

สมบัติสเปกโทรสโคปีของแก้วซิงค์ลิเทียมแบเรียมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์

Spectroscopy of Zinc Lithium Barium Borate Glasses Doped with Samarium Oxide

ภัทรวิจิ ยะสะกะ^{1,2*} เพ็ญนภา ใจกล้า¹ และ จักรพงษ์ แก้วขาว^{1,2}

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

² ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

* pyasaka@hotmail.com

บทคัดย่อ

ระบบแก้วซิงค์ลิเทียมแบเรียมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมออกไซด์ ตั้งแต่ 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โมล จากองค์ประกอบ $30\text{Li}_2\text{O} - 10\text{ZnO} - x\text{BaO} - (59-x)\text{B}_2\text{O}_3 - 1\text{Sm}_2\text{O}_3$ ด้วยเทคนิคการหลอมที่สูงและปล่อยให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติสเปกโทรสโคปีของระบบแก้วซิงค์ลิเทียมแบเรียม พบว่า ความหนาแน่นของระบบแก้วที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาตรเชิงโมลมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมออกไซด์ เมื่อวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วระบบนี้ พบว่า ค่าความเข้มข้นของพีคการดูดกลืนแสงสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมออกไซด์ นอกจากนี้ได้ตรวจสอบคุณสมบัติการเปล่งแสงของ Sm^{3+} ที่เจือในระบบแก้วซิงค์ลิเทียมแบเรียมบอเรต จากการกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 404 นาโนเมตร

คำสำคัญ: แก้วซิงค์ลิเทียมบอเรต ซาแมเรียมออกไซด์ แบเรียมออกไซด์

Abstract

The zinc lithium borate glasses doped with Sm^{3+} 1 mol% which varies BaO concentration are 15, 20, 25 and 30 mol% of the composition $30\text{Li}_2\text{O} - 10\text{ZnO} - x\text{BaO} - (59-x)\text{B}_2\text{O}_3 - 1\text{Sm}_2\text{O}_3$ have been synthesized by conventional melt quenching. The spectroscopy was investigated. The results show that the density and the molar volume increased with increasing BaO concentrations. The intensity of absorption bands increased with increasing BaO concentration. In addition, the luminescence properties of Sm^{3+} dope zinc lithium barium borate glass system was carried out using excitation wavelengths of 404 nm.

Keywords: zinc lithium borate glasses, samarium oxide, barium oxide

1. บทนำ

แก้วเป็นวัสดุที่เกิดจากการหลอมส่วนผสมของแร่ธาตุและสารประกอบต่างๆแล้วทำให้เย็นลงโดยไม่เกิดผลึก มีความโปร่งใส เนื้อใสสะอาด มีความแวววาวสูงใส แก้วเป็นสารประกอบของซิลิกากับสารโลหะออกไซด์มีลักษณะโปร่งตาและมีความเปราะในตัวเอง (Kirti et al., 2015 : 521-526)

แก้วบอเรต (Borate Glass) ลักษณะที่น่าสนใจของแก้วบอเรต คือมีการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติของโครงสร้างเมื่อเติมกลุ่มธาตุหายากลงไป โครงงานแก้วจะทำให้โครงสร้างของแก้วบอเรตไม่จับกันแบบสุ่มซึ่งจะจับกันของโครงสร้างเป็นแบบสามเหลี่ยม BO_3 และโครงสร้างเตตระฮีดรอล BO_4 ซึ่งการรวมตัวประเภทนี้จะมีลักษณะที่เสถียรเช่น ไดบอเรต ไตรบอเรต และเตตระบอเรต เป็นต้น โดยลักษณะดังกล่าวของกลุ่มบอเรต จะเป็นโครงสร้างแบบสามมิติ สิ่งเหล่านี้ทำให้แก้วบอเรตเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการเติมกลุ่มธาตุหายากลงในโครงสร้างแก้ว แก้วบอเรตสามารถนำมาผลิตเป็นวัสดุทางแสงร่วมกับการเติมกลุ่มธาตุหายาก เนื่องจากจะทำให้มีคุณสมบัติที่โปร่งใสสูง มีจุดหลอมเหลวต่ำ เสถียรภาพความร้อนสูง นอกจากนี้กลุ่มธาตุหายากยังสามารถละลายได้ดีในการหลอมเป็นแก้วและแสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างโครงสร้างแก้วและคุณสมบัติทางกายภาพ (Hannora et al., 2015: 1-4.)

ลิเทียมออกไซด์ (Lithium) เป็นโลหะที่เบาที่สุดในบรรดาโลหะทั้งหมดและมีความหนาแน่นเพียงครึ่งเท่าของน้ำ ลิเทียมที่อยู่ในรูปของสารบริสุทธิ์จะติดไฟได้ง่ายมากและระเบิดได้ค่อนข้างง่าย ลิเทียมยังมีคุณสมบัติของ โลหะแอลคาไลน์เอิร์ธ ในหมู่ 2 ลิเทียมเป็นโลหะสีเงิน อ่อนนิ่มมากจนตัดด้วยมีดคมๆได้ ลิเทียมทำปฏิกิริยาในน้ำได้ง่ายและไม่ปรากฏโดยอิสระในธรรมชาติ เมื่ออั้งลิเทียมไว้เหนือเปลวไฟ จะเกิดสีแดงเข้มออกมา แต่เมื่อเผาไหม้โดยตรง เปลวไฟจะเป็นสีขาวสว่างจ้า โลหะลิเทียมจะติดไฟและไหม้เมื่อกระทบกับออกซิเจนและน้ำ (Chien et al., 2013: 273-276)

แร่โลหะหายาก (Rare Earth) ปัจจุบันนี้แก้วที่เติมไอออนของธาตุหายาก (Rare Earth) ได้รับการศึกษาอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานด้านเทคโนโลยีทางแสง เช่น อุปกรณ์ทางแสง เทคโนโลยีเลเซอร์ ตัวเก็บข้อมูลทางแสง และการพัฒนาคุณภาพของสารกัมมันตรังสี โดยจากการประยุกต์ใช้งานเหล่านี้มีความเป็นไปได้ที่นำมาใช้งานได้จริง ซึ่งจะศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีของแก้วที่เติมกลุ่มธาตุหายาก เช่น การให้ความร้อน ความต้านทานเชิงกล เสถียรภาพทางเคมี และสมบัติทางแม่เหล็ก คุณสมบัติเหล่านี้เป็นที่น่าสนใจต่อการพัฒนาอุปกรณ์ทางแสง (Swapna et al., 2016: 288-294)

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เช่น อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ วัสดุเปล่งแสง ไดโอด เลเซอร์ ซึ่งจะเปล่งแสงออกมาในช่วงวิซิเบิล และมีแถบพลังงานกว้าง การเติมซิงค์ออกไซด์ในแก้วบอเรตได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานทางด้านผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ จอพลาสมา เนื่องจากมีคุณภาพสูง ซิงค์ออกไซด์ได้รับการยอมรับในการใช้เป็นตัวเลือกสำหรับผลิตจอโทรทัศน์และจอคอมพิวเตอร์ จากรายงานวิจัยพบว่า ซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไปโครงสร้างแก้วจะเข้าไปทำหน้าที่เป็นโครงร่างตาข่ายเชื่อมพันธะกับออกซิเจนและปรับปรุงคุณสมบัติทางแสงของแก้ว (Ahmad et al., 2014: 250-255)

แบเรียม ออกไซด์ (Barium Oxide) เป็นวัสดุที่มีความน่าสนใจ มีลักษณะทางโครงสร้างทางแสงและทางคุณสมบัติทางไฟฟ้า อีกทั้งมีเสถียรภาพทางเคมีค่อนข้างสูง คือไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีชนิดอื่นๆ มีจุดหลอมเหลวต่ำ มีสภาพต้านทานและสภาพนำไฟฟ้าที่เหมาะสม นอกจากนี้แบเรียมยังมีความสำคัญในอุตสาหกรรมแก้วกำบังรังสี ซึ่งจะนำแบเรียมเติมลงไปโครงสร้างแก้ว เนื่องจากต้องการใช้ตะกั่ว เพราะตะกั่วมีไอระเหยที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับแบเรียมและปัสเมทที่เติมลงในแก้วที่นำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวัสดุกำบังรังสี (Sings et al., 2008: 106-110)

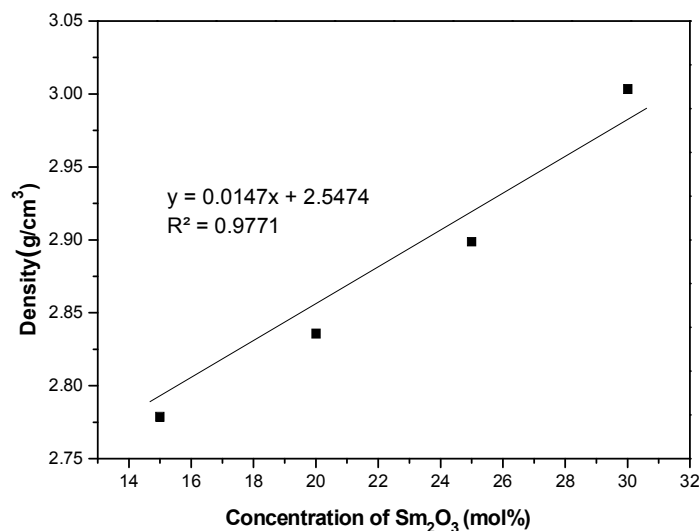
ซาแมเรียม (Samarium) เป็นธาตุหายากที่สามารถเปล่งแสงได้ ซึ่งจะมีความวาว คล้ายกับเงินและมีความเสถียรในสภาพอากาศทั่วไป ซาแมเรียมถูกค้นพบพร้อมกับธาตุหายากชนิดอื่นๆในแร่โมนาไซต์ และแร่แบสต์นีไซต์ ซาแมเรียมเป็นสารประกอบที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตแม่เหล็กถาวร ยิ่งไปกว่านั้นยังมีการประยุกต์ใช้งานทางด้านเลเซอร์เอ็กซ์เรย์ เครื่องมือที่ใช้วัดความแม่นยำ ผลิตแสงสีขาวยุคใหม่ในเทคโนโลยีสเตลท์ การดุดกลืนของรังสีอินฟราเรดในแก้วนำแสง และอุตสาหกรรมในโรงภาพยนตร์และอิเล็กทรอนิกส์ (Akman et al., 2015: 107-113)

2. วิธีการทดลอง

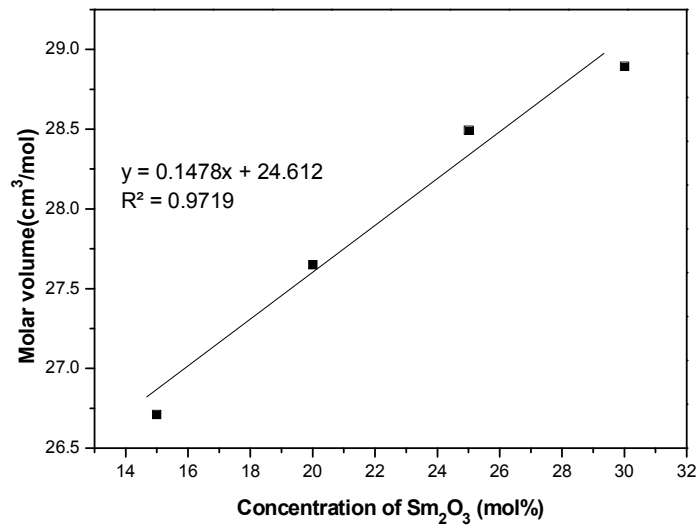
แก้วซิงคลีเทียมแบบเรียบบอเร็ตที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมออกไซด์ ตั้งแต่ 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โมล จากองค์ประกอบ $30\text{Li}_2\text{O} - 10\text{ZnO} - x\text{BaO} - (59-x)\text{B}_2\text{O}_3 - 1\text{Sm}_2\text{O}_3$ หลอมด้วยเทคนิคการหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Melt Quenching Technique) ถูกเตรียมขึ้นจากสารเคมี ดังนี้ คือ ZnO , Li_2O , BaCO_3 , H_3BO_3 และ Sm_2O_3 ต่อมาทำการบดสารเคมีทั้งหมดให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกันด้วยโกร่งบดสาร จากนั้นบรรจุในภาหหลอมอะลูมินา และนำเข้าเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างแก้วที่ได้เข้าเตาอบ เพื่ออบไล่ความเครียดของแก้วที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง โดยปล่อยให้เย็นตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง ขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมแก้วตัวอย่าง คือการนำไปตัดและขัดให้มีขนาด 1.0 ซม. x 1.5 ซม. x 0.3 ซม. สำหรับวิเคราะห์ความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลโดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น (รุ่น AND HR-200 บริษัท Dietheim) การวิเคราะห์หสมบัติการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสเนียร์ไออาร์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV-3600 บริษัท Bara Scientific) การวิเคราะห์หสมบัติการเปล่งแสงโดยใช้เครื่อง Fluorescence Spectrophotometer (รุ่น Cary Eclipse บริษัท Agilent Technologies)

3. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วซิงคลีเทียมแบบเรียบบอเร็ตที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของแบเรียมออกไซด์ ตั้งแต่ 15 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โมล จากองค์ประกอบ $30\text{Li}_2\text{O} - 10\text{ZnO} - x\text{BaO} - (59-x)\text{B}_2\text{O}_3 - 1\text{Sm}_2\text{O}_3$ พบว่า ค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ BaO โดยค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 2.7786 ± 0.0086 ถึง 3.0033 ± 0.0064 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 1 และในขณะเดียวกัน การวิเคราะห์หค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่าง พบว่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามปริมาณการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่ของ BaO ที่สูงขึ้น

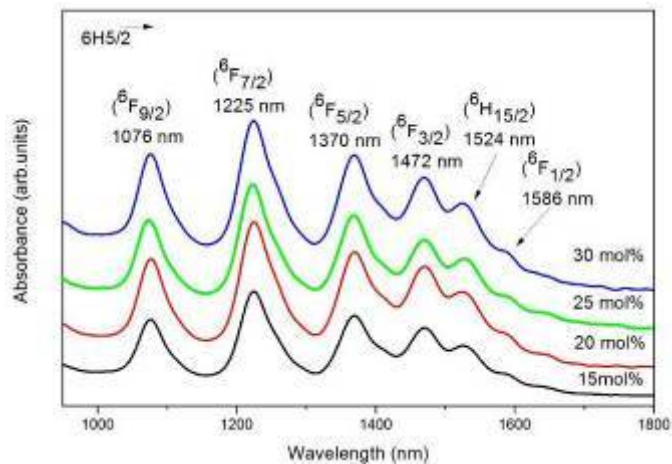


ภาพที่ 1 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของแก้ว $30\text{Li}_2\text{O} - 10\text{ZnO} - x\text{BaO} - (59-x)\text{B}_2\text{O}_3 - 1\text{Sm}_2\text{O}_3$ ที่เจือด้วย BaO ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



ภาพที่ 2 กราฟแสดงค่าปริมาณเชิงโมลของแก้ว $30\text{Li}_2\text{O} - 10\text{ZnO} - x\text{BaO} - (59-x)\text{B}_2\text{O}_3 - 15\text{Sm}_2\text{O}_3$ ที่เจือด้วย BaO ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

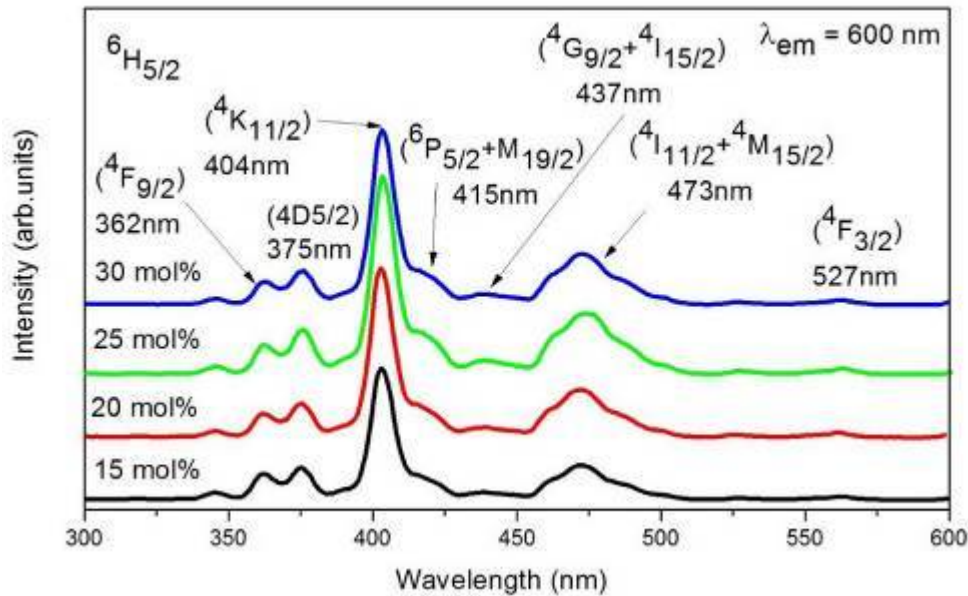
ผลการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วซิงค์ลิเทียมโบเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Sm_2O_3 1 เปอร์เซ็นต์ โมล ที่เจือความเข้มข้น BaO ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 15 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงดังภาพที่ 3 พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 6 พีก โดยการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 1,076 นาโนเมตร (${}^6\text{F}_{9/2}$) 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 (${}^6\text{H}_{15/2}$) และ 1,586 นาโนเมตร (${}^6\text{F}_{1/2}$) สังเกตพบว่าการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นการดูดกลืนในช่วงอินฟราเรด โดยที่ความยาวคลื่น 1,076 ถึง 1,586 นาโนเมตร



ภาพที่ 3 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้ว $30\text{Li}_2\text{O} - 10\text{ZnO} - x\text{BaO} - (59-x)\text{B}_2\text{O}_3 - 15\text{Sm}_2\text{O}_3$ ที่เจือด้วย BaO ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

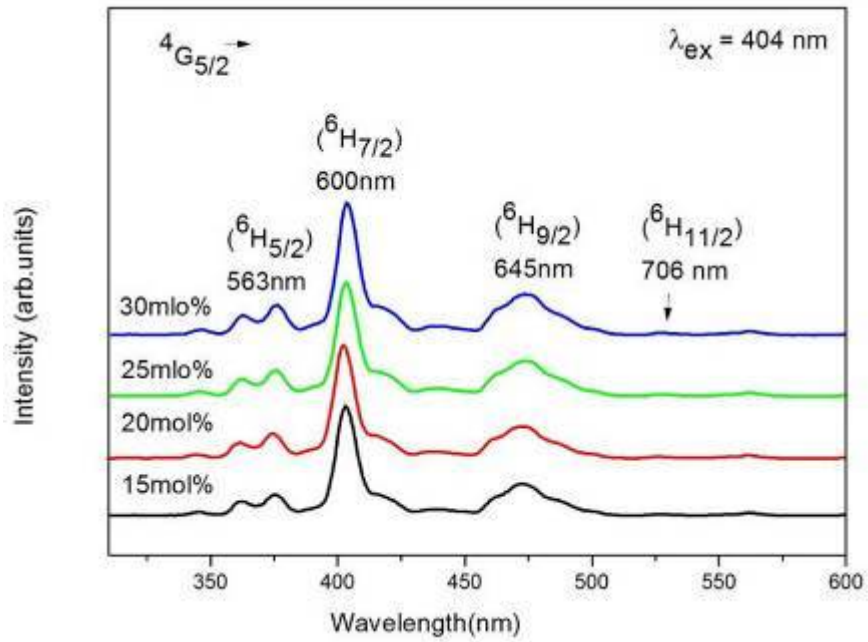
ผลการศึกษาสเปกตรัมการกระจัดแสงของแก้วซิงค์ลิเทียมโบเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Sm_2O_3 1 เปอร์เซ็นต์ โมล ที่เจือความเข้มข้น BaO ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 15 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โมล สเปกตรัมการกระจัดถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 600 นาโนเมตร แสดงดังภาพที่ 4 พบว่าสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 7 พีก โดยใช้การแปลงแสงที่

ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ซึ่งเกิดการกระตุ้นของแสงเกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง (${}^4F_{9/2}$) ที่ความยาวคลื่น 362 นาโนเมตร (${}^4D_{5/2}$) ที่ความยาวคลื่น 375 นาโนเมตร (${}^4K_{11/2}$) ที่ความยาวคลื่น 404 นาโนเมตร (${}^6P_{5/2} + {}^4M_{19/2}$) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร (${}^4G_{9/2} + {}^4I_{15/2}$) ที่ความยาวคลื่น 437 นาโนเมตร (${}^4I_{11/2} + {}^4M_{15/2}$) ที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร และ (${}^4F_{3/2}$) ที่ความยาวคลื่น 527 นาโนเมตร

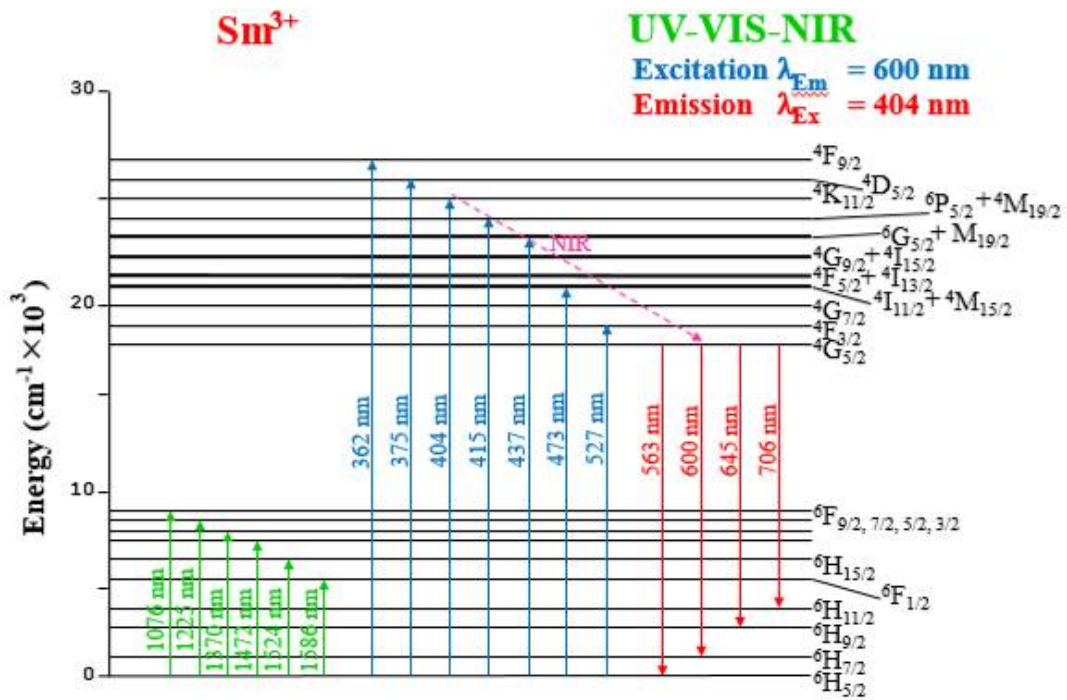


ภาพที่ 4 สเปกตรัมการกระตุ้นแสงของแก้ว $30Li_2O - 10ZnO - xBaO - (59-x)B_2O_3 - 1Sm_2O_3$ ที่เจือด้วย BaO ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วซิงค์ลิเทียมบอเรตที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Sm_2O_3 1 เปอร์เซ็นต์โมล ที่เจือความเข้มข้น BaO ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 15 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โมล สเปกตรัมการเปล่งแสงถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่น 300 ถึง 600 นาโนเมตร ความยาวคลื่นที่ใช้กระตุ้น คือ 404 นาโนเมตร แหล่งกำเนิดของแสง คือ หลอดไฟแฟลช (Xenon Flash Lamp) แสดงดังภาพที่ 5 จากรูปพบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 4 พิก ในช่วง Vis ถึง NIR โดยการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร (${}^6H_{5/2}$) 600 นาโนเมตร (${}^6H_{7/2}$) 645 นาโนเมตร (${}^6H_{9/2}$) และ 706 นาโนเมตร (${}^6H_{11/2}$) สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มข้นของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (${}^6H_{7/2}$) โดยสอดคล้องกับรูปแบบระดับพลังงานของ Sm^{3+} ที่ถูกดูดกลืนแสง กระตุ้นแสง เปล่งแสง และการปล่อยพลังงานในรูปของความร้อน (Nonradiative) เมื่อไอออนของ Sm^{3+} ถูกกระตุ้นที่ระดับพลังงานต่างๆ จะเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานจากชั้น (${}^4G_{5/2}$) ไปยังสถานะอื่นๆ



ภาพที่ 5 สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้ว 30Li₂O - 10ZnO - xBaO - (59-x)B₂O₃ - 1Sm₂O₃ ที่เจือด้วย BaO ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



ภาพที่ 6 ไดอะแกรมระดับพลังงานสำหรับการดูดกลืนแสง การกระตุ้นแสง และการเปล่งแสงของ Sm³⁺

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติสเปกโทรสโกปีของแก้วซิงค์ลิเทียมแบบเรียบบอเรตที่เจือด้วย Sm_2O_3 1 เปอร์เซ็นต์โมล ด้วยความเข้มข้นของ BaO ที่แตกต่างกัน คือ 15 20 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์โมล พบว่าค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ BaO ผลของสเปกตรัมการดูดกลืนแสง ปรากฏทั้งหมด 6 พีค โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1,076 นาโนเมตร ($^6\text{F}_{1/2}$) 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 ($^6\text{F}_{1/2}$) ผลของสเปกตรัมการกระตุ้นแสงปรากฏทั้งหมด 7 พีค โดยการใช้การเปล่งแสงที่ความยาวคลื่น 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 437 นาโนเมตร ($^6\text{P}_{5/2} + ^4\text{M}_{19/2}$) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ($^4\text{G}_{9/2} + ^4\text{I}_{15/2}$) ที่ความยาวคลื่น 437 นาโนเมตร ($^4\text{I}_{11/2} + ^4\text{M}_{15/2}$) ที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร ($^4\text{F}_{3/2}$) ที่ความยาวคลื่น 527 นาโนเมตร สเปกตรัมการเปล่งแสงปรากฏทั้งหมด 4 พีค 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 ($^6\text{H}_{11/2}$) สเปกตรัมการเปล่งแสงที่มีความเข้มของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ($^6\text{H}_{7/2}$)

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

1. kirti Nanda et al., 2015 : 521-526 คุณสมบัติของแก้ว [http://www.ecoglazz.in.th/article/\[25/10/2016\]](http://www.ecoglazz.in.th/article/[25/10/2016])
2. Hannora et al .,2015 , Synthesis of Lead – Borate Glasses Using High Energy Ball Milling (Attritor), Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 429, pp. 1-4.
3. Chien et al , 2013 : 273-276 [http://th.wikipedia.org/wiki/\[1/12/2516\]](http://th.wikipedia.org/wiki/[1/12/2516])
4. Swapna et al .,2016 : 288-294, Visible Luminescence Characteristics of Sm^{3+} Doped Zinc Alumino Bismuth Borate Glasses,Journal of Luminescence
5. Ahmad et al, 2014 : 250-255 “ Study the Influence of Zinc Oxide Addition on Cobalt Doped Alkaline Earth Borate Glasses”, Journal of Alloys and Compound , Vol. 593, pp. 250-255
6. Sings, G.P, 2008, :106-110 “Gamma Ray Effect on the Covalent Behaviour of the CeO₂-BaO-B₂O₃ glasses Gurinder”, Physica B, Vol. 450,pp .106-110
7. Akman et al., 2015 : 107-113 ,Studies on Effective Atomic Numbers, Electron Densities from Mass Attenuation Coefficients Near the Kedge in some Samarium Compounds, Applied Radiation and Isotopes, Vol . 101, pp. 107-113