



ผลของการเจือเหล็กที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของตัวนำยวดยิ่ง Y156

ที่สังเคราะห์โดยวิธีปฏิกิริยาสถานะของของแข็ง

Doping Effect of Fe on Some Physical Properties of Y156 Superconductor

Synthesized by Solid State Reaction

วรายุทธ บุญโยประการ^{1*} สิริ สิรินิลกุล¹ ธัญญพ นิลกำจร¹ กัญชพร ดันติวิชิตเวช¹ ศุภเดช สุจินพรัหม²
และ พงษ์แก้ว อุดมสมุทรหิรัญ¹

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ

เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เลขที่ 1 หมู่ 6 ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

*E-mail: bun.warayut@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการเจือ Fe_2O_3 ที่มีต่อตัวนำยวดยิ่ง $\text{YBa}_2(\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{O}_{24-y}$ เมื่อ x เท่ากับ 0.001 0.003 และ 0.005 ของน้ำหนักโดยมวล โดยใช้กระบวนการเตรียมด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของของแข็งโดยการเผาให้ความร้อนในบรรยากาศที่อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 900 องศาเซลเซียส ศึกษาลักษณะพื้นผิวและองค์ประกอบของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและศึกษาองค์ประกอบธาตุด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงานและอาศัยการวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 ขั้วในช่วงอุณหภูมิ 77 ถึง 120 เคลวิน โดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็น เพื่อวิเคราะห์หาอุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยวดยิ่งที่สังเคราะห์ขึ้น โดยพบว่าปริมาณการเจือ Fe_2O_3 มีผลต่อสภาพนำยวดยิ่ง ซึ่งตัวนำยวดยิ่ง Y156 เจือเหล็กที่มีค่าอุณหภูมิวิกฤตสูงสุดสามารถวัดค่าได้เท่ากับ 94.8 เคลวิน

คำสำคัญ: ตัวนำยวดยิ่งเจือเหล็ก ตัวนำยวดยิ่ง Y156 วิธีปฏิกิริยาสถานะของของแข็ง

Received: October 06, 2018

Revised: November 11, 2018

Accepted: December 27, 2018

Abstract

In this paper shown the result of Fe_2O_3 on $\text{YBa}_5(\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x)_6\text{O}_{24-y}$ superconductors, when x is 0.001, 0.003 and 0.005 Wt%, were prepared by solid-state reaction. The calcination and sintering temperature were 900°C . Both scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectrometer were used to analyze the characteristic properties of all samples. The electrical resistivity of the superconductor was measured between 77 to 120 K by four-point probe method and liquid nitrogen was used to cooling in the process. Researchers found the number of Fe_2O_3 in the superconductor affected to the superconducting state and the highest critical temperature was discovered at 94.8 K.

Keywords: Fe-doped Superconductor, Y156 Superconductor, Solid State Reaction

1. บทนำ

ตัวนำยวดยิ่งเป็นวัสดุที่มีความต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์ ความน่าสนใจของตัวนำยวดยิ่งจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลาย ๆ ด้าน เช่น ในด้านการขนส่งได้มีการใช้ตัวนำยวดยิ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้ามอเตอร์ความเร็วสูง โดยอาศัยหลักการยกตัวลอยเหนือรางเนื่องจากสนามแม่เหล็ก นอกจากนี้ตัวนำยวดยิ่งยังได้ถูกนำมาใช้ในการทำแม่เหล็กความเข้มสูง ซึ่งให้ประโยชน์มากในวงการแพทย์ โดยตัวนำยวดยิ่งเริ่มได้รับความสนใจอย่างมาก ในปี พ.ศ. 2530 วูและคณะ ได้ค้นพบตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-Cu-O ที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่าจุดเดือดของไนโตรเจนเหลวเป็นครั้งแรก ได้สารสูตรใหม่เป็น $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ หรือ Y123 [1] หลังจากการนั้นจึงมีนักวิจัยหลายกลุ่มพยายามเตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-Cu-O สูตรอื่นอีกมากมาย ในปี พ.ศ. 2553 อุดมสมุทรหิรัญและคณะ ได้เตรียมตัวนำยวดยิ่ง Y-Ba-Cu-O กลุ่มใหม่คือ Y5-6-11 Y7-9-16 Y5-8-13 Y7-11-18 Y156 Y3-8-11 และ Y13-20-33 ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของของแข็ง โดยใช้สารตั้งต้นคือ อิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) และคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) โดยพบความสัมพันธ์กัน

