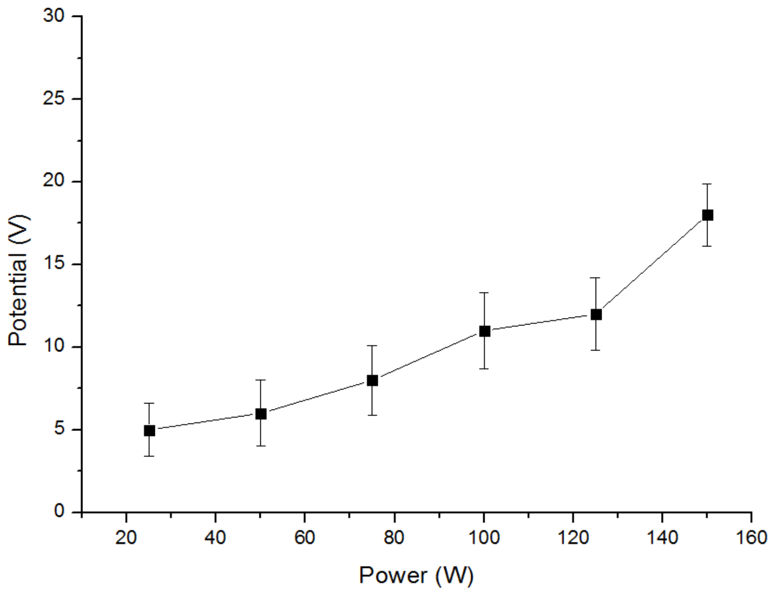
บทที่ 4 ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมา วิธีการใช้หัววัดที่สร้างขึ้น ผลการวัดในเงื่อนไขต่างๆ พร้อมทั้งการวิเคราะห์ผลการวัดพารามิเตอร์ของพลาสมาที่ได้

4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรของพลาสมา

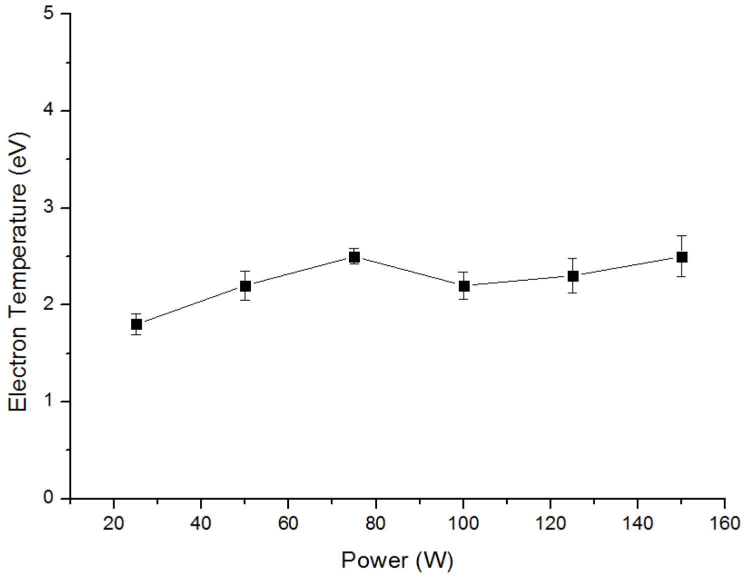
ในการวัดค่าพารามิเตอร์ของพลาสมา โดยหัววัดทางไฟฟ้า ได้มีทำการเปลี่ยนเงื่อนไขต่าง ๆ ของพลาสมา คือ กำลังไฟฟ้าและอัตราการไหลของแก๊ส เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมา นอกจากนี้ได้นำเสนอเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอน โดยวิธีจากสมการที่ 2.31 และ 2.33 ซึ่งผลการทดลองที่ได้ มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับศักย์ของพลาสมา

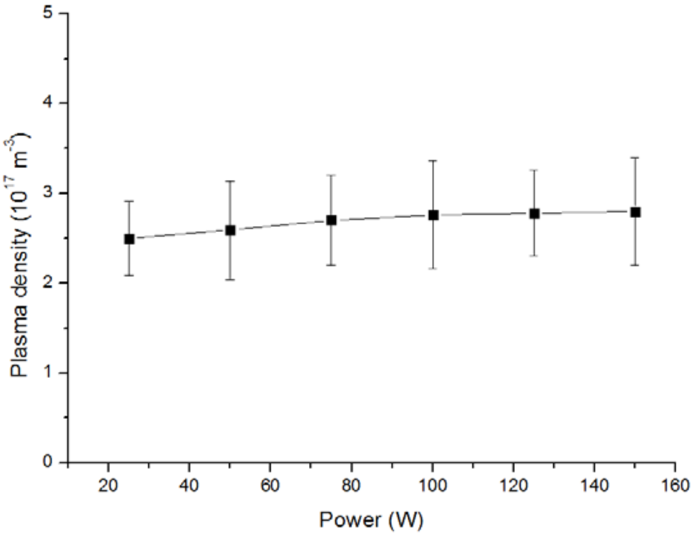
จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสปัตเตอริงในช่วง 25–150 วัตต์ ที่อัตราการไหลของแก๊ส 12 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที กับค่าศักย์ของพลาสมาที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณจากหัววัดลางมัวร์ โดยค่าศักย์ของพลาสมาจะมีค่าอยู่ในช่วง 5 –18 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่ศักย์ของหัววัดมีค่าเท่ากับศักย์ของพลาสมาของระบบดีซีแมกนิตรอนสปัตเตอริง และค่าของศักย์พลาสมามีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งน่าจะเป็นเพราะพารามิเตอร์ในการทดลองที่มีการ

เปลี่ยนแปลงในขณะทำการทดลอง โดยค่าศักย์ของพลาสมาที่ได้นั้น หัววัดลางมัวร์อยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากแผ่นรองรับประมาณ 5 เซนติเมตร จึงไม่อาจสรุปได้อย่างแน่ชัดถึงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไอออนในการพิจารณาคุณสมบัติของฟิล์มที่เคลือบ และได้ใช้ค่าศักย์ของพลาสมาและศักย์ลอยคำนวนหาค่าของอุณหภูมิของอิเล็กตรอนจากความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.31 ซึ่งแสดงผลที่ได้ในรูปที่ 4.2



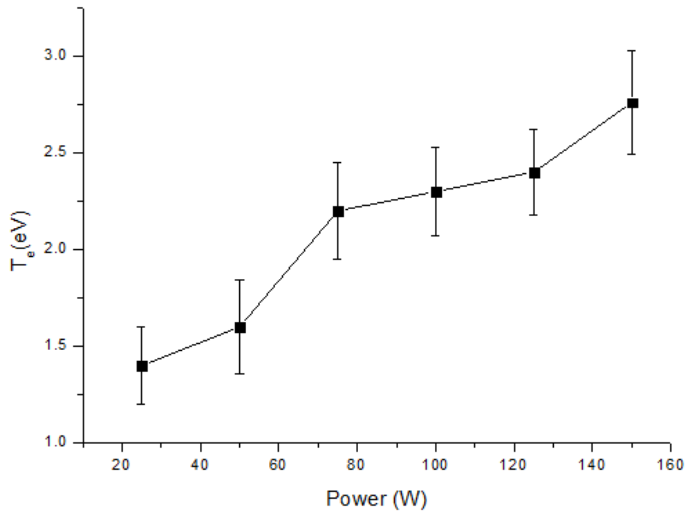
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิของอิเล็กตรอน

จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสปัตเตอริงในช่วง 25–150 วัตต์ ที่อัตราการไหลของแก๊ส 12 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที กับค่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอนที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณจากหัววัดเดี่ยวลางมัวร์แบบกวาด โดยเป็นการหาค่าจากความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.31 โดยค่าของอุณหภูมิอิเล็กตรอนจะมีค่าอยู่ในช่วง 1.8–2.3 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยค่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอนมีแนวโน้มที่จะคงที่ ซึ่งเป็นเพราะพลังงานโดยเฉลี่ยของอิเล็กตรอนมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักจากกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง และผลจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของพารามิเตอร์ตัวอื่นในระหว่างการทดลองและได้ใช้ค่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอนที่ได้คำนวนหาค่าความหนาแน่นของพลาสมาจากความสัมพันธ์ในสมการ 2.33 ซึ่งแสดงผลที่ได้ในรูปที่ 4.3



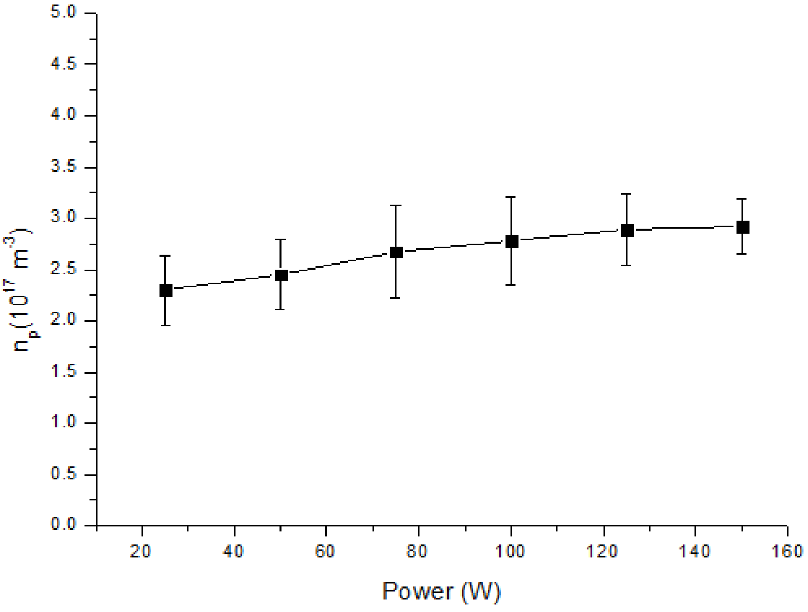
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความหนาแน่นของพลาสมา

จากรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสปัตเตอริงในช่วง 25 – 150 วัตต์ ที่อัตราการไหลของแก๊ส ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที 12 โดยความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่วัดได้จากหัววัดลางมัวร์ หาได้จากสมการที่ 2.33 ความหนาแน่นของพลาสมาที่ได้มีค่าในช่วง 2.5 - 2.8 x 10^{17} อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับอุณณหภูมิของพลาสมา

จากรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสปัตเตอริงในช่วง 150–25 วัตต์ ที่อัตราการไหลของแก๊ส 8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที กับค่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอนที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณจากหัววัดเดี่ยวลางมัวร์ โดยเป็นการหาค่าจากความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.31 โดยค่าของอุณหภูมิอิเล็กตรอนจะมีค่าอยู่ในช่วง 1.42.–8 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยค่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ได้จากกราฟรูปที่ 4.2 ที่อัตราการไหลของแก๊ส 12 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นแปรผกผันกับอัตราการไหลของแก๊ส



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความหนาแน่นของพลาสมา

จากรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสปัตเตอริงในช่วง 150–25 วัตต์ ที่อัตราการไหลของแก๊ส 8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที กับความหนาแน่นพลาสมาที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณจากหัววัดลางมัวร์ โดยเป็นการหาค่าจากความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.33 โดยความหนาแน่นของพลาสมาที่ได้มีค่าในช่วง 2.5 – 3.2 x 10^{17} อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นพลาสมาที่ได้จากกราฟรูปที่ 4.3 ที่อัตราการไหลของแก๊ส 12 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นแปรผกผันกับอัตราการไหลของแก๊ส

บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

5.1. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอนที่ได้จากจากระบบนี้มีขนาดประมาณ 1.8–2.8 eV และความหนาแน่นของพลาสมาอยู่ในระดับ 10^{17} m^{-3} โดยพบว่าทั้งอุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นของพลาสมาแปรผันตรงกับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ระบบในการกำเนิดพลาสมา และแปรผกผันกับอัตราการไหลของแก๊ส ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการรายงานของ J.R.Roth [1] ว่าอุณหภูมิของอิเล็กตรอนที่ได้จากระบบเช่นนี้ มีขนาดอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 5 eV และความหนาแน่นของพลาสมาจากระบบเช่นนี้มีขนาดอยู่ในช่วง 10^{13} ถึง 10^{17} m^{-3} ทำให้เราพอจะสรุปได้ว่าหัววัดที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ แม้จะสร้างด้วยวัสดุที่หาได้ทั่ว ๆ ไปและมีราคาไม่สูง แต่ก็สามารถนำไปใช้ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของพลาสมาได้ โดยผลที่ได้ก็ยังมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับหนึ่ง ทั้งยังสามารถสร้างเป็นชุดปฏิบัติการสำหรับนักศึกษาในการทดลองเพื่อศึกษาทางด้านวัสดุศาสตร์ได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะและงานที่สามารถทำต่อได้ในอนาคต

เมื่อเราสามารถสร้างและพัฒนาหัววัดที่ใช้ในระบบพลาสมาอย่างง่าย เช่นพลาสมาที่เกิดจากการดิสชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงแล้ว งานที่น่าสนใจถัดมาก็คือ การพัฒนาหัววัดไปใช้กับพลาสมาที่เกิดจากระบบอื่น เช่นพลาสมาที่เกิดจากการดิสชาร์จด้วยคลื่นพลังงานสูง เช่นคลื่นวิทยุ ซึ่งหากผลที่ได้ออกมาในระดับที่ยอมรับได้ จะเป็นการลดต้นทุนในการวิเคราะห์และศึกษาระบบพลาสมาได้ในวงกว้าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเกี่ยวกับพลาสมาสืบต่อไป

นอกจากนี้ผู้ทดลองพบว่า การคำนวณหาอุณหภูมิของอิเล็กตรอนเป็นขั้นตอนแรกและสำคัญสุดในการประยุกต์ไปสู่การหาค่าเฉพาะตัวอื่นๆของพลาสมา แต่จากการวิจัยพบว่าในการหาอุณหภูมิของอิเล็กตรอนจากส่วนกลับของความชันในช่วงทรานสิชั่นของ $\ln I - V$ นั้น หากความชันเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย จะส่งผลให้ T_e เปลี่ยนไปมาก ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วความชันในช่วง ทรานสิชั่นของ $\ln I - V$ มีโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้สูง ดังนั้นน่าที่จะมีการสอบเทียบค่า T_e ที่ได้จากวิธีนี้ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นต่อไป