

论坛三十九：光电显示材料论坛

分论坛主席：江风益 潘安练 江莱 严群 刘斌

39-01

Micro-LED 材料与器件、集成工艺及应用

刘斌*

南京大学电子科学与工程学院，江苏省南京市仙林大道 163 号潘忠来楼，210023

*邮箱: bliu@nju.edu.cn

基于氮化镓(GaN)基半导体的微发光二极管(Micro-LED)材料与芯片及其在消费电子、汽车车载显示、VR/AR 虚拟增强显示等方面应用受到学术界与产业界极大的关注。当前 Micro-LED 显示技术仍面临巨量转移精度与效率、红光缺失、芯片效率 Droop 效应等科学与技术难题。

针对上述问题，采用金属有机源化学汽相沉积(MOCVD)二次横向外延生长氮化镓(GaN)薄膜与量子阱结构，研究了微纳尺寸下氮化物横向外延生长和位错抑制机理；生长获得了高质量、弱极化场 InGaN/GaN 量子阱结构，实现红光 630nm 的 LED 器件以及 Micro-LED 阵列，Droop 效应得到明显抑制；设计并制备出一种新型微纳混合结构 GaN 量子阱/II-VI 族量子点集成 LED，采用紫外软纳米压印和光刻技术，实现了量子点集成的 RGB 三色的 Micro-LED 阵列芯片，获得高色转换效率(CCE)；提出了基于二维 MoS₂ 材料薄膜晶体管(TFT)驱动电路集成的超高分辨氮化镓 Micro-LED 异质集成芯片微显示方案，实现了高亮度、高分辨微显示器。上述新结构、新器件为高效全彩显示、高分辨透明显示、可见光通讯等应用提供了新技术路径。

关键词：氮化镓材料；Micro-LED；半导体显示

39-02

Micro LED 器件及应用探索

梁静秋，王维彪，郑凯丰，吕金光，樊凯莉，陈晓宁，李阳，赵永周，李盼园，陈宇鹏，
秦余欣，赵百轩，赵莹泽中国科学院长春光学精密机械与物理研究所，应用光学国家重点实验室，中国科学院光学
系统先进制造技术重点实验室，长春市东南湖大路 3888 号，130033

*liangjq@ciomp.ac.cn

LED 作为一种高效发光器件，在照明显示、生物医疗、军事通信等领域得到了广泛应用。近年来，随着超高清LED显示、微型显示、微型投影、增强现实(AR)、虚拟现实(VR)以及可见光通信等领域的快速发展，对高像素密度的微型化LED阵列器件的实现及应用提出了迫切需求。MicroLED 作为一种主动发光的微器件，亮度高、寿命长、响应快，能实现微米级像素尺寸的高密度排列，可以同时满足高亮度和高分辨率等应用需求。然而，随着MicroLED 芯片尺寸减小到微米量级，电流拥挤、效率下降、漏电流增大等问题随之而来，MicroLED的全彩化集成也存在良率低、速率慢、修复难等挑战，使其在相关领域的应用受到限制。

针对LED微型化进程中存在的问题，本团队开展了单色及全彩Micro LED 阵列显示器件的理论分析、设计、制备及光电特性等方面的研究工作，以及在投影显示等方面的应用探索。
关键词：Micro LED，微纳光学，微投影，微显示，可见光通信

39-03

Micro-LED 巨量转移技术研究进展及应用

龚政*，李育智，邹胜晗

广东省科学院半导体研究所，广州市天河区长兴路 363 号，邮编 510650

*zheng_gong@gdisit.com

Micro-LED 显示近年来取得了重要进展，但其商业化仍面临一些技术挑战。最大的挑战之一在于如何以快速、高精度、高良率的把 Micro-LED 从生长衬底转移到驱动基板，即业界熟知的Micro-LED巨量转移技术。在本次演讲中，我们主要汇报我们近期发展的Micro-LED巨量转移技术，包括胶带辅助激光转移方法和基于光敏聚合物的转移方法。我们讨论了相关方法的工作原理以及其优点/缺点，并展示了巨量转移的一些代表性应用。最后对巨量转移面临的挑战做了总结。

关键词：Micro-LED；巨量转移

39-04

小尺寸 Micro-LED 的侧壁缺陷效应在交流驱动时大幅减弱

孙捷*，严群，聂君扬，郭太良

福州大学、闽都创新实验室，福州，350100

*jie.sun@fzu.edu.cn

虽然Micro-LED是新型显示最有前途的技术方案之一，但它有一个领域内公认的瓶颈，这就是在像素尺寸进一步缩小时由侧壁缺陷引起的效率降低。Micro-LED制程中干法刻蚀所使用的高能粒子会在Micro-LED侧壁造成多种损伤，导致大量非辐射复合中心，严重影响发光效率。针对这一难题，我们系统地研究了Micro-LED光电性能对尺寸和时间的依赖性。所研究的Micro-LED阵列的发光台面尺寸边长范围为7-100 μm 。通过实验，对芯片的亮度和外量子效率（EQE）进行了系统性的测量和讨论。令人惊讶的是，虽然在传统静态驱动情况下，台面尺寸更小的Micro-LED的确因侧壁损伤表现出明显的亮度和效率下降，但在交流短脉冲驱动情况下（亦即测量通电后极短时间内的动态响应），小尺寸Micro-LED反而表现出更优越的光电性能，这一点从某种程度上颠覆了以往的认知。与较长的脉冲或直流静态操作相比， $7 \times 7 \mu\text{m}^2$ 的Micro-LED阵列在100 ns量级电脉冲激励下的EQE提高了20%，这使得它的性能甚至优于同样工艺制备的相对较大尺寸的Micro-LED。在最初的瞬间，小尺寸Micro-LED的发光强度有明显过冲现象，超过了相对较大尺寸的Micro-LED；而稳态时前者的性能则又劣于后者。造成这一现象的原因是，在刚通电的瞬间，虽然小尺寸Micro-LED的侧壁缺陷相对较多，但由于载流子主要在台面中心部位输运，还没有来得及被侧壁的非辐射复合中心捕获，所以缺陷的负面作用来不及体现。而此时由于小尺寸形成的积极效果反而被突出出来，比如电流扩展效果好、载流子不容易拥挤、响应速度快等，因此其性能不降反升。这对于新型显示研究是个极好的信号，因为这说明领域内追求Micro-LED像素尺寸不断缩小的方向是正确的。研究短脉冲激励下超小尺寸Micro-LED的性能表现对于提高未来显示效果，甚至是实现未来空间三维显示具有重大的现实意义。

关键词：Micro-LED；侧壁缺陷；交流驱动

参考文献

[1] Nie J Y et al., Systematic study on size and temporal dependence of micro-LED arrays for display applications, Photonics Research, 11(2023)549

39-05

利用微纳结构和调控分子取向提升 OLED 器件性能

崔东岳, 刘婷婷, 王帅, 朱忠昶, 刘云龙, 李淑红*, 王文军*

聊城大学物理科学与信息工程学院, 山东聊城, 252059

山东省光通信科学与技术重点实验室, 山东聊城, 252059

通讯作者: 王文军 phywwang@163.com, 李淑红 lishuhong@lcu.edu.cn

有机发光二极管(organic light emitting diode, OLED)具有重量轻、功耗低、响应时间快及具有柔性等特点, 在平板显示及固态照明等方面均显现出巨大的优势。为进一步提高 OLED 器件性能。非常重要是如何提升 OLED 器件的耦合输出效率。本文通过优化 OLED 器件中发光层和空穴传输层中分子取向, 或者通过在界面上加微结构提升 OLED 的耦合输出效率。本文通过对发光层、空穴传输层采取改变淀积速率退火温度或者采用不同极性溶剂调控分子取向, 提高 OLED 器件的性能。实验发现: 在薄膜的沉积过程中, 高的沉积速率更容易获得高比例的垂直取向的分子, 而具有垂直取向的分子更有利于单载流子器件中电流密度, 提高载流子迁移率和电容。通过理论和实验, 针对微纳结构提升 OLED 器件性能进行了系统的研究和分析, 并对实验结果相应的物理机理给予讨论与诠释。

39-06

显示用 Micro-LED 芯片与集成技术新进展

黄凯^{1,2*}, 李金钗^{1,2}, 杨旭^{1,2}, 赵春风^{1,2}, 张荣^{1,2}

¹厦门大学, 物理科学与技术学院, 厦门, 361005

²厦门市未来显示技术研究院, 厦门, 361104

*k_huang@xmu.edu.cn

Micro-LED技术因其高亮度、高对比度、低功耗和长寿命等显著优势, 被誉为终极显示技术。这一技术在消费电子、汽车显示、广告屏、高端监控、AR/VR等多个领域呈现出巨大的应用潜力, 引起了全球科研机构和企业广泛关注, 研究热度持续上升。本报告从 Micro-LED芯片与集成技术所面临的关键科学与技术问题出发, 着重介绍了厦门市未来显示技术研究院团队在Micro-LED的AI辅助量子结构设计、芯片制备、系统集成、可靠性等关键技术的最新研究进展。

关键词: Micro-LED; 量子结构设计; 芯片制备; 系统集成

39-07

新型显示用集成超表面 Micro-LEDs 器件研究

汪炼成¹

¹中南大学, 湖南省长沙市, 410000

*邮箱: lian Cheng_wang@csu.edu.cn

Micro-LEDs 在平板显示、投影显示、AR/VR 显示、3D 显示等新型显示场景有着极为广泛的应用前景。不同显示场景对 micro-LEDs 出光发散角、光谱半宽、偏振态、出光方向等特征提出不同要求，需针对性出光调控。当前，将微透镜、偏振膜、匀光片等薄膜光学结构叠加在 micro-LEDs 上以实现出光调控的技术路线存在着整体结构尺寸大、光路设计复杂、调控灵活度低等问题。

面向前沿 Micro-LED 显示应用，报告介绍课题组在新型 Micro-LED 器件方面研究成果：首次报道制备 200 μm -30 μm 的谐振腔 Mini/Micro-LED 器件，FWHM 约为 6.8nm，远场辐射角约为 78.7°，而对比常规器件的半宽高为 24 nm，远场辐射半角为 146°。具有窄发光半宽和远场辐射角的谐振腔 Micro-LED 应用于 AR 显示芯片，可显著提高光耦和效率和降低色散导致的彩纹现象。首次实现电注入线偏振单芯片 GaN 基 Micro-LED，TM/TE=6.2 倍，等效消光比为 8.2dB (App.Phys.Lett.,2023)。首次报道圆偏振光出射 Micro-LED 器件，消光比 TE/TM 大于 50 (Opt. Lett., 46 (11), 2666-2669, 2021)。首次设计实现 10 度-30 度单指向出光，效率分别为 45%(10 度)、58%(20 度)和 50%(30 度)(Opt. Lett., 46(14), 3476-3479,2021)。集成超表面 Micro-LEDs 具有整体结构尺寸小、出光调控自由度高等优势，有望进一步推动 Micro-LEDs 在 AR、3D 显示等新型显示场景的应用。

关键词：Micro-LED；偏振；谐振腔；指向出光；原位集成；超表面。

39-08

半导体 GaN 基紫外 micro-LED 及其在日盲紫外光通信中的应用

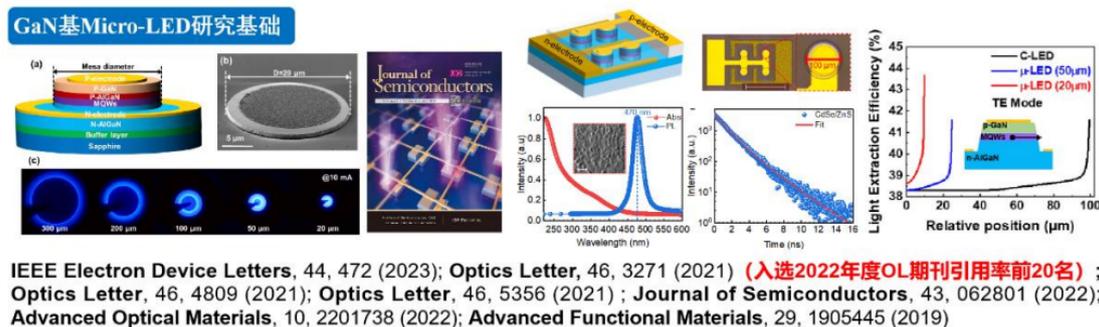
孙海定*，余华斌

中科大微电子学院

*haiding@ustc.edu.cn

三族氮化物半导体 (group III-Nitrides)，包括 GaN，AlN，InN 及其合金材料，由于它们是直接带隙半导体且禁带宽度可以从 0.6 eV 连续可调至 6.2 eV，是制备光电器件 (LED，激光器，探测器等) 的理想材料之一，可以覆盖整个从深紫外 200 nm 到 1 μm 红外波段。而这其中，AlGaIn/GaN 基紫外光电器件，由于其工作波长短，而且光子能量相较于可见光具有更高的能量。因此，紫外光可以与化学分子和生物结构发生反应，可被广泛应用于杀菌消毒、水空气净化、紫外固化以及包括光刻机等日常生活和工业装备领域，以及包括紫外日盲保密通讯等国防领域。

本次报告将围绕 AlGaIn 基紫外发光器件 (包括 microLED 及其阵列制备) 以及它们在日盲紫外保密通讯中的最新应用研究进展进行汇报和总结。尤其是，在 GaN 基 Micro-LED 方面，团队提出图形化二氧化硅和蓝宝石衬底，利用高的折射率差和光子全反射特性提升器件的光提取效率 (Opt. Lett. 2021, 46(21), 5356)。并通过缩小器件尺寸制备 Micro-LED 单颗器件，光功率密度和外量子效率分别提升近 20 倍和 38% (Opt. Lett. 2021, 46(13), 3271)；通过对 Micro-LED 的侧壁形貌进行精确调控，研制出更高的光提取效率和发光功率密度 Micro-LED (Opt. Lett. 2021, 46(19), 4809; IEEE Electron Device Lett. 2023, 44, 9, 1520-1523; J. Semicond. 2022, 43, 062801, 封面文章)。以上研究基础证实本项目提出的 Micro-LED 侧壁缺陷修饰方法以及器件性能提升的举措具有高度的可行性和先进性。



39-09

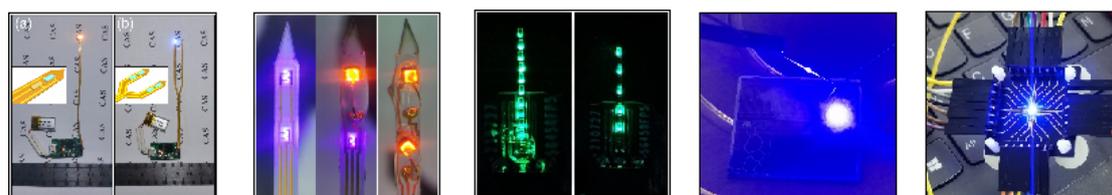
氮化物 micro-LED 光学生物探针

伊晓燕 1,*，詹腾 1，周斌茹 1，张逸韵 1

1 中国科学院半导体研究所，北京市海淀区清华东路甲 35 号，100083

*邮箱: spring@semi.ac.cn

III族氮化物micro-LED具有高效率、高时空分辨率、可毫秒级调控等优势，为光控神经科学研究提供了新的技术路径。论文面向神经调控应用需求，从提高器件生物兼容性、减小光串扰、降低表面温升等方面开展光学生物探针研究。研制出双波长柔性基底、蓝宝石衬底、硅衬底的micro-LED生物探针。提出了一种硅/氮化物异质集成谐振腔 LED (RCLED) 阵列结构，制备出硅基阵列绿光 RCLED 生物探针，峰值波长502 nm，出光角度相比传统结构LED减小了28%，温升相较于蓝宝石衬底探针降低了50%。将研制的光学探针应用于小鼠脑区神经调控，验证了绿光 RCLED 对小鼠脑区的抑制及镇痛功能等。本研究属于新材料、半导体芯片与生物医疗的交叉学科领域，为将来发展神经系统疾病的新疗法奠定基础。



关键词：GaN；Micro-LED；生物探针；脑科学；光遗传学；

参考文献

- [1] Binru Zhou, Xiaoyan Yi* et al. Wirelessly Operated, Implantable Flexible Optoelectrical Probes for Optogenetics Neural Stimulation, IEEE Photonics Technology Letters, 35, 5, 233-236, 2023.
- [2] Chen Lin, Xiaoyan Yi* et al. Investigations about Al and Cu-Based Planar Spiral Inductors on Sapphire for GaN-Based RF Applications, Applied Sciences, 11, 5164, 2021.
- [3] Chen Lin, Xiaoyan Yi* et al., A Wirelessly Controllable Optoelectronic Device for Optogenetics, IEEE Photonics Technology Letters, 12, 122007, 2019.

39-10

垂直堆叠 Micro-LED 在 AR 显示方面的应用

第一作者：王亚洲，报告人：朱西良

¹诺视科技（苏州）有限公司，苏州市高新区珠江路117号1幢106室

*邮箱: william.wang@innvist.com

诺视科技成立于2021年，是一家聚焦Micro-LED微显示芯片解决方案的初创公司，以VSP（Vertically Stacked Pixels, 垂直堆叠像素）技术突破微显示领域像素难以小型化的物理限制，打造极高性能的微显示屏芯片。在集成电路工艺、大尺寸化合物半导体的加持下，采用像素堆叠技术实现三原色及彩色Micro LED微显示芯片，突破Micro LED彩色化难题。

关键词：Micro LED；VSP；堆叠

参考文献

- [1] Nanoscale, Volume 11, Pages23067-23508
- [2] Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(18), e2023436118.
- [3] Nature, 614(7946), pp.81-87.
- [4] Optics Express, 46(17), 44260

39-11

氮化镓基 micro-LED 显示通信进展

田朋飞

复旦大学 信息科学与工程学院, 上海 200438

邮箱: pftian@fudan.edu.cn

基于第三代半导体氮化镓的micro-LED具有亮度高、响应时间短、可靠性高的优势，可应用于显示、光通信、集成光电子器件领域，micro-LED显示还需要开发新的全彩显示技术以推进产业化进程，micro-LED通信还需要开发高带宽micro-LED器件及对应通信算法。本报告将讨论单像素RGB全彩显示和转移集成micro-LED显示、以及单芯片通信速率超过10Gbps的micro-LED高速光通信。

关键词：氮化镓；Micro-LED显示；光通信

参考文献

- [1] S. Zhu, P. Tian et al. ACS Photonics, **10**(1): 92–100 (2023).
- [2] Z. Jin, P. Tian et al. Optics Letters, **48**(8): 2026-2029 (2023).
- [3] P. Tian et al. Journal of Lightwave Technology, **41**(18): 5879-5884 (2023).
- [4] Z. Wang, P. Tian et al. Optics Express, 30(24): 44260-44269 (2022).

39-12

量子点光刻胶兼容的 Micro-LED 单片集成技术

李梓维、黄建华、潘安练

湖南大学材料科学与工程学院, 湖南光电集成创新研究院

微型发光二极管（MicroLED）作为新一代可穿戴显示器的理想构建模块，已经获得了

广泛认可[1]。与有机发光二极管（OLED）显示器相比，MicroLED 具有高亮度和长寿命等显著优势。然而，具有极高亮度和极高分辨率（PPI）的全彩色 MicroLED 微屏幕还鲜有报道。最近，通过在蓝光 MicroLED 上集成量子点（QDs）色转换层已被报道可以尝试解决此技术问题，但是制备微米级厚度、微小尺寸（ $<5 \mu\text{m}$ ）的量子点光刻胶像素仍然面临着巨大挑战[2, 3]。在本研究中，我们开发了一种单片集成技术，可以在 4 英寸的 MicroLED 芯片上实现亚 5 微米量子点像素光刻制造。我们的 MicroLED 屏幕能够动态显示全彩色的视频画面，在 $5 \mu\text{m}$ 的红、绿、蓝像元阵列上实现了亮度高达到数十万尼特的光发射。分辨率和色域分别达到了 3300 PPI 和 130.4% NTSC 的超高水平。这些结果将成熟的集成电路技术推广至微显示器件的制造，并为全彩色 μLED 的工业化进程开辟了道路。

关键词：MicroLED、单片集成、量子点

相关文献：

[1] Liuli Yang[†], Jianhua Huang[†], Yike Tan, Wei Lu, Ziwei Li*, Anlian Pan*, All-Inorganic Lead Halide Perovskite Nanocrystals Applied in Advanced Display Devices, Materials Horizons 10, 1969-1989, 2023.

[2] Liuli Yang, Jianhua Huang, Zheyuan Xu, Yang Li, Shijin Hou, Yike Tan, Juan Du, Xiao Wang, Ziwei Li*, Anlian Pan*, Revealing Atomic-Level Surface Passivation of PbI₂-Reconditioned Red Perovskite Quantum Dots, Advanced Optical Materials 11, 2202561, 2022.

[3] Ziwei Li*, Yajuan Wang, Lihui Li, Yunfei Xie, Chenglin He, Pan Xu, Xuehong Zhang, Jianhua Huang, Ming Huang, Juan Du, Xiaoli Zhu, Anlian Pan*, Low Threshold and Tunable Modes in Plasmon-Assisted Perovskite Microlasers. Advanced Optical Materials 10, 2102777, 2022.

39-13

二维材料界面外延和氮化镓光电器件的应用

孔玮

西湖大学，浙江省杭州市西湖区墩余路 600 号，310030

kongwei@westlake.edu.cn

二维材料作为一种层状材料，原子层内以强离子键或共价键结合，而原子层之间以弱范德华力结合，因此具有相当特殊的界面特性。对二维材料相关的界面力的理解以及调控可以为二维界面上创新提供多种可能性。譬如通过用金属镀膜的手段，可以增强对二维材料的吸附力，从而达到整体剥离二维材料晶圆的目的。二维材料石墨烯只有一个原子层的厚度，在界面两侧产生的库伦作用力能够顺利穿透单层石墨烯，因此极性分子能够透过石墨烯产生重排。利用这个现象，传统的化合物半导体可以在二维材料的表面进行有确定晶向的外延生长。本演讲将会对二维材料表面氮化镓外延生长的过程，原理，以及在光电器件领域相关应用作探讨，并对未来工作做出展望。

39-14

宽色域显示背光源用新型窄带稀土发光材料的研究

夏志国*

*xiazg@scut.edu.cn

稀土作为我国的战略资源，发光是稀土元素的一个主要功能，稀土发光材料成为稀土资源的重要利用途径之一，它在照明、显示、荧光生物标记、光通讯与探测等领域有重大

需求，对稀土资源的高值高效利用具有重要贡献。特别地，无机稀土发光材料在大功率、长寿命及耐辐照等光源器件应用场景中具有不可替代性。

随着人们对显示器件高清画质的不断追求，新材料的创制成为新型显示技术进步的源泉，即：红/绿/蓝发光材料的发射光谱半峰宽越窄，显示器件的色域将越宽，画质也随之越高清。对于发展较为成熟的商用液晶显示用背光源，其实现方案是采用蓝光芯片、绿色荧光粉 β -SiAlON:Eu²⁺和红色荧光粉K₂SiF₆:Mn⁴⁺的组合技术。绿色发射 β -SiAlON:Eu²⁺属于我国“卡脖子”的关键材料，一方面受到国外专利限制，另一方面，较大的半峰宽（55 nm）也限制了这一材料在4K/8K等超高清显示器件领域的推广应用。报告人课题组长期从事新型无机稀土发光材料的应用基础研究，在国际上创新性地开展Eu²⁺掺杂UCr₄C₄模型稀土发光材料的研究，开发了系列Eu²⁺掺杂的硅酸盐荧光粉体系新体系，实现了蓝光激发的窄带绿光发射。最近，我们又研发了一种全新的Eu²⁺基杂化卤化物发光材料，可实现高效且具有热稳定性发光的窄带绿色发射，在Micro-LED显示中具有应用前景。

关键词：背光源显示；窄带发射；稀土发光材料

参考文献：

[1] M. Zhao, Q. Zhang, Z. G. Xia, Mater. Today 40, 246 (2020).

[2] M. Zhao, H. Liao, L. Ning, Q. Zhang, Q. Liu, Z. G. Xia, Adv. Mater. 30, 1802489 (2018).

39-15

Mini RGB LED 芯片规模产业化

胡加辉

江西兆驰半导体有限公司

Hujiahui@szmtc.com.cn

Mini LED通常指尺寸为 50-200 微米的 LED 芯片，Mini RGB LED直显技术具备两大特点：一是Mini-LED模组无缝拼接可制成任意大小、任意形状的显示器，这一点适合于发展大尺寸屏幕的显示。二是Mini LED 显示有超高密度的像素元，可增强LED显示的HDR性能，具有更高对比度，增强视觉感受，具有更清晰的阴影、细节表现力，更高的色彩深度。

相比于小间距LED芯片，Mini RGB LED芯片制程微缩化，COB模组化，对产品一致性和可靠性的要求很高，一致性重点关注的指标包括小电流一致性、不通电流下一致性、波长均匀一致性、电容小且一致性等，而由于Mini LED显示屏复杂使用环境，维修难度较高，这就对Mini RGB LED芯片的可靠性要求高，需要在生产过程中进行严格的生产控制以保障产品各项指标的稳定。其中，红光倒装 LED 芯片需要进行衬底转移，因而良率挑战高，制造成本高，导致Mini RGB LED芯片低成本大规模产业化一直是个难题，产业没能起量。

39-16

GaN 基半导体光电器件的仿真设计、数理模型与制备

张紫辉^{1,*}，楚春双¹，张勇辉¹，田康凯²

¹河北工业大学，电子信息工程学院，电工装备可靠性与智能化国家重点实验室，天津，300401

²广东工业大学，集成电路学院，广州，510006

*e-mail: zh.zhang@hebut.edu.cn

导体仿真技术是基于 TCAD 的一种半导体器件有限元分析方法，通过求解泊松方程、薛定谔方程等与半导体内载流子输运与复合相关的物理方程，研究半导体器件的电流-电压特性、电光/光电转换过程，可视化半导体内部的能带分布、电场/电势分布等表征半导体器件的关键参数，即依托计算平台，通过建立数理模型，对半导体器件进行“外延生长”、“器件制备”、“器件表征及分析”。本次报告将围绕深紫外发光二极管（DUV LED）、Micro-LED、紫外探测器、半导体激光器开展详细讨论，详细阐述半导体器件仿真技术在半导体器件设计和制备过程中的关键作用，同时深入探讨影响各类半导体器件性能指标的关键因素，并开发出化合物半导体材料与器件相关的信息数据库，助力半导体制造领域的发展。

39-17

硅基锗发光材料及器件制备研究

伍绍腾，骆军委，*

中国科学院半导体研究所超晶格国家重点实验室，北京市海淀区清华东路甲 35 号，100083

*邮箱: jwluo@semi.ac.cn

过去的二十年来，硅光子学得到了蓬勃的发展。然而，片上集成的CMOS兼容的光源仍然是一个挑战。与Si间接带隙不一样，锗(Ge)是一种准直接带隙材料，其直接、间接带隙能谷底差异仅为 0.136 eV。此外，由于为IV族材料且可直接在硅上生长，Ge近十年来逐渐成为实现CMOS兼容硅基光源的潜在材料。根据理论计算，通过施加>1.8%张应变或>8%的Sn掺杂方法，锗将改性成为直接带隙半导体，从而实现高效发光。基于此，近些年我们通过数值计算，发现可通过惰性元素掺杂诱导张应变方式实现Ge直接带隙高效发光。为验证该理论，我们进行了一系列的惰性离子注入材料改性实验，初步发现了PL发光增强及红移的现象。此外，我们在6、8、及12英寸的硅衬底上相继实现了Ge、GeSn的LED发光器件。这些成果实验上证实了大尺寸、低成本硅基光源的潜在可行性。

关键词：硅基发光；应变锗；锗锡

参考文献

- [1] S Wu, L Zhang, R Wan, H Zhou, KH Lee, Q Chen, YC Huang, X Gong, CS Tan, Photonics Research, 11, 1606-1612 (2023).
- [2] Q Chen*, Y Jung, H Zhou, S Wu*, X Gong*, YC Huang, KH Lee, L Zhang, D Nam, J Liu, JW Luo, WJ Fan, CS Tan, ACS Photonics, 10, 1716-1725 (2023).

39-18

硅衬底 GaN 材料在光电器件中的应用

付羿 1,*，涂逵 1，周名兵 1，黄涛 1，张涛 1

1 晶能光电股份有限公司，江西省南昌市高新区艾溪湖北路 699 号，邮编

*邮箱: fuyi@latticepower.com

不同的GaN光电器件对材料有不同要求。高质量的GaN激光器需要低缺陷密度的自支撑GaN衬底，基于PSS衬底的GaN一直是通用照明LED产业的主流选择，而大尺寸、易剥离、

利于兼容IC制程的硅衬底GaN材料及生长技术则在Micro-LED的产业化开发中受到越来越多的重视。本报告总结了硅衬底GaN光电器件的发展历程、技术难点、产业现状、和应用前景，简要报告了硅衬底GaN材料生长中的位错湮灭、翘曲控制、外量子效率优化，红光InGaN，12英寸晶圆升级等技术节点，并对大尺寸硅衬底GaN材料外延目前面临的工艺和设备挑战进行了讨论。

关键词：硅衬底 GaN 材料；大尺寸晶圆；Micro-LED；

39-19

溶液加工有机发光材料和器件

谢国华^{1,2,*}

¹厦门大学柔性电子（未来技术）研究院，福建厦门，361005

²武汉大学化学与分子科学学院，湖北武汉，430072

*ifeghxie@xmu.edu.cn

溶液加工是大面积、低成本有机发光器件（OLED）规模化制备的趋势之一。从材料、器件、工艺三个维度的交叉和融合，我们开发了面向全溶液加工的多种原型器件和工艺，储备了一系列溶液加工相关的自主知识产权技术。

我们开发了一系列具有高荧光量子效率的热激活延迟荧光材料，因其具有较小的单线态和三线态能极差，理论上可实现100%的激子利用率，结合器件工程我们实现了高效的旋涂型OLED。

溶液加工OLED中，正交溶剂工艺容易实现多层功能层连续制备，但是能够兼容载流子注入和传输、正交湿法工艺的材料体系非常有限。从器件工艺角度出发，我们研发出基于界面能调控的转移印刷技术，将薄膜无损地从一个衬底/界面转移到另一个衬底/界面，突破了常规多层湿法工艺对正交溶剂的依赖，理论上可以实现任意层功能材料的连续制备，是发展全溶液加工OLED的一个新策略。

关键词：有机发光材料；溶液加工；激子

参考文献：

[1] G. Xie C. Yang, et al., *Advanced Materials* 29, 1604223 (2017).

[2] Q. Lin, C. Yang, G. Xie, et al., *The Innovation* 4, 100460 (2023).

39-20

量子点电致发光器件与材料

报告人 金一政¹

¹浙江大学化学系，浙江杭州，310027

摘要：在过去几年中，量子点发光二极管（QLED）原型器件的效率和寿命取得了巨大的进步，预示着以量子点发光二极管为基础的印刷显示技术有望应用于新一代的低成本、大面积、节能、高色域、超薄柔性显示器件¹。我们课题组围绕量子点电致发光的激子动力学这一关键科学问题开展研究，通过“激发态机理-材料化学-器件工程”三者循环反馈，理解量子点激发态性质、传输层材料光电性能、器件结构和器件性能之间的有机联系，从而为QLED“量身定制”相应的功能层材料与器件结构，实现了多尺度的高性能电致发光器件²⁻⁹。

关键词：量子点 发光二极管 溶液工艺

参考文献:

- [1] X. Dai, Y. Deng, X. Peng, and Y. Jin, *Adv. Mater.*, 29, 1607022 (2017).
- [2] X. Dai, Z. Zhang, Y. Jin, Y. Niu, H. Niu, H. Cao, X. Liang, L. Chen, J. Wang, X. Peng, *Nature*, 515, 96 (2014).
- [3] Z. Zhang, Y. Ye, C. Pu, Y. Deng, X. Dai, X. Dai, X. Chen, D. Chen, X. Zheng, Y. Gao, W. Fang, X. Peng, Y. Jin, *Adv. Mater.*, 30, 1801387 (2018).
- [4] X. Lin, X. Dai, C. Pu, Y. Deng, Y. Niu, L. Tong, W. Fang, Y. Jin, X. Peng, *Nat. Commun.*, 8, 1132 (2017).
- [5] C. Pu, X. Dai, Y. Shu, M. Zhu, Y. Deng, Y. Jin, and X. Peng, *Nat. Commun.*, 11, 937 (2020).
- [6] J. Lin, X. Dai, X. Liang, D. Chen, X. Zheng, Y. Li, Y. Deng, H. Du, Y. Ye, D. Chen, C. Lin, L. Ma, Q. Bao, H. Zhang, L. Wang, X. Peng, and Y. Jin, *Adv. Funct. Mater.*, 30, 1907265 (2019).
- [7] Y. Deng, X. Lin, W. Fang, D. Di, L. Wang, R.H. Friend, X. Peng, and Y. Jin, *Nat. Commun.*, 11, 2309 (2020).
- [8] D. Chen, D. Chen, X. Dai, Z. Zhang, J. Lin, Y. Deng, Y. Hao, C. Zhang, H. Zhu, F. Gao, and Y. Jin, *Adv. Mater.*, 32, e2006178 (2020).
- [9] Deng, Y; Peng F; Lu Y; Zhu X; Jin W; Qiu J; Dong J; Hao Y; Di D; Gao Y; Sun T; Zhang M; Liu F; Wang L; Ying L; Huang F; Jin, Y. *Nature Photonics* 16, 505(2022).

39-21

钙钛矿量子点与发光显示器件

解荣军

厦门大学材料学院, 福建厦门 361005

rjxie@xmu.edu.cn

钙钛矿量子点因其具有优异的光电子性能（如窄带发射、发光可调、量子产率高、吸收截面大等）而被广泛地应用于发光显示器件，但由于他们的离子键合、表面缺陷等因素使其存在着稳定性差、器件发光效率低等一些瓶颈问题。本文中我们通过掺杂工程和配体工程改善了钙钛矿量子点的结构稳定性，提高了量子点在水、热、光多因素作用下的发光稳定性。同时，我们通过量子点的表面改性和器件结构优化，提高了载流子的注入和复合效率，大幅度提升了量子点发光二极管（QLED）的发光效率，红色和绿色钙钛矿QLED器件的最高外量子效率分别达到21%和30%。另外，我们也演示了钙钛矿量子点薄膜在mini-LED器件中的应用。

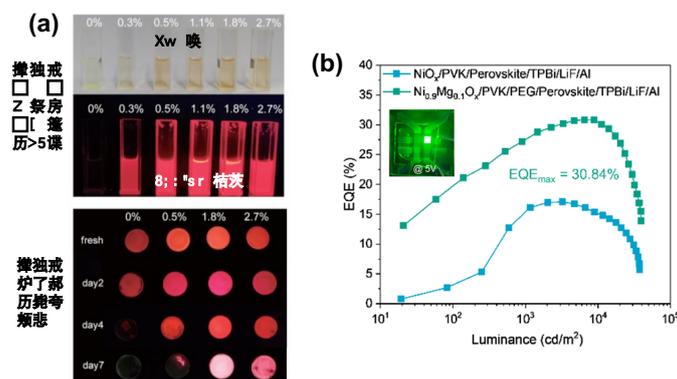


图1: (a)掺杂红色量子点的环境稳定性; (b)绿色量子点的外量子点效率。 .

参考文献:

- [1] Chen, C.; Xuan, TT.; Bai, W.; Zhou, TL.; Huang, F.; Xie, A.; Wang, L.; Xie, R.-J. *Nano Energy*. **2021**, *85*, 106033.
- [2] Chen, C.; Xuan, TT.; Yang, Y.; Huang, F.; Zhou TL.; Wang, L.; Xie, R.-J. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. **2022**, *14*, 16404.
- [3] Xuan, TT.; Guo, S.; Bai, W.; Zhou, TL.; Wang, L.; Xie, R.-J. *Nano Energy*. **2022**, *95*, 107003.

39-22

低维半导体显示材料与器件

杨绪勇*

上海大学新型显示技术及应用集成教育部重点实验室, 上海市, 200072

*yangxy@shu.edu.cn

量子点及钙钛矿等新型半导体发光材料具有高的发光效率和易于调节的光电子性质, 在高色彩品质的薄膜显示器和固态发光器件等领域展现出广阔的应用前景, 成为近年来的研究热点领域之一。随着发光材料、电致发光原理、器件结构等研究的持续深入, 量子点/钙钛矿 LED(QLED/PeLED)的发光效率发展非常迅速, 已接近商业化有机 LED 效率。此次报告将重点介绍当前 QLED/PeLED 显示技术中存在的一些主要问题, 并围绕高效、长寿命电致发光器件的构筑, 分别从发光材料、载流子传输功能层和器件结构设计角度进行深入讨论。

关键词: 量子点; 钙钛矿; 发光二极管; 电致发光

参考文献:

- [1] X. Yang* et al., *Nature*, 2023, DOI:10.1038/s41586-023-06514-6.
- [2] X. Yang* et al., *Chem. Soc. Rev.*, 2023, *52*, 318.
- [3] X. Yang* et al., *Nano Lett.*, 2023, *23*, 985.
- [4] X. Yang* et al., *Adv. Mater.*, 2022, *34*, 2108150.
- [5] X. Yang* et al., *Nano Lett.*, 2022, *22*, 4246.
- [6] X. Yang* et al., *Adv. Mater.*, 2022, *34*, 2205217.
- [7] X. Yang* et al., *Nature Commun.*, 2021, *12*, 1246.
- [8] X. Yang* et al., *Joule*, 2020, *4*, 1977.
- [9] X. Yang* et al., *Adv. Mater.*, 2020, *32*, 2002736.
- [10] X. Yang* et al. *Nature Commun.*, 2019, *10*, 665.

39-23

纳米压印应用于微纳光学产品量产解决方案与最新进展

冀然

青岛天仁微纳科技有限责任公司

trwn@germanlitho.com

纳米压印是一种具有纳米精度的结构复制技术, 曾被美国麻省理工科技周刊评为“将改变世界的十大新兴技术之一”。传统的曝光式光刻技术受波长限制, 很难实现纳米尺度的加工。随着芯片的特征尺寸越来越小, 电子束直写、深紫外光刻 (DUV)、极紫外光刻 (EUV) 等技术开始越来越多的被应用。但这些技术的设备都及其昂贵, 而且其中电子束直写的加工

速度太慢，很难实现大规模量产。正是由于这些技术的设备及工艺成本太高，很难被光学、消费类电子等领域接受。而纳米压印就像微纳结构的复印机，是一种即可以实现纳米尺度加工，又可以实现低成本、高效率量产的新兴技术。随着纳米压印技术的渐渐成熟，近几年开始越来越多的被应用在微纳光学领域，如衍射光学元件 DOE、微透镜阵列、AR 波导光栅等。微纳光学元件的应用领域非常广泛，如 3D 传感、AR 眼镜、屏下指纹识别、手机摄像头、高端照明、光谱仪、医疗器械等。在这些应用中微纳光学元件都是最核心的元件，但是长期以来都是被国外垄断，高端产品只能依赖进口。在当前国际形势下，实现这些被掐脖子的核心元件国产化意义非常重大。

经过 20 多年的发展，纳米压印技术的基础性研究已经成熟，从设备，模具，材料到工艺都有了实质性的进展。随着微纳结构在产品中的推广，纳米压印的优势和重要性越来越被人们所重视。GremanLitho 有限公司的纳米压印技术提供了 12 英寸面积上优于 20 纳米精度和 10 比 1 深宽比的纳米光刻全套解决方案，可以被广泛应用在微纳结构产品生产领域。

关键词：纳米压印，微纳光学元件，GremanLitho，全套解决方案

39-24

空气中制备的蓝光钙钛矿发光二极管

王红月

西北工业大学，陕西省西安市碑林区友谊西路 127 号，710072

在空气中制备蓝光钙钛矿发光二极管由于其简化的加工工艺和不需要保护性的惰性气体，为低成本和易于商业化的照明和显示技术指明了道路，但由于其活性层对邻近层水分的敏感性，其结晶动力学控制面临很大挑战。本文证明，通过选择水分子吸附位点较少的基底层，从而对准二维钙钛矿的结晶动力学产生较小的影响，可以抑制钙钛矿大 n 相的成核，允许小 n 相的生长，从而在较宽的相对湿度范围内(10%-50%)实现空气中蓝光钙钛矿薄膜的制备。最后，在进一步管控界面处的非辐射复合的基础上，实现了发光波段为 483 nm，亮度为 968 cd m⁻²，外量子效率为 2.54%，并且具有良好工作稳定性的蓝光钙钛矿发光二极管。其中，器件的稳定性可与在手套箱中制备的蓝光钙钛矿发光二极管相媲美。本工作为在空气中蓝光发光二极管的制备提供了指导，为空气中制备钙钛矿发光二极管的进一步商业化应用铺平了道路。

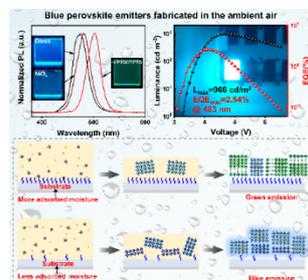


Fig. 1 Air-processed blue perovskite light-emitting diodes are achieved for the first time by manipulating adsorbed-moisture-dominated crystallization kinetics.

关键词：结晶动力学；表界面；n 相分布；准二维钙钛矿；蓝光发光二极管

39-25

面向全彩化 Micro-LED 显示应用的钙钛矿量子点及其微阵列化技术研究

王树立^{1,*}, 范小通¹, 杨晓¹, 陈益航¹, 林岳^{1,*}, 陈忠^{1,*}¹福建省半导体照明工程技术研究中心, 厦门大学电子科学与技术学院, 厦门, 361005

*邮箱: slwang@xmu.edu.cn; yue.lin@xmu.edu.cn; chenz@xmu.edu.cn

Micro-LED 显示技术由于综合性能优异, 被认为是下一代新型显示技术。但目前其还存在多项技术难点, 例如全彩化方案是近年来学术界和产业界公认技术瓶颈之一。基于钙钛矿量子点的色转换方案可规避目前尚不可靠的巨量转移, 且因钙钛矿量子点在发光性能的诸多优势, 该方案在 Micro-LED 全彩显示领域具有极高的应用潜力。然而, 钙钛矿量子点的短板也很明显, 尤其是红光钙钛矿量子点与绿光钙钛矿量子点相比, 在稳定性和发光强度方面有很大提升空间。针对以上难点, 我们团队提出了一种全新的形成核壳结构双组分钙钛矿量子点合成策略, 基于非辐射能量转移机制极大地提升了红色量子点的发光强度, 并且将红色发光的双组分钙钛矿量子点最佳激发波长从单组份的绿光波段调节至蓝光区域, 在蓝光激发下, 光致发光强度较传统单组份量子点相比提升 3 倍以上, 且蓝光激发量子产率接近 100%, 稳定性也得到了显著提升。同时, 我们团队也开展了基于电流体喷墨打印、模板法和微流控的量子点微阵列化技术, 用于制备量子点色转换 Micro-LED 显示器件。

关键词: Micro-LED; 钙钛矿; 量子点; 电流体喷印; 微阵列化

参考文献

- [1] X. Fan#, S. Wang#, Y. Lin*, Z. Chen* *et al.*, *Advanced Materials*, 2023, 35, 2300834.
- [2] X. Yang, S. Wang, Y. Lin*, Z. Chen* *et al.*, *Advanced Optical Materials*, 2023, 2202673.
- [3] Y. Lin, T. Wu*, Z. Chen* *et al.*, *Small*, 2021, 17, 2103510.
- [4] F. Wu, S. Wang* *et al.*, *CCS Chemistry*, 2023, doi: 10.31635/ccschem.023.202302731.
- [5] S. Wang#, Y. Zhang#, X. Hou* *et al.*, *Accounts of Materials Research*, 2021, 2, 407-419.

39-26

原位热处理低温制备高性能 ZnSnO 薄膜晶体管

潘文高^{1,2}, 周晓梁², 林清平², 陈杰², 陆磊², 张盛东^{2,*}¹河南省科学院材料研究所, 郑州, 450046²北京大学电子与计算机工程学院, 深圳, 518055

*邮箱: zhangsd@pku.edu.cn

具有低成本、高迁移率和低加工温度的薄膜晶体管 (TFT) 是推动其实际应用的关键因素, 这些因素通常是矛盾的。在这项工作中, 我们通过原位热调控的策略在较低温度获得了高性能的 ZnSnO (ZTO) TFT。通过实验和理论计算的方法对 ZTO TFT 器件性能、ZTO 薄膜的结构与性能以及这三者之间的内在关联进行了系统研究。随着原位温度从 25°C 升高到 250°C, 场效应迁移率先增加后减小。最终在 150°C 获得了高性能的 ZTO TFT, 其迁移率、阈值电压、亚阈值摆幅和开关比分别为 9.60 cm²/Vs, -0.29 V, 0.36V/dec 和 10⁸, 同时该器件也展现了良好的正负偏压稳定性和负偏压光照稳定性。该器件由于含有较高的本底载流子浓度而工作于耗尽模式。进一步研究表明, 适当的原位温度不仅有利于 ZTO 薄膜的致密化和局部晶格有序化, 同时促进了氧空位的产生和离子化, 从而导致了 ZTO TFT 电学性能的明

显提升。该策略可推广用于设计其他高性能非晶氧化物半导体材料与器件。

关键词：低温制备；锌锡氧；非晶氧化物半导体；薄膜晶体管

39-27

基于单光子相机的微型 LED 时空分辨电致发光谱

曹咏琪, 鲍辉, 彭林涛, 边丽衡*, 钟海政*

北京理工大学, 北京市海淀区中关村南大街 5 号, 100081

*2516166695@qq.com

受到AR显示技术发展的推动, 研究微米级发光二极管 (Micro-LED, 包括GaN、有机发光二极管 (OLED) 和量子点发光二极管 (QLED)) 的工作机制一直是研究的热点。在这里, 我们报道了一种时间和空间分辨电致发光谱的探测方法, 以测量LED器件发光的时空分布情况。我们将单光子相机与差值采样法相结合, 通过后期信号和图像处理得到器件微区的时空分辨瞬态电致发光信号谱。得益于单光子相机的高灵敏度, 该方法可以从开启电压附近的器件中检测到延迟阶段的超低电致发光。此外, 我们还研究了QLED在不同电压和不同温度下的空间光分布。研究发现, 典型QLED器件的电致发光随着温度和施加电压的增加而变得更加均匀。最后, 利用时间和空间分辨电致发光谱对Micro-LED瞬态光电特性完成了检测。**关键词：** Micro-LED; 时空分辨; 瞬态电致发光谱

参考文献:

- [1] Bao H; Chen C; Cao Y; and Zhong, H*. Quantitative Determination of Charge Accumulation and Recombination in Operational Quantum Dots Light Emitting Diodes via Time-Resolved Electroluminescence Spectroscopy. *J. phys. Chem. Lett.* **2023**, 14 (7), 1777-1783.
[2] Cao Y; Bao H; and Zhong, H*, Time- and Spatial- Resolved Electro-luminescence Spectroscopy based on Single Photon Camera for Micro-LED Analysis. Unpublished.

39-28

无机二维液晶及其新型光调制显示技术应用开发

丁宝福

中科院深圳先进技术研究院, 深圳南山区西丽深圳大学城学苑大道 1068 号, 518055

*邮箱: bf.ding@siat.ac.cn

百年来, 过低的克顿-莫顿系数一直是制约磁光克顿-莫顿效应实用化发展的关键瓶颈。近年来, 我们致力于制备具有强磁光效应的新型材料, 在该方向上取得了系列原创成果: 1) 解析了克顿-莫顿系数过低的原因, 提出了海水辅助多离子插层剥离二维材料方法, 建立了纯溶剂型等粘度梯度筛分协同机制, 制备出单层且尺寸可控的新型无机二维材料磁光液晶, 拓展了经典液晶家族谱系。2) 发现了该液晶具有高出传统材料3个量级的克顿-莫顿系数, 命名了“庞磁致双折射效应”, 并发现了透射式磁致干涉色新效应[1]。3) 开拓了透射式深紫外光调制[2]、变色光学水凝胶等新应用[3][4][5]。相关领域的研究获国际权威学者“里程碑式研究”的评价。本报告中, 我们将进一步展望如何持续增强克顿-莫顿效应及拓展该效应至庞电光克尔效应, 探索其在低能耗光电显示等领域的实际应用。**关键词：**光调制; 二维材料; 液晶; 磁电光效应

参考文献

- [1] B. Ding and W. Kuang et al., Nature Communications. 11, 3725 (2020)

[2] H. Xu and **B. Ding*** et al., Nature Nanotechnology,17, 1091-1096 (2022)

[3] **B. Ding** and P. Zeng et al., Nature Communications, 13, 1212 (2022)

[4] T. Lan and **B. Ding*** et al., Journal of the American Chemical Society, 143, 12886-12893 (2021)

[5] Y. Xu and **B. Ding*** et al., Light: Science & Applications, 12, 1 (2023)

39-29

科研定制化材料原位光学多表征技术

林炳

福芯科技（北京）有限公司，北京海淀区中关村南大街 9 号 理工科技大厦 2101 室，
100082

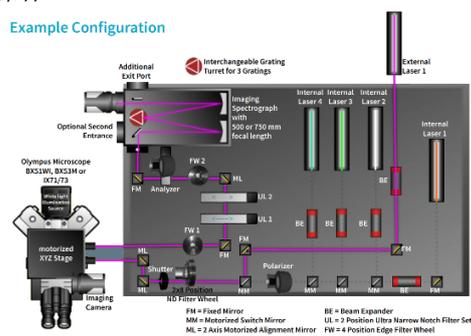
邮箱：linbing@fortec-hk.com

针对目前材料科学研究的需求，福芯科技发展一种微区原位多表征材料分析手段，解决了在多台设备之间进行样品转移带来测试差异，同时大增加了测试便利性与效率；此设备可应用于表征材料，大分子、有机小分子的立体结构、构型构象，以及研究分子的构象变化和分子间的相互作用。

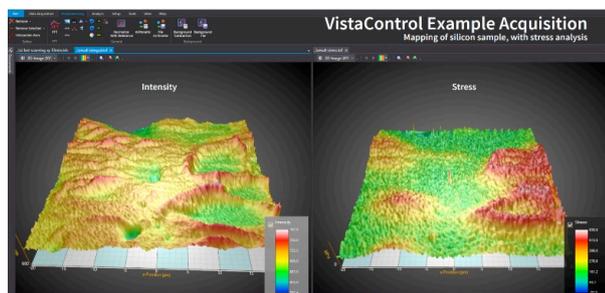
本技术可实现包括：微区拉曼光谱，拉曼 Mapping，荧光光谱，荧光寿命，PLE 光谱，偏振光谱，暗场散射光谱，二次谐波，光电流测试等，此技术的拓展性强，更可以与真空，高温，低温，高压，与强磁场等样品环境进行耦合连用。是一个强大科研工具，提供无与伦比的灵活性和便捷的。

操作。

Example Configuration



集成式定制化测试配置能力



硅基片应力成像分析样图

关键词：光谱分析；拉曼光谱；原位多表征，高压科学