# การศึกษาคุณลักษณะพื้นผิวของหัวอ่านเขียนข้อมูลหลังจากการสกัดแบบไอออนบีม

# THE STUDY OF RECORDING HEAD TOPOGRAPHY AFTER ION BEAM ETCHING

อภิชาต แก้วเจริญ

APICHART KAEWCHAROEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การศึกษาคุณลักษณะพื้นผิวของหัวอ่านเขียนข้อมูลหลังจากการสกัดแบบไอออนบีม

# THE STUDY OF RECORDING HEAD TOPOGRAPHY AFTER ION BEAM ETCHING

T074613

อภิชาต แก้วเจริญ

APICHART KAEWCHAROEN

เลขหมู่........................
เลขทะเบียน 74613
วัน,เดือน,ปี - 8 ต.ค. 2550

.b..........................
.i..........................

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

# THE STUDY OF RECORDING HEAD TOPOGRAPHY AFTER ION BEAM ETCHING

APICHART KAEWCHAROEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MICROELECTRONICS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2007

**COPYRIGHT 2007**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | การศึกษาคุณลักษณะพื้นผิวของหัวอ่านเขียนข้อมูลหลังจากการสกัดแบบไอออนบีม |
| **นักศึกษา** | นาย อภิชาต แก้วเจริญ |
| **รหัสนักศึกษา** | 47061209 |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ |
| **พ.ศ.** | 2550 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | รศ.ดร.วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง |

# บทคัดย่อ


ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ หัวอ่านเขียนข้อมูลจะมีลวดลายที่อยู่บนด้านที่เรียกว่า ABS ซึ่งทำให้หัวอ่านสามารถบินเหนือจานแม่เหล็กอยู่ได้ ปัจจุบันกระบวนการ โฟโตลิโทกราฟีจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการสร้างลวดลาย ซึ่งประกอบไปด้วยหลายขั้นตอน ซึ่งในที่นี้ได้ทำการศึกษาในส่วนของกระบวนการสกัดที่เป็นแบบไอออนบีม ซึ่งได้ทำการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขต่างๆ เช่นมุมของการสกัด, เวลาที่ใช้ในการสกัด ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของพื้นผิวที่ทำการสกัดอันได้แก่ อัตราการสกัด ความขรุขระของพื้นผิว และความลาดเอียง(Wall angle) ของพื้นผิว รวมทั้งศึกษาคุณภาพในการสกัดด้วย

ขอบเขตการศึกษาปัจจัยของกระบวนการสกัดจะรวมอยู่ในกระบวนการของโฟโตลิโทกราฟี ซึ่งจะวัดผลที่ได้หลังจากการสกัดด้วยไอออนบีมที่เงื่อนไขต่างๆ โดยใช้เครื่องมือในการตรวจสอบคุณลักษณะพื้นผิวของหัวอ่านเขียนได้แก่ Tencor Zygo และAFM แล้วนำข้อมูลที่ได้นั้นมาวิเคราะห์หาความ สัมพันธ์ระหว่างมุมและเวลาของการสกัดที่มีผลต่อคุณสมบัติของพื้นผิวที่เกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้มาทั้งหมดนี้จะนำไปใช้ในการพัฒนากระบวนการสกัดต่อไป

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | The Study of Recording Head Topography after Ion Beam Etching |
| **Student** | MR. Apichart Kaewcharoen |
| **Student ID.** | 47061209 |
| **Degree** | Master of Engineering |
| **Program** | Microelectronics Engineering |
| **Year** | 2007 |
| **Thesis Advisor** | Assoc.Prof.Dr.Wisut Titiroongruang |


## ABSTRACT

According to the harddisk fabrication process, the recording heads have small pattern on Air Bearing Surface(ABS) side. This pattern plays the role of wing of recording head for flying over the magnetic disk. In the present,the photolithography process is useful for making of small pattern. For this research, the ion beam etching have been experimentally studied. The etching condition such as angle and time have been adjusted for investigating some surface properties such as etching rate ,roughness , wall angle and quality of etching.

The boundaries of this study that includes photolithography process. After ion beam etching process, The samples have been investigated some surface properties by using Tencor, Zygo ,AFM and the others .The obtained data was analyzed for finding relationship and trend between conditions and some surface properties. Based on the obtained data, it could be quite useful for further process.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากคำแนะนำและคำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัยจาก รศ.ดร. วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณ ดร.นรินทร์ กาบบัวทองพี่ลัดดาวัลย์ สุภาดี ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาที่มีคุณค่าด้วยดีตลอดมา ขอบคุณบริษัท WESTERN DIGITAL (BANGPA-IN) Co.,Ltd ที่สนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ รวมทั้งเครื่องมือ รวมทั้งให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าได้เข้าไปทำการทดลอง ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบทุกท่าน

ขอขอบพระคุณ คุณจริยา นามเสนาะ สำหรับความเป็นห่วงและดูแล ขอขอบคุณพี่วิสิฏฐ์ วงศ์สุทธิธรรม พี่นพดล สิทธิพล พี่ทวีศักดิ์ มัฐฐาพันธ์ สำหรับความรู้และความสนุกสนานในงานวิจัย ขอบคุณเพื่อนๆและน้องๆ ในห้องวิจัย Superconductor และ ห้องวิจัยฟิล์มเพชร ที่ให้ความช่วยเหลือที่ดีตลอดมาและทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกว่างานวิจัยไม่ได้น่าเบื่อหรือไม่สนุกอย่างที่ใครๆคิด

ท้ายที่สำคัญที่สุด ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณในทุกๆสิ่งที่คุณพ่อสุชล คุณแม่สมจิตต์ และน้องอ้อ ที่คอยเป็นกำลังใจและคอยสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่าง รวมทั้งขออุทิศประโยชน์ที่ได้จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ช่วยส่งเสริมงานวิจัยของประเทศไทยให้พัฒนาและก้าวหน้ามากยิ่งๆขึ้นไป

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ....II

กิตติกรรมประกาศ....III

สารบัญ....IV

สารบัญตาราง....VII

สารบัญรูป....VIII

สัญลักษณ์และคำย่อ....XI

ศัพท์เทคนิค....XIII

บทที่ 1 บทนำ....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา....2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา....2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย....3

1.5 ขอบเขตการวิจัย....3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....4

1.7 ความรู้พื้นฐานของคำว่า Bar และ Slider....4

บทที่ 2 ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง....6

2.1 ความรู้พื้นฐานโดยทั่วไปของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล....6

2.2 โครงสร้างภายในของระบบกลไกการอ่านเขียนข้อมูล....7

2.3 โครงสร้างพื้นฐานโดยรวมของหัวอ่านเขียนข้อมูล....9

2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ Air Bearing Surface(ABS)....12

2.5 กระบวนการสร้างลวดลายโดยใช้กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี....14

2.5.1 กระบวนการเคลือบโฟโตรีซิส....14

2.5.2 กระบวนการ Prebaking....18

2.5.3 กระบวนการ Exposure....20

2.5.4 กระบวนการ Develop....23

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


2.5.5 กระบวนการสกัด(Etching)........................................................ ..................24

2.6 ระบบการสกัดแบบ Ion Beam Etching.............. .............. ......................................27

บทที่ 3 การวิเคราะห์และเทคนิคที่ใช้ในการวัด.............................................................................32

3.1 การกำหนดจุดและตำแหน่งในการวัด.................................................................................32

3.1.1 ความหมายและขั้นตอนโดยสังเขปของ SPC.......................... ......32

3.1.2 การสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ที่สามารถยอมรับได้ (Acceptance sampling)..33

3.1.3 การสุ่มตัวอย่างบน Tip มาวิเคราะห์.................................................................33

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณลักษณะของพื้นผิว..........................34

3.2.1 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TENCOR Profiler......................................................34

3.2.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) .............37

3.2.3 การวิเคราะห์ด้วย Atomic Force Microscope (AFM) ....................................40

3.2.4 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Interferometer..............................................................43

3.2.5 การตรวจสอบด้วยเครื่อง EDS...............................................................................47

บทที่ 4 การทดลอง...................................................................................................................49

4.1 การเตรียมวัสดุที่จะนำมาใช้ในการสกัด..............................................................................49

4.2 การศึกษาอัตราการสกัดของวัสดุ............................................................................................50

4.2.1 ขั้นตอนการสกัด.........................................................................................................51

4.2.2 ขั้นตอนการวัดความหนาก่อนและหลังการสกัด.......................................................53

4.3 การศึกษาถึงความขรุขระของพื้นผิว.......................................................................................54

4.4 การศึกษา Wall Profiles ที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัด...........................................................55

4.5 การศึกษาคุณสมบัติของพื้นผิวหลังจากการสกัดด้วยเครื่องมือ SEM..........................56

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล........................................................................................58

5.1 ผลการศึกษาความหนาของโฟโตรีซิสหลังทำการเคลือบ.................................................58

5.2 ศึกษาอัตราการสกัดของวัสดุ.....................................................................................................62

5.3 การศึกษาถึงความขรุขระที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัด..................................................................66

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า


5.4 การศึกษาถึง Wall angle ที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัด......70

5.5 การศึกษาถึง Correlation ของเครื่องมือที่ใช้ในงานวัด......76

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง......78

บรรณานุกรม......80

ภาคผนวก......81

ภาคผนวก ก......82

ภาคผนวก ข......84

ประวัติผู้เขียน......90

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

2.1 แสดง Form factor ของหัวอ่านในแต่ละรุ่น....9

2.2 แสดง Recipe ลำดับขั้นตอนการ Spin coat....17

2.3 แสงย่านอื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ Exposure....22

2.4 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างการสกัดแบบเปียกและการสกัดแบบแห้ง....24

3.1 แสดงลักษณะเฉพาะของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบต่างๆ ที่ความต่างศักย์เร่ง 20 kV....39

3.2 สรุปพารามิเตอร์ของ SEM ที่ต้องควบคุมสำหรับการทำงานใน 3 ประเภทแรก....40

3.3 การเปรียบเทียบการใช้เทคนิคในการวิเคราะห์พื้นผิวชนิดต่างๆ....40

4.1 แสดงเงื่อนไขของมุมและเวลาที่ใช้ในการสกัดบนหัวอ่านเขียนข้อมูล....50

4.2 เงื่อนไขอื่นๆของการสกัดที่กำหนดให้เป็นตัวแปรคงที่....51

4.3 แสดงพารามิเตอร์ของการวัดโดยใช้เครื่อง TENCOR Profiler....53

4.4 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบของเครื่อง SEM....57

5.1 แสดงค่าเฉลี่ยและเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาโฟโตรีซิสในแต่ละ Tip....61

# สารบัญรูป

รูปที่ หน้า


1.1 ภาพจำลองของ Bar ...................................................4

1.2 ส่วนของ Slider ที่มีหัวอ่านและหัวเขียนข้อมูล...................................................5

2.1 แสดงโครงสร้างภายนอกของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ...................................................6

2.2 แสดงโครงสร้างส่วนกลไกภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ...................................................7

2.3 ภาพจำลองโครงสร้างของ HGA...................................................8

2.4 แสดงภาพจำลองของ Slider แบบ Pico...................................................9

2.5 แบบจำลองโครงสร้างและการทำงานของหัวอ่านเขียนข้อมูล...................................................10

2.6 โครงสร้างของหัวอ่าน-เขียนข้อมูลที่ถ่ายขยายด้วย SEM...................................................10

2.7 รูปถ่าย SEM แสดงด้าน ABS ของ Slider...................................................11

2.8 แสดงแบบจำลองการวัดระยะ Fly Height...................................................12

2.9 แสดงแนวโน้มของระยะ Fly height...................................................12

2.10 แสดงขอบเขตของ Positive pressure และ Negative pressure บนด้าน ABS ของ Slider........13

2.11 แสดงกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีที่ใช้โฟโตรีซิสทั้งสองชนิด...................................................15

2.12 แสดงภาพจำลองเครื่อง Spin coat ที่ใช้ในการเคลือบโฟโตรีซิส...................................................16

2.13 แสดงกราฟระหว่าง Spin speed กับความหนาของฟิล์มในโฟโตรีซิสเบอร์ต่างๆ...................................................17

2.14 แสดงแบบจำลองของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ Prebaking...................................................19

2.15 แสดงแบบจำลองระบบของกระบวนการ Exposure ในรูปแบบต่างๆ...................................................20

2.16 แสดงระบบโดยรวมของเครื่อง Stepper...................................................21

2.17 แสดงแบบของกระจก mask ขนาด 3 x 5 นิ้ว...................................................21

2.18 แสดงตำแหน่งบนบาร์ที่ใช้ในการ Alignment...................................................22

2.19 แสดงระบบของการ Develop ที่เป็นระบบอัตโนมัติ...................................................23

2.20 แสดงทิศทางของการสกัดรูปแบบต่างๆ...................................................25

2.21 แสดงระบบ Reactive ion etching...................................................25

2.22 แสดงกลไกของการสกัดแบบ Reactive ion etching...................................................26

2.23 ลักษณะการชนของไอออนบวกบนวัสดุที่มุมต่างๆกัน...................................................27

2.24 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง Ion beam etching รุ่น 350s...................................................28

# สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.25 แสดงโครงสร้าง PBN ในเครื่อง Ion beam etching....29
2.26 แสดงระบบการสกัดของเครื่อง 350s....30
3.1 แสดงมิติของ Tip ในเครื่อง Profiler....34
3.2 แสดงหัว Tip ขณะลากผ่านพื้นผิวของวัสดุ....35
3.3 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เครื่อง Profiler....37
3.4 แผนภาพหลักการทำงานของเครื่อง SEM....38
3.5 แผนภาพการจำลองการวิเคราะห์ด้วย AFM....41
3.6 การเปลี่ยนแปลงเปียโซอิเล็กตริกเซรามิก (Piezoelectric Ceramics)....41
3.7 วงจรป้อนกลับ (Feedback Circuit) ของ AFM.... 42
3.8 แผนภาพของ Scanning Probe Microscope (SPM)....42
3.9 แสดงโครงสร้างของ Interferometer....44
3.10 แสดงระบบประมวลผลของเครื่อง Interferometer....45
3.11 แสดงการคำนวณหาค่า Arithmetic average roughness....46
3.12 แสดงการคำนวณหาค่า Maximum height of profile....46
3.13 แสดงการคำนวณหาค่า Average maximun height of profile....47
3.14 แสดงหลักการทั่วไปของระบบ EDS....48
3.15 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ EDS....48
4.1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุก่อนนำมาทำการสกัด....49
4.2 แสดงลักษณะมุมที่ใช้ในการสกัดของเครื่อง 350s....52
4.3 แสดงการวัดความหนาโดยใช้เครื่อง TENCOR ณ ช่วงต่างๆของ Process....53
4.4 แสดงตำแหน่งของการวัดความหนาบนหัวอ่านเขียน....54
4.5 แสดงตัวอย่างหน้าจอการวัดโดยใช้เครื่อง Zygo....55
4.6 แสดงตำแหน่งของการวัด Wall profiles บนตัวหัวอ่านเขียนข้อมูล....56
4.7 แสดงรูปแบบของการหา Wall angle....56
5.1 ผลของการวัดความหนาของโฟโตรีซีส ณ ตำแหน่งต่างๆบน Bar....58
5.2 แสดงอัตราการสกัดของ AlTiC ณ มุมต่างๆและที่เวลา 10 และ 30 นาที....62
5.3 แสดงอัตราการสกัดของโฟโตรีซิส ณ มุมต่างๆและที่เวลา 10 และ 30 นาที....63

# สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.4 แสดงค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยของความหนา AlTiC ที่สูญเสียไปหลังจากการสกัด................63

5.5 แสดงค่า Selectivity ของการสกัดในแต่ละมุม..........................................................................65

5.6 แสดงบริเวณที่ทำการวัดความขรุขระบน Slider.......................................................................66

5.7 แสดงค่าความขรุขระเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในมุมการสกัดต่าง ๆ.......................................................66

5.8 แสดงค่าความขรุขระเฉลี่ยเมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด10 นาที.............................67

5.9 แสดงค่าความขรุขระเฉลี่ยเมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 30 นาที............................67

5.10 แสดงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของค่าความขรุขระเมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 10 นาที...68

5.11 แสดงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของค่าความขรุขระเมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 30 นาที...68

5.12 แสดงบริเวณพื้นผิว ABS หลังจากการสกัดโดยใช้ SEM.......................................................69

5.13 รูป AFM แสดงค่า Wall angle ที่มุมการสกัดและเวลาการสกัดต่างๆ....................................70

5.14 แสดงค่าเฉลี่ยของ Wall angle เมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 10 นาที......................73

5.15 แสดงค่าเฉลี่ยของ Wall angle เมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 30 นาที......................73

5.16 แสดงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของ Wall angle เมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 10 นาที.........74

5.17 แสดงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของ Wall angle เมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 30 นาที.........74

5.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมการสกัดกับค่า Wall angle............................................75

5.19 แสดง Correlation ระหว่างการวัดด้วยเครื่อง TENCOR และ AFM.........................................76

5.20 แสดง Correlation ระหว่างการวัดด้วยเครื่อง Zygo และ AFM...............................................77

# สัญลักษณ์และคำย่อ

| สัญลักษณ์ | ความหมาย |
|---|---|
| ABS | พื้นผิวที่สัมผัสกับอากาศ |
| AFM | การวัดแบบใช้แรงระหว่างอะตม |
| $Al_2O_3$ | อลูมิเนียมออกไซด์ |
| AlTiC | อลูมิเนียมรวมกับไททาเนียมคาร์ไบด์ |
| AR | ก๊าซอาร์กอน |
| CD | ขนาดวิกฤติ |
| DNQ | ไดอาโซแนปโทควิโนน |
| EDS | การตรวจสอบโดยการวัดกรกระจายของพลังงาน |
| F | แรง |
| GB | กิกะไบต์ |
| HDA | ส่วนกลไกในฮาร์ดดิสก์ |
| HGA | ส่วนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ |
| HSA | ชั้นติดตั้งหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ |
| IBE | การสกัดแบบใช้ลำไอออน |
| K | ค่าคงที่ |
| KOH | โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ |
| PBN | สะพานดุลประจุ |
| PCBA | แผงวงจรฮาร์ดดิสก์ |
| Ra | ความขรุขระเฉลี่ยเลขคณิต |
| Rq | ความขรุขระเฉลี่ยแบบรูทมีนสแควร์ |
| Rt | Maximum height of profile |
| Rz | Average maximun height of profile |
| RF | ความถี่วิทยุ |
| RIE | การสกัดโดยใช้ปฏิกิริยาของไอออน |
| SEM | การวัดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด |
| t | เวลา |
| $T_G$ | อุณหภูมิแก้ว |
| TiC | ไททาเนียมคาร์ไบด์ |

# สัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

| สัญลักษณ์ | ความหมาย |
|---|---|
| UV | อัลตราไวโอเลท |
| x | การกระจัด |
| $\alpha$ | ความแตกต่างของเฟส |
| $\phi$ | เฟส |
| $\pi$ | ค่าคงที่เท่ากับ 3.1416 |

# ศัพท์เทคนิค

| | |
|---|---|
| หัวอ่านเขียนข้อมูล | Slider |
| กลุ่มของ Sliderเรียงกัน | Bar |
| กลุมของ  Bar เรียงกัน | Tip |
| การสร้างลวดลายลงบนวัสดุโดยใช้แสง | Photolithography |
| น้ำยาไวแสง | Photoresist |
| การสกัด | Etching |
| การเคลือบ | Coating |
| แรงหนีศูนย์กลาง | Centifugal force |
| แรงเฉือน | Shear force |
| การอบฟิล์มก่อนการฉายแสง | Prebake |
| การฉายแสง | Exposure |
| การล้างฟิล์มหลังการฉายแสง | Develop |
| น้ำยาที่ใช้ล้างฟิล์ม | Developer |
| การลอกฟิล์มออกทั้งหมด | Stripe |
| ฐานรอง | Substrate |
| แชมเบอร์ | Chamber |
| ความดันก๊าซ | Pressure |
| แอมพริจูด | Amplitude |
| เซรามิก | Ceramic |
| ระยะที่หัวอ่านบินเหนือจานแม่เหล็ก | Fly height |
| จานแม่เหล็ก | Platter |
| ฮาร์ดดิสก์ | Harddisk |
| แมกเนโตรีซิสแตนท์ | Magneto resistance |
| พลาสมา | Plasma |
| ตะแกรงขั้วไฟฟ้า | Grid |
| ทิศทางเฉพาะ | Anisotropic |
| ทุกทิศทางเท่ากัน | Isotropic |
| การเลือกสกัด | Etch selectivity |
| มุมลาดเอียง | Wall angle |

# ศัพท์เทคนิค(ต่อ)

| | |
|---|---|
| ความขรุระของพื้นผิว | Surface Roughness |
| อัตราการสกัด | Etch rate |
| ลำดับการทำงาน | Recipe |
| ตู้อบ | Oven |
| หัวอ่านข้อมูล | Reader |
| หัวเขียนข้อมูล | Writer Coil |

# บทที่ 1
# บทนำ

คอมพิวเตอร์เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเพราะส่วนใหญ่การเรียนและการทำงานในปัจจุบันจะต้องมีคอมพิวเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้องอย่างมาก และประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล ที่ใช้ประกอบภายในฮาร์ดดิสต์ไดร์ฟ รายใหญ่ประเทศหนึ่งของโลก และในปัจจุบันก็ได้มีการพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพให้มีความสามารถในการเก็บข้อมูลสูงมากขึ้นเป็นลำดับ จึงได้มีการนำเทคโนโลยีของแผ่นฟิล์มบางทางแม่เหล็กต่างๆมาใช้ ที่มีคุณสมบัติความต้านทานของแผ่นฟิล์มเปลี่ยนแปลงตามสนามแม่เหล็กหรือเรียกว่าเป็นแผ่นฟิล์มบางแบบแมกเนโตรีซิสแตนท์ Magneto Resistance Film (MR)ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้หัวอ่าน-เขียน ข้อมูล มีขนาดที่เล็กลงไปอีกคือ Giant Magneto Resistance (GMR) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญภายในคอมพิวเตอร์ให้มีขนาดที่เล็กลงแต่สามารถในการทำงานที่ดียิ่งขึ้น

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการบันทึกข้อมูลที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเทคโนโลยีในปัจจุบันก็สามารถทำให้อุปกรณ์เก็บข้อมูลมีขนาดเล็กลง และสามารถบรรจุข้อมูลได้มากขึ้น ดังนั้นเราจึงเล็งเห็นความสำคัญไปถึงการผลิตหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล (Read-Write Head) ซึ่งในปัจจุบันต้องใช้เทคโนโลยีที่เป็นกระบวนการทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยออกแบบลวดลายที่มีขนาดเล็กบนหัวอ่านเขียน โดยลวดลายที่เปรียบเสมือนปีกเครื่องบินซึ่งใช้หลักการของพลศาสตร์ทำให้หัวอ่านบินอยู่เหนือจานแม่เหล็ก และทำการอ่านและเขียนข้อมูลโดยอาศัยหลักของการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก ดังนั้นการทำให้ลวดลายเกิดขึ้นให้มีลักษณะใกล้เคียงกับลวดลายที่ออกแบบมาจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก และในกระบวนการสร้างลวดลายบนหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล (Read-Write Head) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีซึ่งจะมีกระบวนการย่อยหลายขั้นตอนและขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้แก่กระบวนการสกัด (Etching) ซึ่งเป็นการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกอันจะทำให้เกิดลวดลาย 3 มิติ บนส่วนที่เป็น ABS (Air Bearing Surface) ในที่นี้เป็นการสกัดแบบแห้ง(Dry Etching) ซึ่งเป็นการใช้ไอออนของก๊าซที่แตกตัวพุ่งเข้าชนพื้นผิว อันซึ่งเป็นการชนทางกายภาพซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าการสกัดแบบอื่นๆคือมีสิ่งเจือปนน้อยและสามารถปรับมุมในการสกัดได้ สิ่งที่กำลังวิจัยในขณะนี้คือมุมของการสกัดและเวลาของการสกัดที่มีผลต่อคุณลักษณะของพื้นผิวบนหัวอ่านเขียนซึ่ง

ได้แก่อัตราการสกัด ,ความขรุขระ และมุม Wall angle โดยก่อนหน้านั้นหัวอ่านจะผ่านขั้นตอนของการเคลือบด้วยโฟโตลิซิส ผ่านการexposure ด้วยเครื่อง Stepper และทำการล้างฟิล์มออก จนได้งานตัวอย่างเข้าสู่เครื่องสกัดไอออนบีม ซึ่งการเปลี่ยนเงื่อนไขต่างๆได้กระทำ ณ ขั้นตอนนี้จนกระทั่งเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแล้วได้นำชิ้นงานมาทำการวัดคุณสมบัติต่างๆที่เกิดขึ้นโดยใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น TENCOR ,ZYGO และAFM ซึ่งจากการวิเคราะห์เบื้องต้นได้พบว่ามุมของการสกัดมีผลค่อนข้างชัดเจนกับอัตราการสกัดและความขรุขระ รวมทั้งยังสามารถหา selectivity ของการสกัดได้ ส่วน wall angle ซึ่งเป็นความลาดเอียงที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัดจะได้ทำการศึกษาในต่อๆไปว่ามีผลอย่างไร

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาขั้นตอนกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล
2. เพื่อศึกษาการใช้เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดคุณสมบัติต่างๆในการผลิตหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล
3. เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่มีผลทำให้คุณสมบัติของพื้นผิวหลังจากการสกัดโดยใช้ไอออนบีมในหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล
4. เพื่อศึกษาแนวโน้มของการควบคุมเงื่อนไขต่างที่มีผลต่อคุณสมบัติของพื้นผิวหลังจากการสกัดโดยใช้ไอออนบีมในหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การสกัดโดยใช้ไอออนเป็นการสกัดแบบแห้ง (Dry Etching ) ซึ่งอาศัยการชนของไอออนกับพื้นผิวของวัสดุที่ต้องการสกัดในที่นี้วัสดุที่นำมาใช้ในงานสร้างหัวอ่านเขียนเป็นวัสดุชนิด AlTiC ซึ่งเป็นเซรามิก เนื่องจากหลักการทางฟิสิกส์เดิมที่เกี่ยวกับโมเมนตัม ถ้าทิศทางของการชนเปลี่ยนจะทำให้พลังงานที่จะสามารถทำลายพันธะระหว่างอะตอมเปลี่ยน ซึ่งจะทำให้จำนวนของอะตอมของวัสดุที่หลุดออกไปในแต่ละมุมสกัดไม่เท่ากัน ทำให้อัตราการสกัดมีการเปลี่ยนแปลงจากการทดลองเบื้องต้นพบว่ามุมของการสกัดมีผลต่ออัตราการสกัดและความขรุขระที่เกิดขึ้น ซึ่งผู้วิจัยจะได้ทำการทดลองอย่างละเอียดอีกครั้งเพื่อหาแนวโน้มที่แน่นอน ทั้งนี้จากการทดลองเบื้องต้นยังพบว่าวัสดุต่างชนิดกันยังให้อัตราการสกัดที่แตกต่างกันด้วยซึ่งจะเป็นอย่างไรนั้นผู้วิจัยจะได้ทำการตรวจสอบต่อไป และหลังจากนั้นจะนำไปวัด wall angle ซึ่งเป็นความลาดเอียงของพื้นผิวที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัด ซึ่งเป็นสิ่งที่แตกต่างไปจากการสกัดแบบอื่น เพราะลักษณะการสกัดแบบใช้ไอออนบีมนี้จะมีทิศทางในการ

สกัดที่ค่อนข้างจะแน่นอน ในที่นี้จึงทำการตรวจสอบว่าเงื่อนไขที่เรากำหนดจะมีผลหรือไม่และอย่างไร ซึ่งแนวโน้มหรือผลที่ได้จะได้เป็นพื้นฐานในการศึกษาถึงการสกัดในระดับสูงต่อไป

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

จากการสกัดแบบเดิมซึ่งลักษณะของการสกัดจะไปในแนวทางของการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งไอออนของสารที่นำมาสกัดจะทำพันธะกับวัสดุที่เราต้องการสกัดและจะหลุดออกไปจากพื้นผิว ซึ่งทิศทางของการสกัดจะไม่มีความแน่นอนซึ่งจะขึ้นอยู่กับไอออนของสารสกัดจะสามารถเข้าถึงผิวของวัสดุที่ถูกสกัด ได้หรือไม่ เพราะฉะนั้นผลที่ได้หลังจากสกัดแบบนี้จึงอาจพบจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงานได้ ซึ่งตรงกันข้ามกับการสกัดแบบใช้ไอออนนั้นจะไม่เลือกวัสดุที่ใช้ในการสกัด ทำให้การสกัดเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า และการสกัดแบบใช้ไอออนบีมนี้ยังมีทิศทางในการสกัดที่แน่นอนทำให้เมื่อเราปรับมุมในการสกัดได้จะสามารถสร้างลวดลายได้หลากหลายมากขึ้นซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจ และเนื่องจากกระบวนการการสกัดเดิมเป็นการทำปฏิกิริยาทางเคมี เพราะฉะนั้นสิ่งที่ตามมาก็คือการเกิดสารใหม่ขึ้นในสิ่งแวดล้อมที่ทำการสกัด ถ้าในอนาคตกระบวนการการผลิตต้องการความสะอาดของชิ้นงานมากขึ้น จะต้องมีการควบคุมตรงจุดนี้ แต่ระบบการสกัดนี้จะใช้ไอออนของก๊าซที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาฉะนั้นภายในสิ่งแวดล้อมของการสกัดจะมีเพียงสารที่เป็นตัวสกัดและวัสดุที่ถูกสกัดออกเท่านั้น และในอนาคตลวดลายต่างๆจะถูกทำให้มีความซับซ้อนมากขึ้น การศึกษาในเรื่องนี้ยังจะเป็นการช่วยรองรับการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่จะเกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

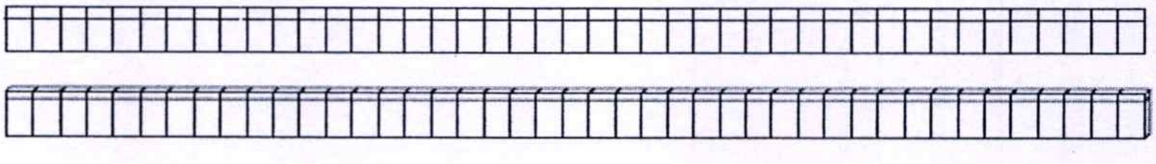
1. ศึกษากระบวนการโฟโตลิโทกราฟีในอุตสาหกรรมของการผลิตหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล
2. ศึกษาปัจจัยต่างที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของพื้นผิวของหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล
3. ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการสกัดที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของพื้นผิวของหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล
4. ศึกษาแนวโน้มของการควบคุมปัจจัยของการสกัดที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของพื้นผิวของหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทำให้รู้ถึงกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมสร้างหัวอ่าน-เขียนข้อมูล และเข้าใจหลักการของการสกัดโดยใช้ไอออนบีมโดยสังเขป
2. ทราบเงื่อนไขที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของพื้นผิวของหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล
3. ทราบเทคนิคในการวัดคุณสมบัติต่างๆของพื้นผิวของหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล
4. สามารถที่จะหาแนวโน้มของเงื่อนไขที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของพื้นผิวของหัวอ่าน-เขียน ข้อมูล

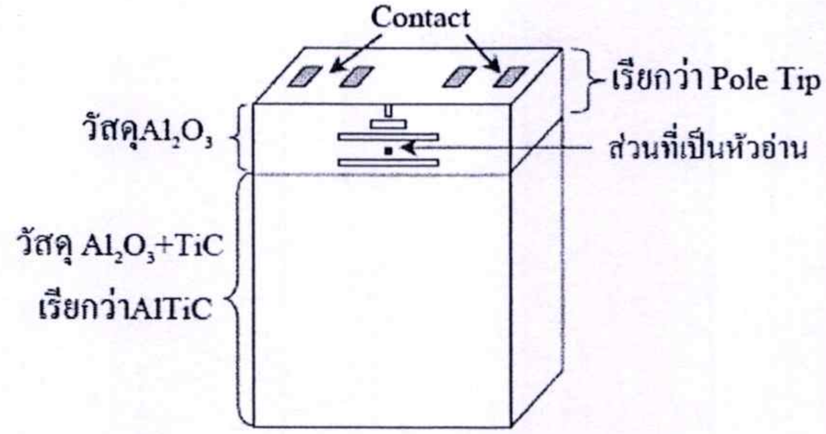
## 1.7 ความรู้พื้นฐานของคำว่า Bar และ Slider

เนื่องจากว่าในวิทยานิพนธ์เล่มนี้นั้นได้มีคำที่เกี่ยวข้องกับการผลิตทางด้านหัวอ่าน-เขียนข้อมูลอยู่บ้างและคำดังกล่าวนั้นก็เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยซึ่งสืบเนื่องไปถึงวิทยานิพนธ์เล่มนี้ด้วย จึงมีความจำเป็นที่จะอธิบายความหมายต่างๆของคำดังกล่าวนี้เพื่อที่จะให้มีความเข้าใจเบื้องต้นอยู่บ้าง เพราะว่าภายในวิทยานิพนธ์เล่มนี้นั้นจะพูดถึงคำเหล่านี้อยู่ตลอด ก็คือ Bar และ Slider ซึ่งBar นั้นแสดงดังรูปที่ 1.1



**รูปที่ 1.1** ภาพจำลองของ Bar

ซึ่งจากรูปที่ 1.1 นั้น Bar หมายความว่ามีหัวอ่าน-เขียนข้อมูล ที่อยู่ติดกันประมาณ 43 ตัวหรือก็คือภายใน 1 Bar นั้น มีจำนวน Slider อยู่ด้วยกัน 43 Slider นั่นเอง ภายใน 1 Slider จะมีหัวอ่าน-เขียนข้อมูล รวมอยู่ข้างใน ซึ่ง Slider แสดงไว้ดังรูปที่ 1.2




**รูปที่ 1.2** ส่วนของ Slider ที่มีหัวอ่านและหัวเขียนข้อมูล

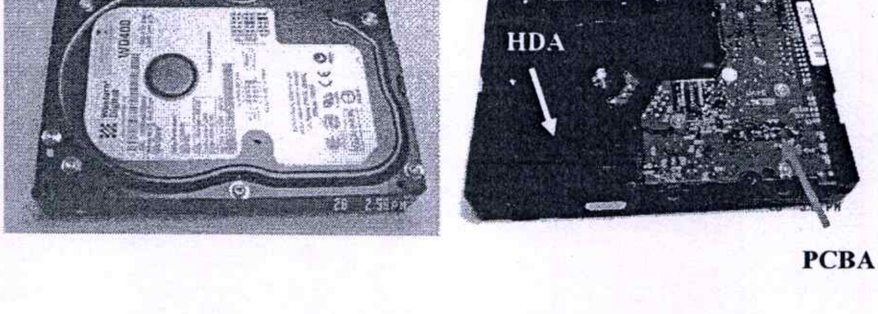
จากรูปที่ 1.2 แสดงให้เห็นถึงตัว Slider ว่าภายใน 1 Slider จะมีหัวอ่าน-เขียนข้อมูล รวมอยู่ข้างในซึ่ง Slider มีส่วนที่สำคัญมากอยู่บริเวณที่เป็นฟิล์มตรงส่วนที่มีวัสดุเป็น $Al_2O_3$ และเนื่องจากว่าส่วนฟิล์มนี้มีหัวอ่าน-เขียนข้อมูลอยู่และส่วนนี้เรียกว่า Pole Tip

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

ในวิทยานิพนธ์บทนี้เป็นการแนะนำถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์บันทึกข้อมูล เทคโนโลยีและความเป็นมาของหัวอ่านเขียนข้อมูล วัสดุที่ใช้ในการประกอบเป็นหัวอ่านเขียน กระบวนการผลิต และเครื่องมือที่ใช้ในการสกัดซึ่งในที่นี้เป็นเครื่องไอออนบีม รวมทั้งอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาว่ามีผลต่อคุณสมบัติการทำงานของหัวอ่านเขียนอย่างไร เพราะในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตหัวอ่านเขียนในประเทศไทยได้กลายเป็นอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกเป็นรายใหญ่ ของโลก เพราะฉะนั้นการศึกษาเกี่ยวกับหัวอ่านเขียนจึงเป็นส่วนสนับสนุนและพัฒนากระบวนการผลิตในอนาคตต่อๆไป

## 2.1 ความรู้พื้นฐานโดยทั่วไปของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้มีบทบาทในชีวิตประจำวันอย่างมากมายและแพร่หลาย ส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งซึ่งคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องขาดไม่ได้คือหน่วยความจำสำรอง ในที่นี้ก็ได้แก่ ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นหน่วยความจำที่มีขนาดใหญ่ที่สุดภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ และจัดเก็บข้อมูลแบบดิจิตอล ด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย ขณะนี้ความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้เพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล เมื่อเทียบกับ 10 หรือ 15 ปีที่แล้ว และความเร็วในการเขียนหรือบันทึกข้อมูลก็มีความเร็วมากขึ้นเรื่อยๆ และในอนาคตขนาดของฮาร์ดดิสก์จะมีขนาดเล็กมาเพื่อรองรับอุปกรณ์ที่ต้องใช้การเก็บข้อมูลแบบพกพาได้เช่นในกล้องวีดีโอ กล้องดิจิตอล ในที่นี้จะกล่าวถึงฮาร์ดดิสก์ที่ใช้กับคอมพิวเตอร์ทั่วไปโดยที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟตัวหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ ก็คือ



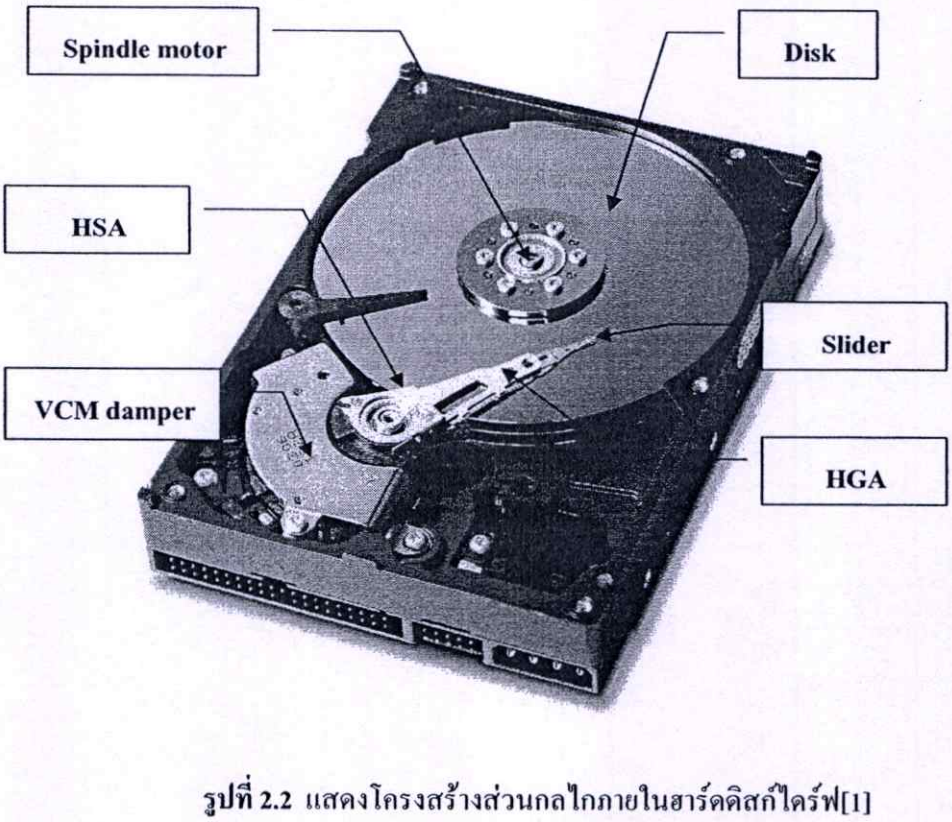

**รูปที่ 2.1** แสดงโครงสร้างภายนอกของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ[1]

1. HDA (Hard Disk Assembly) เป็นส่วนที่เป็นกลไกในการอ่านเขียนข้อมูลอันได้แก่ จานแม่เหล็ก(magnetic media) HSA (Head Stack Assembly)ซึ่งในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย HGA ที่ซ้อนเรียงกันเป็นชั้นๆ มอเตอร์ที่ใช้ในการขับจานแม่เหล็กหมุน(Spindle motor) ขดลวดเหนี่ยวนำ (VCM Coil) ตัวกรองฝุ่น(Filter) ตัวยึดหัวอ่าน(Latch) ส่วนเหล่านี้มีความไวต่อไฟฟ้าสถิตเป็นอย่างมาก ดังนั้นการประกอบอุปกรณ์ส่วนนี้จึงต้องทำในห้องปลอดฝุ่นเท่านั้น และการใช้งานปกติจะไม่สามารถสังเกตุเห็นกลไกภายในได้เลย

2. PCBA (Printed Circuit Board Assembly) เป็นส่วนประกอบที่เป็นแผ่นวงจรใช้ในการควบคุมส่วนที่เป็นกลไกและเป็นตัวเชื่อมต่อข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์

## 2.2 โครงสร้างภายในของระบบกลไกการอ่านเขียนข้อมูล

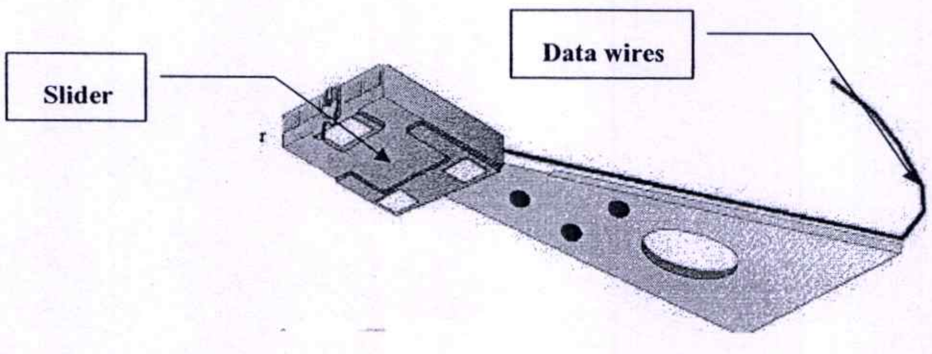
เมื่อกล่าวถึงภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ระบบที่เป็นกลไกในการอ่านเขียนข้อมูลเป็นระบบที่มีส่วนสำคัญมากซึ่งเกี่ยวกับขนาดในการจัดเก็บข้อมูล ความเร็วในการอ่านเขียนข้อมูล แสดงได้ดังรูปที่ 2.2




**รูปที่ 2.2** แสดงโครงสร้างส่วนกลไกภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ[1]

เมื่อดูส่วนประกอบภายใน จะเห็นส่วนประกอบดังรูปที่ 2.2 แผ่นวงกลมที่ซ้อนกันหลายชั้นคือจานแม่เหล็กที่ใช้ในการบันทึก โดยที่จานแม่เหล็กจะมีการเคลือบสารทั้งด้านบนและด้านล่าง ซึ่งเป็นการเคลือบของสารประกอบประเภทฟิล์มบางแม่เหล็กที่มีความหนา 12 ไมโครนิ้วเท่านั้น ด้วยความบางมาก ทำให้หัวอ่านเขียนข้อมูลสามารถทำให้ใกล้ชิดกับจานแม่เหล็กมากยิ่งขึ้น เป็นผลให้ความแม่นยำในการอ่านและเขียนลงบนจานแม่เหล็กมีมากยิ่งขึ้น ข้อดีอีกประการหนึ่งของฟิล์มบางแม่เหล็ก ได้แก่ ความสามารถในการทนแรงขีดข่วนของพื้นผิวที่เคลือบ และสามารถป้องกันข้อมูลได้ดีกว่า Iron Oxide ต่อมาจะเป็นส่วนของสปินเดิลมอเตอร์(Spindle motor) เป็นมอเตอร์หลักที่หมุนตัวจานฮาร์ดดิสก์ เหตุที่เรียกว่าสปินเดิลมอเตอร์ก็เนื่องจากที่ตัวมอเตอร์เชื่อมต่อกับจานฮาร์ดดิสก์โดยตรง และหมุนเป็นวงกลม การทำงานของมอเตอร์ชนิดนี้เป็นแบบ Feed Back Loop เพื่อการปรับอัตราความเร็วในการหมุนได้โดยอัตโนมัติ และโดยทั่วไปอัตราความเร็วในการหมุนใช้ ตั้งแต่ 3600 รอบ ไปจนถึง 10,700 รอบ ซึ่งอัตราความเร็วในการหมุนของจานฮาร์ดดิสก์นี้มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานที่เร็วดีขึ้นฮาร์ดดิสก์ที่ยิ่งมีความเร็วในการหมุนเท่าใดก็ยิ่งดีมากเท่านั้น[1]

ส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ HGA(Head Gimble Assembly) ซึ่งส่วนนี้จะถูกยึดติดกับ HSA มีลักษณะเป็นแขนที่ยื่นเข้าไปบนจานแม่เหล็ก ที่ส่วนปลายมีวัสดุรูปร่างสี่เหลี่ยมขนาดเล็กๆ เราเรียกส่วนนี้ว่า Slider ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ทั้งอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูล ในฮาร์ดดิสก์ตัวหนึ่งๆ อาจจะมี Slider ได้มากถึง 6-8 ตัวขึ้นอยู่กับจำนวนของจานแม่เหล็ก ขณะทำการอ่านและเขียนข้อมูลหัวอ่าน Slider จะบินอยู่เหนือจานแม่เหล็กเพื่ออ่านและเขียนข้อมูล จากรูปจะเห็นว่ามีลวดลายอยู่บนตัว Slider ซึ่งจะเป็นส่วนที่วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษา ซึ่งสัญญาณที่ตรวจจับได้จะถูกส่งผ่านตามสายสัญญาณเพื่อเข้าสู่วงจรต่อไป




**รูปที่ 2.3** ภาพจำลองโครงสร้างของ HGA

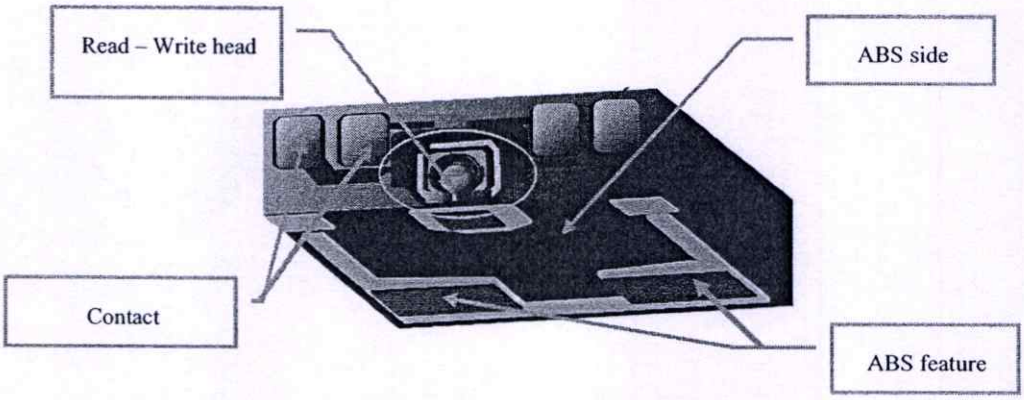
ในปัจจุบันประเทศไทยได้เป็นผู้ผลิต HGA เพื่อส่งออกเป็นอันดับต้นๆของโลก ขณะที่เทคโนโลยีสมัยใหม่ในกระบวนการผลิตได้มีส่วนผลักดันในการพัฒนาโครงสร้างของ HGA ให้มีประสิทธิภาพขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งก็ต้องแลกกับความซับซ้อนของโครงสร้างที่มากขึ้นด้วย ตามลำดับ

## 2.3 โครงสร้างพื้นฐานโดยรวมของหัวอ่านเขียนข้อมูล

หัวอ่านเขียนข้อมูลในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาไปอย่างต่อเนื่องโดยที่มีขนาดเล็กลง แต่สามารถที่จะอ่านหรือเขียนข้อมูลได้เป็นจำนวนมากอย่างรวดเร็ว ส่วนหนึ่งเป็นเพราะเทคโนโลยีฟิล์มบางแมกเนโตรีซิสแตนท์ (Magneto resistance Film) ทำให้การรับสัญญาณจากจานแม่เหล็กเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [1]

**ตารางที่ 2.1** แสดง Form factor ของหัวอ่านในแต่ละรุ่น

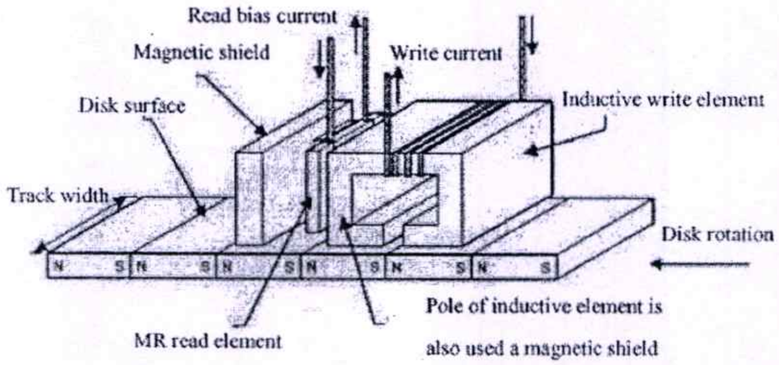
| Form factor | Length(mm) | Width(mm) | Thickness(mm) |
|---|---|---|---|
| MINI | 4.06 | 3.20 | 0.86 |
| MICRO | 2.84 | 3.23 | 0.61 |
| NANO | 2.05 | 1.60 | 0.43 |
| PICO | 1.25 | 1.00 | 0.30 |
| FEMTO | 0.85 | 0.70 | 0.21 |




**รูปที่ 2.4** แสดงภาพจำลองของ Slider แบบ Pico

Slider จากอดีตจนถึงปัจจุบันจะสังเกตุว่าจะมีขนาดลดลงเรื่อยซึ่งสังเกตุได้จากตารางที่ โดยที่ Slider ที่ใช้ทำการทดลองในที่นี้เป็นรุ่น Pico ซึ่งอยู่ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิกส์ความจุ 80 GB ของบริษัทเวสเทิร์นดิจิตอลจำกัด ในรุ่น Pico นี้จะมีขนาดความกว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 1.25 มิลลิเมตร และหนา 0.30 มิลลิเมตร จากรูปที่2.4 โดยทั่วไปแล้ว Slider จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญๆ ดังนี้

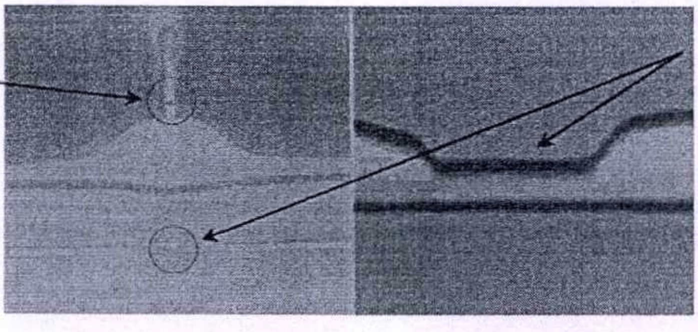
1. หัวอ่านและหัวเขียนข้อมูล จะประกอบไปด้วยโครงสร้างหลักๆคือขดลวดที่ใช้สำหรับเขียนข้อมูล (Writer Coil) และส่วนที่ใช้สำหรับอ่านข้อมูล (Reader) ซึ่งเป็นส่วนของฟิล์มแม่เหล็กบางโดยมีชีลด์กันสนามแม่เหล็กรบกวนภายนอกจากด้านล่าง (Bottom Shield) และด้านบน (Top Shield) รูปที่ 2.5 แสดงแบบจำลองลักษณะการอ่านและเขียนข้อมูลบนจานแม่เหล็ก โดยที่หัวอ่านเขียน




**รูปที่ 2.5** แบบจำลองโครงสร้างและการทำงานของหัวอ่านเขียนข้อมูล

จะลอยอยู่เหนือจานแม่เหล็ก โดยโครงสร้างพื้นฐานใน Slider ตัวหนึ่งๆนั้นจะมีหัวอ่านและหัวเขียนรวมอยู่ในตัวเดียวกัน โดยมีชั้นที่เป็นฉนวนที่เป็นอลูมิเนียมออกไซด์ $Al_2O_3$ นั้นกันไว้ระหว่างหัวอ่านและหัวเขียน แต่หลักการทำงานนั้นแตกต่างกันเพราะว่าหัวเขียนใช้หลักการกฎของแอมแปร์ โดยการป้อนกระแสไปที่ขดลวดแล้วเกิดฟลักซ์แม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดทิศสนามแม่เหล็กขึ้นที่บนจานแม่เหล็ก ส่วนหัวอ่านข้อมูลนั้นจะคอยทำหน้าที่รับสัญญาณจากจานแม่เหล็กว่ารอยต่อระหว่างแทรกบนจานแม่เหล็กนั้นมีทิศทางสนามแม่เหล็กที่เสริมกันหรือว่ามี

หัวเขียนข้อมูล



หัวอ่านข้อมูล

(a) ขยายที่ 7,500 เท่า (b) ขยายที่ 100,000 เท่า

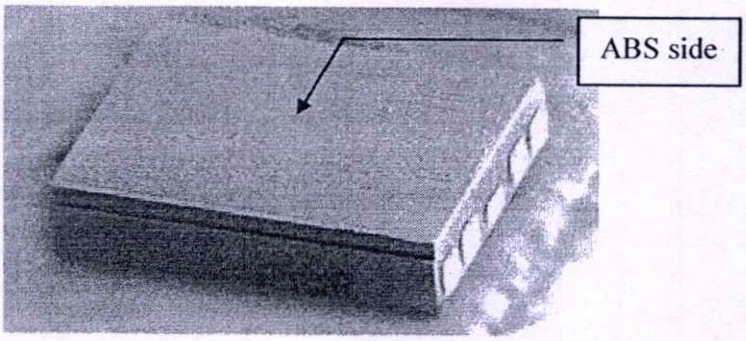
**รูปที่ 2.6** โครงสร้างของหัวอ่าน-เขียนข้อมูลที่ถ่ายขยายด้วย SEM[2]

ทิศทางสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน ถ้ามีขั้วที่เหมือนกันจะให้สัญญาณออกมาเป็นแอมพลิจูดที่สูง หรือถ้ามองในทางดิจิตอลแล้วนั้นก็จะให้สัญญาณออกมาเป็น 1 หรือ 0 นั้นจะขึ้นอยู่กับว่าสัญญาณก่อนหน้านี้จะมีการหักล้างหรือเสริมกันที่เกี่ยวข้องกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก

โครงสร้างของหัวอ่าน-เขียนข้อมูลจริงแล้วมีขนาดที่เล็กมากเมื่อเทียบกับตัว Slider เองและไม่สามารถที่จะมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ แต่ก็มีเทคนิคหนึ่งที่จะสามารถทำให้เห็นหัวอ่าน-เขียนข้อมูลได้โดยการนำหัวอ่าน-เขียนข้อมูลนั้นมาขยายด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope(SEM) จึงจะเห็นหัวอ่าน-เขียนข้อมูลได้ จากรูปที่ 2.6 เป็นการขยายด้วยขนาด 7,500 เท่าโดยขยายในส่วนที่เป็นทั้งหัวอ่านและหัวเขียนข้อมูลซึ่งในส่วนของหัวเขียนนั้นจะมีช่องว่างอยู่ ซึ่งก็คือช่องว่างของอากาศเพื่อให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กขณะที่ป้อนกระแสให้กับขดลวด ส่วนรูป(b) นั้นเป็นการขยายส่วนที่เป็นหัวอ่านเพียงอย่างเดียว โดยขยายถึง 100,000 เท่าเพื่อให้เห็นรูปร่างของหัวอ่านได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

2. Metal Contact ขั้วโลหะจะทำจากทองคำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณจากหัวอ่านและหัวเขียนเข้าสู่วงจรในอาร์ดดิสก์

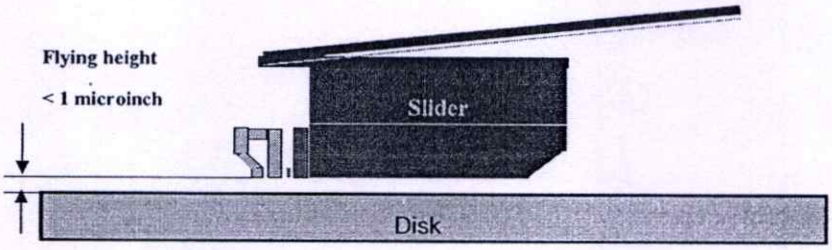
3. ABS(Air Bearing Surface) เป็นด้านหนึ่งของหัวอ่านเขียนข้อมูลที่มีลวดลายอยู่ ซึ่งลวดลายนี้ทำหน้าที่เปรียบเสมือนปีกเครื่องบิน ช่วยในการพยุงหัวอ่านให้ลอยได้คงที่ขณะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล ปัจจุบันการสร้างลวดลายของด้าน ABS ได้นำวิธีการทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์ได้แก่กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (Photolithography)[3] ที่ทำลวดลายวงจรมาทำบนด้าน ABS เนื่องจากลวดลายที่สร้างมีขนาดเล็กมากระดับไมครอน




**รูปที่ 2.7** รูปถ่าย SEM แสดงด้าน ABS ของ Slider

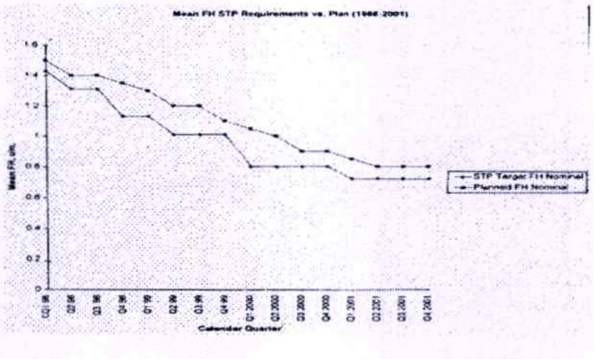
## 2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ Air Bearing Surface(ABS)

อย่างที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่แล้วเกี่ยวกับประโยชน์ของลวดลายบน ABS ในการช่วยพยุงตัว Slider ให้ลอยเหนืออยู่บนจานแม่เหล็ก ซึ่งความสูงที่ลอยเหนือจานแม่เหล็กยิ่งน้อยเท่าไหร่ยิ่งดี เนื่องจากจะสามารถรับสัญญาณได้แม่นยำขึ้นเท่านั้น ระยะที่หัวอ่านเขียนลอยอยู่เหนือจานแม่เหล็ก เรียกว่า Fly Height โดยทั่วไปแล้วค่า Fly height จะกำหนดโดยทางโรงงาน น้อยกว่า 1 ไมโครนิ้ว แนวโน้มของระยะ Fly height จะมีขนาดน้อยลงเรื่อยๆ ซึ่งจะสังเกตุได้จากรูปที่ 2.9 ดังนั้นเมื่อหัวอ่านเขียนบินอยู่เหนือจานแม่เหล็กในระดับที่เกือบจะสัมผัสกับจานแม่เหล็กอยู่นั้น ความสม่ำเสมอของการบินของหัวอ่านเขียนจึงเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมาก ความรู้ทางด้านพลศาสตร์จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์เหล่านี้ โดยที่จะมีการออกแบบโดยใช้โปรแกรมจำลองรูปร่างของลวดลายแล้วทำการจำลองการทำงาน ซึ่งเมื่อได้ลวดลายที่ต้องการแล้วก็นำเข้าสู่กระบวนการ



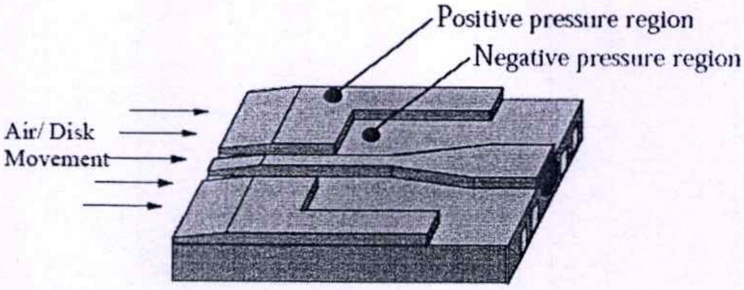

**รูปที่ 2.8** แสดงแบบจำลองการวัดระยะ Fly Height

ผลิตลวดลายต่อไป ดังนั้นการที่หัวอ่านจะบินตรงตามสเปกที่กำหนดหรือไม่นั้น เทคนิคหรือวิธีการสร้างลวดลายให้ตรงกับต้นฉบับที่จำลองมา จึงเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อที่จะนำไปสู่ระยะ Fly height ที่ต้องการ



**รูปที่ 2.9** แสดงแนวโน้มของระยะ Fly height

ลวดลายบนด้าน ABS จะมีเมื่อพิจารณาในขอบเขตของความดันจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน โดยแสดงได้ดังรูปที่ 2.10




**รูปที่ 2.10** แสดงขอบเขตของ Positive pressure และ Negative pressure บนด้าน ABS ของ Slider

1. Positive pressure region เป็นระดับพื้นผิวของ Slider ส่วนที่ไม่ได้ถูกสกัดให้ลึกลงไปจากการจำลองความดันขณะกำลังอ่านหรือเขียนข้อมูลจะมีค่าเป็นบวกในช่วงระหว่าง 4 -12 เท่าของความดันปกติ ส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นแรงยกหัวอ่านให้ลอยสูงขึ้น รูปที่ 2.10 แสดงขอบเขตของ Positive pressure region

2. Negative pressure region เป็นส่วนที่ลึกลงไปจากปกติส่วนนี้จะมีความดันเป็นลบซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าระดับความดันปกติ 0.1 -0.8 เท่า ตรงส่วนนี้ต้องใช้เทคนิคในการสกัดเพื่อทำให้เกิดร่องหรือลวดลายขึ้น ในรูปที่ 2.10 แสดงขอบเขตของ Negative pressure region ซึ่งขอบเขตส่วนนี้จะมีประโยชน์หลายประการคือ

- เพิ่มความนิ่ง (Stiffness) ในการบินอยู่เหนือจานแม่เหล็กทำให้ความแปรปรวนของค่า Fly Height ลดลงทำให้การอ่านเขียนข้อมูลมีความเสถียรมากขึ้น

- ทำให้ค่า Fly Height มีค่าต่ำลง เนื่องจาก Negative pressure จะทำหน้าที่เป็นแรงที่ดึงให้ตัว Slider กดลงเพื่อให้มีระยะน้อยที่สุด โดยปกติแล้วจะมีแรงกดประมาณ 5 mg ดังนั้นการออกแบบลวดลายที่เป็นขอบเขตของ Negative pressure จึงสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

- ช่วยลด speed sensivity เป็นการช่วยชะลอไม่ให้หัวอ่านเขียนมีการเคลื่อนไหวที่เร็วเกินไปซึ่งจะส่งผลต่อค่า Fly Height ที่จะตกลงอย่างรวดเร็วในขณะทำการเขียนข้อมูล

ในส่วนของ Negative pressure region ในหัวอ่านเขียน ปัจจุบันไม่ได้มีเพียงชั้น(Step) เดียว แต่ประกอบไปด้วยชั้นที่มีความลึกต่างๆ กัน ด้วยเหตุนี้การสร้างลวดลายขึ้นมา จึงต้องมีการใช้กระบวนการโฟโตลิโทกราฟีทำในแต่ละชั้นๆ และตรวจสอบความถูกต้องกับแบบที่ได้ออกมากับการวัดค่า CD (Critical Dimension)

## 2.5 กระบวนการสร้างลวดลายโดยใช้กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

เนื่องจากหัวอ่านเขียนข้อมูลในปัจจุบันนี้เป็นแบบ GMR(Giant Magneto Resistance) เป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ล่าสุดของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ และเมื่อหัวอ่านมีขนาดเล็กลงกว่าเดิมก็ยิ่งต้องมีการพัฒนาลวดลายของ ABS ให้สอดคล้องกัน และเทคนิคในการสร้างก็ต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่โดยพื้นฐานการสร้างลวดลายก็ไม่ได้แตกต่างจากวิธีที่ใช้ในการสร้างลายวงจรรวมมากนัก โดยมีขั้นตอนและจุดประสงค์ของการสร้างคล้ายๆกัน

กระบวนการก่อนหน้ากระบวนการโฟโตลิโทกราฟีนั้น จะนำหัวอ่านที่ตัดจากแผ่นเวเฟอร์ออกมาเป็นบาร์ แล้วนำมาเรียงใส่แผ่นโลหะที่เรียกว่า Tip ซึ่งเราเรียกกระบวนการนี้ว่า Encapsulation โดยหงายด้านที่เป็น ABS ขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้บาร์มีความเรียบ(Flat) มากที่สุด แต่ละบาร์ที่เรียงเป็น 1 Tip นั้นก็จะถูกทำให้ราบเรียบให้มากที่สุดเช่นเดียวกัน เพราะตลอดเวลาที่ทำกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีนั้นบาร์จะอยู่ติดกับแผ่น Tip ตลอด ซึ่งกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีจะอยู่ถัดจากกระบวนการเคลือบ DLC ในที่นี้จะได้กล่าวถึงกระบวนการสร้างลวดลายของหัวอ่านในสายการผลิตหัวอ่านจริง และอธิบายความสำคัญในแต่ละกระบวนการ ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อยดังนี้คือ

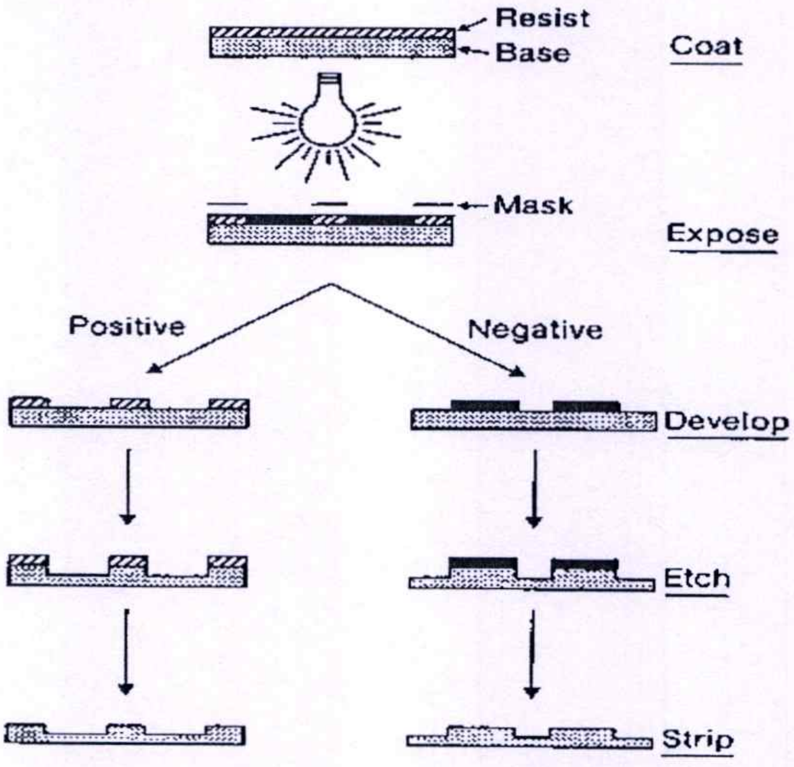
### 2.5.1 กระบวนการเคลือบโฟโตรีซิส

เป็นการเคลือบโฟโตรีซิส(โฟโตรีซิส) ให้มีลักษณะเป็นฟิล์มบางคลุมบนผิวหน้างาน[3] ปรกติแล้วโฟโตรีซิสจะแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทดังนี้[3]

1. Positive Resist เป็นโฟโตรีซิสชนิดบวกซึ่งก็แบ่งออกเป็นชนิดฟิล์มแห้ง (Dry film) และฟิล์มเปียก (Wet film) ในที่นี้มักใช้ฟิล์มที่เป็นชนิดเปียกมากกว่า โดยที่คุณสมบัติของ Positive resist คือเมื่อบริเวณใดที่ถูก Exposure แสงยูวี บริเวณนั้นจะเป็นส่วนที่ถูกขจัดออกไป เพราะแสงยูวีจะไปเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีในส่วนที่ไม่ต้องการให้กลายเป็นโครงสร้างที่ทำละลายได้ง่ายด้วยสารDeveloper โดยที่ลวดลายที่ออกมาหลังจากการ Develop แล้วจะเหมือนกับหน้า mask ของเครื่อง Exposure

2. Negative Resist เป็นโฟโตรีซิสชนิดลบซึ่งก็จะมีทั้งชนิดฟิล์มแห้ง (Dry film) และฟิล์มเปียก (Wet film) เช่นเดียวกับชนิดบวก ในที่นี้มักใช้ฟิล์มชนิดแห้งมากกว่า โดยที่คุณสมบัติของ Negative resist จะตรงข้ามกับ Positive resist คือเมื่อส่วนใดที่ถูก Exposure ด้วยแสงยูวี บริเวณนั้นจะเป็นส่วนที่ยังคงอยู่ เพราะแสงยูวีจะไปเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นส่วนที่ยากต่อการละลายต่อตัว Developer โดยที่ลวดลายที่ได้หลังจากการ Develop แล้วจะตรงกันข้ามกับหน้า mask ของเครื่อง Exposure

จากรูปที่ 2.11ได้แสดงถึงความแตกต่างระหว่าง Postive และ Negative resist ซึ่งในกระบวนการผลิตต้องใช้ทั้งสองกระบวนการเพราะเนื่องจากการใช้ Dry film จะมีข้อดีคือกระบวนการจะมีความรวดเร็วกว่าใช้ Wet film เพราะไม่ต้องมีกระบวนการเคลือบที่ยุ่งยาก รวมทั้งมีความสม่ำเสมอของฟิล์มมากกว่าดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้กับการออกแบบลวดลายที่ต้องการความลึกมากๆ โดยในการผลิตจะใช้ชนิด GA-30 ที่มีความหนาประมาณ 30 ไมครอน ส่วนการใช้ Wet film จะนำไปใช้กับส่วนที่ลวดลายความละเอียดสูงเพราะสามารถควบคุมความหนาของฟิล์มได้ และสามารถทำให้มีความบางมากๆได้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา Shadow effect โดยทั่วไปจะทำการเคลือบ Positive film ที่ความหนาประมาณ 7 ไมครอน ซึ่งในปัจจุบันจะนิยม Positive resist มากกว่าในแง่ของการสร้างลวดลายที่มีขนาดเล็กมากๆ เนื่องจากจะควบคุมลวดลายได้ง่ายกว่าการใช้ Negative resist

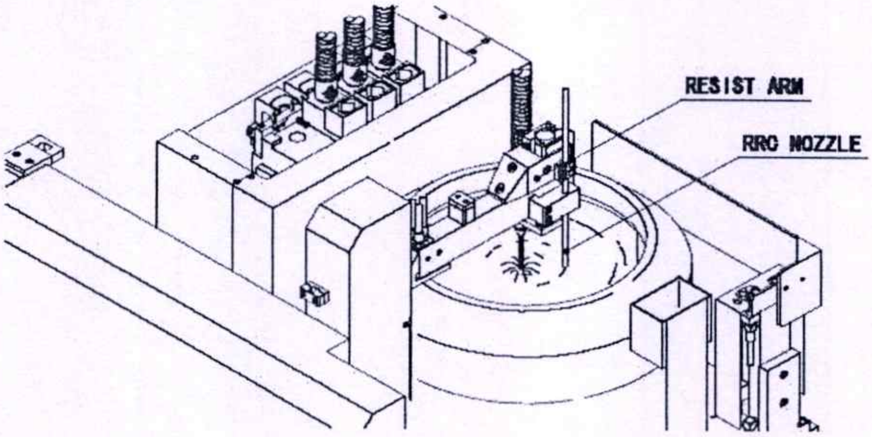



**รูปที่ 2.11** แสดงกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีที่ใช้โฟโตรีซิสทั้งสองชนิด[3]

เมื่อกล่าวถึงวิธีการเคลือบฟิล์มลงบนวัสดุที่ต้องการ ส่วนใหญ่จะใช้วิธี Spin coat เนื่องจากกสามารถควบคุมความหนาได้ง่ายตามต้องการ ลักษณะของการ Spin coat จะแบ่งออกได้ดังนี้คือ

1. Static distance วัสดุจะยังไม่หมุนในขณะที่ทำการหยดน้ำยาโฟโตรีซีสลง แต่จะเริ่มหมุนเมื่อทำการหยดเสร็จแล้ว ซึ่งวิธีนี้จะใช้น้ำยาค่อนข้างเปลือง ความสม่ำเสมอของฟิล์มค่อนข้างดี

2. Dinamic distance วัสดุจะหมุนขณะหยดน้ำยาโฟโตรีซิส เทคนิคนี้จะไม่ใช้น้ำยาน้อยกว่าวิธีข้างต้น แต่ความสม่ำเสมอของฟิล์มจะลดลง




**รูปที่ 2.12** แสดงภาพจำลองเครื่อง Spin coat ที่ใช้ในการเคลือบโฟโตรีซิส

ลักษณะการทำงานจากรูปที่ 2.12 คือเมื่อนำ Tip วางบน Chuck เครื่อง Spin coat โฟโตรีซิสจะถูกหยดลงบริเวณกึ่งกลางของ Tip ด้วยแขนกล หลังจากนั้นจะทำการหมุน Tip ด้วยความเร็วสูงทำให้น้ำยาแผ่กระจายออกไปจนเป็นฟิล์มบาง โดยใช้หลักการของ Centifugal force เมื่อใช้วิธีนี้ความหนาของฟิล์มสามารถคำนวณได้จาก[3]

$$T = kP^2 \big/ \sqrt{W} \tag{2.1}$$

โดยที่ T คือ ความหนาของฟิล์ม

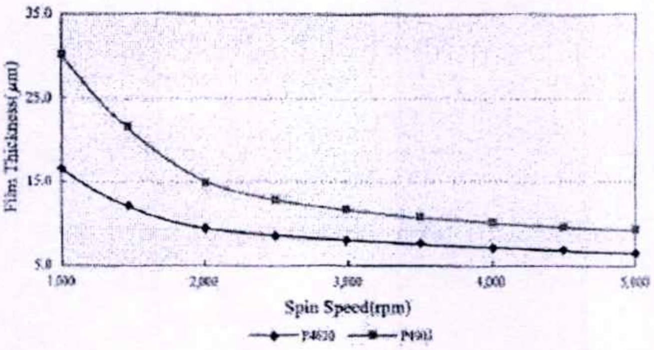
K คือ ค่าคงที่ของ Spinner โดยทั่วไปจะมีค่า 80 -100

P คือ ปริมาณของแข็งในน้ำยาโฟโตรีซิส คิดเป็นเปอร์เซนต์

W ถือ ความเร็วในการหมุนของ Spinner มีหน่วยเป็น rpm/1000

ในที่นี้ความเร็วของการหมุนที่ใช้ ณ ความหนาที่ต้องการอาจสามารถพิจารณาได้จากกราฟที่ Spin curve ของโฟโตรีซิส ในแต่ละชนิด ดังแสดงจากรูปที่ 2.13 ซึ่งน้ำยาโฟโตรีซิส แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่ต่างๆ กันไปขึ้นกับลักษณะการใช้งานถ้าต้องการความหนามากๆ ก็เลือกใช้น้ำยาซึ่ง

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง




รูปที่ 2.13 แสดงกราฟระหว่าง Spin speed กับความหนาของฟิล์มในโฟโตรีซิสเบอร์ต่างๆ

มีความหนืดสูงแต่ถ้าต้องการความหนาน้อยๆ ก็เลือกน้ำยาที่มีความหนืดต่ำ ซึ่งจริงๆแล้วในการความเร็วรอบที่ใช้ในการเคลือบนั้นจะต้องมีขั้นตอนในการเลือกใช้ความเร็วในการหมุนให้เหมาะสมในแต่ละขั้นเพื่อให้ได้ความสม่ำเสมอของฟิล์มให้มากที่สุด จากตารางที่แสดง Recipe จริงในการเคลือบฟิล์มโฟโตรีซิสจะเห็นว่าช่วงแรกจะมีการหมุนไม่เร็วมากนักเนื่องจากต้องการทำให้น้ำยาเคลือบทั่วทั้งแผ่นและเริ่มไล่เอาน้ำยาส่วนที่เกินออกไป หลังจากนั้นจะเริ่มมีการสร้างความสม่ำเสมอในการเคลือบแต่ก็ยังไม่เร็วมากนัก ขั้นตอนต่อมาจะหมุนด้วยความเร็วถึง 3000 รอบต่อนาทีเพื่อทำให้ฟิล์มมีความบางตามต้องการ และ มีแรงที่เกี่ยวเนื่อง 2 แรงได้แก่แรงที่เกิดจากหนีออกจากศูนย์กลาง (Centrifugal force) และ แรงเฉือน(Shear force) ระหว่างชั้นของ โฟโตรีซิส ซึ่งจะมีลักษณะเป็นวงแหวนทิศทางออกจากจุดศูนย์กลาง ในที่นี้ต้องการประมาณ 7 ไมครอนซึ่งช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ค่อนข้างใช้เวลานานที่สุด หลังจากนั้นจะลดความเร็วลงเพื่อทำให้ฟิล์มแห้ง หลังจากนั้น Tip ที่ทำการเคลือบแล้วจะถูกนำไปไว้ในกล่องเพื่อกันฝุ่นกับสิ่งปนเปื้อนจากอากาศ

**ตารางที่ 2.2** แสดง Recipe ลำดับขั้นตอนการ Spin coat

| Operate | Time(s) | Speed(krpm) |
|---|---|---|
| SPIN | 2 | 0.1 |
| DSPI | - | 0.1 |
| SPIN | 4 | 0.7 |
| SPIN | - | 1 |
| SPIN | 20 | 3.3 |
| EBR | 5 | 0.6 |
| SPIN | 5 | 1 |

74613

สำหรับการ Spin coat นั้นจะเป็นวิธีที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับกระบวนการสร้างที่ยังใช้โฟโตรีซิส ในระดับความหนามากได้ แต่จะประสบปัญหาเมื่อใช้กับลวดลายที่มีลักษณะเป็นขั้นบันไดซึ่งจะมีปัญหาการเคลือบบริเวณมุม และการวิธี Spin coat ต้องยอมรับความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากวิธีนี้คือธรรมชาติของการ Spin coat ยังคงมีความแตกต่างระหว่างความหนาบริเวณตรงกลางกับความหนาที่ขอบอยู่เพราะเกิดจากแรงหนีออกจากศูนย์กลาง ซึ่งถ้าหากต้องใช้กับกระบวนการที่ต้องใช้โฟโตรีซิส ที่มีความบางมากๆ จะควบคุมปัญหาความแปรปรวนของความหนาค่อนข้างยาก เทคนิคในการเคลือบฟิล์มจึงต้องได้รับการพัฒนาต่อๆไป

### 2.5.2 กระบวนการ Prebaking

ก่อนที่จะพิจารณาถึงกระบวนการ Prebaking จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับสถานะทางกายภาพและทางเคมีของฟิล์มโพลิเมอร์หลังจากการ Spin coat หลังจากผ่านกระบวนการ Spin coat และฟิล์มนั้นแห้งแล้ว ฟิล์มโพลิเมอร์จะประกอบไปด้วยตัวทำละลายที่ยังคงหลงเหลืออยู่ประมาณ 15% และยังมีความเครียดที่ยังอยู่ในฟิล์มเนื่องมากจากแรงเฉือน (Shear force) ในขณะ Spin coat การที่จะทำให้สิ่งเหล่านี้หมดไปต้องมีกระบวนการ Baking ก่อนเข้ากระบวนการ Exposure เมื่อพิจารณาถึงโฟโตรีซิส ตัวทำละลายที่หลงเหลืออยู่จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาในกระบวนการ Exposure ในช่วงของการแผ่กระจายรังสี ซึ่งจะส่งผลต่อบริเวณที่ถูกแสงตอนทำการ Exposure นำไปสู่ผลกระทบต่อลวดลายหลังกระบวนการ Develop แต่มีโฟโตรีซิสเพียงไม่กี่ชนิดที่ต้องการตัวทำละลายที่หลงเหลืออยู่ ซึ่งใช้ประโยชน์ของตัวทำละลายเพื่อเพิ่มความไวแสง ในกรณีนี้ตัวทำละลายทำหน้าที่เคลือบฟิล์มอีกชั้นหนึ่งที่ทำให้การแพร่ของน้ำทำได้สะดวก อันเป็นสิ่งจำเป็นต่อปฏิกิริยาทางเคมี ได้แก่ พวก DNQ (diazonaphthoquinone) ส่วนความเครียดที่เกิดขึ้นในฟิล์มนั้นจะเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียสภาพความยืดหยุ่น และอาจทำให้การ Develop ออกไม่สมบูรณ์[3]

หลักการของกระบวนการ Prebaking คือปกติเมื่อให้อุณหภูมิกับแล้วส่วนที่เป็นโพลีเมอร์ใน โฟโตรีซิส โดยเมื่อลดอุณหภูมิลงนั้นสายโซ่โพลีเมอร์ของโฟโตรีซิส จะเคลื่อนที่ได้น้อย[4] แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่าค่า $T_G$ สายโซ่โพลีเมอร์จะกลายเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ และจะเริ่มมีการไหลภายใต้ความเครียดไม่มากนัก ดังนั้นการให้ความร้อนกับ โฟโตรีซิส ให้สูงกว่าค่า $T_G$ ของ โฟโตรีซิส เองในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมจะทำให้ฟิล์มเข้าสู่สภาวะเสถียรมากยิ่งขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นกระบวนการแพร่เป็น Activated process ดังนั้นการกำจัดตัวทำละลายจะทำได้อย่างสะดวกยิ่งขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เวลาที่เหมาะสมจะทำให้โมเลกุลของตัวทำละลายแพร่ออกไปจากฟิล์มได้หมด

กระบวนการ Prebaking อาจถูกมองว่าเป็นขั้นตอนที่ไม่มีความสำคัญมากนัก แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้เป็นสิ่งที่ต้องทำให้ได้อย่างสมบูรณ์ที่สุด เพราะต้องแน่ใจว่ากระบวนการนี้ต้องทำอย่างทั่วถึงทั้งแผ่นเวเฟอร์และฐานรองและต้องทำให้มาตรฐานสำหรับการผลิตที่เป็นจำนวนมากๆ ปรกติแล้วกระบวนการนี้จะมีปัญหาค่อนข้างน้อย นอกจากการใช้เครื่องมือที่มีสิ่งปนเปื้อน

หรือไม่ได้ทำการปรับตั้งเครื่องมือให้เป็นมาตรฐาน ซึ่งปัญหาพวกนี้จะไปส่งผลก็ต่อเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ Develop โดยปกติทั่วไปกระบวนการ Prebaking มีหลายรูปแบบดังนี้

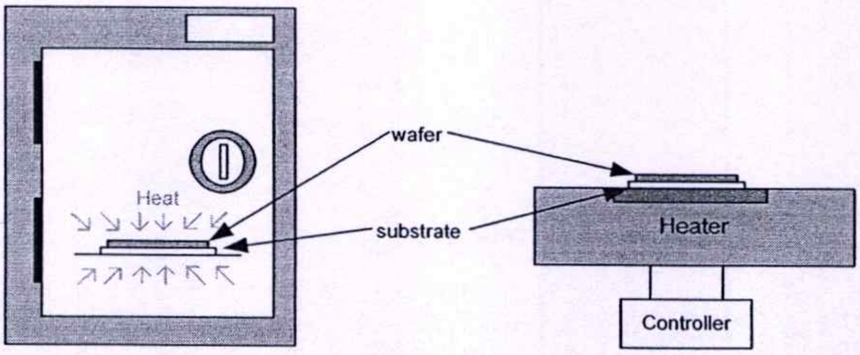
1. Baking oven เป็นการให้ความร้อนแก่ โฟโตรีซิส ที่เป็นระบบปิดเช่น ตู้อบ และยังสามารถแบ่งตามวิธีที่ให้ความร้อนได้อีกไม่ว่าจะเป็น

- Convection oven
- Air convection oven
- Infrared heated oven

ซึ่งวิธี Convection ovenได้นำมาใช้ในโรงงานในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียน ข้อดีของกระบวนการนี้คือมีสิ่งปนเปื้อนหลังจากผ่านกระบวนการน้อย แต่ข้อเสียคือต้องใช้เวลานาน (ประมาณ 45-60 นาที) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และต้องเพิ่มอุณหภูมิช้าๆ เพื่อป้องกันการไหม้ ด้วยลักษณะที่เป็นการให้ความร้อนแก่บริเวณผิวนอกถ้าเพิ่มอุณหภูมิไม่เหมาะสมอาจทำให้บริเวณผิวหน้าไหม้ได้

2. Hot plates เป็นการให้ความร้อนจากด้านล่างของฐานรอง ข้อดีของกระบวนการคือใช้เวลาค่อนข้างเร็ว(ประมาณ 1-5 นาที) ที่อุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส ข้อเสียคือฐานรองต้องมีผิวเรียบมาก เพื่อให้การกระจายความร้อนเป็นไปได้อย่างทั่วถึง แต่ด้วยการนำความร้อนทำให้ชิ้นงานได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงกว่าวิธีใช้ตู้อบ

3. Track system เป็นการใช้ระบบอัตโนมัติเข้ามาช่วย วิธีนี้จะมีสิ่งปนเปื้อนน้อยเพราะจะเป็นระบบสายพาน และมีความแน่นอนในการให้ความร้อนสูงกว่า แต่ราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่นๆ




(a) Convection oven (b) Hot plate

**รูปที่ 2.14** แสดงแบบจำลองของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ Prebaking

**2.5.3 กระบวนการ Exposure**

หลังจากการ Prebaking แล้วต่อมาจะเป็นกระบวนการ Exposure ซึ่งเป็นการฉายแสงในรูปแบบของลวดลายที่ต้องการไปบนแผ่น wafer เพื่อทำการสร้างลวดลายลงบนฟิล์มโฟโตรีซิส ซึ่งไม่อาจเห็นรูปแบบของลวดลายหลังจาก Exposure โดยจะเป็นลักษณะของ Latent image จะสามารถสังเกตุได้จากลวดลายหลังจากกระบวนการ Develop เท่านั้น ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของกระบวนการนี้คือ

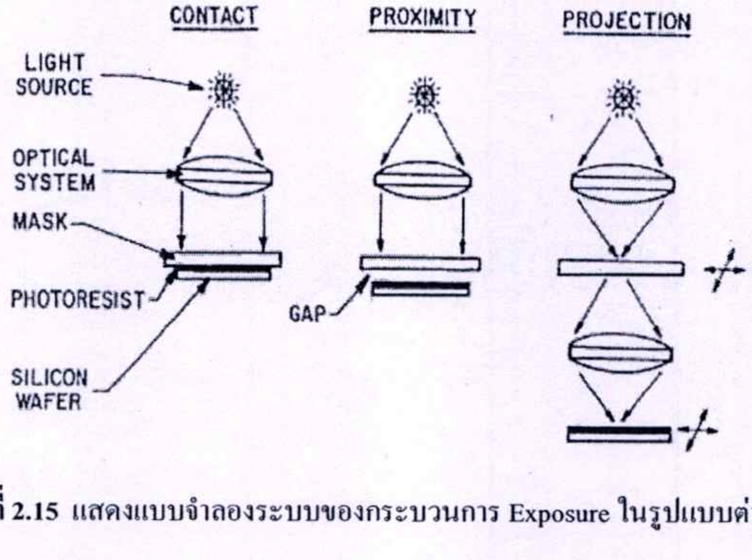
- ประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้งาน
- ปฏิกิริยาทั้งทางกายภาพและทางเคมีระหว่างแสงที่ฉายกับโครงสร้างของโฟโตรีซิส
- คุณภาพของ mask

เทคนิคที่ใช้ในกระบวนการ Exposure มีหลายวิธีด้วยกันดังนี้

1. Contact printing วิธี Exposure แบบนี้จะยึดหน้า mask ให้ติดกับแผ่นเวเฟอร์ ภาพที่ได้จะมีความคมชัดสูงมาก แต่จะมีปัญหาเกี่ยวกับหน้า mask จะเกิดรอยขีดข่วนหรือคราบของ โฟโตรีซิส ลักษณะของภาพที่ได้จะเป็นอัตราส่วน 1:1 เมื่อเทียบกับต้นแบบ

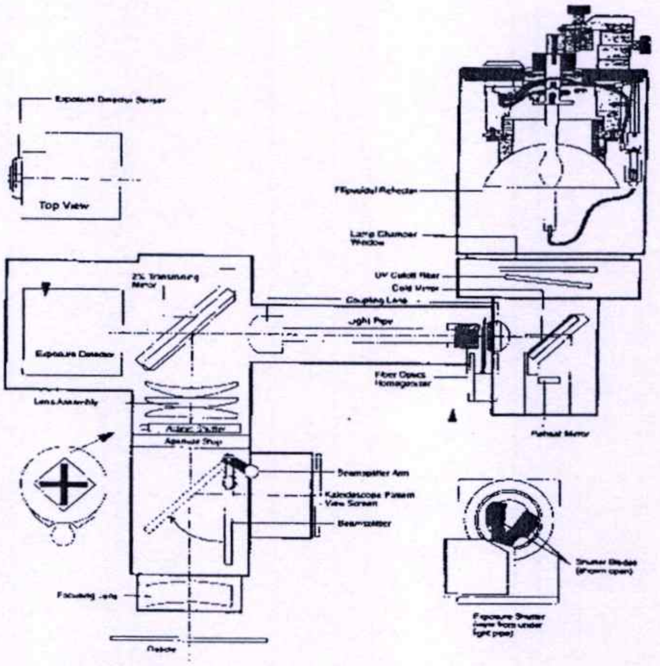
2. Proximity printing วิธีนี้จะยกหน้า mask ให้เหนือจากแผ่นเวเฟอร์ประมาณ 10 -25 ไมครอน วิธีนี้จะเป็นการช่วยรักษาหน้า mask ได้ดีกว่าแบบแรก แต่ความคมชัดของภาพจะน้อยกว่าเพราะเกิดการเลี้ยวเบนของแสง ทำให้บริเวณส่วนขอบของภาพบนเวเฟอร์เบลอ ลักษณะของภาพที่ได้จะเป็นอัตราส่วน 1:1 เมื่อเทียบกับต้นแบบ

3. Projection printing วิธีนี้จะใช้ระบบเลนส์ที่ซับซ้อนเข้ามาช่วย ซึ่งจะทำให้ภาพมีความคมชัดมาก ในขณะเดียวกันการสร้างหน้า mask เพื่อมาใช้กับวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องเท่ากับขนาดของภาพที่ต้องการเพราะใช้ระบบเลนส์ในการปรับภาพ แต่ความคมชัดเท่าเดิม อัตราส่วนของหน้า mask กับภาพที่ได้อาจเป็นได้ถึง 10:1 วิธีนี้มีประโยชน์มากในแง่ของการผลิตเพราะไม่ต้องเสียเวลา



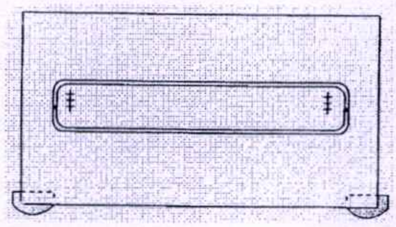

**รูปที่ 2.15** แสดงแบบจำลองระบบของกระบวนการ Exposure ในรูปแบบต่างๆ

ในการสร้างลวดลายบน mask ให้มีขนาดเท่ากับภาพจริง และในเทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถทำหน้า mask เพียงหน้าเดียวแล้วใช้วิธีการ step-and-repeat ทำให้ไม่ต้องยุ่งยากในการสร้างแบบให้มีจำนวนเท่ากับจำนวนภาพที่ต้องทำในเวเฟอร์ ทำให้ได้ทุกงานที่ออกมาได้มีลักษณะเหมือนกับต้นแบบ และใช้ระบบอัตโนมัติในการ scan ลวดลายทำให้มีความรวดเร็ว ในโรงงานผลิตหัวอ่านเขียนได้ใช้เครื่อง Exposure ที่เป็นเครื่อง Stepper สามารถผลิตงานออกมาได้เป็นจำนวนมาก

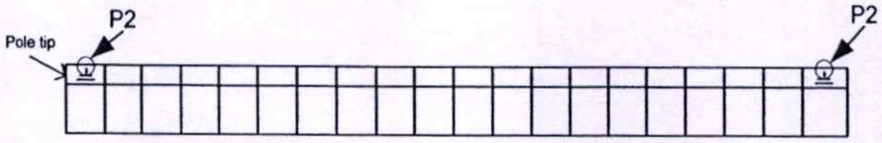



รูปที่ 2.16 แสดงระบบโดยรวมของเครื่อง Stepper

เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่แหล่งกำเนิดแสงอยู่ห่างจากแผ่นเวเฟอร์ในปัจจุบัน เครื่อง Stepper จึงต้องมีระบบของการ Alignment ที่มีประสิทธิภาพด้วย การ Alignment จะทำให้ตำแหน่งของหน้า mask กับตำแหน่งบนเวเฟอร์ที่ต้องการสร้างลวดลายตรงกัน



รูปที่ 2.17 แสดงแบบของกระจก mask ขนาด 3 x 5 นิ้ว




**รูป 2.18** แสดงตำแหน่งบนบาร์ที่ใช้ในการ Alignment

ในที่นี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนสั้นๆ ของระบบ Stepper ที่ใช้ในกระบวนการ Exposure จากรูปที่ 2.17 เป็นกระจก mask โดยที่ลวดลาย ABS จะมีอยู่จำนวน 20 Slider ด้วยกัน ขนาดของ mask จะเท่ากับงานที่ต้องการ Exposure (1:1) ขนาดของกระจก 3 นิ้ว x 5 นิ้ว เคลือบกระจกด้วยโครเมียม ในกระบวนการนี้จะไม่ทำการ Exposure ทั้ง Bar เนื่องจากป้องกันผลกระทบที่เกิดจากบาร์ที่โก่ง ทำให้ภาพที่ออกมาไม่สม่ำเสมอทั่วกันทั้งบาร์ จึงได้แก้ปัญหาโดยทำการ Exposure ทีละครึ่งบาร์ ส่วนการ Alignment เพื่อจะทำการ Exposure บนบาร์จะใช้กล้องไมโครสโคป จับภาพ pole tip ที่ส่วน P2 ของ Slider ที่ 1 และ Slider ที่ 22 ดังรูปที่ 2.18 จากนั้นเครื่องปรับระดับให้เสมอกัน ก่อนที่จะทำการฉายแสงลงไป และจะทำซ้ำไปเรื่อยๆจนถึงบาร์ที่ 38 จากนั้นจึง เริ่มต้น Alignment ที่ Slider ตำแหน่งที่ 23 และ 43 แล้วทำการ Exposure จนทั่วทั้ง Tip แสงที่ฉายเป็นแสงยูวี ในย่าน g-line ที่ 436 nm ส่วนแสงในย่านอื่นๆแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.3** แสงย่านอื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ Exposure

| **Type** | **Source** | **Wavelength** |
|---|---|---|
| Near UV | Mercury arc lamp | g-line at 436 nm<br>i-line at 365 nm |
| Mid UV | Xenon arc lamp | 290 – 350 nm |
| Deep UV | Excimer laser | 200 – 290 nm |

อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยสำคัญซึ่งต้องกำหนดเมื่อถึงกระบวนการคือ พลังงานในการ Exposure การที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์พอดีต้องกำหนดพลังงานให้เหมาะสม สำหรับการทดลองนี้อยู่ที่ 700 $mJ/cm^2$ ถ้าให้พลังงานมากเกินไปจะทำให้โฟโตรีซิส บริเวณที่ไม่ต้องการให้สัมผัสกับแสงเกิดปฏิกิริยาทำให้ภาพที่ได้มีขนาดใหญ่ แต่ถ้าให้น้อยเกินไปจะเห็นผลกระทบในช่วงการ Develop เนื่องจากมีบางส่วนที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาทำให้โฟโตรีซิส หลงเหลืออยู่ในบริเวณที่ต้องการเอาฟิล์มออก ซึ่งถือว่าเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน

**2.5.4 กระบวนการ Develop**

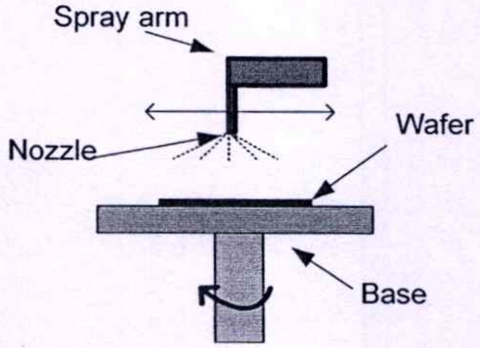
กระบวนการนี้เป็นการกำจัดฟิล์มส่วนที่ไม่ต้องการออกหลังจากการ Exposure ซึ่งหลังจากนั้นลวดลายของหน้า mask จะปรากฏให้สังเกตุเห็นได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้มีความซับซ้อนมากเพราะมีผลต่อคุณภาพของลวดลาย สิ่งที่สำคัญที่ควรคำนึงถึงสำหรับการพัฒนากระบวนการนี้คือ

- ต้องไม่ทำลายโครงสร้างของฟิล์มเดิมหมายความว่าตัว Developer ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับ โฟโตรีซิส ส่วนที่ต้องคงอยู่ ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการเลือก Developer
- ต้องใช้เวลาการ Develop ให้สั้นที่สุดเนื่องจากสารละลาย Developer บางชนิดทำปฏิกิริยากับวัสดุจึงต้องทำในเวลาอันรวดเร็ว และป้องกันไม่ให้สารละลายแทรกซึมเข้าไปในชิ้นงานอีกด้วย
- ต้องทำให้งานที่ออกมามีรูปแบบที่ผิดเพี้ยนไปให้น้อยที่สุด
- ในกระบวนการควรมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งเวเฟอร์ซึ่งสำคัญในเชิงของการผลิต

กระบวนการ Develop สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. Dry Development เป็นการใช้พลาสมาในการกำจัดฟิล์มในส่วนที่ไม่ต้องการออก ส่วนใหญ่จะใช้ระบบ Oxygen reactive ion etching เป็นการใช้ความแตกต่างในอัตราการสกัดของวัสดุ 2 ชนิดที่ไม่เท่ากัน

2. Liquid Development เป็นการใช้ของเหลวมาเป็นตัวทำละลายฟิล์มในส่วนที่ไม่ต้องการออก เป็นการใช้ความแตกต่างของการละลายในวัสดุ 2 ชนิดที่ไม่เท่ากัน ซึ่งทั้งโฟโตรีซิส ชนิดบวกและโฟโตรีซิส ชนิดลบ ต่างก็ใช้สารละลายชนิดต่างกัน โดยกลไกของโฟโตรีซิส ชนิดบวกเมื่อผ่านกระบวนการ Exposure บริเวณที่ถูกแสงจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีให้เป็นส่วนที่สามารถละลายในเบสได้ ในที่นี้ใช้ตัว Developer ที่เป็นสารละลาย KOH




**รูปที่ 2.19** แสดงระบบของการ Develop ที่เป็นระบบอัตโนมัติ

ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตหัวอ่านเขียนใช้เครื่อง SSEC ในการ Develop ซึ่งลักษณะจะมีแขนกลฉีด สารละลาย KOH ให้เป็นฝอยและที่ฐานรองจะหมุนอยู่ตลอดเพื่อให้เข้าทำปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง แสดงได้ดังรูปที่ 2.19 สิ่งที่ต้องควบคุมก็คือการควบคุมเวลา อุณหภูมิของน้ำยา ความเข้มข้นของสารละลาย ความชื้น และความสะอาดของชิ้นงาน

**2.5.5 กระบวนการสกัด(Etching)**

หลังจากกระบวนการ Develop เพื่อทำการเปิดบริเวณที่ต้องการสกัด ต่อมาชิ้นงานจะถูกนำไปสกัดเพื่อเอาเนื้องานออก เป็นการสร้างลวดลาย 3 มิติขึ้นมาบนวัสดุจริงๆ[5] การสกัดแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. การสกัดแบบเปียก (Wet etching) เป็นการสกัดโดยอาศัยสารเคมีที่เป็นสารละลายทำปฏิกิริยากับผิวชิ้นงาน

2. การสกัดแบบแห้ง (Dry etching) หรือเรียกอีกชื่อว่า plasma etching เป็นการสกัดโดยใช้พลาสมาหรือไอออนเป็นตัวสกัดผิวหน้าชิ้นงาน ระบบการสกัดแบบนี้ค่อนข้างซับซ้อนเพราะต้องมีแหล่งกำเนิดไอออนและอุปกรณ์เร่งไอออน รวมทั้งระบบการสกัดแบบนี้ส่วนใหญ่จะเป็นระบบ Load lock เพื่อไม่ให้มีสิ่งปนเปื้อนเข้าไปในระบบแต่ผลที่ได้มีความแน่นอนกว่าการสกัดแบบเปียกมากเมื่อใช้ในงานที่มีขนาดเล็กมาก[7] และต้องการความสมบูรณ์ของลวดลายมากกว่า ตารางที่ 2.4 แสดงข้อเปรียบเทียบเพิ่มเติมระหว่างกระบวนการสกัดแบบแห้งและแบบเปียก

**ตารางที่ 2.4** แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างการสกัดแบบเปียกและการสกัดแบบแห้ง

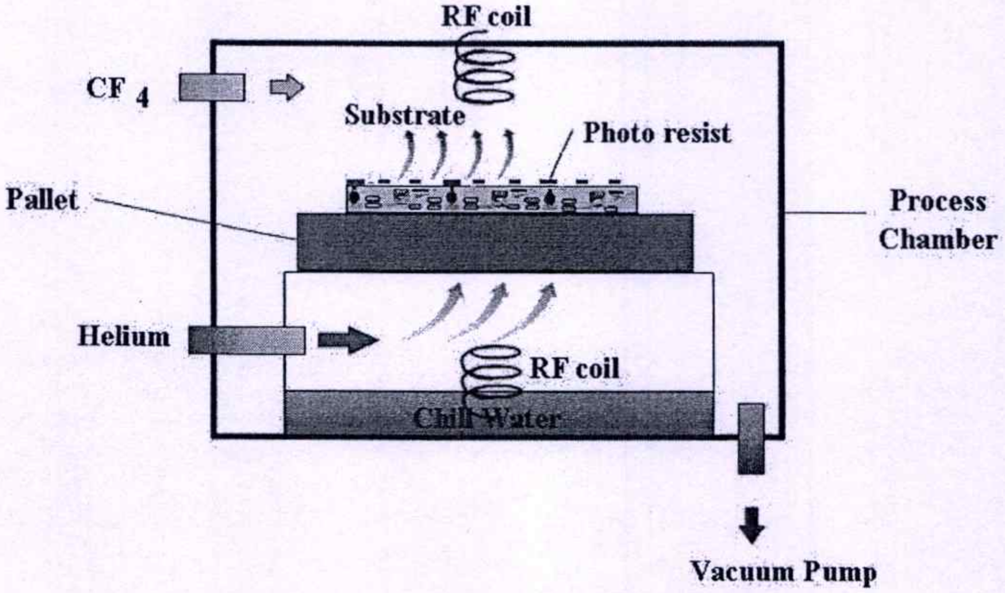
| | การสกัดแบบแห้ง | การสกัดแบบเปียก |
|---|---|---|
| วิธีการ | -ใช้การชนของไอออน<br>-ใช้ Chemical reactive | - ใช้สารละลายเคมี |
| สภาพแวดล้อมในการสกัด | - สูญญากาศ | - ที่ความดันบรรยากาศ |
| ข้อดี | - สามารถสกัดลวดลายที่มีขนาดเล็ก(ต่ำกว่า 1 ไมครอน) ได้<br>- มีความสม่ำเสมอในการสกัดสูง | - ราคาถูกและง่ายต่อการทำ<br>- ให้อัตราการสกัดที่สูง<br>- selectivity สูง |
| ข้อเสีย | - ราคาแพงและทำออกมาได้ครั้งละจำนวนน้อย<br>- selectivity ต่ำ<br>- ต้องระวังการแผ่รังสี | - ให้ผลในการสกัดไม่ดีสำหรับลวดลายขนาดต่ำกว่า 1 ไมครอน<br>- มีความเสี่ยงต่อสารเคมีสูง<br>- ต้องระวังความชื้นจากน้ำ |
| ทิศทางการสกัด | Anisotropic | Isotropic |

รูปที่ 2.20 แสดงทิศทางของการสกัดรูปแบบต่างๆ[7]

ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบของการสกัดแบบแห้งที่นิยมใช้ทั้งในงานวิจัยและงานอุตสาหกรรม เนื่องจากปัจจุบันลวดลายมีขนาดเล็กลงมากจนการสกัดแบบเปียกไม่สามารถสนองความต้องการได้ ซึ่งระบบของการสกัดแบบแห้งสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

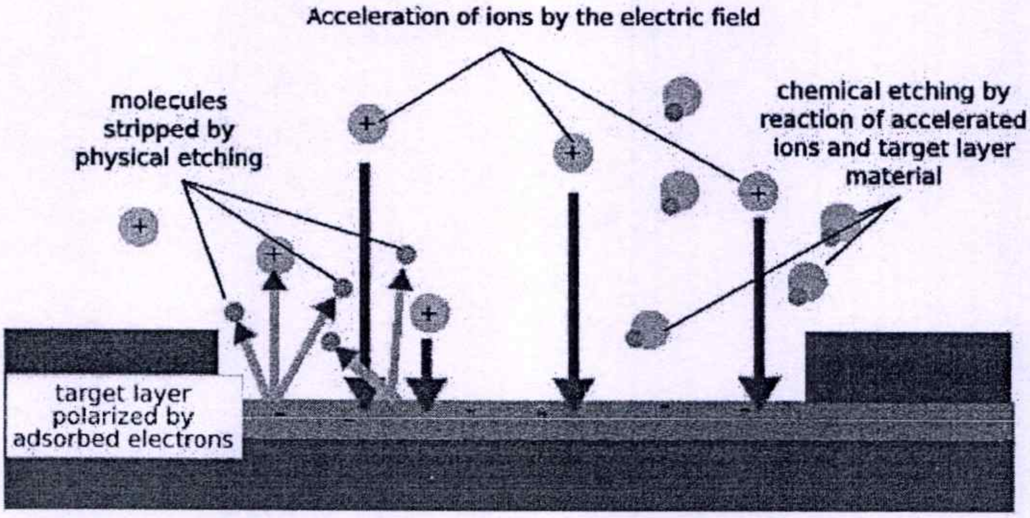
1. ระบบ Reactive ion etching เป็นการสกัดโดยใช้พลาสมาที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยที่พลาสมาจะถูกกระตุ้นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (RF power) ที่ความดันต่ำ ไอออนที่มีพลังงานสูงในพลาสมาจะทำปฏิกิริยากับพื้นผิวของวัสดุ เครื่องมือสำหรับระบบ RIE จะประกอบไปด้วยแชมเบอร์ โดยภายในแชมเบอร์จะมีฐานรองเวเฟอร์อยู่ด้านล่างและต่อกราวน์ ก๊าซจะไหลเข้าแชมเบอร์โดยผ่านรูเล็กๆ ที่ด้านบนของแชมเบอร์และด้านล่างของแชมเบอร์จะมีท่อดูดอากาศออกซึ่งจะต่อกับปั๊มสูญญากาศ

การทำงานของระบบนี้จะเริ่มจากการทำให้โมเลกุลของก๊าซสั่นโดยป้อนความถี่ในย่าน RF (13.56 MHz) เมื่อโมเลกุลเกิดการสั่นก็จะเกิดการชนกันของโมเลกุลทำให้ โมเลกุลแตกตัวออกเป็นไอออน และจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดพลาสมาในที่สุด




รูปที่ 2.21 แสดงระบบ Reactive ion etching

ซึ่งในแต่ละรอบของการสั่นโดนใช้สนามไฟฟ้าอิเล็กตรอนจะถูกเร่งขึ้นและลงภายในแชมเบอร์ อิเล็กตรอนบางส่วนจะไปกระทบกับผนังของแชมเบอร์และฐานรองเวเฟอร์ ในเวลาเดียวกันไอออนที่มีขนาดใหญ่ก็จะเคลื่อนที่สัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าแต่จะเคลื่อนที่ได้น้อยกว่าซึ่งจะรวมกลุ่มกันเป็นหมอก เมื่ออิเล็กตรอนถูกดูดซับไปโดยผนังของแชมเบอร์ซึ่งต่อลงกราวน์และจะถูกกำจัดออกไปจากระบบจะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อระบบ




**รูปที่ 2.22** แสดงกลไกของการสกัดแบบ Reactive ion etching

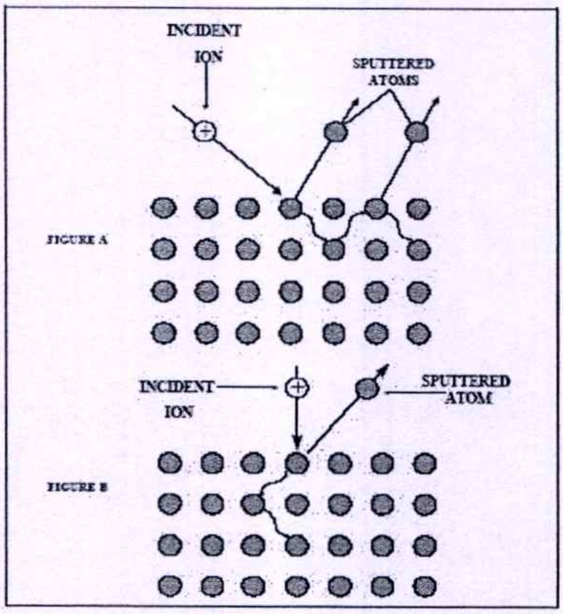
อย่างไรก็ตามอิเล็กตรอนบางส่วนจะสะสมอยู่บนฐานรองซึ่งแยกส่วนกับผนังแชมเบอร์ทำให้เกิดสภาพเป็นลบทางไฟฟ้าต่อมาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนมีศักย์ไฟฟ้าหลายร้อยโวลต์ และเนื่องจากความต่างศักย์ระหว่างไอออนบวกที่อยู่ในแชมเบอร์กับฐานรองมีมากดังนั้นไอออนบวกจึงเคลื่อนที่ลงมาสกัดชิ้นงาน กลวิธีในการสกัดจะแบ่งเป็นสองส่วนคือไอออนจะไปสร้างพันธะเคมีกับผิวของวัสดุและจะหลุดออกจากผิวเนื่องจากเกิดการถ่ายเทพลังงานจลน์ ซึ่งทิศทางในการสกัดจะมีความเป็น Anisotropic กว่าการสกัดแบบเปียกอยู่มาก

2. ระบบ Ion beam etching เป็นการสกัดโดยใช้ไอออนของก๊าซพุ่งชนอะตอมของวัสดุ ซึ่งไอออนที่ใช้จะผลิตมาจากส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดพลาสมาแล้วถูกสนามไฟฟ้าเร่งไปชนที่บริเวณผิวของวัสดุ เกิดการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมวัสดุ ทำให้อะตอมของวัสดุหลุดออกมา วิธีนี้ต้องกระทำในระบบที่มีความดันต่ำทิศทางในการสกัดมีความเป็น Anisotropic สูงมาก รายละเอียดเทคนิคและวิธีการนี้จะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

## 2.6 ระบบการสกัดแบบ Ion beam etching

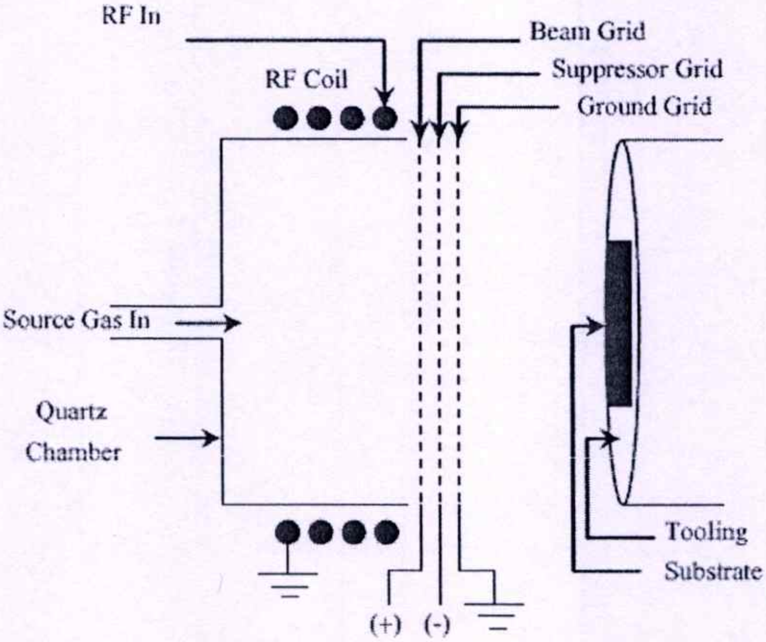
ในกระบวนการสกัดแบบแห้งจะเป็นการสกัดวัสดุในส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้ไอออนของก๊าซ ซึ่งไอออนที่ใช้จะผลิตมาจากส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดพลาสมาแล้วถูกสนามไฟฟ้าเร่งไปชนที่บริเวณผิวของวัสดุ เกิดการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมวัสดุ ทำให้อะตอมของวัสดุหลุดออกมา ระบบของ Ion beam นั้นต้องทำในสภาวะความดันต่ำมาก (น้อยกว่า 10 mTorr) เนื่องจากไม่ต้องการให้ไอออนสูญเสียพลังงานจลน์ขณะวิ่งไปชนที่พื้นผิว ในเมื่อวิธีนี้ต้องใช้พลังงานจลน์เพียงอย่างเดียวในการสกัดจึงต้องให้พลังงานกับไอออนสูงกว่าวิธีอื่นๆ ข้อดีของการสกัดระบบนี้คือ

- ทิศทางในการสกัดจะมีความเป็น Anisotropic มากเนื่องจากเป็นการชนทางกายภาพ เพราะฉะนั้นทิศทางการชนจึงขึ้นกับทิศทางที่ไอออนพุ่งชนเพียงอย่างเดียว[8]
- วัสดุที่จะถูกสกัดแยกส่วนจากแหล่งกำเนิดพลาสมาทำให้สามารถปรับปรุงเงื่อนไขของการสกัดและเงื่อนไขของแหล่งกำเนิดพลาสมาได้อย่างอิสระซึ่งแตกต่างจากการสกัดแบบ RIE ซึ่งทั้งหมดจะอยู่ในระบบเดียวกัน [9]
- กระบวนการนี้ใช้ก๊าซอาร์กอนเป็นแหล่งกำเนิดไอออนซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นกระบวนการสกัดทางกายภาพที่บริสุทธิ์ก็ได้ [10]
- ด้วยวิธีการสกัดแบบกายภาพดังนั้นจึงสกัดแบบไม่เลือกวัสดุที่นำมาสกัด ซึ่งจะมีประโยชน์มากสำหรับการสกัดวัสดุที่ต่างชนิดกัน [11]




**รูปที่ 2.23** ลักษณะการชนของไอออนบวกบนวัสดุที่มุมต่างๆกัน[3]

- เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่มีปฏิกิยาเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องดังนั้นจึงง่ายในการเตรียมชิ้นงานก่อนการสกัดและยังสามารถควบคุมอัตราการสกัดได้ง่ายกว่าวิธีอื่นๆ อย่างไรก็ตามอัตราการสกัดนั้นจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหลายอย่างเช่นความเร็วของไอออน ,ความหนาแน่นของไอออน ,มุมที่ใช้และชนิดของวัสดุ เป็นต้น[11]




**รูปที่ 2.24** แสดงส่วนประกอบของเครื่อง Ion beam etching รุ่น 350s

เครื่องมือสกัดที่ใช้ในงานทดลองได้แก่เครื่อง Ion beam etching ของบริษัท Veeco รุ่น 350s ซึ่งมีส่วนประกอบ ดังนี้

1. Quartz chamber เป็นส่วนที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลาสมา ภายในมีช่องนำก๊าซผ่านเข้ามา

2. RF Coil จะพันอยู่รอบ Quartz chamber ทำหน้าที่เหนี่ยวนำและกระตุ้นให้อะตอมของก๊าซแตกตัวเป็นไอออน เส้นสนามไฟฟ้าจะมีทิศตั้งฉากรอบๆสนามแม่เหล็กและขนานกับผนังของของ Quartz chamber โดยที่ประสิทธิภาพในการแตกตัวเป็นไอออนจะมีประสิทธิภาพมากเนื่องจากอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นจากการเดินทางเป็นวงกลมและมีโอกาสสูงที่จะไปชนกับอะตอมของก๊าซและทำให้อะตอมของก๊าซแตกตัว

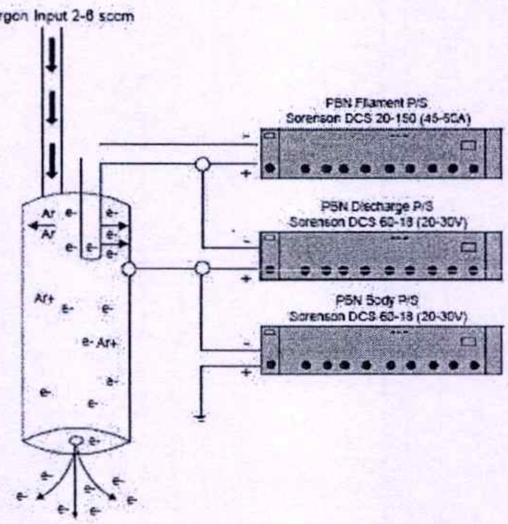
3. Grid จะเป็นอุปกรณ์ช่วยในการปรับทิศทางของไอออนบีม โดยในเครื่อง 350s นี้จะประกอบไปด้วย grid 3 ชั้นด้วยกันดังนี่

- Beam grid จะถูกป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกช่วงระหว่าง 500 -1000 โวลต์

- Suppressor grid จะอยู่ถัดจาก Beam grid 1 มิลลิเมตร ให้ศักย์ไฟฟ้าเป็นลบทำงานร่วมกับ Beam grid ในการสร้างสนามไฟฟ้าเพื่อดึงไอออนบวกออกจากพลาสมาแล้วเร่งไอออนผ่านช่องของ grid พุ่งเข้าไปชนเป้า

- Ground grid เพื่อป้องกัน Suppressor grid โดยไม่ให้ไอออนบวกที่เกิดจากการสกัดเข้ามาเกาะ

4. Plasma Bridge Neutralizer (PBN) จะติดตั้งอยู่นอก quartz chmaber มีหน้าที่สองประการคือเพื่อป้องกันประจุบวกที่จะมาเกาะบนผิวของวัสดุและลดประจุบวกที่เกิดจากไอออนบีมภายในแชมเบอร์แต่ไม่ได้สร้างอะตอมที่เป็นกลางให้เกิดขึ้นในไอออนบีม

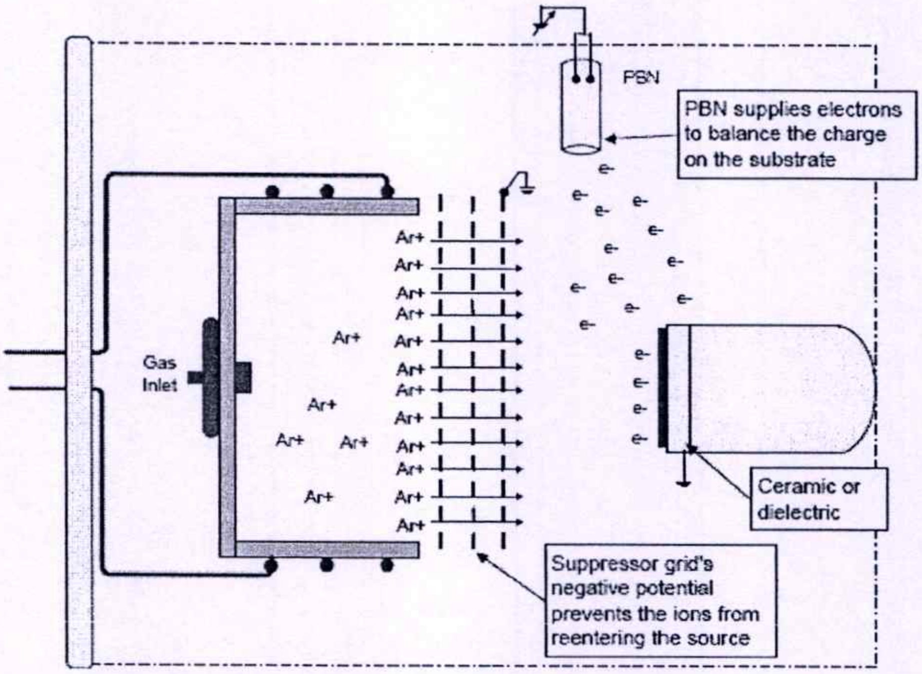



**รูปที่ 2.25** แสดงโครงสร้าง PBN ในเครื่อง Ion beam etching

5. Substrate holder เป็นส่วนที่ใช้ยึดวัสดุสามารถปรับมุมในการสกัดได้ และฐานรองมีก๊าซฮีเลียมเหลวไหลเวียนเพื่อหล่อเย็น

กระบวนการสกัดโดยเมื่อ Slider ถูกโหลดเข้าไปในแชมเบอร์แล้วนั้นต้องมีการดูดอากาศที่อยู่ใน Chamber ออกเสียก่อนโดยให้มีความดันใน Chamber อยู่ที่ประมาณ $7 \times 10^{-6}$ torr หลังจากนั้นแหล่งจ่ายก๊าซจะทำการจ่ายก๊าซอาร์กอนผ่านเข้าไปในแชมเบอร์ จนในแชมเบอร์มีความดันสูงขึ้นจนความดันอยู่ที่ $3 \times 10^{-4}$ torr เมื่อก๊าซถูกจ่ายเข้าไปในระบบ Source แล้วนั้นแหล่งจ่ายภายใน Source ก็จะมีความดันมากกว่าในแชมเบอร์ โดยมี Grid กั้นอยู่และเมื่อก๊าซถูกจ่ายเข้าไปใน Source แล้วจะมี PBN ที่ทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนเหล่านี้จะวิ่งเข้าไปใน Source chamber โดยถูกดึงด้วยศักย์ไฟฟ้าที่ Beam Grid และอิเล็กตรอนเหล่านี้จะวิ่งเข้ามาใน Source เพื่อที่จะช่วยให้ก๊าซเกิดการ

แตกตัวที่เร็วขึ้นและ Coil จะช่วยเร่งให้อะตอมของก๊าซแตกตัวอีกด้วยโดย Coil ที่พันอยู่รอบๆ Quartz Chamber ก็จะเหนี่ยวนำให้เกิด Plasma ภายใน Quartz Chamber เพราะว่าอะตอมของก๊าซ




**รูปที่ 2.26** แสดงระบบการสกัดของเครื่อง 350s

เกิดการสั่นด้วยความถี่ RF ที่ป้อนเข้าไปเมื่ออะตอมเกิดการสั่นมากๆ ทำให้ก๊าซเกิดการแตกตัวเมื่อก๊าซแตกตัวเป็น Plasma ก็จะมีทั้งไอออนอาร์กอนบวกและอิเล็กตรอนจากนั้นเมื่อความดันภายใน Quartz Chamber มากพอและพร้อมกับ Beam Grid และ Suppressor Grid ถูกป้อนศักย์ไฟฟ้าด้วย Beam Grid ก็จะจับอิเล็กตรอนที่เกิดจาก Plasma ไว้และความต่างศักย์ระหว่าง Beam Grid และ Suppressor Grid ที่เกิดขึ้นโดยสนามไฟฟ้านั้นจะดึงไอออนบวกจาก Plasma แล้วเร่งออกไปโดยผ่านช่อง Grid ทั้ง 3 และส่วนของ Plasma Bridge Neutralizer (PBN) ก็จะจ่ายอิเล็กตรอนออกมาเพื่อบีบให้ไอออนบวกที่ถูกเร่งออกไปนั้นเป็นลำและก็จะช่วยในการลดค่าประจุที่ตกค้างอยู่ที่ Substrate ด้วยส่วน Grid ที่ 3 นั้นหรือ Ground Grid จะเป็นตัวป้องกันการ Sputtering อะตอมจากฐานรองเข้ามายัง Beam Grid และ Suppressor Grid

ก่อนการสกัดต้องมีการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆซึ่งมีผลต่อกระบวนการสกัด ดังนั้นการเลือกใช้เงื่อนไขให้เหมาะสมในการสกัดจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง ต่อคุณภาพของงานหลังจากการสกัด โดยปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดมีดังนี้

- พลังงานของไอออนบีมและความเร็วของไอออนจะขึ้นกับความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่าง Beam Grid และ Suppressor Grid ซึ่งทั้งนี้จะมีผลต่ออัตราการสกัดคือเมื่อเพิ่มพลังงานไอออนมากขึ้นอัตราการสกัดจะเพิ่มขึ้น

- ความหนาแน่นของไอออนที่ชนกับเป้าจะขึ้นกับความหนาแน่นของกระแสที่จ่ายให้ไอออนบีม นั่นคือความหนาแน่นของกระแสจะขึ้นกับความหนาแน่ของไอออนในพลาสมาแชมเบอร์ ความหนาแน่นของกระแสไอออนบีมจะมีหน่วยเป็น $mA/cm^{-2}$ ในกรณีของการจำกัดพลังงานไอออนให้คงที่ อัตราการสกัดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นของกระแสไอออนบีม

- มุมของการสกัดจะเป็นมุมที่ไอออนชนกับผิวชิ้นงาน แต่ละวัสดุต่างก็มีอัตราการสกัดที่มุมต่างๆ แตกต่างกันไป การปรับเปลี่ยนมุมสามารถปรับโดยการหมุนฐานรองวัสดุ และนอกจากนั้นมุมของการสกัดยังจะมีผลต่อคุณสมบัติพื้นผิวที่ทำการสกัดด้วย

- การควบคุมอุณหภูมิฐานรอง ความร้อนที่เกิดขึ้นบนผิวฐานรองจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานไอออนและความหนาแน่นของกระแสไอออนบีม แต่อย่างไรก็ตามสามารถควบคุมได้โดยการไหลเวียนของก๊าซฮีเลียมเหลวที่บริเวณฐานรอง ซึ่งจะมีระบบการไหลเวียนที่สัมพันธ์กับคุณสมบัติทางความร้อนของฐานรองและขึ้นกับวิธีการใช้เครื่องไอออนบีม

- ความเสียหายที่เกิดกับบริเวณผิวหน้าของวัสดุจะเกิดขึ้นเมื่อให้พลังงานกับไอออนมากเกินไป การป้องกันความเสียหายนี้ต้องเลือกพลังงานที่เหมาะสมให้กับวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งสามารถปรับตั้งโดยการควบคุม Beam voltage

# บทที่ 3
# การวิเคราะห์และเทคนิคที่ใช้ในการวัด

การศึกษาหรือวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวของหัวอ่าน-เขียนข้อมูล จำเป็นต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์และเทคนิคการวัดหลาย ๆ ชนิด ที่มีหลักการทำงานที่แตกต่างกันออกไป แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อนำไปสู่การหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางพื้นผิวที่ได้ของหัวอ่าน-เขียนข้อมูลในแง่ต่าง ๆ รวมทั้งเข้าใจสาเหตุและที่มาของผลกระทบที่เกิดขึ้น ซึ่งในปัจจุบันในวงการอุตสากรรมการผลิตหัวอ่านเขียนนั้น เทคนิคที่ใช้ในการวัดมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อรองรับกับอุปกรณ์ใหม่ๆที่จะผลิตขึ้นมาในอนาคต นอกจากนั้นการวิเคราะห์ในเชิงอุตสาหกรรมนั้นยังมีส่วนของวิธีทางสถิติเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงคุณภาพอีกด้วย ซึ่งข้อมูลต่างๆที่วิเคราะห์มานั้นจะเป็นส่วนหนึ่งในการหาข้อสรุปสำหรับนำไปพัฒนาสายงานผลิตให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไป

## 3.1 การกำหนดจุดและตำแหน่งในการวัด

ในงานทดลองของโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ที่มีจำนวนของชิ้นงานตัวอย่างผลิตออกมาครั้งหนึ่งเป็นจำนวนมาก เช่นกรณีของอุตสาหกรรมการผลิตหัวอ่านเขียน เมื่อผ่านกระบวนการครั้งหนึ่งต่อหนึ่งเงื่อนไข ต้องใช้ทั้ง Tip ซึ่ง Tip หนึ่งนั้นมีจำนวนของชิ้นงานมากกว่า 1500 ตัว ถ้าต้องการผลในเชิงคุณภาพของการผลิตอย่างดีที่สุด จะต้องวัดและวิเคราะห์ทั้งหมดทุกตัว ในทางสถิติเรียกว่า Full factorial แต่จริงๆแล้วในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถทำได้เนื่องจากเสียเวลาและทรัพยากรเป็นอันมาก ฉะนั้นจำเป็นต้องมีการสุ่มชิ้นงานตัวอย่างสำหรับแทนประชากรของชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด วิธีทางสถิติจึงมีส่วนช่วยในการพิจารณาว่าจะนำชิ้นงานชิ้นใด ณ บริวณใดมาตรวจสอบ เรียกว่า Acceptance sampling plan ซึ่งกระบวนการนี้อยู่ในวิธีที่เรียกว่า SPC

### 3.1.1 ความหมายและขั้นตอนโดยสังเขปของ SPC (Statistical Process Control)

SPC (Statistical Process Control) เป็นวิธีทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการควบคุมและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการผลิต ทั้งยังเป็นกระบวนการที่ใช้ในการลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนของกระบวนการ SPC โดยสังเขปดังนี้

1. วิเคราะห์กระบวนการผลิต
2. ทำการลดปัจจัยหรือตัวแปรที่มีผลต่อความแปรปรวนของกระบวนการผลิต

3. ศึกษาขอบเขตที่เป็นไปได้

4. วางแผนเพื่อสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์

5. นำผลที่ได้จากการทดลองมาเข้ากระบวนการทางสถิติโดยการสร้าง Control Chart

6. ศึกษาความเป็นไปได้ของกระบวนการผลิต ถ้าต้องมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของการผลิตอันนำไปสู่การลดความแปรปรวนของระบบ

7. ทำการแก้ไขปัญหาและพัฒนาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต

8. ทำการลดจำนวนของชิ้นงานที่นำมาทดลอง

9. ถ้าต้องการสังเกตุผลกระทบจากปัจจัยตัวอื่นๆอีกให้ย้อนกลับไปทำตั้งแต่ ข้อ 1 อีกครั้ง จะเป็นการทำให้กระบวนการมีความเสถียร (Stability) มากขึ้น

### 3.1.2 การสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ที่สามารถยอมรับได้ (Acceptance sampling)

ขนาดของตัวอย่างที่จริงแล้วไม่ได้กำหนดแน่นอนตายตัว โดยทั่วไปจำนวนตัวอย่างต้องมีจำนวนมากพอ เพื่อให้มีโอกาสพบของเสียในตัวอย่าง และยังต้องสัมพันธ์กับแผนภูมิควบคุมซึ่งนำมาใช้สำหรับศึกษาและควบคุมกระบวนการผลิตที่ซ้ำๆกัน หลักการสุ่มตัวอย่างที่ดีควรให้ขีดจำกัดล่างมีค่าอยู่เหนือศูนย์สำหรับแผนภูมิควบคุมที่เป็นลักษณะแบบ Attribute ดังนั้นจึงต้องการขนาดการสุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนมาก ส่วนแผนภูมิควบคุมที่เป็นแบบ Variable ขนาดของตัวอย่างที่ใช้จะเป็นจำนวนที่ทำให้มีโอกาสน้อยที่สุดที่อยู่ภายใต้การกระจายของตัวอย่าง ดังนั้นขนาดของตัวอย่างจึงต้องมีจำนวนน้อย จะเป็น 4 ,5 ,6 หรือ 10 แต่ที่นิยมใช้คือขนาดของตัวอย่างเท่ากับ 5 ในที่นี้จะใช้การสุ่มตัวอย่างที่ใช้กับแผนภูมิควบคุมที่เป็นแบบ Variable เป็นหลัก

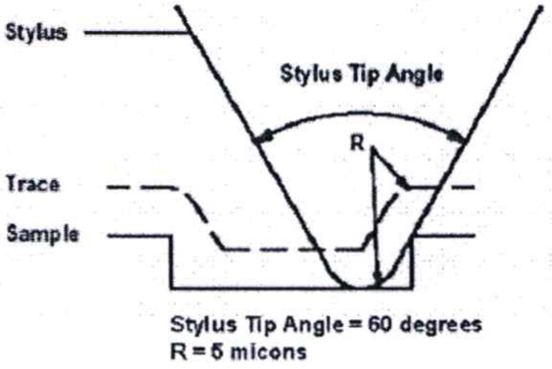
### 3.1.3 การสุ่มตัวอย่างบน Tip มาวิเคราะห์

ในกรณีของอุตสาหกรรมการผลิตหัวอ่านเขียน จะใช้บริเวณที่เรียกว่า SPC Bar ซึ่งเป็นตำแหน่งบาร์ที่ 2,13,23 และ 31 บน Tip ดังนั้นจึงมีจำนวนตัวหัวอ่านเขียนที่ใช้รวมทั้งหมด 160 ตัว ซึ่งในการผลิตจริงก็ถูกนำมาใช้เป็นกลุ่มตัวแทนของหัวอ่านเขียนทั้ง Tip

## 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณลักษณะของพื้นผิว

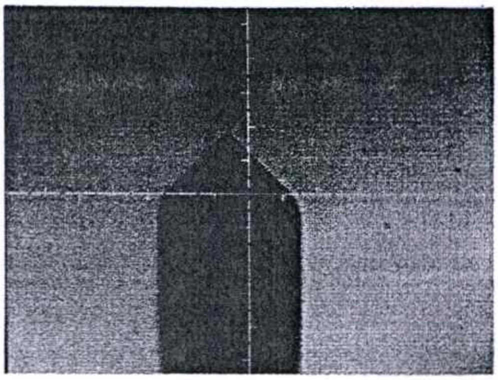
### 3.2.1 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TENCOR Profiler

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TENCOR Profiler เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิวที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมทางเซมิคอนดักเตอร์และไมโครอิเล็กทรอนิกส์ กลไกการทำงานของ Profiler ประเภทนี้จะเป็นลักษณะของการใช้หัว Stylus ซึ่งมีปลายแหลมที่เราเรียกว่า Tip ทำการลากไปบนพื้นผิวของวัสดุที่ต้องการวัดแล้วอ่านข้อมูลออกมาในลักษณะของ profile ซึ่งอาจเป็นระดับความสูง ต่ำของพื้นผิวในระยะของหัว Stylus ที่ทำการลาก เนื่องจากการวัดแบบนี้หัว Stylus จะมีการสัมผัสกับพื้นผิว ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นการวัดแบบ Destructive measurement โดยที่วัสดุที่ทำการวัดอาจจะเกิดความเสียหายจากการวัดได้ ในทางอุตสาหกรรมการผลิตหัวอ่านเขียนข้อมูลนั้นการใช้เครื่องมือ Profiler จะเป็นการทดสอบคุณสมบัติของพื้นผิวในบริเวณ SPC location เท่านั้น เมื่อพิจารณาถึงส่วนของปลาย Tip จะมีขนาดเล็กมากโดยที่ใช้ทำการทดลองจะมีขนาดรัศมี 5 ไมครอน และมุมของปลาย Tip จะอยู่ที่ 60 องศา รูปที่ 3.1 แสดงมิติของ Tip บน Stylus




**รูปที่ 3.1** แสดงมิติของ Tip ในเครื่อง Profiler

ระบบกลไกของเครื่อง Profiler จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้คือ เมื่อหัว Tip ลากผ่านพื้นผิวที่มีระดับไม่เท่ากัน เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของ Stylus จากนั้นจะสร้างสัญญาณอนาล็อกขึ้นมาและจะถูกขยายสัญญาณให้ชัดเจน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง และได้สัญญาณที่ถูกต้องแปรตามการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดหรือการเลื่อนเฟสจากการออสซิลเลทของโพรบ หลังจากนั้นจึงถูกแปลงออกมาเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์และแสดงผลออกมาในรูป profile ของพื้นผิวซึ่งหนึ่งครั้งของหัว Tip ที่สัมผัสไปบนพื้นผิวของวัสดุจะแปลงออกมาในรูปของหนึ่งจุดข้อมูล ( Data point)



**รูปที่ 3.2** แสดงหัว Tip ขณะลากผ่านพื้นผิวของวัสดุ

ส่วนโหมดของการสแกนพื้นผิวของเครื่อง Profiler นี้จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. Single scan ซึ่งจะทำการสแกนพื้นผิวโดยใช้หัว Stylus ลากเพียงครั้งเดียวแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผล วิธีนี้เหมาะสำหรับวัสดุที่มีพื้นผิวที่เปราะบางเสียหายได้ง่าย

2. Multi scan จะเป็นลักษณะของการสแกนพื้นผิวหลายๆครั้งโดยใช้หัว Stylus ลากที่บริเวณเดิมหลายๆครั้ง หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด วิธีนี้จะได้ความแม่นยำของข้อมูลสูงเหมาะสำหรับวัสดุที่พื้นผิวมีความแข็งแรงพอสมควร

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการตรวจสอบลักษณะของพื้นผิวด้วยเครื่อง Profiler มีดังนี้คือ

1. Scan length เป็นระยะที่หัว Stylus จะเคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวของวัสดุ ซึ่งในเครื่อง Profiler นี้จะอยู่ในระดับไมครอน ซึ่งในที่นี้จะเคลื่อนที่ไปทิศทางขวามือได้สูงสุด 10 มิลลิเมตร และ และทิศทางซ้ายมือได้สูงสุด 2 มิลลิเมตร

2. Number of scans ในโหมดของ multi scan สามารถวัดซ้ำ ณ ตำแหน่งเดิมได้สูงสุด 10 ครั้ง ซึ่งข้อมูลที่วัดได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติอีกครั้งออกมาเป็นรูปแบบของค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ทั้งนี้จะเป็นการกำจัด noise ออกไปจากการทดลองอีกด้วย

3. Scan speed ความเร็วของการสแกนอยู่ในช่วงของ 2 ถึง 200 ไมครอนต่อวินาที ซึ่งสามารถเลือกได้ ถ้าเลือกความเร็วของการสแกนสูง ลักษณะของ profile จะมีความหยาบเนื่องจากหัว Stylus จะลากไปบนพื้นผิวด้วยความรวดเร็วจะเหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลที่ไม่ต้องการรายละเอียดของพื้นผิวมากนัก ยกตัวอย่างการวัด step หลังจากการสกัด ซึ่งในทางตรงข้ามถ้าอัตราการสแกนช้าก็จะสามารถเก็บข้อมูลรายละเอียดของพื้นผิวได้ดีกว่าซึ่งจะเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ความขรุขระของพื้นผิว เช่นการวัดความเรียบของพื้นผิวเวเฟอร์

4. Sampling rate ขณะที่ทำการวัดหัว Stylus จะมีการสั่นในแนวดิ่ง ซึ่งจะอยู่ในช่วงของ 50 ถึง 1000 เฮิรตซ์ ซึ่งข้อมูลที่วัดได้มาจะมีความละเอียดเพียงใดจะขึ้นอยู่กับ sampling rate ที่ใช้ด้วย

5. Scan time จะถูกกำหนดโดยคำนวณจาก Scan length Scan Speed และจำนวนของการสแกน ซึ่งจะแสดงได้ดังสมการด้านล่าง

$$\text{Scan time} = (\text{Number of scans} \times \text{Scan length}) / \text{Scan speed} \tag{3.1}$$

6. Scan direction ทิศทางของการสแกนเนื่องจากเครื่อง profiler นี้สามารถตั้งสแกนได้ในแนวแกน x เท่านั้นคือสแกนไปทางซ้ายหรือขวา

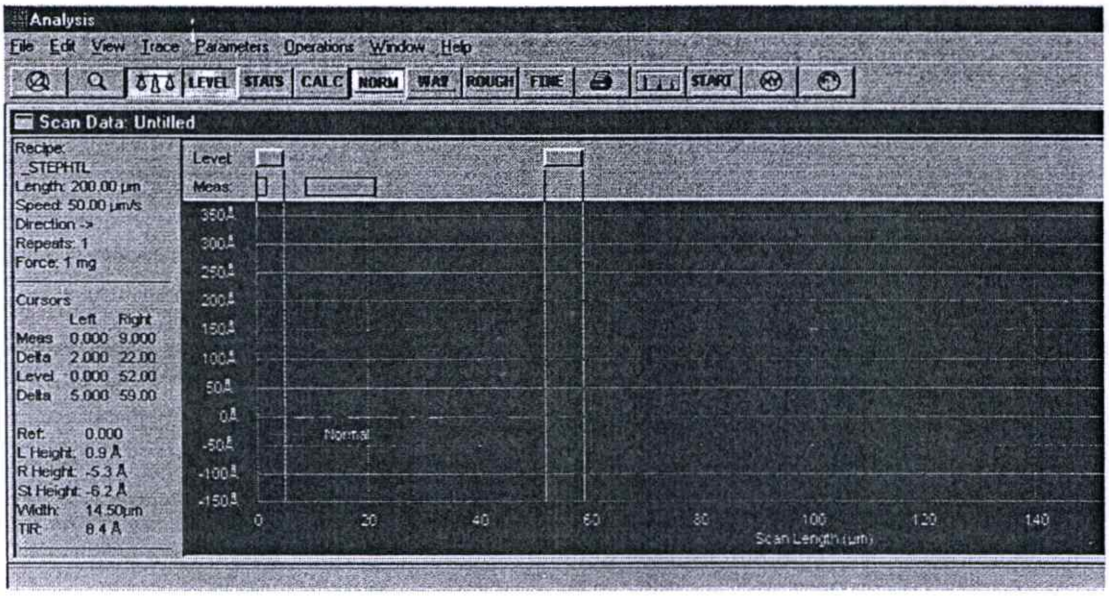
7. Resolution จะถูกกำหนดโดยคำนวณจาก Scan speed และ Sampling rate

$$\text{Resolution} = \text{Scan speed} / \text{Sampling rate} \tag{3.2}$$

นอกจากนี้จำนวน Data Point ที่ใช้ในการสแกนยังบ่งบอกถึงจำนวนครั้งของ Stylus ที่สัมผัสกับพื้นผิวของวัสดุในระยะทางที่ Stylus ได้ลากไป แสดงได้โดยสมการที่

$$\text{Total data point} = (\text{Sampling rate} \times \text{Scan size}) / \text{Scan speed} \tag{3.3}$$

8. Applied force เป็นแรงที่ Tip ซึ่งเป็นส่วนปลายของ Stylus กระทำไปบนพื้นผิวของวัสดุ ในที่นี้จำเป็นต้องปรับให้เหมาะสมกับพื้นผิวของวัสดุ ซึ่งอาจทำให้เกิดรอยขูดขีดได้ถ้าให้แรงมากจนเกินไป กระบวนการโฟโตลิโทกราฟีในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการวัดความหนาของน้ำยาไวแสงนั้นมักใช้อยู่ที่ 0.2 ถึง 0.5 มิลลิกรัม




**รูปที่ 3.3** แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เครื่อง Profiler

ในการทดลองนี้ได้ใช้เครื่อง profiler ในการตรวจสอบในขั้นตอนของการวัดความหนาของน้ำยาไวแสง และการวัด depth ของพื้นผิวของหัวอ่านซึ่งทำจากวัสดุชนิดเซรามิก นอกจากนี้เครื่อง Tencor profiler ยังใช้ในการวัด stress ของพื้นผิววัสดุได้ด้วยแต่ในการทดลองนี้ไม่ได้นำมาใช้ตรวจสอบ

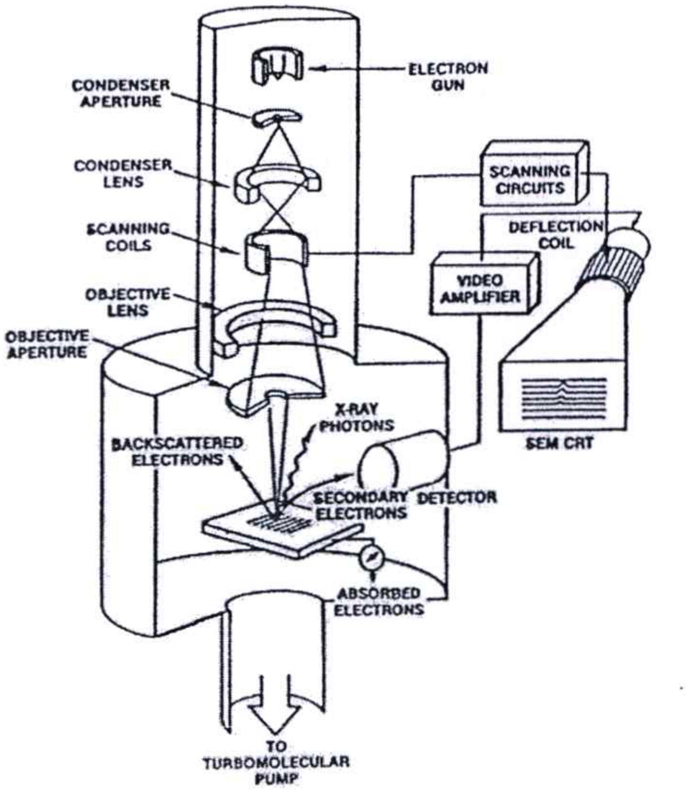
### 3.2.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

การวิเคราะห์ด้วยจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope) หรือ SEM เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิวและศึกษาโครงสร้างของวัสดุ มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายสาขาวิชา โดยเทคนิค SEM นี้มีจุดเด่นที่สำคัญอยู่ 2 ประการคือ

1. สามารถให้รูปที่มีความชัดลึกสูง (High depth of field)
2. สามารถให้กำลังเชิงระยะสูง (High spatial resolution)

ซึ่งส่วนประกอบและลักษณะการทำงานของเครื่อง SEM แสดงไว้ในรูปที่ 3.4

จากรูปข้างต้นจะแสดงให้เห็นได้ว่า ในส่วนบนสุดของรูปจะเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron source) หรือที่เรียกว่า “ปืนอิเล็กตรอน” (Electron gun) ซึ่งนับได้ว่าเป็นหัวใจของ SEM โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนที่สามารถผลิตกระแสจำนวนมากโดยตัววัสดุเองจะต้องมีความเสถียรภาพและภาคตัดขวางของลำอิเล็กตรอนที่ส่งออกไปจะต้องเป็นจุดเล็กๆ ซึ่งปืนอิเล็กตรอนที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 4 ประเภทคือ




**รูปที่ 3.4** แผนภาพหลักการทำงานของเครื่อง SEM

1. แบบลวดทังสเตน เป็นปืนอิเล็กตรอนที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากมีราคาถูกแล้วไม่ต้องการสภาพสุญญากาศมากนัก

2 . แบบผลึก $LaB_6$(Lanthanum Hex boride Crystal) เป็นปืนอิเล็กตรอนที่ให้ความสว่างสูงกว่าแบบลวดทังสเตนประมาณ 10 เท่า มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าและต้องการสภาพสุญญากาศที่พิเศษกว่าด้วย

3. แบบโคลด์ฟิลด์อิมิชชัน (Cold Field Emission Source) เป็นปืนอิเล็กตรอนที่ให้ความสว่างสูงกว่าแบบลวดทังสเตนและแบบผลึก $LaB_6$นอกจากนี้ยังสามารถทำงานได้ในอุณหภูมิห้อง

4. แบบช็อตกี้ฟิลด์อิมิชชัน (Schotky Field Emission Source) เป็นปืนอิเล็กตรอนที่คล้ายกับแบบโคลด์ฟิลด์อิมิชชันแต่ต่างกันตรงที่จะต้องทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1800 เคลวิน และทำจากเคลือบ ZnO บนระนาบผลึก (100) ของทังสเตน

**ตารางที่ 3.1** แสดงลักษณะเฉพาะของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบต่างๆ ที่ความต่างศักย์เร่ง 20 kV

| Source | Normalized brightness ($A/cm^2-sr$) | Lifetime (hr) | Source Size (nm) | Energy Spread (eV) | Beam Current Stabillity |
|---|---|---|---|---|---|
| W | $10^4$ | 200 | 15000 | 1.5-2.5 | 1% |
| $LaB_6$ | $10^5$ | 1000 | 5000 | 1.3-2.5 | 1% |
| Cold FE W(310) | $2 \times 10^7$ | 2000 | 2.5 | 0.3-0.7 | 5% |
| Shottky FE, ZrO/W(100) | $10^7$ | 2000 | 2.5 | 0.5-0.7 | 1% |

อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ด้วยความต่างศักย์ในช่วง 1-30 KV โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic lens) จำนวน 2 ชุดหรือมากกว่า ส่วนปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยแอพเพอร์เจอร์ (aperture) ซึ่งเป็นช่องเปิดที่มีขนาดต่างๆกันตามลักษณะการใช้งานเลนส์คอนเดนเซอร์อันแรก (First condenser lens) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่บีบลำอิเล็กตรอน ที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดให้มีพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ส่วนเลนส์วัสดุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์อันสุดท้ายนั้นจะทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอนไปตกกระทบกับผิวของวัตถุเป้าหมาย โดยมีคอยล์กวาดรูป (Scanning coil) ทำหน้าที่กวาดลำอิเล็กตรอนบนผิววัสดุในกรอบสี่เหลี่ยม คล้ายกับการกวาดรูปบนจอโทรทัศน์ เมื่อลำอิเล็กตรอนไปตกกระทบกับผิวของวัสดุจะเกิดอันตรกิริยาขึ้นภายในวัสดุ และจะให้สัญญาณต่างๆออกมา ซึ่งสัญญาณต่างเหล่านี้จะถูกตรวจจับและถูกนำไปแสดงผลในที่สุด

ลักษณะการใช้งาน SEM( SEM Operational Mode)

ในทางปฏิบัติลักษณะการใช้งาน SEM อาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มหลักดังนี้

1. High Resolution Mode จะใช้สำหรับงานที่ต้องการกำลังขยายสูงๆ จึงต้องการจุดตกกระทบขนาดเล็กๆ

2. High Depth of Field Mode สำหรับงานที่ต้องการความชัดลึกสูง จึงต้องการใช้มุมคอนเวอร์เจนต?ของลำอิเล็กตรอนเล็กๆ

3. High Current Mode สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เอกซ์เรย์ต้องการปริมาณกระแสมากๆ เพื่อเพิ่มความไว (sensitivity) ต่อการตรวจวัดปริมาณของธาตุ

4. Low Voltage Mode นอกเหนือไปจากลักษณะการใช้งาน SEM ในแบบต่างๆข้างต้น ในปัจจุบัน SEM บางแบบโดนเฉพาะแบบฟิลด์ อิมิชชั่น(FE-SEM) ยังสามารถทำงานได้ดีที่ค่า Kv ต่ำ (ต่ำกว่า 5 kV) เนื่องจากการใช้ SEM ในลักษณะนี้จะได้ข้อมูลพื้นผิวดีขึ้นอีกทั้งลดปริมาณประจุสะสมบนผิว(charging) จึงทำให้สามารถศึกษาตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องเคลือบด้วยคาร์บอนหรือโลหะ

**ตารางที่ 3.2** สรุปพารามิเตอร์ของ SEM ที่ต้องควบคุมสำหรับการทำงานใน 3 ประเภทแรก

| Operational Mode | First Condenser Lens | Spot Size | Working Distance | Final Aperture Size |
|---|---|---|---|---|
| High Resolution | แรง | เล็ก | สั้น | พอเหมาะ |
| High Depth of field | อ่อน | ใหญ่ | ยาว | เล็ก |
| High Current | อ่อน | ใหญ่ | พอเหมาะ | ใหญ่ |

**3.4 การวิเคราะห์ด้วย Atomic Force Microscope (AFM)**

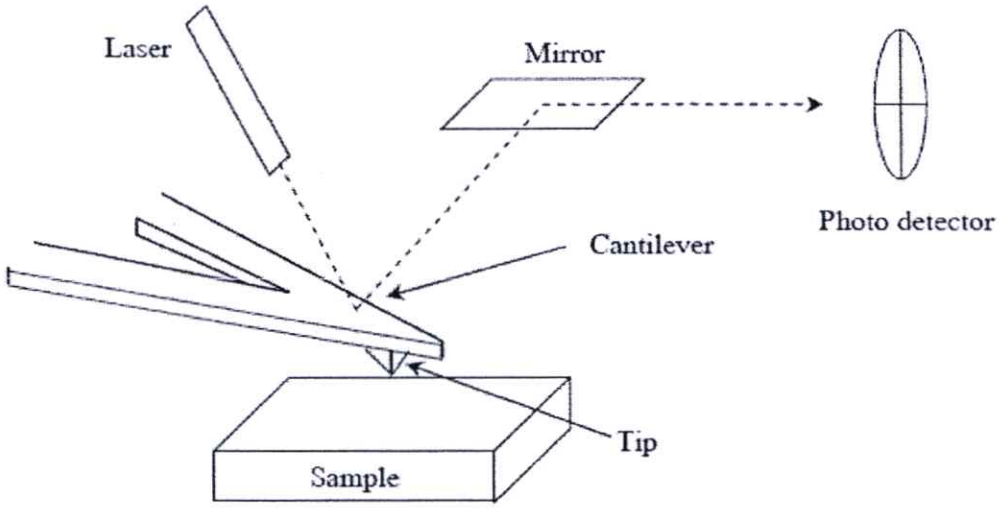
มีเทคนิคหลายวิธีที่ใช้แสดงลักษณะรายละเอียดของพื้นผิว เริ่มตั้งแต่การใช้เลนส์ขยายและการใช้กล้องจุลทรรศน์ในปลายศตวรรษที่ 18 จนกระทั่งศตวรรษที่ 20 มีการพัฒนาใช้เทคนิคของอิเล็กตรอนและลำไอออน (Ion Beam) จากตารางที่ 3.2 เป็นการเปรียบเทียบเทคนิคการขยายโดยการพิจารณาจากการขยาย สิ่งแวดล้อมขณะใช้งาน ชนิดของภาพและผลเสียต่อชิ้นงาน เทคนิคแรกในตารางขึ้นอยู่กับอนุภาคที่ใช้ในการโฟกัสเช่น โฟตอน อิเล็กตรอน และไอออนที่จะแสดงภาพออกมา และเป็นเทคนิคที่มีข้อจำกัดของความยาวคลื่นช่วงที่สามารถมองเห็นได้ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) จะทำงานเมื่ออยู่ในสุญญากาศเท่านั้น ส่วนเทคนิคสุดท้ายคือ Scanning Probe Microscope เป็นเทคนิคที่สามารถทำงานได้ในหลายสภาวะตัวกลางด้วยกำลังขยายที่สูงกว่าสามารถแสดงข้อมูลด้านความลึกได้และทำลายผิวหน้าชิ้นงานน้อยมาก

**ตารางที่ 3.3** การเปรียบเทียบการใช้เทคนิคในการวิเคราะห์พื้นผิวชนิดต่างๆ

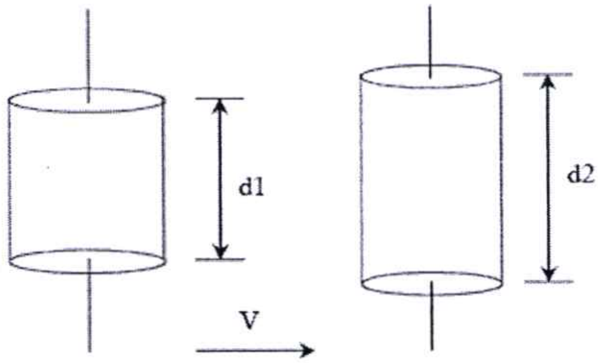
| | กำลังขยาย | ตัวกลาง | ภาพ | ผลเสียหาย |
|---|---|---|---|---|
| ทางแสง | $10^3$ | อากาศ,ของเหลว | 2 มิติ | ไม่เสีย |
| เลเซอร์ | $10^4$ | อากาศ | 2 มิติ | น้อยมาก |
| ลำไอออน | $10^5$ | สุญญากาศ | 2 มิติ | มาก |
| SEM | $10^6$ | สุญญากาศ | 2 มิติ | มีบ้าง |
| SPM | $10^9$ | อากาศ, ของเหลว, สุญญากาศ | 2 มิติ | น้อยมาก |

AFM เป็นชนิดหนึ่งของ Scanning Probe Microscope ซึ่งสามารถสร้างภาพได้ในสามมิติ และทำงานในตัวกลางที่เป็นอากาศมี Scanning probe,เปียโซอิเล็กตริกเซรามิก (Piezoelectric Ceramics) วงจรไฟฟ้าป้อนกลับและคอมพิวเตอร์สำหรับสร้างและแสดงภาพเป็นส่วนประกอบ

Force Sensor มีลักษณะดังรูปที่ 3.5 วัดการหักเหของคานกระเดื่อง (Cantilever) ซึ่งมีเข็ม (Tip) ติดอยู่ที่ปลาย เมื่อคานกระเดื่องเคลื่อนที่ลำแสงจากเลเซอร์จะเคลื่อนที่ตกคร่อมบริเวณทั้งสี่ส่วนของโฟโตดีเทคเตอร์ การเคลื่อนที่ของคานกระเดื่องนี้สามารถคำนวณได้จากความแตกต่างของความเข้มแสงบนแต่ละส่วนของโฟโตดีเทคเตอร์ตามกฎของ Hooke (F = -kx) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของคานกระเดื่อง (x) และแรงที่ใช้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ (F)

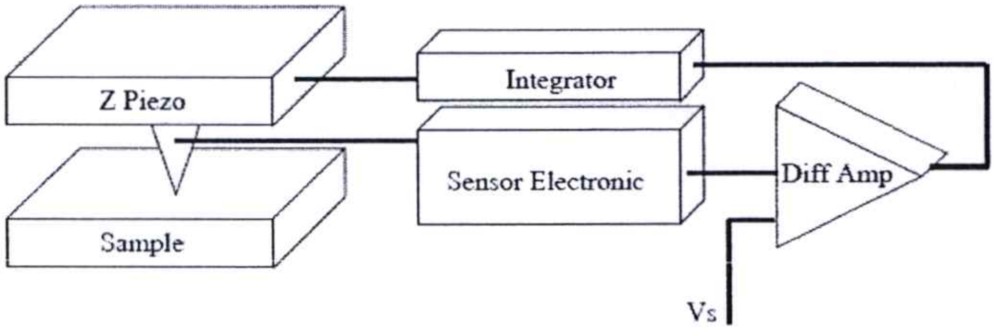



**รูปที่ 3.5** แผนภาพการจำลองการวิเคราะห์ด้วย AFM

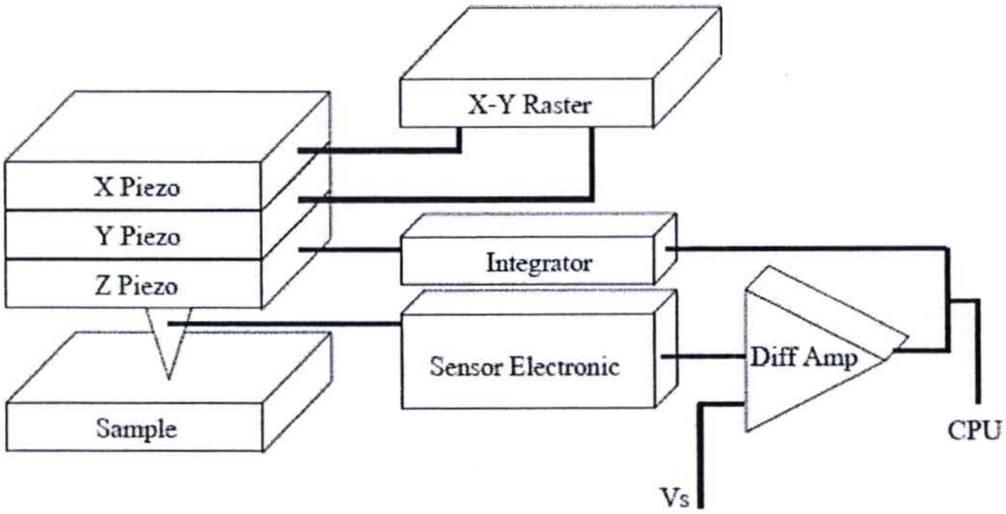



**รูปที่ 3.6** การเปลี่ยนแปลงเปียโซอิเล็กตริกเซรามิก (Piezoelectric Ceramics)

เปียโซอิเล็กตริกเซรามิก (Piezoelectric Ceramics) ถูกสร้างขึ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดได้เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้า ยกตัวอย่างทรงกระบอกเปียโซอิเล็กตริกเซรามิกในรูปที่ 3.6 จะมีขนาดที่ยาวขึ้นแต่จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางลดลงเมื่อมีการให้ศักย์ไฟฟ้า เซรามิกที่ใช้จะมีรูปร่างต่างๆ โดยแต่ละชนิดจะมีสัมประสิทธิ์การขยาย (Expansion Coefficient) เฉพาะตัวซึ่งจะยอมให้เกิดการผิดรูปร่างไปตามศักย์ที่ให้ สัมประสิทธิ์นี้จะอยู่ในช่วงจาก 1 ถึง 3,000 Å /V ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้เซรามิกมีตำแหน่งเข้มที่แม่นยำ ยกตัวอย่างเซรามิกที่มีสัมประสิทธิ์การขยาย 1 Å /V จะมีการเคลื่อนที่ 0.1Å เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแหล่งกำเนิดศักย์ 100 mV วงจรอิเล็กทรอนิกส์ป้อนกลับ ประกอบด้วยโพรบเซนเซอร์ และเปียโซอิเล็กตริกเซรามิกเป็นวงจรกำเนิดตำแหน่งของเซนเซอร์ดังรูปที่ 3.7




**รูปที่ 3.7** วงจรป้อนกลับ (Feedback Circuit) ของ AFM




**รูปที่ 3.8** แผนภาพของ Scanning Probe Microscope (SPM)

เมื่อเซนเซอร์เคลื่อนที่เข้าหาพื้นผิวชิ้นงาน สัญลักษณ์ของเซนเซอร์จะเพิ่มขึ้น (Differential Amplifier) จะเปรียบเทียบค่าที่เพิ่มจากเซนเซอร์กับค่าอ้างอิง (Vs) และได้สัญญาณที่ถูกต้องแปรตามการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดหรือการเลื่อนเฟสจากการออสซิลเลทของโพรบใกล้ชิ้นงานซึ่งจะไปกระตุ้นเปียโซอิเล็กตริกเซรามิก จนกระทั่งเซนเซอร์ถูกดึงออกจากพื้นผิว ระบบของ AFM แสดงดังรูปที่ 3.8 มีการเพิ่มเซรามิกเข้าไปสองชิ้นเพื่อให้เซนเซอร์แสกนได้ในระนาบ x-y ภาพของพื้นผิวเกิดจากการจับสัญญาณผิดพลาดจากเซนเซอร์เหนือพื้นผิวและสัญญาณจาก Piezodriver ที่รวบรวมจากคอมพิวเตอร์

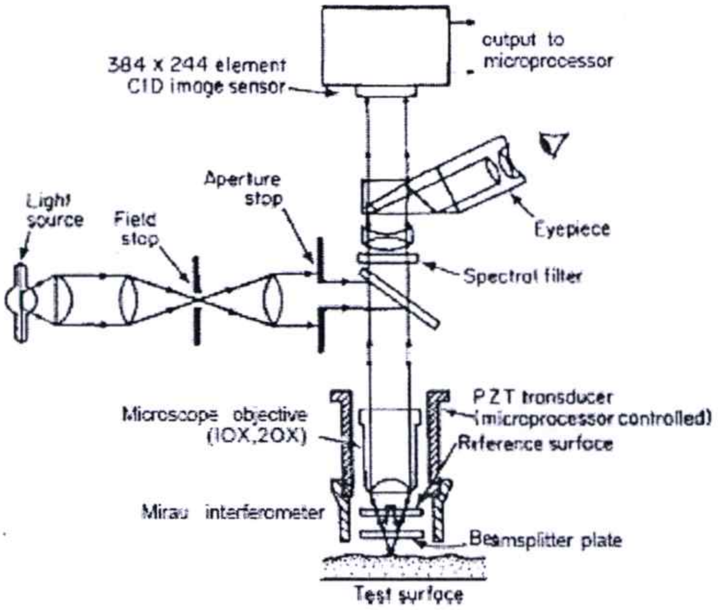
**3.2.4 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Interferometer**

ในที่นี้เป็นการตรวจสอบคุณสมบัติของพื้นผิวด้วยเทคนิคการวัดโดยการแทรกสอดของแสง (Interferometric)โดยใช้การเลื่อนเฟส (Phase Shifting) จุดประสงค์ของการวัดโดยใช้เทคนิคนี้คือการหาข้อมูลเกี่ยวกับความสูงต่ำของพื้นผิวและแสดงผลออกมาเป็นภาพจำลองแบบสามมิติ รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวออกมาทางสถิติได้ ข้อดีของเทคนิคนี้คือเป็นวิธีการวัดโดยไม่ทำลายผิวหน้าของชิ้นงาน (non-destructive measurement) เหมาะสำหรับการตรวจสอบพื้นผิวที่มีความเปราะบาง ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมหัวอ่านเขียนจะใช้เครื่องมือนี้ในการตรวจสอบคุณภาพเชิงพื้นผิวของวัสดุหลังจากการสกัดพื้นผิวและการตรวจสอบหลังจากการ coating พื้นผิว ซึ่งในการทดลองนี้ได้นำวิธีนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าความขรุขระของพื้นผิวหลังจากการสกัด

ต่อมาจะกล่าวถึงโครงสร้างที่เป็นพื้นฐานของเครื่อง Interferrometer โดยทั่วไป จากรูปที่ 3.9 แสดงโครงสร้างของเครื่อง Interferrometer ตัวเซนเซอร์ CID ทำหน้าที่รับภาพในระดับ 1/60 วินาทีต่อรูป ที่ความละเอียด 384 pixel x 244 line การเคลื่อนไหวของตัว PZT จะสอดคล้องกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของ horizon line ของตัวเซนเซอร์รับภาพ สัญญาณที่ออกมาจากตัวเซนเซอร์รับภาพจะเป็นสัญญาณอะนาล็อกแล้วจะถูกแปลงออกให้เป็นสัญญาณภาพที่เป็นดิจิตอลโดยเก็บเป็นเฟรม ส่วนเฟรมเหล่านี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิตต่อตัวตรวจจับ ณ เวลา 1/15 วินาที ภาพที่ได้จะเก็บได้ในลักษณะของภาพ interference pattern จำนวน 4 ภาพ โดยที่แต่ละภาพจะมีเฟสที่แตกต่างกัน 90 องศา ซึ่งทั้งหมดนี้จะควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์รวมทั้งการเคลื่อนที่ของเปียโซอิเล็กทริกด้วย

หนึ่งในสี่ของภาพของการแทรกสอดจะถูกแปลงแและเก็บไว้ในหน่วยความจำ หน่วยประมวลผลขนาดเล็กจะทำการคำนวณผลในแต่ละเฟสที่ดีเทคเตอร์แต่ละตัวตรวจจับได้ ซึ่งเฟสนี้จะเป็นสัดส่วนกับความสูงต่ำของพื้นผิวในขณะที่ทำการวัด ณ ตำแหน่งนั้นๆ หลังจากการคำนวณจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของอาเรย์ 2 มิติที่ในแต่ละอาเรย์จะเก็บความสูงแต่ละค่าไว้ ต่อมาข้อมูลในอาเรย์จะนำออกมาแสดงผลในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยผ่านตัว HPIB ซึ่งเป็นตัวเชื่อมต่อ

ในคอมพิวเตอร์จะแสดงความสูงต่ำของพื้นผิวได้ทั้งในรูปแบบสองและสามมิติและสามารถแบ่งแยกระดับให้เห็นได้ชัดโดยการใช้สีต่างกัน ณ ที่ระดับต่างกัน




**รูปที่ 3.9** แสดงโครงสร้างของ Interferometer

เทคนิคการวัดเฟสที่ใช้ในเครื่อง interferometer จะสามารถวัดความสูงต่ำได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นไปได้โดยการใช้หลักง่ายๆ โดยดูที่ลวดลายของการแทรกสอดของแสงและทำการคำนวณหาระยะห่างระหว่างลวดลาย ต่อมาจะใช้กระบวนการที่เรียกว่า bucket technique โดยที่ความแตกต่างของเฟส $\alpha$ ระหว่างแสงที่แทรกสอดจะเปลี่ยนที่อัตราคงที่ t เป็นเวลาที่ตัวตรวจจับอ่านค่าออกมา ระหว่างในแต่ละครั้งที่ตัวตรวจจับอ่านค่าออกมา เฟส $\phi$ (x,y) จะเปลี่ยนไปทุกๆ 90องศา ในแต่ละพิกเซลสมการอย่างง่ายสำหรับความเข้มของลำแสงที่แทรกสอดกันคือ

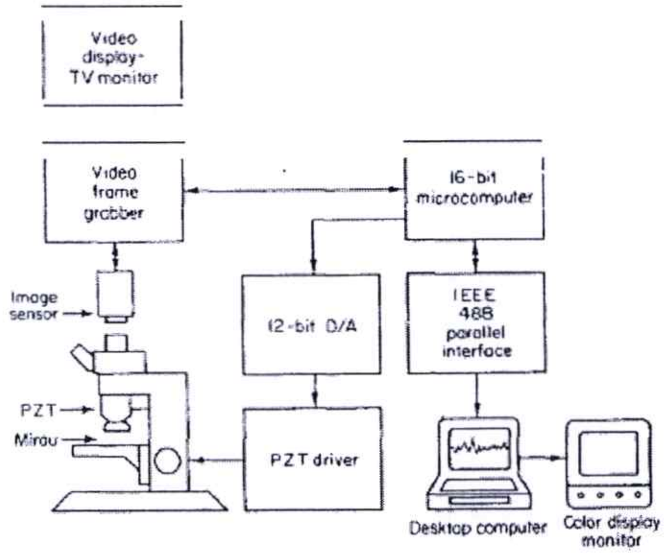
$$I = I_1 + I_2\cos[\phi(x,y) + \alpha(t)] \qquad (3.4)$$

ในขณะที่พจน์แรกเป็นความเข้มเฉลี่ยและพจน์ที่สองเป็นเทอมของการแทรกสอด ถ้าความเข้มถูกอินทีเกรดในขณะที่ o(t) เปลี่ยนจาก 0 ไปยัง $\pi/2$ $\pi/2$ ไปยัง $\pi$ และ $\pi$ ไปยัง $3\pi/2$ เมื่อนำมาคำนวณทางคณิตศาสตร์สามารถหาค่าเฟสได้ดังนี้คือ

$$\phi(x,y) = \tan^{-1}[(C(x,y) - B(x,y))/(A(x,y) - B(x,y))] \tag{3.5}$$

การวัดเฟสนี้จะกระทำในตัวตรวจจับแต่ละตัว ซึ่งการลบและการหารจะทำให้ผลของสิ่งรบกวนหักล้างไปจนหมด จากข้อมูลที่ได้มาจากเครื่องวัดที่ได้ค่าความเข้มครั้งละมา 4 เฟรม ค่าของเฟสจะสามารถคำนวณได้จากสมการด้านบน โดยการหาเฟสครั้งแรกใช้ข้อมูลของสามเฟรมแรก และครั้งที่สองจะคำนวณโดยคิดที่สามเฟรมหลัง หลังจากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการวัดให้มีมากขึ้น ค่าของความสูงในแต่ละจุดสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่าง

$$h(x,y) = (\lambda/4\pi)\phi(x,y) \tag{3.6}$$

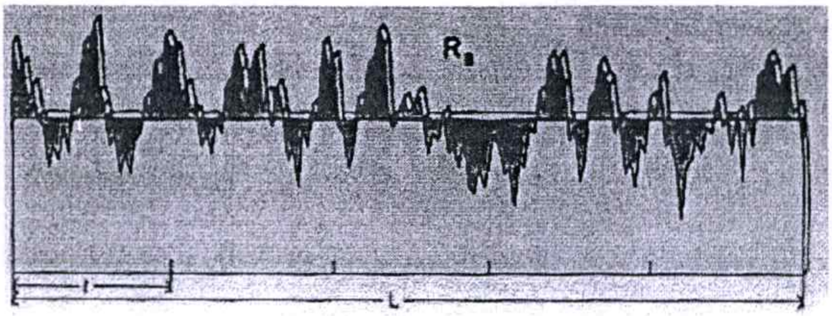



**รูปที่ 3.10** แสดงระบบประมวลผลของเครื่อง Interferometer

เครื่อง Interferometer ในที่นี้ใช้ในการวัดความขรุขระบนพื้นผิว อย่างไรก็ตามจะได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ความขรุขระมีหลายประเภทซึ่งสามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้คือ

1. Arithmetic average roughness(Ra) เป็นค่าความขรุขะเฉลี่ยเลขคณิต จากรูปที่ 3.11 จะเป็นการหาพื้นที่ที่อยู่ระหว่าง roughness profile กับเส้นเฉลี่ย หรือถ้ากล่าวในแบบนิยามทางคณิตศาสตร์ก็คือค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของ roughness profile ในระยะที่ต้องการแสดงได้ดังสมการด้านล่าง ส่วนใหญ่จะใช้ค่าประเภทนี้ในการอธิบายความขรุขระของพื้นที่ผิว

$$R_a = \frac{1}{N}\sum_{N=1}^{N}|r_n| \tag{3.7}$$

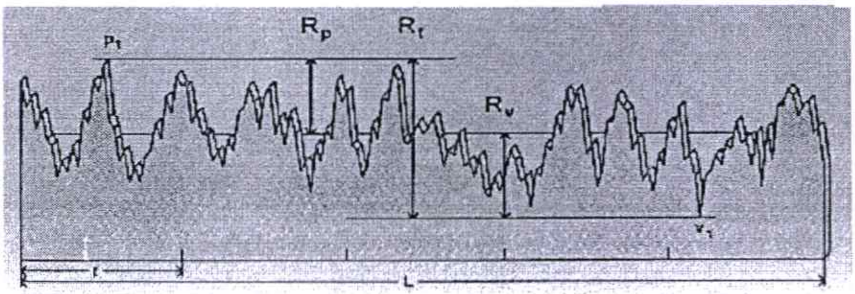



รูปที่ 3.11 แสดงการคำนวณหาค่า Arithmetic average roughness

2. The root mean square roughness(Rq) เป็นค่าความขรุขระเฉลี่ยแบบ RMS ซึ่งจะมีค่าแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกับ Ra ซึ่งในที่นี้จะมีค่ามากกว่า Ra 1.11 เท่า

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} r_n^2} \qquad (3.8)$$

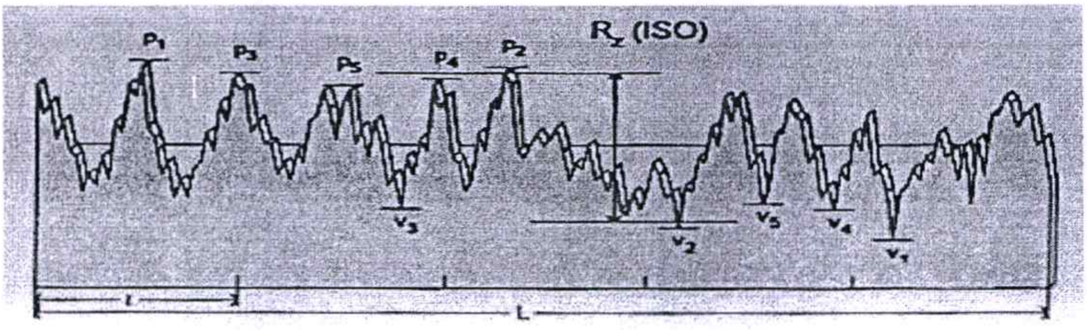
3. Maximum height of profile(Rt) เป็นผลรวมของค่าต่ำสุด(Rv)ของพื้นผิวกับค่าสูงสุดของพื้นผิว(Rp)เมื่อเทียบกับเส้นค่าเฉลี่ย วิธีนี้มักใช้ในการวิเคราะห์ถึงค่าความขรุขระที่สูงที่สุดเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ทั้งหมด




รูปที่ 3.12 แสดงการคำนวณหาค่า Maximum height of profile

$$R_t = R_p + R_v \qquad (3.9)$$

4. Average maximun height of profile เป็นการหาค่าระยะห่างของจุดสูงสุดและจุดต่ำสุด (Rt) หลายๆค่าที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด นำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่า Rz มักใช้กับพื้นที่ที่การเข้าถึงเป็นไปได้อย่างจำกัดและเพื่อตรวจสอบในกรณีที่พบจุดสูงสุดหรือจุดต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญ




**รูปที่ 3.13** แสดงการคำนวณหาค่า Average maximun height of profile

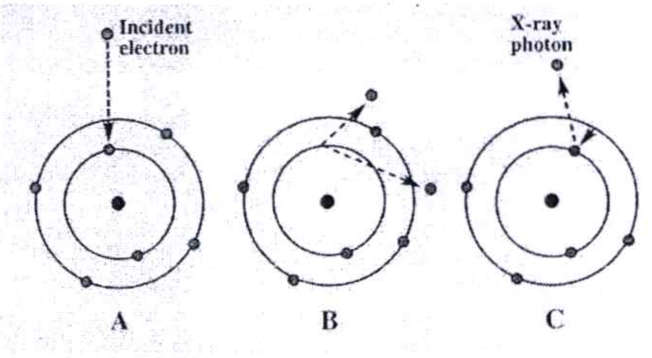
**3.2.5 การตรวจสอบด้วยเครื่อง EDS**

Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุ โดยใช้การวัดพลังงานและปริมาณของรังสี X-Ray ที่แผ่ออกมาจากอะตอมของวัตถุหลังจากการยิงอิเล็กตรอนหรือโฟตอนเข้าไปในโครงสร้างของอะตอม ซึ่งพลังงานและปริมาณของรังสีที่ออกมาจะสามารถบ่งบอกถึงชนิดของสารได้

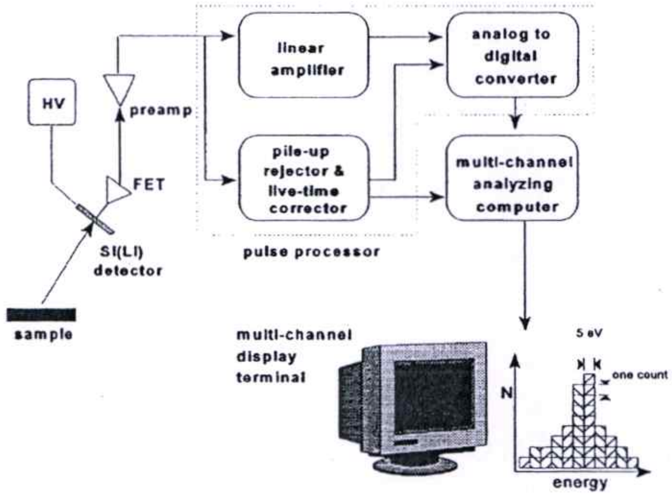
ปกติแล้ววัสดุที่นำมาทำการตรวจสอบจะประกอบไปด้วยอะตอมที่อยู่ในสถานะพื้น (Ground state) อิเล็กตรอนจะโคจรรอบนิวเคลียสโดยมีระดับพลังงานต่างๆ กันในแต่ละวงโคจร แสดงได้ดังรูปที่ 3.13A ต่อมารูปที่ 3.13B เมื่อทำการยิงลำไอออนไปตกกระทบจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอนใน K- shell ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลขึ้นในโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ของอะตอม อิเล็กตรอนจากวงอื่นๆที่มีพลังงานสูงกว่า(L-shell) จะจับคู่กับโฮลในระดับ K-shell และทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบของรังสีเอกซ์เรย์ที่มีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงานระหว่างชั้น K-shell และ L-shell ซึ่งแสดงได้ดังรูป 3.13C การตรวจสอบว่าวัสดุนั้นมีธาตุชนิดใดประกอบอยู่จะใช้การตรวจสอบสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรย์ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ธาตุที่เป็นองค์ประกอบได้เนื่องจากแต่ละธาตุจะมีเส้นสเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน

ส่วนประกอบของเครื่อง EDS จะมี 4 ส่วนประกอบหลักๆคือ แหล่งกำเนิดลำไอออน ตัวตรวจจับรังสีเอ๊กซ์เรย์ ตัวประมวลผลสัญญาณพัลส์ และหน่วยวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามด้วยการใช้เครื่องมือเหล่านี้ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและเคลื่อนย้ายได้สะดวกมากกว่าระบบ WDS ซึ่งระบบ EDS สามารถนำไปติดตั้งในระบบของเครื่อง SEM และ TEM ได้ ตัวเครื่อง EDS มีกล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนซึ่งจะประกอบไปด้วยขั้วคาโธดและเลนส์แม่เหล็ก (magnetic lense) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดและโฟกัสลำไอออน ตัวตรวจจับรังสีเอกซ์เรย์จะทำหน้าที่แปลงพลังงานของรังสีให้เป็นสัญญาณในรูปแบบของแรงดันทางไฟฟ้า และจะถูกส่งต่อไปยังหน่วยประมาลผลสัญญาณพัลส์ซึ่งทำการวิเคราะห์ข้อมูลและส่งต่อให้ส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลซึ่งใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้ในการประมวลผลและแสดงผลออกมา ส่วนใหญ่ที่แสดงผลออกมาจะอยู่ในรูปของกราฟระหว่าง count กับ พลังงาน ถ้าพบธาตุใดๆกราฟจะมีลักษณะเป็นพีคสูงขึ้นไป ณ ระดับพลังงานหนึ่งๆ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของแต่ละธาตุว่าจะสอดคล้องกับธาตุใดแล้วแสดงผลออกมาเป็นชนิดของธาตุนั้นๆ




**รูปที่ 3.14** แสดงหลักการทั่วไปของระบบ EDS




**รูปที่ 3.15** แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ EDS

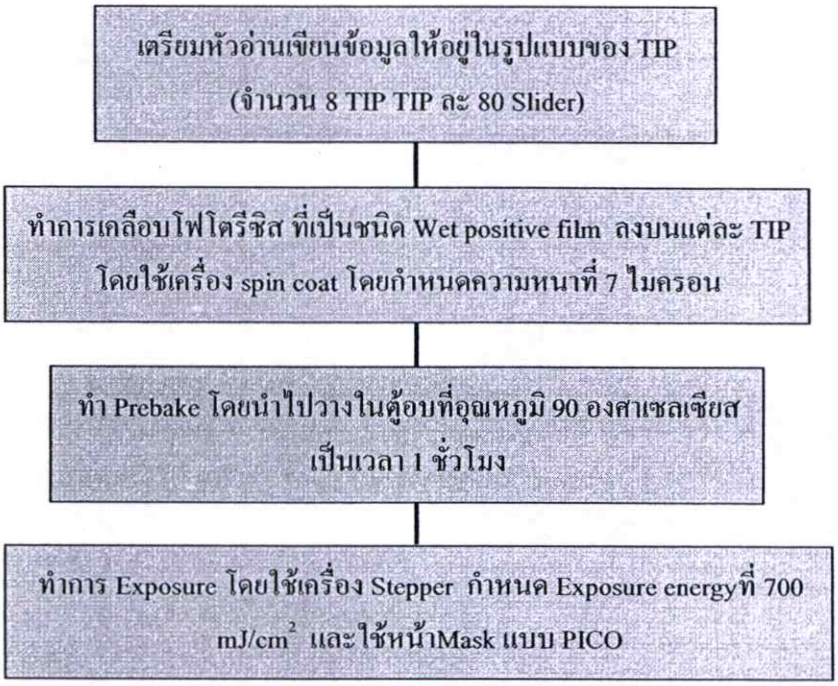
# บทที่ 4

# การทดลอง

ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาถึงคุณลักษณะของพื้นผิวที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัดด้วยไอออนบีมของหัวอ่านเขียน ซึ่งการสกัดนั้นเป็นกระบวนการหนึ่งในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีที่ใช้ในการสร้างลวดลายที่มีขนาดเล็กลงบนวัสดุที่ต้องการ ในบทนี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของการสกัดและลำดับขั้นตอนการตรวจสอบถึงคุณลักษณะของพื้นผิวโดยใช้เครื่องมือต่างๆ อนึ่งคุณลักษณะที่ได้ออกมานั้นล้วนมีผลต่อคุณสมบัติต่อการทำงานของหัวอ่านเขียนข้อมูลทั้งสิ้น โดยที่ส่วนหนึ่งการทดลองในบทนี้นั้นเป็นส่วนหนึ่งในสายการผลิตของหัวอ่านเขียนจริงในปัจจุบัน

## 4.1 การเตรียมวัสดุที่จะนำมาใช้ในการสกัด

ในที่นี้การเตรียมวัสดุที่นำมาใช้ทำการสกัดนั้นอยู่ในขอบเขตของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีในการผลิตหัวอ่านเขียนจริง ซึ่งมีขั้นตอนที่คล้ายคลึงกับการสร้างลวดลายบนวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ใช้สำหรับการสร้างอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไป จากแผนผังลำดับด้านล่างแสดงถึงกระบวนการที่ใช้ในการเตรียมวัสดุก่อนนำมาเข้าเครื่องสกัด โดยที่กำหนดจำนวนของหัวอ่านเขียนที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไขของการสกัดเป็นกลุ่มกลุ่มละ 80 ตัว



ทำการ Develop ฟิล์มส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้น้ำยา KOH

Sample เตรียมพร้อมเข้าสู่กระบวนการสกัดต่อไป

**รูปที่ 4.1** ขั้นตอนการเตรียมวัสดุก่อนนำมาทำการสกัด

## 4.2 การศึกษาอัตราการสกัดของวัสดุ

ในที่นี้การศึกษาอัตราการสกัดของวัสดุในกระบวนการสร้างลวดลายลงบนหัวอ่านเขียนนั้น ผู้ทดลองได้สนใจวัสดุ 2 ชนิดคือ วัสดุที่เป็น photoresist และวัสดุที่ใช้หัวอ่านเขียนข้อมูลที่เป็นชนิด AlTiC ซึ่งโดยหลักการของการสกัดของไอออนบีมนั้นเป็นการใช้ไอออนของก๊าซมาชนอะตอมของวัสดุให้หลุดออกไปโดยที่การชนที่เกิดขึ้นนั้นใช้หลักของฟิสิกส์เรื่องโมเมนตัม เมื่อกล่าวถึงโมเมนตัมสิ่งที่น่าสนใจก็คือมุมของการชนที่ทำให้ปริมาณของวัสดุที่หลุดออกไปนั้นไม่เท่ากัน ดังนั้นการทดลองนี้จึงเป็นการหาอัตราการสกัดของวัสดุที่มุมของการสกัดต่างๆ รวมทั้งการเปลี่ยนเวลาของการสกัดว่ามีผลมากน้อยกับอัตราการสกัดหรือไม่ จากตารางด้านล่างแสดงพารามิเตอร์ของการสกัดที่ใช้ในการศึกษา

**ตารางที่ 4.1** แสดงเงื่อนไขของมุมและเวลาที่ใช้ในการสกัดบนหัวอ่านเขียนข้อมูล

| TIP No. | มุมของการสกัด (องศา) | เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที) |
|---|---|---|
| 1 | -30 | 10 |
| 2 | -30 | 30 |
| 3 | -45 | 10 |
| 4 | -45 | 30 |
| 5 | -55 | 10 |
| 6 | -55 | 30 |
| 7 | -65 | 10 |
| 8 | -65 | 30 |

เงื่อนไขอื่นๆที่ต้องใช้ในการสกัดอันได้แก่ Beam voltage Beam current RF power Supply voltage PBN flow K-Factor และ AR flow ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรคงที่ตลอดการทดลอง ค่าที่กำหนดไว้แสดงได้ดังตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** เงื่อนไขอื่นๆของการสกัดที่กำหนดให้เป็นตัวแปรคงที่

| **เงื่อนไขที่ใช้ในการสกัด** | **เงื่อนไขที่ใช้ทำการทดลอง** |
|---|---|
| Beam voltage | 700 V |
| Beam current | 1000 mA |
| RF power | 500 W |
| Supply voltage | 500 V |
| PBN flow | 4 sccm |
| K-factor | 0.7 |
| AR flow | 22 sccm |

**4.2.1 ขั้นตอนการสกัด**

เครื่องสกัดที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นรุ่น 350s ของบริษัท Veeco

1. นำ Tip ที่ประกอบไปด้วย Slider จำนวน 80 ตัววางบน plate และทำการล็อก Tip บน plate ให้แน่น เพื่อป้องกันการไถลของชิ้นงานตัวอย่างขณะหมุน

2. นำ plate ที่มีชิ้นงานตัวอย่างนำไปใส่ใน stack ก่อนนำเข้าไปใน Load lock

3. ทำการกำหนดพารามิเตอร์ของการสกัดตามตารางที่ 4.2 ในโปรแกรมที่ควบคุมการ etching รวมทั้งกำหนดมุมและเวลาไปในขั้นตอนนี้ด้วย

4. เมื่อเริ่มกระบวนการสกัดเครื่องจะโหลดชิ้นงานจาก Load lock เข้าสู่แชมเบอร์ที่ใช้ทำการสกัด

5 . ฐานรองที่วางชิ้นงานตัวอย่างถูกหมุนซึ่งเท่ากับมุมสกัดที่ต้องการ

6. เครื่องปั๊มสูญญากาศเริ่มทำงานเพื่อทำการลดความดันในแชมเบอร์โดยที่ Rough pump เพื่อดูดเอาอากาศออกให้เหลือความดันในระดับ $10^{-2}$ Torr ก่อนที่ Turbo และ Cryo pump จะเริ่มทำงานเพื่อดูดอากาศออกให้เหลือในระดับ $7 \times 10^{-6}$ Torr

7. เครื่อง Chiller เริ่มทำงานโดยปั๊มก๊าซฮีเลียม และน้ำอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสใต้ฐานรองเพื่อควบคุมอุณหภูมิในขณะทำการสกัด

8. วาวล์เปิดก๊าซอาร์กอนเข้าสู่แชมเบอร์จนกระทั่งความดันในแชมเบอร์สูงขึ้น ในระดับ $3 \times 10^{-4}$ Torr

9. ขดลวด RF เริ่มทำงานที่ความถี่ 1.8- 2.0 เมกกะเฮิร์สในการเร่งให้เกิดอนุภาคอาร์กอนไอออน

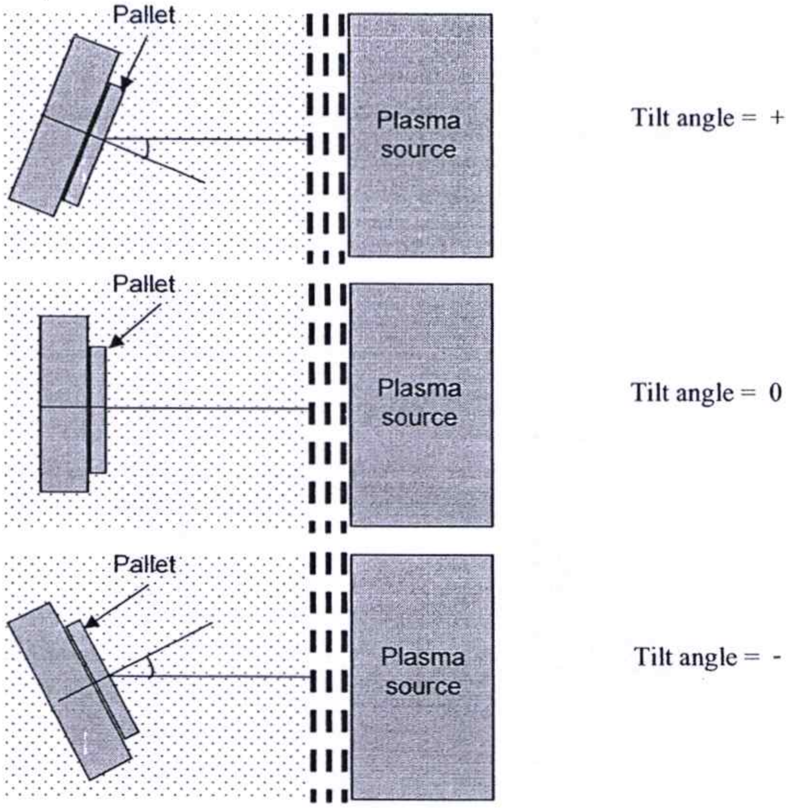
10. PBN(The Plasma Bridge Neutrlizer) เริ่มทำงานผลิตไอออนจากการแตกตัวของก๊าซอาร์กอน

11. กระแสไฟฟ้าถูกจ่ายเข้าไปยัง Beam grid ทำหน้าที่ดึงดูดอิเล็กตรอนเข้าไปในแชมเบอร์เพื่อกระตุ้นให้เกิดพลาสมา

12. กระแสไฟฟ้าถูกจ่ายเข้าไปยัง Suppressor grid และ Beam grid เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าในการเร่งอนุภาคอาร์กอนไอออนรวมทั้งโฟกัสลำไอออน

13. หน้าต่างชัตเตอร์ของเครื่องเปิดออกทำให้ลำไอออนพุ่งไปชนเป้าหมายและปิดเมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้

14. เมื่อทำการสกัดเรียบร้อยเครื่องจะทำการโหลด stack ออกมาเข้าสู่ Load lock เป็นอันเสร็จเรียบร้อยของขั้นตอนการสกัด



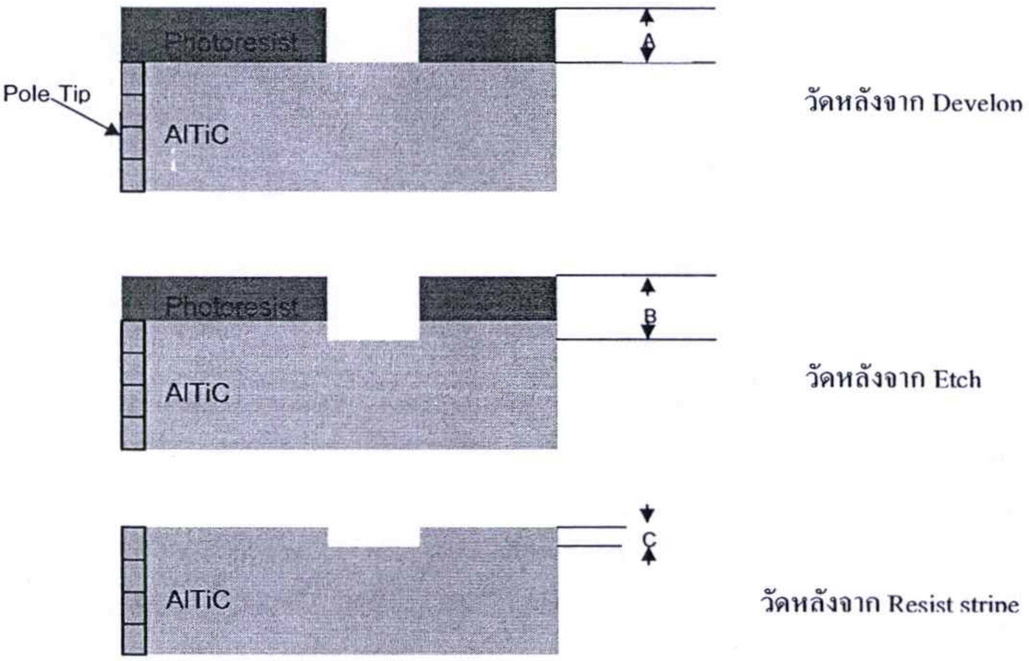

**รูปที่ 4.2** แสดงลักษณะมุมที่ใช้ในการสกัดของเครื่อง 350s

### 4.2.2 ขั้นตอนการวัดความหนาก่อนและหลังการสกัด

การวัดความหนาทั้งฟิล์มบางที่เป็น photoresist และ วัสดุชนิด AlTiC ใช้เครื่อง TENCOR ซึ่ง เป็นเครื่อง Profiler ชนิดหนึ่ง

**ตารางที่ 4.3** แสดงพารามิเตอร์ของการวัดโดยใช้เครื่อง TENCOR Profiler

| เงื่อนไขในการวัด | ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ |
|---|---|
| Scan length | 50 μm |
| Number of scans | 1 |
| Scan speed | 10 μm/s |
| Sampling rate | 50 Hz |
| Scan time | 5 s |
| Scan direction | Right |
| Resolution | 0.2 μm/data point |
| Number of data points | 25 |
| Applied force | 0.5 mg |




**รูปที่ 4.3** แสดงการวัดความหนาโดยใช้เครื่อง TENCOR ณ ช่วงต่างๆของ Process

จากรูปที่ 4.3แสดงการวัดความหนาในช่วงต่างๆของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี ด้วยเครื่องมือ TENCOR ตารางด้านล่างแสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในเครื่อง TENCOR Profiler โดยที่ตำแหน่งของการวัดจะยึดจากรูปที่ 4.4 เป็นหลัก หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาความหนาที่สูญเสียไปหลังจากการสกัดของวัสดุทั้งสองต่อไป

จากรูปที่ 4.3 สามารถหาความหนาที่สูญเสียไปของวัสดุทั้งสองชนิดได้คือ

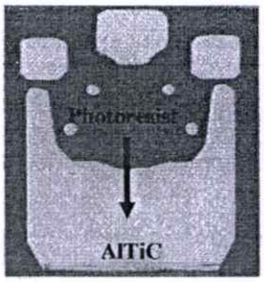
$$\text{Loss photoresist} = A - (B - C) \tag{4.1}$$

$$\text{Loss AlTiC} = C \tag{4.2}$$

หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาอัตราการสกัดของวัสดุได้จากสมการ

$$\text{Etch rate of photoresist} = \text{Loss photoresist / time} \tag{4.3}$$

$$\text{Etch rate of AlTiC} = \text{Loss AlTiC / time} \tag{4.4}$$



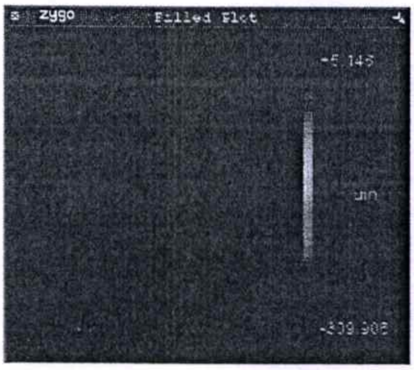

**รูปที่ 4.4** แสดงตำแหน่งของการวัดความหนาบนหัวอ่านเขียน

## 4.3 การศึกษาถึงความขรุขระของพื้นผิว

เนื่องจากการสกัดแบบไอออนบีมเป็นลักษณะการชนที่เป็นกายภาพ ดังนั้นคุณลักษณะของพื้นผิวอีกสิ่งหนึ่งที่ควรศึกษาเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในคุณภาพของการสกัดก็คือความขรุขระ (Roughness) ที่เกิดขึ้น เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบความขรุขระที่ใช้ได้แก่เครื่อง Zygo อาศัยหลักการแทรกสอดของแสง ผลที่ได้จากการวัดจะออกมาในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ที่มีการแยกระดับของความหนาโดยการใช้สีสเปกตรัม แล้วสามารถหาค่าเฉลี่ยของความสูงได้ในพื้นที่อ้างอิง

ใดพื้นที่หนึ่งที่เราสามารถกำหนดไว้เองได้ การวัดความขรุขระนี้จะวัดบริเวณส่วนของ AlTiC บนหน้า ABS ของหัวอ่านเขียน ซึ่งเครื่องมือนี้ใช้วัด profile หลังจากทำการ resist stripe เท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่อง Zygo คือไม่สามารถวัดวัสดุที่เป็นฟิล์มโพลิเมอร์ได้ และสามารถวัดวัสดุได้เพียงชนิดเดียวเนื่องจากมีปัญหาเรื่อง การเลื่อนเฟสเมื่อวัดวัสดุต่างชนิดกัน ส่วนค่าความขรุขระที่อ่านออกมาจากเครื่องนั้นจะเป็นค่า Ra ซึ่งเป็นค่าความขรุขระเฉลี่ยเลขคณิต ซึ่งมีขั้นตอนในการตรวจสอบดังนี้

1. นำ Tip ไปวางบน stage ใต้กล้อง microscope และต้องระวังไม่ให้วัสดุสัมผัสกับเลนส์
2. เปิดโปรแกรม Vision32 ซึ่งเป็นโปรแกรมใช้ในการวิเคราะห์
3. ทำการโฟกัสตำแหน่งที่ต้องการบนวัสดุในที่นี้ใช้กำลังขยาย 20 เท่า
4. ทำการปรับมุมของเครื่อง interferometer เพื่อให้เห็นริ้วของการแทรกสอดซึ่งเป็นลักษณะ ของแถบสว่างสลับกับแถบมืดบนวัสดุ และปรับให้เห็นประมาณ 2-3 ริ้ว
5. เนื่องจากการวัดเป็นแบบ Phase-Shift Interferometry(PSI) ใช้ลำแสงความยาวคลื่นเดี่ยว ดังนั้นจึงต้องปรับให้เห็นริ้วของการแทรกสอดให้ชัดเจนที่สุด ก่อนที่จะทำการวัด
6. ทำการวัดโดยป้อนคำสั่งไปยังคอมพิวเตอร์

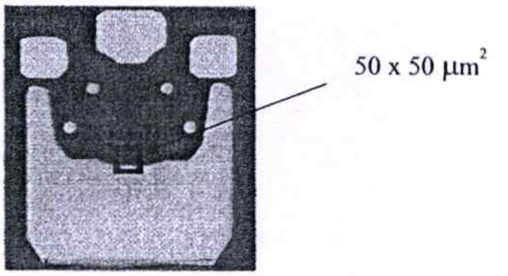



**รูปที่ 4.5** แสดงตัวอย่างหน้าจอการวัดโดยใช้เครื่อง Zygo

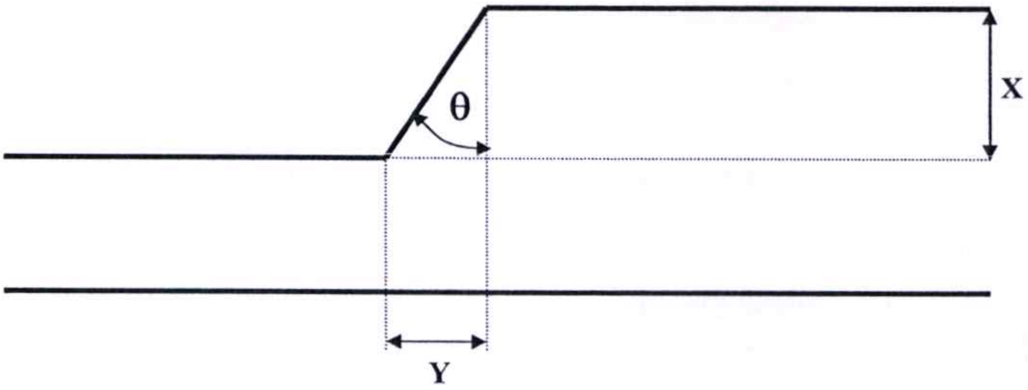
## 4.4 การศึกษา Wall Profiles ที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัด

หลังจากทำการสกัดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว หัวอ่านเขียนจะถูกนำเข้าไปวัด Wall profiles โดยใช้เครื่อง AFM ซึ่งเป็นเครื่องที่วัดได้ผลละเอียดกว่าเครื่องอื่นๆ ซึ่งผลของ Wall profiles จะออกมาในรูปแบบของ Wall angle จากรูป 4. แสดงตัวอย่างรูปแบบของการหา Wall angle พื้นที่ที่ทำการตรวจสอบ (scan size)นั้นมีขนาด 50 x 50 $\mu m^2$ โดยที่ตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบแสดงได้ดังรูปที่

4.6 ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะได้มาในรูปแบบของขนาดความสูง (X) และความยาว (Y) เท่านั้น หลังจากนั้นจึงเอามาคำนวณหา Wall angle ตามสมการที่




**รูปที่ 4.6** แสดงตำแหน่งของการวัด Wall profiles บนตัวหัวอ่านเขียนข้อมูล




**รูปที่ 4.7** แสดงรูปแบบของการหา Wall angle

จากรูปที่ 4 สามารถคำนวณหาขนาดของ Wall angle ได้คือ

$$\theta = \tan^{-1}(Y / X) \quad (4.5)$$

## 4.5 การศึกษาคุณสมบัติของพื้นผิวหลังจากการสกัดด้วยเครื่องมือ SEM

เมื่อทำการสกัดตัว Slider แล้วจะนำมาตรวจสอบคุณสมบัติของพื้นผิวอีกครั้งหนึ่งด้วยภาพถ่าย SEM และ ยิงEDS เพื่อดูองค์ประกอบของธาตุในบริเวณต่างๆหลังจากการสกัด ขั้นตอนการวัดมีดังนี้คือ

1. เตรียมชิ้นงานที่ใช้ในการวัดซึ่งเป็น Slider หลังจากกระบวนการลอกฟิล์มออกแล้ว

2. ทำการเคลือบชิ้นงานด้วยพาราเดียม โดยการนำเข้าเครื่องเคลือบสูญญากาศ โดยเคลือบที่ความดัน $0.5 \times 10^{-4}$ Bar

3. นำงานที่ทำการเคลือบไปตรวจสอบโดย SEM ซึ่งการกำหนดค่าที่ใช้ในการตรวจสอบแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบของเครื่อง SEM

| **เงื่อนไขในการวัด** | **ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้** |
|---|---|
| ACC-V | 3.00 kV |
| Aparture | 3 |
| Magnitude | 20,000 X |
| Detection mode | SE |
| Working Distance(WD) | 5.3 |

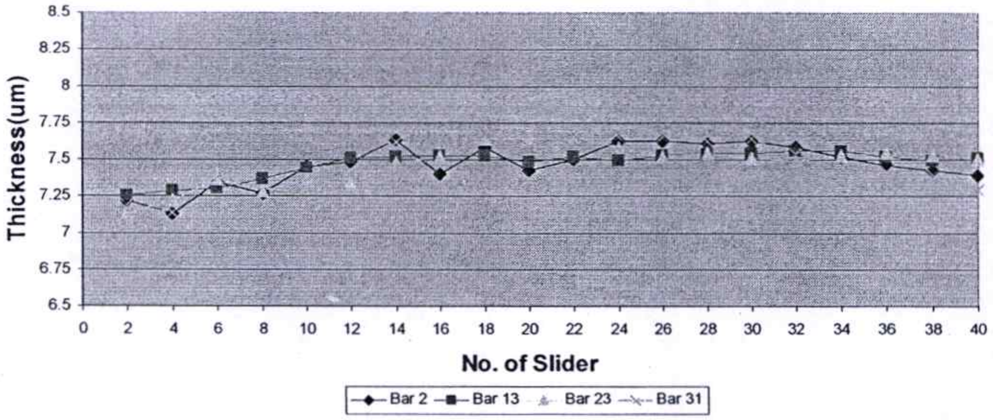
# บทที่ 5

# ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลของการศึกษาคุณลักษณะของพื้นผิวหลังจากการสกัดด้วยไอออนบีมในวัสดุที่ใช้ทำหัวอ่านเขียนข้อมูล ซึ่งคุณลักษณะในที่นี้ได้แก่ อัตราการสกัด ความขรุขระของพื้นผิว ความลาดเอียงของพื้นผิว และศึกษาคุณสมบัติของพื้นผิวอื่นๆ เพิ่มเติม ในที่นี้เงื่อนไขที่ทำการเปลี่ยนแปลงได้แก่มุมของการสกัด และเวลาในการสกัด และในงานทดลองทั้งหมดอยู่ในกระบวนการโฟโตลิโธกราฟีในสายการผลิตจริง ซึ่งแต่ละเงื่อนไขในที่นี้ได้ทำลงบน Tip แต่ละ Tip และเพื่อความสะดวกจะใช้การเรียกแต่ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่

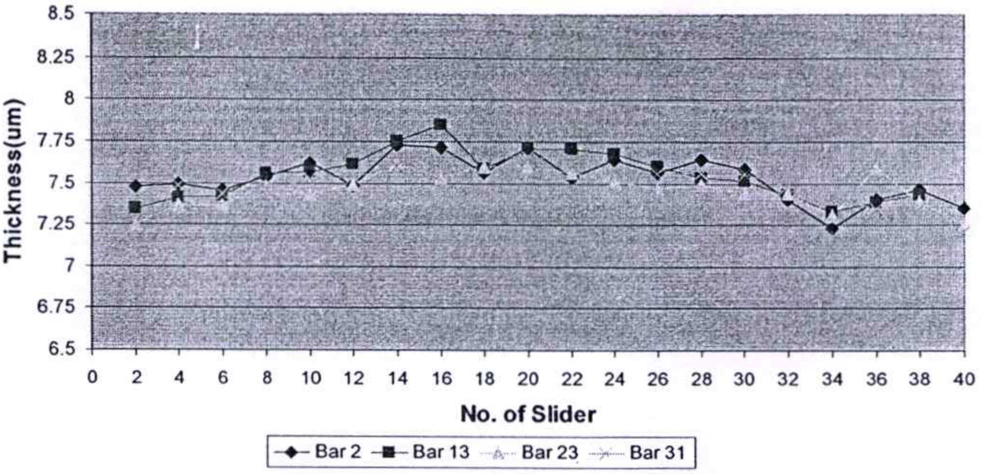
## 5.1 ผลการศึกษาความหนาของโฟโตรีซิสหลังทำการเคลือบ

จากลำดับขั้นตอนการทดลอง นำ Tip ที่มีงานทดลองอยู่เข้าเครื่อง spin coating แล้วนำไปเข้ากระบวนการ exposure ต่อมานำ Tip ที่ได้ไปเข้ากระบวนการ develop หลังจากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการวัดความหนาของฟิล์มก่อนทำการสกัดโดยใช้เครื่อง TENCOR profiler โดยวัดความหนาของฟิล์มโฟโตรีซิสทุกๆ Tip ที่ทำการทดลอง และจะวัดในตำแหน่งBarที่เป็น SPC ได้แก่Barที่ 2 13 23 และ 31 ตามลำดับ

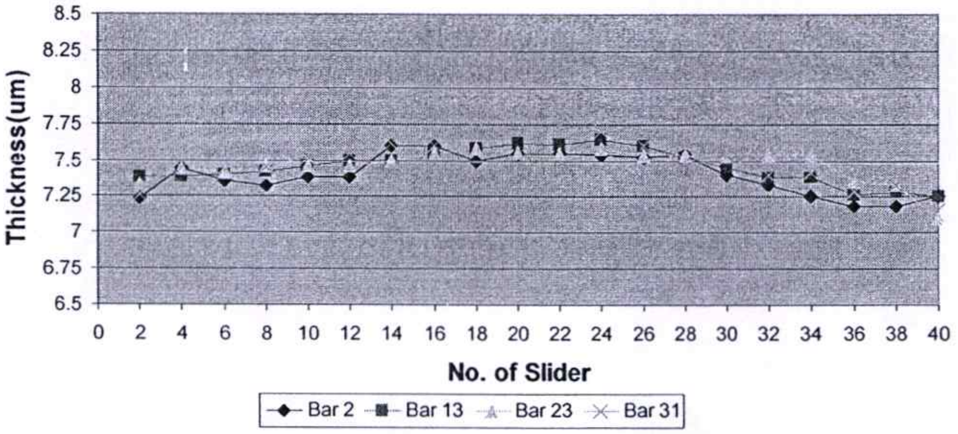



(a) Tip ที่ 1

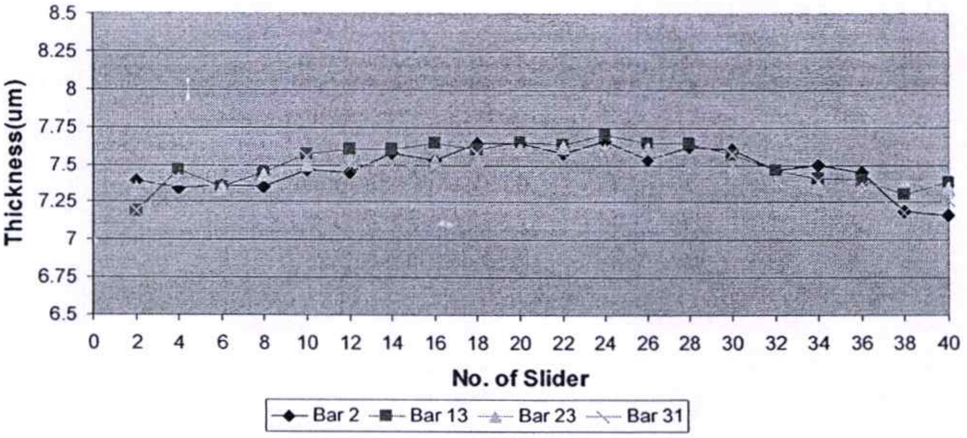
**รูปที่ 5.1** ผลของการวัดความหนาของโฟโตรีซีส ณ ตำแหน่งต่างๆบน Bar




(b) Tip ที่ 2

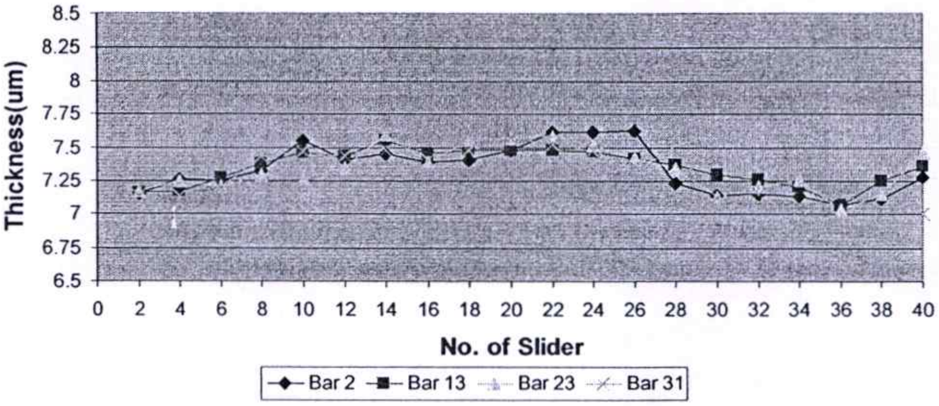



(c) Tip ที่ 3

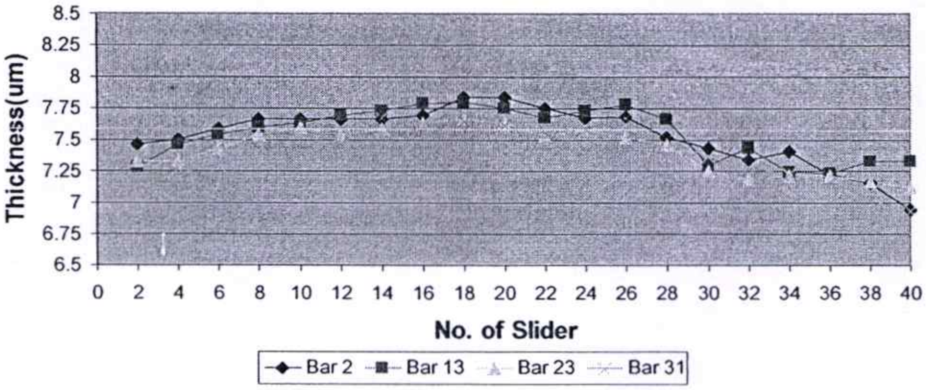



(d) Tip ที่ 4

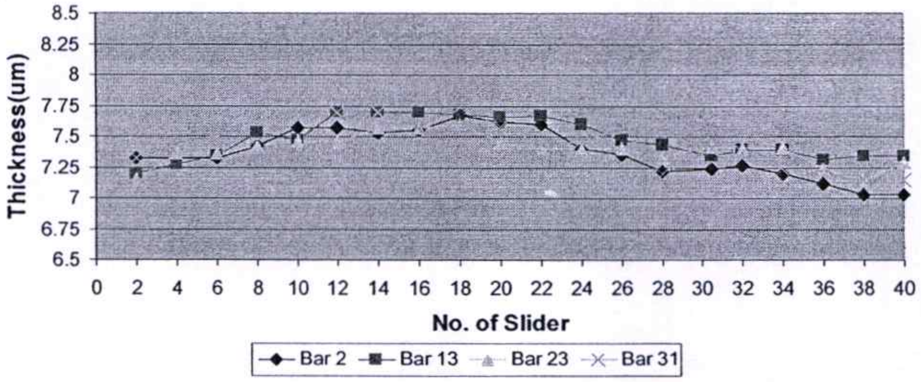
**รูปที่ 5.1(ต่อ)**




(e) Tip ที่ 5

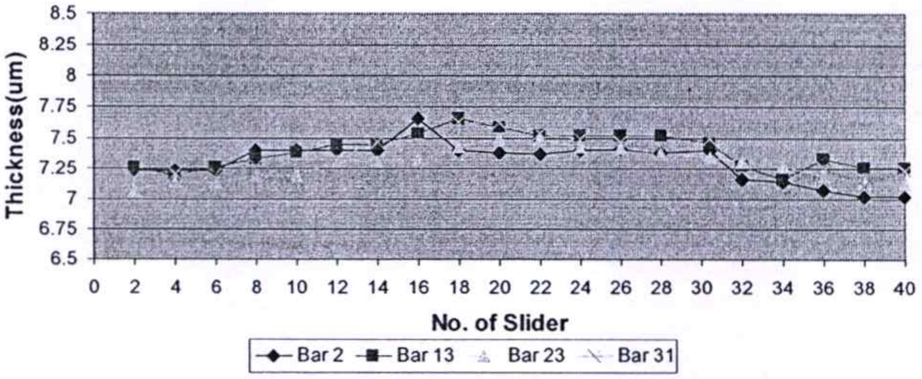



(f) Tip ที่ 6




(g) Tip ที่ 7

**รูปที่ 5.1(ต่อ)**




(h) Tip ที่ 8

**รูปที่ 5.1(ต่อ)**

จากรูปแสดงความหนาของโฟโตรีซิสของแต่ละ Tip ซึ่งใน 1 Tip จะประกอบไปด้วยBarที่ใช้ทำการทดลอง 4 Ba rด้วยกันและในแต่ละBa r จะมีจำนวน Slider เรียงกัน 40 ตัว แต่ในที่นี้ใช้การวัดตัวเว้นตัว จากกราฟในทุกๆ Tip พบว่าบริเวณตรงกลางของBarจะมีความหนากว่าปกติกว่าด้านขอบของ Bar ด้วยกันซึ่งทั้งนี้เป็นธรรมชาติของการ spin coating ซึ่งเกี่ยวเนื่องกับแรงหนีศูนย์กลางและแรงเฉือน

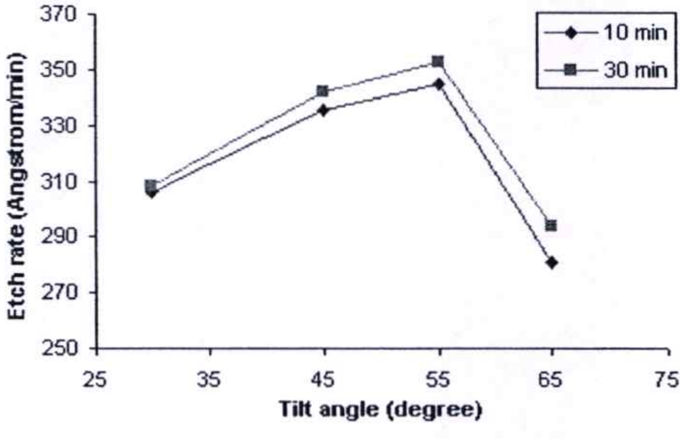
**ตารางที่ 5.1** แสดงค่าเฉลี่ยและเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาโฟโตรีซิสในแต่ละ Tip

| | **Bar 2** | | **Bar 13** | | **Bar 23** | | **Bar 31** | | **All** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **# Tip** | **Avg** | **Stdev** | **Avg** | **Stdev** | **Avg** | **Stdev** | **Avg** | **Stdev** | **Avg** | **Stdev** |
| **1** | 7.46 | 0.145 | 7.47 | 0.094 | 7.47 | 0.142 | 7.51 | 0.164 | 7.48 | 0.137 |
| **2** | 7.54 | 0.126 | 7.53 | 0.153 | 7.46 | 0.110 | 7.49 | 0.144 | 7.50 | 0.136 |
| **3** | 7.48 | 0.144 | 7.43 | 0.140 | 7.47 | 0.100 | 7.46 | 0.130 | 7.48 | 0.129 |
| **4** | 7.41 | 0.140 | 7.46 | 0.121 | 7.47 | 0.118 | 7.50 | 0.162 | 7.46 | 0.138 |
| **5** | 7.33 | 0.181 | 7.35 | 0.133 | 7.34 | 0.169 | 7.30 | 0.191 | 7.33 | 0.168 |
| **6** | 7.53 | 0.234 | 7.55 | 0.203 | 7.42 | 0.183 | 7.39 | 0.221 | 7.47 | 0.218 |
| **7** | 7.38 | 0.184 | 7.48 | 0.165 | 7.39 | 0.121 | 7.45 | 0.198 | 7.42 | 0.175 |
| **8** | 7.34 | 0.150 | 7.39 | 0.140 | 7.28 | 0.131 | 7.36 | 0.152 | 7.34 | 0.150 |

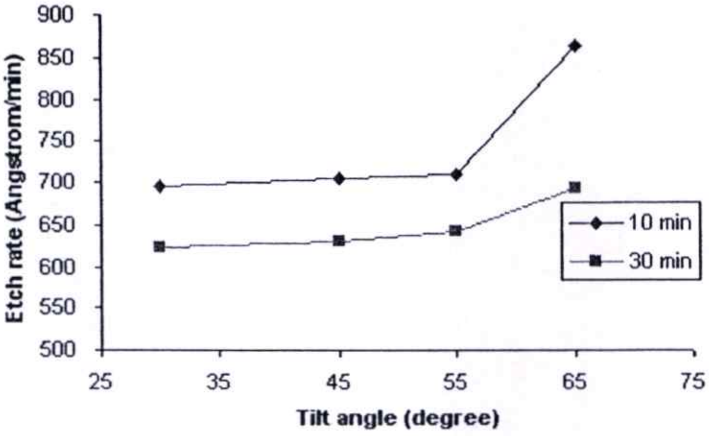
แต่อย่างไรก็ตามจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะพบว่าฟิล์มในทุกๆ Tip ยังมีความสม่ำเสมอที่ดี(ไม่เกิน 5% ของความหนา) ถึงแม้โฟโตรีซิสจะไม่ใช่วัสดุที่ต้องการสกัดโดยตรง ซึ่งอาจจะไม่จำเป็นต้องควบคุมความสม่ำเสมอมากนัก แต่ปัจจุบันแนวโน้มการเคลือบโฟโตรีซิสมีความบางลงเรื่อยๆ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา shadow effect ดังนั้นจำเป็นต้องควบคุมความหนาให้มีความสม่ำเสมอของฟิล์มให้มากที่สุด และยังเป็นการช่วยให้การ Exposure เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย

## 5.2 ศึกษาอัตราการสกัดของวัสดุ[12]

หลังจากนำชิ้นงานผ่านกระบวนการ Develop แล้ว จะเข้าสู่กระบวนการสกัดด้วยเครื่องไอออนบีม โดยมีเงื่อนไขในการสกัดดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ซึ่งในที่นี้จะทำการทดลองโดยใช้จำนวน Slider 80 ตัว ต่อ 1 เงื่อนไข หลังจากการสกัดแล้วนำเข้าไปวัดด้วยเครื่อง TENCOR profiler ต่อมา Slider จะถูกนำไปลอกฟิล์มออกแล้ววัดความหนาอีกครั้งด้วยเครื่อง TENCOR profiler จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาความหนาของโฟโตลิซิลที่สูญเสียไปและความหนา AlTiC ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำหัวอ่านเขียนที่สูญเสียไปหลังกระบวนการสกัด ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5.2

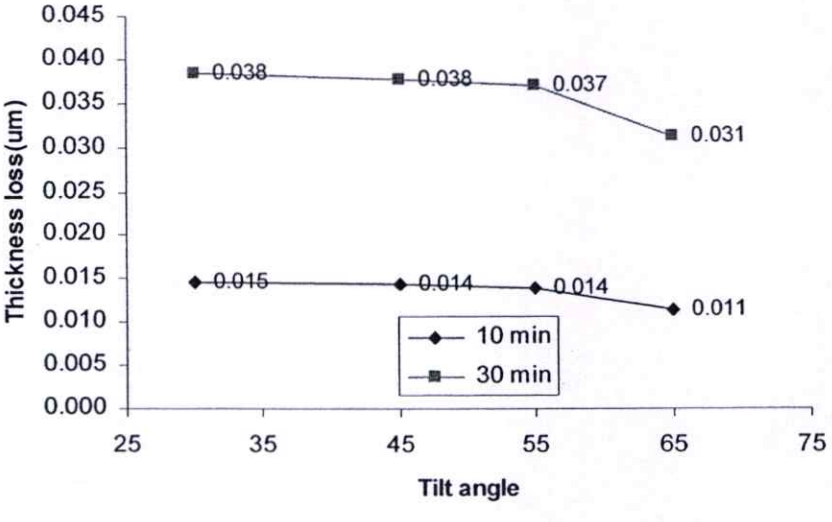



**รูปที่ 5.2** แสดงอัตราการสกัดของ AlTiC ณ มุมต่างๆและที่เวลา 10 และ 30 นาที




**รูปที่ 5.3** แสดงอัตราการสกัดของโฟโตรีซิส ณ มุมต่างๆและที่เวลา 10 และ 30 นาที

จากรูปที่ 5.2 แสดงอัตราการสกัดของวัสดุ AlTiC ที่เป็นพื้นผิว ABS พบว่าที่เวลา 10 และ 30 นาที ณ มุม 55 องศา AlTiC จะถูกสกัดไปได้มากกว่ามุมอื่นๆ โดยมีอัตราการสกัดอยู่ที่ 345 Angstrom/min ที่เวลา 10 นาที หรือ ความลึกเฉลี่ยของการสกัดเท่ากับ 0.345 ไมครอน และ 353 Angstrom/min ที่เวลา 30 นาทีที่ความลึกเฉลี่ยของการสกัดที่ 1.059 ไมครอน ซึ่งใกล้เคียงกัน และอัตราการสกัดต่ำสุดจะอยู่ที่มุม 65 องศา เมื่อมองโดยรวมแล้วพบว่าอัตราการสกัดที่เวลาต่างๆกันไม่มีความแตกต่างมาก รูปที่ 5.4 แสดงค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยที่เวลา 10 และ 30 นาทีในแต่ละมุมพบว่าในแต่ละ Tip จะมีค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลงมากที่มุม 30 45 และ 55 องศา ยกเว้นที่ 65 องศาพบว่า



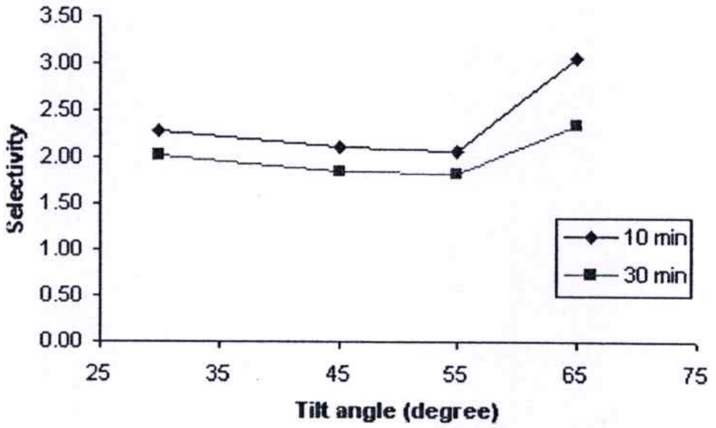

**รูปที่ 5.4** แสดงค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยของความหนา AlTiC ที่สูญเสียไปหลังจากการสกัด

ค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยต่ำกว่ามุมอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยในทุกๆมุมมีค่าน้อยมากไม่ถึง 5 เปอร์เซนต์เมื่อนำไปเทียบกับค่าเฉลี่ยของความหนาที่สูญเสียไป ซึ่งแสดงถึงความมีความสม่ำเสมอที่ดีในการสกัดของระบบไอออนบีม แต่เมื่อเทียบเวลาในการสกัดพบว่าค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยจะสูงขึ้นในทุกๆมุมเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัด ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่าการใช้เวลาในการสกัดมากขึ้นจะมีผลต่อความสม่ำเสมอในการสกัด

ส่วนอัตราการสกัดของโฟโตรีซิสพบว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อให้มุมในการสกัดมากขึ้น พบว่าที่เวลา 10 และ 30 นาที ณ มุม 65 องศา โฟโตรีซิสจะถูกสกัดไปได้มากกว่ามุมอื่นๆ โดยมีอัตราการสกัดอยู่ที่ 863 Angstrom/min ที่เวลา 10 นาที หรือ ความลึกเฉลี่ยของการสกัดเท่ากับ 0.863 ไมครอน และ 692 Angstrom/min ที่เวลา 30 นาทีที่ความลึกเฉลี่ยของการสกัดที่ 2.076 ไมครอน และทุกเวลาของการสกัดมุมที่มีอัตราการสกัดต่ำสุดอยู่ที่ 30 องศา จากกราฟรูปที่ จะมีความแตกต่างของอัตราการสกัดเมื่อทำการเปลี่ยนเวลาของการสกัดโดยพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดอัตราการสกัดของโฟโตรีซิสจะลดลงในทุกๆมุม ซึ่งจะเป็นไปในแนวโน้มใดต่อไปนั้นจะต้องทำการศึกษาต่อไป ค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยของความหนาโฟโตรีซิสที่สูญเสียไป จากการสกัดในทุกๆมุมพบว่ามีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยค่อนข้างสูงถึง 30 เปอร์เซนต์ของค่าเฉลี่ย ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตั้งมาในการสกัดนั้นมีความเหมาะสมกับวัสดุที่เป็น AlTiC เพียงอย่างเดียวซึ่งเป็นสิ่งที่เราสนใจมากที่สุด ซึ่งโครงสร้างของโฟโตรีซิสมีโครงสร้างเป็นโพลิเมอร์แตกต่างจากโครงสร้างที่เป็นเซรามิกของ AlTiC โดยสิ้นเชิง จึงทำให้เงื่อนไขที่ใช้ในการสกัดโฟโตรีซิสจึงไม่ใช่เงื่อนไขที่ดีที่สุดที่จะทำให้การสกัดโฟโตรีซิสได้อย่างสม่ำเสมอได้ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาอัตราการสกัดและความสม่ำเสมอเมื่อถูกสกัดของโฟโตรีซิสยังเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องศึกษาต่อไปเนื่องจากในอนาคตเทคโนโลยีของการเคลือบโฟโตรีซิสจะทำให้มีความบางมากขึ้นกว่าเดิม เมื่อต้องนำมาสกัดด้วยวิธีนี้จึงต้องศึกษาถึงอัตราการสกัดของโฟโตรีซิสด้วย เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการสกัดวิธีอื่นๆแล้ว วิธีนี้จะสกัดโฟโตรีซิสออกไปเป็นจำนวนมากกว่าวิธีอื่นๆ

จากการสกัด AlTiC ที่มุมต่างๆกันจะมีอัตราการสกัดที่ต่างกันสืบเนื่องจากการสกัดแบบไอออนบีมเป็นการสกัดแบบกายภาพเพียงอย่างเดียวไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีมาเกี่ยวข้อง ฉะนั้นเมื่อไอออนของอาร์กอนพุ่งมาชนก็จะเกิดการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างอะตอมทำให้อะตอมที่ถูกชนหลุดออกไป ในเมื่อเป็นการถ่ายเทโมเมนตัม มุมที่ชนจึงมีความสำคัญมากเนื่องจากโครงสร้างของวัสดุ อะตอมหรือโมเลกุลจะเกาะเกี่ยวกันด้วยแขนพันธะ ดังนั้นจุดที่โครงสร้างพันธะความอ่อนแอมากที่สุดหรือที่เรียกว่าจุด Weak point นั้นจะถูกสกัดออกไปได้ง่ายกว่าถ้ามีไอออนพุ่งเข้าชนบริเวณนั้นพอดี ดังนั้นวัสดุต่างชนิดกันจุด weak point ของแต่ละวัสดุจึงไม่เหมือนกัน กราฟคุณสมบัติของอัตราการสกัดเมื่อเทียบกับ

มุมต่างๆของวัสดุแต่ละชนิดจึงไม่เหมือนกัน และอัตราการสกัดที่มุมต่างๆจึงไม่เหมือนกัน ในที่นี้แสดงได้ด้วยกราฟอัตราการสกัดทั้ง AlTiC และ โฟโตรีซิส ซึ่งกราฟคุณสมบัติของการสกัดที่มุมต่างๆนี้จะเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจในการเลือกมุมที่เหมาะสมในการสกัดต่อๆไป



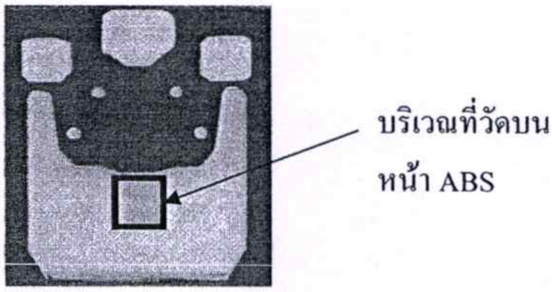

**รูปที่ 5.5** แสดงค่า Selectivity ของการสกัดในแต่ละมุม

ต่อมาจะกล่าวถึงค่า Selectivity ของการสกัดซึ่งเป็นอัตราส่วนของการสกัดระหว่างโฟโตรีซิสกับ AlTiC จากรูปที่ 5.5 แสดงค่า Selectivity ของการสกัดที่มุมต่างๆ พบว่าที่มุม 55 องศาทั้งสองเวลาในการสกัดจะมีค่า Selectivity ในการสกัดน้อยที่สุดโดยที่ 10 นาทีเท่ากับ 2.06 และที่ 30 นาทีเท่ากับ 1.82 และค่า Selectivity มากที่สุดที่มุม 65 องศาโดยที่ 10 นาทีเท่ากับ 3.07 และ 30 นาทีเท่ากับ 2.35 ค่า Selectivity นี้จะหมายถึงเมื่อทำการสกัดวัสดุที่เป็น AlTiC ไป 1 ส่วน โฟโตรีซิสจะถูกสกัดไปเป็นจำนวนเท่ากับ X ส่วน ซึ่ง X ในที่นี้หมายถึงค่า Selectivity จากผลการทดลองพบว่าด้วยการสกัดแบบไอออนบีมนี้ค่า Selectivity จะมีค่าน้อยกว่าวิธีอื่นๆ (RIE มีค่า Selectivity ประมาณ 20 ) ซึ่งเป็นเพราะลักษณะการสกัดแบบนี้ใช้การชนของไอออนเพียงอย่างเดียว ลักษณะการชนของไอออนที่เป็นแบบกายภาพนั้นจะไม่มีการเลือกวัสดุที่จะทำการสกัดแต่อย่างใด ดังนั้นความแตกต่างระหว่างอัตราการสกัดจึงไม่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ

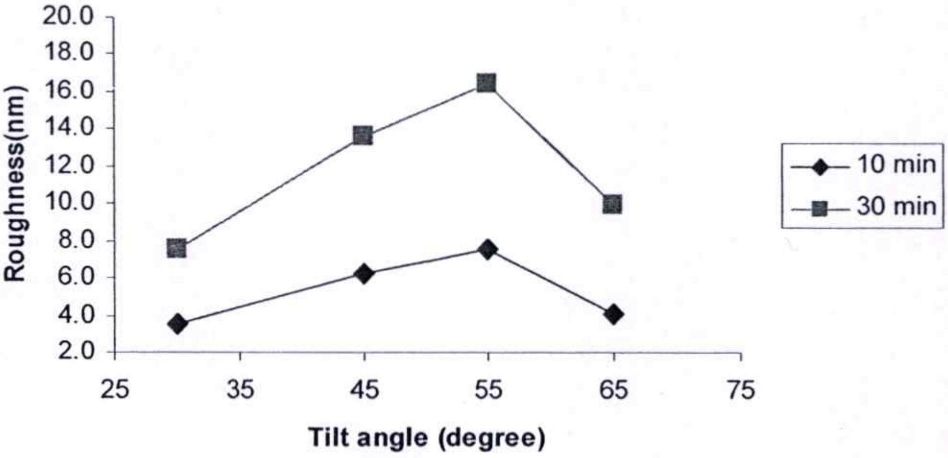
ค่า Selectivity ที่มีค่าน้อยนั้นจะเป็นผลดีกับการสกัดด้วยไอออนบีมเพราะว่าในขณะการสกัด ถ้าโฟโตรีซิสถูกสกัดออกออกไปในอัตราที่ใกล้เคียงกับวัสดุ AlTiC มากเท่าไหร่ การกำหนดความหนาเริ่มต้นของโฟโตรีซิสจะสามารถทำให้บางขึ้นเท่านั้น ซึ่งที่ความหนาของโฟโตรีซิสที่บางจะช่วยลดปัญหา shadow effect ที่จะเกิดขึ้นในขณะสกัด จากผลการทดลองพบว่ามุม 55 องศาเป็นมุมที่มี Selectivity ที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมุมอื่นๆ ซึ่งนี่เป็นอีกเงื่อนไขหนึ่งที่เหมาะสมกับการสกัด

## 5.3 การศึกษาถึงความขรุขระที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัด

ในที่นี้จะกล่าวถึงผลการทดลองหลังจากการวัดด้วยเครื่องมือ Interferrometer ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการแทรกสอดของแสง ความขรุขระที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัดเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นอย่างแน่นอน การตรวจสอบครั้งนี้จะเป็นการศึกษาแนวโน้มของมุมและเวลาของการสกัดที่มีผลต่อความขรุขระที่เกิดขึ้น บริเวณที่ทำการวัดความขรุขระจะอยู่ที่บริเวณหน้า ABS ของ Slider โดยแสดงบริเวณที่ทำการวัดได้ดังรูปที่ 5.6

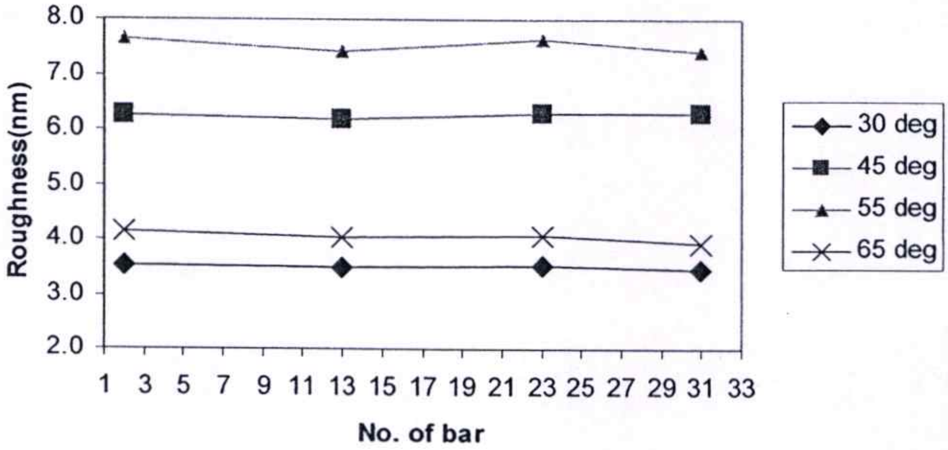



**รูปที่ 5.6** แสดงบริเวณที่ทำการวัดความขรุขระบน Slider

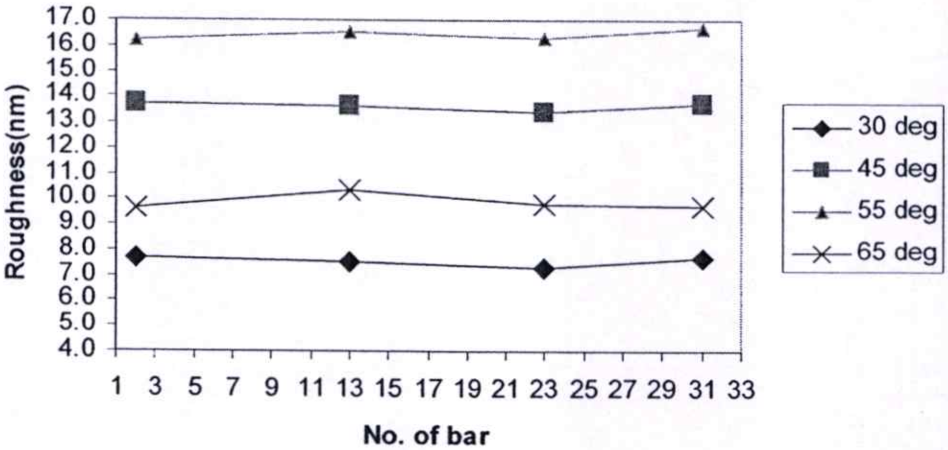



**รูปที่ 5.7** แสดงค่าความขรุขระเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในมุมการสกัดต่าง ๆ

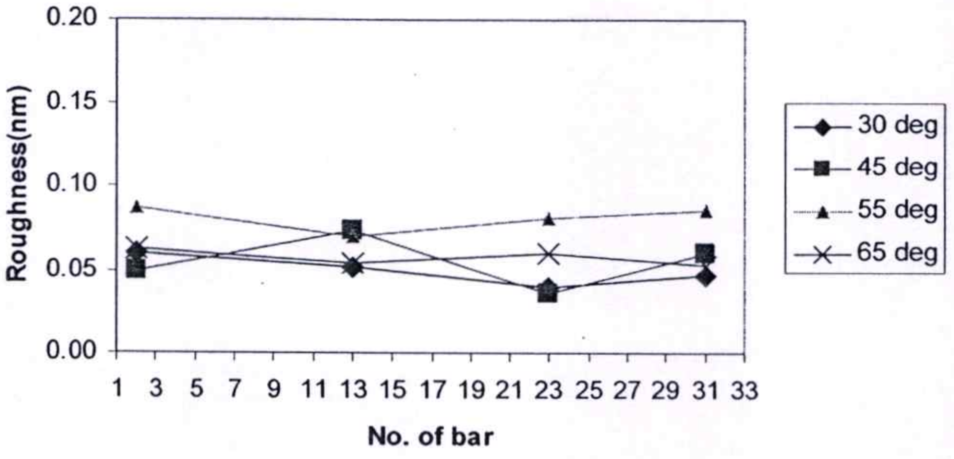
รูป ที่ 5.7 แสดงค่าความขรุขระเฉลี่ยในแต่ละมุมการสกัดต่างๆ พบว่าที่มุม 55 องศาจะมีค่าความขรุขระสูงสุดในทุกเวลาการสกัด ในที่นี้ค่าความขรุขระที่วัดออกมาจะเป็นค่าความขรุขระเฉลี่ย ($R_a$)โดยที่เวลาในการสกัด 10 นาทีค่าความขรุขระอยู่ที่ 7.5 nm และ เวลาการสกัดที่ 30 นาทีค่าความขรุขระอยู่ที่ 16.4 nm ส่วนรูปที่5.8 แสดงค่าความขรุขระเฉลี่ยเมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัดต่างๆและที่มุมต่างๆพบว่าจะมีค่าที่คงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากในแต่ละBar ซึ่งเป็นเครื่องยืนยันถึงความสม่ำเสมอในการสกัดได้เป็นอย่างดี



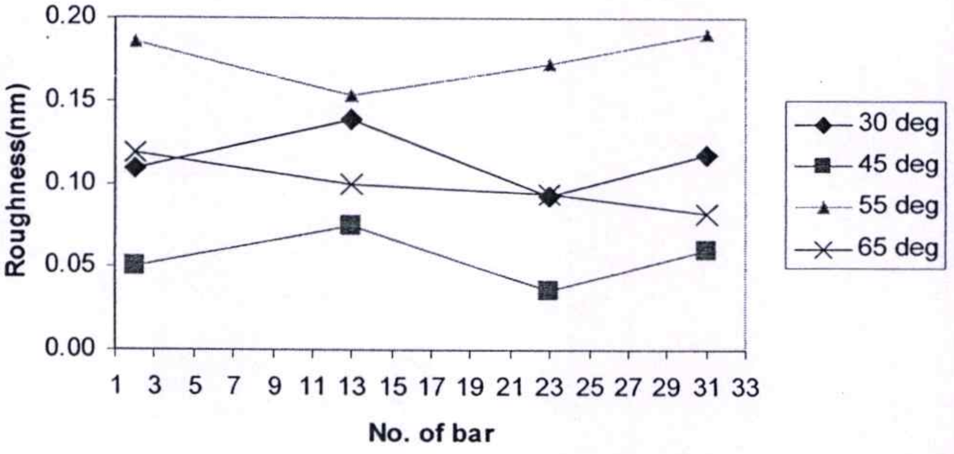

**รูปที่ 5.8** แสดงค่าความขรุขระเฉลี่ยเมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด10 นาที




**รูปที่ 5.9** แสดงค่าความขรุขระเฉลี่ยเมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด30 นาที



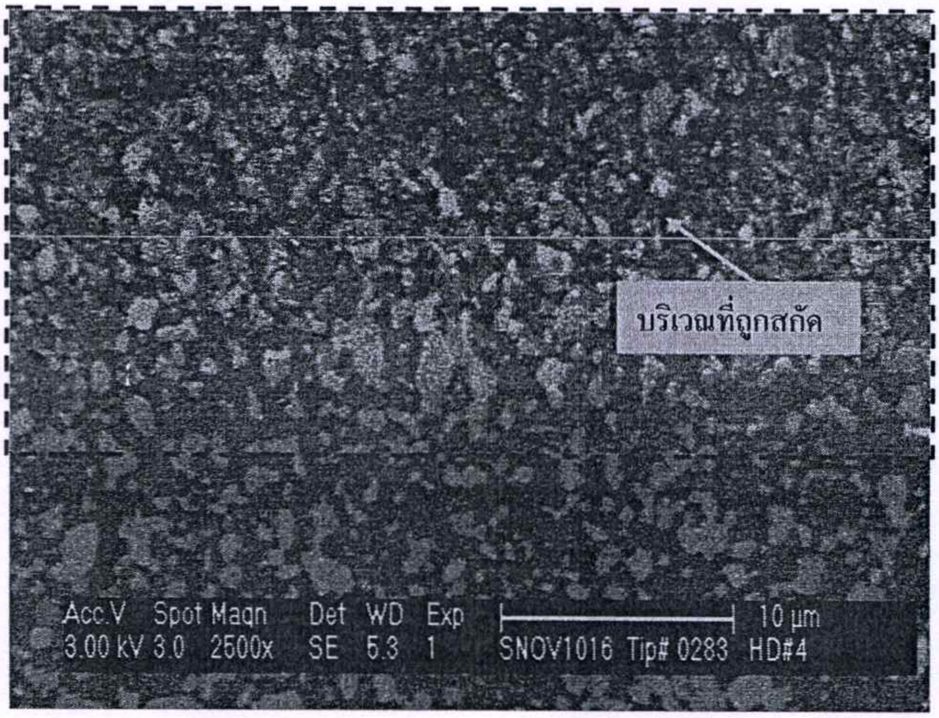

**รูปที่ 5.10** แสดงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของค่าความขรุขระเมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 10 นาที




**รูปที่ 5.11** แสดงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของค่าความขรุขระเมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 30 นาที

รูปที่ 5.10 และ 5.11 แสดงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยภายในแต่ละBar ที่มุมต่างๆกัน พบว่าที่เวลาการสกัด 10 นาทีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของความขรุขระเมื่อเปรียบเทียบBarที่ 3 13 23 และ 31 เข้าด้วยกัน ณ มุมของการสกัดเดียวกัน มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก(ไม่เกิน 5% ของค่าความขรุขระเฉลี่ย) ซึ่งแสดงถึงความสม่ำเสมอของกระบวนการสกัดนี้ และเมื่อเพิ่มเวลาการสกัดมากขึ้นจะสังเกตุได้จากรูป5.10 และ 5.11 พบว่าค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของความขรุขระจะมีค่ามากขึ้นแต่ยังคงเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของความขรุขระ(ไม่เกิน 5% ของค่าความขรุขระเฉลี่ย) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ อย่างไรก็ตามค่าความขรุขระเป็นสิ่งที่สำคัญควรพิจารณาด้วยเนื่องจากมีความสำคัญต่อการบินบนจานแม่เหล็กของหัวอ่าน

ความขรุขระที่เกิดขึ้นนั้นเป็นธรรมชาติของการสกัด เพราะเมื่อไอออนพุ่งเข้าชนจะเป็นการทำลายผิวหน้าของชิ้นงานซึ่งก่อให้เกิดความขรุขระขึ้นนั่นเอง ในกรณีนี้วัสดุที่ใช้ทำการสกัดเป็น AlTiC เป็นสารเซรามิกที่ประกอบขึ้นจากสารสองชนิดได้แก่อะลูมิเนียมออกไซด์($Al_2O_3$) และ ไททาเนียมคาร์ไบด์(TiC) จากรูปที่ลักษณะของพื้นผิว AlTiC จากการถ่าย SEM จากรูปที่ 5.12 บริเวณสีเทาเข้มจะเป็นเฟสของอลูมิเนียมออกไซด์ และสีเทาอ่อนจะเป็นเฟสของไททาเนียมคาร์ไบด์ จะแทรกอยู่ระหว่างกัน ดังนั้นเมื่อนำวัสดุ AlTiC มาสกัด ลักษณะของการสกัดจะแยกออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือการสกัดส่วนที่เป็นสารอะลูมิเนียมออกไซด์และสารไททาเนียมคาร์ไบด์ เมื่อสารทั้งสองชนิดนี้สกัดพร้อมกันดังนั้นจึงเกิดความแตกต่างระหว่างอัตราการสกัดสาร



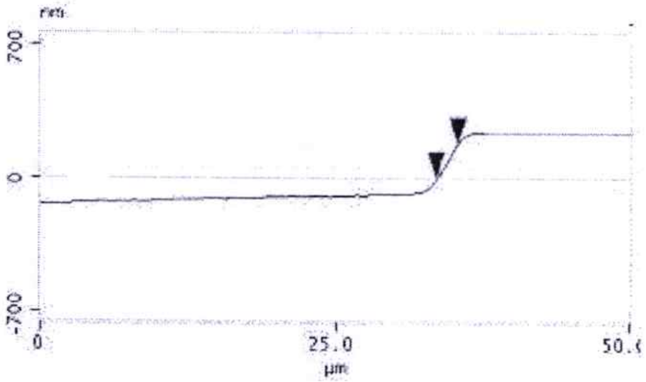

**รูปที่ 5.12** แสดงบริเวณพื้นผิว ABS หลังจากการสกัดโดยใช้ SEM

ทั้งสองจึงทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวขึ้นหลังจากการสกัด เพราะที่มุมๆหนึ่งสารใดที่ถูกสกัดได้มากกว่าจะหลุดออกไปเยอะกว่า ในขณะเดียวกันสารใดที่ถูกสกัดน้อยจะหลุดออกไปจากผิวได้น้อย ซึ่งลักษณะนี้เองจะทำให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิวขึ้น และจากกราฟรูป เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกราฟอัตราการสกัดของวัสดุ AlTiC ที่ได้กล่าวไว้ในรูปที่ จะสังเกตุได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสกัดกับค่าความขรุขระที่เกิดขึ้นยกตัวอย่างที่มุม 55 องศาพบว่าจะมีอัตราการสกัดสูงสุด และมีค่าความขรุขระที่เกิดขึ้นสูงสุดเช่นเดียวกันที่เวลาเดียวกัน เนื่องจากอัตราการสกัดที่สูงหมายถึงวัสดุบริเวณ

ผิวหน้าจะถูกสกัดออกไปมากดังนั้นจึงมีโอกาสที่ Selectivity ของการสกัดระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ และ ไททาเนียมคาร์ไบด์จะแตกต่างกันได้มาก ดังนั้นค่าความขรุขระจึงมีค่าสูงขึ้นตาม ซึ่งในที่นี้ค่าความขรุขระที่เกิดขึ้นสามารถยอมรับได้ เพราะมีค่าน้อยมากในระดับนาโนเมตร และความสม่ำเสมอของค่าความขรุขระนั้นค่อนข้างที่จะคงที่มาก ซึ่งเป็นข้อดีข้อหนึ่งของระบบการสกัดที่เป็นแบบกายภาพ อย่างไรก็ตามการตรวจสอบค่าความขรุขระหลังจากการสกัดเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อใช้พัฒนาคุณภาพในการสกัดให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

## 5.4 การศึกษาถึง Wall angle ที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัด

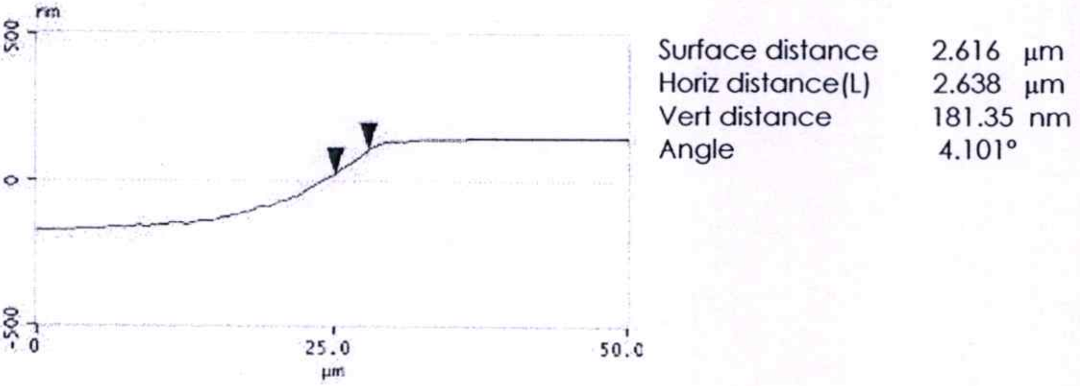
หลังจากการสกัดอีกสิ่งหนึ่งที่จะเกิดขึ้นหลังจากการสกัดนั่นคือ Wall angle หรือความลาดเอียงของพื้นผิวที่เกิดขึ้น เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนมุมของการสกัดซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษา เพราะการสกัดแบบไอออนบีมนี้ไม่มีปฏิกิริยาเข้ามาเกี่ยวข้องดังนั้นการสกัดจึงเป็นรูปแบบของ anisotropic มากกว่าการสกัดวิธีอื่นมากๆ การวัด Wall angle ในที่นี้ใช้เครื่อง AFM ในการตรวจสอบลักษณะที่เกิดขึ้น เพื่อความรวดเร็วในการวัด จะทำการวัดBarละ 4 Slider ซึ่งจะเป็น Slider ที่อยู่ตำแหน่งที่ 5 10 20 และ 35 แล้วทำการคำนวณออกมาเป็นมุมซึ่งวิธีการคำนวณได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 การทดลอง



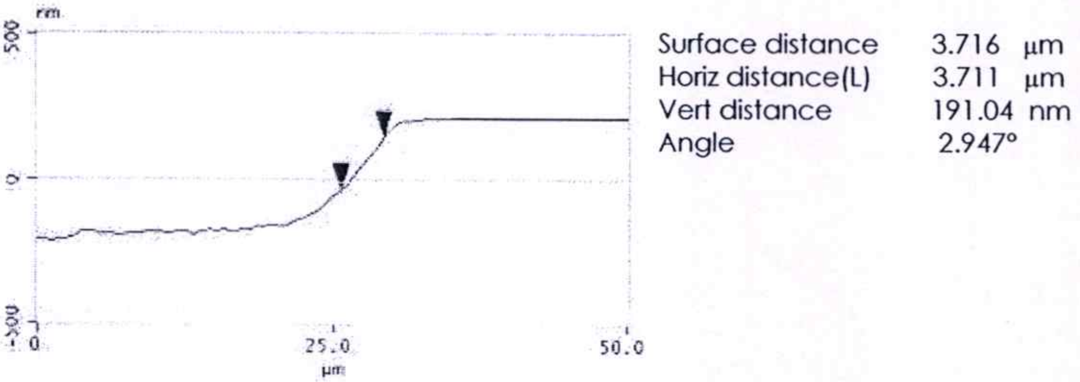

| | |
|---|---|
| Surface distance | 1.766 µm |
| Horiz distance(L) | 1.758 µm |
| Vert distance | 173.38 nm |
| Angle | 5.633° |

(a) มุมสกัด 30 องศา เวลา 10 นาที

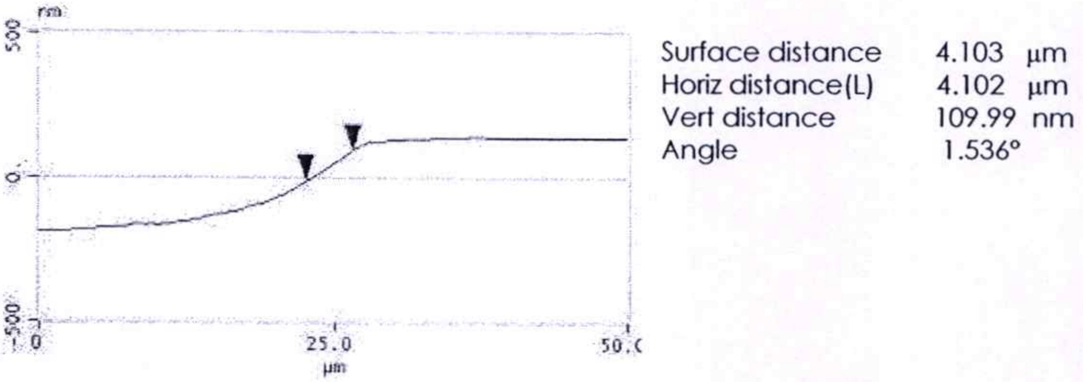
**รูป 5.13** รูป AFM แสดงค่า Wall angle ที่มุมการสกัดและเวลาการสกัดต่างๆ




(b) มุมสกัด 45 องศา เวลา 10 นาที

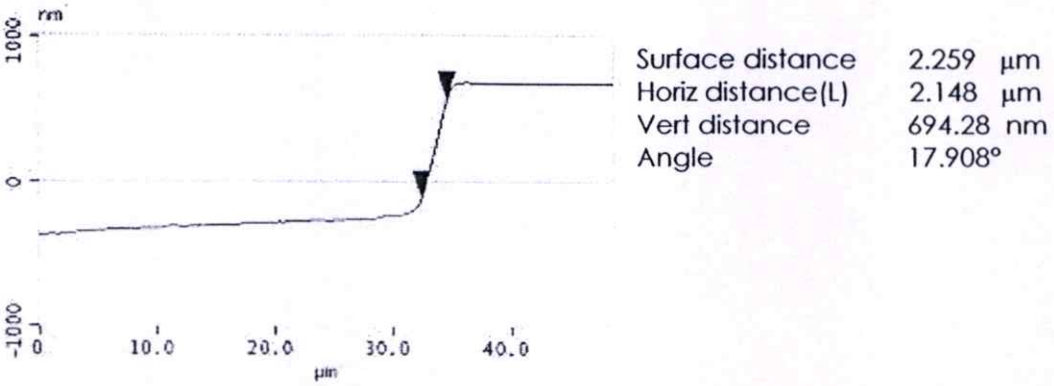



(c) มุมสกัด 55 องศา เวลา 10 นาที

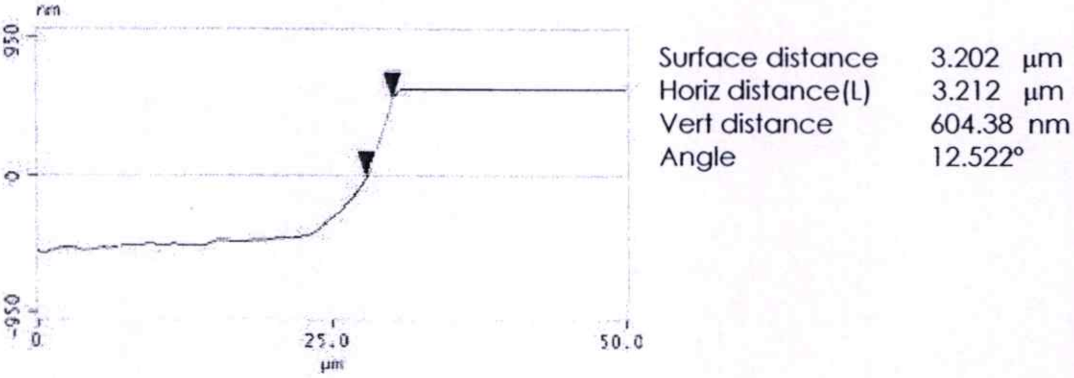



(d) มุมสกัด 65 องศา เวลา 10 นาที

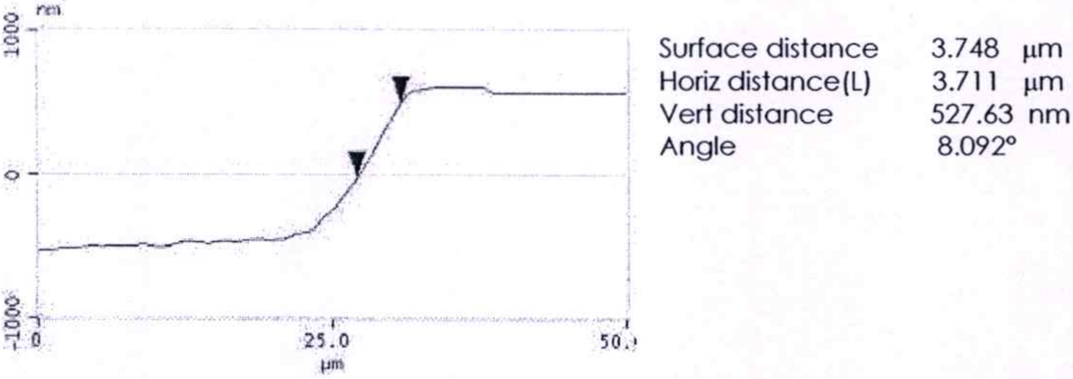
**รูป 5.13 (ต่อ)**




(e) มุมสกัด 30 องศา เวลา 30 นาที

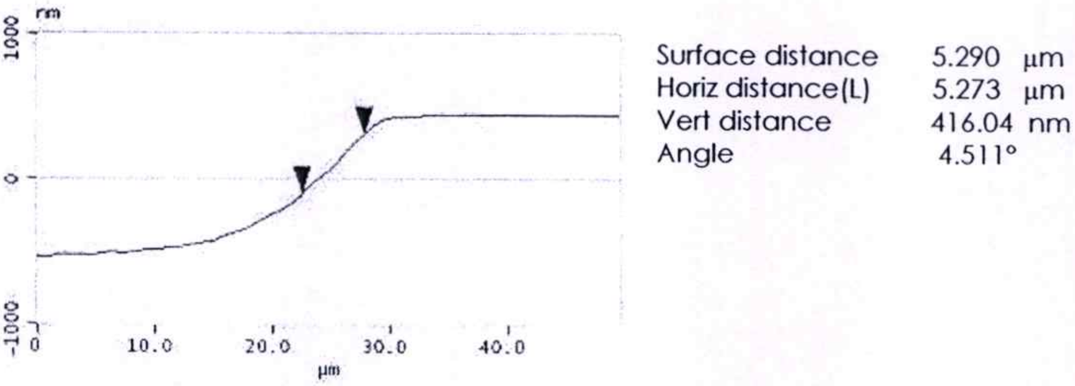



(f) มุมสกัด 45 องศา เวลา 30 นาที



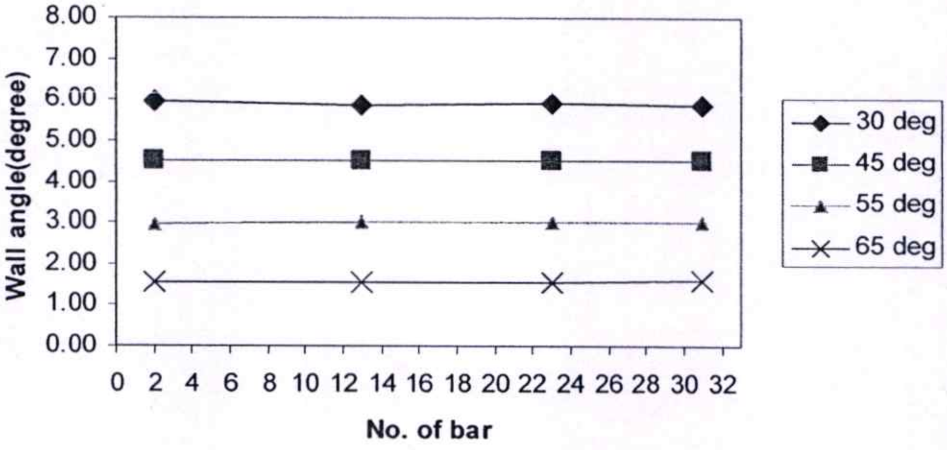

(g) มุมสกัด 55 องศา เวลา 30 นาที

**รูป 5.13 (ต่อ)**

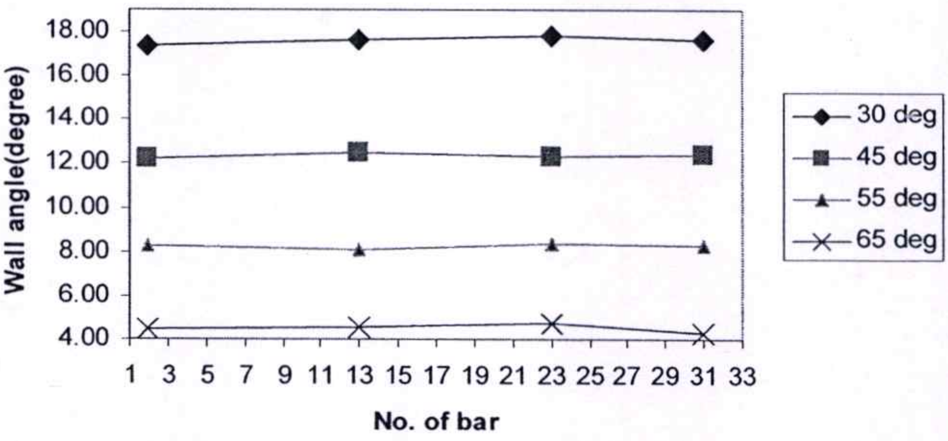



(h) มุมสกัด 65 องศา เวลา 30 นาที

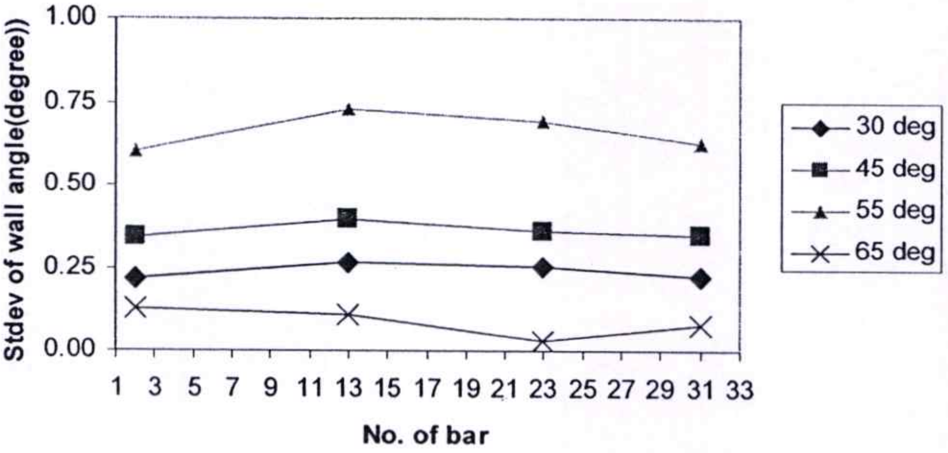
**รูป 5.13 (ต่อ)**



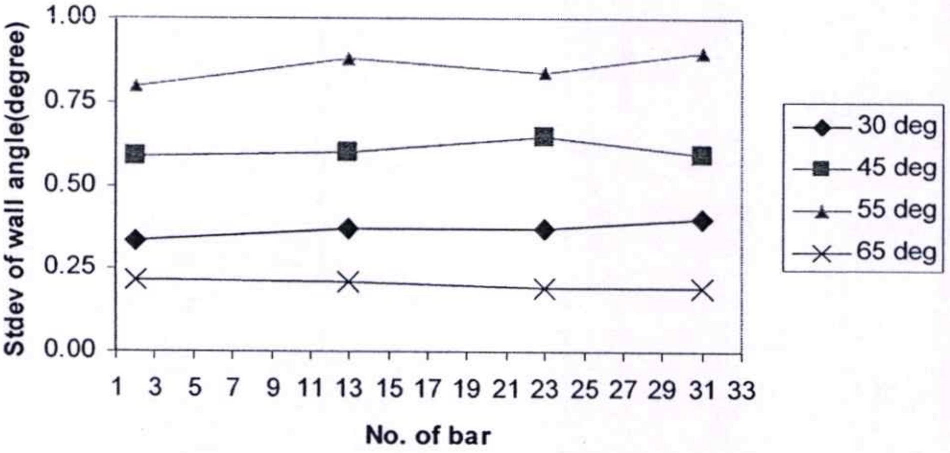

**รูปที่ 5.14** แสดงค่าเฉลี่ยของ Wall angle เมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 10 นาที




**รูปที่ 5.15** แสดงค่าเฉลี่ยของ Wall angle เมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 30 นาที



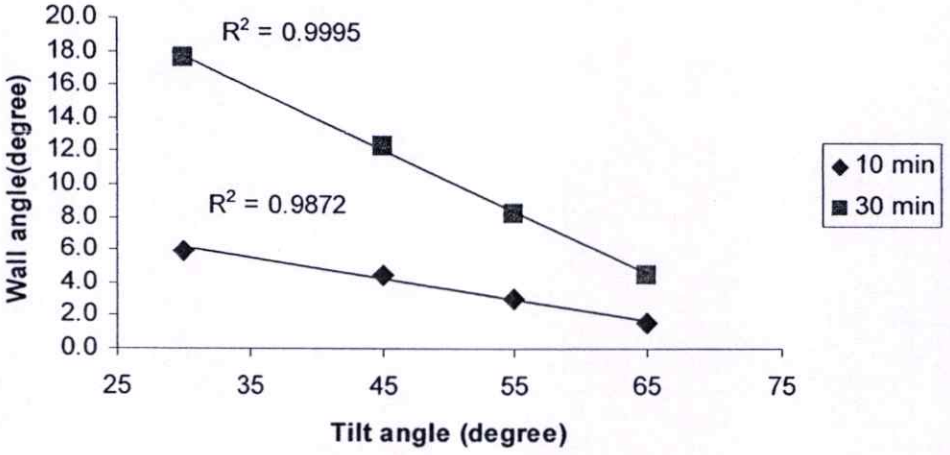

**รูปที่ 5.16** แสดงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของ Wall angle เมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 10 นาที




**รูปที่ 5.17** แสดงค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของ Wall angleเมื่อเทียบในแต่ละ Bar ที่เวลาการสกัด 30 นาที

จากรูปที่ 5.13 แสดงผลของการวัดที่ได้จากเครื่อง AFM พบว่า Wall angle ที่มุม 30 องศามีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับมุมอื่นๆ โดยที่ 10 นาทีค่าเฉลี่ยของ Wall angle อยู่ที่ 5.9 องศาและที่ 30 นาทีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.6 องศา และตรงกันข้าม Wall angle มีค่าน้อยที่สุดที่มุม 65 องศาโดยที่เวลา 10 นาทีอยู่ที่ 1.6 องศาและที่ 30 นาทีอยู่ที่ 4.5 องศา จากรูปที่ 5.14 และ 5.15 แสดงค่าเฉลี่ยของ Wall angle ในแต่ละBarเปรียบเทียบกันพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งที่เวลาการสกัดที่ 10 นาทีและ 30 นาทียกตัวอย่างที่มุม 45 องศาที่เวลา 10 นาที ค่าเฉลี่ยของBarที่ 2 13 23 และ32 อยู่ที่ 4.50 4.49 4.51 และ 4.50 องศา

ตามลำดับ จากผลได้ที่ได้นั้นแสดงถึงความสม่ำเสมอในการสกัดได้เป็นอย่างดี เมื่อนำมาพิจารณาค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของแต่ละBarนำมาเปรียบเทียบใน Tip เดียวกันพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อเทียบกันที่มุมต่างๆ ในตำแหน่งBarเดียวกันพบว่าค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยมีแนวโน้มตามอัตราการสกัด เช่น ที่มุมสกัด 55 องศาที่เวลา 10 นาที จะมีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยที่ตำแหน่งBarที่ 2 เท่ากับ 0.60 มากกว่าที่มุม 45 55 และ 65 องศา ซึ่งเท่ากับ 0.22 0.34 และ 0.13 ตามลำดับ และที่เวล 30 นาทีะมีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยที่ตำแหน่งBarที่ 2 เท่ากับ 0.80 มากกว่าที่มุม 45 55 และ 65 องศา ซึ่งเท่ากับ 0.34 0.59 และ 0.22 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเห็นแนวโน้มของความสม่ำเสมอของค่ามุม Wall angle ที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการสกัด ซึ่งอย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้เป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาคุณภาพของการสกัดเพื่อให้ได้ Wall angle ที่ต้องการต่อไป



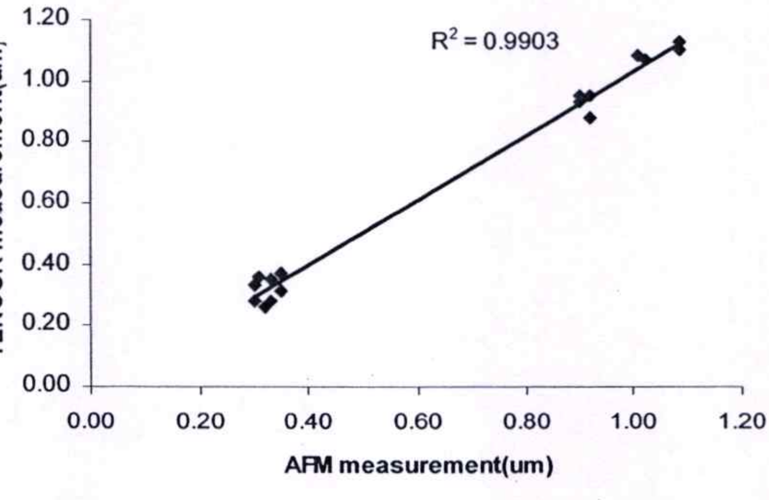

**รูปที่ 5.18** แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมการสกัดกับค่า Wall angle

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของ Wall angle และ มุมของการสกัดมาสร้างกราฟหาความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 5.18 จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นแบบเชิงเส้น โดยใช้ค่า $R^2$ ในการตรวจสอบโดยที่เวลา 10 นาที ค่า $R^2$ จะเท่ากับ 0.9872 และที่เวลา 30 นาที $R^2$ เท่ากับ 0.9995 โดยที่เมื่อมุมของการสกัดมากขึ้นมุมของ Wall angle จะมีค่าลดลง ผลเนื่องจากทิศทางของไอออนที่พุ่งเข้าชนพื้นผิวของวัสดุที่มุมต่างๆ เช่นที่มุมของการสกัดที่ 30 องศามุมของไอออนที่ชนเทียบกับแนวระนาบของพื้นผิววัสดุมีค่าเท่ากับ 90-30 = 60 องศา ซึ่งเมื่อมุมของการสกัดน้อยเท่าไหร่ทิศทางของการชนจะเข้าสู่มุมฉากมากขึ้น ทำให้งานที่ออกมาจากหลังการสกัดมีมุม Wall angle มาก แต่สังเกตุว่างานหลังจากการสกัดที่ใช้เวลาในการสกัดน้อยจะมี Wall angle มีแนวโน้มที่ไม่ใกล้เคียงกับมุมที่ไอออนวิ่งเข้าชนนัก แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดมากขึ้นทำ

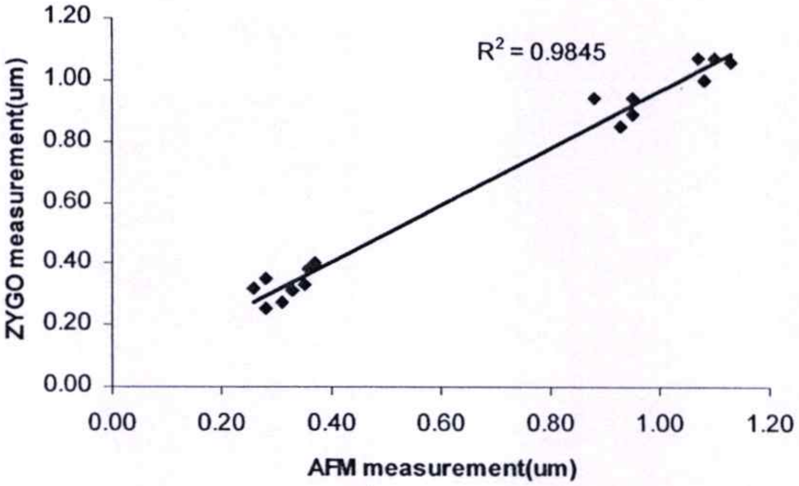
ให้ Wall angle มีค่าสูงขึ้น ซึ่งในนี้ได้ทำการทดลองเพียง 2 เวลาการสกัดซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่ต้องมีการจำกัดเวลาไว้ ทำให้อาจรู้แนวโน้มได้ไม่ชัดเจนนัก แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์นี้ทำให้สามารถกำหนด Wall angle ที่ต้องการโดยการปรับมุมของการสกัด และเวลาของการสกัดได้จากกราฟ ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากความมี anisotropic ของทิศทางในการสกัดเข้ามาเกี่ยวด้วยทำให้การควบคุมมุมที่เกิดขึ้นสามารถทำได้อย่างคงที่ การที่สามารถพยากรณ์มุมที่จะเกิดขึ้นในการสกัดได้จะเป็นผลดีในการออกแบบลวดลายให้มีความซับซ้อนมากขึ้น และจากผลการทดลองยังสามารถเลือกใช้เงื่อนไขของการสกัดได้อย่างถูกต้อง ทำให้งานที่ออกมาหลังจากการสกัดมีรูปแบบที่ออกมามีความใกล้เคียงกับแบบมากที่สุด อย่างไรก็ตามเงื่อนไขของระบบในงานสกัดยังมีอีกหลายเงื่อนไขด้วยกัน ซึ่งต้องมีการปรับเปลี่ยนให้มีความเหมาะสมกับวัสดุที่จะนำมาสกัดด้วย

## 5.5 การศึกษาถึง Correlation ของเครื่องมือที่ใช้ในงานวัด

ในงานทดลองนี้ได้ใช้เครื่องมือในงานวัดที่เป็น เครื่อง TENCOR profiler และ AFM และเครื่อง Interferrometer รุ่น Zygo ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถวัดความหนาของวัสดุได้เหมือนกัน ดังนั้นเพื่อการทดสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดจึงเอาข้อมูลความหนาหลังจากการสกัดของวัสดุชนิด AlTiC ที่ได้จากการวัดทั้ง 3 เครื่องที่ ณ ตำแหน่งของ Slider เดียวกันโดยการเลือก Slider 2 ตัวจากแต่ละ Tip เป็นจำนวนรวม 16 Slider หลังจากนั้นนำมาสร้าง correlation ระหว่างเครื่อง TENCOR กับ AFM และ Zygo กับ AFM ซึ่งที่ต้องเปรียบเทียบกับ AFM เพราะว่า AFM มีความแม่นยำและละเอียดกว่าเครื่องมืออื่นๆ




**รูปที่ 5.19** แสดง Correlation ระหว่างการวัดด้วยเครื่อง TENCOR และ AFM




**รูปที่ 5.20** แสดง Correlation ระหว่างการวัดด้วยเครื่อง Zygo และ AFM

จากรูปที่ 5.19 แสดง correlation ระหว่างการวัดด้วยเครื่อง TENCOR และ AFM บน 16 Slider พบว่าค่า $R^2$ เท่ากับ 0.9903 ซึ่งใกล้เคียง 1 มาก แสดงถึงการวัดด้วยเครื่องมือ 2 ชนิดนี้ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน และจากรูปที่ 5.20 แสดง correlation ระหว่างการวัดด้วยเครื่อง Zygo และ AFM พบว่าค่า $R^2$ เท่ากับ 0.9845 ซึ่งใกล้เคียงน้อยกว่า Correlation ระหว่าง TENCOR และ AFM แต่ไม่ได้หมายความว่าเครื่อง Zygo จะวัดได้ไม่ดีเท่าเครื่อง TENCOR เพราะอาจจะมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการวัด แต่ค่า $R^2$ ที่แสดงออกมาแสดงถึงค่าที่วัดได้ค่อนข้างมีความถูกต้อง แต่โดยรวมแล้วทั้ง 3 เครื่องวัดสามารถใช้ทดแทนกันได้ในการตรวจสอบความหนา แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาว่าจะต้องใช้เครื่องใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับงานที่วัดเนื่องจาก TENCOR วัดได้รวดเร็ว และวัดได้ทุกสภาพพื้นผิวแต่จะวัดได้ความละเอียดในระดับหนึ่งเท่านั้น ส่วน Zygo ซึ่งเป็น Interferrometer เหมาะสมกับการศึกษาความขรุขระและวัดความหนาได้แต่วัดความหนาของฟิล์มโพลีเมอร์ไม่ได้ ส่วน AFM วัดได้แม่นยำและละเอียดที่สุดแต่ใช้เวลาในการวัดค่อนข้างนานและมีปัญหาเกี่ยวกับการวัดความหนาของฟิล์มโพลิเมอร์เช่นเดียวกัน ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสมจะทำให้การวัดได้ผลออกมาอย่างถูกต้องและรวดเร็ว

# บทที่ 6
# สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะของพื้นผิวที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัดด้วยเทคนิคไอออนบีม ซึ่งเป็นการศึกษาถึงอัตราการสกัด ความขรุขระของพื้นผิว และ wall angle ของพื้นผิวหลังจากทำการสกัดด้วยเทคนิคไอออนบีม โดยเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของเวลาและมุมการสกัด ในการศึกษาครั้งนี้ได้กระทำในสายการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิกส์ การสกัดเพื่อสร้างลวดลายนั้นจะกระทำบนส่วนของหัวอ่านเขียนที่เรียกว่า Slider บน Slider จะมีด้านด้านหนึ่งที่เรียกว่า ABS ที่ใช้สำหรับการสร้างลวดลาย การสร้างลวดลายนั้นจะอยู่บนพื้นฐานของกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีหลังจากกระบวนการสกัด Slider ได้ถูกนำมาตรวจสอบหาอัตราการสกัดของวัสดุที่เป็น AlTiC พบว่ามุมสกัดที่ 55 องศาจะมีอัตราการสกัดสูงกว่ามุมอื่นๆที่สกัด (45 55 และ 65องศา) และ มุมสกัดที่ 65 องศาจะสกัดโฟโตลิซิสออกไปได้สู งกว่ามุมอื่นๆที่ทำการสกัด เนื่องจากการสกัดแบบไอออนบีมอาศัยการชนของไอออนของก๊าซกับผิววัสดุซึ่งเป็นการชนทางกายภาพ ดังนั้นอัตราการสกัดจะขึ้นอยู่กับมุมของการชน มุมไหนที่สกัดออกไปได้ง่ายหมายถึงไอออนของก๊าซไปชนจุดที่เป็นส่วนที่อ่อนแอของโครงสร้างโมเลกุลหรือสารประกอบ วัสดุแต่ละชนิดมีโครงสร้างไม่เหมือนกันฉะนั้นกราฟลักษณะของการสกัดที่มุมต่างๆ จึงไม่เหมือนกัน เมื่อพิจารณาถึง selectivity ของการสกัดพบว่าที่มุม 55 องศาเป็นมุมที่มี selectivity ของการสกัดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับมุมสกัดอื่นดังนั้นในการเลือกใช้มุมในการสกัดที่ 55 องศาจะสามารถกำหนดความหนาของโฟโตลิซิสให้มีความบางมากกว่าการสกัดที่มุมอื่นๆ ซึ่งเป็นผลดีในการลด shadow effect ในการสกัด

เมื่อพิจารณาถึงค่าความขรุขระที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัดพบว่าความขรุขระจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการสกัดโดยที่เวลาการสกัด 30 นาทีค่าความขรุขระจะมากกว่าเวลาสกัด 10 นาทีในทุกๆมุมการสกัด โดยที่มุม 55 องศามีค่าความขรุขระมากที่สุดเมื่อเทียบกับมุมอื่นๆ แนวโน้มของค่าความขรุขะที่เกิดชึ้นบนพื้นผิวจะเป็นไปในแนวทางเดียวกับอัตราการสกัดคือเมื่ออัตราการสกัดมากขึ้นค่าความขรุขระจะเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโครงสร้างของ AlTiC ซึ่งประกอบไปด้วยวัสดุ 2 ชนิดได้แก่อลูมิเนียมออกไซด์และไททาเนียมคาร์ไบด์ ขณะทำการสกัดมุมในการสกัดจะมีผลต่อวัสดุทั้งสองชนิดเกิด selectivity ในการสกัดของวัสดุทั้งสองชนิดนี้ ดังนั้นเมื่ออัตราการสกัดมากขึ้นจึงมีโอกาสที่ selectivity ของการสกัดจะมีมากขึ้นตาม ซึ่งในที่นี้เมื่อพิจารณาความสม่ำเสมอที่เกิดขึ้นบนแต่ละBarใน tip พบว่าค่าเฉลี่ยของความขรุขระและค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยมีค่าน้อย ซึ่งแสดงถึงความสม่ำเสมอในการสกัด

แบบไอออนบีมได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามค่าความขรุขระที่เกิดขึ้นยังอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้คือไม่มากจนมีผลต่อการบินบนจานแม่เหล็ก

เมื่อพิจารณาถึง wall angle ของการสกัดในแต่ละมุมพบว่ามุมของการสกัดมากขึ้นค่า wall angle จะลดลง เนื่องจากเพิ่มมุมของกรสกัดทิศทางของไอออนก๊าซที่พุ่งชนจะไปในแนวขนานกับพื้นผิววัสดุมากขึ้นดังนั้น wall ที่เกิดขึ้นจึงมีแนวโน้มที่จะลาดเอียงเป็นมุมน้อยๆ และเมื่อพิจารณาถึงเวลาในการสกัด ค่า wall angle จะมากขึ้นในทุกๆมุมการสกัดเมื่อเพิ่มเวลาการสกัดขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อเพิ่มเวลาการสกัดพื้นผิวจะถูกสกัดออกไปได้มากขึ้นทำให้ความลาดเอียงของพื้นผิวมีมากขึ้น เมื่อสร้างกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการสกัดและ wall angle พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้นตรง ดังนั้นจึงสามารถที่จะทำนาย wall angle ที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนมุมการสกัดที่มุมใดๆ ได้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ศึกษาและพัฒนากระบวนการสกัดต่อๆไป

# บรรณานุกรม


[1] **Basic of hard-disk drive**, Lertsak Lekawat.Ph.D.,Asian Institute of Teachnology, Bangkok Thailand. 2005.

[2] สมเกียรติ ปรารภ. 2549. "การควบคุมคุณสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็กของMR Head Hard-disk Drive. "วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[3] Larry F. Thomson, C.Grant Willson, Murrae J. Bowden. **Introduction to Microlithography**. Washington DC : ACS Profeesional Referrence Book. 1994.

[4] พรศักดิ์ อรรถวานิช. **วัสดุศาสตร์.** พระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2536.

[5] S.M.Sze. **Semiconductor Devices Physics and Technology**. New Jersey : John Wiley & Sons,Inc. 1985.

[6] Charles Kittel. **Introduction to Solid State Physics.** 6th ed. New York : John Wiley & Sons,Inc. 1986.

[7] J.C. Anderson, K.D. Leaver, R.D. Rawlings and J.M. Alexander. **Materials Science**. 4th ed. London : Chapman & Hall. 1994.

[8] L. Houlet ,A. Rhallabi and G. Turban. 1999. "Simulation of Mesa Structures for III-V Semiconductors under Ion Beam Etching." **Eur. Phys.J.** 6 : 273-280.

[9] K.William, A. Hayes, D. Kleinberg, and J. Londono. 1998. "New data storage solution utilizing reactive ion Beam etching with an RF inductively coupled plasma source." **Datatech**. 7(28) :114-119.

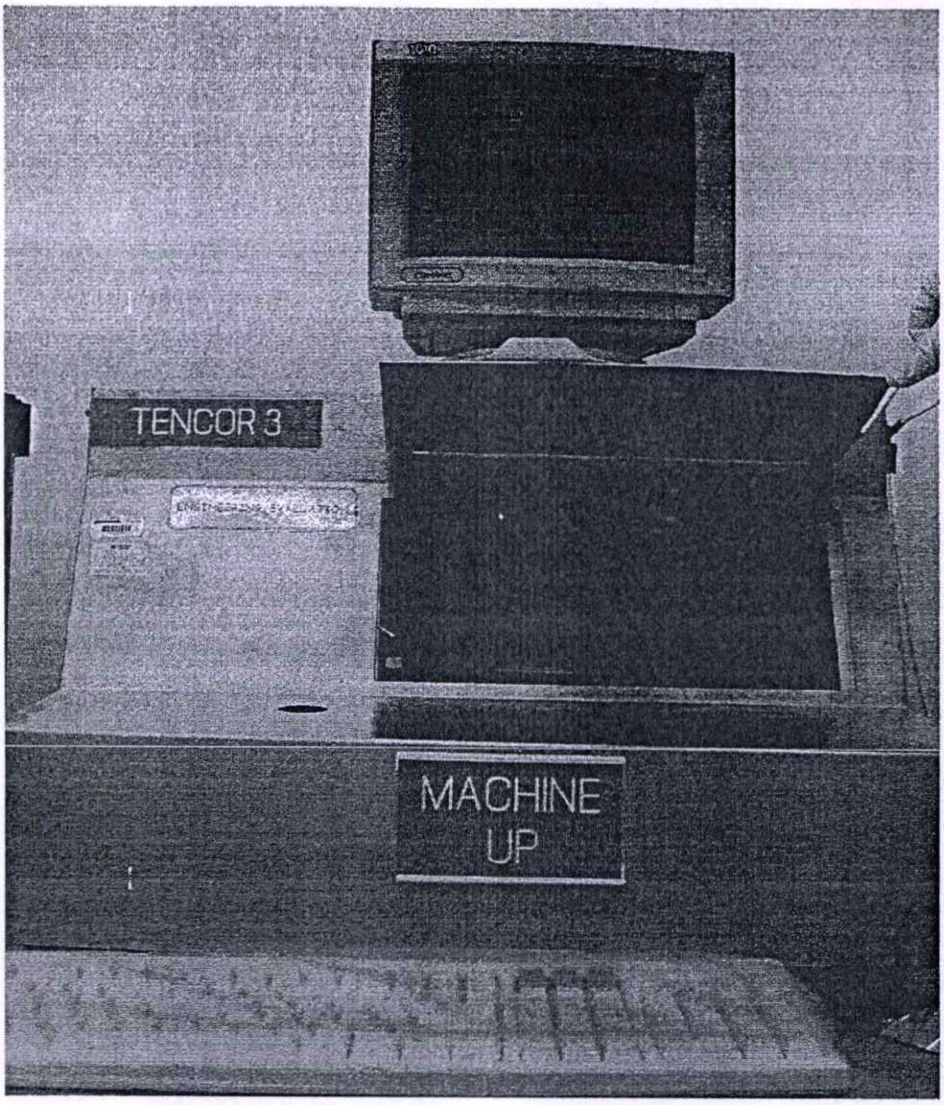
[10] L.D. Bollinger and R. Fink. "A new production technique: ion milling" **Solid State Technology** Nov. 1980.

[11] A. Hayes, J.Weldon, E.Osten and R. Gambino. "Ion milling for thin film head fabrication." **Data Storage** 2 : 1995.

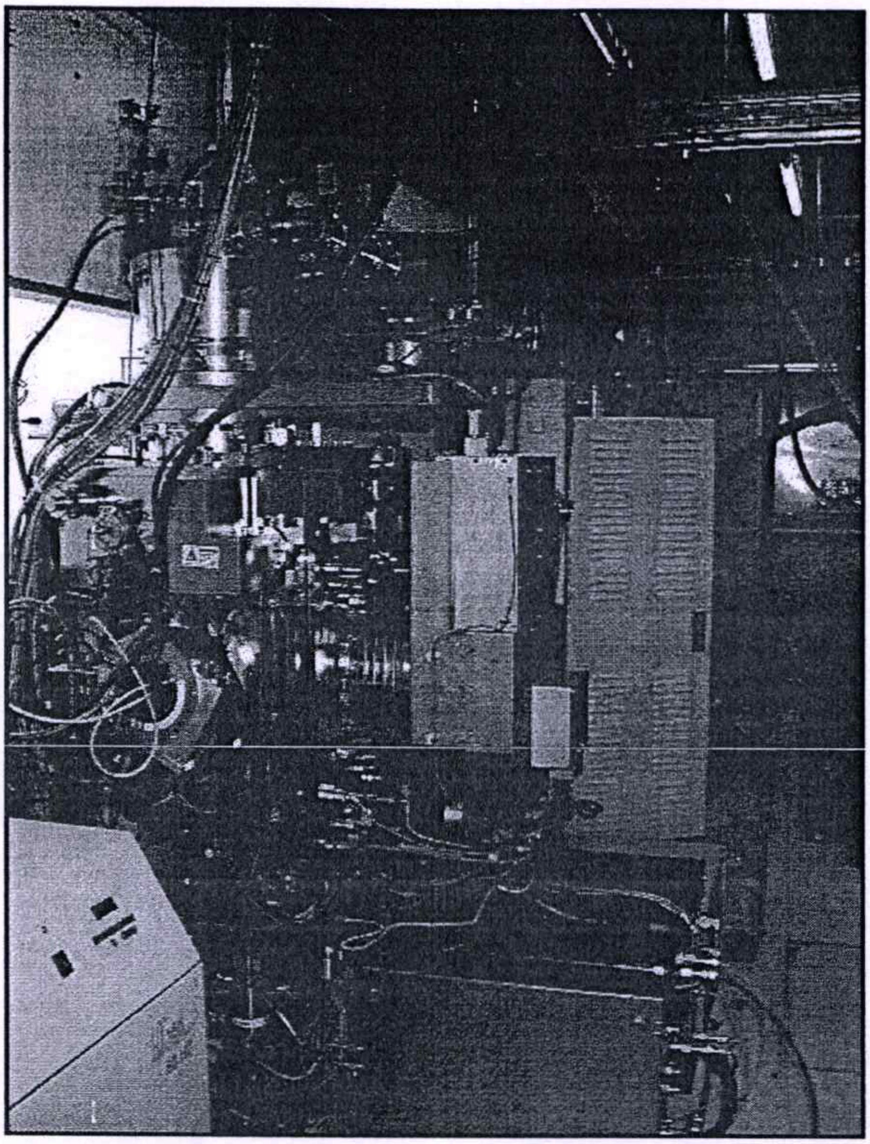
[12] อภิชาต แก้วเจริญ, นรินทร์ กาบบัวทอง และ วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง. 2548. " การศึกษาคุณลักษณะของพื้นผิว ของหัวอ่านเขียนหลังจากการสกัดโดยใช้เทคนิคลำไอออนแบบสถิต", **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28** ภูเก็ต : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

# ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก.




**รูปที่ ก-1** เครื่อง TENCOR รุ่น P-12 สำหรับวัดความหนาของฟิล์มและวัดความเรียบของวัสดุติดตั้งประจำอยู่ที่ Western Digital Bang pa-in

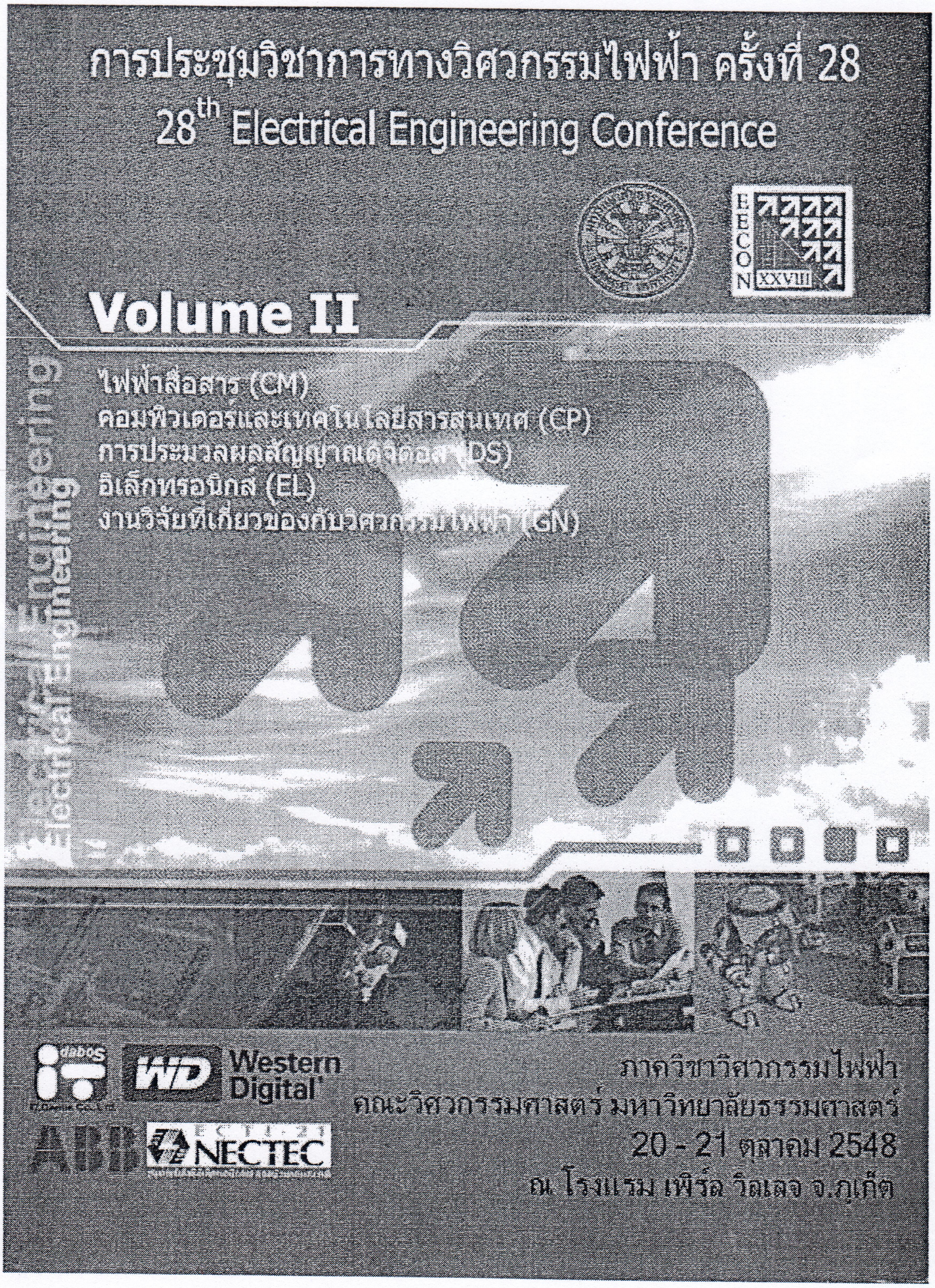


**รูปที่ ก-2** ด้านหลังของเครื่อง Ion beam etching รุ่น 350s ของบริษัท Veeco ติดตั้งประจำอยู่ที่ Western Digital Bang pa-in

# ภาคผนวก ข.

## ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. อภิชาต แก้วเจริญ, นรินทร์ กาบบัวทอง และ วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง " การศึกษาคุณลักษณะของพื้นผิวของหัวอ่านเขียนหลังจากการสกัดโดยใช้เทคนิคลำไอออนแบบสถิต", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (EECON-28) ณ โรงแรม เพิร์ล วิลเลจ จ. ภูเก็ต จัดโดย ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ , 20-21 ตุลาคม 2548, หน้า 1213 - 1216.



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28
28th Electrical Engineering Conference
EECON XXVIII
Volume II
ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DS)
อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
งานวิจัยที่เกี่ยวของกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)
Electrical Engineering
Western Digital
ABB
NECTEC
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
20 - 21 ตุลาคม 2548
ณ โรงแรม เพิร์ล วิลเลจ จ.ภูเก็ต

# การศึกษาคุณลักษณะของพื้นผิวของหัวอ่านเขียนหลังจากการสกัดโดยใช้เทคนิคลำไอออนแบบสถิต

## The Study of Recording Head Topography after Etching by Using Static Ion Beam Etching Technique

อภิชาต แก้วเจริญ[1] นรินทร์ กาบบัวทอง[2] และ วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง[1]
[1] ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพ 10520
โทร. (02) 7392385 Email: s7061209@kmitl.ac.th
[2] บริษัท เวสเทิร์นดิจิตอล(บางปะอิน) จำกัด

**บทคัดย่อ**

ในบทความนี้ ได้นำเสนอการศึกษาคุณลักษณะที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการสกัดแบบแห้ง (dry etching) โดยใช้วิธีการสกัดแบบใช้ลำไอออน (ion beam etching) แบบสถิต บนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการสกัดวัสดุชนิด AlTiC ณ ที่มุม 55 องศาจะมีอัตราการสกัดสูงกว่ามุมอื่นๆ และสำหรับน้ำยาไวแสง ที่มุม 65 องศาจะมีอัตราการสกัดสูงกว่ามุมอื่นๆ แต่เมื่อพิจารณาถึงค่า selectivity ของการสกัดพบว่าที่มุม 55 องศาจะมีค่าเหมาะสมกว่ามุมอื่นๆ ในแง่ของอัตราส่วนการสูญเสียของฟิล์มบางที่เป็นวัสดุไวแสงต่อพื้นผิว AlTiC จะมีค่าน้อยที่สุด นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อเวลาในการสกัดต่างกันในขณะที่มุมที่ทำการศึกษาคงที่ ค่า roughness และความลาดชันของพื้นผิวของชิ้นงานจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งข้อมูลในการศึกษาทั้งหมดนี้จะเป็นข้อมูลที่สำคัญที่ใช้การพัฒนากระบวนการสกัดในระดับต่อๆไป

คำสำคัญ : การสกัดแบบใช้ลำไอออน

**Abstract**

This paper studies the physical properties of recording heads after dry etching process using static ion beam etching. From the experiment, it was found that the highest etch rate of AlTiC is achieved at 55 degree tilted angle. While the highest etch rate of photoresist is obtained at 65 degree tilted angle . As for this study, etching process at 55 degree tilted angle is considered to be the most suitable condition due to the lowest etch selectivity (ratio of PR/AlTiC). Furthermore, at fixed angle, roughness and etched slope of samples are increased with increasing of time. Based on the obtained data, it could be quite useful for further process development.

Keyword : ion beam etching

## 1. คำนำ

ในปัจจุบันเทคนิคการสกัดแบบใช้ลำไอออนได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการไมโครอิเล็กทรอนิกส์ทั้งส่วนที่เป็นงานวิจัยและในโรงงานอุตสาหกรรม ในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมการประกอบหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพื่อส่งออกเป็นรายใหญ่เป็นอันดับ 2 ของโลก[1] ซึ่งปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาหัวอ่านให้สามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้นแต่ขนาดของหัวอ่านมีขนาดเล็กลง

เนื่องจากแนวโน้มหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์มีขนาดเล็กลงและการใช้เทคโนโลยีของฟิล์มบางที่เป็นแบบแมกนีโตรีซิสแตนท์ (Magnetoresistive film) ซึ่งเป็นตัวผลักดันให้ต้องใช้เทคโนโลยีในการสกัดที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเพื่อให้ได้ลวดลายหลังการสกัดมีค่าขนาดวิกฤติ (critical dimension) ไม่เกินที่กำหนดไว้ได้ ซึ่งลวดลายที่ออกมาหลังจากการสกัดจะมีผลต่อการบินของหัวอ่านบนจานแม่เหล็ก ซึ่งข้อดีของเทคนิคของการสกัดแบบใช้ลำไอออน คือวัสดุที่จะถูกสกัดแยกส่วนจากแหล่งกำเนิดพลาสมาทำให้สามารถปรับปรุงเงื่อนไขของการสกัดและเงื่อนไขของแหล่งกำเนิดพลาสมาได้อย่างอิสระ และยังเป็นระบบที่ใช้ความดันต่ำ[2] ทำให้การถ่ายทอดพลังงานจากไอออนไปยังวัสดุฐานรองเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการนี้ใช้ก๊าซอาร์กอนเป็นแหล่งกำเนิดไอออน ซึ่งเป็นกระบวนการสกัดทางกายภาพส่งผลให้ความแตกต่างของอัตราการสกัดระหว่าง $Al_2O_3$ และ TiC มีค่าน้อยกว่า[3] เมื่อเปรียบเทียบกับการสกัดแบบเคมี (RIE) ที่ใช้ $CF_4$ เป็นสารสกัด

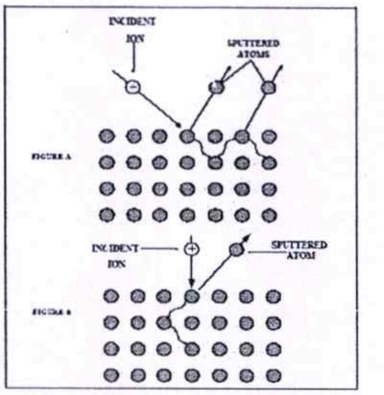
วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อทำการศึกษาคุณลักษณะของพื้นผิวที่เกิดขึ้นหลังจากการสกัดแบบใช้ลำไอออนแบบสถิตซึ่งจะไม่มีการหมุนของวัสดุขณะการสกัด ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่อัตราการสกัดทั้งในส่วนที่เป็นวัสดุที่เป็นฐานรองเซรามิกชนิด AlTiC ,วัสดุที่เป็นฟิล์มบางของน้ำยาไวแสง และค่า roughness รวมทั้งลักษณะพื้นผิวที่เกิดขึ้นหลังการสกัด ซึ่งในที่นี้เงื่อนไขที่ได้ทำการทดลองได้แก่มุมของการสกัดที่ค่าต่างๆและเวลาของการสกัดที่ระยะเวลาต่างๆกัน

EL036

## 2. ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 ทฤษฎีของการสกัด

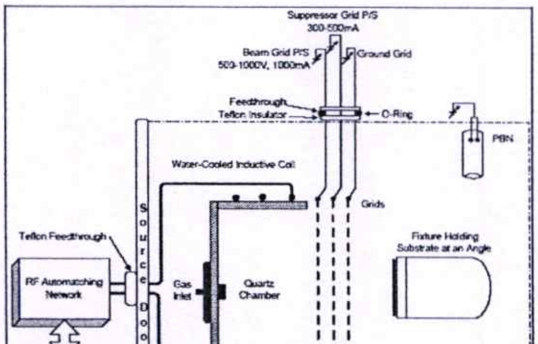
ในกระบวนการสกัดแบบแห้งจะเป็นการสกัดวัสดุในส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้ไอออนของก๊าซ ซึ่งไอออนที่ใช้จะผลิตมาจากส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดพลาสมาแล้วถูกสนามไฟฟ้าเร่งไปชนที่บริเวณผิวของวัสดุ เกิดการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมวัสดุ ทำให้อะตอมของวัสดุหลุดออกมาซึ่งอัตราการสกัดนั้นจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหลายอย่างเช่น ความเร็วของไอออน ,ความหนาแน่นของไอออน ,มุมที่ใช้ และชนิดของวัสดุ[3] เป็นต้น




รูปที่ 1 ทฤษฎีของการสกัด[3]

### 2.2 หลักการทำงานของเครื่องสกัด

จากรูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบเบื้องต้นของเครื่องสกัดแบบใช้ลำไอออนซึ่งจะเห็นได้ว่าส่วนของแหล่งกำเนิดพลาสมาจะแยกส่วนกับวัสดุที่จะถูกสกัด




รูปที่ 2 ส่วนประกอบเบื้องต้นของเรื่องสกัดแบบใช้ลำไอออน[3]

การทำงานของเครื่องสกัดเริ่มจากการดูดอากาศออกจากส่วนของแชมเบอร์ซึ่งทำจากควอตซ์จนได้ความดันที่ต้องการ หลังจากนั้นก๊าซอาร์กอนจะถูกปล่อยออกมายังแชมเบอร์ จนความดันในส่วนของแชมเบอร์ที่เป็นแหล่งกำเนิดพลาสมาถึงจุดๆหนึ่ง ต่อมาส่วนที่เป็นขดลวด RF ที่พันอยู่รอบๆแชมเบอร์ เริ่มทำงานซึ่งจะเป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดการชนกันของก๊าซอาร์กอนเพื่อให้ได้ไอออนที่แตกตัวออกมาได้มากที่สุด ซึ่งมุมในการสกัดจะกำหนดที่ตัว Fixture ให้เอียงตามที่ต้องการ

ต่อมาส่วนที่เป็น Plasma Bridge Neutralizer (PBN) จะเริ่มทำงานซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนออกมา หลังจากนั้นส่วนของ beam grid จะเริ่มทำงานเพื่อดึงดูดอิเล็กตรอนที่ผลิตจาก PBN เข้าสู่แชมเบอร์ควอร์ตสำหรับการผลิตพลาสมาจนกระทั่งได้ความหนาแน่นของพลาสมาที่ต้องการแล้ว กระบวนการยิงลำไอออนจะเริ่มขึ้น ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายพลังงานให้กับ suppressor grid และ beam grid ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าทำให้สามารถแยกไอออนบวกและเร่งไอออนบวกออกมาจากส่วนที่เป็นพลาสมาผ่านส่วนที่เป็น gridไปยังเป้า ซึ่งพลังงานในการชนนั้นสามารถควบคุมโดย beam voltage นอกจากนี้ส่วนของ PBN ยังมีบทบาทในการดุลประจุที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานเพื่อไม่ให้มีปริมาณของประจุบวกมากจนเกินไป[3]

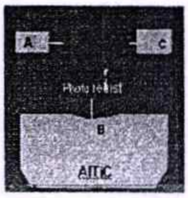
## 3. การทดลอง

ในการทดลองเพื่อหาคุณลักษณะหลังจากการสกัด ได้ทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาโดยเฉพาะ โดยแบ่งเป็น 6 กลุ่ม ในแต่ละกลุ่มจะมีจำนวนของชิ้นงานตัวอย่าง ดังรูปที่ 3 จำนวน 80 ตัว

ตารางที่ 1 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง

| กลุ่ม | เวลา (นาที) | มุมการสกัด (องศา) |
|---|---|---|
| 1 | 10 | 30 |
| 2 | 10 | 55 |
| 3 | 10 | 65 |
| 4 | 30 | 30 |
| 5 | 30 | 55 |
| 6 | 30 | 65 |

ในขั้นตอนแรกแต่ละกลุ่มจะนำไปเคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก โดยใช้วิธี spin coating หลังจากผ่านกระบวนการฉายแสงและลอกฟิล์มส่วนที่ไม่ต้องการออกแล้ว นำหัวอ่านเขียนไปวัดความหนาของน้ำยาไวแสงก่อนการสกัด โดยใช้เครื่อง Profiler จากนั้นนำตัวอย่างแต่ละกลุ่มมาผ่านกระบวนการการสกัดโดยใช้เงื่อนไขตามตารางที่ 1 ซึ่งเหตุที่ใช้มุมของการสกัดเพียง 3 มุม เพื่อเป็นการขยายขอบเขตของการทดลองให้กว้างขึ้น และยังเป็นการสังเกตแนวโน้มก่อนใช้ในงานผลิตจริง



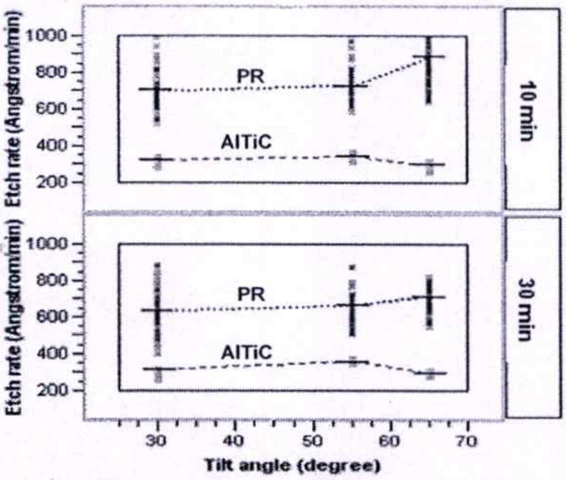

รูปที่ 3 ตำแหน่งของการวัดบนชิ้นงาน

ซึ่งต่อมาจะนำหัวอ่านเขียนในแต่ละกลุ่มมาวัดความหนาหลังสกัดโดยใช้เครื่อง Profiler ก่อนที่จะนำหัวอ่านเขียนทุกกลุ่มเข้าสู่กระบวนการลอกน้ำยาไวแสงออกทั้งหมด แล้วนำมาวัดความหนาด้วยเครื่อง Profiler อีกครั้งซึ่งการวัดครั้งสุดท้ายนี้เป็นการวัดความหนาของ AlTiC ที่ถูกสกัดไป จากนั้นนำไปวัดค่า roughness หลังการสกัดโดยใช้เครื่องวัด Interferometer ซึ่งเป็นเครื่องวัดโดยใช้หลักการแทรกสอดของแสง รวมทั้งตรวจสอบสภาพของพื้นผิวด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope (AFM)

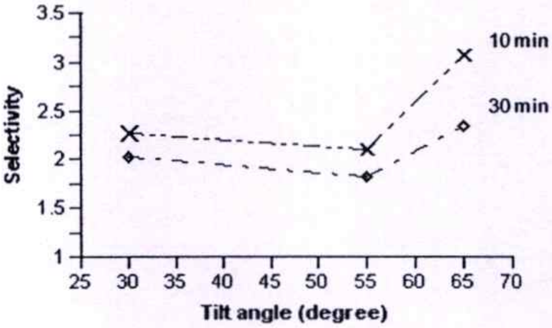
## 4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในขั้นต้นเมื่อทำการวัดความหนาของ น้ำยาไวแสง ก่อนการสกัดในทุกๆกลุ่มจะอยู่ในช่วง 6-10 ไมครอน และพบว่าในแต่ละกลุ่มบริเวณตรงกลางจะมีความหนามากกว่าบริเวณขอบ อันเนื่องมาจากธรรมชาติของกระบวนการ spin coating ซึ่งมีแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนของฐานและแรงเฉือนที่เกิดจากการไหลของของเหลว[4] โดยกำหนดความหนาของน้ำยาไวแสงหลังทำการ spin coating ที่ใช้การศึกษานี้ให้เป็นตัวแปรคงที่

ต่อมาสามารถหาความหนาของน้ำยาไวแสงที่ถูกสกัดออกไปโดยคำนวณหลังจากการลอกน้ำยาไวแสงออก จากนั้นมาคำนวณอัตราการสกัดของวัสดุ AlTiC และน้ำยาไวแสง ที่สูญเสียไป ณ ที่มุมและเวลา




รูปที่ 4 อัตราการสกัดของ AlTiC และน้ำยาไวแสงที่มุมและเวลาต่างๆ

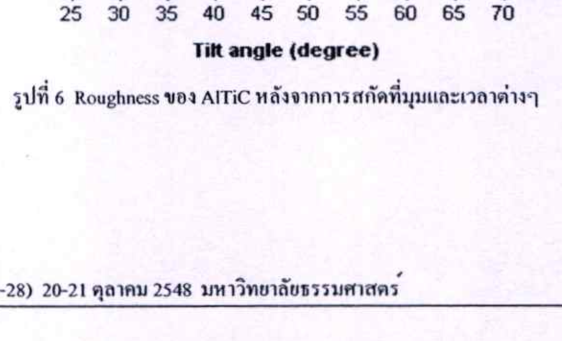



รูปที่ 5 ค่า selectivity ที่มุมและเวลาต่างๆ

ต่างๆ และหลังจากนั้นสามารถหาค่า selectivity ของการสกัดซึ่งเป็นอัตราส่วนการสูญเสียของวัสดุต่างชนิดกัน เมื่อนำมาสกัดที่ภายใต้สภาวะเดียวกัน ซึ่งในที่นี้เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำยาไวแสงต่อวัสดุชนิด AlTiC

จากรูปที่ 4 อัตราการสกัดทั้ง AlTiC และน้ำยาไวแสง พบว่า ณ ที่มุมที่ทำการทดลองมุมต่างๆอัตราการสกัดจะมีค่าต่างๆกัน สำหรับ AlTiC อัตราการสกัดจะสูงที่สุดที่ 55 องศา ในขณะที่อัตราการสกัดของน้ำยาไวแสงจะสูงที่สุดที่ 65 องศา เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาหาค่า selectivity ของการสกัด จากรูปที่ 5 พบว่าที่มุม 55 องศาค่า selectivity ของการสกัดมีค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดเมื่อเทียบกับมุมอื่นๆ เพราะอัตราการสูญเสียของน้ำยาไวแสง มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับ AlTiC ซึ่งจะทำให้การกำหนดความหนาของน้ำยาไวแสงสามารถทำได้บางขึ้นซึ่งจะส่งผลให้การเกิดปรากฏการณ์เงา ( shadow effect ) น้อยลง ทำให้ภาพที่ถูกพิมพ์ลงวัสดุฐานรองจะมีความคมชัดมากขึ้น ในส่วนเวลาของการสกัดพบว่าในส่วนของ AlTiC อัตราการสกัดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในทุกๆมุม แต่เมื่อเทียบกับน้ำยาไวแสง พบว่าอัตราการสกัดมีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการสกัดและเวลาจะต้องทำการศึกษาต่อไป

ในส่วนของค่า roughness พบว่าโดยรวมแล้วยังมีค่าน้อยซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อการวัดความลึกด้วยเทคนิคการแทรกสอดแต่อย่างใด

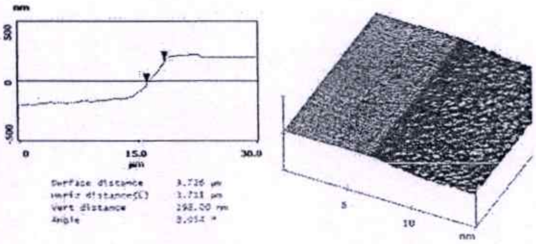



รูปที่ 6 Roughness ของ AlTiC หลังจากการสกัดที่มุมและเวลาต่างๆ

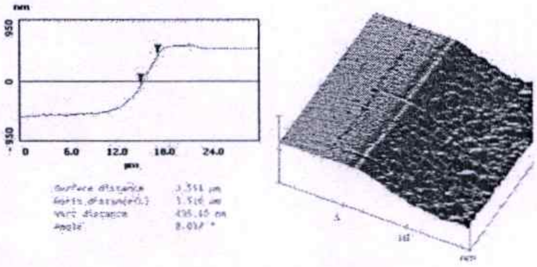
EL036

ซึ่งเมื่อเวลาเท่ากันที่มุมต่างกัน มุมขนาด 55 องศาจะมีค่า roughness มากที่สุดรองลงมาได้แก่มุม 30 และ 65 ตามลำดับ ในการศึกษายังพบว่าค่า roughness จะแปรผันกับเวลา โดยเมื่อเพิ่มเวลาการสกัดพบว่าค่า roughness มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นซึ่งสามารถสังเกตได้จากภาพ AFM

รูปภาพที่ 7 และ 8 แสดงสภาพความขรุขระของพื้นผิวของชิ้นงานหลังจากการสกัด โดยใช้เครื่อง AFM ตรวจสอบตรงบริเวณรอยต่อของพื้นผิวที่ถูกปกป้องโดยน้ำยาไวแสงและส่วนที่ถูกสกัด โดยในที่นี้ยกตัวอย่างที่มุม 55 องศาที่เวลา 10 นาทีและ 30 นาที จากรูปได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดมากขึ้นค่า roughness จะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเกิด etch selectivity บนพื้นผิวของ AlTiC เอง[3] นอกจากนั้นยังพบว่าค่าความลาดชันเมื่อใช้มุมในการสกัดเท่ากัน ณ เวลาต่างกัน จะให้ค่าที่แตกต่างกันโดยที่ค่าความลาดชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น




รูปที่ 7 ภาพ AFM ที่ตำแหน่ง B ณ มุม 55 องศา เวลา 10 นาที




รูปที่ 8 ภาพ AFM ที่ตำแหน่ง B ณ มุม 55 องศา เวลา 30 นาที

## 5. สรุป

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการศึกษาคุณลักษณะของพื้นผิวที่เกิดขึ้น จากการใช้เทคนิคการสกัดโดยใช้ลำไอออนแบบสถิต ณ ที่มุมและเวลาต่างๆ พบว่ามุม 55 องศาเป็นมุมที่เหมาะสมกว่ามุมอื่นๆ ในกระบวนการสกัดในแง่ของคุณภาพ เพราะมีค่า selectivity ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้มานั้นไม่ว่าจะเป็นอัตราของการสกัด , selectivity , roughness รวมทั้งลักษณะของพื้นผิวหลังการสกัด โดยเปลี่ยนเงื่อนไขในแง่ของมุมและเวลา จะนำไปใช้เป็นข้อมูลที่ใช้พัฒนาประสิทธิภาพในการสกัดต่อไปในอนาคต

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ บริษัทเวสเทิร์นดิจิตอล(บางปะอิน) จำกัด ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล สถานที่ เครื่องมือ วัสดุที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์สำหรับการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

[1] http://www.business-in-asia.com

[2] L. Houlet ,A. Rhallabi and G. Turban, "Simulation of mesa structures for III-V semiconductors under ion beam etching", *Eur. Phys.J.* AP 6, pp. 273-280, 1999

[3] http://www.veeco.com

[4] Larry F. Thompson, C. Grant Willson and Murrae J. Bowden, "Introduction to Microlithography", ACS professional reference book, Washington , 1994

## ประวัติผู้เขียนบทความ

อภิชาต แก้วเจริญ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2546 ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อระดับปริญญาโทในสาขาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นรินทร์ กาบบัวทอง สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญา ตรีและโท สาขาวิทยาศาสตร์โพลีเมอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2542 และในระดับปริญญาเอกจาก University of Rome" Tor Vergata" ประเทศอิตาลี ปี พ.ศ. 2546 ปัจจุบันเป็นวิศวกรอาวุโสฝ่ายวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิต บริษัทเวสเทิร์นดิจิตอล(บางปะอิน) จำกัด

วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง และระดับปริญญาโทและเอกสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัย TOKAI ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันดำรงตำแหน่งหัวหน้าศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. สาขาวิชาที่สนใจคือกระบวนการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ และวงจรรวม

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| ชื่อผู้เขียน | นาย อภิชาต  แก้วเจริญ |
| วันเดือนปีเกิด | วันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2524 |
| สถานที่เกิด | จังหวัดนครปฐม |
| วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี | วิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์) |
| สถานที่สำเร็จการศึกษา | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| ปีที่สำเร็จการศึกษา | ปีการศึกษา 2546 |