การวัดค่าพารามิเตอร์ของพลาสมาด้วยหัววัดชนิดคู่แบบลางมัวร์

นาย วันทพล งามดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-17-5622-4
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MEASUREMENT OF PLASMA PARAMETERS WITH LANGMUIR DOUBLE PROBE

Mr. Wantapon Ngamdee

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 2003

ISBN 974-17-5622-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดค่าพารามิเตอร์ของพลาสมาด้วยหัววัดชนิดคู่แบบลางมัวร์
โดย	นาย วันทพล งามดี
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.รัฐชาติ มงคลนาวิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.บุรินทร์ อัศวพิภพ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย วันทพล งามดี : การวัดค่าพารามิเตอร์ของพลาสมาด้วยหัววัดชนิดคู่แบบลางมัวร์. (MEASUREMENT OF PLASMA PARAMETERS WITH LANGMUIR DOUBLE PROBE) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง, 83 หน้า. ISBN 974-17-5622-4.

การวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของพลาสมาจากภายนอกขอบเขตของพลาสมานั้นจะไม่สามารถให้ผลการวัดที่แม่นยำได้ การวัดโดยใช้เทคนิคของลางมัวร์นั้นเป็นการเก็บผลของการวัดจากการไบแอสหัววัดที่อยู่ภายในพลาสมา ซึ่งให้ผลการวัดที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนพลาสมาเป็นเวลานานในระหว่างกระบวนการวัด จึงได้มีการไบแอสหัววัดแบบลางมัวร์โดยใช้สัญญาณพัลส์ ซึ่งจะลดการผันแปรของพลาสมาขณะทำการวัด โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของพลาสมาจากเงื่อนไขการเรืองแสงต่าง ๆ กัน ที่วัดได้คือ ศักย์ของพลาสมา อุณหภูมิของอิเล็กตรอน และความหนาแน่นของพลาสมา แหล่งกำเนิดพลาสมาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ สร้างจากระบบพลาสมาดิสชาร์จเรืองแสงด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งผลการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาโดยหัววัดลางมัวร์แบบหัววัดเดี่ยวและหัววัดคู่พบว่า อุณหภูมิของอิเล็กตรอนมีค่าประมาณ 1.3 ถึง 2.7 eV และความหนาแน่นของพลาสมามีค่าประมาณ $6x10^{13}$ ถึง $10.5x10^{13}$ m^{-3}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2546 ลายมือชื่ออาจารย์ทีปรึกษาร่วม.....

4372404123 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD: LANGMUIR SINGLE PROBE / LANGMUIR DOUBLE PROBE / D.C GLOW DISCHARGE PLASMA / PLASMA DIAGNOSTICS

WANTAPON NGAMDEE : MEASUREMENT OF PLASMA PARAMETERS WITH LANGMUIR DOUBLE PROBE. THESIS ADVISOR : BOONCHOAT PAOSAWATYANYONG Ph.D., 83 pp. ISBN 974-17-5622-4.

Remote measurements of plasma parameters from outside of plasma boundary usually do not give accurate results. Langmuir probing technique which collects the measuring data from biased probe inserted inside the plasma, has presented more reliable parameters measurement. To avoid long perturbation of plasma during measuring process, pulsing bias to Langmuir probe has shown to reduce the plasma variation during measurement. The plasma potential, plasma density and electron temperature were obtained from plasma at different glow conditions. A DC glow discharge plasma system was constructed as a source in this study. By using single and double Langmuir probe measured plasma parameters, we got electron temperature about 1.3 – 2.7 eV and plasma density about $6 \times 10^{13} - 10.5 \times 10^{13}$ m^{-3}.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Physics — Student's signature.....

Field of study Physics — Advisor's signature.....

Academic year 2003 — Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลา ดูแลเอาใจใส่ผู้วิจัย อีกทั้งยังได้ถ่ายทอดความรู้ความสามารถที่เป็นประโยชน์ในการทำงาน รวมทั้งให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่มีคุณค่า แก่ผู้วิจัยด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณ กรรมการทุกท่าน ที่ตรวจสอบและให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ อาจารย์ประจำสำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเทคนิคการวัดพลาสมาด้วยหัววัดทางไฟฟ้าแบบลางมัวร์

ขอขอบคุณ คุณศุภศิลป์ ดาราสูรย์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเป่าแก้ว ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์ท่อแก้ว และให้ความช่วยเหลือในงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องแก้วในหลาย ๆ ด้าน

ขอขอบคุณ คุณทวีศักดิ์ จันทร์ดวง และ นายไพบูลย์ บุญเก่า นายช่างเทคนิคประจำหน่วยซ่อมบำรุง คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการสร้างและแก้ไขปรับปรุงภาชนะสุญญากาศที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณบุญเหลือ เงาถาวรชัย นักวิทยาศาสตร์ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในหลาย ๆ ด้าน

ขอขอบคุณ คุณดุสิต งามรุ่งโรจน์ คุณไพรัช คำสิงห์ คุณขนิษฐา หงส์เลิศสกุล และทุก ๆ คน ที่มีส่วนในการช่วยเหลือผู้ทำวิจัย

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้กำลังใจผู้ทำวิจัยเสมอมา

วันทพล งามดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญรูป.....ฌ

สารบัญตาราง.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....3

1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....4

บทที่ 2 ทฤษฎี.....5

2.1 ระบบดิสชาร์จเรืองแสงด้วยไฟฟ้ากระแสตรง.....5

2.2 ความหมายของพลาสมา.....7

2.2.1 ความยาวคลื่นเดอบาย.....9

2.2.2 จำนวนอนุภาคประจุภายในทรงกลมเดอบาย.....9

2.2.3 ความถี่พลาสมา.....10

2.3 หัววัดทางไฟฟ้าแบบลางมัวร์.....10

2.3.1 ข้อพิจารณาในการสร้างหัววัดแบบลางมัวร์.....12

2.3.2 หัววัดลางมัวร์แบบหัววัดเดี่ยว.....14

2.3.3 การวิเคราะห์พลาสมาด้วยหัววัดลางมัวร์แบบหัววัดเดี่ยว.....16

2.3.3.1 อุณหภูมิของอิเล็กตรอน.....16

2.3.3.2 ความหนาแน่นของพลาสมา.....18

2.3.3.3 ศักย์พลาสมา.....18

2.3.3.4 ศักย์ลอย.....19

2.3.4 หัววัดลางมัวร์แบบหัววัดคู่.....20

2.3.5 การวิเคราะห์พลาสมาด้วยหัววัดลางมัวร์แบบหัววัดคู่.....21

หน้า

2.3.5.1 อุณหภูมิของอิเล็กตรอน....21
2.3.5.2 ความหนาแน่นของพลาสมา....24
บทที่ 3 ระบบพลาสมาดิสชาร์จและหัววัด....25
3.1 ภาชนะสุญญากาศ....25
3.2 ระบบพลาสมาดิสชาร์จเรืองแสงด้วยไฟฟ้ากระแสตรง....27
3.3 หัววัดทางไฟฟ้า....32
3.3.1 หัววัดเดี่ยว....33
3.3.1 หัววัดคู่....35
3.4 การทดสอบวงจรของหัววัดลางมัวร์....36
3.5 ระบบหัววัดลางมัวร์แบบพัลส์....38
บทที่ 4 การวัดค่าพารามิเตอร์ของพลาสมา....45
4.1 หัววัดเดี่ยว....45
4.1.1 ผลการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาโดยหัววัดเดี่ยว....49
4.2 หัววัดคู่....54
4.2.1 ผลการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาโดยหัววัดคู่....56
4.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างหัววัดเดี่ยวและคู่....62
4.4 อภิปรายและวิจารณ์ผลการวิจัย....65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ....66
5.1 สรุปผลการวิจัย....66
5.2 ข้อเสนอแนะและงานที่สามารถทำต่อได้ในอนาคต....66
รายการอ้างอิง....68
ภาคผนวก ก แบบแปลนการออกแบบภาชนะสุญญากาศ....72
ภาคผนวก ข แบบของหน้าแปลนและที่จับยึดมาตรฐาน (NW) ที่ใช้ในงานวิจัย....74
ภาคผนวก ค พลาสมาที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. glow discharge)....75
ภาคผนวก ง ส่วนประกอบของการดิสชาร์จเรืองแสงแบบปกติ....77
ภาคผนวก จ การกำบังเดอบาย (Debye Shielding)....80
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....83

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบพลาสมาดิสชาร์จเรืองแสงด้วยไฟฟ้ากระแสตรง....6
รูปที่ 2.2 Paschen's curve [10]....7
รูปที่ 2.3 การอยู่รวมกันของไอออนและอิเล็กตรอนอย่างประหนึ่งเป็นกลางในพลาสมา [5]....8
รูปที่ 2.4 แผนภาพการวัดพลาสมาโดยใช้หัววัดลางมัวร์แบบหัววัดเดี่ยว....11
รูปที่ 2.5 ลักษณะสัญญาณพลาสมาที่ได้จากหัววัดเดี่ยว [19]....14
รูปที่ 2.6 แผนภาพการวัดพลาสมาโดยใช้หัววัดลางมัวร์แบบหัววัดคู่....20
รูปที่ 2.7 ลักษณะสัญญาณของกระแส-ศักย์ที่ได้จากหัววัดลางมัวร์แบบคู่ [19]....22
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากหัววัดคู่และรายละเอียด [14]....24
รูปที่ 3.1 แบบจำลองภาชนะสุญญากาศที่ใช้ในงานทดลอง....25
รูปที่ 3.2 ภาพขยายการเชื่อมต่อแกนค้ำยันขั้วไฟฟ้ากับขั้วแคโทด ภายในภาชนะสุญญากาศ....26
รูปที่ 3.3 แผนภาพการกำเนิดพลาสมาโดยวิธีดิสชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรง....28
รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้าแตกตัวกับผลคูณของความดัน
และระยะห่างของขั้วไฟฟ้า....29
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้าแตกตัวกับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าเมื่อความดันคงที่....30
รูปที่ 3.6 การเรืองแสงของพลาสมา ที่ความดัน0.18 torr ศักย์ไฟฟ้าของการดิสชาร์จ 360 V....31
รูปที่ 3.7 การเรืองแสงของพลาสมาอากาศ ที่ความดัน0.18 torr....32
รูปที่ 3.8 ภาพตัดขวางและภาพด้านหน้าของหัววัดเดี่ยว....33
รูปที่ 3.9 การตัดขวางและภาพด้านหน้าของหัววัดเดี่ยวที่มีฉนวนกันสัญญาณรบกวน....34
รูปที่ 3.10 ภาพตัดขวางและภาพด้านหน้าของหัววัดคู่....35
รูปที่ 3.11 หัววัดคู่แบบมีฉนวน (บน) และไม่มีฉนวนกันสัญญาณรบกวน (ล่าง)
ที่ใช้ในการทดลอง....36
รูปที่ 3.12 วงจรที่ใช้ทดสอบวงจรหัววัด....37
รูปที่ 3.13 กราฟศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ในวงจรทดสอบหัววัด....37
รูปที่ 3.14 ภาพรวมของระบบการวัดพลาสมาแบบพัลส์ลางมัวร์ของหัววัดเดี่ยว....39
รูปที่ 3.15 วงจร Sweep Voltage Amplifier [4]....40
รูปที่ 3.16 ภาพรวมของระบบที่ใช้ในการทดลอง....41
รูปที่ 3.17 สัญญาณที่บันทึกได้บนเครื่องออสซิโลสโคป เมื่อไม่มีพลาสมา....42
รูปที่ 3.18 สัญญาณที่ปรากฏบนเครื่องออสซิโลสโคป เมื่อใช้หัววัดเดี่ยววัดพลาสมาอาร์กอน....43
รูปที่ 3.19 สัญญาณที่ปรากฏบนเครื่องออสซิโลสโคป เมื่อใช้หัววัดคู่วัดพลาสมาอาร์กอน....44

หน้า

รูปที่ 4.1 กราฟส่อกระแส-ศักย์ของพลาสมาอากาศ.....45
รูปที่ 4.2 กราฟลักษณะส่อกระแส (อิเล็กตรอน)-ศักย์.....47
รูปที่ 4.3 กราฟระหว่างลอกกาลิทึ่มของกระแสอิเล็กตรอน-ศักย์.....48
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอิเล็กตรอนกับที่ความดัน ของพลาสมาอากาศ.....49
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นพลาสมากับความดัน ของพลาสมาอากาศ.....50
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอิเล็กตรอนกับความดันของพลาสมาอาร์กอน.....51
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นพลาสมากับความดันของพลาสมาอาร์กอน.....52
รูปที่ 4.8 อุณหภูมิของอิเล็กตรอนที่ได้จากหัววัดเดี่ยว โดยหาจาก V_P และ V_f กับความดันของพลาสมาอากาศ.....53
รูปที่ 4.9 กราฟส่อกระแส-ศักย์ที่ได้จากหัววัดแบบคู่.....55
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอิเล็กตรอนกับตำแหน่งหัววัด ของพลาสมาอากาศ.....56
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอิเล็กตรอนกับตำแหน่งหัววัด ของพลาสมาอาร์กอน.....57
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของพลาสมาอากาศกับตำแหน่งหัววัด.....58
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของพลาสมาอาร์กอนกับตำแหน่งหัววัด.....59
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอิเล็กตรอนกับความดันของพลาสมาอากาศ.....60
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของพลาสมาอากาศกับความดัน.....61
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของพลาสมาอากาศกับความดัน ระหว่างหัววัดคู่และเดี่ยว.....62
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอิเล็กตรอนกับความดัน ของพลาสมาอากาศ ระหว่างหัววัดคู่และเดี่ยว.....63
รูปที่ ก1 แบบแปลนของภาชนะสุญญากาศ.....72
รูปที่ ก2 แบบแปลนด้านบนและด้านข้างของภาชนะสุญญากาศ.....73
รูปที่ ข1 ภาพแสดงหน้าแปลนมาตรฐาน NW ขนาดต่าง ๆ [33].....74
รูปที่ ข2 ภาพแสดงการเชื่อมต่อหน้าแปลนมาตรฐาน NW [34].....74
รูปที่ ค1 ลักษณะเฉพาะตัวของกระแส-ศักย์ในการดิสชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรง [1].....75
รูปที่ ง1 ลักษณะเฉพาะตัวในแนวแกนของการดิสชาร์จแบบปกติ [1].....77

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสมบัติของธาตุต่างๆ [14].....13

ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิของอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมา อากาศ ที่กระแสดิสชาร์จ 19 mA.....64

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย