



วาระที่ ๓.๑

ความร่วมมือไทย-สิงคโปร์เรื่องนาฬิกาอะตอม* เพื่อพัฒนากำลังคนและการวิจัยพัฒนา

ตามพระราชดำริสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี
(ประจำปี ๒๕๖๒)

รายงานเมื่อ
๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓

*ชื่อเต็มคือนาฬิกาอะตอมเชิงแสงด้วยไอออนเย็นของธาตุอิทเทอเรียม

การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓

1. ศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม (Centre for Quantum Technologies :CQT) มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์(NUS)

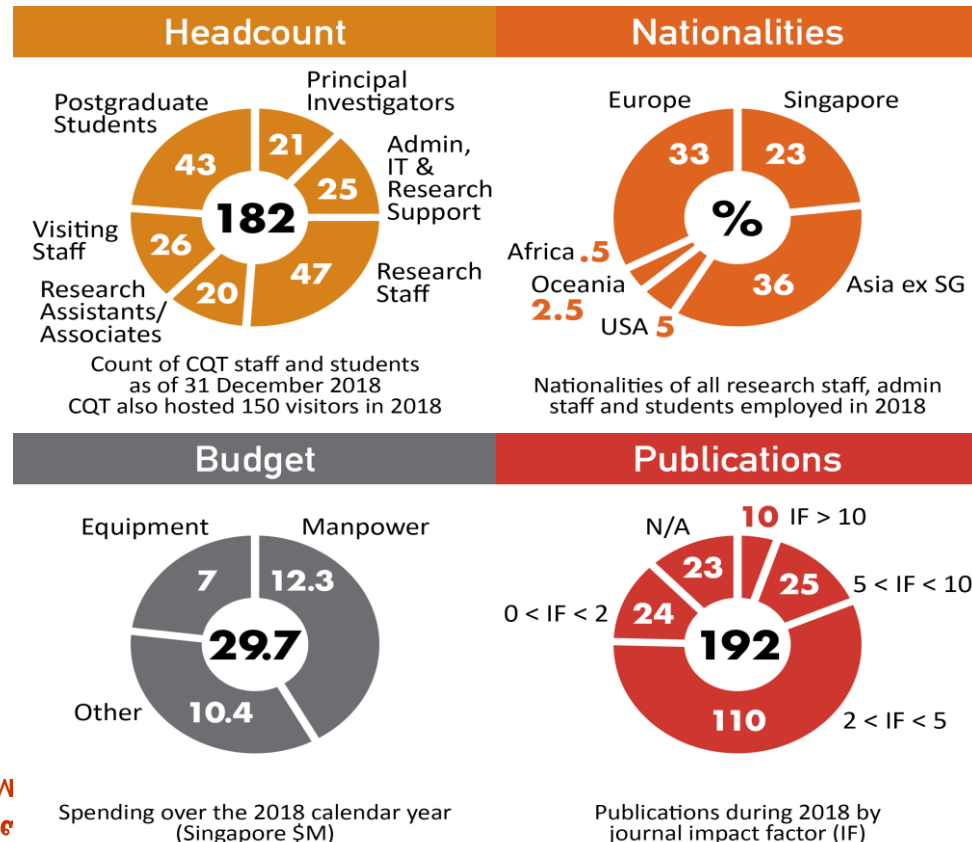


- ก่อตั้งเมื่อธันวาคม ค.ศ.2007 เพื่อเป็นศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติแรกของสิงคโปร์ ตั้งอยู่ในพื้นที่มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS)
- ภารกิจมุ่งเน้นการพัฒนาบุคลากรในสาขาเทคโนโลยีควอนตัมเพื่อสนับสนุนงานวิชาการและภาคอุตสาหกรรม และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม 3 ด้าน คือ
 - ✓ **Quantum Communication**
 - ✓ **Quantum Computing**
 - ✓ **Quantum Metrology/Precision Measurement**
- บุคลากร 182 คน เป็นนักวิทยาศาสตร์และนักศึกษา 157 คน
- งบประมาณปีละราว 650 ล้านบาท

เมื่อ 20 มกราคม 2562 สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินไปยังศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ ทรงเป็นประธานในการลงนามความร่วมมือด้านการวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม ระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT: National Institute of Metrology of Thailand)กับมหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS : National University of Singapore)



ภาพในห้องปฏิบัติการนาฬิกาอะตอมของ CQT



2. แผนความร่วมมือ NIMT-CQT ในการพัฒนานาฬิกาอะตอมเชิงแสง



วัตถุประสงค์ เพื่อใช้เป็นนิยามของหน่วยวินาทีในขนาดของประเทศไทย รวมทั้งการพัฒนานาฬิกาอะตอมเชิงแสง

- NIMT ใช้ไอออนของธาตุอีธเรียม (Yb⁺)
- CQT ใช้ไอออนของธาตุลูทีเทียม (Lu⁺)

นักวิจัยไทย

- ดร. ปิยพัฒน์ พูลทอง NIMT
- ดร. ธเนศ พฤทธิวรสิน ม.มหิดล
- ดร. ธารา เกลิมทรงศักดิ์ ม.มหิดล
- นาย นครินทร์ จายใจ นักศึกษาป.โท ม.มหิดล

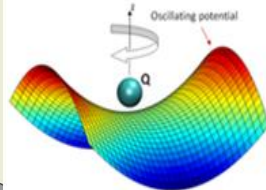
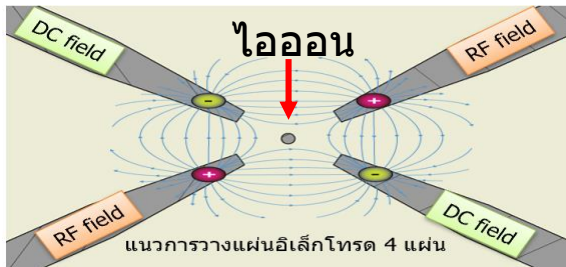


นักวิจัยสิงคโปร์

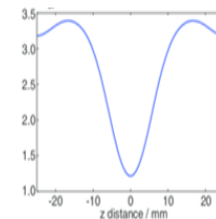
- Dr. Murray Barrett CQT
- นายรัฐกร แก้วอ่วม นักศึกษาป.เอกไทยที่ CQT



- ปี 2562 – 2563 ร่วมวิจัยและสร้างอุปกรณ์กักขังไอออนของธาตุอีธเรียม (Yb⁺) ซึ่งเป็นหัวใจของนาฬิกาอะตอมที่ NIMT
 - แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของอุปกรณ์กักขังไอออนจะทำจากแผ่นเซรามิกอะลูมินาไนไตรด์
 - นาฬิกามีสองเครื่องที่ CQT (ใช้ลูทีเทียม Lu⁺) และ NIMT (อีธเรียม Yb⁺) แห้งละเครื่อง
- ปี 2563 ส่งนักศึกษาทุนปริญญาโท (พสวท) ไป CQT
- ปี 2564 – 2565 ติดตั้งระบบดาวเทียมนำทาง GNSS (Global Navigation Satellite System) ที่ CQT เพื่อทำการเปรียบเทียบความถี่ของนาฬิกาอะตอมระหว่าง NIMT (มี GNSS แล้ว) และ CQT นอกจากนี้จะเจรจาขยายความร่วมมือไปยัง NARIT (ไทย) และ NICT (ญี่ปุ่น) เพื่อใช้ระบบ VLBI (very large base interferometer) ในการเปรียบเทียบความถี่เพื่อให้แม่นยำมากกว่าระบบ GNSS
- ปี 2566 – 2567 ทำการวัดความถี่ของนาฬิกาอะตอมเชิงแสงของทั้ง 2 หน่วยงานซึ่งทั้งสองชุดนี้คาดว่าจะเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดมาตรฐานหน่วยวินาทีใหม่ของโลกในอนาคต
- ในปี 2569 จะเริ่มมีพิจารณานิยามใหม่ของหน่วยวินาที



RF field ทำให้เกิดหลุมพลังงานศักย์แบบพาราโบลาในแนวรัศมี ทำให้ไอออนถูกกักขังอยู่ที่ก้นหลุมหรือบริเวณตรงกลาง



DC field ทำให้เกิดหลุมพลังงานศักย์แบบพาราโบลาในแนวยาว ทำให้ไอออนถูกกักขังบริเวณตรงกลาง

การทำงานเริ่มจาก (1)การกักขังไอออนของอีธเรียมด้วยสนามไฟฟ้าให้อยู่ที่อุณหภูมิใกล้ศูนย์องศาเคลวิน (2)ใช้เลเซอร์ที่ความถี่พอเหมาะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนของไอออนนี้เปลี่ยนสถานะไปมาระหว่างชั้นพลังงานที่เรียกว่า S และ D ความถี่ของเลเซอร์นี้จึงเป็นนาฬิกาที่แม่นยำตามต้องการ

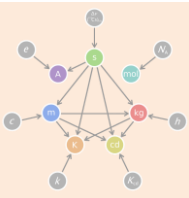
3.ประโยชน์และผลที่ประเทศไทยได้รับ

สิ่งที่ประเทศไทยจะได้รับ

1. เป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดนิยามของหน่วยวินาที งานวิจัยไทยเป็นที่ยอมรับในเวทีนานาชาติ
2. สร้างนักวิจัยและนักศึกษาไทยที่มีคุณภาพและมีศักยภาพในการทำงานวิจัยเทียบเคียงสถาบันวิจัยชั้นนำ
3. ความถี่ที่ได้จากนาฬิกาอะตอมเชิงแสงจะเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญให้กับประเทศไทย นำไปใช้งานในด้านการสื่อสารโทรคมนาคม (5G network) (รักษาเวลาของ cell site ให้ตรงกัน) ระบบ (ลงเวลา) การทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Financial Technology) ระบบโครงข่ายพิกัดหมุดหลักฐานแห่งชาติ (ในการรังวัดที่ดิน) เป็นต้น

การนำนาฬิกาอะตอมเชิงแสงไปใช้งาน

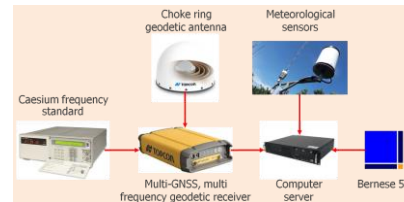
นาฬิกาอะตอม



ปัจจุบันใช้นาฬิกาอะตอมซีเซียม เป็นมาตรฐานเวลาและความถี่ของประเทศไทย **UTC[NIMT]**

ในอนาคตโครงการวิจัย **Ytterbium Ion Clock** จะได้นาฬิกาอะตอมสมรรถนะสูง เป็นมาตรฐานเวลาและความถี่ของประเทศไทย โดยจะมีความคลาดเคลื่อน 1 วินาที ในระยะเวลาหนึ่งพันล้านปี

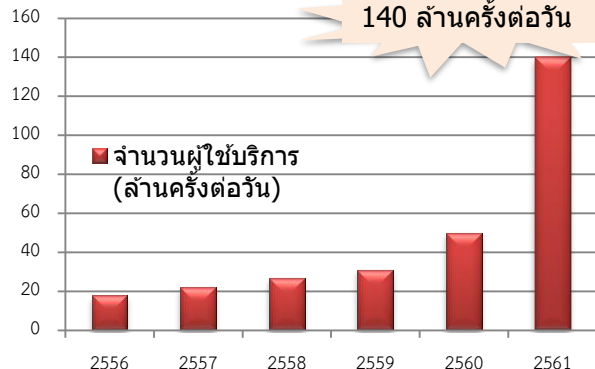
พิกัดและเวลามาตรฐาน



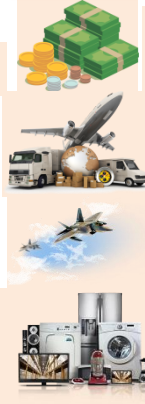
สถานีเวลาที่ มว. เป็นการเทียบเวลาระหว่างประเทศด้วย GNSS พร้อมบ่งชี้คุณภาพของผลการวัด

การประยุกต์ใช้ พิกัดและเวลามาตรฐานประเทศไทยเพื่อประเมินความเสียหายในพื้นที่เสี่ยงภัยที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ร่วมกับ กรม ปก. มท. และ สสนก. วท.

การปรับเทียบเวลาผ่านอินเทอร์เน็ต



ผู้ใช้งาน



- ✓สำนักพระราชวัง
- ✓ธนาคารแห่งประเทศไทย
- ✓ตลาดหลักทรัพย์
- ✓บริษัทวิทยุการบิน
- ✓การทำอากาศยานแห่งประเทศไทย
- ✓กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
- ✓กองบัญชาการกองทัพไทย
- ✓ETDA and e-Government
- ✓Laos Standard Time
- ✓ระบบโทรคมนาคม

การปรับเทียบเวลาผ่านวิทยุ (FM-RDS)



กระจายสัญญาณเวลามาตรฐานประเทศไทย ผ่านสถานีวิทยุของกองทัพอากาศและอสมท. จำนวน 40 สถานี ทั่วประเทศไทย

ผู้ใช้งาน RDS

- ✓กรมสื่อสารทหารอากาศ กองทัพอากาศ
- ✓เวลาบนวิทยุติดรถยนต์
- ✓นาฬิกาแบบ FM-RDS

4.สรุป

1. เมื่อ 20 มกราคม 2562 สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินไปยังศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ ทรงเป็นประธานในการลงนามความร่วมมือด้านการวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัมระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติกับมหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS : National University of Singapore)
2. การกึ่งมุ่งเน้นการพัฒนาบุคลากรในสาขาเทคโนโลยีควอนตัมเพื่อสนับสนุนงานวิชาการและภาคอุตสาหกรรม และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม 3 ด้าน คือ Quantum Communication Quantum Computing และ Quantum Metrology/Precision Measurement
3. ทั้งสองประเทศจะร่วมกันวิจัยและพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อใช้เป็นนิยามของหน่วยวินาทีในอนาคตของประเทศไทย รวมทั้งการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีควอนตัมระยะเวลา 7 ปี งบประมาณฝ่ายไทย 83.38 ล้านบาท
4. สิ่งประเทศไทยได้นับคือ (4.1) เป็นส่วนหนึ่งของการกำหนดนิยามของหน่วยวินาที (4.2) งานวิจัยไทยเป็นที่ยอมรับในเวทีนานาชาติ (4.3) สร้างนักวิจัยและนักศึกษาไทยที่มีคุณภาพและมีศักยภาพในการทำงานวิจัยเทียบเคียงสถาบันวิจัยชั้นนำ (4.4) ความถี่ที่ได้จากนาฬิกาอะตอมเชิงแสงจะเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญให้กับประเทศไทย นำไปใช้งานในด้านการสื่อสารโทรคมนาคม (5G network) ระบบการทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Financial Technology) ระบบโครงข่ายพิกัดหมดหลักฐานแห่งชาติ เป็นต้น
5. นาฬิกาที่พัฒนาใหม่นี้จะแม่นยำกว่านาฬิกาซีเซียมของประเทศในปัจจุบันถึง 10,000 เท่าให้ประโยชน์หลากหลายแก่หน่วยงานต่างๆในประเทศไทย

จบ



การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศ ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี

ระเบียบวาระที่ 3 เรื่องสืบเนื่องเพื่อพิจารณา : ผลการดำเนินงานปี 2562 และ
แผนดำเนินงานปี 2563
โครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีตามพระราชดำริฯ

3.1 โครงการพัฒนานาฬิกาอะตอมเชิงแสงด้วยไอออนเย็นของธาตุอิธเรอเบียม

3.2 โครงการความร่วมมือไทย – KATRIN ตามพระราชดำริฯ

3.3 โครงการความร่วมมือไทย – GSI/FAIR ตามพระราชดำริฯ

3.4 โครงการไทย-เดซีเพื่อพัฒนากำลังคนและการวิจัยพัฒนา

3.5 โครงการความสัมพันธ์ไทย-เชิร์น ตามพระราชดำริฯ

3.6 โครงการความร่วมมือกับสภาวิทยาศาสตร์แห่งชาติจีน (Chinese Academy of Sciences: CAS) เพื่อพัฒนากำลังคนและการวิจัยพัฒนา

Backup Slides



20 มกราคม 2562 สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินไปยังศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ ทรงเป็นประธาน ในการลงนามความร่วมมือด้านการวิจัยทางด้าน เทคโนโลยีควอนตัม ระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติกับมหาวิทยาลัยแห่งชาติ สิงคโปร์

การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓

Centre for Quantum Technologies (CQT)

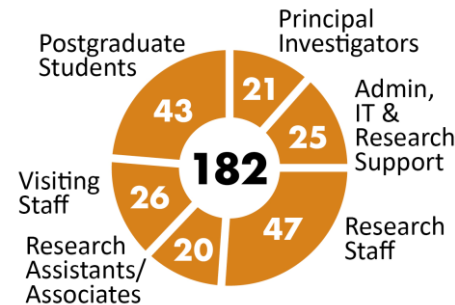


CQT ก่อตั้งขึ้นเมื่อเดือนธันวาคม 2007 เป็นศูนย์กลางเป็นเลิศแห่งชาติแรกของสิงคโปร์ ตั้งอยู่ในพื้นที่มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS) โดยมีภารกิจมุ่งเน้นการพัฒนาบุคลากรในสาขาเทคโนโลยีควอนตัมเพื่อสนับสนุนงานวิชาการและภาคอุตสาหกรรม และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม 3 ด้าน คือ

- Quantum Communication
- Quantum Computing
- Quantum Metrology/Precision Measurement

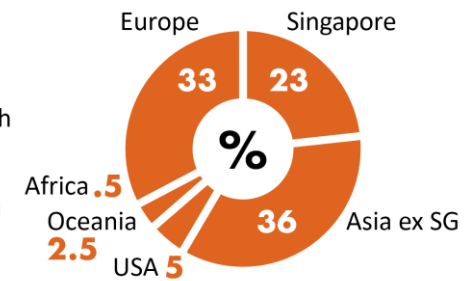
มีบุคลากร 182 คน เป็นนักวิทยาศาสตร์และนักศึกษา 157 คน ได้รับงบประมาณปีละ 530 ล้านบาท

Headcount



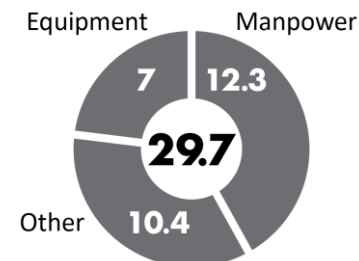
Count of CQT staff and students as of 31 December 2018
CQT also hosted 150 visitors in 2018

Nationalities



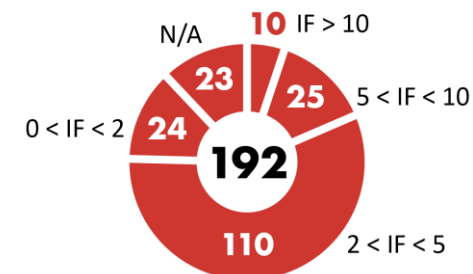
Nationalities of all research staff, admin staff and students employed in 2018

Budget



Spending over the 2018 calendar year (Singapore \$M)

Publications



Publications during 2018 by journal impact factor (IF)

การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓

NIMT-CQT Collaboration

นักวิจัยไทย

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| • ดร. ปิยะพัฒน์ พูลทอง | สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ |
| • ดร. ธเนศ พฤทธิวรสิน | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| • ดร. ธารา เจริมทรงศักดิ์ | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| • นาย นครินทร์ จายใจ | นักศึกษาปริญญาโท |

นักวิจัยสิงคโปร์

- | | |
|----------------------|---------------------------------|
| • Dr. Murray Barrett | Centre for quantum technologies |
| • นายรัฐกร แก้วอ่วม | นักศึกษาปริญญาเอก |

วัตถุประสงค์

ความร่วมมือในการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์อะตอมเชิงแสง เพื่อใช้เป็นนิยามของหน่วยวินาทีในอนาคต รวมทั้งการร่วมกันพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีควอนตัม

- สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ใช้ไอออนของธาตุอีธเรียม (Yb⁺)
- ศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม ใช้ไอออนของธาตุลูทีเทียม (Lu⁺)



70
Yb
Ytterbium
Lanthanide

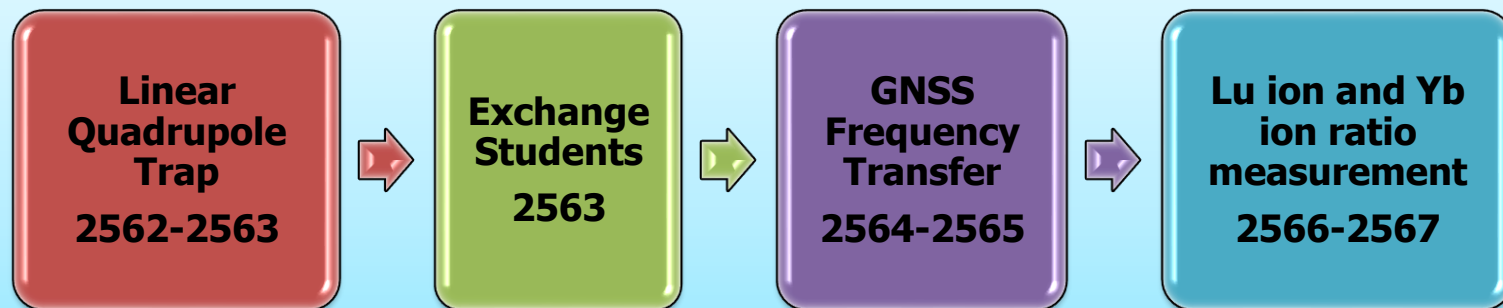
71
Lu
Lutetium
Lanthanide



การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓

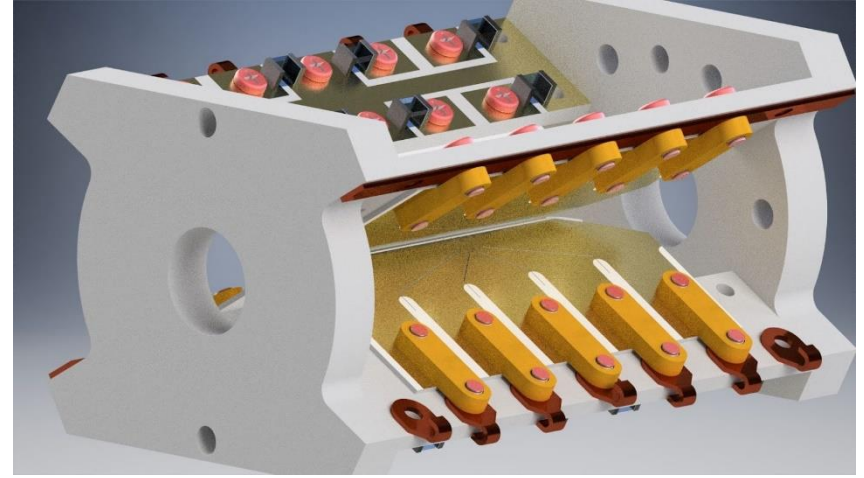
NIMT-CQT Collaboration

แผนการดำเนินงานในช่วงเวลา 5 ปี



- ปี 2562 – 2563 การไปร่วมวิจัยและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการกักขังไอออน โดยเป็นการทำงานแผ่นเซรามิค Alumina Nitride ซึ่งทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแผ่นอิเล็กโทรดมีค่าลดลง ส่งผลให้ความไม่แน่นอนของระบบลดลงไปด้วย
- ปี 2563 ขยายขอบข่ายความร่วมมือ โดยการส่งนักศึกษาไปร่วมวิจัยที่ CQT
- ปี 2564 – 2565 แผนการติดตั้งและร่วมวิจัย เพื่อทำการเปรียบเทียบความถี่ระหว่าง NIMT และ CQT โดยใช้ระบบดาวเทียมนำทาง GNSS และขยายความร่วมมือ 4 หน่วยงาน NIMT(มว.) CQT(สิงคโปร์) NICT(ญี่ปุ่น) และ NARIT(สตร.) เพื่อติดตั้งระบบ VLBI ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของแต่ละหน่วยงาน
- ปี 2566 – 2567 การวัดความถี่ของนาฬิกาอะตอมเชิงแสงของ 2 หน่วยงาน สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ซึ่งใช้ไอออนของธาตุอีธเรียม (Yb⁺) และศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม ซึ่งใช้ไอออนของธาตุลูทีเทียม (Lu⁺)

NIMT-CQT Collaboration



การพัฒนากำลังคน

- ดร.ปิยพัฒน์ พูลทอง เดินทางไปร่วมวิจัยและสร้าง Linear Quadrupole Trap เพื่อใช้ในการกักขังไอออน ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญของนาฬิกาอะตอมเชิงแสง
- แผนการส่ง นายนครินทร์ จายโจง นักศึกษาระดับปริญญาโท ทุนพสวท. เพื่อไปร่วมทำวิจัย ณ ศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม ในปี 2563

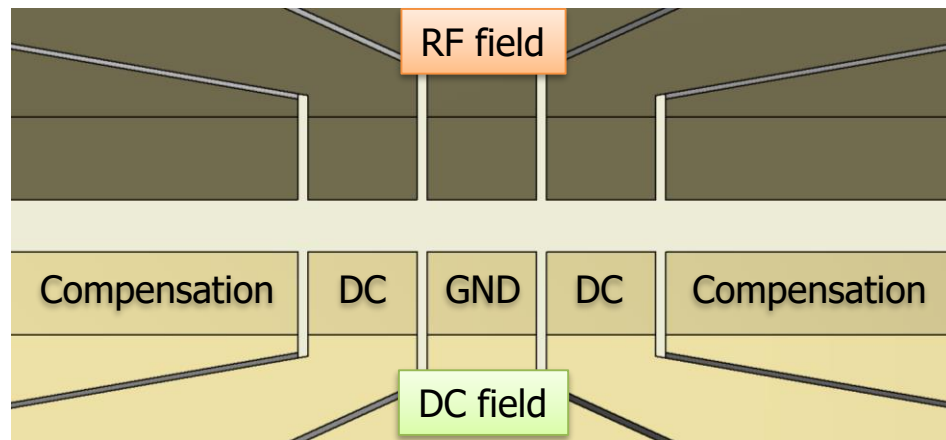
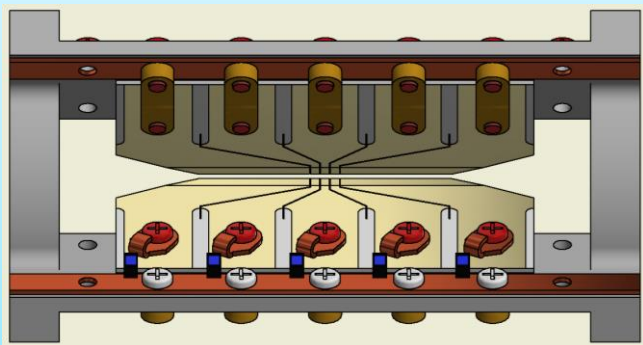
การพัฒนาเทคโนโลยี

การร่วมกันวิจัยและพัฒนาเทคนิคเพื่อใช้ในการสร้าง Linear Quadrupole Trap และเทคนิคในการเคลือบฟิล์มบางของชั้นไทเทเนียมและทอง บนแผ่นเซรามิค Alumina Nitride โดยข้อดีของการใช้แผ่นเซรามิคคือ ทำให้ไม่ก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กซึ่งจะรบกวนเสถียรภาพของนาฬิกาอะตอม

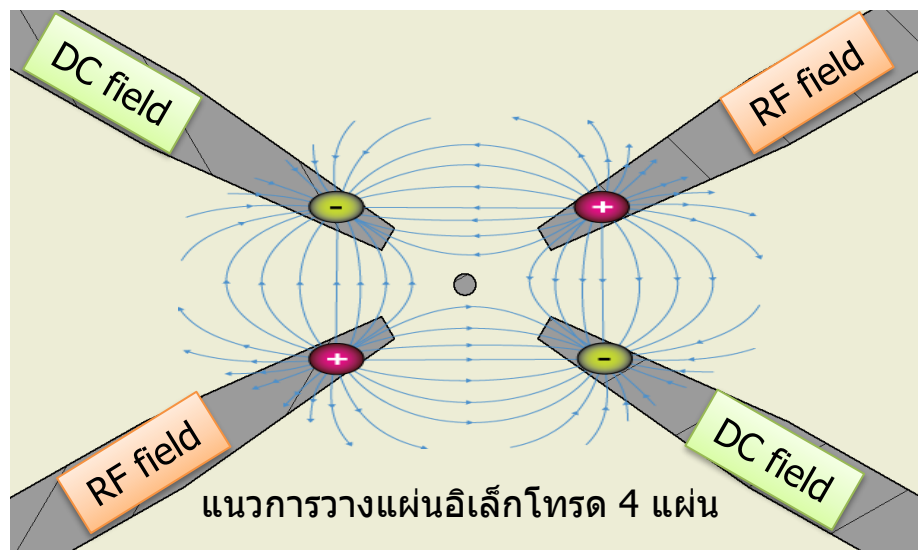
การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓

NIMT-CQT Collaboration

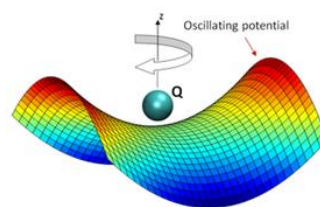
Linear Quadrupole Trap เป็นอุปกรณ์สำคัญของระบบ นาฬิกาอะตอมเชิงแสง ใช้สำหรับกักขังไอออนโดยใช้ สนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจากแผ่นอิเล็กโทรด 4 แผ่น ที่ถูกวาง ในแนวทแยงมุม



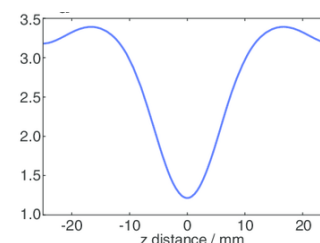
การจ่ายไฟฟ้าให้กับแผ่นอิเล็กโทรด



แนวการวางแผ่นอิเล็กโทรด 4 แผ่น



RF field ทำให้เกิดหลุมพลังงาน ศักย์แบบพาราโบลาในแนวรัศมี ทำให้ไอออนถูกกักขังอยู่ที่ก้นหลุม หรือบริเวณตรงกลาง

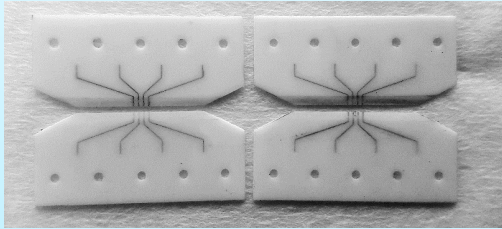


DC field ทำให้เกิดหลุมพลังงาน ศักย์แบบพาราโบลาในแนวยาว ทำให้ไอออนถูกกักขังบริเวณตรงกลาง

การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓

NIMT-CQT Collaboration

แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ ทำจากวัสดุเซรามิค Alumina Nitride ซึ่งทำให้ไม่เกิดสนามแม่เหล็กบริเวณ โดยทำการเคลือบด้วยฟิล์มบางของไทเทเนียมและทอง



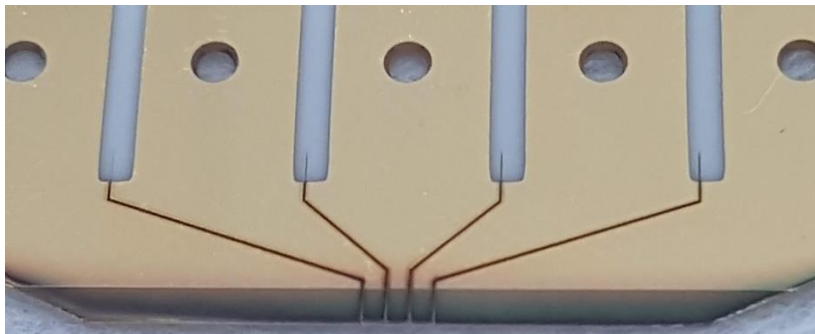
ในการเตรียมแผ่นอิเล็กทรอนิกส์จะเริ่มจากการตัด เซาะร่อง และเจาะ แผ่น Alumina Nitride ด้วยพัลส์เลเซอร์ จากนั้นจะทำความสะอาดเพื่อเข้าสู่กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง



Gold 500nm

Titanium 20nm

Alumina Nitride



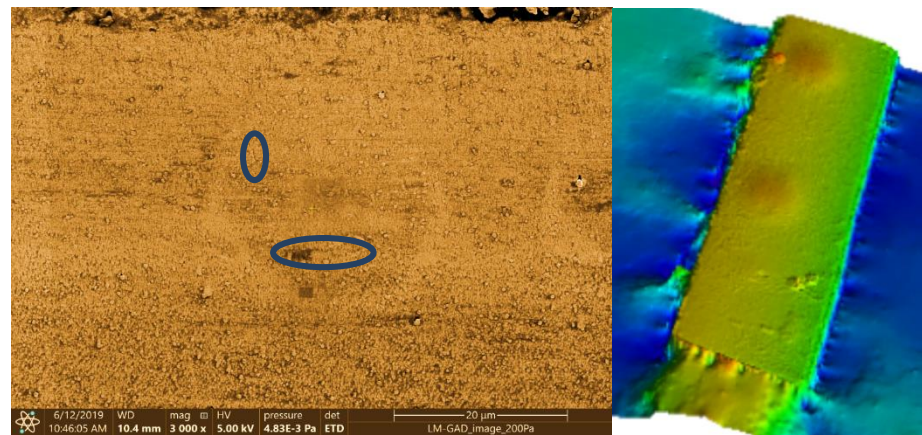
ปัญหาที่เกิดจากการเคลือบชั้นฟิล์มบาง

- ความไม่สม่ำเสมอของชั้นฟิล์ม
- การปูดของพื้นผิวที่มีความสูงประมาณ 400 นาโนเมตร ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของสนามไฟฟ้าทำให้เกิดความไม่เสถียร (the second-order Doppler shift)



ตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้น

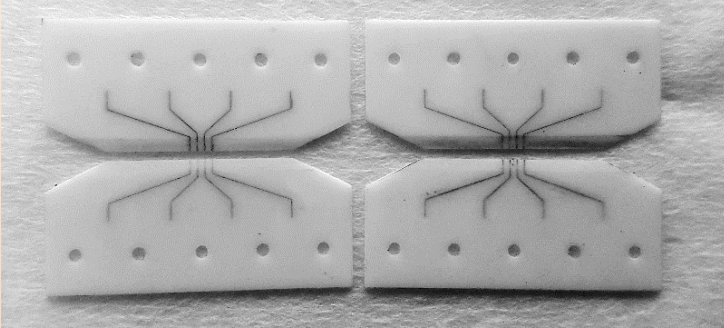
- วิเคราะห์ภาพถ่าย SEM ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วว.)
- วิเคราะห์ภาพถ่ายจาก 3D laser scanning microscope



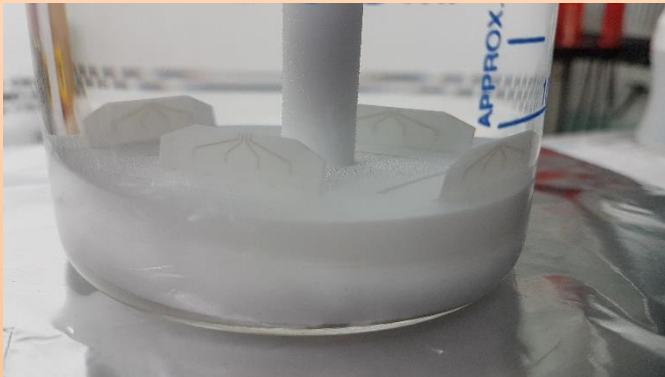
การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓

ขั้นตอนการล้างแผ่น **Alumina Nitride**

1. แผ่นเซรามิกที่ผ่านการตัด เจาะ และเซาะร่อง จะถูกเป่าด้วยลมเพื่อกำจัดฝุ่นผงขนาดใหญ่

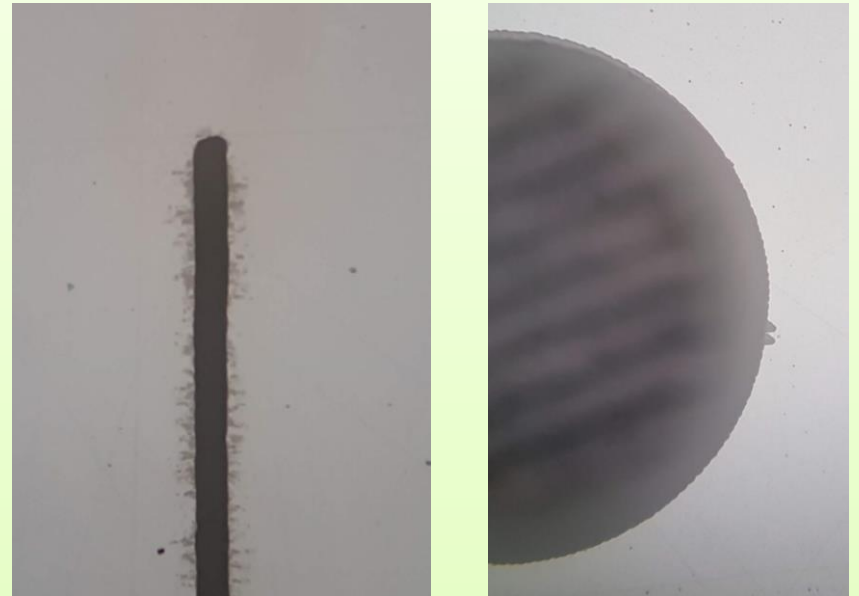


2. แผ่นเซรามิกจะถูกต้มในสารละลาย Alconox เพื่อล้างคราบไขมันและรอยไหม้

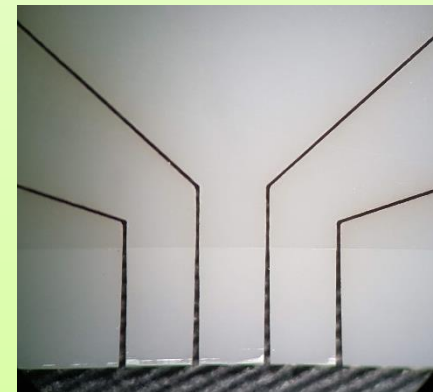


3. ล้างด้วยน้ำสะอาด Methanol และ Acetone ตามลำดับ จำนวน 3 – 4 รอบ ก่อนนำไปทำความสะอาดด้วย Plasma

กายขยายแผ่นเซรามิกที่ผ่านการตัดเจาะด้วยเลเซอร์

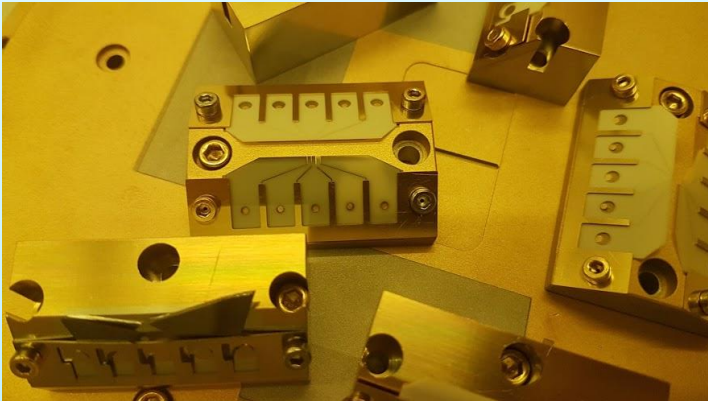


ขอบของการเจาะและเซาะร่อง มีความเรียบ แต่ยังมี รอยไหม้และรอยแตกขนาดเล็กที่ขอบ

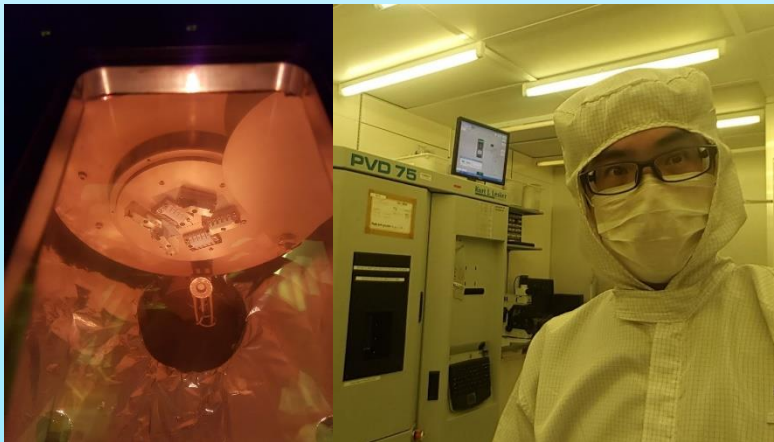


ผลจากการเคลือบฟิล์มบาง

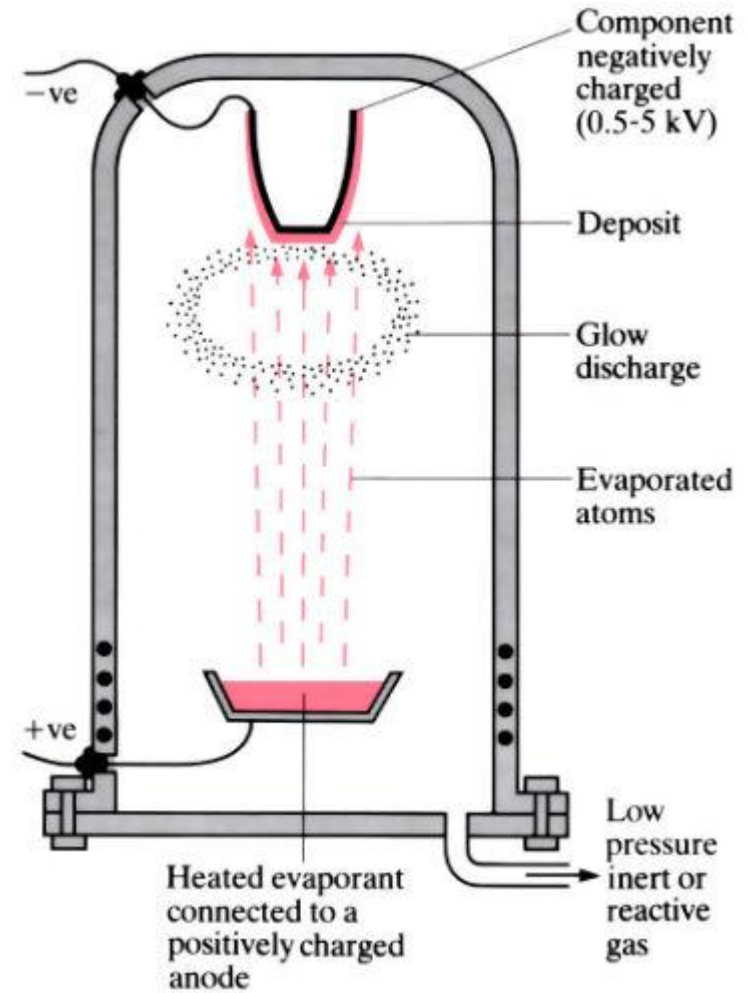
1. แผ่นเซรามิกที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดจะถูกติดบนแท่นที่เอียงทำมุม 30 องศา



2. นำแท่นที่ติดเซรามิกไปทำการเคลือบด้วยวิธี Physical Vapor Deposition



การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธี Physical Vapor Deposition



การเคลือบฟิล์มบาง

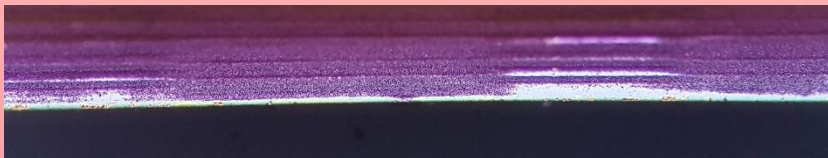


แผ่นเซรามิคหลังผ่านการเคลือบไทเทเนียมและทอง
ปัญหาที่พบ

- ฟองอากาศใต้ชั้นทอง ทำให้พื้นผิวไม่สม่ำเสมอ



- พื้นผิวทอง ได้รับการปนเปื้อนจากโลหะอื่นๆ

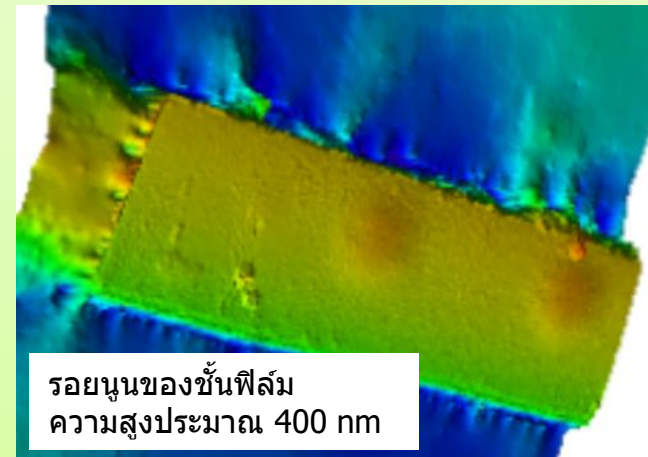


การวิเคราะห์พื้นผิว

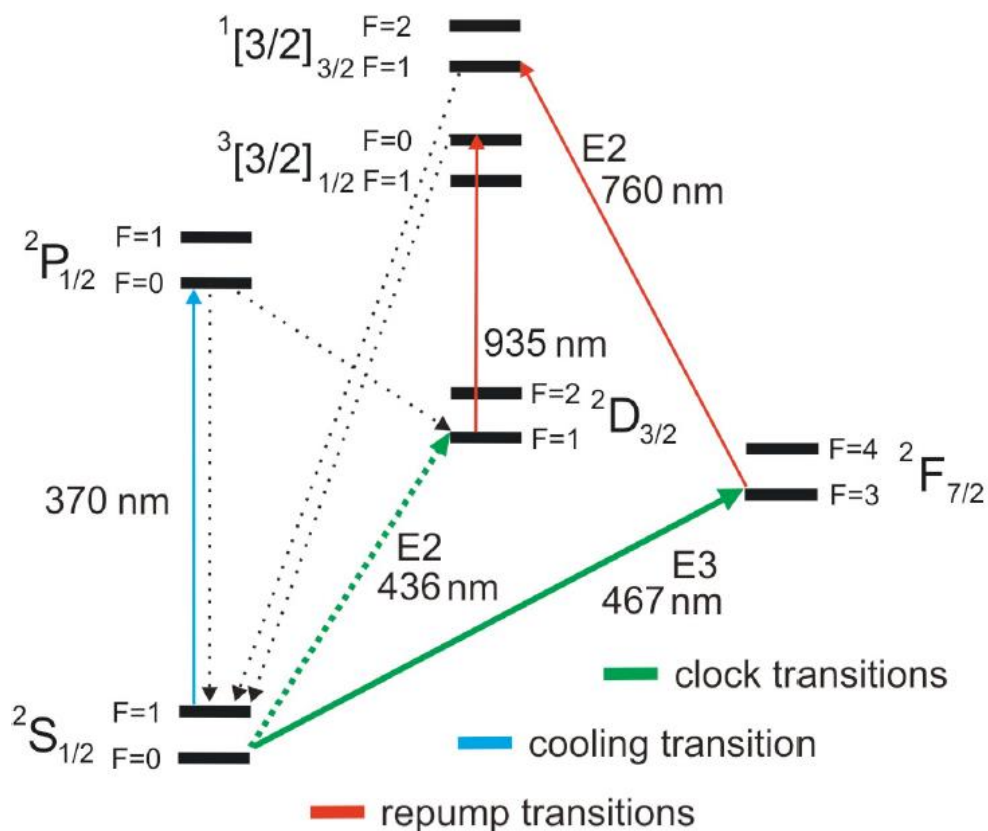
Scanning Electron Microscope



3D Laser Scanning Microscope



การทำงานของนาฬิกาอะตอม



เส้นสีฟ้า เป็นเลเซอร์ที่ใช้กระตุ้นอิเล็กตรอนเพื่อใช้ในการ

การทำความเย็น $2S_{1/2} \rightarrow 2P_{1/2}$

เส้นสีแดง เป็นเลเซอร์ที่ใช้กระตุ้นอิเล็กตรอนเพื่อให้อิเล็กตรอนกลับมายังสถานะพื้น $2S_{1/2}$

Clock Transitions

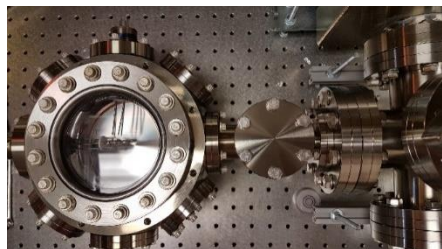
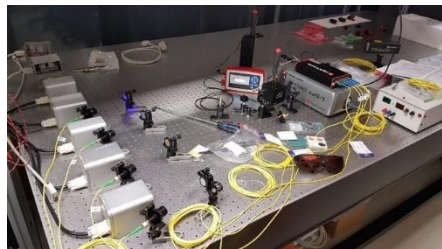
เส้นประสีเขียว E2 เป็นเลเซอร์ที่ใช้กระตุ้นอิเล็กตรอนเพื่อใช้เป็นความถี่มาตรฐาน $2S_{1/2} \rightarrow 2D_{3/2}$

เส้นสีเขียว E3 เป็นเลเซอร์ที่ใช้กระตุ้นอิเล็กตรอนเพื่อใช้เป็นความถี่มาตรฐาน $2S_{1/2} \rightarrow 2F_{7/2}$

***เลเซอร์ที่ใช้กระตุ้นอิเล็กตรอนตามเส้นสีเขียวจะต้องใช้เลเซอร์ที่มีความเสถียรสูงมาก ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นความถี่มาตรฐานได้

Ytterbium Ion Clock phase 1

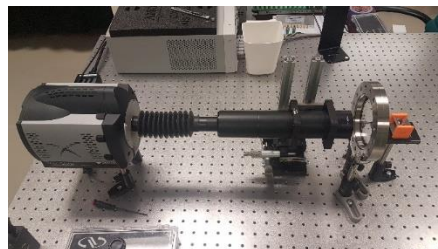
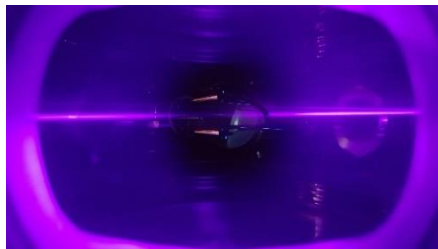
2561



- ระบบเลเซอร์
- ระบบสัญญาณภาค
- ระบบควบคุมการทดลอง

9.850 ล้านบาท

2562



- ระบบเลเซอร์เสถียรภาพสูง
- ระบบการถ่ายภาพไอออน

5.531 ล้านบาท

2563



- นาฬิกาอะตอมที่มีเสถียรภาพสูงกว่า 1×10^{-15}
- ระบบการนำส่งความถี่มาตรฐานด้วยใยแก้วนำแสง

6.000 ล้านบาท

->

เป้าหมาย

- นาฬิกาอะตอมที่มีเสถียรภาพดีกว่า 1×10^{-16}
- มีส่วนร่วมในการกำหนดค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเปลี่ยนนิยามหน่วยวินาทีปี 2026
- ความร่วมมือด้านการวิจัยกับสถาบันชั้นนำของโลก



การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓

Ytterbium Ion Clock phase 2

2564

2565

2566

2567



- Magnetic Shield
- Laser for Ca^+

15 ล้านบาท



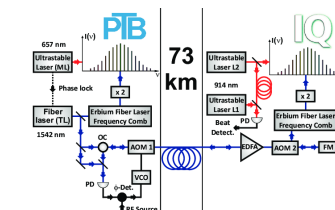
- Optical Reference System

12 ล้านบาท



- Optical Frequency Comb

25 ล้านบาท



- Fiber Noise Cancellation

10 ล้านบาท

การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓

Ytterbium Ion Clock in Thailand

Ytterbium Ion Clock



Global Navigation Satellite System



Very Long Baseline Interferometer



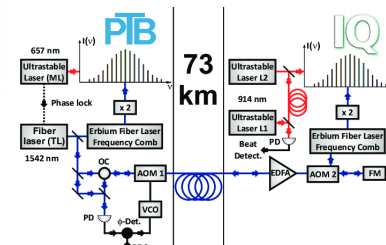
Optical Reference Standard



Frequency Comb



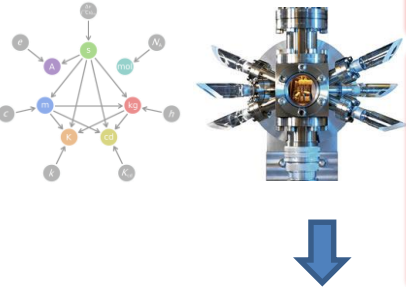
Ytterbium and Calcium Logic Clock



การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริ
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓

การนำนาฬิกาอะตอมเชิงแสงไปใช้งาน

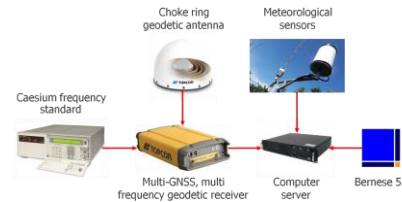
นาฬิกาอะตอม



ปัจจุบันใช้นาฬิกาอะตอมซีเซียม เป็นมาตรฐานเวลาและความถี่ของประเทศไทย **UTC[NIMT]**

ในอนาคตโครงการวิจัย **Ytterbium Ion Clock** จะได้นาฬิกาอะตอมสมรรถนะสูง เป็นมาตรฐานเวลาและความถี่ของประเทศไทย โดยจะมีความคลาดเคลื่อน 1 วินาที ในระยะเวลาหนึ่งพันล้านปี

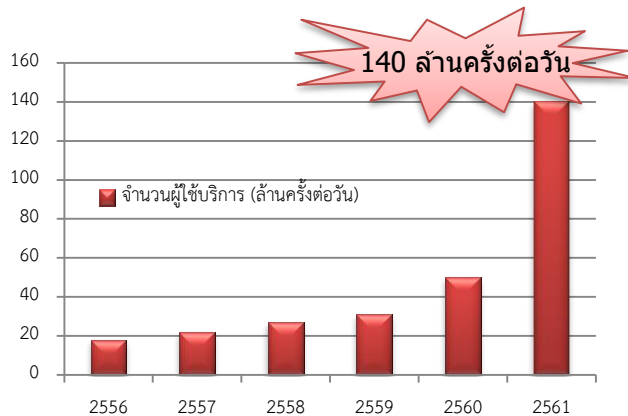
พิกัดและเวลามาตรฐาน



สถานีเวลาที่ มว. เป็นการเทียบเวลาระหว่างประเทศด้วย GNSS พร้อมบ่งชี้คุณภาพของผลการวัด

การประยุกต์ใช้ พิกัดและเวลามาตรฐานประเทศไทยเพื่อประเมินความเสียหายในพื้นที่เสี่ยงภัยที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ร่วมกับ กรม ปก. มท. และ สสนก. วท.

การปรับเทียบเวลาผ่านอินเทอร์เน็ต



ผู้ใช้งาน



- ✓ สำนักพระราชวัง
- ✓ ธนาคารแห่งประเทศไทย
- ✓ ตลาดหลักทรัพย์
- ✓ บริษัทวิทยุการบิน
- ✓ การท่าอากาศยานแห่งประเทศไทย
- ✓ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
- ✓ กองบัญชาการกองทัพไทย
- ✓ ETDA and e-Government
- ✓ Laos Standard Time
- ✓ ระบบโทรคมนาคม

การปรับเทียบเวลาผ่านวิทยุ (FM-RDS)



กระจายสัญญาณเวลามาตรฐานประเทศไทย ผ่านสถานีวิทยุของกองทัพอากาศและอสมท. จำนวน 40 สถานี ทั่วประเทศไทย

ผู้ใช้งาน RDS

- ✓ กรมสื่อสารทหารอากาศ กองทัพอากาศ
- ✓ เวลามาตรฐานวิทยุติดรถยนต์
- ✓ นาฬิกาแบบ FM-RDS

การประชุมคณะกรรมการมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๑๓ มีนาคม ๒๕๖๓