

การเตรียมและสมบัติทางกายภาพของแก้วสตรอนเทียมแบเรียมฟอสเฟต

ที่เจือด้วยนีโอติเมียม

ณัฐกฤตา จันทิมา^{1,2,*}, ฉลองชัย จีนประชา¹, วรพล เฟิงนู¹, และ นัฐกานต์ ทะน้อย¹

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม 73000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: email natthakridta@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของนีโอติเมียมออกไซด์ ต่อสมบัติทางกายภาพของแก้วสตรอนเทียมแบเรียมฟอสเฟตตัวอย่างแก้วถูกเตรียมด้วยเทคนิคการหลอมและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของ Nd_2O_3 เพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาตรเชิงโมลมีค่าลดลง ผลการศึกษาธรรมชาติการหักเหแสงพบว่าตัวอย่างแก้วมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นนีโอติเมียมออกไซด์ นอกจากนี้ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ ของแก้วสตรอนเทียมแบเรียมฟอสเฟตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของนีโอติเมียมออกไซด์ จนถึง 1.0 mol% หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง

คำสำคัญ: แก้ว แก้วฟอสเฟต สมบัติทางกายภาพ ความแข็งแบบวิกเกอร์

Preparation and physical properties of strontium barium phosphate glasses dope with neodymium

Natthakridta Chanthima^{1,2,*}, Chalongchai Jeenpracha¹, Woraphon Pengnoo¹,
and Nattakan Tanoi¹

¹Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University,
Nakhon Pathom 73000, Thailand

²Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom
Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

*Corresponding author: email natthakridta@webmail.npru.ac.th

Abstract

In this work, studies the effect of Nd_2O_3 concentration on the physical properties of strontium barium phosphate glasses. The glass samples were prepared by the melt-quenching technique at 1200°C . The results found that, when the Nd_2O_3 concentration doped in glasses is increased, the result shows the increasing trends of the density, while the molar volume were decreased. The refractive index of glass samples has increasing trends when Nd_2O_3 concentration increases. Furthermore, the Vickers hardness of barium phosphate glasses tended to increase with increasing Nd_2O_3 contents up to 1.00 mol% thereafter decrease.

Keywords: Glass, Phosphate glasses, Physical properties, Vickers hardness

1. บทนำ

วัสดุแก้วได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เพราะเป็นวัสดุที่มีความสำคัญสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัย เนื่องจากวัสดุแก้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น อุปกรณ์ออปโต-อิเล็กทรอนิกส์ (Optoelectronic Devices) เส้นใยนำแสงเพื่อการสื่อสาร (fiber optic communication devices) วัสดุเลเซอร์ (Laser materials) เป็นต้น เนื่องจากแก้วยังเป็นวัสดุที่โปร่งแสง มีขนาดเบา ผลิตง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำ สามารถปรับเปลี่ยนรูปร่าง และส่วนประกอบหรือโครงสร้างให้เหมาะสมกับความต้องการได้อย่างง่ายดาย (L. Rama Moorthy et al., 2013: 22)

ในปัจจุบันชนิดของแก้วมีหลากหลายมาก เช่น แก้วบอเรต (Borates glass) แก้วซิลิเกต (Silicate glass) และแก้วฟอสเฟต (Phosphate glass) เป็นต้น โดยแก้วแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่โดดเด่น เหมาะสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของแต่ละชนิด แก้วฟอสเฟตเป็นแก้วที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากจากงานวิจัยทั้งหลาย เนื่องจากเป็นแก้วที่มีคุณสมบัติที่เฉพาะตัว เช่น จุดหลอมเหลวต่ำ ความเสถียรทางความร้อนสูง การกระจายแสงต่ำ และโปร่งแสงสูง (Rui Zhanget al., 2015: 427 และ Ismail Khattech et al., 2014: pp. 390) สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย (Ch. Basavapoomnimaet al., 2014: pp. 153) นอกจากนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เกี่ยวกับแสงในการวินิจฉัยทางการแพทย์ (B.A. Sava et al., 2013: 178) อย่างไรก็ตามแก้วฟอสเฟตมีข้อเสีย คือ ความทนทานต่อสารเคมีค่อนข้างต่ำ และดูดความชื้นสูง ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการใช้งาน ดังนั้นจึงได้มีการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของแก้วเพื่อให้ความเสถียรภาพทางเคมีมากขึ้น โดยการเติมออกไซด์อื่นๆ เข้าไป เช่น แบเรียมออกไซด์ (Barium oxide: BaO)

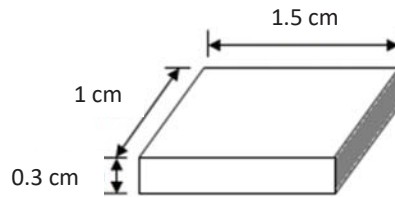
สตรอนเทียมออกไซด์ (Strontium oxide: SrO) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum oxide: Al₂O₃) และโซเดียมออกไซด์ (Sodium oxide: Na₂O) เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถช่วยลดความหนืดและลดอุณหภูมิในการหลอมแก้วอีกด้วย (C.K. Jayasankar et al., 2012: pp. 132) เพื่อให้เหมาะสำหรับกับการใช้งานแต่ละประเภทจำเป็นต้องมีการศึกษาสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่สามารถนำไปพัฒนาคุณภาพของแก้วให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาสมบัติทางกายภาพเช่นความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ธรรมชาติหักเห และความแข็งแบบวิกเกอร์ของแก้วสตรอนเทียมแบเรียมฟอสเฟต ที่เจือด้วยนีโอดีเมียมออกไซด์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุแก้วต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมแก้ว

แก้วสตรอนเทียมแบเรียมฟอสเฟตที่เจือด้วย Nd₂O₃ ถูกเตรียมขึ้นโดยใช้องค์ประกอบทางเคมีจากสูตร 30SrO : 20BaO : (50-x)P₂O₅ : xNd₂O₃ โดยที่ x = 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 ร้อยละเปอร์เซ็นต์โดยโมล (mol%) สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย คือ สตรอนเทียมคาร์บอเนต (Strontium Carbonate: SrCO₃) แบเรียมคาร์บอเนต (Barium oxide: BaCO₃) และแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Ammonium dihydrogen phosphate: NH₄H₂PO₄) ผสมสารเคมีทั้งหมดน้ำหนักรวม 20 กรัม นำไปหลอมที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นสารที่เคี้ยวที่ถูกหลอมจะถูกนำไปเทลงในแม่พิมพ์แกรไฟต์ เพื่อขึ้นรูปแก้วเป็นชิ้นงานที่อุณหภูมิห้อง นำตัวอย่างแก้วที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อลดความเครียดที่เกิดขึ้นในแก้วนำ ตัวอย่างแก้วไปตัดและขัดให้มีขนาด 1.0 x 1.5 x 0.3 cm³ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขนาดของตัวอย่างแก้ว

2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

การศึกษสมบัติความหนาแน่น (Density) โดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่นรุ่น ANDHR-200 ของบริษัท Dietheim คำนวณตามสมการ (K. Boonin et al., 2011: pp. 8)

$$\rho = \frac{w_a}{w_a - w_b} \times \rho_w \quad (1)$$

เมื่อ ρ หมายถึง ความหนาแน่นของตัวอย่างแก้ว, w_a หมายถึง น้ำหนักของตัวอย่างแก้วในอากาศ, w_b หมายถึง น้ำหนักของตัวอย่างแก้วในน้ำ และ ρ_w หมายถึง ความหนาแน่นของน้ำ ($\rho_w = 1.0000 \text{ g/cm}^3$) จากค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วสามารถนำมาคำนวณหาค่าปริมาตรเชิงโมล (Molar volume) ได้ ตามสมการ

$$V_m = \frac{M_T}{\rho} \quad (2)$$

เมื่อ M_T หมายถึง ผลรวมทั้งหมดของ น้ำหนักโมเลกุลโดยหาได้จาก (K. Boonin et al., 2011: pp. 8)

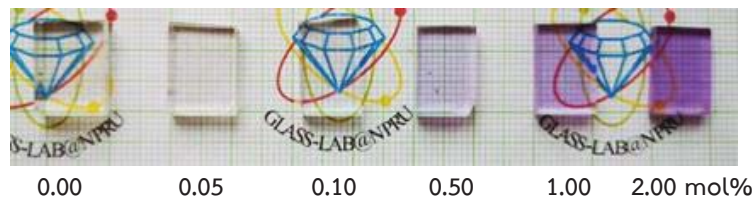
$$M_T = x_{SrO}Z_{SrO} + x_{BaO}Z_{BaO} + x_{P_2O_5}Z_{P_2O_5} + x_{Nd_2O_3}Z_{Nd_2O_3} \quad (3)$$

เมื่อ x_{SrO} , x_{BaO} , $x_{P_2O_5}$ และ $x_{Nd_2O_3}$ หมายถึง สัดส่วนโมเลกุลขององค์ประกอบออกไซด์ Z_{SrO} , Z_{BaO} , $Z_{P_2O_5}$ และ $Z_{Nd_2O_3}$ หมายถึง มวลโมเลกุลขององค์ประกอบออกไซด์ การศึกษาธรรมชาติหักเหแสง (Refractive Index) โดยใช้เครื่องวัดดรรชนีหักเหแสง Abbe Refractometer รุ่น 3T ของบริษัท ATAGO แล้วหาค่าเฉลี่ย ส่วนการวัดค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ใช้เครื่อง Micro Vickers Hardness Tester รุ่น HVS-1000 ของบริษัท Sino Age Development Technology ให้แรงกดขนาด 0.5 กิโลกรัมแรง (kgf) (0.49 นิวตัน) กดแช่เป็นเวลา 10-15 วินาที ตัวอย่างละ 4 จุด สามารถคำนวณจากสมการ (W. Leenakul al., 2018: pp. 21)

$$H_v = 1.854 \frac{P}{d^2} \quad (4)$$

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

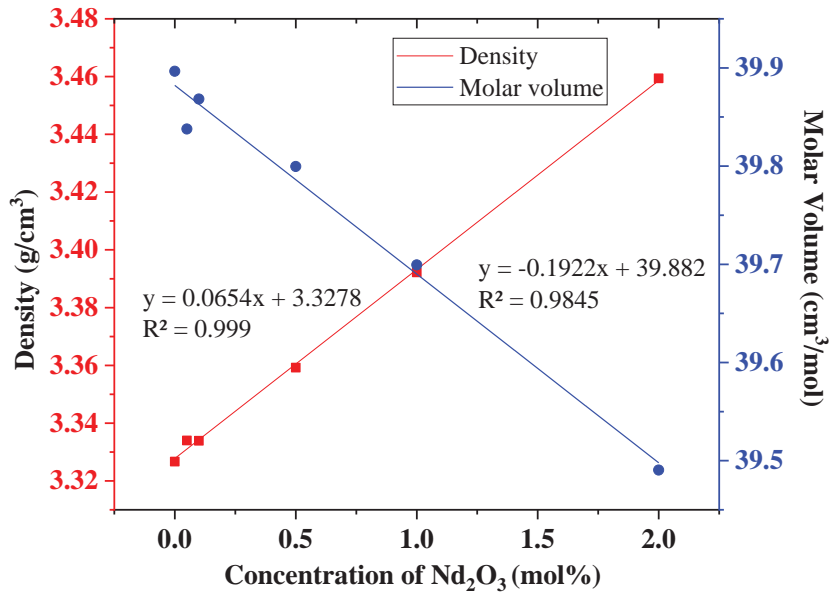
จากการทดลองพบว่า การหลอมแก้วสตรอนเทียมแบเรียมฟอสเฟตโดยใช้สูตร $30SrO : 20BaO : (50-x)P_2O_5 : xNd_2O_3$ เมื่อ $x = 0.05, 0.1, 0.5, 1.0,$ และ 2.0 ร้อยละเปอร์เซ็นต์โดยโมล (mol%) ตามลำดับ พบว่าตัวอย่างแก้วที่ได้มีลักษณะโปร่งแสง ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแก้วฟอสเฟต โดยตัวอย่างแก้วมีสีม่วงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นนีโอติเมียมออกไซด์ เนื่องจากนีโอติเมียมเป็นสารเคมีที่มีสีม่วงด้วยเช่นกัน ดังภาพที่ 2



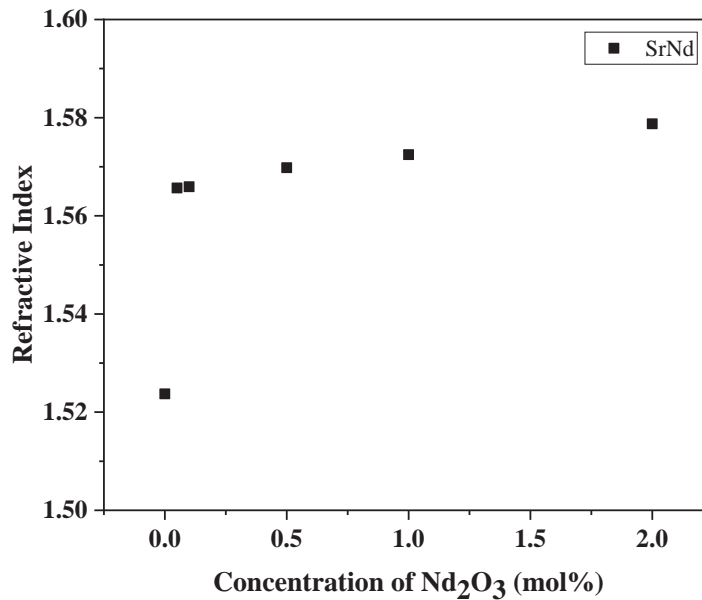
ภาพที่ 2 ลักษณะของตัวอย่างแก้วที่ได้จากการหลอม

จากภาพที่ 3 พบว่าความหนาแน่นของแก้วสตรอนเทียมแบเรียมฟอสเฟตมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นแบบเชิงเส้น ดังสมการเส้นตรง คือ $y = 0.0654x + 3.3278$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.999 ตามปริมาณความเข้มข้นของนีโอติเมียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ความหนาแน่น ของตัวอย่างแก้วอยู่ในช่วงระหว่าง 3.3267 ถึง 3.4594 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นเนื่องจากเกิดการแทนที่ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์โดยนีโอติเมียมออกไซด์ ซึ่งมีมวลโมเลกุลของนีโอติเมียมออกไซด์ (336.478 g/mol) มีค่ามากกว่าฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (141.9445 g/mol) ดังนั้นเมื่อนีโอติเมียมออกไซด์เข้าไปแทนที่ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ในโครงสร้างแก้วจึงส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น

ในขณะที่ปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลงเป็นแบบเชิงเส้น ดังสมการเส้นตรง คือ $y = -0.1922x + 39.882$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9845 ตามปริมาณความเข้มข้นของนีโอติเมียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วอยู่ในช่วง 39.8965 ถึง 39.4905 cm^3/mol จากผลการศึกษาปริมาตรเชิงโมลแสดงให้เห็นว่านีโอติเมียมออกไซด์ประพฤติตัวเป็นโครงสร้างหลักของแก้ว (intermediate former) โดยนำไปเชื่อมต่อบริเวณในโครงสร้างแก้ว ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกับออกซิเจน (Bridging Oxygen: BO) เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ช่องว่างในโครงสร้างแก้วลดลงทำให้ปริมาตรเชิงโมลของตัวอย่างแก้วลดลงตามนีโอติเมียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น (J. Kaewkhao al., 2016: pp. 584)

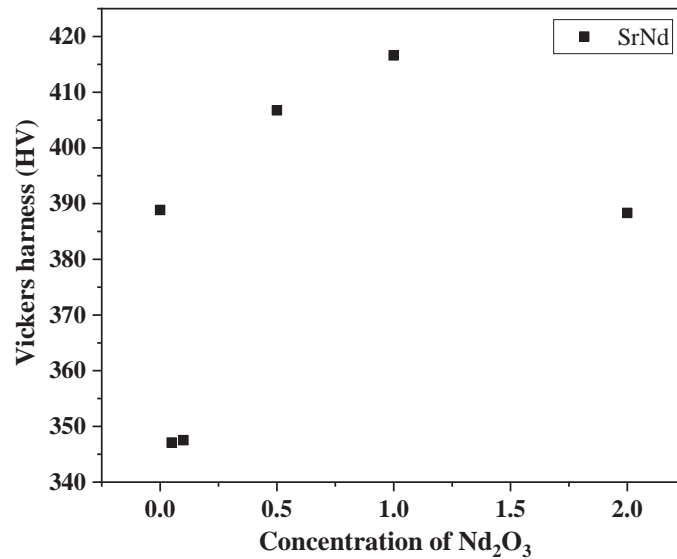


ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาตรเชิงโมลของแก้วกับความเข้มข้นของ Nd₂O₃



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีหักเหแสงกับความเข้มข้นของ Nd₂O₃

จากภาพที่ 4 ผลการศึกษาดรรชนีหักเหแสงของแก้วสตรอนเทียมแบเรียมฟอสเฟต พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของนีโอไดเมียออกไซด์ แสดงให้เห็นว่า Nd₂O₃ เข้าไปแทนที่ P₂O₅ ในโครงสร้างแก้วทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นทำให้การเดินทางของแสงช้าลงจึงส่งผลให้ดรรชนีหักเหแสงของตัวอย่างแก้วเพิ่มขึ้นเช่นกัน (N. Chanthima et al., 2017: pp. 6094)



ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแบบวิกเกอร์กับความเข้มข้นของ Nd_2O_3

จากภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers hardness) ของแก้วสตรอนเทียมแบบเรียมฟอสเฟตกับความเข้มข้นของนีโอดีเมียมออกไซด์ ผลการทดลองพบว่าตัวอย่างแก้วมีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 347.1 - 416.6 HV โดยจากการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับความเข้มข้นของ Nd_2O_3 ที่เจือลงไปนแก้ว เนื่องจากแก้วมีลักษณะทางโครงสร้างเป็นแบบอสัญฐานจึงไม่สามารถบอกรูปแบบของโครงสร้างได้ ดังนั้นการเจือ Nd_2O_3 จึงไม่ส่งผลค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ของแก้วสตรอนเทียมแบบเรียมฟอสเฟต

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการหลอมแก้วสตรอนเทียมแบบเรียมฟอสเฟตที่มีปริมาณความเข้มข้นของนีโอดีเมียมออกไซด์แตกต่างกัน คือ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 mol% หลอมที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ตัวอย่างแก้วที่ได้จากการหลอมมีความโปร่งแสง และมีสีม่วงเข้มตามความเข้มข้นของนีโอดีเมียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพพบว่า ความหนาแน่น มีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาตรเชิงโมลมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของนีโอดีเมียมออกไซด์และดรรชนีหักเหแสงมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของนีโอดีเมียมออกไซด์ซึ่งแสดงให้เห็นว่านีโอดีเมียมออกไซด์มีมวลโมเลกุลสูงกว่าฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ และนีโอดีเมียมออกไซด์ได้ประพฤติตัวเป็นโครงสร้างหลักของแก้ว (Glass former) นอกจากนี้จากผลการศึกษาค่าความแข็งแบบวิกเกอร์พบว่านีโอดีเมียมออกไซด์ส่งผลให้แก้วสตรอนเทียมแบบเรียมฟอสเฟตมีความแข็งมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับความร่วมมือและการสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

L. Rama Moorthy, Sk. NayabRasool and C.K. Jayasankar. (2013). Optical and luminescence properties of Dy^{3+} ions in phosphate based glasses. **Solid State Sciences**, (22), 82-90

Rui Zhang, HaijiZhong, Guohua Chen, Leqi Yao, Jiaxin Wang and Yun Yang. (2015). The white light emission properties of $Tm^{3+}/Tb^{3+}/Sm^{3+}$ triply doped $SrO-ZnO-P_2O_5$ glass. **Journal of Non-Crystalline Solids**, (427), 10–15

Ismail Khattech, RefkaOueslatiOmrani, SaidaKrimi, Jean Jacques Videau, Abdelaziz El Jazouli and Mohamed Jemal.(2014). Structural and thermochemical study of $Na_2O-ZnO-P_2O_5$ glasses. **Journal of Non-Crystalline Solids**, (390), 5–12

Ch. Basavapoorima and C.K. Jayasankar.(2014). Spectroscopic and photoluminescence properties of Sm^{3+} ions in Pb-K-Al-Na phosphate glasses for efficient visible lasers. **Journal of Luminescence**, (153), 233-241

J. Kaewkhao, N. Wantana, S. Kaewjaeng, S. Kothan, H.J. Kim. (2016). Luminescence characteristics of Dy^{3+} doped $Gd_2O_3-CaO-SiO_2-B_2O_3$ scintillating glasse. **JOURNAL OF RARE EARTHS**, 583-589

N. Chanthima, J. Kaewkhao, Y. Tariwong, N. Sangwanatee and N.W. Sangwanatee. (2016). Luminescence study and Judd-Ofelt analysis of $CaO-BaO-P_2O_5$ glasses doped with Nd^{3+} ions. **Materials Today: Proceedings 4**, 6091–6098

B. A Save, M. Elisa, L. Boroica and R. C. C. Monteiro. (2013). Preparation method and thermal properties of samarium and europium-doped alumino-phosphate glasses. **Materials Science and Engineering B**, (178), 1429-1435

W. Leenakul and Krit SutjarittangthamStudying. (2017). of Bioactive glass-ceramic Containing Ferromagnetic Nanocrystals from Silica and Non-silica System by Incorporation Technique. 2018: 21

K. Boonin, J. Kaewkhao, T. Ratana and P. Limsuwan. (2011). Preparation and properties of $Bi_2O_3 - B_2O_3 - Nd_2O_3$ glass system. **Physics Procedia**, (8), 207-211

S. Ruengsri, J. Kaewkhao and P. Limsuwan. (2012). Optical Characterization of Soda Lime Borosilicate Glass Doped with TiO_2 . **Procedia Engineering**, (32), 772 – 779