

บทที่ 1

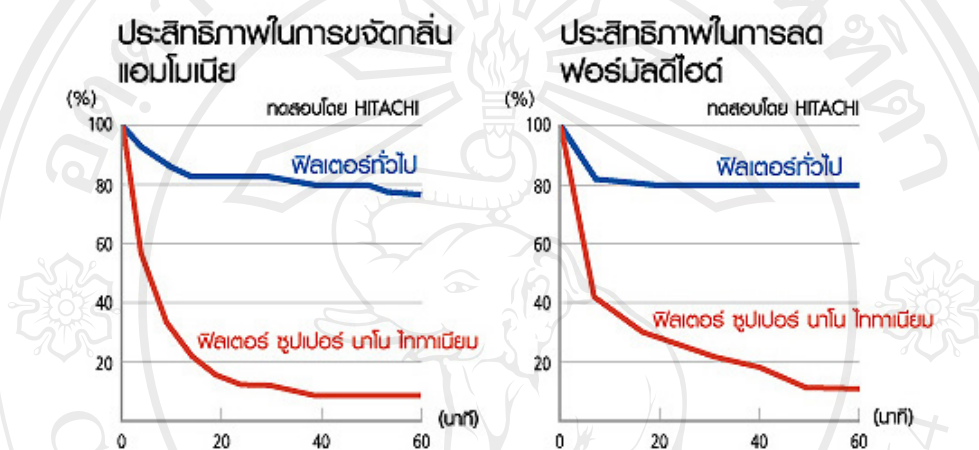
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

นาโนเทคโนโลยี เป็นการสร้างเทคโนโลยีจากอะตอม และโมเลกุลของสิ่งต่าง ๆ มีขนาด 1 ในพันล้านส่วน มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวัน กำลังเป็นที่แพร่หลายในวงการแพทย์ ของญี่ปุ่นและอเมริกา เพราะสามารถสร้างเครื่องมือขนาดจิ๋วรักษาโรคในระดับเซลล์ หรือโมเลกุล ในร่างกาย อย่างเช่นโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดยุคที่เครื่องยนต์กลไก สามารถสร้างตัวเองขึ้น ใหม่ได้ ทำให้ได้สินค้าอุปโภคบริโภคที่ราคาถูก เพราะสามารถสร้างสิ่งต่างๆ จากหน่วยของอะตอม จึงกล่าวได้ว่า นาโนเทคโนโลยี เป็นอุตสาหกรรมระดับโมเลกุล หรือการสร้างสิ่งต่างๆจากอะตอม ในหน่วยวัดระดับนาโนเมตร หรือมีขนาดเพียง 1/1,000,000,000 เมตรเท่านั้น และด้วยความสามารถ ในระดับที่เล็กนี้เอง ทำให้เราสามารถมองเห็นสิ่งต่างๆในระดับอะตอมได้ เป็นผลให้เราสามารถเข้าไปควบคุมหรือสร้างสิ่งต่างๆที่เป็นไปได้ในด้านต่างๆได้ เช่น การเดินทางในอวกาศ การไปปรินา เกี่ยวกับโรคภัยไข้เจ็บ การสร้างแหล่งผลิตอาหารที่ไม่มีวันหมด การเพาะพันธุ์สัตว์ที่สูญพันธุ์ขึ้น ใหม่ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆอีกมากมายตามแต่มนุษย์จะจินตนาการไปถึง ในโลกของสารสนเทศ ดิจิตอลเทคโนโลยี สามารถซ่อมแซมตัวเอง ด้วยความรวดเร็ว และ สมบูรณ์ ในราคาที่ถูกลง และนำมาใช้ในโลกว่าเราจับต้องได้ ดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้ว คำว่า นาโน หมายถึง หนึ่งใน พันล้านส่วน ดังนั้น นาโนเทคโนโลยี คือวิทยาการประยุกต์แขนงใหม่ที่ว่าด้วย เรื่องของเทคโนโลยีในการประกอบและผลิตสิ่งต่างๆ ขึ้นมาจากการจัดเรียงอะตอม หรือโมเลกุลเข้า ด้วยกันด้วยความแม่นยำและถูกต้องในระดับนาโนเมตรหรือขนาด 1 ในพันล้านส่วนของ 1 เมตร โดยเป็นการผสมผสานของวิทยาศาสตร์หลายแขนง เช่น ชีววิทยา ชีวเคมี วิศวกรรมศาสตร์สาขา หุ่นยนต์ และเครื่องจักรกล ศาสตราจารย์ริชาร์ด ฟายน์แมน (Richard Feynman) ผู้ได้รับ รางวัล โนเบลสาขาฟิสิกส์ ในปี ค.ศ. 1965 ผู้เปิดศักราชของนาโนเทคโนโลยีได้กล่าวว่า “สักวันหนึ่ง เราจะ สามารถประกอบสิ่งต่างๆ ผลิตสิ่งต่างๆ ขึ้นมาจากการจัดเรียงอะตอมด้วยความแม่นยำ โดยที่ไม่มี กฎทางฟิสิกส์ใดๆ แม้แต่หลักแห่งความไม่แน่นอน (Uncertainty Principle) ที่จะมาขัดขวางความ เป็นไปได้” นอกจากนี้เค. อีริก เดร็กซ์เลอร์ (K. Eric Drexler) เจ้าพ่อแห่งนาโนเทคโนโลยี ผู้ นิยามคำว่า “นาโนเทคโนโลยี” โดยคำว่า “นาโนเทคโนโลยี” ในจินตนาการของ เดร็กซ์เลอร์ ต้อง เหมือนกับต้นไม้ ที่สามารถใช้ประโยชน์จากทุกสิ่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตของตนเอง ไม่ว่า

จะเป็นน้ำหรือสารคาร์บอนต่างๆที่นำไปใช้เลี้ยง ลำต้น สร้างใบ ดอก และผล โดยไม่เหลือสิ่งตกค้างใดๆที่เป็นพิษ

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำนาโนไทเทเนียมมาประยุกต์ใช้ในการดักกลืนอาหารหรือไม่พึงประสงค์และปกป้องอาหารจากแบคทีเรียในตู้เย็น ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลืนอาหารและปกป้องอาหารจากแบคทีเรียได้ดีถึง 99.99% โดยไม่ทำปฏิกิริยากับความชื้น และใช้ได้ตลอดอายุการใช้งานของตู้เย็น



