

## รายงานเชิงเทคนิค (TECHNICAL REPORT)

หมายเลขเอกสาร (For OD) KM Document No.	SLRI-TR-2022-044
ชื่อเรื่อง Title	ระบบวัดรูปร่างลำอเล็ก็ตรอนแบบฉากเรืองแสงในแม่เหล็ก Septum
ชื่อฝ่าย Department	ฝ่ายปฏิบัติการเครื่องกำเนิดแสงสยาม ๑
วันที่เขียนรายงาน Date of Report	5 กุมภาพันธ์ 2566 (ฉบับปรับปรุง)
ระดับการเปิดเผยข้อมูล Level of Disclosure	<input type="checkbox"/> ข้อมูลในรายงานเป็นความลับ (Undisclosed)
	<input type="checkbox"/> เปิดเผยข้อมูลเฉพาะภายในฝ่ายหรือส่วนงาน (Information can be disclosed within department/section)
	<input type="checkbox"/> เปิดเผยข้อมูลได้สำหรับพนักงานของสถาบันฯ และอนุญาตให้บันทึกข้อมูล เข้าเป็นส่วนหนึ่งของระบบ Knowledge Management ภายในสถาบันฯ (Information can be disclosed for SLRI staffs and can be part of SLRI's Knowledge Management System)
	<input checked="" type="checkbox"/> เปิดเผยข้อมูลได้เพื่อเป็นองค์ความรู้สาธารณะ เช่นเว็บไซต์ของสถาบันฯ (Information is available for public)
คำสำคัญ Keyword	Septum, Beam injection, Screen monitor, YAG, ฉากเรืองแสง

รายชื่อผู้ดำเนินโครงการและจัดทำรายงาน Name	ส่วนร่วมในการปฏิบัติงานในโครงการ Responsible tasks in the project
ดร. ฐานปรกรณ์ ภู่อำพงษ์	หัวหน้าโครงการ, จัดซื้อ, ร่วมออกแบบ, ร่วมประกอบทดสอบ, เขียนรายงาน
นายออลิแวย์ อูทเคอ	ออกแบบเชิงวิศวกรรม, ร่วมประกอบทดสอบ
นายเกริกฤทธิ สิริศาสตร์	ที่ปรึกษา วางแผนการผลิตและประกอบ
นายสกลกวี ปรอบงเหลือม	ผลิตชิ้นงาน, ร่วมประกอบทดสอบ
นายสุพรรณ บุญสุยา	ที่ปรึกษา ติดตั้งอุปกรณ์ ทำระบบสุญญากาศ และทดสอบ

รายชือผู้ดำเนินโครงการและจัดทำรายงาน (Name)	ส่วนร่วมในการปฏิบัติงานในโครงการ Responsible tasks in the project
นายอภิชัย ขวัญเกษม	ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ แก้ไขปัญหาและทดสอบ
นายศรารุช บู่เตียว	ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ แก้ไขปัญหาและทดสอบ
นายวิเวก ภาชีร์รักษ์	ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ แก้ไขปัญหาและทดสอบ
นายวิศิษฐ์ชัย สุขศรีเมือง	ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ แก้ไขปัญหาและทดสอบ
นายณัฐวุฒิ สุรเดช	ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ แก้ไขปัญหาและทดสอบ
ดร.ศุภชัย ประวันตา	ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ แก้ไขปัญหาและทดสอบ
นายชันภูมิ ธรรมทอง	ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ แก้ไขปัญหาและทดสอบ
นายสรารุช ชิตใสง	ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ แก้ไขปัญหาและทดสอบ
นายอภิวัฒน์ ภูโยโยยาง	ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ แก้ไขปัญหาและทดสอบ
นายสมเกียรติ วิสัยเพียร	ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ แก้ไขปัญหาและทดสอบ

### บทคัดย่อ

กระบวนการยิงลำอเล็กตรอนเป็นหนึ่งในกระบวนการที่มีความสำคัญมากในการเดินเครื่องเร่งอนุภาค อูปรกรณ์วัดคุณลักษณะของลำอเล็กตรอนสำหรับศึกษาและเข้าใจคุณสมบัติของลำอเล็กตรอนบริเวณดังกล่าวจึงสำคัญอย่างยิ่งยวด ปัจจุบันการยิงลำอเล็กตรอนเข้าสู่วงกักเก็บอเล็กตรอนต้องอาศัยแม่เหล็ก Septum ในการเบนเส้นทางการเคลื่อนที่ของอเล็กตรอนจากส่วนปลายของ transfer line โดยที่ให้มีผลน้อยที่สุดต่ออเล็กตรอนที่โคจรในวงกักเก็บอเล็กตรอนอยู่ก่อนแล้ว ภายในแม่เหล็ก Septum มีกรอบโลหะสี่เหลี่ยมทำหน้าที่เป็นเสมือนขอบเขตที่ให้อเล็กตรอนเคลื่อนผ่าน โดยหากอเล็กตรอนที่ถูกส่งมามีตำแหน่งผิดไปจะเกิดการชนกับขอบโลหะซึ่งไม่สามารถวัดคุณลักษณะของลำอเล็กตรอนได้ ดังนั้นในโครงการนี้จะศึกษาการออกแบบระบบวัดรูปร่างของลำอเล็กตรอนที่จะใช้แทนกรอบโลหะที่มีอยู่ปัจจุบัน โดยจะใช้ฉากเรืองแสงชนิด YAG ที่อาศัยการทำอันตรกริยาของลำอเล็กตรอนกับฉากโดยมีระบบขับเคลื่อนตัวฉากให้มีการขวางลำอเล็กตรอนเฉพาะเวลาที่มีการวัดค่าเท่านั้น ตัวระบบฉากเรืองแสงถูกผลิต ประกอบทดสอบ และติดตั้งวัดรูปร่างลำอเล็กตรอนเรียบร้อยแล้ว อย่างไรก็ตามพบปัญหาการรั่วของกระแสเกิดขึ้นซึ่งจะได้ปรับปรุงต่อไป โดยตัวระบบดังกล่าวยังสามารถเป็นารศึกษาเพื่อเป็นฐานสำหรับระบบวัดของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนระดับพลังงาน 3 GeV ในอนาคตอีกด้วย

คำค้น Keyword: Septum, Beam injection, Screen monitor, YAG, ฉากเรืองแสง

1. บทนำ

ฉากเรืองแสงหรือ scintillating screen อาศัยการเกิดอันตรกิริยาของวัสดุกับตัวกระตุ้นซึ่งอาจเป็นอนุภาคมีประจุเช่นอิเล็กตรอน การกระตุ้นจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮลแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ในวัสดุ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนไปชนกับอะตอมที่มีการโคปสาร์ก็จะเกิดการกระตุ้นและปลดปล่อยพลังงานในรูปของแสงเป็นปรากฏการณ์เรืองแสง โดยการเรืองแสงนี้จะเกิดขึ้นตามบริเวณที่เกิดการกระตุ้นเช่นขนาดของลำอิเล็กตรอน ฉากเรืองแสงถูกนำมาใช้ในเครื่องเร่งอนุภาคอย่างแพร่หลายโดยจะติดตั้งในบริเวณที่ต้องการทราบรูปร่างและตำแหน่งของลำอิเล็กตรอน การเดินเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่จำเป็นต้องมีลำอิเล็กตรอนที่มีคุณภาพจึงจำเป็นต้องมีอย่างยิ่งที่จะต้องวัดรูปร่างของลำอิเล็กตรอนเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องเร่งอนุภาคและควบคุมคุณภาพของลำอิเล็กตรอน กระบวนการที่มีความสำคัญในการเดินเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนคือการยิงลำอิเล็กตรอน (injection) ในกระบวนการดังกล่าวแม่เหล็ก Septum ตามรูปที่ 1 ซึ่งเป็นแม่เหล็กที่ทำหน้าที่รับลำอิเล็กตรอนจากปลาย High energy Beam Transport line (HBT) แล้วปรับแนวทางการเคลื่อนที่ส่งเข้าไปในวงกักเก็บอิเล็กตรอน โดยในโครงการนี้จะทำการออกแบบและติดตั้งระบบฉากเรืองแสงในตัวแม่เหล็ก Septum ซึ่งแต่เดิมมีเพียงกรอบโลหะที่มีรูสำหรับให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนผ่าน หากลำอิเล็กตรอนมีตำแหน่งเปลี่ยนไปมากจากค่าปกติจะทำให้เคลื่อนไปชนกับขอบของกรอบโลหะดังกล่าวตามรูปที่ 2 ที่พบจุดสว่างที่มุมบนขวาเนื่องจากการชนที่ฉาก SMI1 ที่ตอนต้นของแม่เหล็ก Septum และคล้ายกันที่ฉาก SMI2 ที่อยู่ปลายทางออกของแม่เหล็ก Septum



ฝาครอบแม่เหล็ก septum

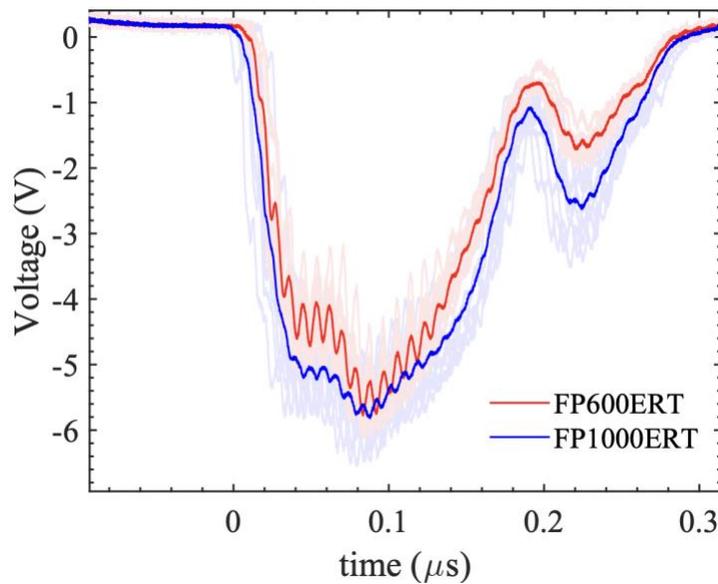


รูปที่ 1 แม่เหล็ก SEPTUM บริเวณวงกักเก็บอิเล็กตรอน



รูปที่ 2 แสดงการชนของลำอิเล็กตรอนที่กรอบโลหะในแม่เหล็ก Septum screen SMI1 และ SMI2

การชนของลำอิเล็กตรอนที่บริเวณกรอบโลหะที่ SMI1 จะทำให้เกิดการสูญเสียลำอิเล็กตรอนและทำให้ประสิทธิภาพยิงลำอิเล็กตรอน (injection efficiency) ลดลง โดยเมื่อมีการติดตั้งระบบวัดอัตราการสูญเสียลำอิเล็กตรอนที่อาศัยเส้นใยแก้วนำแสงในบริเวณดังกล่าวแล้วพบว่า การสูญเสียลำอิเล็กตรอนในกระบวนการยิงลำอิเล็กตรอนเกิดขึ้นมากอย่างมีนัยสำคัญบริเวณแม่เหล็ก Septum [1]



รูปที่ 3 สัญญาณการสูญเสียลำอิเล็กตรอนบริเวณแม่เหล็ก Septum สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงต่างชนิด [1]

จากรูปที่ 3 แสดงสัญญาณเปรียบเทียบการวัดการสูญเสียลำอิเล็กตรอนบริเวณแม่เหล็ก septum ของเส้นใยแก้วนำแสงแบบ FP600ERT ขนาดแกน 600 ไมโครเมตร (กราฟสีแดง) และ FP1000ERT ขนาดแกน 1000 ไมโครเมตร (กราฟสีน้ำเงิน) ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าแกนที่ใหญ่กว่าจะทำให้ได้สัญญาณมากกว่า นอกจากนี้เห็นว่ารูปร่างของสัญญาณแสดงให้เห็นรูปร่างโครงสร้างของขบวนลำอิเล็กตรอนประมาณ 13 ขบวน นี่จึงเป็นที่มาสำหรับการปรับปรุงโครงสร้างภายในของแม่เหล็ก septum เพื่อใช้ฉากเรืองแสงที่สามารถชักออกจากเส้นทางของลำอิเล็กตรอนได้ แทนที่กรอบโลหะที่อยู่กับที่และมีการขวางการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอน

## 2. วัตถุประสงค์

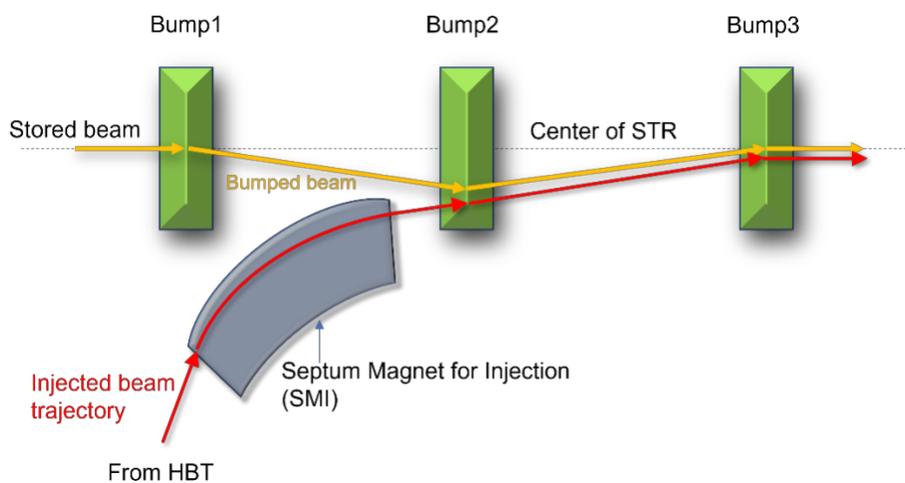
- 2.1 สำหรับออกแบบและจัดสร้างระบบวัดรูปร่างลำอิเล็กตรอนแบบฉากเรืองแสงในแม่เหล็ก Septum
- 2.2 เพื่อเพิ่มการพึ่งพาตัวเองในการผลิตชิ้นงานความละเอียดสูงและลดการนำเข้า
- 2.3 เพื่อนำระบบวัดรูปร่างลำอิเล็กตรอนแบบฉากเรืองแสงติดตั้งทดสอบที่เครื่องกำเนิดแสงสยามสำหรับศึกษาและปรับปรุงกระบวนการยิงลำอิเล็กตรอน
- 2.4 เป็นแนวทางของระบบวัดคุณลักษณะลำอิเล็กตรอนในเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนระดับพลังงาน 3 GeV ในอนาคต

## 3. แนวคิด/ทฤษฎี/หลักการ

การเดินเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนสำหรับให้บริการแสงซินโครตรอนต้องอาศัยการบังคับลำอิเล็กตรอนในวงกักเก็บอิเล็กตรอนอย่างมีประสิทธิภาพโดยมีกระบวนการต่างๆที่สำคัญและเกี่ยวข้องหลักแบ่งอย่างหยาบได้เป็นสามขั้นตอนคือ การยิงลำอิเล็กตรอน การเร่งอิเล็กตรอน และการกักเก็บอิเล็กตรอน ในขั้นตอนต่างๆจำเป็นต้องมีการตรวจสอบสถานะความปกติของอุปกรณ์ต่างๆ ดังนั้นอุปกรณ์วัดคุณลักษณะของลำอิเล็กตรอนซึ่งจะเป็นตัวสะท้อนสถานะของอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องตามเส้นทางเดินของลำอิเล็กตรอนจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างมาก เปรียบเสมือนกับประสาทสัมผัสของเครื่องเร่งอนุภาค อุปกรณ์วัดต่างๆจะถูกติดตั้งในบริเวณที่สำคัญและมีพื้นที่เพียงพอสำหรับติดตั้ง ยังมีดวงตาที่คอยทำหน้าที่ตรวจสอบความปกติก็ยิ่งสะดวกต่อการเดินเครื่องทั้งนี้การติดตั้งต้องมีข้อจำกัดด้านพื้นที่และต้นทุนของระบบวัด สำหรับโครงการระบบวัดรูปร่างของลำอิเล็กตรอนในแม่เหล็ก septum นั้นจะเป็นส่วนสำคัญในการศึกษาและเข้าใจกระบวนการยิงลำอิเล็กตรอนจากวง Booster ผ่าน High energy Beam Transport line (HBT) สำหรับในอิเล็กตรอนขึ้นมาเพื่อกักเก็บในวงกักเก็บอิเล็กตรอน

### 3.1 กระบวนการยิงลำอิเล็กตรอน (Beam Injection)

ตามที่ทราบกันดีว่ากระบวนการยิงลำอิเล็กตรอนเปรียบเสมือนการเริ่มต้นการเดินทางเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน การให้บริการแสงซินโครตรอนที่มีคุณภาพมีความเข้มสูงจำเป็นต้องมีกระแสของลำอิเล็กตรอนสูง ประสิทธิภาพการยิงลำอิเล็กตรอนมีผลโดยตรงต่อช่วงเวลารอต่อระหว่างการใช้บริการแสงซินโครตรอนโดยจะสามารถลดเวลาในการรอรอบการให้บริการแสงลงได้หากมีประสิทธิภาพในการยิงลำอิเล็กตรอนสูงขึ้น กระบวนการยิงลำอิเล็กตรอนเข้าสู่วงกักเก็บอิเล็กตรอนหลังจากเร่งพลังงานที่วง Booster แล้วส่งผ่านอิเล็กตรอนมาตาม HBT แล้วสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 4 ลำอิเล็กตรอนจากปลาย HBT จะเคลื่อนเข้าสู่แม่เหล็ก septum ที่เป็นแม่เหล็กสองขั้วแบบห้วงเวลาสั้น (pulsed magnet) ซึ่งทำหน้าที่ปรับเส้นทางการเคลื่อนที่จากแนว HBT เข้าสู่แนวของวงกักเก็บอิเล็กตรอน (Storage Ring: STR) โดยในส่วนของลำอิเล็กตรอนที่ถูกกักเก็บอยู่แล้วนั้นจะถูกเตะออกจากวงโคจรเดิมโดย แม่เหล็ก Bump1 เพื่อออกมาใกล้กับลำอิเล็กตรอนใหม่ที่ถูกยิงเข้ามา จากนั้นแม่เหล็ก Bump2 จะเตะกลับเข้าไปพร้อมลำอิเล็กตรอนที่เติมใหม่และเมื่อลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ถึงแม่เหล็ก Bump3 ทั้งลำอิเล็กตรอนเดิมและที่เพิ่งถูกยิงเข้ามาจะถูกเตะให้อยู่ในแนวที่เคลื่อนไปในวงกักเก็บอิเล็กตรอนได้และเกิดการรับลำอิเล็กตรอนใหม่ให้เข้ากับลำอิเล็กตรอนเดิมผ่านกระบวนการสูญเสียโมเมนตัมในแนวตามขวางผ่านการปลดปล่อยแสงซินโครตรอน (Radiation damping) จะเห็นว่าแม่เหล็ก Septum มีหน้าที่สำคัญในกระบวนการยิงลำอิเล็กตรอนจึงมีการติดตั้งระบบวิศวกรรมลำอิเล็กตรอนที่บริเวณต้นทางและปลายทางของตัวแม่เหล็ก septum เพื่อเป็นจุดอ้างอิงและตรวจสอบกระบวนการยิงลำอิเล็กตรอนนั่นเอง

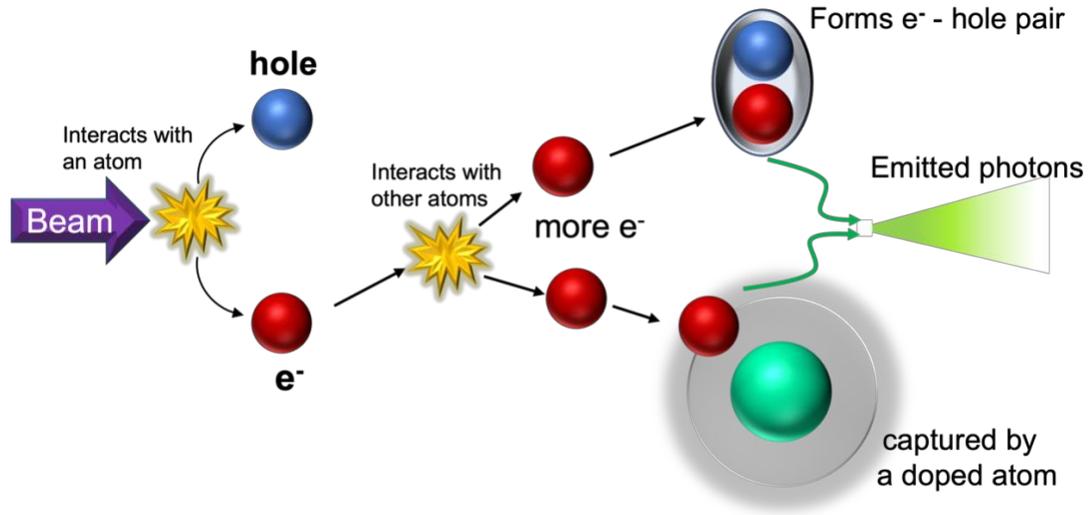


รูปที่ 4 แสดงกระบวนการยิงลำอิเล็กตรอนเข้าสู่วงกักเก็บอิเล็กตรอน

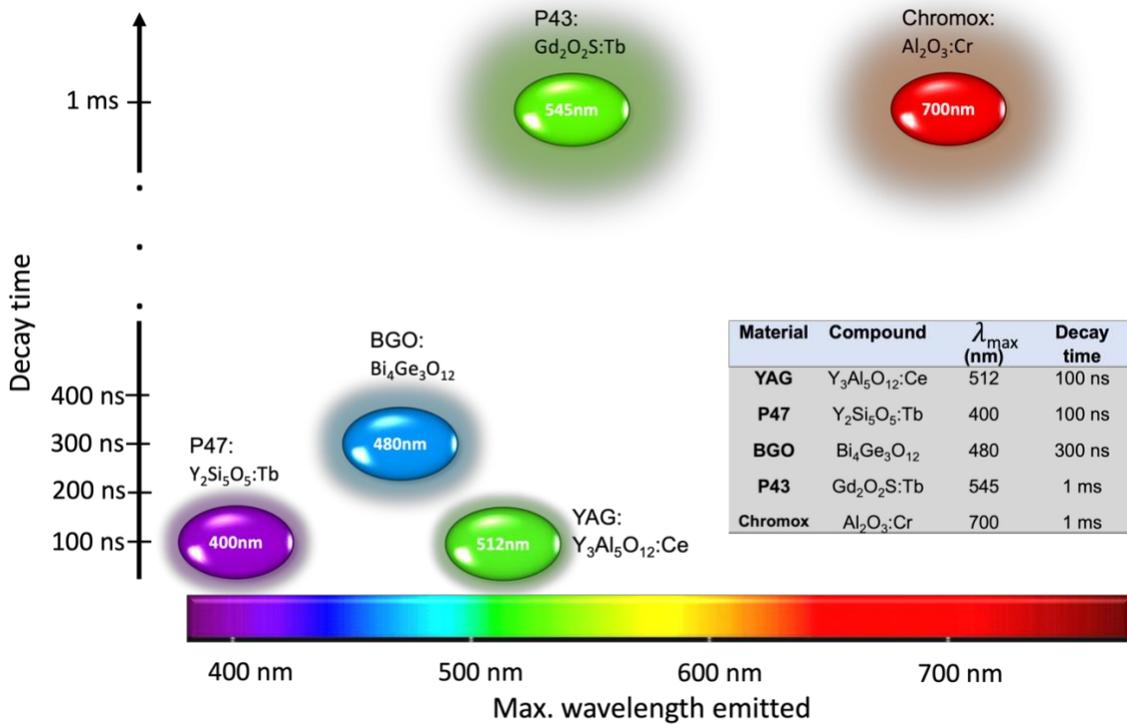
### 3.2 วัสดุสำหรับฉากเรืองแสงเพื่อวัดรูปร่างลักษณะของลำอเล็ก็ตรอน

รูปร่างลักษณะของลำอเล็ก็ตรอนตามขวางสามารถวัดได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม การวัดทางตรงสามารถวัดได้จากอันตรกรรยาของลำอเล็ก็ตรอนกับวัสดุเครื่องมือวัดโดยตรงซึ่งทำให้เกิดการชนกับวัสดุเช่น วัสดุเส้นลวดโลหะ (wire scanner) ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Photo electric หรือวัสดุฉากเรืองแสง (scintillating screen) ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรืองแสง หรือวัสดุฉาก OTR ที่เป็นแผ่นโลหะบางทำให้เกิดปรากฏการณ์ Transition radiation โดยการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ต่างๆเหล่านี้ที่ถูกการกระตุ้นโดยตรงจากลำอเล็ก็ตรอนทำให้รู้ถึงรูปร่างขนาด และตำแหน่งของลำอเล็ก็ตรอนได้ โดยระบบวัดรูปร่างลำอเล็ก็ตรอนที่มีทั้งฉากเรืองแสงและฉาก OTR ได้ถูกออกแบบและจัดสร้างสำหรับใช้งานที่ HBT และเป็นตัวต้นแบบสำหรับระบบวัดรูปร่างลำอเล็ก็ตรอนสำหรับเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนระดับพลังงาน 3 GeV [2] การวัดรูปร่างลำอเล็ก็ตรอนทางตรงเหล่านี้จะสังเกตได้ว่าการชนและสูญเสียไปของลำอเล็ก็ตรอนหรือ invasive แต่เป็นการวัดแบบพื้นฐานที่มีความซับซ้อนน้อยใช้พื้นที่น้อย ในทางกลับกันการวัดรูปร่างของลำอเล็ก็ตรอนสามารถทำได้โดยทางอ้อมที่ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียลำอเล็ก็ตรอน (non-invasive) สามารถได้โดยการวิเคราะห์แสงซินโครตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากลำอเล็ก็ตรอนและใช้ระบบสร้างภาพจากเลนส์ หรือ interferometer สำหรับการวัดรูปร่างของลำอเล็ก็ตรอนที่ต้องการในบริเวณเฉพาะเจาะจงจำเป็นต้องใช้การวัดแบบโดยตรงโดยในโครงการนี้จะทำการศึกษาการวัดรูปร่างของลำอเล็ก็ตรอนภายในแม่เหล็ก septum ซึ่งจะใช้ฉากเรืองแสงที่สามารถวัดรูปร่างลำอเล็ก็ตรอนได้รวดเร็วและไม่ซับซ้อนโดยจะนำไปแทนที่กรอบโลหะ SMI1 และ SMI2 ที่อยู่ต้นและปลายของตัวแม่เหล็ก septum ตามลำดับ

กระบวนการเรืองแสง scintillation เป็นพื้นฐานสำหรับการวัดรูปร่างของลำอเล็ก็ตรอนโดยใช้ฉากเรืองแสงโดยสามารถอธิบายอย่างง่ายได้ตามแผนภาพในรูปที่ 5 ลำอเล็ก็ตรอนพลังงานสูงเมื่อชนกับวัสดุฉากเรืองแสงจะกระตุ้นอะตอมในวัสดุทำให้เกิดการหลุดออกของอเล็ก็ตรอนอิสระและโฮล (สภาวะพร่องอเล็ก็ตรอน, hole) อเล็ก็ตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ที่เกิดขึ้นจากการชน จะไปกระตุ้นให้เกิดอเล็ก็ตรอนอิสระที่อะตอมรอบข้างคล้ายกับปฏิกิริยาลูกโซ่ อเล็ก็ตรอนอิสระอาจเกิดการควมรวมกับโฮลเป็นคู่อเล็ก็ตรอนโฮล หรืออาจเข้ากับอะตอมที่มีการเจือสาร ซึ่งกระบวนการดังกล่าวอเล็ก็ตรอนจะคลายพลังงานออกมาในรูปของแสง โดยสีของแสงจะขึ้นกับพลังงานที่อเล็ก็ตรอนอิสระปลดปล่อยออกมาซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำฉากเรืองแสงซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ดังรูปที่ 6 โดยขอบเขตการเกิดแสงจะแปรเปลี่ยนตามขนาดรูปร่างของลำอเล็ก็ตรอนที่เป็นตัวกระตุ้นโดยตรงจึงทำให้เราได้ภาพของลำอเล็ก็ตรอนผ่านการเปล่งแสงของฉากเรืองแสงนั่นเอง โดยความเข้มของแสงแปรผันตามความเข้มของลำอเล็ก็ตรอนอีกด้วย



รูปที่ 5 แสดงกระบวนการเรืองแสงในวัสดุ



รูปที่ 6 คุณสมบัติของสารเรืองแสงสำหรับระบบวัดคุณลักษณะอนุภาค [3]

จากรูปที่ 6 วัสดุต่างชนิดจะสามารถทำให้เกิดการเรืองแสงที่สีต่างกันและความไวในการลดลงของแสง (decay time) แตกต่างกันไปตั้งแต่สีม่วงจนถึงสีแดงและความไวการลดลงของแสงตั้งแต่ 100 ns จนถึง 1 m สำหรับฉากที่ใช้ในเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนที่อยู่บริเวณ Low energy Beam Transport line (LBT) และ High energy Beam Transport line (HBT) ใช้สารเรืองแสงชนิด Chromox ที่ให้แสงออกสีส้มแดงดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ภาพตามขวางรูปร่างลำอิเล็กตรอนบริเวณฉากเรืองแสง H-SCM1

อย่างไรก็ตามฉากเรืองแสงชนิด Chromox ที่ให้แสงออกสีแดงมีความไวในการลดลงของแสงต่ำซึ่งจะสังเกตได้จากความเข้มแสงบนฉากเมื่อมีการชนของลำอิเล็กตรอนมีการลดลงช้าซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลตามรูปที่ 6 โดยการลดลงของแสงช้านี้จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดได้เนื่องจากสัญญาณแสงจากการชนของลำอิเล็กตรอนในรอบก่อนหน้าจะสามารถมีอยู่ในขณะที่มีการชนของลำอิเล็กตรอนในรอบถัดมา ดังนั้นในกรณีที่อุดมคติจะต้องให้ความไวการลดลงของแสงต่ำ นี่จึงเป็นเหตุผลที่วัสดุสำหรับทำฉากเรืองแสงที่ได้รับความนิยมสูงจึงเป็นชนิด YAG ซึ่งเป็นสารประกอบ  $Y_3Al_5O_{12}:Ce$  ที่ให้แสงออกสีเขียวเหลืองมีความยาวคลื่นในช่วงประมาณ 512 nm และมีความไวการลดลงของแสงเพียงประมาณ 100 ns ซึ่งสั้นมาก โดยการปรับปรุงระบบวัดรูปร่างลำอิเล็กตรอนในแม่เหล็ก septum จะใช้ฉากเรืองแสงชนิด YAG เช่นเดียวกัน

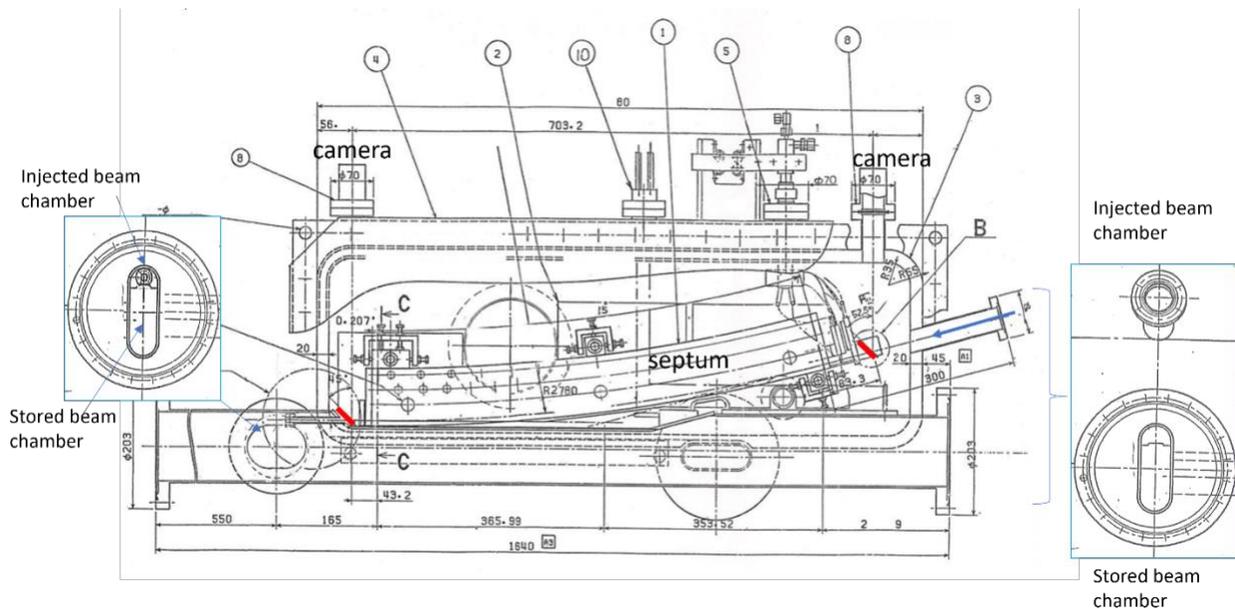
ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเนื่องจากการวัดรูปร่างของลำอิเล็กตรอนด้วยฉากเรืองแสงจะทำให้เกิดการสูญเสียลำอิเล็กตรอนทำให้ในระบบวัดรูปร่างจะต้องถูกออกแบบตัวฉากที่ขวางกั้นทางเดินของลำอิเล็กตรอนสามารถถูกเลื่อนเข้าและออกจากแนวของลำอิเล็กตรอนได้

#### 4. วิธีกรดำเนงงาน

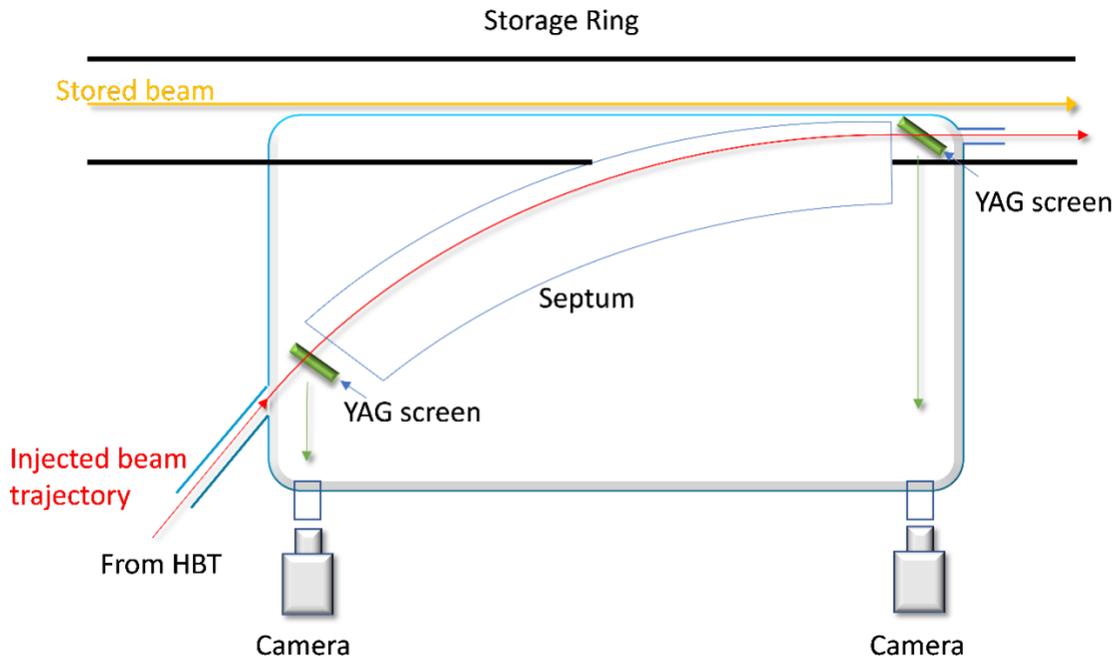
การดำเนงงานมีข้ตอนหลักจะประกอบไปด้วยสามส่วนหลังคือ 1) การอกแบบ 2) การผลิตข้เนงงาน และ 3) การประกอบทดสอบ

##### 4.1 การอกแบบโครงสร้างระบบวัดรูปร่างลำอเล็ก็ตรอนในแม่เหล็ก septum

เนืองจากตัวแม่เหล็ก septum บนวงกักเก็บอเล็ก็ตรอนไม่เคยได้ถูกเปิดมาก่อนเพื่อตรวจสอบขนาดมิติต่างๆที่สำคัญจึงต้องอาศัยการค้จกเอกสารเก่าโดยหมายเลขภาพวาดแบบภายในที่พบสำหรับแม่เหล็กดังกล่าวคือ AK02041 ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งจะเห็นว่าตัวแม่เหล็ก septum ถูกเก็บไว้ในสภาวะสุญญากาศด้วยตัวกล่องขนาดค้จงใหญ่ ท่อสุญญากาศด้านขวาที่นำลำอเล็ก็ตรอนมาจากปลาย HBT จะแบ่งแยกชัดเจนระหว่างท่อของลำอเล็ก็ตรอนใหม่และลำอเล็ก็ตรอนเดิมในวงกักเก็บอเล็ก็ตรอนโดยเมื่อผ่านตัวแม่เหล็ก septum ซึ่งมีรัศมีความค้จงที่ 2780 mm และมุมรวม 15 องศา ลำอเล็ก็ตรอนใหม่จะถูกนำเข้าไปใกล้กับลำอเล็ก็ตรอนเดิมดังท่อทางด้านซ้ายด้วยระยะประมาณ 43 mm โดยกรอบโลหะที่ใช้สำหรับควบคุมตำแหน่งของลำอเล็ก็ตรอนใหม่ถูกแสดงด้วยสีแดงดังในรูป โดยกรอบโลหะ SMI1 และ SMI2 ถูกวางเป็นมุมกับกล่อง 52.5 และ 45 องศา ตามลำดับมุมของ SMI1 มีค่ามากกว่าเนืองจากลำอเล็ก็ตรอนที่มาจาก HBT ขาเข้ามีมุม 15 องศา



รูปที่ 8 แบบเชิงวิศวกรรมของแม่เหล็ก septum เดิม (top view), กรอบโลหะ SMI1 และ SMI2 แสดงตามสีแดง



รูปที่ 9 ระบบวัดรูปร่างลำอิเล็กตรอนโดยใช้ฉากเรืองแสงในแม่เหล็ก Septum มองจากด้านบน

เพื่อให้เห็นภาพชัดสามารถเขียนแบบอย่างง่ายได้ดังแสดงในรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าการออกแบบฉากเรืองแสงจะต้องนำไปแทนที่กรอบโลหะที่ต้นและปลายตัวแม่เหล็ก septum ซึ่งจะมีช่องทางออกของสัญญาณแสงมาที่กล้องที่ด้านข้างของกล่องบรรจุแม่เหล็ก septum สำหรับฉากเรืองแสงที่ต้องการมีการชักเข้าและออกจากเส้นทางการเคลื่อนไปของลำอิเล็กตรอนต้องมีพื้นที่สำหรับระบบขับเคลื่อนที่จับยึดกับฉากเรืองแสง (holder) โดยจะสามารถทำได้โดยให้อยู่ในแนวตั้งเท่านั้นเนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ใดมาขวางกั้นการเคลื่อนของแกนจับและฉาก ดังนั้นต้องทำการแปลงฝาครอบตัวกล่องแม่เหล็ก septum โดยการเจาะรูที่ฝาทั้งสองที่บริเวณเหนือฉากเรืองแสงสำหรับติดตั้งระบบขับเคลื่อน แกนจับ และตัวฉากเรืองแสง เนื่องจากต้องมีการเปิดและเปลี่ยนฝาของแม่เหล็ก septum จึงต้องมีการเปลี่ยนตัวปิดสถานะสุญญากาศ (vacuum seal) โดยอิงจากการใช้งานเดิมจะพิจารณาเลือกใช้ตัวปิดสถานะสุญญากาศของ Helicoflex โดยในกรณีที่จะใช้ในงานนี้เป็น Helicoflex HN230 ดังแสดงในรูปที่ 10 คุณสมบัติของตัวปิดสถานะสุญญากาศของ Helicoflex คือเป็นวัสดุโลหะทำให้มีความคงทนแข็งแรงมากกว่า O-ring ทั่วไป โดยจาก ระหว่างวัสดุโลหะสองอันจะแทรกด้วยขดลวดสปริงขนาดเล็กทำหน้าที่แยกวัสดุโลหะและต้านแรงสำหรับการปิดกั้นสถานะสุญญากาศที่ต้องการใช้แรงกดจากน็อตรอบๆ ฝาของแม่เหล็ก septum ทำให้เกิดการปิดกั้นอากาศได้อย่างดี



รูปที่ 10 ตัวปิดสภาวะสุญญากาศ Helicoflex HN230 สำหรับฝาแม่เหล็ก septum

สำหรับระบบขับเคลื่อนแบบ pneumatic ที่ใช้แรงดันลมในการขับเคลื่อนแทนที่จะเป็นระบบไฟฟ้า เนื่องจากการควบคุมตำแหน่งเป็นไปอย่างรวดเร็ว ไม่ได้ต้องการความแม่นยำสูงนัก และตำแหน่งที่ใช้งานมักได้ถูกระบุไว้แน่นอนแล้วจึงมีเพียงสองสถานะคือเปิดกับปิดเท่านั้น นอกจากนี้เพื่อให้มีการปรับมุมของตัวฉากได้จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบขับในแนวเส้นรอบวงหรือ rotary drive ซึ่งทำได้ด้วยการหมุนด้วยมือเท่านั้นเนื่องจากจะใช้ก็ต่อเมื่อมีการปรับตั้งสำหรับระบบเงื่อนไขการใช้งานช่วงเริ่มต้นเท่านั้น ในส่วนของตำแหน่งกล้องจะมีการปรับปรุงให้มีระยะต่างไปจากระยะของลำอิเล็กตรอนเพื่อลดการเสียหายจากการถูกแผ่รังสี (radiation damage) ที่ตัวเซนเซอร์รับภาพ

#### 4.2 การผลิตชิ้นงานระบบวัสดุรูปร่างลำอิเล็กตรอนแบบฉากเรืองแสงในแม่เหล็ก septum

การผลิตชิ้นงานส่วนใหญ่จะทำเองโดยสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอนเพื่อลดงบประมาณต้นทุน อย่างไรก็ตามก็ยังมีชิ้นส่วนที่แม่เหล็ก septum ที่ต้องการควบคุมความเรียบของผิวคุณภาพสูงซึ่งไม่สามารถทำได้ในสถาบันฯ จึงต้องส่งชิ้นงานไปเจียรระโนผิวด้านในของแม่เหล็ก septum

