

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ ของแก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วย Eu_2O_3

Study on Physical, Optical and Luminescence of Zinc Bismuth Boro-tellurite Glasses Doped with Eu_2O_3

ภัทรวิจิ ยะสะกะ^{1,2*} ดาราวดี สุดโต¹ สุธาสินี ฉวีรัตน์¹ และจักรพงษ์ แก้วขาว^{1,2}

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

² ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

* pyasaka@hotmail.com

บทคัดย่อ

ระบบแก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วย Eu_2O_3 โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของยูโรเพียมออกไซด์ ตั้งแต่ 0.0, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โมล จากสูตร $(45-x)\text{TeO}_2 - 30\text{B}_2\text{O}_3 - 15\text{ZnO} - 10\text{Bi}_2\text{O}_3 - x\text{Eu}_2\text{O}_3$ ด้วยเทคนิคการหลอมที่สูงและปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของระบบแก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์พบว่า เมื่อวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 2,500 นาโนเมตร ของแก้วระบบนี้ พบว่า ค่าความเข้มของพีการดูดกลืนแสงสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 นอกจากนี้ได้ตรวจสอบคุณสมบัติการเปล่งแสงของ Eu_2O_3 ที่เจือในระบบแก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์จากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 394 นาโนเมตร

คำสำคัญ: แก้วซิงค์บิสมัท แก้วบอโรเทลลูไรท์ ยูโรเพียมออกไซด์ สมบัติทางแสง สมบัติทางลูมิเนสเซนซ์

Abstract

The zinc bismuth boro-tellurite glasses doped with Eu_2O_3 Which varies europium oxide concentration are 0.0, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 and 1.5 mol% of the composition $(45-x)\text{TeO}_2 - 30\text{B}_2\text{O}_3 - 15\text{ZnO} - 10\text{Bi}_2\text{O}_3 - x\text{Eu}_2\text{O}_3$ have been synthesized by conventional melt quenching technique. The physical, optical and luminescence properties were investigated. The results shown that the optical absorption spectra of glasses were measured in the wavelength range of 200 – 2,500 nm. The intensity of all absorption bands increased with increasing Eu_2O_3 In addition, the luminescence properties of Eu^{3+} dope Zinc bismuth boro tellurite glasses system were carried out using excitation wavelengths of 394 nm.

Keywords: zinc bismuth glasses, boro - tellurite glasses, europium oxide, optical property. luminescence property

1. บทนำ

“แก้ว” มาจากภาษาอังกฤษว่า “Glass” เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการหลอมอินทรีย์สาร ได้แก่ ซิลิกา (silica) กับ สารโลหะออกไซด์แล้วทำให้เย็นตัวลงจนกระทั่งแข็งโดยไม่มี การตกผลึก ส่วนประกอบทางเคมีของแก้วประกอบด้วยซิลิกอน ไดออกไซด์ (silicon dioxide, SiO₂) โบรอนออกไซด์ (boron oxide, B₂O₃) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na₂CO₃) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, CaCO₃) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต (magnesium carbonate, MgCO₃) มีลักษณะโปร่งแสงและมีความเปราะ หากพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพแล้ว แก้วจะหมายถึงวัสดุที่มีความแข็งแรง โปร่งใส เปราะ มีความแวววาว มีจุดหลอมละลายสูงไม่ละลายในน้ำและในสารละลายใด ๆ [1]

แก้วบอโรเทลลูไรท์ (Boro tellurite) มีความน่าสนใจทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก เนื่องจาก แก้วชนิดนี้มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง มีคุณสมบัติทางความร้อน ทางแสง และทางไฟฟ้าได้ดี มีค่าดัชนีหักเหสูง และค่าคงที่ ไดอิเล็กทริกค่อนข้างสูง อีกทั้งมีค่าพลังงานโฟตอนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแก้วชนิดซิลิเกต และฟอสเฟต ค่าดัชนีหักเห สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุปกรณ์ทางแสง เลเซอร์ อุปกรณ์ขยายสัญญาณ และระบบโทรคมนาคม เพราะมีคุณสมบัติ เป็น nonlinear optics หรือเรียกว่า nonlinear materials กล่าวคือ เมื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่นหนึ่งผ่านแก้วเหล่านี้ แสงที่ ผ่านออกมาจะมีความยาวคลื่นเปลี่ยนไปจากเดิม และพลังงานโฟตอนมีความสำคัญในการปรับปรุงและพัฒนาการส่งผ่าน แสงในช่วงวิซิเบิลถึงอินฟราเรด (มีค่าสูงได้ถึง 6 ไมโครเมตร) และอัตราการสลายตัวของมัลติโฟนอนที่เจือด้วยกลุ่มไอออนของ ธาตุหายากจะมีค่าต่ำกว่าแก้วชนิดซิลิเกต และฟอสเฟต ปัจจุบันนี้แก้วเทลลูไรท์สามารถเป็นคู่แข่งที่สำคัญในการทำอุปกรณ์ ส่งผ่านแสงในช่วงอินฟราเรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่มีศักยภาพในช่วงความยาวคลื่น ที่สามารถส่งข้อมูลหลาย ๆ ตัวไปในสายเดียวกันของระบบการสื่อสารข้อมูลสารสนเทศ [2]

บิสมัทออกไซด์ (Bi₂O₃) เมื่อมีการหลอมเหลวไม่สามารถเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายแก้วได้ เนื่องจากมีไอออนของบิสมัท (Bi³⁺) ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายใน ส่งผลให้โมเลกุลของบิสมัทออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวประสานแทรกในเนื้อแก้ว ซึ่งคุณสมบัติ ของแก้วจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับออกไซด์ของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของสูตรแก้ว เช่น แก้วที่มีการเติม Bi₂O₃ มีความหนาแน่นสูง ดัชนีหักเหสูง และมีเสถียรภาพทางเคมีและกายภาพสูง ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวาง เช่น ทำเป็น แก้วเซรามิก ชั้นสำหรับอุปกรณ์แสงและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เซอร์เชิงความร้อนและเชิงกล และหน้าต่างสะท้อนแสง เป็นต้น [3]

ยูโรเพียม (Europium) เป็นหนึ่งในตัวเลือกที่นิยมนำมาใช้งานทางด้านอุปกรณ์ทางแสงได้ดีที่สุด ซึ่งคุณสมบัติทาง แสงของไอออน Eu³⁺ จะมีความไวในการตอบสนองต่ออะตอมอื่น ๆ สูง การที่ Eu³⁺ เป็นตัวเลือกในการเติมลงไปในการสร้าง แก้ว เนื่องจากมีระดับพลังงานค่อนข้างเรียบง่ายไม่ซับซ้อน โดยจะมีสถานะพื้นอยู่ที่ ⁷F₀ และเปล่งแสงที่สถานะ ⁵D₀ นอกจากนี้ จะพบงานวิจัยที่เจือ Eu³⁺ ลงในแก้วบอโรเรตแล้ว ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาคุณสมบัติของไอออน Eu³⁺ ในแก้วฟลูออโรโบเรตโดยการ เปลี่ยนแปลงสูตรการหลอมแก้วที่หลากหลาย การเติม Eu³⁺ ลงไปในโครงสร้างแก้วจะทำให้ประจุบวกของ Eu จับกับกับ ออกซิเจนในโครงสร้างซึ่งจะทำให้เกิด ปรากฏการณ์ที่ออกซิเจนเป็นสะพานเชื่อม (BO) และปรากฏการณ์ที่ออกซิเจนไม่เป็น สะพานเชื่อม (NBO) Eu³⁺ สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ ใช้เป็นสารเรืองแสงสีแดงนิยมนำมาประยุกต์ใช้ งานในการผลิตจอโทรทัศน์ หลอดเรืองแสง [4]

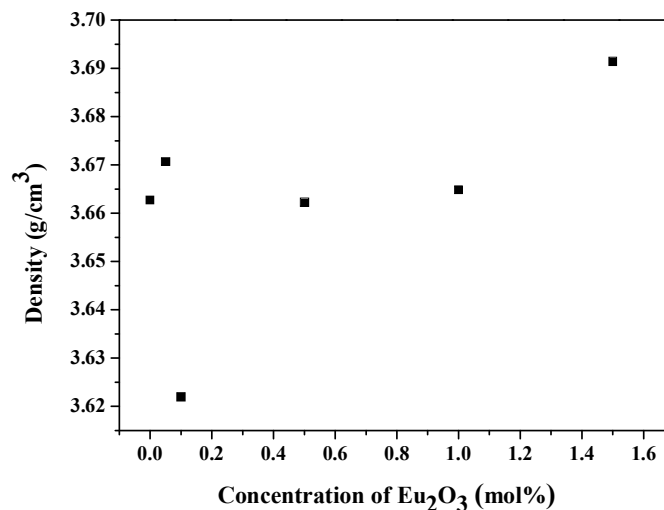
จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของ แก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ที่มีความเข้มข้น เมื่อ (X คือ 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์มวลของ Eu₂O₃) โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล การดูดกลืนแสง และการลูมิเนสเซนซ์ของแสง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วในด้านต่าง ๆ ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

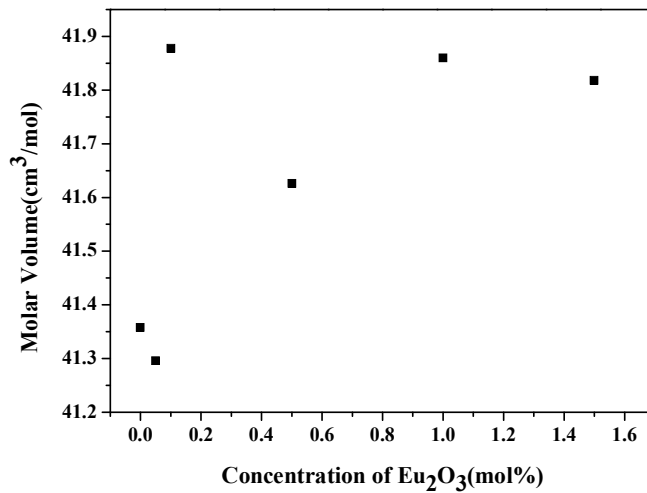
แก้วซิงค์บิสมาทอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของยูโรเพียมออกไซด์ ตั้งแต่ 0.0, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ประกอบ $(45-x)\text{TeO}_2 - 30\text{B}_2\text{O}_3 - 15\text{ZnO} - 10\text{Bi}_2\text{O}_3 - x\text{Eu}_2\text{O}_3$ หลอมด้วยเทคนิคการหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Melt Quenching Technique) ถูกเตรียมขึ้นจากสารเคมี ดังนี้ คือ TeO_2 ZnO Bi_2O_3 H_3BO_3 และ Eu_2O_3 ต่อมาทำการบดสารเคมีทั้งหมดให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกันด้วยโกร่งบดสาร จากนั้นคำนวณสารเคมีที่ใช้ในการหลอมแก้วเป็น 15 กรัม บรรจุในเบ้าหลอม อะลูมินา และนำเข้าเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างแก้วที่ได้เข้าเตาอบเพื่ออบไล่ความเครียดของแก้วที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง โดยปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง ขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมแก้วตัวอย่าง คือการนำไปตัดและขัดให้มีขนาด 1.0 ซม. x 1.5 ซม. x 0.3 ซม. สำหรับวิเคราะห์สมบัติการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสเนียร์ไออาร์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV-3600 บริษัท Bara Scientific) การวิเคราะห์สมบัติการเปล่งแสงโดยใช้เครื่อง Fluorescence Spectrophotometer (รุ่น Cary Eclipse บริษัท Agilent Technologies)

3. ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วซิงค์บิสมาทอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Eu_2O_3 ที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล พบว่าค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมล มีผลที่ไม่เป็นแนวโน้ม กล่าวคือ การเจือ Eu_2O_3 ลงไปในแก้วชนิดนี้ไม่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมล ซึ่งค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 3.6220 ± 0.0007 ถึง $3.6915 + 0.0014$ g/cm^3 และค่าปริมาตรเชิงโมลอยู่ระหว่าง 41.2958 ถึง 41.8774 cm^3/mol

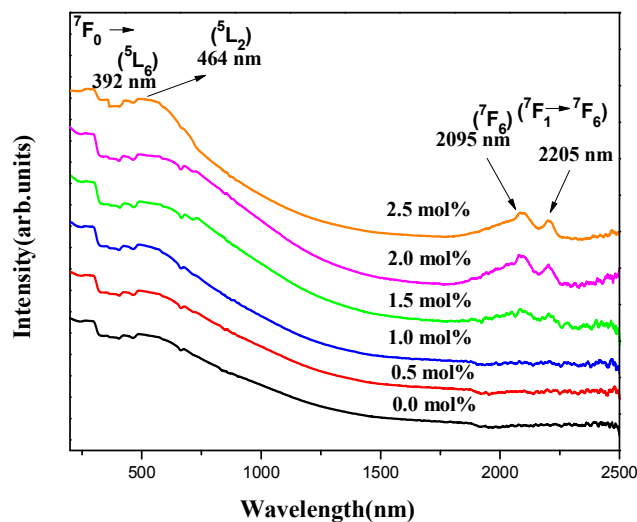


ภาพที่ 1 กราฟค่าความหนาแน่นของแก้ว $(45-x)\text{TeO}_2 - 30\text{B}_2\text{O}_3 - 15\text{ZnO} - 10\text{Bi}_2\text{O}_3$ ที่ความเข้มข้น Eu_2O_3 แตกต่างกัน



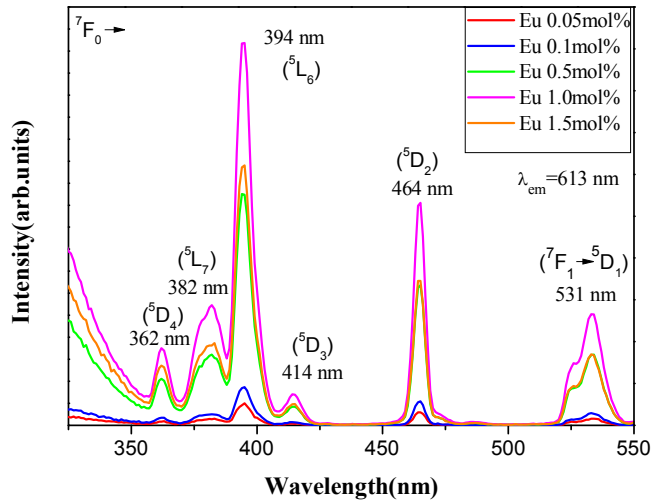
ภาพที่ 2 กราฟค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้ว (45-x)TeO₂-30B₂O₃-15ZnO-10Bi₂O₃ ที่ความเข้มข้นของ Eu₂O₃ ต่างกัน

ผลจากการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วซึ่งค้ำบิสมัทบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ Eu₂O₃ ตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล แสดงดังภาพที่ 3 พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 4 พีก โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 392 นาโนเมตร (⁵L₆) 464 นาโนเมตร (⁵L₂) 2,095 นาโนเมตร (⁷F₆) และ 2,205 นาโนเมตร (⁷F₁ → ⁷F₆) สังเกตพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นการดูดกลืนในช่วงวิชิเบิลจนถึงช่วงอินฟราเรด โดยที่ความยาวคลื่น 392 ถึง 2,205 นาโนเมตร



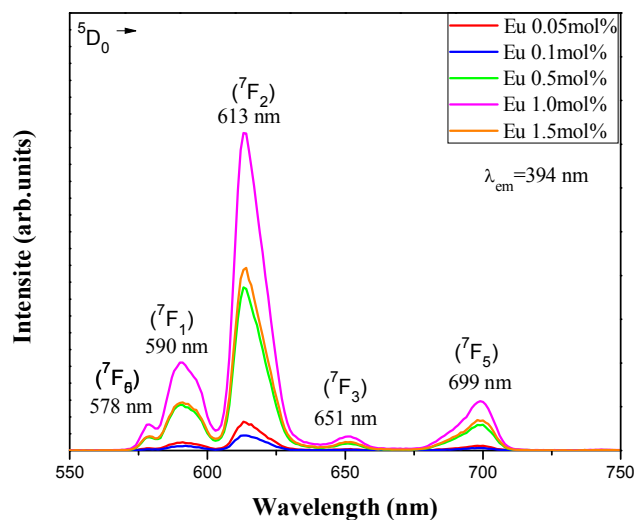
ภาพที่ 3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว (45-x)TeO₂-30B₂O₃-15ZnO-10Bi₂O₃ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ Eu₂O₃ ต่างกัน

ผลจากการศึกษาสเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้วซึ่งค้ำบิสมัทบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ Eu₂O₃ ตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล สเปกตรัมการกระตุ้นถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่นแสดงดังภาพที่ 4 พบว่าสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 6 พีก โดยการใช้การแปลงแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ซึ่งพีกการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง (⁵D₄) 362 นาโนเมตร (⁵L₇) 382 นาโนเมตร (⁵L₆) 394 นาโนเมตร (⁵D₃) 414 นาโนเมตร (⁵D₂) 464 นาโนเมตร และ (⁷F₁ → ⁵D₁) 531 นาโนเมตร

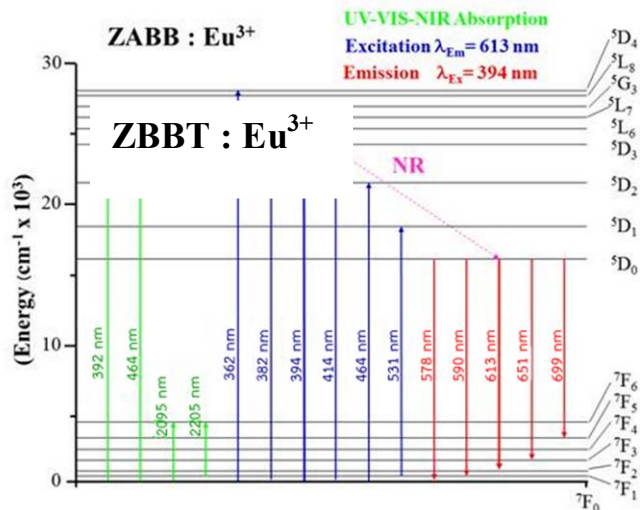


ภาพที่ 4 สเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้ว $(45-x)\text{TeO}_2-30\text{B}_2\text{O}_3-15\text{ZnO}-10\text{Bi}_2\text{O}_3$ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 แตกต่างกัน

ผลจากการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของ Eu_2O_3 ตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล สเปกตรัมการเปล่งแสงถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่น 550 ถึง 750 นาโนเมตร ความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้น คือ 394 นาโนเมตร แหล่งกำเนิดของแสง คือ หลอดไฟแฟลช (Xenon Flash Lamp) แสดงดังภาพที่ 5 จากภาพพบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 5 พีก ในช่วง VIS ถึง NIR โดยการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 578 นาโนเมตร (${}^7\text{F}_0$) 590 นาโนเมตร (${}^7\text{F}_1$) 613 นาโนเมตร (${}^7\text{F}_2$) 651 นาโนเมตร (${}^7\text{F}_3$) และ 699 นาโนเมตร (${}^7\text{F}_5$) สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มข้นของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร (${}^7\text{F}_2$) โดยสอดคล้องกับภาพแบบระดับพลังงานของ Eu^{3+} ดังแสดงในภาพที่ 6 จากภาพจะแสดงไดอะแกรมของระดับพลังงานไอออน Eu^{3+} ที่ถูกดูดกลืนแสง กระตุ้นแสง เปล่งแสง และการปล่อยพลังงานความร้อน (Nonradiative) เมื่อไอออนของ Eu^{3+} ถูกกระตุ้นที่ระดับพลังงานต่าง ๆ จะเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานจากชั้น ${}^5\text{D}_0$ ไปยังสถานะอื่น ๆ ที่ ${}^7\text{F}_j$ เมื่อ j คือระดับพลังงานที่ต่ำกว่าชั้น ${}^5\text{D}_0$



ภาพที่ 5 สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้ว $(45-x)\text{TeO}_2-30\text{B}_2\text{O}_3-15\text{ZnO}-10\text{Bi}_2\text{O}_3$ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 แตกต่างกัน



ภาพที่ 6 โดอะแกรมระดับพลังงานสำหรับการดูดกลืนแสง การกระตุ้นแสง และการเปล่งแสงของ Eu^{3+}

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแก้วซึ่งคัปป์สมทบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 ตั้งแต่ 0.0, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์จากรอบ (45-x)(TeO_2 -30 B_2O_3 -15 ZnO -10 Bi_2O_3 - $x\text{Eu}_2\text{O}_3$) พบว่า ค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมล มีผลที่ไม่เป็นแนวโน้ม กล่าวคือ การเจือ Eu_2O_3 ลงไปในแก้วชนิดนี้ไม่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมล สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ปรากฏทั้งหมด 4 พีค โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 392 นาโนเมตร ($^5\text{L}_6$) 464 นาโนเมตร ($^5\text{L}_2$) 2,095 นาโนเมตร ($^7\text{F}_6$) และ 2,205 นาโนเมตร ($^7\text{F}_1 \rightarrow ^7\text{F}_0$) ซึ่งสเปกตรัมการดูดกลืนของแสงของแก้วตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นการดูดกลืนในช่วงวิเชิลจนถึงช่วงอินฟราเรด โดยที่ความยาวคลื่น 392 ถึง 2,205 นาโนเมตร ผลสเปกตรัมการกระตุ้นแสงปรากฏทั้งหมด 6 พีค โดยการใช้การเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ซึ่งพีคการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง ($^5\text{D}_4$) 362 นาโนเมตร ($^5\text{L}_7$) 382 นาโนเมตร ($^5\text{L}_6$) 394 นาโนเมตร ($^5\text{D}_3$) 414 นาโนเมตร ($^5\text{D}_2$) 464 นาโนเมตร และ ($^7\text{F}_1 \rightarrow ^5\text{D}_1$) 531 นาโนเมตร ผลสเปกตรัมการเปล่งแสงปรากฏทั้งหมด 5 พีค ในช่วง VIS - NIR โดยการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 578 นาโนเมตร ($^7\text{F}_6$) 590 นาโนเมตร ($^7\text{F}_1$) 613 นาโนเมตร ($^7\text{F}_2$) 651 นาโนเมตร ($^7\text{F}_3$) และ 699 นาโนเมตร ($^7\text{F}_5$) สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ($^7\text{F}_2$)

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

1. วิทยาศาสตร์บริการ, กรม (ม.ป.ป), เคลือบสำหรับโลหะ Enamel. กรุงเทพฯ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกส์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
2. Raouf A.H.El. – Mallawany, 2012, “Tellurite glasses”, Broken Sound Parkway.
3. Robert, H.D., 1994, Glass Science, John Wiley & Sons, Inc., New York.
4. หนังสือสารานุกรมธาตุ, ธาตุยูโรเพียม, [online], Available: <https://web.ku.ac.th> [15/01/2561].