สารบาญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ค

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ

สารบาญตาราง ณ

สารบาญภาพประกอบ ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ประวัติสารตัวนำยวดยิ่ง 1

1.2 สาร $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ 3

1.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย 7

บทที่ 2 ทฤษฎี 9

2.1 สารตัวนำยวดยิ่ง 9

2.2 สมบัติของสารตัวนำยวดยิ่ง 10

2.2.1 ความต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์ 10

2.2.2 ปรากฏการณ์ไมซ์สเนอร์ 11

2.3 ชนิดของสารตัวนำยวดยิ่ง 12

2.3.1 สารตัวนำยวดยิ่งชนิดที่ 1 (Type I superconductor) 13

2.3.2 สารตัวนำยวดยิ่งชนิดที่ 2 (Type II superconductor) 14

2.4 ทฤษฎี BCS 16

2.5 อุณหภูมิวิกฤตในสารตัวนำยวดยิ่ง 17

2.6 Electron Conduction และกฎของโอหม์ 20

2.7 ค่าสภาพต้านทาน 23

2.7.1 ค่าสภาพต้านทานที่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิวิกฤต(T_c) 23

2.7.2 สภาพความต้านทานแบบแอนไอโซทรอปิก 26

2.7.3 anisotropy Determination 27

2.8 โครงสร้างสาร $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ 29

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

หน้า

2.9 การถ่ายภาพเลาเอ (Laue photograph) 33
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง 36
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 36
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการอบและวัดขนาดของสาร 36
3.2.1 กล้อง Zoom stereo microscope 36
3.2.2 กล้อง Optical microscope 36
3.2.3 เตาอบสาร Lenton (Lenton furnace) 37
3.3 ระบบ Closed Cycle Refrigerator 37
3.3.1 Controller 37
3.3.2 Compressor 38
3.3.3 Refrigerator Cold Head 38
3.4 ระบบสุญญากาศ 38
3.4.1 Rotary Pump 39
3.4.2 Diffusion Pump 39
3.4.3 Pressure Gauge 39
3.4.4 Pressure Vacuum Gauge 40
3.5 อุปกรณ์การทดลองและวัดอุณหภูมิ 40
3.5.1 Sample Holder 40
3.5.2 Temperature Controller 41
3.5.3 Thermometer 41
3.5.4 Power Supply 42
3.6 อุปกรณ์การเก็บและการบันทึกข้อมูล 42
3.6.1 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter) 42
3.6.2 สแกนเนอร์ (Scanner) 43
3.6.3 IEEE 488 Interfacing 43
3.6.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูล และ ควบคุมการทดลอง 44

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

หน้า

บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง 52

4.1 รายละเอียดการติด contact และการวัดค่าสภาพต้านทาน 53

4.1.1 วิธีการวัดค่าสภาพความต้านทาน 54

4.2 ขั้นตอนการติดตั้งสารและการ Contact 54

4.2.1 ขั้นตอนการตัดสาร 54

4.2.2 ขั้นตอนการติด Contact สารตัวนำยวดยิ่ง $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ ที่เป็นผลึกเชิงเดี่ยว 54

4.3 การ Setup เพื่อทำการวัดค่าสภาพความต้านทาน 56

4.3.1 ขั้นตอนการเปิดเครื่อง 56

4.3.2 ขั้นตอนการวัด 57

4.4 ผลการทดลองวัดค่าสภาพความต้านทานของสารตัวนำยวดยิ่งที่เป็นผลึกเชิงเดี่ยว $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ 59

4.5 ภาพถ่ายของลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่ถ่ายด้วยกล้อง Optic microscope 64

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง 67

5.1 ผลของการโด๊ปสทรอนเซียม(Sr)กับค่าสภาพความต้านทาน 67

5.2 ผลการโด๊ป Sr ที่มีต่อโครงสร้างผลึก 69

5.2.1 ผลต่อโครงสร้างผลึก 69

5.2.2 การเกิด Cu^{3+} 70

5.3 ข้อเสนอแนะ 72

เอกสารอ้างอิง 73

ภาคผนวก ก 75

ภาคผนวก ข 97

ภาคผนวก ค 99

ประวัติผู้เขียน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	แสดงค่าสภาพความต้านทานของแต่ล่ะค่าการโด๊ป Sr และผลที่ได้จากการวัด	58
5.1	แสดงค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิที่การโด๊ป x=0.2 ,0.3 และ 0.35 ตามลำดับ ที่ได้จากการ fir curve ของข้อมลูที่ได้จากการทดลองโดยใช้โปรแกรม Microcal Origin เวอร์ชั่น 4.1	68

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารบาญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงการลดลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านเข้าไปในเนื้อสารตัวนำยวดยิ่ง	2
1.2	แสดงการวิวัฒนาการของการค้นพบสารตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง	8
2.1	แสดงการตกของค่าสภาพความต้านทานที่อุณหภูมิวิกฤต	
2.2	แสดงวงแหวนตัวนำยวดยิ่ง (ก) สารในสถานะปกติ (ข) สารในสถานะการนำยวดยิ่ง (ค) สารในสถานะการนำยวดยิ่งที่มี perfect current ไหลอยู่	
2.3	(ก) แสดงสนามแม่เหล็กจากภายนอกผ่านเข้ามาในเนื้อสาร โดยสารมีรูปร่างเป็นทรงกลม (ข) แสดงสนามแม่เหล็กในสารตัวนำยวดยิ่งที่แสดงปรากฏการณ์ perfect diamagnetic	12
2.4	แสดงสนามแม่เหล็กวิกฤตที่เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิในสารตัวนำยวดยิ่งชนิดที่ 1	13
2.5	แสดง magnetization ที่เป็นฟังก์ชั่นของสนามแม่เหล็กภายนอกในสารตัวนำยวดยิ่ง ชนิดที่ 1	14
2.6	แสดง magnetization ที่เป็นฟังก์ชั่นของสนามแม่เหล็กภายนอกในสารตัวนำยวดยิ่ง ชนิดที่2	14
2.7	แสดงการเข้าไปสู่ภายในสารตัวนำยวดยิ่งชนิดที่ 2 ของเส้นแรงแม่เหล็ก ในสภาวะ Mixed state	15
2.8	แสดงค่าสนามแม่เหล็กวิกฤต B_{c1} และ B_{c2} ที่เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิ	15
2.9	โมเดลแสดงสถานะซุปเปอร์คอนดักชั่นอิเล็กตรอน	17
2.10	วามสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพความต้านทานและอุณหภูมิ	18
2.11	กราฟรายงานผลครั้งแรกที่พบสาร $La_{2-x}Ba_xCuO_4$ (Ba(x) = 0.75)ซึ่งเป็นตัวนำยวดยิ่ง ที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูง (Bednoz และ Muller)	19
2.12	(ก) แสดงกราฟรูปแบบการตกถึงศูนย์ของ $Y_2Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ (ข) แสดงขอบเขตของค่าสภาพความต้านทานของสารตัวนำยวดยิ่งแบบ pure และ impure	20
2.13	แสดงอุณหภูมิที่ขึ้นกับสภาพความต้านทาน ρ ของ ตัวนำบริสุทธิ์(ρ_0)และตัวนำไม่บริสุทธิ์(ρ_0') ณ ที่อุณหภูมิเป็น	22

รูปที่		หน้าที่
2.14	แสดงการตกของค่าสภาพความต้านทานอย่างทันทีทันใด โดยมีค่าเป็นศูนย์ที่อุณหภูมิการเปลี่ยนเป็นสารตัวนำยวดยิ่ง (ก) สารตัวนำยวดยิ่งที่อุณหภูมิวิกฤตต่ำๆจะเป็นรูปของ Bloch T^5 และ (ข) สารตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง	24
2.15	แสดงค่าสภาพความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิ ที่สาร rare earth (R) ในสมการ $RBa_2Cu_3O_7$	25
2.16	(ก) แสดงกราฟค่าสภาพความต้านทานของ $(La_{0.9125}Sr_{0.0825})_2CuO_4$ และ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ รวมทั้งสารประกอบ V_3Si (T_c = 17.1 K) (ข) กราฟแสดงค่าสภาพความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ที่ความดันออกซิเจนต่างๆ	25
2.17	(ก) กราฟแสดงค่าสภาพความต้านทานในระนาบ ρ_{ab} และในแนวตั้งฉากกับระนาบρ_cของสาร $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$[30] (ข) กราฟเส้นที่สร้างจาก ρ_cT และ T^2 ของผลึกเชิงเดี่ยว $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$	26
2.18	แสดงวิธีการวัดค่าสภาพความต้านทานแบบ four-point method	27
2.19	แสดงการวัดค่าสภาพความต้านทานแบบแอนไอโซทรอปิก	28
2.20	แสดงโครงสร้างของ La_2CuO_4 ทางด้านซ้ายแสดงสูตรใน Unit cell ตามลำดับชั้นและ ทางขวาแสดง sub cell	30
2.21	(ก) โครงสร้างแบบ regular unit cell (T phase) ของสาร $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ (ข) โครงสร้างแบบhybrid unit cel (T*phase)ของสาร$La_{2-x-y}R_ySr_xCuO_4$ (ก) โครงสร้างแบบ alternate unit cell (T' phase) ของสาร $(Nd_{1-x}Ce_x)_2CuO_4$	30
2.22	แสดงเส้นโครงร่างของ constant-valence charge density ที่อยู่บนระนาบ x, z และ ที่วางอยู่ในแนวทแยงมุมของระนาบใน unit cell	31
2.23	แสดงชั้นของ CuO_2 ของโครงสร้าง La_2CuO_4 ที่อยู่ในแนวนอนและแสดงระยะห่างระหว่างชั้นในแกน C	32
2.24	แสดงเฟสไดอแกรมของ $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ ระหว่างการโด๊ป Sr (x) กับอุณหภูมิวิกฤต	32
2.25	แสดงตำแหน่งของอะตอมที่เรียงตัวแบบหนึ่งมิติ	33

รูปที่ หน้า

2.27 แสดงการดิฟแฟรกชั่นของ รังสีเอ็กซ์ด้วยอะตอมที่เรียงตัวในหนึ่งมิติที่ปรากฏในแผ่นฟิล์มซึ่งเป็นรูปพาราโบลิค 34

2.28 แสดงภาพดิฟแฟรกชันรังสีเอ็กซ์ด้วยอะตอมที่เรียงตัวแบบหนึ่งมิติ 34

3.1 แสดง Block Diagram ของเครื่องมือวัดค่าสภาพความต้านทานที่ 1 Sample 45

3.2 แสดง Block Diagram ของเครื่องมือวัดค่าสภาพความต้านทานที่ 2 Sample 45

3.3 (ก) แสดงลักษณะของไดโอดเซนเซอร์ที่วัดอุณหภูมิของ Sample
(ข) แผนผังการวัดไดโอดเซนเซอร์ 46

3.4 แสดงลักษณะด้านหน้าและด้านหลังของ Sample Holder พร้อมกับลักษณะทางเดินของสายไฟที่เชื่อมต่อกับที่พักสาย 46

3.5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าสภาพความต้านทานและระบบสุญญากาศ 47

3.6 แสดงภาพถ่ายของระบบสุญญากาศ 47

3.7 แสดงชุดอุปกรณ์วัดค่าสภาพความต้านทาน 48

3.8 แสดงภายในระบบสุญญากาศ และ Sample Holder 49

3.9 แสดงภาพอุปกรณ์เตาอบสาร Lenton (Lenton furnace) 49

3.10 แสดงภาพอุปกรณ์ Zoom stereo microscope 50

3.11 แสดงภาพอุปกรณ์ Optical Microscope 50

3.12 แสดง Flowchart ของโปรแกรม CCR_TC 51

4.1 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางในการวัดค่าสภาพความต้านทานของ Montegomery (ข) แสดงการวัดแบบ four-point method 53

4.2 แสดงทิศทางของผลึกและการวัดค่าสภาพความต้านทาน ρ_{ab} และ ρ_c 53

4.3 แสดงการทาแวกซ์ลงบนแท่งสารที่ต้องการตัดซึ่งจะเป็นตัวยึดไม่ให้แท่งสารหลุดออกในขณะตัด 54

4.4 (ก) แสดงแผ่นอลูมินาที่ติดลวดทองแดง
(ข) แสดงรูปแบบการติด Contact ของแท่งสารผลึกเชิงเดี่ยว 55

รูปที่ หน้า

2.27 แสดงการดิฟแฟรกชั่นของ รังสีเอ็กซ์ด้วยอะตอมที่เรียงตัวในหนึ่งมิติที่ปรากฏในแผ่นฟิล์มซึ่งเป็นรูปพาราโบลิค 34

2.28 แสดงภาพดิฟแฟรกชันรังสีเอ็กซ์ด้วยอะตอมที่เรียงตัวแบบหนึ่งมิติ 34

3.1 แสดง Block Diagram ของเครื่องมือวัดค่าสภาพความต้านทาน ที่ 1 Sample 45

3.2 แสดง Block Diagram ของเครื่องมือวัดค่าสภาพความต้านทาน ที่ 2 Sample 45

3.3 (ก) แสดงลักษณะของไดโอดเซนเซอร์ที่วัดอุณหภูมิของ Sample (ข) แผนผังการวัดไดโอดเซนเซอร์ 46

3.4 แสดงลักษณะด้านหน้าและด้านหลังของ Sample Holder พร้อมกับลักษณะทางเดินของสายไฟที่เชื่อมต่อกับที่พักสาย 46

3.5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าสภาพความต้านทานและระบบสุญญากาศ 47

3.6 แสดงภาพถ่ายของระบบสุญญากาศ 47

3.7 แสดงชุดอุปกรณ์วัดค่าสภาพความต้านทาน 48

3.8 แสดงภายในระบบสุญญากาศ และ Sample Holder 49

3.9 แสดงภาพอุปกรณ์เตาอบสาร Lenton (Lenton furnace) 49

3.10 แสดงภาพอุปกรณ์ Zoom stereo microscope 50

3.11 แสดงภาพอุปกรณ์ Optical Microscope 50

3.12 แสดง Flowchart ของโปรแกรม CCR_TC 51

4.1 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางในการวัดค่าสภาพความต้านทานของ Montegomery (ข) แสดงการวัดแบบ four-point method 53

4.2 แสดงทิศทางของผลึกและการวัดค่าสภาพความต้านทาน ρ_{ab} และ ρ_c 53

4.3 แสดงการทาแวกซ์ลงบนแท่งสารที่ต้องการตัดซึ่งจะเป็นตัวยึดไม่ให้แท่งสารหลุดออกในขณะตัด 54

4.4 (ก) แสดงแผ่นอลูมินาที่ติดลวดทองแดง (ข) แสดงรูปแบบการติด Contact ของแท่งสารผลึกเชิงเดี่ยว 55

รูปที่ หน้า

4.16 แสดงลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยว $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ ที่การโด๊ป x=0.3 กำลังขยาย 100 เท่า 65

4.17 แสดงลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยว $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ ที่การโด๊ป x=0.35 กำลังขยาย100 เท่า 65

4.18 แสดงลักษณะพื้นผิวและความมันวาวของ gold paint เมื่อผ่านความร้อนที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 66

5.1 แสดงแผนภาพการจัดเรียงอิเล็กตรอนของ Cu , Cu^{2+} และ Cu^{3+} 69

5.2 ภาพแสดงตำแหน่งของ Cu^{3+} ใน Square-planar อย่างง่ายๆ เป็นผลจากการโด๊ป Sr 70

5.3 แสดงกราฟอัตราส่วนของค่า lattice parameter , c/a ตามการโด๊ป Sr(x) 70

5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิวิกฤตและการโด๊ป Sr(x) ของสาร $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ 71

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University