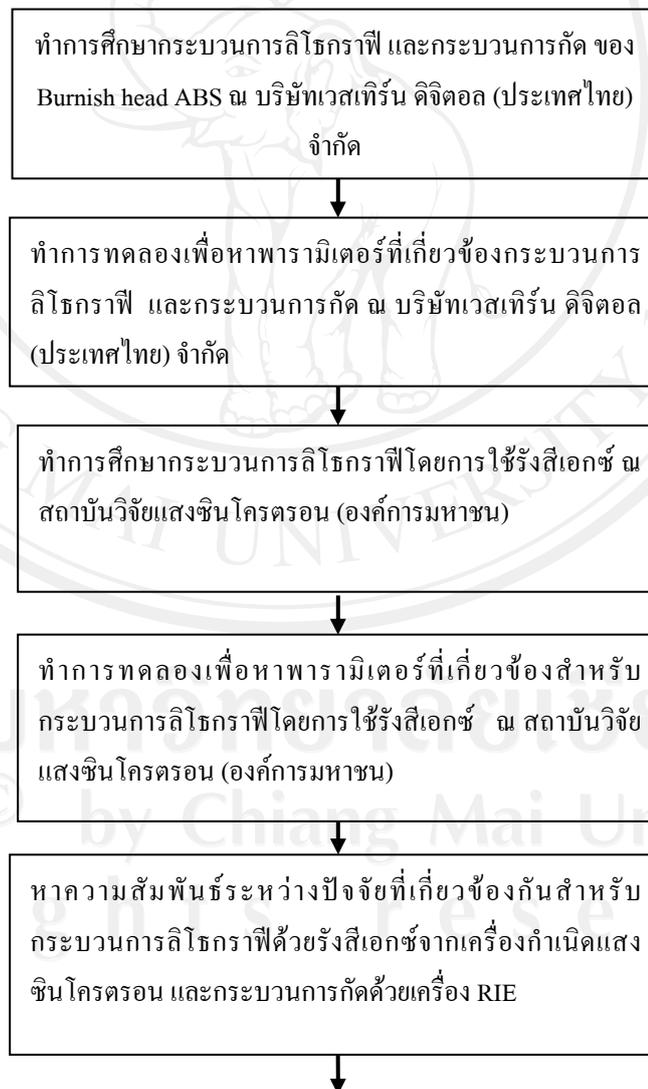
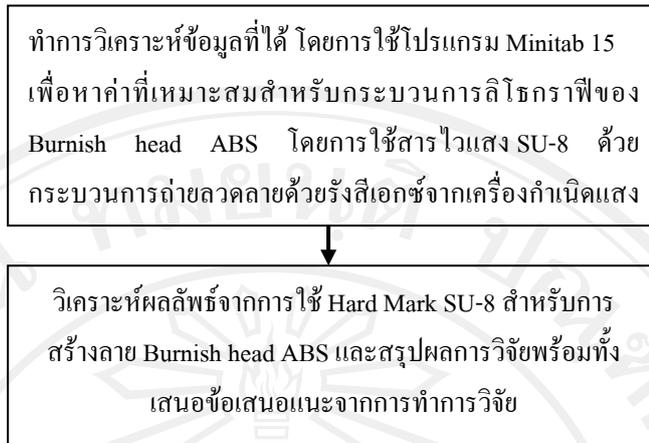


### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยจะเข้าไปทำการศึกษาในกระบวนการลิโธกราฟี (Lithography) ของการผลิต Burnish head ABS ณ บริษัทเวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และกระบวนการลิโธกราฟีโดยใช้รังสีเอกซ์ ณ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จังหวัดนครราชสีมา จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยมีแนวทางในการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.1





รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.1 การศึกษากระบวนการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี

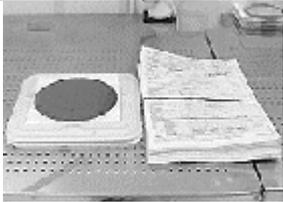
ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Specialty head แบบ Burnish head ABS ดังรูปที่ 3.2



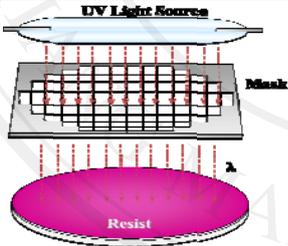
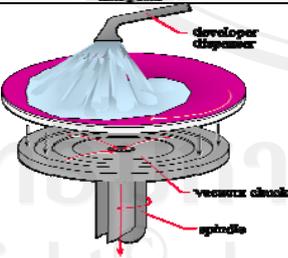
รูปที่ 3.2 ผลิตภัณฑ์ Specialty head แบบ Burnish head ABS

จากการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Specialty head จึงสามารถสรุปขั้นตอนกระบวนการผลิต ดังแสดงในตาราง 3.1

ตาราง 3.1 รายละเอียดของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Specialty head

กระบวนการ (Process)	รายละเอียด (Description)
1 	<b>Wafer Issue :</b> แผ่นเวเฟอร์ที่ได้รับการตรวจสอบแล้ว จะได้รับการกำหนด หมายเลข Lot บนใบ PT และ Map Sheet ส่งเข้าสู่สายการผลิต

ตาราง 3.1 รายละเอียดของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Specialty head (ต่อ)

กระบวนการ (Process)	รายละเอียด (Description)
2	 <p><b>Cr Deposition :</b> เป็นขั้นตอนการเคลือบโครเมียมลงบนแผ่น AITiC โดยเครื่อง Comptech M/C โดยกำหนดความหนา (Thickness Spec) ดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Burnish head 13~14 <math>\mu\text{m}.</math>(+/- 1.0 <math>\mu\text{m}</math>)</li> <li><input type="checkbox"/> Glide head 6~7.5 <math>\mu\text{m}.</math>(+/- 1.5 <math>\mu\text{m}</math>)</li> </ul>
3	 <p><b>Photo Resist :</b> ทำการเคลือบน้ำยาไวแสง ชนิดบวก AZ P4620 โดยการใช้เครื่อง Cup Spinner</p>
4	 <p><b>Hot Plate :</b> เมื่อได้ความหนาของน้ำยาไวแสงที่ต้องการจากเครื่อง Cup spinner แล้ว ก็ทำการนำไปวางเพื่อให้แข็งตัว เพื่อลดตัวทำละลายในสารไวแสง</p>
5	 <p><b>Mask Aligner :</b> เป็นขั้นตอนการสร้างลวดลาย Burnish head และ Glide head โดยการฉายแสง UV ผ่านหน้ากาก(Mask) ลงบนผิวของสารไวแสงที่เตรียมไว้</p>
6	 <p><b>Developer: SSEC :</b> เป็นขั้นตอนการล้างสารไวแสงออกส่วนที่โดนแสงจะถูกล้างออก (Positive)</p>
7	 <p><b>Oven :</b> เป็นขั้นตอนที่ทำอบชิ้นงานเพื่อให้สารไวแสงระเหย ปรับปรุงการยึดเกาะของสารไวแสง</p>

ตาราง 3.1 รายละเอียดของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Specialty head (ต่อ)

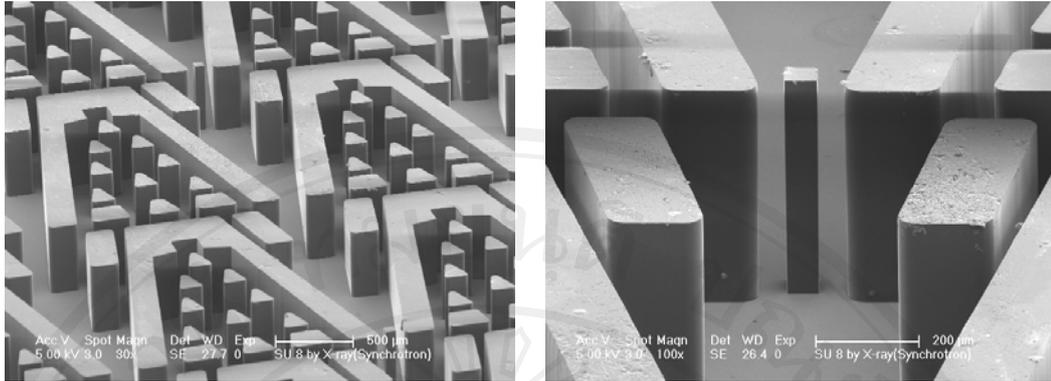
กระบวนการ (Process)	รายละเอียด (Description)
8 	<b>Development Inspection:</b> เป็นขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานหลังจากการล้างชิ้นงาน เพื่อเช็คความสะอาดของชิ้นงาน
9 	<b>Critical Dimension Measurement:</b> เป็นขั้นตอนการวัดความถูกต้องของชิ้นงาน
10 	<b>Wet Etch &amp; HM Strip Process :</b> เป็นขั้นตอนกัดโครเมียมและการล้างน้ำยาไวแสงออกให้หมด
11 	<b>RIE:</b> เป็นขั้นตอนการกัดชิ้นงาน โดยใช้หลักการการพลาสมา
12 	<b>DLC FCA COATING PROCESS:</b> การเคลือบฟิล์มบางเพื่อป้องกันการเกิดรอยก่อนนำไปตัดเป็นชิ้นงานจริง

หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลิโธกราฟี เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการสร้างลวดลาย Specialty head แบบ Burnish head ABS โดยศึกษาจากหนังสือ คู่มือ รวมทั้งสอบถามจากพนักงาน วิศวกร และผู้เชี่ยวชาญกระบวนการลิโธกราฟีซึ่งในเบื้องต้นผู้วิจัยมีปัจจัยที่อยู่ในความสนใจอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน

### 3.1.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการลิโธกราฟีด้วยการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV)

จากการศึกษากระบวนการลิโธกราฟีด้วยการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) พบว่าการสร้างลวดลาย Specialty head แบบ Burnish head ABS นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน ขั้นแรกเรา

ทำการศึกษาโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างลวดลายมีทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ 1.พลังงานที่ใช้ในการฉายแสง (Dose energy of photo exposure :  $\text{mJ}/\text{cm}^3$ ) ถ้าพลังงานที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการผิผิวของลวดลาย 2.ความหนาของสารไวแสง (Thickness of photoresist :  $\mu\text{m}$ ) สารไวแสงที่มีความหนามากจะแปรผันตรงกับพลังงานที่ใช้ในการสร้างลวดลาย 3.ขนาดของแม่แบบ (Size of patter :  $\mu\text{m}$ ) ถ้าขนาดของลวดลายมีความละเอียดสูงจะส่งผลต่อความยาก-ง่ายในการสร้างลวดลาย 4.ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับหน้ากาก (Exposed Gap :  $\mu\text{m}$ ) ถ้าระยะในการประกบชิ้นงานกับหน้ากาก (Mask) ไม่สนิทกันจะมีช่องว่างให้แสงกระจายตัวออก ส่งผลให้ลวดลายผิผิว และ 5.เวลาในการล้างสารไวแสง (Timing Developer : sec) ระยะเวลาในการล้างสารไวแสงที่นานยิ่งส่งผลต่อความคมชัดของลวดลาย โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA ดังแสดงผลในบทที่ 4 พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการลิโธกราฟีด้วยการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) คือ พลังงานที่ใช้ในการฉายแสง ( $\text{mJ}/\text{cm}^3$ ), ความหนาของสารไวแสง ( $\mu\text{m}$ ), ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับหน้ากาก ( $\mu\text{m}$ ) และ เวลาในการล้างสารไวแสง (sec) ส่วนลวดลายที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้เราใช้ลายเพียงลายเดียวนั้นคือ ลาย Burnish head ABS จึงไม่ส่งผล ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างลวดลายในครั้งนี้จะมีอยู่ 4 ปัจจัยดังกล่าว แต่เนื่องจากการใช้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอนในย่านรังสีเอกซ์และการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่าปัจจัยระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับหน้ากาก สำหรับการใช้รังสีเอกซ์นั้นเรากำหนดให้มีค่าคงที่ และค่าเวลาในการล้างสารไวแสง สำหรับการใช้รังสีเอกซ์นั้นพบว่าการล้างสารไวแสงในส่วนที่ไม่ต้องการออกสำหรับเพอริเมอรัที่เรารสร้างให้มีความถาวรคงทน การล้างจึงไม่ส่งผลต่อโครงสร้างที่อาบรังสีเอกซ์ นั่นคือถึงจะแช่ชิ้นงานในน้ำยา Develops ให้นานเพียงใดก็ไม่ส่งผลต่อโครงสร้าง เราจะดูเพียงว่าชิ้นงานถูกล้างออกหมดแล้วโดยการส่องดูจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ดังนั้นสำหรับการศึกษากระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ จะเหลือปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการสร้างลวดลาย 2 ปัจจัยหลัก คือ พลังงานที่ใช้ในการฉายแสงและความหนาของสารไวแสง ซึ่งสารไวแสงที่เราจะทำการศึกษาค้นคว้าสำหรับการสร้างลวดลายด้วยรังสีเอกซ์ เราเลือกใช้สารไวแสงชนิดลบ คือ SU-8 เนื่องจากคุณสมบัติของ SU-8 ที่ทำปฏิกิริยาได้ดีกับรังสีเอกซ์และเมื่อโดนแสงแล้ว SU-8 จะเปลี่ยนกลายเป็นเพอริเมอรัที่มีความถาวรและทนทาน โครงสร้างที่ได้จะไม่ผิผิวซึ่งผลจากการใช้ SU-8 เป็นสารไวแสงและใช้สำหรับเป็นหน้ากากแข็งสำหรับกระบวนการกัดด้วยเครื่อง RIE แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงผลจากการถ่ายภาพ SEM โดยการใช้สารไวแสงSU-8

### 3.1.2 การศึกษากระบวนการกัดโดยเครื่อง Reactive Ion Etching (RIE)

จากการศึกษาคู่มือเครื่อง RIE และสอบถามจากวิศวกรที่ดูแลเครื่องกัด RIE แล้วนั้น พบว่ามีเพียง 3 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน ได้แก่ Coil Power (Watt), Flow rate of  $CF_4$  (SCCM) และ Pressure (mTorr) ซึ่งในการวิจัยเราจะทำการกำหนดค่าสำหรับการกัดของทั้ง 3 ปัจจัยเป็นค่าคงที่ตลอดการทดลอง นั่นคือ ค่า  $CF_4$  Flow Rate =  $20 \pm 1$  sccm Chamber Pressure =  $2 \pm 0.1$  mTorr และ Power =  $250 \pm 10$  Watt ซึ่งในการวิจัยนี้เราต้องการหาค่าความคงทนของหน้ากากแข็งป้องกันการกัดละลายบนแผ่น AlTiC โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อความคงทนคือ เวลาที่ใช้ในการกัดชิ้นงาน

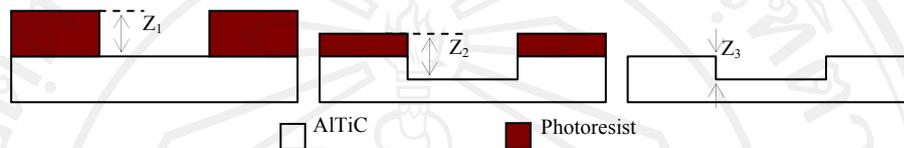
ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่ใช้สำหรับการสร้างลาย Burnish head ABS พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลอยู่ 3 ปัจจัยหลักๆ ได้แก่ 1. พลังงานในการอาบรังสีเอกซ์ ( $mJ/cm^3$ ) 2. ค่าความหนาของสารไวแสง SU-8 ( $\mu m$ ) และ 3. ระยะเวลาในการกัดชิ้นงานชิ้นงาน (min) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปัจจัยดังกล่าวจะประกอบด้วยระดับต่ำและสูงโดยผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัย ระดับ ขอบเขตและสัญลักษณ์แสดงดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 ปัจจัย ระดับขอบเขต และสัญลักษณ์สำหรับกระบวนการกัดชิ้นงาน

ปัจจัย/หน่วย	ระดับ		สัญลักษณ์
	ต่ำ (-1)	สูง (1)	
พลังงานในการอาบรังสีเอกซ์ ( $mJ/cm^3$ )	22,000	26,000	A
ค่าความหนาของสารไวแสง SU-8 ( $\mu m$ )	200	250	B
ระยะเวลาในการกัดชิ้นงานชิ้นงาน (min)	16	20	C

### 3.1.3 การศึกษาค่า Selectivity ของการกัด

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้สารไวแสงชนิดลบ นั่นคือ SU-8 ซึ่งเป็นสารไวแสงที่ทำปฏิกิริยาได้กับรังสีเอกซ์ เรานำสารไวแสงนี้มาประยุกต์ในการทำเป็นหน้ากากสำหรับการป้องกันการกัดในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดส์ ดังนั้นทางผู้วิจัยต้องทำการศึกษาค่า Selectivity สำหรับการหาอัตราส่วนระหว่างความสามารถของการกัดสารไวแสงและการกัด AlTiC ซึ่งสามารถหาได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงวิธีการคำนวณหาค่า Selectivity

$$\text{Selectivity ratio} = [Z_1 - (Z_2 - Z_3)] / Z_3 \quad (3.1)$$

$$\text{การกัดสารไวแสง (Etched photo-resist)} = Z_1 - (Z_2 - Z_3) \quad (3.2)$$

$$\text{การกัด AlTiC (Etch Depth : AlTiC)} = Z_3 \quad (3.3)$$

โดยที่

$Z_1$  คือ ความหนาของหน้ากาก

$Z_2$  คือ ความหนาของหน้ากากที่คงเหลือกับความลึกของชั้นงานที่ด้วยการกัดโดยเครื่อง RIE

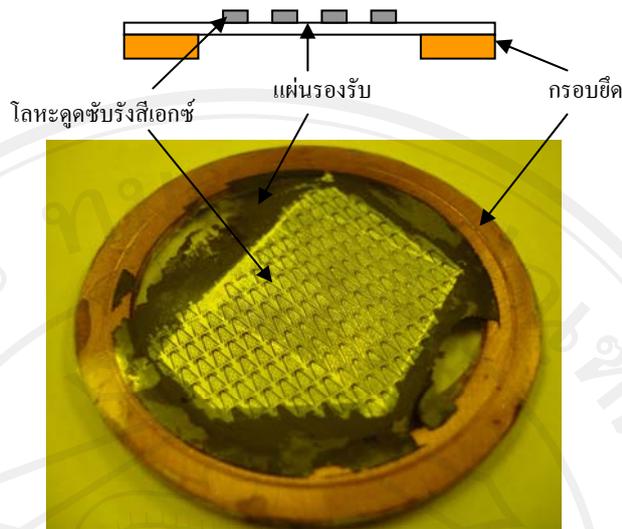
$Z_3$  คือ ความลึกของชั้นงานหลังจากผ่านการกัด

ซึ่งเราจะแบ่งการศึกษาค่า Selectivity สำหรับสารไวแสงที่จะนำมาใช้เป็นหน้ากากสำหรับการป้องกันการกัด อยู่ 3 ชนิด คือสารไวแสง AZ P4620 โลหะ Cr และสารไวแสง SU-8 ซึ่งผลการหาค่า Selectivity เป็นดังผลการทดลองในบทที่ 4

### 3.1.4 การศึกษากระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน

#### 3.1.4.1 กระบวนการสร้างหน้ากากสำหรับดูดซับรังสีเอกซ์ (X-ray Mask)

หน้ากากดูดซับรังสีเอกซ์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำหนดลวดลายของสารไวแสงที่เกิดจากการฉายแสงซินโครตรอน หน้ากากดูดซับรังสีเอกซ์จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ลวดลายโลหะดูดซับรังสี (Absorber pattern) แผ่นรองรับ (Pattern carrier) และกรอบยึด (Holder) ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบของหน้ากาคูดซับรังสีเอกซ์

โลหะที่ถูกเลือกนำมาใช้ดูดซับรังสีนั้นจะเป็นโลหะที่มีเลขอะตอมและความหนาแน่นสูง เช่น ทองคำ ตะกั่ว และเงิน ในขณะที่แผ่นรองรับจะต้องเป็นวัสดุที่ยอมให้รังสีเอกซ์ผ่านได้ดี มีเลขอะตอมและความหนาแน่นต่ำ เช่น กราไฟต์ พอลิอิมิด ซิลิคอน ไดออกไซด์ และ โพลีเอทิลีน เททาเลท (Polyethylene terephthalate, PET) ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำแผ่นใสถ่ายเอกสาร สำหรับส่วนของเฟรมยึดจะใช้วัสดุที่แข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อน เช่น วงแหวนทองแดง อลูมิเนียม และ สแตนเลส เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้โลหะเงินเป็นวัสดุดูดซับรังสี แผ่นใสทนความร้อนเป็นแผ่นรองรับ และวงแหวนทองแดงเป็นเฟรมยึด

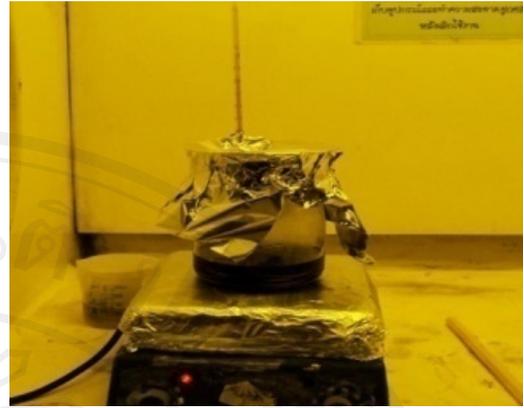
#### ขั้นตอนการสร้างหน้ากาคูดซับรังสีเอกซ์ด้วยโลหะเงินบนฐานรองรับโปร่งแสง

##### 1. ทำความสะอาดกรอบยึด

1.1 วงแหวนทองแดงที่นำมาใช้งานจะเป็นวงแหวนเก่าที่เคยผ่านการใช้งานมาแล้ว ซึ่งจะมีคราบขาว วัสดุหรือเศษโลหะติดอยู่ ดังรูปที่ 3.6 (ก) การนำเศษวัสดุที่ติดอยู่ออก สามารถทำได้โดยการลอกเศษวัสดุทั้งหมดออกด้วยมือก่อน และนำไปต้มในสารเคมี Remover PG ที่อุณหภูมิ 80°C - 120°C ดังรูปที่ 3.6 (ข) จนกว่าคราบขาวจะหลุดออกทั้งหมด หลังจากนั้นจึงล้างวงแหวนด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (IPA) และน้ำสะอาด ซึ่งจะได้วงแหวนที่สะอาดดังรูปที่ 3.6 (ค) หรืออาจจะขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อลอกคราบทั้งหมดออกมา



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3. 6 (ก) วงแหวนทองแดงมีการใช้งานแล้ว (ข) การต้มใน Remover PG และ (ค) วงแหวนที่ผ่านการลอกเศษวัสดุ

1.2 ขั้นตอนด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 โดยมีน้ำเป็นตัวหล่อลื่น สามารถทำได้ทั้งบนงานขัดที่หมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 50 รอบ/นาที ดังรูปที่ 3.7 (ก) หรือวางกระดาษทรายบนพื้นเรียบและใช้มือขัดวงแหวน โดยต้องให้ผิวด้านหนึ่งเรียบทั้งหมดดังรูปที่ 3.7 (ข) จากนั้นทำความสะอาดอีกครั้งด้วยน้ำสะอาด และกัดออกไซด์บนผิวทองแดงด้วยสารละลายกรด HCl 10% โดยปริมาตรและล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ ทำความสะอาดอีกครั้งในเครื่องซูปเปอร์โซนิคที่ระดับ 9 เป็นเวลา 5 นาที ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ กัดผิวทองแดงด้วยสารละลายกรด HCl 10% โดยปริมาตร อีกครั้ง และล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ เป่าแห้งด้วยแก๊สไนโตรเจนและอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที ดังรูปที่ 3.8 หลังจากนั้นจึงเปิดฝาเตาอบทันทีเพื่อให้อุณหภูมิลดลงเร็วขึ้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 (ก) การตัดวงแหวนทองแดงบนด้วยกระดาษทรายบนจานขัดและ (ข) พื้นผิวของวงแหวนที่ผ่านการขัด



รูปที่ 3.8 อบวงแหวนในเตาอบเพื่อกำจัดความชื้น

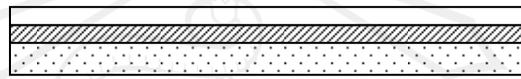
## 2. เชื่อมแผ่นใสกับวงแหวนทองแดง

2.1 วางแผ่นใสถ่ายเอกสารบนฐานกระจกหนา 5 มิลลิเมตร โดยให้เรียงลำดับการวางเริ่มจากกระดาษขาวและแผ่นใส เพื่อป้องกันผิวหน้าของแผ่นใสไม่ให้สกปรก ดังรูปที่ 3.9



(ก)

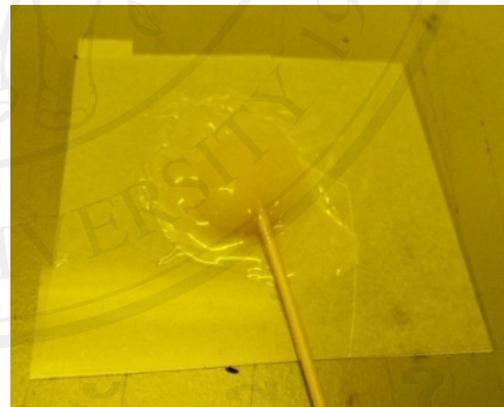
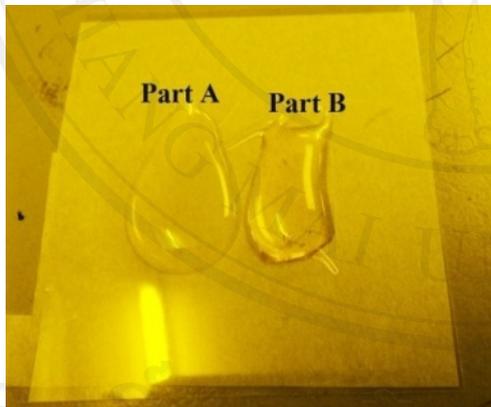
(ข)



□ กระจก      ▨ กระดาษขาว      □ แผ่นใส

รูปที่ 3.9 (ก) ลำดับการวางและ (ข) จัดเรียงให้เป็นแนวเดียวกัน

2.2 ผสมกาวอีพอกซีอัตราส่วน 1 : 1 โดยใช้แผ่นใสชิ้นเล็กๆเป็นพื้นรองในการผสม ดังรูปที่ 3.10 (ก) และคนให้เข้ากันดังรูปที่ 3.10 (ข) ด้วยแท่งวัสดุขนาดเล็กเช่น ไม้จิ้มฟันหรือแท่งหลอด



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.10 (ก) กาวอีพอกซีทั้ง 2 ส่วนอัตราส่วน 1:1 และ (ข) ผสมกาวให้เข้ากันด้วยแท่งไม้ขนาดเล็ก

2.3 ทากาวบนพื้นผิววงแหวนด้านที่โคนจัดเรียบให้ทั่ว พยายามอย่าให้กาวจับตัวเป็นก้อน ดังรูปที่ 3.11 (ก) หลังจากนั้นจึงวางด้านที่ทากาวประกบลงไปทีแผ่นใส ไม่ควรเลื่อนวงแหวนหลังการประกบและใช้ปากกีดเบาๆบนวงแหวนเพื่อช่วยให้ติดสนิทยิ่งขึ้น จัดเรียงให้เป็นระเบียบโดยให้มีระยะห่างระหว่างวงแหวนประมาณ 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.11 (ข) กาวที่ใช้เชื่อมต่อเป็นกาวใสชนิดแห้งช้า ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.11 (ก) ทากาวบนวงแหวนด้านที่ขัดเรียบและ (ข) จัดวางให้เป็นระเบียบ

2.4 ทำการตัดแยกส่วนของวงแหวนออกจากกัน โดยใช้คัตเตอร์กรีดลงไปแผ่นใสเพื่อแยกวงแหวนออกเป็นชิ้นๆ ดังรูปที่ 3.12 (ก) หลังจากนั้นจึงใช้กรรไกรตัดส่วนของแผ่นใสที่อยู่รอบวงแหวนออก โดยเว้นระยะประมาณ 1 มิลลิเมตรจากขอบวงแหวนดังรูปที่ 3.12 (ข) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยร้าวที่เชื่อมต่อยู่ด้านข้าง ซึ่งจะส่งผลให้แผ่นใสหลุดออกมาได้



(ก)



(ข)

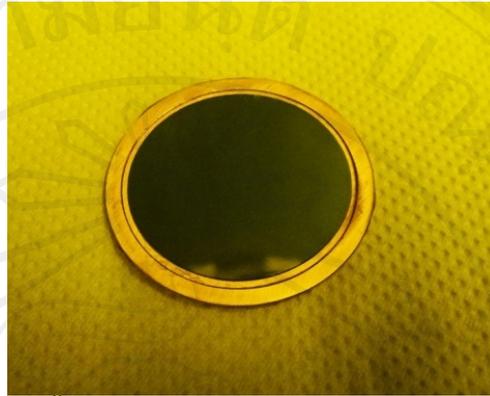
รูปที่ 3.12 (ก) ตัดแยกวงแหวนด้วยคัตเตอร์และ (ข) ใช้กรรไกรตัดแผ่นใสที่อยู่โดยรอบ

