บัญชีภาพประกอบ

หน้า

ภาพที่ 2.1 (ก) แสดงการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นความเย็น
(ข) แสดงการเปลี่ยนความร้อนเป็นกระแสไฟฟ้าของ
วัสดุผันไฟฟ้าจากความร้อน 13

ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของวัสดุผันไฟฟ้าจากความร้อนกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค
สภาพนำไฟฟ้าและสภาพนำความร้อนของวัสดุผันไฟฟ้าจากความร้อน 15

ภาพที่ 2.3 แสดงไดอะแกรมการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า 19

ภาพที่ 2.4 แสดงเครื่องมือที่ใช้วัดการแผ่ความร้อนด้วยเครื่องเลเซอร์แฟรช 21

ภาพที่ 2.5 แสดงเทคนิควิธีขั้วไฟฟ้าสี่จุด 22

ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างกราฟการหาค่าคามตึงเครียด (F)–ความดัน
(P) สำหรับเซลล์ที่ความดันสูง 23

ภาพที่ 2.7 ผลการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า สัมประสิทธิซีเบค สภาพนำความร้อน
และไดเมนเลสฟิเกอร์ออฟเมริทของเลดเทลลูไลด์ 24

ภาพที่ 2.8 ความตึงเครียด-ความเค้นของสารประกอบเลดเทลลูไลด์
และ $Pb_{1-x}Sn_xTe$ 25

ภาพที่ 2.9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และภาพ SEM ของเลดเทลลูไลด์
สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 30 นาที ด้วยวิธี
low-temperature aqueous chemical route 26

ภาพที่ 2.10 บริเวณตามขวางและตามยาวทางแสงของความถี่โฟนอนกับฟังก์ชัน
ของแลตทิซพารามิเตอร์ของเลดเทลลูไลด์ 26

ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ซีเบคกับฟังก์ชันอุณหภูมิ
ของ $Pb_{0.55}Te_{0.45}$ 27

ภาพที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพนำไฟฟ้ากับฟังก์ชันอุณหภูมิ
ของ $Pb_{0.55}Te_{0.45}$ 27

ภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างฟิเกอร์ออฟเมริทกับฟังก์ชันอุณหภูมิ
ของ $Pb_{0.55}Te_{0.45}$ 28

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ (a) สภาพนำไฟฟ้า (b) สัมประสิทธิ์ซีเบค (c) เพาเวอร์แฟกเตอร์ และ (d) ZT ค่าและสภาพนำความร้อนเปรียบเทียบกับเอกสารอ้างอิง [13] A. Kosuga et al. และ [14] H. Wang et al. สำหรับสารตัวอย่างเลดเทลลูไลด์ และ LAST18 29

ภาพที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสภาพนำไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ซีเบคของเลดเทลลูไลด์ที่เผาผนึกภายใต้เงื่อนไข HPHT 30

ภาพที่ 2.16 ค่า ZT ของเลดเทลลูไลด์ที่เผาผนึกภายใต้สุญญากาศ 31

ภาพที่ 2.17 ความหนาแน่นอิเล็กตรอนสามมิติของหน่วยเซลล์เลดเทลลูไลด์ 32

ภาพที่ 2.18 (a) รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงเลดเทลลูไลด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธี alkaline reducing chemical route ที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}$C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และ (b) ภาพ FESEM แท่งนาโนของเลดเทลลูไลด์พร้อมด้วยองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นรูปแบบของ EDX 33

ภาพที่ 2.19 สภาพต้านทานไฟฟ้า สัมประสิทธิ์ซีเบค และสภาพนำความร้อนแลตทิซของ $Pb_{0.5}Sn_{0.5}Te$ เผาผนึกที่อุณหภูมิ 900 $^{\circ}$C และเปิดทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 400 $^{\circ}$C เป็นเวลา 10 วัน 35

ภาพที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ (a) สภาพต้านทานไฟฟ้า (b) สัมประสิทธิ์ซีเบค (c) สภาพนำความร้อน (d) ZT ของตัวอย่าง $(GeTe)_{1-x}(PbTe)_x$ เมื่อ x = 0.10, 0.14, 0.18 และ 0.22 36

ภาพที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสภาพต้านทานไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ซีเบคพหุผลึกโลหะผสมของ Bi_2Te_3-PbTe เตรียมด้วยวิธี spark plasma sintering 37

ภาพที่ 2.22 การเปรียบเทียบสภาพนำความร้อนพหุผลึกของ Bi_2Te_3-PbTe พหุผลึกของ Bi_2Te_3 และก้อนโลหะของ Bi_2Te_3-PbTe 37

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 2.23 ความสัมพันธ์อุณหภูมิกับ ZT ของพหุผลึกโลหะผสม Bi_2Te_3-PbTe ที่เตรียมด้วยวิธี spark plasma sintering 38

ภาพที่ 2.24 (a) สัมประสิทธิ์ซีเบค (b) สภาพนำความร้อน และ (c) สภาพนำไฟฟ้าของโลหะผสม $Pb_{0.36}Ge_{0.64}Te$ กับ เวลาและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 39

ภาพที่ 2.25 ความสัมพันธ์ของ T (a) และ T-1/4 (b) อุณหภูมิกับสภาพต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเชิงซ้อนของ PbTe-$CoSb_3$ ต่ำกว่า 75 K สามารถปรับได้ด้วยกฎของ Mott's ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 7.2 K สภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าลดลง 40
ภาพที่ 2.26 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับสัมประสิทธิ์ซีเบค 41
ภาพที่ 2.27 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับสภาพนำความร้อนทั้งหมดของวัสดุเชิงซ้อน PbTe-$CoSb_3$ 41
ภาพที่ 2.28 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับ ZT ของวัสดุเชิงซ้อน PbTe-$CoSb_3$ 42
ภาพที่ 2.29 (a) ความหนาแน่นสถานะทั้งหมดของพอลีมอร์ฟ (b) ความหนาแน่นบางส่วนของ Pb ของสถานะของพอลีมอร์ฟ PbTe (c) ความหนาแน่นบางส่วนของ Te ของสถานะของพอลีมอร์ฟ 43
ภาพที่ 2.30 อุณหภูมิเดอเบรยของสถานะของพอลีมอร์ฟ PbTe 43
ภาพที่ 2.31 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับ ZT ของวัสดุเลดเทลลูไลด์ เลดเซลเลไนด์ และ เลดซัลไฟ 44
ภาพที่ 2.32 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับ (a) สภาพนำไฟฟ้า (b) สัมประสิทธิ์ซีเบคของเลดเทลลูไลด์ 45
(ข) แสดงแผ่นเซรามิก 28

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 2.33 สภาพนำความร้อนแลตทิชของ SMNWs และ STNWs กับฟังก์ชันของเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 nm จากการจำลอง MD กับ BTE เปรียบเทียบกับการทดลอง [6] J.W. Roh et al. (2012) ในช่วงอุณหภูมิ 300–500 K 45
ภาพที่ 3.1 คอมพิวเตอร์ความเร็วสูงที่ใช้คำนวณ 46
ภาพที่ 3.2 เครื่อง X-RAY DIFFERACTOMETER (XRD) รุ่น XRD6100 บริษัท Shimadzu ของศูนย์วิจัยเทอร์โมอิเล็กทริก 56
ภาพที่ 3.3 หลักการทำงานของเครื่อง X-Ray diffractrometer 57
ภาพที่ 3.4 เครื่องตัดสาร 58
ภาพที่ 3.5 เครื่องขัดสาร 58

ภาพที่ 3.6 เครื่องวัดความหนาแน่น 59
ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดความแข็ง 58
ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดสมบัติผันไฟฟ้าจากความร้อน 60
ภาพที่ 3.9 การวัดสัมประสิทธิ์ซีเบค 61
ภาพที่ 3.10 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า 62
ภาพที่ 4.1 คลัสเตอร์โมเดลอะตอม $Pb_{13}Te_{14}$ 63
ภาพที่ 4.2 ระดับพลังงานของคลัสเตอร์โมเดลอะตอม $Pb_{13}Te_{14}$ 64
ภาพที่ 4.3 ความหนาแน่นสถานะของคลัสเตอร์โมเดลอะตอม $Pb_{13}Te_{14}$ 65
ภาพที่ 4.4 คอนทัวร์แม็พของคลัสเตอร์โมเดลอะตอม Pb_4Te_4 66
ภาพที่ 4.5 ฟังก์ชันคลื่นของคลัสเตอร์โมเดลอะตอม Pb_4Te_4 67
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของแลตทิซพารามิเตอร์กับอุณหภูมิของเลดซัลไฟด์ เลดเซลิไนด์ เลดเทลลูไลด์ และแคดเมียมเทลลูไลด์ 68
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของความเค้นกับอุณหภูมิของเลดซัลไฟด์ เลดเซลิไนด์ เลดเทลลูไลด์ และแคดเมียมเทลลูไลด์ 69
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของความเครียดกับอุณหภูมิของเลดซัลไฟด์ เลดเซลิไนด์ เลดเทลลูไลด์ และแคดเมียมเทลลูไลด์ 69

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของ Bulk modulus กับอุณหภูมิของเลดซัลไฟด์ เลดเซลิไนด์ เลดเทลลูไลด์ และแคดเมียมเทลลูไลด์ 70

ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของ Shear modulus กับอุณหภูมิของเลดซัลไฟด์ เลดเซลิไนด์ เลดเทลลูไลด์ และแคดเมียมเทลลูไลด์ 70
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของ Young's modulus กับอุณหภูมิของเลดซัลไฟด์ เลดเซลิไนด์ เลดเทลลูไลด์ และแคดเมียมเทลลูไลด์ 71
ภาพที่ 4. 12 โครงสร้างเรขาคณิตคลัสเตอร์อะตอมของเลดซัลไฟด์ เลดเซลิไนด์ เลดเทลลูไลด์ และแคดเมียมเทลลูไลด์ขนาด 4×4×4 ของหน่วยเซลล์ ออกแบบโดยใช้วิธีพลศาสตร์โมเลกุลที่อุณหภูมิ (a) 300 K และ (b) Bredig transition (700 K) 72
ภาพที่ 4. 13 ความสัมพันธ์ของสภาพอัดได้และการขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อนกับอุณหภูมิของเลดซัลไฟด์ เลดเซลิไนด์ เลดเทลลูไลด์ และแคดเมียมเทลลูไลด์ 72
ภาพที่ 4. 14 ความสัมพันธ์ของความจุความร้อนกับอุณหภูมิของเลดซัลไฟด์

เลดเซลิไนด์ เลดเทลลูไลด์ และแคดเมียมเทลลูไลด์เปรียบเทียบกับ Y. Bencherif et al. (2011) 73
ภาพที่ 4. 15 ความสัมพันธ์ของสภาพนำความร้อนกับอุณหภูมิของเลดซัลไฟด์ เลดเซลิไนด์ เลดเทลลูไลด์ และแคดเมียมเทลลูไลด์เปรียบเทียบกับ J. Androulakis et al. (2009) และ T. Su et al. (2007) 74
ภาพที่ 4. 16 ความสัมพันธ์ของสภาพนำไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเลดซัลไฟด์ เลดเซลิไนด์ เลดเทลลูไลด์ และแคดเมียมเทลลูไลด์เปรียบเทียบกับ T. Su et al. (2009) 75
ภาพที่ 4.17 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มุมตกกระทบ 2θ ในช่วง 10-90 ในแต่ละระนาบผลึกของเลดเทลลูไลด์ 75
ภาพที่ 4.18 รูปทรงของก้อนเลดเทลลูไลด์ 76

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.19 รอยกดของหัวกดระดับไมโครบนผิวของเลดเทลลูไลด์ 76
ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ของสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเลดเทลลูไลด์เปรียบเทียบกับรายงานของ Y.L. Pei *et al*. (2012) 77
ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ซีเบคกับอุณหภูมิของเลดเทลลูไลด์เปรียบเทียบกับรายงานของ Y.L. Pei *et al*. (2012) 78
ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของสภาพนำความร้อนกับอุณหภูมิของเลดเทลลูไลด์เปรียบเทียบกับรายงานของ Y.L. Pei *et al*. (2012) 79
ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของ ZT กับอุณหภูมิของเลดเทลลูไลด์เปรียบเทียบกับรายงานของ Y.L. Pei *et al*. (2012) 80