

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาลักษณะ ขนาด และพื้นผิวของ whiskers(2212)

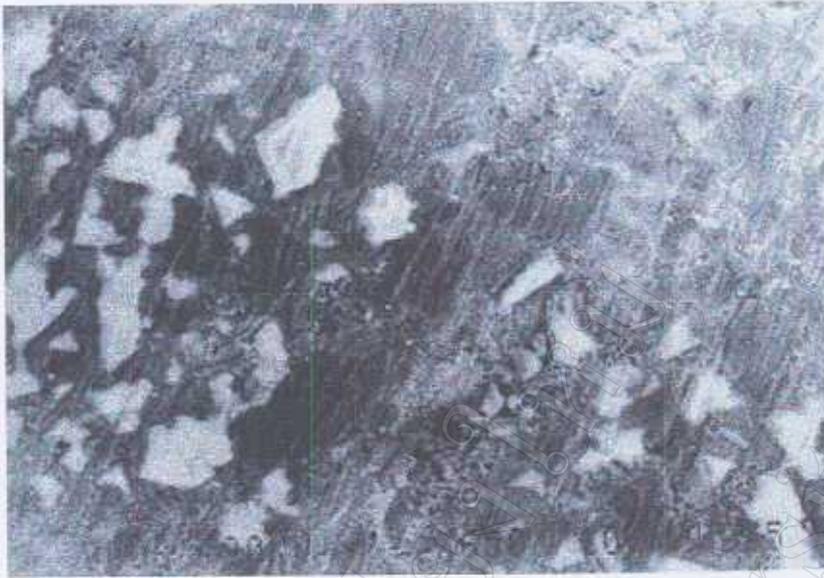
whiskers ของสารตัวนำยวดยิ่ง $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ เตรียมได้จากสารตั้งต้น (Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 และ CuO) ในอัตราส่วนน้ำหนักโมเลกุลของสาร Bi:Sr:Ca:Cu เป็น 2:1.9:2.2:4 แล้วทำการอบให้สารผสมกันก่อนนำไปบรรจุลงใน alumina boat เพื่อทำการหลอมเหลวที่อุณหภูมิที่สูงกว่า $1,150\text{-}1,200\text{ }^\circ\text{C}$ ดังรูปที่ 4.1 เมื่อ quench เสร็จแล้วจะได้สารที่มีลักษณะเป็น glassy plate ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ต่อมาเราก็จึงนำ glassy plate ที่เตรียมได้มาทำการ growth whiskers



รูปที่ 4.1 แสดงผงของสาร $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ ที่บรรจุอยู่ใน alumina boat ก่อนทำการหลอมเหลว



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของ glassy plate ที่ได้หลังทำการ quench



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะพื้นผิวของ glassy plate ที่เกิด whiskers ซึ่งถูกถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope

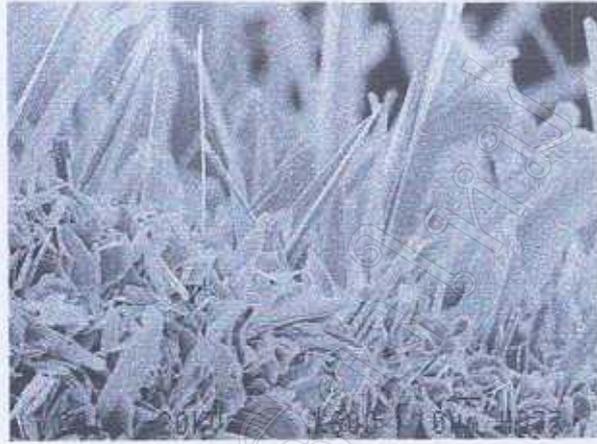


รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะการเกิดของ whiskers ซึ่งถูกถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope

4.1.1 ลักษณะการเกิดของ whiskers (2212)

เมื่อนำ glassy plate ไปเผาที่ในบรรยากาศของก๊าซออกซิเจนในช่วงอุณหภูมิ 860-865 °C เมื่อมองด้วยตาเปล่าพบว่า whiskers ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียวเกิดขึ้นมา

จากผิวของ glassy plate ซึ่งลักษณะการเกิดของ whiskers จะเป็นดังที่แสดงในรูป 4.4 และ 4.5



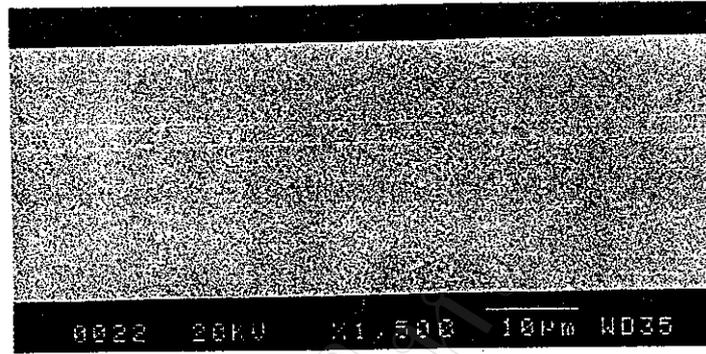
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะการเกิดของ whiskers ถ่ายภาพด้วยกล้อง Scanning electron microscope

4.1.2 ผลการวัดขนาดของ whiskers (2212)

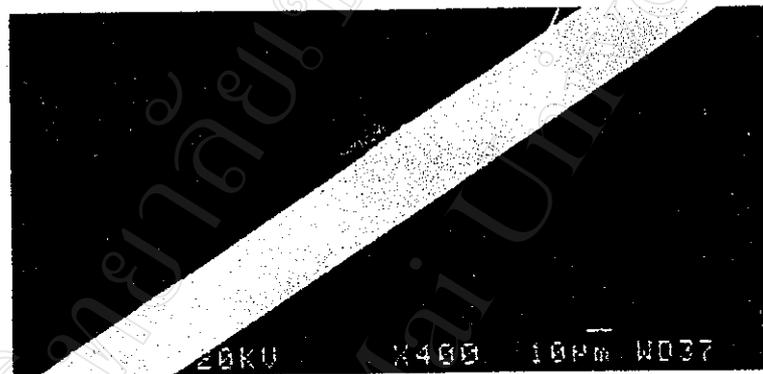
จากการวัดขนาดของ whiskers ที่เตรียมได้โดยการอ่านสเกลในกล้อง Optical microscope แล้วเทียบสัดส่วนกับขนาดของสเกล ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.6 แล้วพบว่า whiskers ที่เตรียมได้ จะมีความยาว 1-15 mm, ความกว้าง 0.01-0.06 mm และหนา 0.001-0.004 mm

4.1.3 ลักษณะพื้นผิวของ whiskers(2212)

ลักษณะพื้นผิวหน้าของ whiskers(2212) ที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope พบว่า มีลักษณะเป็นผิวเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7



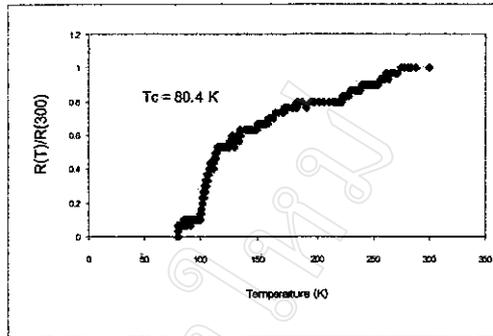
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะพื้นผิวของ whiskers(2212) ถ่ายภาพด้วยกล้อง Scanning Electron microscope ตัวอย่างที่ 1



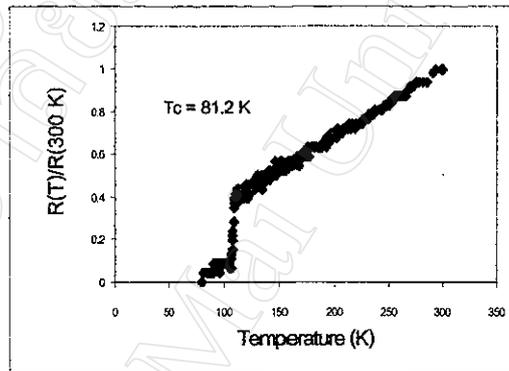
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะพื้นผิวของ whiskers(2212) ถ่ายภาพด้วยกล้อง Scanning Electron microscope ตัวอย่างที่ 2

4.1.4 ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers (2212)