### 3. เคลือบโลหะบนแผ่นใส

3.1 ทำความสะอาดผิวหน้าของแผ่นใสด้วยสำลีชุบ IPA โดยทำการถูให้ทั่วผิวแผ่นใส หลังจากนั้นจึงใช้ปากคีบจับและล้างผิวหน้าด้วย IPA อีกครั้ง และล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์อีก 2 ครั้ง เป่าแห้งด้วยแก๊สไนโตรเจนและอบแห้งที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  ประมาณ 30 นาที

3.2 เคลือบโลหะไททานเนียมและเงิน ตามลำดับ ด้วยเครื่องระเหยโลหะในสุญญากาศ (Evaporation) โดยให้ความหนาของชั้นโลหะแต่ละชั้นประมาณ 500 อังสตรอม ( $500 \times 10^{-10}$  เมตร)

หรือใช้ชั้นไททานเนียมประมาณ 4 ชั้นและเงิน 1 ชั้น (แต่ละชั้นยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร) ชั้นงานที่ผ่านการเคลือบโลหะแล้วจะถูกทดสอบการลอกของชั้นโลหะด้วยการประกบเทปพอลิอีไมด์และลอกออก ถ้ามีชั้นโลหะหลุดออกมาด้วย จะไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ชั้นงานที่ผ่านการเคลือบโลหะแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ชั้นงานที่ทำการเคลือบโลหะไททานเนียมและเงิน

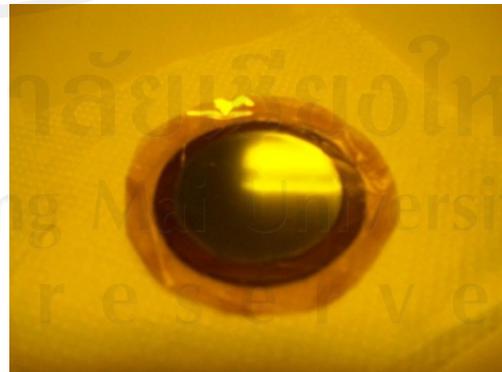
#### 4. การสร้างลวดลายสารไวแสง

4.1 นำวงแหวนที่เคลือบโลหะวางบนบนกระดาษทิชชู และใช้เทปพอลิอีไมด์ประกบรอบวงแหวน โดยให้กลุ่มพื้นที่เข้าไปด้านละประมาณ 5 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.14 (ก) และใช้กรรไกรตัดรอบด้านให้มีระยะเหลือประมาณ 1 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.14 (ข) และนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 15 นาที

\*สาเหตุที่ทำเช่นนี้เพราะในการหมუნเคลือบสารไวแสงนั้น จะมีสารไวแสงบางส่วนมาติดค้างที่ขอบของวงแหวน และเป็นชั้นฟิล์มหนากว่าบริเวณอื่นๆ ส่งผลให้การประกบหน้ากากฉายแสงไม่สมบูรณ์



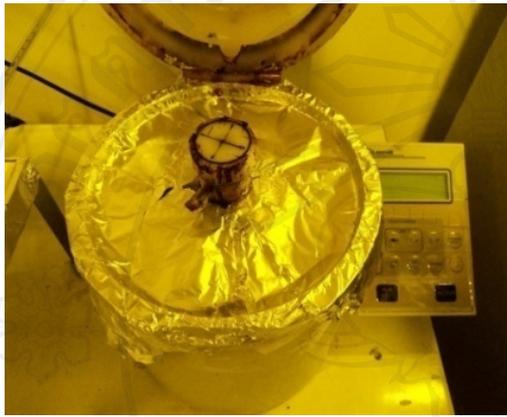
(ก)



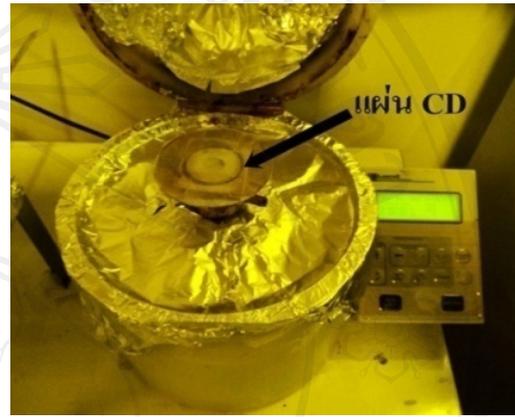
(ข)

รูปที่ 3.14 (ก) ประกบเทปพอลิอีไมด์รอบวงแหวนและ (ข) ตัดขอบบางส่วนออก

4.2 วางวางแผนบนฐานของเครื่องหมุนเคลือบสารไวแสงที่แสดงในรูปที่ 3.15 (ก) โดยเริ่มจากการประสานแผ่นซีดีบนจานหมุนดังรูปที่ 3.15 (ข) ทำการทดสอบการหมุนให้ได้สมดุลก่อนการวางวางแผนลงไปเสมอ ในการประกบติดฐานซีดีนั้นสามารถทำได้ทั้งการดูดด้วยสุญญากาศของเครื่องหมุนเคลือบ หรือยึดด้วยเทปกาว (การใช้แผ่นซีดีจะเหมาะสมกับขนาดกรอบยึดที่กว้างกว่าหัวของเครื่องหมุนเคลือบ)



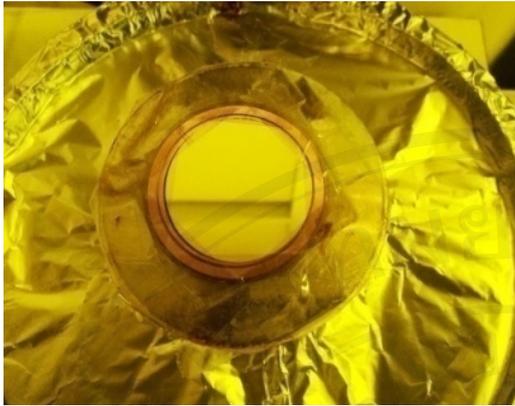
(ก)



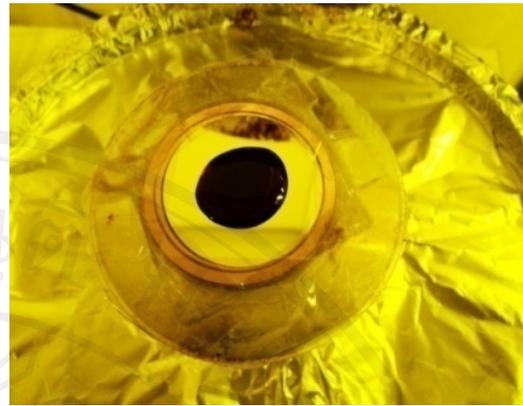
(ข)

รูปที่ 3.15 (ก) เครื่องหมุนเคลือบสารไวแสงและ (ข) วางฐานซีดีเพื่อเป็นฐานรอง

4.3 วางวางแผนบนจานหมุน โดยใช้เทปพอลิโอดีที่เลขขอบของวงวนยึดที่จานหมุนไวดังรูปที่ 3.16 (ก) หลังจากนั้นจึงหยดสารไวแสง AZ P4620 ลงไปตรงกลางชิ้นงานดังรูปที่ 3.16 (ข) และหมุนเคลือบสารไวแสงที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 วินาทีและเร่งขึ้นไปเป็น 400 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 วินาที ซึ่งจะได้ชั้นฟิล์มสารไวแสงหนาประมาณ 40 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 3.16 (ค) ทำการลอกเทปพอลิโอดีออกทันทีดังรูปที่ 3.16 (ง) วางไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาทีเพื่อให้สารไวแสงอยู่ตัวและนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 90°C ทันที เป็นระยะเวลา 4.30 ชั่วโมง และนำออกจากเตาอบทันที วางไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อให้สารไวแสงดูดความชื้นกลับเข้าไป (Rehydrate) ก่อนนำไปฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต



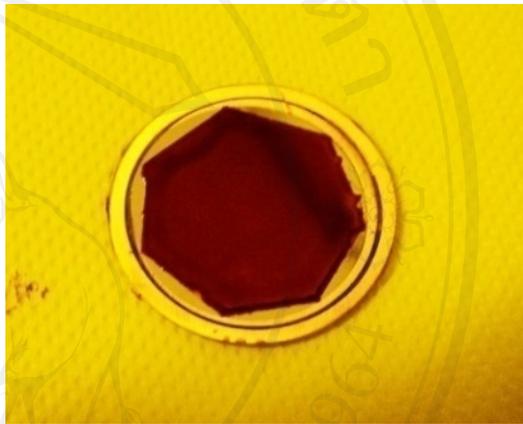
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.16 (ก) วางวงแหวนบนฐานซีดี (ข) หยดสารไวแสง AZ P4620 ที่ตรงกลางวงแหวน  
(ค) หมุนเคลือบสารไวแสงและ (ง) ลอกเทปพอลิไมต์ออก

4.4 ด้านล่างของกรอบยึดซึ่งเป็นช่องว่างจะถูกประกบด้วยชั้นกระดาษทิชชูหนาที่ตัดเป็นแผ่นวงกลมที่มีขนาดใกล้เคียงกับวงแหวนด้านใน เพื่อช่วยให้ชั้นผิวสารไวแสงประกบติดกับหน้ากาลวดลายดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ชั้นแผ่นทิชชูวงกลมหนา

4.5 นำหน้ากากกันแสงอัลตราไวโอเล็ตหรือหน้ากากละลาย (UV mask) มาวางให้อยู่ใน พื้นที่ของสารไวแสงที่หมูนเคลือบบนแผ่นใส และวางประกบที่ด้านบน โดยให้ด้านที่ยิงหมึก ประกบกับสารไวแสง ฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตด้วยพลังงานประมาณ  $5400 \text{ mJ/cm}^2$  หรือประมาณ 300 วินาที (สำหรับสารไวแสง AZ P4620 ที่หนาประมาณ 40 ไมโครเมตร แต่ต้องพิจารณาพลังงาน ของหลอดกำเนิดแสงด้วย) ภายหลังกการฉายแสง ทำการล้างสารไวแสงเพื่อให้เกิดละลายด้วย สารละลาย  $\text{KHO} : \text{H}_3\text{BO}_3$  : น้ำบริสุทธิ์ ที่อัตราส่วน  $4\text{g} : 1\text{g} : 200 \text{ ml}$  ใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที ตามด้วยน้ำบริสุทธิ์ เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนจนแห้ง ซึ่งจะได้แม่แบบขึ้นวัสดุอุดซึบรังสี เอกซ์ดังรูปที่ 3.18 (ไม่จำเป็นต้องอบอีกครั้ง เพราะจะทำให้เกิดการหลอมของสารไวแสงบางส่วน (reflow) ส่งผลให้ขนาดของลวดลายผิดเพี้ยน)



รูปที่ 3.18 หลังจากทำการล้างสารไวแสง

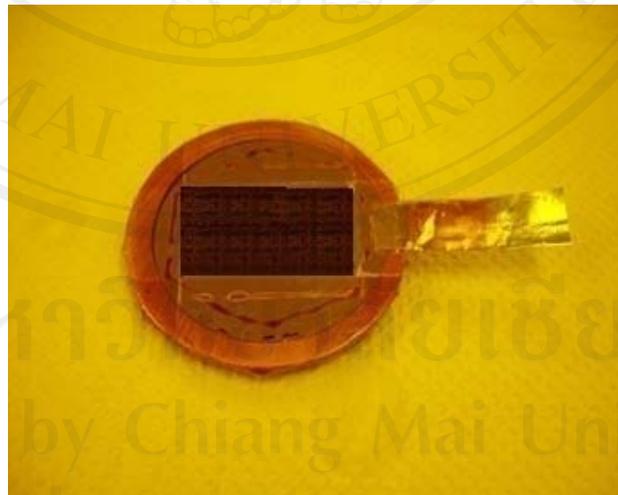
## 5. การชุบโลหะด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า

5.1 เตรียมชุดเคลือบโลหะเงินและนิกเกิลด้วยเคมีไฟฟ้าภายในโรงดูดอากาศ ซึ่งชุดทดลอง นี้ประกอบไปด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของโลหะเงิน ชุดสายไฟพร้อมปากก๊อปปี้ ขั้วแพลทินัม แอโนด เครื่องหมุนกวนสาร แท่งแม่เหล็กหมุนกวนสารละลาย ขาดังพร้อมปากก๊อปปี้ แหล่งจ่าย แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า ตัวต้านทานปรับค่าได้และนาฬิกาจับเวลา แสดงดัง รูปที่ 3.19 โดยทดสอบให้มีการไหลของกระแสไฟฟ้าประมาณ  $0.8 \text{ mA}$  เพื่อใช้เป็นค่ากระแสไฟฟ้า เริ่มต้นในการเคลือบโลหะ



รูปที่ 3.19 การติดตั้งชุบเคลือบโลหะด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า

5.2 นำวงแหวนที่ผ่านการเปิดหลอดลายมาปิดทับด้วยเทปพอลิอิมิดในส่วนที่ไม่ต้องการถูกโลหะเคลือบ พร้อมทั้งเชื่อมต่อแผ่นอะลูมิเนียมออกมาเพื่อใช้เป็นเส้นทางวงจรไฟฟ้าไปที่พื้นผิวโลหะที่เคลือบอยู่บนแผ่นใส ใช้ไม้พันสำลีและปากคิบบช่วยในการประกบเข้ากับผิวสารไวแสง ดังรูปที่ 3.20

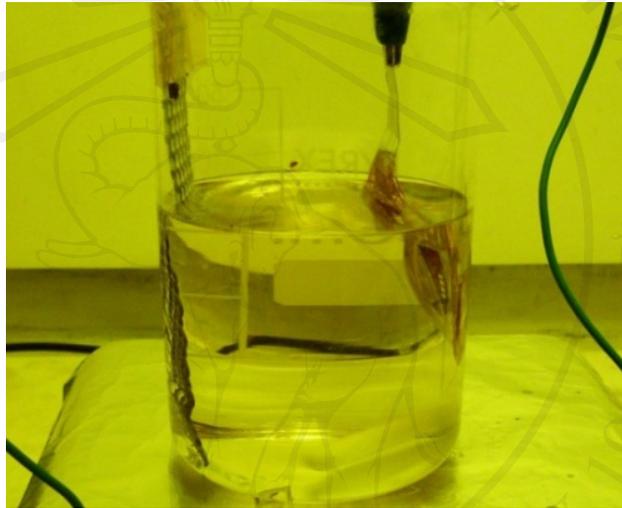


รูปที่ 3.20 ปิดส่วนที่ไม่ต้องการเคลือบโลหะด้วยเทปพอลิอิมิด

5.3 ใช้ปากคิบบของสายไฟคิบบที่แผ่นอะลูมิเนียมและจุ่มลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำบริสุทธิ์เพื่อล้างผิวหน้าชิ้นงาน ให้เฉพาะส่วนที่ต้องการเคลือบโลหะสัมผัสกับน้ำ (ไม่ต้องจุ่มลงไปทั้งหมด) หลังจากนั้นจึงนำลงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ให้ถึงบริเวณพื้นผิวที่ต้องการชุบเท่านั้นแสดงดังรูปที่ 3.21 ซึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าไหลประมาณ 0.8 mA ตามที่ตั้งเอาไว้ในตอนแรก และทำการปรับ

กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นช้าๆ โดยให้มีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุดประมาณ  $20 \text{ mA/cm}^2$  ทำการกวนสารละลายเป็นระยะ ไม่ควรปล่อยให้หมุนตลอดเวลาเพราะฟิล์มสารไวแสงอาจจะหลุดออกมาได้ ระยะเวลาในการชุบโลหะจะขึ้นกับความหนาที่ต้องการ ซึ่งอาจจะใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง หรือนำขึ้นมาตรวจสอบเป็นระยะ

ในการนำชิ้นงานขึ้นจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้น ต้องลดกระแสลงไปที่ต่ำกว่า  $1 \text{ mA}$  ก่อนทุกครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสต่อพื้นที่สูงเกินไปขณะที่นำชิ้นงานออกมา และล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ก่อนนำไปส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์

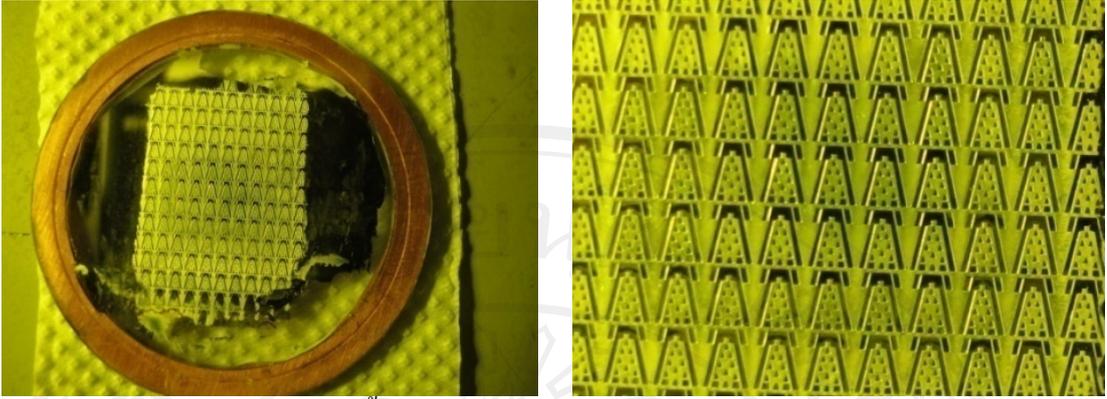


รูปที่ 3.21 การนำชิ้นงานจุ่มลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์

#### 6. การสกัดโลหะเพื่อให้ฐานรองโปร่งแสง

6.1 เตรียมสารละลายเพื่อสกัดโลหะเงิน  $\text{NH}_4\text{OH} : \text{H}_2\text{O}_2$  ที่อัตราส่วน 10 : 1 โดยปริมาตร ทำการจุ่มชิ้นงานลงไป ซึ่งสารละลายนี้จะทำปฏิกิริยากับทั้งเงินที่อยู่บนแผ่นใสและทองแดงที่เป็นวงแหวน สังเกตว่าโลหะเงินจะหายไปเหลือไว้เพียงสีของโลหะไททาเนียม ในขณะที่ลวดลายโลหะเงินที่ชุบขึ้นมาจะมีนิกเกิลเคลือบอยู่เพื่อป้องกันความเสียหาย ล้างชิ้นงานด้วยน้ำบริสุทธิ์

6.2 สกัดชั้นโลหะไททาเนียมออกด้วยสารละลายกรด  $\text{HF}$  5% โดยปริมาตร ซึ่งจะเหลือไว้เพียงลวดลายของโลหะเงินที่มีนิกเกิลเคลือบอยู่ และฐานรองจะโปร่งแสงดังรูปที่ 3.22 ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์และเป่าแห้งด้วยแก๊สไนโตรเจน



รูปที่ 3.22 สกัดชั้น โลหะเงินและไททานเนียมเพื่อให้ได้ฐานรองโปร่งแสง

6.3 ตรวจสอบความหนาของชั้นวัสดุเคลือบรังสีเอกซ์ด้วยเครื่อง Veeco® และทำการบันทึกค่าความหนาเพื่อนำไปใช้ในการอาบรังสีเอกซ์ต่อไปดังรูปที่ 3.23 ซึ่งจากการวัดค่าด้วยเครื่องดังกล่าว พบว่าความหนาของวัสดุเคลือบที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ 30  $\mu\text{m}$



รูปที่ 3.23 แสดงการใช้เครื่อง Veeco® เพื่อวัดความหนาของวัสดุเคลือบรังสีเอกซ์

#### 3.4.1.2 วิธีการเตรียมความหนาของสารไวแสง SU-8 สำหรับเคลือบแผ่น AITiC เพื่อนำไปอาบรังสีเอกซ์ (Substrate)

การเตรียมชั้นสเตรต มีขั้นตอนการเตรียมการดังต่อไปนี้

1. นำแผ่น AITiC ขนาด 6 นิ้ว มาตัดให้มีขนาด 1x1 นิ้ว ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงการตัดแผ่นAITiC

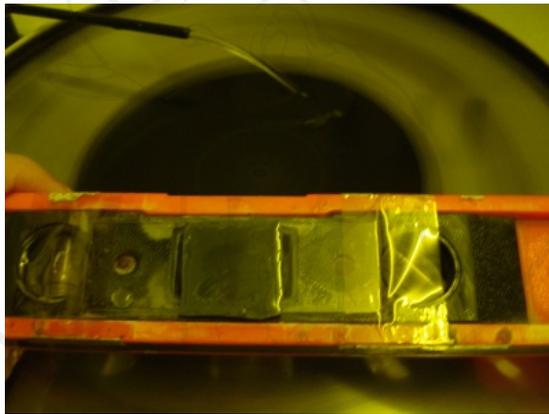
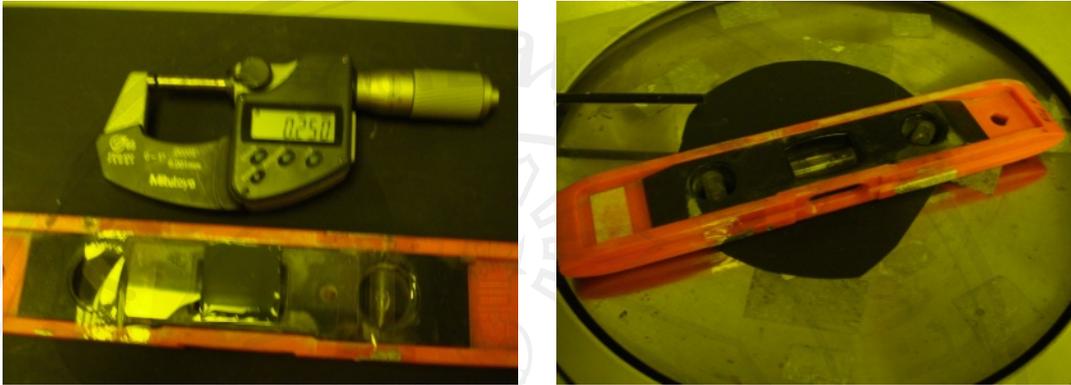
2. นำแผ่น AITiC มาทำความสะอาด เพื่อขจัดคราบสกปรกที่อาจตกค้างที่แผ่น โดยการใช้ IPA ราดบนแผ่น AITiC ให้รอบแผ่น แล้วนำสำลีก้อนมาขัดแผ่นให้รอบหรืออาจใช้ผ้าชุบ IPA เช็ดให้สะอาด จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ (DI) 3 น้ำ ดังรูปที่ 3.25 แล้วนำไปเป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนพอดหมด นำเข้าสู่อบที่ 85 °C นาน 30 นาที เพื่อไล่ความชื้นออกจากแผ่นทั้งหมด



รูปที่ 3.25 การล้างแผ่นAITiC

3. หลังจากทำความสะอาดแผ่นเรียบร้อยแล้ว นำแผ่นที่เตรียมวางบนฮอตเพลท (Hot plate) ที่อุณหภูมิ 60 °C เพื่อให้เวลาเราทำการหยอดสารไวแสง SU-8 จะทำให้สารไวแสง SU-8 มีความเหลวมากขึ้น สามารถเกลี่ยให้เรียบ และเพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ เมื่อทำการหยอดสารไวแสงเสร็จเรียบร้อยแล้ว ปรับอุณหภูมิ จนถึงอุณหภูมิที่ 95 °C นาน 22 ชั่วโมง เพื่อให้สารไวแสงแข็งตัว

4. เมื่อได้สารไวแสงที่แข็งตัวเรียบร้อยแล้ว ทำการขัดสารไวแสง เพื่อให้ได้ความหนาตามที่เราต้องการ โดยใช้กระดาษทรายละเอียดเบอร์ 400 ใช้วิธีการขัดแบบน้ำ ดังรูปที่ 3.26

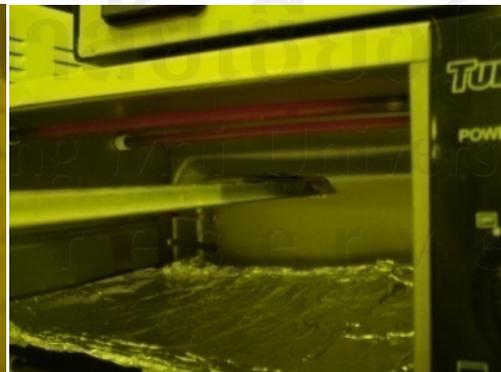


รูปที่ 3.26 แสดงวิธีการขัดขัดสเตรคด้วยวิธีการขัดแบบน้ำ

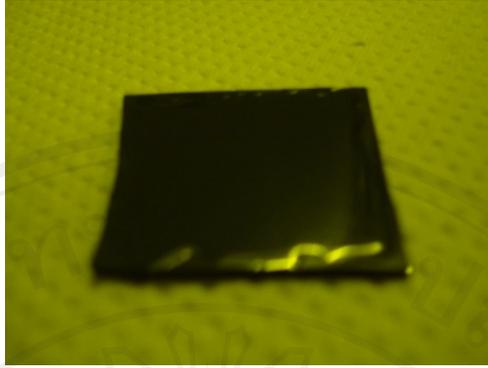
5. เมื่อทำการขัดผิวชิ้นงานให้ได้ความหนาตามที่เราต้องการได้แล้ว นำไปสิ่งที่เตาอบสังกะสีหน้า SU-8 เมื่อเห็นว่ามีควมใสเรียบร้อยแล้ว ดังรูปที่ 3.27 ก็ทำการเก็บชิ้นงานสำหรับนำไปฉายรังสีเอกซ์ต่อไป



(ก)



(ข)

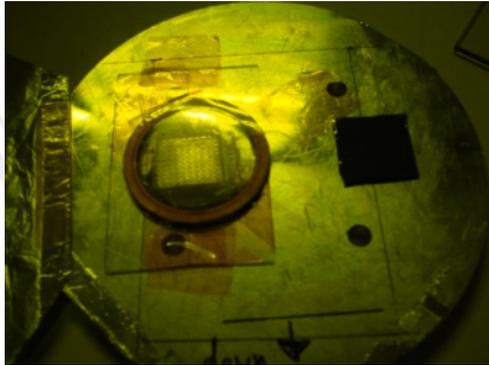


(ค)

รูป 3.27 (ก) แสดงรูปชั้นสเตรคหลังจากการขัด (ข) แสดงรูปการนำชั้นสเตรคฝั่งเพื่อให้ผิวหน้าของ SU-8 เรียบ (ค) แสดงรูปชั้นสเตรคหลังจากการผ่านความร้อนเตรียมพร้อมนำไปฉายแสง

### 3.1.4.2 วิธีการฉายแสงรังสีเอกซ์ (X-ray Exposure)

เมื่อทำการเตรียมชั้นสเตรคเรียบร้อยแล้ว จะนำชิ้นงานไปประกบกับหน้ากากกันรังสีเอกซ์ที่สร้างขึ้น เข้าไปฉายรังสีเอกซ์ ณ ระบบลำเลียงแสงที่ BL6: DXL ดังรูปที่ 3.28

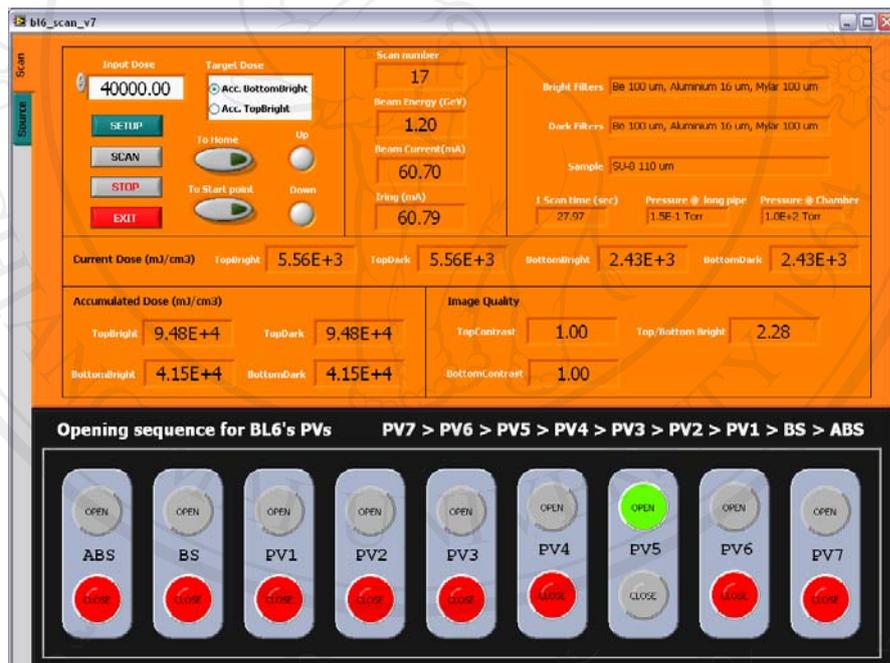


รูปที่ 3.28 แสดงการนำชิ้นงานที่เตรียมไว้เพื่อทำการฉายแสง X-ray ณ ระบบลำเลียงแสงที่ BL6:

Deep X-ray Lithography (DXL)

### ลำดับขั้นตอนการฉายแสง

1. เข้าโปรแกรม BL6 จากนั้นทำการเข้า Set up ค่าของชั้นสเตรตซึ่งจะทำการใส่ค่าข้อมูลลำดับการถูกแสงมีทั้งหมด 4 ค่า ดังนี้
  - 1.1 Be ค่าความหนาเท่ากับ 100  $\mu\text{m}$
  - 1.2 Aluminum ค่าความหนาเท่ากับ 16  $\mu\text{m}$
  - 1.3 Mylar ค่าความหนาเท่ากับ 100  $\mu\text{m}$
  - 1.4 Silver ค่าความหนาเท่ากับ 30  $\mu\text{m}$
2. กำหนดค่าความหนาของ SU-8 ที่เรากำหนดไว้ จากนั้นกด Build และ OK
3. กำหนดค่าความเข้มของพลังงานรังสีเอกซ์ ตรงที่ Input Dose จากนั้นรอกคลำดับการเปิด-ปิดวาล์ว ดังรูปที่ 3.29

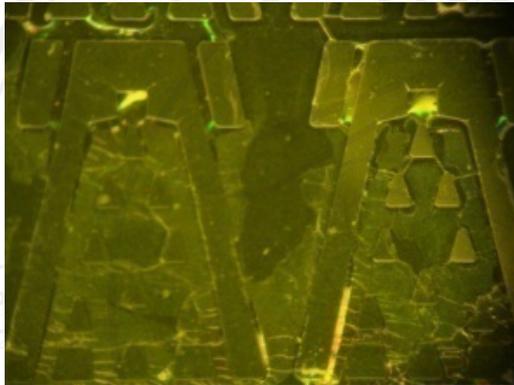


รูปที่ 3.29 แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการฉายรังสีเอกซ์

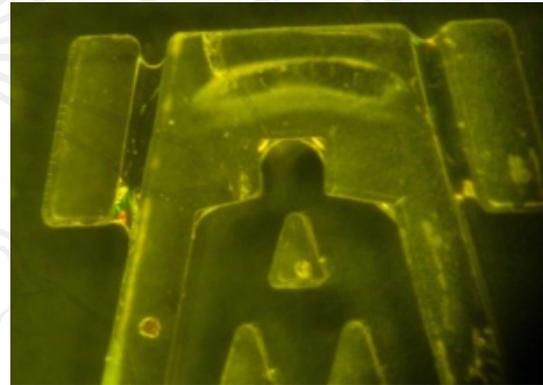
#### 3.1.4.3 ขั้นตอนการล้างสารไวแสง (Developer)

เมื่อทำการฉายแสงรังสีเอกซ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 85 °C นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตามอุณหภูมิห้อง เพื่อให้บริเวณที่โดยอบรังสีเอกซ์แข็งตัว จากนั้นทำการล้างสารไวแสงด้วย SU-8 Developer แช่ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วล้างด้วย IPA หากสารไวแสงที่ถูกล้างออกไปหมด จะไม่มีคราบขาวเกิดขึ้น หากมีคราบขาวเกิดขึ้นทำการแช่ SU-8 Developer ทิ้งไว้จนกว่าจะไม่เกิดคราบสีขาวแล้ว จากนั้นใช้ก๊าซไนโตรเจนเป่าให้แห้ง แล้ว

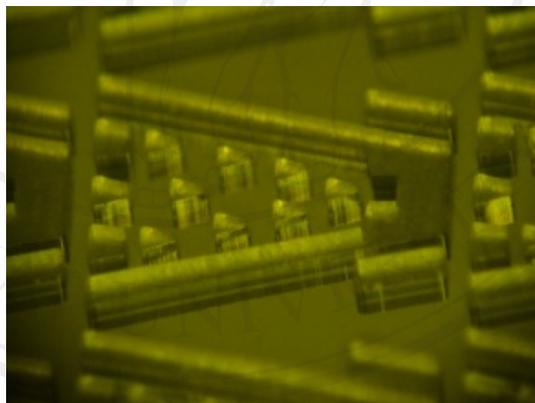
นำไปส่องด้วยกล้องไมโครสโคป เพื่อตรวจสอบชิ้นงานที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.30 สารไวแสงที่ได้รับพลังงานน้อยกว่าที่ต้องการ (Under Dose) โครงสร้างที่ปรากฏจะมีลักษณะเอียงหรือหลุดออกจากฐานดังรูปที่ 3.30 (ก) ในขณะที่โครงสร้างที่ได้รับพลังงานมากกว่าไป (Over Dose) จะมีลักษณะสารไวแสงที่อยู่ด้านล่างโลหะดูชัดรังสีจะล้างออกไม่หมด ดังรูปที่ 3.30 (ข) โครงสร้างที่ได้รับพลังงานที่เหมาะสมจะเป็นโครงสร้างที่มีผนังแนวตั้งและได้โครงสร้างที่แม่นยำตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3.30 (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.30 ก. โครงสร้างที่ได้รับพลังงานน้อยเกินไป ข. โครงสร้างที่ได้รับพลังงานมากกว่าไป ค. โครงสร้างที่ได้รับพลังงานเหมาะสม

หลังจากทำการล้างสารไวแสงเรียบร้อยแล้ว ได้โครงสร้างตามที่ต้องการ นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 95 °C นาน 30 นาที เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่โครงสร้าง

#### 3.1.4.4 ขั้นตอนการกัดชิ้นงานโดยเครื่อง RIE

หลังจากได้เราได้ชิ้นงานที่ได้โครงสร้างของหน้ากากแข็งจากสารไวแสง SU-8 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว เราจะนำชิ้นงานที่เตรียมไว้มากัดโดยเครื่อง RIE ณ บริษัทเวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศ

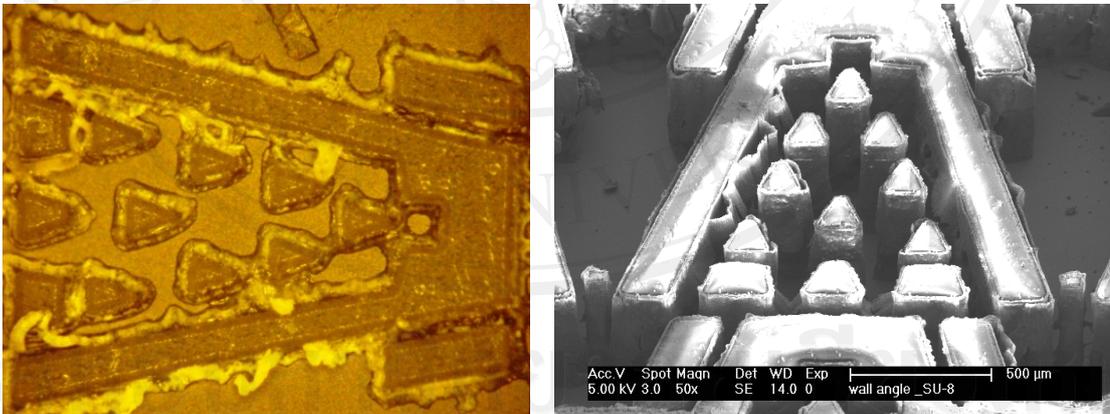
ไทยจำกัด) โดยก่อนที่จะนำมากัด ควรวัดค่าความหนาของสารไวแสง SU-8 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดความหนาโดยเครื่อง Veeco ดังรูปที่ 3.31 จากนั้นทำการนำชิ้นงานมากัดโดยเครื่อง RIE ซึ่งเราจะทำการกำหนดค่าตัวแปรสำคัญในการกัดชิ้นงานคือ ค่า  $CF_4$  Flow Rate =  $20 \pm 1$  sccm Chamber Pressure =  $2 \pm 0.1$  mTorr และ Power =  $250 \pm 10$  ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของการกัดชิ้นงาน Burnishing head ดังรูป 3.32 โดยการทดลองนี้เราจะกำหนดค่าระยะเวลาในการกัด เพื่อศึกษาดูว่าระยะเวลาใดที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานที่ทำการเคลือบหน้าถากโดยการใช้สารไวแสง SU-8 ซึ่งผลการทดลองการกัดดูจากตารางที่ 4.6 เมื่อทำการกัดชิ้นงานแล้ว และจะพบว่าระหว่างกระบวนการกัดชิ้นงานจะปฏิกิริยาระหว่างตัวชิ้นงานเองนั่นคือ AlTiC กับก๊าซที่ใช้ในการกัดนั่นคือ  $CF_4$  ซึ่งทำให้เกิด  $AlF_3$  ดังรูปที่ 3.33 หลังจากทำการกัดโดยเครื่อง RIE เรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานไปล้าง  $CF_4$  ด้วยการแช่ด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.05 5 นาที จากนั้นทำการขัดชิ้นงานเบาๆ โดยแปรงขัดขนอ่อน 2 นาที เมื่อทำการขัด  $CF_4$  เรียบร้อยแล้ว นำไปล้างด้วยน้ำ DI ให้น้ำไหลรินลงชิ้นงาน 2 นาที และสุดท้ายทำการเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน เบาเบาๆ เพื่อป้องกันการเสียหาย จะได้ชิ้นงานดังรูปที่ 3.34 จากนั้นนำชิ้นงานไปล้างสารไวแสงออกในสารละลาย Remover PG จะได้ชิ้นงานดังรูป 3.35 จากนั้นนำชิ้นงานไปเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน และทำการวัดความลึกของ AlTiC ด้วยเครื่อง Veeco อีกครั้ง และวัดค่า CD ด้วยเครื่อง Precis 200 ซึ่งผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.9



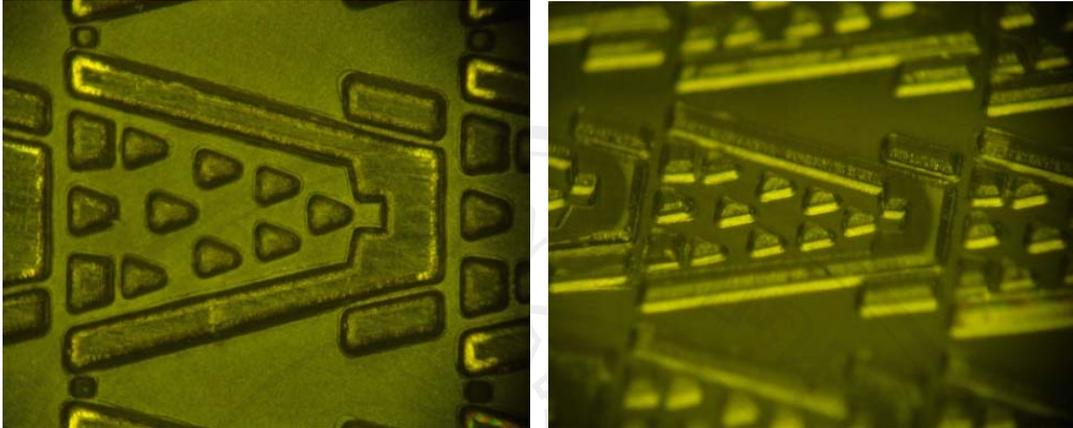
รูป 3.31 แสดงเครื่อง Veeco ที่ใช้สำหรับวัดความหนาหน้าถาก SU-8

Process Parameters (BURNISH)							
Set				Meas.			
A: ARGON	Ar	Sccm	0.0	B: OXYGEN	O2	Sccm	0.0
C: CF4	CF4	20.0	20.1	D: NITROGEN	N2	Sccm	0.0
E: HYDROGEN	H2	Sccm	0.0	F:		Sccm	0.0
G:		Sccm	0.0	H:		Sccm	0.0
Set				Meas.			
Gas Stabilisation Time		01:00		RF Forward Power ( Coil )	200	Watts	200
Chamber Pumpout Time		00:30		Reflected Power		Watts	0
Chamber Base Pressure		0.0		Load Position	51.0	%	41.2
Chamber Process Pressure	2.0	mTorr	1.9	Tune Position	50.0	%	33.6
APC Angle	0.0	deg	47.8	Cycle Time	00:00:00.0		
Chamber Peak-to-Peak Voltage		Volts	125	RF Forward Power ( Platen )	250	Watts	251
Chamber Bias Voltage		Volts	426	Reflected Power		Watts	0
Enter Forward Power for High RF Source Arrow keys to position cursor				Load Position	70.0	%	76.5
F6 Mainmenu F7 Minic				Tune Position	60.0	%	58.9
				Cycle Time	03:30:00.0		
				Process Time	03:30:00		
				BURNISH: GH-18-1			
				Process Countdown	00:26:06		
				F1 ABORT	F2 RESUME		

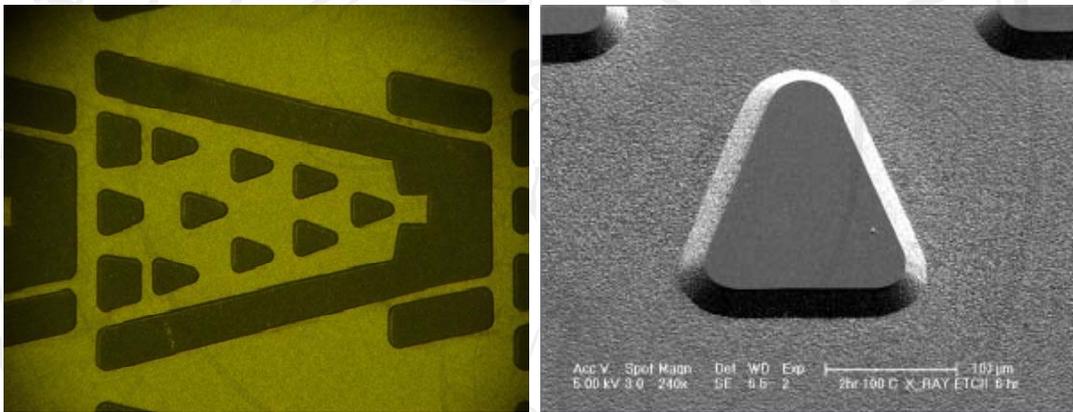
รูป 3.32 แสดงผลการพารามิเตอร์การกัดด้วยเครื่องRIE ของชิ้นงานBurnish



รูป 3.33 แสดงการเกิด AIF, ระหว่างที่นำชิ้นงานไปกัดด้วยเครื่อง RIE



รูป 3.34 แสดงรูปชิ้นงานที่ทำการล้าง  $\text{AlF}_3$  ออกด้วย  $\text{NaOH}$



รูป 3.35 แสดงรูปชิ้นงานที่ล้างสารไวแสงออกในสารละลาย Remover PG

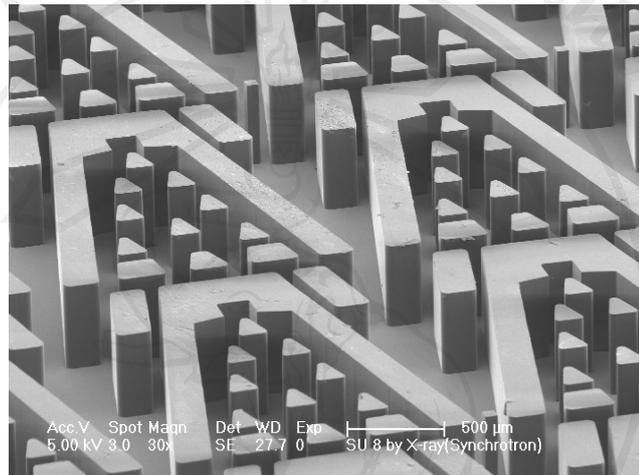
### 3.2 การเลือกการออกแบบการทดลอง

ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองตามหลักการออกแบบการทดลองแบบดั้งเดิม (Classical DOE) เนื่องจากมีจำนวนของปัจจัยเพียง 3 ปัจจัย, กำหนดระดับขอบเขตเพียง 2 ระดับ และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง และทำการทดลองที่จุด Center Point อีก 4 ครั้ง ทำให้มีจำนวนชุดการทดลองเพียง 20 ชุดเท่านั้น ซึ่งสามารถทำการผลิตจริงได้ โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองตามค่าที่ได้กำหนดไว้ ดังตารางที่ 3.2 ส่วนการกัดผู้วิจัยได้ทำการใช้เครื่อง RIE#2 ในการทดลองตลอดการทดลองเนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องแต่ละเครื่องจากการสอบถามผู้ปฏิบัติการและผู้เชี่ยวชาญพบว่า แต่ละเครื่องมีประสิทธิภาพในการกัดไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อป้องกันการความผิดพลาดจากการใช้เครื่องจึงทำการระบุเครื่องในการกัด

### 3.3 ผลตอบของกระบวนการ

หลังจากทำการทดลองจากการออกแบบที่ได้กำหนดตามแนวทฤษฎีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) จำนวน 2 การทำซ้ำแล้ว ผู้วิจัยทำการวัด (Metrology) เพื่อทำการวัดค่าผลตอบของมิติวิกฤต (Critical Dimension : CD) และความลึกของการกัด (Etch Depth)

นอกจากนั้นแล้วผู้วิจัยยังได้ส่งชิ้นงานที่ผ่านการกัดแล้วไปทำการถ่ายภาพละเอียดด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) แสดงดังตัวอย่างได้ดังรูป 3.6



รูป 3.6 แสดงตัวอย่างผลตอบ ที่ได้จากการถ่ายภาพ SEM

### 3.4 การวิเคราะห์ผลตอบในรอบของการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวน

หลังจากทำการทดลองตามเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) จำนวน 2 การทำซ้ำ (16 การทดลอง) เสร็จแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลตอบได้แก่ ค่ามิติวิกฤต (Critical Dimension : CD) และค่าความลึกของการกัด (Etch Depth) เพื่อยืนยันว่าปัจจัย 3 ปัจจัยนี้มีผลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ และเพื่อหาอันตรกิริยาที่มีผลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญโดยผู้วิจัยได้ทำการสร้างกราฟเชิงสถิติ (Statistical Graphic Summary) และกราฟการวิเคราะห์แปรปรวนแบบพาราโต (Pareto ANOVA) เพื่ออธิบายธรรมชาติของข้อมูลการทดลอง

### 3.5 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองจากเทคนิคการออกแบบการทดลอง

หลังจากได้แบบจำลองเบื้องต้นของกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแล้ว ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองดังกล่าว ว่าสอดคล้องกับสมมติฐานเบื้องต้นในการออกแบบการทดลอง ทั้ง 3 ข้อดังนี้

- 1) ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)
- 2) ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption) ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ
- 3) ส่วนตกค้างต้องมีการกระจายตัวอิสระ (Independence Assumption) ไม่แปรผันตามปัจจัยหรือลำดับการทดลอง

### 3.6 สรุปและเปรียบเทียบผลการทดลอง

ขั้นตอนนี้เป็นสรุปเปรียบเทียบผลการทดลองและผลการวิเคราะห์จากขั้นต่างๆทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง กับกรออกแบบการทดลองเพื่อการสร้างแบบจำลองและการหาค่าที่เหมาะสมในการสร้างลวดลายสำหรับ Specialty head แบบ Burnish head ABS โดยการใช้สารไวแสง SU-8 ด้วยกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน