



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาฟิล์มบางโพลีอิมิดระดับนาโนโดยวิธีการสปัตเตอร์ริง

The Development of thin-film Polyimide in NANO by Sputtering

จัดทำโดย

นายรังสรรค์ เมืองเหนือ

RCH

QC

176-83

ร 314 ก

ด. 1

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน... 116116

วัน,เดือน,ปี... 2 11 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีใดๆ

12312701
b.....
i.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จอย่างสมบูรณ์ได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2551

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร.นิมิต ชมนาวัง และ คุณชิตพงษ์ เกตุถนอม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาฟิล์มบางโพลีอิมิดระดับนาโนเมตร โดยวิธีการสปีดเตอร์ริง โดยที่ฟิล์มบางโพลีอิมิดถูกสร้างด้วยเครื่อง อาร์ เอฟ สปีดเตอร์ริงเทคนิค เริ่มจากนำแผ่นฟิล์มโพลีอิมิดมาติดกับแผ่นโลหะวงกลมสำหรับเป็นเป้าโพลีอิมิด ฟิล์มบางโพลีอิมิดถูกสร้างบนฐานรองกระจกสไลด์ พบอัตราการเกิดของฟิล์ม 1 อังสตรอม/นาที่

นอกจากนั้นยังนำฟิล์มบางมาสร้างตัวเซนเซอร์ความชื้น โดยใช้เทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์และเทคโนโลยีวงจรรวม สำหรับเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์โดยสร้างอิเล็คโทรดแบบซี่หวีทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์และใช้วัสดุไวความชื้นที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ เทปขาวโพลีอิมิด หนา 60 ไมครอน และฟิล์มบางโพลีอิมิด หนา 45 อังสตรอม จากทดสอบเซนเซอร์หาค่าการตอบสนองต่อเวลา พบว่าตัวเซนเซอร์ที่โพลีอิมิดจากการสปีดเตอร์ริงให้ค่าการตอบสนองดีกว่าแบบเทปโพลีอิมิด ส่วนเทคโนโลยีวงจรรวมทำการสร้างอิเล็คโทรดอิมูนีเยบบนกระจกสไลด์แล้วเคลือบด้วยโพลีอิมิดจากสปีดเตอร์ริงที่ความหนา 45 อังสตรอม พบค่าการตอบสนองของเทคโนโลยีวงจรรวมดีกว่าการใช้เทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

This research presents the development of thin-film polyimide in NANO by sputtering. The thin film was grown by RF sputtering technique. A sheet of polyimide was laminated on metal disc and used as polyimide target. The thin-film polyimide was fabricated on glass slide. The rate of grow was 1 Å/min.

In addition, The thin film was fabricated as humidity sensor. There were printed circuit board technology and integrated circuit technology. For printed circuit board technology, the sensor was fabricated by patterning copper layer into interdigital electrodes followed by application of humidity sensitive materials such as 60 µm in thickness and 45 Å-thick sputtered polyimide film. The results showed that sensors with sputtered polyimide film has higher response time than those with polyimide tape. For integrated circuit technology, the sensor was fabricated by patterning aluminium layer into interdigital electrodes followed by application of humidity sensitive materials such as 45 Å-thick sputtered polyimide film. The response time of integrated circuit technology was better than printed circuit board technology.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อภาษาไทย	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย	4
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา	5
บทที่ 2 ทฤษฎี	6
2.1 ระบบการสร้างฟิล์มบาง	6
2.2 สปีตเตอร์ริง	11
2.3 เงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการสร้างฟิล์มบาง	18
2.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของ SPF –RF Sputtering System	19
2.5 กระบวนการสร้างฟิล์มโลหะด้วยวิธีการระเหยในสุญญากาศบนฐานรองซิลิคอน และซิลิคอนไดออกไซด์	22
2.6 อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี	25
บทที่ 3 กระบวนการสร้างฟิล์มบาง	29
3.1 การกำหนดขั้นตอนของกระบวนการสร้าง	29
3.2 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี	29
3.3 กระบวนการสร้างลวดลายโลหะ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)	หน้า
3.4 สปีดเตอริง (Sputtering)	29
3.5 กระบวนการทำความสะอาด	33
3.6 การสร้างตัวเซนเซอร์ความชื้น(Humidity Sensor) จากเทปกาว	34
3.7 การสร้างตัวตรวจรู้ความชื้น(Humidity Sensors)จากฟิล์มบาง	36
3.8 การสร้างตัวตรวจรู้ความชื้น(Humidity Sensors)จากฟิล์มบาง	38
บทที่ 4 การออกแบบและการสร้าง	41
4.1 การสร้างฟิล์มบางโลหะอลูมิเนียม	41
4.2 การสร้างฟิล์มบางโพลีเอไมด์	43
4.3 ตัวเซนเซอร์ตรวจจับความชื้น	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	57
เอกสารอ้างอิง	59
ประวัติผู้เขียน	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคการขึ้นรูปฟิล์มบางด้วยวิธีต่างๆ	3
ตารางที่ 2.1 เงื่อนไขของวิธีการระเหยในสุญญากาศของฟิล์ม AI ในการทดลอง	23
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า	25
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบช่วงเวลาการตอนสนองของเซนเซอร์ความชื้นทั้งสามแบบ	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 สูตร โครงสร้างทางเคมีของ Polyimide (PI)	2
รูปที่ 1.2 สูตร โครงสร้างทางเคมีของ Polyamide-imide (PAI)	2
รูปที่ 2.1 เทคโนโลยีการสร้างฟิล์มบางโดยการปลูกผลึกชนิดต่าง ๆ	6
รูปที่ 2.2 กลไกที่เกิดขึ้นเมื่อไอออนบวกชนผิวของเป้า	7
รูปที่ 2.3 การสปีดเตอร์ริงเปรียบเทียบเหมือนกันชนด้วยลูกบิลเลียด	8
รูปที่ 2.4 การถ่ายทอดโมเมนตัมในกระบวนการสปีดเตอร์ริง	8
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสปีดเตอร์ริงกับพลังงานไอออนบวก	9
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของระบบไดโอดไฟฟ้ากระแสตรง	11
รูปที่ 2.7 ลักษณะทั่วไปของระบบเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปีดเตอร์ริง	11
รูปที่ 2.8 แบบจำลอง โครงสร้าง (Zone model) แสดงอิทธิพลของวัสดุรองรับและความดันก๊าซอาร์กอนที่มีต่อโครงสร้างของฟิล์มบางที่ทำการเคลือบด้วยวิธีสปีดเตอร์ริง	13
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของไอออนโมเลกุลคู่ (MO^+/M^++MO^+) กับพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะของโลหะออกไซด์	14
รูปที่ 2.10 แบบจำลองการเกิด DC diode sputtering	16
รูปที่ 2.11 ระบบสปีดเตอร์ริงแบบ RF sputtering	17
รูปที่ 2.12 รูป SPF – RF Sputtering System	19
รูปที่ 2.13 องค์ประกอบรวม SPF – RF Sputtering System	19
รูปที่ 2.14 ภาพแหล่งจ่ายพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ รุ่น 922-9502A	20
รูปที่ 2.15 ภาพแผงควบคุม ปุ่ม, B-A Gauge and Heater	20
รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเครื่อง filament evaporation	22
รูปที่ 2.17 เครื่องเคลือบฟิล์ม โลหะแบบระเหยในสุญญากาศ	24
รูปที่ 18 Block diagram of an infrared spectrophotometer	26
รูปที่ 19 Dispersive infrared spectrophotometer	19
รูปที่ 3.1 รูป SPF – RF Sputtering System	31
รูปที่ 3.2 องค์ประกอบรวม SPF – RF Sputtering System	31
รูปที่ 3.3 ภาพแหล่งจ่ายพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ รุ่น 922-9502A	32
รูปที่ 3.4 ภาพแผงควบคุม ปุ่ม, B-A Gauge and Heater	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.5 ภาพตัดขวางของแผ่นกระจก	35
รูปที่ 3.6 กระบวนการสร้างตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์ และใช้เทปกาวโพลีเอไมด์	35
รูปที่ 3.7 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์และใช้เทปกาวโพลีเอไมด์	36
รูปที่ 3.8 กระบวนการสร้างตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์ และฟิล์มบางโพลีเอไมด์	37
รูปที่ 3.9 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์และฟิล์มบางโพลีเอไมด์	38
รูปที่ 3.10 กระบวนการสร้างตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีฟิล์มบาง และฟิล์มบางโพลีเอไมด์	39
รูปที่ 3.11 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีฟิล์มบางและฟิล์มบางโพลีเอไมด์	40
รูปที่ 4.1 ฟิล์มโลหะอลูมิเนียมที่ได้จากการสปีดเตอร์	41
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน RF และอัตราการสปีดเตอร์	42
รูปที่ 4.3 การติดตั้งเป้าโพลีเอไมด์	43
รูปที่ 4.4 ฟิล์มโพลีเอไมด์ที่ได้จากการสปีดเตอร์	44
รูปที่ 4.5 แสดงฟิล์มบางโพลีเอไมด์ที่ได้จากการสปีดเตอร์	44
รูปที่ 4.6 กราฟความหนา 76 นาโนเมตร ของฟิล์มบางโพลีเอไมด์	45
รูปที่ 4.7(ก) กราฟการวิเคราะห์ด้วย FTIR วัสดุมาตรฐาน โพลีเอไมด์	45
รูปที่ 4.7(ข) กราฟการวิเคราะห์ด้วย FTIR ฟิล์มบางโพลีเอไมด์	46
รูปที่ 4.8 แผนวงจรกำเนิดความถี่ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	46
รูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงการวัดความชื้น	47
รูปที่ 4.10 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์ และใช้เทปกาวโพลีเอไมด์	48
รูปที่ 4.11 ภาพตัดขวางตัวเซนเซอร์ความชื้นที่ทดสอบกับไอน้ำ	49
รูปที่ 4.12 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ที่สร้างเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์ โดยใช้เทปกาวโพลีเอไมด์ ณ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาต์พุตเป็น แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.13 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ที่สร้างเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์ โดยใช้เทปกาวโพลีเอไมด์ ณ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	50
รูปที่ 4.14 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์และฟิล์มบางโพลีเอไมด์	51
รูปที่ 4.15 ภาพตัดขวางตัวเซนเซอร์ความชื้นที่ทดสอบกับไอน้ำ	52
รูปที่ 4.16 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์ โดยการสปัตเตอร์ริงโพลีเอไมด์ฟิล์มหนา 45 Å ณ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	53
รูปที่ 4.17 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์ โดยการสปัตเตอร์ริงโพลีเอไมด์ฟิล์มหนา 45 Å ณ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	53
รูปที่ 4.18 ภาพตัดขวางตัวเซนเซอร์ความชื้นที่ทดสอบกับไอน้ำ	54
รูปที่ 4.19 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีวงจรรวมและฟิล์มบางโพลีเอไมด์	54
รูปที่ 4.20 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีวงจรรวมกระจกสไลด์ โดยการสปัตเตอร์ริงโพลีเอไมด์ฟิล์มหนา 45 Å ณ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	55
รูปที่ 4.21 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีวงจรรวมกระจกสไลด์ โดยการสปัตเตอร์ริงโพลีเอไมด์ฟิล์มหนา 45 Å ณ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

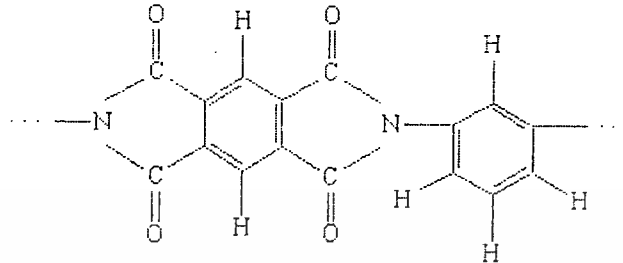
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โดยทั่วไปสมบัติทางกายภาพของวัสดุ จะเปลี่ยนแปลงจากผลของการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้าง ดังนั้นการลดลงของขนาดอนุภาคซึ่งสอดคล้องโดยตรงกับการเรียงตัวของอะตอม โดยเฉพาะการเรียงตัวของอะตอมที่บริเวณผิวสัมผัส จะเป็นเหตุผลสำคัญในการกำหนดสมบัติทางกายภาพของวัสดุนั้นๆ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้วัสดุนาโนมีสมบัติที่สมบูรณ์แบบ ตัวอย่างเช่น มีความแข็งแรงและเหนียวแน่นกว่าวัสดุที่มีเกรนขนาดใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุนาโนดังกล่าวมีการเพิ่มขึ้นของบริเวณที่เป็นผิวสัมผัสที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุ นอกจากนี้ยังทำให้วัสดุนาโนมีสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแสง และสมบัติทางแม่เหล็กดีกว่าวัสดุที่มีเกรนขนาดใหญ่ วัสดุนาโนจึงได้เข้ามามีความสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการเร่งผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวคะตะลิสต์ และยังมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การพัฒนาวัสดุสำหรับ Photo cells หรือวัสดุเซนเซอร์ ทำให้มีการเตรียมวัสดุนาโนกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

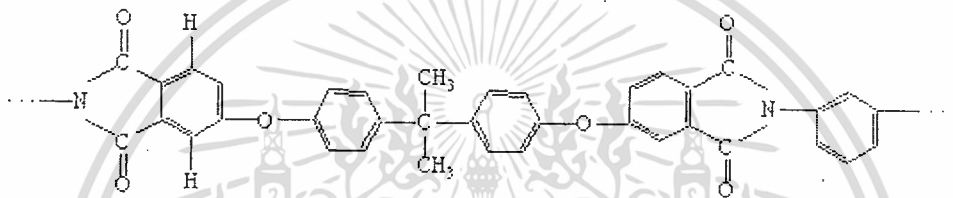
ในปัจจุบันศักยภาพและมูลค่าเพิ่มของสินค้าประเภทอุปโภคส่วนมากจะทำมาจากวัสดุโพลีเมอร์ ได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของประชาชนอย่างมาก ทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้มีการจัดตั้งศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นต้นแบบนำร่องของการศึกษาไมโครอิเล็กทรอนิกส์เต็มรูปแบบ ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมบุคลากรให้มีความรู้พื้นฐานอย่างเพียงพอ เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำและได้กำลังศึกษาคณะสมบัติทางวัสดุโพลีเมอร์ฟิล์มบางระดับนาโน โดยวิธีการสปีดเตอร์ริง เพื่อเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญในลำดับต้นๆ อย่างหนึ่งที่จะทำให้บุคลากรมีความรู้และความเข้าใจของเทคนิคการสร้างฟิล์มบางโพลีเมอร์ เพราะฉะนั้นการศึกษาคณะสมบัติโพลีเมอร์แบบ Polyimide จะทำให้เกิดการเรียนรู้และเข้าใจการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำร่วมกับกระบวนการสร้างฟิล์มบางโพลีเมอร์ เพื่อผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการเตรียมความพร้อมของบุคลากรในด้าน Semiconductor Fabrication Technology ด้านเทคโนโลยีฟิล์มบางโพลีเมอร์

ในการศึกษาค้นคว้าและทำการทดลองในช่วงระยะ 10 ปีที่ผ่านมาพบว่า สารที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10^{-9} เมตร จะให้สมบัติทางเคมีและสมบัติทางฟิสิกส์ที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับสารชนิดเดียวกันแต่มีขนาดที่ใหญ่กว่า จึงได้มีการศึกษาพัฒนาวิธีการและเทคนิคต่างๆที่ใช้ในการเตรียมสารให้ได้อนุภาคขนาดนาโน

ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาคุณสมบัติระดับนาโนของฟิล์ม Polyimide ซึ่งจัดเป็นโพลีเมอร์ ชนิดหนึ่ง ดังแสดงดังรูปที่ 1 แสดงสูตรสารยึดติดแผงอุปกรณ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วนประกอบของยานอวกาศและ รูปที่ 2 แสดงสูตรอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนประกอบของยานอวกาศและยานยนต์



รูปที่ 1.1 สูตร โครงสร้างทางเคมีของ Polyimide (PI)



รูปที่ 1.2 สูตร โครงสร้างทางเคมีของ Polyamide-imide (PAI)

ในแวดวงอุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้าระดับโลก ผู้ผลิตคอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร กล้องถ่ายรูป หรือโทรศัพท์มือถือ ฯลฯ ต่างรู้จักกันเป็นอย่างดี Polyimide ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ชนิดหนึ่งมีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นเมื่อเป็นฟิล์ม Polyimide ดังนี้

1. ใช้เคลือบชิ้นงานให้มีความแข็งแรงมากขึ้นและป้องกันการเกิดออกซิไดซ์
2. สามารถยึดติดกับชิ้นงานได้เป็นอย่างดี
3. ทนอุณหภูมิได้สูง
4. ความยืดหยุ่นสูงและแข็ง
5. ทนต่อสารเคมี
6. มีคุณสมบัติตอบสนองต่อแสง (photosensitive)
7. เป็นตัวดูดซับความชื้นได้ดีประยุกต์เป็นตัวตรวจจับก๊าซได้

ทำให้ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เห็นความสำคัญของการศึกษาคุณสมบัติของ Polyimide ที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางด้านวิศวกรรม หรือแม้แต่งานทางด้านวิทยาศาสตร์ จึงได้มีการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนขึ้น ซึ่งวิธีการสังเคราะห์นี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ได้แก่

1. การสังเคราะห์ทางด้านฟิสิกส์(Physical Synthesis) จะเป็นการใช้แรงหรือพลังงานในรูปแบบต่างๆเพื่อให้เกิดการสลายตัวหรือเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของอะตอม เช่นวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางสถาบันฯ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายประชาสัมพันธ์ โทร. 02-111-1111 หรือ 02-111-1112

Sputtering, Ion-beam และ Plasma เป็นต้น

2. การสังเคราะห์ทางด้านเคมี(Chemical Synthesis) เป็นการทำให้เกิดปฏิกิริยาของสาร วิธีการตกตะกอน วิธีการเตรียม Sol-gel เป็นต้น

เทคนิคที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบางที่นิยมและแพร่หลายมีหลายวิธี ซึ่งมีบางส่วนมีหลักการที่เหมือนกันและต่างกัน ตัวอย่างเทคนิคที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มบาง ได้แก่ วิธีสปัตเตอร์ริง (Sputtering) วิธี CVD(Chemical Vapor Deposition) วิธีการพ่นแยกสลายด้วยความร้อน(Spray Pyrolysis)และวิธีการหล่อแผ่นบาง(Tape Casting) ดังแสดงการเปรียบเทียบตารางที่ 1

ในการทำวิจัยนี้เน้นการเตรียมด้วยวิธีการสปัตเตอร์ริง ซึ่งมีข้อดีดังนี้

1. สามารถควบคุมความหนาของฟิล์มได้ตามต้องการ
2. สามารถควบคุมอัตราการเกิดของฟิล์มได้
3. สามารถควบคุมอุณหภูมิของฐานรองขณะเกิดฟิล์มได้
4. ได้ฟิล์มมีคุณสมบัติสม่ำเสมอ
5. การยึดเกาะของฟิล์มกับฐานรองได้ดี
6. ได้ฟิล์มที่บริสุทธิ์
7. เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการสร้างวงจรรวม

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคการขึ้นรูปฟิล์มบางด้วยวิธีต่างๆ และผลการเตรียมฟิล์ม วิธีสปัตเตอร์ริง(Sputtering) การพ่นแยกสลายด้วยความร้อน(Spray pyrolysis) CVD(Chemical Vapor Deposition) และ การหล่อแผ่นบาง(Tape Casting) กับวิธีการจุ่มเคลือบ (Dip Coating) วิธีสปินเคลือบ (Spin Coating)

ผลการเตรียมฟิล์มบาง	การยึดเกาะฟิล์มบาง	ความสม่ำเสมอของฟิล์มบาง	ต้นทุนการผลิตระดับอุตสาหกรรม	ขนาดชิ้นงาน
เทคนิคการขึ้นรูปฟิล์มบาง				
วิธีสปัตเตอร์ริง (Sputtering)	การยึดเกาะของฟิล์มแน่น แข็งแรงสุด	มีความสม่ำเสมอ สูง	สูง	ผลิตชิ้นงานได้ขนาดเล็ก
CVD (Chemical Vapor Deposition)	การยึดเกาะของชั้นฟิล์มรองจากวิธีสปัตเตอร์ริง	มีความสม่ำเสมอ สูง	สูง	ผลิตชิ้นงานได้ขนาดเล็ก
การพ่นแยกสลายด้วยความร้อน (Spray pyrolysis)	การยึดเกาะของชั้นฟิล์มรองจากวิธีสปัตเตอร์ริงและ CVD	มีความสม่ำเสมอ ปานกลาง	สูง	ผลิตชิ้นงานได้ขนาดใหญ่
การหล่อแผ่นบาง (Tape Casting)	การยึดเกาะของชั้นฟิล์มรองจากวิธีสปัตเตอร์ริงและ CVD	มีความสม่ำเสมอ ปานกลาง	ไม่สูงมาก	ผลิตชิ้นงานได้ขนาดใหญ่
จุ่มเคลือบ (Dip Coating)	การยึดเกาะของชั้นฟิล์มรองจากวิธีการหล่อแผ่นบาง	มีความสม่ำเสมอ ปานกลาง	ไม่สูงมาก	ผลิตชิ้นงานได้ขนาดใหญ่
วิธีสปินเคลือบ (Spin Coating)	การยึดเกาะของชั้นฟิล์มรองจากวิธีการจุ่มเคลือบ	มีความสม่ำเสมอ ปานกลาง	ไม่สูงมาก	ผลิตชิ้นงานได้ขนาดใหญ่

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น สภาวะของแต่ละเทคนิคนั้นๆ สภาพสารที่เคลือบ สภาพแผ่นฐานรองรับ ระบบ อุปกรณ์และสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มบาง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง **Polyimide** โดยใช้เทคนิค **Sputtering**
2. ศึกษาเงื่อนไขต่างๆ ที่มีผลต่อการสร้าง ฟิล์มบาง **Polyimide** เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่ดีที่สุด
3. การพัฒนาขั้นตอนการสร้าง ฟิล์มบาง **Polyimide** เป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการสร้าง อุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์
4. ค้นคว้าและสังเคราะห์วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อลดการนำเข้าวัสดุต้นแบบจากต่างประเทศ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. การสร้างฟิล์ม โลหะด้วยวิธีการสปัตเตอร์สามารถควบคุมความหนาและความราบเรียบของฟิล์ม **Polyimide**
2. รอยสัมผัส โอห์มิกที่ติดจะต้องเป็นรอยสัมผัสที่มีความต้านทานต่ำและไม่มีผลเกี่ยวข้องกับทิศทางการไหลของกระแส
3. ค่าซีbeckของเทอร์โมคัปเปิลที่ความเข้มข้นของสารเจือต่างๆกัน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการทางสารกึ่งตัวนำซึ่งประกอบไปด้วยดังนี้

1. กระบวนการออกแบบและสร้างกระจกต้นแบบ
2. กระบวนการทำความสะอาด
3. กระบวนการโฟโต้ลิโทกราฟี
4. กระบวนการฟิล์มบางโลหะ
5. กระบวนการฟิล์มบางโพลีอิมิด

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยฉบับนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีกระบวนการสร้างสารกึ่งตัวนำ ซึ่งอันแรกจะเน้นไปที่กระบวนการ โลหะและเริ่มตั้งแต่เทคโนโลยีการสร้างฟิล์มโลหะ โดยจะใช้เทคโนโลยีการสร้างฟิล์มโพลีอิมิดที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์มีอยู่ และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มโพลีอิมิดทั้งกายภาพและทางไฟฟ้าตั้งแต่การสร้างฟิล์มโลหะ โดย อันที่สองจะเน้นเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลังจากศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางไฟฟ้า สุดท้ายจะเป็นการวัดคุณสมบัติไฟฟ้าของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาเทคโนโลยีกระบวนการสร้างสารกึ่งตัวนำ
2. ศึกษาการใช้เครื่องมือในกระบวนการโลหะของห้องศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์
3. ศึกษากระบวนการสร้างชั้นซิลิคอน ไดออกไซด์
4. ศึกษากระบวนการโฟโตลิโธกราฟี
5. ศึกษากระบวนการสร้างฟิล์มโลหะด้วยวิธีการสปัตเตอร์ (sputtering) และวิธีการระเหยในสุญญากาศ (evaporation)
6. ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มโลหะจากเงื่อนไขของวิธีการสปัตเตอร์
7. ศึกษาการสร้างลวดลายโลหะด้วยวิธีการสกัดฟิล์มโลหะโดยใช้สารละลายหรือที่เรียกว่า
8. ประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



