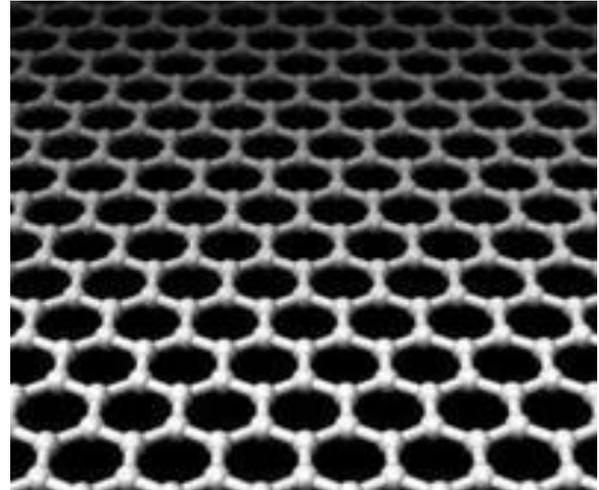
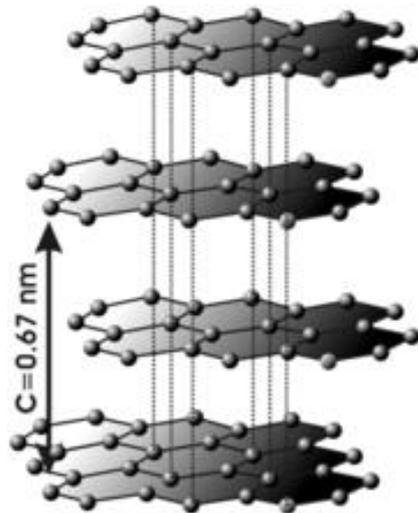


石墨烯應用簡介-20141001

1-1 石墨烯介紹

— 二十一世紀的核心材料



2004年，英國曼賈斯特大學的蓋姆和諾沃謝夫從石墨中分離出了石墨烯，並因此在2010年獲得諾貝爾獎。石墨烯是一種由碳原子按照六邊形進行排布並相互連接而成的碳分子，其結構非常穩定。

石墨烯是目前世上最薄卻也是最堅硬的納米材料。具有高導電性、出色的電子輸運性、高韌度、高強度、高導熱性等特點。

1-2 石墨烯

— 二十一世紀的核心材料

1. 電子運動最快：石墨烯的電子運動速度達到了**光速**的 $1/300$ ，遠遠超過了電子在一般導體中的運動速度。
2. 最薄最柔最堅硬的物質：美國哥倫比亞大學發現，石墨烯的硬度比鑽石還高，強度比世界上最好的鋼鐵還要高上 **100** 倍。
3. 高比表面積：比表面積 $\geq 2650 \text{ m}^2/\text{g}$ 。
4. 出色的電子輸運性：石墨烯是具有零帶隙的能帶結構。室溫下較高的電子遷移率。達到矽材料的 **100** 倍。
5. 超高導熱率：**3000-5000W/mK**，而現有石墨才 **150-1500 W/m-K**。
6. 優異防腐耐磨性：可以算是世上最輕薄的防腐耐磨塗料

1-3 石墨烯

1. 單碳原子層石墨烯：由單一碳原子層構成的二維延展性材料，是本質意義上的石墨烯。
2. 多碳原子層石墨烯(少層石墨烯)：由 2 - 10 層碳原子層構成的二維延展性材料，其性能近於石墨烯
3. 石墨烯微片：由 10 層以上至 100 納米厚的石墨微片材料，其性能介於石墨烯和石墨之間。

1-4 石墨烯的分散要求

1. 石墨烯常用分散劑：異丙醇、DMF、NMP、無水乙醇、乙醇、甲醇
2. 泓明科技試驗過的石墨烯分散劑較推薦無水乙醇，理由是較環保(乙醇就是酒，對人體較無害)
3. 石墨烯採用無水乙醇的分散效果用在漆裡面的揮發效果很好
4. 石墨烯不管採用哪種分散劑，分散後一定要使用超音波震盪 2 小時以上，超音波功率最好 1000W 以上，這樣才會讓石墨烯在分散劑中均勻分散，性能得以發揮。
5. 石墨烯在其他物料混合後最好不要做乾料球磨，濕磨混合可以。石墨烯的混合方式請以剪切+攪拌為主，沖擊和研磨為輔。目的是盡可能保持石墨烯片的完整，若石墨烯片狀的部分被打碎會降低導電度。
6. 石墨烯的加入越早階段越好，分散好石墨烯後，再陸續添加其他添加劑
7. 石墨烯使用上很重要的一點是濃度的使用量要夠，石墨烯在分散後的溶液濃度要有 0.2-0.5g/100mL，或是 2%~5%以上，分散後如果覺得太濃了可以沉降後用上面部分；不然不夠形成導電通路的起始值。
8. 石墨烯使用上，建議都需要實際實作，來根據需要來確定石墨烯的比例。
9. 如果需要利用石墨烯的導電性，添加石墨烯的量應該佔整體材料的 2%~5% 以上，以達到建立導電路的最低閾值，當然如果其中還有其他的導電物質就可以另外決定量，需您自行決定配方，有任何問題都歡迎與泓明石墨討論。

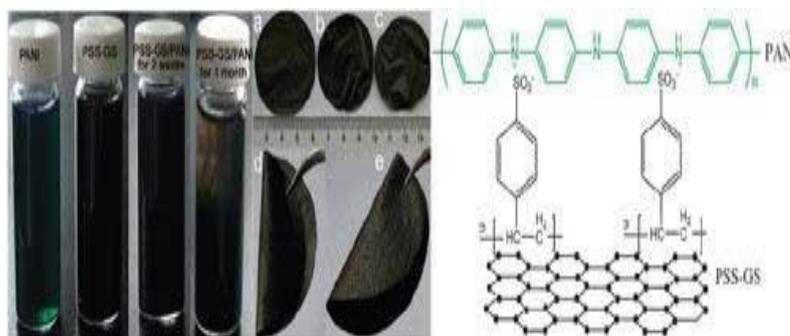
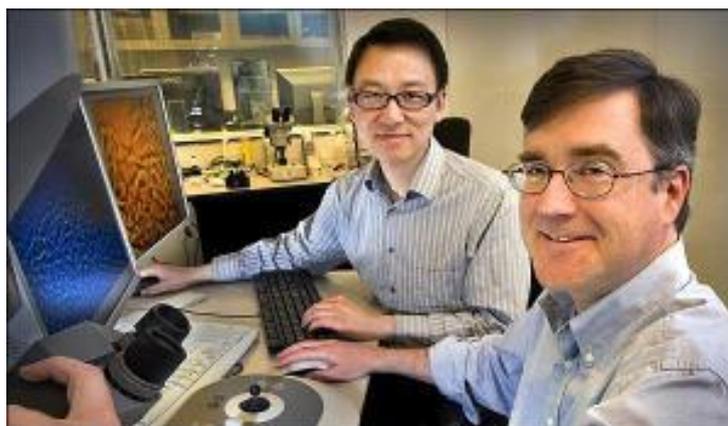
2-1 石墨烯的應用

新型的超級電容器

美國 **Nanotek Instruments** 公司新研製的石墨烯超級電容器，能量密度為 85.6

Wh/kg，充放電只需要幾分鐘、甚至幾秒鐘。（見 Nano Letter）。

這意味著新一代的超級電容器作為儲能器件將取代具有環境污染的鉛酸電池和具有安全隱患的鋰離子電池，並在**儲能和動力電池領域帶來重大的進步**。



2-2 石墨烯的應用

石墨烯超級電容器與工業化鋰離子電池對比

對比專案	石墨烯超級電容儲能器	鋰離子電池
能量密度（瓦*時/公斤）：	80—480	80—160

功率密度（瓦/公斤）：	≥ 1,000	300
充電速率（分鐘）：	≤5	≥ 180
高效節能：	≥ 95%	≤65%
迴圈使用壽命（次）：	≥ 100,000	≤2,000
價格（與鋰電池相比）：	≤10% + 的範圍內	

2-4 石墨烯的應用

國內石墨烯超級電容器投資情況

1. 中國南車集團開始實施寧波的投資計畫，將在寧波興建 6 條超級電容器的生產線，總投資額大於 3 億元人民幣。
2. 北京集星公司將在常州投資 2 億元人民幣，興建超級電容器的生產線。
3. 遼寧朝陽立原新能源公司在當地政府的支持配合下，正在興建超級電容器的生產線。

2-5 石墨烯的應用

石墨烯應用於鋰電池導電劑

- 石墨烯一般按照 2%-5% 的比例添加到導電劑裡
- 如果部分添加要考慮和原有導電劑的相容性
- 理論上是石墨烯完全可替換導電劑
- 石墨烯必須要用 NMP/無水乙醇等分散劑分散
- 石墨烯分散後還要進行充分的超聲處理

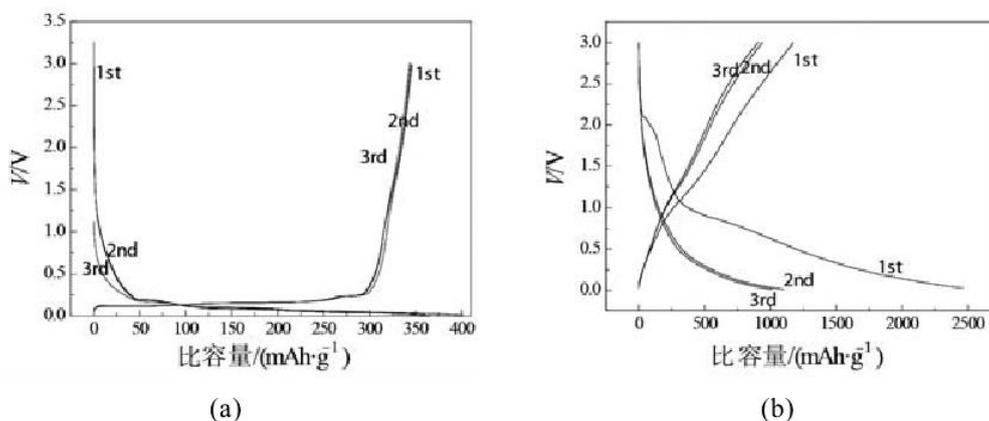
2-6 石墨烯的應用

石墨烯在鋰離子負極的應用

- 石墨烯直接作為鋰離子電池負極
- 石墨烯/SnO₂ 複合材料作為鋰離子電池負極
- 石墨烯/Si 複合材料作為鋰離子電池負極
- 石墨烯與 Fe₂O₃、TiO₂、Co₃O₄ 等複合作為鋰離子電池負極

2-6 石墨烯的應用

石墨烯在鋰離子負極的應用



2-7 石墨烯的應用

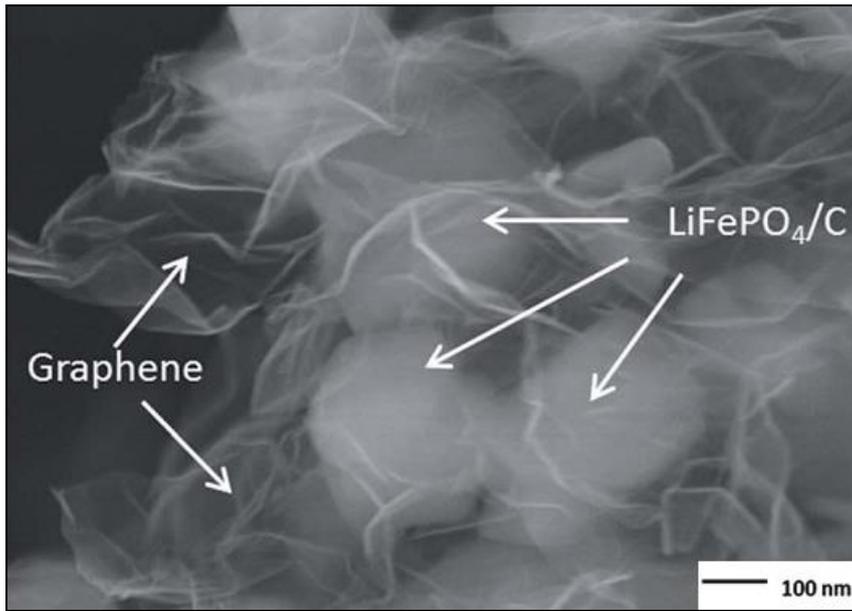
石墨烯在鋰離子正極的應用

- 石墨烯與多種正極材料複合的方法與工藝
- 石墨烯與磷酸鐵鋰複合的性能
- 石墨烯與磷酸鈣鋰複合的性能

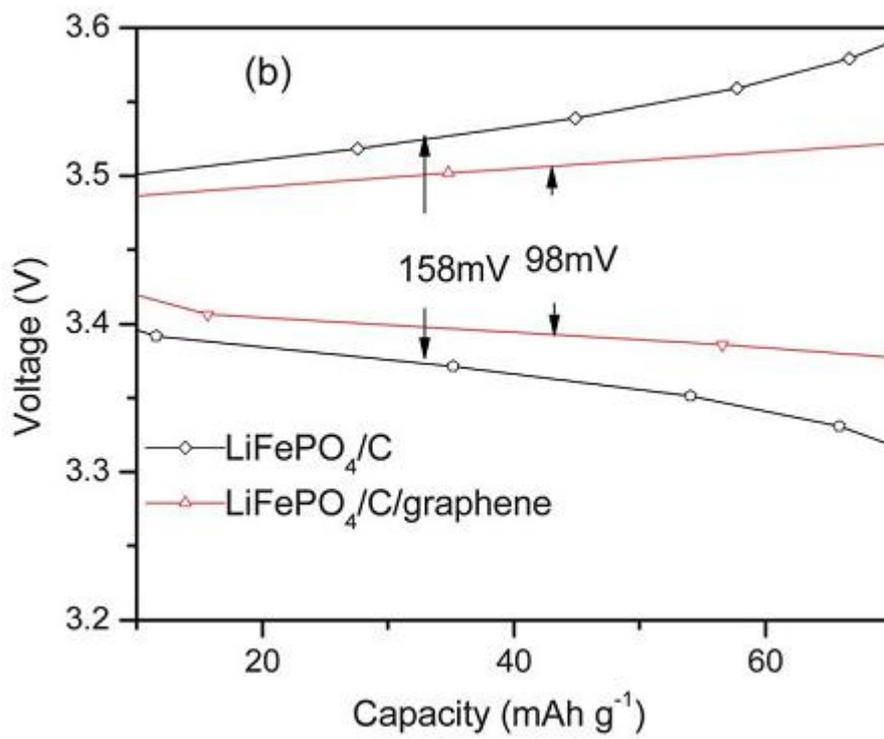
石墨烯改性正極材料的製備方法

正極材料	複合方法	製備的大致過程	氧化石墨烯製備方法及還原劑	粒径 / nm	石墨烯含量 / %	文獻
LiFePO ₄	共沉淀法+熱處理	(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ ·6H ₂ O、NH ₄ H ₂ PO ₄ 、石墨烯懸浮液、LiOH 在氮氣流中混合,綠色沉淀洗滌離心分離後,120 °C 熱處理 5 h,700 °C 氮氣流焙燒 18 h	改進的 Hummers 法/水合肼	約 100	1.5	3
	水熱法+熱處理	FeSO ₄ ·7H ₂ O、H ₃ PO ₄ 、LiOH、抗壞血酸、氧化石墨烯為原料,置於高壓反應釜內,200 °C 反應得到前驅體,然後焙燒(H ₂ /Ar,600 °C、2 h)	改進的 Hummers 法/H ₂	-	8	4
	噴霧乾燥+熱處理	H ₃ PO ₄ 和 PEG 400 攪拌,加 LiOH 得到白色懸浮液,加入 FeSO ₄ ,180 °C 下攪拌 9 h,冷卻,離心分離得到 LiFePO ₄ ;200 °C 下噴霧乾燥法製備 LiFePO ₄ /氧化石墨烯複合物,通過熱還原(600 °C)將氧化石墨烯還原為石墨烯	改進的 Hummers 法/熱還原	2~5 μm	9	5
Li ₃ V ₂ (PO ₄) ₃	溶膠凝膠法	Li ₃ V ₂ (PO ₄) ₃ 和氧化石墨烯前驅體混合攪拌,加入抗壞血酸,80 °C 下攪拌超聲波處理 4 h,800 °C 氮氣氣氛下燒結	改進的 Hummers 法/抗壞血酸	280	1.14	6
LiMn _{1-x} Fe _x PO ₄	水解+溶劑熱法	氧化石墨烯分散於 DMF/H ₂ O (10:1) 溶液中,在 80 °C 下加入 Mn(OAc) ₂ 和 Fe(NO ₃) ₃ ,再加 LiOH 和 H ₃ PO ₄ ,180 °C 下溶劑熱反應,用抗壞血酸還原 Fe(III) 和氧化石墨烯,得到 LiMn _{0.75} Fe _{0.25} PO ₄ /石墨烯納米棒	改進的 Hummers 法/抗壞血酸	長 50~100; 直徑 20~30	約 20	7
LiMn ₂ O ₄	自組裝	Mn ₂ O ₄ 納米晶體和分散性較好的石墨烯懸浮液混合後加入 LiOH,混合均勻,乾燥,380 °C 燒結 1 h	改進的 Hummers 法/水合肼	約 7	6	8
	微波輔助水熱法	首先製備出 MnO ₂ /氧化石墨烯,然後加入 LiOH,利用微波輔助水熱法製備,溫度 200 °C	改進的 Hummers 法/水合肼	10~40	27	9

2-8 石墨烯的應用



$\text{LiFePO}_4/\text{C}/\text{graphene}$ 在掃描電鏡下觀察到的形貌



$\text{LiFePO}_4/\text{C}/\text{graphene}$ 和 LiFePO_4/C 複合電極在 0.1 C 電流密度下的充放電曲線

2-10 石墨烯在鈉硫電池的應用



日本 NGK 公司開發鈉硫電池作為儲能電池，於 2002 年開始進入批量商品化階段，已建成世界上最大規模(8MW)的儲能鈉硫電池裝置，截止 2005 年 10 月統計，年產鈉硫電池電池量已超過 100MW。

由於硫是絕緣體，所以硫一般是填充在導電的多孔的炭或石墨氈裡，如果參雜了石墨烯的活性炭，將大幅度提高載電能力。

2-11 石墨烯在耐磨塗層的應用

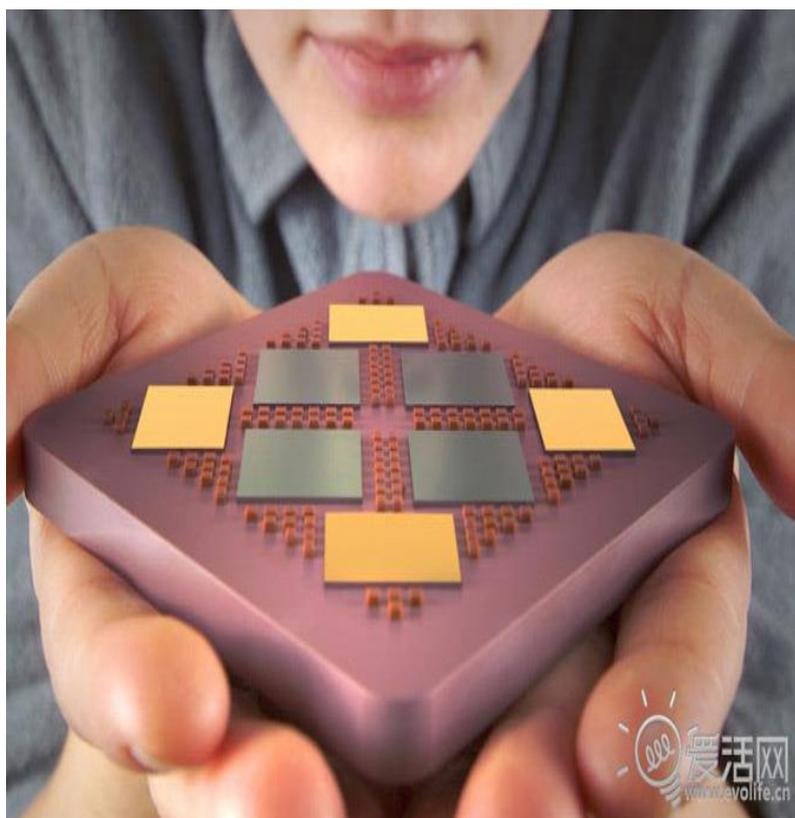


iPhone6 概念機螢幕上將覆以石墨烯塗層，石墨烯具有比鋼鐵還堅硬的特質，利用這個特點來增強螢幕的耐磨性。

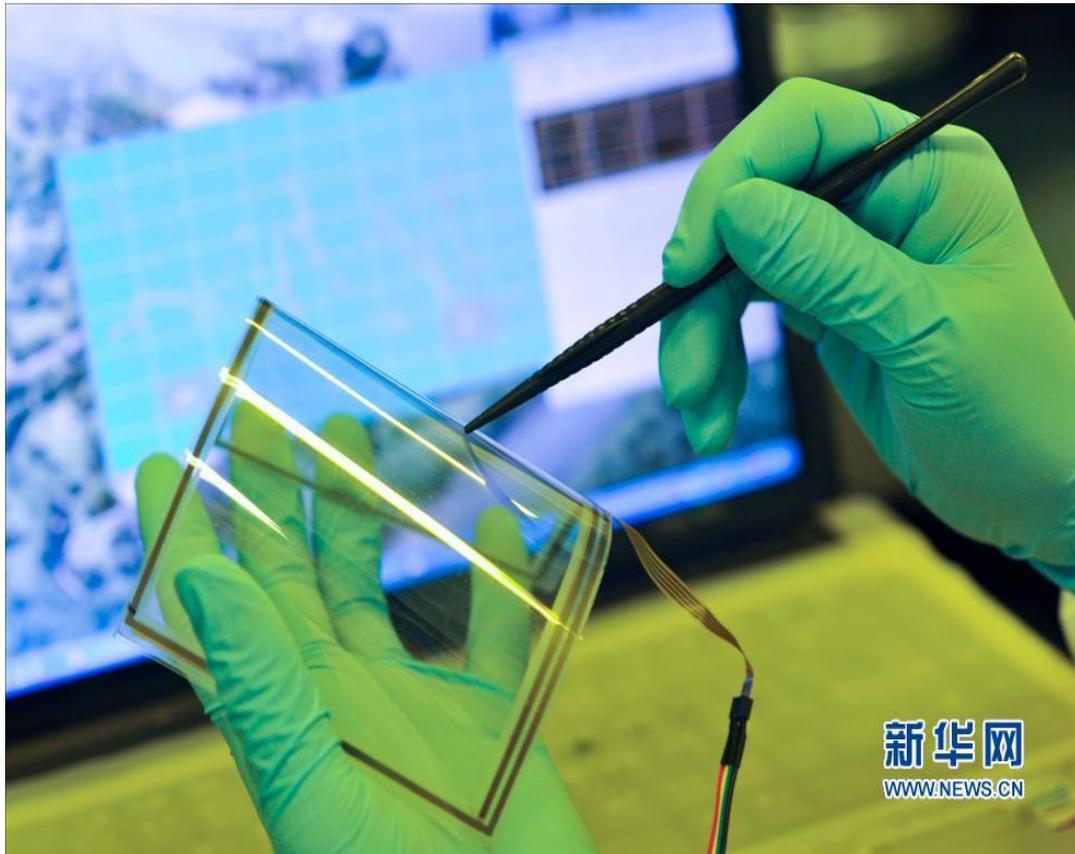
2-12 石墨烯應用—資訊領域

超級電腦

1. 石墨烯可以實現小於 **10 納米**的積體電路線寬，同時，其電子運行速度遠高於銅線。
2. 改性的石墨烯可以產生 0.2eV 的禁帶，被認為是取代矽半導體材料的新材料，在太赫茲頻率中其處理器速度比矽快 **1000 倍**。



2-13 石墨烯應用—資訊領域 柔性透明電極



美國 Vorbek 材料公司已成功開發“Vor-ink”導電油墨，用於隱形電子條碼安全系統等。在物聯網產業中有廣闊的應用市場。

中科院重慶綠色智慧技術研究院成功製備出國內首片 15 英寸的單層石墨烯，將為手機、電腦等電子產品帶來一場革命。

2-14 石墨烯應用—資訊領域 柔性觸控式螢幕



1. 韓國三星公司已成功將石墨烯應用於柔性觸摸平板顯示器。
石墨烯未來應用視頻位址：

http://v.youku.com/v_show/id_XMzg0MjQwNDE2.html

2. 常州碳元科技發展有限公司亦成功制得手機用石墨烯觸摸平板顯示器。

2-15 石墨烯應用—吸附材料 石墨烯氣凝膠

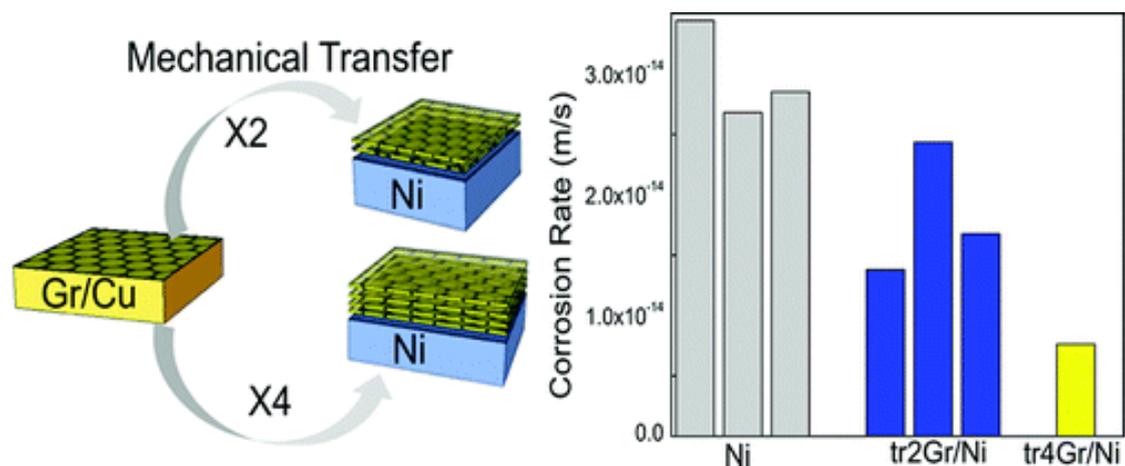


浙大高分子系高超教授利用石墨烯製出一種世界最輕物質，取名碳海綿。它具有超高吸附能力，現有吸油產品一般只能吸自身品質 10 倍左右的液體，而碳海綿能吸收 250 倍左右，最高可達 900 倍，而且只吸油不吸水。

2-16 石墨烯應用—複合材料 太空電梯



2-17 石墨烯應用—防腐領域 防腐材料



美國範德比爾特大學（Vanderbilt University）化學和生物分子工程系教授普拉賽新的研究證實，石墨烯是已知世界上最薄的防腐塗料，銅表面培育單層石墨烯

塗層，腐蝕速度比裸銅慢七倍，鎳表面培育多層石墨烯塗層，腐蝕比裸鎳慢 20 倍。適量添加石墨烯的防腐漆可全面用在傳統的防腐領域，大幅度提高防腐性能。

2-18 石墨烯應用—散熱領域 手機散熱膜



- 利用石墨烯的超高導熱率:3000-5000W/mK 的特點，按照石墨散熱器的原理來生成石墨烯散熱膜；石墨烯散熱膜跟石墨散熱膜相比：
- 更薄，石墨烯單層 0.4nm，一般用小於 10 層的石墨烯，也在 4nm 以內
- 更輕，表比面積更大（50m²/g）來製作出理想的石墨烯散熱膜。

2-18 石墨烯應用—散熱領域 手機散熱膜

嚴格講起來通常手機使用的散熱薄膜厚度大多落在 25um，實在講起來不能稱為石墨烯，因為他實在是太多層了，所謂石墨烯指的是單層的石墨才叫做石墨烯，十幾層內的我們可以說它是少層石墨烯還說得過去，但是十幾層也才~5nm(奈米), 1um(微米)=1000nm(奈米), 25um 不就好幾千層，那就是石墨的定義了，所以手機散熱的用的石墨薄膜，就應該叫做石墨薄膜，若連這個都要叫做石墨烯薄膜，那所有的石墨都能叫做石墨烯了，所以市場上有相當多的廠商誤用名稱造成大家

的誤解。通常手機用的散熱膜大多是採用人造的方式生產，原料採用特殊的塑膠，進行高溫石墨化再結晶，所以應該要稱作人造石墨薄膜，至於有些採用石墨粉材壓薄加膠材壓成薄膜的這種，通常我們就指稱做超薄石墨，或是石墨紙這類的稱呼，這類的導熱性就與傳統石墨材料相同，只有人造石墨薄膜材有機會到達 1000W/MK 以上的散熱等級。