

Research Topic

Nano-Thermoelectric Materials

Position

Dean : SCT

Lecturer : RMUTSB

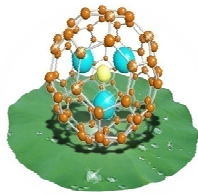
Dr. Anek Charoenphakdee
D. Eng., Osaka University, Japan
M.Sc. Physics, KKU, Thailand
B.Sc. Physics, KKU, Thailand



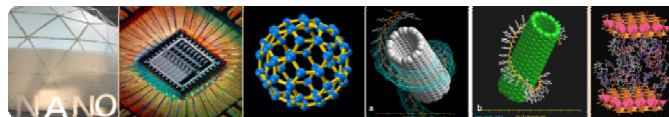
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY



ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center



มารู้จักนาโนเทคโนโลยีกันเถอะ



สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY



ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center

ความแพร่หลายของคำว่า “นาโน”

- ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา คำว่า “นาโน” ได้เข้ามามีอิทธิพลอย่างแพร่หลาย เราได้ยินคำว่า “นาโน” ผ่านสื่อ อาทิ ภาพยนตร์ โทรทัศน์ หนังสือพิมพ์ นิตยสาร ทั้งในรูปแบบโฆษณาสินค้าและเทคโนโลยีและอื่นๆ



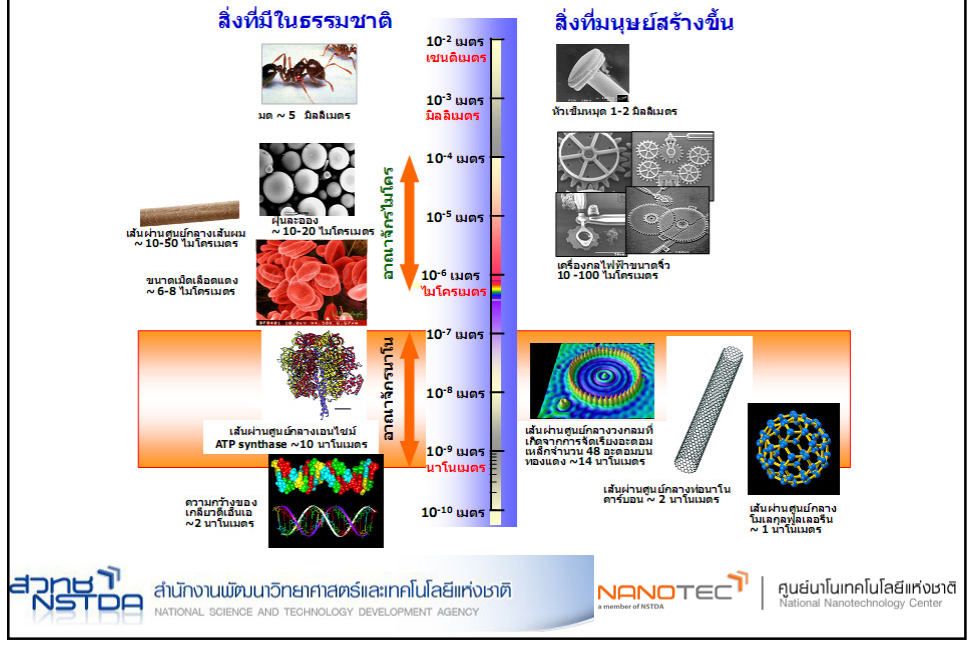
เล็กเท่าไรถึงจะเป็นนาโน

โลกแห่งการวัด (World of Measurement)



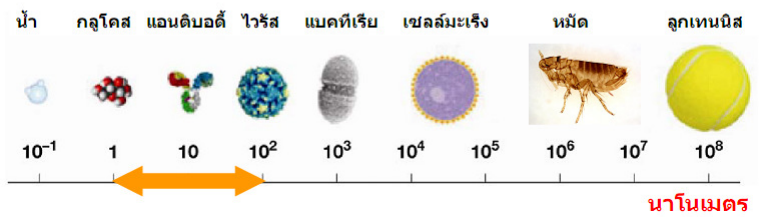
หน่วย	ตัวย่อ	คำอธิบาย
เมตร	m	ประมาณ 3 ฟุตหรือ 1 หลา
เซนติเมตร	cm	1/100 เมตร หรือประมาณครึ่งนิ้ว
มิลลิเมตร	mm	1/1000 เมตร
ไมโครเมตร	μm	1/1,000,000 เมตร เรียกกันว่า “ไมครอน (Micron)”
นาโนเมตร	nm	1/1,000,000,000 เมตร หรือประมาณ 1 โมเลกุลเดี่ยว

เล็กเท่าไรถึงจะเป็นนาโน



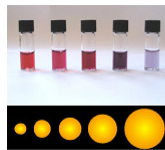
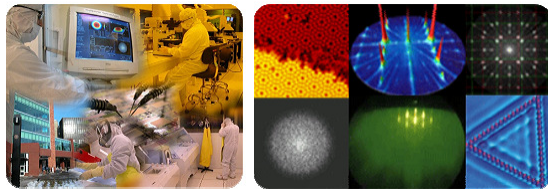
นาโนเทคโนโลยี...คืออะไร?

"นาโนเทคโนโลยี" เทคโนโลยีประยุกต์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดการ การสร้าง การสังเคราะห์วัสดุหรืออุปกรณ์ในระดับของอะตอม โมเลกุล หรือชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กในช่วง **1 ถึง 100 นาโนเมตร** ซึ่งจะส่งผลให้วัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ มีหน้าที่ใหม่ๆ และมีสมบัติที่พิเศษขึ้นทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ทำให้มีประโยชน์ต่อผู้ใช้สอยและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้



องค์ประกอบของนาโนเทคโนโลยี

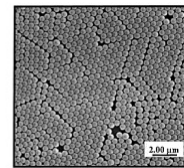
1. ขนาดเล็กระดับ 1-100 นาโนเมตร
2. มีหน้าที่ใหม่ๆ เกิดขึ้นหรือมีคุณสมบัติพิเศษเกิดขึ้น
3. ถูกต้องแม่นยำและควบคุมได้



ทองคำนาโน



เงินนาโน



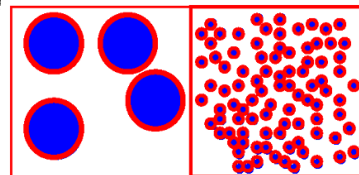
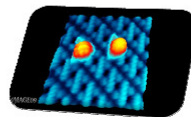
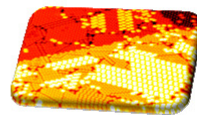
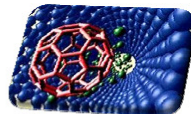
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY



ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center

สมบัติพิเศษที่เกิดจากความเล็กระดับนาโน

- ผลจากปรากฏการณ์ทางควอนตัม (quantum effects)
- ผลจากพื้นที่ผิวหน้า (surface effects)
- ผลจากผิวสัมผัส (interface effects)
- ผลจากกฎการเปลี่ยนขนาด (scaling laws)



วัสดุหยาบ (bulk materials) วัสดุนาโน (nanomaterials)

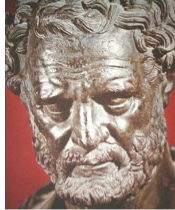


สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY



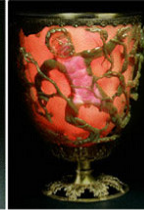
ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center

ความพิเศษของโลกนาโน



"ATOM"

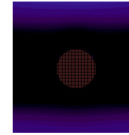
Democritus of Abdera: 400 B.C.



Lycrugus cup



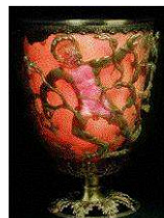
แก้วโบราณของเซคโคโลจาเก็ม



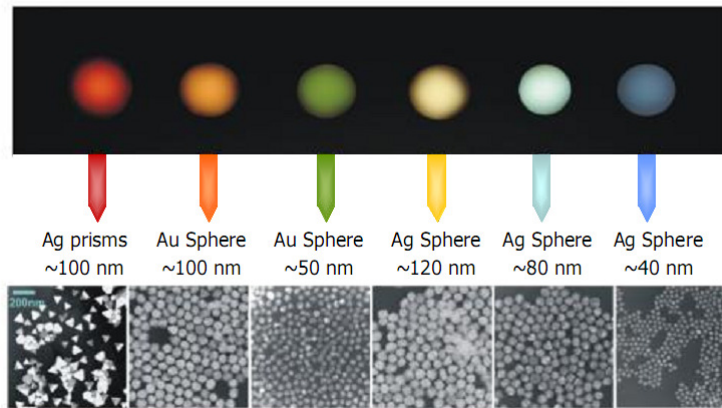
1857 Michael Faraday discovers colloid gold

คุณสมบัติเชิงแสงที่แตกต่างไปจากเดิม

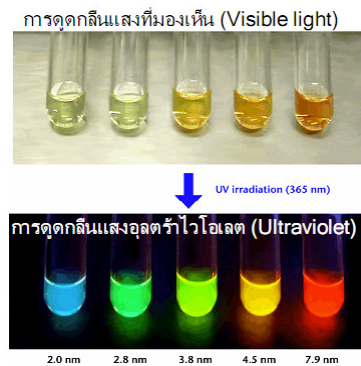
- ถ้วยโบราณที่มีผลึกนาโนทองคำเป็นส่วนประกอบและเกิดปรากฏการณ์เชิงแสงที่เปลี่ยนไปจากเดิม
- อนุภาคของทองคำนั้นมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบมาก จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์เชิงแสงที่เรียกว่า เซอร์เฟซพลาสมอน เรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance)



คุณสมบัติเชิงแสงที่แตกต่างไปจากเดิม



คุณสมบัติเชิงแสงที่แตกต่างไปจากเดิม



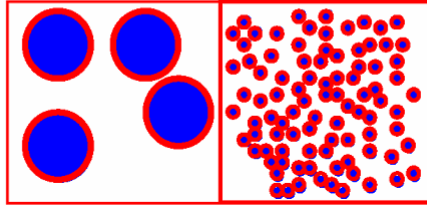
CdSe Nanoparticles

(Chem. Lett. 2005, 34, 1004)

ผลึกนาโนของสารกึ่งตัวนำ
แคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe)
ที่มีสีที่แตกต่างกันออกไป
ตามขนาดเกรนของผลึก

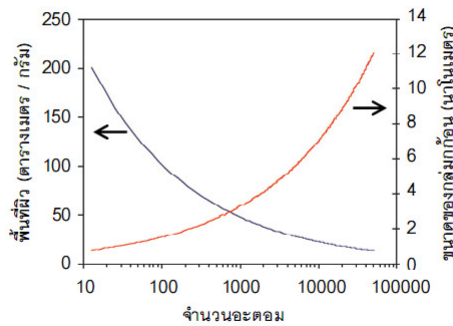
ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี

- วัสดุที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรจะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่า



ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี

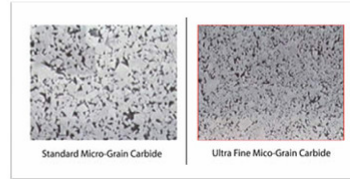
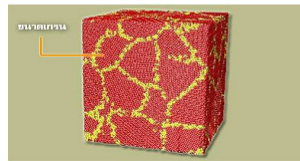
วัสดุที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรจะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (surface-to-volume) สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่า



รูปแสดงการประมาณขนาดและพื้นที่ผิวของอนุภาคนาโนทองคำ

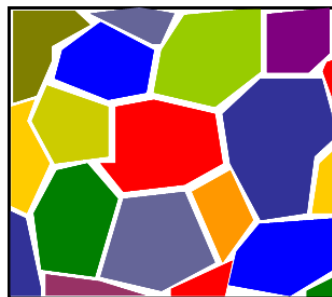
ความแข็งและความแข็งแรงที่ดีขึ้น

- วัสดุประเภทโลหะและเซรามิกที่มี ขนาดเกรน (grain size) ในระดับนาโนเมตร จะมีความแข็งและความทนทานต่อการแตกหักสูงมากกว่าวัสดุชนิดเดียวกัน ที่มีขนาดเกรนในระดับไมโครเมตรหรือในระดับที่ใหญ่กว่า

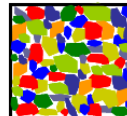


ความแข็งและความแข็งแรงที่ดีขึ้น

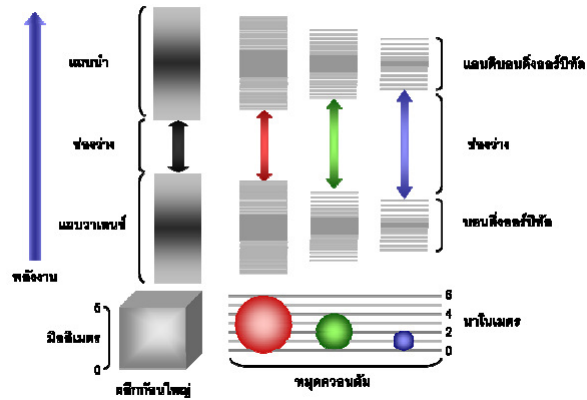
ขนาดเกรนของวัสดุหยาบ



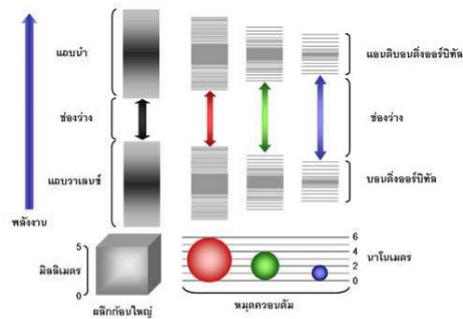
ขนาดเกรนของวัสดุนาโน



คุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ต่างไปจากเดิม



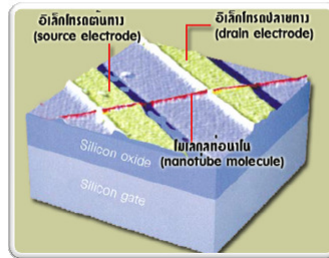
คุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ต่างไปจากเดิม



โลหะก้อนใหญ่จะมีแถบการนำ (conduction band) ที่เกิดจากการจัดเรียงชั้นพลังงานของอะตอมอิสระที่มาประกอบกันต่อเนื่องกันจึงนำไฟฟ้าได้ แต่เมื่อโลหะมีขนาดอนุภาคเล็กลง ฟังก์ชันคลื่นของวาเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่ในบริเวณที่จำกัด ส่งผลให้ระดับชั้นพลังงานต่างๆ ถูกแยกออกเป็นชั้นเดี่ยวๆ จึงทำให้สมบัติทางไฟฟ้าของโลหะเปลี่ยนแปลงระหว่างการเป็นโลหะกับฉนวน

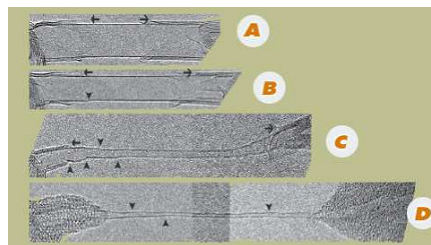
คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่แปลกไปจากเดิม

- ท่อนาโนคาร์บอนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 1 นาโนเมตร ทำให้เกิดคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่างไป โดยใช้ทำหน้าที่เป็นสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง



ความเป็นพลาสติกที่น่าอัศจรรย์

- คุณสมบัติความเป็นพลาสติกพิเศษ (superplastic) ของท่อนาโนคาร์บอน ภายใต้อุณหภูมิสูงๆ โดยที่มีความยาวเริ่มต้น 24 nm เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 nm (รูป A) และสามารถมีความเครียดที่เพิ่มขึ้นได้ จนกระทั่งยืดยาวได้เรื่อยๆ จนถึง 91 nm เส้นผ่านศูนย์กลางลดลงเหลือ 0.8 nm (รูป D) ซึ่งสามารถยืดขยายได้มากขึ้นถึง 280 %



สภาพแม่เหล็กอันแปลกประหลาด

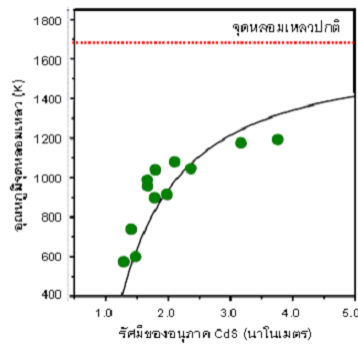


- ผลิตนาโนแม่เหล็ก (magnetic nanocrystals)
- การเกิดสภาพความเป็นแม่เหล็กของผลิตนาโนเมื่อนำแม่เหล็กมาวางทดสอบไว้ใกล้ๆ จึงทำให้สามารถแยกผลิตนาโนออกจากสารละลายได้

Figure 4 | Cyclohexane solutions of nanoparticles with a typical concentration of 2%. a-d, Cyclohexane solutions of noble metal (a), semiconductors (b), rare earth fluorescence (c) and magnetic nanocrystals (d). d, The separation of CoFe_2O_4 nanocrystals from the bulky solution by magnetic force.

Nature 437(2005):121-124

จุดหลอมเหลวที่เปลี่ยนไป



ขนาดผลึกแคดเมียมซัลไฟต์ยิ่งเล็กลง
จุดหลอมเหลวของโลหะยิ่งต่ำลง

- อนุภาคนาโนมีปริมาณอะตอมผิวหน้ามาก ซึ่งอะตอมผิวหน้าจะมีระดับพลังงานที่ใช้ในการยึดติดกันและกันน้อยกว่าในของแข็งปกติ
- จากอิทธิพลเคลวิน (Kelvin effect) จะพบว่าอนุภาคนาโนจะมีความดันไอสูงขึ้นซึ่งจะทำให้ระเหยได้ง่ายขึ้น

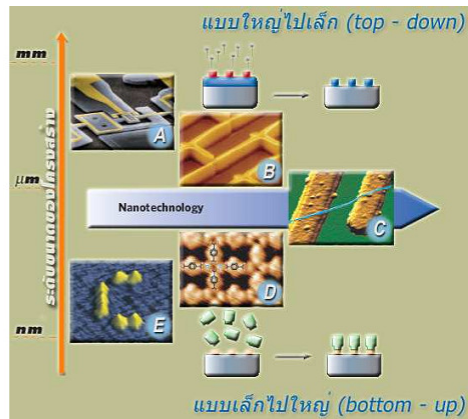
จุดหลอมเหลวที่เปลี่ยนไป

ชนิดของทองคำ	จุดหลอมเหลว (C)
ทองคำปกติ (Bulk gold)	1,064
อนุภาคทองคำนาโน 5 นาโนเมตร	860
อนุภาคทองคำนาโน 2 นาโนเมตร	350
อนุภาคทองคำนาโน 1 นาโนเมตร	200

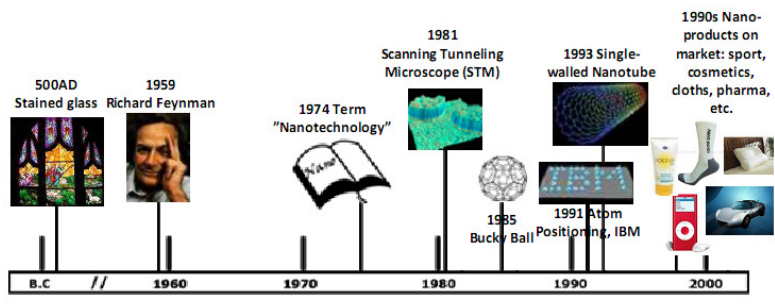
สาเหตุ อนุภาคนาโนของโลหะ มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าปกติ เกิดจากอนุภาคนาโนมีปริมาณอะตอมผิวหน้ามาก โดยที่อะตอมผิวหน้า จะมีระดับพลังงานที่ใช้ในการยึดติดกันและกัน น้อยกว่าที่พบในของแข็งปกติ และจากอิทธิพลเคลวิน (Kelvin effect) จะพบว่าอนุภาคนาโนจะมีความดันไอสูงขึ้นซึ่งจะทำให้ระเหยได้ง่ายขึ้น

เทคโนโลยีการผลิตระดับนาโน

- Top-down
- Bottom-Up



เส้นทางประวัติศาสตร์ของนาโนเทคโนโลยี



เส้นทางประวัติศาสตร์ของนาโนเทคโนโลยี

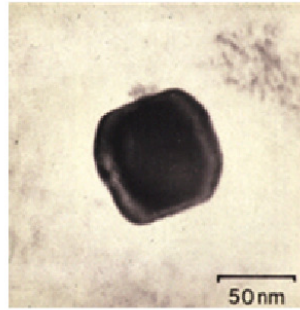


ยุคก่อนคริสตกาล ถึง ศตวรรษที่ 18

- ยุคโรมัน (30 BC - 640 AD)



ถ้วยโบราณ lycurgus



ผลึกนาโนของธาตุทองคำ

ยุคกลาง

- 500 AD - 1450 AD



สีแดงทับทิมของกระจกโมเสก เกิดจากอนุภาคทองคำนาโน และสีเหลืองเกิดจากอนุภาคเงินนาโน

ยุคเรอเนสซอง

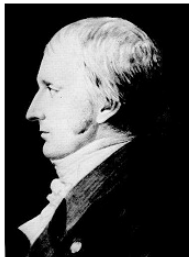
- 1450 AD - 1600 AD



เครื่องปั้นดินเผาที่ใช้ผลิตนาโนเป็นส่วนผสม มีลักษณะเป็นสีที่ สุกใส มันวาว คล้ายกับเป็น โลหะขัดให้เงา

ยุคคริสต์ศตวรรษที่ 19

- ค.ศ. 1827 เทคโนโลยีการถ่ายภาพ (Photography)



Thomas Wedgwood Humphry Davy ภาพถ่ายที่ใช้เทคนิคสมัยอดีต

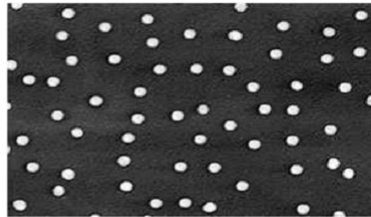
ฟิล์มถ่ายรูปมีลักษณะเป็นชั้นบางๆ ของเจลาตินที่ประกอบด้วยเกลือของเงินอยู่บนแผ่นเซล
โลเฟนโป่งแสง หลังจากโดนแสงอนุภาคนาโนเงินจะกลายเป็นจุดหรือฟิสิกเซล รายละเอียด
ของภาพถ่ายจึงเกิดขึ้นบนแผ่นฟิล์ม

ยุคคริสต์ศตวรรษที่ 19 (ต่อ)

- ค.ศ. 1857



Michael Faraday



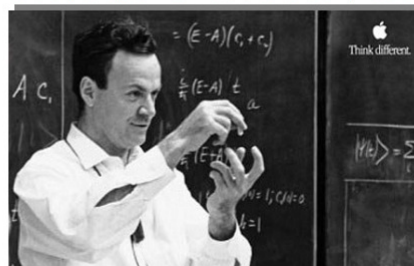
ไมเคิล ฟาราเดย์ เป็นผู้ที่ค้นพบคอลลอยด์ของธาตุทองคำเป็นครั้งแรก มีคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์และทางแสงที่พิเศษ

ศาสตราจารย์ ริชาร์ด ฟายน์แมน (Prof. Richard Feynman)



"หลักการทางฟิสิกส์ เท่าที่ข้าพเจ้ามองเห็น ไม่ได้กล่าว
ด้านความเป็นไปได้ในการจัดการกับสิ่งของในระดับ
อะตอม การกระทำดังกล่าวก็ไม่ได้เป็นความพยายามที่จะ
ฝืนกฎเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ใดๆ อันที่จริงแล้วเป็นสิ่ง
หนึ่งในทางหลักการที่สามารถจะทำได้ แต่ในทางปฏิบัติ
เรายังไม่ได้ทำนั้นเป็นเพราะว่าเราใหญ่เกินไป"

There's plenty of room at the bottom, 1959



เฟอโรฟลูอิด (Ferrofluids) ค.ศ. 1960



นักวิจัยขององค์การนาซ่า (NASA) พบว่าอนุภาคของธาตุเหล็กในระดับนาโนนั้นมีความเป็นแม่เหล็ก โดยอนุภาคนาโนเหล่านี้สามารถป้องกันการจับตัวรวมเข้าด้วยกันเองได้ และยังสามารถที่จะแพร่กระจายเข้าไปได้ในน้ำหรือน้ำมัน ทำให้สามารถที่จะควบคุมตำแหน่งหรือการเคลื่อนที่ของของเหลวโดยอาศัยสมบัติของการเป็นแม่เหล็กได้ ซึ่งของเหลวที่ค้นพบนี้เรียกกันว่า เฟอโรฟลูอิด (ferrofluids)

ค.ศ. 1974



โนริโอะ ทานิกุชิ
Norio Taniguchi

คำว่า “นาโนเทคโนโลยี (nanotechnology)” ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรก โดยโนริโอะ ทานิกุชิ นักวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์แห่งกรุงโตเกียว (Tokyo Science University)

นาโนเทคโนโลยี หมายถึง “เทคโนโลยีการผลิตที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงเป็นพิเศษ และก้าวข้ามพรมแดนของเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน อย่างเช่น ความแม่นยำที่สุดและถูกต้องที่สุดในระดับขนาด 1 นาโนเมตร ”

ค.ศ. 1981



เกิร์ต บินนิง (Gerd Binnig) ชาวเยอรมันและ เฮนริช โรห์เรอ (Heinrich Rohrer) ชาวสวิตเซอร์แลนด์ นักวิจัยในห้องปฏิบัติการของบริษัทไอบีเอ็ม ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ได้ประดิษฐ์เครื่อง Scanning Tunneling Microscope (STM) ขึ้นจนสำเร็จ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถที่จะเห็นภาพของโลกระดับนาโนเมตรได้เป็นผลสำเร็จ และได้รับรางวัลโนเบลในปี 1986

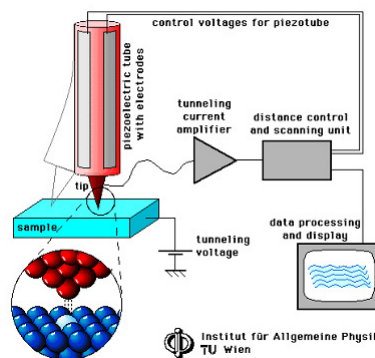
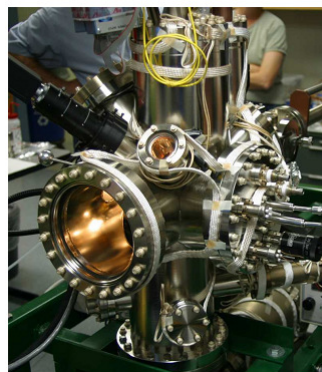


สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY



ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center

Scanning Tunneling Microscope (STM)

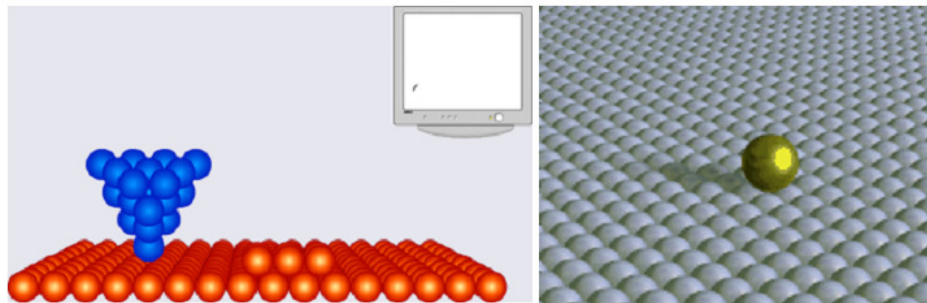


สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY



ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center

หลักการการทำงานของ STM



เมื่อเราควบคุมให้ tip เคลื่อนที่ไปทีละน้อยตามผิวของตัวอย่าง (scanning) โดยการควบคุมการยืดหดของ piezoelectric ในแนวระดับ (x,y) คอมพิวเตอร์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ก็จะควบคุมการยืดหดของ piezoelectric ในแนวตั้ง (z) ในลักษณะที่ทำให้ tunneling current คงที่ นั่นก็คือให้ระยะห่างระหว่าง tip กับตัวอย่างคงที่ จากตำแหน่งของ tip ที่ความสูงต่ำที่บันทึกไว้ จะแสดงภาพพื้นผิวเหมือนแผนที่ภูมิศาสตร์ออกมา (topography)

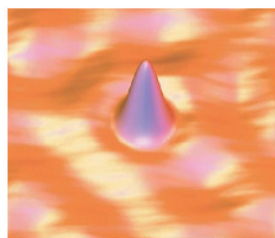


สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY

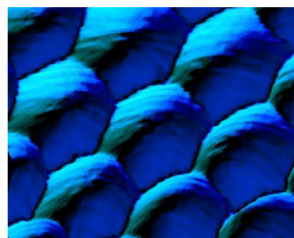


ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center

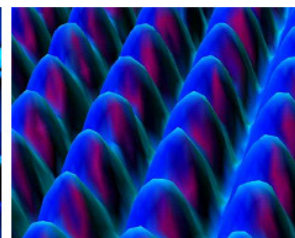
ภาพสแกนอะตอมต่างๆ ด้วยเครื่อง STM



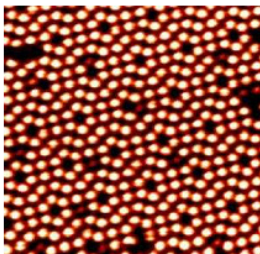
อะตอมโคบอลต์



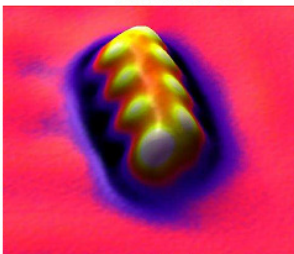
อะตอมนิกเกิล



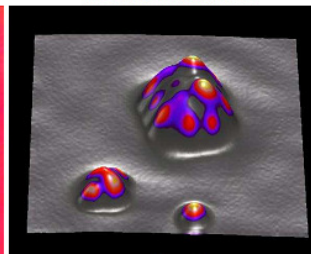
อะตอมแพลททินัม



อะตอมซิลิกอน



อะตอมซีเซียม



อะตอมซีเซียม

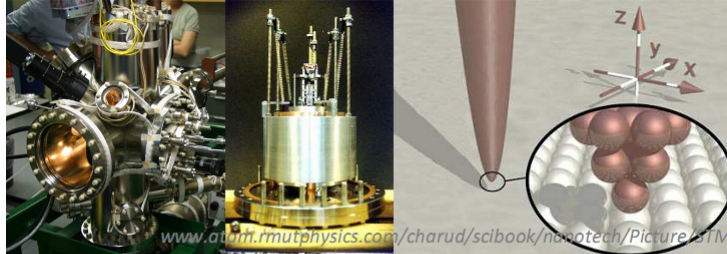


สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY



ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center

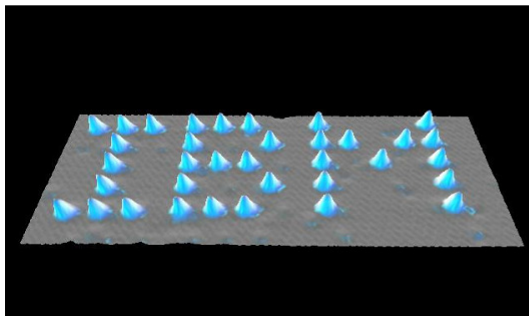
การเคลื่อนย้ายอะตอมด้วยเครื่อง STM



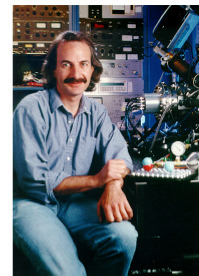
นอกเหนือจากการสแกนภาพอะตอม STM ยังสามารถเคลื่อนย้ายอะตอมได้ โดยใช้หลักการให้กระแสไฟฟ้าที่พื้นผิวเพื่อให้อะตอมไหลไปที่ปลายแหลม จากนั้นถ่วงกระแสไฟฟ้าที่ปลายแหลมเมื่อต้องการที่จะวางอะตอมลง ณ จุดที่กำหนด

การเคลื่อนย้ายอะตอมด้วยเครื่อง STM

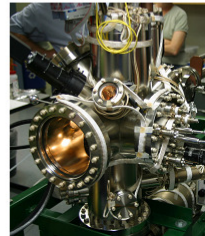
1990 IBM demonstrate ability to control the position of atoms !!!



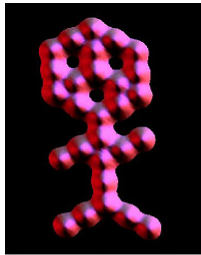
ซีนอน 35 อะตอมบนโลหะนิกเกิล



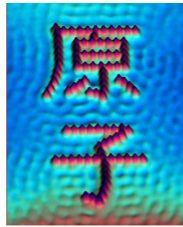
Dr. Don Eigler



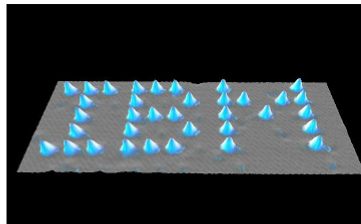
การจัดเรียงอะตอมด้วยเครื่อง STM



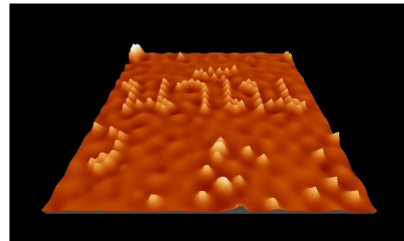
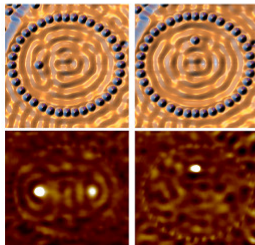
โมเลกุลคาร์บอนนอกไซด์บนฟลาตินิกัม



อะตอมเหล็กบนทองแดง

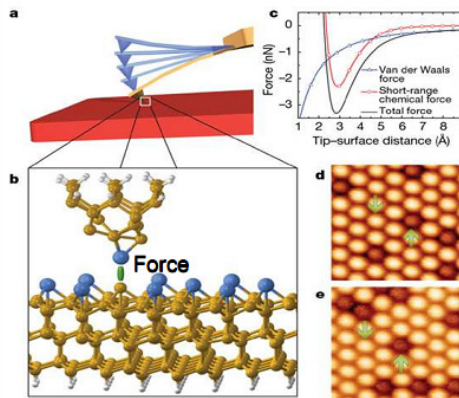
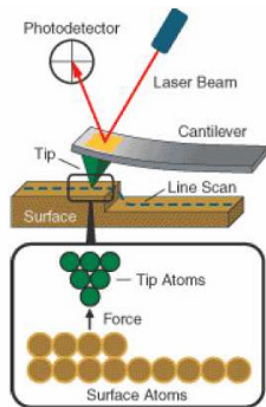


ธาตุซิลิคอนบนซิลิกอน



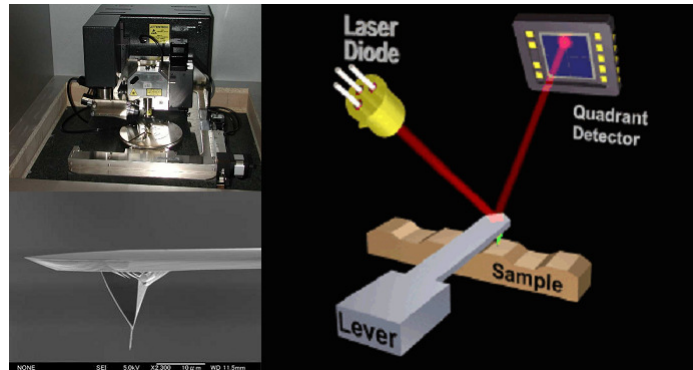
<http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/library.html#ref1>

Atomic Force Microscope (AFM)

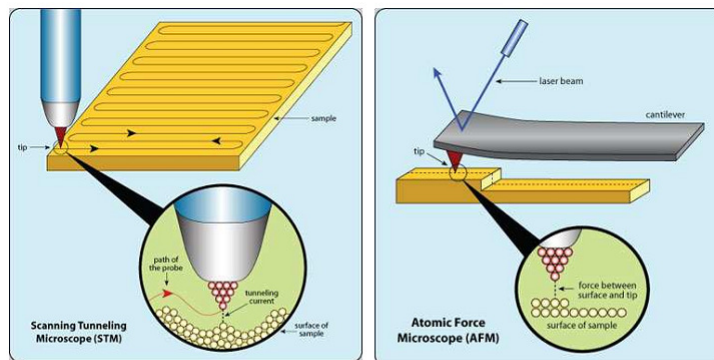


เมื่อลาก tip ผ่านโครงสร้างระดับนาโน แรงปฏิกิริยาที่กระทำในแนวตั้งฉากระหว่างอะตอมของพื้นผิวกับ tip จะทำให้คานโก่งตัว จึงสามารถตรวจวัดขนาดของแรงเชิงปฏิสัมพันธ์ ระหว่างความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของส่วนปลายแหลมและพื้นผิวของวัตถุ ทำให้สามารถทราบถึงระดับพลังงานที่เกิดขึ้น สัญญาณแสงเลเซอร์ที่ปลายคาน จะถูกนำมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวเชิงโครงสร้างระดับอะตอม

การทำงานของ (AFM)

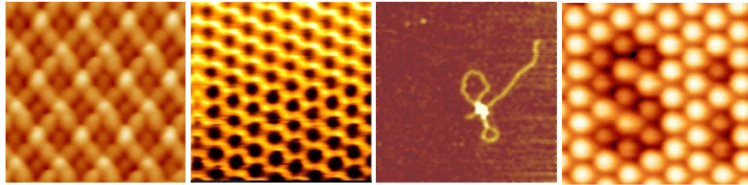


STM & AFM



คุณสมบัติของเครื่อง AFM ที่มีมากกว่าเครื่อง STM ก็คือ สามารถที่จะตรวจวัดพื้นผิวที่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ เช่น พื้นผิวโพลีเมอร์ เซรามิก คอมโพสิต กระจกหรือแก้ว รวมทั้งโมเลกุลทางชีวภาพต่าง ๆ

AFM



เจอมาเนียม/ซิลิกอน

แกรไฟต์

เอนไซม์-DNA complex

ซิลิกอน/ดีบุก

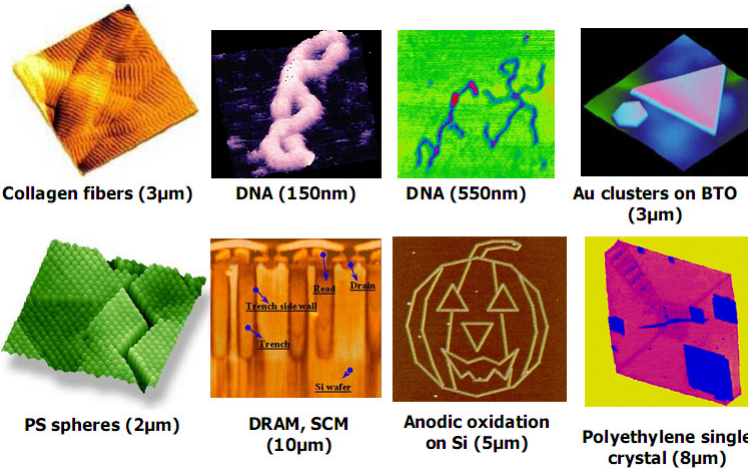


สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY



ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center

AFM

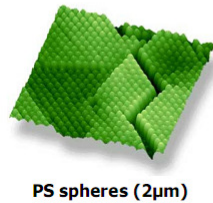


Collagen fibers (3 μ m)

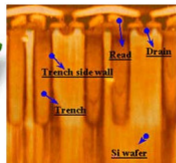
DNA (150nm)

DNA (550nm)

Au clusters on BTO (3 μ m)



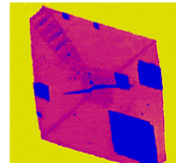
PS spheres (2 μ m)



DRAM, SCM (10 μ m)



Anodic oxidation on Si (5 μ m)



Polyethylene single crystal (8 μ m)

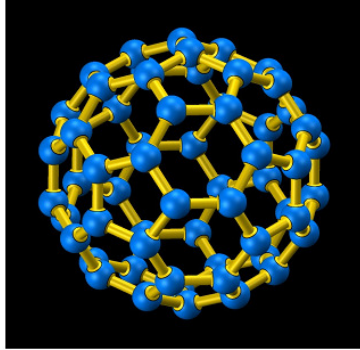


สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY



ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center

Buckminster Fullerenes, Bucky Ball ค. ศ. 1985

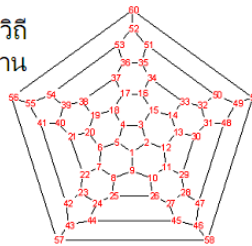
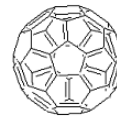
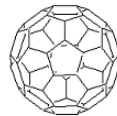


โรเบิร์ต เคิร์ล ฮาร์โรลด์ โครโต และ ริชาร์ด สมอลลีย์
ได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีในปี ค.ศ. 1991

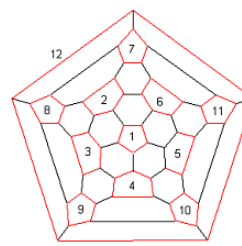
Buckminster Fullerenes, Bucky Ball ค. ศ. 1985

บัคกี้บอลมีคุณสมบัติเชิง
ฟิสิกส์และเคมีที่แปลก
ประหลาดหลายประการ
สามารถนำไปใช้

- พาหนะนำส่งยาแบบนำวิถี
- เป็นสารกึ่งตัวนำใช้ในงานนาโนอิเล็กทรอนิกส์
- ไนโซลาร์เซลล์
- บรรจุอะตอมโลหะและก๊าซต่างๆ ได้



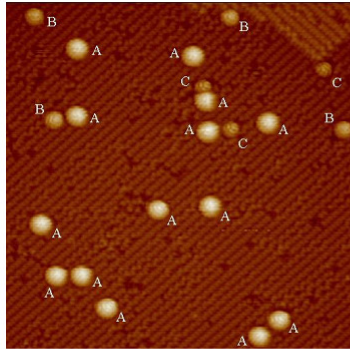
Number of Carbon Atom



Number of Pentagonal Ring

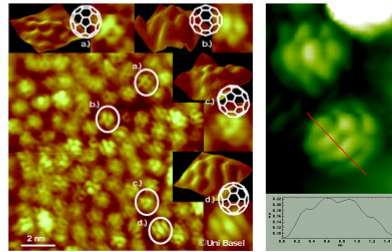
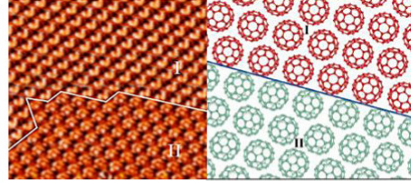
Buckminster Fullerene - C₆₀ (Bucky Ball)

ภาพถ่ายบัคกีบอลลด้วยกล้อง STM และ AFM



30 nm x 30 nm surface of Si(100) with C₆₀ deposition imaged by STM

<http://www.mcallister.com/papers/sarid.html>



Imaged by AFM

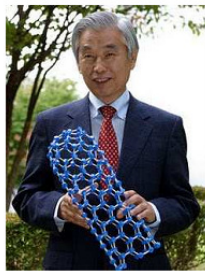


สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY

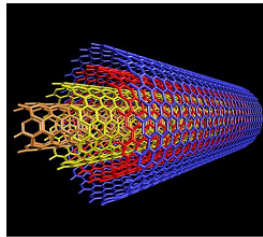


ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center

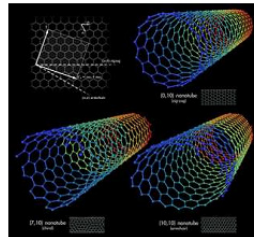
ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes)



Sumio Iijima
ซูมิโอะ อิจิมา



1991 ท่อนาโนคาร์บอน
ผนังหลายชั้น



1993 ท่อนาโนคาร์บอน
ผนังเดียว

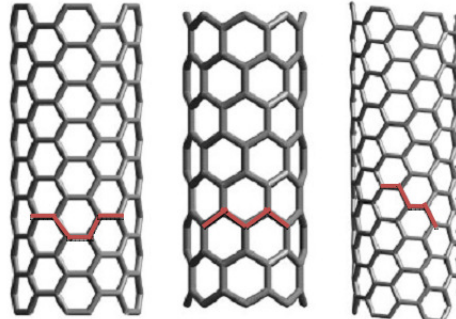


สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY



ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center

Carbon Nanotubes (CNT)



armchair

zigzag

chiral

ท่อนาโนคาร์บอน (CNT) ในปัจจุบันใช้ในแบตเตอรี่ เซลล์เชื้อเพลิง เซ็นเซอร์ คอมโพสิตที่มีความแข็งแรงสูง สีเคลือบ เครื่อง X-ray และตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น



สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY



ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
National Nanotechnology Center



THANK YOU FOR YOUR ATTENTION