

สภาพนำยิ่งยวดในแผนภาพควอเตอร์นารีของระบบ  $(Bi_2O_3)_x(CuO)_y(0.8SrCO_3 + 0.2CaCO_3)_z$

ที่มีค่า  $1 \leq x \leq 8$ ,  $1 \leq y \leq 8$ ,  $1 \leq z \leq 8$  ที่อุณหภูมิ  $850^\circ C$

SUPERCONDUCTIVITY IN QUARTERNARY DIAGRAM  
OF  $(Bi_2O_3)_x(CuO)_y(0.8SrCO_3 + 0.2CaCO_3)_z$  SYSTEM WHICH  $1 \leq x \leq 8$ ,  $1 \leq y \leq 8$ ,  
,  $1 \leq z \leq 8$  AT TEMPERATURE  $850^\circ C$

จํานงค์ ฉายเชิด กำชัย ตริชัยรัศมี สุมิตร เขียววิชัย

Chumnong Chaichoet , Kamchai Treechairusme , Sumit Keowwichai.

### บทคัดย่อ

กลุ่มสารตัวอย่างที่มีสัดส่วนเป็น  $(Bi_2O_3)_x(CuO)_y(0.8SrCO_3 + 0.2CaCO_3)_z$  ที่มี  $1 \leq x \leq 8$ ,  $1 \leq y \leq 8$  และ  $1 \leq z \leq 8$  ได้เตรียมขึ้นจากการผสมสัดส่วนตามปริมาณสารพวกออกไซด์ของ Bi กับ Cu และพวกคาร์บอเนตของ Sr กับ Ca สารตัวอย่างเหล่านี้ได้ผ่านการเผาในอากาศที่  $800^\circ C$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วควench ในไนโตรเจนเหลวจนเข้าสู่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปเผาอีกที่  $850^\circ C$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงควench ในไนโตรเจนเหลวอีก ผลเบื้องต้นสรุปไว้ในแผนภาพควอเตอร์นารีระบบ  $(Bi_2O_3)_x(CuO)_y(0.8SrCO_3 + 0.2CaCO_3)_z$  เม็ดสารตัวอย่างที่เป็นตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดสีดำมีรูพรุนมากจึงทำให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้นแต่มีมวลลดลง ภาพถ่ายSEMของสารตัวอย่างที่มีสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดแสดงให้เห็นว่า มีขนาดเกรนเป็นแผ่นบางขนาดใหญ่อัดกันอยู่ในเม็ดสาร สารที่มีสัดส่วน  $(Bi_2O_3)_x(CuO)_y(0.8SrCO_3 + 0.2CaCO_3)_z$  ที่มีค่า  $x = 1$ ,  $4 \leq y \leq 6$ ,  $3 \leq z \leq 5$  และ  $x = 2$ ,  $y = 2$ ,  $z = 6$  แสดง  $T_{C(onset)} = 98\text{ K} - 125\text{ K}$  และ  $T_{C(zero)} \leq 90\text{ K}$

### ABSTRACT

The set of samples of nominal  $(Bi_2O_3)_x(CuO)_y(0.8SrCO_3 + 0.2CaCO_3)_z$  with  $1 \leq x \leq 8$ ,  $1 \leq y \leq 8$  and  $1 \leq z \leq 8$  was prepared from a stoichiometric mixture of oxides of Bi and Cu and carbonates of Sr and Ca. Samples were fired in air at  $800^\circ C$  for 24 hours and quenched in liquid nitrogen to room temperature and subsequent heat-treated at  $850^\circ C$  for 24 hours followed by quenching in liquid nitrogen. The preliminary results were summarized in quaternary diagrams of the  $(Bi_2O_3)_x(CuO)_y(0.8SrCO_3 + 0.2CaCO_3)_z$  system. There are many pores in the black disk-shaped superconducting sample therefore the volume of the sample increased, the mass decreased. The SEM pictures of the superconducting samples showed that the large thin sheet grain size was pressed in the pellets. The samples of nominal  $(Bi_2O_3)_x(CuO)_y(0.8SrCO_3 + 0.2CaCO_3)_z$  with  $x = 1$ ,  $4 \leq y \leq 6$ ,  $3 \leq z \leq 5$  and  $x = 2$ ,  $y = 2$ ,  $z = 6$  showed  $T_{C(onset)} = 98\text{ K} - 125\text{ K}$  and  $T_{C(zero)} \leq 90\text{ K}$

