บทที่ 3

วัสดุและวิธีการวิจัย

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงนิยามของค่าคงที่พิโซอิเล็กตริก ตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง สมการที่สามารถแทนปรากฏการณ์พิโซอิเล็กตริกในผลึก ตลอดจนวิธีที่นิยมใช้วัดค่าคงที่พิโซอิเล็กตริก ในบทที่ 3 นี้ จะกล่าวถึงวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง โดยเฉพาะในกระบวนการเตรียมสารตัวอย่างและอุปกรณ์ทางแสงที่ใช้ในระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์

1. วัสดุ

วัสดุที่ใช้แล้วหมดไปหรือสิ้นเปลืองในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยหลายชนิดดังนี้

1.1 สารตัวอย่าง ได้แก่ (ก) เซรามิก PZT ชุดที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า (GEC – Marconi, Australia) และ PZT ที่มีในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ซึ่งเตรียมโดยอาศัยปฏิกิริยาตรงให้มีความพรุนประมาณ 20% (ข) ผลึกเดี่ยวลิเธียมนิโอเบต ($LiNbO_3$) สำหรับปรับเทียบระบบ และ (ค) สารกึ่งตัวนำแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) และสารกึ่งตัวนำที่ประกอบด้วยฟิล์มบางของอลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ ($Al_xGa_{1-x}As$) กับฟิล์มบางแกลเลียมอาร์เซไนด์ จาก EPSRC III-V Growth Facility, มหาวิทยาลัย Sheffield ประเทศอังกฤษ รายละเอียดของสารตัวอย่างจะกล่าวถึงอีกครั้งในหัวข้อที่ 3

1.2 น้ำมันซิลิกา (silica oil) ใช้ในกระบวนการโพลิง ป้องกันการเกิดประกายไฟในขณะที่สารตัวอย่างได้รับสนามไฟฟ้าความเข้มสูง

1.3 ลวดทองบริสุทธิ์ 99.99% รหัส AU 005130/16 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 ไมโครเมตร

1.4 กาวเงิน (silver paste) ยี่ห้อ EPO-TEK สำหรับยึดสารตัวอย่างกับฐานรองและใช้ติดขั้วไฟฟ้าระหว่างผิวหน้าของสารตัวอย่างกับลวดทอง

1.5 ตะกั่วบัดกรีสำหรับทำขั้วไฟฟ้าให้สารตัวอย่าง

1.6 กระดาษทราย (SiC grinding paper) ยี่ห้อ Buehler เบอร์ P1200 P800 P400 และP240 ใช้ขัดผิวหน้าสารตัวอย่างประเภท PZT ให้ความหนาเหมาะสมสำหรับกระบวนการโพลิง

1.7 ผงเพชร (diamond paste) ยี่ห้อ Buehler Metadi II ขนาด 6 ไมโครเมตร 3 ไมโครเมตร และ 1 ไมโครเมตร สำหรับขัดผิวหน้าสารตัวอย่างให้สะท้อนแสงเลเซอร์

1.8 น้ำยาล้างผงเพชร (diamond paste suspension) ยี่ห้อ Buehler รุ่น Mastermet ใช้ล้างสารตัวอย่างหลังจากขัดกับผงเพชร

1.9 สารละลายอะซีโตนใช้ล้างผิวหน้าสารตัวอย่าง

1.10 ทองคำบริสุทธิ์สำหรับทำขั้วไฟฟ้าสารตัวอย่างประเภทสารกึ่งตัวนำ

1.11 อินเดียมสำหรับทำขั้วไฟฟ้าสารตัวอย่างประเภทสารกึ่งตัวนำ

1.12 แผ่นพลาสติกอะไครลิก (acrylic plastic) สำหรับทำกล่องครอบระบบและแผ่นรองอุปกรณ์ต่างๆ บนโต๊ะอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์

2. อุปกรณ์

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งอุปกรณ์การทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมสารและส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทางแสง ดังนี้

2.1 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมสารตัวอย่างมีดังนี้

2.1.1 เตาหน้าดำ (hotplate) ยี่ห้อ PNP รุ่น HS–2 ใช้สำหรับให้ความร้อนแก่กาวเงินเพื่อให้กาวเงินแห้ง

2.1.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Kilovolt Power supply) ยี่ห้อ PASCO scientific รุ่น SF-9586 ใช้สำหรับการโพลิงสารตัวอย่าง PZT

2.1.3 หัวแร้งบัดกรี ใช้ประกอบกับตะกั่วบัดกรีสำหรับทำขั้วไฟฟ้าของสารตัวอย่าง

2.1.4 กล้องจุลทัศน์ (microscope) ยี่ห้อ Hertel and Reuss Optik ใช้ในขั้นตอนการทำขั้วไฟฟ้าสารตัวอย่างสำหรับตรวจสอบการยึดติดระหว่างสายทองกับผิวหน้าสารตัวอย่างด้วยกาวเงิน

2.1.5 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร

2.1.6 ไมโครมิเตอร์ (micrometer) ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร

2.1.7 ระบบฉาบผิวสุญญากาศ (vacuum coating system) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JEEE-400

2.1.8 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า/แหล่งจ่ายไฟตรง (pA meter/DC voltage source) ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น HP4140B

2.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบทางแสงมีดังนี้

2.2.1 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ฮีเลียม นีออน (He-Ne Laser) ยี่ห้อ Uniphase รุ่น 1135P มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร กำลัง 20 มิลลิวัตต์

2.2.2 ตัวแบ่งแสง (beam splitter) แบ่งแอมพลิจูดของแสงเลเซอร์ออกเป็น 2 ส่วนมีความเข้มเท่ากันและบังคับให้แสงที่ถูกแบ่งเดินทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน

2.2.3 กระจกอ้างอิง (reference mirror) ซึ่งยึดแน่นบนทรานส์ดิวเซอร์พิโซอิเล็กตริกที่มีลักษณะเป็นแผ่นกลมบางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 ± 0.1 เซนติเมตร เมื่อทรานส์ดิวเซอร์ได้รับสัญญาณไฟฟ้าจะเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นแรงกลขับให้กระจกอ้างอิงสั่นด้วยความถี่ที่ต่ำกว่า 1 kHz (ดู 2.2.8)

2.2.4 หัววัดแสง (photodiode detector) ยี่ห้อ BPX 65 ใช้ไดโอดเปลี่ยนความเข้มแสงเป็นความต่างศักย์ รูรับแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.00 ± 0.05 มิลลิเมตร

2.2.5 แท่นทรานสเลชัน (translation stage) ยี่ห้อ Newport รุ่น 460A สำหรับวางแป้นหมุน สามารถเลื่อนไปมาได้โดยการหมุนเวอร์เนียร์ไมโครมิเตอร์ 3 อันใน 3 ทิศทาง คือ แนวดิ่ง แนวขนาน และแนวตั้งฉากกับเลเซอร์

2.2.6 แป้นหมุน 360 องศา (rotary stage) ยี่ห้อ Newport รุ่น 481A ประกบบนด้านหน้าของแท่นทรานสเลชัน

2.2.7 ที่จับยึดสารตัวอย่างเป็นแท่งทองเหลืองรูปทรงกระบอกตัน เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเท่ากันคือ 3.5 ± 0.1 เซนติเมตร ยึดไว้กับแป้นหมุน

2.2.8 วงจรป้อนสัญญาณย้อนกลับ (feedback circuit) เปรียบเทียบสัญญาณจากหัววัดแสงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายใน จากนั้นป้อนสัญญาณชดเชยไปยังทรานส์ดิวเซอร์ซึ่งจะทำให้กระจกอ้างอิงสั่น และทำให้ความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง จึงมีสัญญาณจากหัววัดแสงย้อนกลับไปยังวงจรนี้อีกอย่างต่อเนื่อง และวงจรนี้จะตอบสนองความถี่ที่ต่ำกว่า 1 kHz ลงไป

2.2.9 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้จาก 0 - 30 V

2.2.10 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 V

2.2.11 เครื่องขยายสัญญาณล็อกอิน (Lock-in amplifier) ยี่ห้อ Princeton รุ่น 5210 ใช้อ่านสัญญาณความต่างศักย์กระแสสลับและความต่างเฟสที่ได้จากหัววัดแสง

2.2.12 ออสซิลโลสโคป (oscilloscope) ยี่ห้อ HAMEG รุ่น HM 604 ใช้ติดตามสัญญาณที่ออกจากหัววัดแสง สัญญาณที่ออกจากวงจรป้อนสัญญาณย้อนกลับและสัญญาณที่ออกจากเครื่องขยายสัญญาณล็อกอิน

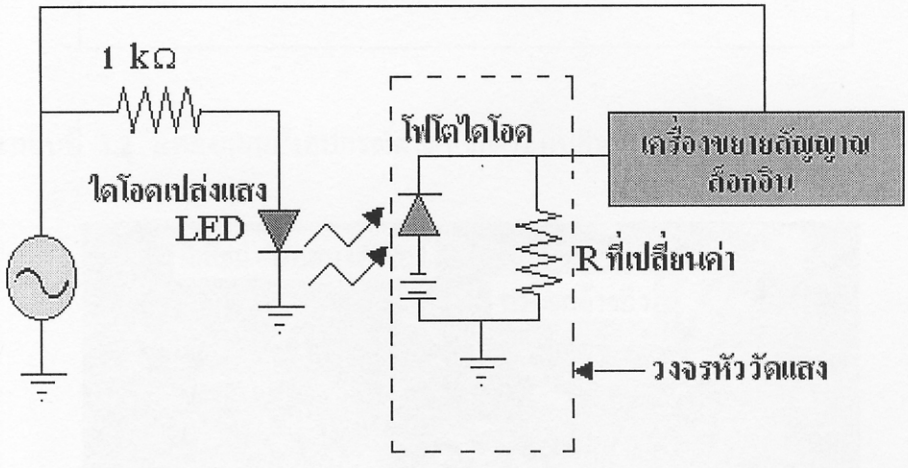
2.2.13 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (function generator) ยี่ห้อ Stanford Research Systems รุ่น DS 340 ใช้ป้อนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับแก่สารตัวอย่างด้วยแอมพลิจูดจาก 1 – 10 V ที่ความถี่ต่างๆ

3 วิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการวิจัย 4 ขั้นตอน คือ การตรวจสอบช่วงความถี่การทำงานของหัววัดแสง และความต้านทานที่เหมาะสมในวงจรของหัววัดแสง การปรับปรุงระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์จากเดิมที่มีกำลังแยกระยะทางในระดับ 10^{-12} เมตร ให้มีกำลังแยกระยะทางในระดับ 10^{-13} เมตร ขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่าง โดยกล่าวถึงรายละเอียดขั้นตอนในการเตรียมสารตัวอย่างก่อนนำมาติดตั้งลงบนที่วางสารตัวอย่าง และกล่าวถึงวิธีการวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของสารตัวอย่างโดยใช้ระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงและสอบเทียบระบบ

3.1 หาช่วงความถี่และความต้านทานที่เหมาะสมในวงจรหัววัดแสง

หัววัดแสงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่งของระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์ ประกอบด้วยโฟโตไดโอดซึ่งมีหน้าที่เปลี่ยนค่าความเข้มแสงเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อกับตัวต้านทานและแบตเตอรีขนาด 9 โวลต์ งานวิจัยส่วนนี้ต้องการหาช่วงความถี่ในการทำงานของหัววัดแสงและค่าความต้านทานภายในวงจรที่เหมาะสมโดยออกแบบการทดลองดังภาพประกอบที่ 3.1

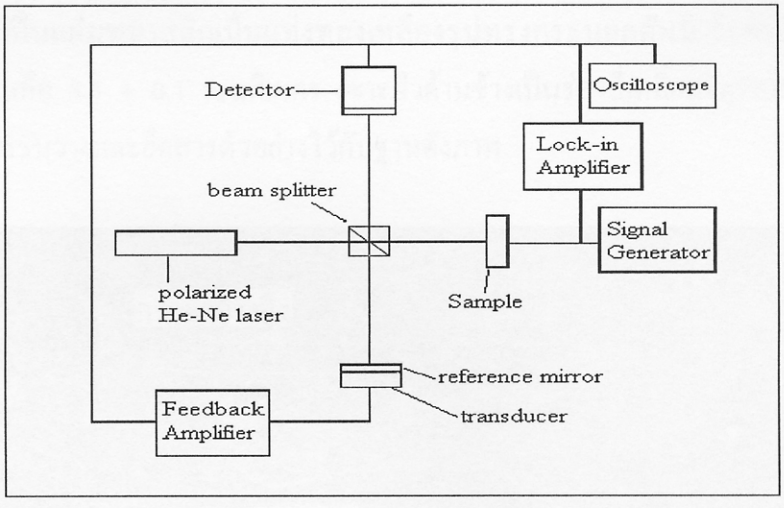


ภาพประกอบที่ 3.1 แสดงแผนผังอุปกรณ์สำหรับการทดลองเพื่อหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมในวงจรหัววัดแสง

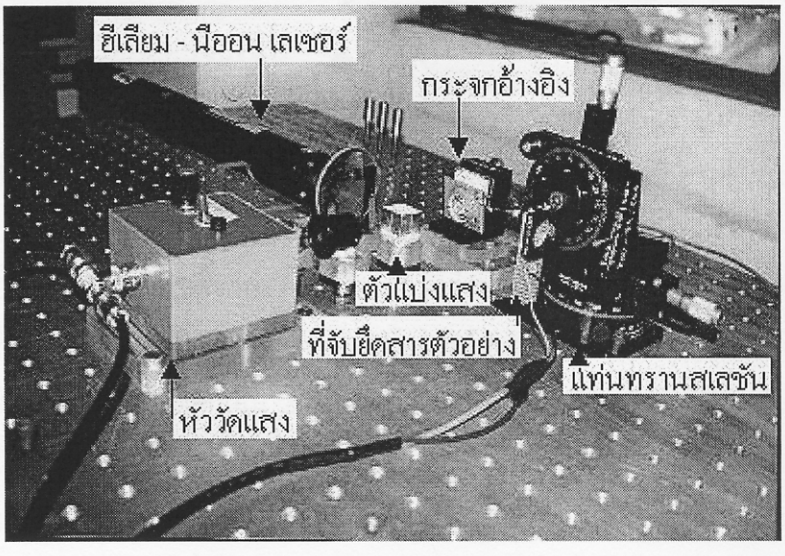
ป้อนสัญญาณให้แก่ไดโอดเปล่งแสงที่ความถี่ต่างๆ และวัดค่าความเข้มแสงที่ความถี่ต่างๆ จากเครื่องขยายสัญญาณล็อกอิน เปลี่ยนค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจรหัววัดแสงจาก 1 2 3.3 5 8.2 และ 10 $k\Omega$ ตามลำดับ เขียนกราฟระหว่างความต่างศักย์ที่วัดได้ที่ความถี่ต่างๆ กับ ความต้านทานที่ใช้ในวงจร

3.2 การปรับปรุงระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์

ก่อนเริ่มต้นโครงงานวิจัย ระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์ที่วางอยู่บนชั้นที่ 1 ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ อาคารภาควิชาฟิสิกส์ มีแผนผังดังภาพประกอบที่ 3.2 อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์และทางแสงทุกชิ้นที่เกี่ยวข้องวางอยู่บนโต๊ะทดลองเดียวกันด้วยเหตุนี้การทำงานของอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์บางชนิด เช่น แหล่งกำเนิดสัญญาณจะส่งเสียงรบกวนจนสามารถสังเกตได้

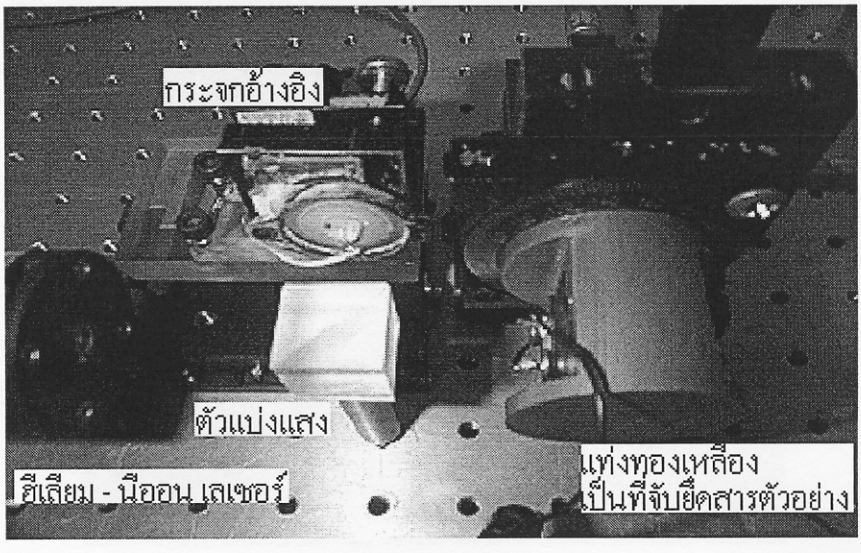


ภาพประกอบที่ 3.2 แสดงแผนผังอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบอินเทอร์เฟอร์โมิเตอร์



ภาพประกอบที่ 3.3 แสดงระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์ในระยะแรกก่อนการเคลื่อนย้าย

เคลื่อนย้ายระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์ซึ่งเดิมตั้งอยู่บนชั้นที่ 1 ของอาคารภาควิชาฟิสิกส์ ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ซึ่งพบว่ามีความพลุกพล่านทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อม มาที่ห้องปฏิบัติการชั้นใต้ดินเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวในขณะทำการทดลองปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าทุก ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทดลอง และเคลื่อนย้ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองแต่ ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวน เช่น เครื่องกำเนิดสัญญาณ เครื่องขยายสัญญาณล็อกอินและวงจรป้อน สัญญาณย้อนกลับให้ห่างจากชุดอุปกรณ์ทางแสงเปลี่ยนที่จับยึดสารตัวอย่างเพื่อความมั่นคงในการ จับยึดจากเดิมเป็นแผ่นพลาสติกเป็นแท่งทองเหลืองรูปทรงกระบอกตันมีเส้นผ่านศูนย์กลางและ ความยาวเท่ากันคือ 3.5 $\pm$ 0.1 เซนติเมตร เซาะผิวด้านข้างเป็นร่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 3.0 $\pm$ 0.1 เซนติเมตร สำหรับวางและยึดสารตัวอย่างไว้กับฐานดังภาพ

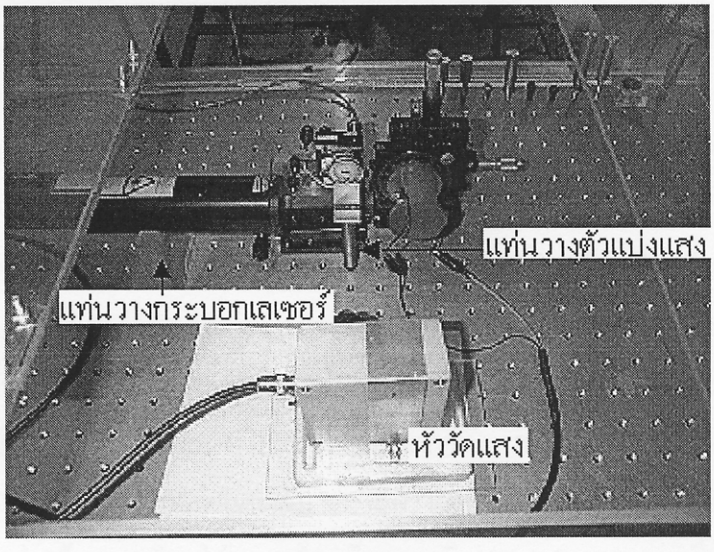


ภาพประกอบที่ 3.4 แสดงที่จับยึดสารตัวอย่าง แท่นวางตัวแบ่งแสง และกระจกอ้างอิง

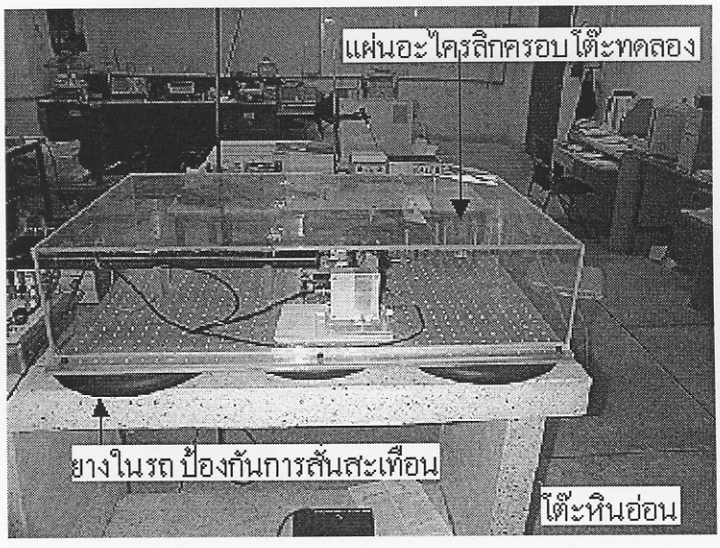
หลังจากปรับปรุงระบบดังกล่าวข้างต้นแล้ววัดค่าคงที่ d_{33} ของสารตัวอย่างเซรามิกที่ทราบ ค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกคือ $LiNbO_3$ โดยใช้ที่จับยึดสารตัวอย่างแบบใหม่ที่ปรับปรุงขึ้นปรากฏว่าผล การทดลองที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน 2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Royer และ Kmetik (1992) และระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์มีกำลังแยกความแตกต่างของระยะทางใน ระดับ 10^{-13} เมตร ในขณะทำการทดลองได้ตั้งค่าคงที่เวลา (time constant) ในการบันทึกค่าบน เครื่องขยายสัญญาณล็อกอินไว้ที่ 3 วินาที หมายความว่าสัญญาณที่วัดได้จะวัดในทุกๆ 5 เท่า ของค่า คงที่เวลาที่กำหนดและจะต้องคงที่ไม่ปรวนแปรภายในเวลาดังกล่าว ค่าที่จะจดบันทึกนั้นจะต้องมี ความคงที่อย่างน้อย 15 วินาที แสดงว่าระบบมีเสถียรภาพ

ทำการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์บางชิ้นให้เหมาะสมยิ่งขึ้นดังภาพประกอบที่ 3.5 เช่น แท่นวางหัวเลเซอร์ แท่นวางกระจกอ้างอิงที่ปรับปรุงจนสามารถเลื่อนเข้าออกได้เพื่อหาระยะความแตกต่างของเส้นทางเดินของแสงที่เหมาะสมได้ กลึงโลหะสแตนเลสทำเป็นแท่นวางตัวแบ่งแสง และแท่นวางเลนส์รวมแสง

หลังจากปรับปรุงระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์จนมีกำลังแยกความแตกต่างของระยะทางในระดับ 10^{-13} เมตร แล้วพบว่าระบบจะมีเสถียรภาพสูงสุดก็ต่อเมื่อไม่มีการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมใดๆ ในห้องเลย จึงใช้แผ่นอะไครลิกครอบโต๊ะที่วางอุปกรณ์ทางแสงของระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์ไว้ดังภาพประกอบที่ 3.5 และภาพประกอบที่ 3.6 พร้อมทั้งปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทดลองในขณะวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กตริก

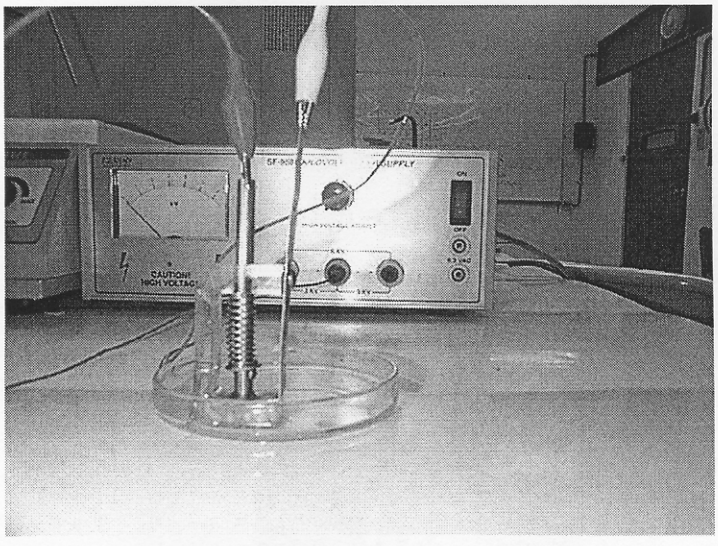


ภาพประกอบที่ 3.5 แสดงแท่นวางเลเซอร์ แท่นวางตัวแบ่งแสงและที่จับยึดสารตัวอย่าง



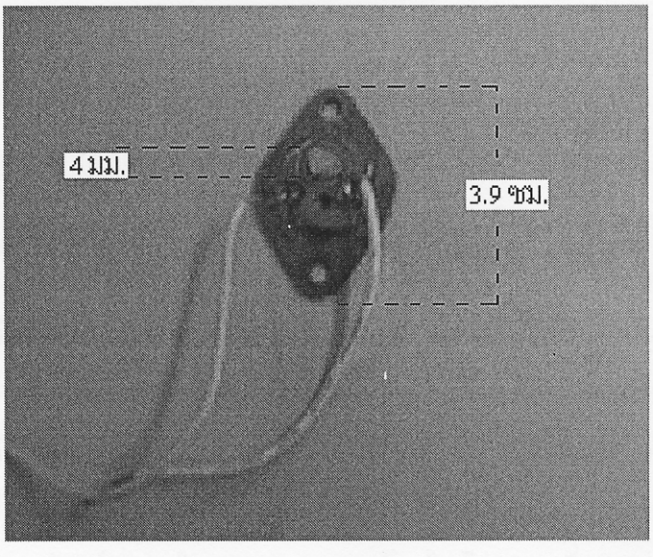
ภาพประกอบที่ 3.6 แสดงแผ่นอะไครลิคครอบโต๊ะทดลองป้องกันผงฝุ่นเกาะอุปกรณ์ทางแสง

3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่างก่อนนำไปทดสอบแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ สารตัวอย่างประเภท PZT ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า (ของบริษัท GEC-Marconi ประเทศออสเตรเลีย) ที่ผ่านการโพลิงแล้ว และ PZT จากห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุซึ่งเตรียมขึ้นโดยอาศัยปฏิกิริยาตรง (direct หรือ solid state reaction) ของสารตั้งต้น 3 ชนิดคือ PbO ZrO และ TiO สารตัวอย่างมีสีน้ำตาลอ่อน พื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.05 $\pm$ 0.05 มิลลิเมตร เตรียมสารตัวอย่างโดยเริ่มจากขัดผิวหน้าสารตัวอย่างให้เกิดความมันวาว ลดความหนาของสารตัวอย่างโดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 400 800 1200 ตามลำดับ จนได้ความหนาที่เหมาะสมสำหรับการโพลิง จากนั้นทาผิวหน้าสารตัวอย่างด้วยกาวเงิน ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส จนกาวเงินแห้งและสามารนำไฟฟ้าได้ ขัดผิวกาวเงินบนผิวหน้าสารตัวอย่างโดยใช้ผงเพชรร่วมกับน้ำยาล้างผงเพชรเริ่มจากขนาดความละเอียดของผงเพชร 6 ไมโครเมตร 3 ไมโครเมตร และ 1 ไมโครเมตร ตามลำดับ จนผิวหน้าสารตัวอย่างสามารถสะท้อนแสงเลเซอร์ได้ดี โดยสังเกตจากความไวของการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง นำสารตัวอย่างไปผ่านกระบวนการโพลิง (การให้สนามไฟฟ้ากระแสตรงความเข้มสูงแก่สารเพื่อให้เกิดไดโพลโมเมนต์สุทธิ สำหรับการโพลิงสาร PZT ในแนวความหนา สนามไฟฟ้าที่ใช้เป็นไปตามสมการ $E = 27 \times 2t^{-0.39}$ เมื่อ t คือความหนาในหน่วยเซนติเมตร และ E คือสนามไฟฟ้าในหน่วย กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร) โดยความต่างศักย์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับความหนาของสารตัวอย่าง สำหรับสารตัวอย่างที่ใช้มีความหนา 0.55 $\pm$ 0.05 มิลลิเมตร ใช้ความต่างศักย์ 2.5 kV เป็นเวลา 30 นาที (Jaffe et al., 1971: 264) สารตัวอย่างพร้อมขั้วไฟฟ้าถูกจุ่มลงในน้ำมันซิลิกา เพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟเนื่องจากสนามไฟฟ้าความเข้มสูง



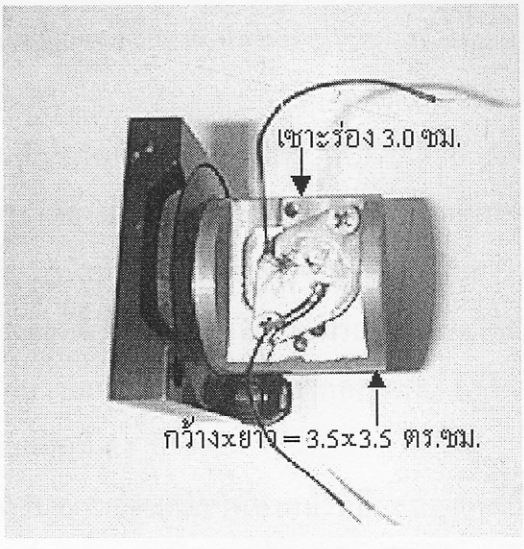
ภาพประกอบที่ 3.7 แสดงอุปกรณ์สำหรับการโพลิงสารตัวอย่าง

นำสารตัวอย่างที่ผ่านการขัดผิวหน้าและผ่านการโพลิงแล้วไปทำขั้วไฟฟ้าโดยวางสารตัวอย่างลงบนฐานของโลหะโดยใช้กาวเงินและให้ความร้อนจนกาวเงินแข็งตัว ฐานของโลหะนี้จะทำหน้าที่เป็นขั้วล่างของสารตัวอย่าง ใช้ลวดทองคำซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 ไมโครเมตร ติดลงบนผิวหน้าสารตัวอย่างโดยใช้กาวเงินลวดทองคำนี้จะเป็นขั้วไฟฟ้าด้านบนของสารตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 3.8 แสดงสารตัวอย่าง PZT บนฐานรอง

3.3.2 สารตัวอย่าง $LiNbO_3$ เตรียมสารตัวอย่างโดยการนำ $LiNbO_3$ ที่มีพื้นที่ผิว (5.00± 0.05) × (7.00 ± 0.05) ตารางมิลลิเมตร หนา 0.50 ± 0.05 มิลลิเมตร ไปฉาบผิวหน้าสารตัวอย่าง (ระบบฉาบผิวสุญญากาศ) โดยใช้อลูมิเนียมเป็นโลหะฉาบให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จุดที่ฉาบอลูมิเนียมนี้จะทำหน้าที่สะท้อนแสงเลเซอร์และเป็นขั้วไฟฟ้าด้านบนของสารตัวอย่าง ขั้วไฟฟ้าด้านล่างทำได้โดยการยึดติดกับฐานโลหะโดยใช้กาวเงิน



ภาพประกอบที่ 3.9 แสดงสารตัวอย่าง $LiNbO_3$ บนฐานรอง

3.3.3 สารตัวอย่างประเภทกึ่งตัวนำ GaAs และ ฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำ $Al_xGa_{1-x}As$ เตรียมสารตัวอย่าง GaAs โดยการตัดสารตัวอย่างจากแว่นผลึกความหนา 0.50 ± 0.05 มิลลิเมตร ให้มีพื้นที่ผิว (4.20 ± 0.05) × (6.50 ± 0.05) ตารางมิลลิเมตร และตัด $Al_xGa_{1-x}As$ จากแว่นผลึกความหนา 0.50 ± 0.05 มิลลิเมตร มิลลิเมตร ให้มีพื้นที่ผิว (4.20 ± 0.05) × (6.50 ± 0.05) ตารางมิลลิเมตร ฉาบผิวหน้าสารตัวอย่างทั้งสองชนิดนี้ด้วยวิธีการระเหิดในสุญญากาศ (vacuum evaporation) โดยโลหะที่นำมาระเหิดคือ อินเดียมและทอง รูปร่างและขนาดของการฉาบจะเป็นวงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จุดที่ฉาบอินเดียมและทองนี้จะทำหน้าที่สะท้อนแสงเลเซอร์และเป็นขั้วไฟฟ้าด้านบนของสารตัวอย่างขั้วไฟฟ้าด้านล่างได้จากการยึดติดผิวหน้าด้านล่างของสารตัวอย่างกับฐานโลหะด้วยกาวเงินทำนองเดียวกันกับสารตัวอย่าง PZT หลังจากฉาบด้วยอินเดียมและทองนำสารตัวอย่างไปอบอ่อน (การวางสารตัวอย่างภายในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 300 – 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที) (Sze, 1969) จากนั้นนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้า ($I-V$ characteristic) โดยเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า/แหล่งจ่ายไฟตรง

3.4 วิธีการวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กตริก

นำสารตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมสารตัวอย่างมาติดตั้งที่ระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์โดยใช้สกรูยึดฐานโลหะ (ที่มีสารตัวอย่างติดอยู่ด้วย) ติดบนแท่นทองเหลืองและแป้นหมุน จากนั้นนำแป้นหมุนยึดติดกับแท่นทรานสเลชัน ปรับหามุมและตำแหน่งที่สามารถสะท้อนแสงเลเซอร์ได้ดีที่สุด จากนั้นทำตามขั้นตอนดังนี้

3.4.1 เปิดแสงเลเซอร์ หัววัดแสง และออสซิลโลสโคป

3.4.2 ปรับทางเดินแสงเลเซอร์ที่สะท้อนจากสารตัวอย่าง และแผ่นกระจกอ้างอิงให้รวมเป็นจุดเดียวกัน

3.4.3 เปิดวงจรป้อนสัญญาณย้อนกลับให้ทำหน้าที่ปรับเทียบ (calibrate mode) เพื่อดูการสั่นของกระจกอ้างอิงและหาค่า V_{p-p} ที่มากที่สุดที่สอดคล้องกับสมการที่ 2.34 ในระหว่างนี้สามารถปรับมุมตกกระทบของเลเซอร์บนสารตัวอย่างหรือ ปรับมุมของกระจกอ้างอิงได้เล็กน้อย เพื่อให้เกิดการแทรกสอดได้ดีที่สุดบันทึกค่าความต่างศักย์เนื่องจากความเข้มแสงที่อ่านได้จากออสซิลโลสโคปลักษณะของสัญญาณแสดงภาพประกอบที่ 4.4

3.4.4 เปิดวงจรป้อนสัญญาณย้อนกลับให้ทำหน้าที่ป้อนสัญญาณย้อนกลับ (feedback mode) และเริ่มวัดแอมพลิจูดการสั่นของสารตัวอย่าง โดยการป้อนสนามไฟฟ้ากระแสสลับให้แก่สารตัวอย่างจากเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยเริ่มจากความถี่คงที่ 1 kHz และแอมพลิจูดตั้งแต่ 1 - 10 V

3.4.5 วัดความต่างศักย์และมุมเฟสของสัญญาณจากเครื่องขยายสัญญาณล็อกอิน ในแต่ละแอมพลิจูดของความต่างศักย์ของสัญญาณที่ป้อนให้แก่สารตัวอย่าง

3.4.6 ในระหว่างการอ่านค่าจากเครื่องขยายสัญญาณล็อกอินค่า V_{p-p} ต้องคงที่ตลอดการบันทึก (สามารถตรวจสอบได้โดยปรับเปลี่ยนวงจรป้อนสัญญาณย้อนกลับให้ทำหน้าที่ปรับเทียบสัญญาณ)

3.4.7 คำนวณค่าการกระจัดที่ผิวหน้าสารตัวอย่างจากสมการที่ 2.45 ได้ d_{ac}

3.4.8 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง d_{ac} และสัญญาณที่ป้อนให้กับสารตัวอย่าง ความชันของกราฟจะเป็นการกระจัดต่อความต่างศักย์ที่ให้หรือเป็นค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกในแนวความหนาของสารตัวอย่าง

3.4.9 ทดลองทำนองเดียวกันนี้โดยเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณที่ป้อนให้แก่สารตัวอย่างเป็นความถี่ในช่วงที่สนใจ

3.4.10 เขียนกราฟระหว่างความถี่ที่ใช้กับค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกในแนวความหนาคำนวนค่าเฉลี่ยของค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกจากทุกๆ ความถี่ที่ไม่มีการเกิดเรโซแนนซ์ทางกลของสารตัวอย่าง