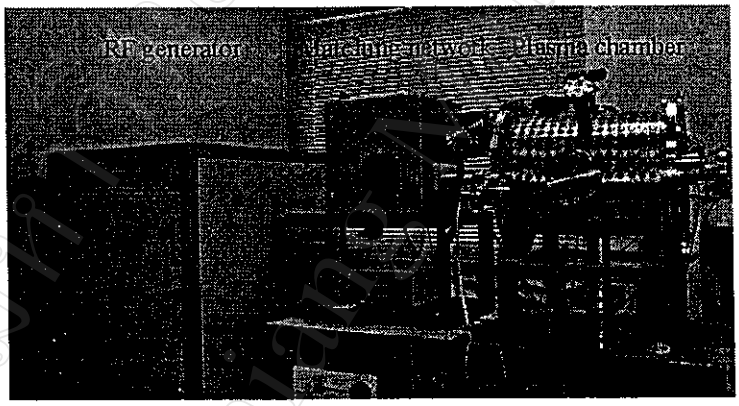
บทที่ 3
การทดลอง

การวัดอุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นพลาสมา ของพลาสมาอาร์กอนนี้ได้ทำการทดลองกับระบบผลิตพลาสมา ICP ความถี่ 13.56 MHz ซึ่งในการหาพารามิเตอร์ของพลาสมาทั้งสองของพลาสมาอาร์กอน ได้ทดลองโดยใช้เทคนิค หัววัด Langmuir และใช้เทคนิค OES หาอุณหภูมิอิเล็กตรอนเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับเทคนิคหัววัด Langmuir อีกทางหนึ่งด้วย

3.1 ระบบผลิตพลาสมาแบบ ICP

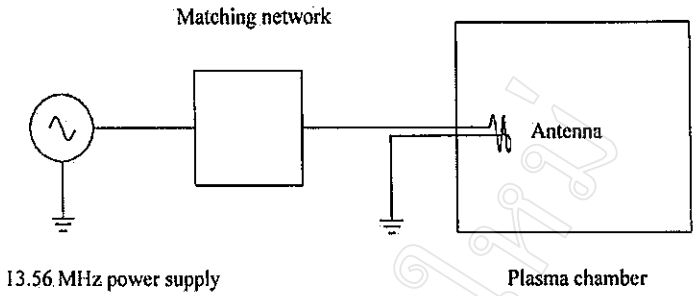
ชุดผลิตพลาสมาแบบ ICP ภายในห้องปฏิบัติการพลาสมา อาคารเทคโนโลยีไอออนบีม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แสดงดังรูป 3.1 โดยแผนภาพแสดงชุดผลิตพลาสมาดังกล่าวแสดงดังรูป 3.2



รูป 3.1 ชุดผลิตพลาสมา ICP

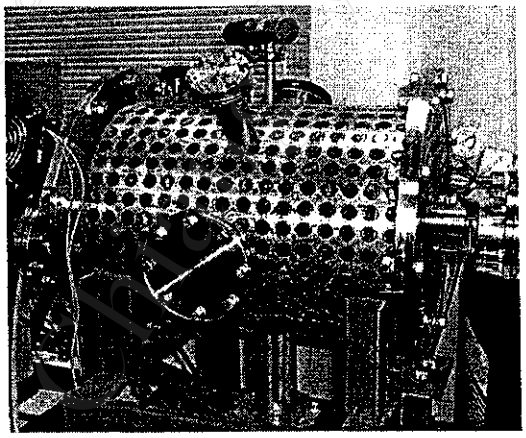
ส่วนประกอบของระบบผลิตพลาสมา ICP ประกอบด้วย

ก. แหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุความถี่ 13.56 MHz (RF power generator) Dresslor รุ่นHPG 1365 โดยแหล่งกำเนิดดังกล่าวจะผลิตไฟฟ้ากำลังคลื่นวิทยุความถี่ 13.56 MHz ให้กำลังคลื่นวิทยุสูงสุด 6.5 kW ระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยสามารถให้กำลังคลื่นวิทยุได้ทั้งแบบต่อเนื่อง และห้วง ในที่นี้ทำการทดลองเฉพาะแบบต่อเนื่อง



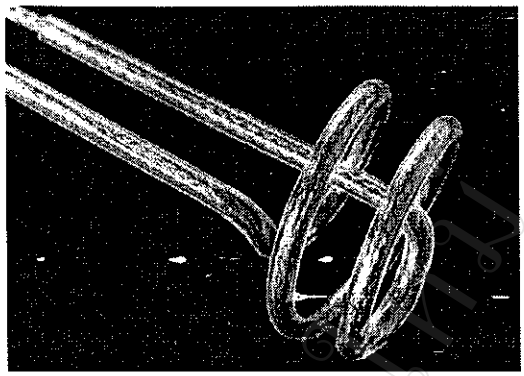
รูป 3.2 แผนภาพระบบผลิตพลาสมาแบบ ICP

ข. แชมเบอร์พลาสมาแบบกลีบมะเฟืองรูปทรงกระบอกแสดงดังรูป 3.3 แชมเบอร์ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมเส้นผ่านศูนย์กลาง 31.2 cm ยาว 42.5 cm ผนังหนา 6.0 mm ที่ผิวด้านนอกแชมเบอร์ถูกเจาะโดยรอบลึก 4.0 mm เพื่อฝังแม่เหล็กถาวรแบบกระดุมขนาด 18.0 mm หนา 5.0 mm รอบๆ จำนวน 611 เม็ด นอกจากนั้นฝาปิดแชมเบอร์ทั้งสองด้านยังฝังแม่เหล็กถาวรอีกด้านละ 88 เม็ด โดยการจัดวางแม่เหล็กถาวรเหล่านี้จะเป็นแบบ broken-line cusp (Leung, 1994) ความเข้มสูงสุดของสนามแม่เหล็กมีค่า 2.2 kG และที่ผิวด้านในของแชมเบอร์วัดความเข้มสนามแม่เหล็กได้ 670 G (Suanpoot et al., 1998)



รูป 3.3 แชมเบอร์พลาสมาแบบกลีบมะเฟือง

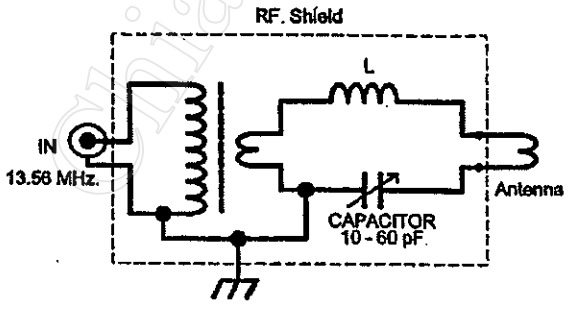
ค. Antenna สำหรับการผลิตพลาสมาแบบ ICP ที่ห้องปฏิบัติการพลาสมานี้ antenna จะอยู่ภายในแชมเบอร์ (immerse inside the discharge) ลักษณะของ antenna ดังแสดงในรูป 3.4



รูป 3.4 Antenna ซึ่งเป็นลวดทองแดงถักอยู่ภายในหลอดแก้วควอทซ์

antenna ทำจากลวดทองแดงถัก ซึ่งใส่เข้าไปในท่อแก้วควอทซ์ ที่ขดเป็นวงเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 cm จำนวน2 รอบ

ค. Matching network มีลักษณะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ step down 7:1 ดังแสดงในรูป 3.5 นั่นคือกระแสไฟฟ้าด้านวงจรทุติยภูมิจะมากกว่าด้านปฐมภูมิ (แหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุความถี่ 13.56 MHz) 7 เท่าในขณะที่ศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าน้อยกว่าด้านปฐมภูมิ 7 เท่า ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่ลดลงนี้จะช่วยป้องกันการเกิด break down ของศักย์ไฟฟ้าเมื่อทำการทดลองที่กำลังคลื่นวิทยุสูงๆ ส่วนตัวเก็บประจุที่ใช้แบบปรับค่าได้ เพื่อปรับอิมพีแดนซ์ ของพลาสมาที่มีค่าไม่คงที่ และทำหน้าที่เป็นวงจร L-C เรโซแนนซ์ที่ความถี่ 13.56 MHz



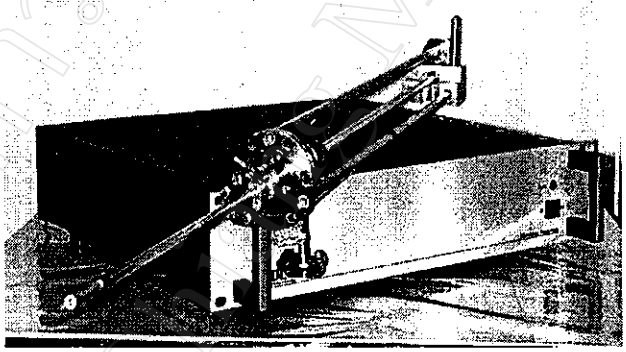
รูป 3.5 แผนภาพ matching network แบบหม้อแปลง Step down 7:1 (Boonyawan, 2002)

3.2 การทดลองวัดอุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นพลาสมา

3.2.1 การทดลองโดยใช้หัววัด Langmuir แบบทรงกระบอก

ในการทดลองได้ใช้ระบบหัววัด Langmuir จากบริษัท Hiden Analytical[1] ซึ่งประกอบด้วยหัววัดแบบ RF compensated ซึ่งส่วนปลาย (probe tip) เป็นลวดทังสเตนเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 mm ยาว 10.0 mm โดยหัววัดดังกล่าวเชื่อมต่อกับระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นแหล่งให้ศักย์ไฟฟ้าแก่หัววัด และระบบอิเล็กทรอนิกส์นี้จะต่อกับ interface card PC74 ภายในคอมพิวเตอร์ โดยมีโปรแกรม ESP V2.04 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานและวิเคราะห์พารามิเตอร์ของพลาสมา

เนื่องจากภายในพลาสมาซึ่งดิสชาร์จแบบความถี่คลื่นวิทยุ จะมีความต่างศักย์ความถี่คลื่นวิทยุเกิดขึ้นระหว่างพลาสมาและหัววัด Langmuir ส่งผลให้กราฟ I-V characteristic ที่วัดได้เลื่อนไปทางด้านศักย์ลบ (Gagné and Cantin, 1972) ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าลอยและศักย์ไฟฟ้าพลาสมามีค่าน้อยกว่าความเป็นจริงมาก นอกจากนั้นยังทำให้กราฟในบริเวณ transition ของ I-V characteristic มีความโค้งมนมากขึ้น อันจะทำให้การหาอุณหภูมิอิเล็กตรอนและความหนาแน่นอิเล็กตรอนยากยิ่งขึ้น โดยการใช้หัววัด Langmuir แบบ RF compensated จะทำให้ I-V characteristic มีความแม่นยำมากขึ้น (Hiden, 2001)



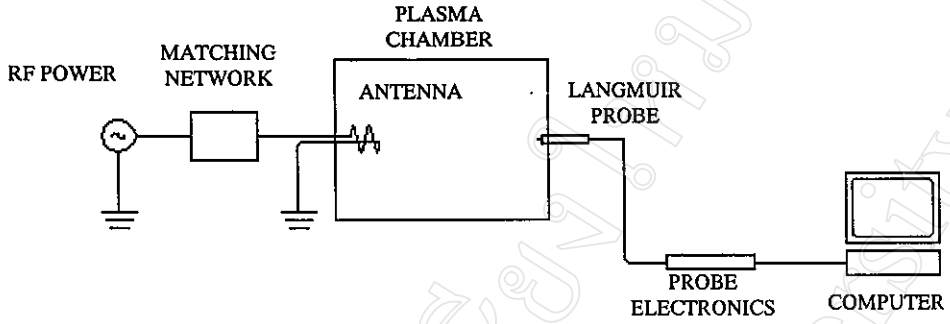
รูป 3.6 หัววัดแบบ RF compensated และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของ Hiden Analytical

ในการทดลอง ได้ใช้หัววัด Langmuir วัดกระแสจากพลาสมาอาร์กอนที่ตำแหน่งต่างๆในแนวแกนและแนวรัศมีของแชมเบอร์ที่ความดันก๊าซ 0.5 mTorr, 1.0 mTorr และ 3.0 mTorr โดย

---

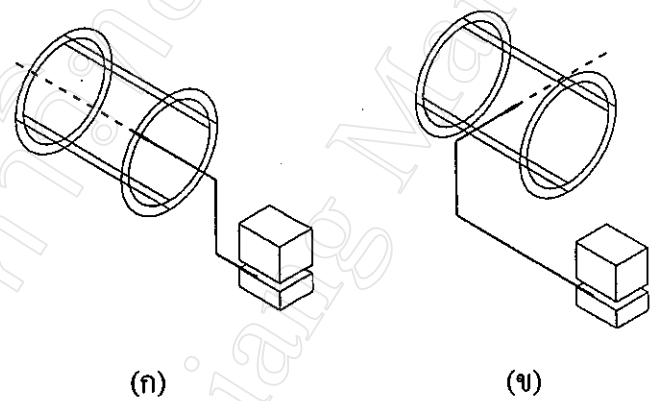
[1] Hiden Analytical Limited, 420 Euorpa Boulevard, Warrington WA5 5UN, England

ความดันเริ่มต้นมีค่า 0.05 mTorr และกำลังความถี่คลื่นวิทยุแปรค่าระหว่าง 10-250 W แผนภาพแสดงการทดลองด้วยหัววัด Langmuir แสดงดังรูป 3.7



รูป 3.7 แผนภาพการทดลองวัด I-V characteristic โดยหัววัด Langmuir

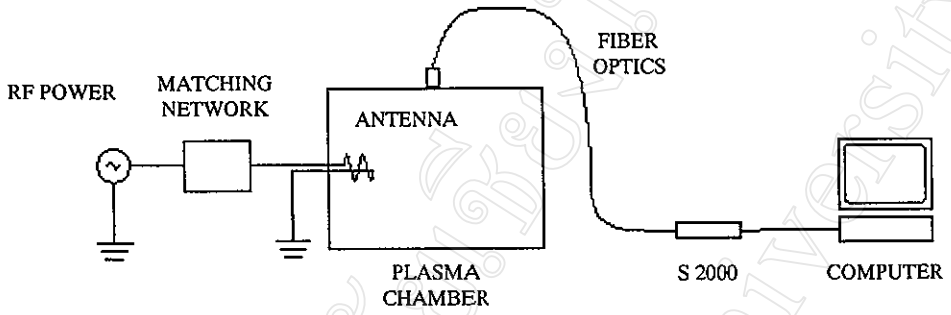
แผนภาพของการทดลองวัด I-V characteristic โดยหัววัด Langmuir แบบทรงกระบอก ตามแนวแกนและตามแนวรัศมีของแชมเบอร์สุญญากาศแสดงดังรูป 3.8



รูป 3.8 แผนภาพของการทดลองวัด I-V characteristic โดยหัววัด Langmuir แบบทรงกระบอก (ก) ตามแนวแกนและ (ข) ตามแนวรัศมีของแชมเบอร์สุญญากาศ

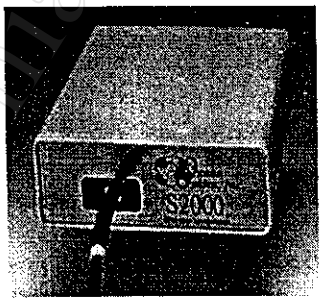
3.2.2 การทดลองโดยเทคนิค OES

ในการวัดสเปกตรัมของพลาสมาอาร์กอน ได้ใช้ spectrometer S2000 ร่วมกับโปรแกรม OOIBase32 จากบริษัท Ocean Optics, Inc.[1] โดยทำการวัดสเปกตรัมในช่วง 200-800 nm แผนภาพการทดลองโดยเทคนิค OES แสดงดังรูป 3.9



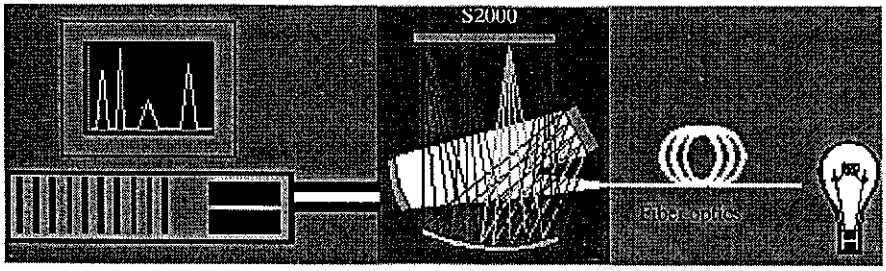
รูป 3.9 แผนภาพแสดงการทดลองวัดสเปกตรัมจากพลาสมาอาร์กอน

ในการทดลองได้ทำการวัดสเปกตรัมจากพลาสมาอาร์กอนที่บริเวณกึ่งกลางแชมเบอร์โดยใช้เลนส์นูนทำหน้าที่รวมแสงให้แก่เส้นใยแก้วนำแสง (fiber optics) ซึ่งต่อไปยัง spectrometer S2000 ซึ่งแสดงดังรูป 3.10 แสงที่กระเจิงออกจากเส้นใยแก้วนำแสงเมื่อมาถึง S2000 จะถูกทำให้ขนานโดยกระจกเว้า จากนั้นแสงขนานจะถูกกระจายโดยดิฟแฟรคชันเกรตติงแบบแผ่น และมาตกกระทบกับกระจกเว้าบานที่สองซึ่งทำหน้าที่โฟกัสแสงลงบน CCD 2048 pixel ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่ออกจาก S2000 ไปยังคอมพิวเตอร์โดยผ่าน การ์ด ADC



รูป 3.10 spectrometer S2000

[1]Ocean Optics, Inc. 380 Main Street, Dunedin, FL 34698 USA



รูป 3.11 แสดงหลักการทำงานอย่างง่ายของ spectrometer S2000

ความดันก๊าซในการทดลองคือ 0.5 mTorr, 0.7 mTorr, 1.0 mTorr, 2.0 mTorr และ 3.0 mTorr โดย ความดันเริ่มต้นมีค่า 0.05 mTorr กำลังคลื่นวิทยุความถี่ 13.56 MHz แปรค่าระหว่าง 10-250 W

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University