บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ผลของตัวเจืออินเดียมปริมาณร้อยละ 0.2—1 โดยน้ำหนัก และผลการโหลดกราฟีนปริมาณร้อยละ 0.1—5 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นต่างๆในอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์โดยวิธีเฟลมสเปรยไพโรลิซิสต่อคุณสมบัติการตรวจวัดไอเอทานอลที่ได้รับการทดสอบอย่างเป็นระบบ อนุภาคนาโนทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียมและคอมโพสิตกับกราฟีนที่เตรียมโดยวิธีการลอกผิวด้วยไฟฟ้าเคมีถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เพื่อแสดงลักษณะโครงสร้าง ขนาดอนุภาคขนาดนาโน การกระเจิงแบบรามานและสเปกโทรสโกปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์ ที่สามารถให้ข้อมูลสมบัติทางเคมีที่ระดับผิวของวัสดุนาโน ชนิดและจำนวนธาตุองค์ประกอบ และสถานะออกซิเดชันของอะตอม ผลจากการนำฟิล์มตอบสนองทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียมและคอมโพสิตกับกราฟีนไปประยุกต์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดสภาวะแวดล้อมซึ่งจะเน้นในส่วนของไอเอทานอล ภายใต้อุณหภูมิการทดสอบระหว่าง 150—350 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นแก๊สตั้งแต่ 50—1,000 ppm ซึ่งจะทำการสรุปผลดังต่อไปนี้

5.1 คุณสมบัติอนุภาคนาโนก่อนและหลังทดสอบแก๊ส

รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของทินไดออกไซด์ทั้งก่อนและหลังทดสอบแก๊ส ซึ่งตรงกับข้อมูล JCPDS หมายเลข 77—0447 และ ไม่พบเฟสของอินเดียม เนื่องปริมาณที่เจือน้อยเกินไปจึงไม่สามารถตรวจสอบจากการการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ การเจือด้วยอินเดียมในโครงสร้างนาโน ทินไดออกไซด์ลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์ มีสัณฐานวิทยาแบบทรงกลม มีความเป็นพหุผลึก มีการกระจายตัวดี ทินไดออกไซด์พบเฟสเตตระโกนอล อนุภาคที่วิเคราะห์ได้บางตำแหน่งมีลักษณะเป็นทรงกลม เป็นลักษณะที่เป็น 4 เหลี่ยม และ 6 เหลี่ยม อย่างชัดเจน ขนาดเฉลี่ยเล็กถึง 5—10 นาโนเมตรและอินเดียมได้รับการยืนยันในรูปแบบสารละลายของแข็งในโครงผลึกทินไดออกไซด์ทั้งก่อนและหลังทดสอบแก๊สโครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลง พบปริมาณของไอออน In^{o} มากกว่า In^{3+} ในขณะที่ฟิล์มตอบสนอง กราฟีนหลังจากการอบอ่อนและการทดสอบแก๊สยังคงมีโครงสร้างผนังหลายชั้น ที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ฟิล์มตอบสนองมีความหนาประมาณ 20—30 ไมโครเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.2 คุณสมบัติการตรวจจับแก๊ส

ในการประยุกต์ใช้งานของวัสดุนาโนในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติการตอบสนองของตัวรับรู้ต่อแก๊สภาวะแวดล้อมหลายชนิดทั้งแก๊สพิษเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (0.1—10 ppm) แก๊สจากลมหายใจเช่น เอทานอล (50—1,000 ppm) และแก๊สติดไฟได้ เช่น แก๊สมีเทน (ร้อยละ0.15—3 โดยปริมาตร) จะมุ่งเน้นในส่วนการทดสอบไอเอทานอล โดยได้ทำการเตรียมตัวรับรู้ ภายหลังจากการวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์บริสุทธิ์และเจือด้วยโลหะอินเดียมในปริมาณร้อยละ 0.2—1 โดยน้ำหนัก การตรวจวัดแก๊สแสดงให้เห็นว่า ฟิล์มตอบสนองทินไดออกไซด์ที่มีการเจือด้วยอินเดียมร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก แสดงการตอบสนองดีที่สุดต่อไอเอทานอลคือ 110 และระยะเวลาการตอบสนองที่สั้นประมาณ 2 วินาทีที่ความเข้มข้นไอเอทานอล 1,000 ppm ที่อุณหภูมิในการทำงานที่ดีที่สุดคือ 300 องศาเซลเซียส ส่วนแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียมในปริมาณร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก มีค่าการตอบสนองสูงที่สุดประมาณ 92.78 ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีเวลาในการตอบสนองประมาณ 9.19 วินาที เวลาในการคืนกลับสู่สภาพเดิมค่อนข้างนานประมาณ 18—20 นาที แก๊สมีเทนทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียมในปริมาณร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก มีค่าการตอบสนองสูงที่สุดประมาณ 30.58 ที่อุณหภูมิการทดสอบ 350 องศาเซลเซียส เวลาในการตอบสนอง 39.90 วินาที เวลาในการคืนกลับสู่สภาพเดิมประมาณ 7 นาที

เมื่อได้เงื่อนไขการเจืออินเดียมที่ดีที่สุดคือร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ในทินไดออกไซด์จึงนำเงื่อนไขนี้มาทำการคอมโพสิตกับ กราฟีนในปริมาณร้อยละ 0.1—5 โดยน้ำหนัก พบว่าการโหลดของกราฟีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ในทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียมร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการตอบสนองที่รุนแรงคือ 965 ด้วยเวลาตอบสนองที่สั้นกว่าคือ 1.8 วินาทีและรักษาเสถียรภาพการคืนตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิในการทำงานที่ดีที่สุดคือ 350 องศาเซลเซียส ส่วนแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์มีการตอบสนองได้ดีที่สุดที่เงื่อนไขการโหลดกราฟีนในปริมาณร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก มีค่าการตอบสนองคือ 87.39 ด้วยเวลาตอบสนองที่เร็วขึ้นคือ 1.84 วินาที ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้น 10 ppm และแก๊สมีเทนมีการตอบสนองได้ดีที่สุดที่เงื่อนไขการโหลดกราฟีนปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่าความไวในการตอบสนอง 46.47 ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยปริมาตร มีเวลาในการตอบสนอง 12 วินาทีและมีเวลาการคืนตัวประมาณ 12—60 วินาที เมื่อพิจารณาการตรวจวัดแก๊สของอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียมคอมโพสิตกับกราฟีนอาจจะพิจารณาจากพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ของกราฟีน ความหนาแน่นของบริเวณที่ทำปฏิกิริยาที่มีรูพรุนสูง การไม่เกาะกลุ่มกันของกราฟีนคอมโพสิตกับโครงสร้างอนุภาคนาโนทินไดออกไซด์และการนำไฟฟ้าสูงของกราฟีนซึ่งช่วยให้การตอบสนองต่อแก๊สและการคืนตัวเร็ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขึ้น ดังนั้น กราฟีนโหลดตัวรับรู้ทินไดออกไซด์ที่เจือด้วยอินเดียมมีแนวโน้มจะเป็นตัวเลือกสำหรับใช้ตรวจวัดไอเอทานอลได้อย่างรวดเร็วและมีค่าความไวในการตอบสนองและการคัดสรรจำเพาะต่อไอเอทานอล

ในส่วนการพัฒนาการคัดสรรจำเพาะ ผลของการเจือด้วยโลหะอินเดียมและกราฟีน และประสิทธิภาพของตัวรับรู้นั้น ได้ทำการทดสอบต่อแก๊สหลายชนิด ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เอทานอล ไนโตรเจนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน โดยทำการวิเคราะห์หาผลของการเจือในการพัฒนาคุณสมบัติตัวรับรู้ที่มีความเหมาะสมที่สุด จากการวิจัยพบว่าตัวรับรู้ทินไดออกไซด์มีการคัดสรรจำเพาะต่อไอเอทานอลได้ดีที่สุด ผลการเจือด้วยอินเดียมแสดงผลการพัฒนาความไวในการตอบสนองได้ดีกว่าอนุภาคทินไดออกไซด์บริสุทธิ์เกือบทั้งหมด การเจืออินเดียมปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักมีการคัดสรรจำเพาะต่อไอเอทานอล ที่อุณหภูมิการทดสอบ คือ 300 องศาเซลเซียส และเมื่อมีการโหลดด้วยกราฟีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีการตอบสนองต่อแก๊สเฉพาะเอทานอลได้ดีเป็นพิเศษที่อุณหภูมิการทดสอบ คือ 350 องศาเซลเซียส ผลของการโหลดกราฟีนนั้นช่วยพัฒนาค่าการตอบสนองได้และช่วยลดเวลาในการคืนตัวทำให้ตัวรับรู้ใช้เวลาในการคืนตัวได้เร็วขึ้น ดังนั้น การศึกษาในส่วนของการคัดสรรจำเพาะและประสิทธิภาพของตัวรับรู้ต่อการตอบสนองต่อแก๊สสภาวะแวดล้อมนั้นความเหมาะสมต่อการนำไปตรวจจับหรือการประยุกต์ใช้ อาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเจือ หรือปริมาณสารเจือเสมอไป ซึ่งอาจจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิหรือสภาวะแวดล้อมที่จะนำตัวรับรู้ไปใช้ด้วย ดังนั้น การวิจัยในส่วนนี้จึงมีประโยชน์อย่างมากในการคัดสรรจำเพาะตัวรับรู้ เพื่อใช้ในการตรวจจับเฉพาะแก๊สทั้งแก๊สพิษ แก๊สจากลมหายใจและแก๊สติดไฟได้ ได้เป็นอย่างดี ส่งผลถึงประสิทธิภาพสูงในการประยุกต์ในระบบอุตสาหกรรมต่อไป

5.3 การพัฒนาตัวรับรู้ในอนาคต

ในการพัฒนาตัวรับรู้ในปัจจุบัน ถือได้ว่ามีบทบาทอย่างมากในการตรวจจับหรือตรวจวัดปริมาณสิ่งปลอมปนในสภาวะแวดล้อม เนื่องจากมนุษย์เป็นทรัพยากรที่สำคัญมากที่สุด ดังนั้น ความปลอดภัยของการดำรงชีวิตของมนุษย์จึงมีความสำคัญและต้องเฝ้าระวังเป็นอย่างมาก ความเจริญที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในปัจจุบันและเชื่อมโยงไปสู่อนาคต สามารถสร้างความก้าวหน้าให้กับสังคมได้เป็นอย่างมาก แต่สิ่งที่ตามมา นั่นคือ มลภาวะที่เกิดขึ้น โดยอาจมีการควบคุม มีการกำจัดได้ แต่หากมีการรั่วไหลปะปนในสภาวะแวดล้อม อาจส่งผลถึงมนุษย์และสิ่งมีชีวิตโดยตรง ดังนั้น การพัฒนาอุปกรณ์การตรวจจับแก๊ส ไม่ว่าจะเป็นแก๊สพิษ แก๊สเสียหรือแก๊สติดไฟได้ ล้วนแต่เป็นแก๊สที่ต้องเฝ้าระวัง การพัฒนาจึงต้องมุ่งเน้นถึง ตัวรับรู้ที่มีขนาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เล็ก สามารถตรวจจับแก๊สได้รวดเร็ว มีสภาพความไวในการตรวจจับแก๊ส มีการคัดสรรจำเพาะเฉพาะแก๊สที่ดี อีกทั้ง ยังต้องเป็นตัวรับรู้ที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้งานได้ยาวนาน ซึ่งถือว่าเป็นความท้าทายอย่างมากที่ต้องมีการศึกษาวิจัย ค้นคว้า เพื่อพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ ต่อไปในอนาคต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved