สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……...I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……..II

กิตติกรรมประกาศ…….III

สารบัญ…….....IV

สารบัญตาราง…..VIII

สารบัญรูป…...……..IX

ศัพท์เทคนิค…..…….…XIII

สัญลักษณ์…….....XV

บทที่ 1 บทนำ…….……...…….…….……..1

1.1 ประวัติการค้นพบสภาพตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด……...1

1.2 คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ.....…….……..3

1.2.1 อุณหภูมิวิกฤต (Critical Temperature:T_C)……..……..…...3

1.2.2 สนามแม่เหล็กวิกฤต (Critical Magnetic Field:H_C)..…….……...3

1.2.3 ความหนาแน่นกระแสวิกฤต (Critical Current Density:J_C)...…..……..4

1.3 การทดสอบคุณสมบัติความเป็นตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด…….…..…….……5

1.3.1 ปรากฏการณ์ไมส์เนอร์ (Meissner Effect)…...…….……5

1.3.2 ปรากฏการณ์ไร้ความต้านทาน (Zero Resistance)..……6

1.3.3 ปรากฏการณ์ซิลสบี (Silsbee Effect)…….....……7

1.4 คุณสมบัติทางแม่เหล็กของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด…….…..…….……7

1.4.1 การทำลายสภาพความเป็นตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดด้วยสนามแม่เหล็ก.....……7

1.5 ตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2.....…….……8

1.6 ขอบเขตงานวิจัย…….....10

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการทดลอง.....11

2.1 บทนำ…..……..…11

2.2 กระบวนการสร้างมาตรฐานของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-x}$.……..…11

2.2.1 การเตรียมสารเคมีของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ …….....11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2 ขั้นตอนกระบวนการเผา.....12
2.3 การวัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน.....14
2.4 ผลของสนามแม่เหล็กภายนอกที่มีต่อตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด.....15
2.5 แบบจำลองโครงสร้างมหภาคของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-x}$.....18
2.5.1 แบบจำลองโครงสร้างมหภาค.....18
2.5.2 การนำแบบจำลองโครงสร้างมหภาคมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน.....19
2.5.2.1 การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันโดยใช้แบบจำลองโครงสร้างมหภาค.....19
2.5.2.2 การอธิบายผลของสนามแม่เหล็กโดยใช้แบบจำลองโครสร้างมหภาค.....22

บทที่ 3 การทดลอง.....29
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง.....29
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....29
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด.....30
3.1.3 เตาเผาและชุดควบคุมอุณหภูมิ (Furnance and Temperature control).....30
3.1.4 ชุดบัดกรีอัลตราโซนิค.....31
3.1.5 ชุดวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า.....31
3.2 การเตรียมผงสารของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-x}$.....32
3.2.1 การเตรียมสารเคมีของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-x}$.....32
3.2.2 ขั้นตอนกระบวนการเผา.....32
3.3 กระบวนการสร้างตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211).....33
3.3.1 การทดลองผลของอุณหภูมิ Calcination ที่มีผลต่อค่ากระแสวิกฤตของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211).....33
3.3.1.1 การเตรียมสารเคมีของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$.....33
3.3.1.2 ขั้นตอนกระบวนการเผา.....34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1.3 กระบวนการสร้างตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211).....36

3.3.2 การทดลองผลของอุณหภูมิ Calcination ที่มีผลต่อค่ากระแสวิกฤตของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211).....37

3.4 การวัดคุณสมบัติต่างๆของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211)……...40

3.4.1 ปรากฏการณ์ไมส์เนอร์ (Meissner Effect)…….…….....40

3.4.2 การวัดค่ากระแสวิกฤต.....……...40

3.5 การทดลองผลของสนามแม่เหล็กภายนอกที่มีต่อค่ากระแสวิกฤตของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211)……...……..41

3.6 การวัดอุณหภูมิวิกฤตของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด$YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211)…….……...43

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง……...45

4.1 ผลของอุหภูมิ Calcination ที่มีผลต่อค่ากระแสวิกฤตของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211).……...……..…45

4.2 ผลของอุหภูมิ Sintering ที่มีผลต่อค่ากระแสวิกฤตของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211).……...……...…...……..…..49

4.3 ปรากฏการณ์ไมส์เนอร์ของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211)……53

4.4 ผลของสนามแม่เหล็กภายนอกที่มีต่อค่ากระแสวิกฤตของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211)…….…....54

4.5 อุณหภูมิวิกฤตของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211)..……...……55

4.4 ผลของสนามแม่เหล็กภายนอกที่มีต่อค่ากระแสวิกฤตของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211)…….……54

4.5 อุณหภูมิวิกฤตของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211)..……...……56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 แบบจำลองโครงสร้างมหภาคของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$.....57

5.1 แบบจำลองโครงสร้างมหภาคแบบจำลองโครงสร้างมหภาคของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$.....57

5.2 แบบจำลองโครงสร้างมหภาคที่อัตราส่วนผสม Y211 ต่างๆ.....58

5.3 การนำแบบจำลองโครงสร้างมหภาคมาอธิบายโดยการให้สนามแม่เหล็กภายนอก.....60

บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์……...……...……...……63

เอกสารอ้างอิง……..……..…..64

ภาคผนวก…….……..65

ประวัติผู้เขียน…….....67

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 คุณสมบัติของสารแต่ละชนิด.....29

4.1 แสดงค่ากระแสวิกฤตที่อุณหภูมิ Calcination และอัตราส่วน $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211) 48

4.2 แสดงค่ากระแสวิกฤตที่อุณหภูมิ Sintering และอัตราส่วน $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211) 52

4.3 แสดงระยะการลอยตัวของปรากฏการณ์ไมส์เนอร์.....54

4.4 แสดงค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กที่อัตราส่วน $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211) ต่างๆ.....55

4.5 แสดงค่าอุณหภูมิวิกฤตที่อัตราส่วน $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211) ต่างๆ.....56

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานทางไฟฟ้ากับอุณหภูมิของปรอทจากการทดลองของนาย Heike Kamarlingh Onnes……..……..……..…...…...2

1.2 ความสัมพันธ์ของสถานะการนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ,สนามแม่เหล็กและความหน่าแน่นกระแส……..…...…….……4

1.3 ปรากฏการณ์ไมส์เนอร์.....……...……...6

1.4 วงจรการทดลองเพื่อแสดงปรากฏการณ์ไร้ความต้านทาน…….…..……..6

1.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้า.....…….7

1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่ป้อนจากภายนอกและ Induced Magnetic Field ในตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด ก) ประเภทที่ 1 ข) ประเภทที่ 2.....…...9

2.1 กระบวนการสร้างมาตรฐานของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด$YBa_2Cu_3O_{7-x}$……...13

2.2 ชิ้นสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่ผ่านการตัดแต่งรูปทรง.....…...……...14

2.3 วงจรที่ใช้วัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้า.....…….14

2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้า.....15

2.5 วงจรที่ใช้ทดลองวัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอก…….....16

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้า.....16

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กภายนอกค่าต่างๆ.....17

2.8 แบบจำลองโครงสร้างมหภาคของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-x}$.….....18

2.9 แบบจำลองโครงสร้างอย่างง่ายของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด.....……..19

2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าและแบบจำลองโครงสร้างมหภาคของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดเมื่อกระแสมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับกระแสวิกฤต.....20

2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าและแบบจำลองโครงสร้างมหภาคของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดเมื่อกระแสมีค่ามากกว่ากระแสวิกฤต.....21

2.12 แบบจำลองที่นำมาอธิบายกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน (เส้นที่ 3) เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากระทำที่กระแสไบอัสเท่ากับหรือมากกว่ากระแสวิกฤต.....23

2.13 แบบจำลองที่นำมาอธิบายกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน (เส้นที่3) เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากระทำที่กระแสไบอัสน้อยกว่ากระแสวิกฤต.....24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.14 แบบจำลองที่นำมาอธิบายกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก (B=0) ที่กระแสเท่ากับกระแสวิกฤต.....25

2.15 แบบจำลองที่นำมาอธิบายกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก B1=4 gauss ที่กระแสเท่ากับกระแสวิกฤต.....26

2.16 แบบจำลองที่นำมาอธิบายกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก B2=5.5 gauss ที่กระแสเท่ากับกระแสวิกฤต.....27

2.17 แบบจำลองที่นำมาอธิบายกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก B3=9.4 gauss ที่กระแสเท่ากับกระแสวิกฤต.....28

3.1 อุปกรณ์การเตรียมชิ้นสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด.....30

3.2 เตาเผาและชุดควบคุมอุณหภูมิ.....30

3.3 ชุดบัดกรีอัลตราโซนิค.....31

3.4 ชุดวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า.....31

3.5 กระบวนการเตรียมผงสารของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (Y123).....33

3.6 กระบวนการเตรียมผงสารของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด Y_2BaCuO_5 (Y123) ที่อุณหภูมิ Calcination ต่างๆ (900^OC, 920^OC, 940^OC, 960^OC, 980^OC).....35

3.7 กระบวนการสร้างตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211) ที่อัตราส่วนต่างๆ.....36

3.8 กระบวนการเตรียมผงสารของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด Y_2BaCuO_5 (Y123) ที่อุณหภูมิ Sintering ต่างๆ (900^OC, 920^OC, 940^OC, 960^OC, 980^OC).....37

3.9 การทดสอบปรากฏการณ์ไมส์เนอร์.....40

3.10 ชิ้นสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่ผ่านการตัดแต่งรูปทรง.....41

3.11 วงจรที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้า.....41

3.12 วงจรวัดคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันเมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากระทำ.....42

3.13 วงจรวัดอุณหภูมิวิกฤตของสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด.....43

4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Calcination 900^OC.....45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Calcination 920^{O}C……...45

4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Calcination 940^{O}C……...46

4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Calcination 960^{O}C……...46

4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Calcination 980^{O}C……...47

4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Calcination ต่างๆ..……...47

4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Sintering 900^{O}C……...49

4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Sintering 920^{O}C……...49

4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Sintering 940^{O}C……...50

4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Sintering 960^{O}C……..50

4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Sintering 980^{O}C……..51

4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสวิกฤตและอัตราส่วนผสม Y211 ที่อุณหภูมิ Sintering ต่างๆ……..51

4.13 ปรากฏการณ์ไมส์เนอร์ที่อัตราส่วน $YBa_2Cu_3O_{7-X}$: Y_2BaCuO_5 (Y123 : Y211) 1:0 , 1:0.1 , 1:0.2 , 1:0.3……...53

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสวิกฤตกับสนามแม่เหล็กภายนอกค่าต่างๆ…….…….54

5.1 แบบจำลองโครงสร้างมหภาคของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดชนิด $YBa_2Cu_3O_{7-X}$.....57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

5.2 แบบจำลองโครงสร้างมหภาคของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่อัตราส่วน Y123 : Y211
อุณหภูมิ Calcination และ Sintering 940^{O}C.....58
5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสวิกฤตกับสนามแม่เหล็กภายนอก.....60
5.4 แบบจำลองโครงสร้างมหภาคของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่อัตราส่วน Y123 : Y211
ที่อุณหภูมิ Calcination 940^{O}C และ Sintering 900^{O}C เมื่อให้สนามแม่เหล็ก
ภายนอก.....61