

微纳加工平台及微纳加工共性技术

曾中明¹

¹ 中国科学院苏州纳米所

摘要：微纳加工技术是微传感器、微执行器、微结构和功能微纳系统制造的基本手段和重要基础，是衡量国家高端制造业水平的标志之一。未来信息芯片、新型装备、光电器件等纳米器件的研究离不开先进的微纳加工技术，本报告首先介绍国内规模宏大的微纳加工平台，然后介绍一些典型芯片的微纳加工技术。加工平台为企业、院校提供微纳加工、封装、测试等全流程服务，助力科研突破和产品研发。

个人简介：

曾中明，现任中国科学院苏州纳米所研究员、博导，纳米加工平台主任。2000 年于中南大学获学士学位，2006 年于中国科学院物理研究所磁学国家重点实验室获博士学位，并入选院优秀博士学位论文。2012 年 1 月加入苏州纳米所，入选国家高层次人才特殊支持计划、中国科学院“率先行动”引才计划、江苏省“双创人才”、江苏省“双创团队”和江苏省“333 人才工程”第二层次等。获北京市科学技术一等奖、中国科学院青年科学家国际合作伙伴奖。



回国以来一直致力于新型信息功能器件、纳米智能器件及微纳加工技术研究。承担了国家重点研发计划项目、国家自然科学基金重点及面上项目、金砖国家国际合作项目、王宽诚国际创新团队项目等，累计经费逾 5000 万元。在 Nature、Adv. Mater.、Phys. Rev. Lett.、Nat. Commun. 等期刊上发表 SCI 论文 200 余篇。参与编写中英文专著各一章，获美国、日本和中国授权发明专利 30 余项。应邀在 APS、MMM、IcAUMS、IUMRS-ICAM 等国际学术会议上作特邀报告 10 余次。现任国家纳米专业标准委员会委员、高新技术企业认定技术专家、国家新材料计量专家、中国材料研究学会智能传感功能材料与器件分会常务委员、江苏省物理学会电磁材料与器件委员。

基于原子层沉积的光电子器件制备技术研究

王冠然¹ 王玉翰¹ 段羽^{1,2*}

¹ 吉林大学电子科学与工程学院, 集成光电子国家重点实验室, 中国长春 130012

² 长春电子科技学院电子工程学院, 中国长春 130114

*Email: duanyu@jlu.edu.cn

摘要: 柔性光电器件的稳定性极易受到空气中水分和氧气的影响, 因此需要有效的薄膜封装技术来保护其性能。原子层沉积 (ALD) 是一种利用自限制反应在低温下沉积具有精确可控厚度和均匀密度的薄膜的技术。该技术可实现柔性光电器件的高效封装。我们对有机发光二极管 (OLED) 和钙钛矿光伏器件的低温 ALD 封装进行了研究, 以提高其防水氧能力和使用寿命。此外, 我们还开发了具有不同功能的光电器件, 如电反射显示器。尽管它们在切换速度和循环寿命方面仍存在不足, 但我们希望通过使用 ALD 技术解决这些关键问题, 并最终实现实用化。

关键词: 原子层沉积, 柔性光电子器件, 薄膜封装, 电致反光器件



图 1. 电致反光器件: 透明状态 (左); 镜面状态 (右)

参考文献:

- [1] NMP limits silver particle size to solve deposited film breakup problems; M Yuan, X Jiang, Y Liu, A Xu, X Tang, X Wang, L Yuan, Y Duan*, AIP Advances 14 (4) 2024.
- [2] Electro-Reflective smart windows with Cu⁺ Ions: Enhanced coloration efficiency and cycle stability; J Zhang, X Jiang, M Yuan, A Xu, X Tang, L Yuan, C Liu, Y Duan*, Materials Letters 371, 136962, 2024.

个人简介:

段羽, 吉林大学的唐敖庆特聘教授, 长白英才领军教授。主要从事半导体光电器件的研究, 已发表 150 余篇论文, 申请发明专利 50 余项, 并担任《Journal Electronic Materials》的编委。



互补型氧化物薄膜晶体管及逻辑电路研制

刘兴强¹ 廖蕾^{1,2,*}

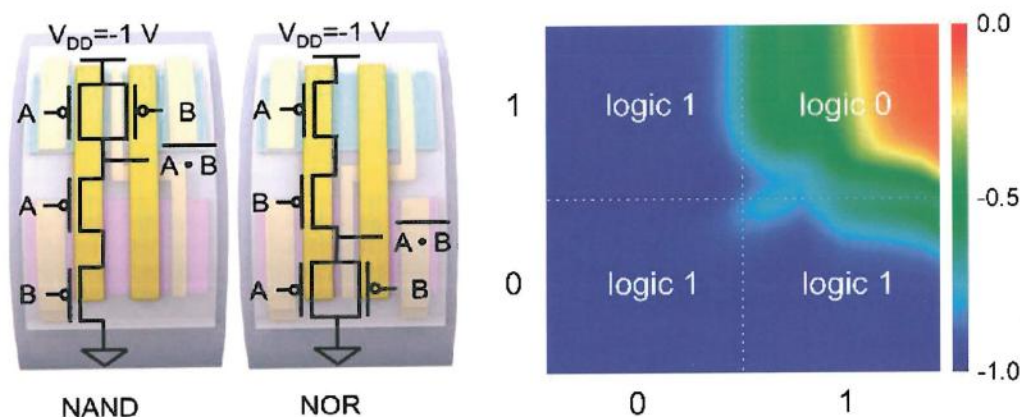
¹湖南大学半导体学院（集成电路学院），长沙 邮编 410082

²湖南大学物理与微电子科学学院，长沙 邮编 410082

*Email: liaolei@whu.edu.cn

摘要：针对氧化物半导体迁移率与稳定性相互制衡以及 p 型迁移率较低的难题，研究了不同钨系元素掺杂对氧化物 TFT 器件性能和稳定性的影响，发展了具有高 NBIS 稳定性的铽掺杂氧化物半导体材料体系；从材料组分、生长动力学环境及器件结构多维度协同优化了氧化物 TFT 电学性能和稳定性，探明了薄膜制备动力学环境参数、微观结构与电学性能的内在联系；突破了迁移率与稳定性相互制衡的瓶颈，提升了器件的迁移率和光、热、偏压稳定性；采用双介质钝化层，实现了对 p 型氧化物输出性能的调控，并减少界面缺陷，提升偏压稳定性和可靠性；利用铜掺杂调控阈值电压、迁移率，实现了全氧化物互补型逻辑电路。

关键词：磁控溅射，互补型氧化物，薄膜晶体管，逻辑电路



参考文献：

- [1] Molybdenum disulfide transistors with enlarged van der Waals gaps at their dielectric interface via oxygen accumulation, *Nature Electronics*, 5, 849, 2022.
- [2] Enhanced stability and mobility of solution-processed oxide thin-film transistors with bilayer terbium-incorporated indium oxide channel, *Appl. Phys. Lett.* 121, 193301, 2022.

个人简介：

刘兴强，男，湖南大学，教授，教育部青年长江学者。主要研究面向先进显示技术的高性能低功耗薄膜电子器件，从栅极介质与结构设计、沟道材料物性调控两方面开展研究工作，发表 SCI 论文 80 余篇。实现了国产化显示用高迁移率氧化物靶材，产品获第十二届全国创新创业大赛福建赛区一等奖，产品近两年营收达到 3000 万。



ALD 技术及在片上微能源器件应用

黄晓东*

东南大学 集成电路学院 MEMS 教育部重点实验室 南京 邮编 210093

*Email: xdhuang@seu.edu.cn

摘要: 超越摩尔 (More than Moore) 是后摩尔时代的关键路径之一。超越摩尔的本质特征在于功能多样性, 片上微能源器件是发展超越摩尔核心器件之一。本报告主要介绍 ALD 技术在片上微型薄膜锂离子电池与超级电容器等微能源器件的应用, 包括: 基于 ALD 技术开发与 CMOS 技术兼容的固态电解质薄膜并发展合适的界面修饰技术, 改善其稳定性; 基于 ALD 技术开发出钝化层薄膜, 提升器件封装可靠性; 在此基础上, 开发出宽温区、高可靠的片上微能源器件并实现应用。

关键词: 超越摩尔; ALD 技术; 界面修饰; 片上微能源器件

参考文献:

- [1] B. Jia, C. Zhang, M. Liu, Z. Li, J. Wang, L. Zhong, C.Y. Han, M. Qin, X.D. Huang,* “Integration of Microbattery with Thin-Film Electronics for Constructing An Integrated Transparent Microsystem Based on InGaZnO”, Nat. Commun. 14, 5330 (2023).
- [2] X.R. Wu, L.H. Wang, W.Q. Gu, J. Wang, Y.H. Zhuang, H.Z. Sun, J.F. Liu, C. Wang, N. Shi, X.D. Huang,* “High-Performance Three-Dimensional Stacked Micro All-Solid-State Thin-Film Lithium-Ion Batteries Based on the Stress-Compensation Effect”, Small. 20, 2307250 (2024).

个人简介:

黄晓东, 男, 香港大学博士 (提前毕业), 2018 破格晋升教授, 2021 年被选聘为东南大学特聘教授 (高层次人才岗), 江苏省中青年学术带头人, 国家重点研发计划项目首席科学家。研究方向包括: 能量信息一体化器件与集成技术、MEMS 与微系统。在 IEEE、ECS、ACS 等刊物发表第一/通讯作者论文 40 余篇, 担任全国敏感元件与传感器学术会议领导小组成员、IEEE 会议技术委员会主席等职务。



真空 ALD 微纳嵌入与光纤分布式输运电磁波技术的集成应用

卢杰¹ 相泽扬¹ 王克祥¹ 李浩宇¹ 周俊秀¹ 文赞¹ 陆云龙¹ 黄季甫¹ 蒋然^{1,2,*}

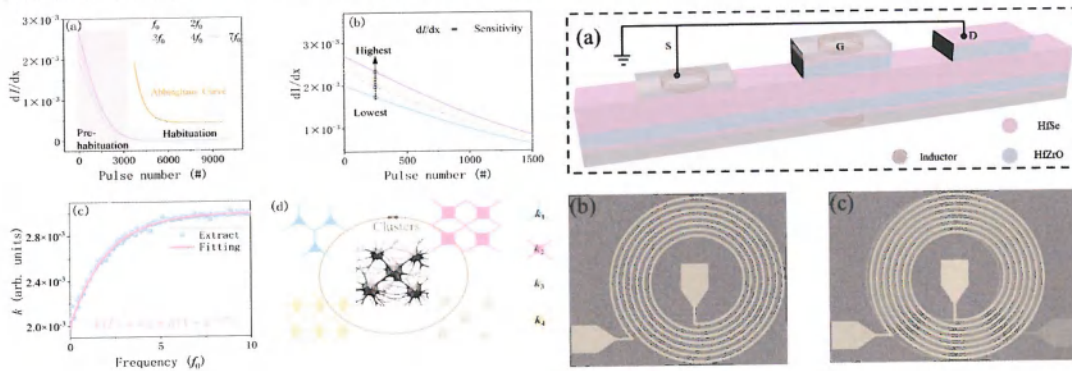
¹宁波大学 高等技术研究院&未来无线研究院 宁波 邮编 315211

²微导信(杭州)科技有限公司, 杭州, 邮编 311121

*Email: jiangran@nbu.edu.cn

摘要: 在当前 5G 和未来 6G 通信需求的推动下, 高速、高带宽的通信技术正在成为半导体领域的前沿挑战。然而, 毫米波信号在长距离传输中易受阻断和衰减的影响, 传统技术难以实现广覆盖。基于此, 本报告提出一种将先进的半导体微纳加工存储器器件技术与光纤分布式输运电磁波技术相结合的新方案, 通过在光纤系统中嵌入集成存储器和传感模块, 以实现更高效的分式电磁波传输。报告介绍在真空环境中, 通过 HfO_2 基存储器的微纳加工实现存储性能优化的关键工艺, 包括电荷注入、氧空位聚簇分布及自整流选通等技术的创新。这些工艺不仅对存储器性能起到提升作用, 也为光纤嵌入式集成提供了可靠的技术支撑。并进一步探讨如何借助真空微纳制备技术进行高精度薄膜沉积和微纳米结构的制备, 确保半导体器件在极端环境下的稳定性和可靠性, 特别是在真空条件下优化器件的 TEM 模式双工设计和多频段功能。此外, 集成的非线性失真补偿技术在毫米波频段的分布式传输中表现优越, 满足了未来通信系统对信号广覆盖和高频率稳定性的要求。最后, 报告展示这一技术的多场景应用前景, 包括在无信号区的紧急通信、智能驾驶环境的路况交互, 以及军工领域的特殊通信需求。该技术方案通过集成创新性半导体微纳器件与真空技术下的光纤分布式传输, 为未来通信系统的核心模块化和小型化提供了全新的可能性。

关键词: 原子层沉积, 光纤分布式系统, 掺杂的 HfO_2 薄膜, 高频电磁波



参考文献:

- [1] Jie Lu, Zeyang Xiang, Kexiang Wang, Ziyu Wang, Si Shi, Zuming Liu, Xiran Chen, Xinyu Hu, and Ran Jiang,* "Frequency synaptic behavior of ZnO/HfZrO memristor with pulsed stimuli", *Appl. Phys. Lett.* 125, 083508 (2024).
- [2] Kexiang Wang, Jie Lu, Zeyang Xiang, Ranping Li, Zixuan Wang, Huilin Jin, and Ran Jiang,* Investigation on self-rectifying properties of Pt/HfO₂/Ti with rivet-like structure based on ALD conformal technology", *Appl. Phys. Lett.* 124, 203503 (2024).

个人简介：

蒋然，宁波大学教授/学术带头人，微导信（杭州）科技有限公司总经理。主要从事铅基薄膜物性与应用研究、基于光纤分布式系统的半导体微纳嵌入集成应用研究。于 2010-2011 年赴韩国首尔国立大学和三星公司访问学习。2012 年赴德国 RAITH 公司访问学习光刻机设备。曾入选天津市海河英才（A 类），天津大学长聘教授（英才计划），山东泰山人才工程，宁波甬江人才工程等荣誉。承担国家级项目 3 项、浙江省重大创新群体项目 1 项，及其他省部级项目多项。研究成果发表在 IEEE 工程系列等知名期刊 50 余篇，授权专利 7 项。上海市科技奖、上海重点专项项目评审专家；浙江省专家智库成员、浙江省重大项目评审专家组成员；深圳、陕西、河南等省级重点基金和重大专项评审专家。



钙钛矿光电器件的真空制备

张千鹏^{*1} 韩骏超¹ 胡盈¹ 莫晓亮¹

¹复旦大学 光电研究院 光伏科学与技术全国重点实验室 上海 邮编 200433

^{*}Email: zhang_qp@fudan.edu.cn

摘要: 钙钛矿电子器件凭借其卓越的光电特性, 在光伏、发光二极管、光电探测等多个领域获得了广泛应用, 并展现出卓越的器件性能。然而, 在器件制备上, 溶液法虽为主流, 但在器件面积扩展和产业集成方面存在局限。为此, 我们在过去数年中专注于利用真空技术制备钙钛矿光电器件, 探索了热蒸镀、化学气相沉积、近空间升华等多种途径。借助真空法, 我们成功制备出高质量的一维钙钛矿材料和大面积的发光二极管器件。最近, 我们还将真空法应用于钙钛矿太阳能电池的制作, 并取得了显著进展。

关键词: 钙钛矿, 光电器件, 真空法制备, 光伏, 发光二极管

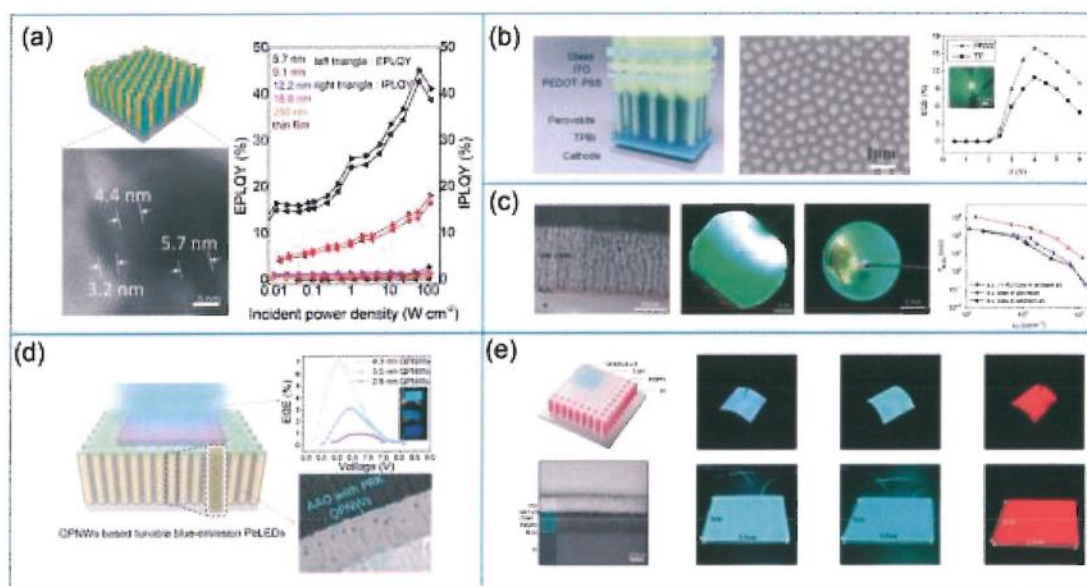


Figure 1. (a) Perovskite quantum wires (QWRs) and their enhancement on the photoluminescent quantum yield (PLQY). Image reproduced with permission from American Chemistry Society. Copyright @ ACS 2019. (b) Vertical perovskite nanowire arrays for light-emitting diodes (LEDs). Image reproduced with permission from American Chemistry Society. Copyright @ ACS 2020. (c) Perovskite QWRs for large-scale (4-inch wafer size) and non-planar (spherical substrate) electroluminescence (EL). Image reproduced with permission from Springer Nature. Copyright @ Springer Nature 2022. (d) Strongly confined perovskite QWRs for blue LED. Image reproduced with permission from American Chemistry Society. Copyright @ ACS 2022. (e) Perovskite QWRs for color tunable LEDs with generic organic ligand-free and anti-solvent-free solution method. Image reproduced with permission from Springer Nature. Copyright @ Springer Nature 2023.

参考文献:

1. D. Zhang, L. Gu, Q. Zhang et al., "Increasing Photoluminescence Quantum Yield by Nanophotonic Design of Quantum-Confined Halide Perovskite Nanowire Arrays," *Nano Lett.* 19, 2850-2857 (2019).
2. D. Zhang, Q. Zhang, B. Ren et al., "Large-scale planar and spherical light-emitting diodes based on

arrays of perovskite quantum wires," Nat. Photon. 16, 284-290 (2022).

3. Y. B. Cao, D. Zhang, Q. Zhang et al., "High-efficiency, flexible and large-area red/green/blue all-inorganic metal halide perovskite quantum wires-based light-emitting diodes," Nature Communications 14, 4611 (2023).

4. Q. Zhang, D. Zhang, L. Gu et al., "Three-Dimensional Perovskite Nanophotonic Wire Array-Based Light-Emitting Diodes with Significantly Improved Efficiency and Stability," ACS Nano 14, 1577-1585 (2020).

5. Y. Fu, S. Poddar, B. Ren et al., "Strongly Quantum-Confined Perovskite Nanowire Arrays for Color-Tunable Blue-Light-Emitting Diodes," ACS Nano 16, 8388-8398 (2022).

个人简介:

张千鹏，复旦大学光电研究院青年副研究员。2012 年本科毕业于华中科技大学光电信息工程专业。2015 年、2019 年先后硕士、博士毕业于香港科技大学电子及计算机工程专业。2019 年于港科大电子系参加工作，先后担任研究助理和研究助理教授。2023 年加入复旦大学。曾获荣誉包括上海市青年领军等。担任上海市真空学会高级会员以及真空薄膜专委会委员（兼秘书）、IEEE 会员等。近年来以第一作者、通讯作者身份发表多篇论文于 Nature Communications, Advanced Materials 等累计发表 Sci 期刊论文 60 篇，被引超过 4700 次。此外还发表有 CLEO, IEEE EDTM 等会议论文。研究领域为先进光电子材料与器件。



大尺寸氧化镓的单晶生长及缺陷

夏宁^{1,*} 张辉^{1,2} 杨德仁^{1,2}

¹杭州镓仁半导体有限公司, 杭州, 邮编 311231

²浙江大学硅及先进半导体材料全国重点实验室, 杭州 邮编 310027

*Email: xianing@garen.cc

摘要: 氧化镓 (β -Ga₂O₃) 因其优异的性能成为目前最受关注的超宽禁带半导体材料之一, 在 5G 通信、轨道交通、国家电网、新能源汽车等领域有重要应用前景。不同于通过气相法生长的第三代半导体材料, 氧化镓可通过与硅单晶类似的熔体法获得, 具有低成本大规模量产的潜力。实现大尺寸高质量氧化镓单晶产业化, 形成一套具有自主知识产权的关键技术, 对突破国外相关技术封锁、推动我国在宽禁带半导体领域的发展具有重要意义。报告将概述氧化镓体块单晶发展现状, 回顾其熔体法晶体生长技术, 介绍本团队开发的新型熔体法——铸造法单晶生长技术及其研究现状, 以及其中空洞、位错等缺陷的研究进展。

关键词: 氧化镓, 单晶生长, 缺陷, 铸造法

参考文献:

- [1] X. Gao, K. K. Ma, Z. Jin, D. Wu, J. B. Wang, R. Yang, N. Xia, H. Zhang, D. R. Yang
“Characteristics of 4-inch (100) oriented Mg-doped β -Ga₂O₃ bulk singlecrystals grown by a casting method”, *Journal of Alloys and Compounds* 987, 174162 (2024).

个人简介:

夏宁, 杭州镓仁半导体有限公司技术总监, 美国佐治亚理工学院博士, 长期从事金属氧化物半导体材料的生长制备和性能研究。师从浙江大学杨德仁院士研究氧化镓的晶体生长、衬底加工及材料表征, 开发一种全新的氧化镓单晶生长技术路线铸造法, 成功制备国际领先水平的 6 英寸氧化镓单晶及衬底。发表学术论文 20 篇, 申请发明专利 32 项。



浮动式涡旋真空泵组在半导体拉晶工艺中的应用

夏长春

思科涡旋科技（杭州）有限公司

摘要：简述了无油真空泵在半导体拉晶工艺应用中出现的堵塞，停机，高频次预防性维护、不稳定的真空压力等痛点问题。结合无油浮动涡旋真空泵的结构和工作原理，介绍了无油涡旋真空泵的高可靠性，低维修、免停机维修、容错性好、降低长期成本等优势及在半导体行业的应用。

个人简介：

夏长春，毕业于南京航空航天大学机电一体化专业，思科涡旋科技（杭州）有限公司生产运营副总经理，兼光伏和半导体项目运营负责人。曾就职于爱立信、西门子等多家跨国企业，拥有数十年的低温阀门、真空泵和控制类产品工艺技术整合、生产运营、质量管理和项目开发管理的丰富工作经验。对于光伏和半导体行业无油涡旋真空泵替代其他类型真空泵的实施和推广具有较丰富的经验。



超宽禁带半导体氧化镓材料与器件研究进展

季学强^{1*} 李山¹ 唐为华^{1*}

¹南京邮电大学 集成电路科学与工程学院 南京 邮编 210023

*Email: jixueqiang@njupt.edu.cn; whtang@njupt.edu.cn

摘要: 超宽禁带半导体氧化镓具有带隙大、击穿场强高、耐辐射、易调控的优势，在功率电子和信息传感领域具有巨大的应用前景，是重要的战略性先进电子材料。报告人所在的课题组是我国最早从事氧化镓材料生长和器件研究的团队之一，开创了我国超宽禁带半导体氧化镓技术产业化的先河。本次报告将介绍南京邮电大学唐为华团队在氧化镓方面的研究历程，以及在氧化镓单晶、外延薄膜、器件三方面的研究进展。团队围绕材料制备-物性调控-器件应用建立了链式研究模式，突破了氧化镓单晶 2-4 英寸导模法等径生长技术，实现了 MCOVD 法的厚膜制备和相变生长、PECVD 法的工艺优化和合金化调控、Mist-CVD 法的时控生长和前驱体调控，通过表面等离子体共振效应、缺陷工程、异质结构增强了氧化镓日盲探测性能，演示了阵列光电探测器在光学成像、紫外通讯和水质检测方面的应用，拓展了氧化镓压力传感器、气敏传感器和神经形态视觉传感器的应用。

关键词: 氧化镓；超宽禁带；单晶；外延薄膜；光电器件；传感器；

个人简介:

季学强，工学博士，南京邮电大学集成电路学院，副教授。2019 年开始，围绕宽禁带半导体氧化镓基光电子和功率器件开展深入研究，发表氧化镓相关 SCI 论文 30 多篇，申请专利 5 项，参与多项国家重点研发计划和产学研项目。



基于 MPCVD 法制备高品质金刚石光学部件

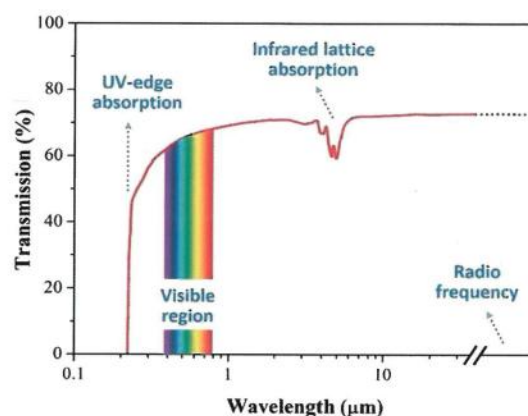
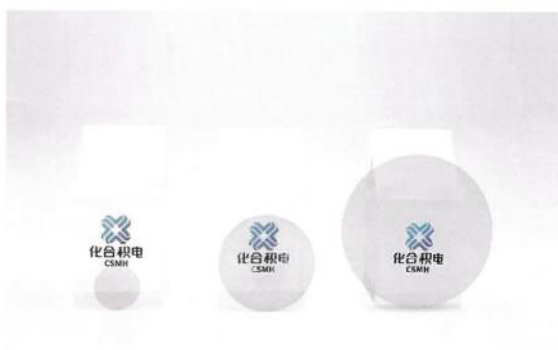
曹光宇*

化合积电（厦门）半导体科技有限公司 厦门 邮编 361000

*Email: cgy@csmh-semi.com

摘要：金刚石光学窗口是将金刚石优异的光学性能、力学性能、热学性能和化学稳定性相结合的光学部件。采用微波等离子体化学气相沉积（MPCVD）法生长的金刚石光学窗口具有材料科学中已知的最宽波长的透射谱，其适用的波段涵盖了从 X 射线波段到微波波段。根据在不同波段的特性，金刚石光学部件已在激光窗口、微波窗口、X-Ray 窗口等领域获得了较好的应用，如高功率激光器、拉曼激光器、金刚石法兰、荧光监测器、金刚石回旋管等。本次报告主要围绕高品质金刚石光学部件，介绍了金刚石材料的优异性能与 MPCVD 法生长金刚石的原理与优势，并对金刚石光学窗口的实际应用进行了分享与说明。

关键词：金刚石、光学窗口、微波等离子体化学气相沉积



个人简介：

曹光宇，硕士研究生毕业于中南大学，担任化合积电（厦门）半导体科技有限公司高级工程师，长期从事金刚石材料的技术研究、设备开发、应用开发及产业化工作，带领团队开发了金刚石刀具、培育钻石、光学级金刚石、热沉积金刚石与电子级金刚石等系列产品，参与了多项省、市级金刚石相关重大科技项目、发表相关论文 4 篇，申请国家专利 20 余项。



功率半导体散热技术、产品及在中国的大规模制造

刘兵武*

中芬冷锐科技有限公司

*Email: sbliu@honoprof.com 手机: 18911587211

摘要: 巴利加教授(Prof Baliga)因其在 IGBT 的发明、开发和商业化方面的领导作用荣获 2024 年千年技术奖, 奖金是一百万欧元。自 20 世纪 80 年代开发以来, IGBT 一直是过去 40 年中最重要的半导体器件, 用于提高能源使用效率, 减少汽油消耗和污染。

中芬冷锐公司是芬兰 Cooliblade 的合资公司, 在中国生产、销售芬兰 Cooliblade 公司基于 NEOcore 核心专利技术的散热产品。该散热产品广泛地用于中高功率电子产品与功率电子模块的散热, 应用场景包括工业马达、风光电站、储能电站、高铁、充电桩、5G 基站、数据中心、激光器等。一期年产能为 15 万套散热器, 二期年产能为 50 万-100 万套散热器。

个人简介:

刘兵武, 总经理。自 96 年开始, 一直扎根于仪器设备行业约 28 年。先后从事仪器设备的应用支持、市场营销以及客户服务和管理等工作。从 15 年开始, 对初创科技企业做天使投资, 主要涉及传感器、食品安全、半导体等相关领域。发起成立中芬城市未来科技发展协会。



原子层沉积红外透明导电薄膜及其大尺寸曲面生长技术

朱嘉琦^{1,2*}

¹哈尔滨工业大学, 哈尔滨, 邮编 150001

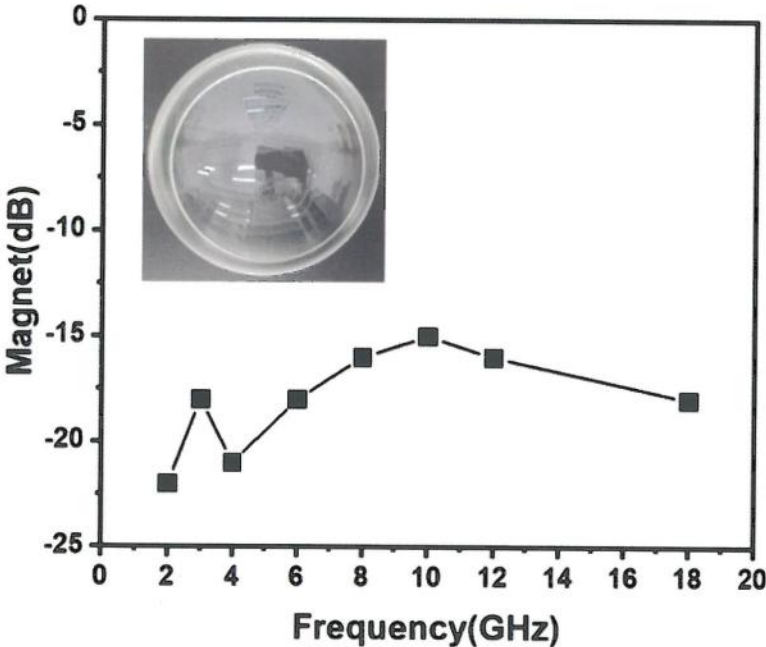
²哈工大郑州研究院, 郑州, 邮编 450000

*Email: zhujq@hit.edu.cn

摘要: 红外光电系统是武器装备搜索、发现和跟踪多目标的核心部件, 具有不可替代的作用。然而, 在武器装备隐身设计过程中, 此类系统也是武器装备中最重要的散射源之一。因此, 在复杂的电磁干扰环境中, 要想提高新一代武器装备的生存能力及使役性能, 红外光电系统需具备高的红外透过性能和抗外界电磁波干扰能力。红外透明导电(IRTCT)薄膜是指具有高红外透射率和高电导率, 是满足红外光电系统服役的首选技术途径。另一方面, 随着航空航天光学窗口朝向多面形差异化发展方向进行, 对大曲率(半球形、拱形)光学窗口生长红外电磁屏蔽薄膜的需求越来越迫切。但在大曲率上均匀沉积薄膜十分困难, 可用的技术十分有限, 同时国外少数拥有这项技术的公司也对我们进行技术封锁。由于原子层沉积(ALD)在大曲率上均匀沉积薄膜极具优势, 近年来, 团队一直致力于对 ALD 在大曲率基底上薄膜沉积技术进行探索和突破。

围绕半球和共形曲面上沉积高性能的红外透明导电薄膜的技术难题, 明确了红外透明导电薄膜透过率与导电性的理论矛盾, 揭示了载流子浓度、载流子有效质量、弛豫时间对红外透明导电的影响。提出了低载流子浓度高载流子迁移率的材料筛选原则, 获得了性能可控的红外透明导电薄膜。通过对曲面 ALD 设备均匀温度场与流场进行优化设计, 获得了 ALD 前驱体物质在大曲率基底表面的均匀吸附物理模型, 开发了低温差 ALD 舱体加热结构设计方法, 保证了红外透明导电薄膜的高效稳定沉积。实现了直径 130mm 大口径半球光学窗口表面红外透明导电薄膜的均匀沉积。

关键词: 原子层沉积, 红外透明导电薄膜, 曲面生长技术



个人简介:

朱嘉琦，哈尔滨工业大学航天学院教授、博导，长江学者特聘教授，国家杰出青年基金，万人计划领军人才，科技部重点专项、装备发展部领域专家，科工局科技创新领域专家，国防科技创新团队带头人，高效焊接新技术国家工程研究中心副主任，“新一代半导体材料与器件”国家引才引智示范基地负责人，国际薄膜学会（TFS）会士。主要从事金刚石晶体材料、透明件材料以及高导热复合材料等研究，担任中国机械工程学会表面工程分会副主任，中国材料研究学会极端材料与器件分会副主任，中国仪表材料学会副理事长，*Functional Diamond*、*Surface Science and Technology* 副主编，*表面技术*、*材料导报*、*人工晶体学报*、*中国表面工程*、*真空与低温*、*功能材料*、*材料科学与工艺*、*航空制造技术*等杂志编委，获得中国青年科技奖、省青年五四奖章等荣誉，获国家技术发明奖二等奖 2 项，国家专利金奖 1 项，省部级一等奖 3 项，省级专利金奖 2 项。以负责人承担国家自然科学基金 6 项（含重点 1 项）、重点研发计划项目 2 项、国防基础科研 3 项、预研计划 7 项、军品配套 3 项等科研项目。成果已应用于多种重点型号，并实现产业化。获授权发明专利 82 项(转让 21 项)，在 *SCIENCE*、*ADVANCED MATERIALS* 等知名刊物发表 200 余篇学术论文，出版学术专著 2 部，译著 1 部，入选爱思唯尔 World's Top 2% Scientists。



原子层沉积技术在半导体设备核心部件镀膜中的应用

刘春亮^{1,*} Sami Sneck² Leppilahti²

¹青岛四方思锐智能技术有限公司, 上海 邮编200120

^{*}Email: chunliang.liu@beneq.com

摘要: 半导体器件特征尺寸越来越小, 对颗粒物和金属污染越来越敏感, 对半导体制程装备的核心部件提出了更高要求。采用原子层沉积工艺在半导体工艺装备的核心部件上沉积致密的、高保型性、高耐腐蚀性 Y_2O_3 、 Al_2O_3 等薄膜可有效减少颗粒物和金属污染并提高半导体工艺装备的核心部件耐腐蚀性能。本文展示了原子层沉积 Y_2O_3 、 Al_2O_3 薄膜材料成分、杂质含量、耐刻蚀性能及薄膜厚度均匀性的测试结果并以实际案例介绍原子层沉积技术在半导体制程装备的核心部件镀膜中的应用。

关键词: 原子层沉积, 半导体设备核心部件镀膜, Y_2O_3 薄膜、 Al_2O_3 薄膜

个人简介:

刘春亮, 青岛四方思锐智能技术有限公司 销售总监



集成电路电互连原子层材料研究

韩世成 杨师诚 曾晓宏 伍莹 丁孙安*

南京大学 集成电路学院 苏州 邮编 200433

*Email: dingsunan@nju.edu.cn

摘要: 集成电路芯粒 (Chiplet) 技术正成为后摩尔时代一个重要的发展方向。多层堆叠技术结合不同的工艺方法, 可实现更高效的芯片集成和更优异的性能。其中, 硅通孔 (TSV) 和混合键合 (Hybrid bonding) 是 Chiplet 先进制程的核心工艺, 需要应对纳米尺度互连材料的高电阻率、低导热性和界面应力等关键问题。这就对材料的微观结构、性能参数、表界面性质等提出了新的要求。原子层材料的引入能够显著提升芯片互连的电学和热学性能。通过材料设计筛选、工艺提升和原子结构调控, 可开发出变革性的新材料和新工艺。值得一提的是, 超高真空 (UHV) 互联技术在这个领域展现出巨大的应用潜力。该技术通过在极端洁净环境下进行材料沉积和处理, 有效解决了传统工艺中面临的界面杂质和缺陷问题。本报告将介绍面向 Chiplet 技术的原子层材料研发进展, 探讨如何通过创新性的材料设计和工艺改进, 解决目前面临的核心挑战, 并展望未来的发展方向和应用前景。

关键词: 芯片集成, Chiplet, 真空互联, 原子层, 电互连

个人简介:

丁孙安, 南京大学集成电路学院特聘教授, 江苏省双创团队领军人才。曾任纳米所纳米真空互联实验站主任, 主持完成目前世界上规模最大的半导体真空互联大装置平台建设。本科、硕士毕业于清华大学电子工程系 (1981-1988), 博士毕业于中国科学院半导体研究所 (1988-1992)。1992-2000 年曾先后任职于中科院半导体所、德国马普学会、日本广岛大学、美国缅因大学等学术机构任博士后/研究员; 2000-2014 年就职于美国朗讯科技、美国英特尔公司任研发科学家/部门经理等职务; 2014-2021 年任中国科学院苏州纳米所研究员、博士生导师, 纳米真空互联实验站主任; 2021-2022 年受聘南方科技大学深港微电子学院任研究教授, 博士生导师。2022 年任职南京大学集成电路学院 (苏州) 特聘教授。主要研究领域包括半导体材料与器件物理、薄膜材料制备与表征分析、真空技术与应用等。在国际一流刊物上发表了 80 多篇学术论文, 申请发明专利 30 多项。



原子沉积粉尘问题解决方案探索与实践

李永正* 高长青 刘长江 王志铤

日扬电子科技(上海)有限公司环保工程部

上海市宝山城市工业园城银路 51 号

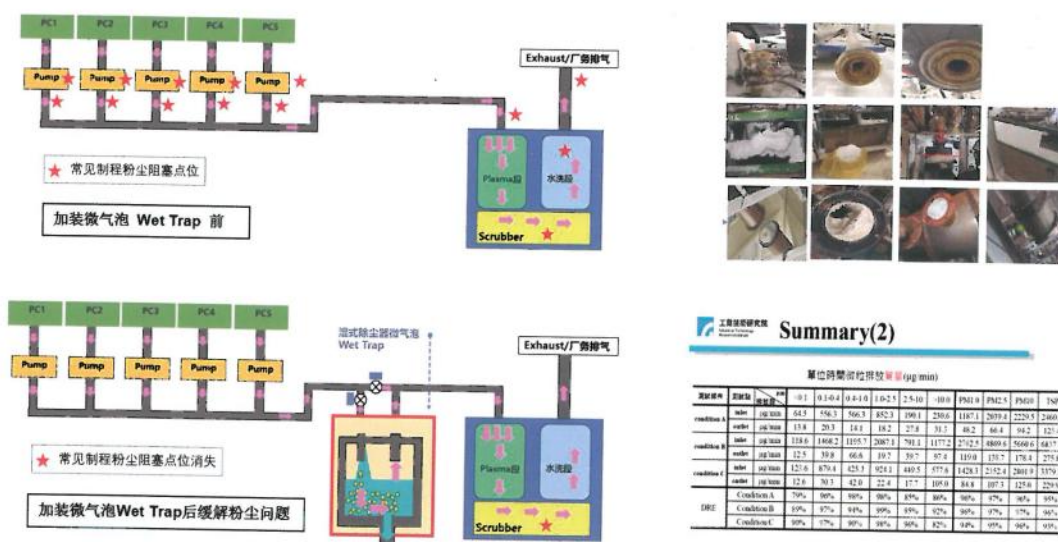
*E-mail: jameslee@high-light.com.cn

摘要: 原子沉积反应完成后吹扫出大量前驱体及副产物,很大一部分是以粉尘的形态输送到尾气处理单元,造成真空泵、管道、燃烧或等离子水洗机(Local scrubber)的堵塞,导致反应腔体无法顺利外排尾气,影响了成品的良率和稼动率。

日扬电子科技结合多年服务半导体头部大厂经验,总结出粉尘问题的有效解决方案,已经在半导体和平面显示器产业干蚀刻工艺及 CVD 工艺中拥有许多实绩,对 ALD 工艺而言虽然是一种新的解决方案,但这套成熟的解决方案具备理论和实践的双重有效性,值得大力推广。

本解决方案由两款产品组成：微气泡湿式除尘器（Wet Trap）和 WEH 纳米功能性涂层，可以确保反应条件的稳定，并避免粉尘问题造成的稼动损失。

微气泡湿式除尘器 (Wet Trap) 采用高压水流经文丘里装置产生高流速之喷射流, 并且产生高负压效果。Pumping line 内压力维持-10kpa 以上, 实际运行约-18kpa, 可以将粉尘集中吸附到 Wet Trap 内部, 再利用射流微气泡搅拌作用, 有效增加气体溶解率及粉尘微粒捕捉率, 缓解后端燃烧或等离子水洗机 (Local scrubber) 的处理负荷。



个人简介:

李永正, 日扬电子科技(上海)有限公司环保工程设计总监

-高分子材料工程硕士、甲级污水处理设计资质

-环境工程领域从业 30 年，精通 WWTP 自动监测系统

-电子行业中央废气处理及厂务通风设计施工专业

-光电半导体行业制程端废气处理设备设计施工专业



超低介电薄膜材料的区域选择性沉积

赵俊杰^{1,2*}

¹浙江大学 化学工程与生物工程学院 化学工程联合国家重点实验室, 杭州 邮编 310058

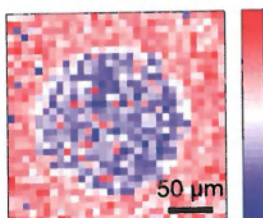
²浙江大学衢州研究院 电子化学品研究所, 衢州 邮编 324000

*Email: junjiezhao@zju.edu.cn

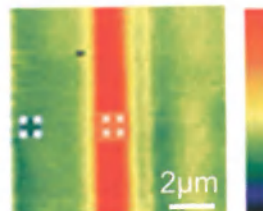
摘要: 随着芯片特征尺寸的不断缩小, 光刻的套刻误差易导致缺陷数量激增, 良品率骤降, 因此已成为制约先进制程发展的关键瓶颈。发展超低介电薄膜的区域选择性沉积有望突破上述难题。为了建立超低介电薄膜的区域选择性沉积方法, 我们开发了一系列工具来调节自由基的局部浓度, 从而调节表面聚合动力学。我们通过局部抑制、限域生成和局部富集等策略, 建立了 SiCOH 类超低介电薄膜(介电常数低至 2.55)的选择性沉积。我们采用原位石英振荡微天平揭示了这些区域选择性沉积过程所涉及的反应机制。通过截面成像和显微光谱等手段证实了超低介电薄膜在目标区域沉积的高选择性。我们所开发的选择性沉积方法有望集成于 3 纳米以下先进制程的后段互连(BEOL)制造中。

关键词: 区域选择性沉积, 超低介电薄膜, 非光刻图案化制造, 原子层刻蚀

Dielectric on
Dielectric (DoD)
ASD for
ULK thin film



Dielectric on
Metal (DoM)
ASD for
ULK thin film



参考文献:

- [1] Y. Shen, M. Qiu, X. Huang, W. Du, X. He, Y. Luo, Z. Yang, J. Zhao*. Photocatalytic Surface Initiation for Area-Selective Chemical Vapor Deposition of Polymer Thin Film. *ACS Materials Letters*, **2024**, 6, 4058-4065.
- [2] X. Wang, X. Luo, W. Du, Y. Shen, X. Huang, Z. Yang, J. Zhao*. Remote Plasma Enhanced Cyclic Etching of a Cyclosiloxane Polymer Thin Film. *International Journal of Extreme Manufacturing*, **2024**, 6 (5), 055101.

个人简介:

赵俊杰, 浙江大学“百人计划”研究员, 博士生导师, 化学工程与生物工程学院院长助理。入选国家海外高层次人才、浙江省杰青, 获得 2023 年美国真空学会薄膜分会 Paul Holloway 青年科学家奖(亚洲高校首次)。本科于浙江大学, 博士毕业于美国北卡罗莱纳州立大学(师从原子层沉积领军学者 Greg Parsons 教授), 2016-2018 年在 MIT 开展博士后研究。2018 年入职浙江大学。主要研究功能薄膜材料的创新气相沉积方法及区域选择性沉积。近五年主持国家自然科学基金、浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划项目等 10 余项。主要成果发表于 *Science* *J. Am. Chem. Soc.*、*Angew. Chem. Int. Ed.*、*Prog. Polym. Sci.*等国际权威学术期刊。担任第十届中国原子层沉积会议大会组织主席, 2024 年当选美国真空学会薄膜分会主席。



半导体设备内部的电连接应用与挑战

杨智斌¹

¹ 史陶比尔（杭州）精密机械电子有限公司

摘要：半导体设备是半导体制造的基石，而半导体设备的稳定性与良率直接影响着下游产商导入意愿和制造产品的性能。伴随国内半导体设备实现突破，如何实现“能用”到“好用”是重点关注方向。电连接器尽管作为一个小部件，但却可以直接影响半导体设备安全稳定的运行。特别是对于半导体设备内部复杂严苛的工艺环境，更加要求高可靠性的电连接方案。

史陶比尔在电连接领域拥有超过 60 年的应用经验，得益于先进的 MULTILAM 技术和深厚的行业 Know-How，史陶比尔电连接器能够满足客户对高可靠性、高安全性和长使用寿命的电连接产品需求，为客户提供定制化和标准化解决方案。

个人简介：

杨智斌，史陶比尔（杭州）精密机械电子有限公司半导体行业专家。杨智斌先生，担任史陶比尔电连接器事业部北方大区销售经理，长期专注于工业设备与制造领域的电连接技术研究，对于电连接方案提升半导体设备稳定性与可靠性具有丰富的应用经验。



半导体设备磁流体密封传动模組的创新和产业化

楼允洪*

¹浙江微磁精密技术股份有限公司 浙江安吉 邮编 313300

*Email: vigortec_tim@magneticfluidics.cn

摘要: 全球高端半导体设备的技术大部分被国外垄断，其中的核心密封传动系统，国外技术封锁，国内很难复刻。微磁团队自主创新开发可完全替代进口的磁流体密封传动模组，实现国产化替代。目前，在国内同类产品中处于技术领先和垄断地位，已经在国内外众多半导体设备和 FAB 厂验证通过。最新创新开发产品----回转与往复运动 CVD 集成密封传动系统，集成了超高真空磁流体密封技术、回转和往复运动电机 PLC 控制技术、耐高温耐腐蚀结构设计，可以做到回转重复精度 $\leq 0.025^\circ$ ，往复重复精度 $\leq 0.02\text{mm}$ ，性能比国外同类产品还有提升，完全实现替代和革新，解决国外断供的难题。

关键词: 磁流体密封模组，超高真空，回转和往复运动，PLC 控制，耐高温，耐腐蚀



参考文献:

[1] 楼允洪, ZL200810062727.7 《超高真空密封装置用的磁流体的制备方法》

个人简介:

楼允洪，浙江微磁精密技术股份有限公司董事长，中国地质大学工学硕士，高级经营师。



（超）高真空环境下精密运动系统的开发和应用研究

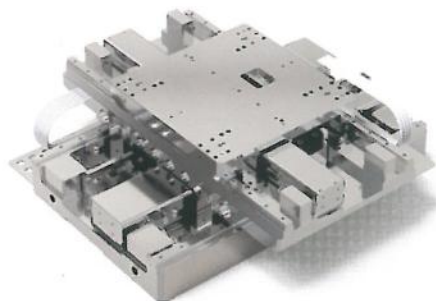
江旭初^{1*}

¹上海隐冠半导体技术有限公司，上海 邮编 201206

*Email: jiangxc@yg-st.com

摘要：随着集成电路技术的飞速发展，半导体装备在（超）高真空环境下的应用需求越来越大。作为承载样品在半导体装备中完成制造/量检测的精密运动系统（亦称工件台或者运动台），是（超）高真空半导体装备的核心部件之一。因此，精密运动系统的研发和产业化对（超）高真空半导体装备的发展至关重要。本报告围绕精密运动系统在（超）高真空半导体装备中的应用需求，从国外的发展现状、机遇和挑战以及开发难点，并结合隐冠半导体的产品开发策略和开发实例，阐述了隐冠半导体真空产品系列及其在产业中的应用。

关键词：真空，半导体装备，运动系统，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，上海市真空学会第九届理事，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。



半导体真空装备多物理场设计与智能化诊断

王旭迪* 毕海林 曹青 吴俊 张俊 王玉青

合肥工业大学 机械工程学院真空与过装系, 合肥 230009

*Email: wxudi@hfut.edu.cn

摘要: 大规模集成电路制造的进步与真空技术的发展紧密相连,尤其在晶圆加工、氧化、光刻、刻蚀和薄膜沉积等关键制造步骤中,真空的基础支撑作用显得至关重要。在半导体工艺装备设计过程中,涉及到复杂的多物理场问题,包括传热、稀薄气体流动、固体变形和电磁场等,这些问题的分析和设计需要多种物理场和方法的耦合。同时随着人工智能技术的发展,智能化手段在半导体生产过程中的应用日益增多,不仅丰富了对真空装备故障的分析方法,还提高了半导体生产过程的预测准确性,提升了产品质量,并降低了成本和研发周期。本文围绕半导体领域重大需求,针对无油污染、超洁净、高真空度等生产环境要求,阐述近年来在半导体真空装备设计、镀膜装备沉积过程分析与结构优化、真空系统机械受力分析及优化、超洁净真空技术和半导体装备智能化诊断等方面取得的进展。

关键词: 真空, 半导体, 稀薄气体动力学, 智能化诊断

个人简介:

王旭迪, 博士, 教授。担任真空质谱与检漏专委会副主任委员、中国真空学会理事。先后在英国卢瑟福国家实验室和美国密歇根大学安娜堡分校进行访问研究。长期从事真空科学与技术、微纳制造的教学与科研工作。承担三项国家自然科学基金和两项国家重点研发计划,相关成果已在深空探测、粒子加速器和国防计量等方面取得应用。



UHP 零部件痕量金属监测助推先进工艺的发展

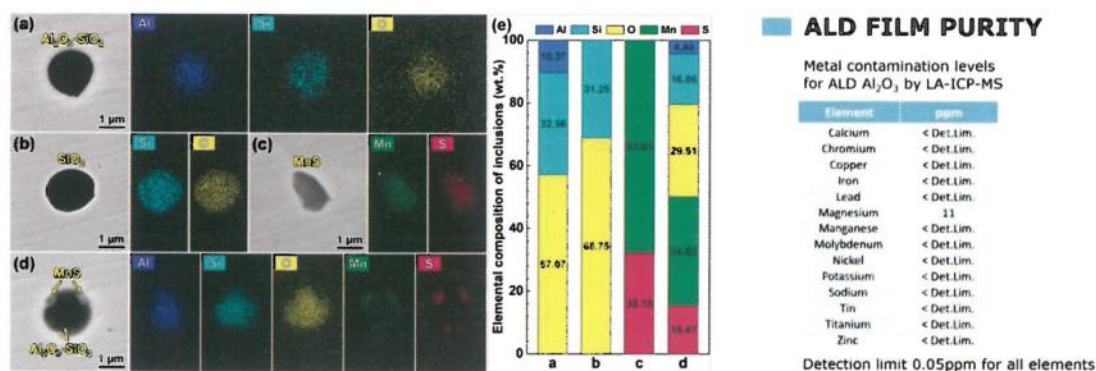
范志旻*

昆山新莱洁净应用材料股份有限公司，江苏苏州，邮编 215331

*Email: austinks@hotmail.com

摘要：为了实现先进工艺节点的量产，供应链通常会强调要有深入和出色的工艺控制。一般大家都会关注晶圆厂的设备 and 材料，但我们可能会忽略关键工艺零部件的污染会影响最终晶圆的质量，导致良率降低和制造成本增加。先进工艺节点越来越小，使用 ALD（原子层沉积）和 ALE（原子层蚀刻）的工艺愈来愈多，应用 UHP（超高纯）气体或前躯体成为举足轻重的关键点。传统成熟工艺中仅仅关注组件材料的纯度、耐腐蚀性、离子污染等要求，在进入先进工艺后已不足以满足工艺的需求。建议在先进工艺中增加监测 UHP 气体系统（管道、配件、阀门、过滤器、MFC 等）和腔室组件中的痕量金属浓度，并根据工艺敏感性选择污染水平。

关键词：UHP 零部件、痕量金属、先进工艺、ICP-MS、污染水平



参考文献：

- [1] Zhang, S., Lin, B., Li, H., Jiang, Z., An, S., Ren, T., ... & Zhu, H. (2024). An effective strategy for manufacturing ultra-high purity AISI 316L stainless steel by vacuum C deoxidization pretreatment plus Mg-Ca composite treatment. Journal of Materials Research and Technology.
- [2] Liu Xianke " A brief discussion on the demand for chemical analysis of semiconductor components ", (2024).

个人简介：

范志旻，博士，绿色供应链国家标准工作组、
中国工程建设标准化协会电子工程分会理事、
SEMI 中国绿色厂务委员，SEMI 全球气体、化合物半导体技术委员



射频电源与薄膜沉积工艺之间的“双向选择”

党军锋^{1*}

¹ 瑟米肯（上海）半导体科技有限公司，上海，邮编 201712

*Email: jonathan.dang@smk-smk.com

摘要：射频电源是半导体前道工艺机台的关键零部件，当前也是卡脖子的关键所在之一。在选择射频电源时，需考虑其性能参数如功率稳定性、响应速度、精度控制等，以确保与工艺的需求相匹配。而影响射频电源选择的核心因素则包括响应速度、灭弧机制、频率与功率、波形、同步、脉冲、扫频、材料特性、采样及核心算法等。瑟米肯团队经过多年技术沉淀和应用实践，自主开发和生产制造材料、电子元器件等，掌握电子元器件特性与响应速度，实现全国产化生产，保障供应线安全；搭配自研软件架构和算法，稳定精准控制功率输出，提供扫频、脉冲、Arcing 侦测等数十种功能，满足平替国内外大厂电源产品。最终，设计出纳秒级响应、多款器件自主突破、通讯兼容度高、多重灭弧机制、电磁干扰屏蔽效果优秀、模块控制更安全、功率输出稳定的国产射频电源，并成功在终端客户处得到验证和认可。

关键词：射频电源，薄膜沉积，自主突破，输出稳定，可靠性

个人简介：

党军锋，瑟米肯公司创始人及 CEO、核心技术人员。1976 年出生，软件工程硕士。曾任大型国企集团正处级干部、纳斯达克上市公司高管，多家上市企业董事、顾问。2019 年起，ALL IN 射频电源行业，先后组织团队完成光伏 40KHz，20KW、30KW、2*20KW、2*25KW、50KW 电源研发；攻坚 13.56MHz、27MHz、40MHz 射频电源，已经通过国内最大 FAB 验证，并为多家半导体设备企业批量供货；此外，其还带领团队开展了 20 多种电源材料、5 种其他半导体关键部件的研发和突破。



碲化物 II 类超晶格结构工程与外延技术创新

方铨*¹ 杜鹏²

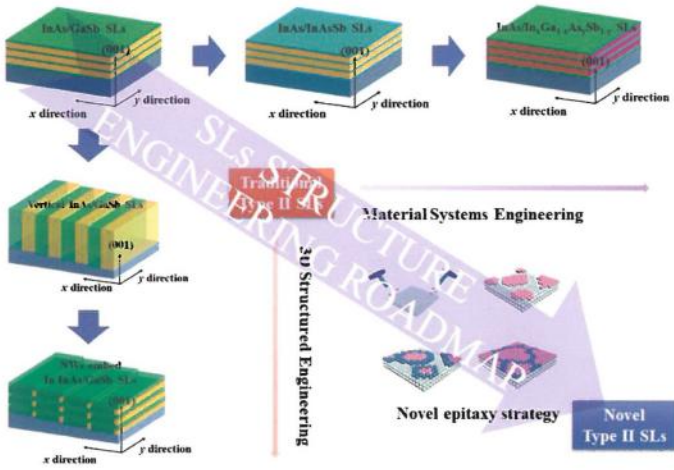
¹ 长春理工大学 物理学院 高功率半导体激光国家重点实验室 长春 邮编 130022

² 南华大学, 电气工程学院 衡阳, 邮编 421200

*Email: fangx@cust.edu.cn

摘要: 红外波段光电子器件在光电对抗, 激光制导, 环境监测等多个军事和民用领域有着广泛的应用背景。碲化物 II 类超晶格材料凭借材料均匀性和易实现能带剪裁等优势, 成为该领域激光器与探测器的核心首选材料。目前 InAs/GaSb, InAs/InAsSb 等体系成功突破材料大面积外延生长、界面调控及应变控制等难题。然而如何解决材料少子寿命短、吸收系数以及发光效率低等问题是目前亟待解决重要问题。在我们的工作中, 从材料体系和材料结构两方面进行 II 类超晶格“结构工程”的研究工作。材料体系方面, 设计并外延基于高 In 组分 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ 四元合金的 $\text{InAs}(\text{Sb})/\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ II 型超晶格, 突破了多元合金互不熔隙问题, 得益于波函数的空间调控能力, 新体系超晶格的电子空穴波函数交叠程度明显高于 InAs/GaSb 体系, 其具有很高的发光强度。材料结构方面, 采用“结构化”II 类超晶格思路, 实现了量子线嵌入的 II 类超晶格, 借助量子结构的“声子瓶颈”效应, 延长少子寿命, 实现室温红外发光。上述超晶格材料还体现了很好的光吸收特性。本研究工作对高性能红外光电子器件研究具有重要意义。

关键词: 分子束外延, II 类超晶格, 少子寿命



参考文献:

- [1] Atomic imaging and optical properties of InAs/In_{0.5}Ga_{0.5}As_{0.5}Sb_{0.5} type II superlattice, Appl. Phys. Lett. 2024, 124, 251101.
- [2] Long-wave infrared emission properties of strain-balanced InAs/In_xGa_{1-x}As_ySb_{1-y} type-II superlattice on different substrates, Rare Metals. 2024, 43, 3194-3204.
- [3] InAs/InAsSb type-II superlattice with near room-temperature long-wave emission through interface engineering, Rare Metals.2022, 41, 982-991

个人简介：

方铤，博士，研究员，长春理工大学高功率半导体激光国家重点实验室工作。主要从事 III-V 半导体材料及红外光电子材料与器件研究，包括低维材料及量子结构构筑、能带结构预测与计算，以红外光电子器件等工作。先后获中国产学研合作创新奖（个人），金国藩青年学子奖，中国有色金属工业科学技术奖，吉林省科学技术进步奖和自然科学等奖项，并中国工程院院刊 *Engineering* 专题执行主编，*Rare Metal* 青年编委等工作。



氮化镓与碲化锌在硅上异质外延中的应力与晶体质量调控

刘才^{1*} Hassanet Sodabanlu² Masakazu Sugiyama² Yoshiaki Nakano³

朱小龙⁴ 李卫⁴

¹ 深圳技术大学 集成电路与光电芯片学院 深圳 邮编 518118

² 先端科技研究所 东京大学, 153-8904 东京, 日本

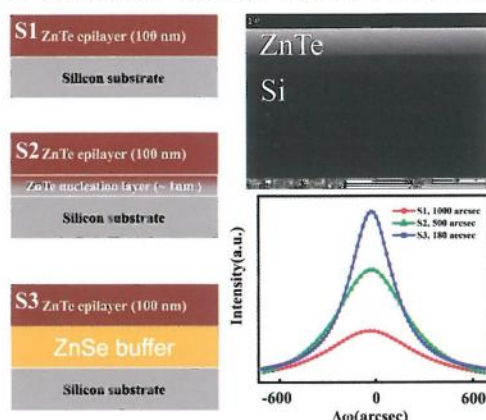
³ 电子工学与信息系统系 工学院 东京大学, 113-8656 东京, 日本

⁴ 四川大学 材料科学与工程学院 成都 邮编 610065

*Email: liucais@sztu.edu.cn

摘要: 集成电路、集成光路、光电芯片的发展, 对跨材料夸维度的异质集成提出了迫切需求。异质外延生长是异质集成中的主要与基础技术[1]。本论文介绍了氮化镓与碲化锌这两种代表性化合物半导体在硅上异质外延中关键的应力与晶体质量调控。氮化镓与碲化锌分别采用金属有机物气相外延 (MOVPE) 和分子束外延 (MBE) 进行生长。深入研究了硅上氮化镓外延生长应力的调控机理、晶体质量演化与应力调控的关系, 在硅上初步实现约 2 微米厚氮化镓的应力平衡外延。使用超薄 ZnSe 缓冲层, 实现了厚度仅为 100nm 的硅上 ZnTe 的高晶体质量分子束外延生长。通过系统研究, 获得对硅上化合物半导体异质外延生长中应力与晶体质量调控的初步系统性认知。

关键词: 异质外延, 氮化镓, 碲化锌, 金属有机物气相外延 (MOVPE), 分子束外延 (MBE)



分子束外延 (MBE) 生长的 ZnTe-on-Si



金属有机物化学气相沉积 (MOCVD) 生长的 2英寸 GaN-on-Si

参考文献:

- [1] B. Corbett, F. Atar, M. O'Brien, J. O'Callaghan, J. Justice, Heterogeneous integration of III-V based photonics with silicon, in: Novel In-Plane Semiconductor Lasers XIX, SPIE, 50-56 (2020).

