สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อ.....(3)
Abstract.....(4)
กิตติกรรมประกาศ.....(6)
สารบาญ.....(7)
รายการตาราง.....(9)
รายการภาพประกอบ.....(10)
ตัวย่อและสัญลักษณ์.....(13)
บทที่
1 บทนำ.....1
บทนำต้นเรื่อง.....1
การตรวจเอกสาร.....2
วัตถุประสงค์.....7
2 ทฤษฎี.....8
ทฤษฎีของพิโซอิเล็กตริก.....8
ทฤษฎีของระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์.....27
สมบัติพื้นฐานของสารตัวอย่าง.....34
3 วัสดุและวิธีการวิจัย.....41
วัสดุ.....41
อุปกรณ์.....42
วิธีดำเนินการ.....44
4 ผลและการอภิปรายผล.....53
การตอบสนองต่อแสงของหัววัดแสงที่ช่วงความถี่ต่างๆ.....53
การปรับเทียบระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์ด้วย $LiNbO_3$.....55
ค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของ PZT.....57
ค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของ GaAs.....61
การตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าของ $Al_xGa_{1-x}As$.....63
5 บทสรุป.....68
สรุป.....68

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

ข้อเสนอแนะ.....69

บรรณานุกรม.....71

ภาคผนวก

ภาคผนวก (ก) ค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกที่ไม่เป็นศูนย์ (d_{ij}) ของผลึกรูปแบบต่างๆ 74

ภาคผนวก (ข) ปริมาณเทนเซอร์ และการเขียนปริมาณเทนเซอร์ 79

ภาคผนวก (ค) การแปลงแกนพิกัด 83

ประวัติผู้เขียน.....87

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แสดงค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของควอทซ์	4
1.2 แสดงค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของวัสดุที่วัดโดยใช้ระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์	5
2.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกกับตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง	11
2.2 แสดงรายละเอียดของสารตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย	39
5.1 แสดงค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของสารตัวอย่าง $Al_xGa_{1-x}As$ ที่วัดได้ในงานวิจัย	68
ภาคผนวก 1 แสดงตัวอย่างปริมาณเทนเซอร์อันดับที่สอง	81

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงระบบพิกัดเก่าและระบบพิกัดใหม่ ในปริภูมิเดียวกัน	83
2 แสดงเวกเตอร์ p ในระบบพิกัด x_1, x_2, x_3 p' ในระบบพิกัด x'_1, x'_2, x'_3	84
2.1 แสดงแสดงแรงบนพื้นผิวของตัวกลางรูปลูกบาศก์ แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในรูปแบบนี้เรียกว่าเทนเซอร์ความเค้น	14
2.2 แสดงการดึงเส้นลวดโดยที่ปลายด้านหนึ่งถูกตรึงไว้ (ก) ก่อนดึง (ข) หลังดึง	15
2.3 แสดงความยาวลวดโลหะ u กับระยะยืด x โดย (ก) ลวดโลหะยืดออกอย่างเท่าๆ กัน (ข) ลวดโลหะยืดออกไม่เท่ากัน	15
2.4 แสดงความเครียดที่เกิดขึ้นใน 2 มิติ	16
2.5 แสดงองค์ประกอบความเครียดใน 2 มิติ	18
2.6 แสดงการกระจัดที่เกิดขึ้นของการหมุนในระนาบ 2 มิติ	18
2.7 แสดงระนาบของการกระจัด โดยเทนเซอร์การกระจัด e_{ij} มีค่าเท่ากับความเครียดที่เกิดขึ้น S_{ij} บวกกับการกระจัดที่เกิดจากการหมุน ϖ_{ij}	20
2.8 แสดงความเข้มแสงที่จุดศูนย์กลางของริ้วแทรกสอด ที่ Δd ต่างๆ จุด x ในภาพคือจุดกึ่งกลางของความเข้มแสง สอดคล้องกับ $\Delta d = \frac{\lambda}{8}$	28
2.9 แสดงการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างกระจกอ้างอิงและสารตัวอย่างเนื่องจากสนามไฟฟ้าภายนอก	29
2.10 (ก) แสดงโครงสร้างอะตอมแบบเพอรอฟสไกต์ (ข) แสดงโครงสร้างอะตอมของ PZT เมื่อวางตัวอยู่ในสนามไฟฟ้า อะตอมสีดำในภาพคืออะตอมของ เซอร์โคเนียม หรือไทเทเนียม ส่วนอะตอมของ ออกซิเจน จะอยู่ที่บริเวณผิวหน้าทั้ง 6 ของโครงสร้าง และอะตอม เลด จะอยู่ที่มุมทั้ง 8 ของโครงสร้างอะตอม	35
2.11 แสดง โดเมน (ก) เรียงตัวแบบสุ่มในขณะที่ไม่มีสนามไฟฟ้า (ข) เรียงตัวในทิศทางเดียวกันเมื่ออยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าความเข้มสูง (ค) เมื่อนำสนามไฟฟ้าออก โดเมนจะยังคงเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน	35
2.12 แสดงโครงสร้างอะตอมของ GaAs สีดำคือ อะตอมของ As ที่ถูกล้อมรอบด้วยอะตอมของ Ga	37

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2.13 แสดงลักษณะแถบพลังงานของ GaAs จากภาพ X – valley คือ แถบการนำที่ $k =< 100 >, \Gamma$ – valley คือ แถบการนำที่ $k =< 000 >$ และ L – valley คือ แถบการนำที่ $k =< 111 >$ ค่าของช่องว่างแถบพลังงานแสดงในภาพประกอบ	37
3.1 แสดงแผนผังอุปกรณ์สำหรับการทดลองเพื่อหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมในวงจรหัววัดแสง	44
3.2 แสดงแผนผังอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบอินเทอร์เฟอร์โมิเตอร์	45
3.3 แสดงระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์ในระยะแรกก่อนการเคลื่อนย้าย	45
3.4 แสดงที่จับยึดสารตัวอย่าง แท่นวางตัวแบ่งแสง และกระจกอ้างอิง	46
3.5 แสดงแท่นวางเลเซอร์ แท่นวางตัวแบ่งแสงและที่จับยึดสารตัวอย่าง	47
3.6 แสดงแผ่นอะไครลิคครอบโต๊ะทดลองป้องกันผงฝุ่นเกาะอุปกรณ์ทางแสง	48
3.7 แสดงอุปกรณ์สำหรับการโพลิงสารตัวอย่าง	49
3.8 แสดงสารตัวอย่าง PZT บนฐานรอง	49
3.9 แสดงสารตัวอย่าง $LiNbO_3$ บนฐานรอง	50
4.1 แสดงความต่างศักย์ของความเข้มแสงที่ความถี่ต่างๆ เมื่อความต้านทานภายในวงจรมีค่า 1 2 3.3 5 8.2 และ 10 $k\Omega$	53
4.2 แสดงความต่างเฟสของสัญญาณที่วัดได้จากหัววัดแสงที่ความถี่ต่างๆ	54
4.3 แสดงความต่างศักย์ของสัญญาณรบกวนของระบบอินเทอร์เฟอร์โรมิเตอร์	55
4.4 แสดงภาพบนจอออสซิลโลสโคป เป็นสัญญาณจากหัววัดแสงเมื่อมีการสั่นกระจกอ้างอิงเพียงอย่างเดียวในขณะที่วงจรป้อนสัญญาณย้อนกลับกำลังทำงาน ในภาพ V_{p-p} ขณะที่ถูกควบคุมด้วยวงจรป้อนสัญญาณย้อนกลับ แอมพลิจูดของสัญญาณในภาพคือ V_{p-p} มีค่า 0.8 V โดยประมาณ	56
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับความต่างศักย์ไฟฟ้าของ $LiNbO_3$ ที่ความถี่ 10 kHz	56
4.6 แสดงค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของ $LiNbO_3$ ที่ความถี่ในช่วง 1 - 30 kHz	57
4.7 แสดงค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกที่วัดได้ที่ตำแหน่งต่างๆ บนผิวหน้าสารตัวอย่าง โดย (●) คือระยะห่างในแนวนอน (▲) คือระยะห่างในแนวตั้ง	58

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ความถี่ 7 *kHz* ของ PZT ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้า	59
4.9 แสดงค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกของ PZT ที่เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าในช่วง 1-12 *kHz*	60
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับศักย์ไฟฟ้าที่ความถี่ 7 kHz ของ PZT จาก ห้องปฏิบัติการ	*60*
4.11 แสดงกราฟกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของสารตัวอย่าง GaAs	61
4.12 แสดงการกระจัดผิวหน้าสารตัวอย่างที่ความถี่ต่างๆ ของ GaAs เมื่อป้อนความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 2 5 และ 10 *V*	61
4.13 แสดงการตอบสนองพิโซอิเล็กตริกเฉลี่ยของ GaAs ในช่วงความถี่ 5-20 *kHz*	62
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ ของ $Al_xGa_{1-x}As$	64
4.15 แสดงสัญญาณรบกวนที่วัดได้จากผิวหน้าสารตัวอย่าง $Al_xGa_{1-x}As$	64
4.16 แสดงการกระจัดของผิวหน้าสารตัวอย่าง $Al_xGa_{1-x}As$ เมื่อได้รับสัญญาณไฟฟ้าในช่วงความถี่ 10-100 *kHz* ที่ศักย์ไฟฟ้า 2 5 8 และ 10 *V*	65
4.17 แสดงการกระจัดของผิวหน้าสารตัวอย่าง $Al_xGa_{1-x}As$ เมื่อได้รับความต่างศักย์ ไฟฟ้าที่ความถี่ 1 10 20 50 80 และ 100 *kHz*	65

ตัวย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
A	พื้นที่ หรือพื้นที่ขั้วไฟฟ้า
C	ความจุไฟฟ้า
D	การกระจัดทางไฟฟ้า
d_{ij}	ค่าคงที่พิโซอิเล็กตริกเทนเซอร์
E	สนามไฟฟ้า
e_{ij}	เทนเซอร์การกระจัด
F	แรง
f	ความถี่
g	ค่าคงที่พิโซอิเล็กตริก
I	ความเข้มแสงเลเซอร์ หรือกระแสไฟฟ้าตรง
i_n	กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากสัญญาณรบกวน
k_t^2	ค่าคงที่การเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า
L	ความหนา ความยาว
l	ความยาว
P	ความดัน หรือแรงดันต่อพื้นที่
Q	ค่าคงที่คุณภาพของวัสดุพิโซอิเล็กตริก
q	ประจุไฟฟ้า
R	ความต้านทานไฟฟ้า
r	อัตราส่วนของค่าความจุไฟฟ้าภายนอกต่อภายในสารตัวอย่าง
S	ความเครียด
s^E	ค่าคงที่ยืดหยุ่นเมื่อสนามไฟฟ้าคงที่
T	ความเค้นกล
u_{ij}	ตำแหน่งของการกระจัด
x	ตำแหน่ง
Z	ความต้านทานเชิงซ้อน

ตัวย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
λ	ความยาวคลื่น
ε^T	สภาพรับไว้ได้ทางไฟฟ้าเมื่อความเค้นคงที่
ω	ความถี่เชิงมุม
ϖ_{ij}	เทนเซอร์ที่ไม่มีความสมมาตร