การสร้างและติดตั้งระบบตรวจวัดอิเล็กตรอน สำหรับสถานีทดลองลำอนุภาค เพื่อทดสอบเซ็นเซอร์

ดร.กฤษดา กิตติมานะพันธ์
สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

15th NSTDA Annual Conference
28 มี.ค. 2562

Outline

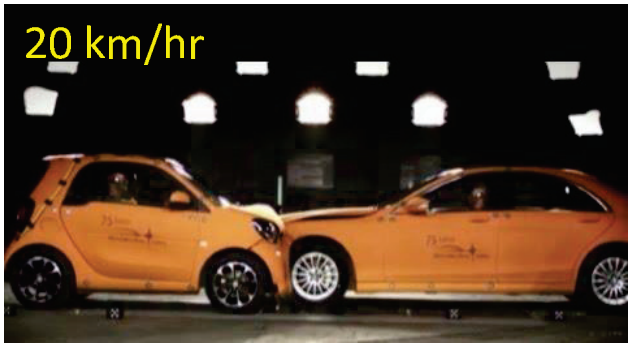
- บทนำ
  - ALICE (A Large Ion Collider Experiment), CERN
  - การศึกษาคุณลักษณะของเซ็นเซอร์ (Sensor characterization)
- สถานีทดลองลำอนุภาค (Beam Test Facility)
  - สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน
  - การผลิตลำอิเล็กตรอนความเข้มน้อย
- การวัดความเข้มของลำอิเล็กตรอนด้วยอุปกรณ์ตรวจจับชนิด pixel sensor
  - ชุดตรวจจับอนุภาคกล้องโทรทรรศน์ชนิด pixel sensor
  - การวัดประสิทธิภาพการตรวจจับอนุภาคของเซ็นเซอร์ชนิด ALPIDE
- บทสรุป

Particle collider คืออะไร?

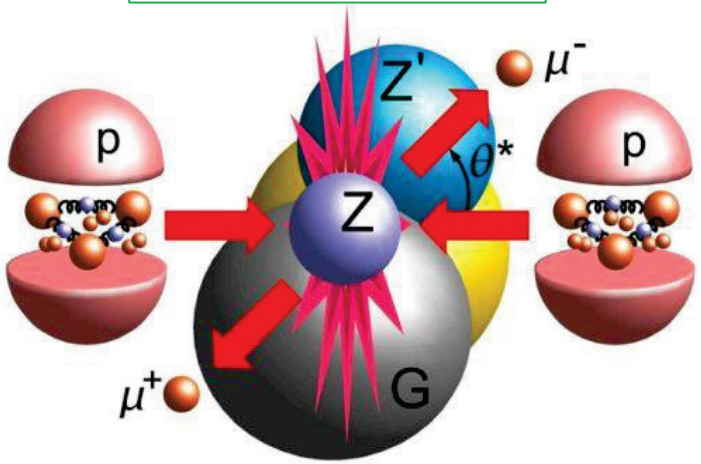
Particle collider ...

- เครื่องเร่งอนุภาคที่เร่งอนุภาคมีประจุให้มีความเร็วสูง และพลังงานสูง และบังคับให้อนุภาคเหล่านั้นชนกัน เพื่อผลิตตอนุภาคมูลฐานต่าง ๆ
- ถูกใช้เพื่อการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค

การชนกันของรถยนต์

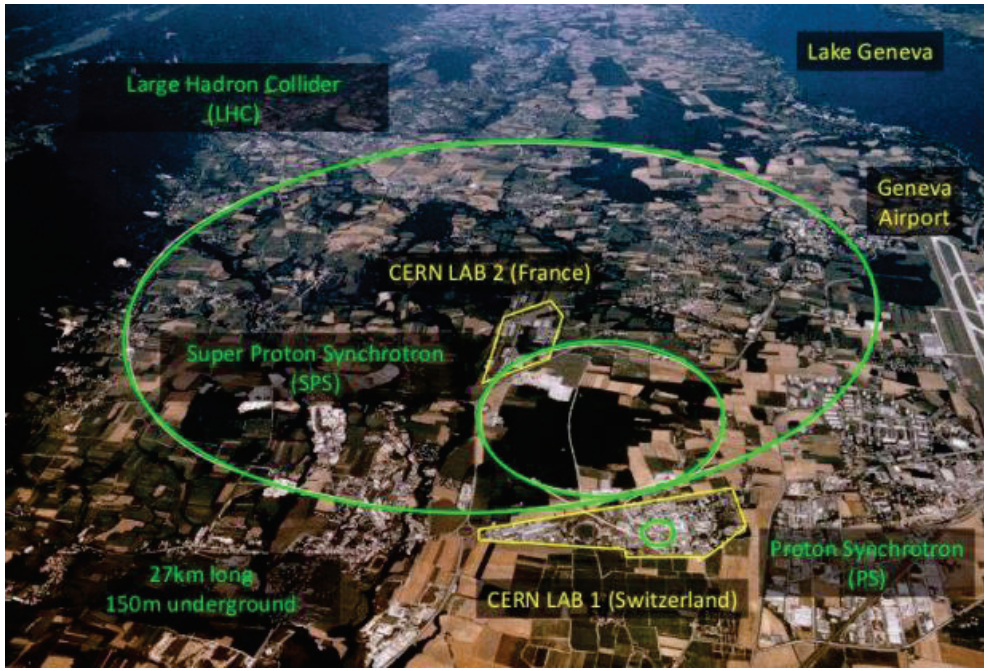


การชนกันของอนุภาค



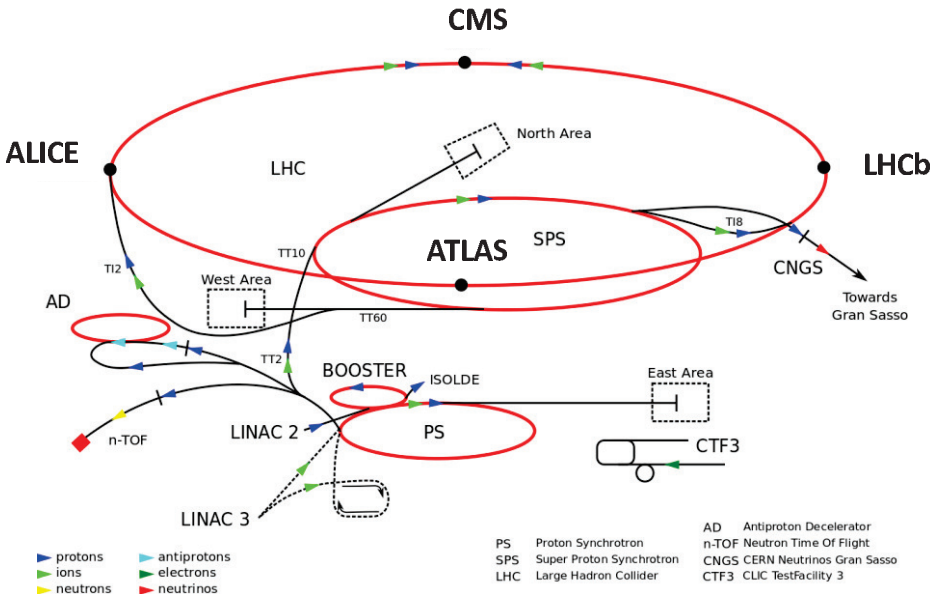
European Organization for Nuclear Research (CERN)

- สถาบันวิจัยเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค องค์ประกอบของสสารและอนุภาคพื้นฐานต่าง ๆ
- ตั้งอยู่ที่บริเวณชายแดนของประเทศสมาพันธรัฐสวิส และประเทศฝรั่งเศษ
- เป็นที่ตั้งของเครื่องเร่งอนุภาค และระบบตรวจวัดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก รวมถึงระบบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนที่สุดในโลกเช่นเดียวกัน



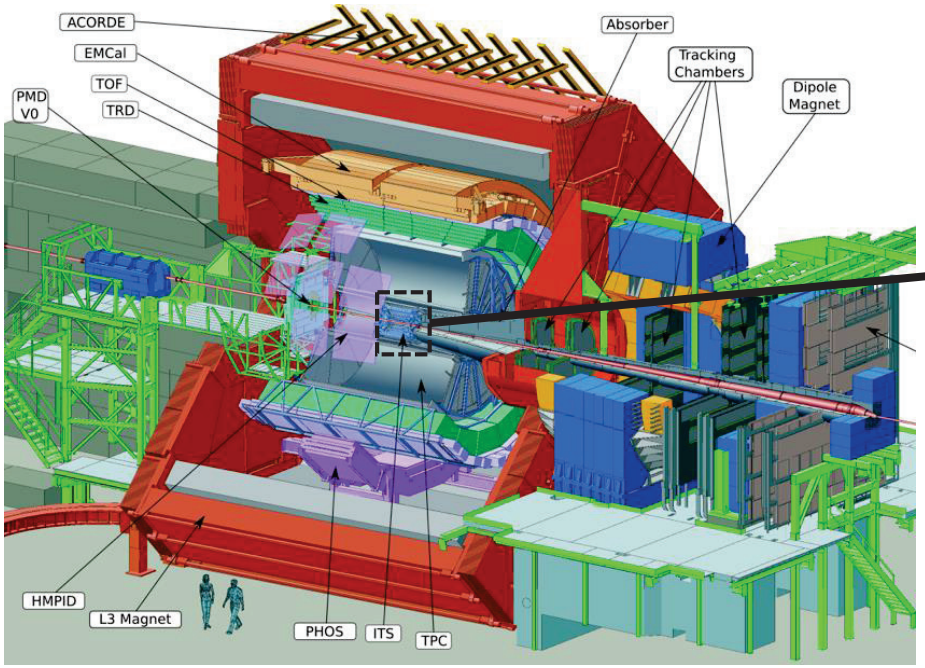
Large Hadron Collider (LHC) คืออะไร?

- เครื่องเร่งอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก และเร่งอนุภาคให้มีพลังงานในการชนมากที่สุดในโลกเช่นเดียวกัน (พลังงาน 6.5 TeV สำหรับลำอนุภาคโปรตอน พลังงานในการชนรวม 13 TeV)
- มีการทดลองหลัก 4 การทดลอง ตามแนวเส้นทางของเครื่องเร่งอนุภาค



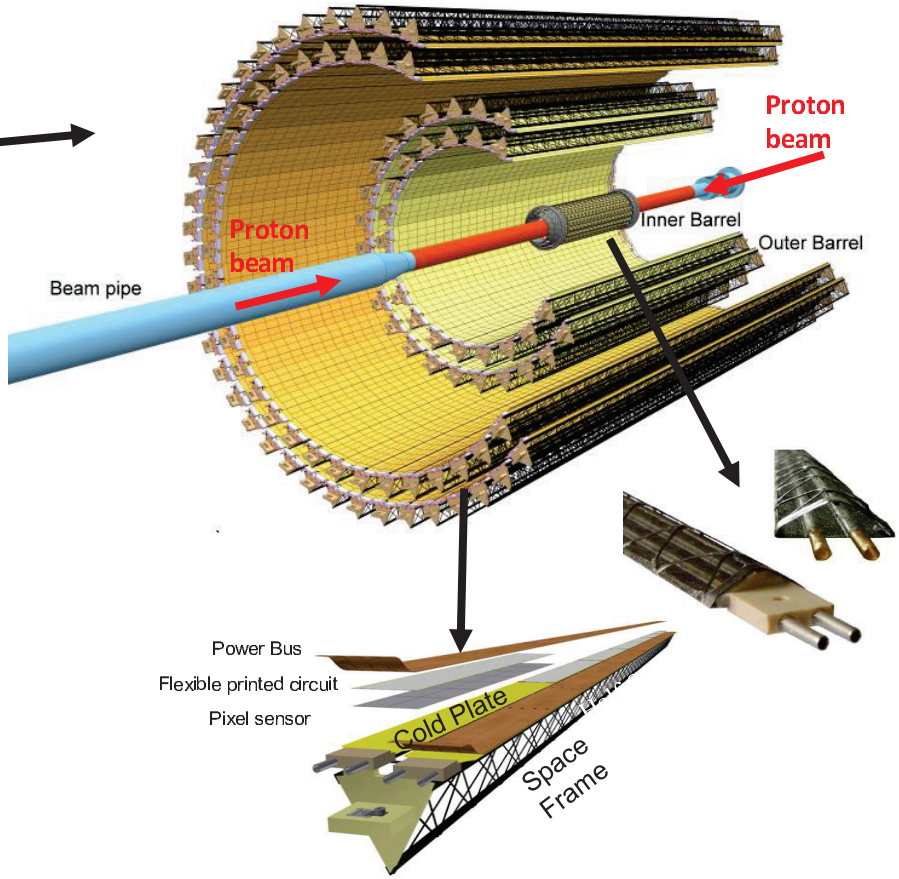
การทดลอง	สิ่งที่ต้องการศึกษา
ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus)	แนวคิดใหม่ทางฟิสิกส์ ซึ่งรวมถึงต้นกำเนิดของมวลและ มิติพิเศษทางฟิสิกส์
CMS (Compact Muon Solenoid)	อนุภาคฮิกส์โบซอน และร่องรอยของสสารมืด
LHCb (LHC-beauty)	การหายไปของปฏิสสาร
ALICE (A Large Ion Collider Experiment)	**สภาวะของไหลของอนุภาคที่เรียกว่าพลาสมาควาร์กและกลูออน ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ หลังจากการเกิดบิ๊กแบง**

ระบบตรวจจับอนุภาค ALICE และ ระบบติดตามเส้นทางภายใน (Inner Tracking System หรือ ITS)



ระบบติดตามเส้นทางภายในระบบใหม่

monolithic active pixel sensors (MAPS) 7 ชั้น



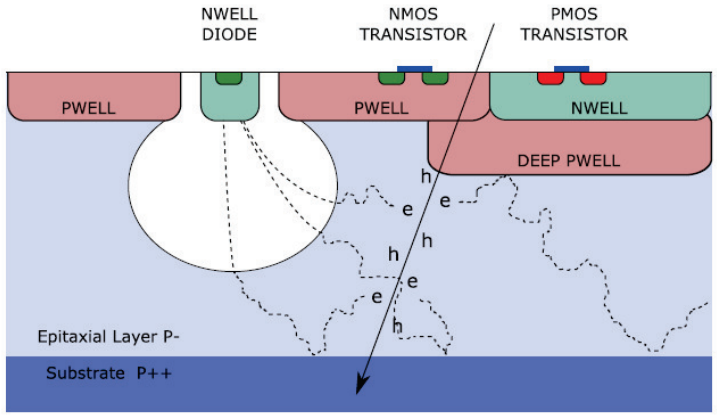
ความสามารถของระบบติดตามเส้นทางภายในระบบใหม่

- เพิ่มอัตราเร็วในการส่งถ่ายข้อมูลมากขึ้น > 50 เท่า
- เพิ่มความแม่นยำของระบบติดตามและตำแหน่งการเกิดขึ้นของอนุภาค

SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB

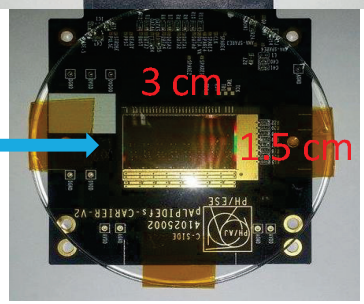
เซ็นเซอร์ ALPIDE (ALICE PIxel DEtector)

- Mono Active Pixel Sensors (MAPS) ขนาด 1.5 cm x 3 cm และ 512 x 1024 พิกเซล (row x column) โดยแต่ละพิกเซลมีขนาด 28 x 28 μm
- ซิลิกอนหนา 50 μm
- มีอัตราการบริโภคพลังงานน้อย แต่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับอนุภาคสูง (มากกว่า 99%)
- ผลิตขึ้นด้วยเทคโนโลยี TowerJazz's 180 nm CMOS Imaging process
  - 6 metal layers
  - High resistivity (>1 kOhm cm)



Data Acquisition (DAQ) Board

เซ็นเซอร์ ALPIDE



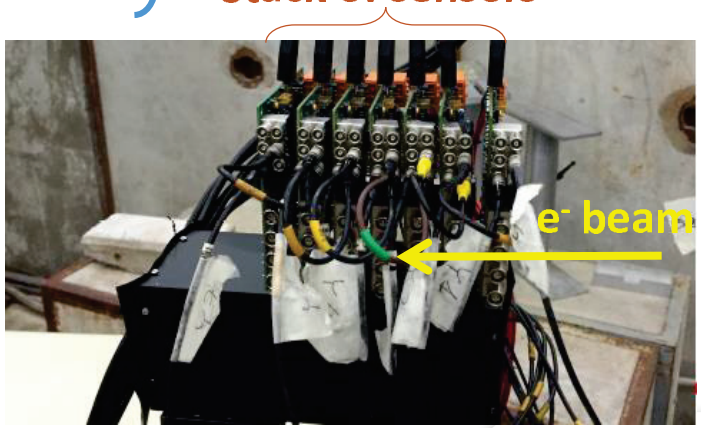
การศึกษาคุณลักษณะของเซ็นเซอร์ (Sensor characterization)

คุณสมบัติการทำงานพื้นฐานสามารถศึกษาได้จากการใช้กัมมันตภาพรังสี และลำอนุภาคทดสอบ

- สัญญาณรบกวน
- ตัวขยายสัญญาณบนเซ็นเซอร์
- ประสิทธิภาพในการสะสมประจุ
- ลักษณะการเกิดคลัสเตอร์บนเซ็นเซอร์
- ประสิทธิภาพในการตรวจจับอนุภาค
- ความละเอียดของการวัดตำแหน่ง

กัมมันตภาพรังสี (Fe-55, Sr-90)

ลำอนุภาคทดสอบ



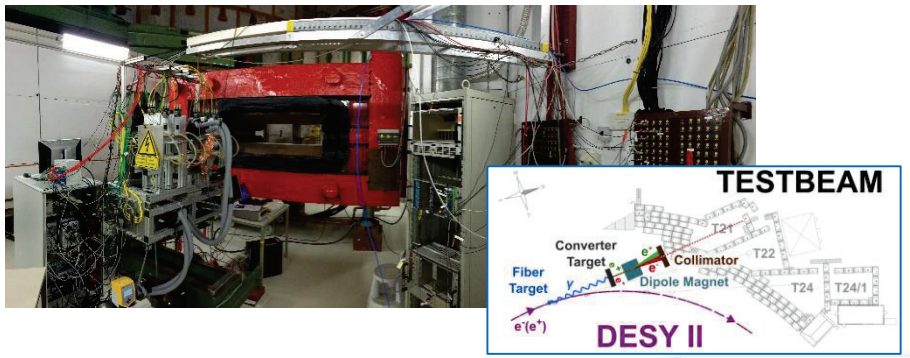
สถานีทดลองลำอนุภาคต่าง ๆ

- **Secondary Beam Area at CERN** -> พลังงานลำอนุภาคทดสอบ 15 GeV at PS East Hall, CERN

- **DAFNE Beam-Test Facility, Frascati, Italy** -> พลังงานลำอิเล็กตรอน และโพสิตรอน ทดสอบที่ 800 MeV และ 500 MeV

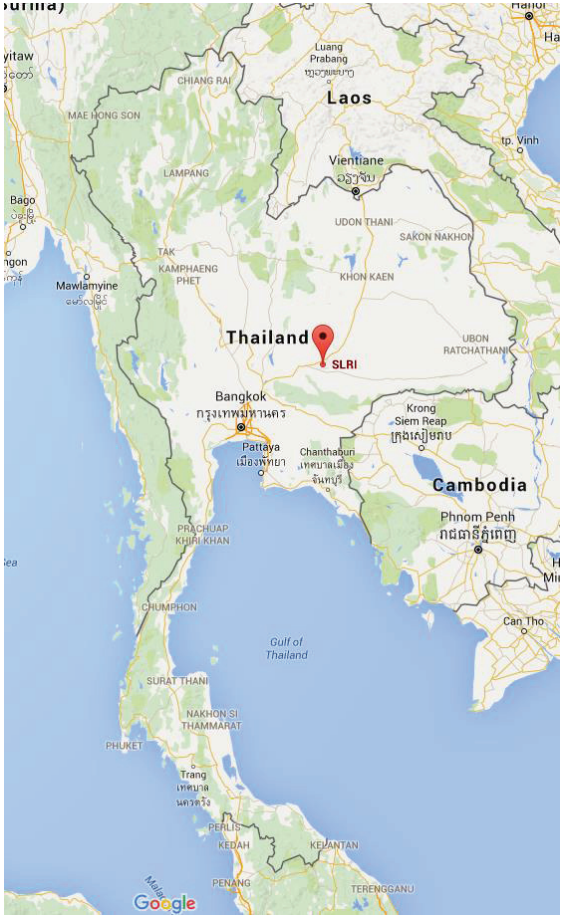
- **Fermi Test Beam Facility, FERMI, USA** -> ลำอนุภาคทดสอบที่หลากหลาย เนื่องจากพลังงานของลำอนุภาคปฐมภูมิ ที่มีค่ามาก 120 GeV

- **DESY Test Facility, Hamburg, Germany->** ให้ลำอิเล็กตรอนและโพสิตรอนทดสอบที่มีพลังงานมากถึง 6 GeV



SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (SLRI)



- ให้บริการแสงซินโครตรอน เพื่อเป็นเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในสาขาต่าง ๆ ทั้งในภาครัฐและเอกชน
- ตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา ห่างจาก กทม. ประมาณ 3.5 ชม. หรือ 260 กม.
- เริ่มให้บริการแสงซินโครตรอนในปี พ.ศ. 2546

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (SLRI)

พันธกิจ

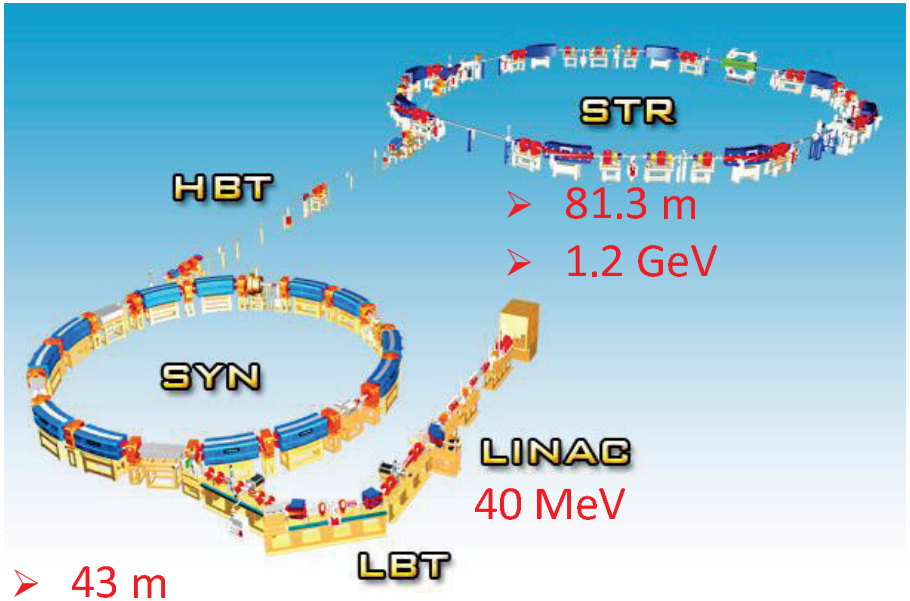
1. วิจัยเกี่ยวกับแสงซินโครตรอน และการใช้ประโยชน์จากแสงซินโครตรอน
2. ให้บริการแสงซินโครตรอน และเทคโนโลยีด้านแสงซินโครตรอน
3. ส่งเสริมการถ่ายทอด และการเรียนรู้เทคโนโลยีด้านแสงซินโครตรอน เช่น เทคโนโลยีสุญญากาศ เทคโนโลยีการผลิต และเทคโนโลยีเกี่ยวกับเครื่องเร่งอนุภาค เป็นต้น

ศักยภาพของสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอนต่อโครงการ ALICE ITS Upgrade

1. มีความสามารถในการผลิตลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงกว่า 1 GeV ซึ่งเป็นห้องทดลองที่เดียวที่ทำได้ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
2. สามารถใช้ลำอิเล็กตรอนที่ผลิตขึ้นมาเพื่อให้บริการแสงซินโครตรอนในการทดสอบเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ตรวจจับพลังงานสูง ต่าง ๆ
3. มีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ และสามารถทำงานร่วมกับองค์กรวิจัยนานาชาติที่มีชื่อเสียง เช่น CERN ได้

SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (SLRI)



- 81.3 m
- 1.2 GeV
- 43 m
- 1.2 GeV
- 40 MeV

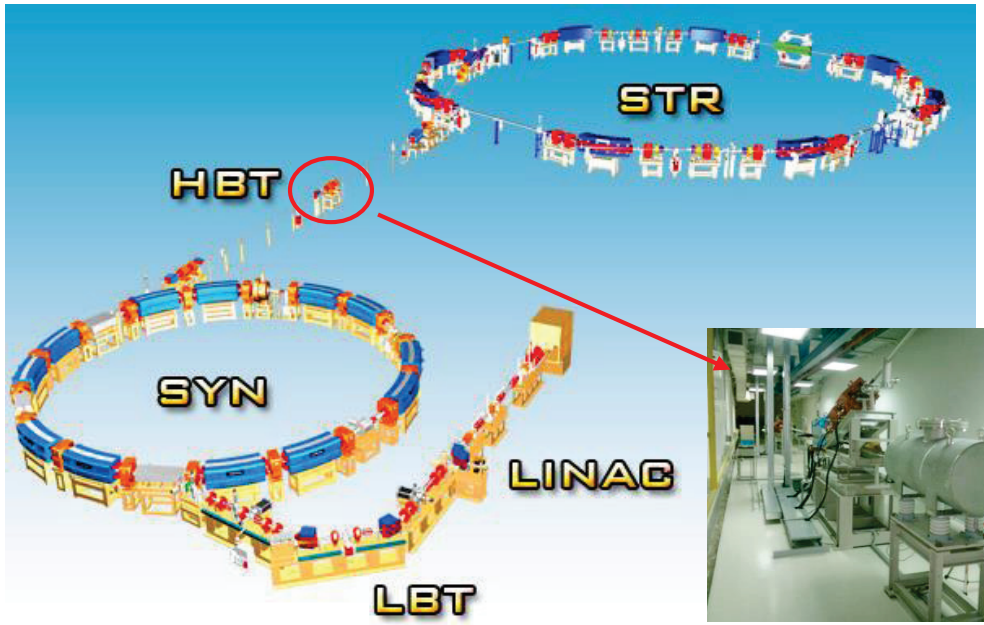
- ให้บริการแสงซินโครตรอน 7 วันต่อสัปดาห์
- มีสถานีทดลองมากถึง 12 สถานีทดลอง
- อุปกรณ์สำหรับส่วนเติมเต็มอิเล็กตรอน (injector) เช่น Linac, SYN, and HBT ถูกใช้งานเพียงแค่ 2 ครั้งต่อวัน
  - รวมแล้วใช้งานไม่เกินวันละ 1 ชม.
  - ว่างจากการใช้งานมากกว่า 23 ชม.ต่อวัน

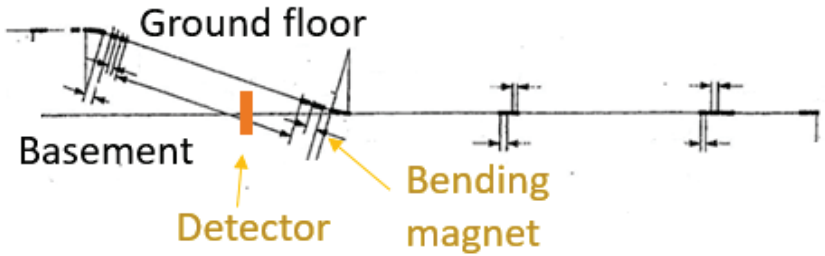
สถานีทดลองลำอนุภาคสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (SLRI BTF) :

- การทดสอบและปรับเทียบอุปกรณ์ตรวจจับอนุภาคพลังงานสูง และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ
- การศึกษาคุณลักษณะของเซ็นเซอร์เพื่อใช้ในการปรับปรุงระบบติดตามภายในสำหรับการทดลอง ALICE (ALICE ITS Upgrade)

SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB

สถานีทดลองลำอนุภาคสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (SLRI-BTF)

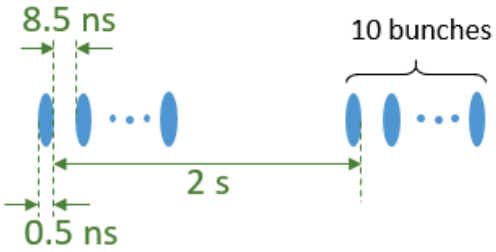




SLRI-BTF ตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งระหว่างทางของ HBT

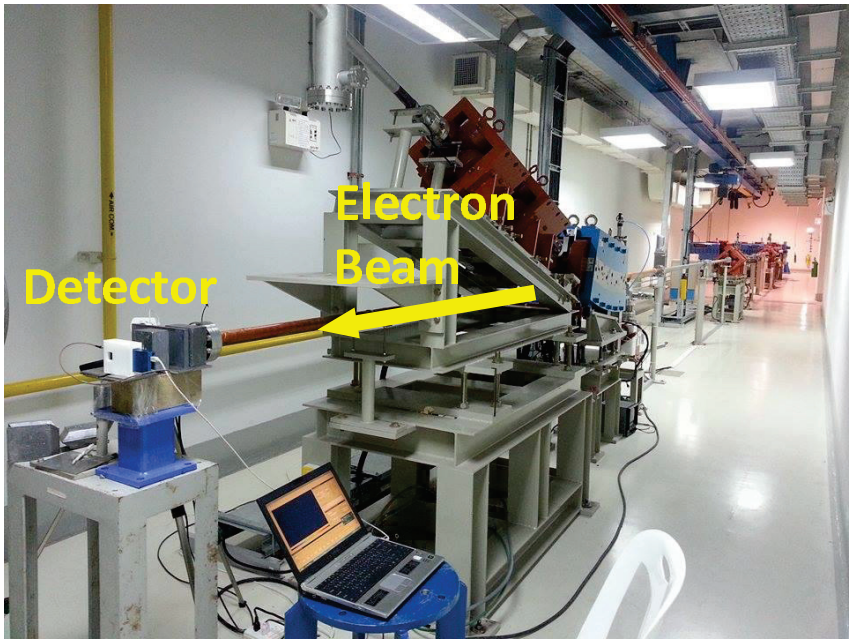
- พื้นที่ว่างขนาด 3.5 x 3.5 m^2 สำหรับติดตั้ง BTF
- เป็นพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์วัดกระแสลำอิเล็กตรอน (Faraday cup) ในช่วงติดตั้งเครื่องเร่งอนุภาค ตั้งแต่เริ่มต้น

Particle	electron
Energy	1 GeV
Energy Spread	~0.05% at 1GeV
Max. Current	~10 mA
Pulse duration (bunch duration)	~8.5 ns
Bunch length	~0.5 ns
Repetition rate	0.5 Hz

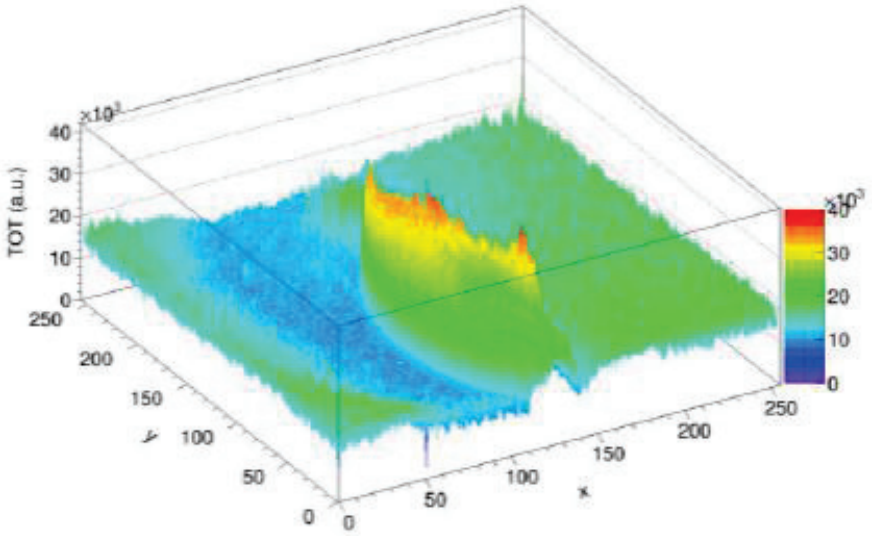


สถานีทดลองลำอนุภาคสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (SLRI-BTF)

บริเวณสถานีทดลองลำอนุภาค



การวัดความเข้มของลำอิเล็กตรอนที่ส่งผ่านท่อ
ลำเลียงอนุภาคพลังงานสูง



ความเข้มลำอิเล็กตรอน ~ $3x10^8$ อิเล็กตรอนต่อรอบการผลิต

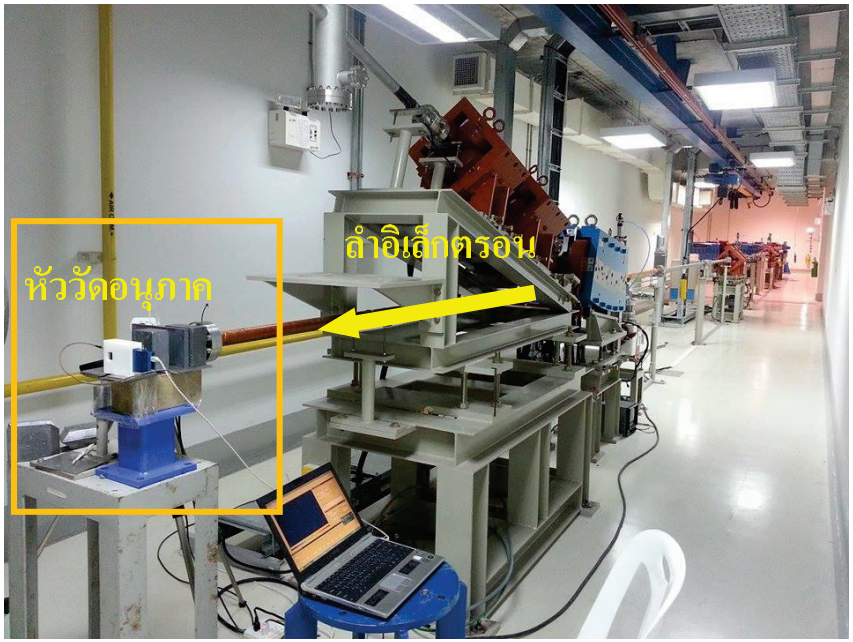
!!! ITS upgrade ต้องการลำอิเล็กตรอนทดสอบที่มีความเข้ม
ของลำอิเล็กตรอนน้อยกว่า 10 อิเล็กตรอนต่อรอบการผลิต

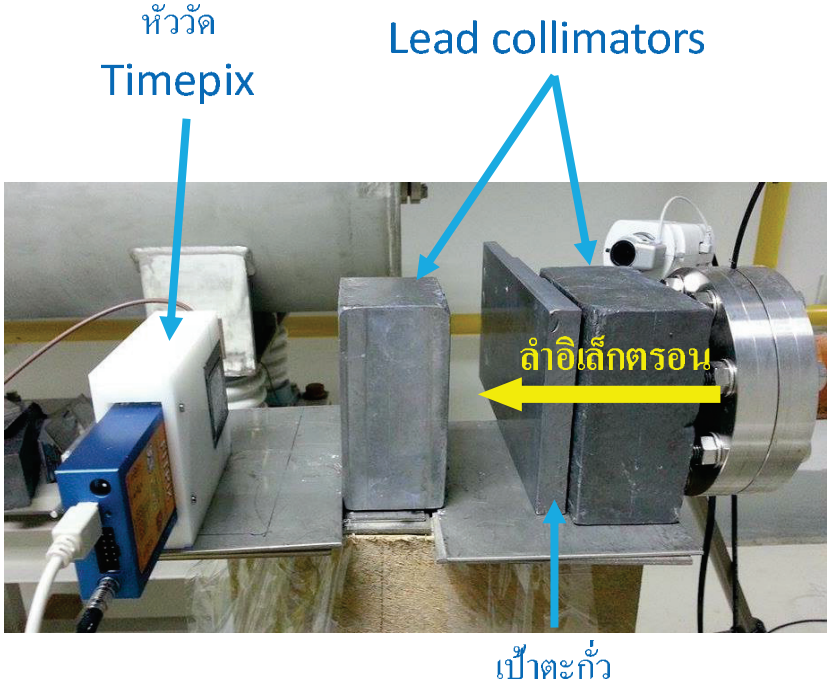
เราต้องการระบบ
ลดจำนวนอิเล็กตรอน!!

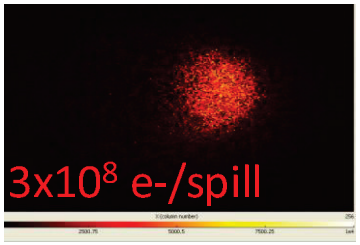
SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB

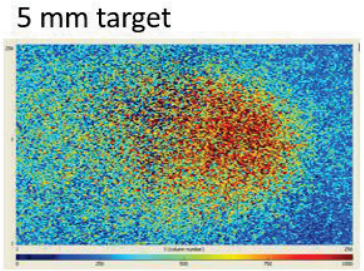
การติดตั้งระบบลดจำนวนอิเล็กตรอน

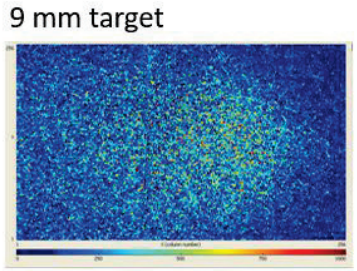
เพื่อยืนยันแนวคิดในการลดจำนวนอิเล็กตรอนลงด้วยเป้าโลหะ และสามารถตรวจจับได้ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับอนุภาคซึ่งถูกติดตั้งภายนอกห้องสุญญากาศ









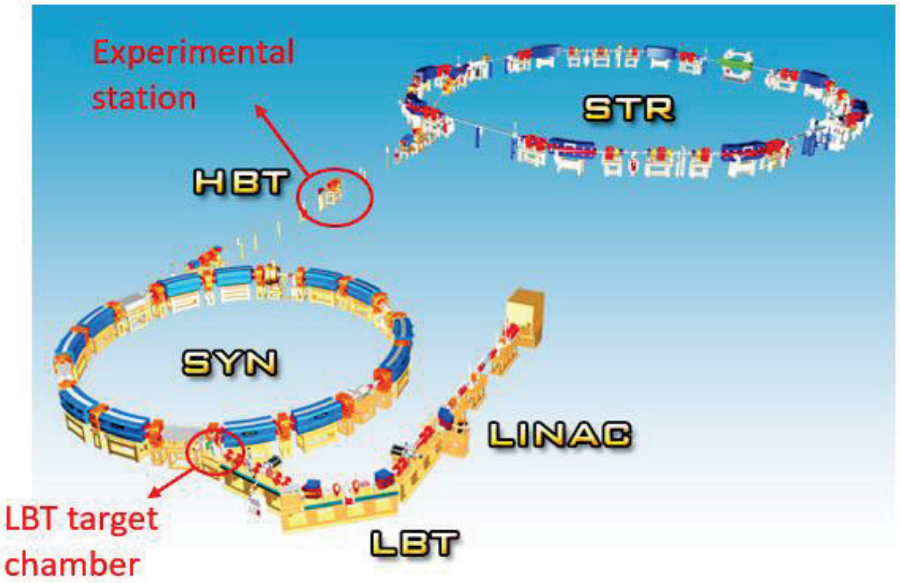


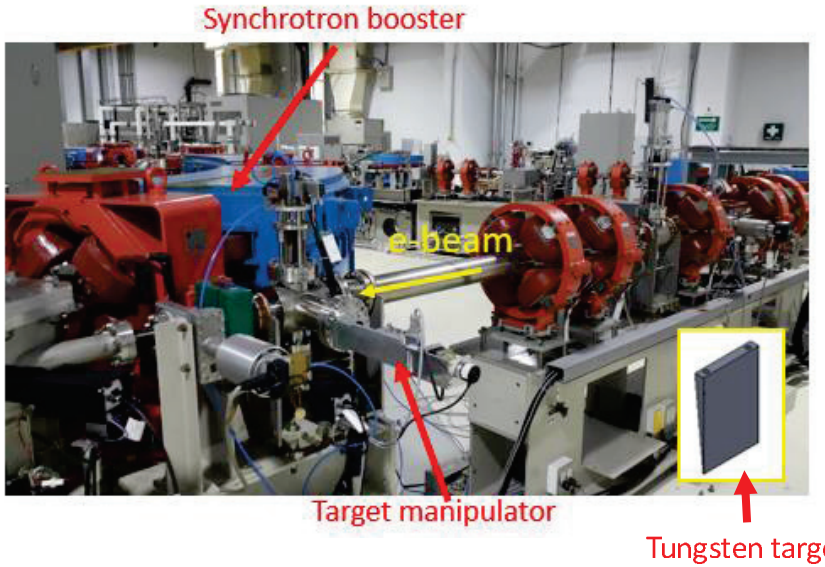
- ความเข้มถูกลดทอนลงด้วยการใช้เป้าโลหะ
- ลำอิเล็กตรอนนี้ถูกตรวจจับได้

ยังต้องการระบบคัดเลือกพลังงาน !

การติดตั้งเป้าโลหะ ณ ท่อส่งผ่านอนุภาคพลังงานต่ำ (LBT)

ความเข้มของลำอิเล็กตรอนพลังงาน 40 MeV ที่ถูกผลิตขึ้นจากเครื่องเร่งอนุภาคแนวตรง ถูกลดทอนลง และอิเล็กตรอนเหล่านั้นถูกเร่งให้มีพลังงานสูงขึ้นถึง 1.2 GeV ด้วยเครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลม

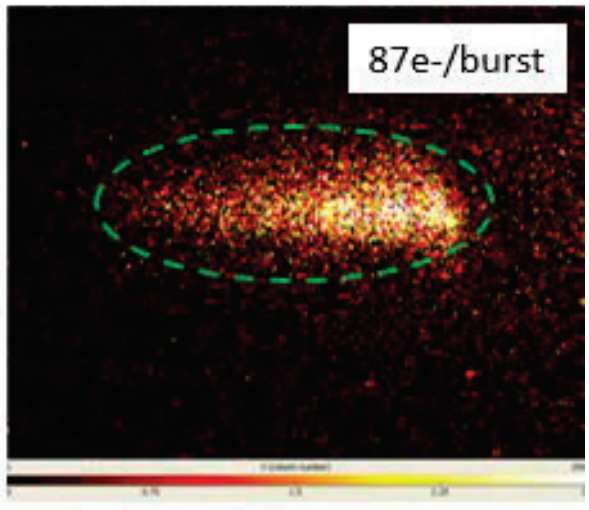


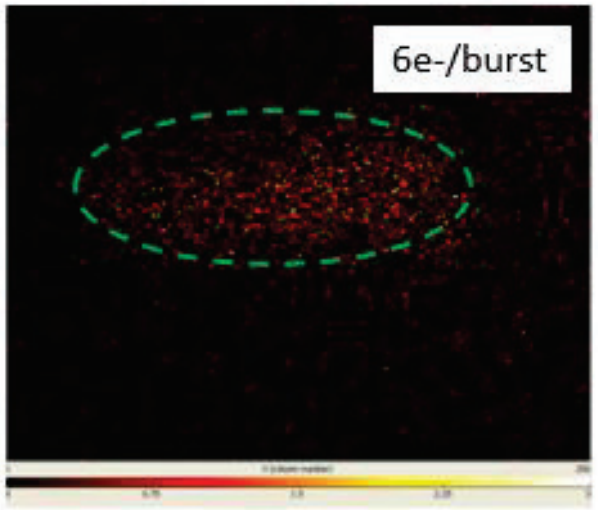


ข้อดีของการติดตั้งเป้าโลหะ ณ ตำแหน่งท่อลำเลียงอนุภาคพลังงานต่ำ

- สามารถใช้เครื่องเร่งอนุภาคแนววงกลมในการเร่งอนุภาค และเป็นอุปกรณ์คัดเลือกพลังงาน ซึ่งอาจส่งผลให้รอบการผลิตมากขึ้น
- ลำอนุภาคทดสอบที่ได้ ณ สถานีทดลองลำอนุภาคมีความสะอาดมากขึ้น มีอนุภาคลำดับที่สองและรังสีที่เกิดจากกาที่ลำอิเล็กตรอนชนเป้าโลหะน้อย

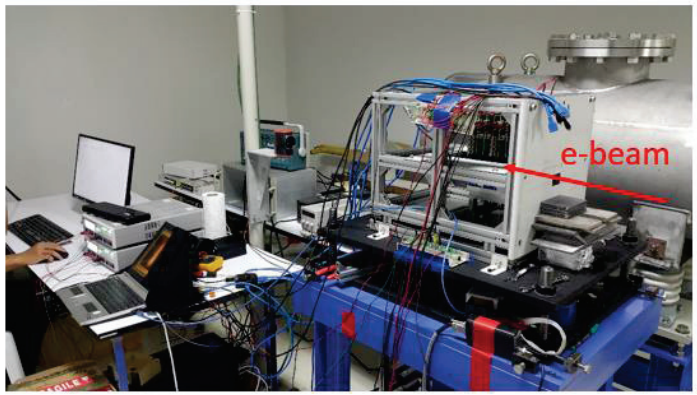
คุณภาพของลำอิเล็กตรอนทดสอบเป้าโลหะติดตั้ง ณ LBT

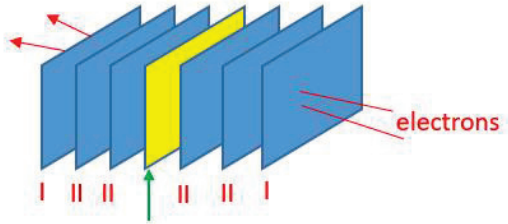




- เป้าโลหะสามารถถูกปรับได้ ให้เข้ากับความเข้มของลำอนุภาคปฐมภูมิซึ่งเป็นผลจากความไม่เสถียรของเครื่องเร่งอนุภาคแนวตรง
- ลักษณะของลำอนุภาคที่ตรวจจับได้มีรูปร่างที่ชัดเจน
- อนุภาคที่ตรวจจับได้รอบ ๆ ตำแหน่งของลำอนุภาค เกิดจากการกระเจิงระหว่างลำอนุภาคทดสอบกับวัสดุ ณ ตำแหน่งทางออกของลำอนุภาค (exit window)

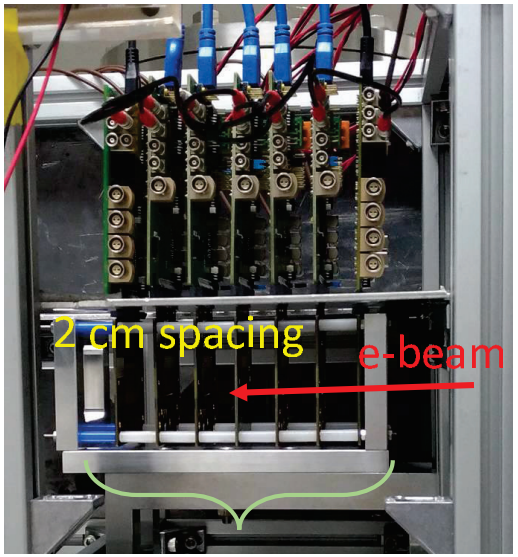
การติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ชนิด Pixel sensor





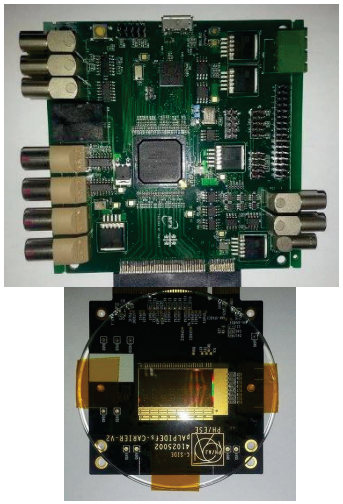
Device Under Test (DUT) – pALPIDE I and ALPIDE

- ใช้เลเซอร์ในการปรับเทียบตำแหน่งการวางกล้องโทรทรรศน์
- บันทึกข้อมูลโดยใช้โปรแกรม EUDAQ
- พลังงานของลำอิเล็กตรอนทดสอบมีค่า 1 GeV และอัตราการผลิตทุก ๆ 2 วินาที



Combination of pALPIDE I & II

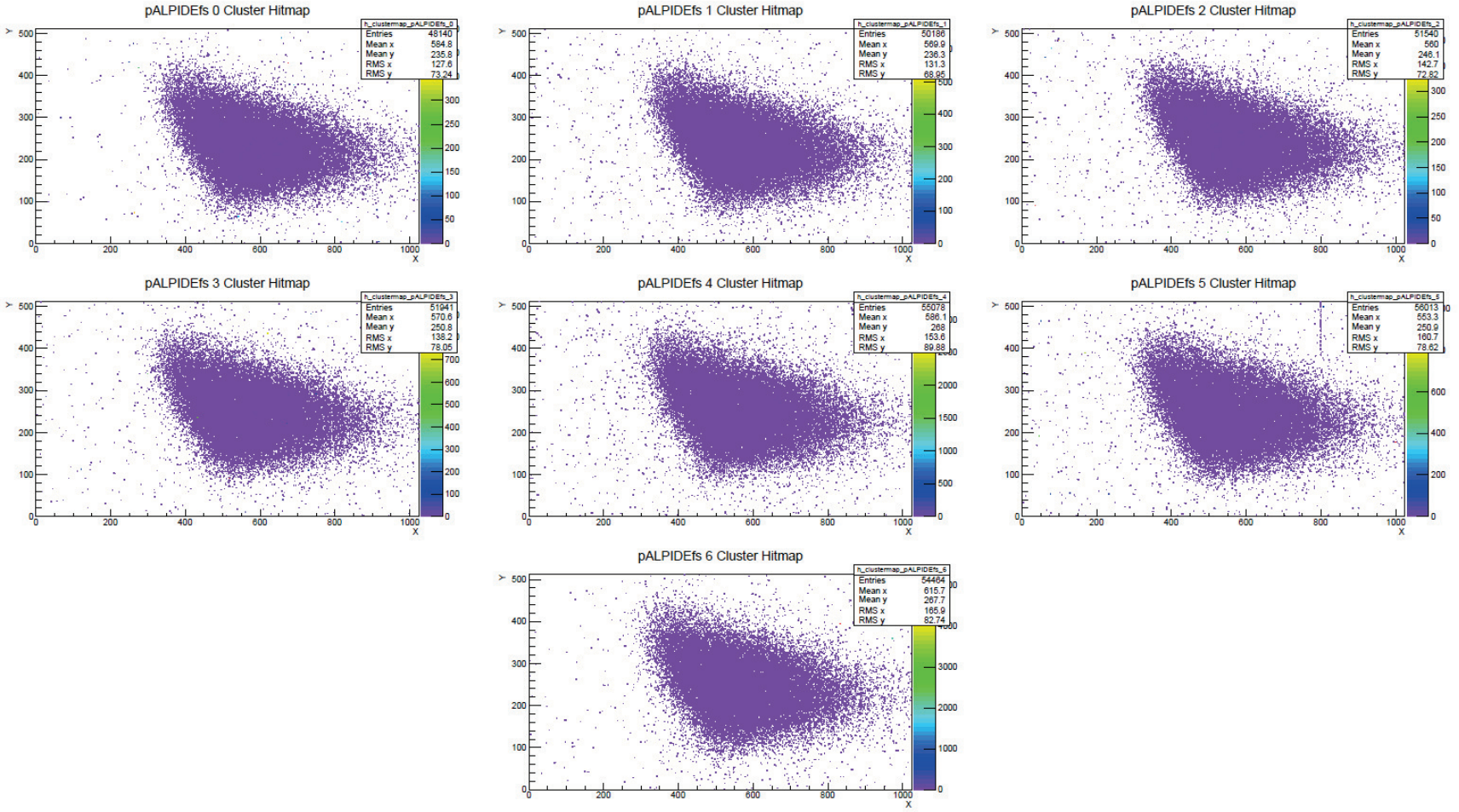
pALPIDE and DAQ



*มีความร่วมมือกับ ผศ.ดร.ชิโนรัตน์ กอบเดช สาขาวิชาฟิสิกส์ มทส.

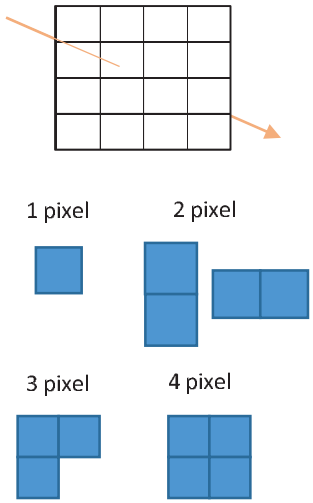
SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB

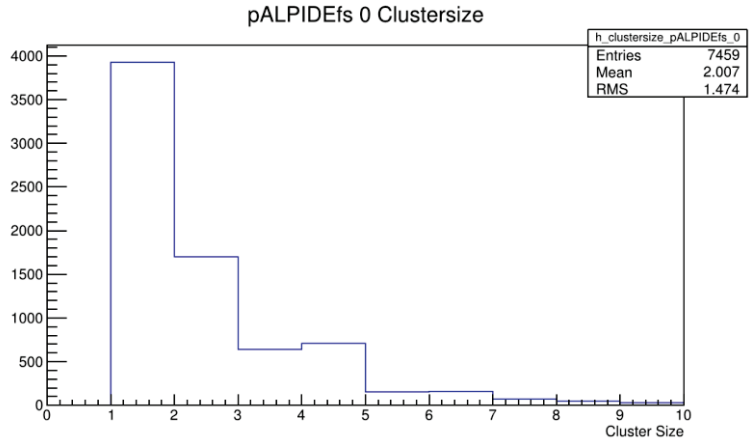
ลักษณะของลำอิเล็กตรอนทดสอบ ณ สถานีทดลองลำอนุภาค

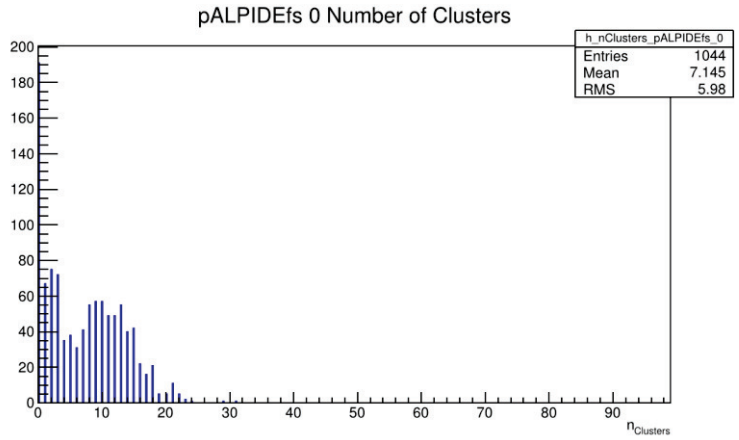


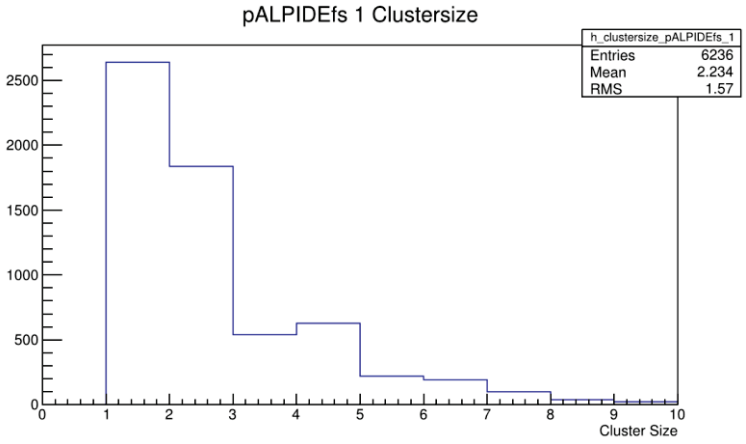
- การติดตั้งประกอบด้วยเซ็นเซอร์ ALPIDE 7 ชิ้น
- จำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ย น้อยกว่า 5 อิเล็กตรอนต่อรอบการผลิต มีการเก็บข้อมูลมากกว่า 10,000 รอบการผลิต
- การทดลองใช้เวลานานกว่า 6 ชม.

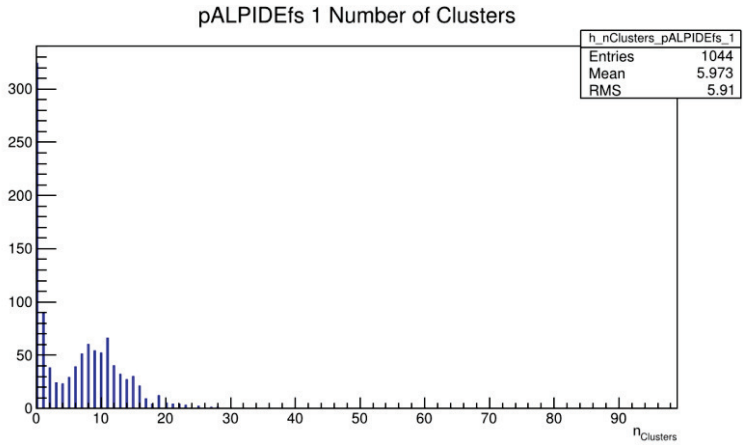
ขนาดของ pixel เมื่อถูกชนด้วยอิเล็กตรอน และจำนวนอิเล็กตรอนที่ตรวจจับได้จากเซ็นเซอร์ 2 ชั้นแรก





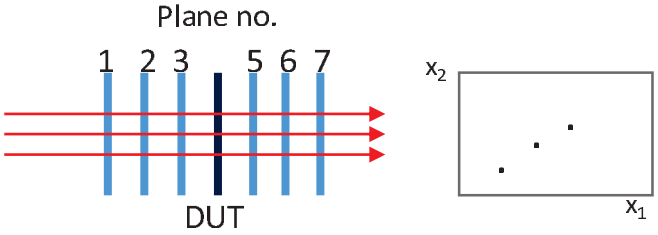




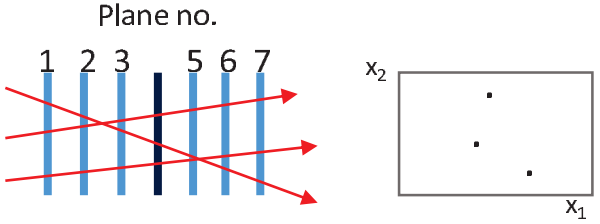


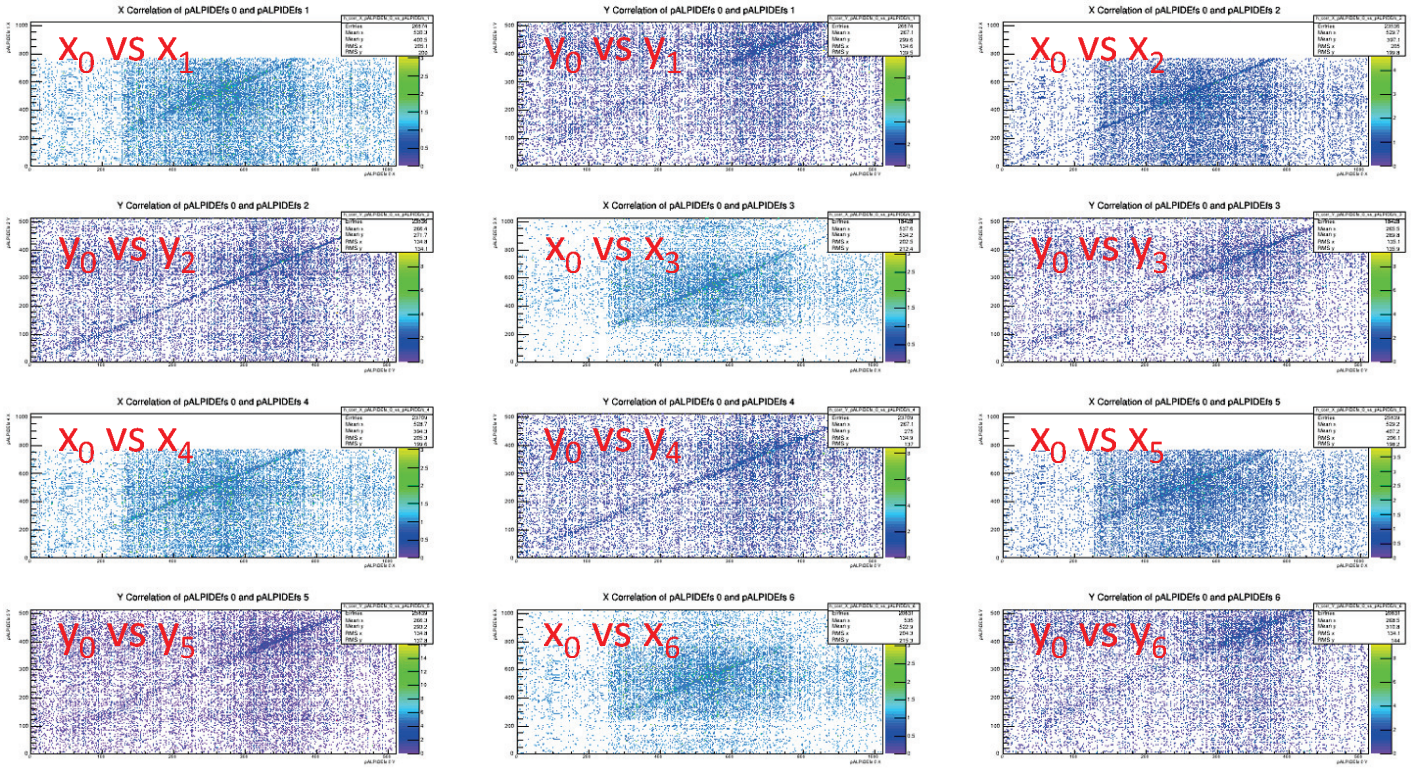
ความสัมพันธ์ของตำแหน่งที่อิเล็กตรอนชนเซ็นเซอร์

Good result



Bad result



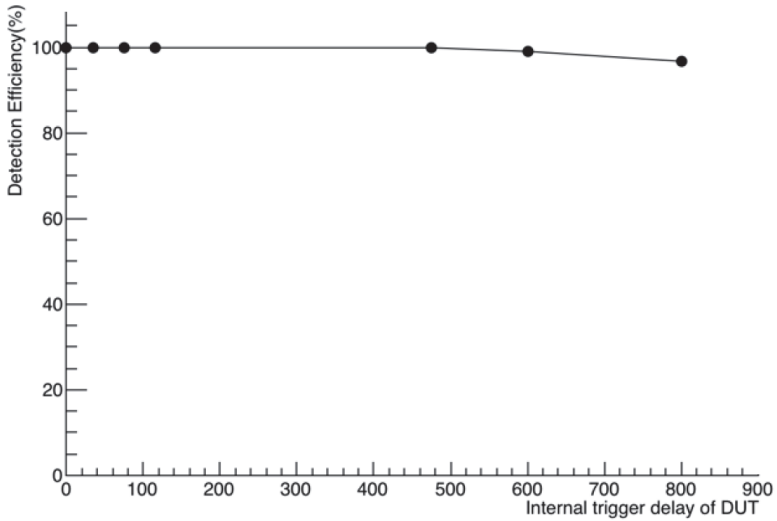


SYNCHROTRON THAILAND CENTRAL LAB

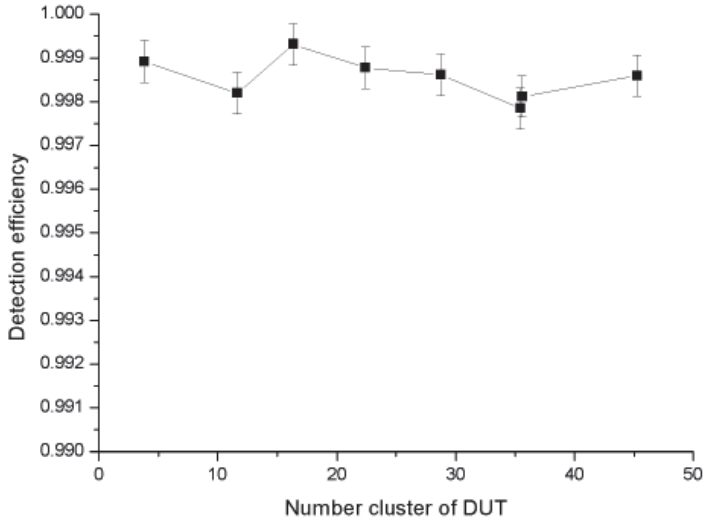
การวัดประสิทธิภาพการตรวจจับของเซ็นเซอร์

ความสามารถในการตรวจจับเซ็นเซอร์ ได้จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EUTelescope ซึ่งพัฒนาขึ้นภายใต้ความร่วมมือของ EUDET

ประสิทธิภาพการตรวจจับของเซ็นเซอร์ **VS** ความล่าช้าของสัญญาณภายใน



ประสิทธิภาพการตรวจจับของเซ็นเซอร์ **VS** จำนวนอิเล็กตรอน



- ประสิทธิภาพการตรวจจับของเซ็นเซอร์มีค่ามากกว่า 99% ซึ่งตรงกับรายละเอียดเชิงเทคนิคที่ได้ออกแบบไว้ตั้งแต่เริ่มต้น

บทสรุป

- สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอนได้มีความร่วมมือกับ ALICE, CERN ในโครงการ ALICE ITS project โดยมีส่วนร่วมการวิเคราะห์คุณลักษณะของเซ็นเซอร์
- สถานีทดลองลำอนุภาค ได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อทดสอบและปรับเทียบอุปกรณ์ตรวจจับอนุภาคพลังงานสูง และเครื่องมืออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- สถานีทดลองลำอนุภาคสามารถผลิตลำอิเล็กตรอนทดสอบที่มีความเข้มน้อยของลำอิเล็กตรอน น้อยกว่า 5 อิเล็กตรอนต่อรอบการผลิต และมีพลังงานมากถึง 1.2 GeV ได้ โดยการใช้เป้าโลหะทังสเตนเป็นตัวลดทอน
- หัววัด Timepix detector ได้ถูกใช้เพื่อตรวจจับ และปรับเทียบความเข้มของลำอิเล็กตรอนทดสอบ และ กล้องโทรทรรศน์ pALPIDE ได้ถูกติดตั้งและใช้เป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบเซ็นเซอร์ ALPIDE สำหรับ ALICE ITS upgrade
- ประสิทธิภาพในการตรวจจับอนุภาคของเซ็นเซอร์ ALPIDE มีค่าตามที่ได้ระบุในรายละเอียดเชิงเทคนิค

ขอขอบคุณ

- Synchrotron Light Research Institute (SLRI): K. Kittimanapun, N. Chanlek
- School of Physics, Institute of Science Suranaree University of Technology (SUT): C. Kobdaj, N. Laojamnongwong, A. Lakrathok, J. Kaewjai
- National Science and Technology Development Agency(NSTDA)
- DAFNE-BTF team: P. Valente, B. Buonomo, L. Foggetta
- WP5 group and ALICE ITS upgrage: L. Musa, M. Mager