

### การวิเคราะห์การประลัยของการเกิดอิเล็กโทรไมเกรชันบนหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟ

การวิเคราะห์การประลัยเนื่องจากอิเล็กโทรไมเกรชันบนหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟหลังการทดสอบ Accelerated Electromigration การศึกษาสาเหตุของการประลัยอันเนื่องมาจากอิเล็กโทรไมเกรชันบนหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟเป็นส่วนที่สำคัญในการที่จะนำไปปรับปรุงการออกแบบเพื่อใช้ในการพัฒนาการออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงหรือให้เกิดอิเล็กโทรไมเกรชันช้าลงหรือยืดอายุการใช้งานของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟในรุ่นต่อไป

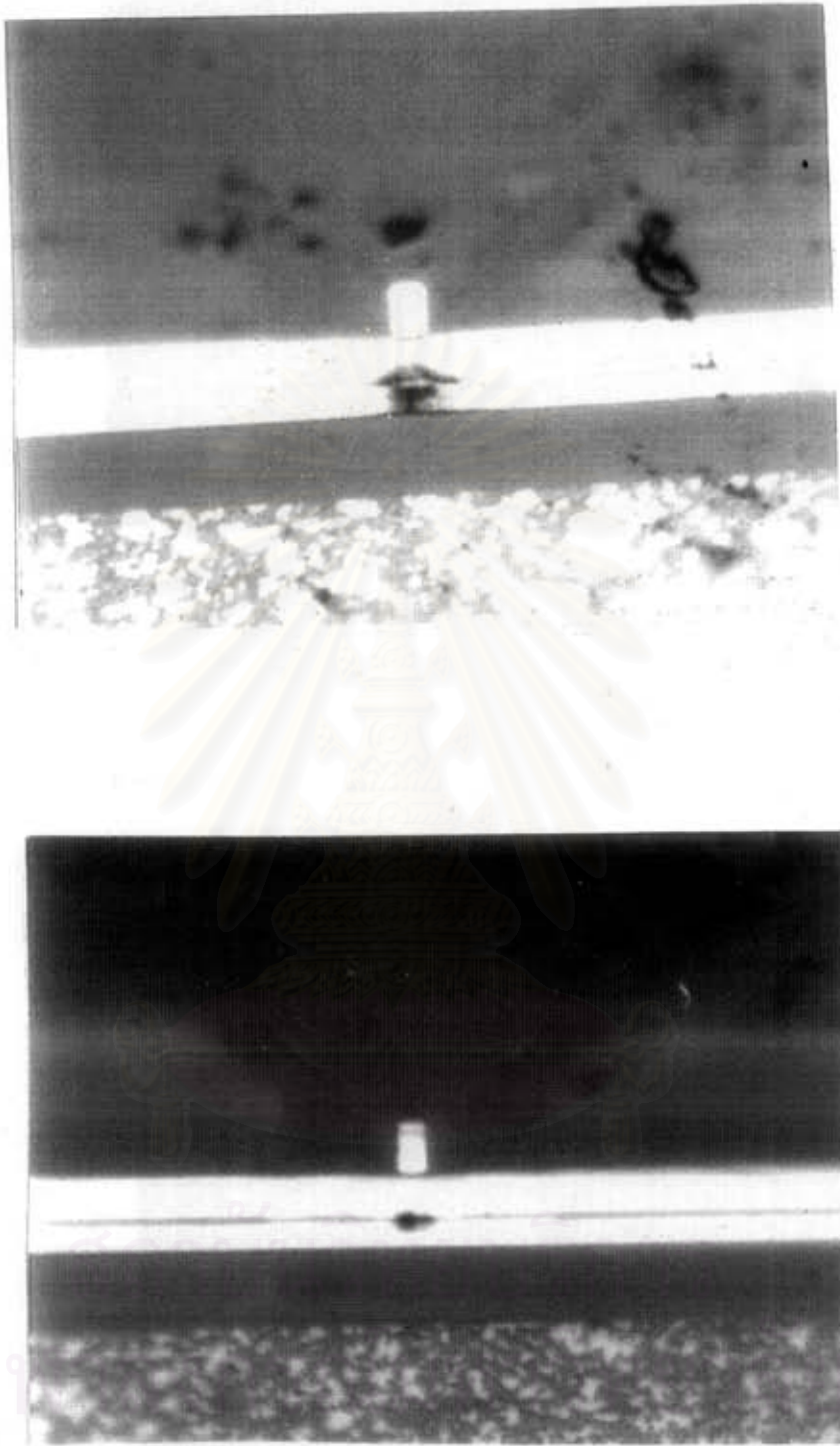
จากกลุ่มตัวอย่างของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ A มีความต้านทานในระดับสโตนเนอร์ อยู่ในช่วง 25-38  $\Omega$  และค่าความสูงของสโตร์ฟอยู่ในช่วง 37.98-60.53  $\mu\text{-inch}$  (จากการคำนวณโดยใช้สมการ 5.1 ในบทที่ 5) ความหนาของแมกนีโทริซิสทีฟแบบ A ประมาณ 150  $\text{\AA}$  ดังนั้นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตรง (j) โดยการประมาณจะอยู่ในช่วง  $3.04 \times 10^{17} - 4.84 \times 10^{17} \text{ A/cm}^2$

ในทำนองเดียวกันสำหรับกลุ่มตัวอย่างของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ B มีความต้านทานในระดับสโตนเนอร์อยู่ในช่วง 35-45  $\Omega$  และค่าความสูงของสโตร์ฟอยู่ในช่วง 21.12-29  $\mu\text{-inch}$  (จากการคำนวณโดยใช้สมการ 5.8 ในบทที่ 5) ความหนาของแมกนีโทริซิสทีฟแบบ B ประมาณ 150  $\text{\AA}$  ดังนั้นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตรง (j) โดยการประมาณจะอยู่ในช่วง  $6.34 \times 10^{14} - 8.7 \times 10^{17} \text{ A/cm}^2$

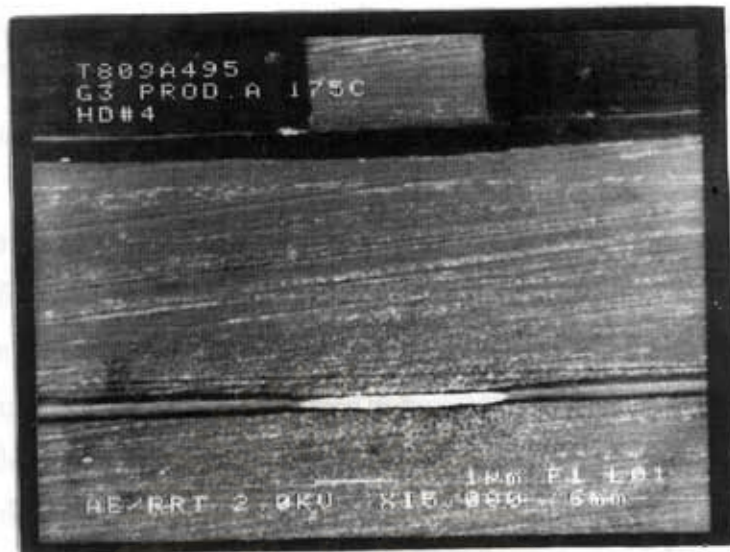
เนื่องจากความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตรงที่สูงที่ไหลผ่านแมกนีโทริซิสทีฟที่บางมากของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ เป็นผลให้เกิดปรากฏการณ์อิเล็กโทรไมเกรชัน

รูปที่ 6.1 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ไมโครสโคปบนบริเวณที่เกิดรอยฉีกบนแมกนีโทริซิสทีฟและซิดด์ด้วยกำลังขยาย 1000 เท่า

รูปที่ 6.2 และ 6.3 แสดงภาพถ่ายบริเวณแมกนีโทริซิสทีฟแบบ A และ ซิดด์ ด้วย FE-SEM ที่กำลังขยาย 150,000 เท่า ของหัวอ่านแมกนีโทริซิสทีฟแบบ A และ แบบ B ตามลำดับ หลังจากผ่านการทดสอบ Accelerated Electro-Migration ที่อุณหภูมิของตู้ทำความร้อนที่ 175  $^{\circ}\text{C}$  และกระแสไฟฟ้าตรง 10 มิลลิแอมป์ เป็นเวลา 500 ชั่วโมง



รูปที่ 6.1 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ไมโครสโคปบนบริเวณที่เกิดรอยดำที่บริเวณแมกนีโทริซิสทีฟและซิดด์ของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ A ด้วยกำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 6.2 แสดงภาพถ่ายบริเวณแมกนีไทริซิสที่ฟแบบ A ด้วย FE-SEM ที่กำลังขยาย 150,000 เท่า ของหัวอ่านแมกนีไทริซิสที่ฟแบบ A หลังจากผ่านการทดสอบ Accelerated Electro-Migration ที่อุณหภูมิ 175 °C และกระแสไฟฟ้าตรง 10 มิลลิแอมป์ เป็นเวลา 500 ชั่วโมง  
ที่มา : ห้องปฏิบัติการของโรงงานตัวอย่าง



รูปที่ 6.3 แสดงภาพถ่ายบริเวณแมกนีไทริซิสที่ฟแบบ B ด้วย FE-SEM ที่กำลังขยาย 150,000 เท่า ของหัวอ่านแมกนีไทริซิสที่ฟแบบ B หลังจากผ่านการทดสอบ Accelerated Electro-Migration ที่อุณหภูมิ 175 °C และกระแสไฟฟ้าตรง 10 มิลลิแอมป์ เป็นเวลา 500 ชั่วโมง  
ที่มา : ห้องปฏิบัติการของโรงงานตัวอย่าง

จากรูปที่ 6.2 จะเห็นว่าบริเวณแมกนีไทริซิทที่ฟจะบวมและบริเวณซิดค์จะมีลักษณะคล้ายวัสดุมาเกาะบนซิดค์ที่ใกล้กับแมกนีไทริซิทที่ฟ ซึ่งจะเห็นรอยบกรร่องหรือวัสดุมาเกาะชัดยิ่งขึ้นที่บริเวณซิดค์ด้านที่ติดกับแมกนีไทริซิทที่ฟในรูปที่ 6.3

การเกิดรอยบกรร่องหรือมีวัสดุมาติดที่บริเวณซิดค์รอบแมกนีไทริซิทที่ฟ มีสองแนวทางคือกรณีแรกคือการเกิดการสึกกร่อนขึ้นเนื่องมาจากวัสดุของแมกนีไทริซิทที่ฟและซิดค์ คือ เพอซิดลอสที่เป็นส่วนผสมระหว่างนิกเกิล 82 % และ เหล็ก 18 % จากตารางที่ 6.1 นิกเกิลมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานที่  $25^{\circ}\text{C}$  มีค่าเท่ากับ  $-0.25$  โวลต์ ส่วนเหล็กมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานที่  $25^{\circ}\text{C}$  มีค่าเท่ากับ  $-0.44$  โวลต์ ดังนั้นนิกเกิลซึ่งมีศักย์ทางไฟฟ้าสูงกว่าทำตัวเป็นแคโทด (Cathode) และเหล็กซึ่งมีศักย์ทางไฟฟ้าต่ำกว่าเป็นแอโนด ทำให้เกิดคู่ความแตกต่างศักย์ ซึ่งการกัดกร่อนจะเป็นลักษณะเลือกที่จะเกิดการกัดกร่อน (Preferential corrosion) กับเหล็กมากกว่า เนื่องจากมีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า อีกกรณีหนึ่งคือการเกิดออกซิเดชันของโลหะ การออกซิเดชันของโลหะคือการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นออกไซด์ที่บนผิว ในการถูกออกไซด์นั้น ความยากง่ายต่อการถูกออกไซด์จะถูกกำหนดโดยพลังงานเสรี (Free energy) ในการเกิดออกไซด์ดังแสดงในรูปที่ 6.4 จากรูป 6.4 พลังงานเสรีในการเกิดออกไซด์ของเหล็กมีค่าต่ำกว่านิกเกิล ในกรณีนี้จึงกล่าวได้ว่า driving force ในการออกไซด์เหล็กมีค่ามากกว่า driving force ในการออกไซด์นิกเกิล ดังนั้นการเกิดออกซิเดชัน มีโอกาสเกิดขึ้นกับนิกเกิลและเหล็ก แต่เหล็กมีการเกิดออกไซด์ได้มากกว่า

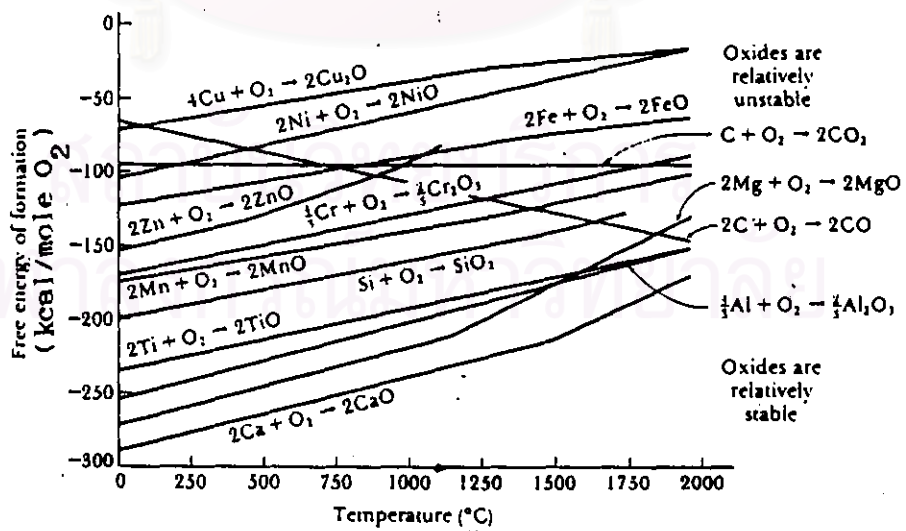
จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของรอยบกรร่องบนแมกนีไทริซิทที่ฟทำได้ยาก เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีความหนาเพียง  $150 \text{ \AA}$  แต่เครื่อง Energy Dispersive Spectrometer หรือ EDS เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่เป็นปริมาณในระดับไมครอน (microvolume) และ การเกิดรอยบกรร่องน่าจะเป็นฟิล์มบางเกาะที่ผิวบริเวณแมกนีไทริซิทที่ฟและเห็นชัดเจนที่บริเวณซิดค์ รูปที่ 6.5 และ 6.6 แสดงสเปกตรัมขององค์ประกอบทางเคมีของซิดค์และรอยบกรร่อง เมื่อทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมของชิ้นงานดีในบริเวณเดียวกัน พบว่าออกซิเจนและเหล็กมีค่าสูงกว่าชิ้นงานปกติ

จากผลการวิเคราะห์ด้วย EDS พบว่าปริมาณออกซิเจนสูงชันกว่าเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของตัวอย่างที่บริเวณเดียวกัน ดังนั้นรอยบกรร่องที่บริเวณผิวของซิดค์ น่าจะเป็นกรณีที่สองคือ การเกิดออกซิเดชันของวัสดุซิดค์ และรวมถึงแมกนีไทริซิทที่ฟ เนื่องจากเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน เนื่องจากเทคนิค EDS เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในลักษณะเป็นธาตุ แต่ไม่สามารถวิเคราะห์ออกมามเป็นลักษณะพันธะขององค์ประกอบทางเคมี จากรูป 6.4 ได้แสดงการทำปฏิกิริยาของโลหะแต่ละชนิดกับออกซิเจน โดยนิกเกิลจะเป็น NiO และ เหล็กจะเป็น FeO ซึ่ง FeO จะมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากกว่า เนื่องจากมีพลังงานเสรีในการเกิดออกไซด์ต่ำกว่านิกเกิล

