สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพประกอบ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	6
2.1 สารตัวนำยวดยิ่ง	6
2.2 สมบัติของสารตัวนำยวดยิ่ง	7
2.2.1 ความต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์	7
2.2.2 ปรากฏการณ์ไมซ์สเนอร์	9
2.3 ผลึกเชิงเดี่ยวและวิธีการปลูกผลึกเชิงเดี่ยว	10
2.3.1 โดยการปลูกผลึกจากสารละลาย	10
2.3.2 โดยการปลูกผลึกจากไอ	10
2.3.3 โดยการปลูกผลึกจากการหลอมเหลว	10
2.4 การเกิดผลึกเชิงเดี่ยว	11
2.4.1 การเกิดนิวคลีเอชันในการเปลี่ยนสถานะ	12
2.4.2 การเติบโตของสถานะในขณะที่อยู่ในช่วงแทรซิชัน	15
2.5 การถ่ายภาพแบบเลาเอ	18
2.6 การวิเคราะห์สารตัวอย่างโดยการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	20
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีทดลอง	22
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมผลึก	22
3.1.1 เครื่องชั่งสาร	22
3.1.2 ครกบดสาร	22

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

หน้า

3.1.3 alumina boat และแผ่น alumina สำหรับปิด 22

3.1.4 เตาเผาสาร 23

3.1.5 สารเคมีที่ใช้ 24

3.2 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาผลึกที่เตรียมได้ 25

3.2.1 กล้อง optical microscope 25

3.2.2 อุปกรณ์สำหรับวัดความต้านทานของผลึก 26

3.2.3 อุปกรณ์สำหรับวัดความหนาแน่นกระแสวิกฤต (T_c) ของผลึก 28

3.2.4 อุปกรณ์สำหรับถ่าย Laue photograph 30

3.2.5 อุปกรณ์สำหรับศึกษาโครงสร้างของผลึกโดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ 31

3.3 วิธีทดลอง 32

3.3.1 วิธีปลูกผลึกเชิงเดี่ยว $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ 32

3.3.2 วิธีหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึก 34

3.3.3 วิธีวัดความหนาแน่นกระแสวิกฤต (J_c) ของผลึก 36

บทที่ 4 ผลการทดลอง 38

4.1 ผลการศึกษาลักษณะและพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้ด้วยกล้อง Optical microscope 38

4.2 ผลการศึกษาขนาดของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้ด้วยกล้อง Optical microscope 44

4.3 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าแปรผันกับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้นต่าง ๆ กัน 45

4.4 ผลการวัดความหนาแน่นกระแสวิกฤตของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้นต่าง ๆ กัน 56

4.5 ผลการตรวจสอบความเป็นผลึกเชิงเดี่ยว 57

4.6 ผลการศึกษาโครงสร้างของผลึกเชิงเดี่ยวโดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ 61

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง 73

5.1 ลักษณะและขนาดของผลึกเชิงเดี่ยว 73

5.2 ความต้านทานไฟฟ้า 74

5.3 ความหนาแน่นกระแสวิกฤต 78

5.4 ความเป็นผลึกเชิงเดี่ยว 78

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

หน้า

5.5 การวิเคราะห์ผลการศึกษาโครงสร้างของผลึกโดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ 78
5.6 สรุปผลการทดลอง 80
5.7 ข้อเสนอแนะ 85
เอกสารอ้างอิง 86
ภาคผนวก ก 89
ภาคผนวก ข 92
ประวัติผู้เขียน 99

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ขนาดของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้นต่าง ๆ กัน 45
4.2 อุณหภูมิวิกฤตของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้นต่าง ๆ กัน 55
4.3 ข้อมูลของ Bragg's angle (2θ), d-spacing และ Miller indecies (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยว โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 61
4.4 ข้อมูลของ Bragg's angle (2θ), d-spacing และ Miller indecies (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยว โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2 63
4.5 ข้อมูลของ Bragg's angle (2θ), d-spacing และ Miller indecies (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยว โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5 65
4.6 ข้อมูลของ Bragg's angle (2θ), d-spacing และ Miller indecies (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยว โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5 67
4.7 ข้อมูลของ Bragg's angle (2θ), d-spacing และ Miller indecies (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยว โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.25:1:2 69
4.8 ข้อมูลของ Bragg's angle (2θ), d-spacing และ Miller indecies (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยว โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 71
5.1 ขนาดของผลึกเชิงเดี่ยวที่ได้จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ S. Kishida และคณะ 73
5.2 ผลการวัดอุณหภูมิวิกฤตของผลึกเชิงเดี่ยวที่ได้จากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ S. Kishida และคณะ 74
5.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของผลึก 79

สารบาญรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	โครงสร้างผลึกของ $Bi_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_y$ ที่มีค่า n = 2 และ 3	2
2.1	การจับคู่ของอิเล็กตรอนที่มีสปินตรงกันข้ามในสารตัวนำยวดยิ่ง	6
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความต้านทานของสารตัวนำยวดยิ่งที่อุณหภูมิวิกฤต	7
2.3	วงแหวนตัวนำยวดยิ่ง	8
2.4	สารตัวนำยวดยิ่งขณะเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก	9
2.5	การแปรผันของกำแพงการเกิดนิวเคลียส (ΔG) เมื่อเป็นฟังก์ชั่นของรัศมีของนิวเคลียสที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน	13
2.6	กำแพงการแพร่ (diffusion barriers) ที่รอยต่อสถานะสำหรับการเจริญเติบโตของนิวคลีไอ	16
2.7	ไดอะแกรมของกล้องถ่ายเอ็กซเรย์แบบเลาเอในแนว transmission	19
2.8	ไดอะแกรมของกล้องถ่ายเอ็กซเรย์แบบเลาเอในแนว back-reflection	19
3.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมผลึก	23
3.2	เตาเผาสาร	24
3.3	สารเคมีที่ใช้	25
3.4	กล้อง Optical microscope	26
3.5	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความต้านทานกับอุณหภูมิของผลึกตัวอย่าง	28
3.6	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความหนาแน่นกระแสวิกฤตของผลึกตัวอย่าง	30
3.7	เครื่องถ่าย Laue photograph	31
3.8	เครื่อง X-ray Powder Diffraction	32
3.9	ขั้นตอนการปลูกปลึก $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$	33
3.10	อุณหภูมิของกรรมวิธีปลูกผลึกเชิงเดี่ยว $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$	34
3.11	การติด contact ผลึกเชิงเดี่ยว	35
3.12	ไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์การวัดความต้านทานกับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยว	36
3.13	ไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์การวัดความหนาแน่นกระแสวิกฤต (J_c) ของผลึกเชิงเดี่ยว	37
4.1	ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2	38

หน้า

4.2 ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2 39

4.3 ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5 40

4.4 ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5 41

4.5 ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.25:1:2 42

4.6 ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 43

4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 45

4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2 46

4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5 47

4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5 48

4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.25:1:2 49

4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 50

413 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 51

4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 52

หน้า

4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2 ก่อนและหลังจากเผาในบรรยากาศของออกซิเจน 53

4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5 และ 2:2:1:1.5 57

4.17 Laue photograph ที่เกิดจากผลึกที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 58

4.18 Laue photograph ที่เกิดจากผลึกที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5 59

4.19 diffraction pattern ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 62

4.20 diffraction pattern ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2 64

4.21 diffraction pattern ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5 66

4.22 diffraction pattern ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5 68

4.23 diffraction pattern ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.25:1:2 70

4.24 diffraction pattern ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 72

5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2, 2.25:2:1:2, 2:2.25:1:2 และ 2:2.5:1:2 75

5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5, และ 2:2:1:1.5 76

5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 และ 2.25:2:1:2 77

หน้า

5.4 X-ray diffraction pattern ของผลึกเชิงเดี่ยว $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ ซึ่งทำการวิจัยโดย S. Kishida และคณะ 81

5.5 กราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ln R กับ T ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 และ 2.25:2:1:2 83

5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ρ กับ T สำหรับทองแดง 83

5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยว $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ ซึ่งทำการวิจัยโดย S. Martin และคณะ 84

5.8 กราฟแสดงอัตราส่วนของสภาพต้านทานในแนวแกนต่าง ๆ 85

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University