

การออกแบบและลักษณะเฉพาะของหัวดีซีแมกนีตรอนสเปตเทอริง



นายณัฐพร พรหมรส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์

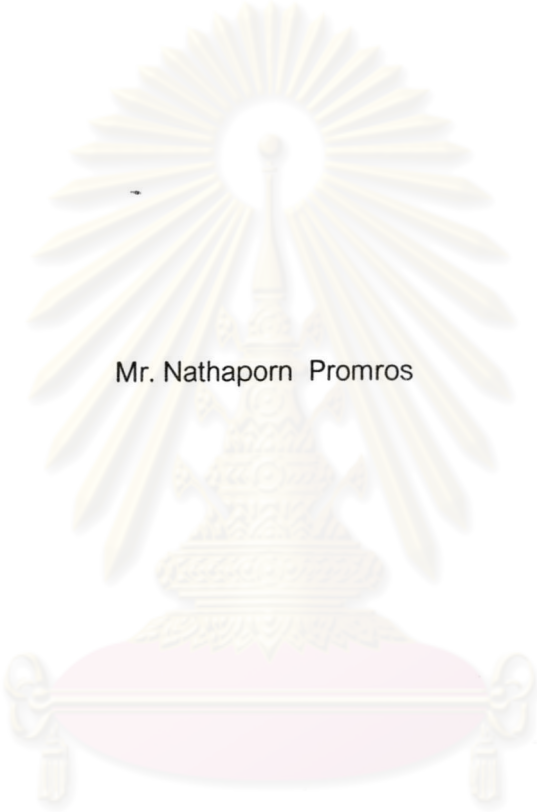
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4274-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN AND CHARACTERIZATION OF DC MAGNETRON SPUTTERING HEAD



Mr. Nathaporn Promros

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Physics

Department of Physics

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-4274-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบและลักษณะเฉพาะของหัวดีซีแมกนีตรอนสเป็คเทอริง

โดย

นายณัฐพร พรหมรส

สาขาวิชา

ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญโชติ เผ่าสวัสด์ยรรยง

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รองศาสตราจารย์ สุรสิงห์ ไชยคุณ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ออนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิเศษฐ์ รัตนวรารักษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญโชติ เผ่าสวัสด์ยรรยง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ สุรสิงห์ ไชยคุณ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุคคณศ ตุงคะสมิต)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วรากร พิพัฒน์ชลธี)

ณัฐพร พรหมรส: การออกแบบและลักษณะเฉพาะของหัวดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริง. (DESIGN AND CHARACTERIZATION OF DC MAGNETRON SPUTTERING HEAD) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.ดร. บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง, อ.ที่ปรึกษาร่วม: รศ. สุรสิงห์ ไชยคุณ, 76 หน้า. ISBN 974-17-4274-6.

หัวดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริงที่มีรูปร่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 64 มิลลิเมตรได้ถูกออกแบบสร้างขึ้นมา โดยใช้แม่เหล็กนีโอไดเมียม ไอรอน โบรอน 2 ตัววางแยกอยู่ที่ด้านหลังของแผ่นระบายความร้อนเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กที่ผิวเป้า ความเข้มของสนามแม่เหล็กด้านนอกมีค่ามากกว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กด้านใน โดยมีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผิวเป้าหมายมากที่สุดประมาณ 120 มิลลิเทสลา

โลหะเงินถูกเลือกสำหรับการสปัตเทอริงเคลือบฟิล์มบางภายใต้การเปลี่ยนแปลงกำลังของการสปัตเทอริงตั้งแต่ 13.86-27.73 วัตต์ จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของพลาสมาด้วยหัววัดเดี่ยวกลาง มัวร์แบบกวาด พบว่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอนมีค่าประมาณ 2 อิเล็กตรอนโวลต์ และความหนาแน่นของพลาสมามีค่าเพิ่มขึ้นจาก $2.58-2.76 \times 10^{17}$ อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์มด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางเงินที่เคลือบบนกระจกไลต์ พบว่าผลึกมีการจัดเรียงตัวในระนาบ (111) และ (200) จากการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวของฟิล์มบางที่เคลือบบนแผ่นซิลิกอนเวเฟอร์โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าฟิล์มบางประกอบไปด้วยเกรนที่เกิดด้าน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....ฟิสิกส์.....

สาขาวิชา.....ฟิสิกส์.....

ปีการศึกษา.....2548.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ณัฐพร พรหมรส.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*Palu*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....*[Signature]*.....

4572293023 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD: COMPACT MAGNETRON SPUTTERING HEAD/ DC MAGNETRON SPUTTERING/ SPUTTERING POWER/ SILVER THIN FILM/ PLASMA PARAMETER/ CRYSTALLOGRAPHIC TEXTURE

NATHAPORN PROMROS: DESIGN AND CHARACTERIZATION OF DC MAGNETRON SPUTTERING HEAD. THESIS ADVISOR: BOONCHOAT PAOSAWATYANYONG, THESIS COADVISOR: SURASING CHAIYAKUN, 76 pp. ISBN 974-17-4274-6.

Compact 64 mm diameter cylindrical dc magnetron sputtering head for sputtering of conductive metals was designed and constructed. The neodymium iron boron permanent magnets with an inner piece and an annular outer piece were placed in isolation behind the cooling plate. An asymmetric magnetic field of the magnetron at the front of the target shows stronger field of the outer pole than that of the inner pole. The magnetic field strength at the surface of the target reaches a maximum value of 120 mT.

Silver metal was chosen for sputtering deposition under the varied sputtering power from 13.86 to 27.73 W. Plasma parameters were analyzed by using the swept single Langmuir probe. From the measurement, The electron temperature observed to be 2 eV while the plasma density increases from 2.58 to $2.76 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$. Crystalline orientations of (111) and (200) direction were obtained from the XRD pattern of silver thin films deposited on slide glass substrates. Faceted grains of thin films deposited on silicon wafer substrates were observed from the SEM image.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Physics.....
Field of study..... Physics.....
Academic year.....2005.....

Student's signature.....
Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง ตลอดจนอุปการะทุนสนับสนุนและให้คำแนะนำที่ดีตลอดมา รวมไปถึงการผลักดันให้ผู้วิจัยตั้งใจและทุ่มเทเพื่อการทำงานและเป็นแบบอย่างที่ดีในการทำงานให้กับผู้วิจัย และ รศ. สุรสิงห์ ไชยคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและเป็นแบบอย่างที่ดีในการทำงานให้กับผู้วิจัย

ขอขอบคุณ หจก.ไทยงามเอ็นยีเนียร์จิง จังหวัดสระบุรี หน่วยซ่อมบำรุงคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หจก.นเรศโลหะ ชัพพลาย และ work shop คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ที่ได้ช่วยสร้างและซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณคณะกรรมการทุกท่านที่ได้สละเวลาในการตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้วิจัย และขอขอบคุณอาจารย์หลายๆท่าน เจ้าหน้าที่ เพื่อนสนิทหลายๆท่าน และทุกๆท่านในห้องปฏิบัติการพลาสมาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือกับผู้วิจัย

ขอขอบคุณศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และขอขอบคุณอาจารย์หลายๆท่าน เจ้าหน้าที่ เพื่อนสนิทของผู้วิจัยที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์และภาควิชาคอมพิวเตอร์ และทุกๆท่านใน Photonic Materials Research Laboratory ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รวมไปถึงอาจารย์หลายๆท่านและเจ้าหน้าที่ ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ท้ายที่สุดผู้วิจัยขอมอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับครอบครัวของผู้วิจัย รศ. งามนิตย์ วงษ์เจริญ รศ.ดร. ทิพรรัตน์ วงษ์เจริญ ผศ.ดร. ชัยสิงห์ ภูรักษาเกียรติ รศ.ดร. สฐิตินัย แก้วแดง และคุณธนพร แม่สุวรรณ air hostages สายการบิน Japan airlines

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	4
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 โกลด์ดิสซาร์จ.....	5
2.2 สปีดเทอริง.....	7
2.2.1 ยี่ลด์ซ์ของการสปีดเทอริง.....	7
2.2.2 ดีซีไดโอดสปีดเทอริง.....	9
2.2.3 ดีซีแมกนิตรอนสปีดเทอริง.....	10
2.2.4 สนามแม่เหล็กที่มีผลต่อการดิซซาร์จ.....	13
2.3 องค์ประกอบที่สำคัญของหัวดีซีแมกนิตรอนสปีดเทอริง.....	14
2.3.1 วัสดุที่ใช้สร้างหัวดีซีแมกนิตรอน.....	14
2.3.2 การให้ความเย็นที่เป้า.....	14
2.3.3 การควบคุมให้เกิดการสปีดเทอริงเฉพาะผิวเป้า.....	15
2.3.4 ลักษณะของสนามแม่เหล็ก.....	17
2.4 คุณสมบัติทางพลาสมา.....	20
2.4.1 หัววัดลางมัวร์.....	20
2.4.2 ลักษณะเฉพาะของกระแสและความต่างศักย์.....	21

บทที่	หน้า
2.4.2.1 อุณหภูมิของอิเล็กทรอนิกส์.....	22
2.4.2.2 ความหนาแน่นพลาสมา.....	23
2.4.2.3 ผลของสนามแม่เหล็ก.....	23
2.5 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบาง.....	24
2.5.1 การศึกษาลักษณะโครงสร้างของผลึกโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.....	24
2.5.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.....	25
2.5.3 การศึกษาโครงสร้างของผลึกโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์	
แบบส่องกราด.....	26
3 ระบบดีซีแมกนีตรอนสเป็คเทอริง.....	27
3.1 การออกแบบและการสร้างระบบดีซีแมกนีตรอนสเป็คเทอริง.....	27
3.1.1 ระบบสุญญากาศ.....	29
3.1.1.1 บีมไอฟุ้งกระจาย.....	29
3.1.1.2 บีมกลโรตารี.....	30
3.1.1.3 ภาชนะสุญญากาศ.....	30
3.1.1.4 การทดสอบระบบสุญญากาศที่สร้างขึ้น.....	32
3.1.2 ระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์สูง.....	32
3.1.3 ระบบการป้องกันก๊าซ.....	32
3.2 หัวแมกนีตรอน.....	33
3.2.1 แผ่นระบายความร้อน.....	34
3.2.2 ตลับใส่แม่เหล็กและแม่เหล็กที่ใช้.....	35
3.2.3 ตัวล็อกเป้าและเป้า.....	36
3.2.4 ตัวแยกขั้วไฟฟ้าและวัสดุขีลสุญญากาศ.....	36
3.2.5 กราวด์ชิลด์.....	36
3.3 การทดสอบลักษณะเฉพาะของความเข้มของสนามสนามแม่เหล็ก.....	37
3.3.1 เงื่อนไขในการทดสอบการสเป็คเทอริง.....	38
3.4 ลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กของหัวแมกนีตรอนที่ใช้สเป็คเทอริง.....	40
4 ขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	42
4.1 การสเป็คเทอริง.....	42

บทที่	หน้า
4.1.1	42
4.1.2	43
4.1.3	44
4.2	45
4.3	46
4.3.1	47
4.3.2	50
4.4	52
4.5	53
4.5.1	54
4.5.2	56
4.6	57
5	58
5.1	58
5.2	59
5.3	59
รายการอ้างอิง	61
ภาคผนวก	65
ภาคผนวก ก	66
ภาคผนวก ข	68
ภาคผนวก ค	69
ภาคผนวก ง	71
ภาคผนวก จ	72
ภาคผนวก ฉ	74
ภาคผนวก ช	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	76

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของการโกล์วดิสซาร์จ.....	6
รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดการสปีดเทอริงที่ผิวเป้า.....	7
รูปที่ 2.3 แสดงการสปีดเทอริงโดยดีซีไดโอดสปีดเทอริง.....	9
รูปที่ 2.4 แสดงการเคลื่อนที่เป็นเกลียววงกลมของอิเล็กตรอนที่ถูกกักเก็บไว้ที่ผิวเป้าในเส้น ทางเลือนลอยของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามขวางที่มีทิศทางตั้งฉากกัน.....	12
รูปที่ 2.5 แสดงความต่างศักย์ของการดิสซาร์จกับสนามแม่เหล็กที่วัดในชั่วอิเล็กโทรด โคแอคเซียลทรงกระบอก.....	13
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของแมกนิตรอนแบบสมมาตร	18
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของแมกนิตรอนแบบไม่สมมาตรประเภทที่ 2	19
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของแมกนิตรอนแบบไม่สมมาตรประเภทที่ 1	19
รูปที่ 2.9 แสดงหัววัดเดี่ยวกลางมัวร์ที่สอดเข้าไปในพลาสมา.....	20
รูปที่ 2.10 แสดงแผนภาพลักษณะเฉพาะของกระแสกับความต่างศักย์.....	21
รูปที่ 2.11 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของแบรกก์.....	25
รูปที่ 3.1 แผนภาพระบบดีซีแมกนิตรอนสปีดเทอริงที่ออกแบบสร้าง.....	27
รูปที่ 3.2 แสดงภาพถ่ายของระบบดีซีแมกนิตรอนสปีดเทอริงที่ได้สร้างขึ้นมา.....	28
รูปที่ 3.3 ภาพขณะสุญญากาศที่ทำการออกแบบสร้าง.....	30
รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายของภาชนะสุญญากาศที่สร้างขึ้น.....	31
รูปที่ 3.5 หน้าแปลนด้านล่างของภาชนะสุญญากาศที่ได้ทำการออกแบบ.....	32
รูปที่ 3.6 แสดงภาคตัดขวางของหัวแมกนิตรอนที่ออกแบบ.....	33
รูปที่ 3.7 แสดงภาพถ่ายของหัวแมกนิตรอนที่ทำการสร้าง.....	34
รูปที่ 3.8 แผ่นระบายความร้อนที่ได้ทำการออกแบบ.....	35
รูปที่ 3.9 แสดงภาพถ่ายของกราวด์ซีลด์ที่สร้างขึ้น.....	37
รูปที่ 3.10 แสดงการโกล์วดิสซาร์จของหัวแมกนิตรอนที่ลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็ก มีผลต่อการดิสซาร์จ.....	39
รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กที่หน้าผิวเป้าของหัวดีซีแมกนิตรอน สปีดเทอริงที่ใช้ในการสปีดเทอริง.....	40
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะเฉพาะของกระแสและความต่างศักย์ของหัวแมกนิตรอน.....	45

รูปที่		
รูปที่ 4.2	แสดงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรของพลาสมาด้วยวิธีหัววัดเดี่ยว วางมัวร์แบบกวาด (pulse single langmuir probe).....	47
รูปที่ 4.3	แสดงลักษณะสัญญาณที่ได้จากหัววัดเดี่ยววางมัวร์แบบกวาด.....	48
รูปที่ 4.4	แสดงลักษณะกระแสเมื่อตัดกระแสไอออนออกไปและความต่างศักย์.....	48
รูปที่ 4.5	แสดงลอการิทึมของกระแสและความต่างศักย์.....	49
รูปที่ 4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับศักย์ลอย.....	50
รูปที่ 4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับศักย์ของพลาสมา.....	50
รูปที่ 4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิของอิเล็กตรอน.....	51
รูปที่ 4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความหนาแน่นของพลาสมา.....	52
รูปที่ 4.10	แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบางเงินที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน ตั้งแต่ 13.86-27.73 วัตต์ (Ag1-Ag6).....	53
รูปที่ 4.11	แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของฟิล์มบางเงินจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด.....	54
รูปที่ 4.12	แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางของฟิล์มบางเงินจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด.....	56
รูปที่ 4.13	แสดงตัวอย่างความหนาของฟิล์มบางเงินโดยการใช้เครื่อง Surface Profiler.....	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานขีดเริ่มและค่ายึดของธาตุชนิดต่างๆ.....	8
ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กที่ผิวหน้าเป้าเมื่อเปลี่ยนขนาดของ แม่เหล็กตัวกลาง.....	38
ตารางที่ 4.1 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการสับตเทอริง.....	44
ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากำลังของการสับตเทอริงจากความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของ การดิซชาร์จและความต่างศักย์ของการดิซชาร์จภายใต้เงื่อนไขการทดลอง ในตารางที่ 4.1.....	46



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย