


การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาชนิดโพรงเรโซแนนซ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ



นางสาวชนิษฐา หงส์เลิศสกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1536-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN AND CONSTRUCTION OF MICROWAVE RESONANCE CAVITY PLASMA GENERATOR



Miss Kanitta Honglertsakul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Physics

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1536-2

นางสาวชนิษฐา หงส์เลิศสกุล : การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดพลาสมาชนิดโพรง
เรโซแนนซ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ. (DESIGN AND CONSTRUCTION OF
MICROWAVE RESONANCE CAVITY PLASMA GENERATOR) อ.ที่ปรึกษา :
อาจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ขรรยง, 67 หน้า. ISBN 974-53-1536-2.

เครื่องกำเนิดพลาสมาชนิดโพรงเรโซแนนซ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟที่สร้างขึ้น จะมีหลอด
แมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 จิกะเฮิร์ตซ์ กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ผลิตได้
จากหลอดแมกนีตรอนมีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 730 วัตต์ การควบคุมกำลังคลื่นที่ผลิตได้จะใช้ตัวปรับ
แรงดันควบคุมแรงดันที่จ่ายให้แก่หลอดแมกนีตรอน จากการทดลองพบว่า หลอดแมกนีตรอนจะเริ่ม
ทำงาน เมื่อแรงดันที่จ่ายแก่หม้อแปลงด้านปฐมภูมิมีค่ามากกว่า 150 โวลต์ และกำลังคลื่นที่ผลิตได้
จากหลอดแมกนีตรอนจะถ่ายโอนพลังงานให้แก่ก๊าซที่อยู่ในภาชนะสุญญากาศได้ โดยผ่านทาง
โพรงเรโซแนนซ์ โพรงเรโซแนนซ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะมีรูปทรงเป็นกระบอก ทำจากท่อสแตนเลส มี
ขนาดรัศมี 10.5 เซนติเมตร ความยาวของโพรงมีขนาด 45 เซนติเมตร ภายในโพรงจะมีแผ่นโลหะที่
สามารถปรับขึ้น-ลงได้ การปรับแผ่นโลหะภายในโพรง จะทำให้ความยาวของโพรงเปลี่ยนได้ และ
หากมีการปรับความยาวโพรงอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ของคลื่น ก็จะสามารถทำให้
เกิดการส่งผ่านพลังงานได้สูงสุด ในงานวิจัยครั้งนี้โพรงเรโซแนนซ์ได้ออกแบบมารับการเกิด
เรโซแนนซ์ของคลื่นในโหมด TM

การหาค่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอน และความหนาแน่นของพลาสมาด้วยเทคนิคหัววัดลางมัวร์
จากเครื่องที่สร้างขึ้น โดยใช้ก๊าซอาร์กอน ไฮโดรเจน และไฮโดรเจนผสมกับมีเทน ที่ความดันก๊าซ 0.3
ถึง 0.9 ทอร์ กำลังคลื่นไมโครเวฟ 730 วัตต์ พบว่า อุณหภูมิของอิเล็กตรอนมีค่าระหว่าง 4.00 ถึง
5.50 อิเล็กตรอนโวลต์ และความหนาแน่นของพลาสมามีค่าระหว่าง 8×10^{10} ถึง 1.8×10^{11} ต่อ
ลูกบาศก์เซนติเมตร

ภาควิชา.....ฟิสิกส์.....
สาขาวิชา.....ฟิสิกส์.....
ปีการศึกษา..... 2547.....

ลายมือนิสิต.....²¹นิษฐา ^{นางสาว}หงส์เลิศสกุล.....
ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา.....^{๕๖}บุญโชติ.....

4472224623 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD : MICROWAVE PLASMA / RESONANCE CAVITY / LANGMUIR PROBE / PLASMA PARAMETERS

KANITTA HONGLERTSAKUL : DESIGN AND CONSTRUCTION OF MICROWAVE RESONANCE CAVITY PLASMA GENERATOR. THESIS

ADVISOR : BOONCHOAT PAOSAWATYANYONG, Ph.D., 67 pp. ISBN 974-53-1536-2.

A microwave resonance cavity plasma generator is designed and constructed based on a utilization of a 2.45 GHz magnetron tube. The obtained microwave power is varied between 10 to 730 Watts controlled by adjusting the potential applied to the magnetron tube. The experiments show that the magnetron tube is ignited when the potential applied to the primary side of the transformer is about 150 Volts. The microwave power is then coupled to the gases inside the vacuum chamber under different resonance modes. The resonance cavity in this work is made of stainless steel in a cylindrical shape 10.5 cm in radius and 45 cm in length. A moveable end-plate is ensembled inside the cylinder cavity as the cavity length variator. The length of the cavity is then adjusted to accommodate different resonance modes to maximize the power coupling to the gases. In this work, the resonance cavity is designed to operate under TM modes.

The Langmuir probe technique is used to obtain the electron temperature (T_e) and plasma density (n_e) of Ar, H₂ and H₂-CH₄ admixture plasmas. It is found that, at pressure between 0.3-0.9 Torr and the microwave power of 730 Watts, the value of T_e and n_e are 4.00 – 5.50 eV and 8×10^{10} – 1.8×10^{11} cm⁻³, respectively.

Department.....Physics.....

Field of study.....Physics.....

Academic year2004.....

Student's signature.....*กานิตา หงษ์เลิศสกุล*.....

Advisor's signature.....*Boonchoat Paosawatyanong*.....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณอาจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์บรรยง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์อย่างสูง ที่ให้โอกาสในการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องไมโครเวฟพลาสมา และที่ท่านได้มอบความกรุณาเวลาอันมีค่ามาให้คำแนะนำ ถ่ายทอดความรู้ และสอนทักษะกระบวนการในการทำงาน ทำให้ข้าพเจ้าได้แนวความคิดใหม่ๆ ในการทำงาน และทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์สุรสิงห์ ไชยคุณ อาจารย์มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างภาชนะสุญญากาศ ทั้งเอื้อเพื่ออุปกรณ์ในการทำงานและสถานที่แก่ข้าพเจ้า และให้การดูแลข้าพเจ้าอย่างดีเมื่อเวลาไปศึกษาที่มหาวิทยาลัยบูรพา

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ อาจารย์ประจำสำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และนายพันธุ์ศักดิ์ เกิดทองมี ที่ได้ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำเกี่ยวกับระบบจ่ายกำลัง และเอื้อเพื่ออุปกรณ์การทำงานและสถานที่แก่ข้าพเจ้า และให้การดูแลข้าพเจ้าอย่างดีเมื่อเวลาไปศึกษาที่มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ขอขอบคุณอาจารย์ชนะ ผิวล่อง อาจารย์ภาควิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ท่านได้สละเวลาอันมีค่ามาให้คำแนะนำ ถ่ายทอดความรู้ในเรื่องสัญญาณระบบจ่ายกำลังแก่ข้าพเจ้า ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จได้

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจรยศ อยู่ดี อาจารย์ ดร. โสจิพงษ์ ฉัตรภรณ์ และอาจารย์ ดร.รุจิกร ธนวิทยาพล ที่สละเวลาอันมีค่าในการตรวจสอบและให้คำแนะนำต่างๆ ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณคุณอนุสร อติเรกกิตติคุณ คุณพรรษา บุญฮ้าว ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการสร้างระบบสุญญากาศและโปรแกรมโซเนนซ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ บิดา มารดา พี่สาว พี่ชาย และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนให้ความร่วมมือในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ลำดับและขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 ลักษณะทั่วไปของพลาสมา.....	4
2.2 การเกิดเรโซแนนซ์ใน โพรงเรโซแนนซ์ทรงกระบอก.....	7
2.3 หัววัดทางไฟฟ้า.....	12
2.3.1 หัววัดลงมัวร์.....	12
2.3.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสำหรับหัววัดลงมัวร์.....	13
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างระบบไมโครเวฟพลาสมา.....	18
3.1 ระบบสุญญากาศ.....	20
3.2 ระบบการถ่ายโอนกำลังคลื่นไมโครเวฟ.....	23
3.2.1 ส่วนกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ.....	23
3.2.1.1 หลอดแม็กนีตรอน.....	23
3.2.1.2 วงจรจ่ายแรงดันไฟ.....	26
3.2.2 ส่วนควบคุมการถ่ายโอนกำลังคลื่น.....	27
3.2.3 ส่วนโพรงเรโซแนนซ์.....	28
3.3 ระบบการวัดสมบัติของไมโครเวฟพลาสมา.....	30
3.3.1 หัววัดลงมัวร์.....	31
3.3.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสำหรับหัววัด.....	32
บทที่ 4 การทดลอง ผลการทดลอง วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง.....	40
4.1 การวัดการทำงานส่วนกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ.....	40
4.1.1 การวัดสัญญาณของแรงดันที่ตกคร่อมขั้วแคโทดกับขั้วแอโนด ในส่วนจ่ายไฟแรงดันสูง ขณะที่ไม่ต่อหลอดแม็กนีตรอน.....	41

4.1.2 การวัดสัญญาณของแรงดันที่ตกคร่อมขั้วแคโทดกับขั้วแอโนด ในส่วนจ่ายไฟ แรงดันสูง ขณะที่ต่อหลอดแม็กนีตรอน.....	43
4.2 การวัดการทำงานส่วนควบคุมการส่งกำลังคลื่น ไมโครเวฟ.....	45
4.3 การวัดกำลังคลื่น ไมโครเวฟของระบบ.....	48
4.4 การวัดประสิทธิภาพการเรโซแนนซ์ของโพรงเรโซแนนซ์.....	50
4.5 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของไมโครเวฟพลาสมา.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	59
5.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยที่สามารถทำได้.....	60
รายการอ้างอิง.....	61
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก.....	65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	พิกัดสัมพัทธ์ของโพรงเรโซแนนซ์ทรงกระบอกในชุดตัวแปร (r, φ, z) เทียบกับชุด (X, Y, Z)	7
รูปที่ 2.2	กราฟเบสเซลฟังก์ชัน.....	10
รูปที่ 2.3	แผนผังของระบบหัววัดวางมัวร์ในพลาสมา.....	14
รูปที่ 2.4	ลักษณะต่อกระแส-ศักย์ ของพลาสมาที่ได้จากหัววัดวางมัวร์.....	14
รูปที่ 3.1	แผนผังเครื่องกำเนิดพลาสมาชนิดโพรงเรโซแนนซ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ.....	18
รูปที่ 3.2	ภาพถ่ายเครื่องกำเนิดพลาสมาชนิดโพรงเรโซแนนซ์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ.....	19
รูปที่ 3.3	ภาพถ่ายภาชนะสุญญากาศ.....	20
รูปที่ 3.4	ระบบสุญญากาศ.....	21
รูปที่ 3.5	กราฟความดันสุดท้ายของระบบ.....	22
รูปที่ 3.6	ระบบการถ่ายโอนกำลังคลื่นไมโครเวฟ.....	23
รูปที่ 3.7	ลักษณะทั่วไปของหลอดแม็กนีตรอน.....	24
รูปที่ 3.8	โครงสร้างภายในของหลอดแม็กนีตรอน.....	24
รูปที่ 3.9	การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในหลอดแม็กนีตรอนเมื่อจ่ายไฟแรงดันสูง.....	25
รูปที่ 3.10	การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในหลอดแม็กนีตรอนเมื่อจ่ายไฟแรงดันสูงภายใต้ อิทธิพลของสนามไฟฟ้าและแม่เหล็กถาวร.....	25
รูปที่ 3.11	การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่เหนี่ยวนำให้เกิดกระแสลับภายในหลอดแม็กนีตรอน... ..	26
รูปที่ 3.12	วงจรทวีแรงดันแบบครึ่งคลื่น.....	27
รูปที่ 3.13	วงจรควบคุมการถ่ายโอนกำลังคลื่นไมโครเวฟ.....	28
รูปที่ 3.14	ระบบหัววัดวางมัวร์.....	30
รูปที่ 3.15	วงจร Sweep voltage amplifier.....	30
รูปที่ 3.16	ภาพตัดขวางและภาพด้านหน้าของหัววัด.....	32
รูปที่ 3.17	รูปสัญญาณความต่างศักย์และกระแสที่เข้าหัววัด เมื่อไม่มีพลาสมาในระบบ.....	33
รูปที่ 3.18	สัญญาณขาขึ้นของความต่างศักย์และกระแสที่เข้าหัววัด เมื่อไม่มีพลาสมาในระบบ.....	34
รูปที่ 3.19	สัญญาณของความต่างศักย์และกระแสกับเวลาจากหัววัดวางมัวร์.....	35
รูปที่ 3.20	สัญญาณของความต่างศักย์และกระแสที่วัดได้จากหัววัดวางมัวร์.....	35
รูปที่ 3.21	สัญญาณของความต่างศักย์และกระแสเมื่อหักค่ากระแสไอออนบวกออก.....	36
รูปที่ 3.22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(I)$ กับค่าความต่างศักย์.....	37

รูปที่ 3.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(I)$ กับค่าความต่างศักย์ในช่วงการเปลี่ยนแปลง..... 37

รูปที่ 3.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของ $\ln(I)$ ที่ค่าความต่างศักย์
ต่าง ๆ ในช่วงการเปลี่ยนแปลง..... 38

รูปที่ 3.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของ $\ln(I)$ ที่ค่าความต่างศักย์
ต่าง ๆ ในช่วงการเปลี่ยนแปลง เมื่อทำการวาดกราฟเส้นตรง..... 39

รูปที่ 4.1 การจัดการทดลองวัดสัญญาณของแรงดันที่ตกคร่อมขั้วแคโทดและขั้วแอโนด ในส่วน
จ่ายไฟแรงดันสูง ขณะที่ไม่ต่อหลอดแม็กนีตรอน..... 41

รูปที่ 4.2 สัญญาณของแรงดันที่ตกคร่อมขั้วแคโทดกับขั้วแอโนด ในส่วนจ่ายไฟแรงดันสูง ขณะ
ไม่ต่อหลอดแม็กนีตรอน..... 42

รูปที่ 4.3 การจัดการทดลองวัดสัญญาณของแรงดันที่ตกคร่อมขั้วแคโทดและขั้วแอโนด ในส่วน
จ่ายไฟแรงดันสูง ขณะที่ต่อหลอดแม็กนีตรอน..... 43

รูปที่ 4.4 การต่อหลอดแม็กนีตรอนเข้ากับโพรงเรโซแนนซ์..... 44

รูปที่ 4.5 สัญญาณของแรงดันที่ตกคร่อมขั้วแคโทดกับขั้วแอโนด ในส่วนจ่ายไฟแรงดันสูง
ขณะที่ต่อหลอดแม็กนีตรอน..... 45

รูปที่ 4.6 การจัดการทดลองวัดค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมขั้วแคโทดกับขั้วแอโนด ในส่วนจ่ายไฟ
แรงดันสูง ของวงจรควบคุมการจ่ายแรงดัน เมื่อมีการปรับแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อ
แปลงระหว่าง 0-220 โวลต์..... 46

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันสูงสุด ที่ตกคร่อมขั้วแคโทดและขั้วแอโนด ($V_{\text{out}}_{\text{output}}$)
ในส่วนจ่ายไฟแรงสูงในขณะที่ไม่ต่อหลอดแม็กนีตรอน กับแรงดันที่ตกคร่อมหลอด
แม็กนีตรอน (V_{mag})..... 47

รูปที่ 4.8 การจัดการทดลองวัดกำลังคลื่นที่ปล่อยจากหลอดแม็กนีตรอน..... 48

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันหม้อแปลงด้านปฐมภูมิ ($V_{\text{in}}_{\text{input}}$) กับกำลังไมโครเวฟ.... 49

รูปที่ 4.10 การจัดการทดลองวัดความเข้มของการเรืองแสง..... 51

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวโพรงเรโซแนนซ์กับค่าความเข้มของการเรืองแสงของ
พลาสมา..... 52

รูปที่ 4.12 การจัดการทดลองวัดพารามิเตอร์ของพลาสมา..... 54

รูปที่ 4.13 อุณหภูมิของอิเล็กตรอนของพลาสมาของก๊าซอาร์กอน ก๊าซไฮโดรเจนผสมกับก๊าซ
มีเทน และก๊าซไฮโดรเจน ที่ความดันต่างๆ..... 56

รูปที่ 4.14 ความหนาแน่นของพลาสมาของก๊าซอาร์กอน ก๊าซไฮโดรเจนผสมกับก๊าซมีเทน และ
ก๊าซไฮโดรเจน ที่ความดันต่างๆ..... 56

สารบัญตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่า ρ_{mn} ที่เป็นผลเฉลยของ $J_m(\rho) = 0$	11
ตารางที่ 3.1 ความยาวโพรงเรโซแนนซ์ที่เกิดการเรโซแนนซ์ในโหมด TM ต่างๆ ของคลื่น ไมโครเวฟความถี่ 2.45 จิกะเฮิร์ตซ์ เมื่อโพรงเรโซแนนซ์รัศมี 10.5 ซม.....	29
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิของอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมาของก๊าซอาร์กอน ก๊าซ ไฮโดรเจนผสมกับก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจน ที่ความดันต่างๆ.....	55



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย