

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาคุณสมบัติฟิล์มบางโลหะอัลลอยระดับนาโนโดยการสปัตเตอร์ริง  
ด้วยเป้าโลหะต่างชนิดแยกส่วนโดยพื้นที่

The development properties of thin-film metal alloys in NANO  
by sputtering with partial-mixed metal targets by area



ดร.รังสรรค์ เมืองเหลือ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
ประจำปีงบประมาณ 2552

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 131163  
วัน,เดือน,ปี 22 11 2557

b. 1260236x  
i.....

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยในโครงการนี้ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัยขอขอบคุณ นักวิจัย อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในด้านของการดำเนินงานของโครงการ

ดร.รังสรรค์ เมืองเหลือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ชื่อโครงการ

การพัฒนาคุณสมบัติฟิล์มบางโลหะอัลลอยระดับนาโนโดยการสปัตเตอร์ริงด้วยเป้าโลหะต่างชนิด  
แยกส่วนโดยพื้นที่

The development properties of thin-film metal alloys in NANO by sputtering with  
partial-mixed metal targets by area.

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (เงินงบประมาณแผ่นดิน)  
ประจำปี 2552 จำนวนเงิน 490,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2551 จนถึง กันยายน 2552 /

## ผู้ดำเนินการวิจัย

ดร.รังสรรค์ เมืองเหลือ

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการพัฒนาคุณสมบัติฟิล์มบางโลหะอัลลอยระดับนาโนโดยการสปัตเตอร์ริงด้วยเป้าโลหะต่างชนิดแยกส่วนโดยพื้นที่ภายหลังกระบวนการสร้างฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิกอน โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกระบวนการทางความร้อน จากนั้นจึงนำฟิล์มโลหะอัลลอยที่เตรียมได้ไป ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ตรวจสอบเอกลักษณ์เฉพาะด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ตรวจสอบความหนาและศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าสามารถสร้างฟิล์มโลหะอัลลอยอลูมิเนียมกับทองแดงได้ ซึ่งความหนาของฟิล์มเท่ากับ 0.234 ไมโครเมตร ซึ่งเตรียมได้จากการสปัตเตอร์เป็นเวลา 30 นาที โดยที่อุณหภูมิการเผาแอนนีลมีผลต่อความเสถียรของโลหะอัลลอยและขนาดเกรน

In this research, the development properties of thin-film metal alloys in NANO by sputtering with partial-mixed metal targets by area were studied. After fabrication on silicon substrate and thermal treatment, physical properties were tested. Specimens were characterized using X-ray diffraction technique (XRD). The thickness and morphology were determined by a scanning electron microscope (SEM). Metal alloy film provided a 0.234 micron thickness after sputtered for 30 min. It was found that annealing temperature was an important role on metal alloy stability and its grain size.

## “Output”

Rangsonmuanglua, Al-Cu Thin Film Studied by Using Radio Frequency Sputtering Technique, the 27<sup>th</sup> MST Annual Conference, 20-22 January 2010, Samui, Thailand



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	3
<b>บทที่ 2 การทบทวนทฤษฎี และการวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 สารละลาย	4
2.2 สารละลายของแข็ง	4
2.3 โลหะทองแดง (Copper)	7
2.4 โลหะอลูมิเนียม	9
2.5 กระบวนการสปัตเตอร์ริง	10
2.6 โลหะผสม	11
2.7 การตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)	15
2.8 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค	18
<b>บทที่ 3 กระบวนการสร้างฟิล์มโลหะผสมอลูมิเนียมทองแดง</b>	
3.1 กระบวนการออกซิเดชัน	21
3.2 สปัตเตอร์ริง (Sputtering)	22
3.2.1 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มโลหะอลูมิเนียมด้วยวิธีการสปัตเตอร์	29
3.2.2 ขั้นตอนการแอนนีสล (anneal)	31
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	
4.1 ลักษณะทางกายภาพ	32
4.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์เฉพาะด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	34
4.3 การตรวจสอบสัญญาณวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	38

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	48
ประวัติ	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 เป้าโลหะต่างชนิดแบบแยกส่วนโดยพื้นที่AB(area50%) และฟิล์มโลหะ AB	2
รูปที่ 2.1 ภาพของสารละลายของแข็งชนิดแทนที	5
รูปที่ 2.2 การละลายของแข็งชนิดแทรกตัว	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของทองแดง (Cu)	7
รูปที่ 2.4 แสดงหลักการและองค์ประกอบเบื้องต้นของเครื่องเคลือบด้วยวิธีการสปัตเตอร์ริง	11
รูปที่ 2.5 การแพร่โดยอาศัยช่องว่าง	12
รูปที่ 2.6 การแพร่โดยอาศัยการแทนที่จากอะตอมโลหะต่างชนิด	13
รูปที่ 2.7 ลักษณะการเกิดฟิล์มโลหะ AB	14
รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบการสร้างฟิล์มโลหะ AB ที่ใช้เป้าโลหะอัลลอยAB และเป้าโลหะต่างชนิด AB	15
รูปที่ 2.9 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากระนาบของอะตอม	16
รูปที่ 2.10 เครื่องX-ray diffractometer รุ่น D 8 Advance	17
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	18
รูปที่ 2.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่นHitachi SU-70	20
รูปที่ 3.1 Sputtering System Diagram ของเครื่อง SPE-210 Diode Sputtering System	22
รูปที่ 3.2 ระบบการสปัตเตอร์แบบอาร์เอฟไดโอด	24
รูปที่ 3.3 แผนภาพภายในchamber ของเครื่องสปัตเตอร์ระยะห่างระหว่างขั้วคาโรตกับขั้วอานโนดที่37 cm	25
รูปที่ 3.4 เป้าโลหะอลูมิเนียมทองแดง	25
รูปที่ 3.5 Panel of RF Generator	27
รูปที่ 3.6 Panel of Pump Switch ,Ionizing Gauge and Heate	27
รูปที่ 3.7 ภาพตัดขวางของแผ่นผลึกซิลิคอนเริ่มแรก	28
รูปที่ 3.8 ภาพตัดขวางของแผ่นผลึกที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชันเริ่มแรก	29
รูปที่ 3.9 ภาพตัดขวางฟิล์มโลหะผสมอลูมิเนียมทองแดงบนฐานรองแผ่นซิลิคอน	31
รูปที่ 3.10 ฟิล์มโลหะผสมอลูมิเนียมทองแดงที่แอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ	31
รูปที่ 4.1 เป้าโลหะอลูมิเนียมและทองแดง ก่อน (บน) และหลัง (ล่าง) กระบวนการสร้างฟิล์มโลหะอัลลอยด้วยวิธีสปัตเตอร์	33
รูปที่ 4.2 ฟิล์มโลหะอัลลอยของทองแดงและอลูมิเนียมบนแผ่นรองรับซิลิคอน ภายหลังการเผาแอนนัลที่อุณหภูมิระหว่าง 100 ถึง 600 องศาเซลเซียส	33
รูปที่ 4.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน ก่อนกระบวนการทางความร้อน	34
รูปที่ 4.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส	35
รูปที่ 4.5 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	36

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 4.6 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	37
รูปที่ 4.7 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	37
รูปที่ 4.8 สัญญาณวิทยาของฟิล์มโลหะอัลลอย	38
รูปที่ 4.9 ภาคตัดขวาง (cross section) ของฟิล์มโลหะอัลลอย	39
รูปที่ 4.10 ภาคตัดขวาง (cross section) ของฟิล์มโลหะอัลลอย	39
รูปที่ 4.11 สัญญาณวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยก่อนกระบวนการทางความร้อน	40
รูปที่ 4.12 สัญญาณวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	41
รูปที่ 4.13 สัญญาณวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส	41
รูปที่ 4.14 สัญญาณวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส	42
รูปที่ 4.15 สัญญาณวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	43
รูปที่ 4.16 สัญญาณวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	43
รูปที่ 4.17 ขนาดผลึกเฉลี่ยของฟิล์มโลหะอัลลอยที่เตรียมได้ เทียบกับอุณหภูมิ ที่ใช้ในการเผาแอนนัล	44

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติที่สำคัญของโลหะอลูมิเนียมและทองแดง	6
ตารางที่ 2.2 สมบัติทั่วไปของโลหะทองแดงที่ค่อนข้างบริสุทธิ์	9
ตารางที่ 2.3 สมบัติทั่วไปของโลหะอลูมิเนียมที่ค่อนข้างบริสุทธิ์	10
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการสปีดเตอร์อลูมิเนียมทองแดงในการทดลอง	26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โลหะบริสุทธิ์ถูกนำมาใช้งานด้านวิศวกรรมน้อยมาก ปกตินิยมใช้เมื่อต้องการคุณสมบัติการนำไฟฟ้าสูง ความเหนียวสูง หรือมีสภาพต้านทานการกัดกร่อนได้ดี ดังนั้นการใช้งานด้านวิศวกรรมจำเป็นต้องนำโลหะบริสุทธิ์มาผสมกันย่อมจะทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจนส่งผลให้คุณสมบัติที่เหมาะสมกับงานในแต่ละด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางไฟฟ้า คือความต้องการที่นำโลหะผสมไปใช้ร่วมกับกระบวนการสร้างวงจรรวม (ICs) ดังนั้นโลหะผสม(Metal Alloys) คือการผสมโลหะทั้ง 2 ชนิดขึ้นไปมาหลอมแล้วปล่อยให้แข็งตัวที่เหมาะสม และโลหะผสมจะแสดงคุณสมบัติของโลหะโลหะอัลลอยแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ตามส่วนผสมทางเคมี คือ กลุ่มแรก โลหะผสมกลุ่มเหล็ก ซึ่งมีเหล็กเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่โดยใช้งานเป็นวัสดุก่อสร้าง และกลุ่มที่สอง โลหะผสมนอกกลุ่มเหล็ก ได้แก่โลหะประเภท โลหะผสมของทองแดง โลหะผสมของอลูมิเนียม โลหะผสมของนิกเกิล โลหะผสมของไทเทเนียม โลหะผสมมีค่าเป็นต้น โลหะในกลุ่มนี้มีความหลากหลายและมีคุณสมบัติพิเศษ ซึ่งเรียกว่า โลหะผสมประเภท “ซูเปอร์อัลลอย (Super Alloys)”

โดยทั่วไปสมบัติทางกายภาพของโลหะและโลหะอัลลอย จะเปลี่ยนแปลงจากผลของการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้าง ดังนั้นการลดลงของขนาดอนุภาคซึ่งสอดคล้องโดยตรงกับการเรียงตัวของอะตอม โดยเฉพาะการเรียงตัวของอะตอมที่บริเวณผิวสัมผัส จะเป็นเหตุผลสำคัญในการกำหนดสมบัติทางกายภาพของวัสดุต่างๆ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้วัสดุนาโนมีสมบัติที่สมบูรณ์แบบตัวอย่างเช่น มีความแข็งแรงและเหนียวแน่นกว่าวัสดุที่มีเกรนขนาดใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุนาโนดังกล่าวมีการเพิ่มขึ้นของบริเวณที่เป็นผิวสัมผัสที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุ นอกจากนี้ยังทำให้วัสดุนาโนมีสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแสง และสมบัติทางแม่เหล็กดีกว่าวัสดุที่มีเกรนขนาดใหญ่วัสดุนาโนจึงได้เข้ามามีความสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวคะตะลิสต์ และยังมีสำคัญต่ออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การพัฒนาวัสดุสำหรับ Photo cells หรือวัสดุเซนเซอร์ ทำให้มีการเตรียมวัสดุนาโนกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตวงจรรวม(ICs) ได้ถูกพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะขนาดของวงจรรวมซึ่งมีขนาดเล็กลงอย่างมาก และรอยต่อของชั้นพีและเอ็นมีความลึกลึกน้อยกว่า 1 ไมครอน ในส่วนของเทคโนโลยีโลหะอัลลอยนั้นจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อวงจรรวมได้ถูกสร้างขึ้นเรียบร้อยแล้วจำเป็นต้องมีเส้นลวดโลหะหรือขาสโลหะต่อ ออกไปสู่จรรยาภายนอกเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างรอยสัมผัส(contact)ระหว่างโลหะอัลลอยกับสารกึ่งตัวนำที่เป็นส่วนต่างๆ ของวงจรรวม ซึ่งรอยสัมผัสของสารกึ่งตัวนำกับโลหะในลักษณะนี้ปกติจะมีคุณสมบัติเป็น “รอยสัมผัสโอห์มิก” กล่าวคือจะไม่มีผลเกี่ยวข้องกับทิศทางการไหลของกระแสโดยกระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง

แต่เนื่องจากในปัจจุบันความลึกของชั้นพีเอ็นมีความลึกลึกน้อยกว่า 1 ไมครอน เมื่อมีการแอนนูลเข้าปออะตอมของอลูมิเนียมที่แพร่ลึกเข้าไปในส่วน  $p^+$  และ  $n^+$  มักไม่สม่ำเสมอกัน ทำให้เกิดมีส่วนลึกตื้นไม่เท่ากัน เกิดเป็นปลายแหลมเล็กหรือเรียกว่า “สไปค์”(spiking) ซึ่งส่วนที่เป็นสไปค์

อาจจะลึกลงไปถึงบริเวณรอยสัมผัสที่เอ็นที่มีขนาดต้นเหล่านี้ได้ ทำให้เกิดความเสียหายชั้นบริเวณรอยสัมผัสเพราะถูกฉัดวงจร

สำหรับกระบวนการที่เราจะทำวิจัยนี้เป็นกระบวนการสร้างฟิล์มโลหะ ซึ่งทางศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์สามารถสร้างด้วยกัน 2 วิธี คือ

1. การสร้างฟิล์มโลหะด้วยวิธีสปัตเตอร์ด้วยเครื่องสปัตเตอร์ริง
2. การสร้างฟิล์มโลหะด้วยวิธีการระเหยในสุญญากาศด้วยเครื่องระเหยระบบสุญญากาศแบบความร้อน

คุณสมบัติที่มีความสำคัญของเครื่องสปัตเตอร์ริงสามารถสร้างฟิล์มโลหะทุกชนิด เช่น

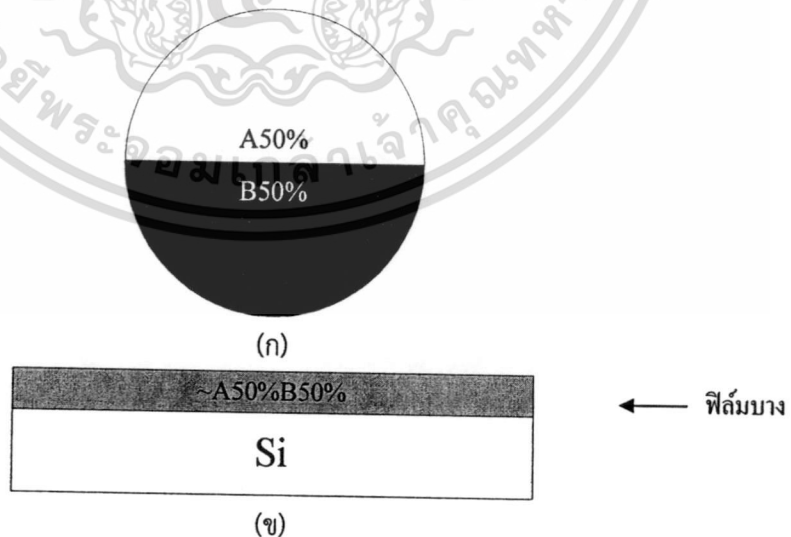
- ถ้าต้องการฟิล์มโลหะบริสุทธิ์ต้องใช้เป้าโลหะบริสุทธิ์ หรือ
- ถ้าต้องการฟิล์มโลหะอัลลอยต้องใช้เป้าโลหะอัลลอย

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการสร้างฟิล์มบางโลหะอัลลอยโดยใช้ Silicon planar technology
2. ศึกษาสัดส่วนเป้าโลหะต่างชนิดและผลของการสร้างฟิล์มโลหะ AB
3. ศึกษาเงื่อนไขต่างๆที่มีผลต่อการสร้าง ฟิล์มบางเพื่อให้ได้เงื่อนไขที่ดีที่สุด
4. การพัฒนาเสถียรภาพฟิล์มบาง
5. การประยุกต์ใช้งานกับ Silicon planar technology

### 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การวิจัยที่จะสร้างฟิล์มบางโลหะอัลลอยโดยใช้เป้าโลหะต่างชนิดแยกส่วนโดยพื้นที่ ดังแสดงรูปที่ 1.1 ประกอบด้วย เป้าโลหะ A และ เป้าโลหะ B แล้วนำแต่ละส่วนของเป้าโลหะมาประกอบเป็นเป้าโลหะต่างชนิดแยกส่วนโดยพื้นที่ ซึ่งลักษณะของการใช้พื้นที่ของเป้าโลหะประกอบด้วย โลหะ A 50% และ โลหะ B 50% เมื่อนำเป้าโลหะต่างชนิดไปสร้างฟิล์มบางโดยกระบวนการสปัตเตอร์ริงจะได้ลักษณะของฟิล์มโลหะ AB



รูปที่ 1.1 เป้าโลหะต่างชนิดแบบแยกส่วนโดยพื้นที่ AB(area50%) และ ฟิล์มโลหะ AB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สามารถสร้างฟิล์มบางโลหะชนิดต่างๆ ได้
- 2.สามารถสร้างฟิล์มบางโลหะ AB อยู่ในสภาพสารละลายของแข็ง
- 3.สามารถสร้างฟิล์มบางโลหะอัลลอย AB
4. โดยการใช้เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ

#### 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาเทคโนโลยีกระบวนการสร้างสารกึ่งตัวนำ
2. ศึกษาการใช้เครื่องมือในกระบวนการโลหะของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์
3. ศึกษากระบวนการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์
4. ศึกษากระบวนการสร้างฟิล์มโลหะด้วยวิธีการสปัตเตอร์(sputtering)
5. ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มโลหะจากเงื่อนไขของวิธีการสปัตเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### การทบทวนทฤษฎี และ การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สารละลาย

สารละลาย (solution) หมายถึง สารเนื้อเดียวที่ไม่บริสุทธิ์เกิดจากสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมารวมกัน สารละลายแบ่งส่วนประกอบได้ 2 ส่วนคือ

1. ตัวทำละลาย (solvent) หมายถึง สารที่มีความสามารถในการทำให้สารต่างๆ ละลายได้ โดยไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารนั้น

2. ตัวละลาย (solute) หมายถึง สารที่ถูกตัวทำละลายละลายให้กระจายออกไปทั่วในตัวทำละลายโดยไม่ทำปฏิกิริยาเคมีต่อกัน

สารละลายมีทั้ง 3 สถานะ คือ สารละลายของแข็ง สารละลายของเหลว และสารละลายของก๊าซ

สารละลายของแข็ง หมายถึง สารละลายที่มีตัวทำละลายมีสถานะเป็นของแข็ง เช่น ทองเหลือง นาก โลหะบัดกรี สัมฤทธิ์ เป็นต้น

สารละลายของเหลว หมายถึง สารละลายที่มีตัวทำละลายมีสถานะเป็นของเหลว เช่น น้ำเชื่อม น้ำหวาน น้ำเกลือ น้ำปลาน้ำส้มสายชู น้ำอัดลม เป็นต้น

สารละลายก๊าซ หมายถึง สารละลายที่มีตัวทำละลายมีสถานะเป็นก๊าซ เช่น อากาศ ก๊าซหุงต้ม ลูกเหม็นในอากาศ ไอน้ำในอากาศ เป็นต้น

#### 2.2 สารละลายของแข็ง

ธาตุหรือสารประกอบนั้นอาจละลายเป็นเนื้อเดียวกันกันได้ ทั้งในสภาพของก๊าซ ของเหลว หรือของแข็งโดยถ้าละลายในสถานะของแข็งเรียกว่าสารละลายของแข็ง (Solid solution)

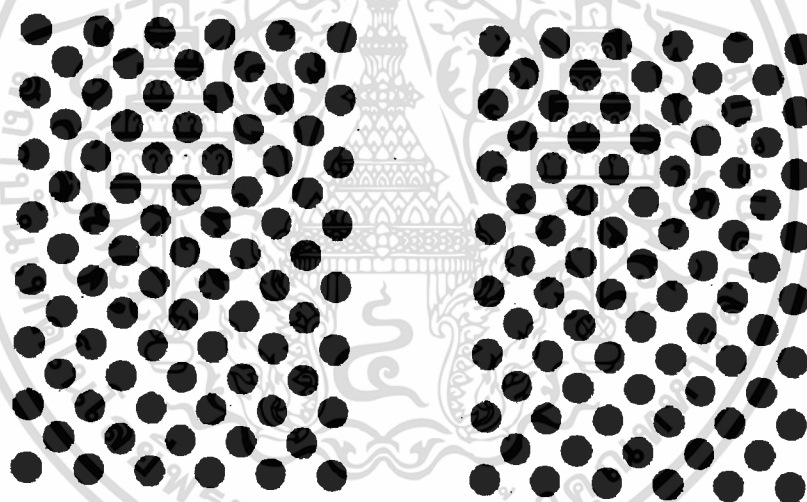
ผลของขนาดอะตอมและไอออนที่มีผลต่อการเกิดสารละลายของแข็ง

