

อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์แบบไมเคิลสันสำหรับการวัดค่าคงที่ ไพโซอิเล็กทริก

ศุภสโรหะ หมั่นสิทธิ์¹ และ ปัญญา แขน้าแก้ว²

Abstract

Muensit, S., and Kheanumkeaw, P.

Michelson interferometer for the piezoelectric coefficient measurements

Songklanakarin J. Sci. Technol., 200, 24(1) : 107-115

The present work has described the Michelson interferometer which is capable of measuring the vibrational amplitudes in a sub-angstrom range. In the system, a He-Ne laser is used as a monochromatic source of light and a photodiode as a detector to convert an optical signal into an electronic one. Lock-in detections of the electronic signals are applied to relate the vibrational amplitudes to the wavelength of the laser beam. A feedback circuit is introduced in order to stabilize the sensitivity of the interferometric system. With this setup, a mechanical displacement referred to a change in thickness of a vibrating sample can be measured and the corresponding piezoelectric coefficient, i.e. the ratio of the change in sample thickness to the applied voltage, evaluated. In order to check the performance of the system, measurements on lithium niobate (LiNbO_3) have been made and its piezoelectric coefficient d_{33} was confirmed with 2% accuracy. The piezoelectric coefficient d_{33} for lead zirconate titanate (PZT) ceramics was, therefore, determined by this interferometer and found to be 270 pm/V.

Key words : interferometer, piezoelectric, lithium niobate, PZT

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkhla University, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand.

¹Ph.D. (Materials Physics) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ²นักศึกษานิพนธ์โท ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding email : msupasar@ratree.ac.th

รับต้นฉบับ 18 ตุลาคม 2544 รับลงพิมพ์ 7 ธันวาคม 2544

บทคัดย่อ

ศุภสโรช หมื่นสิทธิ และ ปิณญา แชน้ำแก้ว

อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์แบบไมเคิลสันสำหรับการวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กทริก

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2545 24(1) : 107-115

งานวิจัยนี้กล่าวถึงอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์แบบไมเคิลสันที่มีความสามารถในการวัดแอมพลิจูดของการสั่นที่มีค่าในช่วงน้อยกว่าอองสตรอม ในระบบมีเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนเป็นแหล่งกำเนิดแสงความถี่เดียว มีโฟโตไดโอดเป็นหัววัดสำหรับเปลี่ยนสัญญาณทางแสงเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ การตรวจวัดสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์แบบล็อกอินช่วยให้แอมพลิจูดของการสั่นมีความสัมพันธ์กันกับความยาวคลื่นของเลเซอร์ มีการใช้วงจรสัญญาณย้อนกลับในการควบคุมระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ให้มีความไวสม่ำเสมอตลอดเวลา ค่าวัดที่ได้จากระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์นี้คือระยะขจัดหรือความหนาที่เปลี่ยนไปของสารตัวอย่างที่กำลังสั่นอยู่ในสนามไฟฟ้า และคำนวณค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกได้จากอัตราส่วนของระยะขจัดนั้นต่อศักย์ไฟฟ้าที่ให้ จากการตรวจสอบการทำงานของระบบด้วยการวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กทริก d_{33} ของลิเทียมนิโอเบตได้ผลการทดลองที่มีความแม่นยำ 2 % จึงใช้อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์วัดค่าคงที่พิโซอิเล็กทริก d_{33} ของเซรามิกส์เลเซอร์โคเนคติตาเนตได้เท่ากับ 270 พิโคเมตร/โวลต์

วิธีการหาค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกที่มีในรายงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์มีหลายวิธี เช่น วิธีการเรโซแนนซ์ (resonance method) วิธีวัดความจุไฟฟ้า (capacitance method) วิธีวางน้ำหนักโดยตรง (direct load method) วิธีการแทรกสอด (interference method) ของแสง เป็นต้น ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นวิธีการใด มีทั้งข้อดีและข้อเสียซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาาร่วมกันกับลักษณะและชนิดของสารตัวอย่างก่อนทำการทดสอบ¹

วิธีการแทรกสอดของแสงซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูงและไม่ทำลายสารตัวอย่าง (non-destructive testing) (Hariharan, 1992) เป็นวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ระบบทางแสงที่ใช้คือระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์แบบไมเคิลสัน ซึ่งมีรูปแบบในการจัดวางอุปกรณ์ทางแสงเรียบง่าย ใช้แหล่งกำเนิดแสงหลายความถี่หรือความถี่เดียว แอมพลิจูดของแสงจากแหล่งกำเนิดจะถูกแบ่งที่ตัวแบ่งแสง (beam splitter) ออกเป็น 2 ส่วน แยกออกเป็น 2 ลำแสงย่อย เดินทางในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ตกกระทบผิวหน้าของกระจก

เรียบและสะท้อนกลับมารวมกันที่ตัวแบ่งแสงอันเดิม ถ้ามีการแทรกสอดแบบเสริมของลำแสงทั้งสอง จะมีริ้วแทรกสอด (interference fringe) รูปวงกลมหลายวงที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันปรากฏบนฉาก (screen) ที่วางตั้งฉากกับทางเดินแสง (optical path) เส้นทางที่แสงแต่ละลำเดินทางจะแตกต่างกันเล็กน้อย ถ้า Δd เป็นผลต่างทางเดินแสง (path length difference) I คือความเข้มแสงของริ้วแทรกสอด จะได้ว่า

