

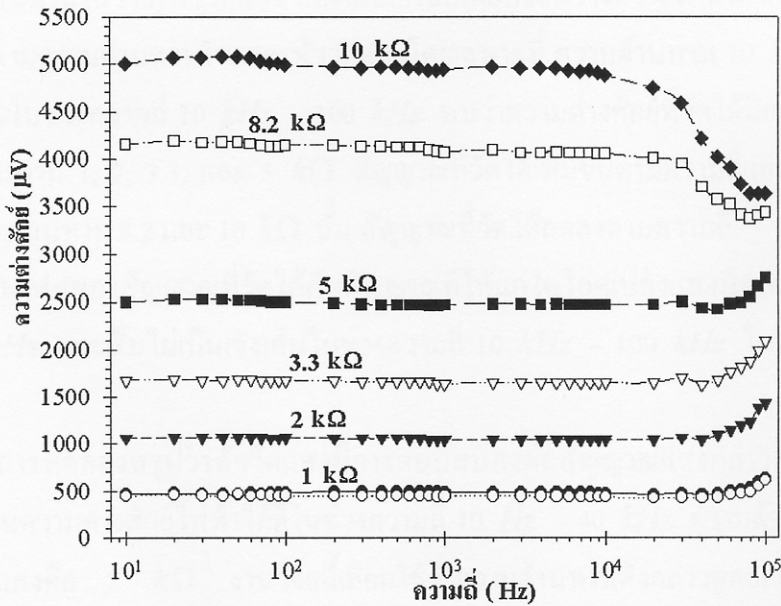
บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผล

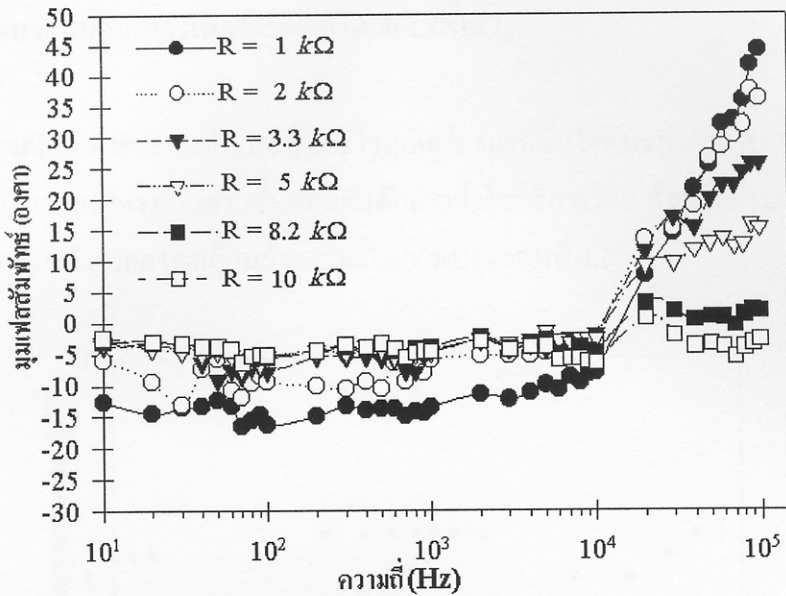
สำหรับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือการหาช่วงความถี่การทำงานและหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมในวงจรของหัววัดสัญญาณแสงปรับปรุงระบบอินเทอร์เฟียร์โรมิเตอร์ให้มีกำลังแยกการกระจัดเพียงพอต่อการวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกของสารตัวอย่างโดยการปรับเทียบระบบกับสารตัวอย่างที่ทราบค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกนาระบบอินเทอร์เฟียร์โรมิเตอร์มาวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกของสารตัวอย่างที่ต้องการทราบค่าผลการทดลองในแต่ละส่วนนั้นมีความสอดคล้องกันและเรียงลำดับตามขั้นตอนการวิจัย

1. การตอบสนองต่อแสงของหัววัดแสงที่ช่วงความถี่ต่างๆ

ก่อนนำหัววัดแสงมาใช้กับระบบอินเทอร์เฟียร์โรมิเตอร์ ได้ทดสอบการตอบสนองต่อแสงที่ความถี่ต่างๆ และได้ผลการทดลองดังภาพประกอบที่ 4.1 และ 4.2



ภาพประกอบที่ 4.1 แสดงความต่างศักย์ของความเข้มแสงที่ความถี่ต่างๆ เมื่อความต้านทานภายในวงจรมีค่า 1 2 3.3 5 8.2 และ 10 kΩ



ภาพประกอบที่ 4.2 แสดงความต่างเฟสของสัญญาณที่วัดได้จากหัววัดแสงที่ความถี่ต่างๆ

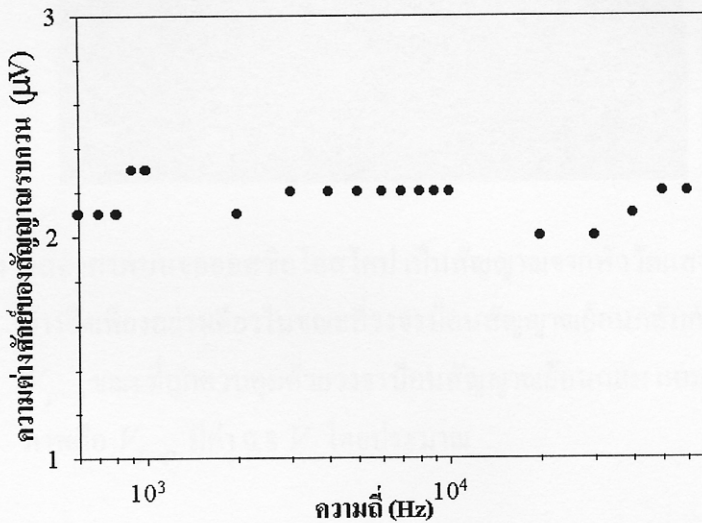
ความต่างศักย์ของความเข้มแสงที่วัดได้ผ่านหัววัดแสง ที่ความต้านทานต่างๆ กันในวงจรหัววัดแสง จากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่าในช่วงความถี่ตั้งแต่ $10\text{ Hz} - 10\text{ kHz}$ สัญญาณที่วัดได้มีค่าคงที่ในแต่ละความต้านทานในวงจรหัววัดแสง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความต้านทานต่างๆ พบว่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้นตามความต้านทานในวงจรหัววัดแสง โดยเฉพาะที่ ความต้านทาน $10\text{ k}\Omega$ ความต่างศักย์ที่ได้ไม่คงที่ และในช่วงความถี่ $10\text{ kHz} - 100\text{ kHz}$ พบว่าความต่างศักย์ที่วัดได้มีค่าไม่คงที่ กล่าวคือสำหรับความต้านทาน $1, 2, 3.3,$ และ $5\text{ k}\Omega$ สัญญาณที่วัดได้เพิ่มขึ้นตามความถี่และตามค่าความต้านทาน ส่วนที่ความต้านทาน 8.2 และ $10\text{ k}\Omega$ นั้น สัญญาณที่วัดได้ลดลงตามความถี่

ความต่างเฟสของสัญญาณที่วัดได้กับสัญญาณที่ให้แก่อโอดเปล่งแสงมีค่าคงที่ในช่วงความถี่ $10\text{ Hz} - 10\text{ kHz}$ และเริ่มไม่เป็นเชิงเส้นในช่วงความถี่ $10\text{ kHz} - 100\text{ kHz}$ ในทุกๆ ค่าของความต้านทาน

จากผลการทดลองสรุปว่าหัววัดแสงมีการตอบสนองต่อสัญญาณแสงกล่าวคือสามารถเปลี่ยนความเข้มแสงเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ดีในช่วงความถี่ $10\text{ Hz} - 40\text{ kHz}$ ความต้านทานที่เหมาะสมในวงจรของหัววัดแสงคือ $2\text{ k}\Omega$ งานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าความต้านทานดังกล่าวตลอดการทำการทดลอง สำหรับความต้านทานภายในวงจรหัววัดแสงนั้นในแต่ละงานวิจัยอาจจะใช้ค่าความต้านทานไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับช่วงความถี่ที่โฟโตไดโอดตอบสนองต่อแสง

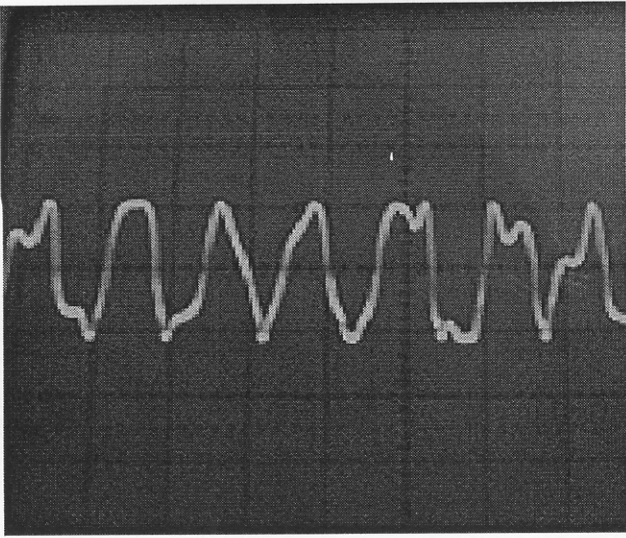
2. การเปรียบเทียบระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ด้วย LiNbO_3

หลังจากเคลื่อนย้ายระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ลงมาที่ชั้นใต้ดินของอาคารภาควิชาฟิสิกส์ วัดสัญญาณรบกวนทางกลของระบบตามขั้นตอนที่ได้กล่าวถึงในวิธีการวิจัย สัญญาณรบกวนของระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์หลังจากการเคลื่อนย้ายแสดงในภาพประกอบที่ 4.3

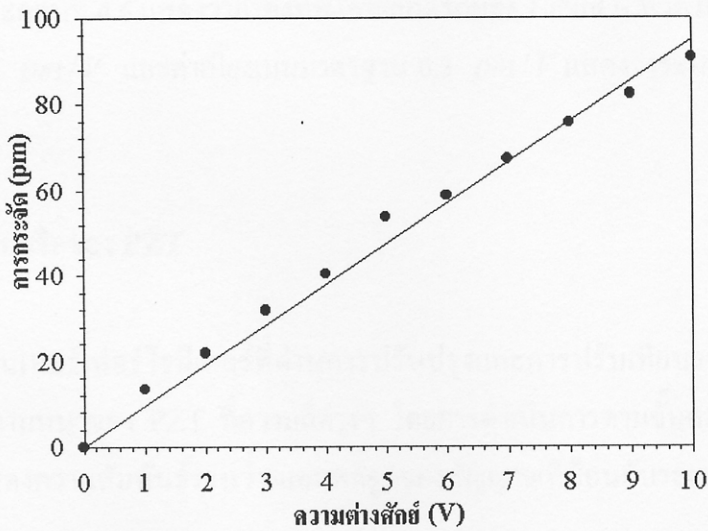


ภาพประกอบที่ 4.3 แสดงความต่างศักย์ของสัญญาณรบกวนของระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์

จากภาพประกอบที่ 4.3 แสดงว่าสัญญาณรบกวนที่มากที่สุดที่เป็นไปได้คือ $2.3 \times 10^{-6} V$ โดยเฉพาะในช่วงความถี่ $2 - 10 \text{ kHz}$ พบว่าสัญญาณรบกวนมีค่าคงที่และความต่างศักย์นี้เมื่อนำมาคำนวณเป็นการกระจัดที่ผิวหน้าสารตัวอย่างโดยอาศัยสมการที่ 2.39 พบว่าได้การกระจัดที่ผิวหน้า 0.23×10^{-12} เมตร สัญญาณรบกวนนี้จึงมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับสัญญาณที่แท้จริงที่คาดว่าจะวัดได้จากสารตัวอย่างเมื่อนำ LiNbO_3 ที่มีขั้วไฟฟ้ามายึดติดในระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์และเปิดวงจรป้อนสัญญาณย้อนกลับ โดยไม่มีการสั่นของ LiNbO_3 พบว่าสัญญาณที่เกิดจากการสั่นของกระจกอ้างอิงมีลักษณะดังภาพประกอบที่ 4.4 ซึ่งทำให้ได้ค่า V_{p-p} จากนั้นป้อนสัญญาณให้กับสารตัวอย่างและวัดการกระจัดผิวหน้า ภาพประกอบที่ 4.5 แสดงระยะการกระจัดต่อศักย์ไฟฟ้าที่ให้ จากกราฟความชันของกราฟคือค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกในแนวความหนาของสารตัวอย่าง



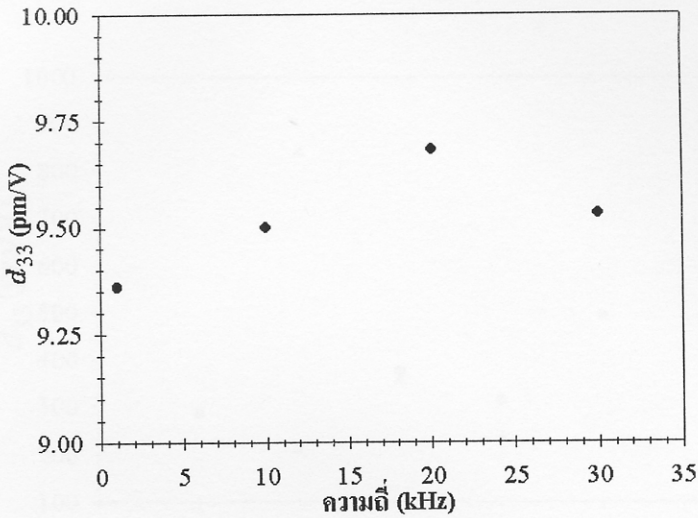
ภาพประกอบที่ 4.4 แสดงภาพบนจอออสซิลโลสโคป เป็นสัญญาณจากหัววัดแสงเมื่อมีการสั่นกระจก อ่างอิงเพียงอย่างเดียวในขณะที่วงจรมอดูเลชันย้อนกลับกำลังทำงาน ในภาพ V_{p-p} ขณะที่ถูกรบกวนด้วยวงจรมอดูเลชันย้อนกลับ แอมพลิจูดของสัญญาณใน ภาพคือ V_{p-p} มีค่า $0.8 V$ โดยประมาณ



ภาพประกอบที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับความต่างศักย์ไฟฟ้าของ LiNbO_3 ที่ ความถี่ 10 kHz

ความชันของกราฟคือค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของ LiNbO_3 พบว่า $d_{33} = 9.50 \text{ pm/V}$ ที่ความถี่ 10 kHz ในขณะที่ Royer และ Kmetik (1992) รายงานผล $d_{33} = 9.55 \text{ pm/V}$ แสดงว่าระบบ

อินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ที่มีอยู่มีความคลาดเคลื่อน 2% เมื่อเปรียบเทียบค่าที่มีในรายงาน ภาพประกอบที่ 4.6 แสดงค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกที่วัดได้ในช่วงความถี่ 1 - 30 kHz



ภาพประกอบที่ 4.6 แสดงค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของ LiNbO_3 ที่ความถี่ในช่วง 1 - 30 kHz

จากภาพประกอบที่ 4.6 แสดงว่าค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของ LiNbO_3 ที่วัดได้ในช่วงความถี่ 1-30 kHz มีค่าเฉลี่ย 9.5 pm/V และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.3 pm/V แสดงว่าระบบมีความเที่ยงตรงในช่วงความถี่นี้

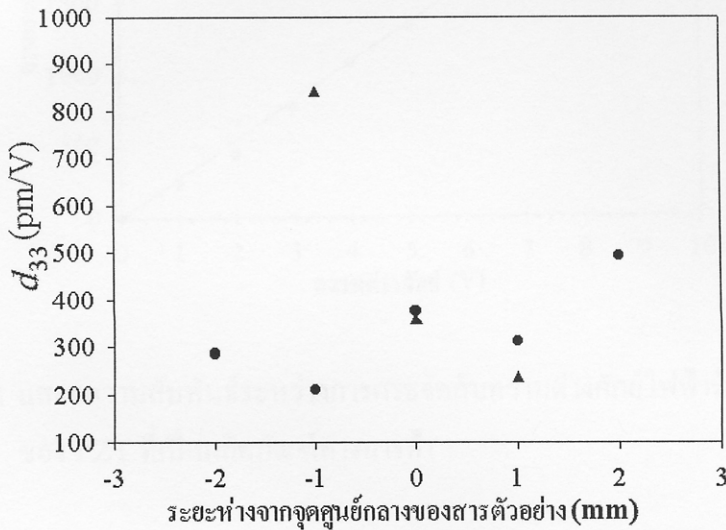
3. ค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของ PZT

ใช้ระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ที่ผ่านการปรับปรุงและการปรับเทียบระบบวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกในแนวความหนาของ PZT ที่ความถี่ต่างๆ โดยการดำเนินการตามขั้นตอนที่ได้กล่าวในบทที่ 3 ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของสัญญาณที่ป้อนกับระยะการกระจัดที่ผิวหน้าสารตัวอย่างดังนี้

3.1 PZT ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า

จากการทดสอบวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของ PZT ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าโดยใช้สารตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.00 ± 0.05 มิลลิเมตร และมีความหนา 1.05 ± 0.05 มิลลิเมตร วางสารตัวอย่างทั้งแผ่นในระบบของแท่นทรานสเลชันให้ลำแสงเลเซอร์ตกกระทบบที่ตำแหน่งต่างๆ บนผิวหน้าของสารตัวอย่างทั้งในแนวตั้งและแนวนอนตลอดทั้งผิวหน้า กำหนดค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.7 จะเห็นว่ามีความแตกต่างของผลการวัด

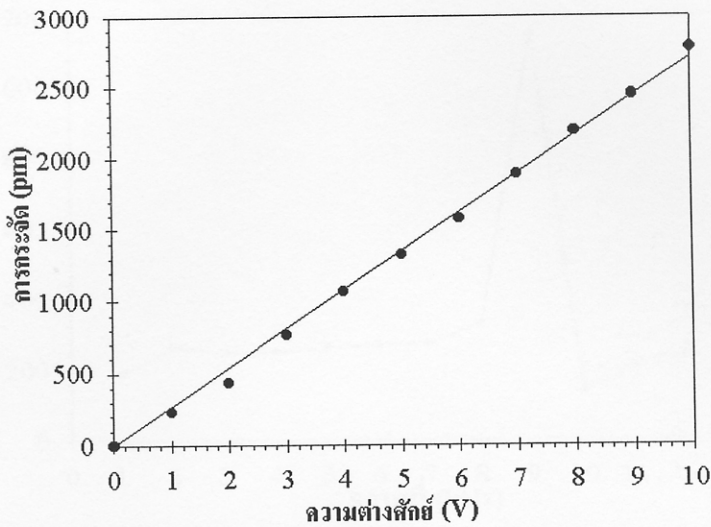
เป็นอย่างมาก สาเหตุเนื่องมาจากสารตัวอย่างอาจจะยึดติดกับฐานรองไม่แน่นและไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งผิวล่างของสารตัวอย่าง ทำให้สารตัวอย่างเกิดการบิดหรือโค้งงอ (bending) ในระหว่างได้รับสนามไฟฟ้าความถี่สูง



ภาพประกอบที่ 4.7 แสดงค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกที่วัดได้ที่ตำแหน่งต่างๆ บนผิวหน้าสารตัวอย่าง โดย (●) คือระยะห่างในแนวนอน (▲) คือระยะห่างในแนวตั้ง

ผลการทดลองข้างต้นยังไม่สามารถยืนยันค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกที่วัดได้ เพราะไม่สามารถแน่ใจได้ว่าการกระจัดที่วัดได้เป็นการกระจัดที่เกิดจากการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าที่ให้ หรือเป็นการกระจัดที่มาจากการโค้งงอเนื่องจากสารตัวอย่างยึดติดกับฐานรองไม่แน่นพอ ค่า d_{33} ที่วัดได้ไม่เท่ากันตลอดพื้นที่ผิวของสาร ปรับปรุงโดยการลดขนาดของสารตัวอย่างให้มีพื้นที่ผิวน้อยลงและพยายามใช้กาวเงินติดสารตัวอย่างกับฐานรองอย่างสม่ำเสมอ (Kholkin et al., 1996) ค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกที่วัดได้ต่อไปนี้จะเกิดเป็นของสารตัวอย่างที่มีขนาดพื้นที่ผิว 4.00×4.00 ตารางมิลลิเมตร

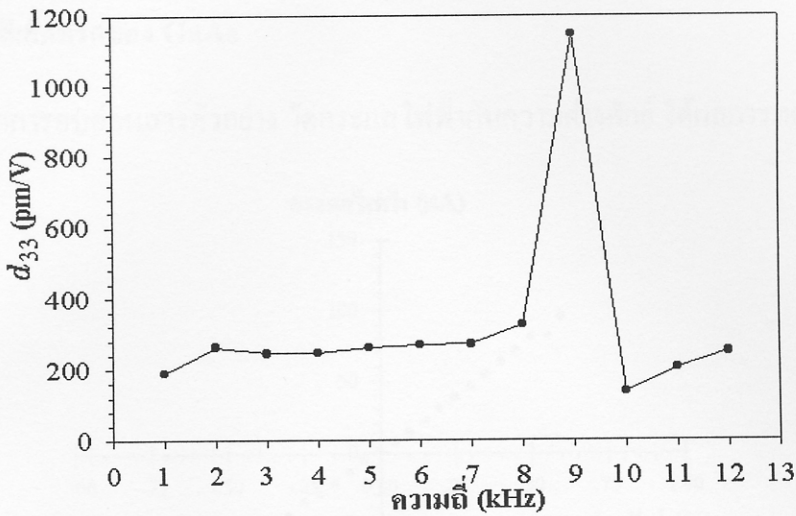
หลังจากลดขนาดของสารตัวอย่างเพื่อลดปัญหาการโค้งงอของสารตัวอย่างแล้วนำสารตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกมาวัดค่าดังกล่าว ภาพประกอบที่ 4.8 แสดงระยะการกระจัดในสารตัวอย่าง PZT ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าเป็นฟังก์ชันกับศักย์ไฟฟ้า 1 โวลต์ - 10 โวลต์ ที่ความถี่ 7 kHz จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเชิงเส้น



ภาพประกอบที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ความถี่ 7 kHz ของ PZT ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า

จากกราฟแสดงว่าสารตัวอย่างมีพฤติกรรมทางพิโซอิเล็กทริก ความชันของกราฟคืออัตราส่วนระหว่างการกระจัดต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกในแนวความหนาของ PZT นั้นเอง ภาพประกอบที่ 4.9 แสดงค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกของ PZT ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้ากับความถี่ในช่วง 1-12 kHz พบว่าที่ความถี่ 9 kHz ค่า d_{33} สูงผิดปกติ และขณะทดลองได้ยินเสียงที่เกิดขึ้นจากสารตัวอย่าง จึงคาดว่าความถี่นี้อาจเป็นความถี่ที่เกิดเรโซแนนซ์ทางกล (mechanical resonance) ของสารตัวอย่าง ดังนั้นในช่วงความถี่ 1-8 kHz PZT ทางการค้ามี $d_{33} = (250 \pm 50) \text{ pm/V}$ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตคือ $d_{33} = 260 \text{ pC/N}$ ¹ ค่าความคลาดเคลื่อนจึงต่ำกว่า 2%

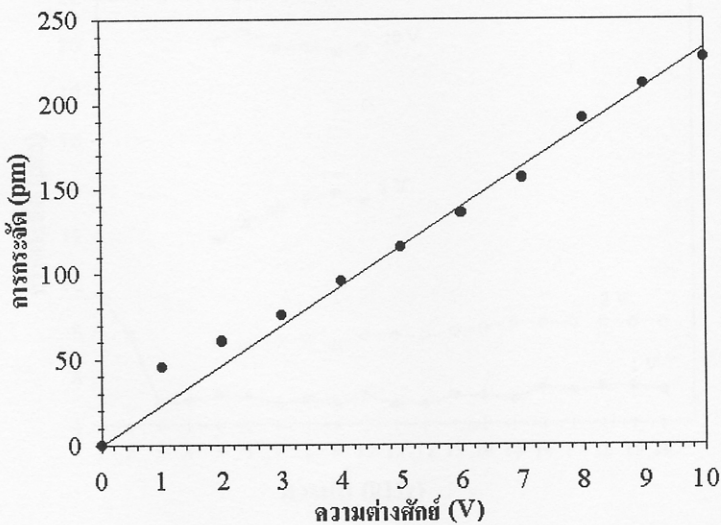
¹ วัตต์ค่า d_{33} จกปรากฏการณ์พิโซอิเล็กทริกแบบตรงโดยวางน้ำหนักลงบนสารตัวอย่างและวัดประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ค่าคงที่พิโซอิเล็กทริก d_{33} ที่ได้มีหน่วยเป็น pC/N ซึ่งสัมพันธ์กันกับหน่วย pm/V เมื่อวัดโดยอาศัยปรากฏการณ์พิโซอิเล็กทริกแบบกลับ



ภาพประกอบที่ 4.9 แสดงค่าคงที่พีโซอิเล็กทริกของ PZT ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าในช่วง 1-12 kHz

3.2 PZT จากในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ

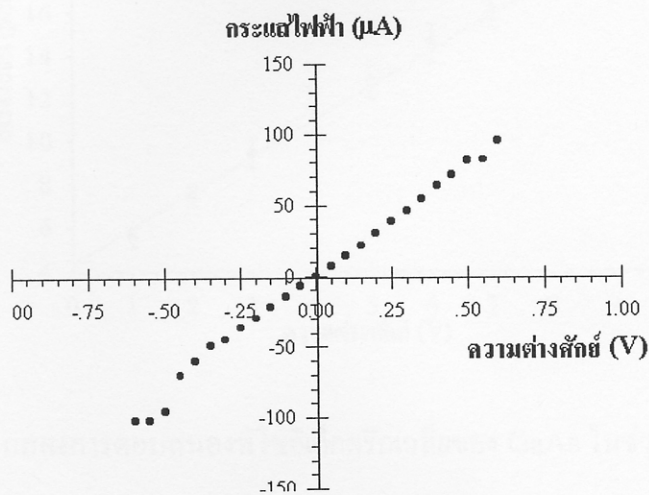
จากการทดลองทำนองเดียวกัน สารตัวอย่าง PZT จากห้องปฏิบัติการในชุดที่มีความพรุนสูงพบว่ามีการทดลองดังภาพประกอบที่ 4.10 สำหรับช่วงความถี่เดียวกันกับ PZT ทางการค้า PZT จากห้องปฏิบัติการมีค่า $d_{33} = 25 \pm 5 \text{ pm/V}$ การที่ PZT จากห้องปฏิบัติการมีค่า d_{33} น้อยกว่า PZT ทางการค้า เกี่ยวข้องกับการมีขนาดโพลาริเซชันต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เพราะมีความหนาแน่นน้อยกว่านั่นเอง



ภาพประกอบที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับศักย์ไฟฟ้าที่ความถี่ 7 kHz ของ PZT จากห้องปฏิบัติการ

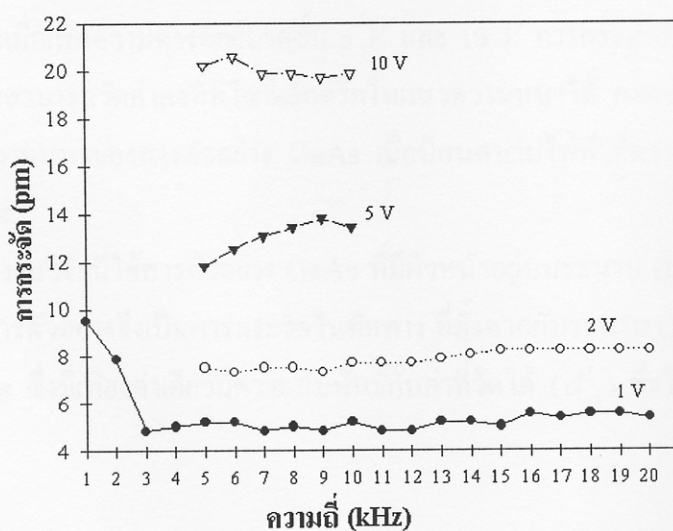
4. ค่าคงที่โฟโวลติมาตริกของ GaAs

หลังจากการอบอ่อนสารตัวอย่าง วัดกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ ได้ผลการทดลองดังนี้

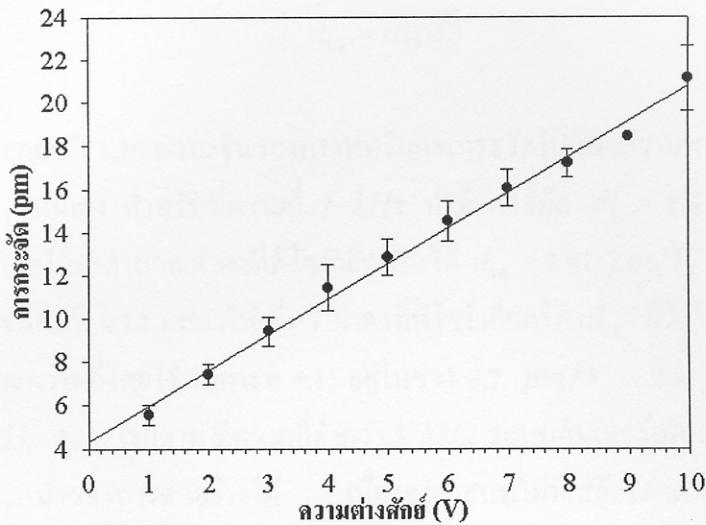


ภาพประกอบที่ 4.11 แสดงกราฟกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของสารตัวอย่าง GaAs

ผลการทดลองที่แสดงในภาพประกอบที่ 4.12 แสดงการกระจัดของผิวหน้าสารตัวอย่าง GaAs เมื่อได้รับสัญญาณไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ



ภาพประกอบที่ 4.12 แสดงการกระจัดผิวหน้าสารตัวอย่างที่ความถี่ต่างๆ ของ GaAs เมื่อป้อนความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 2 5 และ 10 V



ภาพประกอบที่ 4.13 แสดงการตอบสนองพิโซอิเล็กทริกเฉื่อยของ GaAs ในช่วงความถี่ 5-20 kHz

จากผลการทดลองที่แสดงในภาพประกอบที่ 4.12 แสดงว่าการกระจัดที่น้อยที่สุดที่ระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ตรวจวัดได้คือ 4.83×10^{-12} เมตร การกระจัดที่ระบบตรวจวัดได้เมื่อความต่างศักย์ที่ป้อน 1 V นั้นค่อนข้างคงที่ โดยเฉพาะช่วงความถี่ 3 kHz - 20 kHz ในขณะที่ตรวจวัดการกระจัดที่ความถี่ 1 kHz และ 2 kHz จะมีการกระจัดมากกว่าที่ความถี่อื่นๆ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะการทำงานของวงจรป้อนสัญญาณย้อนกลับที่ความถี่นี้ไม่มีเสถียรภาพเมื่อระบบตรวจวัดการกระจัดปริมาณน้อยๆ สำหรับที่ความต่างศักย์ 2 V จึงเริ่มบันทึกค่าที่ความถี่ตั้งแต่ 5 kHz - 20 kHz พบว่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้ค่อนข้างคงที่ และเมื่อเพิ่มความต่างศักย์มากขึ้น 5 V และ 10 V การกระจัดที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น คาดว่าในแต่ละความถี่จะสามารถวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกในแนวความหนาได้ ภาพประกอบที่ 4.14 แสดงการกระจัดในแนวความหนาของสารตัวอย่าง GaAs เมื่อป้อนสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 5 kHz 6 kHz 7 kHz และ 20 kHz

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้สารตัวอย่าง GaAs ที่มีผิวหน้าอยู่บนระนาบ (111)B² ดังนั้นระยะการกระจัดของผิวหน้าสารตัวอย่างจึงเป็นการกระจัดในทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบ (111)B และค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกของ GaAs ซึ่งมีเพียงค่าเดียวมีความสัมพันธ์กับค่าที่วัดได้ (d'_{33}) ซึ่งได้กล่าวถึงอย่างละเอียดในบทที่ 2 ดังนี้

² GaAs ที่มีผิวหน้าอยู่บนระนาบ (111)B คือระนาบ (111) ของโครงผลึกที่เลือกให้อะตอม As อยู่ที่ผิวหน้าด้านบนสุดของผลึก ในทางกลับกัน GaAs (111)A คือระนาบ (111) ของโครงผลึกที่เลือกให้อะตอม Ga อยู่ที่ผิวหน้าด้านบนสุดของผลึก (ข้อมูลจากผู้ผลิต)

$$d_{14} = d'_{33} \sqrt{3} \quad (4.1)$$

จากภาพประกอบที่ 4.14 ความชันของกราฟหรือการกระจัดในแนวความหนาของ GaAs ในแต่ละความถี่คือค่า d'_{33} นั้นเอง สำหรับที่ความถี่ 7 kHz ค่าที่วัดได้คือ $d'_{33} = 1.63 \text{ pm/V}$ และจากสมการที่ 4.1 นำค่าที่วัดได้มาคำนวณค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกได้ $d_{14} = 2.81 \text{ pm/V}$

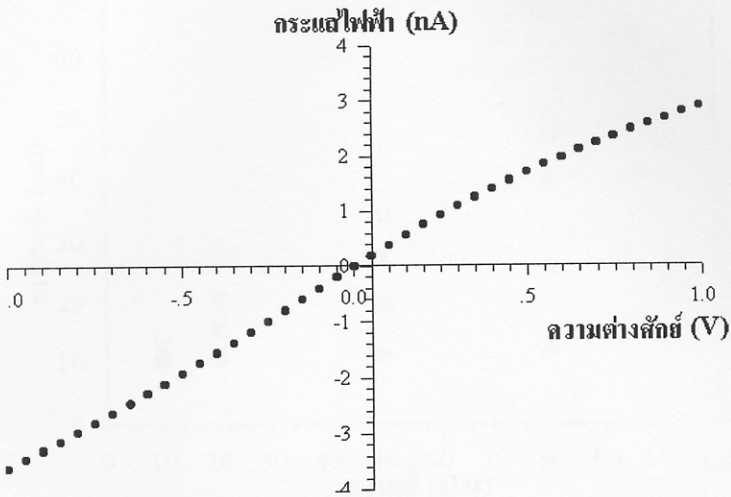
จากภาพประกอบที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าค่าคงที่พิโซอิเล็กทริก d_{14} ที่วัดได้ (คำนวณจากความชันของกราฟในแต่ละความถี่โดยใช้สมการที่ 4.1) อยู่ในช่วง $2.7 \text{ pm/V} - 2.9 \text{ pm/V}$ ที่ความถี่ในช่วง $5 \text{ kHz} - 20 \text{ kHz}$ อย่างไรก็ตาม ที่ความถี่ต่ำกว่า 5 kHz ระบบอินเทอร์เฟอโรมิเตอร์ไม่สามารถวัดการกระจัดของผิวหน้าของสารตัวอย่างได้ เนื่องจากระบบไม่มีเสถียรภาพในช่วงความถี่ดังกล่าว ค่าความต่างศักย์ที่บันทึกจากเครื่องขยายสัญญาณสี่กอนปรวนแปรตลอดเวลา ไม่สามารถบันทึกค่าได้

ค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกของ GaAs ที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน 4.4% เมื่อเทียบกับค่าที่มีในรายงาน (Arlt et al., 1968) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากวิธีการวัดค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกที่แตกต่างกัน คุณภาพของสารตัวอย่างและการทำขั้วไฟฟ้า

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกของ GaAs เป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง เช่น Arlt และ Quadflieg (1968) ใช้วิธีสันสารตัวอย่างในสนามแม่เหล็ก วัดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ของฮอลล์ (Hall effect) สอดคล้องกับ McKitterick (1983) ที่คำนวณค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกโดยใช้ทฤษฎีของการเหนี่ยวนำของอะตอมข้างเคียงและความหนาแน่นประจุ

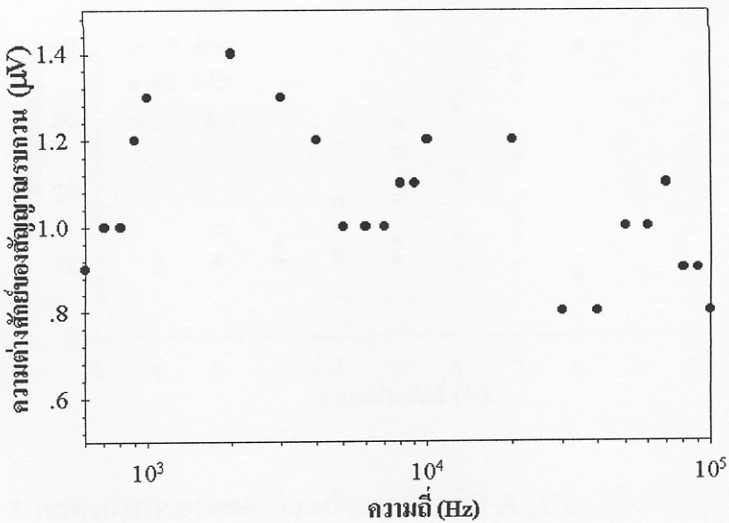
5. การตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าของ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$

หลังการอบอ่อนสารตัวอย่างนำสารตัวอย่างมาวัดการตอบสนองกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ ได้ผลการทดลองดังภาพประกอบที่ 4.15



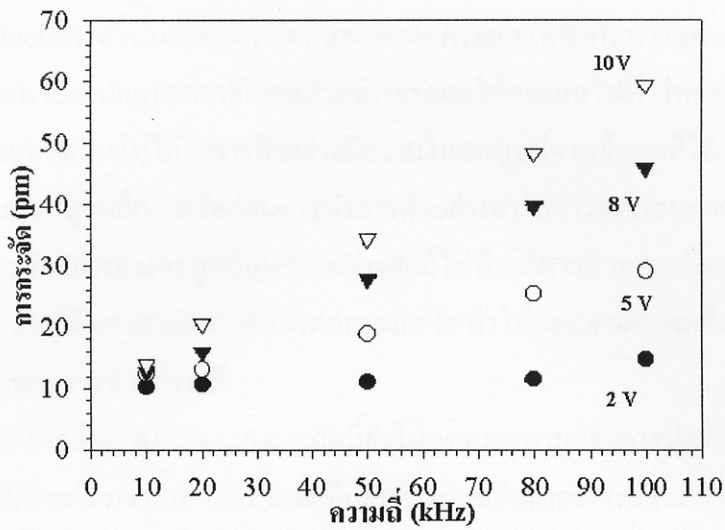
ภาพประกอบที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ ของ $Al_xGa_{1-x}As$

จากนั้นวัดสัญญาณรบกวนของระบบ โดยใช้พิวหน้าสารตัวอย่างแทนกระจก ผลการทดลอง แสดงในภาพประกอบที่ 4.15

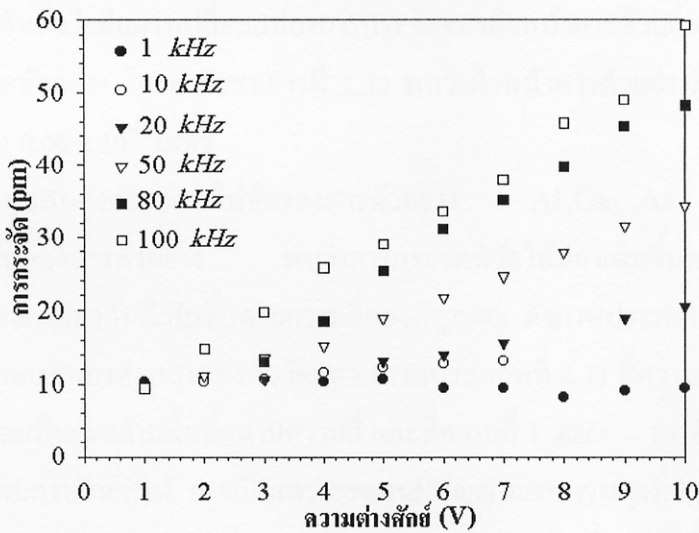


ภาพประกอบที่ 4.15 แสดงสัญญาณรบกวนที่วัดได้จากพิวหน้าสารตัวอย่าง $Al_xGa_{1-x}As$

สำหรับการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าที่ความถี่และศักย์ไฟฟ้าต่างๆ ได้ผลการทดลองดังแสดง ในภาพประกอบที่ 4.15



ภาพประกอบที่ 4.16 แสดงการกระจัดของผิวหน้าสารตัวอย่าง $Al_xGa_{1-x}As$ เมื่อได้รับสัญญาณไฟฟ้า ในช่วงความถี่ 10-100 kHz ที่ศักย์ไฟฟ้า 2 5 8 และ 10 V



ภาพประกอบที่ 4.17 แสดงการกระจัดของผิวหน้าสารตัวอย่าง $Al_xGa_{1-x}As$ เมื่อได้รับความต่างศักย์ ไฟฟ้าที่ความถี่ 1 10 20 50 80 และ 100 kHz

จากการวัดการตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของสารตัวอย่าง พบว่ามีลักษณะ เป็นเชิงเส้นดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.15 แต่จากข้อมูลของสารตัวอย่างในบทที่ 2 พบว่าสารตัวอย่าง ควรจะมีลักษณะการตอบสนองต่อแรงดันไฟฟ้าเหมือนกับไดโอด โดยสังเกตจากชั้นครึ่งล่างของสารตัวอย่าง เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductor) และชั้นครึ่งบนเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

(n-type semiconductor) ดังนั้นเมื่อวัดการตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ ควรได้กราฟแบบรอยต่อพีเอ็น (p-n junction) กล่าวคือสารตัวอย่างจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านทางเดียว

อย่างไรก็ตามอาจเป็นไปได้ว่าสารตัวอย่างมีความไม่สมบูรณ์ตามข้อมูลที่ได้ กล่าวคืออาจมีการผิดพลาดในขั้นตอนการปลูกผลึก หรือก่อนการนำสารตัวอย่างมาวัดการตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์นั้นสารตัวอย่างอาจจะถูกป้อนความต่างศักย์ไฟฟ้าแก่สารตัวอย่างเกินจุดเบรคควาน์ทำให้สารตัวอย่างสูญเสียสมบัติของการตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าไปและอาจส่งผลถึงการตอบสนองต่อสมบัติพิโซอิเล็กทริกของสารตัวอย่างได้

เนื่องจากสารตัวอย่าง $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ชนิดนี้ยังไม่ทราบขนาดของการปลูกผลึกและยังไม่มีรายงานค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกมาก่อน ดังนั้นเพื่อยืนยันว่าระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์ที่จะใช้ศึกษาการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าของสารตัวอย่างมีความละเอียดเพียงพอที่จะตรวจสอบการกระจัดที่ผิวหน้าในปริมาณน้อยมากๆ ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากสารตัวอย่างอยู่ในสนามไฟฟ้า จึงวัดสัญญาณรบกวนของระบบอีกครั้งโดยใช้ผิวหน้าของสารตัวอย่าง $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ สะท้อนแสงเลเซอร์แทนกระจกธรรมดา

จากผลการทดลองค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนคือ $(1.0 \pm 0.1) \mu\text{V}$ แสดงว่าความเข้มแสงที่วัดได้จากหัววัด หรืออันที่จริงคือการเปลี่ยนแปลงการกระจัดของผิวหน้าสารตัวอย่างในขณะที่ยังไม่ป้อนสนามไฟฟ้าให้แก่สารตัวอย่าง โดยอาศัยสมการที่ 2.39 พบว่าผิวหน้าสารตัวอย่างมีการกระจัดเนื่องจากสัญญาณรบกวนเพียง 0.06×10^{-12} เมตร

เมื่อวัดการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าของสารตัวอย่าง $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ซึ่งคาดว่าน่าจะมี ความเครียดในบางชั้นของสารตัวอย่าง พบว่าการกระจัดที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามความต่างศักย์ของสัญญาณที่ป้อน ในขณะเดียวกันก็เพิ่มขึ้นตามความถี่ของสัญญาณ ดังภาพประกอบที่ 4.18 ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการตอบสนองต่อแสงของหัววัดแสง (ภาพประกอบที่ 4.1) ที่ความถี่ในช่วง $50 \text{ kHz} - 100 \text{ kHz}$ ที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้นเพิ่มขึ้นตามความถี่ และที่ความถี่ $1 \text{ kHz} - 10 \text{ kHz}$ การกระจัดที่วัดได้ไม่เพิ่มขึ้นตามความต่างศักย์ที่ให้ อาจเป็นเพราะระบบมีสัญญาณรบกวนสูงที่ช่วงความถี่นี้ สำหรับที่ความถี่ 20 kHz คาดว่าน่าจะเป็นค่าคงที่พิโซอิเล็กทริกของสารตัวอย่างที่ความถี่นี้ $d_{33} = 1.3 \text{ pm/V}$ ดังนั้นสัญญาณที่อ่านได้ในแต่ละช่วงความถี่จากการทดลองกับสารตัวอย่าง $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ อาจจะมาจากการตอบสนองต่อแสงของหัววัด (ที่ความถี่ในช่วง $50 \text{ kHz} - 100 \text{ kHz}$) สัญญาณรบกวน (ที่ความถี่ $1 \text{ kHz} - 10 \text{ kHz}$) และเนื่องจากสารตัวอย่างไม่ได้ระบุขนาดของการปลูกผลึก ค่าความชันที่วัดได้หรือการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าของสารตัวอย่างเป็นความเครียดที่อาจจะเกิดขึ้นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งในชั้นของสารตัวอย่าง

นอกจากเหตุผลที่กล่าวถึงการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าของสารตัวอย่าง $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ข้างต้น เมื่อพิจารณาโครงสร้างของชั้น $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ พบว่าชั้นล่างสุดเป็นชั้นฉนวน ด้วยเหตุนี้สารตัวอย่างจึงมีพฤติกรรมเป็นตัวเก็บประจุ (capacitor) ที่ชั้นดังกล่าวทำให้ที่ความถี่ต่างๆ ในช่วง $1 \text{ kHz} - 10 \text{ kHz}$

สนามไฟฟ้าที่ให้อาจจะไม่ตกคร่อมชั้นของสารตัวอย่างที่แสดงพฤติกรรมพิโซอิเล็กทริก ในทางกลับกัน ที่ความถี่สูงขึ้น สนามไฟฟ้าที่ให้อาจสามารถตกคร่อมชั้นของสารตัวอย่างที่แสดงพฤติกรรมพิโซอิเล็กทริก (แต่ไม่สามารถระบุได้ว่าการตอบสนองดังกล่าวเกิดจากชั้นใด) ผลการทดลองที่ได้จึงมีลักษณะดังภาพประกอบที่ 4.17 เนื่องจากมีสารตัวอย่าง $Al_xGa_{1-x}As$ มีเพียง 1 ชั้น จึงไม่สะดวกในการตรวจสอบการตอบสนองต่อสมบัติทางไฟฟ้าอื่นๆ

อย่างไรก็ตามการศึกษาปรากฏการณ์พิโซอิเล็กทริกของสารตัวอย่างที่เป็นสารกึ่งตัวนำและมีโครงสร้างซับซ้อนนั้น โดยส่วนใหญ่นิยมศึกษาในด้านของการดูดกลืนหรือปลดปล่อยแสงในช่วงความถี่ต่างๆ โดยใช้วิธีฉายแสงลงบนสารตัวอย่างและตรวจสอบการดูดกลืนหรือปลดปล่อยแสงในช่วงความถี่ที่ผิดปกติดอกมา (Smith, 1997) จากความไม่ลงตัวพอดีหรือความไม่เข้ากันพอดีของอะตอมในระหว่างชั้นของสารตัวอย่าง (lattice mismatched) ในระหว่างกระบวนการปลูกผลึกทำให้เกิดความเครียดในชั้นสารตัวอย่าง ความเครียดนี้ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในสารตัวอย่างในระดับ $10^5 V$ (Smith, 1997) ลักษณะที่ผิดปกตินี้จะช่วยในการออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำมาจากฟิล์มบางหลายชั้นของสารกึ่งตัวนำ (Rees, 1997)