ความสามารถในการละลายในสภาพของแข็ง (Solid Solubility) นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดของช่องอะตอม วาเลนซ์อิเล็กตรอน และโครงสร้างผลึกของสาร ทำให้ตำแหน่งที่อยู่ของสารที่เจือในโครงสร้างของสารหลักแตกต่างกันออกไป โดยการละลายในสถานะของแข็งมีอยู่ 2 แบบคือ

**สารละลายของแข็งชนิดแทนที่ (Substitutional solid solution)** ในกรณีนี้ สารประกอบ อะตอม หรือไอออนที่มีขนาดใกล้เคียงกันผสมกันโดยการแทนที่อะตอมของกันและกัน ซึ่งการละลายชนิดแทนที่นั้นอาจมีทั้งแบบเป็นระเบียบและแบบไม่เป็นระเบียบดังรูปที่ 3.1 จะเห็นว่า การละลายชนิดแทนที่แบบเป็นระเบียบอะตอมของธาตุจะสลับตำแหน่งกันอย่างเป็นระเบียบหรือการเรียงตัวของอะตอมทั้งสองธาตุวางตำแหน่งของอะตอมแบบกระจายตัวกันทั่วสำหรับการละลายชนิดแทนที่แบบไม่เป็นระเบียบจะมีการเรียงตัวของอะตอมสับสนไม่เป็นระเบียบ โดยสารที่จะเข้าไปแทนที่ และสารในโครงสร้างที่จะถูกแทนที่จะต้องมีความคล้ายคลึงกัน คือ

1. รัศมีอะตอมหรือไอออนมีขนาดต่างกันไม่เกิน 14%
2. มีค่าวาเลนซี (Valency) เท่ากัน
3. มีค่าแรงดันไฟฟ้าทางเคมี (Electronegativity) ต่างกันน้อย ทำให้ไม่เกิดความต่าง

ศักย์ทางไฟฟ้า



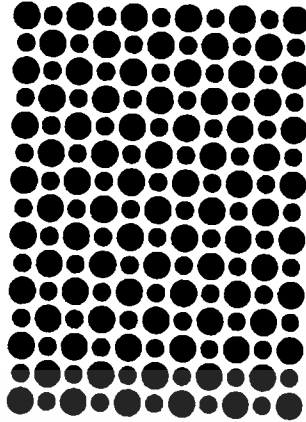
แบบเป็นระเบียบ

แบบไม่เป็นระเบียบ

รูปที่ 2.1 ภาพของสารละลายของแข็งชนิดแทนที่

**สารละลายของแข็งชนิดแทรกตัว (Interstitial solid solution)** ในกรณีนี้อะตอมหรือไอออนของสารที่จะแทรกตัว ต้องมีขนาดเล็กพอที่จะสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในที่ว่างระหว่างอะตอมของสารที่เป็นโครงสร้างหลัก ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งสามารถทำให้โครงสร้างผลึกของสารถูกทำลายหรือเกิดการผิดรูปไป ดังนั้นจึงทำให้สามารถเจือสารได้ในปริมาณน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รูปที่ 2.2 การละลายของแข็งชนิดแทรกตัว

นอกจากนี้โลหะเป็นวัสดุที่มีสถานะเป็นของแข็งสามารถแบ่งออกได้ตามการจัดเรียงของอะตอมอย่างเป็นระเบียบ มีแบบแผนซ้ำๆ กัน จะเรียกว่า “โครงสร้างผลึก(Crystal structure)” การจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบแบบแผนใน 3 มิติ อะตอมที่อยู่ติดกันจะมีพันธะยึดเหนี่ยวในสภาวะของแข็ง สำหรับการจัดเรียงตัวของอะตอมในโครงสร้างผลึกนั้น สามารถแบ่งออกเป็นหน่วยย่อยหรือกลุ่มที่มีการเรียงตัวเป็นแบบแผนที่ซ้ำที่มีขนาดเล็กที่สุด เรียกว่า “หน่วยเซลล์ (Unit cell)” ซึ่งแต่ละด้านของหน่วยเซลล์สามารถบอกตำแหน่งของอะตอมได้ และบอกลักษณะทางเรขาคณิต ดังนั้นโครงสร้างผลึกสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ สำหรับโลหะ

1. เฟสเซ็นเตอร์คิวบิก (face-centered cubic, FCC)
2. บอดีเซ็นเตอร์คิวบิก (body-centered cubic, BCC)
3. เฟสเซ็นเตอร์คิวบิก (hexagonal close-packed, HCP)

สำหรับโครงการวิจัยนี้จะเน้นการศึกษาโลหะและโลหะอัลลอยของกลุ่มโลหะที่ใช้กับกระบวนการสร้างสารกึ่งตัวนำ ได้แก่โลหะอลูมิเนียม(Al)และ ทองแดง(Cu) เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติที่สำคัญของโลหะ อลูมิเนียม และทองแดง

คุณสมบัติ	Aluminium	Copper
โครงสร้างผลึก	FCC	FCC
รัศมีอะตอม (nm)	0.1431	0.1278
สภาพความต้านทาน ( $\Omega\text{cm}$ )	$2.73 \times 10^{-6}$	$1.73 \times 10^{-6}$
ความหนาแน่น( $\text{g/cm}^3$ )	2.71	8.94
จุดหลอมเหลว ( $^{\circ}\text{C}$ )	660	1085
อุณหภูมิตกผลึกใหม่( $^{\circ}\text{C}$ )	80	120

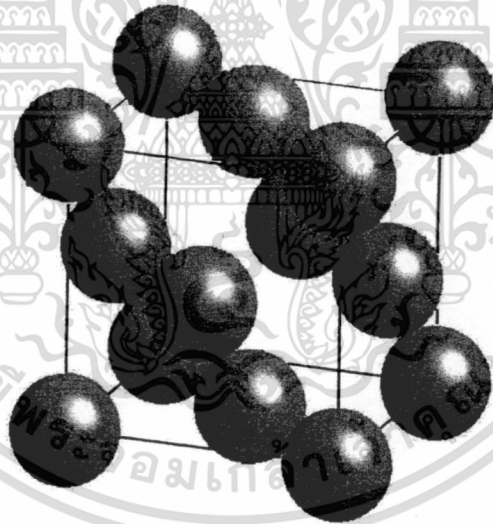
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 โลหะทองแดง(Copper)

ทองแดง หรือ Copper (Cu) สันนิษฐานว่า มาจากคำว่า Cuprum ในภาษาลาติน บางทฤษฎีก็กล่าวว่า มาจากคำว่า Kyprios ในภาษากรีก ซึ่งทั้งสองคำหมายถึง ชื่อเกาะ Cyprus ในทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ซึ่งเป็นแหล่งผลิตทองแดงที่สำคัญ การค้นพบในตอนแรกเป็นการนำทองแดงมาใช้โดยตรง ต่อมาพบว่าเมื่อผสมกับดีบุกทำให้แข็งและใช้งานได้ดีกว่าการนำทองแดงมาใช้งานโดยตรง ทำให้ได้ทองสัมฤทธิ์หรือทองบรอนซ์ แหล่งแร่ทองแดงที่สำคัญของประเทศไทย คือ ที่อำเภอเชียงคาน บริเวณภูเขาทองแดง จังหวัดเลย และจังหวัดขอนแก่น

### โครงสร้างของทองแดง (Structure of Copper)

ทองแดง (Cu) จัดเป็นโลหะทรานซิชัน(Transition metal) โดยอะตอมของทองแดงแต่ละอะตอมนั้นจะยึดกันด้วยพันธะโลหะ (Metallic bond) ซึ่งเป็นพันธะแบบไม่มีทิศทาง และไม่มีข้อจำกัดของจำนวนและตำแหน่งของอะตอมข้างเคียง จึงสามารถมีอะตอมข้างเคียงได้มาก ทำให้การเรียงของอะตอมที่ยึดกันด้วยพันธะโลหะค่อนข้างแน่น มีการจัดเรียงโครงสร้างของหน่วยเซลล์ มีลักษณะเป็นลูกบาศก์ที่มีอะตอมที่มุม และกึ่งกลางหน้าลูกบาศก์ ซึ่งเรียกการจัดเรียงของโครงสร้างแบบนี้ว่า เฟสเซ็นเตอร์คิวบิก หรือ FCC (Face Center Cubic) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของทองแดง (Cu)

([www.phys.nara-wu.ac.jp/in\\_kamoku/suzuki/images\\_kinzoku/CS\\_of\\_Cu.jpg](http://www.phys.nara-wu.ac.jp/in_kamoku/suzuki/images_kinzoku/CS_of_Cu.jpg))

### 2.3.1 สมบัติของทองแดง (Properties of Copper)

ทองแดงและโลหะผสมของทองแดง มีสมบัติเด่นหลายประการเช่น

1. มีความแข็งแรงในช่วงที่ใช้งานได้ทั้งยังสามารถปรับปรุงสมบัติทางกลได้หลายระดับ
2. ความเหนียวของทองแดงสูงมากจึงสามารถขึ้นรูปโดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีมาก
4. เป็นตัวนำความร้อนที่ดีมาก
5. เมื่อผสมธาตุบางตัวเข้าไปสามารถกลึงไสเข้ารูปง่าย
6. ต้านทานความล้าได้ดีพอสมควร
7. ไม่เป็นสารแม่เหล็ก
8. ทนทานการกัดกร่อนโดยเฉพาะเมื่อใช้กับเหล็กและน้ำทะเล
9. ทนทานต่อการสึกกร่อนได้ดีพอสมควร
10. มีสีสนสวยงาม

สามารถเพิ่มคุณสมบัติของทองแดงได้ โดยการเปลี่ยนส่วนประกอบ และวิธีการผลิต

**สภาพการนำไฟฟ้า:** ทองแดงเป็นโลหะในทางวิศวกรรมที่ถูกใช้ทำเป็นตัวนำไฟฟ้ามากที่สุด โดยที่เงิน และธาตุอื่นๆ อาจจะถูกเพิ่มเข้ามาเพื่อเพิ่มความแข็งแรง, ป้องกันการอ่อนตัว หรือเพื่อคุณสมบัติอื่นๆโดยไม่ทำให้เสียสภาพการนำไฟฟ้าไป

**สภาพการนำความร้อน:** เป็นคุณสมบัติเดียวกันกับสภาพการนำไฟฟ้า โลหะผสมทองแดงอาจถูกใช้เพื่อให้มีความต้านทานการกัดกร่อน แต่ความสามารถในการนำความร้อนจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอัลลอยด์ ในขณะที่ความต้านทานการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้น

**สี และลักษณะที่ปรากฏ:** โดยทั่วไปแล้วทองแดงจะมีสีเฉพาะ และอาจเปลี่ยนสีได้โดยขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ อัลลอยด์ส่วนมากสามารถทำการเตรียมการ และซ่อมบำรุงมาตรฐานของพื้นผิวได้ง่าย ถึงแม้จะมีสภาวะการกัดกร่อนที่ไม่พึงประสงค์ อัลลอยด์ส่วนใหญ่ถูกใช้ในการปรับให้เหมาะสมกับการใช้งาน ตั้งแต่การขึ้นรูป หรือภายหลังการชุบโลหะ อัลลอยด์แต่ละชนิดจะให้สีเฉพาะตัวออกมาเริ่มตั้งแต่ทองแดงสีชมพูแซลมอน จนถึงสีเหลือง ส่วนสีทอง และเขียวจนถึงบรอนซ์ดำ จะเกิดจากสภาพอากาศ การสัมผัสกับบรรยากาศสามารถทำให้พื้นผิวทองแดงเป็นสีเขียว หรือบรอนซ์ดำได้ และการทำอัลลอยด์พื้นผิวสนิมในรูปแบบผลิตภัณฑ์บางประเภท

**ความต้านทานการกัดกร่อน:** โลหะผสมทองแดงจะป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำและไอน้ำได้ โลหะผสมทองแดงสามารถป้องกันการกัดกร่อนในสภาพอากาศของชนบท, ในทะเล และโรงงานอุตสาหกรรมได้ ทองแดงสามารถป้องกันน้ำเกลือ, ดิน, แร่ธาตุที่ไม่เกิดการออกซิเดชัน, กรดอินทรีย์ และการกัดกร่อน แต่แอมโมเนีย, ฮาโลเจน, ซัลไฟด์, สารละลายที่มีแอมโมเนียไอออน และกรดออกซิไดซ์ จะทำลายทองแดง เช่นเดียวกับโลหะผสมทองแดงที่ป้องกันการดออินทรีย์ได้เพียงเล็กน้อย ความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะผสมทองแดงมาจากการสร้างแผ่นฟิล์มบนพื้นผิวของวัสดุ ซึ่งฟิล์มนี้จะทำหน้าที่ป้องกันการกัดกร่อนโลหะ

**ความอ่อนสามารถปรับปรุงได้โดยทำการหลอม:** สามารถทำได้โดยกระบวนการหลอม หรือโดยการเชื่อม หรือขั้นตอนการประสาน

**การชุบแข็ง/การเพิ่มความแข็ง:** มีรูปแบบการเพิ่มความแข็งโดยทั่วไปอยู่ 4 รูปแบบของทองแดง เช่น การเพิ่มความเครียด; การเพิ่มความแข็งแรงโดยสารละลายของแข็ง, การทำให้เกิดสารประกอบขนาดเล็ก และ การเพิ่มความแข็งแรงโดยการกระจายตัวของเฟสที่

## สอง การผสมกลไกการเพิ่มความแข็งแรงถูกใช้ในการคุณสมบัติทางกลขั้นสูงสำหรับโลหะผสมทองแดงขั้นสูง

ตารางที่ 2.2 สมบัติทั่วไปของโลหะทองแดงที่ค่อนข้างบริสุทธิ์

สมบัติของทองแดง	มีค่า
หมายเลขอะตอม (Atomic number)	29
น้ำหนักอะตอม (Atomic weight)	63.57
วาเลนซ์	1 หรือ 2
โครงสร้างของผลึก	fcc
มิติของแลตทิซ (Lattice dimension)	3.6078
ความหนาแน่นที่ 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	8.96
อุณหภูมิหลอมเหลว (°C)	1083
จุดเดือด (°C)	2595
ความถ่วงจำเพาะ	8.8
ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (cal/g)	50.6
การหดตัวขณะแข็ง (Solidification shrinkage) (%)	4.92

### 2.4 โลหะอลูมิเนียม

อลูมิเนียม (ภาษาอังกฤษสะกดได้ว่า aluminium หรือ aluminum ในอเมริกาเหนือ) คือธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ Al และมีเลขอะตอม 13 เป็นโลหะทรานซิชันที่มันวาวและอ่อนดัดง่าย ในธรรมชาติอะลูมิเนียมพบในรูปแร่บอกไซต์เป็นหลัก และมีคุณสมบัติเด่น คือ ต่อด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี (เนื่องจากปรากฏการณ์ passivation) แข็งแรง และน้ำหนักเบา มีการใช้อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย และอะลูมิเนียมสำคัญต่อเศรษฐกิจโลกอย่างมาก ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผลิตจากอะลูมิเนียมสำคัญต่ออุตสาหกรรมอากาศยาน และสำคัญในด้านอื่น ๆ ของการขนส่งและการสร้างอาคาร ซึ่งต้องการน้ำหนักเบา ความทนทาน และความแข็งแรง

ตารางที่ 2.3สมบัติทั่วไปของโลหะอลูมิเนียมที่ค่อนข้างบริสุทธิ์

สมบัติของทองแดง	มีค่า
หมายเลขอะตอม (Atomic number)	13
น้ำหนักอะตอม (Atomic weight)	26.94
วาเลนซ์	3
โครงสร้างของผลึก	fcc
มิติของแลตทิซ (Lattice dimension)	4.049
ความหนาแน่นที่ 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	2.69
อุณหภูมิหลอมเหลว (°C)	660
จุดเดือด (°C)	2450
ความถ่วงจำเพาะ	8.8
ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (cal/g)	94.5
การหดตัวขณะแข็ง (Solidification shrinkage) (%)	6.6

## 2.5 กระบวนการสปัตเตอร์ริง

คือกระบวนการที่อะตอมผิวหน้าของวัสดุ(เป้า)ถูกทำให้หลุดออกมาด้วยการชนของอนุภาคพลังงานสูง โดยมีการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และโมเมนตัมระหว่างอนุภาคที่วิ่งชนกับอะตอมที่ผิววัสดุ การสปัตเตอร์ริงมีกระบวนการที่สำคัญ ดังนี้

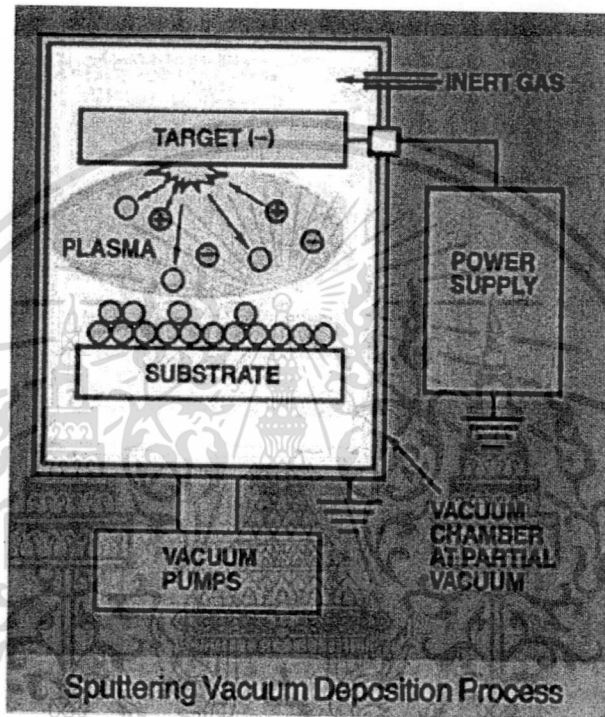
1. อาศัยการดิสชาร์จไฟฟ้าของก๊าซอาร์กอน(Ar) ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน
2. ไอออนจะถูกเร่ง ให้วิ่งชนเป้า(Target)ที่ต่ออยู่กับขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง
3. เป้าที่ถูกชนด้วยไอออนของก๊าซ อะตอมของเป้าจะหลุดออกมาและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมายังแผ่นฐานรองในทุกทิศทาง จากพลังงานของอนุภาคสารที่หลุดออกมา ดังนั้นอนุภาคสารเคลื่อนที่ได้จากสปัตเตอร์ริงที่ตกกระทบแผ่นฐานรองจะเกิดการฝังตัวในเนื้อฐานรอง

เมื่อเป้าที่เป็นของแข็งถูกชนโดยไอออนจะเกิดปรากฏการณ์ดังนี้

1. ไอออนที่สะท้อนกลับผิวหน้า ส่วนใหญ่จะมีค่าเป็นกลางทางไฟฟ้าเนื่องจากการรวมตัวกันกับอิเล็กตรอนบริเวณที่ผิวของเป้าเคลื่อน
2. การชนของไอออน ทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนลำดับที่สอง(Secondary electron)ออกจากเป้าเมื่อไอออนมีพลังงานสูงพอ

3. ไอออนที่ฝังตัวลงในผิวหน้าของเป้า มีค่าประมาณ 10 อังสตรอมต่อพลังงานไอออน 1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์(KeV)สำหรับไอออนของก๊าซอาร์กอนที่ฝังตัวในเป้าวัสดุที่เป็นทองแดง

4. การชนของไอออนบนผิวเคลือบ ทำให้เกิดการเรียงตัวของอะตอมใหม่ที่ผิวของฐานรอง และเกิดความบกพร่องของโครงสร้างผลึก (Lattice defect) การเกิดปรากฏการณ์ในแต่ละแบบนี้จะขึ้นกับชนิดเป้าวัสดุ และพลังงานไอออนบวกที่เข้าชน แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 หลักการและองค์ประกอบเบื้องต้นของเครื่องเคลือบด้วยวิธีการสปัตเตอร์ริง

## 2.6 โลหะผสม

โลหะผสมโลหะเจือหรืออัลลอย (alloy) คือวัสดุที่เกิดจากการรวมกันของโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุ ทั้งสมบัติทางกล สมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางเคมี เช่น ความแข็งแรงและความต้านทานต่อการกัดกร่อน เป็นต้น โดยวัสดุโลหะเจือที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากส่วนประกอบเดิม โลหะเจือถ้าเกิดจากโลหะ 2 ชนิด เรียกว่า ไบนารีอัลลอย (binary alloy) 3 ชนิด เรียกว่า เทอร์นารีอัลลอย (ternary alloy) และ 4 ชนิด เรียกว่า ควอเทอร์นารีอัลลอย (quaternary alloy)

โลหะผสมสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ โลหะผสมที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ และโลหะผสมที่ไม่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ เช่น ทองเหลือง เป็นโลหะผสมของทองแดงกับสังกะสี โดยมีปริมาณสังกะสีไม่เกินร้อยละ 30 มักใช้ทำเครื่องประดับ แบริ่ง อุปกรณ์ไฟฟ้าและสกรูบรอนซ์เป็นโลหะผสมของทองแดงกับสังกะสีและดีบุก

### 2.6.1 กลไกการเกิดฟิล์มโลหะผสม

วัสดุทุกชนิดมักผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของตัววัสดุปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างกรรมวิธีทางความร้อนโดยส่วนใหญ่ ได้แก่ การแพร่ของอะตอม ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ว มักจะเป็นกรณีที่อัตราการแพร่เร็ว ยากเว้นบางกรณีอาจต้องใช้วิธีการหน่วงการแพร่ เราสามารถทำนายคุณค่าอุณหภูมิและเวลาในกรรมวิธีทางความร้อน รวมทั้งอัตราการเย็นตัวได้จากคณิตศาสตร์ของการแพร่และค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับการแพร่โดยประมาณ สรุปแล้ว “การแพร่(diffusion) คือ ปรากฏการณ์ที่ขนถ่ายวัสดุด้วยการเคลื่อนที่ของอะตอม

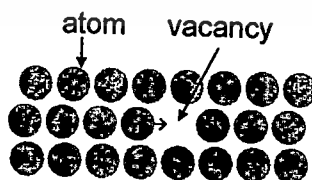
สำหรับกลไกการเกิดโลหะผสมนั้น ต้องอาศัยกลไกการแพร่(diffusion mechanisms) การมองกลไกการแพร่จะในระดับอะตอม การแพร่เป็นการเคลื่อนย้ายของอะตอมจากตำแหน่งแลตทิซหนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งตามธรรมชาติของอะตอมในวัสดุของแข็งต่างมีการที่อยู่ตลอดเวลา และมีการเปลี่ยนตำแหน่งอย่างเฉียบพลันแต่มีเงื่อนไขคือ

1. ต้องมีช่องว่างอยู่ข้างๆ
2. อะตอมต้องมีพลังงานสูงพอที่จะทำลายพันธะที่มีอะตอมอยู่ข้างเคียงและทำให้เกิดการบิดเบี้ยวระหว่างการเคลื่อนที่

พลังงานนี้ คือพลังงานจากการสั่นตามธรรมชาติของอะตอมเองที่อุณหภูมิหนึ่ง จะมีอะตอมเป็นสัดส่วนน้อยๆ อัตราส่วนหนึ่งจากอะตอมทั้งหมด ที่จะสามารถเคลื่อนที่โดยการแพร่ได้อันเนื่องจากพลังงานการสั่นของตัวอะตอมเองมีมากพอ อัตราส่วนนี้จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิ

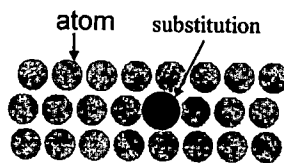
สำหรับแบบจำลองสำหรับอธิบายการเคลื่อนที่ของอะตอมการแพร่อยู่หลายแบบ แต่สำหรับการแพร่ในโลหะแบบที่เป็นไปได้มากที่สุด 2 แบบ ได้แก่

แบบที่ 1 การแพร่โดยอาศัยช่องว่าง (vacancy diffusion) แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การแพร่โดยอาศัยช่องว่าง

แบบที่ 2 การแพร่โดยอาศัยการแทนที่ (substitutional diffusion) แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การแพร่โดยอาศัยการแทนที่จากอะตอมโลหะต่างชนิด

ในการสร้างฟิล์มบางโลหะผสมโดยการสปัตเตอร์ริงด้วยเป้าโลหะต่างชนิดแยกส่วนโดยพื้นที่ โดยเริ่มจาก

1. นำเป้าโลหะต่างชนิดตาม มาผ่านการสร้างฟิล์มโลหะด้วยวิธีการสปัตเตอร์โดยอาศัยการชนของอะตอมก๊าซอาร์กอนไปชนที่ผิวเป้าโลหะต่างชนิด AB ทำให้อะตอมของ A และอะตอมของ B หลุดจากผิวแสดงดังรูปที่ 2.7
2. ลักษณะการหลุดของอะตอม A และอะตอมของ B ออกจากผิวโลหะนั้น ทำอะตอมโลหะเคลื่อนที่ได้อิสระในระบบสุญญากาศ
3. อะตอมของโลหะ A และ B จะตกลงฐานรองเป็นฟิล์มโลหะ AB

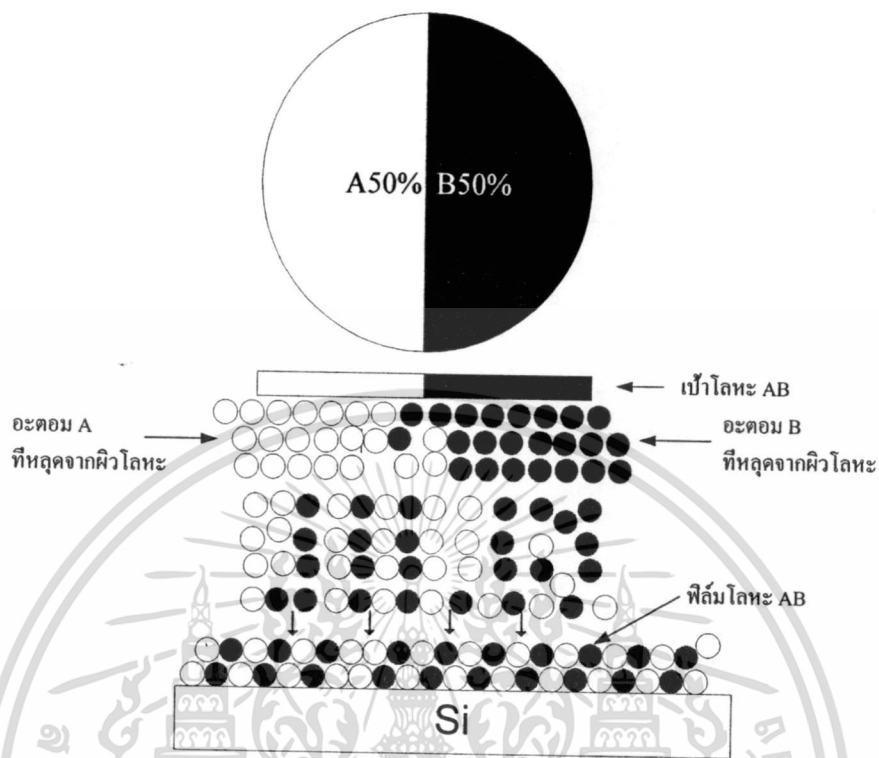
จะได้ลักษณะของฟิล์มโลหะ AB สามารถเกิดได้ 3 กรณี

- |             |  |
|-------------|--|
| กรณีแรก     | เป็นฟิล์มบางโลหะ AB ซึ่งอยู่ในรูปฟิล์มสารละลายของแข็ง<br>เนื่องการสร้างฟิล์มที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องโดยควบคุม<br>อุณหภูมิที่ฐานรอง |
| กรณีที่ สอง | เป็นฟิล์มบางโลหะ AB และ เป็นฟิล์มบางโลหะอัลลอย AB<br>เนื่องการสร้างฟิล์มที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องโดยควบคุม<br>อุณหภูมิที่ฐานรอง     |
| กรณีที่ สาม | เป็นฟิล์มบางโลหะอัลลอย AB<br>เนื่องการสร้างฟิล์มที่อุณหภูมิมากกว่า $100^{\circ}\text{C}$ ที่ฐานรอง                                       |

รูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพกระบวนการสร้างฟิล์มบางโลหะทั้ง 2 แบบคือ

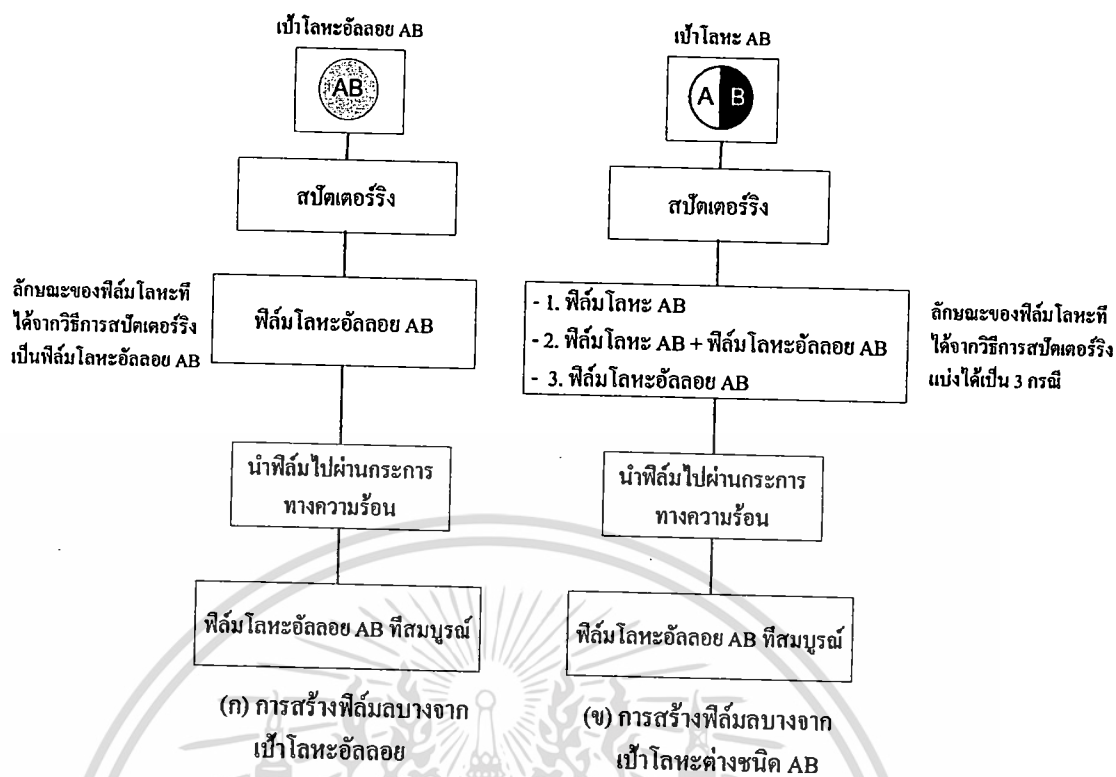
1. การใช้เป้าโลหะอัลลอย
2. การใช้เป้าโลหะต่างชนิดแยกส่วนโดยพื้นที่

4. นำฟิล์มที่ได้จากกรณีทั้ง 3 มาทำการเผาแอนนัลที่อุณหภูมิที่เหมาะสมตามต้องการ



รูปที่ 2.7 ลักษณะการเกิดฟิล์มโลหะ AB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบการสร้างฟิล์มโลหะ AB ที่ใช้เป่าโลหะอัลลอย AB และเป่าโลหะต่างชนิด AB

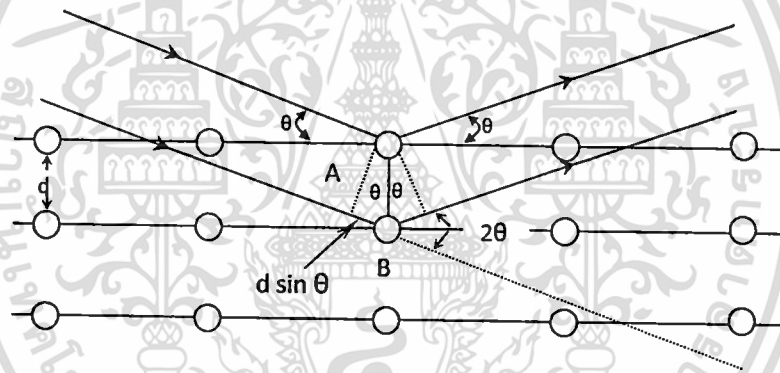
## 2.7 การตรวจสอบเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction technique) ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบหาชนิดและปริมาณเฟสที่เกิดขึ้น โดยอาศัยหลักการตกกระทบของรังสีเอกซ์บนผิววัสดุแล้วเกิดการกระเจิง (Scattering) และเลี้ยวเบน (Diffraction) โดยมุมที่เกิดการเลี้ยวเบนจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างผลึกและระนาบ (h k l) ที่รังสีตกกระทบภายในวัสดุ ทำให้เกิดรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่แตกต่างกันเป็นลักษณะเฉพาะของสาร ดังนั้นเมื่อนำอุปกรณ์ตรวจวัด (Detector) มารับรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาจากวัสดุในตำแหน่งต่างๆ ก็จะสามารถตรวจสอบชนิดของวัสดุนั้นๆได้ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมของแบรกก์ (Bragg's angle) ดังแสดงในสมการที่ 2.9 และความเข้มของพีกรังสี (Intensity ; I) ของรูปแบบการเลี้ยวเบนที่ปรากฏ (รูปที่ 2.11) เมื่อนำรูปแบบการเลี้ยวเบนที่ตรวจสอบได้มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน (JCPDS files) จะสามารถตรวจสอบชนิดของเฟสที่เกิดขึ้นได้ การตรวจสอบทำได้โดยนำตัวอย่างที่เตรียมได้มาบรรจุลงใน holder แล้วใส่ลงในเครื่อง X-ray diffractometer (รูปที่ 2.10) แล้วจึงเดินเครื่องโดยใช้เป้าทองแดง ( $CuK\alpha$ ) เป็นตัวกำเนิดรังสีเอกซ์ ซึ่งมีค่าความยาวคลื่นประมาณ 1.54 Å โดยตั้งค่าองศาการเคลื่อนที่ของตัวตรวจวัดที่ประมาณ 2 องศาต่ออนาที จากมุม  $2\theta$  เริ่มต้นที่ 20 องศาไปจนถึง 80

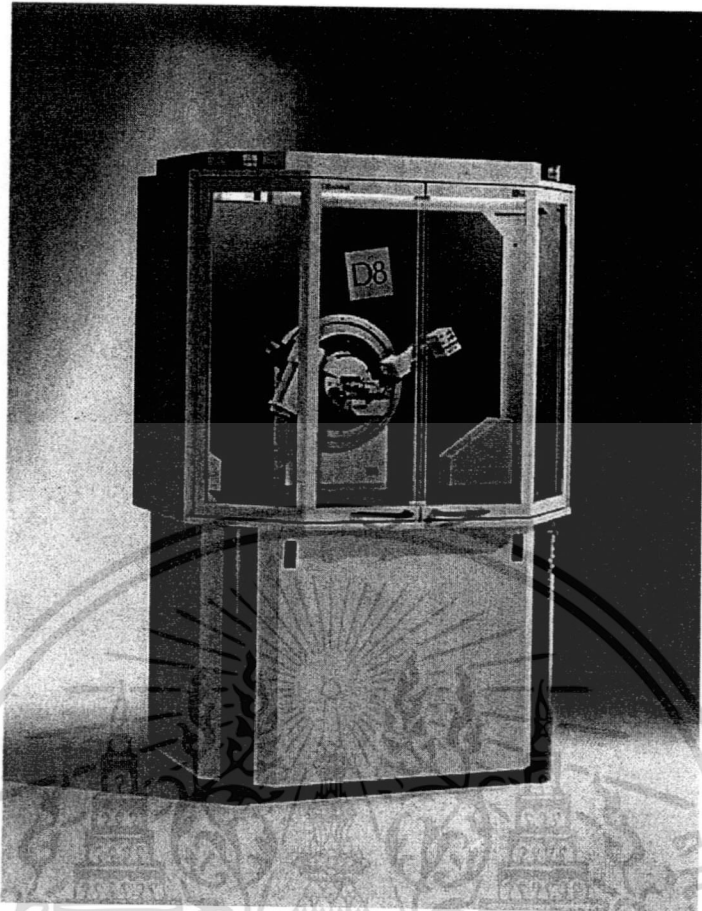
องศา ผลการวิเคราะห์จากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) จะแสดงในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของฟลัก (Intensity ; I) กับค่ามุม  $2\theta$  ดังแสดงในรูปที่ 2.11

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (3.2)$$

- เมื่อ  $d$  คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก (h k l)
- $\theta$  คือ มุมตกกระทบของรังสีเอกซ์กับระนาบผลึก
- $n$  คือ จำนวนเต็มใดๆ (1, 2, 3,...)
- $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ (1.54 Å)



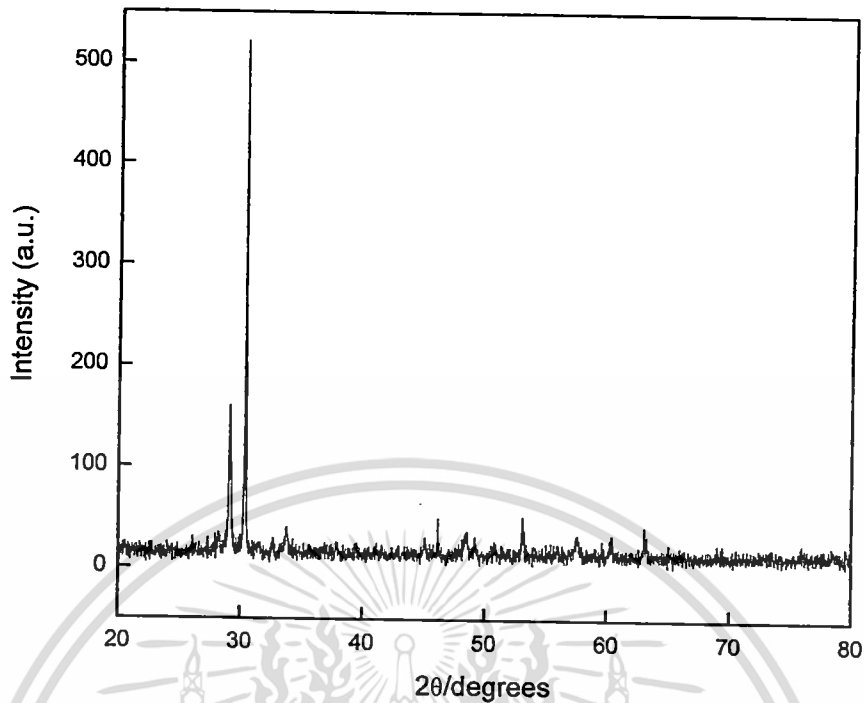
รูปที่ 2.9 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากระนาบของอะตอม



รูปที่ 2.10 เครื่อง X-ray diffractometer รุ่น D 8 Advane  
([www.geo.arizona.edu/xtal/group/lab.htm](http://www.geo.arizona.edu/xtal/group/lab.htm))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

131163



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

## 2.8 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ electron เป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะพื้นฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมาก และเนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีความยาวคลื่นแสงขนาดใหญ่กว่าลักษณะพื้นฐานบางชนิดที่ต้องการศึกษา และกำลังความสามารถในการแยกชัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดาที่มีค่าต่ำ ใช้วัตถุเล็กสุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร และให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3000 เท่า ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆ ได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดดี เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้น เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า 3000 เท่า จนถึงระดับมากกว่า 100000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร อีกทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS) ที่เป็นข้อมูลทางเคมี จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

หลักการการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) มีดังนี้ เริ่มจากการที่กลุ่มอิเล็กตรอนปฐมภูมิ(primary electron) จากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนที่เรียกว่า Electron gun เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก(condense lens และ objective lens)กลายเป็นลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิแล้ววิ่งไปกระทบพื้นผิวของตัวอย่างเกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนต่อชิ้นงานหลายแบบ เนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูง ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงานมีหลายระดับพลังงาน แบ่งได้เป็น

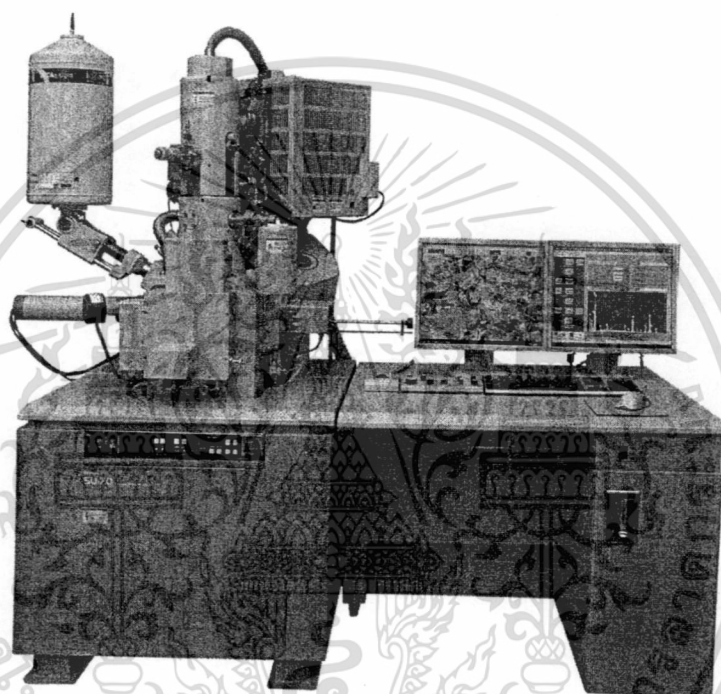
อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชั้นแถบการนำ (Conduction band) หรือแถบพลังงานเวเลนซ์ (Valance band) ซึ่งไม่ต้องใช้พลังงานสูงสามารถหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้ง่าย บางครั้งเรียกว่่าอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งจะมีช่วงพลังงาน 10 ถึง 50 อิเล็กตรอนโวลต์ อิเล็กตรอนชนิดนี้จะใช้ในการสร้างภาพที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานสำหรับ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

อิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (Back scattered electron) เป็นอิเล็กตรอนที่เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้าชนกับชิ้นงาน โดยสูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วนแล้วเกิดการกระเจิงกลับออกมาจากชิ้นงาน ซึ่งพลังงานของอิเล็กตรอนชนิดนี้จะมีค่าตั้งแต่พลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิไปจนถึงพลังงานอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ค่าพลังงานต่างๆที่กระเจิงกลับมานั้นจะขึ้นกับเลขมวลอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน ดังนั้นอิเล็กตรอนชนิดนี้จึงสามารถใช้สร้างภาพที่แสดงความแตกต่างของธาตุได้ โดยแสดงในรูปแบบของความเข้ม และความสว่างของภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละบริเวณ ใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน

รังสีเอกซ์ (X-ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น มีความถี่สูง เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งเข้าชนชิ้นงาน ทำให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่างๆ (K, L, M, ...) ได้รับความพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจร แล้วอิเล็กตรอนจากชั้นโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่ ทำให้มีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา ซึ่งสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมานี้สามารถนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยค่าพลังงานนี้จะขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุ ซึ่งจะใช้หัววัดรังสีเอกซ์ (EDS) ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบกับ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากนั้นภายในลำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จะมีตัวรับสัญญาณที่ทำหน้าที่รับและเปลี่ยน secondary electron ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (electrical signal) แล้วส่งสัญญาณไปยังจอภาพเพื่อทำให้เกิดภาพที่ตามองเห็นได้ โดยภาพที่ออกมานั้นจะมีลักษณะ 3 มิติ ในงานวิจัยนี้ ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการสร้างและการแอนนีสล(annealing) จะถูกนำมาตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 เพื่อนำข้อมูลลักษณะรูปร่างและขนาดของเกรนหรือของสิ่งแปลกปลอมที่ได้ มาอธิบายความสัมพันธ์ที่มีต่อเงื่อนไขต่างๆใน

กระบวนการทางความร้อน โดยเริ่มจากทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลานาน 15 - 35 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกบนผิวชิ้นงาน จากนั้นอบให้แห้ง แล้วนำไปติดบนแท่นอลูมิเนียม (stub) ด้วยเทปกาวสองหน้าแบบบางโดยให้ระดับผิวหน้าอยู่ในมุมที่เหมาะสม แล้วเคลือบผิวหน้าชิ้นงานด้วยทองคำโดยใช้เทคนิค Sputtering เป็นเวลานาน 4 นาที แล้วนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ต่อไป



รูปที่ 2.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น Hitachi SU-70

([www.nanocenter.umd.edu/new\\_facilities/NispLab.php](http://www.nanocenter.umd.edu/new_facilities/NispLab.php))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### กระบวนการสร้างฟิล์มโลหะผสมอลูมิเนียมทองแดง

การกำหนดขั้นตอนของกระบวนการสร้าง

สำหรับการสร้างฟิล์มบางนี้ได้ โดยใช้กระบวนการสร้างสารกึ่งตัวนำในแนวระนาบซึ่งเป็นกระบวนการสร้างสารกึ่งตัวนำวิธีหนึ่งที่นิยมกันมาก โดยอาศัยเทคนิคที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำซิลิคอนของห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีขั้นตอนการสร้างพื้นฐานดังนี้ คือ

1. การออกซิเดชัน (oxidation)
2. สปีดเตอร์ริง

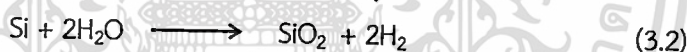
#### 3.1 กระบวนการออกซิเดชัน

ซิลิคอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) เป็นสารที่มีสมบัติเป็นฉนวนลักษณะโปร่งใสใช้เป็นสารเคลือบผิวหน้าของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี ชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์สามารถสร้างได้โดยกระบวนการออกซิเดชัน โดยทิ้งให้แผ่นผลึกซิลิคอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแห้งหรือไอน้ำในอุณหภูมิ 1000-1200 องศาเซลเซียสโดยมีปฏิกิริยาเคมีของการเกิดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ดังสมการต่อไป

1. กระบวนการออกซิเดชันแบบแห้ง (Dry Oxidation)



2. กระบวนการออกซิเดชันแบบชื้น (Wet Oxidation)



สำหรับหน้าที่สำคัญของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ในกระบวนการสร้างอุปกรณ์ประเภทแรกคือใช้เป็นส่วนปกคลุมผิวของซิลิคอน และป้องกันสิ่งเจือปนจากภายนอกที่ไม่ต้องการไม่ให้ทำปฏิกิริยากับผิวซิลิคอน (passivation layer)

ประการที่สองก็คือ เป็นหน้ากักป้องกันการแพร่สารเจือเข้าไปในส่วนที่ไม่ต้องการ ประการที่สามใช้เป็นส่วนกึ่งที่เรียกว่าเกตออกไซด์ซึ่งเป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างมากในอุปกรณ์ประเภทมอสเฟต เนื่องจากเป็นส่วนที่เหนียวหนาให้เกิดช่องทางเดินกระแส

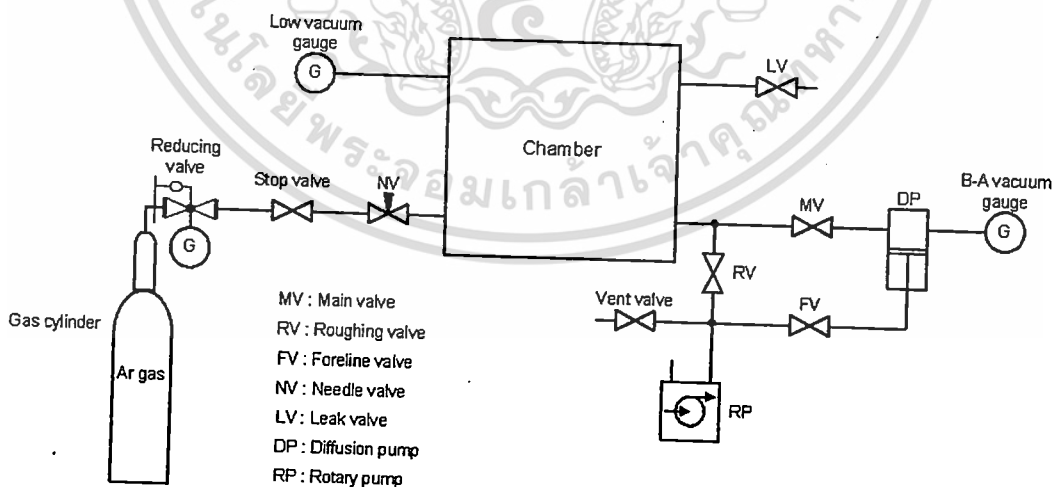
ประการสุดท้ายใช้เป็นฉนวนบนผิวซิลิคอน เพื่อป้องกันการลัดวงจรของลวดลายอลูมิเนียมกับผิวของซิลิคอนในส่วนอื่น ๆ และจากวัตถุประสงค์ในการใช้งานชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ที่กล่าวมา ทำให้ต้องการที่จะใช้ซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีความหนาที่แตกต่างกันเช่น ซิลิคอนไดออกไซด์ในส่วนที่จะใช้เป็นหน้ากักป้องกันการแพร่อะตอมสารเจือ จำเป็นที่จะต้องมีความหนาประมาณ 4000-5000 อังสตรอมเป็นต้นไป

### 3.2 สเป็คเตอรริง (Sputtering)

สเป็คเตอรริงเป็นเทคนิคการเคลือบสารในระบบสุญญากาศอีกวิธีหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในกระบวนการสร้างวงจรรวม ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมผิวหน้าของวัสดุถูกทำให้หลุดออกมา โดยการชนของอนุภาคพลังงานสูงซึ่งจะทำให้มีการแลกเปลี่ยนพลังงานและโมเมนตัมระหว่างอนุภาคที่วิ่งเข้าชนกับอะตอมที่ผิววัสดุตั้งกล่าว กระบวนการที่อนุภาควิ่งเข้าชนสารเคลือบเป็นเป้าประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญคือ

1. เป้าโลหะ (target) ใช้อนุภาคพลังงานสูงวิ่งเข้าชนเป้ามักจะมีการปล่อยอะตอมสารเคลือบลงเคลือบบนแผ่นฐานรองรับ
2. อนุภาคพลังงานสูงวิ่งเข้าชนเป้าสารเคลือบ โดยปกติอนุภาคพลังงานสูงนี้อาจจะเป็นกลางทางไฟฟ้าก็ได้ แต่การทำให้อนุภาคเป็นกลางทางไฟฟ้า เพื่อใช้ในการสเป็คเตอรริงทำได้ค่อนข้างยาก จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการเร่งประจุภายใต้สนามไฟฟ้า ซึ่งสามารถควบคุมระดับของไอออนได้ตามต้องการ อิเล็กตรอนก็เป็นประจุไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ย่อยต่อการผลิตและเร่งให้มีพลังงานสูงภายใต้สนามไฟฟ้าได้ แต่ว่าอิเล็กตรอนมีมวลน้อยกว่าอะตอมของเป้าสารเคลือบมากและไม่สามารถทำให้เกิดกระบวนการสเป็คเตอรริงได้ ดังนั้นการชนกันระหว่างอนุภาคจะต้องเกิดการถ่ายเทพลังงานและโมเมนตัมได้ดีที่สุด เมื่อมวลของอนุภาคมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้ไอออนของก๊าซอาร์กอน ( $Ar^+$ ) ในสนามไฟฟ้าเป็นอนุภาควิ่งเข้าชนเป้าสารเคลือบ ซึ่งจะทำให้อัตราการปลดปล่อยอนุภาคสารเคลือบสูงเพียงพอกับความต้องการ
3. อนุภาคพลังงานสูงต้องถูกผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้กระบวนการเคลือบฟิล์มเป็นไปอย่างต่อเนื่องจนได้ความหนาฟิล์มตามต้องการ ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยกระบวนการโกลด์ดิสชาร์ท โดยงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงกระบวนการสร้างฟิล์มโลหะด้วยวิธีการสเป็คเตอรริงโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “ อาร์เอฟ ไดโอด สเป็คเตอรริง ”

โดยหลักการทำงานพื้นฐานสเป็คเตอรริง



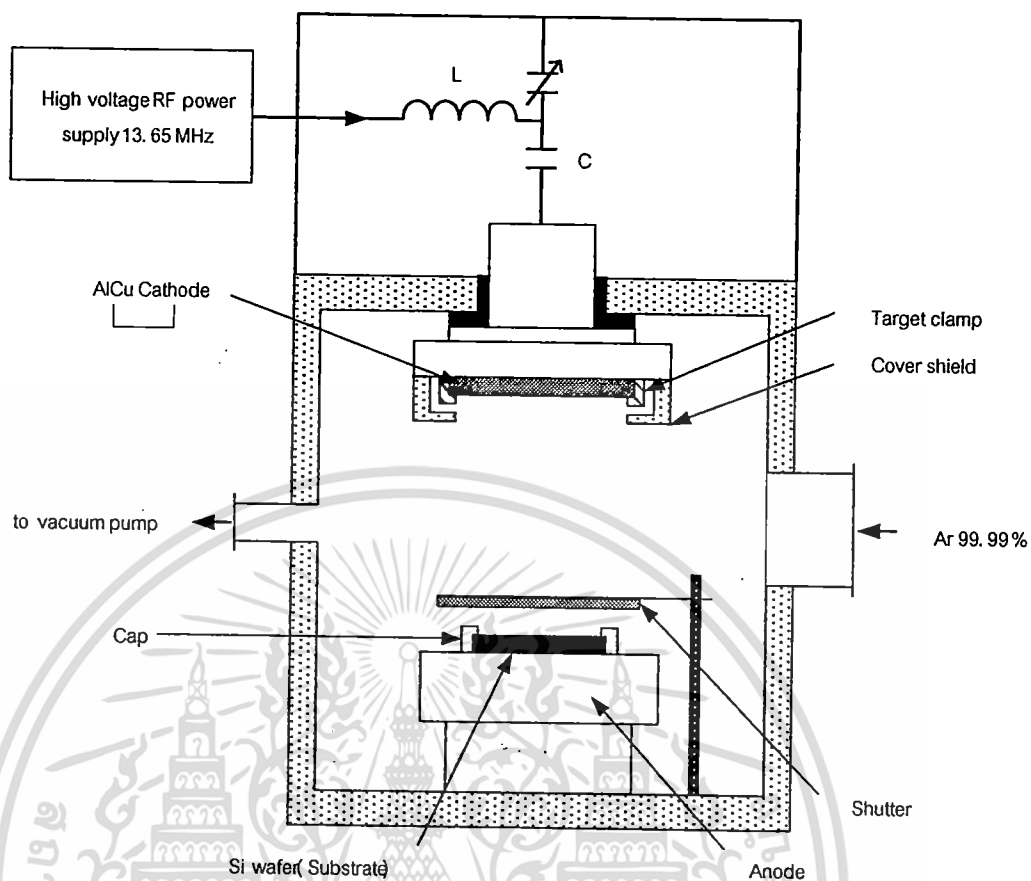
Sputtering system

รูปที่ 3.1 Sputtering System Diagram ของเครื่อง SPE-210 Diode Sputtering System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

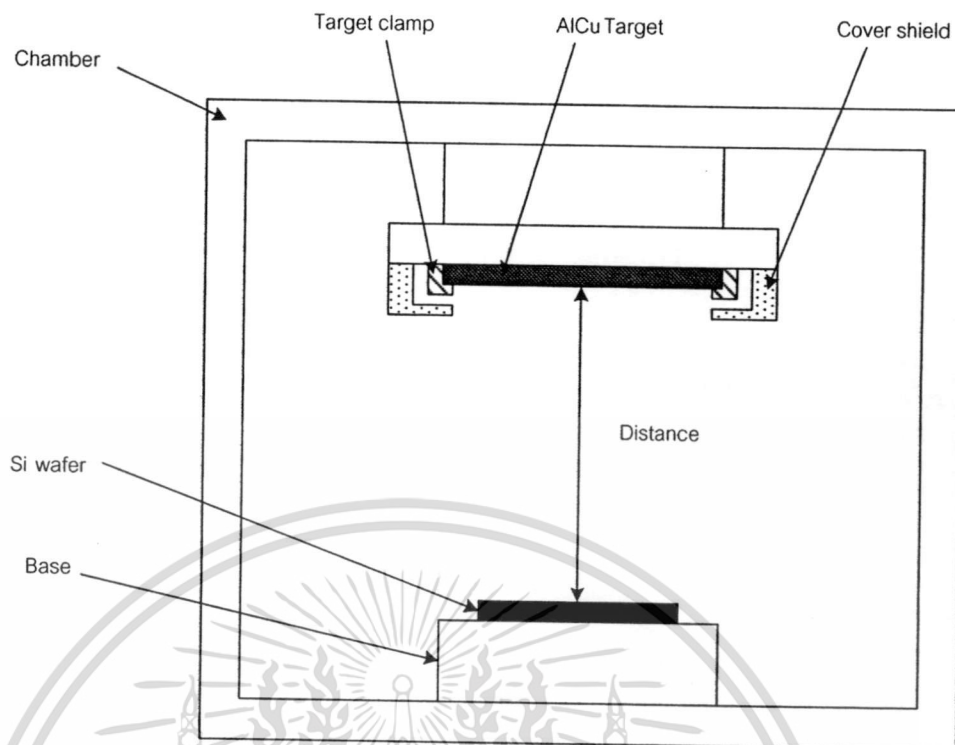
จากไดอะแกรมในรูปที่ 3.1 แสดงส่วนสำคัญต่างๆของเครื่อง SPE-210 ไดโอดสปัตเตอร์ ประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแรงดันสูง ซึ่งมีความถี่อยู่ในย่านความถี่วิทยุ (13.65 MHz) , แหล่งจ่าย ก๊าซ , ห้องสปัตเตอร์(sputtering chamber), และปั๊มสุญญากาศ( rotary and diffusion pump) ภายในห้องสปัตเตอร์ประกอบด้วยขั้วคาโทด (cathode) ขั้วแอโนด (anode) และชัตเตอร์ (shutter) โดยแผ่นโลหะอลูมิเนียมทองแดงเป็นเป้าถูกติดไว้กับขั้วคาโทดดังแสดงในรูปที่ 3.2 การสปัตเตอร์เกิดจากการป้อนกำลัง RF ผ่านวงจรแมทซิ่งเข้าสู่ห้องสปัตเตอร์ซึ่งอยู่ในบรรยากาศ ของก๊าซอาร์กอน (Ar) ทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออนเกิดเป็นพลาสมาขึ้นมาในบริเวณระหว่างขั้วคาโทด และขั้วแอโนดเนื่องจากขั้วแอโนดต่ออยู่กับผนังห้องสปัตเตอร์ทำให้พื้นที่ของขั้วแอโนดมากกว่าขั้ว คาโทดจึงเกิดการเหนี่ยวนำขั้วคาโทดให้มีศักย์เป็นลบและดึงดูดไอออนบวกในพลาสมาให้พุ่งเข้าชนโดย อลูมิเนียมทองแดงที่ขั้วคาโทดทำให้อะตอมของอลูมิเนียมทองแดงกระเด็นออกมาและสะสมบนผิว ฐานรองแผ่นซิลิคอนซึ่งวางที่ขั้วแอโนดเกิดเป็นฟิล์มโลหะอลูมิเนียมทองแดง

ขั้นตอนการสปัตเตอร์เริ่มด้วยการนำแผ่นซิลิคอนขนาด(100) วางลงบนขั้วแอโนดแล้วดูด อากาศออกจากห้องสปัตเตอร์จนกระทั่งเหลือความดันต่ำกว่า  $5 \times 10^{-7}$  บาร์เพื่อทำความสะอาดห้อง สปัตเตอร์จากนั้นปล่อยก๊าซอาร์กอนเข้าไปในห้องสปัตเตอร์จนกระทั่งถึงความดัน  $2 \times 10^{-1}$  บาร์โดย ค่อยๆเพิ่มกำลัง RF ขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเกิดพลาสมาขึ้นในห้องสปัตเตอร์จากนั้นปรับความดันให้ได้  $2 \times 10^{-3}$  bar ปรับกำลัง RF จนได้ค่าที่จะทำการสปัตเตอร์ทำการพรี-สปัตเตอร์ (pre-sputter) โดย ปล่อยให้ระบบอยู่ในเงื่อนไขที่จะทำการสปัตเตอร์เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อทำความสะอาดผิวหน้าของ อลูมิเนียมทองแดงจึงเปิดชัตเตอร์ออกเพื่อเริ่มทำการสปัตเตอร์ดังแสดงตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 ระบบการสปัตเตอร์แบบอาร์เอฟไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนภาพภายใน chamber ของเครื่องสปีดเตอร์ระยะห่างระหว่าง  
ขั้วคาโรดกับขั้วแอนโนด ที่ 37 cm



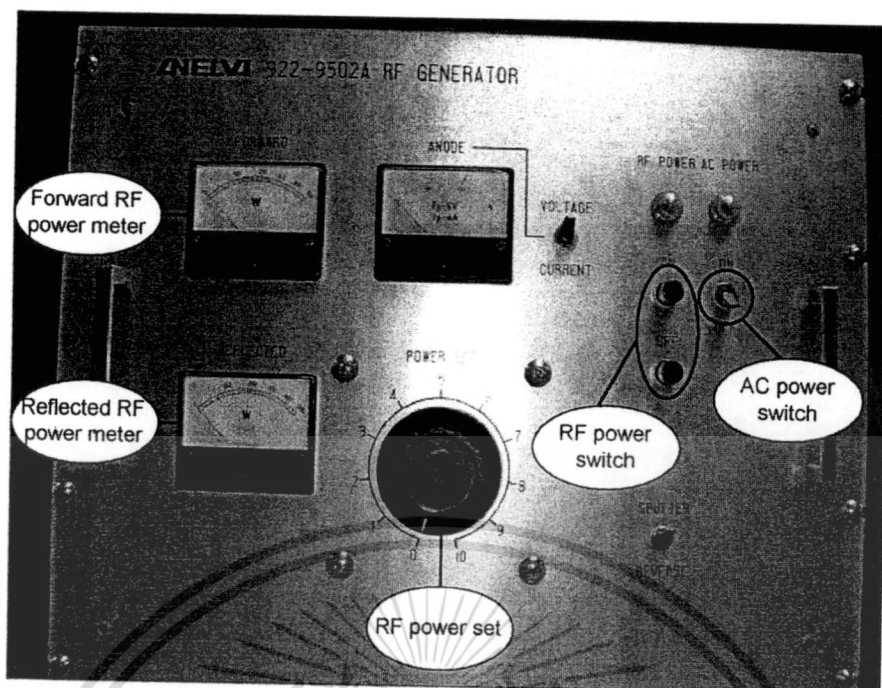
รูปที่ 3.4 เป้าโลหะทังสเตียมทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

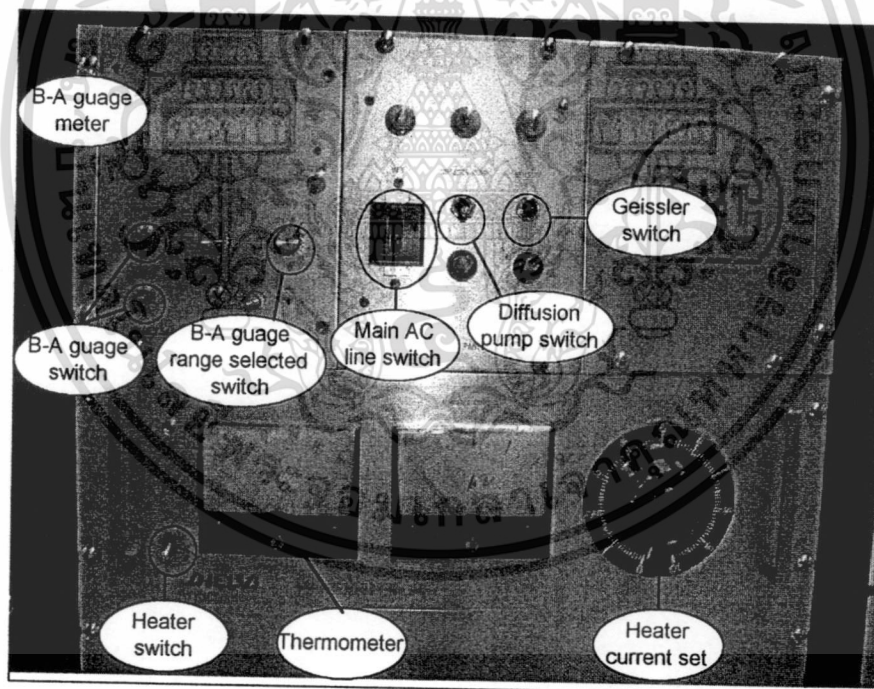
กระบวนการสร้างฟิล์มโลหะเริ่มด้วยการปรับระยะห่างระหว่างขั้วคาโทดและขั้วแอโนด 37 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4 เป็นเป้าโลหะผสมอลูมิเนียมทองแดง ซึ่งระยะความห่างที่ 27 มิลลิเมตร จะมีขีดจำกัดเรื่องความดันที่ทำให้สร้างฟิล์มซึ่งจะมีช่วงการใช้งานได้ที่ความดันต่ำสุดที่  $2 \times 10^{-2}$  บาร์ ผลของฟิล์มโลหะที่ได้มีสีเทาดำและมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นฉนวน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างขั้วให้มากขึ้นไปที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 37 มิลลิเมตร จะทำให้ช่วงความดันในการสเปคเตอร์ลดลงอยู่ในช่วง  $2-5 \times 10^{-3}$  บาร์ ทำให้ได้ฟิล์มโลหะมีคุณภาพดีขึ้น ในระหว่างกระบวนการสร้างฟิล์มโลหะจะเกิดความร้อนทั้งขั้วคาโทดและขั้วแอโนดเนื่องจากอะตอมของอาร์กอนวิ่งไปชนขั้วคาโทดซึ่งมีโลหะอลูมิเนียมทองแดงทำให้อะตอมของโลหะกระเด็นตกลงมาที่แผ่นซิลิคอนและคลายความร้อนลงบนแผ่นซิลิคอนซึ่งความร้อนนี้จะมีผลการเรียงตัวอะตอมโลหะอลูมิเนียมทองแดง ดังนั้นต้องควบคุมอุณหภูมิที่ขั้วแอโนดไม่ให้เกิน 40 องศาเซลเซียส จะได้ฟิล์มโลหะที่มีคุณภาพดีขึ้น แสดงการควบคุมเครื่อง ดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการสเปคเตอร์อลูมิเนียมทองแดง ในการทดลอง

เงื่อนไข	รายละเอียด
ขั้วคาโทด	เป้าโลหะอลูมิเนียมทองแดง ขนาด $\varnothing$ 80 mm.
บรรยากาศ	อาร์กอน 99.99 %
ความดัน	$2-20 \times 10^{-3}$ bar
ระยะห่างของขั้วคาโทดและขั้วแอโนด	37 mm
กำลังงาน RF	100 - 150 วัตต์
อุณหภูมิของแอโนด	$25 - 30$ °C
ฐานรอง	ซิลิคอนระนาบ(100) ปกคลุมด้วยซิลิคอนไดออกไซด์ 5000 อังสตรอม



รูปที่ 3.5 Panel of RF Generator



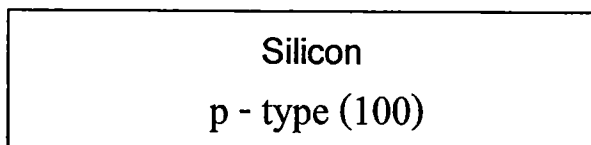
รูปที่ 3.6 Panel of Pump Switch ,Ionizing Gauge and Heater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการสร้างฟิล์มบางโลหะผสมอลูมิเนียมทองแดงนี้ มีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

### 1. แผ่นผลึกซิลิคอนเริ่มต้น (Starting Wafer)

ใช้แผ่นผลึกเดี่ยวของซิลิคอนที่มีผิวหน้าขัดมันเป็นกระจกเงา ชนิดพีระนาบของผลึกคือ (100) มีค่าพิถีความต้านทาน 8-12 โอห์ม-เซนติเมตร มีค่าความหนาของแผ่นผลึก 400 ไมโครเมตรโดยภาพตัดขวางแสดงดังในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ภาพตัดขวางของแผ่นผลึกซิลิคอนเริ่มแรก

### 2. การทำความสะอาดผิวแผ่นผลึกเริ่มต้น (Initial cleaning)

- ทำความสะอาดผิวด้วยน้ำบริสุทธิ์ (deionized Water) ในเครื่องสั่นความถี่สูง (Supersonic cleaning)
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- กัดผิวหน้าด้วยกรดกัดแก้ว (HF) 5% เป็นเวลา 2 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) เป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดเศษโลหะที่ผิวหน้า
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ต้มในไตรโคโรเอทิลีน (Trichloroethylene) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกประเภทไขมัน

สกปรกประเภทไขมัน

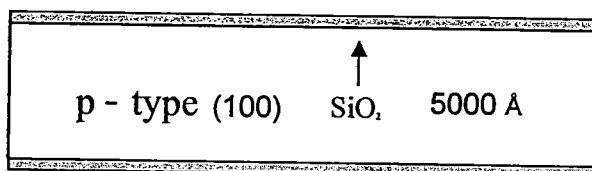
- ล้างด้วยอะซิโตน (Acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูง เป็นเวลา 3 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- จุ่มลงในกรดกัดแก้ว (HF) 5% เป็นเวลา 20 วินาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

### 3. ทำการสร้างออกไซด์

เพื่อการสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่มีความหนาไม่ต่ำกว่า 5000 Å จึงทำการออกซิเดชัน โดยการนำแผ่นผลึกซิลิคอนที่ทำความสะอาดแล้ว ทิ้งไว้ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

- ออกซิเดชันแบบแห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1.2 ลิตรต่อนาที

- ออกซิเดชันแบบขึ้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1.0 ลิตรต่อนาที
- ออกซิเดชันแบบแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 1.2 ลิตรต่อนาทีแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ภาพตัดขวางของแผ่นผลึกที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชันเริ่มแรก

### 3.2.1 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มโลหะอลูมิเนียมด้วยวิธีการสปัตเตอร์

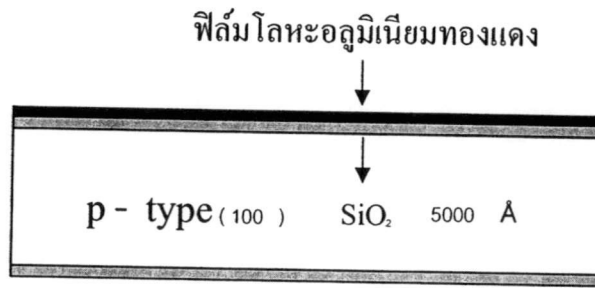
จากเงื่อนไขของการสปัตเตอร์ทั้งหมดสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนการทำงานในระบบของเครื่อง SPE-210 ไดโอดสปัตเตอร์ได้ดังนี้

1. ติดตั้ง AlCu target
2. เช็กระบบ
 

chamber	: Close
main valve (MV.)	: Close
roughing valve (RV.)	: Close
foreline valve (FV.)	: Close
needle valve (NV.)	: Close
stop valve	: Close
cooling water valve	: Close
3. เปิดวาล์ว cooling water ( หมุน 2.5 รอบและวาล์วทุกตัวเปิด)
4. เปิดสวิตช์ rotary pump (main switch) และเปิดสวิตช์ diffusion pump ( diffusion pump จะทำงานหลังจากเปิดแล้วประมาณ 20 นาทีตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 400 องศาเซลเซียส) แล้วรอประมาณ 2-5 นาทีก่อนเปิดวาล์ว RV.
5. เปิดวาล์ว RV. (ค่อยๆหมุน) และรอจนกว่าจะได้ pressure  $< 1 \times 10^{-1}$  bar (จะรอประมาณ 10-30 นาทีในระหว่างนี้ให้ทำความสะอาดที่อาร์กอนก๊าซ(Ar)ด้วยโดยเมื่อได้ pressure  $< 1 \times 10^{-1}$  bar แล้วให้เปิดวาล์ว NV. และ stop valve รอจนกว่า pressure  $< 1 \times 10^{-1}$  bar อีกจึงปิดวาล์ว NV. แล้วเปิดที่หัวถังของอาร์กอนก๊าซปรับความดันให้ได้ 10 Psi แล้วปิดหัวถังอาร์กอนก๊าซกลับมาเปิดวาล์ว NV. ใหม่รอให้ได้ pressure  $< 1 \times 10^{-1}$  bar อีกครั้งทำแบบนี้ประมาณ 3 ครั้งเมื่อครบแล้วให้ปิด stop valve และเปิดอาร์กอนก๊าซมาข้างไว้ในท่อ)
6. ปิดวาล์ว RV.
7. เปิดวาล์ว FV. แล้วทดลองใช้ geissler tube วัดอากาศใน Chamber (geissler tube ไม่ควรติด) รอประมาณ 3 นาที

8. เปิดวาล์ว MV. (ค่อยๆเปิดจนสุด) และรอนระบบมี pressure ใน chamber  $< 1 \times 10^{-5}$  bar โดยวัดได้จาก B-A vacuum gauge (หรือ ion-gauge )
9. เติม liquid N<sub>2</sub>เมื่อได้ pressure  $\sim 1 \times 10^{-5}$  bar และเติมทุกๆ 30 นาทีจนกว่าจะได้ base pressure  $< 5 \times 10^{-7}$  (ปกติจะใช้  $4.8 \times 10^{-7}$  bar)
10. ปิดสวิทช์ B-A vacuum gauge
11. ปิดวาล์ว NV. แล้วเปิดหัวถัง Ar gas ปรับ regulator ให้ได้ 10 Psi
12. ปิดวาล์ว MV.
13. เปิดวาล์ว NV. สำหรับ flow Ar gas โดยหมุนวาล์ว NV. ประมาณ 2.5-3 รอบ
14. เปิดวาล์ว MV. (ค่อยๆหมุน) สำหรับควบคุม pressure ให้ได้  $4 \times 10^{-2}$  bar ขณะทำ sputtering
15. เปิดสวิทช์ RF power switch โดย
  - AC power switch : On
  - RF power switch : On
16. ปรับ RF power set (ยังไม่เปิด Shutter)
  - forward power 100 W.
  - reflect power  $< 10$  W.
  - anode voltage  $< 1.5$  kV.
17. ทำการ pre-sputter โดยยังไม่ต้องเปิด shutter เป็นเวลา 10 นาที
18. เปิด shutter ทำการ sputtering ตามเวลาที่ต้องการ
19. ปิด shutter
20. ปรับ RF power set ของ forward power ลดลงจนเป็น 0 แล้วปิดสวิทช์ของ RF power switch
21. ปิด Ar gas โดย
  - ปิดวาล์ว NV.
  - stop valve
  - ปิดหัวถังก๊าซ
22. เปิดวาล์ว MV. จนสุดและรออีก 1 ชั่วโมง
23. ปิดสวิทช์ AC switch ของ RF power switch หลังจากปิดสวิทช์ RF switch แล้ว 15 นาที
24. ปิดวาล์ว MV.
  - ถ้าทำต่อไม่ต้องปิด diffusion pump ให้นำอุปกรณ์ออกได้แล้วใส่อุปกรณ์ใหม่เข้าไปแล้วทำตามขั้นตอนที่ผ่านมาโดยเริ่มจากนำอุปกรณ์ใส่แล้วปิด chamber แล้วทำตามขั้นตอนตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5 เป็นต้นไปโดยไม่ต้องทำความสะอาดท่อ Ar gas อีก
25. ปิดสวิทช์ diffusion pump แล้วรออีก 30 นาที
26. ปิดวาล์ว FV.
27. ปิดสวิทช์ rotary pump
28. leak pressure ของ rotary pump ในทันที
29. ปิดระบบ cooling water

แสดงดังรูปที่ 3.9

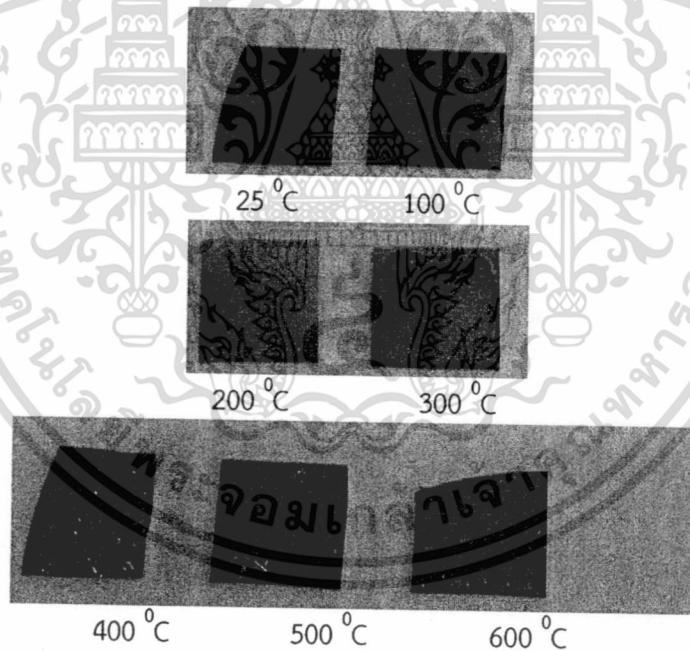


รูปที่ 3.9 ภาพตัดขวางฟิล์มโลหะผสมอลูมิเนียมทองแดงบนฐานรองแผ่นซิลิคอน

### 3.2.2 ขั้นตอนการแอนนีสล(anneal)

การแอนนีสลเป็นกระบวนการทางความร้อนเพื่อให้ส่วนของฟิล์มโลหะผสมอลูมิเนียมทองแดง โดยการทิ้งแผ่นผลึกไว้ในบรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1000 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 100 ถึง 500 องศาเซลเซียส

เมื่อผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะได้แผ่นฟิล์มโลหะผสมอลูมิเนียมทองแดงแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ฟิล์มโลหะผสมอลูมิเนียมทองแดงที่แอนนีสลที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

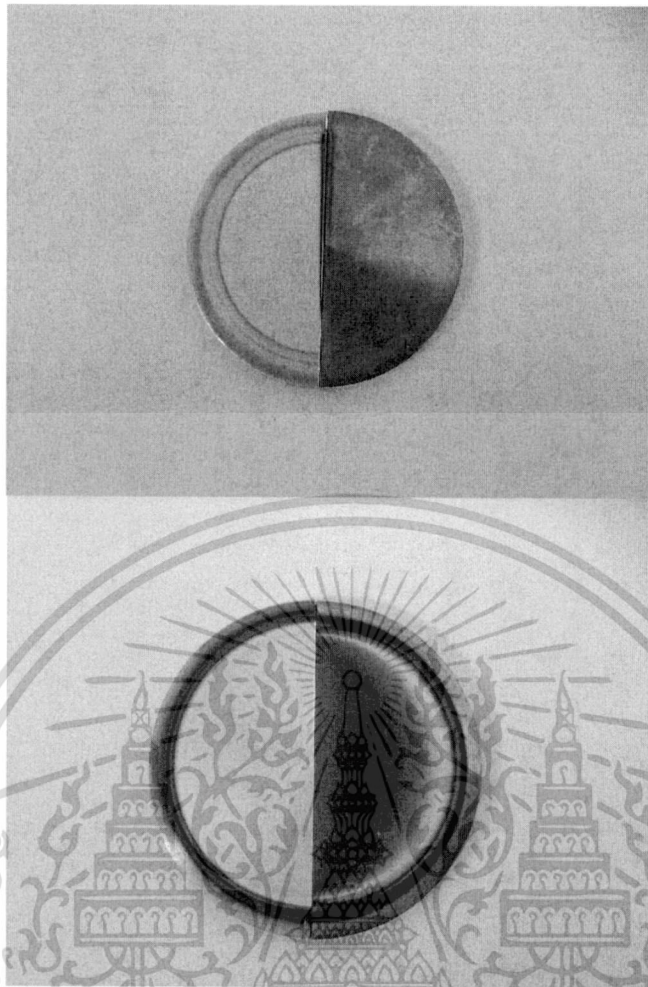
### ผลการทดลองและอภิปรายผล

เนื้อหาภายในบทนี้เป็นการรายงานผลการทดลอง กระบวนการสร้างฟิล์มโลหะอัลลอยจากวิธีสปีดเตอร์โดยใช้เป้าโลหะต่างชนิด บนแผ่นรองรับซิลิคอน โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกระบวนการทางความร้อน จากนั้นจึงนำฟิล์มโลหะอัลลอยที่เตรียมได้ไป ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ตรวจสอบเอกลักษณ์เฉพาะด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ตรวจสอบความหนาและศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

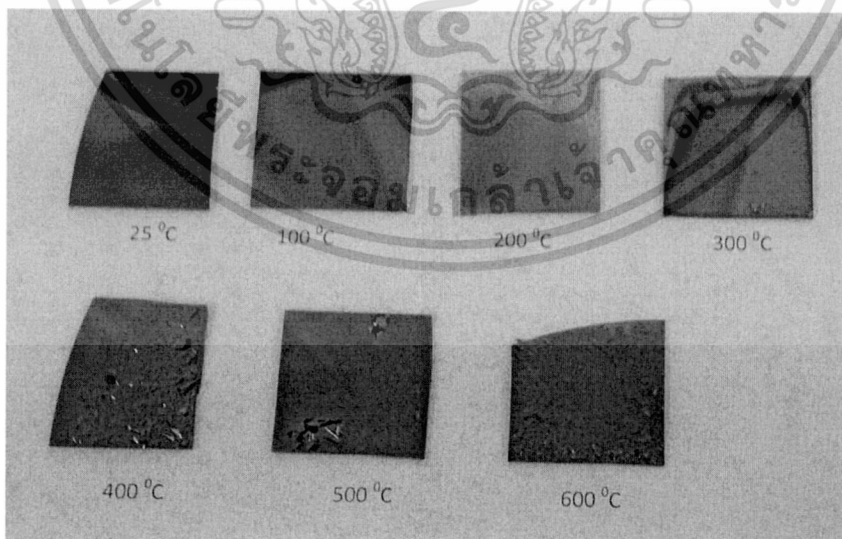
#### 4.1 ลักษณะทางกายภาพ

งานทำวิจัยนี้จะเป็นการสร้างฟิล์มโลหะอัลลอยจากเป้าโลหะต่างชนิด ซึ่งเป้าโลหะที่ใช้ั้นประกอบด้วยโลหะบริสุทธิ์มากกว่า 1 ชนิด แต่ในที่นี้จะใช้โลหะบริสุทธิ์เพียง 2 ชนิดคือ ทองแดงและอลูมิเนียม ดังแสดงภาพเป้าโลหะสองชนิดในรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาเป้าโลหะหลังการใช้ในกระบวนการสร้างฟิล์มนั้น พบว่าที่บริเวณผิวหน้านั้นมีความมันเงาของโลหะอยู่ทั่วบริเวณ และมีผิวหน้าที่เรียบสม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อเทียบกับเป้าโลหะก่อนใช้งาน พบว่าที่ผิวหน้าของเป้าโลหะมีความมันเงา น้อย มีสีที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งแตกต่างไปจากลักษณะหลังกระบวนการสร้างฟิล์มอย่างเห็นได้ชัดชี้ให้เห็นว่าโลหะสามารถหลุดจากเป้าและคาดว่าสามารถไปเกาะกับแผ่นรองรับซิลิคอนและสร้างชั้นฟิล์มของโลหะเหล่านี้ได้

ฟิล์มโลหะอัลลอยของทองแดงและอลูมิเนียมบนแผ่นรองรับซิลิคอน ภายหลังจากการเตรียมด้วยวิธีสปีดเตอร์และผ่านกระบวนการทางความร้อน โดยการเผาแอนนัลที่อุณหภูมิระหว่าง 100 ถึง 600 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4.2 เมื่อพิจารณาฟิล์มก่อนการเผาแอนนัล (25 องศาเซลเซียส) จะเห็นว่า ฟิล์มมีสีคล้ายกับทองแดง มีความมันเงาและเป็นเนื้อเดียวกันเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิในการเผาแอนนัลเพิ่มสูงขึ้น สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน เมื่ออุณหภูมิการเผาแอนนัลเพิ่มขึ้นเป็น 200 องศาเซลเซียส พบว่าสีของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงไปจากฟิล์มที่มีสีทองสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวหน้า เป็นผิวหน้าที่มีหลายสี แต่ลักษณะพื้นผิวของผิวหน้ายังมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน จนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแอนนัลเท่ากับ 300 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิการเผาแอนนัลเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 300 องศาเซลเซียส พบว่ามีการหลุดลอกและร่อนของชั้นฟิล์ม จากนั้นยังมีการหลุดลอกยิ่งเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเป็น 400 500 และ 600 องศาเซลเซียส อีกทั้งเมื่อพิจารณาสีของฟิล์มก็มีการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสีดำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็นลำดับ



รูปที่ 4.1 เป้าโลหะอลูมิเนียมและทองแดง ก่อน (บน) และหลัง (ล่าง) กระบวนการสร้างฟิล์มโลหะอัลลอยด้วยวิธีสปัตเตอร์

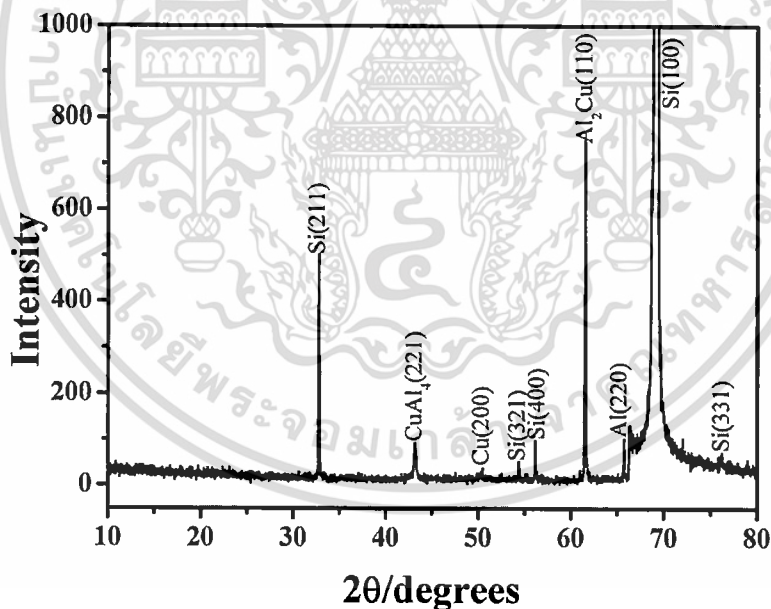


รูปที่ 4.2 ฟิล์มโลหะอัลลอยของทองแดงและอลูมิเนียมบนแผ่นรองรับซิลิคอน ภายหลังจากเผาแอนนัลที่อุณหภูมิระหว่าง 100 ถึง 600 องศาเซลเซียส

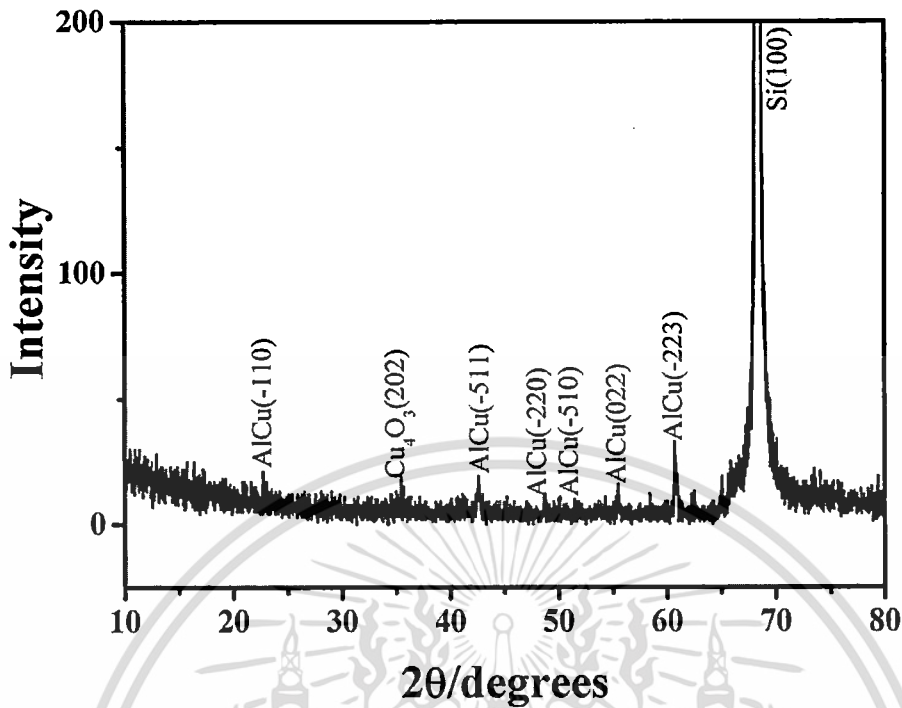
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การตรวจสอบเอกลักษณ์เฉพาะด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

ภายหลังการสร้างฟิล์มโลหะอัลลอยจากวิธีสปีดเตอร์โดยใช้เป้าโลหะต่างชนิด บนแผ่นรองรับซิลิคอน โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกระบวนการทางความร้อน จากนั้นจึงนำฟิล์มโลหะอัลลอยที่เตรียมได้ไปตรวจสอบเอกลักษณ์เฉพาะด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometry, XRD) เพื่อตรวจสอบการเกิดเฟสของโลหะอัลลอยที่เตรียมได้ จากรูป 4.3 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน โดยไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน พบว่าฟิล์มที่ได้แสดงพิกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซิลิคอนระนาบ (100) (211) (400) (331) และ (321) ซึ่งใช้เป็นแผ่นรองรับ จากนั้นพบพิกการเลี้ยวเบนที่สอดคล้องกับ  $\text{Al}_2\text{Cu}$  ระนาบ (110) อีกทั้งพบพิกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องกับ  $\text{CuAl}$  ระนาบ (221) ซึ่งแสดงถึงเฟสโลหะอัลลอยของอลูมิเนียมและทองแดง อย่างไรก็ตาม เมื่อนำฟิล์มโลหะอัลลอยที่เตรียมได้ ไปผ่านกระบวนการทางความร้อน โดยการเผาแอนนีสที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูป 4.4 ยังคงพบพิกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องกับซิลิคอนระนาบ (100) (211) (400) (331) และ (321) ซึ่งใช้เป็นแผ่นรองรับ เช่นเดียวกับฟิล์มก่อนผ่านกระบวนการทางความร้อน ทั้งนี้ได้พบพิกเพิ่มเติม คือ พิกที่สอดคล้องกับ  $\text{AlCu}$  ระนาบ (-223) (-110) (-511) (022) (-220) และ (-510) ซึ่งแสดงถึงโลหะอัลลอยของอลูมิเนียมและทองแดงได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้สามารถแสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในการเผาแอนนีส ที่มีต่อการเกิดฟิล์มของโลหะอัลลอยได้ โดยที่พบพิกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องกับเฟสของ  $\text{Cu}_4\text{O}_3$  ระนาบ (202) รวมอยู่ด้วย



รูปที่ 4.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน ก่อนกระบวนการทางความร้อน

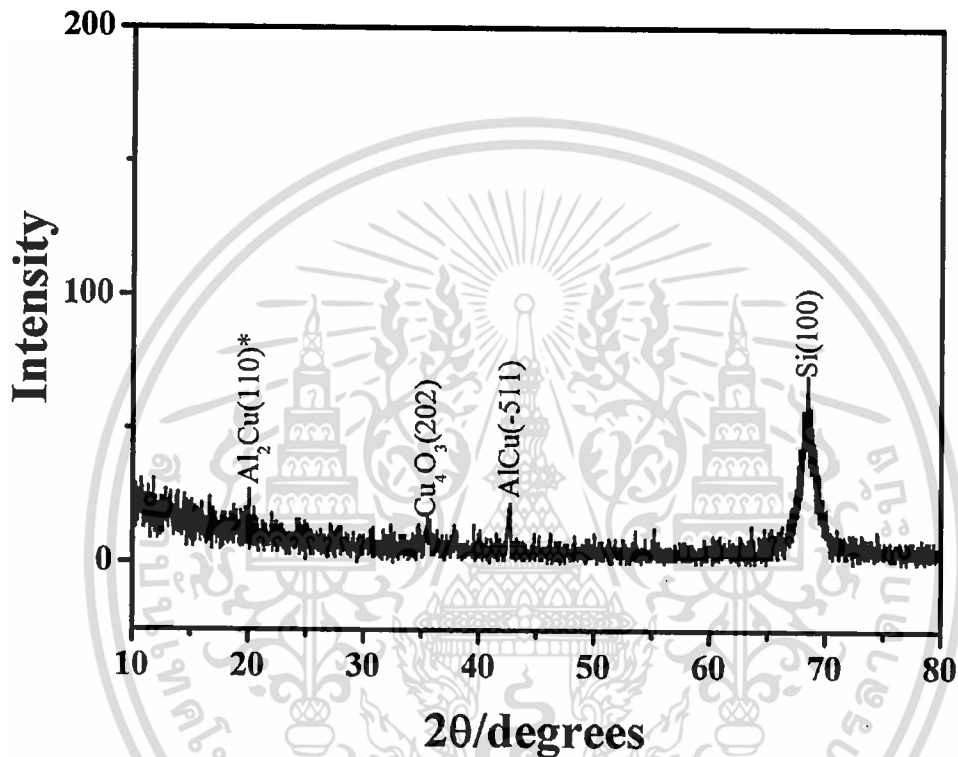


รูปที่ 4.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

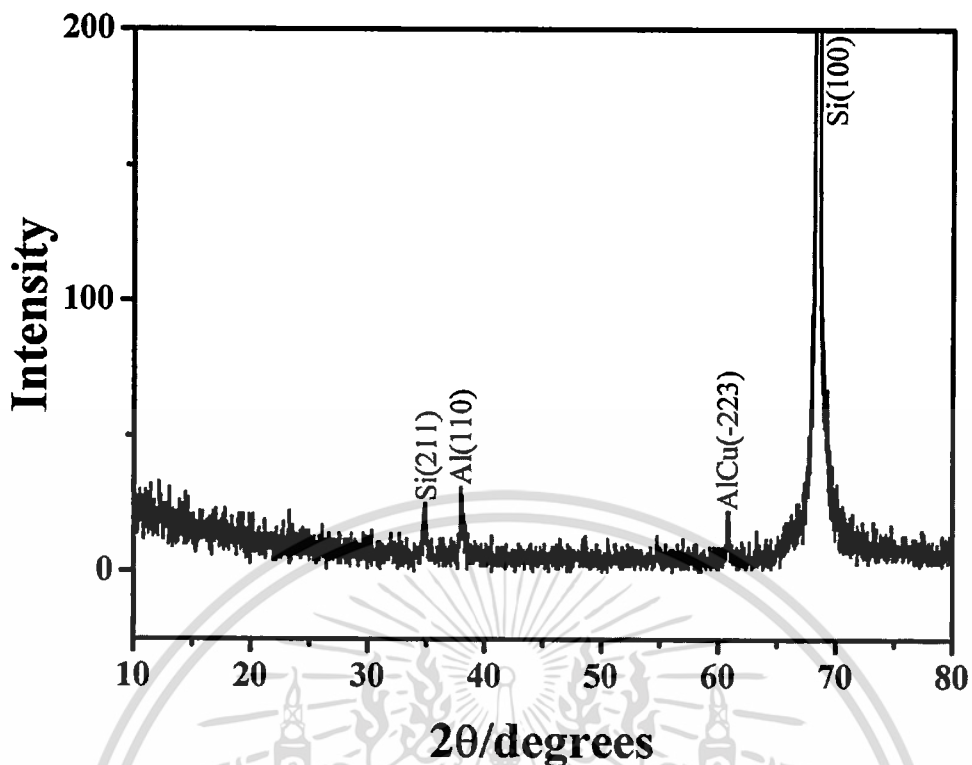
อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาแอนนัลสูงขึ้นไปเท่ากับ 300 องศาเซลเซียส พบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าพีกที่สอดคล้องกับ AlCu ระนาบ (-223) (-110) (022) (-220) และ (-510) ที่ปรากฏในตัวอย่างฟิล์มที่ผ่านการเผาแอนนัลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นั้นหายไป คงเหลือแต่พีก AlCu ในระนาบ (-511) เท่านั้น ซึ่งอยู่ร่วมกับพีกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ Al<sub>2</sub>Cu ระนาบ (110) ที่แสดงถึงโลหะอัลลอยของอลูมิเนียมและทองแดง ได้ อย่างไรก็ตาม ยังพบพีกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องกับซิลิคอนที่ใช้เป็นแผ่นรองรับในระนาบ (100) และพีกของเฟสรอง Cu<sub>4</sub>O<sub>3</sub> ในระนาบ (202) ร่วมอยู่ด้วยจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการเผาแอนนัลที่เพิ่มขึ้น มีผลไปรบกวนความเสถียรของเฟสโลหะอัลลอยให้มีความเสถียรลดน้อยลง จนเกิดเฟสรองของ Cu<sub>4</sub>O<sub>3</sub> ซึ่งอาจเกิดการที่โลหะทองแดงทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนได้ที่อุณหภูมิสูง เกิดเฟสแยกออกมานั่นเอง

อนึ่ง ยังพบผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกัน ในรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400 (ดังแสดงในรูปที่ 4.6) และ 500 องศาเซลเซียส (ไม่ได้แสดงรูปภาพ) ซึ่งแสดงพีกของโลหะอัลลอย AlCu ในระนาบ (-223) เพียงระนาบเดียว อยู่ร่วมกับพีกของซิลิคอน ในระนาบ (100) และ (211) ที่ใช้เป็นแผ่นรองรับ และพีกอลูมิเนียมระนาบ (110) การหายไปของพีกที่แสดงถึงโลหะอัลลอยอลูมิเนียมกับทองแดง นั้นแสดงถึงอิทธิพลของกระบวนการทางความร้อนโดยการเผาแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ ที่มีต่อการเกิดโลหะอัลลอย โดยเมื่ออุณหภูมิการเผาแอนนัลเพิ่มขึ้น ทำให้ความเสถียรของเฟสโลหะอัลลอยลดลง ดังสังเกตได้จากความเข้มพีกที่สอดคล้องกับเฟส AlCu ลดลงและได้หายไป เหลือเพียงพีกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่

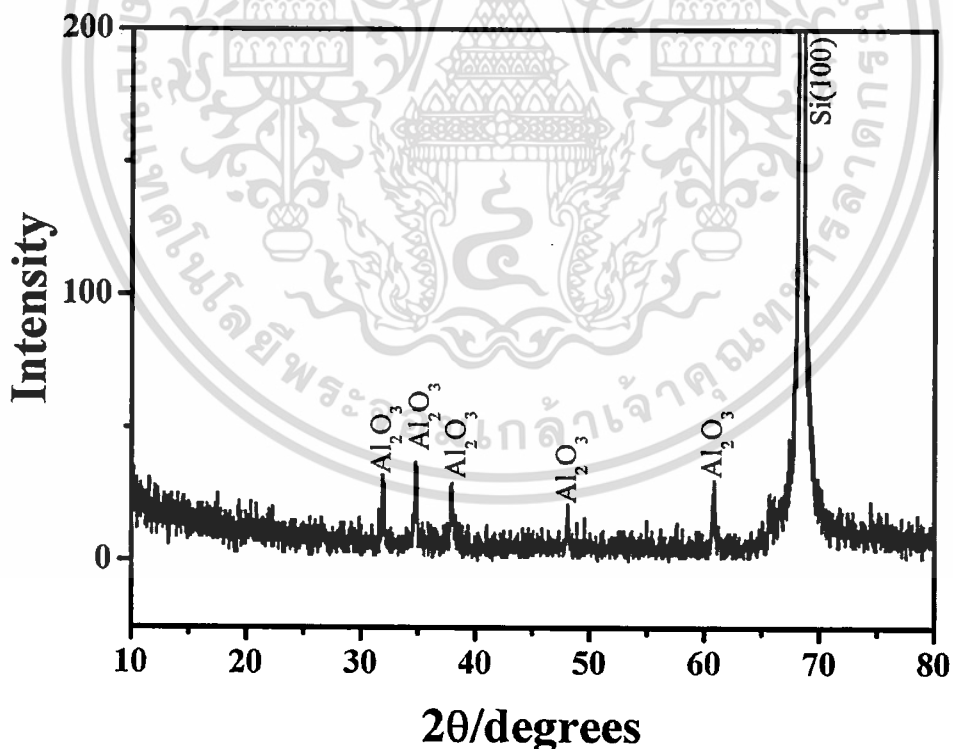
สอดคล้องกับสารประกอบทองแดง เช่น  $\text{Cu}_4\text{O}_3$  หรือโลหะทองแดง Cu เท่านั้น อย่างไรก็ตาม พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผาแอนนัลเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 600 องศาเซลเซียส กลับพบเพียงพีก  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ในระนาบ เท่านั้น (รูปที่ 4.7) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการเผาแอนนัลที่สูงเกินนั้นไม่เหมาะสมกับการสร้างฟิล์มโลหะอัลลอยอลูมิเนียมกับทองแดงซึ่งการที่ไม่พบพีกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นั้นอาจเนื่องมาจากความไม่เป็นผลึกของชั้นฟิล์ม เกิดเฟสอสัญฐาน (amorphous) ที่ไม่สามารถตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้



รูปที่ 4.5 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



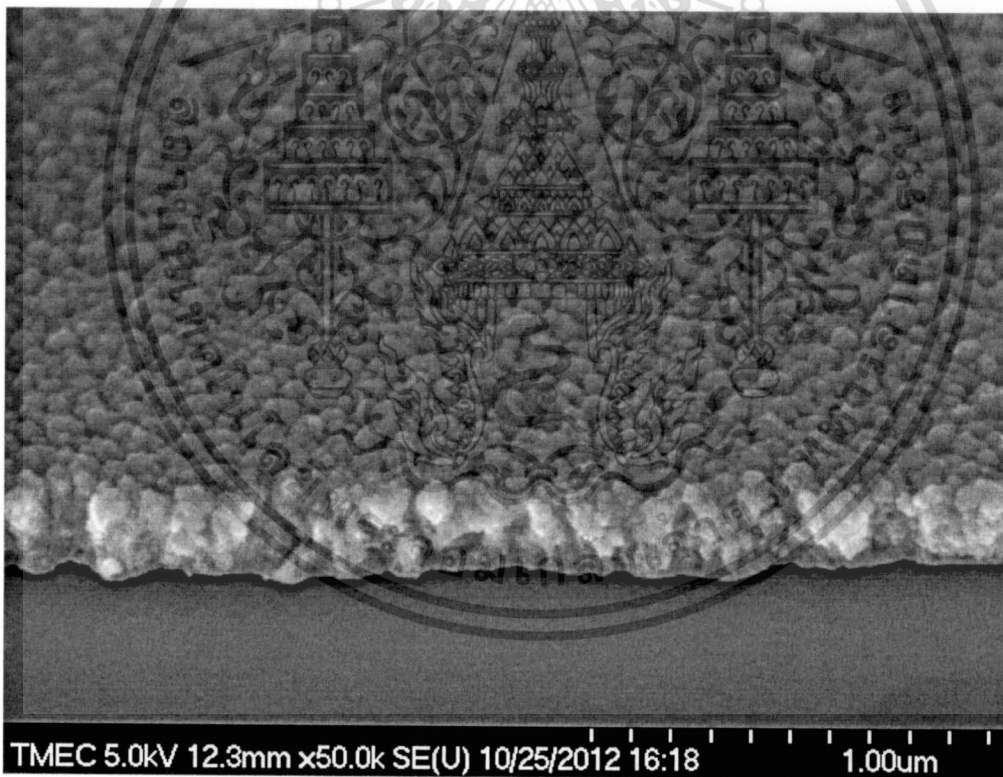
รูปที่ 4.7 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 การตรวจสอบสัญญาณวิทยา

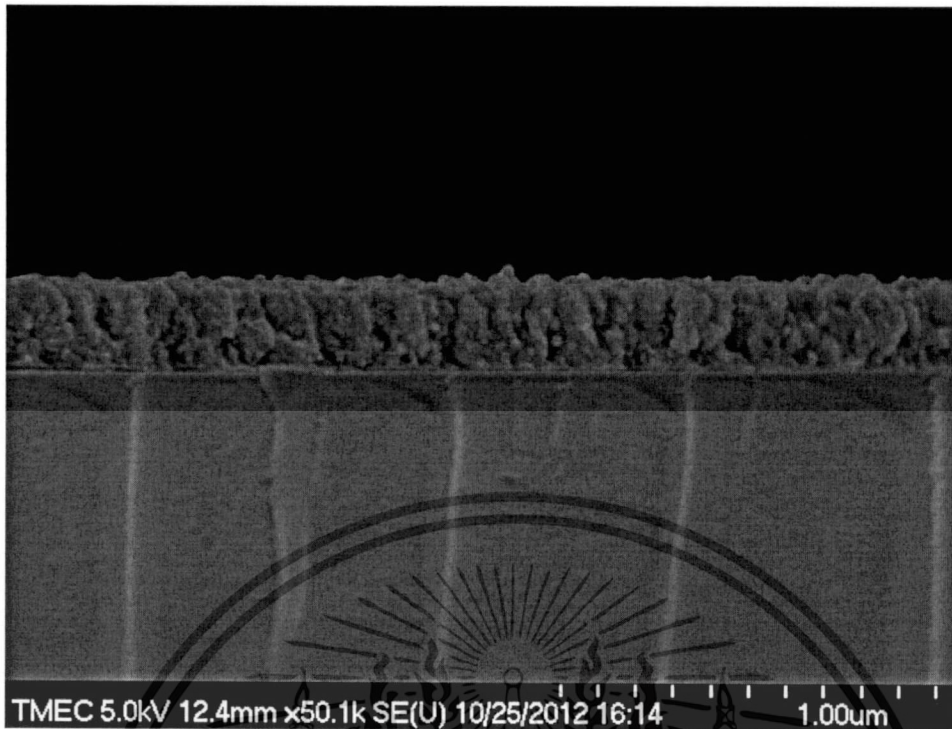
การตรวจสอบสัญญาณวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ของฟิล์มโลหะอัลลอยที่เตรียมจากวิธีสปีเตอร์โดยใช้เป้าโลหะต่างชนิด บนแผ่นรองรับซิลิคอน ในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือการศึกษาสัญญาณวิทยาของภาพตัดขวาง (cross section) และความหนาของฟิล์ม และส่วนที่สองคือการศึกษาลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างจุลภาพของผิวหน้าฟิล์ม จากรูป 4.8 แสดงโครงสร้างจุลภาพของฟิล์มโลหะอัลลอยอลูมิเนียมกับทองแดงบนแผ่นรองรับซิลิคอน โดยใช้กำลังขนาด 50000 เท่า พบว่าพื้นผิวฟิล์มมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่พบลักษณะพื้นผิวที่ผิดปกติหรือเกรนที่เติบโตผิดปกติ ขนาดเกรนมีความสม่ำเสมอมีขนาดในช่วงต่ำกว่า 100 นาโนเมตร จากลักษณะพื้นผิวที่แสดงในภาพ นั้นแสดงถึงความสามารถในการสร้างฟิล์มโลหะอัลลอยจากวิธีสปีเตอร์โดยใช้เป้าโลหะต่างชนิด

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณารูปที่ 4.9-4.10 ซึ่งแสดงภาพตัดขวางของฟิล์มโลหะอัลลอย พบว่าด้านบนคือฟิล์มโลหะอัลลอย มีลักษณะเป็นผลึกเรียงต่อกันอย่างเป็นระเบียบ อยู่บนแผ่นรองรับซิลิคอน ชั้นฟิล์มมีความเรียบสม่ำเสมอ ไม่ขรุขระ โดยความหนาของฟิล์มเท่ากับ 0.234 ไมโครเมตร ซึ่งเตรียมได้จากการสปีเตอร์เป็นเวลา 30 นาที

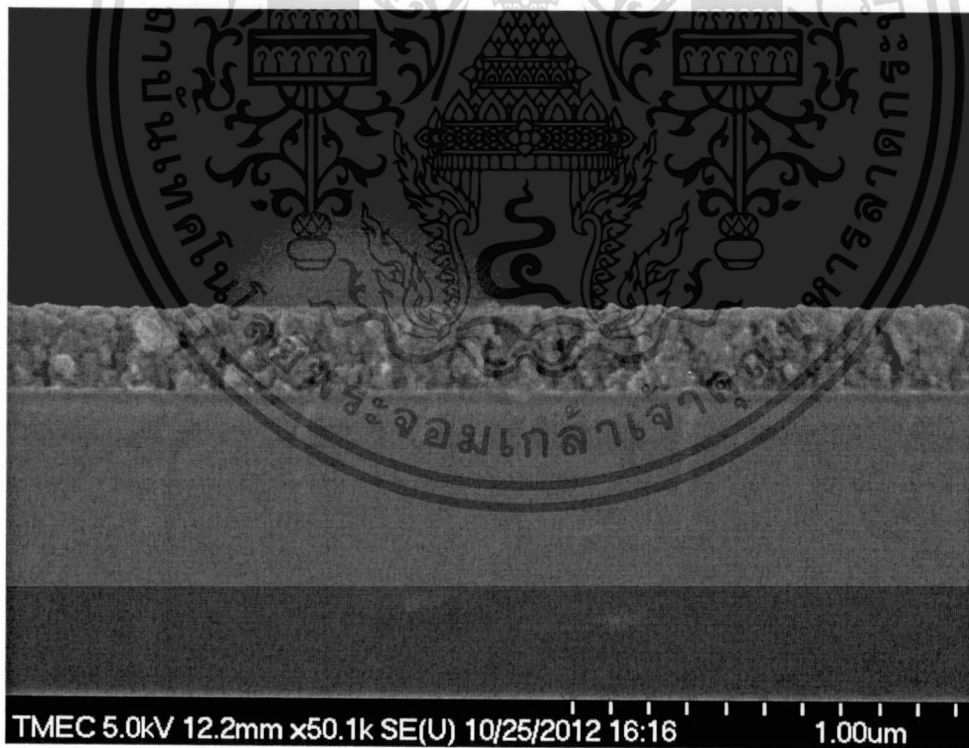


รูปที่ 4.8 สัญญาณวิทยาของฟิล์มโลหะอัลลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ภาพตัดขวาง (cross section) ของฟิล์มโลหะอัลลอย



รูปที่ 4.10 ภาพตัดขวาง (cross section) ของฟิล์มโลหะอัลลอย

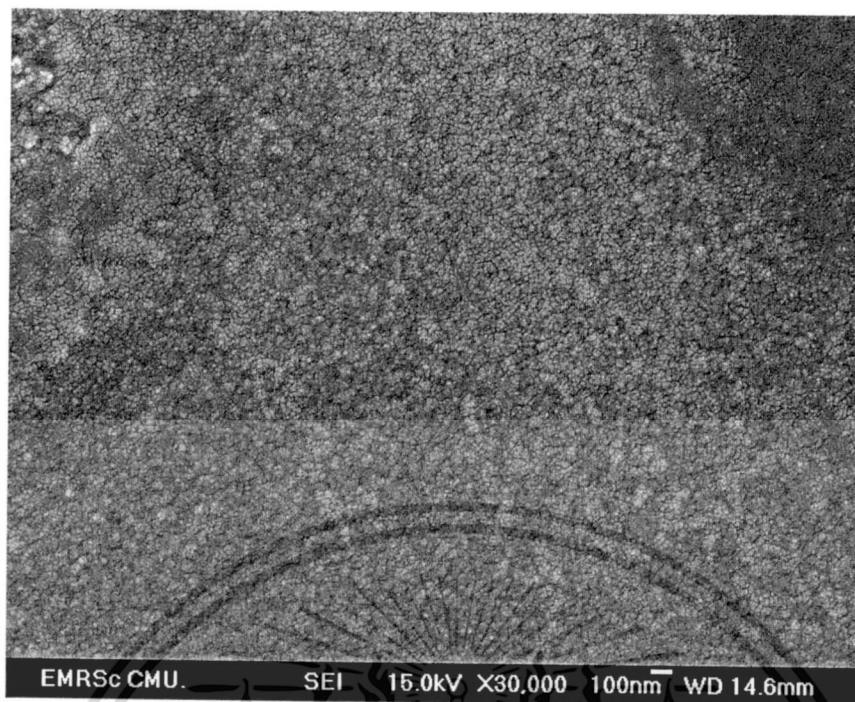
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่สองคือการศึกษาลักษณะพื้นผิวและโครงสร้างจุลภาพของผิวหน้าฟิล์ม โดยรูปสัญญาณวิทยาผิวหน้าของฟิล์มที่สร้างได้ แสดงในรูปที่ 4.11-4.16 เมื่อพิจารณาสัญญาณวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยก่อนกระบวนการทางความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 สังเกตพบว่ามีความสม่ำเสมอของเนื้อฟิล์มและมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการตรวจสอบเอกลักษณ์เฉพาะด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์(XRD) ที่แสดงถึงเฟสของโลหะอัลลอยของ AlCu ดังกล่าวไปแล้วข้างต้น โดยมีขนาดเกรนเฉลี่ยเท่ากับ  $20.54 \pm 4.64$  นาโนเมตร จากนั้นเมื่อพิจารณาผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน โดยการเผาแอนนีสที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าผิวหน้าฟิล์มเริ่มมีความไม่สม่ำเสมอและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีขนาดเกรนเฉลี่ยเท่ากับ  $31.36 \pm 5.88$  นาโนเมตร เมื่ออุณหภูมิการเผาแอนนีสเพิ่มสูงขึ้นเป็น 200 องศาเซลเซียส เริ่มมีการเติบโตของผลึก โดยสังเกตจากขอบเกรนที่ชัดเจนมากขึ้น สามารถสังเกตเห็นผลึกขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่ว ผิวหน้าฟิล์มไม่เรียบสม่ำเสมอ โดยมีขนาดเกรนเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ  $34.52 \pm 4.99$  นาโนเมตร

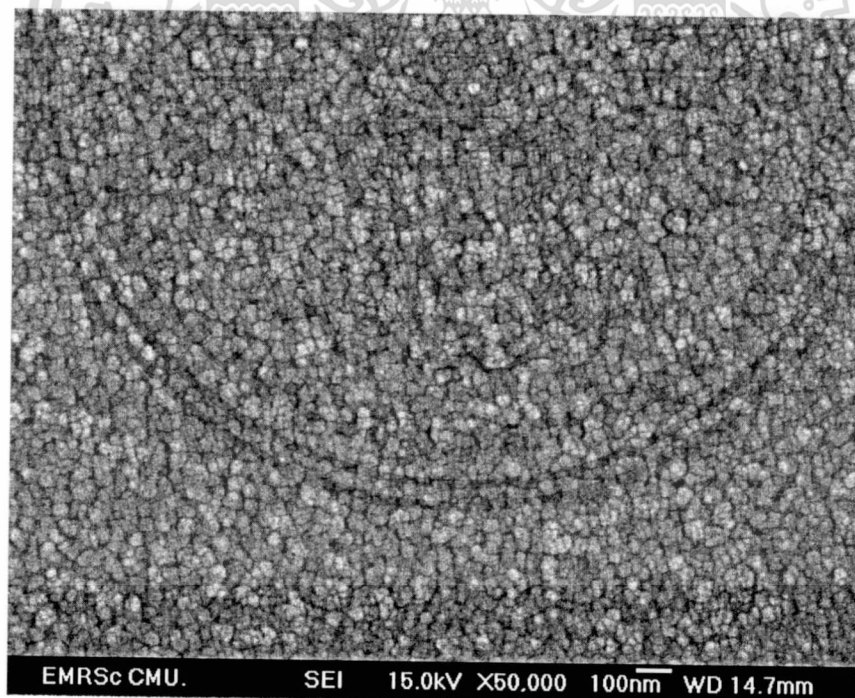


รูปที่ 4.11 สัญญาณวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยก่อนกระบวนการทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



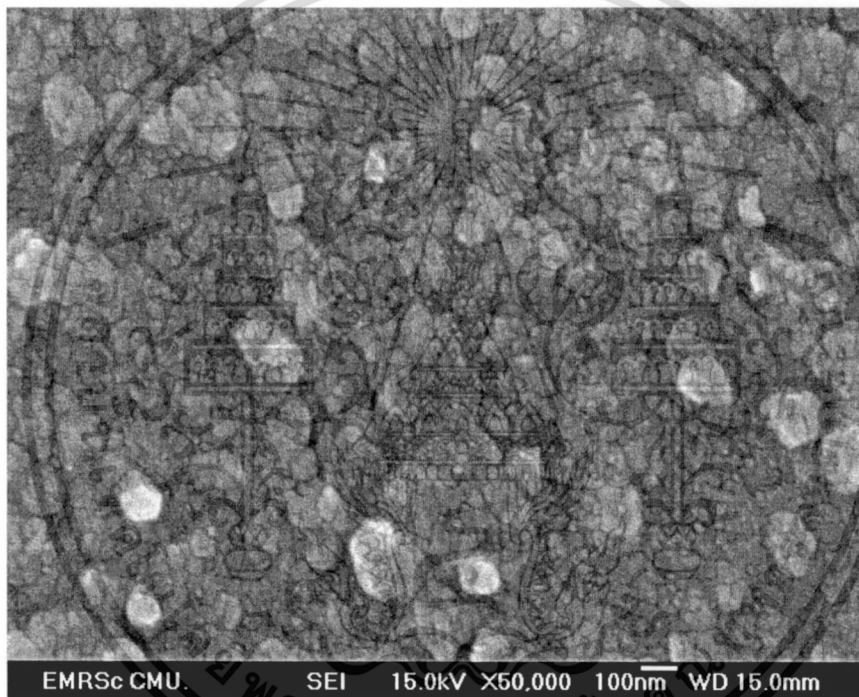
รูปที่ 4.12 สัณฐานวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.13 สัณฐานวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

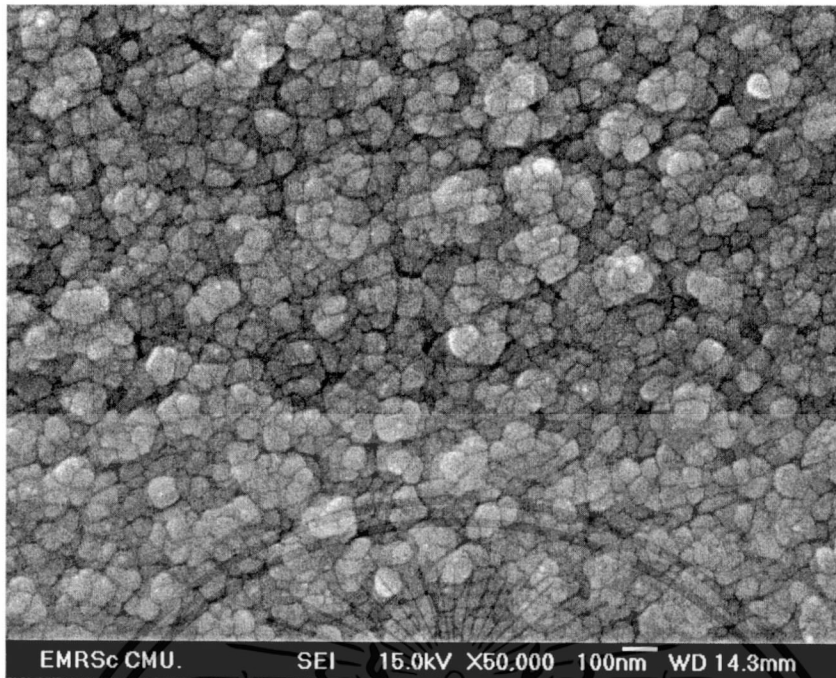
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาแอนนีสสูงขึ้นไปเป็น 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส (4.11-4.13) พบว่ามีการเติบโตของผลึกอย่างชัดเจน โดยลักษณะผิวหน้าของฟิล์มที่ผ่านการเผาแอนนีสที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสที่แสดงในรูป 4.11 นั้น พบว่าประกอบด้วยผลึกรูปหลายเหลี่ยมสองขนาดด้วยกัน คือผลึกขนาดใหญ่ที่มีขนาดเกรนในช่วง 100 นาโนเมตรอยู่ร่วมกับผลึกขนาดเล็กที่มีขนาดเกรนในช่วงต่ำกว่า 50 นาโนเมตร ซึ่งแสดงถึงการเริ่มมีการเติบโตของผลึกเมื่ออุณหภูมิในการเผาแอนนีสเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการเผาแอนนีสเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 400 องศาเซลเซียสพบว่าลักษณะผิวหน้าของฟิล์มนั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับฟิล์มที่ผ่านกระบวนการเผาแอนนีสที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แต่มีลักษณะเกรนที่ขนาดเกรนมีความสม่ำเสมอ โดยมีขนาดเกรนเฉลี่ยเท่ากับ  $63.83 \pm 11.75$  นาโนเมตร ยิ่งไปกว่านั้นเมื่ออุณหภูมิการเผาแอนนีสสูงเพิ่มขึ้นไปเป็น 500 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเติบโตของผลึกเป็นอย่างมาก ขนาดเกรนเฉลี่ยมีค่าสูงเท่ากับ  $100.52 \pm 29.10$  นาโนเมตร โดยที่ลักษณะเกรนยังคงมีความสม่ำเสมอคงอยู่

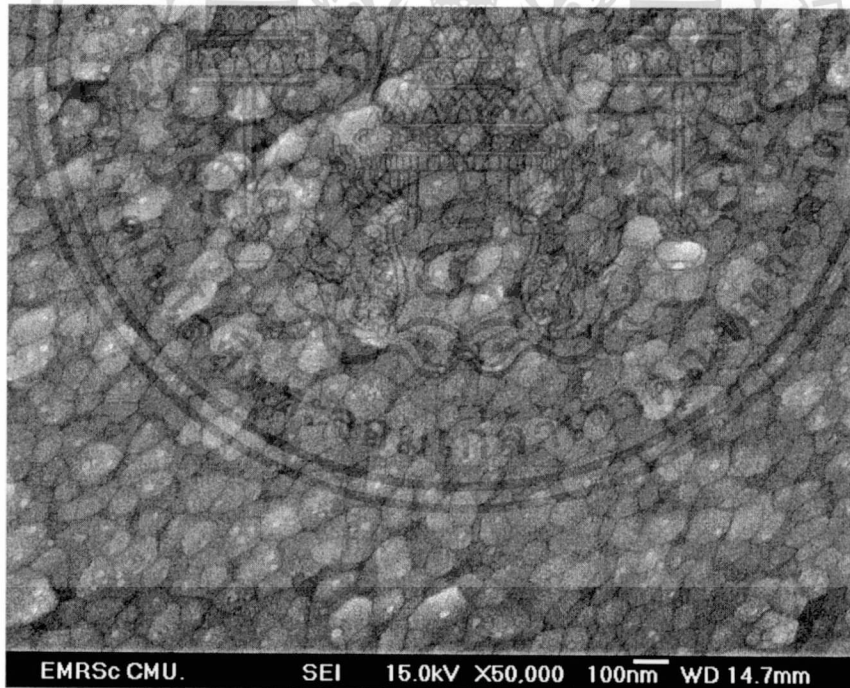


รูปที่ 4.14 สัณฐานวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยด์ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



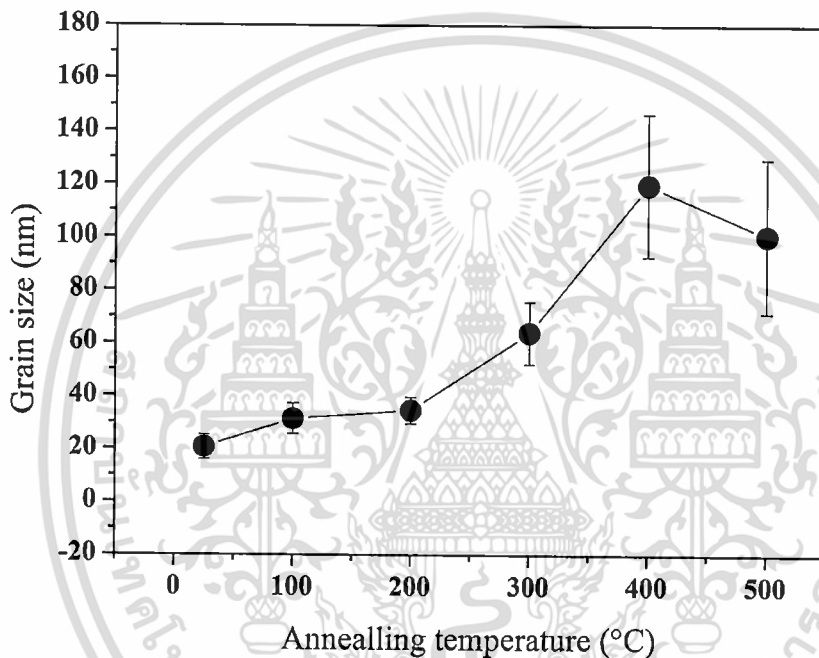
รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาขนาดผลึกเฉลี่ยของฟิล์มโลหะอัลลอยที่เตรียมได้ เทียบกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแอนนัล สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.17 ฟิล์มโลหะอัลลอยก่อนกระบวนการทางความร้อนมีขนาดเกรนเฉลี่ยเท่ากับ  $20.54 \pm 4.64$  นาโนเมตร ภายหลังจากการเผาแอนนัลที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่าขนาดเกรนเฉลี่ยของฟิล์มนั้นเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ  $31.36 \pm 5.88$  และ  $34.52 \pm 4.99$  นาโนเมตรตามลำดับยิ่งกว่านั้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาแอนนัลเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 300 องศาเซลเซียส พบว่าขนาดเกรนเฉลี่ยมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม สามารถสรุปอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเติบโตของเกรนได้ คือ ขนาดเกรนเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการเผาแอนนัล



รูปที่ 4.17 ขนาดผลึกเฉลี่ยของฟิล์มโลหะอัลลอยที่เตรียมได้ เทียบกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแอนนัล

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 เป้าโลหะภายหลังการใช้ในกระบวนการสร้างฟิล์มที่บริเวณผิวหน้านั้นมีความมันเงาของโลหะอยู่ที่บริเวณ และมีผิวหน้าที่เรียบสม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างจากลักษณะก่อนการใช้เป้าโลหะในกระบวนการสร้างฟิล์ม พบว่าที่ผิวหน้าของเป้าโลหะมีความมันเงา น้อย มีสีที่ไม่สม่ำเสมอ

5.1.2 ฟิล์มโลหะอัลลอยของทองแดงและอลูมิเนียมบนแผ่นรองรับซิลิคอน ภายหลังจากการเตรียมด้วยวิธีสปัตเตอร์ ฟิล์มมีสีคล้ายกับทองแดง มีความมันเงาและเป็นเนื้อเดียวกันเป็นอย่างดี เมื่ออุณหภูมิในการเผาแอนนัลเพิ่ม พบว่าสีของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงไปจากฟิล์มที่มีสีทองสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวหน้า เป็นผิวหน้าที่มีหลายสี แต่ลักษณะพื้นผิวของผิวยังมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน จนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแอนนัลเท่ากับ 300 องศาเซลเซียส

5.1.3 เมื่ออุณหภูมิการเผาแอนนัลเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 300 องศาเซลเซียส พบว่ามี การหลุดลอกและร่อนของชั้นฟิล์ม จากนั้นยังมีการหลุดลอกยิ่งเพิ่มมากขึ้นและสีของฟิล์มก็มีการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสีดำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็นลำดับ

5.1.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มโลหะอัลลอยบนแผ่นรองรับซิลิคอน โดยไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน พิกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซิลิคอนระนาบ (100) (211) (400) (331) และ (321) ซึ่งใช้เป็นแผ่นรองรับ และพบพิกการเลี้ยวเบนที่สอดคล้องกับ  $Al_2Cu$  ระนาบ (110) และ  $CuAl$  ระนาบ (221) ซึ่งแสดงถึงเฟสโลหะอัลลอยของอลูมิเนียมและทองแดง

5.1.5 กระบวนการทางความร้อนโดยการเผาแอนนัลที่อุณหภูมิต่างๆ ส่งผลต่อฟิล์มโลหะอัลลอย ทำให้ความเสถียรของเฟสโลหะอัลลอยลดลง ดึงสังเกตได้จากความเข้มพิกที่สอดคล้องกับเฟส  $AlCu$  ลดลงและได้หายไป หลงเหลือเพียงพิกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องกับสารประกอบทองแดง เช่น  $Cu_4O_3$  หรือโลหะทองแดง  $Cu$  เท่านั้น เมื่ออุณหภูมิในการเผาแอนนัลเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 600 องศาเซลเซียส กลับพบเพียง  $Al_2O_3$  แสดงให้เห็นว่าซึ่งการที่ไม่พบพิกการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นั้นอาจเนื่องมาจากความไม่เป็นผลึกของชั้นฟิล์ม เกิดเฟสอสัญฐาน (amorphous) ที่ไม่สามารถตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้

5.1.6 ภาพตัดขวางของฟิล์มโลหะอัลลอยแสดงให้เห็นว่า ฟิล์มโลหะอัลลอยมีลักษณะเป็นผลึกเรียงต่อกันอย่างเป็นระเบียบ อยู่บนแผ่นรองรับซิลิคอน ชั้นฟิล์มมีความเรียบสม่ำเสมอ ไม่ขรุขระ โดยความหนาของฟิล์มเท่ากับ 0.234 ไมโครเมตร ซึ่งเตรียมได้จากการสปัตเตอร์เป็นเวลา 30 นาที

5.1.7 สัญฐานวิทยาของผิวหน้าฟิล์มโลหะอัลลอยก่อนกระบวนการทางความร้อน มีความสม่ำเสมอของเนื้อฟิล์มและมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการตรวจสอบเอกลักษณ์เฉพาะด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ที่

แสดงถึงเฟสของโลหะอัลลอยของ AlCu มีขนาดเกรนเฉลี่ยเท่ากับ  $20.54 \pm 4.64$  นาโนเมตร

5.1.8 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเติบโตของเกรน คือ ขนาดเกรนเฉลี่ยของฟิล์มเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิในการเผาแอนนีสที่สูงขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะในการสร้างฟิล์มให้มีความหลากหลายเพิ่มขึ้น เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอื่น เช่น รูปแบบของเป้าโลหะ

5.2.2 อุณหภูมิการเผาแอนนีสที่สูงเกินไปนั้นไม่เหมาะสมกับการสร้างฟิล์มโลหะอัลลอยอลูมิเนียมกับทองแดง



## เอกสารอ้างอิง

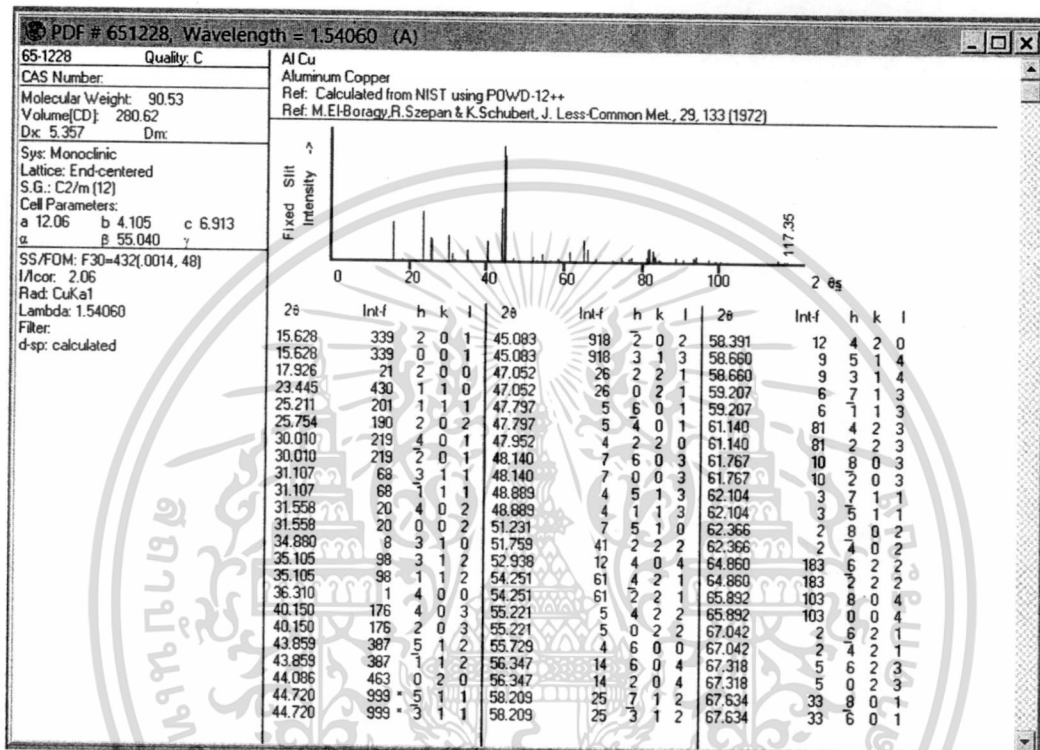
- [1] รั้งสรณ์เมืองเหลือ, ทรงพลรอดทอง, โสภณพรหมชัย, เต็มพงษ์เพ็ชรกุล. “การพัฒนากระบวนการโลหะสำหรับเทคโนโลยีวงจรรวมซีมอสระดับ 5 ไมครอนในประเทศไทย.”การประชุมวิชาการทางไฟฟ้าครั้งที่ 26. หน้า 1371-1374, พฤศจิกายน 2546.
- [2] ทรงพลรอดทอง, รั้งสรณ์เมืองเหลือ, โสภณพรหมชัย, เต็มพงษ์เพ็ชรกุล. “การพัฒนาระบวนการโลหะของรอยสัมผัสโอห์มิกสำหรับเทคโนโลยีวงจรรวมซีมอสระดับ 5 ไมครอนในประเทศไทย. ”การประชุมวิชาการทางไฟฟ้าครั้งที่ 27. ปีที่ 27 , หน้า 1330-1334 , พฤศจิกายน 2547.
- [3] สมเกียรติศุกุเดช. วงจรรวมเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2522.
- [4] สมศักดิ์กีรติวุฒิศเรษฐ์. หลักการวัดและใช้งานเคลื่อนมือวัดอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : บริษัทส.เอเชียเพรสจำกัด. 2536.
- [5] มนัสสิริจินดา. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2536.
- [6] สมเกียรติศุกุเดช. เซมิคอนดักเตอร์ฟิสิกส์. กรุงเทพมหานคร : แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542.
- [7] พรศักดิ์อรธวานิช. โลหการวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546
- [8] สุวินชัยพงษ์สุกิจวัฒน์และคณะวัสดุศาสตร์และวิศวกรรมวัสดุพื้นฐาน. กรุงเทพมหานคร : บริษัทสำนักพิมพ์ท้อปจำกัด. 2548.
- [9] อติสรเตือนทรานนท์. นาโนเทคโนโลยีจิ๋วแต่แจ๋ว = Nano. กรุงเทพมหานคร : เนชั่นบุ๊คส์ , 2548.
- [10] O.S. Heavens, Thin film physics , London : Methuen, 1970
- [11] Stanley Wolf and Richard N. Tauber, Silicon Processing For The VLSI Era Volume 1 Process Technology , California : Lattice Press, 1986.
- [12] Donald L. Smith, Thin-film deposition : principles and practice, New York : McGraw-Hill, 1995
- [13] Aicha A.R. Elshabini-Riad and Fred D. Barlow III, Thin Film Technology Handbook , New York : McGraw-Hill, 1998.
- [14] P.M. Ajayan, L.S. Schadler, and P.V. Braun, Nanocomposite science and technology, Weinheim : Wiley-VCH, 2003.
- [15] Michael Rieth, Nano-engineering in science and technology : an introduction to the world of nano-design, New Jersey : World Scientific, 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



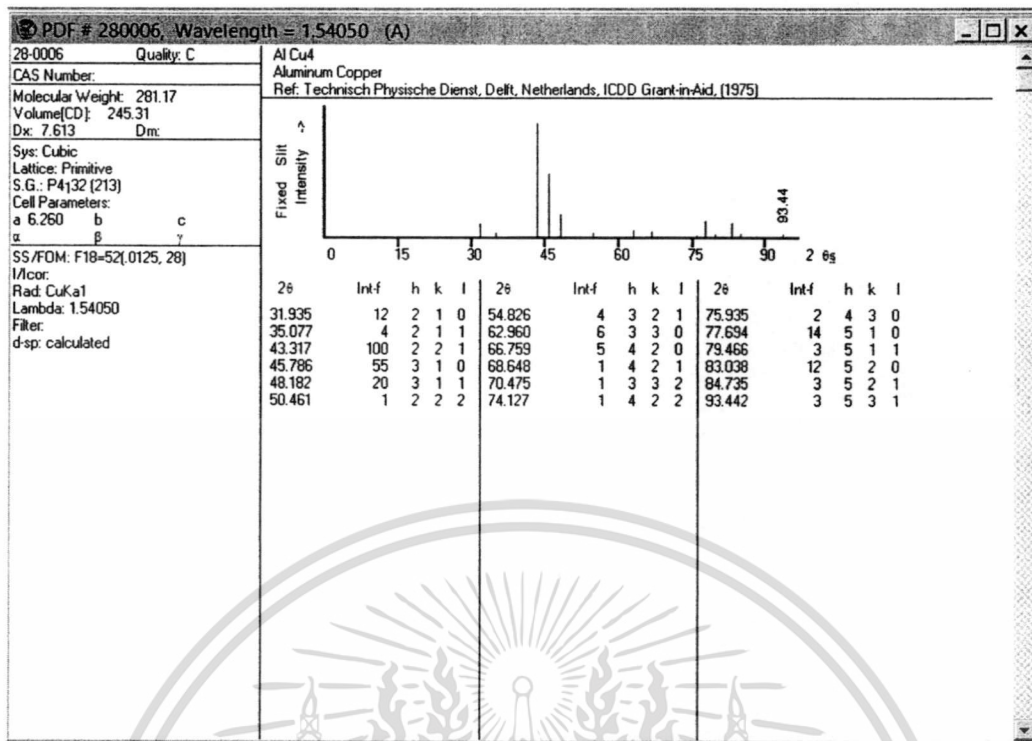
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง กับ ไฟล์มาตรฐานขององค์กร the Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) หรือที่ภายหลังเปลี่ยนชื่อเป็น the International Centre for Diffraction Data (ICDD)

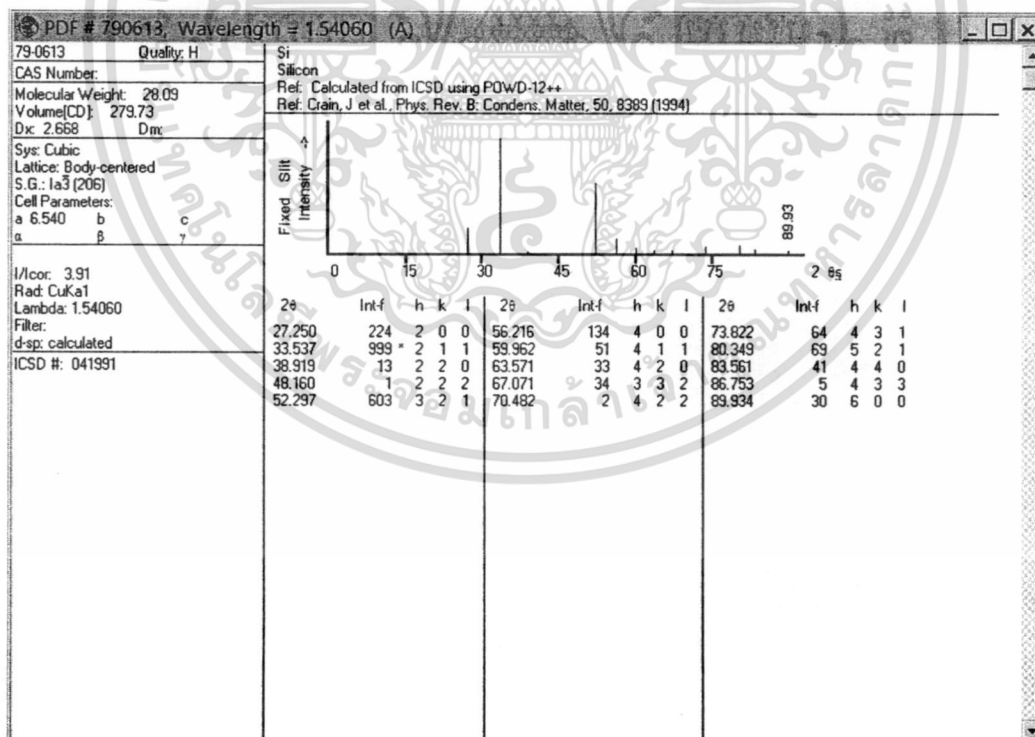


รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ AlCu ไฟล์มาตรฐาน PDF#65-1228

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ AlCu<sub>4</sub> ไฟล์มาตรฐาน PDF#28-0006



รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ Si ไฟล์มาตรฐาน PDF#79-0613

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Proceedings of the  
**MST27 2010**  
**Annual Conference**  
 The 27th Annual Conference of The Microscopy Society of Thailand

January 20-22, 2010  
 Fair House Beach Resort & Hotel  
 Koh Samui, Surat Thani, Thailand

Organized by

สมาคมกล้องจุลทรรศน์วิทยาแห่งประเทศไทย  
 กระทรวงศึกษาธิการ  
 พิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Poster Presentation

## Al-Cu Thin Film Studied by Using Radio Frequency Sputtering Technique

Rangson Muanghlua

Department of Electronics, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

\*Corresponding author, e-mail: [kmrangso@kmitl.ac.th](mailto:kmrangso@kmitl.ac.th)

### Abstract

This research aims to study the sputtering technique of Al-Cu thin film by using a radio frequency sputtering technique. The Al-Cu film was grown on a silicon substrate and annealed at different temperatures. Originally, the thick silicon dioxide 5000 Å was grown on substrate. The target material is Al-Cu. The sputtering condition is operated at  $2-5 \times 10^{-3}$  bar. The temperature was varied such as 200, 300, 340 and 500 °C for 1 hour. The Al-Cu films were then characterized their physical and electrical characteristics, using techniques such as X-ray diffraction analysis (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM).

### Acknowledgments

This work was supported by National Research Council of Thailand (NRCT) and Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

### References

1. O.S. Heavens, Thin film physics, London: Methuen, 1970
2. Stanley Wolf and Richard N. Tauber, Silicon Processing For The VLSI Era Volume 1 Process Technology, California: Lattice Press, 1986.
3. Donald L. Smith, Thin-film deposition: principles and practice, New York: McGraw-Hill, 1995
4. Aicha A.R. Elshabini-Riad and Fred D. Barlow III, Thin Film Technology Handbook, New York: McGraw-Hill, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Al-Cu thin film studied by using a radio frequency sputtering technique

Rangson Muangplun

Department of Electronics, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of

Technology, Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

\*Corresponding author, e-mail: knrangso@kmit.ac.th

### Abstract

This research aims to study the sputtering technique of Al-Cu thin film by using a radio frequency sputtering technique. The Al-Cu film was grown on a silicon substrate and annealed at different temperatures. Originally, the thick silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) was grown on substrate. The target material is Al-Cu. The sputtering condition is operated at 0.5-1.0-3 bar. The temperature was varied such as 100, 200, 300, 400, 500 °C for 1 hour. The Al-Cu film were then characterized their physical and electrical characteristics.

### Background

Copper metal has been used for thousands of years. The combination of physical properties such as strength, conductivity, corrosion resistance, machinability and ductility make copper suitable for a wide range of applications especially in integrated circuit manufacture. At  $40.1 \times 10^6$  S/m, copper has the second highest electrical conductivity of any element, just after silver. This high value is due to virtually all the valence electrons taking part in conduction. The resulting free electrons in the copper amount to a huge charge density of  $8.5 \times 10^{23}$  C/m<sup>3</sup>. This high charge density is responsible for the rather slow drift velocity of currents in copper cable. Aluminium is the world's most abundant metal and is the third most common element, comprising 8% of the earth's crust. The versatility of aluminium makes it the most widely used metal after steel. Aluminium is lighter than copper. Aluminium has a resistivity varying from 2.6 to  $2.8 \times 10^{-8}$  Ω·m. Combined with its light weight and alloyed with some other metals such as Cu, to make it stronger, light weight, and has a low resistivity, thus making Al-Cu alloys the best choice for electronic substrate. The aim of this research is to study the surface morphology of the Al-Cu alloy thin film.

### Materials and methods

The Al-Cu alloy thin films were prepared by radio frequency RF-magnetron sputtering system. The target material in this work is Al-Cu metal. The sputtering condition is operated at 2-5x10<sup>-3</sup> bar. The films were then deposited by RF-magnetron sputtering at room temperature followed by annealing at various temperatures in the range of 200-500 °C for 1 h in nitrogen gas. The surface and morphologies were examined and observed by SEM.

### Result, Discussion and Conclusion

Fig. 1-6 is the SEM micrograph showing the surface morphology of the Al-Cu film deposited at different annealing temperatures. For anneal temperatures of 100-200 °C, the films are very smooth. The size of the grains is smaller than 100 nm and varies little with the deposition temperature. For films deposited at 300-500 °C, relatively large grains are observed. Abnormal grain growth was not observed at all in all different annealing processes.

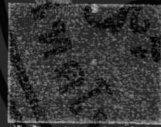


Fig.1 The surface of film annealed 100 °C



Fig.2 The surface of film annealed 200 °C



Fig.3 The surface of film annealed 300 °C

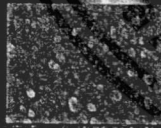


Fig.4 The surface of film annealed 400 °C

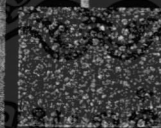


Fig.5 The surface of film annealed 500 °C

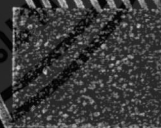


Fig.6 The surface of film annealed 500 °C

### Acknowledgments

This work was supported by National Research Council of Thailand (NRCT) and Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

### References

- [1] J.O. Beavers, Thin film physics, London : Methuen, 1970
- [2] S. Wolf and R. N. Tauber, Silicon Processing For The VLSI Era Volume 1 Process Technology, California : McGraw-Hill, 1986
- [3] Donald Smith, Thin film deposition : principles and practice, New York : McGraw-Hill, 1998
- [4] Aicha A. Alshabibi, Haid and Fred D. Barlow II, Thin Film Technology Handbook, New York : McGraw-Hill, 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติ

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นายรังสรรค์ เมืองเหลือ  
(ภาษาอังกฤษ) MR. RANGSON MUANGHLUA
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520  
โทรศัพท์ 02-739-0643 โทรสาร 02-739-0643  
E-mail kmrangso@kmitl.ac.th

## 4. ประวัติการศึกษา

วุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถาบัน
วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต วศ.ด.(วิศวกรรมไฟฟ้า)	2554	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วศ.ม.(วิศวกรรมไฟฟ้า)	2544	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาศาสตรบัณฑิต วท.บ.(วัสดุศาสตร์)	2535	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่