วัสดุฉากเรืองแสงแบบ YAG จะต้องมีการสั่งผลิตจากบริษัทที่มีความเชี่ยวชาญโดยความหนาของตัววัสดุจะถูกกำหนดจากค่าพลังงานและกระแสของลำอิเล็กตรอน ฉากเรืองแสง YAG จากบริษัท crytur ประเทศสาธารณรัฐเชคเสนอมาที่ความหนา 0.1 mm มีการเคลือบสาร Indium tin oxide: ITO ความหนา 20 nm หนึ่งด้านสำหรับป้องกันความชื้นและปฏิกิริยาทางเคมีที่ผิวของฉากเรืองแสง เช่นเดียวกับระบบขับเคลื่อนแบบ pneumatic ที่ไม่สามารถผลิตเองได้ก็จำเป็นต้องสั่งซื้อมาประกอบ

นอกจากนี้ยังมีการจัดซื้อบางชิ้นส่วนมาตรฐานที่อาจไม่ได้มีความซับซ้อนแต่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปและราคาไม่แพงเช่นนี้อตขนาดต่างๆ

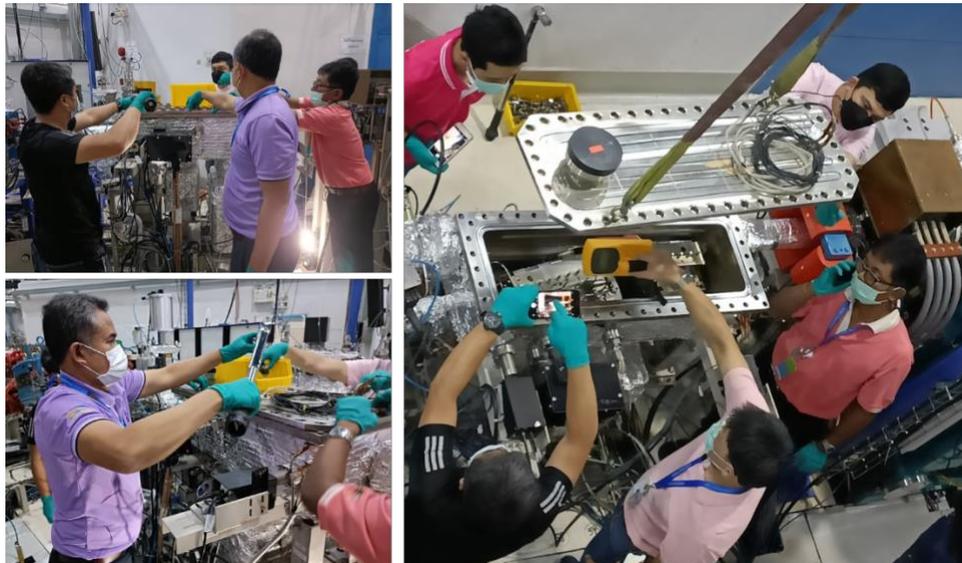
#### 4.3 การประกอบทดสอบระบบวัดรูปร่างลำอเล็กทรอนิกส์แบบฉากเรืองแสงในแม่เหล็ก septum

ก่อนการติดตั้งจริงจะมีการประกอบทดสอบที่จะทำในห้องทดลองก่อนเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการผลิตและความเข้ากันได้ของชิ้นงานทุกชิ้นตามแบบที่ส่งผลิต

ในส่วนการทดสอบคุณสมบัติทางสุญญากาศจะไม่สามารถทำได้กับตัวแม่เหล็ก septum จริงเนื่องจากมีการให้บริการแสงซินโครตรอนจึงต้องมีการสร้างอุปกรณ์เสริมขึ้นสำหรับทดสอบ

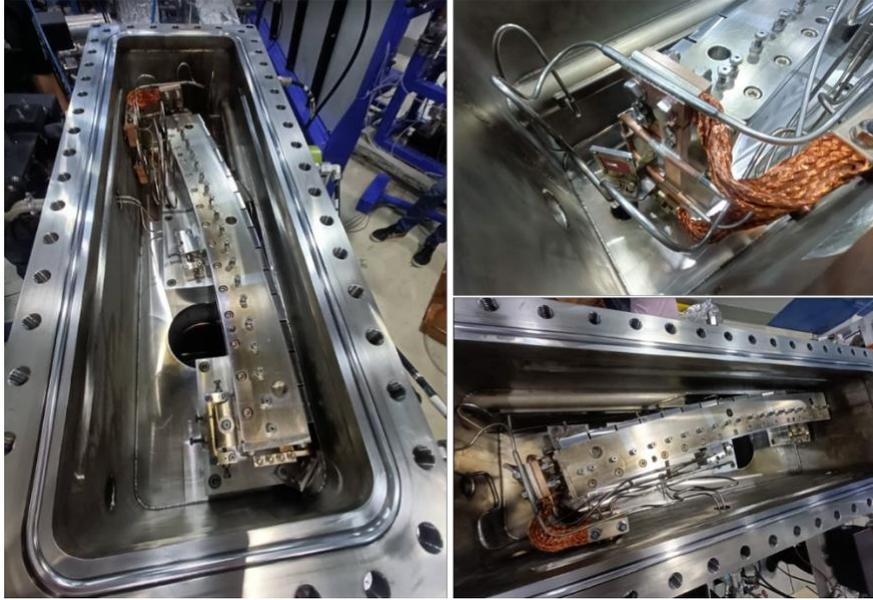
#### 4.4 การติดตั้งใช้งานระบบวัดรูปร่างลำอเล็กทรอนิกส์แบบฉากเรืองแสงในแม่เหล็ก septum

เมื่อมีการทดสอบเรียบร้อยแล้วตามขั้นตอนขั้นต้น จึงได้มีการติดตั้งระบบวัดรูปร่างลำอเล็กทรอนิกส์แบบฉากเรืองแสงในแม่เหล็ก septum โดยต้องมีการยกตัวครอบกันรังสีออกและ เปิดฝาแม่เหล็ก septum เดิมออก โดยตลอดกระบวนการจะต้องทำการวัดรังสีไม่ให้เกินค่าที่ทำงานได้ซึ่งดำเนินการโดยส่วนความปลอดภัย ด้วยเครื่องวัดแบบมือถือดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 การเปิดฝาแม่เหล็ก septum และวัดค่ารังสี

เมื่อทำการเปิดฝาครอบแม่เหล็ก septum แล้วจะสามารถเห็นชิ้นส่วนตัวแม่เหล็ก septum ระบบน้ำหล่อเย็นและระบบไฟฟ้าที่ใช้สำหรับตัวแม่เหล็ก septum ดังแสดงได้ในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ภายในฝาครอบแม่เหล็ก septum

จะสังเกตเห็นได้ว่าตัวแม่เหล็กมีความโค้งเพื่อนำลำอิเล็กตรอนจากปลาย HBT เข้ามาสู่วงกักเก็บอิเล็กตรอน จากนั้นจึงได้ทำการถอดตัวฉาก Chromox เดิมออก ดังที่แสดงตามรูปที่ 13



รูปที่ 13 ฉาก Chromox ที่ถูกติดตั้งอยู่เดิม

จะพบว่าบริเวณที่ติดตั้งตัวฉาก SMI-SCM2 นั้นมีความแคบมาก โดยด้านหน้าจะติดกับขดลวดของแม่เหล็ก septum และก่อนรูออกของแม่เหล็ก septum ที่จะส่งอิเล็กตรอนเข้าสู่วงกักเก็บอิเล็กตรอน และนอกจากนี้ยังพบว่าตัวฉาก SMI-SCM1 นั้นมีการแตกที่บริเวณ มุมทะแยงซ้ายบนถึงขวาล่าง



รูปที่ 14 การติดตั้งฉากรอบแม่เหล็ก septum ที่มีระบบฉากเรองแสง

จากการที่บริเวณสำหรับการติดตั้ง SCM2 นั้นแคบกว่าการคาดการณ์ ทำให้จำเป็นต้องมีการดัดแปลงกรอบจับยึดฉากเรองแสงโดยการตัดกรอบด้านที่ใกล้กับขดลวดของแม่เหล็ก septum ออกฝั่งหนึ่งตามรูปที่ 14 จึงจะสามารถติดตั้งฉากเรองแสงให้เป็นมุมที่ต้องการได้ โดยการปิดฉาแม่เหล็ก septum ที่มีระบบฉากเรองแสงใหม่จะต้องเปลี่ยนตัวกันสุญญากาศ (vacuum seal) ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 Helicoflex vacuum seal อันเดิม (ซ้าย) และอันใหม่ (ขวา)

เมื่อทำการปิดฉาแม่เหล็ก septum เรียบร้อยแล้วจึงได้ทำการอบด้วยความร้อนเพื่อไล่อากาศ (vacuum bakeout) โดยต้องมีการเตรียมติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อน ป้อนสุญญากาศ และอุปกรณ์ควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 การเตรียมแม่เหล็ก Septum เพื่อการทำอบล้ออากาศ

โดยเมื่อผ่านกระบวนการอบล้ออากาศแล้วทำการปั๊มทำสภาวะสุญญากาศแล้วพบการซึมของอากาศจึงมีการเพิ่ม torque สำหรับการอัดน็อตเพื่อปิดฝา septum เพิ่มขึ้นแล้วจึงทำการอบซ้ำจึงได้สภาวะสุญญากาศในแม่เหล็ก septum ที่ใช้งานได้

## 5 ผลลัพธ์ และอภิปรายผล

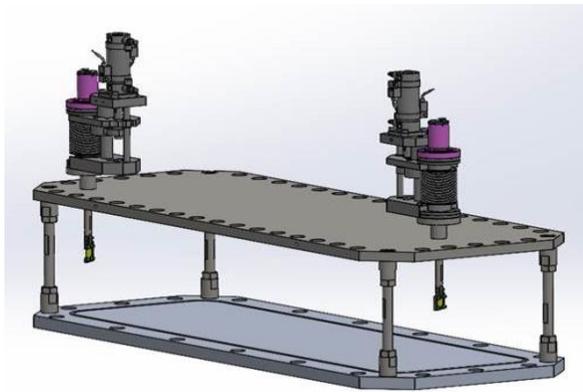
ผลลัพธ์ในขั้นนี้จะนำเสนอในส่วนของการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับการใช้งานและการประกอบทดสอบระบบเบื้องต้นสำหรับซักซ้อมเพื่อการติดตั้งชิ้นงานจริง

### 5.1 ผลการออกแบบเชิงวิศวกรรมของระบบวัดรูปร่างลำอิเล็กตรอนแบบฉากเรืองแสงในแม่เหล็ก septum

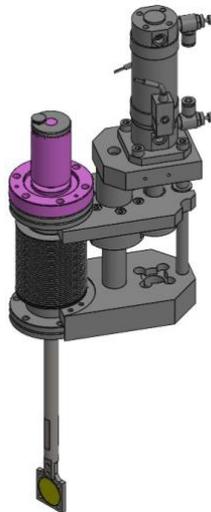
การออกแบบทางวิศวกรรมของระบบวัดรูปร่างลำอิเล็กตรอนแบบฉากเรืองแสงในแม่เหล็ก septum ของวงกักเก็บอิเล็กตรอนสำเร็จเรียบร้อย โดยส่วนประกอบหลักแบ่งออกได้เป็น 1) ฝาครอบแม่เหล็ก septum 2) ระบบขับแกนจับฉากเรืองแสง และ 3) กรอบจับฉากเรืองแสง โดยในภาพรวมเมื่อประกอบส่วนต่างทั้งหมดโดยเป็นระบบสำหรับการทดสอบจะได้โครงสร้างสามมิติตามแบบดังแสดงในรูปที่ 17 โดยแบบเชิงวิศวกรรมโดยละเอียดอยู่ในภาคผนวก เนื่องจากการประกอบทดสอบจะไม่สามารถนำชิ้นงานทั้งหมดเข้าไปประกอบกับตัวแม่เหล็ก septum จริงได้เนื่องจากมีการให้บริการแสงซินโครตรอน และต้องทำการทดสอบในช่วงเวลาปิดเครื่องกำเนิดแสงสยามที่เป็น machine shutdown เท่านั้น จึงออกแบบกล่องแม่เหล็ก septum จำลองขึ้นมาสำหรับการทดสอบประกอบระบบเท่านั้น โดยตัวฝาครอบแม่เหล็ก septum มีขนาดเท่ากับฝาครอบแม่เหล็กเดิมแต่มีการเจาะฝา

ด้านบนสำหรับให้แกนจับฉากเรืองแสงที่ต้องการเคลื่อนที่ขึ้นเมื่อไม่ใช้งานสำหรับวัดรูปร่างลำอเล็กทรอนิกส์ และเคลื่อนลงไปปิดกั้นเส้นทางการเคลื่อนที่ของลำอเล็กทรอนิกส์เมื่อมีการวัดรูปร่างลำอเล็กทรอนิกส์ โดยตำแหน่งของฉากเรืองแสงใหม่จะต้องตรงกับตำแหน่งเดิมของกรอบโลหะ SMI1 และ SMI2 ในส่วนของตัวกล่องจำลองจะประกอบไปด้วยแผ่นรองฐานและแกนเสาแนวตั้งสำหรับพยุงตัวฝาครอบแม่เหล็ก septum

รูปที่ 18 แสดงแบบทางวิศวกรรมสามมิติของระบบขับเคลื่อนแกนจับยึดฉากเรืองแสง โดยส่วนบนจะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมและขับเคลื่อนตำแหน่งของแกน มีตัวควบคุมทิศทางของแรงอัดอากาศและท่อทรงกระบอกสำหรับแรงดันอากาศที่จะไปควบคุมตำแหน่งให้มีการหดเข้าหรือยืดออกกับอุปกรณ์ที่ติดอยู่ด้านล่าง

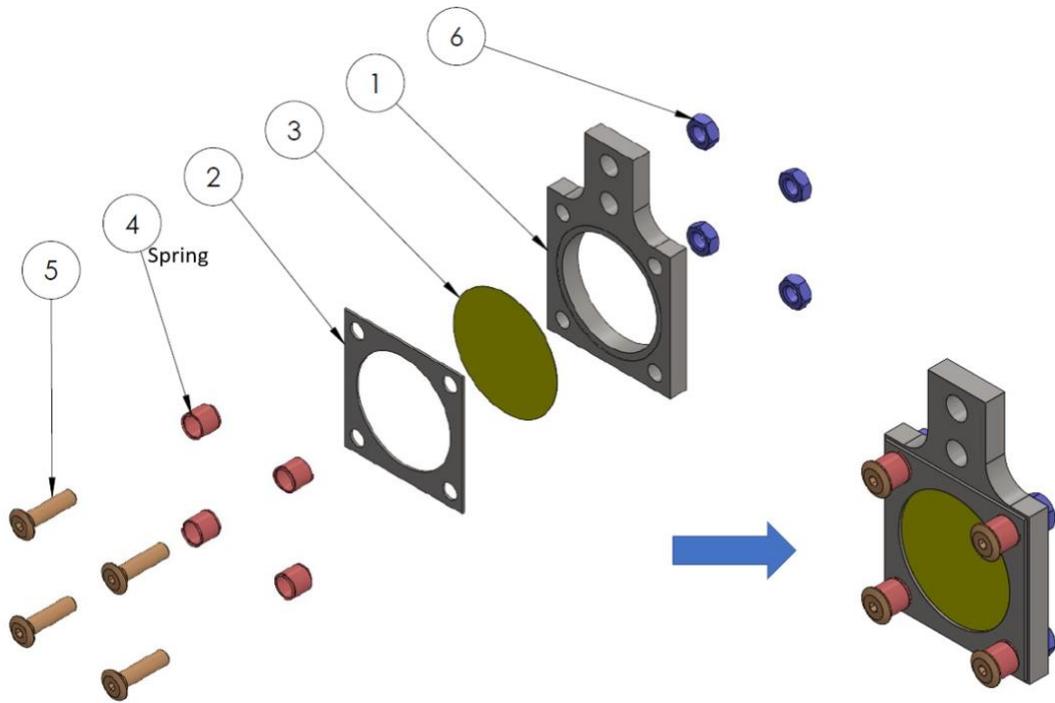


รูปที่ 17 แบบทางวิศวกรรมสามมิติของฝาครอบแม่เหล็ก Septum พร้อมระบบวัดรูปร่างของลำอเล็กทรอนิกส์แบบฉากเรืองแสงชนิด YAG



รูปที่ 18 แบบทางวิศวกรรมของระบบขับเคลื่อนแกนจับยึดฉากเรืองแสงสำหรับระบบวัดรูปร่างของลำอเล็กทรอนิกส์ในแม่เหล็ก Septum

และมี rotary drive สำหรับหมุนเปลี่ยนระนาบของแกนได้ ด้านล่างของท่อทรงกระบอกจะติดตั้งกับแกนที่ใช้จับยึดกับฉากเรืองแสงเพื่อยื่นเข้าไปให้ได้ระนาบเส้นเดินทางของลำอเล็กทรอนิกส์ที่ถูกส่งเข้ามาที่แม่เหล็ก septum ที่ปลายของแกนจับฉากเรืองแสงจะถูกประกอบกับกรอบจับยึดฉากเรืองแสงดังแสดงในรูปที่ 19 ในการจับยึดฉากเรืองแสงซึ่งเป็นแผ่นผลึกมีความเปราะบางต้องออกแบบตัวกรอบจับยึดให้มีความยืดหยุ่นและสามารถจับตัวฉากให้อยู่กับที่ได้ โดยตัวกรอบจะมีกรอบหลัก ① สำหรับพยาง และกรอบสำหรับล๊อค ② ฉากเรืองแสง ③ โดยอาศัยน็อตและสปริง ④ เป็นตัวขันเมื่อทำการขันน็อต จะเกิดแรงผลึกให้กรอบล๊อคจับยึดฉากเรืองแสงให้เข้ากับกรอบหลักและจะไม่ทำให้เกิดการล๊อคแน่นเกินไปจนทำให้ฉากเรืองแสงแตกหักได้



รูปที่ 19 แบบกรอบจับยึดฉากเรืองแสงสำหรับระบบวัดรูปร่างของลำอเล็กทรอนิกส์ในแม่เหล็ก Septum

## 5.2 ผลการผลิตชิ้นงานและทดสอบระบบวัดรูปร่างลำอเล็กทรอนิกส์ในแม่เหล็ก septum

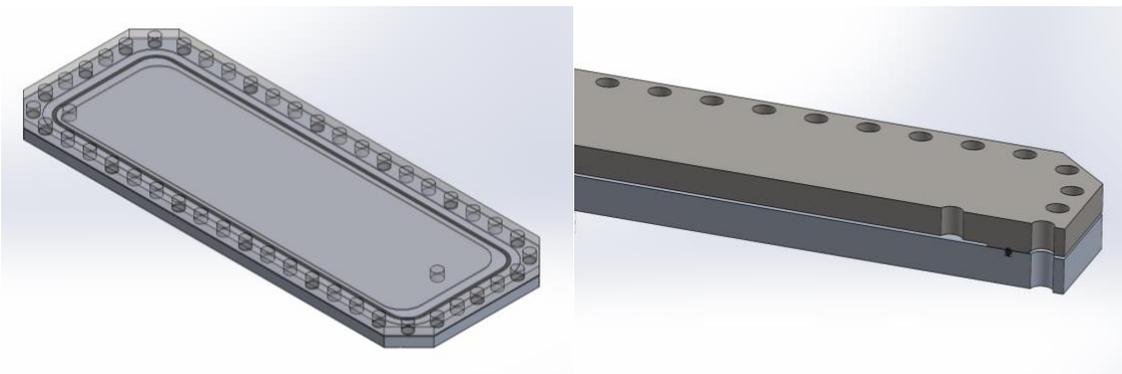
ตัวฝาครอบแม่เหล็ก septum ทำจาก stainless steel 304 ตามมิติที่ออกแบบแต่เนื่องจากความต้องการความเรียบของผิวด้านในโดยเฉพาะบริเวณที่สัมผัสกับตัวปิดกั้นสุญญากาศ จึงต้องมีการส่งชิ้นงานไปทำการเจียรระนาบผิวดังกล่าวให้เป็นไปตามความต้องการ

เมื่อมีการผลิตตัวฝาครอบเรียบร้อยแล้วจึงมีการทดสอบความเรียบบริเวณผิวสัมผัสสำหรับการปิดกั้นสุญญากาศตามแสดงในรูปที่ 20 โดยการทดสอบจะใช้ Portable Coordinate Measuring Machine ได้ผลต่างระนาบผิว <50 ไมโครเมตร



รูปที่ 20 การทดสอบความเรียบบริเวณผิวสัมผัสสำหรับการปิดกั้นสุญญากาศ

เนื่องจากการทดสอบคุณสมบัติความเป็นสุญญากาศจะไม่สามารถทำกับชิ้นงานจริงที่ตัวแม่เหล็ก Septum ได้เนื่องจากมีการเดินเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนจึงมีการออกแบบวางแผนการทดสอบโดยสร้าง Dummy chamber ขึ้นมาเพื่อใช้ประกบกับตัวฝาของแม่เหล็ก septum และใช้ O-RING VITON:75X6 MM.-MOLD-สีดำ-75SH สำหรับการปิดกั้นสุญญากาศตามรูปที่ 21 โดยความแตกต่างของการทดสอบนี้กับการใช้งานจริงคือตัวปิดกั้นสุญญากาศจะใช้ Helicoflex แทน O-RING



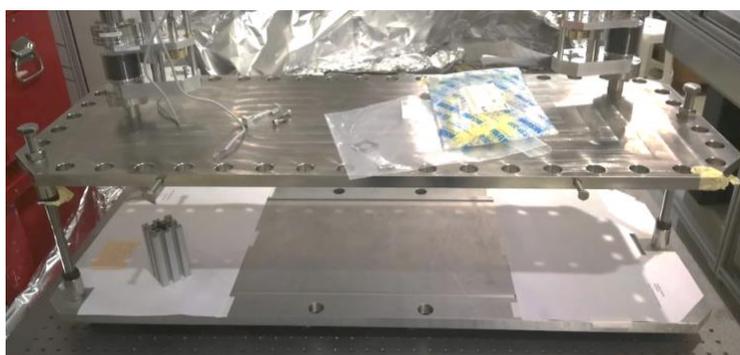
รูปที่ 21 แผนการทดสอบคุณสมบัติความเป็นสุญญากาศของฝาครอบแม่เหล็ก Septum โดยใช้ Dummy chamber

การประกอบทดสอบสำหรับเข้าสู่กระบวนการทดสอบคุณสมบัติความเป็นสุญญากาศ leak test ตามรูปที่ 22 พบว่าไม่มีรอยรั่วและได้สภาวะสุญญากาศต่ำตามมาตรฐาน



รูปที่ 22 การทดสอบคุณสมบัติความเป็นสุญญากาศของฝาครอบแม่เหล็ก Septum

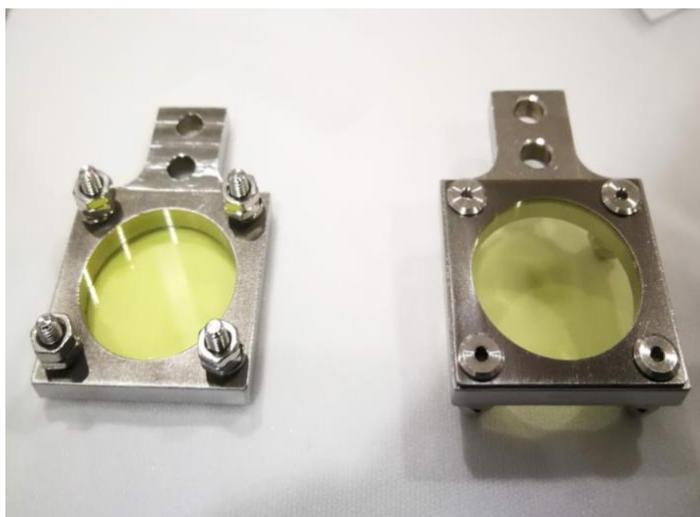
โดยเมื่อประกอบชิ้นงานฝาครอบแม่เหล็ก septum เข้ากับกล่องแม่เหล็ก septum จำลอง จากนั้นจะประกอบกับระบบขับเคลื่อนแกนจับยึดฉากเร่องแสงได้ตามแบบในรูปที่ 17 ดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 การทดสอบติดตั้งฝาครอบแม่เหล็ก septum พร้อมระบบวัดรูปร่างล่ำอเล็กตรอนแบบฉากเร่องแสง

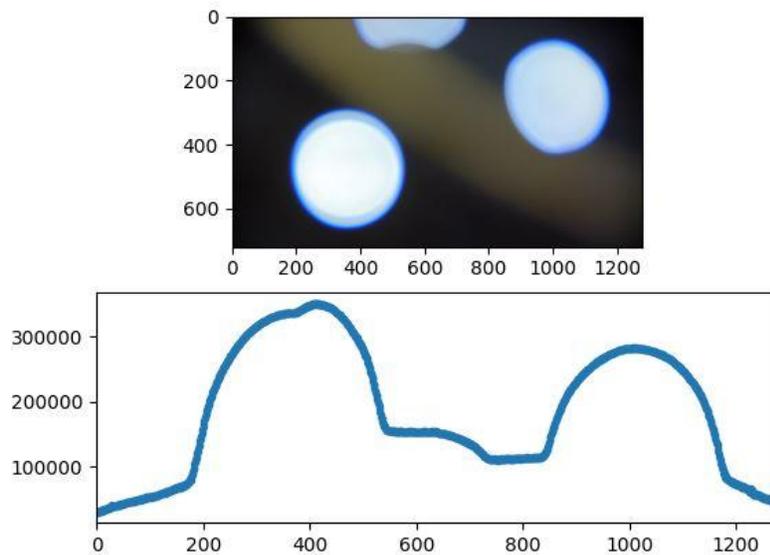


YAG screens installed in the screen holder frames and tightly locked with screws and springs



รูปที่ 24 การติดตั้งตัวยึดฉากเรืองแสงกับแกนขับเคลื่อนแบบ pneumatic และฉากเรืองแสง YAG ติดกับกรอบยึดฉาก

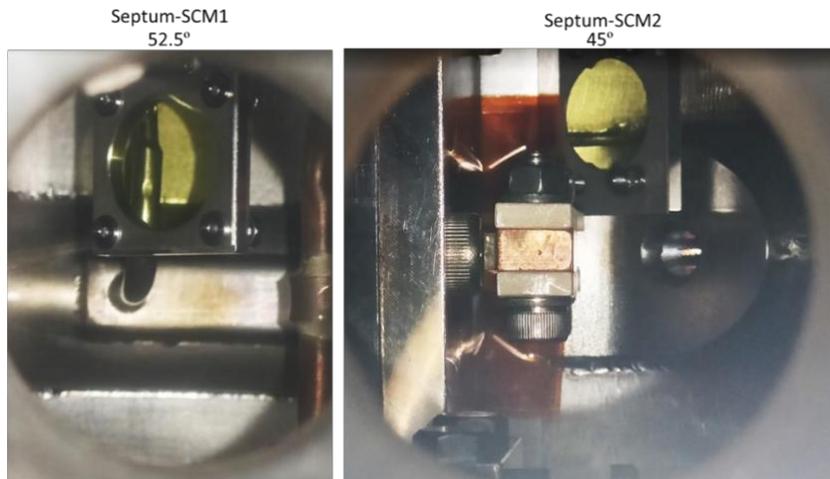
รูปที่ 24 แสดงการติดตั้งแกนจับยึดฉากเรืองแสงกับระบบขับเคลื่อนแบบ pneumatic และตัววัสดุฉากเรืองแสงชนิด YAG ที่มีลักษณะแผ่นบางสีเหลืองอมเขียวขนาด 1 นิ้วได้ถูกติดตั้งเข้ากับตัวกรอบจับยึดฉากได้อย่างพอดีตามการออกแบบทุกประการ การทดสอบระบบขับเคลื่อนแกนด้วยแรงดันอากาศเป็นไปได้ด้วยดี โดยนอกจากระบบฉากแล้วยังมีระบบบันทึกภาพสำหรับวิเคราะห์ผลด้วย การบันทึกภาพจะใช้กล้อง CCD แบบ IP camera ที่สามารถควบคุมผ่านระบบ network ได้และได้ทำการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Python สำหรับเก็บภาพแล้วนำมาวิเคราะห์แบบตามเวลาจริงจากการทดสอบกับแสงไฟจะได้ผลตามรูปที่ 25 และสำหรับการวัดจริงจะสามารถทำการพิเคราะห์ค่าขนาดของลำอิเล็กตรอนได้โดยสะดวก



รูปที่ 25 การทดสอบการเก็บภาพและทำการวิเคราะห์สำหรับกล้องด้วยโปรแกรม Python

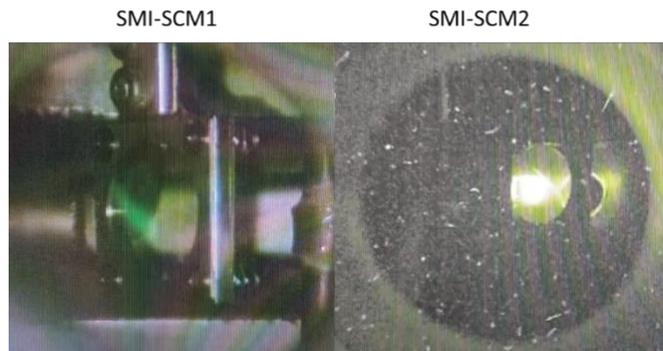
### 5.3 ผลการติดตั้งระบบวัดรูปร่างลำอิเล็กตรอนในแม่เหล็ก septum

จากการติดตั้งระบบวัดรูปร่างลำอิเล็กตรอนในแม่เหล็ก septum ตามขั้นตอนในหัวข้อ 4.4 ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นจึงได้มีการปรับมุมของฉากเรืองแสงโดยอาศัยหลักการมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน เพื่อให้เส้นทางของแสงที่เกิดจากลำอิเล็กตรอนออกมาที่ตำแหน่งของกล้องได้ตามรูปที่ 26 โดยจะสังเกตเห็นได้ว่ามีท่อน้ำหล่อเย็นฝั่งด้านนอกของ chamber ของแม่เหล็ก septum ตามแนวระดับของลำอิเล็กตรอน นอกจากนี้ที่บริเวณ SCM2 จะมีรูออกของลำอิเล็กตรอนอยู่หลังตัวฉากซึ่งมีขนาดค่อนข้างเล็ก การติดตั้งได้ทำการจัดระยะการเคลื่อนลงของฉากให้ได้ระดับของลำอิเล็กตรอนที่กลางของตัวฉากเรืองแสงและมีการขันน็อตเป็นจุดหยุดของระบบเคลื่อนฉาก



รูปที่ 26 ผลการติดตั้งฉากเรืองแสงในแม่เหล็ก septum

เมื่อทำการติดตั้งแล้วเสร็จจึงได้ทำการทดสอบเดินเครื่องเพื่อนำอ็เล็กตรอนเข้าสู่วงกักเก็บอ็เล็กตรอนผ่านแม่เหล็ก septum ที่ได้ติดตั้งระบบวันขนาดลําอ็เล็กตรอนด้วยฉากเรืองแสงใหม่นี้ โดยสามารถบันทึกภาพของลําอ็เล็กตรอนที่ชนกับฉากเรืองแสงได้อย่างชัดเจนตามรูปที่ 27



รูปที่ 27 ภาพลําอ็เล็กตรอนบนฉากเรืองแสงในแม่เหล็ก septum

อย่างไรก็ดีเมื่อทำการทดสอบเดินเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนพบว่ากระแสแสงที่ใช้สำหรับแม่เหล็ก septum มีค่ามากขึ้นกว่าเดิมมากเพื่อจะทำให้มีการส่งผ่านลําอ็เล็กตรอนเข้าสู่วงกักเก็บอ็เล็กตรอนได้ และยังพบอีกว่าเมื่อมีการจ่ายกระแสให้กับแม่เหล็ก septum จะมีการอ่านค่าสถานะสุญญากาศที่แย่งลงตามจังหวะของการจ่ายกระแส และพบสัญญาณรบกวนที่ wall current monitor ที่อยู่ใกล้กับตัวแม่เหล็ก septum อีกด้วย จึงมีการตรวจสอบและพบแสงวาบที่ฉาก SMI-SCM2 จึงได้ตรวจสอบพบการสัมผัสระหว่างกรอบโลหะที่ใช้จับยึดฉากกับขดลวดของแม่เหล็ก septum และพบการลัดวงจรของขดลวดในแม่เหล็ก septum เองจึงได้มีการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาดังกล่าว แล้วเปลี่ยนไปใช้ฝาแม่เหล็ก septum เดิม

## 6. สรूपผล

ได้ทำการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับฝากรอบแม่เหล็ก Septum ที่ประกอบระบบวัตรูปร่างลำอเล็ก็ตรอน โดยใช้ฉากเร่องแสงชนิด YAG และได้ประกอบทดสอบคณสมบัตัทางสุญญากาศเรียบร้อยแล้ว รวมถึงทดสอบประกอบเต็มระบบเป็นไปด้วยดี โดยระบบใหม่นี้สามารถทำการวัตให้ผลเป็นรูปร่างและตำแหน่งของลำอเล็ก็ตรอน ฉากเร่องแสงในขณะที่มีการยิงลำอเล็ก็ตรอนเพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องเร่งอนุภาคที่ทำหน้าที่เติมลำอเล็ก็ตรอนให้กับวงกักเก็บอเล็ก็ตรอน และลดการสูญเสียกระแสอเล็ก็ตรอนขณะกระบวนการเติมกระแสอเล็ก็ตรอนได้

อย่างไรก็ดีเมื่อทำการติดตั้งใช้งานจริงพบว่ามีส่วนฝัของกรอบโลหะของฉากเร่องแสงกับขดลวดของแม่เหล็ก septum และเกิดการลัดวงจรที่ในขดลวดแม่เหล็ก septum สำหรับการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ถูกเขียนไว้ในรายงานเชิงเทคนิคฉบับย่อ (Technical note) ในหัวข้อเร่อง การแก้ไขปัญหาลดขดลวดแม่เหล็ก Septum ในวงกักเก็บอเล็ก็ตรอนขอร้ตลง กราวด์

โดยจะได้มีการออกแบบสำหรับปรับปรุงระบบฉากที่จะต้องพิจารณาเลือกวัสดุสำหรับจับยึดฉากเร่องแสงที่ยื่นเข้าไปในส่วนของแม่เหล็ก septum ให้เป็นฉนวนทั้งหมดเพื่อป้องกันการรั่วของกระแสไฟ

## 7. กลุ่มผู้ใช้ประโยชน์

- นักฟิสิกส์เครื่องเร่งอนุภาค ได้อุปกรณ์วัตคณลักษณะของลำอเล็ก็ตรอนเพิ่มขึ้น
- ส่วนเดินเครื่องและซ่อมบำรุงมีอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบยิงลำอเล็ก็ตรอน
- กลุ่มงานผลิตชิ้นส่วนเชิงกล ได้ฝึกและมีประสบการณ์กับการสร้างและประกอบชิ้นงานสำหรับระบบวัตที่มีความละเอียดสูง
- ประโยชน์ในการเป็นตัวต้นแบบสำหรับการผลิตใช้งานสำหรับเครื่องกำเนิดแสงสยามระดับพลังงาน 3 GeV เพื่อลดต้นทุน เพิ่มการพึ่งพาตัวเองได้

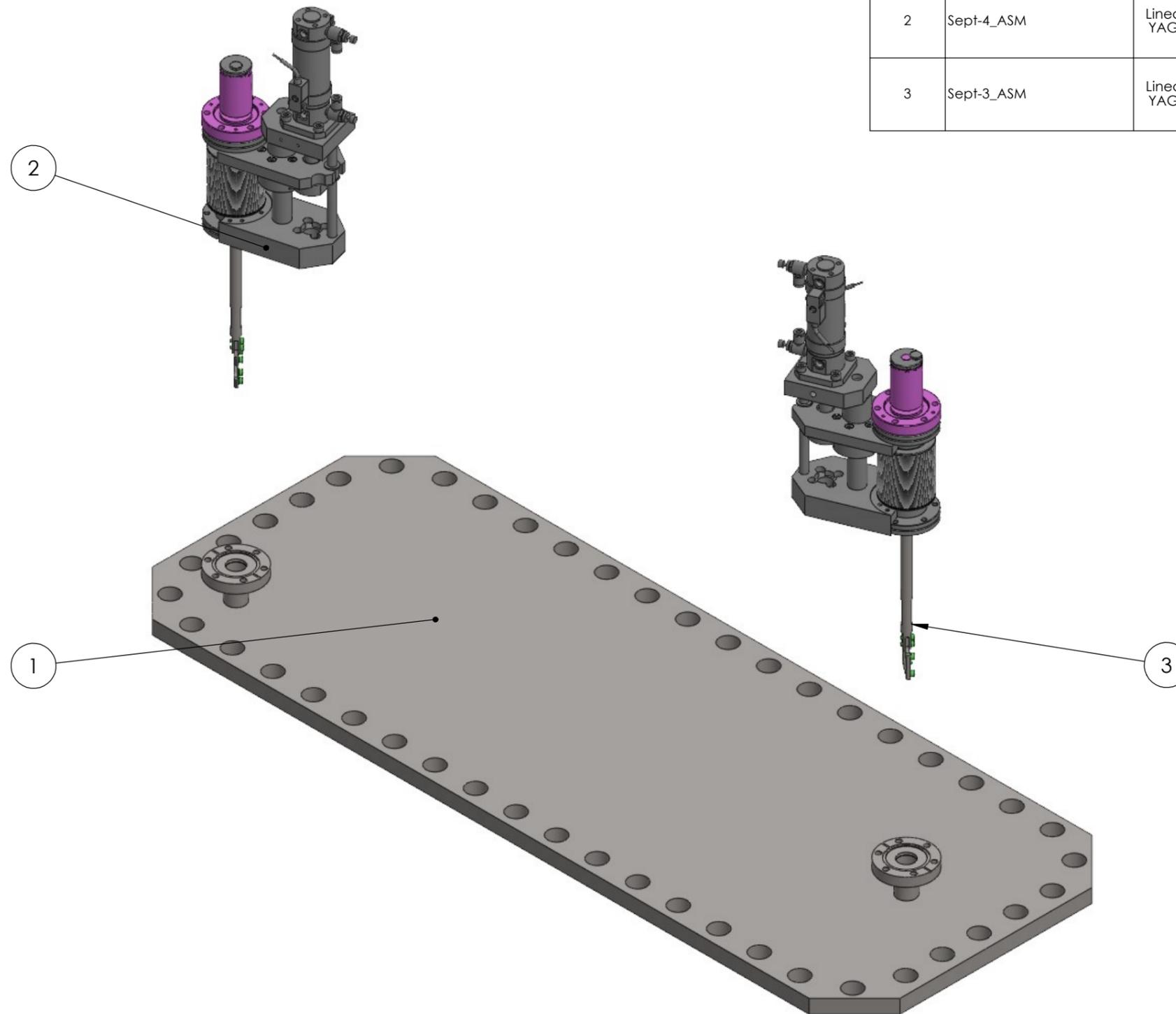
## เอกสารอ้างอิง

- [1] W. P. N. S. P. S. T. Pulampong, “OPTICAL FIBER BASED BEAM LOSS MONITOR FOR SPS MACHINE,” ใน *IPAC22*, Bangkok, 2022.
- [2] T.Pulampong, “ระบบวัดรูปร่างลำอเล็กตรอนด้วยฉากเรืองแสงและฉาก OTR,” SLRI Technical Note, Nakhon Ratchasima, 2022.
- [3] B. W.-H. a. G. Kube, “SCINTILLATING SCREEN APPLICATIONS IN BEAM DIAGNOSTICS,” in *DIPAC2011*, Hamburg, 2011.

**ภาคผนวก**

แบบเชิงวิศวกรรมของระบบว้ดรูปร่างล่ำอ็ล็กัทรอนแบบฉากเร่องแสงในแม่เหล็ก Septum  
ใบเสนอราคา Helicoflex Vacuum seal

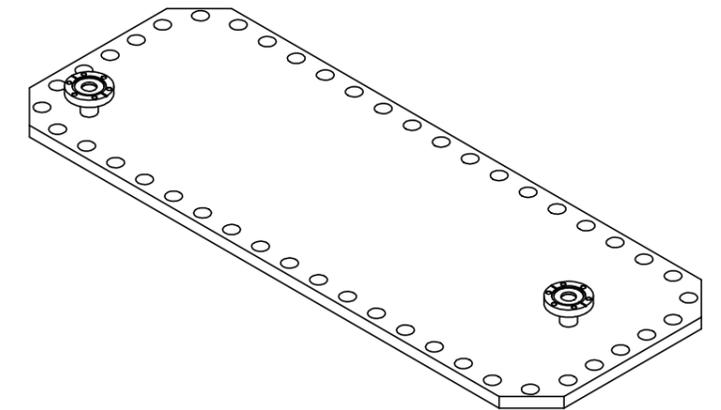
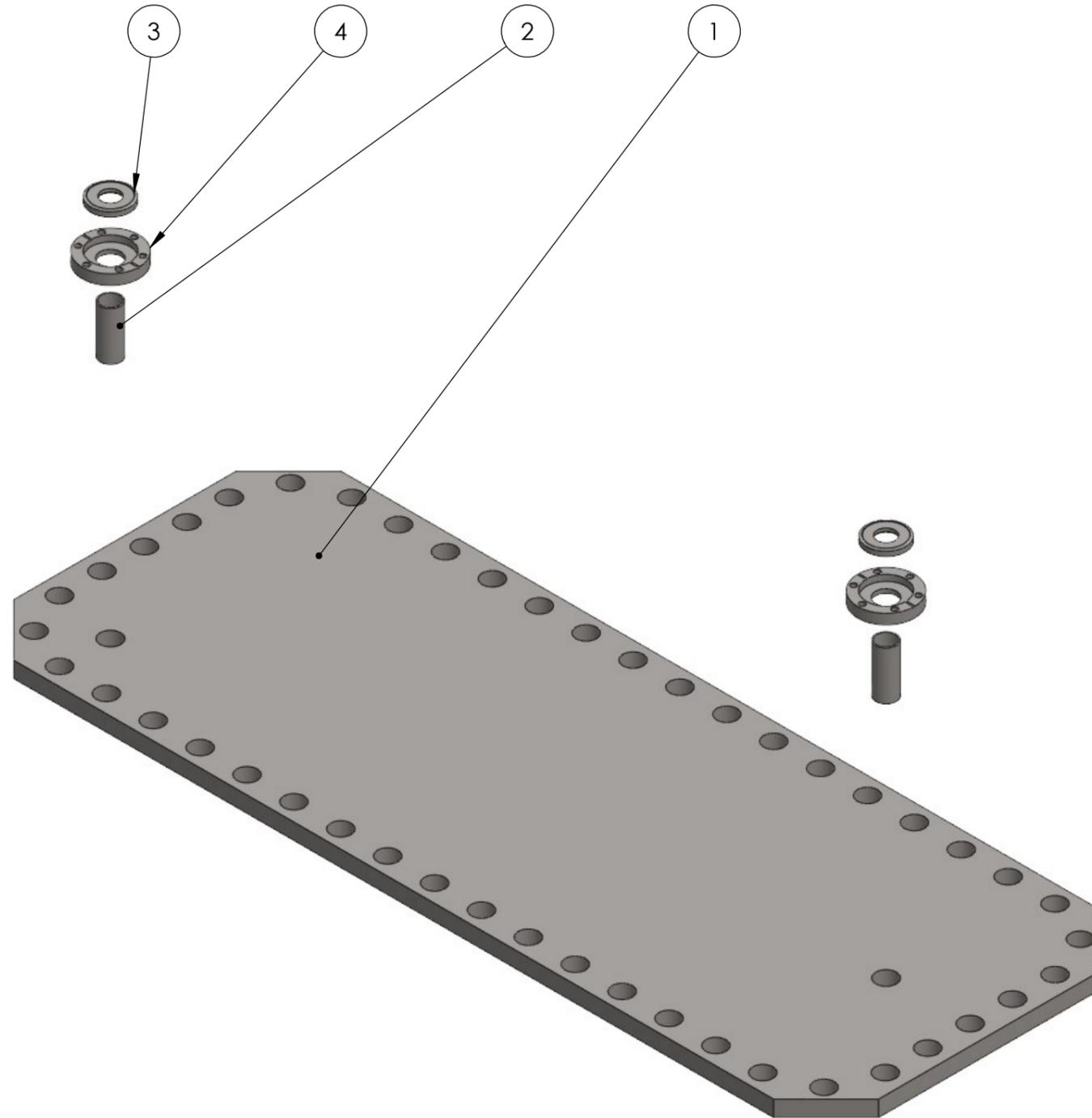
ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
1	Sept-2_ASM	Septum Cover Assembly	AISI 304	SLRI	1
2	Sept-4_ASM	Linear-Rotary Drive - YAG Screen Holder	AISI 304	SLRI - UHV Design	1
3	Sept-3_ASM	Linear Rotary Drive - YAG Screen Holder	AISI 304	SLRI - UHV Design	1



APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK			MATERIAL: AISI 304		
DESIGNER	NAME	DATE	PART NAME:		
CHECKED	NAME	DATE	<b>SR Septum Cover</b>		
			SIZE	DWG. NO.	REV.
			<b>A3</b>	<b>SLRI-AC-630073-A</b>	00
PROJECT: SR Septum Modification			SCALE: 1:5	WEIGHT: g	SHEET: 1 of 8

ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	Default/Qty.
1	Sept-004	SR Septum Cover Plate	AISI 304	SLRI	1
2	Sept-005	Tube YAG Screen Port	AISI 304	SLRI	2
3	Sept-006	CF70 Rot-A YAG Screen Port	AISI 304	SLRI	2
4	Sept-007	CF70 Rot-B YAG Screen Port	AISI 304	SLRI	2

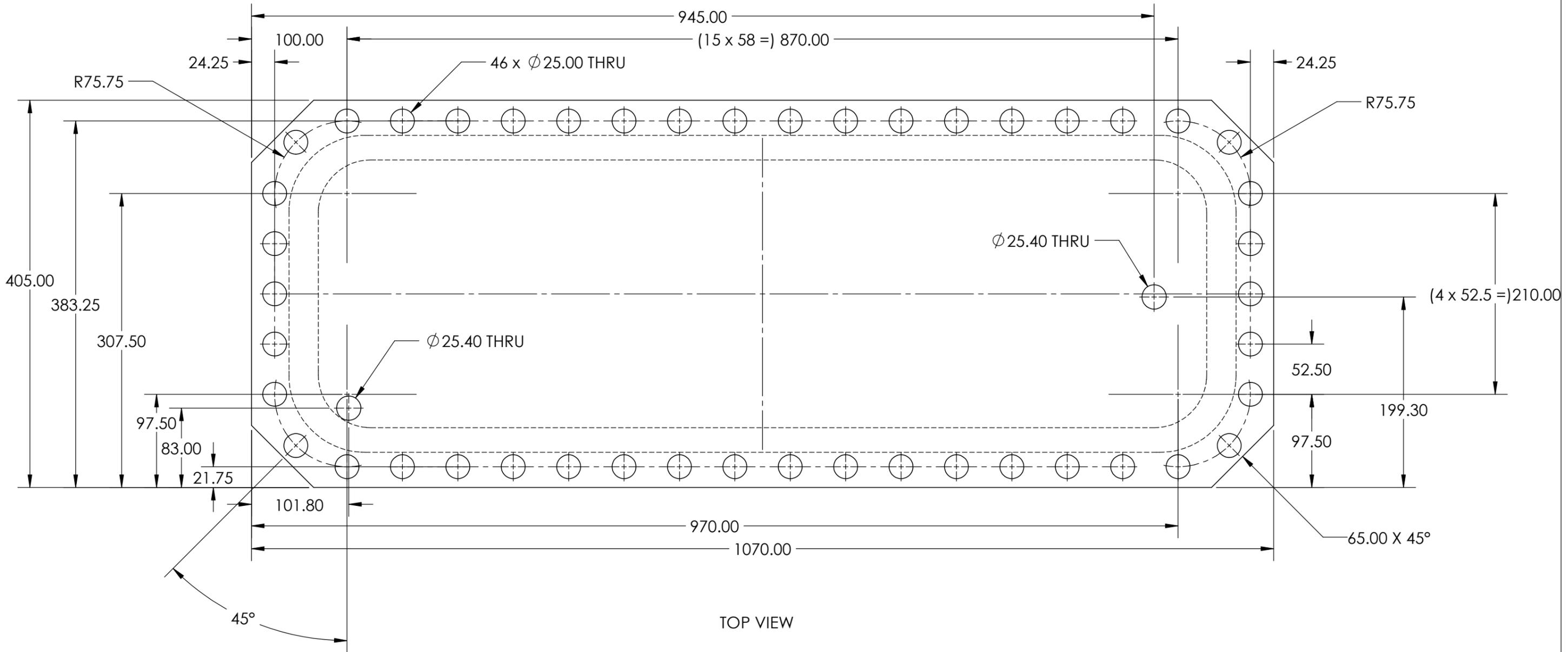


SCALE 1:10

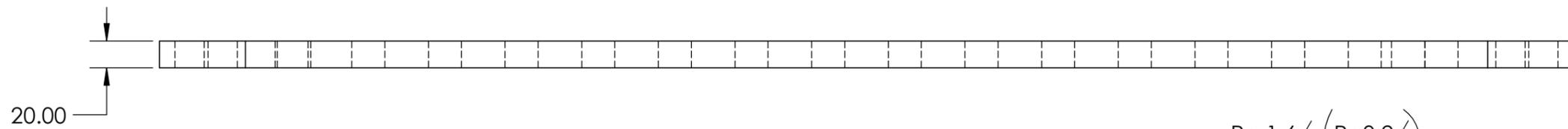
APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK			MATERIAL: AISI 304		
DESIGNER	NAME	DATE	PART NAME: <b>Septum Cover Assembly</b>		
Oliver Utke		5/12/2020			
CHECKED	Dr. Thapakron	5/12/2020			
 <b>SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB</b>			SIZE	DWG. NO.	REV.
 PROJECT: SR Septum Modification			<b>A3</b>	<b>SLRI-AC-630073-A</b>	00
UNIT: mm			SCALE: 1:5	WEIGHT: g	SHEET: 2 of 8

ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
1	Sept-004	SR Septum Cover Plate	AISI 304	SLRI	1



TOP VIEW

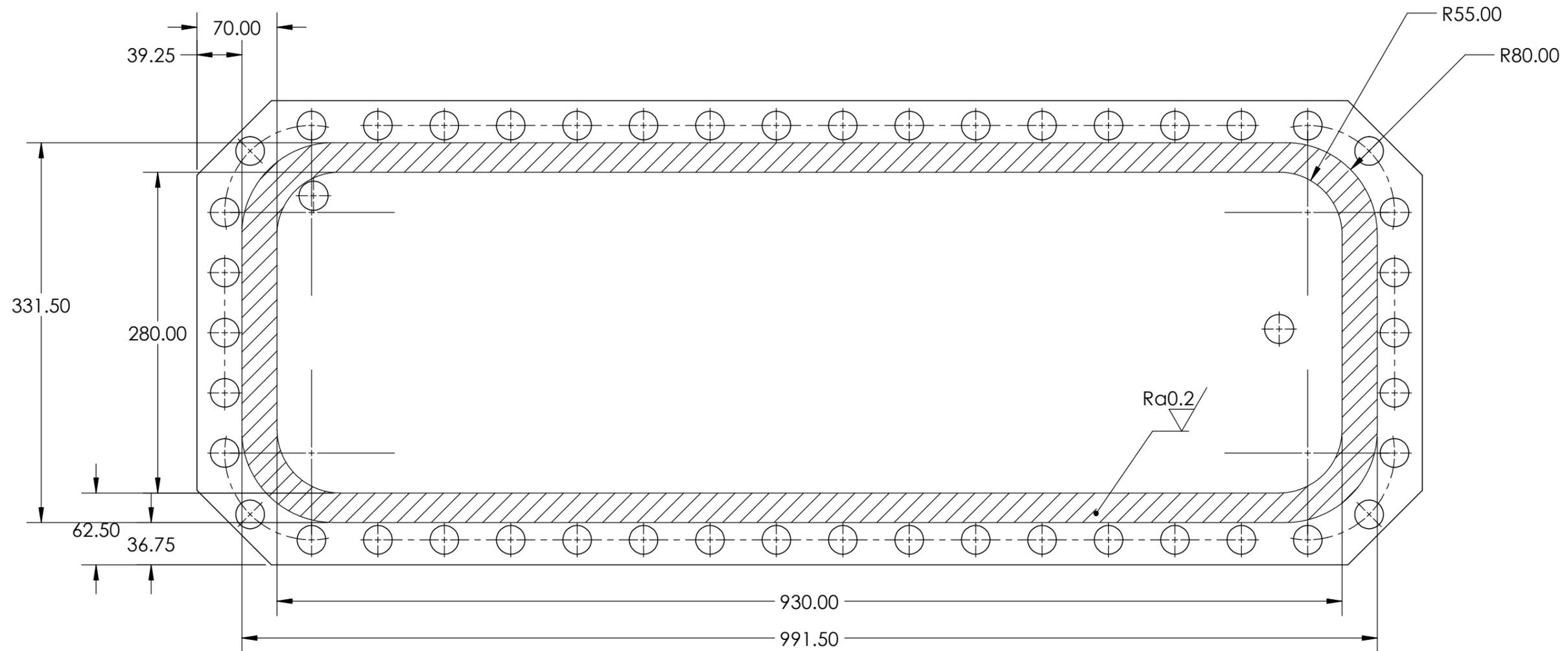


Ra 1.6 / (Ra0.2)

APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK			MATERIAL: AISI 304		
DESIGNER	NAME	DATE	PART NAME:		
CHECKED	NAME	DATE	<b>SR Septum Cover</b>		
PROJECT:	SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB				
UNIT: mm	PROJECT:	SR Septum Modification	SIZE: <b>A3</b>	DWG. NO.:	<b>SLRI-AC-630073-A</b>
SCALE: 1:4			WEIGHT: g	REV. 00	
SHEET: 3 of 8					

ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
1	Sept-004	SR Septum Cover Plate	AISI 304	SLRI	1



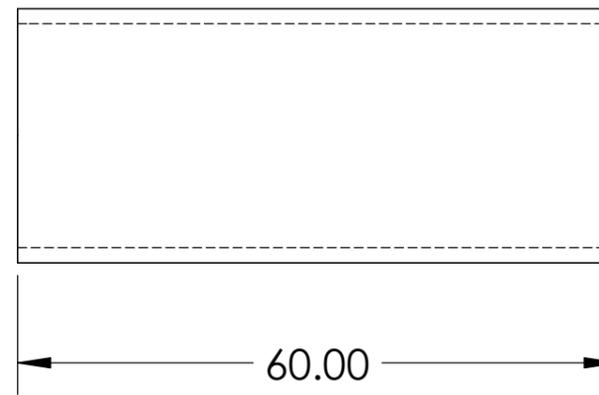
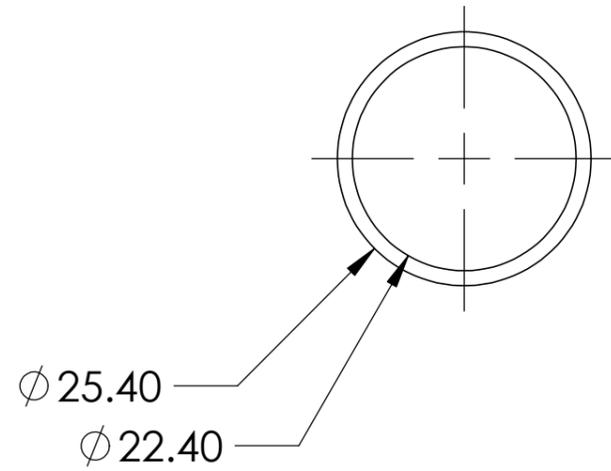
BOTTOM VIEW

Ra1.6 / (Ra0.2)

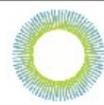
APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK			MATERIAL: AISI 304		
DESIGNER	NAME	DATE	PART NAME:		
CHECKED	Dr. Thapakron	5/12/2020	<b>SR Septum Cover Plate</b>		
PROJECT:	SR Septum Modification	PROJECT:			
UNIT: mm			<b>A3</b>	<b>SLRI-AC-630073-A</b>	00
SCALE: 1:4			WEIGHT: 64209.02 g	SHEET: 4 of 8	

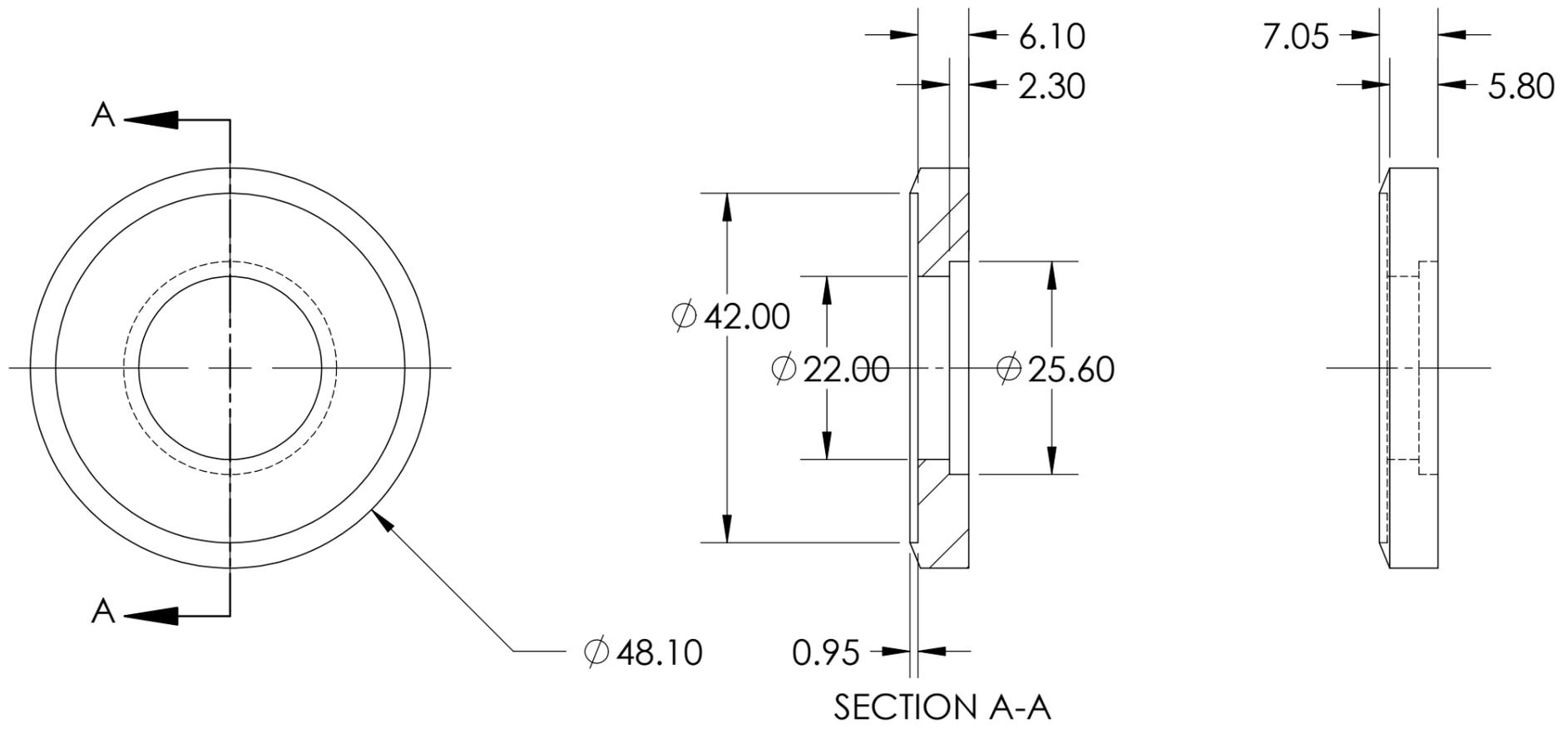
ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
2	Sept-005	Tube YAG Screen Port	AISI 304	SLRI	2



APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK		MATERIAL: <b>AISI 304</b>	
DESIGNER	NAME Oliver Utke	DATE 5/12/2020	PART NAME:  <b>Tube YAG Screen Port</b>
CHECKED	Dr. Thapakron	5/12/2020	
 <b>SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB</b>			
PROJECTION: 	PROJECT: SR Septum Modification	SIZE <b>A4</b>	DWG. NO. <b>SLRI-AC-630073-A</b>
UNIT: mm	SCALE: 1:1	WEIGHT: 54.06 g	REV. 00
		SHEET: 5 of 8	

ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
3	Sept-006	CF70 Rot-A YAG Screen Port	AISI 304	SLRI	2

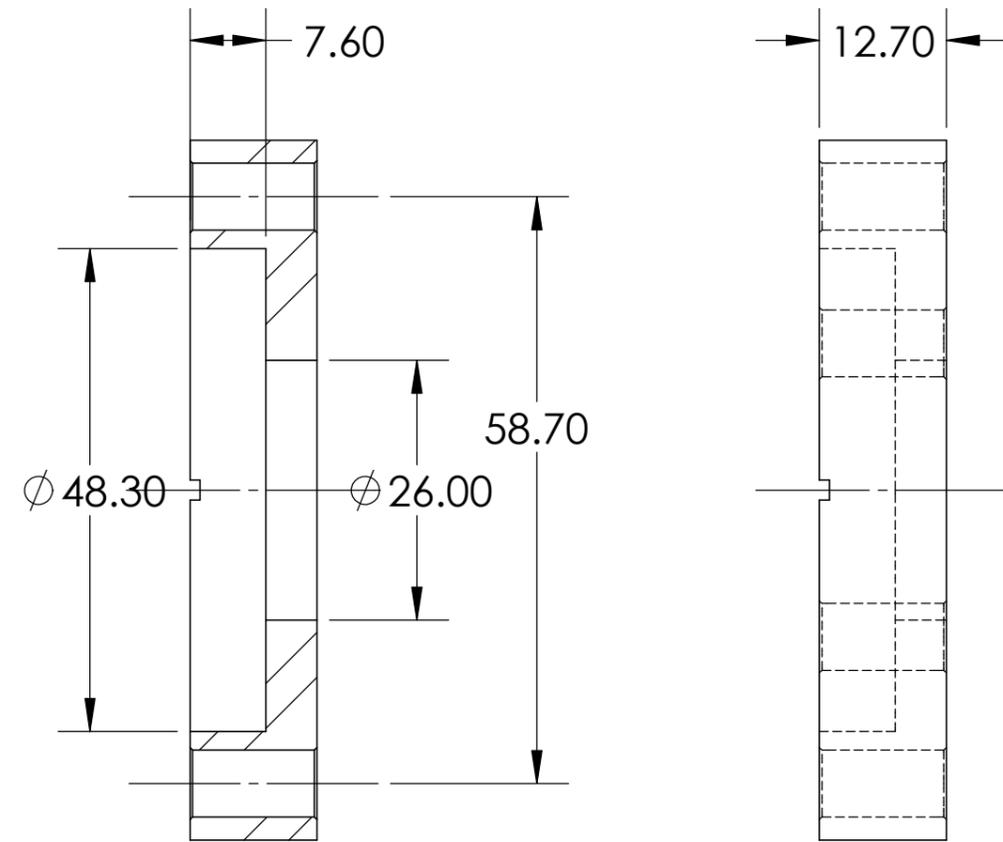
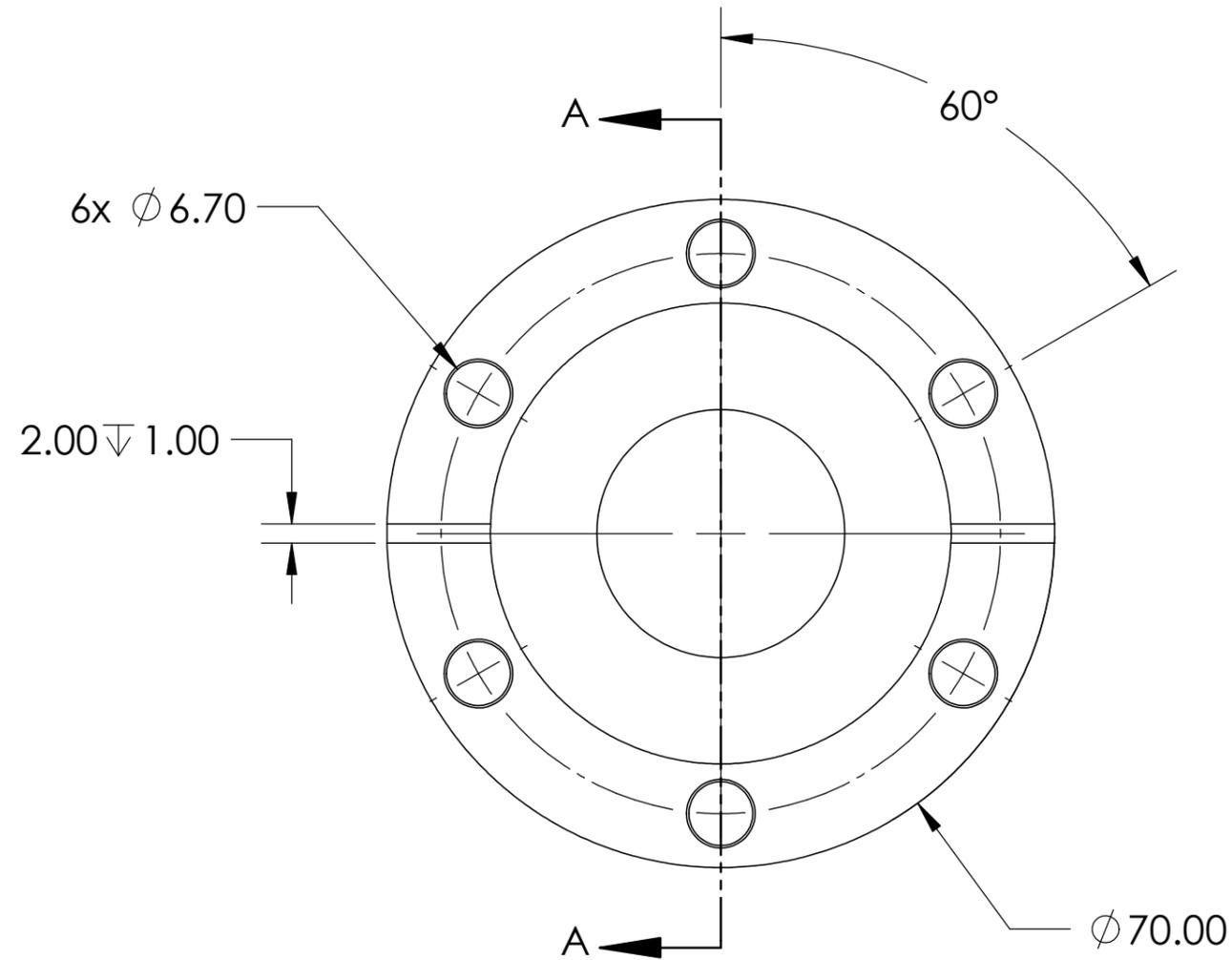
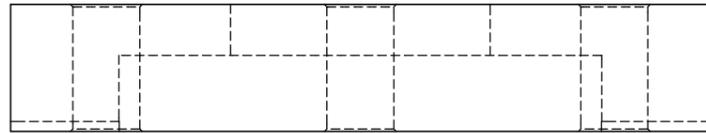


Ra1.6

APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK		MATERIAL: <b>AISI 304</b>	
DESIGNER	NAME	DATE	PART NAME:  <b>CF70 Rot-A YAG Screen Port</b>
CHECKED	Dr. Thapakron	5/12/2020	
	Oliver Utke	5/12/2020	
 <b>SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB</b>		SIZE <b>A4</b>	DWG. NO. <b>SLRI-AC-630073-A</b>
PROJECTION: 	PROJECT: SR Septum Modification	SCALE: 1:1	WEIGHT: 68.72 g
UNIT: mm		SHEET: 6 of 8	REV. 00

ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
4	Sept-007	CF70 Rot-B YAG Screen Port	AISI 304	SLRI	2



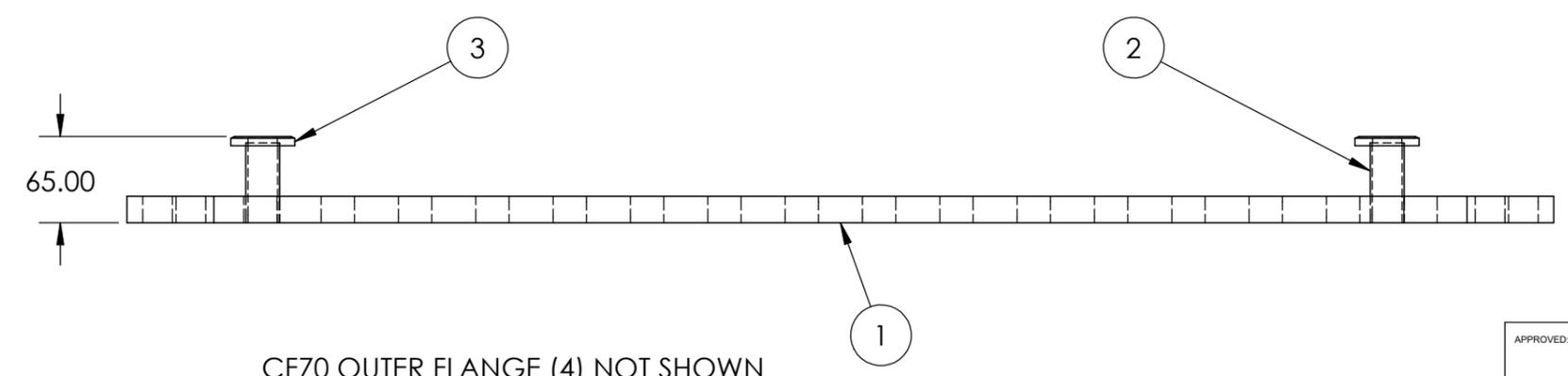
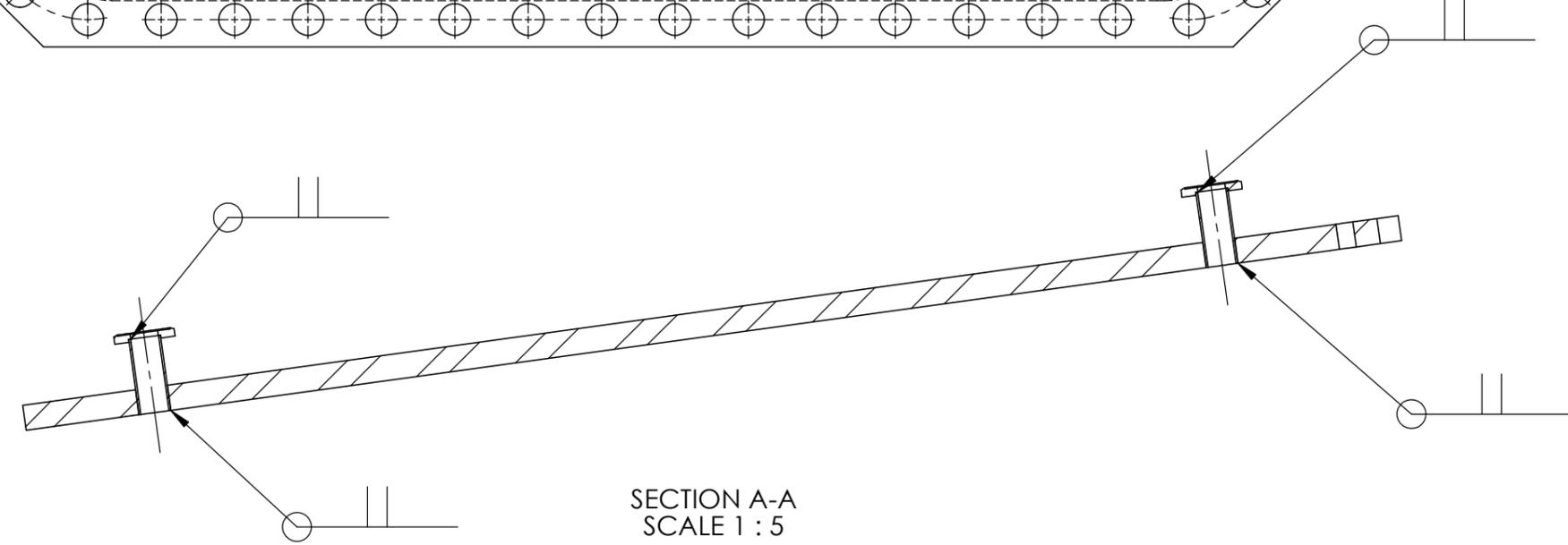
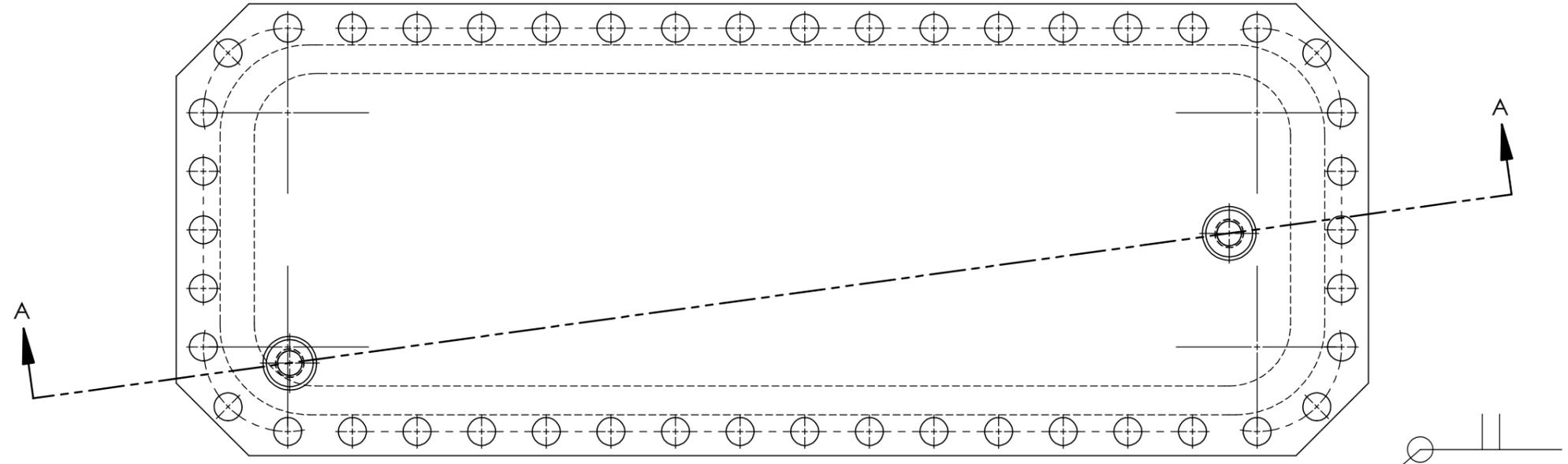
SECTION A-A  
SCALE 1 : 1

Ra1.6

APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK		MATERIAL: <b>AISI 304</b>	
DESIGNER	NAME Oliver Utke	DATE 5/12/2020	PART NAME:  <b>CF70 Rot-B YAG Screen Port</b>
CHECKED	Dr. Thapakron	5/12/2020	
 <b>SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB</b>			
PROJECTION: 	PROJECT:	SIZE <b>A4</b>	DWG. NO. <b>SLRI-AC-630073-A</b>
UNIT: mm		SCALE: 1:1	WEIGHT: 236.04 g
		SHEET: 7 of 8	REV. 00

ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	no outer CF/QTY.
1	Sept-004	SR Septum Cover Plate	AISI 304	SLRI	1
2	Sept-005	Tube YAG Screen Port	AISI 304	SLRI	2
3	Sept-006	CF70 Rot-A YAG Screen Port	AISI 304	SLRI	2



CF70 OUTER FLANGE (4) NOT SHOWN

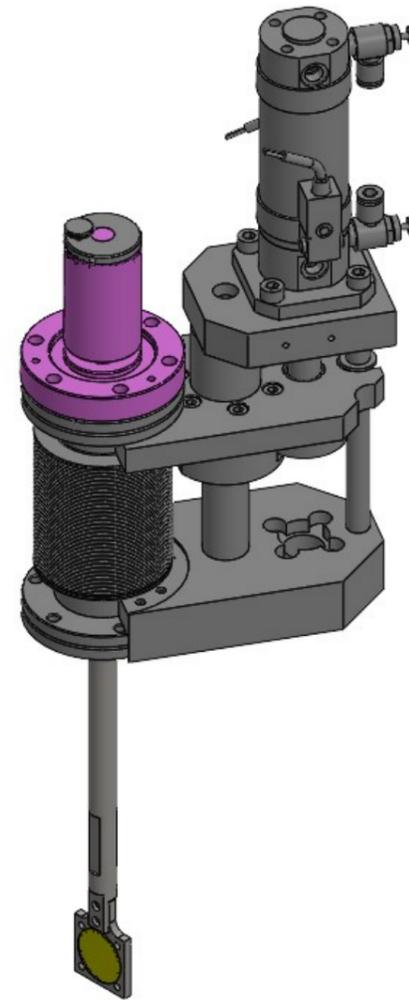
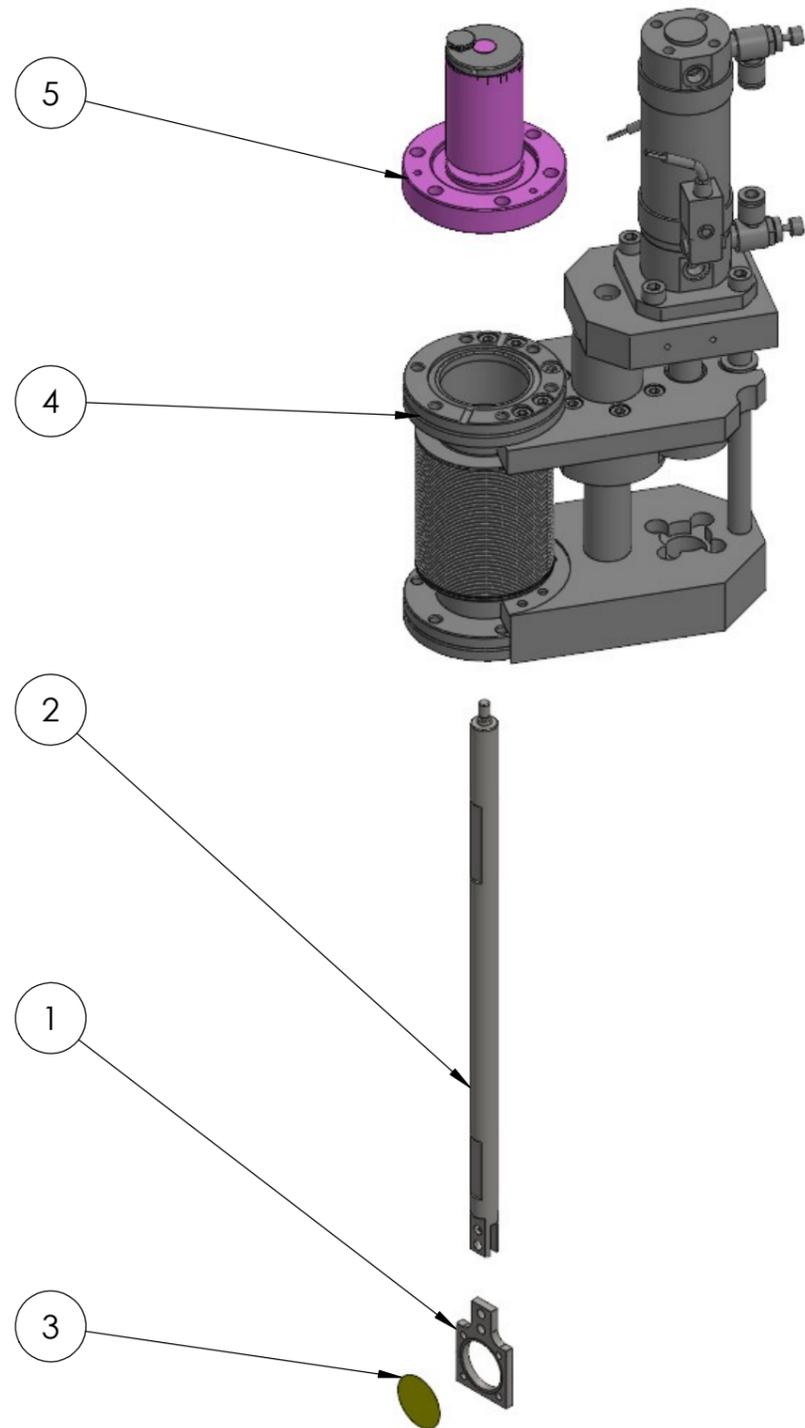
SECTION A-A  
SCALE 1 : 5

APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK			MATERIAL: AISI 304		
DESIGNER	NAME	DATE	PART NAME:		
CHECKED	NAME	DATE	<b>Septum Cover Assembly -Welding-</b>		
PROJECT	PROJECT	PROJECT			
SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB	SIZE	DWG. NO.	REV.		
SR Septum Modification	<b>A3</b>	<b>SLRI-AC-630073-A</b>	00		
UNIT: mm	SCALE: 1:5	WEIGHT: g	SHEET: 8 of 8		

LINEAR AND ROTARY DRIVE FOR YAG CRYSTAL HOLDER

QTY.: 2



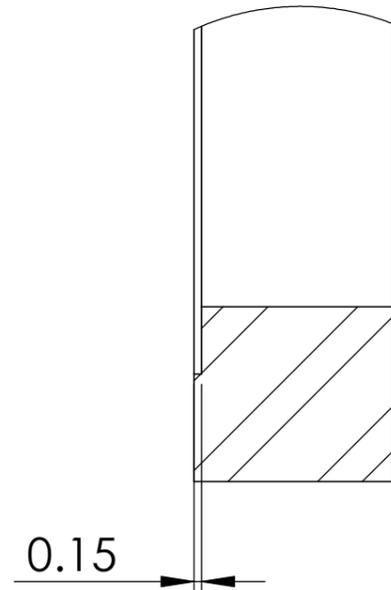
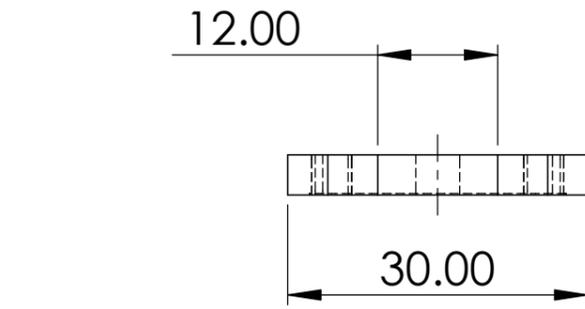
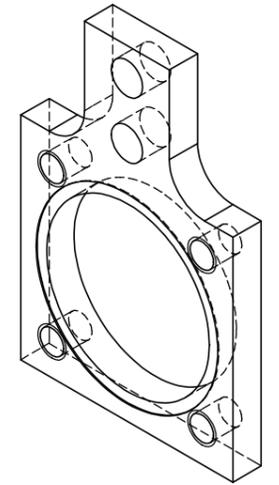
ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
1	Sept-015	YAG Screen Holder	AISI 304	SLRI	2
2	Sept-017	Rod for Screen Holder	AISI 304	SLRI	2
3	Sept-010	YAG Crystal Screen	YAG	Crytur.cz	2
4	LSM38-50-PS	LSM Linear Drive	SUS	UHV Design	2
5	MD40NTX000Z	MD40 Rotary Drive	SUS	UHV Design	2

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK			MATERIAL: AISI 304		
DESIGNER	NAME	DATE	PART NAME:		
CHECKED	Dr. Thapakron	5/18/2020	Linear Rotary Drive - YAG Screen Holder		
APPROVED:			SR Septum Modification		
PROJECT: SR Septum Modification		SIZE A3	DWG. NO. SLRI-AC-630073-A	REV. 00	
UNIT: mm		SCALE: 1:3	WEIGHT: g	SHEET: 1 of 5	

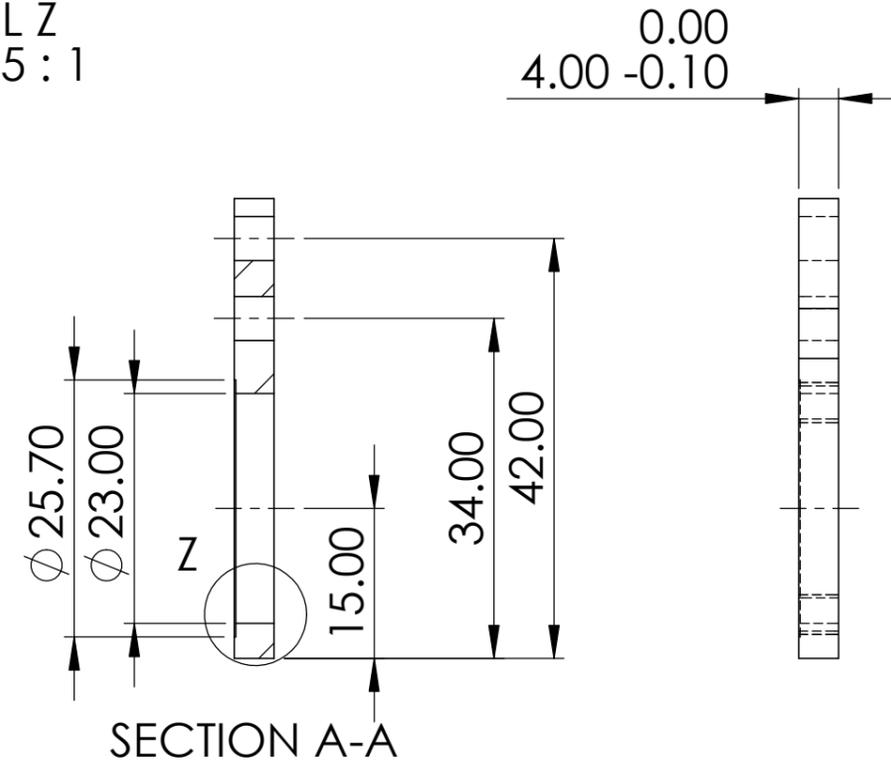
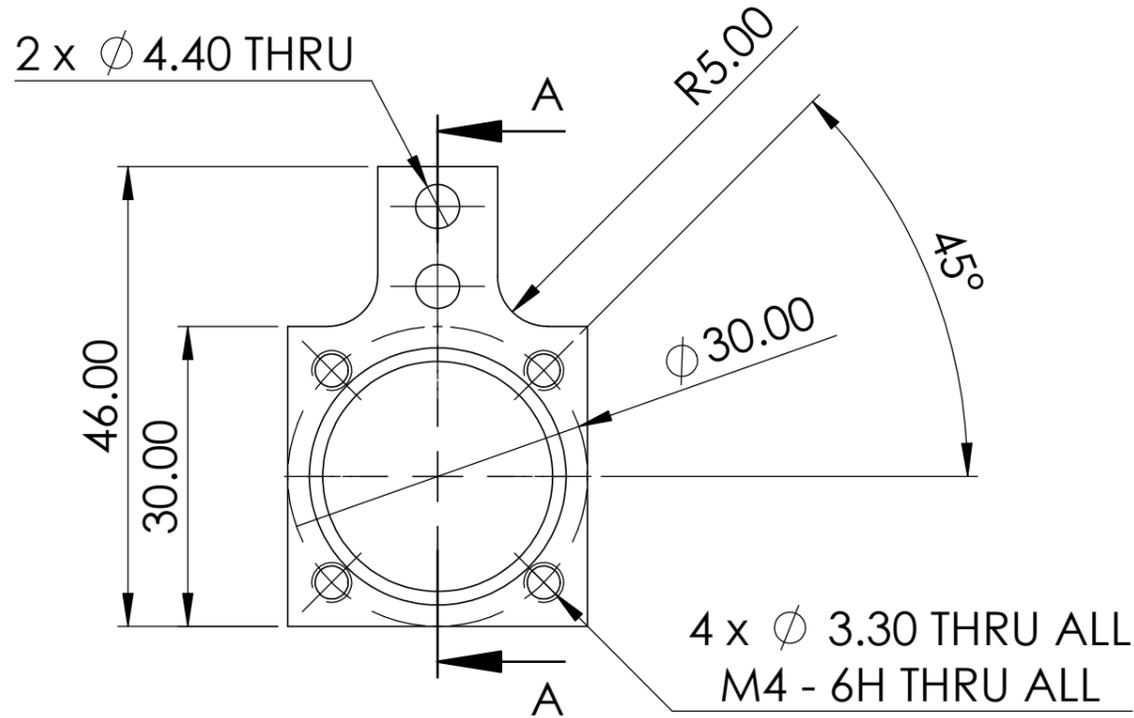
ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
1	Sept-015	YAG Screen Holder	AISI 304	SLRI	2

# YAG SCREEN HOLDER CONFIGURATION A

QTY.: 2



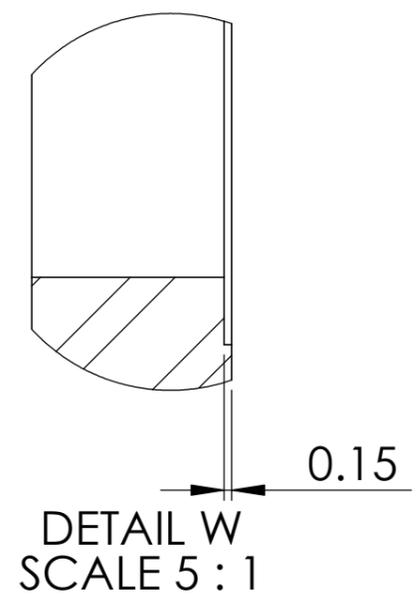
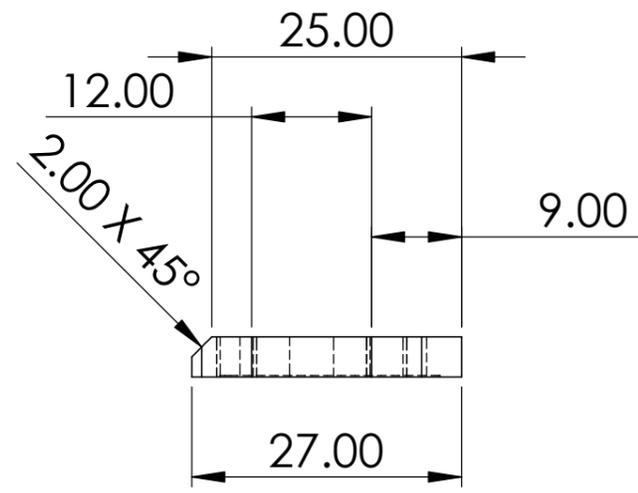
DETAIL Z  
SCALE 5 : 1



Ra1.6

APPROVED:

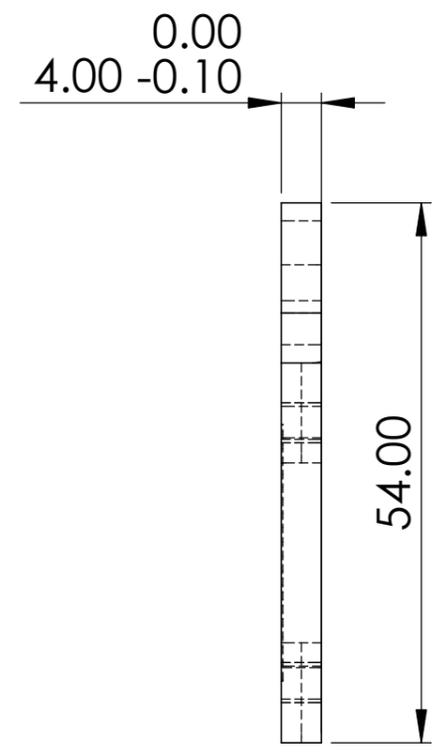
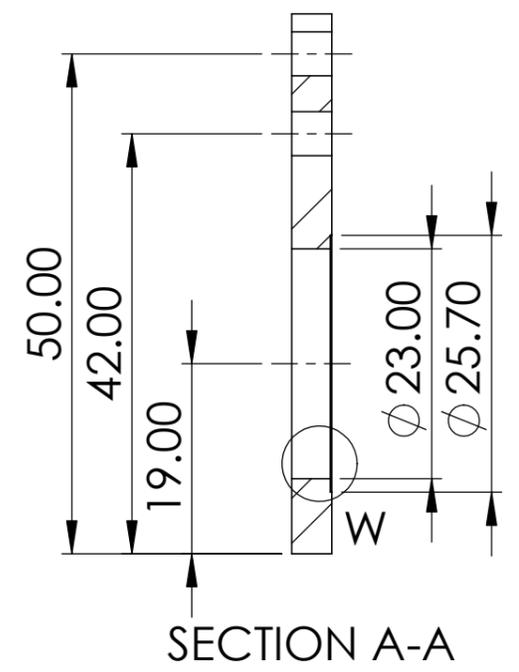
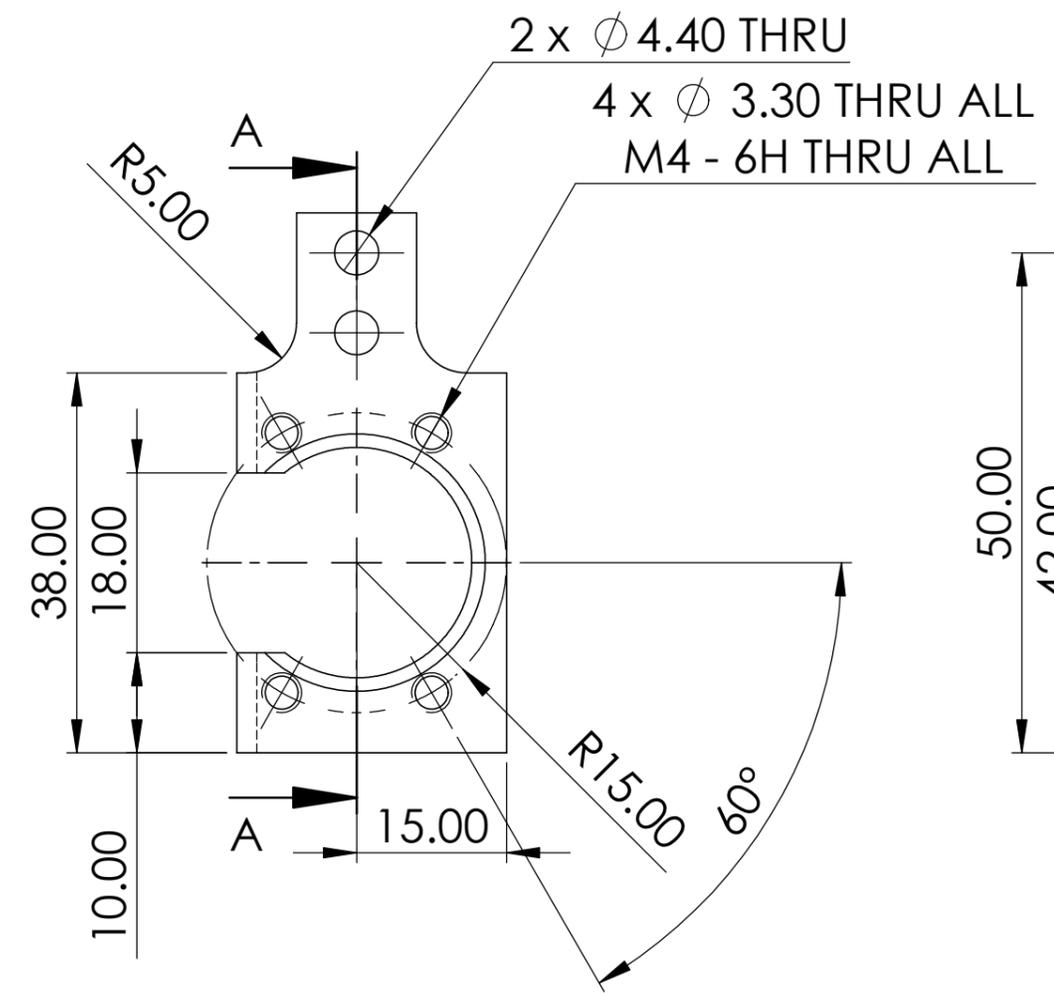
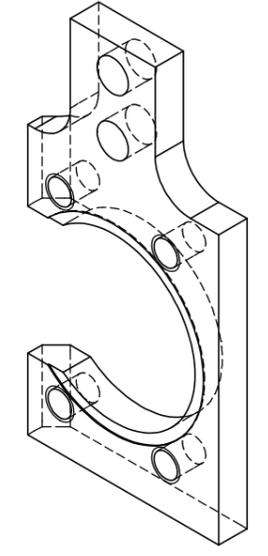
TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK		MATERIAL: <b>AISI 304</b>	
DESIGNER	NAME Oliver Utke	DATE 5/18/2020	PART NAME:  <b>YAG Screen Holder Configuration A</b>
CHECKED	Dr. Thapakron	5/18/2020	
 <b>SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB</b>			
PROJECTION: 	PROJECT: SR Septum Modification	SIZE <b>A4</b>	DWG. NO. <b>SLRI-AC-630073-A</b>
UNIT: mm	SCALE: 1:1	WEIGHT: 19.80 g	REV. 00
		SHEET: 2 of 5	



ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
1	Sept-008	YAG Screen Holder	AISI 304	SLRI	1

YAG SCREEN HOLDER  
CONFIGURATION B

QTY.: 1



Ra1.6

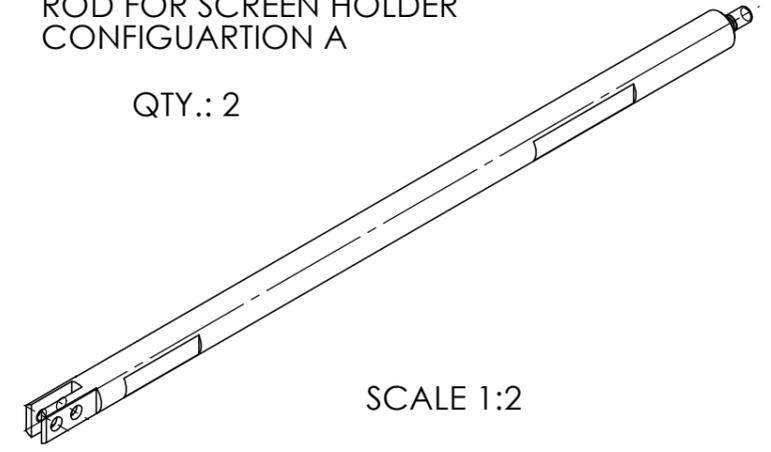
APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK		MATERIAL: <b>AISI 304</b>	
DESIGNER	NAME Oliver Utke	DATE 5/18/2020	PART NAME:  <b>YAG Screen Holder Configuration B</b>
CHECKED	Dr. Thapakron	5/18/2020	
PROJECT: SR Septum Modification		SIZE <b>A4</b>	DWG. NO. <b>SLRI-AC-630073-A</b>
UNIT: mm		SCALE: 1:1	WEIGHT: 22.50 g
		SHEET: 3 of 5	REV. 00

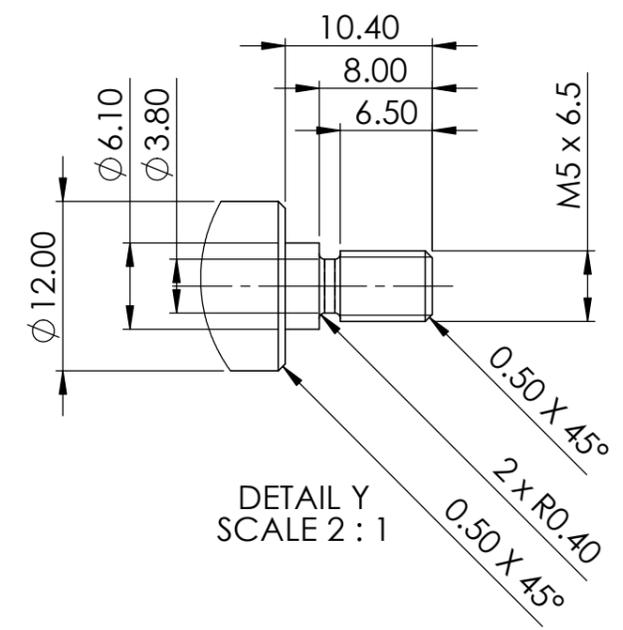
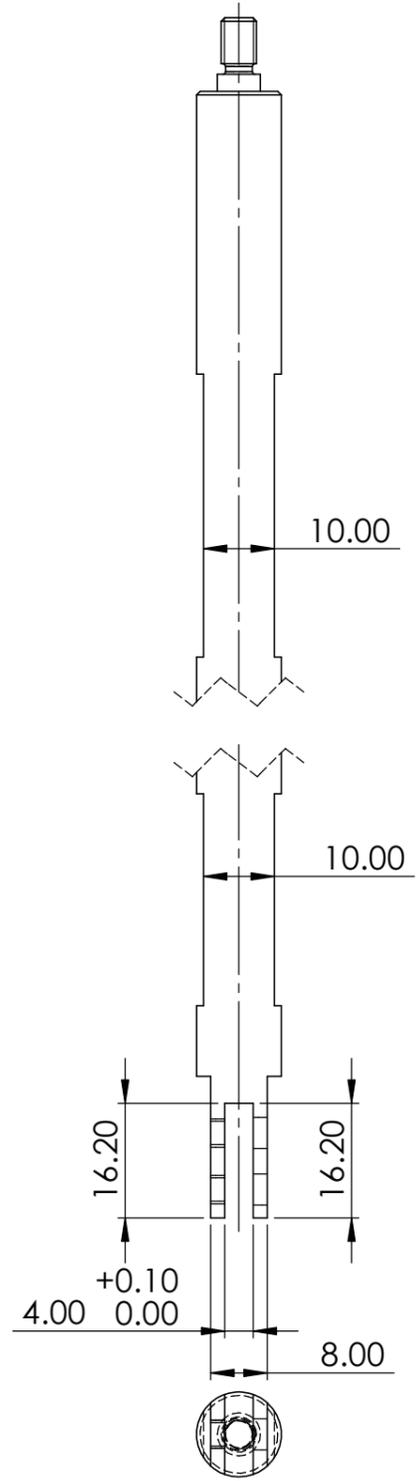
ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
2	Sept-017	Rod for Screen Holder	AISI 304	SLRI	2

ROD FOR SCREEN HOLDER  
CONFIGURATION A

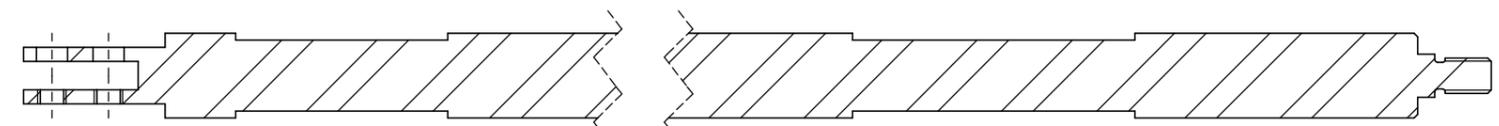
QTY.: 2



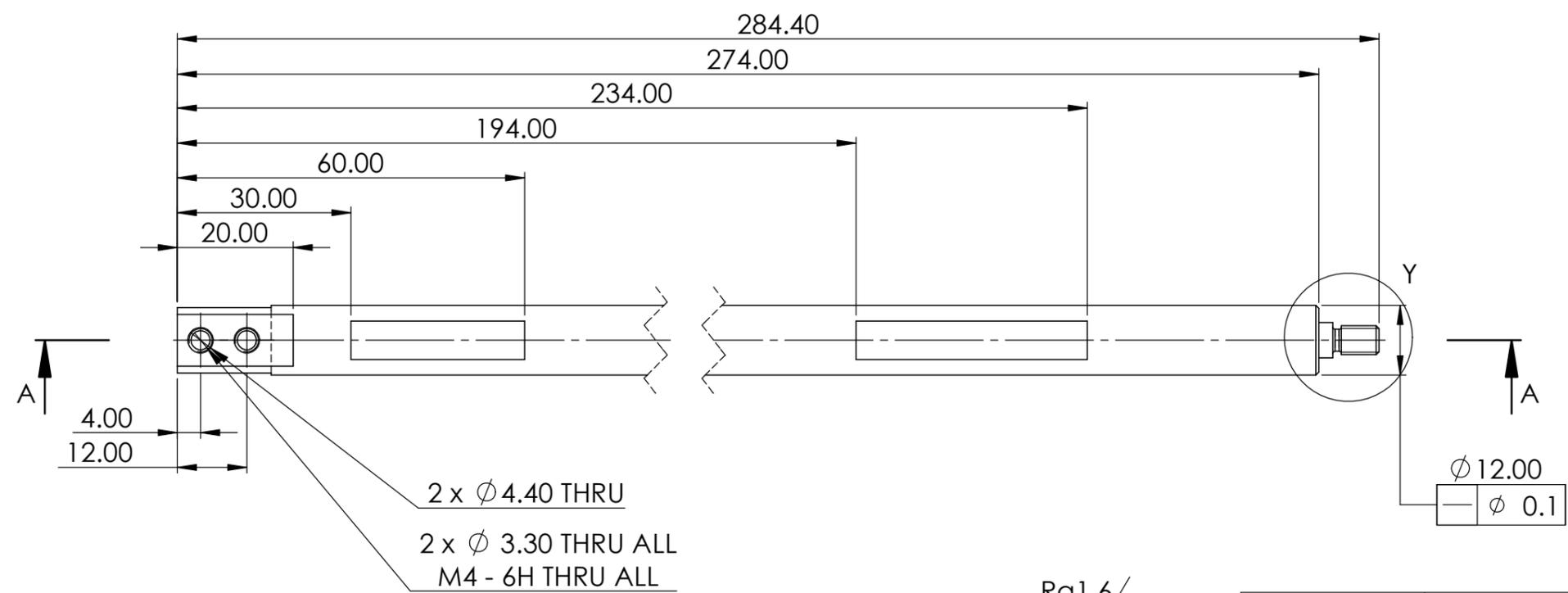
SCALE 1:2



DETAIL Y  
SCALE 2:1



SECTION A-A  
SCALE 1:1



Ø 12.00
— Ø 0.1

Ra1.6

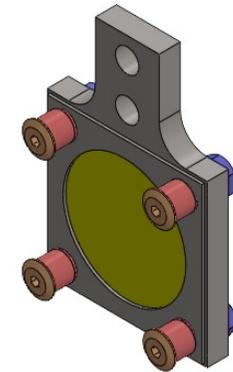
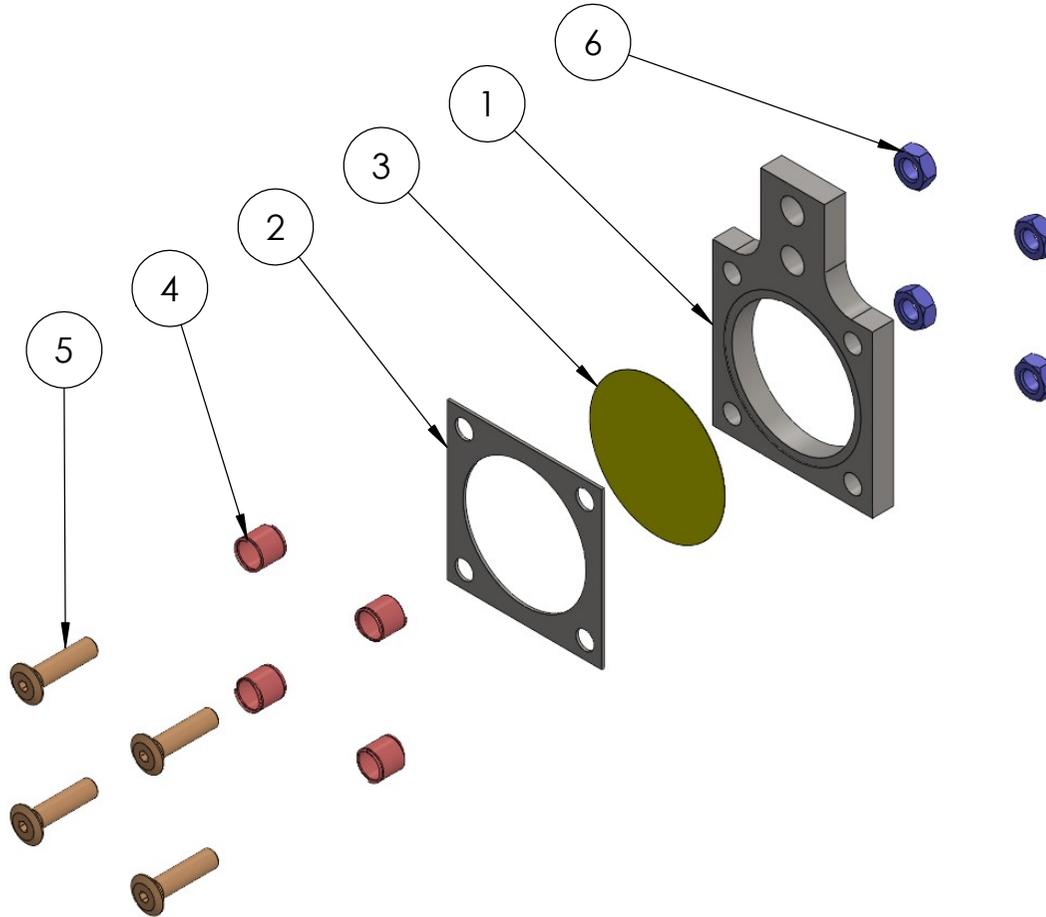
APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK			MATERIAL: AISI 304		
DESIGNER	NAME	DATE	PART NAME:		
Oliver Utke	Oliver Utke	5/18/2020	Rod for Screen Holder Configuration A		
CHECKED	Dr. Thapakron	5/18/2020	PROJECT: SR Septum Modification		
SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB			SIZE A3	DWG. NO. SLRI-AC-630073-A	REV. 00
UNIT: mm			SCALE: 1:1	WEIGHT: 233.71 g	SHEET: 4 of 5



YAG SCREEN HOLDER  
CONFIGURATION C

QTY.: 2



ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
1	Sept-018	YAG Screen Holder	AISI 304	SLRI	2
2	Sept-019	YAG Press Plate	AISI 304	SLRI	2
3	Sept-010	YAG Crystal Screen	YAG	Crytur.cz	2
4	Round Wire Spring_UF5-5_Sept	Round Wire Spring	AISI 304	Misumi	8
5	Ultra Low Head Cap_CBSTSR3-12	Ultra Low Head Cap Screw	AISI 304	Misumi	8
6	Sept-M3 Nut	M3 Nut	AISI 304	Supplier	8

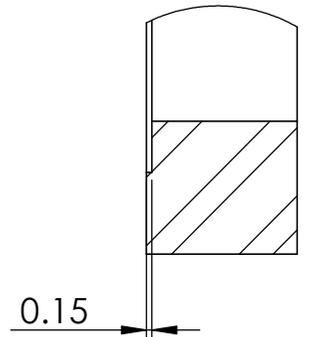
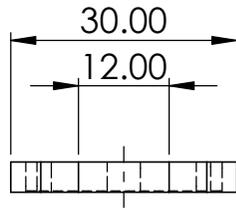
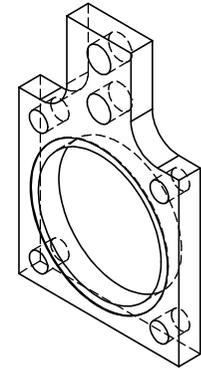
TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK		MATERIAL: <b>AISI 304</b>	
NAME	DATE	PART NAME:	
DESIGNER Oliver Ulke	5/18/2020	<b>YAG Crystal Press-Holder</b> <b>SR Septum Modification</b>	
CHECKED Dr. Thapakron	5/18/2020		
 <b>SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB</b>		SIZE <b>A4</b>	DWG. NO. <b>SLRI-AC-630073-A</b>
PROJECTION: 	PROJECT: SR Septum Modification	SCALE: 1:1	WEIGHT: g
UNIT: mm		REVISION: 00	SHEET: 1 of 3

APPROVED:

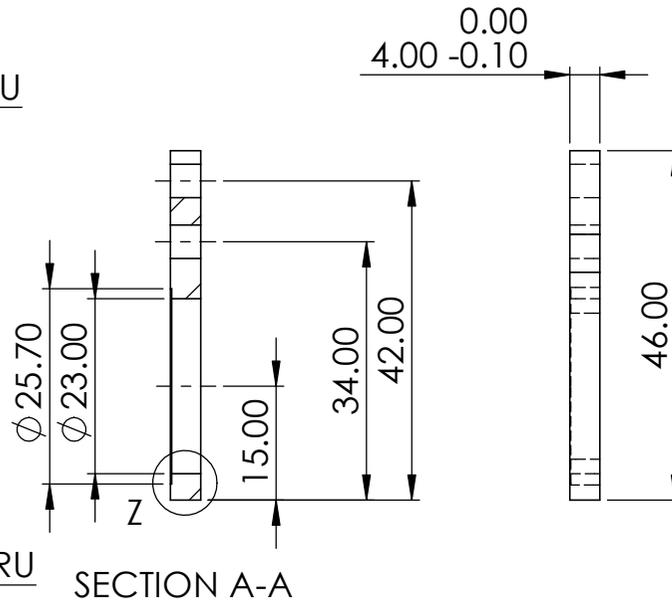
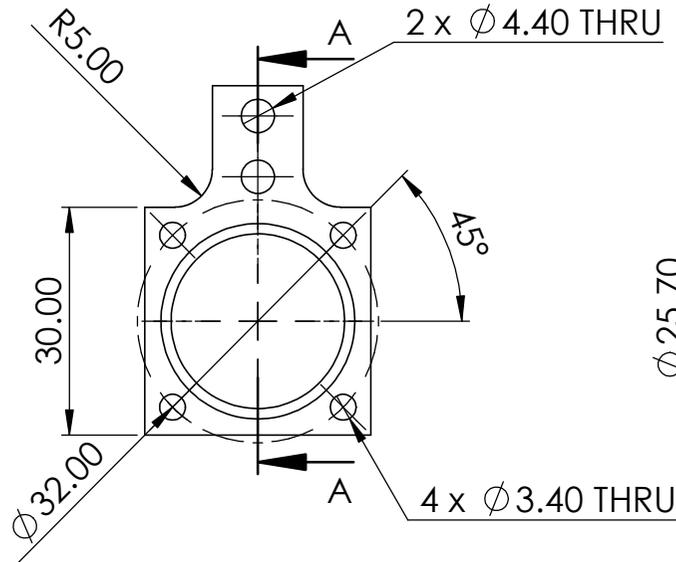
ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
1	Sept-018	YAG Screen Holder	AISI 304	SLRI	2

YAG CRYSTAL HOLDER  
CONFIGURATION C

QTY.: 2



DETAIL Z  
SCALE 5 : 1



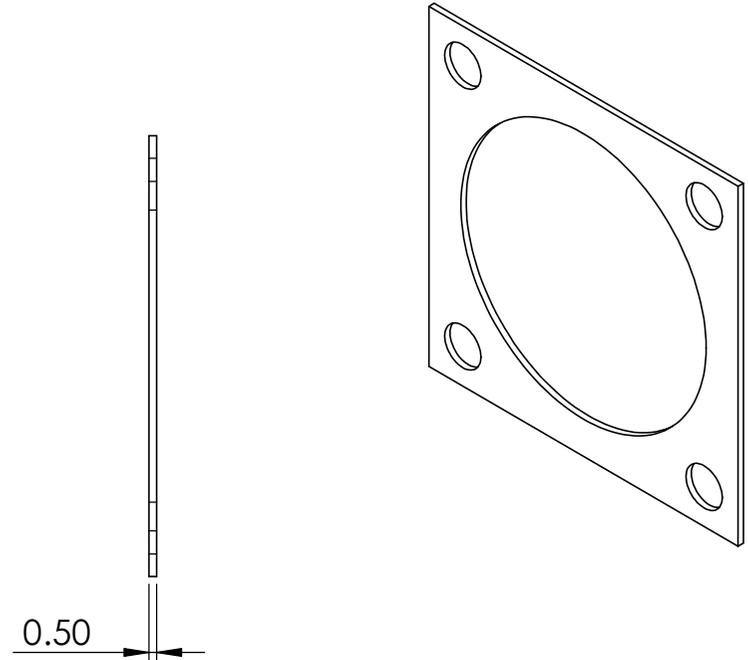
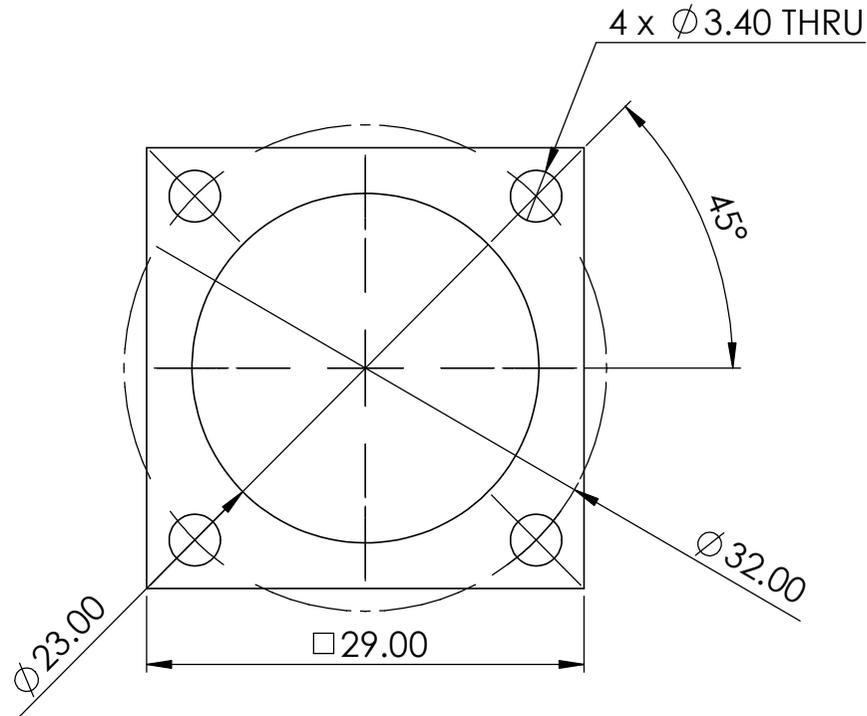
Ra1.6

APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK		MATERIAL: AISI 304	
NAME	DATE	PART NAME:	
DESIGNER Oliver Ulke	5/18/2020	YAG Screen Holder Configuration C	
CHECKED Dr. Thapakron	5/18/2020		
		SIZE <b>A4</b>	DWG. NO. <b>SLRI-AC-630073-A</b>
PROJECT: SR Septum Modification		SCALE: 1:1	WEIGHT: 19.73 g
UNIT: mm		REVISION:	REV. NO. 00
		SHEET: 2 of 3	

ITEM NO.	Part Number	Part Name	Material	Manufacturer	QTY.
2	Sept-019	YAG Press Plate	AISI 304	SLRI	2

QTY.: 2



Ra1.6

APPROVED:

TOLERANCING ISO 8015 GENERAL TOLERANCES ISO 2768-mK		MATERIAL: <b>AISI 304</b>	
NAME	DATE	PART NAME:	
DESIGNER Oliver Ulke	5/18/2020	<b>YAG Press Plate</b>	
CHECKED Dr. Thapakron	5/18/2020		
 <b>SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB</b>		SIZE <b>A4</b>	DWG. NO. <b>SLRI-AC-630073-A</b>
PROJECTION:  PROJECT: Septum Modification		SCALE: 1:1	WEIGHT: 1.56 g
UNIT: mm		SHEET: 3 of 3	REV. 00

N° ARC / Ack # <b>866594 V0</b>	N° commande client / Customer Order # OP17633 - 19OZ3171	Adresse de commande / Sold to  <b>Synchrotron Light Research Institute (SLRI)</b> <b>Suranari</b> <b>Mueang Nakhon Ratchasima District</b>  <b>30000 Nakhon Ratchasima</b> <b>Thaïlande</b>
N° client / Customer # P2222EM41V18TH ()	Date de Commande / Order date -	
Vendeur / Sales representative HOUSE ACCOUNT		
Chargé.e de commande / Sales administration Service Commercial Technetics		
Conditions de paiement / Payment terms 45J/FM		
Mode de règlement / Payment method -		<i>Nous vous remercions de votre commande / We thank you for your order</i>

Coordonnées du contact / Contact e-mail and phone number  
 Tel : Fax : E-mail : 0

Incoterms <b>EXW</b>	Adresse de livraison / Ship to Synchrotron Light Research Institute (SLRI) Suranari Mueang Nakhon Ratchasima District	Adresse de facturation / Bill to Synchrotron Light Research Institute (SLRI) Suranari Mueang Nakhon Ratchasima District
Conditions de livraison / Delivery terms -	30000 Nakhon Ratchasima Thaïlande	30000 Nakhon Ratchasima Thaïlande

Ligne / Item	Article / Product code	Désignation article / Item Description Votre référence article / Your product code Tarif douanier / Customs tariff	Quantité / Quantity	UDM / UOM	Date promise / Promise date	Prix unitaire / Unit Price	Total ligne / Extended amount
--------------	------------------------	--	---------------------	-----------	-----------------------------	----------------------------	-------------------------------

*In reply to your inquiry mentioned in reference, we propose :*

1.1	203760	HE/JT HELICOFLEX NOUVELARTICLE~HELICOFLEX SEAL~NEW ARTICLE  HELICOFLEX® HN230 - Cross section=7.54/8.04 Outer jacket made of Al Inner dimensions: 952.00 x 287.00 x R41.00 As per technical proposal 19OZ3171 REV.A 84842000	2	Unite		2.095,80	4.191,60
-----	--------	--	---	-------	--	----------	----------

*Les conditions générales de ventes ci-jointes font partie de l'offre contractuelle de Technetics Group, par sa commande, l'Acheteur déclare en avoir pris connaissance et les accepter  
 The Technetics Group contract Terms & Conditions here enclosed are part of the Technetics Group contract offer.  
 Through his Order the Purchaser acknowledges that he has read and he agrees with the Technetics Group*

**COMMERCIAL TERMS :**

*Lead-time : 11 WEEKS AFTER ORDER RECEPTION and after technical proposal approval EXCEPT WEEKS N°52/2019 AND N°01/2020  
 Please note that orders will not commence until the technical data sheet has been approved by the customer and the end user agreement fully completed and returned to Technetics Group France.*

*Incoterm : EXW SAINT ETIENNE*

*Minimum invoicing amount = 300.00 EURO. (MINIMUM 50.00 EURO PER LINE)*

*Validity of our quote : 1 month - 15 days for the lead time*

**Banque / Remit to : SG ST ETIENNE FR76 30003 01840 00020148387 92 BIC : SOGEFRPP**

Total commande HT / Total order net of tax	Code TVA / VAT code	Taux TVA / VAT rate	Montant TVA / VAT amount	Total commande / Total order	Devises / Currency
--	---------------------	---------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------

**Franco de port et emballage (frontière française) pour commande montant HT / expédition supérieure à :**

**500 EUR**

**Sinon forfait**

**26 EUR**

N° ARC / Ack # <b>866594 V0</b>	N° commande client / Customer Order # OP17633 - 19OZ3171	Adresse de commande / Sold to  <b>Synchrotron Light Research Institute (SLRI)</b> <b>Suranari</b> <b>Mueang Nakhon Ratchasima District</b>  <b>30000 Nakhon Ratchasima</b> <b>Thaïlande</b>
N° client / Customer # P2222EM41V18TH ()	Date de Commande / Order date -	
Vendeur / Sales representative HOUSE ACCOUNT		
Chargé.e de commande / Sales administration Service Commercial Technetics		
Conditions de paiement / Payment terms 45J/FM		
Mode de règlement / Payment method -		<i>Nous vous remercions de votre commande / We thank you for your order</i>

Coordonnées du contact / Contact e-mail and phone number

Tel : Fax : E-mail : 0

Incoterms <b>EXW</b>	Adresse de livraison / Ship to Synchrotron Light Research Institute (SLRI) Suranari Mueang Nakhon Ratchasima District	Adresse de facturation / Bill to Synchrotron Light Research Institute (SLRI) Suranari Mueang Nakhon Ratchasima District
Conditions de livraison / Delivery terms -	30000 Nakhon Ratchasima Thaïlande	30000 Nakhon Ratchasima Thaïlande

Ligne / Item	Article / Product code	Désignation article / Item Description Votre référence article / Your product code Tarif douanier / Customs tariff	Quantité / Quantity	UDM / UOM	Date promise / Promise date	Prix unitaire / Unit Price	Total ligne / Extended amount
--------------	------------------------	--	---------------------	-----------	-----------------------------	----------------------------	-------------------------------

Payment terms : 45 days end of the month by bank-to-bank transfer unless otherwise specified; Technetics France bank: Societe Generale / Place de l'Hôtel de Ville / 42000 ST ETIENNE FRANCE, account Nr 30003 01840 0002 0148 38792.

Our general Terms and Conditions apply. English version available under [www.techneticsgroup.com](http://www.techneticsgroup.com)  
 The Technetics Group contract Terms & Conditions with Nuclear Liability Rider 04-07-2019 here enclosed are part of the Technetics Group contract offer. Through his Order the Purchaser acknowledges that he has read and he agrees with the Technetics Group T&C.

GENERAL TERMS :

CERTIFICATES : PLEASE CONTACT US, AS IT IS NOT APPLICABLE TO ALL OUR PRODUCTS

- Statement of conformance: free of charge on the delivery note.
  - Declaration of compliance and interchangeability «2.1» as per NF EN 10204 norm: 75.00 Euro per item (If applicable)
  - Declaration of compliance «2.1» as per NF EN 10204 norm: 75.00 Euro per item.
  - Statement of conformity as per NF L 00-015 norm : 75.00 Euro per item.
  - Conformity certificate «3.1» as per NF EN 10204 norm : 200.00 Euro per item.
  - FDA Certificate: 50.00 Euro per item
  - Origin certificate (CERFA form) signed by the Chamber of Commerce : 75.00 Euro per item
  - Declaration of Origin made and signed by Technetics : 50.00 Euro per item
- For any specific inspection and test, please contact us.

Standard manufacturing and inspection as per ISO 9001 version 2000 specification applied by Technetics Group, unless otherwise specified.

Standard tolerances applied by Technetics Group unless otherwise specified.

Standard packaging and packing unless otherwise specified.

Banque / Remit to : SG ST ETIENNE FR76 30003 01840 00020148387 92				BIC : SOGEFRPP	
Total commande HT / Total order net of tax	Code TVA / VAT code	Taux TVA / VAT rate	Montant TVA / VAT amount	Total commande / Total order	Devise / Currency
4.191,60		%	0,00	4.191,60	EUR

Franco de port et emballage (frontière française) pour commande montant HT / expédition supérieure à :

**500 EUR**

Sinon forfait

**26 EUR**