บทที่ 2 ทฤษฎี

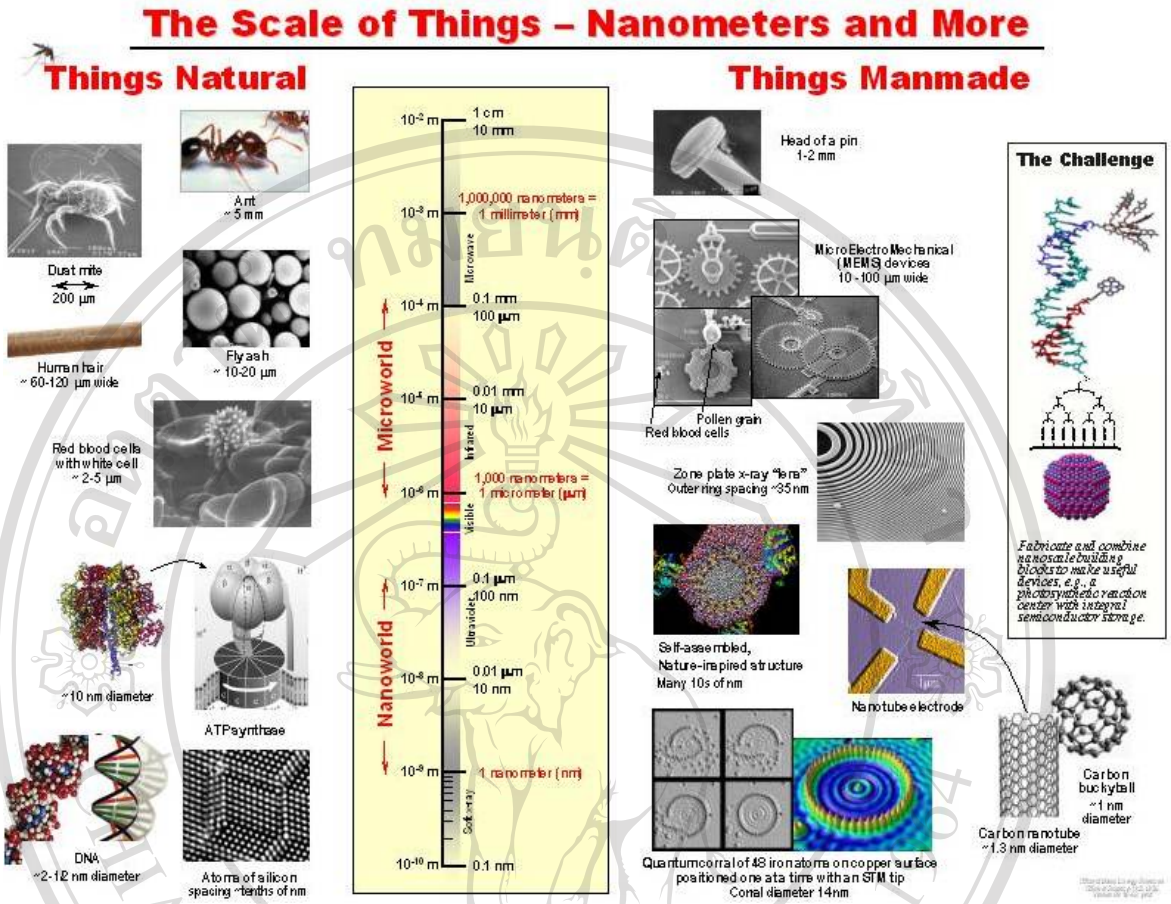
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวกับการสร้างขั้วไฟฟ้าทองคำขาวระดับนาโน เริ่มตั้งแต่นาโน และนาโนเทคโนโลยี และหลักการของเซ็นเซอร์ชีวภาพ และเซ็นเซอร์ก๊าซ สำหรับการประยุกต์ใช้ในด้านนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 นาโน และนาโนเทคโนโลยี

2.1.1 นาโนและนาโนเทคโนโลยี [3]

"นาโนเทคโนโลยี" เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับวิทยาการหลากหลายสาขา ตั้งแต่เคมีสังเคราะห์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ เคมี และวิทยาศาสตร์ชีวภาพ จึงทำให้ยากต่อการระบุนิยามหรือให้คำจำกัดความที่สามารถครอบคลุมได้ทั้งหมด อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันมีผู้ให้คำจำกัดความคำว่า "นาโนเทคโนโลยี" จำนวนมาก จึงพอสรุปได้ว่า "นาโนเทคโนโลยี" หมายถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการ การสร้าง หรือการสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักร หรือผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับ สิ่งที่มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร (ประมาณ 1-100 nm) รวมถึงการออกแบบ หรือการใช้เครื่องมือในการสร้างวัสดุที่มีขนาดเล็กมาก หรือเรียงอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุหรืออุปกรณ์มีสมบัติพิเศษขึ้น ทั้งทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือ ชีววิทยา และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อผู้ใช้สอยได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.1 เปรียบเทียบขนาดของวัสดุทางชีวภาพกับวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่มนุษย์สร้างขึ้น[22]

2.1.2. สมบัติพิเศษของนาโนเทคโนโลยี

การที่วัสดุขนาดเล็กลงเท่าใดก็จะส่งผลให้สัดส่วนของจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้า (Surface) และผิวสัมผัส (Interfaces) ของวัสดุเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น การเพิ่มขึ้นของจำนวนอะตอมที่บริเวณผิวสัมผัสของวัสดุจะมีผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุ ส่งผลให้วัสดุที่มีขนาดในระดับนาโนมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแม่เหล็ก และสมบัติทางแสง แตกต่างไปจากวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ยกตัวอย่างเช่น อนุภาคทองคำขนาดนาโนจะมีสีแดงแทนที่จะมีสีทองเหมือนกับที่เราคุ้นเคย หรือการที่ทองคำที่ปกติมักจะเฉื่อยชาต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีกลับมีสมบัติเปลี่ยนไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีได้เมื่อมีขนาดเล็กในระดับนาโน เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3. ประเภทของนาโนเทคโนโลยี[3]

กลุ่มของนาโนเทคโนโลยีนั้น มีอยู่ 3 กลุ่มใหญ่ๆด้วยกันได้แก่

2.1.3.1.วัสดุนาโน (Nanomaterial) วัสดุนาโนสามารถเป็นได้ทั้ง โลหะ เซรามิก พอลิเมอร์ และ สารประกอบ ซึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการดัดแปลงการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลในช่วงขนาด 1-100 นาโนเมตร โดยที่คุณสมบัติและพฤติกรรมต่างๆ ของวัสดุขนาดจิ๋วเหล่านี้เช่น การนำไฟฟ้า สมบัติเชิงกล สมบัติทางแม่เหล็ก จะแตกต่างไปจากวัสดุชนิดเดียวกันเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นในระดับที่เราคุ้นเคย วัสดุนาโนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณสมบัติบางอย่างของวัสดุหยาบ(bulk materials) ให้ดีขึ้นหลายทางเลือกเช่น ทนความร้อน ป้องกันการติดไฟ เสริมความแข็งแรง เพิ่มความยืดหยุ่น หรือการนำไฟฟ้า ใช้ในการสร้างชิ้นส่วนรถยนต์และเครื่องบินที่แข็งแรงแต่มีน้ำหนักเบา เป็นสารเคลือบผิวป้องกันการกัดกร่อนและรอยขีดข่วน ใช้ประดิษฐ์เซ็นเซอร์แบบต่างๆ สร้างฟิล์มเรืองแสงและอุปกรณ์ทางด้านออปติก ทำบรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซต่างๆ ทำเป็นชิ้นส่วนของอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์ และใช้ผลิตเป็นอุปกรณ์กักเก็บและลำเลียงก๊าซไฮโดรเจนเพื่อสร้างเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน ตลอดจนการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์และสาธารณสุข

2.1.3.2. นาโนอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องมาจากการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบเดิมกำลังจะถึงทางตันในอนาคตอันใกล้นี้ เนื่องมาจากแนวโน้มของการพัฒนาคือการลดขนาดของวงจรให้เล็กลง แต่ด้วยข้อจำกัดทางแสงที่เกี่ยวข้องกับโฟโต้ลิโทกราฟี ทำให้ไม่สามารถที่จะสร้างสิ่งของได้เล็กระดับนาโนได้ นอกจากนี้หลักการทางวิทยาศาสตร์จะแตกต่างไปจากเดิม เช่น เรื่องการนำไฟฟ้าในระดับนาโนจะไม่เหมือนตามที่เราเข้าใจกันอยู่ในปัจจุบัน เพราะคุณสมบัติของวัสดุในระดับนาโนมีความแตกต่างจากวัสดุหยาบ ดังนั้น การพัฒนานาโนอิเล็กทรอนิกส์ในอนาคตจึงมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อมาแก้ข้อจำกัดทั้งสองแบบ และพัฒนาไปอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยเริ่มจากการพัฒนาปรับปรุงเทคโนโลยีเดิมให้ดีขึ้นเพื่อที่จะมาสร้างสิ่งของระดับนาโน เช่นการสร้างแผงวงจรด้วยแสง UV แทนแสงธรรมดาและการสร้างหน่วยความจำ เช่น ฮาร์ดดิสก์ ด้วยลำแสงอะตอมหรือหัวอ่านแบบ SPM เพื่อให้ได้ความจุมากขึ้น นอกจากนั้นยังได้มีการใช้สารอินทรีย์มาใช้สร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพราะสารอินทรีย์บางอย่างมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำคล้ายกับสารพวกซิลิกอนที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้ในปัจจุบัน ต่อจากนั้นจะเริ่มมีการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ประโยชน์คุณสมบัติพิเศษทางนาโนมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้สารอินทรีย์ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การสร้างวงจรที่ตรวจจับสารเคมีหรือเชื้อโรค ซึ่งเป็นการย่อระบบตรวจวิเคราะห์ที่มีขนาดใหญ่ในปัจจุบันไปอยู่บนชิพวงจรขนาดจิ๋วที่จะสะดวกรวดเร็วอย่างมาก อีกทั้งยังมีการนำคุณสมบัติพิเศษของวัสดุนาโน เช่นการทำงานของสารกึ่งตัวนำระดับนาโนที่อิเล็กตรอนจะไหลผ่านไปในวงจรแบบนับได้ทีละหนึ่งหรือสองตัว ซึ่งยังจะช่วยประหยัดพลังงานอีกด้วย แล้วนำไปสู่การพัฒนาครบทุกด้านที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างๆอย่างรวดเร็ว มีขนาดเล็ก มีความจำหลายล้านเท่า และอื่นๆอีก ในอนาคต

2.1.3.3. นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นเทคโนโลยีที่รวมสหวิทยาการที่รวบรวมความรู้ในหลายสาขา คือ ด้านวิทยาศาสตร์ ชีวภาพ เคมี วิศวกรรมศาสตร์ และการแพทย์เข้าไว้ด้วยกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการตรวจสอบ ควบคุม และสร้างสารทางชีวภาพขึ้นมาใหม่เพื่อให้เกิดเป็นโมเลกุลหรือโครงสร้างสารที่ต้องการให้เกิดประโยชน์ต่อไป ประโยชน์ที่เกิดขึ้นสามารถครอบคลุมในหลายๆ ด้านคือ ทางด้านการแพทย์และเภสัชกรรม ด้านการเกษตร สิ่งแวดล้อม และอาหาร นาโนเทคโนโลยีสามารถนำมาใช้ได้หลายวิธีด้วยการพัฒนาอุปกรณ์นาโนในการตรวจโรคและการรักษา เช่น การใช้นาโนเซ็นเซอร์เพื่อตรวจสอบประเภทของสารที่ก่อโรค ซึ่งนาโนเซ็นเซอร์ที่สามารถจับสารจำเพาะในโรคนั้นๆ เช่น เซลล์มะเร็งจะมีสารที่เรียกว่าแอนติเจน ดังนั้นถ้านาโนเซ็นเซอร์สามารถตรวจจับแอนติเจนชนิดนั้นได้อย่างแม่นยำในระยะเริ่มต้น จะทำให้รักษาโรคได้อย่างง่ายและรวดเร็ว หรือการตรวจจับเชื้อปนเปื้อนที่ต้องการทดสอบ ค้นหา โดยมีความสามารถตรวจจับได้ในปริมาณน้อยมากอย่างรวดเร็วและแม่นยำ นาโนเซ็นเซอร์สามารถนำมาใช้ในกรณีที่ต้องการตรวจจับก๊าซพิษรอบบริเวณแหล่งกำเนิดมลพิษ ซึ่งจะสามารถตรวจจับได้ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณน้อยได้เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4. วิธีสร้างผลิตภัณฑ์และสิ่งของระดับนาโน[3]

สำหรับการสร้างผลิตภัณฑ์และสิ่งของระดับนาโนและนาโนเทคโนโลยีมีอยู่สองแบบคือ

(ก) แบบใหญ่ไปเล็ก (Top-down) การสร้างสิ่งของเล็กๆ จากของที่ใหญ่กว่า เป็นแนวทางหลักในการสร้างวงจรไมโครอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน โดยมีการถ่ายแบบย่อส่วนจากแม่พิมพ์ (หน้ากาก) ด้วยแสง ลงบนพื้นผิวที่ต้องการจะสร้างวงจร และนำไปผ่านขั้นตอนทางเคมีต่างๆ ที่ไปกัดกร่อนพื้นผิวให้เป็นลวดลายเหมือนแบบที่ถ่ายไว้แล้ว คล้ายกับการถ่ายภาพและไปอัดรูปลงบนกระดาษ แต่การสร้างสิ่งของนาโนด้วยวิธีนี้ มีข้อจำกัดทางเทคโนโลยี คือการใช้แสงธรรมดาไม่สามารถให้รายละเอียดคมชัดได้ในระดับนาโน จึงมีการพัฒนาวิธีอื่นๆ ขึ้นมา เช่น การใช้แสง UV หรือ X-Ray นอกจากนั้นยังมีการประดิษฐ์เครื่องมือที่ใช้ลำแสงอนุภาคโลหะมาเป็นเสมือนใบมีดที่ไปสลักสิ่งของให้เป็นรูปร่างระดับนาโนตามต้องการได้

(ข) แบบเล็กไปใหญ่ (Bottom-up) ในชีวิตประจำวัน การสร้างของจากเล็กไปใหญ่ที่เปรียบเทียบเห็นได้ ก็คือ การสร้างบ้านจากก้อนอิฐหลายๆ ก้อน เนื่องจากขนาดนาโนเมตรไม่ใช่ขนาดที่เล็กที่สุด ยังมีวัตถุอีกหลายอย่างที่เล็กกว่านาโนเมตร เช่น อะตอม ซึ่งเป็นหน่วยทางเคมีที่เล็กที่สุดของสสารต่างๆ และเปรียบเสมือนเป็นก้อนอิฐทางนาโน เราจึงสามารถสร้างสิ่งของนาโนได้จากการบังคับหรือชักจูงให้อะตอมเหล่านี้เรียงตัวได้ตามที่ต้องการ

2.2 เซ็นเซอร์แบบต่างๆ

หัวตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับรู้สิ่งต่างๆที่อยู่แวดล้อมเรา ข้อดีของหัวตรวจวัดก็คือ สามารถที่จะให้ความละเอียดในการจำแนกความแตกต่างของสิ่งที่สนใจได้มากกว่าประสาทสัมผัสทั้งห้าของเรา ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหัวตรวจวัดสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็น ทางด้านการแพทย์ ภาคอุตสาหกรรมการผลิต ภาคอุตสาหกรรมยานยนต์ การดูแลรักษาความปลอดภัยจากการก่อการร้าย รวมไปถึง การเฝ้าระวังสภาวะของสิ่งแวดล้อม ฯลฯ ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้การศึกษาทางด้านนี้ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาทางด้านหัวตรวจวัดก๊าซ หรือ หัวตรวจวัดทางชีวภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

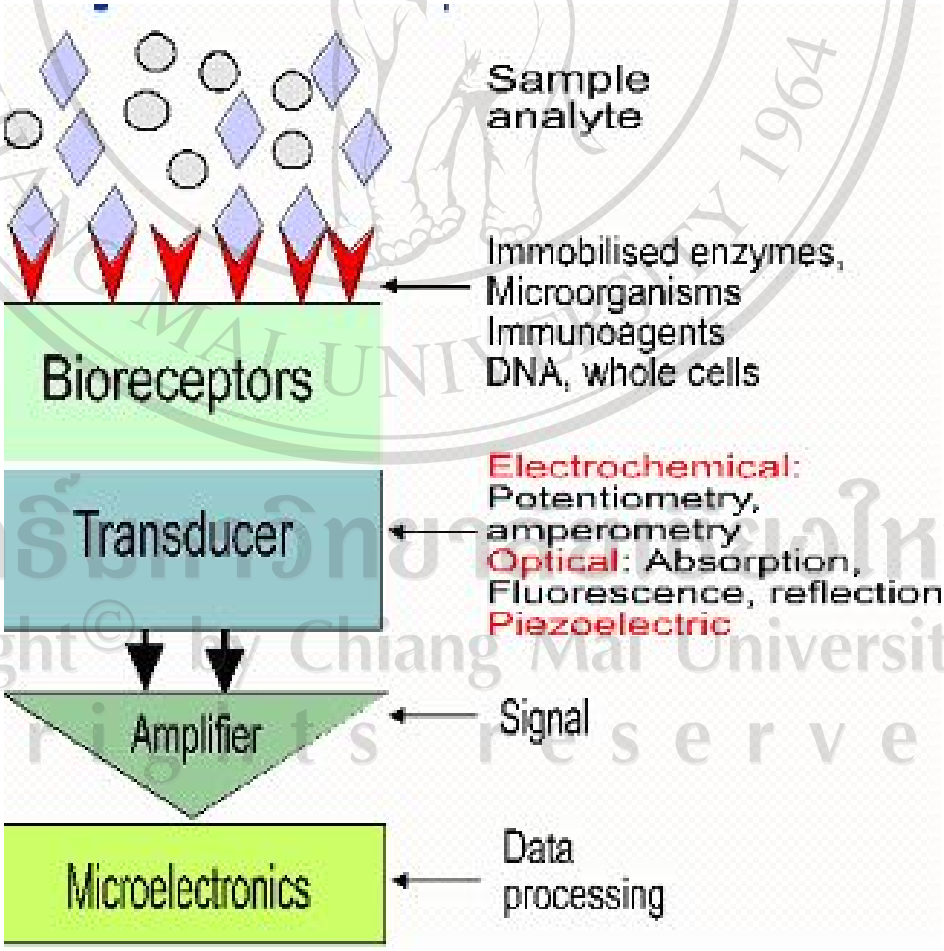
2.2.1 หัวตรวจวัดทางชีวภาพ[25] คืออุปกรณ์ตรวจวัดทางชีวภาพเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างได้อย่างเฉพาะเจาะจงและใช้ตรวจวิเคราะห์สารต่างๆ ได้หลากหลายชนิด โดยรวมแล้ว ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วนคือ ตัวแปลงสัญญาณ และสารชีวภาพ

2.2.1.1 ส่วนประกอบของหัววัดทางชีวภาพ

1. ตัวแปลงสัญญาณ (Transducer) เป็นอุปกรณ์สำหรับแปลงสัญญาณเฉพาะต่างๆ เช่น อิเล็กตรอน แสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อเป็นดัชนีระบุถึงปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์

2. สารชีวภาพ (Biological Substance) เป็นสารที่มีความสามารถทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการวิเคราะห์อย่างจำเพาะเจาะจง

โดยจะมีหลักในการทำงานซึ่งสามารถที่จะอธิบายได้ด้วยแผนภาพ ในรูป 2.2



รูป 2.2 ส่วนประกอบสองหัวตรวจวัดทางชีวภาพ[25]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนแรก ทำการตรึงสารชีวภาพเข้ากับตัวแปลงสัญญาณเพื่อสร้างไบโอเซ็นเซอร์สำหรับวิเคราะห์สารที่ต้องการ

ขั้นตอนที่สอง นำไบโอเซ็นเซอร์ที่ได้มาทำการตรวจวัดสารที่ต้องการวิเคราะห์ ในขั้นตอนนี้สารที่ ต้องการวิเคราะห์จะจับกับไบโอเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่งจำเพาะเจาะจงตรงส่วนของสารชีวภาพที่เราตรึงบนตัวไบโอเซ็นเซอร์เราเรียกขั้นตอนนี้ว่ากลไกการจดจำทางชีวภาพ (Biological recognition mechanism) จากการเข้าจับกันทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีและมีการถ่ายทอดสัญญาณเฉพาะ (Indicated signal) ซึ่งอาจเป็นอิเล็กตรอน แสง และอื่นๆเข้าสู่ตัวแปลงสัญญาณ

ขั้นตอนที่สาม ตัวแปลงสัญญาณรับและเปลี่ยนสัญญาณเฉพาะเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านเครื่องอ่านสัญญาณออกมา ทำให้เราสามารถอ่านค่าได้ เรียกขั้นตอนนี้ว่าเทคนิคของการรับและแปลงสัญญาณทางกายภาพ (Physical transduction technique) และเมื่ออ่านค่าได้ก็ทำให้ทราบว่าสารที่เราวิเคราะห์นั้นเป็นสารใด เป็นที่ยอมรับกันว่า เมื่อสารมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรจะก่อให้เกิดคุณสมบัติพิเศษต่างๆ มากมาย เช่น จุดหลอมเหลวของสารที่เปลี่ยนไป, อัตราการทำปฏิกิริยาทางเคมีที่เปลี่ยนไป, คุณสมบัติทางแสง เป็นต้น ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นเนื่องจาก อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่เพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล เมื่อพิจารณาในมุมมองของการตรวจจับก๊าซ พบว่า สาเหตุดังกล่าวควรจะทำให้คุณสมบัติในการตรวจจับก๊าซเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้น การเตรียมหัวตรวจวัดก๊าซในระดับนาโนจึงเป็นหัวข้อหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการศึกษา อีกทั้งเมื่อพิจารณาถึงขนาดและโครงสร้างของจุลชีพหรือวัสดุชีวภาพซึ่งส่วนมากมีขนาดตั้งแต่ระดับ ไมโครเมตรลงไปจนกระทั่งถึงระดับนาโนเมตรนั้น การเตรียมหัววัดที่มีขนาดในระดับเดียวกันกับสิ่งที่ต้องการพิจารณา จึงเป็นหัวข้อที่ควรมีการศึกษา เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นประโยชน์ในการศึกษาวัสดุชีวภาพที่มีขนาดเล็กๆ หรือแม้กระทั่งเซล เซลเดียว ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.1.2 ชนิดของ เซ็นเซอร์ชีวภาพมีดังนี้ แบ่งตามชนิดของ Transducer

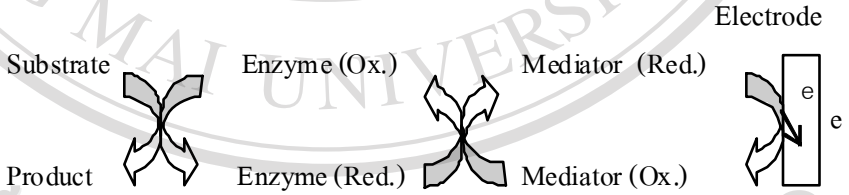
เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณชี้นำที่เกิดจากปฏิกิริยา หรือการจับกันระหว่างสารชีวภาพกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า Transducer ที่ดี จะต้องมีความไว (sensitivity) และสามารถตอบสนองได้ในช่วงปริมาณสัญญาณชี้นำที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม transducer ที่นำมาใช้ในงานเซ็นเซอร์ชีวภาพมีแบบต่างๆ ดังนี้

1. Potentiometric biosensor

ทำหน้าที่วัดจำนวนประจุที่เกิดขึ้นในภาวะสมดุล biosensor ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันดีในชื่อ Ion selective electrode (ISE) ซึ่งมีความจำเพาะต่อ อิออน และใช้ membrane เป็นตัวเลือกเฉพาะสารชี้นำชนิดเดียว เช่น pH electrode มีชั้น membrane ที่จำเพาะสำหรับ proton (H+) และประจุของ อิออน มีผลต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง working electrode กับ reference electrode ในภาวะสมดุล

2. Amperometric biosensor

วัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จากผลที่มีการถ่ายเท electron จากสารตัวอย่างเข้าสู่ electrode เมื่อเกิดปฏิกิริยา redox โดยการเร่งของเอนไซม์ แสดงลำดับขั้นตอนได้ดังรูปที่ 2.3



รูป 2.3 ลำดับขั้นการเกิดปฏิกิริยาของ Amperometric biosensor

3. Optical biosensor

เป็นการใช้เทคโนโลยีด้าน Optics และ Optoelectronics มาประยุกต์ใช้ ทำให้มีข้อดีเพิ่มขึ้น ทั้งด้านความปลอดภัยจากสารเคมี และลดการรบกวนจากสารภายนอก เครื่องมือที่ผลิตได้มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบา และราคาถูกลง จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากขึ้นเรื่อยๆ อาศัยคุณสมบัติทาง

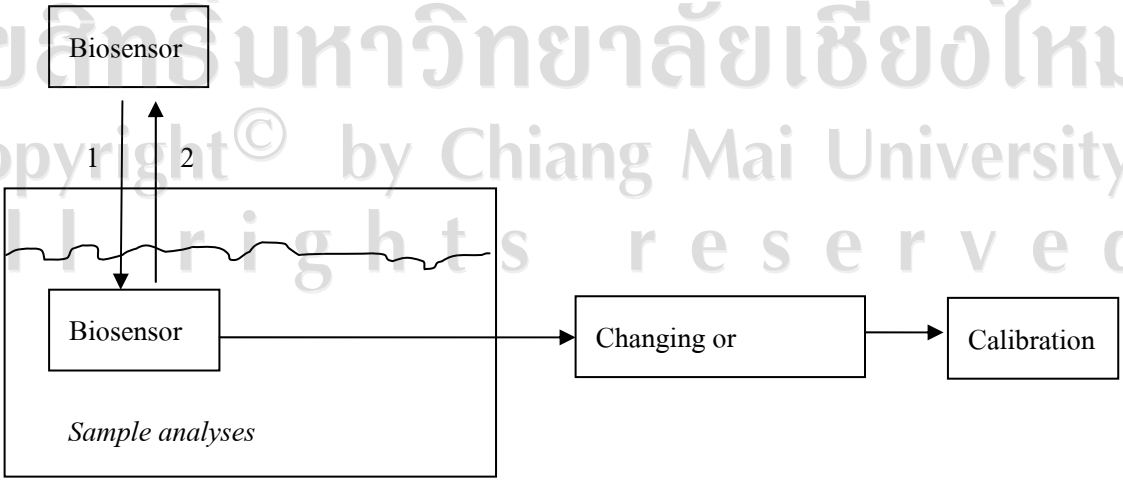
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แสง ได้แก่การดูดกลืน (Absorption) การทะลุผ่านของแสง (Transmission) การสะท้อนของแสง (Reflection) และการเรืองแสง (Fluoresce) เป็นต้น

4. Piezoelectric crystal biosensor

หลักการของ biosensor ชนิดนี้ คืออาศัยคุณสมบัติในการเป็น piezoelectricity ของผลึก ซึ่งเมื่อมีแรงกลมากระทำต่อผลึก จะทำให้เกิด electric dipoles ขึ้นภายในเนื้อวัสดุ ทำให้เกิดความต่างศักย์ซึ่งค่าความต่างศักย์แปรผันตรงกับแรงกลภายนอกที่มากระทำ หรืออีกในแนวทางหนึ่งก็คือ การจ่ายกระแสไฟฟ้ากับวัสดุทำให้เกิดการสั่นของ dipole moment และด้วยความถี่ของการสั่นที่ตรวจจับได้โดย frequency counter ทำให้เราสามารถบอกได้ถึงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากแรงภายนอกที่มากระทำ สำหรับผลึกที่ใช้กัน ได้แก่ quartz, tour marine, Rochelle salt, ceramics, สาร polymers บางชนิด เมื่อนำสารชีวภาพ (ส่วนใหญ่เป็น antibody) มาตรึงที่ผิวหน้า piezoelectric crystal และเกิดปฏิกิริยากับสารที่จำเพาะที่ต้องการตรวจวัด (ได้แก่ antigen) ก็จะเกิดเป็น Ag-Ab complex ซึ่งมีมวลเพิ่มขึ้น ทำให้เราสามารถวัดความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงไปของผลึก piezo นี้ได้ หรือในอีกแนวทางหนึ่งก็คือวัดความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจาก Ag-Ab complex โดยความถี่ที่เกิดจะขึ้นกับปริมาณ antigen ข้อดีของ biosensor ชนิดนี้ คือ ขนาดเล็ก เหมาะกับการใช้งานภาคสนาม ราคาไม่แพง มี sensitivity และ specificity สูง และใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น บางครั้งจึงเรียกกันว่า Immunosensor

หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ชีวภาพสามารถอธิบายได้ดังแผนผังต่อไปนี้



รูป 2.4 แผนผังแสดงการทำงานของเซ็นเซอร์ชีวภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

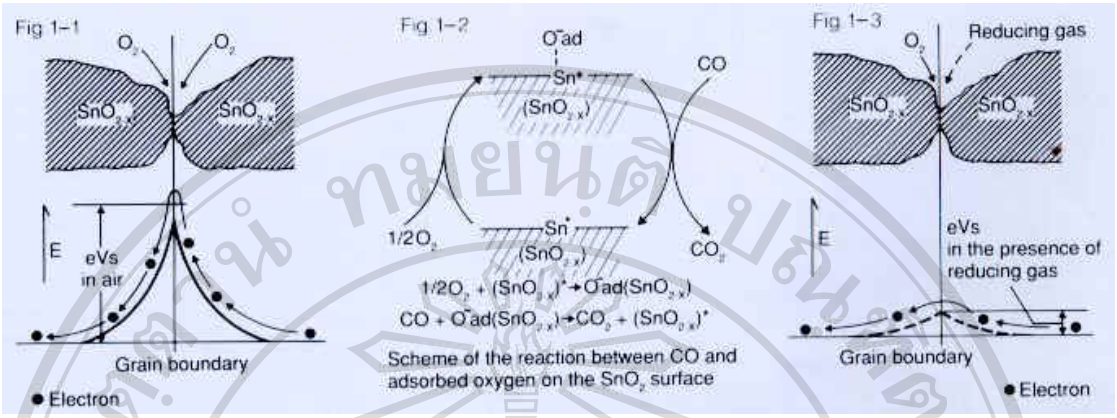
2.2.2 หัวตรวจวัดก๊าซ[23] ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ มีอยู่หลายชนิด แต่หัวตรวจวัดที่ทำจากสารกึ่งตัวนำเป็นชนิดที่ได้ความสนใจในการศึกษาเป็นอย่างมาก เนื่องจากหัววัดชนิดนี้มีข้อดีหลายอย่างเช่น ราคาถูก ใช้งานได้ง่าย คุณภาพในการตรวจวัดใกล้เคียงกับการวัดโดยใช้เทคนิคอื่นๆ เป็นต้น สำหรับกลไกในการตรวจวัดก๊าซของสารกึ่งตัวนำนั้น จะมีลักษณะดังต่อไปนี้ สารกึ่งตัวนำชนิดที่เป็นสารประกอบโลหะออกไซด์จะมีกระบวนการตอบสนองต่อก๊าซ ซึ่งสามารถใช้อธิบายได้โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการตรวจวัดก๊าซคือการทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซที่ผ่านเข้ามากับออกซิเจนอิออน หรือรีแอคทีฟออกซิเจน (Reactive oxygen) คือ O_2^-, O^{2-} และ O^- ที่มาจับบนพื้นผิวของผลึก โดยเฉพาะที่บริเวณ Grain boundary และพื้นผิวของผลึก โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีส่วนช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย จากผลการศึกษาด้วยการวัด Electron Spin Resonance (*ESR*) พบว่า กระบวนการ เปลี่ยนแปลงของ adsorbed ออกซิเจน ไปสู่ oxygen anion species เช่น O_2^-, O^{2-} และ O^- นั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิต่ำออกซิเจนที่เกาะบนพื้นผิวจะเป็น O_2^- แต่เมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น ชนิดของออกซิเจนโมเลกุลไอออน O_2^- ที่เกาะบนพื้นผิวจะแตกตัวเป็น O^{2-} หรือ O^- โดยจะดึงอิเล็กตรอนพาหะหรืออิเล็กตรอนในแถบนำ (Conduction band) จากผิวหน้าของผลึก แล้วเปลี่ยนสภาพเป็นไอออน O^{2-} หรือ O^- แล้วไปยึดติดที่พื้นผิว ตามสมการ

$$O_2(absorbed) + 1e \rightarrow O_2^-$$

หรือ $$O_2(absorbed) + 2e \rightarrow O_2^{2-}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

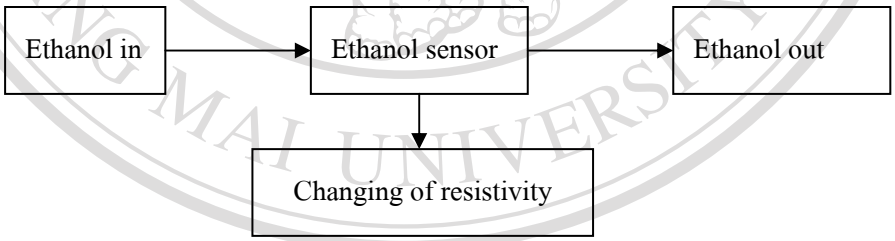
จากสมการเคมี ไอออนลบจะเข้ามายึดติดที่ผิวหน้าของสารประกอบโลหะออกไซด์ในบริเวณที่มี Oxygen vacancies โดยที่การดึงเอาอิเล็กตรอนนี้จะทำให้ เกิดบริเวณปลอดประจุ (Depletion region) ขึ้นบนพื้นผิวของสารประกอบโลหะออกไซด์ทำให้กำแพงศักย์บริเวณผิวหน้าสูงขึ้น ซึ่งจะขัดขวางการนำไฟฟ้า ดังรูป 2.5 ทำให้ สภาพนำไฟฟ้ามีค่าต่ำลง เมื่อปล่อยไอของก๊าซอื่นเข้าไป โมเลกุลของออกซิเจนไอออนที่เกาะอยู่ที่ผิวของผลึกจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของไอของก๊าซ ทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้นมา ทำให้สภาพการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มสูงขึ้น



$$A + O^{-} \rightarrow AO + e$$

รูป 2.5 ภาพแสดงลักษณะโมเลกุลของออกซิเจนไอออนที่เกาะอยู่ที่ผิวของผลึกจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของไอของก๊าซ[24]

หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ก๊าซที่ทดสอบสมบัติพื้นฐานของการตรวจวัดกับก๊าซเอทานอล



รูป 2. 6 แผนผังแสดงหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ก๊าซ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.3 สภาพไว (Sensitivity)[23]

สภาพไวเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบอกความแตกต่างของปริมาณสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัด ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานไฟฟ้าของสารประกอบโลหะออกไซด์เมื่อได้รับก๊าซซึ่งนิยามว่า

$$S = \frac{R_r}{R_g} \quad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อ

R_r คือค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ในสภาพแวดล้อมอ้างอิง เช่น อากาศ และน้ำ เป็นต้น

R_g คือค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ในสภาพแวดล้อมของตัวอย่าง เช่น ก๊าซเอทานอล และ แบคทีเรีย

ความไวกับความเข้มข้นของปริมาณตัวอย่าง คือ

$$S \propto C^b \quad \text{.....(2.2)}$$

เมือ b คือตัวเลขยกกำลัง โดยทั่วไปแล้วมีค่าเป็น 1 หรือ 0.5 ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา

C คือความเข้มข้นของตัวอย่างเช่น ก๊าซ ในหน่วย ppm

สมการนี้ใช้ในการแปรค่าจากความไวเป็นความเข้มข้นได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.4 เวลาการตอบสนอง (Response time, τ_{90}^{-}) [23]

เป็นตัวแปรที่แสดงถึงความเร็วในการตอบสนองกับตัวอย่าง เมื่อเซ็นเซอร์เกิดปฏิกิริยาเคมีกับตัวอย่าง สภาพต้านทานไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient response) อยู่ครู่หนึ่งแล้วจะคงที่กับเวลา (Steady state response) เรียกเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้า

จนมีค่าเป็น 90 % ของผลต่างระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าเดิมกับสภาพต้านทานไฟฟ้าที่คงที่กับเวลา ว่า เวลาตอบสนอง ซึ่งหาได้จาก

$$\tau_{90}^{-} = t_s - t_{0.9(R_r - R_g)} \quad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ t_s คือ เวลาที่เซ็นเซอร์เริ่มต้นอยู่ในสิ่งแวดล้อมด้วยตัวอย่าง

$t_{0.9(R_r - R_g)}$ คือ เวลาที่ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป 90 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป

2.2.5 เวลาการคืนตัว (Recovery time, τ_{90}^{+}) [23]

เวลาการคืนตัวเป็นตัวแปรสำคัญที่แสดงถึงความไวหรือความรวดเร็วในการคืนตัวของเซ็นเซอร์ ได้แก่เซ็นเซอร์ก๊าซ โดยที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าของเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Transient response) จนมีค่าคงที่เท่ากับค่าความต้านทานเริ่มต้นก่อนการเกิดปฏิกิริยาเคมี

$$\tau_{90}^{+} = t_{smin} - t_{0.9(R_r - R_g)} \quad \text{.....(2.4)}$$

เมื่อ t_{smin} คือ เวลาที่เริ่มต้นปิดไอสาร

$t_{0.9(R_r - R_g)}$ คือ เวลาที่ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงกลับไป 90 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved