

# 北航研发厘米级氧化石墨烯块状材料 可用于防弹抗爆及防电磁屏蔽

北京航空航天大学化学与环境学院教授郭林团队研发出一种厘米级的基于氧化石墨烯的块状复合材料。该材料主要由氧化石墨烯和二氧化锰组成，并以层间交错的方式形成氧化石墨烯/二氧化锰的基于层状（Graphene Oxide/MnO<sub>2</sub>-based layered, GML）的块体材料，其具有质量轻、高强度、高断裂韧性和抗冲击性等特性。

课题组希望该成果在若干年内能用于航空、航天、国防科技等高精尖领域。同时，他们也发展了基于强韧化设计的复合材料理念，十分有望用于生产工程防护性复合板材，从而提升营房、弹药库等军事装备的抗爆抗侵彻能力。不过其也表示，目前这种氧化石墨烯基复合板材的生产成本相对偏高，仍有一些工程问题等待解决。

在航空航天、机械制造、电子信息等领域，性能优异的复合材料，有着迫切的实际需求和广泛的应用前景。

氧化石墨烯作为石墨烯的一种重要的衍生物，同时也是规模化生产石墨烯的关键前驱体，其具有优异力学性能、高比表面积，以及高化学稳定性等特征。

近些年来，作为制备高强度复合材料的理想填料和组装单元之一，氧化石墨烯受到学界的广泛关注。然而，目前的氧化石墨烯基复合材料，主要涉及高性能纤维、薄膜或轻质泡沫的研究制备或生产。

要想制备大尺寸的三维氧化石墨烯块体复合板材，并实现可控构筑和力学性能的提升，仍存在不小的挑战。在较大程度上，这也限制了氧化石墨烯基复合板材的实际应用范围。

而关键难题之一，在于如何构筑出可控的、多尺度的强韧化微纳界面。在氧化石墨烯纳米薄片之间，微纳界面承担着重要的桥梁作用，是提升材料的力学性能之关键。

正因此，课题组开始从大自然中寻求答案。贝壳，由一种非均相“砖-泥”的结构组成，即由多组分、多尺度、多级的矿化组装结构构筑而成。这让它具有优异的力学性能，拉伸强度约80~135MPa，杨氏模量约60~70GPa，断裂韧度约5MPa·m<sup>1/2</sup>。基于此，该团队制备出了这种仿贝壳的氧化石墨烯/二氧化锰复合材料。

该复合材料之所以具备强断裂韧性和抗冲击性，主要归因于“非晶/晶体-复杂界面”的协同强韧化作用。在分子尺度和纳米尺度上，非晶/晶体二氧化锰与氧化石墨烯纳米片之间，存在较强的相互作用力。

这时，再结合聚合物分子做进一步的交联，即可实现以非晶/晶体二氧化锰/氧化石墨烯为基础的纳米“砖-泥”结构。

而在微米尺度和宏观尺度上，微米复合薄膜片层的“软-硬”堆叠结构，呈现出高度有序的特征，这让其拥有优异的能量耗散和裂纹偏转能力。

## 此“GO”非彼“GO”： 从氧化石墨烯说起

要了解详细的研究原理，得从氧化石墨烯（Graphene Oxide, GO）说起，它是由C、O、H所构成的一种二维纳米材料。其中，C原子含量一般超过70%，O原子含量大于25%，同时含有少量H原子。

由于氧化度的不同，氧化石墨烯的不同原子组成比略有差异。因此，它没有准确的化学分子式，通常可表示为C<sub>10</sub>O<sub>1</sub>(OH)<sub>1</sub>、C<sub>10</sub>O<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>。

就其结构而言，作为石墨烯的一种重要衍生物，氧化石墨烯和石墨烯具有类似的平面结构，其平面由碳原子按照六边形进行排布，通过相互连接、最终形成蜂窝状结构。

不同于石墨烯结构，在氧化石墨烯的“基”面上，带有羟基和环氧基官能团，而其边缘则被羧基和羰基修饰。通常，单层氧化石墨烯纳米片厚度约1nm，是单层石墨烯厚度的几倍。

而氧化石墨烯纳米片的高柔性，则主要有三点原因：

第一，在二维平面内，氧化石墨烯的C原子与C原子之间通过较强的共价键作用，组成二维周期性蜂窝状点阵结构，表现出优异的层内力学特性，拉伸强度大约63GPa，杨氏模量大约207.6GPa；

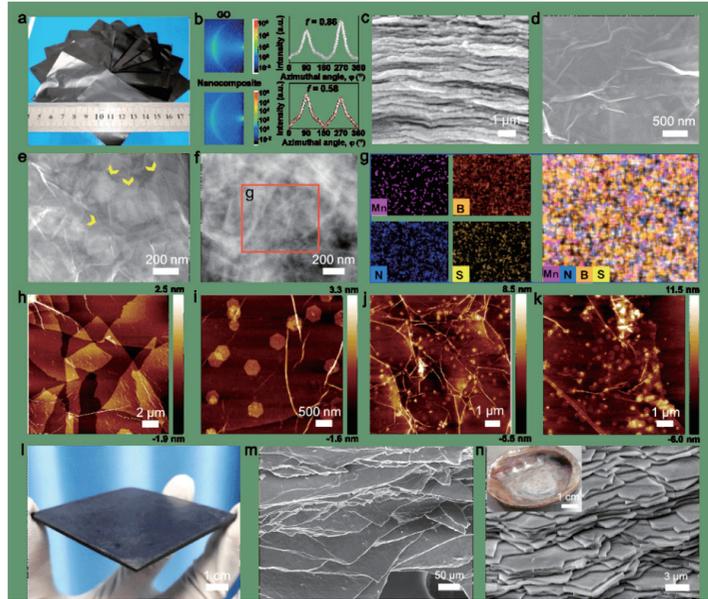
第二，氧化石墨烯纳米片具有非常大的纵横比，片层直径与厚度的比值高达几万；

这一步的结束，也意味着三维复合块体的组装单元准备工作已经完成。

第三个大步骤中，利用层层堆叠的组装-热压工艺，完成对三维复合块体材料的组装。同时，在自制模具内，对复合薄膜表面进行聚合物交联、随后层层堆叠以进行组装和浸泡、再结合热压工艺，即可实现三维复合块体复合材料的制备。

## 提出批量化制备 仿贝壳复合材料的新方法

课题组的前期研究发现，在生物的硬质矿物组织之间，存在连续的无机非晶/晶体非均相结构。这种结构能让无



nature materials  
Explore content | About the journal | Publish with us | Subscribe  
Article | Published: 07 July 2022  
Graphene oxide bulk material reinforced by heterophase platelets with multiscale interface crosslinking  
Xi Chen, Nana Tang, Binbin Ai, Caohou Chen, Yan-Mei An, Junhui Liao, Dong-Qi Tang, Hai-Xiao Kou, Guohua Li, Lin Guo

第三，在垂直二维平面方向，不再存在约束力。因此，可在微纳尺度下任意操控二维片层，哪怕折叠、扭曲/卷曲、或拉拽，都不会轻易发生断裂。就其较弱的层间相互作用而言，这一点主要归因于氧化石墨烯片层之间弱的氢键作用：即其表面含有丰富的含氧官能团，当这些片层堆叠在一起时，含氧官能团之间会产生较弱的氢键作用。

据介绍，GML材料的制造工艺主要有三大步骤：

第一个大步骤里，要完成氧化石墨烯和二氧化锰纳米材料，及其相关交联剂的宏量制备。

这一步骤又可详细分为三小步：首先，利用改进 Hummer 法，实现单层氧化石墨烯纳米片的制备；其次，利用湿化学法获得大量非晶/晶体二氧化锰纳米片；最后，利用碳酸钠溶液去除丝蛋白中的丝胶，进一步利用溴化锂溶液中的分散和透析作用，获得高纯度的再生丝蛋白溶液以备用。同时，也将其他交联剂比如海藻酸钠、硼酸盐等直接配好一定浓度的溶液。

第二个大步骤中，利用蒸发组装工艺实现高强度、高韧性的复杂体系，进而大量制备复合薄膜材料。期间，会从一个元体系“来到”五元体系，而通过不断优化其组分和微结构，就能实现复合薄膜力学性能的最优化，进而获得强度高、模量高、韧性大的复合薄膜材料。

机相和有机相之间的粘附作用得到有效提升，也是矿物组织材料具有优异力学性能的关键所在。

但是，因为缺乏构筑非晶/晶体异质相的有效方法，在仿生复合材料的制备中，很少有人运用这一设计理念。

此次研究中，基于该团队此前已发展的纳米材料合成技术、界面强化策略、以及“自下而上”的自组装工艺，加之受到天然贝壳微纳结构的启发，他们设计出一条仿贝壳层状复合材料的制备路线。

其基于纳米结构的单元合成、非晶/晶体异质相-复杂界面的构筑、及其可控的组装，能以可控的方式，来组装和制备氧化石墨烯基复合板材。这种板材的力学性能十分优异，并且达到厘米尺度。

此外，该研究还发现了一个新规律：非晶二氧化锰与氧化石墨烯纳米片之间，存在更强的相互作用力。这一作用是实现氧化石墨烯基复合材料的优异力学性能的关键所在。

就实际应用的意义而言，针对柔性二维纳米材料从纳米尺度、到宏观尺度的可控组装，以及具备优异力学性能和多功能的宏观器件的制备，此次研究可提供一定的理论借鉴。

近日，相关论文以《多尺度界面交联非均相片层增强氧化石墨烯块体材料》(Graphene oxide bulk material reinforced by heterophase platelets with multiscale interface crosslinking)为题发表在 Nature Materials 上。

陈科担任第一作者，唐旭科、贾彬彬为共同第一作者；北京航空航天大学航空科学与工程学院教授董雷霆、北京大学口腔医院特诊科邓旭亮教授、以及郭林担任共同通讯作者。

## 多年探索，给出科研硕果

事实上，贝壳早已成为该团队的研究灵感来源。2011年至2015年，在国家重大科学研究计划的支持下，受到贝壳珍珠的多级次结构、以及力学性能关联机制的启发，他们以氧化石墨烯纳米片等为主的微基元材料，针对微纳米复合材料的“异质界面相互作用及协同效应”这一关键科学问题，开展了系统性研究。

期间，他们利用氢键、离子键、共价键、非晶化键合、以及协同作用等，不断优化界面作用力，结合“自下而上”的组装工艺，包括层层组装、真空辅助机械组装、蒸发组装、旋涂等，最终获得了具有高强度、高韧性的氧化石墨烯基复合薄膜材料。也为大尺寸的氧化石墨烯基复合材料的开发，夯实了一定理论基础和技术支撑。

2016年，本次论文的共同第一作者贾彬彬博士，在自然界树叶结构的启发下，制备出一种叶脉叶肉复合结构的二氧化锰六角纳米片材料。其结构类似于叶肉，是一个大约0.6nm厚的非晶层，并由2~4nm宽的脉状晶体骨架支撑着。

而在此次工作里，非晶/晶体二氧化锰自成膜后，即可生成优异的力学性能，且明显高于纯晶体的二氧化锰纳米片。同时，当非晶/晶体二氧化锰与氧化石墨烯纳米片成膜后，模量、硬度、以及拉伸强度也得到大幅提升。

基于此，他们有了将氧化石墨烯与非晶/晶体二氧化锰纳米片复合，以构筑氧化石墨烯基复合板材的想法。

2017年至2022年，通过广泛的文献调研该团队发现：对氧化石墨烯基复合材料的研究，几乎全部集中在纤维、薄膜和泡沫材料，很少有人关注大尺寸氧化石墨烯基复合板材研究。

很显然，相比之前的氧化石墨烯基复合材料，大尺寸的板材具有更广泛的实际应用前景。因此，课题组试图研发大尺寸、力学性能优异的氧化石墨烯基复合板材。

执行中也面临诸多困难，最终经过4年多的研究探索，终于获得了所预期的实验结果。

尤其在探索阶段，经历了长达1个多月加班加点，就原料合成和薄膜制备做准备。但却因为当时的实验条件尚未得到优化、以及制备工艺不完善等，所有辛苦功亏一篑。

即便经历几十次失败，他们依然没有轻言放弃。最终通过不断优化实验条件和制备工艺，终于造出GML块体仿贝壳材料。

通过对模型进行不断优化，课题组最终完美诠释了GML块体复合材料在多个尺度下的强韧化机制，也为在复杂体系下设计高强度、高韧度的复合材料提供了借鉴。

而距离材料量产，仍需解决三个问题。第一，目前在制备时，生产工艺相对复杂、能耗也高，成本自然也“水涨船高”。期间也会用到大量强酸、强氧化剂、有机溶剂以及水等，这会产生大量废液。因此，在大量生产单层氧化石墨烯原料时，需要解决成本问题和环境污染问题。

第二，还需通过改性、或者还原改性，来对制造工艺进行处理，以解决氧化石墨烯材料本身的亲水问题，从而拓展实际应用的范围。

第三，还需继续优化组装工艺设备，以满足量产对于堆叠组装的要求。

基于此，下一阶段该团队的两个研究目标分别是：研究氧化石墨烯基、以及改性氧化石墨烯基复合板材在营房的防电磁屏蔽、抗爆、抗弹方面的应用研究；并通过宏观氧化石墨烯纳米片进行规模化的改性，以用于开发功能化涂层，进而用于防静电和电磁屏蔽等。

# 乔治亚理工学院研究人员的新发现违反了标准的物理定律

当人类、动物和机器在世界各地移动时，它们总是会遵循动量守恒定律。然而，来自乔治亚理工学院的科学家们现在已经证明了相反的情况——当物体存在于弯曲的空间中时，事实表明，它们实际上可以在不遵守该定律的情况下移动。

这些发现于7月28日发表在《美国国家科学院院刊》上。在这篇论文中，一个科学家团队创造了一个被限制在球形表面的机器人，它与环境的隔离程度是前所未有的，因此这些曲率引起的影响将占主导地位。研究人员由乔治亚理工学院物理学院的副教授 Zeb Rocklin 领导。

“我们让形状变化物体在最简单的弯曲空间，即球体上移动，以系统地研究弯曲空间的运动，”Rocklin 说，“我们了解到，预测的效果确实发生了，它是如此的反直觉，以至于被一些物理学家所否定：当机器人改变其形状时，它以一种不能归因于环境相互作用的方式围绕球体向前移动。”

科学家们开始研究一个物体如何在一个弯曲的空间内移动。他们最小的互动或动量交换。为了做到这一点，他们让一组电机作为运动质量在弯曲的轨道上驱动。然后，他们将这个系统整体连接到一个旋转轴上，使电机始终在球体上运动。为了尽量减少摩擦，轴由空气轴承和弹簧支撑。为了最大限度地减少重力的残余力量，轴的排列被调整为与地球的重力一致。

从那时起，当机器人继续移动时，重力和摩擦力对它施加了轻微的力。这些力与曲率效应混合在一起，产生了一种奇怪的动态，其特性是两者都无法单独引起的。这项研究提供了一个重要的示范，说明弯曲的空间是如何实现的，以及它如何从根本上挑战为平面空间设计的物理规律和直觉。Rocklin 希望所开发的实验技术将使其他研究人员能够探索这些弯曲的空间。

虽然影响很小，但随着机器人技术变得越来越精确，了解这种曲率引起的现象可能具有实际意义，就像重力引起的轻微频率偏移对 GPS 系统向轨道卫星准确传达其位置变得至关重要。最终，如何利用空间的曲率进行运动的原理可能会让航天器在黑洞周围的高度弯曲的空间中航行。

“这项研究也与‘Impossible Engine’研究有关，”Rocklin 说，“它的创造者声称，它可以在没有任何推进剂的情况下向前移动。那个引擎确实是不可能的，但是由于时空非常轻微的弯曲，一个设备实际上可以在没有任何外力或发射推进剂的情况下向前移动——这是一个新发现。”

(杭科)



# 科学家突破光合作用极限 或可解决地球及星际旅行 粮食问题

虽然植物光合作用是地球多数生命维生关键，但光合作用利用阳光的效率很低，仅约1%阳光能量存于植物内。最近美国加州及特拉华州科学家发明全新光合作用反应途径，提高能量使用率18倍！如果将系统用在提高作物生产效率，可降低农业对环境的冲击。该成果6月刊登于《自然-食物》(Nature Food)期刊。

植物、藻类的叶绿体光合作用是利用太阳光能量，将环境吸收的二氧化碳和水转化为碳水化合物（如纤维素、淀粉、糖等），除了提供自己的生长养分，也为其他生物的食物来源。虽然光合作用在自然界历史数亿年演化，但其实植物光合作用效率并不高，只有约1%阳光能量保存于植物内。虽然植物滋养地球无数生命，但若能提高光合作用效率，可更提高农业产量，间接降低对环境的冲击。

最近加州大学河滨分校和特拉华大学科学家合作新技术，先使用电解器将二氧化碳和水转化为醋酸离子（CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>），藻类、酵母菌、蕈类及莴苣等就算黑暗中也能利用含这些醋酸离子的营养液成长。研究团队成功摆脱人类对植物光合作用的依赖，可让各种经济作物成长茁壮，这类模仿生物自然光合作用的化学技术称为“人工光合作用”(Artificial Photosynthesis)。与自然光合作用相比，人工光合技术培养藻类的能量效率高达4倍；培养酵母菌能量效率更比传统法高约18倍。

此研究成果突破传统植物光合作用的极限且具极大应用空间，通过“外太空食物挑战赛”第一阶段考验，获得2.5万美元奖金。该挑战赛是NASA及加拿大太空总署协办的国际竞赛，获奖团队必须创造新颖且颠覆未来的粮食生产技术，且技术必须高效使用能源，并提供长期太空任务所需的安全营养且美味的食物来源。

科技进步永无止境，也许有一天，人工光合作用技术真能帮助实现人类于太空种植作物的愿景。在此之前，或许能先帮助解决农业大规模生产对地球生态的冲击及污染。

(杭科)

# NASA将在登月飞船中搭载苹果iPad 测试亚马逊数字助理Alexa

8月11日，美国国家航空航天局(NASA)宣布将在“阿尔忒弥斯1号”(Artemis 1)登月任务的“猎户座”无人飞船中安装一块苹果iPad，用于测试亚马逊数字助理Alexa在太空中的响应情况。



时测试猎户座飞船的隔热罩性能。但其中一项名为Callisto的飞船通信技术实验将展示民用消费级技术如何与未来航天器有效结合在一起。

Callisto技术演示将集成亚马逊数字助理Alexa和思科的视频会议系统WebEx，目的是演示语音指令如何改善宇航员在太空中的生活和工作。洛克希德·马丁公司和NASA目前正在与亚马逊和思科合作开发。

“我可以想象，未来宇航员可以通过简单的语音指令获取航天器飞行状态和位置、电池电压以及燃料情况等遥测信息。”NASA休斯顿约翰逊航天中心猎户座项目副经理霍华德·胡(Howard Hu)说。

但在绕月飞行的宇宙飞船上测试Alexa比在家里用Echo扬声器和Wi-Fi进行测试要困难得多。NASA在今年早些时候的一篇博客文章中解释道：“由业界资助的有效载荷将安置在‘猎户座’飞船的中控台上，其中一台安装思科Webex视频会议软件的平板电脑用于从约翰逊任务控制中心传输视频和音频，而由洛克希德·马丁和亚马逊合作定制的软件将用于测试亚马逊数字助理Alexa，看其如何对传输来的音频进行响应。”

在深空旅行时，“猎户座”上的Alexa需要很长时间才能连上地球上的云计算服务，所以在Callisto技术演示中，

亚马逊数字助理Alexa将使用NASA深空网络和飞船上的本地数据库通信并做出响应。

由于“阿尔忒弥斯1号”任务中的猎户座飞船采用无人驾驶模式，苹果iPad通过思科Webex视频会议软件扮演与Alexa对话的宇航员角色。NASA表示，参与者将向Alexa远程提问，或在带有摄像头和麦克风的控制台前下达任务命令。他们的图像和声音将从任务控制中心广播到猎户座飞船，参与者的视频会显示在平板电脑上，扬声器将播放音频，然后Alexa会捕捉音频并做出回应。

苹果产品进入太空已经有很长时间，国际空间站宇航员就经常使用iPad。但月球比国际空间站远得多，这也将是NASA第一次在探月任务中搭载苹果iPad。

(逸文)