

طراحی و ساخت اتاقک یونساز صفحه موازی جهت دزیمتری باریکه‌های فوتونی در پرتودرمانی

سید میلاد وهابی* (۱) - مجتبی شمسایی ظفر قندی (۱) - محمدرضا قاسمی (۲) - آبینا عالیپور (۳) -
ارژنگ شاهور (۲) - سجاد بیات (۱)

(۱) دانشگاه امیر کبیر، دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک، گروه مهندسی هسته‌ای

(۲) سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی

چکیده:

امروزه طراحی و ساخت اتاقک‌های یونساز جهت دزیمتری در ماده معادل بافت از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این مقاله چگونگی طراحی و ساخت نمونه اولیه اتاقک صفحه موازی در پژوهشکده کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج بیان شده و قابلیت‌های آن از طریق تعیین جریان نشتی و پایداری کوتاه مدت ارزیابی شده است. نتایج حاصله حاکی از مناسب بودن این اتاقک جهت دزیمتری در پرتودرمانی می‌باشد.
کلمات کلیدی: اتاقک یونساز، پرتو گاما، دزیمتری، پرتودرمانی، جریان نشتی

مقدمه :

اتاقک‌های یونساز به‌طور وسیعی جهت آشکارسازی پرتوهای بتا و گاما در صنعت انرژی هسته‌ای مخصوصاً در موارد پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پایداری این نوع اتاقک‌ها به حجم حساس، ساختار ماده تشکیل‌دهنده و هندسه آن بستگی دارد. از مهم‌ترین انواع این نوع اتاقک‌ها از لحاظ هندسی می‌توان به نوع استوانه‌ای، کروی و صفحه-موازی اشاره کرد [۱]. اتاقک‌های یونساز استوانه‌ای به علت قطر بزرگ، پنجره ورودی ضخیم و بزرگ بودن فاکتور اختلال شار الکترون‌های ثانویه برای نواحی بیلدآپ هوا به آب مناسب نیستند [۲]. علاوه بر این اتاقک‌های یونساز به دلیل پاسخ خطی نسبت به گستره وسیعی از انرژی‌های تابش‌های گاما و ایکس (معمولاً ۱۰ keV تا ۱۰ MeV)، توانایی اندازه‌گیری سطوح بالا از تابش و همچنین توانایی تفکیک بین مولفه‌های گاما و بتای یک میدان تابشی ابزاری ارزشمند در زمینه دزیمتری محسوب می‌گردند [۳]. به این دلایل و همچنین ساختار نسبتاً ساده اتاقک‌های صفحه-موازی، در این مقاله به طراحی و ساخت این نوع اتاقک‌ها پرداخته شده است.

به هنگام عبور پرتو یوننده از حجم حساس اتاقک که معمولاً در آشکارسازهای گازی از جنس گاز یا هوا است، بنابر پدیده تحریک و یونیزاسیون، زوج-یون‌ها تشکیل می‌شوند که شامل الکترون‌های آزاد و یون‌های باردار هستند. به کمک میدان الکتریکی ناشی از اعمال ولتاژ مستقیم بین دو الکترود ولتاژ بالا و جمع‌کننده، این زوج-یون‌ها جمع‌آوری شده و پاسخ نهایی (بار یا جریان) از طریق الکترومتر اندازه‌گیری می‌شوند. به کمک



الکتروود محافظ که توسط یک شیار نازک از الکتروود جمع کننده جدا شده و در پتانسیلی تقریباً برابر با آن قرار دارد، میدان الکتریکی در حجم حساس یکنواخت شده و جریان نشتی کاهش می یابد. در ضمن فضای بین الکتروودها بقدری کوچک است که شرایط براگ-گری برقرار است.

در این مقاله یک اتاقک یونساز صفحه-موازی در آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه (SSDL) پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج جهت اهداف پزشکی طراحی و ساخته شد. هندسه این اتاقک بر اساس توصیه هایی که در دستورالعمل IAEA ذکر شده است، بهینه و انتخاب شده است. هدف از این مقاله، طراحی، ساخت و ارزیابی قابلیت های اتاقک یونساز بومی از جمله جریان نشتی، پایداری کوتاه-مدت و محاسبه فاکتورسنجه بندی همراه با تصحیحات اثر دما، فشار و رطوبت و اثر پلاریته است.

روش کار :

در این مقاله بدنه اتاقک از جنس پلکسی گلاس انتخاب شده است و سطوح داخلی الکتروودها از گرافیت پوشیده شده است که در اثر ۵ الی ۶ بار لایه نشانی کربن حاصل شده است. علت انتخاب این مواد این است که توان های توقفی و خطی این مواد و آب (که بعنوان بهترین ماده معادل بافت نرم است) تقریباً برابر است و همین امر باعث می شود که اثرات اختلال دیواره، پراکندگی داخلی و پراکندگی از دیواره های جانبی به حداقل ممکن برسد. ضخامت پنجره ورودی بایستی بقدری نازک باشد که اثرات پلاریته و اختلال دیواره ها به حداقل برسد. نظر به دلایل مذکور، ضخامت پنجره ورودی ۱ میلیمتر در نظر گرفته شد. ابعاد حفره باید بدقت انتخاب شود زیرا لازم است که شرایط براگ-گری برآورده شود. حفره یا همان حجم حساس به عمق ۲ میلیمتر انتخاب شد. قطر پنجره ورودی ۳۰ میلیمتر، قطر الکتروود جمع کننده ۲۰ میلیمتر و عرض الکتروود محافظ که از نظر الکتریکی توسط شیار ۰/۵ میلیمتری از الکتروود جمع کننده جدا شده، برابر ۴/۵ میلیمتر است. نمایی از اتاقک یونساز صفحه موازی در شکل (۱) نشان داده شده است.

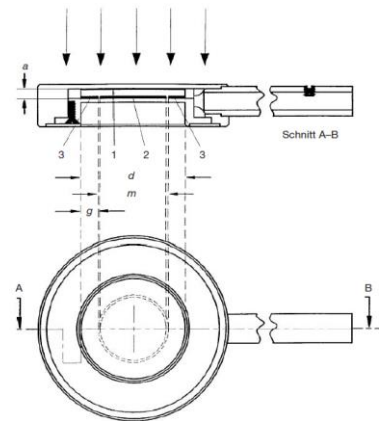
در این مقاله الکترومتر PTW-UNIDOS برای اندازه گیری جریان یونیزاسیون بکار رفته است. چشمه گامای مورد استفاده در اینجا کبالت-۶۰ با اندازه میدان $10 \times 10 \text{ cm}^2$ است.

نتایج :

مشخصات اتاقک یونساز ساخته شده در این مقاله از قبیل جریان نشتی، پایداری کوتاه-مدت و اثر پلاریته در ادامه با جزئیات بیشتری بحث می شود.



(ب)



(الف)



(د)

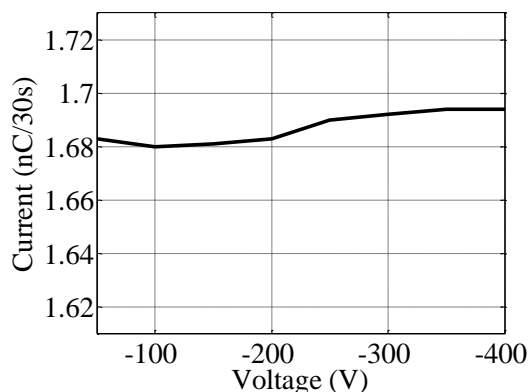


(ج)

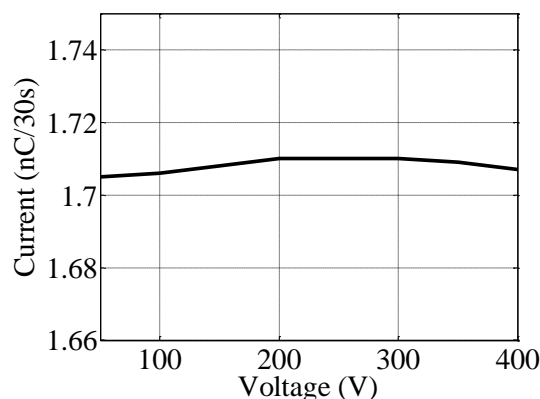
شکل شماره ۱- (الف) نمایی کلی از اتاقک یونساز [۴] (ب) اتاقک یونساز در حین تراشکاری (ج) نمونه ای از اتاقک یونساز ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج (د) اتاقک یونساز در حین دزیمتری در مقابل چشمه پرتو گاما کبالت-۶۰

(۱) جریان یونیزاسیون: مقادیر خوانده شده از طریق الکترومتر در مقابل چشمه گامای کبالت-۶۰ در مدت زمان جمع‌آوری بار ۳۰ ثانیه به ازای پلاریته‌های مثبت و منفی و با تصحیح فشار و دما در شکل شماره (۱) نشان داده شده‌اند.

(۲) جریان نشتی: یکی از چالش‌های مهم در طراحی اتاقک‌های یونساز، جریان نشتی است. این جریان همان سیگنال اندازه‌گیری شده توسط الکترومتر در حین اعمال ولتاژ و بدون پرتودهی است. این جریان بایستی کمتر از ۰/۱٪ سیگنال اندازه‌گیری شده در حین یک پرتودهی معین باشد. در اکثر پروتکل‌ها ذکر شده است که این جریان باید کمتر از 10^{-14} آمپر باشد.



(ب)



(الف)

شکل شماره ۲ - نمودار جریان (nC/30s) بر حسب ولتاژ اعمالی بین دو الکتروود برای کبالت-۶۰ به ازای دو پلاریته (الف) مثبت و (ب) منفی

جریان نشتی قبل و بعد از پرتودهی اندازه‌گیری شدند و مقدار آن‌ها به ترتیب برابر (fA) ۵/۵۰ و (fA) ۴/۵۳ بودند.

(۳) پایداری کوتاه-مدت: تغییرات مقادیر خوانده شده در حین ۸ اندازه‌گیری پی‌درپی از چشمه کبالت-۶۰ که نشان‌دهنده پایداری کوتاه-مدت یا تکرارپذیری است، در اکثر موارد کمتر از ۰/۰۹٪ بوده است. بر طبق IEC، این تغییرات در مقادیر خوانده شده نباید از ۰/۳٪ تجاوز کند.

(۴) اثر پلاریته: این اثر اغلب بعلت گیر افتادن برخی از الکترون‌های اولیه توسط الکتروود جمع‌کننده است. اگر این رویداد توسط خارج شدن الکترون‌های پس زده شده از الکتروود جمع‌کننده خنثی نشود، یک

جریان اضافی ممکن است به سیگنال واقعی اضافه یا از آن کاسته شود [۵]. در صورتی که یک چنین اثری مشاهده شد، یک تصحیحی باید به کمک ولتاژ پلاریزه کننده منفی برای جریان اعمال شود:

$$p_{corr} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2|M_-|} \quad (1)$$

که $|M_+|$ و $|M_-|$ به ترتیب مقادیر خوانده شده در اثر ولتاژهای پلاریزه کننده مثبت و منفی است. عملاً اثر پلاریته در این مورد در بدترین حالت ۰/۷٪ بود. در صورتی که اثر پلاریته از ۰/۳٪ بیشتر باشد، نمی توان از آن جهت دزیمتری مطلق استفاده کرد.

۵) محاسبه فاکتور سنجه بندی اتاقک برحسب کرمای هوا در میدان پرتو گامای کبالت-۶۰: برای محاسبه فاکتور سنجه بندی کرمای هوا از چشمه کبالت-۶۰ (picker v9) با اندازه میدان $10 \times 10 \text{ cm}^2$ استفاده شد. فاصله چشمه تا سطح دزیمتر ۸۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. بنابر معادله زیر این فاکتور برابر خواهد شد با:

$$N_K \left(\frac{mGy}{nC} \right) = \frac{K_{air}}{(M \cdot k_{TP} \cdot k_d)} \quad (2)$$

که K_{air} نرخ کرما برحسب $\frac{mGy}{min}$ ، M مقدار متوسط اندازه گیری شده (برای مثال در اینجا در ولتاژ ۲۰۰- ولت) بر حسب $\frac{nC}{min}$ ، k_d فاکتور تصحیح فاصله و k_{TP} فاکتور تصحیح دما و فشار است که از رابطه زیر پیروی می کند:

$$k_{TP} = \frac{T(^{\circ}C) + 273.16}{293.16} \times \frac{1013.2}{p(mb)} \quad (3)$$

مقدار محاسبه شده برای این اتاقک برابر $\frac{mGy}{nC}$ ۳۹/۲۵ بدست آمد.

بحث و نتیجه گیری :

با توجه به افزایش روزافزون باریکه های الکترونی مخصوصاً در انرژی های کمتر از ۱۰ MeV، لزوم ساخت و طراحی اتاقک یونساز صفحه موازی حس می شود. بر این اساس طرح ساخت آن در آزمایشگاه دزیمتری استاندارد ثانویه (SSDL) پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج تصویب شد. جریان نشستی همواره چه قبل و چه بعد از پرتو دهی در محدوده فمتوآمپر گزارش شده است. اثر پلاریته همواره در حدود ۰/۷٪ بود. داده های اندازه گیری شده دارای پایداری مناسبی بودند به طوری که انحراف معیار

نسبی برای کبالت همواره از ۰.۰۹٪ کمتر بوده است. فاکتور سنجه‌بندی بر حسب کرمای هوا با در نظر گرفتن فاکتور تصحیح فشار و دما و فاصله محاسبه شد. با توجه به پروتکل‌های موجود، این نوع دستگاه دارای نتیجه قابل قبول و رضایت‌بخشی بوده است.

علیرغم امکانات محدود نتایج امیدبخشی در این زمینه حاصل شد و همین امر کارآمد بودن روش‌های مختلف و مورد استفاده در مسیر ساخت اتاقک را نشان می‌دهد. بنابراین بهتر است کار انجام شده را به عنوان زمینه‌ساز و شروعی هرچند کوچک به سمت تحقیقات بیشتر و بومی‌سازی این نوع دزیتر در نظر گرفت.

مراجع :

- [۱] M. L. Oliveira, L.V.E. Caldas "Performance of a prototype of an extrapolation minichamber in various radiation beams" Applied Radiation and Isotopes ۶۵, PP. ۹۷۵-۹۷۹, ۲۰۰۷
- [۲] Väänänen, Anssi "Theoretical and experimental study on transition zone dosimetry with special reference to skin dose measurement with low megavoltage beams" Kuopio University Publications C. Natural and Environmental Sciences ۱۴۲, ۲۰۰۲
- [۳] P. R. Steinmeyer "Ion chambers: Everything you've wanted to know (But were afraid to ask)" RSO Magazine. Vol.۸, No.۵
- [۴] F.M. Khan "The physics of Radiation therapy", ۴th ed. Minnesota: University of Minnesota, ۲۰۱۰
- [۵] A. Nisbet and D. I. Thwaites "Polarity and ion recombination correction factors for ionization chambers employed in electron beam dosimetry" Phys. Med. Biol. ۴۳, PP. ۴۳۵-۴۴۳, ۱۹۹۸