

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การสังเคราะห์ตัวนำยิ่งยวด YBaCuO
ด้วยวิธี solid state reaction

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1.นายพงษ์แก้ว อุดมสมุทรหิรัญ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(หัวหน้าโครงการวิจัย)

2.นายสมศักดิ์ มณีรัตน์กุล

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

3.นายเสริมสุข รัตเร่ง

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

4.นายชัยนพ นิลกำจร

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก งบประมาณเงินรายได้

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ประจำปี 2548)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของคณะผู้วิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

เลขที่สัญญา : 136/2548
ชื่อโครงการ : การสังเคราะห์ตัวนำยวดยิ่ง YBaCuO ด้วยวิธี
solid state reaction
ชื่อนักวิจัย : 1.นายพงษ์แก้ว อุดมสมุทรศิริชัย (หัวหน้าโครงการวิจัย)
2.นายสมศักดิ์ มณีรัตนกุล
3.นายเสริมสุข รัตเร่ง
4.นายธัญนพ นิลกำจร
ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2548 – กันยายน 2549

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อสังเคราะห์ตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO ด้วยวิธี Solid state reaction และศึกษาสมบัติของสภาพนำยวดยิ่งของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ คณะผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือด้วยอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย เพื่อทำการวัดอุณหภูมิวิกฤติและสนามแม่เหล็กวิกฤติ ส่วนสมบัติอื่นๆวัดด้วย XRD, SEM, EDS, TEM ผลการทดลองพบว่าตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้มีสูตรเคมีเป็น $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ มีอุณหภูมิวิกฤติประมาณ 90 เคลวิน สนามแม่เหล็กวิกฤติ 1.267 mT โครงสร้างแบบ Orthorombic เป็นผลึกเดี่ยวขนาดประมาณ 0.5 ไมโครเมตร และมีขนาดของเกรน ประมาณ 10 ไมโครเมตร

คำสำคัญ : ตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง อุณหภูมิวิกฤติ สนามแม่เหล็กวิกฤติ

Abstract

Project Code : 136/2548
Project Title : Synthesis YBaCuO superconductor by solid state reaction method
Investigator : 1.Mr.Pongkaew Udomsamuthirun
2.Mr.Somsak Maneeranakul
3.Mr.Sersuk Ratreng
4.Mr.Tunyanop Nilgamjon
Project Period : October 2548 – September 2549

The purpose of this research is to synthesis Y-Ba-CuO superconductors by solid state reaction and investigated superconductivity's properties . We characterized our sample by using home-maded instrument ,The critical magnetic field and the critical temperature 's instrument, and others by XRD,SEM, EDS and TEM . We find that our sample has $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ formula ,critical temperature about 90 K ,maximum critical magnetic field 1.267 mT , orthorombic structure, single crystal size about $0.5 \mu\text{m}$ and grain size about $10 \mu\text{m}$.

Keywords: high temperature superconductors, critical temperature, critical magnetic field

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก คณะจารย์ บุคลากร จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และได้รับเงินสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ(เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์) ประจำปี 2548 จึงขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูงมาในครั้งนี้อีกด้วย

พงษ์แก้ว อุดมสมุทรหิรัญ
หัวหน้าโครงการวิจัย



สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	
บทคัดย่อไทย	
บทคัดย่ออังกฤษ	
บทที่ 1 บทนำ	1
การค้นพบตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง	3
การค้นพบตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูงกลุ่ม Y-Ba-CuO	4
วัตถุประสงค์/เป้าหมายหลักของการวิจัย	5
ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
การเตรียมตัวนำยิ่งยวดกลุ่ม Y-Ba-CuO	6
วิธีการวัดอุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยิ่งยวดกลุ่ม Y-Ba-CuO	10
ผลของกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีอิทธิพลต่อตัวนำยิ่งยวด	12
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	16
การวัดสมบัติของตัวนำยิ่งยวด	18
การวัดอุณหภูมิวิกฤต	18
การวัดอิทธิพลของสนามแม่เหล็ก	19
การวัดหาโครงสร้างด้วยเครื่อง XRD	19
การศึกษาส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง EDS	20
การศึกษาผิวด้วยเครื่อง SEM	20
การศึกษาผลึกด้วยเครื่อง SEM	20
บทที่ 4 ผลการทดลอง	21
การวัดอุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยิ่งยวดกลุ่ม Y-Ba-CuO	23
การวัดอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อตัวนำยิ่งยวด	24
การวัดหาโครงสร้างด้วยเครื่อง XRD	26
การศึกษาผิวของตัวอย่าง	27
การศึกษาส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง EDS	27
การศึกษาผลึกด้วยเครื่อง SEM	28
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	30
บรรณานุกรม	32
ประวัติย่อคณะผู้วิจัย	

บัญชีภาพประกอบ

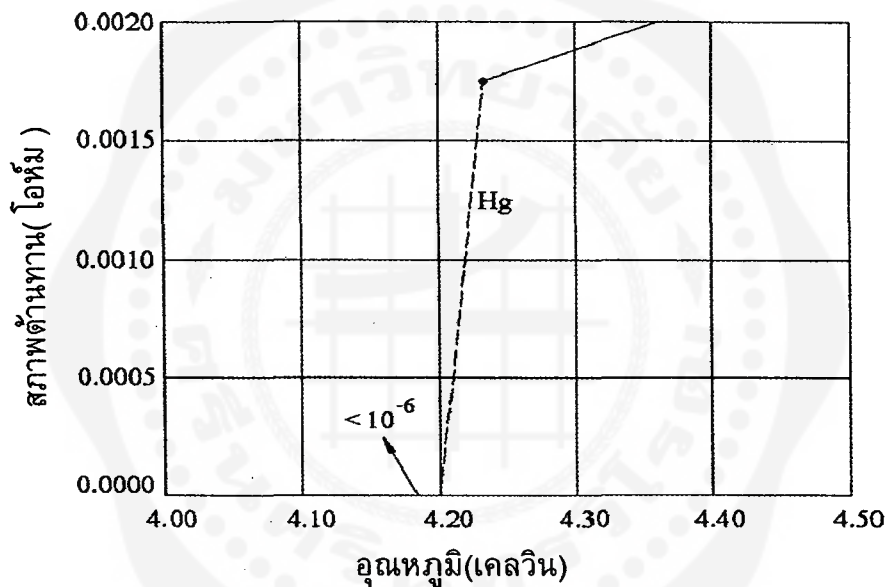
ภาพประกอบ	หน้า
ภาพประกอบ 1-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง....	1
ภาพประกอบ 1-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับอุณหภูมิ	2
ภาพประกอบ 1-3 ก) แสดงตัวนำปกติ... ข)แสดงตัวนำยวดยิ่ง...	3
ภาพประกอบ 1-4 โครงสร้างของตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง	5
ภาพประกอบ 2-1 อุณหภูมิกับเวลาของการเผา...	9
ภาพประกอบ 2-2 แสดงตัวนำยวดยิ่งและการต่อขั้วการวัด	10
ภาพประกอบ 2-3 แสดงตำแหน่งของบีกเกอร์ใบที่ 1,2 และ 3 และตัวนำยวดยิ่ง	11
ภาพประกอบ 2-4 แสดงความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับการ....	11
ภาพประกอบ 2-5 แสดงอุปกรณ์การทดลองหาค่าของกระแสวิกฤต	12
ภาพประกอบ 2-6 แสดงการประมาณค่าของกระแสวิกฤตจากแท่งแม่เหล็ก	13
ภาพประกอบ 2-7 แสดงการวัดกระแสวิกฤตจากขดลวด Helmholtz	13
ภาพประกอบ 2-8 แสดงกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นจากขดลวด Helmholtz	14
ภาพประกอบ 2-9 แสดงค่าของกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก ขดลวด Helmholtz	15
ภาพประกอบ 3-1 แสดงเวลากระบวนการเผาครั้งที่ 1	16
ภาพประกอบ 3-2 แสดงเวลากระบวนการเผาครั้งที่ 2	17
ภาพประกอบ 3-3 แสดงเวลากระบวนการเผาครั้งที่ 3	18
ภาพประกอบ 3-4 แสดงการต่อขั้วการวัดแบบ 4 ขั้ว	18
ภาพประกอบ 3-5 แสดงอุปกรณ์การวัดสนามแม่เหล็ก	19
ภาพประกอบ 4-1 แสดงสารตัวอย่างที่ใช้ทั้ง 3 อย่าง	21
ภาพประกอบ 4-2 รูปแสดงการวางตัวนำยวดยิ่ง.....	21
ภาพประกอบ 4-3 ภาพของการทำขั้วของตัวนำยวดยิ่ง....	22
ภาพประกอบ 4-4 แสดงผลการวัดอุณหภูมิวิกฤต.....	23
ภาพประกอบ 4-5 แสดงการวัดอิทธิพลของสนามแม่เหล็ก....	25
ภาพประกอบ 4-6 แสดงผลการวัดด้วยเครื่อง XRD	26
ภาพประกอบ 4-7 แสดงภาพถ่ายผิว....	27
ภาพประกอบ 4-8 ธาตุที่มีอยู่ในตัวนำยวดยิ่ง YBaCuO ที่เตรียมได้	27
ภาพประกอบ 4-9 ภาพ SEM ของตัวนำยวดยิ่ง	28

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ในปี ค.ศ.1911 นักฟิสิกส์ชาวเนเธอร์แลนด์ชื่อคาร์เมอร์ลิงฮอนเนส ได้ทดลองศึกษาวัดความต้านทานของปรอทบริสุทธิ์ใส่ลงในภาชนะรูปวงแหวนแล้วแช่ลงในฮีเลียมเหลวเมื่ออุณหภูมิปรอทลดลงอย่างสม่ำเสมอถึง 4.2 เคลวิน พบว่าความต้านทานของปรอทมีค่าเป็นศูนย์อย่างทันทีทันใด เรียกสภาพดังกล่าวนี้ว่า สภาพนำยวดยิ่ง (Superconductivity) และเรียกอุณหภูมิที่ทำให้หมดสภาพต้านทานนี้ว่า อุณหภูมิวิกฤต (Critical temperature, T_c) ดังภาพประกอบ 1-1



ภาพประกอบ 1-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิของปรอทบริสุทธิ์

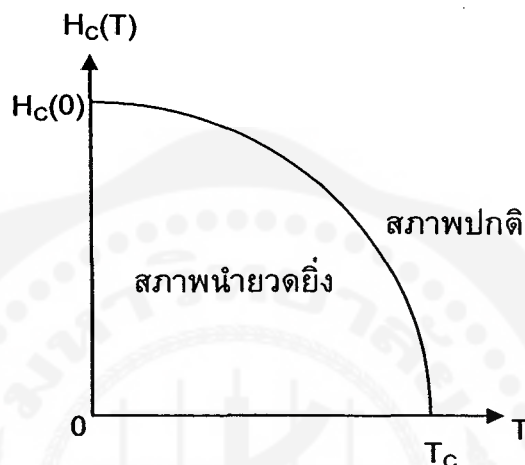
ที่มา: Buckel. (1991). Superconductivity Fundamental and Application. p. 3.

และในปีเดียวกันได้มีการทดลองนำตัวนำยวดยิ่งรูปวงแหวน เมื่อใส่กระแสไฟฟ้าให้แก่ตัวนำยวดยิ่งนี้แล้วเอาแหล่งจ่ายไฟฟ้าออกพบว่ายังมีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำนั้น กระแสไฟฟ้าจะมีค่าคงตัวตลอดเวลา เนื่องจากไม่มีผลของความต้านทานในตัววัสดุเลยเรียกกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่นี้ว่า กระแสยืนยง (Persistent current)

จากนั้นในปี ค.ศ. 1913 ฮอนเนส ได้ทดลองศึกษาถึงสมบัติสภาพนำยวดยิ่งโดยให้กระแสไฟฟ้าค่าต่างๆไหลในตัวนำยวดยิ่ง พบว่าสารดังกล่าวก็ยังคงอยู่ในสภาพนำยวดยิ่งอยู่ แต่ถ้าค่าของความหนาแน่นกระแสมีค่าสูงกว่าค่าหนึ่ง ๆ ของสารดังกล่าวก็จะกลายเป็นตัวนำปกติทันที เรียกความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าค่านี้ว่า “ความหนาแน่นกระแสวิกฤต”

(Critical current density, J_c) ซึ่งปริมาณดังกล่าวนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิ (T) กล่าวคือ J_c มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ T ลดลง

ในปี ค.ศ.1914 ออนเนส ได้พบว่าสนามแม่เหล็กสามารถทำลายสภานำยวดยิ่งได้อีก เช่นเดียวกันกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า กล่าวคือ ถ้าความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงกว่าค่าสนามแม่เหล็กวิกฤตตัวนำยวดยิ่งจะกลายเป็นตัวนำปกติ ผลที่ได้จากการทดลองสามารถเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กวิกฤตกับอุณหภูมิดังภาพประกอบ 1-2



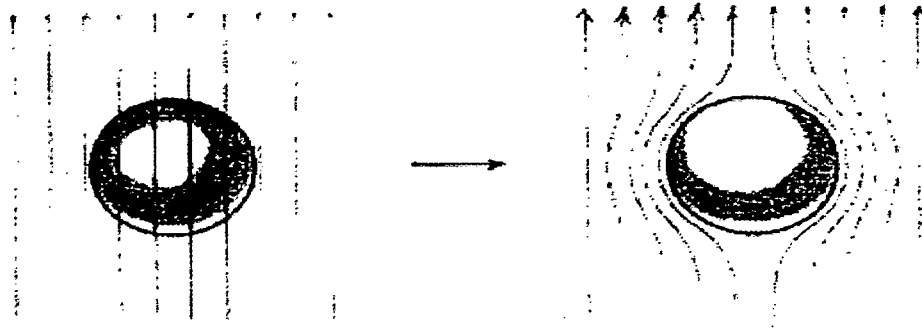
ภาพประกอบ 1-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับอุณหภูมิ
ที่มา: Kresin;& Wolf. (1990). Fundamentals Superconductivity. p. 10.

และเขียนสมการของสนามแม่เหล็กวิกฤตที่ขึ้นกับอุณหภูมิดังนี้

$$H_c(T) = H_c(0) \left(1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right) \quad (1.1)$$

เมื่อ $H_c(0)$ และ $H_c(T)$ คือ สนามแม่เหล็กวิกฤตที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์ และที่อุณหภูมิ T ใด ๆ ตามลำดับ และ T_c คือ อุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยวดยิ่งนั้น

ในปี ค.ศ.1933 ไมส์เนอร์และออกเซนเฟลด์ ได้พบสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของตัวนำยวดยิ่งคือเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต สนามแม่เหล็กไม่สามารถพุ่งผ่านเข้าไปในสารที่เป็นตัวนำยวดยิ่งได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตสนามแม่เหล็กสามารถทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อสารได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์ไมส์เนอร์ (Meissner effect)

ภาพประกอบ (ก) $T > T_c$

ตัวนำปกติในสนามแม่เหล็ก

ภาพประกอบ 1-3 (ก) แสดงตัวนำปกติในสนามแม่เหล็ก

ภาพประกอบ (ข) $T < T_c$

ตัวนำยิ่งยวดในสนามแม่เหล็ก

(ข) แสดงตัวนำยิ่งยวดในสนามแม่เหล็ก

ที่มา : Kittel (1997) . Introduction to Solid State Physics. p .344.

ตั้งแต่ปี ค.ศ.1911 เป็นต้นมา การค้นคว้าวิจัยหาตัวนำยิ่งยวดชนิดใหม่ๆ ที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงได้พัฒนาไปอย่างเชื่องช้า และในปี ค.ศ.1973 นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบโลหะผสมของไนโอเบียมและเจอร์มาเนียม (Nb_3Ge) ซึ่งมีอุณหภูมิวิกฤต 23.2 เคลวิน จากนั้นเป็นเวลาหลายสิบปี นักวิทยาศาสตร์ก็ได้พยายามค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้ตัวนำยิ่งยวดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 23.2 เคลวิน แต่ก็ไม่ประสบผลสำเร็จจึงทำให้เชื่อว่าตัวนำยิ่งยวดในธรรมชาติน่าจะมีอุณหภูมิวิกฤตที่จำกัดอยู่ประมาณ 35 เคลวิน และเรียกตัวนำชนิดนี้ว่า “ตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิต่ำ” (Low temperature superconductors) หรือตัวนำยิ่งยวดแบบดั้งเดิม (Conventional superconductors) ในทางปฏิบัติประสบปัญหาด้านการทดลองค่อนข้างมากเนื่องจากตัวนำยิ่งยวดชนิดนี้ต้องใช้ฮีเลียมเหลวเป็นสารหล่อเย็นและฮีเลียมเหลวมีจุดเดือด 2.18 เคลวิน การใช้งานฮีเลียมเหลวนั้นจะต้องใช้การกักเก็บความร้อนเป็นอย่างดี เพื่อที่จะรักษาสภาพนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิระดับต่ำมาก ๆ ไว้ให้นาน อีกประการหนึ่งก็คือฮีเลียมเหลวเป็นวัสดุที่ผลิตยากราคาแพงและสิ้นเปลือง

การค้นพบตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง

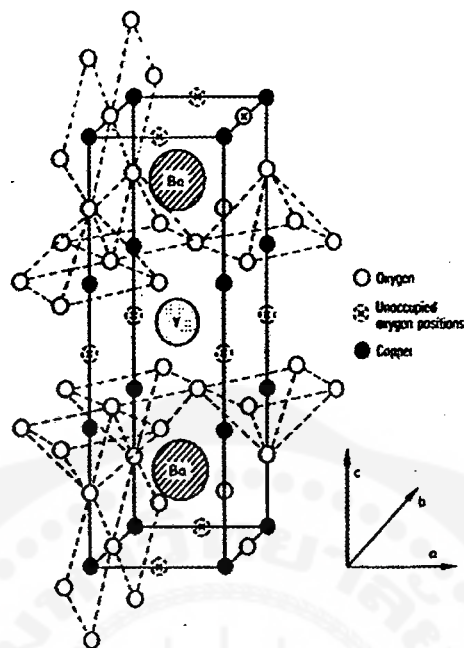
ในปี ค.ศ.1986 เบทโนสและโมลเลอร์ (Bednorz & Müller, 1986: 189) ได้ค้นพบสภาพนำยิ่งยวดในสารกลุ่มใหม่ ที่มีองค์ประกอบของสารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO_2) และต่อมาเรียกว่า คิวเพรต (Cuprate) โดยสารตัวแรกคือสารประกอบ La_2BaCuO_4 ซึ่งเป็นสารเซรามิกที่อุณหภูมิห้องและมีสภาพเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่เมื่อลดอุณหภูมิลงจนต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤตที่ประมาณ 30 เคลวิน จะกลายเป็นตัวนำยิ่งยวด การค้นพบเบทโนสและโมลเลอร์ทำให้นักฟิสิกส์คาดว่าจะพบสารตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิห้อง และนักฟิสิกส์ตกลงความเข้าใจเป็นแนวเดียวกันว่าสารที่มีอุณหภูมิวิกฤตไม่เกิน 35 เคลวิน เป็นสารตัวนำยิ่งยวดแบบดั้งเดิม (Conventional

superconductors) และเรียกตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่า 35 เคลวิน ว่าเป็นตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง(High temperature superconductors)

การค้นพบตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูงกลุ่ม Y-Ba-CuO

ในปี ค.ศ.1987 ชูและคณะ (Chu, et al. 1987: 405) ได้ค้นพบสารกลุ่มคิวเพรทที่มีองค์ประกอบของแลนทานัม-แบเรียม-คิวเพรท(La-Ba-CuO) ที่มีอุณหภูมิวิกฤตเป็น 40 เคลวิน โดยเทคนิคการเพิ่มความดันให้กับสารตัวนำยวดยิ่ง ในปีเดียวกันยังมีการค้นพบสารกลุ่มคิวเพรทอีกกลุ่มหนึ่งที่มียังองค์ประกอบของ อิทเทียม-แบเรียม-คิวเพรท(Y-Ba-CuO) ดังภาพประกอบ 1-4 ที่มีอุณหภูมิสูงถึง 92 เคลวิน โดย ชูและคณะ (Chu, et al. 1987: 405) ซึ่งเป็นครั้งแรกซึ่งพบสารที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่าจุดเดือดของไนโตรเจนเหลวคือ 77 เคลวิน โดยสารนั้นจะมีลักษณะโครงสร้างแบบเพอร์รอฟสไกต์ หลังจากนั้นการค้นพบสารตัวนำยวดยิ่งที่ทำให้ได้อุณหภูมิวิกฤตสูง ๆ ในกลุ่มเซรามิกอยู่จำนวนมาก

การศึกษาโครงสร้างของตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูงของสารประกอบเซรามิกได้ทำให้รู้ว่า โครงสร้างที่ประกอบด้วยระนาบของ Cu-O_2 มีลักษณะเป็นชั้นๆ ดังภาพประกอบ 1-4 และในระหว่างชั้นมีอะตอมของโลหะชนิดอื่นคั่นอยู่ซึ่งอะตอมนี้ทำหน้าที่เป็นฉนวน การนำไฟฟ้าจึงเกิดขึ้นในระนาบของ Cu-O_2 โดยมีอิเล็กตรอนของอะตอม Cu เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดสภาพนำยวดยิ่งและในการลดอุณหภูมิได้ทำให้โครงสร้างของผลึกเปลี่ยนไปและการที่โครงสร้างของผลึกเปลี่ยนไปนี้ทำให้สารกลุ่มนี้แสดงสมบัติตัวนำยวดยิ่งได้ เพราะฉะนั้นสภาพนำยวดยิ่งจึงมีความสำคัญโดยตรงกับจำนวนระนาบ Cu-O_2 ที่มีในโมเลกุล จึงกล่าวได้ว่าการนำไฟฟ้าของอิเล็กตรอนตัวนำยวดยิ่งในสองมิติ



ภาพประกอบ 1-4 โครงสร้างของตัวนำยิ่งยวดยิ่งอุณหภูมิสูง $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

ที่มา: Buckel.(1991). Superconductivity Fundamental and Application.p.222.

วัตถุประสงค์/เป้าหมายหลักของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการสังเคราะห์สารตัวนำยิ่งยวดยิ่งอุณหภูมิสูงกลุ่ม Y-Ba-CuO แบบก้อนให้มีอุณหภูมิวิกฤตสูงที่สุด
2. ศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของสารตัวนำยิ่งยวดยิ่งอุณหภูมิสูงกลุ่ม Y-Ba-CuO
3. เพื่อสร้างความพร้อมในการทำงานวิจัยด้านตัวนำยิ่งยวดยิ่งอุณหภูมิสูง

ขอบเขตของโครงการวิจัย

สามารถสังเคราะห์ตัวนำยิ่งยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO แบบก้อนที่มีอุณหภูมิวิกฤตประมาณ 90 เคลวิน ได้

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

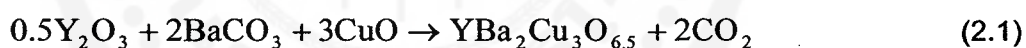
ในงานวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO และการวัดสมบัติทางฟิสิกส์ ซึ่งจะกล่าวได้ดังนี้

การเตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO

เนื่องจากตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO เป็นตัวนำยวดยิ่งกลุ่มแรกๆ ที่ถูกค้นพบ ในปัจจุบันได้มีการเผยแพร่วิธีการเตรียมอย่างแพร่หลายทางอินเทอร์เน็ตซึ่งผู้วิจัยจะเลือกนำเสนอวิธีการเตรียมของบางกลุ่มวิจัยดังนี้

ในปี ค.ศ. 2003 บริษัท โคโรราโดฟิวเจอร์ไซน์ซ์ (Colorado Futurescience, 1988: online) ได้นำเสนอวิธีการสังเคราะห์ตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO ไว้โดยมีวัสดุอุปกรณ์ในการสังเคราะห์สารกลุ่มนี้ดังนี้ ยิทเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เตาเผาอุณหภูมิสูง ถ้วยอลูมินา และก๊าซออกซิเจน

ในการคำนวณสัดส่วนของสารตั้งต้นจากปฏิกิริยาทางเคมีของสารกลุ่ม Y-Ba-CuO มีสูตรทางเคมีดังนี้คือ



จากปฏิกิริยาทางเคมีดังกล่าวสามารถคำนวณมวลเป็นกรัมออกมาได้ โดยจะพบว่า Y_2O_3 จะหมายถึงมียิทเทรียมอยู่ 2 อะตอม และมีออกซิเจน 3 อะตอม ซึ่งมวลอะตอมยิทเทรียมมีค่าเท่ากับ 88.9059 จะหมายถึง ยิทเทรียม 88.9509 กรัมจะมี 6.02×10^{23} อะตอม ส่วนออกซิเจนมีมวลอะตอมเท่ากับ 15.99959 จะหมายถึง ออกซิเจน 15.9996 กรัม จะมี 6.02×10^{23} อะตอม ดังนั้นสำหรับยิทเทรียมออกไซด์(Y_2O_3) ซึ่งจะแยกออกเป็น

$$\text{ในส่วนของยิทเทรียม : } Y_2 = 2 \times 88.9059 = 177.8818$$

$$\text{ในส่วนของออกซิเจน : } O_3 = 3 \times 15.99959 = 47.9988$$

ดังนั้นมวลโมเลกุลในส่วนของ Y_2O_3 มีค่าเท่ากับ $177.8818 + 47.99877 = 225.88$ ในส่วนของแบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) จะประกอบด้วยแบเรียม 1 อะตอม คาร์บอน 1 อะตอม และออกซิเจน 3 อะตอม ซึ่งมวลอะตอมของแบเรียมมีค่าเท่ากับ 137.33 มวลอะตอมของ คาร์บอน 12.011 มวลอะตอมของออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 3×15.99959 มีค่าเท่ากับ 37.99877 ดังนั้นมวลโมเลกุลในส่วนของแบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) มีค่าเท่ากับ $137.33 + 12.011 + 37.99877 =$

197.35 กรัม และในส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) จะประกอบด้วย คอปเปอร์ 1 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม มวลอะตอมของคอปเปอร์มีค่าเท่ากับ 63.546 และมวลอะตอมของออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 15.9994 ดังนั้นมวลโมเลกุลในส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) มีค่าเท่ากับ $63.546 + 15.9994 = 79.5454$

จะได้อัตราส่วนของมวลเป็นกรัมจากปฏิกิริยาเคมีนี้คือ

ยิทเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) : $0.5 \times 225.88 = 112.94$ กรัม

แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) : $2 \times 197.35 = 394.70$ กรัม

คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) : $3 \times 79.5454 = 238.64$ กรัม

ในทางปฏิบัติสามารถใช้อัตราส่วนของมวลที่น้อยลงได้ โดยนำข้อมูลข้างบนมาหารตลอดด้วย 10 จะได้ว่า

ยิทเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) เท่ากับ 11.29 กรัม

แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) เท่ากับ 39.47 กรัม

คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เท่ากับ 23.86 กรัม

ข้อควรระวังอันตรายในการใช้สารเคมี คือควรมีหน้ากากกันฝุ่นและถุงมือเพื่อป้องกันฝุ่นผงเข้าทางลมหายใจและการเปื้อนทางมือและส่วนต่างๆของร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) เป็นสารที่เป็นอันตราย

ในการสังเคราะห์ตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO มีด้วยกัน 4 ขั้นตอนด้วยกันคือ

- การผสมสารเคมี (Mixing the chemical)
- การเผาเริ่มต้น (Calcination)
- การเผาขั้นกลาง (The intermediate firing)
- การใส่ออกซิเจน (The Oxygen annealing)

1) การผสมสารเคมี (Mixing the chemicals)

การผสมสารเป็นกระบวนการเริ่มแรกของกระบวนการทั้งหมดซึ่งจะต้องให้ความสำคัญสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการนี้โดยนำสารยิทเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ซึ่งมีลักษณะเป็นผงโดยใช้สัดส่วนของมวลเป็นกรัมดังนี้คือ

ยิทเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) เท่ากับ 11.29 กรัม

แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) เท่ากับ 39.47 กรัม

คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เท่ากับ 23.86 กรัม

ผสมสารทั้งสามในครกอลูมินา คลุกให้เข้ากันจะมีสีเทา

2) การเผาเริ่มต้น (Calcination)

นำสารสีเทาที่ได้จากข้อ 1 ใส่ในถ้วยอลูมินาแล้วเริ่มต้นกระบวนการเผาที่มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ $925 - 950^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 18 - 24 ชั่วโมง ทั้งนี้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ

950°C กระบวนการเผาเริ่มต้นนี้เป็นการขจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3)

สารที่ได้จากกระบวนการเผานี้จะได้สารมีลักษณะจับตัวกันเป็นก้อนสีดำ มีรูพรุน แต่ถ้ามีสีเขียวยแทรกแสดงให้เห็นว่าการผสมและการเผาในขั้นตอนที่ผ่านมายังไม่ดีพอ

3) การเผาขั้นกลาง (The intermediate firing)

นำสารที่ได้จากกระบวนการที่ 2 ไปบดให้เป็นผงละเอียดด้วยครกอลูมิน่า แล้วใส่กลับไปในถ้วยอลูมิน่าอีกครั้ง แล้วนำไปเผาในเตาอีกครั้ง โดยให้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอจนถึงอุณหภูมิ 500°C เริ่มให้ออกซิเจนเข้าไปในเตาการใส่ออกซิเจนนี้ เรียกว่า Oxygen annealing จนอุณหภูมิสุดท้ายของกระบวนการนี้จะอยู่ที่ 950°C แล้วคงที่อุณหภูมินี้ไว้อย่างน้อย 18 ชั่วโมง

จากนั้นลดอุณหภูมิลง ซึ่งการลดอุณหภูมิก็นับปัจจัยที่สำคัญ อีกประการหนึ่งคือ ควรลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ คือช่วงอุณหภูมิจาก 950°C ถึง 400°C การลดลงของอุณหภูมิจะต้องไม่มากกว่า 100°C ต่อชั่วโมง จนกระทั่งอุณหภูมิลดถึง 400°C อัตราการลดลงของอุณหภูมิ อาจจะมากกว่า 200°C ต่อชั่วโมงได้จนถึงอุณหภูมิห้อง

เมื่อลดถึงอุณหภูมิห้องแล้วนำสารที่ได้ไปบดอีกครั้งจะได้เป็นผงสีดำสนิทไปขึ้นรูปด้วยการอัดให้แน่นก่อนที่จะนำไปเผาดังกระบวนการต่อไป

4) การใส่ออกซิเจน (The oxygen annealing)

นำสารได้จากกระบวนการที่ 3 ใส่ในถ้วยอลูมิน่าอีกครั้งแล้วนำไปเผาซึ่งการให้อุณหภูมิแก่สารในขั้นตอนนี้จะเพิ่มอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ จนถึงอุณหภูมิระหว่าง 950 - 1000°C อุณหภูมิที่ดีที่สุดคือ 950°C คงที่อุณหภูมินี้ไว้ 18 ชั่วโมง ถ้าอุณหภูมิมีค่ามากกว่า 1000°C จะเป็นการเสี่ยงต่อการทำลายโครงสร้างของสารดังกล่าว และอาจจะทำให้สารติดกับถ้วยอลูมิน่าได้ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 950°C แล้วเริ่มใส่ออกซิเจนที่อุณหภูมินี้เท่านั้น

การลดลงของอุณหภูมิจึงมีความจำเป็นเช่นกันคือ ควรลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ ภายใต้การใส่ของออกซิเจนอัตราการลดลงของอุณหภูมิไม่ควรเกิน 100°C ต่อชั่วโมง ในช่วง อุณหภูมิ 950-900°C จะต้องใส่ออกซิเจนอย่างต่อเนื่องและการลดอุณหภูมิลงจาก 900°C ถึง 300°C จะต้องแน่ใจว่าออกซิเจนจะต้องเข้าถึงสารที่เผาอยู่

ถ้าอากาศภายในเตาไม่มีออกซิเจนมากพอเมื่ออุณหภูมิยังคงสูงกว่า 400°C สารนั้นอาจจะสูญเสียออกซิเจนที่มีความจำเป็นต่อโครงสร้างของสารได้เมื่ออุณหภูมิประมาณ 400°C จะเพิ่มอัตราการลดลงของอุณหภูมิได้แล้วลดอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิห้อง

จากการสังเกตแล้วพบว่า การเริ่มต้นของการผสมและการบดสารแต่ละครั้งในแต่ละกระบวนการเผาเป็นสิ่งที่สำคัญในการสังเคราะห์สารในกลุ่ม Y-Ba-CuO

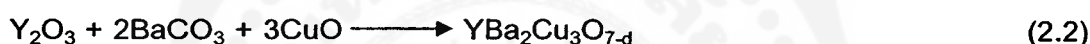
ในปี ค.ศ. 2003 กลุ่ม Inorganic chemistry Laboratory. (Inorganic chemistry Laboratory. 2003: online) ได้มีการเตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่มนี้ดังนี้

1.คำนวณสัดส่วนมวลของ ยิทเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) และคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) นำสารทั้งสามผสมให้เข้ากันในครกอลูมินาควรจะคลุกในตู้ดูดควัน

2.นำสารที่ผสมเข้ากันดีแล้วไปอัดขึ้นรูปเป็นรูปเม็ดระวางอย่าให้เม็ดแตกเพราะว่าเม็ดเปราะและหักง่าย

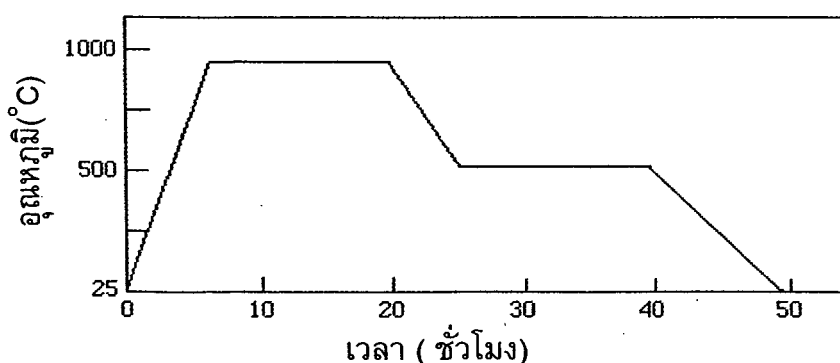
3.จากนั้นนำไปให้ในถ้วยอลูมินาเริ่มการเผาที่อุณหภูมิ $500^{\circ}C$ แล้วเพิ่มอุณหภูมิ เป็น $100^{\circ}C$ ทุกๆ 10 นาทีจนถึงอุณหภูมิ $900^{\circ}C$ คงที่อุณหภูมินี้ไว้ 15 ชั่วโมงจากนั้นลดอุณหภูมิของเตา ลงจาก $900^{\circ}C$ ถึง $500^{\circ}C$ ตรงช่วงนี้จะใช้เวลาประมาณ 1 วัน แล้วปิดเตา และลดอุณหภูมิของเตา จนถึงอุณหภูมิห้อง

ในปี ค.ศ. 2006 หน่วยวิจัย Material Chemistry-Superconductor (Material Chemistry- Superconductor. 2006: online) ซึ่งได้มีกระบวนการเตรียมสารกลุ่มนี้จากปฏิกิริยาทางเคมี



นำยิทเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) และ คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ในอัตราส่วนตามที่คำนวณได้ เทสารแต่ละชนิดใส่แต่ละบีกเกอร์โดยต้องแน่ใจว่าแต่ละบีกเกอร์นั้นจะต้องแห้งและสะอาดแล้ว เทสารทั้งสามลงในครกอลูมินาแล้วใช้สากบดให้ เข้ากันในตู้ดูด ควันใช้เวลาประมาณ 10 นาที ถ้าสารยังจับตัวเป็นก้อนอยู่อาจจะใช้ช้อนตักสารบดให้ละเอียดได้ ผงที่ได้จากการผสมจะไม่จับตัวกันเป็นก้อนและต้องไม่เห็นสารที่มีสีดำปรากฏ อยู่ สุดท้ายแล้ว ผลจากการผสมจะต้องเป็นสีเทา

นำผงสีเทาดังกล่าวไปอัดเป็นรูปสารที่ได้จะมี ความเปราะและเกิดการแตกหักง่ายซึ่ง เป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวัง จากนั้นนำไปใส่ในถ้วยอลูมินาแล้วนำ ไปสู่กระบวนการเผาซึ่งมีการเพิ่มและการลดอุณหภูมิดังนี้



ภาพประกอบ 2-1 อุณหภูมิกับเวลาของการเผาสารกลุ่ม Y-Ba-CuO

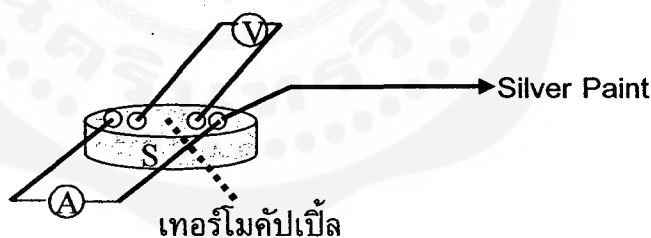
ที่มา: Material Chemistry-Superconductor.(2006)

จากกราฟเป็นการให้ความร้อนแก่สารโดยเริ่มที่อุณหภูมิห้อง 25°C จนถึงอุณหภูมิ 930°C แล้วคงที่อุณหภูมินี้ไว้ 10 -12 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ จนถึงอุณหภูมิ 500°C แล้วเริ่มให้ออกซิเจนเป็นเวลา 10 - 12 ชั่วโมง หรือ อาจจะใช้ ออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศก็ได้ จากนั้น หยุดการให้ออกซิเจนแล้วค่อยๆ ลดอุณหภูมิ จนถึงอุณหภูมิห้อง เมื่อเสร็จสิ้นจากกระบวนการเผา แล้วจะได้สารที่มีสีดำแสดงให้เห็นว่าเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ซึ่งแสดงว่าการผสมสารเข้ากันได้ดีส่วนถ้ามีสีเขียวแสดงว่าการผสมสารในขั้นตอนแรกยังไม่ดีพอ

ข้อควรระวังของสารที่ใช้ในการทดลองสารที่ใช้ในการทดลองนี้บางชนิดเป็นสารที่เป็นอันตรายควรหลีกเลี่ยงการสูดดม และอย่าให้สารเคมีเข้าตา และถูกกับผิวหนังโดยตรงจากปฏิกิริยาทางเคมี

วิธีการวัดอุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO

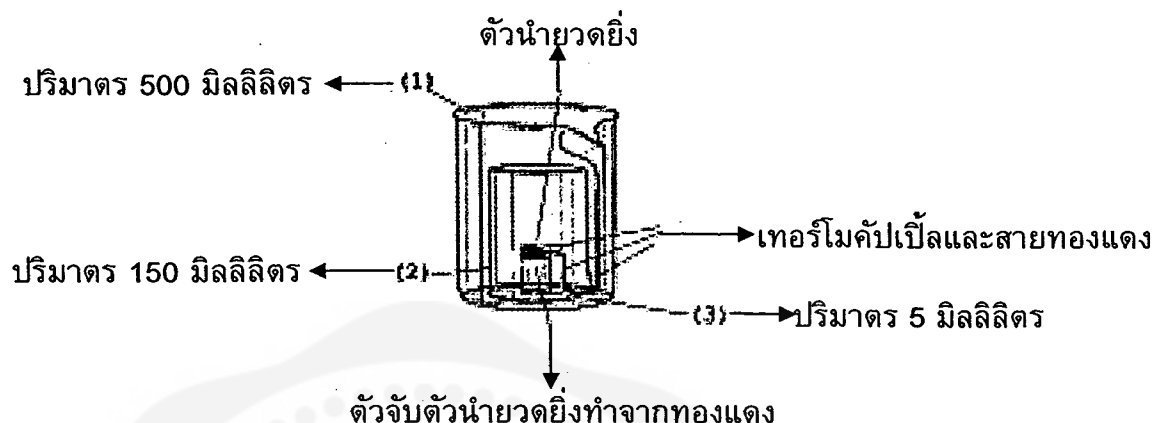
คณะผู้วิจัยได้ค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องในการวัดค่าของอุณหภูมิวิกฤตซึ่งมีอยู่หลายวิธีดังนี้ ในปี ค.ศ. 1997 โรสซาโน (Rossano.1997:pp.1024-1026) นำตัวนำยวดยิ่งต่อขั้วแบบ 4 ขั้วดังภาพประกอบ 2-2 เพื่อที่จะวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิ การต่อขั้วใช้การต่อแบบ 4 จุดนี้ เรียกว่า Four Points Probe โดยเชื่อมด้วย Silver paint และ 2 จุดแรกจะใส่กระแส แล้ววัดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่สองจุดถัดไป พร้อมกับต่อเทอร์โมคัปเปิ้ลเพื่อที่จะวัดค่าของอุณหภูมิ



ภาพประกอบ 2-2 แสดงตัวนำยวดยิ่ง(S) และการต่อขั้วการวัด
ที่มา: Rossano. (1997). American Journal of Physics. p. 1024-1026.

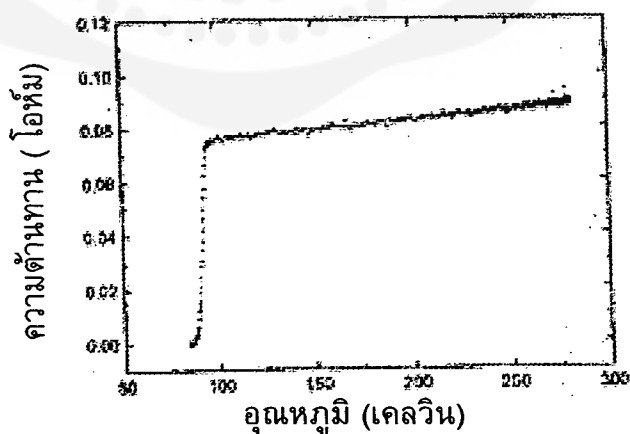
จากนั้นนำบีกเกอร์มาจำนวน 3 ใบ โดยบีกเกอร์ใบที่ 1 มีปริมาตร 500 มิลลิลิตรใช้บรรจุในไตรเจนเหลว บีกเกอร์ใบที่ 2 มีปริมาตร 150 มิลลิลิตรใช้สำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างตัวนำยวดยิ่งกับในไตรเจนเหลวและบีกเกอร์ใบที่ 3 มีปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใช้ตั้งตัวนำยวดยิ่งและตัวจับตัวนำยวดยิ่งที่ทำด้วยทองแดงโดยตัวนำยวดยิ่งและตัวจับสารนั้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร และมีความหนา 4 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้ยึดตัวนำยวดยิ่งได้ดี โดยมีกระบวนการทำดังนี้ เทไนโตรเจนเหลวลงไปในบีกเกอร์ใบที่ 1 จนเกือบท่วมบีกเกอร์ใบที่ 2 ซึ่งจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยน

ความร้อนระหว่างผนังของ ปีกเกอร์ใบที่ 2 กับตัวนำวยดยิ่ง จะต้องไม่ให้ในโตรเจนเหลวถูกกับ ตัวนำวยดยิ่งในปีกเกอร์ใบที่ 1 ดังภาพประกอบ 2-3



ภาพประกอบ 2-3 แสดงตำแหน่งของปีกเกอร์ใบที่ 1, 2 และ 3 และตัวนำวยดยิ่ง
ที่มา: Rossano. (1997). American Journal of Physics. p.1024-1026.

ผลการทดลองที่ได้สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 2-4 ซึ่งจะเห็นว่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำวยดยิ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และที่อุณหภูมิประมาณ 91 เคลวิน ตัวนำปกติจะกลายสภาพเป็นตัวนำวยดยิ่งอย่างทันทีทันใด ซึ่งที่อุณหภูมิดังกล่าวนี้เป็นอุณหภูมิที่ทำให้ความต้านทานเป็นศูนย์



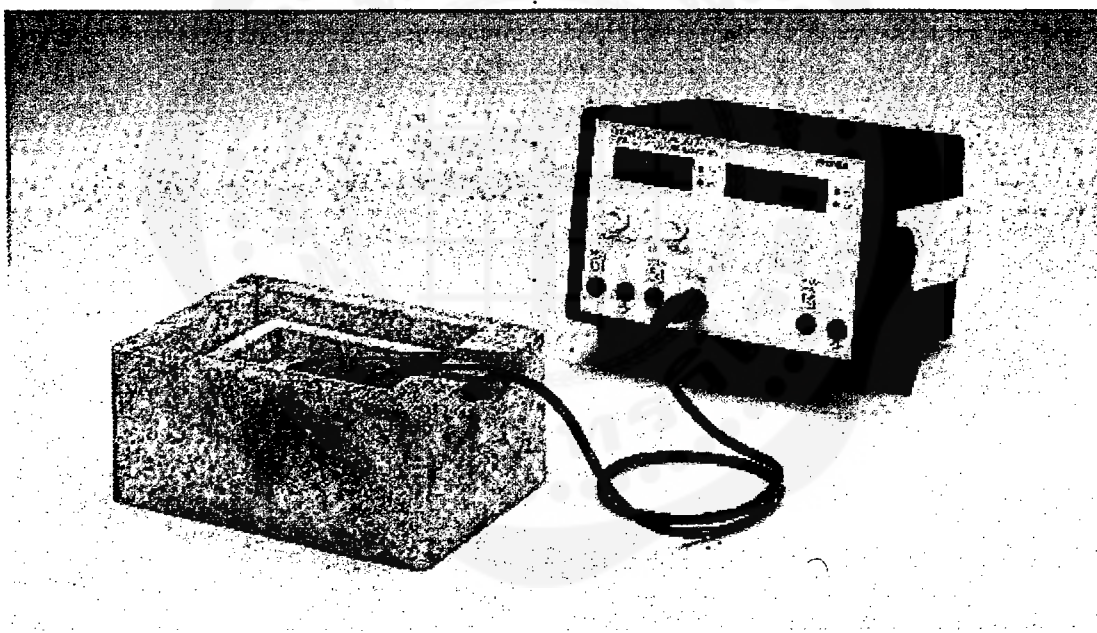
ภาพประกอบ 2-4 แสดงความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสาร $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$
ที่มา: Rossano. (1997). American Journal of Physics. p.1024-1026.

ผลของกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีอิทธิพลต่อตัวนำยวดยิ่ง

เนื่องจากตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูงกลุ่ม Y-Ba-CuO เมื่อถูกหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลว แล้ว จะเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นสภาพนำยวดยิ่ง และถ้าใส่กระแสไฟฟ้าเข้าไปในภาวะดังกล่าว แล้ววัดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดผลจะพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นความต้านทานในภาวะดังกล่าวเป็นศูนย์ด้วย ซึ่งจะเป็นไปตามกฎของโอห์ม ถ้ากระแสที่ใส่เข้าไปมีค่าที่เกินกว่าตัวนำยวดยิ่งจะรับได้กระแสนี้จะทำลายภาวะนำยวดยิ่งเรียกกระแสนี้ว่า กระแสวิกฤต

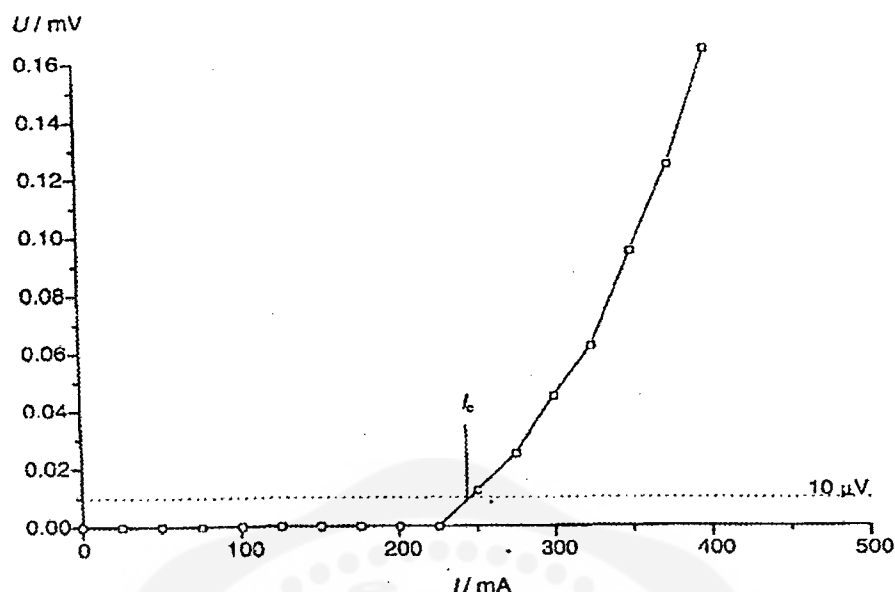
การทดลองหาค่าของกระแสวิกฤต (PHYWE. 1999: online. Available:<http://www.physique.ens-cachan.fr>.) มีวัสดุอุปกรณ์ดังนี้ ตัวนำยวดยิ่ง หัววัดตัวนำยวดยิ่ง ขาตั้ง ขดลวด Helmholtz 1 คู่ แท่งแม่เหล็ก ถังโฟม มัลติมิเตอร์แบบ Digital และแหล่งจ่ายไฟ

โดยนำแท่งแม่เหล็กแล้วหั่นครึ่งแท่งแม่เหล็กในทิศของตัวนำยวดยิ่ง ระยะทางที่ใช้ทดสอบประมาณ 30 เซนติเมตรจากภาพประกอบ 2-5 แสดงอุปกรณ์การทดลองหาค่าของกระแสวิกฤต



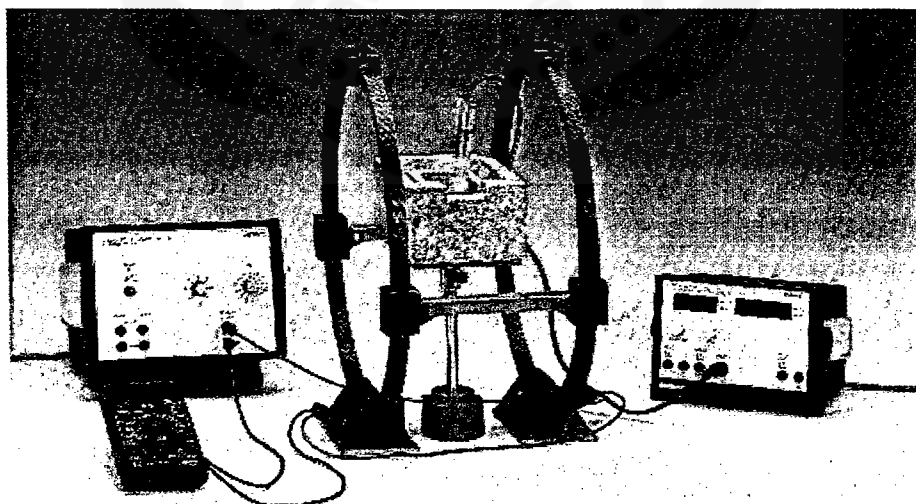
ภาพประกอบ 2-5 แสดงอุปกรณ์การทดลองหาค่าของกระแสวิกฤต
ที่มา: PHYWE. 1999: online. Available:<http://www.physique.ens-cachan.fr>.

ผลปรากฏว่าเมื่อนำแท่งแม่เหล็กเข้าตัวนำยวดยิ่งอย่างสม่ำเสมอ สนามแม่เหล็กที่ใช้ทดสอบจะขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ $10 \mu\text{V}$ เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ตัวนำยวดยิ่งยังแสดงภาวะนำยวดยิ่งอยู่ได้และสามารถหาค่ากระแสวิกฤตได้ดังภาพประกอบ 2-6



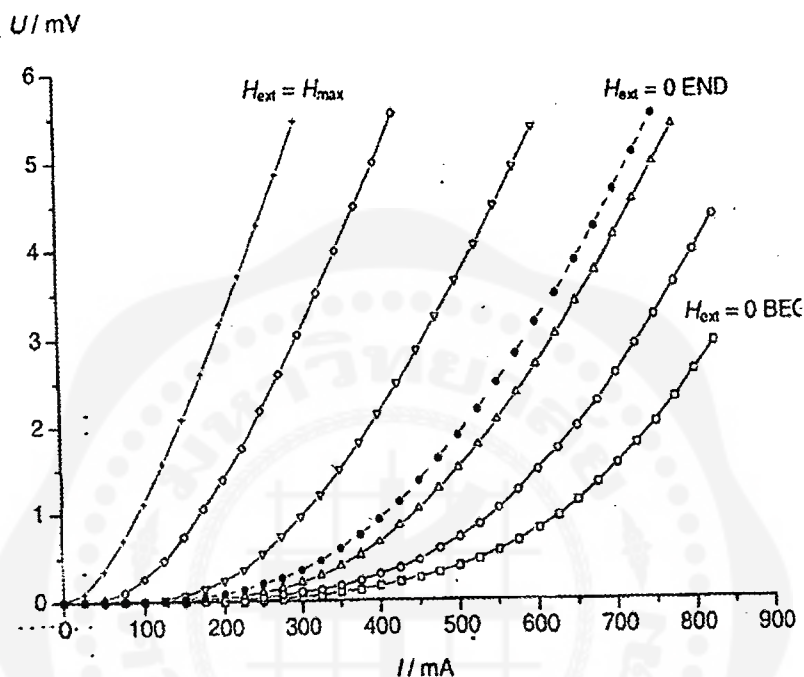
ภาพประกอบ 2-6 แสดงการประมาณค่าของกระแสวิกฤตจากแท่งแม่เหล็ก
ที่มา: PHYWE. 1999: online. Available: <http://www.physique.ens-cachan.fr>.

นำขดลวด Helmholtz ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ เนื่องจากขดลวด Helmholtz เป็นแหล่งกำเนิดที่ให้สนามแม่เหล็กที่มีค่าสม่ำเสมอที่บริเวณตรงกลาง ดังนั้นการตั้งสารที่ทดสอบจะต้องอยู่ตรงกึ่งกลางของขดลวดและตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กที่ได้จากขดลวดด้วย จากนั้นวัดค่าของกระแสวิกฤตที่เกิดขึ้นจากการใส่สนามแม่เหล็กภายนอกเข้าไปโดยติดตั้งอุปกรณ์ตามภาพประกอบ 2-7



ภาพประกอบ 2-7 แสดงการวัดกระแสวิกฤตจากขดลวด Helmholtz
ที่มา: PHYWE. 1999: online. Available: <http://www.physique.ens-cachan.fr>.

เมื่อใส่สนามแม่เหล็กสม่ำเสมอเข้าไปแล้ววัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ผลการทดลองพบว่ากระแสและแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปอีกหลายครั้งแล้ววัดกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นจะได้กราฟที่มีลักษณะที่ต่างกันดังภาพประกอบ 2-8



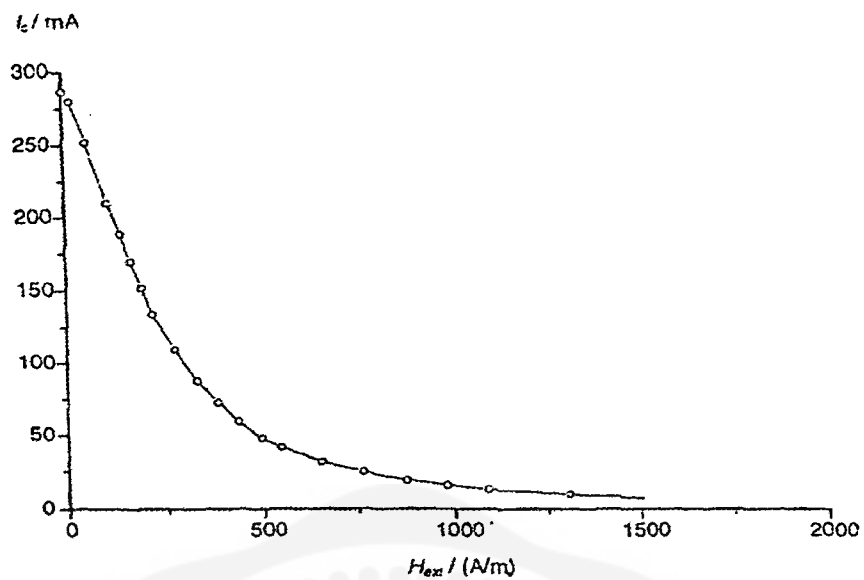
ภาพประกอบ 2-8 แสดงกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นจากแม่เหล็ก Helmholtz
ที่มา: PHYWE. 1999: online. Available: <http://www.physique.ens-cachan.fr>.

การหาค่าของกระแสวงกุดนั้นได้จากการคำนวณจากค่าของสามแม่เหล็กภายนอกที่ใส่เข้าไปโดยคำนวณจากสูตร

$$H = 0.715 \frac{nI}{r} \quad (2.3)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนของรอบขดลวด Helmholtz ในแต่ละชุด มีทั้งหมด 154 รอบ
 r เป็นรัศมีของขดลวด Helmholtz มีค่าเท่ากับ 0.2 เมตร
 I คือกระแสที่ให้กับขลวด

จะได้กราฟความสัมพันธ์แบบจุดต่อจุดดังภาพประกอบ 2-9



ภาพประกอบ 2-9 แสดงค่าของกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากขดลวด Helmholtz
ที่มา: PHYWE. 1999: online. Available: <http://www.physique.ens-cachan.fr>.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

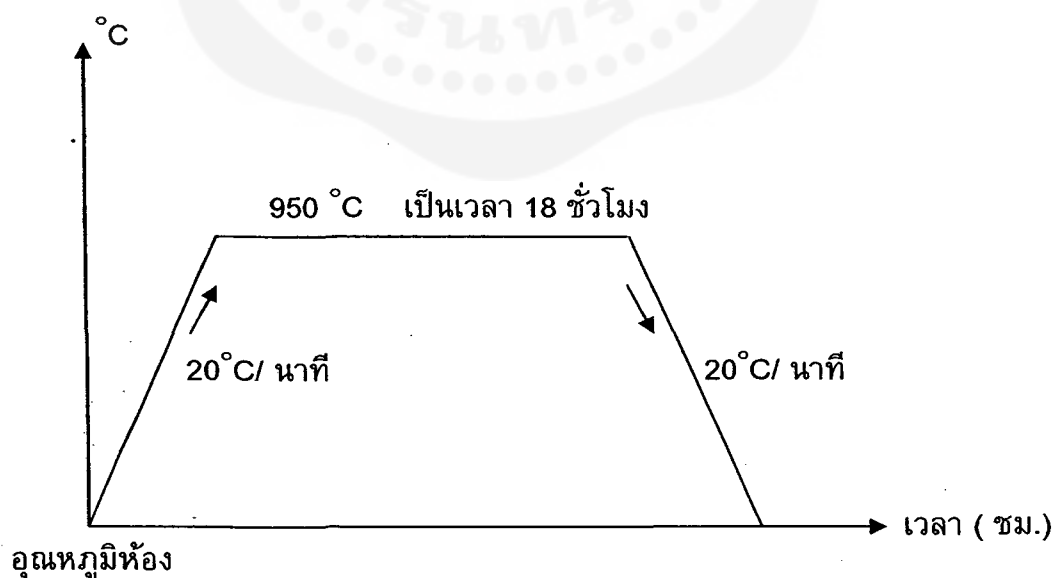
กระบวนการเตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO

ในงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยใช้วิธีการเตรียมตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO แบบ Solid state reaction การคำนวณใช้ตามที่น่าเสนอมาแล้ว ดังนั้นจะใช้สารตั้งต้นตามสัดส่วนของมวลดังนี้

ยิทเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3)	11.2905 กรัม
แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$)	39.4678 กรัม
คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO)	23.8636 กรัม

นำสารทั้งสามดังกล่าวมาผสมให้เข้ากันในครกอลูมินาแล้วบดให้เข้ากันจะได้สารที่มีสีเทา จากนั้นนำไปใส่ในถ้วยอลูมินาแล้ววางในเตาซึ่งมีกระบวนการเผาทั้งหมด 3 กระบวนการ ดังนี้

กระบวนการเผาครั้งที่ 1 นำสารที่ได้ใส่ในถ้วยอลูมินาโดยไม่ต้องปิดฝาแล้ววางในเตาเผา ซึ่งมีกระบวนการเผาดังนี้ เริ่มต้นกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ $100^{\circ}C$ จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา การเพิ่มขึ้น $20^{\circ}C$ ต่อ นาที จนอุณหภูมิของเตาสูงถึง $950^{\circ}C$ แล้วคงที่อุณหภูมินี้ไว้ 18 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา $20^{\circ}C$ ต่อ นาที จนอุณหภูมิลดลงมาถึง $100^{\circ}C$ อีกครั้งก็เป็นอันเสร็จ ของกระบวนการเผาครั้งที่ 1 ซึ่งมีกระบวนการเผาภาพประกอบ 3-1 ดังนี้

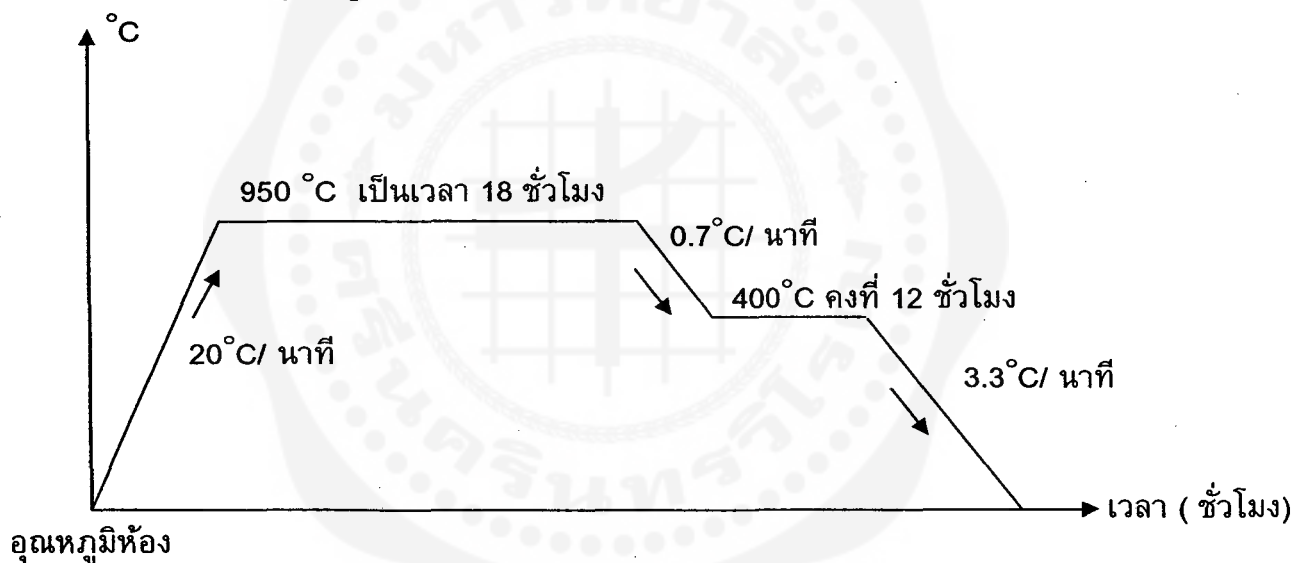


ภาพประกอบ 3-1 แสดงเวลากระบวนการเผาครั้งที่ 1

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการเผาครั้งที่ 1 สารที่ได้จะมีลักษณะเป็นสารสีดำ จับตัวกันเป็นก้อนแข็ง แต่มีรูพรุน หลังจากนั้นนำสารที่ได้จากกระบวนการเผาครั้งที่ 1 ไปบดในครกอลูมินาจนได้สารที่เป็นผงละเอียด แล้วนำไปอัดด้วยเครื่องอัดจนได้สารที่มีลักษณะเป็นแผ่นกลมสีดำ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตรและมีความหนา 5 มิลลิเมตร แล้วนำไปในกระบวนการเผาครั้งที่ 2 ซึ่งมีกระบวนการเผาดังนี้

กระบวนการเผาครั้งที่ 2 นำสารที่ได้จากการเผาครั้งที่ 1 ไปบดในครกอลูมินาจะได้สารที่เป็นผงสีดำสนิทแล้วนำผงดังกล่าวไปอัดด้วยแรง 200 kN เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้สารมีลักษณะเป็นก้อน นำสารที่ได้ไปเผาอีกครั้ง ซึ่งมีกระบวนการเผาดังนี้

เริ่มต้นกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 100°C แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20°C ต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 950°C แล้วคงที่ไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 0.7°C ต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 400°C แล้วคงที่ที่อุณหภูมินี้ไว้ 12 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงอีกครั้งด้วยอัตรา 3.3°C ต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 100°C อีกครั้ง ซึ่งมีกระบวนการเผาดังภาพประกอบ 2 ดังนี้

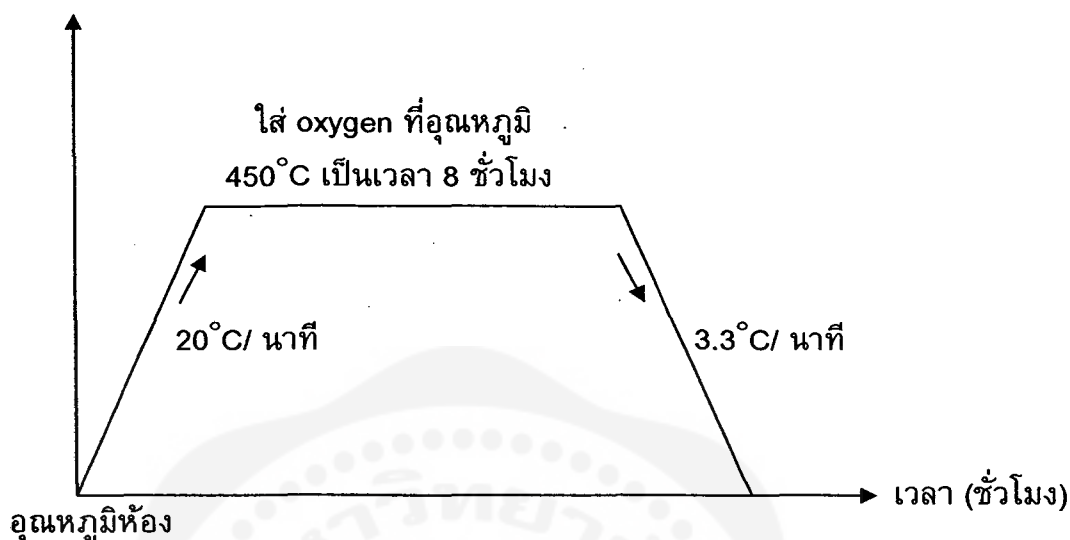


ภาพประกอบ 3-2 แสดงกระบวนการเผาครั้งที่ 2

สารที่ได้จากการเผาครั้งที่ 2 จะมีความแกร่งมากกว่ากระบวนการเผาครั้งที่ 1 จากนั้นนำสารที่ได้ไปอัดด้วยออกซิเจนเพราะว่าออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการทำให้เกิดสภาพนำยวดยิ่งของสารกลุ่มนี้ โดยการนำไปเผาครั้งที่ 3 ซึ่งมีกระบวนการเผาดังนี้

กระบวนการเผาครั้งที่ 3 สารที่มีลักษณะเป็นก้อนได้จากการเผาครั้งที่ 2 ไปเผาอีกครั้ง เพื่อเติมออกซิเจนเข้าไปโครงสร้างตามสัดส่วนต่างๆที่ต้องการ ซึ่งมีกระบวนการเผาดังนี้ เริ่มเผาที่อุณหภูมิ 100°C แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20°C ต่อนาทีจนอุณหภูมิถึง 450°C เริ่มให้ออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศด้วยการเปิดฝาเตาเป็นเวลา 8 ชั่วโมงแล้วค่อยๆลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 3.3°C

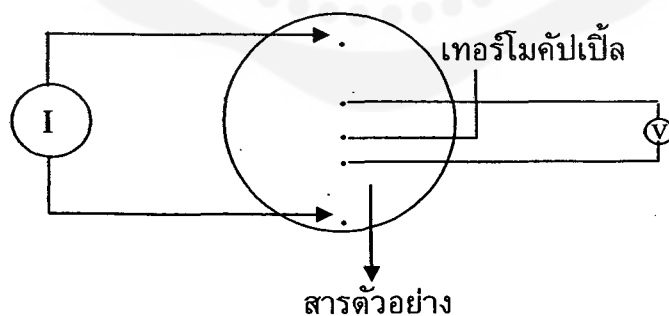
ต่อมาที่ จนถึงอุณหภูมิถึง 100°C อีกครั้ง ซึ่งกระบวนการเผาครั้งที่ 3 มีกระบวนการเผาดังภาพประกอบ 3 ดังนี้



ภาพประกอบ 3-3 แสดงกระบวนการเผาครั้งที่ 3

การวัดสมบัติของตัวนำวยดยิ่ง

ใช้เทคนิคการวัดแบบ 4 Points Probe เพื่อวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของสารตัวอย่างที่อุณหภูมิต่างๆ โดยเริ่มต้นจากการนำสารที่ได้จากกระบวนการเผาครั้งสุดท้ายไปทำขั้ว 4 ขั้ว ด้วย silver paint ซึ่ง 2 ขั้วแรกใช้ในการใส่กระแสไฟฟ้าคงตัว อีก 2 ขั้วถัดมาใช้วัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้จะมีอีก 1 ขั้วสำหรับใส่ขั้วของเทอร์โมคัปเปิ้ลเพื่อวัดอุณหภูมิ การจัดเรียงขั้วต่างๆ บนสารตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบ 3-4



ภาพประกอบ 3-4 แสดงการต่อขั้วการวัดแบบ 4 ขั้ว

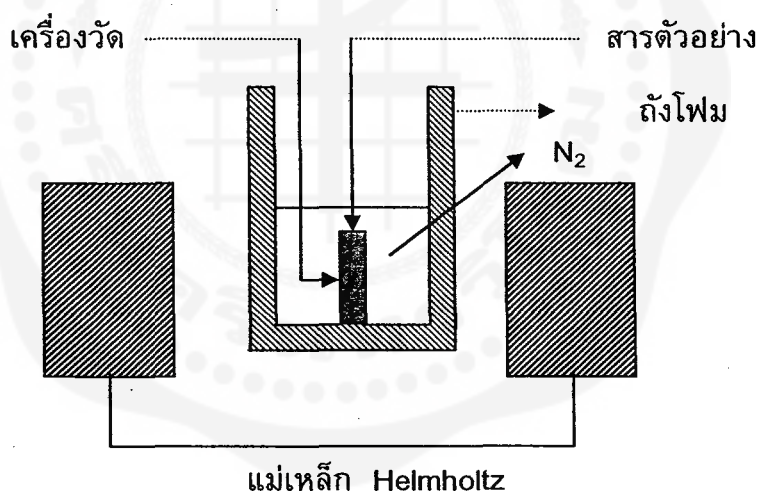
การวัดอุณหภูมิวิกฤต

นำตัวนำวยดยิ่งที่ทำขั้วเรียบร้อยแล้ว ใส่ในภาชนะทรงกระบอกที่ทำจากทองเหลืองเพื่อป้องกันไม่ให้ไนโตรเจนเหลวสัมผัสสารตัวอย่างโดยตรง แล้วใส่ในถังโฟม ใส่ไนโตรเจนเหลวลงไป

เพื่อลดอุณหภูมิจนถึง 77 เคลวิน ตัวนำจะอยู่ในสภาพนำยวดยิ่งแล้ว หลังจากนั้นใส่ กระแสไฟฟ้า ตรง ขนาด 300 mA เข้าไปที่สองขั้วด้านนอก ส่วนสองขั้วด้านในใช้วัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น เพิ่มอุณหภูมิขึ้นจนถึงอุณหภูมิห้อง โดยอุณหภูมินี้วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิ้ล type K ที่ติดอยู่ที่ผิวหน้าของสาร ดังภาพประกอบ 3-4

การวัดอิทธิพลของสนามแม่เหล็ก

ระบบที่ใช้ในการทดลองวัดอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO ได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 77 เคลวิน ทำการทดลองเช่นเดียวกับการวัดอุณหภูมิวิกฤตอีกครั้ง แต่ครั้งนี้ให้ตัวนำยวดยิ่งวางตัวในสนามแม่เหล็ก ในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก โดยสนามแม่เหล็กได้จากขดลวดเฮมโฮลต์และใช้แผ่นโฟมปิดบริเวณขั้วเพื่อป้องกันการลัดวงจรที่ขั้วเนื่องจากในโตรเจนเหลว จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าที่ปรับค่าได้เข้าไปในตัวนำยวดยิ่งที่อุณหภูมิคงที่ 77 เคลวิน แล้วให้สนามแม่เหล็กค่าต่าง ๆ แก่ตัวนำยวดยิ่ง ค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จากขดลวดเฮมโฮลต์ด้วย Tesla Meter ดังภาพประกอบ 3-5



ภาพประกอบ 3-5 แสดงอุปกรณ์การวัดสนามแม่เหล็ก

การวัดโครงสร้างด้วยเครื่อง XRD

การวัดตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO ด้วยเครื่อง XRD (X-Ray Diffraction) เป็นการศึกษาโครงสร้างของตัวนำยวดยิ่งโดยการยิงรังสีเอ็กซ์ไปยังสารที่ใช้ตรวจสอบ รังสีเอ็กซ์จะเกิดการเลี้ยวเบนเมื่อผ่านเข้าไปในผลึกของสาร ความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนผ่านระนาบของผลึก จะถูกวัดด้วย Detector ที่มุมต่างๆ

การศึกษาส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง EDS

การวัดด้วยเครื่อง EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาชนิดและปริมาณของส่วนประกอบของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง EDS รุ่น JEM-200CX

การศึกษาผิวเครื่อง SEM

เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเพื่อให้มองเห็นถึงพื้นผิวของสารตัวอย่าง ซึ่งสามารถใช้ดูขนาดของอนุภาค รูปร่างและความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่างได้ โดยใช้เครื่อง SEM รุ่น JSM-5410LV

การศึกษาผลึกด้วยเครื่อง TEM

เครื่อง TEM (Transmission Electron Microscope) เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ศึกษาลักษณะของ ผลึกของโดยใช้เครื่อง TEM รุ่น JSM-5410LV



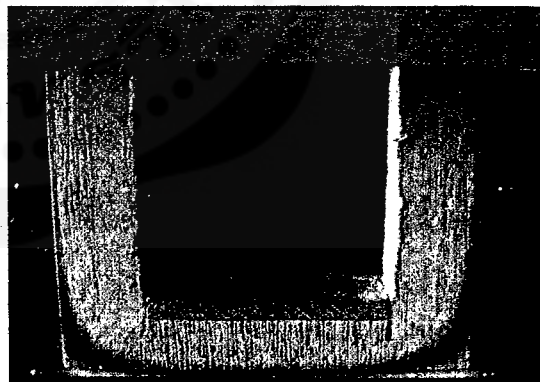
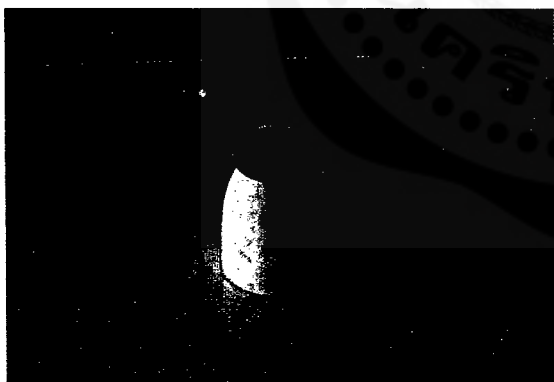
บทที่ 4

ผลการทดลอง

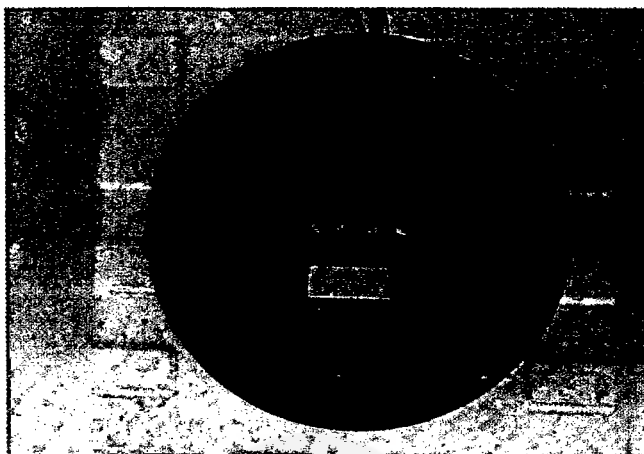
คณะผู้วิจัยได้ทำการเตรียมสารตามกระบวนการที่ได้นำเสนอไปแล้วในบทที่ผ่านมา โดยมีภาพการเตรียมดังนี้



ภาพประกอบ 4-1 แสดงสารตัวอย่างที่ใช้ทั้ง 3 อย่าง



ภาพประกอบ 4-2 รูปแสดงการวางตัวนำวยดยั้งที่อัดแล้ว ขณะทำการเผาโดยจะวางบนบนถ้วยอลูมินาแล้วนำไปวางในเตา

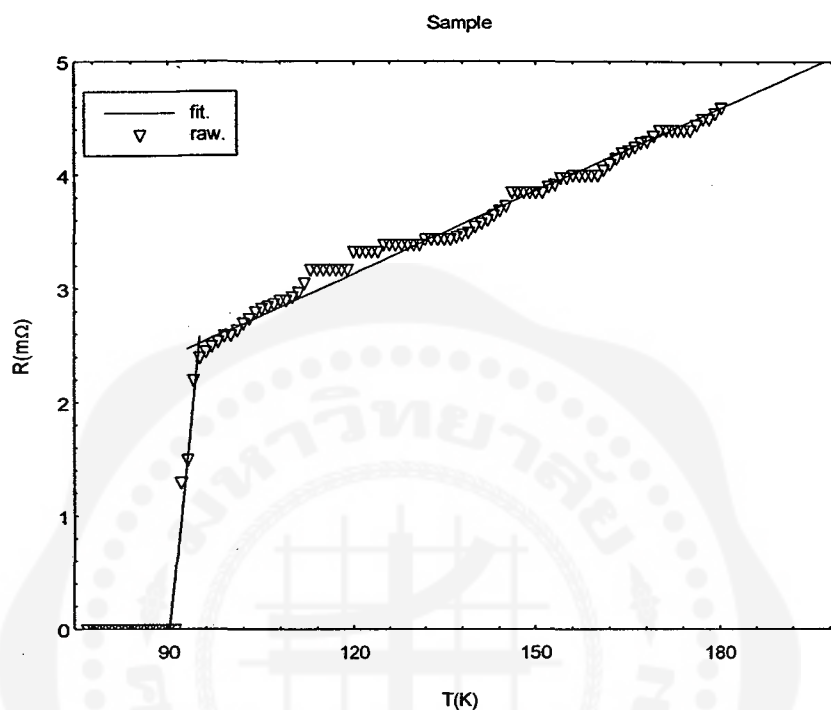


ภาพประกอบ 4-3 ภาพของการทำซ้ำของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO ที่เตรียมได้

จากการทดลองคณะผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลทั้งหมดจำนวน 4 ตัวอย่าง โดยนำบางส่วนของสารตัวอย่างแต่ละตัวอย่างไปวัดอุณหภูมิวิกฤตและสนามแม่เหล็กวิกฤตจากชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิวิกฤตและวัดอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้น และนำสารบางส่วนไปศึกษาโครงสร้างด้วยเครื่อง XRD ซึ่งสารที่ใช้ทดลองในเครื่อง XRD จะมีลักษณะเป็นผงโดยหลังจากนั้นนำสารที่เหลือไปทำการศึกษาด้วยเครื่อง SEM เพื่อดูลักษณะของพื้นผิวและดูความพรุนของเนื้อสาร ขณะทำการวัดด้วยเครื่อง SEM จะสามารถทำการวัดปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในตัวนำยวดยิ่งด้วยเครื่อง EDS ได้พร้อมกัน หลังจากนั้นนำสารที่มีลักษณะเป็นผงไปศึกษาลักษณะของผลึกด้วยเครื่อง TEM ซึ่งผลการทดลองของตัวนำยวดยิ่งแต่ละหมายเลขแสดงได้ดังนี้

การวัดอุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยิ่งยวดกลุ่ม Y-Ba-CuO

แสดงลักษณะกราฟของผลการทดลองวัดความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่าง



ภาพประกอบ 4-4 แสดงผลการวัดอุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยิ่งยวดกลุ่ม Y-Ba-CuO

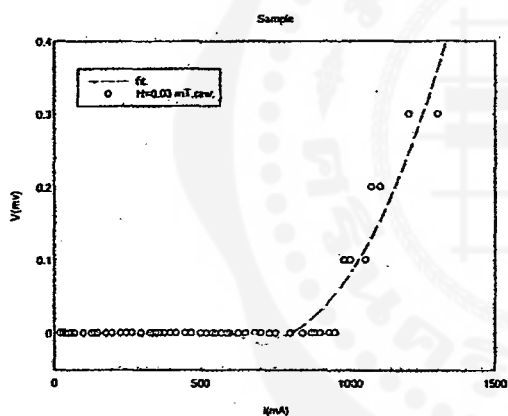
สรุปอุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยิ่งยวดแต่ละตัวอย่าง

สารตัวอย่างที่	$T_c(K)$
หมายเลขที่ 1	90
หมายเลขที่ 2	90
หมายเลขที่ 3	90
หมายเลขที่ 4	91

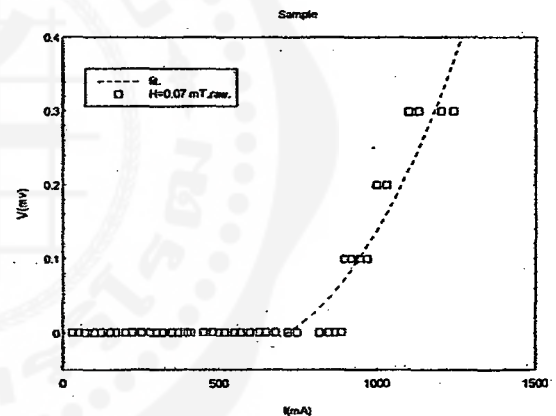
ผลการทดลองพบว่าโดยเฉลี่ยตัวนำวดยิ่ง Y-Ba-CuO ที่เตรียมได้ มีอุณหภูมิวิกฤตประมาณ 90 เคลวิน

การวัดอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อตัวนำวดยิ่ง

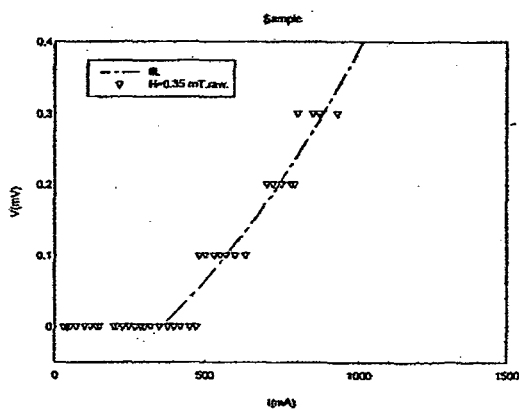
ซึ่งสามารถแสดงผลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อตัวนำวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO โดยภาพประกอบ 4-5 แสดงผลการทดลองของตัวอย่างหมายเลขที่ 3 พบว่า กรณีที่สนามแม่เหล็กมีค่าเป็น 0.03 mT สามารถวัดค่ากระแสวิกฤตได้เท่ากับ 980 mA และหลังจากนั้นเพิ่มค่าของสนามแม่เหล็กเป็น 0.07 mT และ 0.35 mT และ 0.40 mT สามารถวัดค่ากระแสวิกฤตได้ 900 mA และ 480 mA และ 420 mA ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่า สนามแม่เหล็กขนาด 0.35 mT เป็นสนามแม่เหล็กวิกฤตของตัวนำวดยิ่งทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อสนามแม่เหล็กเป็น 0.40 mT ตัวอย่างแสดงสมบัติเป็นตัวนำปกติ และค่าที่มากที่สุดที่ตัวอย่างยังแสดงสมบัติเป็นตัวนำวดยิ่งคือที่สนามแม่เหล็กมีค่า 0.35 mT เป็นดังรูปที่ 5 (จ) ดังนี้



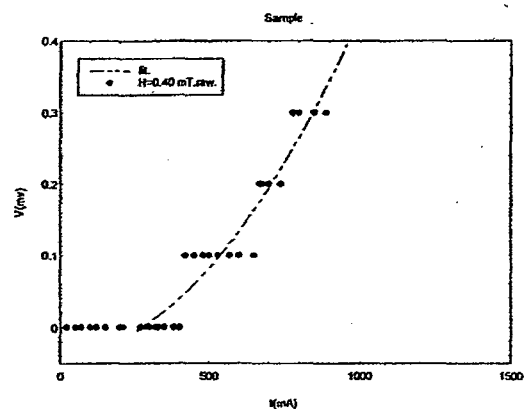
(ก) แสดงอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่ 0.03 mT



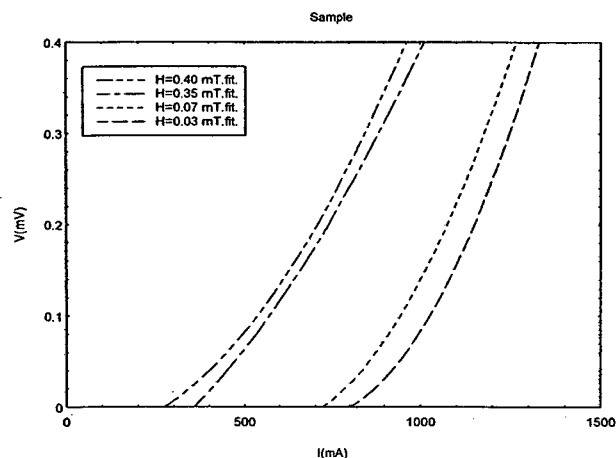
(ข) แสดงอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่ 0.07 mT



(ค) แสดงอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่ 0.35 mT



(ง) แสดงอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่ 0.40 mT



(จ) กราฟสรุปอิทธิพลของสนามแม่เหล็กค่าต่าง ๆ กัน

ภาพประกอบ 4-5 แสดงการวัดอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อตัวนำยิ่งยวดตัวอย่าง หมายเลขที่ 3

จากข้อมูลของกระแส I_c ที่ได้จากการฟ้งต้นเมื่อค่าของสนามแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์ ค่าสนามแม่เหล็กวิกฤตที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 77 K ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กวิกฤตที่ 2 ของตัวนำยิ่งยวดและสนามแม่เหล็กวิกฤตที่ศูนย์องศาเคลวินสามารถหาได้จากสมการ

$$H_c(T) = H_c(0) \left(1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right) \quad \text{ตามลำดับ และตัวอย่างหมายเลข 1 2 และ 4 สามารถทำการ}$$

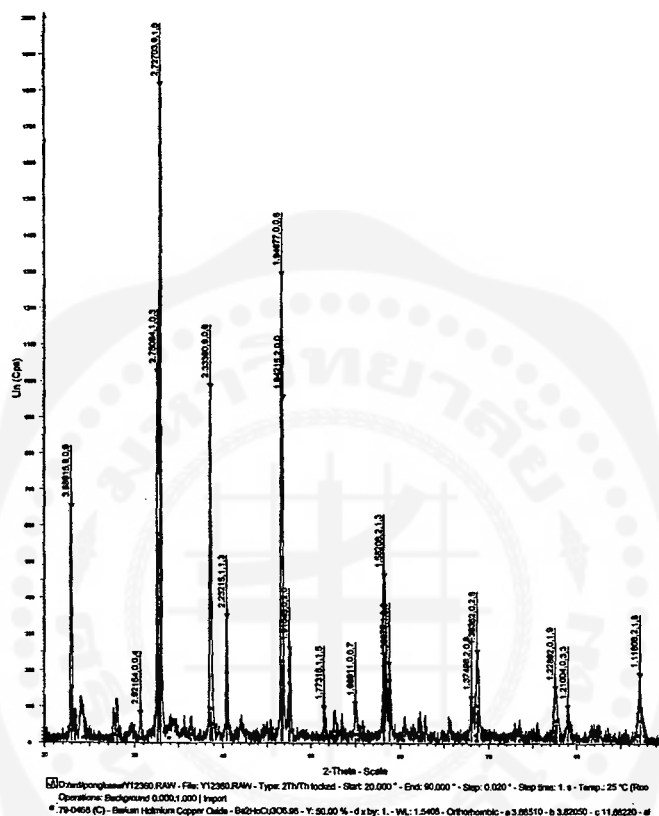
ทดลองได้ในทำนองเดียวกัน

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและสนามแม่เหล็กวิกฤตของตัวนำยิ่งยวด

ตัวอย่างที่	$I_c(\text{mA})$ ที่ 77 K ที่ $H=0$	$H_c(\text{mT})$ ที่ 77 K	$H_c(\text{mT})$ ที่ 0 K
หมายเลขที่ 1	823	0.34	1.224
หมายเลขที่ 2	778	0.36	1.267
หมายเลขที่ 3	779	0.35	1.169
หมายเลขที่ 4	833	0.37	1.177

การวัดหาโครงสร้างด้วยเครื่อง XRD

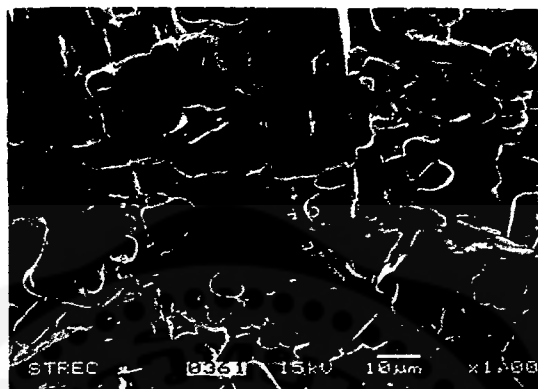
การวัดตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO ด้วยเครื่อง XRD (X-Ray Diffraction) เป็นการศึกษาโครงสร้างของตัวนำยวดยิ่งโดยการยิงรังสีเอกซ์ สำหรับตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้เมื่อนำไปทำการทดลองวัดด้วยเครื่อง XRD D8 ADVANCE มีผลการทดลองดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 4-6 แสดงผลการวัดด้วยเครื่อง XRD

การศึกษาผิวของตัวอย่าง

SEM (Scanning Electron Microscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเพื่อให้มองเห็นถึงพื้นผิวของสารตัวอย่าง ซึ่งสามารถใช้ดูขนาดของอนุภาค รูปร่างและความเป็นเนื้อเดียวกันของสารตัวอย่างได้ ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วย SEM รุ่น JSM-5410LV กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงได้ดังนี้

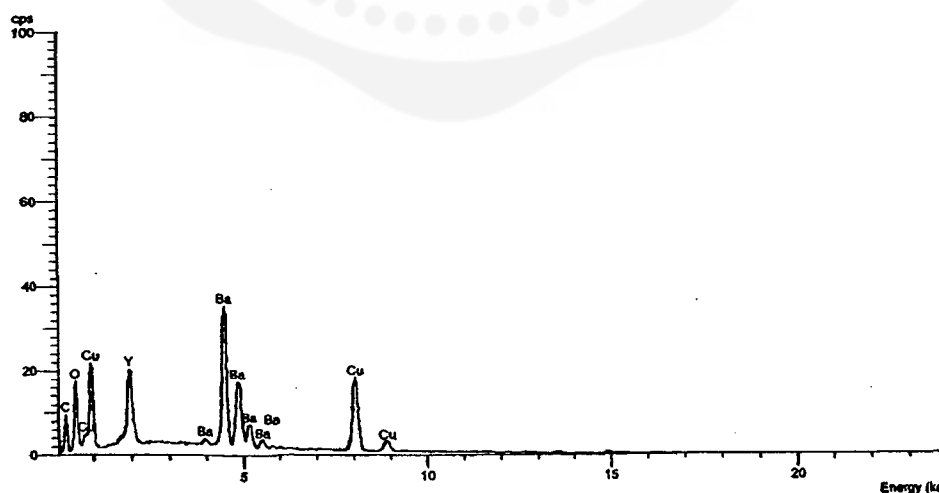


ภาพประกอบ 4-7 แสดงภาพถ่ายผิวของตัวนำยิ่งยวดที่กำลังขยาย 1000

จากภาพถ่ายของ SEM จะเห็นว่าสารที่เตรียมได้ มีขนาดของเกรนส์ ประมาณ 10 ไมโครเมตร เนื้อสารยังไม่เป็นเนื้อเดียวกันเท่าที่ควร

การศึกษาส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง EDS

การวัดด้วยเครื่อง EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาชนิดและปริมาณของส่วนประกอบของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง จากการวัดด้วยเครื่อง EDS รุ่น JEM-200CX สามารถแสดงได้ดังภาพ

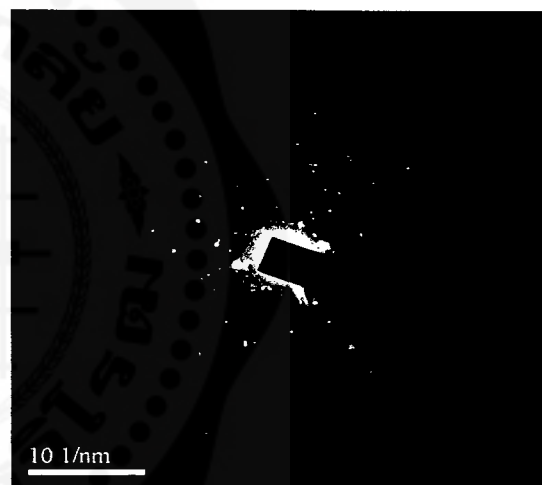
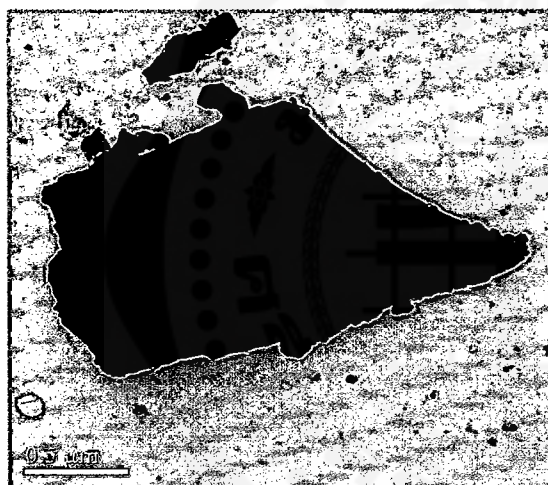


ภาพประกอบ 4-8 ธาตุที่มีอยู่ในตัวนำยิ่งยวด Y-Ba-CuO ที่เตรียมได้

ผลการทดลองจากเครื่อง EDS พบว่าตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้นี้มีปริมาณมีปริมาณของธาตุ ยิทเทรียม (Y) แบเรียม (Ba) คอปเปอร์ (Cu) และออกซิเจน (O) ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดย ตัวอย่างไม่มีสารอื่นเจือปนเลย ทั้งนี้ตัว C ในรูปที่ 8 คือธาตุคาร์บอนซึ่งเป็นสารประกอบของตัวจับ สารตัวอย่าง

การศึกษาผลึกด้วยเครื่อง TEM

เครื่อง TEM (Transmission Electron Microscope) เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ศึกษาลักษณะ ของผลึกของสาร จากการวัดตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO ด้วย TEM รุ่น JSM-5410LV สามารถแสดง ได้ดังรูป



ภาพประกอบ 4-9 ภาพ TEM ของตัวนำยวดยิ่ง

พบว่าตัวนำยวดยิ่งมีลักษณะของผลึกเป็นแบบผลึกเดี่ยวขนาดเล็ก โดยมีขนาดของผลึก ประมาณ 0.5 ไมโครเมตร

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการวัดของเครื่องมืออื่นๆ ของตัวนำยวดยิ่งแต่ละหมายเลข

สารตัวอย่าง	โครงสร้าง	สูตรทางเคมี	ลักษณะของเนื้อสาร
หมายเลขที่ 1	ออร์โธโรมบิก	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.8}$	ผิวไม่แน่น มีผลึกขนาดเล็ก
หมายเลขที่ 2	ออร์โธโรมบิก	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$	ผิวไม่แน่น มีผลึกขนาดเล็ก
หมายเลขที่ 3	ออร์โธโรมบิก	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.96}$	ผิวไม่แน่น มีผลึกขนาดเล็ก
หมายเลขที่ 4	ออร์โธโรมบิก	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.98}$	ผิวไม่แน่น มีผลึกขนาดเล็ก

ตารางสรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยของเครื่องมือที่สร้างขึ้นและเครื่องมืออื่นๆ โดยข้อมูลที่ได้ประกอบด้วย อุณหภูมิวิกฤต สนามแม่เหล็กวิกฤตที่ศูนย์เคลวิน กระแสวิกฤต โครงสร้างและสูตรทางเคมีของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางต่อไปนี้.

ตารางแสดงผลจากการวัดของเครื่องมือที่สร้างขึ้นและเครื่องมืออื่นๆของตัวนำยวดยิ่งแต่ละหมายเลข

สารตัวอย่าง	$T_c(\text{K})$	$H_c(0)(\text{mT})$	$I_c(\text{mA})$	โครงสร้าง	สูตรทางเคมี
หมายเลขที่ 1	90	1.224	823	ออร์โธโรมบิก	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.8}$
หมายเลขที่ 2	90	1.267	778	ออร์โธโรมบิก	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.94}$
หมายเลขที่ 3	90	1.169	779	ออร์โธโรมบิก	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.96}$
หมายเลขที่ 4	91	1.177	833	ออร์โธโรมบิก	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.98}$

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

คณะผู้วิจัยสามารถเตรียมตัวนำยวดยิ่งในกลุ่ม Y-Ba-CuO ขึ้นได้ โดยใช้วิธี Solid state reaction โดยมีสารตั้งต้นคือ ยิทเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) และคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) สารที่เตรียมได้ลักษณะแผ่นกลมสีดำ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร มีความหนา 5 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิวิกฤตประมาณ 90 เคลวิน สนามแม่เหล็กวิกฤตมากที่สุดเป็น 1.267 mT มีโครงสร้างแบบ Orthorombic และสูตรทางเคมีเป็น $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ลักษณะของผลึกเป็นแบบ ผลึกเดี่ยวขนาดเล็กและสารที่เตรียมได้ยังไม่เป็นเนื้อเดียวกันเท่าที่ควร

อุปกรณ์การวัดอุณหภูมิวิกฤตและสนามแม่เหล็กวิกฤตที่สร้างขึ้นเองโดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการพื้นฐาน สามารถใช้วัดหาอุณหภูมิวิกฤตและสนามแม่เหล็กวิกฤตของตัวนำยวดยิ่งได้ ถ้าได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจะสามารถใช้เป็นชุดทดลองขั้นสูงในระดับปริญญาตรีได้

ส่วนปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลองพบว่าตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO เกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วซึ่งอาจเกิดมาจากความชื้น ดังนั้นเมื่อทดลองเสร็จแล้วควรทำให้สารตัวอย่างแห้งอย่างรวดเร็วก่อนจะเก็บเข้าสู่โถดูดความชื้น

อภิปรายผล

1. จากผลการทดลองสามารถเตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO ได้ซึ่งมีอุณหภูมิวิกฤตสอดคล้องกับแบกเคล (Buckel.1991:221) โดยมีอุณหภูมิวิกฤตอยู่ระหว่าง 88-95 เคลวิน และแม้ว่าจะมีค่าสนามแม่เหล็กวิกฤตที่สองต่ำกว่าที่รายงานไว้มาก อาจเป็นเนื่องจากมีคุณภาพของการเป็นตัวนำยวดยิ่งที่ต่ำกว่า

2. กราฟของแม่เหล็กวิกฤตยังไม่ละเอียด ผู้ทำการทดลองจึงใช้วิธี fit curve เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องในเรื่องนี้และอุปกรณ์ในการวัดค่าอุณหภูมิวิกฤตและสนามแม่เหล็กวิกฤตยังไม่ดีพอเช่น multimeter ยังไม่ค่าที่ละเอียด

3. อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเองสามารถหาวัสดุอุปกรณ์ในการวัดได้โดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการพื้นฐาน ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นชุดทดลองต้นแบบในระดับปริญญาตรีได้

ข้อเสนอแนะ

1. สารตัวอย่างเกิดการเสื่อมสภาพเร็วเกินไป อาจเนื่องมาจากการเก็บรักษาไม่ดี ทำให้เสื่อมสภาพเร็วอันเนื่องมาจากความชื้น ดังนั้นควรเคลือบผิวของสารเพื่อไม่ให้ถูกความชื้นแต่ถ้าเคลือบไม่ดีก็อาจจะมีความปัญหาในการวัดความต้านทานได้

2. ขั้วในการวัดความต้านทานหลุดง่ายจากการทดลองได้ทำการทดลองเพียง 2-3 ครั้ง ขั้วก็หลุดแล้วดังนั้นจึงควรใช้การ Sputtering อาจจะให้ผลที่ดีกว่า

3. สารที่ได้มีค่าสนามแม่เหล็กวิกฤตที่สองต่ำอาจเป็นเนื่องจากมีคุณภาพของการเป็น ตัวนำยวดยิ่งที่ไม่ดีพอ ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพจึงเป็นเรื่องที่ต้องศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้



บรรณานุกรม

- Bednorz, J.G.; & Muller.K.A. (1986, April) Possible High T_c Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System. p : 189 –193.
- Buckel.W. (1991). Superconductivity : Fundamental and Applications. New York : VCH Publiher Inc.
- Chu, C.W. ; et al. (1987, January). Evidence for Superconductivity above 40 K in the La-Ba-Cu-O compound System. New York 58(4). p : 405 - 410
- Colorado Futurescience. (1988, February). Making High – Temperature Superconductors. Inorganic Chemistry Laboratory. (2003). Preparation and Characterization of a Perovskite -Based Complex Metal Oxide Superconductor, $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Retrieved January; 15, 2006, from <http://www.uiowa.edu/~coo4153a/ybco-f04.pdf>
- Kittel,C.(1997).Introduction to solid state Physics.7th edition;john Wiley & Sons.
- Kresin. ; Wolf, V.Z.Z. (1990). Fundamental of Superconductor. New York
- Materials Chemisty – Superconductors. (2006). Preparation, Structure and Properties of high – Temperature Superconductor. Retrieved February, 14, 2006, from stanwhit@binghamton.edu
- PHYWE. 1999: online. Available:<http://www.physique.ens-cachan.fr>.
- Rossano, L.M. (1997, October). An inexpensive and easy experiment to measure the electrical resistance of high – T_c Superconductor as a function of temperature.American Journal of Physics.65(10) : 1024 - 1026.

ภาคผนวก



บทความวิจัย

การเตรียมและศึกษาคุณลักษณะของ ตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO

ฐิติพงศ์ เครือหงส์ พงษ์แก้ว อุดมสมุทรหิรัญ* สมศักดิ์ มณีรัตนกุล
ธัญนพ นิลกำจร เสริมสุข รัตเรง กุสุมา เนียมหุ่น
มนภัทร ศิริวัฒน์พงศ์ และ อุษณีย์ อัยรา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อสังเคราะห์ตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO ด้วยวิธี Solid state reaction และศึกษาสมบัติของสภาพนำยวดยิ่งของสารตัวอย่างที่เตรียมได้ คณะผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือด้วยอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย เพื่อทำการวัดอุณหภูมิวิกฤตและสนามแม่เหล็กวิกฤต ส่วนสมบัติอื่นๆ วัดด้วย XRD, SEM, EDS, TEM ผลการทดลองพบว่าตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้มีสูตรเคมีเป็น $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.96}$ มีอุณหภูมิวิกฤต 92 เคลวิน สนามแม่เหล็กวิกฤต 0.03 mT โครงสร้างแบบ Orthorombic เป็นผลึกเดี่ยวขนาด 0.5 ไมโครเมตร และมีขนาดของเกรน ประมาณ 10 ไมโครเมตร

คำสำคัญ: ตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง อุณหภูมิวิกฤต สนามแม่เหล็กวิกฤต

Preparation and Characterization on Y-Ba-CuO Superconductors

Thitipong Kruaehong, Pongkaew Udomsamuthirun*,
Somsak Maneerattanakul, Tunyanop Nilkumjohn, Sermasuk Ratreng,
Kusuma Neamhun, Monnaphat Siriwatthapong and Udsanee Aiyara

ABSTRACT

The purpose of this research is to synthesis Y-Ba-CuO superconductors by solid state reaction and investigated superconductivity's properties. We characterized our sample by using home-made instrument. The critical magnetic field and the critical temperature's instrument, and others by XRD, SEM, EDS and TEM. We find that our sample has $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.96}$ formula, critical temperature 92 K, critical magnetic field 0.03 mT, orthorombic structure, single crystal size 0.5 μm and grain size 10 μm .

Keywords: high temperature superconductors, critical temperature, critical magnetic field

บทนำ

ตัวนำยวดยิ่งเป็นตัวนำที่ไม่มีความต้านทานในสภาพหนึ่งถูกค้นพบโดยนักฟิสิกส์ชาวเนเธอร์แลนด์ ชื่อ คาร์เมอร์ลิงก์ ออนเนส ในปี ค.ศ. 1911 [1] ซึ่งได้ศึกษาการวัดความต้านทานของปรอท โดยใส่ปรอทลงในภาชนะรูปวงแหวนแล้วแช่ลงในฮีเลียมเหลวเพื่อเป็นการลดอุณหภูมิผลปรากฏว่าปรอทที่ถูกหล่อเย็นด้วยฮีเลียมเหลวมีอุณหภูมิลดลงอย่างสม่ำเสมอจนถึงอุณหภูมิที่ 4.2 เคลวิน ความต้านทานของปรอทลดลงเป็นศูนย์อย่างทันทีทันใดสภาวะเช่นนี้เรียกว่า สภาพนำยวดยิ่ง (superconductivity) และเรียกอุณหภูมิที่ทำให้ความต้านทานของปรอทเป็นศูนย์อย่างทันทีทันใดนี้ว่าอุณหภูมิวิกฤต (critical temperature, T_c)

หลังจากการค้นพบสภาพไร้ความต้านทาน ในปี ค.ศ. 1911 เป็นต้นมา การค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้ตัวนำยวดยิ่งชนิดใหม่ๆ ที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงได้พัฒนาได้อย่างเชื่องช้ากล่าวคือในปี ค.ศ. 1974 นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบโลหะผสมของไนโอเบียม (Nb, Niobium) และเจอร์มาเนียม (Nb_3Ge) [2] ซึ่งมีอุณหภูมิวิกฤต 23.2 เคลวิน จากนั้นเป็นเวลาหลายสิบปีนักวิทยาศาสตร์ได้พยายามค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้ตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่า 23.2 เคลวิน แต่ไม่ประสบผลสำเร็จจึงทำให้เชื่อว่า ตัวนำยวดยิ่งน่าจะมีความอุณหภูมิวิกฤตที่จำกัดอยู่ประมาณ 35 เคลวิน และเรียกตัวนำยวดยิ่งชนิดนี้ว่า “ตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิต่ำ” (low temperature superconductors) หรือตัวนำยวดยิ่งแบบ conventional (conventional superconductors) และในทางปฏิบัติตัวนำยวดยิ่งชนิดนี้มีความยุ่งยากในการใช้งานหรือทดลองมาก เนื่องจากต้องใช้ฮีเลียมเหลวเป็นสารในการลดอุณหภูมิ เพราะฮีเลียมเหลวมีจุดเดือด 2.18 เคลวิน และในการใช้งานนั้นต้องใช้การกักเก็บความร้อนเป็นอย่างดีเพื่อที่จะรักษาอุณหภูมิระดับต่ำๆ นี้ไว้ให้ได้ อีกประการหนึ่งฮีเลียมเหลวเป็นวัสดุที่ผลิตยากและราคาแพง

จนกระทั่งในปี ค.ศ.1986 ได้มีการค้นพบครั้งสำคัญของตัวนำยวดยิ่งอีกครั้งหนึ่งโดยเบททอนสและมุลเลอร์ [3] ตัวนำยวดยิ่งที่ค้นพบเป็นตัวนำยวดยิ่งกลุ่มใหม่ที่มีองค์ประกอบของสารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์คือ La_2BaCuO_4 และเป็นสารประเภทเซรามิกส์ที่อุณหภูมิห้องมีสภาพเป็นฉนวนไฟฟ้าแต่เมื่อลดอุณหภูมิลงประมาณ 30 เคลวิน จะมีสภาพนำยวดยิ่ง

จากนั้นในปี ค.ศ. 1987 ชูและคณะ [4] ได้ค้นพบสารกลุ่มคิวเพรตอีกกลุ่มหนึ่งที่องค์ประกอบของ ยิทเทรียม - แบเรียม - คิวเพรต ($Y-Ba-CuO$) ที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงถึง 92 เคลวิน ซึ่งมีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่าจุดเดือดของไนโตรเจนเหลวที่ 77 เคลวินและเป็นตัวนำยวดยิ่งชนิดที่สอง (type 2) ในการใช้งานตัวนำยวดยิ่งชนิดนี้จึงสามารถใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารที่ใช้ในการลดอุณหภูมิได้ เนื่องจากไนโตรเจนเหลวหาง่ายราคาถูก การค้นพบครั้งนี้ทำให้การทดลองและการประยุกต์ใช้งานตัวนำยวดยิ่งสามารถทำได้ง่ายขึ้น จะเรียกตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่า 35 เคลวินนี้ว่าเป็นตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง (high temperature superconductors)

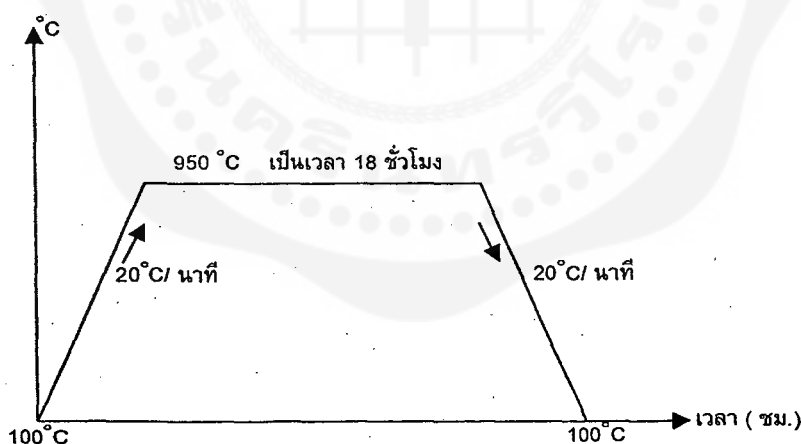
หลังจากนั้นก็ได้มีการนำเสนอวิธีการเตรียมตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูงจากกลุ่มวิจัยต่างๆ อย่างแพร่หลายและต่อเนื่องไปทั่วโลกจนถึงปัจจุบัน คณะผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการเตรียมและการวัดสมบัติของตัวนำยวดยิ่งที่ได้มีการนำเสนอ [5-9] แล้วพบว่าในปัจจุบันสามารถเตรียมและสร้างชุดทดลองเพื่อทำการวัดอุณหภูมิวิกฤตและสนามแม่เหล็กวิกฤตได้โดยใช้อุปกรณ์ที่มีราคาไม่แพงมากนัก

ซึ่งสามารถหาได้ในห้องปฏิบัติการพื้นฐาน ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยจะได้สังเคราะห์ตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO ขึ้นมา และทำการวัดอุณหภูมิวิกฤตและสนามแม่เหล็กวิกฤตด้วยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเอง รวมทั้งวัดโครงสร้างด้วย X-Ray Diffraction (XRD), Transmission Electron Microscope (TEM) และสมบัติอื่นๆ ด้วย Scanning Electron Microscopy (SEM) และ Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)

วิธีการทดลอง

คณะผู้วิจัยได้เตรียมตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO โดยวิธี solid state reaction โดยเริ่มต้นจากการนำสารยิบเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) จำนวน 11.29 กรัม แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) จำนวน 39.46 กรัม คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) จำนวน 23.86 กรัม มาคลุกให้เข้ากันในครกอลูมินา จนได้สารผสมที่มีสีเทาและเป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นนำไปใส่ในถ้วยอลูมินา แล้วนำไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูงซึ่งมีกระบวนการเผาต่างๆ กันดังนี้

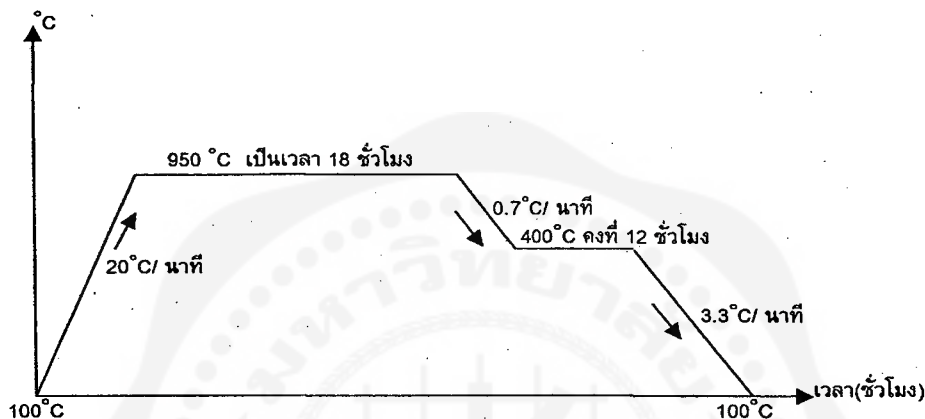
กระบวนการเผาครั้งที่ 1 เริ่มต้นกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราการเพิ่มขึ้น 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิของเตาสูงถึง 950 องศาเซลเซียส แล้วคงที่อุณหภูมิไว้ 18 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิลดลงมาถึง 100 องศาเซลเซียส อีกครั้งก็เป็นอันเสร็จของกระบวนการเผาครั้งที่ 1 ซึ่งมีกระบวนการเผารูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการเผาครั้งที่ 1

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการเผาครั้งที่ 1 สารที่ได้จะมีลักษณะเป็นสารสีดำ จับตัวกันเป็นก้อนแข็ง แต่มีรูพรุน หลังจากนั้นนำสารที่ได้จากกระบวนการเผาครั้งที่ 1 ไปบดในครกอลูมินาจนได้สารที่เป็นผงละเอียด แล้วนำไปอัดด้วยเครื่องอัดจนได้สารที่มีลักษณะเป็นแผ่นกลมสีดำ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร และมีความหนา 5 มิลลิเมตร แล้วนำไปในกระบวนการเผาครั้งที่ 2 ซึ่งมีกระบวนการเผาดังนี้

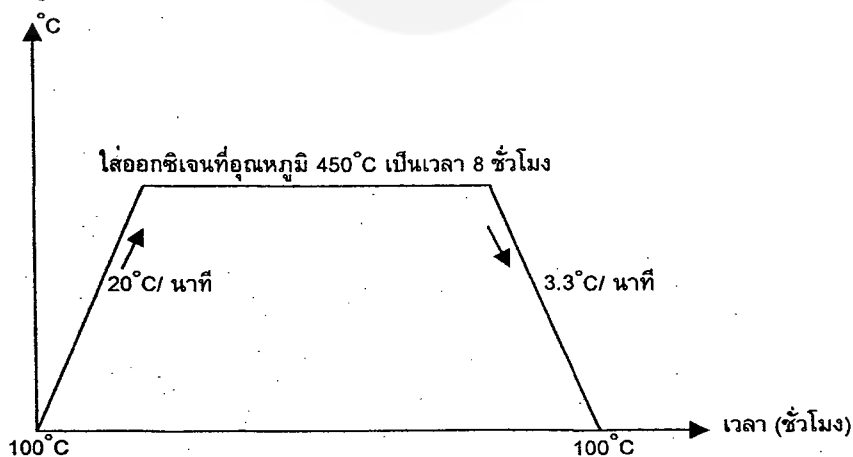
กระบวนการเผาครั้งที่ 2 เริ่มต้นกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส แล้วคงที่ไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 0.7 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แล้วคงที่ที่อุณหภูมินี้ไว้ 12 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงอีกครั้งด้วยอัตรา 3.3 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสอีกครั้ง ซึ่งมีกระบวนการเผาดังรูปที่ 2 ดังนี้



รูปที่ 2 แสดงกระบวนการเผาครั้งที่ 2

สารที่ได้จากการเผาครั้งที่ 2 จะมีความแกร่งมากกว่ากระบวนการเผาครั้งที่ 1 จากนั้นนำสารที่ได้ไปได้ปด้วยออกซิเจน เพราะว่ออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการทำให้เกิดสภาพนำยวดยิ่งของสารกลุ่มนี้ โดยการนำไปเผาครั้งที่ 3 ซึ่งมีกระบวนการเผาดังนี้

กระบวนการเผาครั้งที่ 3 เริ่มเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิถึง 450 องศาเซลเซียส เริ่มให้ออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศด้วยการเปิดฝาเตาเป็นเวลา 8 ชั่วโมงแล้วค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 3.3 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิถึง 100 องศาเซลเซียสอีกครั้ง ซึ่งกระบวนการเผาครั้งที่ 3 มีกระบวนการเผาดังรูปที่ 3 ดังนี้



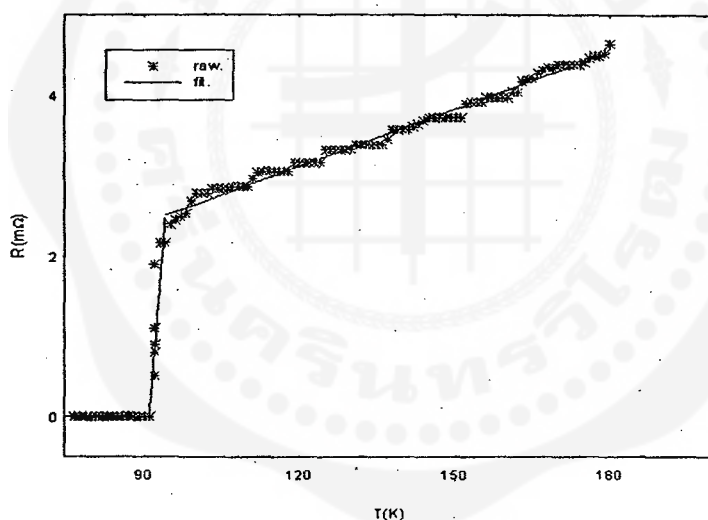
รูปที่ 3 แสดงกระบวนการเผาครั้งที่ 3

ผลการทดลอง

นำสารที่ได้จากกระบวนการเผาครั้งสุดท้ายไปทำขั้ว 4 ขั้ว เรียงตามยาวด้วย silver paint เพื่อนำไปทดลองวัดอุณหภูมิวิกฤตและสนามแม่เหล็กวิกฤตจากเครื่องมือที่สร้างขึ้นเอง โดยคณะผู้วิจัยได้ตัดตัวนำยวดยิ่งออกไปบางส่วนเพื่อนำไปวัดด้วยเครื่องมือวัดชนิดอื่น ซึ่งจะได้ผลการทดลองตามลำดับดังต่อไปนี้

การวัดอุณหภูมิวิกฤต

นำตัวนำยวดยิ่งที่ทำขั้วเรียบร้อยแล้วใส่ในภาชนะทรงกระบอกที่ทำจากทองเหลืองเพื่อป้องกันไม่ให้ไนโตรเจนเหลวสัมผัสสารตัวอย่างโดยตรง แล้วใส่ในถังโฟม ใส่ไนโตรเจนเหลวลงไปเพื่อลดอุณหภูมิจนถึง 77 เคลวิน ตัวนำจะอยู่ในสภาพนำยวดยิ่งแล้ว หลังจากนั้นใส่กระแสไฟฟ้าตรงขนาด 300 mA เข้าไปที่สองขั้วด้านนอก ส่วนสองขั้วด้านในใช้วัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น เพิ่มอุณหภูมิขึ้นจนถึงอุณหภูมิห้อง โดยอุณหภูมินี้วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิ้ล type K ที่ติดอยู่ที่ผิวหน้าของสาร ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4



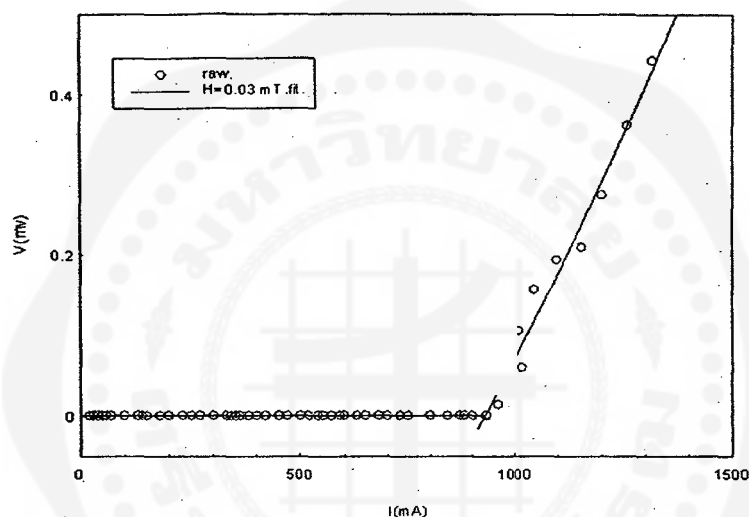
รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนสถานะของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO

ผลการทดลองพบว่าตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO ที่เตรียมได้ มีอุณหภูมิวิกฤตเท่ากับ 92 เคลวิน

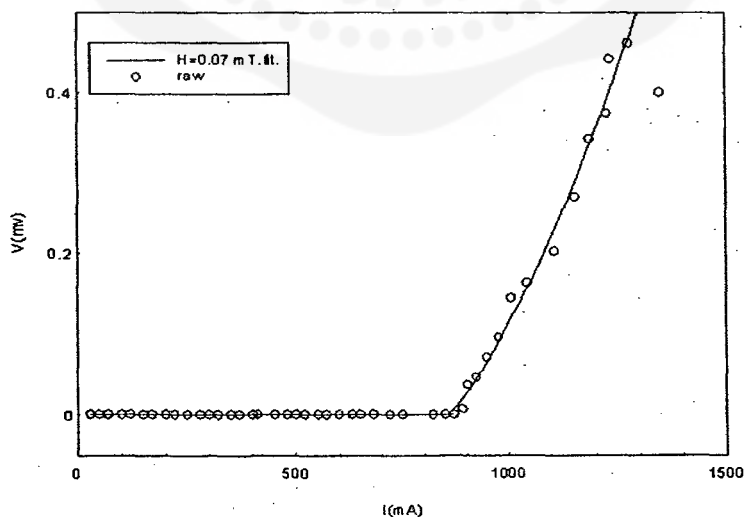
การวัดอิทธิพลของสนามแม่เหล็ก

ระบบที่ใช้ในการทดลองวัดอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO ได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิคงที่ 77 เคลวิน ทำการทดลองเช่นเดียวกับการวัดอุณหภูมิวิกฤตอีกครั้ง แต่ครั้งนี้ให้ตัวนำยวดยิ่งวางตัวในสนามแม่เหล็กในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก โดยสนามแม่เหล็กได้จากขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ (Helmholtz) และใช้แผ่นโฟมปิดบริเวณขั้วเพื่อป้องกันการลัดวงจรที่ขั้วเนื่องจากไนโตรเจนเหลว จากนั้นจะให้กระแสไฟฟ้าที่ปรับค่าได้เข้าไปในตัวนำยวดยิ่งที่อุณหภูมิคงที่ 77 เคลวิน แล้วให้สนามแม่เหล็กค่าต่างๆ แก่ตัวนำยวดยิ่ง ค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จากขดลวด

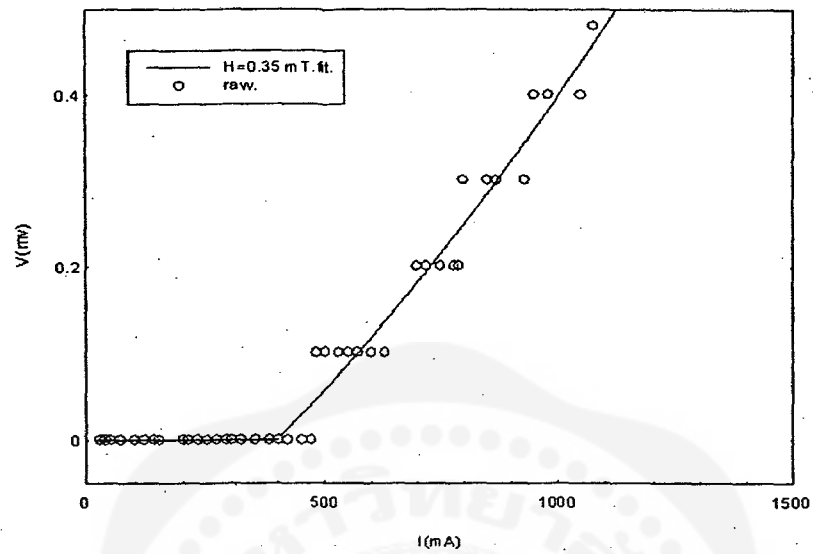
เฮลมิโฮลซ์ด้วย Tesla meter ซึ่งสามารถแสดงผลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-CuO ได้ โดยพบว่า กรณีที่สนามแม่เหล็กมีค่าเป็น 0.03 mT สามารถวัดค่ากระแสวิกฤตได้เท่ากับ 980 mA และหลังจากนั้น เพิ่มค่าของสนามแม่เหล็กเป็น 0.07 mT และ 0.35 mT และ 0.40 mT สามารถวัดค่ากระแสวิกฤตได้ 900 mA และ 480 mA และ 420 mA ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่า สนามแม่เหล็กขนาด 0.35 mT เป็นสนามแม่เหล็กวิกฤตของตัวนำยวดยิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสนามแม่เหล็กเป็น 0.40 mT ตัวอย่างแสดงสมบัติเป็นตัวนำปกติ และค่าที่มากที่สุดที่ตัวอย่างยังแสดงสมบัติเป็นตัวนำยวดยิ่งคือที่สนามแม่เหล็กมีค่า 0.35 mT เป็นดังรูปที่ 5 (จ) ดังนี้



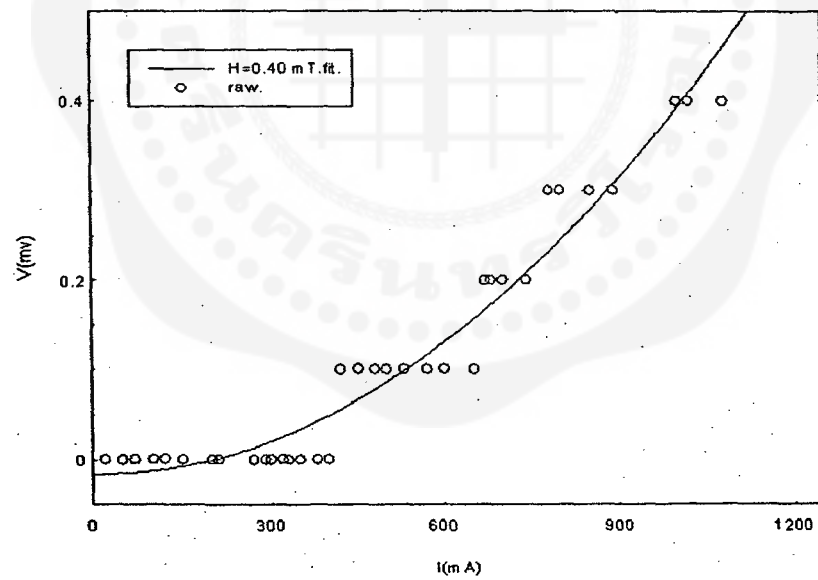
รูปที่ 5 (ก) แสดงอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่ 0.03 mT



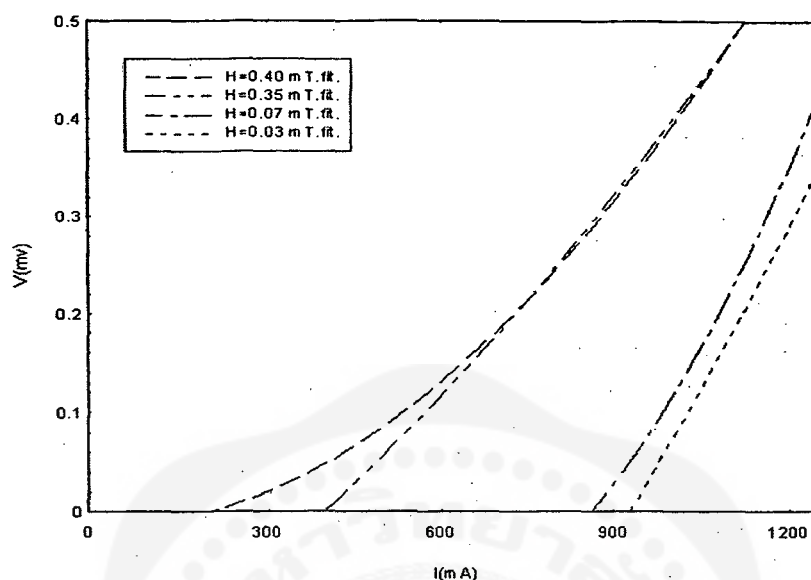
รูปที่ 5 (ข) แสดงอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่ 0.07 mT



รูปที่ 5 (ค) แสดงอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่ 0.35 mT



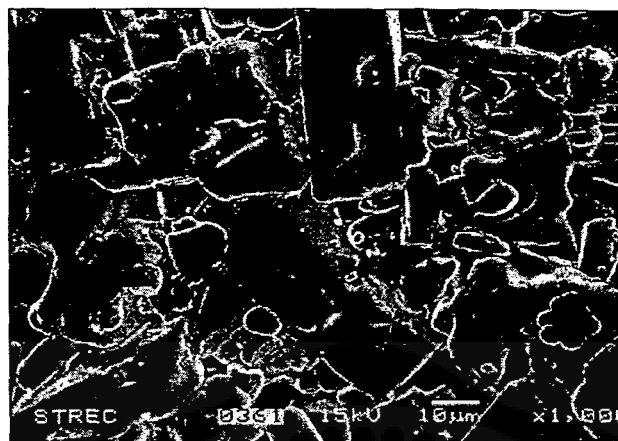
รูปที่ 5 (ง) แสดงอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่ 0.40 mT



รูปที่ 5 (จ) กราฟสรุปอิทธิพลของสนามแม่เหล็กค่าต่างๆ กัน

การวัดหาโครงสร้างด้วยเครื่อง XRD

การวัดตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO ด้วยเครื่อง XRD (X-Ray Diffraction, D8 ADVANCE) เป็นการศึกษาโครงสร้างของตัวนำยวดยิ่งโดยการยิงรังสีเอ็กซ์ไปยังสารที่ใช้ตรวจสอบ รังสีเอ็กซ์จะเกิดการเลี้ยวเบนเมื่อผ่านเข้าไปในผลึกของสาร ความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนผ่านระนาบของผลึก จะถูกวัดด้วย Detector ที่มุมต่างๆ ซึ่งสำหรับตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้เมื่อนำไปทำการทดลองวัดด้วยเครื่อง XRD D8 ADVANCE มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

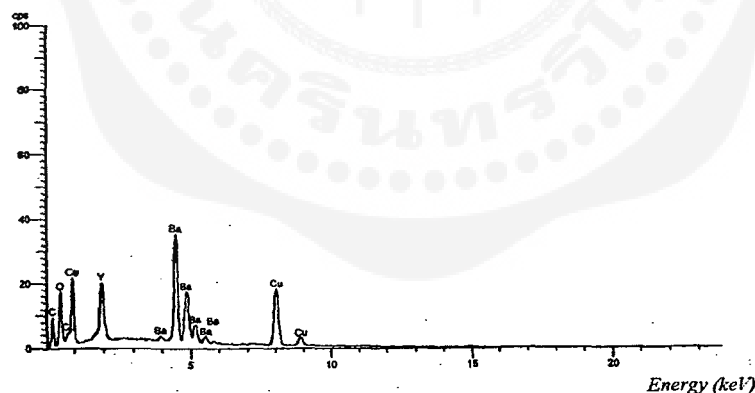


รูปที่ 7 แสดงภาพถ่ายผิวของตัวนำยวดยิ่งที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

จากภาพถ่ายของ SEM จะเห็นได้ว่าสารที่เตรียมได้ มีขนาดของเกรนส์ ประมาณ 10 ไมโครเมตร เนื้อสารยังไม่เป็นเนื้อเดียวกันเท่าที่ควร

การศึกษาส่วนประกอบด้วยเครื่อง EDS

การวัดด้วยเครื่อง EDS (Energy Dispersive Spectroscopy, JEM-200CX) เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาชนิดและปริมาณของส่วนประกอบของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง จากการวัดด้วยเครื่อง EDS รุ่น JEM-200CX สามารถแสดงได้ดังภาพ

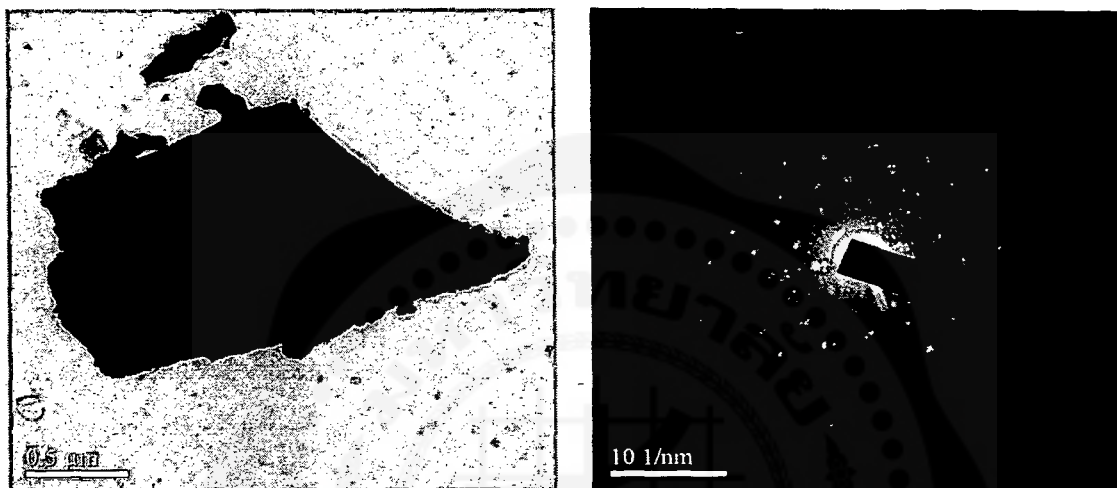


รูปที่ 8 ธาตุที่มีอยู่ในตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-CuO ที่เตรียมได้

ผลการทดลองจากเครื่อง EDS พบว่าตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้นี้มีปริมาณธาตุยิทเทรียม (Y) แบเรียม (Ba) คอปเปอร์ (Cu) และออกซิเจน (O) ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างไม่มีสารอื่นเจือปนเลย ทั้งนี้ตัว C ในรูปที่ 8 คือธาตุคาร์บอนซึ่งเป็นสารประกอบของตัวจับสารตัวอย่าง

การศึกษาผลึกด้วยเครื่อง TEM

เครื่อง TEM (Transmission Electron Microscope, JSM-5410LV) เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ศึกษาลักษณะของผลึกของสาร จากการวัดตัวนำขดยิ่ง Y-Ba-CuO ด้วย TEM รุ่น JSM-5410LV สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ภาพ TEM ของตัวนำขดยิ่ง

พบว่าตัวนำขดยิ่งมีลักษณะของผลึกเป็นแบบผลึกเดี่ยวขนาดเล็ก โดยมีขนาดของผลึกประมาณ 0.5 ไมโครเมตร

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

คณะผู้วิจัยสามารถเตรียมตัวนำขดยิ่งในกลุ่ม Y-Ba-CuO ขึ้นได้ โดยใช้วิธี solid state reaction โดยมีสารตั้งต้นคือ ยิบเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) และคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) สารที่เตรียมได้ลักษณะแผ่นกลมสีดำ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร มีความหนา 5 มิลลิเมตรมีอุณหภูมิวิกฤตที่ 92 เคลวิน สนามแม่เหล็กวิกฤต 0.35 mT มีโครงสร้างแบบ Orthorombic และสูตรทางเคมีเป็น $YBa_2Cu_3O_{6.96}$ ลักษณะของผลึกเป็นแบบผลึกเดี่ยวขนาดเล็กและพบว่าสารยังไม่เป็นเนื้อเดียวกันเท่าที่ควร

อุปกรณ์การวัดอุณหภูมิวิกฤตและสนามแม่เหล็กวิกฤตที่สร้างขึ้นเองโดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการพื้นฐาน สามารถใช้วัดหาอุณหภูมิวิกฤตและสนามแม่เหล็กวิกฤตของตัวนำขดยิ่งได้ ถ้าได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจะสามารถใช้เป็นชุดทดลองขั้นสูงในระดับปริญญาตรีได้

ส่วนปัญหาที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลองพบว่าตัวนำขดยิ่ง Y-Ba-CuO เกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วซึ่งอาจเกิดมาจากความชื้น ดังนั้นเมื่อทดลองเสร็จแล้วควรทำให้สารตัวอย่างแห้งอย่างรวดเร็วก่อนจะเก็บเข้าสู่โถดูดความชื้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Onnes, K. H. 1911. The Disappearance of the Resistivity of Mercury. *Communication – Laboratory of Leiden*: 120b, 122b, 124c.
2. Testardi, L. R., Wernick, J. H. and Royer, C. K. 1974. Superconductivity with Onset Above 23 °K in Nb---Ge Sputtered Films. *Solid State Communications* 15(1): 1-4.
3. Bednorz, J. G. and Muller, K. A. 1986. Possible High Tc Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System. *Z. Physik B* 64: 189-193.
4. Chu, C. W., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L., Huang, Z. J. and Wang, Y. Q. 1987. Superconductivity at 93 K in a New Mixed-Phase Yb-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure. *Physical Review Letters* 58: 908-910.
5. Fox, N. J., Rustad, F. A. and Smith, W. R. 1988. Measurement of the Transition Temperature of a High Tc Superconductor. *American Journal of Physics* 56(11): 980-982.
6. Inorganic Chemistry Laboratory. 2003. Preparation and Characterization of a Perovskite-Based Complex Metal Oxide Superconductor, YBa₂Cu₃O_{7-d}. Available from <http://www.uiowa.edu/~coo4153a/ybco-f04.pdf>. 15 January 2006.
7. Materials Chemistry-Superconductors. 2006. Preparation, Structure and Properties of High-Temperature Superconductor. Available from stanwhit@binghamton.edu PHYWE. 14 February 2006.
8. Rossano, L. M. 1997. An Inexpensive and Easy Experiment to Measure the Electrical Resistance of High-Tc Superconductors as a Function of Temperature. *American Journal of Physics* 65(10): 1024-1026.
9. Van dervoort, K. G., Willingham, J. M. and Morris, C. H. 1995. Simple, Inexpensive Probe for Resistivity Measurements Above 77 K on Metals and Superconductors. *American Journal of Physics* 63(8): 759-760.

ได้รับบทความวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2550
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 20 มีนาคม 2550

ประวัติคณะผู้วิจัย

1.นายพงษ์แก้ว อุดมสมุทรศิริ (Mr. Pongkaew Udomsamuthirun)

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์

หน่วยงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สุขุมวิท 23

กรุงเทพ 10110 โทร 02-664-1000 ต่อ 8562 E-mail : udomsamut55@yahoo.com

ประวัติการศึกษา

ปี	สถาบัน	ชื่อปริญญา
2541-2544	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	วท.ด.(ฟิสิกส์)
2533-2536	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วท.ม.(ฟิสิกส์)
2529-2533	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วท.บ.(ฟิสิกส์)

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญ ด้วนำยวดยั้ง ฟิสิกส์ของแข็ง

2.นายสมศักดิ์ มณีรัตนกุล (Mr. Somsak Maneeranakul)

ตำแหน่ง อาจารย์

หน่วยงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สุขุมวิท 23

กรุงเทพ 10110โทร 02-664-1000 ต่อ 8562

ประวัติการศึกษา

ปี	สถาบัน	ชื่อปริญญา
2525-2529	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วท.ม.(ฟิสิกส์)
2520-2525	มหาวิทยาลัยมหิดล	วท.บ.(ฟิสิกส์)

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญ ฟิสิกส์ของแข็ง

3.นายเสริมสุข รัตเร่ง(Mr.Sersuk Ratreng)

ตำแหน่ง พนักงานวิทยาศาสตร์ 4

หน่วยงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สุขุมวิท 23

กรุงเทพ 10110 โทร 02-664-1000 ต่อ 8560 e-mail : sersuk@swu.ac.th

ประวัติการศึกษา

สถาบัน	ชื่อวุฒิ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร	ปวช.(เกษตรกรรม)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร	ปวส(เกษตรกรรม)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร	วท.บ.(เทคโนโลยีการผลิตพืช)เกียรตินิยมอันดับสอง

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญ ฟิสิกส์ของอิเล็กทรอนิกส์

4.นายธัญนพ นิลกำจร (Mr. Tunyanop Nilgamjon)

ตำแหน่ง พนักงานวิทยาศาสตร์ 4

หน่วยงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สุขุมวิท 23

กรุงเทพ 10110 โทร 02-664-1000 ต่อ 8163

การศึกษา B.S.Tech.ed.(Industrial Engineering)

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญ ฟิสิกส์ของอิเล็กทรอนิกส์, ฟิสิกส์ของแข็ง