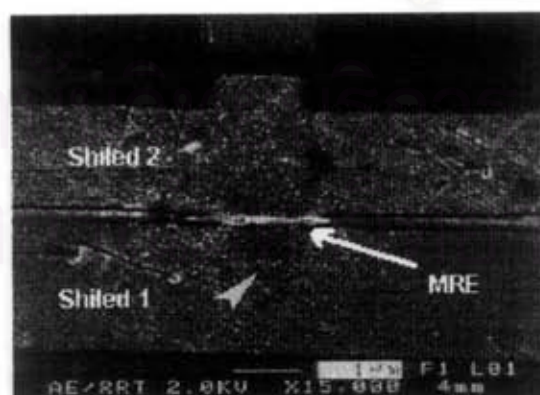
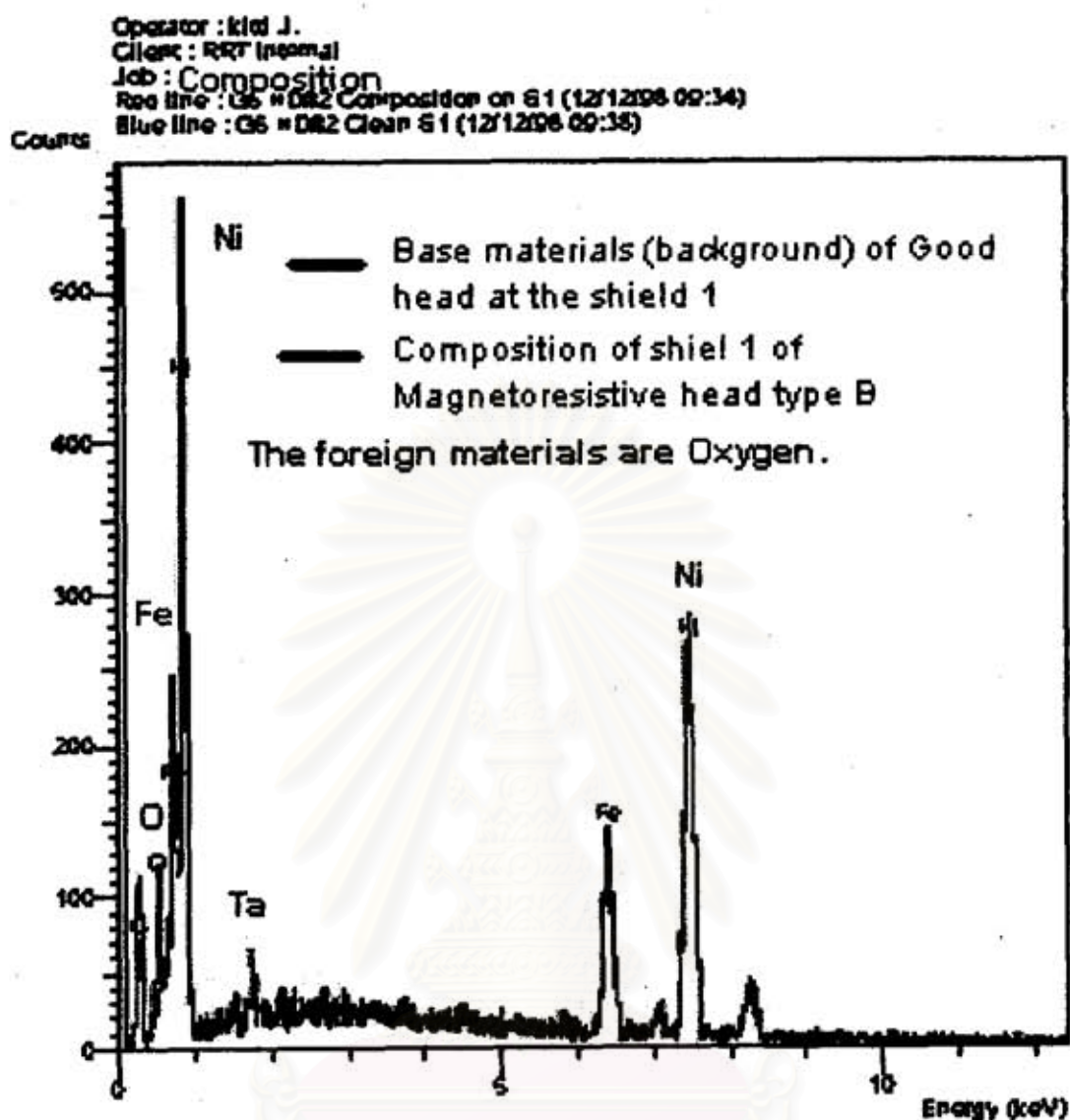
Anode half-cell reaction (the arrows are reversed for the cathode half-cell reaction)	Electrode potential used by electrochemists and corrosion engineers,* volts	Electrode potential used by physical chemists and thermodynamists,* volts
$Au \rightarrow Au^{3+} + 3e^-$	+1.50	-1.50
$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$	+1.23	-1.23
$Pt \rightarrow Pt^{4+} + 4e^-$	+1.20	-1.20
$Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$	+0.80	-0.80
$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$	+0.77	-0.77
$4(OH)^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$	+0.40	-0.40
$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$	+0.34	-0.34
$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	0.000	0.000
$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e^-$	-0.13	+0.13
$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e^-$	-0.14	+0.14
$Ni \rightarrow Ni^{2+} + 2e^-$	-0.25	+0.25
$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$	-0.44	+0.44
$Cr \rightarrow Cr^{2+} + 2e^-$	-0.74	+0.74
$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$	-0.76	+0.76
$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$	-1.66	+1.66
$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$	-2.36	+2.36
$Na \rightarrow Na^+ + e^-$	-2.71	+2.71
$K \rightarrow K^+ + e^-$	-2.92	+2.92
$Li \rightarrow Li^+ + e^-$	-2.96	+2.96

\* The choice of signs is arbitrary. Since we are concerned with corrosion, we will use the middle column.

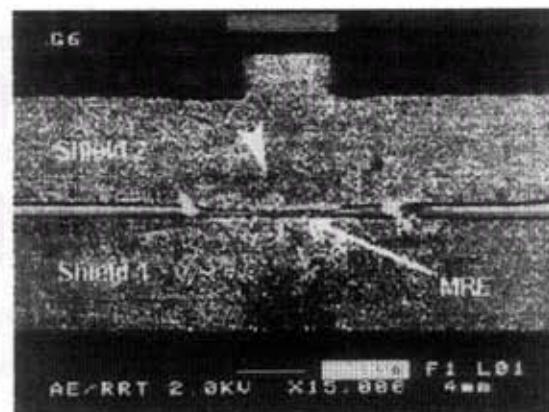
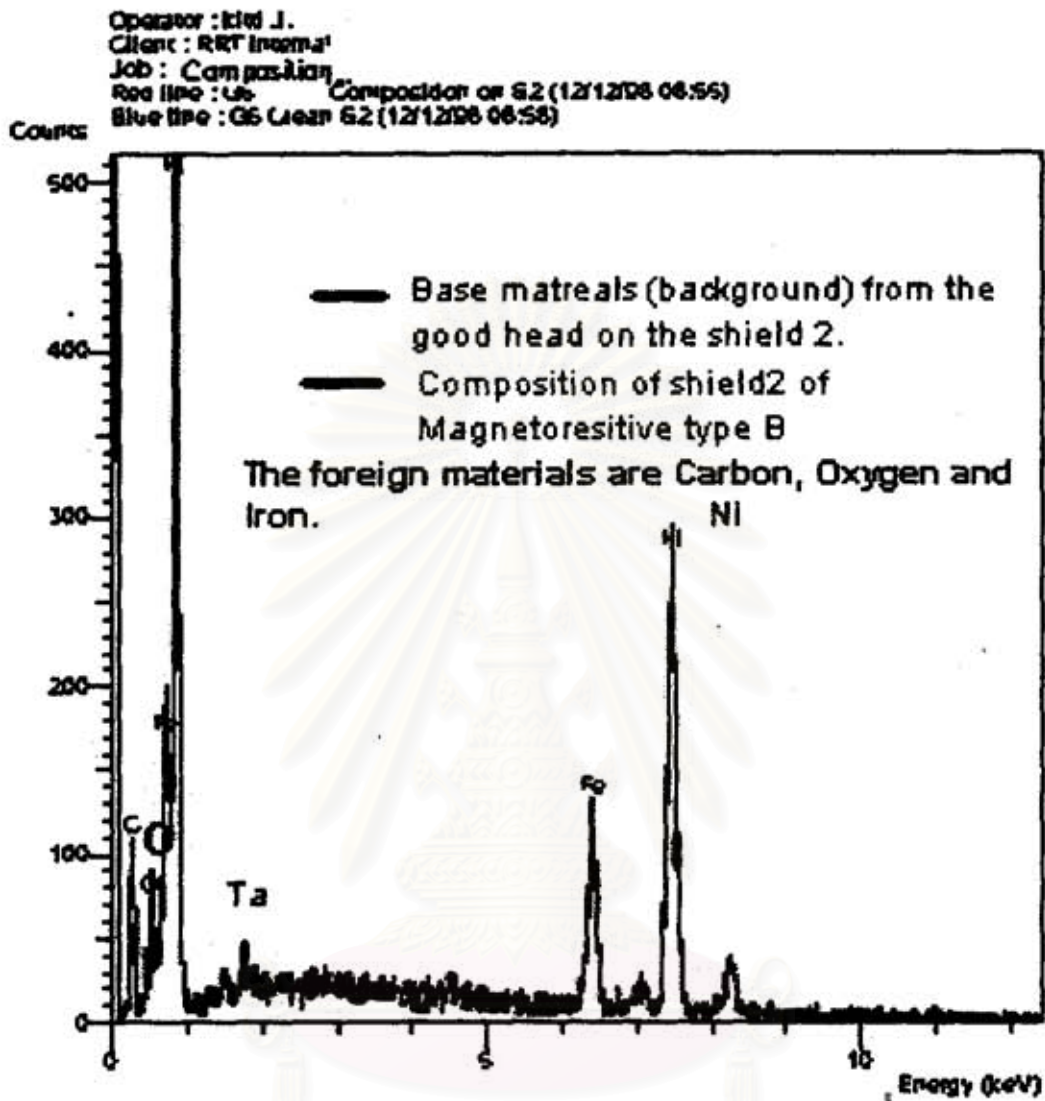
ตารางที่ 6.1 แสดงศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะชนิดต่าง ๆ ณ ที่อุณหภูมิ 25 °C [ 18 ]



รูปที่ 6.4 แสดงค่าพลังงานเสรีในการเกิดออกไซด์บางชนิดที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ [ 18 ]



รูปที่ 6.5 แสดงไมโครกราฟ FESEM ของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทิฟแบบ B และสเปกตรัมของ Energy Dispersive Spectrometer บนบริเวณชิลด์ 1 พบว่ามีออกซิเจนเพิ่มขึ้นมากกว่าชิ้นงานปกติ



รูปที่ 6.6 แสดงไมโครกราฟ FESEM ของหัวอ่านเขียนแมกนีโทเรซิสทีฟแบบ B และสเปกตรัมของ Energy Dispersive Spectrometer บนบริเวณจุดที่ 2 พบว่ามีคาร์บอน ออกซิเจน และเหล็กเพิ่มขึ้นกว่าชิ้นงานปกติ

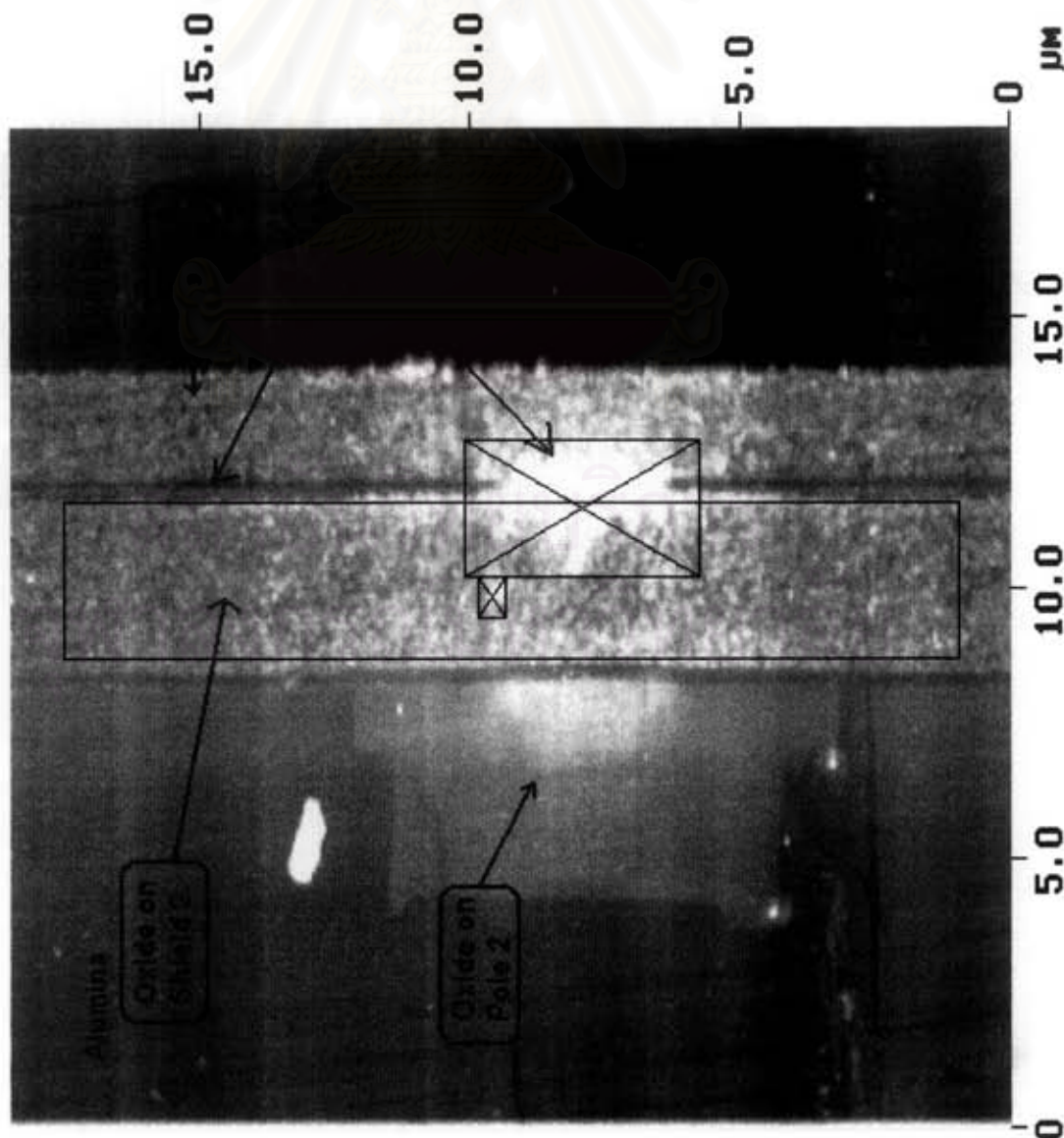
เทคนิคการวิเคราะห์พื้นผิว (Surface Analysis) ที่นิยมอีกวิธีหนึ่งคือการใช้ Atomic Force Microscopy (AFM) โดยการใช้เข็ม (Tip) ขนาดเล็กสแกนแบบกวาดบนพื้นผิวเพื่อศึกษาคุณลักษณะของพื้นผิว รูปที่ 6.7 แสดงการสแกนของ AFM บนบริเวณแมกนีโทริซิสทิฟ ชิตด์ 1 ชิตด์ 2 และโพล ของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทิฟแบบ A ที่ผ่าน Accelerated Electro-Migration ที่อุณหภูมิของตู้ทำความร้อน  $175^{\circ}\text{C}$  และกระแสกระแสไฟฟ้าตรง 10 มิลลิแอมป์ เป็นเวลา 500 ชั่วโมง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วงานที่ดี และไม่ผ่านการทดสอบ Accelerated Electro-Migration ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 6.10 พบว่าบริเวณแมกนีโทริซิสทิฟถูกทำลายเนื่องมาจากการเกิดอิเล็กโทรไมเกรชัน ซึ่งเป็นลักษณะรอยบุ๋มขึ้นมา และที่บริเวณชิตด์ทั้งสองรวมทั้งบริเวณด้านล่างของโพล 2 มีลักษณะเป็นวัสดุชนิดหนึ่งมาเกาะติดที่บริเวณดังกล่าว จากผลการวิเคราะห์ EDS ที่ได้กล่าวมาแล้ว วัสดุที่มีขนาดเล็กน่าจะเป็น FeO รอยบกพร่องซึ่งเกาะติดอยู่ที่บริเวณผิวของโพลและชิตด์ทั้งสองเห็นได้ชัด ในรูปที่ 6.8 ซึ่งแสดงภาพ 3 มิติของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทิฟด้วงาน พบว่ามี FeO เกาะติดอยู่บนบริเวณชิตด์ทั้งสองและบริเวณโพล 2 ที่ติดกับชิตด์ 2 รูปที่ 6.9 แสดงผลการวัดความหนาของออกไซด์ที่เกิดขึ้นและรอยบุ๋มที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าออกไซด์มีความหนาเท่ากับ 32.262 นาโนเมตร สำหรับชิตด์ 1 และ 33.742 นาโนเมตร สำหรับชิตด์ 2 เมื่อเทียบกับบริเวณอลูมินา ส่วนรอยบุ๋มที่เกิดจากอิเล็กโทรไมเกรชันมีความสูง 207.76 นาโนเมตรเมื่อเทียบกับอลูมินา

รูปที่ 6.11 แสดงผลการวิเคราะห์ Magnetic Force Microscopy (MFM) ของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทิฟแบบ A ซึ่งเป็นตัวเดียวกันกับที่ทำการวิเคราะห์ AFM เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ของ MFM ของด้วงานดี ซึ่งแสดงในรูปที่ 6.12 พบว่าที่บริเวณโพล 2 และชิตด์ทั้งสอง ยังมีคุณสมบัติของความเป็นแม่เหล็กอยู่ แต่มีความแรงของสนามแม่เหล็กน้อยลงโดยเฉพาะบริเวณติด พบว่าคุณสมบัติของแม่เหล็กเปลี่ยนไป

รูปที่ 6.13 และ 6.14 แสดงภาพถ่ายบริเวณแมกนีโทริซิสทิฟด้วย FE-SEM ที่กำลังขยาย 150,000 เท่า ของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทิฟแบบ A และ แบบ B ตามลำดับ หลังจากผ่านการทดสอบ Accelerated Electro-Migration ที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  และกระแสไฟฟ้าตรง 16 มิลลิแอมป์ เป็นเวลา 428 ชั่วโมง จากรูปทั้งสองจะเห็นว่ามียอกไซด์ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันของเพอซัลไฟด์เกาะติดอยู่ที่บริเวณผิวของแมกนีโทริซิสทิฟและชิตด์ทั้งสองที่บริเวณรอบ ๆ แมกนีโทริซิสทิฟ เป็นรูปวงรีในรูปที่ 6.13 และเป็นรูปวงกลมในรูป 6.14 โดยมีจุดผ่านศูนย์กลางที่บริเวณตรงกลางของแมกนีโทริซิสทิฟ ซึ่งสอดคล้องกับ โมเดลการวิเคราะห์ความร้อนสำหรับหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทิฟในบทที่ 3 คือ แมกนีโทริซิสทิฟเป็นแหล่งความร้อน เมื่อกระแสไฟฟ้าตรงไหลผ่านโดยบริเวณจุดกึ่งกลางจะมีความร้อนสูงกว่าที่บริเวณขอบ การกระจายความร้อนจะแผ่ผ่านบริเวณแก๊ป (Gap) ซึ่งเป็นอลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ผ่านไปยังชิตด์ทั้งสองซึ่งทำตัวเป็นที่ระบายความร้อน โดยมีจุดผ่านศูนย์กลางที่บริเวณตรงกลางของแมกนีโทริซิสทิฟดังรูปที่ 6.15



# Roughness Analysis



## Image Statistics

Img. Z range 218.79 nm  
 Img. Mean -1.310 nm  
 Img. Raw mean 113.65 nm  
 Img. RMS (Rq) 13.386 nm  
 Img. Ra 10.138 nm  
 Img. Rmax 213.40 nm

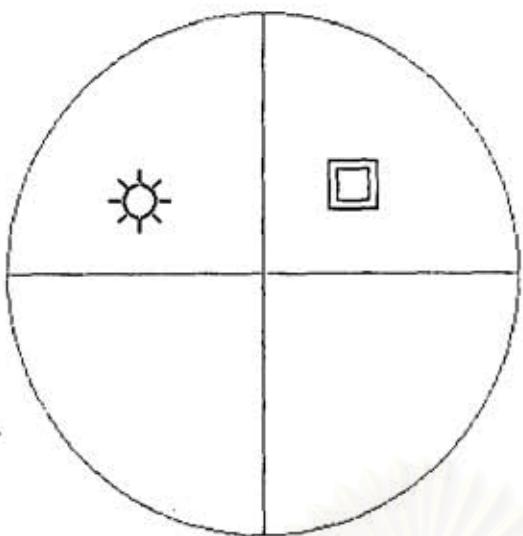
## Box Statistics

Z range 53.484 nm  
 Mean 13.399 nm  
 Raw mean -1.456 μm  
 RMS (Rq) 7.897 nm  
 Mean roughness (Ra) 5.360 nm  
 Max height (Rmax) 51.572 nm  
 Box x dimension 2.910 μm  
 Box y dimension 16.660 μm

รูปที่ 6.7 ภาพกราฟิกความสูง (Topography) บริเวณที่ทดสอบที่บนโพล 2 จุดที่ 2 และ จุดที่ 1 ของหัวอ่านเชิงความหนาแน่นที่รู้จักดีแบบ A ที่อุณหภูมิ 175 °C 10 mA โหมด AFM Atomic Force Microscopy (AFM) ใน Tapping mode

Scan size 18.55  $\mu\text{m}$   
 Setpoint 1.125 V  
 Scan rate 1.001 Hz  
 Number of samples 256

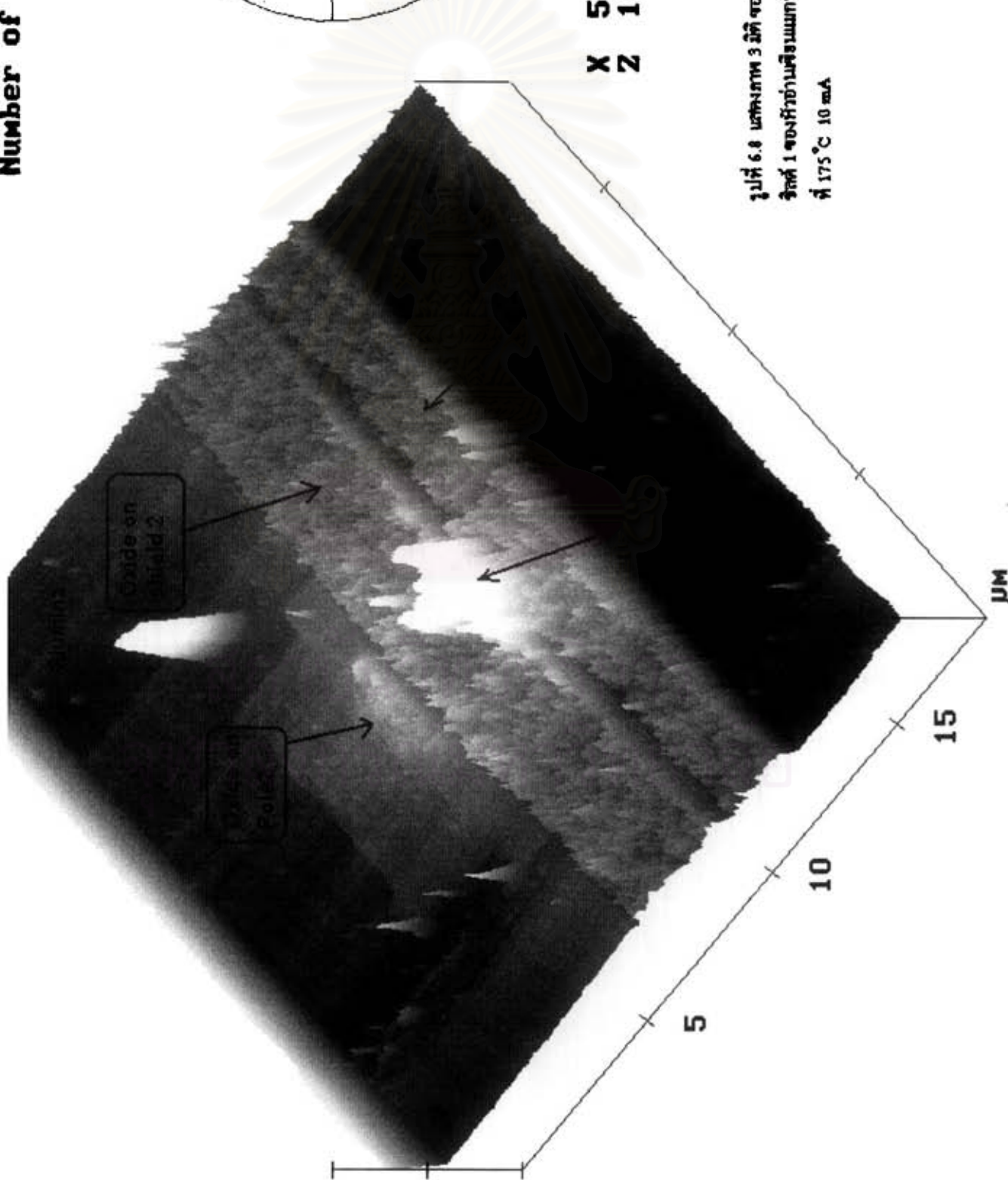
 view angle  
 light angle



0 deg

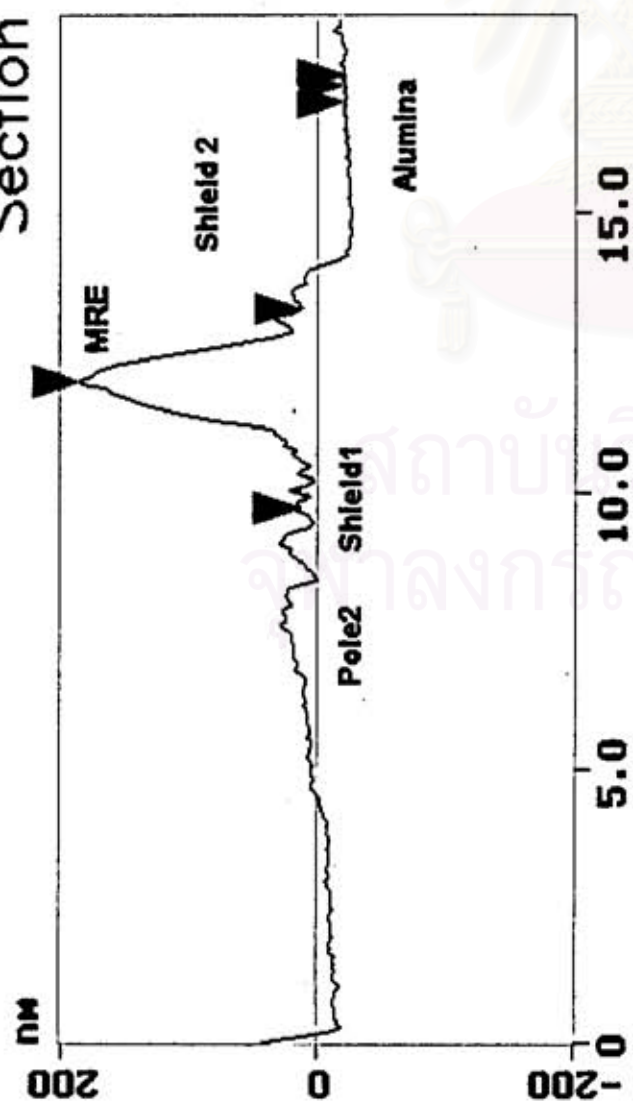
X 5.000  $\mu\text{m}/\text{div}$

Z 100.000 nm/div



รูปที่ 6.8 แสดงภาพ 3 มิติ ของบริเวณที่เกิดออกไซด์บนโหนด 2 จุดที่ 2 และ  
 จุดที่ 1 ของหัวขั้วในสียงแบบกึ่งโพสิทีฟแบบ A ที่ค่าการไหลของ EMT  
 ที่ 175 °C 10 mA

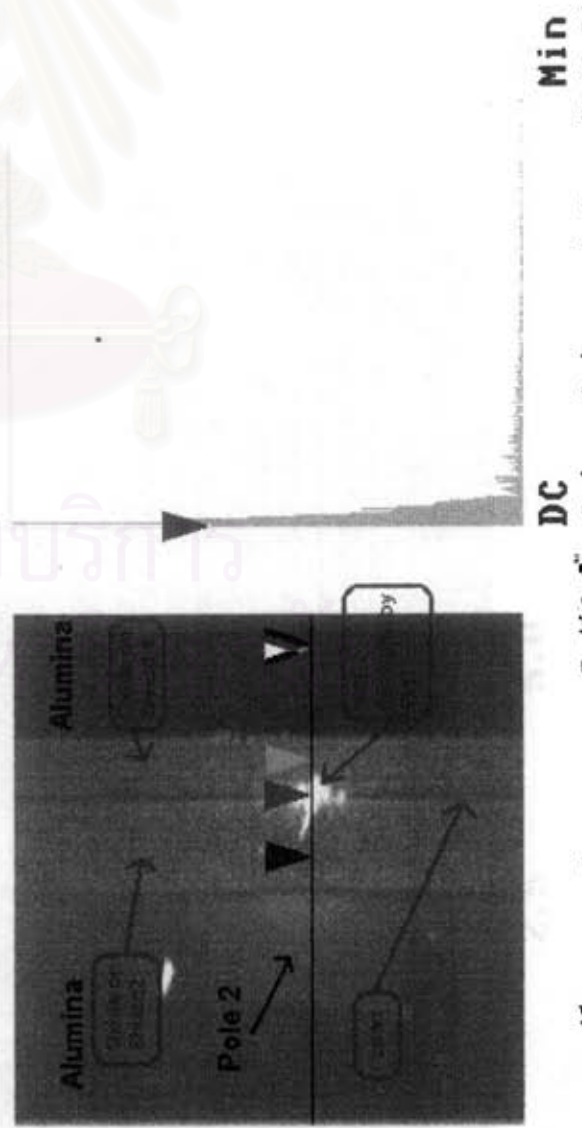
# Section Analysis



L	7.754 µm
RMS	59.885 nm
IC	DC
Ra(1c)	35.207 nm
Rmax	211.40 nm
Rz	92.386 nm
Rz Cnt	6

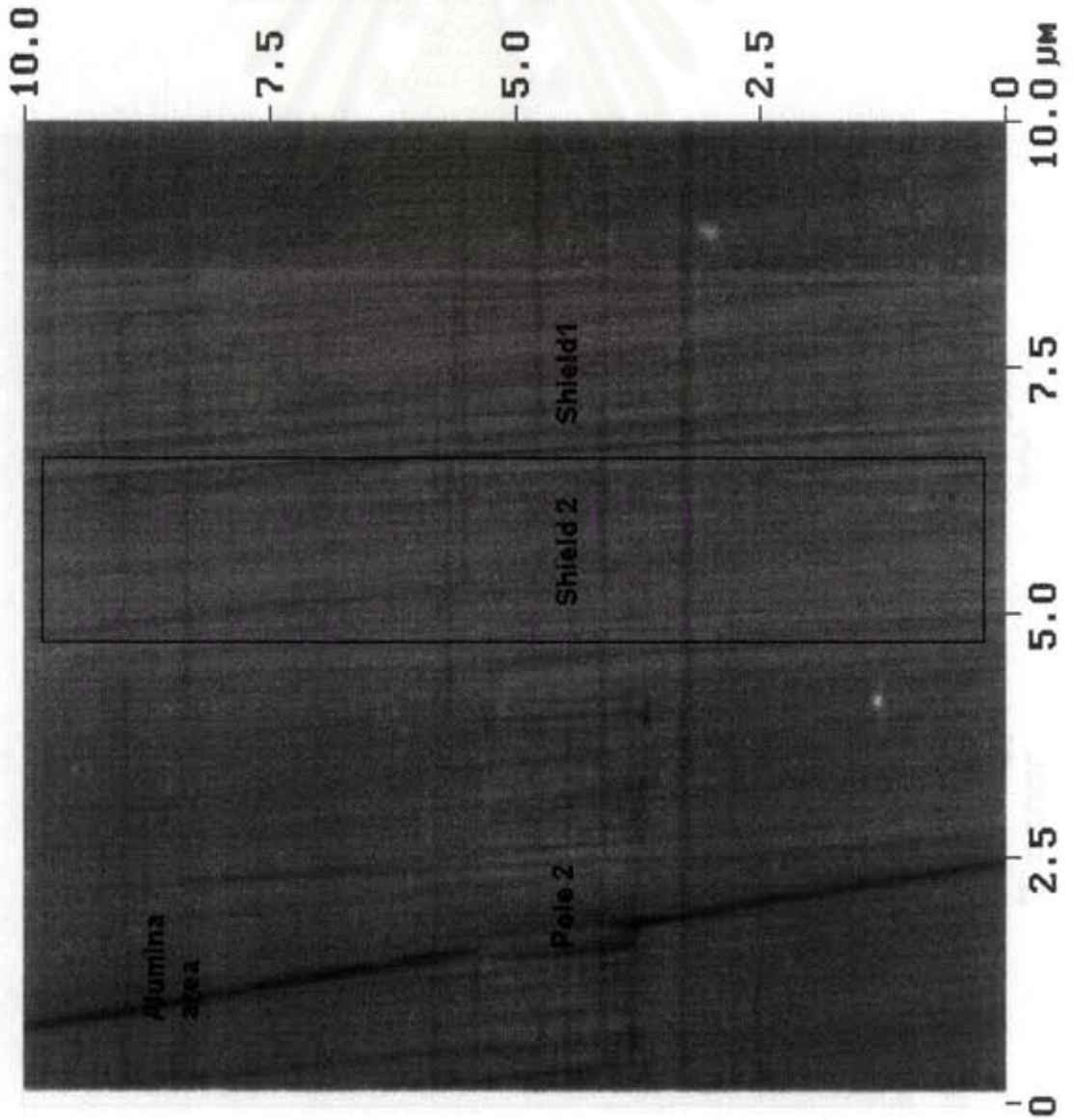
Surface distance	5.023 µm
Horiz distance(L)	5.000 µm
Vert distance	207.76 nm
Angle	2.379 deg
Surface distance	3.989 µm
Horiz distance	3.986 µm
Vert distance	32.262 nm
Angle	0.464 deg
Surface distance	7.802 µm
Horiz distance	7.754 µm
Vert distance	33.742 nm
Angle	0.249 deg
Spectral period	
Spectral freq	
Spectral RMS amp	

## Spectrum



รูปที่ 6.9 แสดงการวัดความหนาของสกรีนโพลีเอทิลีนบนอิเล็กโทรด 1 และ อิเล็กโทรด 2 ของกังหันสายสัญญาณโพสิทีฟแบบ A ที่อุณหภูมิของ EMT ที่ 175°C 10 mA

# Roughness Analysis



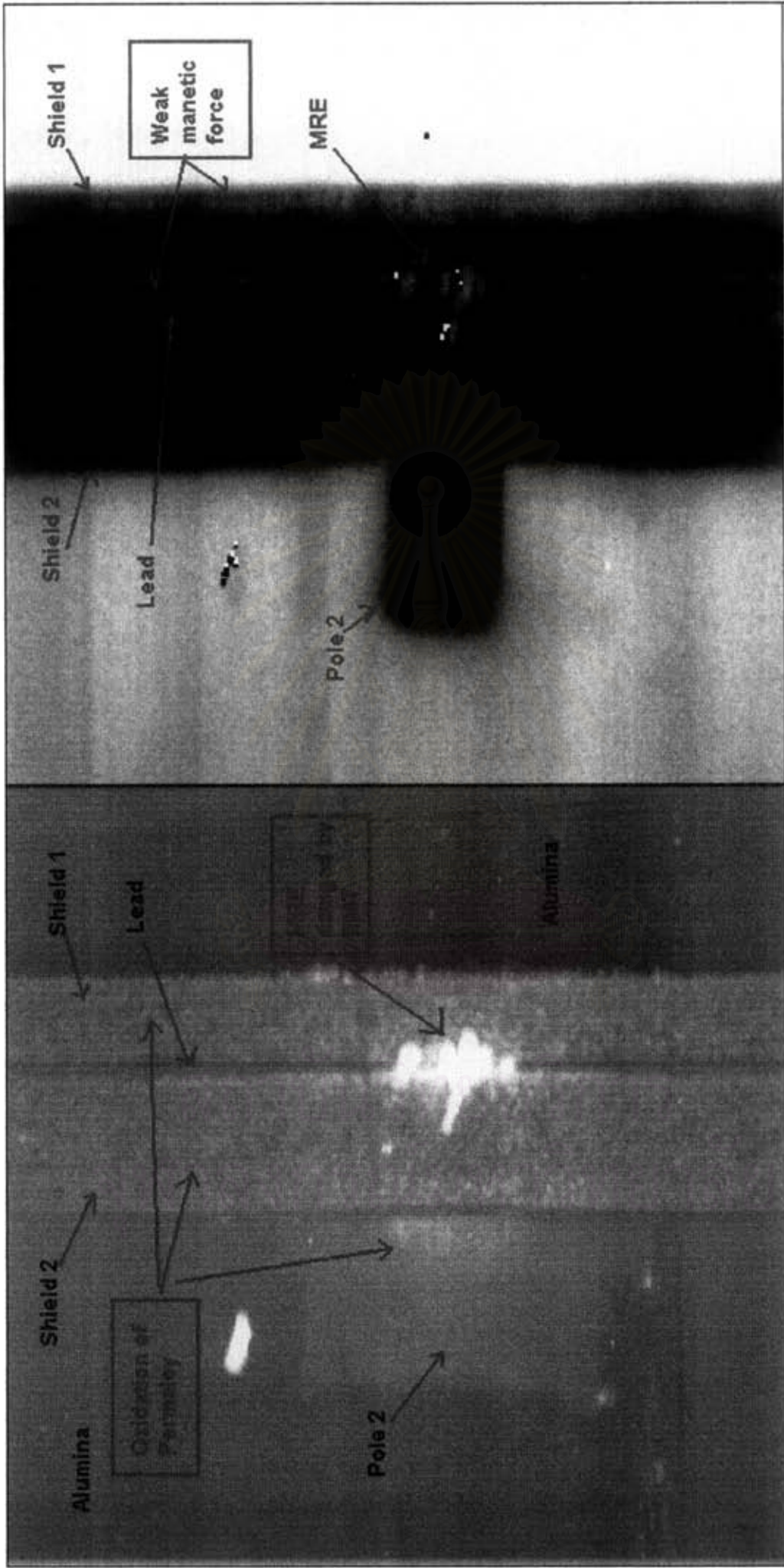
## Image Statistics

Img. Z range	95.510 nm
Img. Mean	0.127 nm
Img. Raw mean	2.606 nm
Img. RMS (Rq)	6.691 nm
Img. Ra	2.337 nm
Img. Rmax	95.214 nm

## Box Statistics

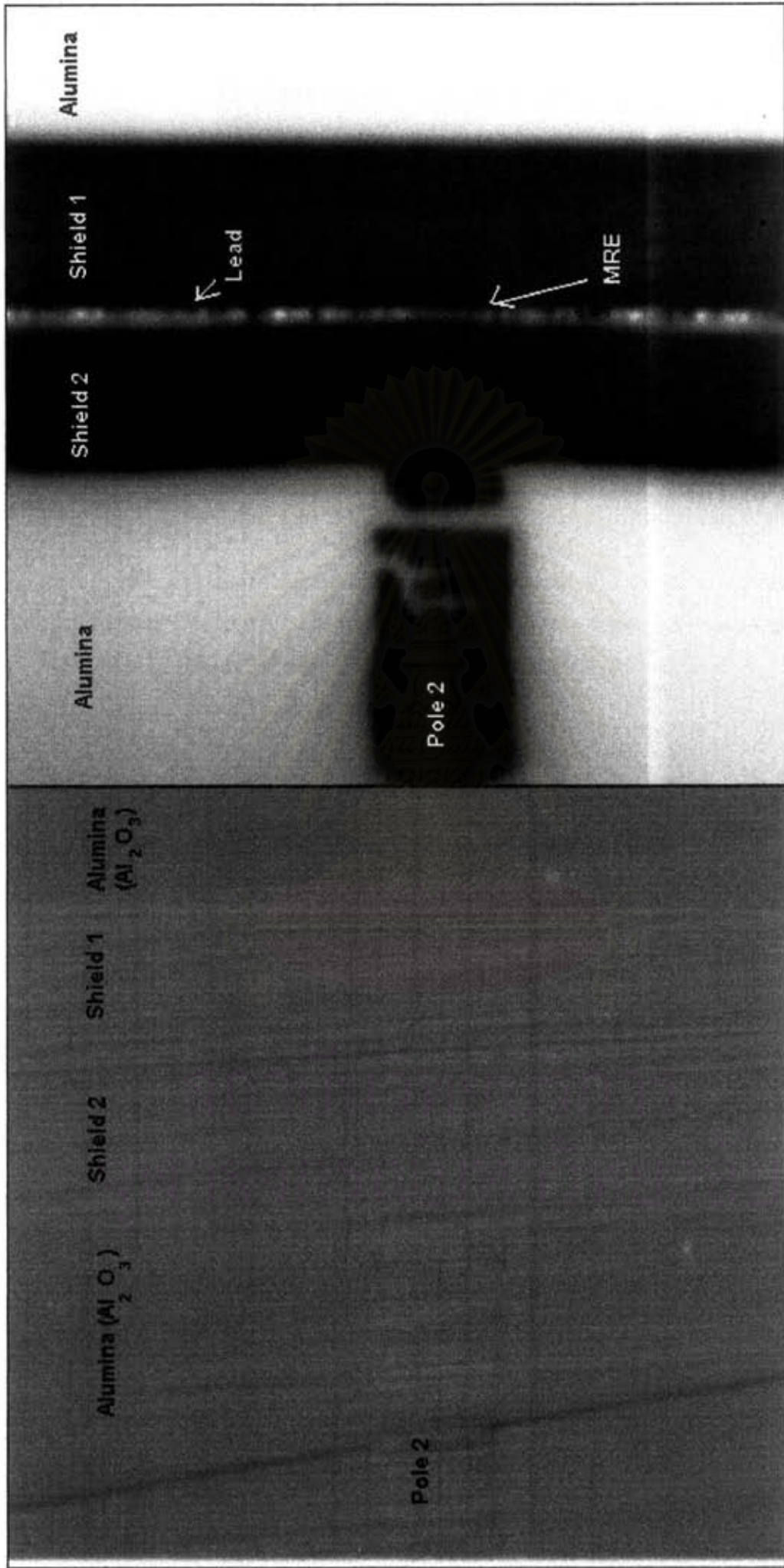
Z range	12.211 nm
Mean	0.741 nm
Raw mean	-22.774 nm
RMS (Rq)	1.184 nm
Mean roughness (Ra)	0.875 nm
Max height (Rmax)	11.792 nm
Box x dimension	1.886 micrometers
Box y dimension	9.666 micrometers

รูปที่ 6.10 แสดงภาพพื้นผิว (Topography) บริเวณโพรงเคลือบที่เคลือบด้วยฟิล์มป้องกันที่เคลือบด้วยสารเคลือบป้องกันในโหมด EMT โดยใช้ AFM ใน Tapping mode



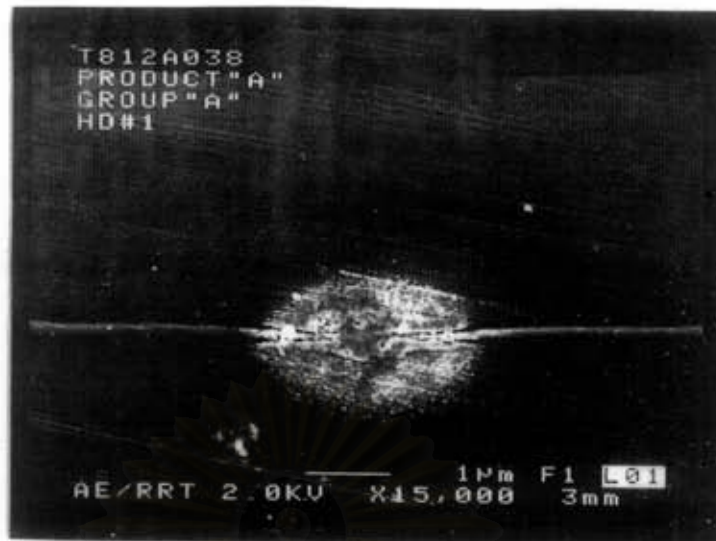
0 Topography (Tapping mode) 18.6  $\mu\text{m}$  0 MFM 18.6  $\mu\text{m}$  Phase  
 Data type Height 200 nm Data type 3.00 de  
 Z range Z range

รูปที่ 6.11 แสดงภาพ Topography กับ Magnetic Force Microscopy (MFM) ของหัวอ่านที่ออกแบบไว้ที่อุณหภูมิต่ำแบบ B ที่ค่าแอมเพอไรต์ EMT ที่ 175 °C 10 mA



0 Topography (Tapping mode) 10.0  $\mu\text{m}$  0 MFM 10.0  $\mu\text{m}$   
 Data type Height Data type Phase  
 Z range 100.0 nm Z range 3.00 de

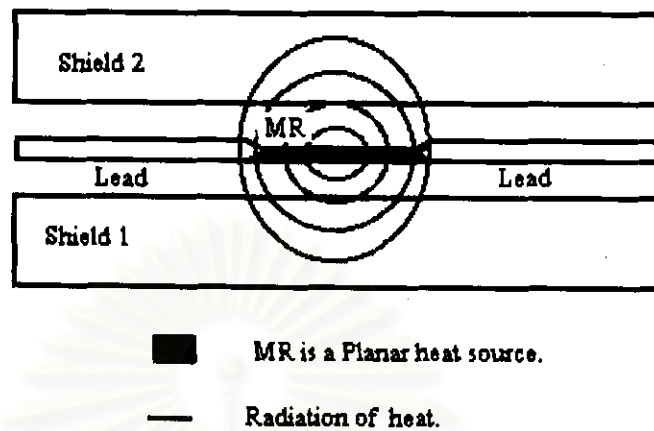
รูปที่ 6.12 แสดงภาพ Topography กับ Magnetic Force Microscopy (MFM) ของหัววัดแบบหัวเข็มแทงที่เคลือบด้วย  
 ทาโคแมียม EMT ที่ 175 °C 10 mA



รูปที่ 6.13 แสดงภาพถ่ายบริเวณแมกนีโทริซิสทีฟของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ A ด้วย FE-SEM ที่กำลังขยาย 150,000 เท่า หลังจากผ่านการทดสอบ Accelerated Electro-Migration ที่ อุณหภูมิ 60 °C และกระแสไฟฟ้าตรง 16 มิลลิแอมป์ เป็นเวลา 428 ชั่วโมง  
ที่มา : ห้องปฏิบัติการของโรงงานตัวอย่าง



รูปที่ 6.14 แสดงภาพถ่ายบริเวณแมกนีโทริซิสทีฟของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ B ด้วย FE-SEM ที่กำลังขยาย 150,000 เท่า หลังจากผ่านการทดสอบ Accelerated Electro-Migration ที่ อุณหภูมิ 60 °C และกระแสไฟฟ้าตรง 16 มิลลิแอมป์ เป็นเวลา 428 ชั่วโมง  
ที่มา : ห้องปฏิบัติการของโรงงานตัวอย่าง

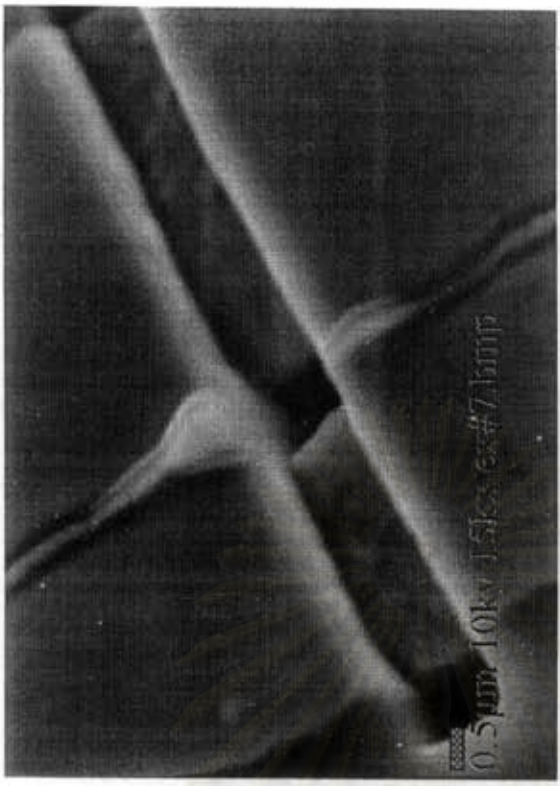
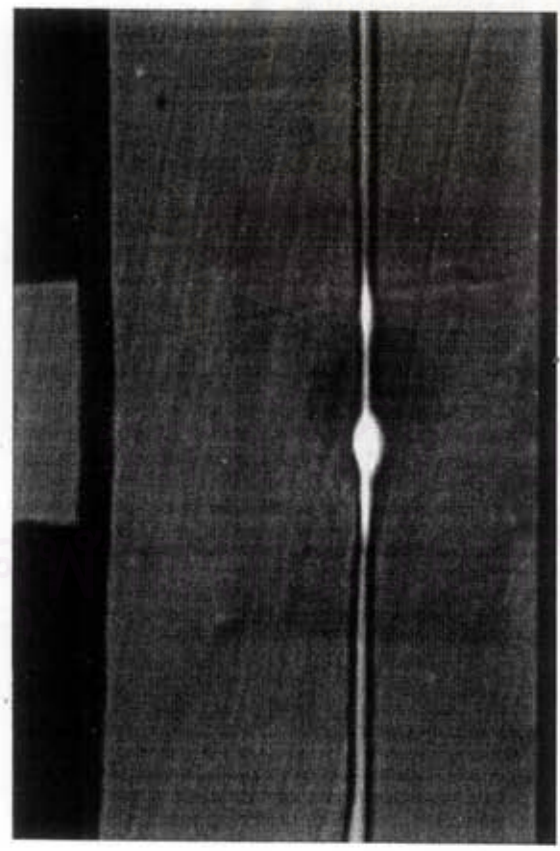


รูปที่ 6.15 แสดงโมเดลการแผ่ความร้อนโดยมีแมกนีโทริซิสทีฟเป็นแหล่งความร้อน โดยมีจุดศูนย์กลางความร้อนอยู่ที่จุดกึ่งกลางของแมกนีโทริซิสทีฟ เนื่องจากเป็นจุดให้ความร้อนสูงสุด

การศึกษาลักษณะการประลัยที่เกิดขึ้นภายในแมกนีโทริซิสทีฟ ทำได้โดยการใช้ Focused Ion Beam (FIB) ทำการกัดเซาะร่องด้วย Gallium Ion (Ga<sup>+</sup>) เพื่อผ่าดูโครงสร้างระดับไมโครที่บริเวณการเกิดการประลัยแบบอิเล็กโทรไมเกรชัน เพื่อดูลักษณะของรอยบกพร่องที่เกิดขึ้น รูปที่ 6.16 (ก) แสดงภาพ SEM ไมโครกราฟของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ A ที่บริเวณรอยบกพร่องจากอิเล็กโทรไมเกรชันบนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ A บริเวณรอยบกพร่องจากอิเล็กโทรไมเกรชันบนแมกนีโทริซิสทีฟ รูปที่ 6.16 (ข) แสดงภาพ SEM ไมโครกราฟ หลังจากการใช้ FIB ในการผ่าดูโครงสร้างภายใน จากรูปจะเห็นว่ารอยบกพร่องมีลักษณะบวมและเกิดการแยกชั้นของแมกนีโทริซิสทีฟ

รูปที่ 6.17 แสดงไมโครกราฟโครงสร้างภายในของแมกนีโทริซิสทีฟของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ B โดยการใช้ FIB กัดเซาะ พบว่าบริเวณที่อยู่ด้านในมีลักษณะบวมและเป็นโพรง (Void) อยู่ด้านใน ซึ่งเกิดจากอิเล็กโทรไมเกรชัน เป็นผลให้ความต้านทานของแมกนีโทริซิสทีฟสูงขึ้น ความร้อนสูงขึ้น กระบวนการอิเล็กโทรไมเกรชันนี้เกิดขึ้นจนกระทั่งแมกนีโทริซิสทีฟขาดจากกัน



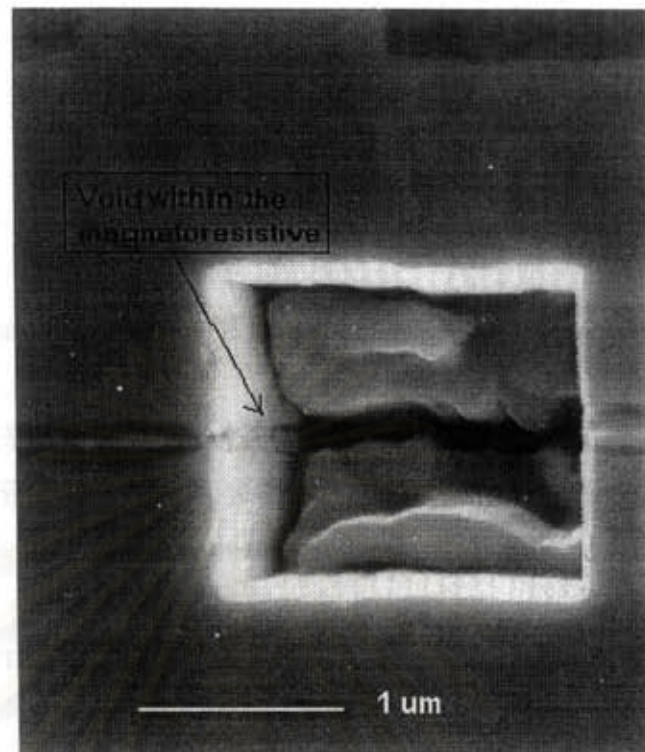


(ก)

(ข)

รูปที่ 6.16 (ก) แสดงภาพไมโครกราฟจาก SEM เพื่อดูลักษณะการประลัยที่เกิดจากอิเล็กโทรไมเกรชั่นบนแมกนีโทริซิติฟ  
 (ข) แสดงภาพไมโครกราฟ โครงสร้างภายในของแมกนีโทริซิติฟที่เกิดปรากฏการณ์อิเล็กโทรไมเกรชั่น โดยใช้ Focused Ion Beam [ 19 ]

บริการ  
 วิทยาลัย



รูปที่ 6.17 แสดงภาพ ไมโครกราฟโครงสร้างภายในของแมกนีโทริซิสทีฟของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ B โดยการใช้ FIB กัดเจาะที่บริเวณแมกนีโทริซิสทีฟ พบว่าแมกนีโทริซิสทีฟด้านในเกิดการบวมและเกิดโพรงภายใน (Accelerated Electro-Migration ที่ 10 mA, 175 °C เป็นเวลา 500 ชั่วโมง)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย