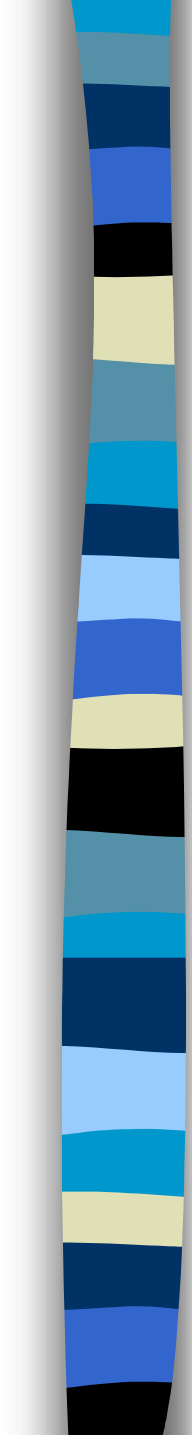


นาโนเทคโนโลยีในงานด้านสิ่งทอ และงานที่เกี่ยวข้อง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ สอนธิสมบัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

<http://www.ttcexpert.com>



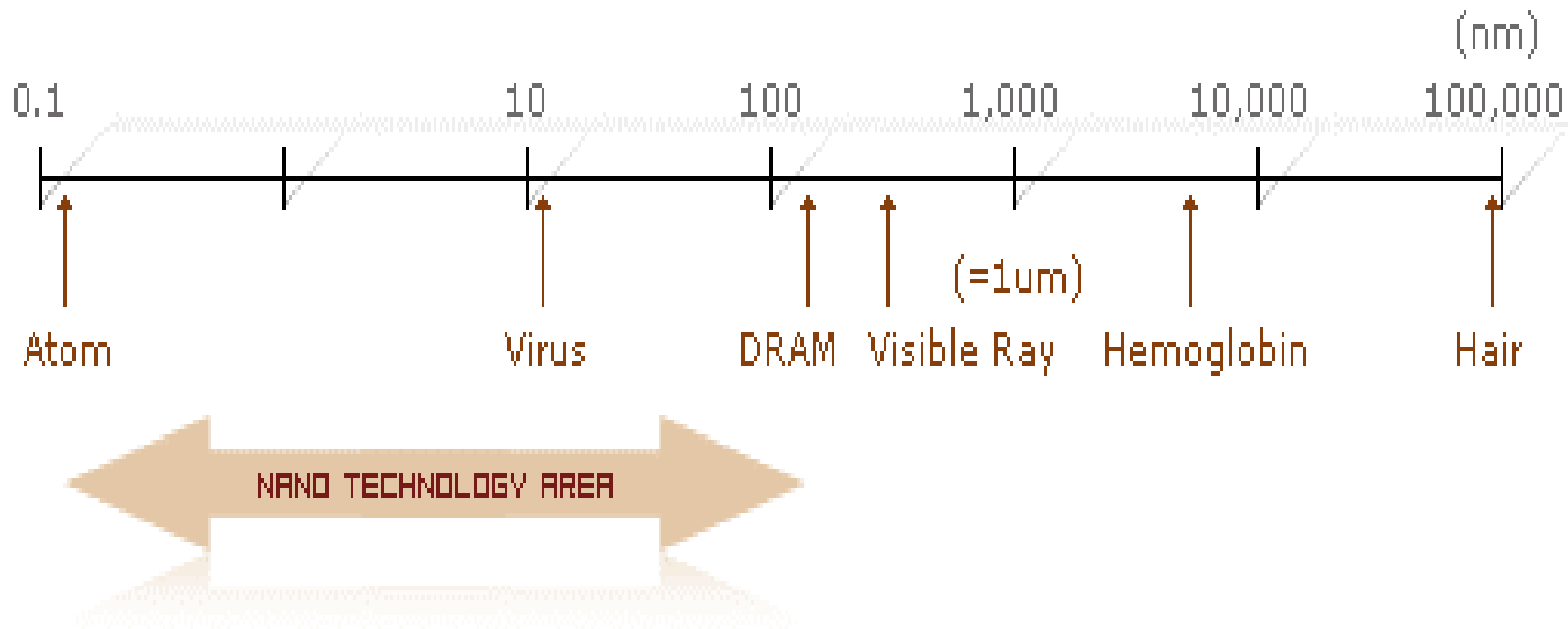
นาโน (nano) คืออะไร?

นาโน รากศัพท์มาจากภาษากรีก หมายถึง “แคระ” [1]

นาโนเมตร (nanometer) หมายถึงอะไร

นาโน เป็นคำที่เติมหน้าหน่วยในงานด้านวิทยาศาสตร์
หมายถึง 1 ส่วนใน 1,000 ล้านส่วน (10^{-9})

ดังนั้น นาโนเมตร จึงหมายถึง 10^{-9} เมตร [1]



ภาพ แสดงสเกลของสิ่งต่างๆ [2]

<http://www.nano-silver.net/eng/index.php>

Nanotechnology Applications

ตัวอย่างการใช้งานของสารนาโนเทคโนโลยี

Medicine
and
Health

Information
Technology

Energy
Production
/ Storage

Materials
Science

Food, Water
and the
Environment

Instruments



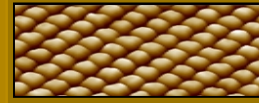
Drug
delivery



GMR
Hard Disk



Hydrogen
Fuel Cells



Lightweight
and strong



Remediation
methods



From Sixth Framework Programme Thematic Priority 3 Nanotechnology & nanosciences,
knowledge-based functional Materials, new Production Processes & devices - NMP by EU

กระบวนการผลิตสารนาโนเทคโนโลยี

1. Bottom-up Technique

เป็นการนำเอาสาร หรือธาตุ มาเรียงต่อกัน ทำให้เกิดสารนาโนฯ ขึ้นมา

- 1.1 **Self Assembly** การต่อเรียงตัวกันเองของสารเป็นชั้นๆ หรือเป็นชั้นเป็นตอน ตัวอย่างคือ ไลโปโซม
- 1.2 **Sol-gel** การทำให้สารจากของเหลว-->ของแข็ง ตัวอย่าง คือ การผลิตนาโนแคปซูล สารเมมเบรนที่มีรูขนาดไมครอน
- 1.3 **Chemical Vapor Deposition** การเคลือบด้วยสารที่มีอนุภาคเล็ก ๆ มาก ในสภาพที่เป็นก๊าซ และมีความดันสูง เคลือบบนผิวหน้าสิ่งของที่ต้องการ

กระบวนการผลิตสารนาโนเทคโนโลยี (ต่อ)

1.4 Nanomanipulator โดยการใช้อุปกรณ์พิเศษ เช่น Scanning Tunneling Microscope และ Atomic Force Microscope เป็นต้น แล้วตัดต่ออะตอมตามที่ต้องการ

1.5 3D Printing โดยการใช้เทคโนโลยีอิงค์เจ็ต พิมพ์บนชั้นผิวหน้าของสาร เช่น เซรามิค พอลิเมอร์ โลหะ เส้นใย เป็นต้น (บางตำราไม่ถือว่าเป็นนาโน แต่เกือบจะเป็นระดับนาโน)

2. Top-down Technique

เป็นการนำเอาสารที่มีโมเลกุลใหญ่ๆ มาย่อยให้เล็กลง เช่น การทำอนุภาคนาโน เป็นต้น ซึ่งปกติอาจมีสิ่งเจือปนผสม

เทคโนโลยี

กระบวนการ

การเติมเข้าไป

ผลิตภัณฑ์

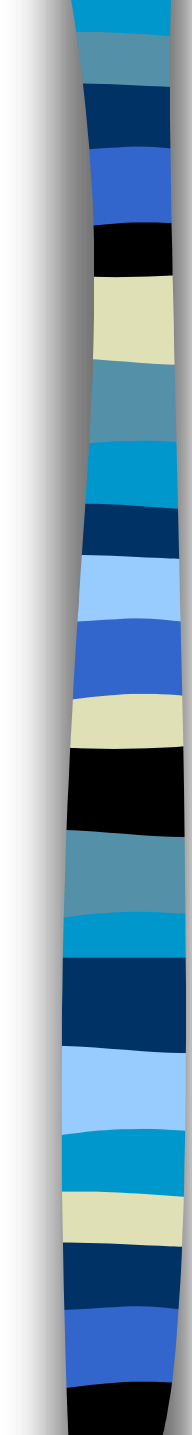
- เคมี
- ฟิสิกส์
- วัสดุ-
ศาสตร์
- ชีววิทยา
ฯลฯ

ผลิต

วัสดุที่เป็น
นาโน
เทคโนโลยี

- การเคลือบ
- อิมัลชัน
- ทำให้กระจาย
ตัว
- พลาสติก
- แผ่นฟิล์ม
ฯลฯ

- ชิ้นส่วนของ
รถยนต์
- กระดาษ
- **สิ่งทอ**
- ป้องกันแสง
แดด
ฯลฯ



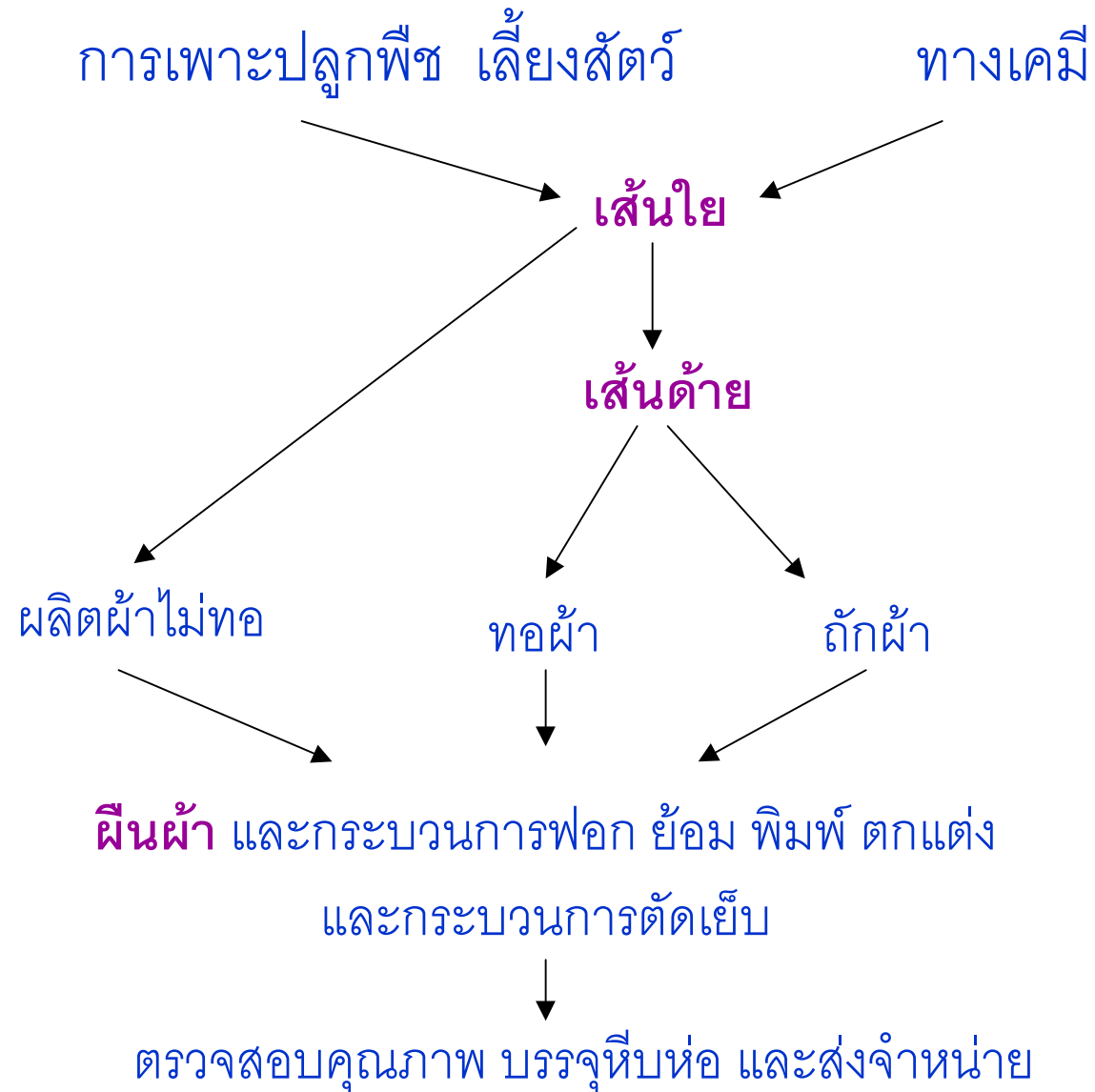
สิ่งทอ (Textiles) คืออะไร [4]

สิ่งทีมาจากเส้นใย เส้นด้าย หรือผืนผ้า หรือผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

อุตสาหกรรมสิ่งทอ (Textiles Industries) ประกอบด้วยอะไรบ้าง [5]

- อุตสาหกรรมผลิตเส้นใยสังเคราะห์
- อุตสาหกรรมปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า และผลิตผ้าไม่ทอ
- อุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ ตกแต่ง
- อุตสาหกรรมเสื่อผ้าสำเร็จรูป
- อุตสาหกรรมผลิตสิ่งทอเทคนิค

กระบวนการผลิตสิ่งทอ



การนำเอาเทคโนโลยีมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้าน สิ่งทอ

1. การเคลือบผ้าด้วยสารนาโนเทคโนโลยี ที่สามารถทำ ความสะอาดได้ง่าย (very easy care)

สารดังกล่าวจะทำให้เกิดโครงสร้าง 3 มิติเคลือบอยู่เหนือ
พื้นผ้า ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวจะเป็นตัวสะท้อนน้ำ น้ำมัน
และสิ่งสกปรก เช่น ไวน์แดง ซอสมะเขือเทศ น้ำผึ้ง
เป็นต้น



ภาพ แสดงเสื้อผ้าที่สามารถทำความสะอาดได้ง่ายที่ใช้กับเด็กเล็ก [6]



ภาพ แสดงหยดน้ำบนพื้นผิวของผ้าที่เคลือบสารกันน้ำนาโนเทคโนโลยี [7][8]

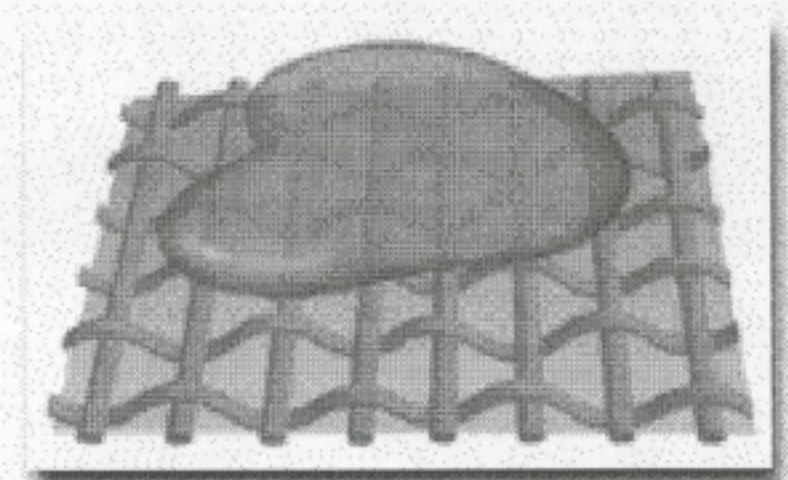
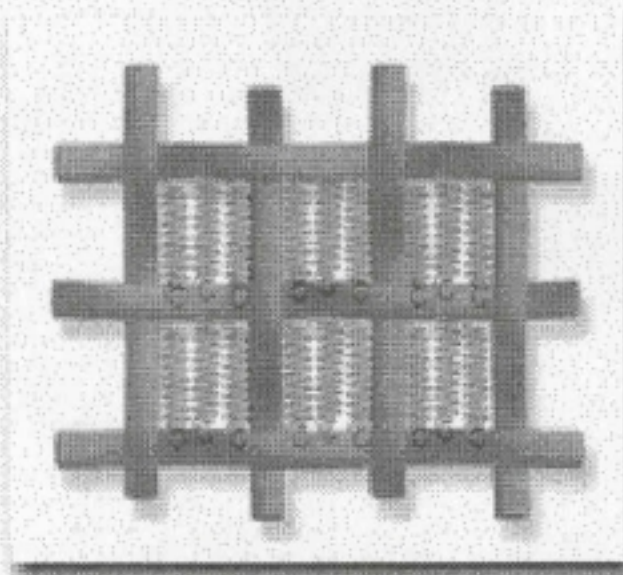
แนวความคิด: การทำความสะอาดตัวเองของใบไม้ เช่น ใบบัว
เป็นต้น หรือปีกของแมลง



ภาพ แสดงหยดน้ำบนใบบัว [8]

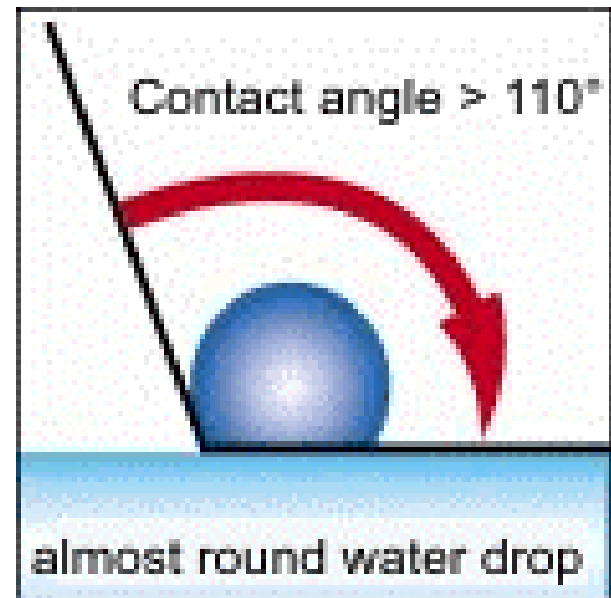
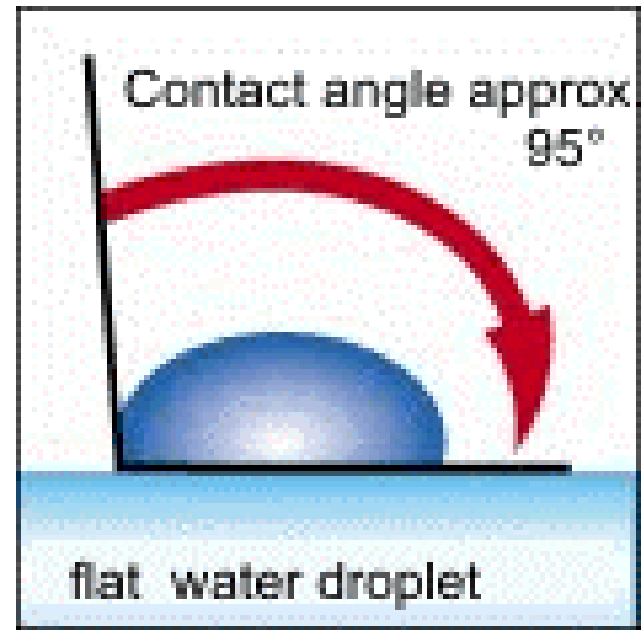
Nano water repellence

Water proof textiles



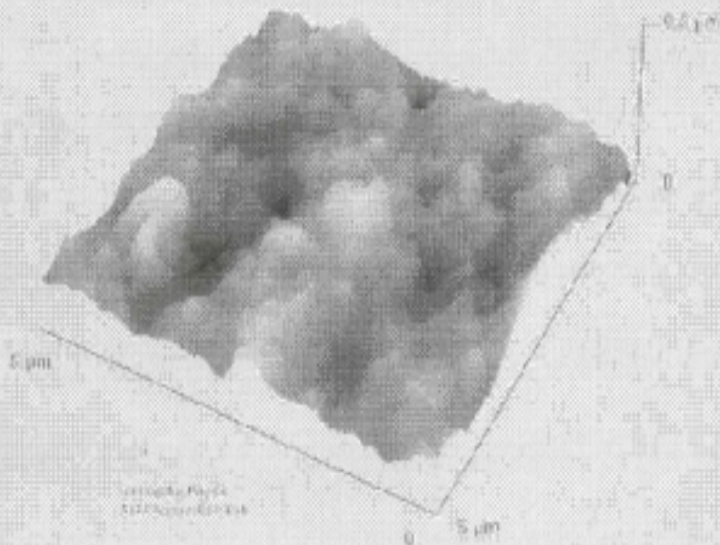
Through NANO-CARE™ technology, nano-whiskers are attached to individual cotton fibers.

The whiskers cause liquids to roll off the fabric.
(Nano-Tex)



Nano-Finish

Nano-Finish



Fabric surface
with Nano-Finish

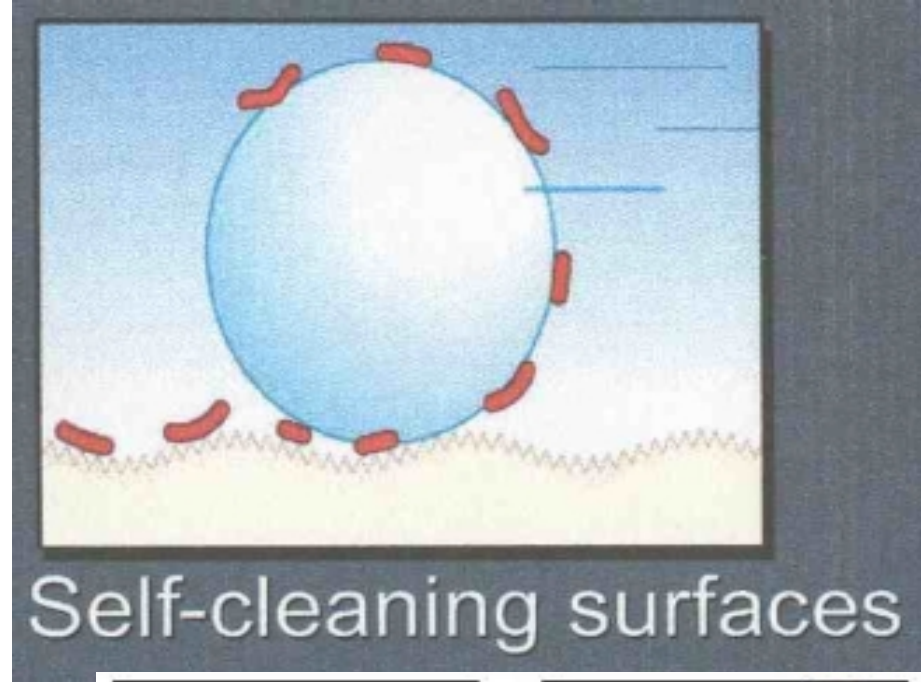
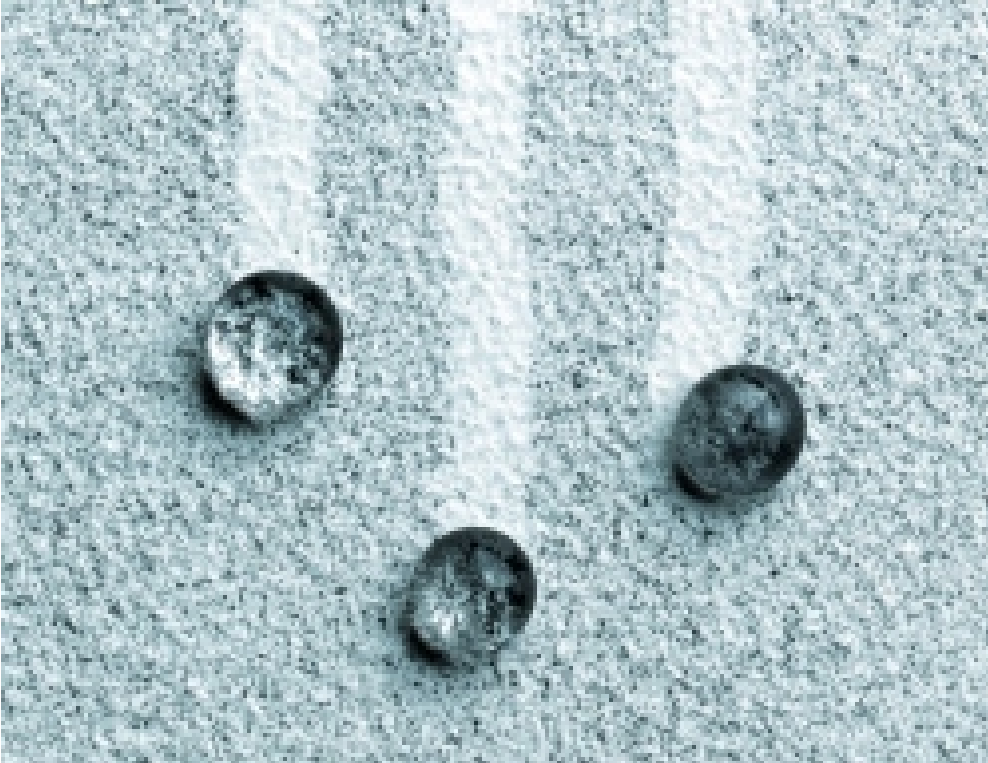
Drop of water

Dirt particle

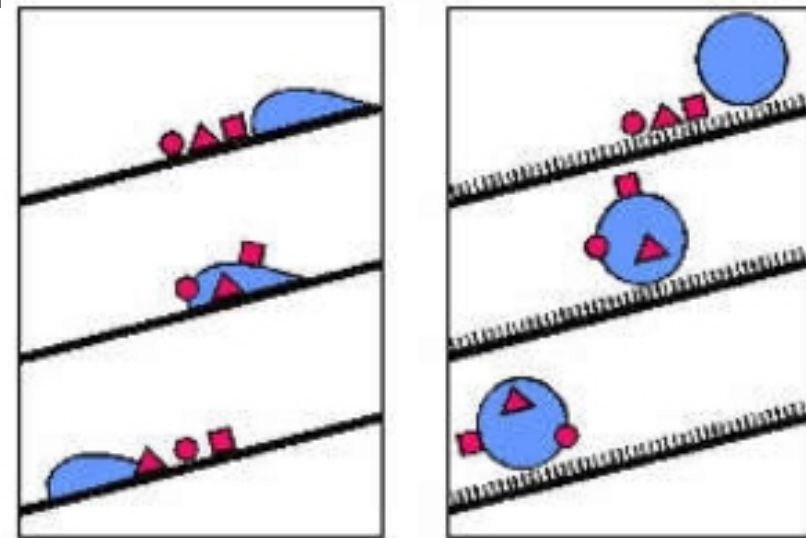
On Nano-Finish the
dirt particles cling to
the drop of water.

When the drop of water
runs off the surface the
dirt particles are simply
washed away.

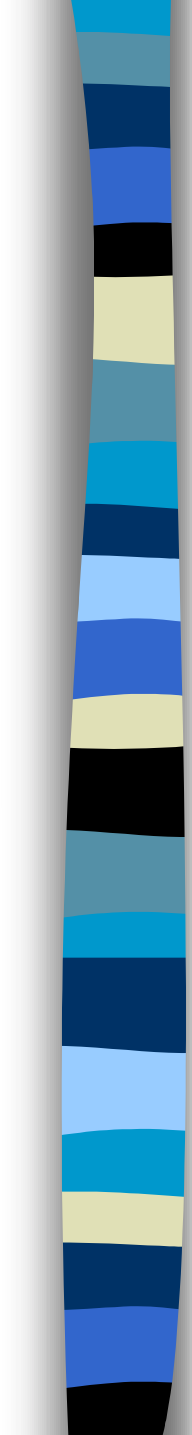
Just as with a lotus leaf.



ภาพ แสดงสีทาบ้านที่
สามารถทำความสะอาดตัว
เองได้

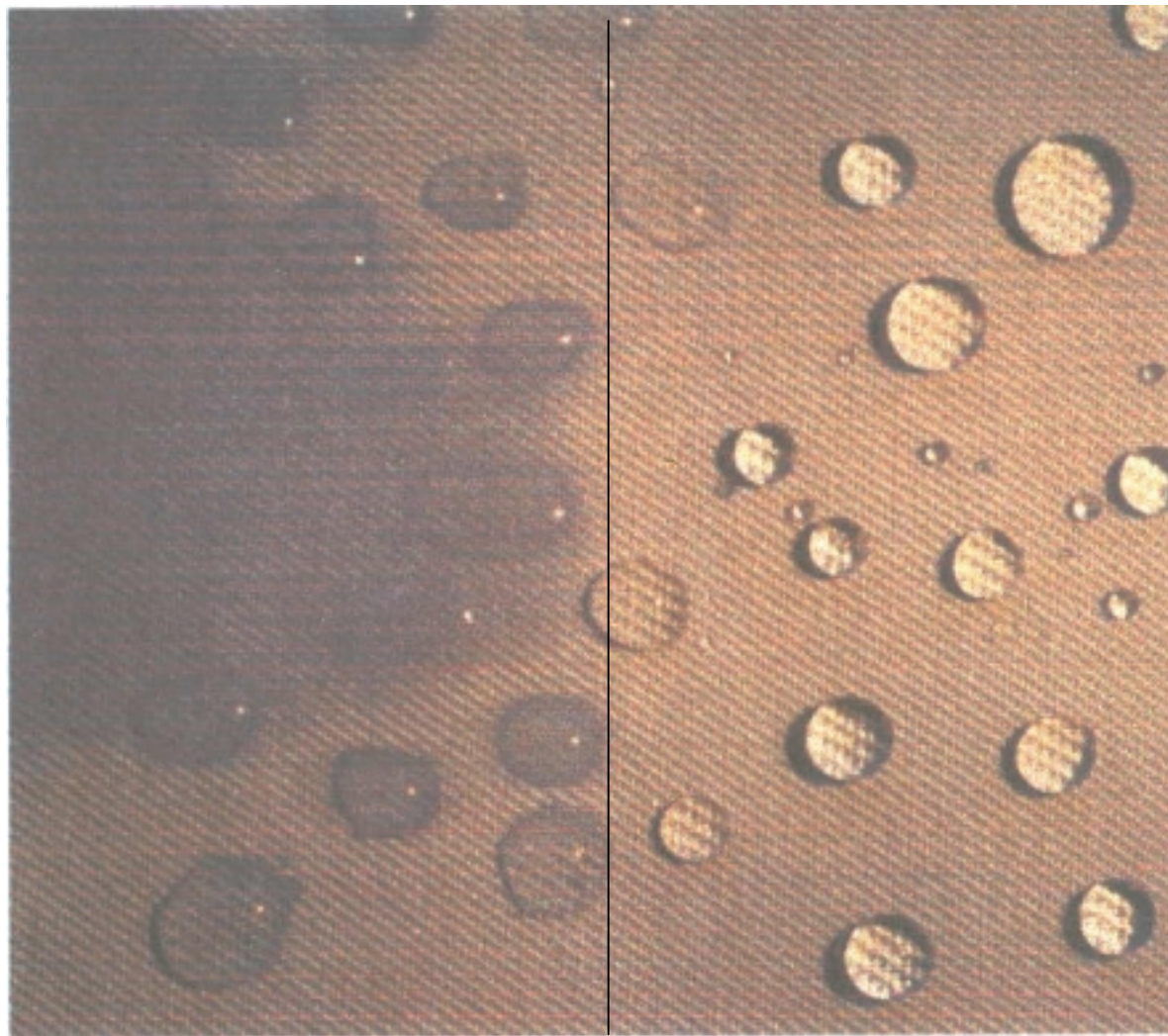


<http://www.wupperinst.org/FactorFour/best-practices/lotus-effect.html>



ข้อดีของ Lotus Effect

1. ทำความสะอาดง่ายมาก
2. ประหยัดน้ำในการทำมาความสะอาด
3. เสียเวลาในการทำมาความสะอาดน้อย
4. ประหยัดสารซักล้าง
5. ลดมลภาวะ ฯลฯ



ภาพ แสดงผ้าที่ถูกเคลือบด้วยสารกึ่งน้ำชนิดนาโนเทคโนโลยี (ด้านขวา) กับผ้าที่ไม่ได้เคลือบ (ด้านซ้าย) [9]

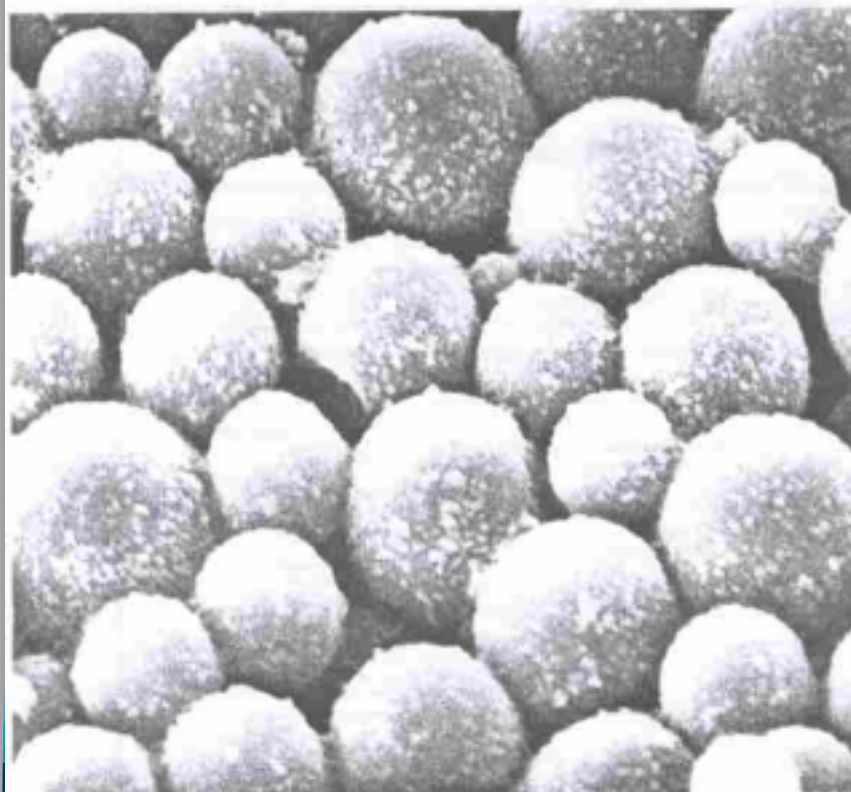
2. การเติมอนุภาคที่เป็นนาโนเทคโนโลยีเข้าไปในเส้นใยสังเคราะห์ ทำให้เกิดสมบัติการคงทนต่อจุลินทรีย์ (Anti-microbial) [10]

- ใช้ได้กับการใช้งานของสิ่งทอ เช่น งานสุขภาพอนามัย เฟอร์นิเจอร์ พรม ผ้ามกรอง และเสื้อผ้า

วิธีการ เติมอนุภาคที่เป็นนาโนเทคโนโลยี เช่น ซิงค์ออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์ ในช่วงการปั่นเส้นใยสังเคราะห์ (เหมือนการปั่นเส้นใยปกติ)

ข้อดี 1. ไม่ทำให้สีเปลี่ยนแปลงไป

2. ไม่ทำให้ผิวหน้า หรือผิวสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป

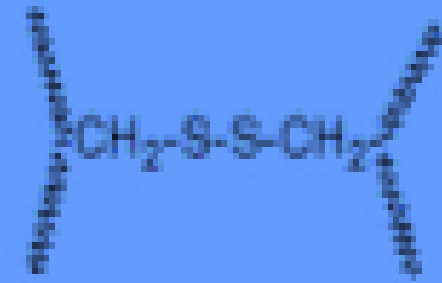


Used organism	Staphylococcus aureus (ATCC 6538P)	Klebsiella pneumoniae (ATCC43652)
Bacteriostatic Activity Value	5.3	4.6
Biostatic rate(%)	99.9	99.9

(KOTITI ; Korea Textile Inspection & Testing institute)

Tertiary Structure - Disulfide Bonds

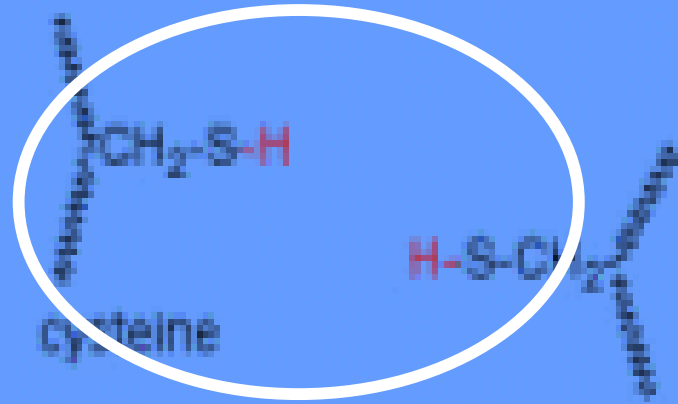
Denaturation by Reducing Agents



cysteine

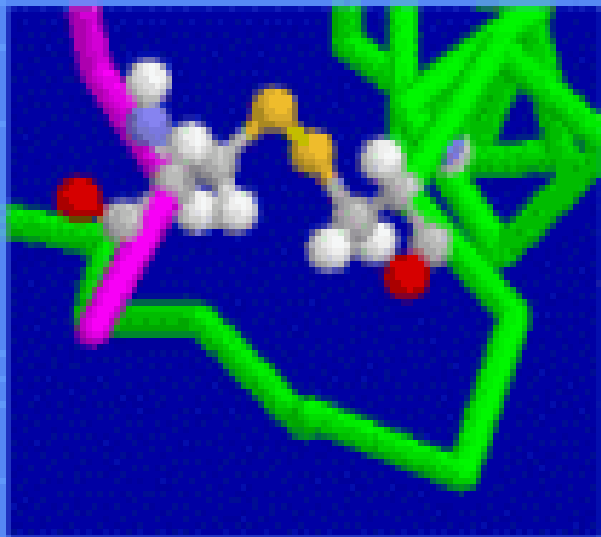
cys

+ (2 H)
reducing
agent

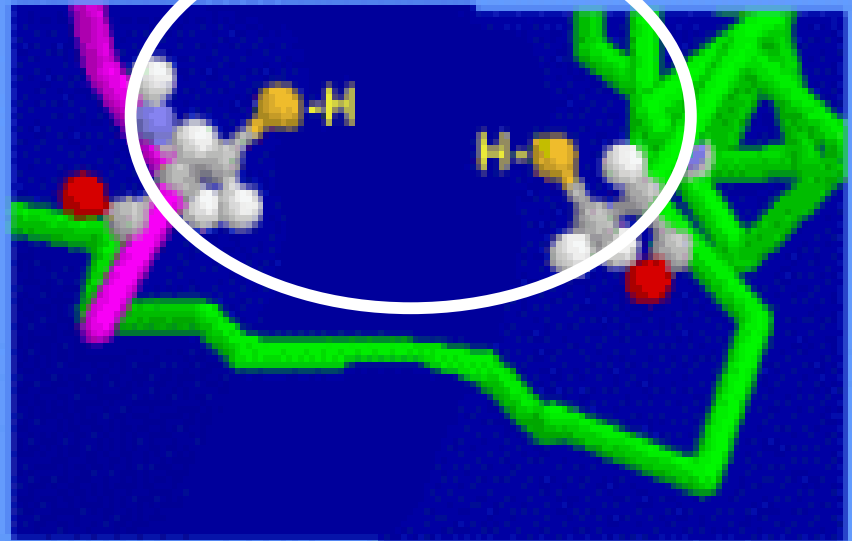


cysteine

cys



Join two chains



<http://www.nano-silver.net/eng/index.php>



http://www.samsung.com/PressCenter/PressRelease/images/L_Silver-Nano-Washer.jpg

3. การนำเอาสารนาโนเทคโนโลยีมาเคลือบบนผ้าทำให้กักกลิ่น [13]

- โดยการเคลือบด้วยสารที่มีลักษณะโมเลกุลเป็นฟองน้ำ ซึ่งสามารถซับ และกักกลิ่นที่มาจากถุงเท้า หรือเสื้อผ้า และจะปลดปล่อยเมื่อซักล้าง (Nano-Fresh)
- โดยการโรยถุงเท้าด้วยผงเงินที่เป็นอนุภาคของสารนาโนเทคโนโลยี ซึ่งเงินจะเป็นสารป้องกันเชื้อรา และเชื้อจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ ทำให้เท้าของผู้สวมใส่ไม่ติดเชื้อ ไม่ปวดบวม และไม่มีกลิ่นเหม็น (JR Nanotech's SoleFresh)

4. การนำเอาสารนาโนเทคโนโลยีมาเคลือบบนกระดาษทำให้
กระดาษผิวเรียบขึ้น และมีสมบัติในการดูดซึมหมึกดีไม่แตก
กระจาย (สำหรับเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ต) [14]



ภาพ แสดงกระดาษที่เคลือบด้วยสารนาโนฯ พิมพ์ด้วย
อิงค์เจ็ต [14]

5. การใช้งานของนาโนแคปซูล [15]

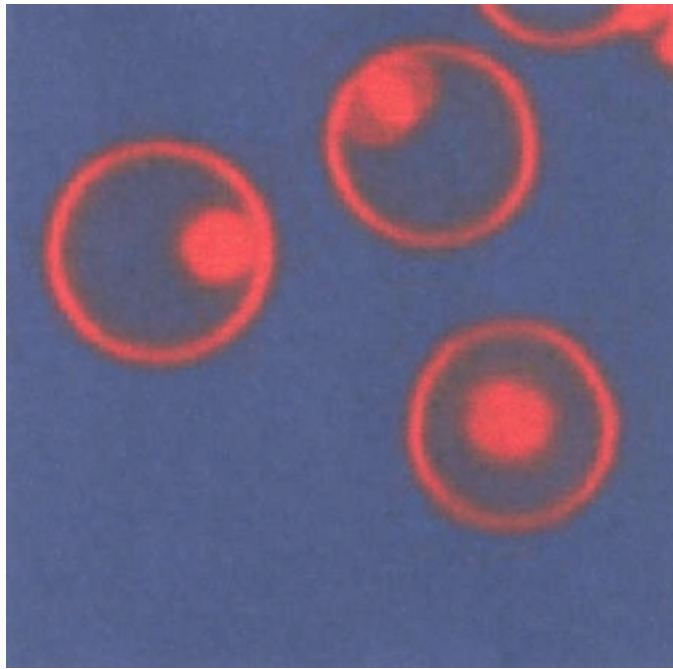
- นาโนแคปซูลที่นิยมใช้กันสำหรับสิ่งทอ-เครื่องสำอาง จะเป็นนาโนแคปซูลสังเคราะห์

- วิธีการผลิตนาโนแคปซูล โดยการเริ่มต้นจากอิมัลชันน้ำมันในน้ำ หรือน้ำในน้ำมัน ซึ่งจะผลิตนาโนแคปซูลที่เป็นน้ำมันและน้ำ ตามลำดับ สามารถเคลือบนาโนแคปซูลด้วยโปรตีนพอลิเมอร์ และ/หรือ วัสดุจากธรรมชาติ หรือสังเคราะห์

ผนังเซลล์ของไมโคร/นาโนแคปซูล

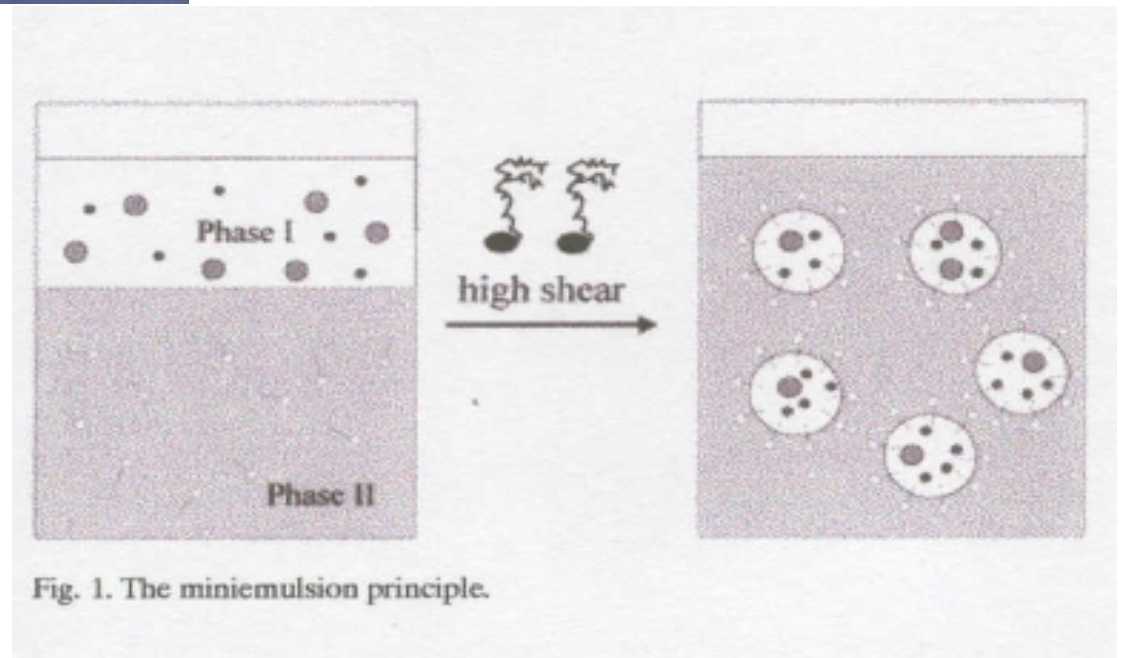
สามารถผลิตจากสารพอลิยูรีเทน พอลิเอไมด์ พอลิยูเรีย เจลาติน หรือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น

- การทำให้แคปซูลแตกตัว สามารถกระทำได้ด้วยการขัดถู หรือโดยการใช้อัลตราซาวด์ กระตุ้น



ภาพ แสดงนาโนแคปซูลที่ใช้
สำหรับใส่ยา (ไม่บอกขนาด
ของแคปซูล) [15]

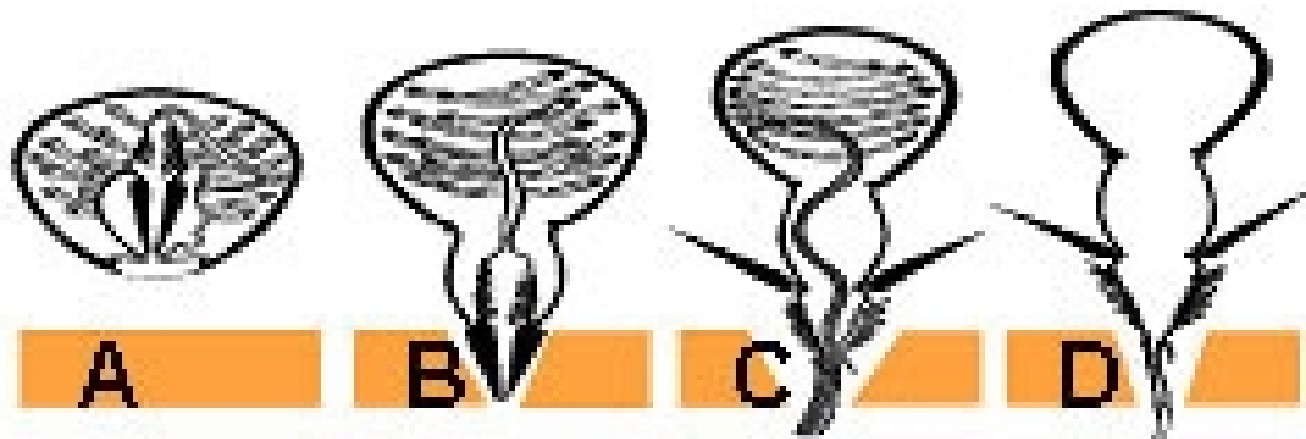
ภาพ แสดงวิธี
การทำให้เกิด
นาโนแคปซูล
วิธีมินิมัลชัน
[16]



Color change of M/C



การใช้งานของแคปซูลที่บรรจุสีที่ไวต่อ UV



ภาพ แสดง Nanocyte ของแคปซูลยา เมื่อถูกกระตุ้นจะ
ปล่อย Nanotube ออกมา แล้วปล่อยยาที่อยู่ในแคปซูล
ออกมาในผิวหนังชั้นนอก ใช้กับ โลชั่น ครีมต่างๆ เป็นต้น

<http://www.nano-cyte.com/technology.html>

6. การผสมซึ่งคอกไฮด์ที่เป็นนาโนพาร์ติเคิล ทำให้พอลิเอทิลีน, แผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน ทั้งความหนาแน่นน้อย และสูง สามารถเพิ่มอายุการใช้งานของวัสดุ เมื่อใช้นอกอาคาร เช่น แก้วของอัครมจรย์ หรือแผ่นฟิล์มที่ทำเป็นหลังคาคลุมโรงเพาะเลี้ยงต้นไม้ เป็นต้น [16]

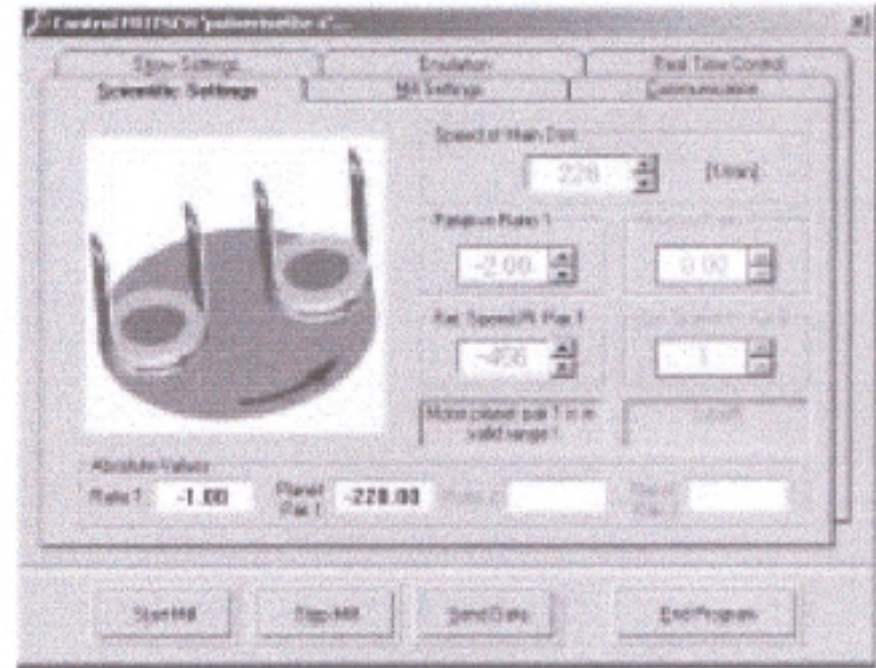
หากเป็นไปตามสมบัติที่กล่าวมานี้ เราสามารถผสมกับเส้นใยอื่น เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของเสื้อผ้า หรือสิ่งทอเทคนิคชนิดอื่นๆ ได้เช่นกัน เนื่องจากแสงจะผ่านนาโนพาร์ติเคิลได้ แต่รังสีอัลตราไวโอเล็ต จะถูกสะท้อนออกไป จึงทำให้ผู้สวมใส่ไม่เกิดมะเร็งผิวหนัง และสวมใส่เมื่อตากแดดไม่ร้อน

เครื่องผลิตนาโนพาร์ติเคิล



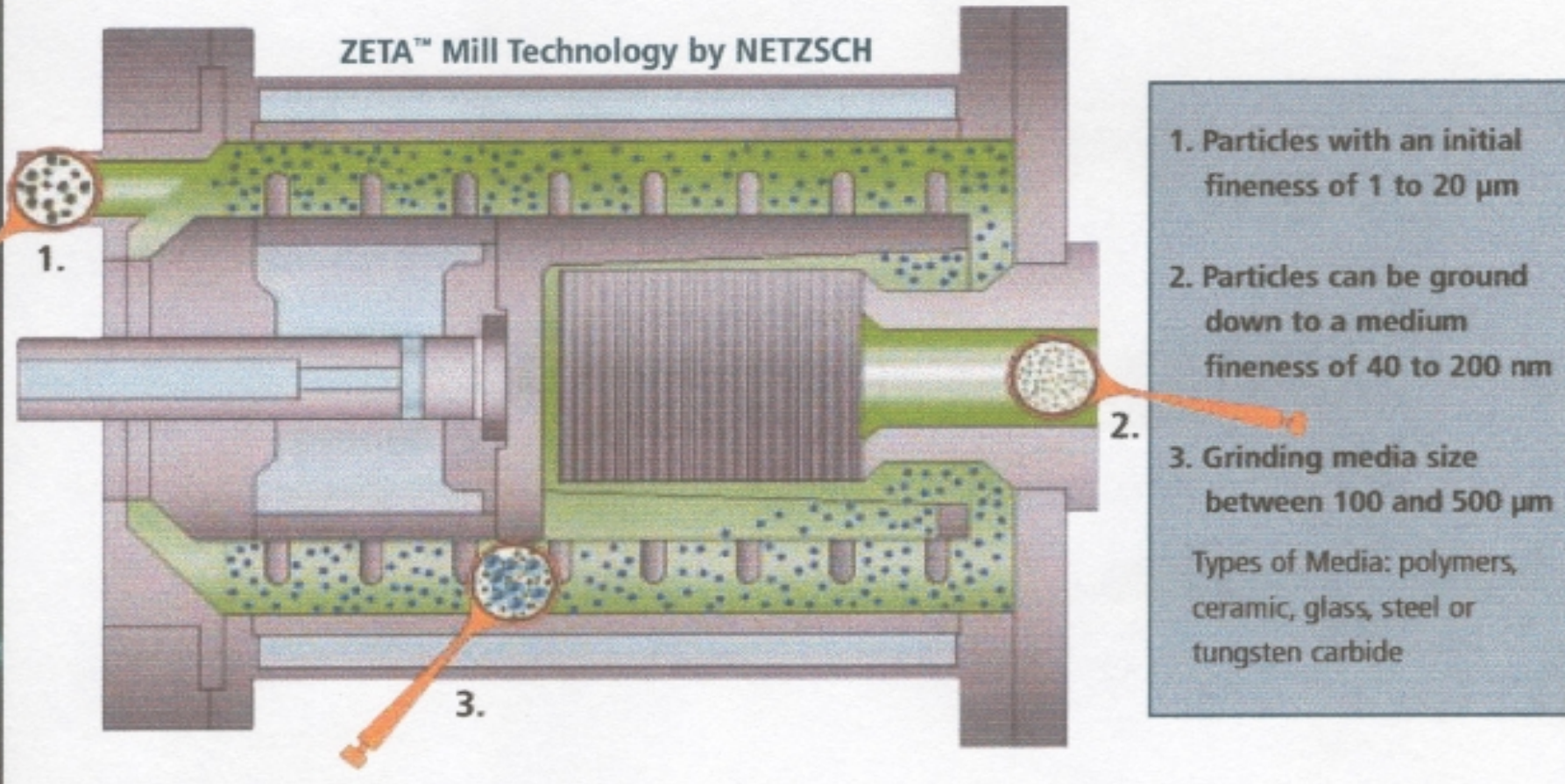
<http://www.fritsch-heidolph.co.jp/page01.html>

เครื่องผลิตนาโนพาร์ติเคิล (ต่อ)



เครื่อง Fritsch Pulverisette P4TM vario-planetary ball mill
(ซ้าย) ขวดทั้งสองเตนคาร์ไบด์ที่ติดกับจานหมุน
(ขวา) ซอฟแวร์ที่ใช้ในการควบคุม และวัดค่าตัวพารามิเตอร์ในการบด

เครื่องผลิตนาโนพาร์ติเคิล (ต่อ)





ภาพ แสดงแผ่นฟิล์มพอลิโพรไพลีนที่มีการเติมอนุภาคของ
ซิงค์ออกไซด์ และผ่านการตากแดด (ไม่บอกสภาวะ) [16]

1 % unmilled ZnO



1 % milled ZnO



ภาพ แสดงแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ (ไม่บอกชนิด) ที่มีการเติมอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ และผ่านการตากแดด (ไม่บอกสภาวะ) [16]

หมายเหตุ อนุภาคที่เป็นนาโนเทคโนโลยี สามารถผลิตได้ ขนาดเล็กระหว่าง 10-100 นาโนเมตร ทำให้เกิดข้อดีอื่นๆ เช่น ความโปร่งแสง เป็นต้น ใช้งานด้านสิ่งทอ ด้านเครื่องสำอาง (สาร์กันแดด) สีทาบ้าน และสารเคลือบสิ่งทอ

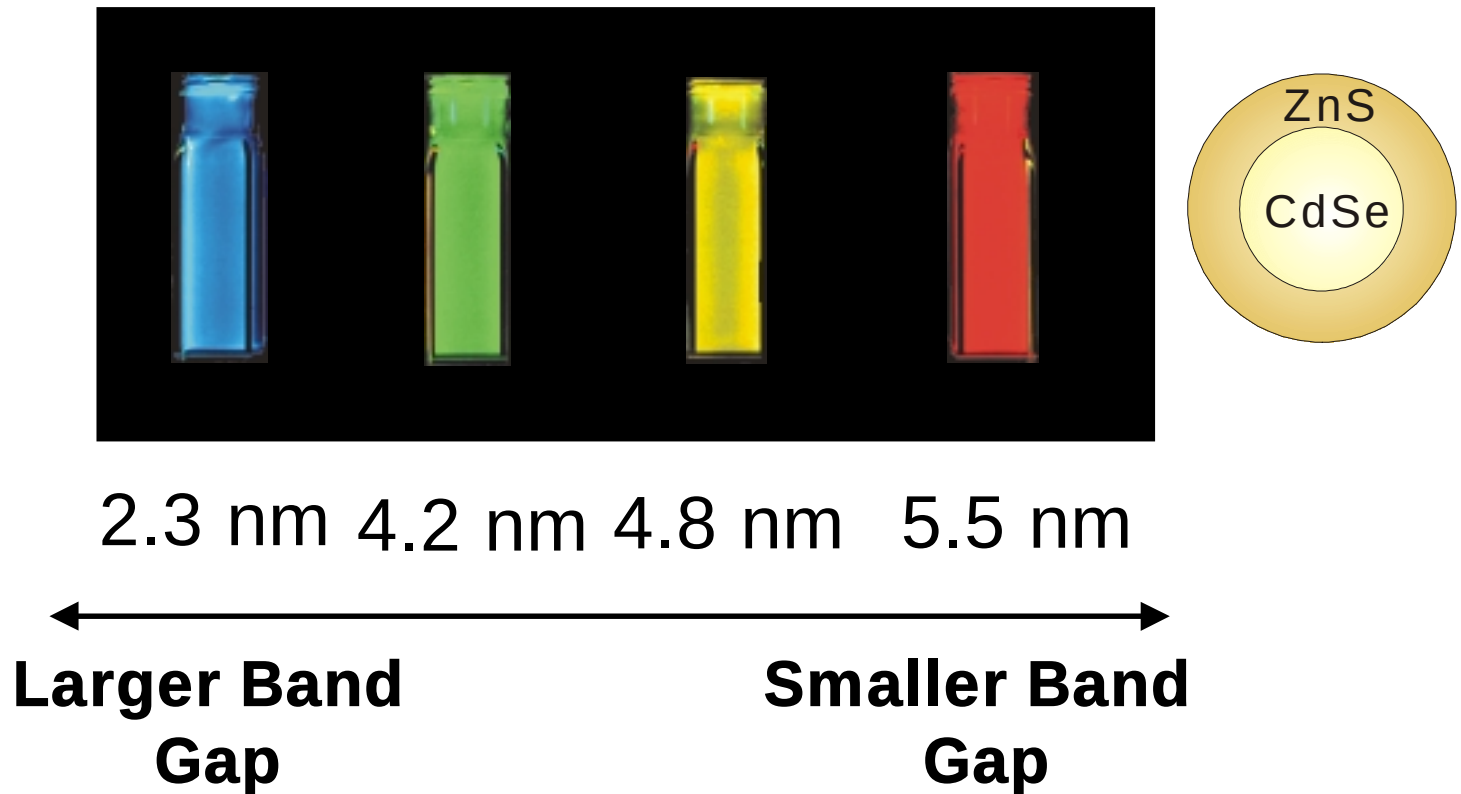


ภาพ แสดงเส้นใยที่เคลือบด้วยสารป้องกันรังสียูวี [7]



ภาพ แสดงการนำเอาสารนาโนเทคโนโลยีมาใช้งานในเครื่อง
สำอาง กันแดด [12]

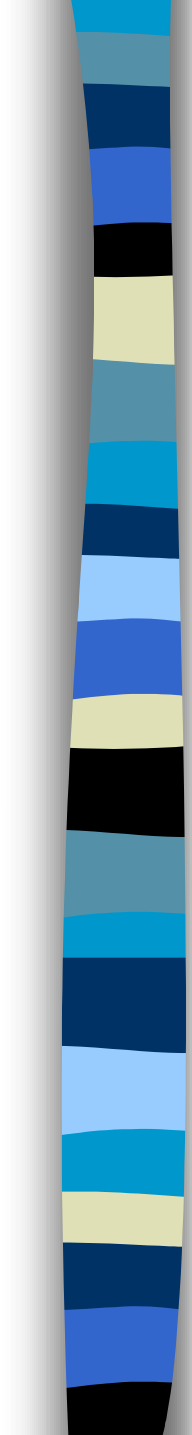
อนุภาคนาโน CdSe/ZnS Core-Shell nanoparticles
have size-dependent optical properties.



Courtesy of Bawendi and Coworkers.

7. ชุดเครื่องแบบทหารยุคนาโนเทคโนโลยี [18]

- การผลิตคาร์บอนนาโนทิวป์ สำหรับเป็นชุดฝึกของทหาร ทำให้เกิดเครื่องแบบที่มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงมากกว่าเดิม ป้องกันอันตรายจากสภาวะที่ร้อน หรือหนาวได้ ลดการบาดเจ็บในการกระแทก นอกจากนี้ยังบอกว่าเครื่องแบบนี้สามารถกันกระสุนได้
- หมายเหตุ ตอนนี้อย่างมีปัญหาคือ คาร์บอนนาโนทิวป์ มีราคาสูงถึง 15,000 เหรียญสหรัฐ ต่อออนซ์ เนื่องจากกระบวนการผลิตค่อนข้างยุ่งยาก อย่างไรก็ตามในระยะเวลา 5-10 ปีข้างหน้า อาจจะเป็นความจริงได้



จากการรายงานของ Industrial Fabrics Association International* กล่าวว่า คาร์บอนนาโนทิวป์ที่มีชั้นเดียว จะมีความแข็งแรงประมาณ 10 เท่าเมื่อเทียบกับเส้นใยเหล็ก และทีมนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเท็กซัส สามารถผลิตได้ยาวประมาณ 200 เมตร โดยการผสมคาร์บอนนาโนทิวป์กับพลาสติก

และได้กล่าวว่า เส้นใยดังกล่าวสามารถทนแรงฉีกขาดได้ประมาณ 17 เท่าตัวเมื่อเทียบกับแรงที่กระทำกับเส้นใยเคฟลาร์ ดังนั้นจึงสามารถนำมาผลิตเป็นเสื้อเกราะกันกระสุนได้

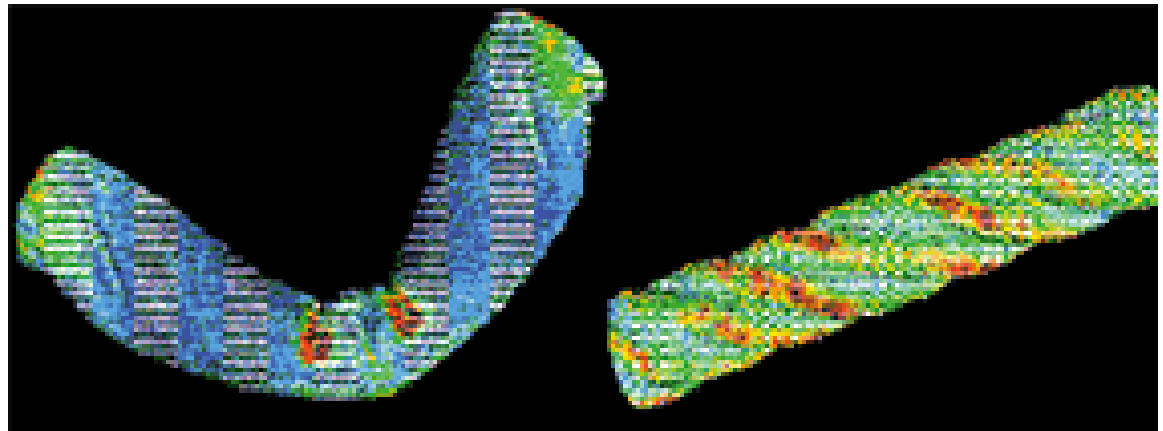
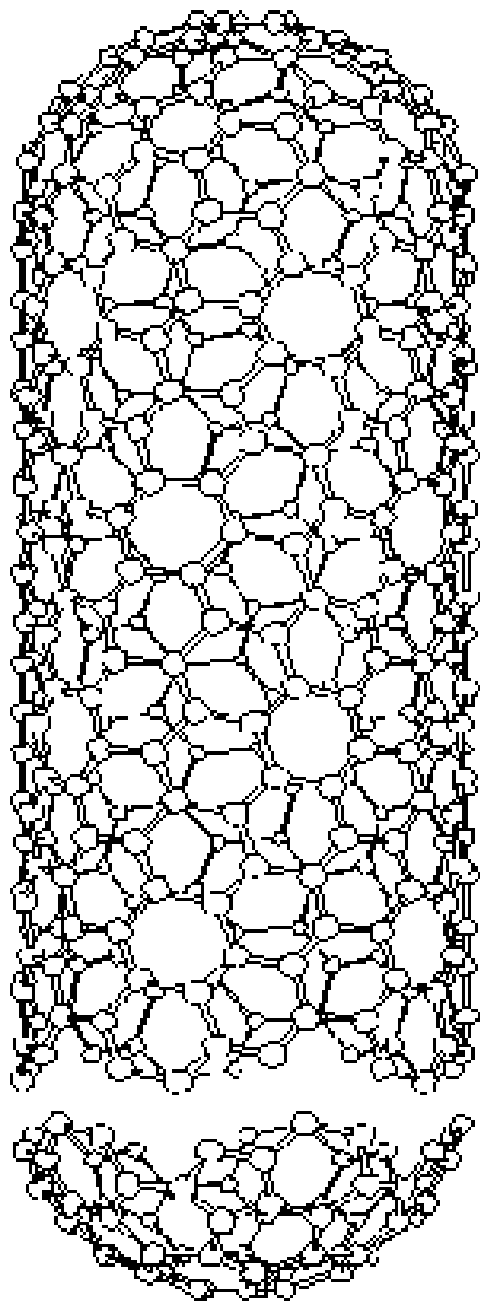
*<http://www.ifai.com/NewsDetails.php?ID=1754>



ภาพ แสดงคาร์บอน
นาโนทิวป์ [18]

ภาพ แสดงคาร์บอน
นาโนทิวป์ที่ทอเป็น
ผืนผ้า [18]





<http://www.ipt.arc.nasa.gov/carbonnano.html>

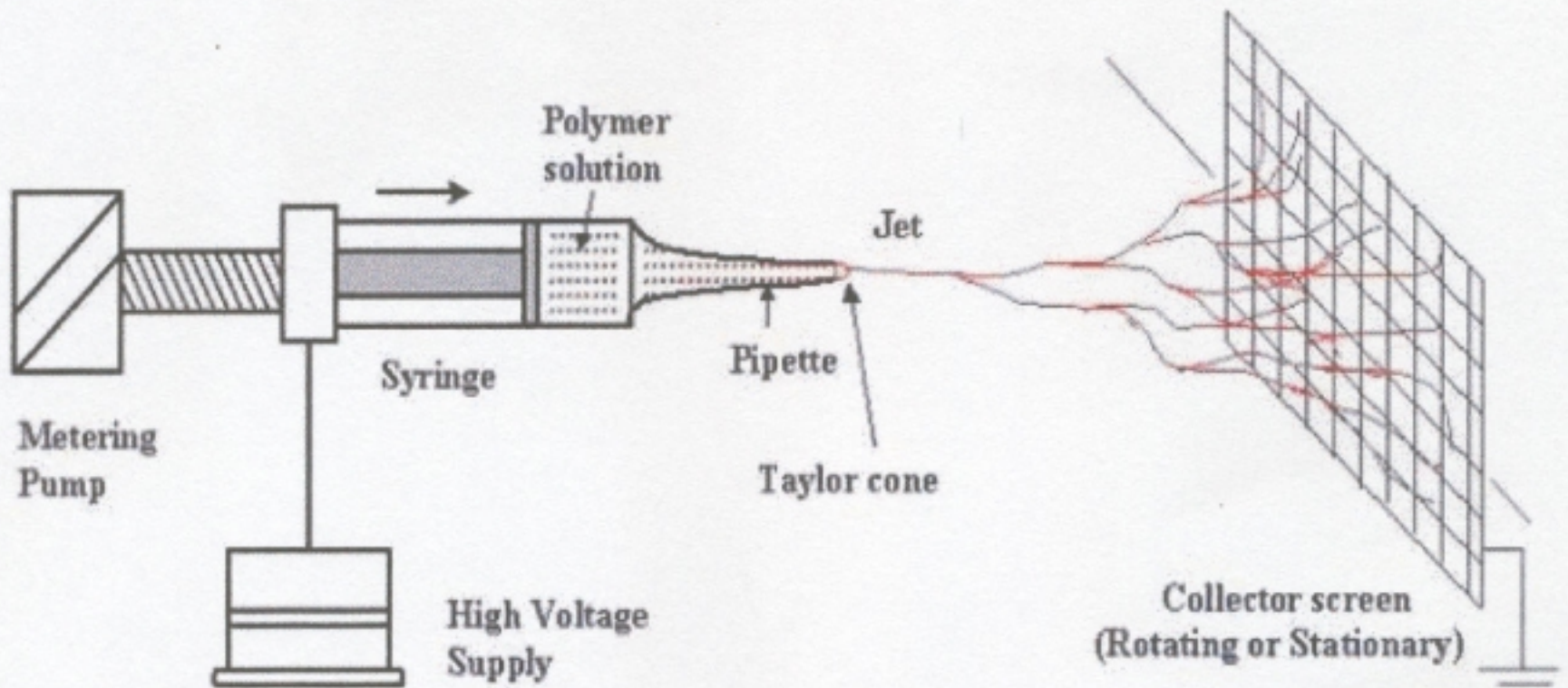
<http://www.research.ibm.com/nanoscience/nanotubes.html>

8. นาโนไฟเบอร์

นาโนไฟเบอร์ สามารถผลิตได้ดังใดอะแกรมในหน้าถัดไป
นาโนไฟเบอร์ คือ เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า
1 ไมโครเมตร สำหรับแผ่นเส้นใยนาโนที่จะนำไปทำไส้กรอง
อากาศ ที่กรองน้ำ ผ้า อุปกรณ์การแพทย์ ฯลฯ จะมีเส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 0.25 ไมโครเมตร

การผลิตเส้นใยนาโน สามารถกระทำได้โดยกระบวนการ
Electro-spinning ทำได้ดังนี้คือ

1. การใส่กระแสไฟฟ้าแรงสูง ที่ปลายแวนกวดเส้นใย และที่
เก็บเส้นใย (ต่อลงดิน)
2. การเลือกพอลิเมอร์ และตัวทำละลาย จะทำให้เกิดเส้นใย
40-2,000 นาโนเมตร (0.04 - 2 ไมโครเมตร)



Polymeric Nanofibers and Nanofiber Webs: A New Class of Nonwovens

Timothy Grafe * , Kristine Graham Donaldson Co., Inc., PO Box 1299, Minneapolis, MN 55440

Table 1. Comparison of Fiber Diameters from Various Fiber / Nonwoven Web Processes

Fiber Type	Fiber Size Range, microns	Fiber Size Range, denier
Electrospun Nanofibers	0.04 – 2	0.00002 – 0.06
Meltblown Fibers	2 – 10	0.03 - 1
Spunbond Fibers	15 - 40	1.5 - 12

Denier Calculation based on fiber specific gravity = 1. Specific gravity values of common fiber polymers range from 0.92 (PP) to 1.14 (PA66) to 1.38 (PET).

Table 2. Fiber Surface Area per mass of Fiber Material for various Fiber Sizes

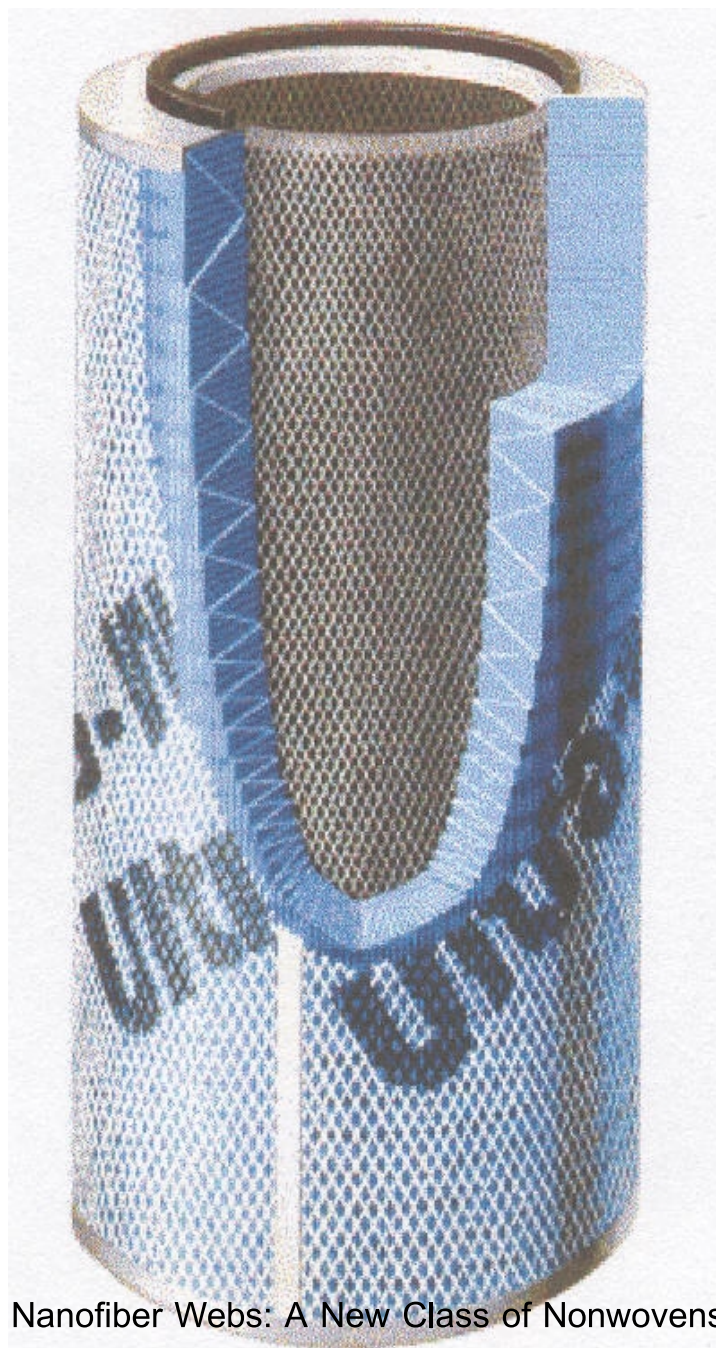
Fiber Type	Fiber Size, microns	Fiber Surface Area per mass of fiber material, m ² /g
Electrospun Nanofiber	0.05	80
Electrospun Nanofiber	0.2	20
Small Meltblown Fiber	2.0	2
Spunbond Fiber	20	0.2

Specific Surface area calculations based on fiber specific gravity = 1.

9. นาโนฟิลเตอร์

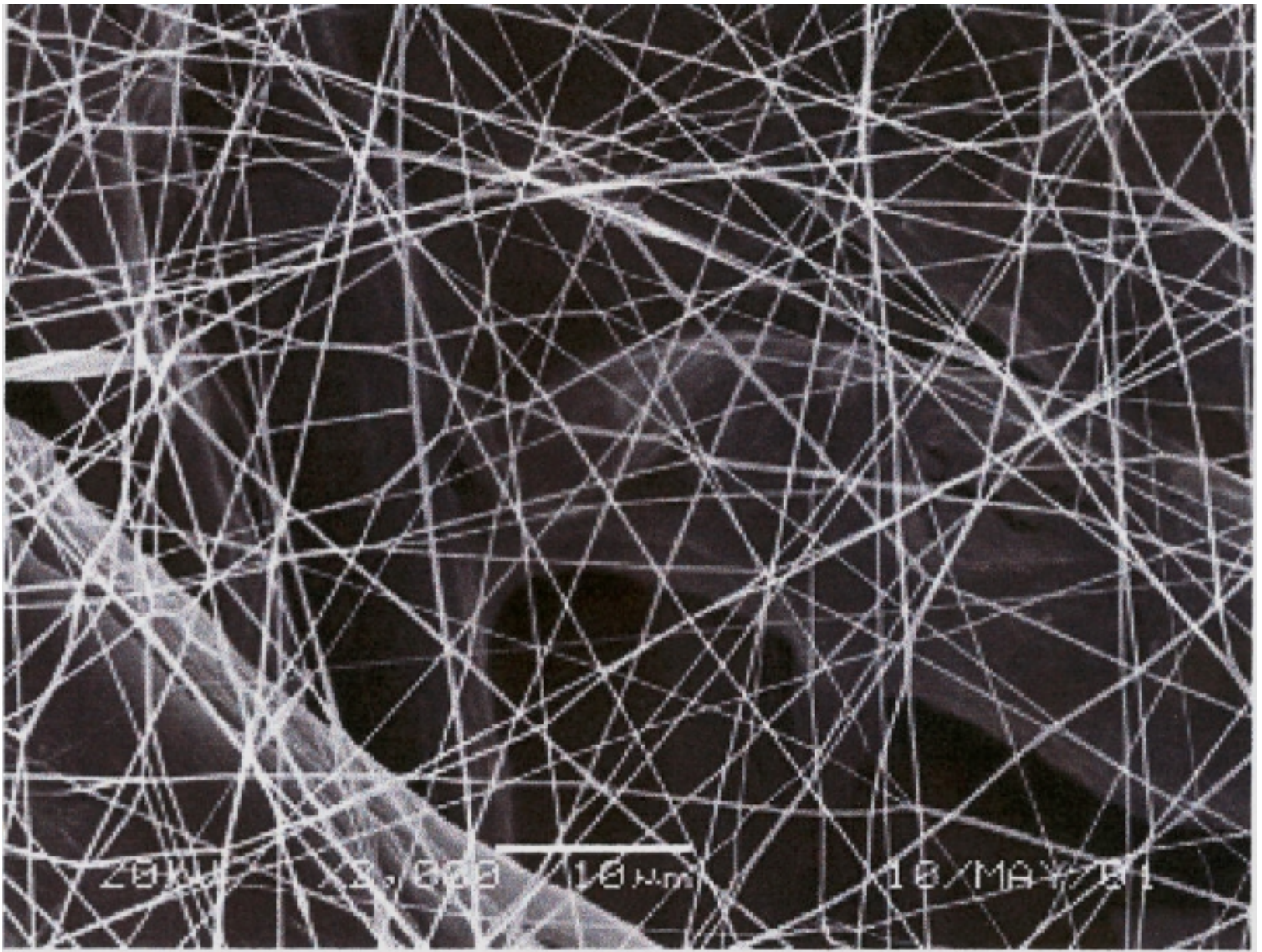
เป็นการนำเอานาโนไฟเบอร์ หรือเทคโนโลยีการผลิตนาโนเทคโนโลยีมาใช้ผลิต ทำให้เกิดแผ่นกรองที่มีความละเอียดมากๆ (Ultrafine Membrane) ใช้สำหรับการกรองอากาศ น้ำเสีย หรือน้ำทะเล ให้มีความบริสุทธิ์ เนื่องจากเชื้อโรค หรือแบคทีเรียมีขนาดไมครอน แต่นาโนฟิลเตอร์นี้มีความละเอียดกว่าเป็น 100-1,000 เท่า ดังนั้นสิ่งสกปรกไม่สามารถผ่านแผ่นกรองตัวนี้ได้ ขณะนี้ใช้ในงานทหารของสหรัฐอเมริกา และระบบบำบัดน้ำเสีย ที่เรียกว่า Reverse Osmosis (RO)





Polymeric Nanofibers and Nanofiber Webs: A New Class of Nonwovens

Timothy Grafe * , Kristine Graham Donaldson Co., Inc., PO Box 1299, Minneapolis, MN 55440



Polymeric Nanofibers and Nanofiber Webs: A New Class of Nonwovens

Timothy Grafe * , Kristine Graham Donaldson Co., Inc., PO Box 1299, Minneapolis, MN 55440

ปัญหาที่อาจเกิดจากนาโนเทคโนโลยี

1. ฝุ่นผงที่เกิดขึ้น จะมีขนาดเล็กมาก สามารถแขวนลอยในอากาศได้นานๆ อาจทำให้ผู้ใช้สูดดมเข้าไปในร่างกายได้ง่ายขึ้น
2. ในกระบวนการผลิต เกิดฝุ่นผงขึ้น พนักงานอาจจะสูดดมอนุภาคนั้นได้ แม้จะสวมเครื่องกรองอากาศส่วนบุคคล เพราะอนุภาคนาโน สามารถแทรกเข้าไปได้
3. เนื่องจากอนุภาคนาโนมีขนาดเล็กมาก เมื่อนำมาผสมในครีมทาผิวกันแดด อาจซึมเข้าไปรุกรุมขนของผู้ใช้ได้ เพราะรูขุมขนมีขนาดเป็นไมโครเมตร แต่อนุภาคเล็กกว่ามากๆ ซึ่งอาจเข้าไปในระบบการไหลเวียนของโลหิต และสะสมในร่างกาย หรือเนื้อเยื่อได้ ฯลฯ

แนวโน้มของการนำเอานาโนเทคโนโลยีมาใช้ใน อุตสาหกรรมสิ่งทอ

- เดิมอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย มักจะพยายามลดต้นทุน ลดราคาขาย เพื่อสู้กับตลาด ซึ่งทำให้ขายสินค้าไม่ได้กำไร ถึงแม้จะผลิตสินค้าจำนวนมาก
- ปัจจุบันเนื่องจากจีน และอินเดีย มีอุตสาหกรรมสิ่งทอเหมือนกับประเทศไทย แต่ค่าแรงงานต่ำ และขายสินค้าถูกกว่าไทย ดังนั้นจำเป็นต้องยกระดับคุณภาพของสินค้าให้สูงขึ้น เพื่อจะขายได้ราคาสูงกว่าเดิม
- การนำเอานาโนเทคโนโลยีมาช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งที่น่าสนใจ ถึงแม้จะต้องจ่ายค่าสารเคมีเพิ่ม

แนวโน้มของการนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ใน อุตสาหกรรมสิ่งทอ (ต่อ)

- จะต้องสร้างแบรนด์เนมเกี่ยวกับนาโนในประเทศไทยให้เป็นที่รู้จัก และติดอยู่ที่ป้ายที่ติดกับเสื้อผ้านั้น
- ต้นทุนการผลิตสูง แต่สามารถขายได้ในราคาที่สูงเช่นกัน เพราะลูกค้าต้องการสมบัติพิเศษ
- อย่างไรก็ตามอนาคตของนาโนเทคโนโลยียังมีอีกมาก แต่รัฐบาลจะต้องช่วยเหลือเงินทุนวิจัย หรือซื้อ know-how จากต่างประเทศ เพื่อผลิตในประเทศไทย ส่งผลให้ลดต้นทุนสารดังกล่าว และต่อไปสถาบันการศึกษาจะต้องมีงานวิจัยเพื่อต่อยอดในเรื่องนี้อย่างเร่งด่วน

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.nanogist.com/English/nano/nt.htm>
- [2] http://www.cientifica.com/html/docs/NOR_White_Paper.pdf
- [3] <http://www.corporate.basf.com/file/15755.file2>
- [4] Chambers Science and Technology Dictionary, W & R Chambers Limited, New York, 1991, p. 984.
- [5] <http://www.ttcexpert.com/ttcwebboard/viewtopic.php?t=401>
- [6] http://www.sciencentral.com/articles/view.php3?language=english&type=24119&article_id=218392126&cat=2_5
- [7] <http://www.corporate.basf.com/en/innovationen/felder/nanotechnologie/?id=Opz3Z56hHbcp-kb#7>
- [8] http://www.sciencentral.com/articles/view.php3?article_id=218392046&language=english
- [9] http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/21564/---/l=1
- [10] <http://www.azonano.com/details.asp?ArticleID=334>
- [11] <http://www.atomworks.org/Presentations/RoadmapPresentation>
- [12] <http://www.cmst.csiro.au/nanotech/uv.htm>
- [13] http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=6749
- [14] <http://gjet.freesevers.com/product.html>
- [15] http://www.cientifica.com/html/Whitepapers/wpfiles/nanocapsules_WP.pdf
- [16] <http://www.cmst.csiro.au/nanotech/polymers.htm>
- [18] http://www.sciencentral.com/articles/view.php3?article_id=218392016&language=english
- [19] <http://www.trade.gov.tw/whatnew/ASPAC/TP-0%20%20Taiwan-Keynote%20Speech.ppt>