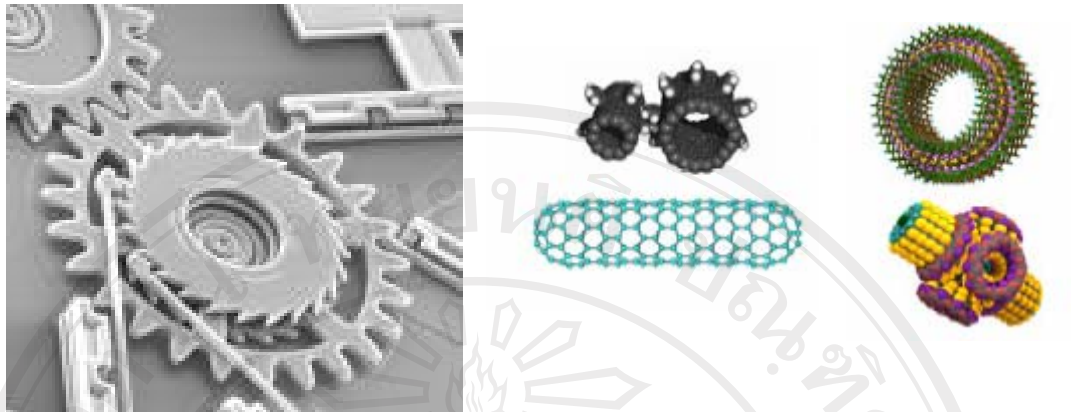
รูปที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการขจัดกลิ่นของฟิลเตอร์ทั่วไปและฟิลเตอร์ชุบเปอร์นาโนไทเทเนียม⁽¹⁾

นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาเทคโนโลยี ในการผลิตอนุภาคนาโนของซิงก์ออกไซด์ ที่มีขนาดเหมาะสมในกระบวนการทางเคมี เพื่อใช้งานร่วมกับอุตสาหกรรมสิ่งทอทางการแพทย์ โดยเฉพาะวิธีการตรึงอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ให้คงทนอยู่บนผลิตภัณฑ์ รวมถึงคุณสมบัติการต้านเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักของการพัฒนาเสื้อกาวน์ป้องกันการติดเชื้อ จากงานวิจัยพบว่า อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่ผลิตได้ สามารถออกฤทธิ์ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ และแบคทีเรียบางชนิดได้ดีในห้องปฏิบัติการ และเมื่อใช้ซิงก์ออกไซด์ในปริมาณ 50 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียและจุลินทรีย์สูงสุดที่ 7-8 ชนิด จึงนำซิงก์ออกไซด์ที่ผลิตได้มาทดสอบลงบนผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่ม อัดสารละลายลงบนผ้าเพื่อวัดประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 1.2 หลังจากที่ได้ผ้าที่มีผ่านการอัดสารละลายซิงก์ออกไซด์แล้ว ทีมวิจัยได้นำผ้ายดังกล่าวมาทำการทดสอบประสิทธิภาพความคงทนของสารละลายเมื่อผ่านการซักล้าง กระทั่งพบว่าชุดดังกล่าวสามารถซักล้างทำความสะอาดได้ถึง 50 ครั้ง โดยยังมีอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ติดอยู่

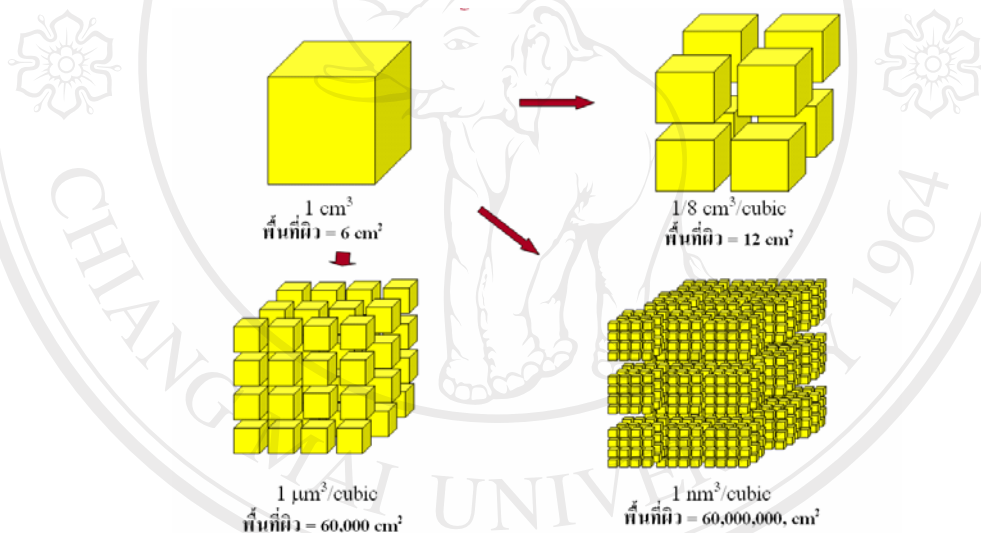


รูปที่ 1.2 แสดงเสื้อกาวน์กันเชื้อโรคที่อัดสารละลายอนุภาคนาโนของซิงก์ออกไซด์⁽²⁾

ทางด้านนาโนสถาปัตยกรรมซึ่งถือว่าเป็นศาสตร์แขนงใหม่ที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างสูงในแวดวงทางวิชาการและอุตสาหกรรมของโลก แต่กลับได้รับความสนใจน้อยมากในประเทศไทย มหาวิทยาลัยชั้นนำของโลกหลายๆแห่งถึงกับมีการจัดตั้งสถาบันออกแบบโมเลกุลหรือ สถาบันออกแบบวัสดุ ขึ้นมาเพื่อทำการผลิตนาโนสถาปนิก อันประกอบไปด้วย การออกแบบโครงสร้างขนาดนาโน อุปกรณ์ เครื่องจักรกลจิ๋ว ไปจนถึงหุ่นยนต์นาโน โดยเน้นการสร้างจาก “ล่างขึ้นบน” (Bottom-Up Approach) ความสามารถในการประกอบตัวเอง (Molecular Self Assembly) โครงสร้างนาโนแบบมีลำดับชั้น (Hierarchically Designed Nanostructure) และการวัดในระดับอะตอม (Atomic Level Measurement) ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา นานาสถาปัตยกรรมมักจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาและออกแบบ เส้นลวดโมเลกุล แท่งและฟืนเฟืองโมเลกุล สวิตช์โมเลกุล เกียร์โมเลกุล และ มอเตอร์โมเลกุล ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีประโยชน์เพื่อนำไปสร้างสิ่งที่ใหญ่และทำงานซับซ้อนมากกว่า เช่น นาโนเซ็นเซอร์ชีวภาพนาโน ไปจนถึงระบบผลิตนาโน (Nanomanufacturing) ดังรูปที่ 1.3



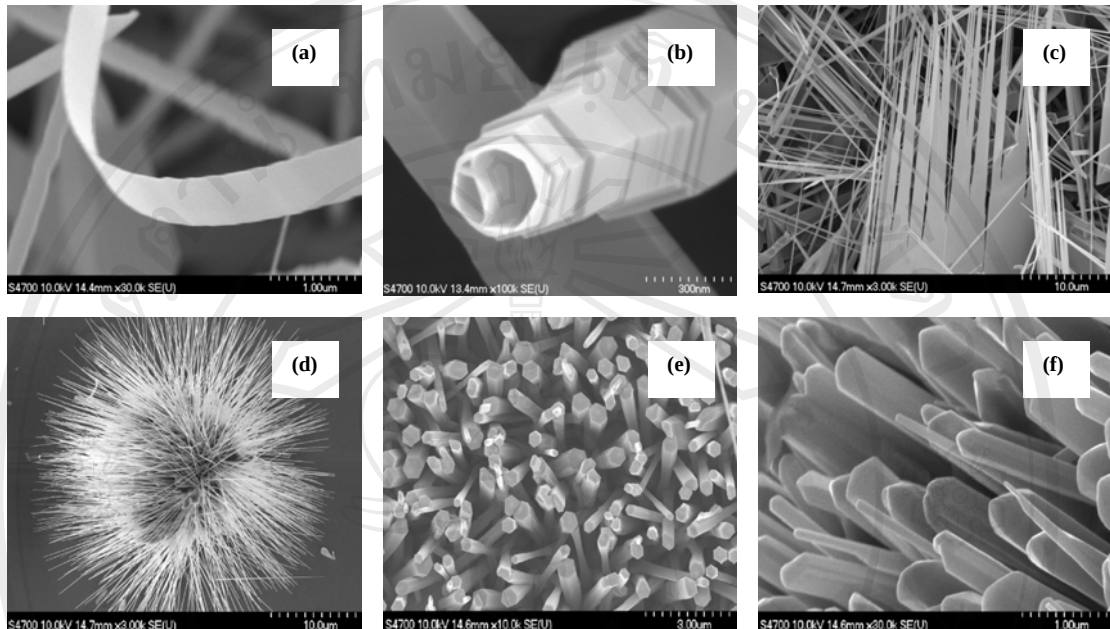
รูปที่ 1.3 แสดงตัวอย่างพื้นเฟืองโมเลกุลและลักษณะของโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน^(3,4)



รูปที่ 1.4 การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวโดยปริมาตรรวมยังมีค่าเท่าเดิม⁽⁵⁾

ความสำคัญของนาโนเทคโนโลยี คือเมื่อสารมีขนาดเล็กลง จะทำให้มีพื้นที่ต่อปริมาตรที่มากขึ้น ดังรูปที่ 1.4 จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้มาก ในทางทฤษฎีกลศาสตร์คว้นดัม เมื่อสารมีขนาดเล็กลงมากๆ จะมีผลทำให้ความหนาแน่นของสถานะ (Density of state) ของสารเปลี่ยนแปลงไป ถ้าสารมีขนาดเล็กลงมากๆ จะทำให้ความหนาแน่นสถานะของสารนั้นมีค่าเพียงบางค่าเท่านั้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นสถานะของสารนี้ทำให้สมบัติบางอย่างของสารเปลี่ยนแปลงไป เช่น จุดเดือด ความนำไฟฟ้า เป็นต้น โดยสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปนี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้โดยสามารถนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์

เซนเซอร์ อุปกรณ์ทางแสง ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญที่จะทำการศึกษาศักยภาพโครงสร้างระดับนาโนของสารแบบต่างๆ ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 แสดงโครงสร้างระดับนาโนเมตรแบบต่างๆของสารซิงก์ออกไซด์⁽⁶⁾
(a) Nanobelts (b) Nanotubes (c) Nanocombs (d) Nanowires
(e) Nanorods (f) Nanoswords

สารซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายที่อยู่รอบตัวเราเช่น แป้งทาหน้า ครีมนันแดด เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสมบัติอื่นที่น่าสนใจ เช่น สมบัติทางแสง สมบัติทางเคมี และ สมบัติอีกประการหนึ่งที่น่าสนใจคือ เมื่อสารซิงก์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับเอทานอล ในเงื่อนไขที่เหมาะสม ค่าความต้านทานของสารจะเปลี่ยนแปลงไปโดยมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซ จากคุณสมบัตินี้ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นหัววัดก๊าซเซนเซอร์ได้ และถ้าพื้นที่ผิวของเซนเซอร์เพิ่มขึ้น ก็จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

สารซิงก์ออกไซด์ (Zinc oxide; ZnO) เป็นสารกึ่งตัวนำ ในกลุ่ม II-V ที่มีช่องว่างแถบพลังงานกว้าง (wide bandgap semiconductor) ประมาณ 3.37 eV ที่อุณหภูมิห้อง และเท่ากับ 3.44 eV ที่ 4 K, มีช่องว่างแถบพลังงานเป็นแบบ direct band gap, มีโครงสร้างเป็นแบบ Wurtzite hexagonal structure มีค่าคงที่ของแลตทิซ (lattice constant) $a = b = 3.24982 \text{ \AA}$ $c = 5.20661 \text{ \AA}$, มีค่ามวลยังผล (effective mass) $0.24m_0$ และ $0.59m_0$ สำหรับ electron และ hole ตามลำดับ ค่าสภาพคล่องในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน(electron mobility) อยู่ระหว่าง $100\text{-}200 \text{ cm}^2/\text{V}$ และค่าสภาพคล่องในการเคลื่อนที่ของโฮล (hole mobility) มีค่า $180 \text{ cm}^2/\text{V}$

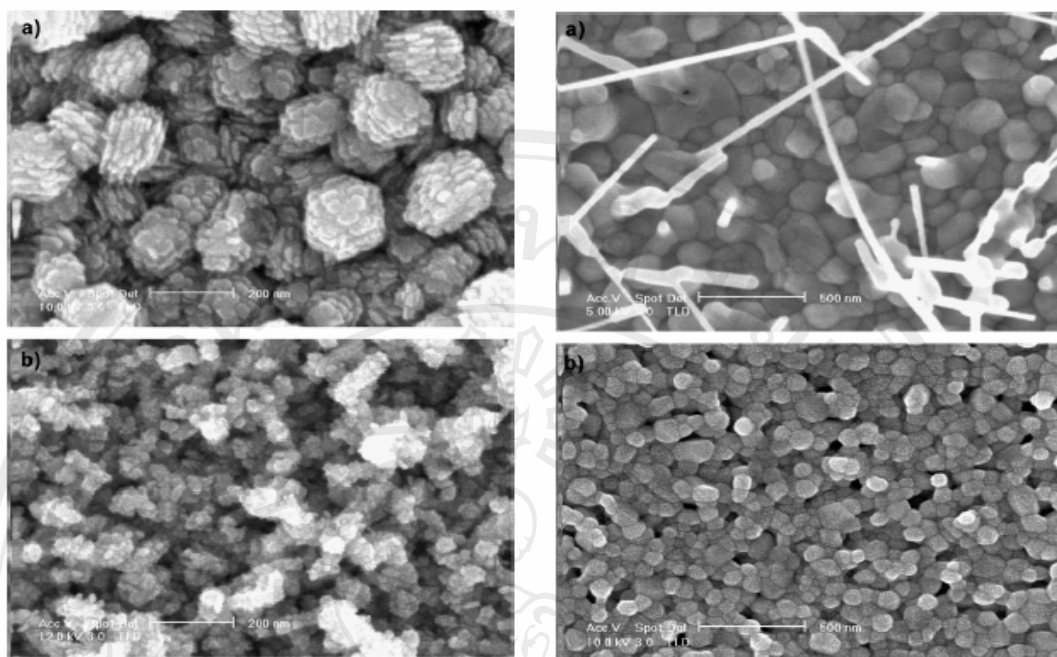
ลักษณะที่เด่นชัดของสารซิงก์ออกไซด์คือจะมีพลังงานพันธะของ exciton ที่สูงประมาณ 60 meV ซึ่งมีความมากกว่าพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิห้อง^(7,8) มากกว่า GaN (28 meV) และ ZnSe (20 meV) จึงทำให้มีประสิทธิภาพที่จะใช้ทำ excitonic optical devices⁽⁹⁾ , field-effect transistors (FET) , ultraviolet laser diodes (LD)⁽¹⁰⁾ ซึ่งเป็นผลให้ exciton มีความเสถียรสูง

ฟิล์มของซิงก์ออกไซด์ สามารถเตรียมได้หลายวิธี เช่น sputtering^(11,12,20) , sol-gel^(13,14) , spray pyrolysis⁽¹⁵⁾ , Pulsed laser deposition technique^(16,17) , Electrodeposition technique⁽¹⁸⁾ , CVD technique⁽¹⁹⁾ เป็นต้น แต่วิธีที่นิยมใช้กันมากคือ Oxidation technique^(20-26,28,41) เนื่องจากเป็นวิธีการที่ราคาถูก และง่ายในการเตรียม โดยมีหลักการอย่างง่าย คือ อาศัยอุณหภูมิสูงเพื่อทำให้สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาออกซิเดชันในอากาศกลายเป็นสารประกอบออกไซด์ดังสมการ



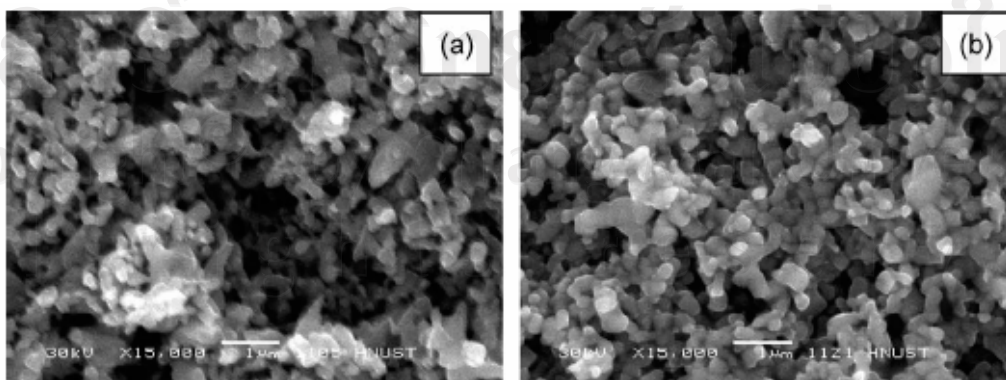
ในปัจจุบันได้มีรายงานการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ด้วยวิธีออกซิเดชัน และวิธีอื่นๆที่มีการเจือด้วยทองคำ ดังนี้

ในปี 2004 Li และคณะ⁽²⁰⁾ ได้ทำการสังเคราะห์ฟิล์มบางของผงสังกะสีลงบนแผ่นรองรับที่เป็นแก้วโดยใช้วิธี magnetron sputtering ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนและอาร์กอนร่วมกับออกซิเจนและทำการออกซิเดชันภายใต้บรรยากาศที่อุณหภูมิ 600 °C เพื่อทำให้กลายเป็นซิงก์ออกไซด์ พบว่าการเติมออกซิเจนเข้าไปรวมกับอาร์กอนทำให้โครงสร้างมีขนาดเล็กขึ้นและรวมกันอย่างหนาแน่นแต่เมื่อทำการออกซิเดชันแล้วพบว่าไม่เกิด oxide whiskers บนพื้นผิว ดังรูปที่ 1.6



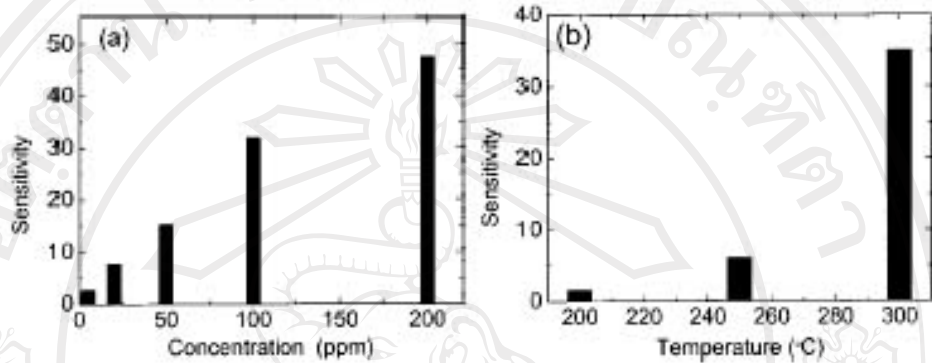
รูปที่ 1.6 แสดงโครงสร้างฟิล์มบางของซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองของ Li และคณะ⁽²⁰⁾

ในปี 2004 Zhu และคณะ⁽²¹⁾ ได้ทำการเตรียมฟิล์มหนาของซิงก์ออกไซด์เคลือบโดยวิธีการออกซิเดชันในเฟสไอของผงสังกะสีภายใต้บรรยากาศของก๊าซอาร์กอนและออกซิเจนรวมกัน ดังรูปที่ 1.7 เมื่อนำไปตรวจจับไอของสารชนิดต่างๆ พบว่าให้ค่าตอบสนองที่สูง ประมาณ 45 อุณหภูมิทดสอบที่เหมาะสมคือ 320°C นอกจากนี้เวลาตอบสนองและเวลาคืนตัวมีค่าน้อย ถือว่ามีประสิทธิภาพที่ดีที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์ก๊าซได้



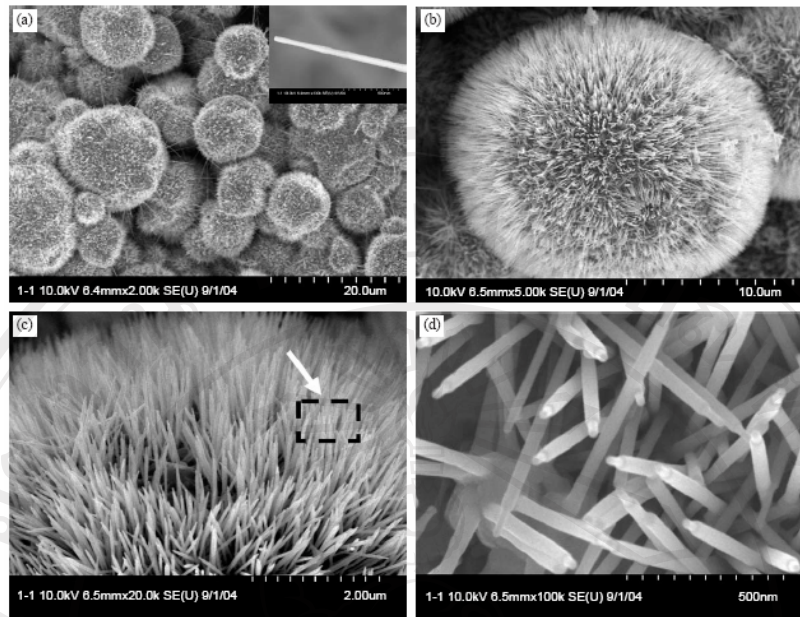
รูปที่ 1.7 แสดงโครงสร้างของฟิล์มหนาของซิงก์ออกไซด์ที่ได้จากการเตรียมของ Zhu และคณะ⁽²¹⁾

ในปี 2004 Wan และคณะ⁽²²⁾ ได้สังเคราะห์เส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 25 nm โดยการออกซิเดชันผงสังกะสี และนำเส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์ที่ได้ไปเคลือบบน Si membrane แล้วทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ พบว่าความเข้มข้นของเอทานอล 200 ppm ให้สภาวะไวสูงสุดประมาณ 47 อนุกรมทดสอบที่เหมาะสม คือ 300°C



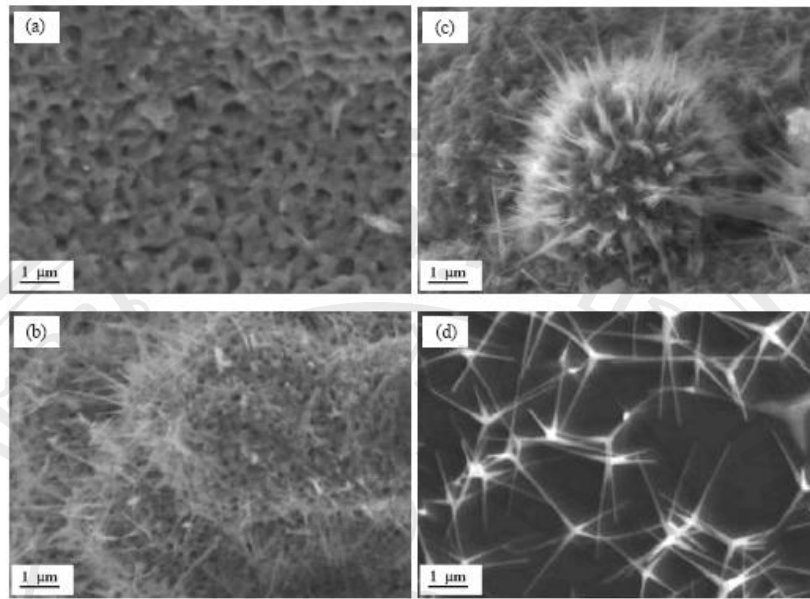
รูปที่ 1.8 แสดงผลการทดสอบสมบัติการเป็นเอทานอลเซนเซอร์ของเส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในการทดลองของ Wan และคณะ⁽²²⁾

ในปี 2005 Sekar และคณะ⁽²³⁾ ได้ทำการสังเคราะห์เส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์บนแผ่นรองรับซิลิกอน(100) โดยวิธีการออกซิเดชันผงสังกะสีที่อุณหภูมิ 600°C ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนและไนโตรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงเป็นเวลา 90 นาที พบว่าเส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 – 60 nm และมีความยาว 2-4 μm



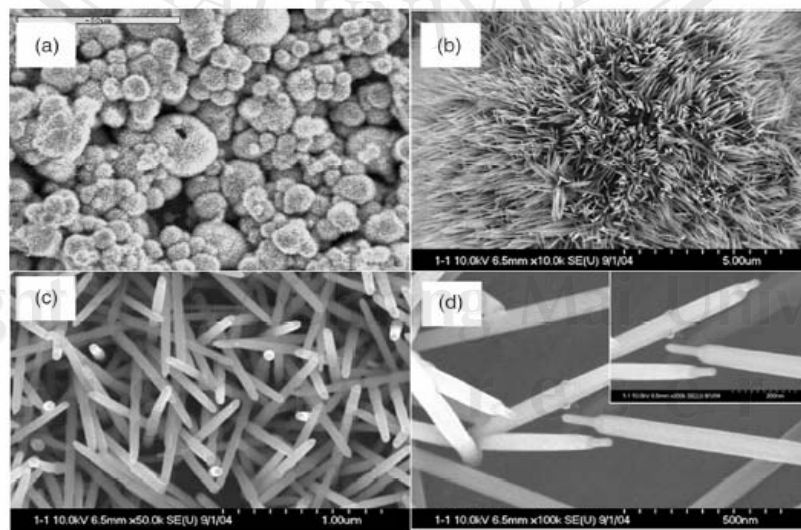
รูปที่ 1.9 แสดงเส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองของ Sekar และคณะ⁽²³⁾

ในปี 2005 Zhang และคณะ⁽²⁴⁾ ได้ทดลองเตรียมโครงสร้างนาโนแบบต่างๆของสารซิงก์ออกไซด์โดยใช้วิธีการออกซิเดชันแผ่นฟอยล์สังกะสีในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 700°C โดยใช้ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่แตกต่างกันและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้โครงสร้างนาโนแบบต่างๆของสารซิงก์ออกไซด์ เช่น porous membranes, nanowires (or nanorods), nanobelts, nanoneedles และ tetrapods ดังแสดงในรูปที่ 1.10



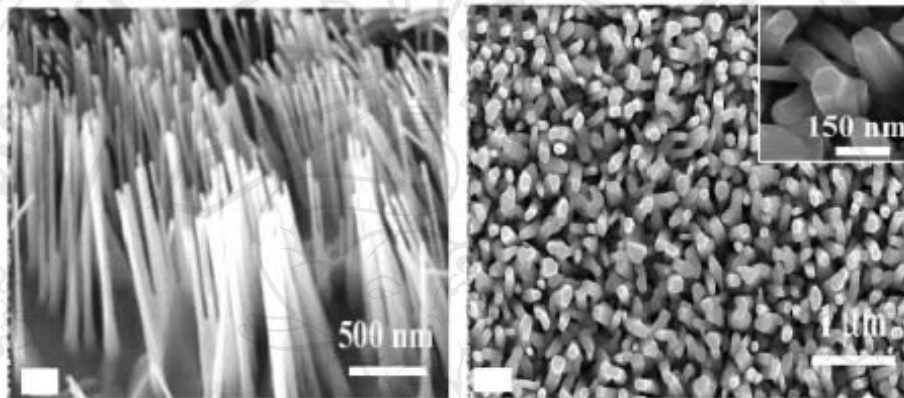
รูปที่ 1.10 แสดงโครงสร้างนาโนแบบต่างๆของสารซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในการทดลองของ Zhang และคณะ⁽²⁴⁾

ในปี 2005 Umar และคณะ⁽²⁵⁾ ได้ทำการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนของซิงก์ออกไซด์บนแผ่นรองรับซิลิคอนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและทำการออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 650°C ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจนและไนโตรเจนในอัตรา 2 : 1 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยโครงสร้างที่ได้มีขนาด 20 – 50 nm และมีความยาว 2 – 4 μm ดังรูปที่ 1.11



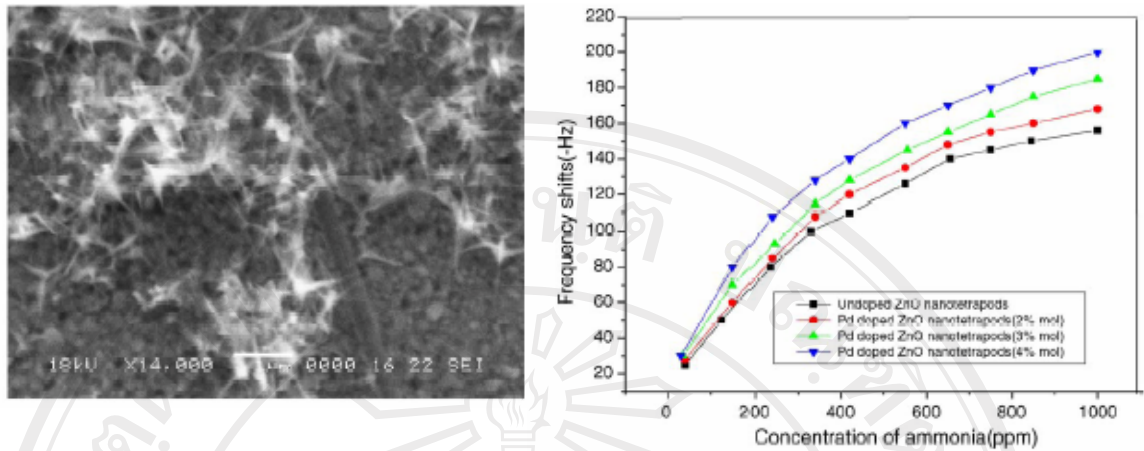
รูปที่ 1.11 แสดงโครงสร้างนาโนของซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองของ Umar และคณะ⁽²⁵⁾

ในปี 2005 Liu และคณะ⁽²⁶⁾ ได้ทำการสังเคราะห์แท่งนาโนและเส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์ โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและทำการออกซิเดชันผงสังกะสีที่อุณหภูมิ 550°C ภายใต้บรรยากาศของ ออกซิเจนและอาร์กอนบนแผ่นรองรับ Porous silicon พบว่าแท่งนาโนและเส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 – 100 nm ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ทาง อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ทางแสงได้ ดังรูปที่ 1.12



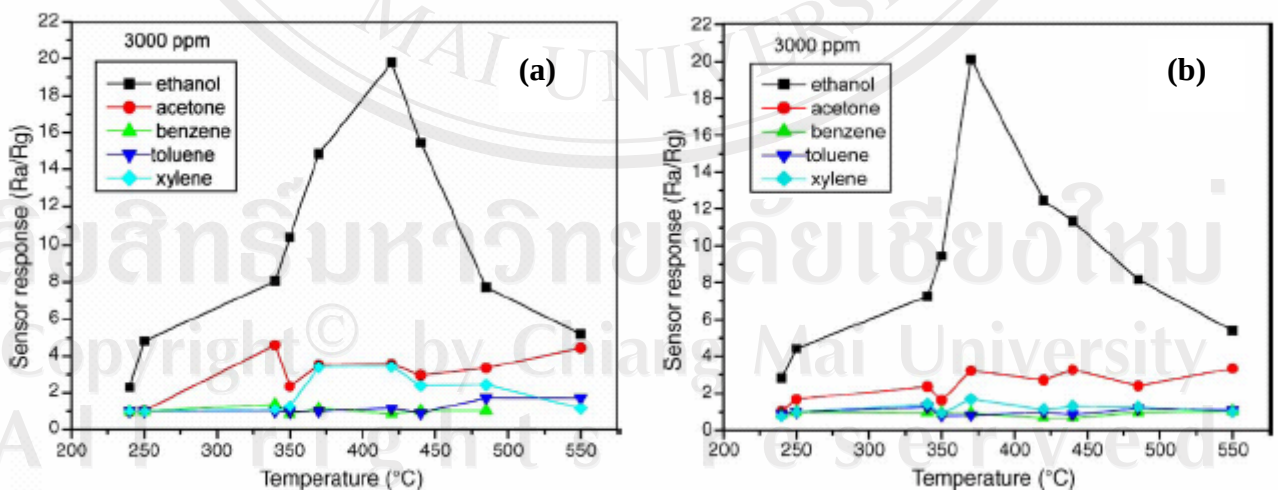
รูปที่ 1.12 แสดงเส้นลวดนาโนและแท่งนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในการทดลอง ของ Liu และคณะ⁽²⁶⁾

ในปี 2005 Wang และคณะ⁽²⁷⁾ ได้ทำการสังเคราะห์ซิงก์ออกไซด์นาโนเตตระพอดที่เจือ ด้วยพลาเดียม (Pd^{2+}) ด้วยวิธีการระเหยทางความร้อน จากผลการทดลองพบว่าค่าของการ ตอบสนองต่อก๊าซแอมโมเนียมีค่าที่สูงขึ้นตามปริมาณการเจือ นอกจากนี้เวลาการตอบสนองของ เซนเซอร์ก๊าซมีค่าประมาณ 2 วินาที ในช่วงความเข้มข้น 40 – 1000 ppm ค่าสภาพไวสูงสุดเป็น ฟังก์ชันกับ frequency shift ประมาณ 200 Hz ที่ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย 1000 ppm และ ปริมาณการเจือพลาเดียม 4% โดยโมล ถือว่ามีประสิทธิภาพที่ดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ ดังรูปที่ 1.13



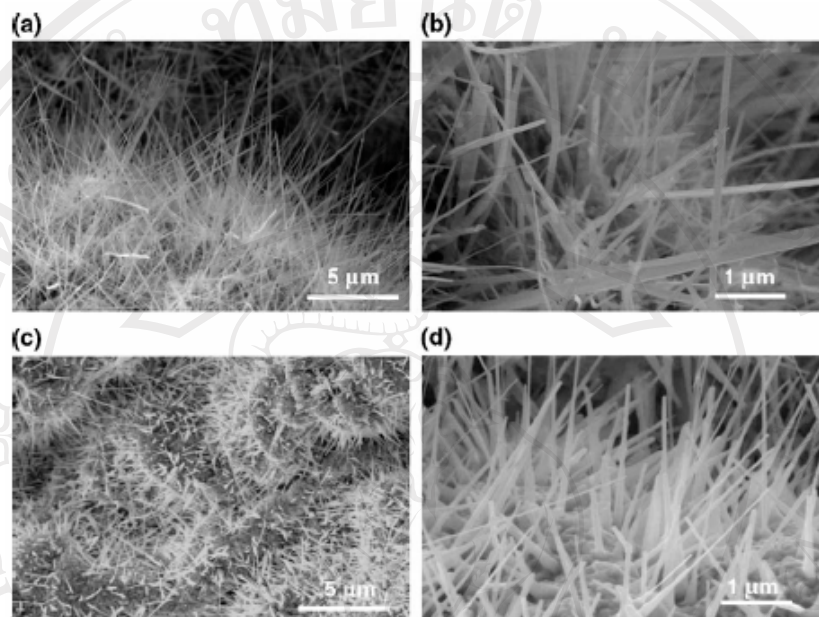
รูปที่ 1.13 แสดงโครงสร้างของซิงก์ออกไซด์นาโนเตตระพอดและความถี่ในการเลื่อนตำแหน่งของกราฟที่ได้จากการตรวจจับของเซนเซอร์ก๊าซตามความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้น⁽²⁷⁾

ในปี 2005 Xu และคณะ⁽²⁸⁾ ได้ทำการสังเคราะห์นาโนโซลิดของสารซิงก์ออกไซด์ที่เตรียมโดยวิธี hydrothermal hot-press เพื่อใช้เป็นหัววัดก๊าซชนิดต่างๆเปรียบเทียบกับหัววัดก๊าซที่มีลักษณะเป็นอนุภาคนาโนของสารซิงก์ออกไซด์ พบว่าหัววัดก๊าซทั้งสองชนิดมีการตอบสนองต่อเอทานอลความเข้มข้น 3000 ppm มากที่สุดแต่นาโนโซลิดมีค่าความต้านทานเริ่มต้นหรือความต้านทานในสภาวะอากาศลดลงและมีสภาพไวประมาณ 20 ที่อุณหภูมิ 370°C ซึ่งใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าหัววัดที่ทำจากอนุภาคนาโน ดังรูปที่ 1.14



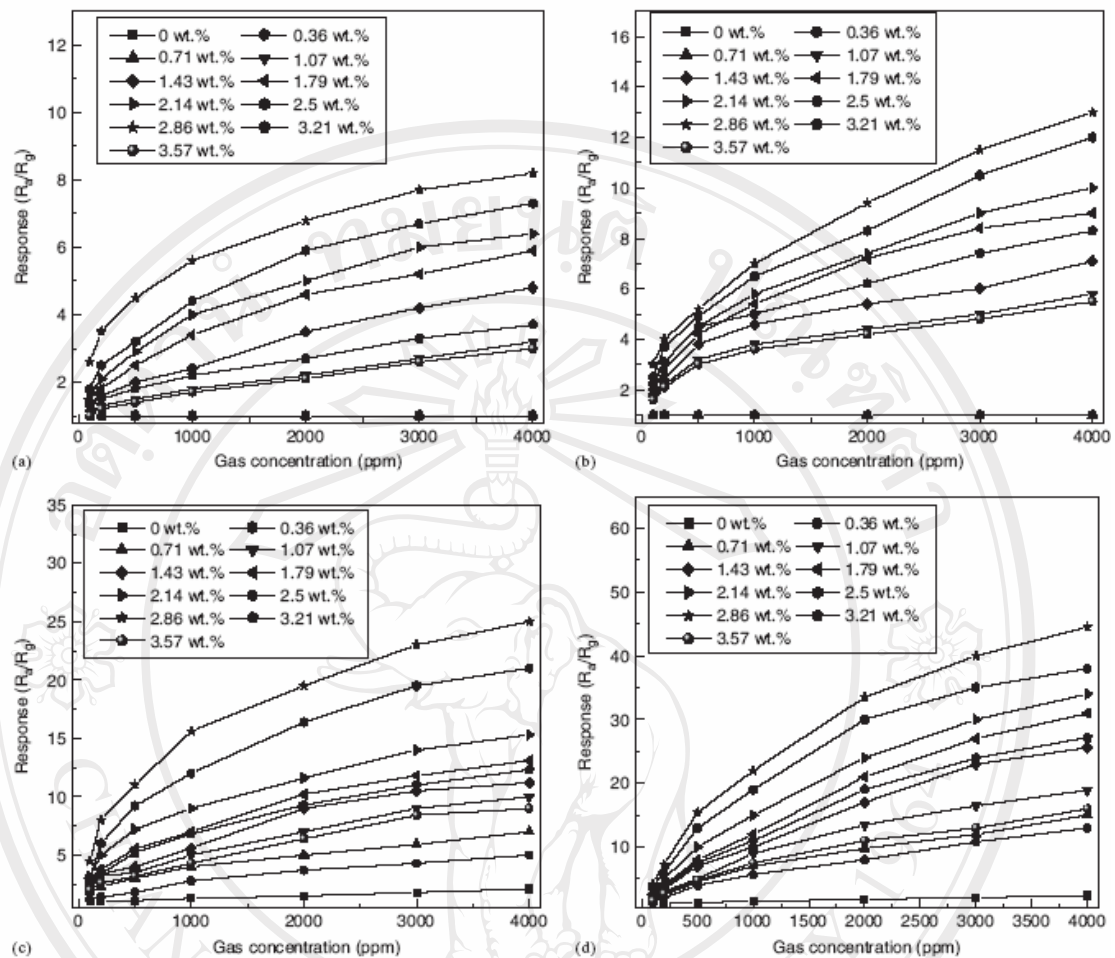
รูปที่ 1.14 กราฟแสดงการตอบสนองต่อหัววัด (a) อนุภาคนาโนและ (b) นาโนโซลิด ของก๊าซชนิดต่างๆที่มีความเข้มข้น 3000 ppm⁽²⁸⁾

ในปี 2006 Ren และคณะ⁽²⁹⁾ ได้ทำการสังเคราะห์เส้นลวดนาโนของซิงก์ออกไซด์บนแผ่นรองรับสังกะสีโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและทำการออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 350°C และ 400°C ภายใต้บรรยากาศได้สำเร็จเป็นครั้งแรก ซึ่งเป็นที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสังกะสี โดยเส้นลวดนาโนของซิงก์ออกไซด์ที่ได้ มีขนาดประมาณ 20 – 150 nm และมีความยาวมากกว่า 10 μm ดังรูปที่ 1.15



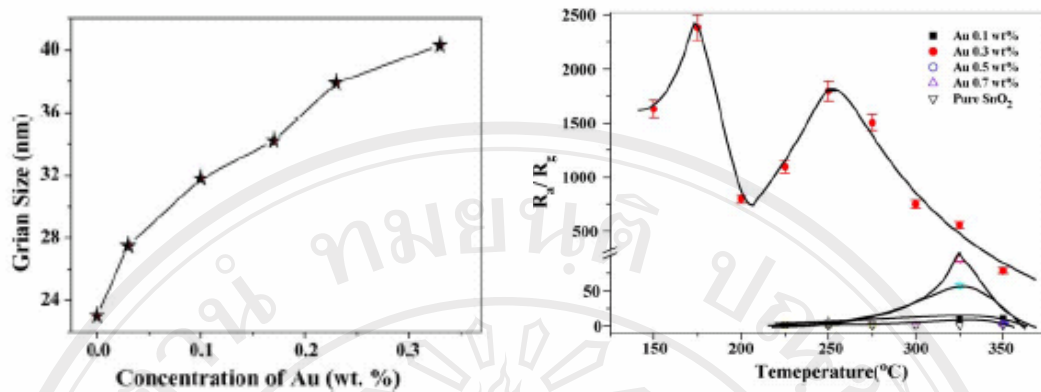
รูปที่ 1.15 แสดงเส้นลวดนาโนของซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองของ Ren และคณะ⁽²⁹⁾

ในปี 2006 Shurong และคณะ⁽³⁰⁾ ได้ทำการศึกษาการตรวจจับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่อุณหภูมิต่ำของฟิล์มหนาของดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำซึ่งเตรียมโดยวิธี deposition-precipitation พบว่ามีค่าของการตอบสนองที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและปริมาณทองคำที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่าการตอบสนองสูงสุดคือ 2.86% โดยมวล ดังรูปที่ 1.16



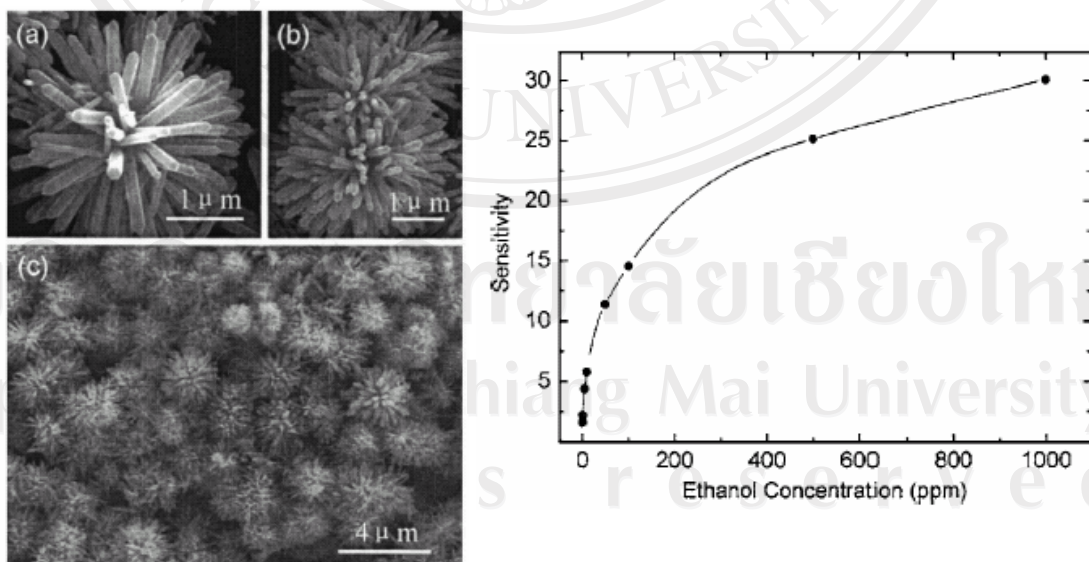
รูปที่ 1.16 แสดงผลการตอบสนองต่อก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของการเจือทองคำในเซนเซอร์ก๊าซของดีบุกออกไซด์ที่อุณหภูมิ (a) 83, (b) 100, (c) 160, และ (d) 210 °C ⁽³⁰⁾

ในปี 2006 Ramgir และคณะ⁽³¹⁾ ได้ทำการเตรียมฟิล์มบางของดีบุกออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำบนแผ่นรองรับที่เป็นกระจกโดยวิธี simple spray pyrolysis เพื่อใช้ตรวจจับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ พบว่าอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีค่ามากขึ้นตามปริมาณการเจือทองคำ สภาพไวมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และจะคงที่เมื่อมีความเข้มข้นมากกว่าหรือเท่ากับ 2500 ppm และ ปริมาณการเจือทองคำ 0.3 % โดยมวล ทำให้มีสภาพไวสูงสุดเท่ากับ 2380 และ 1780 ที่อุณหภูมิทดสอบ 175 และ 250 °C ดังรูปที่ 1.17



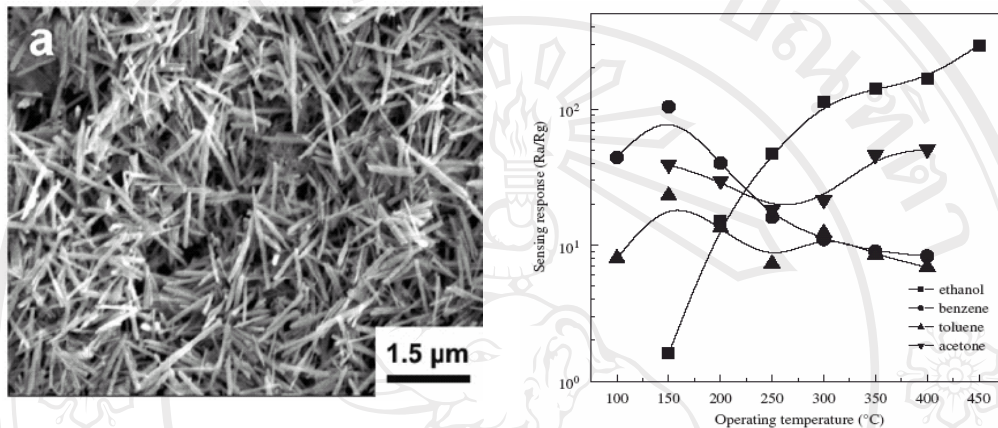
รูปที่ 1.17 แสดงความเข้มข้นของทองคำที่มีผลต่อขนาดของ Grain size และสภาพไวของการตรวจจับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีผลจากการเจือทองคำในปริมาณต่าง ๆ กัน⁽³¹⁾

ในปี 2005 Feng และคณะ⁽³²⁾ ได้สังเคราะห์โครงสร้าง ZnO flower โดยใช้วิธี wet chemical route โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 150 nm และมีความยาวในระดับไมโครเมตร เพื่อใช้ตรวจจับไอเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ 0.5 – 1000 ppm ที่อุณหภูมิทดสอบ 300 $^{\circ}\text{C}$ พบว่าสภาพไวมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของเอทานอลและที่ความเข้มข้น 1000 ppm มีค่าสภาพไว 30.1 ดังรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 แสดงโครงสร้างของแท่งซิงก์ออกไซด์ที่มีลักษณะคล้ายดอกไม้และค่าสภาพไวที่ความเข้มข้นต่างๆของเอทานอล⁽³²⁾

ในปี 2006 Yuzhen และคณะ⁽³³⁾ ได้สังเคราะห์ ZnO nanorods โดยวิธี simple route solution โดยมีขนาดของโครงสร้าง 95 nm และมีความยาวในระดับไมโครเมตรเพื่อตรวจจับก๊าซชนิดต่างๆ พบว่ามีการตอบสนองต่อไอเอทานอล 1000 ppm สูงที่สุดคือ 293 ที่อุณหภูมิทดสอบ 450 °C ดังรูปที่ 1.19



รูปที่ 1.19 แสดงลักษณะโครงสร้างของ ZnO nanorods และค่าสภาพไวของการตรวจจับก๊าซแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน⁽³³⁾

สำหรับงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะใช้วิธีการออกซิเดชันภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน และนำโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำที่สังเคราะห์ได้ไปศึกษาประสิทธิภาพการตรวจจับไอเอทานอล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์เอทานอลแบบฟิล์มหนาที่ทำจากโครงสร้างนาโนของซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำในอัตราส่วนและเงื่อนไขการเตรียมต่างๆ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา เจริญฤทธิ์ และ/หรือเชิงประยุกต์

1. ได้สมบัติและประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของเซนเซอร์เอทานอลที่ทำจากโครงสร้างนาโนของซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ
2. ได้ต้นแบบของเซนเซอร์เอทานอลที่ทำจากโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