

หัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟที่ใช้ทดสอบ , ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและเครื่องทดสอบ

3.1 หัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทำวิจัยนี้ได้เลือกทำการทดสอบหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟไว้ 2 ผลิตภัณฑ์คือ หัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ A และหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ B โดยที่หัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ A จะใช้สำหรับความหนาแน่นของข้อมูล (Area Storage density) เท่ากับ 1.8 Gbit / in² ส่วนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ B จะใช้สำหรับความหนาแน่นของข้อมูล (Area Storage density) เท่ากับ 2.5 Gbit / in² โดยที่หัวอ่านเขียนทั้งสองแบบใช้การกระแสดตรงเท่ากันคือ 10 มิลลิแอมป์

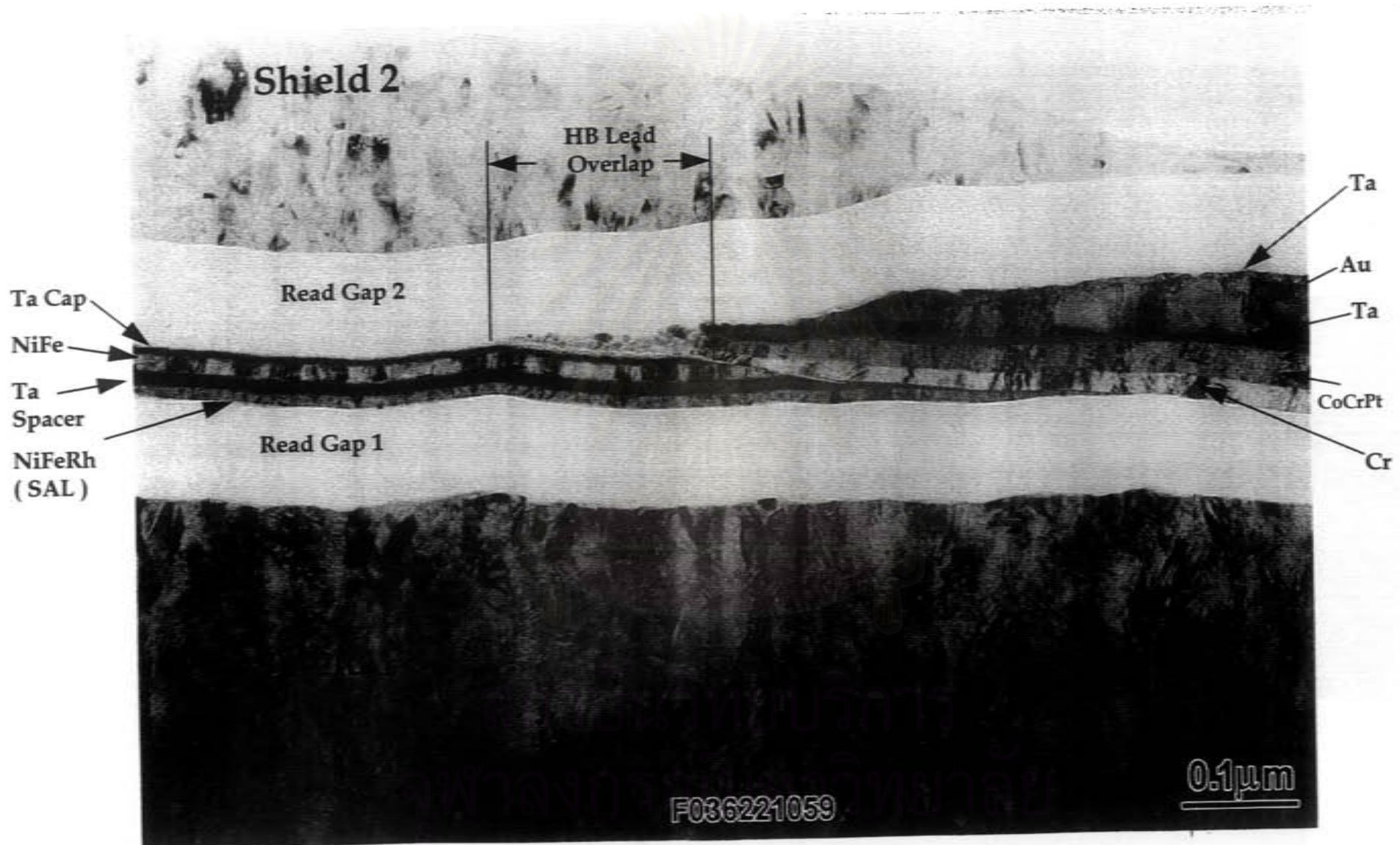
รูปที่ 3.1 แสดงภาพทราวนสมิซชั้นอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Transmission Electron Microscope) ไดร-เลเยอร์ (Tri-layer) ของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟ

ไดร-เลเยอร์ ประกอบไปด้วยชั้นของแมกนีโทริซิสทีฟซึ่งเป็นเทอมัลลอย ซึ่งมีนิกเกิล (Ni) เป็นองค์ประกอบหลัก 22% และ เหล็ก (Fe) ประมาณ 18% และมีความหนา 150 Å ส่วนชั้นลำดับต่อมาที่อยู่ตรงกลางจะเป็นฉนวนซึ่งทำจากแทนทาลัม (Ta) ซึ่งมีความหนา 50 Å ส่วนชั้นสุดท้ายจะเป็นซอฟต์แวร์แอดเจเชนท์เลเยอร์ (Soft adjacent layer) ที่ทำจากนิกเกิล , เหล็ก และ โรนาเดียม (Ni / Fe / Rh) ซึ่งมีความหนาประมาณ 75-100 Å สิ่งที่แตกต่างกันของ 2 ผลิตภัณฑ์คือขนาดของความกว้างของแมกนีโทริซิสทีฟ หรือเรียกว่า Read Track Width (RTW) ซึ่งเป็นตัวกำหนดความหนาแน่นของข้อมูล โดยหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ A จะมีขนาด RTW เท่ากับ 1.8 ไมครอน ส่วนแบบ B มี RTW ขนาดเท่ากับ 1.5 ไมครอน

หัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แบ่งออกได้เป็น 2 ระดับคือ

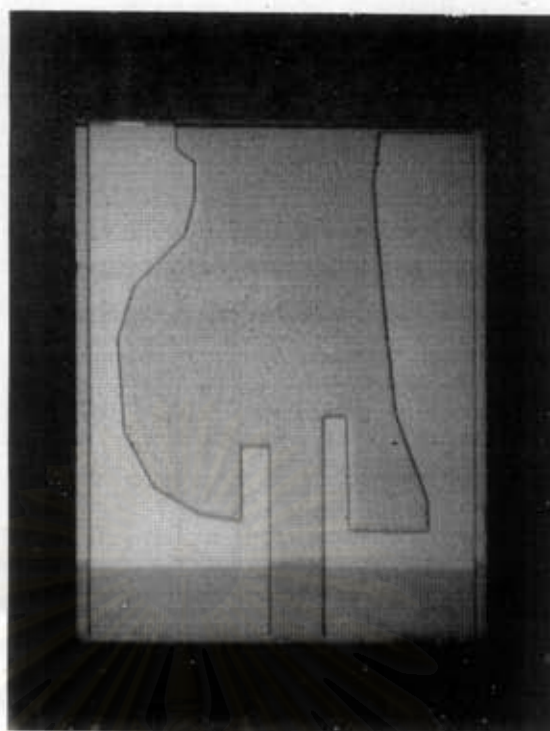
3.1.1 หัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟในระดับสไลเดอร์

หัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟในระดับสไลเดอร์ เป็นหัวอ่านเขียนที่ผลิตมาจากแผ่นเวเฟอร์ ซึ่งนำเข้ามาจากบริษัทแม่ที่อเมริกาและบริษัทในญี่ปุ่น แล้วผ่านขบวนการ Slider Fabrication เพื่อให้ออกมาเป็นสไลเดอร์ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดงภาพ Transmission Electron Microscope (TEM) สำหรับโครงสร้างของหัวอ่านเขียนแม่กานีโทวีซีดีพีพี

ที่มา : จากบริษัทแม่ของโรงงานตัวอย่าง



รูปที่ 3.2 แสดงหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟในระดับสไลเดอร์
ที่มา: ห้องปฏิบัติการของโรงงานตัวอย่าง

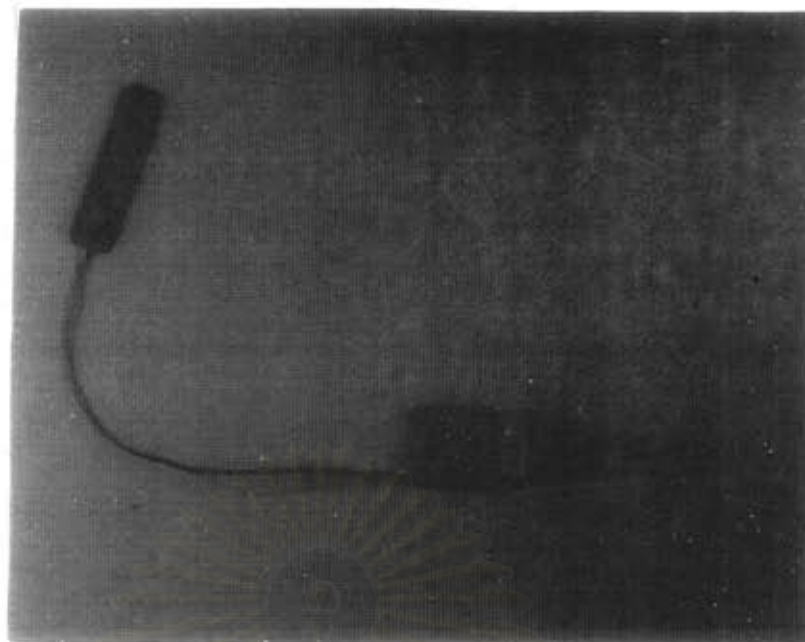
3.1.2 หัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟแบบ Head Gimbal Assembly (HGA)

หัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟในระดับ HGA เป็นการนำเอาหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟในระดับสไลเดอร์มาประกอบกับชุดเพนชัน (Suspension) และถาดนำกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.3

3.2 การวัดความต้านทานของหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟในระดับสไลเดอร์

การวัดความต้านทานของหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟในระดับสไลเดอร์ จะต้องใช้เครื่องวัดความต้านทานที่มีอยู่ในสายการผลิตเรียกว่า Single Slider Probe ซึ่งจะใช้เข็มสองเข็มวัดลงบน 1 บอนด์แพด (Bond Pad) ด้านในที่ติดกับทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ของแมกนีโทรีซิสทีฟสไลเดอร์

ดิจิทัลมัลติมิเตอร์ที่ใช้กับ Single Slider Probe เป็นของ Hewlett-Packard โมเดล 34401A ซึ่งผ่านการสอบเทียบมาตรฐานโดย Hewlett-Packard (Thailand) Ltd. ซึ่งมาตรฐานการสอบเทียบของ NIST (National Institute of Standard and Technology) และ YHP (Yokogawa-Hewlett-Packard measurement standard center)



รูปที่ 3.3 แสดงหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ HGA ซึ่งประกอบไปด้วยหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบสไลเดอร์ ตัวคานากระแสไฟฟ้าพร้อมบอร์ด และชุดเพนชั้น
ที่มา: จากโรงงานตัวอย่าง

อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการตรวจสอบความแม่นยำของคิวิตอมิตติเตอร์นี้ ได้ใช้มิเตอร์นี้ทำการวัดชั้นบนหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟ 10 ตัวอย่าง ในตารางที่ 3.1

