สมบัติทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรต ที่เจือด้วยดิสโพรซียมออกไซด์

Optical and Luminescence of Zinc Aluminium Bismuth Borate Glasses Dope with Dy_2O_3

ภัทรวจี ยะสะกะ[1,2*], สุตาภัทร คล้ายพอง[1] และจักรพงษ์ แก้วขาว[1,2]

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

บทคัดย่อ

ระบบแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรตที่เจือด้วยไอออนของดิสโพรเซียมถูกเตรียมขึ้นจากองค์ประกอบ (60-x)B_2O_3 -10ZnO -10Al_2O_3 -20Bi_2O_3 -xDy_2O_3 โดย 0.0 ≤ X ≤ 2.5 (เปอร์เซ็นต์โมล ของ Dy_2O_3) ด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และการลูมิเนสเซนซ์ของระบบแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรต เพื่อให้เข้าใจบทบาทของ Dy_2O_3 ผลที่ได้พบว่า ความหนาแน่นของแก้วระบบนี้ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาตรเชิงโมล แบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกที่ความเข้มข้นของ Dy_2O_3 0.0 ถึง 1.0 เปอร์เซ็นต์โมล ค่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าลดลง ช่วงที่สองที่ความเข้มข้นของ Dy_2O_3 1.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล ค่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 450 ถึง 2,000 นาโนเมตร พบว่า ค่าความเข้มข้นของพีคการดูดกลืนแสงสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของดิสโพรเซียมออกไซด์ นอกจากนี้ได้ตรวจสอบคุณสมบัติการเปล่งแสงของ Dy_2O_3 ที่เจือในระบบแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรต จากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 452 นาโนเมตร พบพีคการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 483, 574 และ 662 นาโนเมตร

คำสำคัญ: แก้วบอเรต, ดิสโพรซียมออกไซด์, สมบัติทางแสง, สมบัติการลูมิเนสเซนซ์

Abstract

Dy^{3+} -dope zinc aluminium bismuth borate glasses of the composition (60-x)B_2O_3 -10ZnO -10Al_2O_3 -20Bi_2O_3 -x Dy_2O_3 with 0.0 ≤ X ≤ 2.5 (in mol% of Dy_2O_3) have been synthesized by conventional melt quenching technique at 1,200 °C for 3 hours. In order to understand the role of Dy_2O_3 in zinc aluminium bismuth borate glasses systems, the physical, optical and luminescence properties were investigated. The results showed that Density increased whereas the molar volume can be divided into two regions. In the first region (0.0 -1.0 mol%), the molar volume decreases with increased slightly in Dy_2O_3 content up to 1.0 mol%. In the second region (1.0 -2.5 mol%), the molar volume increases. The optical absorption spectra of glasses were measured in the wavelength range of 450 – 2,000 nm for Dy^{3+} found that the concentration of the absorbance peaks higher concentrations of dysprosium oxide. In addition, the luminescence properties of Dy^{3+} –dope ZnO -Al_2O_3 -Bi_2O_3 -B_2O_3 glass system were carried out using excitation wavelengths of 452 nm the luminescence peaks around 483, 574 and 662 nm.

Keywords: borate glass, dysprosium oxide, optical property, luminescence property

1.บทนำ

แก้วเป็นวัสดุโปร่งใส เป็นโครงสร้างอสัณฐาน ถูกทำขึ้นจากการหลอมสารอนินทรีย์และทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งแก้วจะมีลักษณะเป็นของแข็งที่ไม่เป็นผลึก มีโครงสร้างแบบสุ่มที่ไร้ระเบียบ แก้วที่เติมไอออนของโลหะจะได้รับความสนใจในด้านอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ทางแสง [1] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรตที่มีการเจือด้วยไอออนของดิสโพรเซียม เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ และแก้วแต่ละตัวที่ได้เตรียมมาจะมีข้อดีแตกต่างกัน คือ

แก้วบอเรต เป็นแก้วที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำ มีความหนืดสูง มีโครงสร้างของอะตอมที่ง่ายไม่ซับซ้อน มีค่าดัชนีหักเหสูง มีสมบัติการส่งผ่านแสงดี มีเสถียรภาพทางเคมีที่ดี คือไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่ายและมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีเช่นกัน [3]

แก้วซิงค์ออกไซด์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายในอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เช่นวัสดุเปล่งแสง และ เลเซอร์ไดโอด นอกจากนี้การเติมซิงค์ออกไซด์ลงในแก้วบอเรตจะช่วยเพิ่มความน่าสนใจในการทำเป็นผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย เช่น จอพลาสมา [7]

แก้วบิสมัท ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมแก้ว เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติของแสงไม่เป็นเชิงเส้น นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้าน สวิตซ์ทางแสง เนื่องจากมีค่าดัชนีหักเหสูง และบิสมัท ยังเป็นตัวเลือกที่ดีในการทำตัวแปลงสัญญาณทางแสง และ เลเซอร์ อีกทั้งมีคุณสมบัติโพลาไรซ์ อิเล็กทรอนิกส์ ที่ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของคุณสมบัติทางแสงที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น [8]

แก้วอะลูมิเนียม นิยมนำมาใช้งานทางด้านแก้ว และวัสดุเซรามิค เนื่องจาก มีคุณสมบัติทางกลที่ดี เช่น มีความแข็งสูง อีกทั้งยังมีความแข็งแรง มีค่าต้านทานสูง และมีค่า โมดูลิส ยืดหยุ่นสูง [9]

ดิสโพรเซียม ในกลุ่มธาตุหายาก (Rare Earth) ไอออนดิสโพรเซียม (Dy^{3+}) เป็นหนึ่งในไอออนที่นิยมนำมาศึกษา เนื่องจากมีคุณสมบัติทางแสงที่ดี คือ มีการเปล่งแสงในช่วง VIS และ NIR โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านแสงต่าง ๆ เช่น จอแสดงผล และเลเซอร์ทางแสง [10]

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเตรียมแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรตที่มีการเจือด้วยด้วยไอออนของดิสโพรเซียม ($ZABiB:Dy^{3+}$) เพื่อศึกษาสมบัติการเปล่งแสง รวมทั้งทำการวิเคราะห์อิทธิพลของความเข้มข้นของการเจือ Dy^{3+} ที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้

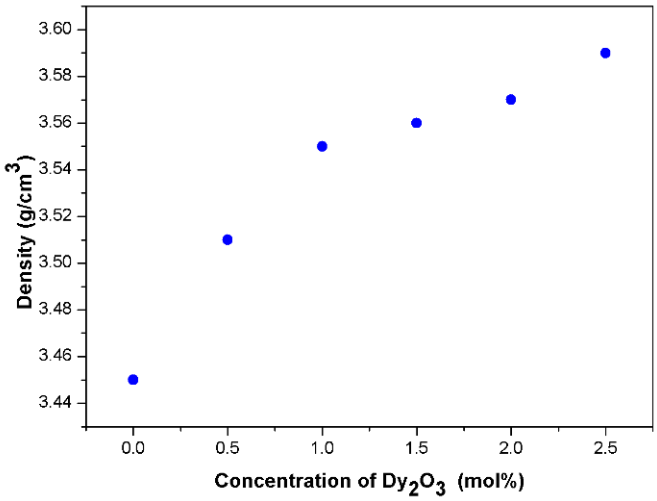
2. วิธีการทดลอง

สำหรับสูตรแก้วที่ทำการเตรียมในงานวิจัยนี้ คือ (60-x) B_2O_3 -10ZnO -10Al_2O_3 -20Bi_2O_3 -xDy_2O_3 (เมื่อ x คือ 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 โมลเปอร์เซ็นต์) หลอมด้วยเทคนิคการหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (Melt Quenching Technique) โดยสารเคมีตั้งต้นที่ใช้คือ ZnO Al_2O_3 Bi_2O_3 H_3BO_3 และ Dy_2O_3 ที่มีความบริสุทธิ์สูงผสมลงในเบ้าหลอมอะลูมินา ต่อมานำไปหลอมในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ต่อมานำแก้วที่หลอมได้เทลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 300 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)

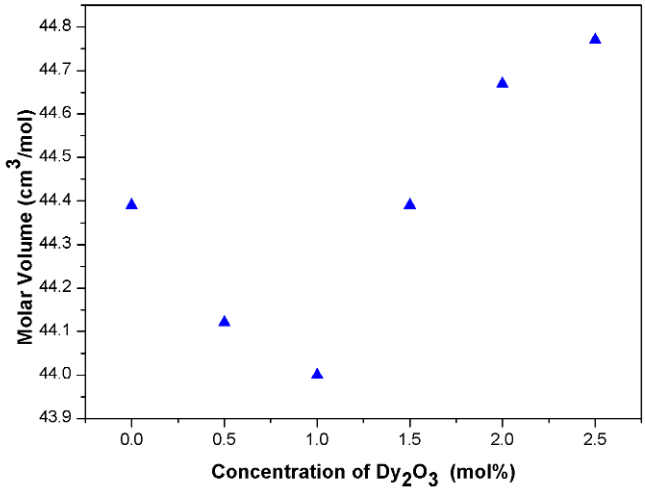
3. ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Dy_2O_3 ที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล จากค่าความหนาแน่นพบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Dy_2O_3 ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของ Dy_2O_3 มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง โดยค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 3.5093 $\pm$ 0.0018 ถึง 3.5936 $\pm$ 0.0003 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรดังแสดงในรูปที่ 1 และค่าปริมาตรเชิงโมล แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าค่าปริมาตรเชิงโมล แบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกที่ความเข้มข้นของ Dy_2O_3 0.0 ถึง 1.0 เปอร์เซ็นต์โมล ค่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าลดลง ช่วงที่สองที่ความเข้มข้นของ Dy_2O_3 1.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล ค่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าอยู่ระหว่าง 44.1152 ถึง 44.7695 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล

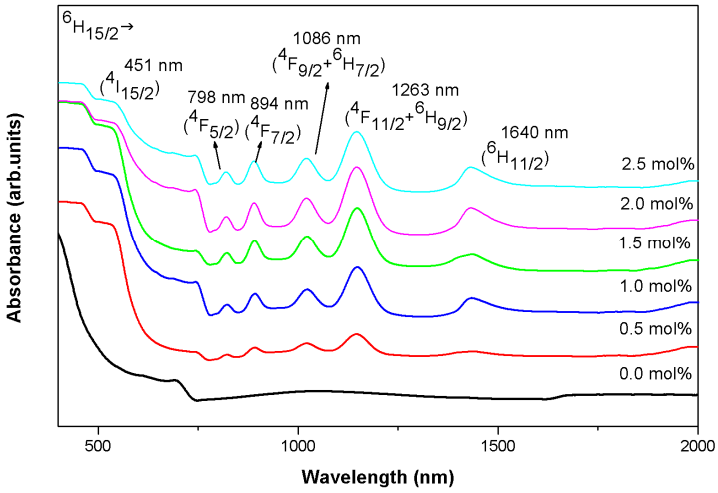


รูปที่1 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของแก้ว (60-x)B_2O_3 -10ZnO -10Al_2O_3 -20Bi_2O_3 ที่เจือด้วย Dy_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าปริมาณเชิงโมลของแก้ว (60-x)B_2O_3 -10ZnO -10Al_2O_3 -20Bi_2O_3 ที่เจือด้วย Dy_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

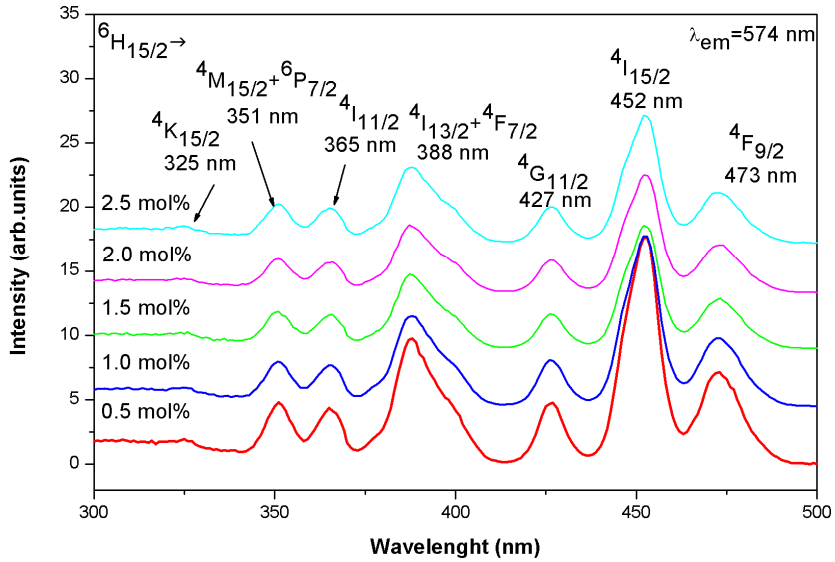
ผลจากการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมแบเรียมบอเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Dy_2O_3 ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงในรูปที่ 3 พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 6 พีค โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 451 นาโนเมตร ($^4I_{15/2}$) 798 นาโนเมตร ($^6F_{5/2}$) 894 นาโนเมตร ($^6F_{7/2}$) 1086 นาโนเมตร ($^6F_{9/2}$+$^6H_{7/2}$) 1263 นาโนเมตร ($^6F_{11/2}$+$^6H_{9/2}$) และ 1640 นาโนเมตร ($^6H_{11/2}$) สังเกตพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนของแสงของแก้วตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นการดูดกลืนในช่วงซิลิเบิลจนถึงช่วงอินฟราเรด โดยที่ความยาวคลื่น 451 ถึง 1640 นาโนเมตร



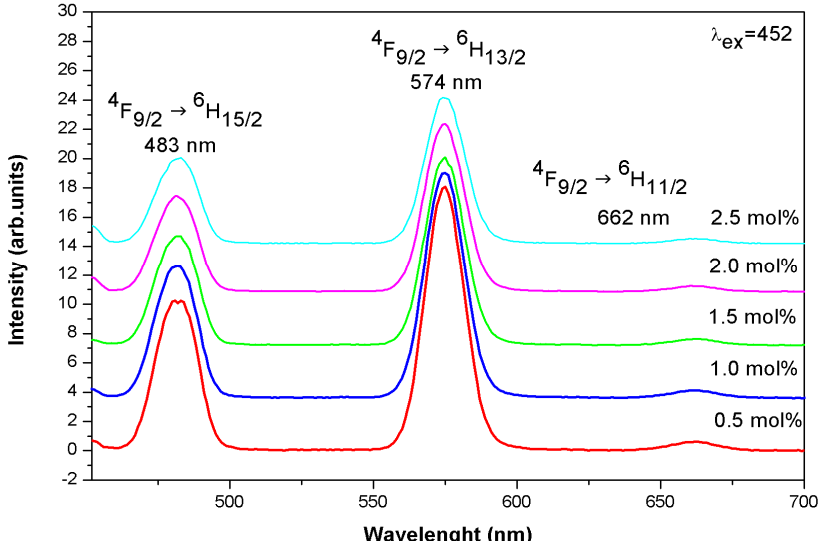
รูปที่ 3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว (60-x)B_2O_3 -10ZnO -10Al_2O_3 -20Bi_2O_3 ที่เจือด้วย EDy_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

ผลการศึกษาสเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมแบเรียมบอเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Dy_2O_3 ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงในรูปที่ 4 พบว่าสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 7 พีค โดยใช้การเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 574 นาโนเมตร ซึ่งพีคการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง และความยาวคลื่นที่ ($^4K_{15/2}$) 325 นาโนเมตร ($^4M_{15/2}+^6P_{7/2}$) 351 นาโนเมตร ($^4I_{11/2}$) 365 นาโนเมตร ($^4I_{13/2}+^4F_{7/2}$) 388 นาโนเมตร ($^4G_{11/2}$) 427 นาโนเมตร ($^4I_{15/2}$) 452 นาโนเมตร และ ($^4F_{9/2}$) 473 นาโนเมตร

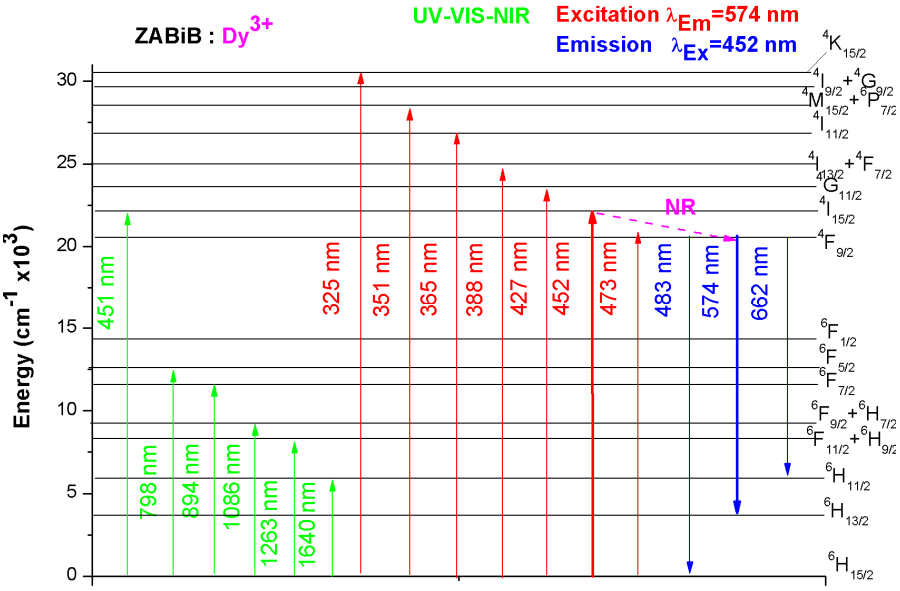
ผลการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมแบเรียมบอเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Dy_2O_3 ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงในรูปที่ 5 พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด3 พีคในช่วง NIR โดยการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 483 นาโนเมตร ($^4F_{9/2}\rightarrow^6H_{15/2}$) 574 นาโนเมตร ($^4F_{9/2}\rightarrow^6H_{13/2}$) และ 662 นาโนเมตร ($^4F_{9/2}\rightarrow^6H_{11/2}$) สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 574 นาโนเมตร ($^4F_{9/2}\rightarrow^6H_{13/2}$) ซึ่งจะสอดคล้องกับไดอะแกรมระดับพลังงานของ Dy^{3+} แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 4 สเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้ว (60-x)B_2O_3 -10ZnO -10Al_2O_3 -20Bi_2O_3 ที่เจือด้วย Dy_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



รูปที่ 5 สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้ว (60-x)B_2O_3 -10ZnO -10Al_2O_3 -20Bi_2O_3 ที่เจือด้วย Dy_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



รูปที่ 6 ไดอะแกรมระดับพลังงานสำหรับการดูดกลืนแสง การกระตุ้นแสง และการเปล่งแสงของ Dy^{3+}

4. สรุปผลการวิจัย

จาการศึกษาแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรตที่เจือด้วยดิสโพรเซียมออกไซด์ พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Dy_2O_3 และปริมาตรเชิงโมลแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกที่ความเข้มข้นของ Dy_2O_3 0.0 ถึง 1.0 เปอร์เซ็นต์โมล ค่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าลดลง ช่วงที่สองที่ความเข้มข้นของ Dy_2O_3 1.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล ค่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าเพิ่มขึ้น ผลของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง VIS ถึง NIR ที่ความยาวคลื่น 450 ถึง 2000 นาโนเมตร ผลของสเปกตรัมการกระตุ้นแสง ปรากฏทั้งหมด 7 พีค พบพีคการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง ($^4K_{15/2}$) 325 นาโนเมตร ($^4M_{7/2}$+$^6P_{7/2}$) 351 นาโนเมตร ($^4I_{11/2}$) 365 นาโนเมตร ($^4I_{13/2}$+$^4F_{7/2}$) 388 นาโน

เมตร ($^4G_{11/2}$) 427 นาโนเมตร ($^4I_{15/2}$) 452 นาโนเมตร และ ($^4F_{9/2}$) 473 นาโนเมตร$_2$ และผลของสเปกตรัมการเปล่งแสงปรากฏทั้งหมด 3 พีค ในช่วง VIS ถึง NIR โดยการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 483นาโนเมตร($^4F_{9/2}\rightarrow{}^6H_{15/2}$) 574 นาโนเมตร ($^4F_{9/2}\rightarrow{}^6H_{13/2}$) และ 662 นาโนเมตร ($^4F_{9/2}\rightarrow{}^6H_{11/2}$)

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับการร่วมมือและการสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

1. **A Review on Infrared Spectroscopy of Borate Glasses with Effects of Different Additives**, [online], Available: http://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/428497/ [26/08/2012]
2. Varshnaya, A.H., 1994, **Fundamentals of inorganic Glasses, Academic press, San Diego.**
3. 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
4. Dimitrov, V., and Komatsu, T., 2013 "**Optical basicity and chemical bonding of Bi_2O_3 containing glasses**" Journal of Non-Crystalline Solids Vol. 382, pp.18–23
5. Liu, M., Wang, Z., Wu, J., and Li, Q., 2015 "**Effects of Nd_2O_3 on the mechanical properties and oxidation behavior of Ti/Al_2O_3 composites by vacuum hot pressing sintering**" Journal of Alloys and Compounds, Vol. 648, pp.
6. Jyothi, I., Upender, G., Kuladeep, R., and Rao, D.N., 2014 "**Structural, thermal, optical properties and simulation of white light of titanium-tungstate-tellurite glasses doped with dysprosium**" Materials Research Bulletin, Vol. 454, pp.72–81