

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแก้วซินทิลเลเตอร์ชนิดแกโดลิเนียมแคลเซียมซิลิโกโบเรต ที่เติมซาแมเรียมและดิสโพรเซียม

Comparison Study on Gadolinium-Calcium-Silicoborate Scintillation Glass Doped Samarium and Dysprosium

ศิริประภา แก้วแจ่ม^{1*} อุทุมมา มัชชะเนม¹ สุชาติ โกทัญญ์¹
พฤทธิพล ลิ้มกิจเจริญภรณ์^{2,3} และ จักรพงษ์ แก้วขาว^{2,3}

¹ภาควิชารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

³โปรแกรมวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*Bulli99@windowslive.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาขั้นตอนและคุณสมบัติของแก้วในสูตร $(55-x)B_2O_3 \cdot 25Gd_2O_3 \cdot 10SiO_2 \cdot 10CaO \cdot xA_2O_3$ เมื่อ A_2O_3 คือ Sm_2O_3 และ Dy_2O_3 โดยที่ $x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ และ 2.5 ร้อยละโดยโมล ผลการศึกษาพบว่า เมื่อความเข้มข้นของซาแมเรียมและดิสโพรเซียมเพิ่มสูงขึ้นค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น และจากการคำนวณด้วยโปรแกรม XCOM ที่ระดับพลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ พบว่าอันตรกิริยาย่อยแบบโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบโคฮีเรนท์ และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของซาแมเรียมและดิสโพรเซียมเพิ่มขึ้น ในขณะที่การกระเจิงแบบคอมป์ตันจะลดลงเมื่อร้อยละของสารที่เติมเพิ่มสูงขึ้น จากการศึกษาพบว่าแก้วแกโดลิเนียมแคลเซียมซิลิโกโบเรตที่เติมซาแมเรียมและดิสโพรเซียมมีความเป็นไปได้สูงที่จะพัฒนาเป็นวัสดุซินทิลเลเตอร์จากแก้ว เพื่อเพิ่มทางเลือกของวัสดุซินทิลเลเตอร์ได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ซินทิลเลเตอร์, ซาแมเรียม, ดิสโพรเซียม, อันตรกิริยา, สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล

Abstract

The aim of this research is to studies the preparation process of glass and to investigated the properties of glass in composition increasing $(55-x) B_2O_3 \cdot 25Gd_2O_3 \cdot 10SiO_2 \cdot 10CaO \cdot xA_2O_3$ where A_2O_3 are Sm_2O_3 and Dy_2O_3 and $= x 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ และ 2.5 mol% have been investigated. The results show the density of glass samples were increased with concentration of Sm_2O_3 and Dy_2O_3 increased. The theoretical values of radiation parameter have been calculated by XCOM at photon energy 662 keV. It was found that the values of photoelectric effect, coherent scattering and mass attenuation coefficient of glass samples were increased, while compton scattering was decreased with increasing the concentration of Sm_2O_3 and Dy_2O_3 . From these results it was show that the $Gd_2O_3-CaO-SiO_2-B_2O_3$ glasses have high possibility of chance to develop it into scintillator of glass and increasing choice the select it for scintillator in the future.

Keywords: scintillator, samarium, dysprosium, interaction, mass attenuation coefficient

1. บทนำ

การเติมออกไซด์ของธาตุหายาก (Rare-earth oxide; RE^{3+}) มีความนิยมที่จะนำไปเติมลงในวัสดุผลึกหรือแก้ว เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการแปลงแสงลูมิเนสเซนซ์ซึ่งออกไซด์ของธาตุหายากจะให้ปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนซ์ที่ดีโดยจะสอดคล้องกับการลดสถานะในชั้น 4f-4f และ 4f-5d ของออกไซด์ของธาตุหายาก โดยการลดสถานะของชั้น 4f-4f จะให้รูปแบบของลูมิเนสเซนซ์ที่ดีในช่วงของอัลตราไวโอเลตถึงอินฟราเรด เป็นผลมาจากการมีก้างของอิเล็กตรอนในวง 5s หรือ 5p ซึ่งการเติมธาตุหายากลงไปในพื้นที่หรือแก้วนั้นได้รับความนิยมในการนำไปประยุกต์ในการเป็นตัวขยายเชิงแสง (Optical amplifier) เลเซอร์ของแข็ง (Solid state) การถ่ายภาพทางรังสี (Radiography) และวัสดุซินทิลเลเตอร์ (Scintillator material) [Tripathi et al., 2006, He et al., 2011] เป็นต้น

วัสดุซินทิลเลเตอร์ (Scintillator) หรือ วัสดุซินทิลเลชัน (Scintillation materials) นั้นเป็นชื่อเฉพาะของวัสดุที่มีการเปล่งแสงออกมา เมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสีประเภทต่างๆ (Radioluminescence) โดยในกรณีของรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา ส่วนใหญ่นิยมใช้วัสดุซิลิเกตหรือประเภทอนินทรีย์ (Inorganic scintillator) [Eilk, 2001] ซึ่งโดยมากวัสดุซินทิลเลเตอร์อนินทรีย์นิยมประยุกต์ใช้เป็นหัววัดรังสีแบบต่างๆ เช่น รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา เป็นต้น นอกจากนี้ประยุกต์ใช้ในการแพทย์ เช่น อุปกรณ์สร้างภาพทางการแพทย์ (Medical imaging) อุปกรณ์ Positron emission tomography (PET) [Moszynski, 2003] เป็นต้น และใช้อย่างกว้างขวางในวงการฟิสิกส์นิวเคลียร์ ฟิสิกส์พลังงานสูงและฟิสิกส์รังสี [Weber, 2002] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประยุกต์ทางการแพทย์ ที่ไม่สามารถใช้หัววัดรังสีประเภทสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) หรือในรูปแบบฟิล์มทดแทนได้ เนื่องจากต้องการวัสดุตรวจวัดรังสีในขนาดปริมาตรใหญ่ (Large volume) [Melcher, 2005]

คุณสมบัติสำคัญของวัสดุซินทิลเลเตอร์สำหรับรังสีเอกซ์ที่ดีจะต้องใส มีความเข้มแสงที่เปล่งออกมาแปรผันตรงกับพลังงานของรังสีเอกซ์ ให้ผลผลิตทางแสง (Light yield) สูง มีการสลายตัวทางเวลา (Decaytime) ที่เร็วทนต่อรังสี (Radiation hardness) ได้ดีและมีความหนาแน่นสูง [Eilk, 2001] โดยทั่วไปแล้ววัสดุซินทิลเลเตอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดส่วนมากจะอยู่ในรูปของผลึกเดี่ยว (Single crystal) และผลิตโดยใช้เครื่องปลูกผลึกเดี่ยวแบบต่างๆ ซึ่งปัจจุบันในเมืองไทยยังไม่มีผู้ใดสามารถปลูกผลึกซินทิลเลเตอร์ได้เอง สมบัติที่ดีของผลึกเดี่ยวนี้คือมีความใส มีองค์ประกอบที่ชัดเจน (หากสัดส่วนของสารผิดไป ก็จะไม่เกิดเป็นผลึกเดี่ยว) และมีโครงสร้างผลึกที่เป็นเอกภาพ ทำให้มีสมบัติการแปลงแสงที่ดี หากมีสารเติม (Dopant) ที่เหมาะสม เช่น การเติม Ce^{3+} ในผลึกซินทิลเลเตอร์ต่างๆ เป็นต้น [Fu et al., 2003; Ittisa et al., 2006; Weber, 2004] ข้อเสียของผลึกซินทิลเลเตอร์ในรูปแบบผลึกเดี่ยวคือ มีราคาต้นทุนในการผลิตสูงมาก (ราคาประมาณ 20 ล้านบาท ในกรณีของเครื่องมือระดับห้องปฏิบัติการ ส่วนมากเป็นผลึกที่มีสมบัติดูดความชื้นสูง ต้องใช้ความระมัดระวังสูงในการดูแลรักษา และทำเป็นปริมาตรขนาดใหญ่ได้ยาก

วัสดุอีกประเภทหนึ่งที่มีความใสและง่ายต่อการสังเคราะห์เป็นวัสดุซินทิลเลเตอร์ ได้แก่ วัสดุประเภทแก้ว (Glass) ซึ่งใช้กระบวนการเตรียมด้วยวิธีหลอมและทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (Melt-quenching technique) การเตรียมแก้วนี้ยังสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณสัดส่วนของสารเคมีที่เป็นโครงสร้างแก้วแต่ละชนิดได้ และเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารเติมได้ง่ายอีกด้วย ทำให้มีราคาในการผลิตไม่แพง และง่ายต่อการดูแลรักษา มีความทนต่อสภาพกรดและเบส ไม่ดูดความชื้น มีความทนต่อรังสีดี และสามารถพัฒนาให้มีผลผลิตทางแสงและค่าสลายตัวทางเวลาที่ดีขึ้นมากในปัจจุบัน จึงได้รับความนิยมในการวิจัยและเตรียมแก้วเป็นวัสดุซินทิลเลชันอย่างกว้างขวาง [Chewpraditkulet et al., 2012; Chewpraditkulet et al., 2013; ; Fu et al., 2008; Fukabori et al., 2011; He et al., 2011; Jiang et al., 2004; . Mares et al., 2001; Martini et al., 2012; Pan et al., 2008; Rodová et al., 2004; Santiago et al., 2011; Sun et al., 2013]

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและเตรียมแก้วในสูตร $(55-x) B_2O_3 \cdot 25 Gd_2O_3 \cdot 10SiO_2 \cdot 10CaO \cdot xA_2O_3$ เมื่อ A_2O_3 คือ Sm_2O_3 และ Dy_2O_3 โดยที่ $x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ และ 2.5 ร้อยละโดยโมล แล้วศึกษาสมบัติทางกายภาพ และอันตรกิริยาของรังสีแกมมา (โฟตอน) ที่พลังงาน 662 keV ต่อแก้ว เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาวัสดุซินทิลเลเตอร์จากแก้วในอนาคต

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 ขั้นตอนการเตรียมแก้ว (Glass Preparation)

เตรียมแก้วและออกแบบแก้วจากสูตร $(55-x) B_2O_3 \cdot 25 Gd_2O_3 \cdot 10SiO_2 \cdot 10CaO \cdot xA_2O_3$ โดยที่ A_2O_3 คือ Sm_2O_3 และ Dy_2O_3 เมื่อ $x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ และ 2.5 ร้อยละโดยโมล ด้วยวิธีการหลอมและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ

1400°C น้ำหนักโดยรวม 20 กรัม หลอมในเบ้าหลอมอะลูมินา จากนั้นทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง (Melt-quenching method) โดยเทน้ำแก้วใส่แม่พิมพ์สแตนเลสจากนั้นนำไปเข้าเตาเพื่ออบที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อลดความเค้นแล้วนำแก้วไปตัดและขัดให้มีขนาดเท่ากับ $1.5 \times 1.0 \times 0.3 \text{ cm}^3$ เพื่อควบคุมความหนาของแก้ว และเพื่อความสะดวกต่อการนำไปทดสอบสมบัติทางวิทยาศาสตร์ด้วยเครื่องมือต่างๆ

2.2 ขั้นตอนการวัดความหนาแน่น (Density measurement)

นำแก้วที่ได้มาวัดค่าความหนาแน่นด้วยเครื่อง Density measurement apparatus บริษัท AND รุ่น model HR-200 โดยใช้สมการ (1) [Limkitjaroenporn et al., 2012; Kaewjaeng et al., 2012]

$$\rho = \frac{W_a}{W_a - W_b} \times \rho_b \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น (g/cm^3), W_a คือ น้ำหนักที่ชั่งในอากาศ (g), W_b คือ น้ำหนักที่ชั่งในไซริน (g) และ ρ_b คือ ความหนาแน่นของไซริน (0.863 g/cm^3)

2.3 ขั้นตอนการหาโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาของรังสีในตัวกลาง

การหาโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาของรังสีในตัวกลางสามารถใช้โปรแกรม XCOM [Gerward et al., 2001; Gerward, et al., 2004] ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และอันตรกิริยาอย่างต่างๆ ของธาตุ สารประกอบ หรือสารผสม เช่น

การกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ การกระเจิงแบบคอมป์ตันอันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริกกระบวนการเกิดแพริโฟตักชัน โดยสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลได้จากสมการ (2) [Limkitjaroenporn et al., 2012; Kirdsiri, et al., 2012]

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

เมื่อ μ_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (cm^2/g), μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (cm^{-1}) และ ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง (g/cm^3)

ซึ่งสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุ สารประกอบ หรือสารผสมได้โดยการใช้โปรแกรม XCOM ช่วยในการคำนวณสามารถคำนวณได้จากสมการ (3) [Limkitjaroenporn et al., 2012; Kirdsiri, et al., 2012]

$$\mu_m = \sum w_i (\mu_m)_i \quad (3)$$

เมื่อ w_i คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของธาตุหรือสารประกอบ และ $(\mu_m)_i$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุแต่ละชนิดจากสมการที่ 3 สามารถหา Total cross-section (σ) [Limkitjaroenporn et al., 2012; Kirdsiri, et al., 2012] ได้ดังสมการ (4)

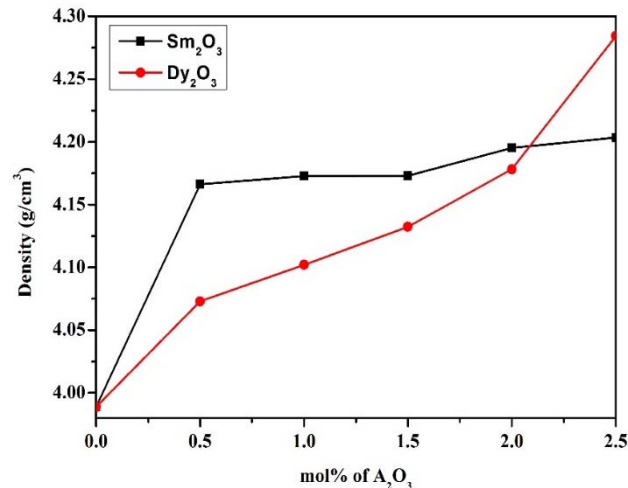
$$\sigma = \sigma_{coh} + \sigma_{incoh} + \tau + K + \sigma_{pho,n} \quad (4)$$

เมื่อ σ คือ Total cross-section σ_{coh} คือ การกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ (Coherent scattering cross-section) σ_{incoh} คือ การกระเจิงแบบอินโคฮีเรนต์ (Incoherent scattering cross-section) τ คือ Atomic photoelectric cross-section K คือ Positron electron pair production และ $\sigma_{pho,n}$ คือ Photonuclear cross section

3. ผลการทดลอง

จากการออกแบบและผลิตแก้วจากสูตร $(55-x)\text{B}_2\text{O}_3: 25\text{Gd}_2\text{O}_3: 10\text{SiO}_2: 10\text{CaO}: x\text{A}_2\text{O}_3$ เมื่อ A_2O_3 คือ Sm_2O_3 และ Dy_2O_3 โดยที่ $x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ และ 2.5 ร้อยละโดยโมล นำแก้วไปตัดและขัดให้มีขนาดเท่ากับ $1.5 \times 1.0 \times 0.3 \text{ cm}^3$ แล้วศึกษาสมบัติทางกายภาพคือความหนาแน่น ผลการศึกษาแสดงดังรูปภาพที่ 1

3.1 ความหนาแน่น



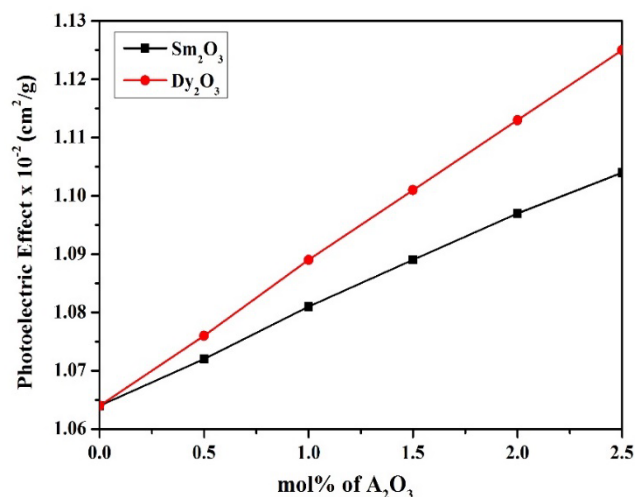
รูปภาพที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความเข้มข้นของแก้วตัวอย่างในแกน x และค่าความหนาแน่นของแก้วในแกน y

จากรูปภาพที่ 1 พบว่าค่าความหนาแน่นของตัวอย่างแก้วจะเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละความเข้มข้นของสารที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้น แก้วที่เติมซาแมเรียมมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าดีสโพรเซียมที่ร้อยละความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5-2.0 ร้อยละโดยโมล และแก้วที่เติมดีสโพรเซียมที่ความเข้มข้น 2.5 ร้อยละโดยโมลมีความหนาแน่นสูงกว่าแก้วที่เติมซาแมเรียม เนื่องจากแก้วที่เติมซาแมเรียมมีค่ามวลโมลต่ำกว่าแก้วที่เติมดีสโพรเซียมทำให้ค่าความหนาแน่นของแก้วที่เติมซาแมเรียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแก้วที่เติมดีสโพรเซียม เมื่อนำแก้วตัวอย่างที่เติมธาตุหายากทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกับแก้วที่ไม่เติมธาตุหายาก พบว่าค่าความหนาแน่นของแก้วที่ไม่เติมธาตุหายากมีค่าเท่ากับ $3.988 \pm 0.001 \text{ g/cm}^3$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแก้วที่เติมซาแมเรียม และดีสโพรเซียมทุกความเข้มข้น

3.2 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลและอันตรกิริยาย่อยของแก้วตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม XCOM เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลและอันตรกิริยาย่อยของแก้วตัวอย่างที่ระดับพลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV)

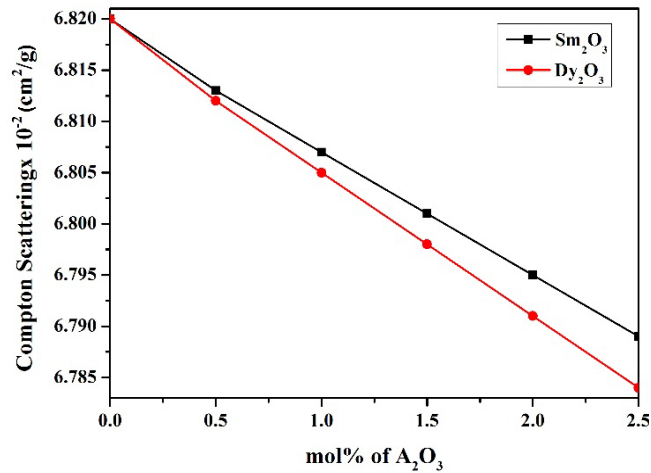
สัมประสิทธิ์การลดทอนอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกของแก้วตัวอย่าง



รูปภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน x คือ ร้อยละความเข้มข้นของแก้วที่เติมธาตุหายากชนิดต่างๆ และแกน y คือ อันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริก

จากรูปภาพที่ 2 พบว่า สัมประสิทธิ์การลดทอนอันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริกของธาตุหายากแต่ละชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละความเข้มข้นของแก้วที่เติมธาตุหายากเพิ่มขึ้นและแก้วที่เติมซาแมเรียมมีอันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริกสูงกว่าแก้วที่เติมดิสโพรเซียม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแก้วที่ไม่เติมธาตุหายาก พบว่าอันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริกของแก้วที่เติมซาแมเรียมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $1.072-1.101 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ และดิสโพรเซียมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $1.078-1.132 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าแก้วที่ไม่เติมธาตุหายากมีค่าเท่ากับ $1.064 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ ทุกความเข้มข้น

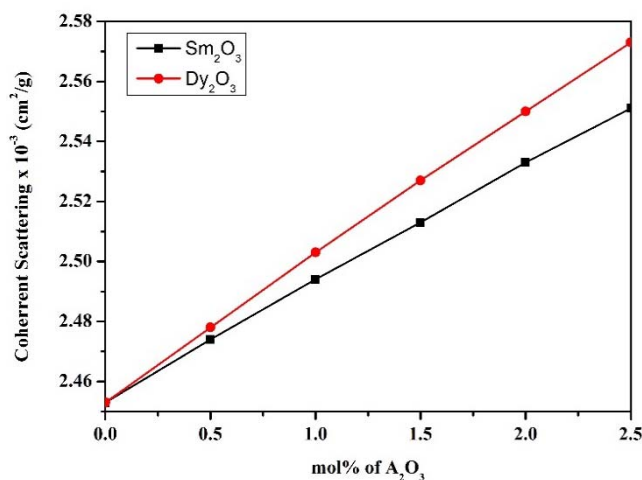
อันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมป์ตันของแก้วตัวอย่าง



รูปภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน x คือ ร้อยละความเข้มข้นของแก้วที่เติมธาตุหายากชนิดต่างๆ และแกน y คือ อันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

จากรูปภาพที่ 4 พบว่า การเกิดอันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมป์ตัน ของแก้วที่เติมธาตุหายากแต่ละชนิดมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของแก้วที่เติมธาตุหายากเพิ่มขึ้นและแก้วที่เติมดิสโพรเซียมมีสัมประสิทธิ์การลดทอนอันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมป์ตันต่ำกว่าซาแมเรียม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแก้วที่ไม่เติมธาตุหายาก พบว่าสัมประสิทธิ์การลดทอนอันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมป์ตันของแก้วที่เติมซาแมเรียมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $6.814-6.792 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ และดิสโพรเซียมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $6.812-6.783 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าแก้วที่ไม่เติมธาตุหายากมีค่าเท่ากับ $6.820 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ ทุกความเข้มข้น

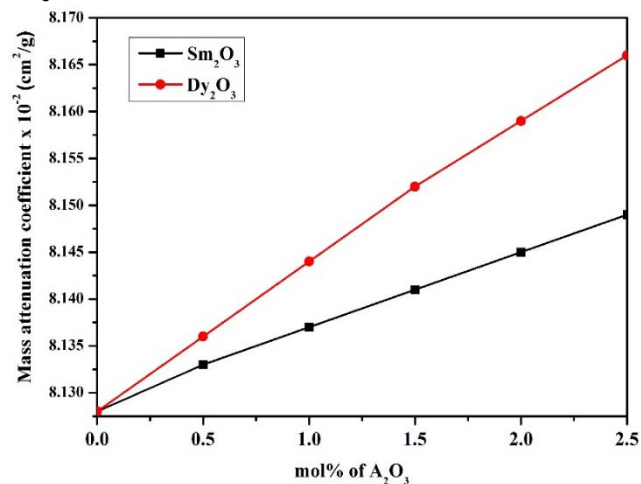
อันตรกิริยาการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ของแก้วตัวอย่าง



รูปภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน x คือ ร้อยละความเข้มข้นของแก้วที่เติมธาตุหายากชนิดต่างๆ และแกน y คือ อันตรกิริยาการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์

จากรูปภาพที่ 4 พบว่า การเกิดสัมประสิทธิ์การลดทอนอันตรกิริยาการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ของธาตุหายากแต่ละชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของแก้วที่เติมธาตุหายากเพิ่มขึ้นและแก้วที่เติมดิสโพรเซียมมีสัมประสิทธิ์การลดทอนอันตรกิริยาการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์สูงกว่าแก้วที่เติมซาแมเรียมเนื่องจากแก้วที่เติมซาแมเรียมมีมวลโมลน้อยกว่าแก้วที่เติมดิสโพรเซียมทำให้โอกาสในการชนกันของอนุภาคน้อยกว่าส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลแบบโคฮีเรนต์ของแก้วที่เติมซาแมเรียมสูงกว่าเมื่อเทียบกับแก้วที่เติมดิสโพรเซียมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแก้วที่ไม่เติมธาตุหายาก พบว่าอันตรกิริยาการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ของแก้วที่เติมซาแมเรียมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $2.472-2.543 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{g}$ และดิสโพรเซียมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $2.480-2.582 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{g}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าแก้วที่ไม่เติมธาตุหายากมีค่าเท่ากับ $2.453 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{g}$ ทุกความเข้มข้น อย่างไรก็ตามการอันตรกิริยาการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์นี้ยังมีสัดส่วนน้อยกว่าอันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริกและอันตรกิริยาการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของแก้วตัวอย่าง



รูปภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน x คือ ร้อยละความเข้มข้นของแก้วที่เติมธาตุหายากชนิดต่างๆ และแกน y คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล

จากรูปภาพที่ 5 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุหายากแต่ละชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละความเข้มข้นของแก้วที่เติมธาตุหายากเพิ่มขึ้นและแก้วที่เติมดิสโพรเซียมมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสูงกว่าซาแมเรียม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแก้วที่ไม่เติมธาตุหายาก พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วที่เติมซาแมเรียมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $8.132-8.147 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{g}$ และดิสโพรเซียมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $8.138-8.170 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{g}$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าแก้วที่ไม่เติมธาตุหายากมีค่าเท่ากับ $8.128 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{g}$ ทุกความเข้มข้น

4. สรุปผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแก้วในสูตร $(55-x)B_2O_3: 25Gd_2O_3: 10SiO_2: 10CaO: xA_2O_3$ เมื่อ A_2O_3 คือ Sm_2O_3 และ Dy_2O_3 โดยที่ $x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ และ 2.5 ร้อยละโดยโมล ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าเมื่อสารที่เติมมีความเข้มข้นสูงขึ้นค่าความหนาแน่นของแก้วที่เติมดิสโพรเซียมมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าแก้วที่เติมซาแมเรียม และแก้วทั้งสองชนิดมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าแก้วแกโดลิเนียมแคลเซียมซิลิโกเบอร์ที่เติมธาตุหายาก ในขณะที่อันตรกิริยาออยแบบโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ และค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแก้วเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของซาแมเรียมและดิสโพรเซียมเพิ่มขึ้น ในขณะที่การกระเจิงแบบคอมป์ตันจะลดลงเมื่อร้อยละของสารที่เติมเพิ่มสูงขึ้น จากการศึกษาพบว่าแก้วแกโดลิเนียมแคลเซียมซิลิโกเบอร์ที่เติมซาแมเรียมและดิสโพรเซียมมีความเป็นไปได้สูงที่จะพัฒนาเป็นวัสดุซินทิลเลเตอร์จากแก้ว เนื่องจากมีความหนาแน่นสูงและมีอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกเกิดขึ้นสูงเมื่อรังสีแกมมาเข้าไปในแก้ว งานวิจัยนี้จึงเป็นข้อมูลพื้นฐานทางฟิสิกส์ที่สำคัญเพื่อเพิ่มทางเลือกของวัสดุซินทิลเลเตอร์ได้ในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ในการแนะนำการใช้โปรแกรมคำนวณในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- Chewpraditkul, W., Shen, Y., Chen, D., Yu, B., Prusa, P., Nikl, M., Beitlerova, A., Wanarak, C., (2012). Luminescence and scintillation of Ce³⁺-doped high silica glass. **Optical materials**, 34 (11), 1762–1766.
- Chewpraditkul, W., Shen, Y., Chen, D., Beitlerova, A., Nikl, M., (2013). Luminescence of Tb³⁺-doped high silica glass under UV and X-ray excitation. **Optical Materials**, 35 (3), 426-430.
- Eilk, C.W.E., (2001). Inorganic-scintillator development .Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, **Detectors and Associated Equipment**, 460, 1-14.
- Fu, J., Parker, J.M., Brown, R.M., Flower, P.S., (2003). Eu²⁺ ions in CaF₂-containing high Gd₂O₃ concentrations. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 326&327, 335–338.
- Fu, J., Kobayashi, M., Sugimoto, S., Parker, J.M., (2008), Eu³⁺-activated heavy scintillating glasses. **Materials Research Bulletin**, 43, (6), 1502-1508.
- Fukabori, A., Yanagida, T., Chani, V., Moretti, F., Pejchal, J., Yokota, Y., Kawaguchi, N., Kamada, K., Watanabe, K., Murata, T., Arikawa, Y., Yamanoi, K., Shimizu, T., Sarukura, N., Nakai, M., Norimatsu, T., Azechi, H., Fujino, S., Yoshida, H., Yoshikawa, A., (2011). Optical and scintillation properties of Pr-doped Li-glass for neutron detection in inertial confinement fusion process. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 357 (3), 911-914.
- He. D., Yu, D., Cheng, J., Li, S., Hu, L., (2011) Effect of Tb³⁺ concentration and sensitization of Ce³⁺ on luminescence properties of terbium doped phosphate scintillating glass. **Journal of Alloys and Compounds**, 509 (5), 1906-1909.
- Iltisa, A., Mayhugh, M.R., Mengeb, P., Rozsab, C.M., Sellesc, O., Solovyev, V., (2006), Lanthanum halide scintillators: Properties and Applications. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, **Spectrometers, Detectors and Associated Equipment**, 359-363.
- Jiang, C., Jiang, P., Zhang, J., Gan, F., (2004). Radioluminescence of Ce³⁺-doped B₂O₃-SiO₂-Gd₂O₃-BaO glass. **Physics Letters A**, 323 (3–4), 323-328.
- Kirdsiri, K., Kaewkhao, J., Limsuwan, P., (2012). Photon Interaction in Borate Glass Doped with Bi₂O₃ at Different Energies. **Procedia Engineering**, (32), 727 – 733.
- Limkitjaroenporn, P., Kaewkhao, J., Chewpraditkul, W., Limsuwan, P., (2012) Mass Attenuation Coefficient and Effective Atomic Number of Ag/Cu/Zn Alloy at Different Photon Energy by Compton Scattering Technique, **Procedia Engineering**, (32), 847 – 854.
- Mares, J.A., Nikl, M., Nitsch, K., Solovieva, N., Krasnikov, A., Zazubovich, S., (2001). A role of Gd³⁺ in scintillating processes in Tb-doped Na-Gd phosphate glasses. **Journal of Luminescence**, 94-95, 321-324.
- Martini, M., Fasoli, M., Villa, I., Guibert, P., Radioluminescence of synthetic and natural quartz. **Radiation Measurements**, 47, (9), 846-850.
- Melcher, C.L., (2005). Perspectives on future development of new scintillators. Nuclear Instruments and

Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, **Detectors and Associated Equipment**, 537, 6-14.

Moszynski, M., (2003). Inorganic scintillation detectors in yray spectrometry. **Inorganic scintillation detectors inyray spectrometry**, 505, 101-110.

Pan, Z., James, K., Cui, Y., Burger, A., Cherepy, N., Payne, S.A., Mu, R., Morgan, S.H., (2008). Terbium-activated lithium–lanthanum–aluminosilicateoxyfluoride scintillating glass and glass-ceramic. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, **Spectrometers, Detectors and Associated Equipment**, 594 (2), 215-219.

Rodová, M., Cihlar, A., Kuizek, K., Nitch K., Solovieva. N., (2004). Preparation and properties of Ce-doped Na–Gd phosphate glasses. **Radiation Measurements**,38 (4–6), 489-492.

Santiago, M., Marcazzó, J., Grasselli, C., Lavat, A., Molina, P., Spano, F., Caselli, E., (2011). Thermo- and radioluminescence of undoped and Dy-doped strontium borates prepared by sol-gel method.**Radiation Measurements**, 46 (12), 1488-1491.