

分会场三：纳米材料分会

磁性金属纳米催化材料

夏田雨*

郑州大学

针对磁性金属纳米催化体系的构效关系研究，调控设计纳米材料的表界面微环境是提升其催化性能的关键路径。磁性双金属活性中心周围的磁电协同局域微环境可显著调控界面电催化反应的电子传输路径。通过磁性金属组分的精准调控构建纳米异质结构，能够优化催化活性位点的配位环境，在提升磁性纳米催化剂本征活性的同时增加活性位点的数量。我们通过限域硒化反应设计并制备出了 $(\text{CoFe})\text{Se}_2@(\text{CoFe})\text{-N-C}$ 纳米复合材料，能够同时提高催化活性位点的“质”和“量”。这种优异的 $(\text{CoFe})\text{Se}_2@(\text{CoFe})\text{-N-C}$ 纳米催化材料在电化学析氧反应中表现出卓越的性能。特别是在苛刻的碱性电解质中进行了长达500小时的超长反应后，其过电位几乎保持不变。密度泛函理论计算也同时证实， $(\text{CoFe})\text{Se}_2@(\text{CoFe})\text{-N-C}$ 中的双金属硒化物和金属-N-C的催化协同效应极大地优化了中间产物的吸附能力，调控其速率决定步骤。这种调控手段有利于理解纳米催化材料构效关系的物理本质，指导提高同类反应的催化性能。

关键词 磁性金属，电催化，能源

“数据+机理”双驱动的碳纳米管智能制备及储能应用

林德武*

北京大学深圳研究生院

自1993年单壁碳纳米管（SWCNTs）发现以来，研究者们对这一材料寄予厚望。然而，其结构可控的规模化生产以及高性能宏观聚集体开发这两大挑战始终阻碍着碳纳米管材料走向全面产业化。长期的SWCNTs生长实验表明，复杂的实验参数对碳纳米管的结构控制生长带来极大的不确定性，而放量生长过程中的多维度变量耦合加剧了SWCNTs结构可控规模化生的难度。人工智能技术的发展，对解决SWCNTs“黑匣子”问题带来了契机。在我们的工作中[1]，我们将自动化合成反应器（湿实验）与机器学习模型（干实验）相结合，以数据和生长机理指导预测模型的构建，以数字孪生实验搜寻优化路径，通过分析数千次实验，实现了生长效率（提升48%）与结晶度——这两个原本相互矛盾的性能指标——的同步提升。此外，针对SWCNTs高性能宏观聚集体，我们开发了微波冲击技术，用于对碳纳米管宏观结构进行多层级工程化设计，进而实现了各项性能提升[2-5]。人工智能赋能的SWCNTs可控宏量制备与应用导向的结构工程之间的协同效应，确立了一种变革性的协同设计范式，将焦点从孤立的参数优化转向合成原材料与目标应用之间的系统协同，为推动SWCNTs材料的全面产业化提供新的思路。

关键词碳纳米管；人工智能；结构控制；宏量制备；应用导向

非金属衬底的“类金属”催化效应研究：蒙烯非金属材料无转移CVD制备

孙晓莉、刘忠范*

北京石墨烯研究院

蒙烯非金属材料作为石墨烯与传统非金属材料结合的新型复合材料，凭借其独特的电热、力学及功能化特性，在航空航天、新能源等领域展现出广阔的应用前景。而通过化学气相沉积（CVD）在非金属材料上直接生长石墨烯，为我们提供了一种新颖的、无转移的制备蒙烯非金属材料的方法。

在非金属衬底上生长石墨烯时，通常不考虑其催化作用。然而，最近的实验发现石墨烯在不同的非金属衬底上的生长行为是不同的，在部分非金属衬底上，衬底也展现出了类似于金属衬底的催化活性，使得石墨烯具有更高的生长质量。

本工作基于密度泛函理论（DFT）研究了 α -Al₂O₃和 γ -Al₂O₃等非金属衬底上石墨烯的生长机理，从碳源的裂解、碳活性物种的迁移、石墨烯的成核与边缘生长这四个石墨烯生长的基本过程出发，研究了不同表面对石墨烯生长过程的影响。结果表明，相较于气氛中， α -Al₂O₃和 γ -Al₂O₃表面上碳源的裂解能垒均有不同程度的下降，因此可以证明 α -Al₂O₃和 γ -Al₂O₃具有一定的催化能力[1]；对于不同的碳源，衬底的催化能力也不同，对于工业上常见的CH₄碳源， γ -Al₂O₃具有更强的催化能力，而对于C₂H₄、C₂H₂和C₃H₈等其他常用碳源， α -Al₂O₃的催化性能更好，碳源的裂解能垒更低[2]；而对于相同的衬底而言，无论是在 α -Al₂O₃，还是 γ -Al₂O₃衬底上，C₃H₈等三碳碳源生长石墨烯的速度都要快于C₂H₄等双碳碳源，这与实验结果一致[3]。

关键词 密度泛函理论（DFT），化学气相沉积（CVD），蒙烯非金属材料

Cyclotrimerization nucleation of dimeric carbon precursors for roll-to-roll synthesis of high-orientation graphene

宋晓峰^{1,2}、孙禄钊²、刘忠范^{*2,3}

1. 北京化工大学

2. 北京石墨烯研究院

3. 北京大学

ABSTRACT: Scalable synthesis of high-quality graphene via roll-to-roll chemical vapor deposition faces a fundamental conflict between rapid growth and crystallographic perfection. Conventional methane (CH_4)-derived growth suffers from disordered nucleation and orientation mismatch at elevated precursor pressures, limiting industrial adoption. This work resolves this challenge by employing acetylene (C_2H_2) as a carbon precursor to enable carbon dimer-mediated cyclotrimerization nucleation. First-principles calculations reveal that C_2H_2 -derived carbon dimers (C_2) spontaneously assemble into hexagonal nuclei, bypassing defect-prone chain-to-ring transitions inherent to the monatomic carbon pathway of CH_4 . This mechanism ensures >98% lattice orientation consistency even at nucleation densities of 10^4 mm^{-2} , in stark contrast to CH_4 -derived graphene. Crucially, the enhanced surface adsorption of C_2 species enables continuous nucleation during lateral growth, achieving a high growth rate of $500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ at roll-to-roll process. Leveraging dimeric carbon precursors and a single-crystallization technique, we demonstrate roll-to-roll production of graphene films with high crystallographic orientation across meter-scale Cu(111) foils. This precursor-specific strategy decouples nucleation density from disorder accumulation, establishing a scalable pathway for industrial graphene manufacturing.

