

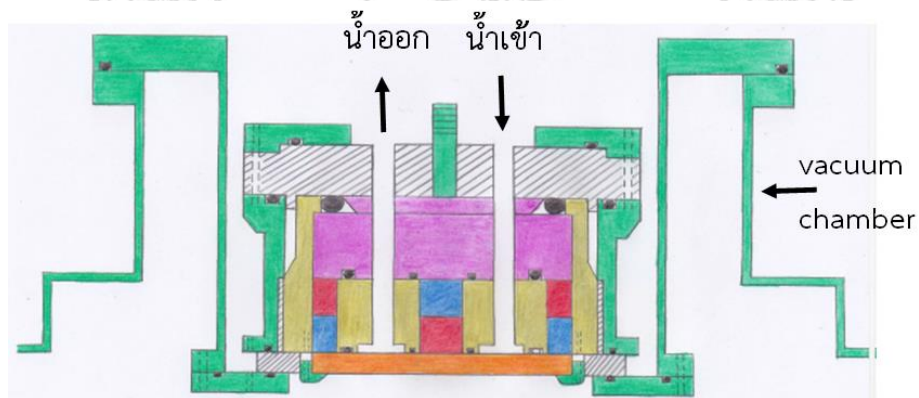
บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 ประกอบและติดตั้งเครื่องแมกนีตรอนสปีดเตอริงแบบจ่ายไฟกระแสตรงเป็นห่วงให้สามารถทำงานได้

3.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องแมกนีตรอนสปีดเตอริงแบบจ่ายไฟกระแสตรง

- แหล่งกำเนิดแมกนีตรอน (magnetron source)



ภาพที่ 3.1 แสดงภาพตัดขวางของแหล่งกำเนิดแมกนีตรอน

สี แสดง วัสดุที่เป็นส่วนประกอบของแหล่งกำเนิดแมกนีตรอน



สแตนเลส



เหล็ก



ทองเหลือง



เทฟลอน (ฉนวนไฟฟ้า)



เป่าสารเคลือบ



โอริง (O-ring)



แม่เหล็กถาวร

- วัสดุเป้าสารเคลือบ (target)

วัสดุเป้าสารเคลือบที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย วัสดุเป้าไทเทเนียม 99.999% แบบแผ่นกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร และวัสดุเป้าไฮดรอกซีอะพาไทต์ แบบแผ่นกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.2 แสดงวัสดุเป้าไทเทเนียม



ภาพที่ 3.3 แสดงวัสดุเป้าไฮดรอกซีอะพาไทต์

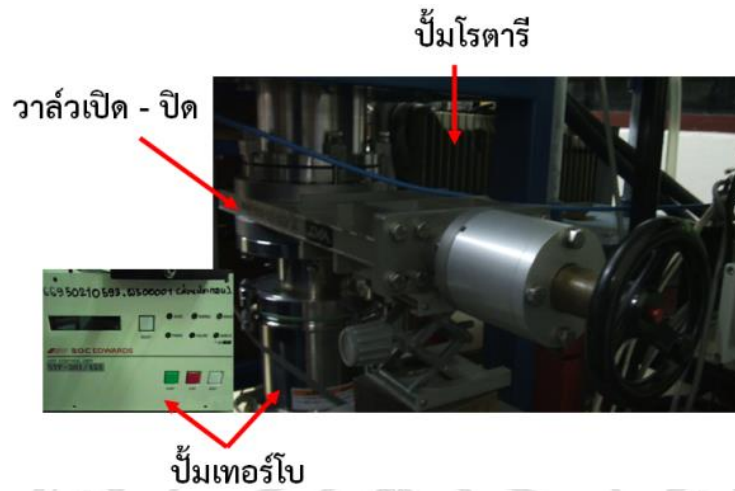
- แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเป็นห้วง (pulse dc power supply)

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเป็นห้วงที่ใช้คือ รุ่น IPA 1010 Intelligent Bi-polar Pulse Power Supply ของ EN Technologies โดยแหล่งจ่ายไฟรุ่นนี้สามารถเลือกโหมดการจ่ายไฟให้แก่แหล่งกำเนิดแมกนีตรอนได้ 3 โหมดคือ จ่ายเป็นกำลังไฟฟ้า (power) ได้สูงสุด 10 กิโลวัตต์ จ่ายเป็นกระแสไฟฟ้า (current) ได้ 2 แบบคือ แบบกระแสตรง (DC; 0~10 แอมแปร์) และแบบเป็นห้วง (pulse; 0~20 แอมแปร์) และจ่ายเป็นศักย์ไฟฟ้า (voltage) ได้ตั้งแต่ 100~1000 โวลต์ อีกทั้งยังสามารถเลือกรูปแบบการจ่ายได้ทั้ง Asymmetric bi-polar, \pm Uni-polar และ \pm DC



ภาพที่ 3.4 แสดงแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเป็นห้วง รุ่น IAP 1010

- ปั๊มสุญญากาศ (turbo pump and rotary pump) และวาล์วเปิด-ปิดหน้าปั๊มสุญญากาศ (gate valve)



ภาพที่ 3.5 แสดงปั๊มชนิดโรตารี ปั๊มชนิดเทอร์โบ และวาล์วเปิด - ปิดหน้าปั๊ม

- ชุดอุปกรณ์จ่ายก๊าซ

ประกอบไปด้วย หัวจ่ายก๊าซ (regulator) เครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซ (mass flow) กล้องควบคุมการไหลของก๊าซ สายส่งก๊าซ และท่อปล่อยก๊าซแบบห่วง(ในอุโมงค์)



ภาพที่ 3.6 แสดงหัวจ่ายก๊าซ และท่อส่งก๊าซ



ภาพที่ 3.7 แสดงกล่องควบคุมการไหลของก๊าซ



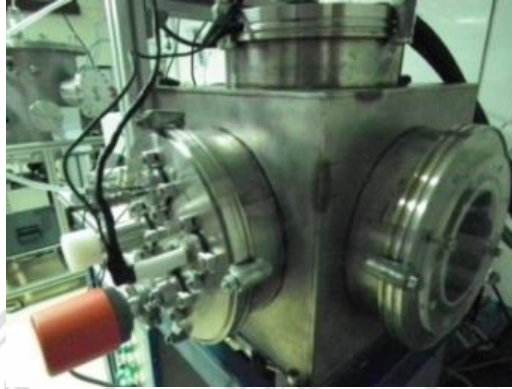
ภาพที่ 3.8 แสดงเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซ



ภาพที่ 3.9 แสดงท่อปล่อยก๊าซแบบห่วงในอุโมงค์

- อุโมงค์สุญญากาศ (vacuum chamber)

อุโมงค์สุญญากาศแบบสี่เหลี่ยมขนาด 37x37x37 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 3.10 แสดงอุโมงค์สุญญากาศ

- ระบบน้ำหล่อเย็น



ภาพที่ 3.11 แสดงระบบทำน้ำหล่อเย็น

ประกอบไปด้วยระบบคอมเพรสเซอร์ (compressor) ถังบรรจุน้ำที่อยู่ในมิชคลวดสำหรับทำความสะอาด ชักกรองตะกอนและชักกรองน้ำให้เป็นน้ำ DI เพื่อใช้หล่อเย็นแหล่งกำเนิดแมกนีตรอน และปั๊มสำหรับหมุนเวียนน้ำ

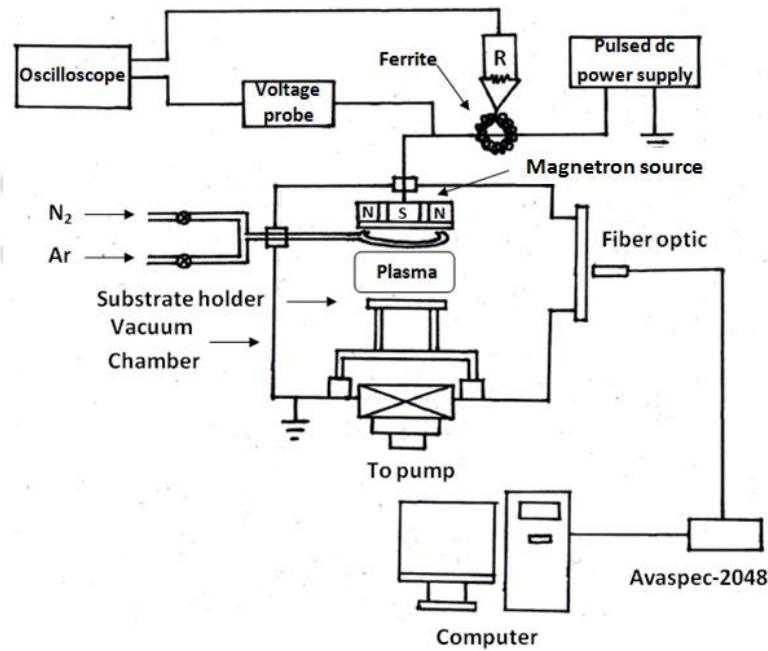
- แท่นวางวัสดุรองรับ (substrate holder)

แท่นวางวัสดุรองรับรูปวงกลมทำจากสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร สามารถปรับระดับความสูงต่ำได้



ภาพที่ 3.12 แสดงแท่นวางวัสดุรองรับ

3.1.2 ติดตั้งติดตั้งเครื่องแมกนีตรอนสเปคตรัมแบบจ่ายไฟกระแสตรงเป็นห่วงให้สามารถทำงานได้



