

การตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ของท่อนาโนคาร์บอนที่มีปริมาณที่ แตกต่างกัน

Nitrogen Dioxide Gas Detection of Carbon Nanotubes with Different Quantity

วรวิทย์ เมืองรัตน์^{1*} วิชัลลดา อุ่นสะอาด¹ ธนัญญา ชอบศิลป์² และ เอกพล แก้วนาม³

Worawut Muangrat^{1*} Wichaladda Aunsaard¹ Thanattha Chobsilp² and Eakapon Kaewnuam³

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของปริมาณท่อนาโนคาร์บอนที่มีผลต่อการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ท่อนาโนคาร์บอนถูกสังเคราะห์ด้วยวิธีการเคลือบไอระเหยทางเคมีด้วยความร้อน โดยใช้นิกเกิลและอะเซทิลีน เป็น โลหะคะตะลิสต์และแหล่งกำเนิดคาร์บอนตามลำดับท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะทางโครงสร้างแบบท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น ท่อนาโนคาร์บอนถูกนำไปใช้ตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงความเข้มข้น 200-1300 ppm ที่อุณหภูมิห้อง จากผลการวิจัยพบว่าความต้านทานทางไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ท่อนาโนคาร์บอนมีค่าการตอบสนองที่สูงและไวต่อแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งการตอบสนองการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับแก๊สของท่อนาโนคาร์บอน

คำสำคัญ: ท่อนาโนคาร์บอน, การเคลือบไอระเหยทางเคมี, แก๊สเซ็นเซอร์, แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000

¹ Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Muang, Chantaburi 22000, Thailand.

² กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนศรียานุสรณ์ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000

² Science Learning Group, Sriyanusorn School, Muang, Chantaburi 22000, Thailand.

³ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150

³ Department of General Science, Faculty of Science and Technology, Muban Chombueng Rajabhat University, Chombueng, Ratchaburi 70150, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน (Corresponding author, e-mail): worawut_muangrat@yahoo.com Tel: 08 7580 2804

ABSTRACT

The purpose of this research was to study on the effect of quantity of carbon nanotubes (CNTs) on nitrogen dioxide gas (NO₂) detection. CNTs were synthesized by thermal chemical vapor deposition (CVD) using nickel and acetylene as metal catalyst and carbon source, respectively. Synthesized CNTs showed multi-walled carbon nanotubes (MWNTs) structure. CNTs were detected with NO₂ concentrations in the range of 200-1300 ppm at room temperature. The results show that the resistance of CNTs was decreased with increase of NO₂ gas concentration. CNTs showed high and rapid response to the NO₂ gas. We suggest that the response to NO₂ gas depends on the absorbent surface area of CNTs.

Key words: carbon nanotubes, chemical vapor deposition, gas sensor, nitrogen dioxide gas

บทนำ

ปัจจุบันมลภาวะทางอากาศที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมทั้งในรูปของฝุ่นละอองและแก๊ส ส่วนใหญ่เกิดจากการปล่อยของเสียจากยานยนต์ออกสู่สิ่งแวดล้อม สาเหตุเนื่องมาจากการคมนาคมทั้งในส่วนของการเดินทางและการขนส่งเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดผลเสียต่างๆ ตามมา ส่งผลกระทบต่อ การดำรงชีวิตของมนุษย์ อาทิเช่น ปัญหาทางด้านสุขภาพอนามัย ดังนั้นการติดตามและเฝ้าระวังมลภาวะทางอากาศจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง โดยแก๊สส่วนใหญ่ที่พบตามท้องถนนทั่วไป ได้แก่ แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สพิษที่ ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ (Elsayed, 1994) มีฤทธิ์เป็นกรดหากสัมผัสทางการหายใจมีผลทำให้ ระคายเคืองอย่างรุนแรงต่อระบบทางเดินหายใจ รวมทั้งระคายเคืองต่อตาและคอ ฯลฯ เพื่อเป็นการ ระวังและป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจึงจำเป็น จะต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถใช้ตรวจวัดแก๊ส ไนโตรเจนไดออกไซด์ในสถานที่ต่างๆ เพื่อให้ทราบ ปริมาณของแก๊สดังกล่าวการศึกษาและพัฒนาวัสดุที่ นำมาใช้ผลิตเป็นแก๊สเซ็นเซอร์ (Gas sensor) จึงมี ความจำเป็นในยุคปัจจุบันเป็นอย่างยิ่ง แก๊สเซ็นเซอร์

ที่ดีควรมีขนาดเล็ก มีความไวและการตอบสนองที่สูง สามารถเชื่อถือได้ ที่สำคัญควรมีราคาไม่แพง จาก ผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการพัฒนาวัสดุจำพวก โลหะออกไซด์มาใช้ในระบบเฝ้าระวังมลพิษทาง อากาศ (Huang and Wan, 2009) อย่างไรก็ตาม วัสดุ จำพวกนี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เฉพาะในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเท่านั้น (>200 องศาเซลเซียส) ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นอุปสรรคสำคัญใน การนำโลหะออกไซด์มาใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ อยู่ในระดับอุณหภูมิห้อง

ท่อนาโนคาร์บอน (Iijima, 1991) นับเป็นวัสดุ อีกชนิดหนึ่งที่มีความสนใจในปัจจุบันเนื่องจากมี สมบัติพิเศษต่างๆ อาทิเช่น สมบัติเชิงกล ทางความร้อน และอิเล็กทรอนิกส์ (Dresselhaus *et al.*, 2004) จากสมบัติดังกล่าวจึงได้มีการนำท่อนาโนคาร์บอน ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ อย่าง กว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำท่อนาโน คาร์บอนไปประยุกต์ใช้เป็นแก๊สเซ็นเซอร์ เนื่องจากการมีสมบัติที่ดี ทั้งมีขนาดเล็ก พื้นผิวที่สูง สามารถ ดูดซับโมเลกุลของแก๊สได้เป็นอย่างดี มีความไวและ การตอบสนองทางไฟฟ้าที่สูง และสามารถทำงานได้

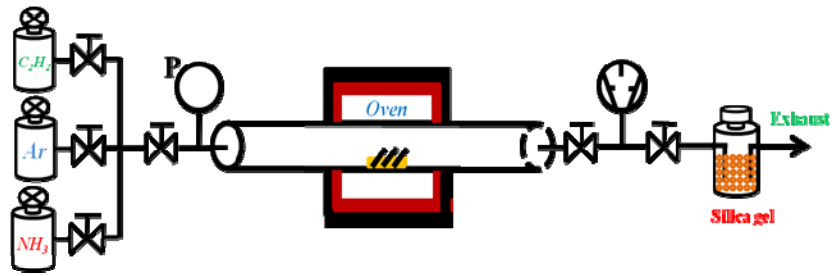
ดีทั้งที่สภาวะอุณหภูมิห้องและในช่วงอุณหภูมิสูง จากผลการวิจัยก่อนหน้านี้พบว่ามีการศึกษาการนำท่อนาโนคาร์บอนไปใช้ตรวจวัดแก๊สชนิดต่างๆอย่างกว้างขวาง (Ong *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2004; Huang *et al.*, 2008; Faizah, 2009) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้ตรวจวัดแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์ (Valentini *et al.*, 2003; Ueda *et al.*, 2008; Jeong *et al.*, 2010) อย่างไรก็ตามการศึกษาในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของปริมาณท่อนาโนคาร์บอนที่

มีผลต่อการตรวจวัดแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์นั้น ยังไม่ได้รับการพิจารณาเท่าใดนัก งานวิจัยนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีการเคลือบไอระเหยทางเคมีด้วยความร้อนและนำท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบตรวจวัดการตอบสนองแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงความเข้มข้น 200-1300 ppm ที่อุณหภูมิห้องเพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณท่อนาโนคาร์บอนที่มีต่อการตรวจวัดแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์

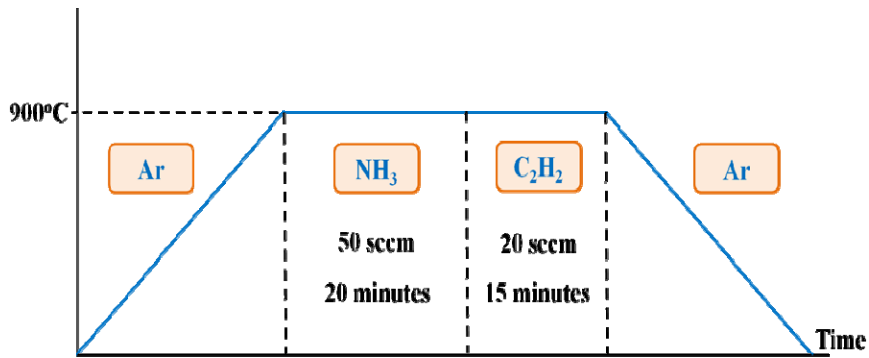
วิธีดำเนินการวิจัย

นำแผ่นซิลิคอนชนิดพี ระบาย (100) ไปทำความสะอาดด้วยอะซิโตนโดยเครื่องสั่นอุลตราโซนิคและน้ำปราศจากไอออนตามลำดับแผ่นซิลิคอนที่เตรียมได้ถูกนำไปใช้เป็นแผ่นวัสดุรองรับในการเคลือบฟิล์มบางนิกเกิลที่มีความหนา 20 นาโนเมตรด้วยวิธีดีซี-สปีดเตอริง (dc-sputtering) จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวางที่บริเวณกึ่งกลางของทอสแตนเลสในระบบการเคลือบไอระเหยทางเคมีด้วยความร้อน (ภาพที่ 1 (ก)) สำหรับการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนนั้น เริ่มต้นจากการเปิดแก๊สอาร์กอนเข้าสู่ระบบด้วยอัตราการไหล 500 sccm (Standard Cubic Centimeters per Minute, sccm) เพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์ของตัวอย่างเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในระบบให้สูงขึ้น จากนั้นให้ความร้อนกับระบบจนถึงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสปล่อยแก๊สแอมโมเนียด้วยอัตราการไหล 50 sccm เป็นเวลา 20 นาทีเพื่อทำ

หน้าที่กำจัดออกไซด์บนฟิล์มนิกเกิลและทำการกัด (Etching) ฟิล์มบางนิกเกิลให้กลายเป็นอนุภาคนิกเกิลต่อจากนั้นทำการปล่อยแก๊สอะเซทีลีนที่อัตราการไหล 20 sccm เป็นเวลา 15 นาที เพื่อทำการปลูกท่อนาโนคาร์บอนตามด้วยการลดอุณหภูมิของระบบลงสู่อุณหภูมิห้องพร้อมกับปล่อยแก๊สอาร์กอนด้วยอัตราการไหล 500 sccm สู่ระบบขณะที่อุณหภูมิลดลงโดยขั้นตอนทั้งหมดของกระบวนการสังเคราะห์ แสดงในภาพที่ 1 (ข) ท่อนาโนคาร์บอนที่เตรียมได้ จะถูกนำไปวิเคราะห์โครงสร้างสัณฐานวิทยา และความสมบูรณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) (LEO, LEO 1450 VP) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy; TEM) (JEOL, JEM-2100) และเครื่องรามานสเปกโทรสโกปี (Renishaw, inVia Raman microscope) ตามลำดับ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) ระบบการเคลื่อนไอระเหยทางเคมีด้วยความร้อน (ข) ขั้นตอนการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน

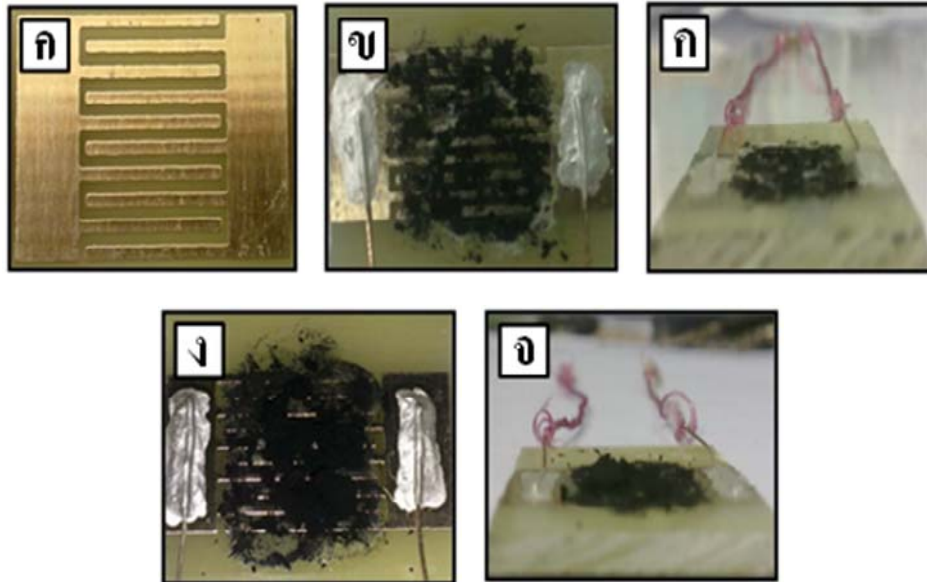
ท่อนาโนคาร์บอนที่เตรียมได้จะถูกนำไปผสมกับเอทานอลและทาลงบนแผ่นลายวงจรถอง (ภาพที่ 2 (ก)) ในปริมาณที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.01 และ 0.10 กรัม โดยเรียกเป็นเซินเซอร์ 1 และเซินเซอร์ 2 ตามลำดับ (ภาพที่ 2 (ข)-(จ)) เซินเซอร์ที่เตรียมได้จะถูกนำไปทดสอบตรวจวัดแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงความเข้มข้น 200-1300 ppm ที่อุณหภูมิห้องเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนด้วยเครื่องจ่าย-วัดกระแสไฟฟ้า (Keithley, 2004) เริ่มต้นด้วยการปล่อยแก๊สอาร์กอนด้วยอัตราการไหล 500 sccm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อทำการปรับสภาพภายในระบบทดสอบแก๊สเซินเซอร์

(ภาพที่ 3) ก่อนทำการตรวจวัดแก๊ส จากนั้นปล่อยแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์เข้าสู่ภายในระบบเป็นเวลา 10 นาที ในแต่ละความเข้มข้น และทำการปล่อยแก๊สอาร์กอนด้วยอัตราการไหล 500 sccm เป็นเวลา 10 นาที หลังจากปล่อยแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์ทุกครั้งเพื่อกำจัดแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์ในระบบก่อนทำการปล่อยแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นถัดไปการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของการตรวจวัดแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์พิจารณาได้จากค่าการตอบสนองตาม (Response) ตามสมการ (1)

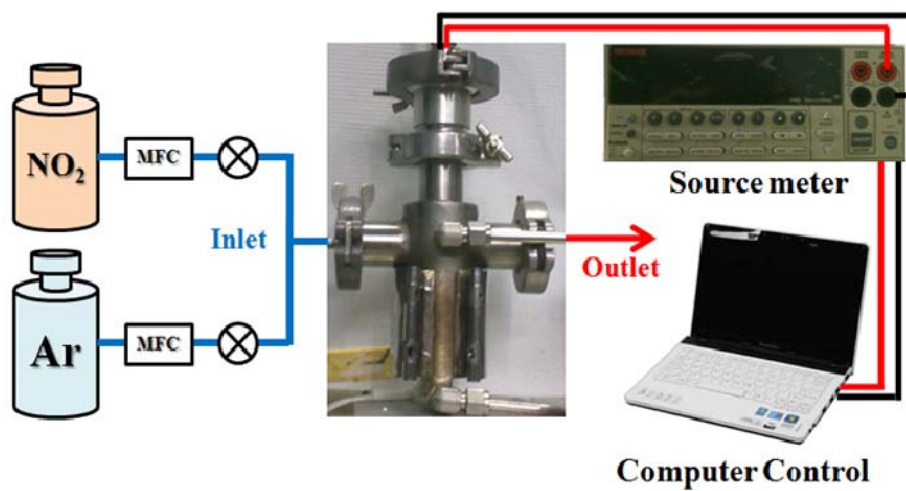
$$Response = \frac{|R_{NO_2} - R_{Ar}|}{R_{Ar}} \times 100 \quad \text{-----(1)}$$

โดยที่ R_{NO_2} คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของ
ท่อนาโนคาร์บอนขณะปล่อยแก๊สไนโตรเจนได
ออกไซด์ และ R_{Ar} คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของ

ท่อนาโนคาร์บอนเริ่มต้นภายใต้บรรยากาศแก๊ส
อาร์ก่อนก่อนการปล่อยแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์



ภาพที่ 2 แสดงภาพ (ก) แผ่นลายวงจรถอง (ข) ด้านบนของเซ็นเซอร์ 1
(ค) ตัดขวางของเซ็นเซอร์ 1 (ง) ด้านบนเซ็นเซอร์ 2 (จ) ตัดขวางเซ็นเซอร์ 2

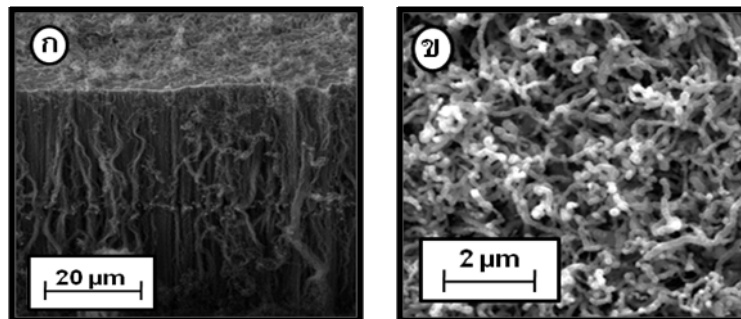


ภาพที่ 3 ระบบการทดสอบแก๊สเซ็นเซอร์ของท่อนาโนคาร์บอน

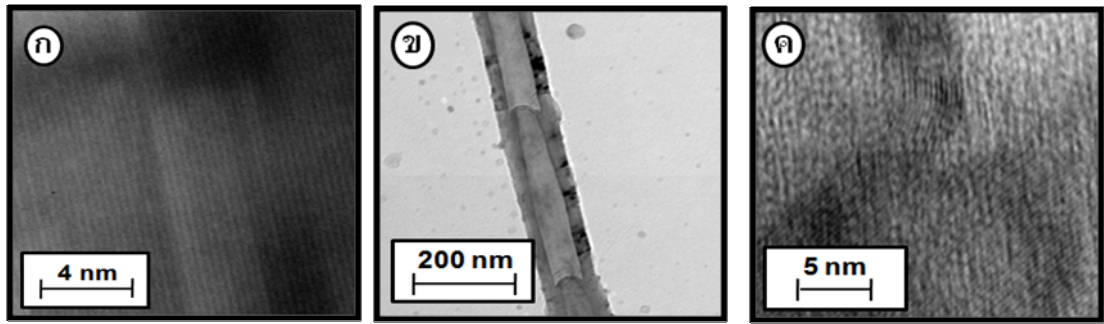
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นว่าท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้บนแผ่นซิลิคอน มีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีรูปแบบการจัดเรียงตัวอยู่ในแนวตั้งตรงกับแผ่นซิลิคอน (ภาพที่ 4) สาเหตุที่ท่อนาโนคาร์บอนมีรูปแบบการจัดเรียงตัวในลักษณะดังกล่าวเนื่องจากอนุภาคนิกเกิล (ที่เกิดจากการกัดผิวหน้าฟิล์มนิกเกิลด้วยแก๊สแอมโมเนีย) มีความหนาแน่นที่เหมาะสม ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนที่ก่อตัวขึ้นแต่ละท่อเกิดการบิดขวางและเกิดแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) ระหว่างกันขึ้นเมื่อทำการสังเกตค่าความยาวเฉลี่ยของท่อนาโนคาร์บอนพบว่ามีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 48.6 ไมโครเมตรขณะที่การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านแสดงให้เห็นว่าท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้มีค่าเฉลี่ย

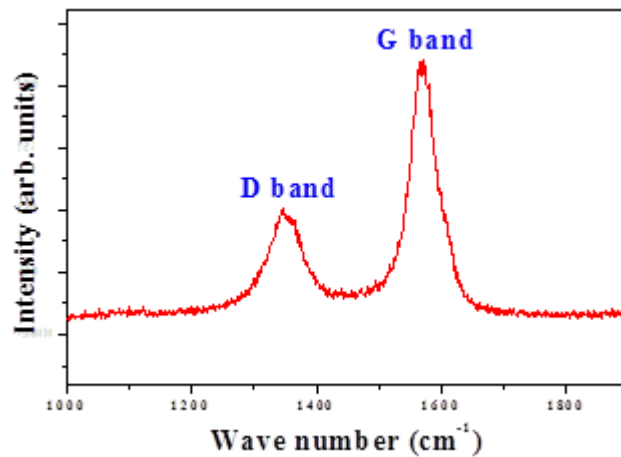
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนาโนคาร์บอนมีค่าเท่ากับ 99.8 นาโนเมตร ผนังท่อที่มีความเป็นระเบียบและพบว่าท่อที่มีลักษณะเป็นท่อแบบผนังหลายชั้นแบบรูปร่างต้นไม้ (ภาพที่ 5 (ข)) ลักษณะทางโครงสร้างดังกล่าวเป็นผลมาจาก แก๊สอะเซทิลีนเมื่อเกิดการแตกตัวและตกแปรลงบนอนุภาคนิกเกิล ทำให้เกิดชั้นกราฟีน (Graphene) ซึ่งจะก่อตัวกลายเป็นผนังของท่อนาโนคาร์บอน และในขณะที่กำลังก่อตัวเป็นผนังของท่อนาโนคาร์บอนอยู่นั้น มีคาร์บอนบางส่วนได้แพร่กระจายตัวเข้าไปภายในอนุภาคนิกเกิล เกิดการรวมตัวกันและดันตัวขึ้นไปอยู่ด้านบนทำให้เกิดเป็นผนังซ้อนด้านในอีกชั้นหนึ่ง และเกิดลักษณะแบบนี้อย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ เป็นผลทำให้เกิดท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นรูปร่างแบบต้นไม้ (Lee and Park, 2001)



ภาพที่ 4 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของท่อนาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ลงบนแผ่นซิลิคอน (ก) ภาคตัดขวาง และ (ข) พื้นผิวด้านบน



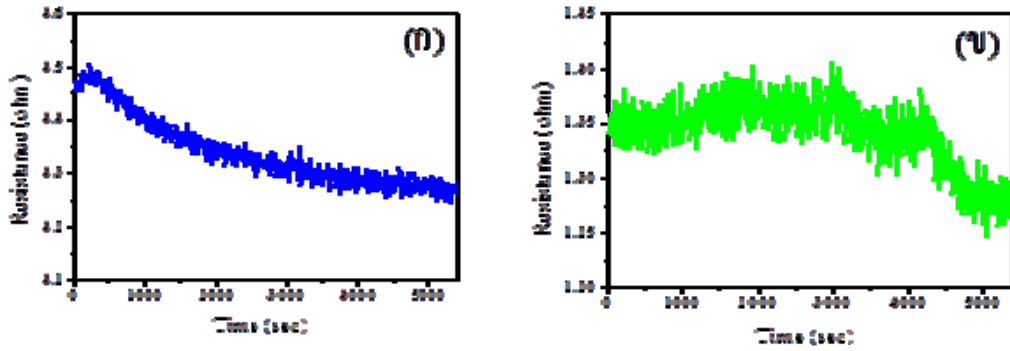
ภาพที่ 5 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของ
(ก) บริเวณผนังท่อนาโนคาร์บอน (ข) ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นรูปร่างแบบดัดโค้ง
(ค) รอยต่อของชั้นกราฟีนในท่อนาโนคาร์บอนรูปร่างแบบดัดโค้ง



ภาพที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการตอบสนองทางไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 และ 2
ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงความเข้มข้น 200-1300 ppm

การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของท่อนาโนคาร์บอนถูกตรวจสอบด้วยเทคนิคของรามานสเปกโทรสโกปี จากการวิเคราะห์พบว่าท่อนาโนคาร์บอนเกิดพีคของ G แบนด์ ที่บริเวณตำแหน่ง 1578 cm^{-1} ซึ่งพีคดังกล่าวแสดงลักษณะโครงสร้างชั้นกราฟีนของท่อนาโนคาร์บอนและเกิดพีค D แบนด์ ที่บริเวณตำแหน่ง 1353 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงลักษณะความไม่เป็น

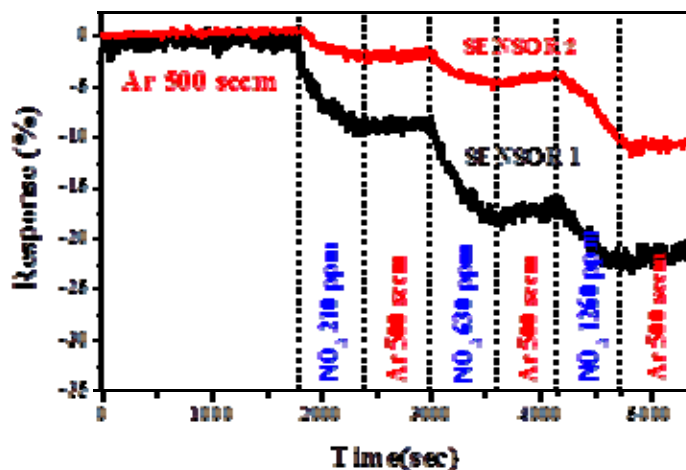
ระเบียบของอะตอมคาร์บอนในชั้นกราฟีนหรือความบกพร่องของโครงสร้างในชั้นกราฟีน (ภาพที่ 6) โดยค่าความสมบูรณ์ของท่อนาโนคาร์บอนหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความเข้มของพีค I(G) และ I(D) พบว่าค่า I(G)/I(D) ของท่อนาโนคาร์บอนมีค่าเท่ากับ 2.31



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า (ก) เซ็นเซอร์ 1 (ข) เซ็นเซอร์ 2 เทียบกับฟังก์ชันของอุณหภูมิ

ผลการศึกษาค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของ เซ็นเซอร์ 1 และ 2 เทียบกับฟังก์ชันของอุณหภูมิ (ภาพที่ 7) โดยเริ่มต้นวัดจากที่สภาวะอุณหภูมิห้อง พบว่า เซ็นเซอร์ 1 และเซ็นเซอร์ 2 มีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากับ 4.46 และ 1.35 โอห์ม ตามลำดับ จากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิจนกระทั่งถึง 150 องศาเซลเซียส พบว่าเซ็นเซอร์ 1 และเซ็นเซอร์ 2 มีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าลดลงเป็น 4.28 และ

1.28 โอห์ม ตามลำดับ จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าท่อนาโนคาร์บอนมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากความร้อนทำให้อิเล็กตรอนบางส่วนจากแถบวาเลนซ์ (Valence band) เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในแถบนำไฟฟ้า (Conduction band) ได้ ทำให้เซ็นเซอร์ 1 และ เซ็นเซอร์ 2 สามารถนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นสมบัติของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)



ภาพที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการตอบสนองทางไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 และ 2 ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงความเข้มข้น 200-1300 ppm

ผลการทดสอบของเซ็นเซอร์ 1 และเซ็นเซอร์ 2 ในการตรวจวัดการตอบสนองแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงความเข้มข้น 200-1300 ppm ที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 8) พบว่าท่อนาโนคาร์บอนมีความต้านทานไฟฟ้าลดลงสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของโมเลกุลแก๊สที่เพิ่มขึ้น และเมื่อทำการปล่อยแก๊สอาร์กอนเข้าไปในระบบ เพื่อไล่โมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ออกจากพื้นผิวของท่อนาโนคาร์บอนพบว่าแก๊สอาร์กอนทำให้โมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์หลุดออกจากพื้นผิวได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น สืบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยขณะทำการปล่อยแก๊สอาร์กอน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์นั้นสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวของท่อนาโนคาร์บอนได้เป็นอย่างดี เกิดการดูดซับเชิงเคมี (Chemisorption) ซึ่งการดูดซับดังกล่าวมีการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์กับท่อนาโนคาร์บอน มีค่าพลังงานการยึดเหนี่ยวระหว่างกันที่สูง

ใน ส่วน ของ การ เปลี่ยนแปลงค่าการตอบสนองของท่อนาโนคาร์บอนนั้น เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอนไปยัง

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีการเคลือบไอระเหยทางเคมีด้วยความร้อน ท่อนาโนคาร์บอนที่เตรียมได้ถูกนำไปทดสอบตรวจวัดการตอบสนองแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงความเข้มข้น 200-1300 ppm ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณท่อนาโนคาร์บอนที่มีผลต่อการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ จากผลการทดลองพบว่าเซ็นเซอร์ 1 (CNTs 0.01 กรัม) และเซ็นเซอร์ 2 (CNTs 0.10 กรัม) มีค่าการตอบสนองต่อการตรวจวัดแก๊สเท่ากับ 22.70%

แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ทำให้ความหนาแน่นโฮล (Hole density) ของท่อนาโนคาร์บอนมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ท่อนาโนคาร์บอนมีค่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง และท่อนาโนคาร์บอนมีสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type semiconductor) เมื่อพิจารณาค่าการตอบสนองของเซ็นเซอร์ 1 และ 2 พบว่ามีค่าการตอบสนองการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์เท่ากับ 22.70% และ 10.22% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเซ็นเซอร์ 1 นั้น มีค่าการตอบสนองการตรวจวัดแก๊สที่สูงกว่าเซ็นเซอร์ 2 สำหรับสาเหตุดังกล่าวทางคณะผู้วิจัยได้เสนอแนวคิดว่าเกิดจากอิทธิพลของการกระจายตัวของท่อนาโนคาร์บอนบนแผ่นลายวงจรทอง หากพิจารณาปริมาณท่อนาโนคาร์บอนของเซ็นเซอร์ 1 และ 2 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.01 และ 0.10 กรัม ตามลำดับการที่เซ็นเซอร์ 1 มีปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนน้อยกว่าเซ็นเซอร์ 2 ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนบนเซ็นเซอร์ 1 มีการกระจายตัวที่ดีกว่า ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสำหรับดูดซับโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์และตอบสนองต่อแก๊สได้มากกว่าเซ็นเซอร์ 2 แม้ว่าจะมีปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนที่น้อยกว่าก็ตาม

และ 10.22% ตามลำดับ การที่เซ็นเซอร์ 1 และ 2 มีการตอบสนองต่อการตรวจวัดแก๊สที่แตกต่างกัน มีสาเหตุมาจากอิทธิพลของปริมาณท่อนาโนคาร์บอนบนเซ็นเซอร์ทั้งสอง โดยเซ็นเซอร์ 1 มีปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนน้อยกว่าเซ็นเซอร์ 2 ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนบนเซ็นเซอร์ 1 มีการกระจายตัวที่ดีกว่า ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสำหรับดูดซับโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ได้มากกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนมีผลต่อการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากคณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ
รำไพพรรณี และสำนักงานคณะกรรมการวิจัย
แห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

- Dresselhaus, M.S., Dresselhaus, G., Charlier, J.C.
and Hernandez, E. 2004. Electronic,
thermal and mechanical properties of carbon
nanotubes. **Philosophical Transactions of
the Royal Society of London A** 362: 2065-
2098.
- Elsayed, N.M. 1994. Toxicity of nitrogendioxide:
an introduction. **Toxicology** 89(3): 161-
174.
- Faizah, M.Y. 2009. Room temperature multi gas
detection using carbon nanotubes.
European Journal of Scientific Research
35(1): 142-149.
- Iijima, S. 1991. Helical microtubules of graphitic
carbon. **Nature** 354: 56-58.
- Jeong, H.Y., Lee, D.S., Choi, H.K., Lee, D.H., Kim,
J.E., Lee, J.Y., Lee, W.J., Kim, S.O. and
Choi, S.Y. 2010. Flexible room-temperature
NO₂ gas sensors based on carbon
nanotubes/reduced grapheme hybrid films.
Applied Physics Letters 96(21): 213105-1-
213105-3.
- Huang, C.S., Yeh, C.Y., Yuan, C.H., Huang, B.H.
and Hsiao, C.H. 2008. The study of a
carbon nanotube O₂ sensor by field emission
treatment. **Diamond and Related Materials**
18: 461-464.
- Huang, J. and Wan, Q. 2009. Gas sensors based on
semiconducting metal oxide one-dimensional
nanostructures. **Sensors** 9(12): 9903-9924.
- Lee, C.J. and Park, J. 2001. Growth model for
bamboolike structured carbon nanotubes
synthesized using thermal chemical vapor
deposition. **The Journal of Physical
Chemistry B** 105: 2365-2368.
- Ong, K.G., Zeng, K. and Grimes, C.A. 2002. A
wireless, passive carbon nanotube-based gas
sensor. **IEEE Sensors Journal** 2: 82-88.
- Ueda, T., Katsuki, S., Takahashi, K., Narges, H.A.,
Ikegami, T. and Mitsugi, F. 2008.
Fabrication and characterization of carbon
nanotube based high sensitive gas sensors
operable at room temperature. **Diamond
and Related Materials** 17: 1586-1589.
- Valentini, L., Armentano, I., Kenny, J.M., Cantalini,
C., Lozzi, L. and Santucci, S. 2003. Sensors
for sub-ppm NO₂ gas detection based on
carbon nanotube thin films. **Applied
Physics Letters** 82(6): 961-963.
- Wang, S.G., Zhang, Q., Yang, D.J., Sellin, P.J. and
Zhong, G.F. 2004. Multi-walled carbon
nanotube-based gas sensors for NH₃
detection. **Diamond and Related
Materials** 13: 1327-1332.