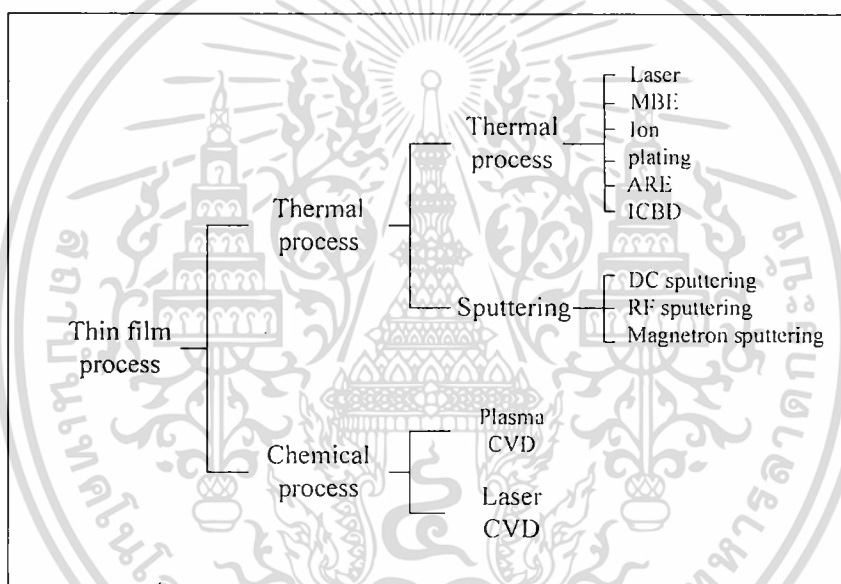
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การสร้างฟิล์มบาง (thin film fabrication)

2.1 ระบบการสร้างฟิล์มบาง

การสร้างฟิล์มบางโดยกระบวนการพอกพูน (deposition) นั้นมีอยู่หลายเทคนิคที่นิยมนำมาใช้กันแต่ ถ้าแบ่งตามกลไกการก่อตัวของชั้นฟิล์มบางแล้ว สามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี 1. การก่อตัวจากการระเหยทางกายภาพ (Physical Vapor Deposition : PVD 2. การก่อตัวจากการระเหยทางเคมี (Chemical Vapor Deposition : CVD) และในแต่ละวิธีก็ยังมีกระบวนการหรือวิธีการอื่นๆ อีก ดังในรูปที่ 2.1



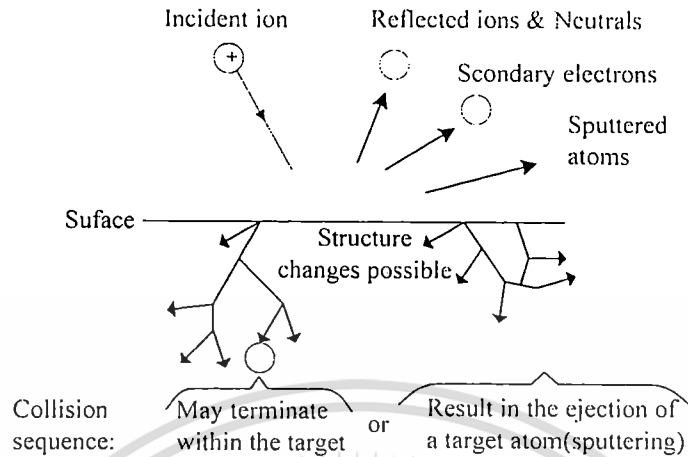
รูปที่ 2.1 เทคโนโลยีการสร้างฟิล์มบางโดยการปลูกผลึกชนิดต่าง ๆ

2.2 สปีตเตอร์ริง

2.2.1 ความหมายของสปีตเตอร์ริง

สปีตเตอร์ริง (Sputtering) หรือ สปีตเตอร์ เป็นคำศัพท์ที่กล่าวถึง กลไกที่ทำให้อะตอม (Atom) หลุดออกจากผิวอิเล็กโทรด (Electrode) ซึ่งเป็นวัสดุใด ๆ อันเนื่องจากการถูกชนด้วยอนุภาคประจุที่มีพลังงานสูงก็คือเป้านั่นเอง อะตอมที่หลุดออกไปนั้นจะเกิดการพอกพูน (Deposited) ขึ้นบนฐานรอง (Substrate) ในลักษณะของฟิล์ม การสปีตเตอร์ริงนั้นสามารถทำได้กับวัสดุหลายอย่างทั้งชนิดตัวนำ (Metal) ฉนวน (Insulator) สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) และ โลหะผสม (Alloy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



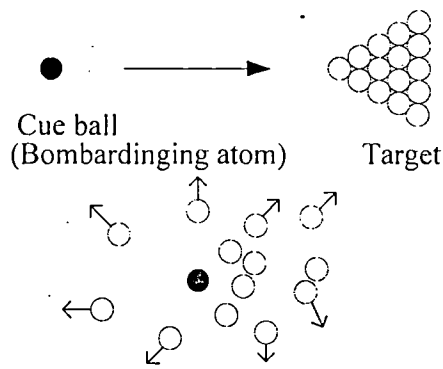
รูปที่ 2.2 กลไกที่เกิดขึ้นเมื่อไอออนบวกชนผิวของเป้า

เมื่อเป้าที่เป็นของแข็งถูกชนโดยไอออนบวกจะเกิดปรากฏการณ์ดังในรูปที่ 2.2 คือ

- ไอออนบวกที่เข้าชนสะท้อนกลับ หรือถูกทำให้เป็นกลางขณะชน
- มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron emission)
- ไอออนบวกที่เข้าชนมีการฝังตัวในเป้า (ion implantation)
- มีการจัดโครงสร้างใหม่ภายในเป้า
- มีการชนกันอย่างต่อเนื่อง (collision cascade) ระหว่างอะตอมของเป้าแล้ว จะทำให้อะตอมบริเวณผิวหน้าของเป้าถูกกระแทกหลุดออกที่เป็นปรากฏการณ์สปีดเตอร์ริง

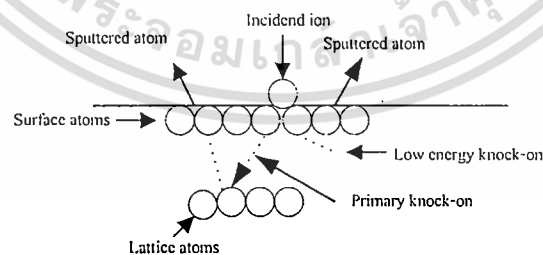
การเกิดปรากฏการณ์ในแต่ละแบบนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและพลังงานของไอออนบวกที่เข้าชน สำหรับในกรณีการเกิดสปีดเตอร์ริงจะเกิดได้ดีในช่วงพลังงานของไอออนบวกประมาณ 100 อิเล็กตรอน โวลต์ถึง 10 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์

กลไกของการสปีดเตอร์ริงอาจเปรียบเทียบกับกับการชนของลูกบิลเลียด ดังรูปที่ 2.3 พิจารณาให้อนุภาคทั้งหมดเป็นทรงกลมแข็งโดยให้ไอออนบวกเป็นลูกขาว (cue ball) และให้อะตอมที่ผิวของเป้าเป็นลูกสี (colored ball) ที่เรียงกันเป็นระเบียบ การชนของลูกขาวจะทำให้ลูกสีกระทบกันเป็นทอดๆ แล้วกระเจิงออกทุกทิศทางรวมทั้งในทิศย้อนกลับสู่ผู้เล่นด้วย ซึ่งเทียบได้กับอะตอมถูกสปีดเตอร์ริงออกจากเป้าในความเป็นจริงจะมีแรงระหว่างอะตอมซึ่งจะแตกต่างจากรณีของลูกบิลเลียด แต่แบบการจำลองการชนนี้ก็สามารถอธิบายได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด



รูปที่ 2.3 การสปีดเตอร์ริงเปรียบเทียบเหมือนกันชนด้วยลูกบิลเลียด

การที่ไอออนบวกชนเป้าแล้วมีการถ่ายทอด โมเมนตัม ให้กับอะตอมของผิวเป้าที่อยู่หนึ่งเป็นกลไกที่นำไปสู่การสปีดเตอร์ริงอะตอมออกจากผิวของเป้าซึ่งดังรูปที่ 2.4 ในการชนไอออนบวกจะชนผิวของเป้า 2 หรือ 3 อะตอมเกือบพร้อม ๆ กัน อะตอมที่ถูกชนตอนแรกยังไม่ถูกสปีดเตอร์ริงแต่เป็นอะตอมข้างเคียงอะตอมที่ถูกชนการชนจะมีสองลักษณะคือ แบบแรก อะตอมถูกชนในลักษณะ low energy knock-on องค์ประกอบของโมเมนตัมส่วนใหญ่จะอยู่ในแนวขนานกับผิวของเป้า มีการเคลื่อนตัวในแนวเฉียงด้านข้างกระแทกอะตอมที่ผิวของเป้าซึ่งมีอยู่ให้หลุดออก เป็นการชนเพียงครั้งเดียว แบบที่สอง อะตอมถูกชนในลักษณะ primary knock-on องค์ประกอบของโมเมนตัมส่วนใหญ่จะอยู่ในแนวพุ่งเข้าสู่เป้า อะตอมจะเคลื่อนตัวลงไปชนกับอะตอมในชั้นถัดไป ทำให้ตัวมันเองสะท้อนกลับไปกระแทกอะตอมที่ผิวของเป้าให้หลุดออก หรือมีการชนต่อไปอย่างต่อเนื่อง จนทำให้อะตอมอื่นได้รับ โมเมนตัมในทิศทางเปลี่ยนไปมากกว่า 90 องศา เมื่อเทียบกับโมเมนตัมของไอออนบวกที่เข้าชน อะตอมเหล่านี้ก็จะกระแทกอะตอมที่ผิวของเป้าให้หลุดออกในที่สุด



รูปที่ 2.4 การถ่ายทอด โมเมนตัม ในกระบวนการสปีดเตอร์ริง

พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายการสปีดเตอร์ริงเชิงปริมาณ คือ อัตราสปีดเตอร์ริง (sputtering yield : S) เป็นปริมาณที่บอกถึงจำนวนอะตอมของเป้าที่หลุดออกต่อการชนของไอออนบวก 1 ตัว เอกส อัตราสปีดเตอร์ริงขึ้นกับชนิดพลังงานและทิศทางของไอออนบวกที่เข้าชนกับเป้า ในกรณีที่ไอออนบวกมีพลังงานต่ำกว่าค่าเกณฑ์การสปีดเตอร์ริง จะไม่เกิดการสปีดเตอร์ริง แต่ถ้าพลังงานสูงกว่าค่าเกณฑ์การสปีดเตอร์ริงแล้ว จะเกิดการสปีดเตอร์ริง อย่างไรก็ตาม อัตราสปีดเตอร์ริงจะขึ้นกับชนิดพลังงานและทิศทางของไอออนบวกที่เข้าชนกับเป้า ในกรณีที่ไอออนบวกมีพลังงานต่ำกว่าค่าเกณฑ์การสปีดเตอร์ริง จะไม่เกิดการสปีดเตอร์ริง แต่ถ้าพลังงานสูงกว่าค่าเกณฑ์การสปีดเตอร์ริงแล้ว จะเกิดการสปีดเตอร์ริง อย่างไรก็ตาม อัตราสปีดเตอร์ริงจะขึ้นกับชนิดพลังงานและทิศทางของไอออนบวกที่เข้าชนกับเป้า ในกรณีที่ไอออนบวกมีพลังงานต่ำกว่าค่าเกณฑ์การสปีดเตอร์ริง จะไม่เกิดการสปีดเตอร์ริง แต่ถ้าพลังงานสูงกว่าค่าเกณฑ์การสปีดเตอร์ริงแล้ว จะเกิดการสปีดเตอร์ริง อย่างไรก็ตาม อัตราสปีดเตอร์ริงจะขึ้นกับชนิดพลังงานและทิศทางของไอออนบวกที่เข้าชนกับเป้า ในกรณีที่ไอออนบวกมีพลังงานต่ำกว่าค่าเกณฑ์การสปีดเตอร์ริง จะไม่เกิดการสปีดเตอร์ริง แต่ถ้าพลังงานสูงกว่าค่าเกณฑ์การสปีดเตอร์ริงแล้ว จะเกิดการสปีดเตอร์ริง อย่างไรก็ตาม อัตราสปีดเตอร์ริงจะขึ้นกับชนิดพลังงานและทิศทางของไอออนบวกที่เข้าชนกับเป้า ในกรณีที่ไอออนบวกมีพลังงานต่ำกว่าค่าเกณฑ์การสปีดเตอร์ริง จะไม่เกิดการสปีดเตอร์ริง แต่ถ้าพลังงานสูงกว่าค่าเกณฑ์การสปีดเตอร์ริงแล้ว จะเกิดการสปีดเตอร์ริง

บวกเข้าชนเป้าในทิศตั้งฉากกับระนาบของเป้าที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมแบบสุ่ม จากแบบจำลองการชนแบบยืดหยุ่นอัตราการสปีดเตอร์ริง ในช่วงพลังงานของไอออนบวกน้อยกว่า 1 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ เขียนได้ดังสมการ

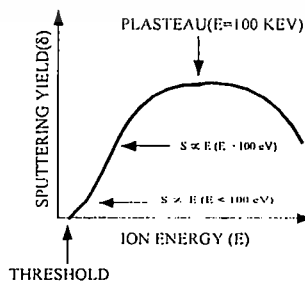
$$S = \frac{3\alpha}{4\pi^2} \frac{4m_i m_t E_i}{(m_i + m_t)^2 E_b} \quad (2.1)$$

และในช่วงพลังงานของไอออนบวกสูงกว่า 1 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ เขียนได้สมการ

$$S = 3.5\alpha \frac{(z_i z_t)(m_i m_t)}{(z_i^2 + z_t^2)(m_i + m_t) E_b} S_n(E_i) \quad (2.2)$$

โดย m_i และ E_i เป็นมวลและพลังงานจลน์ของไอออนบวก M_t และ E_t เป็นมวลของอะตอมเป้าและพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมที่ผิวของเป้าหรือพลังงานการระเหิด (heat of sublimation) Z_i และ Z_t เป็นเลขอะตอมของไอออนบวกและอะตอมของเป้า α เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้วัดการส่งผ่าน โมเมนตัมในขณะชน มีค่าขึ้นกับอัตราส่วน m_i / m_t โดย α จะเท่ากับ 0.17 เมื่ออัตราส่วน m_i / m_t เท่ากับ 0.1 และจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.4 เมื่ออัตราส่วน m_i / m_t เท่ากับ 10

$S_n(E_i)$ คือ reduced stopping power เป็นพารามิเตอร์ที่วัดการสูญเสียพลังงานงานไอออนบวกต่อหน่วยระยะทาง และเป็นฟังก์ชันกับพลังงานของไอออนบวก รวมทั้งมวลและเลขอะตอมของอนุภาคที่เกี่ยวข้อง เมื่อไอออนบวกมีพลังงานสูงอัตราการสปีดเตอร์ริงค่อนข้างจะคงที่เนื่องจาก $S_n(E)$ มีแนวโน้มเป็นอิสระจากพลังงานของไอออนบวก



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสปีดเตอร์ริงกับพลังงานไอออนบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการทั้งสองข้างต้น แสดงถึงความสัมพันธ์ของอัตราสปีดเตอร์ริงกับพารามิเตอร์ ต่างๆ ของไอออนบวกและเป้าที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสปีดเตอร์ริง รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสปีดเตอร์ริงกับพลังงานของไอออนบวก จะเห็นว่า เป้าจะเรียงถูกสปีดเตอร์ริงเมื่อถูกชนด้วยไอออนบวกที่มีพลังงานสูงเท่ากับพลังงานขีดเริ่ม (threshold energy) ของการสปีดเตอร์ริง ในช่วงพลังงานของไอออนบวกที่มีค่าใกล้กับพลังงานขีดเริ่ม ($E_i < 100$ อิเล็กตรอน โวลต์) อัตราสปีดเตอร์ริงจะแปรผันตามพลังงานของไอออนบวกยกกำลังสองและเพิ่มแบบเชิงเส้นในช่วงพลังงานของไอออนบวกระหว่าง 0.1 ถึง 1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ หลังจากนั้นจะเพิ่มช้าลงและคงที่ในช่วงพลังงานของไอออนบวกระหว่าง 10 ถึง 100 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ หากเพิ่มพลังงานไอออนบวกต่อไปอัตราสปีดเตอร์ริงจะลดลง เนื่องจากไอออนบวกมีพลังงานสูงเมื่อชนเป้าจะฝังตัวลึกและสูญเสียพลังงานอย่างรวดเร็ว หากพิจารณาการใช้งานแล้วช่วงพลังงานไอออนบวกที่เหมาะสมที่สุดในการสปีดเตอร์ริงอยู่ในช่วงพลังงานของไอออนบวกน้อยกว่า 1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

2.2.2 สภาวะพลาสมา

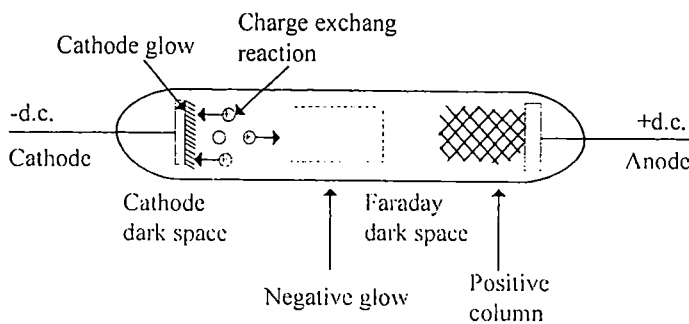
พลาสมาคือ ก๊าซที่เกิดการแตกตัว (ionized gas) ให้ประจุบวกและประจุลบในจำนวนที่เท่าๆ กัน โดยมี neutron atom ปะปนอยู่บ้าง

Negative Charge – electrons

Positive Charge – positive ions

กรรมวิธีในการทำพลาสมานั้นหลายทาง แต่ทุกวิธีจะต้องจ่ายพลังงานเข้าไปซึ่งในกระบวนการผลิตพลาสมานั้นมักใช้ก๊าซ (gas phase) ในการ Transition เนื่องจาก Electric Ionization ของก๊าซมักจะถูกนำมาใช้ทำก๊าซดิสชาร์จ (gas discharge) บ่อยๆ ซึ่งก๊าซดิสชาร์จเป็นคำที่ใช้เรียกสภาวะที่ก๊าซเกิดการนำ กระแสไฟฟ้าได้พลาสมาโกลว์ดิสชาร์จ คือ Self-sustaining plasma) ในการ Transition เนื่องจาก Electric Ionization ของก๊าซมักจะถูกนำมาใช้ทำก๊าซดิสชาร์จ (gas discharge) บ่อยๆ ซึ่งก๊าซดิสชาร์จเป็นคำที่ใช้เรียกสภาวะที่ก๊าซเกิดการนำ กระแสไฟฟ้าได้พลาสมาโกลว์ดิสชาร์จ คือ Self-sustaining plasma ในรูปที่ 2.6 ดังแสดงถึงระบบ DC diode type อย่างง่าย ๆ ที่ใช้คุณสมบัติของการก่อเกิดประจุ (Glow discharge) ภายในหลอดแก้วจะต้องทำสุญญากาศและเติมก๊าซเฉื่อย (Inert gas) ซึ่งก๊าซที่มีคุณสมบัติไม่ติดไฟไม่กัดกร่อนเมื่อผสมกับออกซิเจนและในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการใช้ก๊าซอาร์กอน (Ar gas) เนื่องจากมีมวลหนักเหมาะแก่การทำ Ions Bombardment เข้าไปจนเกิดแรงดันต่ำ ๆ ภายในหลอดแก้วมีอิเล็กโตรดอยู่สองอัน บรรจุภายในหลอดอันได้แก่ ขั้วที่มีไฟบวกเรียกว่า แอโนด (anode) ส่วนขั้วที่มีไฟลบ เรียกว่า แคโทด (cathode) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตกคร่อมเพื่อทำให้เกิดพลาสมา

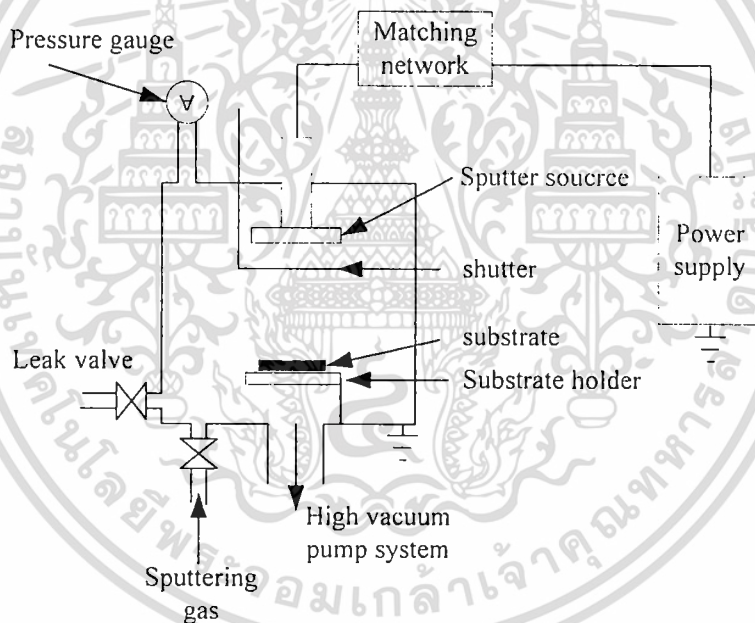
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของระบบไดโอดไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.3 โครงสร้างของระบบเคลือบฟิล์มวิธีสปัตเตอร์ริง

ระบบสปัตเตอร์ริงในที่ใช้อยู่ปัจจุบันนี้มีหลายรูปแบบ โดยมีชื่อแตกต่างกันไปแล้วแต่รูปแบบการตัดแปลงการใช้งานดังตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วนั้นอย่างไรก็ตามระบบเหล่านี้มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.7 ซึ่งประกอบด้วย



รูปที่ 2.7 ลักษณะทั่วไปของระบบเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปัตเตอร์ริง

- ภาชนะสุญญากาศ (vacuum chamber) สำหรับบรรจุก๊าซของการคิสซาร์จ แล้วติดตั้งส่วนประกอบอื่นๆ ทำจาก แก้ว สเตนเลส หรือโลหะผสม ที่ผ่านการตรวจสอบสุญญากาศแล้ว
- ระบบปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump system) ที่มีความสามารถปั๊มความดันลงได้ต่ำกว่า 10^{-6} torr ทั่วไปเป็นระบบผสมระหว่างปั๊มแบบโรตารีกับปั๊มแพร่ไอน้ำมัน หรือ ปั๊มแบบโรตารีกับปั๊มเทอร์โบโมเลคิวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หัววัดความดันก๊าซ (pressure gauge) ในภาชนะสุญญากาศ พร้อมด้วยระบบวัดและแสดงผลทั้งในย่านความดันต่ำและความดันใช้งาน
- วาล์วปล่อย (leak valve) วาล์วที่ใช้สำหรับปล่อยให้อากาศไหลเข้าภายในภาชนะสุญญากาศ
- แหล่งกำเนิดการสปัตเตอร์ริง (sputtering source) ประกอบด้วยเป้าและพร้อมแท่นยึด
- แหล่งจ่ายไฟฟ้า (power supply) ที่ใช้งานในระบบนี้คือ ชนิดกระแสสลับ (RF power supply) ความถี่ 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ สำหรับระบบอาร์เอฟสปัตเตอร์ริง
- หน้ากาก (shutter) ใช้สำหรับเปิดปิดฟลักซ์ของอะตอมที่หลุดจากแหล่งกำเนิดการสปัตเตอร์ริง
- แท่นวางวัสดุรองรับ (substrate holder) สำหรับวางวัสดุรองรับฟิล์ม
- แหล่งก๊าซสปัตเตอร์ริง (sputtering) จะต้องเป็นก๊าซที่ไม่ทำปฏิกิริยากับเป้าและฟิล์มที่เกิดขึ้น หรือส่วนประกอบอื่นๆ ในภาชนะสุญญากาศ นอกจากนี้ ต้องไม่เป็นพิษและควรมีมวลมากพอที่จะทำให้ได้อัตราการสปัตเตอร์ริงที่สูง ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป คือก๊าซอาร์กอนเพราะไม่เป็นพิษ หาง่ายและราคาถูก แต่ยังไม่ใช่ก๊าซเฉื่อยที่มีมวลมากที่สุด
- วงจรแมชชิง (match network) สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งกำลังไฟฟ้าและป้องกันแหล่งกำเนิด ในกรณีของอาร์เอฟ สปัตเตอร์ริง
- ตัวทำความร้อน (heater) สำหรับเพิ่มอุณหภูมิวัสดุรองรับพร้อมด้วยระบบวัดและควบคุมอุณหภูมิแหล่งจ่ายไฟฟ้า

2.2.4 อัตราการเคลือบฟิล์ม

อัตราการเคลือบฟิล์ม คือ ความหนาของฟิล์มต่อหน่วยเวลา ขึ้นกับปริมาณอะตอมของเป้าที่ถูกสปัตเตอร์ริง และสภาพการชนของอะตอมเหล่านี้ไปยังวัสดุที่รองรับ อัตราการเคลือบฟิล์มจะสัมพันธ์กับกระแส ความต่างศักย์ และความดันก๊าซ ในสภาวะการโกลด์ดิสชาร์จ และยังขึ้นกับระยะระหว่างเป้ากับวัสดุรองรับ

เนื่องจากกระแส ความต่างศักย์ และความดันก๊าซ เป็นปริมาณที่ขึ้นต่อกัน การวัดผลกระทบของตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งนั้นไม่สามารถทำได้ ในทางปฏิบัติจึงละเลยตัวแปรที่มีผลน้อยที่สุด การควบคุมตัวแปรอีกตัวหนึ่งให้คงที่แล้วจึงศึกษาผลจากตัวแปรที่สนใจ เช่นการทำกราฟวัดความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับกำลังไฟฟ้าที่ความดันคงที่ กำลังไฟฟ้าที่นี้เป็นการรวบรวมผลของกระแสและความต่างศักย์ของการดิสชาร์จเข้าด้วยกัน วิธีนี้ใช้กันมากในระบบอาร์เอฟสปัตเตอร์ริง สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับกำลังไฟฟ้า (P) ความดันก๊าซ (P') และระยะจากเป้าถึงวัสดุรองรับ (l) ได้ในรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R \propto \frac{P}{P^0 l} \quad (2.3)$$

2.2.5 โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบาง (microstructure of thin film)

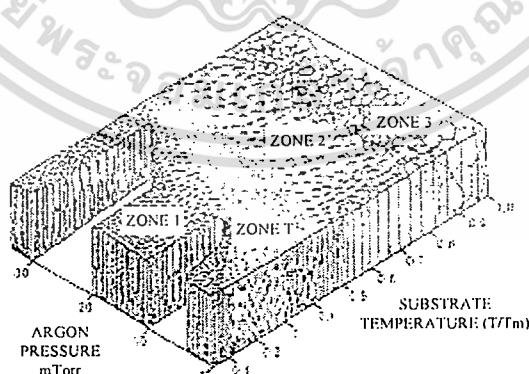
โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบางที่ได้จากการสปีดเตอริงนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 4 โซน ตามอัตราส่วน T_s/T_m และความดันก๊าซ เมื่อ T_s เป็นอุณหภูมิของวัสดุรองรับ และ T_m เป็นจุดหลอมเหลวของวัสดุต้นกำเนิดฟิล์ม ดังรูปที่ 2.8

โครงสร้างโซน 1 ประกอบด้วยแท่งเกรนเรียว (tapered column grain) เรียงกันอย่างหลวม ๆ ระหว่างเกรนเหล่านี้มีช่องว่าง (void) ค่อนข้างมากที่มีลักษณะผิวหน้าขรุขระ เสถียรภาพต่ำ โครงสร้างภายในไม่ชัดเจน และคุณสมบัติต่างจากคุณสมบัติของ bulk มาก โครงสร้างของฟิล์มแบบนี้เกิดจาก อัตราส่วน T_s/T_m น้อยกว่า 0.3

โครงสร้างโซน 2 ประกอบด้วย column grain อัดกันค่อนข้างแน่น เกิดจาก T_s/T_m มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.5 อุณหภูมิรองรับในระดับนี้ทำให้มีการเติมอะตอมในที่ว่างเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพผลความกว้างของเกรนจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิวัสดุรองรับและอาจขยายได้ตลอดตามแนวความหนาของฟิล์ม โครงสร้างแบบนี้แสดงความแกร่งเชิงกลสูง

โครงสร้างโซน 3 เกิดขึ้นเมื่อ T_s/T_m สูงกว่า 0.5 ประกอบด้วยเกรนที่สม่ำเสมอ และมีสมบัติใกล้เคียงกับ bulk

โครงสร้างโซน T เกิดขึ้นเมื่อฟิล์มในโครงสร้างโซน 1 ที่เคลือบบนวัสดุรองรับความเร็วอนันต์และ T_s/T_m เป็นศูนย์ ประกอบด้วย poorly defined fibrous grains อัดกันแน่นโดยไม่มีช่องว่างตรงรอยต่อ เป็นฟิล์มที่มีผิวเรียบ ความหนาแน่นสูง

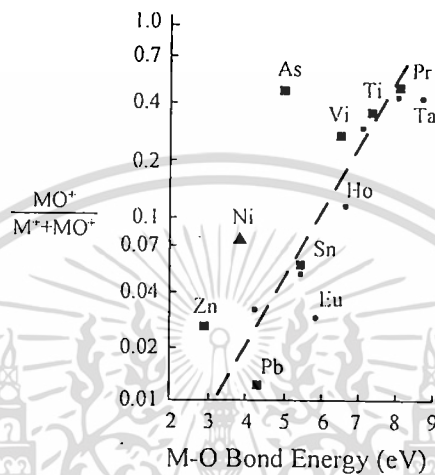


รูปที่ 2.8 แบบจำลองโครงสร้าง (Zone model) แสดงอิทธิพลของวัสดุรองรับและความดันก๊าซ

อาร์กอนที่มีต่อโครงสร้างของฟิล์มบางที่ทำการเคลือบด้วยวิธีสปีดเตอริง

2.2.6 การสปีดเตอร์ริงเป่าที่เป็นสารประกอบ

การสปีดเตอร์ริงเป่าที่เป็นสารประกอบเคมี เช่นในกรณีของโลหะออกไซด์ เป่ามีโอกาสที่จะถูกสปีดเตอร์ริงเป่าได้ทั้งอะตอมหรือโมเลกุล โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนไอออนของอะตอมโลหะและไอออนของโมเลกุลคู่ของโลหะออกไซด์ (MO^+) ต่อไอออนทั้งหมดที่ถูกสปีดเตอร์ริงออกมาสามารถเขียนได้เป็น



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของไอออนโมเลกุลคู่ ($MO^+/M^+ + MO^+$) กับพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะของโลหะออกไซด์

$$\eta = \frac{MO^+}{(M^+ + MO^+)} \quad (2.5)$$

สำหรับโลหะ M รูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่า η ขึ้นกับความแข็งแรงของพันธะของโลหะออกไซด์ M-O ดังจะเห็นว่าความแข็งแรงของพันธะไอออนโลหะออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นจะลดการแตกตัวของโมเลกุลลง η จะเป็นตัวกำหนดและวัดสำหรับไอออนโมเลกุลที่ถูกสปีดเตอร์ริงออกมา ซึ่งสัมพันธ์กับโมเลกุลที่เป็นกลางที่ให้ผลไม่แตกต่างกันมาก นอกจากนี้ η ยังขึ้นกับความดันที่ใช้สปีดเตอร์ริง เมื่อความดันที่เพิ่มขึ้นจะทำให้สัดส่วน η ลดลง และที่ความดันเป็นศูนย์แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนของไอออนที่อยู่ในบริเวณเป่าพลังงานของไอออนบวกที่เข้าชนกับเป่า หากมีพลังงานมากพอที่จะส่งให้คู่ของโมเลกุลแล้ว จะทำให้โมเลกุลสามารถที่จะหลุดจากเป่าเป็นคู่ได้ พลังงานที่ไอออนบวกส่งให้กับคู่ของโมเลกุลจะขึ้นกับฟังก์ชันการส่งผ่านพลังงาน ซึ่งจะมีค่าสูงสุดเมื่อมวลของไอออนที่เข้าชนเท่ากับมวลของอะตอมที่ถูกชน ในรูปที่ 2.9 โลหะเบาที่มีมวลเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับออกซิเจนจะเห็นได้ว่าในบริเวณใกล้เส้นประ และยังคงแสดงให้เห็นว่าไอออนโมเลกุลขนาดใหญ่จะขึ้นกับพันธะของโลหะออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 การก่อตัวเป็นฟิล์มจากการสปัตเตอร์ริงของสารประกอบ

การสปัตเตอร์ริงเป้าที่เป็นสารประกอบที่เป็นโลหะออกไซด์หรือสารประกอบอื่น โมเลกุลของเป้าที่ถูกสปัตเตอร์ริงออกมาจะไม่สมบูรณ์ จึงทำให้องค์ประกอบของฟิล์มที่ได้แตกต่างจากเป้า เนื่องจากการขาดหายของอะตอมก๊าซภายในฟิล์ม และสภาพการขนส่งอะตอมไปยังวัสดุรองรับตัวอย่างเช่น ในการสปัตเตอร์ริงเป้าควอทซ์ในก๊าซอาร์กอน ฟิล์มที่ได้จะมีการขาดหายของอะตอมของออกซิเจน วิธีแก้ไขการขาดหายไปของอะตอมก๊าซออกซิเจนทำได้โดยอย่างไร เช่น สปัตเตอร์ริงด้วยก๊าซผสมระหว่าง Ar : O₂ (85:15) ออกซิเจนที่ป้อนเข้าไปทั้งหมดจะถูกไอออไนซ์และเข้าไปจับบนฟิล์มทำให้องค์ประกอบของฟิล์มมีความสมบูรณ์มากขึ้น การไอออไนซ์ของออกซิเจนเกิดจากการถ่ายเทพลังงานจากอิเล็กตรอนภายในสภาพโกลว์ดีสชาร์จ

2.2.8 ดีซี สปัตเตอร์ริง (DC Sputtering)

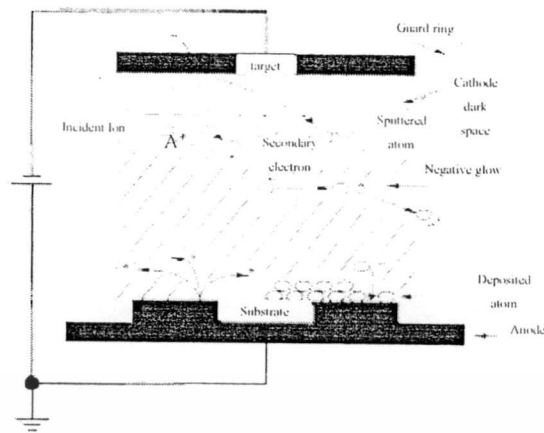
ดีซี สปัตเตอร์ริง นั้นระบบจะประกอบไปด้วยคู่ของอิเล็กโทรดที่วางขนาดกันอยู่ในระบบ โดยที่ด้านหนึ่งของอิเล็กโทรดจะเป็นขั้วแคโทดและอีกด้านหนึ่งจะเป็นด้านแอโนด ที่ด้านบนบริเวณผิวหน้าแคโทดจะมีวัสดุรอบเป้าอยู่แล้วอีกด้านหนึ่งทางด้านของขั้วแอโนดจะทำการหล่อเย็นด้วยน้ำ โดยที่บริเวณฐานรองจะอยู่ที่ขั้วแอโนด เมื่อให้ความดันของก๊าซอาร์กอนภายในระบบ (chamber) อยู่ที่ 0.1 torr และป้อนไฟฟ้ากระแสตรงโดยต่ออนุกรมกับความต้านทาน 1 ถึง 10 กิโลโอห์ม ศักย์ดาระหว่างขั้วอิเล็กโทรดมีค่าหลายกิโลโวลต์ จะทำให้เกิดโกลว์ดีสชาร์จและไอออนของก๊าซอาร์กอนในโกลว์ดีสชาร์จจะถูกเร่งไปที่ขั้วแคโทดและเกิดการสปัตเตอร์ริงที่เป้าจนทำให้เกิดการปลุกผลึกเป็นฟิล์มบางบนฐานรองด้านแอโนด

การสปัตเตอร์ริงโดยใช้ระบบดีซีนั้นการชนของโมเลกุลก๊าซ และความดันที่ก๊าซจะมีค่าสูงเมื่อระยะที่อนุภาคชนกันมีค่าน้อยกว่าระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง จำนวนของอนุภาคของส่วนที่ปลุกผลึกเป็นฟิล์มบางจะอยู่บนพื้นที่ W

$$W = \frac{K_1 W_0}{pd} \quad (2.5)$$

อัตราการตกผลึก R หาได้โดย

$$R = \frac{W}{t} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.10 แบบจำลองการเกิด DC diode sputtering

เมื่อ K_1 มีค่าคงที่ W_0 คือจำนวนของอนุภาคที่ถูกสปัตเตอร์ริงจากพื้นที่แคโทด p เป็นความดันก๊าซ ดิสชาร์จ d คือ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง W คือความหนาแน่นของฟิล์มที่ได้จากการสปัตเตอร์ริง จำนวนของอนุภาคที่ถูกสปัตเตอร์ริงจากพื้นที่ของขั้วแคโทด W_0 ซึ่งหาได้โดย

$$W_0 = \left(\frac{j_+}{e}\right) s t \left(\frac{A}{N}\right) \tag{2.7}$$

เมื่อ j_+ คือ ความหนาแน่นของกระแสที่ขั้วแคโทด e ประจุของอิเล็กตรอน s คือ สัมประสิทธิ์ในการสปัตเตอร์ริง A คือ น้ำหนักของอะตอมของวัสดุที่ถูกสปัตเตอร์ริง และ N คือ ค่า Avogadro's number ด้วยข้อสันนิษฐานที่ว่ากระแสไอออนจะมีค่าเข้าใกล้ กระแสดิสชาร์จ I_s และสัมประสิทธิ์ของการสปัตเตอร์ริงจะขึ้นอยู่กับแรงดันของการดิสชาร์จ V_s จำนวนอนุภาคที่ถูกสปัตเตอร์ริงทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ $V_s I_s t / pd$ ดังนั้นการปลูกผลึกจะขึ้นอยู่กับ $V_s I_s t$

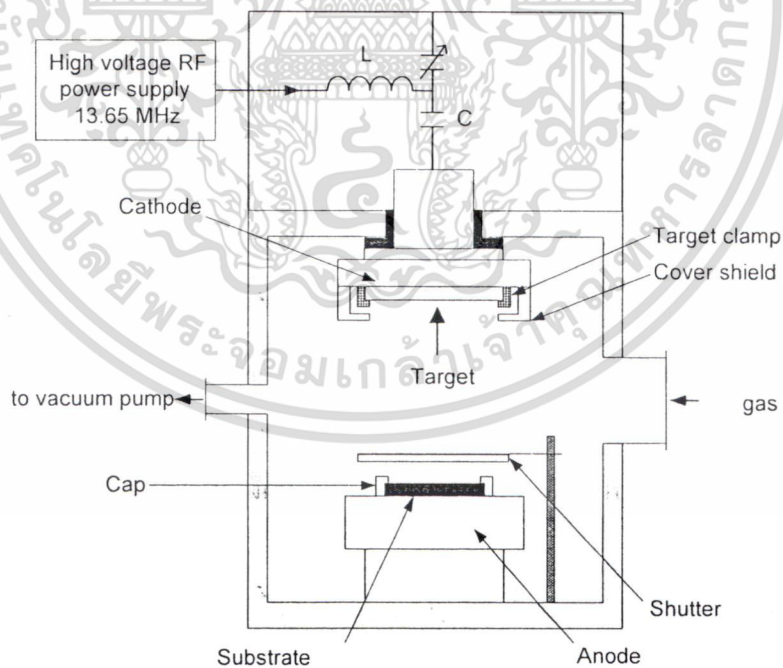
2.2.9 อาร์เอฟ สปัตเตอร์ริง (RF Sputtering)

ในการใช้เป้าฉนวนที่เป้าโลหะในระบบ ดีซี สปัตเตอร์ริงนั้น การก่อเกิดประจุ (glow discharge) จะไม่เกิดขึ้นเพราะว่าจะเกิดประจุบวกที่ผิวหน้าของฉนวน ดังนั้นการก่อเกิดประจุของเป้าฉนวนจะต้องใช้พลังงานความถี่คลื่นวิทยุแทนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเรียกระบบนี้ว่า ระบบสปัตเตอร์ริงคลื่นความถี่วิทยุหรือ RF Spttering วิธีแก้ปัญหาคือ DC Diode Spttering ทำไม่ได้จึงมีการพัฒนาเทคนิคบางอย่างขึ้นเพื่อให้สามารถใช้แคโทดที่เป็นฉนวนได้โดยใช้แรงดันไฟสลับจ่ายเข้าที่ขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งรู้จักกันในนามของ RF Sputtering โดยมีเงื่อนไขอยู่ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อิเล็กตรอนที่สูญเสียจากผิวฉนวน เนื่องจากกลไกของ ดีซี โกลว์ดีสชาร์จสปัตเตอร์ริง จะถูกทดแทนเข้าเป็นจังหวะตามคาบเวลาของคลื่นไฟฟ้าสลับ
- โกลว์ดีสชาร์จจะสามารถคงสภาพอยู่ได้ภายใต้สภาพของไฟฟ้าสลับที่สามารถทดแทนอิเล็กตรอนที่สูญเสียจากผิวได้เร็วกว่าช่วงเวลาที่ดีสชาร์จจะดับ (น้อยกว่า 1 ถึง 10 ไมโครวินาที)
- สนามไฟฟ้าที่เกิดภายใน process chamber จะต้องมีความสูงพอที่จะทำให้ไอออนมีพลังงานจลน์แรงพอเมื่อกระทบฉนวน target แล้วเกิดการสปัตเตอร์ริง
- การสปัตเตอร์ริงที่เกิดใน process chamber ควรเกิดเฉพาะบนผิว target (ไม่ควรเกิดบนผิว ภาชนะสุญญากาศ หรือ ผิวอิเล็กโทรดที่ไม่ใช่ target
- RF power ที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพพอที่จะทำให้เกิด โกลว์ดีสชาร์จสปัตเตอร์ริงที่มีอัตราการพอกพูนสูงสุด

การสปัตเตอร์ริงใน RF-discharge นั้น การสปัตเตอร์ริงในการดีสชาร์จที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุได้พบในปี 1960 โดยพบว่าเกิดขึ้นที่ผิวแก้วเคลือบที่อดีสชาร์จสปัตเตอร์ริงในระหว่างการเกิด RF -discharge จะใช้สำหรับการสร้างผลึกของฟิล์มบางและในปัจจุบันได้รับการพัฒนาเป็นอย่างมากโดยระบบดังกล่าวดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ระบบสปัตเตอร์ริงแบบ RF sputtering

ในระบบ อาร์เอฟสปัตเตอร์ริง จะต้องใช้วงจร impedance-matching ที่อยู่ระหว่างแหล่งจ่าย

พลังงานและภาชนะสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป impedance ของแหล่งจ่ายกำลังคลื่นความถี่วิทยุ มีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม ค่า impedance ของการก่อเกิดประจุ (glow-discharge) จะอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 กิโลโอห์ม ในอาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง ค่าความหนาแน่นของกระแสที่เป้า I_p มีค่าเท่ากับ

$$i_s \approx \frac{CdV}{dt} \quad (2.8)$$

เมื่อ C คือค่าความจุไฟฟ้าระหว่างเกิดการเกิดดิซชาร์จ์ และวัสดุเป้า dv/dt คือค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงศักย์ค่าที่ผิวเป้า และเมื่อพบว่าที่เพิ่มความถี่ในการสร้างจะทำให้กระแสไอออนที่เป้ามามีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยในทางปฏิบัติจะใช้ความถี่เท่ากับ 13.56 MHz

การเกิดดิซชาร์จ์ในระบบ อาร์เอฟสปีดเตอร์ริง ความดันมีค่าต่ำอยู่ที่ 10^{-2} torr เมื่อสนามไฟฟ้าในโอกาสของการชนระหว่างโมเลกุลก๊าซและอิเล็กตรอนลำดับสองจะเกิดขึ้นจำนวนมาก ในระบบอาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง นั้น blocking capacitor จะต่ออยู่ระหว่างวงจร match และ เป้า พื้นที่ของเป้าจะมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่ของแอโนดและพื้นที่ของฐานรองชิ้นงานมากๆ โครงสร้างของการวางแบบสมมาตรของอิเล็กโตรดจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าตรงที่เป้ามียุคค่าเป็นลบ ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการ สปีดเตอร์ริงในระบบอาร์เอฟ การป้อนไฟกระแสตรงจะมีค่าครึ่งหนึ่งของศักย์ค่าออกคลื่นถึงคลื่นของแหล่งจ่ายพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ สำหรับค่าสภาพความต้านทานของน้ำหล่อเย็นขั้วแคโทดจะต้องมีค่าสูงพอที่จะรักษาสภาพความเป็นฉนวนไว้ได้

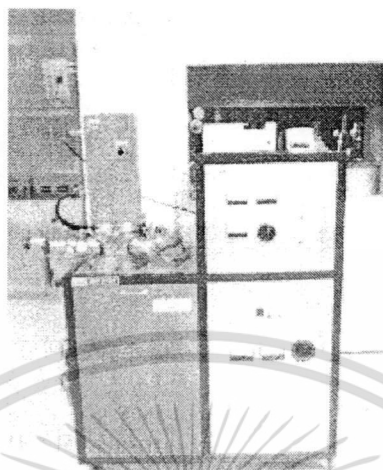
2.3 เงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการสร้างฟิล์มบาง

โดยใช้ระบบอาร์เอฟสปีดเตอร์ริงที่ใช้ในการสร้างฟิล์มบาง นี้จะมีเงื่อนไขดังนี้คือ

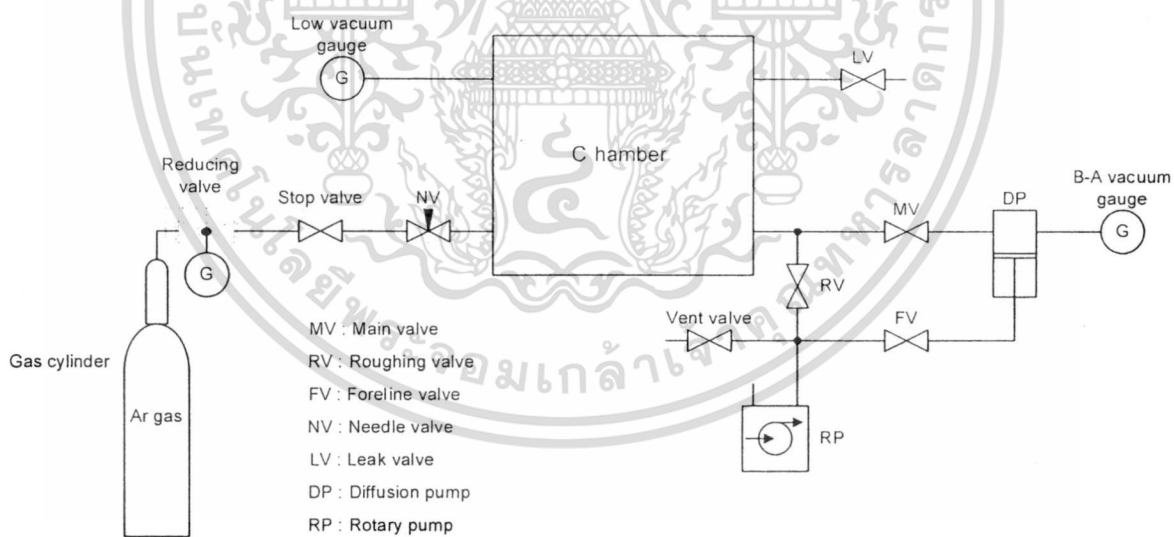
1. เป็นระบบสปีดเตอร์ริงแบบแหล่งจ่ายพลังงานความถี่วิทยุ 13.56 MHz
2. กำลังความถี่คลื่นวิทยุ 100-150 วัตต์
3. ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมเป้าไม่เกิน 1.75 กิโลวัตต์
4. ระยะห่างระหว่างฐานรองถึงเป้า 3.5 เซนติเมตร
5. เนื้อวัสดุที่เป็นเป้าเคลือบสารคือที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร และมีความหนา 0.5 เซนติเมตร
6. อุณหภูมิของฐานรองโลหะมีค่า 25-400 องศาเซลเซียส
7. Pre-sputtering time 20 นาที
8. ก๊าซที่ใช้คือ Ar, Ar : O₂ (85.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของ SPF –RF Sputtering System



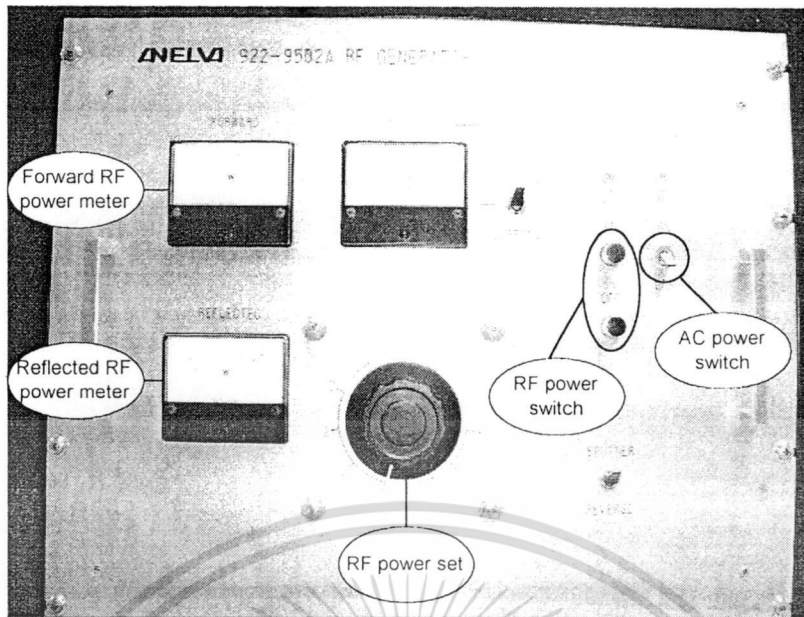
รูปที่ 2.12 รูป SPF –RF Sputtering System



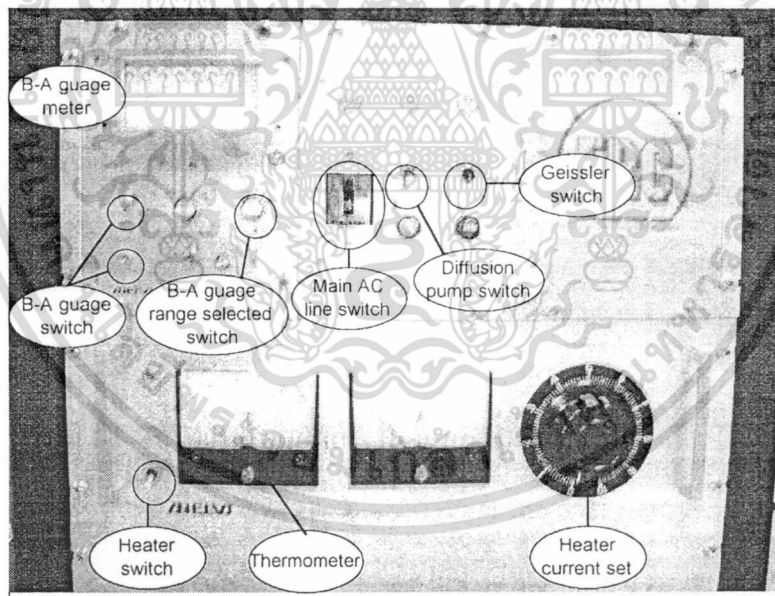
Sputtering system

รูปที่ 2.13 องค์ประกอบรวม SPF – RF Sputtering System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ภาพแหล่งจ่ายพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ รุ่น 922-9502A



รูปที่ 2.15 ภาพแผงควบคุม ปั๊ม, B-A Gauge and Heater

1. ปั๊มสุญญากาศ เพื่อใช้ในการลดความดันของก๊าซภายในระบบให้มีความดันต่ำ เพื่อให้ระบบเกิดความสะอาดและมีความเป็นสุญญากาศมากที่สุด โดยระบบนี้ประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศ 2 ชนิด

1.1 Mechanical Rotary pump ซึ่งจะใช้ในการลดความดันในระดับ ในช่วง ความดัน

บรรยากาศ ถึง 10^{-3} mbar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 Oil diffusion Pump ซึ่งจะทำงานร่วมกับ Mechanical Rotary pump โดยจะทำงานต่อจากที่ความดันต่ำกว่า 10^{-1} mbar จนถึง 10^{-8} torr

2. ภาชนะสุญญากาศ ทำจากสแตนเลส ซึ่งมีทรงเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร

3. ขั้วแคโทดและเป่าสารเคลือบมีโครงสร้างของแคโทดเป็นแบบระนาบ (planar) ที่ออกแบบและสร้างขึ้นด้วยสแตนเลส โดยมีพื้นที่เป่าสารเคลือบจะเป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร หน้า 0.5 เซนติเมตร

4. ระบบระบายความร้อนที่ขั้วแคโทดจะต้องใช้ที่มีความต้านทานสูงเพื่อหล่อเย็นและรักษาความเป็นฉนวนไฟฟ้า โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 5 ลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 20°C ส่วนระบายระบบความร้อนของปั๊มไอฟุ้งกระจาย (Oil diffusion Pump)

5. แหล่งจ่ายพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ รุ่น 922-9502A

องค์ประกอบโดยหลักของแหล่งจ่ายพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ รุ่น 922-9502A

พลังงานอินพุต : AC 100 Volt (50/60 Hz)

พลังงานเอาต์พุต : 450 Watt

คลื่นความถี่ : 13.56 MHz

อิมพีแดนซ์ : 50 Ohm

ขนาดเครื่อง : 4.80x4.90x4.00 m

6. เกจวัดความดัน จะมีอยู่ 2 ชนิด คือ

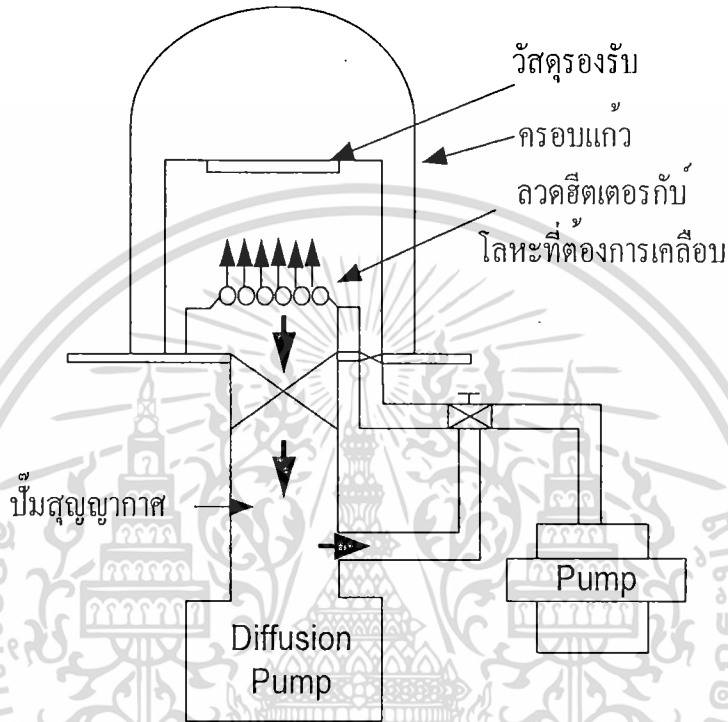
1. พีรานี จะวัดความดันในช่วงบรรยากาศ ถึง 10^{-3} mbar

2. B-A Vacuum gauge ซึ่งจะเป็น NI-10D Wide-Range Ionization Gauge ที่สามารถวัดความดันในช่วง 10^{-3} - 10^{-8} torr

7. ระบบป้อนก๊าซจะประกอบด้วยท่อก๊าซ Ar, Ar:O₂(85:15) และ Ar:O₂ (50:50)

2.5 กระบวนการสร้างฟิล์มโลหะด้วยวิธีการระเหยในสุญญากาศบนฐานรองซิลิคอนและซิลิคอนไดออกไซด์

กระบวนการโลหะด้วยวิธีการระเหยในสุญญากาศเป็นอีกวิธีหนึ่งในวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ใช้ในการสร้างฟิล์มโลหะเพื่อใช้ทำเป็นขั้วโลหะ โดยหลักการพื้นฐานได้ถูกอธิบายไว้ในบทที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเครื่อง filament evaporation

รูปที่ 2.16 เป็นรูปที่แสดง โครงสร้างของกระบวนการ โลหะด้วยวิธีด้วยวิธีการระเหยในสุญญากาศ โดย chamber ที่ได้แสดงไว้เป็นครอบแก้วรูปทรงระฆังคว่ำ (bell jar) เมื่อเริ่มต้นภายใน chamber จะมีความดันบรรยากาศปกติจะถูกดูดอากาศออกโดยใช้ mechanical pump จนความดันภายใน chamber ได้ประมาณ 10^{-3} bar จะวัดความดันที่จูนี่โดย gesissler's tube จากนั้นเมื่อแรงดันภายใน chamber ได้ประมาณ 10^{-3} bar แล้วทำการเปิดระบบของ diffusion pump เพื่อให้ diffusion pump ทำการช่วยลดแรงดันใน chamber ลงอีกจนได้ค่าประมาณ 10^{-6} bar จึงเริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มโลหะ โดยในการวัดความดันที่เป็นความดันต่ำจะต้องใช้ ionization gauge เป็นตัววัด เมื่อความดันภายในครอบแก้วลดลงจนถึงค่าประมาณ 10^{-6} bar ตามต้องการ หลังจากนั้นให้แรงดันและกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่ใส่เข้ามาจากทั้งสแตน

เมื่อใส่ถูกทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าจำนวนมากที่ไหลผ่านทำให้ลวดอลูมิเนียมที่วางอยู่บนไส้เกิดการหลอมเหลว ซึ่งลวดอลูมิเนียมจะไหลมารวมกันเป็นจุดเดียว ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อยเพิ่มแรงดันให้กับไส้ไปเรื่อยๆจนกว่าอุณหภูมิของโลหะอลูมิเนียมจะเลยจุดหลอมเหลวและระเหยเป็นไอพุ่งกระจายไปเคลือบแผ่นผลึกซิลิคอนที่วางอยู่ใน chamber

ตารางที่ 2.1 เงื่อนไขของวิธีการระเหยในสุญญากาศของฟิล์ม Al ในการทดลอง

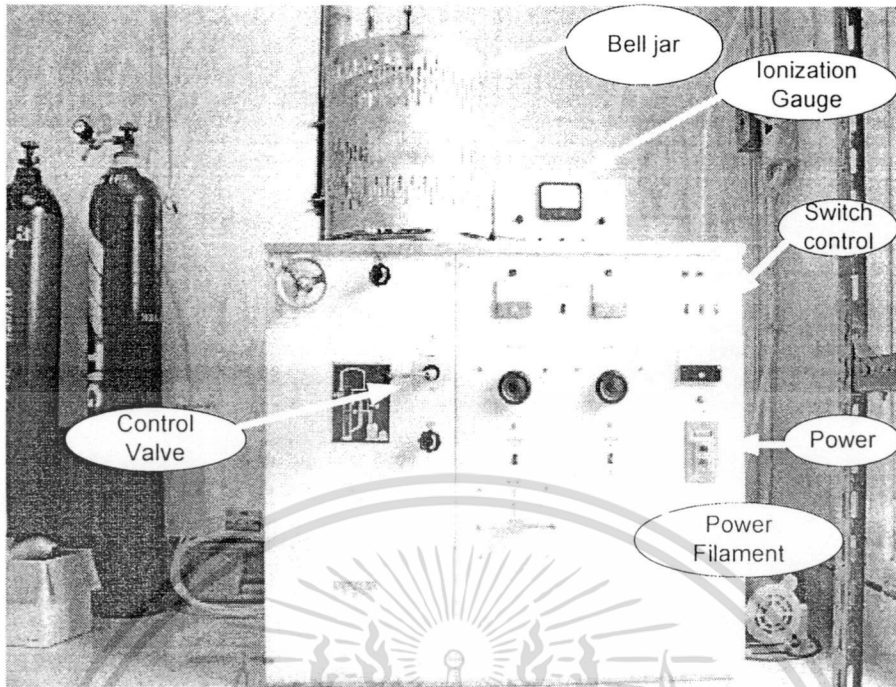
เงื่อนไข	รายละเอียด
ลวดโลหะอลูมิเนียม	ความบริสุทธิ์ 99.999% ยาว 1 cm. จำนวน 8 ไส้
ความดัน	10^{-6} bar
ลวดความร้อน	ทั้งสแตน
กำลังงาน Filament	30-40 วัตต์
ฐานรอง	ซิลิคอน ระนาบ(100) ปกคลุมด้วยซิลิคอนไดออกไซด์ 0.3 ไมครอน

ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มโลหะอลูมิเนียมในสุญญากาศ

1. ทำความสะอาดและเตรียมแผ่นซิลิคอนให้แห้ง (ซิลิคอนเคลือบบนด้วยซิลิคอนไดออกไซด์)
2. เตรียมลวดโลหะอลูมิเนียม ยาว 1cm. จำนวน 8 ไส้
3. ทำความสะอาดและเตรียมลวดโลหะอลูมิเนียมให้แห้ง
4. วางแผ่นซิลิคอนลงบน chamber ที่ตำแหน่งเหมาะสมเพื่อให้ชั้นสารที่เคลือบมีความสม่ำเสมอ
5. ติดตั้งไส้ความร้อนที่ทำจากทั้งสแตน และลวดอลูมิเนียมใน chamber
6. เปิดวาล์วของ chamber ทำการดูดอากาศขึ้นต้นออกให้ความดันภายในต่ำลงเหลือ 10^{-3} bar โดยใช้ mechanical pump
7. ปิดวาล์วของ mechanical pump เปิดวาล์ว diffusion pump เพื่อทำให้ความดันใน chamber ลดลงเหลือ 10^{-6} - 10^{-7} bar
8. จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ไส้ความร้อนทั้งสแตน โดยการเพิ่มกำลังงานไฟฟ้าขึ้นไปทีละน้อยจนกว่าโลหะอลูมิเนียมที่อยู่บนขดลวดความร้อนจะค่อยหลอมตัวเข้าด้วยกัน
9. เริ่มทำโลหะอลูมิเนียมให้เป็นไอ โดยมี shutter ปิดอยู่เพื่อมิให้สารที่เจือปนที่อยู่ในภายในโลหะอลูมิเนียมเข้าไปเคลือบบนแผ่นผลึกซิลิคอน
10. เปิด shutter ทำการเคลือบฟิล์มโลหะลงไปที่แผ่นซิลิคอนให้ได้ความหนาตามต้องการ
11. หยุดการเคลือบโลหะ ปล่อยให้ทุกอย่างใน chamber เย็นตัวลง
12. ปล่อยให้อากาศเข้าไปใน chamber ซ้ำๆจนความดันปกติ เอาชิ้นงานออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 เครื่องเคลือบฟิล์มโลหะแบบระเหยในสุญญากาศ

2.2.1 ผลการดำเนินการศึกษาเงื่อนไขของการเคลือบฟิล์มอลูมิเนียมบริสุทธิ์ลงบนแผ่นซิลิกอนออกไซด์

สำหรับขั้นตอนนี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบฟิล์มอลูมิเนียมบริสุทธิ์ โดยการสร้างฟิล์มโลหะเคลือบลงบนฐานรองที่มีซิลิกอนไดออกไซด์เคลือบอยู่ด้านบนของพื้นผิวซิลิกอน โดยใช้พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

- base Pressure <math>< 1 \times 10^{-6}</math> bar
- power Filament : 30-40 Watt
- cool down time \approx 2 Hours

จากนั้นทำการตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มดังนี้

- ค่า resistance ของฟิล์ม : $0.2 \Omega / \square$
- ค่า reflectance ของฟิล์ม : 100 %
- สีของแผ่นฐานรอง และ Al : มีนวลเหมือนกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Infrared Spectroscopy, IR)

อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีเป็นเทคนิคที่นำแสงอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ในการตรวจเอกลักษณ์, หาสูตรโครงสร้างหรือหาปริมาณของสาร โดยโมเลกุลของสารแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วงความถี่ที่มีค่าเฉพาะแตกต่างกันแล้วทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของพันธะปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะถูกบันทึกเป็นสเปกตรัมซึ่งแสดงลักษณะเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด

2.6.1 แสงอินฟราเรด (Infrared radiation)

แสงอินฟราเรดเป็นคลื่นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงที่มองเห็น (Visible light) และ microwave ส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ในอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีคือช่วงอินฟราเรดกลางซึ่งมีความยาวคลื่น 2.5-25 ไมโครเมตร

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า แบ่งตามความถี่ (frequency), ความยาวคลื่น (wavelength) และผลของรังสีต่อการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล

Type of Radiation	Frequency Range (ν : Hz)	Wavelength Range (λ : μm)	Type of Transition
gamma-rays	10^{20} - 10^{24}	<1 pm	nuclear
X-rays	10^{17} - 10^{20}	1 nm-1 pm	inner electron
ultraviolet	10^{15} - 10^{17}	400 nm-1 nm	outer electron
visible	4 - 7.5×10^{14}	750 nm-400 nm	outer electron
infrared	10^{13} - 10^{14}	25 μm -2.5 μm	Molecular vibrations
microwaves	3×10^{11} - 10^{13}	1 mm-25 μm	molecular rotations, electron spin flips*
radio waves	$<3 \times 10^{11}$	>1 mm	nuclear spin flips*

*for energy levels split by a magnetic field

ช่วงคลื่นของอินฟราเรด

Region	Wavelength range (mm)	Wavenumber range (cm ⁻¹)
Near	0.78 - 2.5	12800 - 4000
Middle	2.5 - 50	4000 - 200
Far	50 - 1000	200 - 10

การบอกช่วงคลื่นของอินฟราเรดอาจบอกได้หลายหน่วย คือ ความยาวคลื่น (λ : wave length) ความถี่ (ν : frequency) หรือจำนวนคลื่นต่อระยะทาง 1 ซม. (ν : wave number) หน่วยที่นิยมใช้ในการแสดงตำแหน่งของแสงอินฟราเรดคือ wave number ซึ่งเราสามารถแปลง wave length เป็น wave number ได้โดยอาศัยสูตร

$$\nu = \frac{10^4}{\lambda}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการบอกช่วงคลื่นในรูปของ frequency สามารถแปลงเป็นความยาวคลื่นได้เช่นกัน โดยอาศัยสูตร

$$\begin{aligned} v &= c/\lambda \\ \text{เมื่อ } v &= \text{ความถี่ (Hz)} \\ c &= \text{ความเร็วแสง } (3.00 \times 10^{10} \text{ cm.s}^{-1}) \\ \lambda &= \text{ความยาวคลื่น (cm)} \end{aligned}$$

เนื่องจาก wave number เป็นความถี่ใน 1 หน่วยระยะทาง ส่วน frequency เป็นความถี่ใน 1 หน่วยเวลา ดังนั้นเราอาจพบที่มีการเรียก wave number ว่าความถี่ได้เช่นกัน

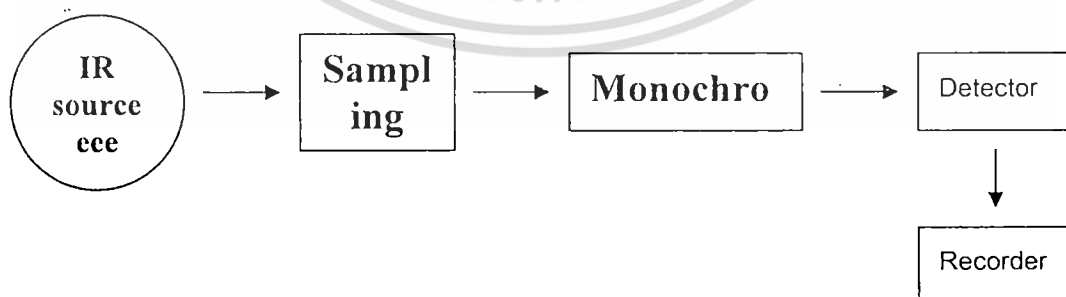
2.6.2 การดูดกลืนแสงอินฟราเรด

การดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารมีลักษณะเช่นเดียวกับการดูดกลืนแสงชนิดอื่นๆ นั่นคือ โมเลกุลหนึ่งๆ จะดูดกลืนแสงที่มีพลังงานพอดีที่ทำให้เกิดการกระตุ้นหนึ่งๆ เท่านั้น แต่แสงอินฟราเรดมีพลังงานต่ำ เมื่อโมเลกุลดูดกลืนแสงจึงทำให้เกิดเพียงการเคลื่อนไหวของพันธะ โดยพันธะแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงที่มีความถี่เฉพาะแตกต่างกันไป การดูดกลืนขนาดพลังงานที่เฉพาะนี้ เราเรียกว่าเป็น quantized energy ผลของการดูดกลืนพลังงานที่เฉพาะนี้ ทำให้เราทราบได้ว่าเป็นการดูดกลืนแสงที่เกิดจากพันธะชนิดใด อย่างไรก็ตาม หากการเคลื่อนไหวของพันธะเป็นการเคลื่อนไหวในลักษณะที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง dipole moment แล้ว เราจะตรวจไม่พบการดูดกลืนแสงของพันธะนั้นๆ ยิ่งการเคลื่อนไหวของพันธะที่ก่อให้เกิด dipole moment มากเท่าใดสัญญาณที่ตรวจได้จะยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น

2.6.3 เครื่องมือ (Instruments)

1- ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

(Infrared spectrophotometer)



รูปที่ 18 Block diagram of an infrared spectrophotometer

โดยทั่วไปประกอบด้วย 5 ส่วน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. **IR source** แหล่งกำเนิดแสง เป็นส่วนที่ผลิตหรือแปลงแสงให้เป็นแสงในช่วงจำนวนคลื่นที่ต้องการ หลอดที่นำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดแสงจะต้องมีไส้หลอดที่สามารถให้รังสีอินฟราเรดได้ ชนิดที่นิยมใช้ได้แก่ Nernst glower, Globar และ Nichrome coil

2. **Sampling area** ในระหว่างทางเดินของแสงจะมีบริเวณที่วางตัวอย่าง ลักษณะเป็นหน้าต่างและมีส่วนที่เทียบ sample cell สารที่ใช้เป็นตัวกลางยึดจับ sample ต้องทำด้วยวัสดุที่ยอมให้แสงอินฟราเรดผ่าน เช่น NaCl, KBr, AgCl, AgBr, CaF₂, BaF₂ เป็นต้น การเลือกใช้ต้องคำนึงถึงความถี่ของแสงที่สารเหล่านี้ยอมให้ผ่าน ลักษณะตัวอย่าง ช่วงความถี่ของแสงที่ sample ดูดกลืน

3. **Monochromator** ตัวแยกความถี่แสง เป็นตัวแยกรังสีหรือจัดลำดับรังสีของแสง อาจทำได้ด้วย prism หรือ grating

4. **Detector** เครื่องตรวจสัญญาณ เป็นส่วนที่รับพลังงานแสงขั้นสุดท้ายแล้วแปลงออกมาเป็นสัญญาณส่งเข้าเครื่องบันทึกสัญญาณ

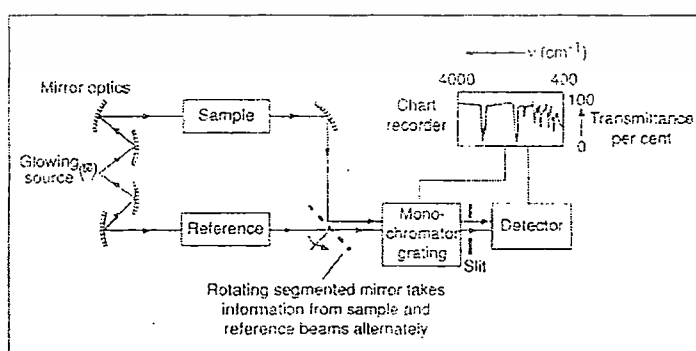
5. **Recorder** เครื่องบันทึกสัญญาณ ทำหน้าที่รับสัญญาณจาก Detector แล้วแสดงผลลัพธ์ออกมา โดยมากจะแสดงเป็นเส้นกราฟที่เรียกว่าสเปกตรัม

2.64 ชนิดของเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Dispersive infrared spectrophotometer

โดยมากจะเป็นชนิด double beams คือให้ลำแสงหนึ่งผ่านตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ (sample) และอีกลำแสงหนึ่งผ่าน reference (อาจเป็นอากาศ หรือ cell เปลา หรือตัวทำละลายที่ใช้เตรียม sample) sample จะดูดกลืนแสงส่วนหนึ่งไว้ จากนั้นแสงที่เหลือที่ผ่านออกมาจะถูกส่งเข้า monochromator ซึ่งจะทำหน้าที่จัดลำดับจำนวนคลื่นของแสงที่ผ่านออกมาเป็นช่วง แล้วส่งเข้าสู่ Detector ซึ่งจะตรวจวัดแสงที่ผ่านออกมาที่ละช่วงความถี่ โดยหักลบแสงที่ผ่านจากตัวอย่าง และ reference แล้วบันทึกด้วยเครื่อง recorder ออกมาเป็นสเปกตรัม



รูปที่ 19 Dispersive infrared spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)

FT-IR มีหลักการทำงานคล้ายกับ Dispersive infrared spectrophotometer แต่ใช้ Interferometer แทน monochromator โดย FT-IR จะวัดความเข้มของแสงที่จำนวนคลื่นต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องเทียบกับเวลา แล้วแปลผลด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Fourier transformation

