สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบาญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(12)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(15)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.3 วัตถุประสงค์	5
2. ทฤษฎี	6
2.1 เทอร์มิสเตอร์	6
2.1.1 เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC	8
2.1.2 เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC	9
2.2 เทคนิคการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์	13
2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ	16
2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง	19
3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	22
3.1 วัสดุ	22
3.2 อุปกรณ์	22
3.3 วิธีการวิจัย	25
3.3.1 เตรียมก้อนสาร $Mn_xNi_yFe_2O_4$ จากวัสดุเริ่มต้นที่เป็นผง	25
3.3.2 การศึกษาลักษณะของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง XRD	25
3.3.3 ทดสอบสมบัติเชิงกายภาพของสารตัวอย่าง	26

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงฟิสิกส์ของสารตัวอย่าง	26
3.3.4.1 การทดสอบเสถียรภาพทางไฟฟ้า	26
3.3.4.2 การทดสอบปรากฏการณ์ NTC	26
ก. การทดสอบปรากฏการณ์ NTC โดยใช้วิธีที่ 1	27
ข. การทดสอบปรากฏการณ์ NTC โดยใช้วิธีที่ 2	27
ค. การทดสอบปรากฏการณ์ NTC โดยใช้วิธีที่ 3	28
3.3.4.3 การวิเคราะห์ค่า α ,B และ R(T)	34
ก. การวิเคราะห์ค่า α	34
ข. การวิเคราะห์ค่า B	34
ค. การวิเคราะห์ค่า R(T)	34
3.3.5 การประยุกต์ใช้สารตัวอย่างทั้ง 3 สูตร	34
3.3.5.1 การประยุกต์ใช้สารตัวอย่างให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ	34
3.3.5.2 การประยุกต์ใช้สารตัวอย่างให้ทำหน้าที่วัดและควบคุมอุณหภูมิ	37
ก. การประยุกต์ใช้สารตัวอย่างให้ทำหน้าที่วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า	37
ข. การประยุกต์ใช้สารตัวอย่างให้ทำหน้าที่วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาอบไฟฟ้า	39
ค. การประยุกต์ใช้สารตัวอย่างให้ทำหน้าที่วัดและควบคุมอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว	41
4. ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย	44
4.1 ผลจากการเตรียมก้อนสาร $Mn_xNi_yFe_2O_4$ จากวัสดุเริ่มต้นที่เป็นผง	44
4.2 ผลการศึกษาลักษณะของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง XRD	46
4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพของสารตัวอย่าง	48
4.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงฟิสิกส์ของสารตัวอย่าง	49
4.4.1 ผลการทดสอบเสถียรภาพทางไฟฟ้า	49

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2 ผลการทดสอบปรากฏการณ์ NTC	50
4.4.2.1 ผลการทดสอบปรากฏการณ์ NTC โดยใช้วิธีที่ 1	50
4.4.2.2 ผลการทดสอบปรากฏการณ์ NTC โดยใช้วิธีที่ 2	51
4.4.2.3 ผลการทดสอบปรากฏการณ์ NTC โดยใช้วิธีที่ 3	52
4.4.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่า α ,B และ R(T)	55
ก. ผลการวิเคราะห์ค่า α	55
ข. ผลการวิเคราะห์ค่า B	57
ค. ผลการวิเคราะห์ค่า R(T)	58
4.4.3 ผลการแสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้สารตัวอย่างทั้ง 3 สูตร	60
4.4.3.1 ผลการประยุกต์ใช้สารตัวอย่างให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ	60
4.4.3.2 ผลการประยุกต์ใช้สารตัวอย่างให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดและควบคุมอุณหภูมิ	64
ก. ผลการประยุกต์ใช้สารตัวอย่างทำหน้าที่วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า	65
ข. ผลการประยุกต์ใช้สารตัวอย่างทำหน้าที่วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาอบไฟฟ้า	71
ค. ผลการประยุกต์ใช้สารตัวอย่างทำหน้าที่วัดและควบคุมอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว	74
5. สรุป	77
5.1 สรุปผลการวิจัย	77
5.2 ข้อเสนอแนะ	82
5.3 งานวิจัยต่อเนื่องในอนาคต	83
บรรณานุกรม	84
ภาคผนวก โปรแกรมที่เขียนโดยใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาล	85
ประวัติผู้เขียน	102

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 แสดงการเปรียบเทียบวัสดุชนิดต่างๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นหัววัดเชิงความร้อน 13

4.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพของสารตัวอย่าง 48

4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า α ในช่วงอุณหภูมิ 25 ^{o}C ถึง 100 ^{o}C 55

4.3 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่า α ในช่วงอุณหภูมิ 100 ^{o}C ถึง 200 ^{o}C 56

4.4 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่า α ในช่วงอุณหภูมิ 200 ^{o}C ถึง 400 ^{o}C 56

4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่า B ในช่วงอุณหภูมิ 25 ^{o}C ถึง 100 ^{o}C 57

4.6 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่า B ในช่วงอุณหภูมิ 100 ^{o}C ถึง 200 ^{o}C 57

4.7 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่า B ในช่วงอุณหภูมิ 200 ^{o}C ถึง 400 ^{o}C 58

4.8 สรุปสมการที่ใช้ในการปรับเทียบเครื่องมือ 61

4.9 แสดงค่าเปอร์เซนต์ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเชิงพาณิชย์(Ttrue) กับอุณหภูมิที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์(Tmeasure) 64

4.10 สรุปสมการที่ใช้ในการปรับเทียบเครื่องมือ 66

4.11 แสดงค่าเปอร์เซนต์ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเชิงพาณิชย์(Ttrue)กับอุณหภูมิที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์(Tmeasure) 69

4.12 แสดงผลการทดลองให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าของสารที่ 1 70

4.13 แสดงผลการทดลองให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าของสารที่ 2 70

4.14 แสดงผลการทดลองให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าของสารที่ 3 71

4.15 สรุปสมการที่ใช้ในการปรับเทียบเครื่องมือ 71

4.16 แสดงผลการทดลองให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของเตาอบไฟฟ้าของสารที่ 1 73

4.17 แสดงผลการทดลองให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของเตาอบไฟฟ้าของสารที่ 2 73

4.18 แสดงผลการทดลองให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของเตาอบไฟฟ้าของสารที่ 3 73

4.19 แสดงผลการทดลองให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิคงที่ในย่านไนโตรเจนเหลว 76

5.1 สรุปค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ(α ($^{o}C^{-1}$)) ของสารทั้ง 3 สูตร 79

5.2 สรุปค่าดัชนีความไวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิ (B (K)) ของสารทั้ง 3 สูตร 79

5.3 สรุปผลการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยโดยใช้คอมพิวเตอร์ของสารทั้ง 3 สูตร 80

รายการรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แสดงลักษณะสมบัติของ $BaTiO_3$ ซึ่งมีสมบัติเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC 8

2.2 แสดงตัวอย่างการลดลงของความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิ 9

2.3 แสดงตัวอย่างของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ในรูปแบบต่างๆ 10

2.4 การนำข้อมูลเข้าและส่งข้อมูลออก 14

2.5 รายละเอียดวงจรอินพุตบัฟเฟอร์ 14

2.6 การส่งข้อมูลออก 15

2.7 ไดอะแกรม ADC หรือ A/D 16

2.8 แสดงการจัดชุดทดลองสำหรับปรากฏการณ์ซีเบค 17

2.9 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ซีเบค 18

2.10 ภาคตัดขวาง(cross section) ของหลอดรังสีเอกซ์ 19

2.11 แสดงทางเดินรังสีเอกซ์ 20

3.1 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อวัดเสถียรภาพทางไฟฟ้า 26

3.2 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อทดสอบปรากฏการณ์ NTC วิธีที่ 1 27

3.3 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อทดสอบปรากฏการณ์ NTC วิธีที่ 2 27

3.4 แสดงระบบการทำงานสำหรับให้คอมพิวเตอร์แสดงความต้านทานของสารตัวอย่าง ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ 28

3.5 วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับให้คอมพิวเตอร์แสดงความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิ 29

3.6 โฟว์ชาร์ทที่แสดงการตรวจสอบการทำงานของวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ให้นำ แรงดันไฟฟ้าจากภายนอกคอมพิวเตอร์เข้าสู่ภายในคอมพิวเตอร์ 30

3.7 โฟว์ชาร์ทแสดงการตรวจสอบการทำงานของวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ให้นำ แรงดันไฟฟ้าภายในคอมพิวเตอร์ออกนอกคอมพิวเตอร์ 30

3.8 โฟว์ชาร์ทแสดงหลักการทำงานของโปรแกรมให้คอมพิวเตอร์อ่านความต้านทาน ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ 31

3.9(ก) โฟว์ชาร์ทแสดงหลักการของโปรแกรมหลักเพื่อให้คอมพิวเตอร์แสดงและ พิมพ์เส้นกราฟของความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิ 32

รายการรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 (ข) โฟว์ชาร์ทแสดงหลักการของโปรแกรมย่อยเพื่อให้คอมพิวเตอร์แสดงแกน x และแกน y ของความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิ	32
3.9(ค) โฟว์ชาร์ทแสดงหลักการของโปรแกรมย่อยเพื่อให้คอมพิวเตอร์แสดงกราฟของความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิ	33
3.10 แสดงระบบการวัดอุณหภูมิที่แสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์	35
3.11 วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับให้คอมพิวเตอร์วัดอุณหภูมิ	35
3.12 โฟว์ชาร์ทแสดงการใช้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิ	36
3.13 แสดงโครงสร้างระบบจ่ายไฟฟ้า วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า	37
3.14 วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า	37
3.15 โฟว์ชาร์ทที่แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้า วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า	38
3.16 โฟว์ชาร์ทที่แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้า วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า	40
3.17 แสดงโครงสร้างระบบจ่ายไฟฟ้าวัดและควบคุมอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว	41
3.18 วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว	42
3.19 โฟว์ชาร์ทที่แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้า วัดและควบคุมอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว	43
4.1 แสดงก้อนสารตัวอย่างที่เตรียมได้เมื่อผ่านการทำขั้วด้วยกาวเงิน	44
4.2 แสดงแพทเทิร์นการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารทั้ง 3สูตร	47
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน (R) และเวลา (t)	49
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน (R) และอุณหภูมิ (T) โดยใช้วิธีที่ 1	51
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน (R) และอุณหภูมิ (T) โดยใช้วิธีที่ 2	52
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน (R) และอุณหภูมิ (T) โดยใช้วิธีที่ 3 โดยให้คอมพิวเตอร์อ่านความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิ	53
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน (R) และอุณหภูมิ (T) โดยใช้วิธีที่ 3 โดยให้คอมพิวเตอร์พิมพ์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ	54
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Ttrue กับ AV ในช่วงอุณหภูมิ 25 ^{0}C ถึง 170 ^{0}C	60
4.9 แสดงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเชิงพาณิชย์ (Ttrue) กับอุณหภูมิที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์ (Tmeasure) ในช่วง 25 ^{0}C ถึง 170 ^{0}C	62

รายการรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.10 แสดงเปอร์เซนต์ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเชิงพาณิชย์ (Ttrue) กับอุณหภูมิที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์(Tmeasure) ในช่วง 25 ^{0}C ถึง 170 ^{0}C 63

4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเชิงพาณิชย์ (Ttrue) กับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร (AV) เมื่อใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิ 65

4.12 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเชิงพาณิชย์ (Ttrue) กับอุณหภูมิที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์ (Tmeasure) เมื่อใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิ 67

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ความแตกต่างระหว่าง Ttrue กับ Tmeasure เมื่อใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ 25 ^{0}C ถึง 200 ^{0}C 68

4.14 แสดงภาพบนจอคอมพิวเตอร์ในขณะใช้งาน 69

4.15 แสดงภาพบนจอคอมพิวเตอร์ในขณะใช้งาน 72

4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเชิงพาณิชย์(Ttrue) กับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสาร (AV) ของสารสูตรที่ 1 เมื่อใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ -50 ^{0}C ถึง 20 ^{0}C 74

4.17 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเชิงพาณิชย์ (Ttrue) กับอุณหภูมิที่อ่านได้โดยใช้คอมพิวเตอร์ (Tmeasure) ของสารที่ 1 เมื่อใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ -50 ^{0}C ถึง 20 ^{0}C 75

4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ความแตกต่างระหว่าง Ttrue กับ Tmeasure ของสารที่ 1 เมื่อใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิ -50 ^{0}C ถึง 20 ^{0}C 75

ตัวย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
R	ความต้านทานของวัสดุ
ρ	สภาพต้านทานของวัสดุ
σ	สภาพการนำของวัสดุ
A	พื้นที่หน้าตัดของสารตัวอย่างที่ได้รับการทำขั้วไฟฟ้า
L	ความหนาของสารตัวอย่าง
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของสารตัวอย่าง
T_C	อุณหภูมิคูรี
V	ความต่างศักย์ไฟฟ้า
I	กระแสไฟฟ้า
R(T)	ความต้านทานที่อุณหภูมิใดๆ
R_α	ความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง
B	ดัชนีความไวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิ
T	อุณหภูมิ
α	สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ
E	พลังงานของรังสีเอกซ์
h	ค่าคงที่ของแพลงค์
ν	ความถี่
c	ความเร็วแสงในสุญญากาศ
λ	ความยาวคลื่น
d_{hkl}	ระยะระหว่างระนาบ
θ	มุมสะท้อนจากระนาบแบรกก์ของรังสีเอกซ์
n	อันดับการเลี้ยวเบนมีค่าตั้งแต่ 1,2,3,....
V_s	แรงดันตกคร่อมสารตัวอย่าง
V_{Ls}	แรงดันตกคร่อมระหว่างตัวต้านทานกับสารตัวอย่าง
I_s	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารตัวอย่าง
V_T	แรงดันที่ออกจากหัววัดอุณหภูมิ

AV	แรงดันอนาลอก
DV	แรงดันดิจิตอล
Ttrue	อุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิเชิงพาณิชย์
Tmeasure	อุณหภูมิที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้สารตัวอย่างเป็นหัววัด