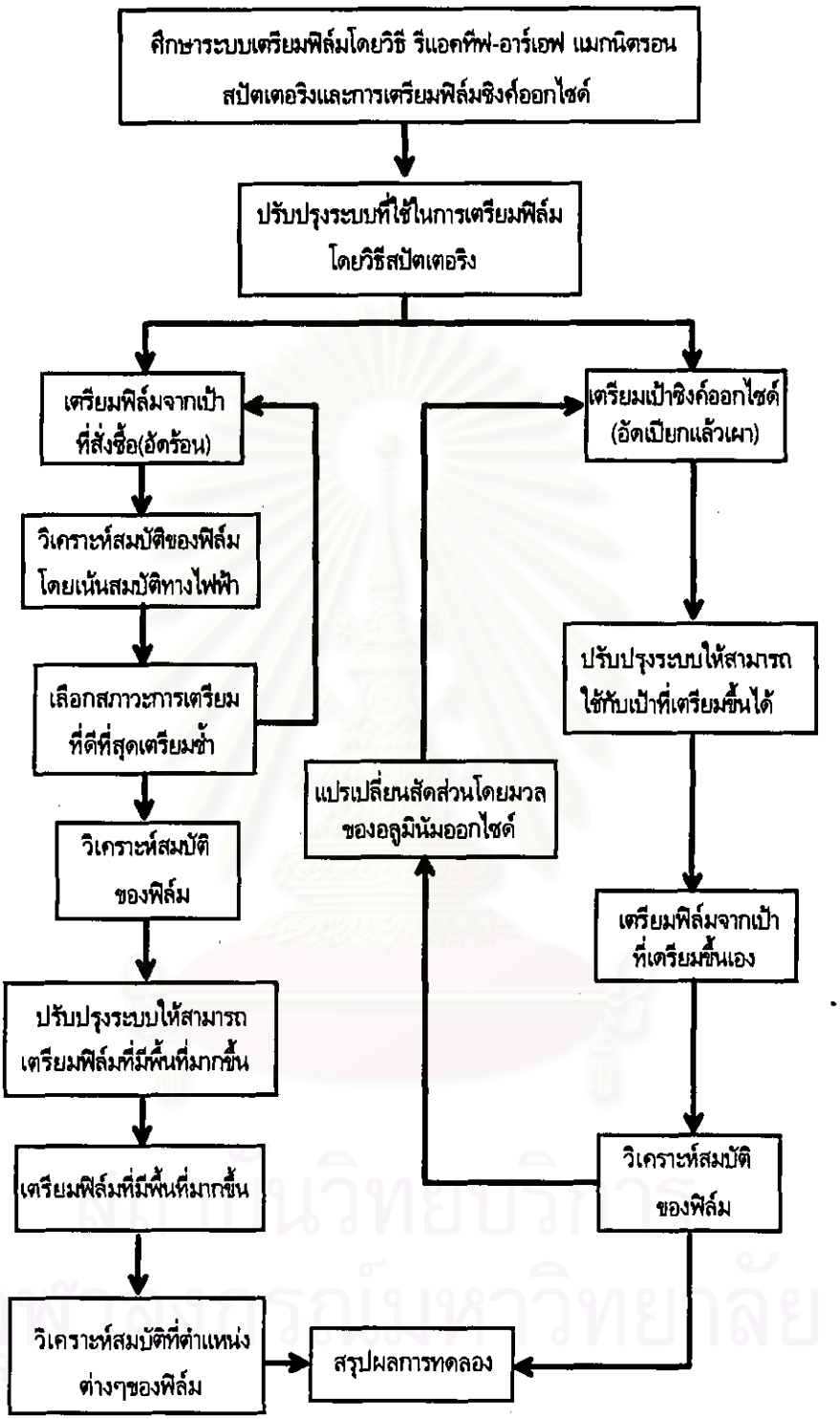
บทที่ 5

การดำเนินการและเครื่องมือในการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ ระบบเคลือบฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์โดยวิธี รีแอคทีฟ-อาร์เอฟ แมกนิตรอน สปัตเตอริง ประกอบด้วย ระบบปั๊มสุญญากาศ ระบบเคลือบฟิล์มโดยวิธีแมกนิตรอนสปัตเตอริงที่มีอยู่แล้ว และแท่นวางวัสดุรองรับที่สร้างขึ้นใหม่

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธี รีแอคทีฟ-อาร์เอฟแมกนิตรอนสปัตเตอริง และกลไกของระบบสปัตเตอริงที่มีอยู่ แล้วจึงทดลองเตรียมฟิล์มซิงค์ออกไซด์ภายใต้สภาวะต่างๆของระบบ พร้อมทั้งปรับปรุงระบบสปัตเตอริงให้สามารถเตรียมฟิล์มตามสมบัติที่ต้องการได้ รายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงดังรูปที่ 5.1 ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น การเตรียมฟิล์มซิงค์ออกไซด์จากเป้าซิงค์ออกไซด์ชนิดอัดร้อน(hot press) กับเป้าซิงค์ออกไซด์ชนิดอัดเปียกแล้วเผาที่ทำขึ้นเอง ฟิล์มจะถูกเตรียมบนสไลด์กระจกขนาด 1.2 x 2.5 ตารางเซนติเมตร ตามตำแหน่งและทิศของการจัดแนววัสดุรองรับ และแปรเปลี่ยนสภาวะของการสปัตเตอร์ตามแบบต่างๆได้แก่ ระยะห่างระหว่างวัสดุรองรับกับเป้า ความดันแก๊สรวม ความดันแก๊สย่อยของออกซิเจน กำลังไฟฟ้าอาร์เอฟ และสัดส่วนโดยมวลของอลูมินัมออกไซด์ตั้งแต่ 1-5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ทราบสภาวะการเตรียมฟิล์มที่ให้สมบัติตามต้องการ แล้วเลือกใช้สภาวะดังกล่าวเตรียมฟิล์มที่มีขนาดวัสดุรองรับ 4.85 x 5.85 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 5.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

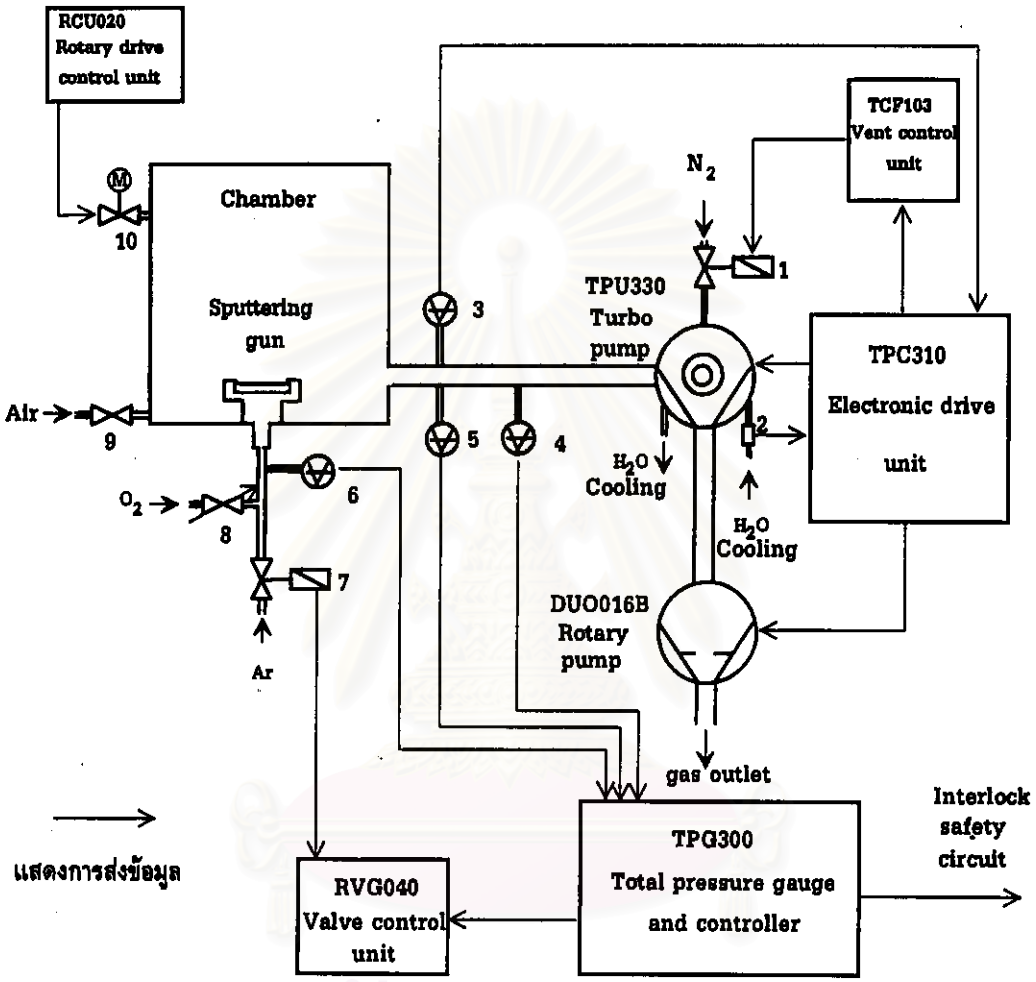
ระบบเคลือบฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์โดยวิธี รีแอคทีฟ-อาร์เอฟ แมกนิตรอน สปัตเตอริง

ระบบเคลือบฟิล์มที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นระบบเคลือบฟิล์มของบริษัท BALZERS รุ่น BAE 250 ซึ่งระบบแมกนิตรอนสปัตเตอริงนี้ถูกดัดแปลงมาจากระบบเคลือบฟิล์มโดยวิธีระเหย ให้สามารถใช้ได้ทั้งแหล่งจ่ายกำลังไฟชนิดกระแสตรงและอาร์เอฟ โดยการเคลือบฟิล์มซิงค์ออกไซด์ในระบบนี้จะใช้แก๊สอาร์กอนเป็นแก๊สสำหรับสปัตเตอร์ และแก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สไวปฏิกิริยา สำหรับขีดจำกัดของระบบภายใต้การดัดแปลงนี้คือ สามารถควบคุมความดันรวมของแก๊สสำหรับสปัตเตอร์ในช่วง $1x10^{-3}$-$1.8x10^{-2}$mbar รายละเอียดของระบบเคลือบฟิล์มสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ระบบปั๊มสุญญากาศ ส่วนเคลือบฟิล์มโดยวิธีแมกนิตรอนสปัตเตอริง และชุดแท่นวางวัสดุรองรับ

1. <u>ระบบปั๊มสุญญากาศ</u>

ส่วนของระบบปั๊มสุญญากาศประกอบด้วยเทอร์โบโมเลกุลาร์ปั๊ม(turbo-molecular pump)และโรตารีปั๊ม(rotary pump)ต่อกับภาชนะโลหะสุญญากาศดังรูปที่ 5.2 ซึ่งแสดงระบบขั้นตอนการทำงานของระบบปั๊ม สามารถที่จะจำแนกรายละเอียดการทำงานของระบบได้ดังนี้

- ส่วนควบคุมระบบปั๊มสุญญากาศ(Eletronic drive unit,TPC310) มีหน้าที่ควบคุมจังหวะการเปิด-ปิดปั๊ม โดยเมื่อเปิด ส่วนควบคุมระบบปั๊มสุญญากาศจะสั่งให้โรตารีปั๊มทำงานจากนั้นจะสั่งให้เทอร์โบปั๊มเริ่มทำงาน ขณะที่ปั๊มกำลังทำงานส่วนควบคุมระบบปั๊มสุญญากาศจะคอยตรวจสอบแรงดันน้ำระบายความร้อนให้กับเทอร์โบปั๊มและความดันในภาชนะสุญญากาศ หากแรงดันน้ำไม่พอหรือความดันแก๊สในภาชนะสุญญากาศสูงจนทำให้ เทอร์โบปั๊มทำงานหนักเกินไปส่วนควบคุมระบบปั๊มสุญญากาศจะสั่งให้ระบบปั๊มทั้งหมดหยุดทำงาน แรงดันน้ำและความดันแก๊ส จะถูกตรวจสอบโดยสวิทช์ตรวจสุญญากาศ (Vacuum relay) และ ชุดตรวจสอบแรงดันน้ำ(Cooling water monitor,TCW002) ตามลำดับ การแก้ไขกระทำได้โดยการรีเซตส่วนควบคุมระบบปั๊มสุญญากาศ การปิดส่วนควบคุมระบบปั๊มสุญญากาศจะสั่งการไปยัง ส่วนควบคุมวาล์วโซลีนอยด์(Vent control unit,TCF103) หลังจากนั้น 1 นาทีส่วนควบคุมระบบปั๊มสุญญากาศจะสั่งให้ วาล์วโซลีนอยด์(Vent valve,TVF012) เปิดแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นส่วนควบคุมวาล์วโซลีนอยด์จะสั่งให้วาล์วโซลีนอยด์ปิด หากแรงดันแก๊สสูงหรือต่ำเกินไปวาล์วโซลีนอยด์จะไม่ทำงาน จึงจำเป็นต้องทำการป้อนอากาศเข้าภาชนะสุญญากาศโดยใช้วาล์วเปิดอากาศเข้า(Leak valve)



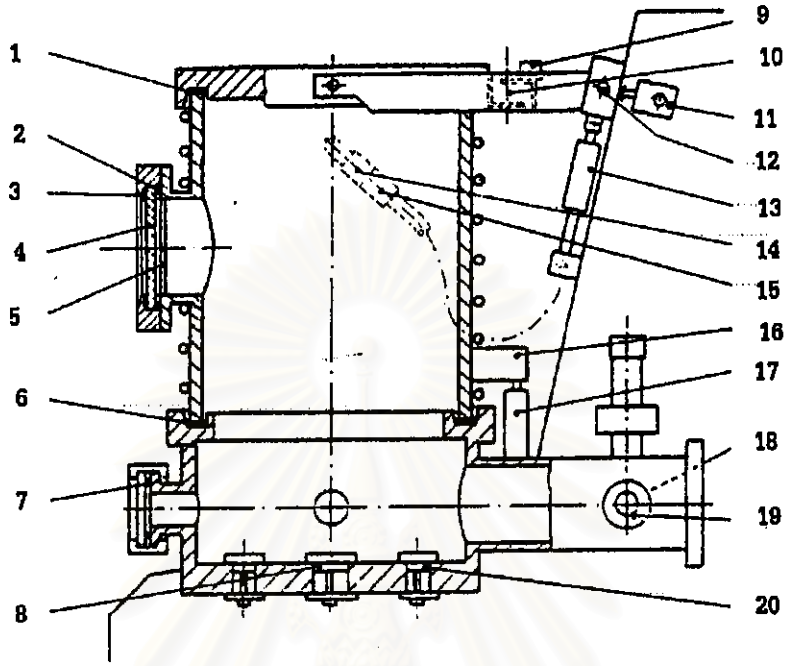
1 TVF012 Vent valve
2 TCW002 Cooling water monitor
3 Vacuum relay
4 IKR020 Cold chathode gauge head
5 TPR010 Pirani gauge head
6 TPR010 Pirani gauge head
7 RME010 Regulating valve
8 Dosing valve
9 Leak valve
10 motor drive substrate holder

รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบปั๊มสุญญากาศ

การอ่านและควบคุมความดันภายในภาชนะสุญญากาศ ระบบจะมีการอ่านและควบคุมความดันโดยส่วนแสดงผลและควบคุมเกจ(Total pressure gauge and controller,TPG300) เกจที่ใช้มี 2 ชนิดคือ พิรานิเกจ (pirani gauge,TPR010)อ่านความดันช่วง 100-10^{-3}มิลลิบาร์ และโคลด์คาโธดเกจ(Cold cathode gauge,IKR020) อ่านความดันช่วง $5x10^{-3}$-10^{-11}มิลลิบาร์ ในขณะทำการสปัตเตอริ่ง แสดงผลและควบคุมเกจจะอ่านความดันแก๊สอาร์กอนจากพิรานิเกจ(ส่วนที่ 6. รูปที่ 5.2) แล้วส่งค่าไปยังส่วนควบคุมวาล์วควบคุมความดัน(Valve control unit,RVG040) ส่วนควบคุมวาล์วคุมความดันจะสั่งให้วาล์วคุมความดัน (Regulating valve,RME010)เปิดวาล์วให้แก๊สอาร์กอนเข้าภาชนะสุญญากาศ หากมีการป้อนแก๊สไวปฏิกริยา (ออกซิเจน)ก็กระทำได้โดยเปิดวาล์วรูเข็ม(Dosing valve,8 รูปที่ 5.2) นอกจากนี้ส่วนแสดงผลและควบคุมเกจ ทำหน้าที่เปิดวงจรควบคุมความปลอดภัย(interlock safety circuit)ของแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรงและอาร์เอฟ เมื่อความดันแก๊สในภาชนะสุญญากาศสูงกว่า10^{-1}มิลลิบาร์

- เทอร์โบปั๊ม (Turbomolecular pump,TPH330) ความเร็วในการปั๊ม(อากาศ) 330 ลิตรต่อวินาที ความเร็วรอบสูงสุดหลังเดินเครื่อง 3 นาที ที่ 60000 รอบต่อนาที ความดันต่ำสุด< $5x10^{-8}$มิลลิบาร์
- โรตารีปั๊ม (Two-stage rotary vane pump,DUO016B) ความเร็วในการปั๊ม(อากาศ) 16.2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดันต่ำสุด < $2x10^{-3}$ มิลลิบาร์
- ส่วนควบคุมการหมุนแท่นวางวัสดุรองรับในภาชนะสุญญากาศ(Rotary drive control unit,RCU020) ใช้ในการหมุนแท่นวัสดุรองรับ
- ภาชนะโลหะสุญญากาศ(Metal vacuum chamber)ทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 250 มิลลิเมตร สูง 320 มิลลิเมตร ทำด้วยสแตนเลสสตีลและอลูมิเนียม ระบายความร้อนด้วยท่อน้ำที่พันรอบภาชนะสุญญากาศ ฝาปิดโลหะ ฐานเส้นผ่าศูนย์กลาง 260 มิลลิเมตร สูง 135 มิลลิเมตร รายละเอียดแสดงในรูปที่ 5.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1) Seal ϕ 244/276x3 mm
2) O-Ring,Viton,ϕ 107,2x5,34 mm
3) Seal ϕ 100/120x2 mm
4) Sight glass ϕ 120x10 mm
5) Sight glass ϕ 95x2,5 mm
6) Seal ϕ 244/276x3 mm
7) Seal
8) Blank flange
9) Damper,20x12xM6 mm
10) Spring,1,6x13,6x26 mm
11) Push button
12) DU spacer ϕ 12/14x12 mm
13) Damper
14) Coupling
15) Nipple
16) Actuate bow
17) Switch
18) Seal
19) O-Ring,Viton ϕ 107,2x5,34mm
20) Blank flange

รูปที่ 5.3 ส่วนประกอบของภาชนะสุญญากาศ

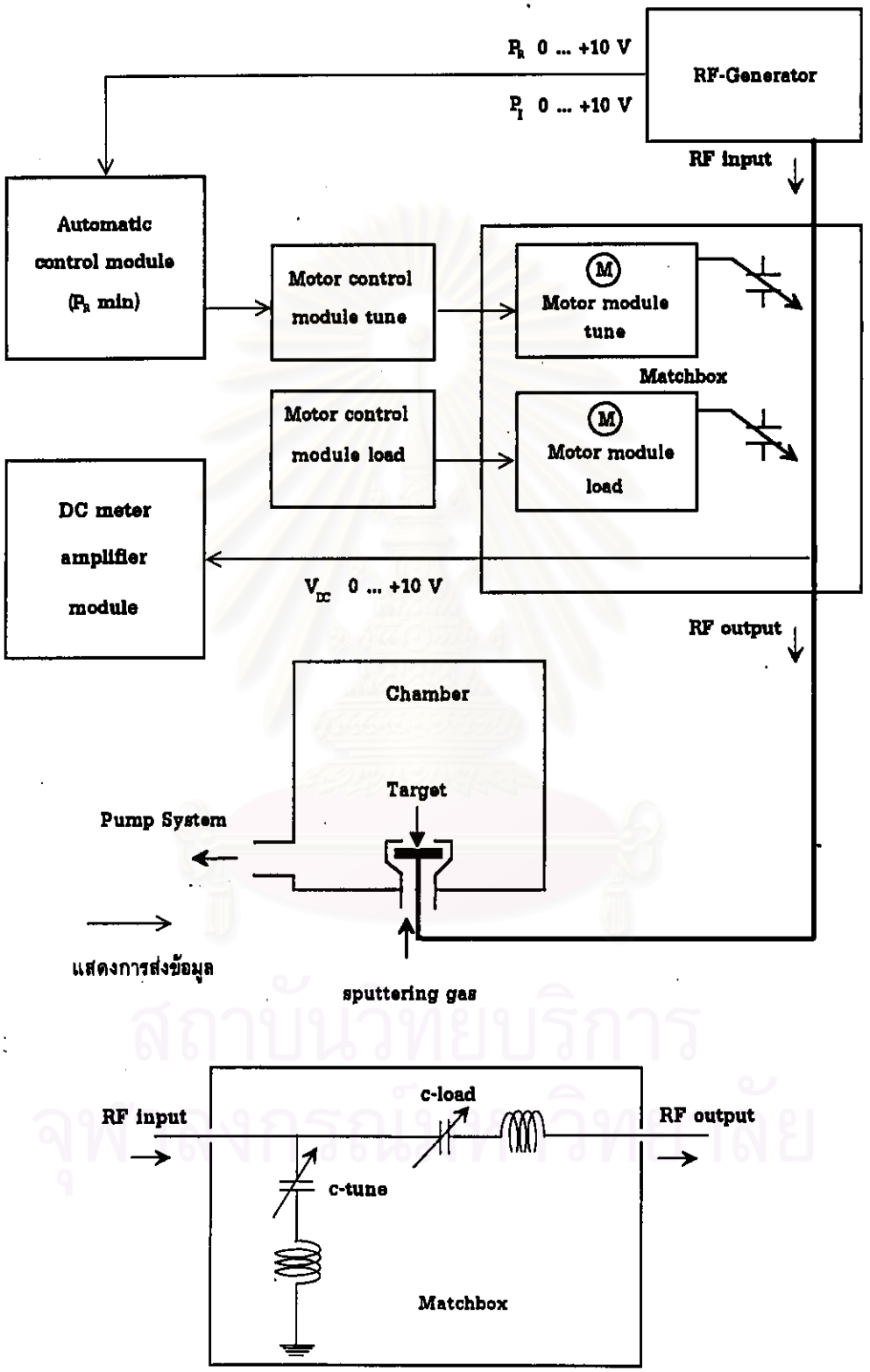
2. ระบบเคลือบฟิล์มโดยวิธีสปัตเตอริง

ระบบเคลือบฟิล์มโดยวิธีสปัตเตอริ่งที่มีอยู่สามารถใช้งานได้ 2 แบบใหญ่ๆ คือ ดีซีแมกนิตรอนสปัตเตอริงและอาร์เอฟแมกนิตรอนสปัตเตอริง ในการเตรียมฟิล์มซิงค์ออกไซด์เป้าที่ใช้มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นจึงเลือกการสปัตเตอร์แบบอาร์เอฟแมกนิตรอนสปัตเตอริงโดยมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนคือ ระบบจ่ายกำลังไฟอาร์เอฟ(RF Generator) ส่วนควบคุมวงจรแมชชิ่ง (Electronic Matchbox Control) และแหล่งกำเนิดการสปัตเตอร์แบบกรวย (conical magnetron) เป็นที่รู้จักกันในชื่อ S-GUN ซึ่งทั้ง 3 ส่วนจะทำงานร่วมกัน แสดงดังรูปที่ 5.4

- ระบบจ่ายกำลังไฟอาร์เอฟ(RF Generator) ความถี่ 13.56 เมกะเฮิรตซ์ จ่ายกำลังไฟอย่างต่อเนื่อง(P_I) 0-600 วัตต์ ตัวระบบควบคุมสามารถป้อนและจำกัดปริมาณการสะท้อนกลับของกำลังไฟที่จ่ายออกไป(P_R) หากพบว่ามีการจ่ายกระแสเกินและปริมาณการสะท้อนกลับของกำลังไฟเกิน 100 วัตต์ ระบบจะปิดตัวเองถ้าไม่มีการ รีเซตระบบภายใน 30 วินาที และระบบจะปิดตัวเองทันทีเมื่อพบว่าอุณหภูมิสูงเกิน 45 องศาเซลเซียส ไม่มีน้ำระบายความร้อนและวงจรควบคุมความปลอดภัย(interlock safety circuit) อยู่ในสถานะวงจรเปิด

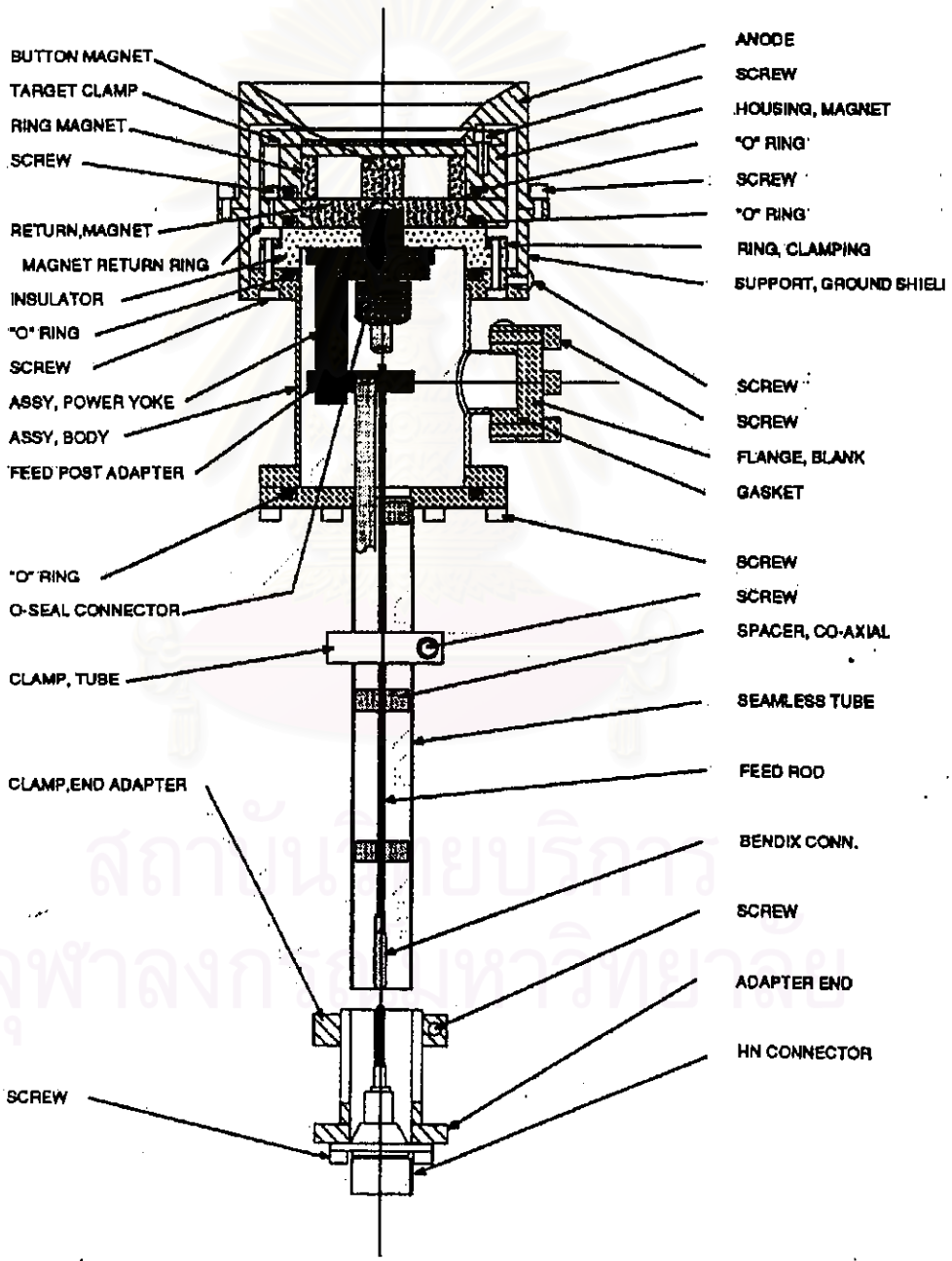
- ส่วนควบคุมวงจรแมชชิ่ง(Electronic Matchbox Control) แยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ตัววงจรแมชชิ่ง(Matching network) และ ส่วนควบคุมภายในวงจรแมชชิ่งบรรจุมอเตอร์ขับตัวเก็บประจุ ปรับค่าได้ 2 ชุดคือ c-load และ c-tune จะถูกควบคุมโดยตัวควบคุมมอเตอร์(Motor control module) เมื่อจ่ายกำลังไฟที่เหมาะสมให้กับระบบ พลาสมาจะถูกจุดขึ้น ทำการปรับ c-load และ c-tune ให้ปริมาณการสะท้อนกลับของกำลังไฟที่ป้อนให้กับระบบน้อยที่สุดหรือเป็นศูนย์ จากนั้นจึงเพิ่มกำลังของแหล่งจ่ายให้อยู่ในช่วงใช้งาน ทำการปรับอีกครั้งก่อนที่จะปรับระบบให้อยู่ในการควบคุมของชุดควบคุมอัตโนมัติ(Automatic control module I (P_R min)) โดยจะควบคุมตัวควบคุมมอเตอร์ c-loadให้ปริมาณการสะท้อนกลับของกำลังไฟที่ป้อนให้กับระบบน้อยที่สุดสอดคล้องกับปริมาณกำลังไฟที่จ่ายให้กับระบบ ค่าปริมาณกำลังไฟที่จ่ายให้กับระบบและปริมาณการสะท้อนกลับของกำลังไฟที่ป้อนให้กับระบบจะถูกส่งจาก ระบบจ่ายกำลังไฟอาร์เอฟเข้าสู่ชุดควบคุมอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการควบคุม c-load เมื่อพลาสมาถูกจุดขึ้น มาตรวัดศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง(DC meter amplifier moule) จะอ่านค่าความต่างศักย์ระหว่างเป้ากับพลาสมา

- แหล่งกำเนิดการสปัตเตอร์แบบกรวย(conical magnetron)หรือ S-Gun โครงสร้างภายในแสดงในรูปที่ 5.5 ระบบที่ใช้ในงานวิจัยมีเป้าเป็นแผ่นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนา 1/16-1/4 นิ้ว สามารถใช้งานได้กับเป้าที่โลหะและเซรามิกส์ที่ทำจาก hot press ได้ ความหนาแน่นของเป้าไม่ควรต่ำเกินไปเพราะจะทำให้มีปัญหาในเรื่องของการอาร์กในระบบ กำลังที่ให้กับระบบดีซีและอาร์เอฟสปัตเตอร์อยู่ในช่วงกำลังสูงสุด 500 และ 1000 วัตต์ตามลำดับ

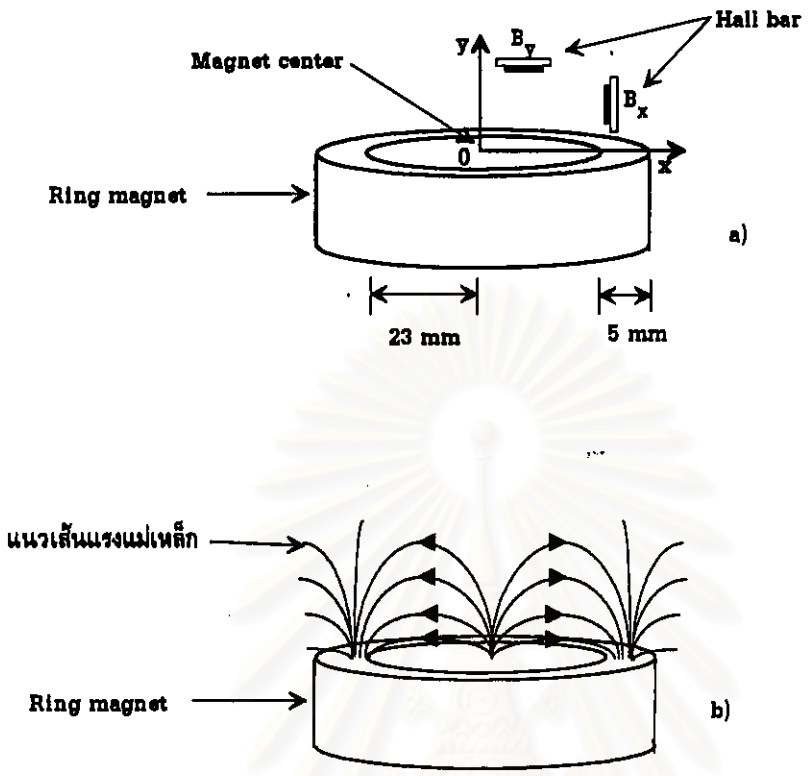


รูปที่ 5.4 โครงสร้างของระบบอาร์เอฟ-แมกนิตรอนสปัตเตอริง

สำหรับแก๊สอาร์กอนบริสุทธิ์ 99.999% สามารถใช้ได้ทุกช่วงความดัน ระบายความร้อนด้วยน้ำ น้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนควรมีความต้านทานไม่น้อยกว่า 3 และ 5 เมกะโอห์ม สำหรับการใช้งานในระบบดีซีและอาร์เอฟสปัตเตอร์ตามลำดับ อัตราการไหลของน้ำ 0.8-2 ลิตรต่อนาที ภายใต้ฐานของเป้าบรรจุแหวนแม่เหล็กทำจาก Samarium-Cobalt ช่วยเพิ่มการดิสชาร์จ เพื่อที่จะให้ทราบแนวเส้นแรงแม่เหล็กและความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ทะลุออกไปปกคลุมในบริเวณผิวหน้าของเป้า จึงนำแหวนแม่เหล็กไปวัดความหนาแน่นสนามแม่เหล็กด้วยเทสลามิเตอร์ซึ่งมีหัววัดแบบปรากฏการณ์ฮอลล์

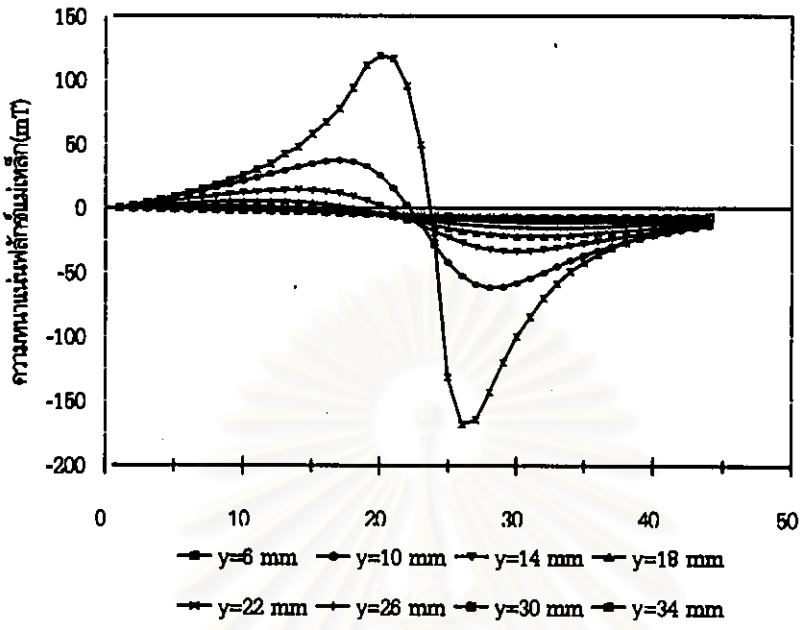


รูปที่ 5.5 โครงสร้างของแหล่งกำเนิดการสปัตเตอร์รูปกรวยหรือ S-Gun

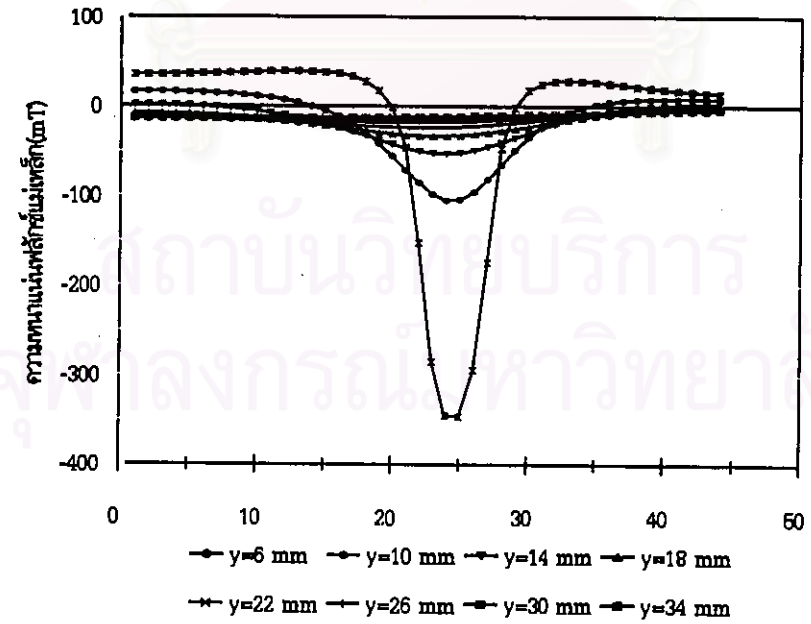


รูปที่ 5.6 (a) การระบุตำแหน่งในการวัดสนามแม่เหล็ก และ (b) แนวเส้นแรงแม่เหล็กที่สังเกตได้จากรูปที่ 4.14-4.15

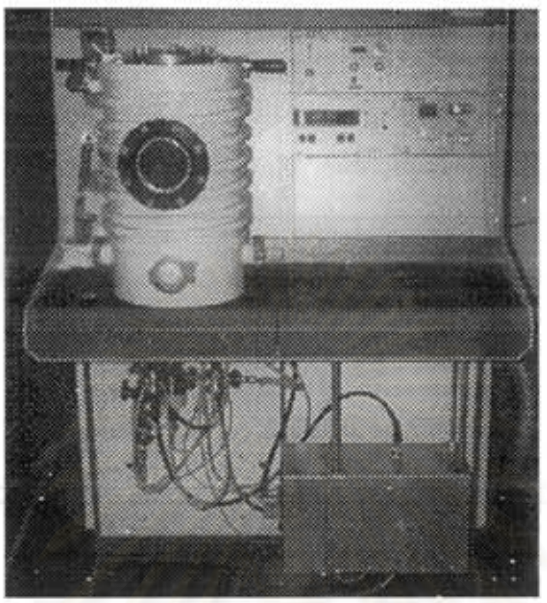
การวัดจะแยกวัดเป็นสองส่วน คือความหนาแน่นสนามแม่เหล็กในขนานกับระนาบของแม่เหล็ก(B_x) และความหนาแน่นสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากกับระนาบแม่เหล็ก(B_y) บริเวณที่วัดจะอยู่ในแนวรัศมีของแม่เหล็ก (x) ที่ระยะความสูงจากระนาบแม่เหล็กต่างๆกัน (y) การระบุตำแหน่งในการวัดแสดงใน รูปที่ 5.6 (a) โดยผลที่ได้แสดงในรูปที่ 5.7-5.8 ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มระยะห่างจากแม่เหล็ก และความหนาแน่นสนามแม่เหล็กในแนวขนาน(B_y) ที่ความสูงจากแม่เหล็ก (y) ประมาณ 10-30 มิลลิเมตร ยังคงมีพอที่จะทะลุออกไปปกคลุมผิวหน้าของเป้า จากข้อมูลดังกล่าวสามารถที่เขียนแนวเส้นแรงแม่เหล็กได้ในรูปที่ 5.6 (b)



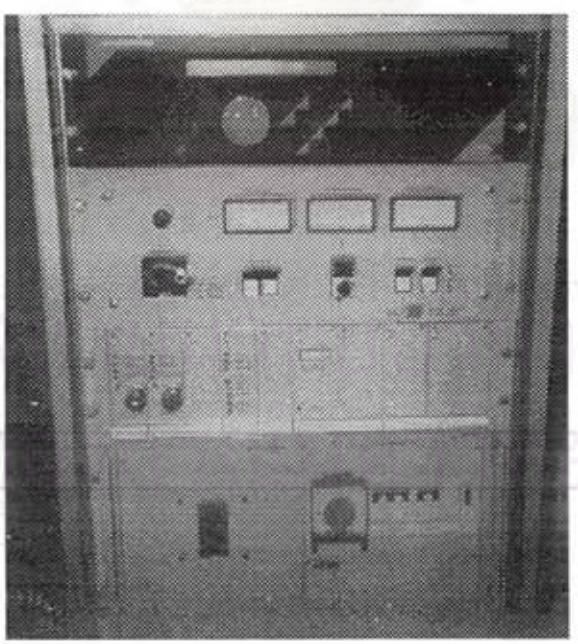
รูปที่ 5.7 กราฟแสดง B_x ที่ตำแหน่งต่างๆ (ไม่มีแกนเหล็ก)วัดโดยเทสลามิเตอร์



รูปที่ 5.8 กราฟแสดง B_y ที่ตำแหน่งต่างๆ (ไม่มีแกนเหล็ก)วัดโดยเทสลามิเตอร์



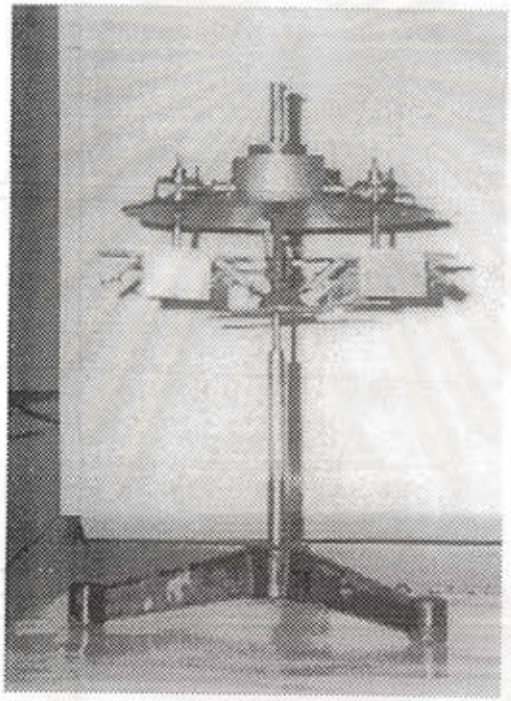
รูปที่ 5.9 ภาชนะสุญญากาศและแผงควบคุมการทำงานของระบบสุญญากาศ



รูปที่ 5.10 ระบบจ่ายกำลัง DC Generator และ RF Generator ของระบบสปัตเตอริง

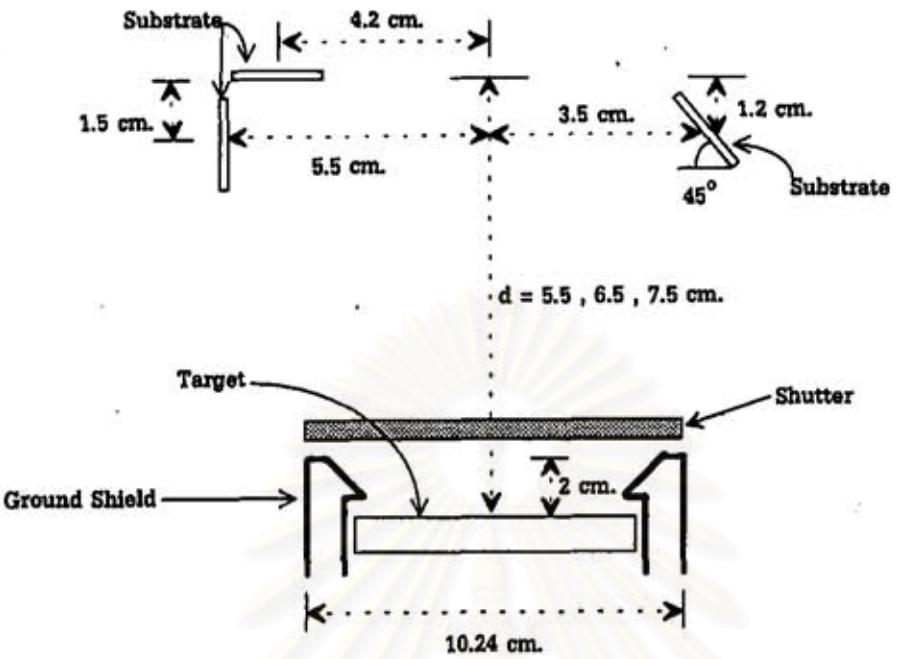
3. แท่นวางวัสดุรองรับ

จากการศึกษาข้อมูลในการเตรียมฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์เบื้องต้น ทำให้ทราบว่ารูปแบบการจัดวางวัสดุรองรับทำมุมต่างๆกับแนวระนาบของเป้ามีผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์ม[3] จึงจำเป็นต้องสร้างแท่นวางวัสดุรองรับให้มีการจัดวางวัสดุรองรับทำมุมต่างๆกับแนวระนาบของเป้า (สำหรับวัสดุรองรับขนาด 1.2 x 2.5 ตารางเซนติเมตร)เพื่อทำการหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบในการเตรียมฟิล์ม ซึ่งมีรูปแบบดังรูปที่ 5.11

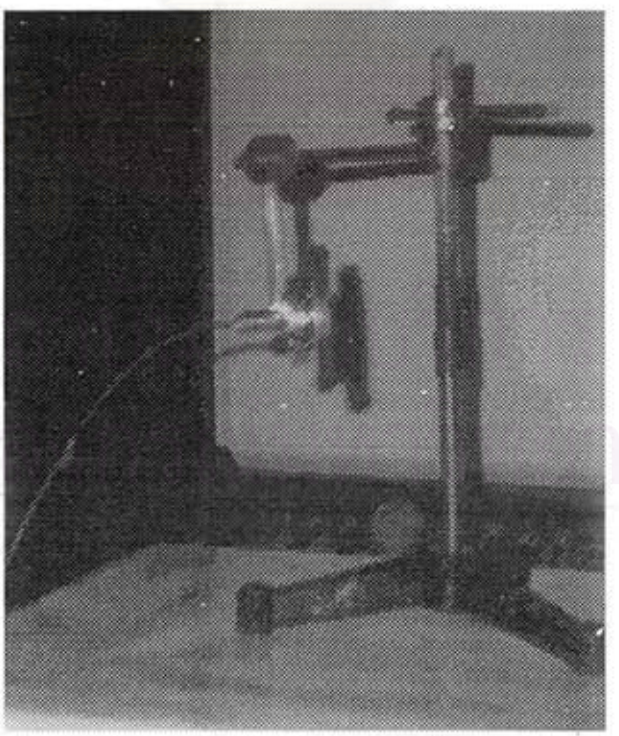


รูปที่ 5.11 แท่นวางวัสดุรองรับสำหรับวัสดุรองรับขนาด 1.2 x 2.5 ตารางเซนติเมตร

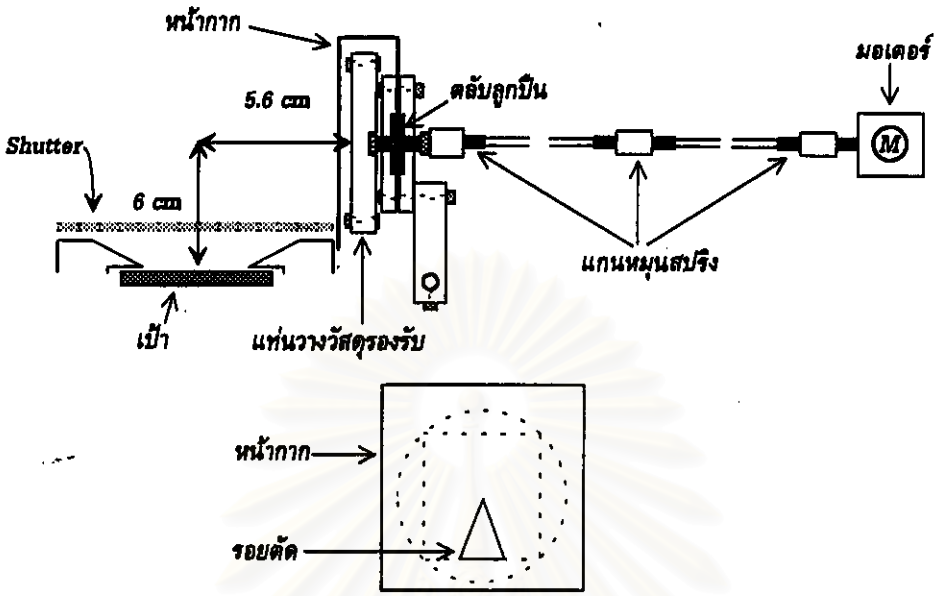
ทดลองเตรียมฟิล์มเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของระบบทั้งเป้าที่สั่งซื้อและทำขึ้นเอง แท่นวางวัสดุรองรับทำขึ้นจากอลูมิเนียมยึดติดกับแกนหมุนของ shutter เมื่อเปิด shutter แท่นวางก็จะหมุนเข้าสู่แหล่งกำเหนิดการสปัตเตอร์ ซึ่งมีการวางตำแหน่งของวัสดุรองรับดังรูปที่ 5.12 เนื่องจากข้อจำกัดของระบบที่มีแหล่งกำเหนิดการสปัตเตอร์ที่เล็ก การเตรียมฟิล์มที่มีพื้นที่กว้างให้มีสมบัติสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่นจึงเป็นไปได้ยาก ดังนั้นการแก้ไขปัญหาคือการสร้างแท่นวางวัสดุรองรับที่หมุนได้ดังรูปที่ 5.14 โดยมีการเจาะหน้ากากเป็นรูปต่างๆเพื่อให้ได้มีสมบัติฟิล์มที่สม่ำเสมอดังรูปที่ 5.13 แท่นวางจะถูกยึดอยู่กับที่การขับแกนหมุนของสปริงจะใช้มอเตอร์ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบได้จากส่วนควบคุมการหมุนแท่นวางวัสดุรองรับ (RCU020 รูปที่5.2)



รูปที่ 5.12 การจัดวางวัสดุรองรับขนาด 1.2 x 2.5 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 5.13 แท่นวางวัสดุรองรับขนาด 4.85 x 5.85 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 5.14 โครงสร้างของแท่นวางวัสดุรองรับแบบหมุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย