二維材料的革命

文/總編輯　陽毅平

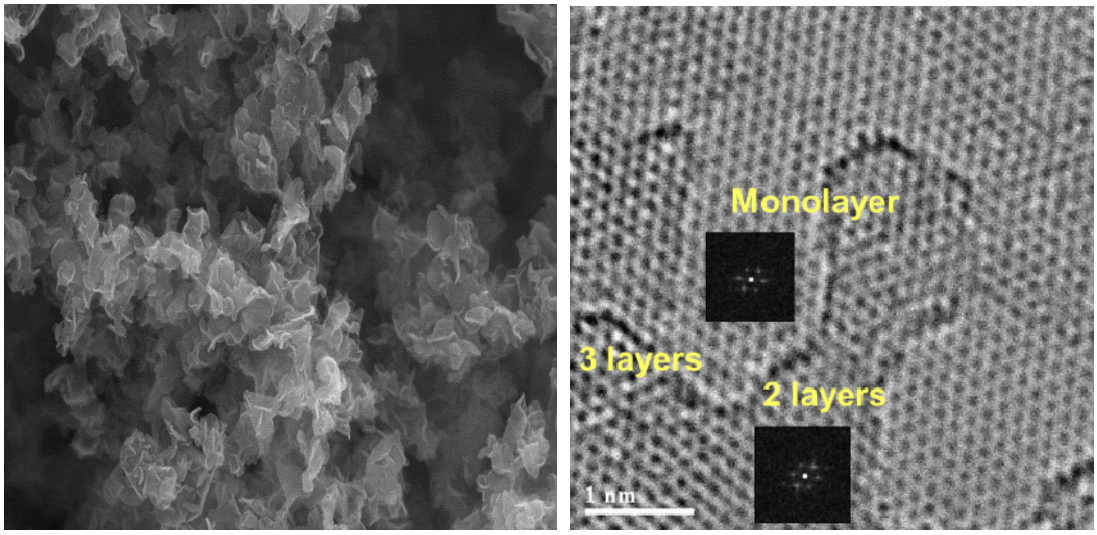
我們常以材料劃分世紀，古時有石器時代、銅器時代、鐵器時代，現代的鋼筋水泥、不鏽鋼、矽也造就了新的時代。去年，世界經濟論壇選出十大浮現科技(Emerging Technologies)[1]，其中有一種新的二維(2D)材料，它的基本結構僅僅是單層原子，卻具有極大的潛力。過去幾年中，科學家配方產出各式的二維材料，例如由碳晶格形成的石墨烯(graphene)、由硼晶格形成的硼烯(borophene)、六方氮化硼(hexagonal boron nitride)形成的白石墨烯(white graphene)、鍺烯(germanene)、矽烯(cilicene)、錫烯(stanene)等，其中碳原子最小，石墨烯就形成了一個完美且穩定的平面，而且可以像堆積木合成新的材料。

石墨烯是由英國曼徹斯特大學物理學家 Andre Geim 和 Konstantin Novoselov，成功地在實驗從石墨中分離出來，而證實它可以單獨存在，兩人也以“二維石墨烯材料的開創性實驗”，共同獲得 2010 年諾貝爾物理學獎。石墨烯的強度是鋼的 200 倍，硬度高於鑽石，質輕、撓性且透明，電阻率只約 10^{-6} Ω·cm，比銅或銀更低，為目前世上導電性最好的材料，導熱係數也高達 5300 W/mK，高於碳奈米管和金剛石；除了水蒸氣可以在石墨烯層間自由流動外，許多其他物質是無法滲透的。

起初，石墨烯比金還貴，如今製造技術改善，成本降低，甚至已經可以用在濾水器、海水淡化、及廢水處理，因為石墨烯能吸收一氧化碳和氮氧化物等，還能用在鋪路材料或混凝土材料中，可以淨清空氣，未來還能應用在醫學消毒殺菌等材料上。石墨烯的發展，將朝向大體積、高附加價值的材料應用，電力電子的應用就是一個很好的方向。石墨烯已經可以用在撓性感測元件，縫在衣服上，甚至用在三維列印，直接用新式加法製造(additive manufacturing)技術製成紡織品。

六方氮化硼和石墨烯結合，可以改善鋰離子電池和超高電容的性能，提高電能密度，降低充電時間，延長電池壽命，減輕產品重量，減少廢電池數量，從小的智慧手機到大的電動車，都具有發展潛力。

二維材料的新發明為科技帶來新的工具，科學家和工程師都興奮的混合配方出各種不同的超薄材料，它們具有獨特的光學特性、機械性質、或是電氣性質。看起來 20 世紀的明星工程材料—鋼與矽—和石墨烯比起來，就顯得遜色多了。



掃瞄式電子顯微鏡(scanning electron microscope, SEM) (左)及穿透式電子顯微鏡(transmission electron microscope, TEM) (右)下的高品質石墨烯粉末[2]

參考資料

[1] https://www.weforum.org/agenda/2016/06/top-10-emerging-technologies-2016/

[2] 工研院機械與機電系統研究所黃昆平博士提供

■