สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบาญ	ซ
สารบาญตาราง	ฎ
สารบาญภาพ	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	6
1.3 ขอบเขตการศึกษา	7
1.4 ประโยชน์ของการศึกษาที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**8**
2.1 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1.1 เทคนิคโฟโตลิโธกราฟีที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	8
2.1.2 การประยุกต์ใช้ลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์	10
2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	14
2.2.1 แสงซินโครตรอน	14
2.2.2 กระบวนการกัดด้วยเครื่อง Reactive Ion Etching (RIE)	23
2.2.3 กระบวนการสร้างลวดลายโครงสร้างจุลภาค	25
2.2.3.1 การสร้างแผ่นโฟโตมาสก์	25
2.2.3.2 กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี (Photo Lithography)	27
2.2.3.3 การปลูกฟิล์ม	29
2.2.4 กระบวนการผลิต (Manufacturing)	39

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

		หน้า
	2.2.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)	41
บทที่ 3	**วิธีการดำเนินงานวิจัย**	**45**
3.1	การศึกษากระบวนการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโฟโตลิโธกราฟี	46
	3.1.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการลิโธกราฟีด้วยการใช้แสงอัลตราไวโอเลต (UV)	48
	3.1.2 การศึกษากระบวนการกัดโดยเครื่อง Reactive Ion Etching (RIE)	50
	3.1.3 การศึกษาค่า Selectivity ของการกัด	51
	3.1.4 การศึกษกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน	51
	3.1.4.1 กระบวนการสร้างหน้ากากสำหรับดูดซับรังสีเอกซ์ (X-ray Mask)	51
	3.1.4.2 วิธีการเตรียมความหนาของสารไวแสง SU-8 สำหรับเคลือบแผ่น AlTiC เพื่อนำไปอาบรังสีเอกซ์ (Substrate)	63
	3.1.4.3 วิธีการฉายแสงรังสีเอกซ์ (X-ray Exposure)	66
	3.1.4.4 ขั้นตอนการล้างสารไวแสง (Developer)	67
	3.1.4.5 ขั้นตอนการกัดชิ้นงานโดยเครื่อง RIE	68
3.2	การเลือกการออกแบบการทดลอง	71
3.3	ผลตอบของกระบวนการ	72
3.4	การวิเคราะห์ผลตอบในกรอบของการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวน	72
3.5	การวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองจากเทคนิคการออกแบบการทดลอง	72
3.6	สรุปและเปรียบเทียบผลการทดลอง	73
บทที่ 4	**ผลการศึกษาวิจัย**	**74**
4.1	ผลการทดลองเพื่อหาค่าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลิโธกราฟี	74

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

		หน้า
	4.1.1 ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยในกระบวนการลิโธกราฟีด้วยการใช้แสงอัลตราไวโอเลต (UV)	74
	4.1.2 ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยในกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน	77
	4.1.3 ผลการทดลองการหาค่า Selectivity	78
	4.1.4 ผลการทดลองการหาค่าพลังงานที่นำมาใช้ในการฉายแสงด้วยการใช้รังสีเอกซ์	82
	4.1.5 ผลการทดลองเพื่อหาค่ากระบวนการสร้างลายโดยเครื่องกัด RIE	85
4.2	ผลการออกแบบการทดลอง	87
4.3	การวิเคราะห์ผลการทดลองตามแนวทางของการวิเคราะห์ความแปรปรวน	91
	4.3.1 การประมาณผลกระทบจากการทดลอง (Estimate Factor Effects)	91
	4.3.2 การสร้างแบบจำลองเริ่มต้น (Form Initial Model)	91
	4.3.3 การทดสอบทางสถิติ (Perform Statistical Testing)	91
	4.3.4 แก้ไขแบบจำลอง (Refine Model)	92
	4.3.5 วิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Analyze Residuals)	95
4.4	ผลการทดลองส่วนประสมกลาง (CCD)	98
4.5	การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับผลตอบทั้งสองแบบ	103
4.6	การสร้างลวดลาย Burnishing head ABS ด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนเพื่อยืนยันผลจากเงื่อนไขค่าที่เหมาะสมของแต่ละแบบจำลองจากเงื่อนไขค่าที่เหมาะสมของแต่ละแบบจำลอง	106
4.7	ทำการวิเคราะห์ผลเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของผลตอบทั้งสองแบบ	107
4.8	การศึกษาเปรียบเทียบหน้ากากแข็งระหว่างสารไวแสง SU-8 สารไวแสง AZP4620 และโลหะโครเมียม	108
บทที่ 5	**บทสรุป และข้อเสนอแนะ**	**110**
5.1	สรุปผลการวิจัย	110
5.2	อภิปรายผลการวิจัย	114

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ปัญหาและอุปสรรค	116
5.4 ข้อเสนอแนะ	116
5.5 แนวทางการศึกษาในอนาคต	116
บรรณานุกรม	118
ภาคผนวก	122
ภาคผนวก ก อุปกรณ์ เครื่องมือ และกระบวนการลิโธกราฟีด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (UV- Photolithography) สำหรับการใช้สารไวแสง AZ P4620	123
ภาคผนวก ข คุณสมบัติของน้ำยาล้างสารไวแสง SU-8 (PG-Remover) และวิธีการเตรียมสารละลายชุปโลหะ	127
ภาคผนวก ค ค่ามาตรฐานสำหรับการวัดค่าวิกฤตมิติ (Critical Dimension ; CD)	132
ภาคผนวก ง ภาพผลลัพธ์ที่ได้ภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองจริงด้วยเครื่อง RIE	134
ภาคผนวก จ ข้อมูลแสดงผลการฉายแสงด้วยกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน	139
ประวัติผู้เขียน	**143**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	การเข้ามาของผู้ประกอบการฮาร์ดดิสก์รายใหญ่ในประเทศไทย	1
1.2	การผลิต และการส่งออกของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟของไทย	2
2.1	เปรียบเทียบเวลาในการฉายรังสีเอกซ์บนชิ้นงานระหว่างสารไวแสง PMMA และ SU-8 ที่ความหนาของฟิล์มไวแสงต่าง ๆ	11
2.2	รายละเอียดส่วนประกอบต่างๆ ในระบบลำเลียงแสง BL-6	19
2.3	สรุปข้อมูลทางเทคนิคของระบบลำเลียงแสง BL-6	21
2.4	สารเคมีที่ใช้ในการกัดทั่วไปในกระบวนการผลิตเซมิคอนดักเตอร์	24
2.5	แสดงค่าฟังก์ชันความผิดพลาดเติมเต็ม erfc(z)	37
3.1	รายละเอียดของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Specialty head	46
3.2	ปัจจัย ระดับขอบเขต และสัญลักษณ์สำหรับกระบวนการกัดชิ้นงาน	50
4.1	ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของผลตอบมิติวิกฤต	75
4.2	ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของผลตอบความหนาของสารไวแสงหลังจากการล้างสารไวแสงออก	76
4.3	ผลการทดลองการหาค่า Selectivity ของการกัดโดยเครื่องกัด RIE	78
4.4	แสดงภาพการกัดโดยเครื่อง RIE ตามความหนาของสารไวแสงSU-8	81
4.5	แสดงผลการทดลองการหาค่าที่เหมาะสมต่อการฉายแสงด้วยการใช้รังสีเอกซ์	82
4.6	แสดงค่าพลังงานที่เหมาะสมต่อความหนาที่เหมาะสมดังสมการ 4.1 และ 4.2	85
4.7	แสดงผลการกัดตามระยะเวลาในการทดลอง	86
4.8	เปรียบเทียบปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการลิโธกราฟีด้วยการใช้แสงอัลตราไวโอเลต (UV) กับรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน	88
4.9	ผลการทดลอง Factorial Design ในแต่ละเงื่อนไขในการทดลอง	89
4.10	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลตอบมิติวิกฤต (CD)	91
4.11	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลตอบความลึก (Etch Depth)	92
4.12	ผลการทดลองส่วนประสมกลาง (CCD) ในแต่ละเงื่อนไขในการทดลอง	98
4.13	ผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการผลตอบมิติวิกฤตสำหรับ CCD	100
4.14	ผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการผลตอบความลึกสำหรับ CCD	101

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.15	ผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการผลตอบมิติวิกฤตของค่าที่เหมาะสม	103
4.16	ผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการผลตอบความลึกของค่าที่เหมาะสม	104
4.17	ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยสำหรับแต่ละผลตอบ (ที่มิติวิกฤต = 8.02 mil และความลึก = 30 μm)	105
4.18	ค่ามิติวิกฤต และความลึกที่วัดได้จากผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการสร้างลวดลายด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน	107
4.19	แสดงผลตอบค่ามิติวิกฤตตามช่วงการทดลอง 3 ช่วงการทดลอง	107
4.20	แสดงค่ามิติวิกฤตของหน้ากากกั้นรังสีเอกซ์และความคลาดเคลื่อนจากค่าที่วัดจริง	108
4.21	แสดงค่าเปรียบเทียบผลตอบค่ามิติวิกฤต และค่ามุมของการกัด จากการใช้หน้ากากแข็งแต่ละชนิด	108
5.1	เปรียบเทียบผลตอบที่ได้จากการกัดด้วยเครื่อง RIE ในแต่ละวัสดุที่นำมาใช้เป็นหน้ากากแข็ง	113
ค-1	CD specification of specialty head	133
จ-1	แสดงข้อมูลการฉายแสงด้วยรังสีเอกซ์	140

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
1.1	ภาพผลิตภัณฑ์หัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์	3
1.2	ขั้นตอนการผลิตหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์	4
1.3	ขั้นตอนการผลิต Specialty head	6
2.1	ลำดับอุปกรณ์ที่ติดตั้งสำหรับการฉายรังสีเอกซ์ในกระบวนการลิโธกราฟฟีด้วยรังสีเอกซ์	10
2.2	ระบบลำเลียงแสง BL-6 ส่วนหน้า (ภายในกำแพงกั้นรังสี)	17
2.3	ระบบลำเลียงแสง BL-6 ในโถงทดลอง	18
2.4	อุปกรณ์ภายในสถานีอาบรังสี	18
2.5	สเปกตรัมของแสงซินโครตรอนจากระบบลำเลียงแสง BL-6 เปรียบเทียบกำลังแสงที่ผ่านชั้นฟิลเตอร์ชนิดต่างๆที่มา:สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)	22
2.6	แสดงการกัดแบบ Physical Etching และ Chemical Etching ในเครื่อง RIE	25
2.7	ชุดโฟโตมาสก์ที่ใช้ในการสร้างวงจรรวม	26
2.8	หลักการของกระบวนการถ่ายแบบ	27
2.9	กระบวนการหมุนเคลือบ (Spin Coating) เพื่อทำให้น้ำยาไวแสงเคลือบสม่ำเสมอบนผิวหน้าแว่นผลึก	28
2.10	ระบบเครื่องมือสปัตเตอริง	29
2.11	(ก) อุปกรณ์ของระบบ CVD ที่เป็นพื้นฐานซึ่งใช้ปลูกฟิล์ม a-Si:H และ (ข) ภาพถ่ายของระบบอุปกรณ์ CVD	31
2.12	สเตปคอฟเวอเรจ (Step Coverage) ที่มักเกิดขึ้น	32
2.13	ไดอะแกรมของระบบ MOCVD	33
2.14	การแพร่ซึมของสารเจือ	34
2.15	ฟังก์ความผิดพลาด erf(z) และฟังก์ชันความผิดพลาดเติมเต็ม erf(z) ซึ่งแสดงด้วยพื้นที่ใต้กราฟ	35
2.16	ฟังก์ชัน erf(z) และ erfc(z)	35

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
2.17	การสร้างรอยต่อพี-เอ็นด้วยกระบวนการแพร่ซึม 2 ขั้นตอน	38
2.18	ระบบแพร่ซึมแบบเปิดที่ใช้แหล่งกำเนิดสารเจือเป็นของเหลว	39
2.19	แสดงตัวอย่างกระบวนการผลิต	40
2.20	แสดงการแบ่งกลุ่มของวัสดุ	40
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	46
3.2	ผลิตภัณฑ์ Specialty head แบบ Burnish head ABS	46
3.3	แสดงผลจากการถ่าย SEM โดยการใช้สารไวแสงSU-8	50
3.4	แสดงวิธีการคำนวณหาค่า Selectivity	51
3.5	ส่วนประกอบของหน้ากากดูดซับรังสีเอกซ์	52
3.6	(ก) วงแหวนทองแดงมีการใช้งานแล้ว (ข) การต้มใน Remover PG และ (ค) วงแหวนที่ผ่านการลอกเศษวัดุ	53
3.7	(ก) การขัดวงแหวนทองแดงบนด้วยกระดาษทรายบนจานขัด และ (ข) พื้นผิวของวงแหวนที่ผ่านการขัด	54
3.8	อบวงแหวนในเตาอบเพื่อกำจัดความชื้น	54
3.9	(ก) ลำดับการวาง และ (ข) จัดเรียงให้เป็นแนวเดียวกัน	55
3.10	(ก) กาวอีพอกซี่ทั้ง 2 ส่วนอัตราส่วน 1 : 1 และ (ข) ผสมกาวให้เข้ากันด้วนแท่งไม้ขนาดเล็ก	55
3.11	(ก) ทากาวบนวงแหวนด้านที่ขัดเรียบและ (ข) จัดวางให้เป็นระเบียบ	56
3.12	(ก) ตัดแยกวงแหวนด้วยคัตเตอร์และ (ข) ใช้กรรไกตัดแผ่นใสที่อยู่โดยรอบ	56
3.13	ชิ้นงานที่ทำการเคลือบโลหะไททาเนียมและเงิน	57
3.14	(ก) ประกบเทปพอลิอิไมด์รอบวงแหวนและ (ข) ตัดขอบบางส่วนออก	57
3.15	(ก) เครื่องหมุนเคลือบสารไวแสงและ (ข) วางฐาน CD เพื่อเป็นฐานรอง	58
3.16	(ก) วางวงแหวนบนฐาน CD (ข) หยดสารไวแสง AZ P4620 ที่ตรงกลางวงแหวน (ค) หมุนเคลือบสารไวแสงและ (ง) ลอกเทปพอลิอิไมด์ออก	59
3.17	ชั้นแผ่นทิชชู่วงกลมหนา	59
3.18	หลังจากทำการล้างสารไวแสง	60

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
3.19	การติดตั้งชุบเคลือบโลหะด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า	61
3.20	ปิดส่วนที่ไม่ต้องการเคลือบโลหะด้วยเทปพอลิอิไมด์	61
3.21	การนำชิ้นงานจุ่มลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์	62
3.22	สกัดชั้นโลหะเงินและไททาเนียมเพื่อให้ได้ฐานรองโปร่งแสง	63
3.23	แสดงการใช้เครื่อง Veeco® เพื่อวัดความหนาของวัสดุดูดซับรังสีเอกซ์	63
3.24	แสดงการตัดแผ่น AlTiC	64
3.25	การล้างแผ่น AlTiC	64
3.26	แสดงวิธีการขัดซับสเตรคด้วยวิธีการขัดแบบน้ำ	65
3.27	(ก) แสดงรูปซับสเตรคหลังจากการขัด (ข) แสดงรูปการนำซับสเตรคผึ่งเพื่อให้ผิวหน้าของ SU-8 เรียบ (ค) แสดงรูปซับสเตรคหลังจากการผ่านความร้อนเตรียมพร้อมนำไปฉายแสง	66
3.28	แสดงการนำชิ้นงานที่เตรียมไว้เพื่อทำการฉายแสง X-ray ณ.ระบบลำเลียงแสงที่ BL6:DXL	66
3.29	แสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการฉายรังสีเอกซ์	67
3.30	ก.โครงสร้างที่ได้รับพลังงานน้อยเกินไป ข. โครงสร้างที่ได้รับพลังงานมากกว่าไป ค. โครงสร้างที่ได้รับพลังงานเหมาะสม	68
3.31	แสดงเครื่อง Vecco ที่ใช้สำหรับวัดความหนาหน้ากากแข็งสารไวแสง SU-8	69
3.32	แสดงผลการพารามิเตอร์การกัดด้วยเครื่องRIE ของชิ้นงาน Burnish head ABS	70
3.33	แสดงการเกิด AlF_3 ระหว่างที่นำชิ้นงานไปกัดด้วยเครื่อง RIE	70
3.34	แสดงรูปชิ้นงานที่ทำการล้าง CF_4 ออกด้วย NaOH	71
3.35	แสดงรูปชิ้นงานที่ล้างสารไวแสงออกในสารละลาย Remover PG	71
3.36	แสดงตัวอย่างผลตอบที่ได้จากการถ่ายภาพ SEM	72
4.1	กราฟแสดงส่วนตกค้างของผลการทดลองค่า CD	76
4.2	กราฟแสดงส่วนตกค้างของผลการทดลองค่าความหนาหลังจากการล้างสารไวแสง	77
4.3	ความหนาของหน้ากากแข็งที่วัดค่าจากเครื่อง Vecco	79

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.4	ภาพความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของหน้ากากแข็งแต่ละชนิดกับความลึกของ AlTiC	80
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการอาบรังสีเอกซ์กับความหนาของสารไวแสง SU-8	84
4.6	แสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการอาบรังสีเอกซ์	85
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการกัดกับความลึกของ AlTiC	87
4.8	กราฟแสดงผลการกระจายตัวของค่าผลตอบมิติวิกฤต (CD)	90
4.9	กราฟแสดงผลการกระจายตัวของค่าผลตอบความลึก	90
4.10	กราฟพาเรโตแสดงผลกระทบต่อผลตอบมิติวิกฤต	93
4.11	กราฟพาเรโตแสดงผลกระทบต่อผลตอบความลึก	94
4.12	กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบมิติวิกฤต	95
4.13	กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบความลึก	96
4.14	กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบมิติวิกฤตสำหรับ CCD	101
4.15	กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบความลึกสำหรับ CCD	102
4.16	กราฟแสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยสำหรับผลตอบมิติวิกฤต และความลึก	105
4.17	ภาพ SEM ของชิ้นงานโดยการสร้างลวดลายด้วยกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน ในเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด	106
5.1	ขั้นตอนการผลิต Burnish head ABSโดยการใช้สารไวแสง SU-8 เป็นหน้ากากแข็งด้วยกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน	112
ค-1	การวัดตำแหน่งสำหรับค่ามิติวิกฤต (CD measurement location)	133
ง-1	ภาพถ่าย SEM ของ Burnish Head หลังจากการ Develop ชิ้นงาน	135
ง-2	ภาพถ่าย SEM ของ Burnish Head หลังจากการกัดด้วยเครื่อง RIE โดยที่ยังไม่มีการล้าง CF_4	136
ง-3	ภาพถ่าย SEM ของ Burnish Head จากกระบวนการใช้กระบวนการลิโธกราฟีด้วยแสงอัลตราไวโอเลตหลังจากการกัดด้วยเครื่อง RIE	137

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป		หน้า
ง-4	ภาพถ่าย SEM ของ Burnish Head ด้วยกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนหลังจากการกัดด้วยเครื่อง RIE และล้างหน้ากากแข็งออก	138
จ-1	กราฟแสดงสถานะแสงซินโครตรอน	140

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved