بررسی ابعاد، ضریب تضعیف خطی و درصد وزنی Zn کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$ در آشکارساز CZT با استفاده از کد MCNP

آیت قانع، نوید بالکانیان، نازنین دنیاپور، آ بافت یگانه

سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده مواد

Archive of SID

چکیده

برای تعیین ابعاد بهینه کریستال مکعبی، به ازای سطوح مختلف از کریستال جریان خروجی الکترونها و در نتیجه سطح بهینه توسط کد MCNP بدست آمد. ضخامت بهینه کریستال با مینیمم کردن شار فوتونهای عبوری از کریستال تعیین شد. درصد وزنی بهینه ترکیبات کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$، با در نظر گرفتن درصدهای مختلف برای ترکیبات و داشتن جریان خروجی ماکزیمم الکترونها از کریستال تعیین شد. و همچنین ضریب تضعیف خطی کریستال و احتمال برهمکنش فوتونها در داخل آشکارساز برای این ترکیبات بهینه و با در نظر گرفتن اتصالات شاتکی و اهمی و پنجره بریلیومی در تضعیف شار فوتونها در انرژیهای 15KeV – 1MeV توسط کد MCNP محاسبه شده و نتایج حاصل از MCNP برای ضرایب تضعیف خطی با نتایج حاصل از اندازه گیری تجربی مقایسه شده است.

کلیدواژه : کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$، کد MCNP، ضریب تضعیف خطی، احتمال برهمکنش فوتون

مقدمه

اغلب مواد رادیواکتیو اشعه گامای مخصوص به خود منتشر می‌کنند. انرژی گامای منتشر شده مشخصات ماده را مشخص می‌کند. اسپکتروسکوپی گاما یک روش غیرمخرب برای اندازه‌گیری غنای اورانیوم محسوب می‌شود. یکی از آشکارسازهای که برای اندازه گیری غنای اورانیم در دمای اتاق مورد استفاده قرار می‌گیرد، آشکارساز CZT می‌باشد که از یک کریستال CdZnTe با اتصالات شاتکی و اهمی و پنجره بریلیومی تشکیل شده است. این کریستال دارای ناخالصیهایی می‌باشد. درصد وزنی Te، 50٪ کل کریستال منهای ناخالصیهای آن می‌باشد. از درصد وزنی باقیمانده، x درصد مربوط به Zn و 100 – x درصد مربوط به Cd می‌باشد[1].

www.SID.ir

انرژی فوتون برخوردی به کریستال CZT توسط اثر فوتوالکتریک، پراکندگی کامپتون و تولید زوج به انرژی جنبشی الکترون–حفره تبدیل می‌شود که با حذف جریان حفره‌ها و اندازه‌گیری جریان الکترونها می‌توان غنای اورانیم را بدست آورد. در این مقاله مقدار بهینه درصد ترکیبات بلور CZT و همچنین ابعاد بهینه‌ایی که جریان خروجی الکترونها از کریستال ماکزیمم شود، با شبیه سازی این کریستال در کد MCNP تعیین می‌شود. همچنین ضریب تضعیف خطی برای فوتونها با انرژیهای مختلف برای این ترکیب بهینه محاسبه شده و با نتایج موجود تجربی مقایسه می‌گردد.

روش کار

برای بدست آوردن سطح و ضخامت بهینه کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$، یک چشمه اورانیمی در مقابل کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$ با ضخامت 5mm در کد MCNP شبیه‌سازی شد[2]. با رسم نمودار جریان خروجی الکترونها و فوتونها از کریستال برای سطح مقطع‌ها و ضخامت‌های مختلف(نمودار 1 و 2) این مقادیر بهینه بدست آمد. تعیین درصد بهینه ترکیبات کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$، به این صورت بوده است که یک چشمه در فاصله کمی از کریستال CZT در کد MCNP شبیه سازی شد. چون درصد وزنی Te در کریستال ثابت در نظر گرفته شده است بنابراین تنها درصد وزنی Zn در کد MCNP تغییر داده شد و جریان خروجی الکترونها ازکریستال CZT برحسب درصدهای وزنی مختلف از Zn محاسبه گردید که نمودار(3) بیانگر این موضوع می‌باشد.

ضریب تضعیف یک ماده عبارت است از احتمال اینکه یک فوتون پس از طی مسافت 1cm در داخل ماده با آن برهمکنش انجام دهد و از رابطه (1) بدست می‌آید.

$$\emptyset = \emptyset_0 e^{-\mu x} \qquad (1)$$

که $\emptyset_0$ شار اولیه و $\emptyset$ شار عبوری از ضخامت x و μ ضریب تضعیف ماده می‌باشد. از رابطه (1) نتیجه می‌شود:

$$\ln \frac{\emptyset}{\emptyset_0} = -\mu x \qquad (2)$$

Archive of SID
www.SID.ir

پس μ شیب خط، $\ln\frac{\emptyset}{\emptyset_0}$ برحسب x می‌باشد[5].

احتمال برهمکنش یک فوتون در داخل آشکارساز برابر است با احتمال عبور فوتون از پنجره بریلیومی ضربدر احتمال برهمکنش فوتون در داخل کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$. احتمال برهمکنش فوتون داخل کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$ عبارتست از:

$$I_{trans} = I_0 e^{-\mu x} \Rightarrow I_{in} = I_0[1 - e^{-\mu x}] \qquad (3)$$

بنابراین احتمال برهمکنش فوتون داخل آشکارساز عبارتست از:

$$P = e^{-\mu_{Be} x_{Be}}(1 - e^{-\mu_{czt} x_{czt}}) \qquad (4)$$

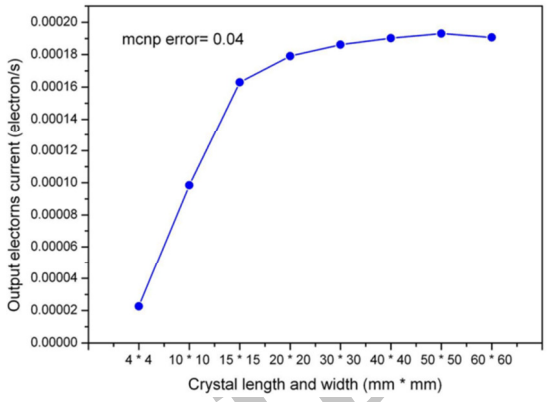
برای بدست آوردن ضریب تضعیف خطی ، کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$ با ابعاد $4*4*2\ (mm)^3$ و x=0.1 در فاصله 5cm از چشمه دیسکی در نظرگرفته شد. سپس ضخامت کریستال تکه‌بندی شده و شار روی سطح هر یک از سلولها بدست آمد و طبق روابطی که در بالا بیان شد ضریب تضعیف خطی برای این کریستال در انرژیهای مختلف محاسبه شد(نمودار4) و با نتایج حاصل از اندازه‌گیریهای تجربی مقایسه گردید[3] . برای تعیین احتمال برهمکنش فوتونها در داخل آشکار ساز CZT از ضرایب تضعیف بدست آمده از کد MCNP و ضرایب تضعیف تجربی مربوط به پنجره بریلیومی با ضخامت 2.5mm استفاده شده است.

در همه شبیه‌سازی های انجام گرفته توسط کد MCNP از تعدادی از روشهای کاهش خطا که شامل مش‌بندی ضخامت کریستال و دادن اهمیت مناسب حضور فوتون به هر سلول و استفاده از کارتهای وزنی wwp و wwg در انرژیهای پایین استفاده شده است [2,3]. همه محاسبات برای اکتیویته 1Bq انجام شده‌اند.

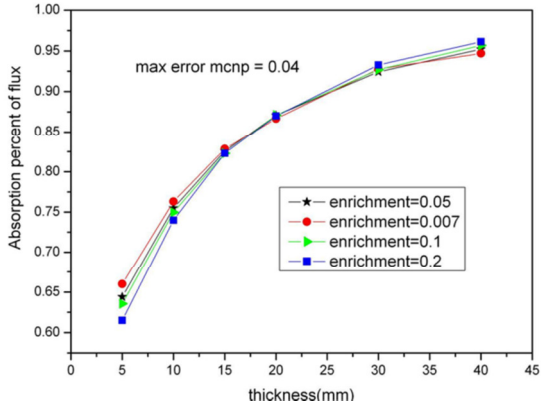
Archive of SID

www.SID.ir

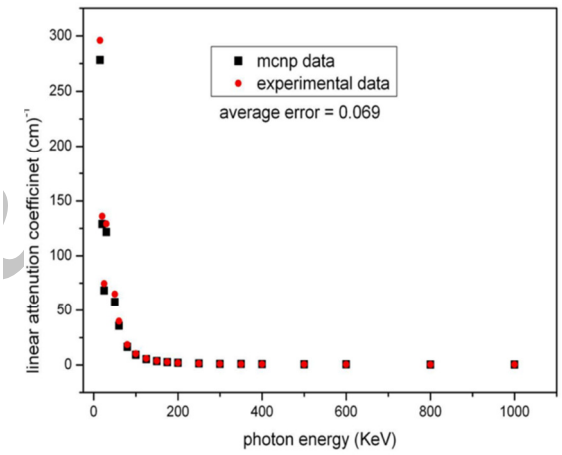
نتایج



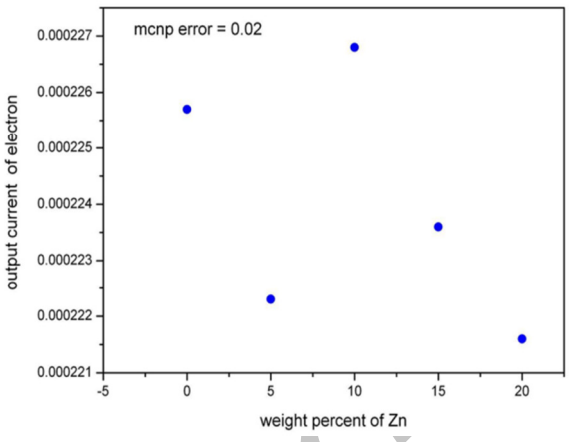
نمودار۱: جریان خروجی الکترون ها از سطح کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$ بر حسب مساحت سطح یک کریستال مکعبی از $Cd_{1-x}Zn_xTe$



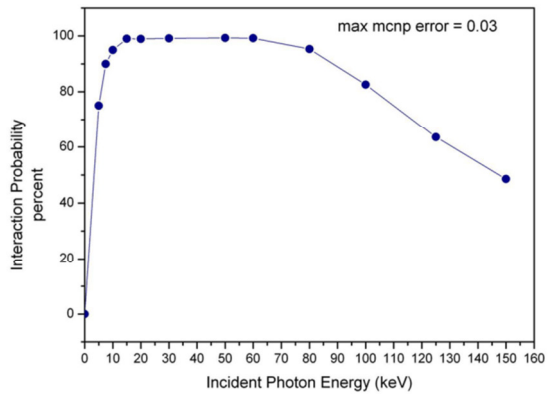
نمودار۲: نمودار درصد شار فوتون های جذب شده یک باریکه بر حسب ضخامت‌های مختلف از کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$ و برای غناهای متفاوت از چشمه اورانیمی



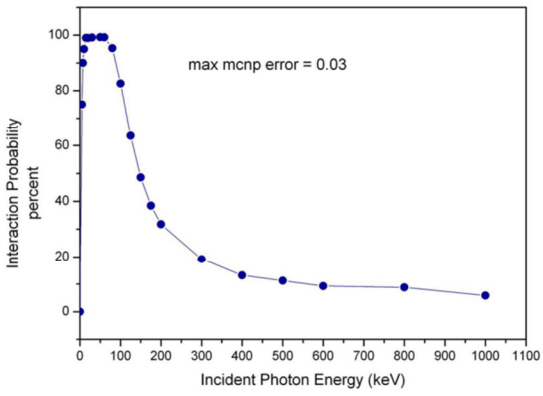
نمودار ۳: مقایسه داده های ضریب تضعیف MCNP با داده های تجربی



نمودار ٤: جریان الکترون بر حسب درصد وزنی Zn



نمودار۵: احتمال برهمکنش فوتون ها در داخل آشکارساز CZT با پنجره بریلیومی تا انرژی 150KeV



نمودار٦: احتمال برهمکنش فوتون ها در داخل آشکارساز CZT با پنجره بریلیومی تا انرژی 1000KeV

www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

همانطور که از نمودار (1) که مربوط به تعیین سطح بهینه کریستال CZT است دیده می‌شود، میزان جریان خروجی الکترونها با افزایش سطح کریستال افزایش یافته تا اینکه در کریستالی به ابعاد $15*15\ (mm)^2$ به مقدار ماکزیمم خود رسیده و از آن پس با افزایش سطح کریستال این مقدار جریان ماکزیمم تقریباً ثابت می‌باشد و افزایش سطح تنها باعث افزایش شدید هزینه اقتصادی تولید آن خواهد شد. برای بررسی ضخامت بهینه، چشمه اورانیمی در کد mcnp شبیه‌سازی شد و نتایج برای غناهای مختلف از U-235 و ضخامتهای متفاوت از کریستال CZT بدست آمد که این نتایج در نمودار(2) آورده شده است. از ضخامت 5 mm تا 15 mm با افزایش غنا درصد شار جذبی به صورت ناچیزی کاهش پیدا میکند. از ضخامت 15 mm تا 30 mm با افزایش غنا تأثیری در درصد شار ایجاد نمی‌شود و از ضخامت 30 mm تا 40 mm با افزایش غنا درصد شار جذبی به صورت خیلی ناچیزی افزایش پیدا میکند. همچنین برای پیدا کردن ضخامت بهینه هم باید شار فوتونهای عبوری مینیمم شود تا پارازیتی در جریان خروجی ایجاد نکند و هم باید میدانی را که برای جمع کردن بارها به کریستال اعمال می‌شود در نظرگرفت چون با افزایش ضخامت میدان مورد نیاز بالا خواهد رفت. با توجه به نمودار (2) بهترین ضخامت برای CZT، 15 mm خواهد بود، چون هم شار عبوری کمی دارد و هم شار عبوری از آن برای غناهای مختلف یکسان است. درصد وزنی Zn در کدMCNP تغییر داده شد و جریان الکترونهای خروجی از کریستال CZT محاسبه گردید که در نمودار(3) نشان داده شده است. جریان خروجی در درصدهای وزنی 0 و 10 دارای ماکزیمم مقدار می‌باشد و بعد از 10% با افزایش درصد Zn، جریان کاهش پیدا می‌کند که این تغییرات خیلی کوچک می‌باشد. درصد وزنی بهینه Zn در CdZn، 10% بدست آمده که دارای توافق خوبی با درصد وزنی معمول در کریستالهای بکار رفته برای آشکارسازهای CZT می‌باشد. همچنین ضرایب تضعیف بدست آمده از کد MCNP توافق قابل قبولی با ضرایب تضعیف بدست آمده از اندازه‌گیریهای تجربی دارند که این موضوع دقت محاسبات کد MCNP را بخوبی نشان می‌دهد. میانگین خطای نسبی بین دو شیوه محاسبه ضرایب تضعیف برابر با 0.069 برای کریستال $Cd_{1-x}Zn_xTe$ می‌باشد که این اختلاف به دلیل ناخالصیهای بکار رفته در کریستال و خطاهای مربوط به دو روش محاسبه می‌باشد. احتمال برهمکنشها با ضرایب تضعیفی که توسط کد MCNP بدست آمده، طبق محاسبات قسمت تئوری تعیین می‌گردد که نمودار احتمال برهمکنشها برحسب انرژی فوتون برخوردی در نمودار(5,6) نشان داده شده‌است که تطابق خوبی با نمودارهای موجود درمرجع(3)دارند.

Archive of SID
www.SID.ir

مراجع

[1] T. E. Schlesinger, J. E. Toney, H. Yoon, E. Y. Lee, B. A. Brunett, L. Franks, R. B. James, Cadmium zinc telluride and its use as a nuclear radiation detector material, Materials Science and Engineering, 32(2001) 103-189.

[2] OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, Monte Carlo N-Particle Transport Code System, Los Alamos National Laboratory, New Mexico.

[3] Bob Redus, Efficiency of Amptek XR-100T-CdTe and -CZT Detectors Application Note ANCZT-1 Rev 2, December 13, 2002.

[4] Chilton, Arthur B; Kenneth Shultis; J. Faw, Richard E. Principles of Radiation Shielding. 1nd ed. New Jersey: Prentice–Hall, 1984.

[5] Cember, Herman. Introduction to Health Physics. 1nd ed. Pergamen press, 1983

Archive of SID

www.SID.ir