การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ของแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์

กิติพันธ์ บุญอินทร์[1,2] ชุติกาญจน์ บัวกลิ่น[1] รเมศร์ พรมแสง[1] และ ธนภรณ์ สุพรรณโรจน์[3]

[1]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม, 73000
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม, 73000
[3]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี, ลพบุรี 73000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: email kboonin@hotmail.com

บทคัดย่อ

ระบบแก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของยูโรเพียมออกไซด์ ตั้งแต่ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 1.50 เปอร์เซ็นต์โมล จากสูตร 30-TeO_2 – (38-x) B_2O_3 -10ZnO - $2Bi_2O_3$- 20BaO - xEu_2O_3 ด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูงและปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางแสงของระบบแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโรเทลรูไรท์ พบว่าความหนาแน่นของระบบแก้วที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ปริมาตรเชิงโมลมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Eu_2O_3 และเมื่อวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 2500 นาโนเมตร ของระบบแก้ว พบว่าความเข้มพีคการดูดกลืนแสงสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของยูโรเพียมออกไซด์

คำสำคัญ : แก้วซิงค์บิสมัทแบเรียม/ ยูโรเพียมออกไซด์ / สมบัติทางกายภาพ /สมบัติทางแสง

Study on Physical and Optical Properties of Zinc Bismuth Barium Boro Tellurite Glasses Doped with Europium Oxide

K. Boonin[1, 2*], Chutikan Buaklin[1], Ramet Promsang[1] and Tanapohn Supanroth[3]

[1]Physics Program, Faculty of Science and Technology, NakhonPathomRajabhat University, NakhonPathom, 73000, Thailand

[2]Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

[3]Science Program, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, 15000, Thailand

*corresponding author: email kboonin@hotmail.com

Abstract

The zinc bismuth barium boro-tellurite glasses system doped with Eu_2O_3. Which varies europium oxide concentration are 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00, and 1.50 mol% of the composition $30TeO_2$ – (38-x) B_2O_3 -10ZnO -$2Bi_2O_3$- 20BaO - xEu_2O_3 have been synthesized by conventional melt quenching technique. The physical and optical properties were investigated. The results shown that the density and molar volume have no trend as Eu_2O_3 doped in glasses system was found the density of the result glass system increased while the molar quantity increased with the quantity of Eu_2O_3 and when measuring the absorption spectrum in the wavelength range 200 to 2500 nm of glass system found the absorption peak intensity was higher with the concentration of europium oxide.

Keywords: Zinc Bismuth Glasses / Europium Oxide / Physical Properties / Optical Properties

1.บทนำ

แก้ว มาจากภาษาอังกฤษว่า "Glass" เป็นวัตถุโปร่งใส เนื้อใสสะอาด มีความเป็นมันแวววาว แก้วเป็นสารประกอบของซิลิกากับสารโลหะออกไซด์มีลักษณะโปร่งใสและมีความเปราะในตัวเอง ตาม ASTM (american society for testing and materials) กล่าวว่า แก้ว คือ วัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ต่าง ๆ มาเผาให้ถึงจุดละลายที่อุณหภูมิสูง และเมื่อเวลาเย็นตัวลงมาจะกลายเป็นของแข็งโดยไม่ตกผลึก เนื่องจากแก้วเป็นวัสดุอสัณฐาน (amorphous materials) (Ahmad, 2014)

แก้วเทลลูไรท์ (tellurite) แก้วชนิดนี้มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้องมีคุณสมบัติทางความร้อน ทางแสง และทางไฟฟ้าได้ดี มีค่าดัชนีหักเหสูงและค่าคงที่ไดอิเล็กทริกค่อนข้างสูง อีกทั้งมีค่าพลังงานโฟตอนที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแก้วชนิดซิลิเกต และฟอสเฟตค่าดัชนีหักเหสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุปกรณ์ทางแสง เลเซอร์ อุปกรณ์ขยายสัญญาณและระบบโทรคมนาคม เพราะมีคุณสมบัติเป็น nonlinear optics หรือเรียกว่า nonlinear materials กล่าวคือเมื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่นหนึ่งผ่านแก้วเหล่านี้ แสงที่ผ่านออกมาจะมีความยาวคลื่นเปลี่ยนไปจากเดิมและพลังงานโฟตอนมีความสำคัญในการปรับปรุงและพัฒนาค่าการส่งผ่านแสงในช่วงวิซิเบิลถึงอินฟราเรด (มีค่าสูงได้ถึง 6 ไมโครเมตร) และอัตราการสลายตัวของมัลติโฟนอนที่เจือด้วยกลุ่มไอออนของธาตุหายากจะมีค่าต่ำกว่าแก้วชนิดซิลิเกตและฟอสเฟต ปัจจุบันนี้แก้วเทลลูไรท์สามารถเป็นคู่แข่งที่สำคัญในการทำอุปกรณ์ส่งผ่านแสงในช่วงอินฟราเรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่มีศักยภาพในช่วงความยาวคลื่นที่สามารถส่งข้อมูลหลายๆ ตัวไปในสายเดียวกันของระบบการสื่อสารข้อมูลสารสนเทศ (Ali et.al., 2017)

ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เช่น อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ วัสดุเปล่งแสงไดโอด เลเซอร์ ซึ่งจะเปล่งแสงออกมาในช่วงวิซิเบิล และมีแถบพลังงานกว้าง การเติมซิงค์ออกไซด์ในแก้วได้รับความสนใจเนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานทางด้านผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ จอพลาสมา เนื่องจากมีคุณภาพสูง ซิงค์ออกไซด์ได้รับการยอมรับในการใช้เป็นตัวเลือกสำหรับผลิตจอโทรทัศน์และจอคอมพิวเตอร์ จากรายงานวิจัย พบว่า ซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไปในโครงสร้างแก้วจะเข้าไปทำหน้าที่เป็นโครงร่างตาข่ายเชื่อมพันธะกับออกซิเจนและปรับปรุงคุณสมบัติทางแสงของแก้ว (Lia et.al., 2019)

บิสมัทออกไซด์ (bismuth oxide) เมื่อมีการหลอมเหลวไม่สามารถเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายแก้วได้ เนื่องจากมีไอออนของบิสมัท (Bi^{3+}) ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายใน ส่งผลให้โมเลกุลของบิสมัทออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวประสานแทรกในเนื้อแก้ว ซึ่งคุณสมบัติของแก้วจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับออกไซด์ของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของสูตรแก้ว เช่น แก้วที่มีการเติม Bi_2O_3 มีความหนาแน่นสูง ดัชนีหักเหสูง และมีเสถียรภาพทางเคมีและกายภาพสูง ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น ทำเป็นแก้วเซรามิกซ์ (glass ceramics) ขึ้นสำหรับอุปกรณ์แสงและอิเล็กทรอนิกส์ (layer for optical and electronic devices) เซ็นเซอร์เชิงความร้อน และเชิงกล (thermal and mechanical sensors) และหน้าที่การสะท้อนแสง (reflecting windows) เป็นต้น นอกจากนี้แก้วที่มีคุณสมบัติพิเศษชนิดอื่น ที่เกิดจากการเติมวัตถุดิบอื่น ๆ ลงไป เพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของแก้ว เช่น แก้วคริสตัลที่เกิดจากการเตรียมตะกั่วและกลายเป็นสารประกอบออกไซด์ (PbO) ในเนื้อของแก้วเพื่อทำให้แก้วหนักขึ้น เนื้อแก้วยืดหยุ่นและแวววาว แต่ตะกั่วมีความเป็นพิษจึงมีการเติมออกไซด์ของแบเรียมและสังกะสี (BaO, ZnO) เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ออกไซด์ของตะกั่วสำหรับการใช้งานทางด้านกำบังรังสี (Hirdesh and Atul, 2018)

กรดบอริก (boric acid) ถูกใช้เป็นส่วนผสมหลักทำหน้าที่เป็นโครงข่ายแก้ว (glass former) ที่สำคัญนอกเหนือจากแก้วซิลิกาและแก้วฟอสเฟส โดยยึดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพน่าสนใจ เนื่องจากมีการจับตัวกันของอะตอมโบรอนกับอะตอมออกซิเจนที่มีรูปแบบต่างกันส่งผลให้แก้วมีโครงสร้างที่หลากหลาย แก้วบอเรทเมื่อถูกหลอมเหลวจะมี

ความหนืดสูงและ มีแนวโน้มการก่อตัวที่เป็นลักษณะผลึกในเนื้อแก้ว นอกจากนี้แก้วบอเรทที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบต่าง ๆ มีความสำคัญเป็นพิเศษ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อแสงทั้งที่เป็นเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น จึงทำให้เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านทัศนศาสตร์ (Kyong-Soo, 2019) (Yaowalak, 2019)

แร่โลหะหายาก (rare earth) ปัจจุบันนี้ แก้วที่เติมไอออนของธาตุหายาก (rare earth) ได้รับการศึกษาอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานด้านเทคโนโลยีทางแสงเช่น อุปกรณ์ทางแสง เทคโนโลยีเลเซอร์ ตัวเก็บข้อมูลทางแสง และการพัฒนาคุณภาพของสารกัมมันตรังสี โดยจากการประยุกต์ใช้งานเหล่านี้มีความเป็นไปได้ที่นำมาใช้งานได้จริง ซึ่งจะศึกษาสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีของแก้วที่เติมกลุ่มธาตุหายาก เช่น การให้ความร้อนความต้านทานเชิงกล เสถียรภาพทางเคมี และสมบัติทางแม่เหล็ก คุณสมบัติเหล่านี้เป็นที่น่าสนใจต่อการพัฒนาอุปกรณ์ทางแสง

ยูโรเพียมออกไซด์ (Eu_2O_3) เป็นสารประกอบทางเคมีของยูโรเพียมและออกซิเจน ผงออกไซด์ของ ยูโรเพียม เป็นแหล่งที่มาของ ยูโรเพียม ที่มีความร้อนสูงที่ไม่ละลายน้ำที่เหมาะกับการใช้งานแก้ว แก้วนำแสงและเซรามิก การเรืองแสงของยูโรเพียม ใช้ในการตรวจสอบการปลอมแปลงสารเรืองแสงในธนบัตร การใช้ผงยูโรเพียมออกไซด์ (Eu_2O_3) นิยมใช้เป็นสารเรืองแสงสีแดง หรือใช้เป็นฟอสเฟอร์เรืองแสง และถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการเรืองแสงสีแดงในจอโทรทัศน์และหลอดฟลูออเรสเซนซ์ (Mohapatra, 2009)

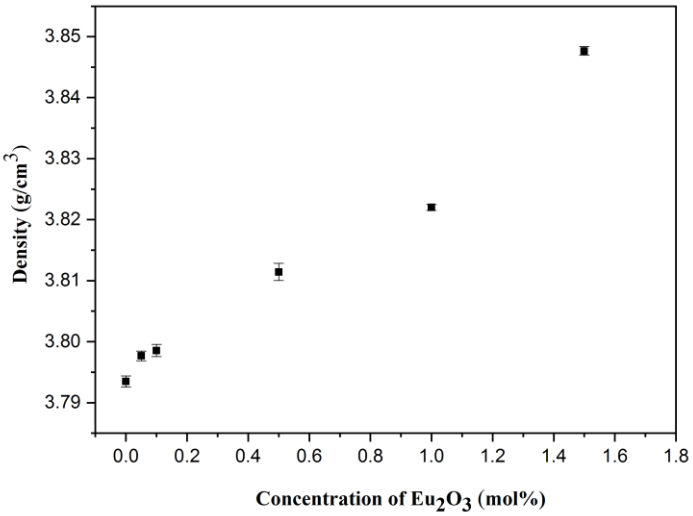
จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโรเทลลูไรท์ ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ที่มีความเข้มข้นเมื่อ (x คือ 0.00, 0.05, 0.10, 1.00 และ 1.50 เปอร์เซ็นโมลของ Eu_2O_3) โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล การดูดกลืนแสง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วในด้านต่าง ๆ ต่อไป

2.วิธีการทดลอง

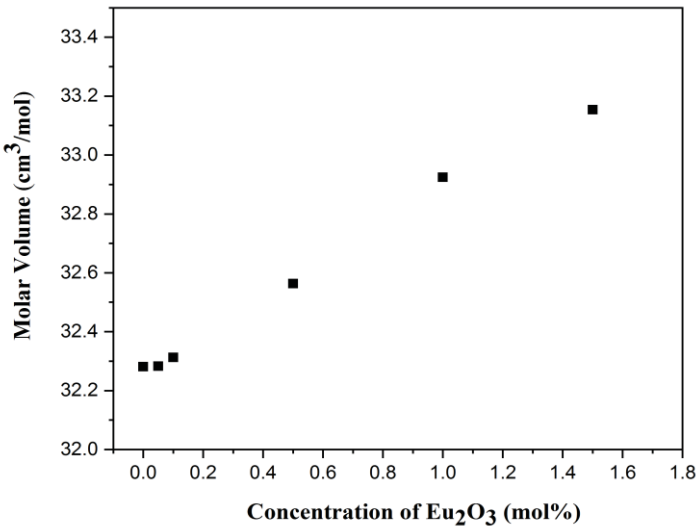
สำหรับสูตรแก้วที่ทำการเตรียมในงานวิจัยนี้ คือ (30-TeO_2) : (38-X) B_2O_3 : 10ZnO : 2Bi_2O_3 : 20BaO (เมื่อ X คือ 0.00, 0.05, 0.10, 1.00, 1.50 เปอร์เซ็นโมล) หลอมด้วยเทคนิคการหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (Melt Quenching Technique) โดยสารเคมีตั้งต้นที่ใช้คือ B_2O_3 , ZnO , Bi_2O_3 , BaO และ Eu_2O_3 มีความบริสุทธิ์สูงผสมลงในเบ้าหลอมอะลูมินา ต่อมานำไปหลอมในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ต่อมานำแก้วที่หลอมได้เทลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อลดความเครียดที่เกิดขึ้นในแก้ว และขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมแก้วตัวอย่าง คือการนำไปตัดและขัดให้มีขนาด 1.0 ซม. x 1.5 ซม. x 0.3 ซม. สำหรับวิเคราะห์ความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลโดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น (รุ่น AND HR-200 บริษัท Dietheim) การวิเคราะห์สมบัติการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสเนียร์ไออาร์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV-3600 บริษัท Bara Scientific)

3.ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของยูโรเพียมตั้งแต่ 0.00 ถึง 1.50 เปอร์เซ็นต์โมล จากองค์ประกอบ $30TeO_2$ - (38-x) - B_2O_3 - 10ZnO - $2Bi_2O_3$ – 20BaO - xEu_2O_3 โดยทั่วไปค่าความหนาแน่นของแก้วจะอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างมวลและปริมาตรที่เกิดจากโครงสร้างของแก้ว ความหนาแน่นมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวอย่างอะตอมและกลุ่มของอะตอมที่สามารถเข้าไปแทนที่อะตอมดังกล่าวในโครงสร้างแก้วได้ จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 ซึ่งความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้ว โดยค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 3.7935 ± 0.0009 ถึง 3.8477 ± 0.0007 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากมวลโมเลกุลของ TeO_2 มีค่าน้อยกว่ามวลโมเลกุลของ Eu_2O_3 เกิดการแทนที่ TeO_2 ในโครงสร้างแก้วส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วเพิ่มขึ้นและนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 แสดงดังภาพที่ 1 จากการวิเคราะห์หาค่าปริมาตรเชิงโมลจะขึ้นกับค่าความหนาแน่นของแก้วซึ่งพบว่าปริมาตรเชิงโมลมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มข้นโดยค่าปริมาตรเชิงโมลอยู่ระหว่าง 32.28164 ถึง 33.15373 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล แสดงดังภาพที่ 2 ของแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของ Eu_2O_3

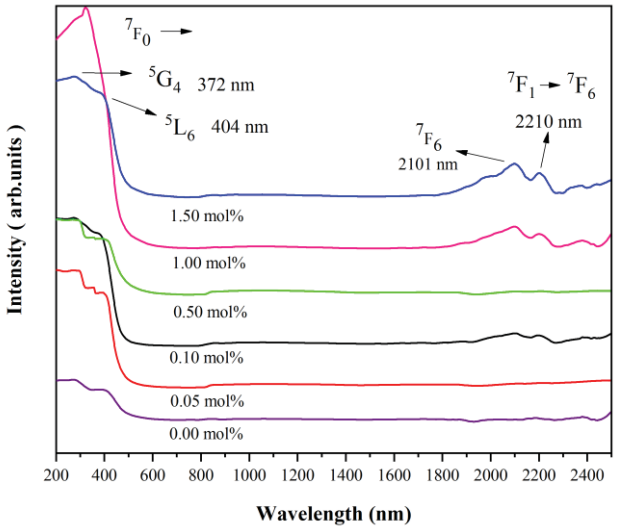


ภาพที่ 1 กราฟค่าความหนาแน่นของแก้ว $30TeO_2$ - (38-x)B_2O_3 - 10ZnO - $2Bi_2O_3$ – 20BaO - xEu_2O_3 ที่เจือด้วย Eu_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



ภาพที่ 2 กราฟค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้ว $30TeO_2$ - $(38-x)B_2O_3$ - $10ZnO$ - $2Bi_2O_3$ – $20BaO$ - xEu_2O_3 ที่เจือด้วย Eu_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ผลการศึกษาสเปกตราการดูดกลืนแสงของแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วย Eu_2O_3 ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันตั้งแต่ 0.00 ถึง 1.50 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงดังภาพที่ 3 พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 4 พีค โดยการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 372 นาโนเมตร ($^5G_4$) 404 นาโนเมตร ($^5L_6$) 2101 ($^7F_6$) และ 2210 ($^7F_1 \longrightarrow {}^7F_6$) และมีความเข้มของสเปกตราการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นสูงตามปริมาณการเจือ Eu_2O_3



ภาพที่ 3 การดูดกลืนแสงของแก้ว $30TeO_2$ - $(38-x)B_2O_3$ - $10ZnO$ - $2Bi_2O_3$ – $20BaO$ - xEu_2O_3 ที่เจือด้วย Eu_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

4.สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ พบว่าค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมล มีผลที่เป็นแนวโน้ม กล่าวคือ การเจือด้วย Eu_2O_3 ลงไปในแก้วชนิดนี้ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นซึ่งค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นและค่าปริมาตรเชิงโมลเพิ่มขึ้นด้วย ผลการศึกษาสเปกตราการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 2,500 นาโนเมตร พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้ง 4 พีค โดยการดูดกลืนแสง ที่มีความยาวคลื่น 372 นาโนเมตร ($^5G_6$) 404 นาโนเมตร ($^5L_6$) 2,101 นาโนเมตร ($^7F_6$) และ 2,210 นาโนเมตร ($^7F_1 \longrightarrow {}^7F_6$) และมีความเข้มของสเปกตราการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นสูงตามปริมาณการเจือ Eu_2O_3

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ และ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย

6.เอกสารอ้างอิง

Ahmad,F., Aly, (2014). **"Study the Influence of Zinc Oxide Addition on Cobalt Doped Alkaline Earth Borate Glasses."** Journal of Alloys and Compounds, Vol. 593, pp. 250-255.

Ali, A. Ali , Hany M. Shaaban and Amany Abdallah. (2017). **"Spectroscopic studies of ZnO borate–tellurite glass doped with Eu_2O_3."** Journal of Materials Research and Technology. Vol. 7, (3), pp. 240-247.

Hirdesh and Atul Khanna**.** (2018). **"Structural,Thermal and Photoluminescent-properties of Eu_2O_3–Li_2O–TeO_2 glasses."** Journal of Luminescence Vol. 204, pp. 319–326.

Kyong-Soo Honga , Miae Kim, Myoung Gyu Ha, Jong Pil Kim, Jang-Hee Yoon, Jong Hwa Kim, Ho-Soon Yang and Hyun Gyu Kima. (2019). **"Red-emission properties and crystallization behavior in Eu_2O_3-TeO_2 glasses.**" Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 505 pp. 400–405.

L. Yuliantini, M. Djamal, R. Hidayat, P. Yasaka, J. Kaewkhao and K. Boonin. (2019). **"Development of Eu^{3+} doped boro-tellurite oxyfluoride glass and their Jodd-ofelt analysis for red laser gain medium application."** pp. 1815-1822.

Mohapatra., (2009). **"FTIR Analysis of BI_2O_3- B_2O_3-Fe_2O_3 Glass System Doped with Eu_2O_3."** Science Indexed, Vol. 3, No. 5, pp. 11-18.

Yaowalak Yamsuk, Yaowalak Yamsuk, Patarawegee Yasaka, Jakrapong Keawkao and Narong Sangwaranatee. (2019). **"Spectroscopy characteristics of $Eu3^+$ doped zinc barium tellurite oxyfluoride glasses for laser materials."** Journal of Thai Interdisciplinary Research, Vol. 14, (2), pp. 44 – 47.