

Đánh giá hiệu suất bia chuyển đổi electron-tia X sử dụng trong xử lý bức xạ

Nguyễn Anh Tuấn^{1,2,*}, Châu Văn Tạo²



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Chùm electron năng lượng cao phát ra từ các máy gia tốc ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong xử lý thực phẩm, y tế, biến tính vật liệu, đổi màu đá bán quý và xử lý môi trường gồm nước thải, khí thải và bùn thải. Chùm electron phát ra từ máy gia tốc chỉ hữu hiệu trong việc xử lý bề mặt vì khả năng xuyên sâu thấp, do đó khi cần xử lý khối vật liệu có mật độ mặt cao chùm electron được bắn vào bia nặng để chuyển đổi sang tia X theo cơ chế phát bức xạ hãm. Trong báo cáo này, hiệu suất chuyển đổi tia X được xác định bằng thực nghiệm đo liều hấp thụ gây ra bởi chùm electron và chùm photon kết hợp mô phỏng MCNP4c2 cho các bia khác nhau, với các mức năng lượng chùm electron tới bia 5 MeV, 7,5 MeV và 10 MeV. Kết quả mô phỏng MCNP4c2 và đo thực nghiệm đo liều bằng liều kế phim cho thấy hiệu suất chuyển đổi phụ thuộc vào vật liệu bia và năng lượng chùm electron tới. Hiệu suất chuyển đổi cao nhất khi sử dụng bia hỗn hợp Ti – H₂O – Pb, với kết quả tương ứng với các mức năng lượng 5,0 MeV, 7,5 MeV và 10,0 MeV là 5,57 %, 7,12 % và 13,54 %. Bia hỗn hợp Ti – H₂O – Pb có tính ứng dụng thực tế cao vì bia được cấu tạo với 3 lớp vật liệu vỏ bọc Ti có chức năng chịu lực, chịu nhiệt, nước giải nhiệt được luân chuyển giữ lớp Ti và Pb để giải nhiệt cho bia.

Từ khoá: máy gia tốc electron, chiếu xạ thực phẩm, bia chuyển đổi tia X

GIỚI THIỆU

Hiệu suất bia chuyển đổi electron – photon từ chùm electron năng lượng cao¹ được tính toán, đo đạc nhằm mục đích chế tạo bia có hiệu suất chuyển đổi cao nhất sử dụng để xử lý thực phẩm², y tế, biến tính vật liệu có mật độ mặt cao. Ngoài ra, xác suất phát photon còn được sử dụng để đánh giá phần năng lượng không được hấp thụ³ trong sản phẩm chiếu xạ (năng lượng thoát ra dưới dạng photon). Góc bay và cường độ phát photon cũng được sử dụng để tính toán và thiết kế che chắn an toàn cho nhân viên bức xạ và dân chúng xung quanh cơ sở bức xạ.

Bia chuyển đổi tia X được tính toán cho năng lượng 5,0 MeV và 7,5 MeV trong⁴, phân bố góc của chùm bức xạ hãm sau bia đồng và bia volfram được nhóm tác giả Kazuaki Kosako mô phỏng và đo đạc cho các mức năng lượng electron 18, 28 và 38 MeV⁵. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã tính toán chiều dày bia để đo liều electron trên bề mặt bia, liều photon trong giữa các bia nhằm xác định hiệu suất chuyển đổi electron – tia X⁶ tại mức năng lượng 10 MeV cho bia đơn chất và 5,0 7,5, 10 MeV cho bia hỗn hợp.

PHƯƠNG PHÁP

Mô phỏng và tính toán chiều dày bia chuyển đổi cho chùm electron năng lượng 10MeV

Bia chuyển đổi được tính toán dựa trên độ xuyên sâu của chùm electron 10MeV để đảm bảo chắn hoàn toàn chùm electron chỉ cho tia X xuyên qua⁶. Độ xuyên sâu của chùm electron 10MeV phụ thuộc vào mật độ và chiều dày bia vật liệu. Mật độ và chiều dày bia được đặc trưng bởi một đại lượng duy nhất là mật độ mặt, r_A (Area Density):

$$\rho_A = \rho \times d \text{ [g/cm}^2\text{]} \quad (1)$$

Chiều dày bia được xác định từ đường phân bố liều theo mật độ mặt đã được đo dưới máy gia tốc UELR-10-15S2 với hai đầu quét chiếu lên hai mặt của bia trong Hình 1.

Theo Hình 1, chùm electron năng lượng 10MeV chỉ xuyên qua 5,0 g/cm², do đó bia chuyển đổi tia X được thiết kế với mật độ mặt nằm trong khoảng: $11,0 \leq \rho_A \leq 17,0 \text{ [g/cm}^2\text{]}$, và bề dày bia: $11,0/\rho \leq d \leq 17,0/\rho \text{ [cm]}$.

Khi đó, liều đo được tại tâm của bia khi chiếu xạ hai mặt trên máy gia tốc UELR-10-15S2 chỉ do tia X tạo ra.

Bia chuyển đổi được thiết kế phù hợp cho các vật liệu khác nhau, mô hình thí nghiệm được mô phỏng bằng

¹Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ

²Khoa Vật lý – Vật lý Kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, ĐHQG-HCM

Liên hệ

Nguyễn Anh Tuấn, Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ

Khoa Vật lý – Vật lý Kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, ĐHQG-HCM

Email: natuan3584@gmail.com

Lịch sử

- Ngày nhận: 30-12-2018
- Ngày chấp nhận: 18-9-2020
- Ngày đăng: 17-10-2020

DOI: 10.32508/stdjns.v4i4.666

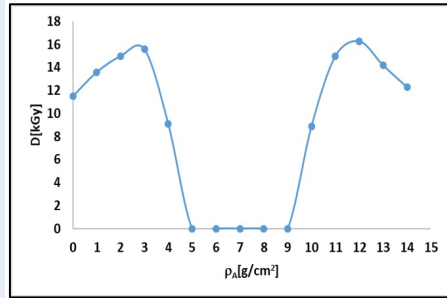


Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Trích dẫn bài báo này: Tuấn N A, Tạo C V. Đánh giá hiệu suất bia chuyển đổi electron-tia X sử dụng trong xử lý bức xạ. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 4(4):737-743.



Hình 1: Đường phân bố liều theo mật độ mặt được đo trên máy gia tốc UELR-10-15S2

MCNP4c2⁷ (Hình 2) để tính liều trên bề mặt bia (chỉ do electron tạo ra) và giữa tâm bia (chỉ do tia X tạo ra) để xác định hiệu suất chuyển đổi electron – tia X.



Hình 2: Mô phỏng MCNP cho cấu hình chiếu mẫu trên máy gia tốc electron UELR-10-15S2.

Trong giữ liệu đầu vào (Input File) của chương trình MCNP4c2, nguồn electron được mô tả là một chùm tia song song hướng thẳng xuống bia, kích thước nguồn: 40×2 cm. Bia đặt cách nguồn 40 cm và chúng được dịch chuyển từng bước qua vị trí nguồn electron, bước dịch chuyển 1,0 cm. Liều hấp thụ trên bề mặt bia và liều hấp thụ tại tâm bia được lấy tổng liều trong các giữ liệu đầu ra (Output File).

Thực nghiệm đo liều

Dụng cụ và thiết bị đo

Thiết bị đo liều gồm liều kế phim B3000, hãng sản xuất GEX, Đức, với giải liều 0,5 ÷ 3,5 kGy, sai số 5%. Liều kế phim đo liều hấp thụ thông qua độ đen phim khi bị chiếu bởi chùm electron hoặc tia X⁸.

Liều kế phim được đo độ đen trên máy quang phổ GENSYS 20, hãng sản xuất Thermo Science, máy đo được hiệu chuẩn 6 tháng/lần. Bảng quy chuẩn từ độ đen phim sang liều hấp thụ được cung cấp bởi hãng

sản xuất. Liều kế phim B3000 và hệ đo GENSYS 20 được cho trong Hình 3.

Nguồn electron từ máy gia tốc UELR-10-15S2, CORAD-Russia, với mức năng lượng 10 MeV, công suất 15kW, hai đầu quét với bề rộng quét cực đại 50cm.

Chuẩn bị bia tạo tia X

Hiệu suất chuyển đổi electron – tia X được đo dưới các bia (Hình 4): nhựa polypropylene (PP), nhôm (Al), sắt (Fe) và chì (Pb) để xác định sự phụ thuộc của hiệu suất chuyển đổi vào mật độ của bia. Bề dày các bia được tính toán theo công thức (1), các giá trị được cho trong Bảng 1.

Bảng 1: Bề dày các bia chuyển đổi tia X

Bia	Mật độ, g/cm ³	Bề dày, cm
Nhựa PP	0,95	14,0
Al	2,7	6,0
Fe	7,8	2,0
Pb	11,3	1,2

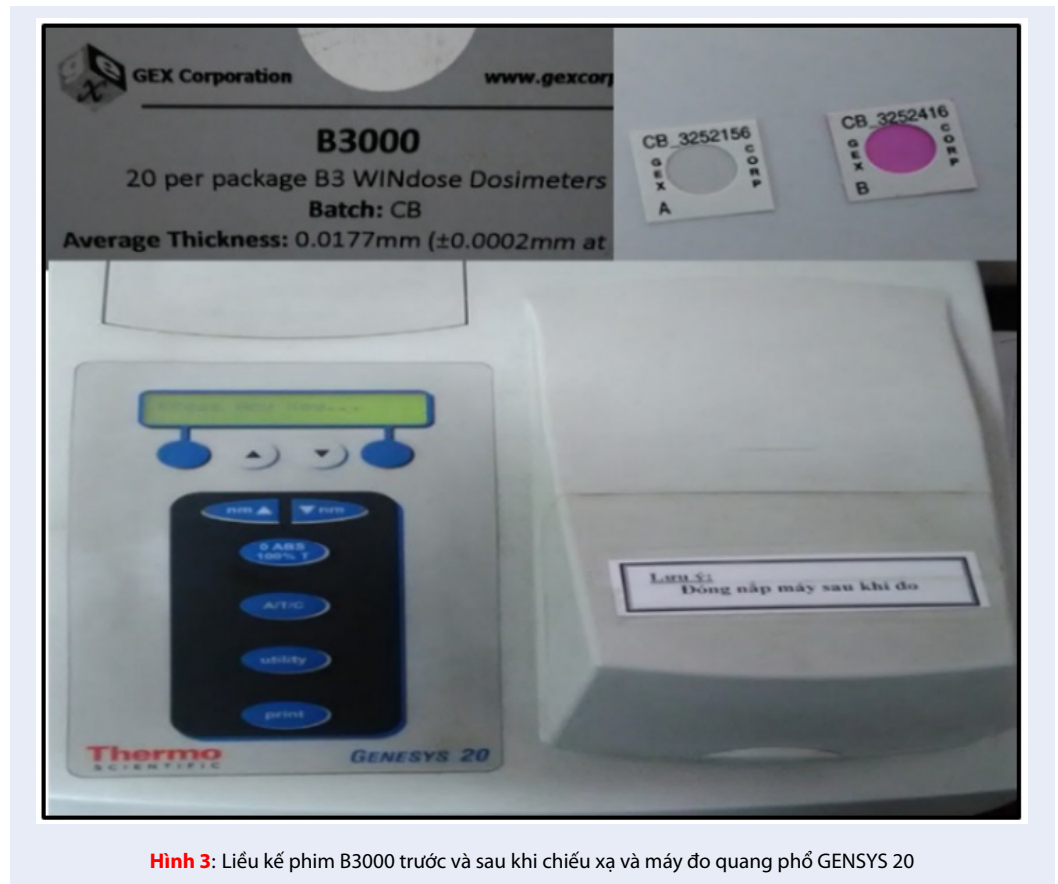
Chiếu mẫu và đo liều electron và tia X trên các bia chuyển đổi

Dựa theo kết quả mô phỏng MCNP, thông số máy và thời gian chiếu mẫu được xác định trong Bảng 2, thí nghiệm được bố trí như trong Hình 5 cho tất cả các lần chiếu bia. Liều kế phim được đặt trên bề mặt bia để đo liều electron và được lấy ra sau mỗi lần chiếu, còn liều kế phim đặt tại tâm bia chỉ được lấy ra sau khi kết thúc chiếu để đo liều tia X.

Bảng 2: Thông số cài đặt cho máy gia tốc khi chiếu các bia

Thông số	Giá trị
Năng lượng trung bình, MeV	9,8
Công suất dòng, mA	960
Độ rộng quét, cm	50
Vận tốc băng chuyển, m/phút	0,5
Liều tại bề mặt bia, kGy	28,0
Số lần chiếu để đo liều electron	01
Số lần chiếu để đo liều X-ray	10

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



Hình 3: Liều kế phim B3000 trước và sau khi chiếu xạ và máy đo quang phổ GENESYS 20

Kết quả mô phỏng MCNP cho phổ electron, phổ photon (bức xạ hãm) sau bia

Phổ electron được xác định tại các khoảng cách khác nhau dưới đầu chiếu electron của máy gia tốc UELR-10-15S2, còn phổ photon được xác định sau bia Al đặt cách nguồn electron 10 cm. Kết quả được cho trong Hình 6.

Kết quả đo thực nghiệm và mô phỏng MCNP hiệu suất chuyển đổi electron – tia X

Hiệu suất chuyển đổi của các bia: nhựa PP, Al, Fe và Pb thu được từ thực nghiệm đo liều như trong Bảng 3. Hiệu suất chuyển đổi của các bia nguyên chất và bia hỗn hợp thu được từ mô phỏng MCNP được cho trong Bảng 4.

Hiệu suất chuyển đổi electron – tia X theo mật độ và theo năng lượng được cho trong Hình 7.

KẾT LUẬN

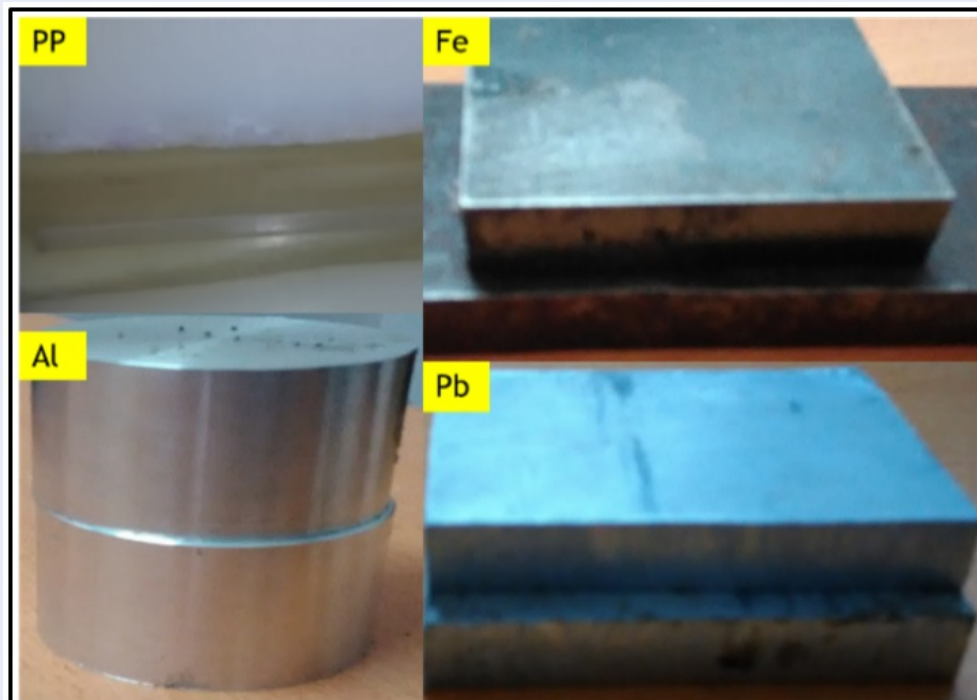
Các tính toán và đo đặc hiệu suất chuyển đổi từ electron sang tia X qua các bia khác nhau tại một cơ sở chiếu xạ đã cung cấp bộ số liệu cần thiết để đánh giá sự hấp thụ electron trong sản phẩm^{9,10}, thiết kế và đánh

giá an toàn bức xạ cho cơ sở và thiết kế bia chuyển đổi với hiệu suất cao. Theo đó, khi electron năng lượng 10MeV chiếu lên các vật liệu nhẹ ($r < 1,0 \text{ g/cm}^3$) hiệu suất sinh photon là không đáng kể (0,7%), nhưng khi chiếu lên các vật liệu nặng (Fe, Pb) hiệu suất sinh photon sẽ cao (4,3% đối với bia Pb). Do vậy, khi thiết kế che chắn¹¹ không nên sử dụng vật liệu nặng trên đường bay của chùm electron để hạn chế hiệu suất phát sinh photon năng lượng cao.

Kết quả đo đặc kết hợp mô phỏng MCNP cũng cho thấy độ tin cậy của phương pháp mô phỏng và chúng được sử dụng trong trường hợp không thể đo thực nghiệm hoặc việc làm thực nghiệm quá tốn kém. Trong báo cáo này, mô phỏng MCNP được tính cho bia Al và kết quả trùng khớp với đo thực nghiệm, sau đó tính trên bia hỗn hợp Ti – H₂O – Pb tại các mức năng lượng 5,0, 7,5 và 10,0 MeV. Kết quả mô phỏng trên bia hỗn hợp cho hiệu suất chuyển đổi electron – tia X cao và chúng được sử dụng khi cần chuyển từ electron sang tia X khi cần.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

MCNP: Chương trình mô phỏng chuyên cho bức xạ (Monte Carlo for n-Particle)



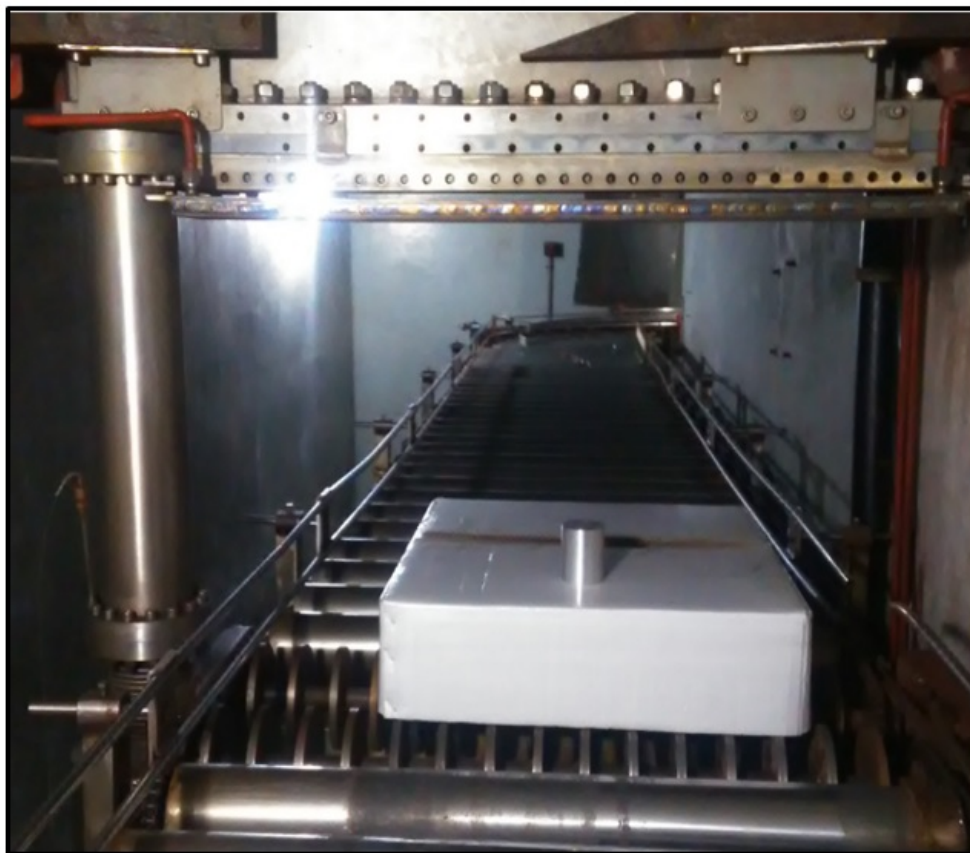
Hình 4: Các bia chuyển đổi được chiếu xạ dưới máy gia tốc electron 10MeV UELR-10-15S2

Bảng 3: Kết quả đo thực nghiệm trên các bia

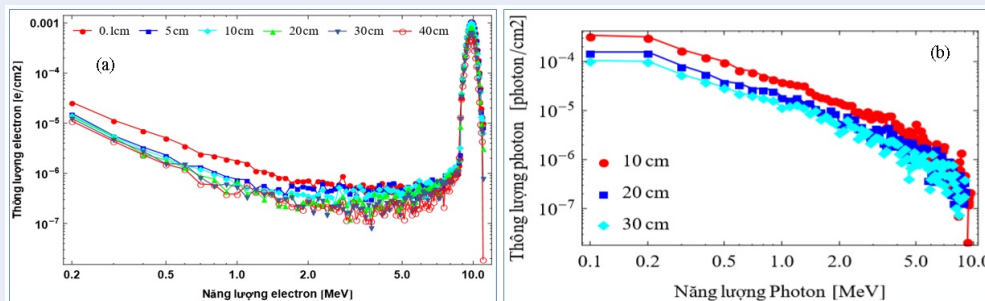
Bia	Năng lượng electron (MeV)	D_{e^-} (kGy)	Sai số (kGy)	DX-ray (kGy)	Sai số (kGy)	Hiệu suất chuyển đổi X-ray/e- (%)
Nhựa PP	9,8 ±0,5	270,0	13,5	1,8	0,03	0,7
Al	9,8 ±0,5	230,0	11,5	2,0	0,04	0,9
Fe	9,8 ±0,5	266,0	13,3	4,7	0,09	1,8
Pb	9,8 ±0,5	180,0	9,0	7,8	0,22	4,3

Bảng 4: Kết quả mô phỏng MCNP

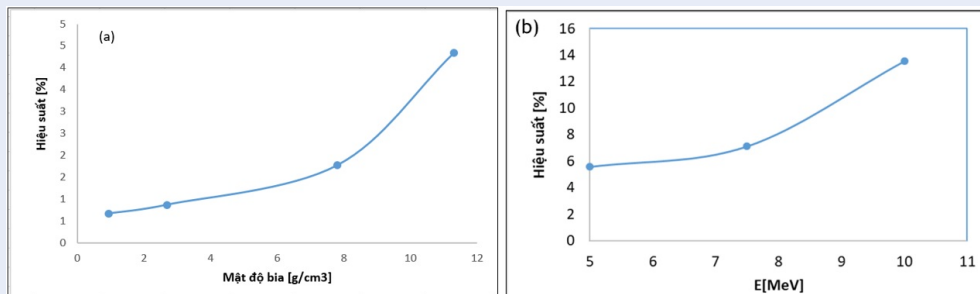
Năng lượng electron, (MeV)	Bia chuyển đổi	Hiệu suất chuyển đổi X-ray/e- (%)
10,0	PP	0,56
10,0	Al	0,63
10,0	Fe	1,7
10,0	Pb	4,0
10,0	Ti-H ₂ O-Pb	13,54
7,5	Ti-H ₂ O-Pb	7,12
5,0	Ti-H ₂ O-Pb	5,57



Hình 5: Bố trí thí nghiệm khi chiếu bia chuyển đổi tia X dưới máy gia tốc electron 10MeV UELR-10-15S2



Hình 6: a) Phổ electron tại các khoảng cách khác nhau dưới đầu quét electron của máy gia tốc UELR-10-15S2, và b) phổ photon sau bia Al với các khoảng cách khác nhau



Hình 7: a) Hiệu suất chuyển đổi electron – tia X phụ thuộc vào mật độ bia tại mức năng lượng electron 10MeV trên máy gia tốc UELR-10-15S2, và b) hiệu suất chuyển đổi electron – tia X sau bia Ti – H₂O – Pb theo các mức năng lượng electron tới

UEL-10-15S2: Mã hiệu của máy gia tốc tuyến tính
GEX: hãng sản xuất liêu kế phim

XUNG ĐỘNG LỢI ÍCH

Nhóm tác giả cam kết không có mâu thuẫn về quyền lợi và nghĩa vụ của các thành viên

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Nguyễn Anh Tuấn mô phỏng MCNP, thực nghiệm đo liều trên máy gia tốc UELR-10-15S2 xử lý số liệu và viết bài báo

Châu Văn Tạo đưa ra ý tưởng, cấu trúc và chỉnh sửa văn phong trong bài báo

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Biarrotte JL. RF - Cavity for Particle Acceleration. VAEC Accelerator School, Hanoi. 2009;
2. Singh RP. Advances in Food Engineering I (Food Engineering and Manufacturing) (v.1). CRC Press edition 1. 1992;
3. Humphreys JC, Ctiappell SE, McLaughlin WL, Jarrett RD. Measurement of Depth - Dose -Distributions in Carbon, Aluminum, Polyethylene, and Polystyrene for 10 MeV Incident Electrons. NBSIR. 1973;p. 73–413. Available from: <https://doi.org/10.6028/NBS.IR.73-413>.
4. Miller RB. Electronic Irradiation of Food. Albuquerque, New Mexico. 2005;
5. Kosako K, Oishi K, Nakamura T, Takada M, Sato K, Kamiyama T, et al. Angular Distribution of Bremsstrahlung from Copper and Tungsten Targets Bombarded by 18, 28, and 38MeV Electrons. Journal of Nuclear Science and Technology. 2010;47(3):286–294. Available from: <https://doi.org/10.1080/18811248.2010.9711956>.
6. International Irradiation Association. Industrial Radiation with Electron Beams and X-rays, Reversion 6. 2011;
7. Briesmeister JF. Los Alamos National Laboratory. Monte Carlo N-Partical Code System, Los Alamos, New Mexico. 2000;
8. ISO/ASTM-51649:2005(E). Standard Practice for Dosimetry in Electron Beam Facility Radiation Processing at Energy Between 300 keV and 20 MeV. ISO/ASTM International. 2005;p. 1–28.
9. Ritchie JA. Mobile Electron Beam for Food Irradiation. University of Tennessee Thesis Projects. 2009;Available from: http://trace.tennessee.edu/utk_chanhonoproj/1314.
10. Petwal VC, Rao JN, Dwivedi J, Senecha VK, Subbaiah KV. Dosimetric measurements and Monte Carlo simulation for achieving uniform surface dose in pulsed electron beam irradiation facility. PARAMANA Journal of Physics. 2010;74(3):457–468. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12043-010-0041-8>.
11. Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100 MeV Particle Accelerator Facilities. National Council on Radiation and Measurements. 1997;(51).

Assessment of X-Ray converter for electron beam radiation processing facility

Nguyen Anh Tuan^{1,2,*}, Chau Van Tao²



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Recently, a high energy electron beam from accelerators studied on the application for foods and medical devices irradiation, therapy, denature material, discolored semi-precious stones and degradation of environment pollution (Gas, Water, and Sludge Waste). The advantages of electron beam from accelerators are high power density and easy focusing on the target, but electron beam is only useful to irradiate on the surface of the irradiation product because their penetration is short. In order to irradiate high area density products, the X-ray converter is used to generate photon (bremsstrahlung effect). In this article, converting efficiency and direction of X-ray emission is measured by film dosimeter and simulated by MCNP-4c2 code. Measurement and simulation results show that converting efficiency depends on materials of the targets and electron energy, the converting efficiency of Ti – H₂O – Pb converter at electron beam energy 5.0 MeV, 7.5 MeV, and 10.0 MeV are 5.57 %, 7.12 %, and 13.54 %. Ti – H₂O – Pb converter is made up of 3 layers of Ti wrap material with the function of bearing, heat resistance, circulating cooling water between Ti and Pb layers to cooling, so it is applied for the accelerator.

Key words: electron beam, food irradiation, X-ray converter

¹Research and Development Center for Radiation Technology

²Faculty of Physics and Engineering Physics, University of Science, VNU-HCM

Correspondence

Nguyen Anh Tuan, Research and Development Center for Radiation Technology

Faculty of Physics and Engineering Physics, University of Science, VNU-HCM

Email: natuan3584@gmail.com

History

- Received: 30-12-2018
- Accepted: 18-9-2020
- Published: 17-10-2020

DOI :10.32508/stdjns.v4i4.666



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Tuan N A, Tao C V. **Assessment of X-Ray converter for electron beam radiation pro-cessing facility.** *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 4(4):737-743.