1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแร่ธาตุและทรัพยากรธรรมชาติอย่างหลากหลาย เช่น แร่ดีบุก ทองแดง ถ่านหิน แกสธรรมชาติ และน้ำมันปิโตเลียม เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ดีบุกที่มีอยู่เป็นจำนวนมากแถวภาคใต้ของประเทศไทย โดยส่วนใหญ่แล้วทั้งดีบุกและทองแดงใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างมากหมายหลายประเภท ทองแดงหรือ คอปเปอร์(copper, Cu) เป็นธาตุที่มีเลขอะตอม 29 เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะกลายเป็นคอปเปอร์ออกไซด์ ทองแดงเป็นโลหะทรานซิชันสามารถดัดได้ง่ายจึงใช้แพร่หลายในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ใช้เป็นสายลวดทองแดง เครื่องจักรไฟฟ้า โดยเฉพาะแม่เหล็กไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หลอดสุญญากาศหลอดรังสีแคโทด (cathode ray tube) เมื่อนำไปผสมกับนิกเกิล เช่น คิวโปรนิกเกิล(cupronickel) และ โมเนล (Monel) ใช้เป็นวัสดุที่ไม่กร่อนสำหรับสำหรับสร้างเรือ[3] คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เป็นสารประกอบทางเคมีที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ และเนื่องจากคอเปอร์ออกไซด์มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ ชนิด p (p-type) มีแถบช่องว่างพลังงาน(band gap) 1.2 eV จึงมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่นใช้ในการทำอุปกรณ์ solar energy transformation สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) อุปกรณ์ทางไฟฟ้าและทางแสง ออฟโตอิเล็กทรอนิกส์(optoelectronics devices) และ ตัวตรวจจับ(sensors) [1-2] ดีบุก (Tin; Sn) ในธรรมชาติอยู่ในรูปแบบของออกไซด์ ในแร่แคสซิเทอไรด์ (cassiterite) เป็นโลหะที่ไม่ดี มีสถานะเป็นของแข็ง มีเลขอะตอม 50 มีมวลอะตอม 118.710 กรัมต่อโมล ในสภาพปกติดีบุกมีสมบัติเป็นโลหะ จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับธาตุอโลหะและกึ่งโลหะอย่างคาร์บอนและซิลิกอน อย่างไรก็ตาม หากทิ้งไว้ในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส ดีบุกสามารถเปลี่ยนอัญรูปไปเป็นอโลหะ ที่เรียกกันว่า ดีบุกเทา (gray tin) มีความหนาแน่น 5.769 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีลักษณะคล้ายกับคาร์บอนหรือซิลิกอน ดีบุกในรูปที่เป็นโลหะจะมีสีขาวเงิน (white tin) มีความหนาแน่น 7.265 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลวต่ำ (231.93 องศาเซลเซียส) เนื้ออ่อน สามารถตีเป็นแผ่นบางได้ ทนต่อการกัดกร่อนและถูกอ๊อกซิไดซ์ในอากาศได้ดี เนื่องจากดีบุกมีความแข็งแรงต่ำไม่สามารถนำมาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อใช้งานโดยตรงได้ ดังนั้น การใช้ประโยชน์ของดีบุกจึงมักอยู่ในรูปของการนำไปเคลือบหรือผสมกับโลหะอื่น พบในโลหะผสมหลายชนิด ใช้ประโยชน์ในการเคลือบโลหะทำภาชนะบรรจุอาหารเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ทำโลหะผสม เช่น ดีบุกผสมกับทองแดง เป็นทองสัมฤทธิ์/ทองบรอนซ์, ดีบุกผสมกับทองแดงและพลวง เป็นโลหะพิวเตอร์, ดีบุกผสมกับตะกั่ว เป็นตะกั่วบัดกรี [3-4] จากรายงานการวิจัยพบว่า เมื่อดีบุกถูกสังเคราะห์ขึ้นในรูปของสารประกอบออกไซด์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างมากมายในวงการวิทยาศาสตร์ ทินไดออกไซด์ (Tin dioxide) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ SnO_2 มีมวลโมเลกุล 150.71 กรัมต่อโมล มีความหนาแน่น 6.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลวที่ 1630 องศาเซลเซียส จุดเดือดที่ 1800 ถึง 1900 องศาเซลเซียส โครงสร้างผลึกเป็นแบบ tetragonal ทินไดออกไซด์มี

สมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) มีแถบช่องว่างพลังงาน (band gap) 3.6 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ที่ 300 องศาเคลวิน จึงมีความสำคัญในการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และสมบัติทางแสง ที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น ตัวตรวจจับ (gas sensors) [5], ขั้วโปร่งแสง (transparent conducting electrodes) [6], ทรานซิสเตอร์ (transistor) [7], เซลล์สุริยะ (Solar cells) [8] เป็นต้น ทั้งนี้ การสังเคราะห์โครงสร้างนาโนของทินไดออกไซด์สามารถสังเคราะห์ได้หลายกระบวนการ การใช้สารตั้งต้นที่แตกต่างกัน ที่สภาวะที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดโครงสร้างนาโนที่มีรูปร่างที่แตกต่างกัน โครงสร้างนาโนของ CuO และ SnO_2 เมื่อนำมาประดิษฐ์เป็นรอยต่อ หรือชั้นฟิล์ม จะทำให้เกิดปรากฏการณ์และอันตรกิริยาที่แตกต่างหลากหลาย เช่น nano-solar cell nano-semiconductor หรือ nano-sensor materials เป็นต้น ทำให้เกิดประโยชน์หลากหลายในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานวิจัยที่เป็นที่ต้องการของประเทศต่อไป

1.2 ทฤษฎีและกรอบคิดของโครงการวิจัย

วัสดุนาโน (nanomaterials) เป็นวัสดุนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกให้ความสนใจอย่างมากมายและเป็นไปด้วยความรวดเร็ว สาเหตุสำคัญเนื่องมาจากศักยภาพของวัสดุนาโนที่สามารถทำการปฏิวัติงานด้านวัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และทางการแพทย์ ให้เกิดขึ้นและนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมหาศาลโดยผ่าน โครงสร้างในระดับอะตอม ซึ่งเป็นตัวควบคุมสมบัติทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมี เช่น สภาพแม่เหล็ก ตัวกระตุ้นปฏิกิริยา(catalysis) หรือพฤติกรรมทางแสง เป็นต้น โครงสร้างนาโน (nanostructures) โดยทั่วไปจะแบ่งมิติได้ 3 รูปแบบด้วยกันคือ รูปแบบที่เป็นศูนย์มิติ (0-dimension) รูปแบบที่เป็นหนึ่งมิติ (1-dimension) และรูปแบบที่เป็นสองมิติ (2-dimension) ตัวอย่างของรูปแบบโครงสร้างนาโนศูนย์มิติ ได้แก่ อนุภาคนาโน (nanoparticles) หมุดควอนตัม (quantum dots) ตัวอย่างของรูปแบบโครงสร้างนาโนหนึ่งมิติ ได้แก่ ท่อนาโน (nanotubes) เส้นลวดนาโน (nanowires) แท่งนาโน (nanorode) เข็มขัดนาโน (nanobelts) ริบบิ้นนาโน (nanoribbons) ตัวอย่างของรูปแบบโครงสร้างนาโนสองมิติได้แก่ ฟิล์มบาง (thin films) แผ่นนาโน (nanosheets) เป็นต้น รูปแบบโครงสร้างนาโนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการ สภาวะ ในการสังเคราะห์ เทคโนโลยีสำหรับเตรียมอนุภาคนาโนมีหลากหลายแนวทาง ดังนี้ [9]

1. เตรียมจากกระบวนการไอระเหย (vapor process) ได้แก่ กระบวนการการเคลือบหรือตกตะกอนไอระเหยทางฟิสิกส์ (physical vapor deposition; PVD) การเคลือบหรือตกตะกอนไอระเหยทางเคมี (chemical vapor deposition; CVD) และการฉีดพ่นละอองสาร

2. เตรียมจากกระบวนการทางของเหลว (liquid process) ได้แก่ วิธีโซลเจล (sol-gel) และวิธีการทางเคมี

3. เตรียมจากกระบวนการทางของแข็ง (solid process) ได้แก่ การบดหรือการผสมเชิงกล และการสังเคราะห์ทางเคมีเชิงกล (mechanochemical)

4. เตรียมจากกระบวนการผสมผสาน (combined process) เป็นการสังเคราะห์วัสดุนาโนที่ใช้หลายวิธีการ หรือหลายวิธีการมาผสมผสานกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการ

การเตรียมอนุภาคนาโนจากสถานะไอระเหยและของเหลวมีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 3 ขั้นตอน คือ การก่อตัว (nucleation) การเกาะกลุ่ม(coalescence) และการเติบโต (growth) อนุภาคนาโนจะเริ่มเกิดจากการก่อตัวจากแก่นกลาง จากนั้นจึงค่อย ๆ เกาะกลุ่ม และรวมตัวกันเกิดเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ขึ้น สำหรับวิธีทางความร้อนส่วนใหญ่นิยมใช้กัน 2 วิธี คือ วิธีไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (non-catalyst-based) และวิธีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst- based)

การสังเคราะห์วัสดุนาโนชนิดต่างๆ ทำให้เกิดการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในหลายด้าน เช่น ด้านอิเล็กทรอนิกส์ เซรามิกส์ ตัวเก็บข้อมูลแม่เหล็ก (magnetic data storage) ตลอดจนวิทยาการด้านอื่นๆ มากมาย งานวิจัยวิทยาศาสตร์พื้นฐานของวัสดุนาโนเป็นสิ่งสำคัญที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจโดยเฉพาะศักยภาพของวัสดุนาโนที่มีประโยชน์อย่างมากมาย โดยเฉพาะในทางอุตสาหกรรม การสังเคราะห์วัสดุที่มีความบริสุทธิ์สูง การเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจและสภาพแวดล้อม คุณลักษณะเฉพาะของโครงสร้างใหม่และคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุนาโน การเตรียมผลิตภัณฑ์จากอนุภาคนาโนที่มีความหนาแน่นสูงและมีสิ่งเจือปนต่ำและการเก็บรักษาสภาพรายละเอียดของเม็ดผลึกเพื่อดำรงไว้ซึ่งคุณสมบัติเชิงกลจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของวัสดุในระดับนาโนสเกล[10-11]

การสังเคราะห์โครงสร้างนาโนคอปเปอร์ไดออกไซด์(CuO nanostructures) และทินไดออกไซด์ (SnO_2 nanostructures) จะมีประโยชน์ต่องานวิจัยหลายๆด้าน และเป็นพื้นฐานที่ความสำคัญต่อการพัฒนานาโนเทคโนโลยี (nanotechnology) และสามารถนำประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างมากมาย การเตรียมวัสดุโครงสร้างนาโนของคอปเปอร์ออกไซด์ โดยทั่วไปแล้วสามารถดำเนินการสังเคราะห์ได้หลายกระบวนการ การสังเคราะห์แท่งนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ สามารถเตรียมได้จากกระบวนการ thermal treatment ของแผ่นทองแดง เผาที่อุณหภูมิประมาณ 400 ^{0}C ในอากาศ จะมีชั้นสีดำๆมาเกาะที่แผ่นทองแดงเป็นชั้นๆ ซึ่งเกิดจากการที่ ออกซิเจนทำปฏิกิริยา (oxidation) กับแผ่นทองแดง จะสังเคราะห์ได้ CuO nanorods มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20-150 nm ความยาวหลายไมโครเมตร เป็นผลึกเดี่ยว (single crystal) และมีโครงสร้างเป็นแบบ monoclinic structure[12-13] หรือ เตรียมจากกระบวนการ thermal decomposition ของสารตั้งต้น CuC_2O_4ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีจาก copper acetate ($Cu(CH_2OO)_2.H_2O$) , oxalic acid ($H_2C_2O_4.2H_2O$), nonyl phenyl phenyl ether (9)/(5)(NP-9/5) และ NaCl ผสมให้เข้ากันแล้วบด นำไปทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 70-80 ^{0}C เป็นเวลาหลายชั่วโมง เผาในเตาท่อที่อุณหภูมิประมาณ 950 ^{0}Cในอากาศ จะสังเคราะห์ได้ CuO nanorods ยาวประมาณ 1-3 μm มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30-100 nm เป็นผลึกเดี่ยว(single crystal)และมีโครงสร้างเป็นแบบ monoclinic structure [14] ยังมีการสังเคราะห์นาโนที่ใช้ตัวกระตุ้น โดยใช้สารประกอบของกรดเกลือและ NP9 โดยใช้ 4 g ($Cu(OAC)_2.2H_2O$, 5 g $H_2C_2O_4.2H_2O$ และ 10 ml NP9 ผสมและบดรวมกันแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น แล้ว ล้างด้วยเอทานอล 3 ครั้งจะได้ สารประกอบ CuC_2O_4 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 310 ^{0}C จะเกิดอนุภาค CuO ขึ้น นำสาร

ตัวอย่างที่ได้ ผสมกับ KCl , LiCl เผาที่ 650^{0}C ล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอลหลายๆ ครั้ง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70^{0}C จะสังเคราะห์ได้ CuO nanorods และ CuO nanoparticles และการบดเป็นการเพิ่มความเร็วของโมเลกุล ซึ่งเป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยา การให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่ต่างกันก็ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของ CuO nanorods ต่างกันด้วย[13] จากรายงานการวิจัยพบว่า CuO nanowires ซึ่งเตรียมจากปฏิกิริยา oxidation โดยการเผาแผ่นทองแดงที่อุณหภูมิ 600°C ในบรรยากาศปกติ CuO nanowires ที่สังเคราะห์ได้จะนำไปศึกษาตัวตรวจจับแกสเอทานอล[15] . ผง CuO ซึ่งผสมกับ ผง $BiTiO_3$ อัดด้วยแรงดันให้เป็นรูปเม็ดยา นำไปเผาที่อุณหภูมิ 773 K เป็นเวลา 3 ชม. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะนำไปประดิษฐ์ตัวตรวจจับแกส CO_2[16] นอกจากนี้โครงสร้างนาโนของผลึก CuO ยังถูกนำไปศึกษาแกสที่เป็นมลพิษ เช่น CO และ NO_2 อีกด้วย[17] Zheng และคณะ [18] ได้ทำการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนของทินไดออกไซด์ โดยการเตรียมจากผงทินออกไซด์ (SnO powders) 0.5 กรัม หมก (immersed) ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 10 มิลลิลิตร นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมกรดเกลือ (NaCl) 4 กรัม ก่อนนำไปเผาในเตาท่อที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง สังเคราะห์ได้โครงสร้างนาโนทินไดออกไซด์รูปร่างแบบแท่ง(nanorods) เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ถึง 60 นาโนเมตร ยาวหลายไมโครเมตร Li และคณะ [19] ได้สังเคราะห์โครงสร้างนาโนโดยวิธีการใช้คาร์บอนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (carbon- assisted) โดยการใช้ สารประกอบ ทินได-ออกไซด์ผสมกับผงแกรไฟต์ (graphite powders) เป็นสารตั้งต้น (material sources) เผาที่อุณหภูมิ 850 องศา-เซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ (high-purity N_2) สังเคราะห์ได้เส้นลวดนาโนทินไดออกไซด์ (SnO_2 nanowires) เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ถึง 200 นาโนเมตร อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตร 2×10^7 ต่อเมตร ถึง 8×10^7 ต่อเมตร ซึ่งเป็นไปตามกลไกลของ ไอ-ของเหลว-ของแข็ง (vapor-liquid-solid processes; VLS) มีรายงานการวิจัยหลายเรื่อง พบว่าเข็มขัดนาโนทินไดออกไซด์ (SnO_2 nanobelts) สังเคราะห์ได้โดยวิธีการใช้น้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (water-assisted) โดยใช้ผงทิน (pure Sn powders; 99.999%) 0.3 กรัม เป็นสารตั้งต้น ภายใต้บรรยากาศแก๊สอาร์กอน ซึ่งมีอัตราการไหล 20 sccm (standard cubic centimeters per minute) ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง [20] หรือใช้แผ่นดีบุก (Sn foil; 99.0%) เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง สังเคราะห์ได้เข็มขัดนาโนทินไดออกไซด์ (SnO_2 nanobelts) บนฐานรองรับซิลิกอน (silicon substrate) ตามกลไกล ไอ-ของเหลว-ของแข็ง (vapor-liquid-solid processes; VLS) [21] จากรายงานการวิจัยของ Ansari และคณะ [22] พบว่าอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์ (SnO_2 nanoparticles) สังเคราะห์โดยวิธีโซเจล (so-gel method) ซึ่งเตรียมจากสารละลายทินเตตะคลอไรด์ ($SnCl_4.5H_2O$) 0.1 โมล ผสมกับแอมโมเนีย (NH_4OH) ให้แห้งด้วยการกวน (stirring) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เกิดเป็นวุ้นสีขาวขุ่น (milky-white gel) นำตัวอย่างที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง และนำไปเผาที่อุณหภูมิ ในช่วง 300 องศาเซลเซียส ถึง 950 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง นอกจากนั้นการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนทินไดออกไซด์สามารถทำได้โดยใช้ผงทิน (Sn powders) ผสมกับผงกัมมะถัน (S powders) และผงแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl powders) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เป็นสารตั้งต้น และเผาที่อุณหภูมิในช่วง 300 องศาเซลเซียส ถึง 800 องศาเซลเซียส

ในอากาศ นาน 5 ชั่วโมง สังเคราะห์ได้ผลึกนาโนทินไดออกไซด์ (SnO_2 nanocrystals) ขนาด 25 ถึง 170 นาโนเมตร โดยประมาณ [23] Ansariและคณะได้เตรียมอนุภาคนาโน SnO_2 โดยวิธี so-gel แล้วำไปทำฟิล์มหนา เพบว่ามีความไวต่อการตรวจจับกสไฮโดรเจน [24] SnO_2 ซึ่งถูกโด๊ปด้วย Pd ถูกนำไปศึกษาเป็นตัวตรวจจับการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับแกสCO[25] Jain และคณะรายงานว่าตัวตรวจจับแกส LPG ของ SnO_2 gas sensor ความไวของปฏิกิริยาจะขึ้นกับขนาดของเกรนอนุภาค Ni และ Al ที่ใช้เป็นสารเจือ[26].

การทำโครงการวิจัยนี้จะเตรียม CuO nanostructures และ SnO_2 nanostructures เพื่อใช้เป็นตัวตรวจวัดแก๊ส และนำไปสู่การสร้างชั้นของCuO nanostructures และ SnO_2 nanostructurs เพื่อประดิษฐ์เป็นตัวตรวจจับแกสหลายๆชนิด ชั้นของ CuO และ SnO_2โครงสร้างนาโนยังสามารถพัฒนาไปสู่งานวิจัยในอีกหลายด้าน ทำให้เกิดการพัฒนาวัสดุรูปใหม่ๆ หรือองค์ประกอบของวัสดุใหม่ๆที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาวงการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำ ผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. สังเคราะห์และศึกษาลักษณะบ่งชี้ของ CuO และ SnO_2 nanostructures
2. ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจจับแกสจาก CuO และ SnO_2 nanostructures

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

1. สรุปรายงานการวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร
2. เพิ่มมูลค่าและคุณค่าของทรัพยากรธรรมชาติ
3. เป็นแนวทางพัฒนาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง หรือการผลิตเพื่อการค้า เช่น solar cell, technology semiconductor, electronics, computer, new materials หรือ nano-materials

หน่วยงานที่สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. กระทรวงพลังงาน
3. กระทรวงอุตสาหกรรม

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. เตรียมถ่านกะลามะพร้าวที่มีปริมาณคาร์บอนสูงเพื่อใช้เป็นตัวกระตุ้น
2. ทำการสังเคราะห์ CuO nanostructures โดยกระบวนการ thermal oxidation หรือ กระบวนการทางเคมี
3. ทำการสังเคราะห์ SnO_2 nanostructures โดยกระบวนการ thermal evaporation
4. ศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และโครงสร้างนาโนของ CuO และ SnO_2 โดยเครื่อง XRD, XRF, SEM, หรือ TEM
5. ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจจับแกส เช่น CO_2, ethanol gas จากวัสดุโครงสร้างนาโน CuO และ SnO_2 ที่เตรียมได้
6. วิเคราะห์ผลการวิจัยที่ได้ ศึกษาแนวทาง หรือ กระบวนการที่จะนำไปประยุกต์ใช้ ประโยชน์ทางด้านอื่นๆ