

### บทที่ 3

## การตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ ของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

ในบทนี้จะกล่าวถึง นิยามเซนเซอร์ หลักการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ และการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยชั้นนาโนนาโนพอร์สซิลิคอน

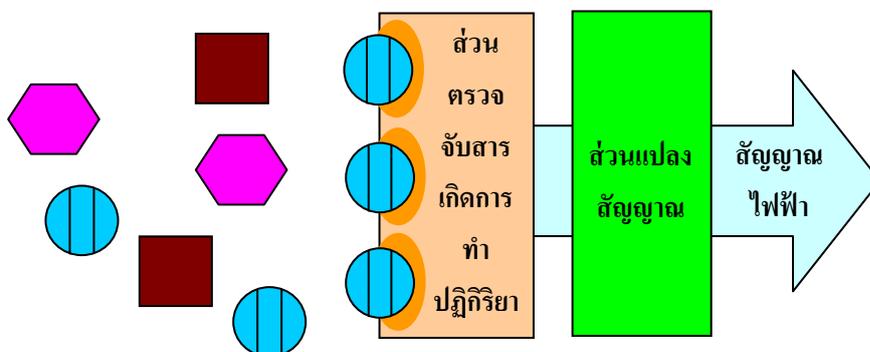
### 3.1 นิยามของเซนเซอร์ [37]

เนื่องจากความต้องการอุปกรณ์ที่มีความสามารถใช้แทนการตอบสนองทางประสาทสัมผัสของมนุษย์ เช่น การมองเห็น การสัมผัส การได้ยิน การดมกลิ่น และการลิ้มรส จึงได้มีการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์เพื่อใช้ในการตรวจวัด และแสดงผลออกมาในรูปของสัญญาณหรือพลังงานในรูปแบบหนึ่ง

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

#### 3.1.1 เซนเซอร์ทางเคมี (chemical sensors)

เซนเซอร์ทางเคมี จัดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสารประเภทหนึ่ง โดยส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางเคมีประกอบด้วย ขั้นตอนการตรวจจับสารเชื่อมต่อกับส่วนแปลงสัญญาณ โดยขั้นตอนการตรวจจับสารจะทำหน้าที่ตรวจจับด้วยการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารที่ผ่านเข้ามา จากนั้นส่วนแปลงสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.1

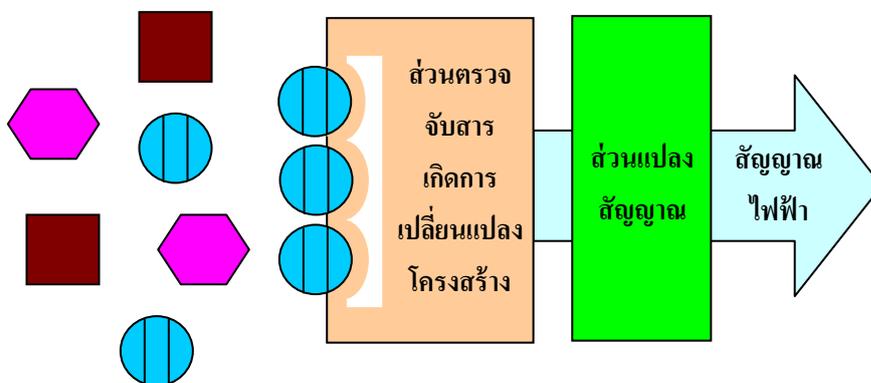


รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางเคมี

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

### 3.1.2 เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ (physical sensors)

เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ จัดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสารประเภทหนึ่ง โดยส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางฟิสิกส์ประกอบด้วย ขั้นตอนของการตรวจจับสารเชื่อมต่อกับส่วนแปลงสัญญาณ โดยขั้นตอนของการตรวจจับสารจะทำหน้าที่ตรวจจับด้วยการที่โมเลกุลของสารที่ผ่านเข้ามาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างภายในของขั้นตอนของการตรวจจับสาร จากนั้นส่วนแปลงสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางฟิสิกส์

โดยตัวอย่างอุปกรณ์เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ที่สำคัญคือ เซนเซอร์วัดความดัน (pressure sensors) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (temperature sensors)

