

(ร่าง)

ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะ (Term of Reference)

เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ (Nano Mechanical Tester)

จำนวน 1 ชุด

รายละเอียดทั่วไปของเครื่อง

เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ Nano-Mechanical Tester เป็นเครื่องมือตรวจวัดคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุต่างๆเชิงวัสดุศาสตร์ในระดับ Nano scale ซึ่งต้องสามารถทำงานในฟังก์ชัน Indentation, Scratching, Wear, Impact และ Fretting สามารถประมวลผลเป็นค่า Depth profile, Thin film consistency, Thin film cracking, Creep, Hardness, Modulus, Surface friction, Stress-strain data, Impact resistance, Contact fatigue, และอื่นๆ รวมทั้งยังสามารถวิเคราะห์ภายใต้สภาวะการควบคุมอุณหภูมิต่างๆ รวมถึงการวิเคราะห์ในของเหลวได้

ข้อกำหนดทั่วไปในการจัดซื้อ

1. เครื่องมือ สิ้นค้า และระบบที่นำเสนอทั้งหมด ต้องเป็นของใหม่ไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน
2. ผู้ผลิต ผู้ขายหรือตัวแทนจำหน่ายเครื่องมือ มีความน่าเชื่อถือ มีวิศวกรที่สามารถสาธิตการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่อง กรณีเป็นตัวแทนจำหน่ายต้องมีหนังสือแต่งตั้งให้เป็นตัวแทนจำหน่าย
3. เครื่องมือต้องติดตั้ง ฝึกอบรม และสอนการใช้งานเครื่องโดยผู้เชี่ยวชาญ ที่ได้รับการฝึกอบรมจากผู้ผลิต หรือตัวแทนจำหน่ายจนผู้ใช้งานสามารถปฏิบัติงานได้ โดยครอบคลุมตั้งแต่ระดับพื้นฐานจนถึงระดับการใช้งานเฉพาะด้าน
4. กำหนดส่งมอบเครื่องมือพร้อมติดตั้ง ฝึกอบรม สอนการใช้งาน ให้เสร็จสิ้น ภายใน 150 วัน
5. รับประกันเครื่องมือและระบบอย่างน้อย 2 ปี ในกรณีเครื่องมือเสียหายในระยะเวลาประกัน หากต้องซ่อมและไม่สามารถใช้งานได้เกิน 45 วัน บริษัทต้องต่อระยะเวลาประกันเพิ่มตามระยะเวลาที่ผู้ใช้งานเครื่องมือเสียโอกาสในการใช้งาน
6. มีบริการตรวจสอบและบำรุงรักษาอย่างน้อย 6 เดือนต่อครั้ง และมีความสม่ำเสมอในด้านการให้บริการในช่วงระยะรับประกัน
7. เป็นเครื่องมือที่สามารถหาอะไหล่ของเครื่องเปลี่ยนได้อย่างน้อย 5 ปี
8. เป็นเครื่องมือที่มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม และมีปลั๊กที่มีสายดินสำหรับเครื่องที่จำเป็น
9. เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองคุณภาพจากทวีปยุโรป อเมริกา ออสเตรเลีย หรือ ญี่ปุ่น ตามมาตรฐานสากล
10. กรณีเป็นเครื่องมือที่ข้อกำหนดต้องมีการสอบเทียบ ผู้ขายต้องจัดส่งพร้อมใบ Calibration Certification ด้วย
11. เครื่องมืออุปกรณ์ด้านวิทยาศาสตร์ ที่กฎหมายกำหนดข้อบังคับต้องมีการขออนุญาต นำหรือส่งออกนอกราชอาณาจักร, ขออนุญาตมิได้ครอบครอง และข้อบังคับอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมืออุปกรณ์ด้านวิทยาศาสตร์ที่จัดซื้อ บริษัทหรือผู้ขายต้องดำเนินการส่วนที่เกี่ยวข้องดังกล่าวให้กับสำนักงาน ตามที่กฎหมายกำหนดข้อบังคับไว้ให้ครบถ้วน
12. มีคู่มือการใช้งานและบำรุงรักษา เป็นภาษาอังกฤษและภาษาไทย พร้อม CD อย่างละ 1 ชุด

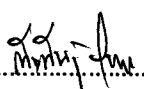
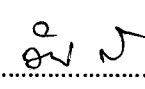

จัดทำโดย 1.....  ..... 2.....  ..... 3.....  ..... วันที่ 26 พ.ย. 2557

(นายณัฐพันธ์์ คุกกาก)

(นายวิยงค์ กังวานศุภมงคล)

(นายอลงกต ตริทอง)

13. เครื่องและระบบต้องสามารถใช้ได้กับระบบไฟฟ้าของอาคารหรือสถานที่ติดตั้งเครื่องมือได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
14. เครื่องมือและระบบ ติดตั้งที่ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ อาคารกลุ่มนวัตกรรม 2 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
15. ผู้ขายต้องกรอกแบบข้อมูลความต้องการด้านวิศวกรรมและความปลอดภัยของเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ส่งมอบให้กับศูนย์ฯ พร้อมกับใบสั่งซื้อหรือสัญญาซื้อขาย เพื่อศูนย์ฯ จะได้เตรียมการในส่วนที่เกี่ยวข้อง
16. ผู้ขายต้องมีการสำรวจพื้นที่ก่อนติดตั้งเครื่องมือ เพื่อประเมินผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมและเพื่อวางแผนจัดทำระบบที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้ง อาทิ ระบบไฟฟ้า ระบบน้ำ ระบบลม ระบบก๊าซรวมถึงอุปกรณ์วัดถึงก๊าซ ระบบดูดอากาศ และระบบอื่นๆ โดยผู้ขายรับผิดชอบเรื่องการเดินระบบต่างๆ ทุกระบบที่เกี่ยวข้องจากแหล่งจ่ายรวม ที่ทางอาคารจัดไว้เข้าสู่เครื่องมือ และต้องพิจารณาถึงผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม อาทิ น้ำหนักเครื่อง อุณหภูมิ การสั่นสะเทือนและการกระแทก กรณีน้ำหนักของเครื่องมือและระบบมากกว่า 500 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ต้องจัดหาฐานรองกระจายน้ำหนักที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมด้วย
17. ค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการสำรวจสถานที่ติดตั้ง การติดตั้งเครื่องมือและระบบที่เกี่ยวข้อง การอบรม สอนการใช้งาน หรืออื่นใดที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือเป็นของผู้ขายทั้งสิ้น
18. ผู้ขายต้องแจ้งศูนย์ฯ ล่วงหน้าอย่างน้อย 15 วันก่อนเข้าดำเนินการติดตั้งภายในอาคาร เพื่อศูนย์ฯ จะได้อำนวยความสะดวกในการเข้าปฏิบัติงานในพื้นที่
19. ผู้ขายต้องจัดให้พนักงานของผู้ขายที่จะเข้าปฏิบัติงานในพื้นที่ติดตั้ง พร้อมจัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล และติดบัตรประจำตัวของบริษัท เพื่อแสดงให้เห็นโดยชัดเจนตลอดเวลาที่ปฏิบัติงานในอาคาร
20. ในการติดตั้งเครื่องมือและปฏิบัติงานในพื้นที่ จะต้องไม่กระทำการใดๆ ที่อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่พื้นที่อาคาร หรือที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและอนามัยของบุคคล หรือเกิดความเดือดร้อนหรือความรำคาญให้แก่ผู้ใช้พื้นที่อื่นในอาคาร หากพบว่ามีสิ่งผิดปกติระหว่างการปฏิบัติงาน จะต้องแจ้งให้สำนักงานทราบทันที
21. ในกรณีที่มีการเคลื่อนย้ายหลังการตรวจรับ ทางผู้ขายต้องรับผิดชอบในการเคลื่อนย้ายเครื่องและติดตั้งพร้อมใช้งานได้ตามปกติจำนวน 1 ครั้ง

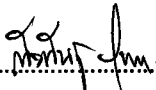
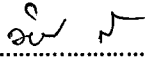

จัดทำโดย 1.....  ..... 2.....  ..... 3.....  ..... วันที่ 26 พ.ย. 2557

(นายณัฐพันธุ์ ศุภกา) (นายวิงศ์ กังวานศุภมงคล) (นายอลงกต ตริทอง)

### คุณลักษณะเฉพาะของเครื่อง

#### 1. โหมดวัดความแข็งแบบกดระดับนาโนเมตร (Nano Indentation)

- 1.1 โหมดวัดความแข็งแบบกดระดับนาโนเมตร (Nano Indentation) ต้องเป็นเครื่องมือที่ควบคุมการทำงานโดยซอฟต์แวร์ ผ่านคอมพิวเตอร์
- 1.2 สามารถใช้หัวกด (Probe) ประเภท Knoop, Rockwell, Berkovich และหัวกด (Probe) ชนิดอื่นๆ ได้
- 1.3 มีระบบ Optics สามารถดูผิวของตัวอย่างผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้
- 1.4 กล้องส่องดูชิ้นงานต้องมีความสามารถในการแยกแยะที่ให้ความละเอียดสูง (High resolution microscope) โดยมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้
  - มี Objectives lens อย่างน้อย 1 lens หรือมากกว่า
  - มีกำลังขยายสูงสุด (Maximum magnification) 1,000 เท่า หรือดีกว่า
  - มีกล้องดิจิทัลที่มีความสามารถในการแยกแยะที่ให้ความละเอียดสูง (High resolution digital camera)
- 1.5 ความละเอียดของหัววัด
  - Load range มี 2 หัว คือ หัว Low load ที่อยู่ในช่วงระดับนาโนนิวตัน (nN) และ High load ที่อยู่ในช่วงระดับนิวตัน (N) หรือดีกว่า สามารถใช้กับงานทางด้านฟิล์มบาง หรือ งานเคลือบผิว (Film/Coating) ที่มีความหนาน้อยกว่า 100 นาโนเมตรได้ และสามารถใช้กับผิวเคลือบที่อ่อนนุ่มได้ (Very soft coating)
  - Displacement resolution น้อยกว่า 0.02 นาโนเมตร (nm) หรือดีกว่า
  - Displacement noise floor น้อยกว่า 0.2 นาโนเมตร (nm) หรือดีกว่า
  - Force noise floor น้อยกว่า 30 นาโนนิวตัน (nN) หรือดีกว่า
  - Thermal Drift น้อยกว่า 0.05 นาโนเมตรต่อวินาที (nm/s) หรือดีกว่า
  - Displacement range น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ไมโครเมตร (um) หรือดีกว่า
- 1.6 สามารถตั้งค่าการโหลดได้หลายค่าอย่างอัตโนมัติ และส่งออกเป็น ASCII file หรือไฟล์รูปแบบอื่นๆ ได้
- 1.7 พื้นที่ในการวัด (Measurement area) ในแนวแกน X, Y และ Z ต้องไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร หรือดีกว่า
- 1.8 สามารถวัดตัวอย่างที่มีขนาด (Sample size) ไม่น้อยกว่า 150 x 150 มิลลิเมตร หรือดีกว่า
- 1.9 ความแม่นยำของการเคลื่อนที่ในแต่ละตำแหน่ง (Positioning accuracy) อย่างน้อย 10 นาโนเมตร หรือดีกว่า
- 1.10 สามารถทำ Indentation mapping ได้
- 1.11 โหมดการวิเคราะห์ความแข็งระดับนาโนเมตร (Nano Indentation) สามารถรองรับกับมาตรฐานอุตสาหกรรมได้ทั้ง ISO14577 และ ASTM2546

จัดทำโดย 1.  2.  3.  วันที่ 26 พ.ย. 2557

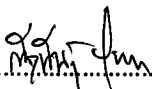
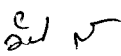
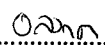
(นายณัฐพันธุ์ ศุภกา) (นายวิยงค์ กังวานศุภมวงค์) (นายอลงกต ตริทอง)

## 2. โหมดการวัดความแข็งแบบขีดข่วน และการทดสอบการสึกหรอ (Scratch and wear testing)

- 2.1 โหมดการวัดความแข็งแบบขีดข่วน และการทดสอบการสึกหรอ (Scratch and wear testing) ต้องควบคุมการทำงานโดยซอฟต์แวร์ ผ่านคอมพิวเตอร์
- 2.2 สามารถวัดความแข็งแบบขีดข่วน และการทดสอบการสึกหรอ (Scratch and wear Testing) ได้ทั้งแบบ multi-pass wear testing, progressive load scratch testing, profilometry, micro friction โดยมีรายละเอียดดังนี้
  - Normal load range สามารถทำได้ช่วงตั้งแต่ ระดับนาโนนิวตัน (nN) ไปจนถึง นิวตัน (N) หรือดีกว่า
  - Scan velocity น้อยกว่า 360 ไมโครเมตรต่อวินาที ( $\mu\text{m/s}$ ) หรือดีกว่า
  - Wear track size สามารถทำได้ตั้งแต่ 4 ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) จนถึง 150 ไมโครเมตร (mm) หรือดีกว่า
- 2.3 มีหัวกด (Probe) ชนิด Spherical Diamond Probe
- 2.4 สามารถสั่งทำ Constant Load และ Ramp Load ได้

## 3. การทดสอบแบบพลศาสตร์ (Dynamic Testing)

- 3.1 มีระบบทดสอบความต้านแรงกระแทก (Impact Testing) สามารถวัดความต้านแรงกระแทกในระดับนาโนเมตร (Nano impact) ได้ทั้งแบบจุดเดียวและหลายจุด (Single and multiple point) และ การวัดความล้าของวัสดุแบบสัมผัส (Contact fatigue) ที่ประกอบด้วย ระบบ Piezo electric oscillation, Signal generator และซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมและวิเคราะห์ผล
- 3.2 ในทดสอบความต้านแรงกระแทก (Impact testing) สามารถเลือกการสั่นขณะกระแทก โดยใช้หัวกด (Probe) เป็นตัวสั่นในการกระแทก โดยมีรายละเอียดดังนี้
  - Maximum static load ที่ 10 นิวตัน (N) หรือดีกว่า
  - ช่วงการสั่นกระแทกของหัวกด (Probe oscillate impact frequency) อยู่ในช่วง 0.1 Hz ถึง 300 Hz หรือดีกว่า
- 3.3 มีหัวกด (Probe) ชนิด Cube corner diamond probe
- 3.4 มีโปรแกรมวิเคราะห์ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลง (Dynamic test data) และศึกษาค่าความล้าของวัสดุ (Fatigue)
- 3.5 ระบบต้องสามารถทำการวัด ค่าความล้าที่รอบต่ำ (Low cycle fatigue), การทำให้แข็งด้วยความเครียด (work hardening), ความเค้นคราก (yield stress) และ การวัดแบบพลศาสตร์ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเครียดที่สูง (Dynamic hardness testing with high strain rate)
- 3.6 สามารถทำ Probe Oscillation Impact Method สำหรับ High cycle fatigue ซึ่งสามารถศึกษาได้ทั้ง nano impact และ contact nano fatigue test ได้
- 3.7 มีระบบ Nano Fretting Test สามารถวิเคราะห์ High Cycle Wear โดยควบคุมความถี่สูงได้ เพื่อศึกษา high cycle wear behavior, true fretting behavior ในระดับนาโนเมตร (nano scale), reciprocating sliding wear
- 3.8 มีซอฟต์แวร์สำหรับวัดค่า Modulus mapping ได้

จัดทำโดย 1.....  ..... 2.....  ..... 3.....  ..... วันที่..... 26 พ.ย. 2557

(นายณัฐพันธ์ ศุภกา) (นายวิยงค์ กังวานศุภมงคล) (นายอลงกต ตรีทอง)

#### 4. การวัดภาพในขณะที่ทำการทดลอง (In-situ Scanning Probe Microscope (SPM) Imaging)

- 4.1 ต้องมีความละเอียดระดับนาโนเมตร (nm) หรือดีกว่า และมีขนาดในการสแกนอย่างน้อย 100 X 100 ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) หรือดีกว่า
- 4.2 แรงกระทำระหว่างการวัดภาพ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 นาโนนิวตัน (nN) หรือดีกว่า
- 4.3 สามารถวัดพื้นผิวเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกล แบบ In-situ ได้ ซึ่งจำเป็นต่อการศึกษาดัวย่างที่มีการคืนตัวหลังทดสอบสูง
- 4.4 ภาพที่ได้ เป็น topography หรือสามารถบอกข้อมูลทางกายภาพ (Physical) แบบอื่นๆ ได้
- 4.5 สามารถปรับ gain control, scan rate เพื่อความเหมาะสมในการวัดพื้นผิวแบบต่างๆ
- 4.6 ความละเอียดของภาพในการสแกน (Resolution) อย่างน้อย 256 x 256 พิกเซล (pixel) หรือดีกว่า

#### 5. โหมดการวัดในของเหลว (Liquid mode)

- 5.1 ระบบต้องรองรับการวิเคราะห์ตัวอย่างในสภาวะที่เป็นของเหลวได้
- 5.2 ในการวิเคราะห์ตัวอย่างในสภาวะที่เป็นของเหลว ต้องสามารถใช้วิเคราะห์กับฟังก์ชัน Indentation, Scratch และ Dynamic testing ได้

#### 6. โหมดการวัดในอุณหภูมิสูง (High temperature)

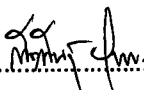
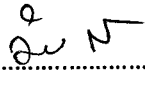

- 6.1 มีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วงตั้งแต่อุณหภูมิห้อง ถึง 400 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า
- 6.2 ระบบควบคุมอุณหภูมิต้องสามารถใช้วิเคราะห์กับฟังก์ชัน Indentation, Scratch และ Dynamic testing ได้

#### 7. อุปกรณ์ประกอบ

- 7.1 คอมพิวเตอร์ จำนวนอย่างน้อย 1 ชุด
  - ระบบปฏิบัติการ Microsoft Window 7 Professional หรือดีกว่า และมีลิขสิทธิ์ถูกต้องตามกฎหมาย
  - ระบบประมวลผล (Processor) แบบ Core i5 ที่มีความเร็วไม่น้อยกว่า 3.4 GHz หรือดีกว่า
  - หน่วยความจำหลัก (RAM) อย่างน้อย 4.0 GB หรือดีกว่า
  - Hard Disk ที่มีหน่วยความจำ 1TB หรือดีกว่า
  - จอแสดงผล ขนาดไม่น้อยกว่า 19 นิ้ว หรือดีกว่า จำนวน 2 จอ โดยแยกมอนิเตอร์สำหรับมองตัวอย่างกับมอนิเตอร์การทำงานของโปรแกรมออกจากกัน
  - Keyboard, Scrolling Mouse และอุปกรณ์ประกอบที่เกี่ยวข้อง

จัดทำโดย 1.....*กฤษณ์ ใจ*..... 2.....*วัน 5*..... 3.....*อลงกต*..... วันที่.....*26 พ.ย. 2557*.....  
 (นายณัฐพันธุ์ ศุภกา) (นายวิยงค์ กังวานศุภมงคล) (นายอลงกต ตริทอง)

- 7.2 มีโต๊ะสำหรับป้องกันแรงสั่นสะเทือน (Anti-vibration table) อย่างน้อยจำนวน 1 ชุด
- 7.3 มีตู้ครอบเครื่อง (Cabinet) ต้องสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อม และป้องกันเรื่อง Acoustic, air current และ thermal isolation และต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิห้อง อย่างน้อยจำนวน 1 ชุด
- 7.4 มีซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ (Nano Mechanical Tester) โดยต้องมีการอัปเดตซอฟต์แวร์ให้โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย หากมีการปรับปรุงพัฒนาซอฟต์แวร์
- 7.5 มีซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ (Nano Mechanical Tester) แบบถูกลิขสิทธิ์ (Offline Nanoindenter software license for offline data analysis) อย่างน้อย 2 license
- 7.6 มีมาตรฐาน Fused Silica จำนวนอย่างน้อย 2 ชุด
- 7.7 มีหัวกด Berkovich diamond indenter อย่างน้อยจำนวน 2 ชุด ( สำหรับ nano indentation )
- 7.8 มีหัวกด Spherical diamond probe อย่างน้อยจำนวน 2 ชุด ( สำหรับ nano Scratch )
- 7.9 มีหัวกด Cube corner diamond probe อย่างน้อยจำนวน 2 ชุด ( สำหรับ nano impact )
- 7.10 มีหัวกด Large area spherical indenter probe อย่างน้อยจำนวน 2 ชุด ( สำหรับ nano fretting )
- 7.11 มีหัวกดชนิดที่ใช้กับ Liquid mode อย่างน้อย 2 ชุด
- 7.12 มีหัวกดชนิดที่ใช้กับ High temp mode อย่างน้อย 2 ชุด
- 7.13 มีเครื่องสำรองไฟฟ้าระบบ True Online UPS หรือดีกว่า ขนาดไม่น้อยกว่า 3 KVA และสามารถรองรับการใช้งานของอุปกรณ์ทั้งระบบ ที่ Load สูงสุดได้ ไม่ต่ำกว่า 30 นาที จำนวน 1 ตัว

จัดทำโดย 1.....  ..... 2.....  ..... 3.....  ..... วันที่ 26 พ.ย. 2557

(นายณัฐพันธ์ สุภกา) (นายวิยงค์ กังวานศุภมงคล) (นายอลงกต ตริทอง)