

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางลูมิเนสเซนซ์ของแก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์ ที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์

Study on Physical and Luminescence Properties of Zinc Bismuth Boro-tellurite Glasses Doped with Samarium Oxide

ภัทรวิจิ ยะสะกะ^{1,2*} บัวแก้ว สำเนียงหวาน¹ ปวีณัฎฐิตา พะณะงาม²
พัฒนวิษณุ วอนเพียร² และจักรพงษ์ แก้วขาว^{1,2*}

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

บทคัดย่อ

ระบบแก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของซาแมเรียมออกไซด์ ตั้งแต่ 0.0, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โมล จากสูตร $(45-X) \text{TeO}_2 - 30\text{B}_2\text{O}_3 - 15\text{ZnO} - 5\text{Bi}_2\text{O}_3 - X\text{Sm}_2\text{O}_3$ ด้วยเทคนิคการหลอมที่สูงและปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางลูมิเนสเซนซ์ของระบบแก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์ พบว่าค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมล มีผลที่ไม่เป็นแนวโน้ม กล่าวคือ การเจือด้วย Sm_2O_3 ลงไปในแก้วชนิดนี้ไม่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมล ซึ่งค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 3.4187 ± 0.0012 ถึง 3.3215 ± 0.0022 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าปริมาตรเชิงโมลอยู่ระหว่าง 37.49691 ถึง 39.31766 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล นอกจากนี้ได้ตรวจสอบคุณสมบัติการเปล่งแสงของ Sm^{3+} ที่เจือในระบบแก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์ จากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 404 นาโนเมตร.

คำสำคัญ: แก้วซิงค์บิสมัทบอโรเทลลูไรท์ ซาแมเรียมออกไซด์ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางลูมิเนสเซนซ์

Abstract

The zinc bismuth borotellurite glasses doped with Sm_2O_3 . Which varies samarium oxide concentration are 0.0, 0.05, 0.1, 0.5, 1, and 1.5 mol% of the composition $(45-X) \text{TeO}_2 - 30\text{B}_2\text{O}_3 - 15\text{ZnO} - 5\text{Bi}_2\text{O}_3 - X\text{Sm}_2\text{O}_3$ have been synthesized by conventional melt quenching technique. The physical and luminescence properties were investigated. The results shown that the density and molar volume no trend as Sm_2O_3 doped in glasses system no effect to that result, the values of density between 3.4187 ± 0.0012 to 3.3215 ± 0.0022 g/cm³ and the values of molar volume between 37.49691 to 39.31766 cm³/mole. In addition, the luminescence properties of Sm^{3+} dope zinc bismuth borotellurite glasses system were carried out using excitation wavelengths of 404 nm.

Keywords: zinc bismuth borotellurite glasses, samarium oxide, physical property, luminescence property

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ชีวิตประจำวันของมนุษย์ได้ใช้ประโยชน์จากวัสดุที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมากมาย เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ แก้วจึงเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น งานก่อสร้าง (Construction) บรรจุภัณฑ์ (Container) เครื่องประดับตกแต่ง (Ornaments and figurines) อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic and electrical glass) อุปกรณ์ที่ใช้งานทางแสง (Optical glass) ใช้เป็นวัสดุกำบังรังสี (Radiation shielding materials) เป็นต้น

แก้ว มาจากภาษาอังกฤษว่า "Glass" เป็นวัสดุโปร่งใส เนื้อใสสะอาด มีความเป็นมันแวววาวดูใส แก้วเป็นสารประกอบของซิลิกากับสารโลหะออกไซด์มีลักษณะโปร่งตาและมีความเปราะในตัวเอง ตาม ASTM (American society for testing and materials) กล่าวว่า แก้ว คือ วัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ต่าง ๆ มาเผาให้ถึงจุดละลายที่อุณหภูมิสูง และเมื่อเวลาเย็นตัวลงจะกลายเป็นของแข็งโดยไม่ตกผลึก เนื่องจากแก้วเป็นวัสดุอสัณฐาน (Amorphous materials) [1]

แก้วเทลลูไรท์ (Tellurite) แก้วชนิดนี้มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้องมีคุณสมบัติทางความร้อน ทางแสง และทางไฟฟ้าได้ดี มีค่าดัชนีหักเหสูงและค่าคงที่ไดอิเล็กทริกค่อนข้างสูง อีกทั้งมีค่าพลังงานโฟตอนที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแก้วชนิดซิลิเกต และฟอสเฟตค่าดัชนีหักเหสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุปกรณ์ทางแสง เลเซอร์ อุปกรณ์ขยายสัญญาณและระบบโทรคมนาคม เพราะมีคุณสมบัติเป็น nonlinear optics หรือเรียกว่า nonlinear materials กล่าวคือเมื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่นหนึ่งผ่านแก้วเหล่านี้ แสงที่ผ่านออกมาจะมีความยาวคลื่นเปลี่ยนไปจากเดิมและพลังงานโฟตอนมีความสำคัญในการปรับปรุงและพัฒนาการส่งผ่านแสงในช่วงวิซิเบิลถึงอินฟราเรด(มีค่าสูงได้ถึง 6 ไมโครเมตร) และอัตราการสลายตัวของมัลติโฟนอนที่เจือด้วยกลุ่มไอออนของธาตุหายากจะมีค่าต่ำกว่าแก้วชนิดซิลิเกตและฟอสเฟต ปัจจุบันนี้แก้วเทลลูไรท์สามารถเป็นคู่แข่งที่สำคัญในการทำอุปกรณ์ส่งผ่านแสงในช่วงอินฟราเรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่มีศักยภาพในช่วงความยาวคลื่นที่สามารถส่งข้อมูลหลาย ๆ ตัวไปในสายเดียวกันของระบบการสื่อสารข้อมูลสารสนเทศ [2]

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เช่น อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ วัสดุเปล่งแสง ไดโอด เลเซอร์ ซึ่งจะเปล่งแสงออกมาในช่วงวิซิเบิล และมีแถบพลังงานกว้างการเติมซิงค์ออกไซด์ในแก้วได้รับความสนใจเนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานทางด้านผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ จอพลาสมา เนื่องจากมีคุณภาพสูง ซิงค์ออกไซด์ได้รับการยอมรับในการใช้เป็นตัวเลือกสำหรับผลิตจอโทรทัศน์และจอคอมพิวเตอร์ จากรายงานวิจัย พบว่า ซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไปโนโครงสร้างแก้วจะเข้าไปทำหน้าที่เป็นโครงร่างตาข่ายเชื่อมพันธะกับออกซิเจนและปรับปรุงคุณสมบัติทางแสงของแก้ว [3]

บิสมัทออกไซด์ (Bismuth Oxide) เมื่อมีการหลอมเหลวไม่สามารถเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายแก้วได้ เนื่องจากมีไอออนของบิสมัท (Bi^{3+}) ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายใน ส่งผลให้โมเลกุลของบิสมัทออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวประสานแทรกในเนื้อแก้ว ซึ่งคุณสมบัติของแก้วจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับออกไซด์ของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของสูตรแก้ว เช่น แก้วที่มีการเติม Bi_2O_3 มีความหนาแน่นสูง ดัชนีหักเหแสงสูง และมีเสถียรภาพทางเคมีและกายภาพสูง ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวาง เช่น ทำเป็นแก้วเซรามิกซ์ (Glass ceramics) ขึ้นสำหรับอุปกรณ์แสงและอิเล็กทรอนิกส์ (Layer for optical and electronic devices) เซ็นเซอร์เชิงความร้อน และเชิงกล (Thermal and mechanical sensors) และหน้าที่การสะท้อนแสง (Reflecting windows) เป็นต้นนอกจากนี้แก้วที่มีคุณสมบัติพิเศษชนิดอื่น ที่เกิดจากการเติมวัตถุดิบอื่น ๆ ลงไป เพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของแก้วเช่น แก้วคริสตัลที่เกิดจากการเตรียมตะกั่วและกลายเป็นสารประกอบออกไซด์ (PbO) ในเนื้อของแก้วเพื่อทำให้แก้วหนักขึ้น เนื้อแก้วยืดหยุ่นและแวววาว แต่ตะกั่วมีความเป็นพิษจึงมีการเติมออกไซด์ของแบเรียมและสังกะสี (BaO , ZnO) เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ของออกไซด์ของตะกั่วสำหรับการใช้งานทางด้านกำบังรังสี [4]

กรดบอริก (Boric acid) ถูกใช้เป็นส่วนผสมหลักทำหน้าที่เป็นโครงข่ายแก้ว (Glass former) ที่สำคัญนอกเหนือจากแก้วซิลิกาและแก้วฟอสเฟส โดยยึดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพน่าสนใจ เนื่องจากมีการจับตัวกันของอะตอมโบรอนกับอะตอมออกซิเจนที่มีรูปแบบต่างต่างกันส่งผลให้แก้วมีโครงสร้างที่หลากหลาย แก้วบอเรทเมื่อถูกหลอมเหลวจะมีความหนืดสูงและมีแนวโน้มการก่อตัวที่เป็นลักษณะผลึกในเนื้อแก้ว นอกจากนี้แก้วบอเรทที่มีสัดส่วนของ

องค์ประกอบต่าง ๆ มีความสำคัญเป็นพิเศษ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อแสงทั้งที่เป็นเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น จึงทำให้เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านทัศนศาสตร์ [5,6]

ซาแมเรียมออกไซด์ (Samarium Oxide) ซาแมเรียมเป็นธาตุหายาก ลักษณะเป็นสีเงินมันวาว ซาแมเรียมมีความเสถียรในอากาศ และติดไฟได้เองที่อุณหภูมิ เป็นธาตุที่นิยมใช้ประโยชน์ในด้านอุปกรณ์ทางแสง เช่น ใช้เป็นตัวกรองของกระจก optical (Optical glass filters) เนื่องจากมีค่า thermal neutron absorption cross section สูงมาก (5600 barns) จึงใช้เป็นแท่งควบคุม (control rod) ในเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ซาแมเรียมออกไซด์ (Sm_2O_3) ใช้เป็นตัวเร่งสำหรับปฏิกิริยาบางประเภท เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรเจนของ ไพรมารีอัลลอยด์เป็นอัลดีไฮด์และคีโตน เป็นต้น นอกจากนี้แล้วบางสารประกอบของซาแมเรียมอาจใช้เป็น phosphor activators และ thermionic emitters เป็นต้น [7]

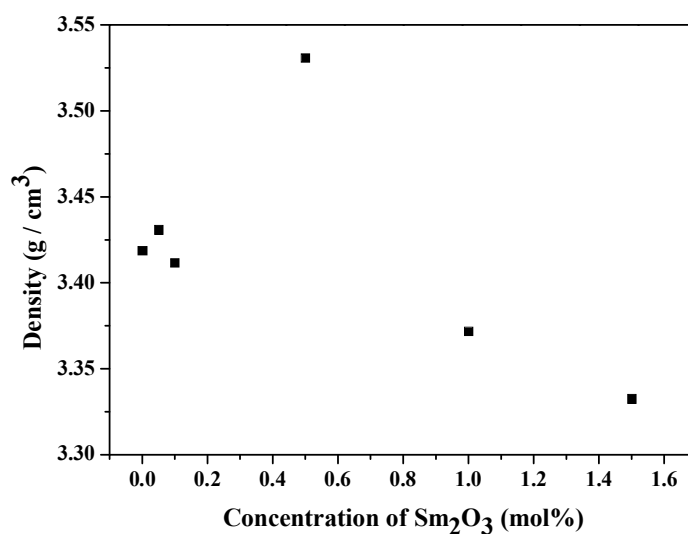
จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของแก้วซิงค์บิสมาทโบโรเทลลูไรท์ ที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ที่มีความเข้มข้น เมื่อ (X คือ 0.0, 0.05, 0.1, 1.0, 1.5 เปอร์เซ็นต์โมล ของ Sm_2O_3) โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางลูมิเนสเซนซ์ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล และการลูมิเนสเซนซ์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วในด้านต่าง ๆ ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

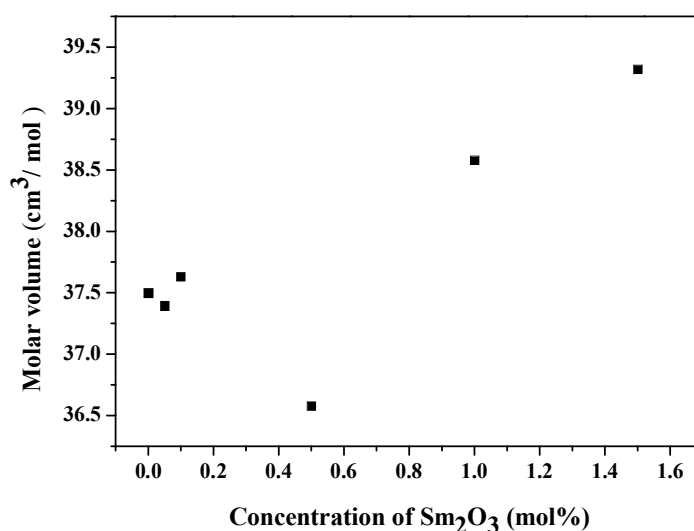
แก้วซิงค์บิสมาทโบโรเทลลูไรท์ ที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของซาแมเรียมออกไซด์ ตั้งแต่ 0.0, 0.05, 0.1, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โมล จากองค์ประกอบ $(45-X) \text{TeO}_2 - 30\text{B}_2\text{O}_3 - 15\text{ZnO} - 5\text{Bi}_2\text{O}_3 - X\text{Sm}_2\text{O}_3$ หลอมด้วยเทคนิคการหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Melt Quenching Technique) ถูกเตรียมขึ้นจากสารเคมี ดังนี้ คือ ZnO , Bi_2O_3 , TeO_2 , H_3BO_3 และ Sm_2O_3 ต่อมาทำการบดสารเคมีทั้งหมดให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกันด้วยโกรนบดสาร จากนั้นคำนวณสารเคมีที่ใช้ในการหลอมแก้วเป็น 15 กรัม บรรจุในเบ้าหลอม อะลูมินา และนำเข้าเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างแก้วที่ได้เข้าเตาอบ เพื่ออบไล่ความเครียดของแก้วที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง โดยปล่อยให้เย็นตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง ขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมแก้วตัวอย่าง คือการนำไปตัดและขัดให้มีขนาด 1.0 ซม. x 1.5 ซม. x 0.3 ซม. สำหรับวิเคราะห์สมบัติการดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่องยูวี-วิสเนียร์ไออาร์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV-3600 บริษัท Shimadzu) การวิเคราะห์สมบัติการกระเจิงแสงและการเปล่งแสงโดยใช้เครื่อง Fluorescence Spectrophotometer (รุ่น Cary Eclipse บริษัท Agilent Technologies)

3. ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วซิงค์บิสมาทโบโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วย Sm_2O_3 ที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โมล พบว่าค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมล มีผลที่ไม่เป็นแนวโน้ม กล่าวคือ การเจือด้วย Sm_2O_3 ลงไปในแก้วชนิดนี้ไม่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมล ซึ่งค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 3.4187 ± 0.0012 ถึง 3.3215 ± 0.0022 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าปริมาตรเชิงโมลอยู่ระหว่าง 37.49691 ถึง 39.31766 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล

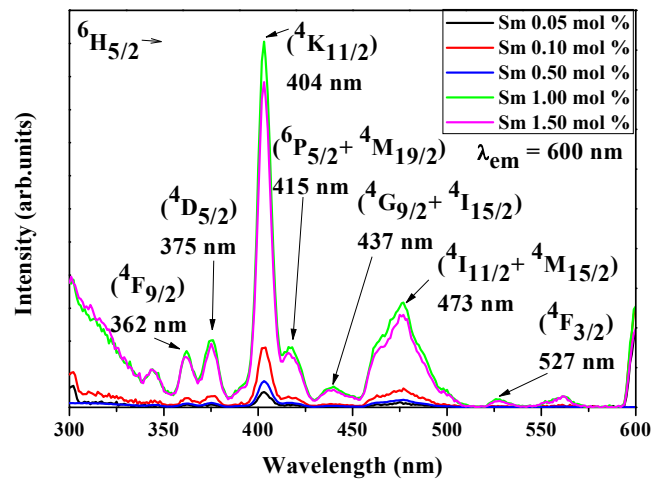


ภาพที่ 1 กราฟค่าความหนาแน่นของแก้ว (45-X) TeO₂ - 30B₂O₃ - 15ZnO - 5Bi₂O₃ - XSm₂O₃ ที่ความเข้มข้นของ Sm₂O₃ ต่างกัน



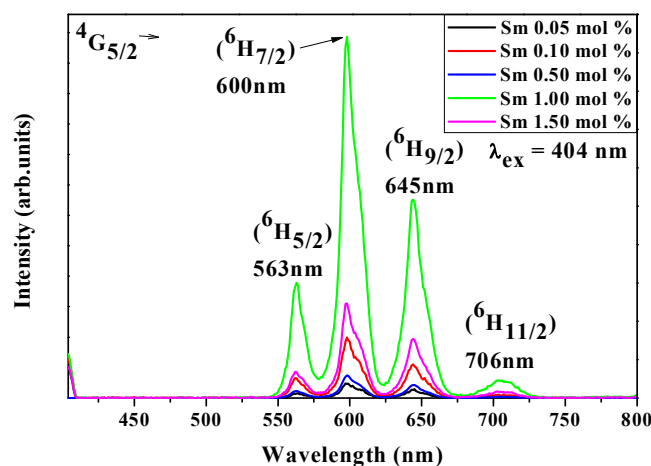
ภาพที่ 2 กราฟค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้ว (45-X) TeO₂ - 30B₂O₃ - 15ZnO - 5Bi₂O₃ - XSm₂O₃ ที่ความเข้มข้นของ Sm₂O₃ ต่างกัน

ผลจากการศึกษาสเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้วซิงค์บิสเมทโบโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของซาแมเรียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ Sm₂O₃ ตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โมล สเปกตรัมการกระตุ้นถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่นแสงดังภาพที่ 3 พบว่าสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 7 พีก โดยใช้การเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ซึ่งพีคการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง (⁴F_{9/2}) 362 นาโนเมตร (⁴D_{5/2}) 375 นาโนเมตร (⁴K_{11/2}) 404 นาโนเมตร (⁶P_{5/2}+ ⁴M_{19/2}) 415 นาโนเมตร (⁴G_{9/2}+ ⁴I_{15/2}) 437 นาโนเมตร (⁴I_{11/2}+ ⁴M_{15/2}) 473 นาโนเมตร และ (⁴F_{3/2}) 527 นาโนเมตร

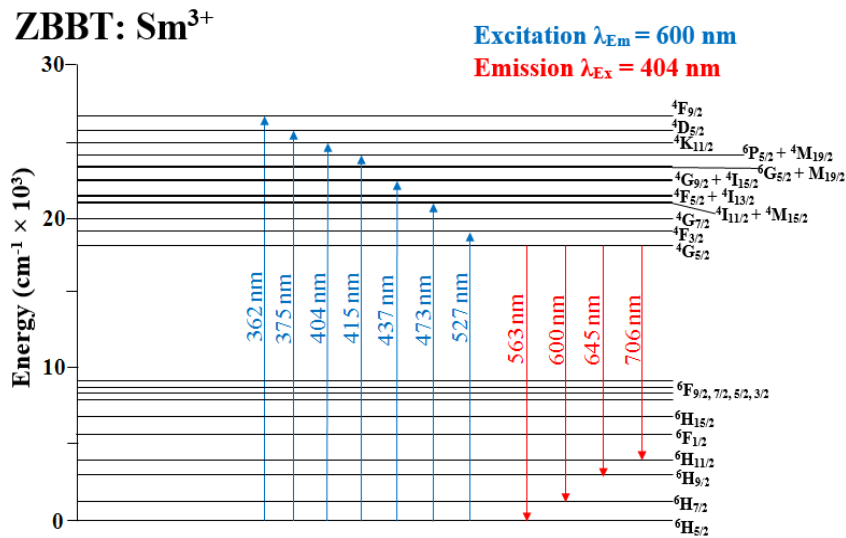


ภาพที่ 3 สเปกตรากการกระตุ้นแสงของแก้ว (45-X) $\text{TeO}_2 - 30\text{B}_2\text{O}_3 - 15\text{ZnO} - 5\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{XSm}_2\text{O}_3$ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3 แตกต่างกัน

ผลจากการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วซึ่งมีสมบัติทอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันของ Sm_2O_3 ตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โมล สเปกตรัมการเปล่งแสงถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่น 404 ถึง 800 นาโนเมตร ความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้น คือ 404 นาโนเมตร แหล่งกำเนิดของแสง คือ หลอดไฟแฟลช (Xenon Flash Lamp) แสดงดังภาพที่ 4 จากภาพพบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 4 พีก ในช่วง VIS ถึง NIR โดยการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร (${}^6\text{H}_{5/2}$) 600 นาโนเมตร (${}^6\text{H}_{7/2}$) 645 นาโนเมตร (${}^6\text{H}_{9/2}$) และ 706 นาโนเมตร (${}^6\text{H}_{11/2}$) สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มข้นของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (${}^6\text{H}_{7/2}$) โดยสอดคล้องกับภาพแบบระดับพลังงานของ Sm^{3+} ดังแสดงในภาพที่ 5 จากภาพจะแสดงไดอะแกรมของระดับพลังงานไอออน Sm^{3+} ที่ถูกกระตุ้นแสง เปล่งแสง และการปล่อยพลังงานในภาพของความร้อน (Nonradiative) เมื่อไอออนของ Sm^{3+} ถูกกระตุ้นที่ระดับพลังงานต่าง ๆ จะเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานจากชั้น ${}^4\text{G}_{5/2}$ ไปยังสถานะอื่น ๆ



ภาพที่ 4 สเปกตรากการเปล่งแสงของแก้ว (45-X) $\text{TeO}_2 - 30\text{B}_2\text{O}_3 - 15\text{ZnO} - 5\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{XSm}_2\text{O}_3$ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3 แตกต่างกัน



ภาพที่ 5 ไดอะแกรมระดับพลังงานสำหรับการกระตุ้นแสง และการเปล่งแสงของ Sm³⁺

4. บทสรุป

จากการศึกษาแก้วซึ่งคิสมัทบอโรเทลลูไรท์ที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของซาแมเรียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของ Sm₂O₃ ตั้งแต่ 0.0, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โมล จากองค์ประกอบ (45-X) TeO₂ - 30B₂O₃ - 15ZnO - 5Bi₂O₃ - XSm₂O₃ พบว่าค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมล มีผลที่ไม่เป็นแนวโน้ม กล่าวคือ การเจือ Sm₂O₃ ลงไปในแก้วชนิดนี้ไม่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่น และค่าปริมาตรเชิงโมล ผลสเปกตรัมการกระตุ้นแสงปรากฏทั้งหมด 7 พีก โดยใช้การเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ซึ่งพีคการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง (⁴F_{9/2}) 362 นาโนเมตร (⁴D_{5/2}) 375 นาโนเมตร (⁴K_{11/2}) 404 นาโนเมตร (⁶P_{5/2} + ⁴M_{19/2}) 415 นาโนเมตร (⁴G_{9/2} + ⁴I_{15/2}) 437 นาโนเมตร (⁴I_{11/2} + ⁴M_{15/2}) 473 นาโนเมตร และ (⁴F_{3/2}) 527 นาโนเมตร ผลสเปกตรัมการเปล่งแสงปรากฏทั้งหมด 4 พีก ในช่วง VIS - NIR โดยการใช้การเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร (⁶H_{5/2}) 600 นาโนเมตร (⁶H_{7/2}) 645 นาโนเมตร (⁶H_{9/2}) และ 706 นาโนเมตร (⁶H_{11/2}) สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (⁶H_{7/2})

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

1. บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, (1997-2012), วัสดุแก้ว : GSAT [online], Available: <http://www2.mtec.or.th/th/research/GSAT/Glassweb/define.html>. [23/10/2560]
2. Raouf A.H.EL. – Mallawany, 2012, "Tellurite glasses", Broken Sound Parkway.

3. 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.
4. Robert, H.D., 1994, **Glass Science**, John Wiley & Sons, Inc., New York.
5. Mohapatra, S.D., 2009, FTIR Analysis of Bi_2O_3 - B_2O_3 - Fe_2O_3 Glass System Doped with Nd_2O_3 , **Science Indexed**, Vol. 3, No. 5, pp. 11-18.
6. Becker, P., 1998, “Borate Materials in Nonlinear Optics”, **Advance Materials**, Vol. 10, pp. 979-986.
7. ดร.ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, **Samarium (Sm) ซาแมเรียม** , [online], Available: <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Sm.html>. [26/01/2561].
8. Phan Van Do , Vu Phi Tuyen , Vu Xuan Quang , Le Xuan Hung , Luong Duy Thanh , Tran Ngoc ,Ngo Van Tam , Bui The Huy , (2016), **Investigation of spectroscopy and the dual energy transfer mechanisms of Sm^{3+} -doped telluroborate glasses**, pp. 62-67.
9. P.Karthikeyan , S.Arunkumar , Ch.Basavapoorima , K.Marimuthu, (2016), **Modifier effect on the spectroscopic properties of tellurofluoroborate glasses containing Sm^{3+} ions**, pp. 43-53.
10. Saman Q. Mawlud , Mudhafar M. Ameen , Md. Rahim Sahar , Zahra Ashur Said Mahraz , Kasim F. Ahmed , (2017), **Spectroscopic properties of Sm^{3+} doped sodium-tellurite glasses: Judd-Ofelt analysis**, pp. 318-327.
11. S. Selvi, K. Marimuthu, G. Muralidharan, (2015), **Structural and luminescence behavior of Sm^{3+} ions doped lead boro-telluro-phosphate glasses** ,pp. 207-218.
12. Y.A. Tanko, M.R. Sahar , S.K. Ghoshal, (2016), **Prominent spectral features of Sm^{3+} ion in disordered zinc tellurite glass**, pp. 7-11.
13. Y.A. Tanko, S.K. Ghoshal, M.R. Sahar, (2016), **Ligand field and Judd-Ofelt intensity parameters of samarium doped tellurite glass**, pp.64-68.