การเปล่งแสงด้วยการกระตุ้นด้วยแสงของแก้ว BaCaSiB ที่เจือด้วยไอออนของ Sm^{3+}

Photoluminescence of Sm^{3+} Ions doped BaCaSiB Glasses

วนัสนันท์ หม้อทิพย์[1] และณัฐพล ศรีสิทธิโภคกุล[1,2*]

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมตัวอย่างแก้วแบเรียม-แคลเซียม-ซิลิกอน-บอเรต (BaCaSiB) ที่มีสูตรเคมี คือ 15BaO: 15CaO: 20SiO_2: (50-x)B_2O_3: xSm_2O_3 (เมื่อ x = 0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นโดยโมล) ด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูงแล้วทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว สมบัติทางกายภาพ ทางแสง และการเปล่งแสงของแก้วตัวอย่างถูกวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ ผลการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจะถูกวัดในช่วงอัลตราไวโอเลต วิซิเบิล และช่วงอินฟราเรดใกล้ โดยจะพบพีคการดูดกลืนแสงทั้งหมด 10 พีค สเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วตัวอย่าง BaCaSiB แสดงพีคการเปล่งแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 563 600 646 และ 706 nm เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มีความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าแก้วตัวอย่าง BaCaSiB ที่เจือด้วย Sm_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 1.5 เปอร์เซ็นโดยโมล จะเปล่งแสงที่มีความเข้มสูงสุด

คำสำคัญ: แก้ว BaCaSiB Sm^{3+} สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง สมบัติทางการเปล่งแสง

Abstract

In this present work, a series of barium-calcium-silicon-borate (BaCaSiB) glass system with chemical composition 15BaO: 15CaO: 20SiO_2: (50-x)B_2O_3: xSm_2O_3 (x = 0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 1.0 and 1.5 mol%) were prepared by normal melt quenching technique. Their physical, optical and photoluminescence properties were analyzed systematically. The results showed that the absorption spectra were measured in the region of ultraviolet, visible and near-infrared. These spectra consist of 10 absorption peaks. The emission spectra for BaCaSiB glasses showed peaks at 563, 600, 646 and 706 nm transitions under 402 nm excitation. The highest emission intensity was found at 1.5 mol% of Sm_2O_3 concentration.

Keywords: BaCaSiB glasse, Sm^{3+}, physical properties, optical properties, luminescence properties

1. บทนำ

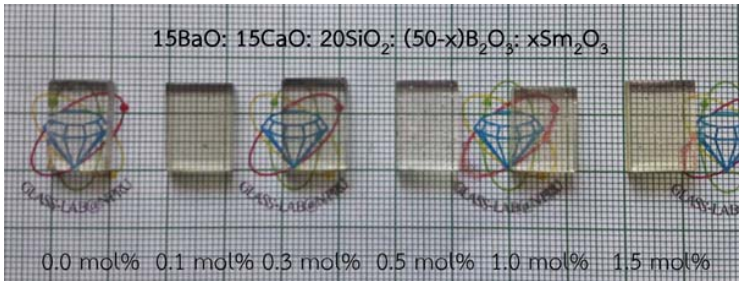
ในคริสต์ศตวรรษที่ 21 วัสดุที่มีสมบัติทางการเปล่งแสง (luminescence) กำลังเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดแสง และเครื่องมือตรวจวัดรังสี ซึ่งทั้งสองได้ถูกใช้ในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะในด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ และในอุปกรณ์เลเซอร์ ในปัจจุบันแก้วบอเรต (Barate Glass) มีลักษณะที่น่าสนใจเนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านวัสดุเลเซอร์ และอุปกรณ์ทางแสง เนื่องจากทำให้โครงสร้างของแก้วไม่จับกันแบบสุ่ม ทำให้มีคุณสมบัติที่โปร่งใส มีจุดหลอมเหลวต่ำ เสถียรภาพความร้อนสูงนอกจากนี้กลุ่มธาตุหายากยังสามารถละลายได้ดีในการหลอมเป็นแก้ว แบเรียมออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ มีลักษณะทางโครงสร้างทางแสง มีเสถียรภาพทางเคมีค่อนข้างสูง คือ ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีชนิดอื่น ๆ มีจุดหลอมเหลวต่ำ จะช่วยในการขึ้นรูป ทำให้แก้วคงตัวเร็วขึ้นเมื่อเย็นลง และเพิ่มความทนต่อสารเคมี **ซิลิกอนไดออกไซด์** ไม่มีสี เพิ่มความเงาความแข็งแรง ทำให้แก้วมีโครงสร้างที่แข็งแรงทนต่อความร้อนและสารเคมี ซาแมเรียมเป็นธาตุหายากที่สามารถเปล่งแสงได้ และมีความวาว จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของแก้ว แบเรียมแคลเซียมซิลิโกบอเรต (BaCaSiB) ที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ (Sm_2O_3) โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง และสมบัติทางการเปล่งแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห การดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเตรียมแก้ว 15BaO: 15CaO: 20SiO_2: (50-x)B_2O_3: xSm_2O_3 ที่เจือด้วย Sm_2O_3 ด้วยเทคนิคการหลอมแก้วที่อุณหภูมิสูงและทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว โดยหลอมที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำเบ้าหลอมออกจากเตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง เพื่อทำให้แก้วเหลวได้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว โดยเทน้ำแก้วลงบนแบบพิมพ์แกรไฟต์รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อขึ้นรูป นำแก้วที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นปิดเตาให้อุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงนำแก้วออกจากเตา นำแก้วที่เย็นตัวแล้วไปขัดให้มีขนาด 1.0 ซม. × 1.5 ซม. × 0.3 ซม. หลังจากนั้นจึงมาศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง และสมบัติทางการเปล่งแสง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล ดัชนีหักเห การดูดกลืนแสง และการเปล่งแสง

3. ผลการวิจัย

จากการทดลองหลอมแก้วที่เจือด้วย Sm_2O_3 ปริมาณความเข้มข้น 0.0 0.1 0. 3 0.5 1.0 และ 1. 5เปอร์เซ็นโดยโมล ตามลำดับ พบว่าแก้วที่ได้มีลักษณะโปร่งใส ผิวเรียบ มีสีเหลืองอ่อน ๆ โดยสีเหลืองอ่อนของแก้วจะเข้มขึ้นตามความเข้มข้นของ Sm_2O_3 เนื่องจากอิทธิพลที่เติมไอออนของ Sm^{3+} ดังรูปที่ 1



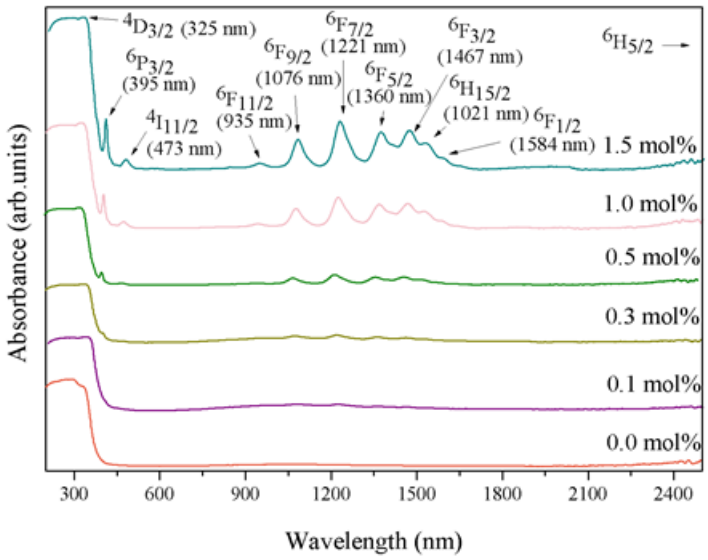
รูปที่ 1 ลักษณะของแก้ว BaCaSiB ที่เจือด้วย Sm_2O_3 ที่ได้จากการหลอม

จากการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของแก้วที่เจือด้วย Sm_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.0 0.1 0.3 0.5 และ 1.5 เปอร์เซ็นโดยโมล โดยค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 2.7599± 2.8640 ถึง 0.0026 ± 0.0035 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากมวลโมเลกุลของ Sm_2O_3 มีค่ามากกว่า B_2O_3 จึงทำให้มวลโมเลกุลรวมมีค่ามากขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นของแก้วที่เจือด้วย Sm_2O_3 มีค่าสูงกว่าแก้วที่ไม่ได้เจือด้วย Sm_2O_3 ค่าปริมาตรเชิงโมล พบว่าปริมาตรเชิงโมลจะมีค่าอยู่ระหว่าง 27.9118 ถึง 28.7800 ลูกบาศก์เซนติเมตร/โมล โดยในช่วงความเข้มข้น 0.3 ถึง 0.0 เปอร์เซ็นโดยโมล มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากมีการจับพันธะของ Sm_2O_3 ในโครงสร้างแก้ว ในช่วงความเข้มข้น 1.5 ถึง 0.5เปอร์เซ็นโดยโมล การจับพันธะลดลง และค่าดัชนีหักเห พบว่าดัชนีหักเหจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นโดยโมล โดยค่าดัชนีหักเหมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5559± ถึง 0.0004 1.5673 ± 0.0006 ตามความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามแก้วที่เติม Sm_2O_3 ทุกตัว มีค่าดัชนีหักเหที่มากกว่าแก้วใสที่ไม่ได้เจือด้วย Sm_2O_3 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาตรเชิงโมล และค่าดัชนีหักเหของแก้ว BaCaSiB

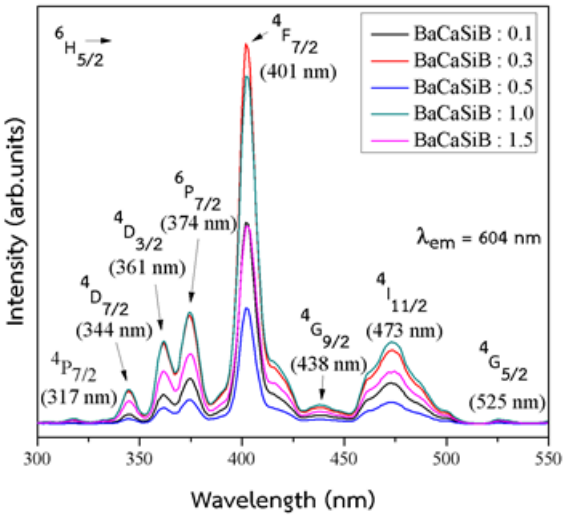
ความเข้มข้น Sm_2O_3 (เปอร์เซ็นโดยโมล)	**ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)**	**ปริมาตรเชิงโมล (ลูกบาศก์เซนติเมตร/โมล)**	**ดัชนีหักเห**
0.0	2.7599 ± 0.0026	28.2508	1.5559 ± 0.0004
0.1	2.7941 ± 0.0009	28.1016	1.5644 ± 0.0009
0.3	2.8331 ± 0.0034	27.9118	1.5668 ±.0.0004
0.5	2.7778 ± 0.0004	28.6684	1.5638 ± 0.0006
1.0	2.8379 ± 0.0006	28.5530	1.5655 ± 0.0001
1.5	2.8640 ± 0.0035	28.7800	1.5673 ± 0.0006

จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200–2,500 nm ของแก้วตัวอย่างที่เติม Sm_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.0 0.1 0.3 0.5 และ 1.5 เปอร์เซ็นโดยโมล แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง พบว่าพีคของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-2,500 นาโนเมตร ทั้งหมด 10 พีค ที่ระดับพลังงานที่ตำแหน่ง ($^4D_{3/2}$) ที่ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร, ($^6P_{3/2}$) ที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร, ($^4I_{11/2}$) ที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร, ($^6F_{11/2}1$) ที่ความยาวคลื่น 935 นาโนเมตร, ($^6F_{9/2}$) ที่ความยาวคลื่น 1,076 นาโนเมตร, ($^6F_{7/2}$) ที่ความยาวคลื่น 1,221 นาโนเมตร, ($^6F_{5/2}$) ที่ความยาวคลื่น 1,360 นาโนเมตร, ($^6F_{3/2}$) ที่ความยาวคลื่น 1,467 นาโนเมตร, ($^6H_{15/2}$) ที่ความยาวคลื่น 1,521 นาโนเมตร และ ($^6F_{1/2}$) ที่ความยาวคลื่น 1,584 นาโนเมตร ตามลำดับ ช่วงการดูดกลืนดังกล่าวทำให้เกิดสีเหลืองอ่อนในแก้ว และยังพบอีกว่าสีของแก้วมีความเข้มมากขึ้น เมื่อเจือปริมาณ Sm_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2

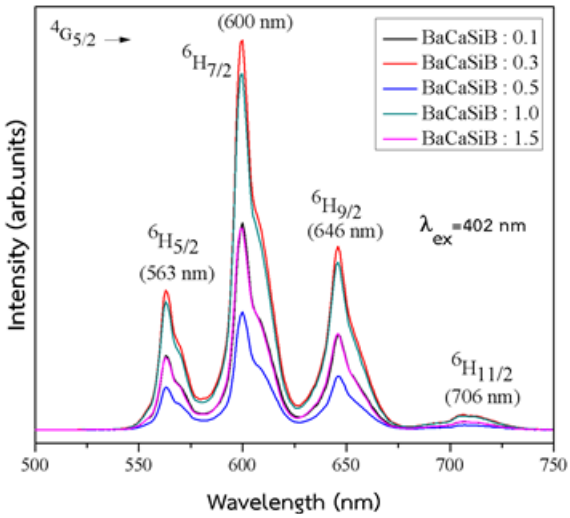


รูปที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของแก้วที่เจือด้วย Sm_2O_3 ความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่น 200–2,500 นาโนเมตร

จากการวิเคราะห์ค่าสเปกตรัมการกระตุ้นพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 300-550 นาโนเมตร ของแก้วที่เจือด้วย Sm_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.0 0.1 0.3 0.5 และ 1.5 เปอร์เซ็นโดยโมล โดยใช้ความยาวคลื่นของการคายพลังงานที่ความยาวคลื่น 604 นาโนเมตร พบว่าพีคของค่าการกระตุ้นพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 300-550 นาโนเมตร มีทั้งหมด 8 พีค โดยใช้การคายพลังงานที่ความยาวคลื่น 604 นาโนเมตร ซึ่งพีคการกระตุ้นของพลังงาน เกิดการทรานซิชันของระดับพลังงานที่ตำแหน่ง ($^4P_{7/2}$) ที่ความยาวคลื่น 317 นาโนเมตร, ($^4D_{7/2}$) ที่ความยาวคลื่น 344 นาโนเมตร, ($^4D_{3/2}$) ที่ความยาวคลื่น 361 นาโนเมตร, ($^6P_{7/2}$) ที่ความยาวคลื่น 374 นาโนเมตร, ($^4F_{7/2}$) ที่ความยาวคลื่น 401 นาโนเมตร, ($^4G_{9/2}$) ที่ความยาวคลื่น 438 นาโนเมตร, ($^4I_{11/2}$) ที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร และ ($^4G_{5/2}$) ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3 และค่าสเปกตรัมการคายพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 500–750 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่างที่เจือด้วย Sm_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.0 0.1 0.3 0.5 และ 1.5 เปอร์เซ็นโดยโมล โดยใช้การกระตุ้นพลังงานที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร พบว่าพีคของค่าสเปกตรัมการคายพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 500-750 นาโนเมตร ทั้งหมด พีค 4 โดยใช้การกระตุ้นพลังงานที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร ซึ่งแหล่งกำเนิดของแสง คือ หลอดไฟแฟลช (Xenon Flash Lamp) โดยคายพลังงานที่ระดับพลังงานที่ตำแหน่ง ($^6H_{5/2}$) ที่ความยาวคลื่น 563 นาโนเมตร, ($^6H_{7/2}$) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร, ($^6H_{9/2}$) ที่ความยาวคลื่น 646 นาโนเมตร และ ($^6H_{11/2}$) ที่ความยาวคลื่น 706 นาโนเมตร ตามลำดับ ช่วงการคายพลังงานดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแก้วที่เจือด้วย Sm_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นโดยโมล มีการเปล่งแสงสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ค่าสเปกตรัมการกระตุ้นพลังงานของแก้วที่เจือด้วย Sm_2O_3 ความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่น 300–550 นาโนเมตร



รูปที่ 4 ค่าสเปกตรัมการคายพลังงานของแก้วที่เติม Sm_2O_3 ความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่น 500–750 นาโนเมตร

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเจือ Sm_2O_3 ลงในระบบแก้ว BaCaSiB ที่เตรียมขึ้นจากสูตร 15BaO: 15CaO: 20SiO_2: (50-x)B_2O_3: xSm_2O_3 ที่มีความเข้มข้น เมื่อ x คือ 0.0 0.1 0.3 0.5 และ 1.5 เปอร์เซ็นโดยโมล ด้วยเทคนิคการหลอมที่อุณหภูมิสูง และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง และสมบัติทางการเปล่งแสง ผลที่ได้พบว่า ค่าความหนาแน่น ปริมาตรเชิงโมล และดัชนีหักเหของแก้ว มีผลที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อวัดสเปกตรัมของการดูดกลืนแสง ในช่วงความยาวคลื่น 2-200,500 นาโนเมตร พบจำนวนยอดพีคของการดูดกลืนแสงจำนวน 10 พีค ที่ความยาวคลื่น 325 395 473 935 1,076 1,221 1,360 1,467 1,521 และ 1,584 นาโนเมตร เมื่อวัดสเปกตรัมการกระตุ้นพลังงาน เมื่อกระตุ้นด้วยความยาวคลื่น 604 นาโนเมตร ในช่วงความยาวคลื่น 300-550 นาโนเมตร พบจำนวนยอดพีคของการกระตุ้นพลังงานจำนวน พีค 8 ที่ความยาวคลื่น 317 344 361 374 401 438 473 และ 525 นาโนเมตร และได้ทำการวัดการคายพลังงานเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงจากหลอดไฟแฟลชที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร พบพีคการเปล่งแสง 4 พีค ที่ความยาวคลื่น 563 600 646 และ 706 นาโนเมตร และจากงานวิจัยพบว่าความเข้มข้นของ Sm_2O_3 ที่มีความเข้มข้น 0.3 เปอร์เซ็นโดยโมล ที่เจือลงในแก้ว BaCaSiB ให้ค่าความเข้มของพีคสูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

I.I. Kindrat, B.V. Padlyak, A. Drzewiecki, **Luminescence properties of the Sm-doped borate glasses**. (2015)

เพ็ญนภา ใจกล้า, **ที่มาและความสำคัญ**, การศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางแสง และทางลูมิเนสเซนซ์ของแก้วซิงค์ลิเทียมแบเรียมบอเรตที่เจือด้วยซาแมเรียมออกไซด์ .มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.นครปฐม, 2559.

Y. Ruangtaweep, P. Yasaka, J. Kaewkhao, **Effect of gold nanoparticles on Sm^{3+} luminescence in tellurite glasses**. (2016)

L. Shamshad, N. Ali, Ataullah, J. Kaewkhao, G. Rooh, T. Ahmad, F.Zaman, **Luminescence characterization of Sm^{3+}-doped sodium potassium borate glasses for laser application**. (2018)

Rupesh A. Talewar, Sk. Mahamuda, K.Swapna, M. Venkateswarlu, A.S. Rao, **Spectroscopic studies of Sm^{3+} ions doped alkaline-earth chloro borate glasses for visible photonic ap**