



在实验室“种”出世界上最长石墨烯纳米带

■本报实习生 蒲雅杰 记者 冯丽妃

自 2004 年英国科学家用胶带从石墨层上“撕”出石墨烯以来,这种二维材料已经成为备受瞩目的“新材料之王”。

石墨烯具有超高的载流子迁移率,导电性优异,是未来高性能电子器件与芯片的理想候选材料。然而,其“零带隙”特征却成为限制其应用的“致命缺陷”。相比之下,宽度小于 10 纳米的一维材料——石墨烯纳米带则可以通过量子限域效应打开带隙,弥补这一缺陷。不过,制备高质量的石墨烯纳米带一直存在挑战。

近日,上海交通大学(以下简称上海交大)教授史志文团队与武汉大学教授欧阳稳根团队、中国科学院深圳先进技术研究院研究员丁峰团队、以色列特拉维夫大学教授 Michael Urbakh 团队等合作,在实验室“种”出世界上最长、性能最优的石墨烯纳米带,并分析了其优异性能背后的机制。相关研究成果发表于《自然》。

一个意外的发现

石墨烯纳米带具有适合制作晶体管器件所的带隙,是未来集成电路的理想材料。

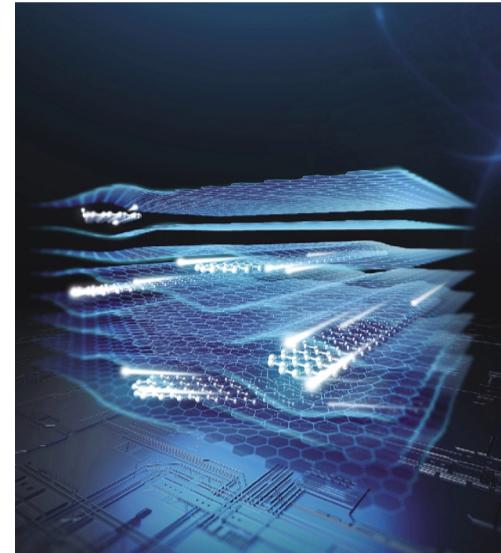
如何把二维的石墨烯变成一维的石墨烯纳米带?

全球物理学家尝试了许多方法。比如将石墨烯切割成宽度小于 5 纳米的条带来制备纳米带,但精度很难实现。即使能做出来,制备出的石墨烯纳米带也往往存在晶格缺陷、边缘结构被打乱等问题,导致性质较差。也有科学家尝试在金属单晶衬底上生长石墨烯纳米带,但成品度仅有 20 至 30 纳米,且经过转移后衬底中存在电荷杂质等无序效应,无法在实际中应用。

十几年前,史志文还在中国科学院物理研究所读博时,就开始研究石墨烯纳米带,并发现了一些制备石墨烯纳米带的方法,但并未完全解决上述问题。

2020 年,史志文在上海交大带领博士生吕博赛在六方氮化硼基底上生长另一种一维纳米材料——碳纳米管时,意外发现基底上长出的“果子”不仅有碳纳米管,还有一些比碳纳米管矮一截,高度只有零点几纳米的一维材料。

他们对这些材料进行原子分辨表征后惊喜地发现,它们竟是石墨烯纳米带。有趣的是,很多石墨烯纳米带并非生长在氮化硼基底的表面,而是嵌在氮化硼层间。



基于封装石墨烯纳米带的碳基芯片概念图。

上海交通大学供图

他们与丁峰团队合作,分析了石墨烯纳米带的形成原因,并认识到六方氮化硼基底的重要性。

“如果用生长在金属基底上的石墨烯纳米带做器件,需要将其‘机械封装’转移到其他地方,因为金属的基底会干扰测量;与此相对,六方氮化硼是非常好的绝缘体,石墨烯纳米带在六方氮化硼层间,意味着它不需要任何转移就可以实现‘原位封装’,使其结构和性质免受外界环境因素和微加工的影响,从而展现出优异的性能。”论文通讯作者史志文说。

随后,史志文抓住“意外”,指导吕博赛展开实验——在六方氮化硼基底上“种”石墨烯纳米带。

他们开展了大量实验,通过反复摸索,终于找到石墨烯纳米带生长所需的温度、气压、催化剂等培养条件。“我们把一些催化剂纳米颗粒放在六方氮化硼晶体基底上,将基底放置到管式炉中,在炉中通入甲烷气体,再把温度提升到 800 摄氏度左右让甲烷分解产生碳原子,从而在催化剂上不断长出石墨烯纳米带。”论文共同通讯作者欧阳稳根向《中国科学报》解释,“受到的阻力越小,长得越长。”

通过这种方法,研究者在六方氮化硼基底

上培育出世界上最长的石墨烯纳米带,其长度可达亚毫米量级,远超此前报道的长度。同时,其宽度仅有 3~5 纳米,且是单手性的,这意味着其具有较大的带隙,同时性质更加稳定。

实验室测量表明,这些石墨烯纳米带展现出优异的性能:载流子迁移率达 $4600 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$,开关比达 10⁴,是目前在超窄石墨烯纳米带中创造的最高纪录。

“载流子迁移率、开关比都是制作电子器件时要着重关注的性能指标。载流子迁移率越大,意味着器件响应越快,就会有更高的运算速度和更低的能量;更高的开关比则意味着能实现更有效的打开和关闭。”史志文向《中国科学报》表示,这些出色的性能有望让新研究成果在将来的纳米电子器件中发挥重要作用。

长得长的秘密是“零摩擦”

世界上最长的高性能石墨烯纳米带生长出来了,其背后的机理是什么?

为了回答这个问题,史志文联系了很多专家和团队寻求合作。其中就包括欧阳稳根。史志文看到了欧阳稳根在以色列特拉维夫大学从事博士后阶段研究期间和其合作导师 Michael Urbakh 在《纳米快报》上发表的一篇文章,论述了石墨烯纳米带在六方氮化硼基底上奇特的超低摩擦行为。他认为这可用于揭示实验中观测到的纳米带的生长机制,于是通过邮件联系 Urbakh 和欧阳稳根进行合作。

为揭示石墨烯纳米带在六方氮化硼层间的生长机制,欧阳稳根带领博士生王森对实验体系进行了大规模分子动力学模拟。

他们连续研究了 3 年,做了大量测试,对石墨烯纳米带各种生长方向的长度、宽度、变形等路径进行了模拟,发现超长石墨烯纳米带的形成与其在六方氮化硼层间滑移时呈现的结构“超滑”性质——近零摩擦耗损有关。

“六方氮化硼晶体边缘的金属颗粒催化剂会像根一样,吸收甲烷分解产生的碳原子。新的碳原子会把催化剂上已经生成的石墨烯纳米带往前推,让其不断生长。在这一滑动过程中,生成的石墨烯纳米带越长,新原子往前走时受到的阻力越大,当推力抵消不了阻力时,纳米带就会停止生长。”论文共同通讯作者欧阳稳根向《中国科学报》解释,“受到的阻力越小,长得越长。”

(下转第 2 版)

全球首条千吨级 HMF 连续中试生产线建成

本报讯(记者温才妃)日前,全球首个千吨级 5-羟甲基糠醛(HMF)连续中试生产线项目在浙江省舟山市建成。

中国科学院院士张涛领衔的专家组一致评定,位于舟山岱山的 2000 吨 HMF 的全混流连续生产关键技术生产线项目通过评审。这意味着 HMF 这一生物质新材料首次实现创新技术应用和科技成果转化。

该产业化项目以生物质资源替代传统石化资源,从淀粉、蔗糖、果糖等生物质原料中提取生物基呋喃新材料 HMF。HMF 的应用领域十分广阔,拥有耐高温、自然降解等优异性能,全球需求量超过千万吨。千吨级生物基 HMF 项目的中试成功,一举实现了高耐热聚酯和聚碳酸酯的进口替代。

据悉,该中试基地由舟山市与中国科学院宁波材料技术与工程研究所共建,该生产技术的实施将彻底改变我国 HMF 产品的进口贸易格局,直接加速下游生物基呋喃新材料产品的开发,为农林剩余生物质资源利用提供新路径。



▲全球首个千吨级 HMF 连续中试生产线项目。

◆HMF。

浙江省海洋开发研究院供图

增产超 50%,我国短生育期油菜大面积示范成功

本报讯(记者李晨)日前,“稻-稻-油”模式短生育期油菜品种观摩活动在江西省吉安市遂川县举行。经现场测产,产量比当地主推油菜品种增加 50.95%,生育期约 170 天,刷新“稻-稻-油”三熟制模式下油菜百亩机收实产新纪录。这为利用长江流域和南方冬闲田扩大油菜面积、保障食用油供给安全提供了可复制推广的综合技术解决方案。

经中国作物学会油料专业委员会组织专家田间评价,遂川县雩田镇塘境村 100 亩“稻-稻-油”周年轮作连片种植的短生育期油菜新品种“中油早 1 号”,分段机械实收亩产达 166.05 公斤,按

含油量 44.16% 计算,亩产油量约 73.33 公斤。当前,我国食用植物油对外依存度高达 70%,且进口来源地高度集中,供给安全面临巨大风险。

我国长江流域和南方双季稻区光温资源丰富,利用稻田冬闲期种植短生育期油菜、发展稻油多熟制生产,是在确保粮食生产基础上增粮扩油保供的重要途径。

中国农业科学院油料作物研究所针对稻油多熟制区域开展技术攻关。中国工程院院士、该所研究员王汉中团队成功培育出产量和抗性优良的短生育期油菜品种“中油早 1 号”。该品种解决了高产高油与短生育期的矛盾,在迟播下

中国科学院党组召开会议 研究部署党纪学习教育工作

本报讯(记者辛雨)近日,中国科学院党组召开会议,深入学习领会习近平总书记关于党纪学习教育的重要讲话和重要指示精神,认真贯彻落实党中央的工作领导小组会议和中共中央办公厅《关于在全党开展党纪学习教育的通知》精神,研究审议《中国科学院党组关于在全院开展党纪学习教育的实施方案》,部署全院党纪学习教育工作。中国科学院院长、党组书记侯建国主持会议并作动员部署,副院长、党组成员吴朝晖及院领导班子其他成员出席会议。

会议指出,在全党开展党纪学习教育,是以习近平同志为核心的党中央加强党的纪律建设、推动全面从严治党向纵深发展的重要举措。习近平总书记高度重视,多次就开展党纪学习教育发表重要讲话,作出重要指示,为开展党纪学习教育提供了根本遵循。全院各级党组织和全体党员要把党纪学习教育作为一项重要政治任务,以高度的政治自觉扎实开展党纪学习教育,做到学纪、知纪、明纪、守纪,以严明的纪律坚决把思想和行动统一到习近平总书记重要讲话精神上来,统一到党中央决策部署上来。

科学家发现 有“返老还童”功效的“焕活因子”

本报讯(记者温才妃)南京大学生命科学学院教授张辰宇、陈熹、王延博,医学院教授方雷等人发现,年轻血浆中的小细胞外囊泡具有显著延长寿命、恢复整体生理功能以及逆转与年龄相关的退化变化的能力。近日,相关研究成果发表于《自然-衰老》。

研究团队聚焦于直径小于 200 纳米的小细胞外囊泡,将年轻小鼠或人类的小细胞外囊泡重复注射给老年小鼠,探索它们的“返老还童”作用。通过体内和体外模型,该研究进一步阐明了年轻的小细胞外囊泡在逆转与年龄相关损伤和退行性变化中的关键作用。

具体来说,来自年轻血浆的小细胞外囊泡可在分子、线粒体、细胞和生理水平上对抗预先存在的衰老。将年轻的小细胞外囊泡静脉注射到老年小鼠体内可延长其寿命,减轻衰老表型,并改善与年龄相关的多个组织的功能衰退。每周向 20 月龄的老年雄性小鼠注射年轻的小细胞外囊泡,可使其中位寿命延长至 1031 天。其中最长寿的小鼠存活了 1266 天,相当于人类的 120 岁至 130 岁。这一延长寿命

的效果超过了热量限制饮食、二甲双胍及烟酰胺的效果。

研究团队通过定量蛋白质组学分析发现,经过年轻的小细胞外囊泡治疗后,老年组织的蛋白质组发生了显著变化,这些变化与代谢过程密切相关。从机制上说,年轻的小细胞外囊泡通过其携带的 miRNA 货物在体外和体内刺激线粒体稳态关键调节因子 PGC-1α 的表达,从而改善线粒体功能并减少老年组织的线粒体缺陷。

这项研究证明,年轻血浆中的小细胞外囊泡及其包裹的 miRNA 在分子、线粒体、细胞和生理水平上抵消了已经存在的衰老,其通过刺激 PGC-1α 表达和增强线粒体能量代谢来逆转退行性改变和与年龄相关的功能障碍。年轻的小细胞外囊泡作为“焕活因子”,可以稳定地发挥“返老还童”的功效,而不具有毒性或免疫功能。因此,小细胞外囊泡可作为一种多功能工具,帮助衰老组织恢复活力。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s43587-024-00612-4>

“膜”研究获两项重要突破

本报讯(记者张双虎)国家纳米科学中心研究员唐智勇和李连山团队在有机小分子分离膜和单分子层膜研究领域获得新进展。相关研究成果分别发表于《德国应用化学》和《纳米快报》。

分离膜材料在许多领域具有重要的应用价值,在水体系中,其在海水淡化、污水处理等领域已实现商业化应用。但在有机体系中,分离膜材料应用滞后。芳烃和脂肪烃的膜分离是石油工业中的关键要求。由于缺乏能够耐受有机溶剂、具有分子特异性和便于加工的膜材料,这项任务面临重大挑战。

为此,团队采用混合单体制备共价三嗪框架膜的策略,通过将一个空间单体与一个平面单体共聚,微妙地调节孔径和膜亲和力,使得分子量较低的芳烃优先于脂肪烃渗透,从而实现了芳烃和脂肪烃混合物的全液相分离。

“进一步研究发现,分子尺寸筛选和渗透分子与膜之间的亲和力协同效应,在分离这些相似的有机小分子中起着关键作用。”论文共同

第一作者、国家纳米科学中心博士后刘瑾静说,“该膜在实际操作条件下表现出优异的稳定性,这为制备芳烃和脂肪烃选择性膜提供了途径,从而在解决膜技术分离有机小分子的问题中迈出了重要一步。”

在另一项研究中,团队采用界面预组装聚合策略,合成了单分子层厚度的共价有机框架膜,用于研究其在有机溶液中的离子传输行为。

“通过反向电渗析从废弃有机溶液中提取渗透能,是一种有前景的能源提取方式。”论文共同第一作者、国家纳米科学中心博士生方慕楠说,“这能重新利用工业废物,并有助于满足不断增长的能源需求。”

研究人员发现,这种单分子层厚度的共价有机框架膜在有机溶液中呈现出电荷控制的离子传输行为。此外,这种超薄膜还具有高输出功率密度以及良好的转化效率和稳定性。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1002/anie.202320137>

<https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.4c00768>

澳大利亚大堡礁遭遇最严重“白化”



本报讯 据《自然》报道,由于气候变化导致海水变暖,澳大利亚标志性的大堡礁目前正在经历有记录以来最严重的大规模白化事件。

“这不是珊瑚礁死亡或消失的问题,而是珊瑚礁生态系统正在转变为一种新形态。”澳大利亚詹姆斯·库克大学的海洋生物学家 Terry Hughes 说。

他表示,珊瑚礁具有标志性的生物多样性,鱼类和甲壳类动物等物种都依赖于珊瑚礁提供的具有三维结构的栖息地。当失去珊瑚时,意味着所有依赖珊瑚的物种都会受影响。

根据澳大利亚政府珊瑚礁管理机构大堡礁海洋公园管理局日前发布的一份报告,被列入世界遗产名录的大堡礁正在经历有记录以来最严重的白化事件。3/4 的珊瑚礁出现了白化迹象,近 40% 的珊瑚礁出现了严重或极端的白化,其中中部和南部地区最为严重。

这是 8 年来大堡礁发生的第 5 次大规模白化事件。Hughes 警告说,气候变化导致的海洋温度上升,使大堡礁的珊瑚在两次白化事件之间更难恢复。“我们已经习惯了大堡礁每隔一年出现一次白化现象——2020 年、2022 年,现在是 2024 年,根本没有足够的时间使其恢复。”他说。



澳大利亚大堡礁珊瑚白化。

图片来源:David Gray