ผลการทดสอบอุปกรณ์ความแม่นยำของการทดสอบอุปกรณ์นี้แสดงดังตารางที่ 3.1 ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์มีความแม่นยำ

3.3 การครอสเซ็กชัน (Cross section) หัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟในระดับสไลเดอร์

การครอสเซ็กชัน คือกระบวนการขัด (Lapping Process) หัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบสไลเดอร์ ด้วยแผ่นปิ้งเพต (Lapping Plate), โคมอนสเลอรี (Diamond Slurry), น้ำ และ สารเคมีจนกระทั่งถึงตำแหน่งตรงกลางของโพลทิป (Pole tips) ซิลด์ และ แมกนีโทริซิสทีฟ

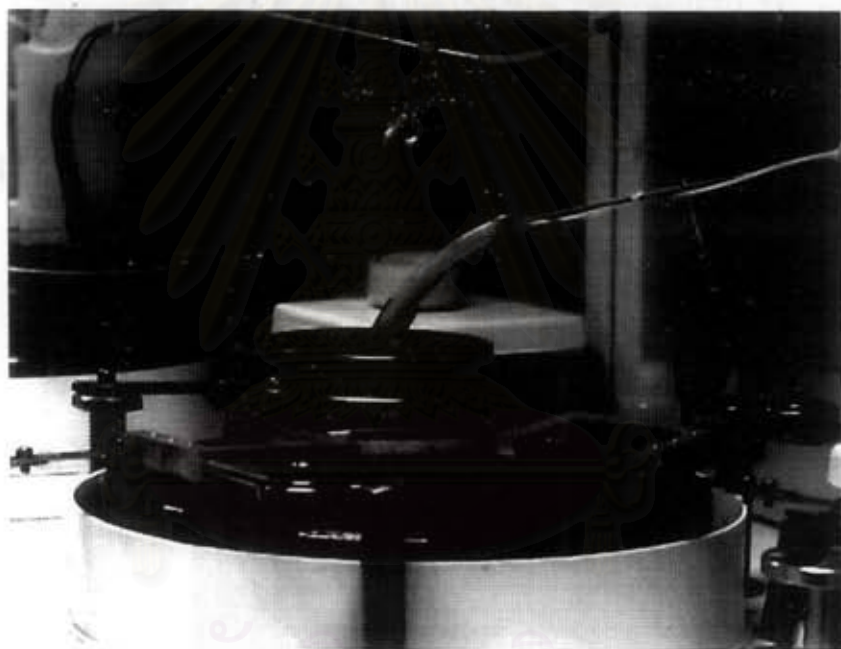
เนื่องจากหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไททานเนียมคาไบด์และอลูมินาออกไซด์ จึงมีความแข็งแรงมาก แต่เพราะ การครอสเซ็กชันจึงเป็นวิธีเดียวที่จะทำการผ่าดูโครงสร้างภายใน เพื่อทำการวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายในหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟในระดับสไลเดอร์ จะขอก้าวกระบวนการครอสเซ็กชันโดยสังเขปดังนี้

MR Head no.	Single Slider Probe														
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	Trial 6	Trial 7	Trial 8	Trial 9	Trial 10	Avg	Std	Max	Min	Range
	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)
1	11.531	11.543	11.538	11.531	11.532	11.534	11.539	11.535	11.542	11.538	11.5363	0.0044	11.543	11.531	0.012
2	11.345	11.341	11.347	11.328	11.337	11.346	11.345	11.35	11.342	11.347	11.3428	0.0064	11.350	11.328	0.022
3	11.354	11.364	11.361	11.363	11.362	11.367	11.351	11.361	11.369	11.361	11.3613	0.0054	11.369	11.351	0.018
4	11.426	11.427	11.427	11.431	11.433	11.435	11.43	11.443	11.431	11.43	11.4313	0.0050	11.443	11.426	0.017
5	12.269	12.268	12.275	12.272	12.261	12.286	12.254	12.278	12.274	12.269	12.2706	0.0088	12.286	12.254	0.032
6	11.317	11.329	11.322	11.324	11.325	11.304	11.321	11.326	11.33	11.325	11.3223	0.0075	11.330	11.304	0.026
7	12.12	12.009	12.025	12	11.967	11.998	11.996	11.996	12.009	12.005	12.0125	0.0405	12.120	11.967	0.153
8	11.511	11.507	11.498	11.499	11.502	11.505	11.504	11.495	11.502	11.495	11.5018	0.0052	11.511	11.495	0.016
9	12.521	12.523	12.519	12.528	12.534	12.518	12.516	12.503	12.515	12.518	12.5195	0.0082	12.534	12.503	0.031
10	12.256	12.254	12.251	12.255	12.262	12.261	12.244	12.264	12.25	12.258	12.2555	0.0061	12.264	12.244	0.020

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของ HP34401A ที่ใช้กับ Single Slider Probe

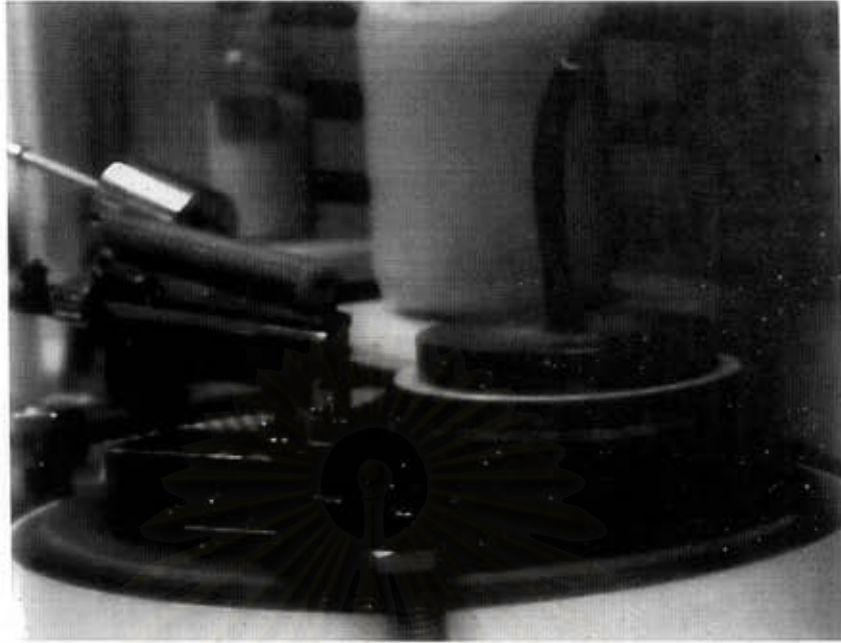
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนแรก สไลเดอร์จะถูกนำเข้าไปโหลด (load) ในฟ็อกเจอร์สำหรับการครอสเซ็กรัน ในหนึ่งฟ็อกเจอร์สามารถทำการครอสเซ็กรันหัวอ่านได้ 20 ตัว หลังจากนั้นนำไปขัดหยาบบนคอปเปอร์เพลต (Copper Plate) โดยใช้ไดมอนด์สลูรี่ (Diamond Slurry) ขนาด 5.5 ไมครอน ซึ่งเรียกว่า การขัดหยาบ (Rough Lap) ดังรูปที่ 3.4 ระหว่างการขัดจะต้องมีการตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จนกระทั่งเริ่มเห็นคอยล์ (Coil) ทองแดง จากนั้นฟ็อกเจอร์ที่มีตัวงานอยู่จะถูกย้ายและนำไปขัดบนทินเพลต (Tin plate) โดยใช้ไดมอนด์สลูรี่ขนาด 0.48 ไมครอน เรียกว่า การขัดละเอียด (Finish Lap) ดังรูปที่ 3.5 จนกระทั่งเห็นโพลทิป ให้ทำการหุดล้างไดมอนด์สลูรี่ แต่ให้ใช้สารเคมีชื่อว่า เอทรีลีนไกลคอล (Ethyleneglycol) ในการช่วยในการโพลิชซิ่ง (Polishing) ให้ถึงจุดกึ่งกลางของโพลทิป ซิลด์ และ แมกนีโทริซิตีฟ ขั้นตอนสุดท้ายเรียกว่า การโพลิชซิ่งแก่ (Polishing Lap)

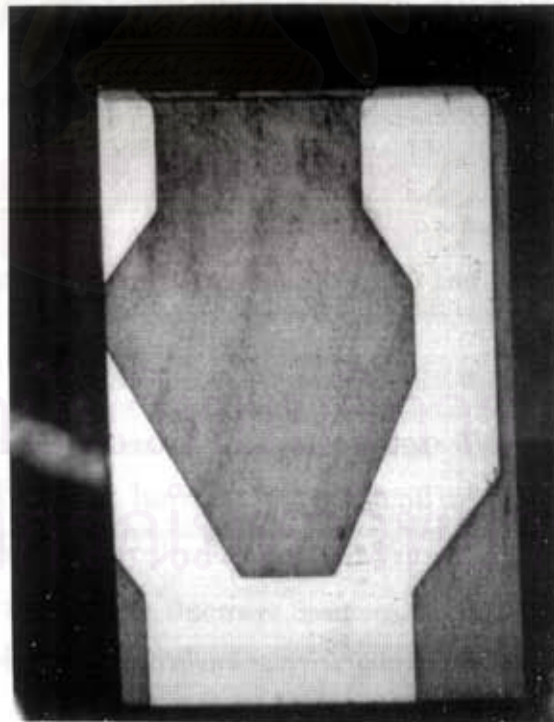


รูปที่ 3.4 แสดงคอปเปอร์เพลต (Copper plate station) สำหรับการขัดหยาบ
ที่มา : จากห้องปฏิบัติการของโรงงานตัวอย่าง

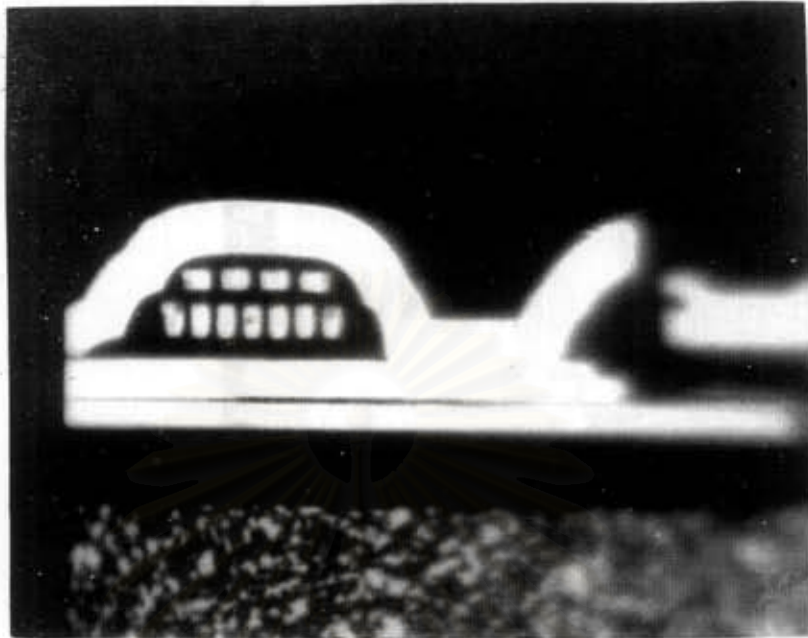
รูปที่ 3.6 และ 3.7 แสดงภาพหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิตีฟที่ผ่านกระบวนการครอสเซ็กรันแล้ว จะเห็นว่าตรงบริเวณแมกนีโทริซิตีฟจะเห็นไม่ชัดเจนภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ดังนั้นการวัดขนาดของแมกนีโทริซิตีฟจะใช้เครื่องมือ Field Emission Scanning Electron Microscope



รูปที่ 3.5 แสดงหินเททสเตรชั่น (Tin plate station) สำหรับการวัดระยะเอ็ดและโทลิสซิ่ง
ที่มา : จากห้องปฏิบัติการของโรงงานตัวอย่าง



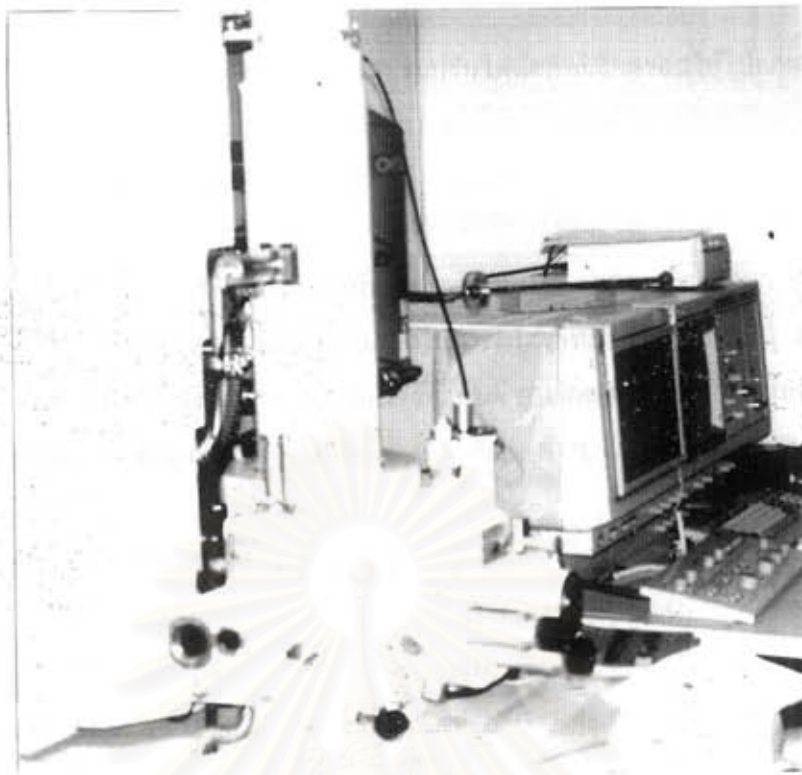
รูปที่ 3.6 แสดงภาพตัดด้านหน้าของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริสตีฟ หลังจากผ่านการครอสเซ็กชัน
ที่มา : จากห้องปฏิบัติการของโรงงานตัวอย่าง



รูปที่ 3.7 แสดงภาพตัดขวางของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟ
ที่มา : จากห้องปฏิบัติการของโรงงานตัวอย่าง

3.4 Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) and Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) ที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ โมเดล JSM-6320F ในงานวิจัยนี้ใช้ FE-SEM ในการวัดความสูงของแมกนีโทริซิสทีฟและใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เพื่อศึกษากลไกการประลัยของแมกนีโทริซิสทีฟ หลังจากผ่านการทดสอบอิเล็กโทรไมเกรชัน ซึ่งใช้ร่วมกับ Energy Dispersive Spectrometer (EDS) รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างของ FE-SEM/EDS ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงหลักการทำงานและทฤษฎีโดยสังเขปของ FE-SEM และ EDS ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างของ FE-SEM/EDS
ที่มา : จากห้องปฏิบัติการของโรงงานตัวอย่าง

3.4.1 Scanning Electron Microscope (SEM) [12]

SEM เป็นเครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากอุตสาหกรรมเหล่านี้จำเป็นต้องทำงานเกี่ยวกับวัสดุและส่วนประกอบที่มีขนาดเล็กมากซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์ได้จากเครื่องมือธรรมดาทั่วไป SEM เป็นเครื่องมือที่จำเป็นในการวิเคราะห์และวัดขนาดของชิ้นส่วนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งวงจรแม่เหล็กในหัวอ่านเขียนที่เราได้นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ SEM นอกจากจะสามารถวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่เล็กมากแล้วยังสามารถปรับเปลี่ยนมุมมองของชิ้นงานเพื่อให้เห็นรายละเอียดของชิ้นงานได้มากขึ้น

หลักการการทำงานของ SEM คือ การใช้ปืนอิเล็กตรอนเป็นตัวให้กำเนิดอิเล็กตรอนเพื่อยิงลงไปยังบนชิ้นทดสอบ อิเล็กตรอนจะถูกเร่งจากแหล่งกำเนิดให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ด้วยความต่างศักย์ในช่วง 0.5-30 kV โดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะควบคุมโดยเลนส์คอนเดนเซอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่บีบอิเล็กตรอนให้มีขนาดของหน้าตัดเล็กลง และปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยแอฟเทอร์เจอร์

ซึ่งเป็นช่องเปิดที่มีขนาดต่างกัน จากนั้นเลนส์วัตถุจะปรับโฟกัสลำอิเล็กตรอนให้ไปตกกระทบที่เป็น
หมายโดยใช้คอยล์กวาดภาพ (scan coil) ทำหน้าที่กวาดอิเล็กตรอนบนผิวของชิ้นทดสอบ แล้วนำ
สัญญาณที่ได้มาแปลงและแสดงผลทางจอภาพ

SEM ที่ใช้ในการวิจัยนี้ มีแหล่งกำเนิดคือ Field Emission SEM (FESEM) model. JSM-
6320F ของ JEOL เครื่อง FESEM มีความสามารถในการให้ภาพที่มีความคมชัดสูงที่ Resolution สูง ๆ
เนื่องจาก คุณสมบัติของ Field Emission Gun ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก คุณสมบัตินี้ทำให้เรา
สามารถได้ภาพที่มีความชัดสูงที่ Low Accelerating Voltage ต่ำ ๆ (0.5-5 kV)

