บทที่ 3
การตรวจจับไอระเหยของสารเคมีชนิดต่างๆ ของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน

ในบทนี้จะกล่าวถึง นิยามเซนเซอร์ หลักการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี และการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยชั้นนาโนนาโนพอรัสซิลิคอน

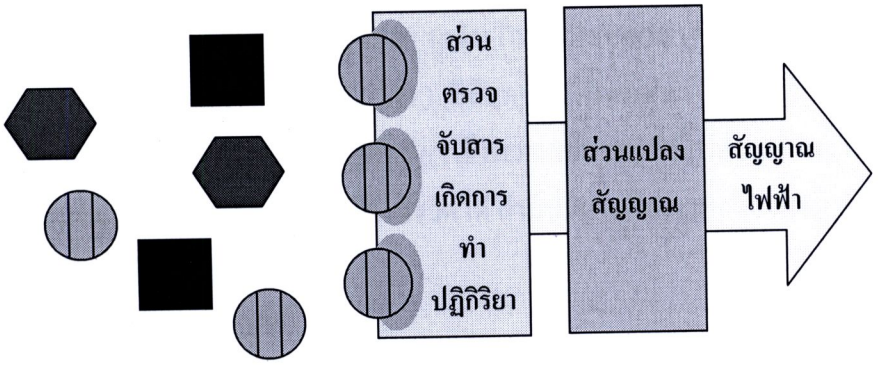
3.1 นิยามของเซนเซอร์ [37]

เนื่องจากความต้องการอุปกรณ์ที่มีความสามารถใช้แทนการตอบสนองทางประสาทสัมผัสของมนุษย์ เช่น การมองเห็น การสัมผัส การได้ยิน การดมกลิ่น และการลิ้มรส จึงได้มีการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์เพื่อใช้ในการตรวจวัด และแสดงผลออกมาในรูปของสัญญาณหรือพลังงานในรูปหนึ่ง

เซนเซอร์ หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณพลังงานในรูปแบบต่างๆ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น โฟโตทรานซิสเตอร์, อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน และอุปกรณ์ตรวจวัดไอสารเคมี เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งเซนเซอร์ได้เป็น 2 แบบ คือ เซนเซอร์ทางเคมีและเซนเซอร์ทางฟิสิกส์

3.1.1 เซนเซอร์ทางเคมี (chemical sensors)

เซนเซอร์ทางเคมี จัดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสารประเภทหนึ่ง โดยส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางเคมีประกอบด้วย ชั้นของการตรวจจับสารเชื่อมต่อกับส่วนแปลงสัญญาณ โดยชั้นของการตรวจจับสารจะทำหน้าที่ตรวจจับด้วยการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารที่ผ่านเข้ามา จากนั้นส่วนแปลงสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.1

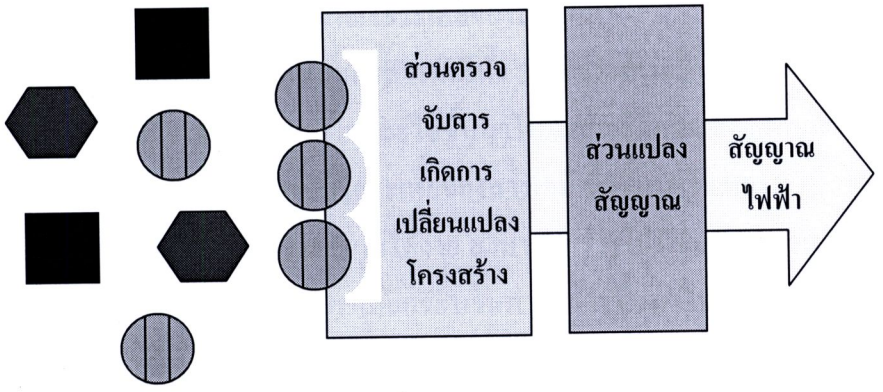


รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางเคมี

โดยสามารถแบ่งอุปกรณ์เซนเซอร์ทางเคมีที่สำคัญได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทวัดความนำไฟฟ้า (conductimetric) และประเภทวัดศักย์ไฟฟ้า (potentiometric)

3.1.2 เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ (physical sensors)

เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ จัดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสารประเภทหนึ่ง โดยส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางฟิสิกส์ประกอบด้วย ชั้นของการตรวจจับสารเชื่อมต่อกับส่วนแปลงสัญญาณ โดยชั้นของการตรวจจับสารจะทำหน้าที่ตรวจจับด้วยการที่โมเลกุลของสารที่ผ่านเข้ามาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างภายในของชั้นของการตรวจจับสาร จากนั้นส่วนแปลงสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางฟิสิกส์

โดยตัวอย่างอุปกรณ์เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ที่สำคัญคือ เซนเซอร์วัดความดัน (pressure sensors) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (temperature sensors)

3.2 หลักการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี [38]

วิธีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีสามารถทำได้หลายวิธี โดยใช้หลักการดังนี้

1. หลักการวิธีวัดทางเคมี วิธีนี้จะตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยให้ไอระเหยของสารเคมีรีดิวซ์โพแทสเซียมไดโครเมต (K_2CrO_7) มีสีแดงส้มในสภาวะที่มีกรดกำมะถันอยู่ด้วย ให้กลายเป็นโครเมียมซัลเฟต ($Cr_2(SO_4)_3$) มีสีเขียว ซึ่งความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไปจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไอระเหยของสารเคมีที่ตรวจวัดได้ ถ้ามีปริมาณไอระเหยของสารเคมีมากขึ้นก็จะทำให้สีเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มขึ้น

2. หลักการวิธีวัดทางการดูดกลืนรังสี วิธีนี้จะตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้หลักการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของไอระเหยของสารเคมีซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งทำให้ปริมาณรังสีอินฟราเรดที่ผ่านไปมีความเข้มของรังสีลดลง ถ้ามีปริมาณไอระเหยของสารเคมีมากการดูดกลืนรังสีจะมากขึ้นเป็นสัดส่วนตามกัน เมื่อวัดความเข้มรังสีที่เปลี่ยนไป ก็จะทำให้ทราบว่ามีปริมาณระเหยของสารเคมีอยู่เท่าใด

3. หลักการวิธีวัดทางเคมีไฟฟ้า วิธีนี้จะตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยการให้ไอระเหยของสารเคมีทำปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้ากับเครื่องตรวจวัด ซึ่งประกอบด้วย แผ่นพลาตินัมบางๆ 2 แผ่น ขนานกัน และมีสารละลายอิเล็กโตรไลต์กรดอยู่ระหว่างกลาง ไอระเหยของสารเคมีจะถูกดูดซับอยู่บนแผ่นพลาตินัม และถูกออกซิไดซ์เป็นกรดอะซิติก (acetic acid) จึงให้อิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านแผ่นพลาตินัมผ่านไปยังเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไอระเหยของสารเคมี

จากหลักการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีทั้ง 3 วิธีข้างต้น เป็นวิธีการที่ยุ่งยาก และใช้ค่าใช้จ่ายที่สูง งานวิจัยนี้จึงได้มีความสนใจที่จะใช้ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนซึ่งมีลักษณะพื้นผิวเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากทำการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ซึ่งชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนนั้นจะทำการสร้างในเนื้อซิลิคอนจึงสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย สามารถสร้างให้มีขนาดเล็ก ทำให้ผลิตได้เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ราคาต่ออุปกรณ์ถูก และกระบวนการสร้างชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนนั้นทำได้ง่าย สามารถทำการสร้างในห้องปฏิบัติการสารกึ่งตัวนำของสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้

3.3 หลักการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนในงานวิจัยนี้เป็นโครงสร้างแบบง่าย ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ

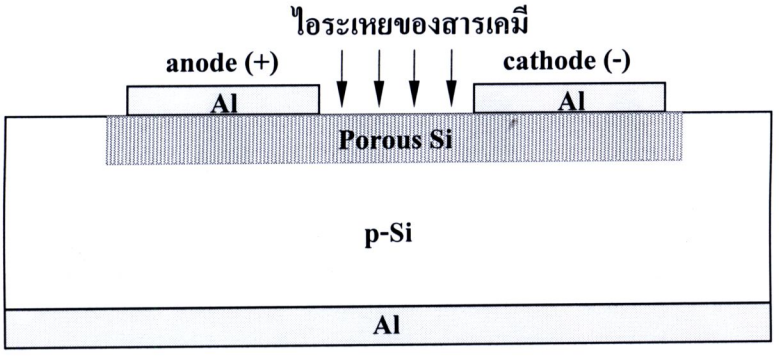
- ส่วนที่เป็นขั้วไฟฟ้า

ขั้วไฟฟ้าจะมีอยู่ 2 ขั้ว คือ ขั้วแคโทด กับ ขั้วแอโนด อยู่บนชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนจะทำหน้าที่ในการตรวจวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีถูกดูดซับเข้ามาในรูพรุนของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน

- ส่วนที่เป็นชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน

ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีได้ดีและมีเนื้อที่ในการดูดซับมากกว่าพื้นผิวราบเรียบที่ไม่มีรูพรุน จะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับไอระเหยของสารเคมี

โดยอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนโครงสร้างแบบง่ายนี้ แสดงดังรูปที่ 3.3



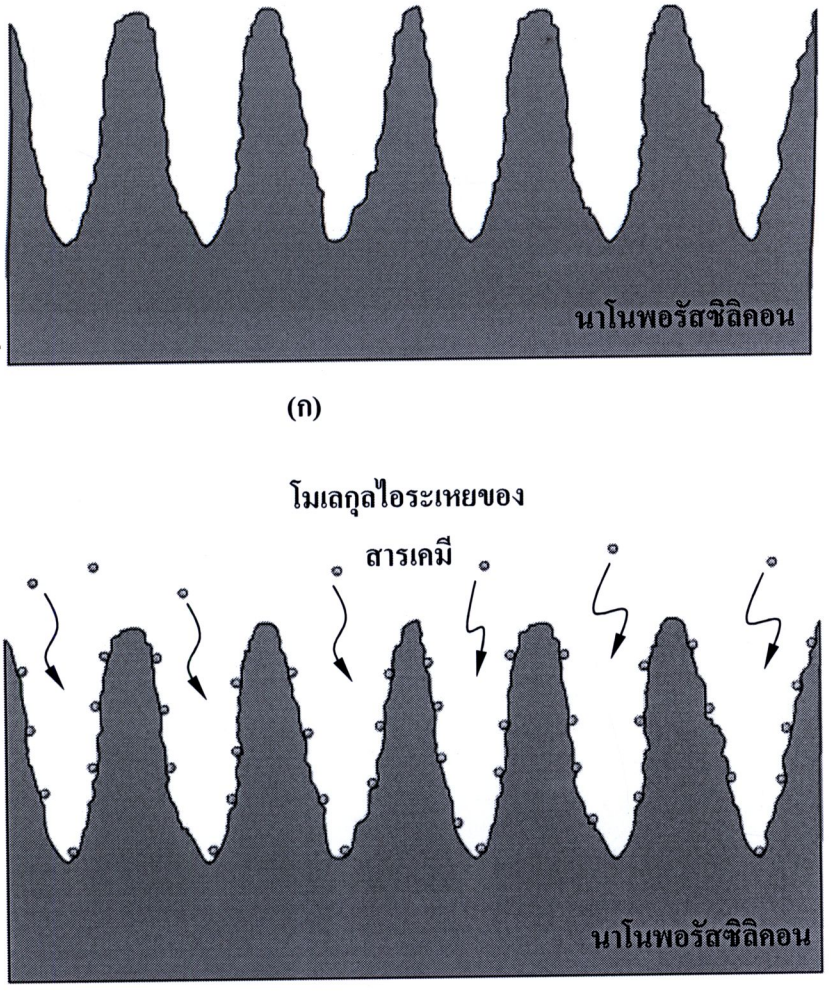
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน

โดยหลักการหลักๆ ในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนนี้มีอยู่ 2 หลักการ คือ หลักการแรก เป็นหลักการดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน และหลักการที่สอง เป็นหลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน ซึ่งทั้ง 2 หลักการนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน สามารถอธิบายแยกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 หลักการดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน [39-44]

ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน จะทำหน้าที่เป็นชั้นดูดซับ (adsorption) โมเลกุลไอระเหยของสารเคมี เนื่องจากพื้นผิวที่มีรูพรุนของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนสามารถดูดซับโมเลกุลก๊าซได้ดีกว่าและมีเนื้อที่ในการดูดซับมากกว่าพื้นผิวราบเรียบที่ไม่มีรูพรุน โดยการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีจะเริ่มจากชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีมาเกาะ เมื่อมีโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามาในระบบผ่านบริเวณพื้นผิวของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีนี้จะถูกดูดซับและจับตัวกับผนังรูพรุนของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน ด้วยแรงแวนเดอร์วาล์ว (Vander Waals attractive force) เมื่อมีโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามาเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีจะรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้นโมโนเลเยอร์ (mono layer) ต่อมาเมื่อมีโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามาเพิ่มมากขึ้นอีก โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีก็จะรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นชั้นมัลติเลเยอร์ (multi layer) และเมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีมารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกเรื่อยๆ ส่งผลให้ความดันไอภายในรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน (capillary condensation) ส่งผลทำให้เกิดการอิ่มตัวในการดูดซับโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีภายในรูพรุน และเมื่อไม่มีโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามาในระบบจะส่งผลทำให้โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีระเหยออกจากรูพรุนซึ่งที่อุณหภูมิห้องโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีสามารถระเหยได้เองแต่จะใช้เวลานาน จึงควรใช้ความร้อนหรือลม

เป่าไล่ซึ่งจะทำให้โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีระเหยไปจนหมดได้ไวขึ้น โดยกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นนี้ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แบบจำลองการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน

(ก) ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีมาเกาะ

(ข) โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีมาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุน

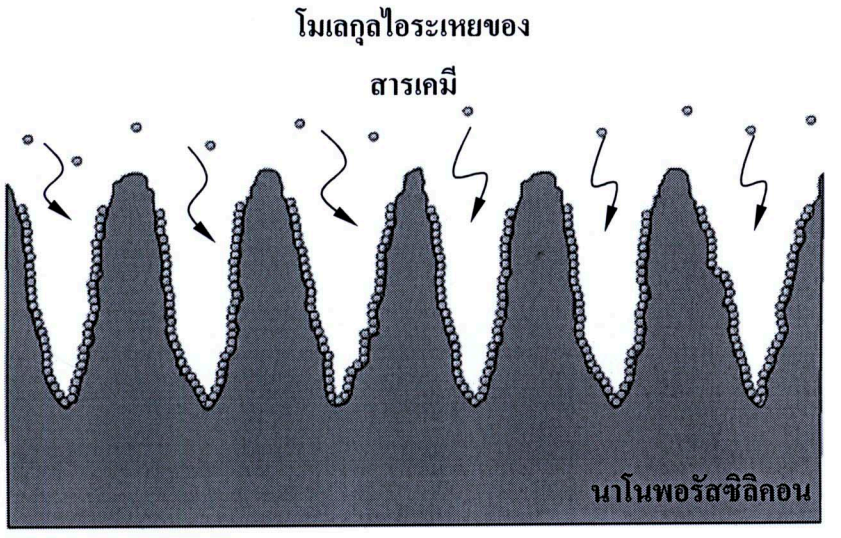
(ค) โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีมาจับตัวกันเพิ่มขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้นโมโนเลเยอร์

(ง) โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีมาจับตัวกันเพิ่มขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นมัลติเลเยอร์

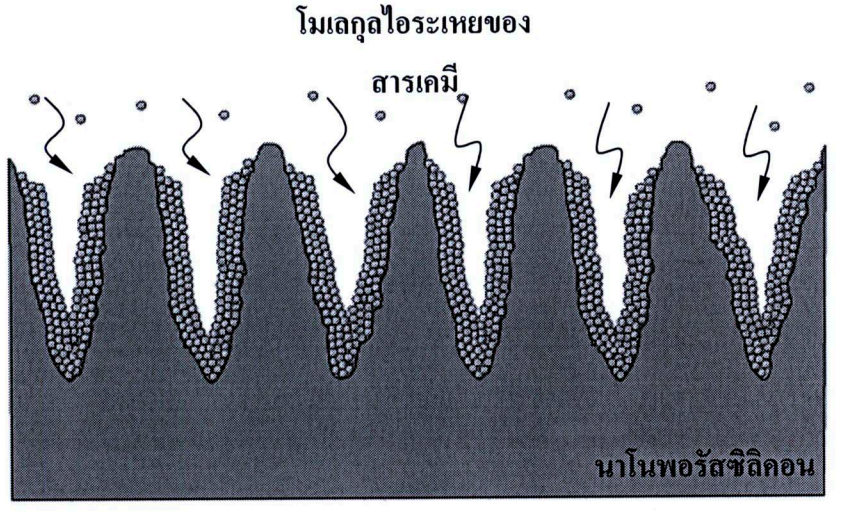
(จ) โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีมาจับตัวกันเพิ่มขึ้นอีกเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน

(ฉ) โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเกิดการระเหยออกไปจากชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน

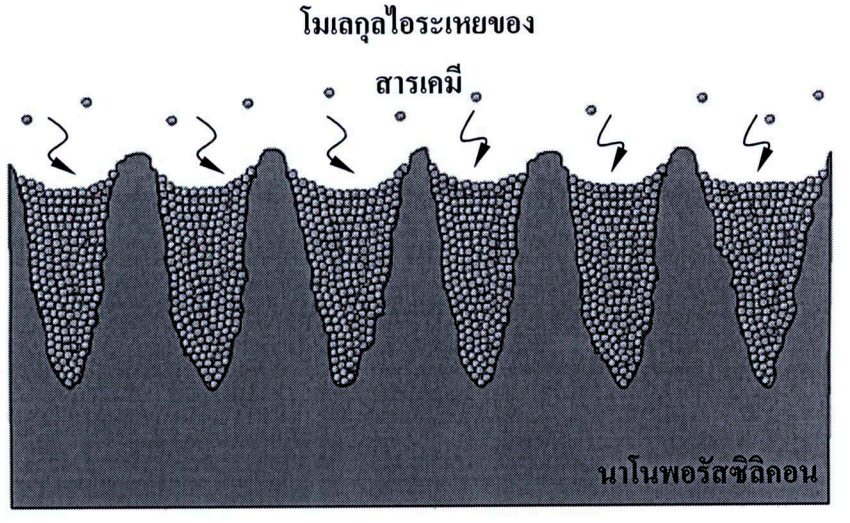
(ช) ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนที่โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีระเหยออกไปหมดแล้ว



(ค)

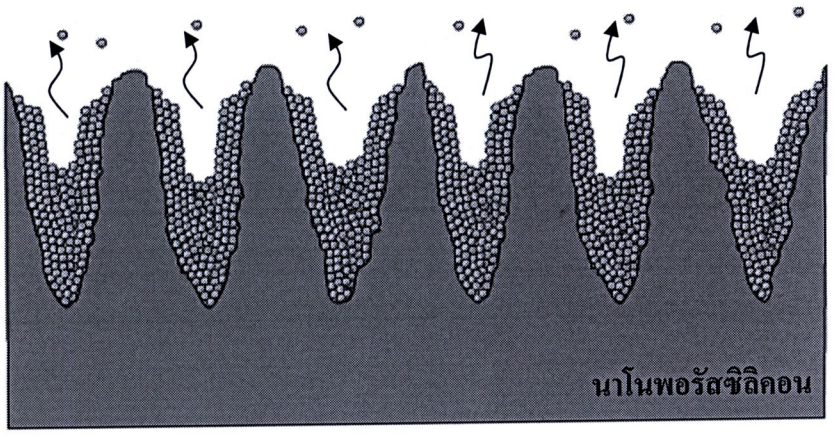


(ง)

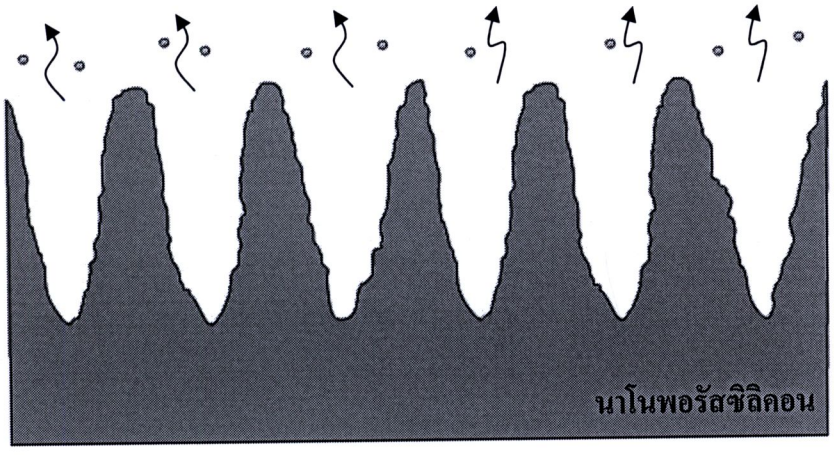


(จ)

รูปที่ 3.4 แบบจำลองการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน (ต่อ)



(ฉ)



(ช)

รูปที่ 3.4 แบบจำลองการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน (ต่อ)

จากรูปที่ 3.4 เป็นแบบจำลองการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

(ก) เริ่มจากชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีมาเกาะ

(ข) เมื่อมีการไหลของโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามาในระบบ โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีจะเข้ามาในบริเวณรูพรุนของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน แล้วจับตัวกับผนังของรูพรุน

(ค) เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นจะเรียงตัวกันเป็นชั้นที่เรียกว่า ชั้นโมโนเลเยอร์

(ง) เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกหลายๆ ชั้น เป็นชั้นที่เรียกว่า ชั้นมัลติเลเยอร์

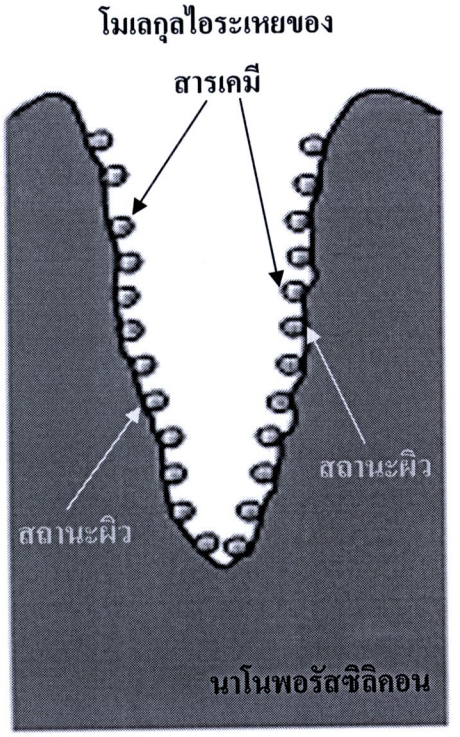
(จ) เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกเรื่อยๆ จะส่งผลทำให้ความดันไอภายในรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน ทำให้เกิดการอิ่มตัวในการดูดซับโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีภายในรูพรุน

(ฉ) เมื่อไม่มีการไหลของโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามาในระบบ จะส่งผลทำให้โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีจะระเหยออกจากรูพรุน

(ช) เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีระเหยออกจากรูพรุนไปจนหมดก็จะเหลือแต่ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน

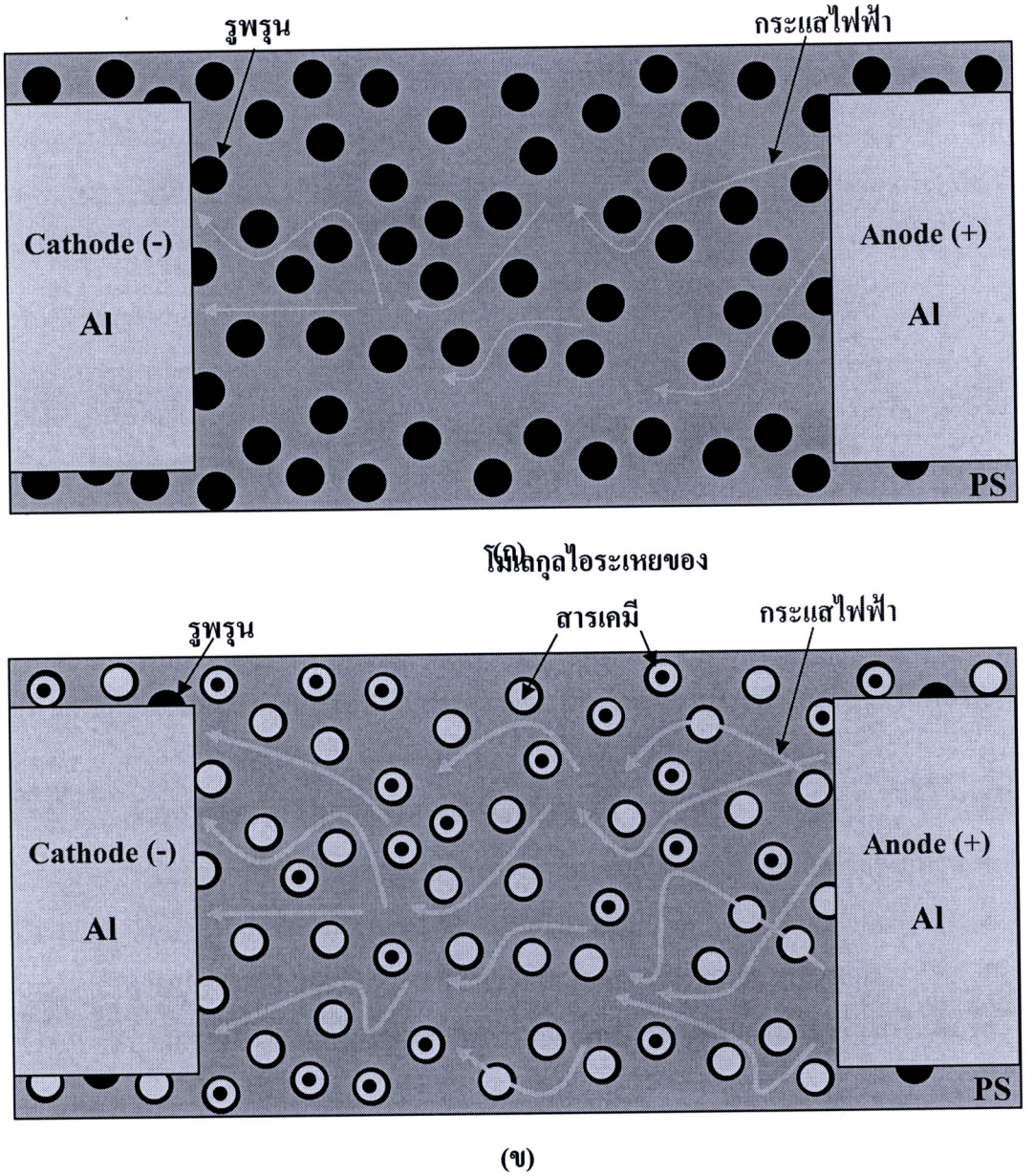
3.3.2 หลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน [45-48]

บริเวณผิวของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนมีพันธะแขนขาดและสารเจือปนอื่นๆ อยู่บริเวณผิว ซึ่งจะทำให้มีระดับพลังงานที่เรียกว่าสถานะผิว (surface states) เกิดขึ้น เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีถูกดูดซับและจับตัวกับผนังรูพรุนของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน จะส่งผลทำให้เกิดการเหนี่ยวนำพาหะที่บริเวณผิวของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น บริเวณผิวของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนจึงสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น โดยแบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 3.5



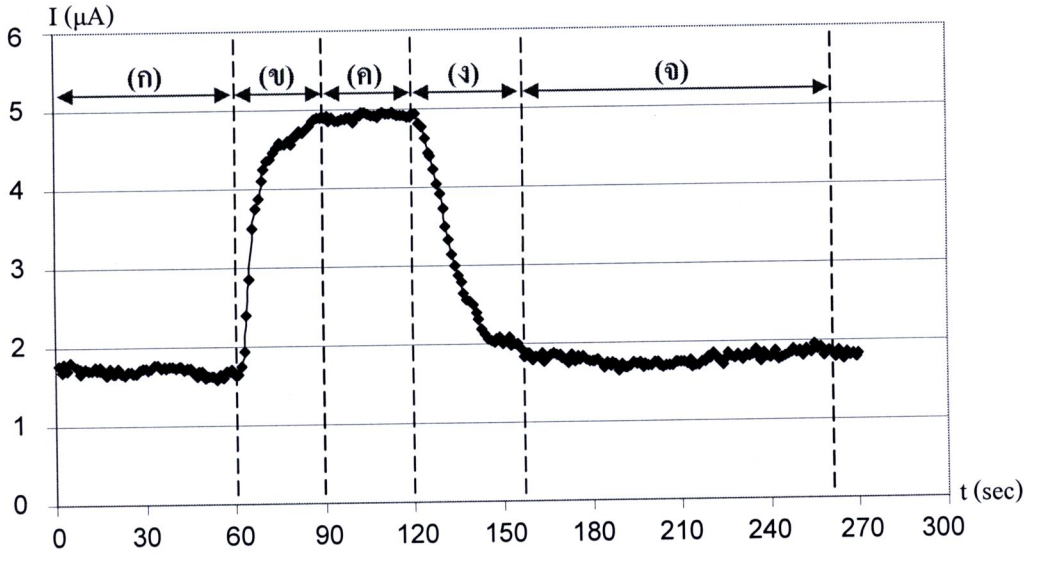
รูปที่ 3.5 แบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน

จากรูปที่ 3.5 เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนทำให้เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น และเมื่อมีโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน ส่งผลทำให้ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นจนไปคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง เนื่องจากเกิดการอิ่มตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอระเหยของสารเคมี โดยการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นนี้จะเกิดจาก 2 สาเหตุ คือ สถานะผิวที่เพิ่มมากขึ้นของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน และการนำไฟฟ้าของระเหยของสารเคมีที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แบบจำลองการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน (ก) ก่อน (ข) ขณะตรวจจับไอระเหย

จากรูปที่ 3.6 (ก) เป็นการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดก่อนที่จะมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี สังเกตได้ว่าจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยมาก เนื่องจากชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนมีค่าความต้านทานที่สูง และจากรูปที่ 3.6 (ข) เมื่อมีโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนมากขึ้น ทำให้มีการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้ว่าจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเกิดจาก 2 สาเหตุหลักๆ คือ เกิดจากสถานะผิวของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนที่เพิ่มมากขึ้น และเกิดจากการนำไฟฟ้าของระเหยของสารเคมีที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน โดยตัวอย่างผลทดลองลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน

(ก) ช่วงที่ไม่มีโมเลกุลไอระเหยของสารเคมี

(ข) ช่วงที่โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีมาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน

(ค) ช่วงที่เกิดการอิ่มตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอระเหยของสารเคมี

(ง) ช่วงที่โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเกิดการระเหยออกไปจากชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน

(จ) ช่วงที่โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีระเหยออกไปหมดแล้ว

จากรูปที่ 3.7 เป็นช่วงต่างๆ ของลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

(ก) ช่วงที่ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนยังไม่มีการดูดซับโมเลกุลไอระเหยของสารเคมี

(ข) ช่วงที่มีโมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเข้ามาในระบบ แล้วเข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำพาหะที่ผิวของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนเพิ่มมากขึ้น เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น ทำให้บริเวณผิวของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น และช่วงที่โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีมารวมตัวกันภายในรูพรุนเป็นจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน ทำให้มีการนำไฟฟ้าของระเหยของสารเคมีที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุนเกิดขึ้น

(ค) ช่วงที่เกิดการอิ่มตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอระเหยของสารเคมี ทำให้การนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง

(ง) ช่วงที่หยุดการไหลของไอระเหยของสารเคมี ทำให้โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเกิดการระเหยออกจากรูพรุนไปเรื่อยๆ ส่งผลทำให้การนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนมีค่าลดลง

(จ) ช่วงที่โมเลกุลไอระเหยของสารเคมีเกิดการระเหยออกจากรูพรุนจนหมด ส่งผลทำให้บริเวณผิวของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนกลับมานำไฟฟ้าอยู่ที่ระดับเดิมในตอนแรก

โดยเหตุการณ์การดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน และเหตุการณ์การเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอรัสซิลิคอน จะเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ส่งผลทำให้ชั้นนาโนพอรัสซิลิคอนสามารถทำการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีได้