



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه اصفهان

شبیه سازی مونته کارلوی آشکارساز Taheri-Saramad X-ray Detector

علی طاهری

* سازمان انرژی اتمی، پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله آشکارساز نوین Taheri-Saramad X-ray Detector (TSXD) که در سال ۲۰۱۳ میلادی ابداع شده، شبیه سازی گردیده است. این شبیه سازی به منظور بررسی نوع عملکرد ساختار پیشنهادی به عنوان یک آشکارساز انجام شده است. در این مقاله سعی شده تا شرایط شبیه سازی انجام شده تا حد امکان به آشکارساز ساخته شده و شرایط واقعی نزدیک شود تا امکان انجام مقایسه بین نتایج شبیه سازی و آزمایشات انجام شده فراهم گردد. رفتار آشکارساز در حضور فوتون‌های اشعه ایکس و ذرات آلفا با استفاده از کد مونته کارلوی Geant4 شبیه سازی شده است.

کلید واژه: نانوسیم، اکسیدروی، سوسوزن، آشکارساز، قدرت تفکیک مکانی، ذرات آلفا، اشعه‌ی ایکس

۱. مقدمه

یکی از مهمترین مسائلی در که تصویرسازهای دیجیتالی اشعه ایکس مبتنی بر مواد سوسوزن مورد توجه قرار گرفته است کاهش رزولوشن مکانی در اثر پراکندگی فوتون‌های نوری است. فوتون‌های نوری تولید شده بوسیله اشعه ایکس در داخل کریستال سوسوزن در اثر پراکندگی‌های احتمالی، در راستای برخورد فوتون ایکس، به فوتودکتور تعبیه شده در انتهای کریستال نمی‌رسند و این مسئله کیفیت تصویر ایجاد شده را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. در سال ۲۰۱۳ نوع جدیدی از آشکارسازهای سنتیلاتور با رزولوشن مکانی بالا مبتنی بر هدایت کننده‌های نوری سوسوزن نانویی با نام Taheri-Saramad X-ray Detector (TSXD) پیشنهاد شده است [۱-۴]. صفحه سوسوزن پیشنهادی پوسته متخلخلی از جنس اکسید آلومینیوم یا پلی کربنات است که با اکسید روی (ZnO) پر شده است. در آشکارساز پیشنهادی، بدلیل ضرایب شکست متفاوت موجود بین نانوسیم‌های اکسید روی و دیواره حفره، هر نانوسیم به عنوان یک هدایت کننده نوری مجزا عمل کرده و مانع از پراکندگی نور می‌شود. اصل عملکرد این نوع از هدایت کننده‌های نوری کاملاً شبیه به فیبرهای نوری سوسوزن بوده [۵-۶] و بر اساس (i) جذب فوتون‌های ایکس در اکسید زینک، (ii) انتشار فوتون‌های نوری از اکسید زینک (iii) هدایت فوتون‌های نوری ایجاد شده به سمت فوتودکتور خارجی (CCD یا CMOS)، و (iv) آشکارسازی فوتون‌های نوری در فوتودکتور. در این مقاله، آشکارساز پیشنهادی شبیه سازی شده و عملکرد آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. شبیه سازی‌ها با استفاده از کد مونته-کارلوی Geant4 انجام شده است [۷]. به منظور بدست آوردن یک نتیجه‌ی دقیق، همه فرآیندهای فیزیکی باید به



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه اصفهان

صورت دقیقی در شبیه سازی منظور شوند. Geant4 دارای کاربردهای گسترده‌ای در زمینه پزشکی هسته‌ای و شبیه سازی آشکارسازهای تابش است. این کد شامل مدل‌هایی برای فرآیندهای سوسوزنی و حرکت فوتون‌های نوری است که از مدل DETECT2000 حاصل شده است [۸]. در بخش شبیه‌سازی یک مدل مونته کارلو از آشکارساز بر پایه نانوسیم‌های اکسید روی طراحی شده است که امکان بررسی خواص اپتیکی و دقت تفکیک مکانی را در مقایسه با آشکارسازهای سوسوزن سنتی فراهم می‌کند.

۲. روش کار

از ورژن ۴.۹.۴ Geant برای انجام شبیه سازی‌ها استفاده شده است. G4EMLOW 6.23، بسته الکترومغناطیسی انرژی پایین که دربرگیرنده داده‌های مربوط به فرآیندهای الکترومغناطیسی کم انرژی تا حدود eV می‌باشد در این شبیه سازی به عنوان کتابخانه داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی ترابرد و مشخصات مرزی فوتون‌های تولید شده درون کریستال سوسوزن، از مدل UNIFIED در Geant4 استفاده شده است [۸-۱۰]. در این شبیه سازی از سطح زمین که شامل نایکنواختی‌هایی میکرونی کوچکی است که بردار نرمال آنها زوایای کوچکی با بردار نرمال میانگین سطح دارد، استفاده شده است. توزیع این زوایا، گوسی فرض شده که میانگین آنها برابر صفر و انحراف از میانگین استاندارد آنها برابر σ_α می‌باشد. به عنوان مثال، یک سطح زمین که σ_α آن صفر است برابر با یک سطح کاملاً جلا داده شده‌است. در این مدل، احتمال بازتابش و زوایای بازتابش و شکست به جهت حرکت فوتون، زاویه بردار نرمال نایکنواختی‌ها با بردار نرمال میانگین و ضرایب شکست بین دو ماده بستگی دارد. در نتیجه فوتون نوری می‌تواند به داخل حجم اصلی بازتاب پیدا کرده یا به داخل محیط بعدی شکست پیدا کند. برای در نظر گرفتن زبری کوچک در سطوح ZnO، در این شبیه سازی σ_α برابر با ۰/۱ (نزدیک به سطوح جلا داده شده) قرار داده شده است.

۱.۲. مشخصات آشکارساز

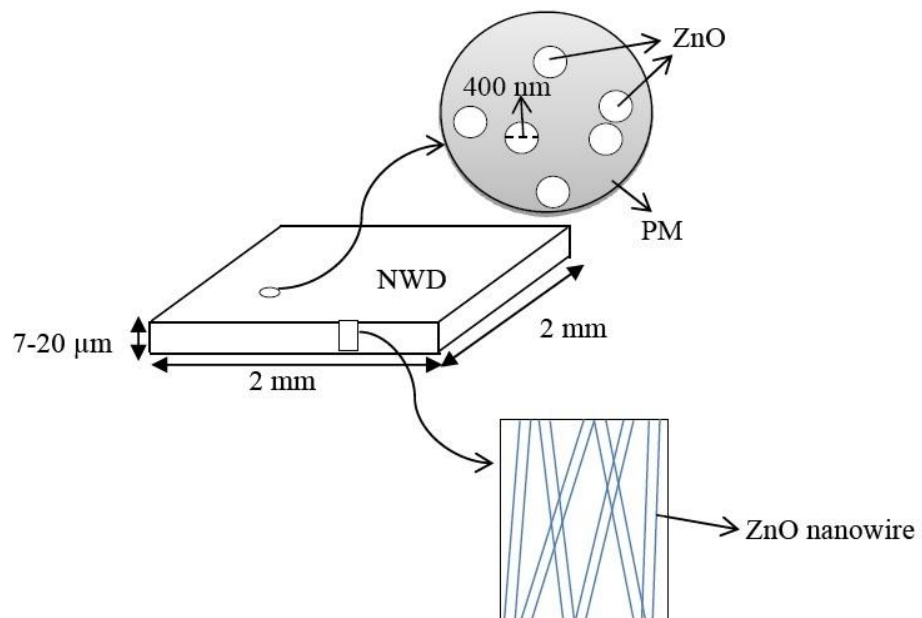
برای رسیدن به یک شرایط واقعی در شبیه سازی تصویرساز اشعه ایکس پیشنهادی، از مشخصات ممبران‌های تجاری PM ساخت شرکت واتمن استفاده شده است. قطر حفره و چگالی حفره‌ها در ممبران در نظر گرفته شده به ترتیب برابر 100 nm و $6 \times 10^8\text{ pores/cm}^2$ هستند. ضخامت این ممبران‌ها $10\text{ }\mu\text{m}$ در نظر گرفته شده است. نانو حفره‌ها به صورت تصادفی در سطح ممبران پخش شده‌اند که این مسئله بدلیل فرآیند ساخت این ممبران اتفاق می‌افتد. علاوه بر این حفرات موجود در ممبران پلی کربنات دارای یک توزیع زاویه‌ای با بیشینه 30° نسبت به بردار عمود هستند [۱۱]. نسبت ابعاد سطح PM شبیه سازی شده برابر $200 \times 200\text{ }\mu\text{m}^2$ بوده که حفره‌های آن با ZnO پر شده است. این ساختار که آشکارساز مبتنی بر نانوسیم‌های ZnO است، TSXD نامیده شده و برابر چگالی حفره‌های



بیت و یکمین کنفرانس هفت‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

ممبران شامل ۸ میلیون نانوسیم ZnO است. این نانوسیم‌های که دارای ابعاد یکسانی هستند به صورت رندوم در حجم آشکارساز توزیع شده‌اند و زاویه‌ی آنها نسبت به بردار عمود به سطح آشکارساز هم به صورت اتفاقی انتخاب شده است. شکل (۱) ساختار آشکارساز شبیه سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: ساختار آشکارساز شبیه سازی شده

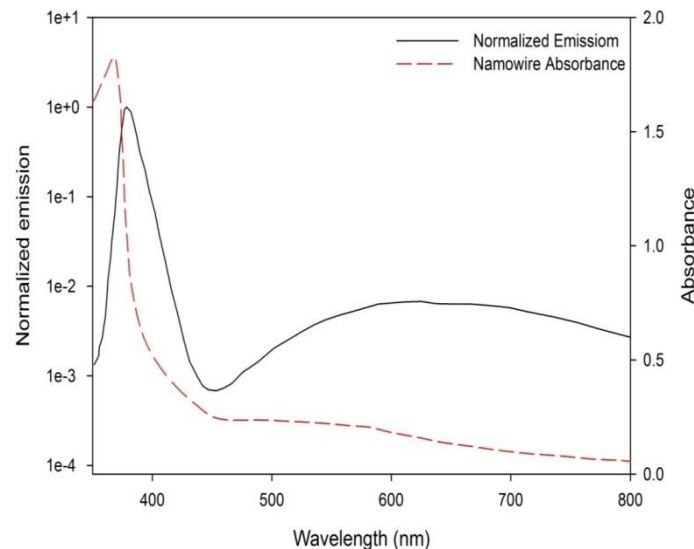
۲.۲. مشخصه‌های نوری نانوسیم‌های ZnO

برای رسیدن به شرایط ایده‌آل‌تر در شبیه‌سازی، برای محاسبه ضرایب جذب و پراکندگی، از داده‌های آزمایشگاهی ارایه شده در مورد نانوسیم‌های ZnO که بوسیله روش الکتروشیمیایی لایه نشانی شده‌اند استفاده شده است. شکل (۲) میزان جذب کنندگی نوری نانوسیم‌های ZnO را نشان می‌دهد [۱۲].



بیست و یکمین کنفرانس هشتاد و یکم ایران

۱۷ و ۱۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۲: میزان جذب کنندگی نوری نانوسیم‌های [ZnO]۱۲

۳.۲ شبیه‌سازی رفتار آشکارساز با در نظر گرفتن طیف منبع ایکس

مهمترین پارامترهایی که رفتار یک آشکارساز سوسوزن را تحت تاثیر قرار می‌دهند عبارتند از: توانایی آشکارسازی فوتون‌های ایکس در بازه‌ی انرژی مدنظر، تعداد فوتون‌های نوری تولید شده که به حسگر می‌رسند و تطبیق طیفی بین طول موج فوتون‌های نوری تولید شده و حساسیت نوری حسگر. اولین پارامتر می‌تواند بوسیله‌ی بازدهی آشکارسازی کوانتومی (QDE) توصیف شود که عبارتست از نسبت جذب شده از فوتون‌های ایکس برخورد کننده است. برای تخمین این پارامتر دز اولین مرحله، طیف‌های اشعه ایکسی با ۹ ولتاژ مختلف از ۱۲ keV تا ۲۰ keV با هدف مس (Cu) و به روش مونته کارلو شبیه‌سازی شده اند.

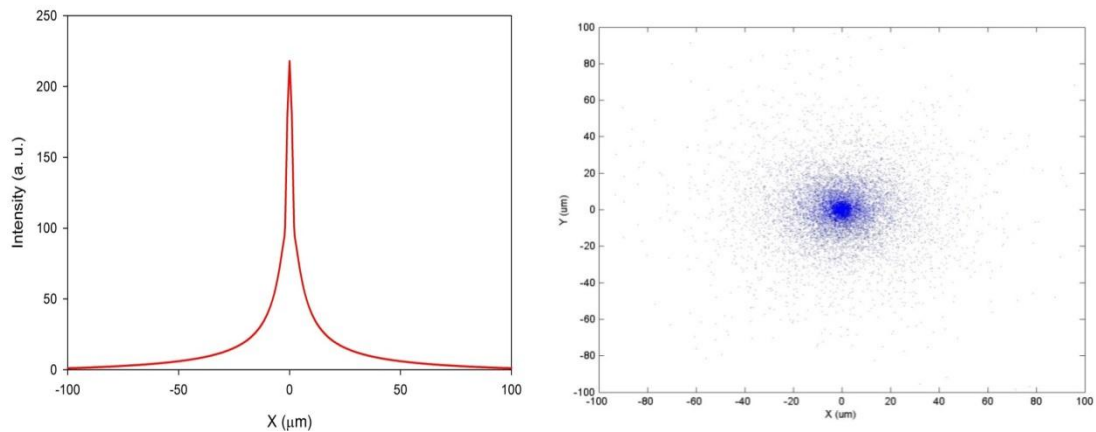
۳. نتایج

نتیجه‌ی شبیه‌سازی Geant4 برای QDE بر حسب ولتاژ اعمال شده در شکل (۴) نشان داده شده است. به منظور بدست آوردن یک مدل واقعی‌تر، تاثیر توزیع زاویه‌ای نانوسیم‌ها بر روی QDE بررسی شد. نتایج یک افزایش در جذب فوتون‌های ایکس را در اثر زاویه‌دار شدن نانوسیم‌ها نسبت به حالتی که نانوسیم‌ها عمودی هستند، نشان می‌دهند. به منظور محاسبه قدرت تفکیک مکانی آشکارساز منبع ایکس به صورت مدادی در نظر گرفته شده که مستقیماً به مرکز آشکارساز برخورد می‌کند. میزان پخشندگی نور خروجی از انتهای آشکارساز و توزیع شعاعی آن در شکل (۳) نشان داده شده است.



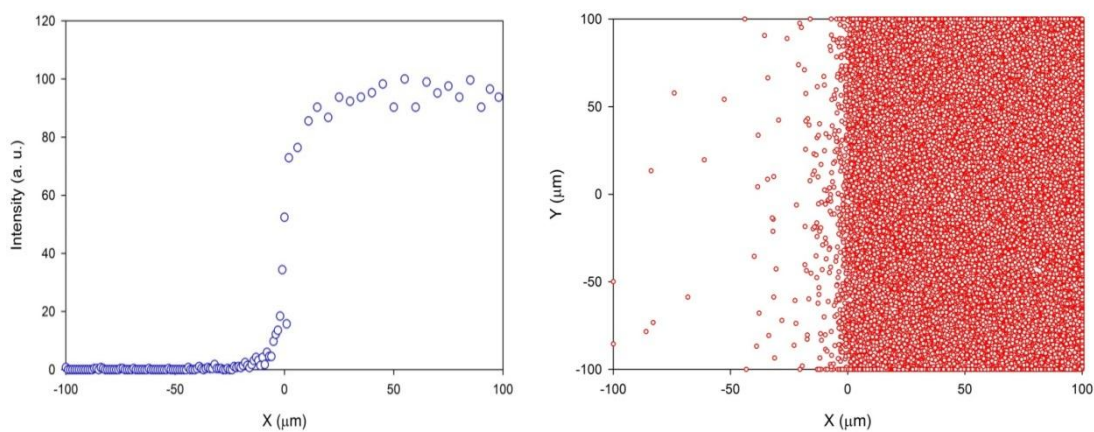
بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۳: پخش شدگی (راست) و توزیع شعاعی (چپ) نور خروجی از آشکارساز

بر اساس نتایج شبیه‌سازی قدرت تفکیک مکانی آشکارساز برابر با $4 \mu\text{m}$ برآورد شد که تطابق خوبی با نتایج بدست آمده از تست آشکارساز ساخته شده دارد. برای تخمین توانایی آشکارساز در مشخص کردن مرزهای اجسام تحت تصویربرداری یک قطعه سربی که نیمی از سطح آشکارساز را می‌پوشاند در میان آشکارساز و منبع مربعی شکل اشعه ایکس قرار داده شد و تصویر فوتون‌های نوری خروجی از آشکارساز پاسخ لبه‌ای آشکارساز بعد از تاباندن 500000 فوتون ایکس ثبت شد (شکل ۴).



شکل ۴: تصویر ثبت شده و پاسخ لبه‌ای آشکارساز از فوتون‌های نوری خروجی از آشکارساز برای 500000 فوتون ایکس در حالتیکه یک قطعه سربی نیمی از سطح آشکارساز را پوشانده است

بر اساس پاسخ لبه‌ای بدست آمده، شدت نور در مختصات $x=0$ به کمتر از ۲۰٪ کاهش می‌یابد که این کاهش شدت می‌تواند معیار خوبی برای تعیین مرزها در تصاویر باشد.



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

۴. نتیجه گیری

در این مقاله آشکارساز TSXD با استفاده از کد مونته کارلوی Geant4 شبیه شد. در این شبیه‌سازی برای نزدیکتر شدن به شرایط واقعی پارامترها و ورودی‌های شبیه‌سازی به صورت دقیقی اعمال شد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی قدرت تفکیک مکانی آشکارساز با ضخامت $10 \mu\text{m}$ برابر با $4 \mu\text{m}$ برآورد شد که نسبت به حالتی که نانوسیم‌ها به صورت عمودی در نظر گرفته شده بودند کاهش یافت. دلیل این مسئله اینست که در حالت زاویه‌دار بودن نانوسیم، این نانوسیم‌ها در هم تنیده شده و جلوی پراکندگی فوتون‌های نوری رادر آشکارساز می‌گیرند. علاوه بر این QDE نانوسیم‌های زاویه‌دار هم در انرژی 15 keV در حدود 1% نسبت به شرایطی که نانوسیم‌ها عمود به سطح آشکارساز در نظر گرفته می‌شوند، افزایش نشان داد. این افزایش به دلیل افزایش سطح مقطع موثر آشکارساز برای جذب فوتون‌های ایکس رخ می‌دهد.

مراجع

- [1] Taheri-Saramad x-ray detector (TSXD): A novel high spatial resolution x-ray imager based on ZnO nano scintillator wires in polycarbonate membrane, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 85, 013112 (2014)
- [2] Ali Taheria, ShahyarSaramadb, Samira Ghalehoic, Saeed Setayeshid, Fabrication, testing and simulation of a high spatial resolution alpha-particle imager based on ZnO nanowires in a polycarbonate nanoporous membrane, Eur. Phys. J. C (2013) 73:2649.
- [3] A. Taheri, S. Saramad, S. Setayeshi, Geant4 simulation of zinc oxide nanowires in anodized aluminum oxide template as a lowenergy X-ray scintillator detector. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A 701, 30 (2013)
- [4] A. Taheri, S. Saramad, S. Setayeshi, ZnO nanowires in polycarbonate membrane as a high resolution X-ray detector (A Geant4simulation). Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A 716, 15 (2013).
- [5] H. Shao, D.W. Miller, C.R. Pearsall, IEEE Trans. Nucl. Sci. 38 (1991) 845.
- [6] G. Gennaro, M. Malvestio, G. Zanella, R. Zannoni, Nucl. Instr. and Meth. A 382 (1996) 567.
- [7] S. Agostinelli et al, Nucl. Instr. and Meth. A 506 (2003) 250.
- [8] A. Levin and C. Moisan, IEEE Nucl. Sci. Symp. Conf. Record. 2 (1996) 702.
- [9] Geant4 Collaboration, Physics Reference Manual
- [10] S. K. Nayar, K. Ikeuchi, T. Kanade, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 13(1991)611.
- [11] V. P. Menon, C. R. Martin, Anal. Chem, 67 (1995) 1920.
- [12] S. K. Min, C. H. Oh, G. J. Lee and Y. P. Lee, Nonlinear Optical Properties of ZnO Nanorods Prepared by Using the Electro-deposition Method, Journal of the Korean Physical Society, 55(3) (2009) 1005-1008.