สำหรับเครื่อง JSM-6320F สามารถให้ภาพที่ดี

Resolution	2.5	นาโนเมตร ที่ 1 kV
Magnification	25-650,000X	
ต้องการ Vacuum	$< 10^{-7}$	Pa

อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ภาพที่ดีที่สุดสำหรับการวิจัยครั้งนี้ เราใช้ Accelerating Voltage ที่ 2 kV
, working distance 3 มิลลิเมตร , Aperture diameter 70 ไมโครเมตร , Probe current $\approx 5 \times 10^{-11}$
แอมแปร์

3.4.2 Energy Dispersive Spectrometer (EDS) [13]

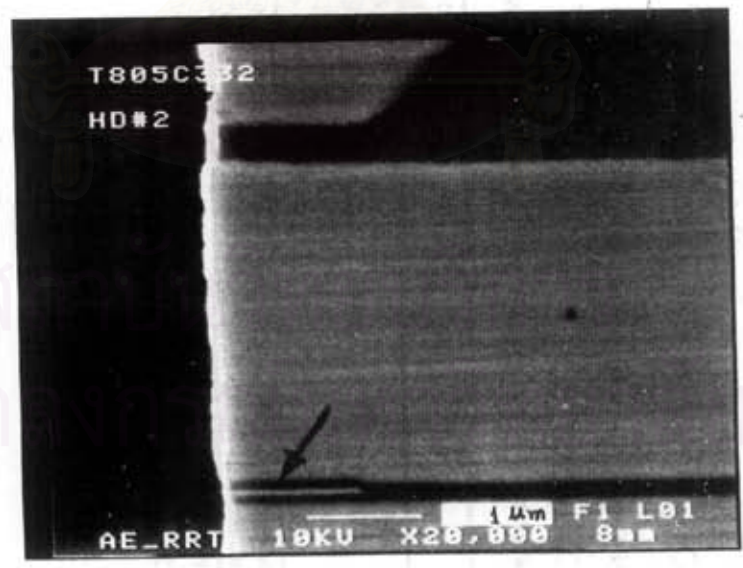
ในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนนั้น ลำอิเล็กตรอนจะตกกระทบชิ้นงานแล้วให้สัญญาณต่าง ๆ
ออกมาหลายชนิด ภาพ SEM ที่เราดูจากจอภาพนั้นเป็นภาพที่ได้มาจาก Secondary electron สำหรับ
กล้องบางกึ่งที่ติดตั้ง detector ของ backscatter electron อยู่ด้วยก็สามารถให้ภาพจาก backscatter
electron ได้ นอกจากนี้ก็ยังมี characteristic X-ray ออกมาจากชิ้นงาน หากเรามี detector สำหรับตรวจ
วัด X-ray ชนิดนี้แล้ว เราก็จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าชิ้นงานประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง ทั้งนี้เพราะว่า
ธาตุแต่ละธาตุจะให้ characteristic X-ray ของตัวมันเองแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามการตรวจวัด
X-ray ที่ออกมาจากชิ้นงานนั้นเราสามารถตรวจวัดจากพลังงาน หรือความยาวคลื่นของ X-ray ก็ได้
แต่ละวิธีก็มีข้อดี-ข้อเสีย และเครื่องมือที่จะตรวจวัดแตกต่างกันออกไป ผู้เขียนจะขอเสนอเครื่องมือ
วิเคราะห์ธาตุที่ตรวจวัดจากพลังงานของ X-ray ซึ่งมีชื่อเรียกกันว่า Energy Dispersive Spectrometer
(EDS)

เครื่องวิเคราะห์ EDS สามารถวิเคราะห์ X-ray ในช่วง 0.7-20 keV ยกเว้นธาตุที่มี atomic number (Z) ต่ำมาก (<10) ทุกธาตุจะปล่อยอย่างน้อยที่สุด 1 X-ray ภายในช่วงพลังงานนี้ แม้จะไม่สามารถ excite หรือตรวจจับ characteristic X-ray ทั้งหมดของธาตุที่กำหนดได้ แต่โดยทั่วไป identify ธาตุธาตุหนึ่งโดยเส้นที่ตรวจจับได้

ระบบ EDS ที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ Link ISIS ของ Oxford Instruments ซึ่งมี Resolution ที่ 133 eV

3.4.3 การทดสอบความแม่นยำของการวัดความสูงของแมกนีโทริซิตีฟด้วย FE-SEM

เครื่อง FE-SEM ในโหมดของการวัดมีการสอบเทียบกับ Standard Reference Material (SRM) 484g ของ NIST ผลของการสอบเทียบและทำสทัมพันธ์ แสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.9 แสดงการสทัมพันธ์โดยใช้สมการเชิงเส้นถดถอยและวิธีกำลังสองน้อยที่สุด การทดสอบความแม่นยำของการวัดความสูงของแมกนีโทริซิตีฟ แสดงในตารางที่ 3.3 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุปกรณ์ที่ใช้มีความแม่นยำสูง รูปที่ 3.10 แสดงการวัดความสูงของแมกนีโทริซิตีฟ



รูป 3.10 แสดงการวัดความสูงของแมกนีโทริซิตีฟ

Normal Detector (Backscattering electron)

Measurement X-axis

Line Pair	Measurement values (um)	Certified Spacing value (um)	Δ between Measurement values and Certified Spacing values (um)	Uncertainty Max. (um)	Uncertainty Min. (um)	Adjust Values (um)	Δ between Adjust values and Certified Spacing values (um)
0-1	0.529	0.549	-0.020	0.583	0.515	0.546	0.003
1-2	0.524	0.540	-0.016	0.579	0.501	0.541	-0.001
2-3	1.010	1.048	-0.038	1.088	1.010	1.050	-0.002
3-4	2.950	3.080	-0.130	3.124	3.036	3.080	0.000
AVERAGE			-0.051				0.000
STDEV			0.054				0.002

Certified spacing values = $(-0.0071 + (1.04636 * \text{Measurement values}))$

Condition.

