

การเตรียมและการศึกษาคุณลักษณะของตัวนำยวดยิ่ง Y123 โดยใช้การตรวจวัดปรากฏการณ์ฮอลล์

Preparation and Characterization of Y123 Superconductor using Hall Effect
Measurement

อรุณี ศรีนาค วัชรกร ศรีคำ* และฐิติพงษ์ เครือหงส์

Arune Srinak, Watcharakorn Srikom and Thitipong Kruaehong

หลักสูตรฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Curriculum in Physics, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Suratthani

*Corresponding author e-mail: watcharakorn.sri@sru.ac.th

(Received: November 27, 2020, Revised: November 19, 2021, Accepted: December 7, 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมสารตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง โดยกระบวนการเผาแบบผงและกระบวนการเผาแบบขึ้นรูป ได้สารที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมสีดำ มีผลึกและประกายวาว มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4828 เซนติเมตร ความหนา 0.372 เซนติเมตร และมีความหนาแน่น 5.78 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ส่องดูลักษณะพื้นผิวก่อนขัดและหลังขัด พบว่าลักษณะพื้นผิวที่ได้ก่อนขัด มีผลึกที่ไม่ชัดเจน และลักษณะพื้นผิวหลังขัด เห็นผลึกที่ชัดเจนมากขึ้น และมีประกายวาวอย่างเห็นได้ชัด จากนั้น นำไปวัดด้วยวิธีการวัดแบบปรากฏการณ์ฮอลล์ ที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้า สภาพต้านทานที่ได้มีค่าสูงสุด 36.63 โอห์มเซนติเมตร สภาพการนำไฟฟ้าที่ได้สูงสุด 0.39 ซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสารตัวอย่างมีค่าสูงสุดที่ 611.01 ตารางเซนติเมตรต่อโวลต์วินาที

คำสำคัญ: ปรากฏการณ์ฮอลล์ ตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ปฏิกิริยาสถานะของแข็ง**ABSTRACT**

In this research, group Y123 superconductors were prepared by the solid-state reaction method by using powder sintering process and forming sintering process. A substance became a black ball with crystals and sparkles. The structures of the black ball have 2.4828 cm in diameter with a thickness of 0.372 cm and a density of 5.78 g/cm³. Next, we used the optical microscope to observe the surface before and after polishing. Before polishing, the surface characteristics were not clear crystals. After polishing, the surface characteristics were more clear crystals and shine. A black ball was measured by the Hall effect measurement method at -196 ° C to analysis of the electrical properties. The highest resistivity was 36.63 Ω -cm. The highest conductivity was 0.393 Ω -cm. Mobility maximum value of a black ball was 611.017 cm²/Vs.

Keywords: Hall effect, Y123 superconductors, solid state reaction**บทนำ**

ตัวนำยวดยิ่งเป็นวัสดุที่มีความต้านทานเป็นศูนย์จึงไม่เกิดการสูญเสียพลังงาน อุปกรณ์ที่ทำมาจากตัวนำยวดยิ่งนั้นสามารถให้ประสิทธิภาพได้สูงสุด เช่น สายไฟที่ทำจากตัวนำยวดยิ่งจะไม่มีการสูญเสียพลังงาน ปัจจุบันมีการนำตัวนำยวดยิ่งมาประยุกต์ทำแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้สนามแม่เหล็กได้สูงสุดซึ่งให้ประโยชน์มากในวงการแพทย์และเนื่องจากตัวนำยวดยิ่งมีสมบัติ

ลอยตัวเหนือแม่เหล็กได้ จึงมีการนำมาประยุกต์ทำรถไฟที่วิ่งเร็วที่สุดในโลก แต่เนื่องจากปัญหาการควบคุมอุณหภูมิของการเป็นสภาพนำยวดยิ่งทำให้ตัวนำยวดยิ่งยังไม่สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางจึงจำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาต่อไป [1]

ตัวนำยวดยิ่งถูกค้นพบโดย คาร์เมอร์ลิงค์ ออนเนส (Heike Kamerlingh Onnes: 1853-1926) ในปี ค.ศ. 1911 ซึ่งถ้านับเวลาจนถึงปัจจุบันการค้นพบนี้มีอายุมากกว่า 100 ปี ตัวนำยวดยิ่งมีสมบัติที่สำคัญอยู่หลายประการ เช่น ความต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์ ความไม่ต่อเนื่องของเส้นแรงแม่เหล็ก ปรากฏการณ์ไมสเนอร์ (Meissner effect) การกระโดดของค่าความจุความร้อน และปรากฏการณ์โจเซฟสัน (Josephson effect) แต่สมบัติที่โดดเด่นและรู้จักกันอย่างกว้างขวางมี 2 ประการคือการมีความต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์และการเกิดปรากฏการณ์การยกตัวด้วยแม่เหล็กได้หรือที่เรียกว่าปรากฏการณ์ไมสเนอร์ ความน่าสนใจของตัวนำยวดยิ่งอยู่ที่การนำมาประยุกต์ใช้งานที่สามารถนำมาทำอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงได้ เพราะมีความต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์ แต่อย่างไรก็ดี ตัวนำยวดยิ่งก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากจะต้องมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต ซึ่งมีค่าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิห้อง การพัฒนาตัวนำยวดยิ่งจึงมีประเด็นหลักอยู่ที่การค้นคว้าหาตัวนำยวดยิ่งที่สามารถนำมาใช้ที่อุณหภูมิห้องได้ โดยในปัจจุบันเรียกตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 35 เคลวิน ว่า ตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิต่ำหรือตัวนำยวดยิ่งแบบดั้งเดิม และตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 35 เคลวิน เรียกว่า ตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง ในทางปฏิบัติตัวนำยวดยิ่งชนิดนี้มีความยุ่งยากในการใช้งานหรือการทดลองมาก เนื่องจากต้องใช้ฮีเลียมเหลวเป็นสารในการลดอุณหภูมิและในการใช้งานจะต้องใช้การกักเก็บความร้อนเป็นอย่างดี เพื่อรักษาอุณหภูมิต่ำ ๆ นี้ไว้ อีกประการหนึ่ง ฮีเลียมเหลวเป็นสารที่ผลิตยากและมีราคาแพง [2, 5] ในปี ค.ศ. 1987 กลุ่มวิจัยของซูและคณะ [3] ได้ใส่ยททริเทียม (Yttrium) แทนที่ในกลุ่มแลนทานัม (Lanthanum) ทำให้อุณหภูมิวิกฤตเพิ่มขึ้นจากเดิม 35 เคลวิน เป็น 93 เคลวิน เรียกตัวนำยวดยิ่งที่มียททริเทียมเป็นองค์ประกอบนี้ว่า Y123 (YBa_2Cu_{7-x}) ซึ่งการค้นพบตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ทำให้ได้ตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่าจุดเดือดของไนโตรเจนเหลวเป็นครั้งแรก นำมาซึ่งความแตกตื่นในวงการฟิสิกส์ เนื่องจากไนโตรเจนที่ใช้เป็นสารหล่อเย็นในการลดอุณหภูมิมิมีราคาแพง หลังจากนั้น ได้มีการศึกษาคุณลักษณะของตัวนำยวดยิ่งกลุ่มนี้จากกลุ่มงานวิจัยต่าง ๆ อย่างแพร่หลายและต่อเนื่องทั่วโลกจนถึงปัจจุบัน [7-8, 10-11]

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะเพื่อศึกษากระบวนการเตรียมสารตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีปฏิบัติของของแข็งเปรียบเทียบกับคุณลักษณะพื้นผิวของสารตัวอย่างก่อนการขัดและหลังการขัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 และศึกษาคุณลักษณะของ Y123 โดยใช้วิธีการวัดแบบปรากฏการณ์ฮอลล์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมสารตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีปฏิบัติของของแข็ง
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะพื้นผิวของสารตัวอย่างก่อนการขัดและหลังการขัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123
3. เพื่อศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า สภาพต้านทานไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้า และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนของ Y123 โดยใช้วิธีการวัดแบบปรากฏการณ์ฮอลล์

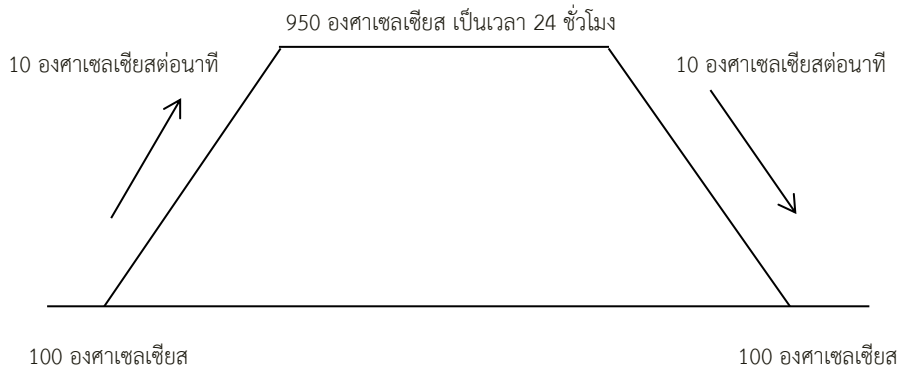
วิธีการวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่าง

1.1 เตรียมสารตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีปฏิบัติของของแข็ง โดยมีสารตั้งต้นประกอบด้วย ยททริเทียมออกไซด์ (Y_2O_3) แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) และ คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) โดยการตุลสมการทางเคมี เพื่อหาค่าปริมาณสารที่ใช้เพื่อมาผสมให้เป็นตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 เมื่อเราทราบปริมาณสารตั้งต้นแล้ว นำสารทั้ง 3 ตัว มาชั่งตามปริมาณที่ได้

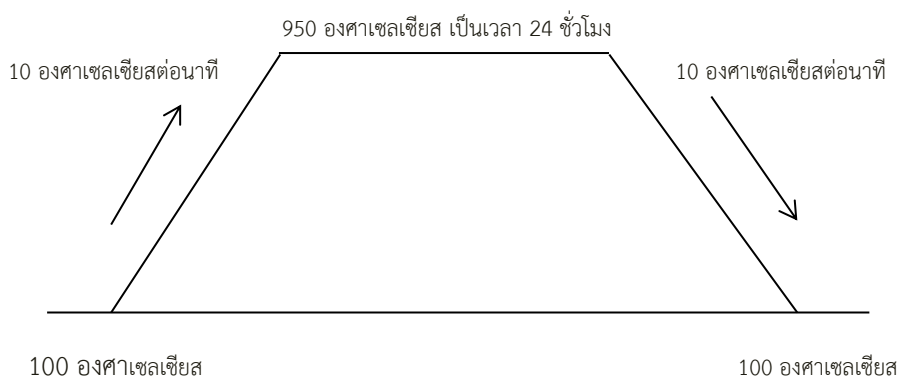
จากการคำนวณแล้วมาผสมให้เข้ากัน นำสารตั้งต้นที่ได้จากการผสมสารนำมาบดให้ละเอียดในครกอลูมินาเป็นสารเนื้อเดียวกัน แล้วนำสารที่ได้ใส่ถ้วยอลูมินา

1.2 นำสารเข้าเตาเผา ซึ่งเป็นกระบวนการเผาแบบผง โดยเริ่มเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งถึง 950 องศาเซลเซียส เผาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ลดอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิลดเหลือ 100 องศาเซลเซียส เป็นกระบวนการเผาแบบผงครั้งที่ 1 ดังภาพที่ 1 สารที่ได้จากกระบวนการเผาแบบผงครั้งที่ 1 มีลักษณะเป็นสีดำ



ภาพที่ 1 กระบวนการเผาสารตัวอย่างครั้งที่ 1

1.3 บดให้เป็นผงละเอียดด้วยครกอลูมินา นำสารที่ได้จากกระบวนการเผาแบบผงครั้งที่ 1 ใส่ในถ้วยอลูมินา เพื่อนำไปเผาด้วยเตาเผาตามกระบวนการเผาแบบผงครั้งที่ 2 โดยเริ่มเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งถึง 950 องศาเซลเซียส เผาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ลดอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิลดเหลือ 100 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 2 จากนั้น นำสารที่ได้จากกระบวนการเผาแบบผงครั้งที่ 2 ไปบดให้ละเอียดอีกครั้ง จนสารที่ได้มีลักษณะเป็นผงคล้ายผงแป้งสีดำและนำผงที่ได้ไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 15 กรัม



ภาพที่ 2 กระบวนการเผาสารตัวอย่างครั้งที่ 2

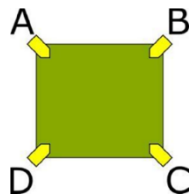
1.4 นำสารใส่แม่พิมพ์ โดยใช้แม่พิมพ์ 30 mm เพื่ออัดขึ้นรูปโดยเครื่องอัดไฮดรอลิกด้วยแรงดัน 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที จนได้สารที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมสีดำประกายวาว นำสารที่ขึ้นรูปเข้าเตาเผา เพื่อเริ่มกระบวนการเผาแบบขึ้นรูป โดยเริ่มเผาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

จนกระทั่งถึง 950 องศาเซลเซียส เผาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ลดอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิลดเหลือ 100 องศาเซลเซียส เมื่อเสร็จกระบวนการเผาแบบขึ้นรูป จึงได้สารที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมสีดำ

2. วิธีการทดสอบตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123

2.1 นำสารตัวอย่างเข้ากระบวนการขีด โดยการขีดใช้กระดาษทรายเบอร์ 4000 ด้วยความถี่ 500 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที สาเหตุในการขีดด้วยกระดาษทราย เพราะต้องการให้สังเกตเห็นระนาบของสารตัวอย่างได้ชัดเจนขึ้น เพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงด้วยกำลังขยาย 50 เท่า, 100 เท่า, 200 เท่า, 500 เท่า และ 1000 เท่า เมื่อวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะเห็นระนาบของสารตัวอย่างเป็นประกายวาว

2.2 นำสารตัวอย่างสอดเข้าเครื่องปรากฏการณ์ฮอลล์และใส่ไนโตรเจนเหลวในถังเล็ก โดยให้อุณหภูมิคงที่ -196 องศาเซลเซียส โดยใช้วิธีการวัดแบบปรากฏการณ์ฮอลล์ เพื่อศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า สภาพต้านทานไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้า และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนของตัวนำยวดยิ่ง Y123 เป็นการตรวจวัดแบบ Van-der-Pauw สารตัวอย่างสามารถมีรูปร่างได้เกือบทุกรูปแบบ แต่ควรเชื่อมต่อที่บริเวณขอบที่มุมทั้งสี่ (A, B, C และ D) ดังภาพที่ 3 ในการคำนวณความต้านทานของสารตัวอย่าง กระแสไฟฟ้าถูกจ่ายระหว่าง สองหน้าสัมผัสที่ขอบด้านหนึ่ง และตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณขอบอีกด้านหนึ่งระหว่างสองหน้าสัมผัสที่เหลือ ความต้านทานสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรของ Van-der-Pauw เพื่อผลการตรวจวัดที่ดี พื้นผิวของสารตัวอย่างควรสม่ำเสมอและมีความหนาเท่ากัน นอกจากนี้ ยังสามารถกำหนดรูปทรงเรขาคณิตของสารตัวอย่างได้อย่างแม่นยำโดยใช้หน้าฉากเมทาลิกหรือฟอยล์เพิ่มเติม [4]



ภาพที่ 3 การกำหนดค่า Van-der-Pauw สำหรับการวัดค่าความต้านทานและค่าสัมประสิทธิ์ฮอลล์ของสารตัวอย่าง

ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการวิจัยเพื่อศึกษากระบวนการเตรียมสารตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีปฏิบัติกิจวิธานของแข็ง ได้เปรียบเทียบคุณลักษณะพื้นผิวของสารตัวอย่างก่อนการขีดและหลังการขีดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 และได้ศึกษาการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 รวมถึง การทดสอบสภาพต้านทานไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้า และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสารตัวอย่างตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีการวัดแบบปรากฏการณ์ฮอลล์โดยมีหัวข้อนำเสนอ ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพของตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123

จากตารางที่ 1 ตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 พบว่า สารมีมวลก่อนการเผา 15.0024 กรัม และมวลหลังการเผา 14.3748 กรัม เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้มวลของสารหายไป 0.6276 กรัม มีสาเหตุมาจากการผสมสารการบดสาร สารตัวอย่างอาจติดในถ้วยอลูมินาและในขณะที่เผาสารตัวอย่างในเตาเผาแบบท่อที่อุณหภูมิสูง อาจทำให้มวลของสารหายไป

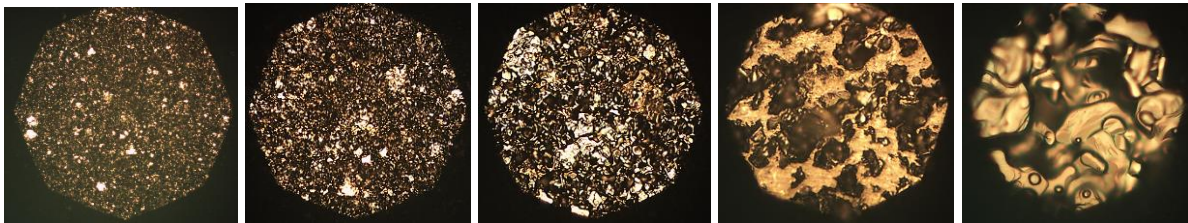
2. การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

นำสารตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมตัวนำยวดยิ่งด้วยกระบวนการเผาแบบผงและกระบวนการเผาแบบขึ้นรูป แล้วจึง

นำมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงในช่วงที่ตามองเห็น คือ 380-750 นาโนเมตร [6] เพื่อศึกษาลักษณะของพื้นผิวของสารตัวอย่างด้วยกำลังขยาย 50 เท่า 100 เท่า 200 เท่า 500 เท่า และ 1000 เท่า โดยในภาพที่ 4 ได้แสดงภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวก่อนการขีด และภาพที่ 5 ได้แสดงภาพถ่ายหลังการขีด

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของสารตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ที่ผ่านกระบวนการเผาแบบขึ้นรูป

ตัวนำยวดยิ่ง	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	ความหนา (เซนติเมตร)	มวลก่อนการเผา (กรัม)	มวลหลังการเผา (กรัม)	มวลที่หายไป (กรัม)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร)
Y123	2.9185	0.3720	15.0024	14.3748	0.6276	5.7800



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

ภาพที่ 4 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวก่อนการขีดของตัวนำยวดยิ่ง Y123 (ก) 50 เท่า (ข) 100 เท่า (ค) 200 เท่า (ง) 500 เท่า (จ) 1000 เท่า



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

ภาพที่ 5 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวหลังการขีดของตัวนำยวดยิ่ง Y123 (ก) 50 เท่า (ข) 100 เท่า (ค) 200 เท่า (ง) 500 เท่า (จ) 1000 เท่า

3. เปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะพื้นผิวก่อนการขีดและหลังการขีดจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

จากผลการทดลองศึกษาลักษณะพื้นผิวก่อนการขีดและหลังการขีดของตัวนำยวดยิ่ง Y123 พบว่า ลักษณะพื้นผิวที่ได้จากกล้องมีลักษณะแตกต่างกัน ดังนี้ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงในช่วงที่ตามองเห็น 380-750 นาโนเมตร ประกอบด้วยเลนส์ 2 ชนิด คือ เลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ใกล้ตา โดยใช้แสงผ่านวัตถุแล้วขึ้นมาที่เลนส์จนเห็นภาพ โดยชนิดของเลนส์เป็นเลนส์แก้ว ลักษณะพื้นผิวก่อนการขีดของสารตัวอย่างพื้นผิวมีลักษณะเป็นสีดำ ก้อนแข็ง มีผลึกที่เป็นประกายวาว ๆ ผลึกไม่อยู่ในระนาบเดียวกัน พื้นผิวขรุขระ สารไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 4) อย่างไรก็ตาม พื้นผิวหลังการขีดของสารตัวอย่างมีลักษณะเป็นก้อนสี

ค่า ก้อนแข็ง ผลึกที่ชัดเจนขึ้น และเป็นประกายวาวชัดเจนขึ้น ผลึกอยู่ในระนาบเดียวกัน พื้นผิวขรุขระน้อย เรียบขึ้นกว่าเดิม สารไม่เป็นเนื้อเดียวกันเท่าที่ควร (ภาพที่ 5)

4. การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของตัวนำวยดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีการวัดแบบปรากฏการณ์ฮอลล์

นำสารตัวอย่างตัวนำวยดยิ่งกลุ่ม Y123 ใส่ในที่วางสารตัวอย่าง (sample holder) โดยขั้วของการให้กระแสไฟฟ้า ในการทดสอบโดยใช้วิธี Van de Pauw นั้น คือ ขั้ว AB และในการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว CD ของการวัดสมบัติทางไฟฟ้านั้น ให้ ไฟฟ้ากระแสตรงที่แตกต่างกัน 10 ค่า คือ 10 mA, 20 mA, 30 mA, 40 mA, 50 mA, 60 mA, 70 mA, 80 mA, 90 mA และ 100 mA ตามลำดับ ซึ่งให้อุณหภูมิคงที่ -196 องศาเซลเซียส ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของตัวนำวยดยิ่งกลุ่ม Y123

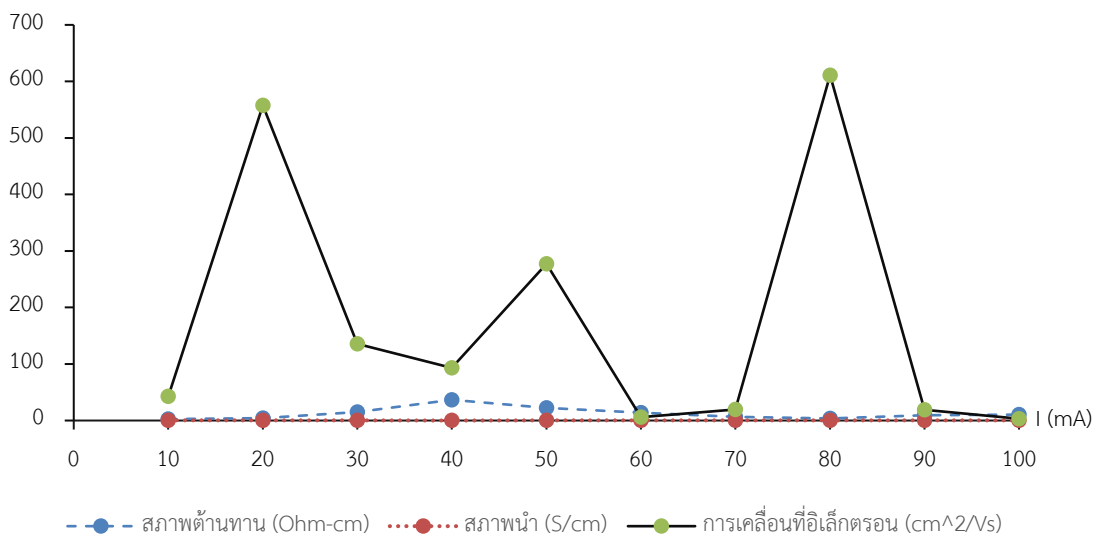
กระแสไฟฟ้า (I) (mA)	ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า					
	AB (mV)	BC (mV)	AC (mV)	CD (mV)	DA (mV)	BD (mV)
10	28.40	6.794	12.22	6.275	5.152	6.783
20	13.97	67.13	60.87	72.22	69.02	70.40
30	9.561	17.61	136.7	2489	43.35	2489
40	1191	268.5	148.0	2489	174.8	2489
50	1553	128.6	122.6	2489	984.8	2489
60	789.0	246.6	299.8	2489	40.65	2489
70	356.5	12.45	14.19	2489	6.939	2489
80	0.6568	0.1761	1.640	2489	14.85	2489
90	0.009370	8.613	184.7	2489	282.3	2489
100	0.003338	20.73	18.54	2489	24.38	2489

ในตารางที่ 2 จากการให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า AB โดยเริ่มจากกระแสไฟฟ้า 10 mA ถึง 100 mA พบว่าการให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 50 mA ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของขั้ว AB มีค่าสูงสุดที่ 1,553 mV เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า BC ที่ 40 mA ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของขั้ว BC มีค่าสูงสุดที่ 268.5 mV เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า AC ที่ 60 mA ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของขั้ว AC มีค่าสูงสุดที่ 299.8 mV เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า CD ที่ 30 mA ถึง 100 mA ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของขั้ว CD มีค่าสูงสุดที่ 2,489 mV เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า DA ที่ 50 mA ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้า

ของขั้ว DA มีค่าสูงสุดที่ 984.8 mV เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า BD ที่ 30 mA ถึง 100 mA ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของขั้ว BD มีค่าสูงสุดที่ 2,489 mV

5. การทดสอบสภาพต้านทานไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้า และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสารตัวอย่างตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีการวัดแบบปรากฏการณ์ฮอลล์

จากภาพที่ 6 เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ขั้ว AB ที่กระแสไฟฟ้า 40 mA ทำให้เกิดสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงสุดที่ 36.63 โอห์มเซนติเมตร ที่กระแสไฟฟ้า 10 mA ทำให้เกิดสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่สุด 2.54 โอห์มเซนติเมตร ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับสภาพการนำไฟฟ้า พบว่า ที่ระดับของกระแสไฟฟ้า 10 mA นั้น ได้ทำให้สภาพการนำไฟฟ้าสูงสุดเป็น 0.39



ภาพที่ 6 ผลของการวัดกระแสไฟฟ้า (I) กับสภาพต้านทานไฟฟ้า สภาพนำไฟฟ้า และการเคลื่อนที่อิเล็กตรอนของสารตัวอย่างตัวนำยวดยิ่ง Y123

ซีเมนส์ต่อเซนติเมตร การเพิ่มกระแสไฟฟ้านั้น ทำให้สภาพต้านทานไฟฟ้าในสารตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น แต่สภาพการนำไฟฟาลดลง และความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสารตัวอย่าง พบว่าที่กระแสไฟฟ้า 80 mA ให้ค่าการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสูงสุด และที่กระแสไฟฟ้า 100 mA ให้ค่าการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนต่ำที่สุด

สรุปผลการวิจัย

จากการเตรียมสารตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีปฏิบัติกิจวิธานของแข็ง จากนั้น ใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงส่องดูลักษณะพื้นผิว ที่กำลังขยาย 50 เท่า 100 เท่า 200 เท่า 500 เท่า และ 1,000 เท่า ตามลำดับ พบว่า ลักษณะพื้นผิวที่ได้ก่อนขัด มีผลึกที่ไม่ชัดเจน ลักษณะพื้นผิวหลังขัด พบว่า เห็นผลึกที่ชัดเจนมากขึ้นและมีประกายวาวชัดเจนขึ้น จากนั้น นำสารตัวอย่างไปวัดด้วยวิธีการวัดแบบปรากฏการณ์ฮอลล์ ที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส เพื่อหาค่าสมบัติทางไฟฟ้า ได้ค่าสภาพต้านทานสูงสุดที่ 36.63 โอห์มเซนติเมตรและสภาพการนำไฟฟ้าสูงสุดที่ 0.39 ซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่าสูงสุดที่ 611.0 ตารางเซนติเมตรต่อโวลต์วินาที จากผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้า พบว่า ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าน่าจะมาจากการเตรียมสารที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงส่งผลให้ความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ ซึ่งความหนาแน่นของสารตัวอย่างที่แตกต่างกันนั้น มีผลให้ความนำไฟฟ้าแตกต่างกัน และทำให้กระแสไม่มีความต่อเนื่องเท่าที่ควร

ข้อเสนอแนะ

1. อาจเปลี่ยนวิธีในการเตรียมตัวนำยวดยิ่งจากวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งเป็นวิธีอื่น เช่น วิธีตกตะกอนร่วม ซึ่งสารที่ได้จากวิธีตกตะกอนร่วมจะมีความบริสุทธิ์สูง เนื่องจากการเตรียมอยู่ในระดับโมเลกุลทำให้สามารถกำหนดสมบัติต่าง ๆ ที่ต้องการได้

2. อาจใช้วิธีในการเจือสารในอัตราส่วนที่เหมาะสมเข้าไป เพื่อเพิ่มความหนาแน่นและลดความเป็นรูพรุนของลักษณะพื้นผิวของสารตัวอย่างเป็นสารชนิดต่าง ๆ เช่น อินเดียม เหล็ก อิตเทอร์เบียม ในขั้นตอนการเตรียมตัวนำยวดยิ่ง

การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

จากกระบวนการเตรียมสารตัวนำยวดยิ่งกลุ่ม Y123 ด้วยวิธีการเตรียมด้วยปฏิกิริยาสถานะของแข็ง ทำให้ทราบถึงกระบวนการในการเผาสารตัวอย่างแบบผง (calcination) และแบบขึ้นรูป (sintering) ซึ่งเป็นคุณลักษณะทางฟิสิกส์ของตัวนำยวดยิ่ง Y123 เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมสารตัวนำยวดยิ่งสูตรอื่น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะอาจารย์สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อชี้แนะต่าง ๆ ในการจัดทำงานวิจัยนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งขอขอบคุณ ผู้ปกครอง ครอบครัว ที่ให้กำลังใจ ความช่วยเหลือ และการสนับสนุนในทุกด้าน

เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Buckel, *Superconductivity: Fundamentals and Applications*, New York: VHC Publisher, 1991.
- [2] ชนกานต์ พันสา, *การประยุกต์ใช้ตัวนำยวดยิ่ง*, กรุงเทพฯ: ผดุงวิทยาการพิมพ์, 2558.
- [3] C. W. Chu, P. H. Hor, R. L. Meng, L. Gao, Z. J. Huang and Q. Wang, "Evidence for superconductivity above 40 K in the La-Ba-Cu-O compound system," *Physical Review Letters*, vol. 58, no. 4, pp. 405-407, 1997.
- [4] N. Sacchetti, "Superconductivity: From physics to alchemy," *International Journal of Modern Physics B*, vol. 14, no. 25-27, pp. 2617-2627, 2000.
- [5] พงษ์แก้ว อุดมสมุทรศิริชัย, *ตัวนำยวดยิ่งพื้นฐาน*, กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.
- [6] พินิจ หวังสมนึก, *ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง*, ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2554.
- [7] J. Bardeen, L. N. Cooper and J. R. Schrieffer, "Theory of superconductivity," *Physical Review*, vol. 108, no. 5, pp. 1175-1204, 1957.
- [8] H. Durrell and A. Cardwell, "An improved top seeded infiltration growth method for the fabrication of Y-Ba-Cu-O bulk superconductors," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 36, no. 3, pp. 615-624, 2016.
- [9] R. A. Serway and J. W. Jewett, *Physics for Scientist and Engineers*, 8th ed. California: Lachina Publishing Services, 2010.
- [10] B. Cakir, K. Oztürk, S. Güner, S. Çelik and A. Aydinler, "Superconductivity and its Applications," *Physica*, vol. 557, pp. 19-25, 2019.

- [11] L. Sharifzadegan and H. Sedghi, "Investigation of Sm substitution on structural and superconductors properties of $Y_1Ba_{2-x}Sm_xCu_3$ Superconductors," *Physica C: Superconductivity and its Applications*, vol. 550, pp. 7-9, 2018.