## 3.2 หลักการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ [38]

วิธีการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์สามารถทำได้หลายวิธี โดยใช้หลักการดังนี้

1. หลักการวิธีวัดทางเคมี วิธีนี้จะตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยให้ไอระเหยของสารอินทรีย์รีดิวซ์โพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2CrO_7$ ) มีสีแดงส้มในสภาวะที่มีกรดกำมะถันอยู่ด้วย ให้กลายเป็นโครเมียมซัลเฟต ( $Cr_2(SO_4)_3$ ) มีสีเขียว ซึ่งความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไปจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไอระเหยของสารอินทรีย์ที่ตรวจวัดได้ ถ้ามีปริมาณไอระเหยของสารอินทรีย์มากขึ้นจะทำให้สีเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มขึ้น

2. หลักการวิธีวัดทางการดูดกลืนรังสี วิธีนี้จะตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้หลักการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของไอระเหยของสารอินทรีย์ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งทำให้ปริมาณรังสีอินฟราเรดที่ผ่านไปมีความเข้มของรังสีลดลง ถ้ามีปริมาณไอระเหยของสารอินทรีย์มาก การดูดกลืนรังสีจะมากขึ้นเป็นสัดส่วนตามกัน เมื่อวัดความเข้มรังสีที่เปลี่ยนไป ก็จะทำให้ทราบว่าปริมาณระเหยของสารอินทรีย์อยู่เท่าใด

3. หลักการวิธีวัดทางเคมีไฟฟ้า วิธีนี้จะตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยการให้ไอระเหยของสารอินทรีย์ทำปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้ากับเครื่องตรวจวัด ซึ่งประกอบด้วย แผ่นพลาสติกบางๆ 2 แผ่นขนานกัน และมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์กรดอยู่ระหว่างกลาง ไอระเหยของสารอินทรีย์จะถูกดูดซับอยู่บนแผ่นพลาสติก และถูกออกซิไดซ์เป็นกรดอะซิติก (acetic acid) จึงให้อิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านแผ่นพลาสติกผ่านไปยังเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไอระเหยของสารอินทรีย์

จากหลักการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ทั้ง 3 วิธีข้างต้น เป็นวิธีการที่ยุ่งยาก และใช้ค่าใช้จ่ายที่สูง งานวิจัยนี้จึงได้มีความสนใจที่จะใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนซึ่งมีลักษณะพื้นผิวเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากทำการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ ซึ่งชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนนั้น จะทำการสร้างในเนื้อซิลิคอนจึงสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย สามารถสร้างให้มีขนาดเล็ก ทำให้ผลิตได้เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ราคาต่ออุปกรณ์ถูก และกระบวนการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนนั้น ทำได้ง่าย สามารถทำการสร้างในห้องปฏิบัติการสารกึ่งตัวนำของสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้

### 3.3 หลักการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนในงานวิจัยนี้เป็น โครงสร้างแบบง่าย ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ

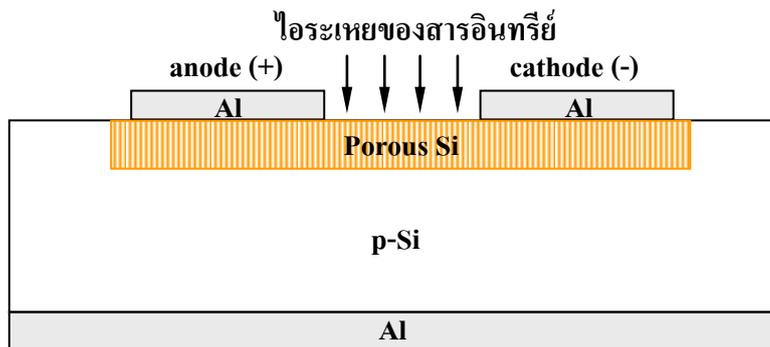
#### - ส่วนที่เป็นขั้วไฟฟ้า

ขั้วไฟฟ้าจะมีอยู่ 2 ขั้ว คือ ขั้วแคโทด กับ ขั้วแอโนด อยู่บนชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจะทำหน้าที่ในการตรวจวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ถูกดูดซับเข้ามาในรูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

#### - ส่วนที่เป็นชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ได้ดีและมีเนื้อที่ในการดูดซับมากกว่าพื้นผิวราบเรียบที่ไม่มีรูพรุน จะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับไอระเหยของสารอินทรีย์

โดยอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โครงสร้างแบบง่ายนี้ แสดงดังรูปที่ 3.3



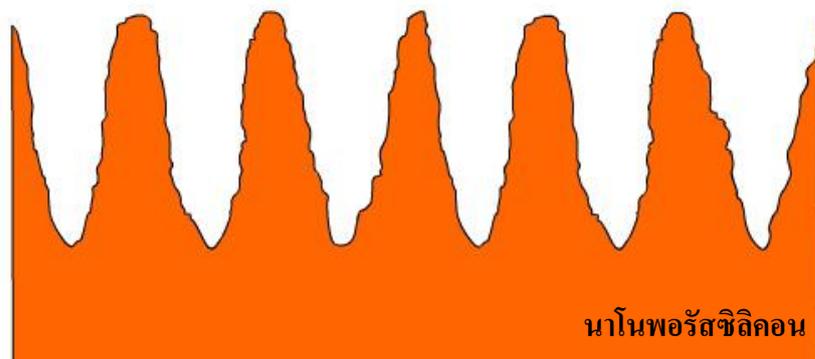
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

โดยหลักการหลักๆ ในการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนนี้มีอยู่ 2 หลักการ คือ หลักการแรก เป็นหลักการดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน และหลักการที่สอง เป็นหลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน ซึ่งทั้ง 2 หลักการนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน สามารถอธิบายแยกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

### 3.3.1 หลักการดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน [39-44]

ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน จะทำหน้าที่เป็นชั้นดูดซับ (adsorption) โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ เนื่องจากพื้นผิวที่มีรูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนสามารถดูดซับโมเลกุลก๊าซได้ดีกว่าและมีเนื้อที่ในการดูดซับมากกว่าพื้นผิวราบเรียบที่ไม่มีรูพรุน โดยการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์จะเริ่มจากชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์มาเกาะ เมื่อมีโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามาในระบบผ่านบริเวณพื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์นี้จะถูกดูดซับและจับตัวกับผนังรูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals attractive force) เมื่อมีโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามาเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์จะรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้นโมโนเลเยอร์ (mono layer) ต่อมาเมื่อมีโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามาเพิ่มมากขึ้นอีก โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ก็จะรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นชั้นมัลติเลเยอร์ (multi layer) และเมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์มารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกเรื่อยๆ ส่งผลให้ความดันไอภายในรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน (capillary condensation) ส่งผลทำให้เกิดการอึมตัวในการดูดซับโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ภายในรูพรุน และเมื่อไม่มีโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามาในระบบจะส่งผลทำให้โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหยออกจากรูพรุนซึ่งที่อุณหภูมิห้องโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์สามารถ

ระเหยได้เองแต่จะใช้เวลานาน จึงควรใช้ความร้อนหรือลมเป่าไล่ซึ่งจะทำให้โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหยไปจนหมดได้ไวขึ้น โดยกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นนี้ แสดงดังรูปที่ 3.4



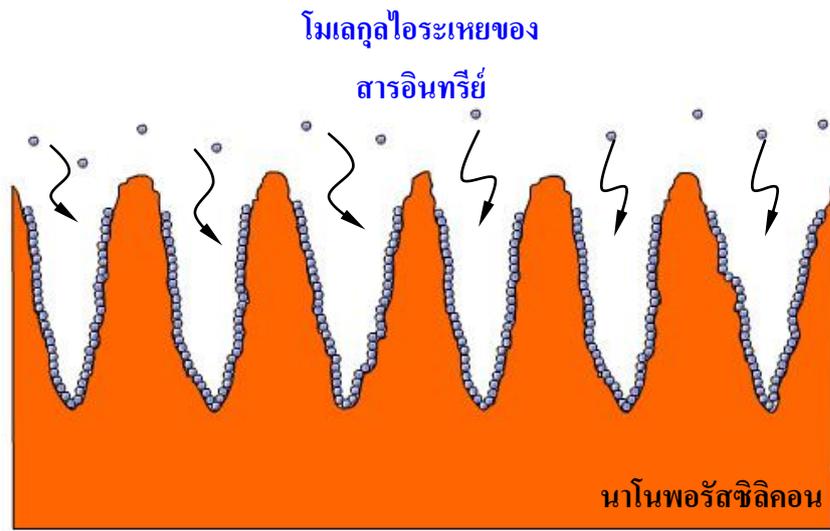
(ก)



