

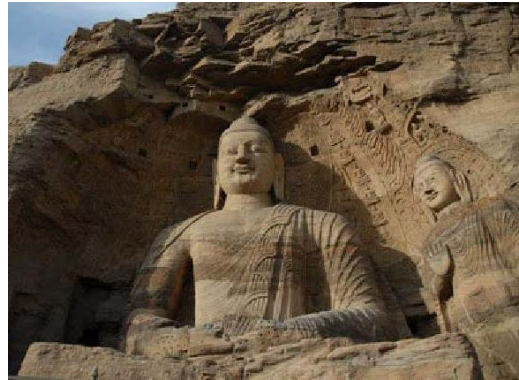
บทนำ (ตอนที่ 2)

เทคโนโลยีการสังเคราะห์

เทคโนโลยีที่มนุษย์ใช้ในการสังเคราะห์หรือจัดการกับวัตถุต่างๆ มีดังนี้

เทคโนโลยีแบบหยาบ (Bulk Technology)

เป็นเทคโนโลยีที่ใช้จัดการหรือผลิตสิ่งต่าง ๆ โดยอาศัยวิธีทางฟิสิกส์ เช่น ตัด กิ่ง บีบ อัด ต่อ งอ เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่พบเจอในชีวิตประจำวัน เช่น การแกะสลักรูปปั้นจากหินก้อนใหญ่หรือการกัดกร่อนหินให้เป็นร่องจนเกิดเป็นภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาศัยวิธีทางเคมีโดยการผสมสารแล้วปล่อยให้ทำปฏิกิริยากันเองในสภาวะที่ควบคุมไว้ให้เหมาะสม ซึ่งการใช้เทคโนโลยีแบบหยาบนี้ไปสร้างสิ่งเล็ก ๆ จะเรียกว่าเป็นการใช้เทคโนโลยีแบบบนลงล่าง (top-down technology) ซึ่งเทคโนโลยีแบบนี้ยังขาดความแม่นยำและมีขีดจำกัดมาก



รูปที่ 1 พระพุทธรูปสลักหน้าผา

(ภาพจาก <http://www.matichon.co.th/>)

เทคโนโลยีระดับโมเลกุล (Molecular Technology)

เป็นการผลิตหรือจัดการสิ่งต่าง ๆ โดยการจัดวางอะตอมหรือโมเลกุล ณ ตำแหน่งที่ต้องการอย่างแม่นยำ ซึ่งสามารถนำไปสร้างเป็นสิ่งต่าง ๆ ให้มีขนาดตามต้องการได้ อย่างเช่น การสร้างพีระมิด

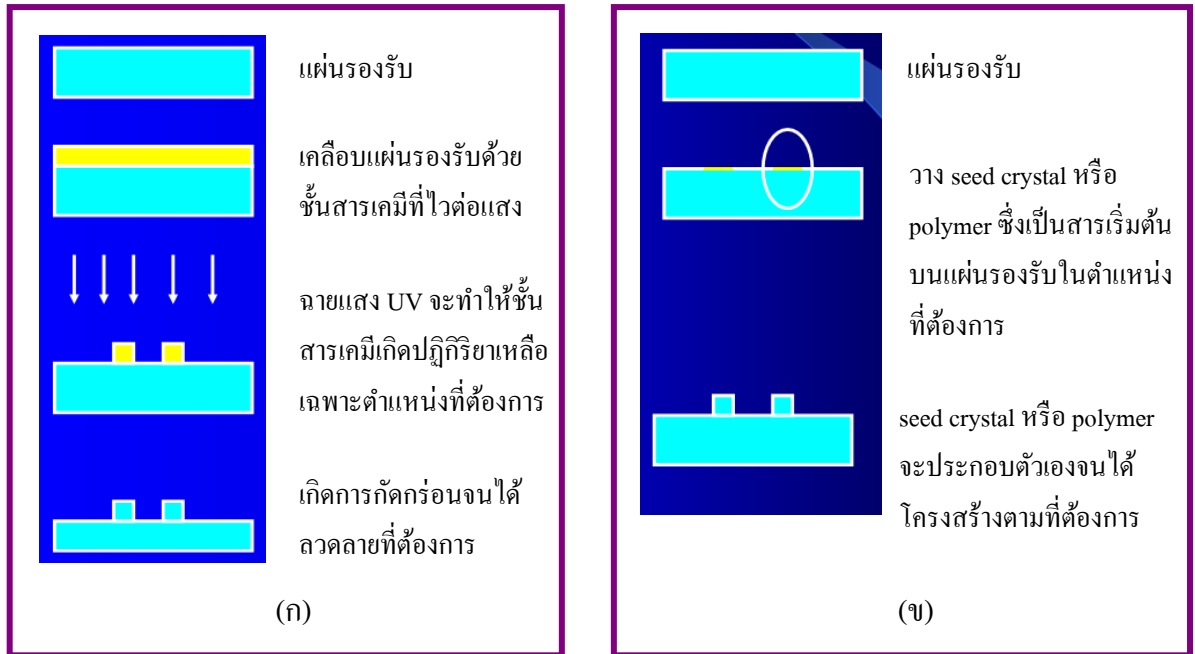


รูปที่ 2 พีระมิด

(ภาพจาก <http://1.bp.blogspot.com>)

ของชาวอียิปต์ที่เกิดจากการนำก้อนหินก้อนเล็ก ๆ มาจัดวางอย่างเป็นระเบียบจนได้เป็นพีระมิดขนาดใหญ่ ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นการใช้เทคโนโลยีแบบล่างขึ้นบน (bottom-up technology) เทคโนโลยีระดับโมเลกุลนี้ถือว่าเป็นแนวทางการพัฒนานาโนเทคโนโลยีของโลกยุคใหม่

ปัจจุบันเทคโนโลยีระดับโมเลกุลได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้ทดแทนเทคโนโลยีแบบหยาบได้ เช่น การผลิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถทำได้โดยใช้ทั้งเทคโนโลยีแบบหยาบและเทคโนโลยีระดับโมเลกุล ดังตัวอย่าง



รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการผลิตวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เทคโนโลยีแบบหยาบ (ก) และใช้เทคโนโลยีระดับโมเลกุล (ข) ซึ่งได้ผลลัพธ์สุดท้ายเป็นลวดลายที่เหมือนกัน

นอกจากนี้ขีดจำกัดของเทคโนโลยีแบบหยาบในกระบวนการผลิต เช่น การผลิตไมโครชิปในระดับ $0.2 - 0.3 \mu\text{m}$ ที่ประสบปัญหาในเรื่องของขีดจำกัดของเครื่องมือที่จะใช้ในการผลิต เป็นต้น และปัญหาในเรื่องของผลข้างเคียงที่เกิดจากการผลิตซึ่งเป็นภัยต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเรื่องของต้นทุนที่สูงเกินความเป็นจริง จึงทำให้เทคโนโลยีแบบหยาบเริ่มถึงจุดอิมตัว

เครื่องมือของนาโนเทคโนโลยี

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ภาพของวัสดุในระดับนาโนเมตรที่มีความสำคัญต่อการพัฒนานาโนเทคโนโลยีได้แก่ กล้องจุลทรรศน์แบบหัวส่องกราด (Scanning Tunneling Microscope; STM) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope; AFM)

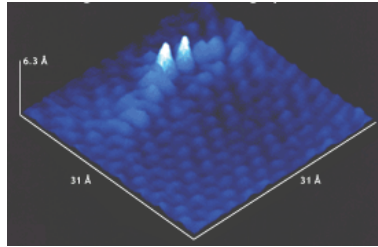
กล้องจุลทรรศน์แบบหัวส่องกราด (Scanning Tunneling Microscope; STM)



รูปที่ 4 กล้อง STM

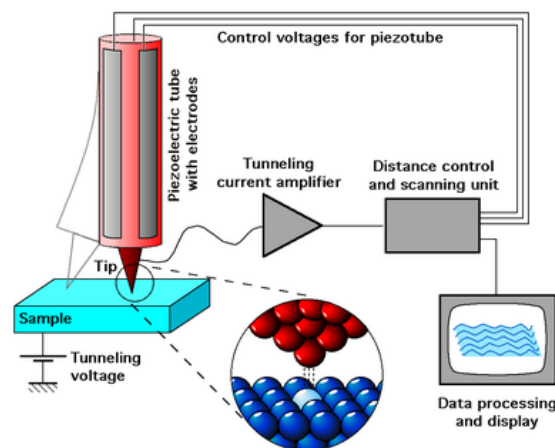
(ภาพจาก <http://physics.science.cmu.ac.th>)

กล้อง STM เป็นเครื่องมือที่ใช้สแกนหรือจำลองภาพพื้นผิวของวัตถุที่ต้องการ โดยการวัดกระแสไฟฟ้าอ่อน ๆ ที่ผ่านช่องว่างระหว่างหัวเข็มของกล้องกับพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งกระแสไฟฟ้าเกิดจากการที่อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ข้ามหรือทะลุผ่านช่องว่าง (ประมาณ 1 nm) ซึ่งเป็นเหมือนผนังกั้นระหว่างปลายเข็มกับพื้นผิวของวัตถุได้ โดยขณะสแกนเครื่องจะควบคุมปลายเข็มให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวที่ละเอียดและรักษาระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับพื้นผิวให้คงที่ตลอดการสแกน ดังนั้นหัวเข็มจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามความสูงต่ำของพื้นผิวทำให้ได้ภาพตามที่ต้องการ



รูปที่ 5 อะตอมของซิลิกอนบนแกรไฟต์จากการสแกนด้วยเครื่อง STM

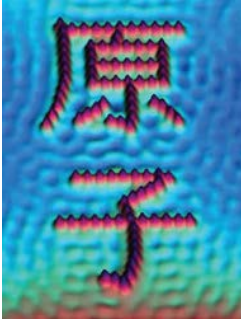
(ภาพจาก <http://www.llnl.gov>)



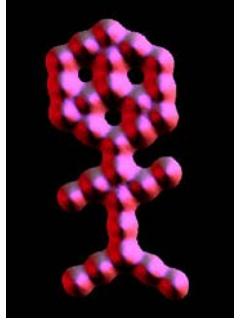
รูปที่ 6 แผนผังการทำงานของเครื่อง STM

(ภาพจาก <http://www.medlibrary.org>)

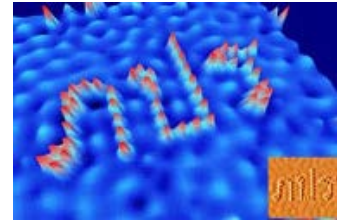
กล้อง STM ยังสามารถใช้เคลื่อนย้ายอะตอมได้ โดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนที่หัวเข็มกับอะตอมที่ต้องการเคลื่อนย้าย โดยต้องควบคุมให้แรงดึงดูดมีมากพอที่จะลากอะตอมให้เลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการแต่ต้องไม่มากเกินไปจนทำให้อะตอมหลุดออกจากพื้นผิว โดยในปี พ.ศ. 2532 ดอน ไอเกลอร์ (Don Eigler) ประสบความสำเร็จในการจัดเรียงอะตอมซีโนนเป็นคำว่า “IBM” เป็นครั้งแรกซึ่งต่อมาประเทศต่าง ๆ รวมถึงประเทศไทย ได้มีการทดลองเรียงอะตอมและโมเลกุลเป็นรูปและตัวอักษรต่าง ๆ ดังรูป



อะตอมของธาตุเหล็กที่ถูกจัดเรียง
เป็นตัวอักษรญี่ปุ่นบนทองแดง
(ภาพจาก <http://openlearn.open.ac.uk>)



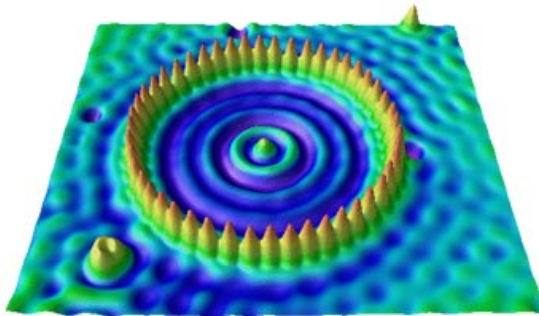
คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ถูกจัดเรียง
เป็นรูปมนุษย์บนแพลทินัม



คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ถูกจัดเรียงเป็น
พระปรมาภิไธยย่อ ภ.ป.ร. บนทองแดง
(ภาพจาก <http://www.dmsc.moph.go.th>)

รูปที่ 7 อะตอมและ โมเลกุลที่จัดเรียงเป็นรูปและภาษาต่าง ๆ

นอกจากนี้ ดร.ไอเกลอร์ และทีมงานยังประสบความสำเร็จในการใช้กล้อง STM สร้างกับดักอิเล็กตรอนที่เรียกว่า ประการังควอนตัม (Quantum Coral) โดยการวางธาตุเหล็ก 48 อะตอมเป็นรูปร่างกลมบนผิวโลหะทองแดงทำให้เห็นลักษณะของคลื่นอิเล็กตรอนของทองแดง ดังรูป



รูปที่ 8 ประการังควอนตัม

(ภาพจาก <http://www.vcharkarn.com>)

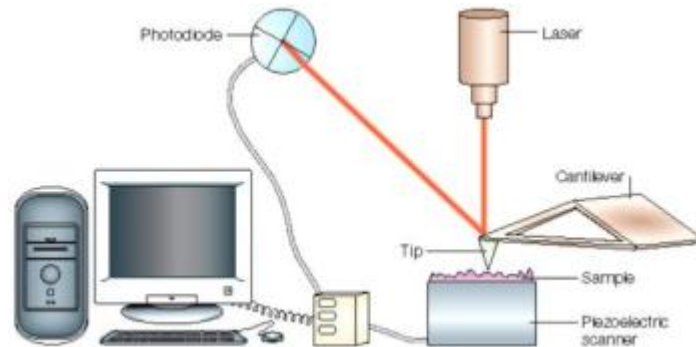
กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope; AFM)



รูปที่ 9 กล้อง AFM

(ภาพจาก <http://www.polymer-physics.uwaterloo.ca>)

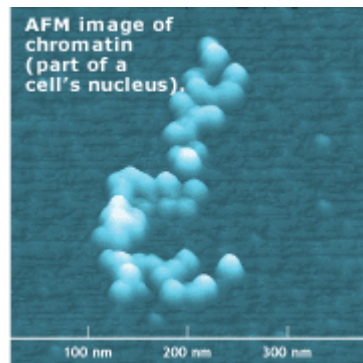
กล้อง AFM ใช้ในการตรวจพื้นผิวของวัตถุโดยอาศัยส่วนแขน (cantilever) ที่มีเข็มขนาดเล็ก (tip) ติดอยู่เคลื่อนที่ไปตามพื้นผิวของวัตถุ ขณะที่มีการยิงแสงเลเซอร์ให้ตกกระทบบนส่วนปลายของแขน แสงเลเซอร์จะสะท้อนเข้าสู่เครื่องตรวจวัดความเข้มแสง ดังนั้นถ้าพื้นผิวของวัตถุมีความขรุขระจะทำให้แขนเคลื่อนที่ขึ้นลงและส่งผลให้ความเข้มแสงของแสงเลเซอร์เปลี่ยนแปลงไปด้วย ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงนี้จะถูกประมวล โดยคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลเป็นภาพพื้นผิวของวัตถุที่ทำการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 10 แผนผังการทำงานของเครื่อง AFM

(ภาพจาก <http://www.geobacter.org>)

กล้อง AFM ส่วนใหญ่ใช้ศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลที่ซับซ้อน เช่น โปรตีน เอนไซม์ และ ดีเอ็นเอ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการหัก บิด งอ ตัดและเคลื่อนย้ายโมเลกุลได้ตามต้องการ



รูปที่ 11 โครมาติน (chromatin) จากการสแกนด้วยเครื่อง AFM

(ภาพจาก <http://www.llnl.gov>)

ทั้งกล้อง STM และ AFM ถือว่าเป็นอุปกรณ์สำคัญในงานด้านนาโนเทคโนโลยี เพราะช่วยให้นักวิทยาศาสตร์เข้าใจโครงสร้างต่าง ๆ ในระดับนาโนมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่สูงมากและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการวิเคราะห์

สมบัติของสารระดับนาโนเมตร

- คอลลอยด์

เมื่อสารมีขนาดอนุภาคเล็กลง แรงโน้มถ่วงของโลกจะมีผลต่ออนุภาคของสารน้อยลงด้วย ดังนั้นในตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊สที่มีอนุภาคของสารขนาดนาโนเมตรกระจายตัวอยู่ แรงโน้มถ่วงของโลกที่มีต่ออนุภาคจะมีค่าน้อยมาก ทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติ ซึ่งเรียกว่าการเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน (Brownian movement) สามารถกระจายตัวในตัวกลางนั้นได้เป็นเวลานานโดยไม่ตกตะกอนลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งลักษณะของผสมแบบนี้เรียกว่า คอลลอยด์ อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไปอนุภาคของคอลลอยด์บางชนิดอาจเกิดการรวมตัวจนมีขนาดใหญ่ขึ้นจนเกิดการตกตะกอนลงมาได้และมีผลทำให้สภาพของคอลลอยด์สูญเสียไป

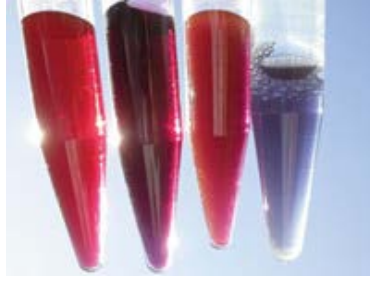
- โครงสร้างผลึก

ผลึกของโลหะที่เป็นก้อนใหญ่มีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยหน่วยย่อยซ้ำ ๆ กันของอะตอมจำนวนมากเรียงต่อกันอย่างเป็นระบบ แต่ผลึกโลหะที่มีขนาดนาโนเมตรมีจำนวนอะตอมไม่กี่ร้อยอะตอมเป็นองค์ประกอบ ทำให้อะตอมส่วนมากเป็นอะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้า ซึ่งตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์ การจัดรูปทรงของผลึกจะพยายามจัดให้ได้รูปทรงที่มีพลังงานอิสระบริเวณผิวหน้าต่อหน่วยปริมาตรน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นผลึกที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรจึงอาจมีรูปที่ทรงที่แตกต่างไปจากผลึกขนาดใหญ่เนื่องจากมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่สูง เช่น ผลึกขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ face-centered cubic (fcc) เมื่อเป็นผลึกในระดับนาโนเมตรกลับมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ icosahedron หรือ dodecahedron แทน

- สีสีน

สีของโลหะที่เรามองเห็นเกิดจากการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น (visible light) ถ้าทำให้โลหะมีขนาดเล็กลงจนมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร การดูดกลืนคลื่นแสงจะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่มากกระทบ เช่น ทองคำมีสีเหลืองเนื่องจากดูดกลืนแสงสีน้ำเงินแต่เมื่อทองคำมีขนาดเล็กลงจนอยู่ในระดับนาโนเมตร ขนาดของอนุภาคจะเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่มากกระทบทำให้อนุภาคทองคำเปลี่ยนไปดูดกลืนแสงสีเขียวแทนซึ่งทำให้มองเห็นทองคำเป็นสีแดงทับทิม

นอกจากนี้ถ้าควบคุมให้อนุภาคนาโนทองคำกลับมารวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ทองคำเปลี่ยนไปเป็นสีอื่นได้ตั้งแต่สีชมพูจนถึงสีม่วง

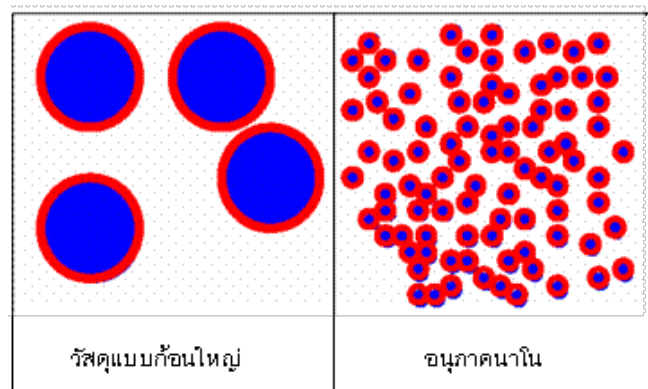


รูปที่ 12 สีของอนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาดแตกต่างกัน

(ภาพจาก <http://www.nanotec.or.th>)

- **พื้นที่ผิวหน้าและความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี**

วัตถุที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรจะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อมวลที่สูงมาก เช่น อนุภาคนาโนทองคำขนาด 2 nm มีพื้นที่ผิวสูงถึง $150 \text{ m}^2/\text{g}$ นอกจากนี้สัดส่วนของอะตอมที่ผิวหน้าจะเพิ่มสูงขึ้น เช่น อนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาด 3 nm จะมีจำนวนอะตอมที่ผิวหน้าประมาณร้อยละ 45 แต่เมื่อมีขนาดอนุภาคเล็กลงเหลือ 1 nm จำนวนอะตอมที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 76 ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่ายและเร็วขึ้น จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้เป็นตัวกรองแบบพิเศษ



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบจำนวนอะตอมผิวหน้า (สีแดง) ของวัสดุก้อนใหญ่กับ

อนุภาคที่มีขนาดในระดับนาโนเมตร

(ภาพจาก <http://www.vcharkarn.com>)

- **จุดหลอมเหลว**

อนุภาคที่อยู่ในระดับนาโนเมตรจะมีจุดหลอมเหลวดำลง เช่น อนุภาคทองคำที่มีขนาด 1 nm มีจุดหลอมเหลวเพียง $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ในขณะที่ทองคำก้อนใหญ่ปกติมีจุดหลอมเหลวสูงถึง $1064 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่อนุภาคนาโนเมตรมีจำนวนอะตอมที่บริเวณผิวหน้ามาก และโดยปกติพลังงานที่ใช้ในการยึดติดกันของอะตอมที่ผิวหน้ามีค่าน้อยกว่าภายในของแข็งปกติเนื่องจากมีอะตอมข้างเคียงน้อยกว่า

นอกจากนี้อนุภาคที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรยังมีสมบัติแม่เหล็กแตกต่างไปจากเดิม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการนำส่งยาไปยังอวัยวะเป้าหมายที่ต้องการได้ และมีความสามารถในการละลายสูงกว่าผลึกขนาดใหญ่อีกด้วย เช่น อนุภาคควอตซ์ที่มีขนาดประมาณ 2 nm มีค่าการละลายสูงกว่าควอตซ์ปกติเกือบ 1000 เท่า

เคมี เป็นวิทยาศาสตร์สาขาหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยีในส่วนของ การสังเคราะห์ การจัดการ หรือการควบคุมอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสสารต่าง ๆ ให้มีสมบัติทางกายภาพและทางชีวภาพตรงตามความต้องการ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตวัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ ต่อไปได้