หัวใจของ FTIR สเปกโตรมิเตอร์ เป็น Michelson interferometer รังสี IR จากแหล่งกำเนิด Globar ผ่านสารตัวอย่าง และต่อไปยัง beam splitter (อุปกรณ์แยกลำรังสี) ซึ่งจะแยกลำรังสีที่ผ่านสารตัวอย่างแล้วกึ่งหนึ่งไป ยังกระจกที่หมุนได้ (moving mirror) และสะท้อนลำรังสีอีกกึ่งหนึ่งไปยังกระจกที่ยึดกับที่ ทั้งลำรังสีที่สะท้อนและที่ผ่านสารตัวอย่าง (Transmitted beam) จะถูกสะท้อนกลับไปที่ beam splitter IR สเปกโตรมิเตอร์แบบเดิมบันทึกที่เลขคลื่นในแต่ละครั้ง แต่ FTIR สเปกโตรมิเตอร์ เก็บข้อมูลเลขคลื่นทั้งหมดในครั้งเดียวและเนื่องจากมีจุดข้อมูล (data points) มาก จึงต้องมี คอมพิวเตอร์เป็นส่วนประกอบสำคัญใน FTIR สเปกโตรมิเตอร์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล He-Ne laser เป็นตัวเปล่งแสงสีแดง(6328 nm)ซึ่งเป็นความยาวคลื่น (ความถี่) มาตรฐานอ้างอิงสำหรับความถี่ ที่บันทึกใน IR สเปกตรัม FTIR มีข้อดีหลายข้อ ข้อแรกคือ มีค่าสัญญาณ ต่อคลื่นรบกวน (signal-to-noise) สูง ช่วย ให้สัญญาณชัดเจน และเนื่องจากสเปกตรัมทั้งหมดถูกส่องกราด (scan) ภายในช่วงเวลาสั้น (ไม่เกิน 1 วินาที) การส่องกราดหลายครั้งจึงสามารถทำได้รวดเร็วและนำข้อมูลมารวมกัน สัญญาณ จากพิกแต่ละๆเป็นบวก และมักเกิดที่ความถี่เดียวกันเวลาส่องกราด ส่วนพิกของสัญญาณรบกวน เป็นทั้งบวกและลบและเกิดที่เลขคลื่นแบบสุ่ม ทำให้สัญญาณของพิกแต่ละๆถูกขย้ำหลายๆครั้งแต่ สัญญาณของคลื่นรบกวนถูกหักล้างออกไป ดังนั้น เราจึงได้ IR สเปกตรัมที่ชัดเจน และใช้สาร ตัวอย่างเพียงเล็กน้อย (1 มิลลิกรัมหรือน้อยกว่า) ได้ และได้สเปกตรัมที่มีคุณภาพดีพอๆกับใช้ สารตัวอย่างขนาด 10 มิลลิกรัม ข้อได้เปรียบอีกข้อหนึ่งคือจะ ได้ความถี่ที่ถูกต้องแม่นยำ เพราะ เทียบมาตรฐานจากพิกของ He-Ne laser

บทที่ 3

กระบวนการสร้าง

3.1 การกำหนดขั้นตอนของกระบวนการสร้าง

สำหรับการสร้างอุปกรณ์นี้ได้ โดยใช้กระบวนการสร้างสารกึ่งตัวนำในแนวระนาบซึ่งเป็นกระบวนการสร้างสารกึ่งตัวนำวิธีหนึ่งที่นิยมกันมาก โดยอาศัยเทคนิคที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำซิลิคอนของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีขั้นตอนการสร้างพื้นฐานดังนี้ คือ

1. กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี
2. การสร้างลวดลายโลหะ
3. สปีดเตอริง

3.2 กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี เป็นขบวนการที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพต้นแบบจากกระจกต้นแบบลงบนผิวของแผ่นผลึกโดยการใช้น้ำยาไวแสง เพื่อเปิดช่องซิลิคอนสำหรับการแพร่อะตอมสารเจือในขอบเขตที่กำหนดจากกระจกต้นแบบ โดยที่ความสามารถในการเปิดช่องซิลิคอนได้ออกไซด์ที่มีขนาดเล็กมากและมีความถูกต้องแม่นยำจะขึ้นอยู่กับ การปรับตำแหน่ง (alignment) และความคมชัดของกระจกต้นแบบ ซึ่งขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการ โฟโตลิโธกราฟีจะกล่าวถึงในหัวข้อลำดับขั้นตอนกระบวนการสร้าง

3.3 กระบวนการสร้างลวดลายโลหะ

กระบวนการสร้างลวดลายโลหะเป็นการนำโลหะมาเคลือบที่ผิวแผ่นผลึกเพื่อทำหน้าที่เป็นรอยสัมผัสโอห์มมิกหรือเป็นแกนความนำต่อเชื่อมภายในระหว่างสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ ในวงจรรวมหรือเป็นขั้วสำหรับต่อกับอุปกรณ์ภายนอก โดยบริเวณที่ต้องการสร้างรอยสัมผัสจะต้องถูกเปิดช่องซิลิคอนไดออกไซด์ก่อนที่จะทำการเคลือบโลหะ โดยบริเวณที่ต้องการสร้างรอยสัมผัสจะต้องถูกเปิดช่องซิลิคอนไดออกไซด์ ก่อนที่จะทำการเคลือบโลหะ โดยลักษณะของโลหะที่จะเคลือบจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง (Thin-Film) โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

1. ทำให้เกิดรอยผิวสัมผัสกับซิลิคอนที่มีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าต่ำ
2. โลหะที่ใช้ต้องมีความนำไฟฟ้าสูง
3. ทำให้ติดแน่นกับผิวของซิลิคอนไดออกไซด์หรือสารไดอิเล็กทริกอื่น ๆ ได้ดี
4. สามารถต่อเข้ากับสายลวดความนำภายนอกได้ดี

สำหรับกระบวนการสร้างลวดลายโลหะที่ทำการสร้างที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จะเลือกใช้โลหะ (Al) โดยใช้เครื่องเคลือบ

เอ็กสตรีนแบบเอ็กสตรีนที่ส่งมอบวัสดุให้กับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนได้เห็นใบเซอร์จะเอ็กซตรีนตามการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะในสุญญากาศ ทำการเคลือบโลหะลงบนผิวของแผ่นผลึกสารกึ่งตัวนำความหนาประมาณ 1 μm แล้วจึงนำไปถ่ายฟิล์มโดยขบวนการโฟโตลิโธกราฟี และกัดเป็นลวดลายตามที่ต้องการไว้ จากนั้นจึงนำไปผ่านขบวนการซินเตอร์ริงที่อุณหภูมิ 500 $^{\circ}\text{C}$ ประมาณ 12 นาที เพื่อให้ รอยสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมกับซิลิคอนเป็นรอยสัมผัสแบบ โอห์มมิก

3.4 สเปคเตอร์ริง (Sputtering)

สเปคเตอร์ริงเป็นเทคนิคการเคลือบสารในระบบสุญญากาศอีกวิธีหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในกระบวนการสร้างวงจรรวม ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมผิวหน้าของวัสดุถูกทำให้หลุดออกมา โดยการชนของอนุภาคพลังงานสูงซึ่งจะทำให้มีการแลกเปลี่ยนพลังงานและโมเมนตัมระหว่างอนุภาคที่วิ่งเข้าชนกับอะตอมที่ผิววัสดุดังกล่าว กระบวนการที่อนุภาควิ่งเข้าชนสารเคลือบเป็นเป้า ประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญคือ

1. เป้าโลหะ (target) ใช้อนุภาคพลังงานสูงวิ่งเข้าชนเป้ามักมีการปล่อยอะตอมสารเคลือบลงเคลือบบนแผ่นฐานรองรับ
2. อนุภาคพลังงานสูงวิ่งเข้าชนเป้าสารเคลือบ โดยปกติอนุภาคพลังงานสูงนี้อาจจะเป็นกลางทางไฟฟ้าก็ได้ แต่การทำให้อนุภาคเป็นกลางทางไฟฟ้า เพื่อใช้ในการสเปคเตอร์ริงทำได้ค่อนข้างยาก จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการเร่งประจุภายใต้สนามไฟฟ้า ซึ่งสามารถควบคุมระดับของไอออนได้ตามต้องการ อิเล็กตรอนก็เป็นประจุไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ย่อยต่อการผลิตและเร่งให้มีพลังงานสูงภายใต้สนามไฟฟ้าได้ แต่ว่าอิเล็กตรอนมีมวลน้อยกว่าอะตอมของเป้าสารเคลือบมากและไม่สามารถทำให้เกิดกระบวนการสเปคเตอร์ริงได้ ดังนั้นการชนกันระหว่างอนุภาคจะต้องเกิดการถ่ายเทพลังงานและโมเมนตัมได้ดีที่สุด เมื่อมวลของอนุภาคมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้ไอออนของก๊าซอาร์กอน (Ar^+) ในสนามไฟฟ้าเป็นอนุภาควิ่งเข้าชนเป้าสารเคลือบ ซึ่งจะทำให้อัตราการปลดปล่อยอนุภาคสารเคลือบสูงเพียงพอกับความต้องการ .
3. อนุภาคพลังงานสูงต้องถูกผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้กระบวนการเคลือบฟิล์มเป็นไปอย่างต่อเนื่องจนได้ความหนาฟิล์มตามต้องการ ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยกระบวนการ โกลว์ดิสชาร์จ

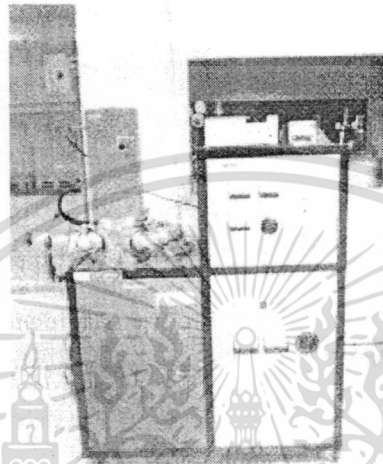
โดยใช้ระบบอาร์เอฟสเปคเตอร์ริงที่ใช้ในการสร้างฟิล์มบาง นี้จะมีเงื่อนไขดังนี้คือ

1. เป็นระบบสเปคเตอร์ริงแบบแหล่งจ่ายพลังงานความถี่วิทยุ 13.56 MHz
2. กำลังความถี่คลื่นวิทยุ 100-150 วัตต์
3. ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมเป้าไม่เกิน 1.75 กิโลวัตต์
4. ระยะห่างระหว่างฐานรองถึงเป้า 3.5 เซนติเมตร
5. เนื้อวัสดุที่เป็นเป้าเคลือบสารคือที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร และมี

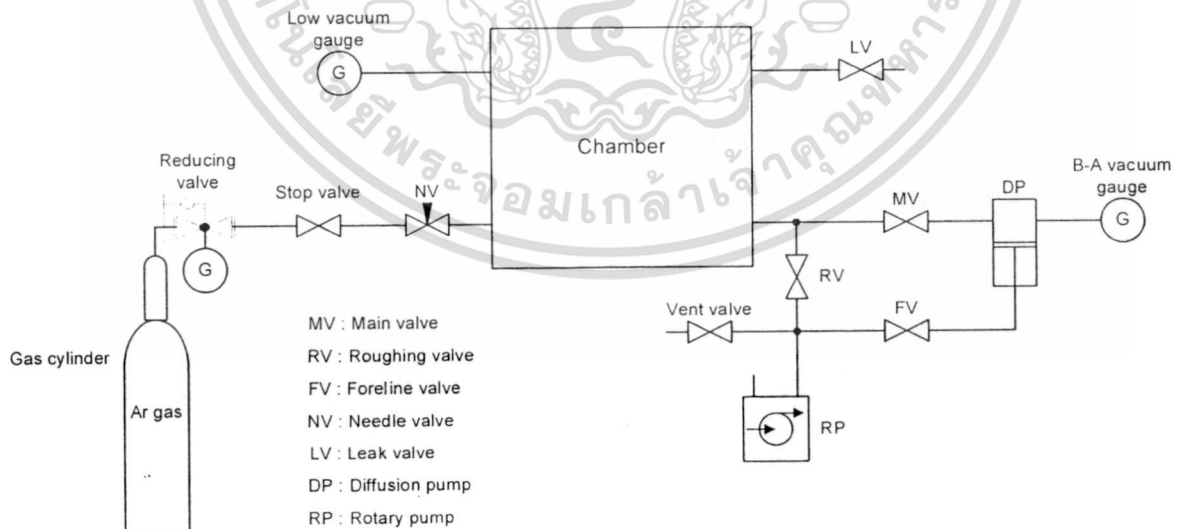
ความหนา 0.5 เซนติเมตร

6. อุณหภูมิของฐานรองโลหะมีค่า 25-400 องศาเซลเซียส
7. Pre-sputtering time 20 นาที
8. ก๊าซที่ใช้คือ Ar, Ar : O₂ (85:15)

ส่วนประกอบที่สำคัญของ SPF – RF Sputtering System



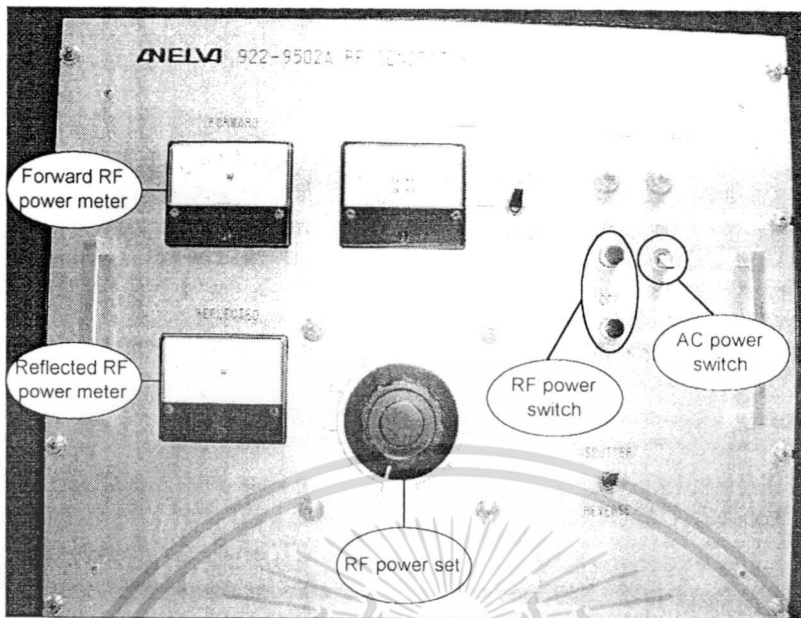
รูปที่ 3.1 รูป SPF – RF Sputtering System



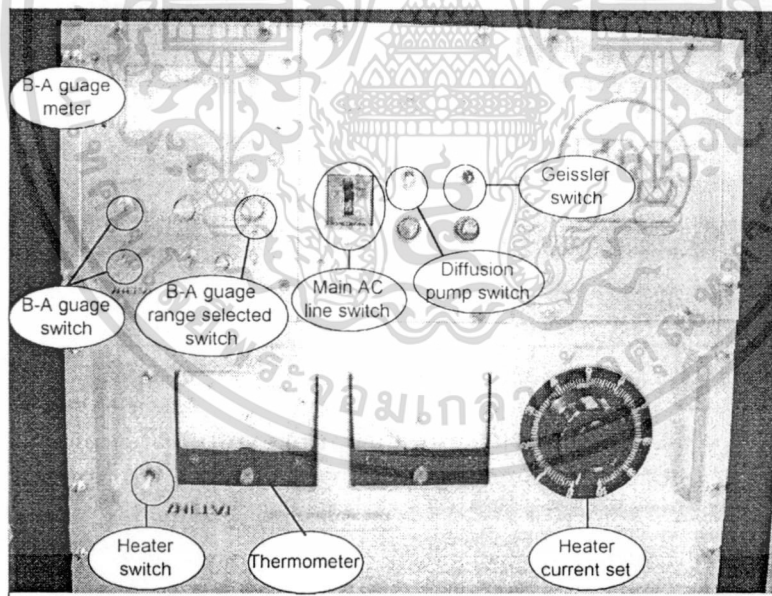
Sputtering system

รูปที่ 3.2 องค์ประกอบรวม SPF – RF Sputtering System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ภาพแหล่งจ่ายพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ รุ่น 922-9502A



รูปที่ 3.4 ภาพแผงควบคุม ปั๊ม, B-A Gauge and Heater

1. ปั๊มสุญญากาศ เพื่อใช้ในการลดความดันของก๊าซภายในระบบให้มีความดันต่ำ เพื่อให้ระบบเกิดความสะอาดและมีความเป็นสุญญากาศมากที่สุด โดยระบบนี้ประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศ 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 Mechanical Rotary pump ซึ่งจะใช้ในการลดความดันในระดับ ในช่วง ความดันบรรยากาศ ถึง 10^{-3} mbar

1.2 Oil diffusion Pump ซึ่งจะทำางานร่วมกับ Mechanical Rotary pump โดยจะทำางานต่อจากที่ความดันต่ำกว่า 10^{-1} mbar จนถึง 10^{-8} torr

2. ภาชนะสุญญากาศ ทำจากสแตนเลส ซึ่งมีทรงเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร

3. ขั้วแคโทดและเป้าสารเคลือบมีโครงสร้างของแคโทดเป็นแบบระนาบ (planar) ที่ออกแบบและสร้างขึ้นด้วยสแตนเลส โดยมีพื้นที่เป้าสารเคลือบจะเป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร

4. ระบบระบายความร้อนที่ขั้วแคโทดจะต้องใช้ที่มีความต้านทานสูงเพื่อหล่อเย็นและรักษาความเป็นฉนวนไฟฟ้า โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 5 ลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 20°C ส่วนระบบระบายความร้อนของปั๊มไอฟุ้งกระจาย (Oil diffusion Pump)

5. แหล่งจ่ายพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ รุ่น 922-9502A

องค์ประกอบ โดยหลักของแหล่งจ่ายพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ รุ่น 922-9502A

พลังงานอินพุต : AC 100 Volt (50/60 Hz)

พลังงานเอาต์พุต : 450 Watt

คลื่นความถี่ : 13.56 MHz

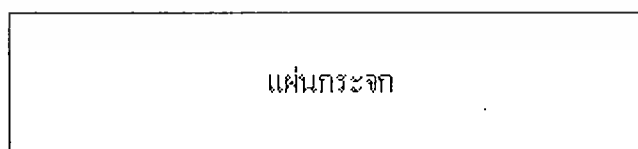
อิมพีแดนซ์ : 50 Ohm

ขนาดเครื่อง : 4.80x4.90x4.00 m

3.5 กระบวนการทำความสะอาด

1. แผ่นฐานรองเริ่มต้น (กระจกสไลด์)

ใช้แผ่นกระจกที่มีผิวหน้าดังในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ภาพตัดขวางของแผ่นกระจก

2. การทำความสะอาดผิวแผ่นสลิคเริ่มต้น (Initial cleaning)

- ทำความสะอาดผิวด้วยน้ำบริสุทธิ์ (De-Ionized Water, DI) ในเครื่องสันความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

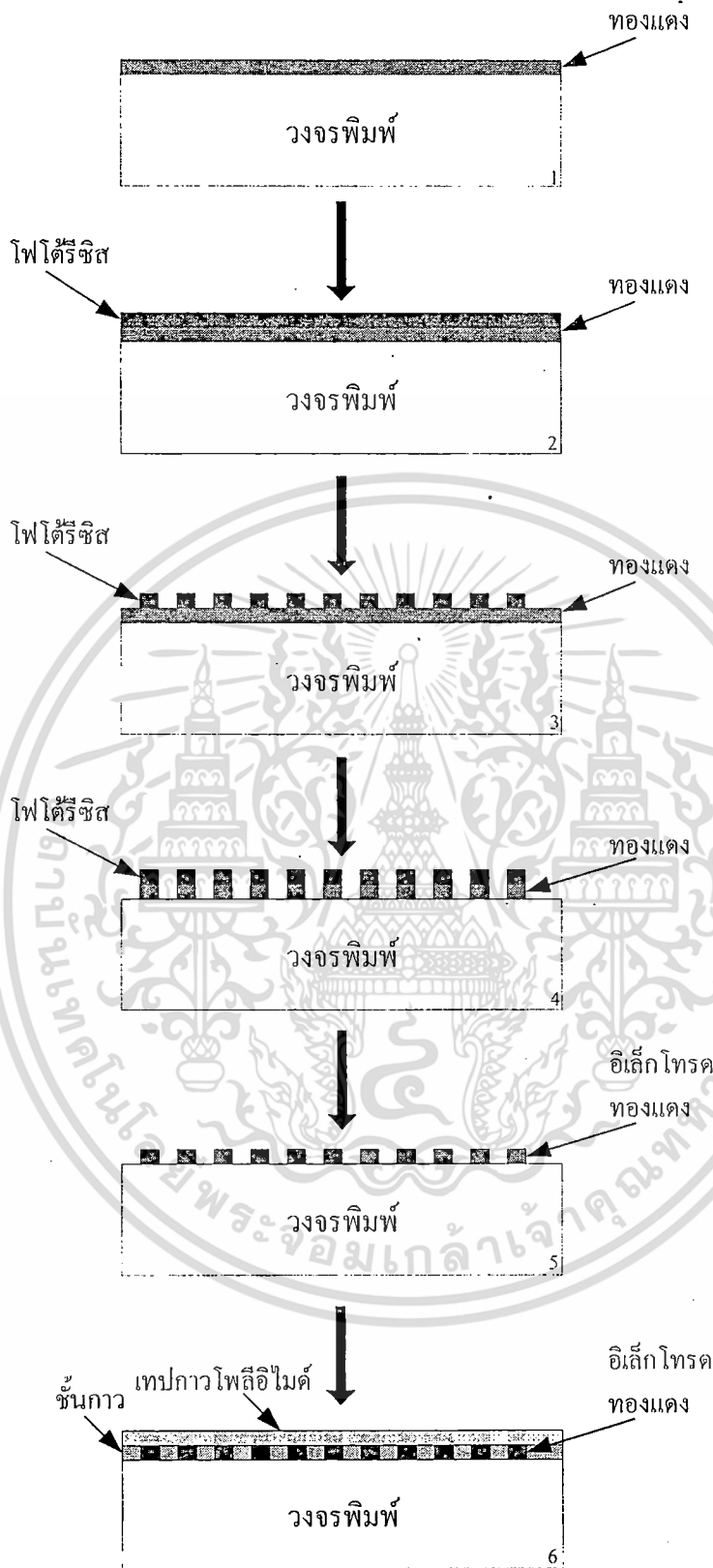
(Supersonic cleaning)

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ต้มในไตรโคลโรเอทิลีน (Trichloroethylene) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภทไขมัน
- ล้างด้วยอะซิโตน (Acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูง เป็นเวลา 3 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

3.6 การสร้างตัวเซนเซอร์ความชื้น(Humidity Sensor) จากเทปกาว

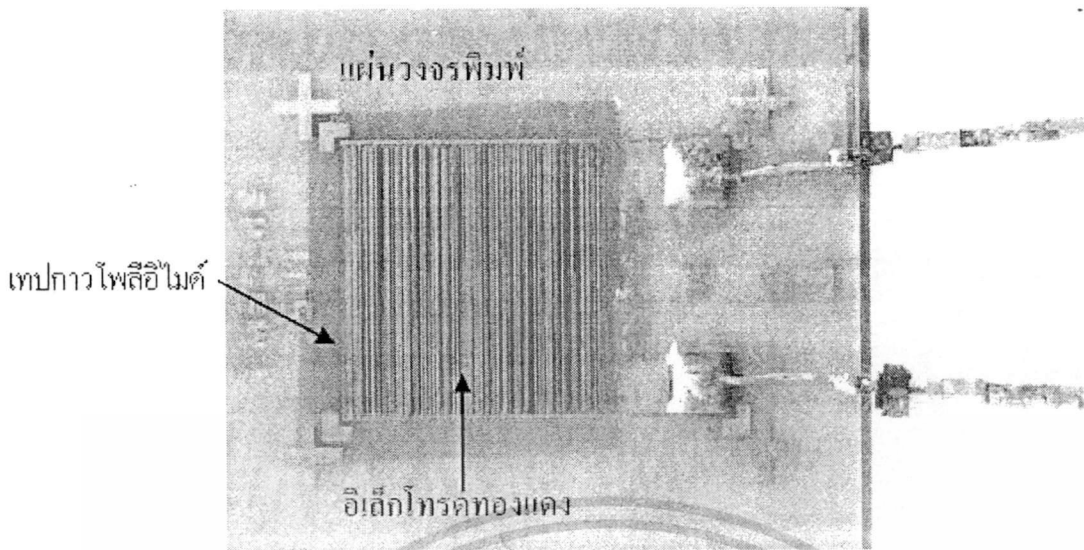
1. เริ่มจากกระบวนการสร้างโดยทำความสะอาดแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยบริสุทธิ์(De-Ionized water,DI)
2. นำแผ่นวงจรที่ทำความสะอาดแล้ว ไปจุ่มในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพื่อกำจัดออกไซด์ที่ผิวของทองแดง แล้วล้างออกด้วยน้ำบริสุทธิ์ DI แล้ว เป่าแห้ง(1)
3. นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปเคลือบน้ำยาโพโตรีซิสแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 °C
4. นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่เคลือบน้ำยาไวแสงนั้น ไปฉายแสง(3)
5. นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่เคลือบน้ำยาไวแสงนั้น ไปผ่านกระบวนการสร้างลวดลายทองแดง(3,4)
5. นำแผ่นวงจรจุ่มในน้ำยาเพื่อให้เกิดลวดลายแล้วทำลอกชั้นน้ำยาไวแสงออก(5)
6. นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปทำความสะอาดแล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
7. ขั้นตอนสุดท้ายนำเทปกาวโพลีโอไมด์ติดลงบนลวดลายทองแดง(6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กระบวนการสร้างตัวเซมิคอนดักเตอร์ความถี่สูงที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรมพิมพ์และใช้เทปกาวโพลีอีไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

