



بررسی تجربی آشکارسازی نوترون با استفاده از کامپوزیت پلی وینیل الکل - کرید بور

شهریار ملکی^{۱*}، سید مهدی هاشمی دیزجی^۱، فرهود ضیائی^۱، ناهید حاجیلو^۱، صدیقه کاشیان^۱، ارژنگ شاهور^۱، امیر ویسکرمی^۲

۱ پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها، کرج

۲ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی هسته‌ای، تهران

چکیده

افزایش تقاضا به منظور اندازه‌گیری تابشهای یونساز در صنعت هسته‌ای، کاوشهای جدیدی را به منظور بکارگیری مواد جدید در حوزه آشکارسازی و دزیمتری پرتوهای یونساز شکل داده است. از جمله عوامل مؤثر در آشکارسازی نوترون، تغییر جریان الکتریکی کامپوزیت در اثر جذب پرتو است. در این کار تجربی کامپوزیت $PVA-B_4C(5wt\%)$ با ضخامت 3 mm به روش محلولی ساخته شد. کامپوزیت مذکور تحت پرتودهی نوترون مربوط به چشمه $^{241}Am-Be$ و ولتاژ 100 V قرار گرفت. نتایج اندازه‌گیری بار الکتریکی توسط الکترومتر نشان داد که کامپوزیت $PVA-B_4C(5wt\%)$ قابلیت آشکارسازی نوترونها را داراست و پاسخ آشکارسازی این کامپوزیت به نوترونهای حرارتی بیشتر از نوترونهای سریع است.

کلید واژه: آشکارسازی، نوترون، PVA، B_4C ، بار الکتریکی

Experimental investigation of neutron detection using Boron Carbide-Polyvinyl Alcohol

Shahryar Malekie^{*1}; Seyed Mehdi Hashemi Dizaji¹; Farhood Ziaie¹; Nahid Hajiloo¹; Sedigheh Kashian¹; Arjang Shahvar¹; Amir Veiskarami²

Nuclear Science & Technology Research Institute, Radiation Application Research School, Karaj

²Department of Radiological and Nuclear Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran

Abstract

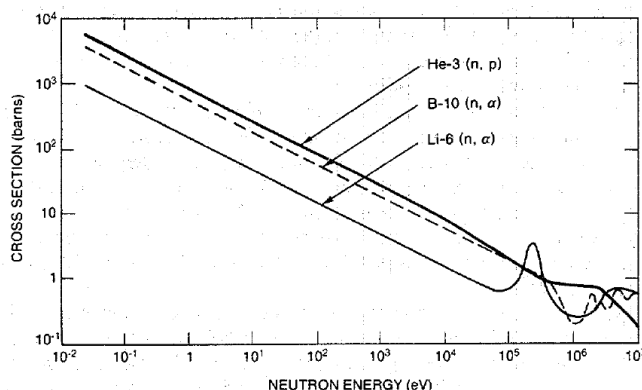


Increasing demand for measuring the ionizing radiation in the nuclear industry has shaped new exploration for the use of new materials in the ionizing radiation detection and dosimetry field. One of the effective factors in neutron detection is the electric current change in the composite due to beam absorption. In this experimental work, PVA-B₄C (5wt%) composite with a thickness of 3 mm was fabricated by solution processing. The aforementioned composite was irradiated by neutron beam related to a ²⁴¹Am-Be source applying a 100 V voltage. The results of measurement using an electrometer showed that the PVA-B₄C (5wt%) composite was able to detect neutrons, and the detection response of this composite to thermal neutrons is greater than that of fast neutrons.

Keyword: Detection, Neutron, PVA, B₄C, Electric charge

مقدمه

از جمله مواد بکار رفته در آشکارسازی و دزیمتری تابشهای یونساز، کامپوزیت های پلیمری را می توان نام برد. این گونه مواد به خاطر سبکی، سهولت در فرآوری، دارا بودن چگالی معادل بافت و هزینه نسبتاً پایین دارای مزایای فراوانی هستند. در این پژوهش از کامپوزیت پلی وینیل الکل-کربید بور (PVA-B₄C) به عنوان آشکارساز نوترون بهره گیری شده است. پلی وینیل الکل (PVA) ماده ای غیر سمی، زیست سازگار و محلول در آب است. کربید بور (B₄C) نیز به خاطر دارا بودن اتمهای بور (B) قابلیت جذب نوترونهای حرارتی را داراست. از جمله عوامل مؤثر در پاسخ آشکارسازی کامپوزیت های پلیمری، تغییر جریان الکتریکی کامپوزیت در اثر جذب نوترون است. نویسندگان در کارهای قبلی اثر پرتوهای گاما بر خواص الکتریکی فیلم کامپوزیتی HDPE-Carbon Nanotube را به صورت شبیه سازی و تجربی بررسی نمودند [۱-۷]. در زمینه آشکارسازی نوترون با استفاده از کامپوزیتهای پلیمر-بور چندین کار پژوهشی صورت گرفته است [۸-۱۰]. بور طبیعی دارای دو ایزوتوپ پایدار ¹¹B (80.1%) و ¹⁰B (19.9%) است. ایزوتوپ ¹⁰B به علت بالا بودن سطح مقطع جذب نوترونی بسیار بالا، به منظور گیراندازی نوترونهای حرارتی به کار می رود. در شکل ۱ نمایی از سطح مقطع ایزوتوپ های ¹⁰B، ³He و ⁶Li به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱ نمایی از مقایسه سطح مقطع جذب نوترون برای ^{10}B و دو ایزوتوپ دیگر [۱۱].

واکنش گیراندازی نوترون با ^{10}B به صورت زیر است [۸]:



یونهای پر انرژی Li و He (آلفا) دارای تکانه مساوی و در خلاف جهت یکدیگرند و از طریق اندرکنش با ماده، انرژی خود را از دست می دهند. پرتوهای کامپوزیت PVA-B₄C با نوترون، از طریق گیراندازی نوترونیهای حرارتی توسط ^{10}B منجر به ایجاد یونش و متعاقب آن تشکیل جفت الکترون-حفره هایی در ماده می شود که با اعمال ولتاژی مناسب به کل کامپوزیت می توان بار الکتریکی را از طریق الکترودهای متصل به دستگاه الکترومتر گردآوری نمود و از این طریق می توان به آشکارسازی نوترونیهای حرارتی پی برد. شایان ذکر است که رسانندگی الکتریکی پودر سرامیکی کریید بور در دمای اتاق حدود 140 S/m بوده که در مقایسه با رسانندگی الکتریکی پلی وینیل الکل ($1.25 \times 10^{-13} \text{ S/m}$) بسیار بالاتر است و این اختلاف هدایت الکتریکی در دو ماده فوق منجر به افزایش هدایت الکتریکی کل کامپوزیت شده که در غیاب تابش، در اثر اعمال ولتاژ مناسب به آن می توان به گردآوری بار الکتریکی پرداخت که در حضور تابش، به علت ایجاد یونش در کامپوزیت، مقدار بارهای گردآوری شده نسبت به مقدار آن در غیاب تابش افزایش نشان می دهد. این افزایش هدایت الکتریکی کامپوزیت در اثر جذب تابش یونساز می تواند مربوط به افزایش آهنگ ترابرد الکترونها از طریق پدیده



های تونل زنی کوانتومی^۱ و جهش^۲ الکترونها در ساختار اتمی مواد بکار گرفته شده باشد. در این کار تجربی، آشکارسازی نوترونهاى مربوط به چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ از طریق افزودن پودر B_4C به بستر PVA با درصد وزنی % 5 wt در دستور کار قرار گرفته است.

مواد و روشها

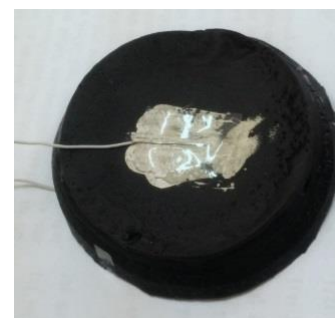
به منظور ساخت کامپوزیت $\text{PVA-B}_4\text{C}(5\text{wt}\%)$ ، پلی وینیل الکل (PVA) و کربید بور (B_4C) با متوسط سایز ذرات بین $2-6 \mu\text{m}$ هر دو به صورت پودر تهیه شدند. آب مقطر به عنوان حلال PVA تهیه شد. به منظور ساخت الکتروود در دو طرف نمونه کامپوزیتی چسب نقره امریکایی Chemtronics تهیه و به کار گرفته شد. در ابتدا پلیمر PVA در آب مقطر به کمک همزن مغناطیسی در دمای 80°C حل شده، همزمان در ظرف دیگری پودر B_4C به مدت 30 min در آب مقطر توسط حمام اولتراسونیک به مدت یک ساعت در فرکانس 40 kHz فراصوت دهی شد، تا اینکه پودر مذکور کاملاً در آب پخش گردید. سپس این دو ظرف با یکدیگر مخلوط و درون قالب سیلیکون با سطح مقطع دایره ای به قطر 5 cm ریخته شد و به مدت یک شبانه روز در آن 90°C قرار گرفت تا حلال کاملاً خارج گردید. در نهایت کامپوزیت $\text{PVA-B}_4\text{C}(5\text{wt}\%)$ با ضخامت 3 mm مطابق شکل ۲-الف تشکیل شد که پس از لایه نشانی با چسب نقره آماده استفاده گردید.



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۲- نمایی از الف) کامپوزیت $\text{PVA-B}_4\text{C}(5\text{wt}\%)$ و لایه نشانی چسب نقره روی آن، ب) دستگاه الکترومتر Supermax Standard Imaging و ج) سیستم پرتودهی نوترون $^{241}\text{Am-Be}$ در این کار تجربی.

¹ Quantum tunneling

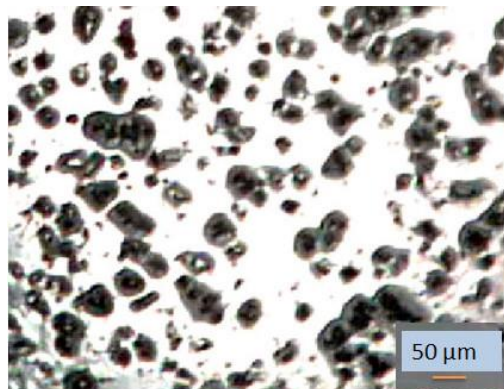
² Hopping



در ادامه بار الکتریکی نمونه کامپوزیتی (PVA-B₄C(5wt%)) ابتدا در غیاب نوترون و سپس در حضور نوترون (نوترونهای حرارتی و سریع) در دمای اتاق و تحت ولتاژ 100 V به روش دو پروبی توسط الکترومتر مدل Supermax Standard Imaging (شکل ۲-ب) در بازه‌های زمانی پانزده ثانیه ای قرائت گردید. به منظور اطمینان از صحت داده‌های اندازه گیری شده و بررسی تکرارپذیری بودن نتایج، اندازه‌گیری مذکور در هر حالت سه بار تکرار شد. در این کار تجربی به منظور پرتودهی کامپوزیت (PVA-B₄C(5wt%)) مطابق شکل ۲-ج از چشمه ²⁴¹Am-Be واقع در آزمایشگاه نوترون پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای-کرج استفاده شد که متوسط انرژی نوترونهای خروجی در آن برابر 5 MeV و اکتیویته چشمه 5 Ci است.

نتایج

در شکل ۳ تصویر میکروسکوپی نمونه کامپوزیتی (PVA-B₄C(5wt%)) در بزرگنمایی 50 μm توسط میکروسکوپ دیجیتالی Dino-Lite به تصویر کشیده شده که به پخش همگن کریستالهای B₄C در بستر پلی وینیل الکل دلالت دارد. البته از شکل پیداست که مقداری تجمع ذرات به صورت کلوخه ای^۳ در بستر پلیمر وجود دارد که می تواند به دلیل زمان ناکافی برای فراصوت دهی نمونه مذکور توسط حمام اولتراسونیک در فرکانس مربوطه باشد.



شکل ۳- تصویر نوری نمونه کامپوزیتی (PVA-B₄C(5wt%)) در بزرگنمایی 50 μm توسط میکروسکوپ دیجیتالی.

³ Agglomeration



در شکل ۴ بار الکتریکی گردآوری شده توسط الکترومتر در بازه های زمانی پانزده ثانیه ای مربوط به حالات مختلف: قبل از پرتودهی نوترون (Q_0)^۴، در حین پرتودهی نوترونهاي حرارتی ($Q_{Thermal}$)^۵ و نوترونهاي سریع (Q_{Fast})^۶ به همراه خطای آن نمایش داده شده است که به منظور حرارتی کردن نوترونها از صفحات پلکسی گلس حاوی آب استفاده شد. همانطور که از این شکل پیداست، مقدار خطای اندازه گیری Q_0 برابر 1.3%، خطای $Q_{Thermal}$ برابر 0.1% و Q_{Fast} برابر 0.7% گزارش شد. همچنین دقت دستگاه الکترومتر برابر 0.01 nC گزارش شد. همانطور که ذکر شد علت گردآوری بار در غیاب تابش به ویژگی های الکتریکی ماده کامپوزیتی مذکور در حضور ولتاژ و میدان الکتریکی اعمالی به کامپوزیت و متعاقب آن ایجاد پدیده های تونل زنی کوانتومی و جهش الکترونها در ماده بر می گردد. شایان ذکر است که نوترونهاي سریع مربوط به حالتی است که چشمه نوترونی بدون کند کننده در امتداد کولیماتور قرار گرفته است. همانطوری که از این شکل پیداست، مقدار بار الکتریکی گردآوری شده مربوط به پرتودهی نوترونهاي حرارتی نسبت به قبل از پرتودهی به میزان 6.3% افزایش یافته، در حالی که پاسخ آشکارسازی این کامپوزیت به نوترونهاي سریع کمتر از نوترونهاي حرارتی بوده، به طوری که مقدار میانگین بار الکتریکی گردآوری شده در کل زمان اندازه گیری برای نوترونهاي سریع (بدون کند کننده نوترون) نسبت به نوترونهاي حرارتی به میزان 1.6% کاهش نشان می دهد. در جدول ۱ مقدار میانگین و انحراف معیار مربوط به کمیت های Q_0 ، $Q_{Thermal}$ و Q_{Fast} نمونه کامپوزیتی PVA-B₄C(5wt%) در سه اندازه گیری مستقل، گزارش شده است. این نتایج نشان می دهد که ماده کامپوزیتی PVA-B₄C(5wt%) به خاطر دارا بودن اتمهای بور و دارا بودن سطح مقطع جذب نوترونی بالا، قابلیت آشکارسازی نوترونها را داراست که پاسخ آشکارسازی این کامپوزیت به نوترونهاي حرارتی 1.6% بیشتر از نوترونهاي سریع است.

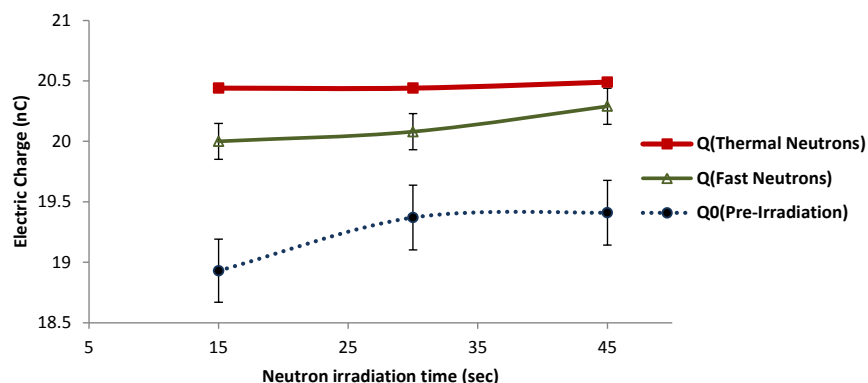
جدول ۱- مقدار میانگین کمیت های Q_0 ، $Q_{Thermal}$ و Q_{Fast} نمونه کامپوزیتی PVA-B₄C(5wt%) در سه اندازه گیری مستقل

مقدار کمیت	کمیت
19.24 ± 0.27 nC	Q_0
20.5 ± 0.02 nC	$Q_{Thermal}$
20.1 ± 0.15 nC	Q_{Fast}

⁴ Pre-Irradiation

⁵ Thermal Neutrons

⁶ Fast Neutrons



شکل ۴- بار الکتریکی گردآوری شده توسط الکترومتر در بازه های زمانی پانزده ثانیه ای مربوط به حالات مختلف: قبل از پرتودهی نوترون، در حین پرتودهی نوترونهای حرارتی و سریع.

بحث و نتیجه گیری

در این کار تجربی کامپوزیت (PVA-B₄C(5wt%)) به روش محلولی ساخته شد. پس از آماده سازی نمونه مذکور، به منظور اندازه گیری بار الکتریکی در غیاب و حضور نوترون، چسب نقره جهت ساخت الکتروود روی کامپوزیت لایه نشانی شد. به منظور پرتودهی نوترون از چشمه ²⁴¹Am-Be واقع در آزمایشگاه نوترون پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای-کرج استفاده شد. بار الکتریکی کامپوزیت به روش دو پروبی توسط الکترومتر قرائت شد. نتایج نشان داد که در ولتاژ 100 V مقدار بار الکتریکی گردآوری شده مربوط به پرتودهی نوترونهای حرارتی نسبت به قبل از پرتودهی به طور قابل ملاحظه‌ای به میزان 6.3% افزایش می‌یابد. در حالی که پاسخ آشکارسازی این کامپوزیت به نوترونهای حرارتی 1.6% بیشتر از نوترونهای سریع است.

سپاسگزاری

از آقای دکتر روح اله عادل‌لی به خاطر تهیه پودر کاربید بور صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

مراجع



- [۱] S. Malekie, F. Ziaie, S. Feizi, A. Esmaeli, Dosimetry characteristics of HDPE-SWCNT nanocomposite for real time application, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 833 (2016) 127-133.
- [۲] S. Malekie, F. Ziaie, A two-dimensional simulation to predict the electrical behavior of carbon nanotube/polymer composites, Journal of Polymer Engineering, 2016.
- [۳] S. Malekie, F. Ziaie, A. Esmaeli, Study on dosimetry characteristics of polymer-CNT nanocomposites: Effect of polymer matrix, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 816 (2016) 101-105.
- [۴] S. Malekie, F. Ziaie, Study on a novel dosimeter based on polyethylene-carbon nanotube composite, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 791 (2015) 1-5.
- [۵] فائزه صفوی، شهریار ملکی و فرهود ضیائی، " بررسی پایداری دمایی کامپوزیت پلیمر/نانو لوله کربن با اهداف دزیمتری"، بیست و دومین کنفرانس هسته‌ای ایران، یزد، دانشگاه یزد، اسفند ۹۴.
- [۶] F. Ziaie, S. Malekie, Study of electrical properties of a novel dosimeter based on polymer-carbon nanotube nano-composite, Iranian Journal of Radiation Safety and Measurement, 2 (2014) 17-20.
- [۷] شهریار ملکی، فرهود ضیائی، شهزاد فیضی، مجید مجتهدزاده لاریجانی، " ساخت یک دزیمتر فعال بر پایه نانوکامپوزیت پلی اتیلن سنگین نانو لوله کربن چند دیواره"، بیست و دومین کنفرانس هسته‌ای ایران، یزد، دانشگاه یزد، اسفند ۹۴.
- [۸] N. Hong, An Exploration of Neutron Detection in Semiconducting Boron Carbide, Theses, Dissertations, and Student Research: Department of Physics and Astronomy, University of Nebraska - Lincoln, 2012.
- [۹] C. Tan, R. James, B. Dong, M.S. Driver, J.A. Kelber, G. Downing, L.R. Cao, Characterization of a boron carbide-based polymer neutron sensor, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 803 (2015) 82-88.
- [۱۰] شهریار ملکی، شهزاد فیضی، سید مهدی هاشمی دیزجی، ارژنگ شاهرور، فرهود ضیائی، " بررسی ابتدا به ساکن آشکارسازی نوترون با کامپوزیت پلی اتیلن سنگین-اکسید بور"، بیست و سومین کنفرانس هسته‌ای ایران، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، اسفند ۹۵.
- [۱۱] G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc, university of Michigan, USA, 2010.