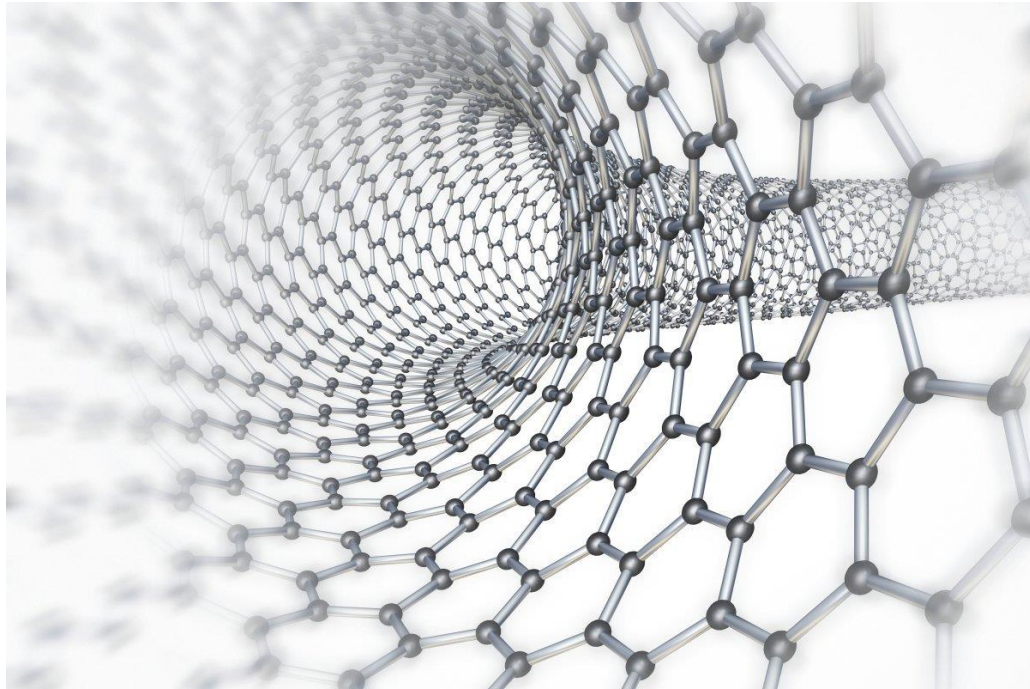


標題：電子業的新希望—奈米碳管

關鍵字：奈米碳管、電晶體、晶片、矽



你聽過石墨烯嗎？一種由碳原子組成的奈米材料，憑藉著輕薄的外型與極佳的導電力，幫助碳元素成為當代科技產業的焦點，點燃新一代電子元件的希望。而在此不久之後的今年，石墨烯的兄弟—奈米碳管與一個 16 位元的晶片成功合作，對外傳出「Hello World」的訊號，向世界證明碳元素仍持續發光。

什麼是奈米碳管

如果說石墨烯是個只有單原子厚度的平面薄膜，那麼奈米碳管就是一款捲曲式的石墨烯，除了承襲石墨烯的基本特性之外，也被評為相當頂尖的半導體材料。

面對電子，半導體物質有時會像導體般允許電流通過，有時又得像絕緣體般無動於衷，而電腦晶片就是利用電晶體上半導體的開與關，進行二元運算與傳播。目前，由矽製成的電晶體最為主流，但表現已經趨為穩定，無論是尺寸或是效能都沒太多進步空間。

於是，大家將希望投向組成元素較小的奈米碳管，並看中其優秀的導電性質。原則上，由奈米碳管製成的處理器能比同類快上三倍，卻僅花費三分之一的能量，照這樣發展，人類或許就能推出更強大的電腦，承擔更複雜也更龐大的任

務。

從奈米碳管到晶片

和鑽石一樣，奈米碳管也是在高壓環境下長成。當石墨被放進高溫高壓的火爐之中，與灌入的氬氣和催化劑金屬一起鍛燒，在生成的煤灰中就能得到奈米碳管。然而，他們不一定夠純，儘管能夠提升至 99.99% 仍然不夠，金屬的碎屑會阻礙電晶體斷電，影響信號讀取與處理。

為了找尋補救方案，主導這項研究的麻省理工學院教授 Max Shulaker 與他的同事，開始分析這些金屬成分對於不同電晶體配置的干擾程度，發現有些配置相對敏感許多。於是他們小心翼翼地設計迴路，盡可能避開所有脆弱的電晶體配置，讓以假亂真的殘渣無用武之地，解決材料提取在實務上難以突破的瓶頸。

接著，已經準備就緒的電晶體能被放上晶圓，進化成晶片發揮功用。然而此時的奈米碳管往往會群聚成束，導致電晶體失效，Shulaker 說道：「這就像是我們磚頭蓋了一個後院，卻有一塊巨石卡在中間。」經過一些研究，Shulaker 團隊將電晶體散佈在晶片上後，利用震動仔細移除不需要的捆束，讓電晶體恢復效用。

雖然說在這個 16 位元的晶片中僅含有 14000 個電晶體，與現代處理器的十億相差甚遠，但在未來的日子裡，奈米碳管或許可以加入矽晶片，靠著小巧的外型追求精簡，同時也能利用超強導電力的優勢，讓運算節省更多能量。

奈米碳管的未來

Shulaker 說：「奈米碳管是新世代電子產品的希望，但想利用奈米碳管建造出可行的系統，還需突破一道又一道的關卡才行。」目前，奈米碳管製的電晶體大約一微米寬，而矽製的只有數十奈米；此外，前者就當今的設計每秒只能開關一百萬次，而後者已可達到數十億次。對照歷史看來，現在的奈米碳管電晶體大約只有矽電晶體在 1980 年代的水準而已。

威斯康辛大學的材料科學家 Michael Arnold 建議：「縮小電晶體的尺寸便能幫助電流壓縮，以較小的電阻通過電晶體，讓開關次數加快。不僅如此，奈米碳管的排列如果更加整齊，就像是為電流開路，也可以增加資料處理的速度。」

話說回來，奈米碳管的前瞻性還是不容小覷，甚至對於電腦以外的領域也有些貢獻。像是在生醫科技的太陽能電池之中，奈米碳管能好好善用它的長處，造就更輕、更持久的裝置。

參考資料：

1. Maria Temming, "[A chip made with carbon nanotubes, not silicon, marks a computing milestone](#)", ScienceNews, 28 Aug 2019
2. John Wenz, "[Why This New 16-Bit Carbon Nanotube Processor Is Such a Big Deal](#)", Popular Mechanics, 28 Aug 2019