สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญ	ฉ
สารบาญตาราง	ซ
สารบาญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	3
2.1 นิยามของพลาสมา	3
2.1.1 Debye Shielding	4
2.1.2 การสั่นของพลาสมา	7
2.1.2 Sheath	10
2.2 ระบบผลิตพลาสมาโดยการดิสชาร์จแบบเหนี่ยวนำด้วยคลื่นวิทยุ	13
2.2.1 องค์ประกอบของระบบผลิตพลาสมาแบบ ICP	13
2.2.2 การส่งผ่านพลังงานไปยังพลาสมาแบบเหนี่ยวนำ	14
2.2.3 สนามแม่เหล็กแบบกลีบมะเฟือง (multicusp field)	17
2.3 เทคนิคหัววัด Langmuir	18
2.3.1 หัววัดชนิดแผ่นขนาดกึ่งอนันต์ (semi-infinite planar probe)	19
2.3.2 ผลจากการที่หัววัดมีขนาดและรูปร่างที่จำกัด	22
2.3.3 การวิเคราะห์ผล	28
2.4 Optical Emission Spectroscopy (OES)	29
2.4.1 Local Thermodynamic Equilibrium (LTE)	29
2.4.2 การคำนวณอุณหภูมิอิเล็กตรอนของพลาสมา	31

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

บทที่ 3 การทดลอง 33
3.1 ระบบผลิตพลาสมาแบบ ICP 33
3.2 การทดลองวัดอุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมา 36
3.2.1 การทดลองโดยเทคนิคหัววัด Langmuir แบบทรงกระบอก 36
3.2.2 การทดลองโดยเทคนิค OES 38
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง 40
4.1 หัววัด Langmuir 40
4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูล 40
4.1.2 ผลการทดลอง 42
4.2 OES 51
4.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูล 51
4.2.2 ผลการทดลอง 53
บทที่ 5 บทสรุป 57
เอกสารอ้างอิง 58
ประวัติผู้เขียน 60

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตาราง หน้า

4.1 ความยาวคลื่น, transition probability, accuracy, statistical weight และพลังงานกระตุ้นสำหรับสเปกตรัมของอะตอมอาร์กอนในสถานะกระตุ้นที่ใช้ในการคำนวณ T_e 52

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
1.1	กระบวนการเคลือบฝังไอออนด้วยพลาสมา	1
2.1	การกระจายของศักย์ไฟฟ้าบริเวณใกล้กับตำแหน่ง $x = 0$ ภายในพลาสมา	6
2.2	ลักษณะการสั่นของพลาสมาอิเล็กตรอนในแผ่นพลาสมาหนา (ก) การกระจัดของกลุ่มอิเล็กตรอนเทียบกับกลุ่มไอออนบวก (ข) การคำนวณสนามไฟฟ้า	8
2.3	ลักษณะของ sheath และ presheath ที่ติดกับผนัง	11
2.4	ตัวอย่างระบบผลิตพลาสมาแบบ ICP ที่ขดตัวเหนี่ยวนำ (ก) อยู่ภายนอกแชมเบอร์ และ (ข) อยู่ภายในแชมเบอร์	14
2.5	วงจรแทนการดิสชาร์จแบบเหนี่ยวนำด้วย วงจรทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าแกนอากาศ	14
2.6	วงจรทุติยภูมิที่แปลงสู่วงจรปฐมภูมิ	15
2.7	วงจรไฟฟ้าซึ่งสมมูลย์กับการดิสชาร์จแบบความจุไฟฟ้า	16
2.8	การจัดวางแม่เหล็กถาวรสำหรับแชมเบอร์ทรงกระบอก	17
2.9	แผนภาพการจัดวางแม่เหล็กถาวรในพิกัดฉาก	18
2.10	แผนภาพการทำงานของหัววัด Langmuir ในพลาสมา	19
2.11	$I - V$ characteristic จากหัววัด Langmuir ชนิดแผ่นขนาดกึ่งอนันต์	21
2.12	ตำแหน่งของศักย์ไฟฟ้าลอยใน I-V characteristic	22
2.13	บริเวณในการรับไอออนบวกและอิเล็กตรอนของหัววัด	23
2.14	ภาคตัดขวางของหัววัดทรงกระบอกซึ่งอนุภาคมีการเคลื่อนที่แบบโคจร	24
3.1	ชุดผลิตพลาสมา ICP	33
3.2	แผนภาพระบบผลิตพลาสมาแบบ ICP	34
3.3	แชมเบอร์พลาสมาแบบกลีบมะเฟือง	34
3.4	Antenna ซึ่งเป็นลวดทองแดงถักอยู่ภายในหลอดแก้วควอทซ์	35
3.5	แผนภาพ matching network แบบหม้อแปลง Step down 7:1	35
3.6	หัววัดแบบ RF compensated และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของ Hiden Analytical	36

3.7 แผนภาพการทดลองวัด I-V characteristic โดยหัววัด Langmuir 37
3.8 แผนภาพของการทดลองวัด I-V characteristic โดยหัววัด Langmuir แบบทรงกระบอก (ก) ตามแนวแกนและ (ข) ตามแนวรัศมีของแชมเบอร์สุญญากาศ 37
3.9 แผนภาพแสดงการทดลองวัดสเปกตรัมจากพลาสมาอาร์กอน 38
3.10 Spectrometer S2000 38
3.11 แสดงหลักการทำงานของ spectrometer S2000 39
4.1 I-V characteristic ของพลาสมาอาร์กอน 40
4.2 เส้นตรงที่สอดคล้องกับกระแสยกกำลังสองในบริเวณกระแสไอออนบวกอิ่มตัว 41
4.3 รากที่สองของเส้นตรงซึ่งสอดคล้องกับ I^2 จาก I-V characteristic 41
4.4 ลอการิทึมของกระแสอิเล็กตรอน ซึ่งปรากฏเส้นตรงในบริเวณ transition 42
4.5 การกระจายของ (ก) T_e และ (ข) n_i ตามแนวแกนแชมเบอร์ที่ความดันก๊าซ 0.5 mTorr 43
4.6 การกระจายของ (ก) T_e และ (ข) n_i ตามแนวแกนของแชมเบอร์ที่ความดันก๊าซ 1.0 mTorr 44
4.7 การกระจายของ (ก) T_e และ (ข) n_i ตามแนวแกนของแชมเบอร์ที่ความดันก๊าซ 3.0 mTorr 45
4.8 การกระจายของ (ก) T_e และ (ข) n_i ตามแนวรัศมีของแชมเบอร์ที่ความดันก๊าซ 0.5 mTorr 46
4.9 การกระจายของ (ก) T_e และ (ข) n_i ตามแนวรัศมีของแชมเบอร์ที่ความดันก๊าซ 1.0 mTorr 47
4.10 การกระจายของ(ก) T_e และ(ข) n_i ตามแนวรัศมีของแชมเบอร์ที่ความดันก๊าซ 3.0 mTorr 48
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง n_i และ (ก)ความดันก๊าซ โดยกำลังคลื่นวิทยุมีค่า 50 W (ข)กำลังคลื่นวิทยุ โดยความดันก๊าซมีค่า 0.5 mTorr 49
4.12 สเปกตรัมของพลาสมาอาร์กอน 51
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln\left(\frac{I_{ik}\lambda_{ik}}{g_i A_{ik}}\right)$ และ E_i 52

4.14 สเปกตรัมของพลาสมาอาร์กอนที่ (ก) ความดันก๊าซต่างๆ เมื่อใช้กำลังคลื่น
วิทยุ 50 W และ (ข) กำลังคลื่นวิทยุต่างๆ เมื่อใช้ความดันก๊าซ 0.5 mTorr 53

4.15 light intensity ของ Ar I ที่ความยาวคลื่นต่างๆที่ (ก) ความดันก๊าซต่างๆ เมื่อใช้
กำลังคลื่นวิทยุ 50 W และ (ข) กำลังคลื่นวิทยุต่างๆ เมื่อใช้ความดันก๊าซ 0.5 mTorr 54

4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T_e และ (ก) ความดันก๊าซ โดยกำลังคลื่น
วิทยุมีค่า 50 W (ข) กำลังคลื่นวิทยุ โดยความดันก๊าซมีค่า 0.5 mTorr 55

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University