

# Nghiên cứu sử dụng PIN photodiode đo phóng xạ gamma liều cao

Nguyễn Văn Sỹ\*

Trung tâm Chiếu xạ Hà Nội

Ngày nhận bài 16/2/2018; ngày chuyển phản biện 19/2/2018; ngày nhận phản biện 19/3/2018; ngày chấp nhận đăng 23/3/2018

## Tóm tắt:

Bài báo trình bày việc sử dụng PIN photodiode để đo phóng xạ gamma liều cao với mục đích thay thế cho ống đếm Geiger-Muller (GM) trong phát triển các thiết bị đo phóng xạ nhỏ gọn và tiết kiệm năng lượng. Sản phẩm thương mại PIN photodiode BPW34 của hãng VISHAY đã được lựa chọn sử dụng. Một mạch điện tử nhiễu thấp sử dụng IC Max4477 và IC Max988 được thiết kế để ghi nhận và xử lý tín hiệu từ đầu đo BPW34. Kết quả thực nghiệm với nguồn phóng xạ cho thấy, BPW34 đủ độ nhạy cho các ứng dụng đo đếm bức xạ gamma và số đếm xung tín hiệu đầu ra của mạch ghi nhận tỷ lệ với suất liều phóng xạ gamma.

**Từ khóa:** BPW34, photodiode, phóng xạ gamma.

**Chỉ số phân loại:** 2.3

## **Đặt vấn đề**

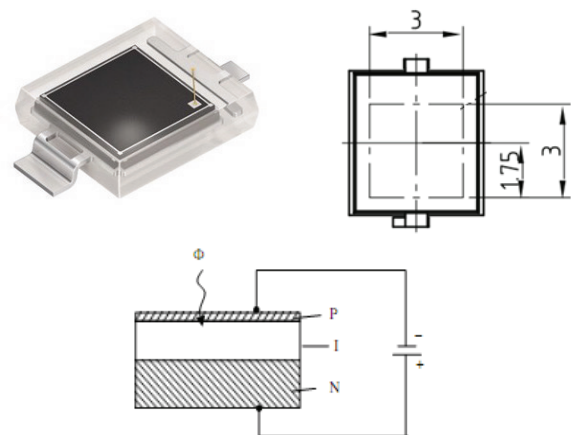
Ống đếm Geiger-Muller (GM) thường được lựa chọn cho mục đích ghi đo bức xạ gamma. Những ống đếm này có giá thành cao và cần một điện áp hoạt động cỡ vài trăm vôn, điều đó làm cho mạch ghi nhận, xử lý tín hiệu phức tạp và dòng điện tiêu thụ lớn. Hiện nay, khi các ứng dụng công nghiệp đòi hỏi sự gọn nhẹ, tiêu thụ dòng nhỏ và giá thành thấp của các thiết bị ghi nhận bức xạ thì việc lựa chọn sử dụng PIN photodiode thay thế cho ống đếm GM để đo đếm bức xạ gamma cần được nghiên cứu và triển khai sử dụng trong thực tế.

PIN photodiode là một loại diode bán dẫn thực hiện chuyển đổi photon thành điện tích theo hiệu ứng quang điện. Các photon có thể là vùng phổ ánh sáng nhìn thấy, vùng phổ hồng ngoại, tử ngoại, vùng tia X hay tia gamma. Tùy vào chất bán dẫn mà chế tạo ra các photodiode có vùng nhạy bước sóng khác nhau. BPW34 là PIN photodiode được chế tạo từ chất bán dẫn Silicon, có độ nhạy rất cao đối với bức xạ ánh sáng và tia hồng ngoại, tuy nhiên chúng cũng có thể ghi nhận tia X và bức xạ gamma năng lượng thấp với độ nhạy đủ cho các ứng dụng đo đếm phóng xạ [1-4].

Nghiên cứu này trình bày nguyên lý ghi nhận bức xạ của PIN photodiode BPW34 và thiết kế chế tạo mạch ghi nhận bức xạ sử dụng đầu dò để thay thế cho ống đếm GM trong các ứng dụng đo đếm phóng xạ có suất liều cao.

## **Đối tượng và phương pháp**

BPW34 đã được nhiều nghiên cứu sử dụng trong ghi nhận bức xạ gamma [5]. Vùng nhạy của nó là tấm silicon kích thước 3x3 mm được đóng gói trong một lớp vỏ nhựa (hình 1) [6]. Cấu trúc của vùng nhạy gồm có lớp bán dẫn I đặt giữa hai lớp N và P, lớp này là vùng bắt giữ các photon để tạo ra dòng quang điện khi có điện áp ngược đặt lên nó.



**Hình 1. Cấu tạo PIN photodiode BPW34.**

PIN photodiode rất nhạy với ánh sáng nên khi sử dụng để ghi đo bức xạ thì phải che chắn tốt ánh sáng nhằm giảm thiểu hoặc triệt tiêu nhiễu với tín hiệu bức xạ [7]. Vật liệu che chắn nên chọn là vật liệu phản xạ hoặc vật liệu tương tự để che chắn ánh sáng nền [7].

\*Email: vansybn@gmail.com

# Study into using PIN photodiode for measurement of high dose gamma radiation

Van Sy Nguyen

Hanoi Irradiation Center

Received 16 February 2018; accepted 23 March 2018

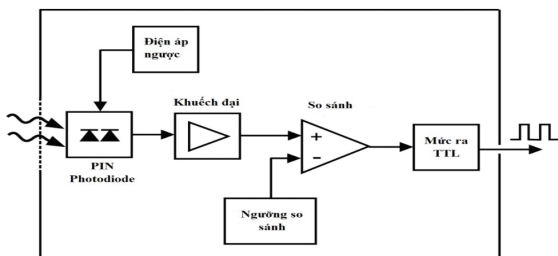
**Abstract:**

This paper presents the use of PIN photodiode for high dose gamma radiation measurement in order to replace the Geiger-Muller (GM) tube in the development of compact and energy-saving radiation measurement devices. The commercial product PIN photodiode BPW34 of VISHAY was selected for this study. A low-noise electronic circuit using Max4477 IC and Max988 IC was designed to record and process signals from the BPW34 probe. Experimental results with radiation sources showed that BPW34 is sensitive enough for gamma radiation measurement applications, and the output pulse counts of the circuit is proportional to the dose rate of gamma radiation.

**Keywords:** BPW34, gamma radiation, photodiode.

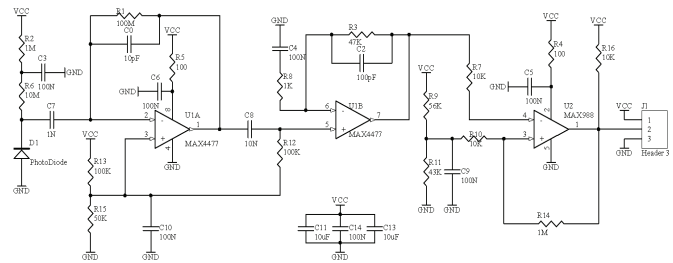
**Classification number:** 2.3

Khi bức xạ tương tác vào PIN photodiode sẽ sinh ra một điện tích theo hiệu ứng quang điện, điện tích này được sinh ra giống như ánh sáng của PIN photodiode [8]. Một bộ khuếch đại nhạy điện tích được sử dụng để chuyển đổi điện tích này thành xung điện áp. Thông thường, một bộ khuếch đại hoạt động với một tốc độ lớn nhưng dòng định thiên nhỏ sẽ được lựa chọn sử dụng [9]. Tiếp theo xung tín hiệu được truyền tới bộ so sánh để tạo thành xung vuông dạng TTL (hình 2). Tín hiệu mức TTL này được đưa tới bộ đếm, số đếm xung tín hiệu sẽ tỷ lệ với số xung bức xạ rơi vào vùng nghèo của PIN photodiode. Bằng cách hiệu chuẩn ta sẽ tìm được mối tương quan giữa giá trị suất liều và số xung ghi nhận được.



Hình 2. Sơ đồ khối ứng dụng PIN photodiode để ghi nhận bức xạ.

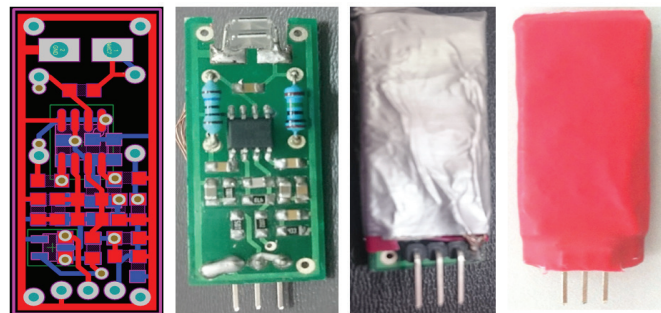
Mạch ghi nhận bức xạ sử dụng BPW34 được thiết kế như trong hình 3. Bộ khuếch đại được chọn trong thiết kế là Max4477, đây là bộ khuếch đại có độ nhiễu thấp, độ méo thấp và băng thông rộng. Max4477 có độ nhiễu điện áp đầu vào thấp  $4.5nV/\sqrt{Hz}$  ở 1 kHz và  $3.5nV/\sqrt{Hz}$  ở 30 kHz [10]. Độ nhiễu dòng đầu vào không đáng kể  $0.5fA/\sqrt{Hz}$  do biên độ nhỏ của nó [10]. Điện dung đầu vào ( $C_{in}$ ) cho bộ khuếch đại là 10 pF và trở kháng đầu vào ( $R_{in}$ ) là 1000 GΩ [10]. Với các thông số như vậy, bộ khuếch đại này được sử dụng làm mạch tiền khuếch đại nhạy điện tích để chuyển đổi điện tích thành điện thế.



Hình 3. Sơ đồ mạch ghi nhận bức xạ gamma.

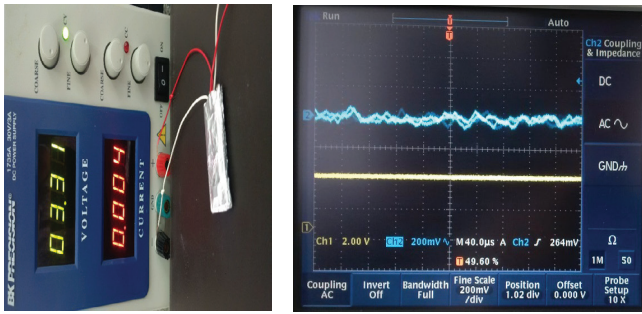
**Kết quả và thảo luận**

Mạch ghi nhận bức xạ sử dụng PIN photodiode BPW34 với một bộ khuếch đại và hình thành xung tín hiệu dạng TTL được thiết kế với kích thước 35x18 mm (hình 4). BPW34 được che chắn ánh sáng bằng lá nhôm mỏng và đồng thời tạo vỏ bọc chống nhiễu cho toàn bộ mạch điện. IC MAX4477 và MAX988 đều có dải điện áp hoạt động từ 2,7 đến 5,5 V, do đó mạch ghi nhận bức xạ gamma được thiết kế cũng có thể hoạt động trong dải điện áp đó với dòng tiêu thụ cỡ vài mA.



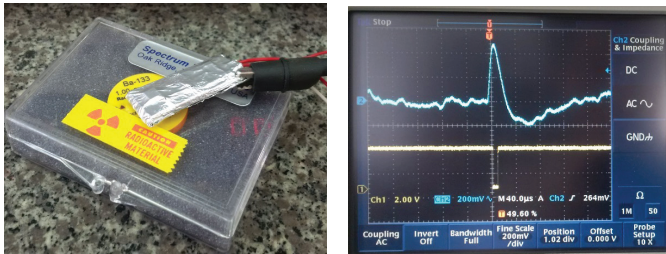
Hình 4. Sơ đồ mạch in và lắp ráp linh kiện mạch ghi nhận bức xạ.

Thử nghiệm mạch đo lấy tín hiệu sau khuếch đại và tín hiệu xung TTL với trường hợp không có nguồn phóng xạ gamma, kết quả cho thấy tại đầu ra mạch khuếch đại không xuất hiện tín hiệu và độ mập mờ đầu ra chỉ cỡ vài chục mV, do đó không có tín hiệu xung đếm TTL tại đầu ra của mạch ghi nhận. Như vậy có thể thấy, với một lá nhôm mỏng đã che chắn được ánh sáng tương tác vào BPW34 và loại bỏ được hoàn toàn tín hiệu do ánh sáng tạo ra (hình 5).



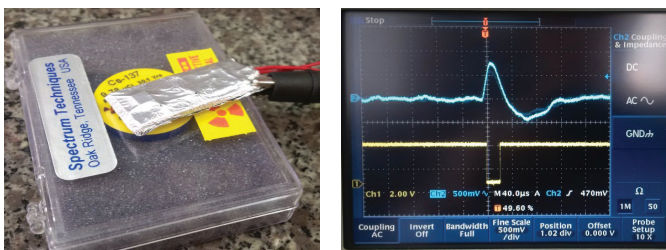
Hình 5. Xung tín hiệu của mạch đo trường hợp không có nguồn phóng xạ.

Thử nghiệm mạch đo lấy tín hiệu sau khuếch đại và tín hiệu xung TTL với trường hợp có nguồn phóng xạ 1  $\mu$ Ci  $^{133}\text{Ba}$  (81 keV và 356 keV), kết quả cho thấy tại đầu ra mạch khuếch đại xuất hiện tín hiệu có biên độ cỡ 500 mV và có tín hiệu xung TTL tại đầu ra của mạch ghi nhận (hình 6).



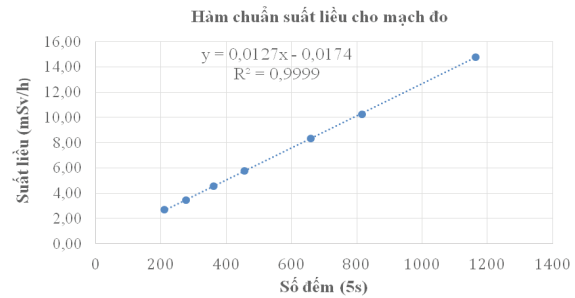
Hình 6. Xung tín hiệu mạch đo trường hợp có nguồn gamma  $^{133}\text{Ba}$ .

Thử nghiệm mạch đo lấy tín hiệu sau khuếch đại và tín hiệu xung TTL với trường hợp có nguồn phóng xạ 10  $\mu$ Ci  $^{137}\text{Cs}$  (662 keV), kết quả cho thấy tại đầu ra mạch khuếch đại xuất hiện tín hiệu có biên độ cỡ 800 mV và có tín hiệu xung TTL tại đầu ra của mạch ghi nhận (hình 7).



Hình 7. Xung tín hiệu mạch đo trường hợp có nguồn gamma  $^{137}\text{Cs}$ .

Để khảo sát độ tuyến tính giữa số đếm xung tín hiệu với suất liều phóng xạ và chuẩn liều cho mạch đo, chúng tôi đã sử dụng nguồn gamma chuẩn  $^{137}\text{Cs}$  với hoạt độ 740 GBq tại phòng chuẩn cấp II của Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân. Đặt mạch đo trong trường chiếu xạ của nguồn chuẩn đó tại 7 vị trí suất liều xác định và ghi lại số đếm trên mạch đo tại mỗi suất liều trong khoảng thời gian 5 giây. Kết quả ta thu được hàm tương quan giữa suất liều và số đếm trình bày trong hình 8.



Hình 8. Đồ thị hàm chuẩn suất liều cho mạch đo.

Theo đồ thị hình 8 ta có được hàm tương quan tỷ lệ tuyến tính giữa suất liều phóng xạ  $y$  và số đếm  $x$  của hệ đo là:  $y = 0,0127 * x - 0,0174$ .

Với  $R^2 = 0,9999$  cho ta thấy, số đếm xung tín hiệu đầu ra tỷ lệ tuyến tính với suất liều gamma tương tác vào PIN photodiode.

### Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã nghiên cứu sử dụng PIN photodiode BPW34 để ghi nhận bức xạ trong chế độ đếm. Thiết kế mạch khuếch đại nhiễu thấp sử dụng MAX4477 và bộ so sánh MAX988 để hình thành xung tín hiệu đếm TTL. Kết quả thực nghiệm cho thấy, PIN photodiode có khả năng phát hiện phóng xạ gamma, số đếm xung tín hiệu đầu ra tỷ lệ tuyến tính với suất liều gamma tương tác vào PIN photodiode. Như vậy, PIN photodiode là một sự lựa chọn tin cậy để thay thế cho các ống đếm GM với mục đích phát triển các thiết bị đo phóng xạ nhỏ gọn và tiết kiệm năng lượng ứng dụng trong các thiết bị y tế và trong công nghiệp.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Beckers (2011), "Verification of radiation meter", *Elektor Magazine*, No.10, pp.44-45.
- [2] Iran Jose Oliveira Da Silva (2000), "Low energy X-ray and gamma spectrometry using silicon photodiodes", *INIS*, 35(5), p.94.
- [3] F.J. Ramirez-Jimenez, L. Mondragón-Contreras, P. Cruz-Estrada (2006), "Application of PIN diodes in Physics Research", *AIP Conf. Proc.*, Vol.857, pp.395-406.
- [4] M.A. Khazhmuradov, N.A. Kochnev, D.V. Fedorchenko (2012), "PIN Photodiodes For Gamma Radiation Measurements", *R&I*, No.4, pp.74-77.
- [5] D.H. Son, H.J. Hyun, D.H. Kah, H.D. Kang, H.J. Kim, H.O. Kim, et al. (2008), "Performance test of the silicon PIN diode with radioactive sources", *Nuclear Science Symposium Conference Record*, NSS '08. IEEE, pp.281-284.
- [6] Vishay Intertechnology (2017), *BPW34 Silicon PIN Photodiode*, <https://www.vishay.com/docs/81521/bpw34.pdf>, accessed May 13, 2017.
- [7] B. Kainka (2011), "Measure Gamma Rays with a Photodiode Radiation detector using a BPW34", *Elektor Magazine*, No.6, pp.22-26.
- [8] Centronic (2017), *Silicon Photodiode Theory*, <http://www.centronic.co.uk/get/aa6d204a-697e-4791-9640-d5915ec8e0c1.pdf>, accessed May 11, 2017.
- [9] B. Kainka (2011), *Measure Gamma Rays With a Photodiode*, <https://www.elektormagazine.com/magazine/elektor-201106/19601>, accessed May 13, 2011.
- [10] M. Integrated (2012), "MAX4475-MAX4478 SOT23, Low-Noise, Low-Distortion, Wide-Band, Rail-to-Rail Op Amps", *Rev.*, 7, pp.11-15.