

การศึกษาลักษณะเชิงโครงสร้าง ความแข็งแรง และสมบัติการกัดกร่อนของฟิล์ม
บางโครเมียมไนไตรด์ที่เตรียมโดยวิธีสปัตเตอริงด้วยกระแสตรง

THE STRUCTURAL, MECHANICAL, AND CORROSION
PROPERTIES OF CHROMIUM NITRIDE THIN FILM PREPARED
BY REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติเชิงกล และสมบัติการกัดกร่อนของฟิล์ม
บางโครเมียมไนไตรด์ที่เตรียมโดยวิธีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง

**THE STRUCTURAL, MACHANICAL AND CORROSION
PROPERTIES OF CHROMIUM NITRIDE THIN FILM PREPARED
BY REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING**



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

**THE STRUCTURAL, MACHANICAL AND CORROSION
PROPERTIES OF CHROMIUM NITRIDE THIN FILM PREPARED
BY REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE**

IN APPLIED PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติเชิงกล และสมบัติการกัดกร่อนของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่เตรียมโดยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกเนตรอนสเปตเตอริง

The structural, mechanical and corrosion properties of Chromium nitride thin film prepared by reactive dc magnetron sputtering.

ชื่อนักศึกษา นายภาณุวัฒน์ ทองเกต

นายอภิสิทธิ์ ศรีวิภาสถิตย์

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ราชศักดิ์ สักदानุภาพ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ภัทธรียา กิตติเดชาชาญ	
ดร. กฤษกร โฉมเจริญรัตน์	
ดร. วิฑูรย์ ยินดีสุข	
ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก	
ดร.ราชศักดิ์ สักदानุภาพ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติเชิงกล และสมบัติการกัดกร่อนของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่เตรียมโดยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง

ชื่อนักศึกษา นายภานุวัฒน์ ทองเกต
นายอภิสิทธิ์ ศรีวิภาสถิตย์

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา 2557

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อาภาภรณ์ สุกุลการะเวก

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ราชศักดิ์ สักदानุภาพ

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ถูกเตรียมลงบนสแตนเลส 304 โดยวิธีดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนสปีดเตอริง อิทธิพลของไนโตรเจนถูกตรวจสอบเพื่อให้ได้เงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการประยุกต์เพื่อการเคลือบแข็ง ความต้านย่อยของไนโตรเจนตั้งแต่ 10% - 50% ถูกใช้เพื่อให้ได้ฟิล์มบาง CrN ที่หนา 5 μm คุณสมบัติเชิงโครงสร้าง พื้นผิว และคุณสมบัติทางความแข็งของฟิล์มถูกวิเคราะห์โดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ ตามลำดับ คุณสมบัติการกัดกร่อนของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์วัดจากเครื่องโพเทนทิโอสเตทโดยมีน้ำสับปะรดเป็นสารละลาย ผลจากสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์แสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีโครงสร้างเป็นแบบ Face-centered cubic ซึ่งมีระนาบที่โดดเด่นคือ (111) และ (200) ความต่างศักย์การกัดกร่อนเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณสมบัติในการกัดกร่อนซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง -0.273 ถึง -0.440 โวลต์ โดยมีความต้านไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ความต่างศักย์ในการกัดกร่อนที่มีค่าสูงสุดและกระแสนการกัดกร่อนที่มีค่าต่ำสุดที่ความต้านย่อยไนโตรเจน 30% แสดงให้เห็นว่าฟิล์มสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีที่สุดและที่ความต้านย่อยไนโตรเจน 40% ฟิล์มจะมีความแข็งมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : ฟิล์มบาง CrN_x, รีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง, การกัดกร่อน, ความแข็ง

Title	The structural, mechanical and corrosion properties of Chromium nitride thin film prepared by reactive dc magnetron sputtering.
Students	Panuwat Thongkate Apisit Sriwipasatit
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Applied Physics
Academic Year	2557
Advisor	Dr.Apaporn Sakulkalavek
Co-Advisor	Dr.Rachsak Sakdanupab

ABSTRACT

In this work, chromium nitride (CrN) thin films were prepared on stainless steel (AISI 304) substrates by DC reactive magnetron sputtering technique. The effects of nitrogen (N₂) were investigated in order to obtain the optimize conditions for hard-coating application. The N₂ partial pressures of 10% -50% were used to achieve 5 μm thick CrN films. The structural, surface morphological and hardness properties of the films were characterized by using x-ray diffraction (XRD), Scanning electron microscopy (SEM) and Vickers hardness method, respectively. Corrosion property of CrN thin films in pineapple juice solution was measured with a DC potentiostat. The XRD spectra of the films showed face-centered cubic structure with (111) and (200) preferred orientations, positively identifying them as CrN thin films. The films corrosion potential, an indicator of their corrosion property, varied from -0.273 to -0.440 volts with varying nitrogen pressure. The most corrosion resistant film, exhibiting the highest corrosion potential and the lowest corrosion current, was the one fabricated at N₂ partial pressures of 30%. Finally, the highest hardness was obtained at N₂ partial pressures of 40%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords: CrN_x thin films, Reactive dc magnetron sputtering, Corrosion, Hardness

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.อาภาภรณ์ สกุตการะเวก อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิดและคอยแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้โครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.ราชศักดิ์ สักคานุภาพ อาจารย์ประจำวิทยาลัยนวัตกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ร่วมที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และสอนการใช้งานเครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการพิเศษนี้ตลอดมา

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนได้นำความรู้ที่ได้อ่านมาใช้ในการทำโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทและเพื่อนนักศึกษาปริญญาตรีที่คอยเป็นกำลังใจ ช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ จนโครงการพิเศษนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในการศึกษาตลอดมาจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ภาณุวัฒน์ ทองเกต

อภิสิทธิ์ ศรีวิภาสถิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สมบัติของฟิล์มบาง โครเมียมไนไตรด์	4
2.2 สปีตเตอริง (sputtering)	6
2.2.1 ดีซีหรืออาร์เอฟสปีตเตอริง (dc or rf sputtering)	6
2.2.2 แมกนีตรอนสปีตเตอริง (magnetron sputtering)	7
2.2.3 รีแอคทีฟสปีตเตอริง (reactive sputtering)	8
2.3 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffraction)	8
2.3.1 การกำเนิดรังสีเอ็กซ์ภายในเครื่อง XRD	9
2.3.2 หลักการทำงานของเครื่อง XRD	10

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)	11
2.4.1 โหมดของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electrons)	13
2.4.2 โหมดของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Back-scattered electrons)	13
2.5 การวัดความแข็ง (Hardness Testing)	13
2.5.1 การทดสอบความแข็งแบบ Brinell	14
2.5.2 การทดสอบความแข็งแบบ Rockwell	15
2.5.3 การทดสอบความแข็งแบบ Rockwell superficial	15
2.5.4 การทดสอบความแข็งแบบ Vickers	15
2.5.5 การทดสอบความแข็งแบบ Knoop	17
2.6 กระบวนการกัดกร่อน (Corrosion)	18
2.6.1 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion)	19
2.6.2 การวัดศักย์ไฟฟ้าในการกัดกร่อน ความหนาแน่นของ กระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนและอัตราการกัดกร่อน	20
2.6.3 เส้นโพลาริเซชัน	22
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี	24
3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์	26
3.3 ขั้นตอนการใช้เครื่องในการเตรียมฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ (CrN _x)	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	
4.1 การวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction (XRD)	36
4.2 การวิเคราะห์ความหนาด้วยเครื่องSEM	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ขึ้นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำขึ้นไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 การวิเคราะห์ด้วย Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS)	43
4.4 การทดสอบความแข็ง	45
4.5 ทดสอบกระบวนการกัดกร่อน (corrosion)	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก ก ส่วนประกอบของระบบสปีดเตอริง	52
ภาคผนวก ข การหามุมเฉื่อยบนของรังสีเอกซ์ในฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินงาน	2
3.1 เงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์	27
3.2 เวลาในการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมลงบนแผ่นสแตนเลส 304	34
3.3 เวลาการเคลือบโครเมียมไนไตรด์ลงบนแผ่นสแตนเลส 304	34
4.1 ค่าระยะห่างระหว่างระนาบ ขนาดของผลึก และค่าคงที่ผลึก	38
4.2 อัตราการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ในแต่ละความดัน ย่อยแก๊สไนโตรเจน	39
4.3 เวลาการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ในอัตราส่วนความดัน ย่อยไนโตรเจนต่างๆ	40
4.4 เปอร์เซ็นต์อะตอมของโครเมียมและไนโตรเจนในฟิล์มบาง CrN_x	44
4.5 ผลทดสอบความแข็งของแผ่นสแตนเลส 304 และฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50%	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (a) การจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกแบบ fcc	4
2.1 (b) การจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกแบบ hcp	4
2.2 แสดงการเกิดสปีตเตอร์ริงบนผิวเป่า	6
2.3 (a) องค์ประกอบของระบบดิฟแฟร็กชัน	7
2.3 (b) องค์ประกอบของระบบอาร์เอฟสปีตเตอร์ริง	7
2.3 (c) กระบวนการสปีตเตอร์ริง	7
2.4 (a) ระบบดิฟแฟร็กชันแบบสปีตเตอร์ริง	8
2.4 (b) ระบบรีแอกทีฟสปีตเตอร์ริง	8
2.5 หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์	9
2.6 การเกิดรังสีเอ็กซ์	9
2.7 การทำงานของเครื่อง XRD	10
2.8 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	10
2.9 การพิสูจน์สมการแบรกก์	10
2.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	12
2.11 สัญญาณต่างๆที่เกิดอันตรกิริยาระหว่างสารตัวอย่างกับลำอิเล็กตรอน	13
2.12 (a) เครื่องทดสอบแบบ Brinell	14
2.12 (b) แสดงภาพหวัคคและรอยกดในการทดสอบความแข็งแบบ Brinell	14
2.13 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Rockwell	15
2.14 (a) เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Vickers	16
2.14 (b) ลักษณะรอยกดและการทดสอบความแข็งแบบ Vickers	16
2.15 แสดงลักษณะหวัคคและรอยกดของการทดสอบความแข็งแบบ Knoop	17
2.16 องค์ประกอบของกระบวนการเกิดการกัดกร่อนในโลหะ	18
2.17 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion)	20

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.18	หลักการทำงานของเครื่องโพเทนชิโอสเตท	21
2.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนกับ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน	22
2.20	ส่วนต่างๆที่สำคัญในเส้นกราฟโพลาริเซชัน	22
3.1	แผ่นสแตนเลส 304	24
3.2	(a) Trichloroethylene	24
3.2	(b) Methanol	24
3.2	(c) Acetone	24
3.3	(a) ห้องเคลือบสุญญากาศ	25
3.3	(b) ระบบทำความเย็น	25
3.3	(c) แหล่งจ่ายไฟ	25
3.4	(a) เครื่อง X-ray diffraction	25
3.4	(b) เครื่อง Scanning electron microscope (SEM)	25
3.4	(c) เครื่อง Potentiostat	25
3.4	(d) เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Vickers	25
3.5	เตรียมห้องสุญญากาศให้มีอากาศภายในเท่ากับภายนอก	27
3.6	การเปิดตัวล็อกฝาห้องสุญญากาศ	28
3.7	การปรับความดันหลังห้องสุญญากาศเปิด	28
3.8	ปรับระยะห่างระหว่างพื้นผิวรองรับกับเป้าโครเมียม	29
3.9	วิธีล็อกฝาห้องสุญญากาศและดูดอากาศออกจากห้องสุญญากาศ	29
3.10	การเปิด Division pump	30
3.11	การดูดอากาศออกจากห้องสุญญากาศทำให้ความดันภายในลดลง	30

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12	31
3.13	31
3.14	32
3.15	32
3.16	33
3.17	33
4.1	36
4.2	37
4.3	39
4.4	41
4.5	42
4.6	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 รอยกดลงบนฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่เคลือบลง แผ่นสแตนเลส 304 แบบ Vickers	45
4.8 กราฟแสดงผลของความแข็งกับอัตราส่วนความดันย่อย แก๊สไนโตรเจนที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50%	46
4.9 การกัดกร่อนของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่อัตราส่วน ความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวม (a) 20%, (b) 30%, (c) 40% และ (d) 50% ตามลำดับ	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
Å	อังสตรอม
Ar	แก๊สอาร์กอน
Cr	โครเมียม
CrN _x	โครเมียมไนไตรด์
E _{corr}	ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน
GPa	กิกะปาสคาล
I _{corr}	ค่ากระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน
keV	กิโลอิเล็กตรอน โวลต์
Kg	กิโลกรัม
mbar	มิลลิบาร์
mm	มิลลิเมตร
nm	นาโนเมตร
R _{mpy}	อัตราการกัดกร่อน (มิลลิเมตรต่อปี)
W	วัตต์ (หน่วยของกำลังไฟฟ้า)
µm	ไมโครเมตร
FWHM	ค่าความกว้างของพีคที่ระยะเป็นครึ่งหนึ่งของ ระยะสูงสุด
d	ระยะห่างระหว่างระนาบ
k	ค่าคงที่ของรังสีเอ็กซ์
λ	ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์
h,k,l	ค่าดัชนีมิลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เทคโนโลยีการปรับปรุงพื้นผิวโลหะเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมในประเทศไทยอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านอุตสาหกรรมในการผลิตเครื่องจักรกล เครื่องมือเครื่องใช้ เช่น เพลา เฟือง และใบมีด อุปกรณ์เหล่านี้ต้องการความแข็งแรงที่พื้นผิว เพื่อป้องกันการสึกหรอของผิวอุปกรณ์ฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์เป็นฟิล์มบางอีกชนิดที่ได้รับความนิยมในการเคลือบอุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีหลายประการ เช่น มีความแข็งสูง มีการยึดเกาะที่ดี และทนต่อการกัดกร่อนได้ดี จึงได้มีการนำฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์มาเคลือบลงบนชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อป้องกันการสึกหรอและป้องกันการกัดกร่อนจากสารละลายต่างๆ โครงการพิเศษนี้ได้ตระหนักถึงความสำคัญในการป้องกันการกัดกร่อนของใบมีดตัดสับประรดที่ใช้โรงงานอุตสาหกรรมเบื้องต้นจึงได้ศึกษาการนำโครเมียมไนไตรด์มาทำการเคลือบแบบรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงบนแผ่นสแตนเลส 304 ซึ่งเป็นวัสดุชนิดเดียวกับใบมีดตัดสับประรด โดยในโครงการพิเศษจะเป็นการศึกษาผลของความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติเชิงกล และความต้านทานการกัดกร่อนของฟิล์มบาง CrN_x ที่เคลือบลงบนแผ่นสแตนเลส 304

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อเคลือบฟิล์มบาง CrN_x ลงบนแผ่นสแตนเลส 304 โดยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CrN_x

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล และความต้านทานการกัดกร่อนของฟิล์มบาง CrN_x

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เคลือบฟิล์มบาง CrN_x โดยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงซึ่งมีการควบคุม

อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมเป็น 10%, 20%, 30%, 40% และ 50%

1.3.2 วิเคราะห์พื้นผิว และความหนาของฟิล์มบาง CrN_x ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM)

1.3.3 วิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CrN_x โดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)

1.3.4 วิเคราะห์สมบัติเชิงกลของฟิล์มบาง CrN_x ด้วยการวัดความแข็งแบบ Vicker

1.3.5 วิเคราะห์คุณสมบัติการป้องกันการกัดกร่อนของฟิล์มบาง CrN_x ด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมีในสารละลายน้ำสัปปะรด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงาน

ระยะเวลา	ขั้นตอนดำเนินงาน
มิถุนายน – กรกฎาคม 2557	- ศึกษาคุณสมบัติของแผ่นสแตนเลส และสารประกอบโครเมียมไนไตรด์
สิงหาคม – กันยายน 2557	- ศึกษาการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง
ตุลาคม – พฤศจิกายน 2557	- เตรียมฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ด้วยขั้นตอนต่างๆ เช่น ตัดพื้นผิวรองรับ ทำความสะอาดพื้นผิวรองรับด้วยวิธีการทางเคมี และทำการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ลงบนพื้นผิวรองรับ
ธันวาคม – กุมภาพันธ์ 2557-2558	- ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น วิเคราะห์พื้นผิวและความหนาของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ ด้วยวิธีการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลา	ขั้นตอนดำเนินงาน
	วิเคราะห์พื้นผิวและความหนาของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ ด้วยวิธีการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) วิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบางด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) วิเคราะห์สมบัติเชิงกล และความต้านทานการกัดกร่อนของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์
มีนาคม 2558	- สรุปผลการวิจัย
มีนาคม 2558	- จัดทำรูปเล่ม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

- 1.5.1 ทราบถึงพฤติกรรมการกัดกร่อนของแผ่นสแตนเลส 304 ที่เคลือบด้วยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริง
- 1.5.2 ทราบถึงผลของขนาดของผลึกที่มีผลต่อพฤติกรรมการกัดกร่อน
- 1.5.3 ผลสำเร็จของงานวิจัยในงานวิจัยนี้มีผลประโยชน์โดยตรงต่อด้านอุตสาหกรรมการแปรรูปสินค้าทางการเกษตร
- 1.5.4 สามารถยืดอายุการใช้งานให้กับอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรมได้นานยิ่งขึ้นและทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ใหม่ในโรงงานอุตสาหกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

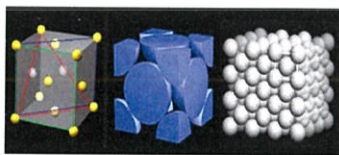
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยจะแบ่งเนื้อหาออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นคุณสมบัติของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่สองจะเป็นทฤษฎีและหลักการของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของชิ้นงานที่เตรียมได้ ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 สมบัติของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์

ฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์เป็นที่นิยมในการเคลือบลงบนชิ้นงานที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์จะช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์และเครื่องจักรยาวนานยิ่งขึ้น เนื่องจากฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์มีความแข็งสูงประมาณ 20-25 GPa [1] ยึดเกาะกับผิวโลหะและทนต่อการขัดสี [2] ทนอุณหภูมิสูง และต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงได้ดี อีกทั้งมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่ำ [3]

โดยทั่วไปอาจจะพบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ได้ 2 ลักษณะ คือ CrN และ Cr₂N มีการจัดเรียงโครงสร้างของผลึกที่แตกต่างกัน Cr₂N จะมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal close-packed (hcp) แต่ในขณะเดียวกัน CrN จะมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างของผลึกแบบ Face-centred cubic (fcc) ค่าคงที่ผลึกของ Cr_xN_yจะมีประมาณ 4.10 อังสตรอม [4] การจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกจะมีผลต่อฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ คือ ฟิล์มโครเมียมไนไตรด์ที่มีโครงสร้างแบบ Cr₂N จะมีความแข็งแรงกว่า และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่า แต่จะมีความต้านทานการสึกหรอต่ำกว่าฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่มีโครงสร้างแบบ CrN [5]



(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 (a) การจัดเรียงตัวของ โครงสร้างผลึกแบบ fcc (b) การจัดเรียงตัวของ โครงสร้างผลึกแบบ hcp

งานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์มีดังต่อไปนี้ คือ วรรณิการ์ วรณทวิ และ คณะ [6] ได้เคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์บนแผ่นซิลิกอนด้วยวิธีรีแอคทีฟดีซีสปัตเตอร์ริง จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์มที่เคลือบได้ด้วยเทคนิค XRD พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ที่มุม 37.5° , 63.6° และ 76.2° ซึ่งตรงกับโครเมียมไนไตรด์ที่ระนาบ (111), (220) และ (311) ตามลำดับ เมื่อความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น มีผลให้ฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์มีค่าความหนาอยู่ในช่วง 30 นาโนเมตรถึง 36 นาโนเมตร, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรพสา วงศ์ปัญญา และคณะ[7] ได้ศึกษาความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้า AISI 4140 โดยวิธีการกระบวนการเคลือบผิวด้วยไอทางกายภาพ โดยเหล็กกล้าถูกเคลือบด้วยโครเมียมไนไตรด์ที่มีความหนา 914 นาโนเมตร โดยขึ้นงานก่อนเคลือบนั้นได้ผ่านการเตรียมผิวที่ความหยาบต่างกัน แล้วศึกษาความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 3.5 โดยน้ำหนัก ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 2, 7 และ 10 พบว่าชิ้นงานที่ถูกเคลือบผิวด้วยโครเมียมไนไตรด์มีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีกว่าชิ้นงานเหล็กกล้าที่ไม่ถูกเคลือบที่ทุกค่าพีเอช โดยเมื่อความหยาบของชิ้นงานลดลงส่งผลให้ชิ้นงานมีความต้านทานการกัดกร่อนดีขึ้น, จักรพันธ์ ถาวรธิดา และคณะ[8] ได้ศึกษาฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์โดยทำการเคลือบลงบนไบมิดคควานไส้สับปะรด โดยเปรียบเทียบอายุการใช้งานของชิ้นงานที่เคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์และไม่เคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ แล้วได้นำชิ้นงานไปตัดสับปะรดจริง พบว่า ชิ้นงานที่เคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์สำหรับไบมิดคควานไส้สับปะรดมีอายุการใช้งานนานกว่าชิ้นงานที่ไม่ได้เคลือบสูงสุด 9 เท่า และสำหรับไบมิดคควานไส้สับปะรด 6 เท่า แสดงให้เห็นว่าการเคลือบไบมิดคควานไส้สับปะรดด้วยฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์สามารถช่วยยืดอายุการใช้งานไบมิดคควานไส้สับปะรดได้

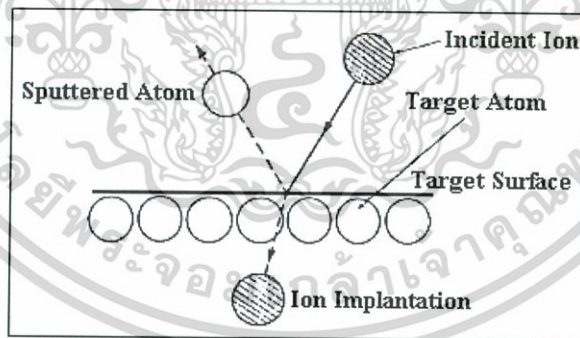
จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่าโครเมียมไนไตรด์มีความเหมาะสมที่จะนำไปเคลือบลงไบมิดคควานไส้สับปะรด เนื่องจากโครเมียมไนไตรด์มีคุณสมบัติที่ต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง และทำให้ไบมิดคควานไส้สับปะรดมีอายุในการใช้งานที่นานขึ้น ซึ่งเหมาะสมกับงานในอุตสาหกรรมที่ใช้กันอยู่อย่างมากในปัจจุบัน การปลูกฟิล์มบางมีกรรมวิธีในการผลิตหลายวิธี เช่น อีพิแทกซ์ (epitaxy) ซีวีดี (chemical vapor deposition หรือ CVD) การฉาบไอระเหย (evaporation) สปัตเตอร์ริง (sputting) และ สปินออน (spin on) โดยแต่ละวิธีจะมีข้อดี ข้อเสีย ที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงสมบัติของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ (CrN_x) ที่เตรียมโดยวิธีสปัตเตอร์ริง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2 สปีตเตอริง (sputtering)

สปีตเตอริง (sputtering) เป็นวิธีการทางด้านฟิสิกส์ที่มีความสำคัญมากวิธีการหนึ่งในการเคลือบฟิล์มบางภายใต้ระบบสุญญากาศ ซึ่งเป็นวิธีการที่อาศัยหลักการพื้นฐานทางด้านฟิสิกส์ของพลาสมา ซึ่งเป็นการปลุกฟิล์มที่เป็นโลหะ วัสดุสารกึ่งตัวนำหรือฉนวนก็ได้ในปัจจุบันสปีตเตอริงใช้กับการปลุกฟิล์มบางเป็นหลัก สำหรับเครื่องมือสปีตเตอริงที่ใช้ทั่วไปสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.2.1 ดีซีหรืออาร์เอฟสปีตเตอริง (dc or rf sputtering)

องค์ประกอบของระบบคือ คู่ขั้วไฟฟ้า โดยขั้วไฟฟ้าหนึ่งจะเป็นขั้วแคโทดและอีกขั้วหนึ่งจะเป็นแอโนด โดยขั้วแคโทดจะอยู่หลังเป้า (โลหะที่จะใช้เป็นตัวเคลือบ) ส่วนขั้วแอโนดจะอยู่กับผิวรองรับ (substrate) ซึ่งได้ผิวรองรับจะมีอุปกรณ์ทำความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับผิวรองรับ ในขณะที่เคลือบฟิล์ม ในการเคลือบก่อนอื่นจะต้องทำการดูดอากาศออกจากห้องเคลือบ (chamber) เพื่อทำให้เป็นห้องสุญญากาศจนได้ความดันที่ต้องการ (อยู่ในช่วง 10^{-5} - 10^{-6} Torr) จากนั้นทำการปรับแรงดันระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดแล้วทำการปรับความดันของก๊าซเฉื่อย (มักใช้ก๊าซอาร์กอนเพราะเป็นธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมมากจึงเหมาะกับการใช้ระดมยิงเป้า) จากนั้นก๊าซอาร์กอนจะแตกตัวเป็นไอออนบวกพุ่งชนเป้าเนื่องจากสนามไฟฟ้าค่าสูงที่กระทำต่อเป้าเป็นผลให้อะตอมของเป้าหลุดเป็นอิเล็กตรอนทุกขุมไปสู่ชิ้นงานและก่อตัวเป็นฟิล์มบางบนชิ้นงานดังรูปที่ 2.2

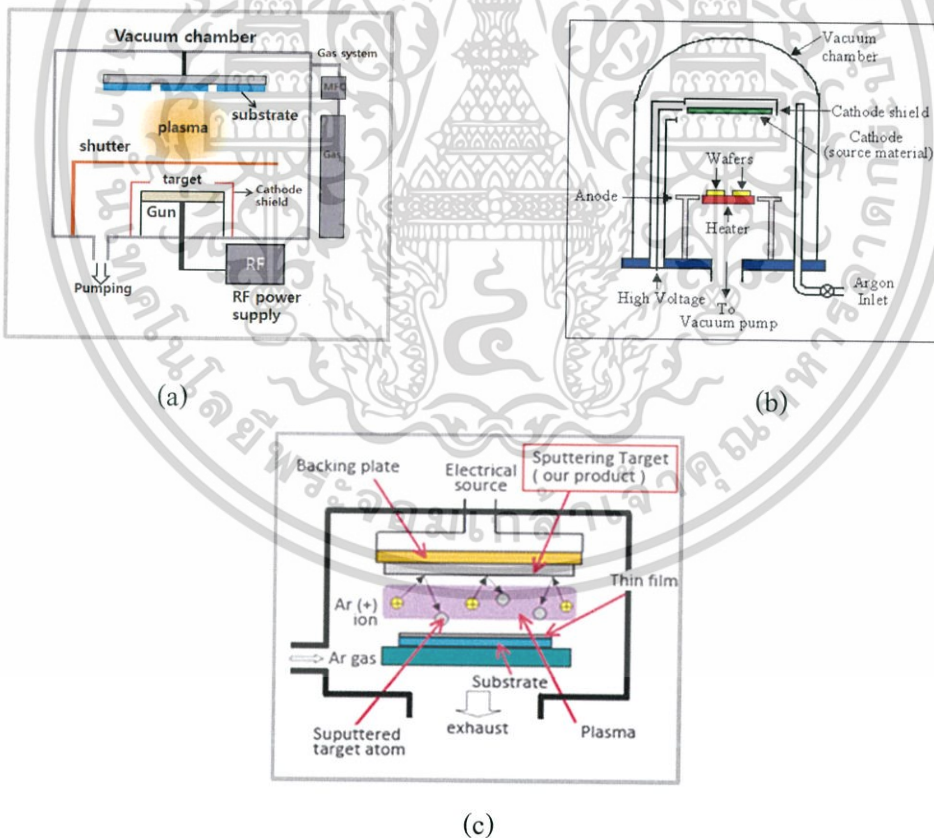


รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดสปีตเตอริงบนผิวเป้า

ในระบบดีซีสปีตเตอริง เป้าที่ใช้จะต้องเป็นโลหะเนื่องจากการไหลของกระแสจะต้องอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า ส่วนเป้าที่ใช้เป็นฉนวนในระบบดีซีสปีตเตอริงการไหลของกระแสจะไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากเกิดการสร้างประจุบวกบริเวณหน้าเป้าฉนวน ดังนั้นจึงต้องใช้แหล่งกำเนิดอาร์เอฟ (rf source) กับเป้าที่เป็นฉนวน

2.2.2 แมกนีตรอนสปัตเตอริง (magnetron sputtering)

แมกนีตรอนสปัตเตอริงเป็นการนำแม่เหล็กถาวรหรือขดลวดมาเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไว้หลังเป้าทำให้สนามแม่เหล็กขนานกับหน้าเป้า เมื่อทำการการสปัตเตอริง (sputtering) สนามไฟฟ้าเร่งอิเล็กตรอนให้เข้าชนอะตอมของก๊าซที่ใช้ในการสปัตเตอริงให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวก โดยไอออนบวกจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้เคลื่อนที่เข้าชนอะตอมที่ผิวเป้าให้หลุดออกมาและมีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิออกมาหลังจากการชนของไอออนบวกที่ผิวเป้า ดังนั้นถ้าสามารถกักเก็บอิเล็กตรอนไว้ที่หน้าผิวเป้า และเพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนให้เพิ่มขึ้น ก็จะเป็นการเพิ่มโอกาสในการชนกับอะตอมของก๊าซที่ใช้ในการสปัตเตอริงให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกมากขึ้นและถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้เคลื่อนที่เข้าชนเป้ามกขึ้น ผลคือทำให้อัตราการสปัตเตอริงสูงขึ้น ทั้งนี้การกักเก็บอิเล็กตรอนและการเพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนให้เพิ่มขึ้นนั้นสามารถทำได้โดยการป้อนสนามแม่เหล็กในทิศทางที่เหมาะสมให้กับระบบ

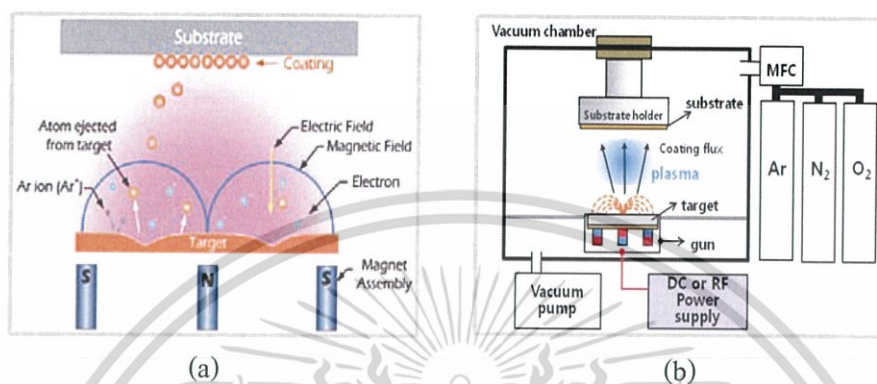


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.3 (a) องค์ประกอบของระบบดีซีสปัตเตอริง, (b) อาร์เอฟสปัตเตอริง, (c) และ นำไปใช้

กระบวนการสปัตเตอริง

2.2.3 รีแอกทีฟสปัตเตอริง (reactive sputtering)

รีแอกทีฟสปัตเตอริงเป็นระบบที่เกิดขึ้นเมื่อใส่แก๊สไวกรียา เช่น ออกซิเจนหรือไนโตรเจนเข้าไปในห้องเคลือบเพื่อสร้างฟิล์มบางสารประกอบตระกูลออกไซด์และไนไตรด์ได้ ซึ่งระบบนี้ใช้ได้ทั้งระบบคิซีและอาร์เอฟสปัตเตอริง



รูปที่ 2.4 (a) ระบบคิซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง (b)ระบบรีแอกทีฟสปัตเตอริง

งานวิจัยนี้ได้นำหลักการ และเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ มาใช้เพื่อศึกษาสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติเชิงกล และสมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อนของฟิล์มบาง CrN_x โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) การวิเคราะห์ปริมาณของสารบนผิวชิ้นงาน (EDS) เป็นต้น การทดสอบการความแข็งของชิ้นงาน โดยใช้การทดสอบแบบ Vickers และกระบวนการกัดกร่อนโดยใช้เครื่องโพเทนทิโอสแตท ซึ่งจะมีหลักการและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

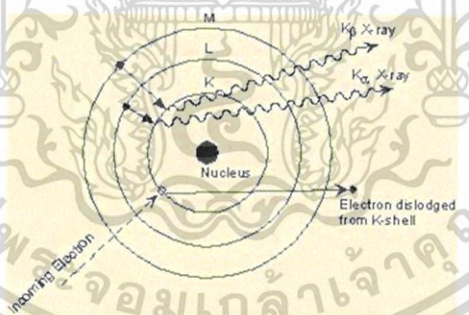
2.3 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffraction)

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ หรือ X-ray Diffractometer (XRD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้ ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิด จะมีขนาดของหน่วยเซลล์ที่ไม่เท่ากัน ทำให้รูปแบบของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ที่ออกมาไม่เท่ากัน ทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ได้ ซึ่งจะทำให้เราทราบว่าในตัวอย่างนั้นๆ มีสารประกอบอะไรอยู่บ้าง นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ของ XRD จะสามารถหาองค์ประกอบของตัวอย่างได้แล้วนั้น ยังสามารถคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในตัวอย่าง คำนวณหา

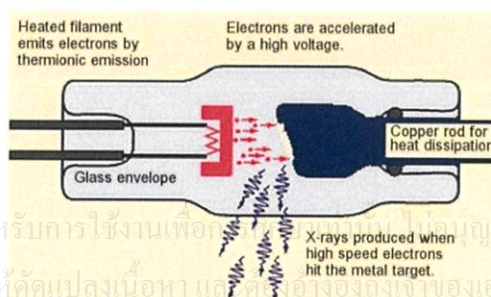
ขนาดอนุภาคของแต่ละหน่วยเซลล์ ความเครียดของตัวอย่าง ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างและยังสามารถทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของฟิล์มบาง โดยผลที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard)

2.3.1 การกำเนิดรังสีเอ็กซ์ภายในเครื่อง XRD

ภายในเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบน รังสีเอ็กซ์ถูกสร้างขึ้นภายในหลอดปิดที่อยู่ภายใต้ภาวะสุญญากาศ ดังรูปที่ 2.5 โดยให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวดฟิลาเมนต์ (Filament) ที่อยู่ภายในหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ ทำให้เส้นลวดร้อนและเกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากเส้นลวด อิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูง ทำให้อิเล็กตรอนจากเส้นลวดที่เป็นขั้วแคโทดเข้าชนขั้วแอโนดซึ่งทำจากโลหะทองแดง อิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชนจะทำให้อิเล็กตรอนวงในสุด (K-shell) ของอะตอมทองแดงหลุดออกไปจึงเกิดเป็นช่องว่างขึ้น ทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกถัดมา (L-shell และ k-shell) เปลี่ยนระดับมาแทนที่ช่องว่างนั้น ในขณะนั้นเกิดการคายรังสีเอ็กซ์ (CuK_{α}) ออกมาดังรูปที่ 2.6 รังสีเอ็กซ์ที่คายออกมาจะผ่านออกจากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ไปยังตัวอย่างและรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนออกจากตัวอย่างจะถูกตรวจจับด้วยอุปกรณ์ตรวจจับรังสีเอ็กซ์ (Detector) CuK_{α} คือ คลื่นที่ถูกปล่อยออกมาหลังจากอิเล็กตรอนจากเส้นลวดพุ่งชนโลหะทองแดงที่ขั้วแอโนดทำให้เกิดรังสีเอ็กซ์โดยคลื่นนี้มีความยาวคลื่น 1.54056 \AA



รูปที่ 2.5 หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์

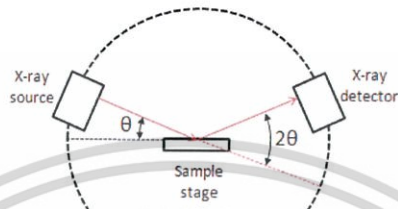


รูปที่ 2.6 การเกิดรังสีเอ็กซ์

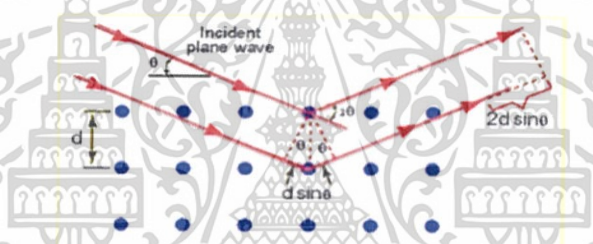
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตัดต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หลักการทำงานของเครื่อง XRD

เมื่อรังสีเอ็กซ์ถูกยิงตกกระทบระนาบของอะตอมภายในผลึกที่มุมตกกระทบ θ รังสีเอ็กซ์บางส่วนจะสะท้อนกลับ (การเลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ยังผ่านชั้นผลึกที่อยู่ในตัวอย่างโดยจะใช้ Detector รับความเข้มของรังสีเอ็กซ์ ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในมุมต่างๆ ดังรูป 2.7

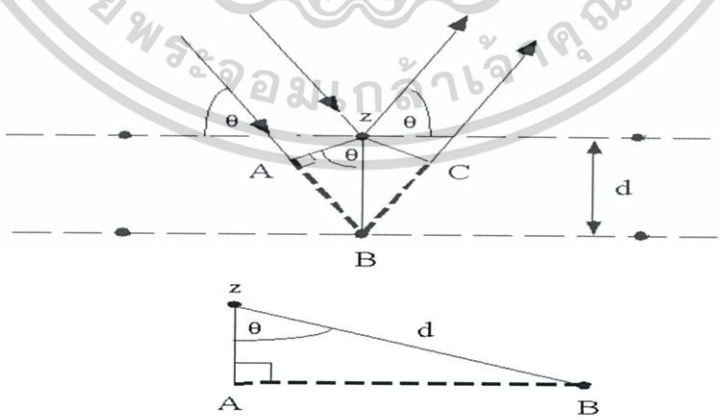


รูปที่ 2.7 การทำงานของเครื่อง XRD



รูปที่ 2.8 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

การพิสูจน์สมการของแบรกก์



รูปที่ 2.9 การพิสูจน์สมการแบรกก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างลำอิเล็กตรอนที่ตกกระทบลงบนระนาบ

θ คือ มุมที่ตกกระทบ

n คือ เลขจำนวนเต็ม

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

เมื่อรังสีตกกระทบทั้ง 2 ลำมีเฟสตรงกันทำมุม θ กับระนาบ รังสีที่หนึ่งกระทบเข้ากับระนาบบน และสะท้อนออกมาทำมุม θ กับระนาบ ส่วนรังสีที่สองกระทบเข้ากับระนาบถัดไปและสะท้อนออกมาทำมุม θ กับระนาบที่สอง โดยรังสีที่สองจะเคลื่อนที่เป็นระยะทางเพิ่มขึ้น $AB + BC$ แทรกสอดกับคลื่นลำที่หนึ่ง ซึ่งคลื่นทั้งสองลำอาจจะแทรกสอดแบบเสริมหักล้าง หรือแทรกสอดกันแบบไม่ตรงเฟสกันได้ แต่ถ้าจะให้มีการแทรกสอดแบบเสริมกัน ผลต่างของระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ขึ้นมาขึ้นนั้น จะต้องเท่ากับ จำนวนเต็ม (n) คูณกับความยาวคลื่น ดังสมการต่อไปนี้

$$n\lambda = AB + BC \quad \text{---- (1)}$$

พิจารณาสามเหลี่ยมมุมฉาก ABZ จะได้สมการ

$$AB = d \sin \theta \quad \text{---- (2)}$$

เนื่องจาก $AB = BC$ ดังนั้น (2) จะเป็น

$$n\lambda = 2AB \quad \text{---- (3)}$$

แทนสมการ (2) ในสมการ (3) จะได้

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad \text{---- (4)}$$

ดังนั้น จากสมการที่ (4) $2d \sin \theta = n\lambda$ เรียกว่า สมการของแบรกก์

2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นเครื่องมือสำคัญต่อการวิเคราะห์พื้นผิวของ

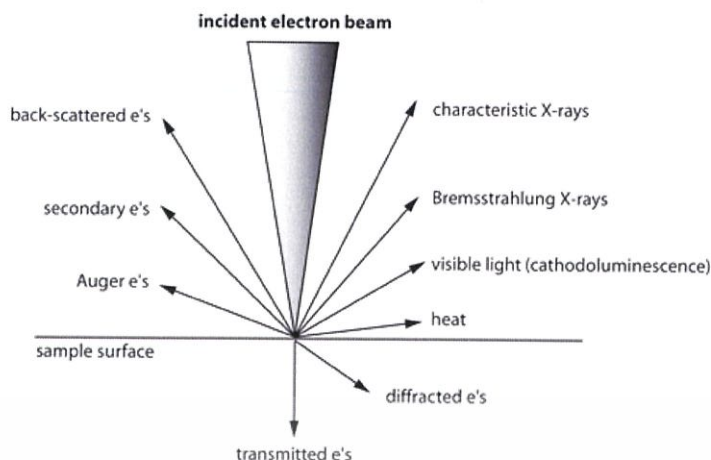
ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบ เนื่องจาก SEM มีกำลังขยายตั้งแต่ 20 ถึง 3,000 เท่า และสามารถวิเคราะห์

ชั้นเคลือบได้ลึกถึง 300 เท่าของกล้องจุลทรรศน์ปกติ ทำให้ได้ผลดีต่อการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ต้องทำความสะอาดชิ้นงานด้วยสารละลาย ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานที่จะทำการทดสอบต้องอยู่ในสถานะสุญญากาศ และถ้าหากชิ้นงานไม่นำไฟฟ้าต้องไปเคลือบด้วยทองคำป้องกันไม่ให้อิเล็กตรอนไปสะสมที่บนผิวชิ้นงานได้ โดยทั่วไป SEM มักต่อพ่วงอยู่กับการวิเคราะห์ด้วยรังสีเอ็กซ์ ทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์ชนิดของธาตุของชิ้นงาน ซึ่งเรียกเทคนิคนี้ว่า Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS)



รูปที่ 2.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากรูป 2.10 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้ ส่วนบนสุดเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนที่เรียกว่า ปืนอิเล็กตรอน (electron gun) อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ซึ่งมีสภาพเป็นสุญญากาศด้วยความต่างศักย์แรงในช่วง 0 ถึง 30 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะถูกควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าด้วยกัน 2 ชุด และปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยแอมเพอร์เจอร์ (aperture) ซึ่งมีขนาดต่างกันตามลักษณะการใช้งาน ส่วนเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าชุดแรกเรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์ (condenser lens) นับว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุดต่อการควบคุมลำอิเล็กตรอนเพราะเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่บีบลำอิเล็กตรอนที่วิ่งลงมาจากแหล่งกำเนิดให้เป็นลำที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง สำหรับเลนส์ตัวถัด (electron optictive) ซึ่งเป็นเลนส์ชุดสุดท้ายจะทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอนให้ไปตกบนผิวตัวอย่างชิ้นงาน โดยมีขดลวดควบคุมลำแสงอิเล็กตรอน (scanning coils) ทำหน้าที่กวาดลำอิเล็กตรอนให้ไปบนผิวของชิ้นงานในกรอบพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ซึ่งพื้นที่ผิวของชิ้นงานบริเวณที่ถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนนี้จะเกิดสัญญาณต่างๆ ขึ้นหลายชนิด ดังรูป 2.11 และในตัวกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยังมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (detector) ชนิดต่างๆ เพื่อประมวลผลออกมาเป็นภาพ



รูปที่ 2.11 สัญญาณต่างๆที่เกิดอันตรกิริยาระหว่างสารตัวอย่างกับลำอิเล็กตรอน

จากรูปที่ 2.11 จะเกิดสัญญาณขึ้นมาหลายชนิด แต่ในงานวิจัยนี้จะศึกษาสัญญาณอยู่ 2 สัญญาณ คือ

2.4.1 โหมดของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electrons)

เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนตกกระทบบนผิวของชิ้นงาน (primary electron) แล้วไปชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่บนผิวชิ้นงาน จึงเกิดการถ่ายโอนพลังงานจลน์ ทำให้เกิดการกระเจิงของอิเล็กตรอนขึ้น ซึ่งเรียกการกระเจิงแบบนี้ว่า การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น ส่งผลให้อิเล็กตรอนที่อยู่บนพื้นผิวหลุดออกมาจากบริเวณผิวบนชิ้นงาน สัญญาณ Secondary electrons จะแสดงถึงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานแล้วแสดงออกมาเป็นภาพ

2.4.2 โหมดของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Back-scattered electrons)

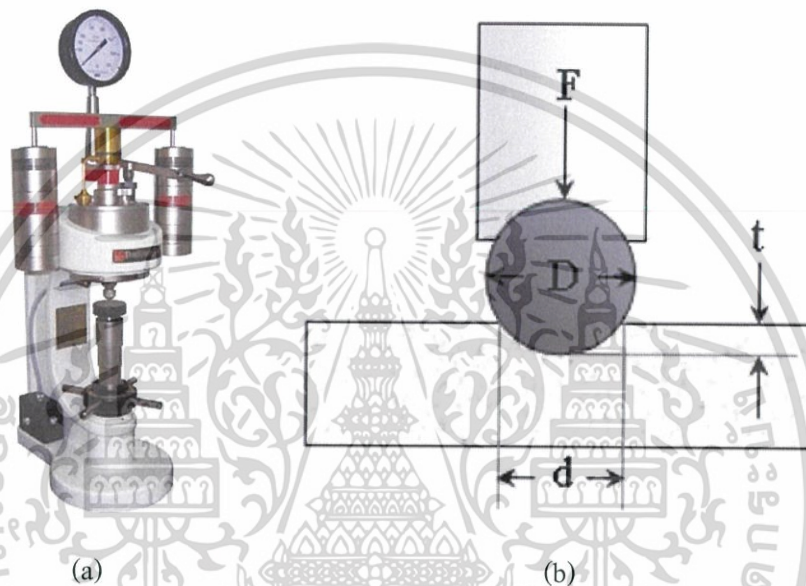
เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนตกกระทบบนผิวของชิ้นงาน (primary electron) แล้วเกิดการสูญเสียพลังงานไปบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนที่อยู่บนผิวชิ้นงาน จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ทำให้เกิดการกระเจิงกลับของอิเล็กตรอน ซึ่งเรียกการกระเจิงนี้ว่า การกระเจิงแบบยืดหยุ่น สัญญาณ Back-scattered electrons เป็นสัญญาณที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบทางเคมีบนผิวของชิ้นงาน และ จะแสดงให้เห็นลักษณะสูงต่ำของพื้นผิวด้วย สัญญาณนี้เหมาะสมกับการวิเคราะห์แบบ EDS

2.5 การวัดความแข็ง (Hardness Testing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ความแข็งเป็นการแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่บ่งบอกถึงความต้านทานต่อแรงกดของวัสดุ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่สิ่งนี้ที่อื่นและต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของเอกสารนี้ทุกครั้ง
สามารถแยกการกระบวนกรทดสอบได้หลากหลายวิธี ดังนี้

2.5.1 การทดสอบความแข็งแบบ Brinell

เป็นการทดสอบความแข็งแบบหนึ่งที่ถูกใช้มาอย่างยาวนานที่สุด ซึ่งเป็นการทดสอบความแข็งแบบน้ำหนักคงที่ในการกด หัวกดเหล็กกล้าชุบแข็งลงบนพื้นผิวชิ้นที่จะทดสอบ ปกติจะใช้หัวกดลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งหรือทังสเตนคาร์ไบด์ขนาด 10 mm กดลงบนผิวชิ้นที่จะทำการทดสอบ ด้วยน้ำหนักกด 3000 kg สำหรับ โลหะแข็ง 1500 kg สำหรับ โลหะที่มีความแข็งปานกลางและ 500 kg หรือต่ำกว่านั้นสำหรับวัสดุอ่อนนุ่ม



รูปที่ 2.12 (a) เครื่องทดสอบแบบ Brinell (b) แสดงภาพหัวกดและรอยกดในการทดสอบความแข็งแบบ Brinell

จากรูป 2.10 (b) จะสามารถหาค่าความแข็ง Brinell ได้จากสูตร

$$BHN = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad \text{--- (5)}$$

โดย BHN คือ ค่าความแข็ง Brinell (kg/mm^2)

F คือ น้ำหนักแรงกดที่กระทำ (kg)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวกด (mm)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีลิขสิทธิ์สงวนสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การทดสอบความแข็งแบบ Rockwell

การทดสอบนี้เป็นแบบเดียวกับการทดสอบความแข็งแบบ Brinell คือ หาค่าความแข็งหาได้จากขนาดความลึกรอยกดบนชิ้นทดสอบที่เกิดจากการกดด้วยหัวกดภายใต้น้ำหนักคงที่ แต่ที่ต่างกันก็คือ การทดสอบแบบ Rockwell จะทดสอบด้วยน้ำหนักต่างกันสามชุดและหัวกดสามขนาด ส่วนการทดสอบแบบ Brinell จะมีขนาดหัวกดที่แตกต่างกันออกไปและน้ำหนักกดที่มากกว่ามาก การทดสอบ Rockwell จะมีรอยกดที่มีขนาดเล็กและตื้นกว่า ส่วนวัสดุที่นำมาทดสอบเป็นชนิดเดียวกันกับการทดสอบแบบ Brinell ข้อดีของการทดสอบแบบ Rockwell คือสามารถทำการทดสอบได้เร็วกว่าเพราะสามารถอ่านค่าความแข็งได้จากหน้าปัดเครื่องมือได้ทันที



รูปที่ 2.13 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Rockwell

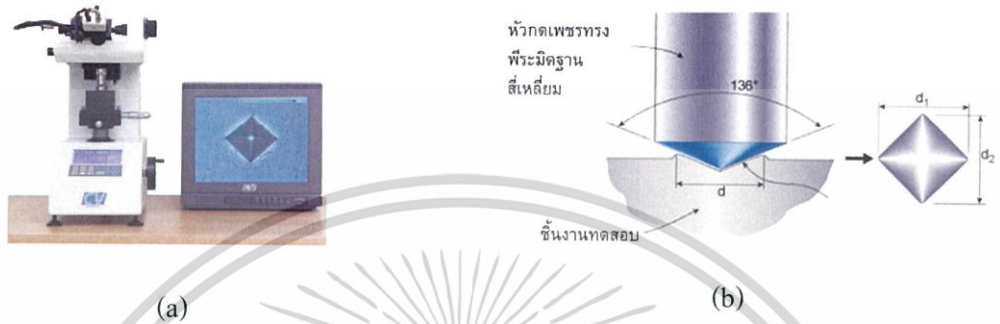
2.5.3 การทดสอบความแข็งแบบ Rockwell superficial

การทดสอบแบบ Rockwell superficial จะเป็นการทดสอบบนบริเวณพื้นผิวซึ่งที่เกิดจากการกดมีรอยที่ตื้นๆ การทดสอบแบบนี้มีหลักการทำงานแบบเดียวกับการทดสอบแบบ Rockwell เพียงแต่ใช้น้ำหนักกดที่น้อยลงกว่าเดิม แต่ค่าความแข็งที่วัดได้จะมีความลึกเท่ากับ 0.001 mm และใช้หัวกดแบบเดียวกับการทดสอบแบบ Rockwell

2.5.4 การทดสอบความแข็งแบบ Vickers

การทดสอบความแข็งแบบ Vickers เป็นการทดสอบความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็ก ซึ่งมีมุมของปลายแหลม 136° และน้ำหนักกดที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 5 – 120 กิโลกรัม โดยจะเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 กิโลกรัม การทดสอบความแข็งแบบ Vickers จะใช้หลักการเดียวกันกับการทดสอบความแข็งแบบ Brinell คือค่าความแข็งที่ได้คิดจากน้ำหนักที่กระทำต่อพื้นที่ของรอยกด ในการทดสอบนำชิ้นงานที่จะทดสอบวางบนแท่นทดสอบ จากนั้นให้

ยกแท่นวางขึ้นจนชิ้นงานเข้าใกล้หัวกด ขั้นตอนต่อมาปลดลิ้อระบบคานน้ำหนักจะถูกส่งไปยังหัวกดในอัตรา 20:1 อย่างต่อเนื่องและสุดท้ายน้ำหนักกดออก ลดระดับแท่นวางลง นำชิ้นงานไปส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อทำการวัดค่าความยาวของเส้นทแยงมุมของรูปรอยกดสี่เหลี่ยมที่ปรากฏขึ้นบนชิ้นงาน



รูปที่ 2.14 (a) เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Vickers (b) ลักษณะรอยกดและการทดสอบความแข็งแบบ Vickers

จากรูปที่ 2.14 (b) สามารถหาพื้นที่ผิวรอยกดได้

$$\text{พื้นที่ผิวรอยกด (A)} = \frac{d^2}{2 \sin(136^\circ/2)} \text{ ซึ่งจะมีค่าโดยประมาณ} = \frac{d^2}{1.8544}$$

ดังนั้นค่าความแข็ง Vickers หัวกดเพชรพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส Diamond Pyramid Hardness (DPH) หรือ Vickers Hardness (HV) จะมีค่าดังสมการ

$$DPH = \frac{F}{A} \text{ ---- (6)}$$

$$DPH = \frac{1.8544F}{d^2} \text{ ---- (7)}$$

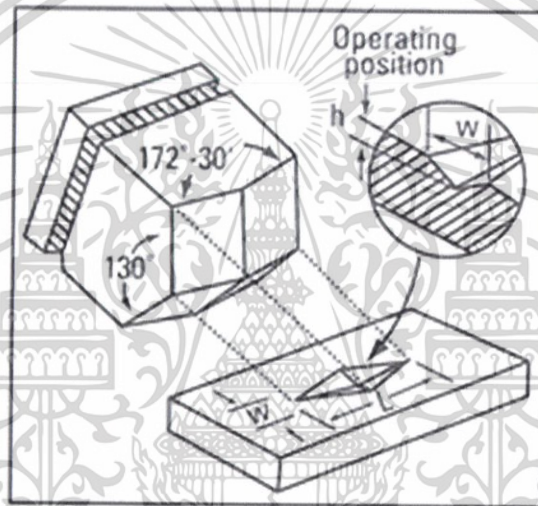
โดย DPH หรือ HV คือ ค่าความแข็ง Vickers (kg/mm²)

F คือ น้ำหนักกด (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสาร d ที่สงวนไว้สำหรับ คือ ความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ย (mm) เป็นงานชุดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบความแข็งของชิ้นงานที่เคลือบด้วย CrN_x โดยวิธีของ micro vicker

2.5.5 การทดสอบความแข็งแบบ Knoop

การทดสอบแบบความแข็งแบบ Knoop เป็นการวัดความต้านทานของพื้นที่วัสดุต่อการเกิดรอยกดหรือต่อการเสีรูปร่างอย่างถาวรที่พื้นผิวของวัสดุแบบเดียวกัน ซึ่งต่างจากการทดสอบความแข็งแบบ Vickers ตรงที่หัวกดแบบ Knoop จะเป็นหัวกดเพชรพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน โดยมีเส้นทแยงมุมด้านยาวกับด้านสั้นต่างกันเป็นอัตราส่วน 7:1 ดังรูปที่ 2.15 และใช้น้ำหนักกดในช่วง 25 -3600 กรัม การทดสอบแบบ Knoop จะใช้ประโยชน์ในการทดสอบความแข็งกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและที่มีพื้นที่ผิวที่เล็ก ๆ บนชิ้นงานที่จะทดสอบ โดยค่าความแข็งจะอยู่ในช่วงประมาณ 60 – 1000 กรัม



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะหัวกดและรอยกดของการทดสอบความแข็งแบบ Knoop

ในการทดสอบให้นำชิ้นงานที่จะทำการทดสอบวางไว้บนแท่งทดสอบ จากนั้นปรับระยะโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ แล้วเลื่อนแท่นทดสอบเพื่อหาตำแหน่งที่จะทดสอบบนชิ้นงาน จากนั้นปล่อยน้ำหนักกดลง หลักการทำงานเหมือนกับการทดสอบความแข็งแบบ Vickers จากนั้นทำการวัดค่าความยาวของเส้นทแยงมุมของรอยกดด้านยาวไปคำนวณหาสูตรความแข็งดังสมการ

$$KHN = \frac{1.43 \times F}{L^2} \quad \text{---- (8)}$$

โดย KHN คือ ค่าความแข็ง Knoop (kg/mm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

F คือ น้ำหนักกด (kg)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

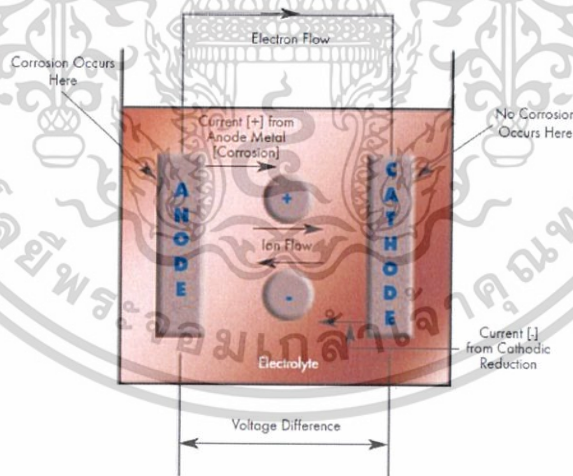
L คือ ความยาวเส้นทแยงมุมด้านยาวของรอยกด (mm)

2.6 กระบวนการการกัดกร่อน (Corrosion)

การกัดกร่อน คือ การสูญเสียเนื้อโลหะโดยการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสิ่งแวดล้อมอาจเป็นปฏิกิริยาเคมี หรือ ปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี การกัดกร่อนเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอย่างหนึ่ง กล่าวคือ สินแร่ต่างๆที่อยู่บนโลกจะมีสภาพที่มีเสถียรภาพอยู่แล้ว เมื่อสินแร่ถูกกลึงให้ได้เนื้อโลหะบริสุทธิ์ จะทำให้โลหะนั้นอยู่ในสภาพที่ไม่เสถียรภาพมากขึ้น โลหะที่ไม่เสถียรภาพจะพยายามกลับคืนสู่สภาพเดิม คือ สินแร่ตามธรรมชาติจะมีเสถียรภาพสูงกว่า ซึ่งคือกระบวนการกัดกร่อน จึงต้องใช้ความพยายามในการที่จะรักษาสภาพของโลหะเหล่านี้ให้เสื่อมสภาพเพราะการกัดกร่อนน้อยที่สุดและมีระยะเวลาการใช้งานที่ยาวนานที่สุด

กระบวนการการกัดกร่อน โลหะ จะเกิดได้เมื่อมีองค์ประกอบหลัก 4 องค์ประกอบดังนี้

1. แอโนด (Anode)
2. แคโทด (Cathode)
3. อิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte)
4. ตัวกลางในการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (electron transfer) หรือให้กระแสไหลระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด (electron flow)



รูปที่ 2.16 องค์ประกอบของกระบวนการเกิดการกัดกร่อนในโลหะ

การเกิดกระบวนการกัดกร่อนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะ คือเป็นปฏิกิริยาที่โลหะ

ออกสารแอโนด ซึ่งอะตอมของโลหะเกิดการไอออไนซ์และไอออนของโลหะจะเข้าไปยังสารละลายอิเล็ก

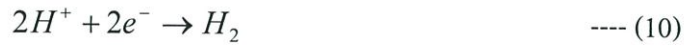
โทรไลต์ ขณะที่อิเล็กตรอนจะออกจากแอโนดเนื่องจากไอออนของโลหะหลุดออกจากแอโนด ซึ่ง

ทำให้เกิดการกระบวนการกัดกร่อนขึ้นตามสมการ



ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นที่ด้านขั้วแอโนด เพื่อทำให้เกิดสมดุลขึ้นภายในระบบจึงมีปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นด้านขั้วแคโทด โดยทั่วไปปฏิกิริยารีดักชันจะแบ่งออกเป็น 4 แบบดังนี้

1. มีไฮโดรเจนเกิดขึ้น (ภายในน้ำมีความเป็นกรด)



2. เกิดรีดักชันของออกซิเจน(ภายในน้ำมีพีเอชน้อยกว่า 5)



3. เกิดรีดักชันของออกซิเจน(ภายในน้ำมีพีเอชมากกว่า 5)



4. เกิดรีดักชันของไอออนของโลหะ



หลังจากเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนเบื้องต้น ขั้นตอนต่อไป คือ การรวมตัวของไอออนในสารละลาย ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อน

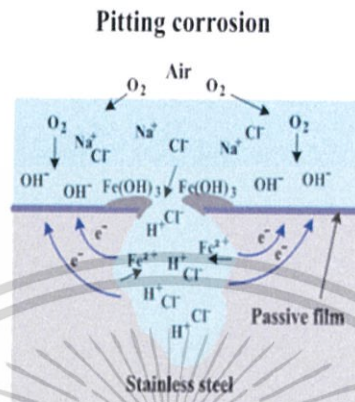
2.6.1 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion)

การกัดกร่อนแบบรูเข็ม เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาก โดยเฉพาะกับโลหะที่มีการเคลือบฟิล์มลงไปบนโลหะ เพื่อจะป้องกันการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้าได้แล้ว แต่เมื่อฟิล์มบางเริ่มแตกออกเฉพาะบางที่จะทำให้เกิดการกัดกร่อนเฉพาะ ที่กัดกร่อนจะถูกกัดกร่อนลึกลงไปเรื่อยๆ ทำให้สังเกตได้ยากเนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนได้ปกคลุมเอาไว้ การกัดกร่อนแบบนี้ทำให้คาดการณ์ได้ยาก โดยทั่วไปจะเกิดสนิมในทิศทางเดียวกับแรงโน้มถ่วงของโลก จะเกิดการกัดกร่อนแนวอื่นก็ได้แต่น้อย pitting เป็นลักษณะที่ทำให้เป็นรูหรือหลุมในเนื้อโลหะ รูเหล่านี้อาจมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ได้ แต่โดยส่วนมากจะมีขนาดเล็ก บางครั้งจะเห็นรูกระจายอยู่ห่างกัน หรืออาจอยู่ใกล้กันจนดูคล้ายผิวโลหะที่ขรุขระ ดังรูป 2.17 การกัดกร่อนแบบ Pitting เป็นการกัดกร่อนที่ก่อให้เกิดความเสียหายและรุนแรงที่สุด ซึ่งทำให้อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือชิ้นส่วนต่างๆเกิดความเสียหายเนื่องจากการเจาะลึกด้วยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของโครงสร้างทั้งหมดที่น้อย ลักษณะนี้มักยากที่จะตรวจสอบพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

การกัดกร่อนของ Pitting ได้ เพราะความลึกและจำนวนของรูที่เปลี่ยนแปลง ภายใต้อาณาเฉพาะ

สภาวะใดสภาวะหนึ่ง การเกิด Pitting ยังยากที่จะคาดการณ์ได้จากาทดสอบในห้องทดลองอีกด้วย บางครั้งอาจใช้เวลานานจึงปรากฏสภาพของการกัดกร่อน การเกิด Pitting เป็นการเกิดเฉพาะที่และเป็นรูปแบบการกัดกร่อนที่รุนแรง ความเสียหายที่เกิดขึ้นมักจะเกิดอย่างฉับพลัน



รูปที่ 2.17 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion)

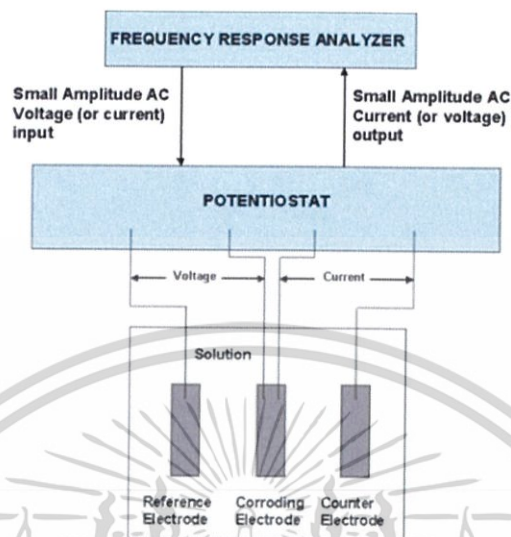
2.6.2 การวัดศักย์ไฟฟ้าในการกัดกร่อน ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนและอัตราการกัดกร่อน

ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential, E_{corr}) คือศักย์ไฟฟ้าที่อัตรารวมของปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งหมดเท่ากับปฏิกิริยารีดักชัน โดยความหนาแน่นของกระแสที่ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเรียกว่า ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density, I_{corr}) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการกัดกร่อน การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะเกิดการกัดกร่อนจะใช้เครื่องโพเทนทิโอสแตท (Potentiostat) ในการวิเคราะห์ โดยมีอิเล็กโทรด (electrode) ในการวัดมีอยู่ 3 ชนิด คือ

1. อิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference electrode)
2. อิเล็กโทรดกระแส (Counter electrode)
3. อิเล็กโทรดตัวอย่าง (Working electrode)

ค่าความศักย์ไฟฟ้าในการกัดกร่อนจะได้จากการวัดจะเกิดจากการเปรียบเทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิงกับอิเล็กโทรดตัวอย่างและค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจะการคำนวณจากการวัดเปรียบเทียบระหว่างอิเล็กโทรดกระแสดับกับอิเล็กโทรดอ้างอิง จากค่าศักย์ไฟฟ้าและความ

หนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ เมื่อนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองจะได้กราฟที่เรียกว่า กราฟเส้นโพลาริเซชัน



รูปที่ 2.18 หลักการทำงานของเครื่องโพเทนชิโอสแตต

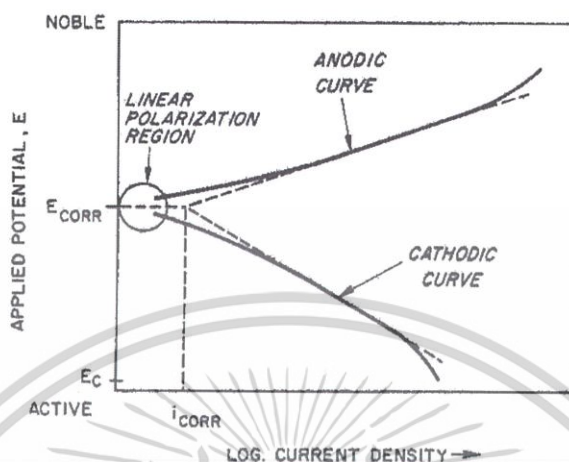
จากรูป 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ปฏิกิริยาแอโนดิก) กับ ปฏิกิริยารีดักชัน (ปฏิกิริยาแคโทดิก) บนพื้นผิวของโลหะที่กำลังเกิดการกัดกร่อน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วไฟฟ้าที่ผิว ความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังเส้นกราฟแอโนดิก กับ เส้นกราฟแคโทดิก ตามลำดับ โดยค่าความต่างศักย์ของแอโนดิกจะมีค่าไปทางค่าบวก แต่ ค่าความต่างศักย์ของแคโทดิกจะมีค่าไปทางค่าลบ ในลักษณะเช่นนี้แสดงถึงการเกิดโพลาริเซชันของขั้วทั้งสอง สามารถหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนได้จากจุดตัดของเส้นกราฟแอโนดิกและเส้นกราฟแคโทดิก

เมื่อทราบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนและค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนแล้ว จะสามารถคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนได้จากสมการ

$$R_{mpy} = \frac{0.31i_{corr}e}{\rho} \quad \text{---- (14)}$$

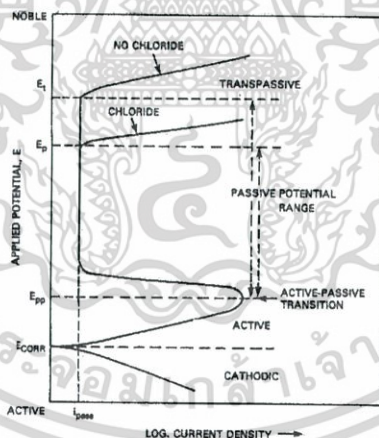
เมื่อ R_{mpy} คือ อัตราเกิดการกัดกร่อน (มิลลิเมตรต่อปี)
 i_{corr} คือ ความหนาแน่นของกระแสการกัดกร่อน (ไมโครแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร)

- e คือ นำหนักกรัมสมมูลของโลหะ
- ρ คือ ความหนาแน่นของโลหะ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)



รูปที่ 2.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน

2.6.3 เส้นโพลาริเซชัน



รูปที่ 2.20 ส่วนต่างๆที่สำคัญในเส้นกราฟโพลาริเซชัน

จากกราฟรูปที่ 2.20 ทราบว่าจุดตัดของเส้นกราฟแอโนดิกกับเส้นกราฟแคโทดิก คือค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อน (E_{corr}) เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าต่อถึงจุดหนึ่ง กระแสกลับลดลงเนื่องจากเกิดชั้นฟิล์มพาสซีฟบนผิวโลหะ เรียกว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดว่าเป็นจุดการเปลี่ยนแปลงแอคทีฟ-พาสซีฟและค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าพาสซีฟชั้นปฐม (Primarily passive potentials) ใช้สัญลักษณ์ E_{pp} เมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าต่อไปกระแสจะเริ่มลดลงจนคงที่ที่ค่าหนึ่งแม้จะเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้แก่เซลล์ต่อไป

ความหนาแน่นของกระแสก็ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ช่วงกราฟที่กระแสคงที่ เรียกว่า ช่วงพาสซีฟ (Passive zone) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่แสดงถึงความทนทานของฟิล์มบนผิวโลหะ ถ้ายังเพิ่มศักย์ไฟฟ้าต่อไปอีกจนถึงค่าหนึ่งที่ทำให้ชั้นฟิล์มพาสซีฟแตก จะทำให้กระแสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงทรานพาสซีฟ (transpassive zone) และเรียกศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้ว่า ศักย์ไฟฟ้าทรานพาสซีฟ (E_p) ศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้เป็นค่าที่โลหะเริ่มเกิดการกัดกร่อนเฉพาะที่ คือการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) ถ้าป้อนค่าศักย์ไฟฟ้าเกินค่า E_p จะเกิดการแตกของฟิล์มพาสซีฟจุดใหม่เพิ่มขึ้นและขนาดของการกัดกร่อนแบบรูเข็มก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ถ้าเปรียบเทียบระหว่างเส้นโพลาริเซชันของสารละลายที่มีคลอไรด์กับสารละลายที่ไม่มีคลอไรด์ จะพบว่าในสารละลายที่มีคลอไรด์จะมีค่าศักย์การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (E_p) ต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าทรานพาสซีฟ (E_p) และจะมีความกว้างที่แคบกว่าอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยพิเศษนี้มีอุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมี และขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบาง ดังนี้

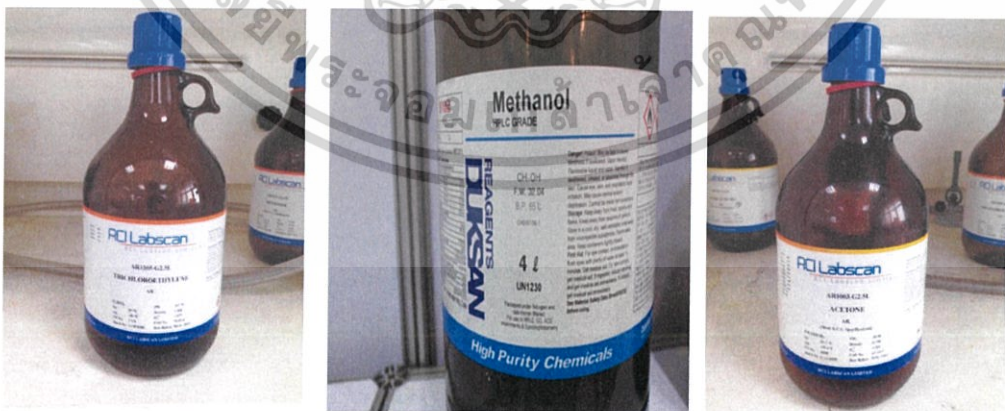
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

1.แผ่นสแตนเลส 304 ขนาด 3 x 3 เซนติเมตร



รูปที่ 3.1 แผ่นสแตนเลส 304

2.สารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดพื้นผิวรองรับ



(a)

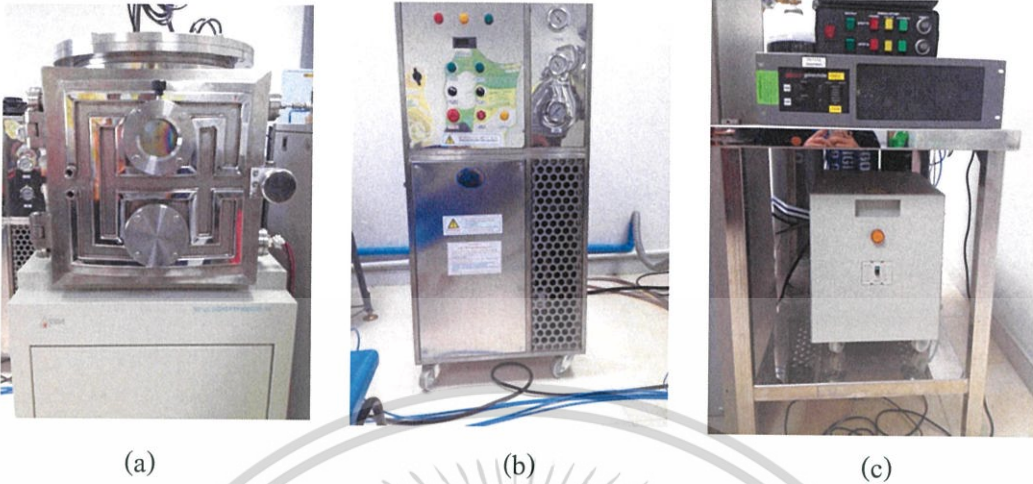
(b)

(c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลและต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 (a) Trichloroethylene (b) Methanol (c) Acetone

3. เครื่องที่ใช้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง



รูปที่ 3.3 (a) ห้องเคลือบสุญญากาศ (b) ระบบทำความเย็น (c) แหล่งจ่ายไฟ

4. เครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 3.4 (a) เครื่อง X-ray diffraction (b) เครื่อง Scanning electron microscope (SEM) (c) เครื่อง Potentiostat (d) เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Vickers

(c) เครื่อง Potentiostat (d) เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Vickers

3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์

3.2.1 ตัดแผ่นสแตนเลสเกรด 304 (ขนาด 3x3 เซนติเมตร) ด้วยเลเซอร์เพื่อนำมาใช้เป็นพื้นผิวรองรับ

3.2.2 นำพื้นผิวรองรับ (ขนาด 3x3 เซนติเมตร) ที่ตัดเสร็จแล้วมาขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1200

3.2.3 นำพื้นผิวรองรับที่ขัดเสร็จแล้วไปล้างด้วยน้ำยาล้างจานเพื่อใช้ขจัดไขมันออกจากผิว

3.2.4 ล้างพื้นผิวรองรับด้วยสารเคมี ดังขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำความสะอาดพื้นผิวรองรับด้วยเครื่องอัลตราโซนิคใน trichloroethylene ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีสมบัติละลายไขมันได้ดีจึงนำมาทำความสะอาดคราบไขมัน โดยใช้เวลา 10 นาที

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อล้างพื้นผิวรองรับใน trichloroethylene เสร็จแล้วนำไปล้างใน acetone โดยใช้อัลตราโซนิคเป็นเวลา 10 นาที เพื่อขจัดคราบมันต่างๆ

ขั้นตอนที่ 3 จากนั้นนำพื้นผิวรองรับไปล้างใน methanol โดยใช้อัลตราโซนิคเพื่อล้าง acetone ออกจากพื้นผิวรองรับ

ขั้นตอนที่ 4 นำพื้นผิวรองรับไปล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนจนแห้ง จากนั้นนำชิ้นงานไปเก็บไว้ในกล่องเก็บชิ้นงาน

3.2.5 ทำให้ห้องสุญญากาศมีความดันพื้นเท่ากับ 1.7×10^{-5} mbar

3.2.6 ทำการใส่แก๊สอาร์กอนเข้าไปในห้องสุญญากาศให้มีความดันเท่ากับความดันรวมคือ 4×10^{-3} mbar

3.2.7 ทำการ Pre-Sputter 1 ครั้ง เพื่อให้ภายในห้องสุญญากาศสะอาดและมีส่วนผสมของก๊าซส่วนอื่นผสมน้อยที่สุดโดยการใส่ก๊าซอาร์กอน (Ar) ไปในห้องสุญญากาศที่ความดันเท่ากับความดันรวมคือ 4×10^{-3} mbar และใช้กำลังไฟฟ้าในการสปัตเตอร์ 100 วัตต์

3.2.8 ให้ความร้อนแก่พื้นผิวรองรับเพื่อทำให้มีการยึดเกาะที่ดีขึ้นโดยใช้หลอดไฟ Halogen ที่อุณหภูมิ 320°C

3.2.9 เคลือบโครเมียมลงพื้นผิวรองรับเพื่อให้เกิดการยึดเกาะกับพื้นผิวรองรับได้ดีขึ้น โดยใช้กำลังไฟฟ้าในการสปัตเตอร์ 150 วัตต์ นาน 5 นาที

3.2.10 เคลือบโครเมียมไนไตรด์ (CrN) ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมเป็น 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ให้มีความหนา 5 ไมโครเมตรโดยใช้กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์

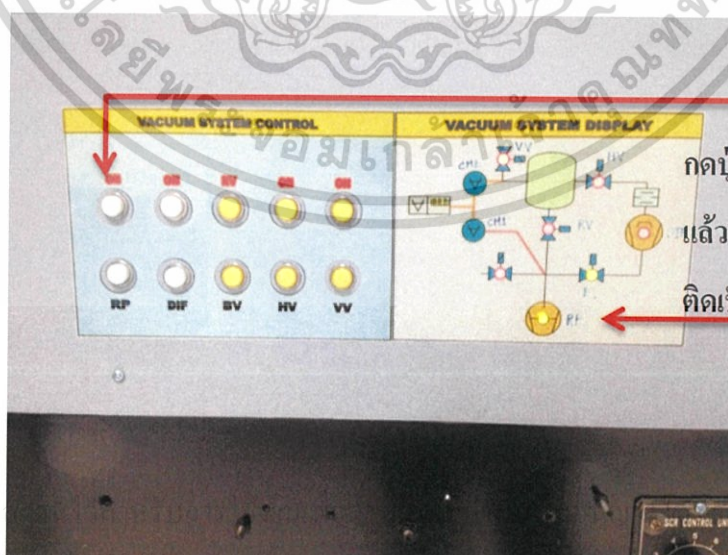
ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
ความดันพื้นฐาน	1.7×10^{-5} mbar
ความดันรวม	4×10^{-3} mbar
ระยะห่างระหว่างเป้ากับพื้นผิวรองรับ	7 cm
อุณหภูมิพื้นผิวรองรับก่อนเคลือบโครเมียม	320 °c
กำลังไฟฟ้าขณะเคลือบโครเมียม	150 W
กำลังไฟฟ้าขณะเคลือบโครเมียมไนไตรด์	300 W
ความดันไนโตรเจนต่อความดันรวม	10%, 20%, 30%, 40% และ 50%
ความหนาของฟิล์ม	5 μ m

3.3 ขั้นตอนการใช้เครื่องในการเตรียมฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ (CrN)

1. เปิดปั๊มลมที่ห้องควบคุม

2. เปิดฝาห้องสุญญากาศ โดยการกดปุ่ม RP (ON) เมื่อกดแล้ว ไฟแสดง RP กับ BV จะติดเป็นสี

เขียว



กดปุ่ม RP (ON) เมื่อกดแล้ว ไฟ RP กับ BV จะติดเป็นสีเขียว

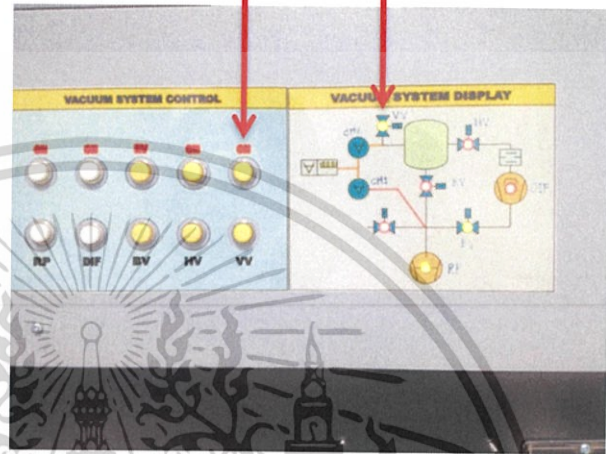
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 3.5 เตรียมห้องสุญญากาศให้มีอากาศภายในเท่ากับภายนอก

3. หมุนตัวล็อกฝาห้องสุญญากาศออก แล้วกดปุ่ม VV (ON) ไฟ VV จะติดเป็นสีเขียว รอจนฝาห้องสุญญากาศจะเปิดออก

กดปุ่ม VV (ON) ไฟ
VV จะติดเป็นสีเขียว



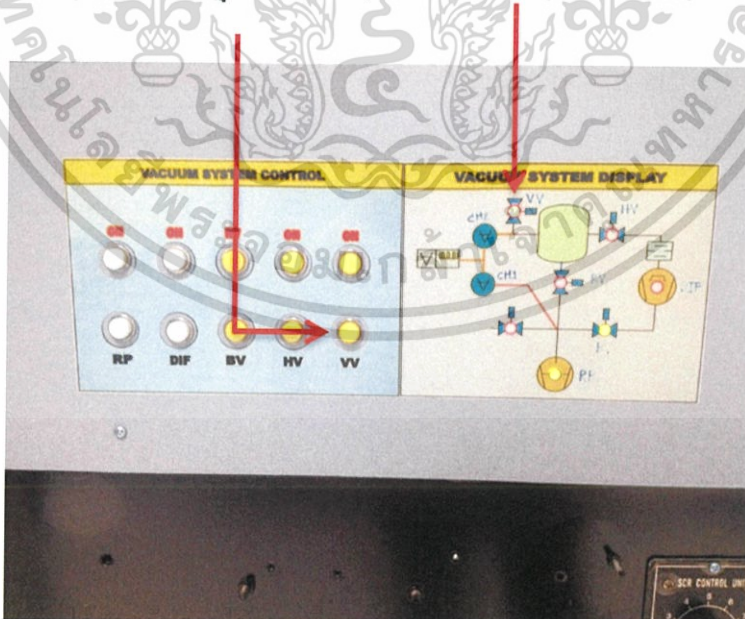
หมุนตัวล็อกฝาห้องสุญญากาศ



รูปที่ 3.6 การเปิดตัวล็อกฝาห้องสุญญากาศ

4. เมื่อฝาห้องสุญญากาศเปิดออกแล้ว ให้ทำการกด VV (OFF) เพื่อหยุดการปรับความดัน ไฟ VV จะเป็นสีแดง

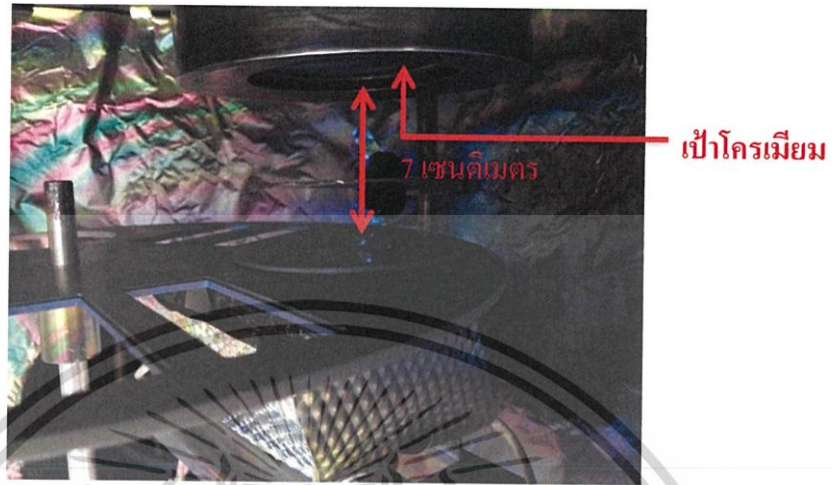
กดปุ่ม VV (OFF) ไฟ VV จะเป็นสีแดง



รูปที่ 3.7 การปรับความดันหลังห้องสุญญากาศเปิด

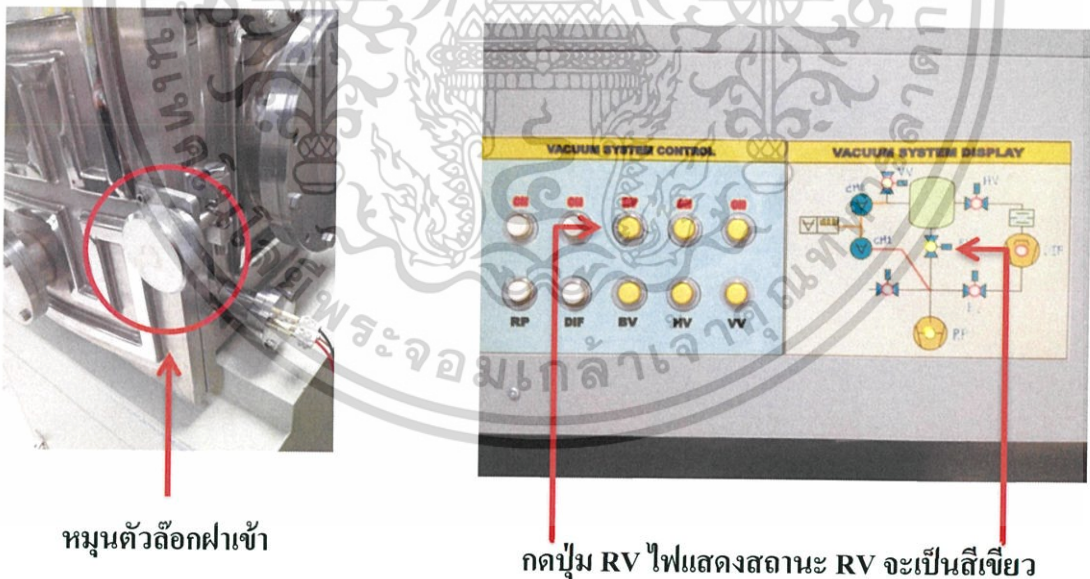
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รับแปลงเนื้อหา และอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำพื้นผิวรองรับที่ต้องการจะใช้ในการเคลือบวางลงบนแท่นวาง โดยพื้นผิวรองรับมีระยะห่างจากเป้าเป็นระยะ 7 เซนติเมตร



รูปที่ 3.8 ปรับระยะห่างระหว่างพื้นผิวรองรับกับเป้าโครเมียม

6. เมื่อวางพื้นผิวรองรับลงบนแท่นรองรับเสร็จแล้ว ทำการปิดฝาแล้วหมุนตัวล็อกฝาเข้า จากนั้น กด RV เพื่อดูดอากาศออกจากห้องสุญญากาศ ไฟแสดงสถานะ RV จะเป็นสีเขียว

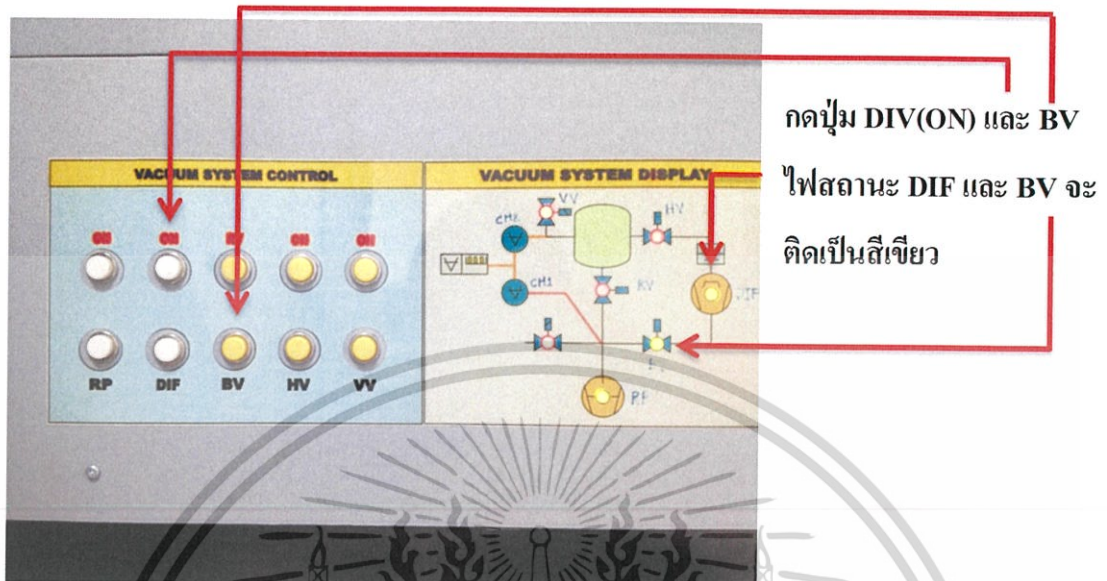


รูปที่ 3.9 วิธีล็อกฝาห้องสุญญากาศและดูดอากาศออกจากห้องสุญญากาศ

7. กด RV และ BV สลับกันจนกระทั่งความดันภายในห้องสุญญากาศลดลงเหลือประมาณ 3.0×10^{-2} mbar
ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เปิดระบบทำความเย็นเพื่อไม่ให้ระบบภายในห้องสุญญากาศร้อนเกินไป

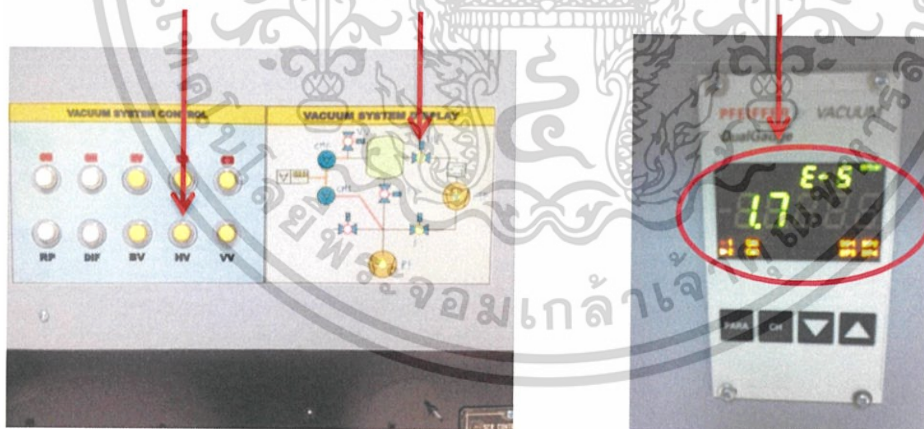
9.หลังจากเปิดระบบทำความเย็นแล้วให้กดปุ่ม BV และ DIF (ON) เพื่อทำให้ความดันภายในห้องสุญญากาศลดลง ไฟสถานะ DIF และ BV จะติดเป็นสีเขียว จับเวลา 20 นาที



รูปที่ 3.10 การเปิด Division pump

10.เมื่อครบ 20 นาทีแล้วให้กดปุ่ม HV เพื่อทำให้ความดันลดลง ไฟแสดงสถานะ HV จะเป็นสีเขียวแล้วรอให้ความดันลดลงจนต่ำกว่า 2.0×10^{-5} mbar

กดปุ่ม HV ไฟแสดงสถานะ HV จะเป็นสีเขียว ความดันต่ำกว่า $2E-5$ mbar



รูปที่ 3.11 การดูอากาศออกจากห้องสุญญากาศทำให้ความดันภายในลดลง

11.เมื่อความดันลดลงต่ำกว่า 2.0×10^{-5} mbar แล้ว เปิดวาล์วแก๊สอาร์กอน (Ar) เพื่อทำการล้างเป้า

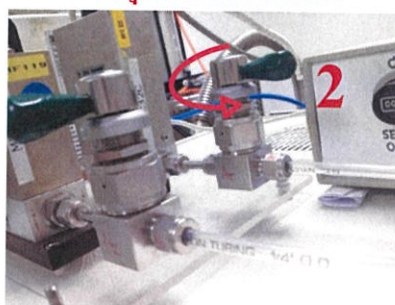
โดยใช้แก๊สอาร์กอน (Ar) แล้วปรับความดันที่ CH2 ให้มีความดันเป็น 4.0×10^{-3} mbar จับเวลา 5 นาที แล้วปิด CH2 พัก 5 นาที แล้วปรับ CH2 ให้มีความดันเป็น 4.0×10^{-3} mbar อีกครั้ง จากนั้นปิด CH2 แล้วพัก 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

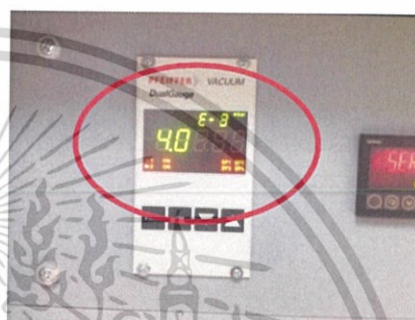
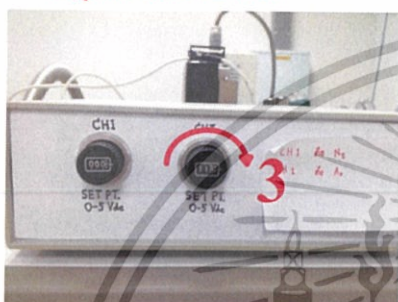
หมุนทวนเข็มนาฬิกา



หมุนทวนเข็มนาฬิกา

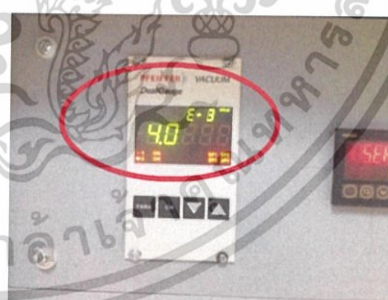
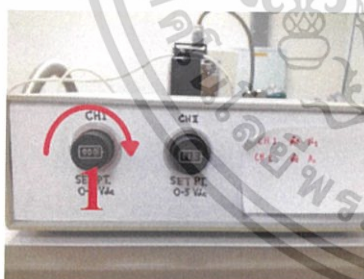


หมุนตามเข็มนาฬิกา



รูปที่ 3.12 ปรับความดันก๊าซอาร์กอนเพื่อทำความสะอาดห้องสุญญากาศ

12.ทำการ Pre-Sputter 1 ครั้ง โดยปรับความดันของอาร์กอนที่ CH2 ให้มีความดันเป็น 4.0×10^{-3} mbar และใช้กำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ โดยการปรับ Modify =34 จากเครื่อง Regulation เป็นเวลา 5 นาที แล้วปิดเครื่องโดยปิดถอยหลังจากขั้นตอนที่ 6 ไปยังขั้นตอนที่ 1



4 ปรับ Modify ไปที่ 34 เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้า 100 วัตต์

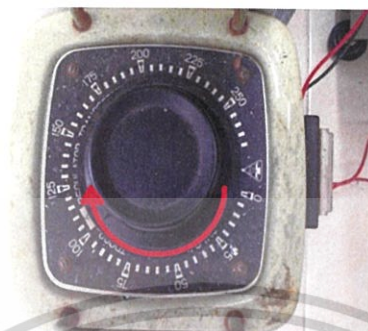


3 เปิดสวิตซ์
ที่อยู่
ด้านหลัง
เครื่องขึ้น



รูปที่ 3.13 ปรับความดันก๊าซอาร์กอนและเปิด-ปิดแหล่งจ่ายไฟ

13.ให้ความร้อนแก่พื้นผิวรองรับ เป็นเวลา 30 นาที (ประมาณ 320°C) โดยใช้หลอดฮาโลเจนในการให้ความร้อน

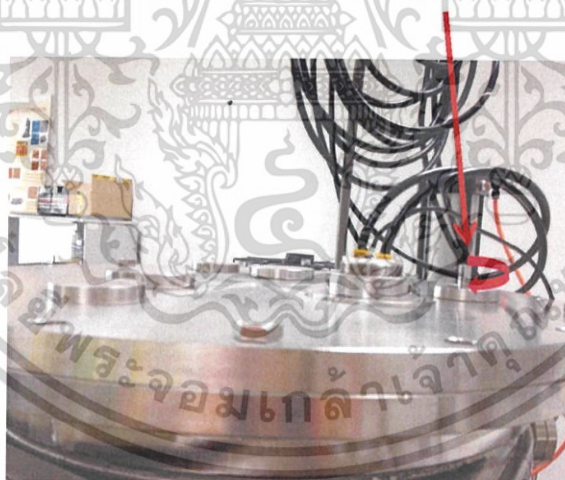


หมุนตามเข็มนาฬิกาไปที่ 100 เพื่อให้ความร้อนที่ 320°C

รูปที่ 3.14 ให้ความร้อนกับพื้นผิวรองรับ

14.หมุนแกนเหล็กในทิศตามเข็มนาฬิกาเพื่อเปิด Shutter ที่กั้นระหว่างเป้ากับพื้นผิวรองรับก่อนทำการเคลือบ

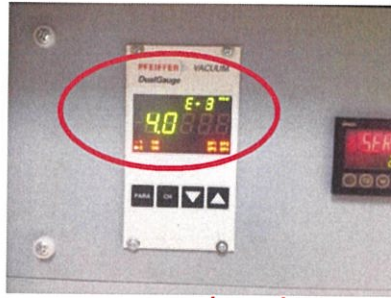
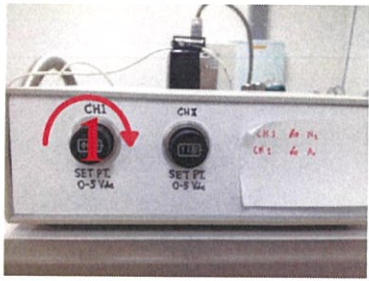
หมุนแกนเหล็กเพื่อเปิดเป้าก่อนการเคลือบ



รูปที่ 3.15 หมุนแกนเหล็กเพื่อเปิดเป้าก่อนการเคลือบ

15.ทำการเคลือบโครเมียม (Cr) โดยปรับความดันของอาร์กอนที่ CH2 ให้มีความดันเป็น 4.0×10^{-3} mbar และใช้กำลังไฟฟ้า 150 วัตต์ โดยการปรับ Modify = 49 จากเครื่อง Regulation เป็นเวลา 5 นาที แล้วปิดหมายเลข 6 จากนั้นปิดหมายเลข 1 พัก 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4 ปรับ Modify ไปที่ 34 เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้า 150



3 เปิดสวิตซ์

ที่อยู่

ด้านหลัง

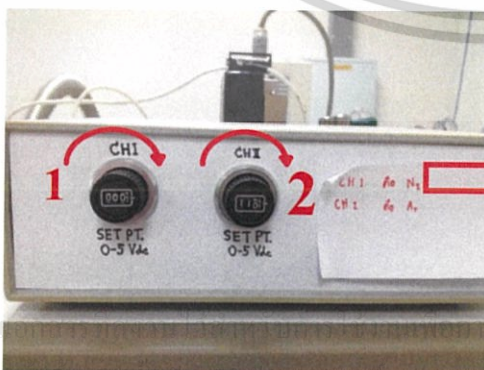
เครื่องขึ้น

2. เปิดสวิตซ์ขึ้น



รูปที่ 3.16 เคลือบ โครเมียมลงบนสแตนเลส 304

16.ทำการเคลือบ โครเมียมไนไตรด์ (CrN) เริ่มต้นที่ความดันย่อย N₂ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% โดยการปรับความดันไนโตรเจนที่ CH1 ให้มีความดันเป็น 4.0x10⁻⁴, 8.0x10⁻⁴, 1.2x10⁻³, 1.6x10⁻³ และ 2.0x10⁻³ mbar ตามลำดับ (เช่นที่ไนโตรเจน 20% ; 0.2x4x10⁻³ =8x10⁻⁴ mbar) แล้วปรับ Ar ที่ CH2 ให้มีความดันรวมเท่ากับ 4.0x10⁻³ mbar โดยทำการเคลือบที่กำลัง 300 วัตต์ ปรับ Modify ไปที่ 99 จับเวลาตามที่ได้กำหนดไว้ตามตารางที่ 3.2



เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงนอกรายชื่อและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับ Modify ไปที่ 99 เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์



รูปที่ 3.17 เครื่องมือโครเมียมไนไตรด์ลงบนสแตนเลส 304

ตารางที่ 3.2 เวลาในการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมลงบนแผ่นสแตนเลส 304

ปริมาณการเคลือบโครเมียม	เวลาการเคลือบโครเมียม (นาที)
10%	5
20%	5
30%	5
40%	5
50%	5

ตาราง 3.3 เวลาการเคลือบโครเมียมไนไตรด์ลงบนแผ่นสแตนเลส 304

จำนวนครั้งที่	เวลาการเคลือบโครเมียมไนไตรด์ (นาที)				
	10%	20%	30%	40%	50%
1	10	10	10	10	10
2	10	10	10	10	10
3	10	10	10	15	10
4	10	10	10	10	10
5	10	15	10	10	10
6	10	15	10	10	10
7	-	-	10	15	10
8	-	-	10	10	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้เผยแพร่ลงสื่อออนไลน์หรืออ้างถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนครั้งที่	เวลาการเคลือบโครเมียมไนไตรด์ (นาทีก)				
	10%	20%	30%	40%	50%
9	-	-	10	10	10
10	-	-	10	10	10
11	-	-	-	10	10
12	-	-	-	15	10
13	-	-	-	-	10
14	-	-	-	-	10
15	-	-	-	-	10

- 17.หลังจากเคลือบโครเมียมไนไตรด์เสร็จแล้ว รอ 10 นาที แล้วทำการปิดวาล์วก๊าซ แล้วรออีก 15 นาที
- 18.เมื่อรอครบ 15 นาทีแล้ว จากนั้นกดปุ่ม DIF (OFF) ไฟแสดงสถานะจะเป็นสีแดง
- 19.เมื่อกดปิด DIF แล้ว รอจนความดันประมาณ E-3 mbar (20 นาที) แล้วทำการกดปิด HV ไฟแสดงสถานะจะเป็นสีแดง
- 20.เมื่อปิด HV แล้วรอจนเครื่องเริ่มเย็นแล้วปิดระบบทำความเย็น
- 21.เปิด Chamber โดยทำเหมือนข้อ 3-4 จากนั้นนำ Sample ออกมา แล้วทำการปิด Chamber โดยการปิดฝาและหมุนตัวล็อกเข้า จากนั้น กด RV
- 22.กด RP (OFF) แล้วปิดสวิตช์เครื่องควบคุม

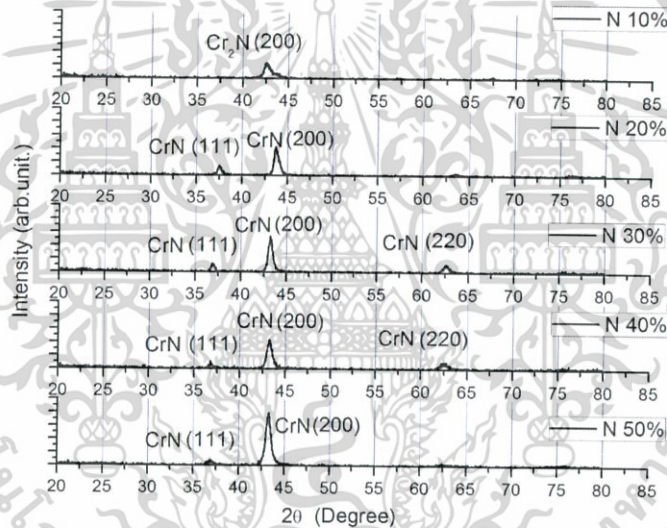
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 การวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction (XRD)

จากการทดลองจะวิเคราะห์ XRD ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ (CrN_x) เคลือบลงบนแผ่นสแตนเลส 304 ที่มีอัตราส่วนความดันย่อยของไนโตรเจนต่อความดันรวมเป็น 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ระยะห่างระหว่างเป้าโครเมียมไนไตรด์กับพื้นผิวรองรับเป็นระยะ 7 เซนติเมตร ได้ผลดังรูปที่ 4.1

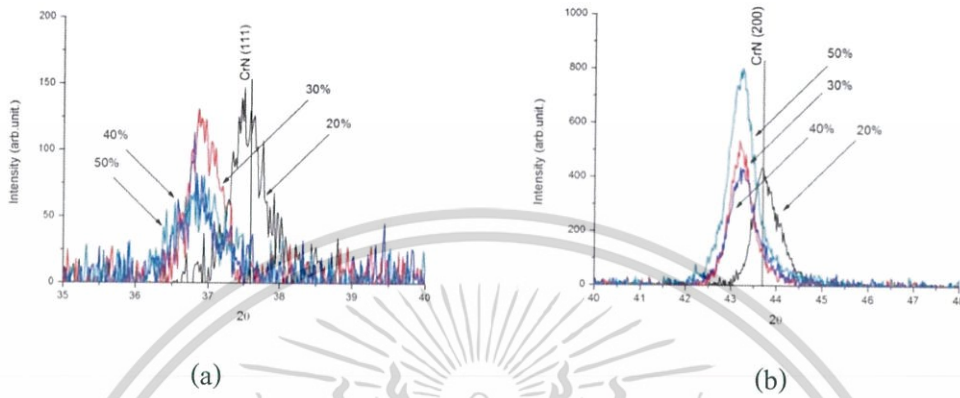


รูปที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของโครเมียมไนไตรด์ (CrN_x) ที่เคลือบลงบนสแตนเลสเกรด 304 ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของก๊าซระหว่างก๊าซไนโตรเจน (N_2) กับอาร์กอน (Ar)

จากรูปที่ 4.1 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในการเคลือบฟิล์มบาง CrN_x พบว่าการเลี้ยวเบนมีพีคตรงกับระนาบ (111), (200) และ (220) โดยมีมุมการเลี้ยวเบนคือ 37.60° , 43.77° และ 63.60° ตามลำดับ ซึ่งโครเมียมไนไตรด์มีโครงสร้างเป็นแบบคิวบิกเมื่อเทียบกับการเลี้ยวเบนจาก

ฐานข้อมูลมาตรฐาน JCPDS 00-011-0065 สังเกตได้ว่าที่ระนาบ (111) เมื่อปริมาณของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ความเข้มของพีคของโครเมียมไนไตรด์ลดลง และที่ระนาบ (200) เมื่อปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ความเข้มของพีคของโครเมียมไนไตรด์เพิ่มขึ้นด้วยจึงทำให้ระนาบ (200) เป็นระนาบที่โดดเด่นและเมื่อสังเกตที่ความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่ออาร์กอน 10% เห็นได้ว่ามีพีคขึ้นที่ระนาบ (200)

ของ Cr_2N และมีแนวโน้มน่าจะเป็น CrN มีมุมการเลี้ยวเบนที่ 42.58° ซึ่งสาเหตุนี้เกิดจากปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่มีน้อยทำให้มีการฟอร์มตัวระหว่างอะตอมไนโตรเจนที่มีน้อยกว่าอะตอมของโครเมียม ทำให้ไม่เกิดเป็นโครเมียมไนไตรด์ (CrN)



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบมุมการเลี้ยวเบนที่ระนาบ (111) และ (200) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่ออาร์กอนที่ 20%, 30%, 40% และ 50% ของการเคลือบฟิล์มบาง (CrN_x) บนสแตนเลสเกรด 304

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ที่อัตราส่วนความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 10% จะยังไม่เกิดเป็นโครงสร้าง CrN ดังนั้นผู้ศึกษาจึงทำการเปรียบเทียบ XRD ที่อัตราส่วนความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 20%, 30%, 40% และ 50% จากรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ระนาบ (111) และ (200) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของความดันย่อยไนโตรเจนต่ออาร์กอนที่ 20%, 30%, 40% และ 50% โดยที่รูป 4.2 (a) และ 4.2 (b) เป็นการเปรียบเทียบการเลี้ยวเบนที่ระนาบ (111) และ (200) ซึ่งมีมุมการเลี้ยวเบนของโครเมียมไนไตรด์ที่ 37.60° และ 43.77° ตามลำดับ สังเกตว่าเมื่อปริมาณความดันย่อยของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นมุมในการเลี้ยวเบนลดลงแสดงให้เห็นถึงระยะห่างระหว่างระนาบเพิ่มขึ้นและทำให้ค่าคงที่ผลึกเพิ่มขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ A.Ruden และคณะ [9] ที่ได้อธิบายไว้ว่าแนวโน้มน่าจะเป็นของการเลี้ยวเบนน้อยลงเมื่อมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อความดันไนโตรเจนเป็น 20% จะฟอร์มตัวได้เป็นโครงสร้างโครเมียมไนไตรด์ (CrN) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ G.Wei และคณะ [4] ได้อธิบายไว้ว่า เมื่อให้อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมเป็น 10 – 15% ฟิล์มจะฟอร์มตัวอยู่ในรูป Cr_2N และเมื่ออัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความ

ค้นรวมเพิ่มขึ้นเป็น 20% ฟิล์มจะฟอร์มตัวอยู่ในรูป CrN โดยค่าระยะห่างระหว่างระนาบ ขนาดของผลึก และค่าคงที่ผลึกหาได้จากสูตร

$$\text{ระยะห่างระหว่างระนาบ} = \frac{\lambda}{2\sin\theta}$$

$$\text{ขนาดของผลึก} = \frac{k\lambda}{2\cos\theta}$$

$$\text{ค่าคงที่ผลึก} = d \sqrt{(h^2) + k^2 + l^2}$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

k คือ ค่าคงที่ของรังสีเอ็กซ์

FWHM คือ ค่าความกว้างของพีคที่ระยะเป็นครึ่งหนึ่งของระยะสูงสุด

d คือ ค่าระยะห่างระหว่างระนาบ

h,k,l คือ ค่าดัชนีมิลเลอร์

ตารางที่ 4.1 ค่าระยะห่างระหว่างระนาบ ขนาดของผลึก และค่าคงที่ผลึก

โครงสร้าง	% N	ระยะห่างระหว่างระนาบ (nm)	ขนาดของผลึก (Å)	ค่าคงที่ผลึก (nm)
CrN (111)	20	0.247	124.554	0.429
	30	0.244	143.690	0.422
	40	0.243	96.886	0.421
	50	0.243	84.288	0.422
CrN (200)	20	0.287	104.881	0.497
	30	0.283	118.573	0.491
	40	0.283	98.807	0.491
	50	0.283	101.767	0.491

จากสมการของแบรกก์ $2d\sin\theta = n\lambda$ โดยในการวัดใช้ CuK_{α} ที่มีความยาวคลื่นรังสี

เอ็กซ์ 1.54056 Å สามารถคำนวณหาระยะห่างระหว่างระนาบ (d-spacing) ขนาดของผลึก (grain

size) และ ค่าคงที่ผลึก (Lattice constance) ของ CrN_x ที่ระนาบ (111) และ (200) โดยที่ระนาบ

(111) มีระยะห่างระหว่างระนาบอยู่ในช่วง 0.243 – 0.247 nm ที่ระนาบ (200) มีระยะห่างระหว่าง

ระนาบอยู่ในช่วง 0.283 – 0.287 nm เมื่อพิจารณาขนาดของผลึก ที่ระนาบ (111) มีขนาดของผลึกอยู่

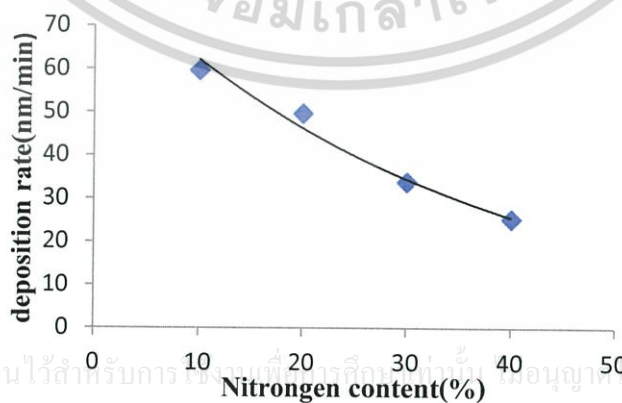
ในช่วง 84.288 – 143.690 Å ที่ระนาบ (200) ขนาดของผลึกอยู่ในช่วง 98.807 – 118.573 Å ซึ่งจากตารางสรุปได้ว่าที่ระนาบ (111) และ (200) ที่ความดันย่อยไนโตรเจน 30% มีความเป็นผลึกมากที่สุด และเมื่อพิจารณาค่าคงที่ผลึกที่ระนาบ (111) อยู่ในช่วง 0.421 – 0.429 nm ที่ระนาบ (200) มีค่าคงที่ผลึกอยู่ในช่วง 0.491 – 0.497 nm ซึ่งค่าคงที่ผลึกมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ G.Wei และคณะ [4] โดยมีค่าคงที่ผลึกของโครเมียมไนไตรด์เป็น 0.417 nm

4.2 การวิเคราะห์ความหนาด้วย Scanning Electron Microscopy (SEM)

จากงานวิจัยเรื่องผลของความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อนในน้ำสลับประคด ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่เคลือบโดยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง [10] โดยเคลือบโครเมียมไนไตรด์ลงบนแผ่นซิลิกอน ที่อัตราส่วนความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 10%, 20%, 30% และ 40% ใช้เวลาการเคลือบ 30 นาที ค่าความหนาของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ คือ 2.089 μm , 1.741 μm , 1.185 μm และ 0.889 μm ตามลำดับ และ ค่าอัตราการเคลือบของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 อัตราการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ในแต่ละความดันย่อยแก๊สไนโตรเจน

ความดันย่อยของแก๊สไนโตรเจน (%N)	อัตราการเคลือบ (nm/min)
10%	59.67
20%	49.74
30%	33.86
40%	25.40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ วิชาการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 4.3 อัตราการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่ 10%, 20%, 30% และ 40% [10]

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณแก๊สไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น ความหนาของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์จะมีค่าลดลง เนื่องจากอัตราส่วนปริมาณแก๊สไนโตรเจนต่อปริมาณแก๊สอาร์กอนมีผลต่ออัตราการเคลือบของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เนื่องจากอัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นนั้นทำให้ปริมาณแก๊สไนโตรเจนในห้องเคลือบมีค่ามากขึ้น แก๊สไนโตรเจนจึงมีการรวมตัวกับอะตอมโครเมียมบริเวณผิวหน้าเป่าสารเคลือบแล้วเกิดเป็นชั้นบางๆ ของสารประกอบโครเมียมไนไตรด์ CrN ทำให้ผิวหน้าเป่าสารเคลือบมีการนำไฟฟ้าลดลงส่งผลให้อัตราการสปีดเตอร์สารเคลือบ (Cr) มีค่าลดลงและความหนาของฟิล์มลดลงตามไปด้วย

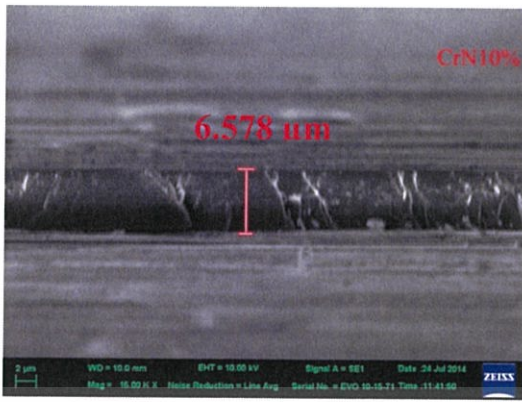
จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ผู้ทำการศึกษาต้องการควบคุมความหนาของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่ $5 \mu\text{m}$ จึงใช้งานวิจัยนี้หาเวลาในการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่เหมาะสม และเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เวลาการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ในอัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่างๆ

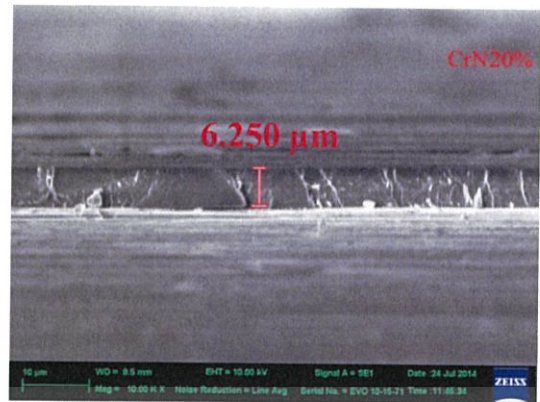
อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจน	เวลาการเคลือบฟิล์ม CrN _x (นาที)
10%	60
20%	70
30%	100
40%	135
50%	150

รูปที่ 4.4 แสดงภาพตัดขวางของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่อัตราส่วนความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% โดยวัดได้จากเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) พบว่า ความหนาที่ได้แต่ละฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ต่อความดันรวมที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% คือ $6.578 \mu\text{m}$, $6.250 \mu\text{m}$, $6.810 \mu\text{m}$, $5.778 \mu\text{m}$ และ $5.018 \mu\text{m}$ ตามลำดับ

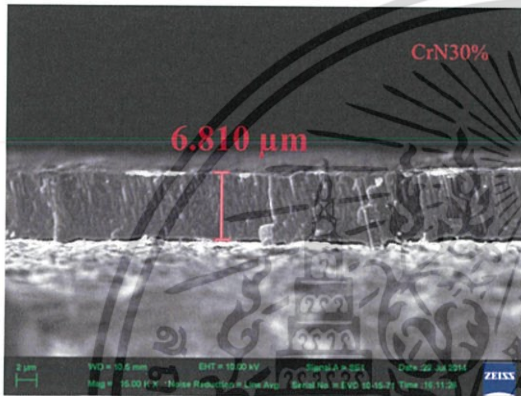
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



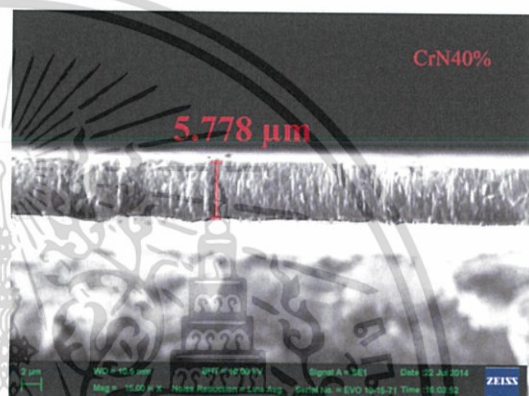
(a)



(b)



(c)



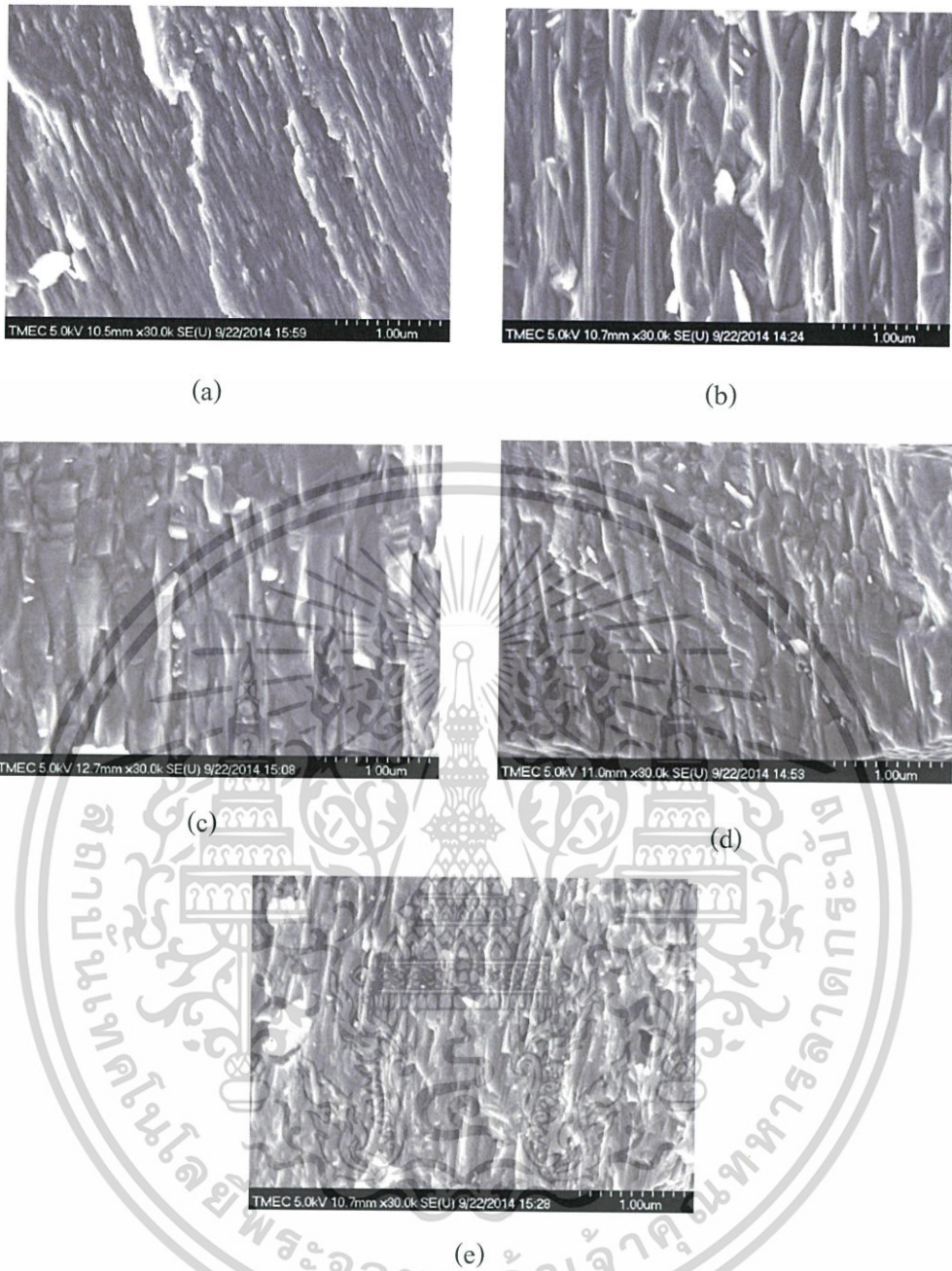
(d)



(e)

รูปที่ 4.4 ภาพตัดขวางของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์จากเครื่อง SEM ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวม (a) 10%, (b) 20%, (c) 30%, (d) 40% และ (e) 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



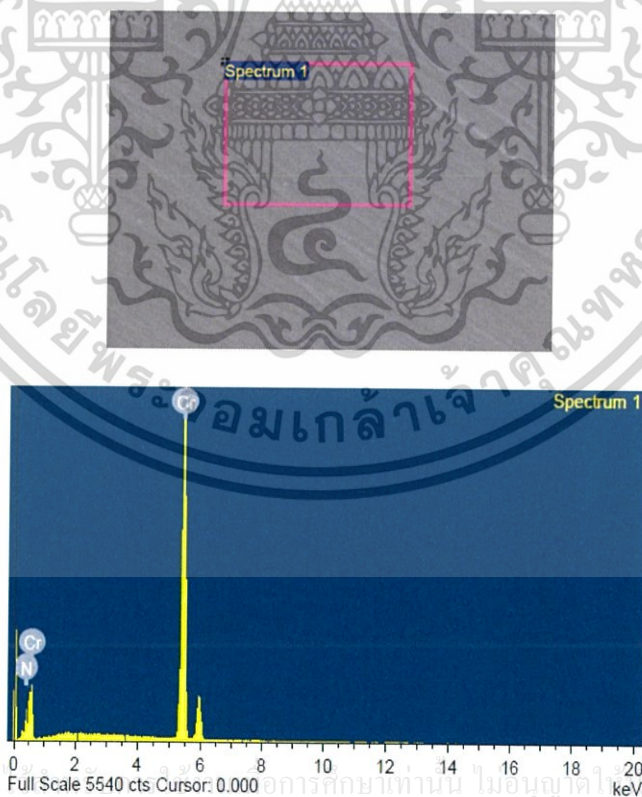
รูปที่ 4.5 ภาพตัดขวางของฟิล์มบาง โครเมียมไนไตรด์จากเครื่อง FE-SEM ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวม (a) 10% (b) 20% (c) 30% (d) 40% และ (e) 50%

รูปที่ 4.5 แสดงภาพตัดขวางของฟิล์มบาง โครเมียมไนไตรด์จากเครื่อง FE-SEM ที่กำลังขยาย 30K รูป 4.5 (a) อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 10% มีขนาดเกรนเล็ก ความเป็นผลึกต่ำซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ XRD ลักษณะการเกิดของเกรนเกิดขึ้นในแนวเฉียง รูปที่ 4.5 (b) อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 20% เกรนมีลักษณะค่อนข้างสมบูรณ์ การเกิดเกรนในแนวตั้ง (columnar) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ XRD โดยที่

ไนโตรเจน 20% फिल्मจะฟอร์มตัวเป็น โครเมียมไนไตรด์ (CrN) อย่างสมบูรณ์ รูปที่ 4.5 (c) อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 30% ขนาดของเกรนใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับ อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับผล XRD ลักษณะเกรนในแนวตั้ง ความต่อเนื่องของเกรนลดลง รูปที่ 4.5 (d) อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 40% ขนาดของเกรนเล็กลง แต่มีความหนาแน่นสูงขึ้น ลักษณะการเกิดทั้งในแนวตั้งและแนวเฉียง และรูปที่ 4.5 (e) อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 50% ความหนาแน่นลดลงเมื่อเทียบกับอัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 40% ลักษณะเกรนส่วนใหญ่อยู่ในแนวตั้ง มีแนวเฉียง บ้างเล็กน้อย

4.3 การวิเคราะห์ด้วย Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS)

การวิเคราะห์ EDS เพื่อหาอัตราส่วนของโครเมียมต่อไนโตรเจนในฟิล์มบาง CrN_x ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจน 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ซึ่งสามารถหาเปอร์เซ็นต์อะตอม Cr : N ดังตารางที่ 4.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน
 Full Scale 5540 cts Cursor: 0.000
 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 keV
 เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์
 ไม่ควรแก้ไข
 รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายจาก SEM และผลสเปกตรัมของงานที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มบาง โครเมียมไนไตรด์

จากรูปที่ 4.6 เป็นรูปพื้นผิวของฟิล์มบาง CrN_x ที่แสดงบริเวณที่เลือกมาวัดปริมาณอะตอมของธาตุที่อยู่ในเนื้อฟิล์ม และรูปแสดงสเปกตรัมระหว่างอะตอมโครเมียมกับอะตอมของไนโตรเจน โดยแกนตั้งแสดงความเข้มของธาตุที่วัดได้และแกนนอนแสดงพลังงานจากการชนของรังสีอิเล็กตรอนกับอะตอมของโครเมียมและไนโตรเจนทำให้อิเล็กตรอนชั้น K-shell หลุดออกจากวงโคจรส่งผลให้อิเล็กตรอนวงนอกเข้ามาแทนที่และปลดปล่อยพลังงานออกมาในหน่วย keV ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ของธาตุแต่ละชนิด โดยโครเมียมมีค่าพลังงานจากการเปลี่ยนวงโคจรของอิเล็กตรอนเป็น $K\alpha = 5.4117$ keV, $L\alpha = 0.5729$ keV และ ไนโตรเจนมีค่าพลังงานจากการเปลี่ยนวงโคจรของอิเล็กตรอนเป็น $K\alpha = 0.3924$ keV

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์อะตอมของโครเมียมและไนโตรเจนในฟิล์มบาง CrN_x

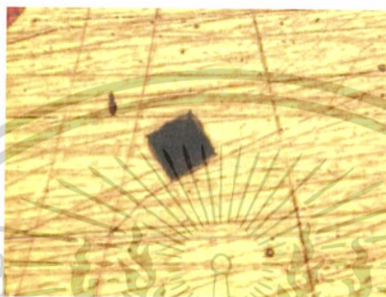
อัตราส่วนความดัน ย่อยไนโตรเจน	Cr (%At)	N (%At)	Cr : N
10%	65.11	34.89	1.00 : 0.53
20%	44.50	55.50	1.00 : 1.24
30%	43.50	56.50	1.00 : 1.29
40%	44.11	55.89	1.00 : 1.26
50%	43.93	56.07	1.00 : 1.27

จากตารางที่ 4.4 พบว่าที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 10% มีอัตราส่วนอะตอมของโครเมียมต่อไนโตรเจนเป็น 1.00 : 0.53 อัตราส่วนดังกล่าวทำให้รู้ว่าฟิล์มมีโครงสร้างเป็น Cr_2N ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ XRD ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวม 20% มีอัตราส่วนอะตอมของโครเมียมต่อไนโตรเจนเป็น 1.00 : 1.24 อัตราส่วนดังกล่าวทำให้รู้ว่าฟิล์มมีโครงสร้างเป็น CrN ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ XRD และที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมเป็น 30%, 40% และ 50% มีอัตราส่วนอะตอมของโครเมียมต่อไนโตรเจนที่ใกล้เคียงกันทำให้รู้ว่าฟิล์มมีโครงสร้างเป็น CrN ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ XRD ดังรูปที่ 4.2 โดยมีมุมการเลี้ยวเบนลดลงอยู่ในช่วงเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

การวิเคราะห์ความแข็งของพื้นผิวของฟิล์มบาง CrN_x ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำสแตนเลส 304 เคลือบด้วยฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ในการทดสอบความแข็งนี้ได้ควบคุม อุณหภูมิ และละอุมความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมให้เท่ากับ $24.5^{\circ}C$ และ 56 %RH ตามลำดับ จากนั้นจึงนำไปทดสอบความแข็งแบบ Vickers ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.7 รอยกดลงบนฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่เคลือบลงแผ่นสแตนเลส 304 แบบ Vickers

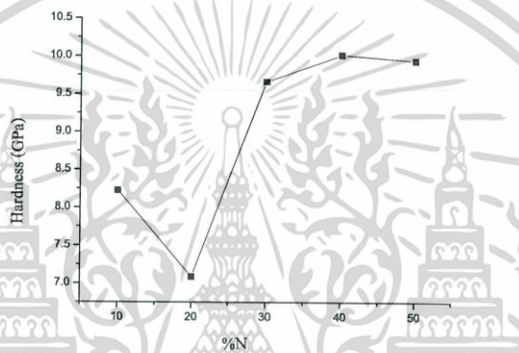
จากรูปที่ 4.6 ภาพถ่ายจากกล้อง microscope ที่ทำการกดด้วยหัวเพชรพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งเป็นการทดสอบความแข็งแบบ Vickers ที่กล่าวมาในบทที่ 2 และทำการวัดเส้นทแยงมุมเพื่อที่จะหาค่าความแข็งของแผ่นสแตนเลส 304 และ ความแข็งของฟิล์มบาง CrN_x ดังตารางที่ 4.5 ตารางที่ 4.5 ผลทดสอบความแข็งของแผ่นสแตนเลส 304 และ ฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50%

จำนวนครั้ง	แรงกด (HV0.1)					
	แผ่นสแตนเลส 304	CrN_x ที่ 10%	CrN_x ที่ 20%	CrN_x ที่ 30%	CrN_x ที่ 40%	CrN_x ที่ 50%
1	163.8	861.2	740.5	972.5	1058.5	1014.3
2	161.1	813.1	714.5	992.9	993.3	1014.3
3	165.2	828.4	740.5	933.6	1036.1	1014.3
4	168.1	844.7	713.9	992.6	1058.5	1036.1
5	165.2	844.7	714.3	1131.7	1014.3	1131.3
เฉลี่ย (HV)	164.7	839.3	723.1	986.0	1036.3	1014.3
เฉลี่ย (GPa)	1.615	8.255	7.086	9.663	10.016	9.9403

หมายเหตุ : (1) การคิดค่าเฉลี่ยจะตัดค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดออก จากนั้นนำค่าที่เหลือทั้ง 3 มาหาค่าเฉลี่ย

(2) HV0.1 มีค่าเท่ากับ 9.80665 MPa

จากตารางที่ 4.5 เห็นได้ว่าค่าความแข็งของแผ่นสแตนเลส 304 มีค่าเท่ากับ 1.615 GPa และค่าความแข็งของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% จะมีค่าความแข็งที่แตกต่างกัน ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 40% มีค่าความแข็งสูงสุด และที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 20% มีค่าความแข็งต่ำที่สุด



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลของความแข็งกับอัตราส่วนความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50%

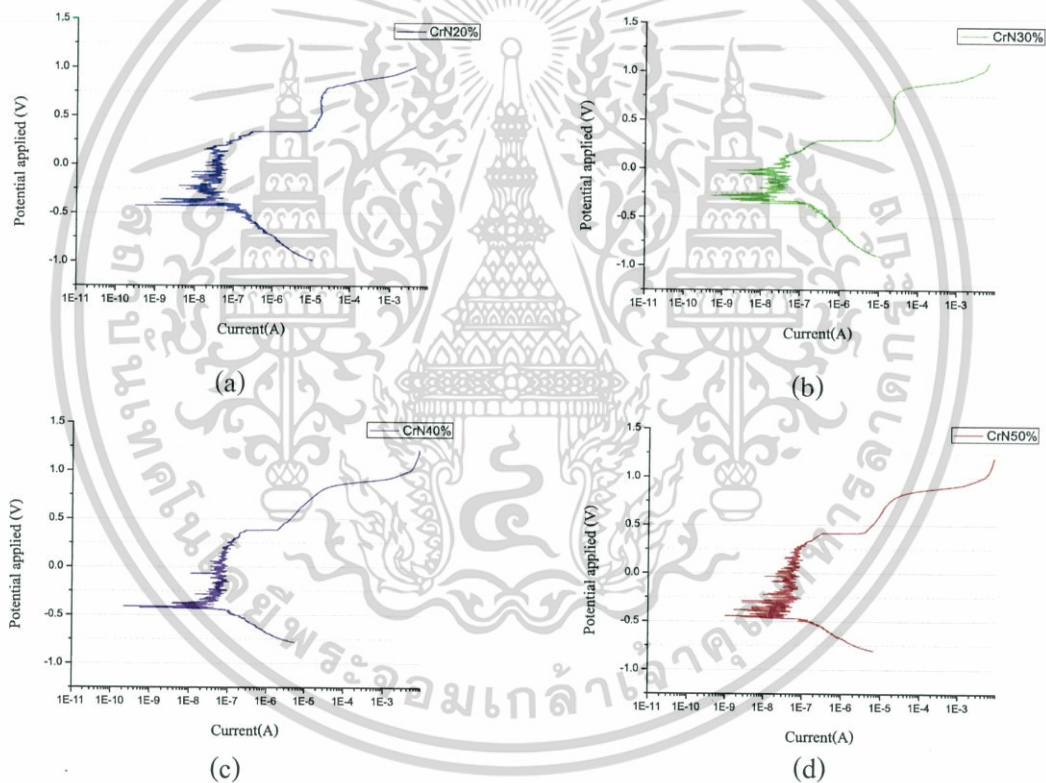
จากการวิเคราะห์ EDS สามารถหาเปอร์เซ็นต์ของอะตอมบนผิวชิ้นงาน จึงสามารถหาสูตรโครงสร้างของฟิล์มบาง CrN_x คือ CrN และ Cr_2N โครงสร้างแบบ Cr_2N จะมีความแข็งแรงมากกว่าโครงสร้างแบบ CrN [5] จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 10% จะมีค่าความแข็งสูงกว่าที่ 20% แต่ในขณะเดียวกันมีค่าความแข็งต่ำกว่าอัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 30%, 40% และ 50% เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ความหนาแน่นของอะตอมมีค่าเพิ่มมากขึ้น และทำให้ความเป็นผลึกมีค่าเพิ่มขึ้น [4] จึงส่งผลให้ความแข็งของฟิล์มเพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ XRD รูปที่ 4.1 พบว่าที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 30%, 40%

และ 50% มีค่าความเป็นผลึกที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 20% มีความเป็นผลึกต่ำกว่า จึงทำให้ความแข็งของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ต่ำกว่า และจากการวิเคราะห์ความหนาด้วยเครื่อง SEM รูปที่ 4.5(d) และ รูปที่ 4.5(f) ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 40% จะมี

ความหนาแน่นของอะตอมที่สูงกว่าที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 50% ดังนั้นความแข็งที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 40% มีค่าสูงกว่าที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนที่ 50%

4.5 ทดสอบกระบวนการกัดกร่อน (Corrosion)

การทดสอบกระบวนการกัดกร่อนผู้ศึกษาได้นำฟิล์มบาง CrN_x ไปทดสอบการกัดกร่อนในน้ำสลับประค เพื่อจะได้ประยุกต์เคลือบใบมีดตัดสับประคซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 4 จากการวิเคราะห์ XRD พบว่า ที่อัตราส่วนความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 10% จะยังไม่เกิดเป็นโครงสร้างโครเมียมไนไตรด์ ดังนั้นผู้ศึกษาจึงทำการทดสอบการกัดกร่อนของฟิล์มบาง CrN_x ตั้งแต่ที่อัตราส่วนความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 20%, 30%, 40% และ 50%



รูปที่ 4.9 การกัดกร่อนของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวม (a) 20%, (b) 30%, (c) 40% และ (d) 50% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า ผลการวัดการกัดกร่อนของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ในน้ำสลับประค โดยมีอัตราส่วนความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 20%, 30%, 40% และ 50% การกัดกร่อนจะลดลงตามลำดับค่ากระแสไฟฟ้าในการกัดกร่อนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไปจนถึงค่าความต่างศักย์ที่เกิดการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่า E_{corr} จะเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานต่อการ

กัดกร่อน นั่นคือถ้า E_{corr} มีค่าน้อยแสดงว่าฟิล์มจะมีการสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่าย จึงมีความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนน้อยกว่าฟิล์มที่มีค่า E_{corr} มาก จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 30% มีค่า E_{corr} มากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟิล์มมีความสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีที่สุดในกรณีฟิล์มที่อัตราส่วนความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนเป็น 20%, 40% และ 50% จะมีย่าน E_{corr} ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง -0.410V ถึง -0.425V จากผลการวิเคราะห์ XRD แสดงตารางที่ 4.1 และ การวิเคราะห์ความหนาด้วย SEM รูปที่ 4.5(c) พบว่าฟิล์มที่มีความดันย่อยของไนโตรเจนเป็น 30% จะมีขนาดผลึกที่ใหญ่ที่สุด คาดว่าฟิล์มที่มีความดันย่อยไนโตรเจน 30% จะมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับสารละลายอย่างน้อยที่สุด จึงทำให้เกิดการกัดกร่อนได้น้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมในการเคลือบฟิล์มบาง CrN_x ลงบนแผ่นสแตนเลส 304 โดยใช้วิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสเป็คเตอรริง โดยมีอัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ผลการวิเคราะห์ XRD พบว่าที่อัตราส่วนไนโตรเจนต่อความดันรวม 20%, 30%, 40% และ 50% ฟิล์มบางมีโครงสร้างเป็น CrN ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ EDS โดยที่ระนาบ (111), (200) และ (220) ตรงกับมุม 2θ เท่ากับ 37.60°, 43.77° และ 63.60° ตามลำดับ ระนาบ (111) มีค่าระยะห่างระหว่างระนาบอยู่ในช่วง 0.243 - 0.247 nm ระนาบ (200) มีระยะห่างระหว่างระนาบอยู่ในช่วง 0.283 - 0.287 nm และมีค่าคงที่ผลึกที่ระนาบ (111) อยู่ในช่วง 0.421 - 0.429 nm ระนาบ (200) มีค่าคงที่ผลึกอยู่ในช่วง 0.491-0.497 nm เมื่อทำการวัดความหนาของฟิล์มโดยใช้เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) พบว่า ความหนาที่ได้แต่ละฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ต่อความดันรวมที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% คือ 6.578 μm, 6.250 μm, 6.810 μm, 5.778 μm และ 5.018 μm ตามลำดับ จากการวัดภาพตัดขวางของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ด้วย Field Emission Scanning Electron microscope (FESEM) พบว่าฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมเป็น 10%, 20% และ 30% ขนาดของเกรนจะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ส่วนอัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมเป็น 40% และ 50% ขนาดของเกรนจะมีขนาดที่เล็กลงแต่จะมีความหนาแน่นของเกรนที่เพิ่มขึ้น จากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำสลับประคพบที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวม 20%, 40% และ 50% มีค่า E_{corr} ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง -0.410 ถึง -0.425 V และอัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวม 30% มีค่า E_{corr} มากที่สุดเท่ากับ -0.275 V และจากการทดสอบความแข็ง (Hardness) ของพื้นผิวสแตนเลส 304 และฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวม 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% พบว่าค่าความแข็งของแผ่นสแตนเลส 304 มีค่าเท่ากับ 1.615 GPa ส่วนค่าความแข็งของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่อัตราส่วน 40% มีค่าความแข็งมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.016 GPa และค่าความแข็งของฟิล์มบาง

โครเมียมไนไตรด์ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนเป็น 20% มีค่าความแข็งน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.086 GPa ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการเคลือบฟิล์มบาง CrN ที่อัตราส่วนความดันย่อยไนโตรเจนต่อความดันรวมเป็น 30% จะเหมาะสำหรับชิ้นงานที่ต้องการความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนที่ดีและมีความแข็งสูงเหมาะสำหรับชิ้นงานที่ต้องการเพิ่มความแข็ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการขัดผิวหน้าของพื้นผิวรองรับด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1200 ควรขัดให้มีแรงและมีระยะเวลาที่เท่ากันทุกชิ้น เพื่อให้ผิวหน้าของพื้นผิวรองรับมีความสม่ำเสมอ
2. ในการทดสอบการกัดกร่อนควรจะทดสอบในสารละลายหลายชนิดและหลายๆครั้งเพื่อจะได้ผลที่น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น



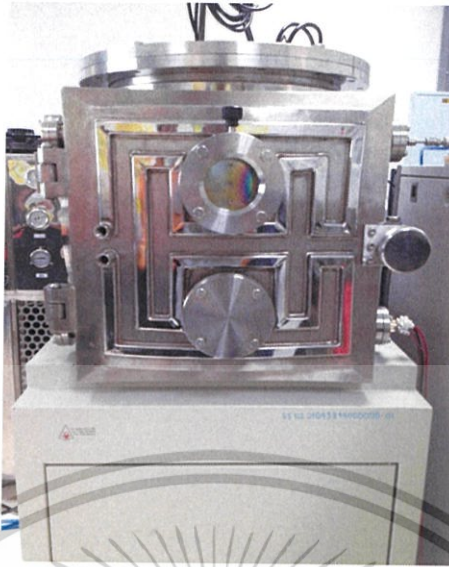
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

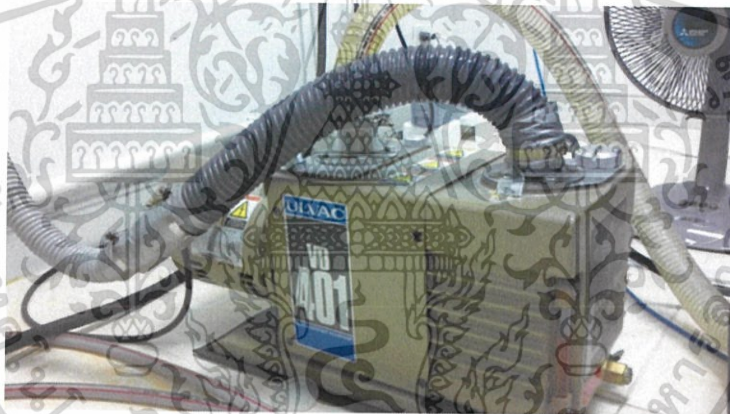
- [1] Broszeit, E., C. Friedrich and G. Berg. (1999) "Deposition, properties and applications of PVD Cr_xN Coatings". Surface and Coatings Technology, 115: 9-16
- [2] Forni.s, E., R. Escobavhk, R. Galindo, O. S.nchez and J.M. Albella. (2006) "Growth of CrN_x films by DC reactive magnetron sputtering at constant N₂/Ar flow" Surface & Coatings Technology, 200: 6047-6053.
- [3] Zenghu, H., T. Jiawan, L. Qianxi, Y. Xiaojiang and L. Geyang. (2003) " Effect of N₂ partial pressure on the microstructure and mechanical properties of magnetron sputtered" Surface & Coatings Technology, 162: 189-193.
- [4] G. Wei, A. Rar, J.A. Barnard. (2001) "Composition, structure, and nanomechanical properties of DC-sputtered CrN_x (0 ≤ x ≤ 1) thin films" Surface & Coatings Technology, 398 –399: 460–464
- [5] Kyung Nam, H., J. Min Jung and G. Jeon Han. (2000) "A study on the high rate deposition of CrN_x films with controlled microstructure by magnetron sputtering" Surface & Coatings Technology, 131: 222-227.
- [6] วรรณิการ์ วรณทวิ และคณะ (2554) "ผลของความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่อโครงสร้างของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่เคลือบด้วยวิธีรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริง" การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7.
- [7] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรวิสา วงศ์ปัญญา และคณะ. (2555) "ความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้า AISI 4140 ที่เคลือบผิว ด้วยไอทางกายภาพ" รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [8] จักรพันธ์ ถาวรธิดา และคณะ (2551) "การวิจัยและพัฒนากาเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์บนอุปกรณ์ตัดคว้านสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร." รายงานวิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- [9] A. Ruden, E. Restrepo-Parra, A.U. Paladines, F. Sequeda. (2013) "Corrosion resistance of CrN thin films produced by dc magnetron sputtering" Surface & Coatings Technology, 270: 150– 156
- [10] นางสาววิชชุดา วงศ์ชนสารสิน, ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก , ดร.ราชศักดิ์ สักदानุภาพ (2557) "ผลของความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนที่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อนในน้ำสลับประรด ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ที่เคลือบโดยวิธีดีซีรีแอคทีฟแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริง." การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 4 หน้า 2967-2976



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 ห้องเคลือบสุญญากาศ (Chamber)



รูปที่ 2 Rotary Pump



รูปที่ 3 Diffusion Pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดเ... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า... ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 ระบบทำความเย็น (Cooling)



รูปที่ 5 แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC Supply)

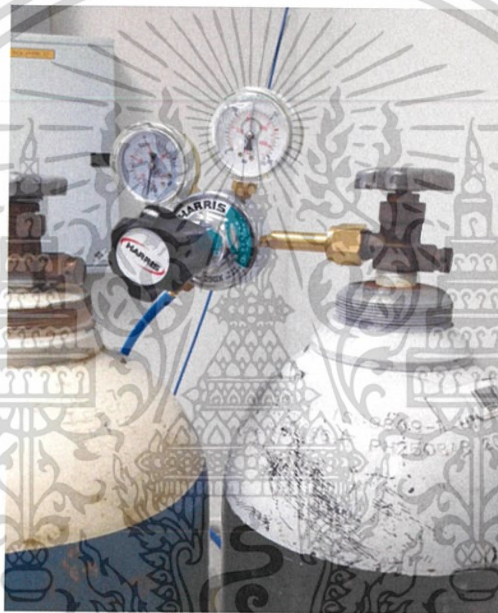


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการทดสอบเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

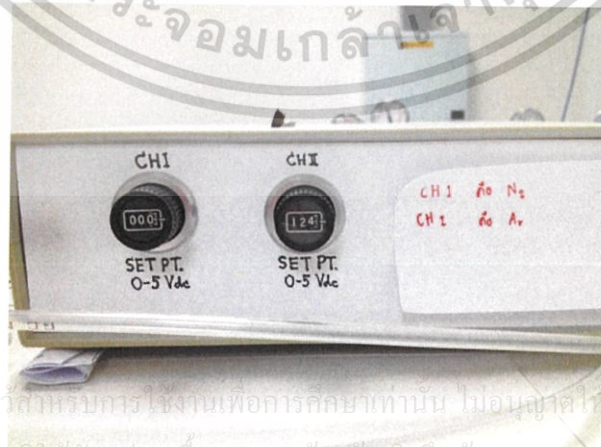
รูปที่ 6 Regulation ปรับแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 7 จอแสดงเอาต์พุตของแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าขณะสปีดเตอร์

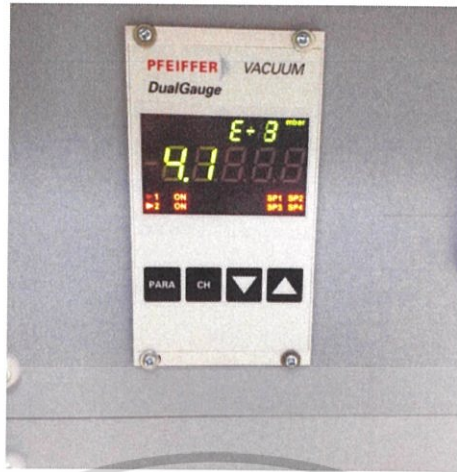


รูปที่ 8 ถังแก๊สไนโตรเจนและแก๊สอาร์กอนพร้อมเกจวัดความดันภายในถัง

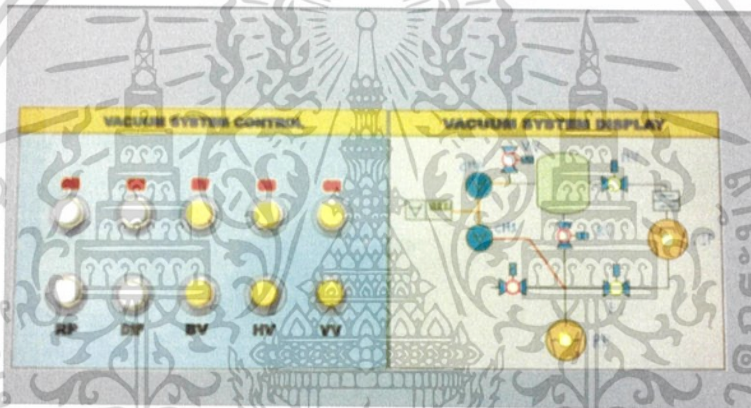


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 9 Regulation ควบคุมความดันแก๊สความดันแก๊ส



รูปที่ 10 หน้าจอแสดงความดันภายในห้องสุญญากาศ



รูปที่ 11 ปุ่มควบคุมและจอแสดงสถานะของระบบสุญญากาศ



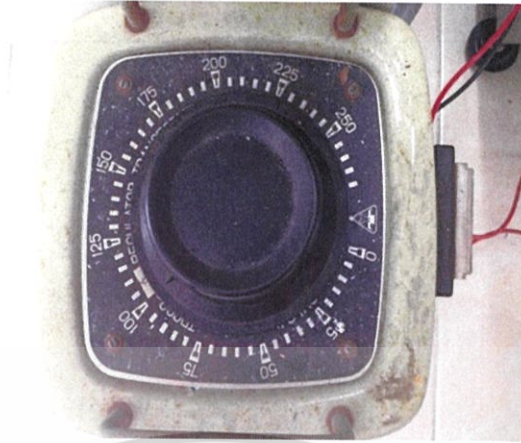
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้

ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ดิฉันขอร้องให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 12 ภายในห้องสุญญากาศประกอบด้วย แท่นวางพื้นผิวรองรับ หลอดไฟให้ความร้อน และเป้า

สารเคลือบ



รูปที่ 13 หม้อแปลงจ่ายไฟให้กับหลอดไฟเพื่อให้ความร้อนแก่พื้นผิว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

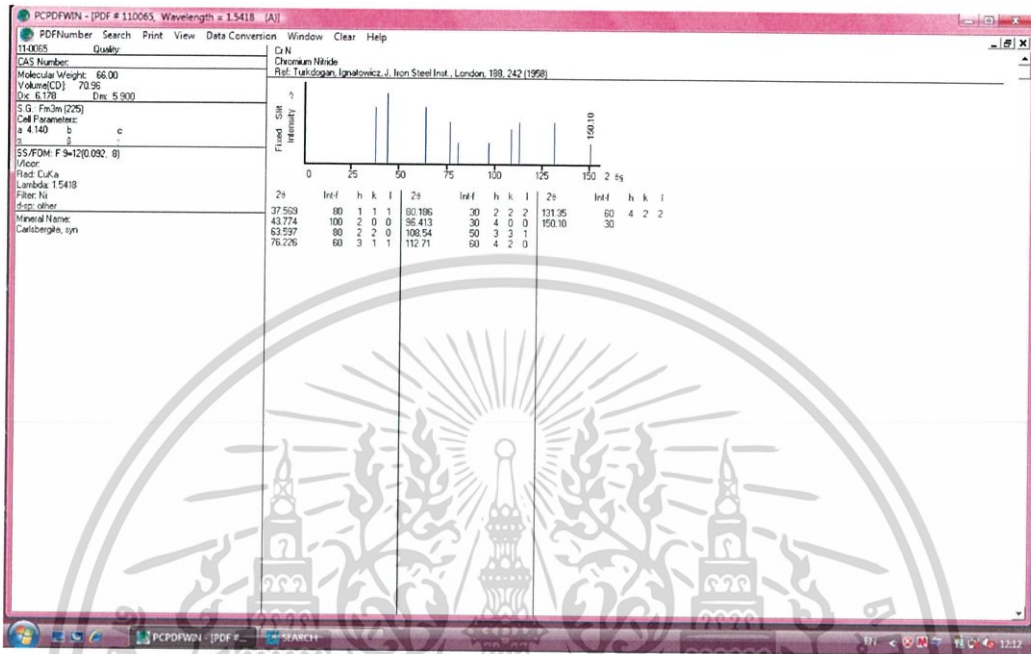


ภาคผนวก ข

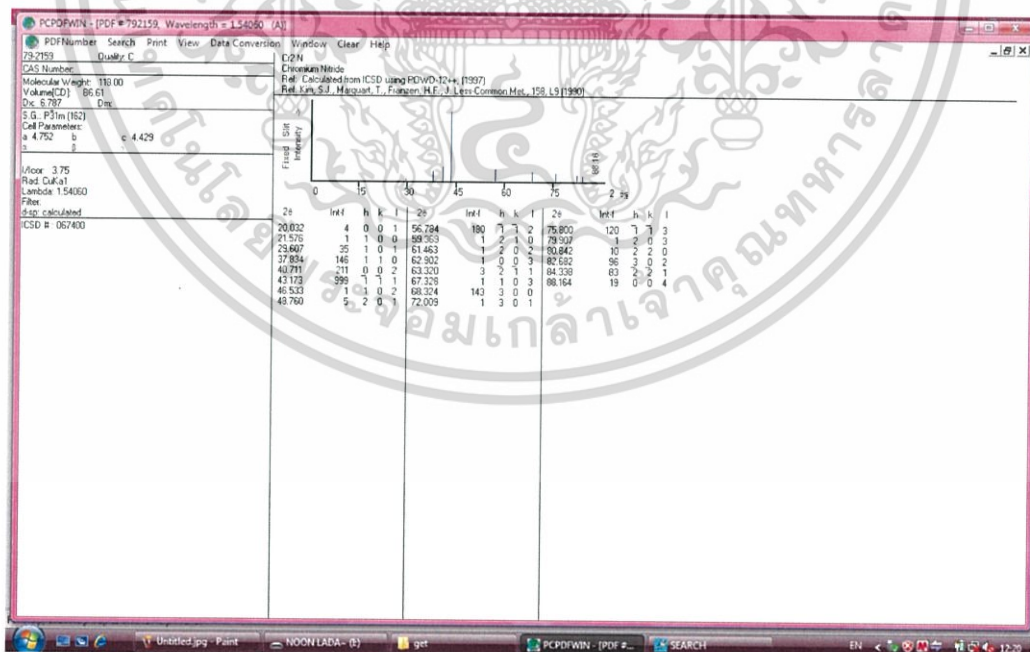
การห้ามมัลติมีเดียของรังสีเอกซ์ในฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ สามารถดูได้จากข้อมูลมาตรฐานได้จาก โปรแกรม Pcpdf win การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในฟิล์มบาง CrN ได้จาก PDF#110065 และ การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในฟิล์มบาง Cr₂N ได้จาก PDF#792159



รูปที่ 1 มุมเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในฟิล์มบาง CrN



รูปที่ 2 มุมเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในฟิล์มบาง Cr₂N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุคัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้