ด้วยสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณในสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ

สยามบรมราชกุมารี ที่ได้พระราชทานโอกาสแก่เยาวชนไทยเข้าร่วมกิจกรรมนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี

ประจำปี 2566

นางสาวธัญรดา สุขวิบูลย์

ภาควิชาวัสดุศาสตร์และวิศวกรรมนาโน มหาวิทยาลัยมหิดล

โดยการสนับสนุนของ

สถาบันวิจัยเดซี (Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY)

สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

และสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

คำนำ

รายงานฉบับนี้เรียบเรียงขึ้นจากประสบการณ์การเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี ณ เมืองฮัมบูร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ประจำปี 2566 ระหว่างวันที่ 18 กรกฎาคม ถึง 7 กันยายน 2566
ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลทั่วไปเกี่ยวโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีและสถาบันเดซี ตารางกิจกรรม บันทึกประจำวัน และงานวิจัยที่เกิดขึ้นระหว่างการเข้าร่วมโครงการ

การเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีนั้นเป็นประสบการณ์อันมีค่ายิ่งของข้าพเจ้า ข้าพเจ้าหวังว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน หากมีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้า
ขอน้อมรับและขออภัยในความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ณ ที่นี้

นางสาวธัญรดา สุขวิบูลย์
ผู้แทนประเทศไทยโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีประจำปี 2566

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณล้นเกล้าฯ ในสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี อย่างหาที่สุดมิได้ ที่ได้พระราชทานโอกาสให้ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี ณ เมืองฮัมบูร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ประจำปี 2566

ข้าพเจ้าขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และบุคลากรทุกท่านในสำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ในการเตรียมความพร้อมก่อนการเดินทางและระหว่างกิจกรรมเป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ Mr. Stefan Krohn ท่านกงสุลกิตติมศักดิ์ประจำสถานทูตไทย ณ เมืองฮัมบูร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ที่สนับสนุนกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีตลอดมา รวมถึงให้โอกาสเข้าพบและให้คำแนะนำต่าง ๆ ในช่วงที่ข้าพเจ้าเข้าร่วมกิจกรรม

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ Dr. Margarita Zakharova และ Jan Lukas Dresselhaus ที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้า ที่ได้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือระหว่างการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณครอบครัว เพื่อน ๆ และตัวแทนประเทศไทยประจำปี 2566 ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและช่วยให้คำแนะนำในการเตรียมตัวก่อนเดินทางและระหว่างกิจกรรมอย่างดีเสมอมา

นางสาวธัญรดา สุขวิบูลย์

ผู้แทนประเทศไทยโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีประจำปี 2566

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

คำนำ 2

กิตติกรรมประกาศ 3

สารบัญ 4

บทนำ 5

1. โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี 5

2. ตารางกิจกรรมของผู้เข้าร่วมโครงการ 6

บันทึกประจำวัน 8

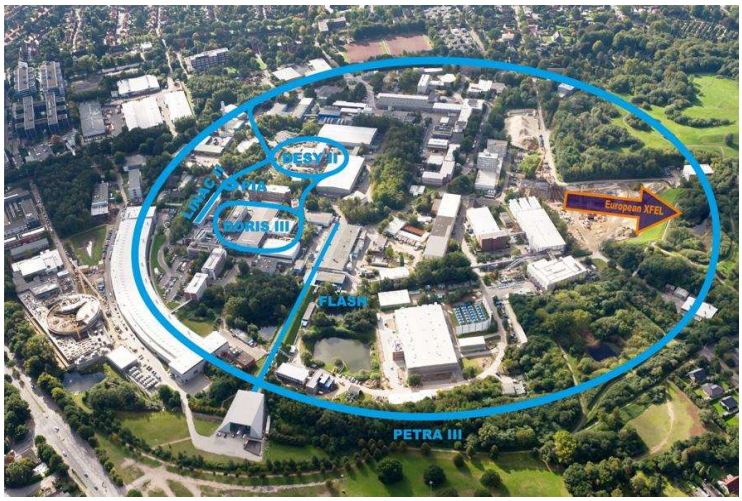
ภาคผนวก 46

บทนำ

1. โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี

โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีเป็นโครงการที่ส่งเสริมให้นักศึกษาในระดับปริญญาตรีและโทเพื่อทำวิจัยในภาคฤดูร้อน ซึ่งปี 2566 จัดในช่วงวันที่ 17 กรกฎาคม ถึง 2 กันยายน ณ สถาบันเดซี (Deutsches Elektronen Synchrotron, DESY) เมืองฮัมบูรก์ สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ซึ่งจะรับนักศึกษาทั้งหมดราว 60 คนจากทั่วโลกมาร่วมโครงการ การเข้าร่วมในโครงการนักศึกษาจะต้องมีความรู้ในสาขาวิชาฟิสิกส์ วิทยาศาสตร์ด้านอื่น เช่น ชีววิทยา เคมี ผลึกศาสตร์ วัสดุศาสตร์ ธรณีวิทยา หรือสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณและวิศวกรรม

สถาบันเดซีมีงานวิจัยที่แตกต่างกันหลากหลายด้าน ได้แก่ Accelerator Physics, Photon Science และ Particle Physics โดยมีเครื่องมือขนาดใหญ่ในบริเวณสถาบัน เช่น PETRA III, FLASH, European XFEL, CFEL, CSSB และกลุ่มวิจัยขนาดใหญ่หลายกลุ่มด้วยกัน เช่น ATLAS, ALPS, CMS, CTA และ IceCube เป็นต้น



2. ตารางกิจกรรมของผู้เข้าร่วมโครงการ

นักศึกษาที่เข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี จะประกอบไปด้วย 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ กลุ่มที่ทำงานด้าน High Energy Physics และ Photon Science ซึ่ง 2 กลุ่มนี้ จะมีตารางกิจกรรมและตารางการบรรยายที่แตกต่างกันเล็กน้อย ข้าพเจ้าทำงานวิจัยในกลุ่ม Advanced Multilayer Opticsซึ่งอยู่ในกลุ่ม Photon Science เป็นหลัก ในช่วง 1 เดือนแรก จะเน้นการกล่าวต้อนรับ การบรรยายและกิจกรรมเดินชมรอบสถาบัน ในช่วงกลางถึงท้ายของโครงการ ตารางการบรรยายจะเริ่มน้อยลง เพื่อให้นักศึกษาได้มีเวลาทำงานวิจัยมากขึ้น และในสองสัปดาห์สุดท้าย จะไม่มีการบรรยาย

เนื่องจากทางสถาบันต้องการให้นักศึกษาได้ทำงานวิจัยอย่างเต็มที่ อีกทั้งเป็นช่วงที่จะมีการนำเสนองานและจัดทำรายงาน ซึ่งกิจกรรมจากทางส่วนกลางได้ถูกจัดเรียงตามวันและเวลาดังต่อไปนี้

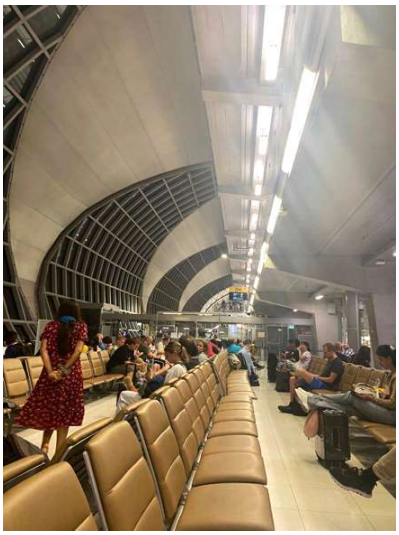
วันที่	กิจกรรม	ผู้บรรยาย
19/07	Welcome and Introduction session	Olaf Behnke
	Introduction to Photon Science 1	Lucas Schwob
	Introduction to Photon Science 2	Lucas Schwob
	Introduction to HEP 1	Achim Geiser
20/07	Introduction to Photon Science 3	Lucas Schwob
	Introduction to Photon Science 4	Lucas Schwob
	Introduction to HEP 2	Achim Geiser
21/07	Introduction to HEP 3	Achim Geiser
	Introduction to HEP 4	Achim Geiser
24/07	Accelerator Physics 1	Pedro Castro-Garcia
	Accelerator Physics 2	Pedro Castro-Garcia
	DESY tour	
25/07	Accelerator Physics 3	Pedro Castro-Garcia
	Accelerator Physics 4	Pedro Castro-Garcia
26/07	Reciprocal Space and Principles of Diffraction 1	Oleksandr Yefanov
28/07	Astroparticle Physics 1	Gernot Maier
	Astroparticle Physics 2	Gernot Maier
	Welcome dinner	
31/07	Modern Crystallography: Processing Petabytes of Data	Oleksandr Yefanov
01/08	X-ray Spectroscopy of Quantum Materials	Markus Scholz
03/08	Scattering methods for Investigation of Sustainable Materials	Stephan Roth
08/08	Fundamentals of X-Ray Matter Interaction 1	Sang-Kil Son
09/08	Fundamentals of X-Ray Matter Interaction 2	Sang-Kil Son
10/08	Phenomena at High X-ray Intensity 1	Robin Santra
11/08	Phenomena at High X-ray Intensity 2	Robin Santra
14/08	XFEL tour	

15/08	Diagnostics of Light	Ulrike Fruehling
16/08	Plasma Wakefield Accerelation 1	Jens Osterhoff
	Plasma Wakefield Accerelation 2	Jens Osterhoff
17/08	X-Ray Nano-Analytics and Microscopy 1	Christian Schroer
	Introduction to ultrafast laser and nonlinear optics	Giulio Maria Rossi
18/08	X-Ray Nano-Analytics and Microscopy 2	Christian Schroer

บันทึกประจำวัน

วันอาทิตย์ที่ 16 กรกฎาคม 2566

วันนี้เป็นวันเดินทางไปยังสถาบันเดซี ณ เมืองฮัมบูร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ข้าพเจ้ารู้สึกตื่นเต้นกับการเดินทางครั้งใหม่อย่างมากและตั้งใจจะเก็บประสบการณ์ต่างๆให้ได้มากที่สุด ข้าพเจ้าได้พูดคุยสนทนากับครอบครัวคุณพ่อคุณแม่ และครอบครัวของเพื่อนคนอื่นๆ เมื่อตรวจเช็กสิ่งของและสัมภาระต่างๆเรียบร้อยแล้วจึงเตรียมตัว check-in และเข้าเกตเวลาประมาณ 22.00 น. เพื่อขึ้นเที่ยวบินไปยังเมืองมิวนิคเวลาประมาณ 00.50 น. การเดินทางประกอบไปด้วยนายณัฐวัตร และนายปัณณวิชญ์ รวมเป็น 3 คน ส่วนนายเชษฐมาสจะเดินทางตามไปภายหลัง ระหว่างรอขึ้นเครื่อง ทางสนามบินได้แจ้งว่าเที่ยงบินดีเลย์ประมาณ 1 ชั่วโมง ข้าพเจ้าจึงค่อนข้างกังวลถึงการต่อเครื่องหลังจากนี้ อย่างไรก็ตามเที่ยวบินเกิดความล่าช้าทำให้พวกเรา 3 คนไม่สามารถไปต่อเครื่อง ณ เมืองมิวนิคได้ทันเวลา จึงต้องหาเที่ยวบินอื่นด้วยความช่วยเหลือจากทางเจ้าหน้าที่สายการบินจึงสามารถเดินทางไปถึงสนามบินเมือง Hamburg ได้อย่างปลอดภัย



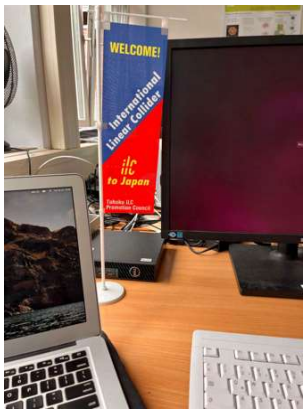
วันจันทร์ที่ 17 กรกฎาคม 2566

หลังจากเดินทางด้วยเครื่องบินมามากกว่า 10 ชั่วโมง ข้าพเจ้าถึงสนามบินเมือง Hamburg ก่อนที่จะเดินทางไปที่สถาบันวิจัยเดซี ข้าพเจ้าได้เจอกับ นายชัยมงคล ดวงจันทร์ นักเรียนภาคฤดูร้อนเดซี ประจำปี 2019 ที่ได้นัดมาพบเจอและช่วยเหลือนำทางเพื่อนั่งรถไฟไปที่สถาบันเดซี การเดินนั่งรถไฟค่อนข้างลำบากเนื่องจากได้มีการปิดซ่อมทางชั่วคราวระหว่างทางทำให้ต้องสับเปลี่ยนขบวนระหว่างการเดินทาง จากนั้นได้สามารถมาถึงสถาบันวิจัยเดซีได้อย่างปลอดภัย ข้าพเจ้าและเพื่อนนักศึกษาภาคฤดูร้อนทุกคนพักใน DESY guest house ที่ตั้งอยู่ภายในสถาบันเดซี ทำให้สะดวกต่อการเดินทางเป็นอย่างมาก ในช่วงตอนเย็นนายชัยมงคลได้ส่งมอบซิมโทรศัพท์มือถือให้ข้าพเจ้าและเพื่อนๆ และได้นำนักศึกษาภาคฤดูร้อนประจำปีนี้ทุกคนไปรับประทานอาหารเย็นที่ร้านราเมงในตัวเมือง hamburg และพาไปซื้อของกิน-ของใช้ที่จำเป็นก่อนเริ่มโครงการในวันพรุ่งนี้ และได้เดินเยี่ยมชมตัวเมืองเล็กน้อย ก่อนกลับไปยังสถาบันเดซีและเตรียมตัวสำหรับการเริ่มโครงการพรุ่งนี้ ข้าพเจ้ารู้สึกขอบคุณนายชัยมงคลสำหรับการช่วยเหลือครั้งนี้มากๆ

วันอังคารที่ 18 กรกฎาคม 2566

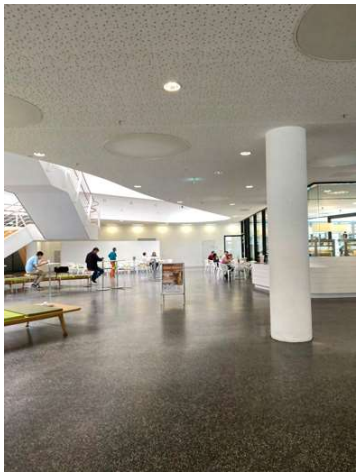
วันนี้ตอนเช้าข้าพเจ้าได้เข้าร่วมการปฐมนิเทศนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี (welcome sessions) คุณ Olaf กล่าวต้อนรับนักศึกษาจากทั่วทุกมุมโลก และอธิบายคำแนะนำเบื้องต้นและรายละเอียดการทำงานวิจัยในสถาบันเดซี กิจกรรมต่างๆ ในเมือง Hamburg และการเดินทางในตัวเมือง หลังจากนั้นจึงได้อวยพรแก่นักศึกษาทุกคนให้สนุกและเต็มที่กับกิจกรรม ในช่วงบ่ายเป็นเวลาให้ที่ปรึกษาวิจัย (supervisor) ได้เข้ามาทักทายนักศึกษาโดย supervisor จะยืนถือป้ายชื่อเรา ณ บริเวณหน้าอาคาร auditorium ผู้ที่ดูแลข้าพเจ้าชั่วคราวคือ Jan Lukas Dresselhaus นักศึกษาปริญญาเอก เนื่องจาก supervsior หลักของข้าพเจ้ายังอยู่ในช่วงระยะเวลาลาพักร้อน ช่วงบ่ายถึงเย็น Lukas ได้พาข้าพเจ้าเยี่ยมชมสถานที่ทำงานของกลุ่มวิจัยด้านระบบทัศนศาสตร์ (optics) ได้เยี่ยมชมอาคาร 49B ซึ่งเป็นอาคารห้องทดลองหลักสำหรับการผลิต multilayer laue lens และการทดสอบประสิทธิภาพกับรังสีเอ็กซ์ (x-ray set up) และพาชมอาคาร Center of Free-electron laser (CFEL) ที่จะเป็นอาคารทำงานหลักของข้าพเจ้าในตัวอาคารชั้นล่างเป็นห้องปฏิบัติการการทดลองและห้องทดสอบ ส่วนชั้นบนเป็นห้องทำงานสำหรับกลุ่มวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง หลังจากเยี่ยมชมและรับประทานอาหารกลางวันใน cafeteria ของตึกเรียบร้อย คุณ Lukas ได้ช่วยข้าพเจ้าติดตั้งโปรแกรมที่จำเป็นและใช้งาน

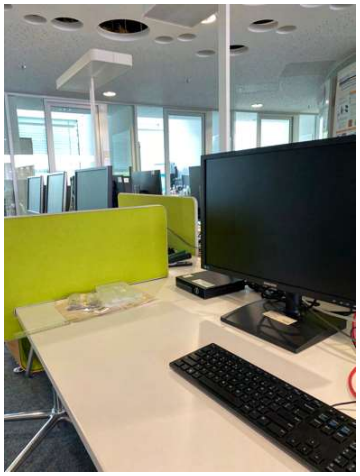
เช่น Nanoscribe หรือโปรแกรมสำหรับส่งออกไฟล์ชนิด STL ไปยังเครื่องปริ้นท์สามมิติ หรือโปรแกรม Blender สำหรับออกแบบเลนส์ที่จะเป็นวัสดุหลักที่จะปริ้นท์สามมิตินี้ หลังจากเสร็จสิ้นการทำงานช่วงเย็นได้ไปห้างซุปเปอร์มาร์เก็ตใกล้เคียงเพื่อซื้อวัตถุดิบมาทำอาหารเย็นร่วมกับนายณัฐวัตร นายเชษฐมาส และนายปัณณวิชญ์ รอบสถาบันเดซีมีร้านขายอาหารสดและอาหารแห้ง 2 แห่ง ได้แก่ Lidl และ Aldi ข้าพเจ้าและเพื่อนได้ซื้อวัตถุดิบสำหรับปรุงอาหารและได้ลองหุงข้าวในหม้อต้มเป็นครั้งแรก



วันพุธที่ 19 กรกฎาคม 2566

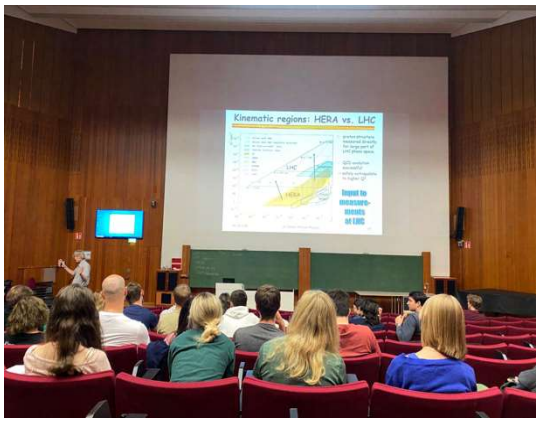
วันนี้ช่วงเช้าเป็นคลาสบรรยายครั้งแรกของโครงการภาคฤดูร้อนเดซี ซึ่งก็คือ introduction to photon science ซึ่งผู้บรรยายอธิบายเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องมือที่เดซีใช้งานในการวิเคราะห์หาอนุภาคใหม่ หรือ characterization ของสสารโดยใช้แสงรูปแบบต่างๆ ทั้งแสงซินโครตรอนใน PETRA III แสงซอฟต์เอกซเรย์จากเครื่องเร่ง FLASH I และ II จากนั้นต่อด้วยเป็นคลาสบรรยายของ introduction to high energy physics ซึ่งผู้บรรยายอธิบายพื้นฐานของ standard particle model จากจุดเริ่มต้นจนถึงการค้นพบปัจจุบัน ช่วยบ่ายข้าพเจ้ายังคงปรับตัวกับการทำงาน รวมทั้งปูพื้นฐานด้าน refractive optics for x-ray ซึ่งเป็นงานหลักที่ต้องวิจัยในโครงการนี้ คุณ margarita ที่ปรึกษาวิจัยหลักของข้าพเจ้ายังฝากหนังสือเรียน (textbook) เกี่ยวกับ x-ray optics ให้ข้าพเข้าได้ศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติมอีกด้วย หลังเลิกงานข้าพเจ้าและเพื่อนอีก 3 คนได้ไปซื้ออาหารสดเพื่อนำมาทำอาหาร เมนูวันนี้คือสปาเกตตี้เห็ดใส่ผักโขม เพื่อนๆทุกคนกินอาหารได้ทุกอย่าง จึงเน้นสร้างสรรค์เมนูใหม่ๆ เน้นวัตถุดิบครบ 5 หมู่





วันพฤหัสบดีที่ 20 กรกฎาคม 2566

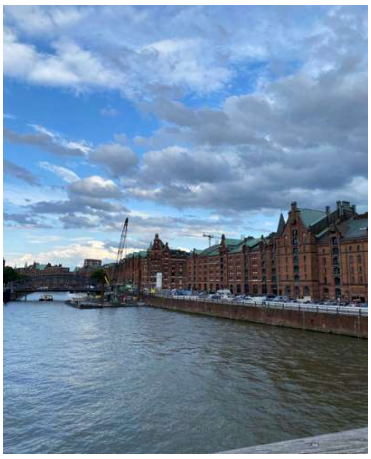
วันนี้ยังคงเป็นคลาสบรรยายเซตเดิมต่อเนื่อง ด้าน photon science ยังคงเน้นเทคนิคต่างๆที่ใช้แสงย่านต่างๆ ในการทดสอบคุณสมบัติ ของสสาร ส่วนภาคบรรยาย particle physics มีความยากขึ้นมาจากครั้งแรก และเน้นการหาอนุภาคต่างๆ ที่มีประจุและน้ำหนักต่างกัน การวิเคราะห์อนุภาคจากการทดลองการชนกันของอนุภาค และอธิบายถึงความเป็นไปได้ของทฤษฎีต่างๆ ที่มีความน่าสนใจ เนื้อหาค่อนข้างยากแต่ผู้บรรยายไม่ได้ลงละเอียดมากนักจึงพอเข้าใจได้ หลังจากนั้นพักกลางวันข้าพเจ้าและนักเรียนคนอื่นๆได้ไปรับประทานอาหารกลางวันที่โรงอาหารหลักที่เดิม หลังจากนั้นข้าพเจ้าได้เดินทางไปที่ตึก CFEL กลุ่มของข้าพเจ้านั้นสมาชิกแต่ละคนทำงานกันคนละตึก จึงไม่ค่อยพบสมาชิกคนอื่นๆมากนัก งานวันนี้ของข้าพเจ้าไม่มีอะไรเยอะมาก เน้นการปรับตัวและเรียนรู้งานการทดลองที่จะต้องทำในอนาคต Lukas ให้ความช่วยเหลือดีมากในด้านแนะนำงานและการทดลองระหว่างรอที่ปรึกษาหลักของข้าพเจ้า ข้าพเจ้ายังได้ไปฝ่าย IT เพื่อขอยืมโน้ตบุ๊กเพื่อใช้สำหรับการทำงานวิจัยและวิเคราะห์ผลการทดลอง หลังจากนั้นติดตั้งโปรแกรมที่สำคัญในคอมพิวเตอร์เสร็จเรียบร้อย หลังเลิกงานได้เดินทางกลับหอพัก ระยะทางระหว่างหอพักไปยังอาคารทำงานค่อนข้างไกล เพราะต้องเดินจากฝั่งตรงข้ามของสถาบันเดซี ช่วงเย็นได้มีโอกาสไปเดินสำรวจรอบสถาบันวิจัยเดซี ก่อนจะไปซุปเปอร์มาร์เก็ตเพื่อทำอาหารเย็นเช่นเดิม ทุกคนร่วมช่วยกันทำอาหารเย็นเป็นอย่างดี เมนูวันนี้คือ ข้าวผัดแฮมไส้กรอก อีกทั้งยังมีกระปุกน้ำพริกซึ่งสามารถชูรสเผ็ดได้เป็นอย่างดี เนื่องจากที่ประเทศเยอรมนีไม่มีวัตถุดิบที่มีรสชาติเผ็ดมากนัก



วันศุกร์ที่ 21 กรกฎาคม 2566

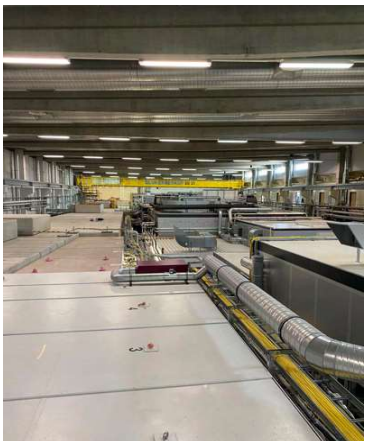
วันนี้ผู้บรรยายได้สอนต่อเนื่องถึง introduction for high energy physics 3 และ 4 ได้กล่าวถึง CP violation และ Higgs field และการพิสูจน์สมมติฐานที่อาจนำไปสู่ grand unification of forces เนื้อหาค่อนข้างเยอะและซับซ้อนเหมือนเดิม ผู้สอนผ่านเนื้อหาค่อนข้างเร็ว กว่าครั้งก่อนๆมาก เนื่องจากเนื้อหามีรายละเอียดเยอะ แต่ก็ผ่านไปด้วยดี ช่วยบ่ายข้าพเจ้าไปทำงานวิจัยต่อเนื่อง ได้รับมอบหมายให้ออกแบบ 3D model เพื่อนำไปลองพิมพ์สามมิติทดสอบเครื่องหลังจากยังอยู่ในช่วงรอการอัพเกรดใหม่ของเครื่องมือ ข้าพเจ้าเลือกออกแบบเป็นรูปร่างพูดดิ้ง (pudding) จากนั้นได้ปรับขนาดและรูปร่างให้เหมาะสม ซึ่งมีเนื้อหาด้านการเขียนโปรแกรมที่ข้าพเจ้าต้องศึกษาเพิ่มเติม หลังจากข้าพเจ้าทำงานวิจัยจนถึงช่วงเลิกงาน ช่วงเย็นมีกิจกรรมสำหรับนักศึกษาภาคฤดูร้อน ไปล่องเรือท่องเที่ยวบริเวณปากอ่าวแม่น้ำ เพื่อเยี่ยมชมประวัติศาสตร์ของเมือง Hamburg ผ่านการค้าหลักของเมืองคือ การขนส่งทางน้ำ หลังจากนั้นช่วงค่ำจึงเดินเที่ยวรอบตัวเมือง Hamburg ผ่านศาลากลางเมือง Rathhaus

และได้แวะไปที่สวนสนุก ซึ่งจัดเป็นช่วงเทศการชื่อว่า Hamburger DOM พบว่าคล้ายคลึงกับงานในประเทศไทยมาก ข้าพเจ้าและเพื่อนได้เดินเล่นชมบรรยากาศและแวะกินอาหารมื้อเย็น บรรยากาศค่อนข้างดีมาก



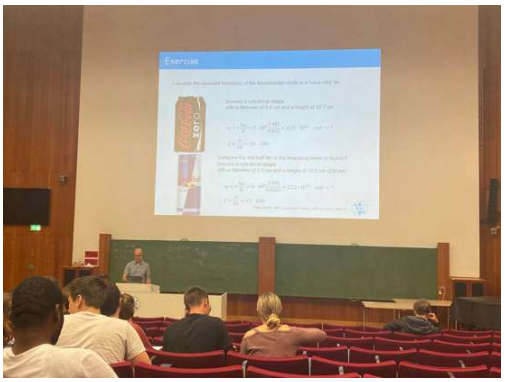
วันจันทร์ที่ 24 กรกฎาคม 2566

ภาคบรรยายวันนี้คือ accerelator physics ผู้บรรยายอธิบายหลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องเร่งอนุภาค และอธิบายภาคส่วน (station) ต่างๆในสถาบันเดซี และการใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรม จากนั้นมีกิจกรรมเล็กน้อยให้นักศึกษาภาคฤดูร้อนยกตัวอย่างเครื่องเร่งอนุภาคจากประเทศของตัวเอง ซึ่งคือเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนในจังหวัดนครราชสีมา หลังพักเบรก ผู้บรรยายกล่าวถึงเคสตัวอย่างเหตุการณ์การแก้ปัญหาจริงเมื่อเกิดปัญหาที่ไม่รู้สาเหตุจากสัญญาณจากเครื่องเร่งอนุภาคที่หายไป เริ่มไล่กระบวนการหาสาเหตุจากระบบต่างๆ ทั้งระบบแม่เหล็ก ระบบสูญญากาศ (vacuum) ระบบยิงอนุภาค (injection) ข้าพเจ้าคิดว่าเนื้อหามีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก ช่วงบ่ายมีกิจกรรมที่น่าสนใจ คือทัวร์ชมสถาบันวิจัยเดซี นักศึกษาภาคฤดูร้อนถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม และแยกกันไปเยี่ยมชม ผู้นำทางได้พาไปชมเครื่องเร่งอนุภาคต่างๆ ทั้ง HERA ที่ปิดทำการไปแล้ว และ FLASH I และ II และ PETRA III ที่เปิดใช้งานอยู่ รวมถึงบริเวณภายในสถาบันที่มีพื้นที่กว้างขวางมาก ข้าพเจ้าและกลุ่มเพื่อนรู้สึกประทับใจและได้แรงบันดาลใจในการศึกษาวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก



วันอังคารที่ 25 กรกฎาคม 2566

วันนี้เนื้อหาการบรรยาย accelerator physics ภาคจบซึ่งผู้บรรยายได้อธิบายเรื่องการค้นพบอนุภาคประเภทต่างๆ จากประวัติศาสตร์การพัฒนาเครื่องเร่งอนุภาคภายในระยะเวลา 50 ปี การใช้แม่เหล็กชนิดต่างๆเหนี่ยวนำอนุภาคความเร็วสูง และตัวอย่าง superconducting cavity ที่ใช้ในประเทศต่างๆ มีแบบฝึกหัดเพื่อทดสอบความเข้าใจของนักศึกษาในช่วงท้ายของการบรรยาย เนื้อหาครบในเชิงการบรรยายเป็นอย่างมาก หลังจากนั้นได้ไปรับประทานอาหารกลางวัน เป็นเมนู และได้ไปทำงานวิจัยช่วงบ่าย วันนี้ข้าพเจ้าได้ทำความคุ้นเคยกับโปรแกรม Blender และส่วนของ scripting ซึ่งใช้พื้นฐานจากการเขียนโปรแกรมไพตอน (Python) พื้นฐานการเขียนโปรแกรมของข้าพเจ้าไม่แข็งแรง ที่ปรึกษาวิจัยจึงให้เวลาเรียนรู้การเขียนโปรแกรมจากแหล่งต่างๆ เช่น เว็บไซต์ youtube และอื่นๆ ข้าพเจ้าจึงใช้เวลาทำความเข้าใจโค้ดจนถึงช่วงเย็น ข้าพเจ้าและเพื่อนเดินทางไปซูเปอร์มาร์เกต และทำอาหารเย็นเช่นเดิม เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย เมนูวันนี้คือ ข้าวหมูย่าง พร้อมไข่เจียวและผัก

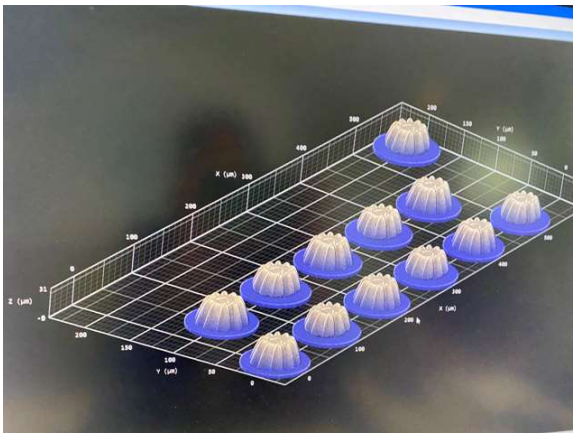


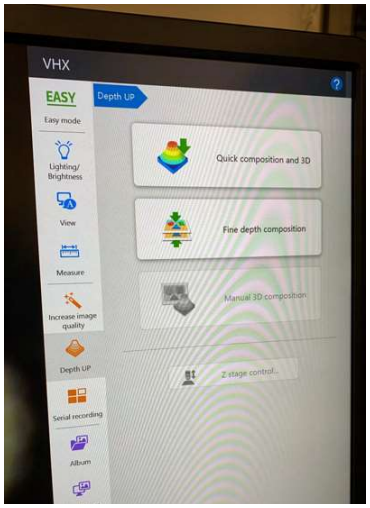
วันพุธที่ 26 กรกฎาคม 2566

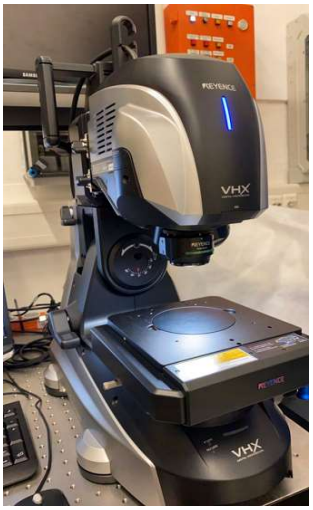
วันนี้เป็นครั้งแรกสำหรับภาคบรรยายของโปรแกรม photon science ชื่อวิชา reciprocal space ซึ่งข้าพเจ้าได้ศึกษามาเบื้องต้นจากการใช้เครื่องมือ X-Ray Diffractometer (XRD) หรือเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ครั้งนี้การบรรยายของโปรแกรม Photon Science อยู่ที่ตึก Flash seminar room ซึ่งอยู่ด้านหลังสุดของสถาบันเดซี ผู้บรรยายกล่าวถึงพื้นฐานการวิเคราะห์โครงสร้างอะตอม และการวิเคราะห์ข้อมูลจาก reciprocal space แทนที่การวิเคราะห์ real space และสมการเบื้องต้นสำหรับคำนวณ เมื่อสิ้นสุดการบรรยาย เวลามื้ออาหารกลางวันข้าพเจ้าได้ไปรับประทานที่โรงอาหารอาคาร CFEL เช่นเคย หลังจากนั้นข้าพเจ้าได้ไปนั่งทำงานบริเวณส่วนกลางของอาคารที่ชั้น 4 และเตรียมโปรแกรม Nanowrite สำหรับสั่งการพิมพ์ ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับแต่งคำสั่งการพิมพ์ให้กับเครื่องมือได้อย่างละเอียด มื้อเย็นทำเป็นอาหารตุรกีเป็นไก่ผักซอสรสชาติเผ็ดชนิดหนึ่ง ที่ได้รับคำแนะนำมาจากเพื่อนอีกคนหนึ่ง รสชาติค่อนข้างเผ็ดและจัดจ้าน

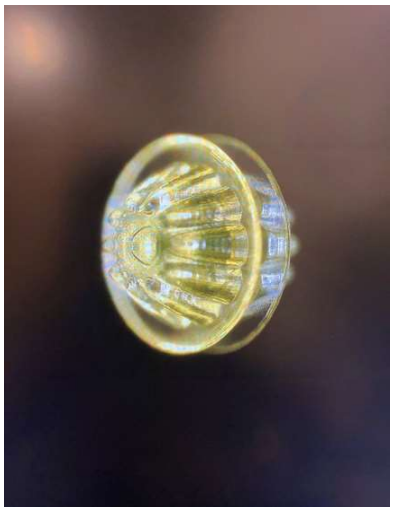
วันพฤหัสบดีที่ 27 กรกฎาคม 2566

วันนี้ไม่มีการบรรยายช่วงเช้า ข้าพเจ้าจึงเข้าไปทำงานที่อาคารเดิม วันนี้ข้าพเจ้าได้ทำการนำตัวอย่างที่ออกแบบมาเองพร้อมทำการพิมพ์ ได้นำตัวอย่างไปส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อดูโครงสร้างระดับไมครอน (micron) เราสามารถเห็นโครงสร้างหรือรูปร่างเบื้องต้น มีความละเอียดสูง และไร้รอยแตกจากการผลิตวัตถุสามมิติผ่านเครื่องพิมพ์ที่ใช้เทคนิคการพิมพ์ลิโธกราฟีแบบสองโฟตอน (two-photon polymerization) ซึ่งเป็นการยิงลำแสงเลเซอร์ให้ยางเรซิ่นเหลวที่แข็งตัว เพื่อสร้างวัตถุโพลิเมอร์แข็งขนาดไมครอน ถึงซับไมครอน (micron to sub-micron) ทั้งนี้ชนิดวัตถุสามารถเปลี่ยนเป็นชนิดอื่นได้ เช่น วัสดุแก้วหรือพอลิเมอร์ผสมแก้ว ที่ให้คุณสมบัติที่แตกต่างกัน และจะเป็นงานวิจัยหลักของข้าพเจ้า หลังจากนั้นจึงกลับไปซุปเปอร์มาร์เกตเพื่อซื้ออาหารเย็น วันนี้ข้าพเจ้าและเพื่อนไม่ได้ทำอาหารกัน จึงเลือกซื้อพิซซ่าขนาดใหญ่มารับประทานร่วมกัน



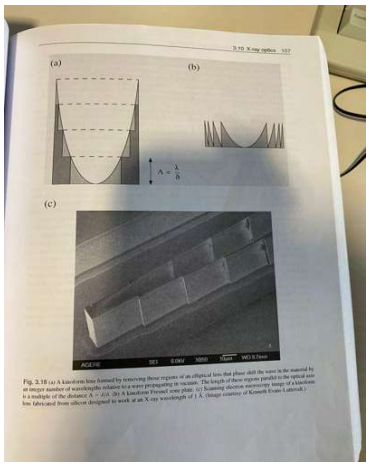

VHX
EASY
Easy mode
Depth UP
Lighting/ Brightness
View
Measure
Increase image quality
Depth UP
Serial recording
Album
Depth UP
Quick composition and 3D
Fine depth composition
Manual 3D composition
Z stage control


KEYENCE
VHX



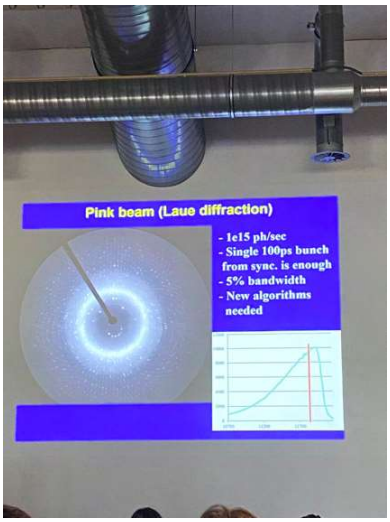
วันศุกร์ที่ 28 กรกฎาคม 2566

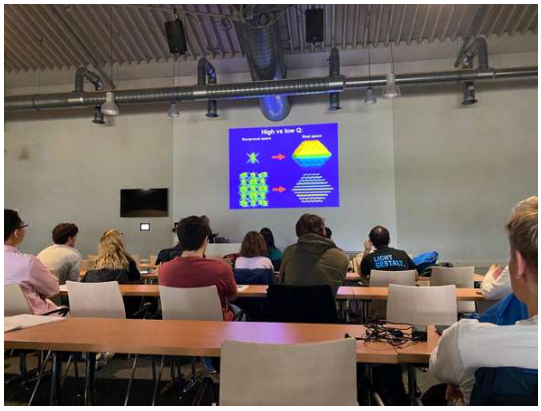
การบรรยายในหัวข้อ Astroparticle Physics ในช่วงเช้าเป็นการบรรยายรวมซึ่งเนื้อหาไม่ลงลึกมาก ทำให้นักศึกษาทั้งสองกลุ่มทำความเข้าใจได้ ผู้บรรยายเน้นพื้นฐานเบื้องต้นของอนุภาคนอกโลกที่สามารถตรวจสอบได้ อีกทั้งผู้บรรยายได้กล่าวถึงโครงการที่กำลังทำร่วมกับ IceCube และ CERN การบรรยายเป็นไปค่อนข้างไว จากนั้นข้าพเจ้าได้ไปรับประทานอาหารกลางวันเป็นเมนูคลาสสิกอย่าง currywurst ในช่วงการทำงาน ข้าพเจ้าได้ทบทวนหนังสือเรื่อง X-ray optics เพื่อศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ที่ใช้เลี้ยวเบนรังสีเอ็กส์ เป็นหนังสือที่ค่อนข้างดีและมีประโยชน์ ช่วงเย็นได้มีงานเลี้ยงต้อนรับนักศึกษาภาคฤดูร้อนที่มีคุณ Olaf และคุณ Andreas ช่วยจัดและดูแลงาน อาหารเย็นประกอบไปด้วยบาร์บีคิว และเครื่องดื่มมากมาย ข้าพเจ้าได้นัดเจอที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้าและได้พูดคุยกันเพื่อทำความรู้จักมากขึ้น ที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้าได้พูดคุยอย่างเป็นกันเอง และให้คำแนะนำต่างๆดีมาก



วันจันทร์ที่ 31 กรกฎาคม 2566

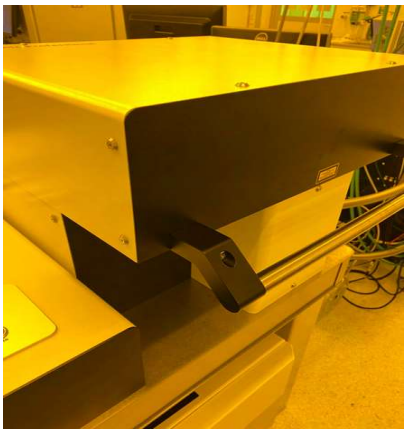
ในช่วงเช้าเป็นภาคบรรยายต่อจากจากหัวข้อ Modern Crystallography ซึ่งศึกษาการจัดเรียงอะตอมอย่างเป็นระเบียบของวัสดุ ผู้บรรยายได้ยกตัวอย่างการใช้การจำลอง (simulation) มาประกอบการสร้างอะตอมจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยรวมผู้บรรยายค่อนข้างอธิบายได้ดีและเห็นภาพ จากนั้นได้เดินไปยังโรงอาหารอาคาร CFEL เพื่อรับประทานอาหารกลางวัน เป็นเมนูเบอร์เกอร์ปลา อาหารขึ้นชื่อเมืองฮัมบูร์กเป็นปลา แต่ข้าพเจ้ายังไม่ค่อยได้รับประทานประเภทนี้มากนัก ช่วงบ่ายข้าพเจ้าได้ไปทำงานที่ชั้น 4 แต่วันนี้ที่ปรึกษาวิจัยไม่อยู่ ข้าพเจ้าจึงนั่งศึกษาเนื้อหาข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการทดลองครั้งต่อไป เนื่องจากเครื่องพิมพ์สามมิติยังอยู่ระหว่างการอัพเกรดเพื่อพิมพ์วัสดุชิ้นแก้ว ข้าพเจ้าจึงต้องรออีกสักระยะหนึ่ง จึงจะเริ่มทำการทดลองได้





วันอังคารที่ 1 สิงหาคม 2566

วันนี้หัวข้อการบรรยายเรื่อง Quantum material มีเนื้อหาตั้งแต่การศึกษาชั้นพลังงาน (energy band) ไปจนถึงการนำไปใช้ประโยชน์ของวัสดุหนึ่งมิติและสองมิติ (1D and 2D materials) ที่นำไปใช้ในเทคโนโลยีปัจจุบัน เช่น 2D transistor, twistronics และ CMOS รวมถึงเทคนิควิเคราะห์ขั้นสูงจำพวก x-ray microscopy ข้าพเจ้าคิดว่าการบรรยายเรื่องนี้มีประโยชน์และน่าสนใจมาก และยังไม่มีงานวิจัยเช่นนี้ในประเทศไทยมากนัก จากนั้นช่วงกลางวันได้ไปทานอาหารกลางวันที่โรงอาหาร CFEL เช่นเคย การทำงานช่วงบ่ายค่อนข้างเรียบง่าย ข้าพเจ้านั่งปรับแต่งคำสั่งโค้ดสำหรับการปรับรูปร่างของเลนส์ที่ต้องการผลิต เนื่องจากการทดลองค่อนข้างใหม่และไม่มีผู้ชำนาญข้าพเจ้าและที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้าจึงศึกษาการใช้งานจากคู่มือ (manual) เมนูมื้อเย็นวันนี้ข้าพเจ้ารู้สึกดีใจมาก เนื่องจากเราได้ทำผัดกระเพรา

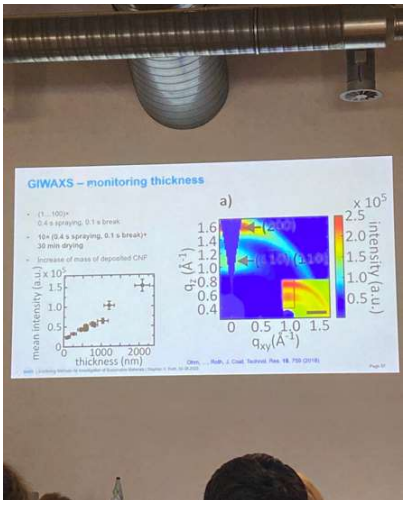


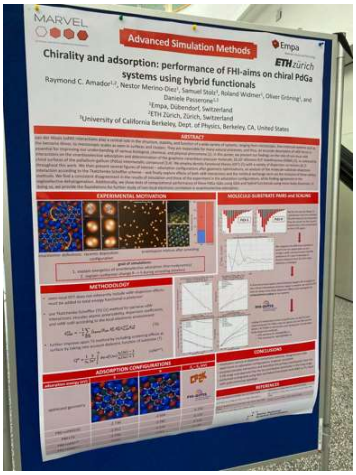
วันพุธที่ 2 สิงหาคม 2566

วันนี้ส่วนของ photon science ไม่มีการบรรยายช่วงเช้า ข้าพเจ้าจึงเดินทางไปทำงานวิจัยเช่นเคย ระยะทางจากหอพักไปยังอาคารทำงานค่อนข้างไกลเช่นเคย แต่เนื่องจากเดินทางหลายอาทิตย์แล้วจึงค่อนข้างชินทาง ก่อนเดินทางไปทำงานข้าพเจ้าได้ไปยังอาคารการเงินเพื่อทำการเบิกจ่ายเงินเดือนสำหรับนักศึกษาภาคฤดูร้อน แต่ต้องนำเช็กไปขึ้นเงินที่ห้างสรรพสินค้าใกล้เคียงเพื่อเปลี่ยนเป็นเงินสดอีกที การทำงานยังคงเป็นเหมือนเดิม ข้าพเจ้านั่งศึกษาเรื่องเลนส์และการเขียนโปรแกรม บริเวณห้องนั่งเล่นของชั้น 4 ซึ่งการทำงานวิจัยค่อนข้างท้าทาย

วันพฤหัสบดีที่ 3 สิงหาคม 2566

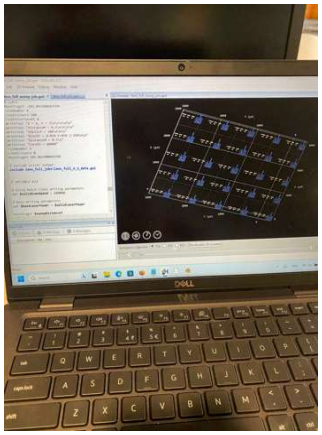
ช่วงเช้ามีการบรรยายหัวข้อ Scattering Methods for Investigation of Sustainable Materials ซึ่งผู้บรรยายเป็นหัวหน้ากลุ่มทำงานวิจัยของนายเชษฐมาส เนื้อหาเป็นไปอย่างราบรื่น เป็นการบรรยายทั่วไปที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจครอบคลุมเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะของวัสดุโดยใช้แสง ได้แก่ SAXS WAXS GISAXS GIWAXS ที่มีให้ทดลองภายในสถาบันเดซี งานวิจัยของกลุ่มนายเชษฐมาสค่อนข้างใช้เทคนิคคล้ายกับงานวิจัยของข้าพเจ้าในประเทศไทย แต่เทคนิคมีความยากกว่ากันมาก ข้าพเจ้าจึงต้องศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเทคนิคจำพวกนี้ ช่วงกลางวันได้ไปรับประทานอาหารที่โรงอาหารภายในตึก CFEL อาหารคือมันฝรั่งราดซอสพร้อมกับแฮม ช่วงบ่ายระหว่างข้าพเจ้านั่งทำงานได้ไปแวะชมนิทรรศการเกี่ยวกับการใช้ซอฟต์แวร์ FHI-aims ที่ใช้จำลองการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสสารจากทฤษฎีฟังก์ชันความหนาแน่นของอิเล็กตรอน(density functional theory) ในใต้ตึกอาคาร





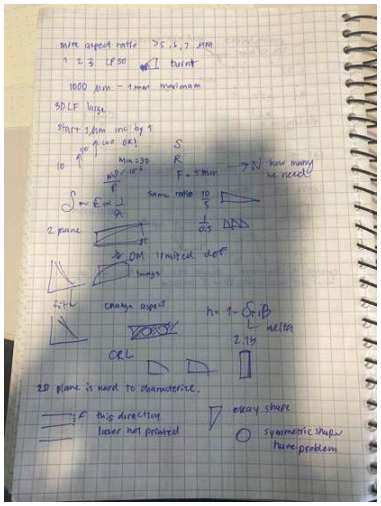
วันศุกร์ที่ 4 สิงหาคม 2566

เนื่องจากวันนี้ไม่มีการบรรยายช่วงเช้า ข้าพเจ้าจึงได้เตรียมโมเดลสำหรับการพิมพ์ โดยใช้การเขียนโปรแกรมผ่าน Blender scripting เพื่อนำไปพิมพ์สามมิติในห้องคลีนรูมหรือห้องปลอดเชื้อ ในการทดลอง 1 ครั้งประกอบไปด้วยการพิมพ์สามมิติ Refractive lens แบบหนึ่งมิติที่มีค่า apex radius แตกต่างกัน เพื่อหาขอบเขตรูปร่างเลนส์ที่สมบูรณ์มากที่สุด ข้าพเจ้าได้ออกแบบการทดลองในรูปแบบ array เพื่อวิเคราะห์พลังงานเลเซอร์ (laser power) และความเร็วของเลเซอร์ (laser speed) ที่เหมาะสมในการผลิตเลนส์ที่สมบูรณ์และคงอยู่ การทดลองใช้ระยะเวลานานประมาณ 4-5 ชั่วโมง ข้าพเจ้าทำงานถึงค่ำและเมื่อเลิกงาน พบว่าไม่มีคนทำงานอยู่ในตึกแล้ว ช่วงเย็นได้กลับไปทำอาหารกับเพื่อนๆเช่นเคย เป็นเมนูพาสต้าผัดซอส



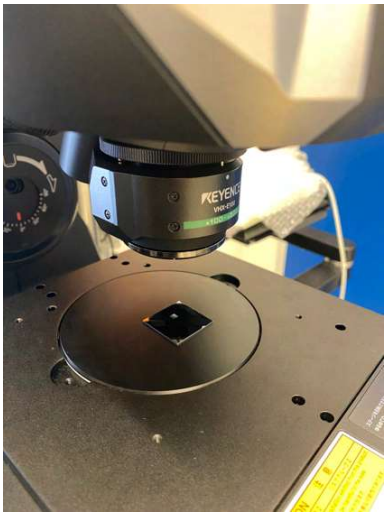
วันจันทร์ที่ 7 สิงหาคม 2566

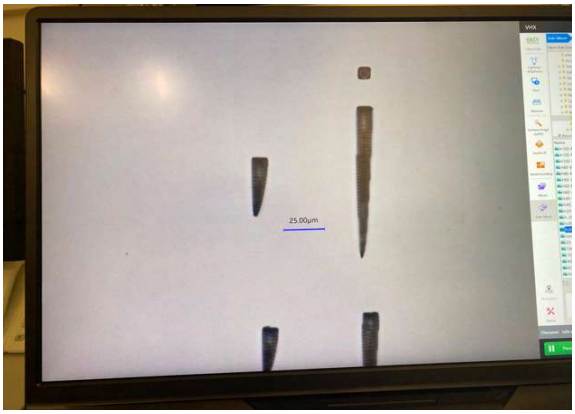
ช่วงเช้าไม่มีการบรรยาย ช่วงกลางวันจึงไปรับประทานอาหารกลางวัน คือ currywurst ของโรงอาหารหลัก ช่วงบ่ายได้เรียนทฤษฎีและรายละเอียดเพิ่มเติมของงานที่ทำจาก Margarita เพื่อทำความเข้าใจภาพรวมของงานด้านระบบทัศนศาสตร์ (optics) ของกลุ่มของคุณ Sasa Bajt ในด้านการพัฒนา multilayer laue lens ที่เป็นเลนส์หลักที่ใช้เพื่อเลี้ยงเบนหรือปรับเปลี่ยนทิศทางของรังสีเอ็กซ์ การวิจัยส่วน refeactive lens สามารถนำไปต่อยอดเพื่อใช้ในเลนส์อรงค์ (achromat หรือ achromatic lens) เพื่อลดการเกิด chromatic aberration สำหรับการโฟกัสรังสีเอ็กซเรย์ คุณ Margarita ให้คำปรึกษาได้อย่างดีเยี่ยม ข้าพเจ้ารู้สึกโชคดีที่ได้คำแนะนำหลายอย่าง ช่วงเย็นได้ทำเมนูเสต็กหมูสามชั้น พร้อมเครื่องเคียงมันฝรั่งและผักลวก



วันอังคารที่ 8 สิงหาคม 2566

วันนี้มีการบรรยายในหัวข้อ ซึ่งเน้นหนักไปในทางทฤษฎีเกี่ยวกับแสง เนื้อหาค่อนข้างยากแต่ก็ผ่านไปได้ด้วยดี ช่วงบ่ายข้าพเจ้าได้ไปส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูชิ้นงานที่พิมพ์ พบว่า ชิ้นงานคงสภาพสมบูรณ์ แต่มีรอยลายทาง (stripe) ซึ่งเกิดจากขนาดชิ้นงานเล็กเกินไปสำหรับขอบเขตของขนาดลำแสง (beam size) ของเลเซอร์ที่เกิดจากกระบวนการ two-photon polymerization ทำให้ต้องออกแบบการทดลองใหม่ ให้ชิ้นงานมีขนาดใหญ่ขึ้นและสมบูรณ์มากขึ้น ช่วงเย็นมื้ออาหารประกอบไปด้วยผัดกะหล่ำปลีหมู และไข่เจียว รับประทานพร้อมข้าวสวย





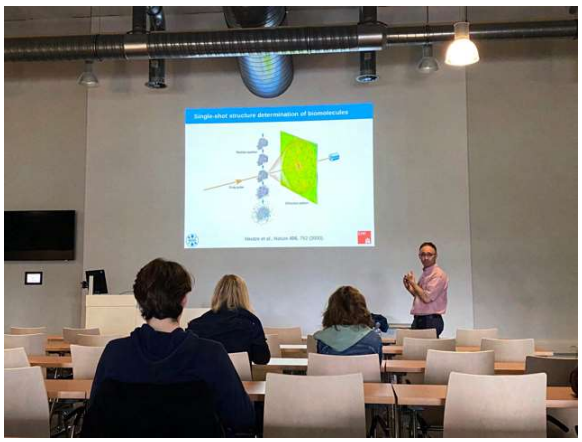
วันพุธที่ 9 สิงหาคม 2566

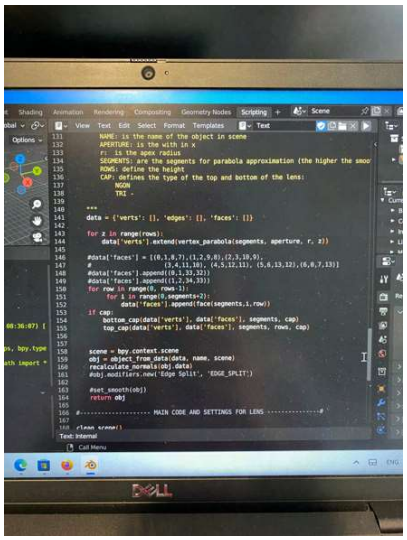
ช่วงเช้าเป็นการบรรยายของคุณ Sang Kil-son เช่นเคยเนื้อหาเรื่องเอ็กเรย์ต่อจากเมื่อวานซึ่งเนื้อหายังมีความน่าสนใจเช่นเดิม และต่อยอดความเข้าใจ ช่วงบ่ายหลังจากรับประทานอาหารกลางวันที่โรงอาหารหลัก

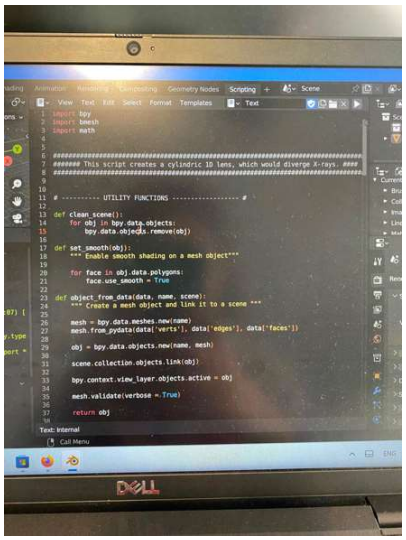
งานวันนี้คือการออกแบบการทดลองต่อเพื่อนำไปพิมพ์สามมิติอีกครั้ง ซึ่งต้องเพิ่มขนาดของวัตถุให้มีขนาดใหญ่ขึ้นมากเพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องมือ ข้าพเจ้าจึงนั่งแก้ไขการออกแบบในโปรแกรม blender และออกแบบชิ้นงานจนถึงช่วงเย็น มื้ออาหารเย็นข้าพเจ้าตัดสินใจทำพาสต้าผัดแฮมและหมู ซึ่งข้าพเจ้าคิดว่าเมนูพาสต้าส่วนใหญ่ที่ข้าพเจ้าทำออกเป็นสไตล์ไทยมากกว่าเมนูตะวันตก

วันพฤหัสบดีที่ 10 สิงหาคม 2566

ข้าพเจ้าเข้าคาบบรรยายช่วงเช้าวิชา Phenomena at High X-ray Intensity เป็นเนื้อหาที่มีประโยชน์เป็นอย่างมาก เนื่องจากการใช้ x-ray ในระดับเฟมโตวินาทีสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล หรือกลุ่มอนุภาค โดยเฉพาะจากแสงซินโครตรอนซึ่งมีความสว่างและพลังงานสูง ตรวจสอบได้อย่างแม่นยำ ผู้บรรยายสามารถนำเสนอได้อย่างครบถ้วนและน่าฟัง หลังจากนั้นข้าพเจ้าได้ไปรับประทานอาหารกลางวัน ช่วงบ่าย ข้าพเจ้าได้ทำการแก้ไข scripting เพื่อเตรียมการพิมพ์สามมิติ (3D printing) ในวันพรุ่งนี้



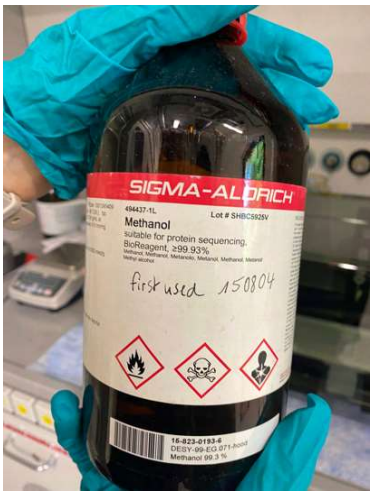


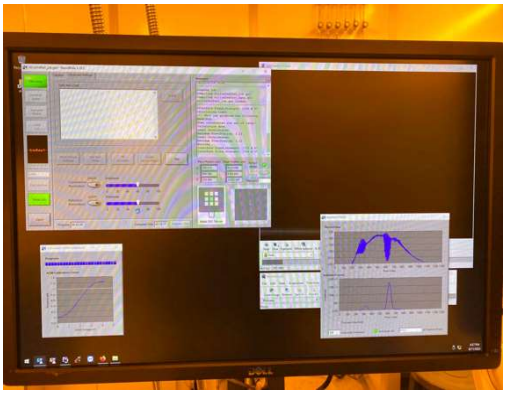


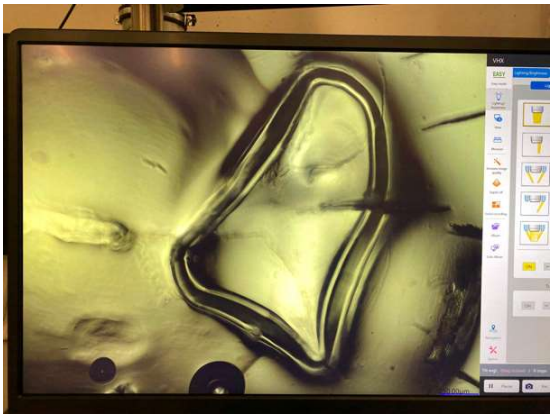
วันศุกร์ที่ 11 สิงหาคม 2566

ภาคบรรยายช่วงเช้าเป็นเนื้อหาต่อจากภาคบรรยายเมื่อวานนี้ เนื้อหายังคงน่าสนใจและเป็นประโยชน์เช่นเดิม หลังจากรับประทานอาหารกลางวัน เป็นเมนูมันฝรั่งอบและไข่ผัด ที่โรงอาหาร CFEL ข้าพเจ้าได้เตรียมตัวเพื่อทำการทดลองคนเดียวครั้งแรกเนื่องจากที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้าไม่ว่าง ในห้องคลีนรูม ข้าพเจ้ายังได้พบกับนักศึกษาภาคฤดูร้อนอีกหนึ่งคนที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับข้าพเจ้าที่ทำงานวิจัยเกี่ยวกับ chemical vapor deposition (CVD) ของสารคาร์บอน การทดลองดำเนินไปได้ด้วยดี แต่มีปัญหาเล็กน้อยเกี่ยวกับการ development ด้วยเมทานอล ซึ่งคาดว่าสารที่ใช้อาจไม่บริสุทธิ์มากพอ หรือมีอายุใช้งานนานเกินไป ทำให้ชิ้นงานไม่สามารถละลายส่วนที่ไม่ต้องการได้หมด หลังจากเสร็จการทดลอง ข้าพเจ้าจึงนำชิ้นงานไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าชิ้นงานเกิดการหดตัวจากหายไปของสารเมื่อโดนล้างในน้ำยาเคมี (developer) ข้าพเจ้าจึงวางแผนการทดลองใหม่กับที่ปรึกษาวิจัยเพื่อหาหนทางแก้ไขปัญหานี้ต่อไป

DESY


SIGMA-ALDRICH
Methanol
suitable for protein sequencing
BioReagent, ≥99.93%
first used 150804

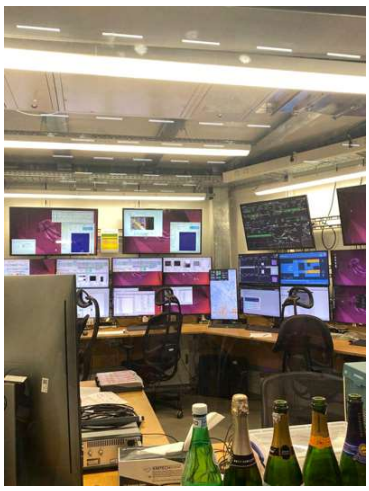


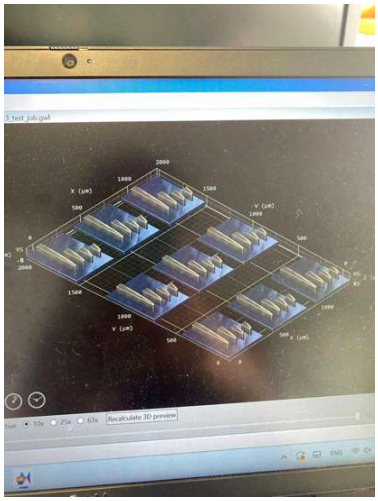


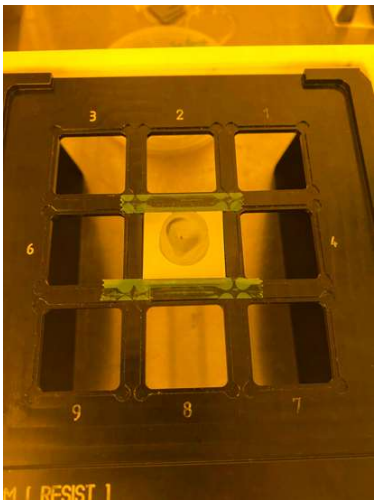
methanol

วันจันทร์ที่ 14 สิงหาคม 2566

ช่วงเช้าคุณ Olaf ได้นัดเจอบริเวณป้ายรถเมล์ เพื่อนำนักศึกษาภาคฤดูร้อนไปยังอาคารวิจัยของ The European X-ray free electron laser (The European XFEL) เพื่อเยี่ยมชมสถานที่ ณ เมือง Schenefeld ที่ห่างออกไปประมาณ 7 กิโลเมตร เมื่อไปถึงได้รับฟังการบรรยายแนะนำสถานที่ที่ แบ่งแยกโซนต่างๆ เป็นโซนเครื่องมือ โซนการวิเคราะห์ข้อมูล และอื่นๆ จากนั้นได้แบ่งกลุ่มเพื่อออกไปยังส่วนต่างๆ แต่หากนักวิจัยที่ประจำอยู่สถานที่มีบางส่วนขาดไป ทำให้ไม่ได้เรียนรู้จากเครื่องมืออย่างเต็มที่ แต่โดยรวมถือว่าเป็นประสบการณ์ที่ดีมาก หลังจากรับประทานอาหารกลางวันที่ห้องพัก ข้าพเจ้าได้ไปทำงานต่อในช่วงบ่าย โดยเป็นการออกแบบการทดลองครั้งใหม่ โดยเลือกช่วงพลังงานและความเร็วของเลเซอร์ให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น เลือกช่วงพลังงานเลเซอร์จาก 60-90 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วเลเซอร์จาก 60000-80000 ไมโครเมตรต่อวินาที ซึ่งการทดลองเป็นไปด้วยดี

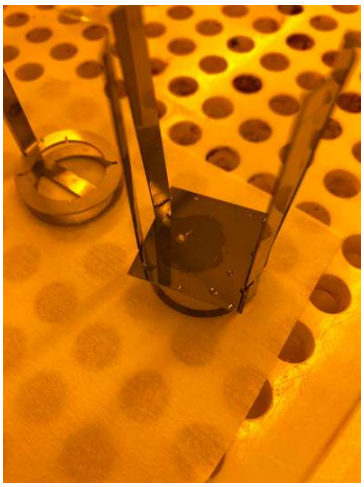


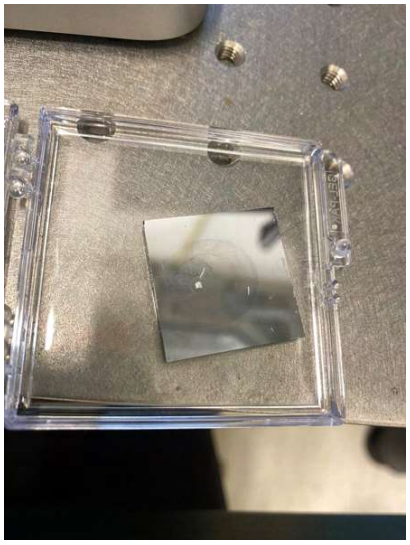




วันอังคารที่ 15 สิงหาคม 2566

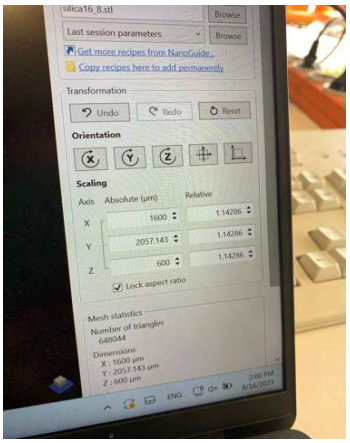
วันนี้ช่วงเช้าการบรรยายในหัวข้อ Diagnostic of Light ค่อนข้างท้าทายสำหรับข้าพเจ้า เนื่องจากสำเนียงของผู้บรรยายไม่สามารถฟังได้โดยง่ายและไม่ได้ใช้ไมโครโฟนในการพูด ข้าพเจ้าจึงมีข้อสงสัยในเนื้อหาค่อนข้างมาก จากนั้นข้าพเจ้าได้ไปรับประทานอาหารกลางวันเป็นเมนูข้าวผัดราดซอส รสชาติค่อนข้างจืด จากนั้นข้าพเจ้าได้เข้าห้องปลอดเชื้อเพื่อทำการพิมพ์ชิ้นงาน ครั้งนี้ข้าพเจ้าสามารถทำได้คล่องขึ้นและรวดเร็วขึ้น เนื่องจากได้ทำการทดลองมากครั้งกว่าเดิม หลังจากเสร็จการทดลองได้ถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูขนาดการหดตัวของชิ้นงานหลังจากให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานอีกด้วย เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานข้าพเจ้าจึงมาทำอาหารเย็นร่วมกับเพื่อนทุกคน มื้อวันนี้ ข้าวราดหมูสามชั้นผัดพริกแกงเหลือง มีรสจัดและน่ารับประทานเป็นอย่างมาก





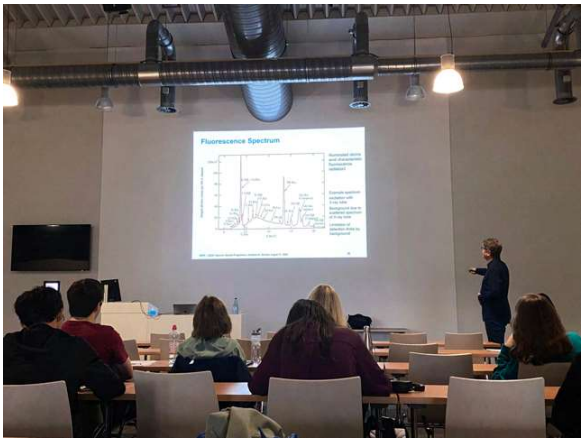
วันพุธที่ 16 สิงหาคม 2566

วันนี้เป็นการบรรยายรวมของนักศึกษาภาคฤดูร้อนทั้งสองกลุ่มหลังจากหายไประยะหนึ่ง เนื่องว่าหัวข้อวันนี้คือ Plasma Wakefield Acceleration เป็นหัวข้อใหม่ที่น่าสนใจและกำลังอยู่ในช่วงเร่งพัฒนา ผู้บรรยายสามารถอธิบายหัวข้อยากให้ดูเข้าใจง่ายที่ plasma accerelator สามารถพัฒนาได้เกินขีดจำกัดของเครื่องเร่งอนุภาคที่ใช้ในปัจจุบัน เมื่อเสร็จการบรรยายจึงไปรับประทานอาหารที่โรงอาหารหลักที่ใกล้กับอาคารเรียนรวม (Main auditorium) งานวันนี้ของข้าพเจ้าไม่หนักมาก ข้าพเจ้าได้จัดเตรียมโปรแกรมและคำสั่งการพิมพ์ให้เหมาะสมกับการทดลองครั้งนี้ ช่วงเย็นข้าพเจ้าและเพื่อนได้ไปเดินชมสวนสนุก Hamburger DOM เช่นเดิม เป็นการพักผ่อนหลังเวลาเลิกงาน



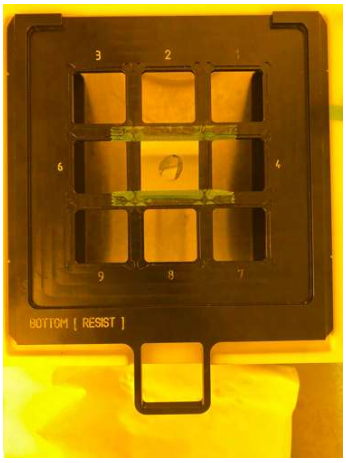
วันพฤหัสบดีที่ 17 สิงหาคม 2566

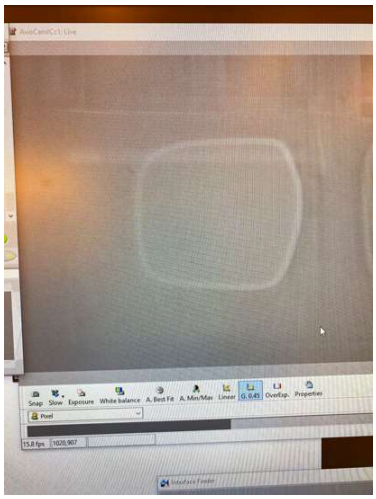
ช่วงเช้าการบรรยายเรื่อง X-Ray Nano-Analytics and Microscopy ทำให้ข้าพเจ้าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการทดลองของข้าพเจ้าในสถาบันเดซี และในมหาวิทยาลัยมหิดล ทำให้ข้าพเจ้าได้เพิ่มความเข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับหลักการวิเคราะห์ผลการทดลองที่สามารถวัดได้จากเครื่องมืออื่นๆ ช่วงบ่ายมีคาบบรรยายอีกครั้งในหัวข้อ Introduction to ultrafast lasers and nonlinear optics ซึ่งเป็นหัวข้อที่ท้าทายและน่าสนใจ เนื้อหาค่อนข้างดีแต่หากผู้บรรยายไม่ได้ใช้ไมโครโฟน จึงทำให้ยากต่อการฟังภาษาอังกฤษเล็กน้อย

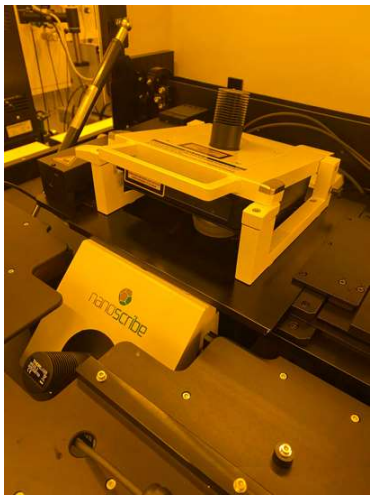


วันศุกร์ที่ 18 สิงหาคม 2566

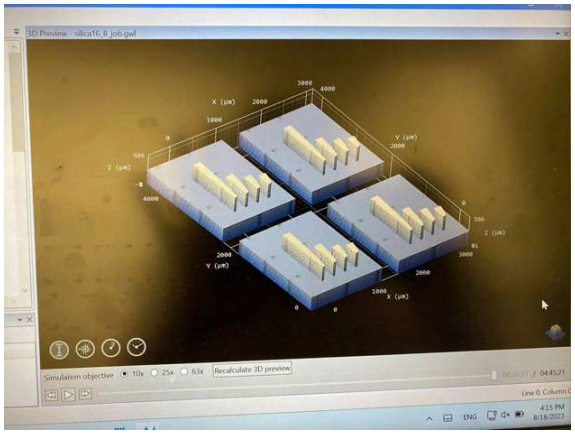
ช่วงเช้าเป็นการบรรยายในหัวข้อเดิมต่อจากเมื่อวาน ผู้บรรยายเน้นไปทางเครื่องมือ (instrument) ที่ใช้ในระบบทัศนศาสตร์ (Optics) สำหรับการโฟกัสรังสีเอ๊กซ์ มีเนื้อหาส่วนมากเน้นไปที่ Refractive X-Ray Lenses ที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในงานวิจัยจำนวนมาก ซึ่งเป็นประโยชน์ อีกทั้งยังนำเสนอโครงการใหม่จากการพัฒนาลำแสงซินโครตรอนที่ใช้งานในการถ่ายวัสดุระดับนาโนได้อย่างต่อเนื่อง ช่วงบ่ายข้าพเจ้าได้เข้าห้องปลอดเชื้อเพื่อทำการพิมพ์อีกเล็กน้อย สำหรับความเร็วเลเซอร์ที่ 100 มิลลิเมตรต่อวินาที เนื่องจากพบผลการทดลองที่น่าสนใจและมีแนวโน้มเป็นความเร็วเลเซอร์ที่ใช้ได้แน่นอน แต่หากการทดลองใช้ระยะเวลายาวนาน จนข้าพเจ้าต้องอยู่ที่อาคารจนถึงเวลาสองทุ่ม


BOTTOM [RESIST]




nanoscribe

Methanol
UN 1230

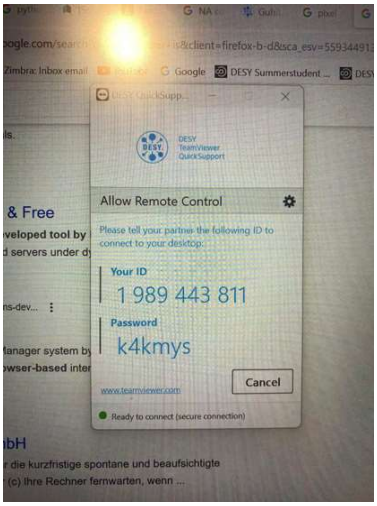

3D Preview - silica16_8_job.gwl
Simulation objective
Recalculate 3D preview

วันจันทร์ที่ 21 สิงหาคม 2566

วันนี้และหลังจากอาทิตย์นี้ไม่มีภาคบรรยายช่วงเช้า ข้าพเจ้าจึงไปทำงานประมาณเวลาเก้าโมง งานวันนี้จึงไปนำชิ้นงานออกจากเตาเผาหลังจากนำไปให้ความร้อนสูงประมาณสองวัน จากนั้นนำชิ้นงานไปตรวจสอบรูปร่าง พบว่าชิ้นส่วนบริเวณเลนส์สมบูรณ์ดี แต่บริเวณยังพบรอยแตกจากการมห้ความร้อนสูงอยู่ ข้าพเจ้าและที่ปรึกษาวิจัยจึงทำการวิเคราะห์ปัญหาและหาหนทางแก้ไขปัญหา เนื่องจากการให้ความร้อนสูงเป็นเวลานานคาดว่าทำให้วัสดุเกิดความเค้นสูง (high stress) ที่นำไปสู่การแตกของวัสดุ ที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้าจึงเสนอแนวคิดในการลดพื้นที่ผิวของวัสดุเพื่อลดแรงดันที่อาจจำไปขีดจำกัดความต้านทานที่วัสดุคงทนได้ คือการสร้างฐานวัสดุเป็นรูปร่างคล้ายโครงถัก (truss) ที่เกิดจากชิ้นส่วนราขาคณิตรูปสามเหลี่ยมหลายชิ้นประกอบกัน

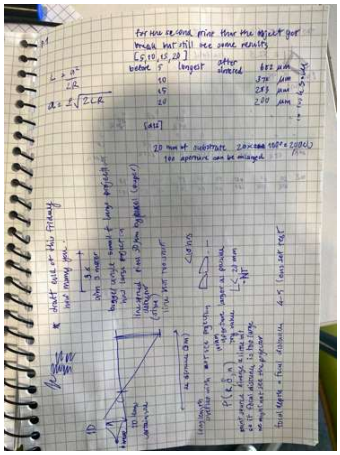
วันอังคารที่ 22 สิงหาคม 2566

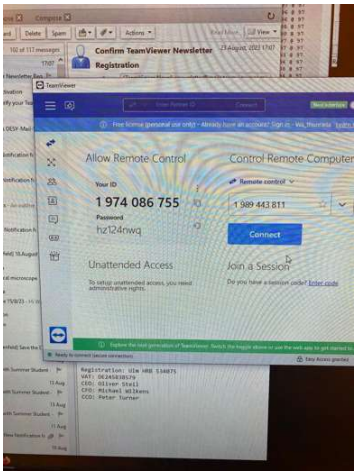
ช่วงเช้าข้าพเจ้าตื่นนอนและเตรียมตัวเรียบร้อยข้าพเจ้าได้เดินไปทำงานเช่นเคย วันนี้งานของข้าพเจ้าทำการเขียนโปรแกรมจึงนั่งทำการแก้ไขโค้ดสำหรับการออกแบบฐานแบบโครงถักซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีการจากการแก้ไขโปรแกรม Nanowrite ข้าพเจ้ารู้สึกการทำงานค่อนข้างยากเพราะต้องใช้คณิตศาสตร์มาช่วยทำความเข้าใจโปรแกรมมากขึ้น ซึ่งเป็นงานที่ข้าพเจ้าไม่เคยทำมาก่อน ช่วงกลางวันข้าพเจ้าไปรับประทานอาหารกลางวันที่โรงอาหารใต้ตึกที่ทำงานของข้าพเจ้า เป็นเมนูข้าวผัดเครื่องเทศและมีตบอลซึ่งนายณัฐวัตรได้มาร่วมรับประทานอาหารด้วย ช่วงบ่ายข้าพเจ้านั่งทำงานเช่นเคย และได้เข้าไปปรึกษาที่ที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้าเป็นระยะจนถึงเวลาเลิกงาน ข้าพเจ้าจึงเดินทางกลับที่พัก

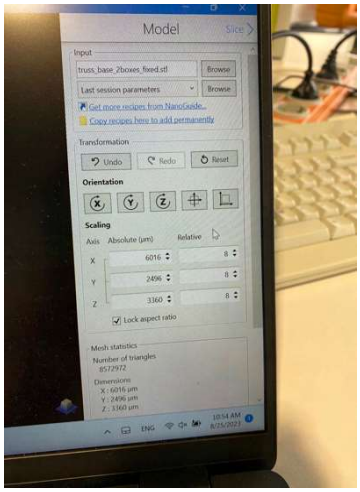


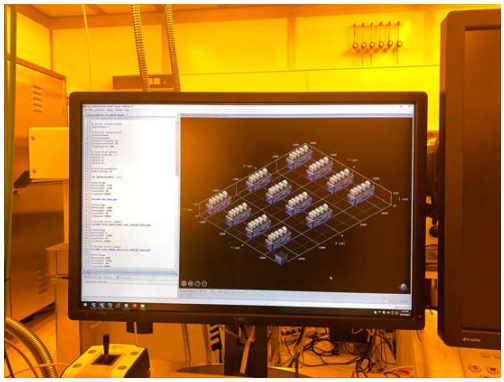
วันพุธที่ 23 สิงหาคม 2566

วันนี้ข้าพเจ้าได้ไปทำงานวิจัย โดยเข้าห้องปลอดเชื้อเพื่อพิมพ์สามมิติเลนส์เช่นเคยเพื่อลองโครงสร้างฐานชิ้นงานที่ออกแบบมาใหม่ ข้าพเจ้าได้ทำการติดตั้ง team viewer ที่ช่วยให้ควบคุมคอมพิวเตอร์นอกห้องทดลองได้ เนื่องจากการพิมพ์ใช้ระยะเวลานานประมาณ 5 ชั่วโมง เมื่อเสร็จการพิมพ์จึงนำชิ้นงานที่เป็นส่วน green part ไปส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจสอบว่าโครงสร้างยังสามารถคงตัวอยู่ได้หรือไม่ เมื่อลดพื้นที่ฐานที่รับน้ำหนักโครงสร้างเลนส์ไว้อยู่ พบว่า ตัวเลนส์ยังสามารถคงสภาพได้อยู่ จากนั้นจึงได้นำเข้าเตาเผาเพื่อทำการเผาผนึกหนึ่งคืน เพื่อขึ้นรูปอย่างสมบูรณ์





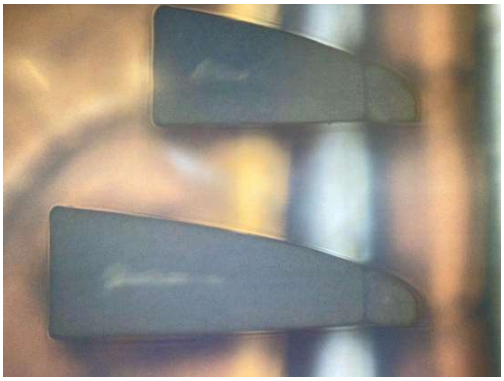




วันพฤหัสบดีที่ 24 สิงหาคม 2566

วันนี้ข้าพเจ้าได้ทำงานวิจัยต่อเนื่องเช่นเดิม เมื่อเดินไปถึงอาคาร จึงได้ไปนำชิ้นงานออกจากเตาเผา และนำไปตรวจสอบกล้องจุลทรรศน์ พบว่า ตัวฐาน (base) ที่รองรับชิ้นเลนส์ไม่เกิดการแตกหัก แต่ทว่าเมื่อลดขนาดฐานของชิ้นงาน ตัวฐานบางส่วนไม่สามารถรองรับน้ำหนักของเลนส์ได้ทั้งหมดจนเกิดการล้มของชิ้นงาน หลังจากช่วงเวลาเลิกงาน ข้าพเจ้าแวะรับแรทานอาหารเย็นที่ร้านอาหารเวียดนามกับเพื่อน วันนี้ช่วงเย็นมีกิจกรรมแนะนำจากคุณ Olaf

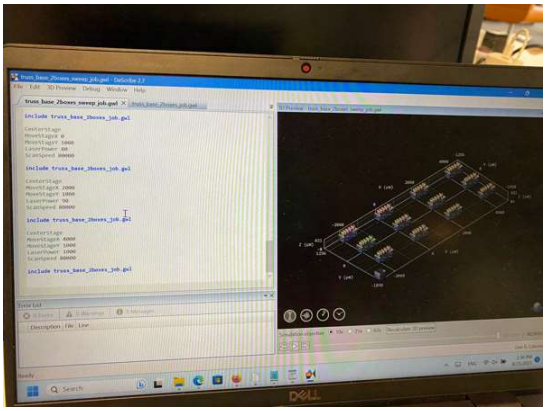
ไปรับชมและรับฟังการบรรยายเชิงทฤษฎีและปฏิบัติของเครื่องดนตรีออร์แกน (organ) ในงานประชุมวิชาการ HEP 2023 ในโบสถ์ St. Michael ซึ่งเป็นการเปิดโลกทรรศน์แก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก



วันศุกร์ที่ 25 สิงหาคม 2566

วันนี้งานของข้าพเจ้าคือนั่งแก้ไขโค้ดที่สามารถปรับขนาดของฐานที่เป็นรูปร่างโครงถัก (truss-based structure) เป้าหมายของงานคือข้าพเจ้าต้องการลดระยะเวลาการพิมพ์ เพื่อให้สะดวกต่อการทดลองและวิจัยในอนาคต ซึ่งสามารถทำได้จากการปรับเปลี่ยนตัวแปรหลากหลายที่สามารถทำได้ อีกทั้งข้าพเจ้าเตรียมตัวการนำเสนองานและรูปเล่มเมื่อจบงานวิจัยของนักศึกษาภาคฤดูร้อน ที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้าให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่หลังจากให้ข้าพเจ้าไปร่างรายละเอียดการนำเสนองานให้ที่ปรึกษาวิจัยดู คุณ Margarita ได้ให้ข้อเสนอแนะอย่างละเอียดและแก้ไขจุดบกพร่องของงานให้งานดีขึ้น เมื่อถึงเวลาเลิกงานประมาณ 17.00 นาฬิกา

ข้าพเจ้าจึงเดินทางกลับหอพัก เพื่อทำอาหารเย็น เมนูวันนี้คือ หมูผัดพริกแกง ซึ่งการซื้อพริกแกงมาจากซุปเปอร์มาร์เกตไทยช่วยให้ข้าพเจ้าทำอาหารได้มีสะดวกและมีรสชาติดีมากขึ้น

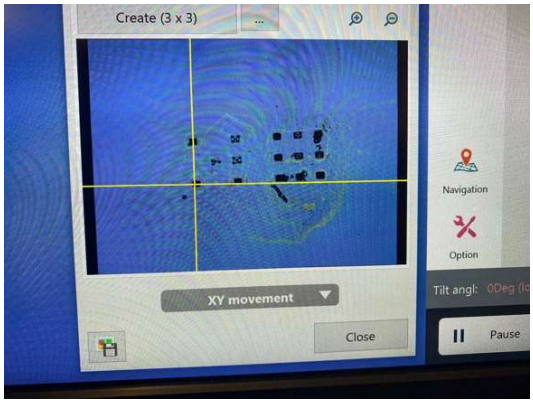


วันจันทร์ที่ 28 สิงหาคม 2566

เนื่องจากใกล้วันนำเสนองาน วันนี้ข้าพเจ้าจึงใช้เวลาส่วนใหญ่นั่งทำสไลด์นำเสนองานและรายงานสรุปการทดลอง โดยรวบรวมงานทั้งหมดที่ข้าพเจ้าทำในสถาบันเดซี หลังจากได้โครงร่างงานมาจากที่ปรึกษาวิจัย ข้าพเจ้าจึงทำรายละเอียดงานในส่วนต่างๆ ตั้งแต่เริ่มแนะนำหัวข้อวิจัย วิธีการทดลอง และผลงานวิจัยที่ได้รับ เมื่อทำงานเสร็จข้าพเจ้าจึงกลับไปทำมื้อเย็นวันนี้ข้าพเจ้าและเพื่อนทำต้มยำหมู พร้อมไข่เจียวรับประทานกับข้าวสวยร้อนๆ

วันอังคารที่ 29 สิงหาคม 2566

หลังจากตื่นนอนและเตรียมตัวเรียบร้อย ข้าพเจ้าจึงเดินไปทำงานวิจัยต่อไป เนื่องจากใกล้นำเสนองานแล้ว ข้าพเจ้าจึงเตรียมผลงานนำเสนอและเตรียมตัวพูดเป็นหลัก ช่วงมื้อกลางวันข้าพเจ้ารับประทานเป็นพายยัดไส้ กับสลัดผัก หลังจากซื้ออัตถุดิบมาแล้วทำอาหารเย็น เมนูคือ สปาเกตตี้ผัดพริกไทยดำหมู รสชาติค่อนข้างดี



วันพุธที่ 30 สิงหาคม 2566

วันนี้ข้าพเจ้าใช้เวลาทั้งวันเตรียมตัวการนำเสนองานแก่ที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้า งานที่ข้าพเจ้าทำคือการวิเคราะห์ radius of curvuture ของเลนส์ให้มีความสมบูรณ์มากที่สุด ข้าพเจ้าใช้โปรแกรม imageJ ในการคัดกรองข้อมูลและคำนวณระยะของโค้งเลนส์จากภาพจากกล้องจุลทรรศน์ ช่วงบ่ายข้าพเจ้าเดินผ่านโถงกลางของอาคาร ยังพบว่ามีอีเว้นท์งานประชุม ที่เปิดโอกาศให้นักศึกษาหรือนักวิจัยมาพูดคุยหรือแลกเปลี่ยนความรู้และงานวิจัยกัน

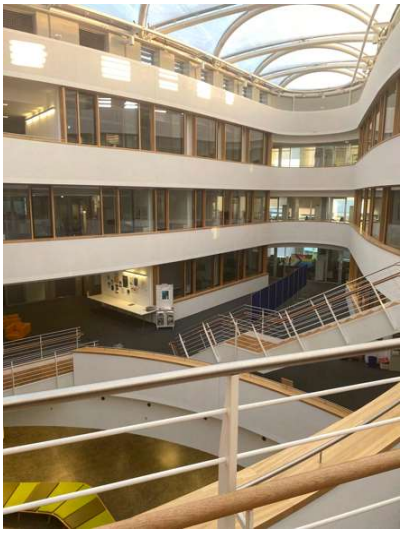
ซึ่งดีต่อสังคมวิทยาศาสตร์มาก ข้าพเจ้าจึงหวังว่าจะเห็นการประชุมแลกเปลี่ยนแบบนี้ที่ไทยมากขึ้น ช่วงบ่ายที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้าได้ทำการทดลองคนเดียวในการผลิต compound refractive lens ซึ่งคือเลนส์ที่ข้าพเจ้ากำลังพัฒนาแต่เพิ่มจำนวนถึงประมาณ 60-80 ชิ้นเพื่อเพิ่มกำลังในการโฟกัสรังสีเอ็กซ์ ข้าพเจ้ารู้สึกถึงความทุ่มเทและประทับใจที่ปรึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก

วันพฤหัสบดีที่ 31 สิงหาคม 2566

วันนี้เป็นวันเตรียมตัววันสุดท้ายก่อนนำเสนองาน ข้าพเจ้าจึงตั้งใจทำการนำเสนออย่างเต็มที่ ข้าพเจ้านั่งแก้ไขและพิมพ์งานใช้ระยะเวลาทั้งวัน ตั้งแต่การตรวจสอบการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างเยอะ ไปจนถึงการเรียบเรียงงานวิจัยให้คลอบคลุมกับโจทย์ที่ได้รับ ข้าพเจ้าทำงานจนถึงช่วงระยะเวลาก่อนเลิกงาน ข้าพเจ้าจึงได้ไปฝึกซ้อมและจับเวลาการนำเสนอกับที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้าครั้งสุดท้าย เพื่อมั่นใจการนำเสนอจะลื่นไหลและไม่มีข้อผิดพลาด

วันศุกร์ที่ 1 กันยายน 2566

วันนี้เป็นวันที่ข้าพเจ้านำเสนอผลงานการทดลองทั้งหมดแก่หัวหน้ากลุ่มวิจัยของข้าพเจ้าในสถาบันวิจัยสถาบันเดซี ซึ่งคือ Dr. Saša Bajt และ Dr. Henry Chapman โดยข้าพเจ้าและนักศึกษาภาคฤดูร้อนอีกสองคนที่ทำงานวิจัยภายในกลุ่มได้นำเสนอพร้อมกัน การนำเสนอเป็นไปด้วยดี และได้รับคำชมจากหัวหน้าทั้งสอง ทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกมีกำลังใจเป็นอย่างมาก หลังสิ้นสุดการประชุมข้าพเจ้ายังได้รับคำแนะนำให้เสนอไปพูดในการนำเสนองานสรุปของนักศึกษาภาคฤดูร้อนที่ auditorium แต่เนื่องจากจำนวนผู้ที่ได้นำเสนอมีจำกัด ข้าพเจ้าจึงไม่ได้ไปนำเสนอ ถือว่างานวิจัยในสถาบันเดซีบรรลุเป้าหมายได้ในระดับหนึ่ง หากมีโอกาสข้าพเจ้าอยากที่จะทำงานวิจัยนี้ให้เสร็จสิ้น



วันจันทร์ที่ 4 กันยายน 2566

วันนี้หลังจากนำเสนองานไป ข้าพเจ้ารู้สึกผ่อนคลายเป็นอย่างมาก ข้าพเจ้านั่งเขียนรายงานวิจัยสรุปการทำงานในสถาบันเดซีให้เสร็จต่อไป ช่วงเย็นข้าพเจ้าและเพื่อนนักศึกษาภาคฤดูร้อนได้เดินทางไปยังร้านอาหาร Tai Tan เพื่อพบเจอท่านกงสุลเพื่อพูดคุยสนทนา รวมถึงอนาคตการร่วมงานระหว่างสถาบันเดซีและไทยต่อไป ท่านกงสุลเป็นกันเอง และพูดคุยสนุกมาก ข้าพเจ้ารู้สึกขอขอบคุณท่านกงสุลเป็นอย่างสูงสำหรับการต้อนรับอย่างเป็นกันเองของนักศึกษาภาคฤดูร้อน และได้มอบของฝากจากผู้แทนจากประเทศไทยเป็นที่ระลึกอีกด้วย

วันอังคารที่ 5 กันยายน 2566

วันนี้ข้าพเจ้าได้แก้ไขรายงานสรุปให้เรียบร้อย โดยมีที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้า คอยตรวจทั้งวัน มีความทุ่มเทเป็นอย่างมาก และคอยสนับสนุนเสมอ ช่วงกลางวันที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้าได้พาข้าพเจ้าไปดูการทดลอง x-ray set up ของกลุ่มวิจัยที่ตั้งอยู่อีกอาคารหนึ่ง งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการผลิตเลนส์และระบบทัศนศาสตร์ (optics) ที่สมบูรณ์พร้อมทดสอบ ช่วงเย็นมีปาร์ตี้บาร์บีคิวจากทางเดซีส่งท้ายนักศึกษาภาคฤดูร้อน มีอาหารที่หลากหลาย เน้นไส้กรอกที่มีรสชาติค่อนข้างดี สนับสนุนโดย PIER graduate school จากมหาวิทยาลัยฮัมบูร์ก

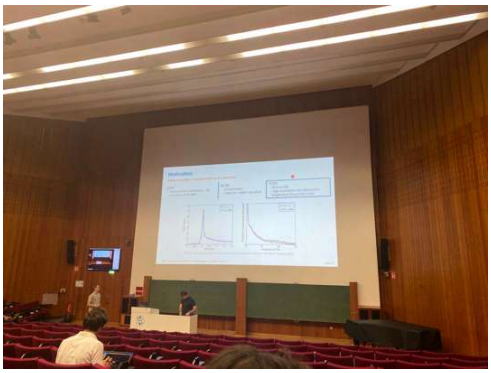
วันพุธที่ 6 กันยายน 2566

ช่วงเช้าเป็นการนำเสนอผลงานของนักศึกษาภาคฤดูร้อนจากหลากหลายกลุ่มทดลอง จากทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ มีหลากหลายงานวิจัยที่มีความน่าสนใจ โดยเฉพาะงานด้านการพัฒนาเครื่องตรวจจับ (detector) ด้วยการศึกษาวัสดุลดความร้อน ข้าพเจ้านั่งฟังการนำเสนองานจนถึงช่วงกลางวัน จึงไปรับประทานอาหารกลางวันที่โรงอาหารหลัก หลังจากนั้นช่วงบ่ายเป็นการนำเสนองานเช่นกัน ข้าพเจ้าคิดว่าการฟังงานวิจัยที่หลากหลายมีส่วนช่วยในการคิดนอกกรอบเป็นอย่างมาก ช่วงเย็นข้าพเจ้าได้แก้ไขรายงานให้เรียบร้อยและตรวจสอบกับที่ปรึกษาวิจัยของข้าพเจ้าครั้งสุดท้ายก่อนส่งรายงาน

วันพฤหัสบดีที่ 7 กันยายน 2566

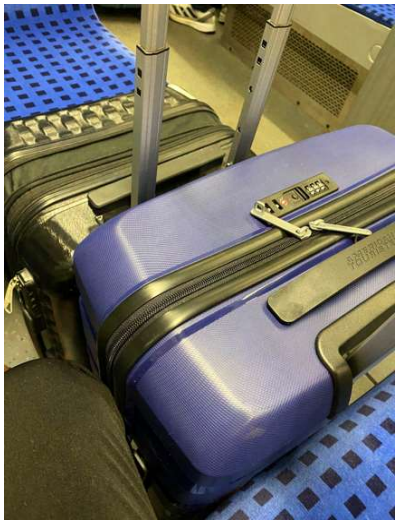
หลังจากส่งรายงานเรียบร้อยแล้ว วันนี้ช่วงเช้าเป็นการนำเสนอผลงานวันสุดท้ายของนักศึกษาภาคฤดูร้อน ยังมีหัวข้อที่น่าสนใจอีกมากมายที่ข้าพเจ้ายังต้องเรียนรู้อีกมาก และศึกษาในอนาคต ช่วงบ่ายข้าพเจ้าได้เข้าไปลาที่ปรึกษาวิจัยและหัวหน้ากลุ่มวิจัยของข้าพเจ้า ประกอบไปด้วยคุณ Margarita คุณ Lukas และคุณ Sasa Bajt ทุกคนรู้สึกยินดีและขอบคุณข้าพเจ้าสำหรับความทุ่มเทการทำงานในครั้งนี้และหวังว่าในอนาคตจะสามารถร่วมงานกันได้อีก