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\left(\frac{4\pi\Delta d}{\lambda}\right) \quad (1)$$

เมื่อ λ คือความยาวคลื่น เมื่อคำนึงถึงกรณีที่มีความเข้มแสงมีค่าสูงสุด ($I_{\max}$) และต่ำสุด ($I_{\min}$) สมการ (1) จะมีรูปแบบดังสมการ (2)

$$I = \frac{1}{2}(I_{\max} + I_{\min}) + \frac{1}{2}(I_{\max} - I_{\min})\cos\left(\frac{4\pi\Delta d}{\lambda}\right) \quad (2)$$

จากสมการ (2) เมื่อ $\cos\left(\frac{4\pi\Delta d}{\lambda}\right) = 0$ ทำให้เกิดการ

¹ วิธีการเรโซแนนซ์เหมาะสำหรับสารตัวอย่างที่เป็นแผ่นบางหรือแท่งยาว มักเกิดเรโซแนนซ์ที่ความถี่สูงมาก (>100 กิโลเฮิรตซ์) ใช้สมการที่อาศัยค่าคงที่อื่นๆ หลายค่า เช่น ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ค่าไดอิเล็กทริก (ซึ่งมักมีค่าขึ้นกับความถี่) เป็นต้น วิธีวัดความจุไฟฟ้าทดลองได้ง่ายและใช้ความถี่ที่ต่ำกว่าเรโซแนนซ์ของสารตัวอย่างมากๆ เหมาะสำหรับสารตัวอย่างที่รู้ทิศทางผลึก (crystal orientation) แน่นนอน วิธีวางน้ำหนักแก่สารตัวอย่างเป็นการทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่ผิวทั้งสองด้านและวัดความต่างศักย์ตกคร่อมสารตัวอย่าง มักมีการรั่วไหลของประจุในอากาศ ทำให้การวัดขาดความแม่นยำ (Mason, 1950)

เปลี่ยนแปลงที่มากที่สุด (maximum change) ของความเข้มแสง ค่าความเข้มแสงที่ได้จากเงื่อนไขนี้คือ

$$I = \frac{1}{2}(I_{\max} + I_{\min}) \quad (3)$$

และค่า Δd ที่สอดคล้องกับสมการ (3) คือ

$$\Delta d = (2n+1)\frac{\lambda}{8}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

จากหลักการพื้นฐานของอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์แบบไมเคิลสันข้างต้น มีการพัฒนา (Zhang *et al.*, 1988) ระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ให้ลำแสงหนึ่งตกกระทบบนการวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กทริก อีกลำแสงหนึ่งตกกระทบบนกระจกอ้างอิงซึ่งติดอยู่กับแผ่นทรานสดิวเซอร์พิโซอิเล็กทริก (piezoelectric transducer) เมื่อมีสนามไฟฟ้าภายนอกสารและแผ่นทรานสดิวเซอร์ (พร้อมทั้งกระจกอ้างอิง) จะสั้นและเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน จำเป็นต้องปรับให้ระบบทำงานสอดคล้องกับสมการ (3) ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่แสดงว่าระบบมีสภาพไว (sensitivity) สูงสุด ค่า Δd ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในระดับเศษส่วนของ λ ของแหล่งกำเนิดคลื่นที่ใช้ สามารถบ่งชี้กำลังแยกระยะขจัด (displacement resolution) ของระบบได้จากค่า Δd ถ้าระบบทำงานด้วยความไวสูงสุดคงที่สม่ำเสมอตลอดเวลาในขณะที่ผลการทดลองแสดงว่าระบบมีเสถียรภาพ (stability)

ในที่นี้ผลการทดลองคือศักย์ไฟฟ้าเอาต์พุต V_{out} (output voltage) จากเครื่องขยายสัญญาณล็อกอิน (lock-in amplifier) V_{out} มีความสัมพันธ์กับ λ และพารามิเตอร์อื่นๆ ดังสมการ

$$V_{\text{out}} = \frac{2\pi V_{\text{pp}} d_{\text{ac}}}{\lambda} \quad (5)$$

เมื่อ V_{pp} คือขนาดของศักย์ไฟฟ้าจากค่าสูงสุดถึงต่ำสุดที่สอดคล้องกับความเข้มแสงจากค่าสูงสุดถึงต่ำสุดตามลำดับเป็นค่าที่บันทึกเมื่อมีการสั่นกระจกอ้างอิง โดยที่ยังไม่มีการ

สั่นสารตัวอย่าง ค่า Δd ที่ได้จึงเป็นค่าเริ่มต้น (initial value) ของระบบ สำหรับระบบที่มีเสถียรภาพ V_{pp} จะมีค่าคงที่เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าแก่สารตัวอย่างจนมีการสั่น ผลต่างทางเดินแสงในเวลาต่อมาหรือ d_{ac} จะขึ้นกับการสั่นของสารตัวอย่าง ความเข้มแสงที่รีวแทรกสอดจะแปรผันตาม d_{ac} ถ้าให้ศักย์ไฟฟ้า V แก่สารตัวอย่าง จะได้ค่าคงที่พิโซอิเล็กทริก d_{ii} ของสารตัวอย่าง ดังนี้คือ

$$d_{\text{ii}} = \frac{d_{\text{ac}}}{V} \quad (6)$$

แทนสมการ (5) ในสมการ (6) ได้ความสัมพันธ์ของค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกกับ V_{out} และพารามิเตอร์อื่นๆ ดังสมการ

$$d_{\text{ii}} = \frac{\lambda V_{\text{out}}}{2\pi V_{\text{pp}} V} \quad (7)$$

ลิเทียมไนโอเบต (LiNbO_3) เป็นวัสดุที่มีทั้งสมบัติเพอโรอิเล็กทริก พิโซอิเล็กทริกและไพโรอิเล็กทริก มีสมบัติทางแสงดีเช่นไวต่อการหักเหแสง จึงเป็นที่สนใจและนำมาใช้ประโยชน์ในสิ่งประดิษฐ์ทางแสงและเสียง ค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกของลิเทียมไนโอเบต³ มีหลายรายงาน (Dankov, *et al.*, 1983; Nye, 1985; Royer and Kmetik, 1992) ค่าที่งานวิจัยนี้นำมาใช้ในการปรับเทียบ (calibration) ระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์คือ d_{33} ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์แบบแมค-เซนเดอร์ (Mac-Zhender type) ที่อาศัยการแทรกสอดของคลื่น 2 ชุดที่มีความถี่แตกต่างกันเล็กน้อย

เลดเซอร์โคเนตติตาท (lead zirconate titanate; $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$; PZT)⁴ เป็นเซรามิกส์พิโซอิเล็กทริกที่ได้รับความนิยมและนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย มีการผลิตเซรามิกส์นี้ทั้งในทางการค้าและการทดลองในห้องปฏิบัติการต่างๆ ด้วยสัดส่วนขององค์ประกอบหลักที่แตกต่างกัน มีผลให้สมบัติทางไฟฟ้ากล (electromechanical properties) ของเซรามิกส์ชนิดนี้มีความแตกต่างกัน และประสิทธิภาพและประโยชน์ใช้สอยเซรามิกส์มีความ

² เป็นค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกในแนวความหนา สารตัวอย่างได้รับสนามไฟฟ้าในทิศตั้งฉากกับผิวหน้าและขั้วไฟฟ้า (IEEE Std 176, 1988)

³ ลิเทียมไนโอเบตมีโครงสร้างผลึกไตรโกนอล มีสมมาตรแบบ 3m ซึ่งมีค่าคงที่พิโซอิเล็กทริก 4 ตัวคือ d_{15} , d_{22} , d_{31} และ d_{33} (Gualtieri *et al.*, 1994)

⁴ PZT มีโครงสร้างผลึกเตตระโกนอล มีสมมาตรแบบ 4mm ซึ่งมีค่าคงที่พิโซอิเล็กทริก 3 ตัวคือ d_{15} , d_{31} และ d_{33} (Ikeda, 1990)

หลากหลาย งานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้เทคนิคอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์วัดค่าคงที่พีโซอิเล็กทริกของ PZT ทั้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าและที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์และวิธีทดลอง

Figure 1 คือไดอะแกรมระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์แบบไมเคิลสัน แสดงการจัดวางอุปกรณ์ทางแสง (optical component) และการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronic component) Figure 2 แสดงให้เห็นอุปกรณ์ต่างๆ ยึดแน่นบนกระดานออพติก (optical breadboard) มีเลเซอร์โพลาไรซ์แบบฮีเลียม-นีออน (Uniphase 1135p Polarised He-Ne laser) ความยาวคลื่น 628.3 นาโนเมตร กำลัง 10 มิลลิวัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงความถี่เดียว เลเซอร์ตกกระทบบัวแบ่งแสงขนาด 20 มม. × 20 มม. และแยกออกเป็น 2 ลำคือลำที่เดินทางไปยังสารตัวอย่าง (probe beam) และไปยังกระจกอ้างอิง (reference beam) ปรับเปลี่ยนตำแหน่งและระยะการจัดวางอุปกรณ์ทางแสงให้เส้นทางรวมของลำแสงสั้นที่สุดเท่าที่จะสั้นได้ เครื่องกำเนิดสัญญาณ (DS 340 15 MHz

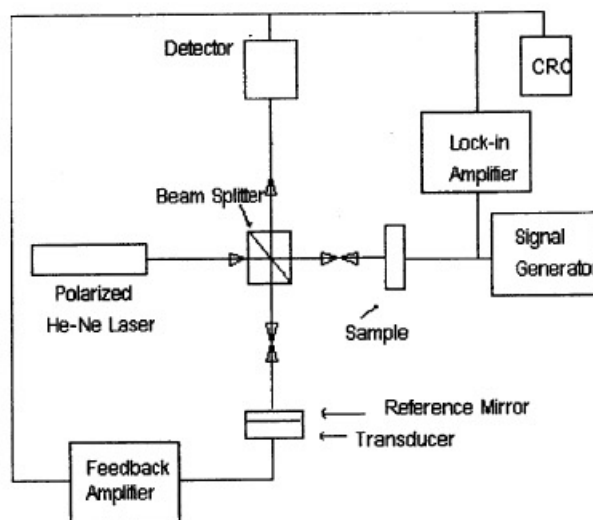


Figure 1. Schematic diagram of the Michelson He-Ne laser interferometer.

signal generator) ป้อนสัญญาณรูปซายน์ (sinusoidal signal) แอมพลิจูดและความถี่ต่างๆ แก่สารตัวอย่างในแนวตั้งฉากกับผิวหน้าและขั้วไฟฟ้าของสารตัวอย่าง แอมพลิจูดการสั่นของสารตัวอย่างจะแปรผันตามแอมพลิจูดของสัญญาณ การขจัดในแนวตั้งฉากกับผิวหน้าหรือในแนว

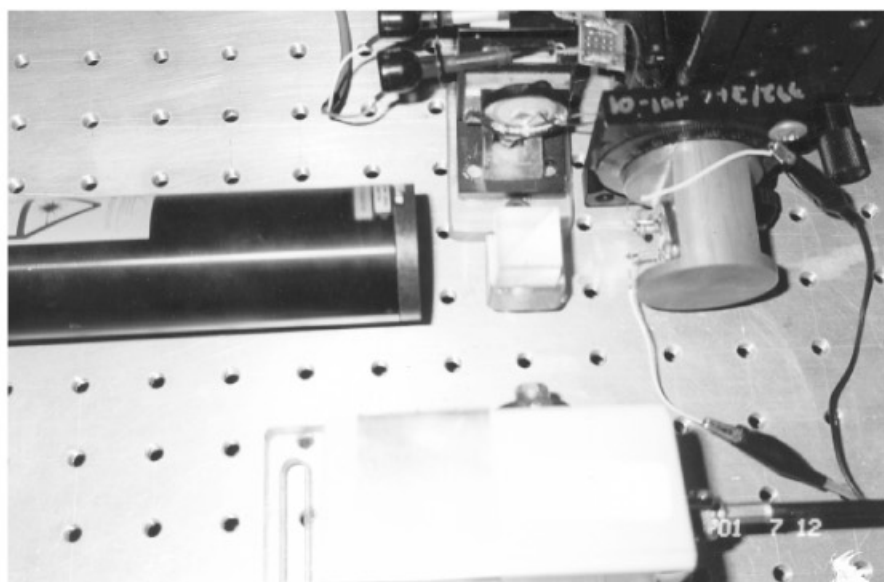


Figure 2. Pictorial view of the central area of the optical system.

ความหนาของสารตัวอย่าง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้ด้วยหัววัดโฟโตไดโอด (BPX 65 photodiode detector) ซึ่งมีรูรับแสง (aperture) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. (ปรับให้จุดศูนย์กลางรีวแทรกสอดมีขนาดใกล้เคียงหรือโตกว่ารูรับแสงเล็กน้อย)

การรบกวนโดยสิ่งแวดล้อม เช่น เสียงเครื่องปรับอากาศ กิจกรรมต่างๆ ในห้องปฏิบัติการและห้องข้างเคียง ฯลฯ เป็นสาเหตุสำคัญของการสะท้อนของอุปกรณ์ต่างๆ อันก่อให้เกิดการสั่นไหวของลำแสงซึ่งมีผลต่อค่า Δd และ I ในการรักษาเสถียรภาพของระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ทำได้โดยการติดกาว (epoxy) กระดาษเรียบขนาด 3 มม. $\times$ 3 มม. บนแผ่นทรานสดิวเซอร์ซึ่งต่อกับวงจรสัญญาณย้อนกลับ (feedback circuit) สัญญาณจากหัววัดจะผ่านวงจรนี้ซึ่งจะป้อนสัญญาณต่อไปยังแผ่นทรานสดิวเซอร์ ทำให้แผ่นทรานสดิวเซอร์พร้อมทั้งกระจกสั่น ช่วยให้ค่า Δd เริ่มต้นและ V_{pp} (ดูสมการ (5)) ขนาดคงที่ตลอดเวลาที่การรบกวนโดยสิ่งแวดล้อมมีความถี่การสั่นสะท้อนต่ำกว่า 1 กิโลเฮิรตซ์ลงมา (เป็นช่วงความถี่ที่ควบคุมได้ด้วยวงจรสัญญาณย้อนกลับ) ในขณะที่ทดลองสามารถติดตามดูสัญญาณที่ออกจากหัววัดและที่เกิดจากการสั่นของกระจกได้ด้วยออสซิลโลสโคป (HM 604-3 60 MHz oscilloscope หรือ CRO)

ป้อนสัญญาณความถี่คงที่และแอมพลิจูดตั้งแต่ 1-10 โวลต์แก่สารตัวอย่าง ทดลองทำนองเดียวกันที่ความถี่ต่างๆ ตั้งแต่ 1 กิโลเฮิรตซ์ขึ้นไป บันทึกค่า V_{out} จากเครื่องขยายสัญญาณลือคิน (Princeton 5210)⁵ และ V (applied or driving voltage) คำนวณค่า d_{ac} โดยอาศัยสมการ (5) เขียนกราฟระหว่าง d_{ac} และ V เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relationship) สำหรับสารตัวอย่างที่นำมาทดสอบการทำงานของระบบ ควรได้กราฟเส้นตรงที่มีความชัน (ดูสมการ (6)) เท่ากับหรือใกล้เคียงค่าคงที่พีโซอิเล็กทริกที่มีการรายงานและนำมาเป็นค่าอ้างอิง ถ้า

หากไม่เป็นเช่นนั้นจะต้องแก้ไขปรับปรุงระบบและอาจต้องเปลี่ยนแปลงวิธีการยึดจับสารตัวอย่าง

2. สารตัวอย่าง

สารตัวอย่างสำหรับทดสอบการทำงานของระบบคือลิเทียมนิโอเบต⁶ ซึ่งมีลักษณะโปร่งใสเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมหนา 1.00 ± 0.05 มม. พื้นที่หน้าตัด 3×3 ตร.มม. สารตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าคงที่พีโซอิเล็กทริกคือแผ่นกลมบาง (disk) ของผลิตภัณฑ์ PZT (GEC-Marconi poled lead zirconate titanate) และ PZT ที่เตรียมในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุโดยอาศัยปฏิกิริยาตรง (direct หรือ solid state reaction) ของสารตั้งต้น 3 ชนิดคือออกไซด์ของตะกั่ว (PbO_2) ออกไซด์ของเซอร์โคเนียม (ZrO_2) และออกไซด์ของไททาเนียม (TiO_2) อัตราส่วนของ $Zr:Ti$ ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction pattern) คือ 0.52:0.48 สารตัวอย่าง PZT ที่เตรียมได้มีลักษณะทึบแสง สีน้ำตาลอ่อน พื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.00 ± 0.05 มม. นำมาขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 จนมีความหนา 1.10 ± 0.05 มม. และขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1200 จนมีความหนา 0.1 ± 0.05 มม.

นำสารตัวอย่างลิเทียมนิโอเบตไปทำขั้วไฟฟ้าโลหะ (metallization) โดยอาศัยระบบฉาบผิวสุญญากาศ (JEE-400 vacuum coating system) และใช้โลหะอลูมิเนียม ความมันวาวของอลูมิเนียมจะช่วยให้การสะท้อนแสงเลเซอร์พร้อมทั้งเป็นตำแหน่งที่ติดตั้งไฟเพื่อป้อนสนามไฟฟ้าแก่สารตัวอย่าง สำหรับสารตัวอย่าง PZT ใช้กาวเงิน (silver paint) เป็นขั้วไฟฟ้า ขัดผิวกาวเงินด้วยผงเพชร (diamond paste) จนเป็นมันวาว จากนั้นนำสารตัวอย่าง PZT ไปผ่านการโพลิง (poling process)⁷ ที่อุณหภูมิห้อง (room temperature poling) เป็นเวลา 30 นาที ด้วยสนามไฟฟ้า 30 เมกกะโวลต์/เมตร

⁵ เครื่องมือไม่ตอบสนองต่อศักย์ไฟฟ้าตรง (DC voltage) มีขีดความสามารถอ่านค่าศักย์ไฟฟ้า rms (rms voltage) แอมพลิจูด 10 นาโนโวลต์ถึง 3 โวลต์ ช่วงความถี่ 0.5 เฮิรตซ์ ถึง 120 กิโลเฮิรตซ์

⁶ ได้รับความอนุเคราะห์จาก Dr. I. L. Guy, มหาวิทยาลัย Macquarie ประเทศออสเตรเลีย

⁷ สารตัวอย่างอยู่ในสนามไฟฟ้ากระแสตรงเป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้โพลาไรเซชันสุทธิในเนื้อสารอยู่ในแนวขนานกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ขนาดของสนามไฟฟ้าที่ใช้ขึ้นกับชนิดและลักษณะของสารตัวอย่างตลอดจนวิธีการโพลิงว่าเป็นแบบใด เช่น โพลิงด้วยความร้อน (thermal poling) โพลิงแบบโคโรนา (corona poling) เป็นต้น (Sessler, 1994)

การทดสอบในระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ จะยึดติดแต่ละสารตัวอย่างกับฐานโลหะ (metallic base) ด้วยกาวเงินและนำฐานพร้อมสารตัวอย่างไปยึดกับที่จับ (holder) Figure 2 แสดงที่จับทำด้วยทองเหลืองรูปทรงกระบอกตัน เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเท่ากันคือ 3.5 ± 0.1 ซม. เซาะผิวด้านข้างเป็นร่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 3.0 ± 0.1 ซม. สำหรับวางและยึดฐานไว้กับที่จับ หน้าที่ตัดด้านหนึ่งของที่จับต่อเข้ากับแป้นหมุน 360° (Newport 481A rotary stage) ซึ่งช่วยในการปรับให้สารตัวอย่างตั้งฉากกับลำแสงเลเซอร์ แป้นหมุนนี้ประกอบบนแท่นทรานสเลชัน (Newport 460A translation stage) ซึ่งเลื่อนไปมาได้โดยการหมุนเวอร์เนียไมโครมิเตอร์ 3 อันที่ต่ออยู่กับแท่นในลักษณะที่ทำให้ปรับระยะได้ 3 ทิศทาง (แนวตั้ง แนวขนานและตั้งฉากกับเลเซอร์)

ผลการทดลองและวิจารณ์

Figure 3 คือกราฟระยะขจัดในสารตัวอย่างลิเทียมไนโอเบตเป็นฟังก์ชันกับศักย์ไฟฟ้า 2-10 โวลต์ ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ จะเห็นว่าเป็นกราฟเชิงเส้น ในช่วงความถี่ 1-10 กิโลเฮิร์ตซ์ สารตัวอย่างมีพฤติกรรมทางพีโซอิเล็กทริกทำนองเดียวกันและค่าคงที่พีโซอิเล็กทริกเฉลี่ยในช่วงความถี่นี้เท่ากับ $(9.66 \pm 0.1) \times 10^{-12}$ เมตร/โวลต์ ในขณะที่

Royer และ Kmetik (1992) รายงานผลเท่ากับ 9.55×10^{-12} เมตร/โวลต์ ระยะขจัดที่ได้จากการทดสอบด้วยลิเทียมไนโอเบตมีค่าอยู่ในระดับ 10^{-12} เมตร ซึ่งก็คือกำลังแยกระยะขจัดของระบบที่มีเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนความยาวคลื่น 623.8 นาโนเมตรเป็นแหล่งกำเนิด ระบบจะไม่สามารถทดสอบสารตัวอย่างที่มีระยะขจัดน้อยกว่า 10^{-12} เมตร ได้ อย่างไรก็ตามสำหรับเซรามิกส์ตระกูล $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ ไม่ว่าอัตราส่วนใดๆ มีค่าคงที่พีโซอิเล็กทริกสูงกว่าลิเทียมไนโอเบต (Gualtieri *et al.*, 1994) จึงคาดว่าสำหรับศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ระยะขจัดใน PZT มีค่ามากกว่าของลิเทียมไนโอเบตและสามารถตรวจวัดได้ด้วยอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์

จากการทดสอบกับผลิตภัณฑ์ PZT ทั้งแผ่นซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 10 เท่าของแผ่นลิเทียมไนโอเบต ได้เลื่อนตำแหน่งจุดปลายของลำแสงเลเซอร์ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.68 มม.) เพื่อบันทึกผลการทดลองทั้งในแนวนอนและแนวตั้งตลอดทั้งผิวหน้าสารตัวอย่าง ค่าขนาด d_{33} ที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงใน Figure 4 จะเห็นว่ามีความแตกต่างของค่าตัวอย่างมาก สาเหตุจากสารตัวอย่างอาจยึดติดกับฐานไม่แน่นและไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดการบิด (bending) ในระหว่างได้รับสนามไฟฟ้าความถี่สูง จากการทดลองกับสารตัวอย่างที่มีขนาดเล็กลง (พื้นที่หน้าตัด 3 มม. $\times$ 4 มม.) และเลือกตำแหน่งจุดปลายของเลเซอร์ใกล้จุดศูนย์กลาง

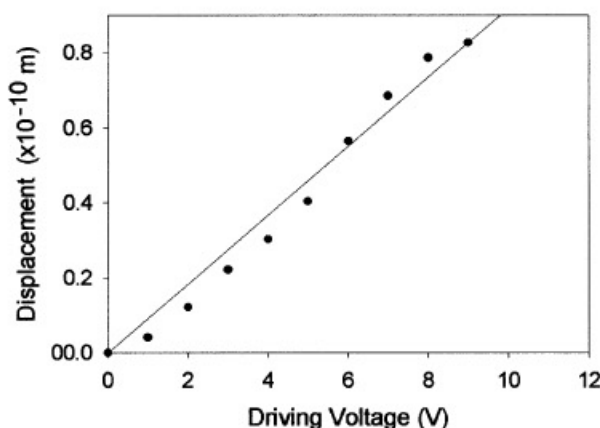


Figure 3. Variations in displacement with driving voltage measured at 1 kHz, for lithium niobate.

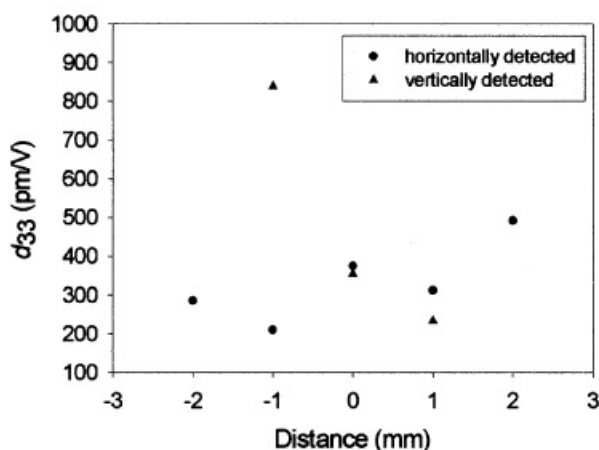


Figure 4. Variations in the d_{33} measured across the surface of the commercial PZT.

กลางสารตัวอย่างได้ผลการทดลองดังกราฟใน Figure 5 ความชันกราฟนี้เท่ากับ 270×10^{-12} เมตร/โวลต์ Figure 6 เป็นกราฟค่าคงที่พีโซอิเล็กทริกของ PZT เป็นฟังก์ชันกับความถี่ในช่วง 1-10 กิโลเฮิร์ตซ์ พบว่าที่ความถี่ 9 กิโลเฮิร์ตซ์ ค่า d_{33} สูงผิดปกติ แสดงว่าความถี่นี้เป็นความถี่ที่เกิดเรโซแนนซ์ทางกล (mechanical resonance) ของสารตัวอย่าง จากการทดลองทำนองเดียวกันกับสารตัวอย่าง PZT ที่เตรียมขึ้นพบว่ามีความถี่พีโซอิเล็กทริกเท่ากับ 33.1

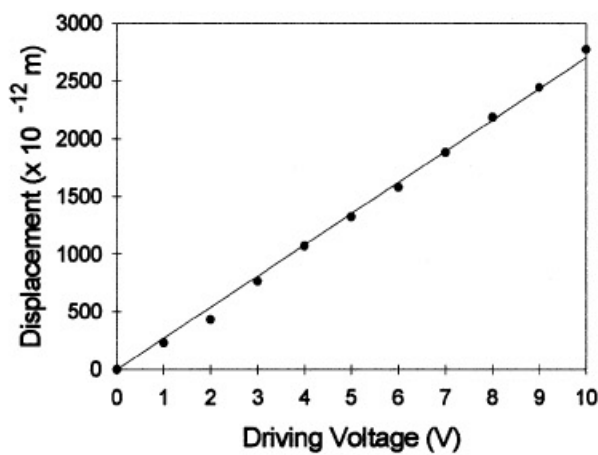


Figure 5. Variations in displacement with driving voltage for commercial PZT.

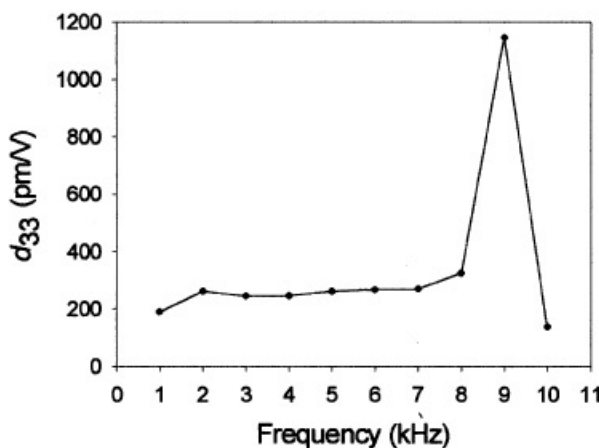


Figure 6. Plot of the measured d_{33} over the frequency range of 1 - 10 kHz for commercial PZT.

$\times 10^{-12}$ เมตร/โวลต์ ชิ้นงาน (workpiece) ที่ทำจาก PZT ที่เตรียมขึ้น (Figure 7) เมื่อได้รับสัญญาณไฟฟ้าในช่วงความถี่ 3 - 6 กิโลเฮิร์ตซ์ จะมีการสั่นทำให้เกิดเสียงในช่วงที่มนุษย์ได้ยิน (audible sound)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์แบบไมเคิลสันในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ มีขีดความสามารถของการแยกระยะขจัดได้ในระดับ 10^{-12} เมตร ผ่านการปรับเทียบระบบด้วยวัสดุพีโซอิเล็กทริกที่รู้ค่าคงที่พีโซอิเล็กทริกที่แน่นอน คือลิเทียมนิโอเบตด้วยความแม่นยำ 2% ระบบมีความละเอียดพอเพียงต่อการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดของเซรามิกส์เลดเซอร์โคเนตติตนาเนต ค่าคงที่พีโซอิเล็กทริกที่ได้สามารถบ่งชี้คุณภาพของสารตลอดจนกระบวนการเตรียมสารว่ามีประสิทธิภาพเพียงใด (Klee *et al.*, 1992) ค่าคงที่พีโซอิเล็กทริกของผลิตภัณฑ์ PZT ที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์แบบไมเคิลสันเท่ากับ 270 พิโคเมตร/โวลต์ ซึ่งบ่งชี้ว่าเซรามิกส์ชนิดนี้เหมาะสมสำหรับทำเป็นทรานสดิวเซอร์กำลังสูง (high power transducer) (Mason, 1950) จากการนำ PZT ที่เตรียมขึ้นมาทำเป็นชิ้นงาน พบว่าเมื่อได้รับสัญญาณไฟฟ้าแผ่นเซรามิกส์จะสั่นเกิดเสียงขึ้น เหมาะสมสำหรับทำเป็นตัวกำเนิดเสียง (buzzer) ประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ ได้ เช่น เครื่องส่งเสียงเตือน (alarm) เครื่องคิดเลข (calculator) เป็นต้น

งานวิจัยต่อเนื่องคือการตรวจสอบระดับสัญญาณรบกวนทางกลและอิเล็กทรอนิกส์ของระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ซึ่งมีช่วงกว้างความถี่ (bandwidth) 0.0125 เฮิร์ตซ์ ทั้งนี้จะช่วยในการปรับปรุงกำลังแยกระยะขจัดของระบบให้มีความละเอียดเข้าใกล้ค่าทางทฤษฎีคือ 10^{-14} เมตร (Kwaaitaal *et al.*, 1980) ซึ่งจะเพิ่มขีดความสามารถของระบบให้วัดค่าคงที่พีโซอิเล็กทริกได้แม้ในวัสดุพีโซอิเล็กทริกที่มีขนาดของการเปลี่ยนแปลงน้อยมากๆ (เมื่อเทียบกับเซรามิกส์ PZT) เช่น สารกึ่งตัวนำ ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดมีผลกระทบอย่างสูงต่อคุณสมบัติของสิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำนั้น (Muensit and Guy, 1998)

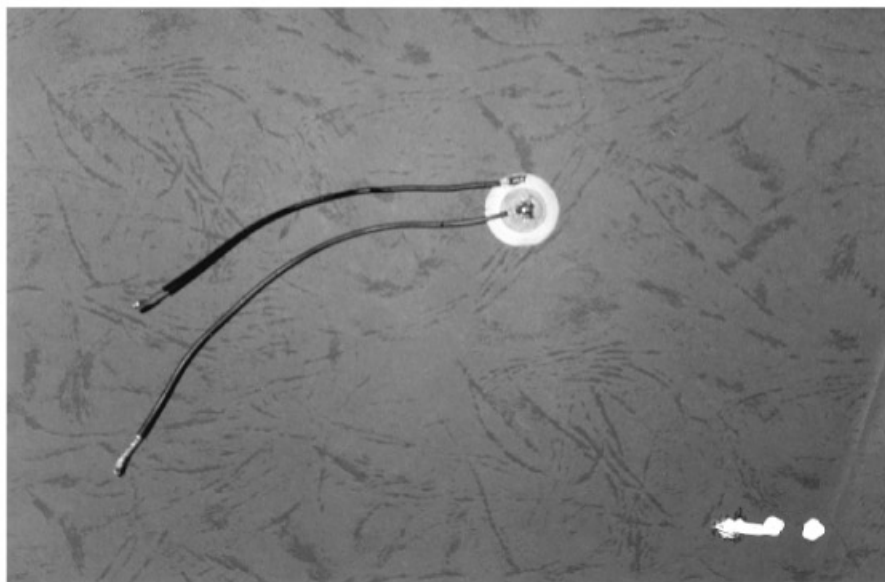


Figure 7. Workpiece made of sintered PZT disk of 10 mm diameter and 0.1 mm thickness glued on the brass plate to act as a bottom electrode.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Dr. I.L. Guy ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัย Macquarie ประเทศออสเตรเลีย ที่อนุเคราะห์สารตัวอย่างลิเทียมไนโอเบตและผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ขอขอบคุณอาจารย์ชัชชัย พุทซ้อน และนายเจษฎา คำทอง ที่ช่วยเตรียมสารตัวอย่างเซรามิกส์ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ขอขอบคุณคุณวีระ ไทยสยาม และคุณเจริญ อัมโร ที่ช่วยทำกระดานออปติก ทำที่จับยึดอุปกรณ์และช่วยเคลื่อนย้ายเครื่องมือ ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ที่สนับสนุนค่าวัสดุและอำนวยความสะดวกในการใช้ครุภัณฑ์ของภาควิชา งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ประเภททั่วไปประจำปี 2542 และทุนส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอกของทบวงมหาวิทยาลัย ประจำปี 2544

เอกสารอ้างอิง

Dankov, I. A., Tokarev, E. F., Kudryashov, G. S. and Belobaev, K. G. 1983. Elastic, piezoelectric, and dielectric properties of monocrystalline lithium

niobate between 78 and 800 K. Inor. Mat., 19(7): 1049-1054.

Gualtieri, G. J., Kosinski, J. A., and Ballato, A. 1994. Piezoelectric materials for acoustic wave applications. IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec., Freq. Contr., 41(1): 53-59.

Hariharan, P. 1992. Basics of interferometry, Academic Press, Inc., New York.

IEEE Standard on Piezoelectricity (ANSI/IEEE Standard 176-1987). 1988, The Institute of Electrical and Electronics Engineerings, Inc., New York.

Ikeda, T. 1990. Fundamentals of piezoelectricity, Oxford University Press, New York.

Klee, M., Eusemann, R., Waser, R., Brand, W. and van Hal, H. 1992. Processing and electrical properties of $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ ($x=0.2-0.75$) films: comparison of metallo-organic decomposition and sol-gel processes, J. Appl. Phys., 72(4): 1566-1575.

Kwaaitaal, Th., Luymes, B. J., and van der Pijl, G.A. 1980. Noise limitations of Michelson laser interferometers, J. Phys. D: Appl. Phys., 13: 1005-1015.

- Mason, W. P. 1950. Piezoelectric crystals and their application to ultrasonics, D. Van Nostrand Co., Inc., New York.
- Muensit, S. and Guy, I. L. 1998. The piezoelectric coefficients of gallium nitride thin films, Appl. Phys. Lett. 72(15) : 1896-1898.
- Nye, J. F. 1985. Physical properties of crystals. 2nd ed., Oxford University Press, New York.
- Royer, D., and Kmetik, V. 1992. Measurement of piezoelectric constants using an optical heterodyne interferometer. Electron. Letts. 28(19): 1828-1830.
- Sessler, G. M. 1994. Poling and properties of polarization of ferroelectric copolymers and composites, Trans. Tech. Publications : 248-274.
- Zhang, Q. M., Pan, W. Y. , and Cross, L. E. 1988. Laser Interferometer for the study of piezoelectric and electrostrictive strains, J. Appl. Phys, 63(8): 2492-2496.