个人简介:

刘才, 深圳技术大学集成电路与光电芯片学院副教授, 2014 年博士毕业于东京大学。主要研究方向为半导体材料外延 (MBE 和 MOCVD)、光电器件、异质光电集成。发表期刊论文 60 余篇, 主持国家自然科学基金 1 项、省部级科研项目 3 项, 参与 863、973 项目多项, 获授权发明专利 5 项、实用新型专利 18 项。



300 mm SOI 晶圆：面向汽车电子和射频应用的 最佳材料平台

魏星^{1*}

¹中国科学院上海微系统与信息技术研究所 集成电路材料全国重点实验室 上海 邮 200050

*Email: xwei@mail.sim.ac.cn

摘要：绝缘体上硅（Silicon-on-Insulator: SOI）晶圆凭借其在功率、射频及硅光等领域的显著优势，受到了业界的广泛关注。本文重点阐述了我们团队在 300mm HVSOI 与 RF-SOI 晶圆国产化制备技术方面取得的突破性进展。HVSOI 晶圆具备全介质隔离、无闩锁效应及高可靠性等特点，基于其发展的 BCD 工艺能够实现功率、逻辑及数字器件的有效集成，为高端电源管理芯片的制造提供了卓越的平台，尤其在汽车电子领域展现出独特优势。而具备多晶硅电荷俘获层的 RF-SOI 晶圆，已成为射频应用的主流衬底材料，占据了射频前端芯片（如开关、低噪声放大器及调谐器等）市场 90% 以上的份额。随着 5G 网络的全面部署，移动终端对射频模块的需求持续增长，射频前端芯片制造工艺正逐步从 200mm 向 300mm RF-SOI 过渡。借此契机，国内主流集成电路制造企业正积极拓展 300mm RF-SOI 工艺代工能力。

针对 300mm HVSOI 晶圆制备的关键难题，我们自主研发了无缺陷边缘处理工艺，成功实现了边缘研磨后的缺陷移除。在此基础上，我们完成了工艺整合，成功制备出适用于 BCD 工艺的 300mm HVSOI 晶圆。对于常规应用场景，我们制备的 HVSOI 顶层硅厚度均匀性控制在 $\pm 0.2\mu\text{m}$ 以内；对于高均匀性要求的特殊场景，通过严格控制工艺流程，我们更是将厚度均匀性缩小至 $\pm 0.1\mu\text{m}$ 以内，如图 1 所示。

在 300mm RF-SOI 晶圆制备过程中，实现高质量多晶硅电荷俘获层的沉积对于提升 RF-SOI 的射频性能至关重要。我们通过精细调控沉积温度、气体流量及腔体温度场等工艺参数，并结合原位退火后处理工艺，成功实现了对多晶硅应力、电阻率及晶粒尺寸等性能参数的有效控制，从而获得了优质的 Poly-Si/HR-Si 结构。^{[1],[2],[3]}为确保顶层硅的厚度均匀性及表面粗糙度满足要求，我们自主研发了基于高温热处理的非接触式平坦化工艺，实现了 SOI 晶圆原子级表面的平坦化。通过上述关键技术突破与工艺整合，我们成功研制出国内首片 300mm RF-SOI 晶圆，其目标厚度、均匀性、表面粗糙度及射频损耗均达到了 5G 射频前端器件的标准，如图 2 所示。

我们团队在 300mm SOI 制造技术方面实现了从无到有的突破，为国内汽车电子、5G 射频产业的发展提供了材料支撑。

关键词：300 mm HVSOI，300 mm RF-SOI

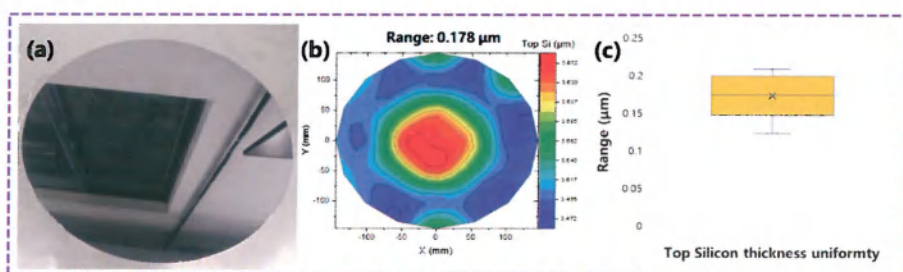


图 1. (1) 300 mm HVSOI 晶圆照片；(2) 300mm HVSOI 片内顶层硅厚度分布；(3) 300 mm HVSOI 片间顶层硅厚度分布。

压电氮化铝薄膜工艺与器件

李嘉伟¹ 吴涛^{1,2*}

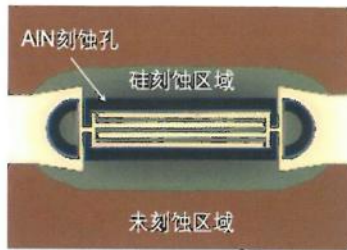
¹上海科技大学，信息科学与技术学院学院，上海，邮编 201210

²上海高效与智能定制芯片工程技术研究中心，上海，邮编 201210

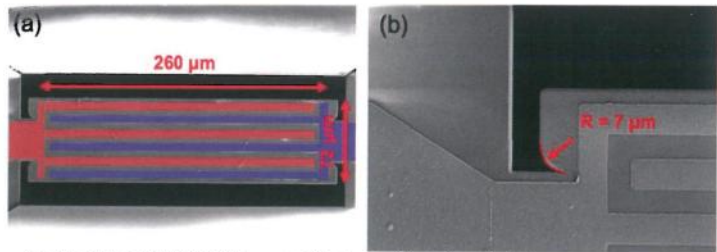
*Email: wutao@shanghaitech.edu.cn

摘要:本研究设计并制造了具有蝶形边界以及基于半圆形反射器设计的氮化铝兰姆波谐振器，半圆形反射器可以有效地将声波反射回谐振器，显著地减少锚杆损耗[1,2]。在AlN薄膜沉积工艺的优化方面，采用磁控溅射技术以获得高压电性能和优良的晶体取向。通过精确控制沉积过程中的气体比例、功率和基板温度，薄膜厚度的均匀性和薄膜应力得到了有效控制，确保了高品质薄膜的沉积。对比普通设计和带有半圆形反射器的单端口AlN兰姆波谐振器的导纳响应，具有半圆形反射器的谐振器品质因子Q比普通谐振器高出了80%，这为兰姆波谐振器在高Q值应用中提供了关键技术支持。

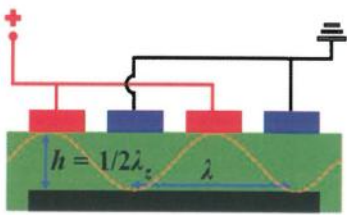
关键词: 氮化铝薄膜，兰姆波谐振器，刻蚀，二氟化氙释放



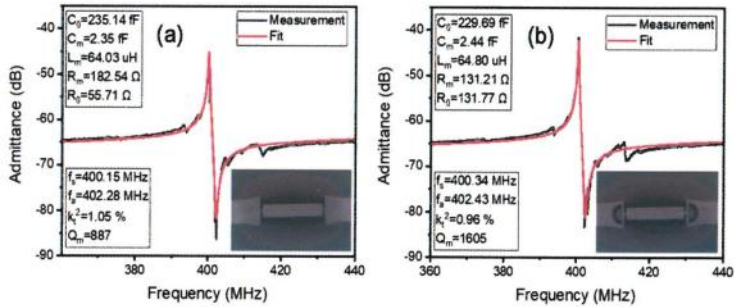
XeF2释放的AlN谐振器光学显微镜图



(a) 蝶形兰姆波谐振器的SEM图像和(b) 蝶形边界的放大视图



AlN兰姆波谐振器示意图



(a) 普通设计和(b) 半圆形反射器设计的AlN兰姆波谐振器的导纳响应

参考文献:

- [1] Zou J, Lin C-M, Pisano A P. Anchor loss suppression using butterfly-shaped plates for AlN Lamb wave resonators[A]. 2015 Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium & the European Frequency and Time Forum[C]. IEEE, 2015: 432 – 435.
- [2] Luo Z, Shao S, Wu T. AlN Contour Mode Resonators with Half Circle Shaped Reflectors[A]. 2021 IEEE 16th International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS)[C]. 2021: 1255–1258.

个人简介:

吴涛，上海科技大学信息科学与技术学院常任副教授、研究员、博导。2011 年博士毕业于美国加州大学洛杉矶分校，毕业后曾供职于英特尔公司，以博士后研究员身份加入美国斯坦福大学和东北大学。于 2017 年 7 月加入上海科技大学，建立了上科大微系统与先进传感器实验室(SMALL)。研究方向包括微纳机电系统 MEMS/NEMS，压电射频/超声器件，集成电路工艺，以及 MEMS-CMOS 集成微系统。吴涛博士是 IEEE 高级会员，长期受邀担任多个国际期刊审稿人和国际会议程序委员会委员，先后主持/参与了国家自然科学基金、国家科技攻关专项、上海市科委、江苏省重点研发计划等多项科研项目，担任国家自然科学基金、科技部和上海市科委项目评审专家。在包括(*NPG*) *Microsyst. & Nanoeng.*, *Nat. Comm.*, *IEEE Elec. Devi. Lett.*, *ACS Nano*, *JMEMS*, *Appl. Phys. Lett.*, *Phys. Rev. Lett.*, *T-UFFC*, *MEMS*, *TRANSDUCERS*, *IUS* 等国际著名期刊和会议上发表学术论文 100 余篇。



井式 PECVD 装备关键系统与核心技术研究

黄心沿^{1,2,3,*} 颜湘¹ 王辉^{1,3*} 禹庆荣² 赵振兴² 林立新³

¹中南大学自动化学院, 长沙, 邮编 410006

²中国电子科技集团公司第四十八研究所 中国-埃及可再生能源“一带一路”联合实验室,
长沙, 邮编 410114

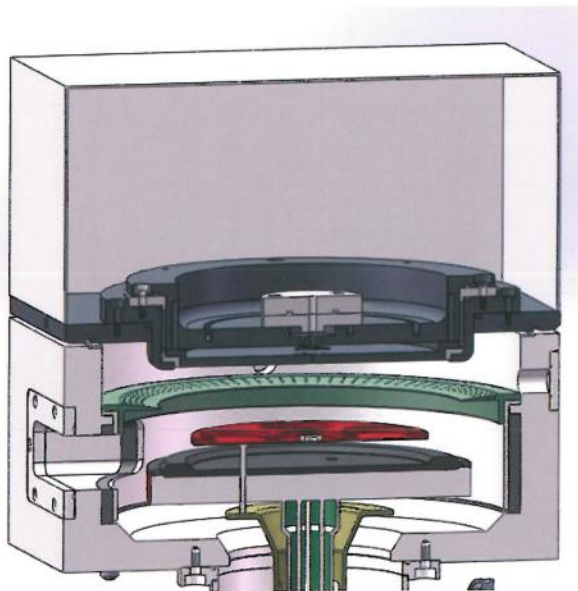
³中南大学深圳研究院, 深圳, 邮编 518507

*Email: wanghuicp9@csu.edu.cn

xiniran@foxmail.com

摘要: 美国《芯片与科学法案》导致半导体工艺设备进口受限, 而数十年来, 薄膜沉积在微纳加工制造中一直占领着重要地位, 为解决“卡脖子”问题, 夺取设备权, 满足国内半导体产业链自主可控的要求, 围绕以制备高质量薄膜为目标的井式 PECVD 装备展开了研究。本文从总体设计出发, 就如何研制符合要求的反应系统和电控系统为目标, 对各关键部分设计或开发做阐述。最后总结井式 PECVD 装备的薄膜沉积验证情况, 说明核心技术研究取得了成功。

关键词: 薄膜沉积, 卡脖子, 自主可控, 反应系统, 电控系统



参考文献:

- [1]热工装备核心系统及智能控制[M].黄心沿.中南大学出版社, 2023.10
- [2]炉窑加热监视器系统的研究[J].黄心沿, 谢成, 盛旭等, 电子元器件与信息技术, 2023 (06)
- [3]Design Method of Impedance Matching Network for High Power Cascaded Class-E Inverter[J].HuiWang, Mei Su and Xinyan Huang.IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industry Electronics, 2024 (07)
- [4]Minimum Resonant Capacitor Desgin for Improving the Comprehensive Efficiency of LLC Resonant DC-DC Converter in Battery Charging Application[J].Zhenxing Zhao, Qianming Xu, Yuxing Dai and An Luo.IET Power Electronics, 2018 (11)

个人简介:

黄心沿，男，中国-埃及可再生能源“一带一路”联合实验室主任助理、中南大学深圳研究院研究员，中青年科技创新领军人才、湖湘青年英才，主要从事微纳制造、复杂工业过程优化决策及智能电控技术、泛半导体工艺设备相关的研究。曾获湖南省科技创新计划项目（2024RC3223），湖南省技术攻关“揭榜挂帅”项目（2021GK1120）



高精度薄膜沉积设备国产化

程厚义^{1,2,*} 艾梅尔¹ 王新河¹ 赵巍胜¹

¹北京航空航天大学 集成电路科学与工程学院 自旋芯片与技术全国重点实验室
北京 邮编 100191

²合肥致真精密设备有限公司, 合肥, 邮编 230011

*Email: hycheng@buaa.edu.cn

摘要: 薄膜沉积设备是集成电路加工工艺的核心设备, 通常分为物理气相沉积设备和化学沉积设备。目前, 物理气相沉积设备尤其是磁控溅射设备广泛应用于金属、氮化物等多种材料的沉积。然而, 新兴的薄膜沉积需求比如磁性材料沉积、氧化物材料沉积以及超薄材料沉积对设备的精度提出了更高的要求。本工作展示了团队开发的高精度磁控溅射设备, 设备可以实现多种材料的沉积, 沉积精度可达 0.1nm。团队实现了该设备的产业化, 累计出货 50 余台。

关键词: 薄膜沉积设备、磁控溅射、高精度、薄膜沉积

个人简介:

程厚义, 中共党员, 北京航空航天大学集成电路学院助理教授, 入选“博士后创新人才支持计划”。近三年来以一作发表领域内论文十余篇, 获授权中国发明专利 8 项, 参与编写专著两部, 获立项电子学会团体标准二项。作为技术骨干参与国家重大科研仪器研发项目、核高基重大专项子课题和安徽省科技重大专项等项目。将科研成果转化, 创立合肥致真精密设备有限公司, 从事高精度集成电路薄膜装备的国产化替代, 研发成功的多款设备填补了国内空白。公司已获得合肥市天使基金等机构投资, 获评高新技术企业和科技型中小企业。产品已应用至清华大学和华为等公司并且已出口至欧洲。产品技术获评 2023 年仪器仪表学会技术发明一等奖 (当年集成电路行业唯一), 获得 2023 年中国创新创业大赛全国金奖 (负责人)。



快速电流测试系统及其在功率器件可靠性表征中的应用

郭乾文¹ 李骏康¹ 程然¹ 刘冬² 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

²浙江大学工程师学院, 杭州邮编310027

*Email: ruizhang@zju.edu.cn

摘要: 超快速电学测试系统采用多脉冲 (Multi-pulse) 测试原理, 直流电源提供器件导通需要的漏极偏置电压, 高速任意波形发生器产生快速的脉冲电压信号输入至器件栅极, 控制待测 MOSFET 器件的导通和关断。高速示波器与待测器件的源极连接, 用于快速检测流经器件电流的变化。图1所示的是常规 MOSFET 器件的导通发热过程。当器件的栅极电压快速上升并超过阈值电压后, 器件内部迅速产生导通电流。在导通的瞬间, 会因为器件的寄生电容电感充放电, 导致电流波形出现振荡, 随后器件电流趋于稳定值。器件导通后开始发热一般需要几十至几百纳秒, 因此如果可以在 10 纳秒以内完成器件导通电流波形的精确采集, 即可有效地避免器件的自发热现象, 实现器件在零自热条件下的电学性能精确提取。本研究实现了超快速电学测试系统, 该系统能够实现 10 纳秒内的器件电学特性采集。从超快速电学测试系统的测量精度与目前商用系统的测试结果对比可以看出, 该系统的电流分辨率精度显著优于商用半导体参数测试仪。在图3中, 我们对比了 LDMOS 在直流 HCI 和交流 HCI 条件下, 不同漏应力电压下的阈值电压漂移曲线。在交流 HCI 退化过程中, 器件的退化随着施加的漏应力电压增加而增加, 这是由于电场增强导致的热电子数量增加造成的。在直流 HCI 退化中, 当漏应力电压继续增加, 并超过一个特定值后, 器件的阈值电压漂移开始减小, 这意味着器件的自热效应开始抑制 HCI 效应。这些结果表明超快速电学测试在功率器件可靠性评估中有很好的应用前景。

关键词: 超快速电学测试, 功率器件, 可靠性

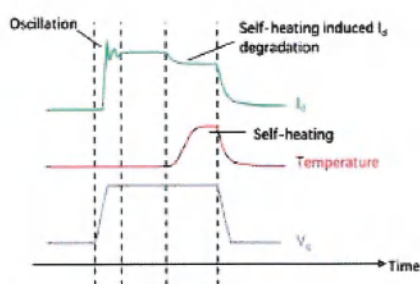


图1 MOSFET 器件导通时, 电压、电流与器件发热量的关系

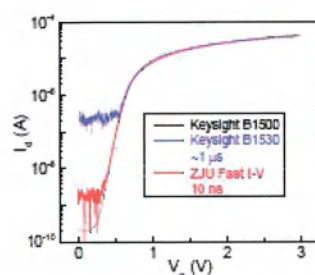


图2 超快速电学测试系统与商用半导体参数测试仪的对

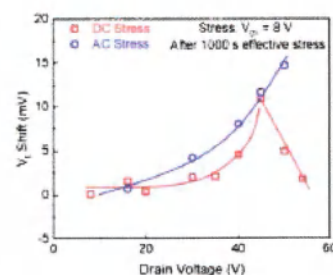


图3 直流测试和超快速测试下 LDMOS 的 HCI 对比

个人简介:

张睿, 浙江大学集成电路学院教授/副院长, 长期从事集成电路器件、制造工艺和测试领域的研究。在国际国内期刊、学术会议上发表学术论文 120 余篇, SCI 引用 4000 余次。成果多次作为被《日本产业经济》、《Semiconductor Today》等主流媒体报道, 并被 IEDM Presskit 评价为“世界上运算速度最快的锗晶体管”。



面向三维铁电存储器的原子层沉积钪基薄膜应力效应研究

杨金川¹ 洪培真^{1,*} 罗锋¹

¹南开大学 电子信息与光学工程学院 天津 邮编 300350

*Email: hongpeizhen@nankai.edu.cn

摘要: 基于原子层沉积钪基薄膜的三维铁电存储器是存储级内存的有力候选者,在存内计算、神经网络计算等领域有巨大的发展前景。在平面钪基薄膜电容结构研究中,我们通过改变电极的种类、厚度,退火温度等条件实现了对于铁电薄膜的应力调控^{[1],[2][3]},在不同的应力条件下钪基薄膜的铁电性表现出明显的差异。由于三维存储器存在严峻的应力问题,而应力对钪基薄膜的铁电性具有显著的调控作用。因此,基于三维存储器的应力问题,对原子层沉积的钪基铁电薄膜展开应力效应研究具有重要意义。报告系统介绍了钪基铁电薄膜的应力效应研究现状以及三维铁电器件构筑的主要问题。

关键词: 三维, 钪基铁电存储器, 应力, 刻蚀, 原子层沉积

参考文献:

- [1] Runhao Han, Peizhen Hong*, Feng Luo*, et al. Understanding the stress effect of TiN top electrode on ferroelectricity in $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ thin films[J]. Journal of Applied Physics, 2023, 134(19).
- [2] Mingkai Bai, Peizhen Hong*, Feng Luo*, et al. Regulating ferroelectricity in $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ thin films: Exploring the combined impact of oxygen vacancy and electrode stresses[J]. Journal of Applied Physics, 2023, 134(17).
- [3] Runhao Han, Peizhen Hong*, Jingwen Hou, Bao Zhang, et al, The Top Electrode Tensile Stress Effect on Ferroelectricity of $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ Thin Films, 2023 7th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference (IEEE EDTM 2023), Seoul Korea, 2023.3

个人简介:

洪培真, 南开大学副教授, 研究方向为新型存储器工艺与器件。主持中科院青促会三维存储器项目, 参与国家 02 专项 22 纳米工艺整合集成技术研究, 16/14 纳米体硅 FinFET 与关键工艺研究, 国家存储器基地三维存储器芯片集成工艺研究及其产业化等项目。累计授权国内外专利 40 余项, 发表学术论文 20 余篇。担任中国电子材料与元器件产学研协同创新平台理事, 中国仪表功能材料学会电子元器件关键材料与技术专业委员会委员及国际期刊 Journal of Advanced Dielectrics 青年编委。



与 CMOS 后道工艺兼容的铪基铁电堆叠结构 及其低压驱动特性研究

刘文军^{1,2,*}

¹复旦大学 微电子学院 上海 邮编 200433

²张江复旦国际创新中心, 上海 邮编 201203

*Email: wjliu@fudan.edu.cn

摘要: Zr 掺杂 HfO₂ (Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂, HZO) 铁电薄膜凭借优异的 CMOS 兼容性和可微缩极限等优点, 在非易失性存储器及逻辑器件领域受到了广泛关注。然而, 随着集成技术的不断发展, 一方面, 铪基铁电薄膜较大的操作电压会直接导致电源失配问题, 另一方面, 大操作电压下较高的缺陷产生速率和过早的介电硬击穿, 均给其大规模集成和应用带来了巨大的挑战。针对以上问题, 我们基于原子层沉积技术原位生长技术, 设计并制备了新型 HZO/ZrO₂/HZO 铁电堆叠结构。在 350 °C 的退火温度下, 相比于传统的单层 HZO 薄膜, HZO/ZrO₂/HZO 铁电堆叠薄膜具有更小的驱动电场 (≤ 2 MV/cm), 更优的铁电性 ($2P_r \sim 39.6 \mu\text{C}/\text{cm}^2$) 和更出色的耐久循环次数 (4.3×10^9 @ 2 MV/cm)。通过将铁电堆叠薄膜厚度进一步微缩至 6 nm 以下, 我们进一步将铁电电容的驱动电压降低至 1.25 V, 同时, 表现出可观的剩余极化电荷量 ($2P_r \sim 26.9 \mu\text{C}/\text{cm}^2$) 和优异的可靠性 ($> 10^{11}$ @ 1.25 V)。实验结果为铪基铁电材料在先进工艺节点中的应用提供了可行的途径。

关键词: HZO/ZrO₂/HZO 铁电堆叠, 铁电性, 可靠性, 低压驱动

个人简介:

刘文军, 现为复旦大学微电子学院教授, 博士生导师。

自 2009 年至 2015 年先后在新加坡南洋理工大学和日本东京大学 (JSPS 研究员), 主要从事微电子器件与工艺, 半导体器件失效分析等研究工作。刘博士过去十几年一直致力于集成电路器件与工艺及可靠性, 主要包括硅 MOSFET 器件、氧化物薄膜晶体管、超宽禁带氧化物器件、工艺及可靠性等。共发表论文 100 余篇, 其中 IEEE IEDM/IRPS/EDL/T-ED/T-DMR >35 篇, 引用 >2600 次, 申请专利 20 余项。担任国际期刊 Nanoscale Research Letters 客座

编辑, 现为 IEEE 会员, 日本应用物理协会会员。编写专著《薄膜晶体管微电子学》(电子工业出版社, 2020); 获得上海市“浦江人才”, 是复旦大学“钟杨式”创新团队骨干成员。



薄膜厚度对铝钪氮电容铁电性能影响的研究

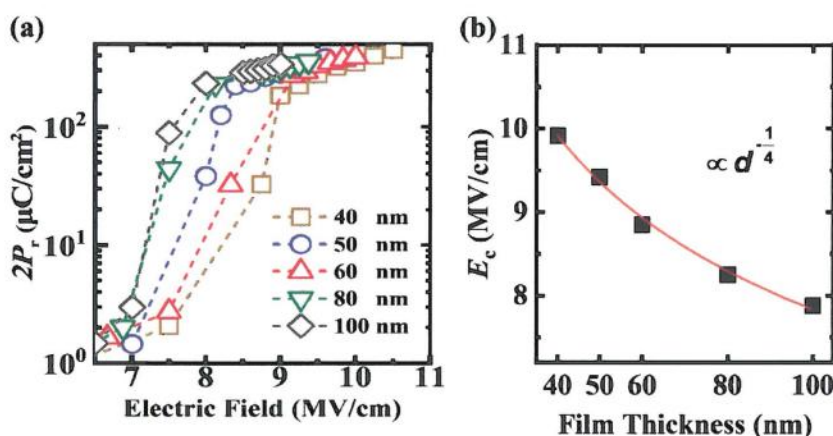
李晓茜^{1*} 方媛¹ 郝跃¹ 刘艳¹ 韩根全¹

¹西安电子科技大学 杭州研究院 集成电路研究所, 杭州, 邮编 311200

*Email: 李晓茜-lixiaoxi@xidian.edu.cn

摘要: 由于具有较大的剩余极化值、可调的矫顽电场以及良好的后道工艺兼容性, 新兴铝钪氮铁电材料得到了广泛研究。然而, 减薄铝钪氮薄膜厚度仍是当前研究的难点之一。本文通过比较 40 nm、50 nm、60 nm、80 nm 和 100 nm 铝钪氮薄膜的电容器材料及其电学性能, 系统研究了厚度减薄对铝钪氮薄膜铁电性能的影响。通过 XRD 材料表征发现, 随着薄膜厚度的减小, 铝钪氮铁电峰变宽, 衍射强度变小, 说明薄膜质量下降。动态电学性能测试结果显示, 随着薄膜的减薄, 交流漏电和矫顽电场逐渐增大, 而剩余极化值则呈现相反的趋势。此外, 通过肖特基模型对不同厚度薄膜的直流测试结果进行拟合, 表明氮空位的数量随薄膜厚度减小而减少。进一步对比不同厚度薄膜耐久性能的结果表明, 尽管薄膜减薄有助于提升耐久性, 但随之极化值明显降低。综上研究表明, 薄膜厚度的减薄对器件性能具有重要影响, 为优化减薄铝钪氮薄膜的工艺提供了科学依据。

关键词: 铝钪氮, 薄膜厚度, 矫顽电场, 极化强度, 漏电



参考文献:

- [1] S. Yasuoka, T. Shimizu, A. Tateyama, M. Uehara, H. Yamada, M. Akiyama, Y. Hiranaga, Y. Cho, H. Funakubo, "Effects of deposition conditions on the ferroelectric properties of $(\text{Al}_{1-x}\text{Sc}_x)\text{N}$ thin films," *J. Appl. Phys.* 128, 11 (2020).
- [2] J. Kataoka, S.-L. Tsai, T. Hoshii, H. Wakabayashi, K. Tsutsui, K. Kakushima, "A possible origin of the large leakage current in ferroelectric $\text{Al}_{1-x}\text{Sc}_x\text{N}$ films," *Jpn. J. Appl. Phys.* 60, 3 (2021).

个人简介:

李晓茜, 准聘副教授, 2023 年毕业于复旦大学, 获理学博士学位, 并荣获“上海市优秀毕业生”。同年加入西安电子科技大学微电子学院和杭州研究院。目前担任 IEEE Electron Device Letters、ACS Applied Materials & Interfaces、Nanotechnology 等期刊审稿人。

李晓茜博士长期从事第四代宽禁带半导体氧化镓器件及阵列的电学、



光电、可靠性等方面的研究，在结构创新、性能优化、机理剖析等方面拥有丰富的理论知识和实践经验。目前在微电子领域主流期刊上累计发表 SCI 论文 50 余篇，包含 Advanced Materials, npj Flexible Electronics, Nano Research 等国际知名期刊，并申请发明专利 10 余篇，主持国家级项目包括青基、博后面上等 3 项。

主要研究方向：

- 1) 氧化镓器件、阵列及系统研发；
- 2) 基于 AlScN 材料的新型存储器件开发。

基于 MOCVD 的 ϵ -Ga₂O₃ 薄膜异质外延及其 在场效应晶体管中的应用

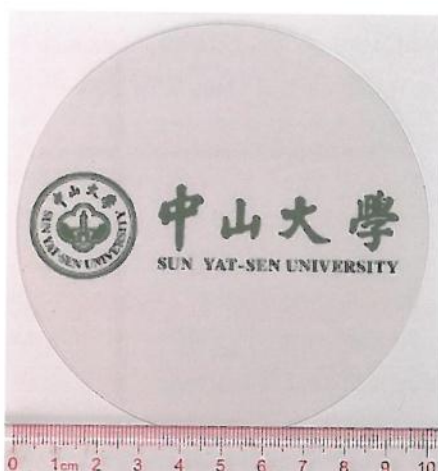
王钢* 陈梓敏 卢星, 裴艳丽

中山大学, 电子与信息工程学院, 光电材料与技术国家重点实验室, 广州, 510275

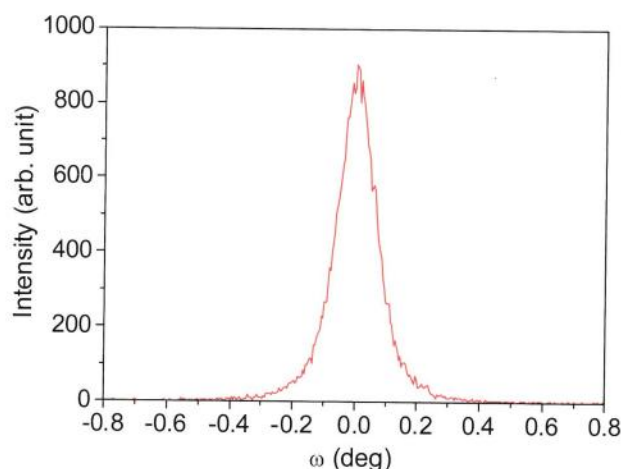
*E-mail: stswangg@mail.sysu.edu.cn

摘要: 近几年新型超宽禁带半导体氧化镓的研究备受关注, 针对 ϵ 相氧化镓(ϵ -Ga₂O₃)材料的异质外延存在大晶格失配、容易存在大量缺陷的问题, 我们提出多种不同的缓冲层生长技术解决方案, 有效地抑制缺陷的形成、释放外延过程中的残余应力, 实现了大尺寸、低成本、高结晶质量的氧化镓薄膜材料生长。采用自研的 MOCVD 设备制备出 4 英寸蓝宝石衬底上的 ϵ -Ga₂O₃ 薄膜生长 (a), (004) 面 XRD 摇摆曲线半峰宽普遍在 500 弧秒左右 (b), 对应螺旋位错密度在 $\sim 10^8/\text{cm}^2$ 量级, 与现阶段其他商用的异质外延半导体材料(如氮化镓)接近; 薄膜表面平整, 实现了原子级的表面平整度, 可适用于半导体光电子、微电子器件的制备。由于 ϵ -Ga₂O₃ 缺乏单晶衬底, 通过这种异质外延技术制备高质量 ϵ -Ga₂O₃ 单晶薄膜的, 是未来实现新型宽禁带 ϵ -Ga₂O₃ 功率电子器件制备与应用的必要基础。

关键词: MOCVD, 氧化镓, 异质外延, 功率电子器件



(a) 基于 MOCVD 的 ϵ -Ga₂O₃ 薄膜 4 英寸 (10cm) 晶圆



(b) (004)面摇摆曲线 FWHM=510''

个人简介:

王钢, 中山大学电子与信息工程学院二级教授, 博士生导师, 中山大学佛山研究院院长。主要从事化合物半导体外延生长技术研究。



ZnO 基半导体材料及其应用研究

吕建国*

浙江大学 材料科学与工程学院 硅及先进半导体材料全国重点实验室 杭州 邮编 310058

*Email: lujianguo@zju.edu.cn

摘要: ZnO 基半导体是一种典型的宽禁带氧化物半导体，在第三代半导体中占有重要地位。本报告主要介绍 ZnO 基半导体材料及其光电器件领域的研究进展，包括：(1) ZnO 基透明导电薄膜，主要是 ZnO:Al (AZO)及其复合薄膜，作为透明电极在 LED、太阳能电池、透明天线、透明加热等领域的应用；(2) 非晶氧化物半导体 (AOS)，开发出 ZnMSnO 无铟 AOS 新体系，实现 AOS 薄膜晶体管 (TFT) 超高场效应迁移率，研制出透明柔性 TFT；(3) 基于忆阻器和 TFT 结构，设计非晶 ZnAlSnO 突触器件，研制出全光控神经突触器件，解决了基于红绿蓝三原色在可见光区域的光写入与光擦除的全光控操作难题，实现多目标神经形态模拟与功能识别。此外，我们还将介绍纳米 ZnO 等纳米材料的产业化应用。期待我们的工作能够为 ZnO 基材料的研发做出贡献！

关键词: ZnO，透明导电薄膜，非晶氧化物半导体，神经突触器件，纳米材料

参考文献:

- [1] Ruqi Yang, Yue Wang, Siqin Li, Dunan Hu, Qiujiang Chen, Fei Zhuge, Zhizhen Ye, Xiaodong Pi, and Jianguo Lu, All-Optically Controlled Artificial Synapse Based on Full Oxides for Low-Power Visible Neural Network Computing, *Advanced Functional Materials* 2023, 34, 2312444.
- [2] Ruqi Yang, Dunan Hu, Qiujiang Chen, Zihan Wang, Bin Lu, Zhizhen Ye, Xifeng Li, and Jianguo Lu, SnS-facilitated ZnAlSnO-based fully optically modulated artificial synaptic device for image processing, *Advanced Function Materials* 2024, 2414210.
- [3] Bojing Lu, Fei Zhuge, Yi Zhao, Yu-Jia Zeng, Liqiang Zhang, Jingyun Huang, Zhizhen Ye, and Jianguo Lu, Amorphous oxide semiconductors: from fundamental properties to practical applications, *Current Opinion in Solid State & Materials Science* 2023, 27, 101092.

个人简介:

吕建国，浙江大学材料学院硅及先进半导体材料国家重点实验室，副研究员，博士生导师。浙江省杰青、151 人才、钱江人才；国际 IEEE 学会会员；国家自然科学基金等评审专家；*Chinese Chemical Letters*、*Tungsten*《化工生产与技术》等期刊编委。主要从事半导体电子材料与应用的研究，承担国家和省部级科研项目 15 项、企业研发项目 10 余项。获国家自然科学二等奖 1 项（排名第三）、浙江省科学技术一等奖 3 项、教育部科技进步二等奖 1 项、全国百篇优秀博士学位论文提名奖。授权国家发明专利 70 余件。出版“十二五”国家级规划教材 1 部（全国优秀教材二等奖）、中英文专著 2 部。在 *Chemical Society Reviews*、*Advanced Materials* 等国际期刊发表 SCI 论文 200 余篇，其中 ESI 热点论文 1 篇，高被引论文 10 篇，论文引用 11000 余次，H 因子 54，入选中国高被引学者、全球学者库国内学者学术影响力排行榜、斯坦福大学全球前 2% 顶尖科学家。



半导体真空设备与零部件的结构设计方法

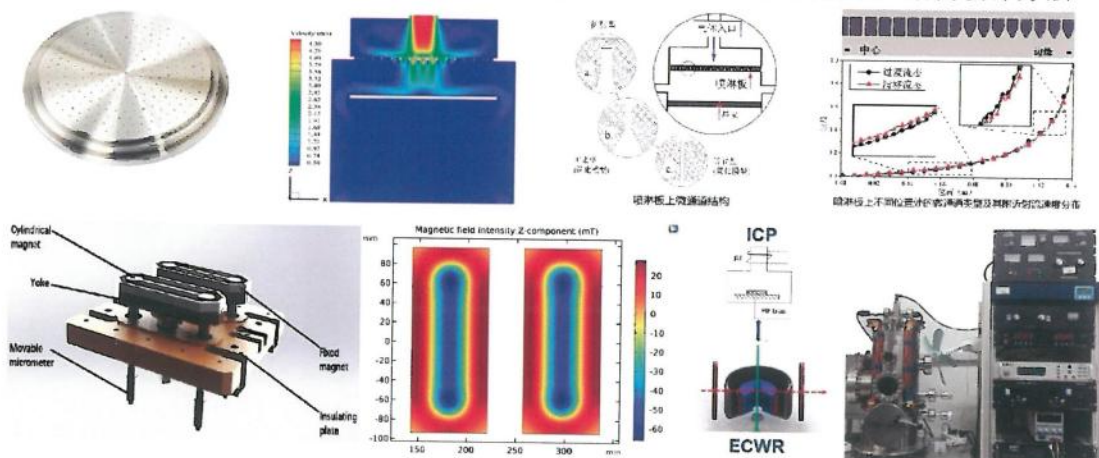
蔺增*

东北大学 机械工程与自动化学院 沈阳 邮编 110819

*Email: zlin@mail.neu.edu.cn

摘要: 喷淋板和溅射阴极是半导体真空设备的核心部件, 电子回旋波共振(ECWR)等离子放电技术以高密度、能量集中等优势在半导体设备领域有着重要的应用前景, 设备腔室内壁涂层技术是半导体真空设备的关键制造技术之一。采用 NS-DSMC 耦合方法研究喷淋板不同微通道的射流特性, 分析微通道差异对沉积分布的影响机理。通过磁场模拟、测试和靶材刻蚀实验, 研究磁场在磁控溅射中的作用机理。对 ECWR 放电特性进行研究, 开展电感、电容不同模式的跳变研究, 使用发射光谱等对放电等离子体进行诊断分析。基于流场、电磁场和等离子体过程控制技术的结构设计方法将为开发更高性能的半导体真空设备与零部件奠定理论基础和科学依据。

关键词: 喷淋板, 溅射阴极, 电子回旋波共振放电特性, 过程控制技术, 结构设计方法



参考文献:

- [1] Wansuo LIU, Xiangji YUE, Zeng LIN*. Study on characteristics of microchannel jet for showerhead in different fluid regimes based on hybrid NS-DSMC methodology[J]. Microfluidics and Nanofluidics, 2024, 28(3): 12.
- [2] Yun-peng He, Shi-bo Bi, Ji-ping Yin, Shao-bo Lv, Rui-sheng Wang, Zeng Lin*. Prediction of midfrequency sputtering cathode erosion position with vertical magnetic field[J]. Surface Engineering, 2021, 37(3): 381-389.

个人简介:

蔺增, 博士, 东北大学常聘教授, 博士生导师。辽宁省植入器械与界面科学重点实验室主任, 辽宁省光学薄膜专业技术创新平台副主任, 沈阳市真空镀膜工程技术研究中心主任, 《中国表面工程》(SCI、EI 检索刊源) 编委, “真空”(真空工程领域核心学术期刊) 编委; 沈阳市高层次人才——领军人才; 山东省泰山产业领军人才。为本科生、研究生开设《真空镀膜》、《流体及化工创新创业实践活动》、《半导体真空装备》等课程。



碳化硅沟槽刻蚀及形貌优化研究

王士京^{1*} 梁洁¹ 张名瑜¹ 涂乐义¹ 桂智谦¹ 王晓雯¹ 王兆祥^{1,2*}

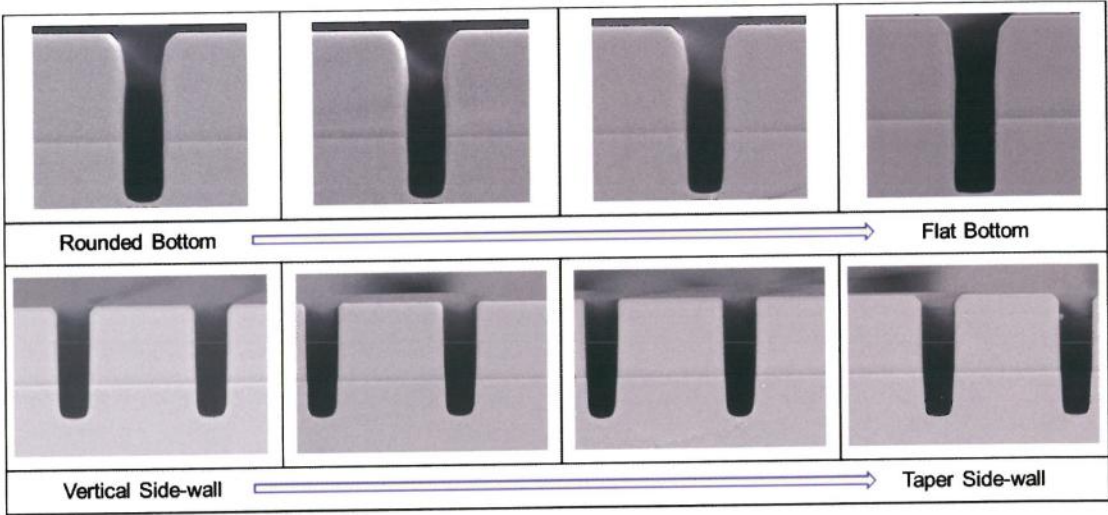
¹上海谙邦半导体设备有限公司 上海 邮编 201304

²上海邦芯半导体科技有限公司, 上海, 邮编 201304

*Email: wangsj@bxsemi.com; wangzx@bxsemi.com

摘要: 碳化硅沟槽刻蚀是宽禁带半导体功率芯片制造中最具挑战性的工艺之一，图形化后的沟槽结构需要兼顾蚀刻选择比、底部圆弧度、侧壁垂直度和侧壁粗糙度等多个因素，这些因素共同决定了沟槽形貌的质量和性能。本研究采用邦芯自研蚀刻设备，通过调整功率分配（PSR）和气体分配（GSR）实现更优的沟槽蚀刻均匀性（<2%）；通过双频射频电源和功率配比优化，实现碳化硅的蚀刻速率接近 1um/min；通过功率和气体的选择，实现碳化硅对氧化物硬掩膜的蚀刻选择比大于 7 以上，通过主刻蚀和辅刻蚀的步骤组合进行底部圆弧度和侧壁粗糙度的修复。此外，通过对源头光阻的侧壁修饰，改善光阻侧壁的粗糙度，然后再对氧化物硬掩膜层的侧壁进行蚀刻后的表面处理，改善氧化层硬掩膜的侧壁粗糙度，从而降低在图形传递过程中对碳化硅沟槽侧壁粗糙度的影响。

关键词: 碳化硅，沟槽蚀刻，蚀刻选择比，底部圆弧度，侧壁粗糙度



个人简介:

王士京，上海谙邦半导体设备有限公司资深工艺经理。日本九州大学博士研究生，曾就职于中科院物质结构研究所和中芯国际研发部，从事集成电路领域相关工作十余年，包括芯片制造刻蚀技术、工艺整合以及集成电路制造刻蚀设备，技术涵盖成熟至先进节点（*nm 以下）。目前拥有 42 项发明专利，发表学术论文 12 篇。



质量流量控制器在半导体制造过程中引发故障的机制解读

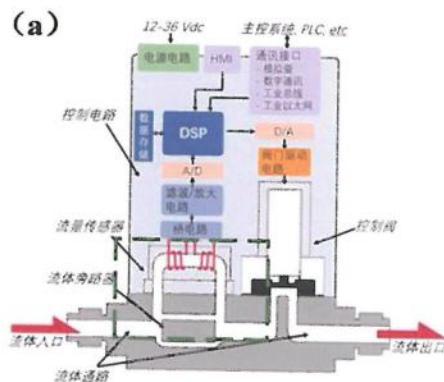
罗贤亮* 夏前明 谭志平 文空军 陈俊毫 王哲 王洋

夏罗登工业科技（上海）股份有限公司 上海 邮编 201612

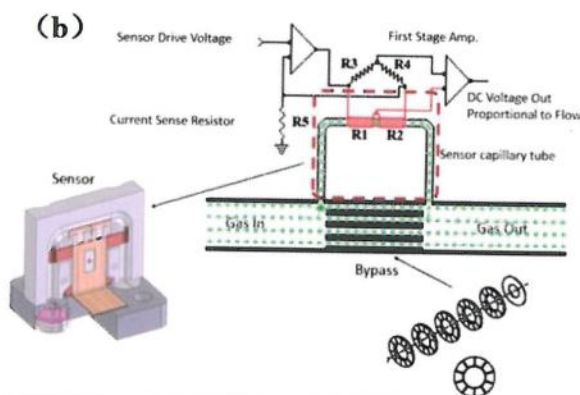
*Email: xl.luo@schalod.com

摘要：质量流量控制器（MFC）在半导体制造中至关重要，但其控制变异性或制造缺陷可能导致晶圆产量下降，甚至损失整批晶圆。MFC 通常基于热式毛细管，流量传感器由毛细管和电阻丝加热器组成。压力变化会引发流量瞬态，制造商通常通过调节阀门响应速度来应对，但下游压力变化仍是挑战。随着电子元件老化，流量测量和阀门响应可能出现校准偏移，尤其是零点漂移。此外，毛细管传感器可能因反应蒸汽而被涂覆或堵塞，导致测量误差。为减轻这些问题，建议定期使用流量参考标准进行校验，并安装在线流量验证器。颗粒和分子污染是 MFC 故障的主要原因。尽管顶级制造商在生产过程中进行颗粒测试，但在运输或安装过程中，颗粒可能脱落。分子污染更难测量，通常需要昂贵设备监测。设计不当可能导致气体滞留，造成交叉污染。为避免这些问题，选择合适的 MFC 并定期清洁至关重要。理解上述机制，能更加有效地选用合适的 MFC，并对 MFC 做有针对性的日常维护。

关键词：质量流量控制器，热式毛细管，校准偏移，分子污染，测量误差



热式毛细管MFC原理图



热式毛细管局部放大图

参考文献：

- [1] Hinkle L D, Mariano C F. Toward understanding the fundamental mechanisms and properties of the thermal mass flow controller[J]. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 1991, 9(3): 2043-2047.
- [2] Kim, Sung Jin, and Seok Pil Jang. "Experimental and numerical analysis of heat transfer phenomena in a sensor tube of a mass flow controller." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 44.9 (2001): 1711-1724.
- [3] Choi Y M, Choi H M, Lee S H, et al. Characteristic test methods of the thermal mass flow controller[J]. *Journal of mechanical science and technology*, 2014, 28: 907-914.
- [4] Dlamini W M, Molefe R M. Thermal Mass Flow Controller Induced Temperature Fluctuations in a Gas Flow Calibration Line at NMISA[J].

- [5] ABBAS O, Mouchel F. The influence of Gas Type on a Thermal Mass Flowmeter Calibration Results[C] *19th International Congress of Metrology (CIM2019). EDP Sciences*, 2019: 17002.
- [6] Hammerschmidt U, Sosna C, Benkert A. Silicon Thermal Flow-Sensor Semi-ideal Model[J]. *International Journal of Thermophysics*, 2022, 43(4): 56.

个人简介:

罗贤亮，东南大学工学博士，复旦大学智能微纳传感器芯片及系统实验室博士后，现任夏罗登工业科技（上海）股份有限公司 CTO。主要研究高性能集成电路设计，拥有完整的信号链芯片产品的设计经验，擅长设计各类校正算法以增强系统的性能。先后工作于深圳矽普特电子科技有限公司、创维集团半导体研发中心和 Cadence Design Systems Inc.，拥有 7 项发明专利授权，5 篇 SCI 收录论文。



离子束微纳加工技术综述

许开东^{1,*}

¹江苏鲁汶仪器股份有限公司 邳州 邮编 221300

*Email: kaidong.xu@leuven-instruments.com

摘要:长期以来,微纳加工技术都是支持芯片行业的高速发展的基石,尤其近年来芯片行业微型化、精细化、立体化和集成化的发展趋势,更是对于微纳加工技术提出了更高的要求和挑战。为了应对这些挑战,离子束技术也不断推陈出新,演进出了多种发展方向。

离子束技术是以电学手段加速的离子束或离子流来实现工艺的,因其具有极窄的离子能量分布,高度统一的运动方向性,从而发展出了包括离子束塑形(IFS, Ion Beam Shaping),离子束平坦化(IFP, Ion Beam Planarization),离子束铣削(IBM, Ion Beam Milling),离子束修平(IBT, Ion Beam Trimming),离子束沉积(IBD, Ion Beam Deposition)等多种高端微纳加工技术,

在本报告中,我们会回顾离子束技术的历史和原理,介绍多种新型离子束技术及其在微纳领域的尖端应用,同时也会汇报鲁汶仪器在离子束技术方向的最新进展。

关键词: 离子束技术, 微纳加工, IFS, IFP, IBM, IBT, IBD。

个人简介:

许开东, 鲁汶仪器董事长兼 CEO, 比利时鲁汶大学化学博士。2004 年至 2010 年, 任奥地利泛林半导体(Lam Research)资深研发经理; 2010 年至 2015 年, 任比利时欧洲微电子研究中心等离子刻蚀部门研发主管、经理; 2015 年至今, 任鲁汶仪器董事长兼 CEO。拥有国内外发明专利 100 余项, 在国际期刊、会议发表学术论文 100 余篇。



高端精密制造工艺与装备

吴向方¹ 吴煦² 蔡豫² 梁家禄² 冯永旭² 郭垒²

¹哈尔滨工业大学（深圳）研究员 沈阳大学特聘教授

深圳微纳产业促进会技术解决方案专家委员会主任

鹏城半导体技术（深圳）有限公司创始人/技术总监

²鹏城半导体技术（深圳）有限公司技术部

摘要：基于纳米与原子制造的 PVD/CVD 技术，用于高质量的薄膜制备。例如，用磁控溅射技术进行单晶薄膜制备，将磁控溅射用于分子束外延的束流源等。

具体工程案例：

用磁控溅射技术解决深径比高于 10:1 的微孔镀膜，用于 TGV、TSV 工艺，自行设计了自主知识产权的成套工艺生产线，已用于生产制造过程中。

将磁控溅射技术和电子束技术，用于镀制光栅表面薄膜。

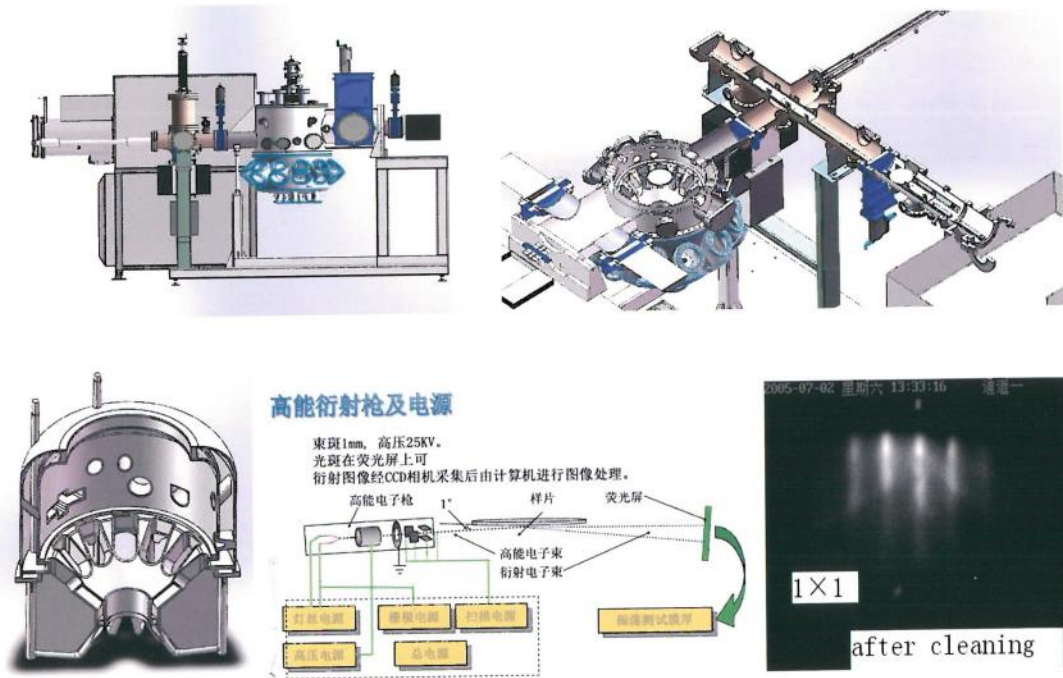
用电子束技术及双倾角调控技术，制作约瑟夫节。

用磁控溅射、离子束技术，制造激光测量芯片。

将磁控溅射和电子束热蒸发技术，用于镀制医疗影像器件。

用 MOCVD 技术，在中空的半球表面，均匀镀制镍膜。

用 PVD 技术，制作直径 1~2mm 的中空小球。



个人简介：

吴向方，哈尔滨工业大学（深圳）研究员，创建鹏城半导体技术（深圳）有限公司

计算机本科、人工智能与机器人研究生。

曾任职中科院沈阳自动化研究所研究员、南方科技大学教授。



III-V 族化合物半导体的分子束外延和原子层沉积生长

郑新和^{1,2*} 杨晋¹ 陈冠良¹ 周博林¹ 石刚¹ John O. Mutua¹ 卫会云¹ 彭铭曾¹
郝迪¹ 姚鹿野¹

¹ 北京科技大学 数理学院 半导体物理与器件实验室 北京 邮编 100083

² 先导科技集团有限公司, 广州, 邮编 510623

*Email: *xinhezhen@ustb.edu.cn

摘要: 报告从不同器件如红外探测器、太阳能电池、高电子迁移率晶体管、激光器对高品质材料的外延要求出发, 分别研究了 GaAsSb 多量子阱、InGaN 异质结、GaAs 隧道结、GaInAs/InGaAs 超晶格、AlGaIn/GaN 异质结以及铋化物 II 型超晶格的 MBE 生长。同时, 分析推理了 MBE 生长在温度、真空度、源材料纯度、均匀性等方面的底层逻辑, 为 MBE 的产业化应用提供了一定的基础指导。另外, 为进一步拓展 GaN 基薄膜的生长和应用, 在不同衬底上如蓝宝石、Si、导电玻璃、GaAs、SiC 以及二维模版(石墨烯、MoS₂)上进行了原子层沉积(ALD)研究, 从 ALD 的生长机理层面探索表面过程和物性分析, 并结合钙钛矿太阳能电池、量子点太阳能电池和发光二极管阵列进行 ALD 制备 GaN 基薄膜的应用验证。

关键词: 分子束外延, 原子层沉积, 半导体器件, III-V 族化合物, 生长机理

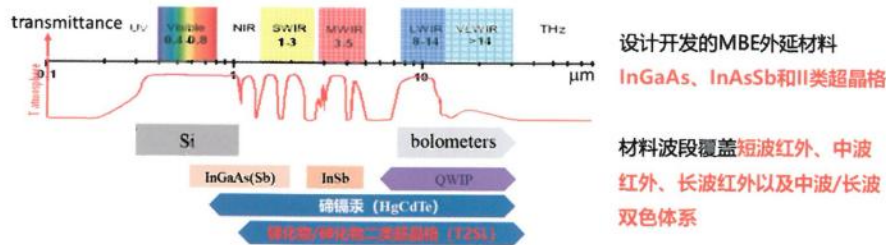


图 1, 不同材料体系的探测器波段

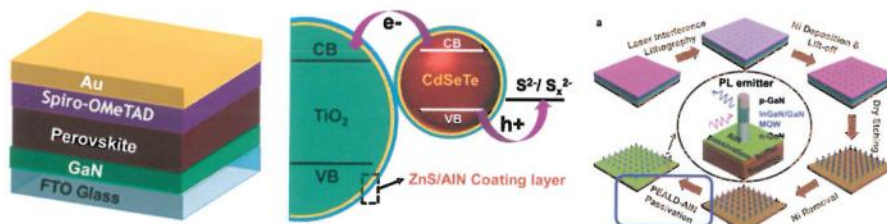


图 2, ALD 沉积氮化物应用, (左)钙钛矿电池, (中)量子点电池, (右)InGaN 基 LED 阵列

参考文献:

- [1] Sanjie Liu, Gang Zhao, Francisco Zaera and Xinhe Zheng,* Baking and Plasma Pretreatment of Sapphire Surfaces as a Way to Facilitate the Epitaxial Plasma-Enhanced Atomic Layer Deposition Growth of GaN Thin Films, *Appl. Phys. Lett.*, 116(21), 211601(2020).
- [2] Huiyun Wei, Peng Qiu, Xinhe Zheng*, Interface modification for high-efficient quantum dot sensitized solar cells using ultrathin aluminum nitride coating, *Appl. Surf. Sci.*, 1 (476), 608-614 (2019).
- [3] Yingfeng He, Yimeng Song, Xinhe Zheng*, Graphene-assisted low temperature growth of nearly single-crystalline GaN thin films via plasma-enhanced atomic layer deposition, *Appl. Phys. Lett.* 122, 041602 (2023).

个人简介：

郑新和, 2002 年博士毕业于中科院半导体所, 长期从事 GaN、GaAs、GaSb 和 SiC 基半导体的薄膜生长 (MBE、ALD 和 MOCVD) 和相关器件 (太阳能电池、探测器、LED、激光器、晶体管) 研究。近年, 与企业进行科研的产业化转换落地工作。现为北京科技大学数理学院教授、博士生导师, 先导科技集团首席专家。发表论文一百多篇, 数篇论文被引用至今, 已达 20 多年。获得授权专利 10 多项, 1 项转移到公司。



先进钌金属互连材料原子层沉积工艺及应用研究

冯波^{1,2*}

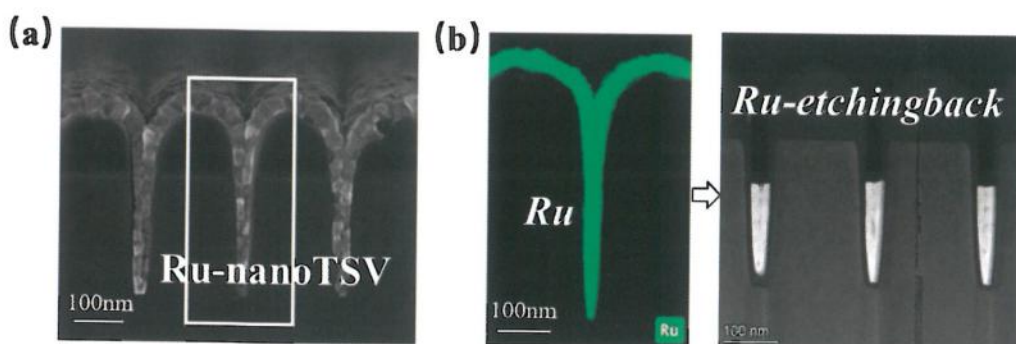
¹湖南大学, 粤港澳大湾区创新研究院, 广州, 邮编 511300

²湖南大学, 机械与运载工程学院, 长沙, 邮编 410012

*Email: fengbo36@hnu.edu.cn

摘要: 集成电路背部供电技术 (BSPDN) 能有效缓解传统芯片正面供电架构中的 IR-Drop 问题, 降低设计复杂度, 通过非摩尔补摩尔助力极致节能高算力与低能耗芯片的开发。本文针对金属材料钌 (Ru) 在集成电路背部供电架构及中道 (middle of line) 互连中的应用要求, 采用原子层沉积 (ALD) 工艺, 研究并实现 Ru 在内径 $CD \leq 50$ nm, 深宽比 $AR \geq 7$ 的纳米 TSV 内的高质量填充 (致密、无 voids), 台阶覆盖率 100%, 薄膜电阻率 $\leq 15 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 。开发了 Ru 金属材料干法刻蚀成套工艺技术, 实现其在纳米 TSV 内的高精度回刻 (etch-back), 深度 ≥ 100 nm; 并利用 Kelvin 方法, 提取出纳米 TSV 槽内填充 Ru 金属的互连线电阻 (小于 $20 \Omega/\mu\text{m}$), 且通过抗电迁移可靠性测试评价。

关键词: 原子层沉积, 钌 (Ru), nanoTSV, 半大马士革, 可靠性



参考文献:

- [1] M. Shamanna et al, "E-core implementation in Intel 4 with PowerVia (Backside Power) Technology", *VLSI Symposium* (2023).
- [2] W. Hafez et al, "Intel PowerVia Technology: Backside Power for High Density & High-Performance Computing", *VLSI Symposium* (2023).

个人简介:

冯波, 现为湖南大学粤港澳大湾区创新研究院副研究员、机械与运载工程学院岳麓学者、助理教授 (双聘)。博士毕业于复旦大学, 曾就职于上海华为技术有限公司 (高级工程师)。截止目前, 已主持国家自然科学基金、广东省自然科学基金面上项目、华为 NMTK 重大合作项目等 ≥ 7 项, 以第一/通讯作者在 *ACS Nano*、*Nano Letters*、*International Journal of Extreme Manufacturing* 等期刊上发表 SCI 论文 30 余篇, 申请或授权发明专利 40 余项。



原子层沉积虚拟系统：前驱体全生命周期的模拟

庄黎伟^{1,2,*}, Dennis T. Lee³, Peter Corkery³, Michael Tsapatsis³

¹华东理工大学 化工学院 上海 邮编 200237

²华东理工大学 上海电子化学品创新研究院 上海 邮编 200237

³ Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, 21218

*Email: lwzhuang@ecust.edu.cn

摘要：原子层沉积(Atomic Layer Deposition, ALD)前驱体，区别于一般电子化学品。除了纯度要求，它的分子功能，与薄膜沉积工艺、装备高度关联。原子层沉积前驱体的开发，与薄膜沉积工艺脱节，这是目前电子化学品难以实现芯片制造终端应用的共性问题！我们开发了基于虚拟 ALD 阀门、源瓶的供气系统模型、真空腔体流体力学传递过程模型、大面积平面/维纳结构基底的薄膜沉积模型，致力于全流程的 ALD 过程与装备仿真设计，相关模型已在国内外高校、企业的研究级、工业级 ALD 机台得到了系统验证。基于该虚拟全流程系统，可用于评估各种类型前驱体的分子功能，及其与镀膜工艺、装备的适配性。相关技术已应用于各类液体源、固体源及其钢瓶的设计、开发和评估。本虚拟系统，已逐渐拓展至原子层刻蚀(ALE)、分子层沉积(MLD)以及液相沉积(流动沉积与旋涂沉积)。

关键词：原子层沉积，多尺度，虚拟系统，模拟，装备开发

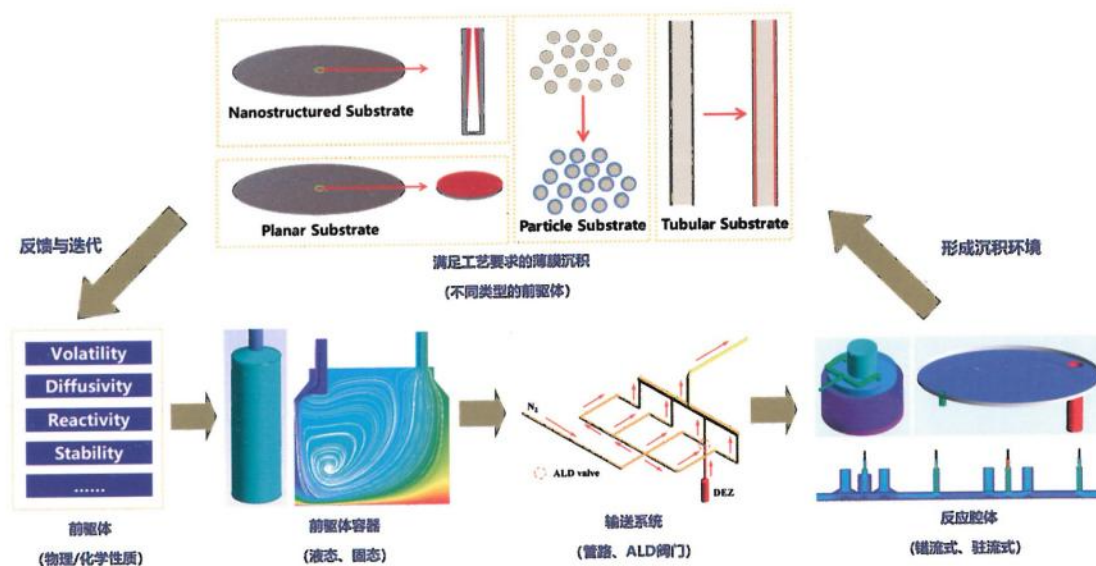


图1 原子层沉积虚拟系统用计算模拟可视化、操控前驱体的全生命周期：前驱体被储存、传输、分布、消耗、最终转化为薄膜/沉积物

研究资助：

国家自然科学基金 (22078091)；上海浦江人才计划 (2022PJD016)；美国能源部项目 (DE-SC-0021212)

参考文献：

- [1] X. Ma*, P. Kumar, N. Mittal, A. Khlyustova, P. Daoutidis, K.A. Mkhoyan, M. Tsapatsis*, “Zeolitic imidazolate framework membranes made by ligand-induced permselectivation”, *Science* 361: 1008-1011(2018).

- [2] L. Zhuang*, P. Corkery, D.T. Lee, S. Lee, M. Kooshkbaghi, Z. Xu, G. Dai, I.G. Kevrekidis, M. Tsapatsis*, "Numerical simulation of atomic layer deposition for thin deposit formation in a mesoporous substrate", *AIChE Journal* 67(8): e17305(2021).
- [3] G. Hao, D.T. Lee, P. Corkery, Y. Miao, Y. Yuan, Z. Xu, G. Dai, G. Parsons, I.G. Kevrekidis, L. Zhuang*, M. Tsapatsis*, " Modeling of deposit formation in mesoporous substrates via atomic layer deposition: insights from pore-scale simulation", *AIChE Journal* 68(12): e17889(2022).
- [4] Y. Yuan, H. Ping, D.T. Lee, P. Corkery, Z. Zhang, C. Liu, S. Xue, L. Zhuang*, M. Tsapatsis, " CFD simulation of the dosing behavior within the atomic layer deposition feeding system", *Industrial & Engineering Chemistry Research* 62(23): 9335-9347 (2023).

个人简介:

庄黎伟, 博士, 华东理工大学化工学院副教授, 上海“浦江人才”计划获得者(集成电路方向), 美国约翰霍普金斯大学访问学者, 美国能源部项目(ALD技术, 2020-2023)研究员。研究方向包括: 原子层沉积(ALD), 计算流体力学(CFD), 膜分离与膜组件, 化工反应器, 钙钛矿太阳能电池等。近年来已在 *AIChE Journal*(封面)等期刊发表学术论文 20 余篇, 主持国家自然科学基金面上、青年项目, 工业 ALD 机台、ALD 供气系统、ALD 固体前驱体容器仿真设计, 各类 ALD 工艺开发等企业项目。



流化床原子层沉积包覆纳米颗粒的放大研究

刘道银* 刘威 张力元 张祖扬

东南大学能源热转换及其过程测控教育部重点实验室, 江苏省南京市 210096

*Email: dyliu@seu.edu.cn

摘要: 纳米颗粒材料越来越多的应用于能源、环境、生物和医药等领域。流化床原子层沉积 (FBALD) 结合了流化床 (FB) 高效处理颗粒和原子层沉积 (ALD) 精确控制薄膜生长的优点, 是一种高通量且高精度的纳米颗粒改性技术。目前公开文献报道的 FBALD 反应器结构简单且尺寸较小。本文研究 FBALD 反应器结构优化和反应器尺寸放大。提出一种带中心管的 FBALD 反应器结构, 同时改善了流化和前驱体供给。当 ALD 循环从 5 次增加到 50 次, 在 SiO_2 纳米颗粒表面沉积的 TiO_2 薄膜的厚度从约 0.7 nm 几乎线性增加到 6.4 nm, 即每周期的 TiO_2 薄膜生长厚度约为 1.3 Å。进一步放大 FBALD 反应器 (内径 160 mm), 采用搅拌辅助流化, 制备核壳 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 纳米颗粒的规模达到每批次 1 升, 对不同尺寸的纳米颗粒聚团进行了 ALD 包覆, TiO_2 膜完整地包覆在 SiO_2 纳米颗粒表面, 反应器不同区域的纳米颗粒的光催化降解盐酸四环素性能优异且一致。在 FBALD 反应器开发过程中, 分别采用了追踪聚团运动和聚团群平衡的数值模拟方法, 辅助反应器结构和运行参数的优化。

关键词: 原子层沉积, 纳米颗粒聚团流化, 光催化颗粒, 数值模拟

参考文献:

- [1] Liu W, Liu D, Zhang Z, Sun Z. Synthesis of core-shell nanostructured $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ photocatalysts via atomic layer deposition in a fluidized bed with central tube. *Particuology*. 2024;91:19-28.
- [2] Liu W, Zhang Z, Liu D. Comparison of $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ photocatalysts with different thicknesses synthesized by fluidized bed atomic layer deposition. *Powder Technol*. 2024;438:119613.

个人简介:

刘道银, 东南大学教授。主要从事多相流数值模拟、微纳米颗粒材料制备等研究。先后主持多项国家自然科学基金项目和国家重点研发计划项目子课题等。在国内外学术期刊上发表论文 100 余篇, 被引用 2000 余次, 编写教材 2 本。曾获得教育部自然科学奖和江苏省科技进步奖二等奖各 1 项。



基于 MEMS 的宽量程高精度智能真空计

焦斌斌^{1*} 韩枫² 侯占强³

¹中国科学院微电子研究所 北京 邮编 100029

²西安交通大学, 西安, 邮编 710048

³国防科技大学, 长沙, 邮编 410003

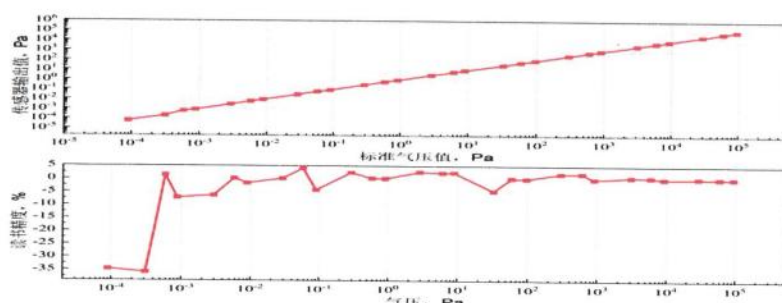
*Email: jiaobinb@ime.ac.cn

摘要: 真空传感器的小型化与智能化是明确的发展趋势, 因此出现了以 MEMS 芯片为核心敏感结构的智能真空传感器。目前国际上基于 MEMS 压阻敏感芯片与 MEMS 皮拉尼芯片的复合型智能真空传感器已较为成熟, 可以实现 0.1 Pa~120 KPa 的高精度检测, 但是尚未出现对于高真空段检测的 MEMS 芯片。本报告介绍一种可测量高真空段的 MEMS 芯片, 以及利用该芯片与 MEMS 压阻、MEMS 皮拉尼复合的宽量程高精度智能真空计研发进展。

关键词: MEMS, 皮拉尼, 压阻真空传感, 谐振真空传感



宽量程真空计外观



宽量程真空计输出曲线与精度

个人简介:

焦斌斌博士, 中国科学院微电子研究所研究员, 博士生导师, 国家级科技人才, 国家重点研发计划首席科学家, 中国工程前沿杰出青年学者。国家重点研发计划领域专家, 中国材料学会智能传感功能材料与器件分会常务委员, 中国机械工程学会微纳制造技术分会委员, 中国仪器仪表学会微纳器件与系统技术分会委员。常年从事微系统技术研究, 累计发表 SCI 论文 70 余篇, 获授权中国发明专利 40 余项, 美国专利 2 项, 获省部级科技进步一等奖、二等奖各 1 项。



MEMS 芯片器件封装用微型薄膜吸气剂研究及其产业化

侯雪玲^{1,2} 鲁涛^{2*} 许晓彤¹ 尚敏²

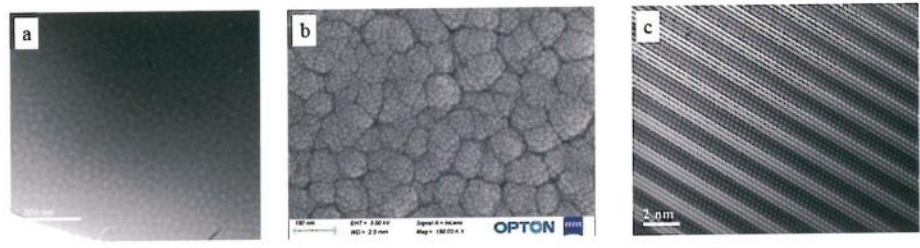
¹上海大学 材料科学与工程学院 上海 邮编 200072

²上海晶维材料科技有限公司 上海 邮编 201815

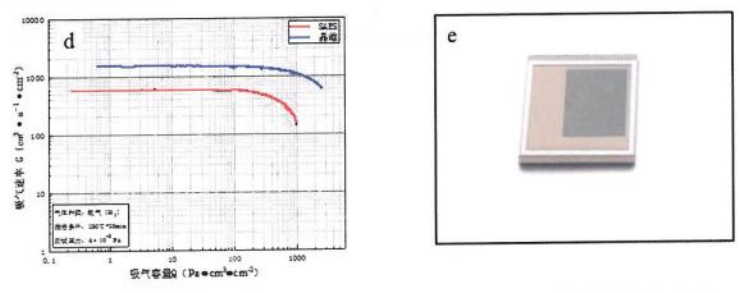
*Email: 鲁涛_jw@kingmt.com.cn

摘要: 在人与天地万物互联网的时代, 如何实现 MEMS 传感器的眼耳鼻舌身意的多功能化、高精度化、轻量化, 小型化, 高可靠性和高灵敏度至关重要, 微型薄膜吸气剂在传感器里面发挥了至关重要的作用。但是目前国内的微型薄膜吸气剂研究比较薄弱, 为此本文研究了纳米异质结构的缺陷耦合(见图 1a), 单晶团簇的高缺陷耦合(见图 1b), 原子孪晶高缺陷耦合下(见图 1c)多元合金薄膜吸气剂, 并实现其产业化生产。形成有序-无序的高缺陷纳米孔状结构组织, 以达到高吸气量、低激活温度的目的。且基于这些研究获得 采用动态流导法对微型薄膜吸气剂进行吸气性能测试, 初始吸气速率 $1400\text{cm}^3\text{s}^{-1}\text{cm}^{-2}$, 2h 吸气容 $1200\text{Pa}\text{cm}^3\text{cm}^{-2}$ 。满足目前 MEMS 封装、氢铷原子钟、红外探测器, 晶圆级封装、及未来像素级封装的要求。本研究结果, 满足 MEMS 半导体封装要求, 可以实现的高性能化、微型化、高可靠性、高灵敏度要求。

关键词: MEMS 芯片器件, 薄膜型吸气剂, 制备工艺, 激活温度, 吸气性能



纳米异类排列相缺陷 纳米级单晶团簇缺陷 原子级孪晶缺陷



薄膜吸气剂性能对比 晶圆级封装用薄膜吸气剂

参考文献:

[1] S. Lemettre et al., Zr-V getter films for MEMS packaging, 2023 Symposium on Design, Test, Integration & Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP), Valetta, Malta, 2023, pp. 1-4.

项目资助:

本项目的支持来自于国家自然科学基金: “空间氢原子钟可再生氢的半导体氢源系统”(批准号: 12373078, 起止时间: 2024.01-2027.12, 项目经费: 52 万)

个人简介:

侯雪玲，毕业于中南大学。工学博士，研究员，上海大学材料科学与工程学院，博士生导师

研究领域: MEMS 芯片器件真空封装用吸气材料的研究
近年来，研究的吸气材料先后用于氢原子钟、铯原子钟等导航卫星“时标/定位”的关键部件。国际合作方面：作为高级访问学者在英国剑桥大学、美国南佛罗里达大学物理系(USF)和瑞士西部应用科学大学进行访学交流。



面向聚变堆运行环境大圈径高回弹金属密封技术研发

杨庆喜^{1,*} 余清洲¹ 徐皓¹ 陈肇¹ 史根本¹

中国科学院等离子体物理研究所

*E-mail: yangqx@ipp.ac.cn

摘要：托卡马克作为主要的聚变装置，正在全球范围内用于进行聚变研究，以探索人类的聚变能源。外真空杜瓦作为托卡马克的重要子系统，提供不低于 10^{-4} Pa 量级的真空度，其功能真空杜瓦内部大型超导磁、冷屏及冷质部件提供绝热环境，确保超导磁体及其他冷质部件能够在低温下（ -269°C — -193°C ）能够稳定、正常运行。未来聚变堆大型外真空杜瓦，其密封接口复杂且数量多达数百个，接口尺寸范围跨度大，从分米量级到数十米的量级跨度，这些密封接口是外真空杜瓦真空度重要影响因素。因聚变堆装置具有超高温（上亿度）、超低温（ -269°C ）、强磁场、强辐射复杂运行环境特点，原有的橡胶密封因上述环境下短时间内容易交联老化导致发生泄漏失效，未能满足使用要求，所以亟需开发高回弹、低泄漏（小于 $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ）、长寿命的金属密封技术。另外，由于未来聚变堆尺寸大，导致外真空杜瓦尺寸也大，最大密封圈径将达到数十米（中国聚变工程实验堆（CFETR）冷却器的金属 O 型圈直径将达到 38 米），上述结构和要求对开发大圈径金属 O 型圈的设计和制造带来了巨大挑战。

针对上述要求，本文重点开展新型大圈径 O 型圈金属密封技术研究。基于泄漏率低于 $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 、高弹性以获得更好的密封性能和简单的制造要求，提出了两种新型金属 O 型圈：一种是通过焊接形成并密封的唇型构型金属 O 型圈，另一种是通过焊接形成并通过预加载密封的 X 型构型金属 O 型圈。立足上述两种构型的密封圈详细开展了接触应力、弹性性能和泄漏率、制造工艺可行性分析研究。研究结果表明：X 构型金属 O 型圈具有更好的优势，弹性率超过 90%，泄漏率低于 $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，且制造工艺更简单。上述研究方法和结果为未来聚变反应堆的应用奠定了理论和技术基础。

关键词： 聚变堆，托卡马克，金属密封、低漏率、高回弹

个人简介：

杨庆喜，博士，中国科学院等离子体物理研究所研究员，博士生导师，“安徽省学术技术带头人”，安徽省“省特支计划创新领军人才”，安徽省真空学会常务理事/秘书长、中国真空学会真空工程委员会委员、中国真空学会质谱与检漏专委会委员。主要从事真空电物理装置工程与技术研究。曾主持国家重点研发项目，国家自然科学基金，综合性大科学中心基金，安徽省重大研发项目，国内、外重大合作项目共 20 项。分别荣获“安徽省科学技术奖一等奖”、“安徽省专利金奖”，“中国专利银奖”，“中国外观设计金奖”，“中国发明创业奖一等奖”，“中国设计红星奖金奖”奖项。



半导体真空泵油技术—Y 型全氟聚醚

金海玲*

捷时特科技（上海）有限公司，上海 邮编 201210

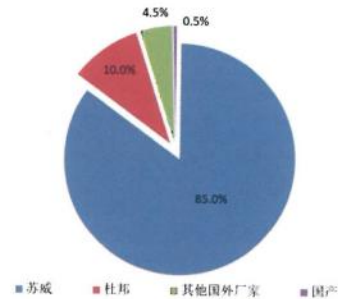
*Email: helen.jin@justtech-flotus.com

摘要：本报告依据半导体工业、半导体设备、半导体真空泵以及半导体全氟聚醚真空泵油现状，展示了中国半导体 Y 型全氟聚醚真空泵油国产化的紧迫性和重要性。根据国内粗加工全氟聚醚产能 2000 吨/年与国内半导体全氟聚醚真空泵油的市场占比 0.5%，阐述捷时特科技（上海）有限公司在困境中如何层层技术突破，精制提纯满足半导体真空泵所需的全氟聚醚产品。同时展示了 MaxLube JT25 产品的性能优势以及其应用场景，解决了半导体行业全氟聚醚真空泵油“卡脖子”难题。

关键词：半导体真空泵，全氟聚醚，国产化，性能优势



全球和中国大陆半导体设备销售额及占比（亿美元）



中国半导体全氟聚醚真空泵油市场占比

个人简介：

金海玲，高级工程师，现任捷时特科技（上海）有限公司业务拓展经理。



Semiconductor Terahertz Photonics Devices and Imaging Technology

Chang Wang and Juncheng Cao

State Key Laboratory of Materials for Integrated Circuits, Shanghai Institute of
Microsystem and information technology, Chinese Academy of Sciences,
865 Changning Road, Shanghai, 200050, China

Abstract: Terahertz (THz) quantum cascade lasers (QCLs) and quantum well photodetectors (QWPs) developed based on the inter-subband transition of electrons in quantum wells are important radiation sources and detection devices in the THz frequency band, typically operating in the 1-5 THz frequency range with the advantages of high energy conversion efficiency and easy integration. They have significant application prospects in fields such as super-resolution imaging, space communication, and spectral detection. The lasing frequency of THz QCL and the peak detection frequency of THz QWP can be optimized by adjusting the width of quantum wells and barriers, doping concentration, and potential barriers. The rate equations [1] are developed to study the QCL dynamics under optical injection and optical feedback. The results give a deep insight into the physics of QCL and can be used to optimize device designs. The fabricated THz QCLs can realize a maximum peak power of 1.40 W in pulse mode. Using THz QCL as the source and QWP as the detector, a scattering-type scanning near-field optical microscope has been developed with a spatial resolution better than 100 nanometers [2].

References:

- [1] Fuyi Cao, Zhan Su, Cong Wang, Yuhao Chen, Guoen Weng, Chang Wang, Xiaobo Hu, Hidefumi Akiyama, Junhao Chu, and Shaoqiang Chen, "Carrier tunneling and transport in coupled quantum wells: Modeling and experimental verification", *Appl. Phys. Lett.* 124, 161106 (2024).
- [2] F. C. Qiu, G. J. You, Z. Y. Tan*, W. J. Wan, C. Wang*, X. Liu, X. Z. Chen, R. Liu, H. Tao, Z. L. Fu, H. Li, and J. C. Cao*, "A terahertz near-field nanoscopy revealing edge fringes with a fast and highly sensitive quantum-well photodetector", *iScience* 25(7), 104637 (2022).

Biography:

Chang Wang received the Bachelor's degree in microelectronics from East China Normal University in 2002 and the Doctorate degree in microelectronics and solid-state electronics from the Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology (SIMIT), Chinese Academy of Sciences in 2007. Currently he is Professor with the State Key Laboratory of Materials for Integrated Circuits, SIMIT. His research interests include terahertz semiconductor optoelectronic devices and their applications. He has undertaken projects such as the National Key Research and Development Program and the National Natural Science Foundation.



集成光电芯片制造关键技术研究

管小伟^{1,2*} 魏倩倩¹ 杨佳宁¹ 朱红辉¹ 冯鑫涛¹ 陈婷¹ 李辉¹

¹浙江大学嘉兴研究院 智能光电创新中心 嘉兴 邮编 314000

²浙江大学 光电科学与工程学院, 杭州, 邮编 310058

*Email: guanxw@zju.edu.cn

摘要: 本文介绍浙江大学嘉兴研究院微纳加工平台在集成光电芯片制造方面的最新进展, 主要包括低损耗硅光波导的制造及表征、薄膜铌酸锂波导和器件的制造及表征。

随着智能时代对信息的感知、传输和处理系统的大带宽、多维度、低能耗及高可靠能力的需求不断增加, 集成光电芯片技术正在发挥越来越重要的作用。正如集成电路那样, 微纳制造是实现高性能集成光电芯片的关键环节。浙江大学嘉兴研究院瞄准集成光电芯片的制造, 重点建设微纳加工平台, 聚焦共性关键工艺研发, 目前已实现一批突破性成果。

硅光波导和器件是集成光电芯片的主流基础平台。浙江大学嘉兴研究院微纳加工平台重点突破硅光波导的高质量刻蚀、超小尺寸结构的曝光与刻蚀以及复杂器件的曝光工艺, 目前可以实现标准单模波导损耗 2.3~4.0dB/cm, 光栅耦合损耗约 3dB, 及非均匀光子晶体波导(最小尺寸小于 80nm)的精准制造。图 1 分别展示了相关波导和器件的测试结果及 SEM 图。

薄膜铌酸锂是近年来兴起的可用于超高速电光调制等应用的光波导平台。浙江大学嘉兴研究院微纳加工平台重点突破薄膜铌酸锂干法刻蚀、高速电光调制器设计与加工等关键工艺, 目前可以实现波导损耗<0.1dB/cm, 光纤与片上波导耦合损耗<1dB/端面, 电光调制器带宽>100GHz 等成果。图 2 分别展示了相关波导和器件的测试结果、SEM 图或示意图。

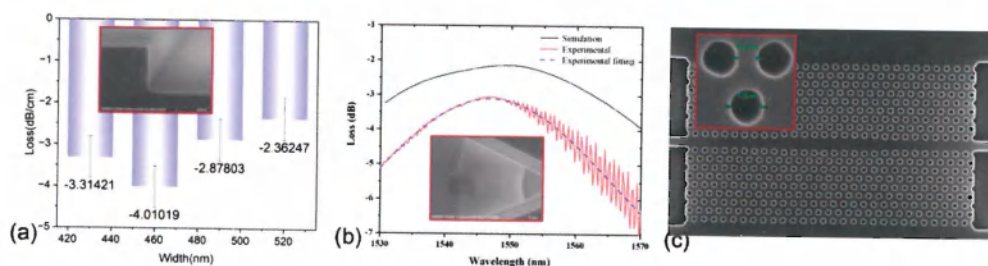


图 1 平台硅光波导工艺水平图例。(a) 波导损耗。(b) 耦合器效率。(c) 光子晶体。

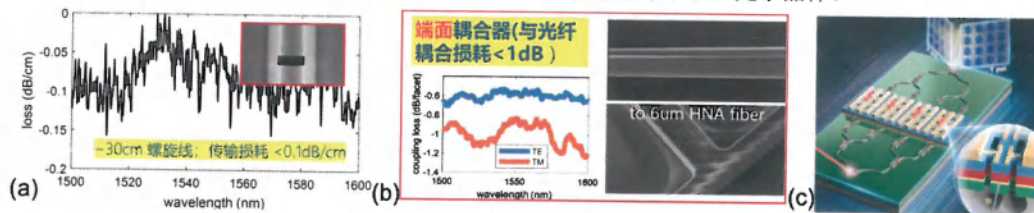


图 2 平台薄膜铌酸锂光波导工艺水平图例。(a) 波导损耗。(b) 耦合器效率。(c) 调制器。

关键词: 集成光电芯片, 硅光波导, 薄膜铌酸锂光波导, 微纳加工技术

个人简介:

管小伟, 2014 年博士毕业于浙江大学光电学院, 曾任丹麦科技大学助理教授, 现任浙江大学嘉兴研究院高级研究员, 主持微纳加工平台建设。一直从事集成光电芯片的研究与加工技术开发。发表论文 50 余篇, 引用 1600 余次。担任第七届微纳光学技术与应用交流会组织委员会共主席。主持国家、省级自然科学基金项目多项。获中国光学科技奖一等奖(2020)。



兼容后道工艺的晶圆级异质集成技术平台开发

李云龙*

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

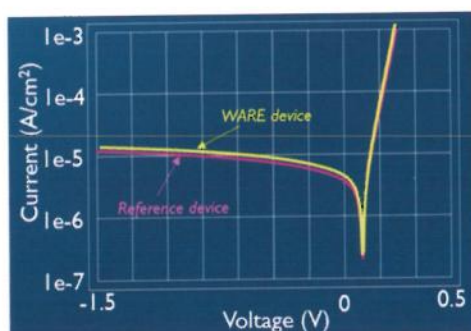
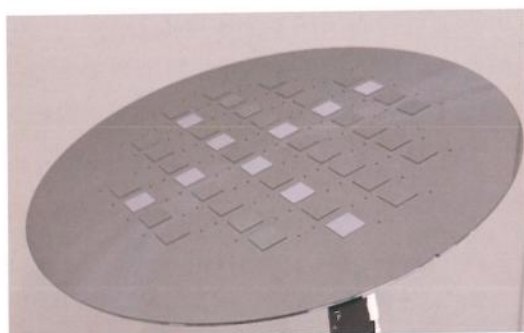
浙江创芯集成电路有限公司, 杭州, 邮编 311200

浙江大学 硅及先进半导体材料全国重点实验室, 杭州, 邮编 311200

Email: bta@zju.edu.cn

摘要: 在同一硅衬底上实现兼容标准后道工艺的高质量三五族芯片和硅的共同集成, 可以在光电、射频、短波红外成像和传感等多个领域规模应用异质集成技术。通过开发一种基于晶圆重构工艺的多芯片集成平台, 可在 200/300 毫米硅衬底上集成多种异质材料和芯片。同时研究表明, 此工艺流程对器件的电学特性没有显著影响。本报告将介绍此多芯片集成平台工艺集成流程和技术难点。

关键词: 晶圆重构, 芯粒技术, 后道兼容, 三五组材料, 短波红外成像



参考文献:

- [1] Gauri Karve, Yunlong Li *et al.*, "Wafer reconstitution: embedded multi-die III-V and silicon co-integration platform", 2024 Jpn. J. Appl. Phys. 63 04SP42
- [2] Wei Wei, Yunlong Li *et al.*, "200MM WAFER RECONSTITUTION FOR SENSOR APPLICATION", Transducers 2023 Kyoto, JAPAN

个人简介:

李云龙博士, 浙江大学集成电路学院教授, 国家级人才计划入选者。本硕毕业于清华大学精密仪器专业, 博士毕业于比利时鲁汶大学电子工程专业, 曾在比利时微电子研究中心(imec)从事了 20 年芯片前沿领域的研发工作, 涉及先进芯片工艺流程中的多个关键环节, 在先进芯片互连工艺与可靠性、晶圆 3D 堆叠技术与可靠性、基于标准晶圆工艺和“芯粒”先进封装技术的特殊成像器件集成等领域做出了突出成绩, 著有 100 余篇国际期刊和会议论文以及多项国际发明专利申请和授权。



大尺寸晶圆临时键合/减薄及其高性能器件应用

万青*

¹ 甬江实验室 功能材料与器件异构集成研究中心, 宁波, 邮编 315202

*Email: qing-wan@ylab.ac.cn

摘要: 晶圆临时键合和减薄是后摩尔时代的关键共性技术, 在芯片先进封装、MEMS 传感器和功率电源和光电子芯片领域具有重大产业化价值。万青教授领导的甬江实验室异构集成研究团队发明了一种低成本室温临时键合技术, 实现了大尺寸(6-12 英寸)单晶硅、铌酸锂/钽酸锂晶圆和玻璃衬底的平整键合。在此基础上, 采用背面精密减薄工艺, 快速将 8 英寸单晶铌酸锂和 12 英寸单晶硅减薄到了 10-20 微米, 如图 1 所示。目前, 研究人员做到了单片减薄时间为 5-10 分钟, 键合片总厚度偏差为 2 微米。后续研究中, 团队将进一步降低减薄后的晶圆厚度偏差, 并实现上述单晶功能薄膜在热释电红外传感器、压电微流控驱动和硅基低压大电流功率芯片中的应用。

关键词: 铌酸锂, 硅晶圆, 临时键合, 精密减薄, 功率电源芯片



图 1, (a)8 英寸单晶铌酸锂/硅片键合减薄片, 上层铌酸锂厚度 20 微米; (b)12 英寸贴膜单晶硅减薄片, 厚度 20 微米。

个人简介:

万青, 甬江实验室功能材料与器件异构集成研究中心主任, 从事半导体/光电子功能材料与器件研究 20 多年, 代表成果包括: 1) 早在 2001 年, 本人就发表了国际第一篇 LiTaO₃ 单晶薄膜 Smart-cut 工艺初步探索论文, 为其 5G/6G 射频滤波器、电光调制器应用奠定了材料基础。2) 早在 2009 年, 成功研制了世界上第一个非晶 IGZO 双电层 TFTs, 发表国内第一篇 IGZO 薄膜晶体管论文, 也是国际 IGZO 氧化物神经形态晶体管的发明人。3) 发明了一种室温键合临时键合技术, 结合背面精密减薄工艺, 成功实现了大尺寸 8-12 英寸硅晶圆和铌酸锂/钽酸锂单晶的快速、超低成本减薄。累计在 Nature Communications、Advanced Materials、APL、IEEE EDL 等权威杂志发表 SCI 论文 300 多篇, 他引 3 万次, 并连续多年荣获中国高被引用学者称号。2006 年获得全国百优博士论文, 2009 年获得中国青年科技奖, 2013 年获得浙江省科技一等奖(个人排名第 1), 2014 年获得国家杰出青年基金, 2018 年入选国家领军人才计划(万人计划)。



原子层沉积技术助力先进半导体器件变革

黎微明*

江苏微导纳米科技股份有限公司

Email: weiming.li@leadmicro.com

摘要:

从 1974 年第一篇专利申请到今天迎来了原子层沉积 (ALD) 技术 50 年的发展历程。在这期间,特别是后半段近 25 年的时间里,ALD 对推动半导体器件制造不断演进的过程起到了举足轻重的作用,从 2000 年代初用于存储电容器件,到 2007 年英特宣布引入高 k 栅氧介质材料,再到 2010 年以来 PEALD 大量用于多次曝光技术以及高密度闪存器件的制造等等,ALD 技术的研究和应用已经扩展到先进半导体芯片制造前后道工艺的多个重要环节,是具有前瞻性和共性的关键真空薄膜技术。报告简要回顾了 ALD 技术在先进半导体芯片制造的重要节点的里程碑,并展望在大数据和 AI 技术和市场的推动下 ALD 技术促进集成电路制造产业变革的趋势以及国产化进程。从今后较长一段时间看,ALD 技术对推动先进半导体器件变革依然至关重要,国产化 ALD 技术的发展前景极其广阔。

个人简介:

黎微明博士是微导纳米(科创版 688147)联合创始人,公司副董事长兼 CTO。毕业于芬兰赫尔辛基大学,无机化学专业。曾在 ASM、Silecs、Picosun 等企业担任 ALD 资深工程师、应用总监,及亚太区总裁等职务。黎微明博士是最早研究 ALD 技术的华人之一,曾全程参与开发了基于 ALD 技术的高介质及金属材料 and 工艺以及多款 ALD 量产设备,并成功用于先进半导体芯片制造。回国后主导开发了用于光伏高效电池以及先进半导体芯片制造国产化 ALD 技术与装备,领导微导纳米成为唯一以 ALD 技术为核心的上市公司,确立了微导在国产化 ALD 技术的行业领先地位。黎微明博士在微导纳米负责公司发展战略、技术路线和尖端装备产品的开发和产业化。



氧化钬铁电性的物理本质及存储器研制

周益春^{1*} 廖敏¹ 张思瑞¹ 彭仁赐¹ 闫非¹ 廖佳佳¹

¹西安电子科技大学 先进材料与纳米科技学院 陕西省空天高电子轨道材料与防护技术重点实验室 西安 邮编 710126

*Email: yichunzhou@xidian.edu.cn

摘要: 人工智能、物联网和大数据的飞速发展,亟需高性能非易失性存储器,而传统非易失性存储器面临趋近物理极限和存储鸿沟等世界性难题。2011 年发现氧化钬具有铁电性,且展现系列新奇的物理现象(形成稳定极化状态的畴仅为 0.51 nm,极化翻转时间小于测量极限的 0.3 ns),有望引领非易失性存储器同时突破物理极限与存储鸿沟,并解决传统钙钛矿结构铁电材料与先进集成电路工艺不兼容的难题。氧化钬铁电性的物理本质、与先进集成电路工艺兼容的制备科学、器件设计理论是凝聚态物理、材料科学、电子科学与技术学科面临的挑战性难题。本报告将回顾课题组近 10 年来在该领域基础研究方面的研究历程,并展示课题组在氧化钬铁电性的物理本质、铁电亚稳相、铁电薄膜、单元器件、存储器芯片全链条研制方面的研究进展。

关键词: 铁电存储器, 氧化钬, 5d 轨道, 亚稳相, 电畴

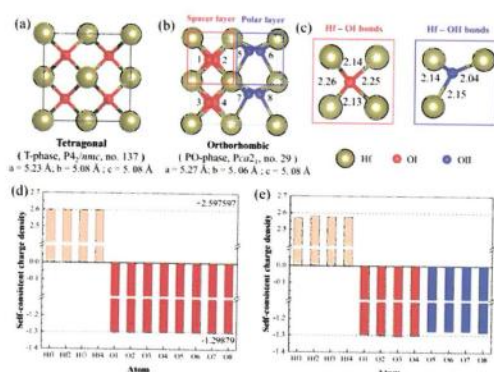


图 1 氧化钬铁电性的物理本质研究

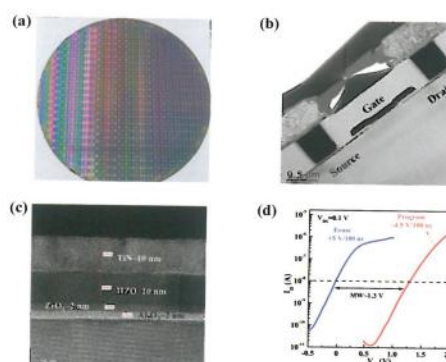


图 2 晶体管型铁电存储器的研制

参考文献:

- [1] J. H. Yang, J. J. Liao, J. Huang, R. C. Peng, Q. Yang, M. Liao*, and Y. C. Zhou*, "The origin of ferroelectricity in HfO₂ from orbital hybridization and covalency", *Applied Physics Letters* 125, 142901-1-142901-6 (2024).
- [2] R. C. Peng[#], S. B. Wen[#], X. X. Cheng, L. Q. Chen, M. Liao*, and Y. C. Zhou*, "Revealing the role of spacer layer in domain dynamics of Hf_{0.5}Zr_{0.5}O₂ thin films for ferroelectrics", *Advanced Functional Materials* 34, 2403864-1-2403864-12 (2024).

个人简介:

周益春, 西安电子科技大学华山学者杰出教授, 2005 年国家杰出青年基金和 2006 年第二届国家级教学名师奖获得者; 研究领域为“薄膜材料与器件力学”, 带领团队从 1997 年开始致力于铁电薄膜及其信息存储芯片的研究, 获得省部级一等奖 6 项, 培养了包括国家杰青、长江学者和卓青等在内的一大批国家级优秀人才。

