

XÂY DỰNG HỆ ĐO GAMMA ĐƠN KÊNH SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ SILICON PHOTOMULTIPLIER (SiPM)

Lại Viết Hải ⁽¹⁾, Đặng Quốc Triệu ⁽¹⁾, Vương Đức Phụng ⁽¹⁾

(1) Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp

Ngày nhận bài 01/12/2021; Ngày gửi phản biện 25/12/2021; Chấp nhận đăng 30/01/2022

Liên hệ Email: laivietthai@gmail.com; hailv@canti.vn

<https://doi.org/10.37550/tdmu.VJS/2022.01.272>

Tóm tắt

Hệ đo gamma sử dụng đầu dò nhấp nháy cho thấy nhiều ưu điểm nổi bật về hiệu suất ghi, độ phân giải và tính linh động trong lắp đặt cấu hình đo, do đó được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực nghiên cứu và ứng dụng nguồn bức xạ giải quyết các bài toán thực tế. Việc sử dụng nhân quang điện silicon (Silicon Photomultiplier – SiPM) thay cho ống nhân quang điện (PMT) trong đầu dò nhấp nháy giúp giảm giá thành chế tạo và bảo trì, cũng như thu gọn kích thước hệ đo. Bài báo này trình bày việc xây dựng hệ đo gamma đơn kênh sử dụng đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) kết hợp với SiPM. Hệ đo bao gồm tinh thể nhấp nháy NaI(Tl) ($0,5 \times 1$ inch) ghép nối với SiPM, khối nguồn phân cực SiPM, khối khuếch đại, khối phân biệt biên độ xung, khối vi điều khiển (Arduino) và phần mềm điều khiển thu nhận số liệu trên máy tính. Ở điều kiện phòng, hệ đo đạt độ phân giải năng lượng (FWHM) là $21,89 \pm 0,15\%$ và $19,38 \pm 0,21\%$ tương ứng với nguồn chuẩn ^{137}Cs tại năng lượng 662 keV và ^{22}Na tại năng lượng 511keV. Kết quả đạt được là cơ sở cho việc cải tiến việc ghi đo tia gamma phục vụ cho các nghiên cứu ứng dụng nguồn bức xạ ở quy mô phòng thí nghiệm.

Từ khóa: ghi đo tia gamma, NaI(Tl), Phổ gamma, Silicon Photomultiplier, SiPM, tinh thể nhấp nháy

Abstract

BUILDING A SINGLE-CHANNEL GAMMA-RAY SPECTROSCOPY USING SILICON PHOTOMULTIPLIER (SiPM) TECHNOLOGY

Gamma-spectroscopy using scintillation detectors shows many outstanding advantages of detection efficiency, resolution and flexibility in installing configuration measurements, therefore, it is widely used in the field of research and application of radiation sources to solve practical problems. Using a silicon photomultiplier (SiPM) instead of a photomultiplier tube (PMT) in scintillation detectors allows reducing manufacturing and maintenance costs, as well as, shortening the size of the measuring systems. This paper presents the construction of a single-channel gamma-ray spectroscopy using NaI(Tl) scintillation detector combined with SiPM. The measurement system includes a $0,5 \times 1$ inch scintillation crystal NaI(Tl) connected with SiPM, SiPM polarized source block, amplifier block, pulse amplitude discriminator block, microcontroller block

(Arduino) and control software to acquire data on computer. At room conditions, the measurement system achieves an energy resolution (FWHM) of $21,89 \pm 0,15\%$ and $19,38 \pm 0,21\%$ corresponding to reference sources of ^{137}Cs at 662 keV and ^{22}Na at 511keV. The obtained results are the basis for the improvement of gamma-ray detection for research on the applications of many uses of radiation at laboratory scale.

1. Đặt vấn đề

Tia gamma có bản chất là sóng điện từ, được sinh ra từ sự biến đổi cấu trúc bên trong hạt nhân nguyên tử. Tia gamma có rất nhiều ứng dụng trong đời sống như xạ trị và khử trùng trong y tế, chiếu xạ nông sản, tạo đột biến giống cây trồng trong nông nghiệp, kiểm tra khuyết tật trong các hệ thống công nghiệp (Hassane và Jaouad, 2019).

Nguyên tắc đo tia gamma là chuyển đổi năng lượng của tia gamma thành tín hiệu điện. Có nhiều loại đầu dò sử dụng nguyên tắc này như đầu dò khí, đầu dò nhấp nháy, đầu dò bán dẫn. Trong công nghiệp, đầu dò nhấp nháy được ứng dụng rộng rãi nhất, cụ thể là đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) kết hợp ống nhân quang điện (PMT), vì các đặc tính như hiệu suất cao, độ phân giải năng lượng tốt, có thể lắp đặt cho nhiều cấu hình đo khác nhau (Knoll, 2020). Tại trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp (CANTI), chúng tôi đã thành công ứng dụng soi gamma sử dụng loại đầu dò NaI(Tl)/PMT và hệ đo gamma đơn kênh (Lại Viết Hải và cs., 2020) trong các kỹ thuật như soi tháp, soi van tại nhà máy lọc hóa dầu Nghi Sơn và nhà máy lọc dầu Dung Quất, kỹ thuật kiểm tra chân đế giàn khoan – FMI tại giàn Chim Sáo, giàn WHP. Mặc dù có nhiều ưu điểm nổi trội nhưng đầu dò nhấp nháy sử dụng PMT vẫn có các nhược điểm cần phải cải tiến như không sử dụng trong điều kiện môi trường có từ trường, PMT được chế tạo từ ống thủy tinh chân không nên rất dễ vỡ, sử dụng cao thế để hoạt động làm cho hệ thống trở nên tốn kém.

Trong vài năm gần đây, hướng cải tiến sử dụng nhân quang điện silicon (SiPM) thay thế cho ống nhân quang điện (PMT) trong đầu dò nhấp nháy là xu thế. SiPM có các ưu điểm như giá thành rẻ, điện thế hoạt động thấp, hiệu suất tương đương với PMT, nhỏ gọn, không nhạy cảm với từ trường, độ bền cơ học cao. Vì các ưu điểm nổi trội, SiPM đã được ứng dụng để thay thế PMT trong kính hiển vi huỳnh quang giúp tăng chất lượng hình ảnh trong công nghệ sinh học (Ching-Roa và cs., 2021); trong y tế, kỹ thuật CT/PET cho động vật nhỏ sử dụng SiPM làm tăng độ nhạy, độ phân giải không gian Lee và cs., 2015); trong lĩnh vực vật lý và tin học lượng tử, SiPM được sử dụng để tái tạo lại các trạng thái thống kê cổ điển của ánh sáng (Chesi và cs., 2019); gần đây, công nghệ xe tự lái sử dụng các SiPM trong các bộ LiDAR giúp khả năng phát hiện mục tiêu đáng tin cậy hơn (broadcom.com); ngoài ra, SiPM còn được sử dụng trong rất nhiều ứng dụng khác (Otte và cs., 2006; Renker, 2009; Yokoyama và cs., 2010; Musienko và cs., 2007). Dù vậy, việc nghiên cứu ứng dụng nhân quang điện silicon (SiPM) trong đầu dò nhấp nháy ghi đo tia gamma chưa thực sự được quan tâm tại Việt Nam.

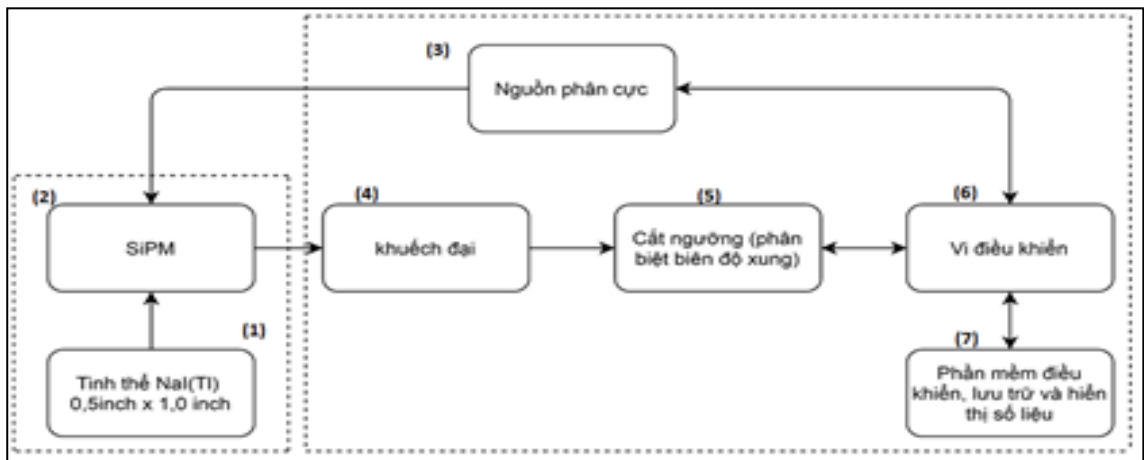
Nghiên cứu này trình bày việc xây dựng hệ đo gamma đơn kênh sử dụng đầu dò nhấp nháy NaI(Tl) kết hợp với SiPM. Kết quả đạt được là cơ sở cho việc cải tiến việc

ghi đo gamma phục vụ cho các nghiên cứu ứng dụng nguồn bức xạ ở quy mô phòng thí nghiệm của Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp.

2. Vật liệu và phương pháp

2.1. Thiết kế và chế tạo hệ đo

Hệ đo gamma đơn kênh sử dụng tinh thể nhấp nháy NaI(Tl) ghép nối với SiPM được xây dựng từ các khối cơ bản như Hình 1. Khi các bức xạ gamma tương tác tinh thể NaI(Tl) (1) sẽ tạo ra các photon ánh sáng có bước sóng khoảng 420nm. Các photon ánh sáng này được dẫn đến SiPM (2) qua các lớp keo quang học. Khi SiPM được cấp đủ điện áp từ khối nguồn phân cực (3) sẽ sinh ra các xung điện. Các xung điện này được đưa vào khối khuếch đại (4) để khuếch đại biên độ và hình thành dạng xung Gauss và sau đó được đưa vào khối cắt ngưỡng (5), các xung dạng Gauss được chuyển thành các xung vuông theo chuẩn TTL. Khối vi điều khiển (6) có chức năng đếm xung theo thời gian, điều khiển và đo lường điện áp phân cực (3), điều khiển và đo lường giá trị điện áp ngưỡng (5) và giao tiếp với máy tính (7) bằng chuẩn RS232 để nhận các lệnh điều khiển và truyền giá trị đo về phần mềm máy tính (7). Phần mềm máy tính (7) có chức năng điều khiển, thu nhận và lưu trữ các giá trị đo.



Hình 1. Sơ đồ khối hệ đo gamma đơn kênh sử dụng SiPM

SiPM: Trong báo cáo này nhóm nghiên cứu đã sử dụng SiPM của hãng ONSEMI: MICROFC-60035-SMT-TR1. Đây là loại SiPM có diện tích vùng nhạy là $6 \times 6\text{mm}^2$, tổng số microcell là 18980, điện áp hoạt động nhỏ hơn 30V. Độ nhạy cực đại tại bước sóng 420nm, phù hợp với bước sóng ánh sáng của tinh thể NaI(Tl) (<https://www.onsemi.com>).



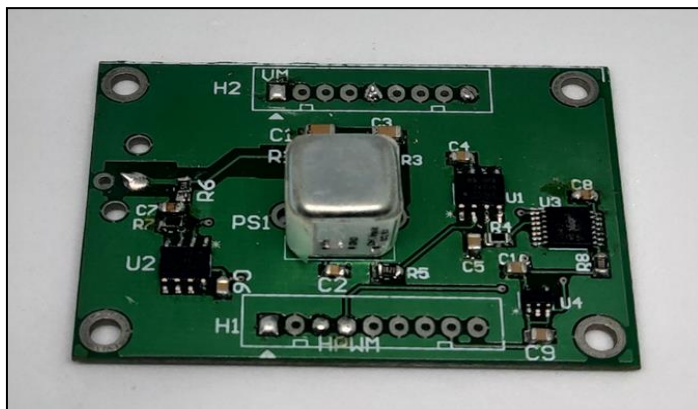
Hình 2. SiPM của hãng ONSEMI (MICROFC-60035-SMT-TR1) (<https://www.onsemi.com>)

Tinh thể NaI(Tl): Tinh thể NaI(Tl) được tận dụng từ đầu dò bị hỏng PMT. Kích thước của tinh thể 0,5inch $\times$ 1inch, được bọc kín trong hộp nhôm có cửa sổ quang học bằng thạch anh. Tinh thể NaI(Tl) và SiPM được ghép nối bằng keo quang học Meltmount, loại keo có thể đóng rắn ở nhiệt độ 25°C và nóng chảy ở nhiệt độ từ 60°C đến 85°C, có chiết suất 1,582.



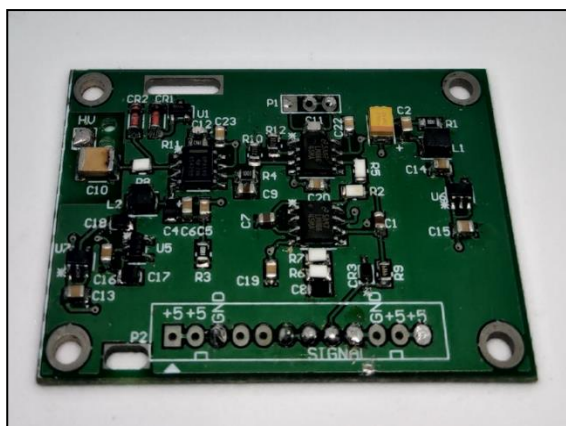
Hình 3. Tinh thể NaI(Tl) ghép nối với SiPM bằng keo quang học Meltmount

Khối nguồn phân cực: SiPM hoạt động với điện áp thấp nên nhóm nghiên cứu đã sử dụng module DC – DC của hãng ULTRAVOLT có mã là 0.1XS5-P0.1. Module này có những thông số kỹ thuật như sau: điện áp vào 5V, điện áp ra có thể điều khiển được từ 0V đến 100V, dòng ra tối đa 1mA, độ trôi theo nhiệt độ là 50 ppm/°C.

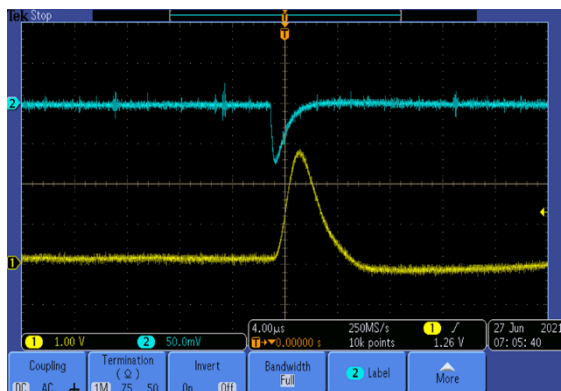


Hình 4. Khối nguồn phân cực đã chế tạo hoàn thiện, kích thước 5,5cm $\times$ 3,7cm

Khối khuếch đại: Khối khuếch đại có chức năng khuếch đại tín hiệu từ đầu dò và tạo dạng xung phù hợp để đưa vào khối cắt ngưỡng.



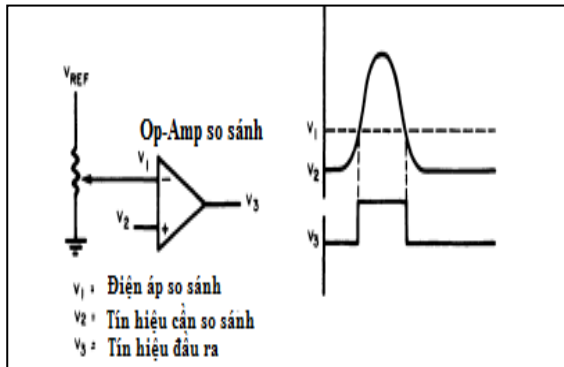
Hình 5. Khối khuếch đại được chế tạo hoàn chỉnh, kích thước 5,5cm $\times$ 3,7cm



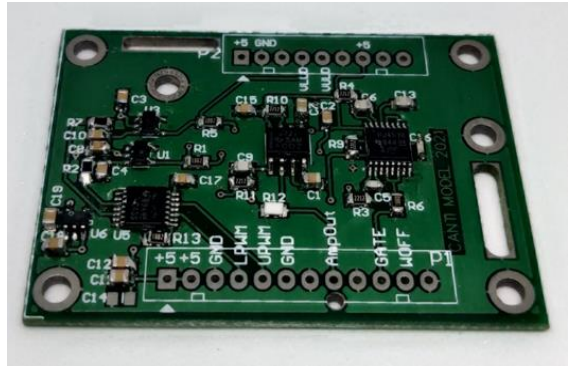
Hình 6. Tín hiệu từ SiPM (màu xanh – biên độ 75 mV, kênh 2) sau khi qua khối khuếch đại (màu vàng biên độ 2800 mV, kênh 1)

Khối cắt ngưỡng (phân biệt biên độ xung): Chức năng của khối cắt ngưỡng là phân biệt biên độ xung của tín hiệu vào. Khối cắt ngưỡng được chế tạo dựa trên các tính năng của op-amp so sánh, trong đó khi điện áp ở chân input (+) lớn hơn điện áp ở chân

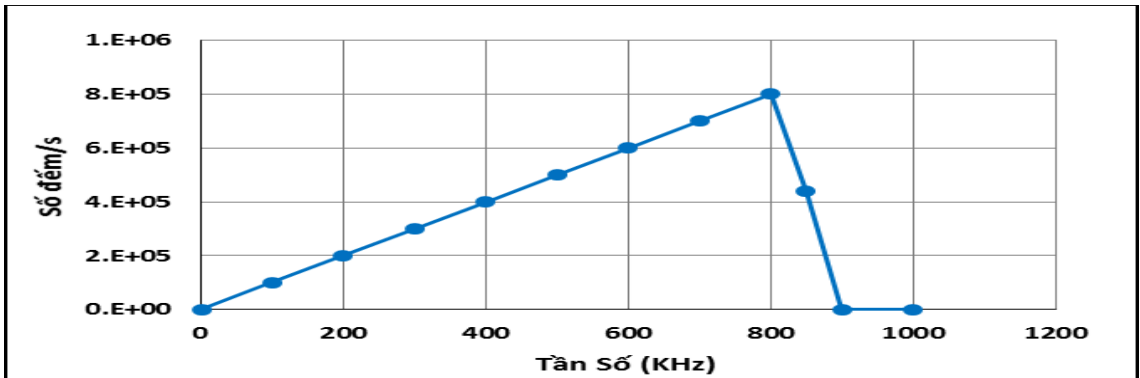
input (-) thì đầu ra của op-amp so sánh sẽ cho ra mức logic cao và ngược lại sẽ cho mức logic thấp như Hình 7. Hình 8 mô tả khối cắt ngưỡng được chế tạo hoàn chỉnh. Hình 9 tốc độ đáp ứng của Khối cắt ngưỡng.



Hình 7. Nguyên tắc hoạt động của op-amp so sánh.



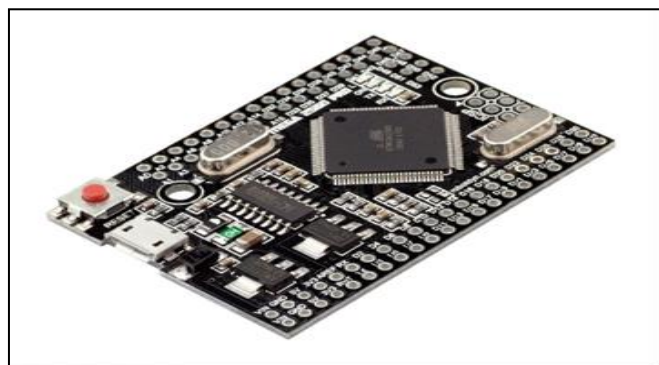
Hình 8. Khối cắt ngưỡng được chế tạo hoàn chỉnh



Hình 9. Tốc độ đáp ứng của khối cắt ngưỡng.

Khối vi điều khiển:

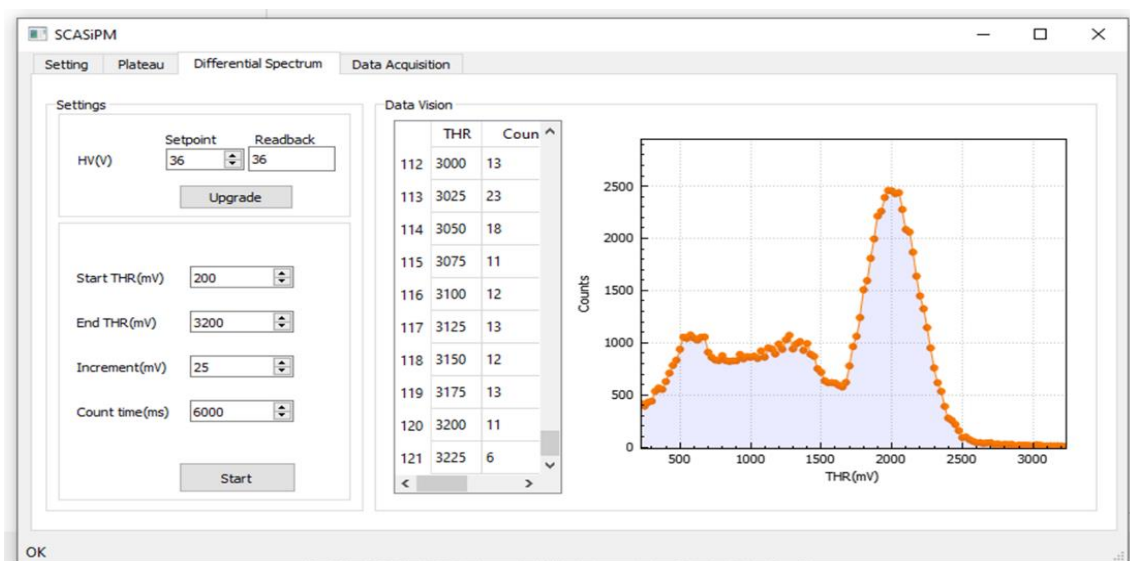
Khối vi điều khiển sử dụng Module Arduino Mega 2560 Pro làm khối điều khiển chính với chức năng giao tiếp với máy tính thông qua chuẩn RS232, điều khiển khối nguồn phân cực, khối cắt ngưỡng và đếm xung theo thời gian.



Hình 10. Module arduino mega 2560 pro.

2.2. Phần mềm điều khiển

Phần mềm điều khiển hệ đo trên máy tính được nhóm nghiên cứu lập trình bằng ngôn ngữ C++ với các chức năng như tự động khảo sát phổ vi phân, thiết lập các thông số đặc trưng của hệ đo gồm điện áp phân cực, ngưỡng trên, ngưỡng dưới, thời gian đo, cũng như cho phép lưu trữ và đồ thị hóa dữ liệu. Giao diện phần mềm được minh họa như Hình 14.



Hình 11. Giao diện chương trình điều khiển hệ đo trên máy tính.



Hình 12. Máy đo đơn kênh (trái) và đầu dò (phải)

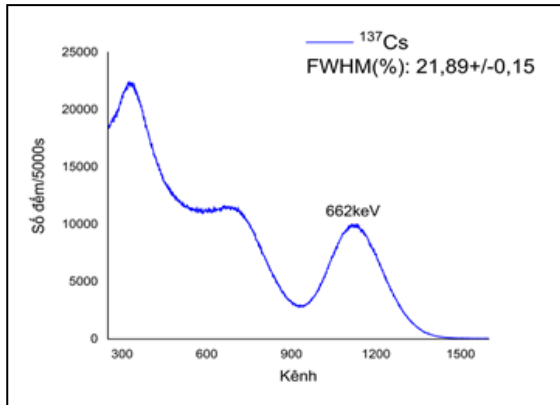
3. Kết quả nghiên cứu

Đầu dò sau khi chế tạo được khảo sát độ phân giải năng lượng sử dụng nguồn chuẩn ^{137}Cs -10,89 μCi , nguồn chuẩn ^{22}Na -1 μCi tại Phòng thí nghiệm Điện tử tự động của Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp. Thông số thí nghiệm được trình bày trong Bảng 1.

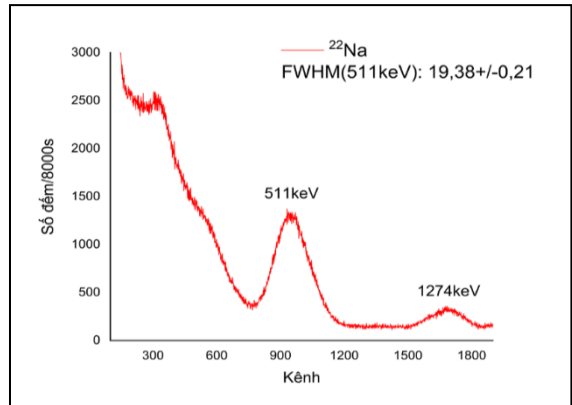
Bảng 1. Thông số thí nghiệm khảo sát hệ đo.

Thông số	Giá trị
Điện áp phân cực	28V
Thời gian đo	5000s
Chiều dài cáp tín hiệu	0,5m

Kết quả khảo sát độ phân giải năng lượng của hệ đo được trình bày trên Hình 16 và Hình 17. Trong đó, độ phân giải năng lượng của nguồn Cs^{137} là $21,89\% \pm 0,15\%$ tương ứng với đỉnh năng lượng là 662 KeV. Độ phân giải năng lượng của nguồn ^{22}Na là $19,38\% \pm 0,21\%$, tương ứng tại đỉnh năng lượng 511 KeV.

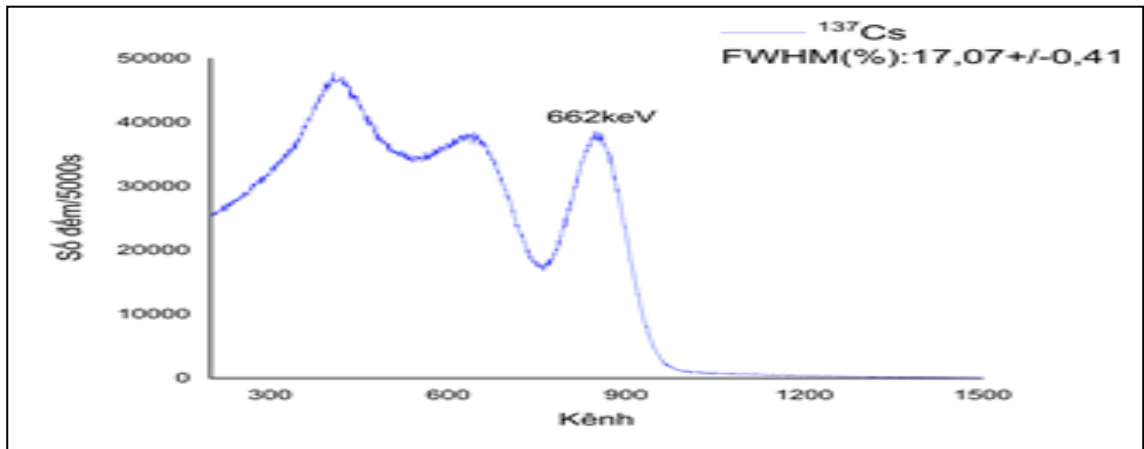


Hình 13. Kết quả đo phổ gamma của nguồn ^{137}Cs



Hình 14. Kết quả đo phổ gamma của nguồn ^{22}Na

Ngoài ra, nhóm nghiên cứu còn thực hiện khảo sát đầu dò của hãng Ludlums sử dụng NaI(Tl) có cùng kích thước với tinh thể ở trên và ghép nối PMT để so sánh. Kết quả độ phân giải năng lượng của nguồn ^{137}Cs là $17,07 \pm 0,41\%$, tương ứng tại đỉnh năng lượng 662 KeV.



Hình 15. Phổ năng lượng của nguồn ^{137}Cs khảo sát bằng đầu dò của hãng Ludlums (NaI(Tl) ghép nối PMT)

Nguyên nhân của sự chênh lệch độ phân giải năng lượng có thể là do SiPM không đồng dạng và cùng kích thước với cửa sổ tinh thể. Trong khi, đầu dò của hãng Ludlums có PMT cùng kích thước và cửa sổ đồng dạng với cửa sổ của tinh thể nên thu nhận được nhiều ánh sáng tạo ra từ tinh thể dẫn đến độ phân giải năng lượng tốt hơn và số đếm tại đỉnh quang điện trong cùng đơn vị thời gian cao hơn.

4. Kết luận

Trong bài báo này, các tác giả đã xây dựng thành công đầu dò gamma sử dụng tinh thể nhấp nháy NaI(Tl) kết hợp nhân quang điện silicon – SiPM và máy đo đơn kênh có các chức năng như cấp nguồn phân cực cho đầu dò, thiết lập thời gian đo, lưu trữ hiển thị dữ

liệu. Máy đo đơn kênh và đầu dò được kiểm tra với nguồn chuẩn ^{137}Cs và ^{22}Na , kết quả đo lần lượt là $FWHM(662\text{KeV}) = 21,89\% \pm 0,15\%$ và $FWHM(511\text{KeV}) = 19,38\% \pm 0,21\%$. Từ các số liệu trên có thể thấy kết quả của nghiên cứu này là tích cực, nếu tiếp tục cải thiện có thể sử dụng loại đầu dò này trong các kỹ thuật soi gamma, kỹ thuật hình ảnh hạt nhân hoặc trong các phòng thí nghiệm hạt nhân của các trường đại học.

Lời cảm ơn:

Công trình này được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Điện tử - Tự động hóa của Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp với kinh phí do Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam cấp thông qua đề tài mã số CS/21/06-01. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A.N. Otte, et al. (2006). Prospects of using silicon photomultipliers for the astroparticle physics experiments EUSO and MAGIC. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 53, 636-640.
- [2] Chesi, G., Malinverno, L., Allevi, A. et al. (2019). Optimizing Silicon photomultipliers for Quantum Optics. *Sci Rep* 9, 7433. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43742-1>
- [3] Ching-Roa, V.D., Olson, E.M., Ibrahim, S.F. et al. (2021). Ultrahigh-speed point scanning two-photon microscopy using high dynamic range silicon photomultipliers. *Sci Rep* 11, 5248. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84522-0>
- [4] D. Renker (2009). New developments on photosensors for particle physics. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*, vol. 598, pp. 207-212.
- [5] G. F. Knoll (2000). *Radiation Detection and Measurement* (John Wiley& Sons, New York).
- [6] Hassane Erramli and Jaouad El Asri (June 26th 2019). Gamma Rays: Applications in Environmental Gamma Dosimetry and Determination Samples Gamma-Activities Induced by Neutrons, Use of Gamma Radiation Techniques in Peaceful Applications, Basim A. Almayah, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.85503. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/66573>
- [7] Lại Viết Hải, Vương Đức Phụng (2020). Xây dựng hệ đo gamma đơn kênh ứng dụng kỹ thuật truyền phát không dây. *Tạp chí Khoa học đại học Thủ Dầu Một*. <https://doi.org/10.37550/tdmu.VJS/2020.01.016>
- [8] Lee, Jin & Lee, Seung-Jae & Chung, Yong (2015). Development of SiPM-based Small-animal PET. *IEIE Transactions on Smart Processing and Computing* 4. 324-329. 10.5573/IEIESPC.2015.4.5.324.
- [9] M. Yokoyama et al. (2010). Performance of multi-pixel photon counters for the T2K near detectors. *Nucl. Instr. Meth.*, vol. A, vol. A 622, pp. 567-573.
- [10] Y. Musienko, Y., E. Auffray, P. Lecoq, S. Reucroft, Swain J., and J. Trummer (2007). Study of multi-pixel Geiger-mode avalanche photodiodes as a read-out for PET. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*, A571 362-5.