关键词

graphene, chemical vapor deposition, carbon source, acetylene, crystallographic orientation

超级蒙烯材料：氧化铝衬底上直接生长石墨烯的机理研究

于朝杰、孙晓莉*

北京石墨烯研究院

超级蒙烯材料是一类通过传统工程材料表面直接沉积连续态石墨烯薄膜而形成的新型石墨烯复合材料。蒙烯氧化铝材料，作为超级蒙烯材料家族的新成员，集石墨烯和氧化铝的优异特性于一身，具有高导电、高导热、轻质量等特性，在集成电路、电加热、风电除冰等领域具有广阔的应用前景。通过密度泛函理论（DFT）计算，研究化学气相沉积法（CVD）在非金属材料表面上生长石墨烯的基本机理，对于指导实验上在氧化铝衬底上直接生长石墨烯，从而避免石墨烯在转移过程中造成的污染、褶皱与破损，具有重要意义。

本工作基于密度泛函理论（DFT）研究了 α - Al_2O_3 上多种碳源生长石墨烯的基本机理，从碳源的裂解、碳活性物种的迁移、石墨烯的成核与边缘生长这四个石墨烯生长的基本过程出发，研究了 α - Al_2O_3 (0001)表面对石墨烯生长过程的影响。结果表明：（1） α - Al_2O_3 衬底具有类金属催化活性， C_2H_2 和 C_2H_4 碳源的热裂解产物分别为 C_2H 和 C_2H_2 ，而在衬底表面主要活性物种为 C_2H ；（2）衬底表面 C_2H 的吸附性能、成核速率优于 C_2H_2 ，但 C_2H 迁移较为困难，很难迁移到石墨烯的边缘并且参与生长，因此双碳源制备蒙烯氧化铝材料的微观机理为，双碳源裂解成 C_2H 和 C_2H_2 ， C_2H 在衬底表面成核形成石墨烯核， C_2H_2 参与衬底上石墨烯的边缘生长[1]；（3）实验上 α - Al_2O_3 生长石墨烯的结果表明， C_3H_8 碳源生长石墨烯的能力优于双碳源，而 C_2H_4 和 C_2H_2 等双碳源又要优于 CH_4 [2]。

关键词密度泛函理论（DFT），化学气相沉积（CVD），蒙烯氧化铝

柔性钙钛矿太阳能电池的界面工程

李祯*、李志浩、贾春媚

西北工业大学

可穿戴电子设备的兴起推动了对柔性钙钛矿太阳能电池（FPSC）的需求。在这类电池中，电子传输层（ETL）起着关键作用，直接影响其性能和稳定性。由于电子传输层与钙钛矿之间的界面韧性较低，弯曲过程中极易产生裂纹和分层现象，影响了柔性钙钛矿太阳能电池的机械稳定性。我们通过使用有机/无机杂化电子传输层和界面粘合层，提升了柔性钙钛矿太阳能电池的效率和机械稳定性。

将水溶性聚电解质（PAA-EA）掺入 SnO_2 胶体中，构建了有机/无机杂化电子传输层。通过氢键和静电相互作用，该聚电解质增强了 SnO_2 胶体的分散性和电子传输层的拉伸强度。采用该杂化电子传输层的柔性钙钛矿太阳能电池实现了23%的效率。此外，具有树枝状结构的超支化聚合物被用作“粘合层”，通过动态氢键增强 SnO_2 与钙钛矿之间的界面韧性，凭借更高的界面附着力，柔性钙钛矿太阳能电池在5毫米半径下弯曲10000次后仍能保持初始效率的90%，该超支化聚合物还表现出较强的铅离子吸附能力，可阻挡水分侵入和铅泄漏，从而提高了柔性太阳能电池的稳定性和安全性。

关键词 柔性钙钛矿太阳能电池，电子传输层，聚电解质，氧化锡，超支化聚合物

石墨烯薄膜层数控制生长技术

孙禄钊*、陈步航、董严严、吴承锦、刘忠范

BeijingGrapheneInstitute, China

在石墨烯的各种存在形态中，连续态薄膜最能体现石墨烯的本征优异性质，通常采用金属基催化的高温化学气相沉积（CVD）生长方法获得，并通过剥离转移至各种功能衬底进行应用。相较于单层石墨烯，双层及多层石墨烯薄膜具有更易调控的能带结构、更高的导电与导热通量、以及更高的机械强度和阻隔性，受到人们的广泛关注。然而，石墨烯的层数精准控制生长还面临着重大挑战，主要包括：1）表面催化的自限制效应导致碳源供给困难，难以实现双层以上的满覆盖生长；2）表面无悬挂键导致附加层的成核困难，难以实现精确的逐层生长和层数均匀性的控制。本报告将介绍我们在石墨烯薄膜层数控制生长方面的最新突破，提出两种生长模式及对应产品体系：1）基于传统逐层生长策略的“分数层”石墨烯薄膜；2）通过多层“齐头并进”外延生长实现的“整数层”石墨烯薄膜。通过开发新型异质催化衬底、精准调控生长热力学与动力学过程并优化工艺参数，我们成功实现了工业级A3尺寸均匀三层石墨烯薄膜（ $42\times 30\text{cm}^2$ ）、米级分数层薄膜（2-5层）以及2英寸三层石墨烯单晶晶圆的制备。这些成果为二维材料层数可控合成提供了新思路，对纳米材料的原子级制造与精准控制具有借鉴意义。

关键词 石墨烯；层数控制；外延生长；化学气相沉积

MXene基柔性电磁屏蔽薄膜材料与器件

桂许春*、刘学斌、黄炜强

中山大学

近年来，MXene基功能薄膜在电磁屏蔽中的应用备受关注。本报告将介绍我们通过组装策略，对MXene薄膜中纳米片之间的结合力、以及排列有序度进行调控，从而实现优异性能的MXene电磁屏蔽和红外隐身薄膜。首先，我们通过在纳米片之间构筑强 $\pi-\pi$ 键和氢键，得到了高强度和高导率的Ti₃C₂T_x薄膜。薄膜厚度为4 μm 时，其在8.2-40.0GHz范围平均电磁屏蔽效能达到64.5dB，在THz范围（0.2-1.6THz）的电磁屏蔽效能达到71.4dB。其次，为了提高MXene薄膜的抗拉伸性能，我们通过表面褶皱工程的策略，制备了透明、可拉伸的、超宽带宽的电磁屏蔽薄膜，其在厚度为8nm时，具有超过75%的光透过率；当薄膜厚度达到100nm时，对0.1-10THz电磁波的屏蔽效能达20dB以上，比屏蔽效能达到700dB/ μm 。理论计算表明，褶皱结构通过增强薄膜导电性和表面等离子体共振效应，有效提升了其对太赫兹波的吸收能力。最后，我们通过连续离心浇筑策略，制备了高度致密、且纳米片有序排列的MXene薄膜。薄膜具有高导电率（ $1.03 \times 10^6 \text{S/m}$ ），在厚度为2.25 μm 时，其在GHz频段（8.2-40GHz）的屏蔽效能达到45dB，在THz频段（0.2-1.6THz）高达59dB。而且该薄膜实现了 $1.545 \times 10^6 \text{dBcm}^2/\text{g}$ 的超高比屏蔽效能（SSE/t）。此外，在宽红外波段（2.5-16.0 μm ）该薄膜展现出0.1的超低红外发射率，其在昼夜户外环境中具有优异的红外隐身性能。

关键词MXene薄膜；电磁屏蔽；太赫兹；红外隐身

报告人简介：

桂许春，清华大学博士，中山大学电子与信息工程学院副教授，光电材料与技术国家重点实验室固定成员，博士生导师。研究方向为碳基柔性材料与屏蔽吸波，首次提出并合成了碳纳米管海绵体。连续六年入选美国斯坦福大学全球前2%顶尖科学家榜单。主持完成了国家自然科学基金、科技部重点研发计划子课题、广东省自然科学基金杰出青年基金等项目二十余项。迄今于Nature Communications, Advanced Materials, Nano-Micro Letters等国际著名期刊发表SCI论文150余篇，被引用11,000余次，H因子57，研究成果被Science, Nature Nanotechnology, Nature Communications等重要学术刊物广泛引用。获授权国家发明专利20余件，多项专利获技术已产业化。担任

中国材料研究学会智能传感功能材料与器件分会委员、Nano-MicroLetters等多个国际期刊编委和青年编委。曾获广东省杰青、“广东特支计划”科技青年拔尖人才、香江学者等荣誉。

远程接触催化制备直径可控的半导体性碳纳米管

王江涛*

北京大学

静电催化通过施加外部电场（EEF）调控反应体系的电荷分布，从而提高反应速率并实现反应路径的选择性控制，已在小分子反应（如Diels-Alder加成）中展现出显著潜力。然而，这类反应通常要求在反应轴方向施加高达10MV/cm的定向电场，严重限制了其在大规模材料合成，尤其是涉及多反应路径或多步反应过程中的实际应用。在本研究中，我们提出并实验证明：在高介电常数生长环境中，单根单壁碳纳米管（SWCNT）尖端的能带结构可实现自发调控，前提是其另一端与低功耗电极（如碳化硅）接触。通过调节体系的费米能级至半导体型（s-）和金属性（m-）SWCNT之间态密度（DOS）差异显著的位置，我们实现了高效的静电催化过程，从而成功合成出纯度高达99.92%、直径分布极窄（ $0.95 \pm 0.04 \text{ nm}$ ）的半导体性碳纳米管水平阵列。这一方法为未来高性能碳纳米电子器件提供了关键材料支撑，也为复杂材料体系中的静电场调控合成提供了新思路。

关键词 半导体性碳纳米管，直径控制，接触催化，电场

碳纳米管气凝胶中的相调控

叶子明*

北京大学

碳纳米管已被证明具有优越的本征力学特性。但其在组装为块体材料后，宏观性能会出现大幅下降。在此，我们提出了一种相调控策略，以实现强韧且抗疲劳的碳纳米管复合材料。通过研究树脂前驱体在退火条件下的相演化及其对宏观性能的影响，优化得到了一种非晶/晶体异相结构的碳壳层，从而缓解了组装体的应力集中并抑制了疲劳裂纹的扩展，使复合材料具有优异的机械性能和高抗疲劳性（20%应变下10⁶次循环，应力可达144kPa，50%应变下5×10⁵次循环，应力达260kPa）。这项研究加深了对非晶-晶体相变的理解，并为利用相工程设计其他高性能功能材料提供了启示。

关键词碳纳米管；相调控

具有高驱动应力和预设形状变化的碳纳米管/形状记忆聚合物复合纤维

李梦*

郑州大学

通过将形状记忆聚合物（聚脲聚氨酯）和碳纳米管（CNT）填料通过湿纺工艺相结合，制备出了一种兼具热响应和电响应的纳米复合纤维驱动器。这种复合纤维（PU/CNT）表现出出色的驱动性能，包括高输出应力和快速响应，超过了大多数基于形状记忆聚合物的常规复合材料。且还具有可编程的空间变形特性，包括了从一维、二维到三维的形状转换。

关键词碳纳米管、聚脲聚氨酯、复合纤维、致动器、空间变形

Roll-to-Roll Chemical Vapor Deposition Growth of Fractional-Layer Graphene Films by Regulating Growth Modes

董严严^{1,2}、陈步航²、孙禄钊²、刘忠范^{*2}

1. 中北大学

2. 北京石墨烯研究院

Multilayer graphene films demonstrate superior electrical and thermal conductivity, mechanical properties, and barrier performance compared to monolayer, thereby exhibiting greater potential for industrial applications. However, the synthesis of multilayer graphene films continues to face critical challenges, primarily including uncontrollable layer numbers, incomplete understanding of growth mechanisms, and poor reproducibility and scalability in mass production. This study introduces the “fractional layer” concept and corresponding mathematical model to precisely quantify graphene layers for the first time. Using this metric, we systematically establish growth principles and process windows for layer-controlled graphene synthesis on copper substrates, and elucidate the multilayer growth mechanism governed by modulating the lateral growth and vertical growth kinetics. Based on this theoretical framework, the continuous preparation of 2.3-layer graphene films was achieved via industrial-scale roll-to-roll chemical vapor deposition equipment, exhibiting exceptional macroscopic uniformity and demonstrating significant potential for applications in transparent, flexible electrothermal heaters. Our work will establish a solid material foundation for the industrial application of multilayer graphene films and offer novel insights into the layer-controlled synthesis of other two-dimensional materials.

关键词 graphene; chemical vapor deposition; growth mode; roll-to-roll preparation; electrothermal films

几种含氧酸盐微纳米红色发光材料研究

何明*、朱革、边庆丰

大连民族大学

我们选择有利于激活离子辐射跃迁的白钨矿和双钙钛矿等结构的钼酸盐、钨酸盐和铝酸盐体系中具有四配位或者六配位阴离子基团的化合物为基质，开展Eu³⁺，Sm³⁺，Mn⁴⁺以及Bi³⁺激活的红色微纳米发光材料的研究。结合激发谱、发射谱、荧光寿命测试以及变温荧光光谱，系统研究稀土或者过渡金属离子掺杂发光材料的制备条件、光致发光、浓度猝灭及热稳定性。采用Rietveld结构精修结合扩展X射线吸收精细结构谱(EXAFS)确定掺入离子的配位数及所处的晶体场环境。通过发射光谱拟合、寿命分析和电子顺磁共振谱(EPR)等多种手段研究掺杂离子在晶格中所处晶场环境的差别。对比激活离子不同晶格占位条件下样品的激发和发射光谱，进一步印证局域环境对发光性能的影响。结合第一性原理计算掺杂前后晶格能带结构的变化，分析电子迁移机制。在理论与实验结合的基础上，通过晶场调控、优化制备工艺等手段改善发光材料，获得优异的红色发光性能。选择与激发波长相匹配的LED芯片涂覆发光材料，进行LED封装，研究所制备的发光材料在实用条件下的显色指数、色度坐标、量子效率等。对各种发光材料的发光特性，发光机制，温度特性，稳定性以及材料在日常照明、植物照明和防伪等应用前景等进行了较为系统和深入的分析研究。

关键词发光材料；含氧酸盐；红色发光；LED

二维锡基卤化物钙钛矿的异质集成及激光研究

师恩政*

西湖大学

锡基卤化物钙钛矿凭借其可调带隙结构、优异的光电性能及低毒性，有望成为铅基钙钛矿的理想替代材料。在本报告中，通过调控生长溶液极性，报告人团队合成了一系列二维锡基卤化物钙钛矿单晶，实现了对量子阱厚度（ n 值）的精确控制，并结合疏水性 π 共轭配体与双重氧化抑制策略稳定了 Sn^{2+} 。基于此，报告人团队系统研究了锡基钙钛矿薄层单晶的光泵浦激光行为，其荧光与激光行为均展现出了优于铅基钙钛矿的稳定性。此外，提出了一种动力学Wulff形状异质外延生长机制，可制备具有可控量子阱厚度（ $n=1-3$ ）的纯相二维铅-锡卤化物钙钛矿异质结构。这一普适性方法为合成多种相纯二维材料及异质结构，尤其是具有复杂晶体结构的材料，提供了可借鉴的新思路。

关键词 卤化物钙钛矿，锡基钙钛矿，异质结，纳米激光器

用于ppb级H₂S检测的室温柔性CNT/Fe₂O₃薄膜传感器

张丁¹、黄新光¹、上媛媛*¹、曹安源²

1. 郑州大学

2. 北京大学

碳纳米管（CNTs）具备室温响应特性、大比表面积和优异的机械性能，是设计柔性、可穿戴及便携式气体传感器的理想材料。然而，其在气体响应度与选择性方面存在不足，例如对H₂S的检测。为此，我们通过简单的一步溶剂热法制备出一种柔性碳纳米管/非晶Fe₂O₃（CNT/Fe₂O₃）薄膜用于H₂S气体传感器，可在室温下实现ppb级别检测。该CNT/Fe₂O₃薄膜气体传感器对H₂S表现出高选择性响应（对100ppbH₂S的响应高达55.1%）、室温下快速可逆响应（对100ppbH₂S的响应时间约为127秒），以及低至约2ppb的检测限。此外，该薄膜在各种弯曲条件下均能保持良好的传感性能。通过湿法拉伸技术，可将其进一步加工成纤维状气体传感器器件，并仍能保持ppb级别的响应（对100ppbH₂S的响应度为18.6%）。这项基于CNT薄膜/纤维的柔性气体传感器研究，为可穿戴便携式电子设备的应用开辟了新途径。

关键词碳纳米管薄膜，氧化铁，硫化氢，气体传感器，柔性

射线响应型动态共价聚合物用于治疗辐射损伤

宁英亦、黄帆*、刘鉴峰

中国医学科学院北京协和医学院放射医学研究所

造血系统对电离辐射极为敏感，机体受到全身照射后易出现骨髓造血抑制，而损伤的主要原因是血细胞中活性氧水平的升高，活性氧会损伤造血细胞内DNA，从而导致碱基脱落和蛋白质表达错误。目前食品药品监督管理局唯一批准临床使用的辐射防护药物为氨磷汀，但其存在给药窗口窄，代谢物不稳定等弊端。因此亟需探索有效的辐射防护剂以改善辐射造血损伤。基于此，我们设计了一种射线响应型动态共价的聚乙二醇-*b*-聚赖氨酸嵌段聚合物PEG-*b*-P(Lys-*co*-LysPBA)，其通过包载两种抗氧化药物：表没食子儿茶素没食子酸酯（Epigallocatechin-3-gallate, EGCG）和姜黄素（Curcumin, Cur），协同清除活性氧。此外，EGCG与苯硼酸之间形成的硼酸酯键可在射线照射下发生响应性断裂，从而同时释放出包载的EGCG和Cur两种药物，通过协同作用高效清除活性氧并降低射线对DNA的损伤，最终实现对急性辐射造血损伤的防护。

关键词 辐射造血损伤，聚合物胶束，动态共价

贵金属微/纳结构阵列可控构筑及光学传感研究

李越*

天津工业大学

金属周期纳米结构阵列，由于金属纳米单元之间的等离激元耦合，会产生光/电/磁新效应，是下一代光、电器件的重要基础。然而传统方法不易实现高效、低成本金属纳米周期结构阵列的大面积制备。基于激光辐照技术，发展了尺寸均一球形金属纳米颗粒的批量制备方法，进一步发展了简单高效一步法金属纳米球的合成策略，为自组装方法构筑金属周期微/纳结构阵列提供了理想单元；发展了金属纳米颗粒二聚体（Dimer）、2D（包括摩尔纹结构）、3D金属微/纳结构阵列自组装新方法，发现了2D金属周期纳米阵列的双通道光学特性，提出了光学传感新原理；实现了超强光学响应的可视化传感检测；揭示了3D金属周期微/纳结构的等离激元强耦合效应，实现了可见光波段宽带超强吸收。金属纳米结构阵列的成功自组装，为下一代光/电/热器件提供了重要的材料基础。

关键词 金属纳米阵列；等离激元；光学传感

介孔纳米纤维载体限域超细镍纳米颗粒用于萘的高效加氢饱和

孔晓冰、曹安源*

北京大学

加氢脱芳烃在去除柴油中的多环芳烃方面具有重要的意义，但由于贵金属催化剂的抗硫性较弱和传统过渡金属催化剂的加氢性能较差，效率仍然很低。我们选择碳纳米管网络作为一种限域载体，用于构建超分散镍纳米簇催化剂（Ni/SiO₂@CNT）。通过调控SiO₂的负载量、退火温度及浸渍浓度，我们获得的性能最佳的催化剂在10wt%的负载量下，在300℃、2MPa的反应条件下可以实现100%的萘转化及100%的十氢萘选择性。碳纳米管的多孔网络在稳定和分散镍物种方面起着关键作用，并且该方法也具有普适性。这项工作为高效加氢金属纳米簇催化剂的制备提供了思路。

关键词 纳米纤维；多级孔；超分散

结构畸变在光催化中的调控作用：以双Jahn-Teller位点为例

刘欢欢*

浙江农林大学

光催化技术在能源转换和环境净化领域展现出巨大的应用潜力，其效能核心依赖于光生载流子的生成、分离、传输及其在活性位点的有效利用。然而，传统光催化材料受限于宽禁带引起的可见光吸收不足、高光生载流子复合率以及有限的表面活性位点数量等问题，严重阻碍了光催化效率的提升。结构调控作为一种优化策略，能够从根本调整光催化材料的电子结构与表面特性，从而大幅提升其光催化性能。特别是Jahn-Teller (J-T) 畸变，作为一类特殊的结构调控手段，在光催化研究中获得了广泛关注。通过引入两种不同Jahn-Teller效应的金属离子形成不对称双位点结构，可以有效调节光催化性能。本研究以碱式碳酸钴 (CCH) 为模型体系，该材料具有Co-O八面体结构，并含有Co&Co双J-T位点。通过向CCH中掺杂Fe和Cu离子，成功构建了具有不同畸变程度的Fe&Co和Cu&Co双J-T位点，这些位点能够显著影响CO₂分子及反应中间体的相互作用，降低反应能垒，进而大幅提高光催化效率。结果显示，Cu&Co双位点的光催化CO₂还原效率分别比Fe&Co位点和Co&Co位点高出约2.3倍和4.2倍，同时，其选择性也达到了92.62%，明显优于Fe&Co位点（88.67%）和Co&Co双位点（55.33%）。基于上述发现，考虑到众多半导体材料均表现出J-T效应，通过构建双J-T位点来开发高效的光催化CO₂还原催化剂显得尤为前景广阔。

关键词光催化；结构畸变；双Jahn-Teller位点；碱式碳酸钴

磁畴“光刻”技术及其应用

于国强*

中国科学院物理研究所

光刻技术，作为半导体器件制造流程中的关键，对器件尺寸的精确定制起着无可替代的作用。历经半个多世纪的持续革新，光刻技术的飞跃主要得益于不断突破性地缩短光刻光源的波长上，如今，其尖端技术已能制备出2纳米级别的精细器件。深受光刻技术精髓的启迪，本报告将介绍团队近期在磁畴“光刻”技术领域所取得的进展。团队利用激光作为传输媒介，将精密复杂的电路图案准确无误地投射至磁性介质层上，从而成功塑造出高效且精准的磁畴图案。通过“激光光刻”、“X射线光刻”及“电子束光刻”三步走战略，团队通过不断减小波长，实现了磁畴“光刻”分辨率的飞跃，达到了1纳米尺度。在此基础上，团队进一步将“激光光刻”技术应用于器件制备，开发出了新型自旋电子逻辑和存储器件。磁畴“光刻”技术及其在多领域的广泛探索，无疑为自旋电子器件的开发注入了无可能与活力。

关键词 自旋电子学; 自旋调控

通过再结晶抑制策略维持超平整布里奇曼法制备单晶Cu(111)晶圆衬底以实现高质量石墨烯外延

吴承锦^{1,2}、陈步航^{1,2}、孙禄钊^{2,3}、刘忠范^{*2,3}

1. 苏州大学

2. 北京石墨烯研究院

3. 北京大学

单晶铜111及超平整的表面结构对于异质外延具有低褶皱密度和无附加层的高质量单晶石墨烯薄膜具有至关重要的作用。通过布里奇曼方法结合切割和化学机械抛光技术，为制备超平整铜111晶圆提供了一种简单而经济的方法，但在过去的很长时间内由于其与退火过程、石墨烯生长的标准高温程序不相容而被简单地丢弃。本文对加工应变和位错诱导的再结晶和反向单晶化机理进行了深入的研究。提出了一种针对于布里奇曼生长一切割—抛光（BCP）衍生的Cu（111）晶圆的再结晶阻止策略，保证了外延衬底的高单晶度（96.6%）和平坦度（0.81nm）。我们的深入研究全面了解了表面粗糙度对石墨烯薄膜的取向、附加层比例以及转移质量的影响。通过强调布里奇曼基铜衬底的重要性，我们的努力为实现超平整单晶石墨烯晶圆制造的显著成本节约奠定了基础。

关键词 单晶铜衬底，石墨烯，异质外延，平整表面

碳基柔性传感材料

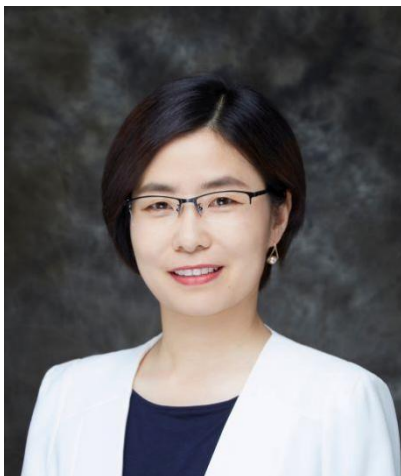
张莹莹*

清华大学

近年来，柔性可穿戴智能器件与系统的发展引起了人们广泛关注。探索高性能柔性和可穿戴电子器件的低成本、大规模制备方法具有重要意义。新型柔性可穿戴材料的开发是发展柔性可穿戴器件的重要基础。具有碳原子sp²杂化结构的纳米碳材料具有导电、轻质、稳定等优势，是一类很有潜力的柔性可穿戴功能材料。我们基于纳米碳材料与蚕丝蛋白材料优势结合和功能转化的研究思路，发展了针对柔性可穿戴应用的系列材料，例如，导电功能油墨、电子纤维材料和导电织物材料等，并在此基础上研制了系列纤维与织物基新型柔性可穿戴式传感器件，构建了感知-反馈一体化智能系统，展示其在运动监测、呼吸监测、人机交互、早期医疗诊断方面的应用前景。相关研究为高性能、多功能柔性可穿戴材料与器件的制备与应用提供了新思路。摘要撰写完成后，请上传会议网站附件。

关键词 纳米碳材料；柔性传感器；生物质碳材料；可穿戴系统

报告人简介：



清华大学化学系长聘教授，博士生导师，国家杰出青年科学基金获得者。2007年于北京大学化学与分子工程学院获得博士学位；之后在美国Los Alamos国家实验室从事博士后研究工作；2011年加入清华大学任独立课题组长。研究兴趣包括低维碳材料、蚕丝蛋白材料及其功能复合材料、柔性电子器件、智能织物和特种功能纤维。中国化学会高级会员，中国材料学会纳米材料与器件分会理事。发表论文150余篇，引用11000余次。担任AccountsofMaterialsResearch主题编

辑，Matter、Device、Science Bulletin、Advanced Materials Technologies、Cell Reports Physical Science、《科学通报》、《功能材料与器件》等期刊编委。

荧光/SPECT多模态成像探针导航乳腺癌光热/光动力治疗

杜俊杰、刘金剑*、杨丽军

北京协和医学院放射医学研究所

目的：拟设计一种新型的荧光/SPECT多模态成像纳米探针，通过获得高灵敏度的医学影像对小鼠乳腺癌进行早期快速诊断，并施加局部激光照射，最终实现对肿瘤的精准光热/光动力治疗（PTT/PDT）。

结论：成功制备了一种新型的荧光/SPECT多模态成像纳米探针，具有良好的生物体内应用安全性，通过多模态成像引导的PTT/PDT，实现了乳腺癌的诊疗一体化，为乳腺癌的精准诊断和高效治疗提供了新方法。

关键词 荧光/SPECT多模态成像；光热/光动力治疗；乳腺癌诊疗一体化

铜表面石墨烯的生长行为与蒙烯铜粉的超声雾化-化学气相沉积一体化制备

时畅^{1,2}、孙禄钊²、刘忠范^{*1,2}

1. 北京大学化学与分子工程学院

2. 北京石墨烯研究院

铜作为一种常见的金属热界面材料，因其低熔点、高延展性在散热领域拥有广阔的应用前景。但相对较低的热导率限制了其进一步应用。通过在铜表面生长高质量连续态的石墨烯有望实现铜热导率的飞跃，尤其是高比表面积铜粉表面能够实现石墨烯的高负载量。相较于常用于生长石墨烯的铜、镍等高熔点过渡金属，主族金属铜的低催化活性致使碳源催化裂解困难，低熔点的特性导致静态高温下粉体极易烧结。本工作系统性地研究了铜表面石墨烯的生长行为，提出乙炔可以作为一种快速在铜表面生长石墨烯的优质碳源，并通过氧辅助的方法在铜的表面成功实现高质量石墨烯的包覆。此外，本工作还提出一种基于超声雾化-化学气相沉积一体化制备蒙烯铜粉的设备，实现蒙烯铜粉的规模化制备。

关键词铜；石墨烯；化学气相沉积；超声雾化；粉体。

具有位点特异性选择性的拓扑单原子催化剂

冯龙¹、陈为彬²、马冰冰²、钟瑞琴¹、邹如强^{*2}

1. 中国石油大学

2. 北京大学

设计具有明确界定、完全相同的活性位点且能够实现位点特异性选择性和活性的催化剂，仍然是一项重大挑战。在本研究中，我们提出了一种基于密度泛函理论（DFT）和分子动力学（AIMD）计算的拓扑单原子催化剂（T-SACs）设计原则，其中金属单原子以不对称配置排列，电子屏蔽导致d轨道拓扑失配，从而最小化反应物与载体表面的非预期相互作用。通过电荷转移驱动方法合成的Mn₁/CeO₂催化剂在NO_x去除过程中展现出优异的催化活性和选择性。生命周期评估（LCA）表明，Mn₁/CeO₂与传统V-W-Ti催化剂相比，显著降低了环境影响。通过原位光谱表征结合密度泛函理论（DFT）计算，我们阐明了详细的反应机理。本研究确立了T-SACs作为一类有前景的催化剂，通过定义活性位点特性，为解决催化挑战提供了系统性框架。该概念突显了其在推动选择性催化过程发展和促进可持续技术应用方面的潜力。

关键词 拓扑单原子催化剂；生命周期评估；NH₃-SCR

石墨烯新材的可控创制及应用探索

孙靖宇*

苏州大学

石墨烯材料的高效开发与利用是国家重大需求，在先进储能、高性能LED、高功率散热等领域有着广阔的应用前景，但面临的问题在于难以实现规模化控制制备和厘清结构-性能构效关系。我们课题组依托苏州大学——北京石墨烯研究院协同创新中心平台，聚焦“新型石墨烯材料”这一研究方向，建立和发展了石墨烯在工程化衬底上的无转移生长方法，研制了无转移石墨烯晶圆、蒙烯隔膜、蒙烯集流体等材料。本报告将围绕直接化学气相沉积制备技术和石墨烯新材的制备科学，并初步探索其在清洁能源领域的潜在应用。

关键词 石墨烯；无转移生长；碳纳米材料；清洁能源

金属相二维材料：表界面调控与物性

陈珂*、刘卫涛、李有增、化五星

河南大学

金属相二维材料由于其特殊的能带结构和可调的电性能在量子物理、电子器件、光热电和能源催化等领域引起了研究者们极大的兴趣，石墨烯、金属相过渡金属硫族化合物、过渡金属碳/氮化合物和硅/锗烯等为该类材料的典型代表。这种二维原子薄层的富电子结构除了具备更大的暴露面积，还能够提供高效的导电通道、热电子激发以及更多的催化活性位点，相对半导体、绝缘体材料具有更高的电子迁移率、光热转换效率和表界面催化活性。然而，金属相二维层状材料大多存在相结构复杂且多变、稳定性较差等问题，无法满足实际应用的需求。寻找稳定且可控的金属相二维材料及其大规模制备方法是解决上述挑战的关键前提。因此，本报告将介绍基于化学气相沉积法制备的各种金属相二维层状材料及其表界面调控方法，并进行新物态的挖掘，探究其在量子输运、电催化二氧化碳还原、锂硫电池等方面的应用，为丰富二维材料家族、衍生新材料带来新机遇。

关键词 二维材料；金属相；表界面；量子输运；催化

低维电子材料的精准制备和结构调控

郭芸帆*

浙江大学

过渡金属硫族化合物（transitionmetaldichalcogenides, TMDC）的可控制备是当前材料化学领域的前沿，也是发展超小尺寸二维电子器件的基础。但这类二维半导体在原子尺度的精准合成、对称性调控及器件小型化方面存在诸多挑战。鉴于此，申请人开展了系统性的创新工作：1) 建立了室温合成单层非对称TMDC的新反应路径，及其在多种基底上高转化率的合成方法；实现了面外对称性的选区操纵，为二维材料的低温合成、非对称结构设计开启了新角度；2) 揭示了二维非对称半导体材料中结构-性质的关联规律；3) 开发了碳纳米管束的高顺排、高密度且表面洁净的定向组装方法，并用作TMDC晶体管的亚十纳米源漏电极，为进一步提高器件集成度提供了新途径。

关键词过渡金属硫族化合物；碳纳米管；非对称；电子器件

碳基超原子半导体

朱彦武*

中国科学技术大学

碳纳米材料研究的进一步发展和长期生命力，迫切要求实现对碳结构在原子层面上的精准调控、建立对材料性质进行理性设计的能力。富勒烯分子结构明确、性质稳定，是构筑多级结构碳基材料的优秀选择。我们通过理论计算预测了富勒烯分子晶体在常压下和施加压力时的结构衍化路径，发现在衍化过程中存在多种亚稳态超原子晶体，其性质例如电子带隙和Steinhardt序参数之间存在着明显的关系。我们还对其中若干结构的电子迁移率进行了计算，发现多种结构具备高达 $10^4 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 的高电子迁移率。在实验研究方面，我们和相关研究组发现，对富勒烯进行电子注入，是实现富勒烯之间共价连接并控制其结构的一个可行策略，并已经初步得到多种晶体包括具备半导体性质的多级结构碳材料。该类多级结构碳基半导体可为未来碳基电子器件提供新的材料选择。

关键词 superatomic crystal, fullerene, graphene, semiconductor

报告人简介：



中国科学技术大学材料科学与工程系教授，博士生导师，国家杰出青年基金获得者。2000年国防科技大学应用物理系获学士学位；2003年北京大学物理学院获凝聚态物理硕士学位；2007年新加坡国立大学获物理学博士学位。曾在新加坡国立大学和美国得克萨斯大学奥斯汀分校进行博士后研究。在新型碳材料等领域发表论文180余篇，引用40000余次。

携载VEGFsiRNA磁性碳点复合体的构建及其对肝癌的治疗和成像监测

石振洋*

山西省肿瘤医院

面对肝癌这一严重威胁全球公共健康的恶性肿瘤，探讨了其复杂的发病机制，特别是血管生成在肝癌发展中的关键作用。RNA干扰（RNAi）技术因其高效性和高靶向性，被认为是抑制血管内皮生长因子（VEGF）表达、从而遏制肿瘤生长的有效策略。然而，siRNA的递送面临稳定性差和靶向蓄积低等挑战。为此，纳米材料因其独特性质被广泛应用于药物递送和成像领域。本文通过一步水热法合成了具有荧光和磁共振成像能力的钆掺杂碳点（Gd-CDs），并在其表面偶联聚乙烯亚胺（PEI）和叶酸（FA），制备了Gd-CDs-PEI-FA纳米探针。该探针不仅增强了荧光和磁共振成像能力，还通过增加正电荷提高了基因转染效率，并实现了对肝癌的主动靶向作用。研究结果表明，Gd-CDs-PEI-FA在体外和体内的荧光和磁共振双模态肿瘤成像中表现出优异性能，并在肝癌治疗中展现出显著的抗癌效力。综上所述，本研究开发的Gd-CDs-PEI-FA纳米探针具有低细胞毒性和良好的生物相容性，为肝癌靶向成像和治疗提供了新思路，展示了其在FL/MR双模态成像纳米探针领域的巨大应用前景。

关键词 磁性碳点；VEGFsiRNA；载基因复合体；磁共振成像；肝癌

热管理用相工程复合相变材料

吴安利*

北京大学

相变材料 (PCMS) 凭借其内在的热能存储 (TES) 能力, 同时保持恒定温度, 具备双重热管理功能。然而, PCMS 的实际应用却面临诸多挑战, 主要源于其低热导率和形状稳定性问题。尽管固-固型 PCMs 在开发方面取得了显著进展, 其形状稳定性优于固-液型, 但它们的热能存储能力有所下降。在此背景下, 提出了一种通用的相工程策略来解决这些难题。该方法是将固-液型 PCMs 与颗粒基导电基质复合, 然后进行表面反应形成固-固型 PCM 外壳, 从而形成具有增强热导率、高热存储容量和最佳形状稳定性的核壳复合体。这种设计的核壳结构不仅封装了富含能量的固液型 PCM 核, 而且与固-固型 PCM 对比相比, 其热能存储能力显著提高, 最高可达 52%。经过阶段优化的高性能相变材料具有出色的散热性能, 能够将电池单元温度降低 15 摄氏度, 并在阴天或无阳光的情况下实现稳定的太阳能-热能-电能转换。这一提出的策略有望推广到其他功能性相变材料上, 为开发用于热能应用的高性能相变材料提供了极具吸引力的途径。

关键词 相变材料, 热能存储, 固固相变材料

一维纳米限域组装化学

杨峰*

南方科技大学

在限域空间研究分子的传质和组装行为对理解微观环境的化学反应、探索新型亚稳结构及物性研究具有重要意义。具有明确结构的单壁碳纳米管和团簇为原子可视化研究限域化学提供了理想的模型。近乎透明的单层卷曲的sp²碳原子层也为传递碳纳米管内腔物质的性质提供了可能。我们提出了溶液相碳纳米管主客体限域组装的策略[1, 6]，选择具有得失电子能力的团簇作为客体，通过尺寸限域效应和静电作用力驱动团簇在单壁碳管内腔有序组装。纳米限域组装为精准构筑具有极限单胞尺寸和亚稳结构的一维原子晶体开拓了新思路[2-5]。我们发展了双溶剂相碳纳米管萃取的方法，实现了一维单胞链卤化物钙钛矿晶体的限域生长[5]。利用原子分辨电镜和谱学揭示了一维单胞链晶体的非常规结构，揭示了单胞链与碳管之间的“ π -阳离子”强相互作用。这类由单层导电石墨层保护的一维单胞链钙钛矿具有独特的电子结构和稳定的晶体结构，其构筑的X射线探测器展现出优异且长期稳定的性能。

关键词 一维单胞链晶体；单壁碳纳米管；限域组装；器件

