

การสังเคราะห์และสมบัติของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์

Synthesis and Properties of Zinc Aluminium Bismuth Borate Glasses

Doped with Sm_2O_3 ภัทรวิจิ ยะสะกะ^{1,2*} ทิวาวรรณ วิจารณ์ปรีชา¹ และจักรพงษ์ แก้วขาว^{1,2}¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม² ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

* pyasaka@hotmail.com

บทคัดย่อ

ระบบแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของซาแมเรียมออกไซด์ ตั้งแต่ 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล ที่องค์ประกอบ $10\text{ZnO}-10\text{Al}_2\text{O}_3-20\text{Bi}_2\text{O}_3-(60-x)\text{B}_2\text{O}_3-x\text{Sm}_2\text{O}_3$ โมล ด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูงและปล่อยให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของระบบแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรต พบว่า ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของซาแมเรียมออกไซด์ เมื่อวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง พบว่า ค่าความเข้มของพีคการดูดกลืนแสงสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของซาแมเรียมออกไซด์ นอกจากนี้ได้ตรวจสอบคุณสมบัติการเปล่งแสงของ Sm^{3+} ที่เจือในระบบแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรต จากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 404 นาโนเมตร

คำสำคัญ: แก้วซิงค์บอเรต ซาแมเรียมออกไซด์ สมบัติทางแสง สมบัติทางลูมิเนสเซนซ์

Abstract

The zinc aluminium bismuth borate glasses with Sm^{3+} which varies Sm_2O_3 concentration are 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 and 2.5 mol% of the composition $10\text{ZnO}-10\text{Al}_2\text{O}_3-20\text{Bi}_2\text{O}_3-(60-x)\text{B}_2\text{O}_3-x\text{Sm}_2\text{O}_3$ have been synthesized by conventional melt quenching. The physical, optical and luminescence properties were investigated. The results shown that the density increased whereas the molar volume decreased with increasing Sm_2O_3 concentrations. The intensity of all absorption bands increased with increasing Sm_2O_3 . In addition, the luminescence properties of Sm^{3+} dope zinc aluminium bismuth borate glasses system were carried out using excitation wavelengths of 404 nm.

Keywords: zinc borate glasses, samarium oxide, optical property, luminescence property

1. บทนำ

แก้วบอเรต (Borate Glass) ลักษณะที่น่าสนใจของแก้วบอเรต คือมีการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติของโครงสร้างเมื่อเติมกลุ่มธาตุหายากลงไปโครงสร้างแก้ว จะทำให้โครงสร้างของแก้วบอเรตไม่จับกันแบบสุ่มซึ่งจะจับกันของโครงสร้างเป็นแบบสามเหลี่ยม BO_3 และโครงสร้างเตตระฮีดรอล BO_4 ซึ่งการรวมตัวประเภทนี้จะมีลักษณะที่เสถียร เช่น $BO_3(2+)$ $BO_3(3+)$ $BO_3(4+)$ เป็นต้นโดยลักษณะดังกล่าวของกลุ่มบอเรตจะเป็นโครงสร้างแบบสามมิติ สิ่งเหล่านี้ทำให้แก้วบอเรตเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการเติมกลุ่มธาตุหายากลงในโครงสร้างแก้วแก้วบอเรตสามารถนำมาผลิตเป็นวัสดุทางแสงร่วมกับการเติมกลุ่มธาตุหายาก เนื่องจากจะทำให้มีคุณสมบัติที่โปร่งใสสูง มีจุดหลอมเหลวต่ำ เสถียรภาพความร้อนสูง นอกจากนี้กลุ่มธาตุหายากยังสามารถละลายได้ดีในการหลอมเป็นแก้วและแสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างโครงสร้างแก้วและคุณสมบัติทางกายภาพ (บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว, 2558: online) (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2558: online) (Wagh et al.,2015 : 696-706)

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เช่น อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ วัสดุเปล่งแสง ไดโอด เลเซอร์ ซึ่งจะเปล่งแสงออกมาในช่วงวิจิเบิล และมีแถบพลังงานกว้างการเติมซิงค์ออกไซด์ในแก้วบอเรตได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานทางด้านผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ จอพลาสมา เนื่องจากมีคุณภาพสูง จากรายงานวิจัย พบว่า ซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไปโครงสร้างแก้วจะเข้าไปทำหน้าที่เป็นโครงร่างตาข่ายเชื่อมพันธะกับออกซิเจนและปรับปรุงคุณสมบัติทางแสงของแก้ว (Ahmad et al.,2014: 250-255)

อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium Oxide) นิยมนำมาทำเป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมแก้วและเซรามิก เนื่องจากมีความมันวาว และมีคุณสมบัติเสถียรภาพทางเคมี ทางความร้อนสูง นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในกระบวนการโซลเจลซึ่งกระบวนการโซลเจลสามารถนำมาใช้ประโยชน์จากไอระเหยของสารเคมีที่เคลือบบนผิวของแก้ว ข้อดีของกระบวนการนี้คือต้นทุนในการผลิตต่ำ (Chien et al.,2013: 273-276) แก้วที่มีปริมาณ Al_2O_3 สูง จะทำให้แก้วนั้นมีความทนทานต่อการสึกกร่อนและสารเคมีได้ดีขึ้น (บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว, 2558: online)

บิสมัท (Bismuth) บิสมัทเป็นธาตุโลหะหนัก เป็นผลึกสีขาวอมชมพู มีสมบัติทางเคมีคล้ายสารหนูและพลวง ใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เกษษกรรม และเครื่องสำอาง เป็นส่วนผสมของฟิวส์ มีผู้ค้นพบ เมื่อปี พ.ศ. 2296 บิสมัทธาตุที่มีปรากฏในธรรมชาติทั้งในภาวะอิสระ และในภาวะรวมตัวกับธาตุอื่น นอกจากนี้ยังมีปะปนอยู่กับแร่ดีบุก แร่ตะกั่ว แร่ทองแดงอีกด้วยการผลิตบิสมัทมาใช้ นั้น ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้มาจากอุตสาหกรรมการถลุงให้ได้ตะกั่ว และทองแดงบริสุทธิ์

ซามาเรียม ออกไซด์ (Samarium Oxide) เป็นธาตุหายากที่เปราะแสงได้ ซึ่งจะมีความวาว คล้ายกับเงินและมีความเสถียรในสภาพอากาศทั่วไป ซามาเรียมถูกค้นพบพร้อมกับธาตุหายากชนิดอื่นๆในแร่โมนาไซต์ และแร่เบสต์ไนไซต์ ซามาเรียมเป็นสารประกอบที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตแม่เหล็กถาวร ยิ่งไปกว่านั้นมีการประยุกต์ใช้งานทางด้านเลเซอร์เอ็กซ์เรย์ เครื่องมือที่ใช้วัดความแม่นยำ ผลิตแสงสีขาวยในเทคโนโลยีสเตลท์ การดักคลื่นของรังสีอินฟราเรดในแก้วนำแสง และอุตสาหกรรมในโรงภาพยนตร์และอิเล็กทรอนิกส์ (Akman et al.,2015: 107-113) (Pascuta et al.,2008: 5475-5479)

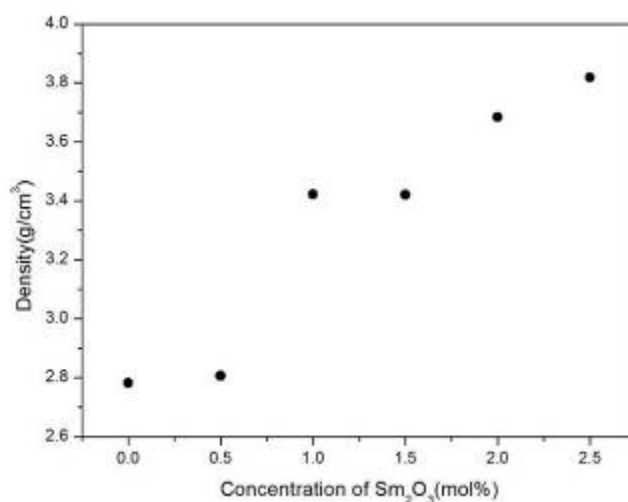
จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรตที่เจือด้วยซามาเรียมออกไซด์ที่มีความเข้มข้น เมื่อ (x คือ 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล ของ Sm_2O_3) โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล การดูดกลืนแสง และการ ลูมิเนสเซนซ์ของแสง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แก้วในด้านต่างๆต่อไป

2. วิธีการทดลอง

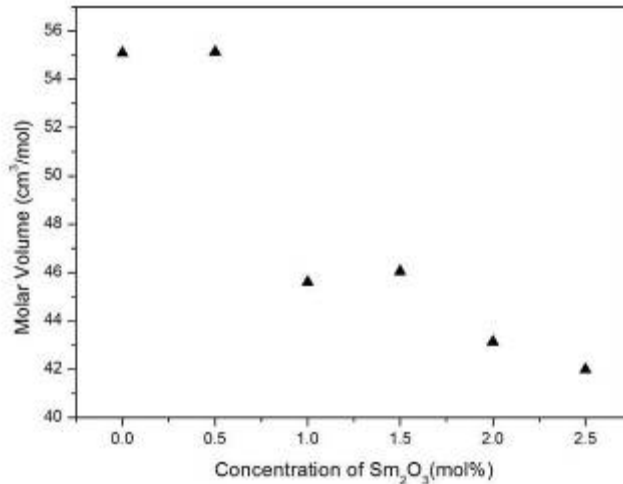
แก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมาทบอเรต สูตร $10\text{ZnO}-10\text{Al}_2\text{O}_3-20\text{Bi}_2\text{O}_3-(60-x)\text{B}_2\text{O}_3-x\text{Sm}_2\text{O}_3$ (เมื่อ x คือ 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล) หลอมด้วยเทคนิคการหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Melt Quenching Technique) หลอมที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ต่อมานำแก้วที่หลอมได้เทลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อลดความเครียด ที่เกิดขึ้นในแก้ว และขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมแก้วตัวอย่าง คือการนำไปตัดและขัดให้มีขนาด 1.0 ซม. x 1.5 ซม. x 0.3 ซม. สำหรับวิเคราะห์ความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลโดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น (รุ่น AND HR-200 บริษัท Dietheim) การวิเคราะห์สมบัติการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสเนียร์โออาร์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV-3600 บริษัท Bara Scientific) และการวิเคราะห์สมบัติการเปล่งแสงโดยใช้เครื่อง Fluorescence Spectrophotometer (รุ่น Cary Eclipse บริษัท Agilent Technologies)

3. ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมาทบอเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ซึ่งจากความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3 มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง โดยค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง $2.7824+0.1798$ ถึง $3.8182+0.0301$ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 1 จากการวิเคราะห์หาค่าปริมาตรเชิงโมล ของแก้วตัวอย่าง พบว่าค่าปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลง เมื่อเจือปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3 สูงขึ้น โดยค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมาทบอเรตมีค่าอยู่ระหว่าง 55.0952 ถึง 41.9754 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล ดังแสดงในภาพที่ 2

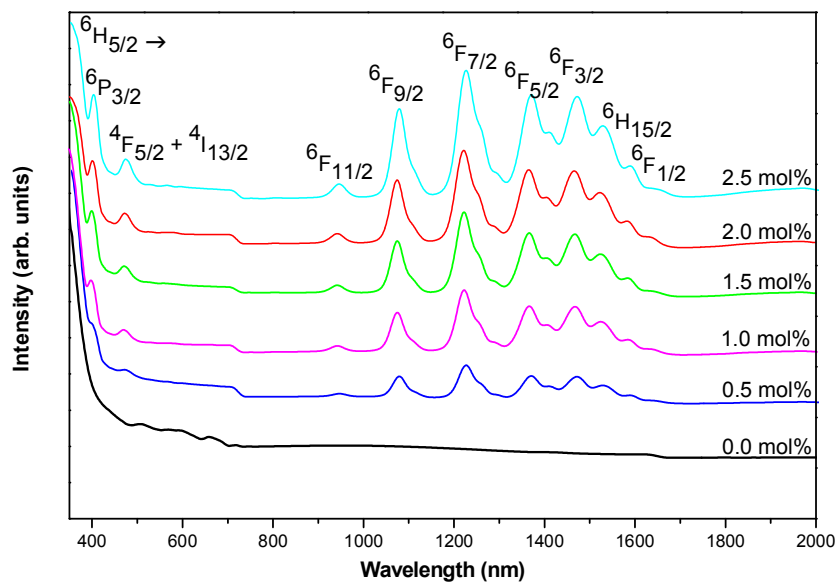


ภาพที่ 1 กราฟค่าความหนาแน่นของแก้ว $10\text{ZnO}-10\text{Al}_2\text{O}_3-20\text{Bi}_2\text{O}_3-(60-x)\text{B}_2\text{O}_3-x\text{Sm}_2\text{O}_3$ ที่เจือด้วย Sm_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



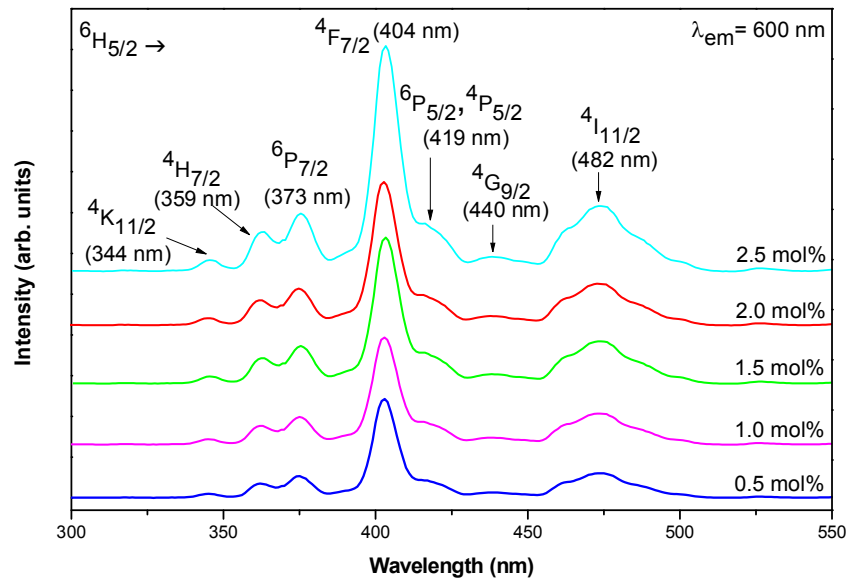
ภาพที่ 2 กราฟค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้ว 10ZnO-10Al₂O₃-20Bi₂O₃-(60-x)B₂O₃-xSm₂O₃ ที่เจือด้วย Sm₂O₃ ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วซึ่งคละลูมิเนียมบิสมาทพบอเร็ตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Sm₂O₃ ที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงดังภาพที่ 3 พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 6 พีก โดยการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 1,076 นาโนเมตร (⁶F_{9/2}) 1,225 นาโนเมตร (⁶F_{7/2}) 1,370นาโนเมตร (⁶F_{5/2}) 1,472นาโนเมตร (⁶F_{3/2}) 1,524 นาโนเมตร (⁶F_{15/2}) และ 1,586 นาโนเมตร (⁶F_{1/2}) สังเกตพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนของแสงของแก้วตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นการดูดกลืนในช่วงซิลิเบิลจนถึงช่วงอินฟราเรด โดยที่ความยาวคลื่น 1,076 ถึง 1,586 นาโนเมตร



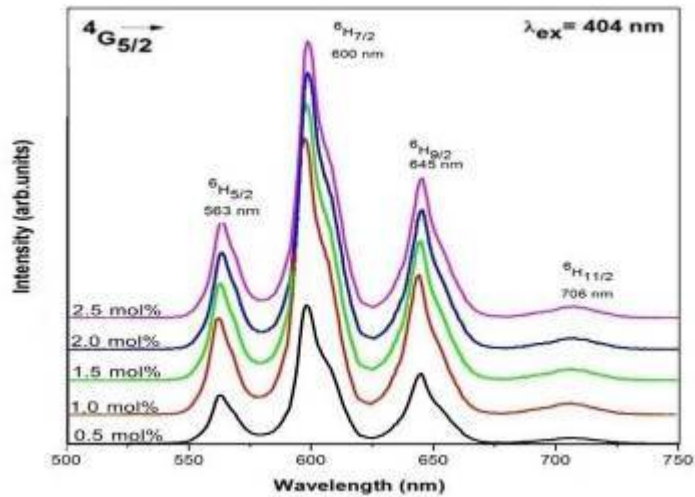
ภาพที่ 3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว 10ZnO-10Al₂O₃-20Bi₂O₃-(60-x)B₂O₃-xSm₂O₃ ที่เจือด้วย Sm₂O₃ ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

สเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล สเปกตรัมการกระตุ้นถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่นแสดงดังภาพที่ 4 พบว่าสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 7 พีก โดยใช้การเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ซึ่งพีคการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ต่ำแหน่ง ($^4\text{F}_{9/2}$) ที่ความยาวคลื่น 362 นาโนเมตร ($^4\text{D}_{5/2}$) ที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร ($^4\text{K}_{11/2}$) ที่ความยาวคลื่น 404 นาโนเมตร ($^6\text{P}_{5/2} + ^4\text{M}_{19/2}$) ที่มีความยาวคลื่น 473 นาโนเมตรและ ($^4\text{F}_{3/2}$) ที่มีความยาวคลื่น 527 นาโนเมตร

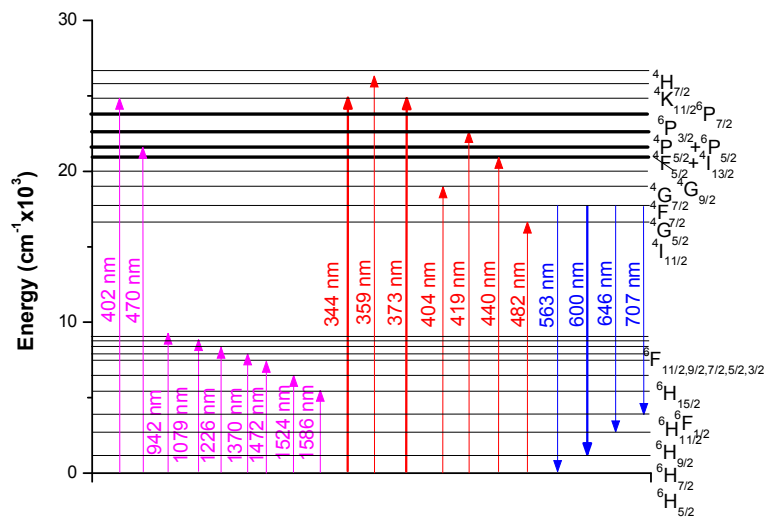


ภาพที่ 4 สเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้ว $10\text{ZnO}-10\text{Al}_2\text{O}_3-20\text{Bi}_2\text{O}_3-(60-x)\text{B}_2\text{O}_3-x\text{Sm}_2\text{O}_3$ ที่เจือด้วย Sm_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วซิงค์อะลูมิเนียมบิสมัทบอเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล สเปกตรัมการเปล่งแสงถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่น 550 ถึง 750 นาโนเมตร ความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้น คือ 404 นาโนเมตร แหล่งกำเนิดของแสง คือ หลอดไฟแฟลช (xenon flash lamp) แสดงดังภาพที่ 5 จากภาพพบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 4 พีก ในช่วง Vis-NIR โดยการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 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 6 จากภาพจะแสดงไดอะแกรมของระดับพลังงานไอออน Sm^{3+} ที่ถูกดูดกลืนแสง กระตุ้นแสง เปล่งแสง และการปล่อยพลังงานในภาพของความร้อน (Nonradiative) เมื่อไอออนของ Sm^{3+} ถูกกระตุ้นที่ระดับพลังงานต่างๆ จะเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานจากชั้น ($^4\text{G}_{5/2}$) สถานะอื่นๆ



ภาพที่ 5 สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้ว $10\text{ZnO}-10\text{Al}_2\text{O}_3-20\text{Bi}_2\text{O}_3-(60-x)\text{B}_2\text{O}_3-x\text{Sm}_2\text{O}_3$ ที่เจือด้วย Sm_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



ภาพที่ 6 ไดอะแกรมระดับพลังงานสำหรับการดูดกลืนแสง การกระตุ้นแสง และการเปล่งแสงของ Sm^{3+}

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแก้วซึ่งคืออะลูมิเนียมบิสมาทโบเรต สูตร $10\text{ZnO}-10\text{Al}_2\text{O}_3-20\text{Bi}_2\text{O}_3-(60-x)\text{B}_2\text{O}_3-x\text{Sm}_2\text{O}_3$ (เมื่อ x คือ 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์โมล) หลอมด้วยเทคนิคการหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (Melt Quenching Technique) พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ค่าปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลง เมื่อเจือปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ปรากฏทั้งหมด 6 พีค โดยการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 1,076 นาโนเมตร (${}^6\text{F}_{9/2}$) 1,225 นาโนเมตร (${}^6\text{F}_{7/2}$) 1,370 นาโนเมตร (${}^6\text{F}_{5/2}$) 1,472 นาโนเมตร (${}^6\text{F}_{3/2}$) 1,524 นาโนเมตร (${}^6\text{F}_{15/2}$) และ 1,586 นาโนเมตร (${}^6\text{F}_{11/2}$) การเปล่งแสงที่มีความเข้มข้นสูงสุดที่ 2.5 mol สเปกตรัมการกระตุ้นแสง ปรากฏทั้งหมด 7 พีค โดยใช้การเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ซึ่งพีคการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง (${}^4\text{F}_{9/2}$) ที่ความยาวคลื่น 362 นาโนเมตร (${}^4\text{D}_{5/2}$) ที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร (${}^4\text{K}_{11/2}$) ที่ความยาวคลื่น 404 นาโนเมตร (${}^6\text{P}_{5/2}+{}^4\text{M}_{19/2}$) ที่มีความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร และ (${}^4\text{F}_{3/2}$) ที่มีความยาวคลื่น 527 นาโนเมตร

สเปกตรัมการเปล่งแสงปรากฏทั้งหมด 4 พีค ในช่วง NIR โดยการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร (${}^6\text{H}_{5/2}$) 600 นาโนเมตร (${}^6\text{H}_{7/2}$) 645 นาโนเมตร (${}^6\text{H}_{9/2}$) และ 706 นาโนเมตร (${}^6\text{H}_{11/2}$) สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (${}^6\text{H}_{7/2}$)

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับการร่วมมือและการสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

1. บริการข้อมูลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว . (1997-2002) . **ความหมายของแก้ว** . ค้นหาคำเมื่อ 17 กันยายน 2558 จาก <http://www2.mtec.or.th> .
2. วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี . (2015) . **Glass** . ค้นหาคำเมื่อ 17 กันยายน 2558 จาก <https://en.wikipedia.org> .
3. Wagh, A., Raviprakash, Y., Upadhyaya, V., and Kamath, S.D., 2015, “**Composition Dependent Structural and Optical Properties of $\text{PbF}_2\text{-TeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$ Glasses**”, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, Vol. 151, pp. 696-706 .
4. Ahmad, F., Aly, E.H., Atef, M., and ElOkri, 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.
5. Chien, H.H., Ma, K.J., Kuo, C.H., and Huang, S.W., 2013, “**Effect of Al_2O_3 Coated Glass Preform on Glass-Mold Sticking Behavior**”, Surface & Coatings Technology, Vol. 231, pp. 273-276 .
6. Akman, F., Durak, R., Turhan, M.F., and Kacal, M.R., 2015, **Studies on Effective Atomic Numbers, Electron Densities From Mass Attenuation Coefficients Near the K-edge in some Samarium Compounds**, Applied Radiation and Isotopes, Vol. 101, pp. 107-113 .
7. Pascuta, P., Borodi, G., and Culea, E., 2008, “**Influence of Europium Ions on Structure and Crystallization Properties of Bismuth Borate Glasses and Glass Ceramics**”, Journal of Non-Crystalline Solids, vol. 354, pp. 5475-5479 .
8. Rejisha, S.R., Anjana, P.S., Gopakumar, N., and Santha, S., 2014, **Synthesis and Characterization of Strontium and Barium Borate Glass-Ceramics**, Vol. 388, pp. 68-74 .
9. Kim, A.D., Abo-Mosallam, H.A., Lee, H.Y., Kim, G.R., Kim, H.W., and Lee, H.H., 2014, **Development of a Novel Aluminum-Free Ionomer Cement Based on Magnesium-Alilicate Glasses**, Vol. 42, pp. 665-671.
10. Seshadri, M., Radha, M., Rajesh, D., Barbosa, L.C., Cordeiro, C.M.B., and Ratnakaram, Y.C., 2015, **Effect of ZnO on Spectroscopic Properties of Sm^{3+} Doped Zinc Phosphate Glasses**, Physica B, Vol. 459, pp. 79-87.

11. Kindrat, I.I., Padlyak, B.V., and Drzewiecki, A., 2015, **Luminescence Properties of the Sm-Doped Borate Glasses**, Journal of Luminescence, Vol.166, pp. 264-275 .
12. Nanda, K., Kundu, R.S., Sharma, S., Mohan, D., Punia, R., and Kishore, N., 2015, **Study of Vibrational Spectroscopy, Linear and Non-Linear Optical Properties of Sm³⁺ Ions Doped BaOeZnOeB₂O₃ Glasses**, Solid State Sciences, Vol. 45. pp. 15-22 .
13. ชันัญญา วงษ์ดียิ่ง . (2015) . การศึกษาคุณสมบัติแกว้ซิงค์แบเรียมบอเรตที่เจือด้วยโคบอลต์ออกไซด์และนีโอดีเมียมออกไซด์ . มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา , 6-24 .
14. แม้น อมรสิทธิ์ สมชัย อครทวา และธรรมนุญ อุดมมัน . (2008) . วัสดุวิศวกรรม . สำนักพิมพ์แมคกรอฮิล , 511-519 .
15. Vcharkarn . (2014) . ตารางธาตุ . ค้นหาเมื่อ 18 กันยายน 2558 จาก <http://www.vcharkrn.com>
16. Wikimedia . (2015) . ซาแมเรียม . ค้นหาเมื่อ 17 กันยายน2558 จาก <http://www2.mtec.or.th>
<http://th.wikipedia.org> .
17. ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์ . (2000) . ซาแมเรียม . ค้นหาเมื่อ 24 กันยายน2558 จาก <http://www2.mtec.or.th>
<http://web.ku.ac.th> .
17. rmutphysics . แถบสเปกตรัมของแสงที่มีสีต่างๆ ที่อยู่ในช่วงแสงวิซิเบิล . ค้นหาเมื่อ 10 ตุลาคม 2558 จาก <http://www.rmutphysics.com> .