

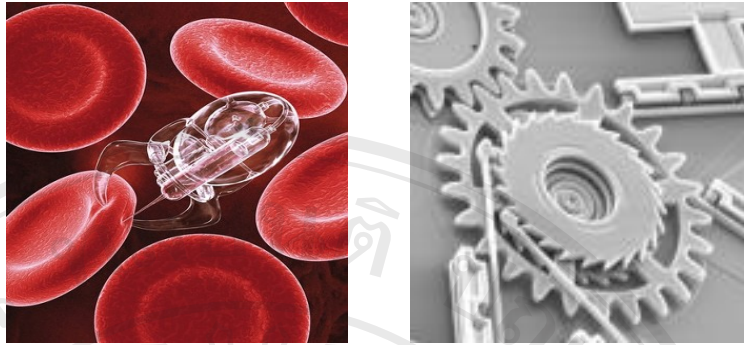
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นเทคโนโลยีการประกอบและผลิตสิ่งต่างๆ ขึ้นจากการจัดเรียงตัวของอนุภาคขนาดเล็ก เช่น อะตอมหรือโมเลกุลเข้าด้วยกันด้วยความแม่นยำในระดับนาโนเมตร (หนึ่งในพันล้านส่วน) รวมถึงการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือในการสร้างวัสดุที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุหรืออุปกรณ์มีคุณสมบัติพิเศษขึ้นไม่ว่าทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ และสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ นาโนเทคโนโลยีได้กลายมาเป็นโครงการศึกษาและวิจัยในระดับชาติของหลายประเทศรวมถึงประเทศไทยด้วย โดยในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้เกิดความตื่นตัวและความสนใจในนาโนเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก โดยมีหลายสถาบันทั้งภาครัฐและภาคธุรกิจต่างๆ เช่น ในอเมริกา ยุโรป และเอเชีย เป็นต้น ต่างพากันทุ่มงบประมาณและทรัพยากรการวิจัยจำนวนมากเพื่อก่อให้เกิดความก้าวหน้าในเทคโนโลยีและสามารถแปรเปลี่ยนไปเป็นผลผลิตสินค้าในเชิงพาณิชย์ซึ่งสามารถทำรายได้จำนวนมาก

บุคคลที่ได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาของนาโนเทคโนโลยี ได้แก่ Richard Feynman (นักฟิสิกส์ผู้ได้รับรางวัลโนเบลในปี 1965) ซึ่งเป็นผู้เปิดความคิดเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของนาโนเทคโนโลยีโดยกล่าวไว้ว่า ในอนาคตข้างหน้ามนุษย์จะสามารถสร้างสิ่งต่าง ๆ ได้ด้วยการจัดเรียงอะตอมในระดับที่แม่นยำซึ่งยังไม่มีกฎฟิสิกส์ใด ๆ รวมถึงกฎแห่งความไม่แน่นอนใด ๆ มาขัดแย้งความเป็นไปได้ี้ จากนั้นจนถึงปัจจุบันจึงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง นาโนเทคโนโลยีเริ่มถูกนำมาใช้ในการผลิตเครื่องมือจักรกลในประวัติศาสตร์มนุษยชาติเมื่อไม่นานมานี้ โดยคาดหวังว่าเครื่องมือดังกล่าวจะสามารถปฏิวัติอุตสาหกรรมทุกประเภท โดยเทคโนโลยีใหม่นี้จะทำให้เข้าใจถึงชีวโมเลกุลและต้นกำเนิดของสิ่งต่าง ๆ ในอีก 20 ปี ข้างหน้าได้ดียิ่งขึ้นกว่าที่เคยศึกษากันมาตลอด เรียกได้ว่าอีกไม่นานทุกอย่างจะเกี่ยวข้องกับนาโนเทคโนโลยี เพราะจะเป็นพื้นฐานให้กับทุกสาขาที่เกี่ยวข้อง ยกตัวอย่างเช่น ในทางชีววิทยา ถ้ามีการผลิตเครื่องมือที่ทำจากนาโนเทคโนโลยี อาทิ เครื่องจักรกลที่มีขนาดเล็กเท่าโมเลกุลและสามารถตัดสินใจเองได้ด้วย เมื่อได้รับการตั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ไปทำลาย ไวรัส แบคทีเรีย หรือเชื้อโรคอื่นๆ ถ้าถูกฉีดเข้าไปในร่างกายจะสามารถรักษาโรคต่าง ๆ รวมถึงการกำจัดไขมันอุดตันในเส้นเลือดได้ ยกตัวอย่างแบบจำลองเครื่องจักรกลขนาดนาโนแสดงไว้ในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แบบจำลองเครื่องจักรกลขนาดจิ๋ว⁽¹⁾

ทั่วโลกมีความเคลื่อนไหวในดำนานาเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก โดยรัฐบาลญี่ปุ่นคิดว่า ความสำคัญของจักรกลขนาดจิ๋วจะเป็นเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาแห่งอนาคต จึงสนับสนุนด้าน เงินทุนผ่านกระทรวงอุตสาหกรรมและการค้าระหว่างประเทศในการร่วมมือกับบริษัทในยุโรป เพื่อ การพัฒนานาโนเทคโนโลยี นอกจากนี้มหาวิทยาลัยเทคนิคอลของเดนมาร์กและมหาวิทยาลัยเบอร์ มิงตันของอังกฤษที่จับมือกันวิจัยนาโนเทคโนโลยีอย่างจริงจัง⁽²⁾ ในสหรัฐอเมริกา ประธานาธิบดี คลินตันได้ตั้งคณะทำงาน เพื่อศึกษาเรื่องนาโนเทคโนโลยีมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 เพื่อกำหนดยุทธ ศาสตร์การวิจัยของประเทศ ก่อนจะขยายแผนเป็นโครงการนาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Nanotechnology Initiative: NNI) ซึ่งได้จัดตั้งเมื่อปี ค.ศ. 2001 เป้าหมายหลักของ NNI คือ ดำเนินการวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยีจนสามารถแสดงศักยภาพที่แท้จริงออกมา รวมถึงพัฒนา บุคลากรและสนับสนุนโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นมากต่อการวิจัย เพื่อพัฒนานาโนเทคโนโลยี ตลอดจนส่งเสริมการถ่ายทอดนาโนเทคโนโลยี ให้แก่ภาคอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตเชิงพาณิชย์ซึ่ง รัฐบาลได้ให้ความสำคัญกับ NNI เป็นลำดับต้นๆ ด้วยการเพิ่มงบประมาณการลงทุนเพื่อการ สนับสนุนการวิจัย และพัฒนาให้กับ NNI อย่างต่อเนื่อง ล่าสุดในปี ค.ศ. 2004 มีมูลค่าสูงถึง 849 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ซึ่งเพิ่มขึ้นกว่า 10% เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2003 ที่จัดสรรงบประมาณไว้ที่ 770 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ นอกจากนี้เมื่อปี ค.ศ. 2003 ประธานาธิบดีบุชได้ลงนามในกฎหมายที่มีชื่อว่า The 21st Century Nanotechnology Research and Development Act โดยอนุมัติงบประมาณ 3.7 พันล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ซึ่งจัดสรรให้กับหน่วยงานของรัฐสำหรับโปรแกรมวิจัย และพัฒนาด้านนา โนวัดและสิ่งประดิษฐ์ นาโนอิเล็กทรอนิกส์ การแพทย์และสาธารณสุข สิ่งแวดล้อม พลังงาน เคมี ไบโอเทคโนโลยี เกษตรกรรมเทคโนโลยีสารสนเทศและการรักษาความปลอดภัยแห่งชาติ โดยมี เจตนารมณ์หวังผลในระยะยาวและที่สำคัญคือ ให้ตั้ง “ศูนย์เตรียมความพร้อมของสังคมสำหรับนา โนเทคโนโลยี” เพื่อศึกษาผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อสังคมและด้านจริยธรรม เพื่อให้การพัฒนา

ทางด้านนาโนเทคโนโลยีเป็นไปอย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันสินค้าจากนาโนเทคโนโลยีที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ผลิตออกมาและได้เข้าสู่ตลาดแล้ว ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เครื่องแต่งกาย โดยเป็นเสื้อผ้าที่มีความทนทาน ไม่ต้องดูแลรักษามาก ไม่เกิดรอยยับ ป้องกันการเกิดรอยเปื้อนจากของเหลวเกือบทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นน้ำกาแฟ ชอส ไขมัน และยังมีผลิตภัณฑ์เสื้อผ้านาโนชนิดอื่นๆ คือ Nano-Dry ที่ระบายเหงื่อได้ดี และแห้งเร็ว Nano-Touch ที่เนื้อผ้านุ่มสบายแต่ทนทานมาก และ Nano-Pei ที่ป้องกันการเกิดรอยเปื้อนจากน้ำและน้ำมันได้ดีมาก นอกจากนี้ ยังมีครีมกันแดด Nucelle SunSense SPF 30 สามารถป้องกันได้ทั้งรังสี UVA และ UVB อย่างมีประสิทธิภาพและไม่เกิดอาการแพ้ ตลอดจนแว่นตากันแดดที่สามารถป้องกันการสะท้อนแสง ลดรอยขีดข่วนและคราบสกปรกของแว่นตาและเลนส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลูกเทนนิส Air D-Fense ที่สามารถป้องกันการรั่วซึมของอากาศภายในได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ไม่มีผลต่อน้ำหนักของลูกเทนนิส และสามารถเก็บไว้ได้นานกว่าลูกเทนนิสธรรมดาแบบหลายเท่าตัว ผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้นาโนเทคโนโลยีในการผลิตไมโครโปรเซสเซอร์ให้มีขนาดเล็กเพียง 90 นาโนเมตร จากเดิม 130 นาโนเมตร ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของคอมพิวเตอร์ กล้องดิจิทัลรุ่น Easyshare LS633 ที่มีจอภาพเป็นสารอินทรีย์เปล่งแสงหรือ OLED (organic light-emitting diodes) ภาพสีคมชัด มีมุมมองที่กว้างขึ้น และมีขนาดจอภาพที่ใหญ่กว่ากล้องดิจิทัลทั่วไปในขณะนี้ นอกจากนี้ ยังมีกางเกงยีนส์ที่สามารถป้องกันรอยเปื้อนและความทนทานมากกว่าเดิม โดยสินค้าที่ทางสหรัฐอเมริกา ส่งมาขายในไทยได้แก่ คอมพิวเตอร์ กางเกงยีนส์และเสื้อผ้า

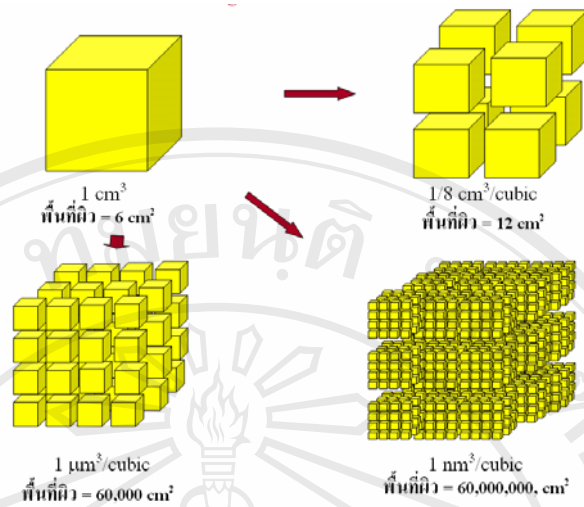
ประเทศไทย ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของนาโนเทคโนโลยี จึงมีการจัดตั้งศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ เมื่อวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ. 2546 ภายใต้การดูแลของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทางด้านนาโนเทคโนโลยี ดังนี้ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ และศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ในส่วนของการพัฒนาด้านนาโนเทคโนโลยีในปัจจุบันของไทย มีทั้งการเริ่มต้นพัฒนาด้วยตนเองและการทำวิศวกรรมย้อนรอย โดยขณะนี้ศูนย์นาโนฯ ได้ร่วมกับบริษัท เอ็มดีพี (ประเทศไทย) จำกัด ทำวิศวกรรมย้อนรอยเพื่อหาวิธีผลิตเสื้อและเนคไทกันน้ำ ที่สามารถกันคราบหมึก คราบกาแฟ และคราบอาหารมาได้ระยะหนึ่งแล้ว โดยเสื้อดังกล่าวได้ใช้ออนุภาคนาโนเทคโนโลยีและสารเคมีที่คิดค้นขึ้นมาเคลือบบนผ้าทำให้ผ้ามีคุณสมบัติที่ดี เนื่องจากสามารถกันน้ำและกันเปื้อนจากคราบต่างๆ ที่หกรดเสื้อผ้าได้ เช่น ถ้าคราบกาแฟหกใส่ ใช้เพียงกระดาษทิชชูซับออกได้โดยไม่มีร่องรอย นอกจากนี้ ยังทำให้เสื้อผ้าซักง่ายขึ้นโดยใช้น้ำและผงซักฟอกเพียงเล็กน้อย นับเป็นการช่วยในเรื่องสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตาม คาดว่า

ภายในปลายปีนี้จะผลิตสินค้าดังกล่าวออกมา ส่วนในด้านของราคาอาจจะสูงกว่าปกติเฉลี่ย 30-40% แต่ถ้าผลผลิตมีปริมาณสูงขึ้นจะทำให้ต้นทุนเฉลี่ยลดลงมาได้ สำหรับอายุการใช้งานของเสื้อนาโนนี้ คงทนได้นานเท่าๆ กับเสื้อผ้าทั่วไป ขึ้นอยู่กับการดูแลรักษาด้วย นอกจากผลิตภัณฑ์เครื่องแต่งกายแล้ว ทางด้านอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง มีครีมบำรุงผิวที่นักวิจัยจากองค์การเภสัชกรรม ได้ใช้นาโนเทคโนโลยีมาประยุกต์กับขมิ้นชันซึ่งเป็นสมุนไพรไทย ผลิตเป็นครีมบำรุงผิวภายใต้ชื่อ “จีพีโอเคอร์มิน” นับเป็นการคิดค้นครั้งแรกของโลก โดยมีประสิทธิภาพในการต่อต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งเนื้อครีมสามารถซึมซับสู่ผิวได้ง่ายขึ้น และทำให้ผิวหนังมีความยืดหยุ่น ชุ่มชื้น ริวรอยเหี่ยวย่นลดลง และเพิ่มความเปล่งปลั่งสดใสให้กับผิวหนัง นอกจากนี้ ประเทศไทยยังตั้งเป้าที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ด้านเซ็นเซอร์ กลุ่มอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์ กลุ่มผลิตภัณฑ์ในระบบนำส่งยาและสารสกัดสมุนไพร กลุ่มวัสดุเคลือบ กลุ่มวัสดุดูดซับกรองและตัวเร่งปฏิกิริยา กลุ่มวัสดุสารประกอบ เพื่อนำไปเป็นองค์ประกอบในการผลิตสินค้าอื่น ๆ อีกด้วย

สำหรับการพัฒนานาโนเทคโนโลยีที่ประเทศไทยคิดค้นขึ้นเอง ในปัจจุบันยังอยู่ในรูปของงานวิจัยในห้องทดลองแต่มีความก้าวหน้ามากพอสมควร และมีแนวโน้มว่าจะสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในสินค้าหลัก เพื่อผลิตออกมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ได้ในอนาคตอันใกล้นี้ตัวอย่างงานวิจัยด้านนาโนเทคโนโลยี ที่กำลังดำเนินการวิจัยและพัฒนาในประเทศไทย อาทิ อุปกรณ์นาโนที่สังเคราะห์จากสารกึ่งตัวนำ (semiconductor devices) เช่น อุปกรณ์นำแสงและทรานซิสเตอร์โมเลกุล ซึ่งดำเนินการอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotubes) และจอสารอินทรีย์เรืองแสง (organic light emitting diode) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดนาโนอีกหลายชนิด ซึ่งดำเนินการอยู่ที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล การสังเคราะห์สารตัวเร่ง (catalysts) เพื่อใช้ในทางอุตสาหกรรมปิโตรเลียม การสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ท่อนาโนคาร์บอนซึ่งดำเนินการอยู่ที่วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นอกจากนี้ยังมีสารประกอบแตงนาโน (nanocomposites) ซึ่งใช้พอลิเมอร์ผสมกับแร่เคลย์ โดยมีจุดประสงค์ในการนำไปผลิตพลาสติกแบบใหม่ที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์อาหาร ดำเนินการอยู่ที่ศูนย์เทคโนโลยีวัสดุและโลหะแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) นาโนเซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดก๊าซ (gas nanosensors) ที่สามารถตรวจวัดปริมาณก๊าซพิษและแอลกอฮอล์ได้ ดำเนินการอยู่ที่ศูนย์เทคโนโลยีวัสดุและโลหะแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ไบโอสเซ็นเซอร์ (biosensor) และห้องปฏิบัติการบนแผ่นชิพ (lab on a chip) ที่เน้นการประยุกต์ใช้ในการแพทย์และสาธารณสุข ดำเนินการอยู่ ณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

เหล่านี้เป็นเพียงย่างก้าวแห่งการเริ่มต้นที่ดีของประเทศไทย ด้วยเหตุที่นาโนเทคโนโลยีเป็นเรื่องค่อนข้างใหม่สำหรับประเทศไทย ทำให้ในขณะนี้ประเทศไทยยังไม่มีผลิตภัณฑ์นาโนเทคโนโลยีออกมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งถ้าสามารถทำขึ้นได้ย่อมจะสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มสินค้าและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับผู้ผลิตและประเทศ อีกทั้ง ยังจะช่วยให้เกิดการลงทุน เกิดการจ้างงานและรายได้ ให้กับประเทศได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งนับว่าเป็นผลดีต่อเศรษฐกิจโดยรวมด้วยกันทั้งสิ้นเพื่อเป็นการผลักดันให้เกิดการวิจัย และพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศโดยใช้นาโนเทคโนโลยีซึ่งถือว่ามีความสำคัญอย่างมากทั้งในภาคการผลิตและอุตสาหกรรมหลักของประเทศ จึงได้มีการวางแผนแม่บทการพัฒนานาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ โดยตั้งเป้าหมายให้ประเทศไทยพัฒนานาโนเทคโนโลยีให้เป็นรูปธรรมภายใน 10 ปี (2547-2556) พร้อมกันนี้ยังคาดหวังให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางนาโนฯ ในภูมิภาคอาเซียน ปัจจุบันประเทศไทยมีนักวิจัยที่ชำนาญและเริ่มงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยีอยู่ประมาณ 130 คน โดยมีการคาดการณ์กันว่าในอีก 10 ปีข้างหน้าจะมีสินค้านาโนฯ ของคนไทยออกวางตลาดและทำรายได้เป็นกอบเป็นกำให้กับประเทศ ซึ่งมีการประเมินอย่างคร่าวๆ ไว้ว่าจะทำรายได้สูงถึง 1%ของผลผลิตมวลรวมของประเทศ รวมทั้งสามารถยกระดับและพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนไทยที่ได้จากการพัฒนาวัสดุอุปกรณ์ และระบบที่เกี่ยวข้องกับการแพทย์และสุขภาพ จากนาโนเทคโนโลยี โดยให้ไทยเป็นแกนนำการศึกษา และวิจัยด้านนาโนฯ ในภูมิภาคอาเซียน⁽³⁾

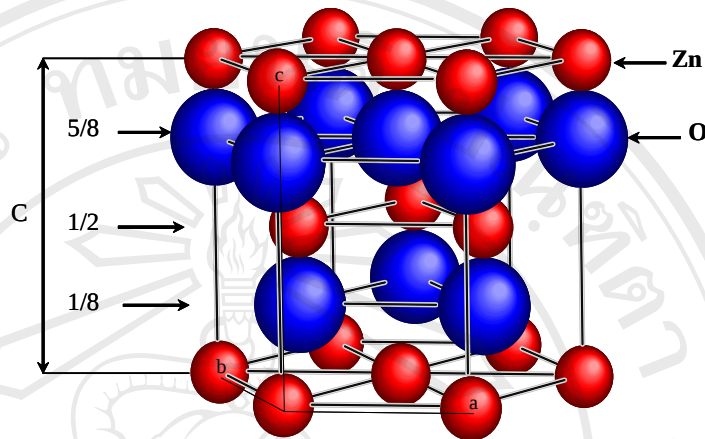
ในแง่ของฟิสิกส์นาโนเทคโนโลยีมีความสำคัญคือ เมื่อสารมีขนาดเล็กลงจนถึงระดับนาโนเมตรจะมีคุณสมบัติบางอย่างของสารเปลี่ยนไปจากคุณสมบัติเดิมเมื่อสารมีขนาดใหญ่หรือเป็นก้อนสาร (bulk) คุณสมบัติที่เปลี่ยนไปนี้เองมาจากผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสถานะ (Density of State, DOS) ซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป นอกจากนี้เมื่อสารมีขนาดเล็กลงจนถึงระดับนาโนจะทำให้อัตราส่วนของพื้นผิวต่อปริมาตรรวมทั้งหาค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก ยกตัวอย่างแสดงดังรูป 1.2 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของก้อนสารลูกบาศก์ที่มีปริมาตร $1 \times 1 \times 1$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่มีพื้นที่ผิว 6 ตารางเซนติเมตร เมื่อลดขนาดลูกบาศก์ให้เป็น $1 \times 1 \times 1$ ลูกบาศก์ไมโครเมตร แต่มีปริมาตรรวมเท่าเดิมสารจะมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็น 60,000 ตารางเซนติเมตร แต่เมื่อลดขนาดของลูกบาศก์ให้มีขนาดเพียง $1 \times 1 \times 1$ นาโนเมตร พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นไปเป็น 60,000,000 ตารางเซนติเมตรซึ่งเพิ่มขึ้นถึงสิบล้านเท่า ค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างมากมานี้ มีประโยชน์โดยตรงกับอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้พื้นผิวในการเกิดปฏิกิริยา ยกตัวอย่างก๊าซเซ็นเซอร์ มีผลทำให้การตรวจจับก๊าซมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะศึกษาทางด้านนาโนเทคโนโลยีทางด้านเซ็นเซอร์ทั้งในแง่ทฤษฎีและการทดลอง



รูปที่ 1.2 การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวเมื่อขนาดของสารเล็กลงแต่มีปริมาตรรวมเท่ากัน

สารซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide; ZnO) เป็นสารที่น่าสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากสารซิงค์ออกไซด์เป็นสารที่มีใช้อยู่ในชีวิตประจำวันโดยไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายอีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้ได้หลายอย่าง มีการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในแปรงทาสีสามารถปกป้องผิวหนังทำให้ผิวหนังอ่อนนุ่ม ปัจจุบันจึงเป็นสารที่นิยมใช้กันในเครื่องสำอางดูแลผิว โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทุกวันเพื่อให้ความชุ่มชื้นแก่ผิวซึ่งสามารถใช้ผลิตภัณฑ์ได้ทุกวันอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ⁽⁴⁾ ที่สำคัญคือไม่ทำให้เกิดอาการแพ้ สารซิงค์ออกไซด์ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตยางรถยนต์และใช้ทำยาจำพวกจีผึ้ง⁽⁵⁾ ในทางชีววิทยาได้มีการศึกษาสารซิงค์ออกไซด์เพื่อการตรวจสอบและกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์⁽⁶⁾ นอกจากนี้ยังมีสมบัติทางแสงที่น่าสนใจอีกด้วย โดยเฉพาะการนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ปล่อยแสงที่ให้ความยาวคลื่นในย่านสีน้ำเงิน เช่น ไดโอด (Diode) หากมองย้อนกลับไปในอดีตจะพบว่าไดโอดที่เปล่งแสงสีต่าง ๆ ได้ถูกค้นพบมานานแล้วแต่ไดโอดที่เปล่งแสงสีน้ำเงินเพิ่งมีใช้ไม่นาน ซึ่งสร้างความนิยมเป็นอย่างสูงที่เห็นได้ชัดคือในจอสีของเครื่องเสียงและโทรศัพท์มือถือ⁽⁷⁾ เป็นต้น สารซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide; ZnO) เป็นสารกึ่งตัวนำ ในกลุ่ม II-V ที่มีช่องว่างแถบพลังงานกว้าง (wide bandgap semiconductor) ซึ่งมีค่าช่องว่างแถบพลังงาน (bandgap) ประมาณ 3.3 eV ที่อุณหภูมิห้อง และเท่ากับ 3.44 eV ที่ 4 K, มีช่องว่างแถบพลังงานเป็นแบบ direct band gap, มีโครงสร้างเป็นแบบ Wurtzite hexagonal structure ที่มีค่าคงที่ของแลตทิซ (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 100-200 cm^2/V และค่าสภาพคล่องในการเคลื่อนที่ของโฮลล์ (hole mobility) มีค่า 180 cm^2/V

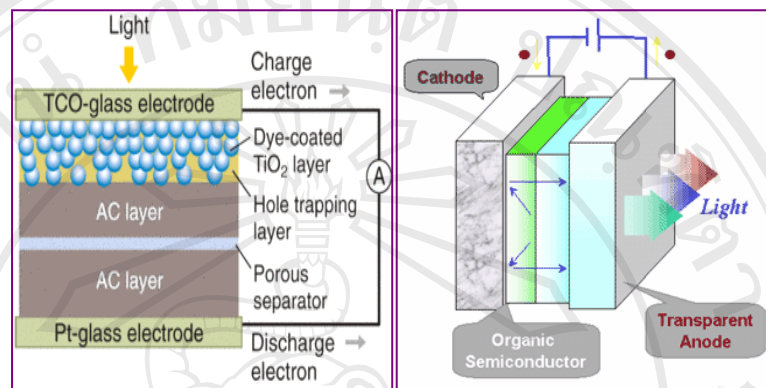


รูปที่ 1.3 แสดงโครงสร้าง Wurtzite hexagonal ของสาร ZnO

เนื่องจากสารซิงค์ออกไซด์มีการประยุกต์ใช้ได้หลายอย่างดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้มีการศึกษาสารซิงค์ออกไซด์ในหลายลักษณะ โดยเฉพาะการศึกษาผลจากการเติมสารเจือลงในสารซิงค์ออกไซด์ โดยการเติมสารเจือเป็นสิ่งจำเป็นมากในการประยุกต์ใช้ทางด้านอุตสาหกรรมซึ่งเป็นกระบวนการควบคุมปริมาณของสารเจือที่เติมลงไปในสารกึ่งตัวนำ ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำได้ เช่น ทำให้สารกึ่งตัวนำนั้นเป็นชนิดเอ็นหรือชนิดพีตามที่ต้องการ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีมีความสำคัญมากต่อการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า Devices เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีที่เรียกว่า PN Junction ไม่ว่าจะเป็น Bipolar transistors, Thyristor, MOSFET (metal oxide semiconductor field-effect transistor) และ Light emitting diodes⁽⁸⁾ เป็นต้น

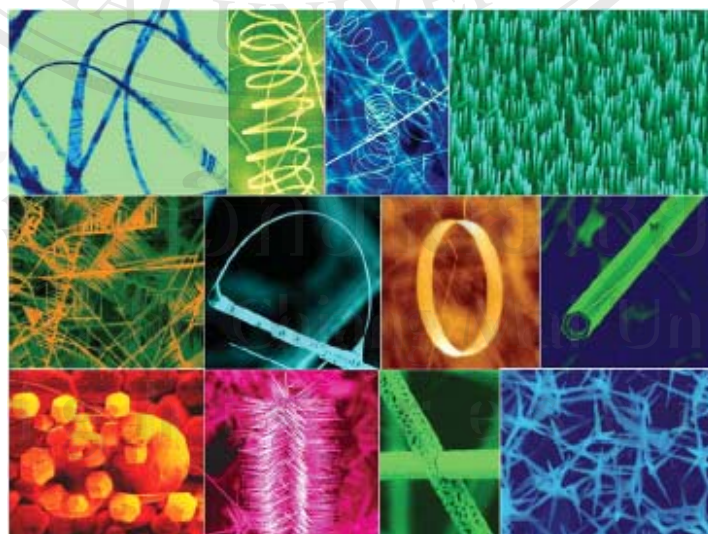
ในงานวิจัยนี้จะศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของสารซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอะลูมิเนียม (ZnO:Al) การเจือสารอะลูมิเนียมลงในสาร ZnO ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากการเติมสารเจือชนิดนี้ทำให้สารกึ่งตัวนำเป็นชนิดเอ็น มีค่าสภาพต้านทานต่ำ มีความหนาแน่นของพาหะสูง ไม่เป็นพิษ และราคาถูกรวมทั้งนำไปประยุกต์ในการทำ Transparent conducting oxide (TCO) ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางด้าน Solar cell, flat panel display devices⁽⁹⁾ ดังแสดงในรูปที่ 1.4 นอกจากนี้ยังนำไปประยุกต์ใช้ทางด้าน Light emitting diodes⁽¹⁰⁾ เป็นต้น ขณะเดียวกันถ้าเตรียมโครงสร้างของสารซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอะลูมิเนียมให้มีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร สมบัติบางอย่างน่าจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เนื่องจากในทางทฤษฎีเมื่อขนาดของสารมีขนาดเล็กลงจะทำให้ความ

หนาแน่นสถานะ (DOS) เปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นสถานะนี้ทำให้สมบัติบางอย่างของสารเปลี่ยนไป เช่น จุดเดือด จุดหลอมเหลว และความนำไฟฟ้า เป็นต้น จึงเป็นที่มาของการศึกษาโครงสร้างนาโนของสาร ZnO ที่เจือด้วยอะลูมิเนียม



รูปที่ 1.4 แสดงการประยุกต์ใช้ของสาร ZnO:Al

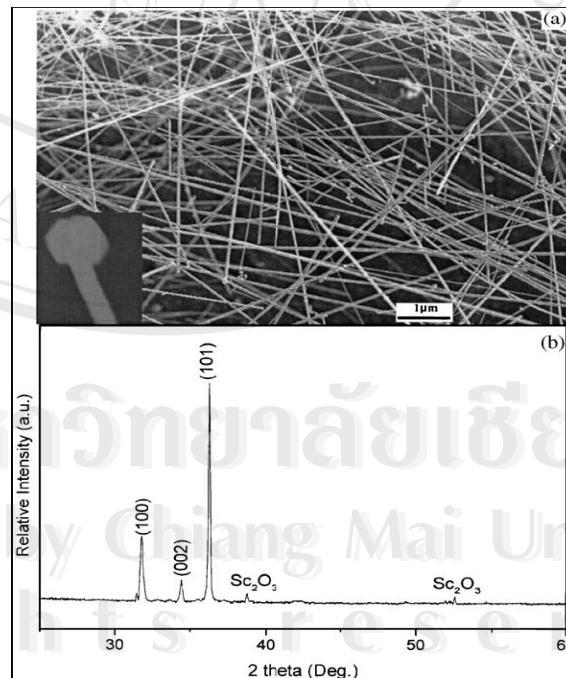
การสังเคราะห์โครงสร้างนาโนมีเป็นจำนวนมาก โดยที่โครงสร้างนาโนที่สังเคราะห์ได้มีด้วยกันหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น เส้นเข็มขนาดนาโน (nanobelts), เส้นลวดนาโน (nanowires), แท่งนาโน (nanorods), ท่อนาโน (nanotube), อนุภาคนาโน (nanodots or nanoparticle), สปริงนาโน (nanospring), ฯลฯ เป็นต้น ยกตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 สารซิงค์ออกไซด์นาโนโครงสร้างระดับนาโนเมตรแบบต่างๆ ⁽¹¹⁾

อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์สารซิงค์ออกไซด์ให้มีโครงสร้างในระดับนาโนเมตรนั้น ทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น Chemical Vapor Deposition (CVD)^(12,13), Pulsed Laser Deposition (PLD)⁽¹⁴⁾, Metal-Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD)⁽¹⁵⁾, Electrochemical Deposition⁽¹⁶⁾, Thermal evaporation⁽¹⁷⁾ and Sputtering technique^(18,19) เป็นต้น ซึ่งในแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป โดยการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนของสารซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอะลูมิเนียม ด้วยวิธีสเปคเตอร์ริง เป็นสิ่งที่น่าศึกษาเพราะว่ามีกระบวนการที่ง่ายและน่าสนใจ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ไม่สูงมากนักและสารที่สังเคราะห์ได้มีคุณภาพดี มีรายงานการสังเคราะห์สารโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยสารต่าง ๆ ดังนี้

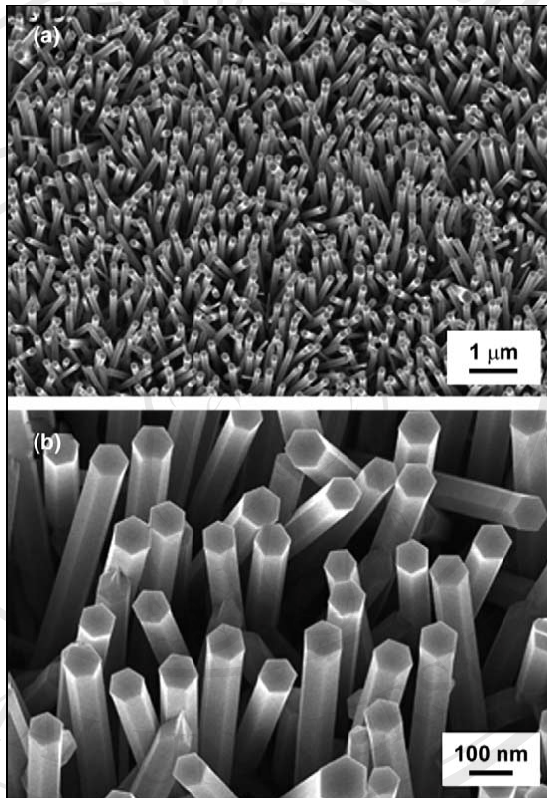
ในปี 2004 Shao Min Zhou และคณะทำงาน⁽²⁰⁾ สังเคราะห์ Single-Crystal ของสาร ZnO ที่เจือด้วย Sc สารที่สังเคราะห์ได้เป็นเส้นลวดนาโน (nanowires) โดยใช้ Sc และ สังกะสี (Zn) ผสมกันและทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 850 °C อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่ 50 sccm ภายใต้ความดัน 10^{-2} torr เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง เส้นลวดนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 นาโนเมตร มีความยาวในระดับไมโครเมตร โดยแสดงดังรูปที่ 1.6 (a) ส่วนในรูปที่ 1.6 (b) เป็นผล XRD เพื่อแสดงสารที่สังเคราะห์ขึ้น



รูปที่ 1.6 (a) แสดงเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วย Sc (b) แสดงผล XRD ซึ่งประกอบด้วยสาร

ZnO และ Sc₂O₃ จากผลการทดลองของ S.M. Zhou⁽²⁰⁾

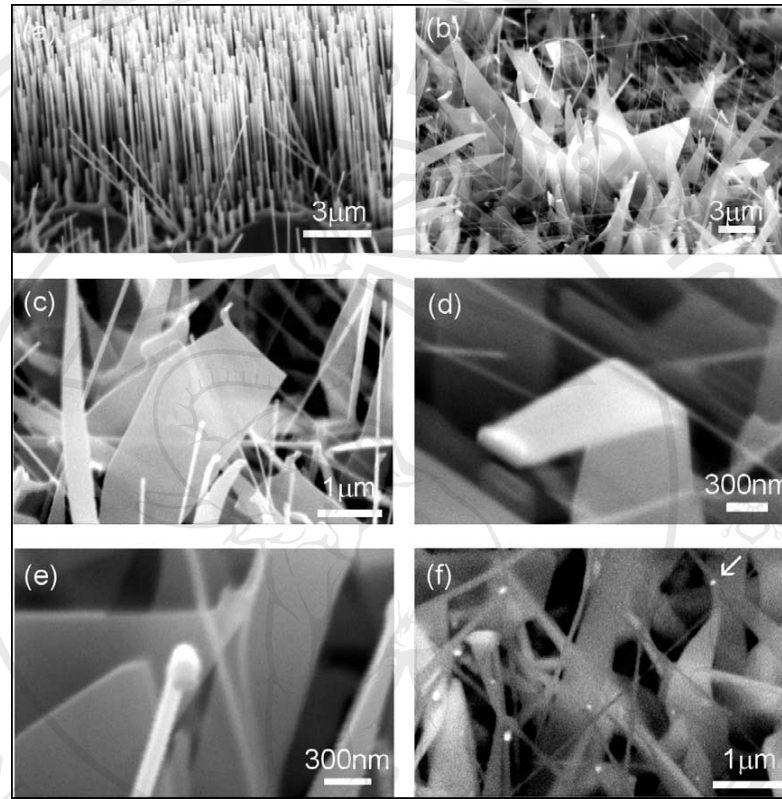
ในปี 2004 Guozhen Shen และคณะทำงาน⁽²¹⁾ สังเคราะห์สาร ZnO ที่เจือด้วยกำมะถัน (Sulfur) สารที่สังเคราะห์ได้เป็นเส้นนาโน (nanowires) โดยใช้กระบวนการ chemical solution-conversion ที่อุณหภูมิ 600 °C บนแผ่นรองรับซิลิกอนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอนที่ 500 sccm เส้นลวดนาโนที่สังเคราะห์ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 นาโนเมตร ยาว 2-10 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยกำมะถันด้วยกระบวนการ chemical solution-conversion จากการทดลองของ G. Shen⁽²¹⁾

ต่อมาในปี 2005 A. Rahm และคณะทำงาน⁽²²⁾ ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์โครงสร้างของสาร ZnO ที่เจือด้วยอะลูมิเนียม โดยใช้ Al_2O_3 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แผ่นรองรับที่ใช้เป็น GaN/Si(111) ซึ่งแผ่นรองรับเคลือบด้วยทอง (Au) เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีความหนา 1 นาโนเมตร เตรียมด้วยวิธี ดีซี สเปคเตอริง (DC sputtering) ระยะห่างระหว่างแผ่นรองรับและเป้าหมายสารอยู่ที่ 1 เซนติเมตร สารที่สังเคราะห์ได้เป็นสองมิติที่เรียกว่า nanosheets สังเคราะห์โดยใช้วิธี carbothermal evaporation ที่อุณหภูมิ 915 °C เป็นเวลา 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 1.8 (a)-(f)

โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการ vapor-liquid-solid โครงสร้างที่ได้มีขนาด 20-80 นาโนเมตร และมีความสูง 5-15 ไมครอน



รูปที่ 1.8 (a)-(f) แสดงโครงสร้างนาโนของสาร ZnO ที่เจือด้วยอะลูมิเนียม จากการทดลองของ A. Rahm⁽²²⁾

ดังนั้นในงานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนของสารซิงค์ออกไซด์ ที่เจืออะลูมิเนียมด้วยเทคนิค อาร์เอฟ สปีดเตอริง ด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสม แล้วนำสารนาโนที่สังเคราะห์ได้ ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อหาลักษณะเฉพาะของสารนาโนที่สังเคราะห์ได้ เช่น การวิเคราะห์ลักษณะขนาด รูปร่าง พื้นผิว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM), การวิเคราะห์โครงสร้าง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM), การวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าด้วยการวัดฮอลล์ (Hall measurement) เพื่อหาค่าสภาพต้านทาน (Resistivity) ค่าความหนาแน่นพาหะ (Carrier concentration) ค่าฮอลล์โมบิลิตี (Hall mobility) จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยรามานสเปกโตร

รสโคปี (Raman spectroscopy) เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการเตรียมโครงสร้างให้อยู่ในระดับนาโนเมตร

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

จากที่กล่าวมาสมบัติของสารซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอะลูมิเนียม มีประโยชน์เป็นอย่างมาก เมื่อมีโครงสร้างในระดับนาโนเมตร ดังนั้นเมื่อเราทราบถึงสมบัติต่าง ๆ ของสารนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอะลูมิเนียมเป็นอย่างดีแล้ว การนำไปประยุกต์ใช้ก็จะได้รับประโยชน์มากขึ้น ซึ่งการวิจัยนี้เป็นศึกษาการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอะลูมิเนียม ด้วยเทคนิคการสปีดเทอริง ศึกษาสมบัติและลักษณะเฉพาะต่างๆ ของโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอะลูมิเนียม รวมทั้งการนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอะลูมิเนียมด้วยวิธี อาร์เอฟ สปีดเทอริง
2. เพื่อหาลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางไฟฟ้าของโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยอะลูมิเนียม