

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ร่วมกับธาตุเหล็ก

Study on Physical Properties of Soda Lime Silicate Glasses Doped with Cobalt Ions and Iron Ions

ณัฐพล ศรีสิทธิโชคกุล^{1,2*}, กรรณิการ์ กันโสม¹, จันทิมา เจริญทอง¹
ปวีณา ชูสูงทรง¹ และจักรพงษ์ แก้วขาว^{1,2}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
*Nattapon2004@gmail.com

บทคัดย่อ

สมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เจือโคบอลต์ออกไซด์ร่วมกับเหล็กออกไซด์ถูกวัดและคำนวณในงานวิจัยนี้ ผลการทดลองพบว่าค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเหล็กออกไซด์ ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักโมเลกุลของเหล็กออกไซด์ที่เข้าไปแทนที่ซิลิกอนออกไซด์ ค่าดัชนีหักเหจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเหล็กออกไซด์ ส่วนค่าการดูดกลืนแสงของโคบอลต์ออกไซด์จะเกิดที่ความยาวคลื่นประมาณ 530, 590 และ 660 นาโนเมตร

คำสำคัญ: โคบอลต์ออกไซด์, เหล็กออกไซด์, แก้วโซดาลาร์มซิลิเกต, สมบัติทางกายภาพ, ดรรชนีหักเห

Abstract

Physical and optical properties of mixed Co-Fe ions in soda lime silicate glasses were measured and calculated in this research. The results show that, the densities increased with the increasing of Fe_2O_3 content. This indicates that increasing the molecular weight of oxide ions used in the glass was due to the replacing SiO_2 by Fe_2O_3 . The refractive indices were increased with increasing of Fe_2O_3 concentration. The absorption peaks of CoO doped glasses occurred at the wavelength around 530, 590 and 660 nm.

Keywords: CoO, Fe_2O_3 , soda lime silicate glasses, physical properties, refractive index

1. บทนำ

แก้วซิลิเกตเป็นแก้วที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีสมบัติทางโครงสร้าง และทางกายภาพที่เฉพาะ ซึ่งมีสมบัติในการฟอร์มตัวเป็นแก้วได้ง่าย ทนต่ออุณหภูมิสูง ใช้อุณหภูมิต่ำในการผลิตแก้ว และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างทันทีทันใดได้ระดับหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีความต้านทานต่อสารเคมีได้พอสมควร โดยปกติแก้วโซดาโลมจะไม่มีสี แต่สามารถจะทำให้มีสีต่าง ๆ ได้โดยการเติมสารออกไซด์ที่มีสีลงไป เช่นสารประกอบของธาตุทรานซิชันบางชนิด (Terczyn' ska-Madej A., 2011 :33) การเตรียมแก้วโซดาโลมในปัจจุบันนี้ไม่ยากและใช้เทคโนโลยีไม่ซับซ้อน อีกทั้งแก้วโซดาโลมเป็นแก้วที่มีราคาถูก จึงเหมาะสมต่อการนำมาศึกษาถึงการเกิดสีในแก้ว (Cetinkaya S.C., 2011 :509), (Ruangtaweep Y., 2011 :18), (SUDHAKAR R.B., 2007 :30), (Chen L., 2011 :357), (Ping L., 2012 :132), (Kang U.,

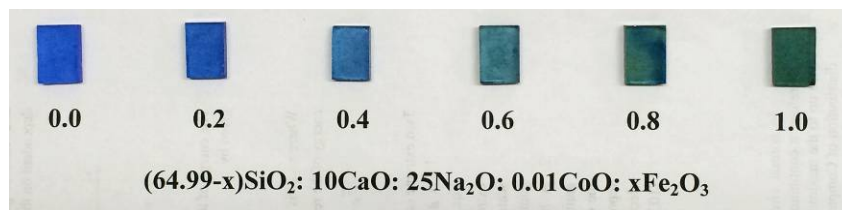
1999 :258), (Krishna Kumari G., 2012 :47) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาสมบัติกายภาพของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ร่วมกับธาตุเหล็ก

2. วิธีการทดลอง

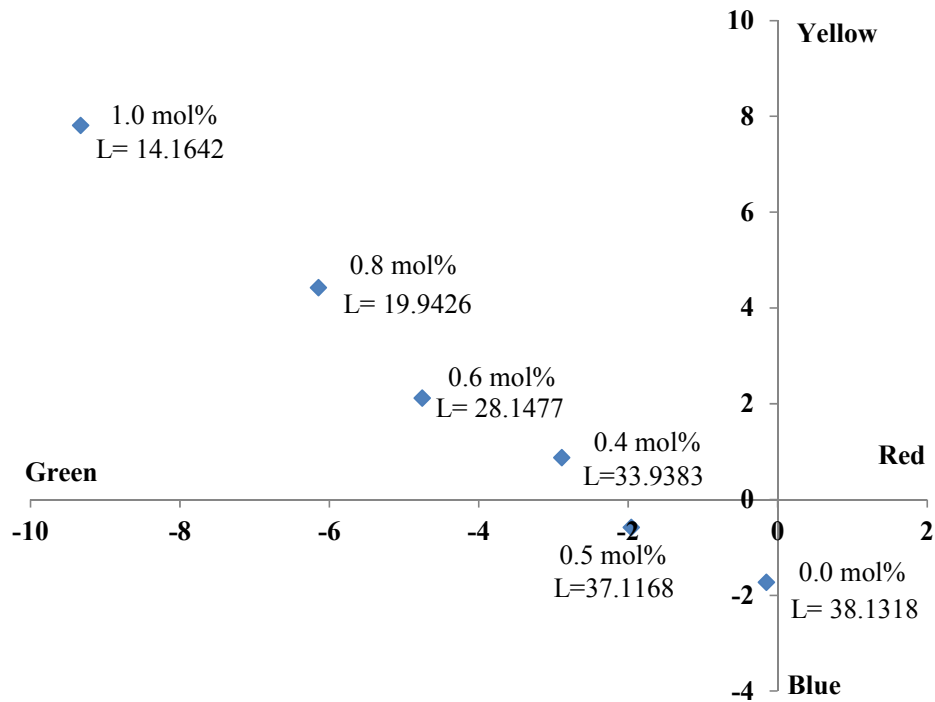
แก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ร่วมกับธาตุเหล็กในงานวิจัยนี้ถูกเตรียมขึ้นมาโดยใช้ระบบองค์ประกอบทางเคมีเป็น $(64.99 - x)\text{SiO}_2 : 10\text{CaO} : 25\text{Na}_2\text{O} : 0.01\text{CoO} : x\text{Fe}_2\text{O}_3$ เมื่อ x คือ ปริมาณความเข้มข้นของโคบอลต์ออกไซด์ในเนื้อแก้ว (0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยโมล) โดยใช้เทคนิคการหลอมและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชม. หลังจากนั้น สารเคมีที่หลอมเหลวดังกล่าวจะถูกนำออกมาเทลงในแม่พิมพ์เหล็กสแตนเลสที่อุณหภูมิห้องเพื่อจัดรูปเป็นชิ้นงาน ชิ้นงานที่กำลังเย็นตัวถูกนำไปอบความร้อนที่อุณหภูมิ 600°C นาน 3 ชม. เพื่อลดความเครียดที่เกิดขึ้นจากการเย็นตัวในเนื้อแก้ว นำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3 \text{ cm}^3$ เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติด้านต่าง ๆ ของแก้วต่อไป เมื่อได้ตัวอย่างแก้วจากการหลอมแล้ว หลังจากนั้นจึงมาศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางแสง ได้แก่ ค่าดัชนีหักเหของแสง ค่าความหนาแน่น ค่าการดูดกลืนแสงช่วงยูวี-วิสิเบิล ในการศึกษาค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างจะใช้หลักการของอาร์คิมิดีส (Archimedes principle) โดยใช้อุปกรณ์ไมโครบาลานซ์แบบ 4-digit sensitive (AND, HR-200) หลังจากนั้นนำค่าความหนาแน่นที่วัดได้ไปคำนวณเพื่อหาค่าปริมาตรเชิงโมล (Molar volume; V_M) โดยอาศัยความสัมพันธ์ $V_M = M_T / \rho$ เมื่อ M_T คือ น้ำหนักโมเลกุลโดยรวมขององค์ประกอบทางเคมีในแก้วตัวอย่าง การวัดค่าดัชนีหักเหของแก้วที่ได้ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่อง Abbe refractometer รุ่น 3Tของบริษัท ATAGO ประเทศญี่ปุ่น สำหรับสมบัติการดูดกลืนแสงของแก้วนั้นจะศึกษาด้วยเครื่อง UV - visible สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Hitachi, U - 1800) ในช่วงความยาวคลื่น 200 - 1,100 นาโนเมตร

3. ผลการวิจัย

แก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ร่วมกับธาตุเหล็กพบว่าแก้วตัวอย่างที่ไม่ได้เติม Fe_2O_3 แก้วจะมีสีน้ำเงินซึ่งเป็นสีที่เกิดจาก CoO และเมื่อเติม Fe_2O_3 จะได้แก้วที่มีลักษณะเขียว และมีสีเขียวเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ให้มากขึ้น ดังแสดงในรูปภาพที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีทีวิเคราะห์ได้จากระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ดังแสดงในรูปภาพที่ 2

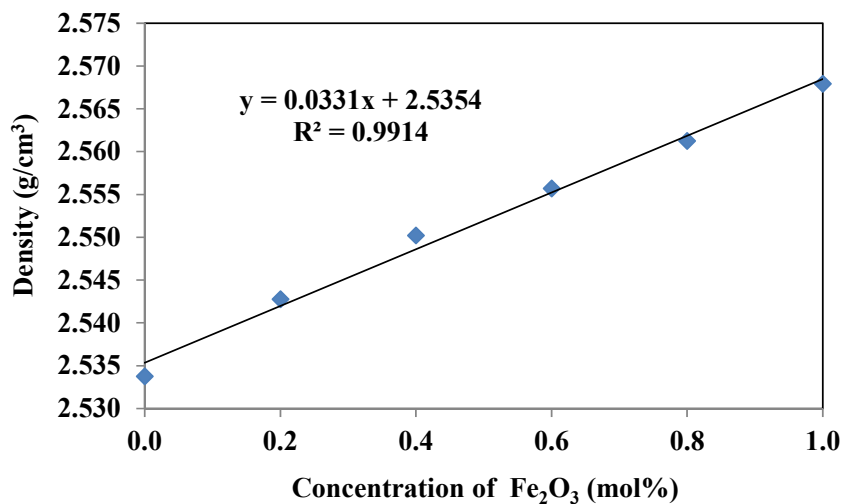


รูปภาพที่ 1 แก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ที่ร่วมกับธาตุเหล็กในปริมาณต่าง ๆ



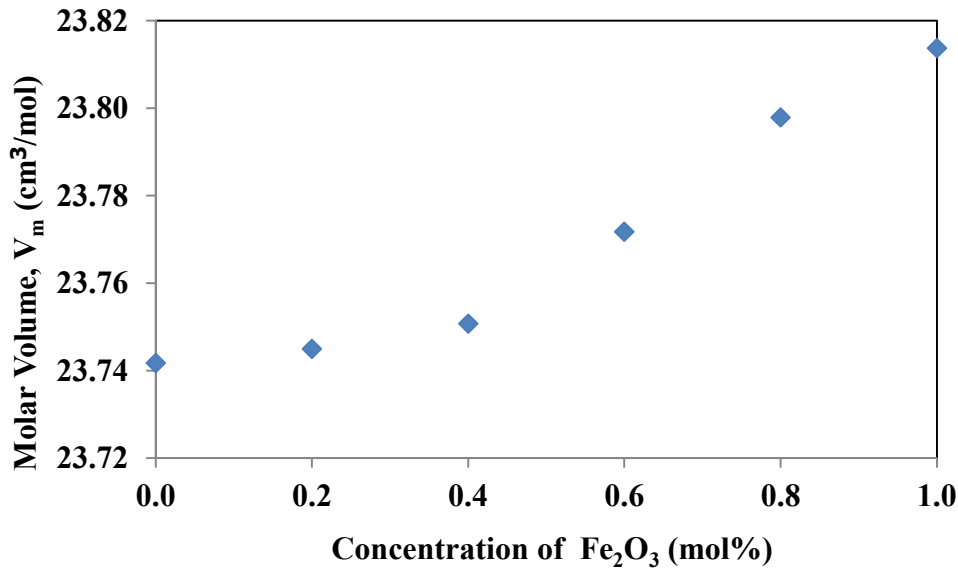
รูปภาพที่ 2 ค่าสีของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ที่ร่วมกับธาตุเหล็กในปริมาณต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นพบว่าค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Fe_2O_3 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5337 ± 0.0021 ถึง 2.5679 ± 0.0004 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงในรูปภาพที่ 3 ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของ Fe_2O_3 เมื่อทำการลดปริมาณของ SiO_2 เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของ Fe_2O_3 มีค่ามากกว่า SiO_2



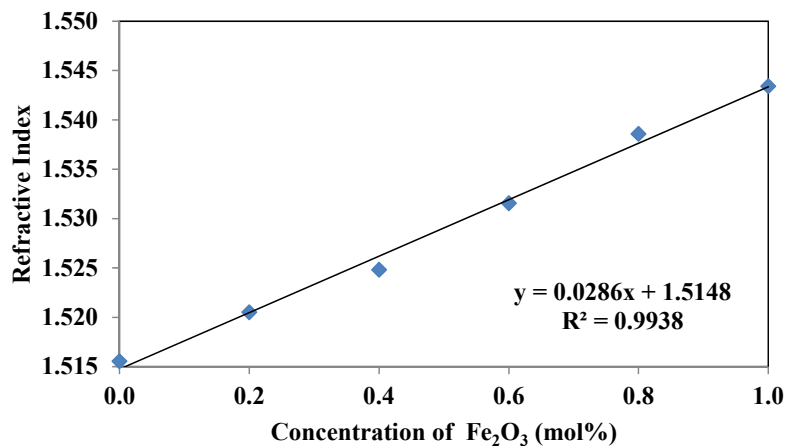
รูปภาพที่ 3 ค่าความหนาแน่นของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ที่ร่วมกับธาตุเหล็กในปริมาณต่าง ๆ

จากนั้นนำค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างมาคำนวณหาค่าปริมาตรเชิงโมล พบว่าค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ดังแสดงในรูปภาพที่ 4



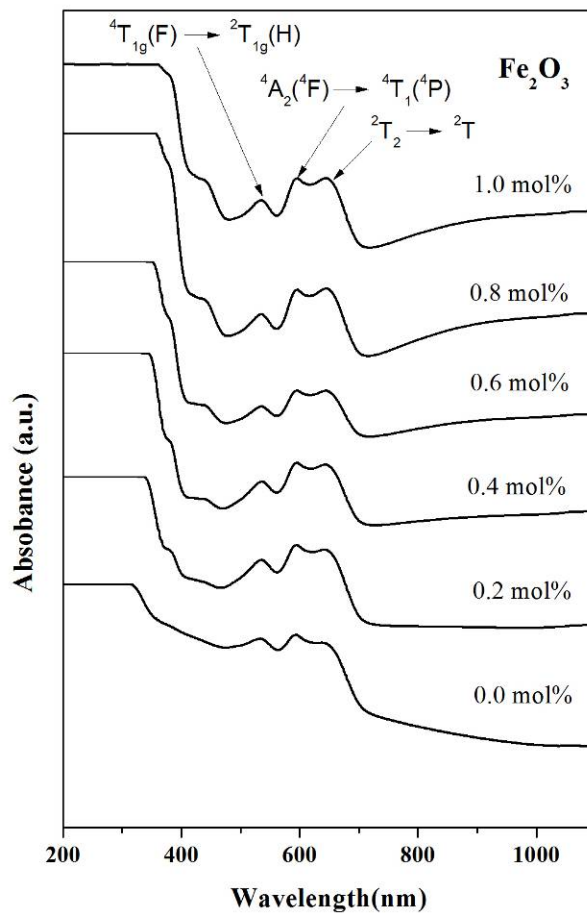
รูปภาพที่ 4 ค่าปริมาตรเชิงโมลของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ที่ร่วมกับธาตุเหล็กในปริมาณต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์หาค่าดัชนีหักเห พบว่าค่าดัชนีหักเหของตัวอย่างแก้วมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Fe₂O₃ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5155 ± 0.0002 ถึง 1.5434 ± 0.0002 ดังแสดงในรูปภาพที่ 5 ซึ่งเป็นไปตามหลักทฤษฎีไดอิเล็กตริกแบบดั้งเดิม ซึ่งค่าดัชนีหักเหจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่น และสภาพการเกิดขั้วไดของอะตอมในวัสดุ (Kaewkhao J., 2011 :18)



รูปภาพที่ 5 ค่าดัชนีหักเหแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ที่ร่วมกับธาตุเหล็กในปริมาณต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-1,100 นาโนเมตร ของแก้วโซดาลาร์มซิลิเกตที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ที่ร่วมกับธาตุเหล็กในปริมาณต่าง ๆ แสดงในรูปภาพที่ 6 พบว่าพีคการดูดกลืนแสงสูงสุดแบ่งออกเป็น 5 ช่วง โดยจะมี 3 ช่วง เกิดจากการดูดกลืนแสงของ CoO ที่พบอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 530 590 และ 660 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงาน ${}^4T_{1g}(F) \rightarrow {}^2T_{1g}(H)$, ${}^4A_2(F) \rightarrow {}^4T_1(P)$, ${}^2T_2 \rightarrow {}^2T$ ตามลำดับ (Rajyasree Ch., 2013 :1033) ส่วนอีก 2 ช่วง เกิดจากการดูดกลืนแสงของ Fe₂O₃ พบอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 420 และ 1,050 นาโนเมตร ทั้งนี้จะพบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของ Fe₂O₃ พีคที่ความยาวคลื่น 1,050 นาโนเมตร จะเพิ่มสูงขึ้นทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของ Fe²⁺ ซึ่งเกิดที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ไปเป็น Fe³⁺ ที่ความยาวคลื่น 1,050 นาโนเมตร



รูปภาพที่ 6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก๊วโซดาแลร์มซิงค์ที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ที่ร่วมกับธาตุเหล็กในปริมาณต่าง ๆ

4. สรุปผลการวิจัย

แก๊วโซดาแลร์มซิงค์ที่เติมไอออนของธาตุโคบอลต์ที่ร่วมกับธาตุเหล็กในปริมาณต่าง ๆ พบว่าแก๊วตัวอย่างที่ไม่ได้เติม Fe_2O_3 แก๊วจะมีสีน้ำเงินซึ่งเป็นสีที่เกิดจาก CoO และเมื่อเติม Fe_2O_3 จะได้แก๊วที่มีลักษณะเขียว และมีสีเขียวเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Fe_2O_3 ให้มากขึ้น โดยค่าความหนาแน่นและค่าค่าดรชนีหักเหของตัวอย่างแก๊วมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Fe_2O_3 จากการวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-1,100 นาโนเมตร ของแก๊วตัวอย่างพบว่าพีคการดูดกลืนแสงสูงสุดแบ่งออกเป็น 5 ช่วง โดยจะมี 3 ช่วง เกิดจากการดูดกลืนแสงของ CoO ที่พบอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 530 590 และ 660 นาโนเมตร ส่วนอีก 2 ช่วง เกิดจากการดูดกลืนแสงของ Fe_2O_3 พบอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 420 และ 1,050 นาโนเมตร

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

- Cetinkaya S.C. and Aral E., 2011, "Optical and thermal properties of $P_2O_5 - Na_2O - CaO - Al_2O_3 : CoO$ glasses doped with transition metals", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 509, pp. 4935–4939.
- Chen L., Chunlei Y., Lili H. and Chen W., 2011, "Spectroscopic properties of Co^{2+} ions in $La_2O_3-MgO-Al_2O_3-SiO_2$ glass-ceramics", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 357, pp. 3486–3489.
- Kang U., Zhilin A.A., Petrovsky G.T., Dymshits O.S. and Chuvaeva T.I., 1999, "Structural transformations of nanometer sized crystals in CoO-doped b-eucryptite-based glass-ceramics", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 258, pp. 216–222.
- Krishna Kumari G., Muntaz Begum Sk., Rama Krishna Ch., Sathish D.V., Murthy P.N., Rao P.S. and Ravikumar R.V.S.S.N., 2012, "Physical and optical properties of Co^{2+} , Ni^{2+} doped $20ZnO + xLi_2O + (30 - x)K_2O + 50B_2O_3$ ($5 \leq x \leq 25$) glasses: Observation of mixed alkali effect", *Materials Research Bulletin*, Vol. 47, pp. 2646–2654.
- Ping L., Wang S., Jibiao L. and Wei Y., 2012, "Structural and optical properties of Co-doped ZnO nanocrystallites prepared by a one-step solution route", *Journal of Luminescence*, Vol. 132, pp. 220–225.
- Ruangtaweep Y., Kaewkhao J., Kirdsiri K., Kedkaew C. and Limsuwan P., 2011, "Properties of CoO doped in Glasses Prepared from Rice Hush Fly Ash in Thailand", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 18, pp. 1–6.
- SUDHAKAR R.B. and BUDDHUDU S., 2007, "Spectral analysis of Cu^{2+} and Mn^{2+} ions doped borofluorophosphate glasses", *Bull. Mater. Sci.*, Vol. 30(5), pp. 481–486.
- Terczyn' ska-Madej A., Cholewa-Kowalska K., 2011, "Coordination and valence state of transition metal ions in alkali-borate glasses", *Optical Materials*, Vol. 33, pp. 1984–1988.