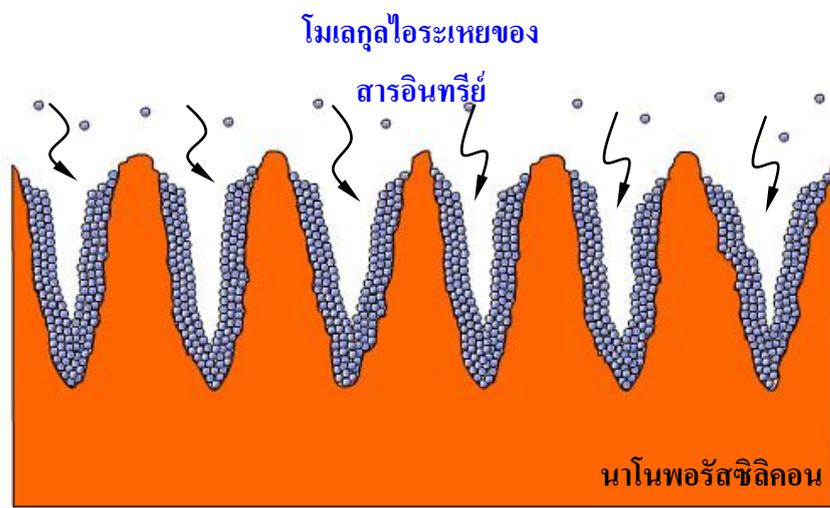
(ข)

รูปที่ 3.4 แบบจำลองการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

- (ก) ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์มาเกาะ
- (ข) โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์มาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุน
- (ค) โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้นโมโนเลเยอร์
- (ง) โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นมัลติเลเยอร์
- (จ) โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นอีกเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน
- (ฉ) โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เกิดการระเหยออกไปจากชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน
- (ช) ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหยออกไปหมดแล้ว



(ค)

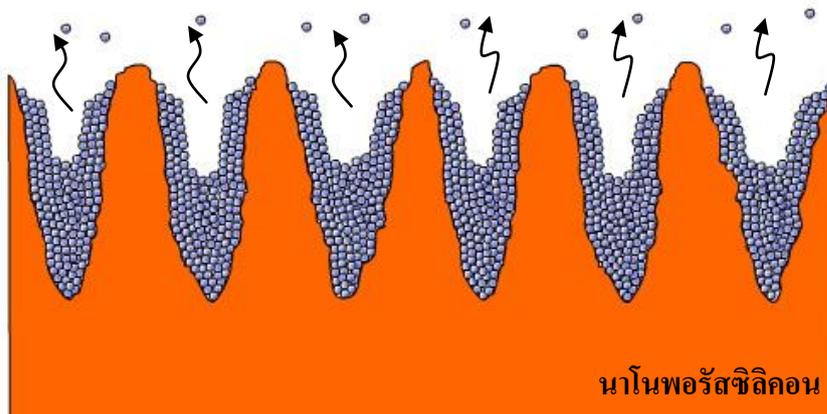


(ง)

