

อันตรกิริยาโฟตอนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์ Photon interaction of Bi_2Te_3 thermoelectric material

ภัทรวิจิ ยะสะกะ^{1,2,*} และจักรพงษ์ แก้วขาว^{1,2}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอันตรกิริยาโฟตอนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์ โดยการจำลองอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมากับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์จากการกระเจิงแบบคอมป์ตันด้วยโปรแกรม WinXCom ที่ระดับพลังงาน 223, 253, 287, 341, 399, 482, 563 และ 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ตามลำดับซึ่งผลการคำนวณที่ระดับพลังงานที่ต่างกัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเลขอะตอมยังผล และค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผล ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระดับพลังงาน

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล, เลขอะตอมยังผล, ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผล, บิสมัทเทลลูไรด์

Abstract

In this study, the photon interactions of Bi_2Te_3 thermoelectric material by a Compton scattering technique of gamma ray have been calculated by WinXCom in the energy region 223, 253, 287, 341, 399, 482, 563 and 662 keV, respectively. The calculation results show the mass attenuation coefficients of Bi_2Te_3 thermoelectric material have been calculated at different energies. The results show decrease of the mass attenuation coefficient, effective atomic number and effective electron density values with increasing of energies.

Keywords: mass attenuation coefficient, effective atomic number, electron density, Bi_2Te_3

บทนำ

บิสมัทเทลลูไรด์ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกอย่างกว้างขวาง ซึ่งวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นวัสดุที่สามารถผันความร้อนให้เป็นกระแสไฟฟ้าและผันกระแสไฟฟ้าให้เป็นความเย็นได้ด้วยตัวของมันเอง ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวัสดุผันไฟฟ้าจากความร้อนอย่างมากมาย เพื่อต้องการวัสดุที่มีสมบัติที่เหมาะสมในการสร้างสิ่งประดิษฐ์แบบผันไฟฟ้าจากความร้อนหรือเครื่องทำความเย็นตามความสามารถของวัสดุนั้น ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์นำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์ที่นอกจากสามารถนำไปใช้งานทางด้านเทอร์โมอิเล็กทริกแล้ว ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านการศึกษาอันตรกิริยาของโฟตอน

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

² ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

* Corresponding author, E-mail: pyasaka@hotmail.com

เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในด้านการนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้งานทางด้านรังสีเกี่ยวกับการสร้างหัววัดอินฟราเรด หรือ เลเซอร์ไดโอด (Wang *et al.*, 2014) เป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้มาจากการศึกษาอันตรกิริยาโฟตอนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์โดยการจำลองอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมากับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์จากการกระเจิงแบบคอมป์ตันที่ระดับพลังงานที่แตกต่างกันของรังสีแกมมาได้แก่ 223, 253, 287, 341, 399, 482, 563 และ 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ โดยคำนวณจากโปรแกรม WinXCom เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเลขอะตอมยังผล และ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผล

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเลขอะตอมยังผล และ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผล เป็นปริมาณที่สำคัญในการศึกษาอันตรกิริยาของรังสีแกมมาต่อสสาร ปริมาณเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์รังสีและนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในหลาย ๆ ด้าน เช่น การกำบังรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมโลหะ ดาราศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ ชีววิทยา และรังสีทางการแพทย์ เป็นต้น (Singh *et al.*, 2008)

เทคนิคการกระเจิงแบบคอมป์ตันเป็นวิธีการที่ทำให้พลังงานของรังสีแกมมาเปลี่ยนแปลงไปตามมุมกระเจิง ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการศึกษาอันตรกิริยาของรังสีแกมมาต่อสสาร เทคนิคนี้ทำให้สามารถปรับค่าพลังงานของรังสีแกมมาตกกระทบได้ด้วยแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง

ในปัจจุบันมีนักวิจัยหลายท่านศึกษาและตีพิมพ์ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอันตรกิริยาของโฟตอนต่อสสารในส่วนหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเลขอะตอมยังผล และ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผลของวัสดุหลายชนิดที่พลังงานโฟตอนช่วงต่าง ๆ

วิธีการทดลอง

บิสมัทเทลลูไรด์ (Bi_2Te_3) เป็นวัสดุที่สามารถนำมาผลิตเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้งานได้ดีในช่วงอุณหภูมิห้อง วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีคุณสมบัติในการแปลงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านทั้งสองของวัสดุนั้นให้เป็นกระแสไฟฟ้า ในทางตรงกันข้ามเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวัสดุนั้น ความร้อนและความเย็นจะเกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุ ซึ่งในปัจจุบันบิสมัทเทลลูไรด์เป็นวัสดุหลักที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริกในทางการค้า อีกทั้งมีข้อได้เปรียบคือ ไม่มีมลภาวะ ไม่ก่อให้เกิดเสียงดังขณะใช้งาน และมีขนาดเล็ก

จากการศึกษาอันตรกิริยาโฟตอนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์ โดยการจำลองอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมากับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์จากการกระเจิงแบบคอมป์ตัน ที่ระดับพลังงานที่แตกต่างกันของรังสีแกมมาได้แก่ 223, 253, 287, 341, 399, 482, 563 และ 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ โดยคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเลขอะตอมยังผล และ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผล จากโปรแกรม WinXCom (Gerward *et al.*, 2001; Gerward *et al.*, 2004)

โปรแกรม WinXCom เป็นฐานข้อมูลที่สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และอันตรกิริยาย่อยต่าง ๆ ของธาตุ สารประกอบ หรือสารผสม เช่นการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ การกระเจิงแบบคอมป์ตันอันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กทริก กระบวนการเกิดแพร์โพตักชันโดยสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลได้จากสมการ (1) (Kirdsiri *et al.*, 2012; Limkitjaroenporn *et al.*, 2012)

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (1)$$

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

ซึ่งสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุ สารประกอบ หรือสารผสมได้โดยการใช้โปรแกรม WinXComช่วยในการคำนวณสามารถคำนวณได้จากสมการ (2) (Kirdsiri *et al.*, 2012; Limkitjaroenporn *et al.*, 2012)

$$\mu_m = \sum w_i (\mu_m)_i \quad (2)$$

เมื่อ w_i คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของธาตุหรือสารประกอบ และ $(\mu_m)_i$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุแต่ละชนิด

การคำนวณหาค่าเลขอะตอมยังผล ซึ่งนิยามของค่าเลขอะตอมยังผลคือ ค่าเฉลี่ยของเลขอะตอมในสารที่เป็นสารประกอบหรือของผสมซึ่งอาจมีค่าไม่คงที่ขึ้นกับอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนจากรังสีตกกระทบกับสารนั้น นิยามโดยจากสมการ

$$Z_{\text{eff}} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,el}} \quad (3)$$

โดยที่ $\sigma_{t,a}$ คือ ภาคตัดขวางรวมของอันตรกิริยาทั้งหมดต่ออะตอมซึ่งมีสมการเป็น

$$\sigma_{t,a} = \frac{\mu_m}{N_A \sum_i (w_i / A_i)} \quad (4)$$

และ $\sigma_{t,el}$ คือ ภาคตัดขวางรวมของอันตรกิริยาทั้งหมดต่ออิเล็กตรอนซึ่งมีสมการเป็น

$$\sigma_{t,el} = \frac{1}{N_A} \cdot \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu_m)_i \quad (5)$$

เมื่อ N_A คือ เลขอะโวกาโดร มีค่าเท่ากับ 6.02×10^{23}

A_i คือ เลขมวลของธาตุแต่ละชนิดในสาร

Z_i คือ เลขอะตอมของธาตุแต่ละชนิดในสาร

f_i คือ อัตราส่วนของจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิดในสารต่อมวล 1 กรัม กับจำนวนอะตอมทั้งหมดของสารต่อมวล 1 กรัม

การคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผล สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$N_e = \frac{\mu_m}{\sigma_{t,el}} \quad (6)$$

เมื่อ μ_m คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (cm^2/g) และ $\sigma_{t,el}$ คือ ภาคตัดขวางรวมของอันตรกิริยาทั้งหมดต่ออิเล็กตรอน

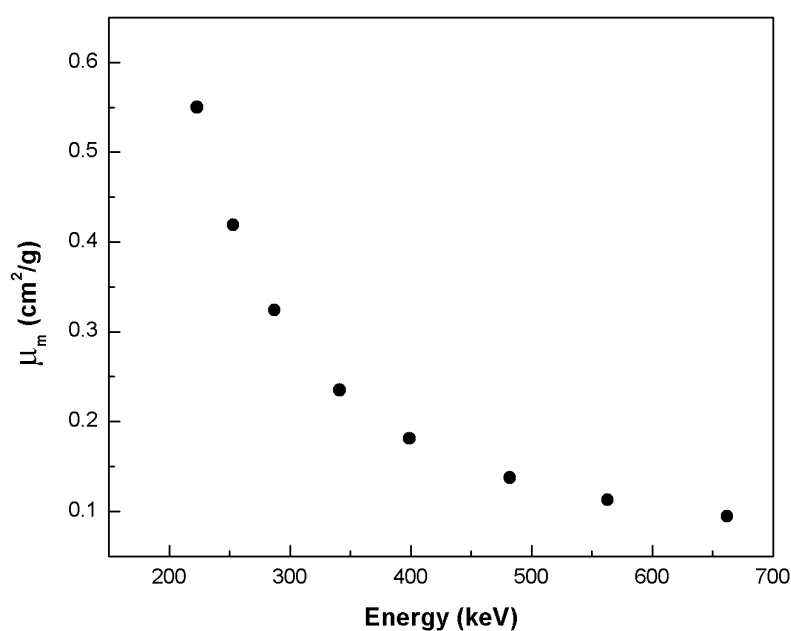


รูปภาพที่ 1 โปรแกรม WinXCom (Gerward *et al.*, 2001; Gerward *et al.*, 2004)

ผลการวิจัย

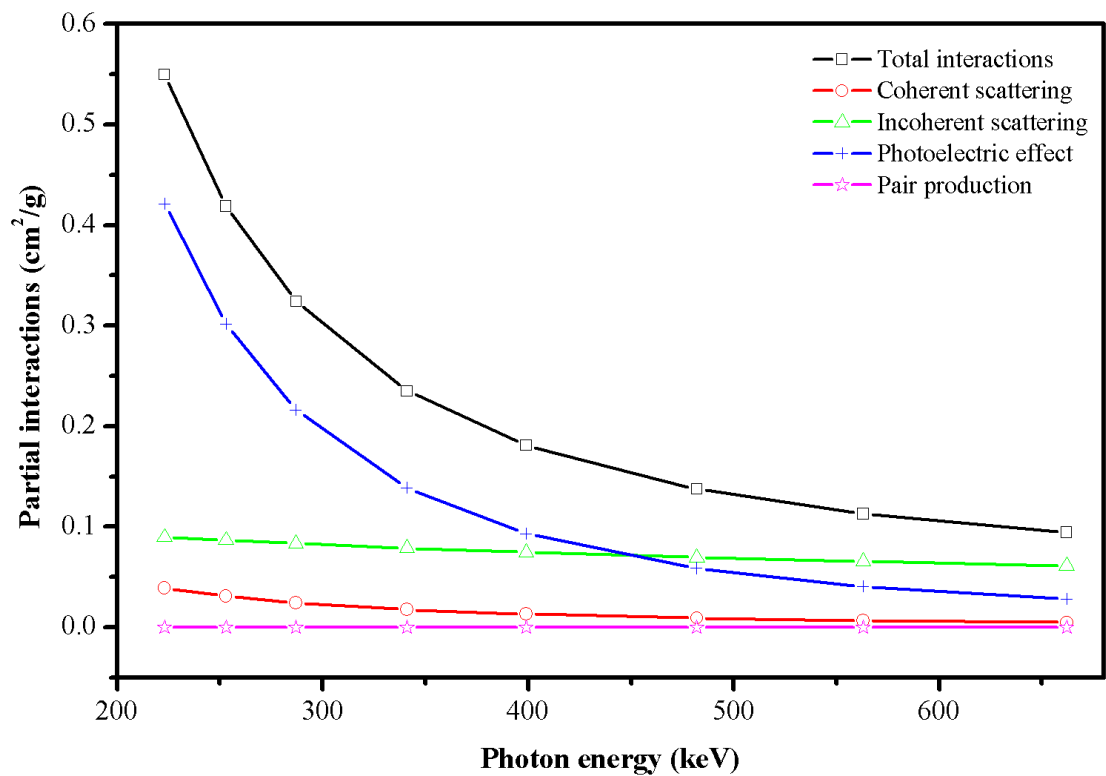
จากการศึกษาอันตรกิริยาโฟตอนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสเมทเทลลูไรด์จากโปรแกรม WinXCom ที่ระดับพลังงานรังสีแกมมาได้แก่ 223, 253, 287, 341, 399, 482, 563 และ 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ตามลำดับ ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเลขอะตอมยังผล และความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผลความหนาแน่น ผลการศึกษาแสดงดังรูปภาพที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

1. สัมประสิทธิ์การลดทอนอันตรกิริยาโฟตอนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสเมทเทลลูไรด์



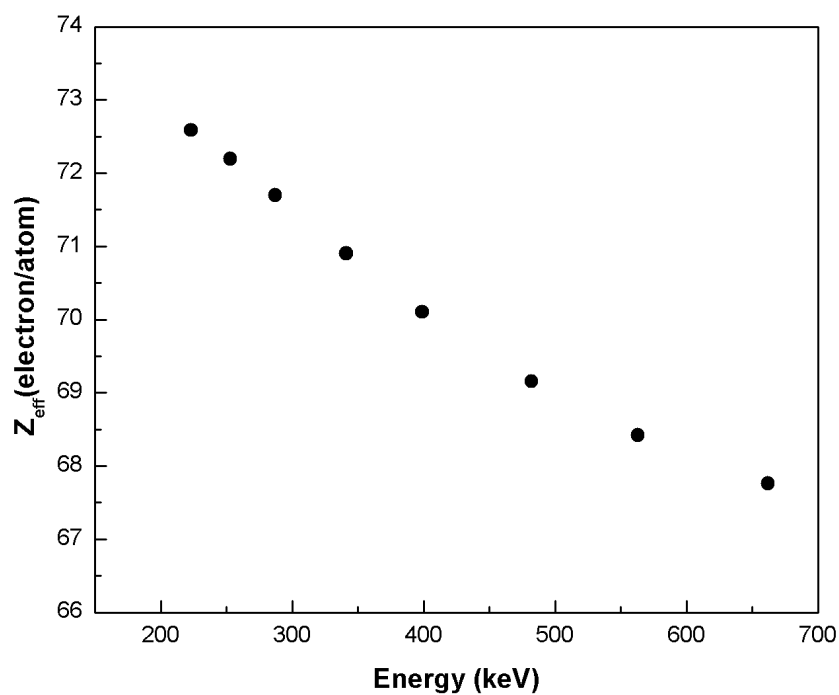
รูปภาพที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสเมทเทลลูไรด์

2. อันตรกิริยาย่อยของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์



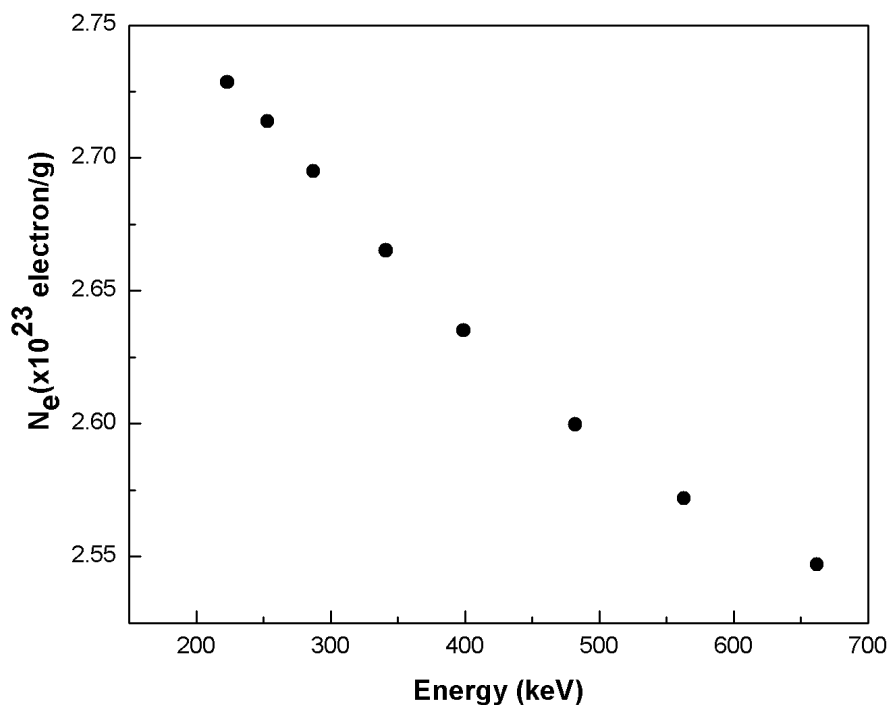
รูปภาพที่ 3 อันตรกิริยาย่อยของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์ที่พลังงานต่าง ๆ

3. ค่าเลขอะตอมยังผลของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์



รูปภาพที่ 4 ค่าเลขอะตอมยังผลของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์

4. ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์



รูปภาพที่ 5 ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนยังผลของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์

จากรูปภาพที่ 2, 3, 4 และ 5 เป็นการศึกษาอันตรกิริยาโฟตอนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์ จากการคำนวณด้วยโปรแกรม WinXCom ที่ระดับพลังงาน 223, 253, 287, 341, 399, 482, 563 และ 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ตามลำดับ จากรูปภาพที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลซึ่งสามารถบ่งบอกถึงความน่าจะเป็นของโอกาสการเกิดอันตรกิริยาของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์ชนิดนี้จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระดับพลังงานของรังสีแกมมามากขึ้น จากรูปภาพที่ 3 ในทำนองเดียวกันค่าการเกิดอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกอันตรกิริยาการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนต์อันตรกิริยาการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ อันตรกิริยาแฟรโฟตักซ์ชัน และ อันตรกิริยารวม มีแนวโน้มของกราฟไปในทางเดียวกัน คือ อันตรกิริยาของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์มีค่าลดลง เมื่อระดับพลังงานเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาในช่วงพลังงาน 223 ถึง 450 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์พบว่า โอกาสการเกิดอันตรกิริยาของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดนี้เกิดอันตรกิริยาหลักได้ดีที่สุด คือ การเกิดอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก และในช่วงพลังงานตั้งแต่ 450 ถึง 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จะพบโอกาสการเกิดอันตรกิริยาของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดนี้เกิดอันตรกิริยาหลักได้ดีที่สุดคือการเกิดอันตรกิริยาการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนต์จากรูปภาพที่ 4 และ 5 แสดงค่าเลขอะตอมยังผล และค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผล พบว่าทั้งสองค่าดังกล่าวมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระดับพลังงานของรังสีแกมมามากขึ้นเช่นกัน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอันตรกิริยาโฟตอนของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสมัทเทลลูไรด์ จากการคำนวณด้วยโปรแกรม WinXCom ที่ระดับพลังงาน 223, 253, 287, 341, 399, 482, 563 และ 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเลขอะตอมยังผล ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผล อันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกอันตรกิริยาการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนต์อันตรกิริยาการกระเจิงแบบโคฮีเรนต์ และอันตรกิริยารวมมีค่าลดลงเมื่อเพิ่ม

ระดับพลังงานของรังสีแกมมามากขึ้นแสดงให้เห็นว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบิสเมทเทลลูไรด์นอกจากสามารถนำไปใช้งานทางด้านเทอร์โมอิเล็กทริกแล้ว ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านการศึกษาอันตรกิริยาของโฟตอน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในด้านการนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้งานทางด้านรังสีที่เกี่ยวกับการสร้างหัววัดอินฟราเรด หรือ เลเซอร์ไดโอด ทั้งนี้ทางผู้วิจัยเสนอให้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการคำนวณต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับความร่วมมือและการสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, K.B., & Levring, H. (2004). WinXCom-a program for calculation X-ray attenuation coefficients. **Radiation Physics and Chemistry**, 71, 653-654.
- Kirdsiri, K., Kaewkhao, J. & Limsuwan, P. (2012). Photon interaction in borate glass doped with Bi_2O_3 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.
- Singh, K.J., Singh, N., Kaundal, R.S., & Singh, K. (2008). Gamma-ray shielding and structural properties of PbO-SiO_2 glasses. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, 266, 944-948.
- Wang, Z.L., Matsuoka, K., Araka, T., & Akao, T. (2014). Extrusion behavior and thermoelectric properties of $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.85}\text{Se}_{0.15}$ thermoelectric materials. **Procedia Engineering**, 81, 616-621.