สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ค

บทคัดย่อภาษาไทย จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ฉ

สารบัญตาราง ญ

สารบัญภาพ ฎ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 การตรวจเอกสาร 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 ฟิสิกส์ของพลาสมา 7

2.1.1 การสั่นของพลาสมา 8

2.1.2 ผลกระทบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก 9

2.1.3 ศักย์ไฟฟ้าในการดิสชาร์จแบบเรืองแสง 15

2.2 กระบวนการสปัตเตอริง 16

2.2.1 เทคนิคแมกนีตรอนสปัตเตอริงกระแสตรงเป็นห้วงแบบรีแอกทีฟ 19

2.2.2 ประเภทของแมกนีตรอนสปัตเตอริงกระแสตรงแบบเป็นห้วง 22

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 Optical Plasma Emission 24

2.3.1 สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง 26

2.3.2 ประชากรของสถานะการแผ่รังสี 27

2.3.3 Plasma model 29

2.3.4 อุณหภูมิอิเล็กตรอน 31

2.4 ทฤษฎีการก่อเกิดฟิล์มบาง 32

2.4.1 ฟิล์มบาง 32

2.4.2 การเกิดและการโตของฟิล์มบาง 32

2.5 การวิเคราะห์ฟิล์มบาง 38

2.5.1 เทคนิค Atomic force microscopy (AFM) 38

2.5.2 เทคนิค X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) 39

2.6 ไทเทเนียมไนไตรด์ 41

2.7 ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 41

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การประกอบและติดตั้งเครื่องแมกนีตรอนสปัตเตอริง 45
แบบจ่ายไฟกระแสตรงเป็นห้วงให้สามารถทำงานได้

3.2 การศึกษาคุณลักษณะต่างๆ ของแหล่งกำเนิดแมกนีตรอนสปัตเตอริง 50

3.3 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ 50
และฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยใช้เทคนิค
สเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4 การทดลองการตกสะสมฟิล์ม 53

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์ม 53

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้า 54

4.2 ค่าสนามแม่เหล็ก 56

4.3 หาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ และฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 57

4.4 หาอุณหภูมิอิเล็กตรอน 63

4.5 ศึกษาองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีที่ระดับพื้นผิวของฟิล์ม ด้วยเทคนิค XPS 67

4.6 ศึกษาลักษณะพื้นผิวและอัตราการตกสะสมของฟิล์ม ด้วยเทคนิค AFM 72

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง 75

เอกสารอ้างอิง 77

ภาคผนวก 81

ประวัติผู้เขียน 86

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างที่คล้ายคลึงกันระหว่าง HA, ชั้นเคลือบฟัน (enamel), ฟัน, และกระดูก 43

ตารางที่ 4.1 แสดงธาตุองค์ประกอบที่พบบนผิวฟิล์มที่เงื่อนไขต่างๆ 70

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบพื้นผิวของฟิล์ม 70

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราส่วน Ca/P ที่เงื่อนไขต่างๆ 71

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความขรุขระ ความหนา และอัตราการตกสะสมของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ - ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 74

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แสดงวงโคจรของไอออนและอิเล็กตรอน ในสนามแม่เหล็กคงที่ (B) 11

ภาพที่ 2.2 แสดงการเคลื่อนที่แบบเลื่อนของอนุภาคในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก 12

ภาพที่ 2.3 แสดงการเลื่อนของอนุภาคแบบไจโรในสนามแม่เหล็กไม่คงที่ 12

ภาพที่ 2.4 แสดงสนามแม่เหล็กโค้ง 13

ภาพที่ 2.5 แสดง polarization drift 15

ภาพที่ 2.6 แสดงอันตรกิริยาระหว่างไอออนกับผิวเป้าสารเคลือบ 17

ภาพที่ 2.7 แสดงผิวเป้าสารเคลือบขณะรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงของวัสดุฉนวน ซึ่งชั้นของไดอิเล็กทริก (dielectric layer) จะถูกชาร์จด้วยไอออนบวก ทำให้เกิด voltage build up (V_D) ผ่านชั้นของฉนวน (insulating layer) ด้วยความหนา d 21

ภาพที่ 2.8 แสดงสักย์ไฟฟ้าแบบ unipolar 22

ภาพที่ 2.9 แสดงศักย์ไฟฟ้าแบบ symmetric bipolar 22

ภาพที่ 2.10 แสดงศักย์ไฟฟ้าของ asymmetric bipolar 23

ภาพที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงพัลซ์ดีซีในช่วงการสปัตเตอริงปกติและ ช่วงแรงดันย้อนกลับ สำหรับดิสชาร์จชั้นของฉนวนบนผิวหน้าเป้าสารเคลือบ เพื่อช่วยหลีกเลี่ยงการอาร์ค 24

ภาพที่ 2.12 แสดงประเภทของการเปลี่ยนระดับพลังงานในอะตอมหรือไอออน โดย E_g แทนสถานะพื้นของอะตอมหรือไอออน E_1 และ E_2 แทนพลังงานของสถานะกระตุ้น และ$E_{ionization}$ แทนพลังงานที่ทำให้อะตอมแตกตัวเป็นไอออน 25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2.13 แสดง Boltzmann plot เพื่อประมาณอุณหภูมิอิเล็กตรอนของพลาสมา 32

ภาพที่ 2.14 แสดงลักษณะของนิวเคลียสและพลังงานที่สอดคล้องกันของวัสดุรองรับ ฟิล์ม และไอระเหย 35

ภาพที่ 2.15 แสดง structure zone model ของฟิล์มบาง 36

ภาพที่ 2.16 แสดงลักษณะการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค AFM 38

ภาพที่ 2.17 แสดงรูปแบบการวิเคราห์ตัวอย่างด้วยเทคนิค AFM 39

ภาพที่ 2.18 แสดงการเกิดโฟอิเล็กตรอน 40

ภาพที่ 2.19 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์พื้นผิวทองแดงด้วยเทคนิค XPS 40

ภาพที่ 2.20 แสดงโครงสร้างผลึกแบบ Rock salt ของไทเทเนียมไนไตรด์ 41

ภาพที่ 2.21 แสดงแสดงให้เห็นกราฟ XRD ของ HA กับกระดูกและฟัน รวมถึงสารประกอบอะพาไทต์ชนิดอื่นๆ 42

ภาพที่ 2.22 แสดงโครงสร้างผลึกของไฮดรอกซีอะพาไทต์ 44

ภาพที่ 2.23 แสดงโครงสร้างของไฮดรอกซีอะพาไทต์ 44

ภาพที่ 3.1 แสดงภาพตัดขวางของแหล่งกำเนิดแมกนีตรอน 45

ภาพที่ 3.2 แสดงวัสดุเป้าไทเทเนียม 46

ภาพที่ 3.3 แสดงวัสดุเป้าไฮดรอกซีอะพาไทต์ 46

ภาพที่ 3.4 แสดงแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเป็นห้วง รุ่น IAP 1010 46

ภาพที่ 3.5 แสดงปั๊มชนิดโรตารี ปั๊มชนิดเทอร์โบ และวาล์วเปิด – ปิดหน้าปั๊ม 47

ภาพที่ 3.6 แสดงหัวจ่ายก๊าซ และท่อส่งก๊าซ 47

ภาพที่ 3.7 แสดงกล่องควบคุมการไหลของก๊าซ 47

ภาพที่ 3.8 แสดงเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซ 47

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.9 แสดงท่อปล่อยก๊าซแบบห่วงในอู่วิเคราะห์ 47

ภาพที่ 3.10 แสดงอู่วิเคราะห์สุญญากาศ 48

ภาพที่ 3.11 แสดงระบบทำน้ำหล่อเย็น 48

ภาพที่ 3.12 แสดงแท่นวางวัสดุรองรับ 49

ภาพที่ 3.13 แสดงการติดตั้งระบบแมกนีตรอนสปัตเตอริงสำหรับการใช้งาน 49

ภาพที่ 3.14 แสดงพลาสมา 51

ภาพที่ 3.15 แสดงหัววัดแบบเส้นใยแก้วนำแสง 51

ภาพที่ 3.16 แสดงเครื่องวัดสเปกตรัม 51

ภาพที่ 3.17 แสดงโปรแกรม Avasoft 51

ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่โหมด DC 54
ที่ความดันต่างๆ

ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่โหมด 54
Asymmetric bi-polar ที่ความดันต่างๆ

ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่โหมด 55
Asymmetric bi-polar ที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ

ภาพที่ 4.4 แสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่โหมด 55
Asymmetric bi-polar ที่ความดันต่างๆ

ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าที่โหมด 56
Asymmetric bi-polar ที่ duty cycle ต่างๆ

ภาพที่ 4.6 แสดง racetrack area ที่เป้าสารเคลือบ 57

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.7 แสดงความเข้มของธาตุต่างๆที่พบในพลาสมาที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ 57

ภาพที่ 4.8 แสดงความเข้มของธาตุต่างๆที่พบในพลาสมาที่ duty cycle ต่างๆ 58

ภาพที่ 4.9 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน และอาร์กอนในพลาสมาที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ 58

ภาพที่ 4.10 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน และอาร์กอนในพลาสมาที่ปริมาณการไหลของไนโตรเจนต่างๆ 59

ภาพที่ 4.11 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน และอาร์กอนในพลาสมาที่ความดันต่างๆ 59

ภาพที่ 4.12 แสดงความเข้มของธาตุต่างๆที่พบในพลาสมาที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ 60

ภาพที่ 4.13 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน อาร์กอน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในพลาสมา ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ 60

ภาพที่ 4.14 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน อาร์กอน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในพลาสมา ที่ความดันต่างๆ 61

ภาพที่ 4.15 แสดงความเข้มของไทเทเนียม ไนโตรเจน อาร์กอน แคลเซียม และฟอสฟอรัสในพลาสมา ที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ 61

ภาพที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ความดันต่างๆ 63

ภาพที่ 4.17 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ duty cycle ต่างๆ ที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ และที่ความดันต่างๆ 63

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.18 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ 64
ภาพที่ 4.19 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ความดันต่างๆ 64
ภาพที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ duty cycle ต่างๆ ที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ และที่ความดันต่างๆ 65
ภาพที่ 4.21 แสดงอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่างๆ ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ 65
ภาพที่ 4.22 แสดง XPS survey ฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนกระจกสไลด์ 67
ภาพที่ 4.23 แสดงพันธะไทเทเนียมของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนกระจกสไลด์ 67
ภาพที่ 4.24 แสดง XPS survey ฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนซิลิกอนเวเฟอร์ 68
ภาพที่ 4.25 แสดงพันธะไทเทเนียมของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ที่ตกสะสมบนซิลิกอนเวเฟอร์ 68
ภาพที่ 4.26 แสดงตัวอย่างฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้ 69
ภาพที่ 4.27 แสดงความเข้มของธาตุองค์ประกอบพื้นผิวที่พบบนผิวฟิล์ม 69
ภาพที่ 4.28 (a) และ (b) แสดงผิวของซิลิกอนเวเฟอร์ก่อนและหลังทำความสะอาด ส่วน (c) ถึง (f) แสดงผิวของฟิล์มที่ตกสะสมด้วยเงื่อนไข N0.6 90.5.30, N0.6 90.5.50, N0.2 75.5.30 และ N0.2 90.5.30 ตามลำดับ โดยความดันคงที่ที่ 10 mTorr, ศักย์ไฟฟ้าคงที่ที่ 600 V และเวลาคงที่ที่ 2 ชั่วโมง 72

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.29 (a) แสดงผิวของกระจกสไลด์ก่อนตกสะสมฟิล์ม ส่วน (b) ถึง (e) แสดง 73
ผิวของฟิล์มที่ตกสะสมด้วยเงื่อนไข N0.6 90.5.30, N0.6 90.5.50, N0.2 75.5.30
และ N0.2 90.5.30 ตามลำดับ และ (f) แสดงผิวของฟิล์มที่ตกสะสมบน
วัสดุพอลิเมอร์โดยความดันคงที่ที่ 10 mTorr, ศักย์ไฟฟ้าคงที่ที่ 600 V
และเวลาคงที่ที่ 2 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved