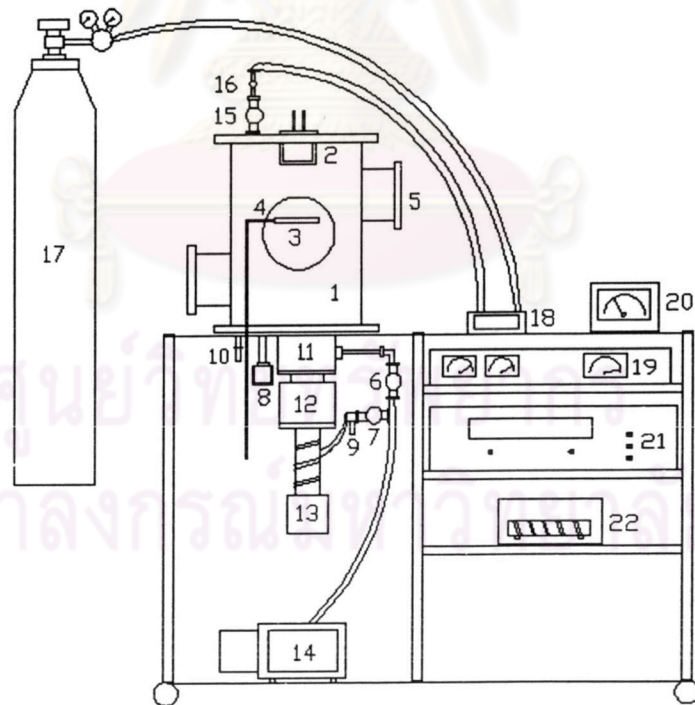


### บทที่ 3

#### ระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริง

##### 3.1 การออกแบบและการสร้างระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริง

ในการสร้างระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริงนั้นนอกจากการออกแบบระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริงให้มีความเหมาะสมนั้น การออกแบบและการสร้างระบบสุญญากาศยังเป็นสิ่งจำเป็นต่อการสร้างระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริงอีกด้วย ส่วนประกอบอีกอย่างหนึ่งที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้และมีความสำคัญต่อระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริงคือ หัวดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริง โดยมุ่งเน้นที่การออกแบบและการหาลักษณะเฉพาะของหัวดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริง ซึ่งรายละเอียดในการออกแบบและส่วนประกอบต่างๆจะได้กล่าวถึงต่อไป โดยในรูปที่ 3.1 เป็นแผนภาพของระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริงที่ได้ทำการออกแบบสร้าง

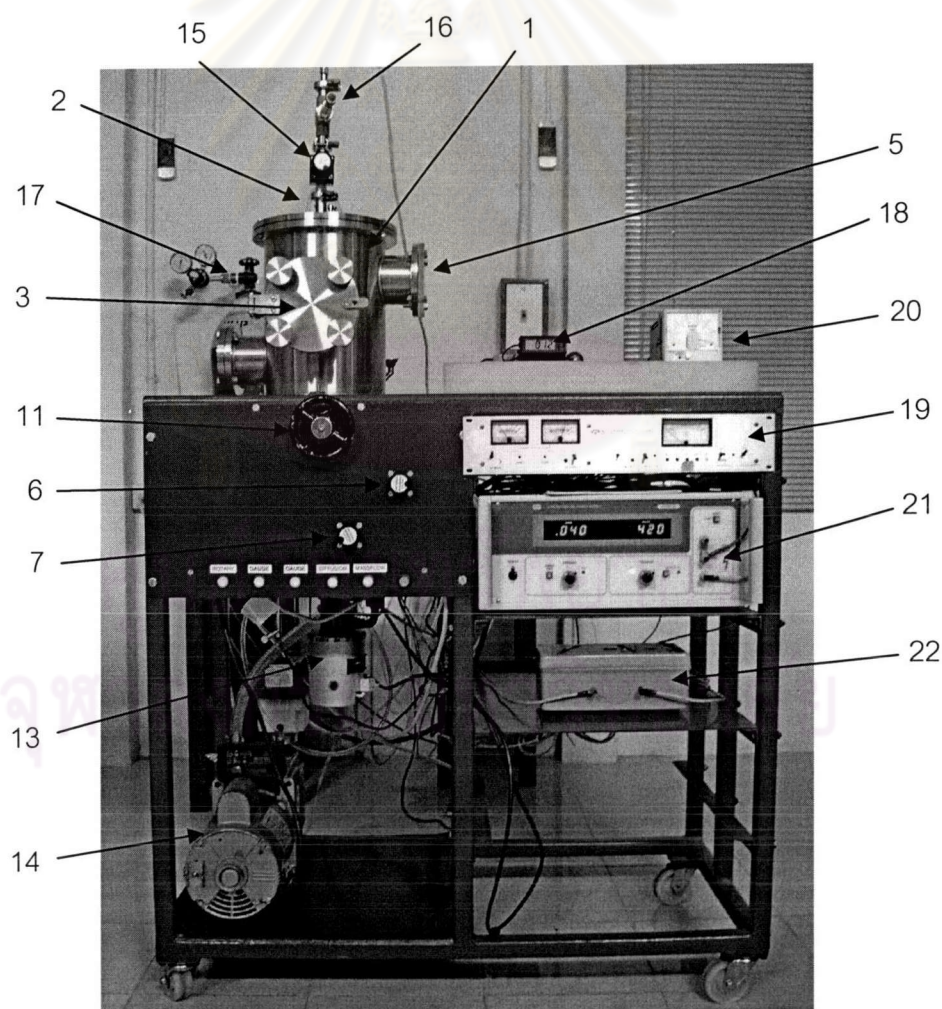


รูปที่ 3.1 แผนภาพระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริงที่ออกแบบสร้าง

จากรูปที่ 3.1 ระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเทอริงประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงไว้ตามหมายเลข ดังต่อไปนี้

1. ภาชนะสุญญากาศ (vacuum chamber) 2. หัวแมกนีตรอน 3. ช่องทางใส่แผ่นรองรับ (substrate loading window) 4. แพนวางแผ่นรองรับ 5. ช่องสังเกตการสับเทอริง (window) 6. วาล์วหยาบ (roughing valve) 7. วาล์วหลัง (backing valve) 8. หัววัดเพนนิ่ง (penning gauge) 9. หัววัดเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple gauge) 10. หัววัดเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple gauge) 11. ปลั๊กวาล์ว (plug valve) 12. ตัวดักไนโตรเจน 13. ปั๊มไอฟุ้งกระจาย (diffusion pump) 14. ปั๊มกลโรตารี (rotary pump) 15. วาล์วเปิด-ปิดก๊าซ (speedy valve) 16. วาล์วเข็ม (needle valve) 17. ก๊าซอาร์กอน 18. เครื่องควบคุมการไหลของก๊าซโดยมวล 19. เครื่องอ่านความดัน 20. เครื่องอ่านความดัน 21. แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 22. ตัวต้านทาน 2 โอห์ม 100 วัตต์

โดยภาพถ่ายของระบบดีซีแมกนีตรอนสับเทอริงที่ได้สร้างขึ้นมาได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงภาพถ่ายของระบบดีซีแมกนีตรอนสับเทอริงที่ได้สร้างขึ้นมา

### 3.1.1 ระบบสุญญากาศ

ระบบสุญญากาศประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่

ปั๊มสุญญากาศทำหน้าที่สูบน้ำออกจากภาชนะสุญญากาศ ในการสปีดเทอริงควรจะต้องเลือกขนาดของปั๊มให้เหมาะสมกับภาชนะสุญญากาศที่ออกแบบสร้าง มีอัตราการปั๊มเพียงพอที่จะสามารถรักษาความดันภายในภาชนะสุญญากาศให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการสปีดเทอริงได้ โดยปั๊มสุญญากาศที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ตัว คือ ปั๊มฟุ้งกระจายและปั๊มกลโรตารี

#### 3.1.1.1 ปั๊มไอฟุ้งกระจาย

สำหรับในงานวิจัยใช้ปั๊มไอฟุ้งกระจาย Model 203B No. 5298 ของบริษัท Edwards โดยได้ทำขดลวดความร้อนขึ้นมาใหม่มีความต่างศักย์ 220 โวลท์ และมีกำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ ใช้น้ำมันรุ่น DC704EU ของบริษัท Provac ระบายความร้อนโดยการไหลเวียนของน้ำ มีความเร็วปั๊ม 60 ลิตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วที่ปากปั๊ม แต่ในการใช้งานได้มีการต่อปั๊มไอฟุ้งกระจายกับตัวดักไนโตรเจนและปลั๊กวาล์วก่อนถึงภาชนะสุญญากาศ เป็นผลให้ความเร็วปั๊มยังผล (effective pumping speed) ซึ่งเป็นความเร็วปั๊มที่แท้จริงของระบบมีค่าลดลงซึ่งสามารถหาค่าได้จากความสัมพันธ์ [16.23,36]

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{S_p} + \frac{1}{C_t} + \frac{1}{C_p} \quad (3.1)$$

โดย  $S_{eff}$  คือ ความเร็วปั๊มยังผล

$S_p$  คือ ความเร็วปั๊มของปั๊มไอฟุ้งกระจาย

$C_t$  คือ ค่าความนำของแทรก

$C_p$  คือ ค่าความนำของปลั๊กวาล์ว

โดยปลั๊กวาล์วมีค่าความนำ 39.34 ลิตรต่อวินาที และแทรกที่ส่วนล่างมีค่าความนำ 42.18 ลิตรต่อวินาที และที่ส่วนบนมีค่า 57.75 ลิตรต่อวินาที ซึ่งได้แสดงวิธีการคำนวณไว้ในภาคผนวก (ง) ดังนั้นจากความสัมพันธ์ในสมการที่ (3.1) จะได้ค่าความเร็วปั๊มยังผล 12.03 ลิตรต่อวินาที

### 3.1.1.2 ปัมกลโรตารี

ในการเลือกใช้ปั๊มกลโรตารีนั้นได้พิจารณาจากค่านวนหาค่าความเร็วปั๊มจากความสัมพันธ์ [16,23,36]

$$S_{rot} > \frac{Q_{max}}{CBP} \quad (3.2)$$

โดย  $S_{rot}$  คือ ความเร็วปั๊มกลโรตารี

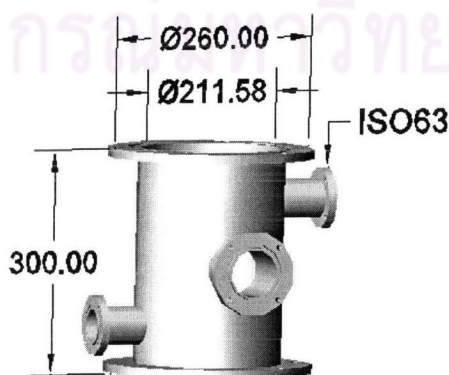
$Q_{max}$  คือ อัตราการส่งผ่านสูงสุด (maximum throughput)

$CBP$  คือ ความดันทำยวิกฤต (critical backing pressure)

โดยค่าอัตราการส่งผ่านสูงสุดมีค่าเท่ากับผลคูณของความดันกับความเร็วปั๊ม ซึ่งหาได้จากกราฟแสดงอัตราการปั๊ม โดยที่ความดันประมาณ  $10^{-2}$  มิลลิบาร์ จะมีค่าความเร็วปั๊ม 60 ลิตรต่อวินาที ดังนั้นค่าอัตราการส่งผ่านสูงสุดจะมีค่า  $60 \times 10^{-2}$  มิลลิบาร์-ลิตรต่อวินาที ส่วนค่าความดันทำยวิกฤตมีค่า 0.8 มิลลิบาร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำมันที่ใช้ ดังนั้นความเร็วปั๊มของปั๊มกลโรตารีจะมีค่ามากกว่า 2.7 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ในงานวิจัยนี้ใช้ปั๊มกลโรตารี เบอร์ 8 two state ของบริษัท Edwards ที่มีความเร็วปั๊ม 8.5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

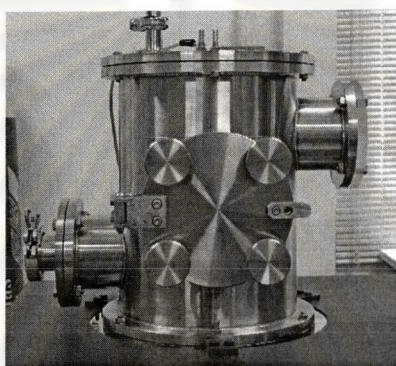
### 3.1.1.3 ภาชนะสุญญากาศ

ภาชนะสุญญากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง โดยได้ออกแบบให้มีปริมาตรเหมาะสมกับระบบปั๊มสุญญากาศที่ใช้และมีรูปร่างเหมาะสมสำหรับที่จะติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดที่มีรวมถึงอุปกรณ์ที่อาจจะมีการสร้างขึ้นมาก่อในอนาคต



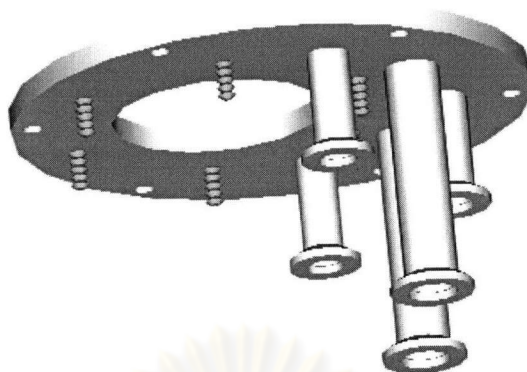
รูปที่ 3.3 ภาชนะสุญญากาศที่ทำการออกแบบสร้าง

สำหรับงานวิจัยนี้ภาชนะสุญญากาศที่ได้สร้างขึ้นนั้นทำด้วยสแตนเลส มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกในแนวตั้ง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 211.58 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร มีปริมาตรประมาณ 10.48 ลิตร ด้านหน้ามีหน้าแปลนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 154 มิลลิเมตรเพื่อเป็นประตูเปิด-ปิดในการใส่แผ่นรองรับหรือชิ้นงานที่ต้องการเคลือบ ด้านข้างขวาด้านบนและด้านข้างซ้ายด้านล่างมีหน้าแปลนขนาด ISO63 ดังแสดงในภาคผนวก (จ) เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ อาทิเช่น หน้าแปลนกระจกใสเพื่อดูการสัปดาห์ที่ที่เกิดขึ้นด้านใน เทอร์โบปั๊ม หัววัดความดัน หัววัดความดัน เป็นต้น หน้าแปลนด้านล่างและด้านบนออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 260 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายของภาชนะสุญญากาศที่สร้างขึ้น

โดยที่หน้าแปลนด้านล่างเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 124 มิลลิเมตรเพื่อเชื่อมต่อกับระบบปั๊มสุญญากาศ และมีหน้าแปลนขนาด NW25 3 ช่อง และหน้าแปลนขนาด NW16 2 ช่อง เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น หัววัดความดัน ขั้วไฟฟ้า แท่นวางแผ่นรองรับ ขดลวดความร้อน เป็นต้น ดังที่แสดงแบบของหน้าแปลนด้านล่างไว้ในรูปที่ 3.5 โดยได้แสดงขนาดของหน้าแปลน NW ไว้ในภาคผนวก (จ) ส่วนหน้าแปลนด้านบนเจาะรูตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร เพื่อใส่หัวดีซีแมกนิตรอนสัปดาห์ที่ และเจาะรูที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลาง 76 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร 3 รู เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น วาล์วที่ใช้ในการควบคุมการป้อนก๊าซเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ ชัตเตอร์ หัววัดความดัน เป็นต้น



รูปที่ 3.5 หน้าแปลนด้านล่างของภาชนะสุญญากาศที่ได้ทำการออกแบบ

#### 3.1.1.4 การทดสอบระบบสุญญากาศที่สร้างขึ้น

ได้ทำการทดสอบระบบสุญญากาศที่สร้างขึ้นเพื่อให้ได้ความดันพื้นฐาน (base pressure) ที่เพียงพอในการสเปคเตอรืง โดยเมื่อทำการสูบลูกอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศโดยใช้ปั๊มกลโรตารี ความดันภายในภาชนะสุญญากาศจะมีค่าประมาณ  $3 \times 10^{-2}$  ทอร์ เมื่อใช้เวลาประมาณ 40-45 นาที และเมื่อทำการสูบลูกอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศโดยใช้ปั๊มกลโรตารีทำงานร่วมกับปั๊มไอพู่กระจายผ่านทางวาล์วหลัง โดยหลังจากเปิดปลั๊กวาล์วความดันภายในภาชนะสุญญากาศจะมีค่าประมาณ  $3 \times 10^{-5}$  ทอร์ เมื่อใช้เวลาประมาณ 40-45 นาที ซึ่งเป็นความดันที่เพียงพอที่จะใช้เป็นความดันพื้นฐานที่ใช้ในการสเปคเตอรืงในระบบดีซีแมกนีตรอนสเปคเตอรืงที่สร้างขึ้น

#### 3.1.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์สูง

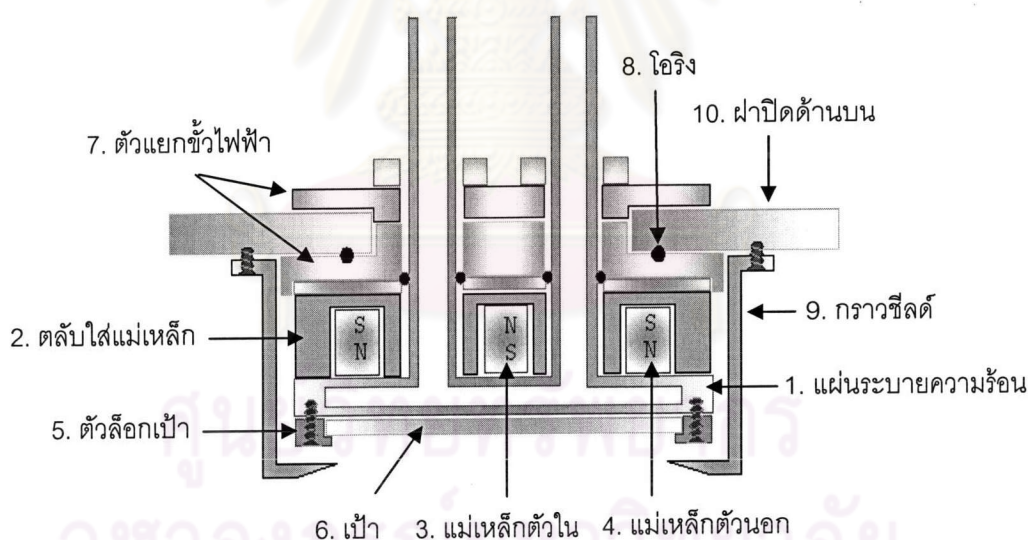
ในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ยี่ห้อ Good will Model GPR-60H15 สามารถปรับ ความต่างศักย์ให้คงที่ได้ตั้งแต่ 0-600 โวลต์ และมีการจำกัดกระแสตั้งแต่ 0-1.5 แอมแปร์

#### 3.1.3 ระบบการป้อนก๊าซ

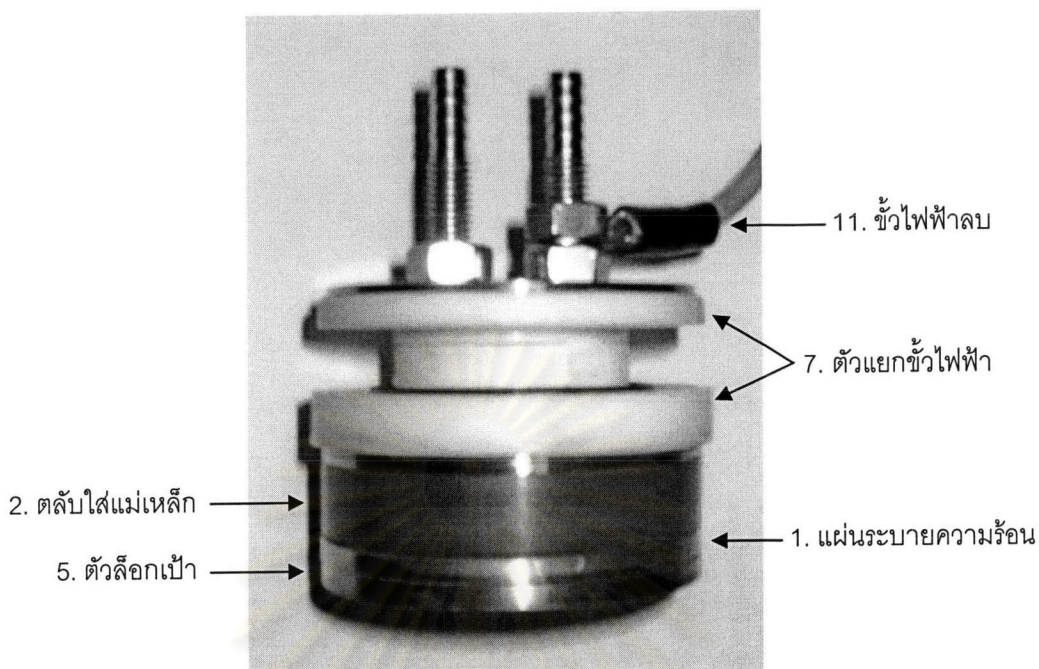
สำหรับระบบการป้อนก๊าซ จะใช้เครื่องควบคุมอัตราการไหลของก๊าซโดยมวล Model GFC-2102 ของบริษัท Dwyer ควบคุมปริมาณก๊าซให้มีค่าคงที่ในช่วง 0-20 มิลลิลิตรต่อ นาที และควบคุมการป้อนก๊าซด้วยวาล์ว 2 ตัว โดยตัวแรกเป็นวาล์ว เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดก๊าซที่เข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ และวาล์วอีกตัวคือวาล์วเข็มของบริษัท Fujikin International ทำหน้าที่ในการควบคุมปริมาณก๊าซที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

### 3.2 หัวแมกนิตรอน

ระบบดีซีแมกนิตรอนสปีดเทอริงประกอบไปด้วยระบบและอุปกรณ์ต่างๆ หลายชิ้นส่วน ซึ่งชิ้นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุดก็คือหัวแมกนิตรอนสปีดเทอริง เพราะประสิทธิภาพของหัวแมกนิตรอนมีผลต่อคุณภาพและลักษณะโครงสร้างของฟิล์ม โดยได้ออกแบบสร้างหัวแมกนิตรอนให้มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกขนาดเล็กกระทัดรัด ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 64 มิลลิเมตร โดยใช้วัสดุที่สามารถหาได้ภายในประเทศและใช้ต้นทุนในการผลิตที่ไม่สูงมากนัก และต้องการให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผิวเป่ามีผลต่อการดิสชาร์จและเพียงพอที่จะกักเก็บอิเล็กตรอนทุติยภูมิไว้ที่ผิวเป่า และข้อดีอีกประการหนึ่งของหัวแมกนิตรอนที่สร้างขึ้นก็คือมีการระบายความร้อนให้กับเป่าอย่างทั่วถึงและแยกชิ้นส่วนระบายความร้อนด้วยน้ำออกจากชิ้นส่วนอื่นๆของหัวแมกนิตรอน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้หัวแมกนิตรอนที่สร้างขึ้นมานี้เคลือบฟิล์มบางของโลหะลงบนชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ซึ่งได้แสดงภาคตัดขวางของหัวแมกนิตรอนที่ได้ออกแบบไว้ในรูปที่ 3.6 และได้แสดงภาพถ่ายของหัวแมกนิตรอนที่สร้างขึ้นไว้ในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 แสดงภาคตัดขวางของหัวแมกนิตรอนที่ออกแบบ



รูปที่ 3.7 แสดงภาพถ่ายของหัวแมกนิตรอนที่ทำการสร้าง

สำหรับหัวแมกนิตรอนที่ได้ทำการออกแบบสร้างขึ้นมาตั้งแต่เริ่มต้นได้มีการปรับปรุงแก้ไขชิ้นส่วนต่างๆ จนมีลักษณะดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.7 โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 64 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้อธิบายชิ้นส่วนของหัวแมกนิตรอน ดังนี้

### 3.2.1 แผ่นระบายความร้อน

สำหรับหัวแมกนิตรอนที่ได้ทำการออกแบบ ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นแผ่นระบายความร้อนนี้เป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุดโดยจะเชื่อมโยงกับชิ้นส่วนอื่นๆ ซึ่งทำมาจากสแตนเลสที่มีรูปร่างเป็นแผ่นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 64 มิลลิเมตร มีความหนา 4 มิลลิเมตร เพื่อให้สนามแม่เหล็กที่ผิวเป้ามีผลต่อการดิสชาร์จ ด้านในของแผ่นระบายความร้อนจะเป็นพื้นที่ว่าง โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 52 มิลลิเมตร และมีความหนา 1.5 มิลลิเมตร เพื่อให้ น้ำไหลเวียนระบายความร้อนให้กับเป้าอย่างทั่วถึง ที่ขอบของแผ่นระบายความร้อนได้เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร เพื่อยึดติดกับตัวล็อกเป้า และที่ด้านบนของแผ่นระบายความร้อนเจาะรู 2 รู เชื่อมกับท่อ สแตนเลส 2 ท่อ ซึ่งทำหน้าที่เป็นช่องทางให้น้ำไหลเข้าและไหลออก และทำหน้าที่เป็นตัวล็อกหัวแมกนิตรอนกับแผ่นปิดด้านบนของภาชนะสุญญากาศ โดยท่อจะมีความสูงประมาณ 68 มิลลิเมตรและมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อด้านนอก 8 มิลลิเมตรและเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในสำหรับให้น้ำไหลประมาณ 4.5 มิลลิเมตร โดยเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ



ห่างจากจุดศูนย์กลางของหัวประมาณ 12 มิลลิเมตร โดยส่วนล่างของท่อน้ำที่ยังไม่ทำเป็นเกลียวมีความสูง 27 มิลลิเมตร เพื่อทำการปรับเปลี่ยนความหนาของแม่เหล็ก โดยมีความหนาสูงสุดประมาณ 25 มิลลิเมตร และส่วนบนที่เป็นเกลียวมีความสูง 25 มิลลิเมตรมีไว้สำหรับปรับเปลี่ยนระยะที่ใช้ยึดหัวแมกนีตรอนกับแผ่นปิดบน และที่ปลายสุดด้านบนของท่อน้ำกำลังเป็นหางปลาไหลเพื่อต่อเข้ากับสายยางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 แผ่นระบายความร้อนที่ได้ทำการออกแบบ

### 3.2.2 ตลับใส่แม่เหล็กและแม่เหล็กที่ใช้

สำหรับตลับใส่แม่เหล็กที่ออกแบบสร้างขึ้นทำมาจากทองแดงมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 64 มิลลิเมตร หนา 11.5 มิลลิเมตร มีช่องสำหรับใส่แม่เหล็ก 2 ช่อง โดยมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 10.5 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร และช่องนอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 29.5 มิลลิเมตรและมีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก 50.5 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร และเจาะรู 2 รูที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เพื่อใส่ตลับแม่เหล็กกับท่อน้ำขาเข้าและขาออก

สำหรับแม่เหล็กที่ใช้เป็นแม่เหล็กนีโอไดเมียม ไอรอน โบรอน (neodymium iron boron) เพราะแม่เหล็กประเภทนี้จะมีแรงดึงดูดสูง มีประสิทธิภาพและคุณสมบัติสูงที่สุดในประเภทของแม่เหล็กถาวร โดยตัวแรกที่ใส่ลงในช่องตรงกลางของตลับแม่เหล็กมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร มีความหนา 10 มิลลิเมตร มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผิว 536 มิลลิเทสลา สามารถทนความร้อนได้ถึงอุณหภูมิประมาณ 80 °c ดังแสดงในรูปที่ 3.6 หมายเลข 3 ส่วนแม่เหล็กอีกตัวที่ใส่ลงในช่องด้านนอกของตลับแม่เหล็กมีรูปร่างเป็นวงแหวนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 30 มิลลิเมตรและมีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก 50 มิลลิเมตร มีความหนา 10 มิลลิเมตร มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผิว 430 มิลลิเทสลาสามารถ

ทนความร้อนได้ถึงอุณหภูมิประมาณ  $80^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงในรูปที่ 3.6 หมายเลข 4 โดยจะวางแม่เหล็กทั้งสองตัวลงในช่องใส่ตลับแม่เหล็กให้สลับขั้วกันเพื่อให้เส้นแรงแม่เหล็กเชื่อมปิดระหว่างแม่เหล็กทั้ง 2 ตัวและกักเก็บอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่เป็นเกลียววงกลมที่หน้าผิวเป้า

### 3.2.3 ตัวล๊อคเป้าและเป้า

ตัวล๊อคเป้าที่สร้างขึ้นมานั้นทำมาจากสแตนเลสมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก 64 มิลลิเมตร สูง 4 มิลลิเมตร และตำแหน่งที่ล๊อคเป้ามีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว และมีความสูง 0.125 นิ้ว และเจาะรูผ่านขนาด 3 มิลลิเมตร ผังหัวน็อตเพื่อยึดติดกับแผ่นระบายความร้อน

ส่วนเป้าที่ใช้เป็นโลหะชนิดต่างๆ คือ ทองแดง อะลูมิเนียม ทองเหลือง โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีความหนา 0.125 นิ้ว ส่วนเงินที่ใช้เป็นเป้าอีกตัวมีลักษณะเป็นแผ่นที่มีความหนาประมาณ 1.5 มิลลิเมตร และนำมาตัดให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว

### 3.2.4 ตัวแยกขั้วไฟฟ้าและวัสดุขีลระบบสุญญากาศ

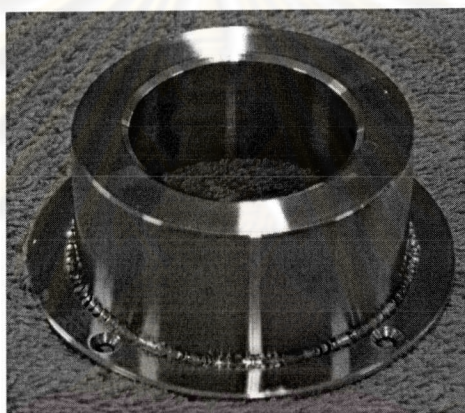
ตัวแยกขั้วไฟฟ้ามีอยู่ 2 ตัว โดยตัวที่อยู่ด้านบนทำจากเทฟลอนมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 66 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร และเจาะรู 2 รูที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เพื่อใส่ตัวแยกขั้วไฟฟ้ากับท่อน้ำขาเข้าและขาออก โดยจะทำหน้าที่แยกขั้วไฟฟ้าและยึดหัวแมกนิตรอนกับแผ่นปิดด้านบนของภาชนะสุญญากาศ และตัวแยกขั้วไฟฟ้าอีก 1 ตัวที่อยู่ด้านล่างทำจากเทฟลอนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 67 มิลลิเมตร หนา 8 มิลลิเมตร และเจาะรู 2 รูที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เพื่อใส่ตัวแยกขั้วไฟฟ้ากับท่อน้ำขาเข้าและขาออก และได้เจาะช่องโอรังที่ด้านบนเพื่อใส่โอรังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 44 มิลลิเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร และใช้โอรังอีก 2 ตัวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 6 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ใส่ลงไปตามท่อน้ำขาเข้าและขาออก ระหว่างตลับแม่เหล็กและตัวแยกขั้วไฟฟ้า เพื่อป้องกันการรั่วซึมของระบบสุญญากาศ

### 3.2.5 กราวด์ชิลด์

สำหรับหัวแมกนิตรอนที่ได้สร้างขึ้นมานั้นก็เพื่อสปีดเทอริงเป้าโลหะเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องควบคุมไม่ให้อื่นถูกสปีดเทอริงออกมาด้วย โดยกราวด์ชิลด์เป็นส่วนประกอบที่ควบคุมไม่ให้เกิดการสปีดเทอริงในบริเวณอื่นๆ นอกเหนือจากเป้า โดยต้องการออกแบบให้ระยะห่างระหว่างหัวแมกนิตรอนกับกราวด์ชิลด์มีค่าน้อยกว่าความหนาของบริเวณมีดี เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิที่เคลื่อนที่ชนกันในบริเวณนี้สามารถเกิดการแตกตัวเป็นไอออน โดยวังและเวนต์ได้คำนวณหาค่าความหนาของบริเวณมีดีที่ความดันของก๊าซอาร์กอน 3 มิลลิทอร์ โดยแบบจำลองของไหลมี

ค่า 9.35 มิลลิเมตร แบบจำลองซีทีมีค่า 10.1 มิลลิเมตร และกฎของซิลด์-ลาวมัวร์มีค่า 2.2 มิลลิเมตร [37]

โดยกราวด์ซิลด์ที่ออกแบบสร้างทำมาจากสแตนเลสมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 70 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร และตีปลอกเพื่อลดระยะด้านในให้เหลือ 67 มิลลิเมตร และ 68 มิลลิเมตร เพื่อปรับเปลี่ยนระยะระยะห่างระหว่างหัวแมกนิตรอนกับกราวด์ซิลด์ให้มีค่า 1.5 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะที่น้อยกว่าความหนาของบริเวณมีด โดยคลุมรอบหัวแมกนิตรอนและยึดติดกับแผ่นปิดด้านบนของภาชนะสุญญากาศ โดยมีช่องเปิดที่หน้าเป่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 49 มิลลิเมตร เพื่อควบคุมให้เกิดการสปีดเทอริงเฉพาะที่ด้านหน้าผิวเป่า ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงภาพถ่ายของกราวด์ซิลด์ที่สร้างขึ้นมา

### 3.3 การทดสอบลักษณะเฉพาะของความเข้มของสนามแม่เหล็ก

สำหรับการทดลองหาลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กที่ผิวเป่าที่มีผลต่อการดิสชาร์จนั้น ได้มีการเปลี่ยนแม่เหล็กตัวตรงกลางเพื่อปรับเปลี่ยนลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กที่ผิวเป่าและทดสอบการดิสชาร์จที่เกิดขึ้น ซึ่งแม่เหล็กทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองเป็นแม่เหล็กนีโอไดเมียม ดังแสดงตารางลักษณะของสนามแม่เหล็กที่ผิวเป่าเมื่อเปลี่ยนขนาดของแม่เหล็กตัวกลาง

ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กที่ผิวเป้าเมื่อเปลี่ยนขนาด  
ของแม่เหล็กตัวกลาง

ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่มีขนาดของแม่เหล็กตัวกลางต่างกัน (มิลลิเทสลา)											
	$\phi 4, h5$		$\phi 5, h10$		$\phi 8, h5$		$\phi 9, h6$		$\phi 10, h10$		outer
d	0	8.5	0	8.75	0	9.5	0	9.75	0	10.0	20.0
0	-27.6	13.1	-45.9	6.8	-56.9	5.4	-74.2	10.6	-109.6	13.8	129.5
1	-20.6	19.3	-28.2	13.4	-33.1	7.0	-47.1	13.2	-78.2	21.0	105.5
2	-7.5	22.4	-12.2	19.5	-23.4	12.1	-36.5	21.3	-61.2	24.1	93.3
3	5.5	25.4	-8.5	21.3	-9.9	18.9	-20.6	23.4	-43.2	26.4	82.6
4	12.5	28.5	1.8	24.4	-2.6	20.2	-8.8	27.9	-31.8	27.8	71.4
5	19.3	31.8	10.6	27.3	10.2	23.2	2.4	30.7	-17.0	30.1	63.0

โดย d คือ ระยะห่างจากเป้า (มิลลิเมตร)

$\phi$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวใน (มิลลิเมตร)

h คือ ความหนาของแม่เหล็กตัวใน (มิลลิเมตร)

0 คือ ระยะจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวใน

8.5, 8.75, 9.5, 9.75 และ 10.0 คือ ระยะตรงกลางระหว่างแม่เหล็กตัวกลางและแม่เหล็กตัวนอก (มิลลิเมตร)

outer คือ แม่เหล็กตัวนอกซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก 50 มิลลิเมตร และมีความหนา 10 มิลลิเมตร

20.0 คือ ระยะจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวนอกที่เริ่มวัดจากระยะจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวใน (มิลลิเมตร)

### 3.3.1 เงื่อนไขในการทดสอบการสปีดเทอริง ดังต่อไปนี้

- เป้าที่ใช้เคลือบคือทองแดง
- ระยะห่างระหว่างเป้าถึงแผ่นรองรับ 13 เซนติเมตร
- อัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

- ความดันภายในภาชนะสุญญากาศขณะทำการสับตัดเทอริงอยู่ในช่วงประมาณ  $5 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-3}$  ทอร์

- ปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์จนถึงค่าสูงสุดของแหล่งกำเนิด และสังเกตการดิสรชาร์จที่เกิดขึ้น

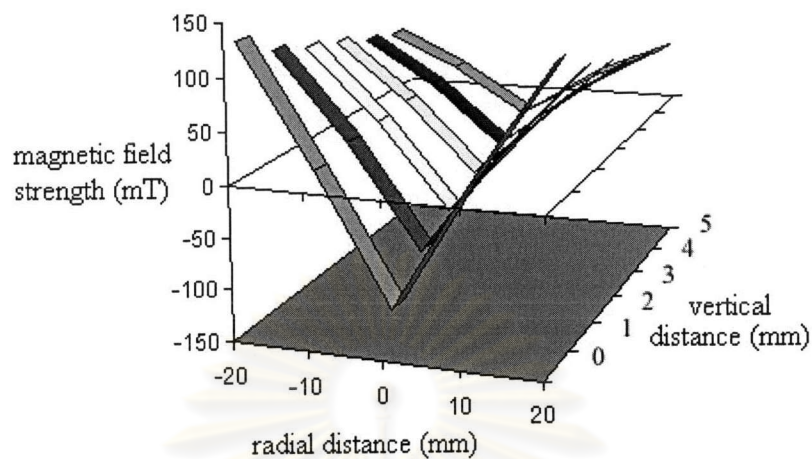
จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้แม่เหล็กตัวกลางที่มีขนาด  $\phi 4$ , h5,  $\phi 5$ , h10 และ  $\phi 8$ , h5 ทำการสับตัดเทอริงตามเงื่อนไขด้านบนปรากฏว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์จนถึง 600 โวลต์ การดิสรชาร์จไม่สามารถเกิดขึ้นได้ โดยลักษณะเฉพาะของสนามที่หน้าผิวเป้าเมื่อใช้แม่เหล็กตัวกลางที่มีขนาดดังกล่าวไม่มีผลต่อการดิสรชาร์จ ซึ่งมีค่าไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทุติยภูมิและไม่สามารถกักเก็บอิเล็กตรอนทุติยภูมิให้อยู่ในบริเวณหน้าผิวเป้า และเมื่อใช้แม่เหล็กตัวกลางที่มีขนาด  $\phi 9$ , h6 และ  $\phi 10$ , h10 ซึ่งมีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นปรากฏว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ให้มีค่า 350-500 โวลต์ การดิสรชาร์จสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสังเกตพบว่ามีพลาสมาเกิดขึ้นหนาแน่นบริเวณผิวเป้า ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงการโกลว์ดิสรชาร์จของหัวแมกนีตรอนที่ลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กมีผลต่อการดิสรชาร์จ

โดยลักษณะของสนามแม่เหล็กที่หน้าผิวเป้ามีผลต่อการดิสรชาร์จโดยจะทำให้อิเล็กตรอนทุติยภูมิมีเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นเกลียววงกลมและถูกกักเก็บไว้ที่บริเวณผิวหน้าเป้า ซึ่งเป็นผลให้เกิดการดิสรชาร์จขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยมีกระแสของการดิสรชาร์จอยู่ในช่วง 30-150 มิลลิแอมป์ และเกิดการสับตัดเทอริงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าจะต้องใช้แม่เหล็กตัวกลางที่มีขนาด  $\phi 9$ , h6 และ  $\phi 10$ , h10 ซึ่งมีความเข้มของสนามแม่เหล็กดังในตารางแสดงผล โดยเป็นความเข้มของสนามแม่เหล็กตัวกลางที่มีผลต่อการดิสรชาร์จ

### 3.4 ลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กของหัวแมกนิตรอนที่ใช้สปีดเทอริง



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กที่หน้าผิวเป้าของหัวดีซีแมกนิตรอนสปีดเทอริงที่ใช้ในการสปีดเทอริง

จากรูปที่ 3.11 เป็นการแสดงลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กที่หน้าผิวเป้าของหัวดีซีแมกนิตรอนสปีดเทอริงที่ใช้ในการสปีดเทอริง โดยใช้แม่เหล็กนีโอไดเมียม 2 ตัววางกลับซั้วกันอยู่ในตัลป์ใส่แม่เหล็กด้านหลังเป้า โดยแม่เหล็กตัวในมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร และแม่เหล็กตัวนอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 30 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก 50 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร

โดยในแนวแกน  $x$  เป็นระยะทางจากตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวใน (ที่ระยะ 0 มิลลิเมตร) ไปจนถึงตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวนอก (ที่ระยะ 20 มิลลิเมตร) และระยะทางตรงกลางระหว่างจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กทั้ง 2 ตัว คือ 10 มิลลิเมตร โดยในแนวแกน  $y$  เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็กที่วัดโดยเทสลามีเตอร์ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวใน ระยะทางตรงกลางระหว่างจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กทั้ง 2 ตัว และที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวนอก และในแนวแกน  $z$  คือระยะทางที่วัดความเข้มของสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากกับผิวเป้า

จากรูปที่ 3.11 พบว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผิวเป้าจะมีลักษณะไม่สมมาตรซึ่งความเข้มของสนามแม่เหล็กด้านนอกมีค่ามากกว่าด้านใน โดยที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวในมีความเข้มของสนามแม่เหล็ก -109.6 มิลลิเทสลา ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวนอกมีความเข้มของสนามแม่เหล็ก 129.5 มิลลิเทสลา และที่ตำแหน่งตรงกลางของ

แม่เหล็กทั้ง 2 ตัว มีความเข้มของสนามแม่เหล็ก 13.8 มิลลิเทสลา และที่ระยะห่างออกไปจากเป้า ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวในและตัวนอกจะมีค่าลดลง และที่ตำแหน่งตรงกลางของแม่เหล็กทั้ง 2 ตัว ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะห่างจากผิวเป้า 5 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวในมีความเข้มของสนามแม่เหล็ก -17.1 มิลลิเทสลา ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแม่เหล็กตัวนอกมีความเข้มของสนามแม่เหล็ก 63.0 มิลลิเทสลา และที่ตำแหน่งตรงกลางของแม่เหล็กทั้ง 2 ตัว มีความเข้มของสนามแม่เหล็ก 30.1 มิลลิเทสลา และจากการทดลองตามเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง พบว่าลักษณะของสนามแม่เหล็กหน้าผิวเป่าดังกล่าวมีผลต่อการดิสชาร์จ โดยสามารถทำให้อิเล็กตรอนทุติยภูมิเคลื่อนที่เป็นเกลียววงกลมตามเส้นทางลอยเลื่อนและถูกกักเก็บอยู่ในบริเวณหน้าผิวเป้า ซึ่งเป็นผลให้เกิดพลาสมาและการสปัตเทอริงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเป็นลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กในชุดที่ดีที่สุดและเกิดการสปัตเทอริงดีที่สุด โดยได้ใช้ลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กในชุดนี้ทำการเคลือบฟิล์มบางของโลหะ ซึ่งสามารถสร้างการดิสชาร์จได้ในช่วงความดัน  $5 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-3}$  ทอร์ และความต่างศักย์ในช่วง 350-500 โวลต์



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย