

การศึกษายิลด์แสงซินทิลเลชันและการแยกชัดพลังงานของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO สำหรับ วัดสเปกตรัมรังสีแกมมา Light Yield and Energy Resolution of BGO Scintillation Crystal for Gamma ray Spectroscopy

วุฒิชัย ไชยภักษา^{1*} พฤทธิพล ลิ้มกิจเจริญภรณ์¹ และ จักรพงษ์ แก้วขาว^{1, 2}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
*Chaipuksa_ch@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติด้านซินทิลเลชันของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO ขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ โดยต่อกับหลอดทวีคูณแสงเบอร์ R1306 ทำการวัดในช่วงพลังงานรังสีแกมมาตั้งแต่ 356-1332 keV พบว่าที่พลังงานรังสีแกมมา 662 keV จากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs ให้ค่าการแยกชัดพลังงานร้อยละ 16.59 และผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO แสดงความสัมพัทธ์ลดลงแบบเอกโปเนนเชียลเมื่อพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น การศึกษายิลด์แสงซินทิลเลชันพบว่าผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO มียิลด์แสงซินทิลเลชัน 8504.88 โฟตอน/เมกกะอิเล็กตรอนโวลต์(ph/MeV) และมีสัดส่วนโฟโตแฟรคชันร้อยละ 47.20 รวมทั้งเปรียบเทียบกับค่าคำนวณสัดส่วนของภาคตัดขวาง (Cross Section) โดยใช้โปรแกรมวินเอ็กซ์คอม (WinXcom Program) ในการคำนวณ

คำสำคัญ: ผลึกซินทิลเลเตอร์, BGO, การแยกชัดพลังงาน, ประสิทธิภาพการเปล่งแสง

Abstract

This research was investigated the scintillation response of BGO diameter $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$. The scintillator was compared for gamma energies ranging from 356 keV to 1332 keV using R1306 photomultiplier tube readout. The energy resolution(FWHM) for 662 keV gamma-rays from ^{137}Cs are 16.59 percent. The crystal showed trend of energy resolution decreases exponentially with energy increasing. The studied BGO showed the light yield of 8504.88 ph/MeV. The photofraction of about 47.20 percent was determined and compared with the cross-section ratio which calculated by WinXCom program.

Keywords: Scintillator, BGO, Energy resolution, Light yield

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้หัววัดซินทิลเลชัน (scintillation detector) วัดรังสี ได้รับความนิยมน้อยกว่าหลายโดยเฉพาะการตรวจวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในงานหลายด้าน ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม ด้านการแพทย์ รวมไปถึงงานด้านธรณีวิทยา เป็นต้น ซินทิลเลเตอร์ คือ วัสดุที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดกระบวนการเรืองแสง ที่เรียกว่า ซินทิลเลชัน (Scintillation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อโฟตอนที่มีความพลังงานสูง (UV, X-rays, γ -rays) ตกกระทบสารแล้วสารนั้นเกิดการเปล่งแสงออกมาและเครื่องมือตรวจวัดที่ใช้หลักการนี้เรียกว่า เครื่องนับวัดรังสีแบบซินทิลเลชัน (Scintillation Counter) เนื่องจากความเข้มแสงจากซินทิลเลชันมีค่าน้อยมาก จึงจำเป็นต้องมีการขยาย

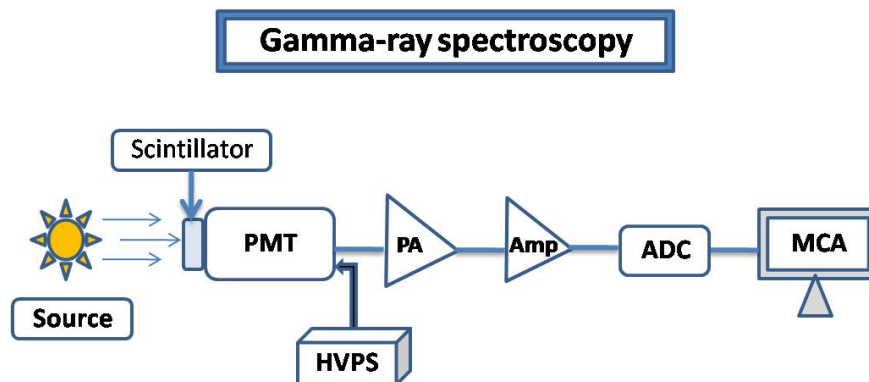
สัญญาณก่อน โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการขยายแสงซินทิลเลชัน ได้แก่ หลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier Tube;PMT) (ปนัดดา เคนมี, 2550) (Van Eijk, C.W.E., 2001)

ในการนำหัววัดซินทิลเลชันมาใช้วัดรังสีแกมมาใช้นิยมใช้ผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิดอนินทรีย์ (Inorganic Scintillator) ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับการนำหัววัดซินทิลเลชันมาใช้วัดรังสีแกมมา โดยใช้ผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิดอนินทรีย์ อาทิเช่น (Kimble, T., et al, 2003) (Moszynski, M., et al, 2002) (Dorenbos, P., et al, 1995) ซึ่งการตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมานั้นต้องเลือกใช้ผลึกให้มีความเหมาะสมดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ในการตรวจวัดปริมาณรังสีของตัวผลึกซินทิลเลเตอร์ เช่น ค่า Energy Resolution, Light yield, Emission Spectrum, Excitation Spectrum, Intrinsic Energy Resolution และ Decay Time เป็นต้น ดังนั้นเมื่อทราบถึงคุณสมบัติของผลึกเหล่านี้แล้วทำให้สามารถเลือกผลึกซินทิลเลเตอร์ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานต่อไป (เฉลิม วนะรักษ์, 2549)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษายิลด์แสงซินทิลเลชันและการแยกชัดพลังงานของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO หรือบิสมัทเจอร์มาเนต (Bismuth Germinates: $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) ซึ่งเป็นผลึกที่ได้รับความนิยมในงานด้านการตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมา ข้อดีของ BGO คือ มีความหนาแน่นสูงถึง $7.13 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และไม่ดูดกลืนความชื้น หัววัดรังสีที่ใช้ผลึก BGO จะมีความแข็งแรงสูง แต่ผลึก BGO นี้มีค่ายิลด์แสงซินทิลเลชันค่อนข้างน้อย (ประมาณ 15-20% ของ NaI(Tl))

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ในการประกอบหัววัดรังสีของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO ขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$ ผลิตโดยบริษัท Nuclear System Co., Ltd. นั้น เริ่มจากการนำผลึกซินทิลเลเตอร์มาเชื่อมต่อ (Coupling) กับหลอดทวีคูณแสงเบอร์ R1306 ผลิตโดยบริษัท Hamamatsu โดยใช้ Silicone Grease ในการเชื่อมต่อซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติค่อนข้างหนืดเพื่อให้ผลึกซินทิลเลเตอร์และผิวหน้าของหลอดทวีคูณแสงสามารถยึดติดกันได้ หลังจากนั้นจึงหุ้มด้วยวัสดุเทปสีดำเพื่อป้องกันแสงจากภายนอกเข้า นำหัววัดต่อเข้ากับ preamplifier (Model 2007B) ซึ่งจะส่งสัญญาณต่อไปที่ amplifier (Model 2022) ผลิตโดยบริษัท Canberra สัญญาณจะถูกส่งไปทำการวิเคราะห์ประมวลผลใน Multichannel Analyzer โดยใช้โปรแกรม Gamma Acquisition & Analysis ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้คือ ^{133}Ba , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{60}Co มีช่วงพลังงานเริ่มจาก 356 keV ถึง 1332 keV



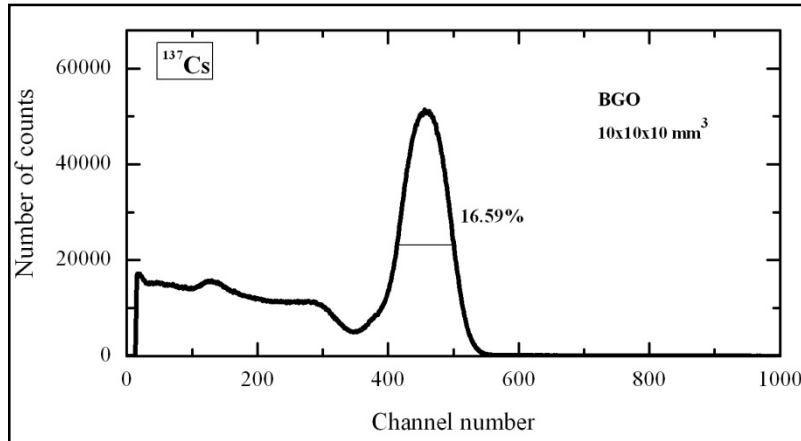
รูปภาพที่ 1 ระบบนับวัดรังสีแบบซินทิลเลชันสำหรับวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

ในการคำนวณหาจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจากสเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาที่วัดได้จากผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO สามารถคำนวณโดยใช้วิธีการของเบอร์โตลาซินี (Bertolaccini) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบ ตำแหน่งยอดพิคของพลังงานรังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดรังสีกับตำแหน่งของซิงเกิลโฟโตอิเล็กตรอนของหลอดทวีคูณแสง ซึ่งจะพิจารณาพร้อมกับกำลังขยายของทั้งหลอดทวีคูณแสงและแอมพลิฟายเออร์ด้วย (Chewpraditkul, W., et al, 2012) (Phunpueok, A., et al, 2012) (Wanarak, C., et al, 2012)

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

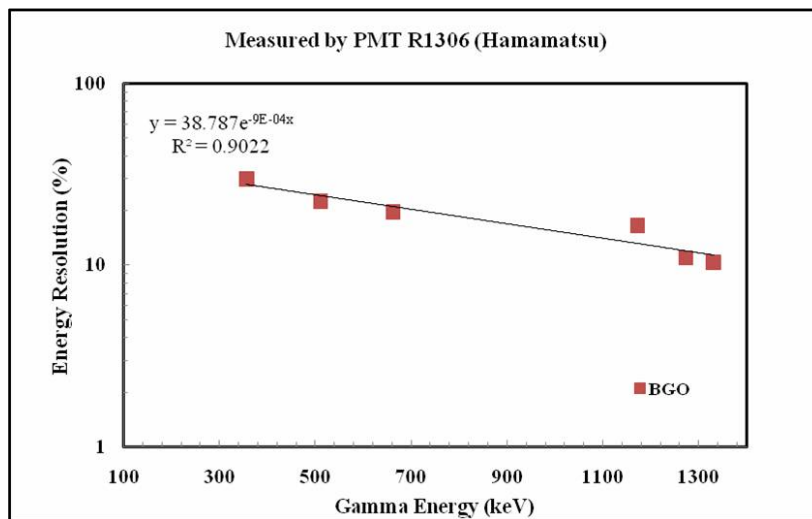
3.1 ค่าแยกชัดพลังงานของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO

การหาค่าแยกชัดพลังงานของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO สำหรับพลังงานรังสีแกมมาตั้งแต่ช่วง 356 keV ถึง 1332 keV พบว่าที่พลังงาน 662 keV จากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs มีการแยกชัดพลังงานเป็น 16.59% (จากรูปภาพที่ 2)



รูปภาพที่ 2 ค่า Energy spectra และค่าแยกชัดพลังงานของรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 662 keV จาก ^{137}Cs

จากกราฟ รูปภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแยกชัดพลังงานกับค่าพลังงานรังสีแกมมา ซึ่งลดลงแบบเอกโปเนนเชียล เมื่อค่าพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น เนื่องจากโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริกของผลึกมีค่าน้อยลง ค่าโฟโตอิเล็กตรอนยิลด์(ph/MeV) ค่ายิลด์แสงซินทิลเลชัน(ph/MeV)และค่าแยกชัดพลังงานของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 1



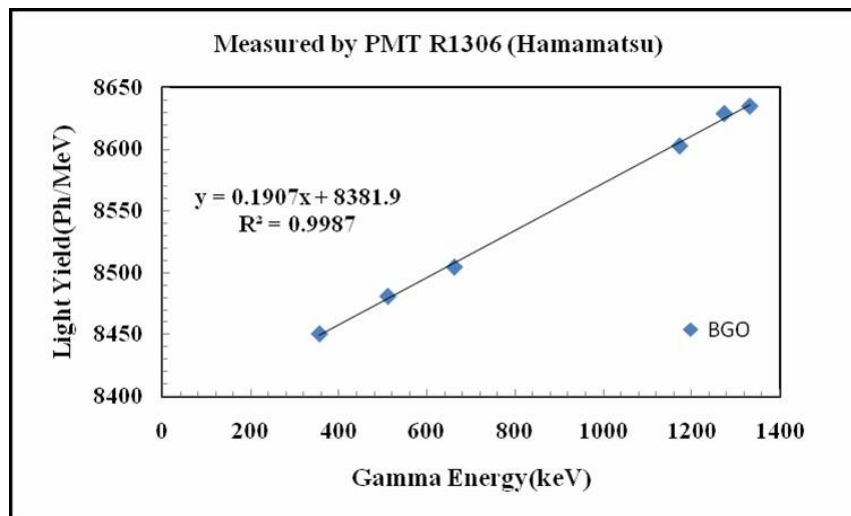
รูปภาพที่ 3 ความสัมพันธ์กราฟระหว่าง ค่าแยกชัดพลังงานกับค่าพลังงานรังสีแกมมา

ตารางที่ 1 ค่าโพโตอิเล็กตรอนยิลด์(phe/MeV) ค่ายิลด์แสงซินทิลเลชัน(ph/MeV) และค่าแยกชัดพลังงาน

Crystal	Photoelectron yield [phe/MeV]	Light yield [ph/MeV]	$\Delta E / E$ [%]
BGO	2211.27	8504.88	16.59

3.2 ค่ายิลด์แสงซินทิลเลชัน (Light Yield) ของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO

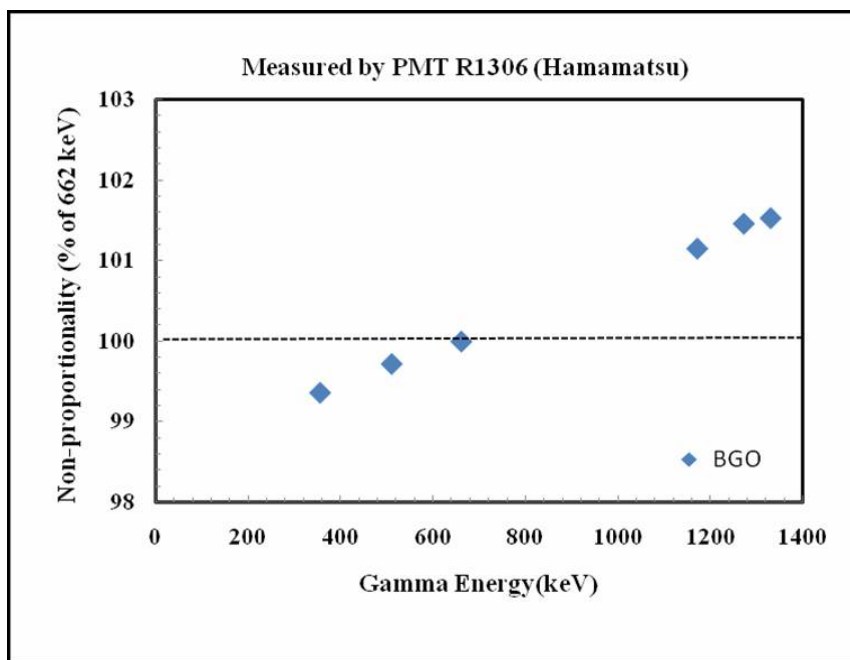
จากรูปภาพที่ 4 แสดงค่ายิลด์แสงซินทิลเลชันของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO พบว่าเมื่อพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่ายิลด์แสงซินทิลเลชันของผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นตาม โดยกราฟแสดงคุณสมบัติแบบเชิงเส้นตรงระหว่างค่ายิลด์แสงซินทิลเลชันกับค่าพลังงานรังสีแกมมาและพบว่าที่พลังงาน 662 keV จากต้นกำเนิดรังสี ¹³⁷Cs มีค่ายิลด์แสงซินทิลเลชันเป็น 8504.88 ph/MeV



รูปภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ายิลด์แสงซินทิลเลชันกับค่าพลังงานรังสีแกมมา

3.3 ค่าความไม่เป็นสัดส่วนของยิลด์แสงซินทิลเลชันของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO

จากรูปภาพที่ 5 ซึ่งแสดงความไม่เป็นสัดส่วนของยิลด์แสงซินทิลเลชันของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO ที่ทำการนอมอลไลซ์กับค่าที่พลังงาน 662 keV พบว่าความไม่เป็นสัดส่วนของยิลด์แสงซินทิลเลชันของผลึกลดลง 0.64% ในช่วงพลังงานจาก 662 keV ถึง 356 keV ส่วนในช่วงพลังงาน 662 keV ถึง 1332 keV ระดับการตอบสนองเชิงเส้นความไม่เป็นสัดส่วนของยิลด์แสงซินทิลเลชันอยู่ในระดับ 1.53%



รูปภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่เป็นสัดส่วนของยิลด์แสงซินทิลเลชันกับค่าพลังงานรังสีแกมมา

3.4 ค่าโฟโตแฟรคชันของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO

การหาค่าโฟโตแฟรคชัน ซึ่งเป็นการหาสัดส่วนของการนับวัดรังสีภายใต้โฟโตพีคต่อค่านับวัดรังสีทั้งหมดของสเปกตรัมของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO จากตารางที่ 2 พบว่าผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO มีเปอร์เซ็นต์โฟโตแฟรคชันเท่ากับ 47.20% ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงเพราะมีค่าพื้นที่ใต้กราฟในส่วนโฟโตพีคสูงและมีพื้นที่ช่วงคอมป์ตันมีค่าน้อย โดยค่าสัดส่วนโฟโตแฟรคชันมีทิศทางเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของภาคตัดขวาง (Cross Section) ที่คำนวณมาจากโปรแกรมวินเอ็กซ์คอม (WinXcom Program) (Gerward, L., et al, 2004)

ตารางที่ 2 ค่าโฟโตแฟรคชันของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO

Crystal	Z_{eff}	Density [g/cm^3]	Photofraction [%]	σ - ratio [%]
BGO	74	7.11	47.20	34.49

4. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิลด์แสงซินทิลเลชันและการแยกชัดพลังงานในการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาของผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO โดยนำมาประกอบกับหลอดทวิคูณแสงจากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากรูปภาพที่ 2 ซึ่งแสดงค่าแยกชัดพลังงาน พบว่าที่พลังงาน 662 keV จากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs มีการแยกชัดพลังงานเป็น 16.59% รูปภาพที่ 3 เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าแยกชัดพลังงานกับค่าพลังงานรังสีแกมมาซึ่งลดลงแบบเอกโปเนนเชียล เมื่อค่าพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น มีค่าอิลด์แสงซินทิลเลชันของผลึกเป็น 8504.88 ph/MeV และมีเปอร์เซ็นต์โฟโตแฟรคชันเท่ากับ 47.20%

5. เอกสารอ้างอิง

- เฉลิม วะระรักษ์. (2549). การเปรียบเทียบผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Na), NaI(Tl) และ BGO ในการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชามาตรวิทยาทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปนัดดา เคนมี. (2550). การเปรียบเทียบผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO และ LSO ในการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชามาตรวิทยาทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Chewpraditkul, W., Sreebunpeng, K., Nikl, M., Mares, Nejezchleb, J. A., K., Phunpueok, A. & Wanarak, C. (2012). "Comparison of $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Pr}^{3+}$ and $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ scintillators for gamma-ray detection", **Radiation Measurements**, Vol. 47, pp. 1-5.
- Dorenbos, P., De Haas, J. T. M. & Van Eijk, C. W. E. (1995). "Non-Proportionality in the Scintillation response and the Energy Resolution obtainable with Scintillation Crystals", **IEEE Transactions on Nuclear Science**, Vol. 42, pp. 2190-2202.
- Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, KB. & Levring, H. (2004). "WinXCom – a program for calculating X-ray attenuation coefficients", **Rad. Phys. Chem**, Vol. 71, pp. 653-654.
- Kimble, T., Chou, M. & Chai, B. H.T. (2003). "Scintillation Properties of LYSO Crystals", **Institute of Electrical and Electronics Engineers**, pp. 1434-1437.
- Moszynski, M., Zalipska, J., Balcerzyk, M., Kapusta, M., Mengesha, W. & Valentine, J.D. (2002). "Intrinsic energy resolution of NaI(Tl)", **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**, Vol. 484, pp. 259-269.
- Phunpueoka, A., Chewpraditkul, W., Limsuwan, P. & Wanarak, C. (2012). "Light output and energy resolution of $\text{Lu}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{AlO}_3:\text{Ce}$ and $\text{Lu}_{1.95}\text{Y}_{0.05}\text{SiO}_5:\text{Ce}$ scintillators", **Procedia Engineering**, Vol. 32, pp. 564- 570.
- Van Eijk, C.W.E. (2001). "New inorganic scintillators aspects of energy resolution", **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**, vol, 471. pp. 244-248.
- Van Eijk, C.W.E. (2001). "Inorganic-scintillator development", **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**, Vol. 460, pp. 1-14.
- Wanarak, C., Chewpraditkul, W. & Phunpueok, A. (2012). "Light yield non-proportionality and energy resolution of $\text{Lu}_{1.95}\text{Y}_{0.05}\text{SiO}_5:\text{Ce}$ and $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ scintillation crystals", **Procedia Engineering**, Vol. 32, pp. 765-771.