การศึกษาสมบัติของแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโร-เทลลูไรท์ที่เจือด้วยดิสโพรเซียมออกไซด์

ภัทรวจี ยะสะกะ[1*], พิสชา จุมพล[2], ธนาวดี จงใจรัก[2], ศิริลักษณ์ แป้นทอง[2] และ ธนภรณ์ สุพรรณโรจน์[3]

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม
[2]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม
[3]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี, ลพบุรี
*ผู้รับผิดชอบบทความ: pyasaka@hotmail.com

บทคัดย่อ

ระบบแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโร-เทลลูไรท์ที่เจือด้วยดิสโพรเซียมออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของดิสโพรเซียมออกไซด์ ตั้งแต่ 0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์โมล จากสูตร $30TeO_2 – (38\text{-}x)\ B_2O_3 – 10ZnO – 2Bi_2O_3 – 20BaO – xDy_2O_3$ ถูกเตรียมด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูงและปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางแสง ของระบบแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโร-เทลลูไรท์ พบว่าความหนาแน่นของระบบแก้วที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาตรเชิงโมล มีค่าลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของ Dy_2O_3 และเมื่อวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 2,500 นาโนเมตร ของระบบแก้วนี้ พบว่า ค่าความเข้มของพีคการดูดกลืนแสงสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของดิสโพรเซียมออกไซด์

คำสำคัญ: ซิงค์ออกไซด์ / บิสมัทออกไซด์ / แก้วบอโรเทลลูไรท์ / ดิสโพรเซียมออกไซด์ /สมบัติทางแสง

Study Properties of Zinc Bismuth Barium Boro-tellurite Glasses Doped with Dysprosium Oxide

Patarawagee Yasaka[1*], Phisacha Chumphol[2], S Thanawadee Jongjairak[2], Siriluk Panthong[2] and Tanapohn Supanroth[3]

[1]Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom

[2]Science Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom

[3] Physics Program, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, 15000, Lopburi

*corresponding author: pyasaka@hotmail.com

Abstract

The zinc bismuth barium boro-tellurite glasses system doped with Dy_2O_3. Which varies dysprosium oxide concentration are 0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, and 0.25 mol% of the composition $30TeO_2$ – (38-x) B_2O_3 - $10ZnO$ - $2Bi_2O_3$ – $20BaO$ - xDy_2O_3 have been synthesized by conventional melt quenching technique. This research study on physical and optical properties of zinc bismuth barium boro-tellurite glasses system. The results shown that the density increased whereas the molar volume decreased with increasing of Dy_2O_3 concentrations and the optical absorption spectra of glasses were measured in the wavelength range of 200 – 2,500 nm. The intensity of all absorption bands increased with increasing dysprosium oxide concentration.

Keywords: Zinc oxide / Bismuth oxide / Boro-tellurite glasses / Dysprosium oxide / Optical properties

1.บทนำ

แก้ว เป็นวัตถุโปร่งใส เนื้อใสสะอาด มีความเป็นมันแวววาว แก้วเป็นสารประกอบของซิลิกากับสารโลหะออกไซด์มีลักษณะโปร่งใสและมีความเปราะในตัวเอง ตาม ASTM กล่าวว่า แก้ว คือ วัสดุที่เป็นสารอนินทรีย์ต่าง ๆ มาเผาให้ถึงจุดละลายที่อุณหภูมิสูง และเมื่อเวลาเย็นตัวลงมาจะกลายเป็นของแข็งโดยไม่ตกผลึก ทั้งนี้เนื่องจากแก้วเป็นของแข็งที่ไม่มีผลึกอยู่ในตัวเอง จึงถือว่าแก้วเป็นวัสดุอสัณฐานประเภทหนึ่ง (Pengfei et al., 2020)

แก้วเทลลูไรท์ (tellurite) เป็นของแข็งที่ไม่ใช่ผลึกซึ่งมีการใช้งานหลายรูปแบบในรูปแบบ โฟโตนิกส์ ปรากฏในองค์ประกอบที่หลากหลายและสามารถหลอมที่อุณหภูมิต่ำ ทนความร้อน ยิ่งไปกว่านั้นมันมีความหนาแน่นสูงและอุณหภูมิการเปลี่ยนผ่านต่ำ คุณสมบัติการมองเห็นของแก้วนั้นรวมถึงดัชนีการหักเหของแสงที่ค่อนข้างสูงดัชนีการหักเหของแสงที่ไม่เป็นเชิงเส้นสูง ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงเช่นเดียวกับความเสถียรทางเคมีที่ดีและช่วงการส่งสัญญาณอินฟราเรดกว้าง (IR) (1-6 μm) (Robert, 1994)

บอเรต (B_2O_3) ถูกใช้เป็นส่วนผสมหลักทำหน้าที่เป็นโครงข่ายแก้ว (glass former) การเตรียมแก้วที่มีองค์ประกอบจาก B_2O_3 เพียงชนิดเดียวนั้นเกิดได้ยากมากและมีคุณสมบัติที่ไม่ดีนักจึงควรมีการปรับปรุงคุณสมบัติโครงสร้างของแก้วเพื่อให้มีการก่อตัวเป็น โครงสร้างแก้วที่ง่ายและมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นแก้วชนิดนี้จึงมีคุณสมบัติที่ดีสำหรับเป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่เป็นเชิงเส้นของแสง (non-linear optical) (Robert, 1994)

บิสมัทออกไซด์ (bismuth oxide) เมื่อมีการหลอมเหลวไม่สามารถเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายแก้วได้ เนื่องจากมีไอออนของบิสมัท (Bi^{3+}) ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในส่งผลให้โมเลกุลของบิสมัทออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวประสานแทรกในเนื้อแก้ว (Robert, 1994)

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารเคมีชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวเป็นปุย น้ำหนักโมเลกุล (M.W.) 81.38 โมล จุดหลอมเหลว 1975 ± 25 องสาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 5.43 - 5.70 ละลายในน้ำได้น้อยมากมีความเป็นด่างเล็กน้อย การขยายตัวต่ำ การนำความร้อนสูง สามารถนำไฟฟ้าได้ในขณะเดียวกันก็สามารถกระทำให้มีความต้านทานต่อไฟฟ้า (Brown, 1994)

แบเรียมออกไซด์ (barium oxide) เป็นสารประกอบดูดความชื้นสีขาวที่เกิดขึ้น โดยการเผาไหม้ของแบเรียมในออกซิเจน ถึงแม้ว่ามันจะเกิดขึ้นมักจะผ่านการสลายตัวของเกลือแบเรียมอื่น ๆ ทำปฏิกิริยากับน้ำในรูปแบบ แบเรียมไฮดรอกไซด์ $BaO + H_2O \longrightarrow Ba(OH)_2$ (Winnacke, 1986)

ดิสโพรเซียมออกไซด์ ในกลุ่มธาตุหายาก (rare earth) ไอออนดิสโพรเซียม (Dy^{3+}) เป็นหนึ่งในไอออนที่นำมาศึกษาเนื่องจากมีคุณสมบัติทางแสงที่ดี คือ มีการเปล่งแสงในช่วง VIS และ NIR โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านแสงต่าง ๆ เช่น จอแสดงผล และเลเซอร์ทางแสง (Jyothi et al., 2014)

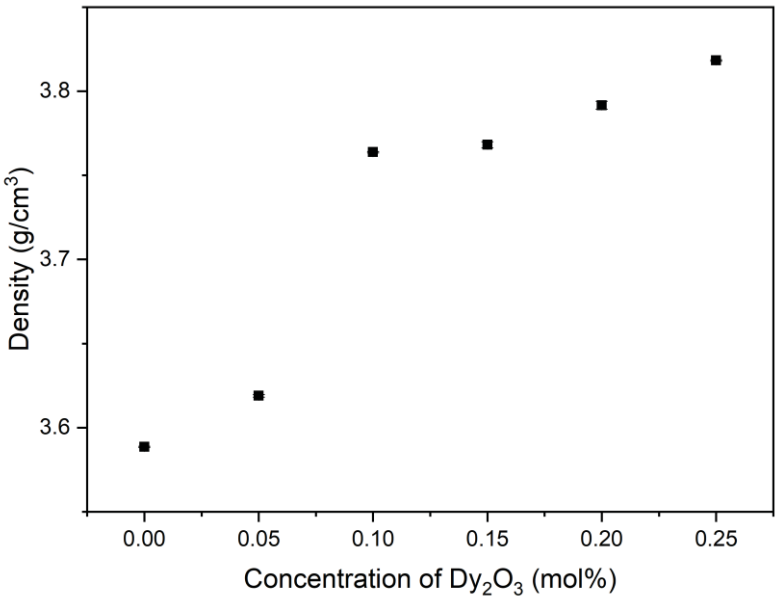
2. วิธีการทดลอง

สำหรับสูตรแก้วที่ทำการเตรียมในงานวิจัยนี้ คือ $30TeO_2 – (38\text{-}x)\ B_2O_3 – 10ZnO – 2Bi_2O_3 – 20BaO – xDy_2O_3$ (เมื่อ x คือ 0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 เปอร์เซ็นต์โมล) หลอมด้วยเทคนิคการหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (Melt Quenching Technique) โดยสารเคมีตั้งต้นที่ใช้คือ TeO_2 B_2O_3 ZnO Bi_2O_3 BaO และ Dy_2O_3 ที่มีความบริสุทธิ์สูงผสมลงในเบ้าหลอมอะลูมินา ต่อมานำไปหลอมในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1150 °c เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ต่อมานำแก้วที่หลอมได้เทลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อลดความเครียดที่เกิดขึ้นในแก้ว และขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมแก้วตัวอย่าง คือการนำไปตัดและขัดให้มีขนาด 1.0 ซม. x 1.5 ซม. x 0.3 ซม. สำหรับวิเคราะห์ความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลโดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น (รุ่น AND HR-200

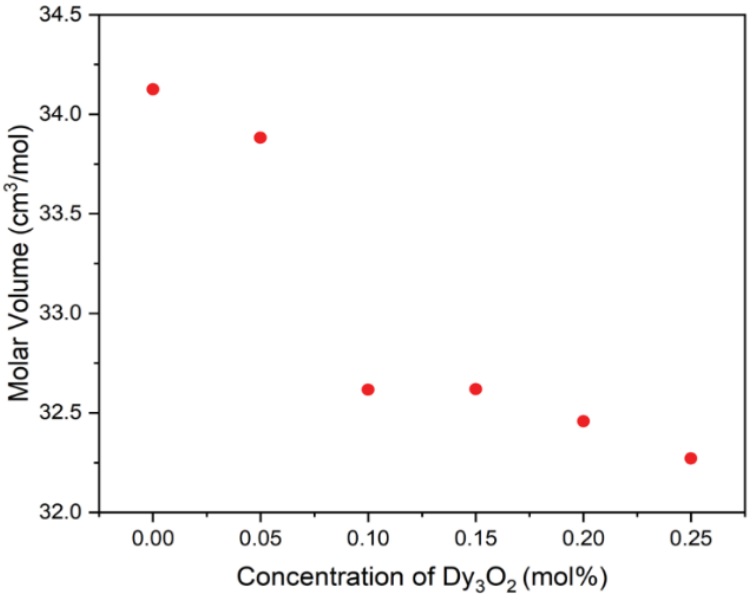
บริษัท Shimastu) การวิเคราะห์สมบัติการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสเนียร์ไออาร์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV-3600 บริษัท Bara Scientific)

3.ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโร-เทลลูไรท์ที่เจือด้วย Dy_2O_3 ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.00 ถึง 0.25 เปอร์เซ็นต์โมล โดยทั่วไป ค่าความหนาแน่นของแก้วจะอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างมวลและปริมาตรที่เกิดจากโครงสร้างแก้ว ความหนาแน่นมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวของอะตอมและกลุ่มของอะตอมที่สามารถเข้าไปแทนที่อะตอมดังกล่าวในโครงสร้างแก้วได้ พบว่าค่าความหนาแน่นและค่าปริมาตรเชิงโมล มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Dy_2O_3 ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของ Dy_2O_3 มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วซึ่ง ค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง3.5886 ± 0.0003 ถึง 3.8182 ± 0.0004 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพที่ 1 เนื่องจากมวลโมเลกุลของ TeO_2 มีค่าน้อยกว่ามวลโมเลกุลของ Dy_2O_3 เกิดการแทนที่ TeO_2 ในโครงสร้างแก้วส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วเพิ่มขึ้น และนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณความเข้มข้นของ Dy_2O_3 จากการวิเคราะห์หาค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่าง ค่าปริมาตรเชิงโมลจะขึ้นกับค่าความหนาแน่นของแก้ว ซึ่งพบว่าปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลงตามความเข้มข้น โดยค่าปริมาตรเชิงโมล มีค่าอยู่ระหว่าง 32.2708 ถึง 34.1247 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล ดังภาพที่ 2

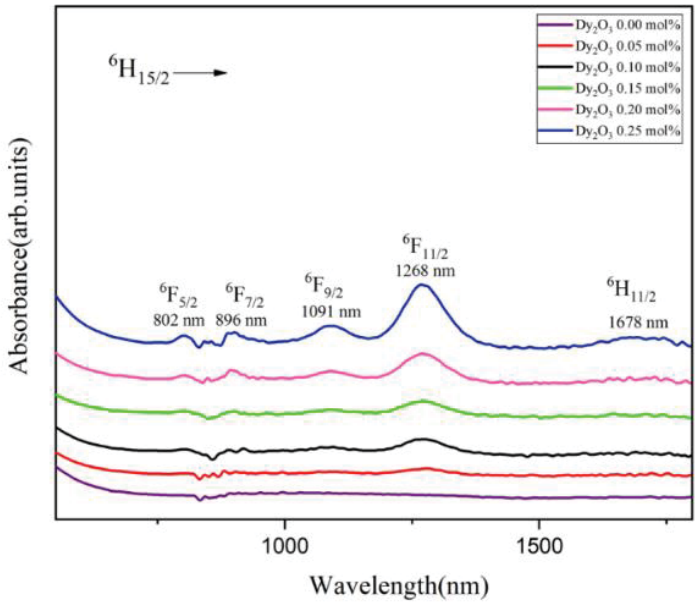


ภาพที่ 1 ค่าความหนาแน่นของ $30TeO_2 – (38\text{-}x)\ B_2O_3 – 10ZnO – 2Bi_2O_3 – 20BaO – xDy_2O_3$ ที่เจือด้วย Dy_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน



ภาพที่ 2 ปริมาตรเชิงโมลของแก้ว $30TeO_2$ – (38-x) B_2O_3 – $10ZnO$ – $2Bi_2O_3$ – $20BaO$ – xDy_2O_3 ที่เจือด้วย Dy_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

สเปกตราการดูดกลืนแสงของแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโร-เทลลูไรท์ที่เจือด้วยความเข้มข้นของ Dy_2O_3 ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.00 ถึง 0.25 เปอร์เซ็นต์โมล แสดงดังภาพที่ 3 พบว่าสามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนทั้งหมด 5 พีค โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 802 นาโนเมตร ($^6F_{5/2}$) 896 นาโนเมตร ($^6F_{7/2}$) 1091 นาโนเมตร ($^6F_{9/2}$) 1268 นาโนเมตร ($^6F_{11/2}$) และ 1678 นาโนเมตร ($^6H_{11/2}$) สังเกตพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนของแสงของแก้วตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นการดูดกลืนในช่วงวิซิเบิลจนถึงช่วงอินฟราเรด โดยที่ความยาวคลื่น 800 ถึง 2,000 นาโนเมตรจึงส่งผลให้ตัวอย่างแก้วเป็นสีเหลืองเข้ม และมีความเข้มของสเปกตราการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการเจือ Dy_2O_3



ภาพที่ 3 สเปกตราการดูดกลืนแสงของแก้ว $30TeO_2$ – (38-x) B_2O_3 – 10ZnO – $2Bi_2O_3$ – 20BaO – xDy_2O_3 ที่เจือด้วย Dy_2O_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแก้วซิงค์บิสมัทแบเรียมบอโร-เทลลูไรท์ที่เจือด้วยดิสโพรเซียมออกไซด์ พบว่าแก้วตัวอย่าง มีความโปร่งใส มีลักษณะเป็นสีเหลืองโดยสีเหลืองจะเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Bi_2O_3 เนื่องจากอิทธิพลของไอออน Bi^{3+} ที่เติมลงไปในแก้ว ความเข้มข้นของดิสโพรเซียมออกไซด์ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.00 ถึง 0.25 เปอร์เซ็นต์โมล พบว่ามีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของ Dy_2O_3 มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของ ตัวอย่างแก้ว ซึ่งค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 3.5886 ± 0.0003 ถึง 3.8182 ± 0.0004 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และพบว่าปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลงตามความเข้มข้น โดยค่าปริมาตรเชิงโมล มีค่าอยู่ระหว่าง 32.2708 ถึง 34.1247 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล ผลของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง VIS ถึง NIR ที่ความยาวคลื่น 800 ถึง 2,000 นาโนเมตร ผลของสเปกตรัมการกระตุ้นแสง ปรากฏทั้งหมดปรากฏทั้งหมด 6 พีค โดยการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 801 นาโนเมตร ($^6F_{5/2}$) 895 นาโนเมตร ($^6F_{7/2}$) 1087 นาโนเมตร ($^6F_{9/2}$) 1268 นาโนเมตร ($^6F_{11/2}$) และ 1675 นาโนเมตร ($^6H_{11/2}$) สังเกตพบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนของแสงของแก้วตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นการดูดกลืนในช่วงวิซิเบิลจนถึงช่วงอินฟราเรด

5. กิติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ และ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่อำนวยความสะดวกและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

Brown, HE., (1957). “**Zinc oxide : Rediscovered**”, New York: New Jersey Zinc Co., pp. 11-12, pp. 82-93.

Jyothi, I., Upender, G., Kuladeep, R., and Rao, D.N. (2014). “**Structural, thermal, optical properties and simulation of white light of titanium-tungstate-tellurite glasses doped with dysprosium**” Materials Research Bulletin, Vol. 454, pp. 72–81

Pengfei Wang, Shijie Jia, Xiaosong Lu, Yuxuan Jiang, Jibo Yu, Xin Wang, Shunbin Wang and Elfed Lewis. (2020). **“Tellurite Glass and Its Application in Lasers”** [Online First], Intech Open, Available from: https://www.intechopen.com/online-first/tellurite-glass-and-its-application-in-lasers

Robert, H.D., (1994). **“Glass Science”**, New York: John Wiley & Sons, Inc.

Winnacker Küchler. (1986). **“Chemische Technologie”** Acta Polymerica, 37(6), pp. 398–398.