## คำนำ

หลังจากมีการค้นพบสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดอุณหภูมิสูงโดย Bednorz และ Mueller<sup>1</sup> ก็มีกลุ่มนักวิจัยมากมายหันมาสนใจศึกษาสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดอุณหภูมิสูงที่มีอยู่หลายระบบ พร้อมทั้งมีข้อมูลต่างๆเกิดขึ้นมามากมาย เช่น เรื่องการเตรียมสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิกับช่วงเวลาที่เผาและช่วงระยะเวลาของการแอนนิลสารที่แตกต่างกันไป ผลก็จะได้สารที่มีสมบัติทางฟิสิกส์ที่แตกต่างกัน ทำให้คณะวิจัยมีความคิดหลังจากที่ทำแผนภาพควอเทอร์นารี  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(0.8 \text{SrCO}_3 + 0.2 \text{CaCO}_3)_y(\text{CuO})_z$  ที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$  แล้วว่า ถ้านำเม็ดสารหลังจากผ่านการเผาที่  $800^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมาเผาต่อที่  $850^\circ\text{C}$  อีกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยการแช่ลงในไนโตรเจนเหลวทันทีอีกครั้งหนึ่ง เพื่อศึกษาข้อที่แตกต่างกันของระบบการเป็นสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดอุณหภูมิสูง ลักษณะเม็ดสาร สี มวลสารทั้งก่อนเผาและหลังเผา อุณหภูมิวิกฤตขณะที่ค่าความต้านทานเริ่มลด ( $T_{\text{C(onset)}}$ ) กับอุณหภูมิวิกฤตขณะที่ค่าความต้านทานเป็นศูนย์ ( $T_{\text{C(zero)}}$ ) สัดส่วนมวลสาร ลักษณะเกรนพวงสารที่เป็นตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด ของสารที่ผ่านการเผาที่  $800^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วกับสารผ่านการเผาที่  $800^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วจากนั้นเผาต่อที่  $850^\circ\text{C}$  อีกเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยการแช่ลงในไนโตรเจนเหลวอีกครั้งหนึ่ง

## วิธีการและผลการทดลอง

### ขั้น 1. การเตรียมเม็ดสาร การเผาเม็ดสารและผลที่ได้จากการเผา

เตรียมผงสารตัวอย่างในระบบของ  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(0.8 \text{SrCO}_3 + 0.2 \text{CaCO}_3)_y(\text{CuO})_z$  ให้มีค่าของ  $1 \leq x \leq 8$ ,  $1 \leq y \leq 8$ ,  $1 \leq z \leq 8$  ที่ใช้ผงสาร  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CuO}$  ผสมในสัดส่วนต่างๆตามที่ต้องการในปริมาณ 2 กรัมต่อหนึ่งเม็ด นำไปอัดเม็ดใช้ความดัน 2 ตันเป็นเวลา 3 นาที จึงได้เม็ดสารตัวอย่างที่มีสัดส่วนต่างๆทั้งหมด 36 เม็ด แล้วนำไปเผาในอากาศด้วยเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำเม็ดสารแช่ลงในไนโตรเจนเหลวทันทีเพื่อให้สารมีการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว จากนั้นนำสารที่ไม่มีการหลอมหลังจากการเผาที่  $800^\circ\text{C}$  ไปเผาต่ออีกที่อุณหภูมิ  $850^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำเม็ดสารแช่ลงในไนโตรเจนเหลวทันทีอีกครั้งหนึ่ง นำเม็ดสารที่ผ่านการเผามาสังเกตลักษณะของเม็ดสารเป็นไปตามตารางที่ 1. และเป็นดังรูปที่ 1. ตามลำดับ พบว่าเม็ดสารหลังผ่านการเผาแบ่งได้ 5 กลุ่มเหมือนกับแผนภาพควอเทอร์นารี  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(0.8 \text{SrCO}_3 + 0.2 \text{CaCO}_3)_y(\text{CuO})_z$  ที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$  แต่มีจำนวนเม็ดสารที่มีสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดเพิ่มขึ้น คือ

**กลุ่มที่ 1.** เม็ดสารมีสีดำปนเหลืองไม่แสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลว ใช้สัญลักษณ์ ▲ มี 3 เม็ดคือ เม็ดที่ 1, 2 และ 3 (ในแผนภาพควอเทอร์นารี  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(0.8 \text{SrCO}_3 + 0.2 \text{CaCO}_3)_y(\text{CuO})_z$  ที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$  มี 6 เม็ดคือ เม็ดที่ 1, 2, 3, 4, 8 และ 9 โดยเม็ดที่ 4 เปลี่ยนไปอยู่กลุ่มที่ 5 มีการหลอมเหลวเนื่องจากมี  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  มาก ส่วนเม็ดที่ 8, 9 เปลี่ยนไปอยู่ในกลุ่มที่ 2 มีสีดำไม่แสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลวเพราะมี  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  น้อยลงแต่มี  $\text{CuO}$  มากขึ้น)

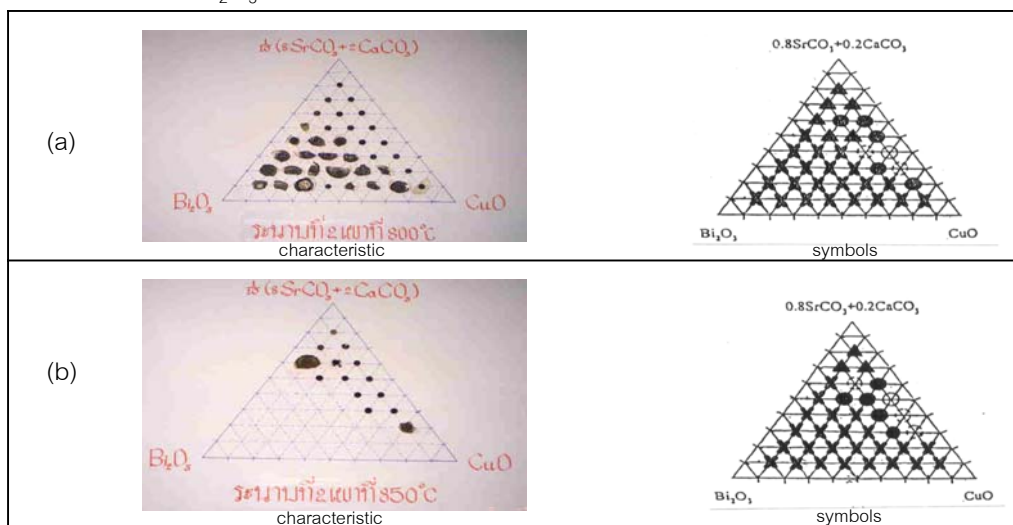
**กลุ่มที่ 2.** เม็ดสารมีสีดำไม่แสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลว ใช้สัญลักษณ์ ● มี 5 เม็ด คือ เม็ดที่ 6, 8, 9, 14 และ 20 (ในแผนภาพควอเทอร์นารี  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(0.8 \text{SrCO}_3 + 0.2 \text{CaCO}_3)_y(\text{CuO})_z$  ที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$  มี 5 เม็ดคือ เม็ดที่ 5, 6, 10, 20 และ 28 โดยเม็ดที่ 5 และ 10 เปลี่ยนไปอยู่กลุ่มที่ 3 และ 4 เป็นเม็ดสารมีสี

ค่าแสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลวแต่ไม่สามารถวัดหาค่าอุณหภูมิวิกฤต และสามารถวัดหาค่าอุณหภูมิวิกฤตได้ตามลำดับ ส่วนเมดสารที่ 28 เปลี่ยนไปอยู่กลุ่มที่ 5 มีการหลอมเหลวเนื่องจากมี  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  มาก )

**กลุ่มที่ 3.** เมดสารมีค่าแสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลวแต่ไม่สามารถวัดหาค่าอุณหภูมิวิกฤตได้ใช้สัญลักษณ์  $\bigcirc$  มี 3 เมดคือ เมดที่ 5, 15 และ 21 ที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่มวลลดลง ( ในแผนภาพควอเตอร์นารี  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(0.8 \text{SrCO}_3 + 0.2 \text{CaCO}_3)_y(\text{CuO})_z$  ที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$  มี 2 เมดคือเมดที่ 14 และ 21 โดยเมดที่ 14 เปลี่ยนไปอยู่กลุ่มที่ 2 เป็นเมดสารมีค่าแสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลวเนื่องจากมี  $\text{CaCO}_3$  น้อย )

**กลุ่มที่ 4.** เมดสารมีค่าแสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลวที่สามารถวัดหาค่าอุณหภูมิวิกฤตได้ใช้สัญลักษณ์  $\bigcirc$  มี 1 เมดคือ เมดที่ 10 ที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่มวลลดลง ( ในแผนภาพควอเตอร์นารี  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(0.8 \text{SrCO}_3 + 0.2 \text{CaCO}_3)_y(\text{CuO})_z$  ที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$  มี 1 เมดคือ เมดที่ 15 โดยเมดที่ 15 เปลี่ยนไปอยู่กลุ่มที่ 3 เป็นเมดสารมีค่าแสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลวแต่ไม่สามารถวัดหาค่าอุณหภูมิวิกฤต )

**กลุ่มที่ 5.** เมดสารมีการหลอมเหลวไม่แสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลวใช้สัญลักษณ์  $\times$  มี 24 เมดคือ เมดที่ 4, 7, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 และ 36 ( ในแผนภาพควอเตอร์นารี  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(0.8 \text{SrCO}_3 + 0.2 \text{CaCO}_3)_y(\text{CuO})_z$  ที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$  มี 22 เมดคือ เมดที่ 7, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 และ 36 เนื่องจากมี  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  มาก )



**Figure 1.** (a) characteristic and symbols for 36 samples, after calcining for 24 hours at  $800^\circ\text{C}$  and quenched in liquid nitrogen.

(b) characteristic and symbols for 36 samples, after calcining for 24 hours at  $800^\circ\text{C}$  and quenched in liquid nitrogen to room temperature and subsequent heat-treated for 24 hours at  $850^\circ\text{C}$  followed by quenching in liquid nitrogen.

**ขั้น 2.** ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิเพื่อหา  $T_{C(\text{onset})}$  และ  $T_{C(\text{zero})}$

นำเมดสารที่แสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดในกลุ่มที่ 3 กับ 4 ไปวัดค่าความต้านทานที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ โดยเทคนิคมาตรฐานสี่ขั้วแบบควอซี ดีซี ที่มีการให้กระแสไฟฟ้า ( $I$ ) หนึ่งมิลลิแอมป์ผ่านชิ้นสาร แล้ววัด



Table 1 (continue)

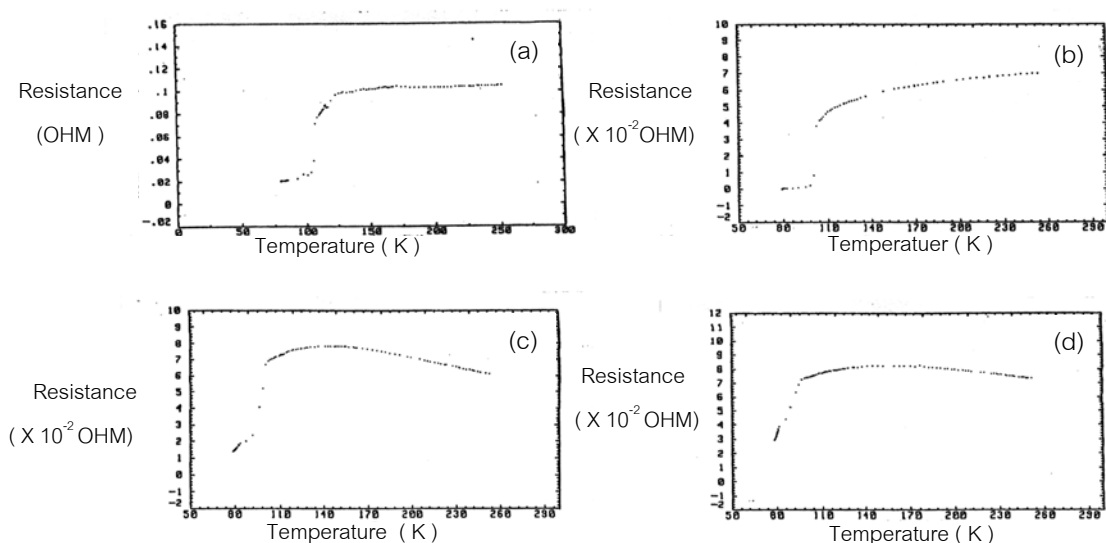
✕	18	4,3,3	melted	at	800°C							
✕	19	3,4,3	melted	at	800°C							
●	20	2,5,3	light grey	black		13.20	13.40	3.40	3.10	1.9360	1.6337	no
○	21	1,6,3	black	black		13.20	13.80	3.80	4.20	1.9748	1.7749	yes
✕	22	7,1,2	melted	at	800°C							
✕	23	6,2,2	melted	at	800°C							
✕	24	5,3,2	melted	at	800°C							
✕	25	4,4,2	melted	at	800°C							
✕	26	3,5,2	melted	at	800°C							
✕	27	2,6,2	melted	at	800°C							
✕	28	1,7,2	black	black <sup>#</sup>		13.20	-	3.70	-	1.9042	-	no
✕	29	8,1,1	melted	at	800°C							
✕	30	7,2,1	melted	at	800°C							
✕	31	6,3,1	melted	at	800°C							
✕	32	5,4,1	melted	at	800°C							
✕	33	4,5,1	melted	at	800°C							
✕	34	3,6,1	melted	at	800°C							
✕	35	2,7,1	melted	at	800°C							
✕	36	1,8,1	melted	at	800°C							

---

\* Use ROSTFREI GEHARTET vernier ; \*\* SARTORIUS digital balance ; # melted samples

**Table 2**  $T_{C(onset)}$  and  $T_{C(zero)}$  of sample pellets number 5 , 10 ,15 and 21 after calcining at 800°C for 24 hours and subsequent heat-treat at 850°C for 24 hours.

Pellet number	First heat	Second heat	x , y , z	$T_{C(onset)}$ (K)	$T_{C(zero)}$ (K)
5	800°C	850°C	2,2,6	125	-
10	800°C	850°C	1,4,5	114	90
15	800°C	850°C	1,5,4	104	-
21	800°C	850°C	1,6,3	98	-



**Figure 2** Variations of resistances with temperature, using for determination of  $T_{C(onset)}$  and  $T_{C(zero)}$

- (a) for the pellet number 5 (b) for the pellet number 10 and (c) for the pellet number 15
- (d) for the pellet number 21

### ขั้น 3. ศึกษากราฟ TGA และ DSC ของสารผสม 2212 และ 2223

เตรียมผงสารตัวอย่าง  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ -  $\text{SrCO}_3$ -  $\text{CaCO}_3$  - $\text{CuO}$  (ของ 2212 ,2223 ) ไปวิเคราะห์ทางความร้อนในเครื่อง Netzsch STA 409 C ใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5°C ต่อนาทีที่มีอัตราการผ่านอากาศ 100 cc.ต่อนาทีและใช้ถ้วยอลูมินา Netzsch เป็นสิ่งอ้างอิงผลการทดลองได้กราฟ TGA และ DSC ออกมาดังรูปที่ 3 , 4

พบว่าพีคที่ 1. สาร  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ +  $\text{SrCO}_3$ +  $\text{CaCO}_3$ +  $\text{CuO}$  ที่มีสัดส่วนอะตอม Bi : Sr : Ca : Cu เป็น 2 : 2 : 1 : 2 และ 2 : 2 : 2 : 3 ถูกไล่ความชื้นออกไปโดยมีการลดมวลสารลง พีคที่ 2.ของสารผสม 2 : 2 : 1 : 2 หรือ 2 : 2 : 2 : 3 เกิดที่อุณหภูมิ 687.4°C หรือ 688.0 °C ตามลำดับ เกิดปฏิกิริยา  $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  พร้อมกับ  $2\text{CaO} + \text{CuO} \longrightarrow \text{Ca}_2\text{CuO}_3$  และมีมวลสารลดลง พีคที่ 3. สารผสม 2 : 2 : 1 : 2 หรือ 2 : 2 : 2 : 3 เกิดที่อุณหภูมิ 750.0°Cหรือ 749.5 °C ตามลำดับ เกิด  $\text{Bi}_2\text{O}_3 + 2\text{SrCO}_3 +$

$\text{CuO} \longrightarrow \text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+y} + 2\text{CO}_2$  และมวลสารลดลง พิกัดที่ 4. ของสารผสม 2 : 2 : 1 : 2 หรือ 2 : 2 : 2 : 3 เกิดที่อุณหภูมิ 831.9 °C หรือ 797.3 °C ตามลำดับ เกิดมี ปฏิกิริยา  $2\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+y} + \text{Ca}_2\text{CuO}_3 + \text{CuO} \longrightarrow 2\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$  พิกัดที่ 5. ของสารผสม 2 : 2 : 1 : 2 หรือ 2 : 2 : 2 : 3 เกิดที่อุณหภูมิ 833.0 °C หรือ 833.2 °C ตามลำดับ เกิดมีปฏิกิริยาสาร  $2\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCuO}_{6+y} + \text{Ca}_2\text{CuO}_3 + \text{CuO} \longrightarrow 2\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+y}$  จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นแสดงว่าพิกัดที่ 4 และ 5 ทำให้เกิดการก่อตัวของสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดในระบบ 2212 และ 2223

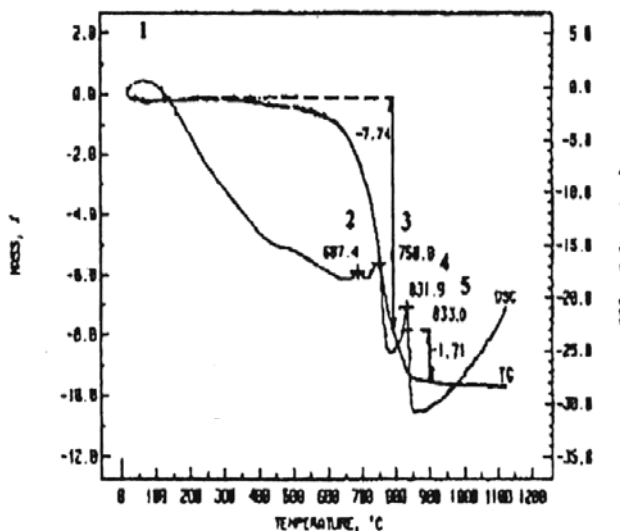


Figure 3. TGA and DSC thermograms of Bi 2212 sample ( $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{SrCO}_3$  +  $\text{CaCO}_3 + \text{CuO}$ ). Sample mass of 51.2 mg.

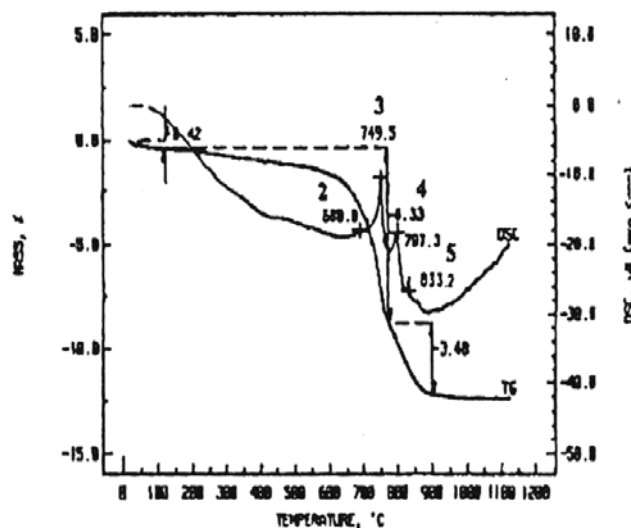


Figure 4. TGA and DSC thermograms of Bi 2223 sample

ขั้น 4. เปรียบเทียบสัดส่วนมวลสารเม็ดสารที่ผ่านการเผาที่ 800 °C และ 850 °C กับ 800 °C เท่านั้น แล้วเป็นสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด

เมื่อนำเม็ดสารที่แสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดในกลุ่มที่ 3 กับ 4 ที่ผ่านการเผาที่ 800 °C และ 850 °C ไปศึกษาสัดส่วนมวลสารภายในเม็ดสารโดยการนำไปเขียนกราฟได้เป็นกราฟรูปที่ 5 พบว่ามีสัดส่วนมวลสารภายในเม็ดสารที่แสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดแตกต่างออกไปจากเม็ดสารที่ผ่านการเผาที่ 800 °C เท่านั้นก็คือ เม็ดสารที่มีสาร  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  มากมีการหลอมเหลว (เม็ดที่ 14) พร้อมเกิดมีเม็ดสารที่แสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดเพิ่มขึ้น 2 เม็ด (เม็ดที่ 5, 10) เพราะมี  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CuO}$  ที่มากพอที่ทำให้เกิดสาร  $\text{Ca}_2\text{CuO}_3$  แล้วจึงเกิดการก่อตัวของสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด 2212, 2223 ที่อุณหภูมิ 797 °C ถึง 833.2 °C

ขั้น 5. ศึกษาภาพถ่าย SEM ของเม็ดสารที่ผ่านการเผาที่ 800 °C และ 850 °C แล้วเป็นสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด

เมื่อนำเม็ดสารนำเม็ดสารที่แสดงสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวดในกลุ่มที่ 3 กับ 4 ที่ผ่านการเผาที่ 800 °C และ 850 °C มาตัดสารเป็นชิ้นเล็กๆ ให้มีขนาดที่เหมาะสมกับที่วางสารตัวอย่างของกล้อง SEM ติดสารกับที่วางด้วยเทปกาวยาง

หน้าซึ่งเป็นฉนวนแล้วนำไปฉาบผิวสารตัวอย่างด้วยทอง นำไปถ่ายภาพที่ใช้กำลังขยาย 3,000 เท่าผลของภาพถ่ายที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6

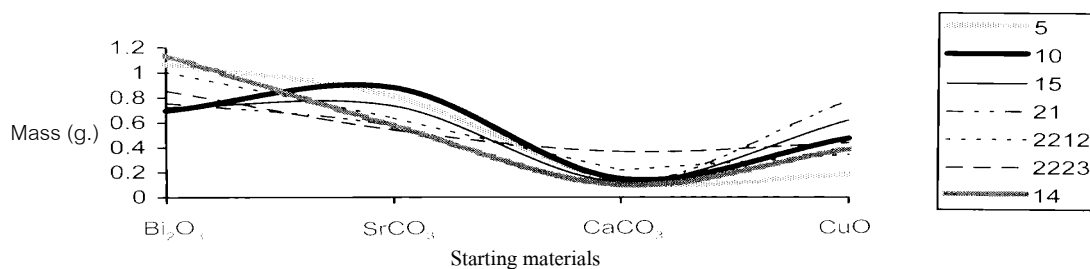


Figure 5. Comparisons of the mass of starting material in pellets number 5 , 10 , 15 , 21 with  
- Bi 2212 , Bi 2223 and pellet number 14 (after calcining at 800 °C for 24 hours showing  
- property of superconductivity but melting at 850 °C) .

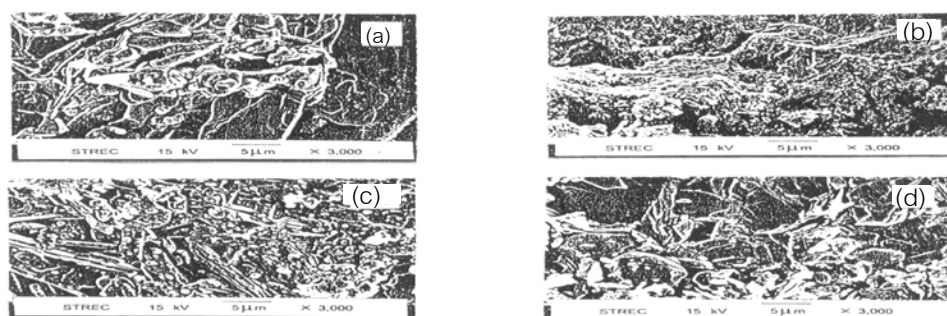


Figure 6. SEM pictures of pellet number 5 ( a ) , 10 ( b ) , 15 ( c ) and 21 ( d )

### สรุปผล

เม็ดสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดในแผนภาพ  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{CuO})_y(0.8\text{SrCO}_3+0.2\text{CaCO}_3)_z$  ที่ผ่านการเผาที่ 800°C เป็น เวลา 24 ชั่วโมงแล้วควนซ์ลงใน  $\text{N}_2$  เหลวแล้วนำไปเผาอีกที่ 850°C เป็น เวลา 24 ชั่วโมงแล้วควนซ์ลงใน  $\text{N}_2$  เหลวอีกนั้น มีปริมาณมากขึ้น มีมวลน้อยลง มีสีดำ และเนื้อสารมีลักษณะเป็นแผ่นบางเรียบอัดตัวซ้อน ๆ กัน เหมือนกับเม็ดสารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดในแผนภาพ  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x(\text{CuO})_y(0.8\text{SrCO}_3+0.2\text{CaCO}_3)_z$  ที่ผ่านการเผาที่ 800°C เป็น เวลา 24 ชั่วโมงแล้วควนซ์ลงใน  $\text{N}_2$  เหลว แต่มีค่า  $T_{C(\text{onset})}$  ,  $T_{C(\text{zero})}$  เจือปนไขสัดส่วนมวลสารที่แตกต่างกัน คือ มี  $T_{C(\text{onset})}$  อยู่ในช่วงระหว่าง 98 K-125 K มี  $T_{C(\text{zero})}$  อยู่ในช่วงระหว่าง 90 K ถึงต่ำกว่า 77 K ซึ่งมีช่วงกว้างมากขึ้น แสดงว่าพวกเฟส  $T_c$  ต่ำ ( พวก 2212 ) เกิดปฏิกิริยากับ  $\text{CaCO}_3$  ,  $\text{CuO}$  แล้วก่อให้เกิดเฟส  $T_c$  สูงขึ้นมามากขึ้น และมีเจือปนไขสัดส่วนมวลสารที่ทำให้สารเป็นตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดดังนี้  $x=1, 4 \leq y \leq 6, 3 \leq z \leq 5$  และเม็ดที่  $x=2, y=2, z=6$

### เอกสารอ้างอิง

1. Bednorz , J.G., Muller, K.A. 1986. Z. Phys.B.64 : 189
2. พูลศักดิ์ อินทวิ กำชัย ตริชัยศรีมี จ्ञานงค์ ฉายเชิด .2546. สภาพนำยิ่งยวดในแผนภาพควอเทอร์นารีของ



ระบบ  $(\text{Bi}_2\text{O}_3)_x (\text{CuO})_y (0.8\text{SrCO}_3 + 0.2\text{CaCO}_3)_z$  ที่มีค่า  $1 \leq x \leq 8, 1 \leq y \leq 8, 1 \leq z \leq 8$  ที่อุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$ . รอการตีพิมพ์ในการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 41 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้คณะผู้ดำเนินการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยศิลปากร จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย