

ระบบเคลือบฟิล์มบางโดยเทคนิคสเป็คเตอริง

นายสุชาติ สุภาพ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-983-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018686 11716106X

Thin Film Coating System by Sputtering Technique

Mr. Suchat Supap

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School


Chulalongkorn University

1992

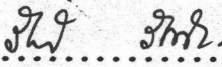
ISBN 974-581-983-2

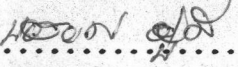
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบเคลือบฟิล์มบางโดยเทคนิคสปีดเทอริง
โดย นายสุชาติ สุภาพ
ภาควิชา ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวรงค์ อยู่ดี

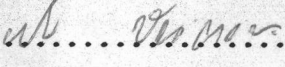
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้เนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

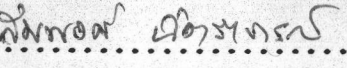

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วิชัยรักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.รัชนี้ รักวีธรรม)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวรงค์ อยู่ดี)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กีตโย ปิ่นสารสุน)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงษ์ จิตราภรณ์)

พิมพ์ต้นฉบับยกย่องวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สุชาติ สุภาพ : ระบบเคลือบฟิล์มบางโดยเทคนิคสปัตเตอร์ริง (THIN FILM COATING SYSTEM BY SPUTTERING TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ชวรงค์ อยู่ดี, 93 หน้า.
ISBN 974-581-983-2

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างระบบเคลือบฟิล์มบางโดยเทคนิคสปัตเตอร์ริงขึ้นมา
แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูงใช้สำหรับสร้างสนามไฟฟ้าขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่มีแรงเคลื่อน
ไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 2000 โวลต์ ขั้วคาโทดที่เป็นเป้าทำด้วยแผ่นบางกลมของโมลิบดีนัม มีขนาดเส้น
ผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 เซนติเมตร และหนาเท่ากับ 0.05 เซนติเมตร แผ่นรองรับฟิล์มบางตลอด
การทดลองใช้กระจกปิดสไลด์ธรรมดา เพื่อป้องกันการสปัตเตอร์ที่บริเวณขอบและผิวบนของขั้วคาโทด
และลดการอาร์คที่อาจจะเกิดขึ้น ได้คลุมบริเวณดังกล่าวด้วยแผ่นสแตนเลสที่ต่อลงดินไว้ อนุภาค
พลังงานสูงสำหรับกระบวนการสปัตเตอร์ริงในการทดลองนี้คือไอออนของก๊าซอาร์กอน ในโกลด์ดีสชาร์จ
ความดันก๊าซอาร์กอนในภาชนะสุญญากาศถูกควบคุมให้คงที่ด้วยการปรับวาล์วรูเข็ม ความดันต่ำสุดใน
ภาชนะสุญญากาศมีค่าประมาณ 5×10^{-4} ทอร์ อัตราการเคลือบฟิล์มบางโมลิบดีนัมมีค่าประมาณ 0.5
ไมครอนต่อชั่วโมง พบว่าโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไม่สมบูรณ์ โดยตรวจสอบด้วยวิธีเอ็กซ์เรย์
ดิฟแฟรคชันและสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ต้นแบบของฟิล์มมีค่าประมาณ 155 ไมโครโอห์ม-เมตร โดย
วัดด้วยวิธีแวนเดอร์เพาว์

ภาควิชา ฟิสิกส์
สาขาวิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา ๒๕๓๕

ลายมือชื่อนิติต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C125310 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD : COATING / THIN FILM / SPUTTERING

SUCHAT SUPAP : THIN FILM COATING SYSTEM BY SPUTTERING TECHNIQUE.

THESIS ADVISOR : ASSI. PROF.KAJORN YOD YOODEE, Ph.D. 93 pp.

ISBN 974-581-983-2

In this research, a thin film coating system by sputtering technique was designed and constructed. A high voltage D.C. power supply used for generating the electric field between electrodes has a maximum voltage of about 2,000 V. The target cathode was made of a circular sheet of molybdenum with a diameter of 10 cm. and thickness of 0.05 cm. Conventional cover glasses were used as substrates through out this work. In order to protect sputtering at the outer edge and the upper surface of the cathode and also to inhibit possible arc discharge, a grounded stainless steel sheet was provided as a shield. Energetic ions for the sputtering process in this experiment were argon ions in the glow discharge. The argon pressure in the vacuum chamber was kept constant by controlling a needle valve. The lowest pressure in the chamber was about 5×10^{-4} torr. The speed of coating of molybdenum thin film was about $0.5 \mu\text{m./hr.}$ It was found that the crystal structure of the films was not perfect as examined by X - rays diffraction method and the typical resistivity of the film was about $155 \mu\Omega - \text{m}$ as measured by van der Pauw method.

ภาควิชา.....ฟิสิกส์
สาขาวิชา.....ฟิสิกส์
ปีการศึกษา.....๒๕๓๕

ลายมือชื่อนิติ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยาลัยเกษตรกรรมบึงฉลวยสำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์
 ดร. ขจรยศ อยู่ดี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการสร้างอุปกรณ์
 เป็นอย่างดี อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงษ์ จิตราภรณ์
 หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ที่ช่วยออกแบบเครื่องมือขึ้นขึ้นมา และได้ให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ เป็น
 อย่างดี และยังได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. กิโย โปนิยารชุน ที่ได้ให้
 หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์สูงและก๊าซอาร์กอนมาใช้กับเครื่องเคลือบฟิล์มบางนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบ
 พระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง สำหรับทางด้านการสร้างอุปกรณ์ก็ได้รับความช่วยเหลือ
 เป็นอย่างดีจากคุณคุณชวี แสงผัด ในการช่วยกลึงชิ้นงาน และได้ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์
 ต่อการสร้างอุปกรณ์ นอกจากนี้ยังได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการเขียนจากคุณคุณสุทธิ
 บุรินทร์ประโคน ผู้เขียนขอขอบคุณเป็นอย่างสูง
 ที่ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่มีส่วนช่วยให้วิทยาลัยเกษตรกรรม
 สำเร็จลงได้โดยการให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	2
1.2 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสปีดเตอริง.....	4
2.1 จุดกำเนิดของการสปีดเตอริง.....	4
2.2 หลักการของการเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีสปีดเตอริง.....	5
2.3 แนวความคิดพื้นฐานของการสปีดเตอริง.....	6
2.3.1 อันตรกิริยาระหว่างอ็อกซอนและเป่าสารเคลือบ.....	6
2.3.2 แบบจำลองทางทฤษฎี.....	7
2.3.3 ค่าสีลด์ของการสปีดเตอริง.....	8
2.4 อนุภาคที่ถูกสปีดเตอริงออกมา.....	17
2.4.1 สภาพของอะตอมที่หลุดออกมาโดยขบวนการสปีดเตอริง.....	17
2.4.2 การกระจายพลังงานของอนุภาคที่หลุดออกมาโดยการสปีดเตอริง.....	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 บทประยุกต์ของการสปีดเตอริง.....	18
2.6 การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า - ความต่างศักย์ และ ความดันของก๊าซที่ได้จากการทดลอง	23
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างระบบเคลื่อนฟิล์มบางโดยเทคนิคสปีดเตอริง.....	39
3.1 แผนภูมิแสดงการทำงานของระบบสปีดเตอริง.....	39
3.2 การออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์และการจัดสร้าง.....	43
3.3 การประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน.....	55
3.4 การทดสอบระบบเคลื่อนฟิล์มบางที่สร้างขึ้นมา.....	59
3.5 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงานของระบบเคลื่อนฟิล์มบางที่สร้างขึ้นมา...	61
3.6 สาเหตุของปัญหา.....	62
3.7 การแก้ไขปัญหา.....	63
บทที่ 4 การเตรียมฟิล์มบาง, ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	64
4.1 การเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีการสปีดเตอริง.....	64
4.2 ผลการทดลอง.....	65
4.2.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลื่อนกับปริมาณต่างๆ....	65
4.2.2 ลักษณะและคุณสมบัติของฟิล์มโลหะที่ได้จากการทดลอง.....	75
4.3 ผลการทำงานของเครื่องเคลื่อนฟิล์มบางที่สร้างขึ้นมา.....	86
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	88
5.1 ข้อสรุปเกี่ยวกับระบบเคลื่อนฟิล์มบางโดยเทคนิคสปีดเตอริง.....	88
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	89
เอกสารอ้างอิง.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าฮิลด์สปีดเตอริงของธาตุต่างๆ.....	11
2.2 พลังงานเทรชโฮลด์.....	13
4.1 แสดงผลการเคลือบฟิล์มบางของโมลิบดีนัม เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด เท่ากับ 1.9 เซ็นติเมตร และกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 30 มิลลิแอมแปร์.....	66
4.2 แสดงผลการเคลือบฟิล์มบางของโมลิบดีนัม เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด เท่ากับ 1.9 เซ็นติเมตร และความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 2000 โวลต์.....	68
4.3 แสดงผลการเคลือบฟิล์มบางของโมลิบดีนัม เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด เท่ากับ 3.3 เซ็นติเมตร และความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 2000 โวลต์.....	72
4.4 แสดงผลการเคลือบฟิล์มบางของโมลิบดีนัม เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด เท่ากับ 4.8 เซ็นติเมตร และความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 2000 โวลต์.....	73
4.5 ลักษณะต่างๆที่เกิดขึ้นภายในหลอดดิสชาร์จที่ความดันต่างๆ.....	74

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงหลักการของการเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีการสปีดเตอริง.....	5
2.2 อินตริกิริยาระหว่างอ็อกซอนและเป้าสารเคลือบ.....	6
2.3 แบบจำลองลูกบิลเลียดที่ใช้ในการอธิบายการเกิดสปีดเตอริง.....	8
2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีลด์สปีดเตอริงกับพลังงานของอ็อกซอน.....	12
2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีลด์สปีดเตอริงกับเลขอะตอม.....	15
2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีลด์สปีดเตอริงกับมุมตกกระทบ.....	16
2.7 Polar diagram ของอะตอมโมลิบดีนัมที่หลุดออกมา.....	17
2.8 แสดงการกระจายพลังงานของอะตอมที่หลุดออกมาโดยชบวนการสปีดเตอริง.....	19
2.9 ลักษณะสำคัญของชบวนการโกลว์ดีสชาร์จ.....	20
2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในชบวนการโกลว์ดีสชาร์จ	22
2.11 ผลการทดลอง หาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้า ของไดโอดสปีดเตอริงที่เป้าทำด้วยแทนทาลัม.....	24
2.12 แสดงศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆภายในหลอดดีสชาร์จ.....	25
2.13 แสดงค่าจากการคำนวณเชิงตัวเลขของ (a) $\exp(-a)$ (b) $\int a(2z - z^2)^{1/2} \exp(-az) dz$ (c) $(\pi/2a)^{1/2}$ (d) K ...	34
3.1 แผนภูมิแสดงการทำงานของระบบสปีดเตอริง.....	40
3.2 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของภาชนะสุญญากาศ.....	41
3.3 ฐานรอง.....	44
3.4 ภาชนะสุญญากาศที่ครอบด้วยตะแกรงโลหะ.....	45
3.5 ฝาปิดด้านบนของภาชนะสุญญากาศ.....	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6	46
3.7	47
3.8	48
3.9	50
3.10	51
3.11	52
3.12	53
3.13	54
3.14	55
3.15	56
3.16	57
3.17	61
3.18	62
4.1	67
4.2	69
4.3	69
4.4	70
4.5	76
4.6	76
4.7	77
4.8	77

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9	ฟิล์มโพลีคาร์บอเนตที่เคลือบที่ความดัน 80 มิลลิทอร์..... 78
4.10	ฟิล์มโพลีคาร์บอเนตที่เคลือบที่ความดัน 100 มิลลิทอร์..... 78
4.11	ฟิล์มโพลีคาร์บอเนตที่เคลือบที่ความดัน 120 มิลลิทอร์..... 79
4.12	ฟิล์มโพลีคาร์บอเนตที่เคลือบที่ความดัน 140 มิลลิทอร์..... 79
4.13	แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโพลีคาร์บอเนตซึ่งเคลือบที่ความดัน 80 มิลลิทอร์... 81
4.14	แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโพลีคาร์บอเนตซึ่งเคลือบที่ความดัน 100 มิลลิทอร์.. 81
4.15	แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโพลีคาร์บอเนตซึ่งเคลือบที่ความดัน 120 มิลลิทอร์.. 82
4.16	แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโพลีคาร์บอเนตซึ่งเคลือบที่ความดัน 140 มิลลิทอร์.. 82
4.17	แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโพลีคาร์บอเนตซึ่งเคลือบที่ความดัน 80 มิลลิทอร์... 83
4.18	แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโพลีคาร์บอเนตซึ่งเคลือบที่ความดัน 120 มิลลิทอร์.. 84
4.19	แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโพลีคาร์บอเนตซึ่งเคลือบที่ความดัน 140 มิลลิทอร์.. 85
4.20	ฟิล์มบางของโพลีคาร์บอเนต เมื่อถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน..... 87