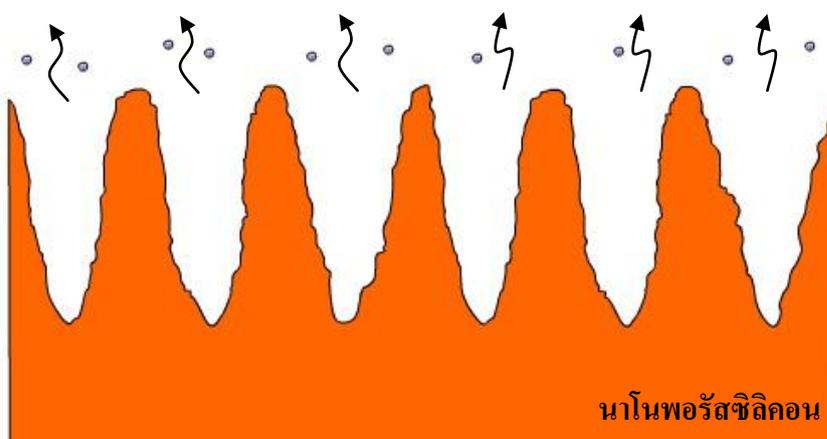


(จ)

รูปที่ 3.4 แบบจำลองการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน (ต่อ)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 แบบจำลองการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน (ต่อ)

จากรูปที่ 3.4 เป็นแบบจำลองการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

(ก) เริ่มจากชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์มาเกาะ

(ข) เมื่อมีการไหลของโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามาในระบบ โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์จะเข้ามาในบริเวณรูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน แล้วจับตัวกับผนังของรูพรุน

(ค) เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นจะเรียงตัวกันเป็นชั้นที่เรียกว่า ชั้น โมโนเลเยอร์

(ง) เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกหลายๆ ชั้น เป็นชั้นที่เรียกว่า ชั้นมัลติเลเยอร์

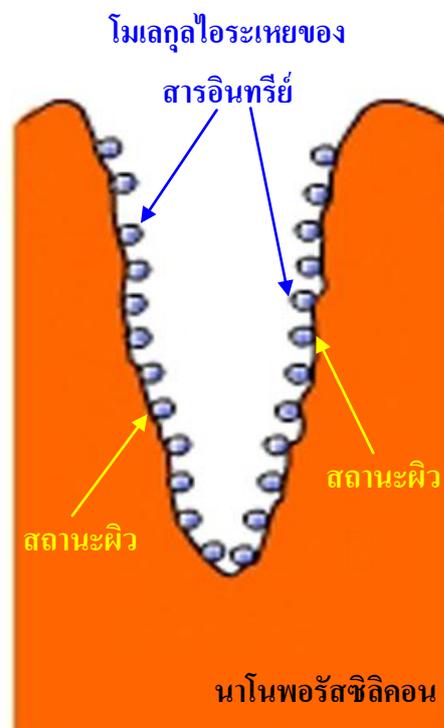
(จ) เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จะส่งผลทำให้ความดันไอภายในรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน ทำให้เกิดการอิมมersion การดูดซับโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ภายในรูพรุน

(ข) เมื่อไม่มีการไหลของโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามาในระบบ จะส่งผลทำให้โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์จะระเหยออกจากรูพรุน

(ข) เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหยออกจากรูพรุนไปจนหมดก็จะเหลือแต่ชั้นนาโนพอร์สซิลิโคน

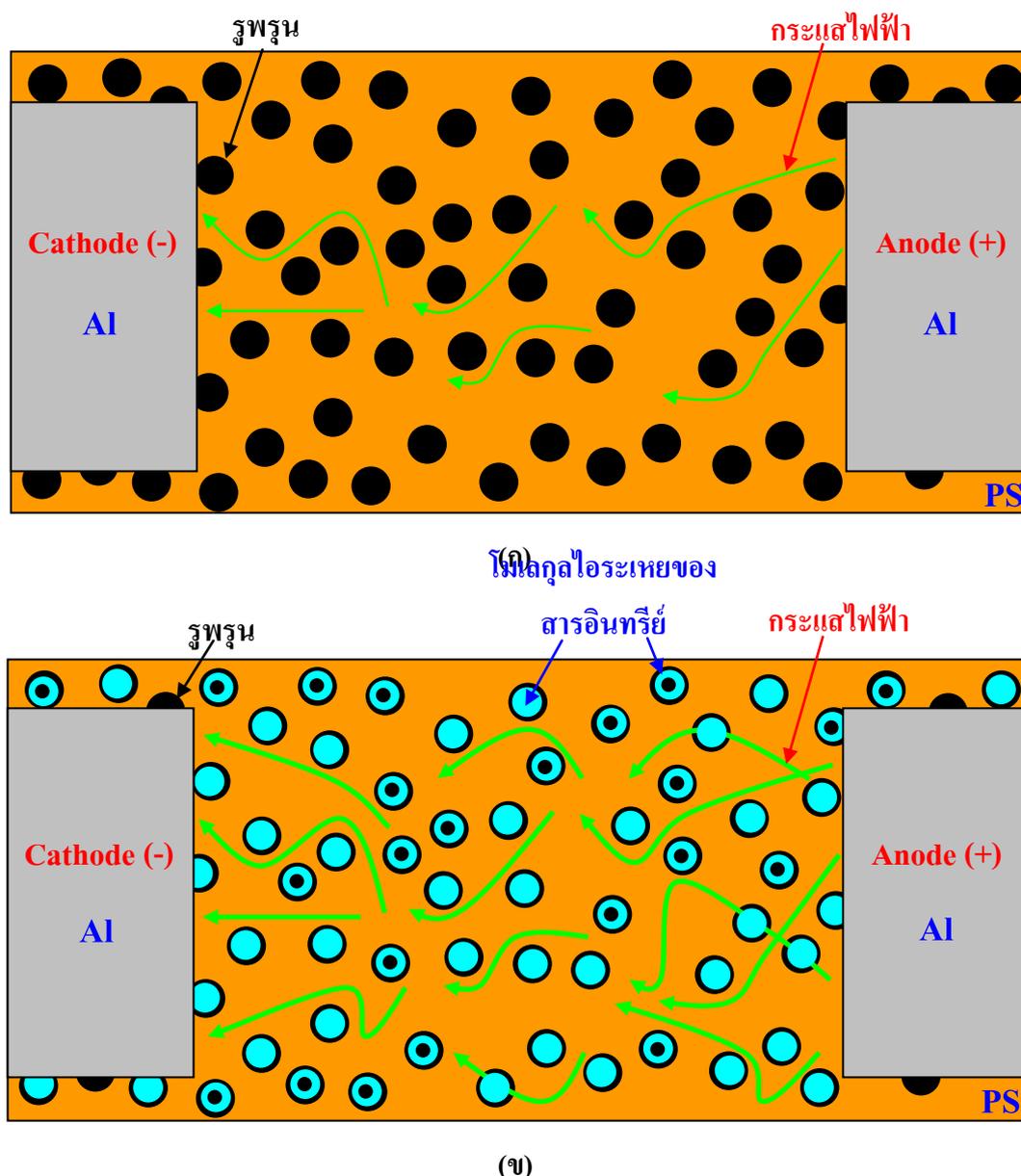
### 3.3.2 หลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์สซิลิโคน [45-48]

บริเวณผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิโคนมีพันธะแขนขาดและสารเจือปนอื่นๆ อยู่บริเวณผิวซึ่งจะทำให้มีระดับพลังงานที่เรียกว่าสถานะผิว (surface states) เกิดขึ้น เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ถูกดูดซับและจับตัวกับผนังรูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิโคน จะส่งผลทำให้เกิดการเหนี่ยวนำพาหะที่บริเวณผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิโคนเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น บริเวณผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิโคนจึงสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น โดยแบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิโคน แสดงดังรูปที่ 3.5



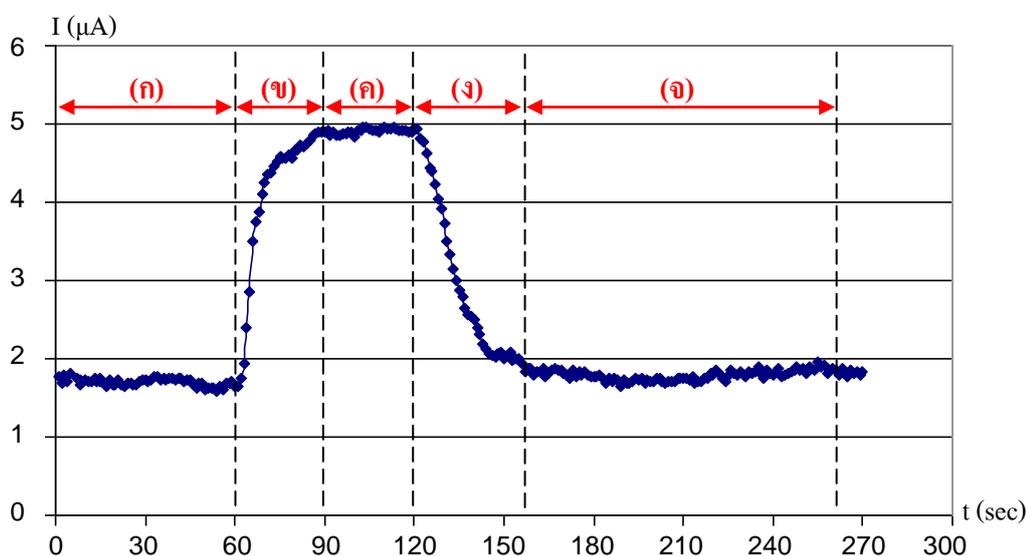
รูปที่ 3.5 แบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิโคน

จากรูปที่ 3.5 เมื่อโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนทำให้เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น และเมื่อมีโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน ส่งผลทำให้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นจนไปคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง เนื่องจากเกิดการอิมพัลส์ในการตรวจจับโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ โดยการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นนี้จะเกิดจาก 2 สาเหตุ คือ สถานะผิวที่เพิ่มมากขึ้นของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน และการนำไฟฟ้าของระเหยของสารอินทรีย์ที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แบบจำลองการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน (ก) ก่อน (ข) ขณะตรวจจับไอระเหย

จากรูปที่ 3.6 (ก) เป็นการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดก่อนที่จะมีการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ สังเกตได้ว่าจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยมากเนื่องจากชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีค่าความต้านทานที่สูง และจากรูปที่ 3.6 (ข) เมื่อมีโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมากขึ้น ทำให้มีการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้ว่าจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเกิดจาก 2 สาเหตุหลักๆ คือ เกิดจากสถานะผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่เพิ่มมากขึ้น และเกิดจากการนำไฟฟ้าของระเหยของสารอินทรีย์ที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน โดยตัวอย่างผลทดลองลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

- (ก) ช่วงที่ไม่มีโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์
- (ข) ช่วงที่โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์มาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน
- (ค) ช่วงที่เกิดการอึดตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์
- (ง) ช่วงที่โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เกิดการระเหยออกไปจากชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน
- (จ) ช่วงที่โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหยออกไปหมดแล้ว

จากรูปที่ 3.7 เป็นช่วงต่างๆ ของลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

(ก) ช่วงที่ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนยังไม่มี การดูดซับโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์

(ข) ช่วงที่มีโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เข้ามาในระบบ แล้วเข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำพาหะที่ผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนเพิ่มมากขึ้น เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น ทำให้บริเวณผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น และช่วงที่โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์มารวมตัวกันภายในรูพรุนเป็นจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน ทำให้มีการนำไฟฟ้าของระเหยของสารอินทรีย์ที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุนเกิดขึ้น

(ค) ช่วงที่เกิดการอิมตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์ ทำให้การนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง

(ง) ช่วงที่หยุดการไหลของไอระเหยของสารอินทรีย์ ทำให้โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เกิดการระเหยออกจากรูพรุนไปเรื่อยๆ ส่งผลทำให้การนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนมีค่าลดลง

(จ) ช่วงที่โมเลกุลไอระเหยของสารอินทรีย์เกิดการระเหยออกจากรูพรุนจนหมด ส่งผลทำให้บริเวณผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนกลับมานำไฟฟ้าอยู่ที่ระดับเดิมในตอนแรก

โดยเหตุการณ์การดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน และเหตุการณ์การเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน จะเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ส่งผลทำให้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนสามารถทำการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ได้