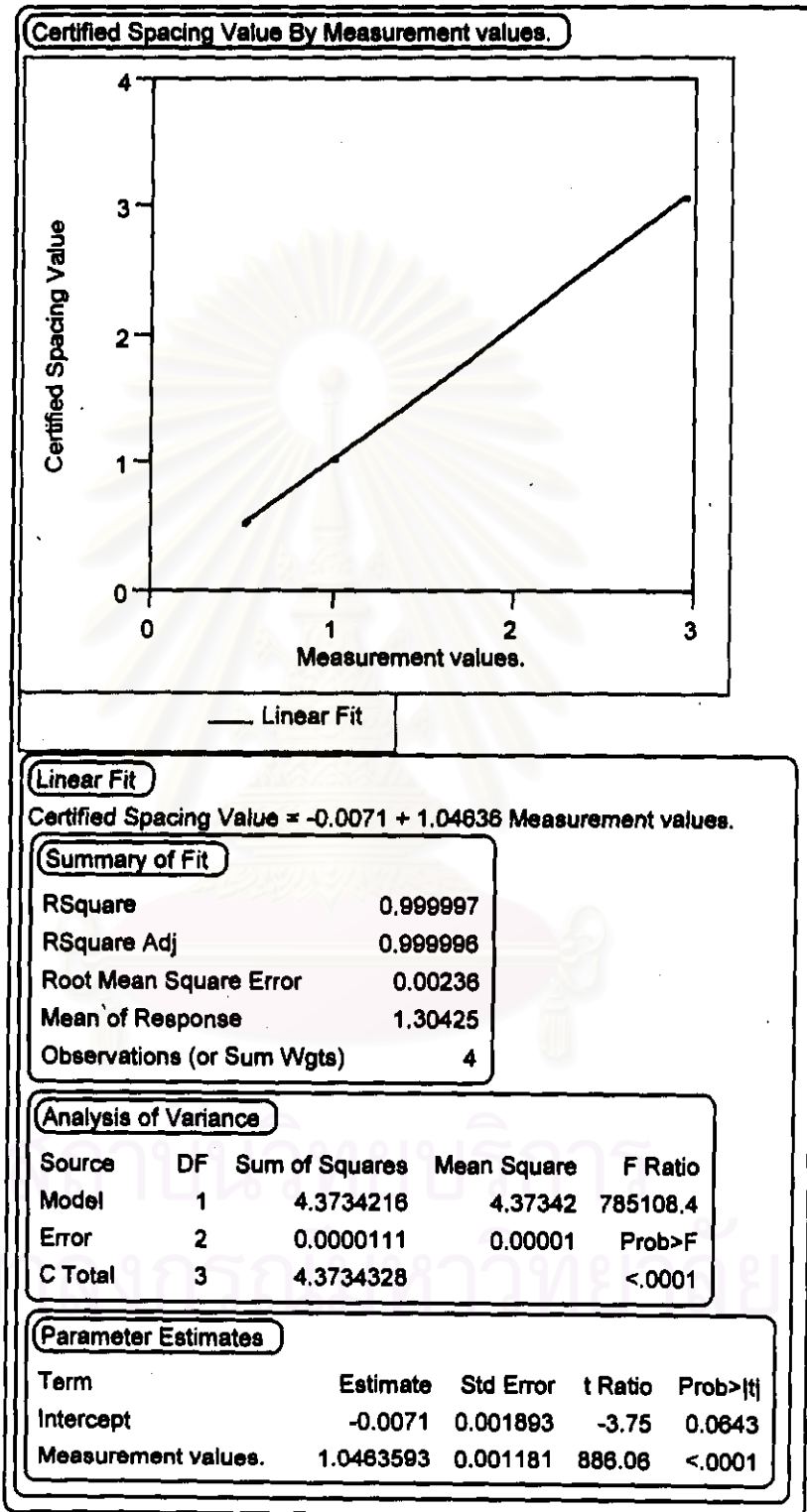
Standard Reference Material 484g (Serial no.59-24I)

Acc. Voltage 10 kV.

Wd. 8 mm.

Magnification 20 kX.

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการสอบเทียบมาตรฐานกับ SRM 484g



รูปที่ 3.9 การทำสหสัมพันธ์ระหว่าง SRM 484g กับ ค่าที่ได้จาก FE-SEM

MR HEAD no.	Field Emission Scanning Electron Microscope														
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	Trial 6	Trial 7	Trial 8	Trial 9	Trial 10	Avg	Std	Max	Min	Range
	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)
1	0.979	0.966	0.976	0.982	0.969	0.979	0.974	0.969	0.979	0.970	0.9743	0.0055	0.982	0.966	0.016
2	1.000	0.998	1.000	0.996	0.990	0.992	0.990	0.990	0.993	0.995	0.9944	0.0040	1.000	0.990	0.010
3	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.010	1.010	1.020	1.020	1.0180	0.0042	1.020	1.010	0.010
4	1.020	1.030	1.030	1.020	1.030	1.020	1.030	1.030	1.020	1.030	1.0260	0.0052	1.030	1.020	0.010
5	1.030	1.030	1.030	1.030	1.040	1.050	1.030	1.030	1.030	1.030	1.0330	0.0067	1.050	1.030	0.020
6	0.924	0.925	0.922	0.922	0.927	0.919	0.919	0.922	0.925	0.917	0.9222	0.0032	0.927	0.917	0.010
7	0.909	0.909	0.909	0.909	0.908	0.911	0.911	0.912	0.904	0.902	0.9084	0.0031	0.912	0.902	0.010
8	1.180	1.170	1.180	1.180	1.190	1.180	1.180	1.180	1.180	1.190	1.1810	0.0057	1.190	1.170	0.020
9	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.060	1.050	1.060	1.050	1.050	1.0520	0.0042	1.060	1.050	0.010
10	1.000	1.020	1.010	1.020	1.010	1.020	1.010	1.020	1.010	1.010	1.0130	0.0067	1.020	1.000	0.020

ตารางที่ 3.3 การทดสอบความแม่นยำของการวัดความสูงของแมกนีไทริซิทที่หัว FE-SEM

3.5 การวัดความต้านทานหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ HGA

การวัดหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟแบบ HGA จะใช้มัลติมิเตอร์โมเดล HP34401A ซึ่งผ่านการสอบเทียบมาตรฐาน ตารางที่ 3.4 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของโมเดล HP34401A โดยใช้ค่าความต้านทาน $32 \pm 1 \%$

3.6 Electro-Migration Tester (EMT)

EMT เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบหาอายุการใช้งานของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟ ซึ่งจะประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดควบคุมไฟฟ้าและตู้ทำความร้อน (Oven) ดังแสดงในรูปที่ 3.10

หลักการทำงานของเครื่อง EMT จะทำการวัดความต้านทานของหัวอ่านเขียนแมกนีโทริซิสทีฟ ด้วยกระแสไฟฟ้าตรงตามที่กำหนด เครื่องสามารถตั้งค่ากระแสไฟฟ้าไว้ตั้งแต่ 2.5 - 25 มิลลิแอมป์ โดยจะทำการอ่านและบันทึกข้อมูลไว้ในคอมพิวเตอร์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน

การทดสอบความแม่นยำของการอ่านความต้านทานของ EMT ด้วยความต้านทาน $32 \Omega \pm 1\%$ แสดงไว้ในตารางที่ 3.5 ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดที่ใช้มีความแม่นยำ

RESISTANCE NO.	HP34401A														
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	Trial 6	Trial 7	Trial 8	Trial 9	Trial 10	Avg	Std	Max	Min	Range
	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)
1	31.921	31.922	31.919	31.922	31.929	31.936	31.921	31.922	31.935	31.925	31.9253	0.0061	31.936	31.919	0.017
2	31.922	31.924	31.921	31.930	31.922	31.927	31.922	31.936	31.919	31.924	31.9249	0.0050	31.936	31.919	0.017
3	31.916	31.916	31.916	31.919	31.917	31.916	31.906	31.916	31.922	31.927	31.9170	0.0054	31.927	31.906	0.021
4	31.959	31.956	31.956	31.945	31.956	31.960	31.970	31.956	31.956	31.956	31.9569	0.0060	31.970	31.945	0.024
5	31.934	31.935	31.931	31.935	31.936	31.938	31.935	31.936	31.950	31.935	31.9365	0.0049	31.950	31.931	0.018
6	31.926	31.926	31.924	31.923	31.936	31.923	31.925	31.931	31.936	31.923	31.9272	0.0051	31.936	31.923	0.013
7	31.915	31.915	31.924	31.915	31.921	31.919	31.916	31.931	31.939	31.916	31.9209	0.0081	31.939	31.915	0.024
8	31.936	31.937	31.941	31.938	31.943	31.941	31.932	31.940	31.934	31.931	31.9372	0.0041	31.943	31.931	0.012
9	31.926	31.925	31.922	31.926	31.942	31.930	31.927	31.927	31.931	31.928	31.9283	0.0053	31.942	31.922	0.019
10	31.946	31.947	31.947	31.940	31.950	31.947	31.948	31.956	31.955	31.946	31.9480	0.0046	31.956	31.940	0.016

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการผลทดสอบความแม่นยำของโมเดล HP34401A โดยใช้ค่าความต้านทาน $32 \pm 1\%$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.11 แสดงเครื่อง Electro-Migration Tester (EMT)

ที่มา : จากห้องปฏิบัติการของโรงงานตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Resistance no.	Electromigration Tester														
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	Trial 6	Trial 7	Trial 8	Trial 9	Trial 10	Avg	Std	Max	Min	Range
	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)	(ohm)
1	31.903	31.905	31.909	31.901	31.902	31.903	31.905	31.904	31.925	31.914	31.9069	0.0073	31.925	31.901	0.024
2	31.916	31.922	31.917	31.917	31.916	31.917	31.947	31.919	31.921	31.927	31.9220	0.0096	31.947	31.916	0.031
3	31.909	31.903	31.910	31.902	31.902	31.910	31.900	31.902	31.921	31.903	31.9061	0.0063	31.921	31.900	0.021
4	32.007	32.009	32.006	32.003	32.009	32.025	32.011	32.015	32.011	32.003	32.0098	0.0065	32.025	32.003	0.022
5	31.883	31.883	31.884	31.885	31.882	31.884	31.890	31.903	31.895	31.891	31.8878	0.0069	31.903	31.882	0.021
6	31.947	31.942	31.945	31.944	31.942	31.942	31.951	31.946	31.941	31.937	31.9436	0.0038	31.951	31.937	0.014
7	31.910	31.914	31.913	31.913	31.912	31.911	31.925	31.913	31.911	31.911	31.9132	0.0042	31.925	31.910	0.014
8	31.914	31.906	31.912	31.915	31.913	31.912	31.912	31.923	31.913	31.910	31.9129	0.0043	31.923	31.906	0.017
9	31.897	31.891	31.900	31.895	31.895	31.909	31.892	31.898	31.896	31.891	31.8962	0.0052	31.909	31.891	0.018
10	31.898	31.896	31.893	31.891	31.898	31.890	31.892	31.890	31.893	31.910	31.8952	0.0061	31.910	31.890	0.020

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของการอ่านความต้านทานของ EMT ด้วยความต้านทาน $32 \pm 1\%$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย