拉伸色散傅里叶变换技术

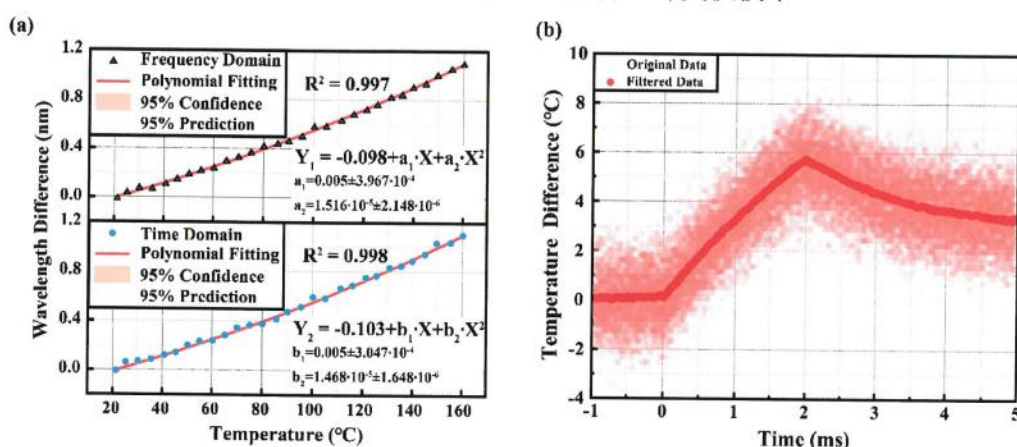


图 (a) FBG 近场探针温度标定曲线, (b) FBG 探针捕捉到的微型电子器件温度脉冲。

参考文献:

- [1] A. De Pasquale,* D. Rossini, R. Fazio, and V. Giovannetti, "Local quantum thermal susceptibility", *Nature Communications* 7, 1-8 (2016).
- [2] M. Ibáñez, C. Dieball, A. Lasanta, A. Godec,* and R. A. Rica,* "Heating and cooling are fundamentally asymmetric and evolve along distinct pathways", *Nature Physics* 20, 135-141 (2024).

个人简介:

刘真民, 上海大学在读博士研究生, 主要研究方向是超快微区温度原位检测。



微纳器件中热电子的显微成像研究

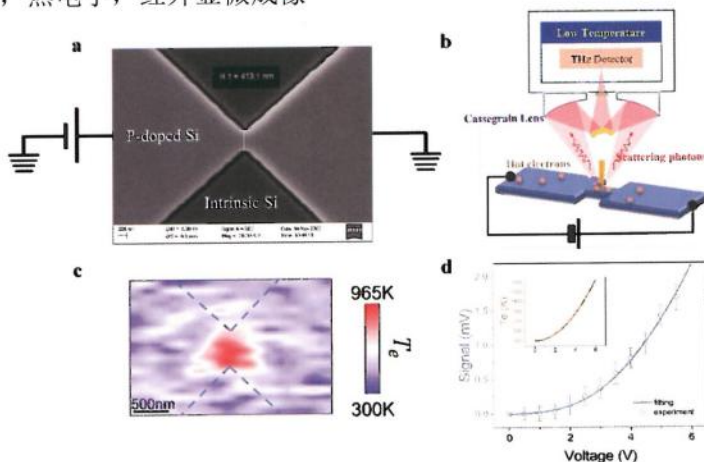
卢洧侗¹ 张国康¹ 段思宇¹ 陈冰心¹ 安正华¹

¹复旦大学 物理学系 应用表面物理国家重点实验室 上海 邮编 200433

*Email: anzhenghua@fudan.edu.cn

摘要: 在现代半导体产业中,随着器件特征尺寸的不断缩小,高效地散热是行业发展的重要挑战之一。在高局域电场下,电子在极小的距离内快速加速,与晶格之间形成强烈的非平衡状态。因此,在纳米尺度上优化热管理以及调控热电子动力学是一个重要的发展课题。现有的纳米测温手段主要聚焦于晶格的温度变化而非热电子,而传统的光学探测热电子技术的空间分辨率受衍射极限限制,难以应用于纳米尺度的热电子动力学研究。我们借助与近场光学的手段,将红外光学检测和原子力显微镜相结合,通过探测微纳器件中热电子散粒噪声引起的红外辐射,得到了纳米尺度下的热电子能量耗散的空间分布,并且其空间分辨率能达到约 $\lambda/300$ [1]。实验结果发现在窄纳米沟道中(约 400 nm),热电子能够被加热到 1000 K 以上,远远高于晶格温度[2]。我们的技术可以应用于纳米尺度热电子动力学的机制研究以及优化微纳器件的热管理。

关键词: AFM, 热电子, 红外显微成像



参考文献:

- [1] Q. Weng, S. Komiyama, L. Yang, Z. An, * P. Chen, S. A. Biehs, Y. Kajihara, W. Lu, * "Imaging of nonlocal hot-electron energy dissipation via shot noise", *Science* 360, 775-778 (2018).
- [2] H. Xue, R. Qian, W. Lu, X. Gong, L. Qin, Z. Zhong, Z. An, * L. Chen, W. Lu, * "Direct observation of hot-electron-enhanced thermoelectric effects in silicon nanodevices", *Nat. Commun.* 14, 3731 (2023).

个人简介:

卢洧侗, 复旦大学物理系博士研究生。主要研究方向是基于扫描探针技术的红外显微成像学。



基于显微拉曼光谱的硅通孔（TSV）三轴应力

测量方法研究

马杰^{1,2} 叶淑娇^{1,2} 方悦^{1,2} 王伟波^{1,2*}

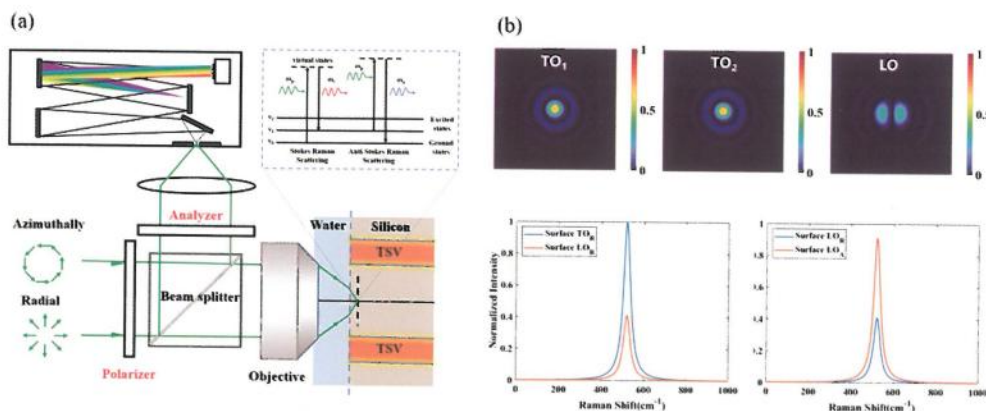
¹哈尔滨工业大学，超精密光电仪器工程研究所，哈尔滨，邮编 150080

²哈尔滨工业大学，超精密仪器技术及智能化工信部重点实验室，哈尔滨，邮编 150080

*Email: wwbit@hit.edu.cn

摘要：硅通孔（TSV）是实现半导体微结构三维堆叠集成的主要技术途径，IEEE 在 2023 年发布的国际设备和系统路线图（IRDS）计量报告中明确指出：为提升半导体三维集成工艺性能与可靠性，需要实现 TSV 应力精确测量 [1]。三轴应力假设是 TSV 实际应力状态的最佳近似，但受限于硅基材料各光学声子拉曼谱峰激发与分离困难，当前拉曼光谱应力检测方法主要基于单轴和等双轴应力假设。本文中，我们提出一种利用圆柱矢量光入射激发显微拉曼光谱的 TSV 三轴应力测量方法。首先建立圆柱矢量光入射下硅基材料各光学声子拉曼谱激发矢量模型，实现不同偏振态入射下各光学声子相对强度的精确分析，然后利用角向偏振光独立激发轴向光学（LO）声子谱峰先验信号，利用径向偏振光入射同时激发 LO 声子和横向光学（TO）声子，结合光学声子拉曼谱峰激发矢量模型，实现 TO 和 LO 谱峰的有效分离。在获取三个光学声子的准确位置信息后，依据晶格动力学方程可实现 TSV 三轴应力测量。本文为实现 TSV 微尺度三轴主应力精确测量提供了一种有效方案。

关键词：拉曼光谱，硅通孔（TSV），应力，光学声子



(a) 圆柱矢量光入射样品激发拉曼信号示意图, (b) 角/径向偏振入射下各光学声子拉曼谱峰强度激发特性。

参考文献：

[1] International Roadmap for Devices and Systems (IRDS) 2023 Update Metrology[C]. IEEE, Available online: [IRDS™ 2023: Metrology - IEEE IRDS™](#).

个人简介：

马杰，哈尔滨工业大学在读博士研究生，研究方向为显微拉曼光谱成像与检测技术。



IL/HfO₂ 界面插入 Ga₂O₃ 偶极子调控 MOS 电容平带电压的研究

沈磊¹ 朱小娜^{1*} 李煜淳¹ 吕昱东¹ 石蔡语¹ 黄腾¹ 黄子滢¹
张卫^{1,2} 卢红亮^{1,2*}

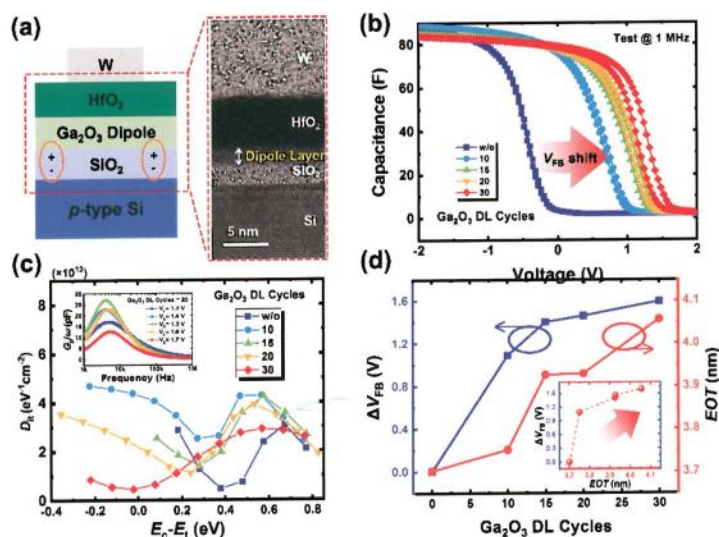
¹复旦大学 微电子学院 专用集成电路与系统国家重点实验室 上海 邮编 200433

²国家集成电路创新中心, 上海, 邮编 201203

*Email: xiaona_zhu@fudan.edu.cn; honglianglu@fudan.edu.cn

摘要: 高 k /金属栅 MOS 器件中的关键问题之一是阈值电压 (V_{TH}) 的控制。在高 k /SiO₂ 界面形成的电偶极层被广泛研究, 作为调节 V_{TH} 的主要手段之一。目前对于 n 型偶极层的研究较为成熟, 而对于 p 型偶极层的研究仍较少, 现有的 p 型偶极材料如 Al₂O₃ 存在载流子迁移率和可靠性退化等问题。因此, 寻找一种新型的 p 型偶极材料显得尤为重要。本研究中, 通过原位原子层沉积 (ALD) 技术, 在 SiO₂/HfO₂ 界面上沉积 10 到 30 个周期的 Ga₂O₃ 偶极层, 仅增加 0.05-0.36 nm 的等效氧化物厚度 (EOT), 从而实现了 1.09-1.59 V 的显著正向 V_{FB} 调制。本研究表明, Ga₂O₃ 在先进工艺节点中是一种有潜力的 p 型偶极子替代材料, 适用于多阈值电压技术的发展。

关键词: 原子层沉积, Ga₂O₃ 偶极子层, 平带电压调制, 高介电常数金属栅



参考文献:

- [1] R. Bao, H. Zhou, M. Wang, et al. "Extendable and Manufacturable Volume-less Multi-Vt Solution for 7nm Technology Node and Beyond," in 2018 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), 28.5.1-28.5.4 (2018).

个人简介:

沈磊, 本科毕业于吉林大学电子科学与工程学院, 现为复旦大学微电子学院电子科学与技术专业在读硕士研究生, 主要研究方向为宽禁带氧化物半导体器件。



Nb₂O₅/HfO₂/SiO₂ 栅介质堆叠结构中界面偶极子诱导的 MOSCAP 平带电压偏移

石蔡语¹ 沈磊¹ 黄子滢¹ 应新斌¹ 余星¹ 张宇航¹ 卢红亮^{1,2*}

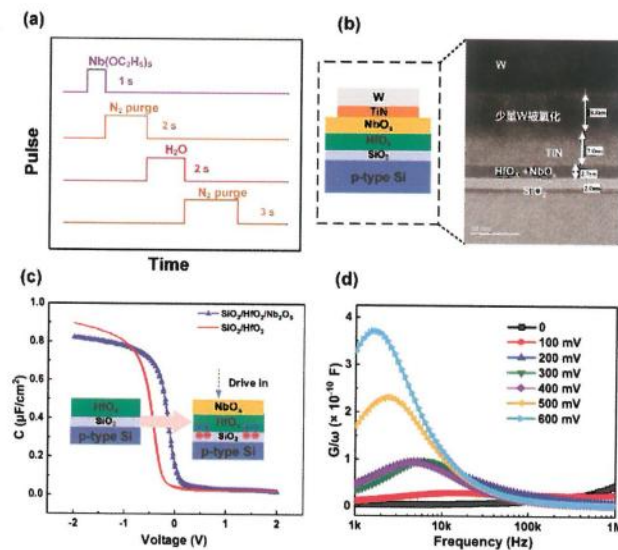
¹复旦大学 微电子学院 专用集成电路与系统国家重点实验室 上海 邮编 200433

²国家集成电路创新中心, 上海, 邮编 201203

*Email: honglianglu@fudan.edu.cn;

摘要: 在高 k/SiO₂ 界面上偶极子层的形成现在被认为是金属栅极 CMOS 中阈值电压(V_{TH})移位的主要原因。由于可以有效调节 MOSCAP 平带电压值(V_{FB}), 在 Hf 基介质上覆盖金属氧化物层受到了极大的关注。作为覆盖层, 需要薄而均匀, 以达到预期的 V_{FB} 控制效果, 并且不增加氧化物等效厚度值(EOT)。因此, 由于其优越的厚度可控性和均匀性, 原子层沉积(ALD)技术制备覆盖层是调制 V_{FB} 最有希望的方法之一。通过改变材料和/或工艺条件, 可以在技术上找到最佳选择。本研究中探究在 HfO₂ 层上通过 ALD 技术原位生长厚度 6 Å 的超薄 Nb₂O₅ 栅极覆盖层。实验证明在牺牲 EOT 不超过 2 Å 的情况下, 实现~280 mV 的 V_{FB} 的正向偏移。因此 Nb₂O₅ 是一种极具潜力的新型 p-dipole 替代材料, 为选择合适的栅极堆叠和电介质以满足未来 CMOS 器件的要求提供了新的途径。

关键词: 原子层沉积, Nb₂O₅ 薄膜, 偶极子, 氧化物等效厚度, 平带电压偏移



参考文献:

[1] J. Yao, Y. Wei, S. Yang, et al. "Record 7(N)+7(P) Multiple VTs Demonstration on GAA Si Nanosheet n/pFETs using WFM-Less Direct Interfacial La/Al-Dipole Technique," in 2022 International Electron Devices Meeting (IEDM), 34.2.1-34.2.4 (2022).

个人简介:

石蔡语, 本科毕业于山东大学微电子学院, 现为复旦大学微电子学院微电子学与固体电子学专业在读博士研究生, 主要研究方向为 ALD 生长金属氧化物薄膜和波导集成的纳米级薄膜光电探测器。



光纤式时间相关拉曼光谱测温探头

谭澳帝¹ 陈娜^{1*} 刘真民¹ 李韶颖¹ 夏力¹ 刘勇¹ 商娅娜¹ 刘书朋¹
陈振宜¹ 王廷云¹

¹上海大学 通信与信息工程学院 特种光纤与光接入网重点实验室 上海 邮编 200444

*Email: na.chen@shu.edu.cn

摘要: 本文设计了一种小型化的光纤式时间相关拉曼光谱测温探头,用于时间相关拉曼检测、稳态非接触式原位测温^[1]和时间相关非接触式原位测温^[2]。基于此探头搭建了时间相关拉曼检测系统。在非接触式的条件下探究了不同稳态温度下 Si 样品的拉曼光谱特征和温度的依赖关系曲线。通过建立小型光纤式时间相关拉曼光谱测温探头和加热平台的同步时间延迟关系,成功在非接触式条件下测量了处于周期性温度变化下 Si 样品的原位温度。本小型光纤式时间相关拉曼光谱测温探头在非接触式原位温度测量、材料的特性研究以及化学反应过程监测具有应用潜力。

关键词: 拉曼光谱, 时间相关, 光纤, 半导体

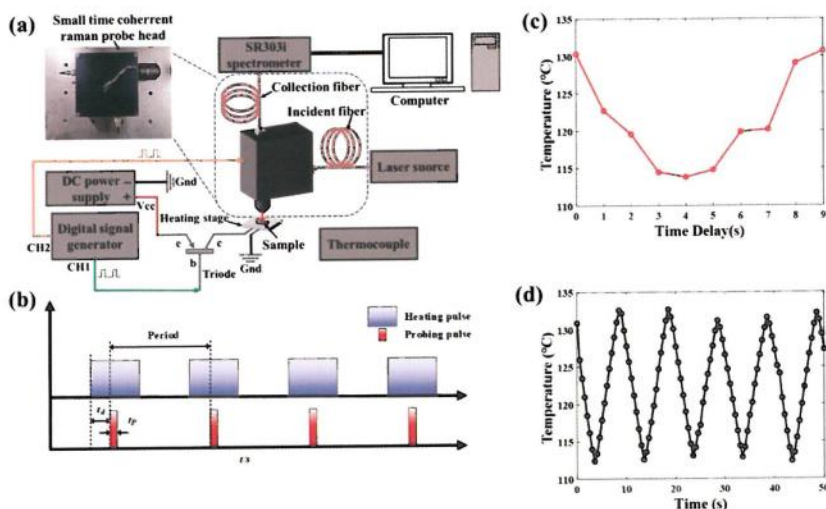


图 (a) 时间相关拉曼测温系统示意图。(b) 时间相关拉曼测温时序图。(c) 时间相关原位拉曼测温结果图。(d) 热电偶测温结果图。

参考文献:

- [1] Zhang, Bohong, et al. "In situ high-temperature Raman spectroscopy via a remote fiber-optic Raman probe", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 72, 1-8 (2023).
- [2] Fan, Aoran, et al. "Opto-electric flash Raman method for in situ measuring temperature variation of power device with a high temporal resolution", *Applied Thermal Engineering* 217, 119190 (2022).

个人简介:

谭澳帝, 上海大学通信与信息工程学院在读硕士研究生。



瞬态热反射成像测温技术研究

夏力¹ 商娅娜¹ 刘真民¹ 李韶颖¹ 刘书朋¹ 刘勇¹ 陈振宜¹
王廷云¹ 陈娜^{1*}

¹上海大学 通信与信息工程学院 特种光纤与光接入网重点实验室 上海 邮编 200433

*Email: na.chen@shu.edu.cn

摘要: 瞬态热反射成像测温技术已被证明可以用来测量半导体器件的瞬态温度[1]。该技术需要长时间测量以消除散粒噪声的影响,但长时间内的光源功率波动会影响热反射测温的结果。为了消除光源波动对热反射测量的干扰,本文在触发光源信号与激励样品信号之间,交替实现两者的同步与延迟,在获得样品参考图片后立刻获得样品升温时刻的图片,为了减少散粒噪声的影响,再重复获取样品的参考图片和升温图片。该方法测量得到硅芯光纤的纤芯在一个温度变化周期内反射率的变化($\Delta R/R$)为 2.58×10^{-4} ,而相同测量时间内光源波动导致硅芯反射率的变化为 -2.2×10^{-2} ,说明该方法可以消除光源波动的影响。利用该方法,以硅芯光纤为样品进行了光热瞬态测温实验验证,得到温度变化的时间分辨率为 20 ms。

关键词: 瞬态热反射成像, 光源功率波动, 散粒噪声, 硅芯光纤

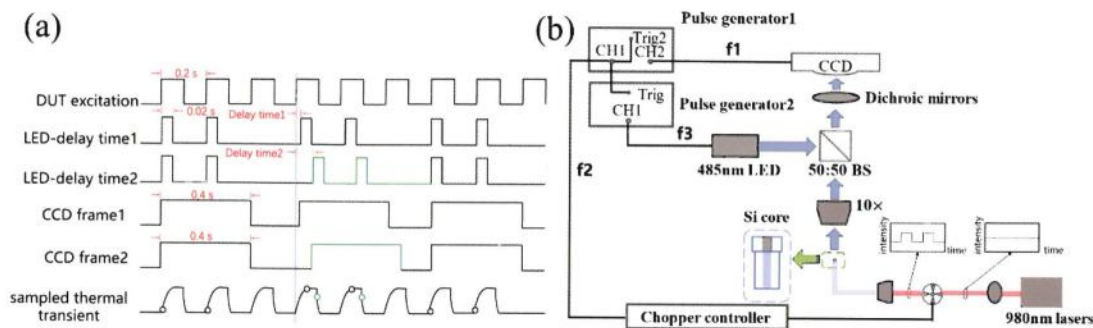


图 (a) 改进后的瞬态热反射时序图; (b) 改进后的瞬态热反射系统的示意图

参考文献:

- [1] T. Singh, and R. R. Mansour. "Experimental investigation of thermal actuation crosstalk in phase-change RF switches using transient thermoreflectance imaging." *IEEE Transactions on Electron Devices* 68.7 (2021): 3537-3544.

个人简介:

夏力, 上海大学通信与信息工程学院在读硕士研究生, 主要研究热反射测温。



基于小样本学习的晶圆镀膜工艺优化与设备研发

杨艾嘉¹ 余晓奇¹ 商娅娜¹ 陈娜¹ 刘书朋^{1*}

¹上海大学 通信与信息工程学院 特种光纤与光接入网重点实验室 特种光纤与先进通信国际合作联合实验室 上海 邮编 200444

*Email: liusp@shu.edu.cn

摘要: 晶圆是将硅(Si)或砷化镓(GaAs)制成的单晶柱体切割形成的圆薄片,是半导体制造中的重要组成。在生产过程与运输过程中,晶圆衬底通常不可避免含有其他化学杂质、物理污染物、吸附的水汽等,这些物质的存在都会影响光刻的过程以及图案的质量。因此,在晶圆加工完成后通过薄膜沉积技术对其镀上一层抗粘层镀膜,可以更容易的完成最大程度的脱附和清洗。晶圆抗粘层镀膜流程为:腔室吹扫(多次),抽真空,样品加热,真空环境下的样品沉积,腔体吹扫多次,恢复大气压。样品气体沉积形成单层膜与晶圆处理过的表面共价键结合,从而在晶圆表面添加单层抗粘涂层。目前用于晶圆抗粘层镀膜的薄膜沉积设备成本高,且会出现长期使用吹扫不净、样品残余沉积导致镀膜效果不佳的情况。

本文面向晶圆抗粘层镀膜,通过流体力学仿真设计对镀膜的真空腔(反应器)进行优化改善吹扫不净的情况。腔内以空气和氮气作为吹扫气体,则研究对象为低速不可压两相流,连续相为洁净空气(氮气),箱体内速度分布计算求解低速定常不可压雷诺平均(Navier-Stokes, NS)方程,离散相粒子吹扫过程应用DPM(Discrete Phase Model)方法进行数值模拟。搭建相应的硬件系统与人机交互平台,并进行测试实验,同时依据获得的实验数据进行小样本学习,通过环境数据、样品数据等与疏水性等镀膜性能进行多映射预测。本文设计了两条小样本回归算法路线:遗传算法和粒子群算法改进传统神经网络;拆分传统神经网络得到双层简化神经网络模型。通过预测模型针对性的对本文所搭建的薄膜沉积系统进行进一步的参数优化。

关键词: 薄膜沉积系统, 流体力学, 晶圆, 小样本回归, 人机交互

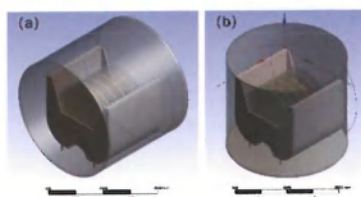


图1 装载有晶圆的模型,腔室尺寸为(a)直径400 mm,深度300 mm,(b)直径350 mm,深度300 mm。

参考文献:

- [1] 强永发,吴文龙,刘建国等.大口径片状放大器片箱腔内气体吹扫过程模拟[J].强激光与粒子束, 2023, 35(06):37-44.

个人简介:

杨艾嘉,上海大学,通信与信息工程学院,在读二年级硕士研究生,电子信息专业,主要研究方向硬件工程,晶圆镀膜设备研发。参与项目晶圆抗粘层镀膜设备研发,柑橘糖酸度检测设备开发,AD 健脑仪优化开发等。



多维信息结合卷积神经网络和压缩感知实现快速 AFM 成像

叶帅¹ 商娅娜¹ 陈娜^{1*} 刘真民¹ 李韶颖¹ 刘书朋¹ 刘勇¹ 王廷云¹

¹上海大学 通信与信息工程学院 特种光纤与光接入网重点实验室 上海 邮编 200444

*Email: na.chen@shu.edu.cn

摘要: 原子力显微镜广泛用于纳米尺度的成像, 为了获得高质量的 AFM 图像, 通常需要大量扫描时间 [1]。本文提出了一种新的 AFM 快速成像方法, 先通过快速欠采样获得低分辨率图像, 再利用压缩感知 (CS) 算法重建高分辨率图像[2], 然后选择快速扫描图像和 μ 路径扫描慢速扫描图像作为卷积神经网络 (CNN) 的训练数据集, 利用 CNN 对 CS 重建结果进行优化, 获得高质量的图像, 并将探针的幅度、相位、偏差等多维度信息作为特征信息输入 CNN。结果表明: CNN 优化结果与慢速扫描图像的峰值信噪比 (PSNR) 和结构相似度 (SSIM) 分别为 33.33 dB 和 0.97, 成像速度提高了 6.95 倍。此外, μ 路径规划和边缘检测相结合, 提高了 CNN 优化样品边缘信息的能力, PSNR 和 SSIM 分别提高了 0.50 dB 和 0.01。

关键词: 原子力显微镜, 压缩感知, 卷积神经网络

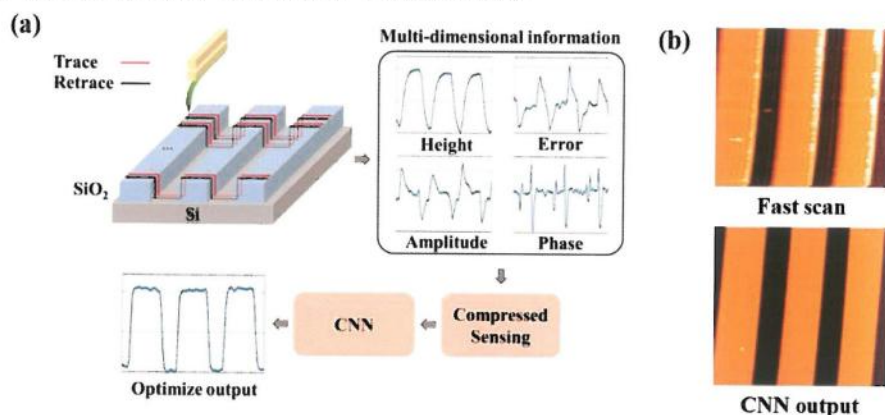


图 1 系统框图与优化结果

参考文献:

- [1] G. Binnig, C. F. Quate, and C. Gerber, "Atomic force microscope," *Phys. Rev. Lett*, vol. 56, no. 9, pp. 930-933, Mar. 1986.
- [2] D. L. Donoho, "Compressed sensing," *IEEE Transactions on Information Theory* 52, 1289-1306 (2006).

个人简介

叶帅, 上海大学在读硕士研究生, 主要研究方向: 快速原子力显微成像方法研究。

