ลักษณะการเปล่งแสงของแก้วโซเดียมแคลเซียมอะลูมิโนบอเรตที่เจือด้วยไอออนของโฮลเมียม

Luminescence Characteristics of NaCaAlB Glass doped with Ho^{3+} Ions

อัมพร นิลนนท์[1] และณัฐพล ศรีสิทธิโภคกุล[1,2*]

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำเพื่อศึกษาลักษณะการเปล่งแสงของแก้ว NaCaAlB ที่เจอด้วยไอออนของโฮลเมียม แก้วตัวอย่างมีสูตรเคมี $20CaO : 10Na_2O : 5Al_2O_3 : (65\text{-}x)B_2O_3 : xHo_2O_3$ (เมื่อ x คือ ปริมาณความเข้มข้นของโฮลเมียมออกไซด์ ที่มีค่าตั้งแต่ 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล) ผลการศึกษาพบว่า ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมลและดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 2.4821 ± 0.0058 ถึง 2.6451 ± 0.0004 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร 27.0397 ถึง 29.4758 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล และ1.5577 ± 0.0005 ถึง 1.5531 ± 0.0001 ตามลำดับ สำหรับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว พบพีคของการดูดกลืนแสงจำนวน 9 พีค สเปกตรัมการกระตุ้นด้วยแสงของแก้วโซเดียมแคลเซียมอะลูมิโนบอเรตพบพีคการกระตุ้นด้วยแสงจำนวน 6 พีค และยังพบว่าแก้วตัวอย่างเจือด้วยโฮลเมียมไอออนที่มีปริมาณความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยโมลจะเปล่งแสงได้สูงกว่าที่ความเข้มข้นอื่น ๆ

คำสำคัญ: แก้ว NaCaAlB Ho^{3+} สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง สมบัติทางการเปล่งแสง

Abstract

This research aims to study luminescence characteristics of NaCaAlB glass doped with Ho^{3+} ions. *The glass sample were prepared from $20CaO : 10Na_2O : 5Al_2O_3 : (65\text{-}x)B_2O_3 : xHo_2O_3$ (where x was concentration ranging from Ho_2O_3 0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mol%). The result found that the values of density, molar volume and refractive index were in the range of 2.4821 ± 0.0058 to 2.6451 ± 0.0004 g/cm^3, 27.0397 to 29.4758 cm^3/mol and 1.5577 ± 0.0005 to 1.5531 ± 0.0001, respectively. The absorption spectra revealed nine absorption peaks. The excitation spectra consisted of six bands. The result found that the quenching concentration was found at 0.1 mol% of Ho_2O_3 concentration.*

Keywords: NaCaAlB glasses, Ho^{3+}, physical properties, optical properties, luminescence properties

1. บทนำ

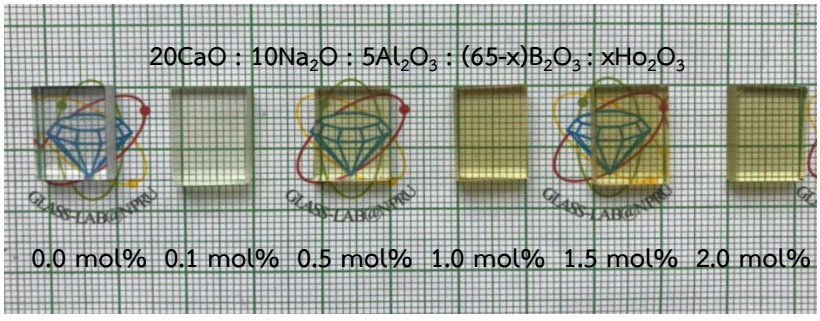
คริสต์ศตวรรษที่ 21 วัสดุที่มีสมบัติการเปล่งแสง (Luminescence) กำลังเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแสง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีการเตรียมแก้วโซเดียม-แคลเซียมอะลูมิโนบอเรต (NaCaAlB) โดยใช้สารประกอบคือโซเดียมคาร์บอเนตที่สามารถหลอมเหลวในอุณหภูมิที่ต่ำ แต่จะเปราะ และแตกง่าย ไม่ทนต่อสารเคมี จึงมีการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีความทนทานต่อการสึกกร่อนของสารเคมีได้ดี ทั้งยังมีโบรอนออกไซด์ หรือ บอริคออกไซด์ ที่จะช่วยให้แก้วมีความสามารถในการทนความร้อนได้สูง เพื่อให้แก้วมีการเรียงตัวของผลึกออกมาสวยงามจึงได้เติมแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งแก้วตัวอย่างจะมีการเจือด้วย Ho^{3+} เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติการดูดกลืนแสง และสมบัติการเปล่งแสง รวมทั้งทำการวิเคราะห์อิทธิพลของความเข้มข้นของการเจือที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อเป็นองค์ความรู้ชั้นสูงทางด้านวัสดุในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางแสง (Optical material) ด้านต่าง ๆ ต่อไป โดยเฉพาะการนำไปใช้เป็นวัสดุสื่อเลเซอร์ (Laser medium)

2. วิธีทดลอง

งานวิจัยนี้ได้เตรียมส่วนผสมในการหลอมแก้วจากร้อยละโดยมวลของสารตั้งต้นต่าง ๆ ดังนี้ $20CaO : 10Na_2O : 5Al_2O_3 : (65-x)B_2O_3 : xHo_2O_3$ (เมื่อ x เท่ากับ 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mol%) โดยหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง จากนั้นรอจนอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้องจึงนำแก้วออกจากเตา นำตัวอย่างแก้วที่ได้จากการหลอมมาขัดด้วยเครื่องขัดชิ้นงานให้มีขนาดเท่ากับ 1.0 x 1.5 x 0.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยให้แก้วที่ขัดมีขนาดใสและผิวเรียบ

3. ผลการวิจัย

แก้วที่เติม Ho_2O_3 ปริมาณความเข้มข้น 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 mol% ตามลำดับ พบว่าแก้วที่ได้มีลักษณะโปร่งแสง ผิวเรียบมัน มีสีเหลืองอ่อน โดยสีเหลืองอ่อนของแก้วตัวอย่างจะเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Ho_2O_3 เนื่องจากอิทธิพลของ Ho^{3+} ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะของแก้วโซเดียมแคลเซียมอะลูมิโนบอเรตที่ได้จากการหลอม

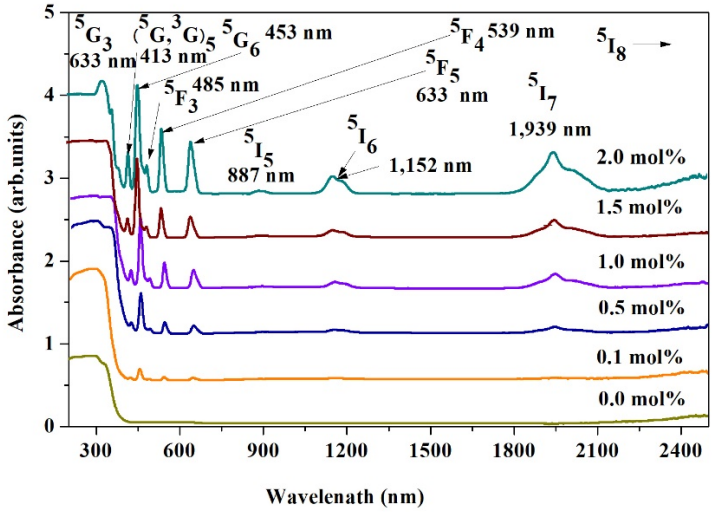
จากผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของแก้ว NaCaAlB ด้วย Ho_2O_3 ที่ปริมาณความเข้มข้น 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล โดยค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 2.4821 ± 0.0058 ถึง 2.5970 ± 0.0041 กรัมต่อลูกบาศก์-เซนติเมตร เนื่องจากโมเลกุลของ Ho_2O_3 มีค่ามากกว่า B_2O_3 จึงทำให้มวลโมเลกุลรวมมีค่ามากขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นของแก้วมีค่าเพิ่มมากขึ้นในค่าความเข้มข้นที่ 0.0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล แต่เนื่องจากการทดลองมีปัจจัย

หลายอย่างที่ทำให้ผลการทดลองไม่เป็นไปตามแนวโน้ม ค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 27.0397 ถึง 29.4758 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล โดยในช่วงความเข้มข้น 0.0 ถึง 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากมีการจับพันธะของ Ho_2O_3 ในโครงสร้างแก้ว ในช่วงความเข้มข้น 0.5 ถึง 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล การจับพันธะลดลง และค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่างไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนเมื่อทำการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3 ตั้งแต่ 0.1 ถึง 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล และดัชนีหักเหของแก้วโซเดียมแคลเซียมอะลูมิโนบอเรต

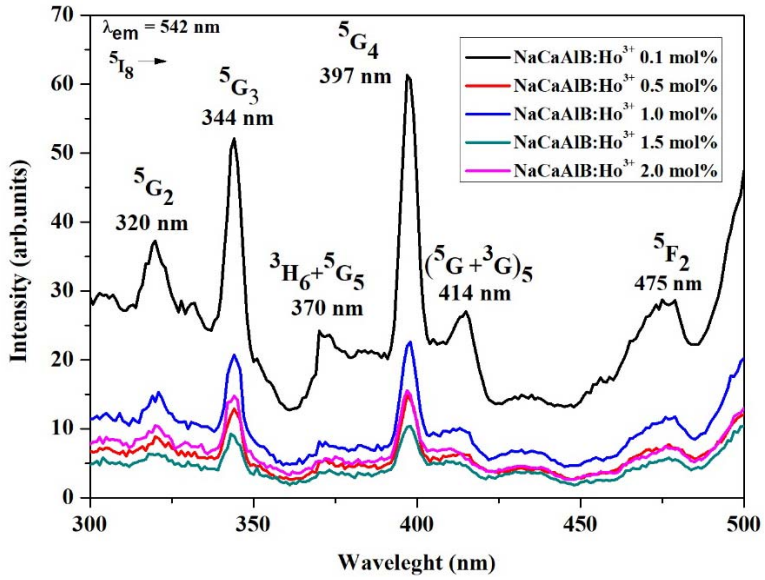
ความเข้มข้น Ho_2O_3 (เปอร์เซ็นต์โดยโมล)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาตรเชิงโมล (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล)	ดัชนีหักเห
0.0	2.4821 ± 0.0058	27.3023	1.5606 ± 0.0002
0.1	2.5176 ± 0.0036	27.0397	1.5534 ± 0.0003
0.5	2.5214 ± 0.0008	27.4880	1.5531 ± 0.0001
1.0	2.5970 ± 0.0041	27.2812	1.5574 ± 0.0003
1.5	2.6451 ± 0.0004	27.3678	1.5584 ± 0.0003
2.0	2.5531 ± 0.0006	27.3023	1.5577 ± 0.0005

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนของแก้ว NaCaAlB ที่เจือด้วย Ho_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ดังรูปที่ 2 จากรูปสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 9 พีค โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 323 นาโนเมตร ($^5G_3$) 413 นาโนเมตร ($^5G,^3G)_5$ 453 นาโนเมตร ($^5G_6$) 485 นาโนเมตร ($^5F_3$) 539 นาโนเมตร ($^5F_4$) 633 นาโนเมตร ($^5F_5$) 887 นาโนเมตร ($^5I_5$) 1,152 นาโนเมตร ($^5I_6$) และ 1,939 นาโน-เมตร ($^5I_7$) สังเกตพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่างจะถูกดูดกลืนในช่วงอัลตราไวโอเลต วิสิเบิล จนถึงช่วงอินฟาเรด โดยที่ความยาวคลื่น 200 ถึง 2,500 นาโนเมตร จึงส่งให้ตัวอย่างแก้วเป็นสีเหลืองอ่อน

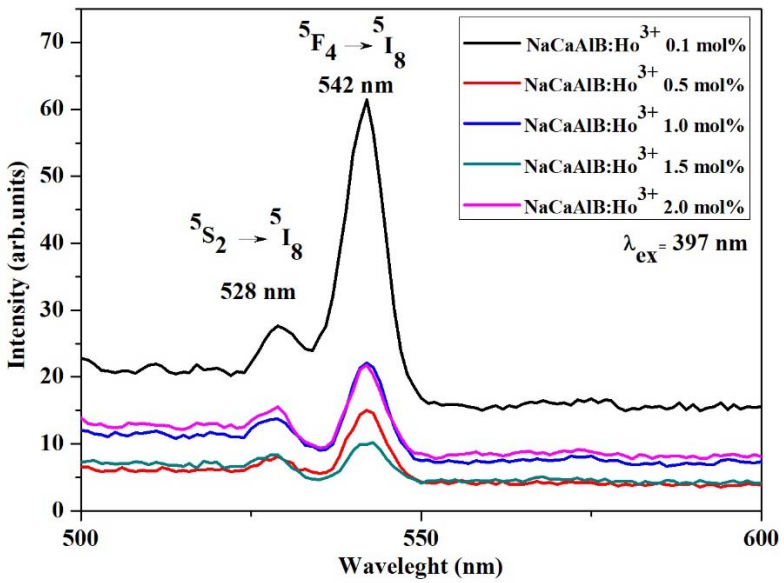


รูปที่ 2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วโซเดียมแคลเซียมอะลูมิโนบอเรตกับปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3

สเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้ว NaCaAlB ที่เจือด้วย Ho_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันตั้งแต่ 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล แสดงดังรูปที่ 3 จากรูปสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมการกระตุ้นได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 6 พีค โดยใช้การคายพลังงานที่ความยาวคลื่น 542 นาโนเมตร ซึ่งพีคการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง $^4S_2$, $^5F_4 \rightarrow {}^5I_8$ และความยาวคลื่นที่ 320 นาโนเมตร ($^5G_2$) 344 นาโนเมตร ($^5G_3$) 370 นาโนเมตร ($^3H_6+{}^5G_5$) 397 นาโนเมตร ($^5G_4$) 414 นาโนเมตร ($^5G+{}^3G)_5$ และ 475 นาโนเมตร ($^5F_2$) และได้ทำการวัดการเปล่งแสงเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงที่ความยาวคลื่น 397 นาโนเมตร พบพีคการเปล่งแสง 2 พีค ที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนคือ $^4S_2 \rightarrow {}^5I_8$ (528 นาโนเมตร) และ $^5F_4 \rightarrow {}^5I_8$ (542 นาโนเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 สเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้วโซเดียมแคลเซียมอะลูมิโนบอเรตกับปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3



รูปที่ 4 สเปกตรัมการคายพลังงานของแก้วโซเดียมแคลเซียมอะลูมิโนบอเรตกับปริมาณความเข้มข้นของ Ho_2O_3

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเจือไอออนของธาตุโฮลเมียมลงในระบบแก้ว NaCaAlB ที่เตรียมขึ้นจากสูตร 20CaO : $10Na_2O$: $5Al_2O_3$: $(65-x)B_2O_3$: xHo_2O_3 (เมื่อ x เท่ากับ 0.0 0.1 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล) ผลที่ได้พบว่า ค่าความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล และดัชนีหักเหของระบบแก้ว ไม่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจน เมื่อวัดสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-2,500 นาโนเมตร พบจำนวนยอดพีคของการดูดกลืนแสงจำนวน 9 ยอดพีค ที่ความยาวคลื่น 323 413 453 539 633 887 1,152 และ 1,939 นาโนเมตร ทำการกระตุ้นแสงที่ความยาวคลื่น 300 – 500 นาโนเมตร พบพีคการกระตุ้นแสง 6 พีค ที่ความยาวคลื่น 320 344 370 397 414 และ 475 นาโนเมตร และได้ทำการวัดการเปล่งแสงเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงที่ความยาวคลื่น 397 นาโนเมตร พบพีคการเปล่งแสง 2 พีค ที่ความยาวคลื่น 528 นาโนเมตร และ 542 นาโนเมตร จากงานวิจัยพบว่าความเข้มข้นของไอออนของธาตุโฮลเมียม 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ที่เจือลงในระบบแก้ว NaCaAlB ให้ค่าความเข้มของพีคสูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

Jean – Claude G, Bünzli and Piguet. (2005). Taking advance of luminescent lanthanide ions. **Criticail Review.** pp.1.

T. Suhasini, B.C. Jamalaiah, T. Chengaiah, J. Suresh Kumar and L. Rama Moorthy. (2011). An investigation on visible luminescence of Ho^{3+} activated LBTAF glasses. **Physics B**. Vol.407, pp.523 – 527.

P. Haro – Gonzálev, I.R. Martín, Alberto Hernández Creus. (2010). Nanocrystals formation on Ho^{3+} doped strontiumbarium niobate glass. **Journal of Luminescence**. Vol.131, pp.657 – 661.

M. Venkateswarlu, Sk.Mahamuda, K.Swapna, M.V.V.K.S.Prasad, A.SrinivasaRao, Suman Shakya, A.MohanBabu, G.VijayaPrakash. (2015). Holmium doped Lead Tungsten Tellurite glasses for green luminescent applications. **Journal of Luminescence.** Vol.163, pp.64-71