ภาพที่ 3.13 แสดงการติดตั้งระบบแมกนีตรอนสเปคตรัมแบบจ่ายไฟกระแสตรงสำหรับการใช้งาน

3.2 ศึกษาคุณลักษณะต่างๆ ของแหล่งกำเนิดแมกนีตรอนสเป็คเตอรिंग

3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า (I-V characteristics)

ทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดแมกนีตรอน โดยใช้ voltage probe ต่อกับ ออสซิลโลสโคป จากนั้นจึงอ่านค่าที่ได้จากสัญญาณที่แสดงที่จอออสซิลโลสโคป และเนื่องจาก current probe ที่มีไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นจึงนำ ferrite มาประยุกต์ใช้ในการหาค่ากระแสไฟฟ้า โดยใช้หลักการของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก จากการสร้างเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดที่พันอยู่รอบแกน ferrite ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดและจำนวนรอบของขดลวด ดังสมการที่ 3.1

$$I_2 = NI_1 = \frac{NV_1}{R} \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

เมื่อ	I_2	คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive force) หน่วย แอมแปร์-รอบ หรือ แอมแปร์
	I_1	คือ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ไหลผ่านขดลวด หน่วย แอมแปร์
	N	คือ จำนวนรอบของขดลวด หน่วย รอบ
	V_1	คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ผ่าน ferrite หน่วย โวลต์
	R	คือ ค่าความต้านทาน หน่วย โอห์ม

จากนั้นทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

3.2.2 ค่าสนามแม่เหล็ก

หาค่าสนามแม่เหล็กของแหล่งกำเนิดแมกนีตรอนได้ โดยการใช้เทสลามิเตอร์วัดในแนวแกน x และแกน y บริเวณหน้าเป้าวัสดุสารเคลือบ

3.3 หาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์และฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีแบบเปล่งแสง

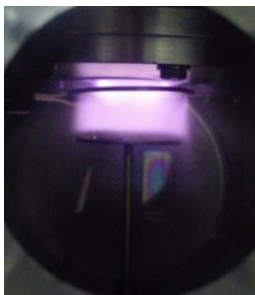
3.3.1 จุดพลาสมาในบรรยากาศก๊าซอาร์กอน และก๊าซผสมระหว่างอาร์กอนกับไนโตรเจน ที่เงื่อนไขต่างๆ

- โหมด asymmetric bi-polar

- duty cycle ต่างๆ : (+90, -5), (+75, -5) และ (+75, -20)
- ความดันต่างๆ : 3, 5, 7 และ 10 มิลลิทอร์ (mTorr)
- ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ
- สำหรับไทเทเนียมไนไตรด์ในช่วง 275 – 400 โวลต์
- สำหรับไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกไซด์อะพาไทต์ในช่วง 450 – 750 โวลต์
- ความถี่ต่างๆ : 30 และ 50 กิโลเฮิร์ต
- อัตราการไหลของก๊าซ
- ก๊าซอาร์กอนคงที่ที่ 15 sccm
- ก๊าซไนโตรเจน : 0.2, 0.6 และ 1.0 sccm
- ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบและวัสดุรองรับคงที่ที่ 4 เซนติเมตร

3.3.2 เก็บข้อมูล OES ของพลาสมาที่จุดไว้

ด้วยการใช้เครื่องวัดสเปกตรัมรุ่น AvaSpec-2048 ที่มีหัววัดแบบเส้นใยแก้วนำแสง (fiber optic probe) โดยเครื่องวัดสเปกตรัมรุ่นนี้จะใช้ร่วมกับโปรแกรม Avasoft โดยใช้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่แสดงประมวลผล และเก็บข้อมูลสเปกตรัมที่วัดได้ผ่านโปรแกรมควบคุม จากนั้นจึงนำข้อมูลสเปกตรัมที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมโปรแกรม OriginPro 8.0



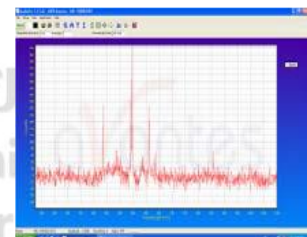
ภาพที่ 3.14 แสดง
พลาสมา



ภาพที่ 3.15 แสดง
หัววัดแบบเส้นใยแก้ว
นำแสง



ภาพที่ 3.16 แสดง
เครื่องวัดสเปกตรัม



ภาพที่ 3.17 แสดง
โปรแกรม Avasoft

3.3.3 หาค่าอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่เงื่อนไขต่างๆ

- จุดพลาสมาที่เงื่อนไขต่างๆ
- เปิดโปรแกรม Avasoft แล้วใช้หัววัดหาตำแหน่งที่ความเข้มสเปกตรัมสูงสุด โดยสังเกตจากกราฟที่แสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์
- เลือกตำแหน่งการวัด OES ที่ให้ความเข้มสเปกตรัมสูงสุด และกำหนดให้เป็นตำแหน่งเดียวกันทั้งหมดสำหรับทุกเงื่อนไข
- ทำการวัดและบันทึกผลของสเปกตรัมที่ได้จากพลาสมาที่จุด ผ่านจอคอมพิวเตอร์
- นำผลของสเปกตรัมที่บันทึกไว้ ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม (intensity) และความยาวคลื่น (wavelength) โดยใช้โปรแกรม OriginPro 8
- เลือกกลุ่มของสเปกตรัมของอาร์กอนที่ชัดเจนที่สุดมาสองกลุ่ม ตามเงื่อนไขการพิจารณาที่กล่าวไว้ในบทที่ 2
- หาค่าความเข้มที่จุดยอด (peak) ของเส้นสเปกตรัมที่เลือก
- นำมาคำนวณค่า $I_{ki} \cdot \lambda_{ki}$, $g_k \cdot A_{ki}$, $I_{ki} \cdot \lambda_{ki} / g_k \cdot A_{ki}$ และ $\ln(I_{ki} \cdot \lambda_{ki} / g_k \cdot A_{ki})$
- สร้างกราฟ Boltzmann's plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง E_k กับ $\ln(I_{ki} \cdot \lambda_{ki} / g_k \cdot A_{ki})$
- หาความชันจากกราฟที่ได้ แล้วนำมาคำนวณอุณหภูมิอิเล็กตรอน จากความสัมพันธ์

$$\text{slope} = -\frac{1}{k_B T_e} \quad \text{จะได้} \quad T_e = -\frac{1}{k_B \times \text{slope}} \quad \text{หน่วย เคลวิน (K)}$$

แปลงอุณหภูมิอิเล็กตรอนจากหน่วยเคลวิน (K) ให้เป็นหน่วยอิเล็กตรอน โวลต์ (eV)

โดย $1 \text{ eV} = 11,604.52500617 \text{ K}$

ดังนั้น $T_e(\text{eV}) = (8.617328154 \times 10^{-5}) \times T_e(\text{K})$

- บันทึกค่าอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ได้

3.3.4 วิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ของการแตกตัวของพลาสมาและอุณหภูมิอิเล็กตรอน ต่อเงื่อนไขต่างๆที่ใช้จุดพลาสมา

- พิจารณาความเข้มของธาตุต่างๆในพลาสมาที่ปริมาณก๊าซไนโตรเจนต่างๆ

- พิจารณาความเข้มของธาตุต่างๆในพลาสมาที่ความดันต่างๆ
- พิจารณาความเข้มของธาตุต่างๆในพลาสมาที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ
- พิจารณาความเข้มของธาตุต่างๆในพลาสมาที่ duty cycle ต่างๆ
- พิจารณาความเข้มของธาตุต่างๆในพลาสมาที่ความถี่ต่างๆ
- พิจารณาอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ปริมาณก๊าซไนโตรเจนต่างๆ
- พิจารณาอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ความดันต่างๆ
- พิจารณาอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ
- พิจารณาอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ duty cycle ต่างๆ
- พิจารณาอุณหภูมิอิเล็กตรอนที่ความถี่ต่างๆ

3.4 ทดลองการตกสะสมฟิล์ม

- ตกสะสมฟิล์มไทเทเนียมไนไตรด์ โดยใช้โหมดการจ่ายศักย์ไฟฟ้า แบบ asymmetric bi-polar ที่ duty cycle (+90, -5) ความถี่ 30 kHz ความดันขณะสเป็คเตอริง 10 mTorr อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 1 sccm และศักย์ไฟฟ้า 350 โวลต์ เป็นเวลา 45 นาทีและ 30 นาที บนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์และกระจกสไลด์ ตามลำดับ
- ตกสะสมฟิล์มไทเทเนียมไนไตรด์-ไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยใช้โหมดการจ่ายศักย์ไฟฟ้าแบบ asymmetric bi-polar ที่ duty cycle (+90, -5) และ (+75, -5) ความถี่ 30 และ 50 kHz ความดันขณะสเป็คเตอริง 10 mTorr ปริมาณการไหลของก๊าซไนโตรเจน 0.2 และ 0.6 sccm และศักย์ไฟฟ้า 600 โวลต์ เป็นเวลา 120 นาที บนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์และกระจกสไลด์

3.5 วิเคราะห์คุณสมบัติของฟิล์ม

3.5.1 ศึกษาธาตุองค์ประกอบและสมบัติทางเคมีที่ระดับพื้นผิวของฟิล์ม ด้วยเทคนิค

X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)

3.5.2 ศึกษาพื้นผิวและอัตราการตกสะสมของฟิล์ม ด้วยเทคนิค Atomic Force Microscope

(AFM)