ผลของการเจือไอออนยูโรเพียมต่อสมบัติการเปล่งแสงใน แก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกต

วาสนา มาศิลป์[2] พละพล ยลพันธ์[2] และ ณัฐพล ศรีสิทธิโภคกุล[1,2,*]

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[*]Nattapon2004@gmail.com

บทคัดย่อ

*งานวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษาสมบัติการเปล่งแสงของแก้ว LiBaGdSi เจือด้วย Eu^{3+} และเตรียมแก้วจากสูตร $(50-x)SiO_2 : 25Li_2O : 20BaO : 5Gd_2O_3 : xEu_2O_3$ เมื่อ x เป็นความเข้มข้นของ Eu_2O_3 (0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล) ถูกเตรียมขึ้นด้วยเทคนิคการหลอมแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ผลการศึกษาพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 2,500 นาโนเมตร พบพีคของการดูดกลืนแสงจำนวน 6 พีค โดยการดูดกลืนแสงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงจากระดับชั้นพลังงาน $^7F_0$ และ $^7F_1$ ไปยังระดับชั้นพลังงาน $^5L_6$ (394 nm) $^5D_2$ (464 nm) $^5D_2$ (531 nm) $^5D_0$ (583 nm) $^7F_6$ (2090 nm) และ $^7F_6$ (2208 nm) สังเกตพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่างจะถูกดูดกลืนในช่วงอัลตราไวโอเลต วิซิเบิล จนถึงช่วงอินฟาเรด โดยที่ความยาวคลื่น 200 ถึง 2,500 นาโนเมตร จึงส่งให้ตัวอย่างแก้วเป็นสีแดงอ่อน สเปกตรัมการกระตุ้นด้วยแสงของแก้วลิเทียมแบ**เรี**ยมแกโดลิเนียมซิลิเกตถูกวิเคราะห์เพื่อศึกษาการเปล่งแสงของแก้วตัวอย่าง โดยกำหนดความยาวคลื่นสำหรับการเปล่งแสงที่ 613 นาโนเมตร ซึ่งจะพบพีคการกระตุ้นด้วยแสงจำนวน 7 พีค จากระดับชั้นพลังงาน พลังงาน $^7F_0$ ไปยังระดับชั้นพลังงาน $^5D_4$ (363 nm) $^5L_7$ (382 nm) $^5L_6$ (394 nm) $^5D_3$ (414 nm) $^5D_2$ (414 nm) $^5D_1$ (526 nm) และจากระดับชั้นพลังงาน $^7F_1$ ไปยังระดับชั้นพลังงาน $^5D_2$ (533 nm) ตามลำดับ และพบว่าความสูงของพีคการกระตุ้นสูงสุดเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 394 nm ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้น $^7F_0$ ไปยังระดับพลังงาน $^5L_6$ ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าความยาวคลื่นดังกล่าวเป็นความยาวคลื่นในการกระตุ้นให้แก้วเปล่งแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 550 ถึง 750 นาโนเมตร ที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของยูโรเพียมไอออนจากสถานะกระตุ้น $^5D_0$ ไปยังสถานะพื้น $^7F_2$ โดยแก้วตัวอย่างจะสามารถเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ได้สูงสุด และยังพบว่าแก้วตัวอย่างเจือด้วยยูโรเพียมไอออนที่มีปริมาณความเข้มข้น 1.0 ร้อยละโดยโมล จะเปล่งแสงได้สูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ*

คำสำคัญ: แก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกต/ ไอออนยูโรเพียม/ สมบัติทางกายภาพ/ สมบัติทางแสง/ สมบัติทางการเปล่งแสง

Effect of Eu^{3+} on luminescence property in LiBaGdSi glass

Wassana Masin[2] Supakit Yonphon[2] and Nattapon Srisittipokakun[1,2,*]
[1]Industrial Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, 73000, Thailand
[2] Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000, Thailand
*Nattapon2004@gmail.com

Abstract

The aims of this research, study the optical and luminescence properties of LiBaGdSi glasses doped with Eu^{3+} ions. The glass sample were prepared (50-x)SiO_2 : 25Li_2O : 20BaO : 5Gd_2O_3 : xEu_2O_3 where x was concentration of (0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mol%) using conventional melt-quenching technique. The results found that absorption spectra in the wavelength from 200 to 2,500 nm revealed six absorption peaks are assigned to the transition from the bottom of $^7F_0$ and $^7F_1$ to $^5L_6$ (394 nm) $^5D_2$ (464 nm) $^5D_2$ (531 nm) $^5D_0$ (583 nm) $^7F_6$ (2090 nm) and $^7F_6$ (2208 nm). The absorbance spectrum of glass samples were absorbed in the ultraviolet, visible light range up to the infrared range. with a wavelength of 200 to 2,500 nm, then the glass sample is light red. The excitation spectra of LiBaGdSi glasses were performed to know the emission wavelength, which were obtained by monitoring the emission with 613 nm. The excitation spectra consisted of seven are assigned to the transition from the bottom of $^7F_0$ to $^5D_4$ (363 nm) $^5L_7$ (382 nm) $^5L_6$ (394 nm) $^5D_3$ (414 nm) $^5D_2$ (414 nm) $^5D_1$ (526 nm) and transition from $^7F_1$ to $^5D_2$ (533 nm). The highest intensity of excitation peaks about 394 nm, which corresponds to changing the energy level from floor state $^7F_0$ to $^5L_6$. Hence it was chosen as excitation wavelength to study the emission spectra. The emission spectra contained two emission bands at 550 and 750 nm, which correspond to the $^5D_0 \longrightarrow {}^2F_7$ transitions. The emission spectra at 613 nm is the most intense band in this glass system. In addition, the result found that the quenching concentration was found at 1.0 mol% of Eu_2O_3 concentration.

Keywords: LiBaGdSi glasses/ Eu ion/ Physical properties/ Optical properties/ Luminescence properties

1. บทนำ

ในปัจจุบันวัสดุที่มีสมบัติการเปล่งแสง (luminescence) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการวิจัยและพัฒนาเป็นส่วนประกอบในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับแสง ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานในทั้งด้านการดำเนินชีวิต ด้านการแพทย์ และด้านอุตสาหกรรม เช่น อุปกรณ์ส่องสว่าง (ไดโอดเปล่งแสง) จอโทรทัศน์และคอมพิวเตอร์เส้นใยแสง เครื่องขยายเสียงออปติคอลเลเซอร์ และเครื่องมือตรวจวัดรังสี เป็นต้น โดยทั่วไปวัสดุที่มีสมบัติการเปล่งแสงมักถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศ อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นแบบผลึกหรือเป็นสารฟอสฟอร์ ส่งผลให้มีต้นทุนในการผลิตที่แพง จากงานวิจัยที่ผ่านเกี่ยวกับวัสดุเปล่งแสงที่มีโครงสร้างแบบอสัญฐานนั้นยังมีจำนวนน้อย (นวลทิพย์ วันทนะ, 2558) (ปิยะชาติ มีจิตรไพศาล และคณะ, 2558) (ภาณุวัฒน์ ชิมะลาวงค์ และคณะ, 2557) (ภัทรวจี ยะสะกะ และคณะ, 2559) (เยาวลักษณ์ ยามสุข และคณะ, 2561) ทั้งนี้วัสดุแก้วจัดเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างแบบอสัญฐานที่มีสมบัติการเปล่งแสงได้ ซึ่งแก้วนั้นมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าผลึกค่อนข้างมาก อีกทั้งยังสามารถผลิตได้ด้วยวิธีการที่ไม่ซับซ้อน แต่แก้วโดยทั่วไปจะไม่มีสมบัติการเปล่งแสง จึง

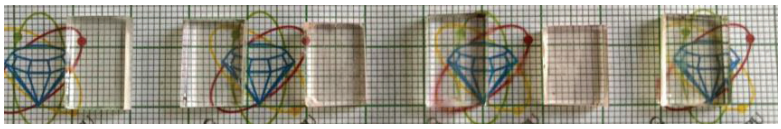
จำเป็นต้องเติมธาตุแลนทาไนด์เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งในองค์ประกอบของแก้ว สำหรับ Eu^{3+} ถือได้ว่าเป็นธาตุแลนทาไนด์ที่มีการเปล่งแสงในช่วงแสงที่ตามองเห็นได้อย่างชัดเจน และมีรูปแบบการเปล่งแสงที่มีความเสถียร แม้ว่าจะถูกเจือลงไปในโครงสร้างแก้วที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันก็ตาม ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะเตรียมแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตที่เจือด้วย Eu^{3+} เพื่อศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสง และสมบัติการเปล่งแสง เพื่อเป็นพื้นฐานองค์ความรู้ชั้นสูงทางด้านวัสดุในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางแสง (optical material) ด้านต่าง ๆ ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเตรียมแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตที่เจือด้วย Eu_2O_3 ตามอัตราส่วน $(50\text{-}x)SiO_2 : 25Li_2O : 20BaO : 5Gd_2O_3 : xEu_2O_3$ เมื่อ x คือความเข้มข้นของ Eu_2O_3 มีค่า 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล ในการเตรียมตัวอย่างแก้วจะเลือกใช้เทคนิคการทำให้แก้วเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (melt quenching technique) เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก และได้รับความนิยมมากในอุตสาหกรรม วิธีการเตรียมตัวอย่างแก้วจะเริ่มจากการเตรียมสารเคมีตามอัตราส่วนข้างต้นใส่ในเบ้าอะลูมินา จากนั้นนำเบ้าสารเคมีใส่เข้าไปในเตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง โดยจะทำการหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดจะนำเบ้าหลอมออกจากเตาแล้วเทน้ำแก้วลงบนแบบพิมพ์แกรไฟต์เพื่อทำให้แก้วเหลวได้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นนำแก้วที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 500 °C นาน 3 ชั่วโมง เพื่อลดความเครียดที่เกิดขึ้น จากนั้นปิดเตาให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วจึงนำแก้วออกจากเตา เมื่อได้แก้วแล้วนำไปขัดให้มีขนาด 1.0 cm × 1.5 cm × 0.3 cm เมื่อขัดแก้วได้ตามขนาดที่กำหนดหลังจากนั้นจึงนำมาศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง และสมบัติทางการเปล่งแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และการเปล่งแสง

3. ผลการวิจัย

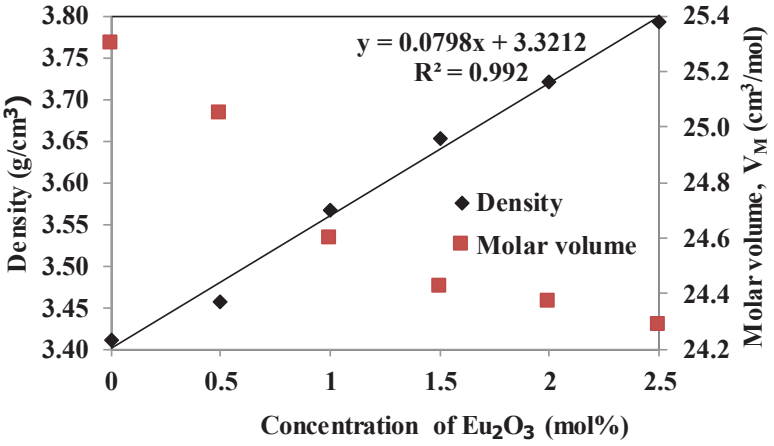
$(50\text{-}x)SiO_2 : 25Li_2O : 20BaO : 5Gd_2O_3 : xEu_2O_3$



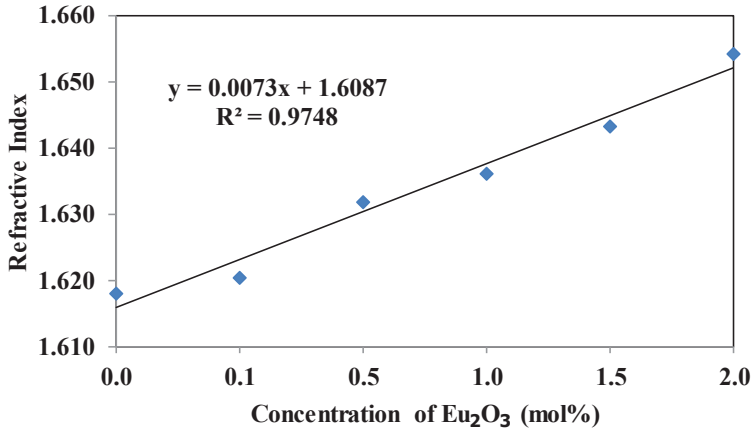
0.0 mol% 0.1 mol% 0.5 mol% 1.0 mol% 1.5 mol% 2.0 mol%

ภาพที่ 1 ลักษณะของแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตที่เจือด้วย Eu_2O_3 ที่ได้จากการหลอม

จากการหลอมแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตที่เจือด้วย Eu_2O_3 ที่ปริมาณความเข้มข้น 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mol% พบว่าแก้วที่ได้มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบ ดังภาพที่ 1 จากผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของแก้วพบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 3.4106 ± 0.0032 ถึง 3.7939 ± 0.0006 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากออกไซด์ของ Eu_2O_3 ซึ่งมีมวลโมเลกุลมากกว่าเข้าไปแทนที่ออกไซด์ของ SiO_2 ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 24.2865 ถึง 25.3045 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล ดังแสดงในภาพที่ 2 นั่นสามารถสันนิษฐานได้ว่า Eu_2O_3 ได้เข้าไปจับพันธะกับออกซิเจนที่ไม่มีพันธะกับอะตอมของธาตุอื่นๆ ที่อยู่ระหว่างโครงสร้างของแก้ว ทำให้ระยะห่างระหว่างอะตอมมีขนาดลดลงจึงทำให้โครงสร้างของแก้วเกิดการหดตัวลง ในงานวิจัยด้านวัสดุแก้วนั้นจะเรียกสารเคมีที่เติมลงในโครงสร้างแก้วแล้วทำให้ปริมาตรเชิงโมลของแก้วเปลี่ยนแปลงไปว่า Network modifier ค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.6410 ± 0.0002 ถึง 1.6515 ± 0.0001 โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิมที่ว่าค่าดรรชนีหักเหจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และสภาพการเกิดขั้วได้ของอะตอมในวัสดุ และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม Eu_2O_3 ดังแสดงในภาพที่ 3



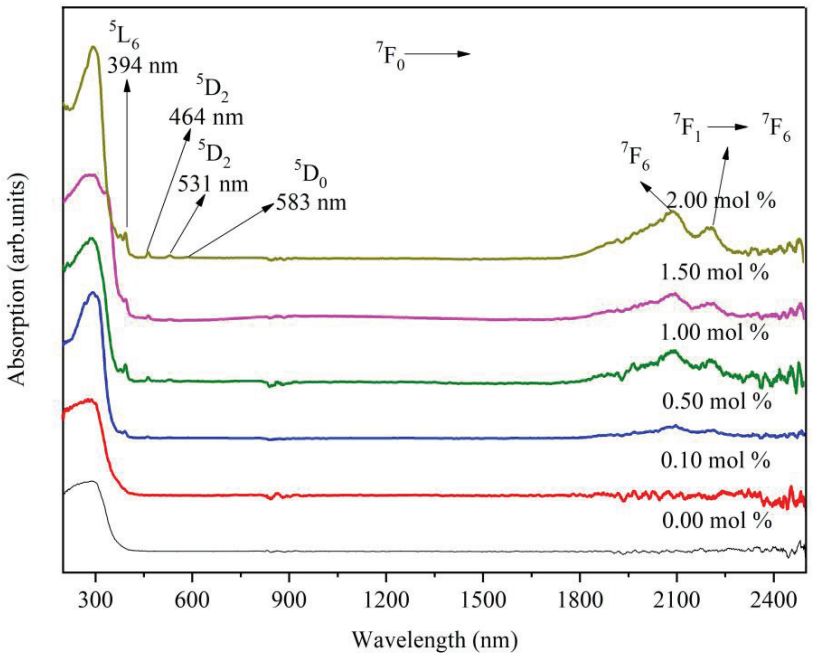
ภาพที่ 2 ค่าความหนาแน่น และปริมาตรเชิงโมลของแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตกับปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3



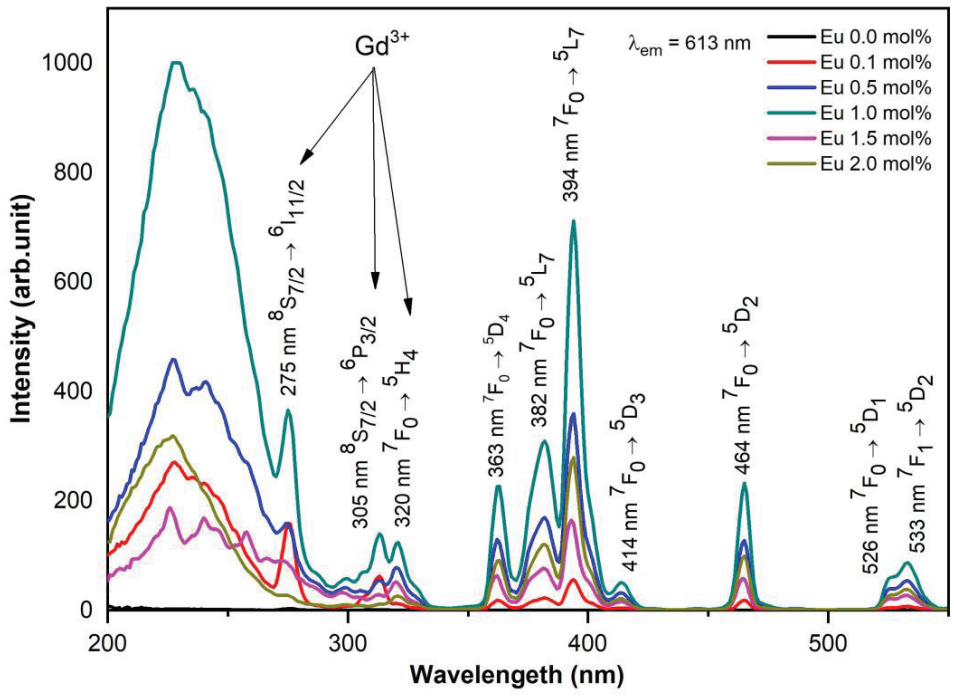
ภาพที่ 3 ค่าดัชนีหักเหของแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตกับปริมาณความเข้มข้นของ EU_2O_3

การวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-2,500 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิส เนียร์ไออาร์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV–Vis–NIR Spectrophotometer) ของแก้ว สามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 6 พีค โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 394 464 531 583 2,090 และ 2,208 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงจากระดับชั้นพลังงาน $^7F_0$ และ $^7F_1$ ไปยังระดับชั้นพลังงาน $^5L_6$ $^5D_2$ $^5D_2$ $^5D_0$ $^7F_6$ และ $^7F_6$ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4

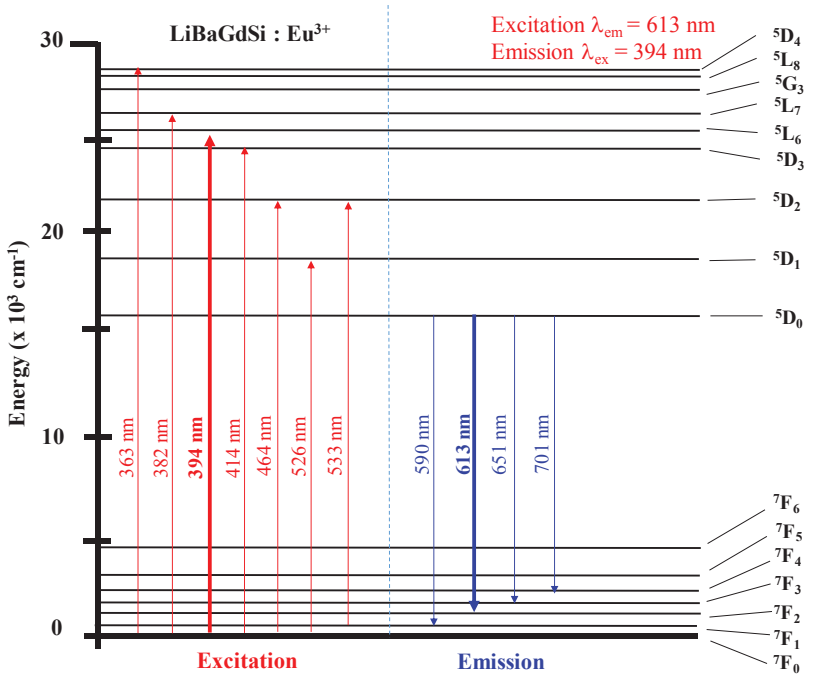
สเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตที่เจือด้วย Eu_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล สามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมการกระตุ้นได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 7 พีค โดยใช้ความยาวคลื่นจากการคายพลังงานที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร พบพีคการกระตุ้นของแสงที่ความยาวคลื่น 363 382 394 414 464 526 และ 533 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับชั้นพลังงาน $^7F_0$ ไปยังระดับชั้นพลังงาน $^5D_4$ $^5L_7$ $^5L_6$ $^5D_3$ $^5D_2$ $^5D_1$ และจากระดับชั้นพลังงาน $^7F_1$ ไปยังระดับชั้นพลังงาน $^5D_2$ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6 และยังพบพีคของ Gd^{3+} ที่ความยาวคลื่น 275 305 และ 320 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับชั้นพลังงานที่ตำแหน่ง $^8S_{7/2} \rightarrow {}^6I_{11/2}$ $^8S_{7/2} \rightarrow {}^6P_{3/2}$ และ $^7F_0 \rightarrow {}^5H_4$ ตามลำดับ



ภาพที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตกับปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3

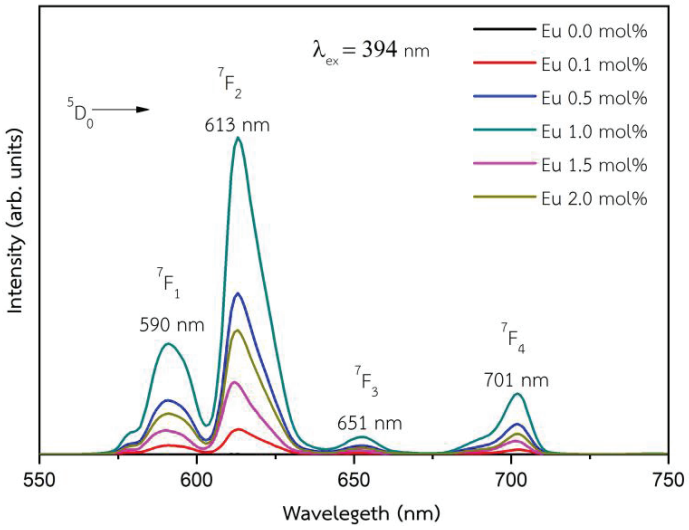


ภาพที่ 5 สเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตกับปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3

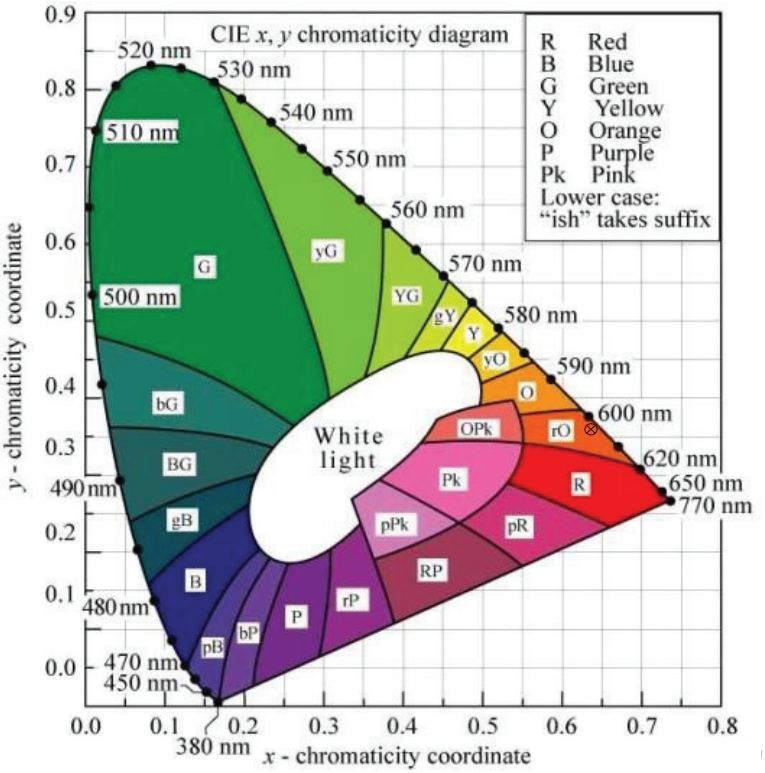


ภาพที่ 6 ไดอะแกรมระดับพลังงานสำหรับการกระตุ้นแสง และการคายพลังงานของ Eu^{3+}

สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตที่เจือด้วย Eu_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันตั้งแต่ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล เมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่นที่ 394 นาโนเมตร อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานชั้น $^5L_6$ จากนั้นจะปล่อยพลังงานในรูปของ non-radiative ทำให้เกิดการคายพลังงานออกมาในช่วงความยาวคลื่น 550 ถึง 750 นาโนเมตร ทั้งหมด 4 พีค ที่ความยาวคลื่น 590 613 651 และ 701 นาโนเมตร พีคการคายพลังงานที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานจาก $^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$ มีพีคสูงที่สุด ทั้งนี้พีคการคายพลังงานดังกล่าวมีความสูงเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 ที่มากขึ้น จนกระทั่งถึงความเข้มข้นที่ 1.0 ร้อยละโดยโมล จะมีความเข้มสูงที่สุดและจากนั้นความเข้มของพีคจะลดลง ดังแสดงในภาพที่ 7 โดยพีคการคายพลังงานเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานจาก $^5D_0$ ไปยัง $^7F_1$ $^7F_2$ $^7F_3$ และ $^7F_4$ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งจากการวัดค่าสีจะมีค่า x = 0.64521 และค่า y = 0.35373 ซึ่งอยู่ในช่วงสีแดงอ่อน ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 7 สเปกตรัมการคายพลังงานของแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตกับปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3



ภาพที่ 8 ค่าสีของการเปล่งแสงในระบบ CIE 1931 ของแก้วที่เติม Eu_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 1.0 ร้อยละโดยโมล

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเตรียมแก้วลิเทียมแบเรียมแกโดลิเนียมซิลิเกตที่เจือด้วย Eu_2O_3 ตามอัตราส่วน $(50\text{-}x)SiO_2 : 25Li_2O : 20BaO : 5Gd_2O_3 : xEu_2O_3$ เมื่อ x คือความเข้มข้นของ Eu_2O_3 มีค่า 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล ในการเตรียมตัวอย่างแก้วจะเลือกใช้เทคนิคการทำให้แก้วเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง และสมบัติทางการเปล่งแสง ผลที่ได้พบว่าค่าความหนาแน่น และดัชนีหักเหของแก้วมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าปริมาตรเชิงโมลกลับมีแนวโน้มในทางตรงกันข้าม เมื่อวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-2,500 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิส เนียร์ไออาร์ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สามารถสังเกตเห็นพีคการดูดกลืนแสงได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 6 พีค ที่ความยาวคลื่น 394 464 531 583 2,090 และ 2,208 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงไปยังระดับชั้นพลังงาน $^5L_6$ $^5D_2$ $^5D_2$ $^5D_0$ $^7F_6$ และ $^7F_6$ ตามลำดับ เมื่อสเปกตรัมการกระตุ้นแสงสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมการกระตุ้นได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 7 พีค โดยใช้ความยาวคลื่นจากการคายพลังงานที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร พบพีคการกระตุ้นของแสงที่ความยาวคลื่น 363 382 394 414 464 526 และ 533 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับชั้นพลังงาน $^7F_0$ ไปยังระดับชั้นพลังงาน $^5D_4$ $^5L_7$ $^5L_6$ $^5D_3$ $^5D_2$ $^5D_1$ และจากระดับชั้นพลังงาน $^7F_1$ ไปยังระดับชั้นพลังงาน $^5D_2$ ตามลำดับ และยังพบพีคของ Gd^{3+} ที่ความยาวคลื่น 275 305 และ 320 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับชั้นพลังงานที่ตำแหน่ง $^8S_{7/2} \rightarrow {}^6I_{11/2}$ $^8S_{7/2} \rightarrow {}^6P_{3/2}$ และ $^7F_0 \rightarrow {}^5H_4$ ตามลำดับ ส่วนสเปกตรัมการเปล่งแสงเมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่นที่ 394 นาโนเมตร ทำให้เกิดการคายพลังงานออกมาในช่วงความยาวคลื่น 550 ถึง 750 นาโนเมตร ทั้งหมด 4 พีค ที่ความยาวคลื่น 590 613 651 และ 701 นาโนเมตร พีคการคายพลังงานที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานจาก $^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$ มีพีคสูงที่สุด ทั้งนี้พีคการคายพลังงานดังกล่าวมีความสูงเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ Eu_2O_3 ที่มากขึ้น จนกระทั่งถึงความเข้มข้นที่ 1.0 ร้อยละโดยโมล จะมีความเข้มสูงที่สุดและจากนั้นความเข้มของพีคจะลดลง โดยพีคการคายพลังงานเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานจาก $^5D_0$ ไปยัง $^7F_1$ $^7F_2$ $^7F_3$ และ $^7F_4$ ตามลำดับ ซึ่งจากการวัดค่าสีจะอยู่ในช่วงสีแดงอ่อน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

นวลทิพย์ วันทนะ (2558). **การเตรียมและศึกษาสมบัติของแก้ว Li_2O-La_2O_3 -B_2O_3 ที่เจือด้วย Dy^{3+} Sm^{3+} และ Eu^{3+}** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปิยะชาติ มีจิตรไพศาล จิตรา เกตุแก้ว จักรพงษ์,แก้วขาว (2558). **การศึกษาสมบัติทางแสง และสมบัติการเปล่งแสงของแก้วแกโดลิเนียมแคลเซียมฟอสเฟต และฟลูออโรฟอสเฟตที่เจือด้วยไอออนของธาตุยูโรเปียม** งานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย 30-31 มีนาคม 2558

ภาณุวัฒน์ ชิมะลาวงค์ และ คณะ (2557). **รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาสมบัติการเปล่งแสงของธาตุหายากที่โดปในระบบแก้ว Bi_2O_3- ZnO -B_2O_3** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทร์เกษม

ภัทรวจี ยะสะกะ สุกฤตาสยุมพร จักรพงษ์,แก้วขาว (2559). **การศึกษาแก้วซิงค์อะลูมิเนียมแบเรียมบอเรตที่เจือด้วยยูโรเพียมออกไซด์** งานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย 31-1 มีนาคม 2559

เยาวลักษณ์ ยามสุข ภัทรวจี ยะสะกะ จักรพงษ์ แก้วขาว (2561). **การศึกษาสมบัติของแก้วซิงค์แบเรียมบอเรตที่เจือด้วยไอออนของยูโรเพียมออกไซด์** งานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 10 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย 29-30 มีนาคม 2561