รายงานผลโครงการวิจัย

การออกแบบและสร้างหัววัดทางไฟฟ้าเพื่อวัดพารามิเตอร์ของพลาสมา

Design and Construction of Electrical Probe to Measure Plasma Parameters

โดย

นายวานิช โสภาสพ

นางสาวอันชัญ หมวกงาม

ดร.สุรฤทธิ์ ปี่เพราะ

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

(ได้รับเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2554)

บทคัดย่อ

หัววัดทางไฟฟ้าถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้วัดพารามิเตอร์ต่างๆ ของพลาสมาในระบบ ดีซี แมกนีตรอนสปัตเตอริง วัดความหนาแน่นของพลาสมาและอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่กำลังไฟฟ้ากระแสตรงระหว่าง 25 –150 วัตต์ อัตราการไหลของแก๊ส 8 – 12 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที พบว่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอนอยู่ในช่วง 1.8–2.8 eV เพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและแปรผกผันกับอัตราการไหลของแก๊ส ความหนาแน่นของพลาสมาอยู่ในช่วง 2.5 – 2.8 x 10^{17} อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร เพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นและแปรผกผันกับอัตราการไหลของแก๊ส

Abstract

Electrical probe was designed and constructed to measure plasma parameters in d c magnetron sputtering system. The plasma density and electron temperature have been measured at dc power between 25 – 150 W and gas flow rate between 8 – 12 sccm. The results showed that electron temperature was ranged between 1.8 – 2.8 eV, electron temperature was increase with increasing dc–power but decrease with increasing flow rate. The plasma density was between 2.5 – 2.8 x 10^{17} m^{-3} . The plasma density was increase with dc–power, decrease with increasing gas flow rate.

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
1. บทนำ	
1.1 ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ของเขตของโครงการวิจัย	2
1.5 เค้าโครงงานวิจัย	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พลาสมา	4
2.1.1 นิยามของพลาสมา	4
2.1.2 Debye Shielding	6
2.2 ระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ดีซี แมกนีตรอนสปัตเตอริง	9
2.3 หัววัดทางไฟฟ้า	15
2.3.1 อุณหภูมิอิเล็กตรอน	17
2.3.2 ความหนาแน่นของพลาสมา	18
2.3.3 ศักย์พลาสมา	18
2.3.4 ศักย์ลอย	19
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3. ระบบพลาสมาและหัววัดทางไฟฟ้า	
3.1 เครื่อง ดีซี แมกนีตรอนสปัตเตอริง	23
3.2 ขั้นตอนการกำเนิดพลาสมา	26
3.2.1 ขั้นตอนก่อนการสปัตเตอริง	26
3.2.2 ขั้นตอนการสปัตเตอริง	26
3.2.3 เงื่อนไขที่ใช้ในการกำเนิดพลาสมา	27
3.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของพลาสมา	28
3.3.1 การสร้างหัววัดทางไฟฟ้า	28
3.3.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของพลาสมา	33
4. ผลการวิจัย	
4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรของพลาสมา	36
5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	
5.1 สรุปผลการวิจัย	41
5.2 ข้อเสนอแนะและงานที่สามารถทำต่อได้	41
เอกสารอ้างอิง	42

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงสถานะของสสาร	5
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของการโกล์วดิสชาร์จ	10
รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดการสปัตเตอริงที่ผิวเป้า	11
รูปที่ 2.4 แสดงการเคลื่อนที่เป็นเกลียววงกลมของอิเล็กตรอนที่ถูกกักเก็บไว้ที่ผิวเป้าในเส้นทางเลื่อนลอยของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามขวางที่มีทิศทางตั้งฉากกัน	13
รูปที่ 2.5 แผนภาพการวัดพลาสมาโดยใช้หัววัดลางมัวร์	15
รูปที่ 2.6 ลักษณะเฉพาะของกระแสกับความต่างศักย์	16
รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิอิเล็กตรอน	21
รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและความหนาแน่นพลาสมา	21
รูปที่ 3.1 แผนภาพเครื่อง ดีซี แมกนีตรอนสปัตเทอริง	23
รูปที่ 3.2 เครื่อง ดีซี แมกนีตรอนสปัตเทอริง ติดตั้ง ณ ห้องปฏิบัติการสุญญากาศและวัสดุศาสตร์	24
รูปที่ 3.3 แกรไฟต์ความบริสุทธิ์ 99.999% ซึ่งใช้เป็นต้นกำเนิดสารในงานวิจัยนี้	25
รูปที่ 3.4 แสดงการโกล์วดิสชาร์จของหัวแมกนิตรอน	25
รูปที่ 3.5 ภาพตัดขวางและภาพด้านหน้าของหัววัดเดี่ยว	30
รูปที่ 3.6 แผนภาพการทดสอบหัววัดทางไฟฟ้า	31
รูปที่ 3.7 กราฟจากวงจรทดสอบ	31
รูปที่ 3.8 แสดงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรของพลาสมาด้วยหัววัดทางไฟฟ้าแบบลางมัวร์	32
รูปที่ 3.9 กราฟส่อกระแสศักย์ของพลาสมา	33
รูปที่ 3.10 กราฟลักษณะส่อกระแสอิเล็กตรอนศักย์ของพลาสมา	34
รูปที่ 3.11 กราฟระหว่างลอกการิทึมของกระแสอิเล็กตรอนกับศักย์	35
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับศักย์ของพลาสมา	36
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิของอิเล็กตรอน	37
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความหนาแน่นของพลาสมา	38
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณณหภูมิของพลาสมา	39
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความหนาแน่นของพลาสมา	40

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการสปัตเทอริง 27
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างสมบัติของธาตุต่างๆ 28

บทที่ 1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาของปัญญาหาในการทำงานวิจัย วัตถุประสงค์การวิจัย ขอบเขตของโครงการวิจัยและสุดท้ายคือลำดับขั้นตอนการนำเสนอผลการวิจัยนี้

1.1 ที่มาของปัญหา

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้เปิดรับนักศึกษาในสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ โดยมีเป้าหมายที่จะผลิตบัณฑิตนักปฏิบัติ ซึ่งสอดคล้องกับปรัชญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี การที่จะสร้างให้นักศึกษาเป็นบัณฑิตนักปฏิบัติได้นั้น วิชาสำคัญในการเรียนการสอนคือวิชาปฏิบัติการ สาขาวิชาฟิสิกส์มีรายวิชาปฏิบัติการเพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้เกี่ยวกับเครื่องมือวัดทางด้านไฟฟ้า ทางกลศาสตร์ และวิชาปฏิบัติการขั้นสูงที่จะสอนให้นักศึกษาได้เรียนรู้เทคโนโลยีสมัยใหม่ ที่สามารถในไปใช้ในการทำงานหรือการวิจัยต่อไปได้

หัวข้อในการทดลองทางเครื่องมือวัดและการทดลองขั้นสูงที่มีประโยชน์ต่อนักศึกษาอย่างมากคือการทดลองทางสุญญากาศและการกำเนิดพลาสมา เนื่องจากพลาสมาเข้ามามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตหลากหลายด้าน ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ฟิล์มชนิดต่างๆ เช่น สังเคราะห์วัสดุเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน การแพทย์ การสื่อสาร หรือใช้ในการทำความสะอาดพื้นผิวอุปการณ์ต่างๆ ในการใช้งานทางพลาสมานั้นจำเป็นต้องทราบสมบัติของพลาสมาที่สร้างขึ้นเพื่อปรับปรุงเงื่อนไขที่ต้องการในการใช้งาน การวัดค่าพารามิเตอร์ของพลาสมาสามารถกระทำได้หลายวิธี ซึ่งมีประโยชน์และวิธีใช้ที่ต่างกันออกไป เช่น การวัดด้วยวิธีอินเตอร์ฟีรอเมทรีด้วยคลื่นไมโครเวฟ (microwave interferometry) ซึ่งนิยมใช้ในการวัดความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในพลาสมา วิธีนี้มีข้อดีอยู่ที่ เป็นการวัดที่ไม่รบกวนระบบ วิธีการวัดแบบนี้ อาศัยหลักการที่ว่า คลื่นไมโครเวฟที่ผ่านเข้าไปในพลาสมาจะเคลื่อนที่ช้าลงกว่าปกติ [1] นอกจากวิธีนี้แล้ว เรายังสามารถศึกษาสมบัติของพลาสมาผ่านวิธีวิเคราะห์พลังงานของไอออน (ion energy analysis) ได้อีกด้วย วิธีนี้กระทำโดยใช้การวิเคราะห์จากเครื่องวิเคราะห์การหน่วงของพลังงานศักย์ (retarding potential energy analyzer) และ เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบแผ่นโค้ง (curved–plate energy analyzer) ซึ่งออกแบบมาเพื่อประยุกต์ใช้งานกับงานปรับปรุงพื้นผิวโดยพลาสมา สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก (microelectronic plasma deposition and etching) [2,3] หัววัดทางไฟฟ้า (electric probe) เป็นอุปกรณ์อย่างง่ายชนิดหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้ในการศึกษาสมบัติของพลาสมา เพราะนอกจากจะไม่ซับซ้อนแล้ว ยังให้ผลการวัดที่มีความแม่นยำสูง หัววัดแบบลางมัวร์ (Langmuir probe) เป็นหัววัดทางไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้กับงานที่เกี่ยวข้องกับพลาสมาหลาย

ๆ แบบได้ เช่น พลาสมาฟิวชั่น (plasma fusion) สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) และเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตวัสดุต่าง ๆ เป็นต้น

แต่หัววัดทางไฟฟ้าที่จำหน่ายในท้องตลาดมีราคาแพง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น อีกทั้งเมื่อมีการใช้งานไปนาน ๆ หัววัดจะถูกไอออนในระบบพลาสมาพุ่งชนจนเกิดการสึกกร่อนหมดสภาพ การที่ต้องเปลี่ยนหัววัดบ่อย ๆ จะเป็นการเพิ่มต้นทุนในงานวิจัยหรือการทดลองเป็นอย่างมาก ในงานวิจัยจึงสร้างหัววัดทางไฟฟ้าขึ้นเพื่อใช้วัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของพลาสมาคือ อุณหภูมิของอิเล็กตรอน ความหนาแน่นของพลาสมา ศักย์ของพลาสมา และศักย์ลอยในพลาสมาที่เกิดจากระบบกำเนิดพลาสมาอุณหภูมิต่ำ หัววัดที่สร้างจะใช้วัสดุที่มีภายในประเทศเป็นการลดต้นทุนในการศึกษาวิจัยและทดลองเกี่ยวกับพลาสมาซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 สร้างหัววัดทางไฟฟ้าจากวัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศ และมีราคาไม่สูง เพื่อศึกษาสมบัติของพลาสมาที่เกิดในระบบกำเนิดพลาสมาอุณหภูมิต่ำ

1.2.2 ออกแบบและสร้างชุดปฏิบัติการการศึกษาสมบัติของพลาสมาด้วยหัววัดเชิงไฟฟ้า

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

13.1 หัววัดทางไฟฟ้าจากวัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศ ราคาถูกกว่าต่างประเทศ

13.2 ถ่ายทอดแม่แบบการทดลองทางสื่ออินเตอร์เน็ต และส่งมอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสำเร็จแล้วแก่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อใช้ในงานวิจัยและเป็นต้นแบบเพื่อสร้างอุปกรณ์ในการเรียนการสอนต่อไป

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

สร้างหัววัดทางไฟฟ้าแบบลางมัวร์ ด้วยวัสดุที่หาได้ในประเทศ เพื่อวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาที่กำเนิดด้วยระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ดีซี แมกนีตรอนสปัตเตอริง

1.5 ลำดับการนำเสนอผลการวิจัย

โครงการวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท ซึ่งประกอบด้วย

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา และขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่มีความสำคัญเกี่ยวกับพลามสมา ระบบกำเนิดพลาสมาแบบ ดีซี แมกนิตรอนสปัตเทอริง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหัววัดทางไฟฟ้า หลักการออกแบบและวิเคราะห์พารามิเตอร์ของพลาสมา

บทที่ 3 การสร้างและใช้งานหัววัดทางไฟฟ้า

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการวิจัย และการอภิปรายผลการวิจัย

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับและข้อเสนอแนะ