การสังเคราะห์วัสดุนาโนคอปเปอร์ออกไซค์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัล A Synthesis of CuO Nanostructures by Hydrothermal Method

จีระศักดิ์ ศรีโกศล*1 และ วัชรินกร เมฆลา**²

¹รร.นาจิกพิทยาคม ต.ดอนเมย อ.เมืองอำนาจเจริญ จ.อำนาจเจริญ 37000 ²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ต.ในเมือง อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000 E-mail: boysrigo@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์วัสดุนาโนคอปเปอร์ออกไซด์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และเพื่อศึกษาสมบัติ ทางกายภาพของวัสดุโครงสร้างนาโนคอปเปอร์ออกไซด์โครงสร้างทางุลภาคและสมบัติทางฟิสิกส์ได้ถูกศึกษาโดยเทคนิคการเลี้ยว เบนของรังสีเอกซ์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการดูดกลืนแสงของวัสดุที่สังเคราะห์ได้ ผลการวิจัยพบว่า 1) โครงสร้างนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างเป็นแท่งนาโนมีลักษณะเป็นแบบโมโนคลิกนิคและมีความยาวอยู่ ระหว่าง 300 นาโนเมตรถึง 5 ไมโครเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 20 ถึง 900 นาโนเมตร 2) อัตราส่วนของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายกับคอปเปอร์ซัลเฟต และเวลา มีผลต่อรูปร่างพื้นผิวของโครงสร้างนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ อย่างมาก การดูดกลืนแสงของโครงสร้างนาโนคอปเปอร์ออกไซด์แท่งนาโนมีพีคอยู่ที่ช่วง 328 นาโนเมตร เมื่อนำค่ามาคำนวณ หาแถบช่องว่างพลังงานได้เท่ากับ 2.47 eV และความไวต่อการตอบสนองสามารถวัดได้โดยการวัดความต้านทานไฟฟ้า ของโครงสร้าง นาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีการตอบสนองต่อแก็ส Ethanol และ CO₂

คำสำคัญ: นาโนคอปเปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเทอร์มัล

Abstract

The purposes of this research were to synthesis of CuO nanostructures by hydrothermal method and to study physical property of CuO nanostructures. The microstructure and morphology of the CuO nanostructure were examined by X-Ray Diffractometer (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), UV-VIS Spectrophotometer and Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDX). The research findings were as follows: 1) The CuO was nanorods with monoclinic nanostructures, and their length and width ranged from 300 nm to 5 μ m and 20 to 900 nm, respectively. 2) The volume ratio of sodium hydroxide in the solution with copper sulfate and time was found to be a critical effect on the CuO morphology during the hydrothermal stage. The absorption peak of the nanorods was about at 328 nm. The band gap of the CuO nanostructure was estimated to be at 2.47 eV from the UV-vis spectroscopy. The sensitivity of CuO nanostructure was performed by measurement of electrical resistance at room temperature for ethanol and CO₂ sensor.

Keywords: CuO nanostructure, Hydrothermal

บทนำ ้วัสดุนาโน (Nanomaterials) เป็นวัสดุที่นักวิจัย ทั่วโลกให้ความสนใจ เนื่องจากศักยภาพของวัสด นาโน ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยผ่าน โครงสร้างในระดับอะตอมซึ่งเป็นตัวควบคุมสมบัติ ้ด้านวิศวกรรมศาสตร์ ได้แก่ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิว ต่อปริมาตรค่อนข้างสง มีความไวต่อปฏิกิริยาสง มีการเกาะ กลุ่มกันอย่างแข็งแรงเหนียวแน่น มีค่าความเครียดเชิงกล สูงขึ้น การกระจายแสงเพิ่มขึ้น ค่าสภาพความต้านทาน ้ไฟฟ้าเปลี่ยนไป ค่าความร้อนจำเพาะสูงขึ้น เป็นต้น สมบัติ ทางฟิสิกส์และเคมี เช่น สภาพแม่เหล็กที่ดีเป็นตัวกระตุ้น ปฏิกิริยา (Catalysis) ที่ดี หรือพฤติกรรมทางแสง เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีด้าน อิเล็กทรอนิกส์ เซรามิกส์ ตัวเก็บข้อมูลแม่เหล็ก (Magnetic Data Storage) ตลอดจนถึงด้านวิทยาศาสตร์และวิทยาการ ด้านอื่นๆ อีกมากมาย คอป-เปอร์ออกไซด์ (CuO) เป็นสาร ้นาโนที่น่าศึกษาเนื่องจากสารคอปเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ มีใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน มีสมบัติทางแสงและสมบัติทางเคมี ที่น่าสนใจเป็นเหตุผลที่ทำให้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการ สังเคราะห์โครงสร้างนาโนของคอปเปอร์ออกไซด์เป็น ้จำนวนมากโดยที่โครงสร้างนาโนของสารคอปเปอร์ออกไซด์ ที่สังเคราะห์ได้มีด้วยกันหลายรูปแบบเช่น เข็มขัดนาโน (Nanobelts) เส้นลวดนาโน (Nanowires) รูปผีเสื้อ (Butterflylike) รูปทรงหกเหลี่ยม (Hexagonal) รูปดาว (Star-like) รูปริบบิ้น (Ribbon-like) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์สารคอปเปอร์ออกไซด์ให้มีโครงสร้างในระดับ นาโนเมตรนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการปลูกด้วยไอ ระเหยเคมี (Chemical Vapor Deposition; CVD) เป็นการ ปลูกฟิล์มจากสถานะของไอด้วยปฏิกิริยาเคมี ข้อเสียของ การปลูกด้วยเทคนิคนี้จะต้องมีห้องปฏิกรณ์ 4 ชุด ควบคุม อุณหภูมิส่วนผสมของก๊าซ ความดัน และอัตรา การไหล ของก๊าซ และอุปกรณ์อื่นๆ อีกมากมาย การปลูกด้วยวิธี Metal-Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) เทคนิค MOCVD สามารถใช้สร้างผิวรอยต่อที่ชันในระดับ ้ชั้นเดียว (Monolayer) ระหว่างสารกึ่งตัวนำได้ ระบบ MOCVD ใช้สารประกอบอินทรีย์ของธาตุที่ต้องการปลูกผลึก มาทำปฏิกิริยาเคมี ข้อเสียของเทคนิคนี้คือ เนื่องจากก๊าซที่ ใช้มีพิษร้ายแรงมาก ดังนั้นระบบเครื่องมือจึงต้องมีความ ปลอดภัยสูง คือ จะเกิดการรั่วไหลของก๊าซไม่ได้เลยแม้แต่ ้น้อย จึงทำให้การจัดตั้งระบบยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายสูงใน

ด้านระบบความปลอดภัย เป็นต้น ซึ่งในแต่ละวิธีก็มีข้อดี

ข้อเสียแตกต่างกันไปซึ่งมีอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ คือ วิธีการ

สังเคราะห์แบบไฮโดรเทอร์มัล เป็นวิธีที่ง่ายขั้นตอนไม่ยุ่ง ยากโดยมีองค์ประกอบ คือ สารละลายในน้ำที่อุณหภูมิและ ความดันไอสูงเป็นการควบคุมอุณหภูมิของสารละลาย ของเหลวหรือสารแขวนลอยตั้งต้นที่อุณหภูมิและความดัน สูงในท่ออัดความดัน ขอบเขตอุณหภูมิที่ใช้จากจุดเดือดของ น้ำจนถึง จุดวิกฤตที่ 347 องศาเซลเซียส และขอบเขตความ ดันที่ใช้ตั้งแต่ความดันบรรยากาศจนถึง 15 Mpa สภาวะที่ จำเพาะนี้ จะเป็นสภาวะที่สามารถรักษาวัฏภาคของ สารละลาย (Solution phase) เกิดการถ่ายเทมวลสารอย่าง รวดเร็วซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ผลของความ ดันและอุณหภูมิที่กำหนดไว้สามารถไปลดพลังงานอิสระของ วัฏภาคเพื่อให้วัฏภาคมีความสมดุลแสดงที่ระหว่างวัฏภาค ของเหลวและก๊าซ ซึ่งวัฏภาคดังกล่าวจะไม่เสถียรในสภาวะ บรรยากาศ ดังนั้นการสังเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์ โครงสร้างในระดับนาโนจากผงคอปเปอร์ซัลเฟตโดยวิธีการ ้ไฮโดรเทอร์มัลจึงเป็นวิธีที่ผู้วิจัยเลือกศึกษาสำหรับการสร้าง นาโนคอปเปอร์ออกไซด์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

 เพื่อสังเคราะห์วัสดุนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัล

 2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุ โครงสร้างนาโนคอปเปอร์ออกไซด์

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้สังเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์ โครงสร้างนาโนด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล และศึกษาโครงสร้าง และลักษณะทางกายภาพ โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของ รังสีเอกซ์ (X–Ray Diffractometer; XRD) กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) เครื่องมือตรวจวัดปริมาณแสงในช่วงรังสียูวี (UV-VIS Spectrophotometer) และวิเคราะห์สารประกอบ ทางเคมีด้วยเทคนิค Energy Dispersive Spectrometer; EDX ที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี ในการตรวจวิเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์ ที่สังเคราะห์ได้

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการคอปเปอร์ออกไซด์โครงสร้าง นาโนด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลในการทดลองมีลำดับขั้นตอน ในการสังเคราะห์ทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่ 1) การเตรียมสารละลาย NaOH เข้มข้น 10 โมล มีขั้นตอนดังนี้

107

(1) ชั่ง NaOH ปริมาตร 40 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิเมตร (2) เทน้ำกลั่นบริสุทธิ์ปราศจากไอออนลงใน บึกเกอร์ในข้อที่ 1 จนได้ปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร (3) ใช้แท่งคนสารคนให้ NaOH ละลายและผสมเป็นเนื้อ เดียวกันกับน้ำกลั่นจะได้สารลาย NaOH มีความเข้มข้น 10 โมล (4) เตรียม NaOH เพิ่มที่มีความเข้มข้น 8 โมล และ 6 โมล ขั้นตอนที่ 2) การสังเคราะห์ CuO โดยกระบวนการ ไฮโดรเทอร์มอล มีขั้นตอนดังนี้ (1) ชั่ง คอปเปอร์ซัลเฟตซึ่ง มีลักษณะเป็นผลึกแข็ง จำนวน 2 กรัม ใส่ลงไปในบีกเกอร์ ขนาด 25 มิลลิลิตร (2) ตวงสารละลาย NaOH ที่เตรียมไว้ ในขั้นตอนที่ 2 (มีความเข้มข้น 10 โมล 8 โมล และ 6 โมล) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร (3) เท NaOH ในข้อที่ 2 รวมกับ คอปเปอร์ซัลเฟต ในข้อ 1 ลงในเทปลอนไลน์และปิดบอมบ์ ให้สนิท แล้วนำเข้าเตาอบซึ่งอบตามเงื่อนไข (4) เมื่ออบตาม เงื่อนไขในข้อที่ 3 แต่ละเงื่อนไขปล่อยให้เตาอบเย็นลงเท่า อุณหภูมิห้องก่อนเปิดเตาอบ (5) นำสารตัวอย่าง ที่ผ่านการ กระบวนการ Hydrothermal ออกจากเตา เทใส่บีกเกอร์ นำสารตัวอย่างไปล้างด้วย น้ำกลั่นบริสุทธิ์ปราศจากไอออน เพื่อปรับค่าเป็นกลาง (6) หลังจากล้าง สารตัวอย่าง ด้วยน้ำกลั่นแล้วจึงล้างด้วยเอทานอลเป็นครั้งสุดท้ายและ กรองด้วยกระดาษกรอง (7) เทสาร สารตัวอย่าง ที่ล้างเสร็จ แล้วในข้อที่ 6 ลงในถ้วยกระเบื้อง นำเข้าเตาอบ อบที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ ให้เตาอบเย็นที่อุณหภูมิห้อง ขั้นตอนที่ 3) นำสารตัวอย่างที่ ผ่านการ Hydrothermal ไปตรวจสอบวิเคราะห์ผลด้วย เทคนิค XRD, SEM, EDX และ UV-VIS Spectrophotometer ขั้นตอนที่ 4) การศึกษาสมบัติการตอบสนองต่อแก๊ส ของโครงสร้าง nanorods ที่อุณหภูมิห้องโครงสร้าง nanorods มีขั้นตอนดังนี้ (1) นำโครงสร้าง Nanorods ที่สังเคราะห์ได้มาบดผสมสารโพลีแอสเทอร์ลีนไกลคอล 2000 ให้เข้ากันแล้วนำมาเคลือบกับแผ่นปริ้นวงจรที่ ทำความสะอาดและอบไล่ความชื้นแล้ว โดยการเคลือบจะ ต้องเคลือบให้บางและสม่ำเสมอให้มากที่สุด นำแผ่นปริ้นวง จรที่เคลือบด้วยคอปเปอร์ออกไซด์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ปล่อยทิ้งไว้ ให้เตาอบเย็น ู้ ที่อุณหภูมิห้อง (2) นำตัวอย่าง Sensor ที่เตรียมไว้ไปต่อเข้า ระบบวัดค่าการตอบสนองภายในท่อควอร์ซ ควบคุม อุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส โดยใช้เตาท่อต่อระบบของ การวัดการตอบสนองของ Gas Sensor ให้ความต่างศักย์ 10 โวลต์ และต่อตัวต้านทาน (RL = 1M) ดังภาพที่ 3.5 วัด ค่าความต้านทานของ Sensor ในอากาศ (R0) บันทึกผล จากนั้นปล่อยแก็ส Ethanol และ CO เข้าไปในระบบใน

อัตราการไหลของแก็ส 5 L/min คำนวณค่าความต้านทาน ของ sensor ในบรรยากาศของแก็ส Ethanol ในเวลาที่แตก ต่างคือ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที วัดค่าความต่าง ศักย์ RL บันทึกค่านั้น (VL) จากนั้นนำค่าความต่างศักย์ที่ได้ ไปคำนวณหาค่า RS และค่า Sensitivity

การวิเคราะห์ข้อมูล

สารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์สามารถเตรียมได้ จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 องศา เซลเซียส นาน 21 และ 24 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ SEM พบ ว่าโครงสร้าง nanorods ที่สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ ภาย ใต้อุณหภูมิคงที่ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลต่อลิตร มีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 100 ถึง 800 นาโนเมตร และมี ความยาวอยู่ระหว่าง 500 นาโนเมตร ถึง 3.5 ไมโครเมตร ที่สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ ภายใต้อุณหภูมิคงที่ 160 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 โมลต่อลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 20 ถึง 500 นาโนเมตร และมีความยาวอยู่ระหว่าง 300 นาโนเมตร ถึง 2.7 ไมโครเมตร ที่สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ ภายใต้ อุณหภูมิคงที่ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดย ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลต่อลิตร มีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 50 ถึง 800 นาโนเมตร และมีความ ยาวอยู่ระหว่าง 600 นาโนเมตร ถึง 3 ไมโครเมตร ที่สาร ตัวอย่างที่สังเคราะห์ ภายใต้อุณหภูมิคงที่ 160 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 21 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลต่อลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 200 นาโนเมตร ถึง 900 นาโนเมตร และมีความยาวอยู่ระหว่าง 700 นาโนเมตร ถึง 5 ไมโครเมตร และที่สารตัวอย่างที่ สังเคราะห์ ภายใต้อุณหภูมิคงที่ 160 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 21 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 โมลต่อลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 60 ถึง 900 นาโนเมตร และมีความยาวอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5 ไมโครเมตร และเมื่อ วิเคราะห์เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ XRD พบว่า โครงสร้าง Nanorods ประกอบด้วย 2 ระนาบที่ขนานกัน ในแนวขวางซึ่งเป็นผลึกเดี่ยวระยะห่างระหว่างระนาบของ ข้างนอกประมาณ 0.232 นาโนเมตร และข้างในมีขนาด ประมาณ 0.274 นาโนเมตร ระนาบที่ {111} และระนาบ {110} โครงสร้าง Monoclinic CuO เกิดระนาบของ Nanorods คือ {111} และระนาบ {110} ตามลำดับ



ภาพที่ 1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากตัวอย่างทั้งหมดแสดงเฟส CuO



ภาพที่ 2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากตัวอย่าง A1 (10 mol/L at 24 h), A2 (8 mol/L at 24 h), A3 (6 mol/L at 24 h), B1 (10 mol/L at 21 h) และ B1 (8 mol/L at 21 h)

20kV X3,500 5+m 000000 20kV X3,500 5+m 000000

(ก)

(ข)



(ค)

(१)



ภาพที่ 3 ภาพถ่าย SEM ของสารตัวอย่าง (ก) 10 mol/L at 24 h, (ข) 8 mol/L at 24 h, (ค) 6 mol/L at 24 h, (ง) 10 mol/L at 21 h, และ (ง) 8 mol/L at 21 h.

จากการสังเคราะห์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างเป็นแบบ Nanorods เมื่อนำสาร ตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EDX พบว่า Nanorods ประกอบด้วยธาตุ Cu และ O และเกิดสารประกอบขึ้นคือ CuO ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EDX ที่ได้ตรงกับผลการ วิเคราะห์ด้วย XRD ที่แสดงให้เห็น ว่าโครงสร้าง Nanorods ประกอบไปด้วยเฟสของ CuO ซึ่งมีโครงสร้างแบบ Monoclinic และการวิเคราะห์ด้วย เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer พบว่า การดูดกลืน แสงของ Nanorods มีพีคอยู่ที่ช่วง 328 นาโนเมตร และ เมื่อนำค่ามาคำนวณหา Band Gap มีค่าเท่ากับ 2.47 eV



ภาพที่ 4 การดูดกลืนแสงของ Nanorods ของ CuO

Time	Sensitivity						
(Sec.)	A1	A2	A3	B1	B2		
5	2.231	2.689	2.476	2.543	2.369		
10	2.465	2.988	2.898	2.932	2.561		
15	2.784	3.302	3.291	3.299	2.936		
20	3.085	3.843	3.795	3.82	3.443		
25	3.478	4.421	4.216	4.337	4.054		
30	3.654	4.862	4.463	4.642	4.162		

ตารางที่ 1 การตอบสนองต่อแก๊ส Ethanol ของโครงสร้างนาโน CuO

ตารางที่ 2 การตอบสนองต่อแก๊ส CO ของโครงสร้างนาโน CuO

Time	Sensitivity						
(Sec.)	A1	A2	A3	B1	B2		
5	3.145	3.845	3.047	3.245	3.147		
10	5.653	7.625	4.214	5.625	5.143		
15	7.763	8.763	5.216	6.935	6.216		
20	9.276	9.976	6.441	8.976	6.442		
25	10.314	10.314	10.846	10.154	9.984		
30	12.469	13.869	13.797	19.797	12.697		



ภาพที่ 5 การตอบสนองต่อแก๊ส Ethanol ของโครงสร้างนาโน CuO





นำโครงสร้างนาโนที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาสมบัติการตอบ สนองต่อแก๊สโดยอาศัยกฎของโอห์ม (Ohm's Law) พบว่าการตอบสนองต่อแก๊ส Ethanol ของโครงสร้างนาโน ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล พบว่า CuO มีการตอบ สนองต่อแก๊ส Ethanol ต่ำสุดที่เวลา 5 วินาที คือสาร ตัวอย่างที่สังเคราะห์ ภายใต้อุณหภูมิคงที่ 160 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลต่อลิตร ให้ค่าการตอบสนองเท่ากับ 2.231 และ สูงสุดที่เวลา 30 วินาที คือ สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ ภายใต้อุณหภูมิคงที่ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 โมลต่อลิตร ให้ค่า การตอบสนองเท่ากับ 4.862 และการตอบสนองต่อแก๊ส Ethanol ของโครงสร้างนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเท อร์มอล พบว่า CuO มีการตอบสนองต่อแก๊ส CO ต่ำสุดที่ เวลา 5 วินาที คือสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ ภายใต้อุณหภูมิ คงที่ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้โซเดีย มไฮดรอกไซด์ 10 โมลต่อลิตร ให้ค่าการตอบสนองเท่ากับ 3.145 และสูงสุดที่เวลา 30 วินาที คือสารตัวอย่างที่ สังเคราะห์ ภายใต้อุณหภูมิคงที่ 160 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 21 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลต่อลิตร ให้ค่าการตอบสนองเท่ากับ 19.80

สรุปผลการวิจัย

1. สารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์สามารถเตรียม ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลที่อุณหภูมิ 160 องศา เซลเซียส นาน 21 และ 24 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ SEM พบ ว่าโครงสร้าง Nanorods ที่สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ ภาย ใต้อุณหภูมิคงที่ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลต่อลิตร มีขนาดเส้นผ่าน ศนย์กลางอย่ระหว่าง 100 ถึง 800 นาโนเมตร และมี ความยาวอยู่ระหว่าง 500 นาโนเมตร ถึง 3.5 ไมโครเมตร ที่สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ ภายใต้อุณหภูมิคงที่ 160 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 โมลต่อลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 20 ถึง 500 นาโนเมตร และมีความยาวอยู่ระหว่าง 300 นาโนเมตร ถึง 2.7 ไมโครเมตร ที่สารตัวอย่างที่สังเคราะห์ ภายใต้ ้อุณหภูมิคงที่ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดย ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 โมลต่อลิตร มีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 50 ถึง 800 นาโนเมตร และมีความ ยาวอยู่ระหว่าง 600 นาโนเมตร ถึง 3 ไมโครเมตร ที่สาร ตัวอย่างที่สังเคราะห์ ภายใต้อุณหภูมิคงที่ 160 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 21 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลต่อลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 200 นาโนเมตร ถึง 900 นาโนเมตร และมีความยาวอยู่ระหว่าง 700 นาโนเมตร ถึง 5 ไมโครเมตร และที่สารตัวอย่างที่ สังเคราะห์ ภายใต้อุณหภูมิคงที่ 160 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 21 ชั่วโมง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 โมลต่อ ลิตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 60 ถึง 900 นาโน เมตร และมีความยาวอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5 ไมโครเมตร ทั้งนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากผู้วิจัยได้ใช้วิธีการสังเคราะห์ด้วยวิธี ไฮโดรเทอร์มัล ที่อุณหภูมิที่ต่ำและเวลาค่อนข้างเร็วแต่ก็ สามารถสังเคราะห์ได้วัสดุที่มีโครงสร้างในระดับนาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huiyu Chen (2553: 629-636)

 2. เมื่อนำวัสดุที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์ด้วย เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ XRD พบว่าโครงสร้าง Nanorods ประกอบด้วย 2 ระนาบที่ขนานกันในแนวขวาง ซึ่งเป็นผลึกเดี่ยวระยะห่างระหว่างระนาบของข้างนอก ประมาณ 0.232 นาโนเมตร และข้างในมีขนาดประมาณ 0.274 นาโนเมตร ระนาบที่ {111} และระนาบ {110} โครงสร้าง Monoclinic CuO เกิดระนาบของ Nanorods คือ {111} และระนาบ {110} ตามลำดับเมื่อนำมาเปรียบ เทียบฐานข้อมูล พบว่า พีคที่เกิดขึ้นในสารตัวอย่างได้ตรง กับฐานข้อมูล The Joint Committee for Powder Diffeaction Standards (JCPDS) หมายเลข 74-1021 ซึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยปริศฑนุช เกษียร (2552) จากการ สังเคราะห์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มัล ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างเป็นแบบ Nanorods เมื่อนำสาร ตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EDX พบว่า Nanorods ประกอบด้วยธาตุ Cu และ O และเกิดสารประกอบขึ้นคือ CuO ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EDX ที่ได้ตรงกับผลการ วิเคราะห์ด้วย XRD ที่แสดงให้เห็นว่าโครงสร้าง Nanorods ประกอบไปด้วยเฟสของ CuO ซึ่งมีโครงสร้างแบบ Monoclinic และการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer พบว่า การดูดกลื่นแสงของ Nanorods มีพีคอยู่ที่ช่วง 328 นาโนเมตร และเมื่อนำค่า มาคำนวณหา band eap มีค่าเท่ากับ 2.47 eV ซึ่งเป็นค่า น้อยกว่าที่รายงานไว้ของ CuO ของงานวิจัย Wei XH และ Wang LQ (2553: 445-448) ซึ่งมีค่าเท่ากับ Eg = 2.60 eV

 3. เมื่อนำโครงสร้างนาโนที่สังเคราะห์ได้มาศึกษา สมบัติการตอบสนองต่อแก๊สโดยอาศัยกฎของโอห์ม (Ohm's Law) พบว่าการตอบสนองต่อแก๊ส Ethanol ของ โครงสร้างนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัล พบว่า CuO มีการตอบสนองต่อแก๊ส Ethanol และ CO สุงสุดที่ เวลา 30 วินาที คือ 4.86 และ 19.80 จากผลการศึกษา สมสมบัติการตอบสนองต่อแก๊สจะสังเกตเห็นว่าเวลาที่ใช้ใน การปล่อยแก๊สเข้าไปในระบบมีผลต่อค่าการตอบสนองของ โครงสร้างนาโนต่อแก๊ส ผลจากการศึกษาพบว่ามีลักษณะ แนวโน้มสอดคล้องกับรายงานของ ปริศฑนุช เกษียร (2552) และโครงสร้าง Nanorods มีการตอบสนองต่อแก๊ส Ethanol และ CO

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากผู้วิจัยได้ศึกษาสมบัติการตอบสนอง ต่อแก๊สของโครงสร้างนาโน CuO โดยได้จัดทำเครื่องมือวัด ขึ้นมาเอง ข้อมูลที่ได้จากการทดลองอาจมีความคลาด เคลื่อน ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นสามารถศึกษาได้เฉพาะ แนวโน้มของการตอบสนองต่อแก๊สเท่านั้นซึ่งควรมีการใช้ เครื่องมือวัดที่มีความถูกต้องและแม่นยำ เพื่อการนำไปใช้ ประโยชน์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือและความ ช่วยเหลือจากหลายท่าน ผู้ที่มีพระคุณท่านแรกที่ผู้วิจัยขอ ขอบพระคณอย่างยิ่งคือ อาจารย์ ดร.วัชรินกร เมฆลา ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งได้ให้คำแนะนำตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบรณ์ที่สด พร้อมชี้แนวทางการวิจัยตลอดมา ท่านต่อมาคือ ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร.รักชาติ ท่าโพธิ์ กรรมการที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาพร ตังควนิช ้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ เสนอข้อคิดที่เป็นประโยชน์ และช่วยตรวจแก้ไขโดยละเอียดจนถูกต้องสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความ สามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ สถาบันส่ง เสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้งบประมาณ สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้คุณค่าและประโยชน์ของงานวิจัย เล่มนี้ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่ ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้กับผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐพันธุ์ ศุภกา. **ไขปริศนา นาโนเทคโนโลยี, นาโนเทค โนโลยี.** http://www.vcharkan.com/ varticle/324. กรกฎาคม, 2555.
- ดุสิต เครืองาม. **โซลิดสเตดฟิสิกส์.** กรุงเทพมหานคร: เอช-เอน การพิมพ์, 2535.
- นวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้, สถาบัน, เครื่องมือวิทยาศาสตร์. กรุงเทพา: มหาวิทยาลัยมหิดล, 2551.
- บัญชา ธนบุญสมบัติ. การศึกษาวัสดุโดยเทคนิคดิฟ แฟรกชัน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. 2544.
- ปริศฑนุช เกษียร. การสังเคราะห์โครงสร้างนาโน คอปเปอร์ออกไซด์โดยวิธีทางความร้อน. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี, 2552.
- วชิรพันธุ์ พันธุ์กระวี. การเตรียมและการพิสูจน์ เอกลักษณ์ ของอนุภาคทินไดออกไซด์ ระดับนาโนเมตรและการประยุกต์ใช้เป็นตัว ตรวจวัดแก๊ส. วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชา เคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551.

- ศุภกร ภุ่เกิด. วัสดุนาโน (Nanomaterial) ประโยชน์ และผลกระทบ. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี. 8(1): มกราคม- เมษายน, 2549.
- อนุกร ภู่เรืองรัตน์. **การสังเคราะห์ลิเทียมนิเกิลวาเนเดต ลิเทียมนิเกิลโคบอลต์วาเนเดตและนิเกิล โคบอลต์วาเนเดต.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2550.
- Zhu HT, Liu SQ, Xu L, and Zhang CY. **Preparation,** characterization and thermal properties of nanofluids. In Leading Edge Nanotechnology Research Developments. Edited by: Sabatini DM. New York: NOVA Science Publisher; 2008: 5-38.
- Qi Liu, Yongye Liang, Hongjiang Liu, Jianming Hongc, and Zheng Xub. **Solution phase synthesisof CuOnanorods.** Materials Chemistry and Physics 98(2006): 519–522.
- Huiyu Chen, Jong-Hak Lee, Yu-Hee Kim, Dong Wook Shin, Sang-Cheol Park, XianhuiMeng, and Ji-Beom Yoo. Metallic Copper Nano structures Synthesized by a Facile Hydrothermal Method. Journal of Nanoscience and Nanotechnology Vol. 10(2010): 629–636.
- Zhang Y X, Jiang W, Wang L Q. Microfluidic synthesis of coppernanofluids. Microfluid Nanofluid 9(2010): 727-735.
- Wei X H, and Wang L Q. Microfluidic method for synthesizing Cu2O nanofluids. J Thermophys Heat Transfer 24(2010): 445-448.