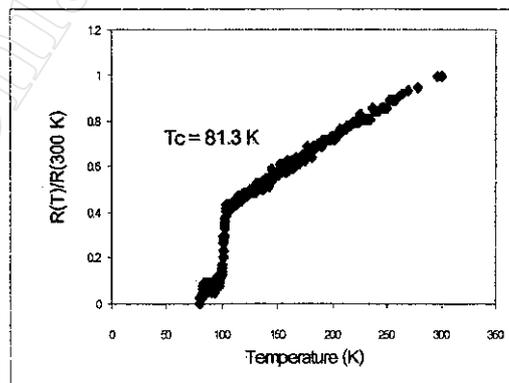
จากการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers (2212) ด้วยวิธี dc. four-point-probe พบว่า whiskers (2212) ที่ได้แสดงลักษณะ 2 เฟส โดยที่มีค่าอุณหภูมิวิกฤต (T_c) เป็น 80-81 K ดังรูปที่ 4.8 – 4.12



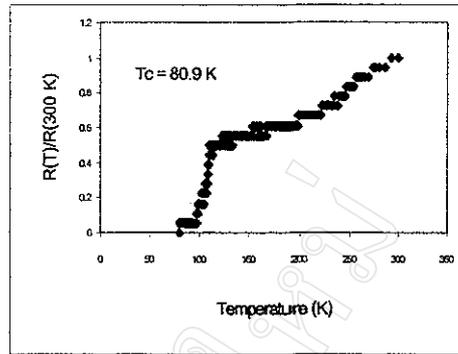
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers(2212)
ตัวอย่างที่ 1



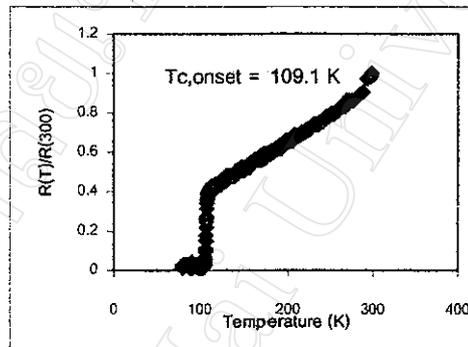
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers(2212)
ตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers(2212)
ตัวอย่างที่ 3



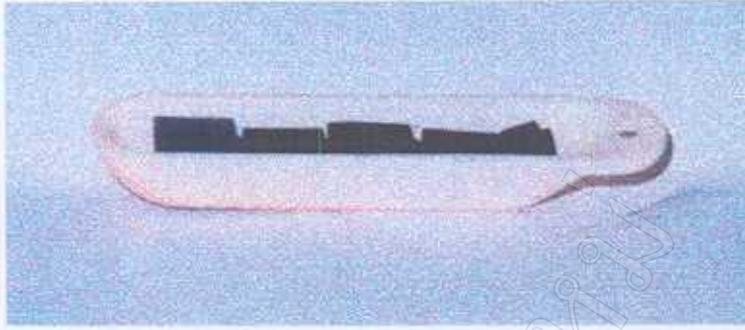
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers(2212)
ตัวอย่างที่ 4



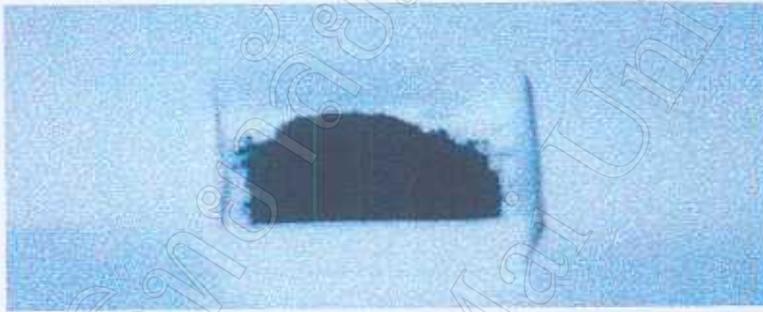
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers(2212)
ตัวอย่างที่ 5

4.2 ผลการศึกษาลักษณะ ขนาด และพื้นผิวของ whiskers (2223)

ในการทดลองครั้งนี้ ทำการเปลี่ยนเฟสของ whiskers(2212) ไปเป็น whiskers (2223) ด้วยวิธี Conversion by Annealing in Power (CAP method) ซึ่งวิธีนี้เป็นการนำ whiskers(2212) ไปทำการ anneal ในผงของ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_6\text{Pb}_y\text{O}_{10+x}$ ($y = 0.5$ และ 0) ในช่วงอุณหภูมิ $855\text{-}860$ °C โดย whiskers(2212) จะถูกนำมาวางไว้ระหว่างชั้นของ ผง $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_6\text{Pb}_y\text{O}_{10+x}$ ($y = 0.5$ และ 0) และเม็ดสาร $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_6\text{Pb}_y\text{O}_{10+x}$ ($y = 0.5$ และ 0) (ที่ได้จากการ calcine ผงนี้ที่อุณหภูมิ 820 °C แล้วจึงนำมาอัดเม็ด แล้ว sinter ที่ อุณหภูมิ 870 °C) ดังที่แสดงในรูปที่ 4.9-4.10



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะการวาง whiskers(2212) ในผงสาร $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_6\text{Pb}_y\text{O}_{10+x}$ ($y = 0.5$ และ 0)



รูปที่ 4.14 แสดงผงของสาร $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_6\text{Pb}_y\text{O}_{10+x}$ ($y = 0.5$ และ 0) โดย calcine ผงที่ 820°C

4.2.1 ผลการวัดขนาดของ whiskers (2223)

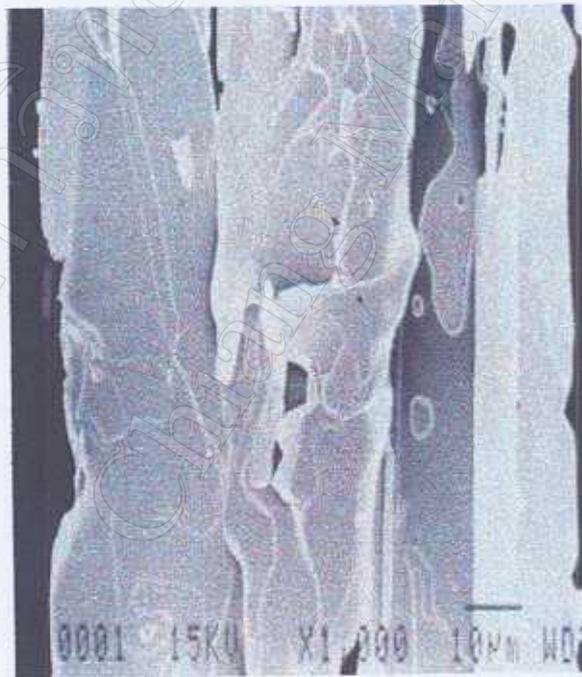
จากการทดลองและสังเกตด้วยกล้อง Optical microscope พบว่าขนาด ความกว้าง, ความหนา และความยาว ของ whiskers(2223) ส่วนมากมีขนาดลดลง โดย มีความกว้าง 0.01-0.04 mm, ความหนา 0.0008-0.003 mm และยาว 1-12 mm

4.2.2 ผลการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของ whiskers(2223)

ได้ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของ whiskers(2223) ที่เตรียมได้ด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope พบว่า ลักษณะพื้นผิวของ whiskers(2223) ทั้ง 2 องค์ประกอบมีผิวขรุขระไม่เรียบ



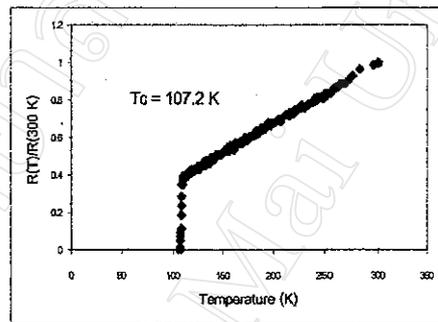
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะพื้นผิวของ whiskers(2223) ถ่ายภาพด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะพื้นผิวของ whiskers(2223) ถ่ายภาพด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope ตัวอย่างที่ 2

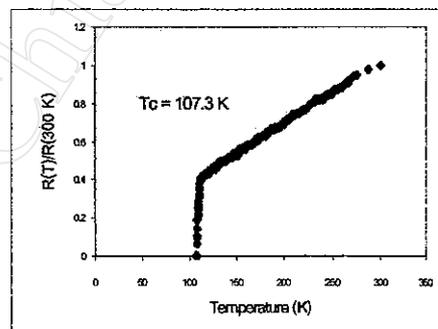
4.2.2 ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers (2223)

whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_y\text{O}_{10+x}$ ($y = 0.5$ และ 0) ที่เตรียมได้ พบว่า จากการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers(2223) ด้วยวิธี dc. four-point-probe ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบของ Pb ในปริมาณต่าง ๆ กันในช่วงอุณหภูมิ 78-300 K ผลการวัดปรากฏว่า whiskers(2223) ทั้งสององค์ประกอบ แสดงสมบัติเป็นสารตัวนำยิ่งยวด โดยค่าความต้านทานไฟฟ้า ของ whiskers(2223) ทั้งสอง component ของ Pb มีค่าความต้านทานไฟฟาลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลงในลักษณะเป็น เฟสเดียว โดย component ที่ประกอบด้วย Pb มีค่า $T_c = 107.2, 107.3$ และ 107.6 K ส่วน component ที่ไม่มี Pb มีค่า $T_c = 105.5, 105.5$ และ 104.8 K สำหรับข้อมูลของ whiskers ตัวนำยิ่งยวดทั้งสอง component ได้นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิในรูปที่ 4.19-4.24 ทำให้หาอุณหภูมิวิกฤตของ whiskers ตัวนำยิ่งยวดได้ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.1



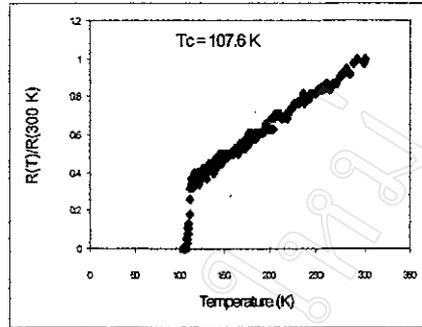
รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 1

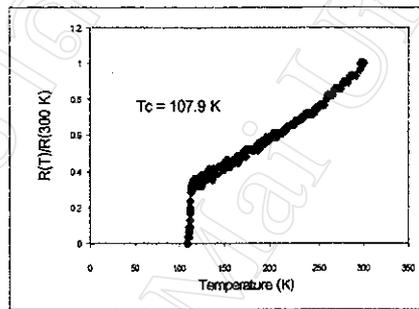


รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers

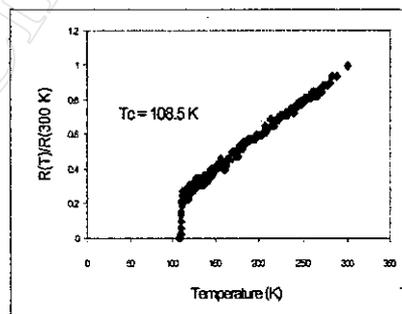
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 2



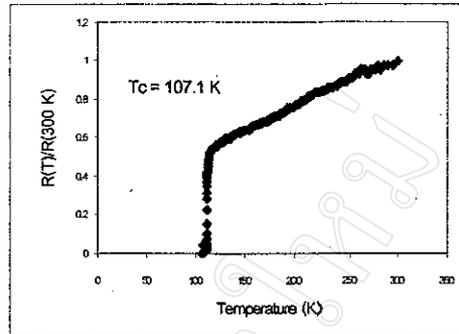
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 3



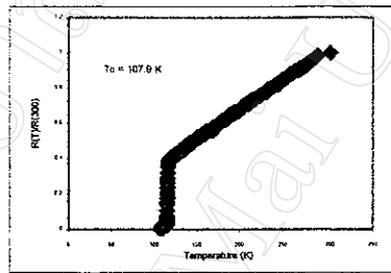
รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 4



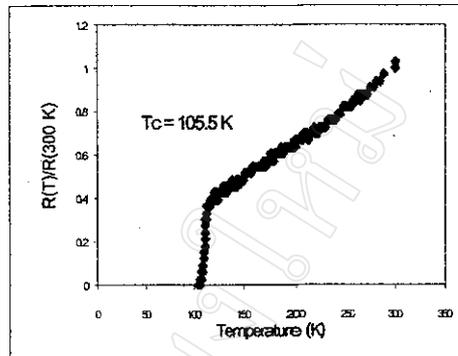
รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 5



รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 6

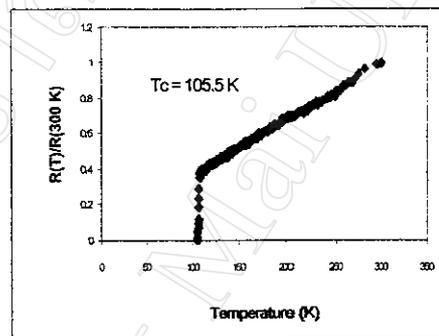


รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 7



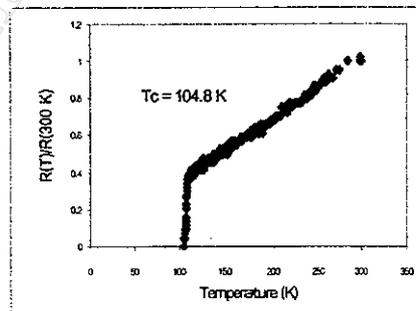
รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 1



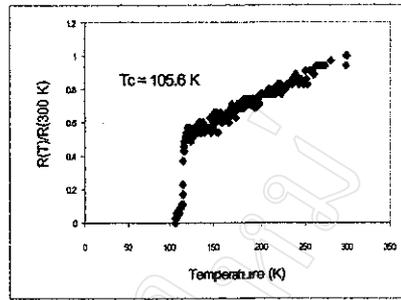
รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 2

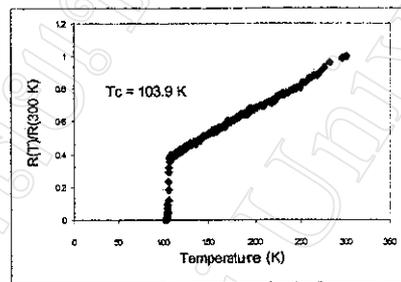


รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers

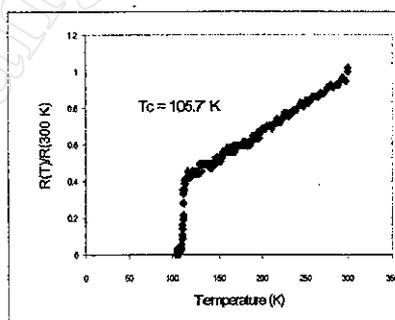
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 3



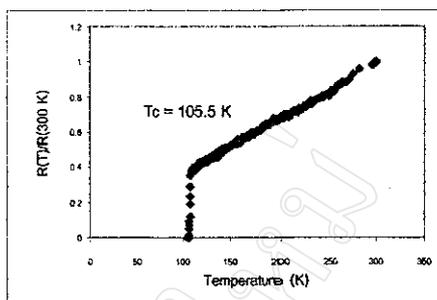
รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 4



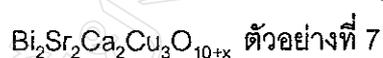
รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 5



รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ ตัวอย่างที่ 6



รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของ whiskers



ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิวิกฤตของ whiskers ตัวอย่างที่เตรียมได้

Whiskers	T_c (K)						
	1	2	3	4	5	6	7
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$	80.4	81.2	81.3	80.9	-	-	-
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$	107.2	107.3	107.6	107.9	108.5	107.1	107.9
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$	105.5	105.5	104.8	105.6	103.9	105.7	105.5

4.3 ผลการวัดความหนาแน่นกระแสวิกฤต (J_c) ของ whiskers

ได้ทำการวัดความหนาแน่นกระแสวิกฤตของ whiskers ตัวอย่าง ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.9 โดยทำการวัดความต่างศักย์ตกคร่อม V_{23} กับค่าความหนาแน่นกระแส แล้วนำข้อมูลไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานตกคร่อม V_{23} กับความหนาแน่นกระแส แล้วหาความหนาแน่นกระแส ณ ค่าสูงสุดที่ V_{23} ยังคงเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เป็นค่าความหนาแน่นกระแสวิกฤต

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

โดยที่

I = กระแสในวงจร

V_r = ความต่างศักย์ตกคร่อม standard resister

R = standard resister (มีค่า 0.001Ω)

และ

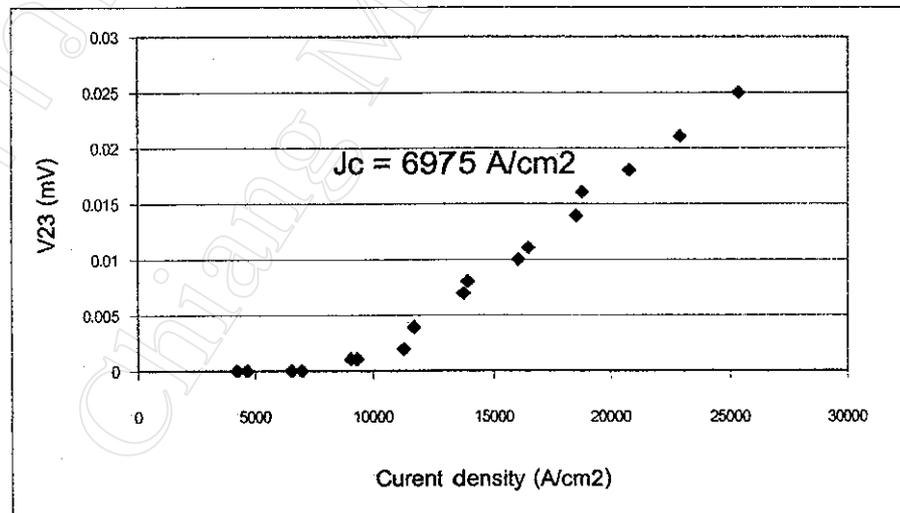
$$J = \frac{I}{A}$$

โดยที่

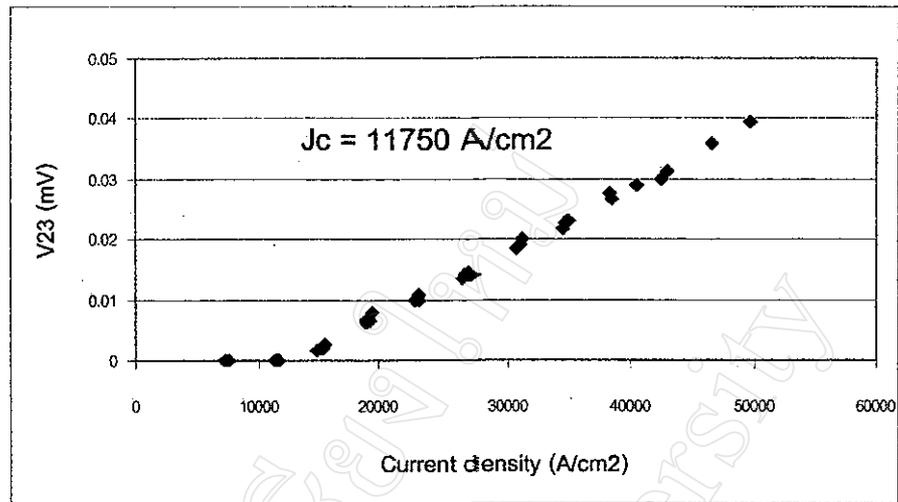
J = ความหนาแน่นกระแส

A = พื้นที่หน้าตัดของ sample

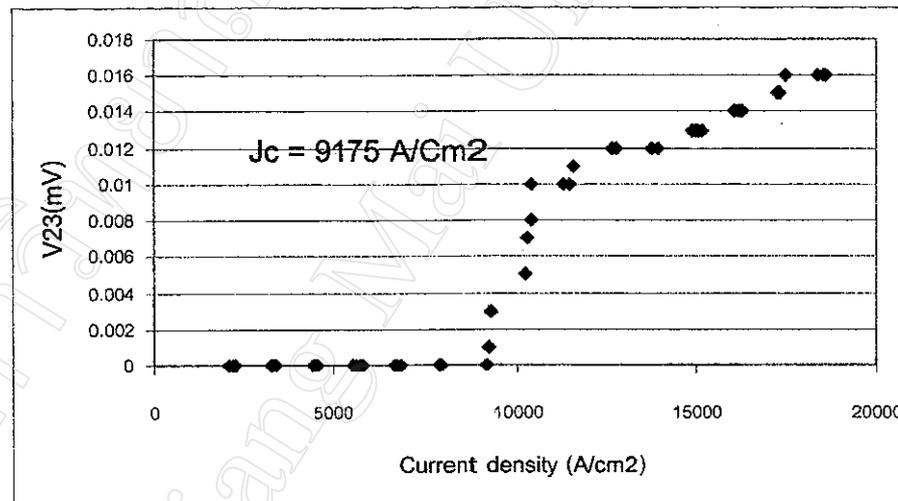
whiskers ที่ได้จากการทดลอง มีพื้นที่หน้าตัดของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_3\text{O}_{8+x}$, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ เป็น 0.0000040 , 0.0000024 และ 0.0000080 cm^2 ตามลำดับ โดยความหนาแน่นกระแสวิกฤตจะได้เท่ากับ $7,950$, $11,750 \text{ A/cm}^2$ และ $9,175 \text{ A/cm}^2$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.25-4.27 และตาราง 4.2



รูปที่ 4.31 แสดงความหนาแน่นกระแสวิกฤตของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$



รูปที่ 4.32 แสดงความหนาแน่นกระแสวิกฤตของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$



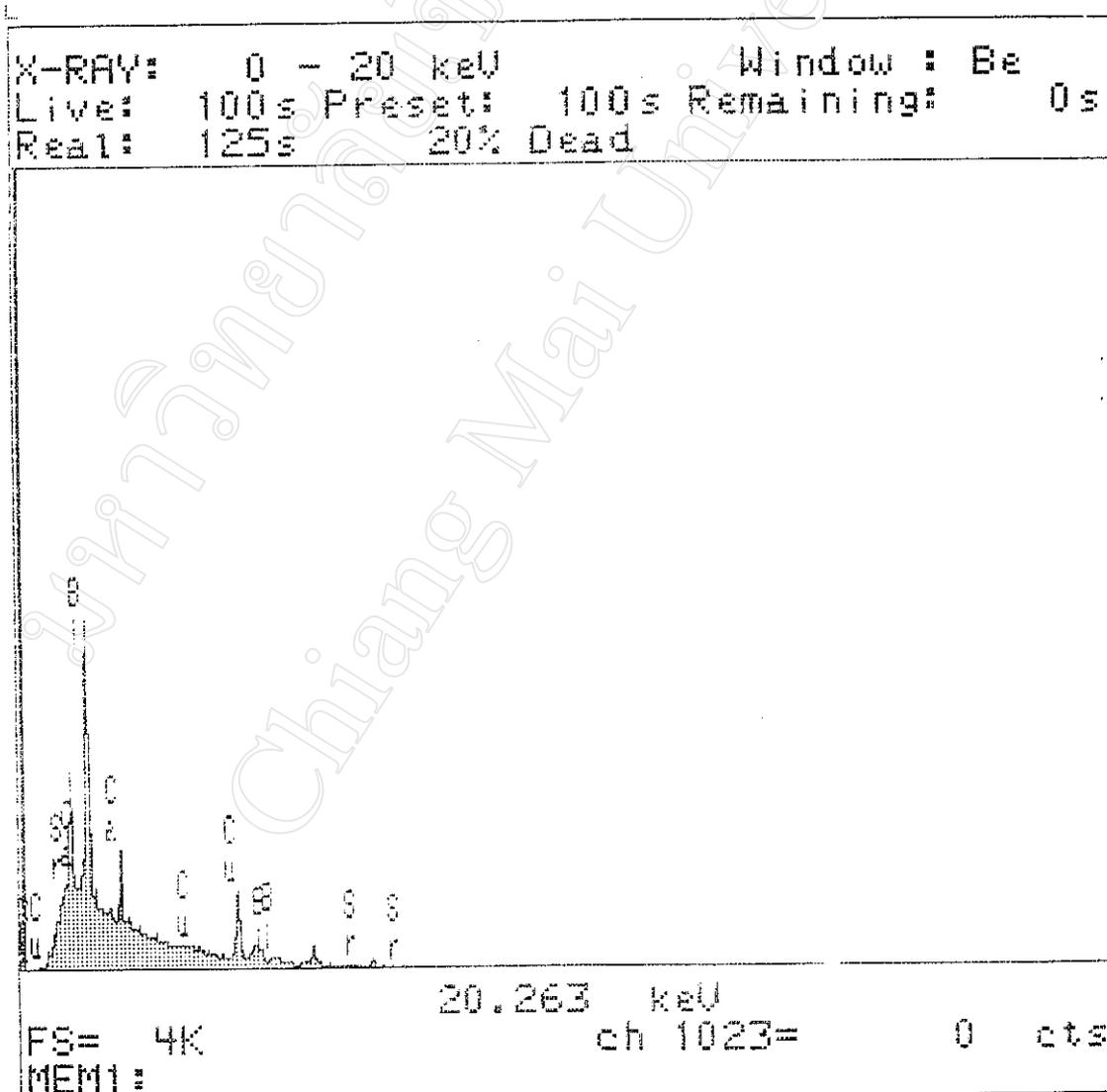
รูปที่ 4.33 แสดงความหนาแน่นกระแสวิกฤตของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$

ตารางที่ 4.2 แสดงพื้นที่หน้าตัดและความหนาแน่นกระแสวิกฤตของ whiskers ตัวอย่าง

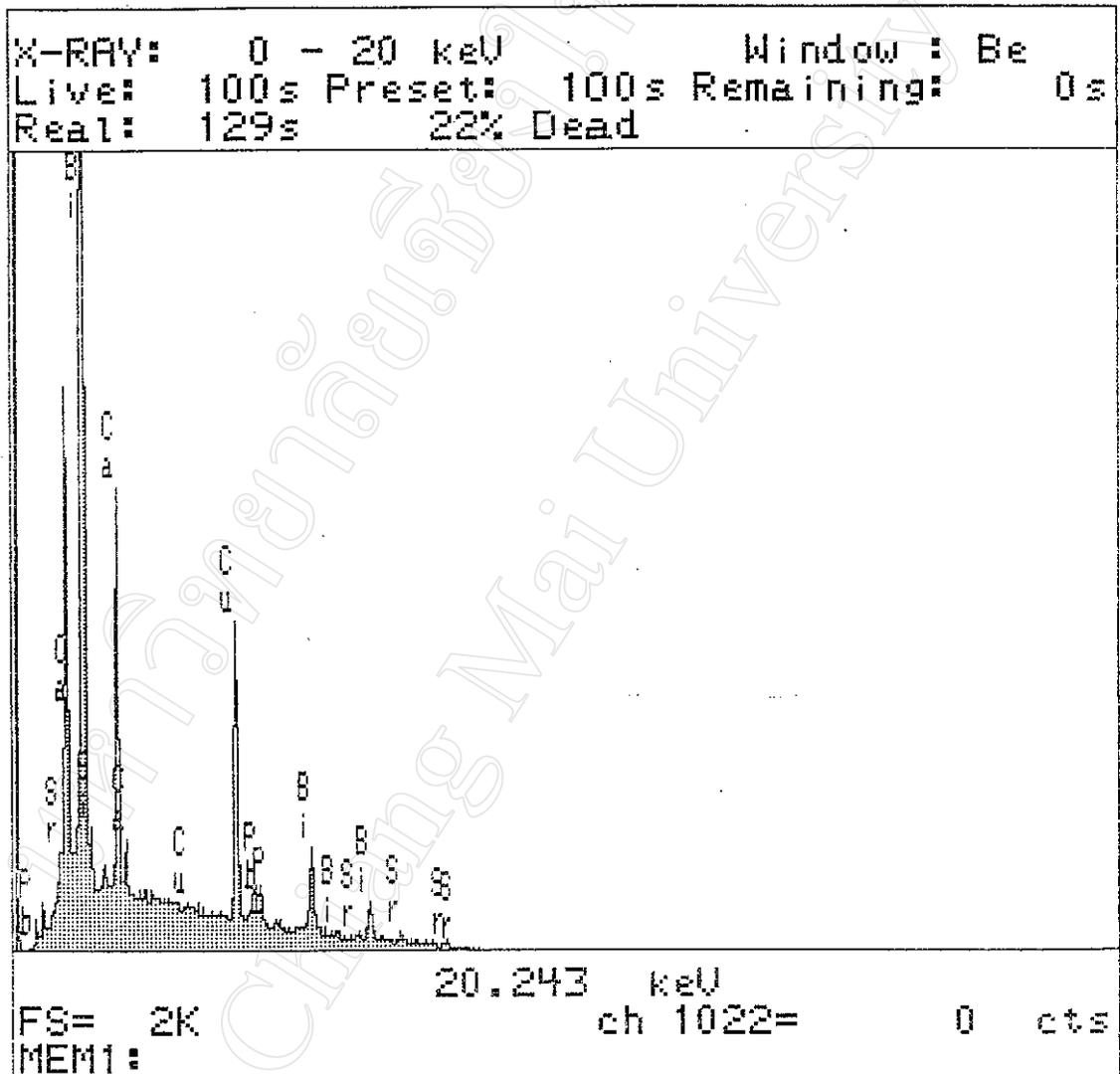
Whiskers ของสาร	พื้นที่หน้าตัด (cm ²)	Critical current (J_c)
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_3\text{O}_{8+x}$	0.0000040	6,975 A/cm ²
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$	0.0000024	11,750 A/cm ²
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$	0.0000080	9,175 A/cm ²

4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของ whiskers โดยการ X-ray ผ่านกล้อง SEM

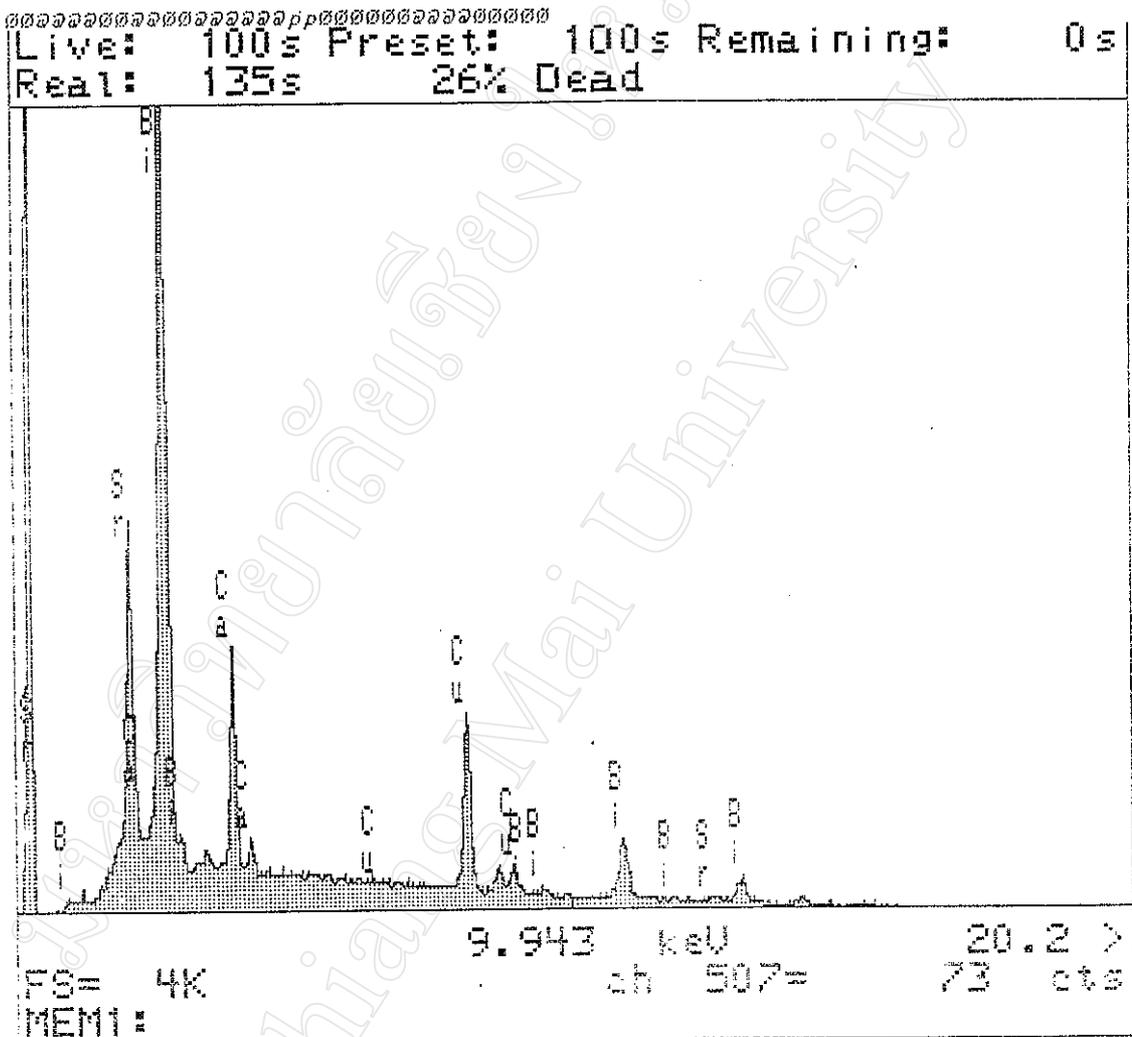
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยการ X-ray ผ่านกล้อง SEM พบว่า สำหรับ whiskers (2212) มีองค์ประกอบของ Bi, Sr, Ca, Cu ดังแสดงในรูปที่ 4.34 ส่วน whiskers (2223) ที่ calcine ด้วยผงของ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_6\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$ ปรากฏองค์ประกอบของ Pb ขึ้นมา ดังแสดงในรูป 4.35 ส่วน whiskers(2223) ที่ calcine ด้วยผงของ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_6\text{O}_{10+x}$ ไม่ปรากฏองค์ประกอบของ Pb ดังแสดงในรูป 4.36



รูปที่ 4.34 แสดง X-ray ด้วยกล้อง SEM ของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$



รูปที่ 4.35 แสดง X-ray ด้วยกล้อง SEM ของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$



รูปที่ 4.36 แสดง X-ray ด้วยกล้อง SEM ของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$

และเมื่อนำ glassy plate ที่เกิด whiskers มาวิเคราะห์บริเวณภาคตัดขวาง ด้วย เครื่อง SEM โดยใช้ฟังก์ชัน EDX พบว่า มีบริเวณที่น่าสนใจดังรูป ที่ 4.37 โดยจะทำการ X-ray จุดต่าง ๆ ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่ามีอยู่ 3 จุดด้วยกันคือ 1. บริเวณจุดสีดำ 2. บริเวณจุด สีเทา 3. บริเวณจุดสีขาว โดยผลที่ได้จากการ X-ray ของ จุดทั้ง 3 จะถูกแสดงในรูปที่ 4.38-4.40



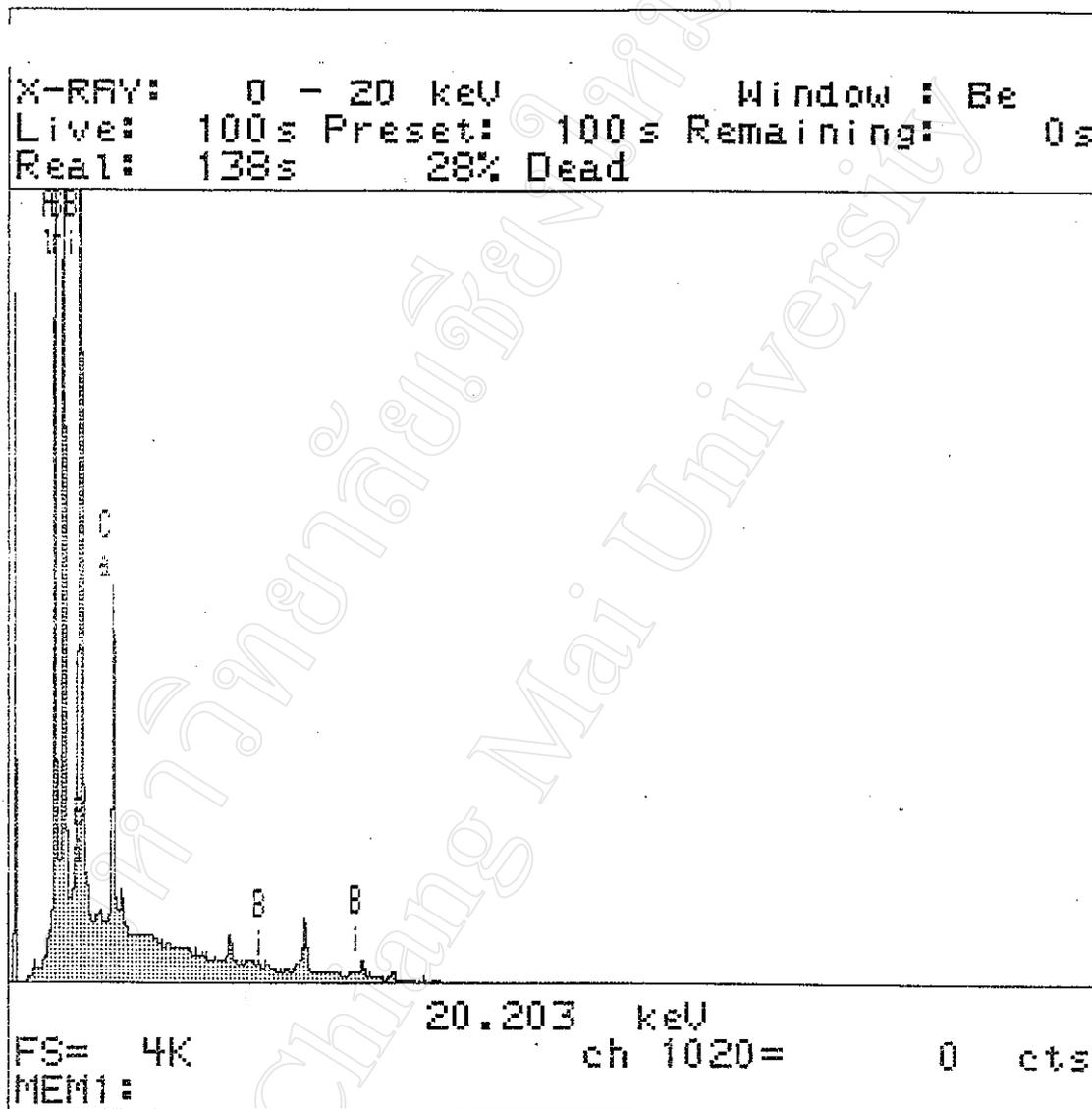
รูปที่ 4.37 แสดงภาพตัดขวางของผิวของ glassy plate ที่เกิด whiskers ซึ่งถ่ายด้วยกล้อง

SEM

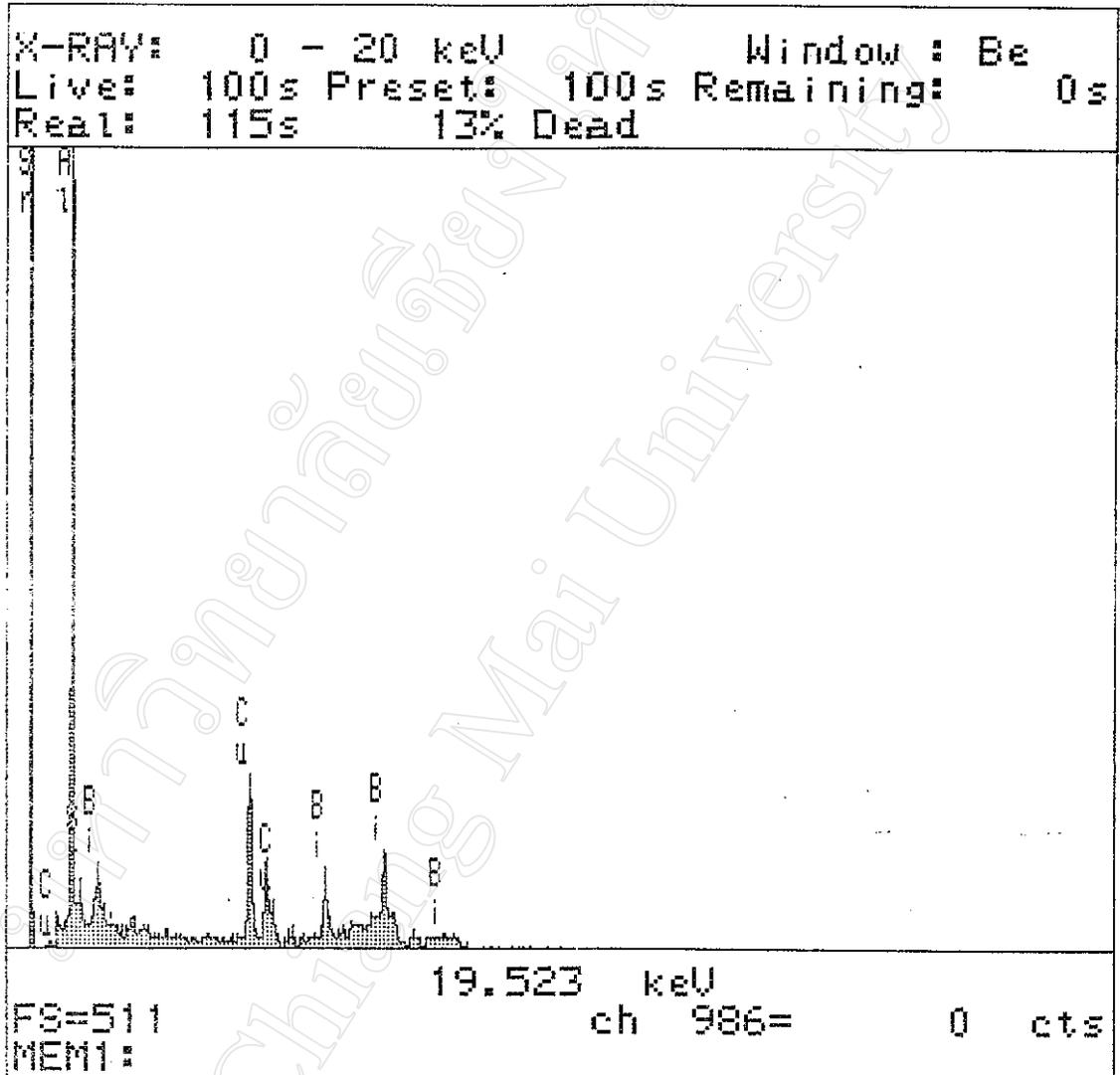
จาก รูป A = BiSrCaAlO

B = BiSrCuAlO

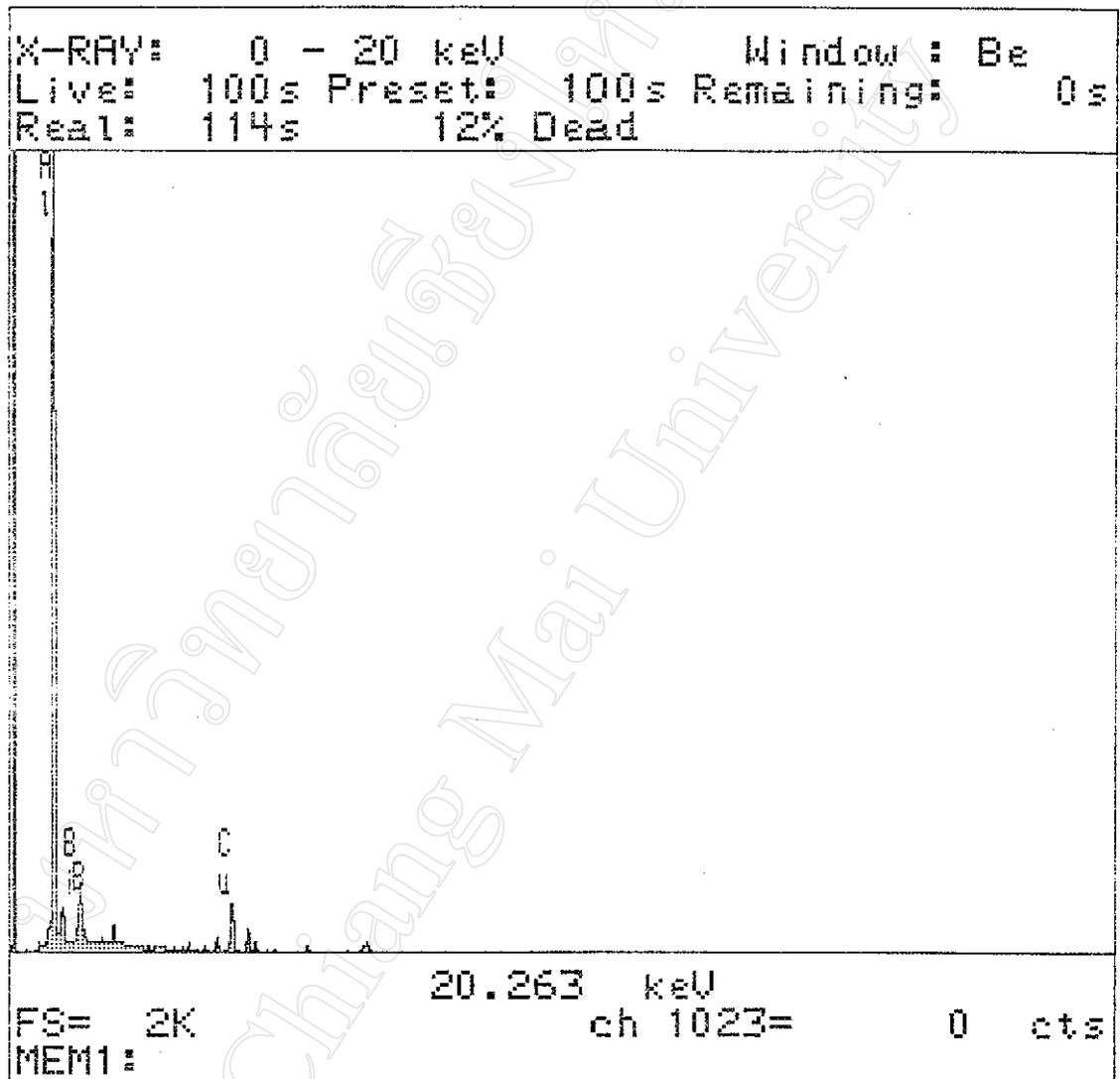
C = $(\text{Bi})\text{CuO}$



รูปที่ 4.38 แสดง X-ray ด้วยกล้อง SEM ที่บริเวณ A



รูปที่ 4.39 แสดง X-ray ด้วยกล้อง SEM ที่บริเวณ B



รูปที่ 4.40 แสดง X-ray ด้วยกล้อง SEM ที่บริเวณ C

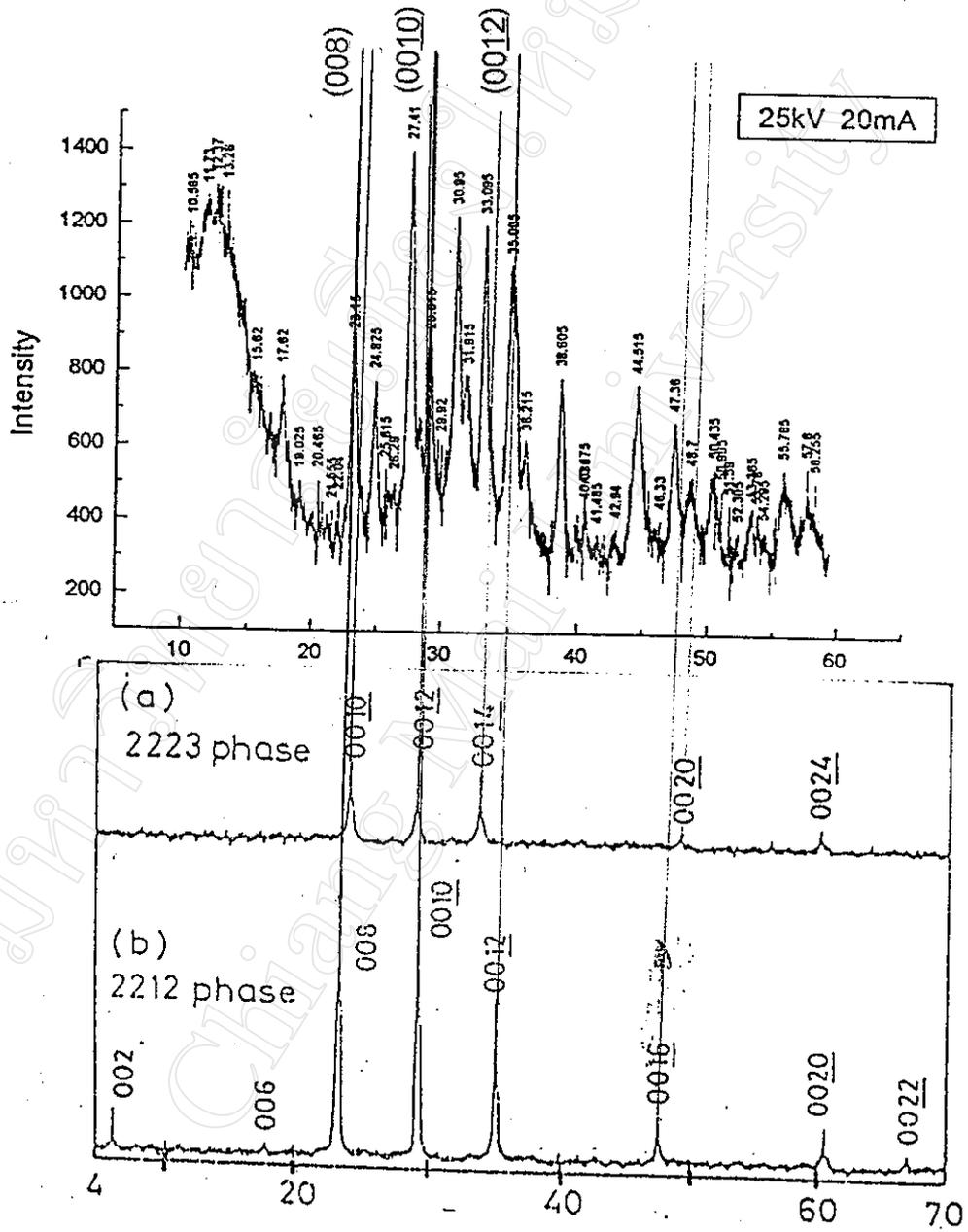
4.5 ผลการวิเคราะห์ whiskers โดยการใช้เครื่อง X-ray Diffraction

เมื่อนำ whiskers ทั้ง 3 ตัวอย่างมาทำการ X-ray เพื่อหาโครงสร้างของ whiskers โดยการใช้เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) แล้วนำมาวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และนำมาเทียบกับผลการศึกษาของ Matsubara และคณะ พบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองแบบนี้สอดคล้องกันโดย

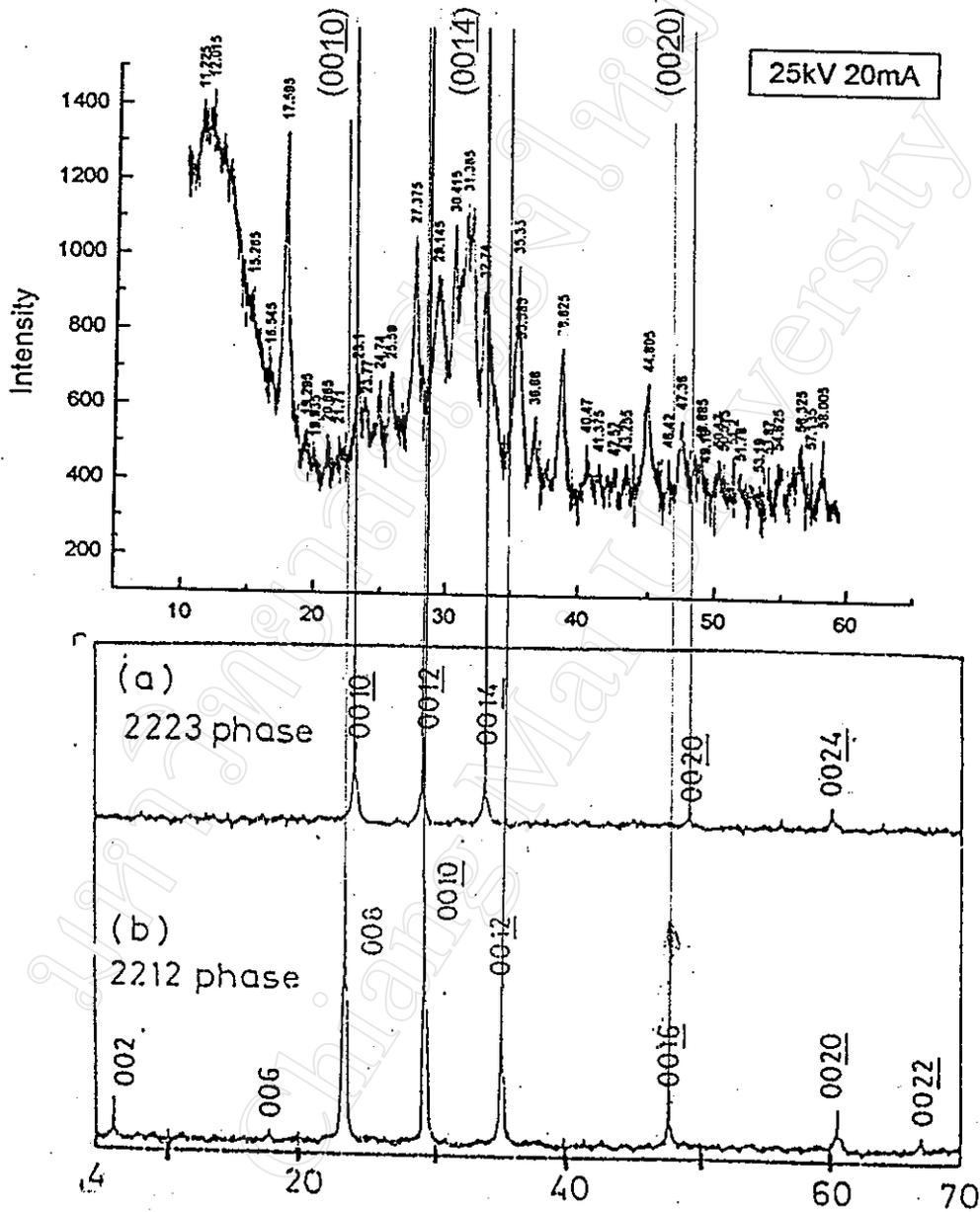
whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ นั้นปรากฏระนาบ (008),(0010),(0012) ซึ่งเป็นการแสดงว่า whiskers นั้นเป็นเฟส 2212 โดยมีโครงสร้างแบบ tetragonal และมีค่า $a = b = 5.40 \text{ \AA}$ และ $c = 30.07 \text{ \AA}$ ดังรูปที่ 4.41

whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$ นั้นปรากฏระนาบ (0010),(0014),(0020) ซึ่งเป็นการแสดงว่า whiskers นั้นเป็นเฟส 2223 โดยมีโครงสร้างแบบ tetragonal และมีค่า $a = b = 5.40 \text{ \AA}$ และ $c = 38.30 \text{ \AA}$ ดังรูปที่ 4.42

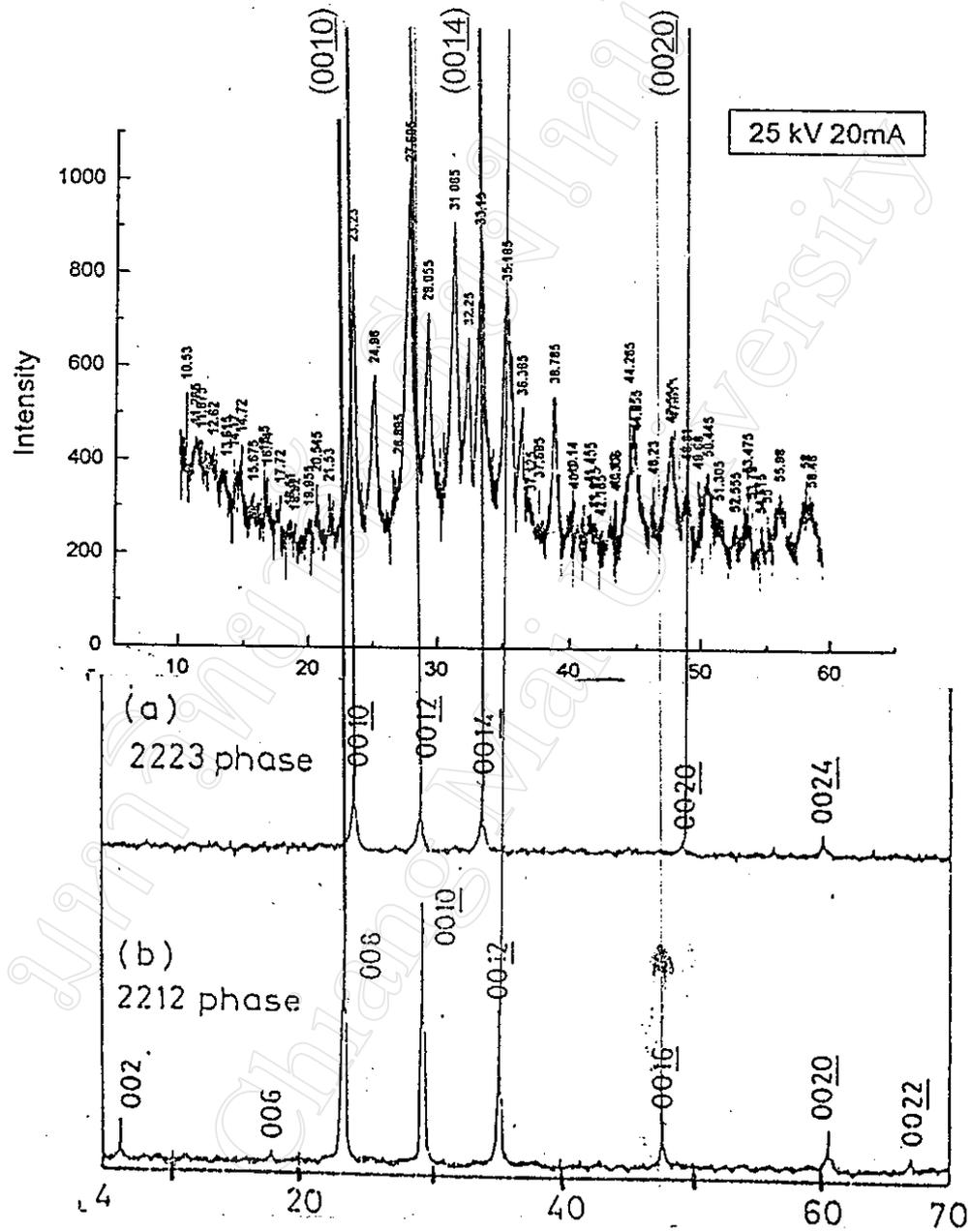
whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ นั้นปรากฏระนาบ (0010), (0014), (0020) ซึ่งเป็นการแสดงว่า whiskers นั้นเป็นเฟส 2223 โดยมีโครงสร้างแบบ tetragonal และมีค่า $a = b = 5.40 \text{ \AA}$ และ $c = 37.96 \text{ \AA}$ ดังรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.41 แสดง XRD ของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$



รูปที่ 4.42 แสดง XRD ของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_{0.5}\text{O}_{10+x}$



รูปที่ 4.43 แสดง XRD ของ whiskers $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$