สรุปการจัดสัมมนา

การใช้ประโยชน์ด้านเครื่องเร่งอิเล็กตรอนและเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด/เทร่าเฮิรตซ์
Utilization of Electron Beam Accelerator and Infrared/Terahertz Free-electron Lasers

วันที่ 13 ธันวาคม 2566
ณ โรงแรมเมอเวนพิค สุริวงศ์ เชียงใหม่

สรุปการจัดสัมมนา

“การใช้ประโยชน์ด้านเครื่องเร่งอิเล็กตรอนและ
เลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด/เทร่าเฮิรตซ์”

Utilization of Electron Beam Accelerator and
Infrared/Terahertz Free-electron Lasers

วันที่ 13 ธันวาคม 2566

ณ โรงแรมเมอเวนพิค สุริวงศ์ เชียงใหม่

สารบัญ

ความเป็นมา 1

คำกล่าวเปิด 2

การแนะนำสถานีวิจัยเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด
ณ มหาวิทยาลัยเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น (FEL) 4

การแนะนำศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์อิเล็กตรอนโฟตอน (ELPH)
ณ มหาวิทยาลัยโทโฮกุ 7

การพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้เครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น
และเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 9

การพัฒนากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) 11

การพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างภาพด้วยคลื่นความถี่เทร่าเฮิรตซ์
และการประยุกต์ใช้ในประเทศไทย 14

ประมวลภาพ 16

รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนา 20

1

ความเป็นมา

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ให้ดำเนินโครงการ “ศูนย์รวมผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องเร่งอิเล็กตรอนและเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด/เทร่าเฮิรตซ์ เพื่อเสริมแกร่งระบบนิเวศการวิจัยขั้นแนวหน้าของประเทศไทย” ภายใต้ปีงบประมาณ 2566 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างสถาบันและหน่วยงานวิจัยด้านเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนและเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด/เทร่าเฮิรตซ์ ทั้งในและต่างประเทศ และขยายเครือข่ายความร่วมมือกับสถาบันวิจัย/ศูนย์วิจัยชั้นนำของโลก โดยศูนย์ได้กำหนดจัดประชุมสัมมนา “การใช้ประโยชน์ด้านเครื่องเร่งอิเล็กตรอนและเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด/เทร่าเฮิรตซ์” ในวันที่ 13 ธันวาคม 2566 ณ โรงแรม เมอเวนพิค สุริวงศ์ เชียงใหม่ ประเทศไทย

โดยการจัดประชุมสัมมนา “การใช้ประโยชน์ด้านเครื่องเร่งอิเล็กตรอนและเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด/เทร่าเฮิรตซ์” เป็นการสัมมนาที่เปิดโอกาสให้นักวิจัยและผู้เชี่ยวชาญ ได้นำเสนอความรู้ ประสบการณ์ และความสามารถของตนเอง ให้แก่นักวิจัยที่มีความสนใจและสามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีเหล่านี้ได้ เพื่อให้เกิดการระดมความคิดเห็นและแลกเปลี่ยนความต้องการระหว่างเครือข่ายของนักวิชาการในด้านต่าง ๆ ทั้งในประดับประเทศและระดับนานาชาติ ซึ่งจะสามารถเสริมสร้างความแข็งแกร่งให้แก่ระบบนิเวศวิจัยระดับแนวหน้าของประเทศไทยได้

คำกล่าวเปิด

โดย รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงมณี ว่องรัตนะไพศาล

ผู้อำนวยการศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์

ด้วยศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ให้ดำเนินโครงการ “ศูนย์รวมผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องเร่งอิเล็กตรอนและเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด/เทร่าเฮิรตซ์ เพื่อเสริมแกร่งระบบนิเวศการวิจัยขั้นแนวหน้าของประเทศไทย” โดยมีวัตถุประสงค์ 5 ข้อ ได้แก่

1. เพื่อพัฒนาบุคลากรให้มีความเชี่ยวชาญด้านเครื่องเร่งอนุภาคและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการประยุกต์ใช้รังสีย่านอินฟราเรดและเทร่าเฮิรตซ์
2. เพื่อเตรียมความพร้อมในการยกระดับห้องปฏิบัติการวิจัยด้านเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนและเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรดและเทร่าเฮิรตซ์ ให้เป็นหน่วยวิจัยขั้นแนวหน้าของประเทศไทย
3. เพื่อสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างสถาบันและหน่วยงานวิจัยด้านเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนและเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรดและเทร่าเฮิรตซ์ทั้งในและต่างประเทศ และขยายเครือข่ายความร่วมมือกับสถาบันวิจัย/ศูนย์วิจัยชั้นนำของโลก
4. เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ในรูปแบบต่าง ๆ อาทิเช่น การนำเสนอผลงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ การจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ (workshop) การสัมมนา และการเผยแพร่ผลงานผ่านสื่อออนไลน์
5. จัดทำฐานข้อมูลนักวิจัยและห้องปฏิบัติการวิจัยของหน่วยงานความร่วมมือภายใต้ศูนย์รวมผู้เชี่ยวชาญฯ

โดยศูนย์ได้กำหนดจัดประชุมสัมมนา ที่เปิดโอกาสให้นักวิจัยและผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ จำนวน 5 ท่าน บรรยายแบ่งปันความรู้และประสบการณ์ในเรื่องการพัฒนาเครื่องเร่งอิเล็กตรอนและเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด/เทร่าเฮิรตซ์ ให้แก่นักวิจัยที่มีความสนใจและสามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีเหล่านี้ได้

ศูนย์หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดประชุมสัมมนาในครั้งนี้จะก่อให้เกิดการพัฒนา ความร่วมมือ และการยกระดับเทคโนโลยีด้านเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนและเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรดและเทร่าเฮิรตซ์ต่อไปในอนาคต

วิดีโอภาพรวมการจัดสัมมนา

การแนะนำสถานีวิจัยเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด ณ มหาวิทยาลัยเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น (FEL)

โดย Assoc. Prof. Dr. Heishun Zen
Kyoto University Free electron Laser
Kyoto University, Japan

ระบบเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้นสำหรับผลิตรังสีเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด ณ มหาวิทยาลัยเกียวโต (Kyoto University) ประเทศญี่ปุ่น ประกอบด้วยระบบหลักสองระบบ โดยระบบที่หนึ่งใช้สำหรับผลิตเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระชนิด Mid-infrared free-electron laser (MIR-FEL) ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 3.4 - 25 μm ระบบที่สองใช้สำหรับผลิตเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระชนิด Terahertz coherent undulator radiation (THz CUR) ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 600 - 1,000 μm นอกจากนี้ยังมีระบบ Solid state laser 2 ระบบ

เครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้นระบบ Mid-infrared free-electron laser จะใช้ 4.5 cell thermionic RF gun เป็นแหล่งกำเนิดลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงาน 8.4 MeV และมีประจุ 2.8 μC/macro-pulse และจะเหลือประจุอยู่ 700 nC/macro-pulse หลังจากผ่านสลิต (slit) เพื่อกรองส่วนประกอบอิเล็กตรอนที่มีพลังงานน้อยออก จากนั้นจึงเร่งให้มีพลังงาน 40 MeV ก่อนที่จะนำไปผลิตเป็นเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระ โดยระบบ MIR-FEL สามารถครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นได้ตั้งแต่ 3.4 - 25 μm โดยความเข้มของพลังงานงานจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นนั้น ๆ ซึ่งพลังงานที่สามารถทำได้สูงสุดอยู่ที่ 80 mJ ณ ความยาวคลื่น 8.2 μm

ในส่วนของเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้นระบบ Terahertz coherent undulator radiation จะใช้ photocathode RF gun เป็นแหล่งกำเนิดลำอิเล็กตรอน จากนั้นจึงทำการเร่งด้วย chicane bunch compressor ก่อนที่จะเข้าสู่ undulator โดยรังสีที่ผลิตออกมานั้นจะเป็นแบบ quasi-monochromatic coherent การวัดสเปกตรัมของรังสีนั้นจะใช้ Michelson interferometer ซึ่งสเปกตรัมของรังสีที่ผลิตมาครอบคลุมความยาวคลื่นในช่วง 160 - 650 GHz โดยพลังงานสูงสูดอยู่ที่ 1.3 μJ ณ ความยาวคลื่น 0.16 THz

สำหรับการประยุกต์ใช้เลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรดนั้น ได้มีการเปิดให้นักวิจัยจากองค์กรภายนอกมาใช้บริการตั้งแต่ปี ค.ศ.2011 เป็นต้นมา โดยมีจำนวนนักวิจัยที่มาใช้บริการเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี ซึ่งนักวิจัยที่มาใช้บริการนั้นมาจากหลายด้าน เช่น วัสดุศาสตร์ ชีววิทยา และ laser processing เป็นต้น ถึงแม้ว่าจำนวนนักวิจัยที่มาใช้บริการจะเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี แต่จำนวนงานวิจัยที่ถูกตีพิมพ์นั้นยังมีจำนวนที่น้อย โดยในระยะเวลา 4 ปีที่ผ่านมา จำนวนนักวิจัยที่มาใช้บริการนั้นมีมากกว่า 15 ราย แต่จำนวนงานวิจัยที่ตีพิมพ์กลับมีน้อยกว่า 15 งานวิจัย ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของผู้ให้บริการที่ต้องมีการส่งเสริมให้เกิดการตีพิมพ์งานวิจัยให้มากขึ้นในอนาคต

ประเด็นคำถาม

รศ.ดร.พงศกร กาญจนบุษย์: *นักวิจัยด้านวัสดุศาสตร์ที่มาใช้บริการสถานีวิจัยของมหาวิทยาลัยเกียวโต โดยส่วนมากแล้วทำการทดสอบวัสดุด้วยอุปกรณ์และกระบวนการใดบ้าง และมีข้อได้เปรียบจากอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานเชิงพาณิชย์อย่างไร*

นักวิจัยด้านวัสดุศาสตร์ส่วนมากมักจะใช้งานระบบ Solid State Laser พร้อมกับระบบ Mid-infrared free-electron laser เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางไฟฟ้าของวัสดุด้วยกระบวนการ Raman spectroscopy อีกทั้งยังสามารถวัด photoluminescence lifetime (PL lifetime) ของวัสดุโซลิดสเตตและวัสดุกึ่งตัวนำ โดยมีข้อได้เปรียบคือ วัสดุบางชนิดที่นำมาตรวจสอบนั้นไม่สามารถที่จะระบุสมบัติได้ด้วยวิธีที่ใช้ทั่วไป เนื่องจากไม่มี radiative decay ที่จำเป็นต่อการวัด PL lifetime ดังนั้นทางสถานีวิจัยจึงได้มีการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดความยาวคลื่นเดี่ยวที่มีความเข้มค่อนข้างมากรวมกับเลเซอร์พัลส์สั้นเพื่อระบุสมบัติโดยวัดการดูดกลืนและการส่งผ่านรังสีของวัสดุ

รศ.ดร.ดวงมณี ว่องรัตนะไพศาล: *ตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบควรจะอยู่ในสถานะใด และมีลักษณะอย่างไร*

โดยปกติแล้วนักวิจัยที่มาใช้บริการจะใช้ตัวอย่างที่เป็นผลึกเดี่ยว (single crystal) เนื่องจากเมื่อผ่านเครื่อง 4K Cryostat ตัวอย่างก็จะอยู่ในสถานะของแข็งก่อนที่จะนำไปทดสอบ ในบางครั้งตัวอย่างก็อยู่ในลักษณะที่เป็นผง โดยตัวอย่างที่เป็นผงมักจะมีสิ่งปนเปื้อน (defect) ซึ่งไม่บริสุทธิเท่ากับผลึกเดี่ยว แต่ในบางครั้งนักวิจัยก็ต้องการที่จะตรวจสอบ defect ในตัวอย่างเป็นหลัก ดังนั้นลักษณะตัวอย่างจึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบเป็นกรณีไป

ผศ.ดร.สุกฤต สุจริตกุล: *ตัวอย่างที่ใส่เข้าไปในเครื่อง 4K Cryostat ควรมีขนาดเท่าใด และการทดสอบด้วยระบบ Mid-infrared free-electron laser สามารถทำกับตัวอย่างที่มีสายไฟติดอยู่ได้หรือไม่*

สำหรับเครื่อง 4K Cryostat ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมคือ 1 x 2 cm^2 และในส่วนของตัวอย่างที่มีสายไฟนั้น ปัจจุบันอุปกรณ์ของทางสถานียังมีจำกัด อาจจะต้องมีการทดสอบถึงความเป็นไปได้ก่อน

เอกสารประกอบการบรรยาย

วิดีโอบันทึกการบรรยาย

การแนะนำศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์อิเล็กตรอนโฟตอน (ELPH) ณ มหาวิทยาลัยโทโฮกุ

โดย Prof. Dr. Hiroyuki Hama
Research Center for Electron Photon Science
Tohoku University, Japan

มหาวิทยาลัยโทโฮกุ (Tohoku University) ก่อตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1907 ในเขตโทโฮกุ เมืองเซนได จังหวัดมิยากิ เป็นมหาวิทยาลัยระดับนานาชาติแห่งที่สามของประเทศญี่ปุ่น ในปัจจุบันประเทศญี่ปุ่นมีมหาวิทยาลัยระดับนานาชาติอยู่ทั้งหมด 86 แห่ง โดยเมื่อพิจารณาจากงบประมาณที่ได้รับในแต่ละปี มหาวิทยาลัยโทโฮกุจะอยู่ในอันดับที่ 3 เป็นรองจากมหาวิทยาลัยโตเกียวและมหาวิทยาลัยเกียวโต ประเทศญี่ปุ่นมีศูนย์วิจัยและห้องปฏิบัติการด้านเครื่องเร่งอนุภาคหลักอยู่ 10 แห่ง โดยศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์อิเล็กตรอนโฟตอน (ELPH) ของมหาวิทยาลัยโทโฮกุเองก็นับเป็นหนึ่งใน 10 แห่งนี้ ซึ่งเริ่มก่อตั้งในปี ค.ศ.1966 ในฐานะห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ และได้มีการพัฒนาเครื่องเร่งอิเล็กตรอนขึ้นมาในปี ค.ศ.1967 และได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องเร่งอนุภาคมาจนถึงปัจจุบัน

ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์อิเล็กตรอนโฟตอน (ELPH) มีเครื่องมือสำหรับทำการวิจัยด้านเครื่องเร่งอนุภาคอยู่เป็นหลัก 3 เครื่อง ได้แก่

1. 60 MeV High Power Linac ปัจจุบันใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตไอโซโทปรังสีจาก nuclear photoreaction โดยมีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ด้านเคมีรังสี ด้านการแพทย์ และการผลิตไอโซโทปรังสีเพื่อใช้ในโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์
2. 1.3 GeV BST Ring ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแกมมาพลังงานสูงเพื่อใช้ในงานวิจัยทางฟิสิกส์ด้าน quark-meson, hyper nuclei และ ฟิสิกส์อนุภาค
3. 50 MeV t-ACTS ใช้ในการศึกษาด้านฟิสิกส์เครื่องเร่งอนุภาค เช่น femtosecond beam pulse, superradiance และ variable polarized THz source

ในปัจจุบันประเทศญี่ปุ่นได้มีการคิดค้นโครงการ International Linear Collider (ILC) โดยจะมีการสร้างเครื่องเร่งอนุภาคถึงสองเครื่องที่มีความยาวกว่า 20 กิโลเมตร ในเขตจังหวัดอิวาเตะ ซึ่งใกล้เคียงกับที่ตั้งของมหาวิทยาลัยโทโฮกุ อีกหนึ่งโครงการที่น่าสนใจคือการสร้างศูนย์วิจัยรังสีซินโครตรอนที่ใช้ชื่อว่า Nanoterasu ในมหาวิทยาลัยโทโฮกุ ซึ่งจะแล้วเสร็จภายในปี ค.ศ.2024 นี้

เอกสารประกอบการบรรยาย

วิดีโอบันทึกการบรรยาย

การพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้เครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้นและเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร ริมแจ่ม
ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รังสีในย่านอินฟราเรดและเทร่าเฮิรตซ์มีคุณลักษณะที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้อย่างหลากหลาย อาทิเช่น ด้านชีววิทยา ชีวเคมี การเกษตร การแพทย์ และวัสดุศาสตร์ เป็นต้น โดยข้อได้เปรียบของเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนแบบเครื่องกำเนิดเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระ คือสามารถผลิตเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระที่มีพลังงานสูงกว่า และมีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่รังสีเอกซ์ไปจนถึงเทร่าเฮิรตซ์ได้ อีกทั้งยังสามารถผลิตได้ในอุณหภูมิห้อง

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น และระบบผลิตเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรดและเทร่าเฮิรตซ์ ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งจะเป็นระบบแรกในประเทศไทยและในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยจะสามารถผลิตเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่าน Mid-infrared free-electron laser (MIR-FEL) ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 9.5 - 16.6 μm เลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่าน THz super free-electron laser (THz FEL) ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 120 - 600 μm รังสีเทร่าเฮิรตซ์แบบทรานสิชั่น (THz transition radiation) ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 150 - 1,000 μm และสถานีฉายลำอิเล็กตรอนพัลส์สั้นที่มีพลังงานของลำอิเล็กตรอนสูงสุด 25 MeV นอกจากนี้ยังมีระบบ Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy ที่มีแหล่งกำเนิดแสงครอบคลุมย่านอินฟราเรดช่วงกลางและย่านอินฟราเรดช่วงไกล และระบบ femtosecond laser ย่าน near-Infrared

ระบบ Mid-infrared free-electron laser นั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำ สารตัวอย่างของเหลว วัสดุในสภาวะสุดขีด (extreme conditions) เช่น ในสนามแม่เหล็ก ในสุญญากาศ หรือในอุณหภูมิต่ำมากได้ สถานีทดลอง FTIR spectroscopy สามารถประยุกต์ใช้ทางด้านการพัฒนาวัสดุของเซลล์แสงอาทิตย์ (solar cells) และการวิจัยด้านดาราศาสตร์เคมี (astrochemistry) และของเหลวไอออนิก (ionic liquids) และได้มีการวางแผนที่จะพัฒนาสถานีสำหรับทำการวิจัยขึ้นในอนาคต คือ สถานีทดลอง THz transition radiation และ FTIR spectroscopy สำหรับการประยุกต์ทางด้าน THz imaging และ THz spectroscopy สถานีทดลอง THz time-domain spectroscopy (THz TDS) สถานีทดลองการฉายด้วยเลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระสนามสูง (high-field Irradiation) และสถานี

ทดลอง Time-resolved spectroscopy สำหรับการประยุกต์ใช้ทางด้านการวิจัย การเกษตร และอุตสาหกรรม

ความท้าทายในงานวิจัยด้านเครื่องเร่งอนุภาค คือ ปัญหาด้านงบประมาณ เนื่องจากอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นในการสร้างเครื่องมือต่าง ๆ นั้นมีราคาที่สูง อีกทั้งยังต้องมีการจ้างงานช่างเทคนิคในหลายด้าน อีกความท้าทายหนึ่ง คือการตามหาผู้ใช้งานเครื่องมือเหล่านี้ เนื่องจากสำหรับประเทศไทยในปัจจุบันเทคโนโลยีเครื่องเร่งอนุภาคนั้นยังใหม่และเป็นที่รู้จักไม่มากนัก จึงได้มีการวางแผนในการที่จะเผยแพร่ความสามารถของเทคโนโลยีเครื่องเร่งอนุภาคนี้ไปสู่กลุ่มผู้ที่มีความสนใจและสามารถใช้ประโยชน์ในสายงานอื่น ๆ ได้

ประเด็นคำถาม

รศ.ดร.พงศกร กาญจนบุษย์: *ระบบ femtosecond laser ที่มีอยู่ ได้มีการวางแผนเพื่อนำไปใช้สำหรับการตัดพื้นผิวตัวอย่างด้วยหรือไม่*

การใช้ระบบ femtosecond laser ในการตัดพื้นผิวตัวอย่าง ทางห้องปฏิบัติการได้มีการวางแผนไว้สำหรับอนาคต แต่การประยุกต์ใช้งานในส่วนนี้ต้องมีการติดตั้งระบบการทำงานที่ต้องได้รับคำแนะนำจากผู้ที่ใช้งานจริง เพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการให้ได้มากที่สุด อีกทั้งยังต้องมีการรอคอยงบประมาณบางส่วนเพื่อจัดซื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น การสัมมนาในครั้งนี้จึงเป็นโอกาสอันดีที่จะได้ร่วมหารือกับผู้เชี่ยวชาญจากหลายภาคส่วน เพื่อมองหาทิศทางในการพัฒนาเทคโนโลยีที่มีอยู่ต่อไป

เอกสารประกอบการบรรยาย

วิดีโอบันทึกการบรรยาย

การพัฒนากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(Scanning Electron Microscope, SEM)

โดย คุณอภิชาต เหล็กงาม
สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ความเป็นมาของการพัฒนากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope หรือ SEM) เริ่มต้นจากการประชุมเชิงปฏิบัติการ (workshop) ที่มีจุดประสงค์ในการส่งเสริมความร่วมมือระหว่างนักวิจัยและวิศวกรจากหน่วยงาน ศูนย์วิจัย และมหาวิทยาลัยต่าง ๆ เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ ในการพัฒนาเทคโนโลยีที่น่าสนใจ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์พื้นผิวและการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่าง

การพัฒนานั้นเริ่มต้นในปี ค.ศ.2020 จากการทำวิศกรรมย้อนกลับ (reverse engineer) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มาจากประเทศญี่ปุ่น เพื่อศึกษาระบบการทำงานและส่วนประกอบต่าง ๆ จากนั้นในปี ค.ศ.2021 ก็ได้เริ่มสร้างและออกแบบแบบจำลอง (simulation) ของแหล่งกำเนิดลำอิเล็กตรอนขึ้นมา เมื่อทราบหลักการทำงานและส่วนประกอบ ในปี ค.ศ.2021 จึงได้เริ่มสร้างและพัฒนาชิ้นส่วนขึ้นตามแบบจำลอง ต่อมาในปี ค.ศ.2022 ได้ทำการประกอบชิ้นส่วนและทำการทดสอบการทำงาน ซึ่งในเดือนกันยายน ปี ค.ศ.2023 ที่ผ่านมาก็ได้ทำการถ่ายภาพพื้นผิวภาพแรกได้สำเร็จ

ในการพัฒนากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้มีการแบ่งหน้าที่ในการทำงานตามความชำนาญของแต่ละสถาบันออกเป็นดังนี้

1. สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (NARIT) ร่วมกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้รับหน้าที่ในการออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron source) เลนส์รวมลำอิเล็กตรอน (condenser lens) และเลนส์วัตถุ (objective lens)
2. สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน ได้รับหน้าที่ในการออกแบบและสร้างห้องสุญญากาศ (vacuum chamber) และชุดขดลวดควบคุมการกราด (scanning coil)

3. สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ ได้รับหน้าที่ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจจับอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron detector) และอุปกรณ์นับจำนวนอิเล็กตรอน
4. ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ได้รับหน้าที่ในการออกแบบและสร้างระบบการประมวลผลภาพ (image processing) จากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ

โดยการออกแบบและสร้างส่วนประกอบจากแต่ละสถาบันนั้นประสบความสำเร็จด้วยดี เมื่อนำส่วนประกอบมาติดตั้งเข้าด้วยกันก็ทำให้สามารถทำการทดสอบถ่ายภาพของตัวอย่างได้ ซึ่งภาพที่ได้จากการทดสอบนั้นยังไม่คมชัดมากนัก เนื่องจากขนาดของลำอิเล็กตรอนและระยะของ step-size ยังมากเกินไป อีกทั้งลำอิเล็กตรอนยังมีพลังงานที่ไม่เสถียร จึงได้ทำการปรับปรุงในครั้งต่อมาโดยทำการลดขนาดของลำอิเล็กตรอนให้เหลือเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm และลดระยะ step-size เป็น 250 - 175 μm และได้มีการปรับปรุงเลนส์แม่เหล็กเพื่อให้พลังงานของลำอิเล็กตรอนมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น โดยภาพที่ได้หลังจากทำการปรับปรุงมีความคมชัดมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

สำหรับแผนการพัฒนาในอนาคตได้มีการวางแผนที่จะสร้างเครื่องจำลองเครื่องที่สองขึ้นมา โดยพัฒนาจากต้นแบบที่มีในปัจจุบัน และหวังว่าจะสามารถพัฒนาขึ้นไปจนมีคุณภาพที่สามารถเทียบเคียงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในปัจจุบันได้

ประเด็นคำถาม

Assoc. Prof. Dr. Heishun Zen: *เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดขึ้นมา เป็นไปได้หรือไม่ที่จะนำมาประยุกต์กับระบบ femtosecond laser ของท่านอาจารย์สาคร เพื่อพัฒนาให้เป็นระบบ Time-resolve experiment*

เป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์กับระบบ femtosecond laser หากมีการหารือกันในอนาคต แต่เป้าหมายในปัจจุบันคือการพัฒนาให้ต้นแบบมีประสิทธิภาพที่มากขึ้นก่อน

รศ. ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ: *ต้นแบบในปัจจุบันสามารถถ่ายภาพโดยใช้ลำอิเล็กตรอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 mm ได้ ในอนาคตมีเป้าหมายที่จะพัฒนาให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็กลงหรือไม่ อย่างไร*

ทางทีมนักวิจัยตั้งเป้าหมายไว้ว่าต้องการให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาด 50 ไมครอน โดยการเพิ่มสนามแม่เหล็กของ เลนส์รวมลำอิเล็กตรอน (condenser lens) และเพิ่มจำนวนเลนส์จากที่มีในปัจจุบัน คือ 1 เลนส์ เป็น 3 เลนส์ ให้เหมือนกับต้นแบบที่ได้ทำการศึกษาไว้

คำถาม: *อุปกรณ์ตรวจจับอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron detector) ที่สร้างขึ้นมา ทางสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติได้ผลิตชิ้นส่วนด้วยตนเองทั้งหมดเลยหรือไม่*

สำหรับหัวตรวจจับอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ทางสถาบันนิวเคลียร์แห่งชาติไม่ได้ทำการผลิตชิ้นส่วนขึ้นมาเองทั้งหมด โดยจะมีในส่วนของหัวตรวจจับที่มาจากประเทศญี่ปุ่น แต่ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ แผงควบคุม และอุปกรณ์นับจำนวนอิเล็กตรอนนั้นทางสถาบันผลิตขึ้นมาเองทั้งหมด

เอกสารประกอบการบรรยาย

วิดีโอบันทึกการบรรยาย

การพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างภาพด้วยคลื่นความถี่เทร่าเฮิรตซ์ และการประยุกต์ใช้ในประเทศไทย

โดย ดร.รุ่งโรจน์ จินตเมธาสวัสดิ์
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

การศึกษารังสีเทร่าเฮิรตซ์นั้นค่อนข้างมีความท้าทายแต่ก็เป็นย่านรังสีที่มีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากคุณสมบัติที่น่าสนใจ คือ ความสามารถในการทะลุผ่านวัสดุ เช่น ผ้า กระดาษ ไม้ หรือพลาสติก การตอบสนองต่อวัตถุที่มีส่วนประกอบของน้ำ ไม่ทะลุผ่านโลหะ ไม่ทำให้เกิดขั้ว และสามารถใช้จำแนกส่วนประกอบโมเลกุลชีวภาพได้ ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับย่านรังสีใกล้เคียงอย่างคลื่นไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด และรังสีเอกซ์ จะพบว่าการสร้างภาพจากเทร่าเฮิรตซ์จะให้ภาพที่ชัดกว่าคลื่นไมโครเวฟ สามารถทะลุผ่านได้มากกว่ารังสีอินฟราเรดและมีความปลอดภัยต่อมนุษย์มากกว่ารังสีเอกซ์

สำหรับการประยุกต์ใช้งานรังสีเทร่าเฮิรตซ์ พบว่าด้วยคุณสมบัติที่หลากหลายทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในหลายด้าน เช่น ด้านอาหารและการเกษตร ด้วยการตอบสนองต่อวัตถุที่มีส่วนประกอบของน้ำทำให้สามารถตรวจสอบความชื้นในอาหารหรือผลผลิตทางการเกษตรได้ อีกทั้งยังสามารถจำแนกสิ่งแปลกปลอมอย่างแมลงและเชื้อราได้ ในด้านอุตสาหกรรมสามารถใช้รังสีเทร่าเฮิรตซ์ในการตรวจสอบโครงสร้างภายในของยางรถยนต์หรือส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ได้ ในด้านการรักษาความปลอดภัยรังสีเทร่าเฮิรตซ์สามารถใช้ในการตรวจสอบหาสิ่งแปลกปลอมหรืออาวุธที่ถูกซ่อนอยู่ได้ ไม่ว่าจะเป็นตามร่างกายหรือภายในกระเป๋าสัมภาระต่าง ๆ ในด้านเภสัชกรรมสามารถใช้จำแนกโครงสร้างโมเลกุลและความสม่ำเสมอของเม็ดยาได้ ในด้านการแพทย์สามารถใช้ตรวจหาเนื้อเยื่อมะเร็งผิวหนังได้ เนื่องจากเนื้อเยื่อมะเร็งจะดูดกลืนรังสีเทร่าเฮิรตซ์แตกต่างจากเนื้อเยื่อปกติ อีกทั้งยังสามารถใช้ตรวจหาช่องว่างในฟันหรือตรวจหาโรคเบาหวานได้

ในปัจจุบันทางศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติได้มีการพัฒนาเทคนิคในการประยุกต์ใช้และประมวลผลภาพจากรังสีเทร่าเฮิรตซ์ โดยแบ่งตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานได้ ดังนี้

1. Simple THz Transmission Imaging for In-Line Inspection เทคนิคอย่างง่ายในการฉายรังสีเทร่าเฮิรตซ์ลงบนกล่องตัวอย่างที่เคลื่อนที่บนสายพานเพื่อตรวจสอบวัตถุที่อยู่ภายใน โดยจะมีกล้องรับสัญญาณติดตั้งอยู่ใต้สายพานลำเลียงเพื่อคอยประมวลผลภาพ

2. THz Computed Tomography (THz CT) เทคนิคการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุด้วยการใช้ภาพสองมิติหลายภาพจากรังสีเทร่าเฮิรตซ์ในด้านต่าง ๆ ของวัตถุ มาประมวลผลให้ออกมาเป็นภาพตัดขวาง

3. THz Reflection Imaging เทคนิคการใช้คุณสมบัติการสะท้อนของรังสีเทร่าเฮิรตซ์ในการสร้างภาพ เนื่องจากตัวอย่างมีความหนาหรือถูกห่อหุ้มหลายชั้นทำให้รังสีถูกดูดกลืนและไม่สามารถทะลุผ่านไปได้

4. THz Phase Imaging เทคนิคการสร้างภาพด้วยการตรวจวัดเฟสของรังสีเทร่าเฮิรตซ์แบบ Time-domain ซึ่งจะแตกต่างจากเทคนิคการสร้างภาพโดยการตรวจสอบจากความกว้าง (amplitude) ของรังสีเทร่าเฮิรตซ์แบบปกติ คือ สัญญาณที่นำไปประมวลภาพจะมีการสูญเสียจากการดูดกลืนหรือการกระเจิงที่น้อยกว่า

5. THz High-Resolution Imaging ในบางกรณี ภาพที่ประมวลผลออกมานั้นจะไม่คมชัด เนื่องจาก point-spread function (PSF) จึงได้มีการพัฒนาเทคนิค deconvolution ด้วยการใส่ตัวกรองที่สร้างจาก point-spread function (PSF) เพื่อเพิ่มความคมชัด

ประเด็นคำถาม

ดร.ปาริชาติ เทียนจุมพล: *จากข้อมูลที่ว่ารังสีเทร่าเฮิรตซ์สามารถตรวจสอบความชื้นในอาหารหรือผลผลิตทางการเกษตรได้ ทางศูนย์ได้มีการทดสอบกับผักหรือผลไม้จริงไปแล้วหรือไม่ และมีผลเป็นอย่างไร*

ทางศูนย์ได้มีการทดสอบเทคนิค Simple THz Transmission Imaging for In-Line Inspection กับทั้งผักและผลไม้จริง ซึ่งผลที่ได้นั้นยังไม่เป็นที่น่าพอใจ โดยศูนย์ได้ทำการทดสอบและปรับเทียบอุปกรณ์ตรวจจับให้มีความแม่นยำต่อข้อมูลความเข้มของรังสีและความชื้นที่ระดับต่าง ๆ แต่เนื่องจากผักและผลไม้จริงนั้นมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ส่งผลให้การปรับเทียบเป็นไปได้ยาก

เอกสารประกอบการบรรยาย

วิดีโอบันทึกการบรรยาย

ประมวลภาพ

โครงการจัดสัมมนา

“การใช้ประโยชน์ด้านเครื่องเร่งอิเล็กตรอนและ
เลเซอร์อิเล็กตรอนอิสระย่านอินฟราเรด/เทร่าเฮิรตซ์”

Utilization of Electron Beam Accelerator and
Infrared/Terahertz Free-electron Lasers

ICREM 2023
13 - 15 December 2023
Mövenpick Hotel Chiangmai Thailand
attocube

ICREM 2023
attocube

ICREM 2023

ICREM 2023
attocube

ICREM 2023

ICREM 2023

ICREM 2023

Scanning Electron Microscope (SEM)
Design and Development
ICREM 2023

Introduction to Terahertz Imaging:
Applications and Perspective in Thailand

ICREM 2023

รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนา

ลำดับ	รายชื่อ (Name)	หน่วยงาน (Organization)
1	Prof. Dr.Isao Watanabe	Hokkaido University, Japan
2	Assoc. Prof. Dr.Heishun Zen	Kyoto University, Japan
3	Kotaro Tanaka	Kyoto University, Japan
4	Prof. Dr.Hiroyuki Hama	Tohoku University, Japan
5	Ken-ichi Nanbu	Tohoku University, Japan
6	Kohtaroh Shibata	Tohoku University, Japan
7	รศ. ดร.พิพัฒน์ เรือนคำ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
8	รศ. ดร.อนุชา วัชระภาสร	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
9	ผศ ดร.เยาวลักษณ์ จันทร์บาง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
10	ผศ. ดร.สาคร ริมแจ่ม	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
11	ผศ. ดร.สุกฤต สุจริตกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
12	นางสาวนาทนภา ใจตั๋น	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
13	ผศ. ดร.พุฒิธร ชะนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
14	ดร.สุรีย์พร สราภิรมย์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
15	ดร.กีรติญา จันทร์ผง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
16	รศ. ดร.พงศกร กาญจนบุษย์	มหาวิทยาลัยมหิดล
17	รศ. ดร.จักรพงษ์ แก้วทา	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
18	รศ. ดร.หมุดตอเล็บ หนิสอ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
19	ผศ. ดร.อิสระ มะศิริ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
20	ดร.สาโรช ลี่ดำรงวัฒนากุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
21	ดร.รุ่งโรจน์ จินตเมธาสวัสดิ์	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
22	นายภัทรกร รัตนวรรณ์	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
23	ศ. ดร.ธีรวรรณ บุญญวรรณ	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์
24	รศ. ดร.ดวงมณี ว่องรัตนะ ไพศาล	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์
25	นายวัชนันท์ เรืองกูล	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์

ลำดับ	รายชื่อ (Name)	หน่วยงาน (Organization)
26	นางกฤติยา โอสถาพันธุ์	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์
27	นางมยุเรศ สิทธิกรวนิช	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์
28	นางสาวต้นน้ำ แสงคำ	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์
29	นางสาววณิชชา อินทกูล	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์
30	นายตะวัน จันทมาลา	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์
31	ดร.พิศิษฐ์ คำหน่อแก้ว	ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ
32	ดร.ณัฏฐวัฒณ์ หมื่นมาณี	ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
33	ดร.ปาริชาติ เทียนจุมพล	ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
34	นายสมศักดิ์ แดงติ๊บ	สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ
35	นางธัญรัศมี อัครวุฒิชยานนท์	สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ
36	รศ. ดร.เชรษฐา รัตนพันธ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
37	นายอภิชาต เหล็กงาม	สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ
38	นายกันตภณ ดำมินเสก	ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
39	นางสาวเสาวลักษณ์ หอมนาน	ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
40	นางสาวกัลยาพร กองมะลิ	ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
41	นางสาวกิตติญา โกเสนตอ	ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
42	นางสาวพิชญาภัค กิติศรี	ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
43	นางสาววราลักษณ์ ใจเป็ง	ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
44	นางสาวสิริวรรณ ปาเคลือ	ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
45	นายณัฐวัตร คำมาตา	ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
46	นายพิทยา อภิวัฒนกุล	ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จัดทำโดย

ศูนย์รวมผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องเร่งอิเล็กตรอนและเลเซอร์อิสระย่านอินฟราเรด/เทร่าเฮิรตซ์ เพื่อเสริมแกร่งระบบนิเวศการวิจัยขั้นแนวหน้าของประเทศไทย

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์

ขอขอบคุณ

กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

มหาวิทยาลัยเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น

มหาวิทยาลัยโทโฮกุ ประเทศญี่ปุ่น

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงเส้น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้เข้าร่วมงานประชุมสัมมนาจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชนทุกท่าน