

บทที่ 1

บทนำ

การเติบโตของเศรษฐกิจและการขยายตัวของจำนวนประชากรในชุมชนเมือง ทำให้อัตราการใช้รถใช้มีเพิ่มมากขึ้น ทำให้โอกาสในการเกิดอุบัติเหตุจากการใช้รถใช้ถนนเพิ่มสูงขึ้นได้เช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุบัติเหตุที่เกิดจากผู้ขับขี่ที่ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ซึ่งอุบัติเหตุที่เกิดจากสาเหตุนี้ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้น เพื่อลดจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดจากสาเหตุดังกล่าว เทคโนโลยีในการตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์จึงถูกพัฒนาขึ้น โดยมีหลักการทำงาน คือ เป็นอุปกรณ์แก๊สเซนเซอร์ที่มีการตอบสนองต่อแก๊สแอลกอฮอล์และแสดงผลเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยสัญญาณที่แสดงผลจะขึ้นกับระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่ตรวจวัดจากลมหายใจของผู้ขับขี่ อุปกรณ์ชนิดนี้ช่วยให้ตำรวจสามารถตรวจจับผู้ขับขี่ที่ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในขณะที่ขับรถ เพื่อช่วยลดอุบัติเหตุบนท้องถนนและนอกจากสาเหตุทางด้านการจราจรแล้วยังพบว่า แก๊สแอลกอฮอล์หรือเอทานอลเป็นหนึ่งในแก๊สที่พบมากในอุตสาหกรรมและใช้ในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ โดยเอทานอลนั้นเป็นแก๊สสะกดจิต (hypnotic gas) ที่มีพิษตามธรรมชาติ ซึ่งแก๊สชนิดนี้จะถูกพบมากในผู้ที่ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และผู้ที่สูบบุหรี่จัด โดยนำมาซึ่งปัญหาสุขภาพ เช่น โรคมะเร็งในระบบทางเดินหายใจส่วนบน (upper respiratory) และมะเร็งในระบบทางเดินอาหาร (digestive tracks) สำหรับแอลกอฮอล์สามารถทำให้เป็นโรคตับแข็ง (cirrhosis) และในระยะยาวอาจนำไปสู่โรคมะเร็ง สำหรับผู้หญิงมีโอกาสที่จะเป็นโรคมะเร็งเต้านมสูงขึ้นถ้าดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เข้าไปในปริมาณมากและผู้ที่ทำงานในส่วนของการผลิตหรือสังเคราะห์เอทานอลโดยตรงจะมีโอกาสเป็นโรคมะเร็งในระบบทางเดินหายใจและมะเร็งทางเดินอาหาร ดังนั้นผู้ที่ทำงานในด้านนี้โดยตรง จึงต้องมีการตรวจวัดระดับของความเข้มข้นของเอทานอลที่อยู่ในร่างกาย และแสดงให้เห็นถึงโทษของแก๊สเอทานอลทั้งทางตรงและทางอ้อม ด้วยความตระหนักถึงความเสี่ยงดังที่กล่าวในข้างต้น เทคโนโลยีและอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดแก๊สจึงถูกนำมาใช้ โดยเฉพาะอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดแก๊สเอทานอลถูกนำมาใช้งาน

โดยก่อนหน้านี้วิทยาการด้านเซนเซอร์เป็นหนึ่งในการศึกษาที่ได้รับการพัฒนาอย่างก้าวหน้า โดยเฉพาะในส่วนของแก๊สเซนเซอร์ ซึ่งในปัจจุบันยังมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับแก๊สเซนเซอร์ที่ตรวจวัดแก๊สเอทานอล และได้ประสิทธิภาพที่สูงหลายงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซ็นเซอร์สำหรับใช้ตรวจจับเอทานอล

Materials	Target gas	Response (%)	Ref
ZnO (Sn doped)	Ethanol	225	[1]
SnO ₂ /TiO ₂	Ethanol	16	[2]
ZnO (TiO ₂ doped)	Ethanol	90	[3]
ZnO (Cu doped)	Ethanol	64	[4]

โดยภาพรวมการวิจัย วัสดุที่ใช้ส่วนมากใช้เป็นเซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำแบบโลหะเป็นหลักดังในตารางที่ 1 ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อแก๊สเอทานอลที่สูง แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีแนวทางที่จะพัฒนาวัสดุดังกล่าว แต่เป็นการใช้วัสดุที่มีความพิเศษ เช่น แกร์ฟีน ในการทำเป็นแก๊สเซ็นเซอร์ ซึ่งโดยทั่วไปแกร์ฟีนเป็นวัสดุที่สามารถดัดแปลงและประยุกต์ใช้งานได้ในหลายรูปแบบ สมบัติที่โดดเด่นของแกร์ฟีนคือเป็นวัสดุฟิล์มบาง [5] ซึ่งมีความหนาน้อยที่สุด (monolayer) ในระดับหนึ่งชั้นอะตอม ทำให้มีโครงสร้างเล็กระดับนาโนเมตร และพื้นที่ผิวสัมผัสจึงมาก เหมาะสำหรับการตรวจจับแก๊สหรือทำอัตรกิริยาต่างๆ

แกร์ฟีนเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างสองมิติโดยแท้จริงซึ่งมีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง เป็นวัสดุที่มีความเข้มข้นของประจุภายในที่สูง เมื่อถูกกระตุ้นหรือรบกวนความเข้มข้นของประจุภายในจะมีการเปลี่ยนแปลงทันที โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสภาพแวดล้อม เช่น อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็กหรือในที่ที่อุณหภูมิสูง การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในแกร์ฟีนเป็นแบบการกระเจิง (ballistic transport) ทำให้มีความต้านทานไฟฟ้าอยู่ในระดับที่ต่ำ ทั้งนี้สามารถนำแกร์ฟีนมาดัดแปลงสมบัติ โดยการเจือหรือทำให้เกิดตำหนิบนแกร์ฟีน และจากสมบัติที่มีความจำเพาะของแกร์ฟีนจึงเหมาะสำหรับใช้ตรวจจับทางเคมี (chemical sensor) ซึ่งเป็นเป้าหมายอย่างหนึ่งที่หนึ่งในงานวิจัยนี้ นั่นคือใช้แกร์ฟีนเป็นวัสดุฐานของแก๊สเซ็นเซอร์เพื่อตรวจวัดแก๊สเอทานอล

นอกจากการใช้งานแกร์ฟีนเป็นแก๊สเซ็นเซอร์ แกร์ฟีนสามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสง (photodetector) เนื่องจากแกร์ฟีนเป็นวัสดุที่มีย่านการตอบสนองต่อแสงที่กว้าง (bandwidth 30 GHz) [6] ทำให้ตอบสนองต่อสัญญาณที่มากกระตุ้นได้มาก ซึ่งบทบาทนี้มีความสำคัญในการเป็นดีเทคเตอร์เพื่อตรวจวัดแสงหรือคลื่นที่มีพลังงานใกล้เคียงกับแสงในย่านที่สามารถตรวจจับได้ที่มีค่าตกกระทบ (0.4 ถึง 2 μm) โดยในปัจจุบันอุปกรณ์ตรวจวัดแสงถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานได้หลายด้าน อาทิ การสำรวจอุปกรณ์ตรวจวัดแสงใช้เป็นส่วนประกอบหนึ่งของกล้องส่องกลางคืนที่สามารถตรวจจับคลื่นความร้อนจากวัตถุหรือสิ่งมีชีวิตในยามที่แสงน้อย ด้านการแพทย์อุปกรณ์ตรวจวัดแสง

ใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจและวินิจฉัยการทำงานที่ผิดปกติของอวัยวะภายในร่างกายผ่านภาพถ่ายคลื่นความร้อน เป็นต้น การตรวจวัดแสงของอุปกรณ์นี้สามารถทำงานได้เมื่อมีการกระตุ้นจากแสงที่มีความยาวคลื่นพลังงาน ($h\nu$) ที่มากกว่าแถบช่องว่างพลังงาน (E_g) ของวัสดุสารกึ่งตัวนำที่นำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสง เมื่ออุปกรณ์ตรวจวัดแสงได้รับแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงที่อุปกรณ์สามารถตอบสนองได้มากกระตุ้นหรือตกกระทบกับตัวอุปกรณ์ อุปกรณ์ตรวจวัดแสงจะมีการตอบสนองออกมาในรูปแบบของสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จากกระแสขาออกของอุปกรณ์ โดยประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดแสงสามารถตรวจวัดค่าได้จากความเร็วของเวลาในการตอบสนอง (time response) ซึ่งเป็นช่วงเวลาในการปิดเปิดการรับแสง [7] นอกจากนั้นพบว่าค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดแสง จะมีความละเอียดที่สูงในระดับไมโครแอมป์ถึงมิลลิแอมป์หรือ ไมโครวัตต์ถึงมิลลิวัตต์ หากอุปกรณ์ตรวจวัดแสงมีการตอบสนองต่อแสงได้มากพอสัญญาณที่ได้จะสามารถนำไปวิเคราะห์ผลและใช้ประโยชน์ต่อได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและสมบัติของวัสดุที่นำมาทำอุปกรณ์ตรวจวัดแสง ซึ่งเป็นวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและกลไกการนำไฟฟ้าเมื่อมีแสงมากระตุ้นหรือตกกระทบบนวัสดุดังกล่าวโดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดแสงเหล่านี้ต้องมีการตอบสนองต่อการดูดซับแสงได้ดี ซึ่งหมายถึงมีความไว (sensitivity) ในการตอบสนองต่อแสง

อุปกรณ์ในการตรวจวัดแสงมีประวัติความเป็นมาที่ยาวนาน โดยวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ตรวจวัดแสงในช่วงแรกจะเป็นสารจำพวกเลดซัลไฟด์ (lead sulfide, PbS) ซึ่งมีความไวต่อการตรวจวัดแสงอินฟราเรดที่ต่ำ ภายหลังได้มีการคิดค้นและพัฒนานาโมเออร์แคดเมียมเทลลูไรด์ (mercury cadmium telluride, HgCdTe) มาใช้ทดแทน โดยเฉพาะอุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่ใช้ในงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดหรือช่วงของการแผ่รังสีความร้อน โดยในอุปกรณ์การตรวจวัดแสงอินฟราเรดหน้าที่หลักคือการตรวจวัดความเข้มของพลังงานแสงอินฟราเรดที่มากกระทบ และคำนวณเป็นค่าพลังงานในรูปของอุณหภูมิ ซึ่งหลักการเหล่านี้พบในอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดการแผ่รังสีของคลื่นความร้อน (infrared photodetector) โดยวัสดุสารกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาใช้ทำเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสงอินฟราเรด ส่วนมากมีส่วนประกอบของธาตุที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแม้จะอยู่ในรูปของของแข็ง เช่น HgCdTe ที่มีความเสถียรในการใช้งานที่ต่ำ รวมถึงมีปรอท (Hg) ซึ่งเป็นสารพิษเป็นส่วนประกอบ [8] และ InGaAs ที่นำมาซึ่งแก๊สอาร์ซีน (AsH_3) ที่เป็นแก๊สพิษ เป็นต้น [9-14] ดังนั้นการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดการแผ่รังสีของคลื่นความร้อนในย่านอินฟราเรดเหล่านี้จึงมีต้นทุนการผลิตที่สูง มีกระบวนการควบคุมและผลิตที่ซับซ้อนเพื่อให้มีความปลอดภัยและได้มาตรฐาน

ดังนั้นจากข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้น ปัญหาภาวะจากการสังเคราะห์สารที่เป็นวัตถุดิบสำหรับการทำอุปกรณ์ตรวจวัดแสงอินฟราเรดแบบเก่าที่อาจเกิดขึ้น ทำให้เกิดแนวคิดในการเลือกสรร

และออกแบบปรับปรุงทดแทนชนิดของวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำอุปกรณ์ตรวจวัดแสงให้มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยหนึ่งในวัสดุทดแทนคือวัสดุประเภทคาร์บอน โดยเฉพาะแกรฟีนและท่อนาโนคาร์บอน ที่มีสมบัติและโครงสร้างที่สอดคล้องในการทำเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสงอินฟราเรด

จากสมบัติพิเศษของแกรฟีน คือ เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดกึ่งโลหะ (semimetal) ที่มีพฤติกรรมในการเป็นตัวเหนี่ยวนำการเคลื่อนที่ของประจุพาหะภายในตัวแกรฟีน ถ้าพิจารณาตามรูปแบบของสารกึ่งตัวนำโดยทั่วไป แกรฟีนมีระยะห่างระหว่างแถบเวเลนซ์ (valence band ,VB) และแถบของการนำ (conduction band , CB) ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งระยะห่างระหว่างทั้งสองแถบพลังงานสามารถคำนวณเป็นระดับพลังงานเริ่มต้น (Fermi level) ในการนำประจุพาหะของแกรฟีนได้ โดยพบว่าระดับพลังงานดังกล่าวมีค่าที่ต่ำกว่า 3 eV [7] ณ อุณหภูมิห้อง ดังนั้นถ้ามีการกระตุ้นด้วยพลังงานหรือคลื่นแสงที่มีระดับพลังงานที่สูงกว่าพลังงานเริ่มต้นจะส่งผลให้มีการสร้างประจุพาหะขึ้นในแกรฟีน ซึ่งประจุเหล่านี้มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่สูงถึง $200,000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ประกอบกับสมบัติเชิงแสงของแกรฟีนที่สามารถดูดซับความเข้มแสงได้ถึง 2.3% จากแสงที่มาตกกระทบ [7, 15] เมื่อทดสอบกับแสงที่อยู่ในย่านที่ใกล้กับอินฟราเรด 670 nm (อินฟราเรดย่านใกล้ : 700-2400 nm) [7] ซึ่งหมายถึงแกรฟีนสามารถดูดซับแสงที่มีความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกับอินฟราเรดได้ถึงประมาณ $10 \mu\text{m}$ โดยแสงที่ถูกดูดซับได้จะไปกระตุ้นการสร้างประจุพาหะภายในโครงสร้างของแกรฟีน

สำหรับท่อนาโนคาร์บอนเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างอะตอมภายในแบบเดียวกับแกรฟีนแต่มีลักษณะโครงสร้างการเรียงตัวที่แตกต่างกัน ในแกรฟีนอะตอมของคาร์บอนจัดเรียงตัวเป็นแผ่นแบบสองมิติแต่ในท่อนาโนคาร์บอนจะเป็นลักษณะของแผ่นแกรฟีนที่ม้วนเป็นทรงกระบอกทำให้ท่อนาโนคาร์บอนมีลักษณะของโครงสร้างเป็นแบบหนึ่งมิติ นอกจากนั้น ท่อนาโนคาร์บอนเมื่ออยู่บนวัสดุฐานแบบตั้งฉากจะสามารถดูดซับคลื่นแสงที่มาตกกระทบได้มาก โดยค่าดัชนีการสะท้อนแสงของท่อนาโนคาร์บอนเมื่ออยู่ในลักษณะที่เรียงตัวบนวัสดุฐานแบบตั้งฉากมีพฤติกรรมการดูดซับแสง (absorptivity) ที่ผิวของวัสดุที่สูงเนื่องจากวัสดุมีค่าดัชนีของการสะท้อนแสงที่น้อยกว่า 0.005 ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวเกิดขึ้นกับแสงในย่านอินฟราเรด ด้วยเหตุนี้ท่อนาโนคาร์บอนแบบตั้งฉากกับวัสดุฐาน (forest) จึงถูกนิยามอีกชื่อหนึ่งว่า “วัตถุดำ (black body)” [16-18] อย่างไรก็ตามท่อนาโนคาร์บอนทุกแบบไม่ได้มีสมบัติเป็นวัตถุดำทั้งหมด แต่ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเฉพาะกับท่อนาโนคาร์บอนที่ถูกปลูกเป็นท่อซึ่งมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ (vertically aligned) ในลักษณะที่ตั้งฉากกับวัสดุฐาน

ด้วยเหตุนี้ทั้งแกรฟีนและท่อนาโนคาร์บอนจึงสามารถนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสงในย่านอินฟราเรด โดยรูปแบบของอุปกรณ์ตรวจวัดแสงในย่านอินฟราเรดก็คือเป็น อุปกรณ์ตรวจวัดแสงแบบไดโอด (photodiode) โดยมีสารกึ่งตัวนำอยู่ภายในของอุปกรณ์ตรวจวัดแสงประเภทนี้ ซึ่งสารกึ่งตัวนำเหล่านี้จะถูกให้ความต่างศักย์ที่ทำให้เกิดมีความหนาแน่นของจำนวนประจุอยู่ในตัวค่าหนึ่งจากศักย์ไฟฟ้าที่ให้เข้าไป เมื่อมีแสงจากภายนอกซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วงพลังงานที่เพียงพอต่อการกระตุ้นทำให้ระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำเหล่านั้นสูงกว่าระดับพลังงานเริ่มต้น ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลเกิดเป็นการไหลของกระแสในอุปกรณ์ตรวจวัดแสง ดังนั้นส่วนที่สามารถออกแบบเพื่อใช้งานเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสงอินฟราเรดได้ คือ สารกึ่งตัวนำที่อยู่บนวัสดุฐาน ซึ่งการออกแบบโครงสร้างดังกล่าวสามารถทำได้หลายแบบ โดยโครงสร้างรูปแบบที่มีความเป็นไปได้ อย่างหนึ่งคือการใช้แกรฟีนและท่อนาโนคาร์บอนเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างแบบรอยต่อ p-n (P-N junctions) และแบบช็อตตี้ (schottky)

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายอย่างที่สองคือ การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่อยู่ในย่านใกล้อินฟราเรด (near infrared) นั่นคือแสงในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 700 ถึง 1100 นาโนเมตร โดยตัวอุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่ออกแบบจะมีทั้งแกรฟีนและท่อนาโนคาร์บอนซึ่งมีสมบัติเด่นในด้านการดูดซับแสงในช่วงดังกล่าวได้ดี [19] โดยใช้หลักการพื้นฐานของโครงสร้างไฮบริดของแกรฟีนและท่อนาโนคาร์บอน อุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่สร้างขึ้นนี้จะรับพลังงานที่มากกระตุ้นจากแสงอินฟราเรดเพื่อทำให้เกิดคู่ประจุพาหะอิเล็กตรอนกับโฮลในแถบของโครงสร้างพลังงาน เมื่อได้รับการกระตุ้นจากแสงในระยะเวลาหนึ่งประจุพาหะภายในทั้งสองชนิดจะมีความหนาแน่นมากขึ้นและเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าไหลในอุปกรณ์ตรวจวัดแสง จากกลไกข้างต้นถ้านำแกรฟีนและท่อนาโนคาร์บอนมาใช้งานร่วมกัน (hybrid) โดยดึงเอาสมบัติเฉพาะของทั้งคู่มาใช้ เช่น แกรฟีนที่มีประจุพาหะ(carriers) เกิดขึ้นภายในตัวทำให้เกิดกระแสโดยที่มีค่าสภาพการนำของประจุพาหะที่สูง ซึ่งแกรฟีนสามารถควบคุมความหนาแน่นของประจุพาหะดังกล่าวที่เกิดขึ้นภายในตัวได้ เมื่อนำมาใช้ในโครงสร้างไฮบริดร่วมกับท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบในทิศทางที่ตั้งฉากกับวัสดุฐาน (vertical aligned carbon nanotubes, VACNTs) โดยท่อนาโนคาร์บอนที่อยู่ในรูปแบบดังกล่าวนี้จะดูดซับแสงที่มากตกกระทบได้มากแม้ว่าแสงที่มากตกกระทบมีความเข้มข้น อีกทั้งยังมีเป้าหมายในการออกแบบโครงสร้างไฮบริดให้เป็นรอยต่อแบบ p-n เพื่อช่วยในการแยกประจุพาหะ ดังนั้นโครงสร้างผสมที่สร้างโดยเชื่อมตัว VACNTs และแกรฟีน (VACNTs/GP) เข้าด้วยกันจะมี VACNTs ทำหน้าที่ดูดซับแสงและสร้างเป็นประจุพาหะในการนำไฟฟ้า (อิเล็กตรอนและโฮล) โดยประจุพาหะชนิดหนึ่งจะถูกส่งไปยังแกรฟีนที่ทำหน้าเป็นทั้งตัวกลางสำหรับนำประจุพาหะและควบคุมความหนาแน่นของประจุพาหะที่ส่งผลต่ออัตราการไหลของกระแสไปยังขั้วนำไฟฟ้า โดย

บริเวณตำแหน่งระหว่างผิวสัมผัสของแกรฟีนและ VACNTs จะทำให้มีโอกาสดูดซับแก๊สเมื่อมีการกระตุ้นด้วยความร้อนเพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่าง VACNT และ แกรฟีนได้ดียิ่งขึ้น

โครงการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแก๊สเอทานอลจากแกรฟีนที่ถูกดัดแปลงแล้วและอุปกรณ์ตรวจวัดแสงในย่านอินฟราเรดด้วยโครงสร้างไฮบริดระหว่างแกรฟีนกับท่อคาร์บอนนาโน โดยจะทำการตกตะกอนสะสมไอเคมีในการสังเคราะห์แกรฟีน คำอธิบายถึงหลักการพื้นฐาน สมบัติและการสังเคราะห์ทั้งแกรฟีนและท่อคาร์บอนนาโน จะกล่าวถึงในบทที่ 2 ซึ่งเป็นทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงหลักการในการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะและลักษณะพื้นฐานของวัสดุที่สังเคราะห์ได้ เช่น รามานสเปกโตรสโกปี กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นต้น การดัดแปลงแกรฟีนในงานวิจัยนี้จะใช้สองกระบวนการ ได้แก่ (1) การเจือแกรฟีนด้วยไนโตรเจน และ (2) การฉายเลเซอร์บนแกรฟีน เพื่อดัดแปลงโครงสร้างและสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ของแกรฟีน กระบวนการทดลองเหล่านี้จะบรรยายไว้ในบทที่ 3 ซึ่งจะรวมทั้งอธิบายถึงขั้นตอนการสังเคราะห์แกรฟีนและท่อคาร์บอนนาโน โดยการตกตะกอนไอเคมี การย้ายแกรฟีนไปยังวัสดุฐานอื่น การวัดสมบัติทางไฟฟ้า การจัดตั้งการทดลองเพื่อทำการตรวจวัดแก๊สเอทานอลและตรวจวัดแสงย่านอินฟราเรด ส่วนในบทที่ 4 จะแสดงผลการทดลองของทั้งสองอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมา แสดงผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชนิด และทำการอธิบายเพื่ออธิบายกลไกการทำงานของอุปกรณ์ทั้งสองอย่าง บทที่ 5 จะกล่าวถึงข้อสรุปที่ได้จากงานวิจัยและข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved