



石墨烯材料与超级电容器应用

Graphene Materials and Its Application in Supercapacitor

陈成猛

中国科学院山西煤炭化学研究所

中国科学院炭材料重点实验室

2017-4-8





中国科学院山西煤炭化学研究所

Institute of Coal Chemistry, Chinese Academy of Sciences

Since 1954



中科院煤化所办公楼



中国炭素行业人才的摇篮
62 Years of Coal & Carbon in Taiyuan



唯实 求真 协力 创新



高技术基地型研究所。ISO9001:2008质量管理体系认证、二级保密资格单位、武器装备科研生产许可、检测中心通过CNAS、CMA认证。

煤化所的炭材料研发历程



煤炭 Coal



碳纤维 Carbon Fiber



石墨 Graphite



碳黑 Carbon Black



沥青 Pitch



活性炭 Activated Carbon



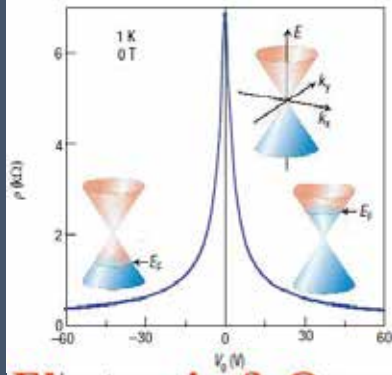
石墨烯
Graphene

高碳资源低碳发展，黑色煤炭绿色发展。

From coal to carbon: black materials for green life

石墨烯的崛起

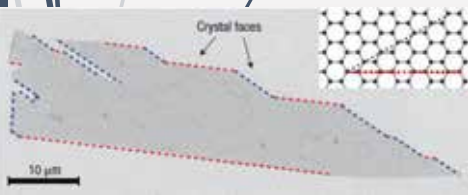
Since 2004



Electronic & Quantum Properties

High electron mobility
Quantum hall effect
Tunneling effect
Switching effect
.....

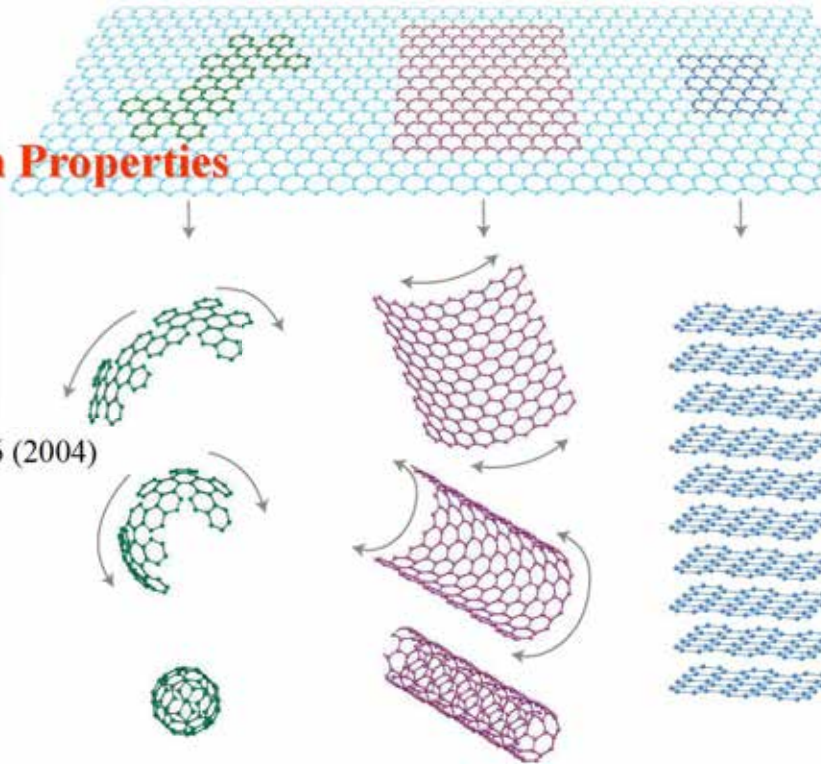
Novoselov KS, et al. *Science* 306, 666 (2004)



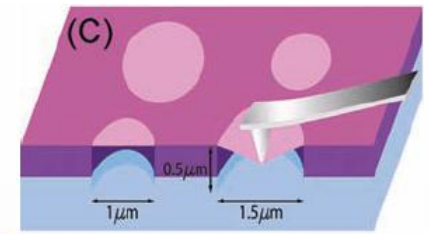
Large Surface Area

2630 m²/g theoretically

Stoller MD, et al, *Nano Letters* 8, 3498 (2008)



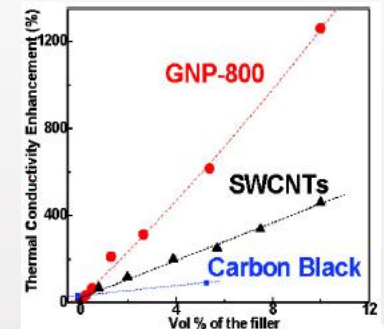
A.K. Geim, et al. *Nature Materials* 6,183 (2007)



Mechanical Properties

Most stiff material in the world
($E=1.0\pm0.1$ TPa,
 $\sigma^{2D}_{int} = 42 \pm 4$ N m⁻¹)

Changgu Lee, et al, *Science* 321, 385 (2008)



Thermal Conductivity

$(4.84 \sim 5.30) \times 10^3$ Wm⁻¹K⁻¹

Balandin AA, et al. *Nano Letters* 8, 902 (2008)

One atom thick (0.35nm) 2D sp² bonded crystals, the thinnest matter ever discovered.

Yang Y.-G., Chen C.-M., et al. *New Carbon Mater*, 2008(3): 193-200

国家领导人对石墨烯的重视



2014年江苏高新技术产业研究院



2015年曼彻斯特大学



2016年哈尔滨工业大学



2016年十二届全国人大四次会议



2016年四川大学

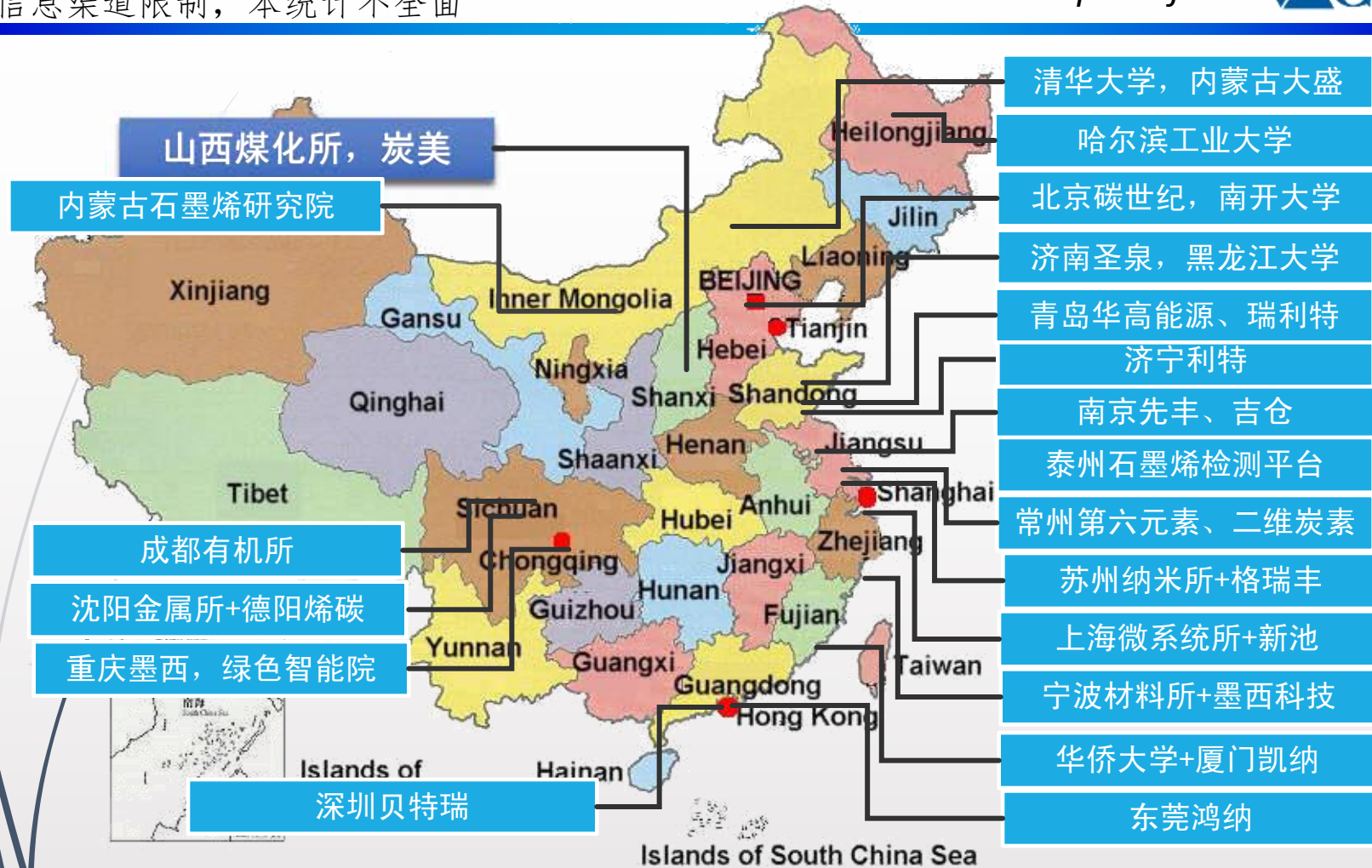
近两年中国石墨烯相关政策

发布时间	发布单位	政策文件	政策内容
2015年11月	工业和信息化部、发展改革委、科技部	《关于加快石墨烯产业创新发展的若干工信意见》	到2020年，形成完善的 石墨烯 产业体系，实现 石墨烯 材料，在多领域实现规模化应用。形成 石墨烯企业和产业示范基地 。
2016年3月	工信部、发改委、科技部、财政部	《关于加快新材料产业创新发展的指导意见》	积极开发前沿材料，包括 石墨烯 、智能材料、超材料等基础研究和技術积累
2016年3月	全国人民代表大会和全国政治协商会议	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	提出大力发展 石墨烯 、超材料等纳米功能材料
2016年5月	国务院	《国家创新驱动发展战略纲要》	开发新一代能源技术，发挥纳米、 石墨烯 等技术对新材料产业发展的引领作用
2016年5月	科技部	《纳米科技重点专项》	在纳米专项当中， 石墨烯 等材料，电子器件，存储材料等成为2016年优先支持方向。
2016年8月	国家标准管理委员会	《石墨烯材料的术语、定于及代号》	“什么是 石墨烯 ”及其相关材料术语等进行了详细界定
2016年9月	工信部	石墨烯改性防腐涂料技术研讨会	下一步将组织实施“ 石墨烯+ ”行动，贯通的产业链，推动示范应用。

中国石墨烯产业化地图

* 受信息渠道限制，本统计不全面

Data adopted from

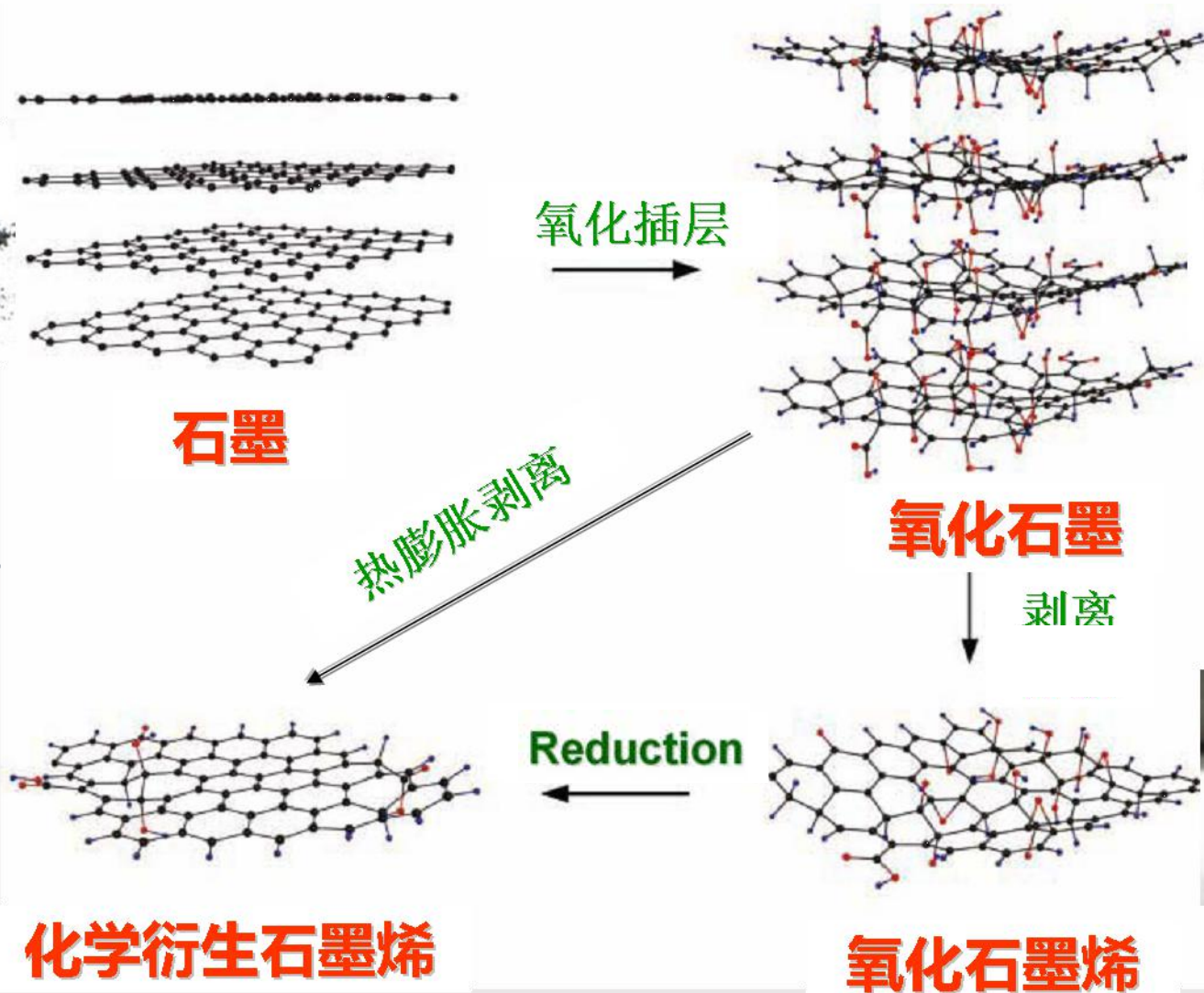


Hundred tons of production capability released in the past 5 years
Centered at Jiangsu, Shandong, Zhejiang, Guangdong

中国石墨烯生产技术

制备方法	工艺特点	代表单位
氧化还原法 (热还原、化学还原)	剥离效率高、比表面积大、氧化程度高、产品缺陷多、结构蓬松	清华大学+内蒙大盛、山西煤化所+晋能、上海新池+微系统所、常州第六元素、济宁利特、成都有机所
溶剂插层法、电化学剥离法	剥离程度中、比表面积小、结构破坏少、导电率高、成本低、结构紧凑	宁波墨西+宁波材料所、德阳烯碳+金属所、山西煤化所
机械剥离法	剥离程度低、导电好、成本低、结构紧凑	厦门凯纳+华侨大学、青岛大学+华高能源
CVD法	结构较完整、大面积、相对可控、透明、成本高、电导率高	常州二维炭素、重庆绿色智能院、泰州巨纳
生物质转化	成本低、生产效率高、缺陷较多、层数较厚、导电性一般	济南圣泉、广西大学
* 受信息渠道限制，本统计不全面		

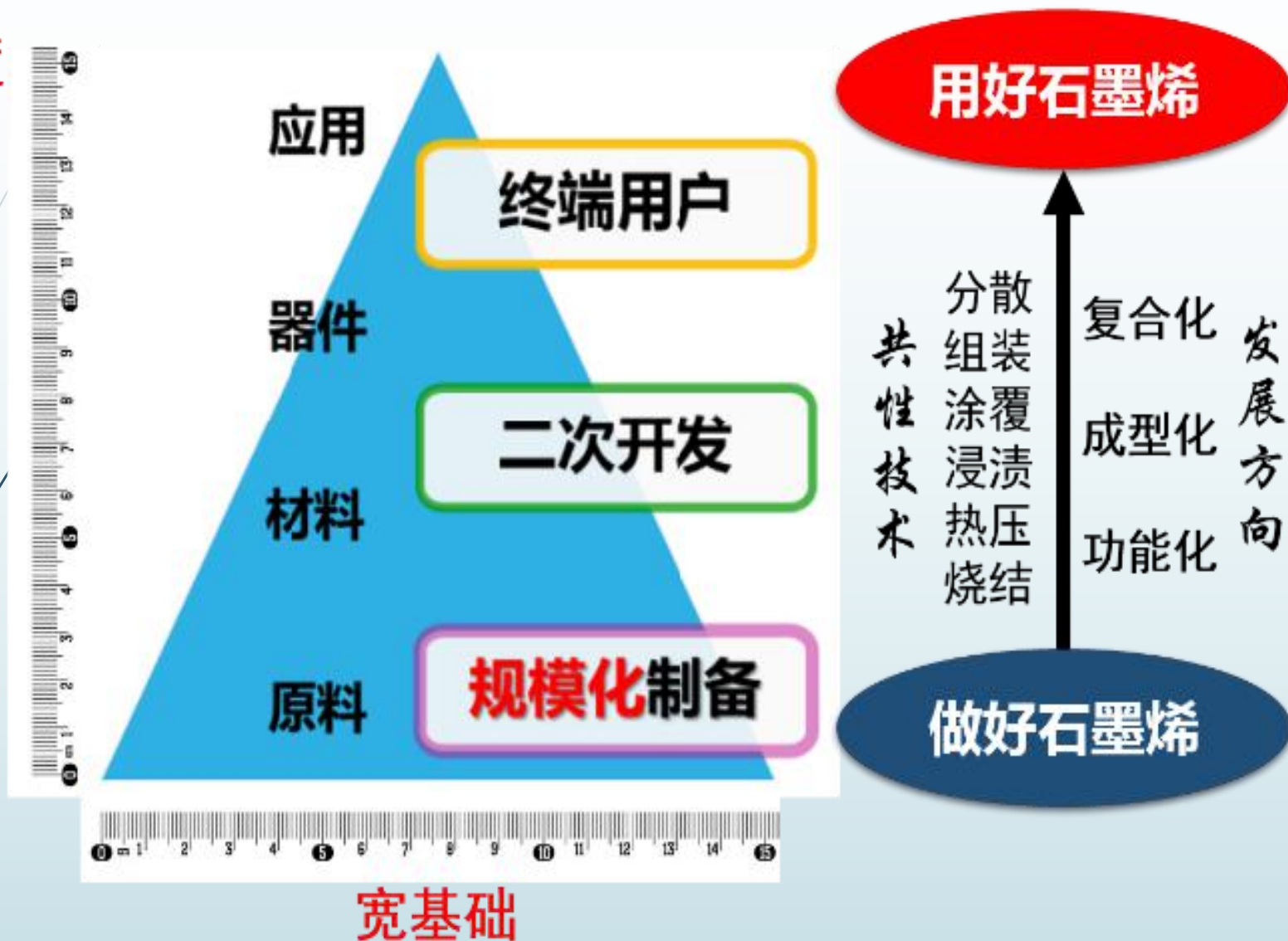
氧化还原法制石墨烯工艺



Highly Accessible Raw Material & Cost-Effective Procedure = Easy for Scale-Up

石墨烯发展战略

高显示度





报告提纲

1. 石墨烯批量化制备
2. 储能器件与材料开发
3. 石墨烯多功能应用

石墨烯规模化之路



- 2007年9月 在国内**率先**开展石墨烯研究，实验室克级制备；
- 2012年初 完成百克级小试；
- 2013年3月 百公斤级中试开工，10月底建成，年底贯通！
- 2014年底升级改造为吨级示范线
- 2015年初成功开发了**十吨级**工艺软件包

2013.9

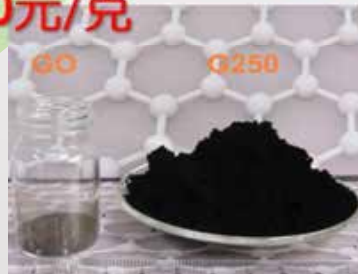


中试示范线: **3-5 千克/天**
3元/克

2012.8



小试平台: **200 克/天**
50元/克



氧化石墨/石墨烯粉体



高纯氧化石墨水溶胶

自2007年



实验室规模: **20 克/天**
500元/克

2012年小试调试



1吨/年石墨烯中试线

Collaborate with



Investment
20 million CNY



Located at the pilot base of ICC-CAS in Taiyuan, China

炭美®石墨烯系列产品



中国科学院山西煤炭化学研究所
炭美™石墨烯产品网络销售中心



科院技术，品质保障。www.carmery.com.cn

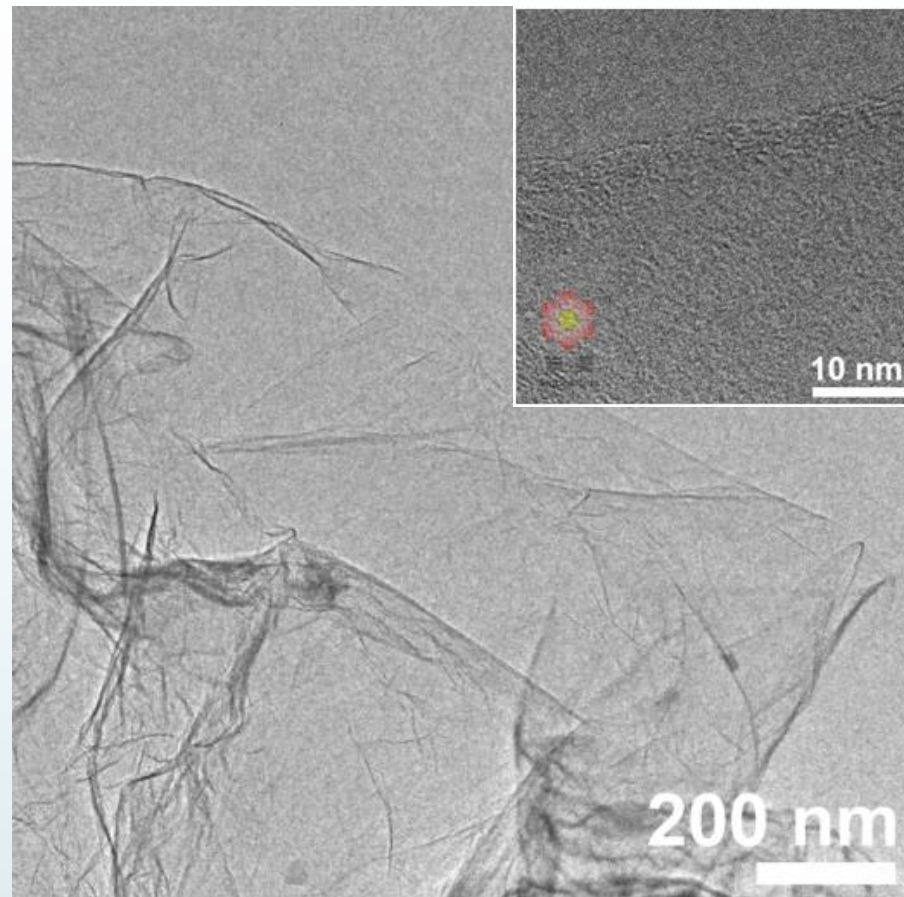
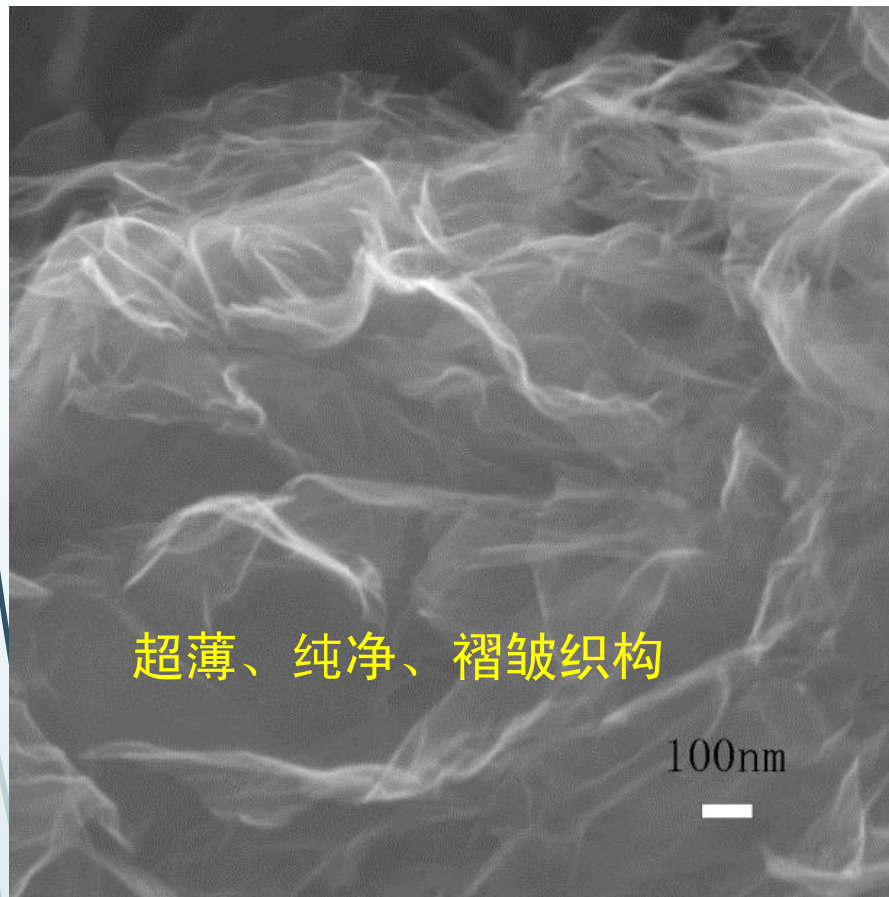
批次公斤级石墨烯为应用开发提供原料保障



课题组网站

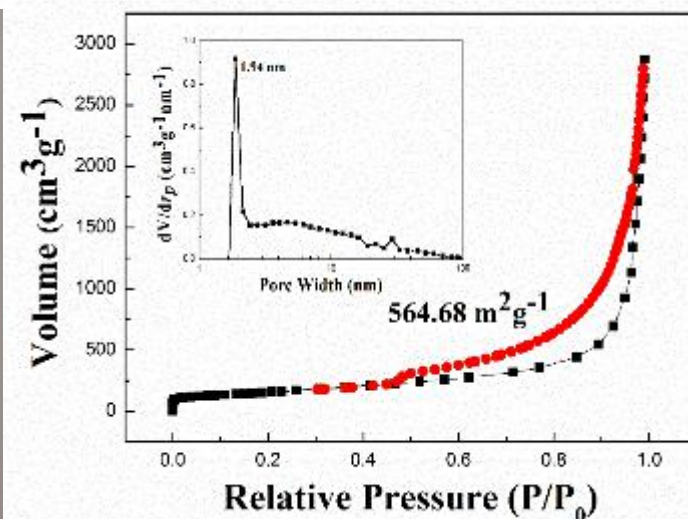
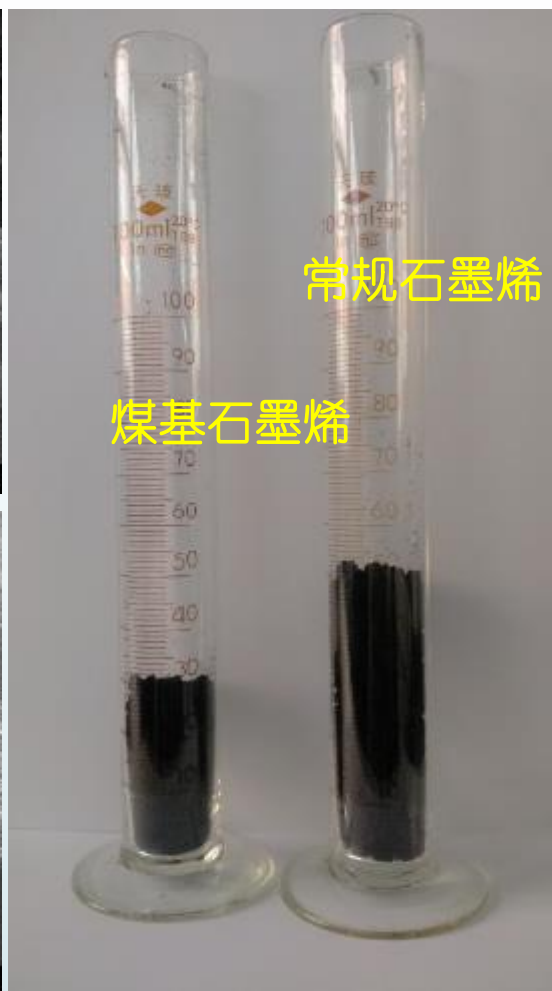
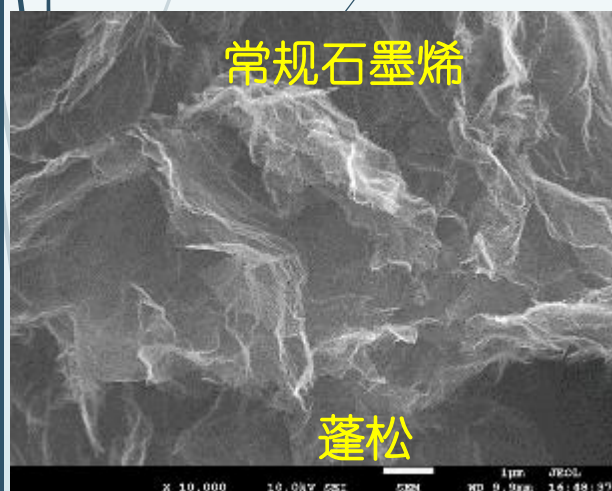
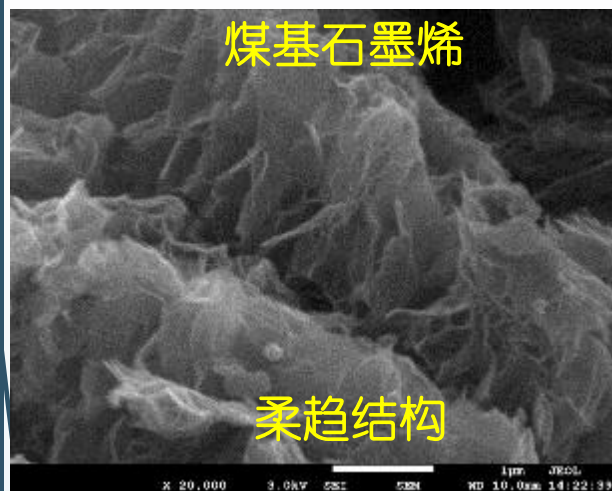
微信公众号

石墨烯产品微观结构和性能参数



检测项目	参数
灰分, wt%	< 0.1
比表面积 (BET法, m ² /g)	500~1000
堆积密度 (g/L)	3~5
C/O原子比 (燃烧法)	~12

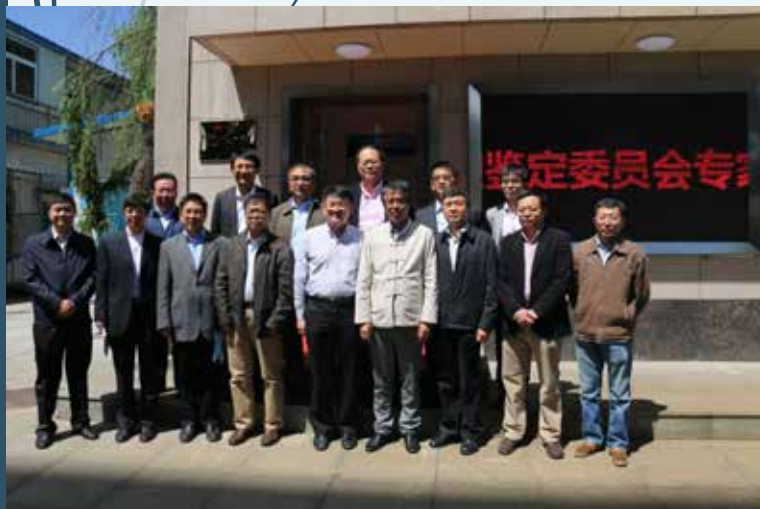
探索：煤制石墨烯



	振实密度(g/L)
煤基-GO	0.7164
常规-GO	0.3021
煤基石墨烯	0.00764
常规石墨烯	0.00323

- 柔趋结构，不易重堆叠，利于纳米级分散。
- 片径尺度小，有利于电解液扩散和离子迁移。
- 体密度较高，体积比容量高。

科技成果鉴定



成果	登记号	1611097
登记	批准日期	2016年5月19日

科学技术成果鉴定证书

晋科鉴字〔2016〕第097号

成果名称：低成本高品质石墨烯吨级中试

完成单位：中国科学院山西煤炭化学研究所
山西煤炭运销集团有限公司

主要研制人员：陈成猛 孔庆强 王大力 蔡谢莉婧 张兴华 李晓明 王

鉴定形式：会议鉴定

组织鉴定单位：山西省科学技术厅（盖章）

鉴定日期：二〇一六年五月十五日

鉴定批准日期：二〇一六年五月十九日

山西省科学技术厅
二〇一六年五月



百吨级工艺包

鉴定意见	
2016年5月15日，山西省科技厅组织有关专家对中国科学院山西煤炭化学研究所和山西煤炭运销集团有限公司（现晋能集团有限公司）共同完成的《低成本高品质石墨烯吨级中试技术》进行了科技成果鉴定。鉴定委员会听取了项目负责人的汇报，审阅了相关资料，经质询讨论及现场考察，形成如下鉴定意见： 一、提交的相关技术资料齐全，符合鉴定要求。 二、对Hummers法进行改进，以浓硫酸为磺化剂，高锰酸钾为氧化剂制备氧化石墨，有效控制了氧化石墨的组成和结构，实现氧化石墨的可控合成。 加入添加剂，抑制氧化石墨的团聚，通过专用设备进行连续固液分离，解决了氧化石墨的深度纯化问题。在保证纯化效果的前提下，降低了纯化剂的用量，同时将废液回收，循环利用，有效降低了生产成本。 开发了石墨烯连续磺化和梯度氧化技术，有效控制了石墨烯的层数和还原程度，解决了氧化石墨烯瞬间大体积膨胀和超细粉体的输送难题，大大提高了石墨烯梯度氧化效率，降低了生产成本，同时提高了工艺和产品质量的稳定性。 完成低成本高品质石墨烯的吨级工程放大，形成10吨级成套工艺技术基础；产品具有纯度高（>99.9%）、比表面积大（600-1000 m²/g）、质量稳定等优点。 三、形成了6项石墨烯产品分析检测方法，得到行业一致认可，为促进石墨烯的标准化做出贡献。 综上所述，改进的氧化还原法批量制备石墨烯技术在国内同类技术对比中，整体上达到国际先进水平，具有广阔的应用前景和推广价值。 建议针对不同市场需求，开发系列高性价比产品，加大应用推广力度。	
鉴定委员会主任：郭飞	副主任：苏安民
委员：李书	
郭飞 李书 苏安民 王瑞 刘建奎	
2016年5月15日	

煤化所石墨烯技术达到国际先进水平

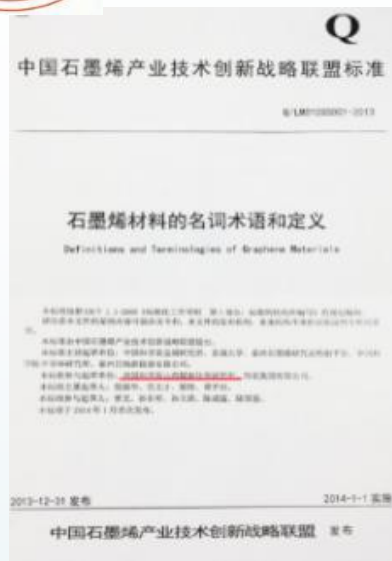
石墨烯批量制备发展趋势

单元操作	问题与难点	目标与趋势
氧化石墨合成—石墨的液相插层和氧化 (Hummers法)	反应器设计中防腐与换热的矛盾。 酸泄漏与反应器超温隐患！	更安全和稳定 降低酸耗、更绿色 间歇式→连续式反应器
氧化石墨纯化—反复洗涤以除去残酸和盐	氧化石墨胶状悬浮液的固液分离难题 (PH值依赖性)	更高效 低水耗 高纯度产品
氧化石墨干燥—脱除水分获得粒径均一、高活性的氧化石墨干粉	低浓度的氧化石墨浆料 (1-2 wt%), 需蒸发大量水, 能耗大。产物易团聚板结。官能团损失。尘爆隐患！	低能耗 更高效的干燥方式
热膨胀剥离和炭化—官能团分解产气致层间膨胀, 深度炭化脱氧还原	巨大体积膨胀、大量气体释放带来安全问题； 低体密度产物的收集与包装问题。 尘暴隐患！	过程连续化 低能耗 更高热效率 提高膨胀效率 产品批次一致性

降低成本、节能减排、批次稳定、可控可调

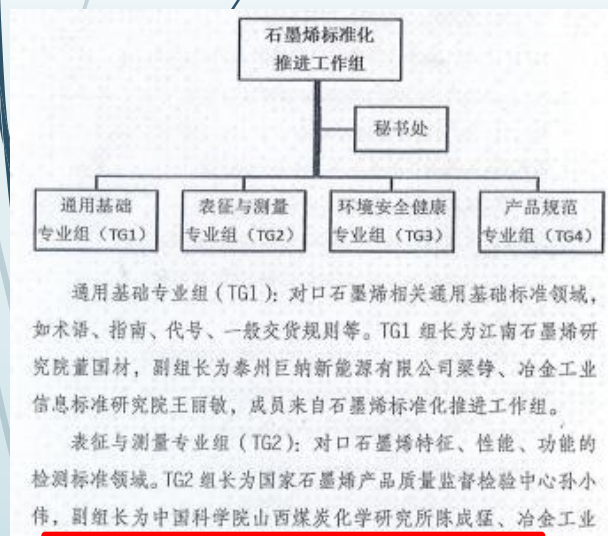


标准化工作



标准名称	石墨烯材料表面含氧官能团含量的测定 化学滴定法
标准性质	推
标准状态	制
ICS分类号	07.030
项目周期	24个月
公示日期	2016-04-14
截止日期	2016-04-30
主管部门	中国科学院
起草单位	中国科学院山西煤炭化学研究所、清华大学、山西鑫能集团等
归口单位	山西省质量技术监督局
归口单位	全国纳米技术标准化技术委员会
目的	制定本标准旨在制定石墨烯材料表面几种特定含氧官能团

面向工业应用，侧重石墨烯**微观形貌**、**化学成分**和**基本物性**分析。



国标委石墨烯标准化推进工作组
表征与测量专业组TG2 副组长

全国纳标委纳米储能组
(SAC/TC279/WG7) 委员

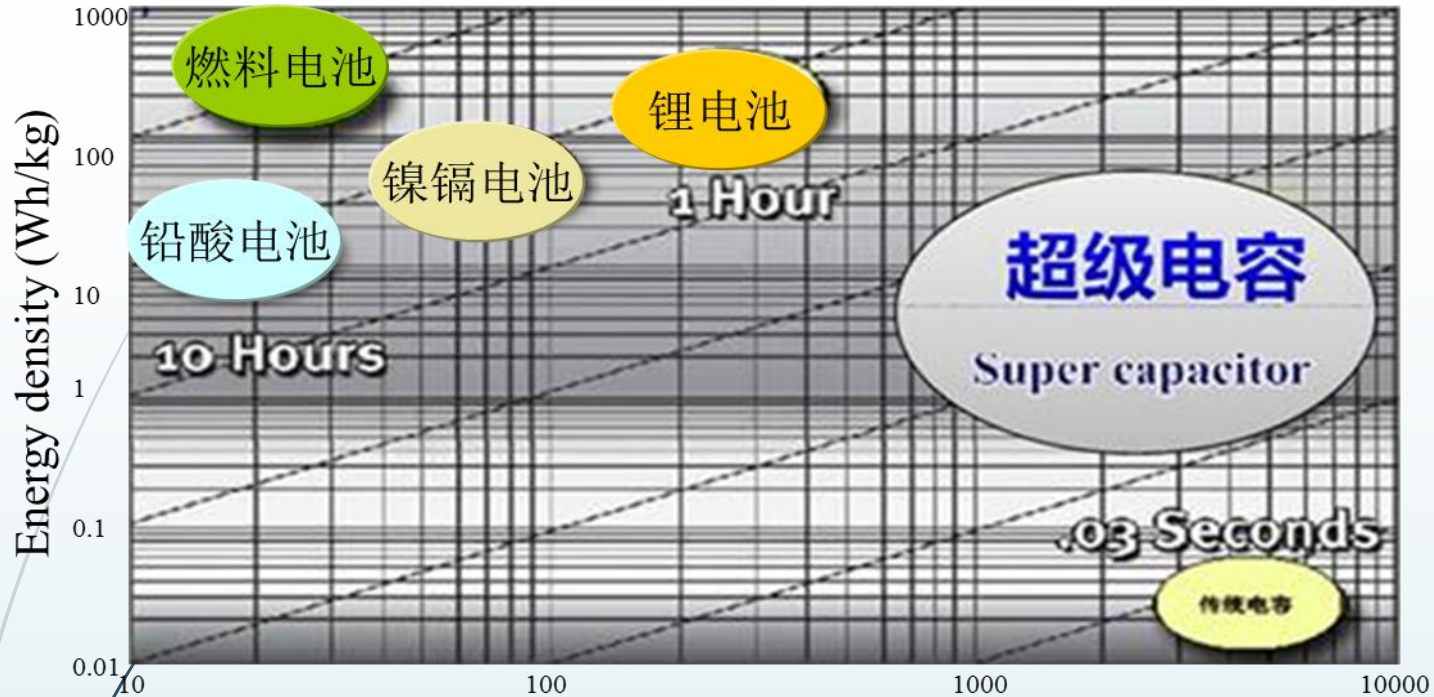
中国石墨烯联盟第
二届标委会委员



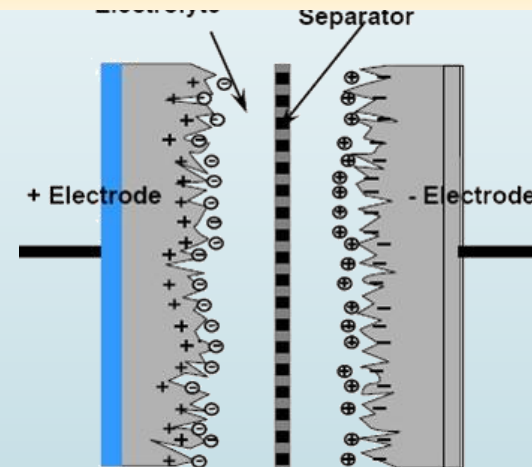
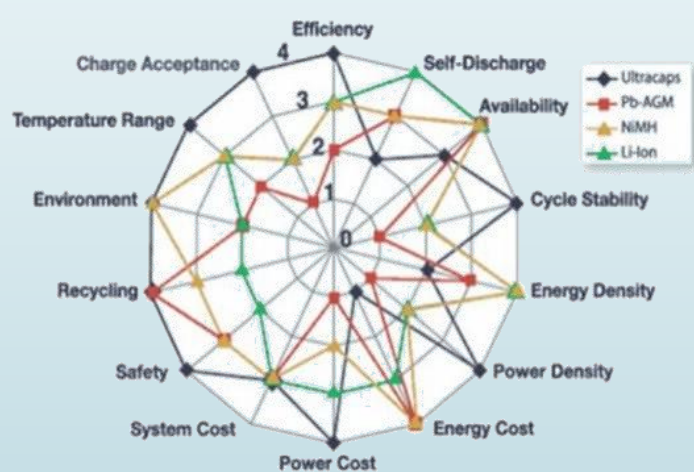
报告提纲

1. 石墨烯批量化制备
2. 储能器件与材料开发
3. 石墨烯多功能应用

超级电容器



超级电容器是一种高功率、长寿命的新型储能器件。



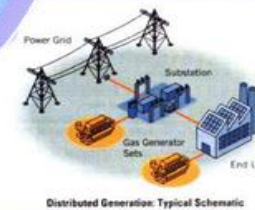
超级电容器应用领域



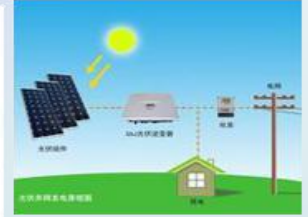
车辆、坦克冷启动



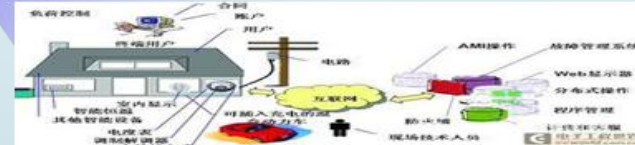
重型军事车辆
混合动力



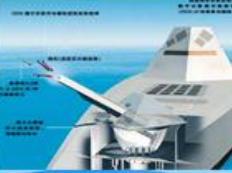
Distributed Generation: Typical Schematic



分布式发电系统

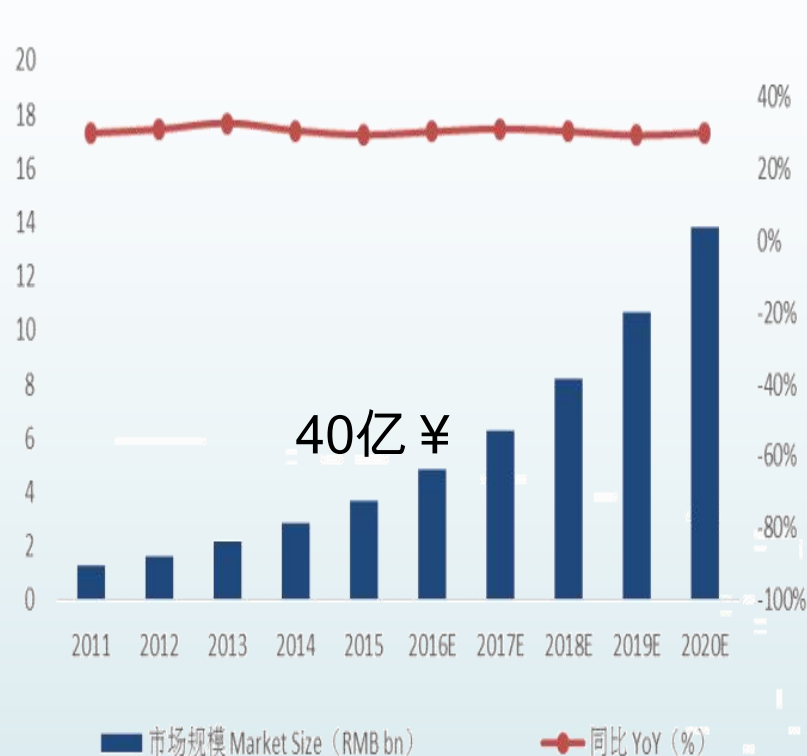
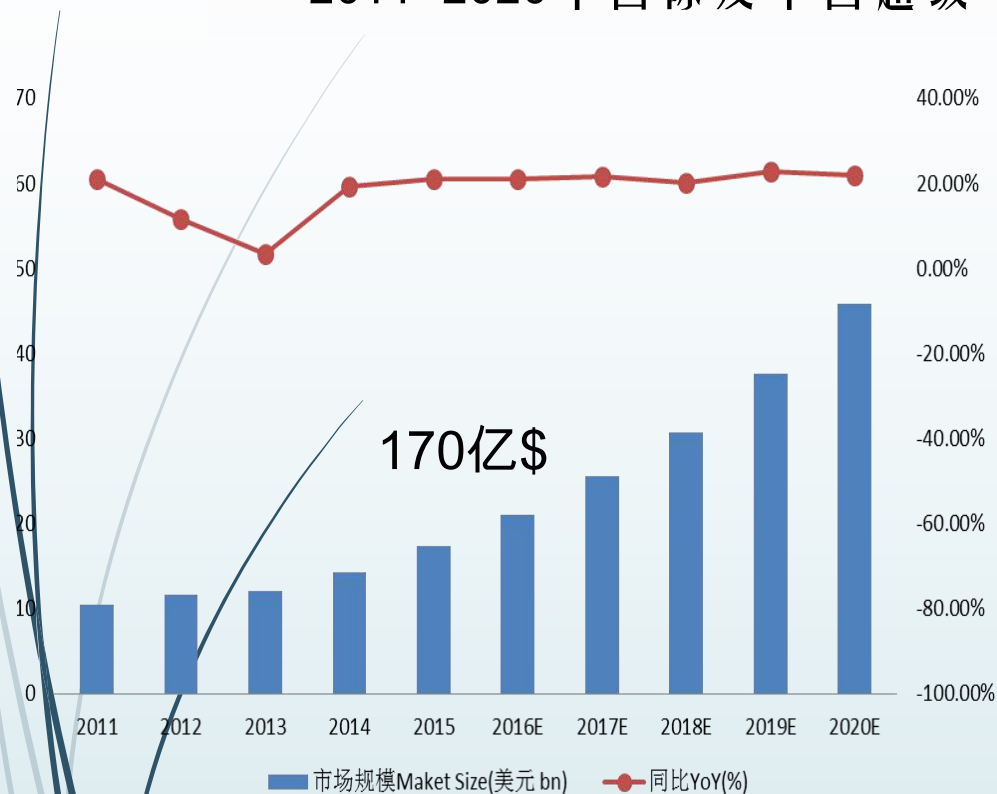


电磁
磁推
动力
炮



超级电容器市场容量

2011-2020年国际及中国超级电容市场规模及增长率



数据来源：水木清华研究中心

超级电容器年均复合增长率达20-30%。

石墨烯储能应用开发思路



搭建材料与应用之间的桥梁

TRL 1-9的逐步推进，原料-材料-器件的创新链。

先进储能器件联合研发平台

2015年建成开始运行

合作伙伴



山西三维集团
SHANXI SANWEI GROUP CO., LTD.



面积80 m²



原料



材料



器件

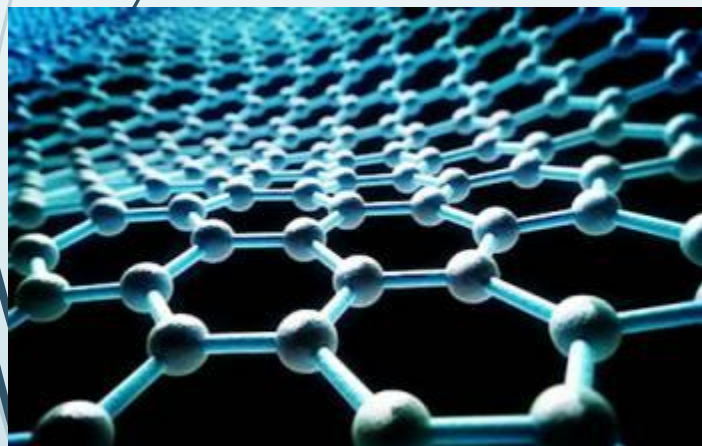
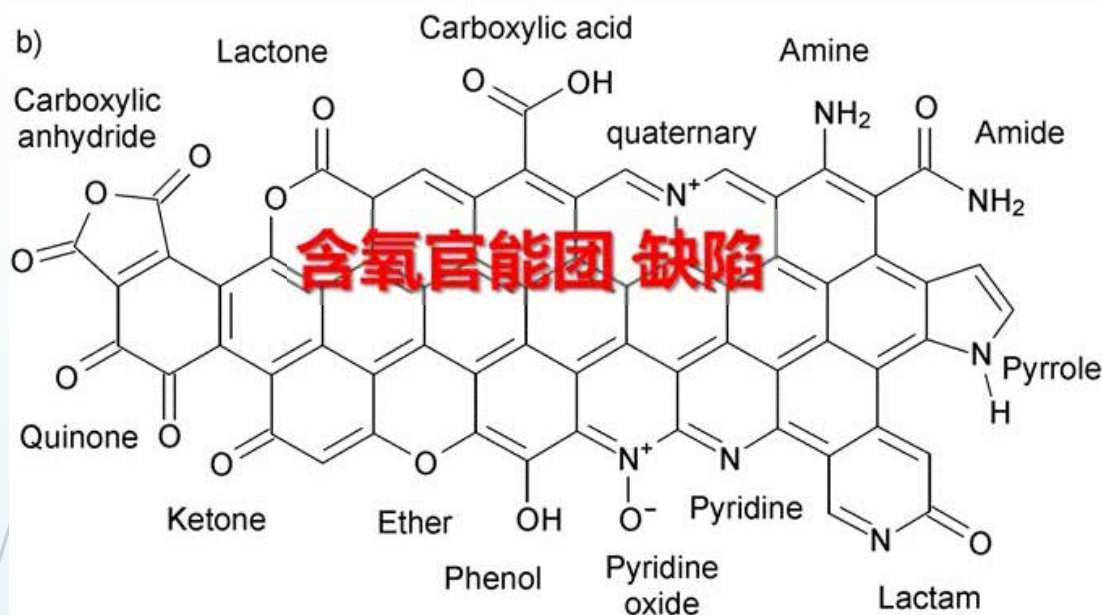


应用

扣式、卷绕式、叠片式储能器件的组装、检测与示范。

料要成材，材要成器，器要成用。

影响石墨烯粉体应用性能的关键因素



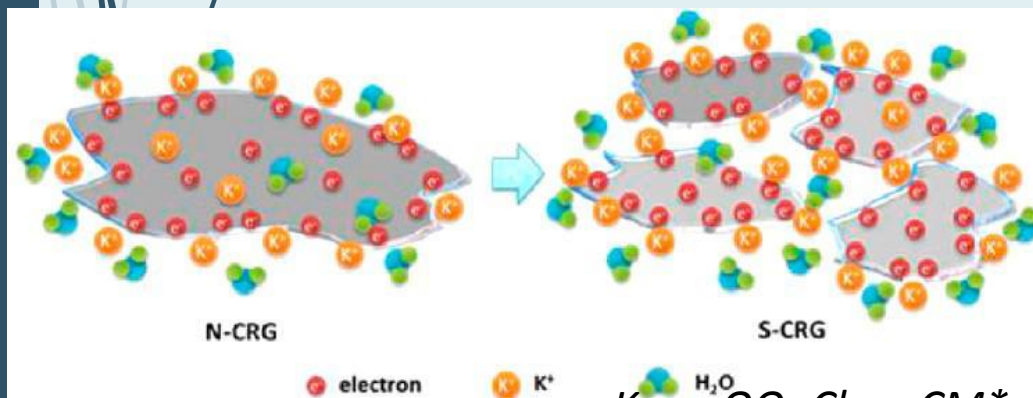
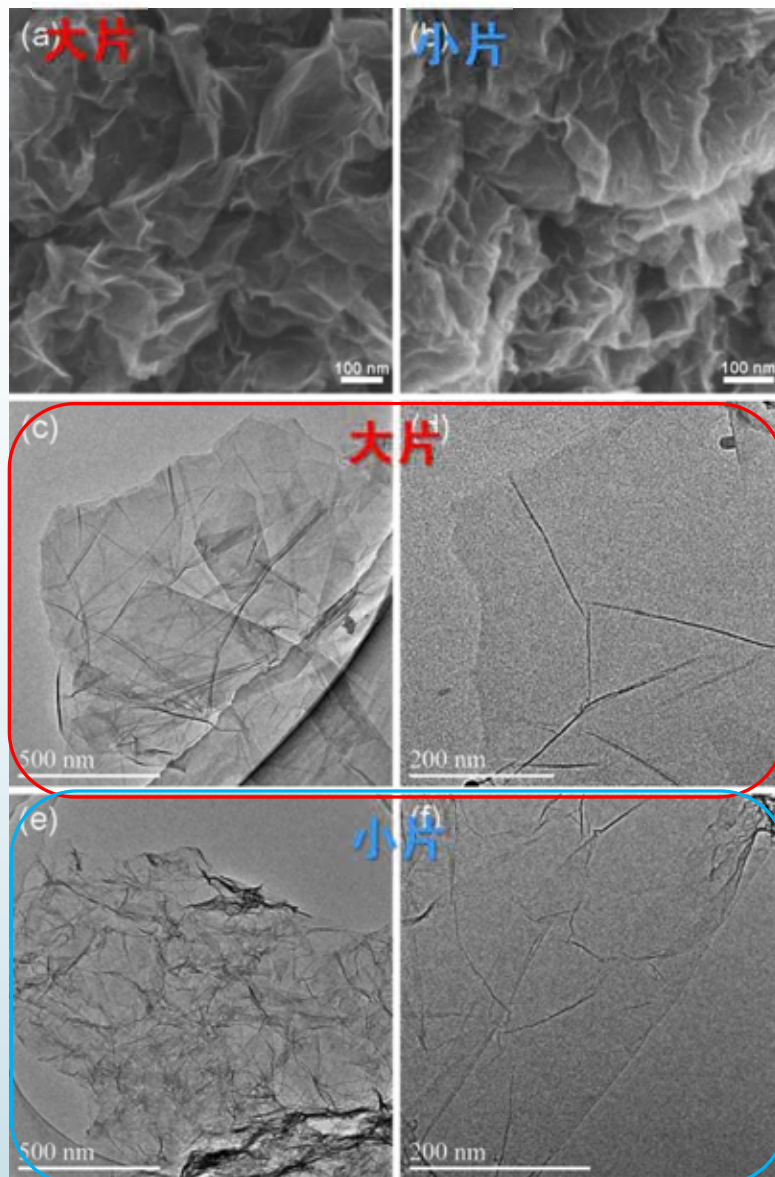
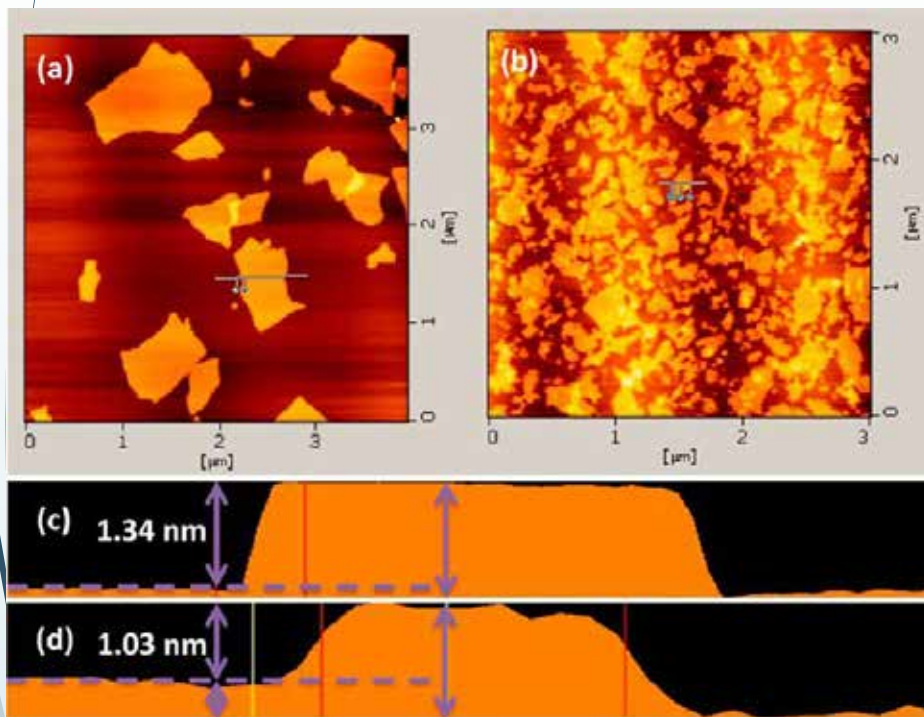
比表面积 横向尺寸 层数

*纯石墨烯粉体直接做电极材料

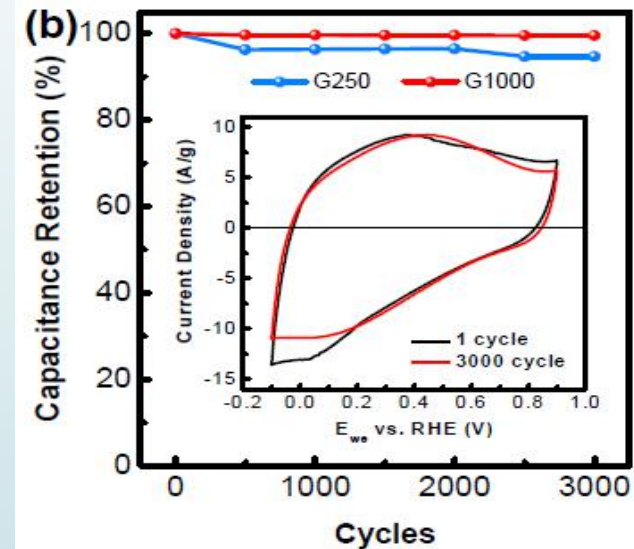
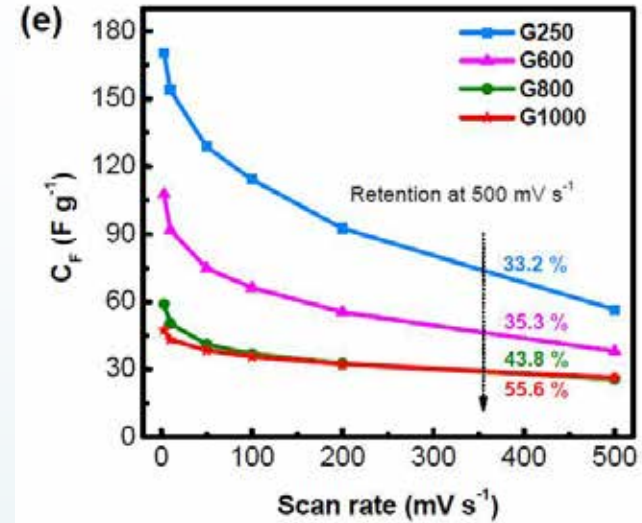
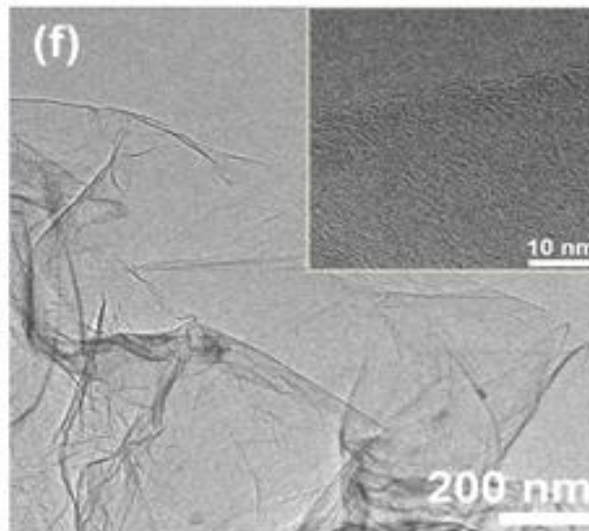
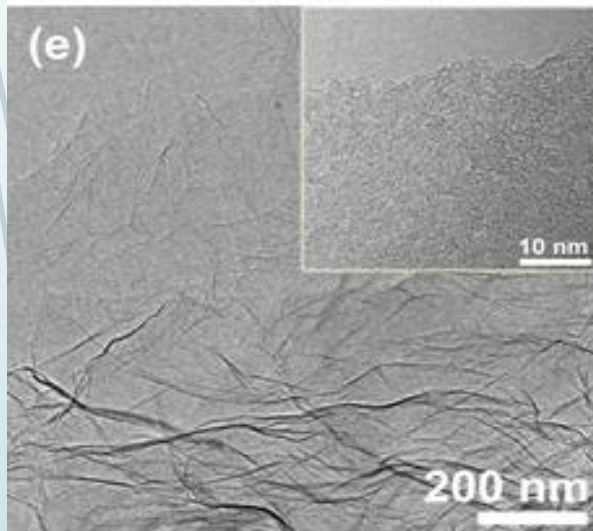
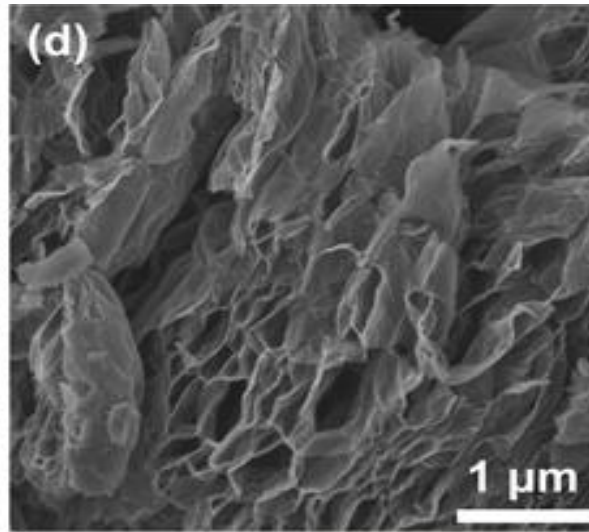
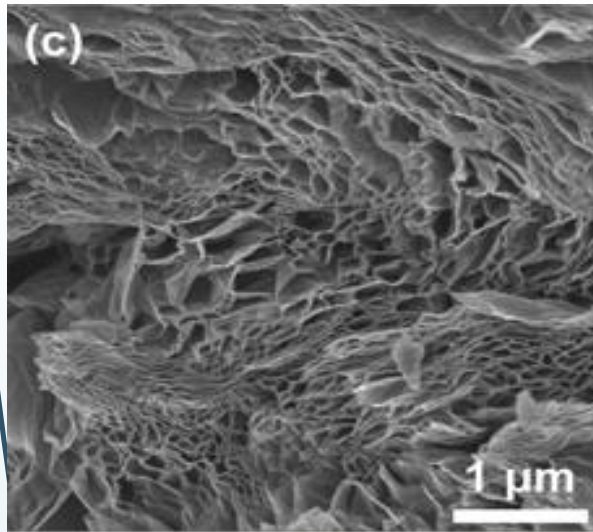
Chen CM, Zhang Q, Yang YG et al. *Carbon*. 2012;50(10):3572-84.

片径大小的影响

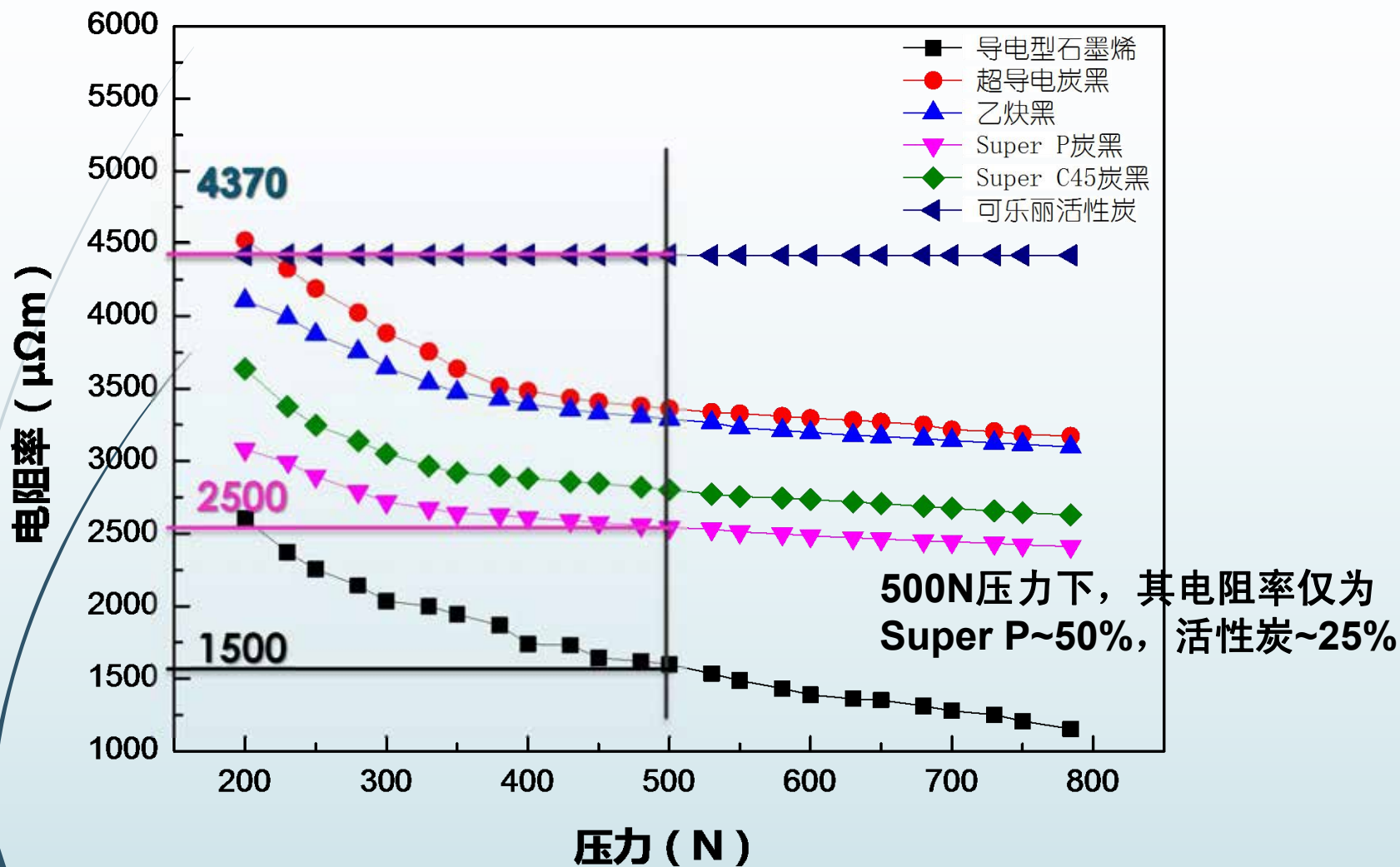
延长氧化时间裁剪石墨烯



含氧官能团的影响

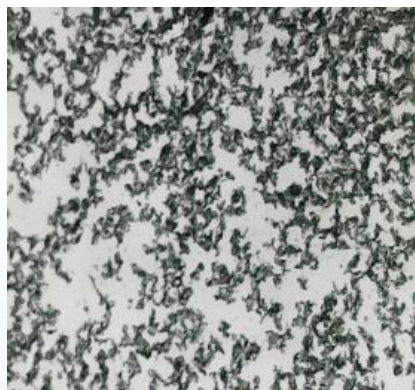


石墨烯与市场主流导电剂比较



石墨烯导电性能比商用Super P炭黑高一倍。

石墨烯高效分散技术



分散效果



细度测试

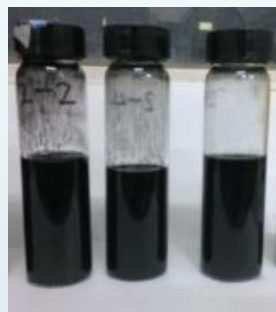
水 DMF NMP



4 个月



水性电极浆料



72 h



0 h

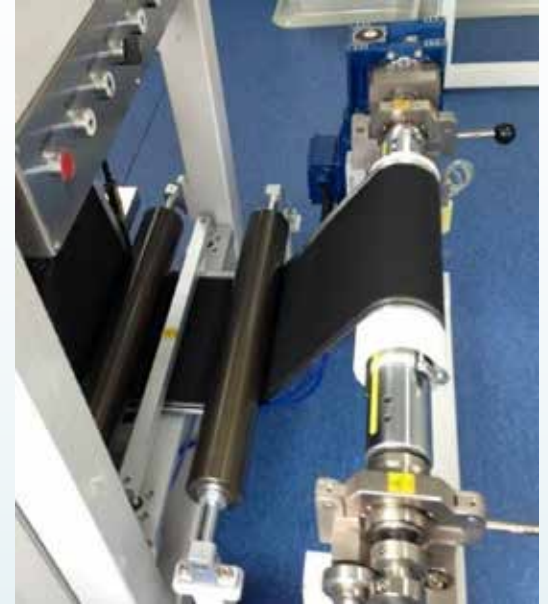
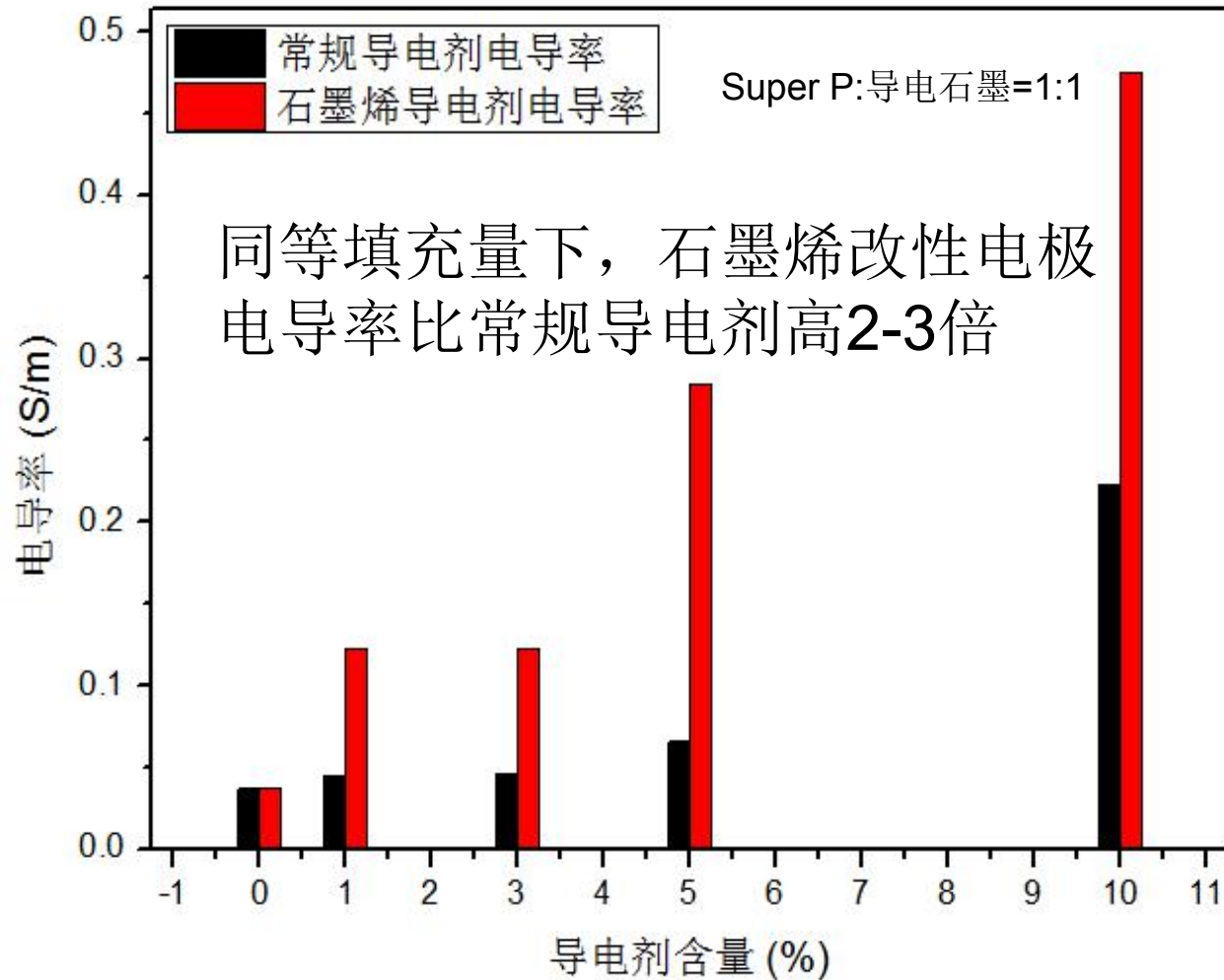
多场耦合、物理与化学法结合



石墨烯导电浆料

石墨烯二次剥离→高稳定悬浮→堆叠与沉降抑制

石墨烯改性极片性能评测



仅1/3的石墨烯用量即可优于商用导电剂的效果

极片成型工艺开发



浆料制备 → 涂布成型 → 电极片轧制

经过多次技术攻关，目前**电极片成型工艺已经成熟**，
可以制备高质量的电极片用于电容器组装。

圆柱卷绕式超级电容

裁切的电极片

裁切的隔离膜

注液封口前的电容

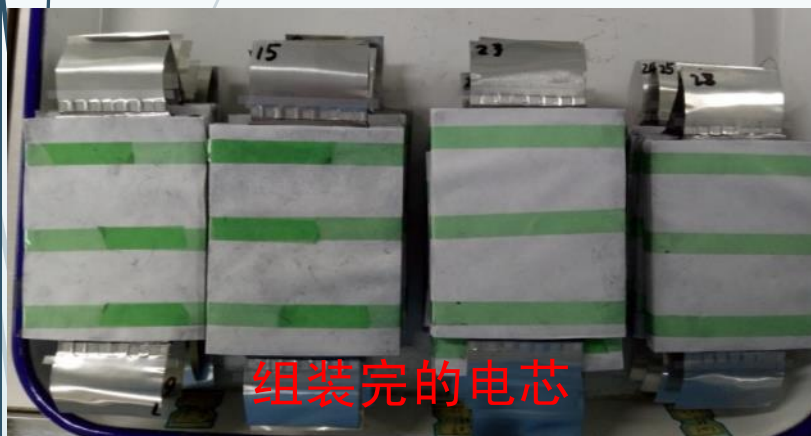
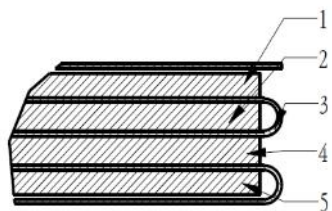
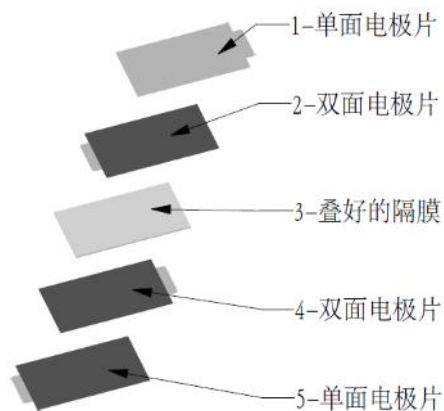


器件示范

封装后的电容

将所开发圆柱电容器用于玩具小汽车，**25秒充满电，可连续运行25-30分钟。**

Z型叠片异端引出动力电容



2.7V/560 F
110mm×84mm×6mm

极耳宽49mm，厚0.2mm，可支持大电流放电，并且互不干扰。

建立浆料和极片的内部检测标准

划格法测试

凹槽法测

弯曲试验（圆柱轴）测定电极片抗

电极浆料固含量的测定

刮板细度计测定电极浆料细度

四探针法测试电极浆料电阻率

弯曲试验（圆柱轴）测定电极片抗开裂性

划格法测试电极片涂层附着力

四探针法测试电极浆料电阻率

电极片层间附着力

含量

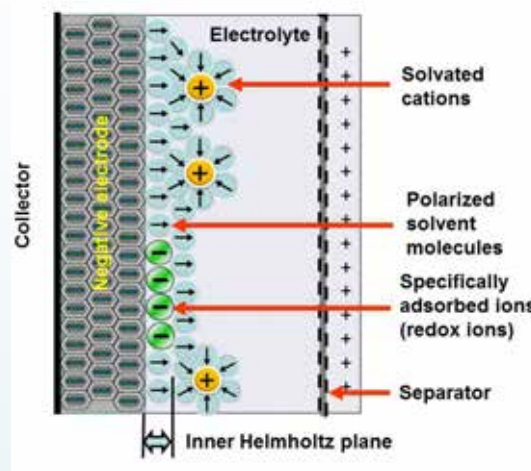
电化学储能理论计算与仿真

1. 基于量子化学的电极界面理论计算



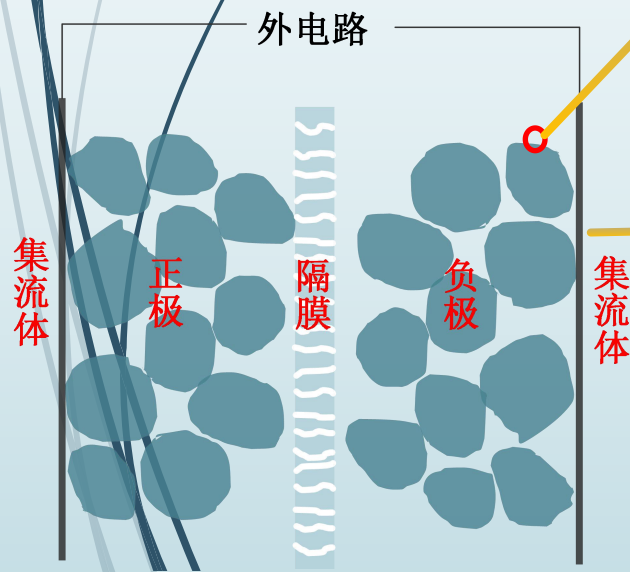
吕梁超算中心+组内服务器

电极界面



- 离子特性吸附
- 离子扩散行为
- 双电层结构、内部电势分布
- 溶剂分子稳定性
- 量子电容

2. 基于多孔电极理论的储能器件设计



平面电极 → 多孔电极

电解液中电荷守恒

$$\nabla \cdot \left(-\sigma_l \nabla \phi_l + \frac{2\sigma_l RT}{F} \left(1 + \frac{\partial \ln f}{\partial \ln c_l} \right) (1 - t_+) \nabla \ln c_l \right) = i_{tot} + Q_l$$

电解液中锂盐质量守恒

$$\varepsilon_l \frac{\partial c_l}{\partial t} + \nabla \cdot (-\varepsilon_l D_l \nabla c_l) = R_l - \left(\frac{i_{tot} + Q_l}{F} \right) t_+$$

$$i_{tot} = \sum_m A_{v,m} i_{loc,m}$$

电极中电荷守恒

$$\nabla \cdot i_s = -i_{tot} + Q_s$$

$$i_s = -\sigma_s \nabla \phi_s$$

电池中锂的守恒

$$\frac{\partial c_s}{\partial t} = \nabla \cdot (-D_s \nabla c_s)$$

$$\frac{\partial c_s}{\partial r} = 0|_{r=0}$$

$$-D_s \frac{\partial c_s}{\partial r} = -R_{Li\Theta} |_{r=r_p}$$

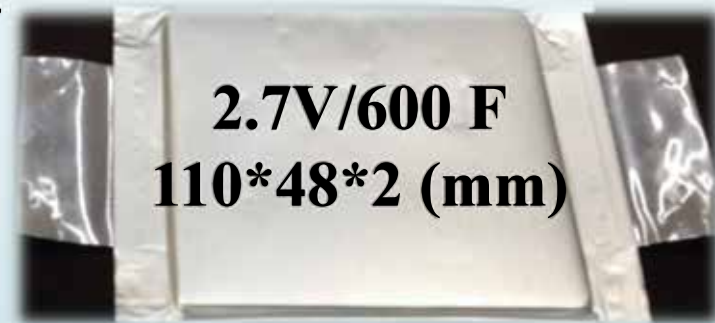
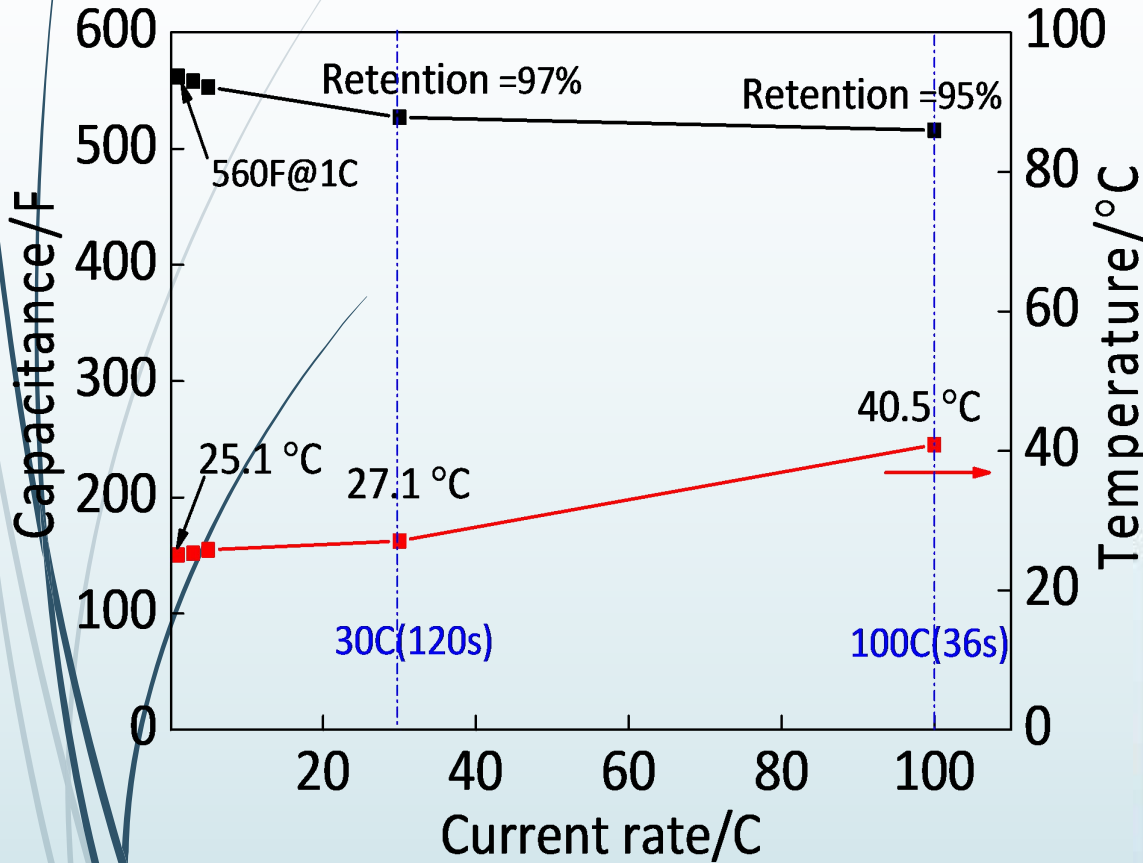
$$R_{Li\Theta} = - \sum_m \frac{v_{Li\Theta,m} i_{loc,m}}{n_m F}$$

$$\eta_m = \phi_s - \Delta \phi_{s,film} - \phi_l - E_{eq,m}$$

$$\Delta \phi_{s,film} = i_{tot} R_{film}$$

器件性能测试

Soft-packaged supercapacitor for high power applications.



The capacitance retention is **above 95% at 100 C** charge/discharge working condition, and the temperature increases about 15°C

应用示范



ICC supercap+toy car



PV panel+ICC supercap+LED light



Charging time: **<15 s**

Running time: **25-30 mins.**

超级电容器上下游产业关系

炭素产业

石墨烯



活性炭



电解铝产业

电子铝箔



精细化工产业

粘结剂



隔膜



电解液

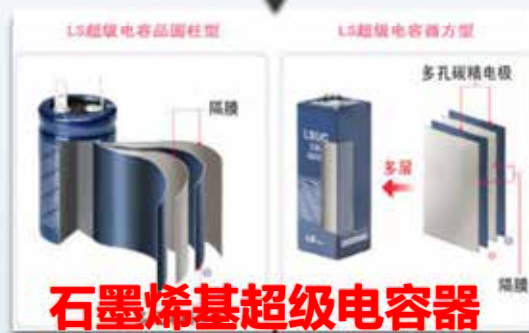


上游

中游

下游

系统集成与示范
整合上下游资源



机械工业



精密组装设备



电动汽车



高铁



飞机



光伏



风电



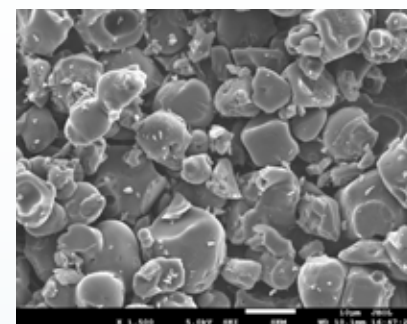
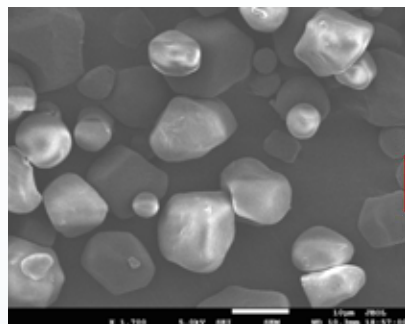
电子产品

交通工具

新能源产业

电子工业

生物质基电容炭材料



前躯体

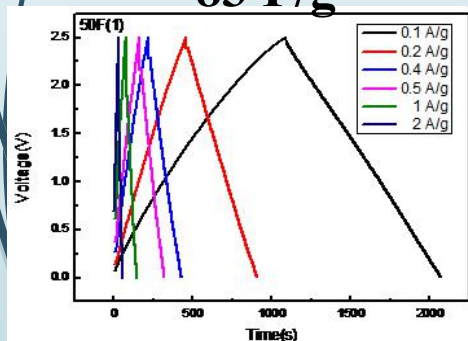
电容炭

电容碳指标

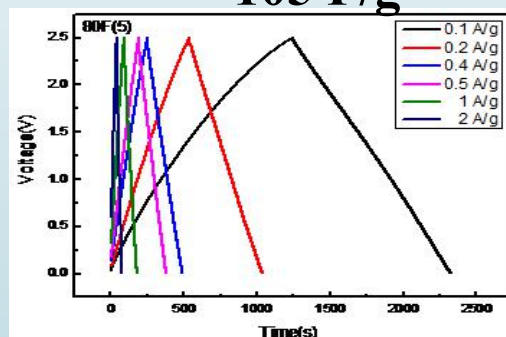
电容炭	灰分(%)	堆密度(g/cm ³)	比表面积 (m ² /g)
可乐丽YP50F	0.28	0.3324	1564
可乐丽YP80F	0.34	0.2618	2071
生物质基电容炭	0.30	0.2620	2800

电化学性能

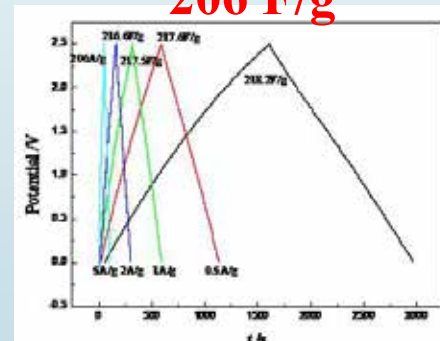
83 F/g



105 F/g



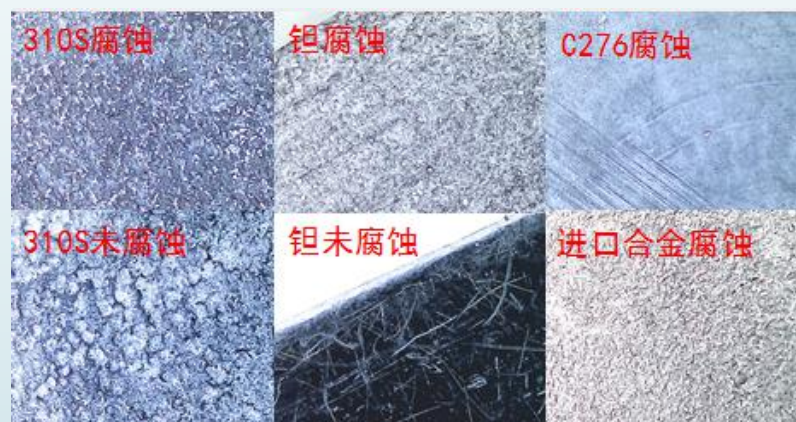
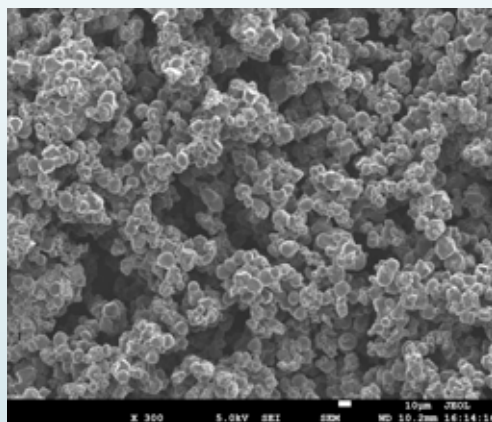
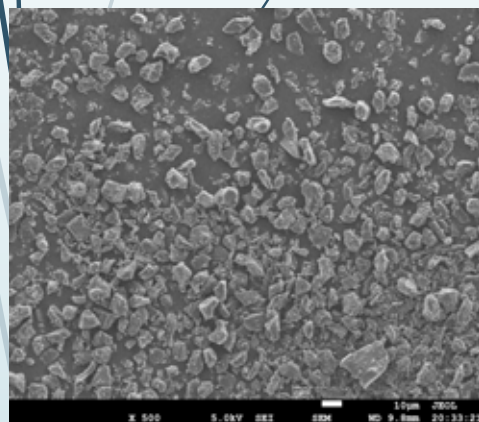
206 F/g



电容炭：从实验室迈向中试

考察参数	YP50F	YP80F	新疆	韩国PCT	ICC
	0.23	0.394	0.07	0.01	0.08
灰分 (wt%)					
Fe (ppm)	16.54	11.88	23.58	4.76	20.00
振实密度(g/mL)	0.332	0.262	0.333	0.318	0.262

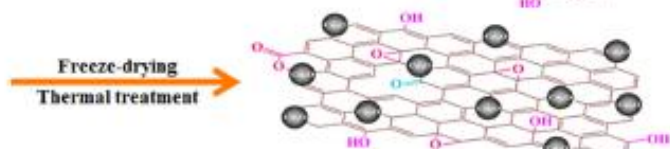
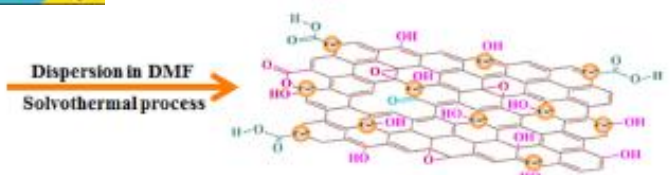
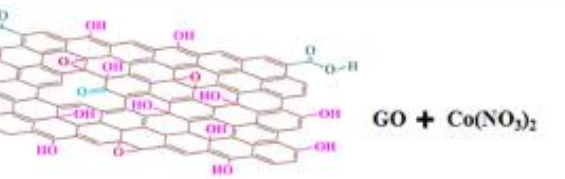
高纯度利于减少副反应，延长循环寿命。高振实密度利于提高体积比容量。



灰分/游离金属/比表面积/孔结构/孔容/含氧量/电导率/振实密度/粒度/形貌
产品技术指标多、参数相互关联、工艺路线长、设备要求高。

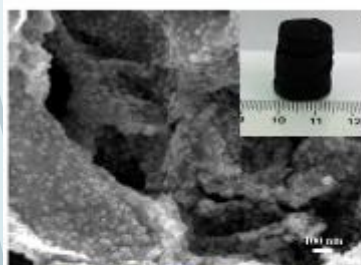
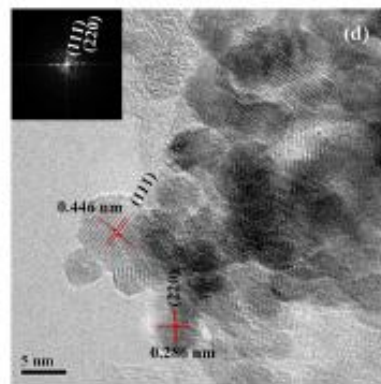
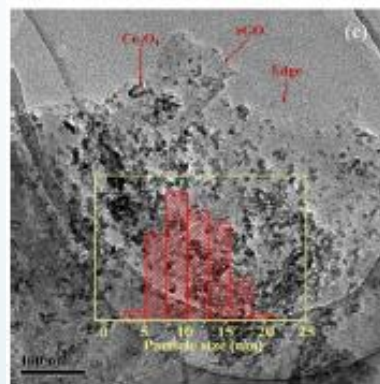
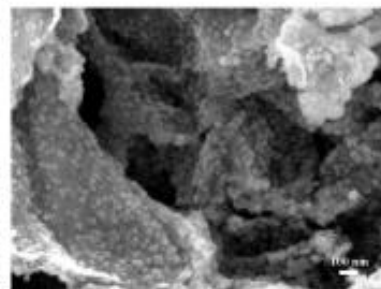
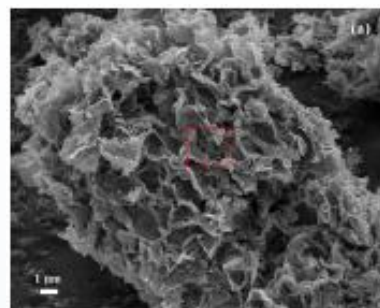


探索：石墨烯/ Co_3O_4 与非对称器件

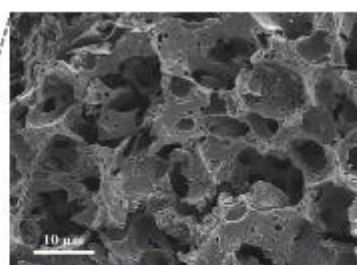
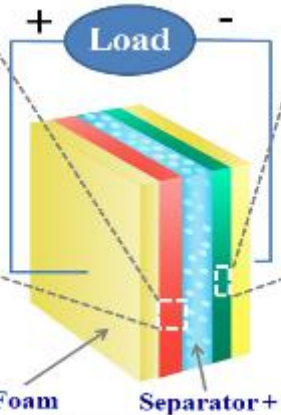


3D Co_3O_4 /RGO aerogel

Digital photograph of a 3D Co_3O_4 /RGO aerogel



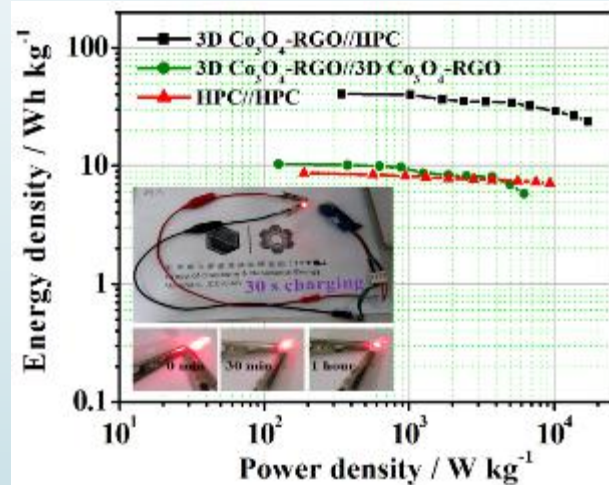
3D Co_3O_4 -RGO aerogel



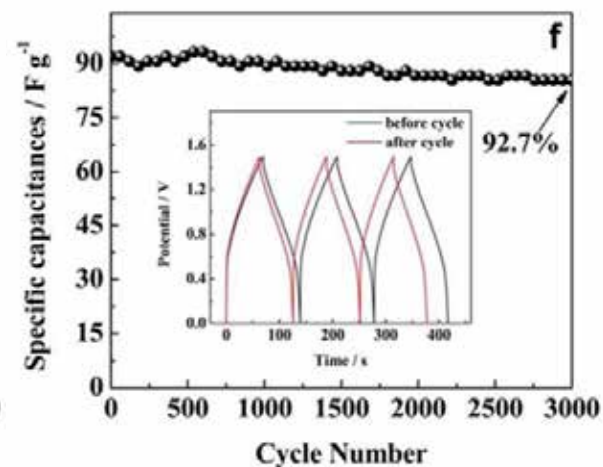
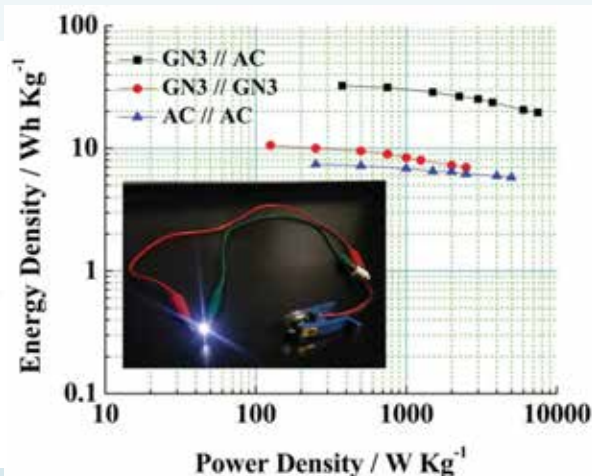
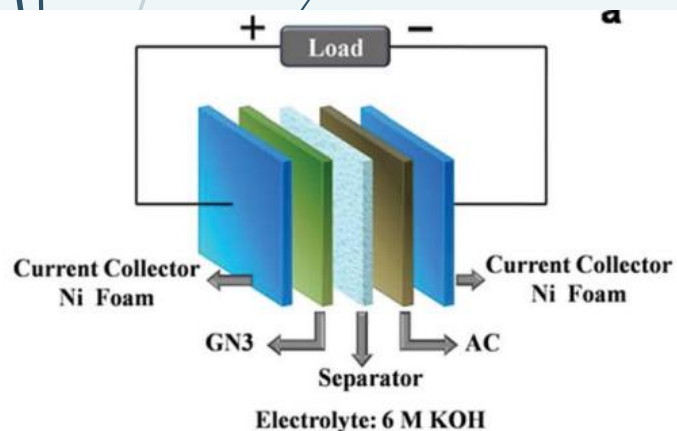
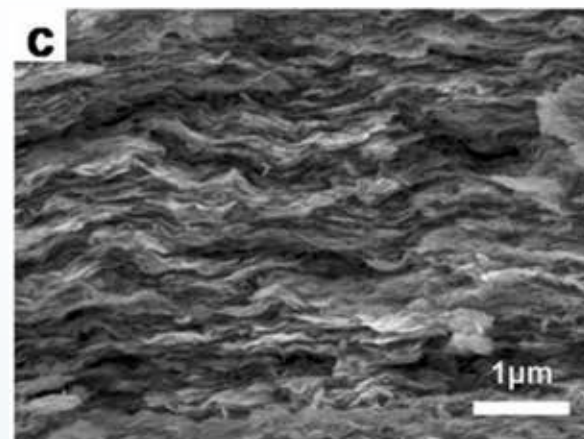
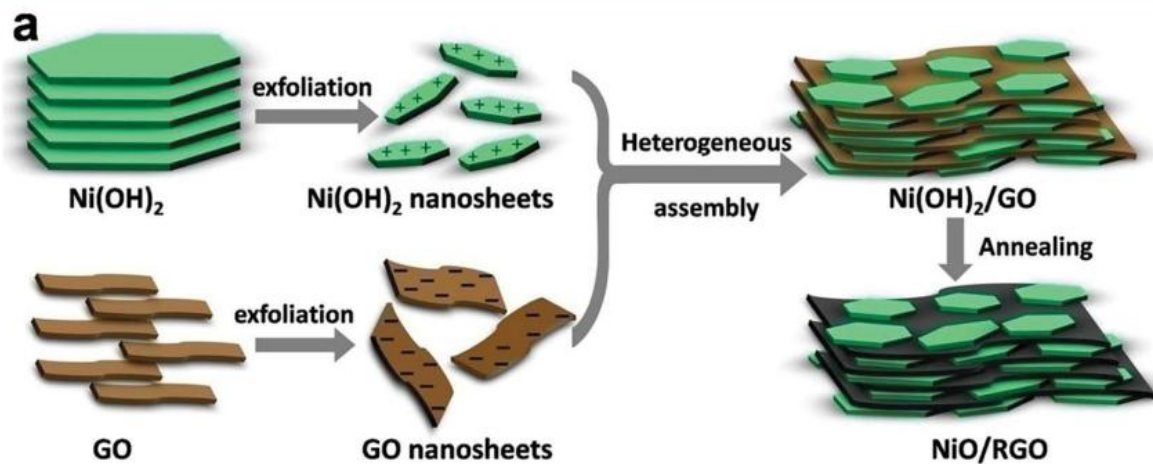
Hierarchical porous carbon

Ni Foam

Separator + 6 M KOH



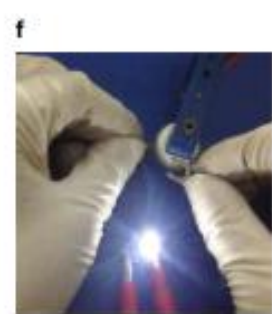
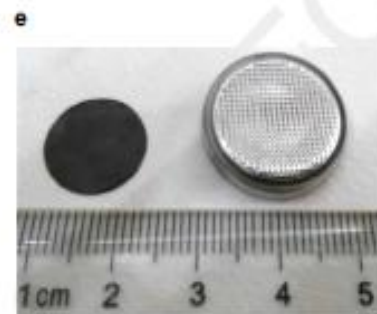
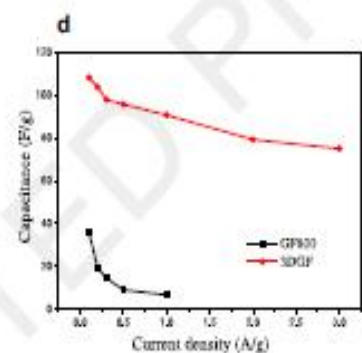
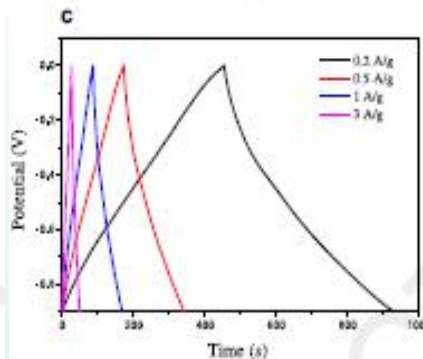
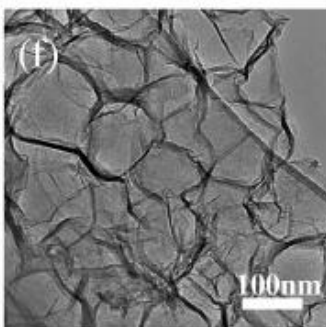
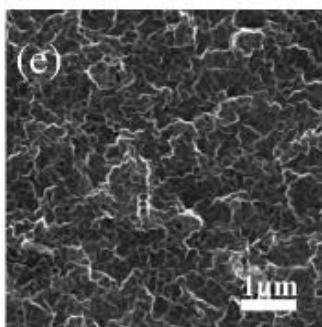
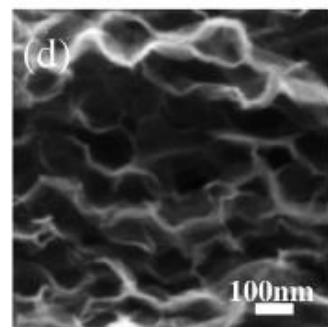
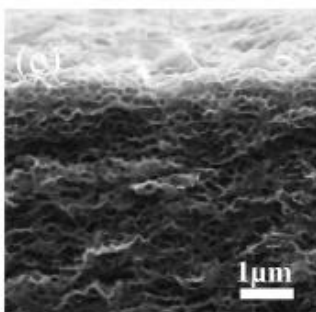
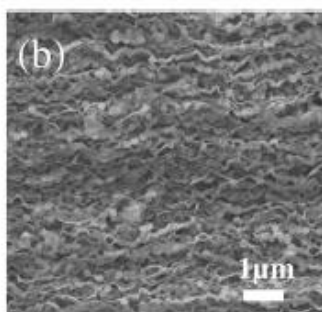
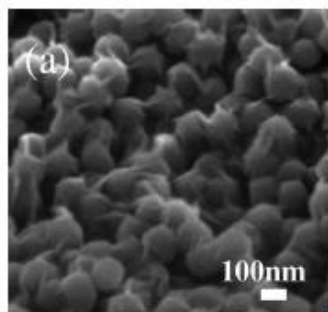
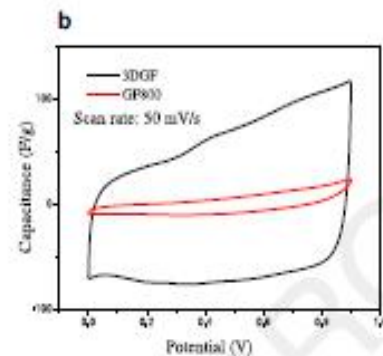
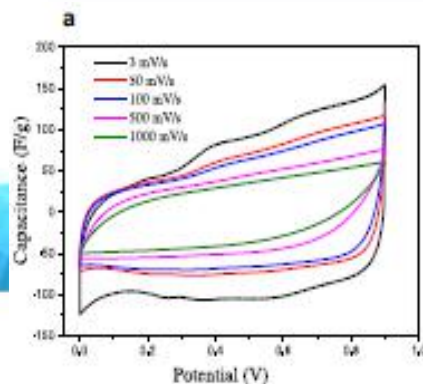
探索：石墨烯/NiO层层自组装材料



32.5 Wh/kg@375 W/kg, 19.78 Wh/kg@7500 W/kg 3000次循环保持率92.7%@2A/g

Li Q, Wei Q, Xie LJ, Chen CM*, Su FY, Lu CX* *RSC Adv.* 2016, 6, 46548

探索：无粘结剂石墨烯纸电容



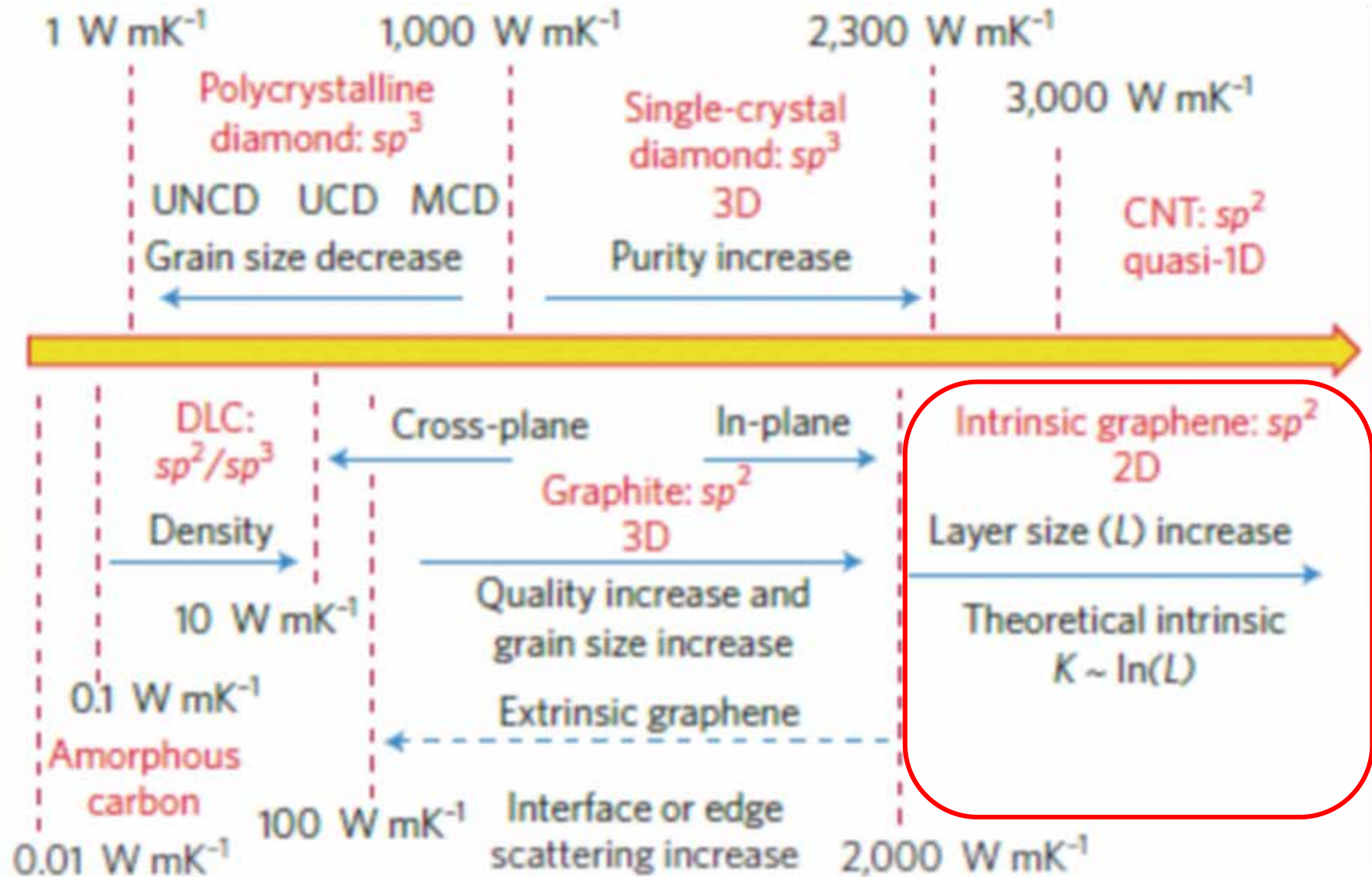
Chen C-M, Gao Y-D, Zhang Q, Su D-S et al, **Chem Comm** 2012, 48, 7149-7151;
RSC Adv. 2016, 6, 9851; **J Ener Chem** 2015, 10.1016/j.jechem.2015.11.011



报告提纲

1. 石墨烯批量化制备
2. 储能器件与材料开发
3. 石墨烯多功能应用

炭同素异形体的热导率



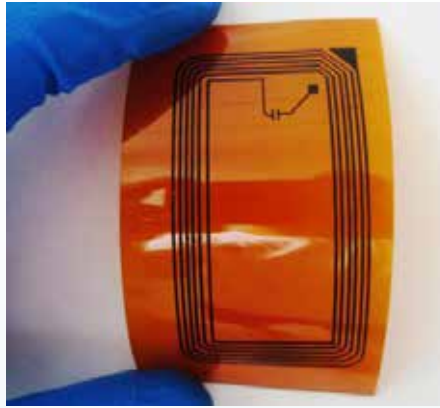
让石墨烯材料更接地气



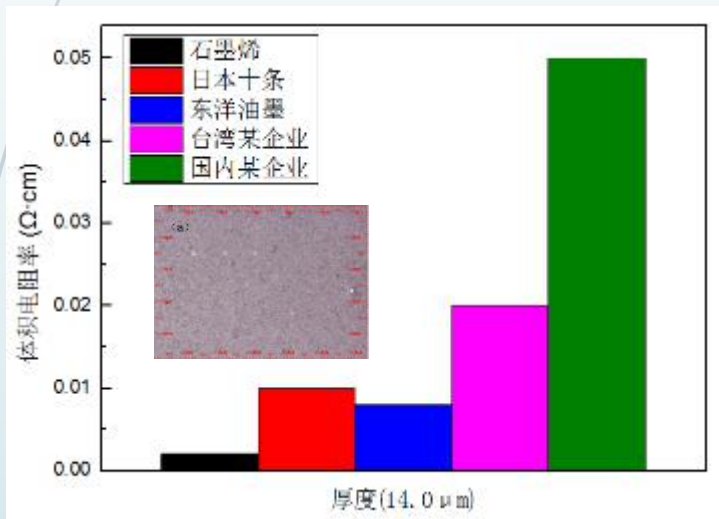
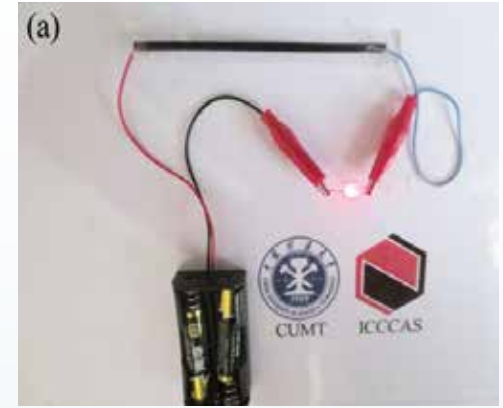
水性石墨烯导电油墨



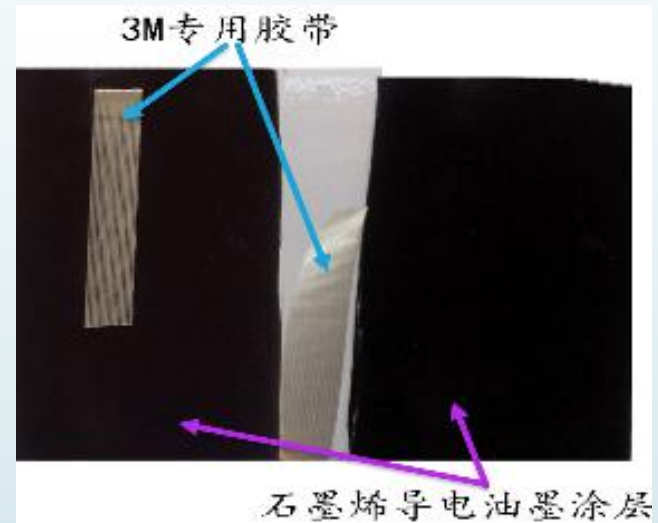
石墨烯导电油墨



丝网印刷线路



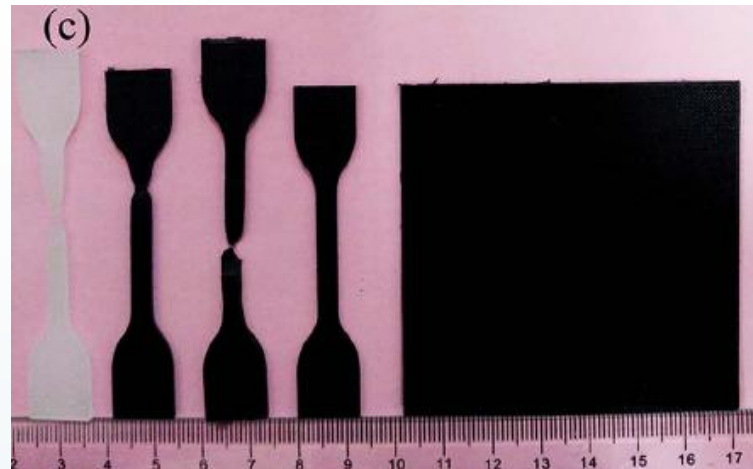
电导率测试



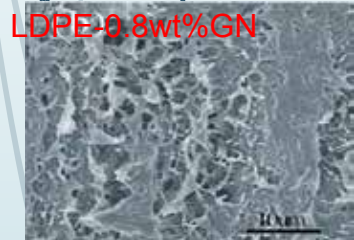
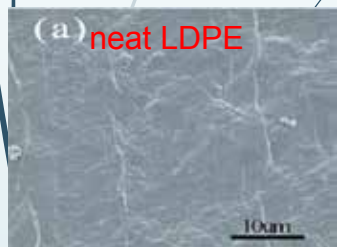
附着力测试

石墨烯显著提升油墨的电导率和附着力。

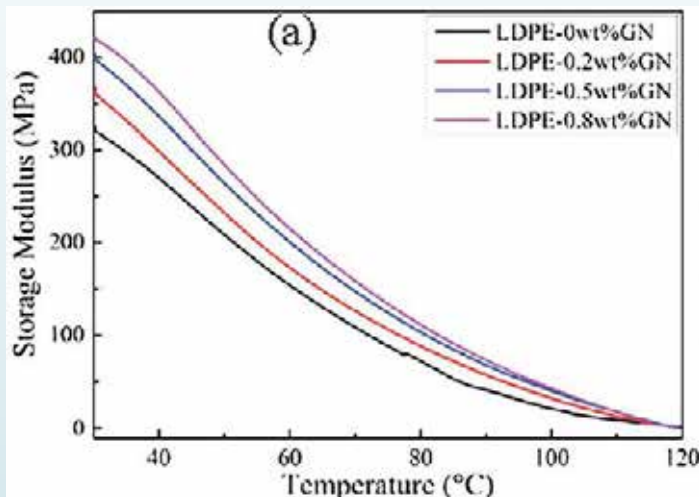
石墨烯改性功能材料



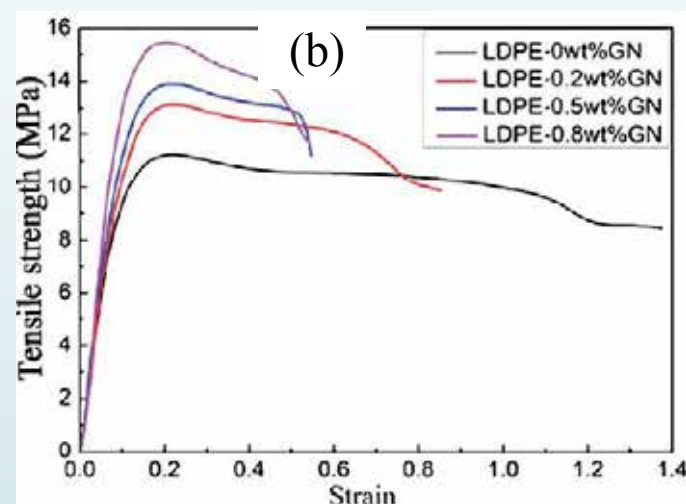
Neat LDPE+graphene → Composite suspension → Hot pressed specimens



Fractured surface



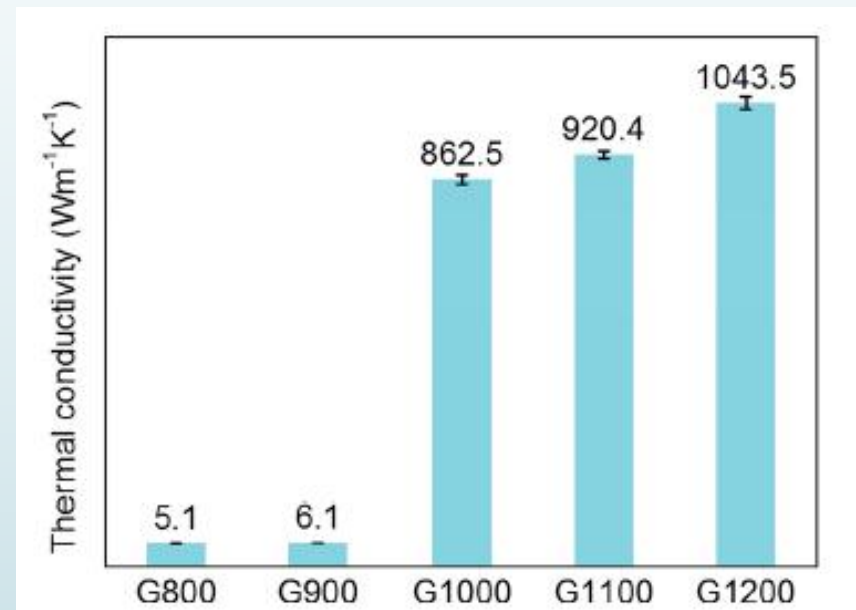
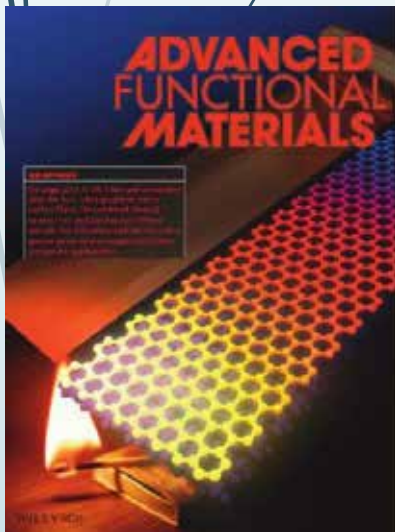
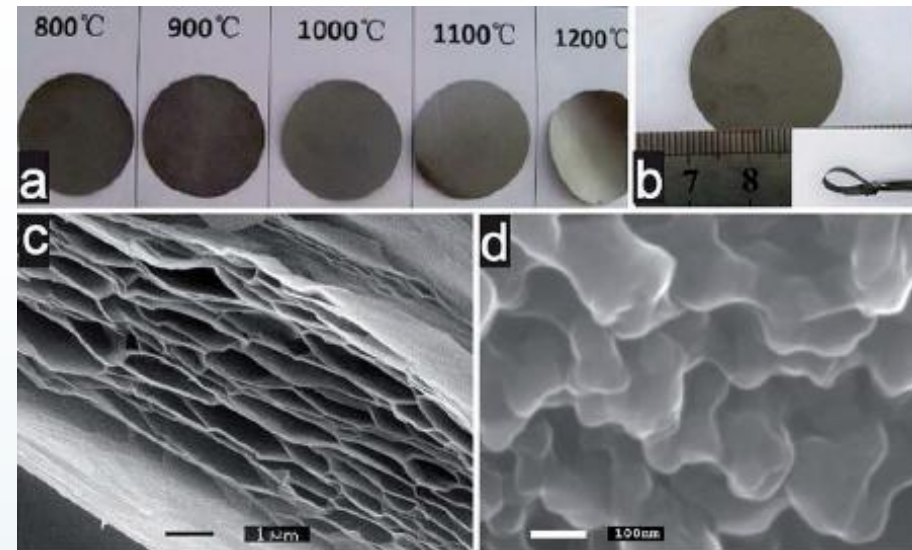
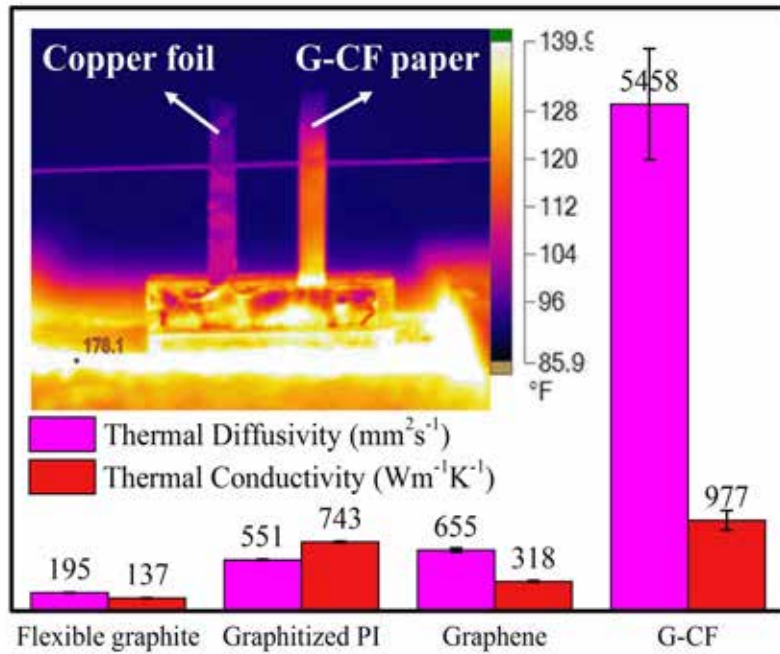
Storage modulus increased from 208 to 284 Mpa at 50 °C



Tensile strength increased to 138%

石墨烯让基体更强韧，更高电导和热导率。用量低至0.1%！

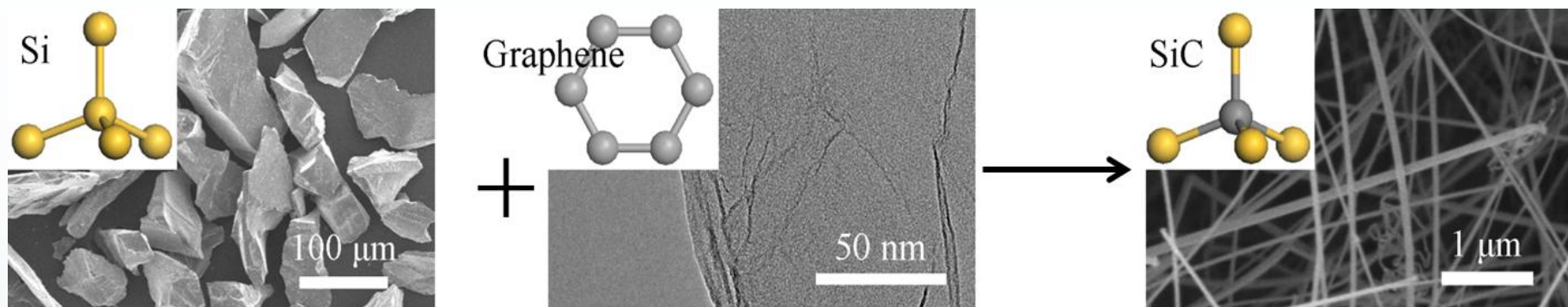
石墨烯高导热薄膜



Kong QQ, Chen CM* et al, *Adv Func Mater*, 2014, 24: 4222-4228

Song NJ, Chen CM* et al, *J Mater Chem A*. 2014, 2, 16563

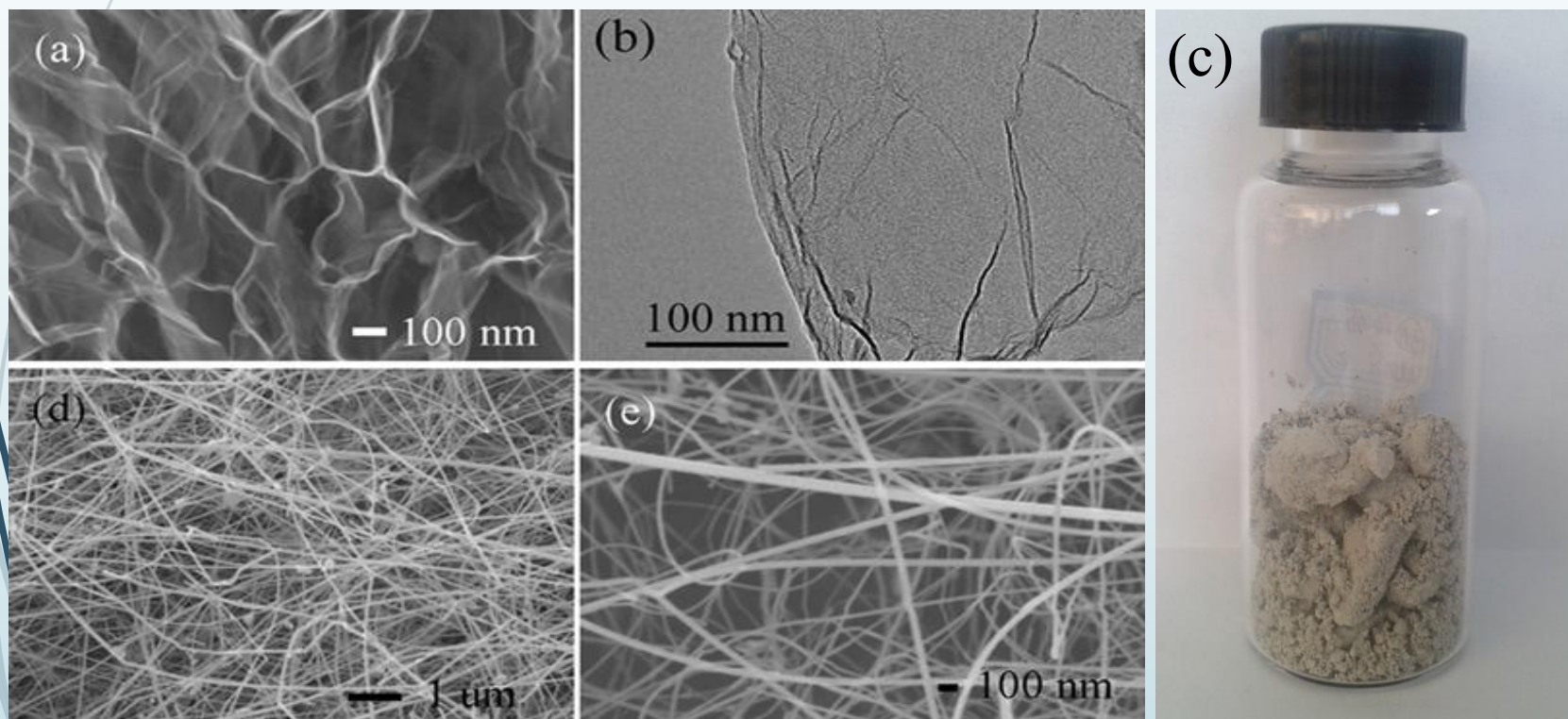
从二维石墨烯到一维碳化硅晶须



硅源

碳源

SiC晶须



石墨烯粉体应用前景

► 纳米填料（导电、导热和增强等）

应用：超电和锂电电极、导电油墨、防腐涂料、导热塑料、特种橡胶、超硬陶瓷

替代：高端炭黑、石墨粉、碳纳米管、短切碳纤维

核心：纳米高效分散技术、性价比提升

► 石墨烯组装成型材料

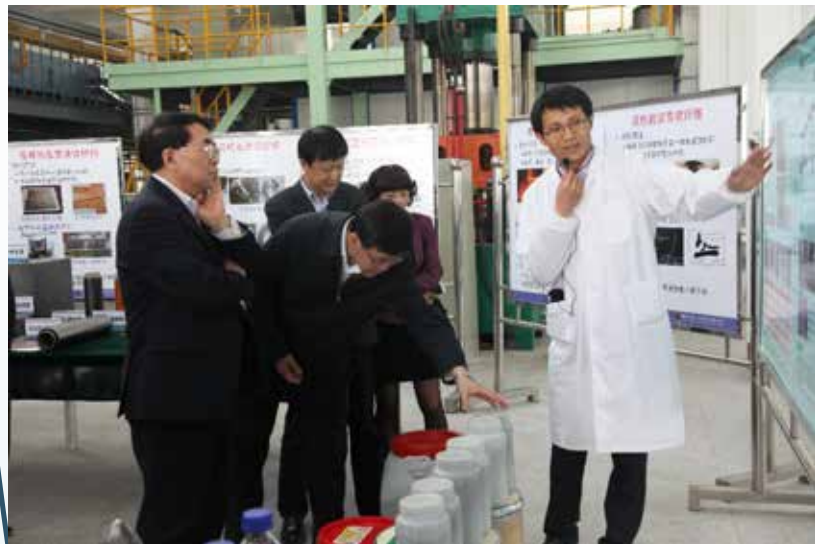
应用：导热/导电薄膜、炭气凝胶

替代：人造石墨膜、柔性石墨膜、沥青基泡沫炭

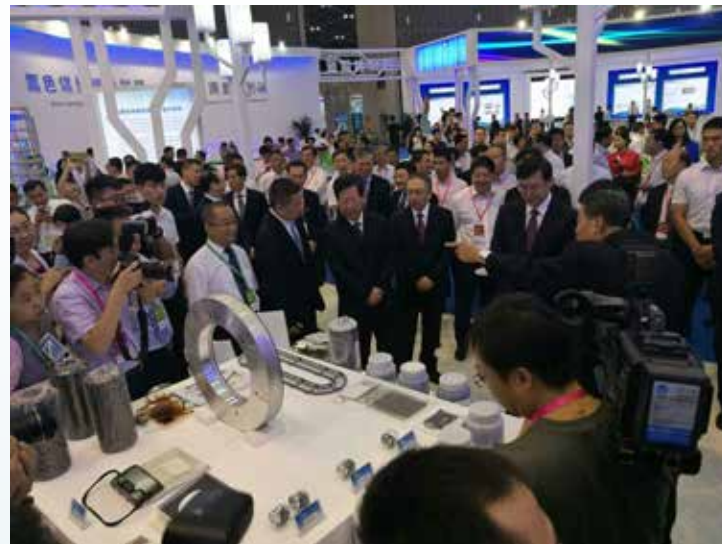
核心：纳米可控组装技术、性价比提升

石墨烯将促进多个领域的技术进步与产业升级。

领导关怀



中国科学院院长白春礼、副院长李静海、原副院长阴和俊一行



山西省委书记骆惠宁、代省长楼阳生、科技部副部长阴和俊一行



中科院副院长刘伟平一行



原山西省委书记王儒林一行

展会宣传

李晓明



2014中国国际石墨烯展览会
(上海)



2014中国国际石墨烯创新大会
(宁波)



2015中国国际环保产业博览会
(北京)



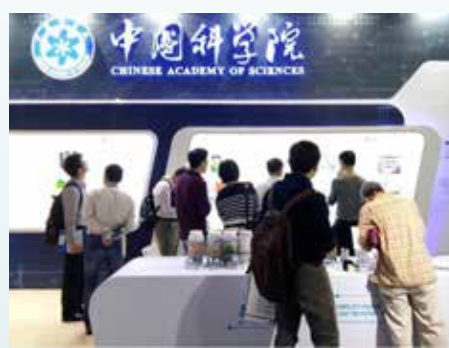
2016中国国际高交会
(重庆)



2015中国国际纳米博览会
(苏州)



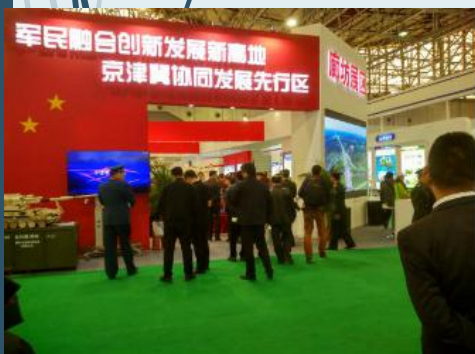
2016甘肃科技博览会
(兰州)



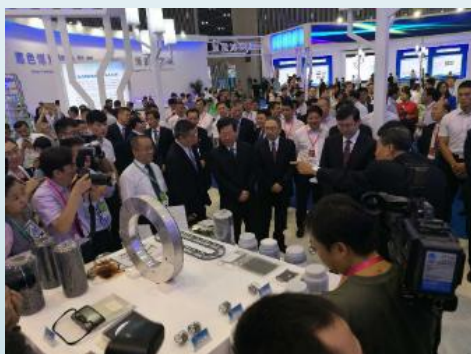
2016年第十八届高交会
(深圳)



2016山东新材料技术论坛
(淄博)



2016河北军民融合展
(廊坊)



2016中国太原国际能博会
(太原)

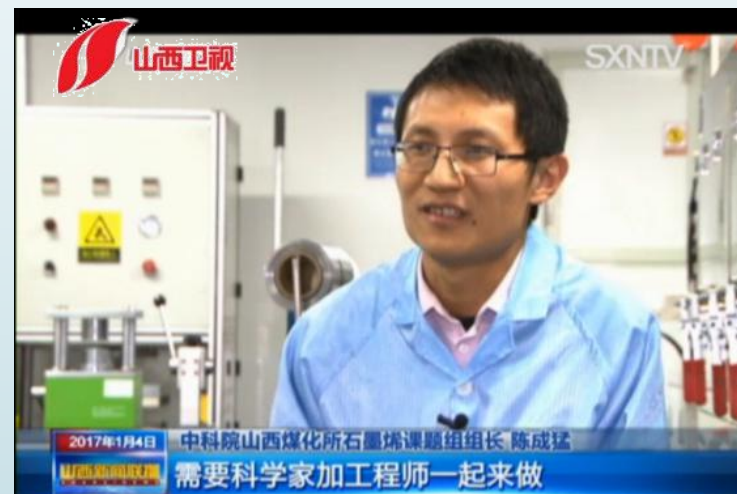


2016中国国际石墨烯大会
(青岛)



立足中国，走向世界

媒体关注



2017.1.4 山西新闻联播·《创新的力量》专题

合作伙伴

企业



美锦集团



晋能集团



山西三维



沙特基础工业



乌克兰超级电容



中科纳通



东莞迈科锂电



中国南车

中车新能源

经费支持



中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

山西省科学技术厅

The ShanXi Science and Technology Department



国家自然科学基金委员会
National Natural Science
Foundation of China

研究机构



电工所



金属所



大化所



上海技物所



光电院



清华大学



马普Fritz Haber所



电子十八所



航天42所



中航复材



太原科技局

感谢聆听，敬请提出宝贵建议。



© ICC-CAS 2012-2017

graphene.sxicc.ac.cn