ของจำนวนพันธะของ Cu-O กับอะตอมของอิตเทรียม จำนวนระนาบของคอปเปอร์ออกไซด์กับจำนวนอะตอมของแบเรียม และผลรวมจำนวนอะตอมของอิตเทรียมและแบเรียมจะมีค่าเท่ากับอะตอมของคอปเปอร์ [2] ผลการวัดอุณหภูมิวิกฤตพบว่ามีความใกล้เคียงกับตัวนำยวดยิ่ง Y123 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเป็นตัวนำยวดยิ่งที่เกิดจากความพร่องออกซิเจนของโครงสร้าง และจากงานวิจัยของไชยนอก ที่ได้ทำการเตรียมตัวนำยวดยิ่ง Y134 Y145 และ Y156 จากปฏิกิริยาสถานะของของแข็งซึ่งสามารถสังเกตเห็นการเกิดสภาพนำยวดยิ่งและมีผลวิจัยที่สอดคล้องกันเกี่ยวกับการพร่องออกซิเจนในโครงสร้างรวมถึงปัจจัยอื่นร่วมด้วย โดยตัวนำยวดยิ่งดังกล่าววัดค่าอุณหภูมิวิกฤตได้เท่ากับ 93.91 และ 85 เคลวิน ตามลำดับ [3]

นอกจากการเตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y-Ba-Cu-O ขึ้นใหม่เพื่อให้อุณหภูมิวิกฤตสูงขึ้นแล้ว นักวิจัยยังได้มีการทดลองเตรียมตัวนำยวดยิ่งกลุ่มอื่นโดยการเจือสารอื่นเข้าไป เช่น เงิน เหล็ก ฟลูออรีน ไทเทเนียม เป็นต้น โดยในปี พ.ศ. 2549 เป็นครั้งแรกที่โฮโซโนะและคณะ สามารถเตรียมตัวนำยวดยิ่งที่มีเหล็กเป็นสารประกอบขึ้นมาได้สำเร็จ ซึ่งตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้คือสารประกอบ

LaOFeP และสารประกอบ LaOFeAs เจือด้วยฟลูออรีน วัดอุณหภูมิวิกฤตได้ประมาณ 4 เคลวิน และ 26 เคลวิน ตามลำดับ [4], [5] ตัวนำยวดยิ่งที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบมีสมบัติที่น่าสนใจเช่น การมีค่าสนามแม่เหล็กวิกฤตที่สองสูงจึงทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าวิกฤตสูงตามไปด้วย ทำให้ตัวนำยวดยิ่งในกลุ่มนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวาง หลังจากงานวิจัยนี้ถูกตีพิมพ์ได้มีนักวิจัยหลายท่านที่ให้ความสนใจนำเหล็กมาเป็นสารประกอบในการเตรียมตัวนำยวดยิ่งร่วมกับสารกลุ่มอื่น ๆ โดยเฉพาะตัวนำยวดยิ่งในกลุ่มของ YBaCuO ที่จัดอยู่ในประเภทตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูงจึงเป็นกลุ่มหนึ่งที่มีความน่าสนใจ ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาและพบรายงานการวิจัยว่าการเจือเหล็กในตัวนำยวดยิ่งในกลุ่มอิตเทรียมที่เตรียมภายใต้ความดันสูงได้แก่ $\text{Fe}_{0.5}\text{Cu}_{0.5}\text{Ba}_2\text{YCu}_2\text{O}_{7.41}$ มีสมบัติเป็นตัวนำยวดยิ่งโดยมีอุณหภูมิวิกฤตที่ 80 เคลวิน [6] ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะใช้เหล็กเป็นสารประกอบร่วมกับตัวนำยวดยิ่งในกลุ่มอิตเทรียมแบบอื่นเพื่อศึกษาผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

เนื่องจากตัวนำยวดยิ่งที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการทำวิจัย กลุ่มวิจัยที่มีองค์ความรู้ด้านตัวนำยวดยิ่ง YBaCuO ชนิดต่าง ๆ จึงมีความสนใจนำสารประกอบเหล็กออกไซด์ มาเจือในตัวนำยวดยิ่งกลุ่มนี้เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้น เนื่องจากตัวนำยวดยิ่ง Y156 เป็นตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม YBaCuO ที่มีอุณหภูมิวิกฤตต่ำเมื่อเทียบกับตัวนำยวดยิ่งชนิดอื่น เช่น Y123 Y134 Y145 จากที่กล่าวมาผู้วิจัยจะศึกษาผลของการเจือเหล็กที่มีต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของตัวนำยวดยิ่ง Y156 ที่สังเคราะห์โดยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับตัวนำยวดยิ่ง Y123 โดยศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ดังนี้ ศึกษา

อุณหภูมิวิกฤตด้วยการวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 ขั้ว (Four-point probe method) ศึกษาลักษณะสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และศึกษาปริมาณธาตุของตัวนำยวดยิ่งด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDX)

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้เตรียมตัวนำยวดยิ่ง $\text{YBa}_5(\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x)_6\text{O}_{24-y}$ โดย x คือน้ำหนักโดยมวลของ Fe ในโมเลกุลซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.001 0.003 และ 0.005 ส่วน y คือ ปริมาณพร่องออกซิเจนที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของตัวนำยวดยิ่ง ทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งของแข็ง โดยใช้สารตั้งต้นคือ อิตเทรียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) จากนั้นนำสารตั้งต้นที่ผสมกันตามสัดส่วนเข้าสู่กระบวนการให้ความร้อน ได้แก่ กระบวนการเผาผง (Calcination) กระบวนการเผาขึ้นรูป (Sintering) และกระบวนการอบอ่อน (Annealing) โดยในกระบวนการให้ความร้อนมีรายละเอียดดังนี้

เริ่มกระบวนการเผาผงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับ 900 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมินี้ไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิลดลงมาถึง 100 องศาเซลเซียส นำสารที่ได้จากกระบวนการเผาผงครั้งที่ 1 มาบดให้ละเอียด แล้วทำการเผาผงอีกครั้ง นำสารที่ผ่านกระบวนการเผาผงครั้งที่ 2 มาบดในครกอะลูมินา จนได้สารเป็นผงละเอียด แล้วนำไปอัดด้วยความดันสูงจนได้สารที่มีลักษณะเป็นแผ่นกลมสีดำ แล้วนำไปเข้าสู่กระบวนการเผาขึ้นรูป

เริ่มกระบวนการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับ 900 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเริ่มกระบวนการอบอ่อนโดยการลดอุณหภูมิลงด้วยอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส และทำการให้ออกซิเจนเข้าไปแลกเปลี่ยนกับโครงสร้างของสารตัวอย่างเป็นเวลาอย่างต่ำอีก 24 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงอีกครั้งด้วยอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

นำตัวนำยวดยิ่งที่สังเคราะห์ได้ไปวัดสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ วัดความต้านทานไฟฟ้าแบบ 4 ขั้ว เพื่อหาค่าอุณหภูมิวิกฤต โดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารหล่อเย็น ศึกษาพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-IT300 และวิเคราะห์ปริมาณธาตุโดยใช้เอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงานยี่ห้อ Oxford รุ่น X-MaxN20

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

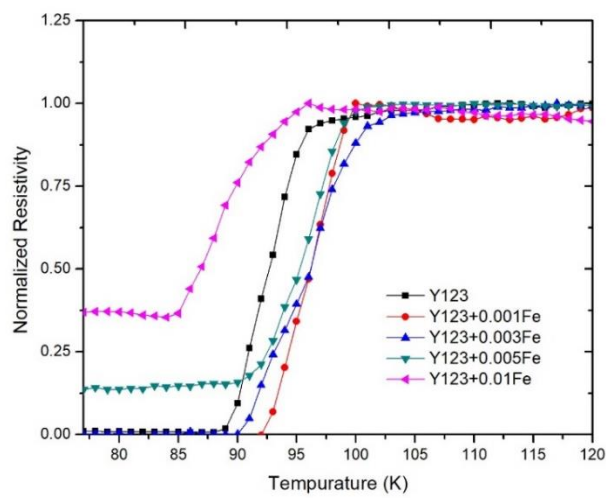
3.1 อุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยวดยิ่ง

ตัวนำยวดยิ่งที่สังเคราะห์ได้นั้นเมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิดังรูปที่ 1 และ 2 พบว่าอุณหภูมิวิกฤตออกเซต (T_c onset) มีค่าลดลงตามปริมาณเหล็กที่เจือลงไปในสารเตรียมสารตั้งต้น โดยการเจือ Fe_2O_3 จะส่งผลต่อสภาพนำยวดยิ่ง (Superconductivity) ที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิวิกฤตซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้สารเกิดการเปลี่ยนสถานะจากตัวนำปกติเป็นตัวนำยวดยิ่ง สอดคล้องกับผลการศึกษาของชาวและคณะพบว่าปริมาณของเหล็กที่เจือในตัวนำยวดยิ่งมีผลต่อ

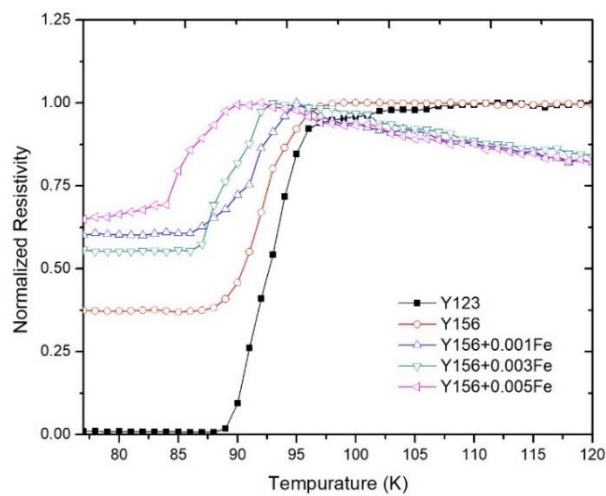
การเปลี่ยนแปลงสภาพนำยวดยิ่ง (Superconducting transition) ทำให้ตัวนำยวดยิ่งในกลุ่มอิตเทรียมมีค่าอุณหภูมิวิกฤตค่อย ๆ ลดลง [6] ในการศึกษาในตัวนำยวดยิ่ง Y156 ที่เจือเหล็กลงไปเมื่อ x เท่ากับ 0.001 มีค่าอุณหภูมิวิกฤตออกเซตสูงสุดเท่ากับ 94.5 เคลวิน และมีค่าอุณหภูมิวิกฤตออฟเซตเท่ากับ 87.1 เคลวิน ดังตารางที่ 1 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวนำยวดยิ่ง Y123 และ Y156 ที่ไม่เจือเหล็กลงไปจะมีค่าอุณหภูมิวิกฤตต่ำกว่า

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเหล็กที่เจือลงไปในตัวนำยวดยิ่ง Y156 โดยพิจารณาจากรูปที่ 3 แนวโน้มของผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเจือเหล็กลงไปในตัวนำยวดยิ่ง Y123 จนถึงปริมาณค่าหนึ่งจะแสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิวิกฤตในลักษณะเช่นเดียวกัน จากส่วนหนึ่งของงานวิจัยของ หลิวและคณะ [7] ที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้พบว่าค่าของอุณหภูมิวิกฤตจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเหล็กที่ถูกเจือลงไปในตัวนำยวดยิ่ง ซึ่งตัวนำยวดยิ่งบางตัวอย่างที่ถูกเจือเหล็กลงไป ปริมาณมากมีอุณหภูมิวิกฤตลดลงจนถึงศูนย์เคลวิน

นอกจากนี้ผู้วิจัยพบการศึกษาเกี่ยวกับผลของการเจือโลหะชนิดอื่นได้แก่ Cr_2O_3 , Co_3O_4 และ Mn_3O_4 ที่จัดอยู่ในประเภทโลหะทรานซิชัน เช่นเดียวกับ Fe_2O_3 ลงในตัวนำยวดยิ่ง Y123 ก็พบว่าปริมาณการเจือโลหะลงไปทำให้อุณหภูมิวิกฤตที่วัดได้มีค่าลดลงและอยู่ในช่วงต่ำกว่า 77 เคลวิน [8] หรือต่ำกว่าจุดเดือดของไนโตรเจนเหลว และยังพบรายงานการวิจัยที่ใกล้เคียงกันนี้โดยการเจือโลหะเงินลงในตัวนำยวดยิ่ง Y358 ซึ่งพบว่าตัวนำยวดยิ่งนี้มีค่าอุณหภูมิวิกฤตเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 95 ถึง 97 เคลวิน [9] แต่จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารเจือเกินครึ่งหนึ่งของตัวอย่างที่มีการเจือปริมาณมากที่สุด



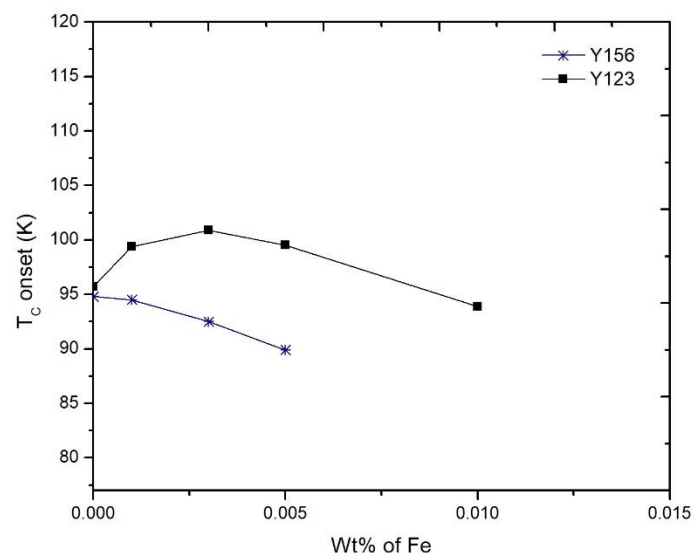
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของสภาพต้านทานไฟฟ้าอุณหภูมิไอซ์กับอุณหภูมิของตัวนำยวดยิ่ง Y123



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของสภาพต้านทานไฟฟ้าอุณหภูมิไอซ์กับอุณหภูมิของตัวนำยวดยิ่ง Y156

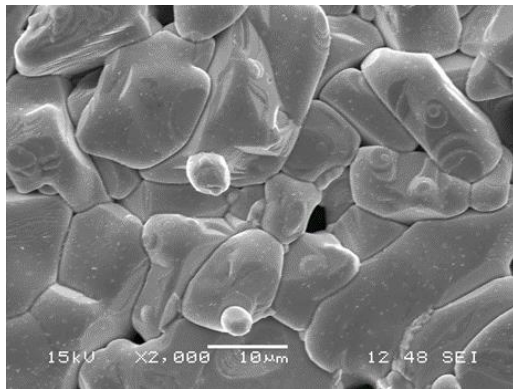
ตารางที่ 1 อุณหภูมิวิกฤตของตัวนำยิ่งยวดซึ่งที่พบในการวิจัย

ชนิดของสารตัวอย่าง	T_c offset (เคลวิน)	T_c onset (เคลวิน)	ΔT_c (เคลวิน)
Y123	89.4	95.7	6.3
Y123 + 0.001 Fe	92.5	99.4	6.9
Y123 + 0.003 Fe	90.5	100.9	10.4
Y123 + 0.005 Fe	91.8	99.5	7.7
Y123 + 0.01 Fe	84.4	93.9	9.5
Y156	89.4	94.8	5.4
Y156 + 0.001 Fe	87.1	94.5	7.4
Y156 + 0.003 Fe	86.4	92.5	6.1
Y156 + 0.005 Fe	81.7	89.9	8.2

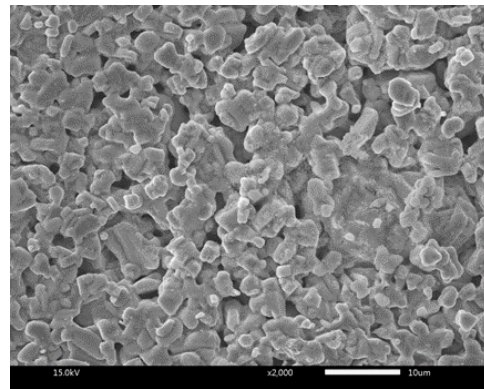


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิวิกฤต onset และปริมาณของโลหะเหล็กในตัวนำยิ่งยวด

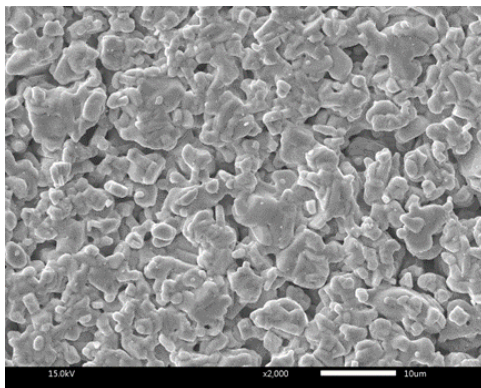
3.2 ลักษณะพื้นผิวของตัวนำยวดยิ่ง



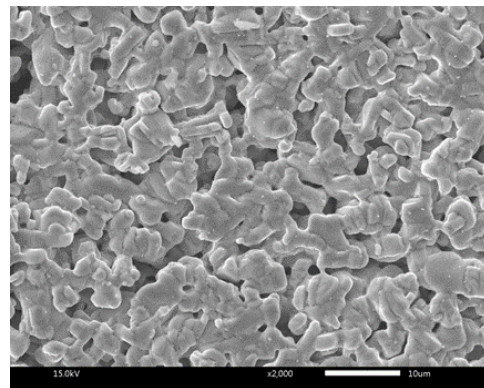
(ก)



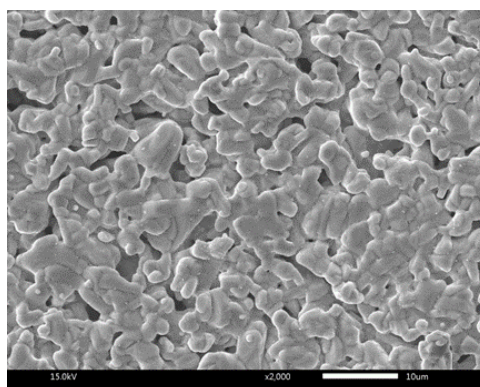
(ข)



(ค)

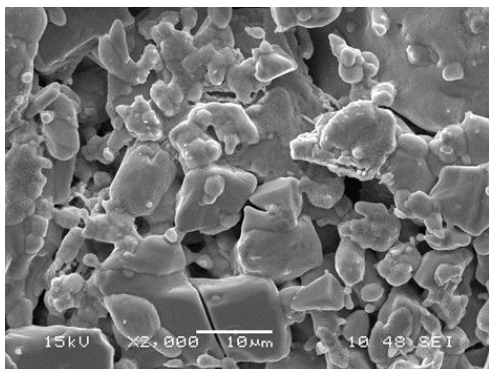


(ง)

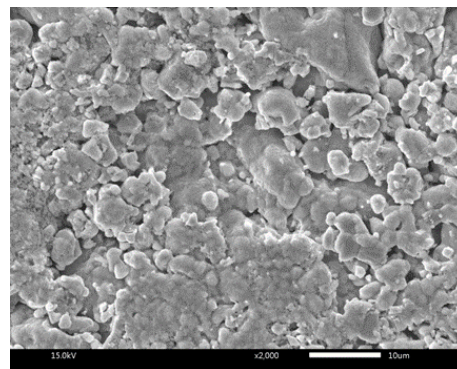


(จ)

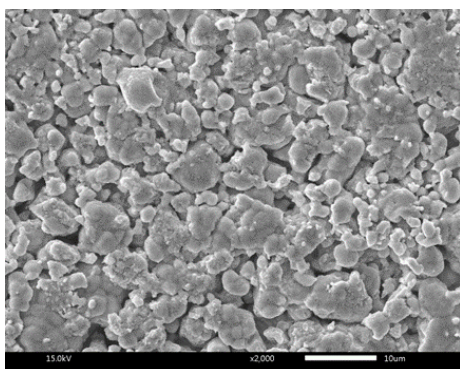
รูปที่ 4 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 2000 เท่า (ก) Y123 (ข) Y123 + 0.001 Fe (ค) Y123 + 0.003 Fe (ง) Y123 + 0.005 Fe และ (จ) Y123 + 0.01 Fe



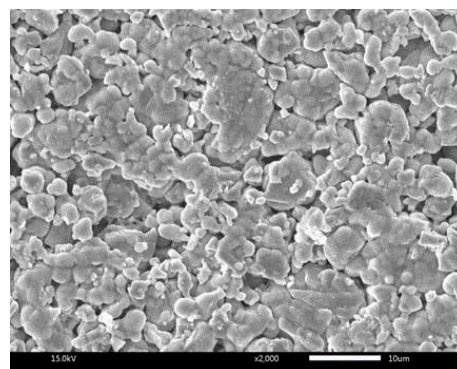
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 5 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 2000 เท่า (ก) Y156 (ข) Y156 + 0.001 Fe (ค) Y156 + 0.003 Fe และ (ง) Y156 + 0.005 Fe

ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวนำยวดยิ่งที่สังเคราะห์ขึ้นดังที่แสดงในรูปที่ 4 และ 5 พบว่าตัวนำยวดยิ่ง Y123 และ Y156 ที่เจือเหล็กลงไปมีขนาดเกรนใกล้เคียงกัน โดยขนาดของเกรนอยู่ในช่วงประมาณ 3 ถึง 6 ไมโครเมตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่าย SEM ของตัวนำยวดยิ่ง Y123 และ Y156 ที่ไม่ได้เจือเหล็ก ซึ่งถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6380LV ที่กำลังขยายเท่ากันพบว่า ตัวนำยวดยิ่งที่เจือเหล็กจะมีขนาดเกรนเล็กลง โดยพบว่าตัวนำยวดยิ่งประเภท YBaCuO ที่มีการเจือโลหะลงไปบริเวณขอบของเกรนที่มีขนาดเล็กจะเกิดการเกิด

ช่องว่าง [10] ทำให้มีรูพรุนเกิดขึ้นบนพื้นผิว ซึ่งจะส่งผลต่อการนำไฟฟ้าของตัวนำยวดยิ่ง สังเกตได้จากสภาพต้านทานไฟฟ้าในออร์มอลโลซิสของตัวนำยวดยิ่งในรูปที่ 2 จากการศึกษาพบว่าขนาดของเกรนที่ลดลงเป็นผลมาจากการเกิดโครงสร้างกันระหว่าง Cu-Fe-O ซึ่งมีงานวิจัยที่ยืนยันว่า Fe จะเกิดการแทนที่ในโครงสร้างของ Cu-O [7] ทำให้เกิดเฟสใหม่ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากลักษณะของอนุภาคและรูปร่างที่เกิดขึ้น โดยเฟสของ CuO จะมีรูปร่างแบบแท่งและเฟสของ CuFe_2O_4 จะมีรูปร่างแบบแผ่น [11]

3.3 องค์ประกอบธาตุของตัวนำยวดยิ่ง
จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโดยใช้เครื่อง
วิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน

พบว่า องค์ประกอบธาตุของตัวนำยวดยิ่งที่
สังเคราะห์ได้ตรงกับสารตั้งต้นที่ใช้ซึ่งแสดงได้ดัง
ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณ Atomic% เฉลี่ย ของธาตุองค์ประกอบที่พบในสารตัวอย่าง

สารตัวอย่าง	ปริมาณ Atomic% เฉลี่ย				
	Y	Ba	Cu	Fe	O
Y123	7.47	14.55	24.14	-	53.84
Y123 + 0.001Fe	7.14	16.55	22.21	0.22	53.88
Y123 + 0.003Fe	7.32	16.65	22.67	0.21	53.15
Y123 + 0.005Fe	7.10	15.72	22.87	0.18	54.13
Y123 + 0.010Fe	7.10	15.67	22.85	0.47	53.90
Y156	3.60	17.36	21.76	-	57.27
Y156 + 0.001Fe	2.88	17.36	15.78	0.12	63.85
Y156 + 0.003Fe	2.97	16.55	17.16	0.12	63.20
Y156 + 0.005Fe	3.35	17.10	18.08	0.18	61.29

4. สรุปผลการวิจัย

การเจือ Fe_2O_3 มีผลทำให้อุณหภูมิวิกฤต
ของตัวนำยวดยิ่งประเภท YBaCuO ที่สังเคราะห์
ด้วยปฏิกิริยาสถานะของของแข็งเกิดการ
เปลี่ยนแปลง โดยที่ปัจจัยสำคัญในการเกิดเหตุการณ์
นี้คือปริมาณของเหล็กที่เจือซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรง
กับปริมาณอะตอมที่อยู่ในโครงสร้างของสาร ผลที่
เกิดขึ้นแสดงให้เห็นจากการลดลงของอุณหภูมิวิกฤต
ที่วิเคราะห์ได้จากการศึกษา นอกจากนี้ปริมาณของ
การเจือเหล็กยังส่งผลต่อสภาพต้านทานไฟฟ้าและ
ลักษณะทางโครงสร้างของตัวนำยวดยิ่งซึ่งทำให้เกิด
สมบัติทางฟิสิกส์แตกต่างไปจากเดิม

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wu M.K., Ashburn J.R. and Torng C.J.
Superconductivity at 93 K in a New Mixed-
Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at
Ambient Pressure. *Phy. Rev. Lett.* 1987. 58
: 908-910.
- [2] Udomsamuthirun P., Kruachong T.,
Nilkamjon T. and Ratreng S. The New
Superconductors of YBaCuO Materials. *J.
Supercond Nov. Magn.* 2010. 23 : 1377-
1380.

- [3] Chainok P., Khuntak T., Sujinnapram S., Tiyasri S., Wongphakdee W., Kruaehong T., Nilkamjon T., Ratreng S. and Udomsamuthirun P. Some properties of $\text{YBa}_m\text{Cu}_{1+m}\text{O}_y$ ($m = 2, 3, 4, 5$) superconductors. *Int. J. Mod. Phys. B*. 2015. 29(9) : 1-14
- [4] Kamihara Y., Hiramatsu H., Hirano M., Kawamura R., Yanagi H., Kamiya T. and Hosono H. Iron-Based Layered Superconductor: LaOFeP . *J. Am. Chem. Soc.* 2006. 128 : 10012-10013.
- [5] Kamihara Y., Watanabe T., Hirano M. and Hosono H. Iron-Based Layered Superconductor $\text{La}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$ with $T_c = 26$ K. *J. Am. Chem. Soc.* 2008. 130 : 3296-3297.
- [6] Zhang H., Zhao Y., Wang W., Pan M. and Lei M. Fe-doped epitaxial YBCO films prepared by chemical solution deposition. *Journal of Modern Transportation*. 2014. 22(1) : 45-49.
- [7] Liu Y.H., Che G.C., Li K.Q. and Zhao Z.X. Superconductivity and Mössbauer effect of $\text{Fe}_x\text{Cu}_{1-x}\text{Ba}_2\text{YCu}_2\text{O}_{7+y}$ superconductors synthesized by high pressure. *Phys. Rev. B*. 2005. 71.
- [8] Salama A.H., El-Hofy M., Rammah Y.S. and Elkhatip M. The influence of magnetic nano metal oxides doping on structure and electrical properties of YBCO superconductor. *Adv. Nat. Sci: Nanosci. Nanotechnol.* 2016. 7 : 1-8
- [9] Metin T. and Tepe M. The Effect of Ag Doping on the Superconducting Properties of $\text{Y}_3\text{Ba}_5\text{Cu}_{8-x}\text{Ag}_x\text{O}_{18}\delta$ Ceramics. *J. Supercond Nov. Magn.* 2016. 30: 1083-1087.
- [10] Sahoo M., and Behera D. Effect of Ti Doping on Structural and Superconducting Property of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ High T_c Superconductor. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*. 2014. 27(1) : 83-93.
- [11] Pual Joseph D., Venkateswaran C. and Selva Vennila R. Critical Analysis on the Structural and Magnetic Properties of Bulk and Nanocrystalline Cu-Fe-O. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2010. 1-14.