ระบบเคลือบฟิล์มบางโดยเทคนิคสปัตเตอริง

นายสุชาติ สุภาพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2535

ISBN 974-581-983-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018686

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 ระบบเคลือบฟิล์มบางโดยเทคนิคสปัตเตอริง

โดย นายสุชาติ สุภาพ

ภาควิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจรยศ อยู่ดี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.รัชนี รักวีรธรรม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจรยศ อยู่ดี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิยโย ปันธารชุน)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตราภรณ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

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

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างระบบเคลือบฟิล์มบางโดยเทคนิคสปัตเตอริงขึ้นมา แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูงใช้สำหรับสร้างสนามไฟฟ้าขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 2000 โวลต์ ขั้วคาโธดที่เป็นเป้าทำด้วยแผ่นบางกลมของโมลิบดีนัม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 เซ็นติเมตร และหนาเท่ากับ 0.05 เซ็นติเมตร แผ่นรองรับฟิล์มบางตลอดการทดลองใช้กระจกปิดสไลด์ธรรมดา เพื่อป้องกันการสปัตเตอร์ที่บริเวณขอบและผิวบนของขั้วคาโธดและลดการอาร์คที่อาจจะเกิดขึ้น ได้คลุมบริเวณดังกล่าวด้วยแผ่นสเตนเลสที่ต่อลงดินไว้ อนุภาคพลังงานสูงสำหรับกระบวนการสปัตเตอริงในการทดลองนี้คืออิออนของกาซอาร์กอน ในโกลว์ดิสชาร์จความดันกาซอาร์กอนในภาชนะสุญญากาศถูกควบคุมให้คงที่ด้วยการปรับวาล์วรูเข็ม ความดันต่ำสุดในภาชนะสุญญากาศมีค่าประมาณ 5×10^{-4} ทอร์ อัตราการเคลือบฟิล์มบางโมลิบดีนัมมีค่าประมาณ 0.5 ไมครอนต่อชั่วโมง พบว่าโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไม่สมบูรณ์ โดยตรวจสอบด้วยวิธีเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชั่นและสภาพต้านทานไฟฟ้า(ρ)ต้นแบบของฟิล์มมีค่าประมาณ 155 ไมโครโอห์ม-เมตร โดยวัดด้วยวิธีแวนเดอร์เพาว์

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา ๒๕๓๕ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C125310 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD : COATING / THIN FILM / SPUTTERING

SUCHAT SUPAP : THIN FILM COATING SYSTEM BY SPUTTERING TECHNIQUE.

THESIS ADVISOR : ASSI. PROF.KAJORNYOD 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 μm./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 $\mu\Omega$ - m as measured by van der Pauw method.

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา ๒๕๓๕ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจรยศ อยู่ดี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการสร้างอุปกรณ์เป็นอย่างดียิ่ง อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพงศ์ ฉัตราภรณ์ หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ที่ช่วยออกแบบเครื่องมือชิ้นนี้ชิ้นมา และได้ให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆเป็นอย่างดียิ่ง และยังได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ภิยโย ปันยารชุน ที่ได้ให้หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์สูงและกาซอาร์กอนมาใช้กับเครื่องเคลือบฟิล์มบางนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง สำหรับทางด้านการสร้างอุปกรณ์ก็ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากคุณดุษฎี แสงผัด ในการช่วยกลึงชิ้นงานและได้ให้คำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างอุปกรณ์ นอกจากนี้ยังได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในภาระเขียนจากคุณธนูสิทธิ์ บุรินทร์ประโคน ผู้เขียนขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้โดยการให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา

สุชาติ สุภาพ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 วัตถุประสงค์..... 2

1.2 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสปัตเตอริง..... 4

2.1 จุดกำเนิดของการสปัตเตอริง..... 4

2.2 หลักการของการเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีการสปัตเตอริง..... 5

2.3 แนวความคิดพื้นฐานของการสปัตเตอริง..... 6

2.3.1 อันตรกิริยาระหว่างอิออนและเป้าสารเคลือบ..... 6

2.3.2 แบบจำลองทางทฤษฎี..... 7

2.3.3 ค่ายีลด์ของการสปัตเตอริง..... 8

2.4 อนุภาคที่ถูกสปัตเตอร์ออกมา..... 17

2.4.1 สภาพของอะตอมที่หลุดออกมาโดยขบวนการสปัตเตอริง..... 17

2.4.2 การกระจายพลังงานของอนุภาคที่หลุดออกมาโดยการสปัตเตอริง. 17

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5 บทประยุกต์ของการสปัตเตอริง..... 18

2.6 การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า - ความต่างศักย์ และความดันของกาซที่ได้จากการทดลอง 23

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างระบบเคลือบฟิล์มบางโดยเทคนิคสปัตเตอริง..... 39

3.1 แผนภูมิแสดงการทำงานของระบบสปัตเตอริง..... 39

3.2 การออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์และการจัดสร้าง..... 43

3.3 การประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน..... 55

3.4 การทดสอบระบบเคลือบฟิล์มบางที่สร้างขึ้นมา..... 59

3.5 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงานของระบบเคลือบฟิล์มบางที่สร้างขึ้นมา... 61

3.6 สาเหตุของปัญหา..... 62

3.7 การแก้ไขปัญหา..... 63

บทที่ 4 การเตรียมฟิล์มบาง,ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล..... 64

4.1 การเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีการสปัตเตอริง..... 64

4.2 ผลการทดลอง..... 65

4.2.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับปริมาณต่างๆ.... 65

4.2.2 ลักษณะและคุณสมบัติของฟิล์มโลหะที่ได้จากการทดลอง..... 75

4.3 ผลการทำงานของเครื่องเคลือบฟิล์มบางที่สร้างขึ้นมา..... 86

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 88

5.1 ข้อสรุปเกี่ยวกับระบบเคลือบฟิล์มบางโดยเทคนิคสปัตเตอริง..... 88

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 89

เอกสารอ้างอิง..... 90

ประวัติผู้เขียน..... 91

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 แสดงค่ายีลด์สปัตเตอริงของธาตุต่างๆ..... 11

2.2 พลังงานเทรชโฮลด์..... 13

4.1 แสดงผลการเคลือบฟิล์มบางของโมลิบดินัม เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 1.9 เซ็นติเมตร และกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 30 มิลลิแอมแปร์..... 66

4.2 แสดงผลการเคลือบฟิล์มบางของโมลิบดินัม เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 1.9 เซ็นติเมตร และความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 2000 โวลต์..... 68

4.3 แสดงผลการเคลือบฟิล์มบางของโมลิบดินัม เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 3.3 เซ็นติเมตร และความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 2000 โวลต์..... 72

4.4 แสดงผลการเคลือบฟิล์มบางของโมลิบดินัม เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 4.8 เซ็นติเมตร และความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเท่ากับ 2000 โวลต์..... 73

4.5 ลักษณะต่างๆที่เกิดขึ้นภายในหลอดดิสชาร์จที่ความดันต่างๆ..... 74

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

2.1 แสดงหลักการของการเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีการสปัตเตอริง..... 5

2.2 อันตรกิริยาระหว่างอิออนและเป้าสารเคลือบ..... 6

2.3 แบบจำลองลูกบิลเลียดที่ใช้ในการอธิบายการเกิดสปัตเตอริง..... 8

2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายีลด์สปัตเตอริงกับพลังงานของอิออน..... 12

2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายีลด์สปัตเตอริงกับเลขอะตอม..... 15

2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายีลด์สปัตเตอริงกับมุมตกกระทบ..... 16

2.7 Polar diagram ของอะตอมโมลิบดินัมที่หลุดออกมา..... 17

2.8 แสดงการกระจายพลังงานของอะตอมที่หลุดออกมาโดยขบวนการสปัตเตอริง..... 19

2.9 ลักษณะสำคัญของขบวนการโกลว์ดิสชาร์จ..... 20

2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในขบวนการโกลว์ดิสชาร์จ 22

2.11 ผลการทดลอง หาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ากับความต่าง
ศักย์ไฟฟ้า ของไดโอดสปัตเตอริงที่เป้าทำด้วยแทนทาลัม..... 24

2.12 แสดงศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆภายในหลอดดิสชาร์จ..... 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 แผนภูมิแสดงการทำงานของระบบสปัตเตอริง..... 40

3.2 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของภาชนะสุญญากาศ..... 41

3.3 ฐานรอง..... 44

3.4 ภาชนะสุญญากาศที่ครอบด้วยตะแกรงโลหะ..... 45

3.5 ฝาปิดด้านบนของภาชนะสุญญากาศ..... 46

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.6 ฝาปิดด้านบนของภาชนะสุญญากาศเมื่อใส่เป้า(Target)แล้ว..... 46

3.7 ขั้วคาโธด(Cathode)หรือเป้า(Target)..... 47

3.8 ชีลด์ครอบขั้วคาโธด..... 48

3.9 วงจรของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูงที่ใช้กับไดโอดสปัตเตอริง..... 50

3.10 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูง..... 51

3.11 วงจรของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโวลต์สูงที่ใช้กับเพ็นนิงเกจ..... 52

3.12 หัววัดของเพ็นนิงเกจ..... 53

3.13 แสดงลักษณะภายในของหัววัดความดันสุญญากาศแบบเพ็นนิง..... 54

3.14 เครื่องเคลือบฟิล์มบางที่สร้างขึ้นมา..... 55

3.15 แสดงส่วนประกอบของระบบเคลือบฟิล์มบางที่สร้างขึ้นมา..... 56

3.16 แสดงแผงควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ..... 57

3.17 แสดงบริเวณที่เกิดการอาร์ค..... 61

3.18 แสดงคาโธดที่มีชีลด์ครอบเพื่อป้องกันการอาร์คและป้องกันการสปัตเตอร์ด้านหลังของเป้า..... 62

4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับความดันของกาซ..... 67

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกระแสไฟฟ้ากับความดันของกาซ..... 69

4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับความดันของกาซ..... 69

4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับกระแสไฟฟ้า..... 70

4.5 ฟิล์มโมลิบดินัมที่เคลือบที่ความดัน 80 มิลลิทอร์..... 76

4.6 ฟิล์มโมลิบดินัมที่เคลือบที่ความดัน 100 มิลลิทอร์..... 76

4.7 ฟิล์มโมลิบดินัมที่เคลือบที่ความดัน 120 มิลลิทอร์..... 77

4.8 ฟิล์มโมลิบดินัมที่เคลือบที่ความดัน 140 มิลลิทอร์..... 77

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.9 ฟิล์มโมลิบดินัมที่เคลือบที่ความดัน 80 มิลลิทอร์..... 78

4.10 ฟิล์มโมลิบดินัมที่เคลือบที่ความดัน 100 มิลลิทอร์..... 78

4.11 ฟิล์มโมลิบดินัมที่เคลือบที่ความดัน 120 มิลลิทอร์..... 79

4.12 ฟิล์มโมลิบดินัมที่เคลือบที่ความดัน 140 มิลลิทอร์..... 79

4.13 แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโมลิบดินัมซึ่งเคลือบที่ความดัน 80 มิลลิทอร์... 81

4.14 แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโมลิบดินัมซึ่งเคลือบที่ความดัน 100 มิลลิทอร์.. 81

4.15 แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโมลิบดินัมซึ่งเคลือบที่ความดัน 120 มิลลิทอร์.. 82

4.16 แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโมลิบดินัมซึ่งเคลือบที่ความดัน 140 มิลลิทอร์.. 82

4.17 แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโมลิบดินัมซึ่งเคลือบที่ความดัน 80 มิลลิทอร์... 83

4.18 แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโมลิบดินัมซึ่งเคลือบที่ความดัน 120 มิลลิทอร์.. 84

4.19 แพทเทอร์นการเลี้ยวเบน ของฟิล์มโมลิบดินัมซึ่งเคลือบที่ความดัน 140 มิลลิทอร์.. 85

4.20 ฟิล์มบางของโมลิบดินัม เมื่อถ่ายด้วยกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอน..... 87