

การตรวจสอบการเปล่งแสงในช่วงที่ตามองเห็นของแก้ว NaKSiB ที่เจือด้วยไอออนของ Dy³⁺ Luminescence Investigation of Visible Light Emitting of Dy³⁺ Ions doped NaKSiB Glasses

วรรณิตา เชียงตุง¹ และณัฐพล ศรีสิทธิโกศล^{1,2*}

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*Nattapon2004@gmail.com

บทคัดย่อ

แก้วตัวอย่างในระบบโซเดียม-โพแทสเซียม-ซิลิโคโบเรต ที่มีสูตรเคมี คือ $10K_2O: 15SiO_2: 15Na_2O: (60-x)B_2O_3: xDy_2O_3$ ($x = 0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0$ และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล) ที่เจือด้วยไอออนของดิสโพรเซียม สมบัติพื้นฐานของแก้วตัวอย่าง ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห รวมถึงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง และสเปกตรัมการเปล่งแสง ได้ถูกศึกษาในงานวิจัยนี้ จากสเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้วตัวอย่าง เมื่อกำหนดความยาวคลื่นสำหรับการเปล่งแสงที่ 576 nm จะพบพีคการกระตุ้นแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 351 nm และสำหรับสเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วตัวอย่างที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงที่ 351 nm จะพบการเปล่งแสงหลัก 3 พีค คือ แสงสีน้ำเงินที่ความยาวคลื่น 482 nm, แสงสีเหลืองที่ความยาวคลื่น 577 nm และแสงสีแดงที่ความยาวคลื่น 661 nm โดยแก้วตัวอย่างที่มีปริมาณของดิสโพรเซียมออกไซด์ 1.5 mol% จะสามารถเปล่งแสงที่มีความเข้มแสงสูงกว่าแก้วตัวอย่างอื่น ๆ

คำสำคัญ: แก้ว NaKSiB ดิสโพรเซียม สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง สมบัติการเปล่งแสง

Abstract

The Dy³⁺ doped sodium potassium silicoborate (NaKSiB) glasses with composition $10K_2O: 15SiO_2: 15Na_2O: (60-x)B_2O_3: xDy_2O_3$ ($x = 0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0$ and 1.5 mol%). The basic properties of the obtained glasses such as density, molar volume and refractive index were studied. Furthermore, optical absorption spectra and luminescence spectra were investigated. The excitation spectra observed under 576 nm emission wavelength showed the highest peak centered at 351 nm. The emission spectra, excited with 351 nm excitation wavelength showed three major peaks corresponding to 482 nm blue emission, 577 nm yellow emission, and 661 nm red emission. Among all glass samples, the glass with 1.5 mol% of Dy³⁺ showed the highest emission intensity.

Keywords: NaKSiB glasses, dysprosium, physical properties, optical properties, luminescence properties

1. บทนำ

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ได้ใช้ประโยชน์จากวัสดุที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมากมาย เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ แก้วจึงเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น งานบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์ที่ใช้งานทางแสง และเครื่องประดับ เป็นต้น

โบรอกไซด์ (B_2O_3) ถูกใช้เป็นส่วนผสมหลักทำหน้าที่เป็นโครงข่ายแก้วที่สำคัญ นอกจากนี้แก้วซิลิกา และแก้วฟอสเฟต ยึดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้มีคุณสมบัติทางเคมีที่น่าสนใจ เนื่องจากมีการจับตัวกันของอะตอมโบรอนกับอะตอมออกซิเจนที่มีรูปแบบแตกต่างกัน ส่งผลทำให้แก้วมีโครงสร้างที่หลากหลาย แก้วบอเร็ตเมื่อถูกหลอมเหลวและมีความหนืดสูง มีแนวโน้มการก่อตัวที่เป็นลักษณะผลึกในเนื้อแก้ว จึงทำให้แก้วบอเร็ตเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านทัศนศาสตร์

ดิสโพรเซียมเป็นธาตุโลหะเอิร์ธรหายาก มีลักษณะสีเงินวาวอ่อนนุ่มสามารถตัดได้ด้วยมีด มีความเสถียรในอากาศ ที่อุณหภูมิห้องละลายได้ดีในกรดเจือจางและเข้มข้นโดยจะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออกมา

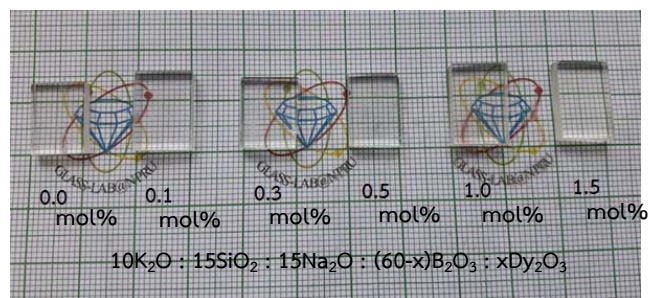
ซึ่งในปัจจุบันวัสดุที่มีสมบัติการเปล่งแสงกำลังเป็นสิ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งแก้วที่เติมไอออนของโลหะหายากจะได้รับความสนใจในด้านอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ทางแสงเป็นอย่างมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของการเติม Dy^{3+} ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางการเปล่งแสงของแก้ว NaKSIB ที่ความเข้มข้นต่างกัน

2. วิธีการทดลอง

แก้วจากสูตร $10K_2O : 15SiO_2 : 15Na_2O : (60-x)B_2O_3 : xDy_2O_3$ (เมื่อ x เท่ากับ 0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 และ 1.5 mol%) ใช้เทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูง และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแก้วที่ได้จากการหลอมลงบนแบบแม่พิมพ์ และนำแก้วเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงในเตาอบจนถึงอุณหภูมิห้อง นำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด 1.0 cm x 1.5 cm x 0.3 cm เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางการเปล่งแสงของแก้ว ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาตรเชิงโมล ค่าดัชนีหักเห ค่าการดูดกลืนแสง และค่าการเปล่งแสง

3. ผลการวิจัย

แก้วจากสูตร $10K_2O : 15SiO_2 : 15Na_2O : (60-x)B_2O_3 : xDy_2O_3$ (เมื่อ x เท่ากับ 0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 และ 1.5 mol%) พบว่าแก้วตัวอย่างมีลักษณะโปร่งใส และมีสีเหลืองอ่อน ดังแสดงในภาพที่ 1



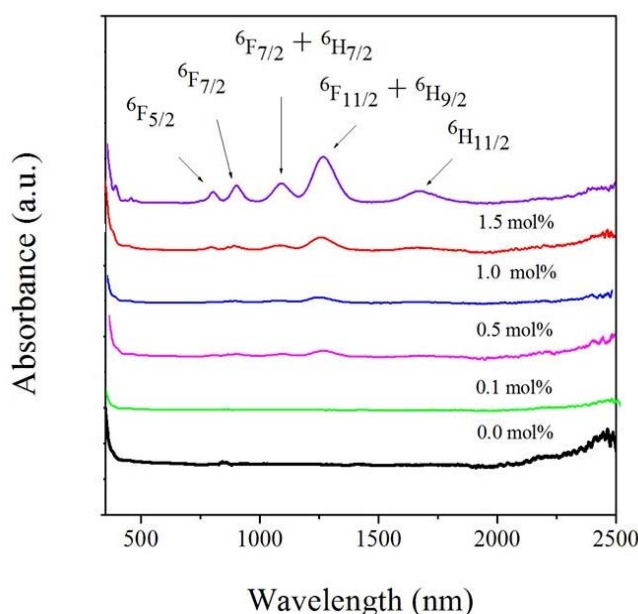
ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของแก้วตัวอย่างที่เติม Dy_2O_3 ที่ได้จากการหลอม

จากการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของแก้วที่เจือด้วย Dy_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 และ 1.5 mol% โดยค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 2.2583 ± 0.0051 ถึง 2.3604 ± 0.0056 g/cm^3 ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน ค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วจะมีค่าอยู่ระหว่าง 30.0349 ถึง 32.1121 cm^3/mol มีแนวโน้มไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน และค่าดัชนีหักเหของแก้วมีค่าอยู่ระหว่าง 1.4988 ± 0.0002 ถึง 1.5130 ± 0.0002 ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล และดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม Dy_2O_3

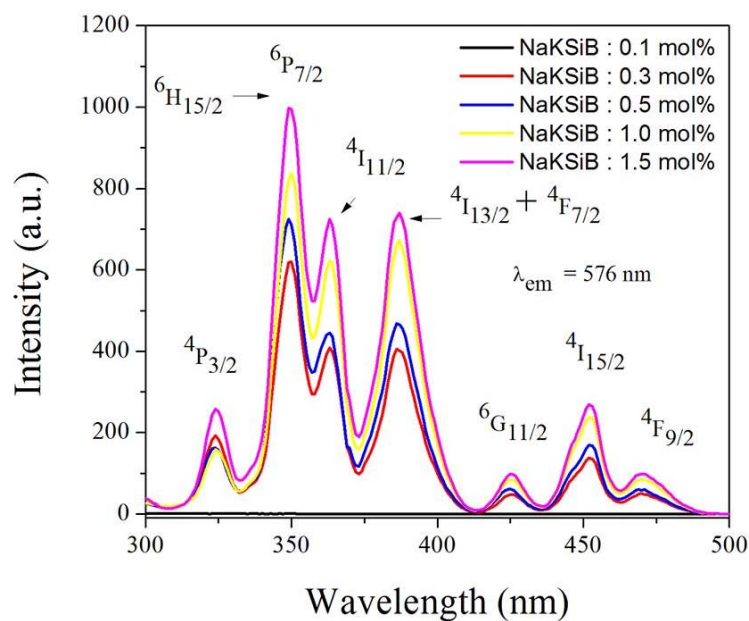
ความเข้มข้นของ Dy_2O_3 (mol%)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ปริมาตรเชิงโมล (cm^3/mol)	ดัชนีหักเห
0.0	1.5010 ± 0.0003	30.7744	1.5010 ± 0.0003
0.1	1.4998 ± 0.0003	30.7655	1.4998 ± 0.0003
0.3	1.4988 ± 0.0002	30.0349	1.4988 ± 0.0002
0.5	1.5130 ± 0.0002	30.7251	1.5130 ± 0.0002
1.0	1.5102 ± 0.0012	32.1121	1.5102 ± 0.0012
1.5	1.5108 ± 0.0007	31.3726	1.5108 ± 0.0007

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของแก้วในช่วงความยาวคลื่น 350 ถึง 2,500 nm ของแก้วตัวอย่างที่เติม Dy_2O_3 ปริมาณตั้งแต่ 0.0 0.1 0.3 0.5 1.0 และ 1.5 mol% พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 6 พิก โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น (${}^6F_{3/2}$) 452 nm (${}^6F_{5/2}$) 801 nm (${}^6F_{7/2}$) 898 nm (${}^6F_{7/2}$, ${}^6H_{7/2}$) 1,088 nm (${}^6F_{11/2}$, ${}^6H_{9/2}$) 1,261 nm และ (${}^6H_{11/2}$) 1,674 nm เมื่อปริมาณความเข้มข้นของ Dy_2O_3 เพิ่มขึ้น จะมีการดูดกลืนแสงได้ดีขึ้นตามลำดับ ดังแสดง ในภาพที่ 2

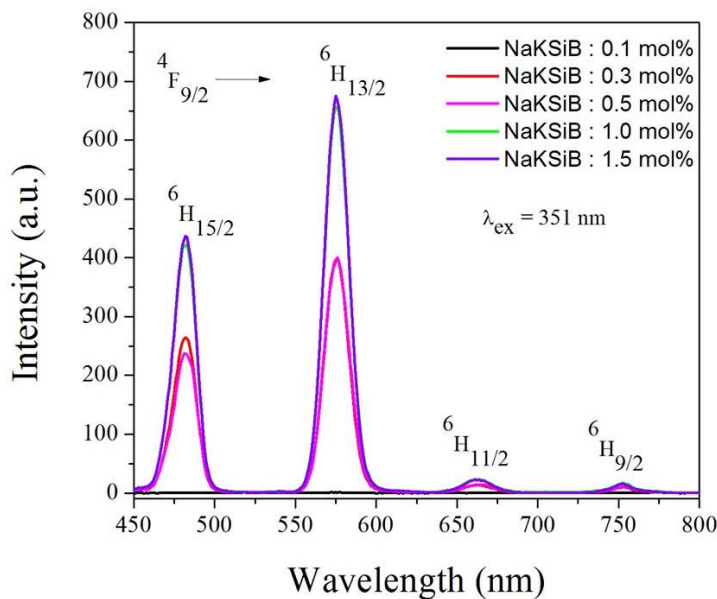


ภาพที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของแก้วที่เติม Dy_2O_3 ปริมาณความเข้มข้นที่ต่างกัน

จากการวิเคราะห์การกระตุ้นพลังงานของแก้ว เมื่อความเข้มข้นของ Dy_2O_3 มีปริมาณแตกต่างกัน เท่ากับ 0.0 0.1 0.3 0.5 1.0 และ 1.5 mol% ซึ่งกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 576 nm สเปกตรัมการกระตุ้นพลังงานถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 500 nm พบว่าสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 7 พีค ซึ่งพีคการกระตุ้นพลังงานเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง ${}^4P_{3/2}$ 325 nm, (${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^6P_{7/2}$) 351 nm (${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$) 365 nm (${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2} + {}^4F_{7/2}$) 365 nm (${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^4G_{11/2}$) 426 nm (${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$) 453 nm และ (${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^4F_{9/2}$) 472 nm ดังแสดงในภาพที่ 3 และจากการวิเคราะห์การคายพลังงานของแก้ว สเปกตรัมการคายพลังงานถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่น 450 ถึง 800 nm ความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้น คือ 351 nm พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 4 พีค โดยการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น (${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{15/2}$) 482 nm (${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$) 577 nm (${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$) 661 nm และ (${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{9/2}$) 751 nm ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ค่าการกระตุ้นพลังงานของแก้วที่เติม Dy_2O_3 ปริมาณความเข้มข้นที่ต่างกัน



ภาพที่ 4 ค่าการคายพลังงานของแก้วที่เติม Dy₂O₃ ปริมาณความเข้มข้นที่ต่างกัน

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองหลอมแก้วที่เติม Dy₂O₃ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นตั้งแต่ 0.0 0.1 0.3 0.5 1.0 และ 1.5 mol% พบว่าแก้วตัวอย่างมีลักษณะใส และมีสีเหลืองอ่อน เนื่องจากการเจือติสโพรเซียมออกไซด์ลงในแก้วจึงทำให้แก้วมีคุณสมบัติใส จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาตรเชิงโมล และค่าดัชนีหักเห พบว่าไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน เมื่อวัดสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 350 ถึง 2,500 nm พบจำนวนพีคของการดูดกลืนแสงทั้งหมด 6 พีค และเมื่อทำการวัดการกระตุ้นพลังงานที่ความยาวคลื่น 300 ถึง 500 nm ความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้น คือ 576 nm พบจำนวนพีคการกระตุ้นพลังงานทั้งหมด 7 พีค โดยสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัม การกระตุ้นพลังงานได้ชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 351 nm และได้ทำการวัดการคายพลังงานที่ความยาวคลื่น 450 ถึง 800 nm โดยใช้การกระตุ้นที่ความยาวคลื่น 351 nm พบจำนวนพีคการคายพลังงานทั้งหมด 4 พีค โดยสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัม การคายพลังงานได้ชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 577 nm และจากงานวิจัยพบว่าความเข้มข้นของไอออนของธาตุติสโพรเซียม 1.5 mol% ที่เจือลงในแก้ว NaKSiB ให้ค่าความเข้มของการคายพลังงานสูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

Ju, Guifang; Hu, Yihua; Chen, Li; Wang, Xiaojuan; Mu, Zhongfei; Wu, Haoyi; Kang, Fengwen, (2012),
Luminescence properties of Y₂O₃ : Bi³⁺, Ln³⁺ (Ln = Sm, Eu, Dy, Er, Ho) and the sensitization
of Ln³⁺ by Bi³⁺, Vol. 132, pp. 1853-1859.

Wojciech A. Pisarski, Joanna Pisarska, Radosław Lisiecki, (2012), **Luminescence quenching of Dy³⁺ ions in lead bismuthate glasses**, Vol. 531, pp. 114-118.

Thakre P.S, Gedam S.C, Dhoble S.J, Atram R.G, (2011), **Luminescence of KCaSO₄Cl: X, Y (X=Eu or Ce; Y=Dy or Mn) halosulfate material**, Vol. 131, pp. 1612-1616.

Shanmugavelu B, Kumar V, V. Ravi Kanth, (2014), **Luminescence studies of Dy³⁺ doped bismuth zinc borate glasses**, Vol. 146, pp. 358-363.

Yan Hao, Ju Cao, (2016), **Structure and luminescence of Dy³⁺ doped CaO – B₂O₃ – SiO₂ glasses**, Vol. 493, pp. 68-71.