

從產業革命到奈米科技

中央研究院物理研究所 陳啟東

<http://www.phys.sinica.edu.tw/~quela>

大綱：

從歷史角度看科技如何影響生活

第一次產業革命：機械時代的降臨

第二次產業革命：發電機的誕生及其造成的後續影響

第三次產業革命：資訊工業的萌芽與今日的資訊時代

科學精神對我們生活的啟示

奈米科技：下一代的產業革命

產業發展所帶來的負面影響

Sir Isaac Newton
1644 ~1727



牛頓

英國的科學家、數學家、物理學家、天文學家。早年就讀劍橋大學學習數學。

23~25歲：**光之分析**、**萬有引力**、**微積分法**三大發現

重要生平及發明：

- 24歲發明反射望遠鏡。
- 28歲當選為皇家學院院士。
- 41歲完成萬有引力法則。
- 59歲升任皇家學院院長。



牛頓日夜從事研究的書桌，
桌上放置的就是他自製的反射式望遠鏡

牛頓三大定律：**慣性定律**、**加速度運動定律**、**作用與反作用定律**

其著作有**自然哲學的數學原理**、**光學**、**普遍算術**等書。

牛頓的遺言是：

「要是我比笛卡兒看得遠一點，那是因為我是站在巨人們的肩上的緣故。」

第一次產業革命：從手工業向機器大工業 的過渡時期

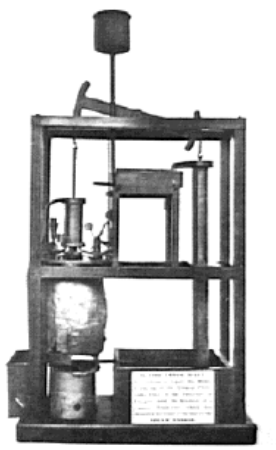
歐美社會工業化和現代化的過程

十八世紀的英國

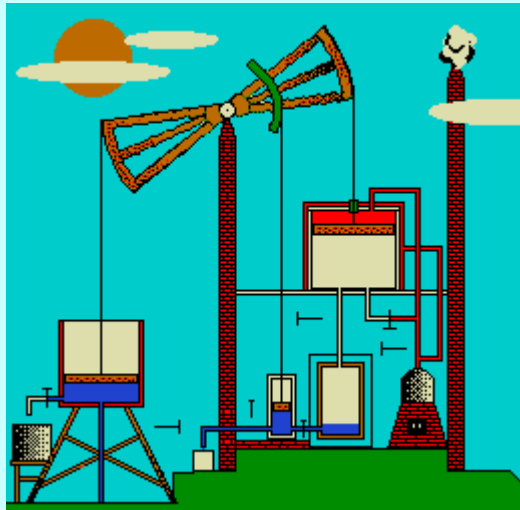
→ 1764年珍妮紡紗機

→ 動力

→ 蒸汽機

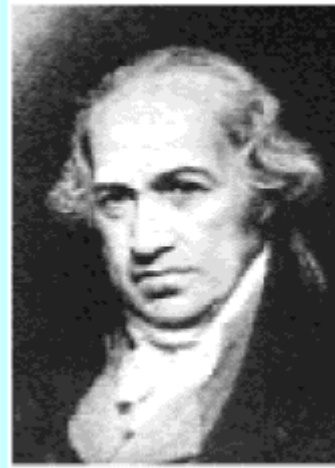


紐科門式蒸汽機：
活塞轉動慢、
耗費燃料



往復式蒸汽機

James Watt
1736 ~1819



27~46歲改良蒸氣機
52歲倫敦皇家學院的會員

1776年大型蒸汽機
1782年回轉式蒸汽機
及複動機



瓦特發明的蒸氣機現在安放於西班牙馬德里

工業革命帶來的影響



十八世紀的工廠想像圖

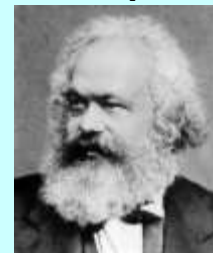
- 新型機器的生產制度
- 工廠的確立
- 需要用鉅額資金
- 集中大量的工人進行生產
- 生產過程中彼此分工
- 提高了生產效率
- 工業資產階級和工人階級

- 工人每天往往要勞動12~15小時
- 童工勞動更是普遍現象
- 1838-1848年英國的[憲章運動]，

- 識分子開始探求[理想社會]的建立

- [社會主義]的理論 萌芽

- 十九世紀時 馬克思主義(Marxism) 誕生



工業革命前後的一些重要發明

1712年	紐柯門	蒸汽機抽取煤礦積水
1733年	約翰凱	飛梭
1764年	詹姆士·哈格裡夫斯	珍妮紡紗機
1778年	約瑟夫·勃拉姆	抽水馬桶
1796年	塞尼菲爾德	平版印刷術
1797年	亨利·莫茲萊	螺絲切削機床
1781年	詹姆斯·瓦特	蒸汽機
1807年	富爾頓Robert Fulton	蒸汽輪船
1812年	特列維雪克	科爾尼鍋爐
1814年	史蒂芬生	蒸汽火車
1815年	漢·戴維	礦工燈
1844年	成廉·費阿柏恩	蘭開夏鍋爐

第二次科技革命

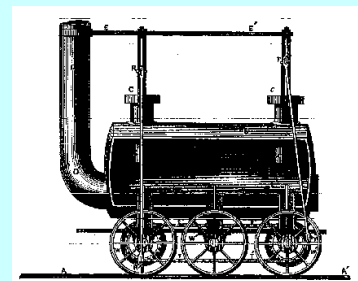
1814年，英國喬治·史蒂芬遜 (George Stephenson, 1781-1848年)製成蒸汽機車。
1870年，全世界鐵路長度已超過20萬公里。鐵路的發展直接推動了通訊方法的改進。

~電的時代來臨~

1820年，丹麥人奧斯特發現電流磁效應
：電流的導線會影響旁邊的磁針



Hans Christian Oersted 1777~1851 <http://www.fkzi.com/>



史蒂芬遜蒸汽機車
<http://cmz.html.533.net/99120803.htm>

1820年法國物理學家安培(Andre Marie Ampere, 1775-1836年)
發現安培定則即右手螺旋定則
載流迴路中電流元在電磁場中的運動規律，即安培定律



19世紀中葉：電力的應用和內燃機的發明取代了傳統的蒸汽機

發電機的始祖

對「**電磁學**」歷史有貢獻者：

美國的富蘭克林、德國的葛利克、法國的法易、英國的瓦特遜

當時受到**厄斯特**與**安培**在電學上的發現的影響，許多科學家開始從事電磁的實驗，包括戴維、歐勒斯頓(**無機化學之父**)等人。

『**運動的電荷（電流）**可以生磁，那**運動的磁**能不能生電呢？』法拉第問出這樣的問題。

法拉第於**1821年(30歲)**開始研究電流與磁鐵的相互作用，

經過十年的實驗，證實**運動的磁鐵**，可以讓**線圈產生電流**。



Michael Faraday (1791~1867)

1831 發電機

http://www.bud.org.tw/sci_star.htm

<http://memo.cgu.edu.tw/>

好書 強力推薦

電學之父：法拉第的故事。

作者. 張文亮. 出版社. 文經社 (1999). ISBN. 957-663-246-3.



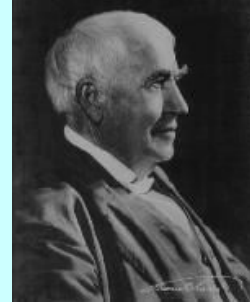
重要發現與發明列舉如下：

- (1) 物理：發現**電磁轉動**，電磁感應，電場電力線，磁場，磁力線，**電容**，介電常數，陰性射線，電漿物理，光在磁場中的偏振現象；
- (2) 電機工程：由電磁感應現象，**製作第一部馬達和發電機**；
- (3) 化學：**化學當量**，法拉第定律；
- (4) 化學工程：由蒸餾石油發現**苯**，膠體化學；
- (5) 材料科學：合金研究，發明**矽鋼**，低碳鋼，硼玻璃。

1825年(34歲)到1862年(71歲)之間，法拉第在皇家學院主持「**星期五夜晚討論會**」，討論的活動是非正式的，成員從碼頭工人到貴族、教授，各階層人士都有，大家在星期五的晚上傾聽科學的發現者講述，如何形成理論、如何進行實驗。在這裡所有人一律平等，先來的先坐位子，晚來的只好坐走廊，女王來了也是一樣。

臨終名言（76歲）：我的一生，是用科學來侍奉我的上帝

Thomas Alva. Edison (1847~1931)



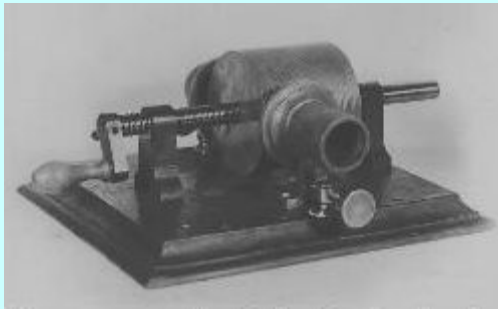
1876年(29歲) ~ 1887年 紐約南方「夢羅園」⇒「愛迪生發明工廠」

1876年：複印機，1877年：留聲機 1879年：電燈。

1882年：紐約，第一座發電廠(珍珠街發電站)，點燃了1,500隻(15瓦的)白熾燈。

1882年：電車，1883年：真空管，1893年：電影放映機，1896年鎳鐵電池。

同步發報機、複印機、改良電話機、留聲機、竹絲燈泡等二千多項發明



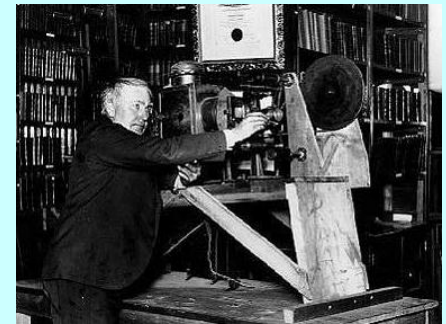
愛迪生的留聲機



燈泡



有聲電影放映機



電影攝影機



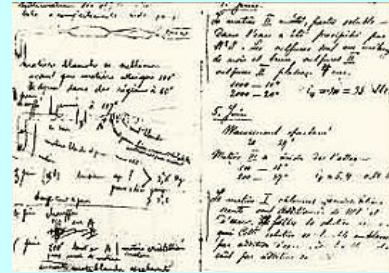
居里夫人

1867 ~1934



1878波蘭 (21歲)

「第一次在實驗室的工作，使我確信我在研究實驗上的興趣。」



1895



1896

瀝青鈾礦→**鈾**、**釷**、**鐳**→阿爾法射線、貝塔射線、伽瑪射線

1903 (36歲) 諾貝爾物理學獎 居里夫婦及貝蒙三人

1906 居里先生 車禍

1911 (44歲) 諾貝爾化學獎 《放射學》理論與實務上的成就

「**居里點**」：金屬在這溫度磁性會改變，紀念居里先生

「**居里**」：放射線單位、新元素名稱「鐳」，紀念居里夫人

Albert Einstein
(1879 ~ 1955)



事實上，他並不是一個老師心目中好的學生，因為他常常被某些問題深深的吸引，而投入全部的興趣和時間，

1900年大學畢業之後，瑞士的專利局工作

博士學位 論文：分子大小的新測定法

光電效應（光的粒子性）→ 諾貝爾獎

膠體溶液中的「布朗運動」，證明分子的存在

狹義相對論：光速恆定 及 相對性原理

廣義相對論基礎：重力不是一個力，而是在時空連續體中一個扭曲的場

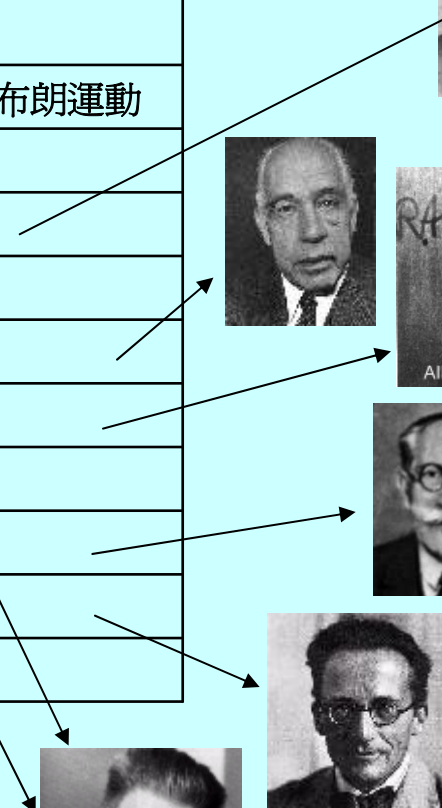
- 狹義相對論 — 牛頓運動定律的修正
- 廣義相對論 — 牛頓萬有引力定律的改造
- 統一場論 — 廣義相對論的推廣

「思考，思考，再思考。」 「科學研究好像鑽木板，有人喜歡鑽薄的，我喜歡鑽厚的。」

量子力學的出現

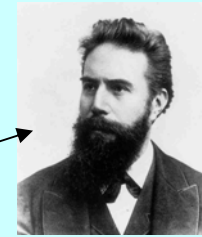
量子年表

1900年	卜朗克發現卜朗克常數
1905年	愛因斯坦發表光量子說、特殊相對論、布朗運動
1906年	愛因斯坦發表量子假說
1910年	卜朗克接受量子假說 1918
1911年	拉塞福散射實驗
1913年	波耳原子模型 1922
1914年	密立根實驗證實光電效應 1923
1925年	海森堡的矩陣力學
1924年	迪·布羅意的物質波 1929
1926年	薛丁格的波動力學 1933
1927年	海森堡的測不準原理 1932



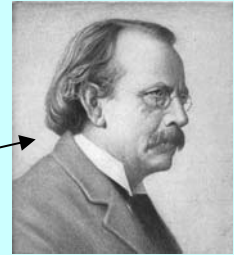
核能發現史：

1895年：倫琴在陰極射線管周圍發現x光



1896~1898: 貝勒爾及居里夫人分離出放射性核種

1899年：英國湯姆森証實陰極射線為帶負電粒子流，稱為電子



1905年：愛因斯坦狹義相對論質能互換方程式 $E=mc^2$

1911年：拉塞福以鐳a射線撞擊金箔，發現原子核

1919年：拉塞福證明核反應的發生



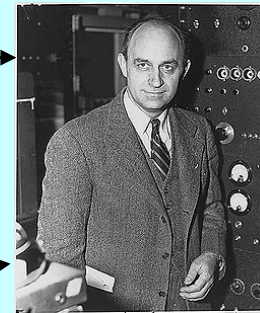
1932年：查兌克發現中子

1935年：費米以中子撞擊鈾產生超鈾-自然界最重核種

1938年：哈恩及史特斯曼證明鈾核分裂

1939年：海森堡提出連鎖分裂反應理論 - 核能發電基礎

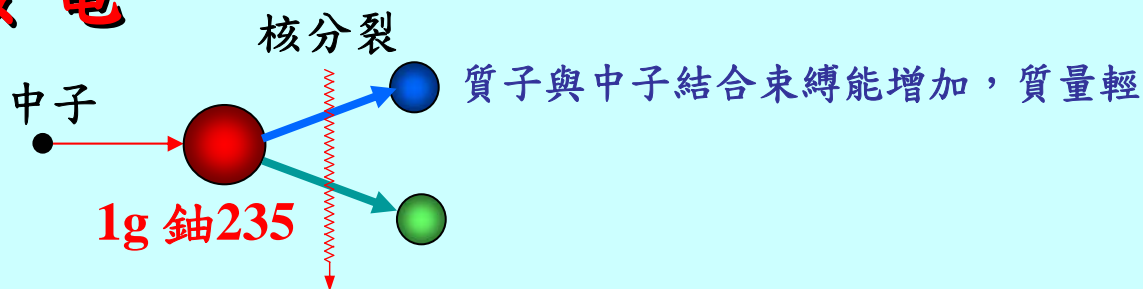
1942年：費米在芝加哥大學體育場建造第一座核反應器



1954年：第一座核能電廠於前蘇聯鄂畢寧斯克運轉

1957年：第一座商用核能電廠於美國賓洲西賓堡運轉

核能發電



減重0.001g $\rightarrow E = mc^2 \rightarrow$ 將215.1公噸水從0°C加熱至沸騰

各種發電技術CO₂排放量 (公克/度電)

燃煤	966~1306
燃油	~800
天然氣	439~688
太陽能	60~410
水力	4~236
地熱	47~97
風力	7~74
生質能	~46
核能	~39

2007各類發電方式成本 (元/度)

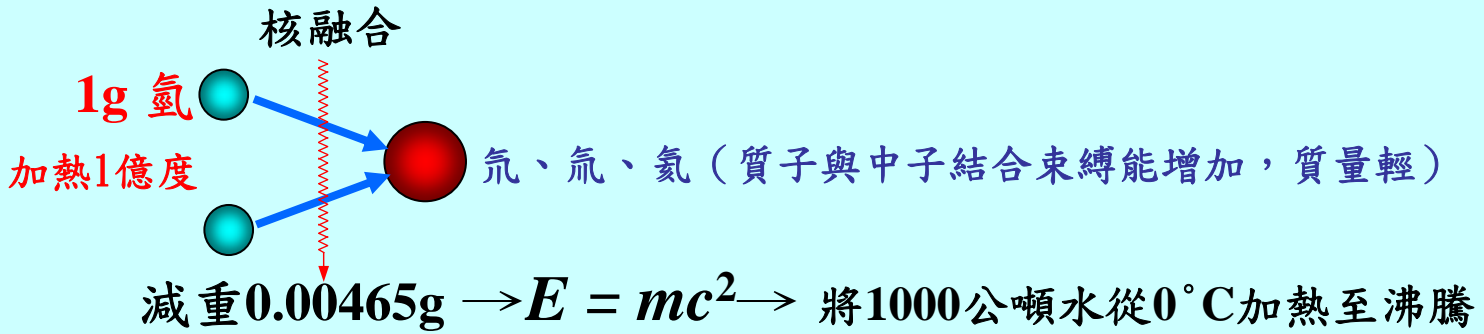
考慮CO₂成本
USD\$22.2/ton

天然氣	4.7680	+0.47
燃油	3.7157	+0.60
風力	2.5748	
水力	1.2826	
燃煤	1.1750	+0.82
核能	0.6271	

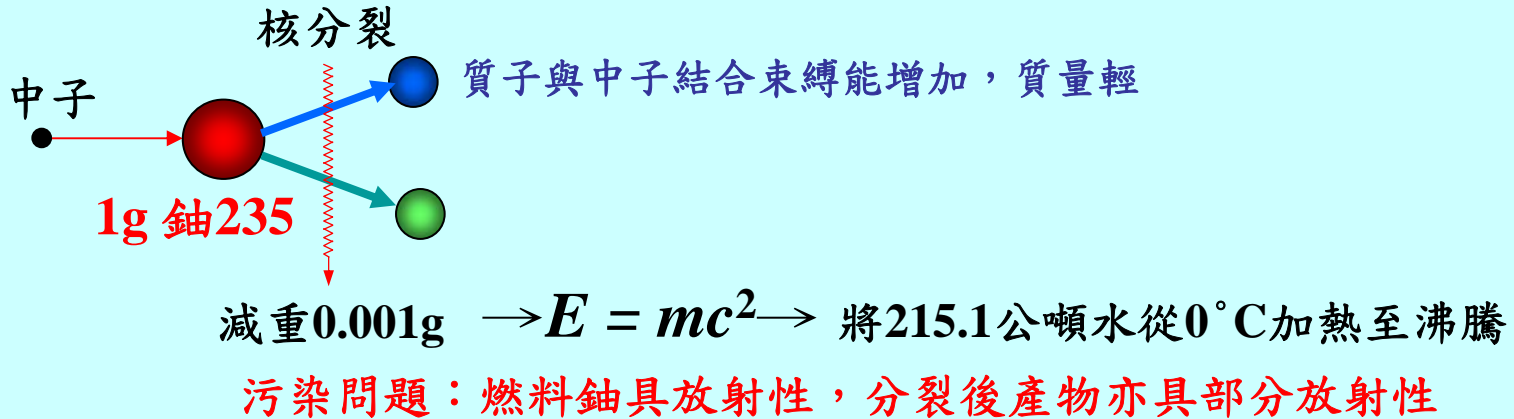
資料來源：台灣電力公司

台灣核能發電量目前19.3%

核融合：乾淨能源



核分裂：



電子工業的興起

1933 穿透式電子顯微鏡

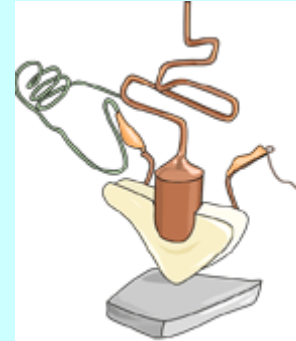
– *Electron microscope (TEM)*

– *Ernst Ruska (1986 Nobel Laureate)*

1947 接點式電晶體

– *the first "point contact" transistor*

– *John Bardeen, Walter Brattain and William Shockley (1956 Nobel Laureate)*



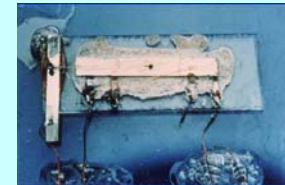
The first point contact transistor made use of the semiconductor germanium. Paper clips and razor blades were used to make the device.

1959 積體電路

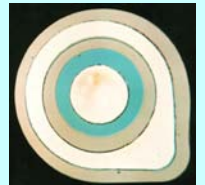
– *First Germanium Hybrid Integrated Circuit and*

First Silicon Planar Integrated Circuit Demonstrated.

– *Jack Kilby (2000 Nobel Laureate), Robert Noyce*



Texas Instruments' first IC



substrate: Si
insulator: SiO₂
wiring: Al

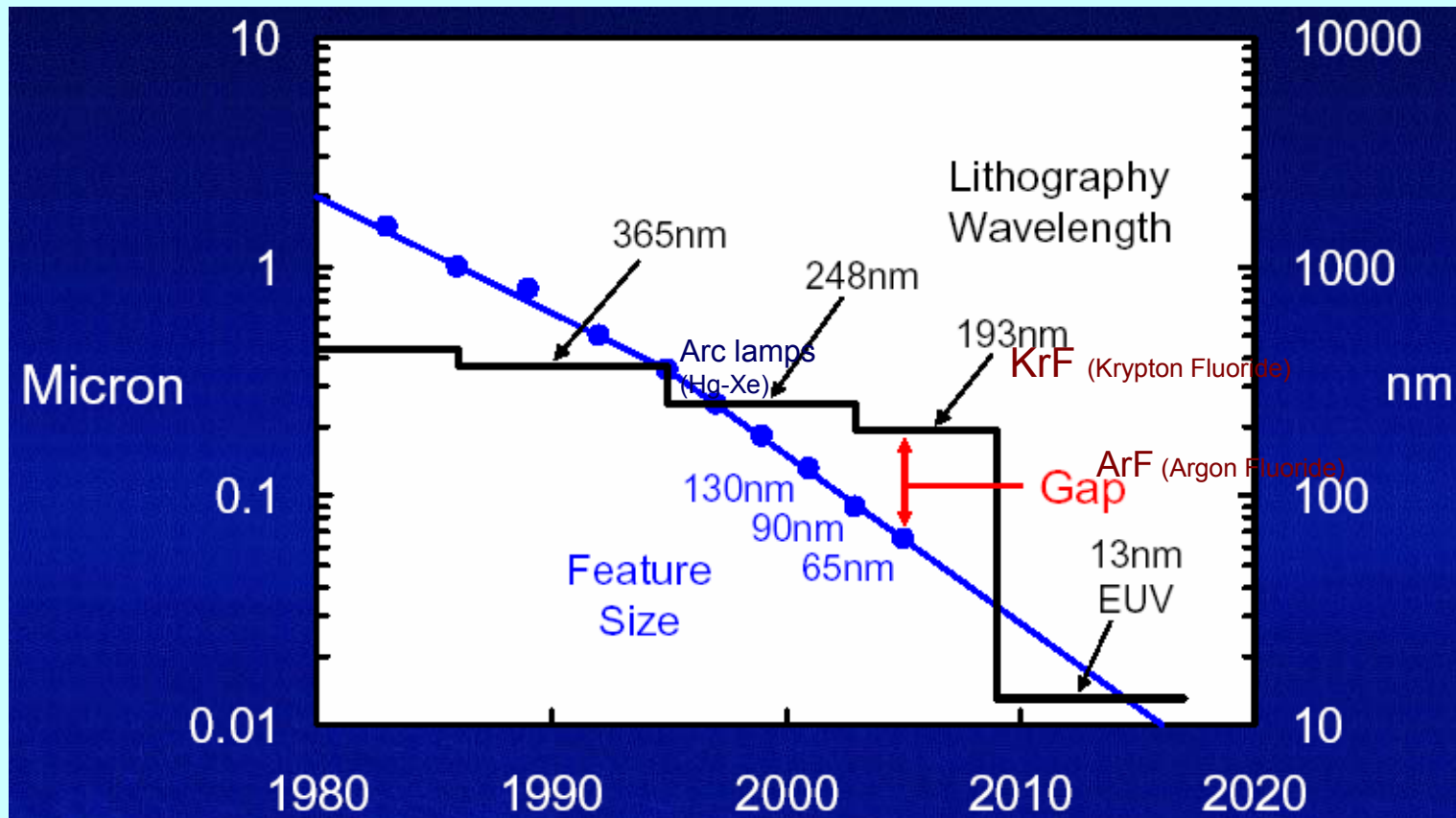
1965 掃描式電子顯微鏡

– *First series production scanning electron microscope*

– *Charles Oatley, Dennis McMullan*



SOURCES OF RADIATION FOR MICROLITHOGRAPHY



Minimum feature size is scaling faster than lithography wavelength
Advanced photo mask techniques help to bridge the gap

65奈米世代曝光機 約台幣6億元

Mark Bohr, Intel, 2003

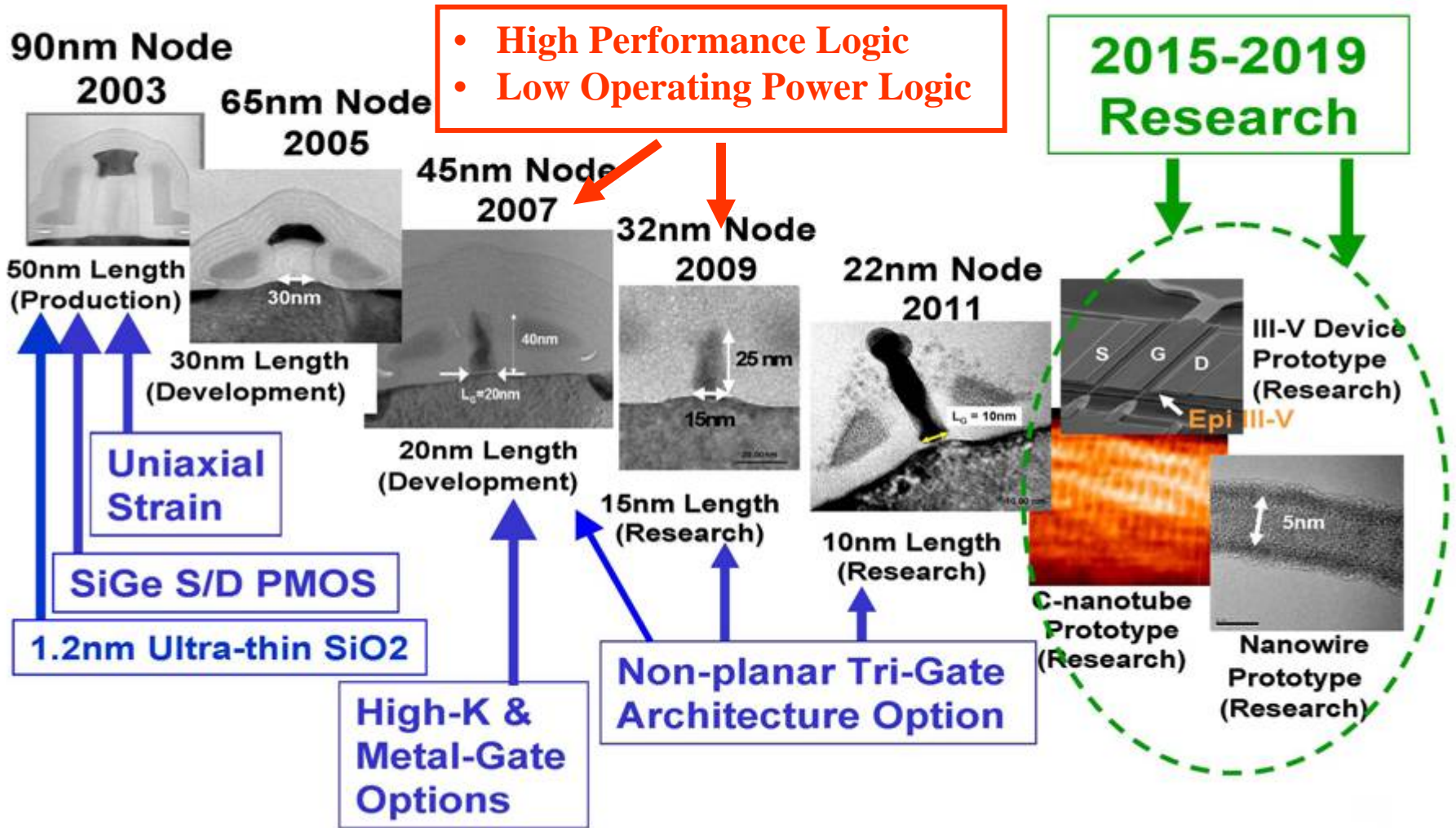
光源的經費投資

32奈米世代浸潤式曝光機或EUV可能約15億元

台灣半導體業界約需求100部，約1500億元外匯支出

Intel Transistor Scaling and Research Roadmap

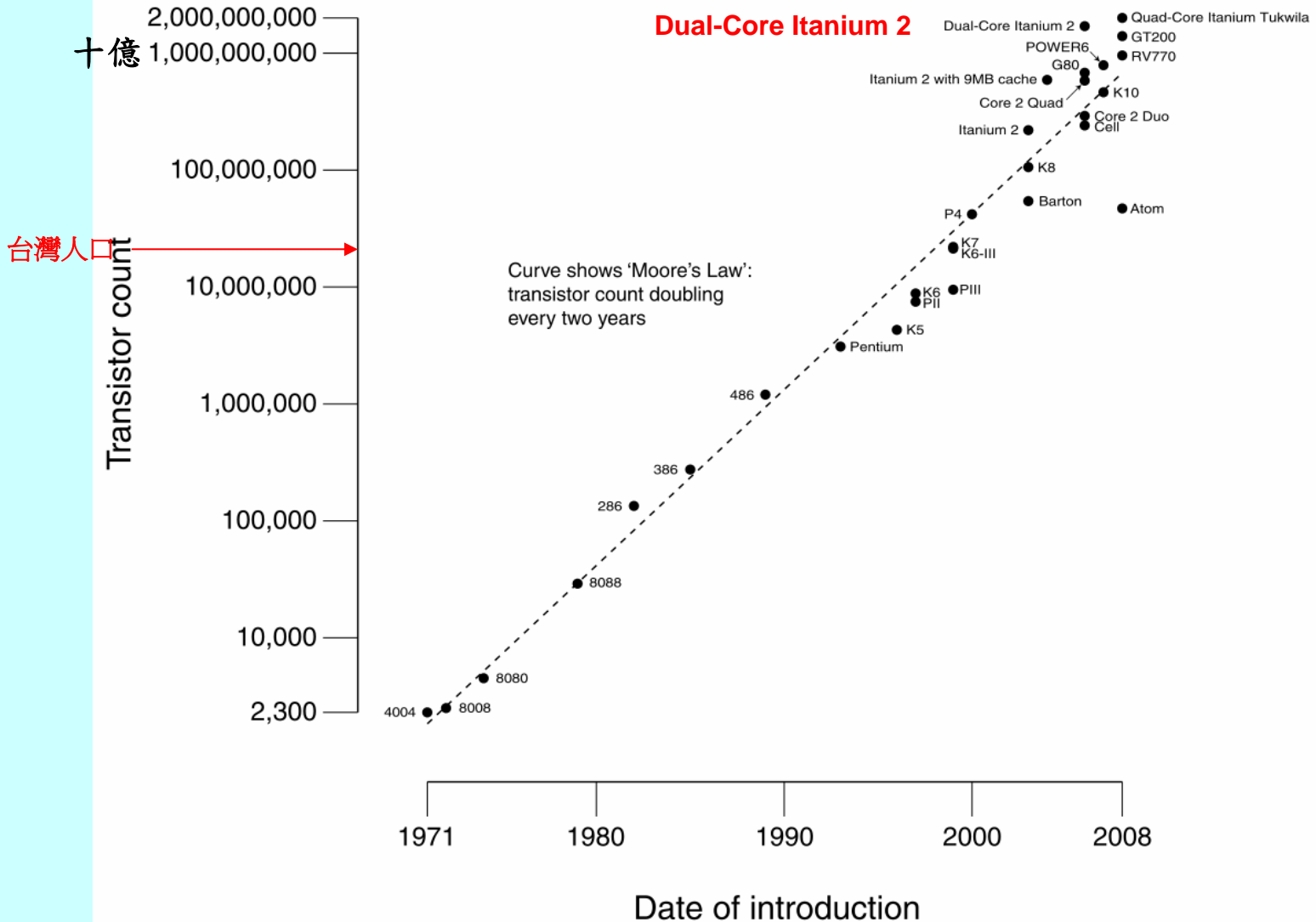
Transistor Scaling and Research Roadmap



Moore's Law In Action

Increased packing density

CPU Transistor Counts 1971-2008 & Moore's Law



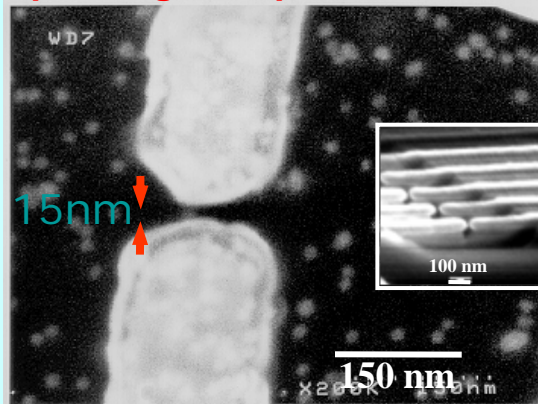
第三次革命：資訊革命，

由於**資訊**科技發展引起的**社會**及生活的變化
特徵

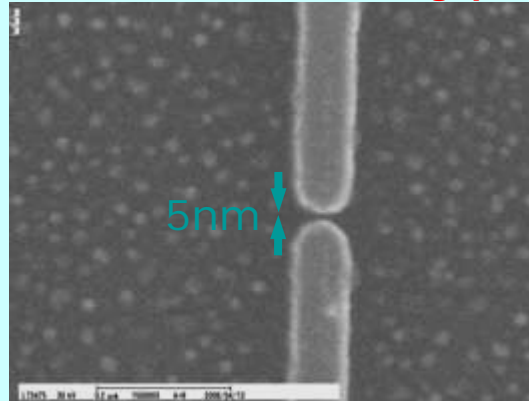
1. 由**產品生產**轉變為**服務生產**
2. 職業：**專業**／**技術**人員主導
3. 理論知識居中心地位
4. 未來：技術評估及**智能技術**的重要性
5. 管理革命：**管理**由人與自然轉變為**人與人**
5. 新的匱乏----**信息、時間、資源**的供應不夠
6. 信息經濟的挑戰：**信息=公共物品**

Superconducting-Magnetic Electronics

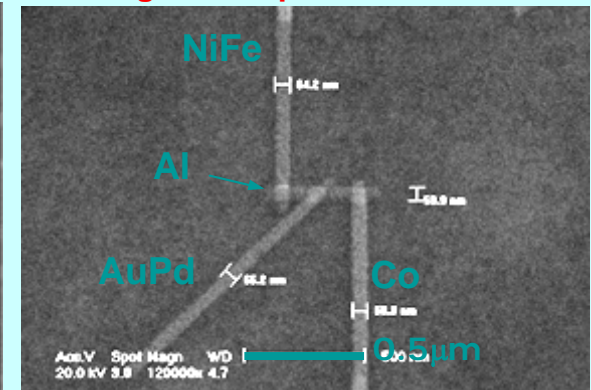
suspending nanoparticle devices



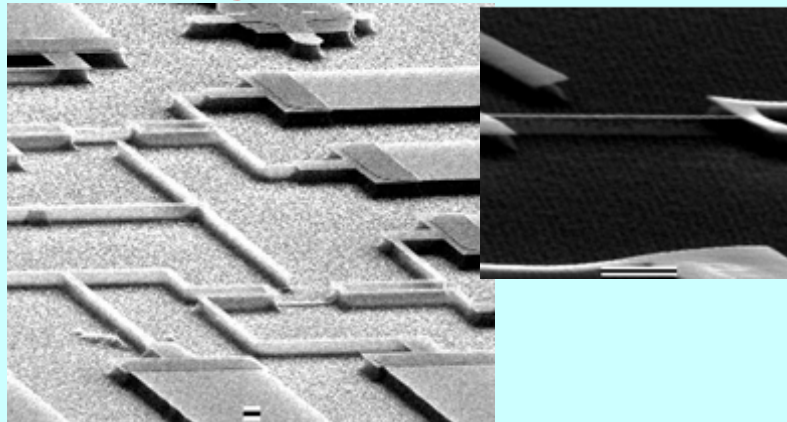
electrodes with a 5nm gap



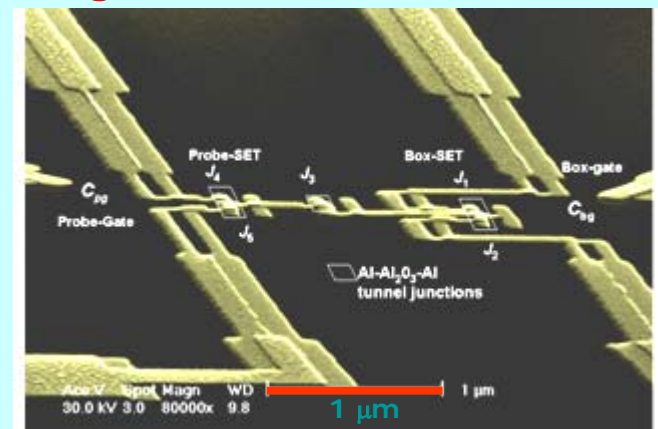
ferromagnetic-superconductor device



Suspending wire devices



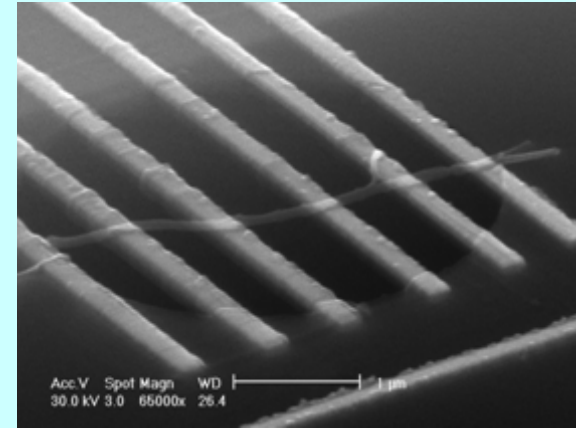
Single electron devices



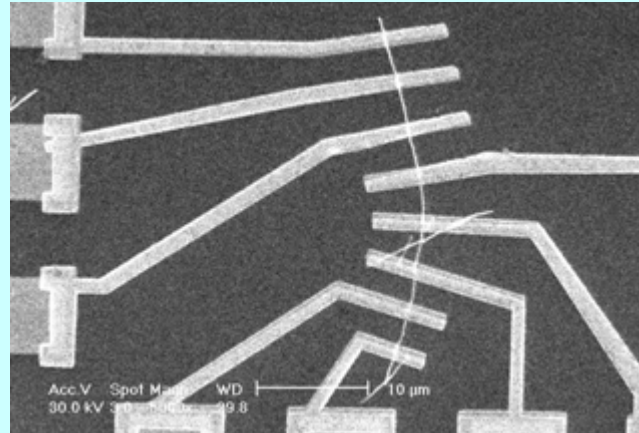
Nanowire electronic devices

Suspended 懸浮喔!

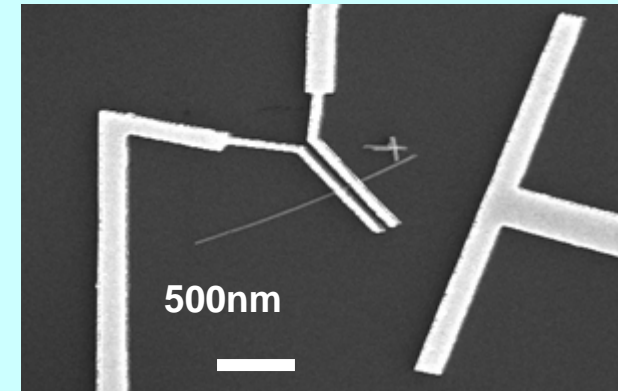
single wall carbon nanotube



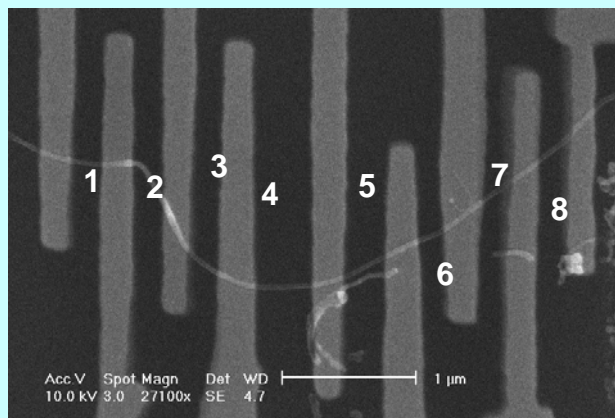
Bi₂Te₃ wire, 中研院物理所 陳洋元教授



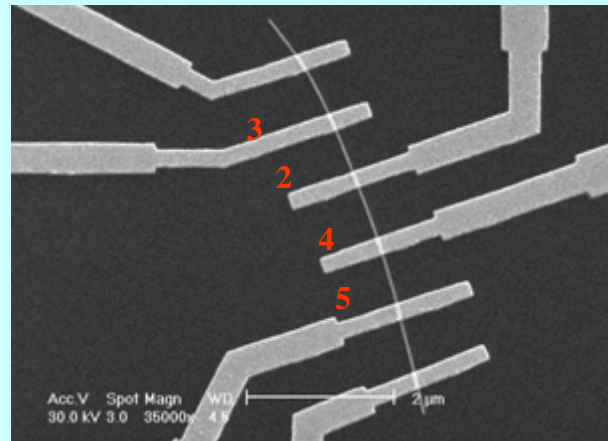
InN wire 台大凝態中心林麗瓊教授



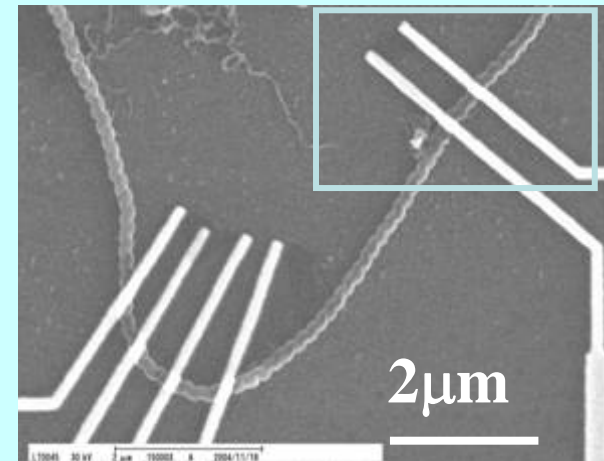
Multiwall carbon nanotube



Ni₃Si₂ wire, 清大材料 陳力俊教授

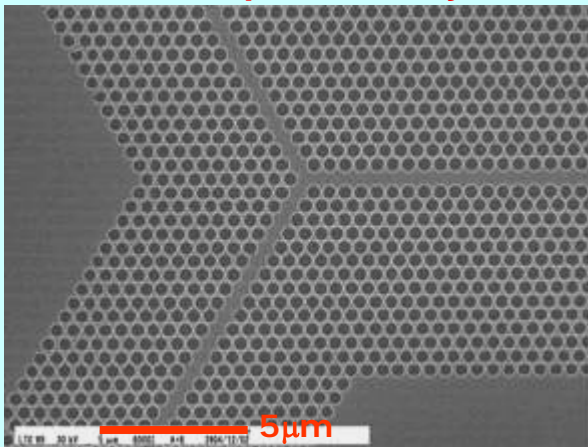


Carbon Helix 原分所陳益聰教授

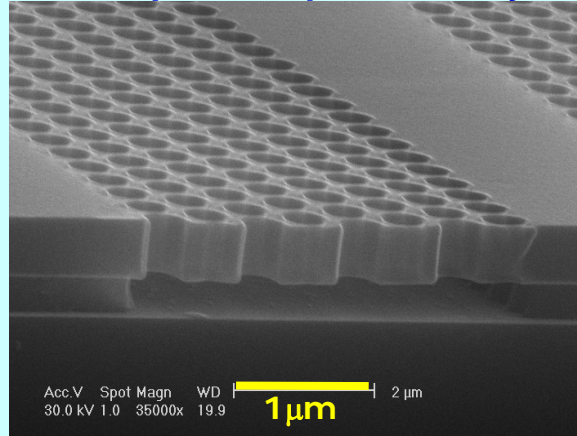


Photonic Crystals

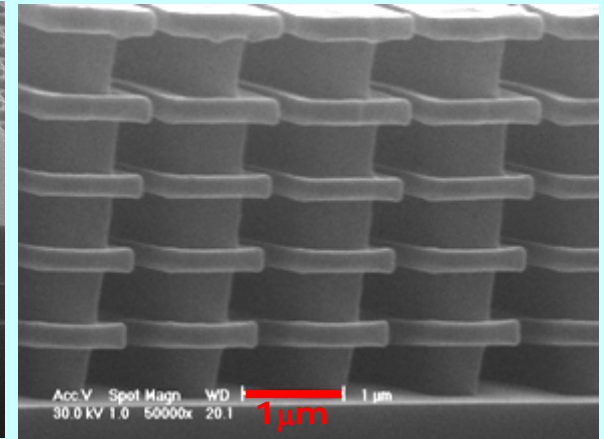
Si-based 2D photonic crystal



PMMA quasi-2D photonic crystal

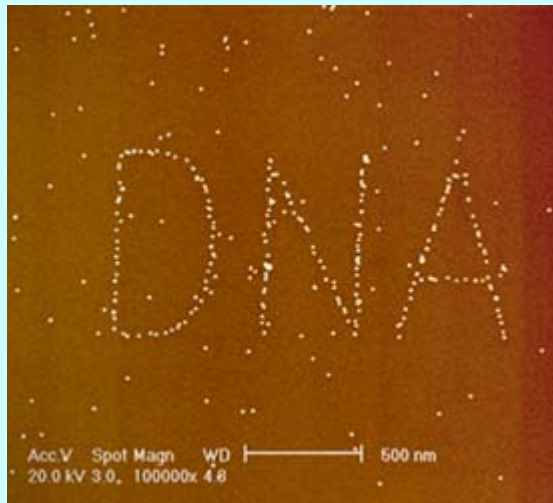


PMMA-LOR lattice structure

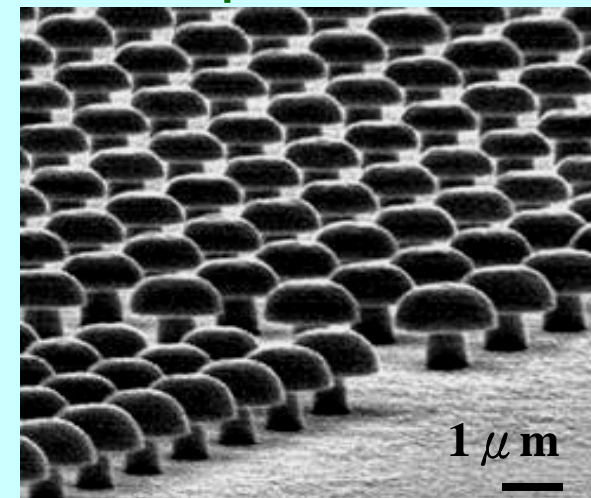


Nano Fabrication technology

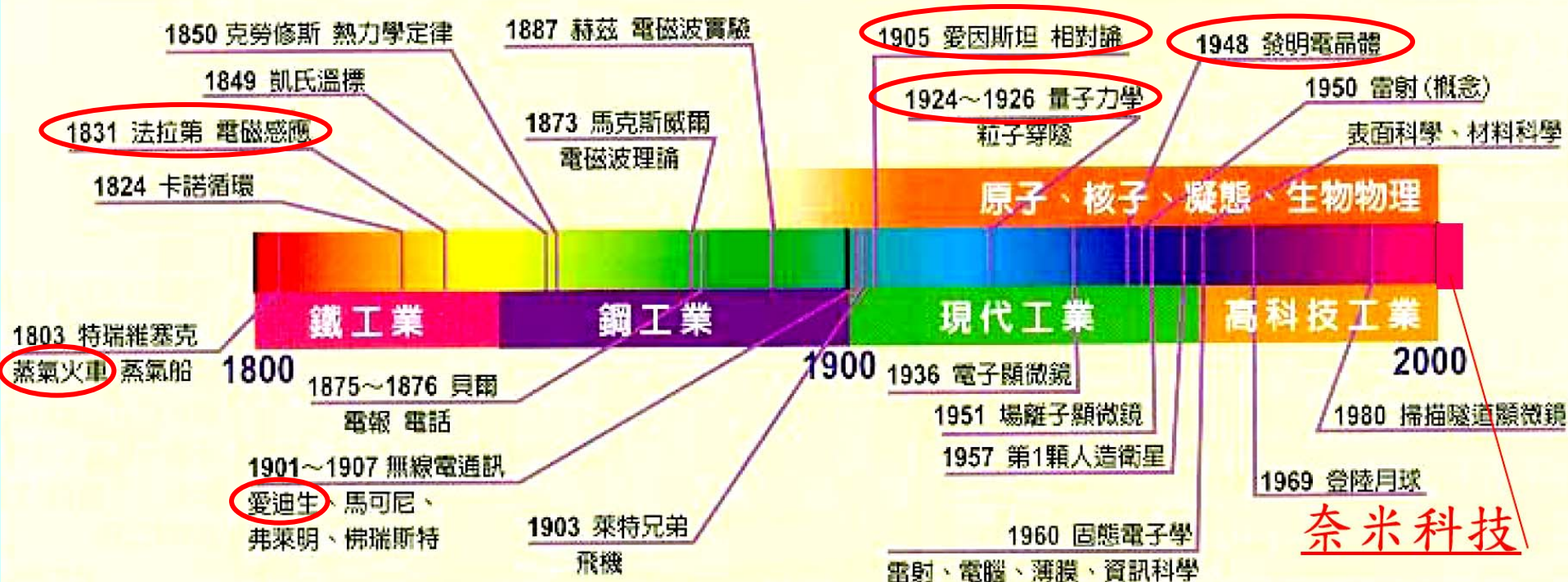
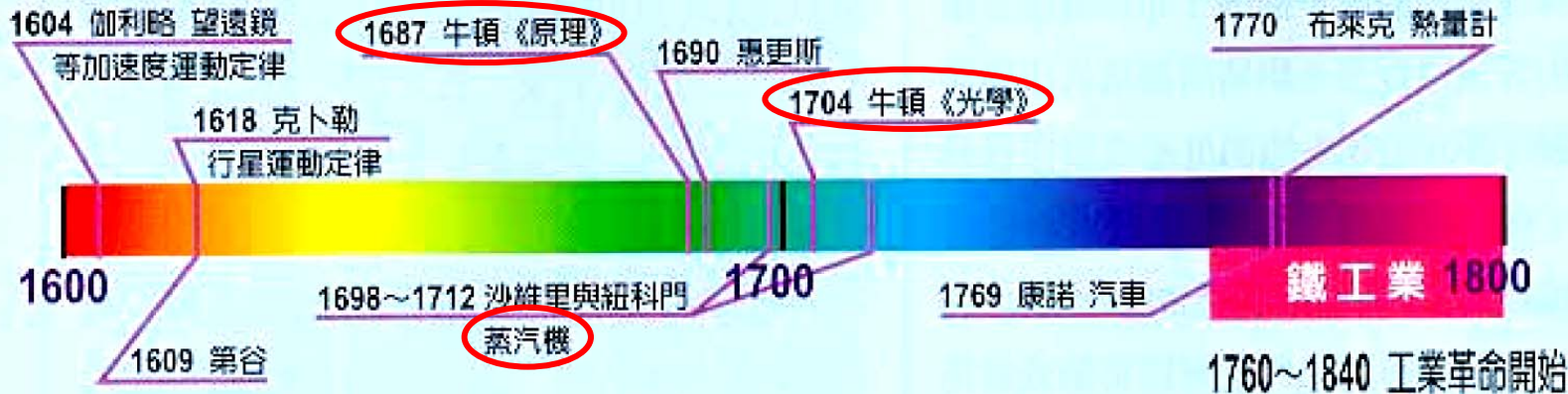
Au-nanoparticle pattern



CdSe 2D-pillars



科技年代譜表



第四次革命：奈米科技，

由於材料科技與觀測、操控技術的發展
引發了物質生活的變化

什麼是奈米(nano-meter) = ?

1 米 = 1 m

1 釐米 (公分) = 1×10^{-2} m

1 毫米 = 1×10^{-3} m



指頭

1 微米 = 1×10^{-6} m



紅血球

1 奈米 = 1×10^{-9} m



分子及DNA

0.1 奈米



氫原子



人高

尺寸所代表的意義

自然存在

Dust mite
200 μm

Human hair
 $\sim 60\text{-}120 \mu\text{m}$ wide

Red blood cells with white cell
 $\sim 2\text{-}5 \mu\text{m}$

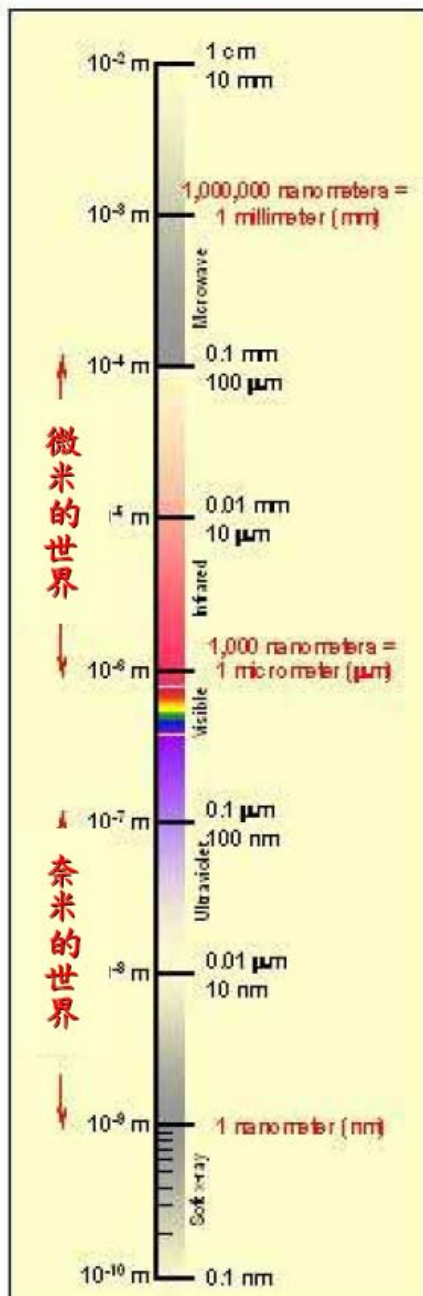
Ant
 $\sim 5 \text{mm}$

Fly ash
 $\sim 10\text{-}20 \mu\text{m}$

ATP synthase
 $\sim 10 \text{nm}$ diameter

DNA
 $\sim 2\text{-}12 \text{nm}$ diameter

Atoms of silicon
spacing between atoms of nm



人造物品

Head of a pin
1-2 mm

MicroElectroMechanical (MEMS) devices
10-100 μm wide

Pollen grain
Red blood cells

Zone plate x-ray "lens"
Outer ring spacing $\sim 35 \text{nm}$

Self-assembled, Nature-inspired structure
Many 10s of nm

Nanotube electrodes

Carbon nanotube
 $\sim 1.3 \text{nm}$ diameter

Carbon buckyball
 $\sim 1 \text{nm}$ diameter





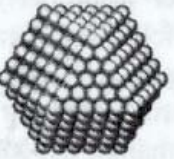
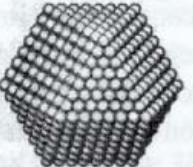
Quantum corral of 48 iron atoms on copper surface
positioned one at a time with an STM tip

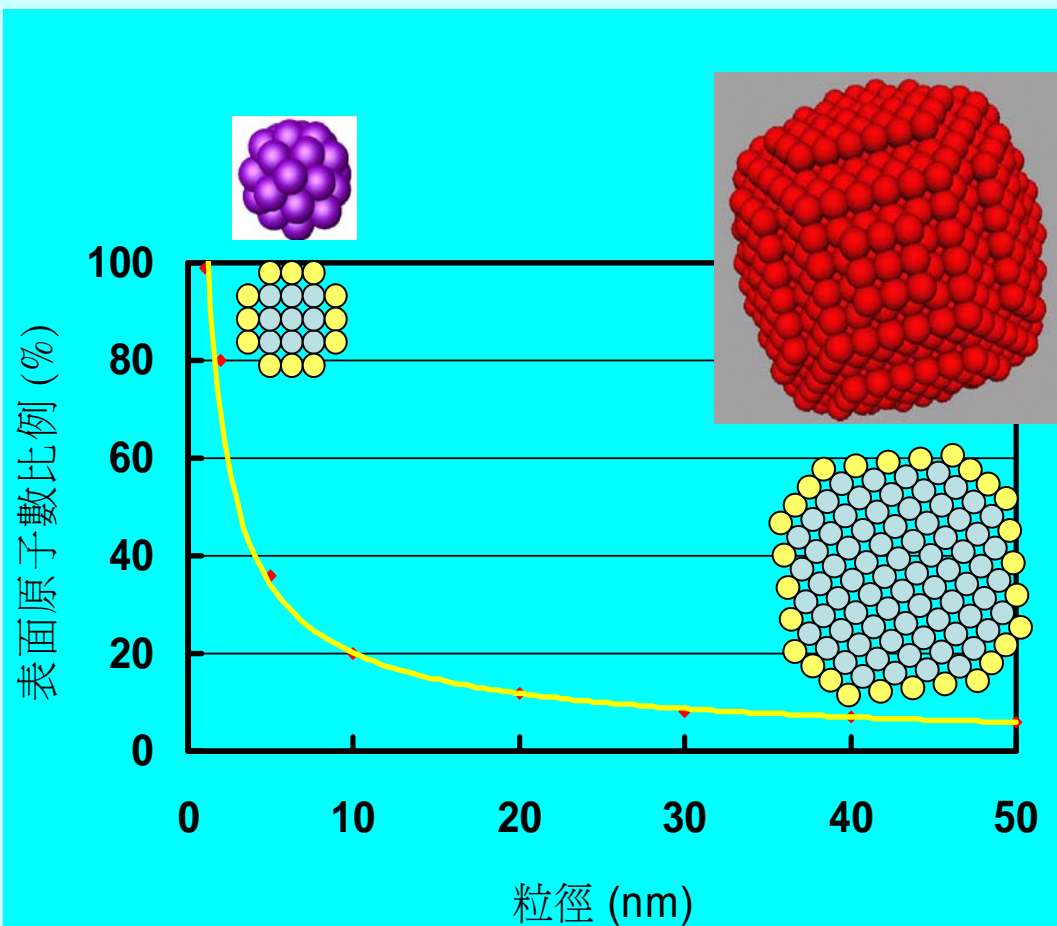
The Challenge

Fabricate and combine nanoscale building blocks to make useful devices, e.g., a photosynthetic reaction center with integral semiconductor storage.

奈米下之物理化學性質是否會改變？

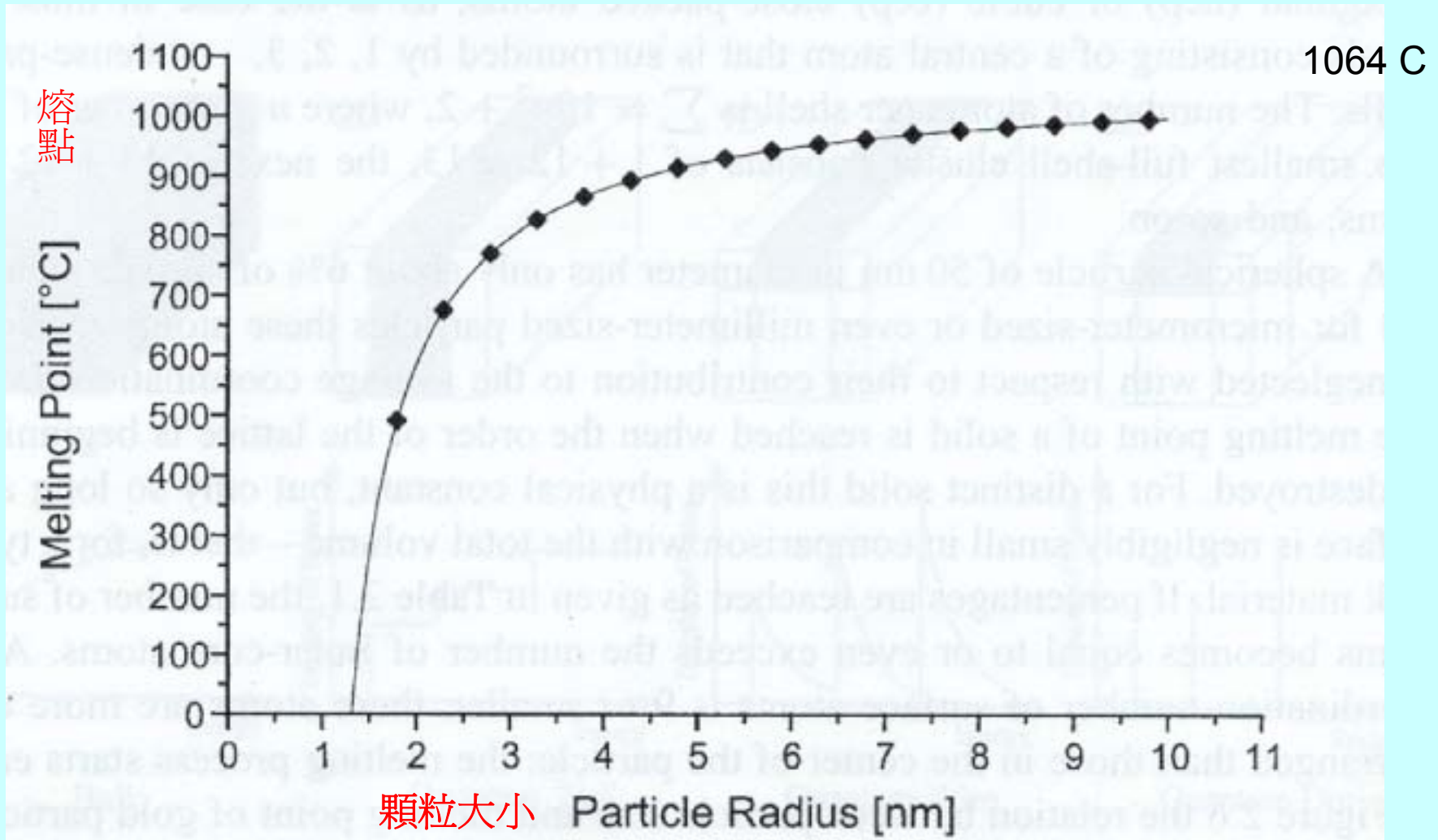
表面/體積 比例增加

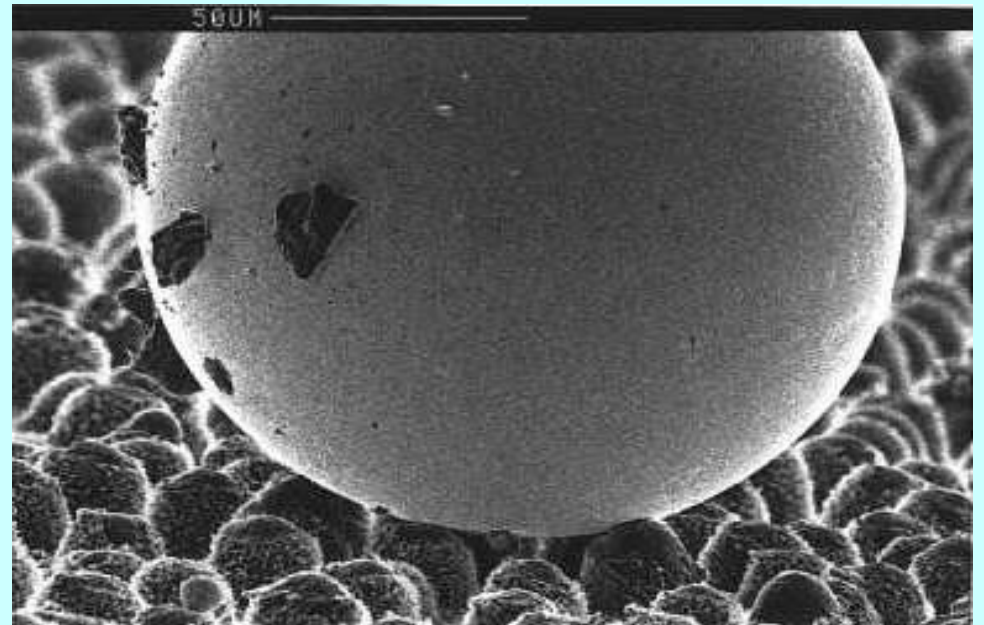
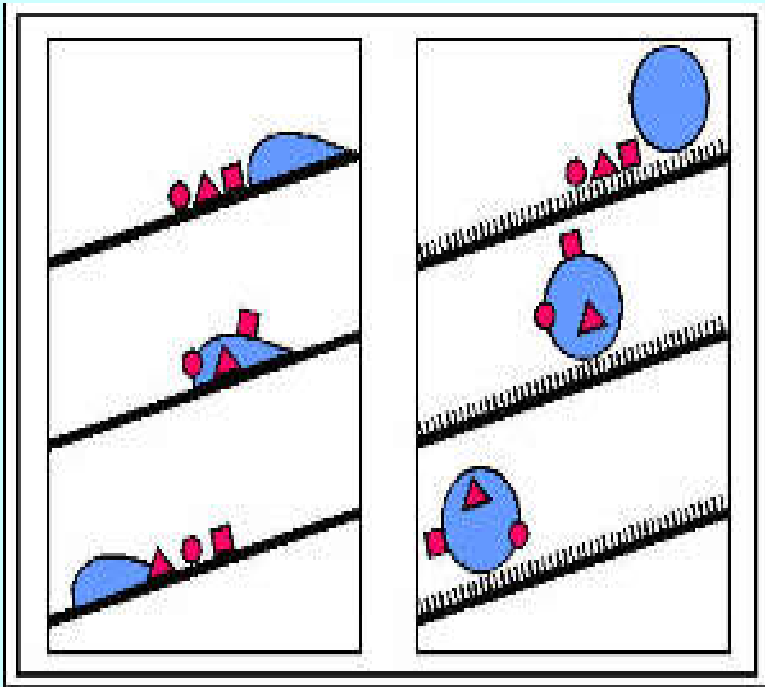
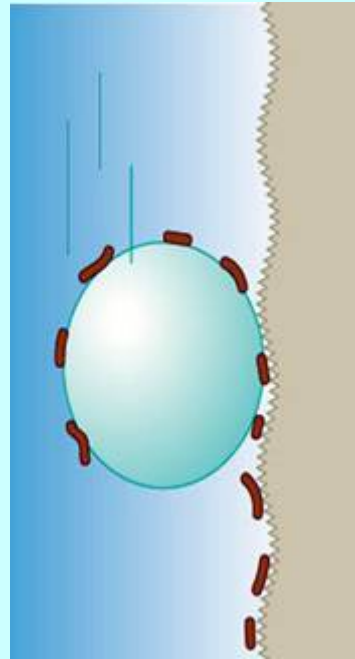
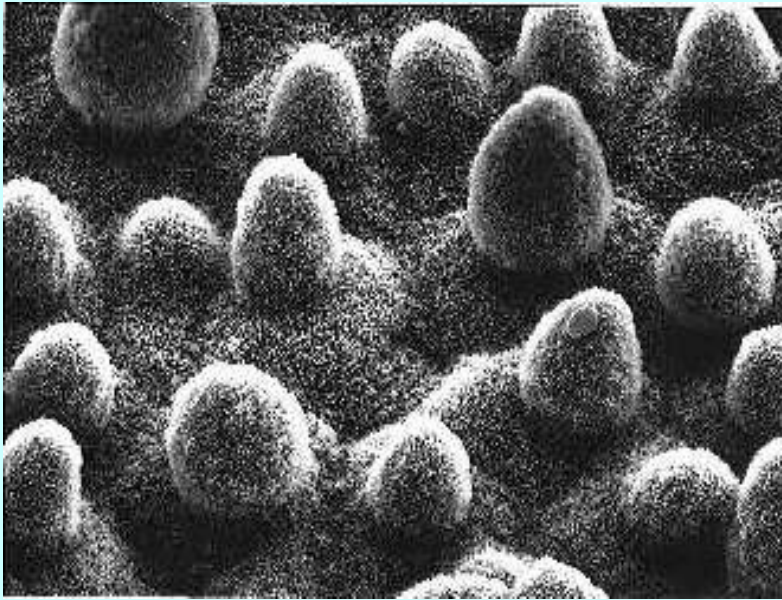
群聚	原子個數	佔表面積 %
	13	92
	55	76
	147	63
	309	52
	561	45
	1415	35



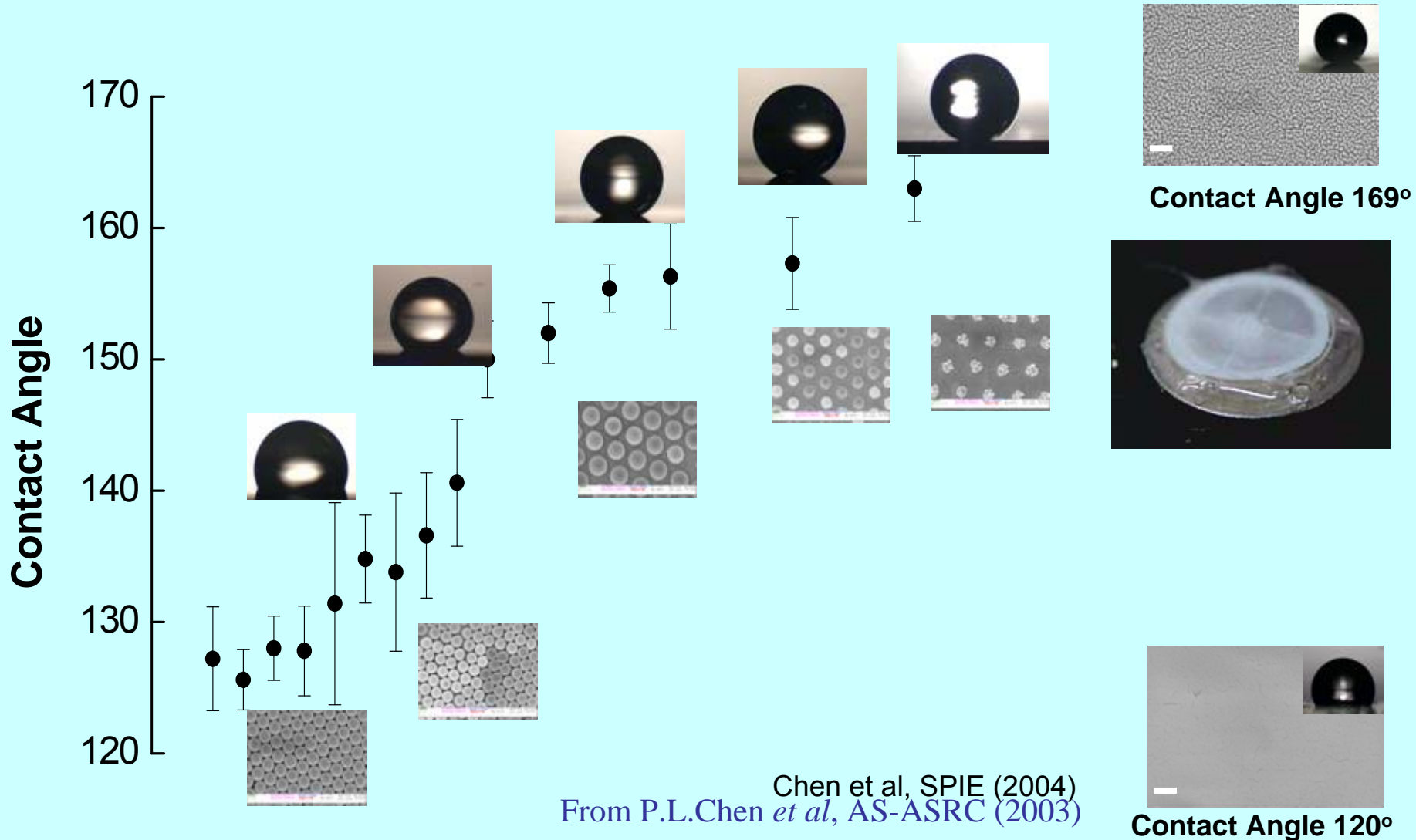
熔點變小

金的熔點與顆粒大小的關係

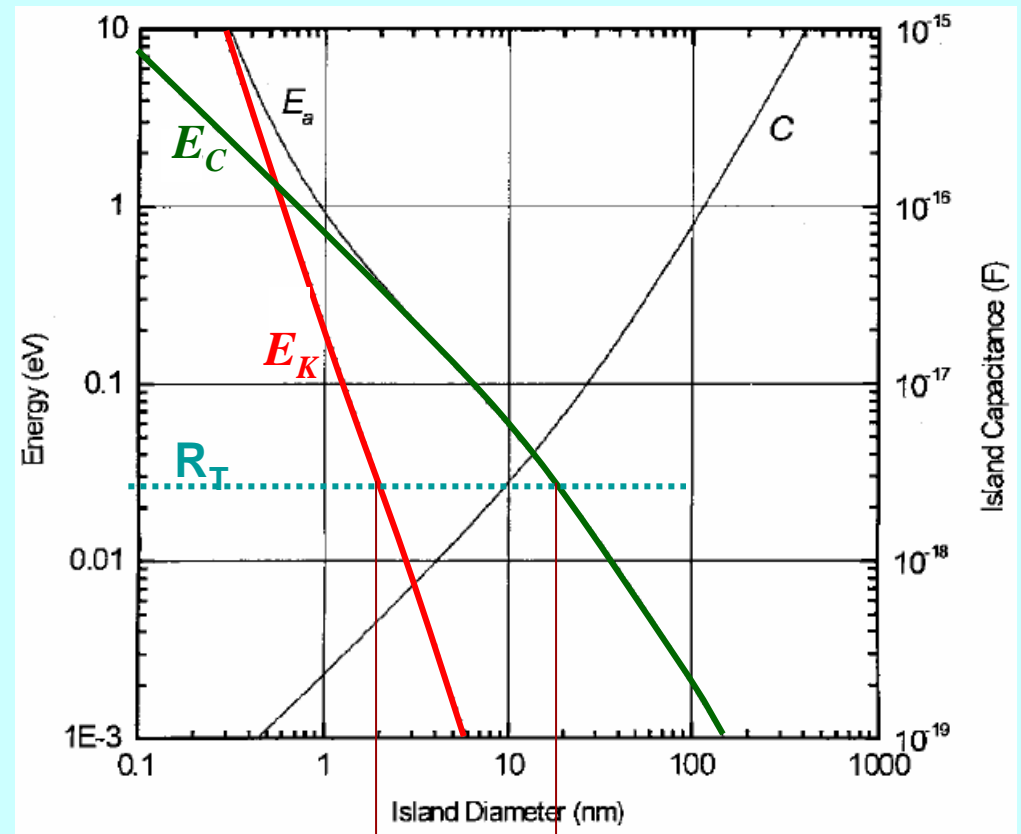
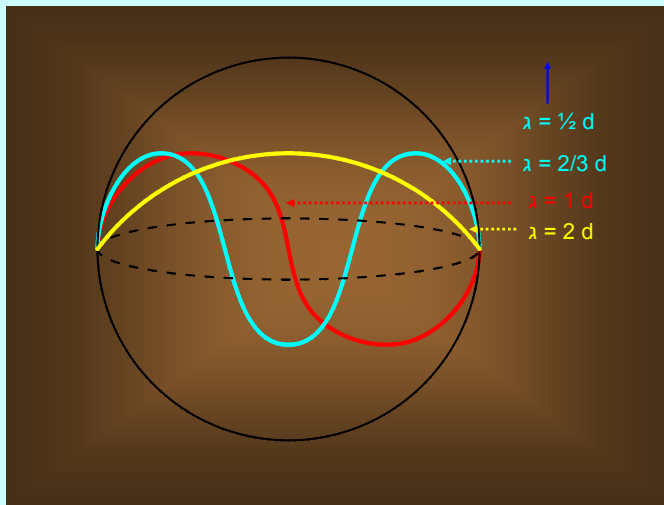




人造表面粗糙度與水滴接觸角度的關係



量子點內的不連續電子能階



$$E_K = \text{level spacing} = 1/D(E_F)V$$

$$E_C = e^2/2C; \quad C = \pi\epsilon_0\epsilon_r D$$

$$n = 10^{22} \text{ cm}^{-3}$$

$$m = m_e$$

$$\epsilon_r = 4$$

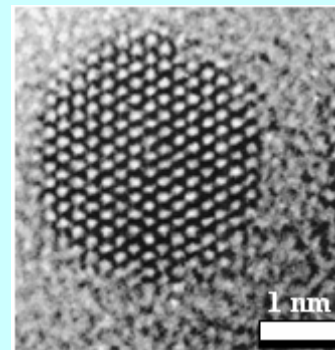
10% tunnel barrier=2nm

CdSe 奈米微粒之螢光顏色與粒徑之關係

CdSe Structure

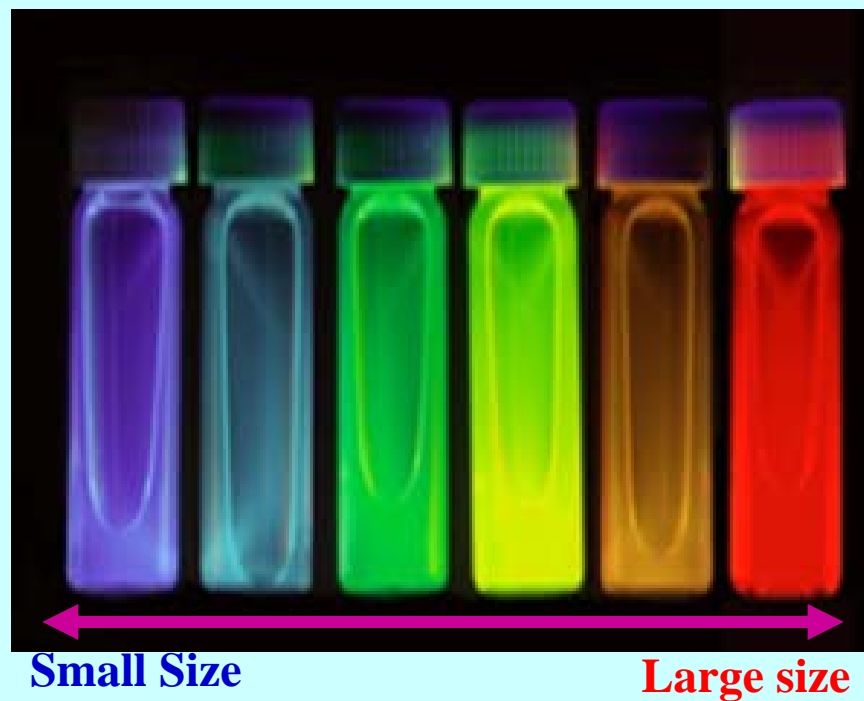
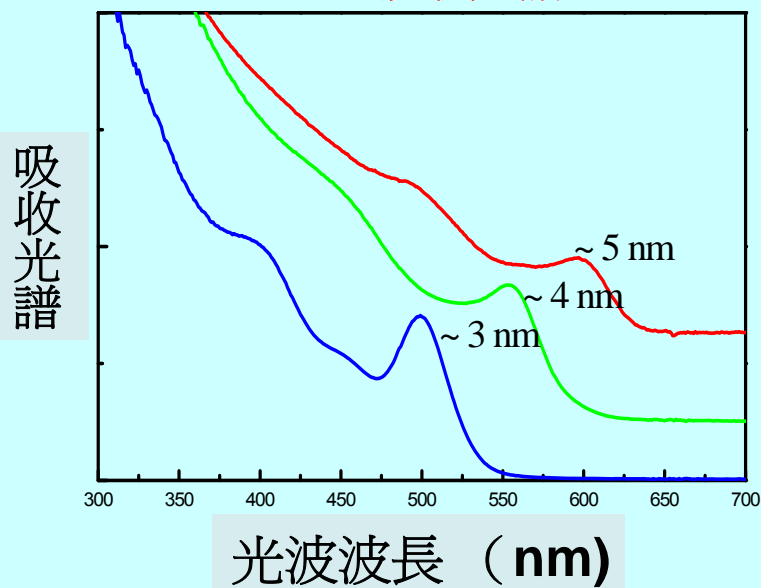


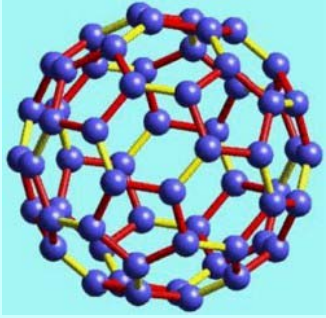
● Se
● Cd



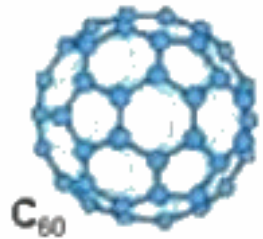
2 nm CdSe電子顯微鏡圖

CdSe之吸收光譜

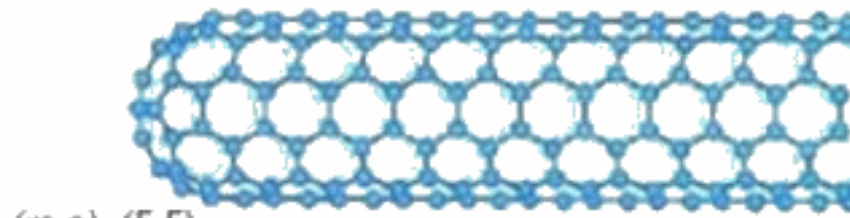




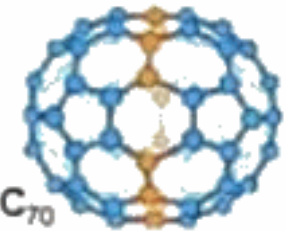
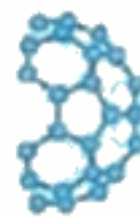
奈米碳管



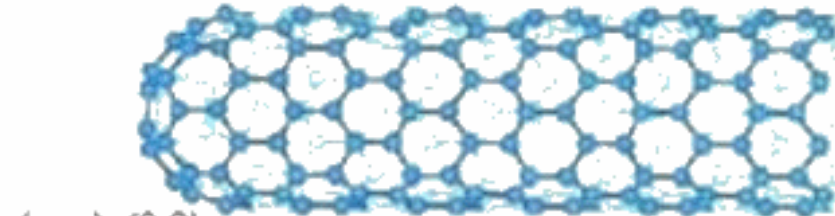
C_{60}



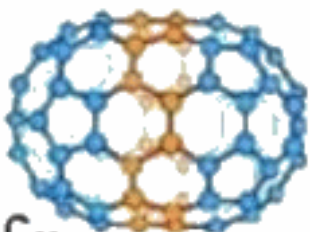
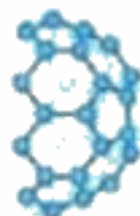
$(m,n)=(5,5)$



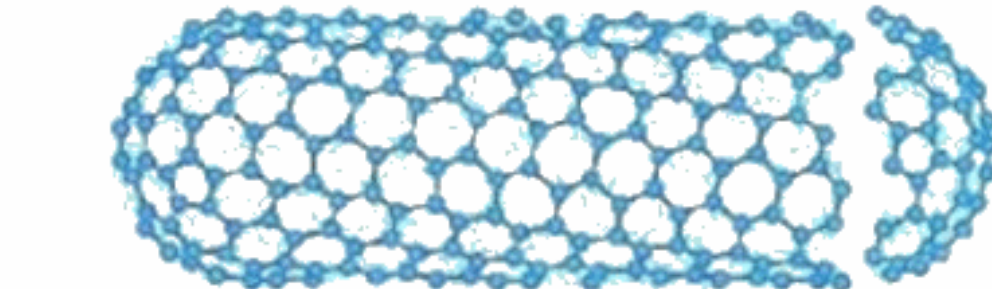
C_{70}



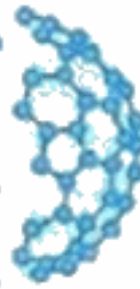
$(m,n)=(9,0)$



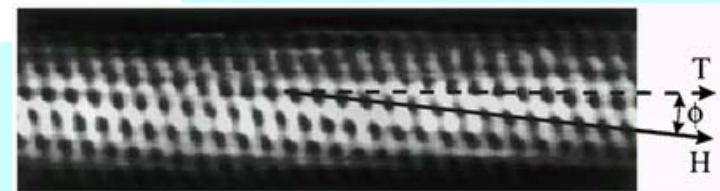
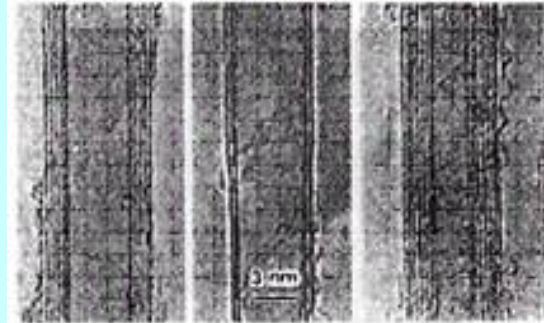
C_{84}



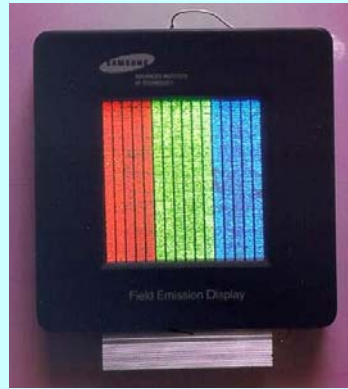
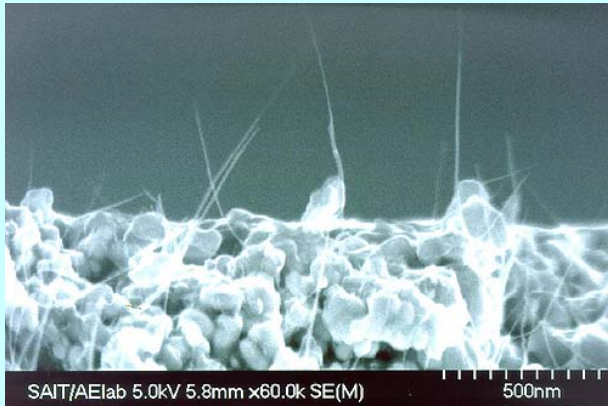
$(m,n)=(10,5)$



S. Iijima 1991



以奈米碳管為場發射源作的平面顯示器



www.aip.org/png/html/nanodisp.html

Choi et al., in *Applied Physics Letters*, 15 November 1999

Samsung Advanced Institute of Technology, Korea

物理所奈米碳管跑馬燈 →

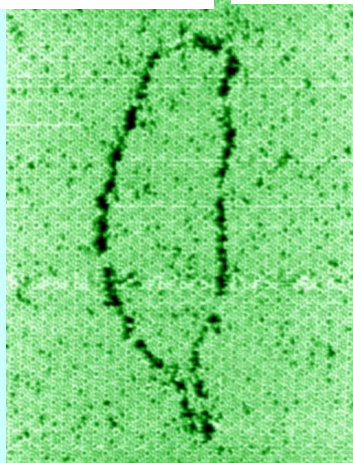




Golden Taiwan



Silicon Island

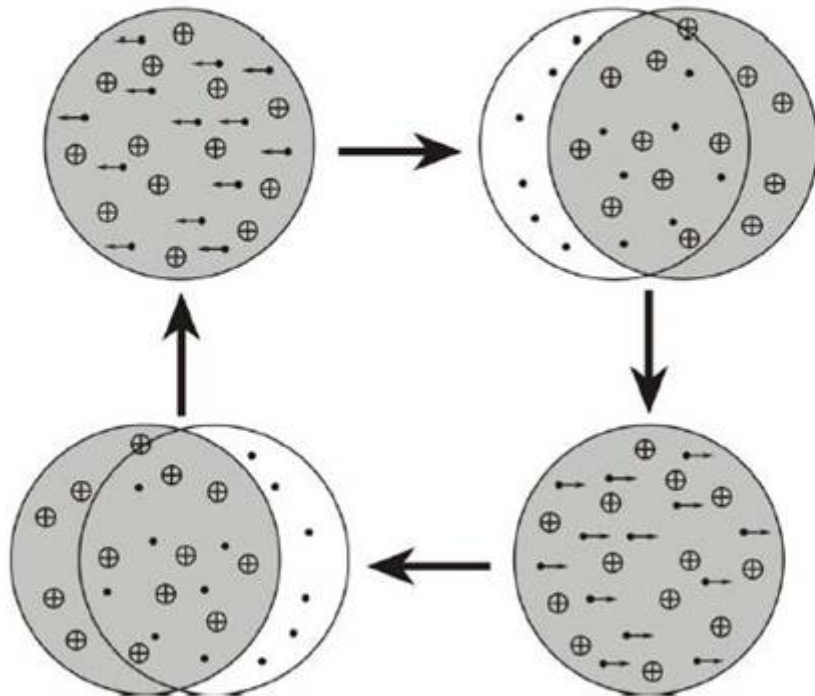


— 100 Å

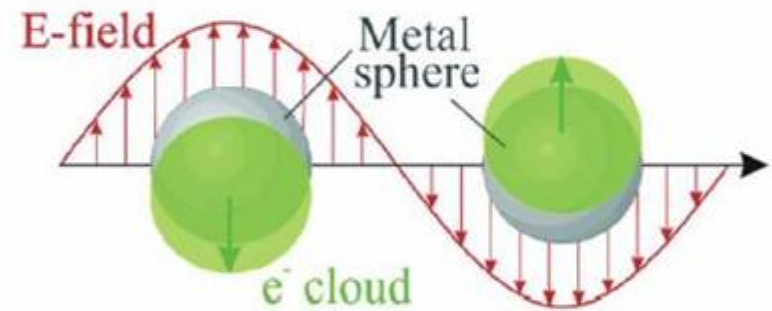
(中研院鄭天佐博士等提供)

Electron collective motion in metal clusters

Dr. Juen-Kai Wang



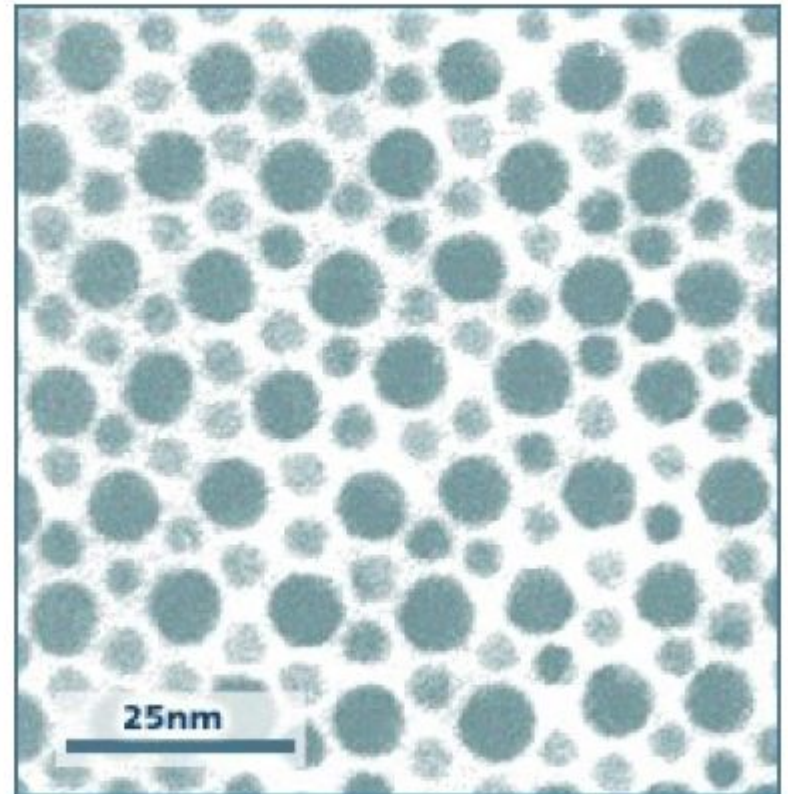
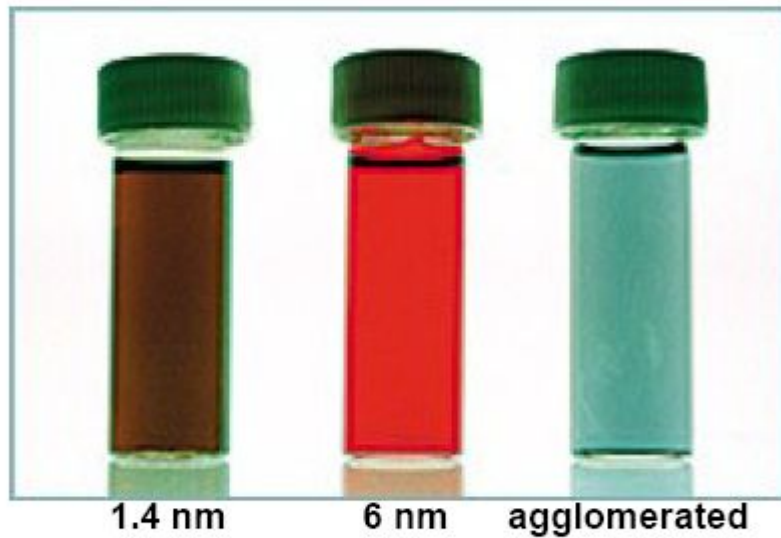
Coherent oscillatory motion



Resonant excitation

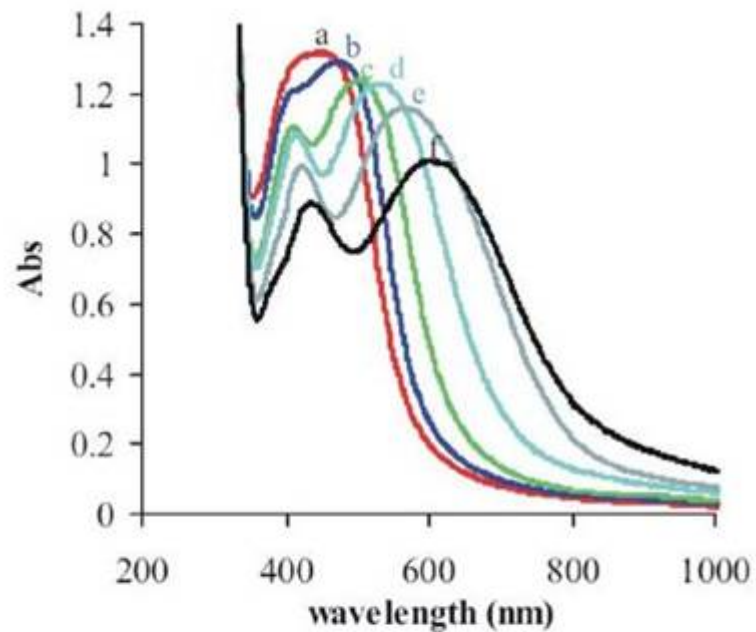
Au nanospheres

Dr. Juen-Kai Wang



Ag nanorods

Dr. Juen-Kai Wang

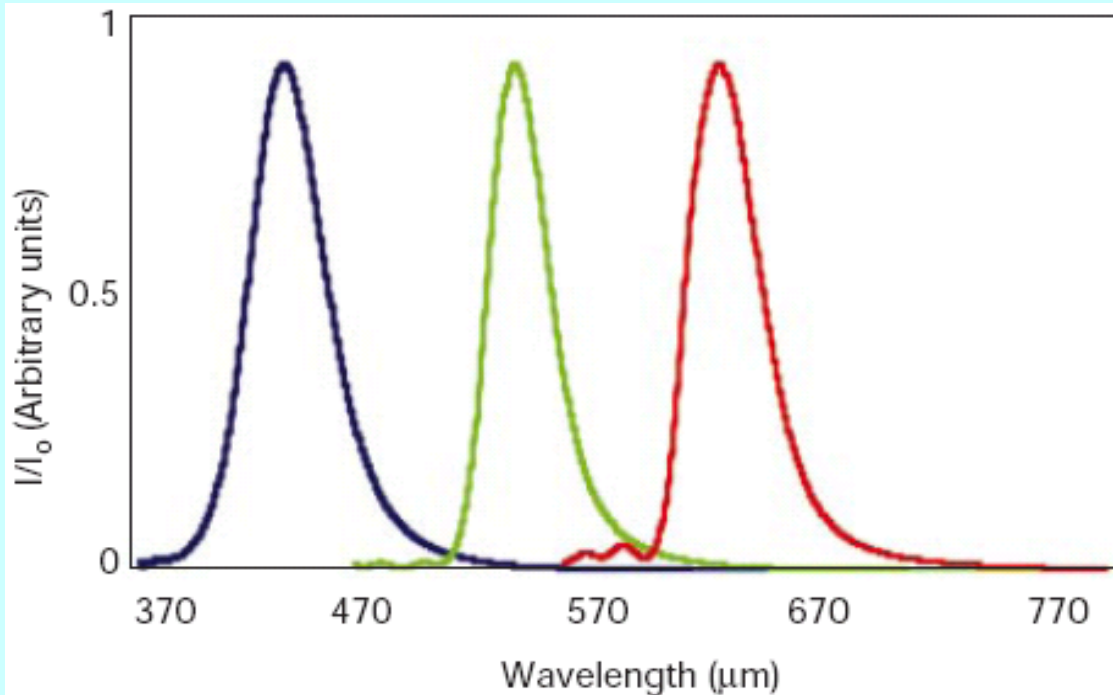
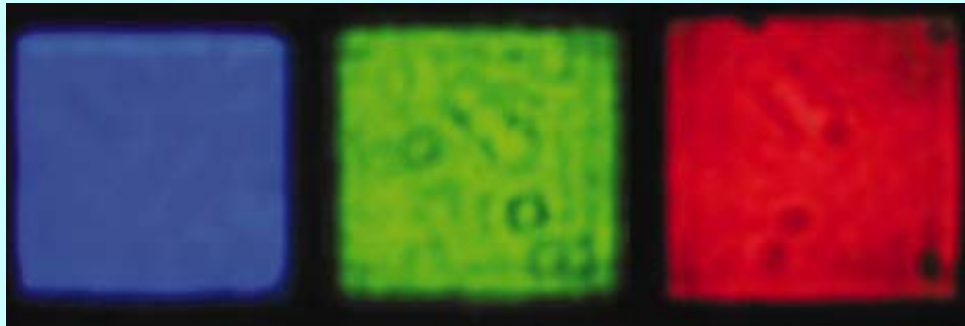


Surface plasmon subwavelength optics

free standing 300 nm thick silver film

Period = 300, 450 550 nm,

hole diameter = 155, 180 225 nm



Nature 424, 824 (03)

以PMMA/LOR製作的光子晶體