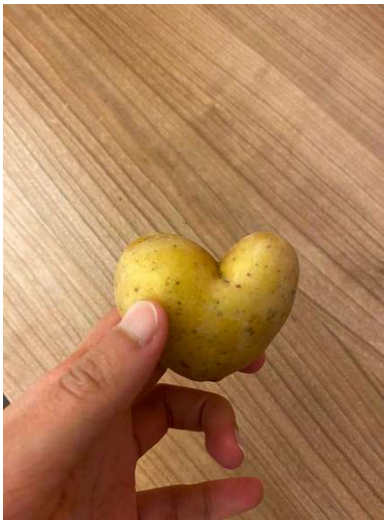
และได้ถ่ายรูปร่วมกันเล็กน้อย เนื่องจากเป็นวันสุดท้ายที่ข้าพเจ้าได้อยู่ในสถาบันเดซี ช่วงเย็นจึงนัดหมายเพื่อนๆ เพื่อไปเดินเยี่ยมชมสถาบันเดซีเป็นครั้งสุดท้าย ระหว่างทางได้ถ่ายภาพเก็บบรรยากาศช่วงพระอาทิตย์ตกดิน และยังได้พบกับคุณ Andreas อีกด้วย



วันศุกร์ที่ 8 กันยายน 2566

วันนี้ข้าพเจ้าตื่นนอนและเตรียมตัวเก็บกระเป๋าเพื่อออกเดินทางไปยังสถานีรถไฟ Hamburg hbf ข้าพเจ้าจัดการคืนกุญแจห้องพักและกุญแจล็อคเกอร์ห้องครัวที่ป้อมยามตรงทางเข้าสถาบันเดซี และได้เดินทางออกจากสถาบันเดซีพร้อมกับนักศึกษาภาคฤดูร้อนชาวไทยทุกคน ข้าพเจ้านั่งรถไฟเดินทางไปยังเมือง Frankfurt ซึ่งใช้ระยะเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง เป็นที่พักและจุดหมายปลายทางก่อนเดินทางกลับประเทศไทย





ภาคผนวก

X-ray optics through additive manufacturing

Thunrada Sukwiboon, Mahidol university, Thailand

Supervisor: Dr. Margarita Zakharova, Jan Lukas Dresselhaus

FS-ML, Dr. Saša Bajt's group

September, 2023

Abstract

3D printing via two-photon lithography is a novel manufacturing technology in microscale and nanoscale fabrication. In this report, a printing process for newly developed fused-silica photoresist has been developed and optimized in terms of printing resolution and optimal printing parameters. We demonstrate successful printing of parabolic features and final parabolic defocusing compound refractive lens. Using parabolic equation, the radius of curvature was quantified for the fabricated refractive lenslets. This enabled quantitative characterization of printing capabilities for fabricating refractive X-ray optics via additive manufacturing.

Contents

1. Introduction 3
2. Theory 3
3. Experimental 5
3.1 Materials and method 5
3.2 Fabrication of 1D refractive lens of IP-Q photoresist 6
3.3 Fabrication of 1D refractive lens of GP-Silica photoresist 10
4. Conclusions and Outlook 13
5. References 14

1. Introduction

Owing to its short wavelength and high penetration depth, high-energy X-rays became a superlative tool for the investigation of substances at the micrometer and nanometer scale. X-ray optics have revolutionized the ability to probe matter for material characterization and x-ray microscopy. Achieving high-resolution with x-rays requires high numerical aperture optics, exact lens shape, and short focal length aiming for the high-quality x-rays focusing optics.

Three primary types of optics are refractive, diffractive, and reflecting. Refractive optics in x-ray regime is predominantly represented by compound refractive lenses (CRLs) [1], diffractive optics include Fresnel zone plates [2] and multilayer Laue lenses [3]. Reflective optics is mainly concerned with different types of mirrors, the most popular ones being Kirkpatrick-Baez and Bragg mirrors. For x-ray refractive optics, compound refractive lenses (CRLs) were brought into the field due to their versatile usage, high refractive power, and wide range of applications based on their shape and a number of individual lenslets. The small focal length can be achieved via a stack of parabolic refractive lens to perform compound refraction [4].

Combinations of refractive and reflective optical elements are also possible. Recently, an achromatic X-ray lens system consisting of a defocusing (diverging) compound refractive lens and a focusing diffractive optical element was introduced. [4]. The compound refractive lens must have a comparably short focal length to construct an achromatic system containing highly efficient and high-resolution optics, such as multilayer Laue lenses. For example, for thin lens approximation, the focal length of the refractive lens needs to be double of the diffractive lens $f_R = -2f_D$, which means that the focal length of the CRL should be in mm range.

This project aims to perform preliminary tests and optimize the printing parameter and process for creating a compound refractive lens made of fused silica and conventional polymer.

2. Theory

Achieving short focal length for CRL requires multiple concave (for focusing) or convex (for defocusing) lenslets stacked together to perform sequential refraction. This approach has been demonstrated to achieve high-resolution imaging with focal spot sizes of 50-100 nm [5].

Refractive index

A compound refractive lens is composed of many identical lenses stacked behind each other, as shown in Fig. 1. X-ray oscillation through nanomaterials can be interpreted as the complex index of refraction as following equation

$$n = 1 - \delta + i\beta\,, \tag{1}$$

where β is the absorption index and δ is the refractive index decrement. The value of the refractive index for x-rays is slightly below unity, because the refractive index decrement is very small (δ is typically between 10^{-5} and 10^{-7}) unlike for visible light. It means that x-rays are refracted only weakly. Focusing X-rays requires a different shape of the lens, not convex as for visible light, but concave. Moreover, multiple lenslets need to be used, as a single lens provides weak focusing with very long focal length, as demonstrated in Fig. 1.

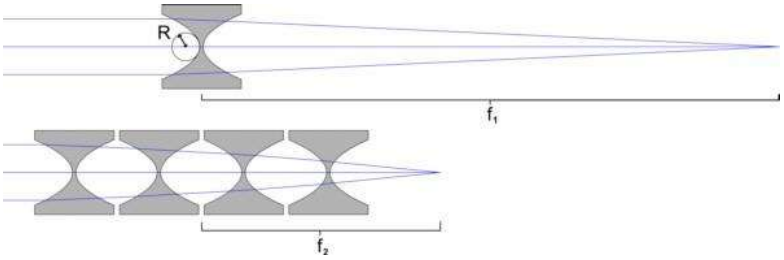


Fig. 1 X-ray focusing of a) a single b) a linear array of biconcave lens

As mentioned, materials composition is essential for determination of the refractive power of the lens. Typically, low-Z materials are preferred for compound refractive lens (carbon, polymers, or silicon) due to lower absorption cross-section, which makes it possible to stack more lenslets together and achieve shorter focal lengths. However, silica or silicon dioxide emerges as a promising material for x-ray optics due to its high refractive index, excellent thermal and chemical stability, and rapid manufacturing. Fused silica has refractive index decrement value close to materials like beryllium and aluminum, which are common materials for refractive lenses as shown in Fig. 2a. In Figure 2b, the ratio δ/β ratio for different materials is shown, which is used for benchmarking their refractive and absorptive properties. One can see that compared to diamond and polymers, silica has higher absorption, but it performs better than aluminum and grows for higher energies.

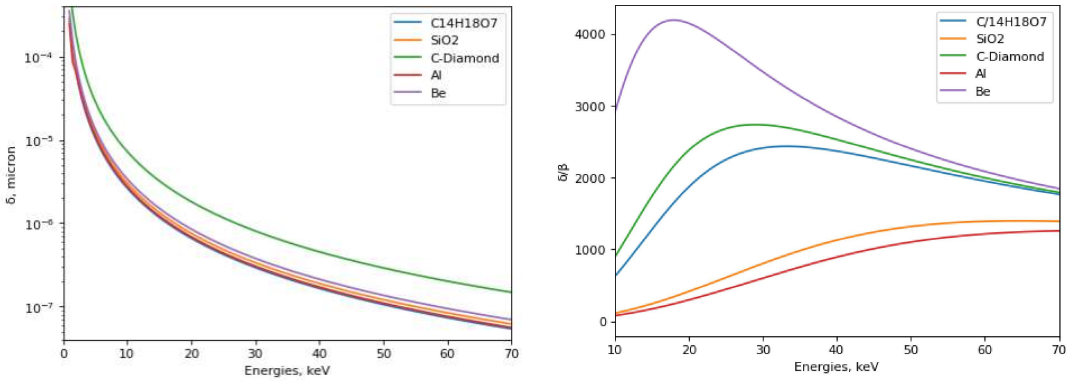


Figure 2 Refraction and absorption comparison of different conventional materials used in x-ray optics

Focal length

For a thin biconcave lens approximation, the formula for focal length goes as follows:

$$f = \frac{R}{2N\delta}, \quad (1)$$

The focal length of each lens can be calculated by Equation. 1, where N is the number of individual lenses in the stack, R is the radius of curvature at the apex of the parabola.

For a thick refractive lens the following equation can be used to estimate the focal length:

$$f = \frac{R}{2N\delta} + \frac{L}{6}, \quad (2)$$

Notice that parameter R and refractive index decrement delta contribute to the focal length. However, the parabolic shape of the lens is dependent on the energy and y from the parabolic equation. Therefore, each point of the ray hit the surface of the lens is matter from the optical axis to the edge of the lens.

Convex lens is a defocusing lens, which is further used in achromatic lens. The lens discussed here is the 1D refractive lens, while, for 2D, defocusing paraboloid lens are rotationally symmetric, thus the two-dimensional defocusing compound refractive lens consists of stacked convex paraboloids. To reduce the focal length, it is necessary to use materials of higher refractive index decrement and stack many lenslets together or reduce the apex radius of the lenslets.

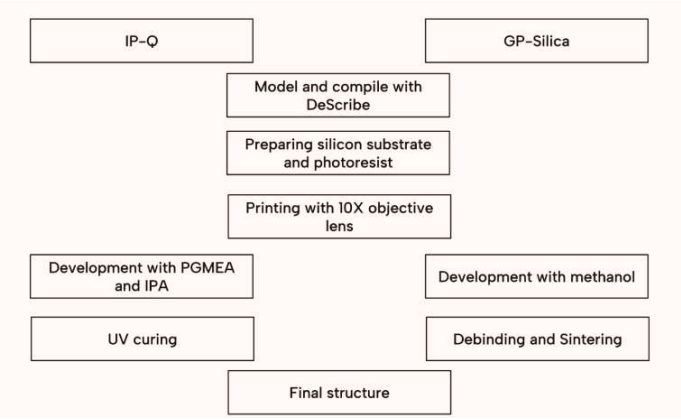
3. Experimental

3.1 Materials and method

Compound refractive lenses can be created using several methods. For beryllium and diamond CRLs, mechanical machining has been used [6], but it limits the number of lenses that can be stacked together to form the CRL, and thus, the achievable focal length is quite long despite the high refractive power of these materials. X-ray lithography is commonly used to create polymer CRLs. Combined with electroplating, it can also be used to create Ni and Al lenses [7]. However, deep X-ray lithography is a very demanding and labor-intensive technology, both in terms of the availability of synchrotron radiation and the complexity of the manufacturing process.

A promising alternative is additive manufacturing technology (AM) based on 2-photon lithography. This technology was implemented to create a 3D printer that can reliably produce even intricate and precise three-dimensional structures with a sub-micrometer accuracy [8]. 3D printing based on 2-photon lithography provides the freedom to create any form of optics, including complex 3D structures, which is impossible for UV or deep X-ray lithography. Until recently, this technology was limited in terms of the variety of printing materials: only polymer photoresists were compatible with the 2-photon lithography process, in particular acrylates and epoxy resins. Recently emerging photoresists like GP-Silica and POSS resins [9,10] enable the printing of 3D structures with fused silica, which has superior thermal and mechanical resilience and higher refractive power.

The fabrication process for both photoresists goes as follows.



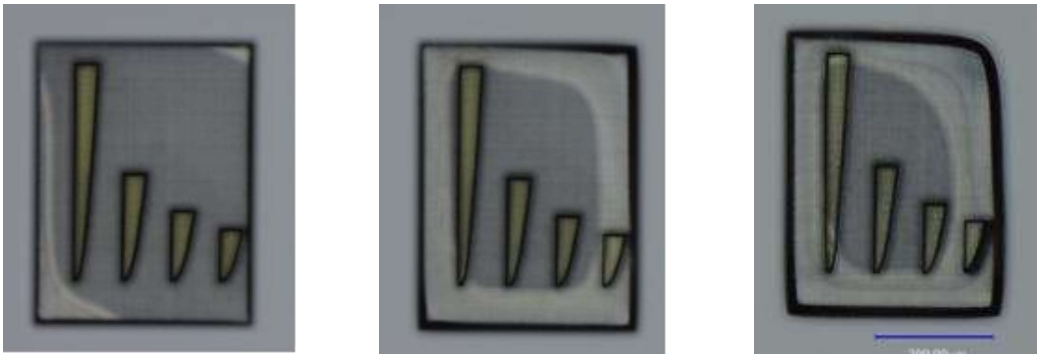
The dose deposited in the material during printing can be estimated using the empirical formula

$$Dose = \frac{Laser\ power}{\sqrt{Scan\ speed}} \quad \text{(i)}$$

Printing with fused silica is a more complex process than conventional printing with polymer photoresist. Substantial preliminary design and dose considerations need to be optimized for printing a particular structure. One of the most important considerations for the model design is the shrinkage of the printed part during the fabrication process. The final part undergoes two shrinkages: the first shrinkage has a magnitude of about 10% and is slightly anisotropic. It happens after the development, which is also accompanied by the deformations occurring due to polymerization and development. The second shrinkage occurs during the thermal post-treatment and is about 25-30%. This process is isotropic if the part is detached from the substrate after development. This means that the designs for printing with fused silica need to be stress-accommodating: it is better to print more hollow structure with not very bulky features.

3.2 Fabrication of 1D refractive lens of IP-Q photoresist

We performed a comprehensive set of experiments with the dose variation of IP-Q photoresists as shown in Fig. 3. The dose variation was performed using the parameter sweep function in DeScribe software. As can be seen from the Figure 3 and 4, we observed the problem caused by an insufficient dose of the printing structure with the dose parameter less than 0.3 μm calculated according to the formula i. The 60%-laser power shows the problematic structure with printing errors including detachment and stacking errors causing the layers floating upward in the liquid resin during printing. Despite implementing a lower scan speed and assembled solid-based structure, the printed blocks experienced an inability to maintain adhesion to the substrates, leading to their detachment.



a) LP 100, SS 50 b) LP 100, SS 70 c) LP 100, SS 90

d) LP 80, SS 50 e) LP 80, SS 70 f) LP 80, SS 90

g) LP 60, SS 50 h) LP 60, SS 70 i) LP 60, SS 50

Figure 3 1D refractive lens fabrication results with different dose parameters of . a-c) 60-100 of laser power with a scan speed of 100 mm/s; d-f) 60-100 of laser power with a scan speed of 80 mm/s; g-i) 60-100 of laser power with a scan speed of 60 mm/s

While increasing amounts of dose exposed to photo-reactive resin, most structures lead to an improvement with more stable and solid printed objects. One consideration in the improved adhesion properties is surface cleaning with plasma etching or washing with strong chemicals. A printed object with a dose parameter of 0.44 shows the best surface smoothness and complete structural angle, therefore, the printing parameters with a dose parameter of 0.44 (laser power of 100% and scan speed of 50 mm/s) has potentially promising toward optimization of printing 3D microstructure refractive lens.

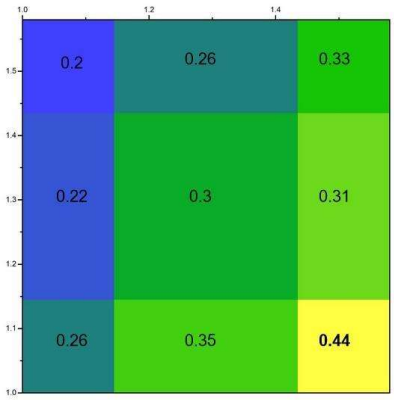


Figure 4 Color matrix of dose variation test of IP-Q photoresist, which corresponds to formula 1

To further quantitatively analyze the quality of 1D refractive lens, various apex radii of the dose-variant of the refractive lens are analysed using the formula for parabola:

$$y = \frac{x^2}{2R}, \tag{3}$$

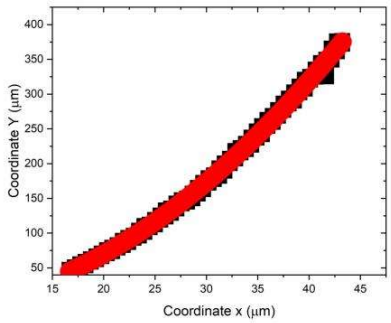
The parabolic equation (eq.3) is used to fit the parabolic profile extracted from the optical images with apex radii ranging from 1.9 to 7.6, as illustrated in Figure 5. A desirable 1D refractive lens can be archived and the printed structure using laser power of 100% and a scan speed of 50 mm/s demonstrate that most structures obtained their intended and refined shape with an apex radius larger than 3 μm. In the example of printing a refractive lens with an apex radius of 1.9 μm, the problem with printing sharp features becomes evident. The printing resolution can be caused by the constraints of beam size of focusing laser beam. While printing with an overhanging component or sharp edge of

small apex radius results in mismatching values that contribute to an obtained result of the optimal printing resolution of 3 μm for apex radius.

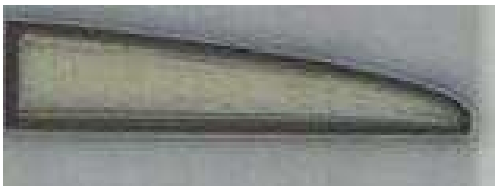
a)

$R_{expected}$ = 1.9 µm

R_{fit} = 2.27 µm

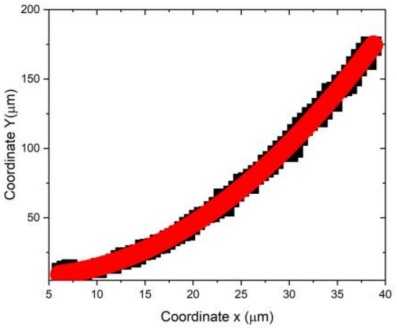


b)



$R_{expected}$ = 3.8 µm

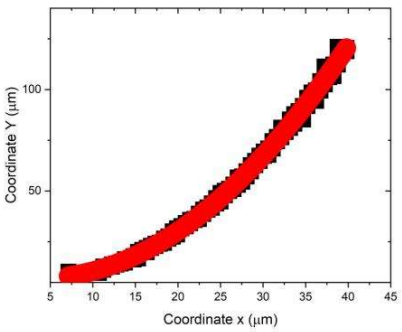
R_{fit} = 3.8 µm



c)

$R_{expected}$ = 5.7 µm

R_{fit} = 5.7 µm



d)

$R_{expected}$ = 7.6 µm

R_{fit} = 7.6 µm

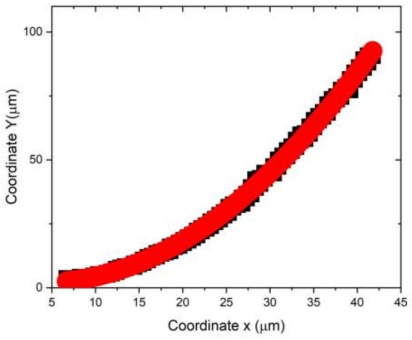


Figure 5. Printed object with different apex radii (R) of a) R=1.9 b) R=1.9 c) R=1.9 d) R=1.9 and their corresponding fitting curve

3.3 Fabrication of 1D refractive lens of GP-Silica photoresist

Furthermore, the approach for printing polymer structure has been employed in fused-silica printing with GP-Silica photoresist. We performed a set of different dose tests in a single dose-variant printing job. The overall experimental set is demonstrated by Fig.6, and dose color matrix of their conditions, where the desired structures were printed toward higher laser power between 70 to 90%. As a result, the optimal parameter is a dose greater than 0.4 with laser power of 40% and scan speed of 40 to 80 mm/s. However, the significance of solid printing time (>8 hrs) needed to be considered and the cracks on base (pedestal) structure were observed in all conditions.

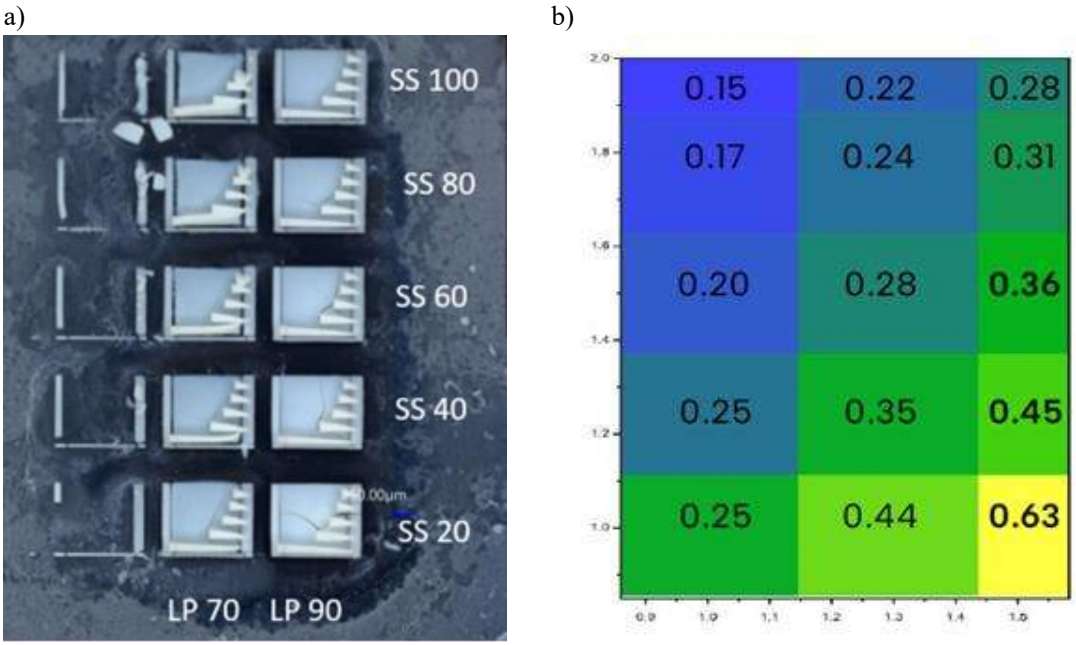


Figure 6 Green structure after development: a) 1D refractive lens fabrication results with different dose parameters of . a-c) 50-90 of laser power with a scan speed of 100 mm/s; d-f) 60-100 of laser power with a scan speed of 80 mm/s; g-i) 60-100 of laser power with a scan speed of 60 mm/s; j-l) 60-100 of laser power with a scan speed of 40 mm/s; m-o) 60-100 of laser power with a scan speed of 20 mm/s, b) color matrix of dose variation test of GP-Silica photoresist.

We propose a new design of base structure to resolve the issues related to cracks. In contrast to a solid printing that implements stress inside a 3D printed structure, in our new design, we combined a truss-based structure into a print prototype to reduce the surface contact to the substrate which contributes mostly to structural cracking and distortion shown in Fig 7a. In Figure 7b, we can see that the fabricated structure matches well with the 3D model with no structural disruption.

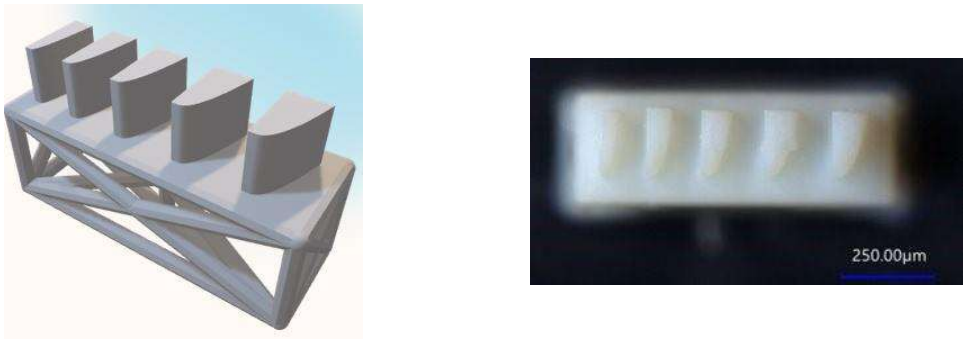


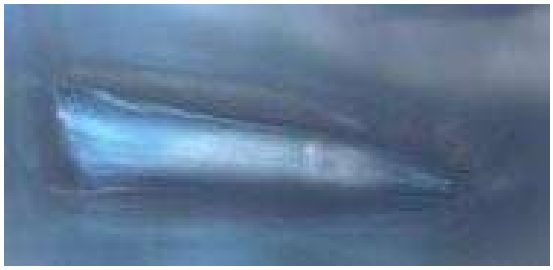
Figure 7 Truss-base structure a) model b) green part of fused-silica lens

One concern for the final printed structure go through an importance of shrinkage due to the reduction of material density. According to Fig. 8, the lens shows the transformation of the green part to a sintered structure with a reduction of object size from 180 µm to 121 µm. The shrinking factor of printing performance can be addressed as 1.5, and the shrinking factor is should be taken into account for fabricating focusing lens with high shape accuracy.

Figure 8 Structural change from green part to final structure after sintering process

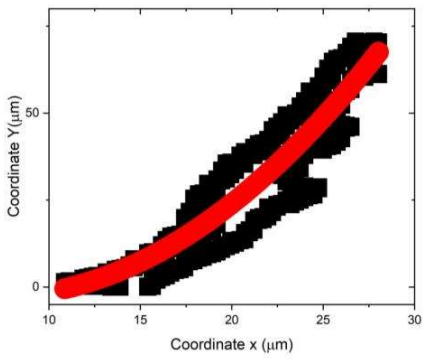
To achieve high-precision shape and structure apex radius fitting evaluation has been performed to determine the quality of 1D refractive lens. The contribution of apex radii are given in Eq. 2, which reduces the focal length, resulting in strong focusing performance. The final printed structure and their fitting curve distributions can be clearly seen in Fig. 9 showing the comparison of apex radii ranging from 5 to 25 µm with an aperture size of 100 µm. Here, when reaching small apex radii approximation, the values obtained from the fit differ more than for IP-Q photoresist. It indicated the limited printing resolution of this technique for fused silica.

a)

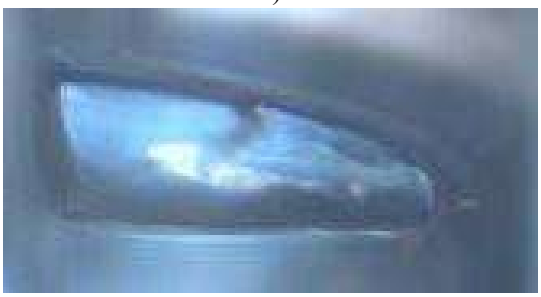


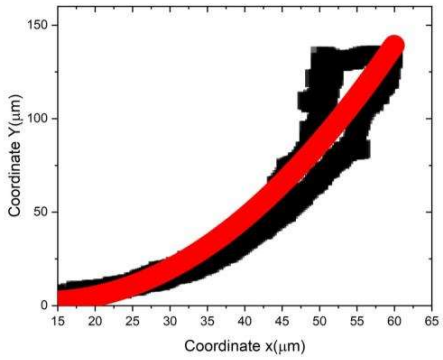
$R_{expected}$ = 5 µm

R_{fit} = 3.1 µm



b)

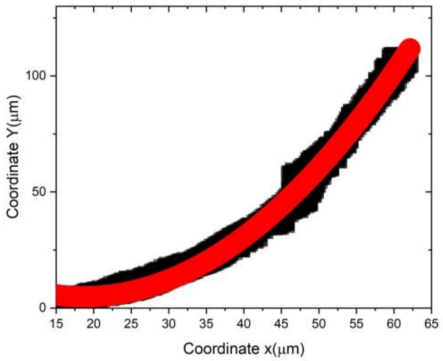




$R_{expected}$ = 10 μm

R_{fit} = 8.3 μm

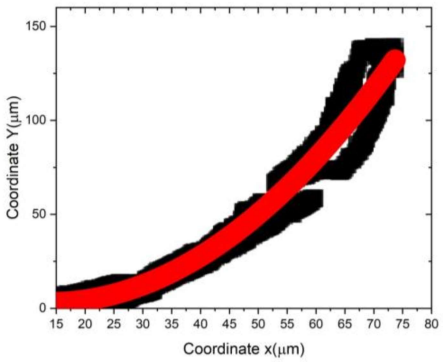
c)



$R_{expected}$ = 15 μm

R_{fit} = 10 μm

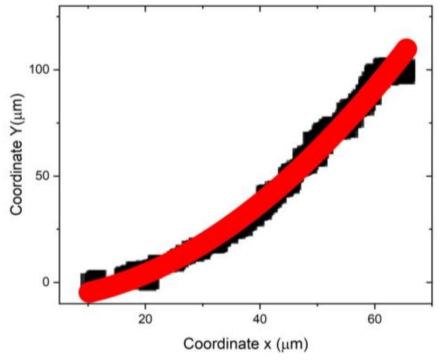
d)



$R_{expected}$ = 20 μm

R_{fit} = 16.7 μm

e)



$R_{expected}$ = 25 μm

R_{fit} = 25 μm

Figure 9 Fused silica printed object with different apex radii (R) of a) R=5 b) R=10 c) R=15 d) R=20 e) R=25 and their corresponding fitting curves.

The fabrication of compound refractive lens (CRLs) is successfully achieved with the optimal printing parameter from the previous experiment. Figure 10 shows the CRL before and after the sintering process with a total number of a concave lens of 60 and a radius of curvature of 15 µm. We observe some bending structures toward each other caused by the capillary force of two printed structures during the development process. Preliminary results can be continuously optimized to obtain the desired structure.

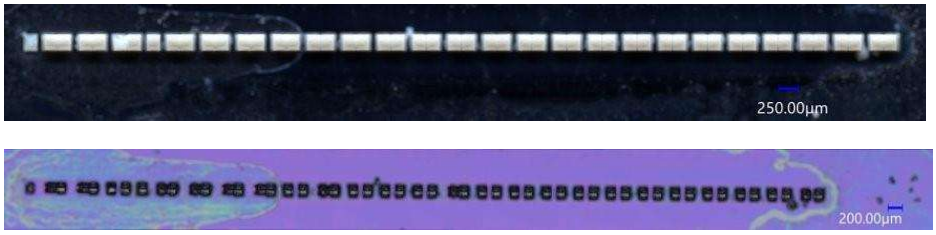


Figure 10 Fused-silica compound refractive lens

4. Conclusions and Outlook

In our project, we designed a new kind of fused silica 1D compound refractive lens based on IP-Q and GP-silica photoresist optimization. 3D printed structures can be successfully fabricated with the optimal printing parameter and quantitative analysis has been determined to find an appropriate radius of curvature of refractive lens. Fabricated x-ray CRLs via two-photon lithography have the potential to be further developed to test their optical performance at the micro-focus x-ray laboratory source at DESY.

5. References

[1] Snigirev, A., Kohn, V., Snigireva, I. et al. A compound refractive lens for focusing high-energy X-rays. Nature 384, 49–51 (1996). https://doi.org/10.1038/384049a0

[2] Mohacsi I, Karvinen P, Vartiainen I, Guzenko VA, Somogyi A, Kewish CM, Mercere P, David C. High-efficiency zone-plate optics for multi-keV X-ray focusing. J Synchrotron Radiat, 497-501 (2014). doi: 10.1107/S1600577514003403.

[3] Bajt, S., Prasciolu, M., Fleckenstein, H. et al. X-ray focusing with efficient high-NA multilayer Laue lenses. Light Sci Appl 7, 17162 (2018). https://doi.org/10.1038/lsa.2017.162

[4] H N Chapman and S Bajt. A ray-trace analysis of x-ray multilayer Laue lenses for nanometer focusing. J. Opt. 22 115610 (2020). DOI: 10.1088/2040-8986/abb9c2

[5] Yuanze Xu, He Lin, Futing Yi, Jing Liu; Design optimization of one-dimensional aberration-free x-ray gradually focusing lenses. AIP Advances 1 January 2023; 13 (1): 015023. https://doi.org/10.1063/5.0135532

[6] Beguiristain HR, Cremer JT, Piestrup MA, Gary CK, Pantell RH. X-ray focusing with compound lenses made from beryllium. Opt Lett. 2002 May 1;27(9):778-80. doi: 10.1364/ol.27.000778. PMID: 18007930.

[7] Mamyrbayev, T.; Opolka, A.; Ershov, A.; Gutekunst, J.; Meyer, P.; Ikematsu, K.; Momose, A.; Last, A. Development of an Array of Compound Refractive Lenses for Sub-Pixel Resolution, Large Field of View, and Time-Saving in Scanning Hard X-ray Microscopy. Appl. Sci. 2020, 10, 4132. https://doi.org/10.3390/app10124132

[8] NanoGuide, Nanoscribe. https://support.nanoscribe.com/hc/en-gb/articles/360008908273

[9] Kotz, F., Arnold, K., Bauer, W. et al. Three-dimensional printing of transparent fused silica glass. Nature 544, 337–339 (2017). https://doi.org/10.1038/nature22061

[10] J. Bauer et al.,A sinterless, low-temperature route to 3D print nanoscale optical-grade glass.Science380,960-966(2023).DOI:10.1126/science.abq3037