การศึกษาสมบัติทางแสงของแก้วบอโรซิลิเกตที่เติม $Nd_2O_3 : V_2O_5$

The study of optical properties of Borosilicate glass containing $Nd_2O_3 : V_2O_5$

ยศกิต เรืองทวีป[1,2*] และจักรพงษ์ แก้วขาว[1,3]

[1]*ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม*
[2]*สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม*
[3]*สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม*
[*]*Yotsakitt@hotmail.com*

บทคัดย่อ

*งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมแก้วบอโรซิลิเกตโดยวิธีการหลอมแล้วทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสงของแก้วตัวอย่าง โดยแก้วถูกเตรียมในอัตราส่วน $53.5SiO_2$:$1Al_2O_3$:$13B_2O_3$:$4.5BaO$:$0.2Sb_2O_3$: $6.3CaO$:$20Na_2O$ ที่เติม Nd_2O_3:V_2O_5 ในสัดส่วน 1.5:0.0, 1.5:0.1, 1.5:0.2, 1.5:0.3, 1.5:0.4 และ 1.5:0.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมลแทนที่ปริมาณความเข้มข้นของ SiO_2 ผลที่ได้พบว่าแก้วตัวอย่างแก้วที่มีสีออกไปทางโทนม่วง โดยจะมีสีเข้มขึ้นตามความเข้มข้นของ V_2O_5 ที่เพิ่มมากขึ้น มีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 350, 425, 475, 525, 580, 590, 640, 690, 745, 810 และ 880 nm จากเครื่อง ยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ส่วนค่าความหนาแน่นและค่าดรรชนีหักเหมีแนวโน้มไม่ชัดเจน ซึ่งค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 1.5613 ถึง 1.5665 และค่าดรรชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.5314 ถึง 1.5446 นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดค่าโคออดิเนตสีในระบบ CIE L*a*b**

คำสำคัญ: แก้วบอโรซิลิเกต คุณสมบัติทางแสง Nd_2O_3

Abstract

In this work, the physical and optical properties of borosilicate glasses doped with $Nd_2O_3 : V_2O_5$ concentration proportion of 1.5:0.0, 1.5:0.1, 1.5:0.2, 1.5:0.3, 1.5:0.4 and 1.5:0.5 mol% have been investigated. The glass samples were prepared by the normal melt-quench technique. The results show that, no significant change in the density and refractive index values with increasing V_2O_5 content. The optical absorption spectra of glass samples were measured by UV-visible spectrophotometer in the wavelength range 300-900 nm. The absorption peaks locate around 350, 425, 475, 525, 580, 590, 640, 690, 745, 810 and 880 nm and produce the violet color. The color of glasses were also measured in CIE L a* b* system.*

Keywords: Borosilicate glass, optical properties, Nd_2O_3

1. บทนำ

แก้วบอโรซิลิเกต (borosilicate glass) เป็นแก้วที่มีส่วนผสมของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และ โบรอนออกไซด์ (B_2O_3) นิยมเรียกว่าแก้วไพเรก (Pyrex) มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ ทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อน เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงแล้วรูปร่างของแก้วจะไม่เปลี่ยนแปลง และยังทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีต่างๆ ได้หลายชนิด รวมทั้งสารละลายเบสด้วย แก้วประเภทนี้เหมาะสำหรับทำเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ หรือทำภาชนะแก้วสำหรับใช้ในเตาไมโครเวฟ เป็นต้น

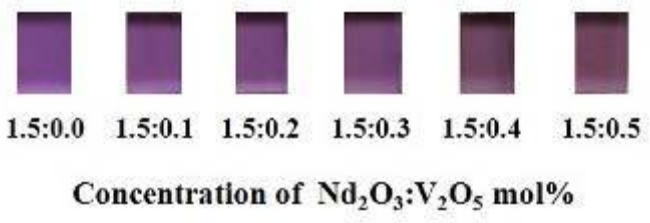
แต่อย่างไรก็ตามมีการพัฒนาการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้แก่แก้วบอโรซิลิเกตโดยการเติมธาตุทรานซิชันซึ่งโลหะทรานซิชันมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติการเกิดสีเกิดจากการดูดกลืนแสงของสารที่ทำให้เกิดสี (coloring agent) ที่อยู่ในเนื้อแก้ว การดูดกลืนแสงช่วงคลื่นใดช่วงหนึ่งของแก้วขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีสารที่ทำให้เกิดสี ซึ่งเป็นออกไซด์ของโลหะทรานซิชั่น โดยเฉพาะโลหะแถวแรก เช่น Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni และ Cu สีของออกไซด์ของโลหะเหล่านี้เกิดจากออกซิเดชันสเตตของโลหะอิออน เช่น ออกไซด์ของโครเมียม จะมีสีต่างๆ กัน จากสีเขียวถึงสีส้ม เมื่อ Cr มีออกซิเดชันสเตท +3 ถึง +6 การที่โลหะจะมีเลขออกซิเดชันสเตทเท่าใดก็ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของออกไซด์เบส (Cr_2O_3) ต่อ ออกไซด์กรดในเนื้อแก้ว และขึ้นอยู่กับธรรมชาติของเนื้อแก้วว่าจะมีฤทธิ์เป็นกรดหรือเบส จากที่ได้กล่าวมาได้เติมธาตุโลหะทรานซิชัน และธาตุหายาก Nd_2O_3 : V_2O_5 นีโอดีเมียม เปลี่ยนเป็นสีม่วงเนื่องจากการดูดกลืนของแสงสีเหลืองละสีเขียวอ่อน นีโอดีเมียมได้มากจาก Nd_2O_3 วาเนเดียม (Vanadium) เป็นธาตุโลหะทรานซิชั่น มีจุดเดือด 3407 ℃ จุดหลอมเหลว 1910 ℃ ความหนาแน่น 6.11 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขออกซิเดชันมากกว่าหนึ่งค่า คือ +2, +3, +4, +5 V^{4+} จะมีความเสถียรมากที่สุด V^{2+} เป็นตัวรีดิวซ์ที่รุนแรงและถูกออกซิไดส์ง่าย จะเป็น +3 +4 ธาตุวาเนเดียม ถูกรีดิวซ์ด้วย H_2 หรือ CO จะได้ V^{3+} และการให้สีของเลขออกซิเดชันในแต่ละค่าพบว่า V^{2+} จะให้สีม่วงอ่อน V^{3+} จะให้สีเขียว (Ori et al., 2011: 2571) การศึกษาการเกิดสีในแก้วของวานาเดียมเป็นเรื่องที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเกิดสีของวานาเดียมผสมกับสีนีโอดีเมียม ในแก้วบอโรซิลิเกตที่ความเข้มข้นต่างๆ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมการหลอมแก้ว ในสูตร $53.5SiO_2{:}1Al_2O_3{:}13B_2O_3{:}4.5BaO{:}0.2Sb_2O_3{:}6.3CaO{:}20Na_2O$ ที่เติม Nd_2O_3 : V_2O_5 ในสัดส่วน 1.5:0.0, 1.5:0.1, 1.5:0.2, 1.5:0.3, 1.5:0.4 และ 1.5:0.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล โดยแทนที่ปริมาณความเข้มข้นของ SiO_2 นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ใส่ในเบ้าหลอมและนำเข้าเตาไฟฟ้าโดยหลอมที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 4.87 องศาเซลเซียสต่อนาที และค้างของอุณหภูมิไว้ 3 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำเบ้าหลอมออกจากเตาอุณหภูมิสูง เพื่อทำให้แก้วเหลวได้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว และเทน้ำแก้วลงบนแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อขึ้นรูปแก้ว จากนั้นนำแก้วที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิสูงสุดที่ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นปิดเตาอบให้ความร้อนลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงนำแก้วออกจากเตาไปวัดคุณสมบัติแก้วทางวิทยาศาสตร์ด้วยเครื่องมือชนิดต่างๆ

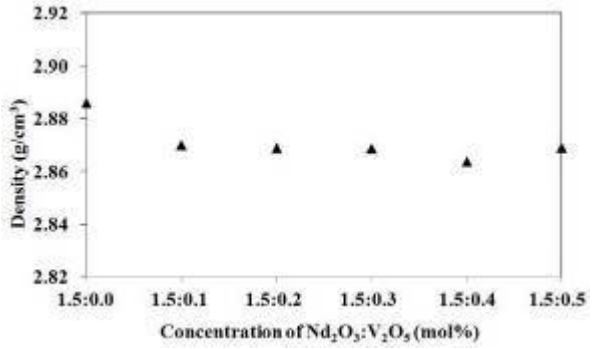
3. ผลการวิจัย

จากการหลอมแก้วบอโรซิลิเกต ในสูตร $53.5SiO_2{:}1Al_2O_3{:}13B_2O_3{:}4.5BaO{:}0.2Sb_2O_3$:$6.3CaO{:}20Na_2O$ ที่เติม Nd_2O_3 : V_2O_5 ในสัดส่วน 1.5:0.0, 1.5:0.1, 1.5:0.2, 1.5:0.3, 1.5:0.4 และ 1.5:0.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล โดยแทนที่ปริมาณความเข้มข้นของ SiO_2 พบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่ได้ได้เติม V_2O_5 จะได้แก้วที่มีลักษณะใสมี สีโทนม่วง และเมื่อเติม V_2O_5 จะได้แก้วที่มีสีออกไปทางโทนม่วง โดยจะมีสีเข้มขึ้นตามความเข้มข้นของ V_2O_5 ที่เพิ่มขึ้น แสดงได้ดังรูปภาพที่ 1

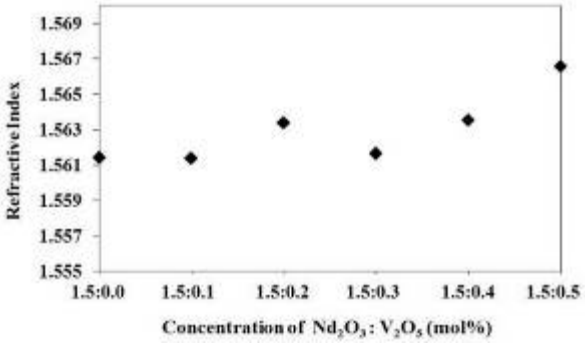


รูปภาพที่ 1 แสดงลักษณะของแก้วตัวอย่างที่เติม Nd_2O_3 : V_2O_5ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างที่เติม Nd_2O : V_2O_5 ในสัดส่วน 1.5:0.0, 1.5:0.1, 1.5:0.2, 1.5:0.3, 1.5:0.4 และ 1.5:0.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล พบว่าค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนเมื่อปริมาณความเข้มข้น V_2O_5 เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.8606 ถึง 2.8860 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดย Nd_2O : V_2O_5 ที่สัดส่วนความเข้มข้น 1.5:0.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีค่าความหนาแน่นสูงสุด และ ที่ที่สัดส่วนความเข้มข้น 1.5:0.4 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีค่าความหนาแน่นน้อยสุด ส่วนค่าดรรชนีหักเหของแก้วตัวอย่างไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนเมื่อปริมาณความเข้มข้นของ V_2O_5 เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5613 ถึง 1.5665 โดย Nd_2O : V_2O_5 ที่สัดส่วนความเข้มข้น 1.5:0.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีค่าความหนาแน่นสูงสุด และ ที่ที่สัดส่วนความเข้มข้น 1.5:0.1 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีค่าความหนาแน่นน้อยสุด แสดงดังรูปภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



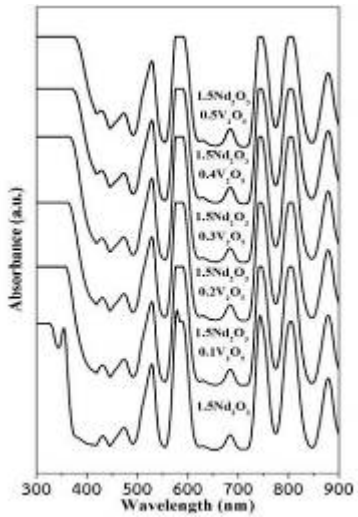
รูปภาพที่ 2 ความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างที่เติม Nd_2O_3 : V_2O_5 ที่ความเข้มข้นต่างๆ



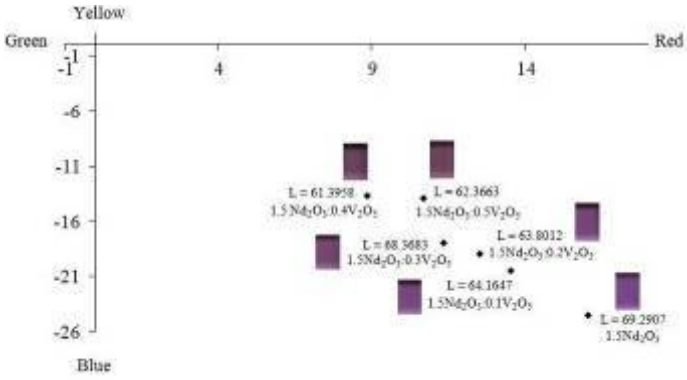
รูปภาพที่ 3 ค่าดรรชนีหักเหของแก้วตัวอย่างที่เติม Nd_2O_3 : V_2O_5 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 – 900 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่างที่เติม Nd_2O_3 : V_2O_5 ในสัดส่วน 1.5:0.0, 1.5:0.1, 1.5:0.2, 1.5:0.3, 1.5:0.4 และ 1.5:0.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล พบค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 350, 425, 475, 525, 580, 590, 640, 690, 745, 810 และ 880 นาโนเมตร ที่สัดส่วนความเข้มข้นของ Nd_2O_3 : V_2O_5 เท่ากับ 1.5:0.0 และพบว่าค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 350 นาโนเมตร หายไปเมื่อสัดส่วนความเข้มข้นของ Nd_2O_3 : V_2O_5 เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1.5:0.1 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ขึ้นไป แสดงดังรูปที่ 4 โดยสเปกตรัมการดูดกลืนแสงดังกล่าวเป็นช่วงการดูดกลืนอยู่ช่วงการดูดกลืนแสงสีม่วง สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสด และ สีแดง ทำให้มองเห็นแก้วเป็นสีโทนม่วงอ่อน และเข้มขึ้นตามสัดส่วนความเข้มข้นของ Nd_2O_3 : V_2O_5 ตั้งแต่ 1.5:0.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ตามลำดับ ขณะที่ผลการวิเคราะห์สีในระบบ CIE L*a*b* พบว่าแนวโน้มการเกิดสีของแก้วตัวอย่างจะมีค่าความสว่าง (L*) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 61.3958 ถึง 69.2907 ค่า (a*) จะมีค่าอยู่ระหว่าง -5.5458 ถึง –0.2296 ส่วน (b*) อยู่ระหว่าง 5.6725

ถึง 48.3240 และสีที่เกิดจะมีสีตั้งแต่ม่วงอ่อนและเพิ่มสูงขึ้นตามแนวแกน L คือไปในทิศทางของสีม่วงแกมน้ำเงินตามปริมาณความเข้มข้นของ Nd_2O_3 : V_2O_5 ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในรูปภาพที่ 5



รูปที่ภาพ 4 ค่าการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่าง ในช่วงความยาวคลื่น 300-1100 นาโนเมตร



รูปภาพที่ 5 ค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ของแก้วที่เติม Nd_2O_3 : V_2O_5 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองหลอมแก้วในสูตร $53.5SiO_2$:$1Al_2O_3$:$13B_2O_3$:$4.5BaO$:$0.2Sb_2O_3$:$6.3CaO$:$20Na_2O$ ที่เติม Nd_2O_3 : V_2O_5 ในสัดส่วน 1.5:0.0, 1.5:0.1, 1.5:0.2, 1.5:0.3, 1.5:0.4 และ 1.5:0.5 เปอร์เซ็นต์โดยโมล พบว่าแก้วที่ได้มีสีสีออกไปทางโทนม่วง โดยจะมีสีเข้มขึ้นตามความเข้มข้นของ V_2O_5 ที่เพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นและค่าดรรชนีหักเหของแก้วตัวอย่าง พบว่าค่าความหนาแน่นและค่าดรรชนีหักเหไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนเมื่อปริมาณความเข้มข้นของ V_2O_5 เพิ่มขึ้น ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-1100 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่าง พบว่าพีคของค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 350, 425, 475, 525, 580, 590, 640, 690, 745, 810 และ 880 นาโนเมตร โดยสเปกตรัมการดูดกลืนจะมีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นตามตามสัดส่วนความเข้มข้นของ Nd_2O_3 : V_2O_5 ตั้งแต่ 1.5:0.0 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีในระบบ CIE L*a*b*

5. เอกสารอ้างอิง

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2540), **ชนิดของแก้ว**. ค้นเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2556 จาก http://www2.mtec.or.th/th/research/gsat/glassweb/type.html

ประสิทธิ์ ปุระชาติ (2549). **สมบัติและชนิดของแก้ว**. ค้นเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2556 จาก http://library.tru.ac.th/academic/book/245-b45252.html

ฟิสิกส์ราชมงคล (2543). **Vanadium**. ค้นเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2556 จาก http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci3/periodic-table/V.html

G. Ori, M. Montorsi, A. Pedone & C. Siligardi. (2011). Insight into the structure of vanadium containing glasses: A moleculardynamics study. **Journal of Non-Crystalline Solids,** 357, 2571-2579.