สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(9)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(13)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
2 ทฤษฎี	6
2.1 ประวัติการค้นพบไฮโดรโฟน	6
2.2 ทฤษฎีและสมการไพอิโซอิเล็กตริกอุทกสถิต	7
2.3 ทรานสดิวเซอร์ไพอิโซอิเล็กตริก	13
2.4 เซรามิกต่างๆที่มีสมบัติไพโซอิเล็กตริกอุทกสถิต	14
2.5 ปฏิกิริยาสถานะของแข็ง	17
2.6 การเผาแคลไซน์	18
2.7 กระบวนการเผาอบผนึก	18
2.8 กระบวนการโพลิง	19
2.9 การประยุกต์ใช้งานเป็นไฮโดรโฟน	20
3 วิธีการวิจัย	30
3.1 วัสดุ	30
3.2 อุปกรณ์	31
3.3 การเตรียมโปแทสเซียมไนโอเบต($KNbO_3$)	33
3.4 การเตรียมสารแบเรียมไททาเนต	39
3.5 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ	40
3.6 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้า	42
3.7 การประยุกต์ใช้งานสารตัวอย่าง	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 ผลและการอภิปรายผล	53
4.1 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของ $KNbO_3$ และ $BaTiO_3$	53
4.2 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	60
4.3 ค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์	62
4.4 ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์	65
4.5 ค่าความเร็วเสียงของวัสดุ	67
4.6 ค่าบัลค์มอดูลัส	68
4.7 ค่าอิมพิแดนซ์ทางอะคูสติก	69
4.8 ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กตริกอุทกสถิต	70
4.9 ทดสอบเป็นตัวส่งคลื่นอะคูสติก	74
4.10 การใช้งานไฮโดรโฟนในสภาพแวดล้อมจำลอง	78
5 บทสรุป	80
5.1 เงื่อนไขการเตรียม $KNbO_3$ และ $BaTiO_3$ ให้มีความพรุนตัวอยู่ในช่วง 10-30%	80
5.2 สมบัติอุทกสถิตของค่าคงที่ในงานวิจัยนี้	80
5.3 การประยุกต์เป็นไฮโดรโฟน	81
5.4 ข้อเสนอแนะ	82
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก	89
ก ตารางแสดงค่าอุทกสถิตต่างๆ	90
ข ประวัติความเป็นมาของสารไพอิโซอิเล็กตริกและทฤษฎี	106
ประวัติผู้เขียน	111

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	10
2.2 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางไดอิเล็กตริกของเซรามิก พอลิเมอร์ และคอมโพสิทเซรามิก-พอลิเมอร์อีพอกซี	11
2.3 แสดงโครงสร้างผลึกของแบเรียมไททาเนตในช่วงอุณหภูมิต่างๆ	14
2.4 แสดงค่าคงที่ทางไพอิโซอิเล็กตริกของ $LiTaO_3$	17
ก-1 ผลการขึ้นรูปสารตัวอย่างที่ใช้แรงอัดและอุณหภูมิในการทดลอง	90
ก-2 ผลการวัดเปอร์เซ็นต์ความพรุน ความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่มีผลมาจากแรงอัดและอุณหภูมิในการทดลอง	92
ก-3 แสดงค่าความถี่กับการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์	94
ก-4 แสดงค่าความถี่กับการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์	97
ก-5 แสดงค่าความพรุนและค่า d_h , g_h , FoM และ M	102
ก-6 แสดงค่าแอมปลิจูดกับระยะการกระจัด	103

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะค่าความถี่เรโซแนนซ์และค่าความถี่แอนติเรโซแนนซ์	8
2.2 วงจรสมมูลของเมสัน	8
2.3 ลักษณะโครงสร้างผลึกแบบเพอร์รอฟไกต์ของ $BaTiO_3$	15
2.4 ลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ ออโธรอมบิคของ $KNbO_3$	16
2.5 แสดงกระบวนการเผาอบผนึก	18
2.6 แสดงการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าให้กับสารแบเรียมติตาเนต	21
2.7 แสดงลักษณะทรานสดิวเซอร์ของ Joseph W. Crownover ซ้ายเป็นภาคตัดขวางขาง ทรานสดิวเซอร์ขวาเป็นด้านบนของทรานสดิวเซอร์	22
2.8 แสดงไฮโดรโฟนแบบหน่วง และลดทอนใช้วัดคลื่นแผ่นดินไหวใต้น้ำ	23
2.9 แสดงการจัดเรียงตัวของไฮโดรโฟนแบบอาเรย์	24
2.10 แสดงลักษณะของไฮโดรโฟนรูปภูเขา	24
2.11 แสดงองค์ประกอบสำคัญในการวัด	25
2.12 แสดงผังการทำงานพื้นฐานของการแสดงผลแบบดิจิทัล	26
2.13 แสดงวงจรพรีแอมปลิไฟเออร์	27
2.14 แสดงวงจรขยายกำลังไฟฟ้าแบบ BTL	28
2.15 แสดงระดับของคลื่นเสียงรบกวนในมหาสมุทรที่ความถี่ต่าง ๆ	29
3.1 แสดงการบดย่อยผสมสารแบบเปียก	35
3.2 เตาเผาอุณหภูมิสูง ยี่ห้อ Lenton รุ่น AWF 13/5	36
3.3 ไดอะแกรมการแคลไซน์ $KNbO_3$	36
3.4 แสดงแม่พิมพ์ขนาดเส้นผ่าศูนกลาง 1.6 mm	37
3.5 เครื่องอัดสารระบบไฮดรอลิก	37
3.6 แสดงการจัดเรียงเม็ด $KNbO_3$ เพื่อทำการเผาอบผนึกในกะบะอิฐทนไฟ	38
3.7 แสดงอุณหภูมิการเผาอบผนึก	38
3.8 ชุดทดลองการชั่งน้ำหนักสารขณะอยู่ในน้ำ	41
3.9 แสดงชุดทดลองการโพลิง	43
3.10 แสดงชุดทดลองการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	43

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.11 แสดงชุดทดลองการวัดค่าคัปปลิงแฟกเตอร์	44
3.12 แสดงชุดทดลองการวัดค่าไพอิโซอิเล็กตริกอุทกสถิต	45
3.13 แสดงการสร้างแรงดันอะคูสติกจากการสั่นของลำโพง	46
3.14 แสดงการทำหัววัดเพื่อประยุกต์ใช้งาน	47
3.15 รูปแสดงชิ้นงาน	47
3.16 แสดงการจัดอุปกรณ์ทดลองสำหรับหาระดับความเข้ม	48
3.17 แสดงวงจรของหัววัดไฮโดรโฟน	48
3.18 แสดงการทำแผนวงจร Amplifier	49
3.19 แสดงการทดลองส่งและรับคลื่นในตัวกลางที่เป็นอากาศ	49
3.20 แสดงการวัดอัตราเร็วเสียงในน้ำโดยใช้อัลตราโซนิก	50
3.21 แสดงภาพจำลองของการวัดอัตราเร็วเสียงในน้ำโดยใช้อัลตราโซนิก	50
3.22 แสดงการทดลองใช้งานไฮโดรโฟนในสภาพแวดล้อมจำลอง	51
3.23 แสดงองค์ประกอบของการทดลองใช้ไฮโดรโฟนในสภาพแวดล้อมจำลอง	52
4.1 แสดงลวดลายการเลี้ยวเบนของผง $KNbO_3$ เผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900 $^{\circ}C$	53
4.2 แสดงลวดลายการเลี้ยวเบนของผง $BaTiO_3$ เผาแคลไซด์ที่อุณหภูมิ 1100 $^{\circ}C$	54
4.3 ภาพถ่าย SEM ของ $KNbO_3$ ความพรุน 30%	55
4.4 ภาพถ่าย SEM ของ $BaTiO_3$ ความพรุน 30%	55
4.6 ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %การดูดซึมน้ำกับ %ความพรุนของ $BaTiO_3$	58
4.7 ก แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %ความพรุนกับอุณหภูมิเผาอบผนึกของ $KNbO_3$	59
4.7 ข แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %ความพรุนกับอุณหภูมิเผาอบผนึกของ $BaTiO_3$	59
4.8 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเป็นฟังก์ชันกับความพรุนของ $KNbO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 100 $^{\circ}C$ และแรงอัดในช่วง 1.0-5.0 ton	60
4.9 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเป็นฟังก์ชันกับความพรุนของ $BaTiO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 100 $^{\circ}C$ และแรงอัดในช่วง 1.0- 5.0 ton	61
4.10 แสดงค่าความต่างศักย์เป็นฟังก์ชันกับความถี่ของ $KNbO_3$ ที่ความพรุน 31.16% มีค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 34.50 และ 34.64 kHz ตามลำดับ	62

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ หน้า

4.11 แสดงค่าความต่างศักย์เป็นฟังก์ชันกับความถี่ ของ $KNbO_3$ ที่ความพรุน 26.98% มี ค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 43.50 และ 43.60 kHz ตามลำดับ 62

4.12 แสดงค่าความต่างศักย์เป็นฟังก์ชันกับความถี่ของ $KNbO_3$ ที่ความพรุน 22.22% มี ค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 63.00 และ 63.06 kHz ตามลำดับ 63

4.13 แสดงค่าความต่างศักย์เป็นฟังก์ชันกับความถี่ของ $KNbO_3$ ที่ความพรุน 19.42% มี ค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ 73.00 และ 73.05 kHz ตามลำดับ 63

4.14 แสดงค่าความต่างศักย์เป็นฟังก์ชันกับความถี่ของ $KNbO_3$ ที่ความพรุน 28.62% มี ค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์เท่ากับ113.80 และ 116.00 kHz ตามลำดับ 64

4.15 แสดงค่าความต่างศักย์เป็นฟังก์ชันกับความถี่ของ $KNbO_3$ ที่ความพรุน 26.34% มี ค่าความถี่เรโซแนนซ์และแอนติเรโซแนนซ์ เท่ากับ125.80 และ126.80 kHz ตามลำดับ 64

4.16 แสดงค่าความถี่เรโซแนนซ์เป็นฟังก์ชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของ $KNbO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 50-150 ^{o}C และแรงอัดในช่วง 1.0-5.0 ton 65

4.17 แสดงค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ตามแนวระนาบเป็นฟังก์ชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของ $KNbO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 50-150 ^{o}C และแรงอัดในช่วง1.0-5.0 ton 66

4.18 แสดงค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ตามแนวความหนาเป็นฟังก์ชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของ $KNbO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 50-150 ^{o}C และแรงอัดในช่วง1.0-5.0 ton 67

4.19 แสดงค่าความเร็วเสียงเป็นฟังก์ชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของ $KNbO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 50-150 ^{o}C และแรงอัดในช่วง 1.0-5.0 ton 67

4.20 แสดงค่าบัลค์มอดูลัสเป็นฟังก์ชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของ $KNbO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 50-150 ^{o}C และแรงอัดในช่วง 1.0-5.0 ton 68

4.21 แสดงค่าอิมพิแดนซ์ทางอะคูสติกเป็นฟังก์ชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของ $KNbO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 50-150 ^{o}C และแรงอัดในช่วง 1.0-5.0 ton 69

4.22 แผนภาพอย่างง่ายของการใช้ $KNbO_3$ เป็นทรานสดิวเซอร์ 70

4.23 แสดงค่าคงที่ประจุอุทกสถิตเป็นฟังก์ชันกับเปอร์เซนต์ความพรุนของ $KNbO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 50-150 ^{o}C และแรงอัดในช่วง 1.0-5.0 ton 71

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่ หน้า

4.24 แสดงค่าคงที่ความต่างศักย์อุทกสถิตเป็นฟังก์ชันกับเปอร์เซนต์ความพรุนของ $KNbO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 50-150 ^{o}C และแรงอัดในช่วง 1.0-5.0 ton 72

4.25 แสดงค่า Figure of merit เป็นฟังก์ชันกับเปอร์เซนต์ความพรุนของ $KNbO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 50-150 ^{o}C และแรงอัดในช่วง 1.0-5.0 ton 73

4.26 แสดงค่าความไวสัมบูรณ์ เป็นฟังก์ชันกับเปอร์เซนต์ความพรุนของ $KNbO_3$ ที่ผ่านการขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 50-150 ^{o}C และแรงอัดในช่วง 1.0-5.0 ton 74

4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่คลื่นเดินทางกับแอมปลิจูดของสัญญาณที่ลดลง ณ ความถี่ 4.7 kHz ของ $BaTiO_3$ 75

4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่คลื่นเดินทางกับแอมปลิจูดของสัญญาณที่ลดลง ณ ความถี่ 4.7 kHz ของ PZT 75

4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่คลื่นเดินทางกับแอมปลิจูดของสัญญาณที่ลดลง ณ ความถี่ 4.7 kHz ของ $KNbO_3$ 76

4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่คลื่นเดินทางกับแอมปลิจูดของสัญญาณที่ลดลง ณ ความถี่ 3.8 kHz ของ $BaTiO_3$ 77

4.31แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่คลื่นเดินทางกับแอมปลิจูดของสัญญาณที่ลดลง ณ ความถี่ 3.8 kHz ของ $KNbO_3$ 78

4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับแอมปลิจูดที่วัดได้จากการ ทดลองใช้ไฮโดรโฟนในสภาพแวดล้อมจำลอง 78

ข-1 แสดงการจัดกลุ่มผลึกตามความสมมาตรของผลึก 106

ข-2 แสดงเครื่องหมายของแกนสำหรับวัสดุไพอิโซเซรามิก 108

คำย่อและตัวย่อ

d_h	ค่าสัมประสิทธิ์ประจุอุทกสถิต
g_h	ค่าสัมประสิทธิ์ความต่างศักย์อุทกสถิต
FoM	ค่า figure of merit
M	ความไวสมบูรณ์
k^2	ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์
ν	ค่าความเร็วเสียง
ε_r	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
k_p	ค่าพลานาร์คัปปลิงแฟกเตอร์
k_t	ค่าคัปปลิงแฟกเตอร์ในแนวความหนา
f_a	ความถี่แอนติเรโซแนนซ์
f_r	ความถี่เรโซแนนซ์
d , e	ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กตริกความเครียด
g , h	ค่าคงที่ไพอิโซอิเล็กตริกความเค้น
Z	ค่าอิมพิแดนซ์ทางอะคูสติก
T_c	อุณหภูมิคูรี
P_s	ค่าโพลาไรเซชันอิ่มตัว
P_r	ค่าโพลาไรเซชันตกค้าง
D	การกระจัดทางไฟฟ้า
T	ความเค้นกล
E	สนามไฟฟ้า
S	ความเครียดกล
s^E	ค่าคงที่ยืดหยุ่นภายใต้สนามไฟฟ้าคงที่
ε	สภาพยอมได้ทางไฟฟ้าของวัสดุ

คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

B	ค่าบัลค์มอดูลัส
Y	ค่ายังก์มอดูลัส
ν	ค่าความเร็วเสียงในวัสดุ
ρ	ความหนาแน่น
ρ_w	ความหนาแน่นของน้ำกลั่นที่อุณหภูมิขณะทดลอง
A	พื้นที่หน้าตัดของขั้วไฟฟ้า
C	ค่าความจุไฟฟ้า
t	ความหนาของสารตัวอย่าง
δ	ค่าการสูญเสียไดอิเล็กตริก
W_d	น้ำหนักของสารตัวอย่างหลังอบแห้ง
W_a	น้ำหนักของสารตัวอย่างขณะอมน้ำชั่งในอากาศ
W_{aw}	น้ำหนักในน้ำของสารตัวอย่าง