

การพัฒนาเครื่องสแกน 3 มิติความละเอียดสูง Development of a high-resolution 3-D scanner

สรายุทธ แสงผล¹, จารุบุตร คณะนัย¹ และ วีระยุทธ ศรีธรรวานิช^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

*ติดต่อ: werayut.s@chula.ac.th, โทร. 0-2218-6586 โทรสาร 0-2252-2889

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เครื่องสแกน 3 มิติในการวัดรูปร่างของวัตถุต่างๆที่มีความจำเป็นอย่างมากในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ ทางคณะวิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องสแกน 3 มิติความละเอียดสูงระดับไมโครเมตรเพื่อใช้ในการตรวจวัดรูปร่างของวัตถุที่มีขนาดเล็ก เครื่องมือดังกล่าวประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์ (laser displacement sensor), x-y สเตจ (x-y stage) และคอมพิวเตอร์ในการควบคุมโดยจะใช้เซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์ร่วมกับ x-y สเตจในการวัดความสูงของวัตถุที่ตำแหน่งต่างๆเพื่อนำมาแสดงรูปทรง 3 มิติของวัตถุ เครื่องมือดังกล่าวสามารถตรวจวัดรูปร่างของวัตถุที่มีขนาดเล็กในระดับไมโครเมตรได้และมีความละเอียดที่ 10 นาโนเมตร

คำหลัก: เครื่องสแกน 3 มิติ, รูปร่าง, เซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์

Abstract

Nowadays the utilization of 3-D scanners in topography measurement is very important for manufacturing process in various industries. We have developed a 3-D scanner with micron scale resolution for measuring tiny objects. The proposed 3-D scanner consists of a laser displacement sensor, x-y stage, and a control computer. By utilizing a displacement sensor and an x-y stage, the topography of an object can be measured and displayed. This equipment is capable of measuring micro-objects with the resolution of 10 nm.

Keywords: 3-D scanner, topography, laser displacement sensor

1. บทนำ

เครื่องสแกน 3 มิติ^{1,2} ที่ใช้ในการวัดพื้นผิวของวัตถุ นั้นได้ถูกนำมาใช้ในงานประเภทต่างๆตั้งแต่การตรวจวัดรูปร่างของชิ้นงาน อุปกรณ์ และส่วนประกอบต่างๆในกระบวนการผลิต การตรวจสอบรูปร่างวัตถุในการควบคุมคุณภาพภายหลังการผลิต ตลอดจนการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์^{3,4} อย่างไรก็ตามเครื่องวัดพื้นผิว 3 มิติที่มีราคาแพงและบางทีก็ไม่เหมาะสมกับงานหรือสิ่งแวดล้อมบางประเภท ดังนั้นทางโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาเครื่องสแกน 3 มิติเพื่อใช้ในการวัดพื้นผิวของวัตถุให้ตรงกับความต้องการของทางอุตสาหกรรม ไม่เพียงแต่ลดต้นทุนในการจัดซื้อเครื่องมือตรวจวัดพื้นผิวแต่ยังสามารถพัฒนาเครื่องมือดังกล่าวให้มีความเหมาะสมกับประเภทของงานได้อีกด้วย

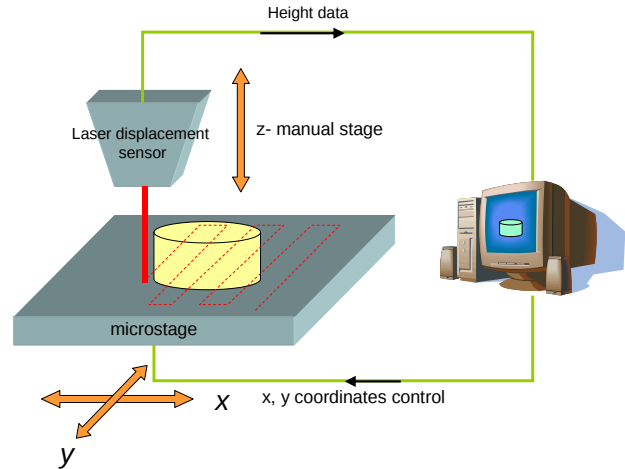
เครื่องสแกน 3 มิติที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์และ x-y สเตจที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ในระหว่างการสแกนพื้นผิววัตถุจะเก็บข้อมูลความสูงของแต่ละตำแหน่งไว้เพื่อใช้แสดงรูปทรงของวัตถุต่อไป นอกจากนี้ยังได้พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ผลต่างๆสำหรับใช้ในเครื่องวัดพื้นผิว 3 มิติ เช่น ความสูง, ความยาว, ความกว้าง, ความขรุขระ และปริมาตรของวัตถุ เป็นต้น โดยโปรแกรมควบคุมและวิเคราะห์ได้พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม LabView ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนหรือพัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติมได้โดยง่าย ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะและปรับปรุงเครื่องให้มีความละเอียดและแม่นยำสูงขึ้นซึ่งเครื่องสแกน 3 มิติที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้ตรวจวัดรูปร่างของวัตถุที่มีขนาดเล็กในระดับไมโครเมตรได้และมีความละเอียดที่ 10 นาโนเมตร

2. หลักการของเครื่องสแกน 3 มิติ

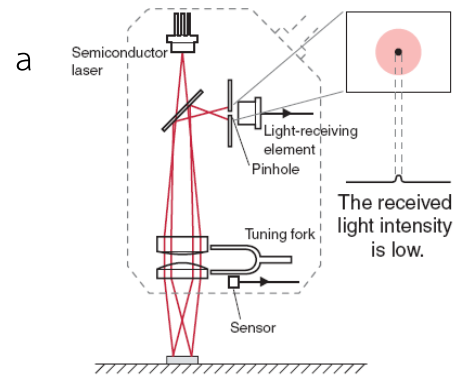
2.1 หลักการทำงานของเครื่องสแกน 3 มิติ

เครื่องสแกน 3 มิติประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์ (laser based displacement sensor), x-y สเตจ (x-y stage), การ์ดเก็บข้อมูล (DAQ card) และ คอมพิวเตอร์ในการควบคุม หลักการของเครื่องนั้นจะใช้เซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์เพื่อวัดความสูงที่ตำแหน่งต่างๆ แล้วใช้ x-y สเตจในการเคลื่อนย้ายวัตถุทีละน้อย โดยจะบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดพิกัด x, y และความสูงที่ตำแหน่ง (จุดพิกัด z) นั้นๆ เพื่อนำมาแสดงรูปทรง 3 มิติของวัตถุ ภายหลังจากที่ได้ข้อมูลรูปทรง 3 มิติดังกล่าวแล้วโปรแกรมวิเคราะห์จะนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความสูง, ความยาว, ความกว้าง, ความขรุขระและปริมาตรวัตถุต่อไป

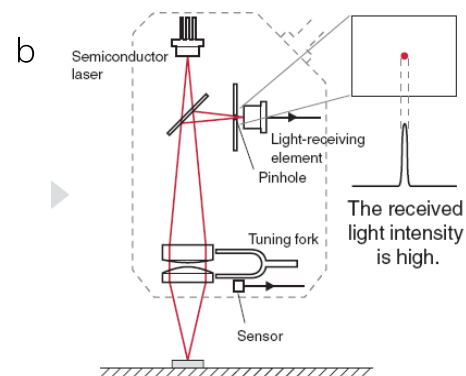
จากหลักการทำงานของเครื่องสแกน 3 มิติที่กล่าวไปข้างต้นความละเอียด (resolution) และความถูกต้อง (accuracy) ของข้อมูลรูปร่างที่ได้จากการวัดจะขึ้นอยู่กับความละเอียดและความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์, x-y สเตจ (x-y stage) ตลอดจนความละเอียดและความถูกต้องของวิธีการในการควบคุม x-y สเตจ (x-y stage) และการเก็บข้อมูลจุดพิกัดลงในการ์ดเก็บข้อมูล (DAQ card) เซ็นเซอร์ที่ใช้ในเครื่องสแกน 3 มิตินี้เลือกใช้เซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์ (laser based displacement sensor) ซึ่งอาศัยหลักการทางแสงในการวัดระยะ (displacement) โดยวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ไม่ทำให้เกิดการสัมผัสกับวัตถุ (non-contact measurement) ดังแสดงในรูปที่ 2 หลักการในการวัดระยะทางนั้นจะใช้ส้อมเสียง (tuning fork) ในการสั่นเส้นลวดซึ่งถ้าแสงจากแหล่งกำเนิดแสงโฟกัสบนพื้นผิววัตถุจะมีแสงสะท้อนกลับมาและสามารถรับรู้ได้จากความเข้มของแสงที่ปรากฏบนตัวรับแสง (light-receiving element) ในขณะเดียวกันนั้นจะมีตัวเซ็นเซอร์ (sensor) เพื่อบอกตำแหน่งของส้อมเสียงโดยตำแหน่งของส้อมเสียงดังกล่าวจะถูกใช้ในการคำนวณระยะทาง (displacement) ระหว่างพื้นผิวกับตัวเซ็นเซอร์ ในรูปที่ 2.a แสดงกรณีที่แสงไม่ได้โฟกัสบนพื้นผิว ส่วนรูป 2.b แสดงกรณีที่แสงโฟกัสบนพื้นผิวซึ่งที่ตัวรับแสงจะรับรู้แสงที่มีความเข้มแสงมาก



รูปที่ 1 หลักการทำงานของเครื่องสแกน 3 มิติ

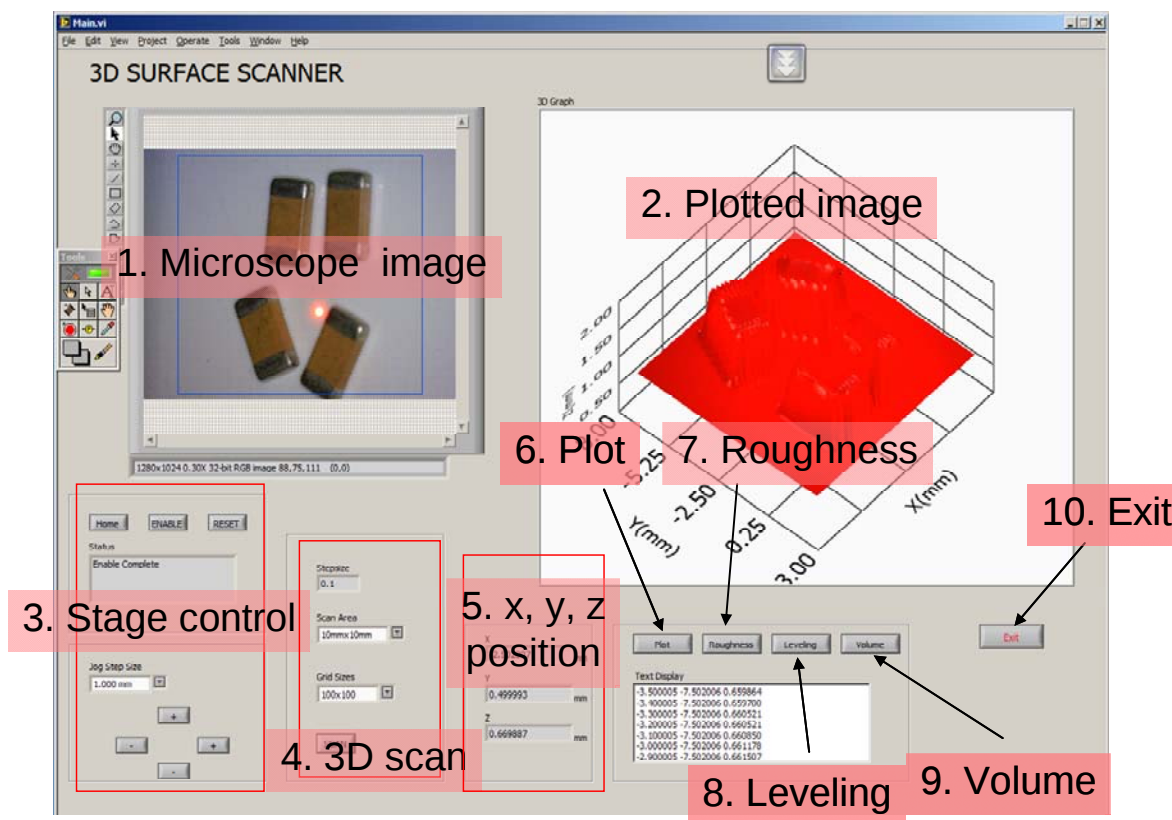


Out-of-focus



In-focus

รูปที่ 2 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์ (laser based displacement sensor) (a) กรณีที่แสงไม่ได้โฟกัสบนพื้นผิว (b) กรณีที่แสงโฟกัสบนพื้นผิวซึ่งที่ตัวรับแสงจะรับรู้แสงที่มีความเข้มแสงมาก



รูปที่ 3 ส่วนประกอบต่างๆในโปรแกรมควบคุมและวิเคราะห์

2.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องสแกน 3 มิติ

เครื่องสแกน 3 มิติที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์ (laser based displacement sensor), x-y สเตจ (x-y stage), การ์ดเก็บข้อมูล (DAQ card) และคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมโดยเซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์ใช้วัดความสูงที่ตำแหน่งต่างๆบนวัตถุแล้วส่งข้อมูลผ่านทาง การ์ดสัญญาณไปเก็บบันทึกในคอมพิวเตอร์พร้อมกับตำแหน่งจุดพิกัด x, y จาก x-y สเตจแล้วเคลื่อนย้ายวัตถุทีละสเต็ปด้วย x-y สเตจ (ประเภท brushless linear servo motor, ความละเอียด 1 นาโนเมตรและพื้นที่ทำงาน 50 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร) โดยจะบันทึกข้อมูลตำแหน่งจุดพิกัด x, y และความสูงที่ตำแหน่งนั้นๆ (จุดพิกัด z) เพื่อนำมาใช้แสดงรูปทรง 3 มิติของวัตถุ นอกจากนี้ในระบบสแกนนี้ยังมีกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล (digital microscope) ที่ใช้แสดงภาพของวัตถุเพื่อใช้ในการเลือกบริเวณที่จะทำการสแกนด้วยโดยโปรแกรมควบคุมนั้นพัฒนาด้วยโปรแกรม

Labview ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนและเพิ่มเติมโปรแกรมควบคุมและวิเคราะห์นั้นได้โดยง่าย

2.3 โปรแกรมควบคุมและวิเคราะห์

โปรแกรมควบคุมและวิเคราะห์ของเครื่องสแกน 3 มิติประกอบด้วยส่วนต่างๆดังต่อไปนี้ (รูปที่ 3)

1. Microscope image คือภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล (digital microscope) เพื่อใช้ในการเลือกตำแหน่งที่ต้องการสแกนโดยจุดเลเซอร์ที่เห็นในภาพคือตำแหน่งตรงกลางของพื้นที่ที่ต้องการสแกนและกรอบสีน้ำเงินแสดงบริเวณที่จะถูกสแกน

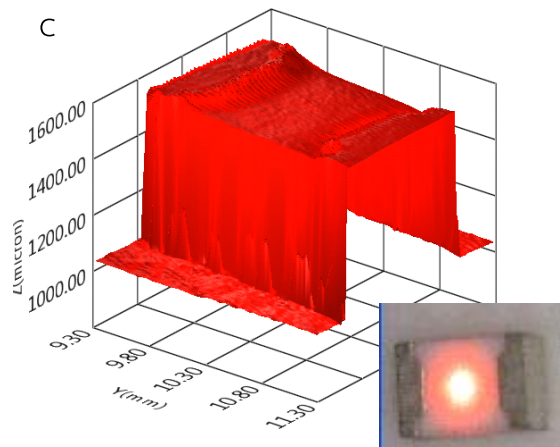
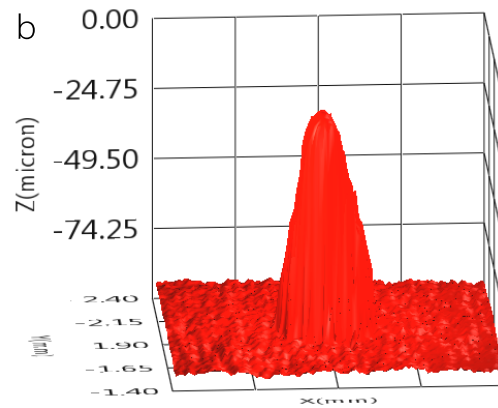
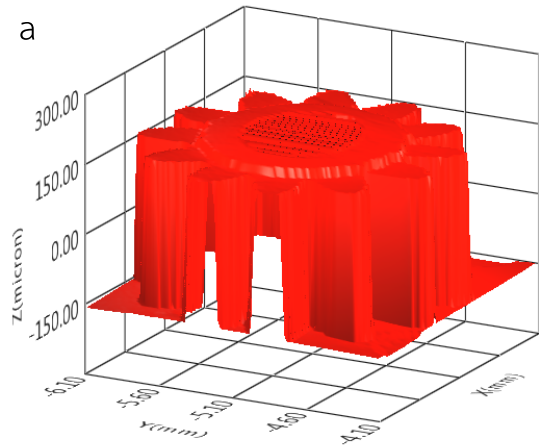
2. Plotted image คือภาพ 3 มิติของวัตถุที่ได้จากการสแกน

3. Stage control คือส่วนควบคุมที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งเพื่อใช้เลือกตำแหน่งของวัตถุในการสแกน

4. 3D scan คือส่วนควบคุมการสแกนโดยที่ผู้ใช้สามารถกำหนดเงื่อนไขในการสแกนซึ่งประกอบด้วยขนาดพื้นที่ (scan area) และจำนวนจุด (grid size)
5. x, y, z position บอกตำแหน่งของจุดเลเซอร์ในแนวแกน x, y และ z
6. Plot ใช้ในการพล็อตภาพ 3 มิติของวัตถุภายหลังการสแกน
7. Roughness ใช้แสดงค่าความหยาบของพื้นผิวที่สแกน
8. Leveling ใช้ในการปรับความสูงของฐานให้อยู่ในแนวระดับ
9. Exit ใช้ในการออกจากโปรแกรม

3. การทดสอบสมรรถนะ

ทางคณะวิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องสแกนและได้พบว่ามีผลความละเอียดและความถูกต้องแม่นยำในการวัดที่จำกัดโดยวัตถุที่มีขนาดเล็กมาก (ระดับ 100 ไมครอนลงไป) ความถูกต้องแม่นยำยังไม่เพียงพอเนื่องจากเซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์ (laser based displacement sensor) ที่ใช้มีความละเอียดและแม่นยำไม่เพียงพอจึงได้มีการปรับปรุงโดยใช้เซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์ที่มีความละเอียดและแม่นยำมากขึ้นกว่าเดิมโดยใช้เซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์ที่มีความละเอียด 10 นาโนเมตรและมีระยะทำงาน 0.6 มิลลิเมตรซึ่งภายหลังการปรับปรุงเครื่องสแกน 3 มิติสามารถสแกนวัตถุได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากขึ้น รูปที่ 4.a แสดงภาพ 3 มิติที่ได้จากการตรวจวัดเกียร์ในนาฬิกาซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 1.5 มิลลิเมตรและหนาประมาณ 300 ไมครอนซึ่งจะเห็นความหนาของขอบส่วนบนที่หนาเพียงไม่กี่ไมครอน รูปที่ 4.b แสดงภาพ 3 มิติที่ได้จากการวัดหยดการ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 400 ไมครอน รูปที่ 4.c แสดงภาพ 3 มิติที่ได้จากการวัดตัวเก็บประจุ (capacitor) ขนาด 1.5 มิลลิเมตร x 1 มิลลิเมตรและหนา 0.5 มิลลิเมตร ภาพด้านล่างคือภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัลซึ่งจะเห็นแผ่นโลหะที่ปลายทั้ง 2 ข้างของตัวเก็บประจุซึ่งหนาเพียงไม่กี่ไมครอน



รูปที่ 4 ภาพ 3 มิติของวัตถุที่ได้จากการสแกน (a) เกียร์ในนาฬิกา (b) หยดการในงานประกอบ หัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ (c) ตัวเก็บประจุขนาด 1.5 มิลลิเมตร x 1 มิลลิเมตรและหนา 0.5 มิลลิเมตร ภาพด้านล่างคือภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล

4. สรุปผลวิจัย

ทางคณะวิจัยได้ทำการพัฒนาเครื่องสแกน 3 มิติ ความละเอียดสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรม โดยเครื่องสแกน 3 มิตินี้ประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์ (laser based displacement sensor), x-y สเตจ (x-y stage) และ คอมพิวเตอร์ในการควบคุมโดยจะใช้เซ็นเซอร์วัดระยะทางประเภทเลเซอร์เพื่อวัดความสูงที่ตำแหน่งต่างๆ แล้วใช้ x-y สเตจในการเคลื่อนย้ายวัตถุทีละน้อย โดยจะบันทึกข้อมูลตำแหน่ง จุดพิกัด x, y และความสูงที่ตำแหน่งนั้นๆ เพื่อนำมาแสดงรูปทรง 3 มิติภายหลังจากการสแกน หลังจากที่ได้ข้อมูลรูปทรง 3 มิติดังกล่าว โปรแกรมควบคุมและวิเคราะห์ได้พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม LabView ซึ่งสามารถทำการปรับเปลี่ยนหรือพัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติมได้โดยง่าย โดยโปรแกรมวิเคราะห์สามารถนำข้อมูลที่ได้นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาค่าความสูง, ความยาว, ความกว้าง, ความขรุขระและปริมาตรของวัตถุได้ จากการประเมินสมรรถนะ (ความละเอียดและความถูกต้อง) พบว่าเครื่องสแกน 3 มิติที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ตรวจวัดรูปร่างของวัตถุที่มีขนาดเล็กในระดับไมโครเมตรได้โดยมีความละเอียดที่ 10 นาโนเมตร

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากทางบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านการผลิตขั้นสูงในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ทั้งนี้ต้องขอขอบคุณ คุณศิลา สิริवंธ คุณวีระศักดิ์ พณงาม คุณพรเทพ เปาทอง คุณสรารัฐ เจนวรรรัตน์ คุณสุพรรณิ หาญชาญศิริ ตลอดจนนักวิจัยและเจ้าหน้าที่ของทางบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ทุกท่านที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยในด้านต่างๆ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งคณะวิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. J. Tay, S. H. Wang, C. Quan, and B. W. Lee, "Measurement of a micro-solderball height using a laser projection method" Opt. Commun. vol. 234, no.1-6, pp. 77-88, 2004.
- [2] US Patent 7242485 "Displacement gauge and displacement measuring method".
- [3] T. L. Haut, M. L. Hull, S. M. Howell, "A high-accuracy three-dimensional coordinate digitizing system for reconstructing the geometry of diarthrodial joints" J. of Biomechanics, vol. 31 pp. 571-577, 1998.
- [4] A. Pham, M. L. Hull, "Dehydration rates of meniscus and articular cartilage in vitro using a fast and accurate laser-based coordinate digitizing system" J. of Biomechanics, vol. 40 pp. 3223-3229, 2007.