บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาลักษณะและพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้ด้วยกล้อง Optical microscope

จากการศึกษาลักษณะและพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้ด้วยกล้อง Optical microscope พบว่าลักษณะของผลึกเชิงเดี่ยวมีสีดำเป็นมันวาว มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า พื้นผิวค่อนข้างเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 - 4.6

4.1.1 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 ลักษณะและพื้นผิว แสดงดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 กำลังขยาย x 50

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

4.1.2 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2 ลักษณะและพื้นผิว แสดงดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2 กำลังขยาย x 100

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

4.1.3 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5 ลักษณะและพื้นผิว แสดงดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5 กำลังขยาย x 100

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

4.1.4 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5 ลักษณะและพื้นผิว แสดงดังรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5 กำลังขยาย x 100

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

4.1.5 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.25:1:2 ลักษณะและพื้นผิว แสดงดังรูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.25:1:2 กำลังขยาย x 100

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

4.1.6 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 ลักษณะและพื้นผิว แสดงดังรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.6 ลักษณะพื้นผิวของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 กำลังขยาย x 100

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

4.2 ผลการศึกษาขนาดของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้ด้วยกล้อง Optical microscope

ผลการศึกษาขนาดของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้ด้วยกล้อง Optical microsoope แสดงในตารางที่ 4.1

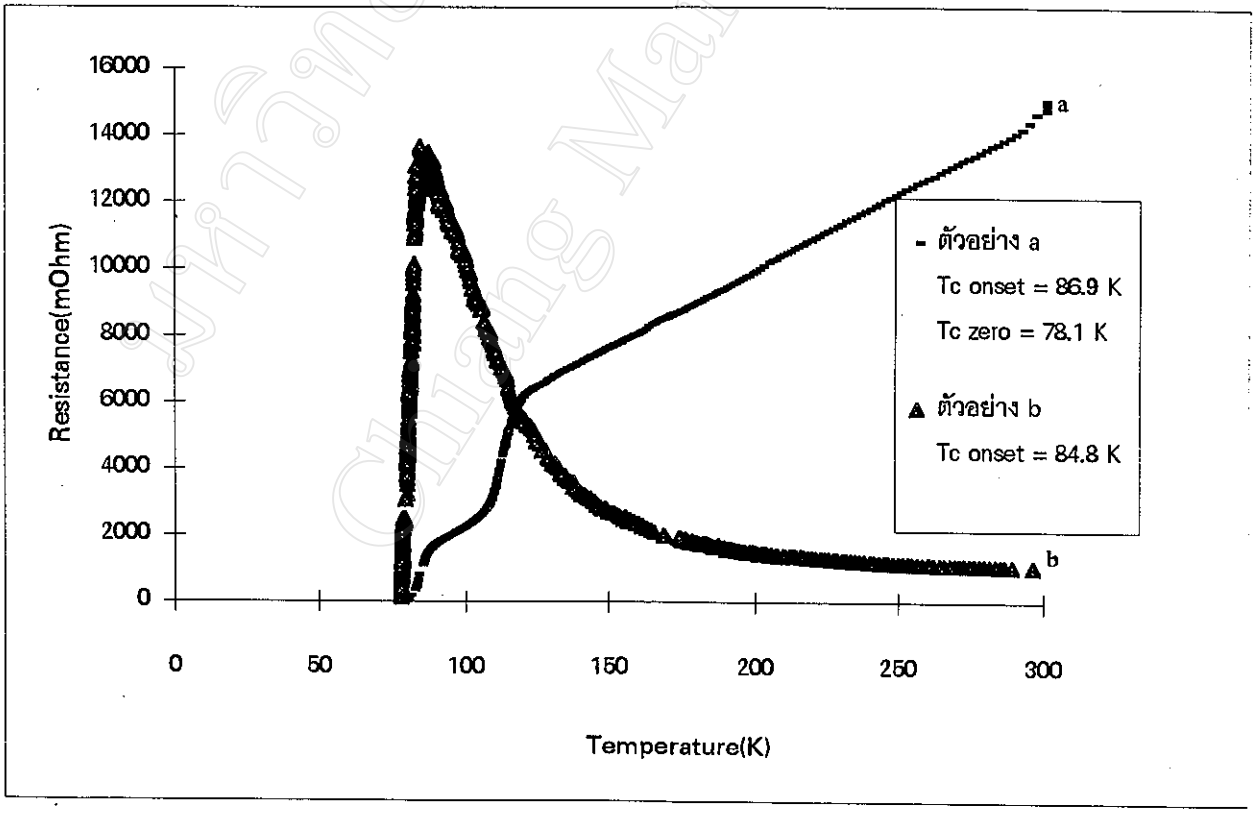
ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu	เตรียมครั้งที่	ขนาด = ยาว x กว้าง x หนา (มม. x มม. x มม.)
2:2:1:2	1	4 x 1 x 0.025
	2	10.63 x 0.63 x 0.125
	3	3.14 x 0.13 x 0.025
2.25:2.:1:2	1	2.5 x 0.2 x 0.1
	2	14.38 x 0.5 x 0.05
	3	3.8 x 0.4 x 0.025
2.25:2:1:1.5	1	4 x 0.32 x 0.025
	2	2.52 x 0.1 x 0.025
	3	1.88 x 0.05 x 0.013
2:2:1:1.5	1	2.13 x 1 x 0.025
	2	1.75 x 0.26 x 0.05
	3	1.5 x 0.23 x 0.05
2:2.25:1:2	1	3.3 x 0.53 x 0.025
	2	1.54 x 0.34 x 0.013
	3	1.94 x 0.46 x 0.025
2:2.5:1:2	1	1.63 x 0.28 x 0.025
	2	3.3 x 0.5 x 0.025
	3	4.2 x 0.4 x 0.125

4.3 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าแปรผันกับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

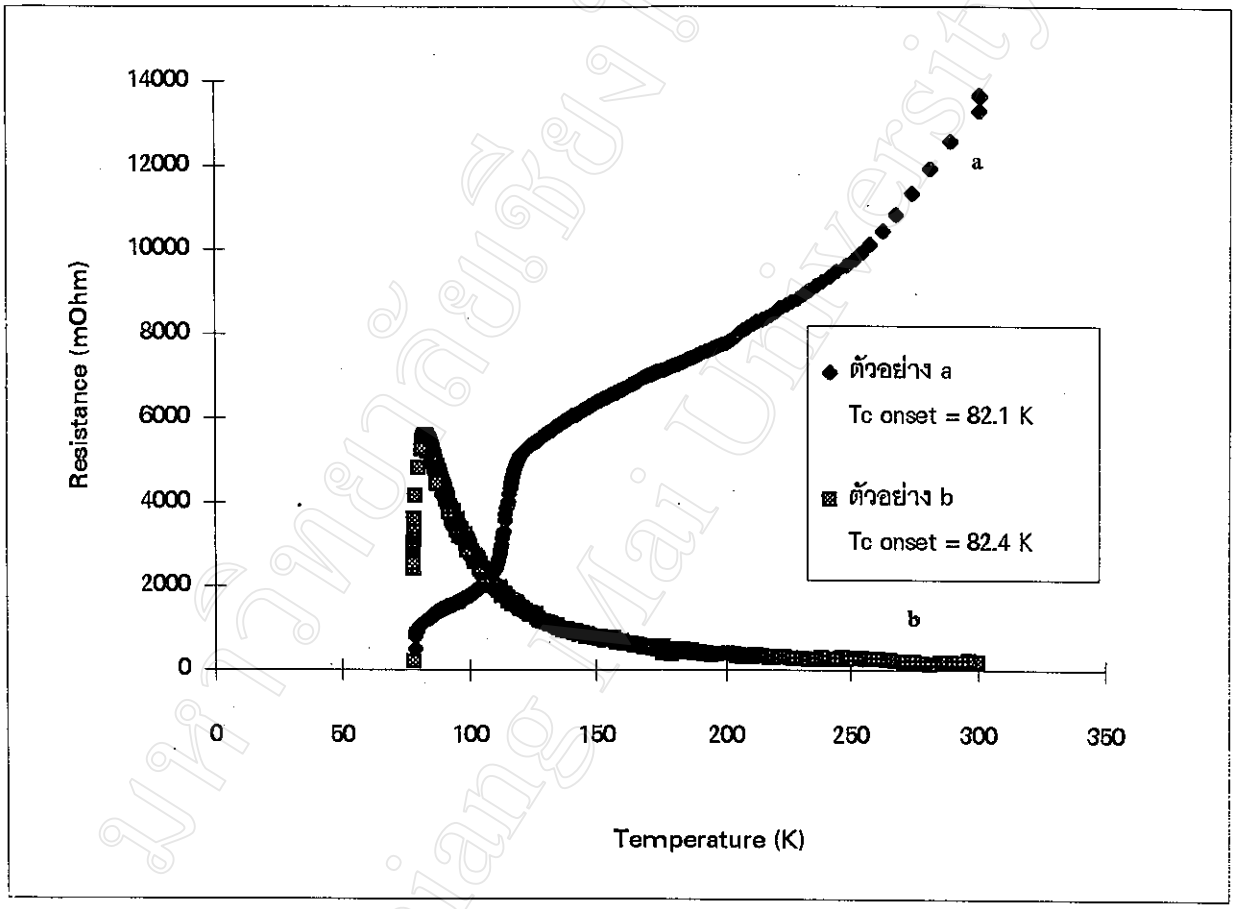
ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 และ 2.25:2:1:2 ค่าความต้านทานที่เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิจะมี 2 ลักษณะที่แตกต่างกันคือ ลักษณะหนึ่งนั้นค่าความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง ซึ่งเหมือนกับความต้านทานของโลหะ (metallic temperature dependence) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ของสารตัวอย่าง a อีกลักษณะหนึ่งนั้นความต้านทานจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิค่าหนึ่ง เมื่ออุณหภูมิลดจากอุณหภูมินั้นลงไปอีกค่าความต้านทานจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ของสารตัวอย่าง b

4.3.1 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 ค่าความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ แสดงดังกราฟในรูปที่ 4.7



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

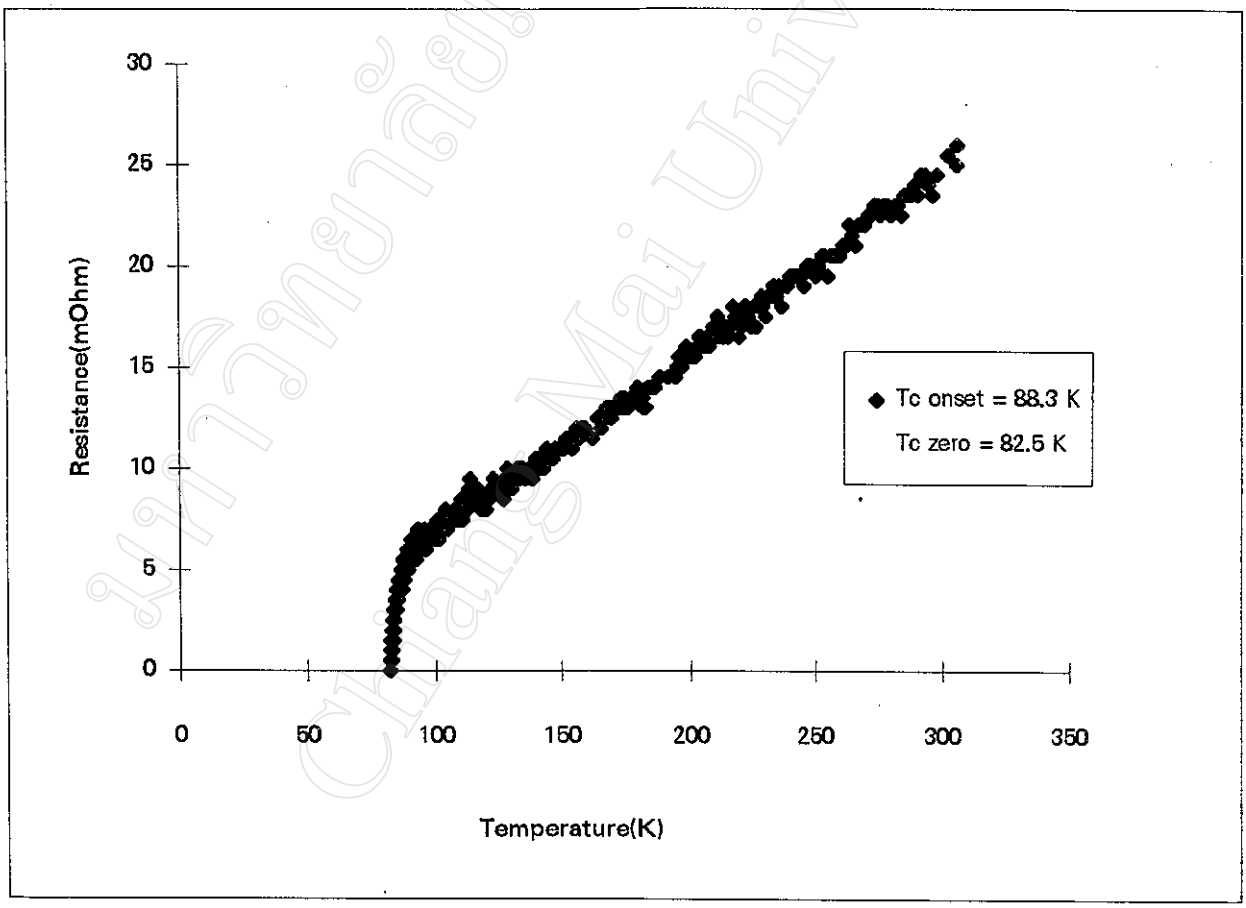
4.3.2 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2 ค่าความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ แสดงดังกราฟในรูปที่ 4.8



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

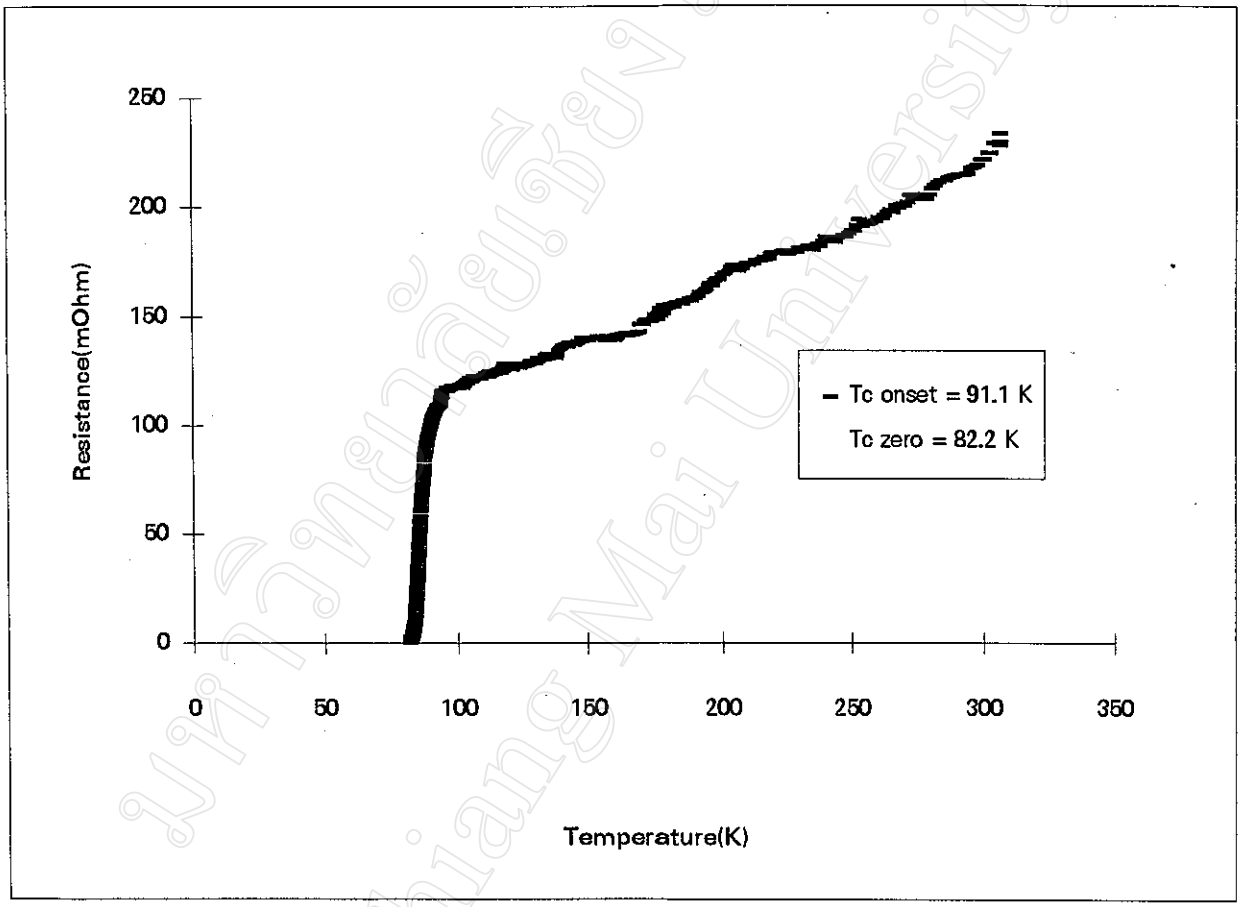
ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5 , 2:2:1:1.5 , 2:2.25:1:2 และ 2:2.5:1:2 ค่าความต้านทานที่เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิมีลักษณะคือ ค่าความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง ซึ่งเหมือนกับความต้านทานของโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 - 4.12 ตามลำดับ

4.3.3 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5 ค่าความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ แสดงดังกราฟในรูปที่ 4.9



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

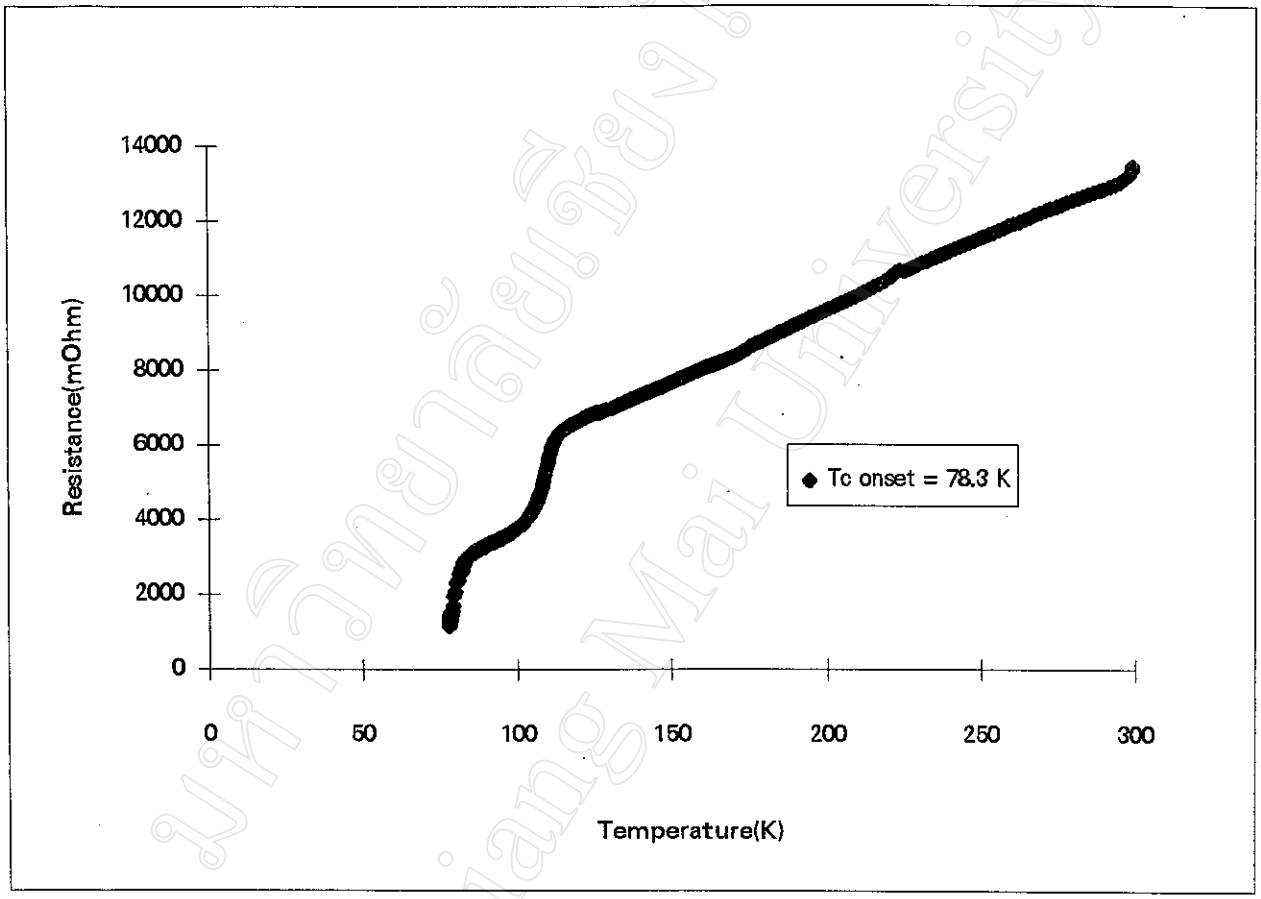
4.3.4 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5 ค่าความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ แสดงดังกราฟในรูปที่ 4.10



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

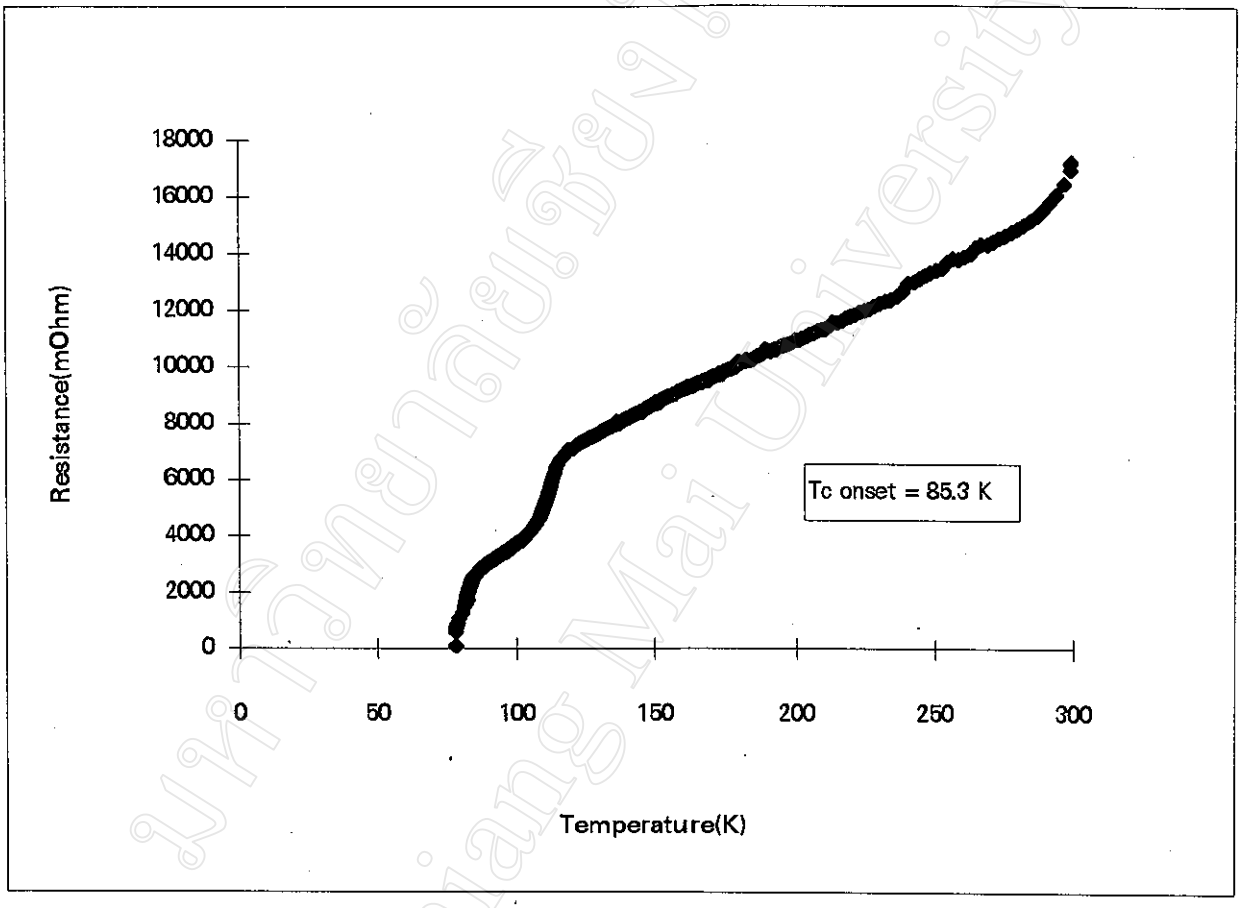
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

4.3.5 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.25:1:2 ค่าความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ แสดงดังกราฟในรูปที่ 4.11



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

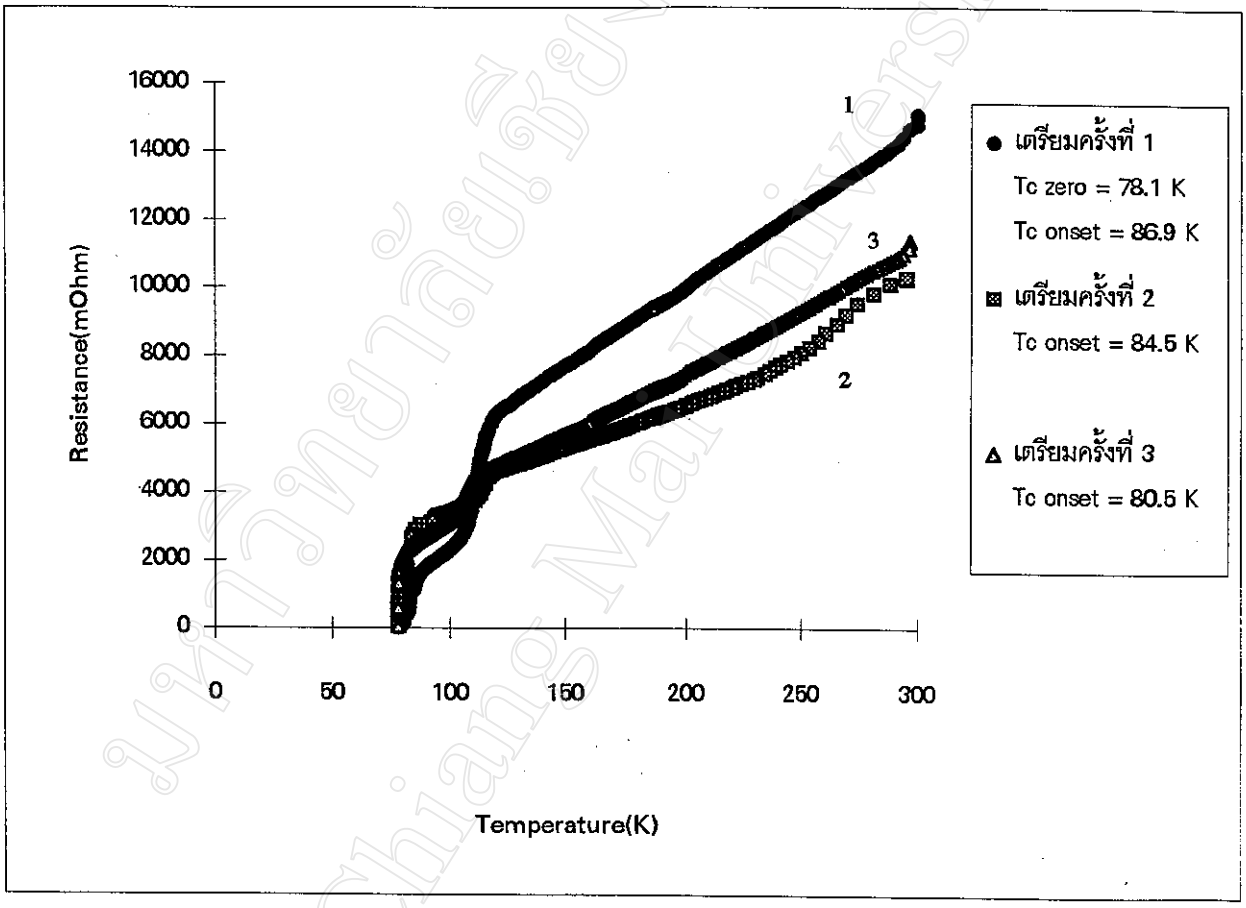
4.3.6 ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 ค่าความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ แสดงดังกราฟในรูปที่ 4.12



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

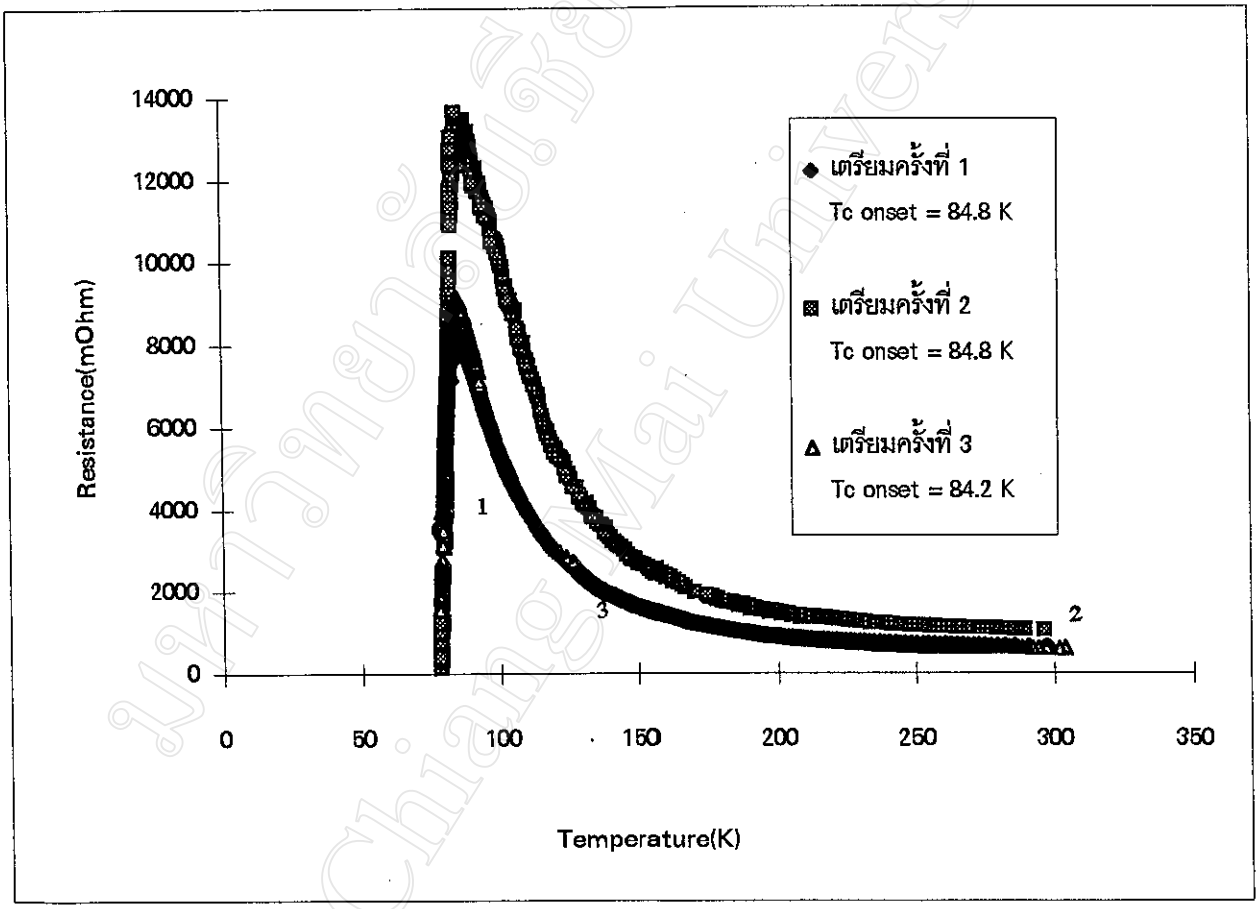
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

4.3.7 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 ครั้งที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งค่าความต้านทานที่เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิมีลักษณะค่าความต้านทานลดลง เมื่ออุณหภูมิลดลง ซึ่งเหมือนกับความต้านทานของโลหะ แสดงดังกราฟในรูปที่ 4.13



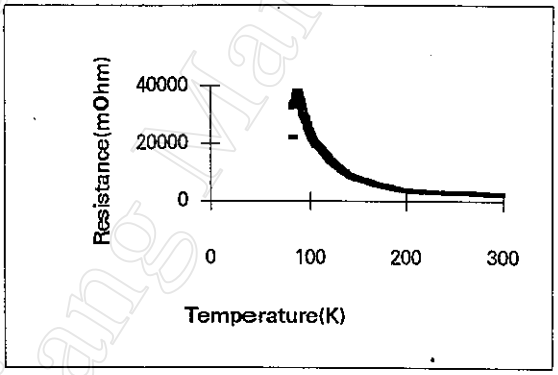
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2

4.3.8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 ครั้งที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งค่าความต้านทานที่เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิมีลักษณะค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลงจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิค่าหนึ่ง เมื่ออุณหภูมิลดจากอุณหภูมินั้นลงไปอีกค่าความต้านทานจะลดลง แสดงดังกราฟในรูปที่ 4.14

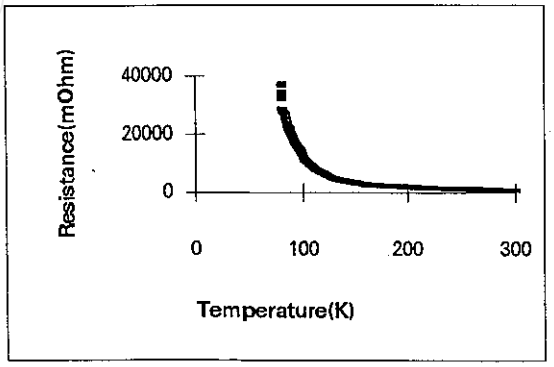


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2

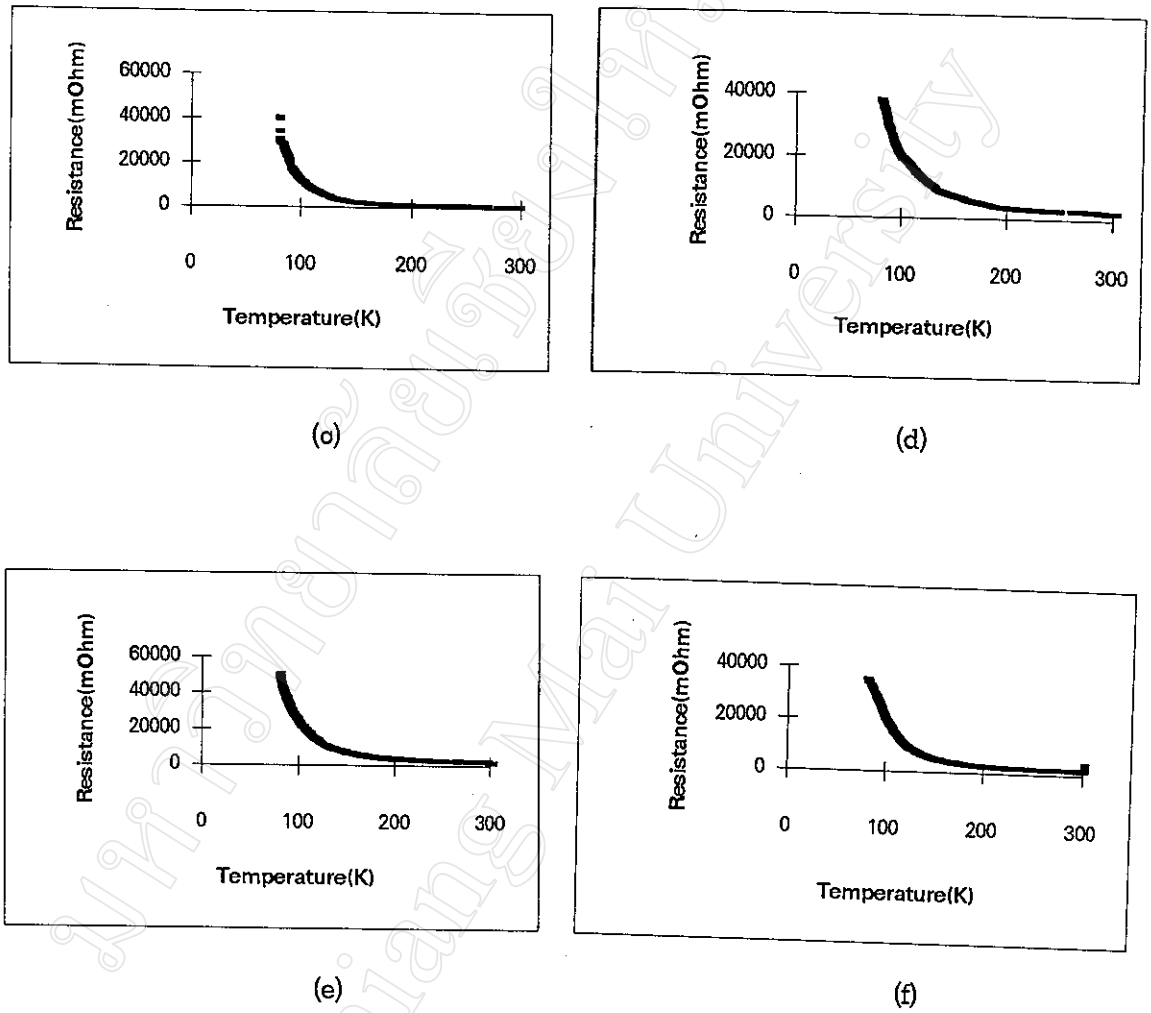
4.3.9 นำผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2 ไปเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในบรรยากาศของออกซิเจน พบว่าก่อนนำผลึกเชิงเดี่ยวไปเผาในบรรยากาศของออกซิเจนความต้านทานจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิประมาณ 82.8 เคลวิน เมื่อลดอุณหภูมิน้อยกว่า 82.8 เคลวิน ค่าความต้านทานจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (a) หลังจากนำผลึกเชิงเดี่ยวไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของออกซิเจน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาวัดความต้านทานโดยแปรค่าอุณหภูมิ พบว่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.15 (b), หลังจากนั้นนำผลึกเชิงเดี่ยวไปทำการทดลองซ้ำด้วยการเผาที่ 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเจนโดยใช้เวลา 24 ชั่วโมงในแต่ละครั้งที่เผา ผลการวัดความต้านทานในช่วงอุณหภูมิ 78 - 300 เคลวิน แสดงในรูปที่ 4.15 (c), (d), (e) และ (f) ตามลำดับ



(a)



(b)



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2

(a) ก่อนเผาในบรรยากาศของออกซิเจน

(b) เผาในบรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(c) เผาในบรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(d) เผาในบรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(e) เผาในบรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(f) เผาในบรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิวิกฤตของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu	เตรียมครั้งที่	T_c onset (K)	T_c zero (K)
2:2:1:2	1	86.9	78.1
	2	83.2	-
	3	79.9	-
2.25:2:1:2	1	80.2	-
	2	82.5	-
	3	82.4	-
2.25:2:1:1.5	1	82.3	78
	2	83.3	-
	3	88.3	82.5
2:2:1:1.5	1	91.1	82.2
	2	79.3	-
	3	87.5	-
2:2.25:1:2	1	78.3	-
	2	78	-
	3	78.2	-
2:2.5:1:2	1	85	-
	2	85.3	-
	3	85.1	-

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

4.4 ผลการวัดความหนาแน่นกระแสวิกฤตของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้นต่าง ๆ กัน

การหาความหนาแน่นกระแสวิกฤต (J_c) ของผลึกเชิงเดี่ยว ทำได้โดยการวัด V_{23} เมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้กับผลึกเชิงเดี่ยว แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่าง V_{23} กับความหนาแน่นกระแสตรงจุดที่ความหนาแน่นกระแสมีค่าสูงสุด ที่ V_{23} ยังคงเป็นศูนย์ คือ ค่าความหนาแน่นกระแสวิกฤต

กระแสในวงจรสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

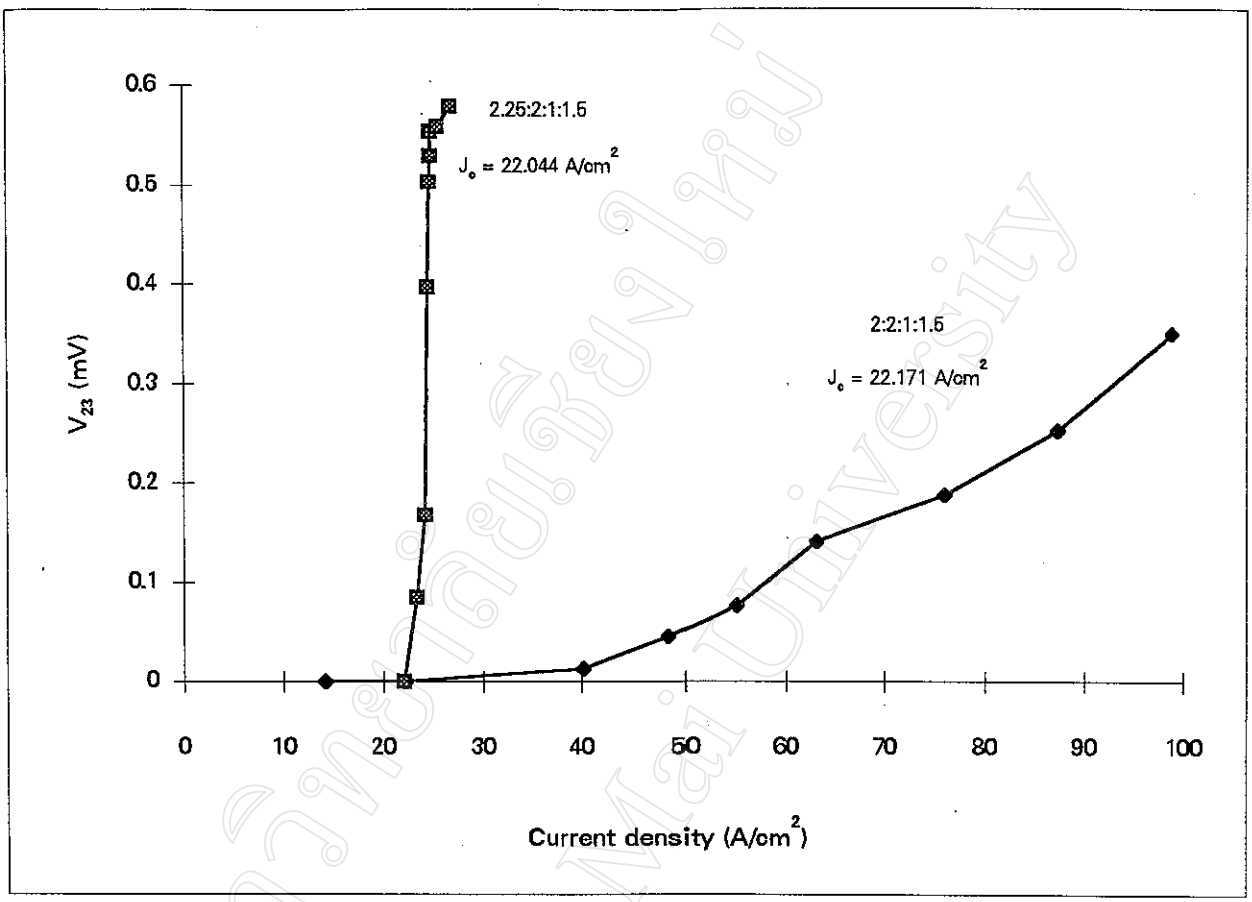
$$I = \frac{V_r}{R}$$

โดยที่ I = กระแสในวงจร
V_r = ความต่างศักย์คร่อม standard resister
R = standard resister

และ $$J = \frac{I}{A}$$

โดยที่ J = ความหนาแน่นกระแสวิกฤต
A = พื้นที่หน้าตัดของผลึกเชิงเดี่ยว

ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 ไม่สามารถหาความหนาแน่นกระแสวิกฤตได้ เนื่องจากผลึกมีความต้านทานเป็นศูนย์ ที่อุณหภูมิ 78.1 เคลวิน ซึ่งใกล้เคียงกับจุดเดือดของไนโตรเจนเหลว ทำให้ความต้านทานของผลึกไม่คงที่ เท่ากับศูนย์ตลอด Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2, 2:2.25:1:2 และ 2:2.5:1:2 ไม่สามารถหาความหนาแน่นกระแสวิกฤตได้ เนื่องจากความต้านทานของผลึกไม่เป็นศูนย์ ที่อุณหภูมิของจุดเดือดของไนโตรเจนเหลว ส่วน Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5 และ 2:2:1:1.5 ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดของผลึกเชิงเดี่ยวเท่ากับ 2.81×10^{-4} และ 8.7×10^{-4} เซนติเมตร^2 ตามลำดับ สามารถหาความหนาแน่นกระแสวิกฤตได้เท่ากับ 22.044 และ 22.171 แอมแปร์/เซนติเมตร^2 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.16



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

4.5 ผลการตรวจสอบความเป็นผลึกเชิงเดี่ยว

การตรวจสอบว่าผลึกของสารตัวนำยวดยิ่ง $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ ที่ปลูกได้ เป็นผลึกเชิงเดี่ยวหรือไม่ ทำได้โดยการถ่าย Laue photograph ผลของฟิล์มที่ออกมีมีลักษณะเป็นจุดที่มีความเป็นระเบียบ จุดต่าง ๆ เรียงกันในลักษณะของภาพถ่ายของรังสีเอ็กซ์ของผลึกเชิงเดี่ยวทั่ว ๆ ไป ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 ซึ่งเป็นภาพถ่าย Laue photograph ของผลึกที่เตรียมได้โดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 และ 2:2:1:1.5 ตามลำดับ

4.5.1 ผลของการถ่าย Laue photograph ของผลึกของสารตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 แสดงดังรูปที่ 4.17

รูปที่ 4.17 Laue photograph ที่เกิดจากผลึกที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 ระยะ 5 ซม. เป็นเวลา 2 ซม. แนว back reflection (ถ่ายด้วยเครื่องถ่าย Laue photograph ของ TAKAGI Lab, Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, Japan. ประเทศญี่ปุ่น)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

4.5.2 ผลของการถ่าย Laue photograph ของผลึกของสารตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5 แสดงดังรูปที่ 4.18

(ก) แนว Transmission

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

(ข) แนว back reflection

รูปที่ 4.18 Laue photograph ที่เกิดจากผลึกที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5 ระยะ 3 ซม. เป็นเวลา 3 ซม. (ถ่ายด้วยเครื่องถ่าย Laue photograph ของห้องวิจัย Electro - ceramics & X-ray research laboratory ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

(ก) แนว Transmission (ข) แนว back reflection

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

4.6 ผลการศึกษาโครงสร้างของผลึกเชิงเดี่ยวโดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

นำผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมได้มาบดให้ละเอียด แล้วนำไปศึกษาโครงสร้างโดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยใช้ X-ray diffractometer ของห้องวิจัย Electro - ceramics & X-ray research laboratory ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งทำให้ได้ Diffraction pattern และ Bragg's angle (2θ) ออกมาดังรูปที่ 4.19 - 4.24 แล้วนำมาหาค่า d-spacing , Miller indices (hkl) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 - 4.8 และค่า lattice parameter โดยใช้ X-ray Powder Program กับ 120 Pentium VNC PC.

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลของ Bragg's angle (2θ) , d-spacing และ Miller indices (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2

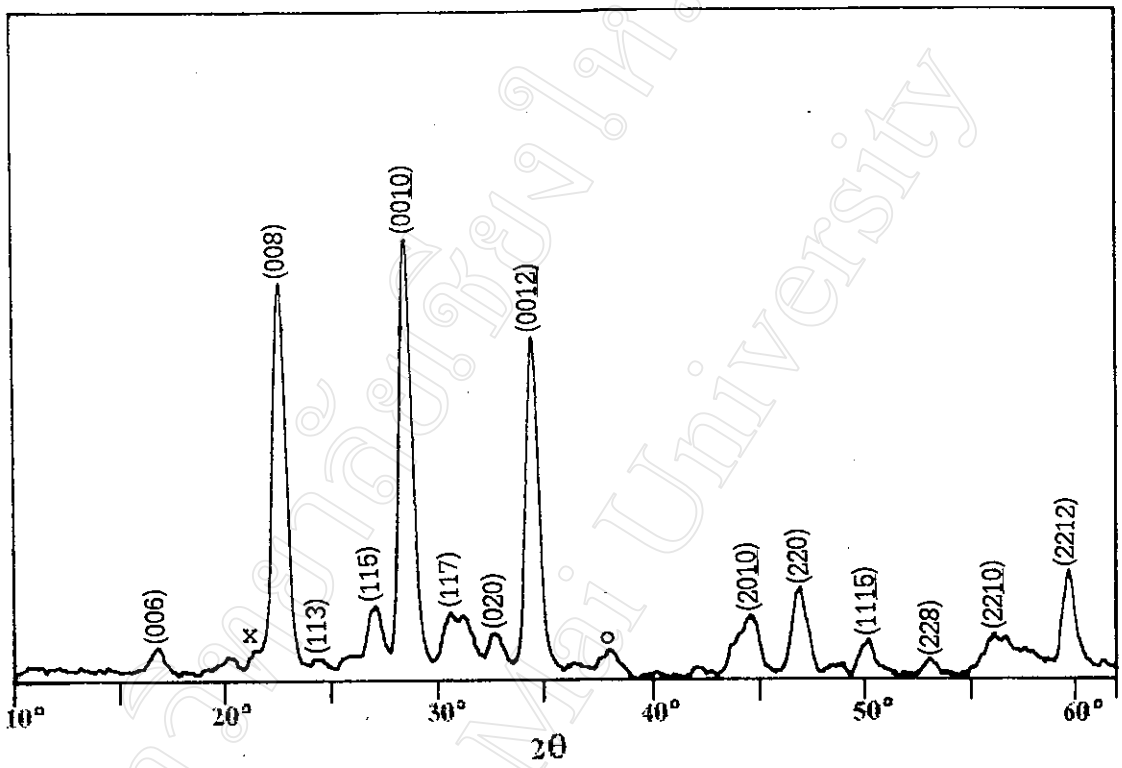
Sample ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2

Target Cu

Start angle (2θ) 10°

Stop angle (2θ) 62°

2θ ($^{\circ}$)	d ($\AA$)	(hkl)
16.821	5.2664	(006)
22.662	3.9205	(008)
24.619	3.6276	(113)
27.119	3.2854	(115)
28.571	3.1217	(0010)
30.665	2.9131	(117)
32.792	2.7288	(020)
34.582	2.5916	(0012)
44.610	2.0395	(2010)
46.974	1.9327	(220)
50.182	1.8165	(1115)
53.153	1.7217	(228)
56.260	1.6338	(2210)
59.805	1.5451	(2212)



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

จากการหาค่าโครงสร้างของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 โดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จาก X-ray diffractometer มี diffraction pattern ดังแสดงในรูปที่ 4.19 มีโครงสร้างเป็นแบบ orthorhombic มีค่า lattice parameter a = 5.40 $\mathring{A}$, b = 5.49 $\mathring{A}$, c = 31.05 $\mathring{A}$

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลของ Bragg's angle (2θ) , d-spacing และ Miller indices (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2

Sample ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2

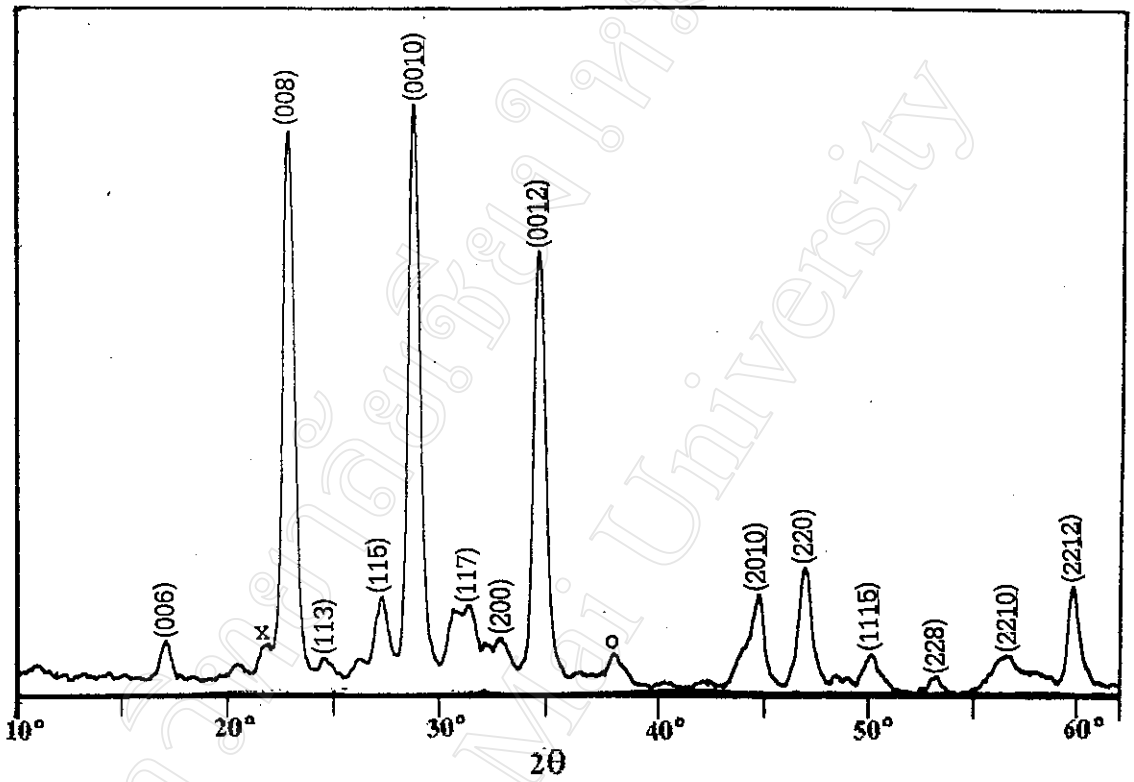
Target Cu

Start angle (2θ) 10°

Stop angle (2θ) 62°

2θ ($^{\circ}$)	d ($\AA$)	(hkl)
17.146	5.1673	(006)
22.916	3.8776	(008)
24.594	3.6167	(113)
27.781	3.2667	(115)
28.787	3.0994	(0010)
31.471	2.8403	(117)
32.981	2.7136	(200)
34.826	2.5740	(0012)
44.890	2.0175	(2010)
47.071	1.9290	(220)
50.258	1.8139	(1115)
53.445	1.7130	(228)
56.800	1.6195	(2210)
59.987	1.5409	(2212)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



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

จากการหาค่าโครงสร้างของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:2 โดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จาก X-ray diffractometer มี diffraction pattern ดังแสดงในรูปที่ 4.20 มีโครงสร้างเป็นแบบ orthorhombic มีค่า lattice parameter a = 5.39 $\mathring{A}$, b = 5.45 $\mathring{A}$, c = 30.88 $\mathring{A}$

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลของ Bragg's angle (2θ) , d-spacing และ Miller indices (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5

Sample ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5

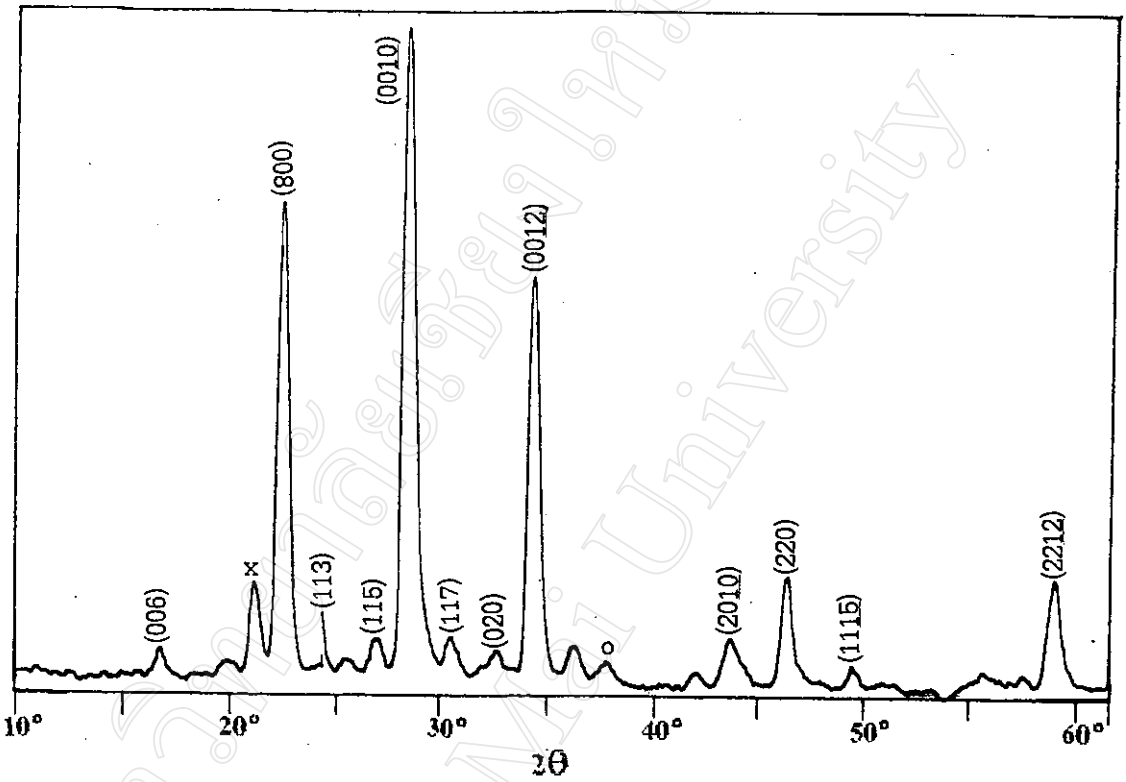
Target Cu

Start angle (2θ) 10°

Stop angle (2θ) 62°

2θ ($^{\circ}$)	**d ($\mathring{A}$)**	**(hkl)**
17.137	5.1700	(006)
22.983	3.8664	(008)
24.784	3.5894	(113)
27.334	3.2601	(115)
29.038	3.0725	(0010)
30.902	2.8913	(117)
33.111	2.7033	(020)
34.810	2.5751	(0012)
43.987	2.0568	(2010)
46.706	1.9432	(220)
49.765	1.8307	(1115)
59.451	1.5535	(2212)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



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

จากการหาค่าโครงสร้างของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2.25:2:1:1.5 โดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จาก X-ray diffractometer มี diffraction pattern ดังแสดงในรูปที่ 4.21 มีโครงสร้างเป็นแบบ orthorhombic มีค่า lattice parameter a = 5.54 $\mathring{A}$, b = 5.42 $\mathring{A}$, c = 30.91 $\mathring{A}$

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลของ Bragg's angle (2θ) , d-spacing และ Miller indices (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5

Sample ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5

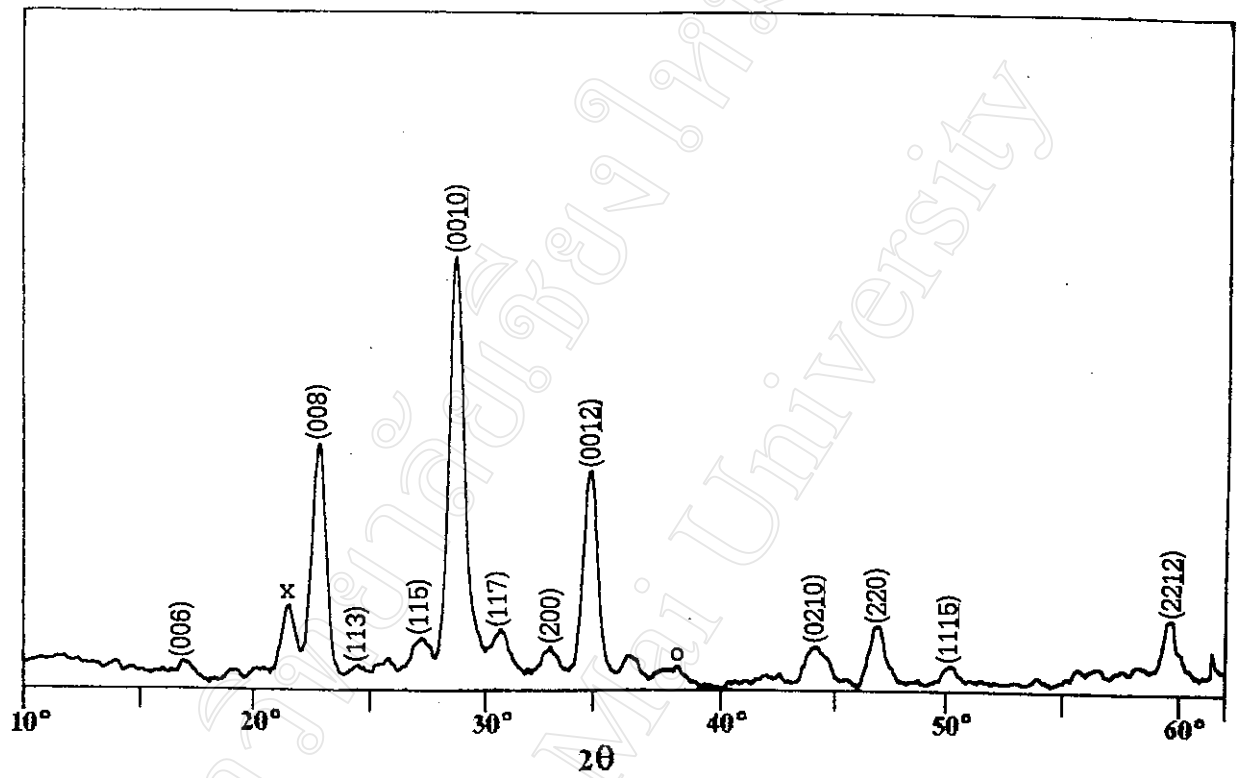
Target Cu

Start angle (2θ) 10°

Stop angle (2θ) 62°

2θ ($^{\circ}$)	d ($\AA$)	(hkl)
16.882	5.2475	(006)
22.847	3.8891	(008)
24.529	3.6261	(113)
27.282	3.2661	(115)
28.812	3.0961	(0010)
30.647	2.9148	(117)
32.941	2.7168	(200)
34.624	2.5885	(0012)
44.106	2.0515	(0210)
47.012	1.9313	(220)
50.071	1.8202	(1115)
59.796	1.5453	(2212)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



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

จากการหาค่าโครงสร้างของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:1.5 โดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จาก X-ray diffractrometer มี diffraction pattern ดังแสดงในรูปที่ 4.22 มีโครงสร้างเป็นแบบ orthorhombic มีค่า lattice parameter a = 5.44 $\mathring{A}$, b = 5.48 $\mathring{A}$, c = 31.01 $\mathring{A}$

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลของ Bragg's angle (2θ) , d-spacing และ Miller indices (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.25:1:2

Sample ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.25:1:2

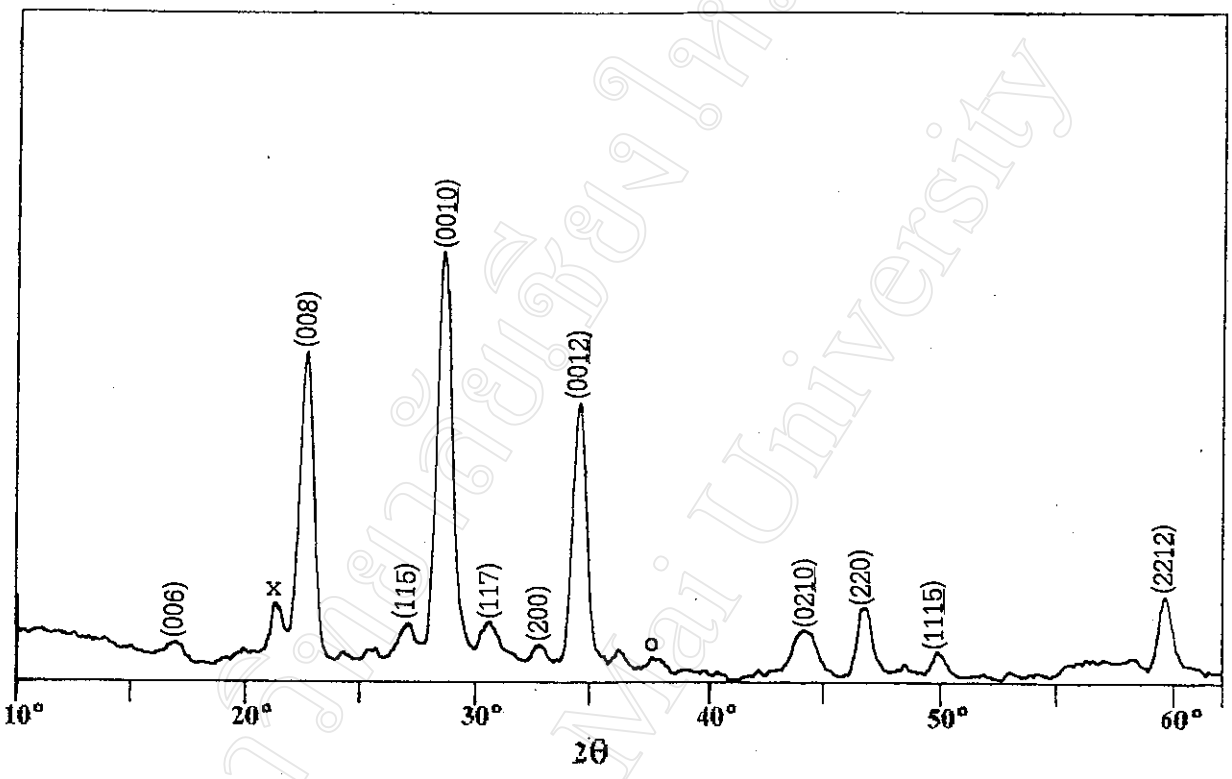
Target Cu

Start angle (2θ) 10°

Stop angle (2θ) 62°

2θ (°)	d (Å)	(hkl)
16.871	5.2509	(006)
22.742	3.9069	(008)
27.427	3.2492	(115)
28.676	3.1105	(00$\underline{1}$0)
30.613	2.9179	(117)
32.799	2.7283	(200)
34.673	2.5850	(00$\underline{1}$2)
44.198	2.0475	(02$\underline{1}$0)
46.697	1.9436	(220)
49.882	1.8267	(11$\underline{1}$5)
59.658	1.5486	(22$\underline{1}$2)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



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

จากการหาค่าโครงสร้างของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.25:1:2 โดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จาก X-ray diffractrometer มี diffraction pattern ดังแสดงในรูปที่ 4.23 มีโครงสร้างเป็นแบบ orthorhombic มีค่า lattice parameter a = 5.48 $\mathring{A}$, b = 5.47 $\mathring{A}$, c = 31.06 $\mathring{A}$

ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลของ Bragg's angle (2θ) , d-spacing และ Miller indices (hkl) ของผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2

Sample ผลึกเชิงเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2

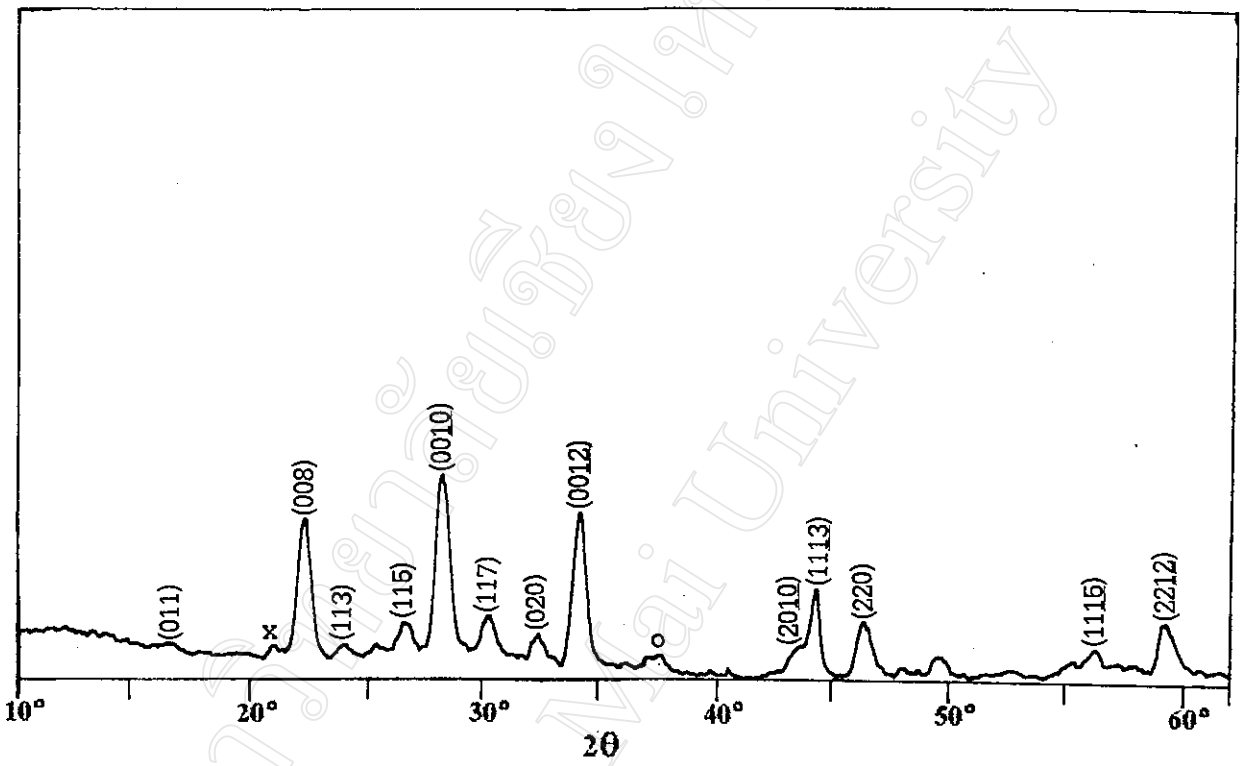
Target Cu

Start angle (2θ) 10°

Stop angle (2θ) 62°

2θ (°)	d (Å)	(hkl)
16.635	5.3248	(011)
22.344	3.9760	(008)
25.430	3.5055	(113)
24.042	3.6985	(115)
28.208	3.1613	(0010)
30.275	2.9500	(117)
32.045	2.7497	(020)
34.226	2.6107	(0012)
43.638	2.0725	(2010)
44.317	2.0423	(1113)
46.415	1.9547	(220)
49.656	1.8345	(1115)
59.223	1.5589	(2212)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



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

จากการหาค่าโครงสร้างของผลึกเชิงเดียวที่เตรียมโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีเริ่มต้น Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2.5:1:2 โดยใช้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จาก X-ray diffractometer มี diffraction pattern ดังแสดงในรูปที่ 4.24 มีโครงสร้างเป็นแบบ orthorhombic มีค่า lattice parameter a = 5.51 Å , b = 5.54 Å , c = 31.30 Å