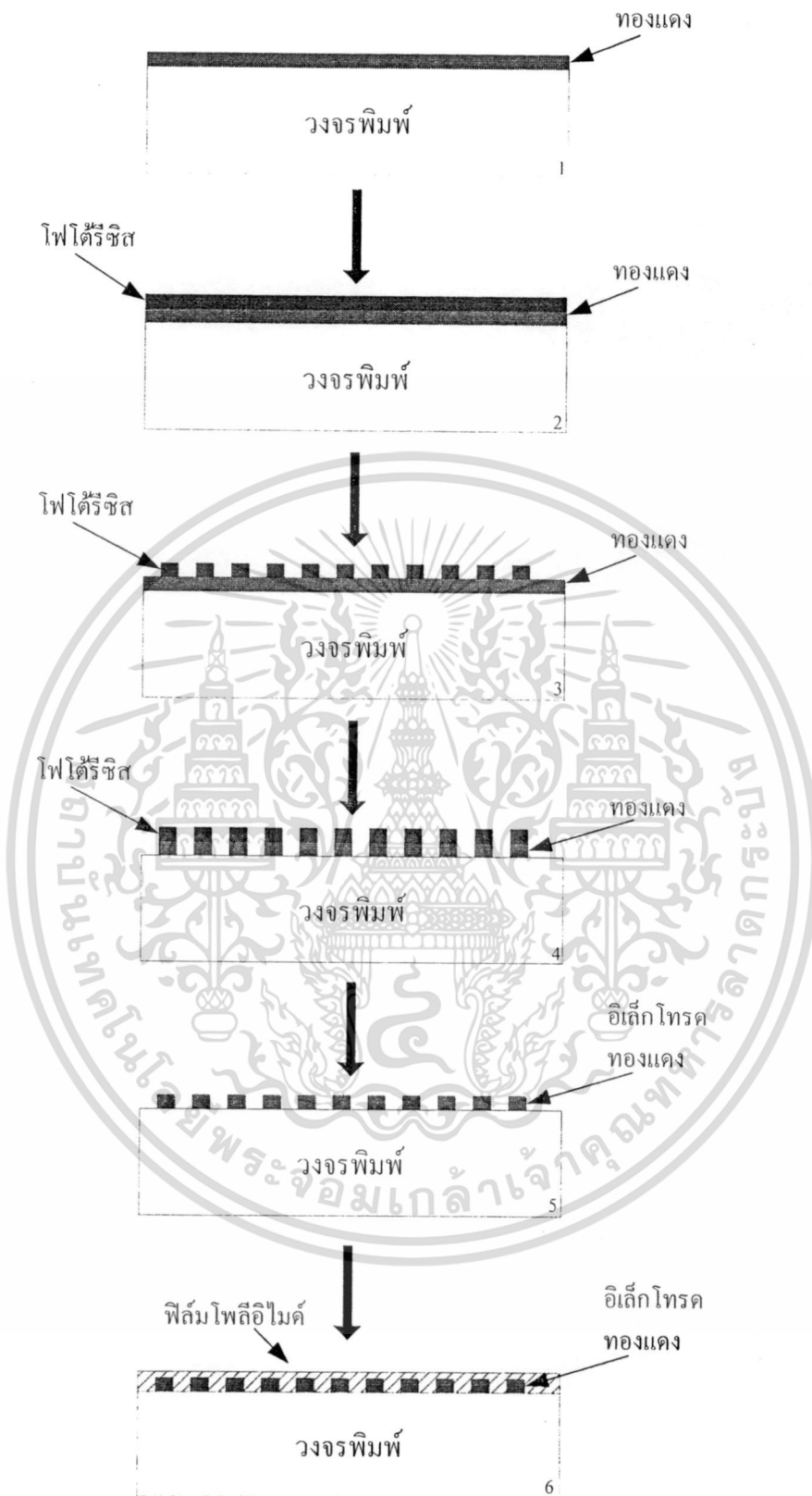


รูปที่ 3.7 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรมพิมพ์และใช้เทปกาวไฟลีสอีไมต์

3.7 การสร้างตัวตรวจรู้ความชื้น(Humidity Sensors)จากฟิล์มบาง

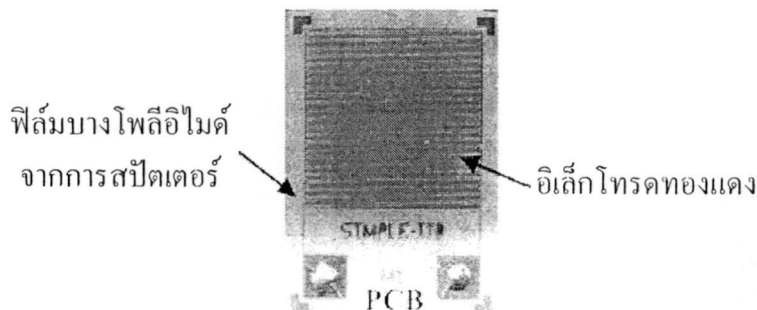
1. เริ่มจากกระบวนการสร้างโดยทำความสะอาดแผ่นวงจรมพิมพ์ด้วยบริสุทธิ์(De-Ionized water,DI)
2. นำแผ่นวงจรมพิมพ์ที่ทำความสะอาดแล้วไปจุ่มในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพื่อกำจัดออกไซด์ที่ผิวของทองแดง แล้วล้างออกด้วยน้ำบริสุทธิ์ DI แล้ว เป่าแห้ง(1)
3. นำแผ่นวงจรมพิมพ์ไปเคลือบนำยาไฟโตรีซิสแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 °C
4. นำแผ่นวงจรมพิมพ์ที่เคลือบนำยาไวแสงนั้นไปฉายแสง(3)
5. นำแผ่นวงจรมพิมพ์ที่เคลือบนำยาไวแสงนั้นไปผ่านกระบวนการสร้างสวดลายทองแดง(3,4)
5. นำแผ่นวงจรมพิมพ์ไปจุ่มในน้ำยาเพื่อให้เกิดสวดลายแล้วทำลอกชั้นนำยาไวแสงออก(5)
6. นำแผ่นวงจรมพิมพ์ไปทำความสะอาดแล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
7. ขั้นตอนสุดท้ายสร้างฟิล์มบางไฟลีสอีไมต์ติดลงบนสวดลายทองแดง(6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 กระบวนการสร้างตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์และฟิล์มบางโพลีอิมิด

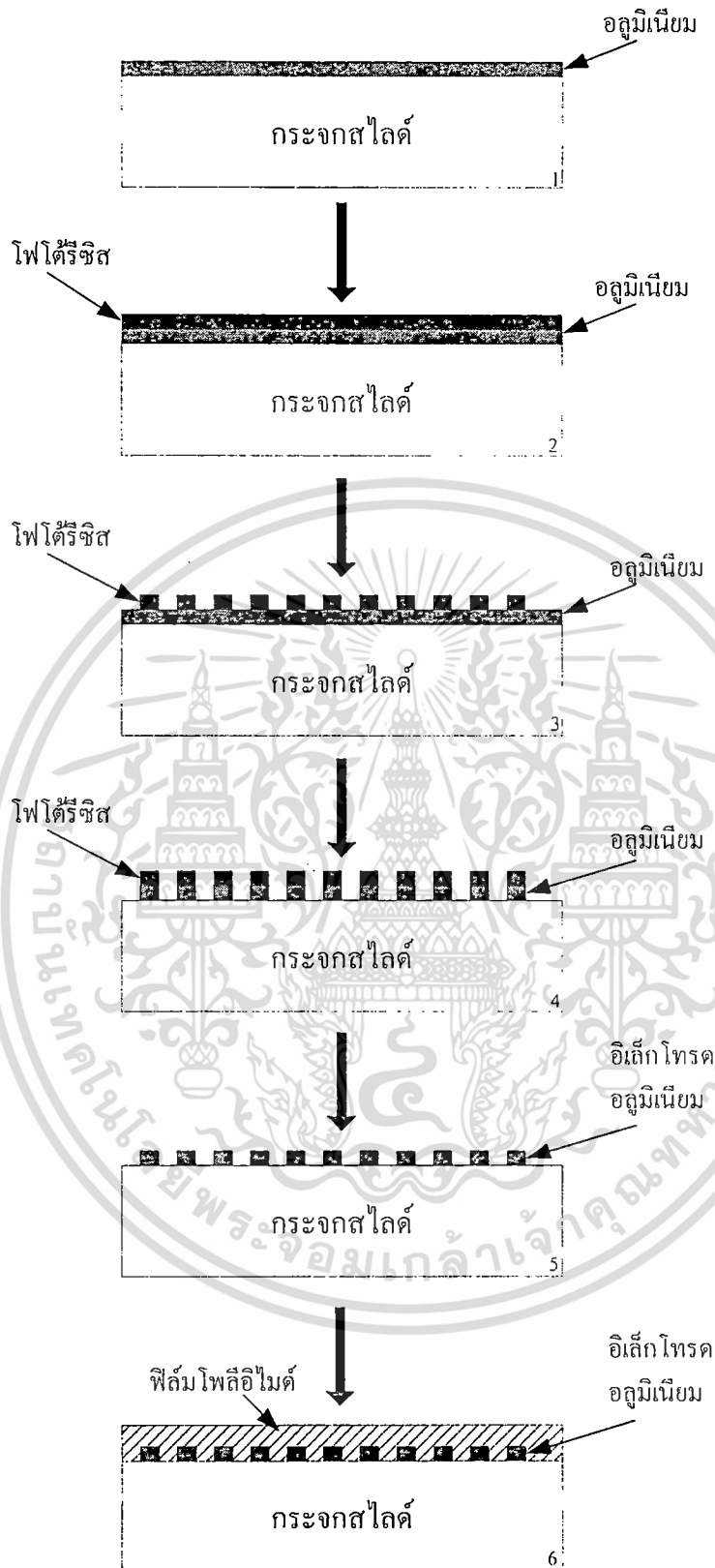
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรมพิมพ์และฟิล์มบางโพลีอิมิด์

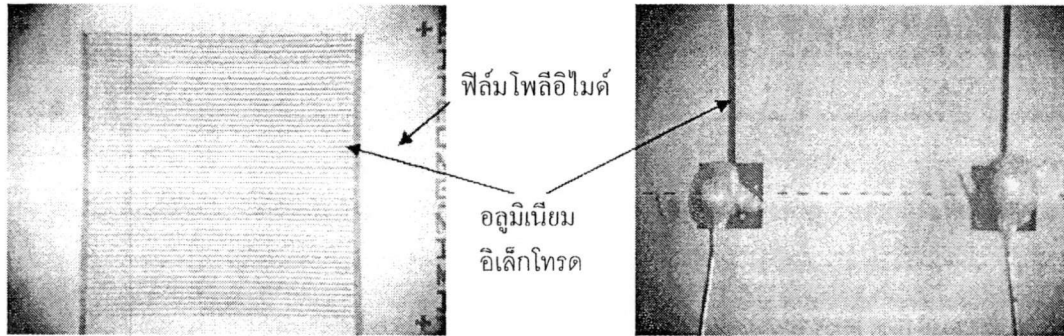
3.8 การสร้างตัวตรวจรู้ความชื้น(Humidity Sensors)จากฟิล์มบาง

1. เริ่มจากกระบวนการสร้าง โดยทำความสะอาดแผ่นวงจรมพิมพ์ด้วยบริสุทธิ์(De-Ionized water,DI)
2. นำแผ่นกระจกที่ทำความสะอาดแล้วไปสร้างฟิล์มบางอลูมิเนียมโดยกระบวนการสปัตเตอร์(1)
3. นำแผ่นกระจกไปเคลือบน้ำยาโฟโตรีซิสแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90°C
4. นำแผ่นกระจกที่เคลือบน้ำยาไวแสงนั้นไปฉายแสง(3)
5. นำแผ่นกระจกที่เคลือบน้ำยาไวแสงนั้นไปผ่านกระบวนการสร้างลวดลายทองแดง(3,4)
5. นำแผ่นกระจกในน้ำยาเพื่อให้เกิดลวดลายแล้วทำการลอกชั้นน้ำยาไวแสงออก(5)
6. นำแผ่นกระจกไปทำความสะอาดแล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
7. ขั้นตอนสุดท้ายสร้างฟิล์มบางโพลีอิมิด์ติดลงบนลวดลายทองแดง(6)



รูปที่ 3.10 กระบวนการสร้างตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีฟิล์มบางและฟิล์มบางโฟลีโอไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีฟิล์มบางและฟิล์มบางโพลีเอไมด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

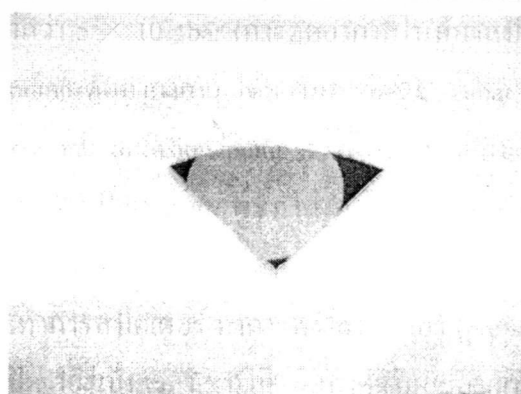
การทดลองและผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างฟิล์มบางโพสลิไมด์โดยวิธีการสปัตเตอร์ริง โดยเริ่มจากการสร้างฟิล์มบางลงบนแผ่นกระจกสไลด์ แล้วนำผลที่ได้วิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์ม หลังจากนั้นนำฟิล์มสลิไมด์ไปสร้างเป็นตัวตรวจจับความชื้น โดยการนำเสนอดังนี้ คือ

- การฟิล์มบางโลหะ
- การสร้างฟิล์มบางโพสลิไมด์
- ตัวตรวจจับความชื้น

4.1 การสร้างฟิล์มบางโลหะอลูมิเนียม

ในการทดลองนี้เราได้ทำการสร้างฟิล์มโลหะอลูมิเนียม ด้วยวิธีการ “อาร์เอฟ ไดโอดสปัตเตอร์” เริ่มจากนำแผ่นโลหะอลูมิเนียมมาเป็นเป้าถูกติดไว้กับขั้วคาโทด ขั้นตอนต่อมาจึงนำแผ่นซิลิคอน หนา 100 หรือวัสดุอื่นวางลงบนขั้วแอโนด แล้วดูดอากาศออกจากห้องสปัตเตอร์ จนกระทั่งเหลือความดันต่ำกว่า 5×10^{-7} bar (การดูดอากาศในห้องสปัตเตอร์มีการดูดอากาศอยู่ 2 ช่วง ช่วงแรกจะใช้ rotary pump ดูดอากาศจนได้ความดันที่ 2×10^{-3} bar และช่วงที่ 2 เป็นดูดอากาศโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (rotary and diffusion pump)) เพื่อทำความสะอาดห้องสปัตเตอร์ จากนั้นปล่อยก๊าซอาร์กอนเข้าไปในห้องสปัตเตอร์จนกระทั่งถึงความดัน 2×10^{-1} bar โดยค่อยๆ เพิ่มกำลัง RF ขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดพลาสมาขึ้นในห้องสปัตเตอร์ จากนั้น ปรับความดันให้ได้ 2×10^{-3} bar ปรับกำลัง RF จนได้ค่าที่จะทำการสปัตเตอร์ ทำการพรี-สปัตเตอร์ (pre-sputter) โดยปล่อยให้ระบบอยู่ในเงื่อนไขที่จะทำการสปัตเตอร์เป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำความสะอาดผิวหน้าของ Al หลังจากนั้นจึงเปิดชัตเตอร์ออกเพื่อเริ่มทำการสปัตเตอร์ตามความหนาของฟิล์มโลหะที่ต้องการ เมื่อได้ความหนาตามต้องการแล้ว จึงปิดชัตเตอร์ และรอให้ฟิล์มโลหะเย็นตัวด้วยระบบหล่อเย็น (water cooling) เป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วจึงเปิดห้องสปัตเตอร์ นำฟิล์มโลหะที่เคลือบเสร็จเรียบร้อยแล้วออก



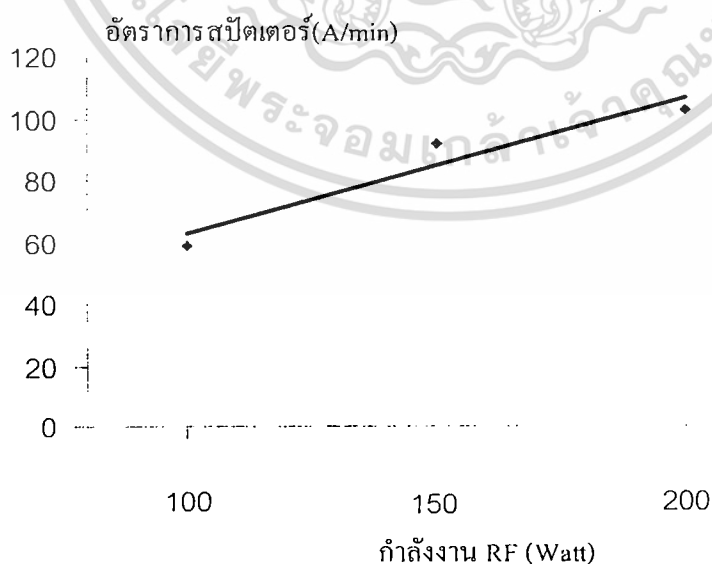
รูปที่ 4.1 ฟิล์มโลหะอลูมิเนียมที่ได้จากการสปัตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะของฟิล์มโลหะอลูมิเนียมซิลิคอนที่ได้จากการสปีดเตอร์จะสังเกตว่ามีลักษณะของฟิล์มโลหะเป็นมันวาวเหมือนกระจก ดังแสดงในรูปที่ 4.1 หลังจากนั้นจึงนำฟิล์มโลหะที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางไฟฟ้าคือ อัตราการเกิดฟิล์มโลหะด้วยวิธีการสปีดเตอร์

ในการทดลองนี้จะทำการสร้างฟิล์มโลหะด้วยเงื่อนไขของการสปีดเตอร์โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงกำลังงานในการสปีดเตอร์ที่กำลังงานค่าต่างๆกันตั้งแต่ 100, 150 และ 200 วัตต์ โดยให้ความดันภายในห้องสปีดเตอร์อยู่ที่ 2×10^{-3} bar และใช้เวลาในการสปีดเตอร์เป็นเวลา 30 นาที เท่ากันทั้ง 3 ตัวอย่าง ซึ่งจะได้ความหนาของฟิล์มโลหะภาพตัดขวางระหว่างฟิล์มโลหะกับฐานรองซิลิคอนที่มีซิลิคอน ไดออกไซด์เคลือบอยู่ ถ่ายด้วยเครื่อง SEM หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (scanning electron microscope) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์พื้นผิวและศึกษาโครงสร้างของวัสดุ มีจุดเด่นอยู่ 2 ประการ คือ สามารถให้รูปที่มีความชัดลึกสูง (high depth of field) และสามารถให้กำลังแยกแยะเชิงระยะสูง (high -special resolution) สำหรับงานนี้ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดเพื่อตรวจสอบภาคตัดขวางของลวดลาย เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

จากรูปที่แสดงด้านบนจะสังเกตว่าเมื่อให้กำลังงานเข้าไปที่ห้องสปีดเตอร์ค่าต่างๆกัน 3 ค่า อัตราการเกิดฟิล์มโลหะที่เกิดขึ้นจะไม่เท่ากัน สังเกตจากรูปที่ 4.2 การเกิดฟิล์มดังกล่าวกับค่ากำลังที่เปลี่ยนแปลงภายในห้องสปีดเตอร์พอจะสรุปได้ว่าเมื่อให้กำลังงาน RF เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดของฟิล์มโลหะอลูมิเนียมซิลิคอนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อนำอัตราการเกิดฟิล์มโลหะที่ได้กับการเพิ่มของกำลังงานไฟฟ้าในห้องสปีดเตอร์ (ที่อัตราการเกิดฟิล์มโลหะใน 1 นาที) มาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน RF



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน RF และอัตราการสปีดเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 จะสังเกตได้ว่าอัตราการเกิดฟิล์มโลหะด้วยวิธีการสปัตเตอร์กับการเพิ่มกำลังงาน RF ที่ใช้ในการสปัตเตอร์จะมีลักษณะที่เข้าใกล้ กราฟเชิงเส้นมาก โดยกำลังงาน RF ที่ 100 W จะได้อัตราการเกิดฟิล์มโลหะ 60 Å ต่อนาที เมื่อกำลังงาน RF เป็น 150W จะได้อัตราการเกิดฟิล์มโลหะ 90 Å ต่อนาที และที่ กำลังงาน RF เป็น 200W จะได้อัตราการเกิดฟิล์มโลหะ 100 Å ต่อนาที จากลักษณะของกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน RF และอัตราการเกิดฟิล์มโลหะที่เป็นเชิงเส้นพอที่จะบอกได้ว่าการสร้างฟิล์มโลหะด้วยวิธีการสปัตเตอร์สามารถควบคุมความหนาของฟิล์มโลหะได้ง่าย ถ้าใช้เงื่อนไขของการสปัตเตอร์ที่กล่าวมาแล้ว

4.2 การสร้างฟิล์มบางโพลีอิมิด



รูปที่ 4.3 การติดตั้งเป้าโพลีอิมิด

วิธีการสปัตเตอร์ริงโพลีอิมิดนี้คือ แปะเทปกาวโพลีอิมิด(Kapton)ลงบนผิวของ อิเล็กโทรดทอเคลือบนิยเมหรือโลหะชนิดอื่นก็ได้ ให้ทั่วบริเวณพื้นที่วงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 8 เซนติเมตร เรียกว่า “เป้าโพลีอิมิด” แล้วติดตั้งแผ่นเป้าโพลีอิมิดในตัวเครื่องสปัตเตอร์ริง จากนั้นวาง ชั้นงานลงบนฐานรองรับภายใต้เป้าโพลีอิมิดหลังจากนั้นแล้วดูดอากาศออกจากเครื่องจนได้ความดัน 1×10^{-6} torr จากนั้นทำการป้อนก๊าซอาร์กอนเข้าในภาชนะสุญญากาศและรักษาความดันไว้ที่ 1.2×10^{-2} bar แล้วป้อนคลื่นความถี่วิทยุ 13.56 MHz แล้วทำการพรี-สปัตเตอร์เป็นเวลา 30 นาที เพื่อทำความสะอาดผิวหน้าของโพลีอิมิดก่อนทำการเคลือบจริง หลังครบ 30 นาทีแล้วทำการเปิดชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

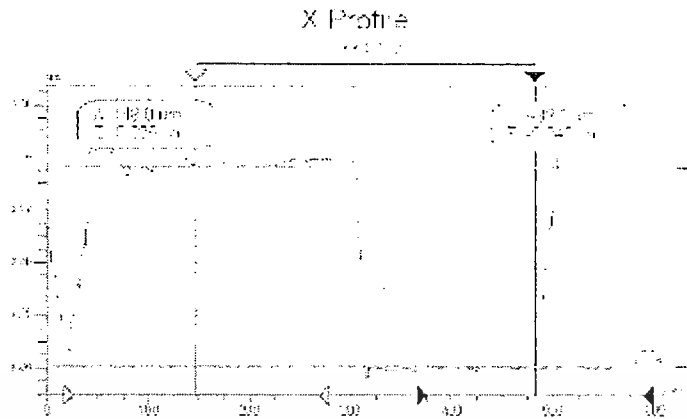
เตอร์เพื่อทำการสปีดเตอร์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 เนื่องจากอัตราการเกิดของฟิล์มโพลีไมด์นั้นมีอัตราการเกิดที่ช้ามากและเพื่อให้ฟิล์มมีค่าความหนาเพียงพอกับการวัดค่าความหนาด้วยเครื่อง Non-Contact Optical Profiler(Wyko NT1100)โดยพิจารณาความหนาฟิล์มบางโพลีไมด์ต่อระยะเวลาการสปีดเตอร์จริง ดังรูปที่ 4.6 โดยการสปีดเตอร์โพลีไมด์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ได้ความหนา 76 นาโนเมตร ซึ่งมีอัตราการเกิด 6.33 นาโนต่อชั่วโมง หรือ 0.1 นาโน/นาที



รูปที่ 4.4 ฟิล์มโพลีไมด์ที่ได้จากการสปีดเตอร์

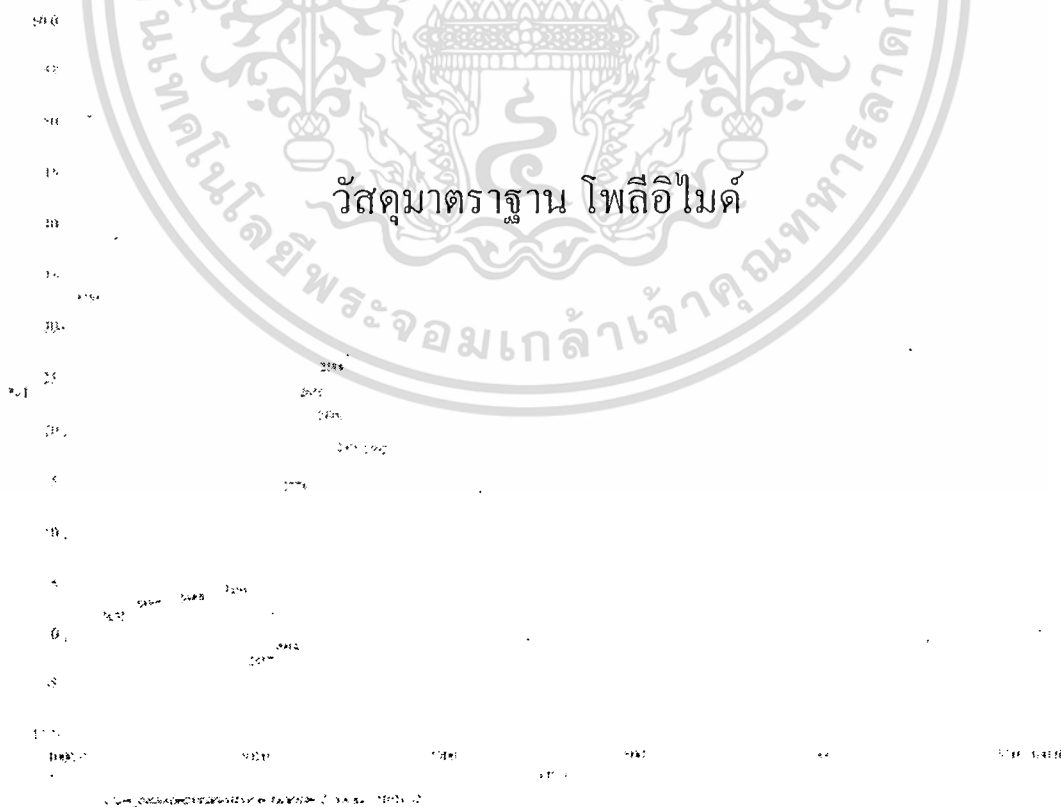
รูปที่ 4.5 แสดงฟิล์มบางโพลีไมด์ที่ได้จากการสปีดเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟความหนา 76 นาโนเมตร ของฟิล์มบางโพลีอิมิด

เมื่อทำการวิเคราะห์ฟิล์มของโพลีอิมิดที่ได้จากสปีดเตอร์ริง ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เปรียบเทียบกับผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์มาตรฐานของฟิล์มโพลีอิมิด พบว่าฟิล์มที่ได้จากการสปีดเตอร์ริงไม่ใช่โพลีอิมิด แต่ได้เปลี่ยนไปเป็นวัสดุอื่น ซึ่งทราบได้จากการหายไปของจุดสูงสุดของกราฟ FTIR ในตำแหน่งที่ควรจะเป็นสารเคมีในกลุ่มอิมิดดังรูปที่ 4.7 ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ด้วย FTIR จะแสดงว่าฟิล์มที่เตรียมได้จากกระบวนการสปีดเตอร์ของเทปกาวโพลีอิมิดจะเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม



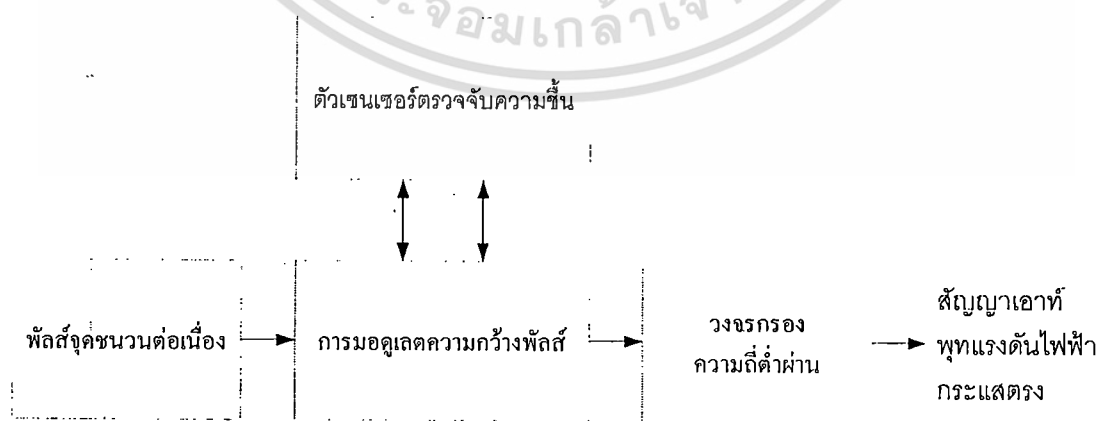
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.7(ก) กราฟการวิเคราะห์ด้วย FTIR วัสดุมาตรฐาน โพลีอิมิด ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มบางโพลีเอไมด์

รูปที่ 4.7(ข) กราฟการวิเคราะห์ด้วย FTIR ฟิล์มบางโพลีเอไมด์

4.3 ตัวเซนเซอร์ตรวจจับความชื้น

ในงานวิจัยนี้จะใช้วงจรดังรูปที่ 4.8 มีการทำงานในโหมดพัลส์วidthมอดูเลชัน(pulse width modulation) ตัวเซนเซอร์ถูกควบคุมด้วยวงจรถืออิเล็กทรอนิกส์ และเพื่อให้่ายต่อการวัดช่วงเวลาในการตอบสนองต่อความชื้นของเซนเซอร์มาประกอบเข้ากับวงจรกำเนิดความถี่ซึ่งมีส่วนกรองสัญญาณความถี่เอาท์พุทให้เป็นแรงดันกระแสตรง

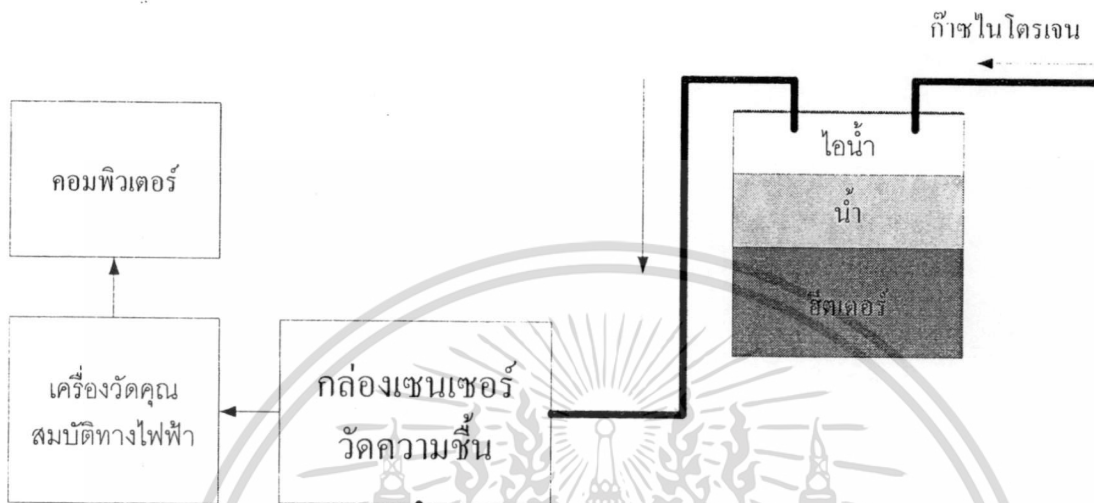


รูปที่ 4.8 แผนวงจรกำเนิดความถี่ที่ให้สัญญาณเอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ที่ถูกสร้างขึ้น ดังรูปที่ 4.9 โดยการนำตัวเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นใส่ลงในกล่องวัดความชื้นแล้วต่อสายเข้ากับตัววงจร โดยการวัดเริ่มการเติมน้ำด้วยฮีตเตอร์เพื่อให้เกิดไอน้ำที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่างๆ กัน

การวัดความชื้นเริ่มจากเปิดวาล์วเพื่อให้ก๊าซในโตรเจนนำความชื้นเข้าไปในกล่องเซนเซอร์



รูปที่ 4.9 แผนภาพแสดงการวัดความชื้น

ตัวเซนเซอร์สร้างขึ้นนี้โดยใช้เทคโนโลยีในการสร้างคือ

1. เทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์แบบใช้เทปกาวโพลีอิมิดเป็นวัสดุ
2. เทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์และเทคโนโลยีวงจรรวมแบบใช้ฟิล์มโพลีอิมิดเป็นวัสดุ
3. เทคโนโลยีของกระบวนการสารกึ่งตัวนำหรือของวงจรรวมลงบนแผ่นกระจกสไลด์

4.3.1 ตัวเซนเซอร์ความชื้นโดยใช้เทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์แบบใช้เทปกาวโพลีอิมิดเป็นวัสดุ

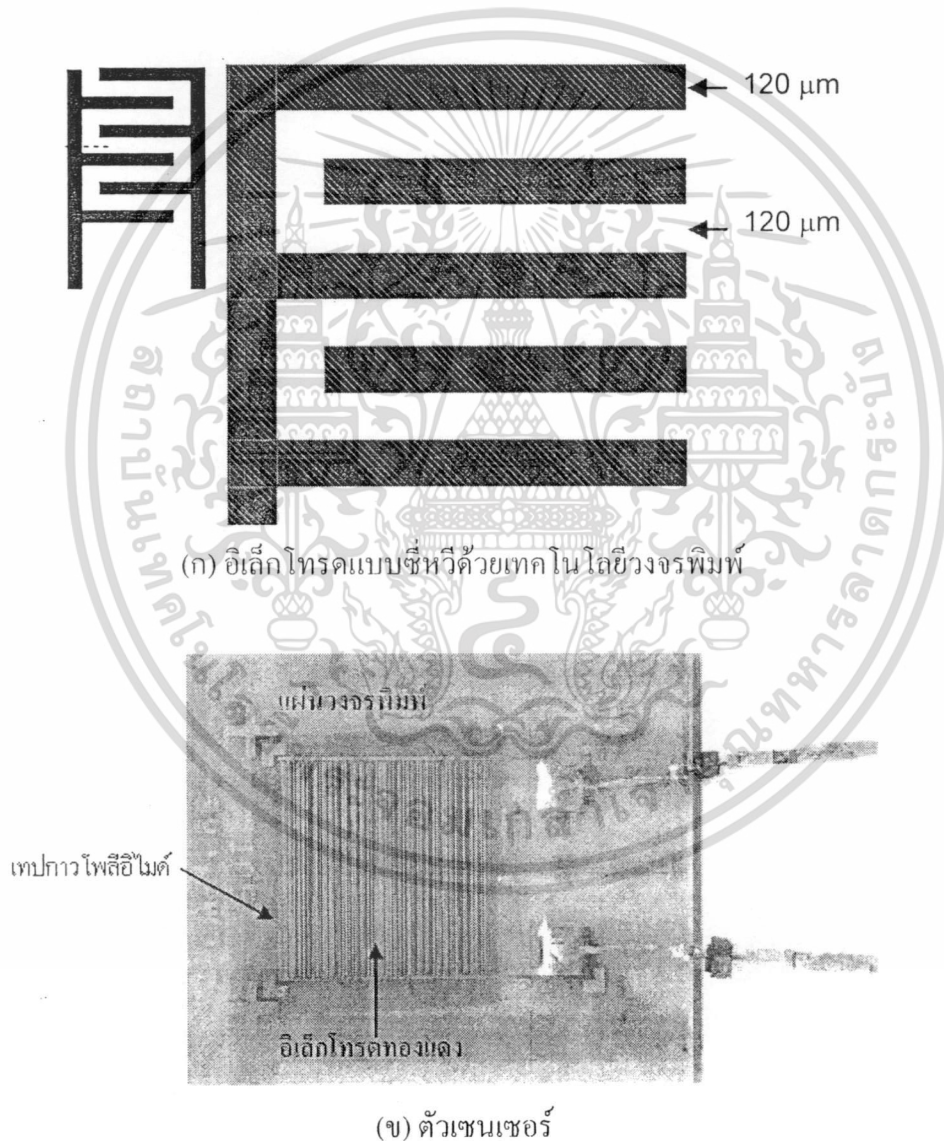
ในการทดลองนี้ได้ใช้เทปกาวโพลีอิมิดเป็นวัสดุความชื้น ซึ่งมีราคาถูกและหาได้ง่ายตามท้องตลาด ในการออกแบบตัวเซนเซอร์นั้นทำได้โดยกาสร้างอิเล็คโทรดแบบซี่หวีด้วยเทคโนโลยีวงจรมพิมพ์ ซึ่งสามารถสร้างลงขนาดได้ 150 ไมครอน งานวิจัยนี้สร้างลงขนาดอิเล็คโทรดทองแดงโดย แต่ละซี่กว้าง 150 ไมครอน และยาว 19 มิลลิเมตร บนพื้นที่ 2x2 ตารางเซนติเมตร

กระบวนการสร้างเซนเซอร์ด้วยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้เทปกาวโพลีอิมิดเป็นวัสดุจับความชื้นเริ่มจาก

1. เริ่มจากกระบวนการสร้างโดยทำความสะอาดแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยบริสุทธิ์ (De-Ionized water, DI) คือน้ำที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยการไหลผ่านเรซินที่กักประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

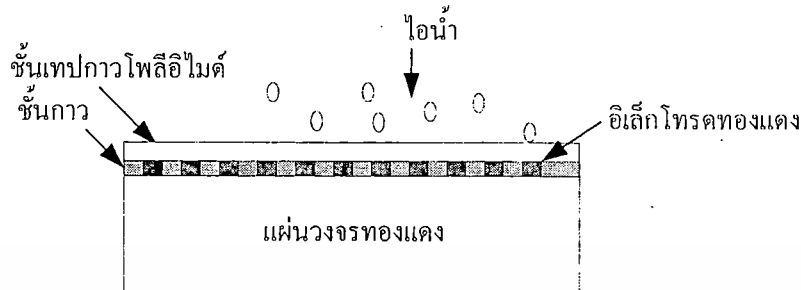
2. ทำความสะอาดผิวหน้าของทองแดงด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก(HCl 5%) เพื่อกำจัดออกไซด์ที่ผิวของทองแดง แล้วล้างออกด้วยน้ำบริสุทธิ์ DI แล้ว เป่าแห้ง
3. นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปเคลือบน้ำยาโฟโตเรซิสแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 °C
4. นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่เคลือบน้ำยาไวแสงนั้นไปฉายแสง
5. นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่เคลือบน้ำยาไวแสงนั้นไปผ่านกระบวนการสร้างลวดลายทองแดง
5. นำแผ่นวงจรพิมพ์ในน้ำยาเพื่อให้เกิดลวดลายแล้วทำลอกชั้นน้ำยาไวแสงออก
6. นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปทำความสะอาดแล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
7. ขั้นตอนสุดท้ายสร้างฟิล์มบางโพลีอิมิด์ติดลงบนลวดลายทองแดง ดังรูปที่ 10



รูปที่ 4.10 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์และใช้เทปกาวโพลีอิมิด์

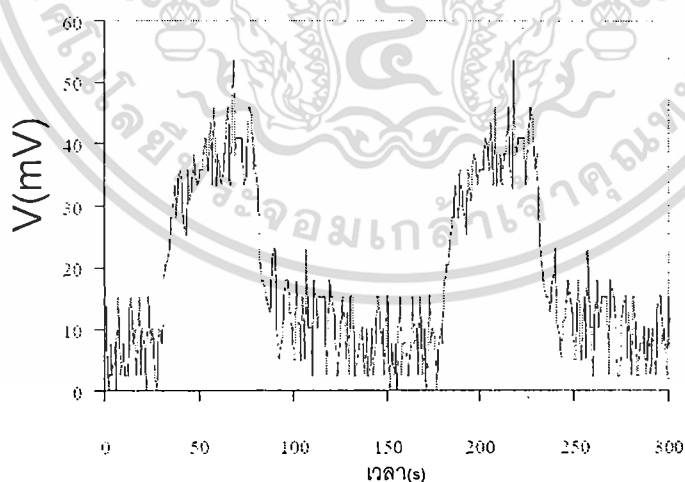
หลังจากได้สร้างตัวเซนเซอร์แล้ว นำไปทดสอบ โดยมีการแปรความชื้นสู่ชั้นของโพลีอิมิด์ ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งใช้ค่าแรงดันฐานที่ 2.74 V จากการทดสอบพบว่าแอมพลิจูดของแรงดันไฟฟ้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสตรงที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของวงจรเพิ่มขึ้นตามความชื้นในอากาศ ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ในช่วง 0-50 mV โดยใช้ระยะเวลาการดูดซึมความชื้นประมาณ 40 วินาที และระยะเวลาการคายความชื้นประมาณ 80 วินาที



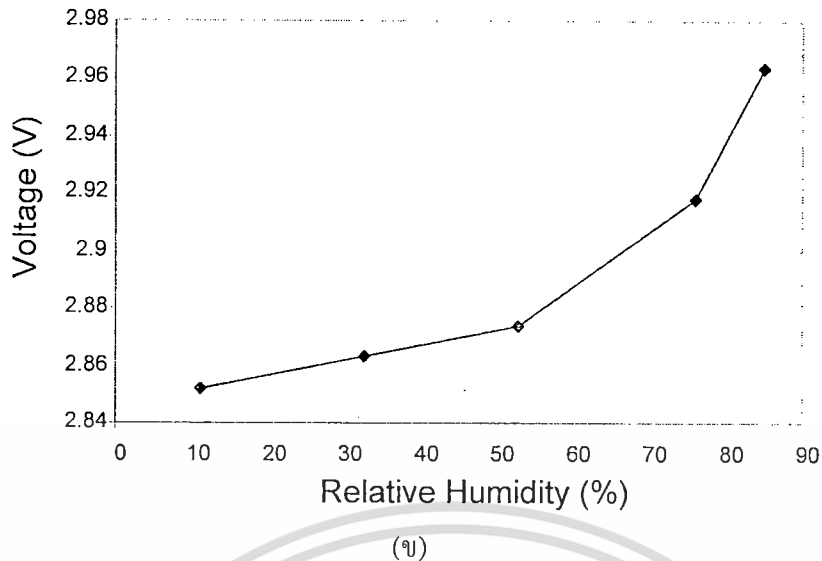
รูปที่ 4.11 ภาพตัดขวางตัวเซนเซอร์ความชื้นที่ทดสอบกับไอน้ำ

จากผลการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์(0-85%) กับ ค่าเอาต์พุตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (2.8-2.9 V) พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้น จากผลของการทดลองดังรูปที่ 4.13 และ รูปที่ 4.14 พบว่ากราฟที่ได้มีความเป็นเชิงเส้นในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 10-50% และในส่วนที่ไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 50-85 % จากผลการทดลองรูป 4.12 จึงได้ทำการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าต่อความชื้นสัมพัทธ์ ดังรูป 4.13 ทำให้ทราบว่าในช่วงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความเป็นเชิงเส้นในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 10-50% อยู่ที่ประมาณ 0-20 mV และส่วนในย่านที่ไม่เป็นเชิงเส้นในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 50-85 % อยู่ที่ประมาณ 20-110 mV

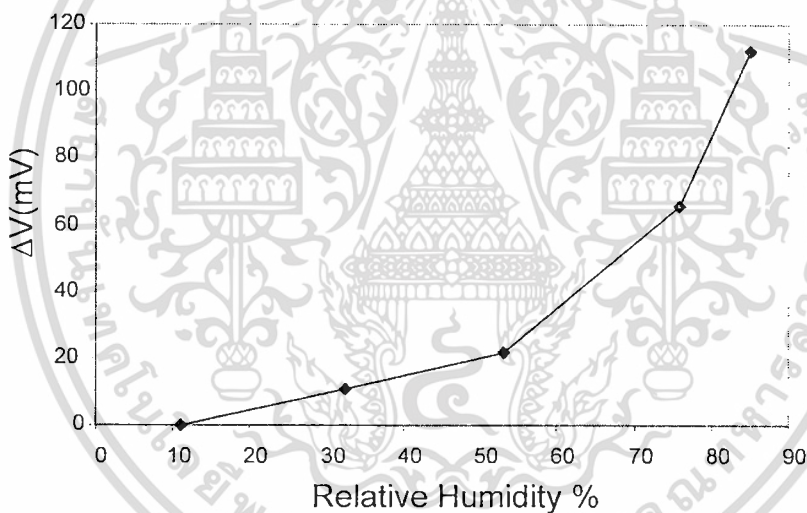


(ก)

ช่วงเวลาการตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ที่สร้าง
โดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้เทปกาวโพลีอีไมด์



รูปที่ 4.12 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ที่สร้างเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้เทป กาวโพลีอิมิด ๓ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



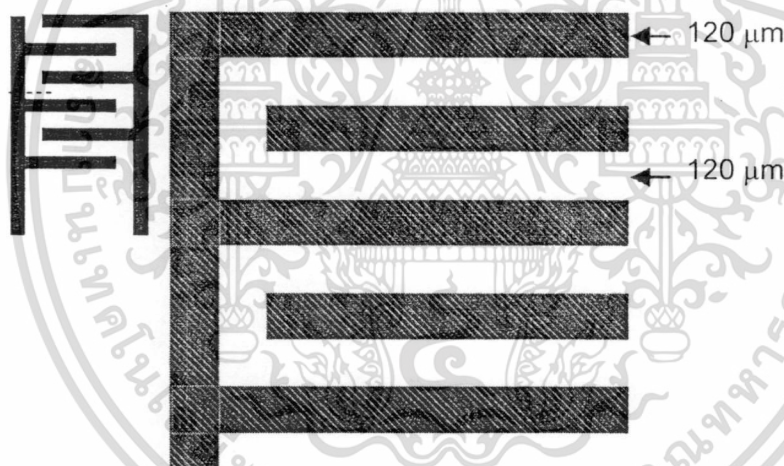
รูปที่ 4.13 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ที่สร้างเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้เทป กาวโพลีอิมิด ๓ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

4.3.2 ตัวเซนเซอร์ความชื้นโดยใช้เทคโนโลยีการสปีดเตอร์ฟิล์มบางโพลีอิมิดลงบน แผ่นวงจรพิมพ์ทองแดง

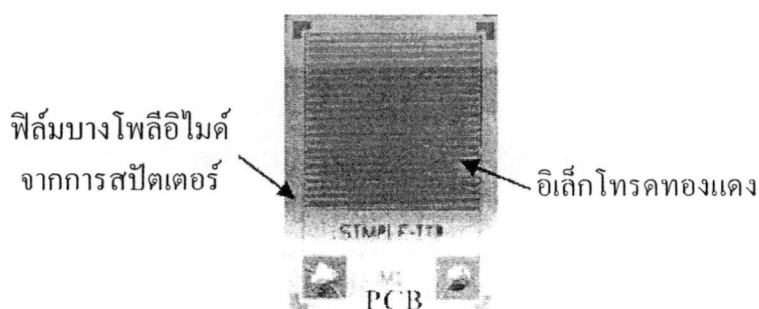
ในการทดลองนี้ ได้ใช้เทป กาวโพลีอิมิด เป็นวัสดุไวความชื้น ซึ่งมีราคาถูกและหาได้ง่าย ตามท้องตลาด ในการออกแบบตัวเซนเซอร์นั้นทำได้โดยการสร้างอิเล็คโทรดแบบซี่หวีด้วย เทคโนโลยีวงจรพิมพ์ ซึ่งสามารถสร้างลวดลายได้ 150 ไมครอน งานวิจัยนี้สร้างลวดลาย อิเล็คโทรดทองแดง โดย แต่ละซี่กว้าง 150 ไมครอน และยาว 19 มิลลิเมตร บนพื้นที่ 2x2 ตาราง เซนติเมตร เอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเซนเซอร์ความชื้น โดยใช้เทคโนโลยีการสปีดเตอร์ฟิล์มบางโพลีอิมิดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ทองแดง

1. เริ่มจากกระบวนการสร้าง โดยทำความสะอาดแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยบริสุทธิ์ (De-Ionized water, DI)
2. นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่ทำความสะอาดแล้วไปสร้างฟิล์มบางอลูมิเนียมโดยกระบวนการสปีดเตอร์
3. นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปเคลือบน้ำยาโฟโตริซิสแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 °C
4. นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่เคลือบน้ำยาไวแสงนั้นไปฉายแสง
5. นำแผ่นวงจรพิมพ์ที่เคลือบน้ำยาไวแสงนั้นไปผ่านกระบวนการสร้างลวดลายทองแดง
5. นำแผ่นวงจรพิมพ์ในน้ำยาเพื่อให้เกิดลวดลายแล้วทำลอกชั้นน้ำยาไวแสงออก
6. นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปทำความสะอาดแล้วเป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
7. ขั้นตอนสุดท้ายสร้างฟิล์มบางโพลีอิมิดคัลลงบนลวดลายทองแดง



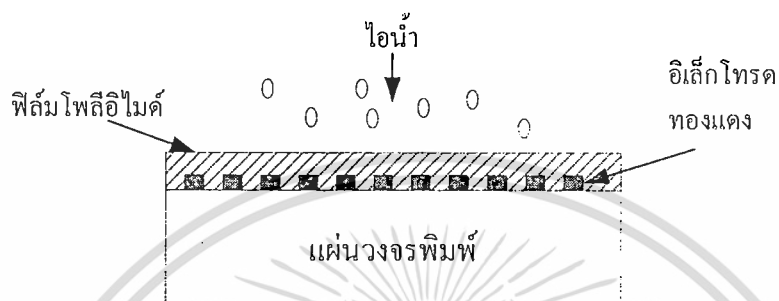
(ก) อิเล็กโทรดแบบซี่หวีด้วยเทคโนโลยีวงจรมพิมพ์



(ข) ตัวเซนเซอร์

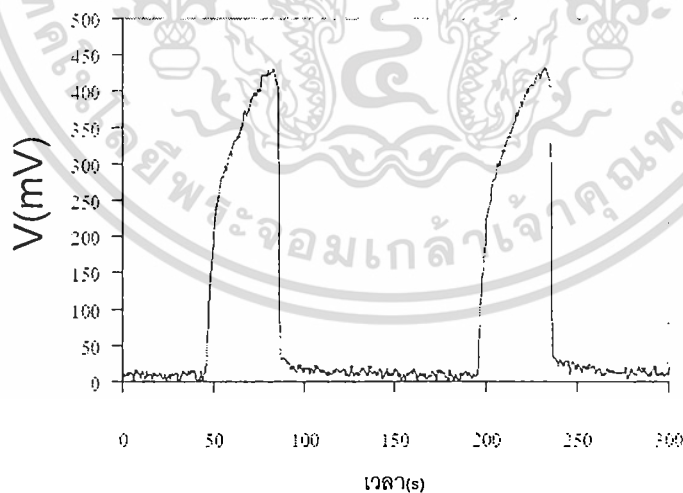
รูปที่ 4.14 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์และฟิล์มบางโพลีอิมิด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบตัวเซนเซอร์ตรวจจับความชื้นที่มีการแพร่ความชื้นเข้าสู่ชั้นฟิล์มบางโพลีอิมิด์ ดังรูปที่ 4.15 โดยให้ค่าแรงดันฐาน 2.42 V พบว่าแรงดันแอมพลิจูดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามความชื้นในอากาศ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0-90% ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 0-425 mV โดยใช้เวลาในการดูดซึม 39 วินาที และระยะเวลาการคายความชื้น 62 วินาที



รูปที่ 4.15 ภาพตัดขวางตัวเซนเซอร์ความชื้นที่ทดสอบกับไอน้ำ

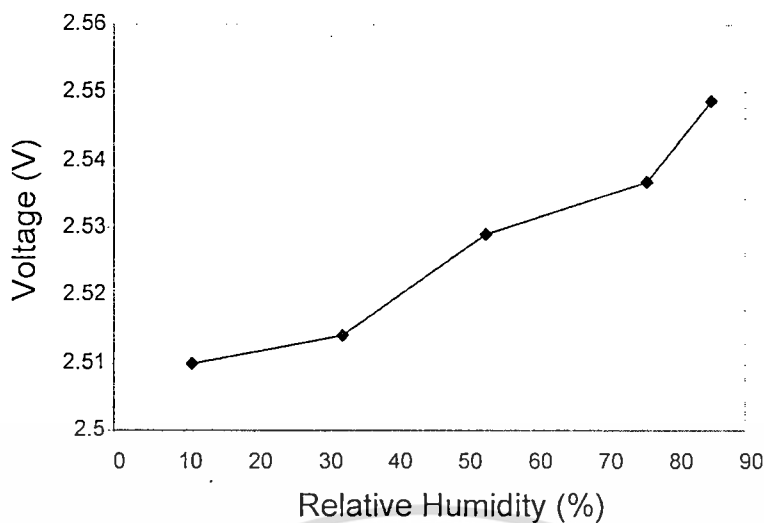
สำหรับผลการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่อความชื้นสัมพัทธ์เมื่อต่อตัวเซนเซอร์เข้ากับวงจรออสซิลโลสโคปที่ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสตรง พบว่ากราฟที่มีความเป็นไม่เป็นเชิงเส้น ดังรูปที่ 4.16 และจากผลการทดลองรูป 4.17 จึงได้ทำการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าต่อความชื้นสัมพัทธ์ ดังรูป 4.19 ทำให้ทราบว่าในช่วงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีความเป็นไม่เป็นเชิงเส้น



(ก)

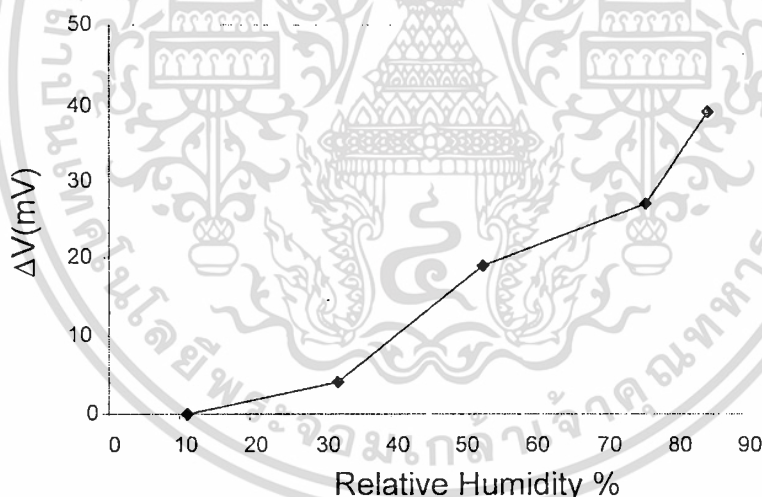
ช่วงเวลากการตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ที่สร้าง
โดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์โดยการสปีดเตอร์ริงโพลีอิมิด์ฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.16 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรรวม โดยการใช้สปีดเตอร์ริงโพลีอิมิดฟิล์มหนา 45 Å ณ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

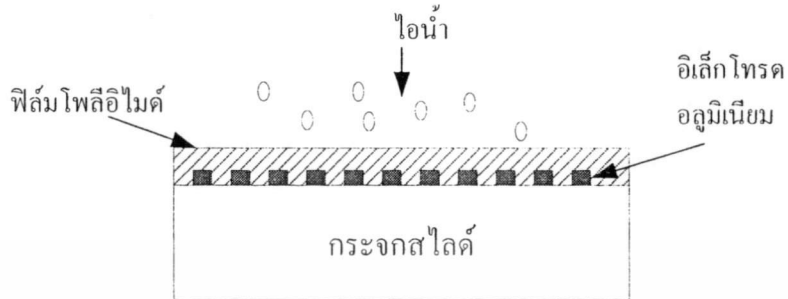


รูปที่ 4.17 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรรวม โดยการใช้สปีดเตอร์ริงโพลีอิมิดฟิล์มหนา 45 Å ณ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

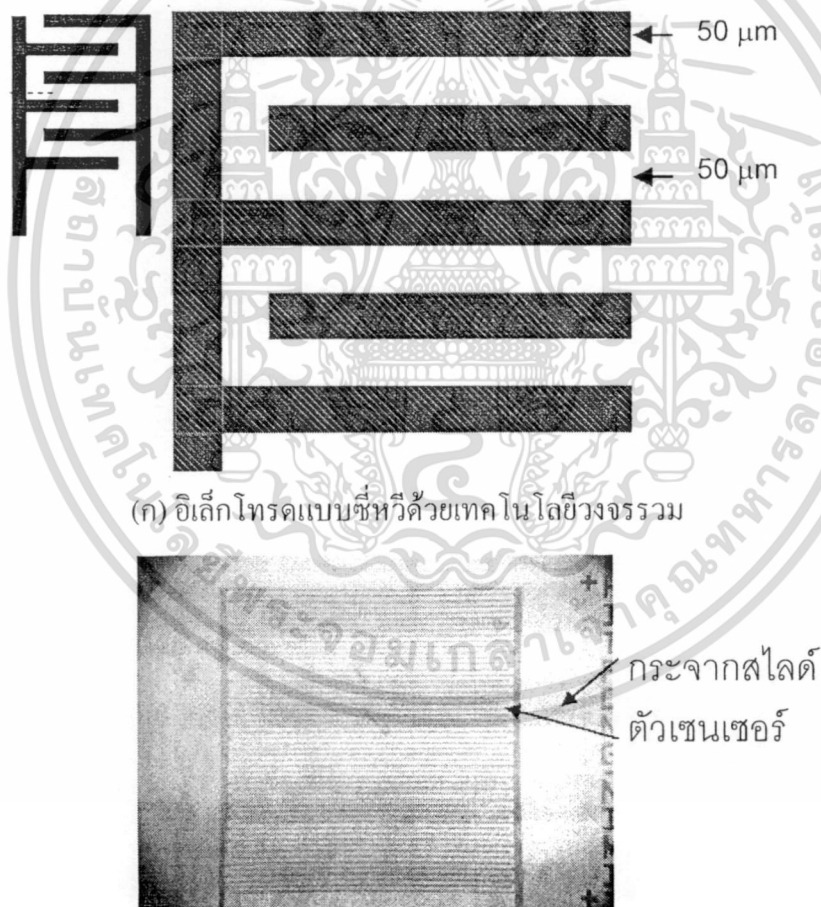
จากผลการทดสอบตัวเซนเซอร์ตรวจจับความชื้นที่มีการแพร่ความชื้นเข้าสู่ชั้นฟิล์มบางโพลีอิมิด ดังรูปที่ 4.18 โดยให้ค่าแรงดันฐาน 1.3 V พบว่าแรงดันแอมพลิจูดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามความชื้นในอากาศ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0-90 % ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 0-1.7 V โดยใช้เวลาในการดูดซึ่ม 39 วินาที และระยะเวลาการคายความชื้น 62 วินาที



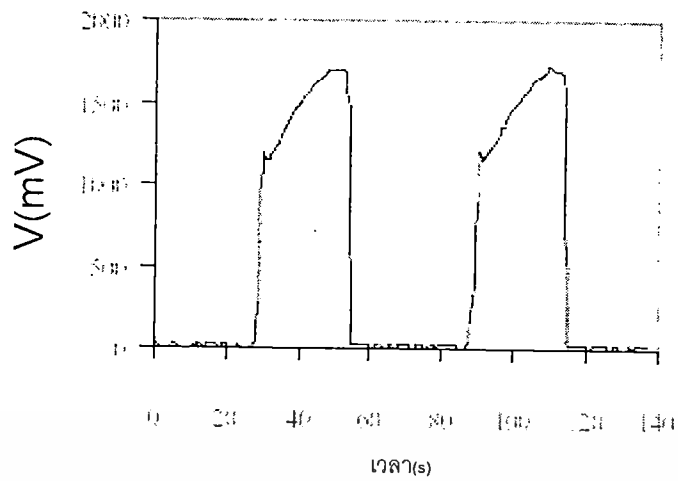
รูปที่ 4.18 ภาพตัดขวางตัวเซนเซอร์ความชื้นที่ทดสอบกับไอน้ำ



(ข) ตัวเซนเซอร์

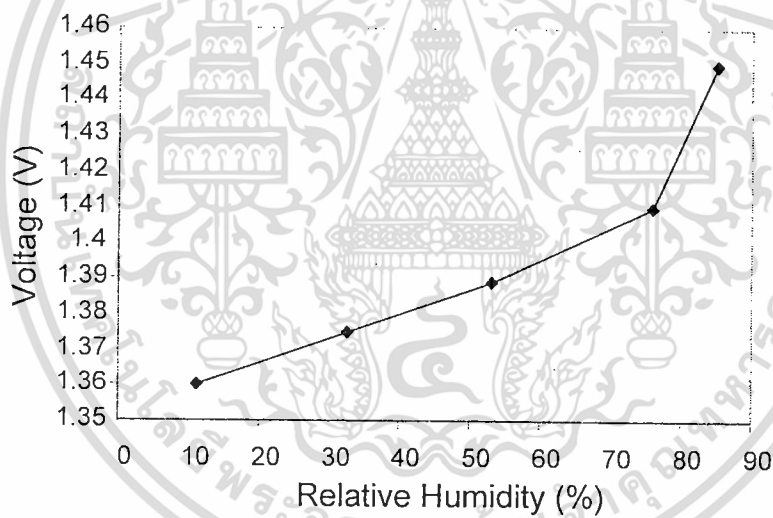
รูปที่ 4.19 ตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีวงจรรวมและฟิล์มบางโพลีอิมิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



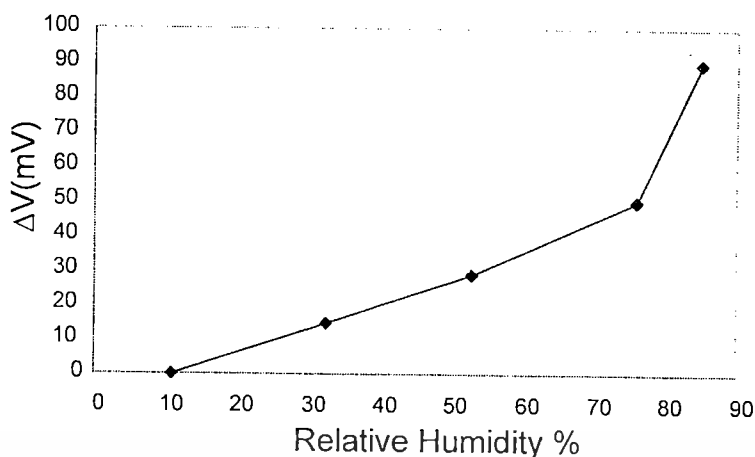
(ก)

ช่วงเวลาการตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ที่สร้าง
โดยเทคโนโลยีวงจรรวมบนกระจกสไลด์ โดยการสปีดเตอร์ริงโพลีอิมิดฟิล์ม



(ข)

รูปที่ 4.20 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรรวมบนกระจกสไลด์ โดยการสปีดเตอร์ริงโพลีอิมิดฟิล์มหนา 45 \AA ณ อุณหภูมิ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 4.21 การตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ความชื้นที่สร้างโดยเทคโนโลยีแผ่นวงจรรวมกระจกสไลด์ โดยการสปีดเตอร์ริงโพลีอิมิดฟิล์มหนา 45 Å ณ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อวัดด้วยวงจรที่ใช้เอาท์พุทเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อนำผลการทดลองการใช้เทปกาวโพลีอิมิดกับการสปีดเตอร์ริงโพลีอิมิดเป็นวัสดุไวความชื้น ดังตาราง ที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบช่วงเวลากการตอบสนองของเซนเซอร์ความชื้นทั้งสามแบบ

ประเภทเซนเซอร์	เวลาดูดซึมความชื้น(วินาที)	เวลาคายความชื้น(วินาที)
แผ่นวงจรพิมพ์แบบเทป	40	80
แผ่นวงจรพิมพ์แบบฟิล์มบาง	39	62
แผ่นกระจกสไลด์แบบฟิล์มบาง	23	7

ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบช่วงเวลากการตอบสนองต่อความชื้นของตัวเซนเซอร์ทั้งสามประเภทที่ใช้ชั้นความไวความชื้นต่างกัน โดยเริ่มจากความชื้นสัมพัทธ์ 0-90 % จากตารางที่ 4.1 พบว่าตัวเซนเซอร์ที่ใช้เทปกาวโพลีอิมิดเป็นชั้นไวความชื้นใช้ระยะเวลาในการดูดซึมความชื้นและระยะเวลาการคายความชื้นมากกว่าตัวเซนเซอร์ที่ใช้ฟิล์มบางที่ได้จากสปีดเตอร์ริงโพลีอิมิดเป็นชั้นไวความชื้น เนื่องจากเทปกาวโพลีอิมิดมีความหนาแน่นมากกว่าทำให้ใช้ระยะเวลาการดูดซึมและการคายความชื้นมากกว่าโพลีอิมิดจากการสปีดเตอร์ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีแบบแผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้การสปีดเตอร์ริงโพลีอิมิดเป็นชั้นไวความชื้นกับการใช้เทคโนโลยีวงจรรวมบนกระจกสไลด์ พบว่า พบตัวเซนเซอร์ที่ใช้เทคโนโลยีวงจรรวม ใช้ระยะเวลาในการดูดซึมความชื้นและระยะเวลาการคายความชื้นน้อยกว่า การใช้เทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์ เพราะว่ามีขนาดเล็กลง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัยนี้เป็นสร้างฟิล์มบางโพลีอิมิด์โดยวิธีการสปัตเตอร์ริง โดยการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ส่วนของการสร้างฟิล์มบาง
2. ประยุกต์เป็นตัวเซนเซอร์ความชื้น

ในการสร้างฟิล์มบางโพลีอิมิด์โดยการสปัตเตอร์ริง โดยเริ่มจากนำเทปกั่วโพลีอิมิด์มาเป็นเป้าหมายการสปัตเตอร์ริง ภายใต้ระบบสุญญากาศที่ความดัน $1-10 \times 10^{-2}$ bar อัตราการเกิดของฟิล์มโพลีอิมิด์นั้นมีอัตราการเกิดที่ช้ามากและเพื่อให้ฟิล์มมีค่าความหนาเพียงพอกับการวัดค่าความหนาด้วยเครื่อง Non-Contact Optical Profiler โดยพิจารณาความหนาฟิล์มบางโพลีอิมิด์ต่อระยะเวลาการสปัตเตอร์ริง โดยการสปัตเตอร์โพลีอิมิด์เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ได้ความหนา 76 นาโนเมตร ซึ่งมีอัตราการเกิด 6.33 นาโนต่อชั่วโมง หรือ 0.1 นาโน/นาที เมื่อทำการวิเคราะห์ฟิล์มของโพลีอิมิด์ที่ได้จากสปัตเตอร์ริง ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เปรียบเทียบกับผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์มาตรฐานของฟิล์มโพลีอิมิด์ พบว่าฟิล์มที่ได้จากการสปัตเตอร์ริงไม่ใช่โพลีอิมิด์ แต่ได้เปลี่ยนไปเป็นวัสดุอื่น ซึ่งทราบได้จากการหายไปของจุดสูงสุดของกราฟ FTIR ในตำแหน่งที่ควรจะเป็นสารเคมีในกลุ่มอิมิด์ การวิเคราะห์ด้วย FTIR จะแสดงว่าฟิล์มที่เตรียมได้จากกระบวนการสปัตเตอร์ของเทปกั่วโพลีอิมิด์จะเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยและพัฒนาคุณสมบัติของฟิล์มบางโพลีอิมิด์ เพื่อให้เป็นโครงสร้างของเซนเซอร์ความชื้น การเลือกใช้วัสดุเป็นชั้นไวความชื้น โดยใช้เทคโนโลยีที่ช่วยลดค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการสร้าง รวมไปถึงการพัฒนาหลักการตัวเซนเซอร์แบบใหม่ด้วยเทคนิคการสปัตเตอร์ริง โพลีอิมิด์เป็นฟิล์มวัสดุไวความชื้นและการใช้เทปกั่วโพลีอิมิด์ที่มีราคาถูกเป็นวัสดุไวความชื้น

โดยใช้เทคโนโลยีในการสร้างที่แตกต่างกัน ได้แก่ เทคโนโลยีแผ่นวงจรมพิมพ์โดยใช้เทปกั่วโพลีอิมิด์เป็นวัสดุไวความชื้น โครงสร้างเซนเซอร์ความชื้น โครงสร้างเซนเซอร์ความชื้นประกอบด้วยฐานรองแผ่นวงจรมพิมพ์ที่มีลวดลายอิเล็กทรอนิกส์ ทองแดง โดยใช้ฐานรองเป็นกระจกสโกลด์ โดยมีความกว้างและระยะห่างของอิเล็กทรอนิกส์ 150 ไมครอนแบบซีวีสถานสลักกันอยู่บนแล้วปิดทับอิเล็กทรอนิกส์ทองแดงด้วยเทปกั่วโพลีอิมิด์ ซึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า ค่าเอาท์พุทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (2.8-2.9 V) พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงขึ้น ซึ่งโครงสร้างแบบนี้มีข้อดีคือราคาถูก สร้างได้ง่าย และใช้เทปกั่วโพลีอิมิด์ที่มี

ราคาถูก ส่วนข้อเสียคือ โครงสร้างคือ โครงสร้างเซนเซอร์ความชื้นที่ได้ขนาดใหญ่ และเทปที่ใช้โพลีไมด์ที่หนาซึ่งทำให้เซนเซอร์ความชื้นมีค่าการตอบสนองต่ำ เนื่องจากความชื้นซึมเข้าได้ยาก

ต่อมาจึงได้ทำการเปลี่ยนชั้นวัสดุไวความชื้นโดยการใช้การสปีดเตอร์เทปกาวยโพลีไมด์เป็นชั้นไวความชื้นแทนเทปกาวยโพลีไมด์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 0-425 mV โครงสร้างแบบนี้มีข้อดีคือ ราคาถูก สร้างได้ง่าย และฟิล์มบางโพลีไมด์ที่ได้จากการสปีดเตอร์ค่าการตอบสนองต่อความชื้นมากกว่าเทปกาวยโพลีไมด์ ส่วนข้อเสียคือโครงสร้างมีขนาดใหญ่เนื่องจากเทคโนโลยีแผ่นวงจรพิมพ์มีข้อจำกัดในการสร้างลวดลายให้มีขนาดเล็ก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดขนาดตัวเซนเซอร์จึงได้นำเทคโนโลยีวงจรรวมมาช่วยปรับปรุงโดยใช้ฐานรองเป็นกระจกสไลด์ โดยมีความกว้างและระยะห่างของอิเล็กโทรด 50 ไมครอน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 0-1.7 V ซึ่งโครงสร้างแบบนี้มีข้อดีคือ ราคาถูก โครงสร้างเซนเซอร์มีขนาดเล็ก และไวต่อความชื้นมากกว่าการใช้เทปกาวย ส่วนข้อเสีย คือ มีกระบวนการสร้างที่ซับซ้อนและใช้ระยะเวลานาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] Malay K. Ghosh and K.L. Mital, Polyimides Fundamental and Applications, 1996.
- [2] D.L. Goff, E.L. Yuan, H.Long, H.J. Neuhaus, in Poymers for Electronic Packaging and Interconnection, ACS Symp. Ser. No. 407, American Chemical Society, Washington, D.C., 1989, pp. 93-100.
- [3] S. Trofimenko, Advances in Polyimide Science and Technology, Technomic, Lancaster, PA, 1993, pp. 3-14.
- [4] B. C. Auman, Advances in Polyimide Science and Technology, Technomic, Lancaster, PA, 1993, pp. 15-32.
- [5] E. Traversa, "Ceramic sensors for humidity detection: the state-of-the-art and future developments," Sensors and Actuators B, vol. 23, 1995, pp.135-156.
- [6] Z. M. Rittersma, "Recent achievements in miniaturized humidity sensors - a review of transduction techniques," Sensors and Actuators A, vol. 96, 2002, pp.196-210.
- [7] N. Yamazoe, "Humidity sensors: principles and applications," Sensors and Actuators, vol. 10, 1986, pp.379-398.
- [8] T. Seiyama, N. Yamazoe, and H. Arai, "Ceramic humidity sensors," Sensors and Actuators, vol. 4, 1983, pp.85-96.
- [9] Y. Sakai, Y. Sadaoka, and M. Matsuguchi, "Humidity sensors based on polymer thin films," Sensors and Actuators B, vol. 35-36, 1996, pp.85-90.
- [10] M. J. Yang, Y. Li, G. Casalbore-Miceli, A. Martelli and G. Ridolfi, "Polymer electrolytes as humidity sensors: progress in improving an impedance device," Sensors and Actuators B, vol. 86, 2002, pp.229-234.
- [11] Y. Li, and M. J. Yang, "Bilayer thin film humidity sensors based on sodium polystyrenesulfonate and substituted polyacetylenes," Sensors and Actuators, vol. 87, 2002, pp.184-189.
- [12] C. W. Lee, Y. Kim, S. W. Joo, and M. S. Gong, "Resistive humidity sensor using polyelectrolytes based on new-type mutually cross-linkable copolymers," Sensors and Actuators, vol. 88, 2003, pp.21-29.
- [13] Y. Sakai, Y. Sadaoka, and M. Matsuguchi, "Humidity sensors based on polymer thin films," Sensors and Actuators B; vol. 35-36, 1996, pp.85-90.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] J. Yuk, and T. Troczynski, "Sol-gel BaTiO₃ thin film for humidity sensors," *Sensors and Actuators B*, vol. 94, 2003, pp.290-293.
- [15] H. Baltes, and E. Charbon, "Humidity-sensitive oscillator fabricated in double poly CMOS technology," *Sensors and Actuators B1*, 1990, pp.441-445.
- [16] S. Chatzandroulis, A. Tserepi, D. Goustouridis, P. Normand, and D. Tsoukalas, "Fabrication of single crystal Si cantilevers using a dry release process and application in a capacitive-type humidity sensor," *Microelectronic Engineering*, vol. 61-62, 2002, pp.955-961.
- [17] P. M. Harrey, B. J. Ramsey, P. S. A. Evans, and D. J. Harrison, "Capacitive-type humidity sensors fabricated using the offset lithographic printing process," *Sensors and Actuators B*, vol. 87, 2002, pp.226-232.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นายรังสรรค์ เมืองเหลือ
(ภาษาอังกฤษ) MR. RANGSON MUANGHLUA
2. หมายเลขบัตรประชาชน 3660100854710
3. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิจัย(ชำนาญการ) ระดับ 8
4. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กทม. 10520
E-mail : kmrangso@kmitl.ac.th
5. ประวัติการศึกษา

วุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถาบัน
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วศ.ม.(วิศวกรรมไฟฟ้า)	2544	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาศาสตร์บัณฑิต วท.บ.(วัสดุศาสตร์)	2535	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้