



# 中国材料大会 2025

## 暨新材料科研仪器与设备展

7月5-8日, 2025  
福建 厦门

**D16-面向异质异构集成的信息材料与器件**  
**D16-Information Materials and Devices**  
**for Heterogeneous Integration**

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: <https://cmc2025.scimeeting.cn>



**D16.面向异质异构集成的信息材料与器件**

分会主席：周晔、韩素婷、张猛、闫岩、孙启军

**D16-01****Interfacial Engineering for Improving the Primary Color Emission Efficiency and Stability of Foldable Perovskite LEDs**

Wallace C.H. Choy\*

The University of Hong Kong

Interfacial Engineering for Improving the Primary Color Emission Efficiency and Stability of Foldable Perovskite LEDs

Wallace C. H. Choy<sup>1, 2</sup>

1 Department of Electrical and Electronic Engineering, The University of Hong Kong

Pokfulam Road, Hong Kong, China, Email: chchoy@eee.hku.hk

2 Material Innovation Institute for Life Sciences and Energy (MILES),

HKU-SIRI, Shenzhen, China

Halide perovskites have raised wide interest in recent years for photovoltaics, light-emitting diodes, and other applications due to their excellent optical and electronic properties, low cost, solution processability, and diversity as a group of materials. By ligand designs, we will discuss the influences on the phase distribution, carrier transfer, and confinement of low-dimensional perovskites will be improved. Using blue quasi-2D perovskites LEDs (PeLEDs) as examples, we can enhance the hole injection for better balance carrier and improve the efficiency [1], we also modulate the n-phase distribution [2,3], optimize the carrier transfer and confinement [4] and suppress the ion migration [5] to improve PeLED performances. For perovskite nanocrystals (NCs), we will design the functional side-branches for good NC dispersion and high electrical conduction and then optimize the spacing between polydentate functional groups of polymer ligands to match the surface pattern of CsPbBr<sub>1.8</sub>Cl<sub>1.2</sub> PeNCs, resulting in effective synergistic passivation effect and significant improvements in PeLED efficiency and stability [6-9]. We then further extend the ligand design to enhance the mechanical stability by establishing ligand-termination surface structure on perovskites with anchoring points and polymeric soft chains on perovskites beyond the corresponding functional group-only or polymer-only strategies in reducing the Young's modulus to achieve high efficiency and stable flexible PeLEDs [10, 11]. Overall, the efficiency and stability of the red-green-blue (RGB) perovskite LEDs can be significantly improved by comprehensively designing the ligand structures.

[1] Z. Ren, W. Choy\*, et. al., Adv. Function. Mater., 29, 1905339, 2019; [2] Z. Ren, W. Choy\*, et. al., ACS Energy Lett., 5, 2569, 202; [3] Z. Ren, W. Choy\*, et. al., Adv. Mater., 33, 2005570, 2021; [4] Z. Ren, W. Choy\*, et. al., Nano-Micro Lett, 14:66, 2022; [5] D. Zhang, W. Choy\*, et. al., ACS Energy Lett., 9, 1133, 2024, [6] H. Lin, W. Choy\*, et. al., Adv. Mater., 2008820, 2021. [7] B. Lyu, W. Choy\*, et. al., ACS Energy Lett., 8, 577,2023; [8] D. Li ,W. Choy\*, et. al., ACS Energy Lett., DOI:acsenergylett.4c00881; [9] B. Lyu, W. Choy\*, et. al., Angewandte Chemie, DOI:anie.202408726; [10] B. Lyu, W. Choy\*, et. al., Adv. Mater., DOI: 10.1002/adma.202415211. J.J. Kim, W. Choy\*, et. al., Nature Comm. 15, 2070, 2024.

**D16-02****有机薄膜忆容器件及人工神经网络**

王穗东\*

苏州大学

受人脑神经网络的启发，开发以电子突触与电子神经元作为核心元件的类脑神经形态电路成为广受关注的前沿热点。有机功能材料具有生物相容性好、轻薄易柔性化、可在分子尺度裁剪以调控其性质等独特优点，因此基于有机薄膜的突触器件也引起了研究者的广泛兴趣。本报告展示分别基于电荷存储机制和离

子迁移机制的有机薄膜忆容器件，阐述其设计思路、器件行为和机理分析。利用由电脉冲信号驱动的电荷捕获效应或离子再分布效应，调控有机半导体层的等效导电区域厚度/面积，进而实现连续、可逆、模拟式的器件忆容特性。依赖于电脉冲刺激的具体方式及历史，使用有机薄膜忆容器件可以模拟生物突触的短期可塑性、长期可塑性、更高层级的再可塑性等学习与记忆行为，以及这些不同类别突触可塑性之间的可控转化。此外，在单个忆容器件研究的基础上，发展忆容神经形态架构，构建了有机薄膜忆容神经网络并进行了仿真应用验证。有机薄膜忆容器件及其阵列具有超低直流功耗、动态特性丰富的显著优势，为人工神经网络的硬件实现提供了新的可选路径。

### D16-03

#### 新型二维金属-炔框架材料：合成、表征和应用研究

许林利\*

香港理工大学

石墨炔是一类由  $sp$  和  $sp^2$  杂化碳组成的高度共轭材料，具有独特的电子构型和丰富的表面化学性质，在光电磁和新能源等前沿领域得到了广泛应用。将过渡金属 ( $Hg(II)$ 、 $Ni(II)$ 、 $Pd(II)$ 、 $Pt(II)$ ) 等) 作为新的功能单元通过金属碳键引入石墨炔框架中，通过过渡金属  $d$  轨道与炔基碳  $p$  轨道的匹配效应精准合成，获得一类新型二维过渡金属-炔框架材料。该类材料将结合石墨炔和过渡金属双重优势，通过构筑多样化的分子框架和过渡金属种类来精细调节二维金属-炔框架材料分子轨道的能级，并实现调控其光电性质和催化活性与选择性。研究发现这类新型二维金属-炔框架材料不仅获得优异的非线性光学性质，在激光器件中实现了短脉冲激光输出；还获得具有高催化活性和选择性的光电催化  $O_2$  还原生成  $H_2O_2$  和光电催化  $CO_2$  还原反应等，是一类新型二维光电材料和二维富碳分子催化剂，对现代医疗和通讯以及实现碳循环利用和可再生能源存储具有重要意义。

### D16-04

#### 共价有机聚合物基忆阻器研究

陈雄\*

福州大学

随着信息技术的飞速发展，传统冯·诺依曼计算架构面临着严重的功耗与存储瓶颈挑战，发展兼具数据存储与信息处理功能的新型存储器件已成为当前电子信息领域的研究热点。忆阻器作为第四种基本电路元件，凭借其简单的双端结构、低功耗特性、多级存储能力以及与神经突触相似的工作机制，在未来存储器、类脑计算等领域展现出革命性应用潜力。共价有机聚合物 (COPs) 是一类通过强共价键构筑的多孔功能材料，其分子结构可在原子/分子层面进行精确设计与调控，赋予材料高度可调的物理化学性质。COPs 材料特有的  $\pi$ -共轭骨架结构、可控的孔隙率、丰富的功能基团以及出色的化学/热稳定性，使其在光电器件 (尤其是忆阻器) 领域展现出独特优势与广阔应用前景。然而，基于 COPs 薄膜的忆阻器研究目前仍面临薄膜制备与形貌控制、存储机理与构效关系研究不足、材料稳定性与器件可靠性以及多级存储精确调控等诸多挑战。针对上述科学问题，本研究基于分子结构精准设计，发展了系列调控策略，改善了 COPs 材料的电荷分离与传输动力学特性，成功构建了高存储密度和高稳定性的 COPs 基多级阻变存储器，并深入研究了其工作机制。

### D16-05

#### 基于忆阻器的感存算系统

韩素婷\*

香港理工大学

现代计算机通常采用冯·诺依曼体系结构，各存储级之间、内存与中央处理器之间的性能鸿沟会导致整体运算效率的降低。与冯·诺依曼体系结构地址串行运行机制相反，感存算一体技术融合感知、计算和存储等功能，为后摩尔时代的计算框架的发展提供了重要思路和新路径。忆阻器交叉阵列由于其多级存储特性、非易失性、片上集成性，以及可以直接利用欧姆定律和基尔霍夫定律进行存储器内并行乘法-累加操作

的特性，是感存算一体基础器件的有力竞争者之一。本报告将介绍在优化忆阻器性能的基础之上，结合多功能忆阻器阵列的传感特性，将其应用于感存算一体系统，集传感，信息处理与记忆于一体。

## D16-06

### Advancing Heavy Metal Complexes for Solar Energy Conversion Applications

Miao Zhang\*

The Hong Kong Polytechnic University

Solar energy technologies have gained significant global attention as crucial facilitators for the green and sustainable development of human society and the economy. Organic materials hold great potential in solar energy conversion due to their advantages, such as diverse molecular modification, pollution-free nature, low cost, solution processing, and flexible device fabrication. Our research focuses on developing novel organometallic polymers and investigating their performance in solar cells and solar evaporators. The iridium-based molecules with high singlet-to-triplet conversions would be explored to improve the exciton lifetime and diffusion length, while also optimizing the active layer morphology to enhance the efficiency of organic solar cells. [Chem. Engin. J. 2025, 507, 160359; Sci. Bull. 2024, 69, 2862-2869; Adv. Funct. Mater. 2024, 2411058; Nano Energy 2024, 130, 110174; Chem. Eng. J. 2022, 430, 132832; ACS Mater. Lett. 2024, 6, 2964-2973] Additionally, a new strategy is proposed that integrates multiple charge transfer mechanisms, including metal-to-ligand, ligand-to-metal, ligand-to-ligand, and intermolecular charge transfers, into an organometallic polymer. [J. Mater. Chem. A 2024, 12, 9055-9065] This approach aims to design highly efficient photothermal materials for solar evaporation applications. Developing novel organometallic materials opens a meaningful pathway from molecular design to improving the solar energy conversion efficiency of both photo-to-electric and photo-to-thermal processes.

## D16-07

### 原子精度调控低维纳米催化材料

葛婧捷\*

香港理工大学

鉴于多数催化反应发生在材料的表面或界面，原子级调控活性位点是设计高效低成本催化剂的关键，同时有助于深入理解材料结构与性能间关系。本研究通过原子级调控过渡金属催化剂的表界面结构，优化了解水反应过程。通过设计超薄纳米网筛结构，其提供丰富的表界面活性位点精准沉积了超小铂纳米颗粒，有效提升了氢析出反应性能。此外，通过原子精度构建磁性界面结构，在外磁场下实现自旋极化促进的氧析出反应（OER）动力学过程，并在原子尺度下探究磁场促进的水氧化反应机理，构建了关联磁性 OER 活性的模型，为设计高活性 OER 催化剂提供了新思路。

## D16-08

### 多晶硅薄膜晶体管的热管理研究

刘鹏飞、张猛\*、邹兰榕、闫岩、王文、郭海成

深圳大学

多晶硅薄膜晶体管在有源矩阵显示技术中发挥关键作用，但其高载流子迁移率引发的自加热效应易导致器件性能退化。传统通过改进材料、结构或几何设计的热管理策略面临工艺复杂和成本增加的挑战。本研究提出一种电压脉冲调制策略，通过施加同步电压应力并优化脉冲参数，在不改变器件结构和材料的前提下，有效抑制沟道温度积累并缓解自加热退化。这项工作通过周期性散热间隔打破热积累循环，为高可靠性显示技术提供了低成本、易集成的解决方案，同时建立了自加热效应预测与优化的普适性理论框架，为提升电子器件长期稳定性奠定了基础。

## D16-09

### 线性回归 L0 正则化的存算一体求解器

何毓辉\*、陈子瑞、徐寒曦、熊威威

华中科技大学集成电路学院

L 正则化是一种强大的机器学习技术，通过严格最小化非零参数数量来实现稀疏性，但其 NP 难 (non-deterministic polynomial hard) 特性带来了极高的计算需求，限制了实际应用。本研究提出了一种全忆阻模拟求解器用于 L 正则化线性回归，通过整合两个核心模拟运算单元：用于乘积累加运算的阻变存储器阵列，以及基于钨酸铪/氧化钒( $\text{HfWO}_x/\text{VO}_x$ )复合忆阻器实现的可调谐硬阈值激活函数。该硬阈值激活函数通过实现真正的 L 正则化，在心电信号压缩感知中展现出卓越性能，在滤除医学测量噪声方面显著优于  $L_1/L_2$  方法。可重构忆阻阵列通过自适应字典训练显著降低了图像稀疏编码重构误差。该模拟电路架构消除了数模转换环节，与传统实现方案相比，在处理速度和能效上实现了数量级的提升。这种全模拟设计建立了存内计算忆阻框架，为边缘设备实现实时 L 正则化机器学习突破了传统方法的根本性瓶颈。

#### D16-10

### 有机智能材料与类脑器件

李阳\*

苏州科技大学

近年来，有机功能材料因其本征柔性、结构多样性和溶液可加工性等优势吸引了国内外研究者的兴趣，逐渐成为柔性忆阻器及仿生突触的有力候选者之一。有机功能材料的一个显著特征在于其结构的可设计性。通过在有机分子骨架中引入不同的活性基团并加以组合，能够实现多种性质的叠加，从而赋予有机分子器件多样化的功能，为构筑多功能响应的柔性忆阻器提供了有利条件。在本报告中，我们将介绍本课题组在有机忆阻器及类脑器件方面的研究进展，为实现可穿戴、低功耗和快速响应的神经形态应用提供借鉴。

#### D16-11

### 基于有机晶体管存储器的选择性光监测研究

高旭\*、张中达、殷子懿、王穗东

苏州大学

伴随着人们对柔性和可穿戴电子产品需求的不断增加，有机晶体管存储器在压力探测、生物传感、智能存储等领域的研究越来越受到人们的关注。尤其在光监测领域，集信号探测和信息存储功能于一体的晶体管存储器可以通过存储电荷的数量来记录光的辐射剂量。更为重要的是，有机晶体管存储器的光辅助编程过程依赖于辐射光子的能量，为识别不同波段的光提供了新的途径。在我们的工作中，通过构筑几种类型的电荷存储层，利用光辅助电荷存储机制实现了对不同波段光的选择性监测。有机晶体管存储器对光的选择性监测可以通过改变电荷存储层与半导体层的能级排列实现，简单的器件结构能够满足未来柔性可穿戴电子对光监测的需求。此外，光辅助电荷存储效应还可以显著降低有机晶体管存储器的工作电压，且能够通过写入/擦除脉冲的数量调控实现多值存储。我们进一步设计了不对称电极器件结构，实现了超过两个数量级的非易失性负光电导变化，为未来光控突触器件的设计提供了参考方案。

#### D16-12

### 面向 CMOS 单片异质异构集成的胶体量子点红外光电探测器

徐建龙\*

苏州大学

“发现和合成量子点”被授予 2023 年诺贝尔化学奖。半导体量子点是新一代可溶液加工的光电材料，得益于量子限域效应，具有吸收光谱可调、高吸光系数、掺杂类型与浓度易调等优异的光电性质，加之可以通过溶液加工与 CMOS 读出电路单片异质集成的独特优势，为发展低成本高性能红外成像芯片提供了全新的技术路线。这一技术的出现有望促进红外技术在人工智能、自动驾驶、智慧城市等新兴领域的大规模应用。近年来，产业界和学术界开展了大量的研究工作，已开发出 PbS 量子点短波红外图像传感器芯片原型。然而，相比于传统 InGaAs 短波红外探测器，PbS 量子点探测器的短波红外探测性能仍有较大差距，

包括反向偏压暗电流较高、外量子效率较低、像素结构尚不成熟、物理机制仍待挖掘等难题。2021 年以来，我们课题组在 PbS 量子点短波红外探测器的器件物理、集成工艺、结构设计、像素结构设计等方面开展了较为系统的研究工作，同时初步探索了 PbS 红外探测器与存储单元、逻辑单元的三维集成技术，突破“空间-性能-功耗-功能”的性能瓶颈，有望实现 More than Moore 和 Beyond Moore。本报告将介绍上述我们近期在该领域的研究工作。

## D16-13

### 基于二维 p 型碲硒半导体电子与光电子器件

谭超良\*

香港城市大学

碲(Tellurium, Te)和硒(Selenium, Se)是具有一维链状结构的半导体材料，由其螺旋单分子链通过范德华力堆叠形成独特晶体结构。相较于传统三维材料，仅暴露分子链两端的表面特性使碲/硒半导体材料具备本征低缺陷优势，为新型电子/光电器件的开发提供了创新平台。本报告将聚焦二维碲硒体系的前沿突破，首先展示基于碲/硒纳米片与带隙可调的碲硒合金( $\text{SexTe}_{1-x}$ )蒸镀薄膜的高性能短波红外/可见光探测器及其焦平面阵列；其次探讨基于碲/硒范德华异质结构的光电存储器件在类脑/神经形态计算中的应用；最后介绍蒸镀法实现的碲薄膜、六方氮化硼基底外延获得的高质量碲纳米带及化学气相沉积生长的碲硒合金纳米片在高性能晶体管、逻辑门与集成电路中的应用。

## D16-14

### 超临界流体技术在电子器件中的应用与探索

张冠张\*

北京大学深圳研究生院

随着摩尔定律接近物理极限，传统电子器件和芯片在性能提升方面面临严重瓶颈，亟需探索新的材料处理与器件优化策略，以满足高性能、低功耗的需求。超临界流体作为一种兼具高扩散性、低黏度和无表面张力等特性的绿色介质，在电子材料与器件优化中展现出巨大潜力。本报告系统回顾当前电子器件与材料所面临的关键挑战，介绍超临界流体的物理化学特性及其在微纳制造中的独特优势，重点聚焦氧化、碳化、脱羟与提纯等超临界处理技术在多类器件中的研究进展。相关研究已成功应用于阻变存储器 (RRAM)、薄膜晶体管 (TFT)、第三代半导体器件、二维材料器件及碳纳米管器件等，显著提升其电学与光学性能。此外，超临界流体技术在材料体系杂质去除、聚合物与生物材料处理等方面展现出高效低温特性，为高品质薄膜与界面控制提供了可持续的绿色解决方案。报告还将探讨其在类脑神经形态器件、生物电子材料及柔性器件等交叉领域的潜在应用前景，并对未来超临界技术在电子信息与生物融合领域的演进方向进行展望。

## D16-15

### 后摩尔时代的仿生电子——从生物材料到智能感知接口

李蕾\*

深圳技术大学

随着集成电路进入“More than Moore”后摩尔时代，以集成电路、人工智能、生命健康和脑科学为代表的新兴科技产业正在重塑全球创新格局。神经形态芯片和类脑计算在脑机智能及人机界面中的应用，推动了智能电子产品在健康监测和医疗领域的生物转型。半导体器件与生物材料的结合，标志着信息电子技术的一项重要变革，构建了基于天然生物材料的仿生智能信息系统，弥合器件与生物体之间的差距，促进了电子系统与生物系统的界面构建。本报告探讨了基于生物组织和生物材料的超低电压神经形态器件、低功耗类脑遗忘算法以及生物相容的智能感知界面。通过材料、器件和工艺的多层次设计与优化，在材料生物兼容性、信号适配性、高灵敏度、低功耗及机械兼容性等方面取得了重要进展。所实现的生物兼容超低电压、超低功耗神经形态电子，能够满足与生物体直接交互的需求，并对生物信号范围内的电压刺激具有响应能力，实现材料、电压、功耗多层次的生物适配，推动电子系统与生物系统的接口建设。

**D16-16****低维范德华半导体材料及器件集成**

秦敬凯\*

哈尔滨工业大学（深圳）

低维范德华晶体及异质结构为后摩尔时代开发新型多功能电子、光电子信息器件提供了全新的路径。基于界面的弱范德华力集成策略，不仅可以用于功能二维异质材料的设计制备，对一维原子晶体同样适用，这种新型的低维材料体系在构筑低功耗逻辑器件、硅基片上光电子器件及类脑计算器件方面均展现出重要的作用。本报告将重点对低维材料体系及其应用进行讨论：I. Te/BNNT 一维范德华异质结和二维  $\text{MgNb}_2\text{O}_6$  纳米片在逻辑器件中的应用；II. 二维  $\text{SnP}_2\text{Se}_6$  纳米片在硅基光电子集成器件中的应用；III. 基于准一维  $\text{NbSe}_3$  和二维  $\text{MoS}_2/\text{NbS}_2$  范德华异质薄膜的类脑计算芯片。

**D16-17****基于有机半导体单晶的高性能偏振光探测器件及其仿生偏振视觉**

陈帅\*、揭建胜

苏州大学

偏振光探测器能够获取除光谱和强度以外的偏振态信息，揭示环境光中人眼不可见的隐藏信息，在民用和军事领域均有着重要应用前景。除圆偏振敏感的手性材料以外，大多数半导体非晶薄膜本身不具备各向异性，传统的偏振光探测器需要附加额外的偏振光学系统，因此器件结构复杂、制备工艺昂贵。基于具有本征各向异性光吸收的有机半导体单晶材料构建偏振光探测器件，集偏振敏感性和光响应特性于一体，正逐渐成为新一代微型化、便携式偏振光探测器的重要基石。然而，目前报道的半导体晶体偏振光探测器面临着产率低、对准困难、稳定性差、偏振灵敏度低等诸多挑战，远未满足实际应用的需求。

为增强有机单晶偏振光探测器的偏振灵敏度，我们提出一种简单且通用的各向异性光电流放大策略，将有机单晶各向异性光吸收特性和光电晶体管高增益的优点相结合，通过利用介电层界面固有的悬挂基团，实现了各向异性的光生电子捕获并产生额外垂直栅电场，以此实现各向异性的光电流放大。基于此，我们利用有机小分子 C8-BTBT 单晶阵列，构筑出具有高偏振灵敏度的有机单晶光电晶体管器件，具有  $10^5$  以上的极高二向色性比，且在低照度环境如昏暗条件下 ( $0.2 \mu\text{W cm}^{-2}$ ) 仍可利用偏振依赖的界面电荷存储累计策略，将偏振灵敏度增强至同一水平。我们构筑的有机单晶偏振光探测器件不仅可将探测光强极限降低了 4-6 个数量级，而且其偏振灵敏度比传统偏振光探测器还要高出 3 个数量级以上。进一步，我们模拟了夜间活动蜥蜴的暗适应偏振感知特性，以及蝴蝶种内交流与目标识别等仿生偏振视觉行为。

**D16-18****面向异构集成的稀土掺杂氧化物薄膜晶体管研究**

何鹏辉\*

湖南大学

以  $\text{InGaZnO}$  为代表的氧化物薄膜晶体管 (TFT) 由于低的漏电流、高的大面积均匀性和工艺兼容性等优点，在新型显示、光电探测及异质集成多功能器件领域表现出良好的应用前景，但是，其迁移率和稳定性的权衡仍是目前亟需解决的难题。本文研究了 Tb 元素掺杂和传统提高氧分压对溅射高迁移率  $\text{InZnSnO}$  TFT 电学性能和 NBIS 稳定性的影响。虽然高溅射氧分压可以有效地抑制  $\text{InZnSnO}$  体内氧空位浓度，但对于器件 NBIS 的提升有限，且严重降低了电子迁移率。相比之下，少量的 Tb 掺杂就可以有效地调控氧化物半导体内载流子浓度并且避免对  $\text{In } 5s$  轨道交叠的影响，实现超过  $28.0 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  的电子迁移率。同时，利用 Tb 离子与其配体间的电荷转移跃迁过程可以加速氧化物半导体内光诱导电离氧空位和离域电子的弛豫，从而极大地提高 TFT 的 NBIS 稳定性。进一步，构筑了双层 Tb 掺杂氧化物同质沟道，通过控制两层氧化物半导体层的 Tb 掺杂浓度和薄膜厚度来调节同质结的能级排布，促进电子在同质结界面的积累，进而同时提高器件的载流子迁移率和 NBIS 稳定性。该双层沟道氧化物 TFT 表现出  $38.2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  的电子迁移率和良好的稳定性。NBIS 和 NBTIS 测试表明，3600 秒后阈值电压漂移分别为  $0.26 \text{ V}$  和  $-0.38 \text{ V}$ 。

**D16-19****异质异构集成的突触晶体管实现复杂时空相关可塑性**

倪尧\*

广东工业大学

近年来,人工突触器件因其在神经形态计算与外周神经感知模拟中的应用而备受关注。进一步提升突触器件功能以实现更复杂的神经传输过程具有重要意义。报告人致力于异质异构集成的突触晶体管的研究与设计,以模拟多神经递质在复杂时间尺度上的调控过程。系列研究结果表明,通过合理采用异质界面以及三维栅集成等手段,能够有效调控器件结构和电学特性,实现具有短/长程可塑性的多神经递质快速切换与多路复用,并模拟了神经递质在不同时间尺度上的释放延迟特性。此外,我们的研究还探索了人工突触器件在不同应用场景下的功能设计。这为神经形态计算和周边神经感知模拟提供了更多可能性。我们还对下一步的工作计划进行了展望,包括进一步优化器件性能、探索更复杂的神经递质调控机制以及拓展器件的应用领域。

**D16-20****金属氧化物纳米线光电晶体管面向智能仿生应用研究**

王风云\*

青岛大学

近年来,神经形态计算在智能医疗、人机交互及环境监测等领域展现出巨大潜力,但其发展受限于传统冯·诺依曼系统的实时性不足、高能耗及有限的多模态感知能力。针对这些挑战,本课题组长期致力于利用一维金属氧化物材料构建高性能光电突触晶体管,模拟多种生物突触行为并应用于仿生智能应用场景。

在降低功耗方面,采用静电纺丝工艺,基于不同比例的  $\text{In}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$  纳米线构筑电突触晶体管,模拟了兴奋性突触后电流和双脉冲易化等突触特性。其中,  $\text{In}_{0.7}\text{Zn}_{0.3}\text{O}$  器件的性能最佳,功耗降至最低为 38 fJ。在触觉感知方面,基于 ITO 纳米线突触晶体管与生物水凝胶的集成系统实现了感知-记忆-计算一体化,可实时处理脉搏等微弱生理信号,并成功应用于盲文识别与异常脉搏检测,为智能医疗诊断提供新思路。在化学感知领域,通过  $\text{ZnSnO}$  纳米纤维突触晶体管模拟生物酸敏感离子通道,开发出 pH 响应型仿生味觉受体,其短时程增强特性支持高精度 pH 识别,为早期器官病变监测提供新方法。面向光信号处理,基于  $\text{InSrO}$  纳米纤维/ $\text{CsPbBr}_3$  量子点异质结的光电探测器实现了 230-500 nm 宽带检测,在 0.05 V 超低工作电压下响应率达 6.88 A/W,兼具高稳定性,为环境监测与光通信提供高效解决方案。此外,通过  $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{Br}_9$  量子点与 IZTO 纳米线的异质结设计,首次在金属氧化物体系中实现负光电导效应,模拟视网膜细胞的超极化行为,构建的神经形态视觉系统将图像识别准确率从 51% 提升至 99%,为光加密与智能视觉感知开辟新路径。这些研究通过材料创新与器件设计,推动了多模态感知、低功耗计算与生物拟态功能的深度融合,为下一代智能系统的开发奠定重要基础。

**D16-21****基于忆阻器的储备池计算硬件系统**

仲亚楠\*

苏州大学

储备池计算作为一种新型神经形态计算范式,具有高能效、易于硬件实现等优势,在信号分类、信号预测及实时信号处理等方面具有广泛的应用前景,蕴含巨大的社会经济价值。当前,在已有储备池计算的硬件实现方式中,利用神经形态器件(如忆阻器)作为构建储备池计算系统核心单元是最主流的实现方式之一,报告人在已有研究基础上首次实现了完全基于忆阻器的储备池计算硬件系统:发挥动态忆阻器易集成、低功耗且具有丰富的动态和非线性特性,构建储备池计算系统的储备池单元;发挥非易失性忆阻器连续阻态可调及状态长期保持的特性,构建储备池计算系统的输出单元,通过外围电路设计搭建了完全基于忆阻器的储备池计算硬件系统。本次报告主要讲述报告人在储备池计算研究领域的研究成果,主要包括基于忆阻器的储备池计算硬件架构、具体的硬件实现方式与应用展示以及未来展望等内容。

**D16-22****新型信息存储材料：分子设计、环境耐受及动态光热响应机制**

李浩宏\*

福州大学化学学院

大数据时代，人工智能、智能驾驶与物联网等多元应用场景，对信息存储提出了高存储密度高、强环境耐受性及绿色可降解等方面的更高要求[1-3]。基于分子设计同步提升存储密度和环境耐受性，并揭示相关机理，是该新型存储技术取得突破的关键[4]。以实现多进制阻变转换、器件强环境耐受和绿色可降解为功能导向，通过合理的分子设计，开展了多类型耐极端环境存储器的活性材料设计合成、器件制备和相关机理研究，包括有机类、金属卤化物类、有机/多酸二组分杂化材料类、配合物小分子及生物质类等，同步揭示器件活性层随环境变化的动态响应机制，获得了系列可耐极端环境的二进制和三进制阻变存储器：（1）有机材料的耐极端环境存储器包括 TPE-Azo 嵌入聚乙烯-马来酸酐、四苯乙烯上含有不同偶氮基团的 AIE 分子嵌入聚苯并咪唑、质子化聚多巴胺、酸处理的 g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、二维氢键有机框架，获得了最高开关比为 1:104.2:106.7 的三进制存储，最高耐受温度 454 °C、湿度 RH=90 %、最长紫外辐射 96 h。（2）金属卤化物基耐极端环境存储器中，新型二维卤化铅钙钛矿获得了可耐 170 °C 高温二进制忆阻器，将其与聚乙烯吡咯烷酮提示为三进制存储（开关比为 1:103.9:105.9），可耐受 100 °C 高温和 80% 高湿。（3）基于有机/多酸二组分杂化材料的耐极端环境存储器：基于四苯乙烯衍生物与钼酸盐、Dawson 多酸复合，获得了最高开关比为 1: 105.3:106.8 三进制存储，可以耐受 400°C 高温。（4）基于多酸的三组分杂化材料的耐极端环境存储器，最高开关比 3.01×10<sup>3</sup>，器件耐受 270 °C 高温。（5）基于小分子多硫配合物实现了硫驰豫的三进制存储行为。（6）基于生物质包覆碳材料同步提高了器件的存储密度和环境相容性。相关结果为新型高密度和高热稳定性绿色存储器构建提供理论指导。

## Reference

1. Y. R. Huang, X. L. Lin, B. Chen, H. D. Zheng, Z. R. Chen, H. H. Li, S. T. Zheng, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2021, 60, 16911–16916.
2. B. Chen, Y. R. Huang, K. Y. Song, X. L. Lin, H. H. Li, Z. R. Chen, *Chem. Mater.* 2021, 33, 2178–2186.
3. K. Y. Song, L. L. Du, G. L. Yue, T. Li, H. H. Li, S. T. Zheng, Z. R. Chen, H. D. Zheng, *J. Colloid. Interf. Sci.* 2023, 642, 408-420.
4. P. K. Zhou, X. Lin, Y. Q. Gao, X. L. Lin, T. Zeng, H. H. Li, X. Chen, H. D. Zheng, *Nano. Lett.* 2025, 25, 2741–2748.

**D16-23****基于有序化纳米纤维阵列的突触晶体管**

刘璐\*

济南大学

突触晶体管由于信号可与生物电信号相兼容，并可模拟生物神经系统诸多功能，在智能交互、可穿戴计算及生物医疗等前沿领域具有重要应用前景。目前，突触晶体管仍存在能耗偏高、灵敏度低、尺寸受限、生物相容性不足等问题。另外，利用简单结构的突触晶体管实现对生物复杂神经功能的模拟仍具有一定困难性。报告人聚焦突触晶体管沟道制备材料及器件优化，利用数码可控纳米纤维打印工艺制备有序化及结构可调的有机及无机纳米纤维阵列，通过灵活的调节打印参数，实现对纳米纤维直径、间距及波形的优化，并将其作为沟道材料应用于突触晶体管，利用简单器件结构分别实现对侧抑制现象的模拟及可拉伸人工传入神经、人工自主神经的构建。对于类脑计算、软体机器人和可穿戴人机交互领域提供研究基础。

**D16-24****碲半导体材料与器件**

孟优\*

湖南大学

互补金属氧化物半导体（CMOS）具有低功耗、高抗噪和高集成度等优点，是现代信息技术的基础。

然而,局域化价带和自补偿缺陷阻碍了 p 型无机半导体的空穴传输,难以与 n 型无机半导体形成有效互补,制约了 CMOS 技术的发展。近年来,碲 (Te) 基半导体被认为是实现高空穴迁移率 p 型晶体管的理想材料体系。基于此,报告人首先开发了适用于 Te 基半导体的规模化构筑方法,包括多尺度范德华外延和低温后氧注入工艺,获得了高空穴迁移率 p 型晶体管阵列。进而,探究了 Te 基半导体的光热电效应和应力调控铁电极化机制,实现了全光谱探测和高性能机械能收集。最后,通过提高全流程的后端工艺兼容性,实现了低功耗 Te 基器件和 CMOS 电路的集成。相关的研究成果为大面积、高性能、低功耗 Te 基半导体材料与器件的开发提供了理论依据和技术支持。

## D16-25

### 柔性触觉传感器序构设计与功能集成

廖新勤\*

厦门大学

触觉传感器在可穿戴电子设备、虚拟现实、增强现实以及元宇宙等方面具有重要应用前景。通常,触觉传感器由具有  $M \times N \times 2$  电极阵列的传感元件阵列组成,其中 M 和 N 表示导电经纬线,以准确识别触摸的位置。通过执行交叉扫描寻址模式,触觉传感器的电极将数量大幅减少到  $M \times N + 1$  的电极阵列或  $M + N$  的电极阵列,这大大缩短了测量周期,简化了信号处理和分析过程,降低了系统配置要求。碳基材料作为一种功能材料具有广泛的应用前景,可作为触觉传感器的功能敏感材料 (Liao, et al., *Advanced Materials* 2025, DOI: 10.1002/adma.202420501; *Nano Energy*, 2019, 60, 127; *Materials Horizons*, 2018, 5, 920)。本次报告将介绍碳基柔性触觉传感器的构建 (Liao, et al., *Nature Communications*, 2020, 11, 268; *Advanced Materials* 2024, DOI: 10.1002/adma.202407329; *Advanced Functional Materials* 2024, DOI: 10.1002/adfm.202411331; *Advanced Functional Materials*, 2021, 31, 2101107; *Nano Energy*, 2021, 80, 105548; *Nano-Micro Letters*, 2022, 14, 131), 通过结构优化设计,只有两个电极线即可高效的实现单点和多点触觉识别。极简化的碳基柔性触觉传感器设计将有利于更低的信号串扰、快速的信号检测、更高的稳定性以及更低的系统配置要求,有助于人机交互系统的发展。

## D16-26

### 太阳光伏调控自旋电子材料与器件

方凝、苏健、张含、周子尧\*

常州大学

信息存储器是电子信息产业的核心部件,由磁场或电流驱动的自旋信息存储已经接近其存储密度和速度的极限。因此,寻找新驱动方式以实现低功耗、快速响应和高密度的自旋存储器件,已经成为电子信息产业未来的主要发展方向。我们构建了具有光磁电耦合功能的异质结构,探索了光伏与磁调控结合的存储新机制。通过在铁磁层与光伏层之间引入不同中间层,实现在 P-N 型硅体系中对界面磁性的有效调控。此外,使用有机光伏材料作为光伏层,实现了体自旋波临界角的可逆转变,并在面外方向上实现了磁场与光场协同调控磁化强度。构建的反铁磁异质结构在可见光作用下展现出反铁磁与铁磁状态之间的完全可逆转换,为光控磁存储提供了可行路径。

与此同时,为提高光伏调控效率,我们改进了太阳能电池工艺,通过应用胍基碘化物 (GAI) 表面钝化技术,制备了具有增强的晶粒大小和优良品质的  $\text{FAPbI}_3$  钙钛矿薄膜,使器件光电转换效率提升至 23.02%,并在中等湿度下储存 1000 小时后仍保持 71% 的初始效率。此外,为解决溶液法制备高质量  $\text{SnO}_2$  电子传输层时,面临的胶体聚集严重、氧空位丰富以及膜层均匀性差等问题,我们采用了 L-天冬氨酸单钠盐 (ASP-Na) 配位策略,显著改善了器件埋藏界面的力学与光电耦合性能,实现了 24.27% 的光电转换效率,并在常温常湿环境下储存 1600 小时后仍保持初始效率的 90% 以上,展现出优异的稳定性与应用潜力。

## D16-27

### 高性能 IWO TFT 的制备优化与均匀性改善研究

张猛\*

深圳大学

高性能薄膜晶体管 (TFT) 是先进显示技术的核心器件, 氧化钨铟 (IWO) TFT 因其高迁移率而成为金属氧化物 TFT 沟道材料的优选。然而, IWO TFT 在实现高性能的同时, 仍面临阈值电压偏负与器件稳定性不足等问题。为此, 本文提出并验证了一种两步退火策略, 有效平衡了氧空位与化学吸附氧的浓度, 显著提升了器件性能, 所得 IWO TFT 迁移率达  $58 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , 阈值电压为  $-3.5 \text{ V}$ , 亚阈值摆幅为  $0.35 \text{ V/dec}$ 。同时, 针对 IWO 靶材钨含量分布不均引发的器件一致性差问题, 本文采用射频磁控共溅射  $\text{In}_2\text{O}_3$  与  $\text{WO}_3$  靶材的方法, 有效抑制了钨含量波动, 实现了高均匀性的 IWO 薄膜沉积。本研究为实现高迁移率与高均匀性的 IWO TFT 器件提供了可行的工艺方案与理论支持, 具有重要的应用前景。

**D16-28****Dual Synchronization Behavior in Light Scattering by Spherical Particle Systems**Guanglang Xu<sup>\*1</sup>, Sun Bingqiang<sup>2</sup>, Ping Zhu<sup>1</sup>, Huizeng Liu<sup>1</sup>, Ye Zhou<sup>1</sup>, Chen Zhou<sup>3</sup>

1. Shenzhen University

2. Fudan University

3. Nanjing University

We report the discovery of a novel and fundamental dual synchronization relationship between the scattering efficiency (Qsca) and a specifically formulated angular distribution complexity parameter (Cp) in spherical particle systems. Through extensive numerical simulations using the rigorous Multiple Sphere T-Matrix (MSTM) method, we found that Qsca exhibits a strong positive correlation with (1-Cp) when the real part of the refractive index is varied, while it synchronizes strongly and positively with Cp when the imaginary part is varied. This counterintuitive dual behavior is particularly pronounced, approaching near-perfect overlap for single spheres in the resonance regime, and persists with high correlation across statistically representative random multi-sphere aggregates under similar conditions. We also demonstrate that this striking synchronization diminishes significantly or disappears at low refractive index contrast, highlighting that the phenomenon is tied to conditions enabling significant light-matter interaction and resonance effects. Our analysis reveals that this duality arises from the distinct ways the real and imaginary parts of the refractive index perturb vs. dampen electromagnetic resonances within the particles, leading to different coupled responses in the total scattered energy and the angular distribution. This discovery provides unprecedented insights into how phase contrast and absorption processes distinctly modulate scattering properties and the angular distribution of scattered light, particularly in regimes dominated by resonance. It establishes that the specific formulation of Cp used here is sensitive to the overall balance of multipole contributions, making it a valuable parameter for capturing refractive index-driven changes. This finding establishes a new theoretical perspective for understanding resonance-driven scattering phenomena and offers a unique framework for the development of novel optical characterization techniques capable of distinguishing refractive and absorptive changes, and the rational design of materials with precisely controlled scattering functionalities within the relevant optical regimes.

**D16-29****基于离子调控的有机突触器件及其突触功能模拟**

张中达\*

苏州大学

在人工智能与类脑计算迅速发展的背景下, 构建具备生物突触功能的人工神经形态器件已成为前沿研究的重要方向。生物突触是神经信号传递与学习记忆的基本单元, 其突触可塑性为神经形态器件的设计提供了关键仿生启示。本报告基于异质结结构, 结合有机材料在柔性和生物相容性方面的优势, 通过调控界面处的离子再分布行为, 实现了器件电导状态的连续可调, 有效模拟了生物突触中权重动态更新过程。此外, 通过引入第三端电极, 进一步拓宽了对忆阻行为的调控范围, 展现出灵活的电导可调性。利用有机与无机材料的协同效应, 所构建的杂化忆阻器件性能显著改善, 并能够成功模拟短期记忆和脉冲频率依赖可

塑性等多种突触功能。进一步研究工作表明,离子种类对突触器件的记忆效应具有重要作用,揭示了通过调控离子的物理化学性质以调节突触行为的可行路径。基于器件优异的非易失性,成功实现了对手写数字和图像数据集的识别任务,验证了其在神经形态计算中的应用潜力。综上所述,本报告从材料体系、结构设计及离子行为调控等多个角度出发,为神经形态计算提供了新的材料选择与器件结构设计思路。

## D16-30

### 极小尺寸量子点发光器件的若干问题

李福山\*

福州大学

量子点是近年来受到关注的新一代发光材料,具有发光光谱窄、荧光效率高、发光光谱连续可调、可溶液加工等优点,在显示、照明、生物标记等领域展现了广泛的应用前景。在此报告中,我们面向极高分辨显示应用,发展纳米尺寸量子点电致发光器件。围绕极小尺寸量子点发光器件中的漏电流管控、高对比度和全彩化实现、响应速度提升等问题,利用新型自组装印刷制造技术,实现量子点微纳尺度高质量图案化成膜,重点探讨印刷过程量子点的可控运输组装策略,以及量子点发光器件中的电荷输运机制,在此基础上,发展出超快响应量子点纳米像元发光显示技术。

## D16-31

### 高质量氧化镓单晶薄膜异质外延生长研究

张逸韵<sup>\*1,2</sup>、杨世凌<sup>1,2</sup>、武松浩<sup>3</sup>、谭小龙<sup>4</sup>、姚然<sup>1,2</sup>、杨华<sup>1,2</sup>、伊晓燕<sup>1,2</sup>、王军喜<sup>1,2</sup>、李晋闽<sup>1,5</sup>

1. 中国科学院半导体研究所
2. 中国科学院大学材料科学与光电技术学院
3. 中国科学院宁波材料技术与工程研究所
4. 河南理工大学物理与电子信息学院
5. 山西中科潞安紫外光电有限公司

氧化镓被称为第四代半导体材料,因其超宽禁带、高击穿场强等优势受到科研工作者的广泛关注。如何利用蓝宝石这类廉价衬底实现高质量氧化镓单晶薄膜异质外延生长一直是研究热点。然而,氧化镓与蓝宝石晶体间的晶格失配以及生长取向对称性问题严重制约着氧化镓薄膜晶体质量的提高。有报道称带偏角的蓝宝石衬底能够促进氧化镓薄膜的台阶流生长,有效改善外延薄膜晶体质量。

为了抑制氧化镓晶体的多重生长取向,本工作受目前普遍使用的C面偏A面和C面偏M面斜切的蓝宝石衬底的启发,设计了一个全新的斜切方向,命名为C-AM。通过调控生长条件,我们在C-AM方向斜切 $6^\circ$ 的蓝宝石衬底上获得了高质量氧化镓单晶薄膜,其(-201)面摇摆曲线半高宽(FWHM)达到 $0.36^\circ$ 。进一步地,我们发现高温退火能够促进薄膜内部原子热弛豫,释放应力,从而提升薄膜晶体质量。为了避免降温-升温过程对薄膜应力的影响,我们采用原位退火工艺,研究了不同退火时长(0-6 h)对薄膜结晶质量的影响,实验结果表明晶体质量会随着退火时长增加而提高,但当退火时长达到6 h时提升程度已不太明显。由此我们通过优化生长条件和原位退火工艺,最终使FWHM值达到 $0.28^\circ$ 。本研究为制备高质量的异质外延氧化镓薄膜提供了可行方案。

## D16-32

### 医疗级可穿戴柔性传感系统

高立波\*

厦门大学

本研究围绕医疗级可穿戴柔性传感系统开展系统性研究,聚焦于高灵敏柔性压力传感阵列在无创脉搏监测中的关键作用,构建了具备临床转化潜力的集成化健康监测平台。依托仿生离子传导机制与微结构增强策略,开发出具备高灵敏度、低检测限及宽量程响应的柔性压力传感阵列,能够实现对人体脉搏波形的高保真采集与特征解析。在此基础上,提出并实现了一种自适应加压柔性脉诊仪,能够在复杂体表条件下自动调节接触压力,显著提高了脉搏信号的稳定性与测量重复性。该设备已通过二类医疗器械注册认证,

具备面向临床与家庭场景的推广基础。进一步地，系统融合柔性电极与声敏组件，构建了可穿戴心电-心音同步监测模块，实现了多模态生理信号的同步感知与智能分析，为早期心血管风险筛查与个体健康管理提供精准数据支持。本研究所提出的多模融合、柔性集成及医疗级验证路径，打破了传统电子器件与医学诊断之间的技术壁垒，为下一代高可靠性、智能化的可穿戴健康监测系统提供了范式参考。

### D16-33

#### 基于异质异构调制的柔性传感器与应用研究

刘一剑、李忠丽\*

山东科技大学

碳基与结构化金属基导电网络具有优异的力敏特性，是人机接口、形变传感、智能可穿戴传感器等方向的重要研究领域。本报告内容包括：基于结构化金属导电网络的低成本制备工艺研究，通过人体心电、肌电、脑电感知，以及小鼠植入式的电极应用，验证其在生物学工程方面的应用前景；针对碳纳米管、石墨烯等碳基导电网络具有稳定性、重复性和可设计性方面的本征欠缺，提出了微观与宏观结合的导电网络调控技术，借助微观纳米调控技术、定制化周期性异质结构和分区结构衬底的应变结构，将结构化衬底调制的碳基形变传感器应用于运动检测和人机交互。在薄膜衬底上引入周期性孔洞结构，制备异构衬底调制碳管敏感层的应力分布，并通过褶皱微结构调控导电网络敏感性和稳定性。该方案简单灵活，可进一步适用于电阻式、电容式和摩擦电式等多种类型传感器，实现对灵敏度的定制化调控。展望未来，该方法为触觉传感器、软机器人和健康监测技术等更广泛的应用提供了独特的前景。

### D16-34

#### OLED 发光金属配合物：金属微扰与次级作用

李凯\*

深圳大学

金属配合物发光分子具有丰富的光物理和光化学性质，在有机发光二极管（OLED）、光催化、发光探针和生物成像等领域具有广泛的应用。分子激发态的性质如发光量子产率、激发态寿命和能量，自旋多重度等决定了它们在不同应用领域的性能。在 OLED 发光材料领域，高效率、快速地捕获三线态激子对于 OLED 性能至关重要。因此，了解分子激发态性质的调控因素对于设计功能导向的发光材料具有重要意义。开发新型非铱金属配合物一直面临三重态激发态辐射跃迁速率慢的难题。本报告将介绍基于金属微扰作用开发热活化延迟荧光分子的设计思路。在传统的基于共价键的分子结构基础上，本报告还将介绍在分子内引入非共价作用的次级调控思路。通过利用协同效应对分子的物理化学性质进行调控，我们开发了系列新型热活化延迟荧光配合物，在高效率、低滚降和器件稳定性方面取得了重要进展。

### D16-35

#### 光电神经形态器件

周晔\*

深圳大学

神经形态器件是一类模拟生物神经系统突触可塑性与神经元动态特性的新型电子器件，可实现感存算一体化功能，在类脑计算、智能感知等领域展现出突破传统架构能效瓶颈的独特优势。我们的研究主要聚焦神经形态器件的载流子、离子输运，借助纳米技术与组装工艺，与功能型纳米材料和纳米电子学交叉融合，将光电效应融入到信息功能器件中。采用功能型有机无机复合材料构建了多种神经形态器件，以调控复合材料聚集态微结构为目标，揭示复合材料的复合原理和多模式协同增强机理，并进一步扩展了器件的感存算应用。

### D16-36

#### 多层二维材料阻变存储器的合成表征与机理研究

林伟毅\*

厦门大学

二维半导体，如二硫化钼，在纳米尺度厚度上表现出优异性能。本报告介绍了研究团队基于多层二硫化钼的阻变存储器的研究进展。通过热分解四硫代钼酸铵合成了大面积、均匀的多层二硫化钼薄膜，有效克服了化学气相沉积技术在多层材料制备中的限制。通过快速退火技术，显著缩短了薄膜的合成时间，实现了纳米级厚度控制和优异的表面平整度。基于这些材料的器件展现出稳定的非易失性阻变特征，低操作电压，高良品率和性能均一性。电学表征和机理分析证实，晶界存在和电极金属原子的协同作用对形成稳定导电通路至关重要，为理解多层二维材料阻变存储器的工作机理提供了见解。

### D16-37

#### 基于氮化镓混合集成电路的高效声光耦合及可重构微波信号处理

张亮\*<sup>1,2</sup>、闫建昌<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院半导体研究所 宽禁带半导体研发中心
2. 中国科学院大学 材料科学与光电技术学院

光子和声子之间的相互作用可以利用光学和声学域协同作用突破各自单一域应用的性能极限，在量子态转换、高精度惯性传感及宽带光调制等前沿领域展现出极其重要的作用。规模化声光混合集成是增强声光耦合、大幅提升相关器件的性能以及扩展应用维度的必由之路。然而，当前主流的集成平台很难满足对声学和光学模式的限制，制约了规模化声光混合集成电路的发展。针对这一难题，本工作基于蓝宝石衬底氮化镓开发了声光混合集成平台，实现了声学和光学模式同时在亚波长尺度微结构中的强限制，大幅增强了声光耦合强度，使得大规模系统性声光混合集成电路成为现实。另外，我们还成功演示了片上声子和光子的协同操控，以及基于声光耦合的可重构微波信息处理，验证了氮化镓材料在构建面向量子信息、先进通信及精密测量等领域的新一代智能声光融合系统方面的巨大潜力。

### D16-38

#### 面向智能显示的神经形态器件

陈惠鹏\*

福州大学

目前显示正朝着立体真实、多场景、人机交互、实时感知的显示智能化方向发展。这需要及时感知大量的外界信息，快速处理海量数据，并实时完成显示的交互。因此，未来显示技术的硬件设备将面临功耗及效率方面的巨大挑战。生物大脑因具备高效、并行处理、低功耗的特点，在处理大数据和执行人工智能算法时有着传统冯诺依曼架构计算设备所不具备的独特优势，因此将模仿人脑架构的神经形态技术与显示技术结合的神经形态显示技术将是解决未来显示功耗效率挑战的有效策略之一。本次报告将重点介绍在面向显示的存算显器件的研究工作。

### D16-39

#### Unusual Electronic and Magnetic Properties of Spin-sandwich Cr<sub>2</sub>SexI<sub>6-x</sub>

Xiaoqing Tian\*

Shenzhen University/Nanjing University

The modulation of the electronic and magnetic properties of 2D CrI<sub>3</sub> is investigated. The substitutional doping of I with Se impurities can introduces hole carriers and strain, which strongly modulate the physical properties of 2D CrI<sub>3</sub>. The Se impurities are magnetic, with their magnetic direction opposite to that of Cr atoms. Se impurities are very active and contribute shallow impurity bands into the band gap. As a result, the band gap of CrI<sub>3</sub> is reduced, and the magnetic exchange interactions between Cr atoms are significantly enhanced. The Curie temperature can be increased up to 250 K, while the large out-of-plane magnetic anisotropic energy (MAE) is preserved. The total magnetization, magnetic exchange interactions and band gap can be tuned over a wide range by varying the concentration of the Se impurities. Moreover, Se doping enables electronic polarization. The strong magnetoelectric effects of van der Waals (vdW) heterostructures composed of graphene and Janus Cr<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>I<sub>3</sub> are

also demonstrated.

#### D16-40

##### 基于机器学习的半导体材料与器件智能制备

赵超\*

中国科学院半导体研究所

传统的分子束外延（MBE）材料生长优化方法通常采用耗时的试错方式，尽管引入了数值模拟方法，但仍然依赖于模型输出的固定生长参数来指导后续材料生长。迄今为止，在材料生长过程中，基于反馈控制实现动态调整生长参数的报道较为有限。为验证反馈控制下的变参数生长方法的可行性，并为半导体外延生长开拓新的范式，我们通过机器学习技术，将原位获取的表面再构时序图像与原子力显微镜获得的量子点信息相互关联。在材料生长过程中，通过机器学习模型的输出结果指导参数动态优化，实现了对生长参数的实时反馈控制，成功调节了量子点密度。与传统方法相比，我们的方法具备原位调整能力和可靠性，能显著加速材料优化过程，提升 MBE 生长的可重复性。

#### D16-41

##### 力致发光材料及其触觉传感器件

王春枫\*

深圳大学

仿生触觉传感器作为未来人工智能系统的核心部件，是一切触觉信息采集的入口以及智能感知的前端，随着人工智能技术不断的发展和成熟，其重要性将日益凸显。报告人主要从事光电功能材料及触觉传感器件方面的研究。以力-电-光耦合效应为基础，以光电功能材料为载体，以构建智能触觉传感器件及系统为目标，从材料出发，结合结构设计，构筑了一系列发光、显示、传感等光电功能器件，探究器件力-电-光耦合作用，发展触觉刺激调控器件光电性能的新方法，实现触觉信息的超高空间分辨率、自驱动、可视化、多模态传感及显示，研究触觉传感器件与电子电路的集成，实现触觉传感器件在人机交互、智能机器人、可穿戴电子领域的应用。

#### D16-42

##### SiC 外延缺陷与少子寿命研究

张峰\*

厦门大学

半导体中的少数载流子寿命可以提高双极型半导体器件的电导调制特性，降低器件的导通电阻，所以少数载流子寿命对半导体器件性能改善和优化有着至关重要的作用。为了实现有效的电导调制效应，必须要求漂移层中的少数载流子寿命足够高。碳化硅（SiC）作为第三代宽禁带半导体的重要材料之一，它具有宽带隙，高载流子饱和速率，好的热导率等优良性质，所以可以广泛应用于耐高压、耐高温、抗辐射的大功率电子电力器件。随着 SiC 功率器件导通电阻的不断增大，靠一种载流子工作的单极型器件已经无法满足超高压应用的要求，必须使用双极型器件，双极型器件体内有两种载流子同时工作，当其击穿电压增大的同时，电导调制效应的存在能够有效降低导通电阻，好的电导调制必须要有高的少子寿命，所以希望 SiC 材料的少数载流子寿命能够达到微秒级别，从而对器件进行有效的电导调制，并实现降低导通电阻的效果。

目前商用 SiC 外延片少子寿命只有 0.5-1  $\mu\text{s}$ ，难以满足高压双极型器件需求。国际中常用的超长时间高温氧化和高温碳离子注入两种方法来提高 SiC 中的少子寿命，但是这两种方法都有很大的局限性，高温氧化常需要在 1400  $^{\circ}\text{C}$  高温环境下氧化 48 h 以上的时间来消除 100  $\mu\text{m}$  以上的厚外延的碳空位缺陷，而碳离子注入则会带来晶格损伤并且引入其他深能级缺陷。除此之外这两种方法对 P 型 SiC 外延层少子寿命的提高效果均不明显。所以市场迫切需求一种更高效率、更低成本并且对 N、P 型 SiC 外延层少子寿命均具有提高的方法。报告提供了一种高温氧化和低压氢气退火相结合的方法，不仅大幅度降低高温氧化所需时间，还可以得到更高少子寿命的外延片，并且对 N、P 型 SiC 的少数载流子寿命均能有效提高。

**D16-43****基于混合集成薄膜晶体管的高性能  $\mu$ LED 显示用 PWM 驱动方法**廖聪维\*<sup>1</sup>、唐松<sup>1</sup>、杨鹏<sup>1</sup>、王志忠<sup>1</sup>、陆磊<sup>2</sup>、张盛东<sup>2</sup>

1. 深圳技术大学

2. 北京大学深圳研究生院

微发光二极管( $\mu$ LED)显示技术凭借其超高亮度、高能效和极致对比度,可能成为超越液晶显示(LCD)和有机发光二极管显示(OLED)的下一代显示方案。然而,其核心瓶颈在于缺乏高性能的驱动背板技术。现有主流背板技术均存在显著缺陷:非晶硅(a-Si)薄膜晶体管(TFT)迁移率低、稳定性差,无法提供精准的大电流驱动及实现高密度像素内的脉冲宽度调制(PWM);低温多晶硅(LTPS) TFT 虽迁移率高、驱动能力强,但泄漏电流大、均一性差、输出特性不饱和,导致 PWM 转换精度不足;氧化物(Oxide) TFT 虽具有超低泄漏、良好均一性和饱和输出特性,利于高精度模拟集成,但其迁移率较低,难以满足高驱动电流和高速寻址的需求。

本文指出,混合集成薄膜晶体管(LTPO)技术是解决上述难题、实现高性能  $\mu$ LED 驱动的关键路径。借鉴其在高端 OLED 显示中兼顾高像素密度(PPI)与低功耗的成功经验,本研究论证了 LTPO 技术是唯一能同时满足  $\mu$ LED 显示对高帧率、高像素密度和高精度驱动要求的方案。我们提出了一种基于 LTPO 技术的新型  $\mu$ LED 像素电路及周边驱动架构:采用 CMOS 电路结构,利用 LTPS TFT 作为 PMOS 上拉管提供高速寻址和强驱动能力,利用 Oxide TFT 作为 NMOS 下拉管实现高精度模拟功能。核心创新在于引入自调零的 CMOS LTPO 电路设计,该设计能够预提取 TFT 参数漂移和分散性,并通过多级灵敏放大器精确放大微小的数据电压(Vdata)与参考电压(Vref)差值,从而实现快速且高精度的 PWM 转换。

此外,本文还系统综述和分析了当前国际上 LTPO  $\mu$ LED 显示驱动技术的最新进展,涵盖了新材料探索、器件制备工艺到电路集成创新等混合集成的关键技术领域,为相关研究提供了全面的技术视野。

**D16-44****三维 InSnZnO 双栅薄膜晶体管及其在可穿戴压力传感器的应用**

陈荣盛\*

华南理工大学

本文提出了以正辛基三乙氧基硅烷自组装分子层(OTES-SAMs)作为溅射阻挡层的高介电常数顶栅介质层溅射制备技术以及立体沟道层结构,成功研制高性能的三维 InSnZnO 沟道双栅薄膜晶体管(DG-TFT)。采用液相自组装制备的 OTES-SAMs 缓冲层,有效减轻了顶栅介质在溅射沉积过程中等离子体对 InSnZnO 沟道表面的物理损伤。此外,高介电常数的 ZrO<sub>2</sub> 顶栅介质和三维沟道结构赋予了 InSnZnO DG-TFT 优异的电学性能、稳定性和柔韧性,包括阈值电压为 0.2 V、迁移率达 41 cm<sup>2</sup>/Vs 以及具有竞争力的顶栅耦合系数值-2.24。由其构成的可穿戴压力传感器可以探测出人体太阳穴、手腕以及脚踝等多处部位的脉搏波形,结合机器学习,可推断出相应的血压波形和数值,在非侵入式人体生理信号探测领域中表现出良好的应用潜力。

**D16-45****用于神经形态计算的 Na 掺杂 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 电解质栅控突触晶体管**林劭睿<sup>1</sup>、蓝淑琼<sup>1</sup>、杨兰<sup>1</sup>、林秋宝<sup>1</sup>、陈亚勇<sup>2</sup>、许望颖\*<sup>1</sup>

1. 集美大学理学院

2. 普瑞光电(厦门)股份有限公司

超宽禁带氧化镓(Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)因其独特的光电特性,已成为新兴神经形态计算领域中一种极具潜力的材料。然而,先前关于基于 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的神经形态器件的报道主要集中在两端结构,这限制了其更广泛的应用。在这项工作中,我们提出了一种钠(Na)掺杂的 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 三端电解质栅控突触晶体管(EGSTs),用于实现神经形态计算。这种钠掺杂的 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 电解质通过低温水溶液法制备。该器件成功模拟了典型的突触行为,

包括兴奋性/抑制性突触后电流 (EPSC/IPSC)、双脉冲易化/抑制 (PPF/PPD)、短期记忆 (STM)、长期记忆 (LTM)、高通滤波以及脉冲数量依赖的可塑性 (SNDP)。钠掺杂  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  EGSTs 的突触功能源于栅极偏压下电解质中钠离子的迁移。此外,在人工神经网络 (ANN) 中验证了钠掺杂  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  EGSTs 的模式识别能力,并展现出较高的识别准确率。本研究凸显了基于  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  的三端突触晶体管在神经形态应用中的巨大潜力。

#### D16-46

##### 智能半导体器件与异质集成

梁世军\*

南京大学

随着我们从信息时代步入智能时代,数据正在智能边缘端爆炸式增长,迫切需要对这些数据进行实时的低功耗处理,从而可以从中提取出有用的信息,更加高效地服务于我们的生产和生活。传统半导体的功能是建立在掺杂的基础上,这使得传统的信息处理能力高度依赖于器件的集成密度,随着摩尔定律的终结,集成密度的增加已经趋于饱和,因此迫切需要探索全新的半导体技术,通过增强单一器件的功能开发新型的信息处理技术,满足智能时代的高能效信息处理需求。不同与传统半导体,智能半导体能够通过材料层面的调控,将传统、存储、计算、通信等功能在材料中实现了融合,显著提升了信息处理的能效,突破了传统半导体与器件的发展瓶颈。本报告将从智能半导体的制备、智能器件的设计、信息处理方案的提出等方面,介绍我们最近取得的一些研究进展。

#### D16-47

##### 基于金属氧化物半导体材料的柔性功率器件与集成电路研究

吴汪然\*、施闰肖

东南大学

一个完整的电子产品包括处理信息的系统和处理能量的系统。以 IGZO 和 ITO 为代表的金属氧化物半导体材料 (MOS) 具有较迁移率高、禁带宽度大、漏电流低等优点,大规模应用于有源矩阵显示器,基于 MOS 的信息存储和处理系统也得到了研究和快速发展。然而,由于采用 MOS 的功率器件和集成电路的缺失,作为电子产品“心脏”的能量处理系统仍需采用传统固态元器件,难以实现基于 MOS 的全集成电子产品。针对上述难题,我们开展了如下研究:研制了基于 MOS 的高耐压、低导通电阻的功率器件,击穿电压超 400V, Baliga 功率因数达  $1.4 \text{ MW}/\text{cm}^2$ , 是已有报道的 40 倍,逼近“硅极限”;研制了世界首个基于 MOS 的基准电压源和低压差线性稳压器 (LDO) 芯片,实现静态电流仅  $0.01 \mu\text{A}$  的超低功耗,远低于常规 Si 基 LDO。

#### D16-48

##### 基于纳米晶铟锌氧化物的高性能薄膜晶体管

陆磊\*、刘晋文

北京大学深圳研究生院

在本文中,我们制备了以不同组分铟锌氧化物 (Indium-Zinc Oxide, IZO) 为沟道材料的顶栅自对准结构的薄膜晶体管 (Thin Film Transistor, TFT)。随着 In:Zn 上升,器件迁移率呈现先上升后下降的趋势。X 射线衍射表征结果显示,随着 In 含量增加,IZO 薄膜由非晶态转向纳米晶态最终变为准多晶态。纳米晶态 IZO 相对非晶态 IZO 导带中的势垒低,相对准多晶态 IZO 的缺陷更少,因此器件展现出良好的迁移率与可靠性。5:1 IZO TFT 的场效应迁移率可达  $45 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , 阈值电压为 0.1 V, 亚阈值摆幅为 115 mV/dec, 电流开关比超过  $10^{10}$ , 在 3600 s 正/负偏压温度应力 ( $V_{\text{bias}} = 30 \text{ V}/-30 \text{ V}$ ,  $T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 下的阈值电压变化量为 0.3 V/-0.1 V。基于此,纳米晶 IZO 在先进显示器件和后道工艺兼容器件中具有广阔的应用前景。

#### D16-49

##### 仿生微纳孔离子传感

张振\*

中国科学技术大学

在自然界中，细胞膜上离子通道和离子泵中的精妙智能传输过程与信号传递，电位调控，能量转换与存储等多种生命活动息息相关。相关仿生体系的研究不仅对于我们理解生命体传质过程，而且对解决智能传感等相关应用领域中的关键瓶颈都有着重要意义。受生命体离子通道的结构与功能启发，我们构筑了基于仿生微纳孔材料的纳流离子传输膜，总结出了利用结构、电荷、以及界面浸润性协同作用调控离子传输进而实现功能性增强的新策略，并进一步将生命体以蛋白质离子通道为核心的能量机制引入到人工微纳米通道，构筑了多种高性能离子传感体系。

**D16-50****功能复合薄膜及其触觉传感应用**

孙启军\*

广东工业大学 广东省传感物理与系统集成应用重点实验室

柔性触觉传感器具有良好的柔韧性、拉伸性以及高灵敏度等特点，其在健康监测、人机交互、智能机器人等领域具有广阔的应用前景。压敏响应层是柔性触觉传感器件的核心组成部分，对器件的传感性能具有决定性的影响。其中，由导电填充材料以及聚合物构成的功能复合材料兼具填充材料的良好导电性能以及聚合物材料柔韧性以及拉伸性能，在柔性触觉传感器中得到了广泛应用。基于石墨与 PDMS 的复合材料，我们制备了一种类似人体皮肤结构的电阻型柔性压力传感器，证明了传感器在触觉感知、物体粗糙度识别、温度感知以及智能机器人等领域的应用。此外，基于此复合材料，自供电式电阻型触觉传感器以及摩擦电式触觉传感器也得到了成功制备，证明了其在自驱动可穿戴电子以及智能机器人电子皮肤等领域的应用潜能。

**D16-51****基于异质集成晶圆键合技术的硅基材料与器件研究**

伍绍腾\*

中国科学院半导体研究所

硅光子技术利用硅和硅基衬底材料作为光学介质，并通过集成电路工艺来制造相应的光子器件和光电器件，最终实现在光通信、光互连、光计算等多个领域的应用。而要实现硅光子技术，就需要把不同材料的优势器件大尺寸的整合到硅衬底上。此外，随着半导体技术的发展，硅光调制器和光波导等其他器件的制备已相当成熟，而硅基片上光源的缺失已逐渐成为限制硅光电集成技术发展的障碍。本报告将汇报我们采用异质集成直接键合技术把 Ge、GeSn、及 GaN 等半导体材料转移到大尺寸硅衬底上。报告将展示我们的技术可以实现小片乃至 4-8 英寸异质材料完美、无孔洞的键合。最后，将介绍基于该异质集成衬底实现的晶体管、探测器及光源器件等应用。

**D16-52****柔性可拉伸、可回收的电致发光材料与器件**

刘伟\*

苏州大学

基于热活化延迟荧光 (TADF) 机制的新型有机电致发光二极管 (OLED) 技术由于具有效率高、成本低、环境友好、生物兼容性好等显著优势，近年来受到学界和产业界的广泛关注。然而，作为该技术的基础，热活化延迟荧光材料的发展面临着发光材料力学性能差以及发光聚合物难以解聚、循环利用等亟待解决的问题。为解决 TADF 材料力学性能差的问题，我们发展了可拉伸 TADF-OLED 的聚合物材料与器件，实现了可拉伸 OLED 对三重态激子的利用[1]；为应对 TADF 聚合物难以解聚、循环利用的问题，我们设计合成出兼具可控解聚、可回收的高效电致发光聚合物，减轻了该类聚合物材料对环境造成的污染问题[2]。

参考文献:

[1] Liu, W.†, Zhang, C.†, Alessandri, R., Diroll, T. B., Li, Y, Fan, X.-C, Wang, K., Cho, H., Liu, Y.-D., Dai, Y.-H.,

Su, Q., Li, N., Li, S.-S., Wai, S., Xu, J., Zhang, X.-H., Talapin, V. D., de Pablo, J. J., & Wang, S.-H. High-efficiency stretchable light-emitting polymers from thermally activated delayed fluorescence. *Nat. Mater.* 22, 737–745 (2023).

[2] Liu, W.†, Wu, Y.-K.†, Vriza, K., Zhang C., Diroll, T. B., Li, Y., Guo P. J., Mei J.-G., Wang, S.-H., & Xu, J. Depolymerizable and recyclable luminescent polymers with high light-emitting efficiencies. *Nat. Sustain.* 7, 1048–1056 (2024).

## D16-53

### 具有分立金属线的高 NBIS 可靠性 EMMO TFT

张冬利\*

苏州大学

负偏压光照应力 (NBIS) 的不稳定性对非晶 InGaZnO<sub>4</sub> (a-IGZO) 薄膜晶体管 (TFT) 在有源矩阵显示器中的应用构成了重大挑战。本文展示了在抬高金属金属型氧化物 (EMMO) 结构 a-IGZO TFT 中引入分立的金属线以有效增强其 NBIS 稳定性。当金属线宽度达到 2.0 微米时, NBIS 引起的亚阈值电流负向偏移成功从 3.9 伏降至 0.54 伏。通过金属线对光照的屏蔽效应以及对金属线下氧空位的钝化, 实现了 TFT 的 NBIS 稳定性的增强。

## D16-54

### 宽禁带半导体范德华异质结构及射频器件

宁静\*

西安电子科技大学

基于宽禁带半导体材料体系的氮化物基半导体器件产业化已经取得了重大进展, 开辟了高频大功率电子技术时代。本研究聚焦后摩尔时代前沿研究, 围绕宽禁带半导体范德华异质构筑新技术取得了一系列原创性成果, 突破任意衬底上外延高质量宽禁带半导体薄膜的关键难题, 实现新型异质集成器件领域的创新, 为解决后摩尔时代集成电路创新发展提供思路, 拓展了范德华外延半导体器件的应用场景, 为新一代电子信息系统的发展奠定科学基础。

## D16-55

### 面向高灵敏触觉传感的空腔单晶硅薄膜结构建模与制备

孙斌\*<sup>1</sup>、马嘉伟<sup>1</sup>、Thorben Frahm<sup>2</sup>

1. 苏州大学

2. RWTH Aachen University

触觉传感器是实现人机交互、智能机器人和电子皮肤等系统中不可或缺的关键组件, 其核心在于对微弱力学信号的高灵敏、高稳定响应。本文围绕该应用需求, 提出并研究了一种基于空腔单晶硅薄膜结构的触觉传感单元设计与微纳制造工艺。该结构通过在绝缘层上硅 (Silicon-On-Insulator, SOI) 衬底材料上构建悬空腔体, 有效提升了器件对微小法向载荷的应变响应能力, 为高灵敏压力感知提供了基础。

在结构设计方面, 结合有限元数值仿真 (Finite Element Analysis, FEA) 与解析建模两种手段, 系统分析了薄膜厚度、空腔尺寸与薄膜挠度分布及等效灵敏度之间的关系。在工艺开发方面, 本文结合反应离子刻蚀、牺牲层释放及氢气热退火 (Hydrogen Annealing) 等关键步骤, 构建了具有良好均匀性与重复性的器件制备流程。为进一步理解氢气热退火条件下带孔绝缘层上硅形成闭合单晶硅薄膜的演化机制, 引入了水平集法 (Level Set Method, LSM) 对硅结构在高温氢气氛围下的形貌演变过程进行了计算机数值仿真, 揭示了初始几何结构与最终薄膜形貌和厚度分布的关系。该法为后续工艺参数优化提供了理论支持。研究结果表明, 该制备工艺可进一步减薄单晶硅薄膜厚度 (<绝缘层上硅厚度), 空腔单晶硅薄膜结构在低压 (<10 kPa) 加载下表现出明显的电容变化趋势, 具备作为微型触觉传感器核心敏感单元的潜力。

本研究为基于刚性材料实现高性能触觉感知提供了新路径, 亦可为 MEMS 压力传感器、小型化触觉系统及电子皮肤等器件平台提供结构与工艺参考。

**D16-56****Ti/Au 源漏电极的高性能纳米顶栅自对准氧化铟薄膜晶体管**吕志豪<sup>1</sup>、杨圣杰<sup>1</sup>、刘梦然<sup>1</sup>、姜振东<sup>1</sup>、王新炜<sup>2</sup>、张盛东<sup>1</sup>、陆磊\*<sup>1</sup>

1. 北京大学深圳研究生院信息工程学院

2. 北京大学深圳研究生院新材料学院

氧化铟 ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) 及掺杂氧化铟半导体薄膜晶体管 (OS TFTs), 凭借其高载流子迁移率、超低关态电流以及与后道工艺 (BEOL) 兼容等优异特性, 已成为后摩尔时代三维单片集成的有力候选者。尤其是原子层沉积 (ALD) 制备的氧化物, 能够将栅极电介质和有源沟道减薄至几纳米, 从而增强栅极的静电控制能力, 有效应对 OS TFTs 在尺寸微缩过程中带来的挑战。尽管众多纳米级 OS TFT 结构已得到验证, 但大多数器件的栅极与源漏 (S/D) 电极之间仍存在微米级的交叠从而引发显著的寄生电容, 严重阻碍了它们在要求高速运行的集成电路 (ICs) 中的实际应用。相反, 我们认为, 具有栅极与源漏无交叠结构的自对准顶栅 (SATG) 架构, 在先进集成电路中展现出巨大的潜力, 但仍需要进一步降低源漏电阻。基于此, 本文制备了一种高性能纳米顶栅自对准氧化铟薄膜晶体管 (SATG  $\text{In}_2\text{O}_3$  TFTs), 得益于等离子体增强原子层沉积 (PEALD) 技术所制备的高质量氧化铟有源层和超薄氧化铝栅介质, 所制备的器件在 200 nm 的沟长下表现出超过  $10^8$  的开关电流比 ( $I_{\text{ON}}/I_{\text{OFF}}$ ), 几乎可忽略的迟滞, 1.34V 的阈值电压 ( $V_{\text{TH}}$ ), 以及 84.8 mV/dec 的亚阈值摆幅 (SS),  $19.7\text{cm}^2/\text{Vs}$  的场效应迁移率 ( $\mu_{\text{FE}}$ ), 漏电压 1V 时的归一化跨导 ( $g_m$ ) 达到  $109.4\ \mu\text{S}/\mu\text{m}$ 。进一步研究了 SATG  $\text{In}_2\text{O}_3$  TFTs 的微缩化能力, 器件沟长从 800 nm 减小至 200 nm,  $V_{\text{TH}}$  的负漂程度小于 0.1 V, 器件性能没有出现劣化, 展现出了对短沟道效应优异的免疫特性。得益于 Ti 更低的氧间隙形成能, 使得 Ti 相较于传统的 Mo 电极更容易和  $\text{In}_2\text{O}_3$  中的 In-O 键发生氧提取反应, 捕获  $\text{In}_2\text{O}_3$  中的 O 原子并产生额外的氧空位, 进一步提高源漏区的载流子浓度, 从而降低了源漏接触电阻。通过传输线法进一步提取了两者的宽度归一化源漏电阻 ( $R_{\text{TOTW}}$ ), Mo 作 S/D 电极时  $R_{\text{TOTW}}$  为  $1.3\ \Omega\cdot\text{cm}$ , 相比之下 Ti/Au 作 S/D 电极时  $R_{\text{TOTW}}$  仅有  $0.5\ \Omega\cdot\text{cm}$ 。本文开发的纳米 SATG  $\text{In}_2\text{O}_3$  TFT 技术与 IC 后道工艺相兼容, 有望为三维单片集成技术提供新的解决方案。

**D16-57****铁电类脑智能器件**

田博博\*

华东师范大学

受生物大脑的启发, 忆阻器架构的并行模拟计算被认为是解决冯诺依曼瓶颈的潜在途径之一。基于铁电效应的忆阻器利用电场调控铁电极化来实现非易失的模拟状态, 该场调控工作机制避免了诸如基于阻变氧化物和相变材料等电流驱动器件中的焦耳热, 可以实现更低的功耗。此外, 铁电材料可以耦合光电、压电、热释电等多种外场调控效应, 这进一步拓展了铁电材料在视觉、触觉等神经系统中的仿生应用, 基于铁电材料的硬件类脑有望在能耗和功能性方面占据重要优势。本报告中总结了课题组近年来在基于铁电效应在神经形态器件方面的研究进展, 包括基于铁电鳍式二极管新型非易失存储器的无源交叉存算一体阵列 [Nature Communications, 15, 513 (2024)], 垂直隧穿沟道的铁电晶体管存储器 [Nature Communications, 15, 9701 (2024)], 应用于动态目标提取等微分应用的存内铁电差分器 [Nature Communications 16, 3027 (2025)] 和基于铁电存内感算人工神经网络的类脑视觉 [Nature Materials, 22, 1499 (2023); Nature Electronics, 3, 43 (2020)]。

**D16-58****基于 CRISPR 调控介电响应的太赫兹特异性传感器件**

范姝婷\*

深圳大学

随着太赫兹通信技术的发展, 低成本、小型化太赫兹源的普及为构建新型无线生物传感平台提供了可能。然而, 由于生物标记物 (如蛋白质、核酸) 的尺寸 (1-10 nm) 远小于太赫兹波长 (30  $\mu\text{m}$ -3 mm), 直接检测的灵敏度难以满足实际需求。利用超材料、超表面等微纳结构增强太赫兹波与生物分子的相互作用,

可提高检测灵敏度。太赫兹波对蛋白质、DNA/RNA 等生物大分子的二级结构动态变化非常敏感。本文利用 CRISPR 技术驱动纳米颗粒、DNA、RNA 的构像改变，实现了生物材料太赫兹波段介电响应的动态调控。将上述生物技术与超材料器件结合，我们在太赫兹波段实现了高灵敏度且具有分子特异性的传感。与传统技术相比较，我们的传感方法无需扩增和荧光标记，为快速肿瘤标记物检测提供了新手段。

## D16-59

### 全聚合物体异质结有机电化学晶体管

吴西湖\*

厦门大学柔性电子（未来技术）研究院

基于有机电化学晶体管（OECTs）电路的快速发展为下一代集成生物电子学带来了新机遇。全聚合物体异质结（BHJ）为实现高效双极性 OECTs 及其逻辑电路构建提供了一种极具吸引力且低成本的替代方案。本项工作首次报道了基于全聚合物 BHJ 的 OECTs，该器件由新型 p 型梯形共轭聚合物与 n 型梯形聚合物共混而成。优化后的 BHJ OECTs 表现出均衡的双极性晶体管性能，其 p 型与 n 型沟道的  $\mu C^*$  值分别达到  $2.72 \pm 1.04$  和  $1.36 \pm 0.81 \text{ F cm}^{-1} \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。这项工作不仅为新型混合离子-电子导体材料的设计提供了创新思路，更成功实现了包括反相器、与非门在内的多种功能逻辑电路，以及电生理信号放大等关键应用。研究成果为 OECTs 在生物电子学领域的产业化应用奠定了重要基础，将有力推动高性能双极性 OECTs 有机异质结的进一步发展。

## D16-60

### 自支撑钪基薄膜创制及铁电物理研究

葛琛\*

中国科学院物理研究所

钪基化合物由于其 CMOS 兼容性和纳米级尺寸的鲁棒铁电性，在纳米电子学方面显示出巨大的潜力。然而，由于二氧化钪的多晶性质以及缺乏合适的方法来表征二氧化钪薄膜的混合/复合相，这种非常规铁电性来源仍然不清晰。在这里，我们报道了厘米级无裂纹多晶  $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$  (HZO) 纳米膜，它非常适合研究微观和介观尺度上的局部晶相、取向和晶界。平面晶体结构的原子级成像表明，超过 80% 的晶粒是铁电斜方相，这些晶粒的平均直径约为 12.1 nm，值范围为 4-50 nm。这些无基底的 HZO 膜具有稳定的铁电斜方相，表明来自基底的应变不是维持这种极性相的主要原因。此外，我们将高质量自支撑薄膜转移到电镜中，通过低剂量集成微分相衬扫描透射电子显微镜直接捕获独立  $\text{ZrO}_2$  薄膜中多个亚稳态相之间的偏振切换和相关极性-非极性相变过程中的氧位移；发现了铁电保护的铁电-非铁电可逆相变的新路径。这些发现为钪基铁电薄膜亚稳态多晶型物之间的转变途径提供了原子级见解，并揭示了（反）铁电萤石氧化物中极化顺序的演变。

## D16-61

### 氧化物薄膜晶体管中阈值电压与迁移率权衡关系的优化研究

林东\*<sup>1,2</sup>、张涛<sup>2</sup>

1. 集美大学，福建省海洋信息感知与处理重点实验室
2. 集美大学，海洋信息工程学院

金属氧化物薄膜晶体管（Metal Oxide Thin-Film Transistor, MO TFT）凭借较高的载流子迁移率、优异的均匀性以及可见光区域的高透过率，近年来在显示领域获得了广泛的关注。由于常见金属氧化物中金属—氧键键能较低，所以未掺杂的 MO TFT 通常为耗尽型器件，会造成静态功耗较高的问题。为改善器件的电学性能，通常采用掺杂手段调控 MO TFT 的阈值电压。然而，大量研究表明，掺杂过程往往会导致器件的迁移率下降，形成阈值电压与迁移率之间的性能权衡。针对这一问题，本研究利用受主掺杂的方法制备了铟掺杂氧化锡 TFT，实验结果表明掺杂使器件的阈值电压正向漂移的同时，迁移率由 1.31 提升至  $8.94 \text{ cm}^2/\text{V s}$ [1]；此外，还利用铟离子、镓离子和锡离子半径不同的特点，制备了铟—镓共掺杂氧化锡薄膜晶体管。实验结果表明，当铟、镓的比例为 1:1.16 时可以有效释放掺杂所引起的晶格应力，进而保障较高的

迁移率。该实验中，最优条件下器件的阈值电压为  $15.9 \text{ cm}^2/\text{V s}$ ，阈值电压为  $0.2 \text{ V}$  [2]。

参考文献：

- [1] Ya-Fen Wei, Tao Zhang, Jia-Jie Wu, Tie-Jun Li, Dong Lin\*, Mobility Enhancement of Tin Oxide Thin-Film Transistor by Indium-Doping, *Vacuum*, 2024, 221: 112868.
- [2] Tao Zhang, Ya-Fen Wei, Chen-Shuo Zhang, Gang He\*; Tie-Jun Li; Dong Lin\*; High-Performance Tin Oxide Thin-Film Transistors Realized by Codoping and Their Application in Logic Circuits, *ACS Applied Materials Interfaces*, 2024, 16(28): 36577-36585

## D16-62

### 富铟高稳定性金属氧化物薄膜晶体管制备工艺研究

彭聪<sup>1,2,3</sup>、陈龙龙<sup>1,3</sup>、李喜峰\*<sup>1,3</sup>、张建华<sup>1,3</sup>

1. 上海大学，上海市集成电路与新型显示材料工程研究中心，上海 200072
2. 上海大学，微电子学院，上海 201800
3. 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 200072

金属氧化物基薄膜晶体管 (TFT) 具有较高的载流子迁移率、低截止电流、良好的工艺兼容性、光学透明性、低成本等优点，已经得到了大规模的研究和推广。针对未来显示用 TFT 的超高应用需求，我们开发了一种具有高迁移率特性的富铟 InZnGeO 靶材，并开发了与现有量产 TFT 制程兼容的高稳定性器件制备工艺。对于刻蚀阻挡型的底栅 InZnGeO TFT，发现通过化学气相沉积法制备的 SiO<sub>2</sub> 刻蚀阻挡层的沉积温度对 TFT 的场效应迁移率有着重大影响。通过 X 射线光电子能谱发现随着 SiO<sub>2</sub> 沉积温度从 220 °C 升高到 280 °C，SiO<sub>2</sub> 的 Si-OH 键含量降低，同时 InZnGeO TFT 的迁移率从  $23.6 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  上升到  $41.3 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，电流开关比从  $1.2 \times 10^7$  增加到  $4.3 \times 10^8$ 。通过 Silvaco Atlas 2-D 模拟器定性分析了沉积温度对 InZnGeO 薄膜中亚隙态分布的影响，通过减少与氧相关的缺陷可以抑制浅能级亚隙缺陷态。对于顶栅结构的 InZnGeO TFT，我们发现对有源层退火处理后，会发生离子半径小的 Ge<sup>4+</sup> 向离子半径大的 Ge<sup>2+</sup> 转变，导致薄膜表面粗糙度增加，进而导致 TFT 亚阈值摆幅劣化。为此，我们提出在 InZnGeO 上覆盖一层 InZnGaO 的方法来抑制这种价态转变引起的粗糙度变化。通过引入 InZnGaO 层并进行随后的退火处理，有源层表面粗糙度从 2.250 nm 降低到 0.672 nm。有 InZnGaO 覆盖的 InZnGeO/InZnGaO TFT 场效应迁移率显著地提高了 37.5%，这种改善是由于 InZnGaO/InZnGeO 结构不仅保护了富铟薄膜的表面，而且形成了异质结，为载流子输运提供了额外的路径。在 70 °C 的工作环境中施加 20 V 的正栅极偏应力 3600 s 后，InZnGaO/InZnGeO TFT 的阈值电压漂移仅为 -0.97 V。

## D16-63

### 铁电晶体管：材料、器件物理与应用

李文武\*、褚君浩

复旦大学

Artificial intelligence has entered the era of large-language models. The development of integrated circuits (ICs) lags behind the computing power demand, creating a computing power gap. Fortunately, ferroelectric transistors possess advantages such as nonvolatility, ultrafast read and write speeds, low power consumption, and high durability, which promise to enhance the speed of memories and reduce power consumption. Ferroelectric materials have the advantage of multiple state storage and are expected to be used in in-memory computing to solve the problem of the separation of memory and computation.

We have prepared high-quality, low-defect-density, and wafer-level ferroelectric materials and investigated the underlying physical phenomena and mechanisms of ferroelectric materials<sup>1-4</sup>. The charge injection and transport mechanisms have been developed to improve the transistors' performance, such as mobility and contact resistance<sup>5-6</sup>. Developing fatigue-resistant ferroelectrics using interlayer sliding switching, we realized low threshold voltage, low sub-threshold swing ferroelectric transistors for ultrafast read/write speed and high endurance memory<sup>1,7,8</sup>. Based on the high-performance ferroelectric transistors, we develop in-memory

computing chips to achieve low-power, high-precision image sensing and recognition<sup>8</sup>.

#### References

1. Wenwu Li\* and Fucui Liu\* et al, Science, 385, 57-62 (2024).
2. Wenwu Li\* and Fucui Liu\* et al, Nature Commun. 16, 4462 (2025).
3. Wenwu Li\* and Xiuyan Li\* et al, Nature Commun. 16, 4232 (2025).
4. Wenwu Li\* and Fucui Liu\* et al, Nature Commun. 16, 3026 (2025).
5. Wenwu Li\* and Yen-Fu Lin\* et al, Science Adv. 9, eadk1597 (2023).
6. Wenwu Li\* and Yen-Fu Lin\* et al, Nature Commun. 11, 2972 (2020).
7. Wenwu Li\* et al, Nature Commun. 16, 365 (2025).
8. Wenwu Li\* and Huipeng Chen\* et al, Nature Commun. 13, 7019 (2022).

#### D16-64

##### 神经形态计算中的器件随机性

杨可洲、Abhronil Sengupta\*、Dhuruva Priyan G M

The Pennsylvania State University

近年来，基于深度学习的人工智能技术获得了快速的发展，其应用对日常生活和社会生产产生了重大影响。为了降低此类人工智能系统日益增长的计算资源需求，神经形态计算希望通过借鉴生物神经系统的机制，从算法和硬件两方面对系统进行优化，设计更高效的人工智能系统。本工作通过仿真计算和实验测试的方式探究了自旋电子器件所固有的随机性。一方面，本工作基于这种随机性设计了神经元器件，并利用磁电效应实现了 P 态和 AP 态弛豫时间的独立控制。由这种神经元器件构成的脉冲神经网络经软硬件协同设计实现了基于脉冲间隔时间的编码方式，在保证准确率的同时使得网络中的脉冲激发更为稀疏。相较传统基于脉冲率编码的神经网络，在 MNIST 数字集上， $784 \times 400 \times 10$  的网络的隐藏层实现了 1.6 倍的脉冲稀疏性提升，在输出层实现了 3.77 倍的脉冲稀疏性提升。另一方面，本工作还研究了实际器件中磁矩的随机翻转和器件尺寸的关系，并通过在器件网络上直接进行训练的方式，通过训练过程补偿了器件间的性能差异。相较由纯软件方式训练并映射到器件网络的方法，直接在器件网络上进行训练使得权重更新结果与实际器件神经元性能曲线更加适配，因此具有更好的训练结果。

#### D16-65

##### 新型 p 型（超）宽禁带半导体的能带调控与双极型器件应用

刘超平\*<sup>1</sup>、何浚源<sup>2</sup>、Kin Man Yu<sup>3</sup>

1. 汕头大学

2. Center for Advanced Photovoltaics and Thin-Film Energy Devices, Mads Clausen Institute, University of Southern Denmark, Sønderborg DK-6400, Denmark

3. 国立中山大学物理系，高雄，中国台湾

（超）宽禁带氧化物半导体，如 ZnO 和 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，在现代光电子领域中具有广泛的应用潜力，包括透明导电材料、光探测器、光伏电池及高功率器件等[1-4]。然而，这些材料由于价带顶位置低、局域性强及缺陷特性复杂，导致其 p 型掺杂面临巨大挑战，极大地限制了其双极型器件应用[2]。因此，研究与开发具有高空穴浓度和高迁移率的 p 型（超）宽禁带半导体是推进该领域发展的关键[5]。本研究通过发展合金化与掺杂策略，探究了几种新型 p 型（超）宽禁带氧化物/铜基卤化物，包括 NiO、Zn<sub>1-x</sub>Ni<sub>x</sub>O、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cu<sub>2</sub>S、SnO、CuI 等。我们采用多学科交叉方法，系统揭示了其晶体结构、电子结构、缺陷物理与合金组分/掺杂浓度的关联，并探讨了与缺陷相关的超快载流子动力学[6-15]，展示了其在 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基高功率器件方面的应用潜力[12,13]。研究结果不仅为新型 p 型（超）宽禁带半导体的能带/缺陷调控及光激发态动力学提供了新理解，也有助于双极型器件的实际应用。

参考文献：

- [1] Spencer, J. A. et al. Appl. Phys. Rev. 9, 011315 (2022).
- [2] A. J. Green et al., APL Mater. 10, 029210 (2022).

- [3] S. Wu, and C. P. Liu\* et al., J. Appl. Phys. 135, 045302 (2024).
- [4] C. P. Liu\* et al., Phys. Rev. Materials 8, 044603 (2024).
- [5] J. L. Lyons et al., Current Opinion in Solid State & Materials Science 30, 101148 (2024).
- [6] C. P. Liu, and K. M. Yu\* et al., Phys. Rev. Applied 11, 014019 (2019).
- [7] K. O. Egbo, and K. M. Yu\* et al., J. Phys. Chem. C 124, 20000 (2020).
- [8] C. P. Liu, and K. M. Yu\* et al., Phys. Rev. Applied 13, 024049 (2020).
- [9] X. H. Lv, and C. P. Liu\* et al., Appl. Surf. Sci. 615, 156341 (2023).
- [10] S. J. Zha, and C. P. Liu\* et al., Appl. Surf. Sci. 661, 160070 (2024).
- [11] Z. H. Li, and C. P. Liu\* et al., Nat. Commun. 13, 6346 (2022).
- [12] X. S. Tian, ..., C. P. Liu, ... and Q. Feng\* et al., IEEE Trans. Elect. Dev. (Submitted).
- [13] M. W. Liu..., C. P. Liu, and Q. Feng\* et al., ECS J. Solid State Sci. Technol. 13, 125001 (2024).
- [14] Z. H. Li, and C. P. Liu\* et al., J. Phys. Chem. Lett. 16, 175 (2025)
- [15] Z. Y. Xu, and C. P. Liu\* et al., Appl. Phys. Lett. 126, 092101 (2025).

## D16-66

### 基于氧空位的插层杂化材料的设计与应用

王爱武\*

深圳技术大学

随着科技的不断发展,对材料性能的要求越来越高,传统材料已难以满足日益增长的需求。因此,设计和合成具有特定性能的新材料成为材料科学研究的关键任务。在众多材料设计策略中,有机-无机杂化材料因其独特的性能而备受关注。这类材料结合了有机材料的柔性和无机材料的稳定性,展现出广泛的应用前景,如在电子器件、传感器和能源转换等领域。本报告将重点介绍有机-无机插层复合材料 MB-MoO<sub>3-x</sub> 的自组装生长过程的直接观察。通过静电自组装策略,将有机分子插入层状无机材料的层间,形成有序结构的复合材料。MB-MoO<sub>3-x</sub> 展现出独特的单端多孔结构,其形成机理得到了假设和验证。利用光学显微镜、SEM、XRD、TEM、Raman、FTIR、XPS 和 EPR 等多种表征手段,研究揭示了插层导致的层间距扩大和晶体结构有序化转变,同时证明了静电相互作用在复合材料形成中的关键作用。本研究不仅深入理解了有机-无机插层复合材料的生长机制,而且为设计和合成新型功能材料提供了重要的理论和实验依据。

## D16-67

### 人工触觉感知系统的设计与应用

李昕明\*

华南师范大学

人工触觉感知技术在医疗保健、运动健康、人机交互、虚拟现实、机器人等领域具有巨大潜力。然而,传感器有限的感知和处理能力与复杂的交互行为之间难以建立准确的映射关系。本报告将重点介绍面向人工触觉感知系统设计的相关工作,分析传感系统的信号特征及处理,从而助力于人工触觉感知技术的发展。

本报告将主要介绍应变传感器的空间构形以及视触觉多维度高分辨率的触觉感知能力。讨论人工触觉感知系统反应特征的物理机制及其潜在应用,实现多轴力感测、扭矩感测和物体分类中展现出卓越性能,特别是在空间分辨率上达到或超越了与人类相匹配的微纳尺度识别与分辨能力。结合运动感知、交互行为感知以及使用者生理状况等,提供多角度的人工触觉感知与交互技术方案,推动人工触觉感知系统的设计与发展。

## D16-68

### 低介电聚酰亚胺复合薄膜的微交联结构设计及性能调控

伍巍\*<sup>1</sup>、赵婉婧<sup>2</sup>、曹贤武<sup>2</sup>

1. 季华实验室

2. 华南理工大学

利用功能多孔材料和微交联技术，成功制备了具有不同微交联结构的含氟聚酰亚胺复合薄膜。通过调整交联剂的添加顺序，制备了以分子链间（interchain）和分子链内（intrachain）微交联结构为主导的聚酰亚胺复合薄膜。研究发现，两种微交联结构均有效地降低了介电常数和热膨胀系数，同时也显著提升了复合薄膜的力学强度、热稳定性和疏水性。其中，intrachain-FPI 薄膜在保持高透光性的同时，表现出更低的介电常数和介电损耗，以及优异的柔韧性。以构建分子链内微交联为主导的微交联结构为基础，利用 POSS-NH<sub>2</sub> 功能化的 MCM-41（MCM-41@POSS）作为交联点，利用功能化多孔材料和微交联结构实现 FPI/MCM-41@POSS 复合薄膜性能的协同优化。当 MCM-41@POSS 加入量为 3 wt% 时，MCM-41@POSS 聚酰亚胺复合薄膜在 1 MHz 下的介电常数降至 1.88，介电损耗也被有效抑制在低于 0.015 的范围内。

## D16-69

### 低维纳米结构钙钛矿在发光二极管中的应用

付昱\*

中山大学 深圳

金属卤素钙钛矿材料具有制备工艺简单、带隙可调、理论发光效率高等优势，有望成为下一代 LEDs 的技术方向。目前，制备高效钙钛矿发光二极管（PeLEDs）的核心思路是通过构筑量子阱结构增大材料的激子结合能，使载流子更易辐射复合以提高钙钛矿的荧光量子产率（PLQY），进而优化 PeLEDs 的器件效率。构筑量子阱的主要策略有两种，即在特定方向减少钙钛矿晶体层数构筑准二维钙钛矿畴结构以降低材料维度，或制备尺寸与钙钛矿材料波尔半径接近的纳米粒子以增强激子性。然而，上述策略仍存在载流子注入效率低，离子迁移导致的光电性质不等价、器件寿命短等问题。因此，本文提出了两种新颖的量子阱结构构筑策略，即首次利用蒸镀法实现从三维——准二维——二维钙钛矿薄膜的可控制备，同时与现有光电制备工艺相匹配得到全蒸镀制备的大面积钙钛矿发光二极管；以及开发了基于模板法制备钙钛矿纳米线阵列薄膜的新方法，通过调控纳米线尺寸得到带隙展宽且颜色可调的 CsPbBr<sub>3</sub> 蓝光 PeLEDs，此外，通过组分工程等手段调控纳米线生长，得到基于 RGB 三原色发光的 LEDs，实现对光输出耦合效率和发光效率的协同优化，得到高效、大面积、光谱稳定的 PeLEDs。

## D16-70

### 镉量子点的合成及其在光电化学型光电探测器的应用研究

汪浩\*、张健

深圳大学

Emerging photoelectrochemical (PEC)-type photodetectors (PDs) have attracted widespread attention due to the characteristics of effective conversion of solar energy to electrical/chemical energy and low operating voltage. However, the long-term stability of device in harsh and complex liquid environments remains a thorny challenge in achieving excellent performance and practical application. Here, a novel PDs based on the CdSe<sub>0.9</sub>Te<sub>0.1</sub>/ZnS (CST/ZnS) core-shell quantum dots (CSQDs) is manufactured by simply spin-coating. Based on the PEC-testing system, the maximally photocurrent density (Pph) of 7.36  $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$  and photo-responsivity (Rph) of 700  $\mu\text{A}\cdot\text{W}^{-1}$  are performed. Even in highly corrosive HCl solution, Pph of 1.4  $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ , Rph of 6  $\mu\text{A}\cdot\text{W}^{-1}$  and response time of 90 ms can be captured. Strikingly, ultra-high photocurrent retention efficiency (PRE) of 98.1% is achieved when the sample is stored for one month and still maintains nearly half after four months in 1.0 M KOH. For 1.0 M HCl, the PRE of one month later only lost 3.7% and is surprisingly as high as 67.5% after two months. Therefore, this work not only demonstrates the possibility of CST/ZnS CSQDs-based PDs with pH-universal, but also provides new ideas for overcoming the acid-hydrolysis problem of cadmium-based semiconductor materials.

## D16-71

### Research on High Brightness Quantum Dot Light-Emitting Diodes

Dongxiang Luo\*, Wenhui Fang

Guangzhou University

Quantum dot light-emitting diodes (QLEDs) have attracted significant attention in the fields of display and lighting due to their high brightness, excellent color purity, and broad application potential. However, challenges persist in achieving charge injection balance and device stability. This study investigates the effects of different single-layer hole transport layer (HTL) and dual-layer HTLs structures on the performance of QLEDs and reveals their emission mechanism. By combining the electron-blocking ability of 4,4',4''-Tri(carbazol-9-yl)triphenylamine (TCTA) with the high hole transport ability of 4,4'-Cyclohexylidene-bis[N,N-bis(4-methylphenyl)aniline] (TAPC), the dual-layer HTLs exhibit significant performance advantages. The optimized green QLEDs achieves a brightness of up to 115929 cd/m<sup>2</sup>, demonstrating immense application potential. Furthermore, Silvaco simulations validate the optimization mechanism, showing that the dual-layer HTLs form a stepwise energy level structure that effectively reduces the hole injection barrier and suppresses electron leakage, thereby optimizing charge balance. This study provides an effective approach for the development of high-performance QLEDs.

## D16-72

### Wide Bandgap Oxide Materials and Devices

Wangying Xu\*

Jimei University

Wide bandgap oxides have shown great potential in flat-panel displays, photodetectors, gas sensors and flexible and transparent electronics due to the large bandgap, high transparency, high mobility, and good stability. In particular, thin-film transistors (TFTs) based on oxide semiconductors (e.g. IGZO) are now widely used in ultra-high-resolution and large-size LCD and OLED displays. However, oxide semiconductors also face the following challenges: (1) IGZO-TFT suffers from insufficient mobility and stability; (2) Lack of high-performance p-type oxide semiconductors. (3) Emerging low-cost flexible electronics bring new requirements for high-throughput and low-cost fabrication of wide bandgap oxides. In this talk, I will introduce our recent work on solution-processed wide bandgap oxide materials and devices, including (1) In-depth understanding of the defect states in wide bandgap oxides by using a variety of characterization techniques and in-turn strategies to reduce them. Through novel doping, interface engineering, and other strategies, high-mobility and high-stability oxide TFTs could be obtained. (2) Detailed investigations of solution-processed Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin-films for low-cost and high-performance Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-based electronic devices. (3) Vacuum-free, solution-processable high-k oxide dielectrics are considered to be a key element for emerging low-cost flexible electronics. However, they usually suffer from low breakdown strength and frequency-dependent capacitance, which limit their broader applications. We report two universal ways to improve solution-based high-k oxide dielectric properties (e.g., Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) by sulfate or boron incorporation. The optimized high-k oxides show smooth surface (rms < 0.20 nm), low leakage current (~10<sup>-7</sup> A/cm<sup>2</sup>@4 MV/cm), excellent dielectric breakdown strength (>10 MV/cm), and stable capacitance–frequency characteristics. Besides, oxide thin-film transistors based on these high-k dielectrics exhibit excellent performance (e.g., mobility >20 cm<sup>2</sup> V<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>, on/off ratio of ~10<sup>7</sup>, threshold swing of ~0.14 V dec<sup>-1</sup>, threshold voltage of ~0 V, hysteresis of ~0.02 V and superior bias stress stability). These studies will accelerate the development of next-generation display and IC technologies based on wide bandgap oxide materials.

## 墙报

## D16-P01

## 用于持久光电导和神经形态计算的超低功耗碳纳米管/卟啉突触阵列

姚建、康黎星\*、李清文

中国科学技术大学

开发具有宽温度范围光存储稳定性和超低功耗的器件仍然是用于神经形态计算的光突触器件面临的重大挑战。通过利用材料中的持久光导（PPC）特性，它可以实现光记忆和神经形态计算，超越基于冯·诺伊曼架构的系统。然而，先前的研究实现 PPC 需要额外的栅极电压和低温，这需要额外的能量消耗，并且不能在宽温度下保持光存储器的高稳定性。在这里，我们用锌(II)-中四苯基卟啉（ZnTPP）和单壁碳纳米管（SWCNTs）制备了一个简单的异质结。通过利用异质结界面处的强结合能和独特的带结构，异质结实现了在非常宽的温度范围（77 K-400 K）内的光存储。值得注意的是，它展示了高达  $2 \times 10^4$  s 的非易失性存储，而无需额外的栅电压。每个突触事件的最小能量消耗低至 6.5 aJ。此外，我们成功地证明了利用这种异质结制造柔性晶圆级阵列的可行性。我们将其应用于极端温度下的自动驾驶，达到了令人印象深刻的 94.5% 的准确率。这种可调且稳定的宽温存储能力为超低功耗神经形态计算和光存储应用带来了希望。

## D16-P02

## 正偏压光照电应力下金属氧化物薄膜晶体管退化特性研究

伍梓浪、王博、刘鹏飞、苏庆灿、张猛\*

深圳大学

金属氧化物薄膜晶体管是有源矩阵显示电路中最基本的元器件，其迁移率大小与可靠性决定了像素电路的性能与寿命，然而金属氧化物薄膜晶体管存在严重的可靠性问题。本研究对比了正偏压电应力与正偏压光照电应力的两种应力的退化特性，系统研究了金属氧化物薄膜晶体管在不同电应力强度、光功率密度及光波条件下的退化特性。借助低频噪声谱分析，揭示了正偏压光照电应力下氧空位再分布主导的退化机制，并提出基于垂直电场与氧空位电离的退化模型，为后续建立一个金属氧化物薄膜晶体管的直流可靠性的普适物理模型提供了基础。

## D16-P03

## 基于 2D MOF 湿度敏感型人工伤害感受器

闻雨、周晔\*

深圳大学

伤害感受器是一类专门负责检测潜在或实际有害刺激的感官神经元，能够将外界威胁信息迅速传递至中枢神经系统，从而触发个体的即时防御性反应，是实现“快速预警—运动响应”机制的关键节点。同时，环境湿度的变化亦会间接影响伤害感受器的敏感性和响应特性。在本研究中，我们基于高结晶质量的二维 MOF 材料构建了一种扩散型忆阻器。得益于 MOF 的多孔结构，其对水分子的高吸附能力可诱发氧化还原反应，进而促进银离子的迁移，使器件呈现出独特的湿度敏感型阈值切换行为。基于该特性，我们实现了一种具备湿度感知能力的人工伤害感受器，并成功模拟了生物体中湿度调节伤害感受过程的基本机制。这不仅拓展了伤害感受器仿生研究的维度，也为医疗监测和智能人机交互系统的构建提供了新的器件设计思路。

## D16-P04

## 基于二维共价有机框架异质结构的神经形态视觉处理

曾炜、周晔\*

广东省深圳市深圳大学高等研究院

日益增长的边缘计算和物联网（IoT）应用需求，暴露出传统冯·诺依曼架构视觉系统在能效和处理延迟方面的固有缺陷。受生物视觉机制启发，我们开发出一种基于二维共价有机框架（COF）/二硫化钼（MoS<sub>2</sub>）

范德华异质结构突触器件的人工视觉系统。该架构将具有优异光响应性和环境稳定性的超薄锌卟啉-2,5-二羟基对苯二甲醛 (ZnP-2,5-DHa) 二维 COF 纳米片, 与高迁移率二维  $\text{MoS}_2$  半导体通道相结合。所构建的器件兼具宽光谱响应与光可调突触可塑性, 可在单一集成平台上实现仿生视觉信息采集与预处理。在静态图像处理方面, 其光谱选择性响应支持基于 RGB 的降噪处理, 将卷积神经网络 (CNN) 在高噪声环境下的识别准确率从 37.9% 提升至 92.5%, 并在运动模糊车牌还原中得到了证明。在动态视觉任务方面, 将弛豫动力学与 16 种可区分的电导态结合, 实现了精确的时空运动编码, 使人工神经网络 (ANN) 的方向识别准确率达到 95.2%。本研究为下一代生物启发视觉系统提供了材料层面的创新, 为自动驾驶汽车、智能监控和神经形态边缘计算带来了变革潜力。

## D16-P05

### 基于钙钛矿忆阻器的隐写技术

苏雨薇、周晔\*

深圳大学

隐写算法与专用硬件架构的集成仍是实现物理不可克隆安全功能的关键挑战。现有硅基存储器件受限于确定性开关行为和有限可重构性, 易受基于机器学习的内容分析攻击。本研究报道了一种基于有机无机杂化卤化物钙钛矿忆阻器的隐写系统, 利用其良好的光电特性, 实现隐写算法与硬件架构的集成。本研究通过光-电协同控制器件的离子迁移, 实现加密数据通过隐写术写入图片传输后通过二次解密获取正确结果的功能。该工作为开发具有内在抗逆向工程能力的物理瞬态安全系统建立了新范式。

## D16-P06

### 氧空位调控在氧化钼比色传感器中的应用

程程、王爱武\*

深圳技术大学

氧化钼 ( $\text{MoO}_3$ ) 因储量丰富、成本低、价态丰富等优点而具有巨大应用潜力, 但其低电导率、大带隙和缓慢的反应动力学限制了进一步应用。引入氧空位形成非化学计量比的氧化钼 ( $\text{MoO}_{3-x}$ ), 可有效调节其带隙和载流子浓度, 使其具有强的局域表面等离子体共振 (LSPR) 效应和独特缺氧结构。同时 Mo 的价态易变, 使其成为优异的光致变色材料, 可用于构建比色传感器。基于此理论, 本研究开展了以下两项工作: 一是利用机器视觉结合富氧空位的  $\text{MoO}_x$  ( $2 \leq x \leq 3$ ) 纳米片, 实现了  $\text{H}_2\text{O}_2$  的快速视觉检测。随着  $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度的增加, 检测系统颜色多变, 680 nm 附近吸收峰渐降, 检测范围宽 (0.1-600  $\mu\text{mol/L}$ ), 检测限低 (0.1  $\mu\text{mol/L}$ ), 对  $\text{H}_2\text{O}_2$  选择性良好, 通过多种表征揭示了传感机制, 还构建了基于  $\text{MoO}_x$  的 HSV 视觉分析系统, 便于实际场景中快速、便携、灵敏地监测  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 具有广阔应用前景。二是设计了一种基于氧空位调控的  $\text{MoO}_x$  ( $2 \leq x \leq 3$ ) 纳米片比色传感器用于磷酸盐的检测与识别。通过调节氧空位浓度, 使  $\text{MoO}_x$  纳米片等离子体共振吸收峰可调偏移, 进而改变光学性能, 借助不同构型磷酸根离子对其光吸收范围和等离子体共振吸收峰峰值的影响差异, 结合统计分析方法, 该传感阵列成功识别了十种磷酸盐, 并在血清等复杂系统中验证了其实际应用, 制备过程简单且识别检测效果良好。氧空位调控的氧化钼纳米材料为比色传感器的构建提供了新思路, 操作简便、成本低、应用前景广阔。

## D16-P07

### 面向健康监测的柔性多模态电致变色人工突触

宗浩

人工突触在人工智能与神经形态计算领域引发广泛关注。目前大多数突触器件依赖电学参数作为突触权重, 而具备光学权重的电致变色人工突触因其可视化特性而备受期待, 但实现仍具挑战性。本工作提出一种通用策略, 基于不同取代基的紫精衍生物构建柔性多色水凝胶电致变色器件, 以透过率变化作为光学突触后电位, 实现电刺激下的多种突触可塑性行为。器件对电刺激脉冲的幅值、持续时间、脉冲个数与频率高度敏感, 展现出如双脉冲易化 (PPF) 与短期记忆 (STM) 等特性。以 2.0 V, 1.0 Hz 的低压脉冲刺激 100 次后, 器件透过率下降高达 84%, 并可维持超过 300 秒的短期保持特性。

进一步地，通过组合两种具有不同突触可塑性的可穿戴电致变色器件，可实现对心电（ECG）信号的实时响应与颜色反馈，从而直观呈现健康状态信息。该研究不仅发展了一种构建电致变色人工突触的通用方法，也拓展了其在健康监测与生理信号可视化等领域的应用场景。

关键词：人工突触；紫精；电致变色；健康监测；水凝胶

## D16-P08

### 低电压便携式紫外线剂量监测器的研究

殷子懿

太阳紫外线辐射可能会对皮肤健康产生不良影响，而便携式紫外线剂量计由于精度不足和/或功耗较高，往往无法满足紫外线剂量监测的需求。我们展示了一种基于有机场效应晶体管（OFET）存储器的低电压紫外线剂量计。该剂量计的源漏电流在黑暗和可见光下均保持不变，但在 365 纳米紫外线辐射下单调下降。归一化源漏电流的变化与累积紫外线剂量一致，与瞬时紫外线强度无关，因此该器件可作为一种实用的紫外线剂量计。这种电子剂量计具有低功耗、高灵敏度、高选择性和良好的可弯折性，在监测人体紫外线辐射暴露方面具有巨大潜力。

关键词：电子剂量计；有机场效应晶体管；紫外线监测；电荷俘获

## D16-P09

### 基于忆阻器的时间信号预测输入延迟储备池计算系统

潘翔宇

储备池计算（Reservoir Computing, RC）系统以其递归结构特性，在时序信号处理领域展现出低功耗与高计算速度的优势。本研究报道了一种基于氧化物忆阻器的新型输入延迟型储备池计算（Input Delay Reservoir Computing, ID-RC）系统，可应用于时序信号预测领域。该体系通过粒子群优化算法（Particle Swarm Optimization, PSO）获取最优超参数，在 Mackey-Glass 混沌序列的 20 步预测任务中实现了归一化均方根误差（Normalized Root-Mean-Square Error, NRMSE）低至 0.09 的优异性能。值得注意的是，该系统在厄农映射（Hénon map）和非线性自回归滑动平均模型（Nonlinear Autoregressive Moving Average, NARMA10）的时序预测中分别达到 0.047 与 0.017 的 NRMSE 值。结果表明，基于忆阻器的 ID-RC 系统在混沌时间序列预测领域具有显著应用前景。

关键词：忆阻器；电子突触；储备池计算；时间序列预测