การศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของแก้วซิงค์ลิเทียมโซเดียมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์

Study on Physical, Optical and Luminescence of Zinc Lithium Sodium Borate Glasses Doped with Europium Oxide

ภัทรวจี ยะสะกะ[1,2*] บุณฑริกา จำปาเงิน[1] และจักรพงษ์ แก้วขาว[1,2]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[*]pyasaka@hotmail.com

บทคัดย่อ

ระบบแก้วซิงค์ลิเทียมโซเดียมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ โซเดียมออกไซด์ ตั้งแต่ 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โมล จากองค์ประกอบ (59-x) B_2O_3 – 30Li_2O – 10ZnO – xNa_2O – 1Eu_2O_3 ด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูงและปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของระบบแก้วซิงค์ลิเทียมโซเดียมบอเรต เพื่อให้เข้าใจบทบาทของ Na_2O ผลที่ได้ พบว่า ความหนาแน่นของระบบแก้วที่ได้มีค่า เพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมออกไซด์ เมื่อวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงพบว่า ค่าความเข้มของพีคการดูดกลืนแสงสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมออกไซด์ นอกจากนี้ได้ตรวจสอบคุณสมบัติการเปล่งแสงของ Eu^{3+} ที่เจือในระบบแก้วซิงค์ลิเทียมโซเดียมบอเรตจากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 394 นาโนเมตร

คำสำคัญ: แก้วซิงค์บอเรต โซเดียมออกไซด์ ยูโรเพียมออกไซด์

Abstract

The zinc lithium sodium borate glasses doped with Eu^{3+} 1 mol%. Which varies sodium oxide concentration are 10, 15, 20, 25, and 30 mol%, of the composition (59-x)B_2O_3 – 30Li_2O – 10ZnO – xNa_2O – 1Eu_2O_3 have been synthesized by conventional melt quenching technique. In order to understand the role of Na_2O in zinc lithium sodium borate glasses systems, the physical, optical and luminescence properties were investigated. The result shown that the density increased whereas the molar volume decreased with increasing Na_2O concentrations. The result show that the intensity of all optical absorption spectra increased with increasing Na_2O. In addition, the luminescence properties of Eu^{3+} dope zinc lithium sodium borate glasses system were carried out using excitation wavelengths of 394 nm.

Keywords: zinc borate glasses, sodium oxide, europium oxide

1. บทนำ

แก้วเป็นวัสดุโปร่งใส เป็นโครงสร้างอสัณฐาน ถูกทำขึ้นจากการหลอมสารอนินทรีย์และทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งแก้วจะมีลักษณะเป็นของแข็งที่ไม่เป็นผลึก มีโครงสร้างแบบสุ่มที่ไร้ระเบียบ แก้วที่เติมไอออนของโลหะจะได้รับความสนใจในด้านอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ทางแสง (G.S. Murugan et al., 2009: 158-166) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมแก้วซิงค์ลิเทียมโซเดียมบอเรต ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ และแก้วแต่ละตัวที่ได้เตรียมมาจะมีข้อดีแตกต่างกัน คือ

แก้วบอเรต เป็นแก้วที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำ มีความหนืดสูง มีโครงสร้างของอะตอมที่ง่ายไม่ซับซ้อน มีค่าดัชนีหักเหสูง มีสมบัติการส่งผ่านแสงดี มีเสถียรภาพทางเคมีที่ดี คือไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่ายและมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีเช่นกัน (Pascuta et al., 2008: 5475-5479)

แก้วซิงค์ออกไซด์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายในอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เช่นวัสดุเปล่งแสง และ เลเซอร์ไดโอด นอกจากนี้การเติมซิงค์ออกไซด์ลงในแก้วบอเรตจะช่วยเพิ่มความน่าสนใจในการทำเป็นผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย เช่น จอพลาสมา (Ahmad et al., 2014: 250-255)

ลิเทียม ออกไซต์ (Lithium oxide) เป็นโลหะที่เบาที่สุดในบรรดาโลหะทั้งหมด และมีความหนาแน่นเพียงครึ่งเท่าของน้ำ ลิเทียมเป็นโลหะสีเงิน อ่อนนิ่มมากจนตัดด้วยมีดคมๆ ได้ ลิเทียมมีคุณสมบัติอย่างโลหะแอลคาไลน์ทั้งปวง ลิเทียมทำปฏิกิริยาในน้ำได้ง่าย และ ไม่ปรากฏโดยอิสระในธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ลิเทียมยังถือว่าทำปฏิกิริยายากกว่าโซเดียม ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายกัน (Chien et al., 2013: 273-276)

โซเดียม ออกไซต์ (Sodium oxide) เป็นโลหะที่อ่อนนิ่มสีเงิน เกิดปฏิกิริยาการออกซิไดส์อย่างรวดเร็วในอากาศ ได้เปลวไฟสีเหลืองสด โซเดียมมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำแต่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดีกว่าโลหะลิเทียมแต่น้อยกว่าโลหะโพแทสเซียม

แร่โลหะหายาก (Rare Earth) ปัจจุบันนี้แก้วที่เติมไอออนของธาตุหายาก (Rare Earth) ได้รับการศึกษาอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานด้านเทคโนโลยีทางแสง เช่น อุปกรณ์ทางแสง เทคโนโลยีเลเซอร์ ตัวเก็บข้อมูลทางแสง และการพัฒนาคุณภาพของสารกัมมันตรังสี โดยจากการประยุกต์ใช้งานเหล่านี้มีความเป็นไปได้ที่นำมาใช้งานจริง ซึ่งจะศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีของแก้วที่เติมกลุ่มธาตุหายาก เช่น การให้ความร้อน ความต้านทานเชิงกล เสถียรภาพทางเคมี และสมบัติทางแม่เหล็ก คุณสมบัติเหล่านี้เป็นที่น่าสนใจต่อการพัฒนาอุปกรณ์ทางแสง (Pascuta et al., 2008: 5475-5479)

ยูโรเพียม (Europium) เป็นหนึ่งในตัวเลือกที่นิยมนำมาใช้งานทางด้านอุปกรณ์ทางแสงได้ดีที่สุด ซึ่งคุณสมบัติทางแสงของ Eu^{+3} จะมีความไวในการตอบสนองต่ออะตอมอื่นๆสูง การที่ Eu^{3+} เป็นตัวเลือกในการเติมลงไปในโครงสร้างแก้ว เนื่องจากมีระดับพลังงานค่อนข้างเรียบง่ายไม่ซับซ้อน โดยจะมีสถานะพื้นอยู่ที่ $^7F_0$ และเปล่งแสงที่สถานะ $^5D_0$ นอกจากจะพบงานวิจัยที่เจือ Eu^{+3} ลงในแก้วบอเรตแล้วยังมีงานวิจัยที่ศึกษาคุณสมบัติของไอออน Eu^{+3} ในแก้วฟลูออโรบอเรตโดยการเปลี่ยนแปลงสูตรการหลอมแก้วที่หลากหลาย การเติม Eu^{+3} ลงไปในโครงสร้างแก้วจะทำให้ประจุบวกของ Eu^{+3} จับกันกับออกซิเจนในโครงสร้างซึ่งจะทำให้เกิด ปรากฏการณ์ที่ออกซิเจนเป็นสะพานเชื่อม (BO) และปรากฏการณ์ที่ออกซิเจนไม่เป็นสะพานเชื่อม (NBO) (Ahmad et al., 2014: 250-255) Eu^{+3} สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ ใช้เป็นสารเรืองแสง สีแดงนิยมนำมาประยุกต์ใช้งานในการผลิตจอโทรทัศน์ หลอดไฟเรืองแสง (Sings et al., 2014: 106-110)

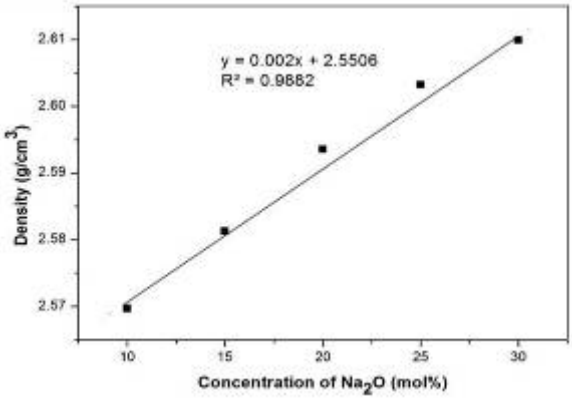
ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเตรียมแก้วซิงค์ลิเทียมโซเดียมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ ($ZLNaB:Eu^{3+}$) เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนต์ของแก้ว

2. วิธีการทดลอง

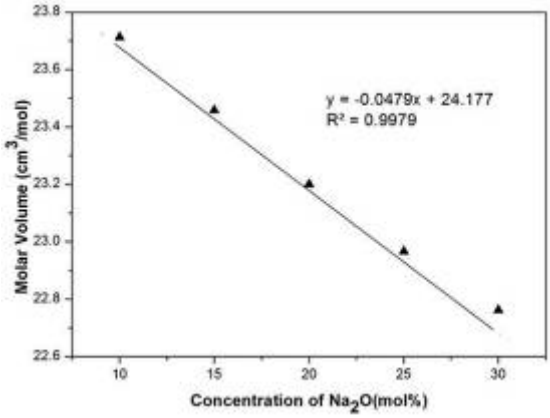
สำหรับสูตรแก้วที่ทำการเตรียมในงานวิจัยนี้ คือ (59-x)B_2O_3 – 30Li_2O – 10ZnO – xNa_2O – 1Eu_2O_3 เมื่อ (x คือ 10 15 20 25 และ 30 เปอร์เซ็นโมล) หลอมด้วยเทคนิคการหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (Melt Quenching Technique) โดยสารเคมีตั้งต้นที่ใช้คือ ZnO Li_2O Na_2O B_2O_3 และ Eu_2O_3 ที่มีความบริสุทธิ์สูงผสมลงในเบ้าหลอมอะลูมินา ต่อมานำไปหลอมในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ต่อมานำแก้วที่หลอมได้เทลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 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) และการวิเคราะห์สมบัติการเปล่งแสงโดยใช้เครื่อง Fluorescence Spectrophotometer (รุ่น Cary Eclipse บริษัท Agilent Technologies)

3. ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วซิงค์ลิเทียมโซเดียมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของโซเดียมออกไซด์ ตั้งแต่ 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โมล จากค่าความหนาแน่นพบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Na_2O ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของ Na_2O มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง โดยค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5697$\pm$0.0048 ถึง 2.6099$\pm$0.0004 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรดังแสดงในภาพที่ 1 และค่าปริมาตรเชิงโมล แสดงในภาพที่ 2 ซึ่งพบว่าค่าปริมาตรเชิงโมล มีค่าลดลงเนื่องจากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Na_2O ตั้งแต่ 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โมลจากความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความเข้มข้นของ Na_2O มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่าง คือ ค่าความหนาแน่นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่แตกต่างกันของ Na_2O

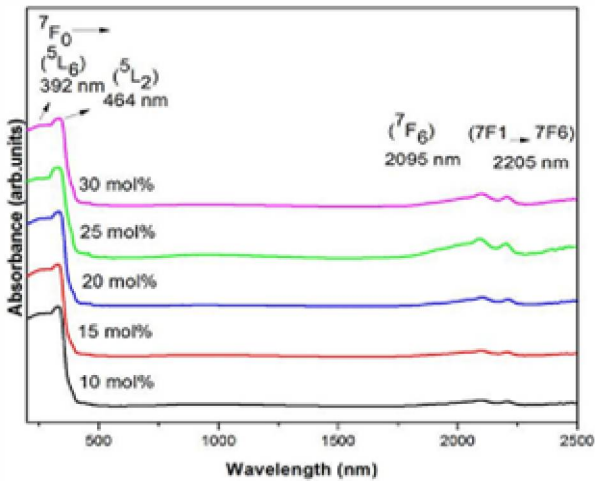


ภาพที่ 1 กราฟค่าความหนาแน่นของแก้ว (59-x)B_2O_3 – 30Li_2O – 10ZnO – xNa_2O – 1Eu_2O_3 ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของโซเดียมออกไซด์



ภาพที่ 2 กราฟค่าปริมาณเชิงโมลของแก้ว (59-x)B_2O_3 – 30Li_2O – 10ZnO – xNa_2O – 1Eu_2O_3 ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของโซเดียมออกไซด์

ผลจากการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วซิงค์ลิเทียมโซเดียมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของโซเดียมออกไซด์ ตั้งแต่ 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงในภาพที่ 3 พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 4 พีค โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 392 นาโนเมตร ($^5L_6$) 464 นาโนเมตร ($^5L_2$) 2095 นาโนเมตร ($^7F_6$) และ 2205 นาโนเมตร ($^7F_1 \rightarrow {}^7F_6$) สังเกตพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนของแสงของแก้วตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นการดูดกลืนในช่วงวิซิเบิลจนถึงช่วงอินฟราเรด โดยที่ความยาวคลื่น 392 ถึง 2205 นาโนเมตร

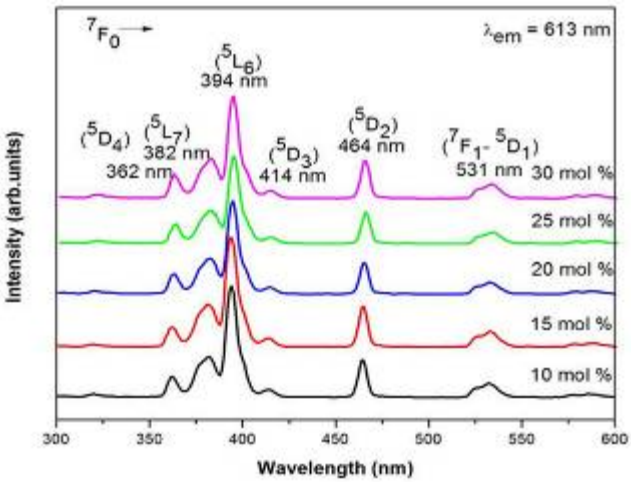


ภาพที่ 3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว (59-x)B_2O_3 – 30Li_2O – 10ZnO – xNa_2O – 1Eu_2O_3 ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของโซเดียมออกไซด์

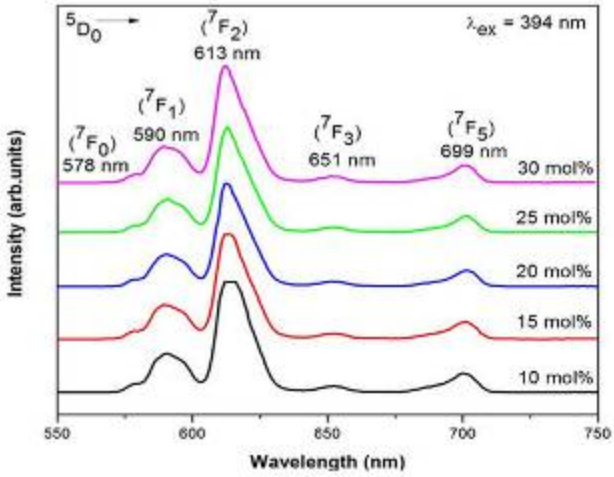
ผลการศึกษาสเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้วซิงค์ลิเทียมโซเดียมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของโซเดียมออกไซด์ ตั้งแต่ 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงในภาพที่ 4 พบว่าสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 6 พีค โดยใช้การเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ซึ่งพีคการ

กระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง ($^5D_4$) 362 นาโนเมตร ($^5L_7$) 382 นาโนเมตร ($^5L_6$) 394 นาโนเมตร ($^5D_3$) 414 นาโนเมตร ($^5D_2$) 464 นาโนเมตร และ ($^7F_1 \rightarrow {}^5D_1$) 531 นาโนเมตร

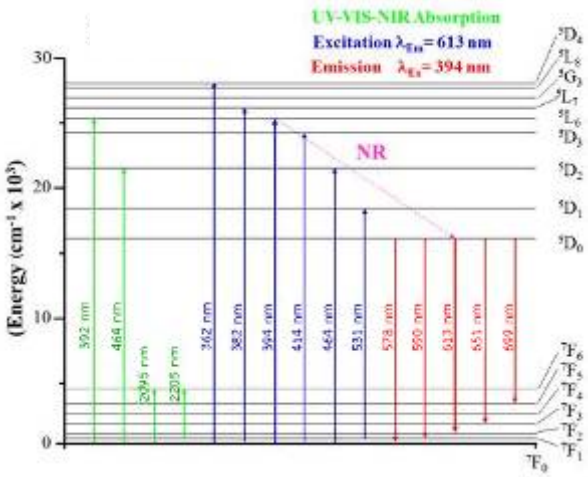
ผลการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมแบเรียมบอเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Na_2O ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงในภาพที่ 5 พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 5 พีคในช่วง NIR โดยการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 578 นาโนเมตร ($^7F_0$) 590 นาโนเมตร ($^7F_1$) 613 นาโนเมตร ($^7F_2$) 651 นาโนเมตร ($^7F_3$) และ 699 นาโนเมตร ($^7F_5$) สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ($^7F_2$) ซึ่งจะสอดคล้องกับไดอะแกรมระดับพลังงานของ Eu^{3+} แสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 4 สเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้ว (59-x)B_2O_3 – 30Li_2O – 10ZnO – xNa_2O – 1Eu_2O_3 ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของโซเดียมออกไซด์



ภาพที่ 5 สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้ว (59-x)B_2O_3 – 30Li_2O – 10ZnO – xNa_2O – 1Eu_2O_3 ที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของโซเดียมออกไซด์



ภาพที่ 6 ไดอะแกรมระดับพลังงานสำหรับการดูดกลืนแสง การกระตุ้นแสง และการเปล่งแสงของ Eu^{3+}

4. สรุปผลการวิจัย

จาการศึกษาแก้วซิงค์ลิเทียมโซเดียมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของโซเดียมออกไซด์ ตั้งแต่ 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โมล พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันค่าปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Na_2O ตั้งแต่ 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โมล จากความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความเข้มข้นของ Na_2O มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของแก้ว ตัวอย่าง คือ ค่าความหนาแน่นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่แตกต่างกันของ Na_2O ผลของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง VIS ถึง NIR ที่ความยาวคลื่น 250 ถึง 2500 นาโนเมตร ผลของสเปกตรัมการกระตุ้นแสง ปรากฏทั้งหมด 6.พีค โดยใช้การเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ซึ่งพีคการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง ($^5D_4$) 362 นาโนเมตร ($^5L_7$) 382 นาโนเมตร ($^5L_6$) 394 นาโนเมตร ($^5D_3$) 414 นาโนเมตร ($^5D_2$) 464 นาโนเมตร และ ($^7F_1 \rightarrow {}^5D_1$) 531 นาโนเมตร และผลของสเปกตรัมการเปล่งแสง ปรากฏทั้งหมด 5 พีค ในช่วง NIR โดยการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 578 นาโนเมตร ($^7F_0$) 590 นาโนเมตร ($^7F_1$) 613 นาโนเมตร ($^7F_2$) 651 นาโนเมตร ($^7F_3$) และ 699 นาโนเมตร ($^7F_5$) สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ($^7F_2$)

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับการร่วมมือและการสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

G.S. Murugan, E. Fargin, V. Rodriguez et al., **“Temperatureassisted electrical poling of TeO2-Bi2O3-ZnO glasses for nonlinear optical applications,”** Journal of Non-Crystalline Solids, vol. 344, no. 3, pp. 158–166, 2009.

Varshnaya, A.H., 1994, **Fundamentals of inorganic Glasses, Academic press, San Diego,** [online], Available: https://books.google.co.th/books?hl=en&lr [2013]

Ahmad, F., Hassan Aly, E., Atef, M., and ElOkr, M.M., 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

Ahmad, F., Aly, E.H., Atef, M., and ElOkr, M.M., 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.

Chien, H.H., Ma, K.J., Kuo, C.H., and Huang, ร.พ., 2013**, "Effect of Al_20_3 Coated Glass Preform on Glass-Mold sticking Behavior", Surface & Coatings Technology, Vol. 231, pp. 273-276.**

Pascuta, p., Borodi, G., and Culea, E., 2008**, "Influence of Europium Ions on Structure and Crystallization Properties of Bismuth Borate Glasses and Glass Ceramics",** Journal of Non-Crystalline Solids, vol. 354, pp. 5475-5479.

Sings, G.P., Kaur, p., Kaur, ร., and Singh, D.P., 2014, "**Gamma Ray Effect on the Covalent Behaviour of the $Ce0_2$-Ba0-B_20_3 glasses Gurinder",** Physica B, Vol. 450, pp. 106-110**.**