



Comparison of Performance and Structural Characteristics of Silicon Surface Barrier (SSB) Detectors and Passivated Implanted Planar Silicon (PIPS) Detectors in Nuclear and Medical Applications

Fatemeh Namdarnia

PhD. Student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
F.namdarnia@gmail.com

Lida Amanuelahi Dorcheh

PhD. Student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (**Corresponding author**). Lida.amanelahi@iau.ac.ir

Elahe Zeinolabedini

PhD. Student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
elahezeinolabedini@gmail.com

Dariush Sardari

PhD., Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
dariush.sardari@gmail.com

Abstract

Objective: The growing demand for safety in nuclear facilities necessitates continuous monitoring of radioactive particles in the air, both within and around nuclear sites. Meanwhile, potential nuclear incidents require global oversight. Silicon detectors play a vital role in nuclear and medical measurements, particularly in the precise detection of charged particles such as alpha and beta particles. Two common types of these detectors—Silicon Surface Barrier (SSB) detectors and Passivated Implanted Planar Silicon (PIPS) detectors—each offer unique advantages and limitations. This study investigates the structural and functional characteristics of these two detector types and provides a comprehensive comparison of their efficiency, stability under varying environmental conditions, and measurement accuracy.

Materials and Methods: The primary material in both SSB and PIPS detectors is silicon (Si14). A library-based method was employed to compare the properties of the two detectors, along with an exploration of the potential application of nanotechnology in their structures.

Findings: The results indicate that PIPS detectors, with their superior thermal and humidity stability, are more suitable for long-term applications. In contrast, SSB detectors excel in short-term, low-cost laboratory settings due to their high sensitivity and rapid response, offering advantages in specific use cases. This comparison can assist researchers in selecting the appropriate detector based on specific research needs and environmental conditions.

Received: 2024/03/27 ; Revised: 2024/08/20 ; Accepted: 2024/06/01 ; Published online: 2024/06/22

Cite: Namdarnia, F., Amanuelahi Dorcheh, L., Zeinolabedini, E. & Sardari, D. (2024). Comparison of Performance and Structural Characteristics of Silicon Surface Barrier (SSB) Detectors and Passivated Implanted Planar Silicon (PIPS) Detectors in Nuclear and Medical Applications. *Applied Biology*, 14(2), p. 5-20. <https://doi.org/10.71504/SJOAPB.2024.1197873>

Article type: Research Article

© the authors

Publisher: Qom Islamic Azad University



Conclusion: PIPS detectors represent a new generation of silicon detectors capable of enhancing the accuracy of radioactivity measurements in biological samples.

Keywords: Passivated Implanted Planar Silicon (PIPS) detector, Silicon Surface Barrier (SSB) detector, alpha particles, beta particles, radiation detection.



مقایسه عملکرد و ویژگی‌های ساختاری آشکارسازهای سد سطحی سیلیکونی (SSB) و آشکارسازهای سیلیکونی غیرفعال شده (PIPS) در کاربردهای هسته‌ای و پزشکی

فاطمه نامداریانیا ^{id} دانشجوی دکتری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. F.namdarnia@gmail.com
 لیدا امان‌اللهی درجه ^{id} دانشجوی دکتری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). Lida.amanelahi@iau.ac.ir
 الهه زین‌العابدینی ^{id} دانشجوی دکتری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. elahezeinolabedini@gmail.com
 داریوش سرداری ^{id} دکتری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. dariush.sardari@gmail.com

چکیده

هدف: افزایش تقاضا برای ایمنی در تأسیسات هسته‌ای، مستلزم بررسی مداوم ذرات رادیواکتیو موجود در هوا، در داخل و اطراف سایت‌های هسته‌ای است. در حالی که حوادث هسته‌ای بالقوه مستلزم نظارت جهانی است. آشکارسازهای سیلیکونی نقش مهمی در اندازه‌گیری‌های هسته‌ای و پزشکی ایفا می‌کنند؛ به ویژه در تشخیص دقیق ذرات باردار نظیر آلفا و بتا. دو نوع رایج از این آشکارسازها، یعنی آشکارسازهای با سد سطحی سیلیکونی (SSB) و آشکارسازهای سیلیکونی غیرفعال شده (PIPS)، هر یک مزایا و محدودیت‌های منحصر به فردی دارند. در این پژوهش، به بررسی ویژگی‌های ساختاری و عملکردی این دو نوع آشکارساز پرداخته و مقایسه‌ای جامع در زمینه کارایی، پایداری در شرایط محیطی مختلف، و دقت اندازه‌گیری ارائه شده است.

مواد و روش‌ها: ماده اصلی موجود در آشکارسازهای SSB و PIPS سیلیکون (^{28}Si) می‌باشد. روش کتابخانه‌ای برای مقایسه خواص این دو آشکارساز و امکان کاربرد فناوری نانو در ساختار آنها استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که آشکارسازهای PIPS با داشتن پایداری دمایی و رطوبتی بالاتر، برای کاربردهای طولانی مدت مناسب‌تر هستند. در حالی که آشکارسازهای SSB به دلیل حساسیت بالا و پاسخ سریع در شرایط کوتاه مدت و کم هزینه‌تر آزمایشگاهی، در برخی کاربردهای خاص، برتری دارند. این مقایسه می‌تواند به محققان در انتخاب آشکارساز مناسب براساس نیازهای خاص پژوهشی و شرایط محیطی کمک کند.

نتیجه‌گیری: آشکارساز PIPS نسل جدیدی از آشکارسازهای سیلیکونی است که می‌تواند دقت اندازه‌گیری پرتوایی در نمونه‌های زیستی را افزایش دهد.

کلیدواژه‌ها: آشکارساز سیلیکونی غیرفعال شده (PIPS)، آشکارساز سد سطحی سیلیکونی (SSB)، ذرات آلفا، ذرات بتا، آشکارسازی پرتو.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۸ ؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۲ ؛ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

استاد به این مقاله: نامداریانیا، فاطمه؛ امان‌اللهی درجه، لیدا؛ زین‌العابدینی، الهه؛ سرداری، داریوش (۱۴۰۳). مقایسه عملکرد و ویژگی‌های ساختاری آشکارسازهای سد سطحی سیلیکونی (SSB) و آشکارسازهای سیلیکونی غیرفعال شده (PIPS) در کاربردهای هسته‌ای و

پزشکی. *بیولوژی کاربردی*، ۱۴(۲)، ص ۵-۲۰. <https://doi.org/10.71504/SJOAPB.2024.1197873>

نوع مقاله: پژوهشی

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم



<http://sjoapb.journal.qom-iau.ac.ir>

۱. مقدمه

آشکارسازهای ذرات یا پرتو ابزاری هستند که با آنها ذرات پرانرژی را آشکار، ردیابی یا شناسایی می‌کنند (۱). تشخیص پرتو یکی از جنبه‌های اساسی در فیزیک هسته‌ای، تشخیص پزشکی و کاربردهای صنعتی است، جایی که اندازه‌گیری دقیق ذرات باردار نظیر آلفا و بتا بسیار اهمیت دارد. آشکارسازهای مبتنی بر سیلیکون به دلیل حساسیت، وضوح انرژی و طراحی فشرده، در این زمینه‌ها بسیار مورد توجه قرار می‌گیرند و امکان تشخیص دقیق پرتوهای یونیزه‌کننده را فراهم می‌کنند (۲، ۳).

دو نوع رایج از آشکارسازهای سیلیکونی شامل آشکارسازهای سد سطحی سیلیکونی^۱ و آشکارسازهای سیلیکونی منفعل‌شده^۲ هستند که هر یک ویژگی‌ها و کاربردهای منحصر به فردی دارند. آشکارسازهای SSB به دلیل ساختار ساده خود شناخته می‌شوند، که از یک لایه نازک سد سیلیکون تشکیل شده است که به طور مستقیم با پرتوهای ورودی برهمکنش دارد. این طراحی امکان حساسیت بالا و زمان پاسخ‌دهی سریع را فراهم می‌کند و آنها را برای تنظیمات آزمایشگاهی که اندازه‌گیری‌های دقیق ضروری هستند، ایده‌آل می‌سازد (۲). با این حال، آشکارسازهای SSB به تغییرات شرایط محیطی مانند دما و رطوبت حساس هستند که می‌تواند بر عملکرد و پایداری طولانی مدت آنها تأثیر بگذارد (۴). در مقابل، آشکارسازهای PIPS با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته کاشت و منفعل‌سازی، پایداری و دوام بیشتری در شرایط محیطی مختلف نشان می‌دهند. لایه منفعل به محافظت از سطح سیلیکون در برابر اکسیداسیون و سایر عوامل محیطی کمک می‌کند، در حالی که فرآیند کاشت اطمینان می‌دهد که میدان الکتریکی در سطح آشکارسازی به طور یکنواخت توزیع شده است (۲، ۵). این ویژگی‌ها باعث می‌شود که آشکارسازهای PIPS برای کاربردهایی که نیاز به پایداری طولانی مدت و نظارت مداوم دارند، مانند دوزیمتری پرتویی و پایش محیطی پرتوها، مناسب باشند (۶).

هدف پژوهش حاضر مقایسه دقیق بین آشکارسازهای PIPS و SSB است، که بر ویژگی‌های ساختاری، عملکرد در شرایط متغیر، و مناسب بودن برای کاربردهای خاص تمرکز دارد. با ارزیابی نقاط قوت و محدودیت‌های هر نوع آشکارساز، این مطالعه به محققان و متخصصان کمک می‌کند تا براساس نیازهای آزمایشی و عوامل محیطی، مناسب‌ترین آشکارساز را انتخاب کنند.

1. SSB

2. PIPS

۲. تاریخچه

تاریخچه آشکارسازهای سد سطحی سیلیکونی^۱ یا SSB به اوایل دهه ۱۹۵۰ بازمی‌گردد. در آن زمان، این آشکارسازها برای اولین بار به عنوان ابزاری مناسب جهت تشخیص ذرات باردار مانند آلفا، بتا و پروتون‌ها در پژوهش‌های هسته‌ای و فیزیک ذرات مطرح شدند. در این دوران، پیشرفت در فناوری تولید مواد نیمه‌رسانا، به ویژه سیلیکون، زمینه‌ساز توسعه این نوع آشکارسازها شد (۲). آشکارسازهای SSB به دلیل طراحی ساده و کارایی بالا، به سرعت به یکی از پرکاربردترین آشکارسازها در تشخیص ذرات باردار تبدیل شدند. ساختار این آشکارسازها به گونه‌ای بود که از یک لایه نازک سیلیکونی تشکیل شده که به عنوان سد عمل می‌کند و مستقیماً با ذرات ورودی برهمکنش دارد. این ساختار ساده امکان دستیابی به حساسیت بالا و زمان پاسخگویی کوتاه را فراهم می‌کرد (۷). یکی از ویژگی‌های مهم آشکارسازهای SSB این است که قابلیت اندازه‌گیری انرژی ذرات را با دقت خوبی دارند، که این ویژگی باعث شده تا در طیف‌سنجی ذرات آلفا و بتا کاربرد وسیعی پیدا کنند. در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، با پیشرفت روش‌های ساخت و فرآوری نیمه‌رساناها، کیفیت این آشکارسازها بهبود یافت و امکان اندازه‌گیری دقیق‌تر انرژی ذرات فراهم شد (۸-۹). اما در عین حال، آشکارسازهای SSB دارای محدودیت‌هایی شامل حساسیت نسبت به شرایط محیطی مانند دما و رطوبت بودند. تغییرات در دما و رطوبت می‌توانست بر روی پایداری و عملکرد این آشکارسازها تأثیر بگذارد، و به‌ویژه در کاربردهای طولانی مدت و شرایط محیطی ناپایدار چالش‌برانگیز بود (۴). در دهه‌های بعد، تلاش‌هایی برای بهبود این آشکارسازها و کاهش اثرات محیطی بر روی آنها صورت گرفت، اما با معرفی آشکارسازهای سیلیکونی پیچیده‌تر مانند آشکارسازهای سیلیکونی منفعل‌شده (PIPS)، استفاده از SSB در برخی کاربردهای صنعتی و پزشکی کاهش یافت. با این وجود، به دلیل ساختار ساده و هزینه کمتر، آشکارسازهای SSB همچنان در آزمایشگاه‌ها و برای اهداف تحقیقاتی خاص استفاده می‌شوند (۴).

تاریخچه آشکارسازهای سیلیکونی منفعل‌شده^۲ یا PIPS به دهه ۱۹۸۰ میلادی برمی‌گردد، زمانی که پیشرفت‌های چشمگیری در فناوری ساخت نیمه‌رساناها امکان تولید این نوع آشکارسازها را فراهم کرد. این آشکارسازها به‌ویژه در اندازه‌گیری دقیق ذرات باردار و فوتون‌های پرنرژی در حوزه‌های پزشکی هسته‌ای و تحقیقات فیزیک هسته‌ای به کار گرفته شدند (۲). آشکارسازهای PIPS با

1. Silicon Surface Barrier

2. Passivated Implanted Planar Silicon

بهبودهایی نسبت به آشکارسازهای سدّ سطحی سیلیکونی (SSB) به ویژه از لحاظ پایداری و مقاومت در برابر شرایط محیطی، طراحی شدند. این آشکارسازها از یک لایه نازک منفعل شده در سطح سیلیکون بهره می‌برند که به محافظت از آشکارساز در برابر اثرات محیطی مانند رطوبت و آلودگی کمک می‌کند. علاوه بر این، فرآیند کاشت یون‌ها در این آشکارسازها منجر به ایجاد لایه‌های بسیار نازک و یکنواخت با ویژگی‌های الکتریکی بهبود یافته شد (۱۰). یکی از دلایل اصلی توسعه آشکارسازهای PIPS، بهبود حساسیت و دقت اندازه‌گیری بود. این آشکارسازها توانستند زمان پاسخگویی بهتری نسبت به آشکارسازهای سنتی مانند SSB ارائه دهند و در عین حال در برابر تغییرات دما و شرایط محیطی مقاوم‌تر باشند. این مزیت‌ها باعث شد که در کاربردهای طولانی مدت و محیط‌های صنعتی و علمی پیچیده‌تر مورد استقبال قرار گیرند (۱۱).

با ورود PIPS به بازار، کاربردهای جدیدی از جمله طیف‌سنجی ذرات آلفا و گاما با دقت بالا فراهم شد. این ویژگی به دلیل عدم نیاز به تعمیر و نگهداری مکرر و عمر طولانی‌تر آنها، باعث شد که در بسیاری از آزمایشگاه‌های پیشرفته و در سیستم‌های پزشکی هسته‌ای مورد استفاده قرار گیرند (۱۲). آشکارسازهای PIPS همچنین به دلیل قابلیت در کاهش نویز و ارائه سیگنال با کیفیت بهتر به ویژه در اندازه‌گیری‌های حساس، مورد توجه قرار گرفتند. این بهبودها در پژوهش‌های علمی مرتبط با آشکارسازی ذرات رادیواکتیو و همچنین در کاربردهای صنعتی مثل بررسی آلودگی‌های محیطی، نقش مهمی ایفا کرده است (۱۳). با گذشت زمان، تولیدکنندگان آشکارسازهای PIPS همچنان به بهینه‌سازی طراحی و عملکرد این دستگاه‌ها پرداختند و اکنون آشکارسازهای PIPS به عنوان استاندارد برای کاربردهای دقیق در فیزیک هسته‌ای و پزشکی شناخته می‌شوند. مزایای آنها نسبت به آشکارسازهای سنتی باعث شده تا همچنان جایگاه مهمی در تحقیقات و کاربردهای عملی داشته باشند (۵).

۳. مواد و ساختارها

۳-۱. ساختار آشکارساز سدّ سطحی (SSB)

آشکارسازهای SSB با استفاده از یک ویفر سیلیکونی نازک که یک پیوند سدّ سطحی ایجاد می‌کند، ساخته می‌شوند. به طور معمول، یک لایه نازک طلا یا آلومینیوم بر روی یک طرف ویفر سیلیکونی رسوب داده می‌شود، تا یک پیوند فلز-نیمه‌رسانا ایجاد شود. این پیوند به عنوان مانع عمل کرده و امکان تشخیص تابش یونیزه را از طریق ایجاد جفت‌های الکترون-حفره در ماده سیلیکونی، هنگامی که ذرات باردار با آشکارساز برخورد می‌کنند، فراهم می‌کند. این ناحیه سدّ با استفاده از آلیاژ یا کاشت فلزاتی مانند طلا یا آلومینیوم روی سطح سیلیکون ساخته می‌شود که به ایجاد یک تماس

شاتکی^۱ کمک می‌کند (۲، ۱۴).

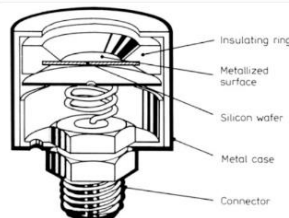
۳-۲. اجزای ساختاری آشکارساز سد سطحی

(۱) **لایه سیلیکونی:** این لایه اصلی‌ترین قسمت آشکارساز است که معمولاً از سیلیکون خالص نوع n یا نوع p ساخته می‌شود. سیلیکون به دلیل ویژگی‌های الکتریکی و نیمه‌هادی مناسب، گزینه‌ای ایده‌آل برای آشکارسازی ذرات باردار است. ضخامت این لایه بسته به نوع کاربرد و انرژی ذرات مورد انتظار تنظیم می‌شود (۱).

(۲) **لایه فلزی (سد پتانسیل):** سطح سیلیکون با یک لایه فلزی بسیار نازک (معمولاً از جنس طلا یا آلومینیوم) پوشیده می‌شود. این لایه فلزی با ایجاد یک سد پتانسیل روی سطح سیلیکون، ناحیه تهی^۲ را در نزدیکی سطح سیلیکون ایجاد می‌کند. ناحیه تهی در نزدیکی سطح سیلیکون قرار داشته و نقش مهمی در آشکارسازی دارد؛ زیرا تابش ورودی را به الکترون‌ها و حفره‌ها تفکیک می‌کند و باعث تولید سیگنال الکتریکی می‌شود.

(۳) **ناحیه تهی:** با اعمال یک ولتاژ بایاس مناسب، ناحیه‌ای در نزدیکی سطح سیلیکون خالی از حامل‌های بار (الکترون و حفره) ایجاد می‌شود. این ناحیه تهی که در اثر سد پتانسیل شکل می‌گیرد، محل اصلی آشکارسازی ذرات است. ذرات باردار وارد این ناحیه شده و با یونیزاسیون، الکترون‌ها و حفره‌ها را آزاد می‌کنند که باعث تولید جریان الکتریکی قابل اندازه‌گیری می‌شود.

(۴) **الکترودهای بایاس:** دو الکتروود در طرفین سیلیکون قرار دارند که یکی از آنها به لایه فلزی روی سیلیکون و دیگری به پشت سیلیکون متصل می‌شود. با اعمال یک ولتاژ بایاس مناسب به این الکترودها، میدان الکتریکی لازم در ناحیه تهی ایجاد می‌شود که باعث حرکت الکترون‌ها و حفره‌ها به سمت الکترودها می‌شود و سیگنال خروجی را تولید می‌کند (۱۵-۱۶).



شکل ۱- ساختار آشکارساز سد سطحی سیلیکونی (۱۷)

کریستال سیلیکونی مورد استفاده در این آشکارسازها، معمولاً نوع n است و با خلوص بسیار بالا

1. Schottky barrier
2. Depletion Region

تهیه می‌شود، تا کمترین میزان ناخالصی‌ها در آن وجود داشته باشد. در اثر قرار گرفتن لایه فلزی روی سطح سیلیکون، ناحیه‌ای در زیر آن به صورت تخلیه از بارهای الکتریکی ایجاد می‌شود که به عنوان ناحیه غیرفعال آشکارساز عمل می‌کند. در این ناحیه، یون‌های ورودی یا ذرات باردار با برخورد به کریستال سیلیکونی، زوج‌های الکترون-حفره تولید می‌کنند که به دلیل میدان الکتریکی داخلی، در ناحیه تخلیه از یکدیگر جدا شده و جریانی قابل اندازه‌گیری را به وجود می‌آورند (۱۳، ۱۸). ضخامت لایه فلزی سطحی و نوع سیلیکون به گونه‌ای انتخاب می‌شود که میزان جذب ذرات باردار ورودی بهینه باشد. به همین دلیل، آشکارسازهای SSB معمولاً برای آشکارسازی ذرات آلفا و بتا، و حتی پروتون‌ها و یون‌های سنگین مناسب هستند. این آشکارسازها به دلیل استفاده از ناحیه سد سطحی و ساختار ساده، هزینه تولید پایین‌تری نسبت به برخی آشکارسازهای جدیدتر مانند PIPS دارند، اما در مقابل، به دلیل حساسیت آنها به شرایط محیطی مانند رطوبت و اکسیداسیون، نیاز به مراقبت و نگهداری بیشتری دارند (۱۹).

- ضخامت آشکارساز

آشکارسازهای PIPS به طور معمول در ضخامت‌های مختلفی مانند ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و حتی ۱۰۰۰ میکرومتر تولید می‌شوند. ضخامت ۳۰۰ میکرومتر برای بازدهی بالا در انرژی‌های متوسط و ضخامت ۵۰۰ میکرومتر یا بیشتر برای بهبود احتمال واکنش در انرژی‌های بالا مناسب هستند.

- ابعاد غیرفعال

ابعاد غیرفعال این آشکارسازها متنوع بوده و از ۲۵ میلی‌متر مربع تا ۵۰۰۰ میلی‌متر مربع متغیر است. برای مثال، آشکارسازهایی با ابعاد ۴۵۰ میلی‌متر مربع و ۱۲۰۰ میلی‌متر مربع معمولاً برای کاربردهایی مانند تشخیص گازهای رادیواکتیو استفاده می‌شوند.

- ولتاژ عملیاتی

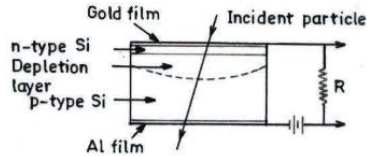
ولتاژ مورد نیاز برای عملکرد آشکارسازها بسته به ضخامت آن‌ها متفاوت است. به عنوان مثال، آشکارساز با ضخامت ۱۰۰ میکرومتر نیاز به ولتاژ ۴۰ ولت داشته، در حالی که آشکارساز با ضخامت ۱۰۰۰ میکرومتر نیاز به ولتاژ ۳۵۰ ولت دارد.

- رزولوشن انرژی

رزولوشن انرژی این آشکارسازها برای ذرات آلفا و بتا متفاوت است و بسته به مدل و ضخامت، رزولوشن برای ذرات آلفا معمولاً در محدوده ۱۰ تا ۳۵ کیلو الکترون ولت قرار دارد (۲۰-۲۱).



شکل ۲- نمونه‌ای از آشکارساز SSB (۱۸)



● **مواد:** از سیلیکون با خلوص بالا (معمولاً نوع n) برای تشکیل پیوند استفاده می‌شود و فلزاتی مانند طلا یا آلومینیوم برای لایه نازک سد به کار می‌روند.

● **ساختار:** سد به طور مستقیم روی سطح ویفر سیلیکونی تشکیل می‌شود و طراحی آن نسبتاً ساده است.

● **مزایا:**

○ **حساسیت بالا:** تشکیل مستقیم پیوند، امکان حساسیت بالایی نسبت به ذرات باردار مانند تابش آلفا و بتا را فراهم می‌کند.

○ **مقرون به صرفه بودن:** فرآیند ساخت ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر است که SSB را برای کاربردهای با محدودیت بودجه مناسب می‌سازد.

● **معایب:**

○ **جریان نشت معکوس بالا:** به دلیل خاتمه ضعیف لبه‌ها، آشکارسازهای SSB اغلب جریان نشت بالاتری دارند که باعث کاهش دقت در طول زمان می‌شود.

○ **پایداری کمتر:** پیوند سطحی در شرایط محیطی سخت مانند رطوبت بالا یا تغییرات دما، بیشتر در معرض خرابی قرار می‌گیرد.

● **اثرات آسیب تشعشع در آشکارسازهای سیلیکونی دوز آستانه ($\text{cm}^2/\text{ذرات}$)**

● **مقادیر معمول آسیب تشعشع در جدول (۱) آمده است.**

جدول ۱- مقادیر معمول آسیب تشعشع (۲۲)

Effects of radiation damage in silicon detectors Threshold doses (particles/cm²)

Fission fragments	Alpha particles	Protons	Fast neutrons	Electrons
108	109	1010	1012	1013

۳-۳. آشکارسازهای سیلیکونی غیرفعال شده (PIPS)

آشکارسازهای PIPS از تکنیک‌های پیشرفته پردازش نیمه‌رسانا استفاده می‌کنند، که در آن، پیوند با استفاده از کاشت یون و لایه‌های منفعل‌کننده که سطح سیلیکون را محافظت می‌کنند، ایجاد

می‌شود. فرآیند فعال‌سازی، لبه‌های پیوند را زیر یک لایه عایق دفن کرده که پایداری و دوام آشکارساز را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد.



شکل ۳- نمونه‌ای از دریچه آشکارساز PIPS (۱۸)

● **مواد:** سیلیکون با خلوص بالا به همراه لایه‌های فعال‌سازی مانند اکسید سیلیکون یا نیتريد سیلیکون.

● **ساختار:** پیوند از طریق کاشت یون ایجاد شده و سپس با عملیات حرارتی برای ترمیم آسیب‌ها و فعال‌سازی برای محافظت از سطح سیلیکون دنبال می‌شود.

● **مزایا:**

- پنجره ورودی $Si (> 500 \text{ \AA})$
- غیرفعال‌سازی SiO_2
- قابل پخت در دمای بالا (100° درجه سانتیگراد)
- جریان نشت پایین: لایه منفعل‌سازی به طور قابل توجهی بازترکیب سطحی را کاهش داده و باعث جریان نشت معکوس کمتر و وضوح انرژی بهبود یافته می‌شود.
- پایداری بالا: بدلیل وجود پیوند محافظت‌شده، کمتر تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، که آشکارسازهای PIPS را برای کاربردهای بلندمدت و عملکرد در شرایط سخت مناسب می‌سازد.
- وضوح انرژی بهتر: کیفیت سطح بهبود یافته ناشی از منفعل‌سازی، منجر به کارایی بهتر در جمع‌آوری بار و در نتیجه اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر تابش می‌شود.

● **معایب:**

- هزینه بالاتر: فرآیندهای تولید پیشرفته مورد نیاز برای ساخت آشکارسازهای PIPS مانند کاشت یون و عملیات حرارتی، هزینه‌های تولید را افزایش می‌دهند.
- طراحی پیچیده: طراحی پیچیده نیاز به کنترل دقیق در طول تولید دارد که می‌تواند مقیاس‌پذیری تولید را محدود کند (۱۸).

۴. ویژگی‌های عملکردی

۴-۱. وضوح انرژی

وضوح انرژی یک پارامتر کلیدی در تعیین توانایی آشکارساز برای تمایز بین انواع تابش است. آشکارسازهای PIPS معمولاً در این زمینه بهتر از SSB عمل می‌کنند، زیرا جریان‌های نشت کمتر و کارایی بهتر در جمع‌آوری بار به لطف لایه غیرفعال دارند.

● **آشکارسازهای PIPS:** وضوح انرژی معمولاً به دلیل نقص‌های سطحی و جریان نشت بالاتر محدود است. در حالی که آشکارسازهای SSB برای شمارش ساده تابش مؤثر هستند، ممکن است در اندازه‌گیری‌های انرژی دقیق‌تر دچار مشکل شوند.

● **آشکارسازهای PIPS:** طراحی منفعل‌شده امکان وضوح انرژی بهتری را فراهم می‌کند و این آشکارسازها را برای کاربردهایی که به طیف‌های انرژی دقیق نیاز دارند، مانند طیف‌سنجی گاما در تشخیص پزشکی و پژوهش‌های هسته‌ای، ایده‌آل می‌سازد.

۴-۲. پایداری و دوام

پایداری در برابر تغییرات شرایط محیطی مانند دما و رطوبت برای آشکارسازهایی که در کاربردهای میدانی استفاده می‌شوند، از جمله سایت‌های پایش هسته‌ای و تسهیلات درمان تابش، حیاتی است.

● **آشکارسازهای SSB:** این آشکارسازها به دلیل طبیعت محافظت‌نشده پیوند سطحی خود، در طول زمان کمتری پایدار هستند و ممکن است در محیط‌های مرطوب یا در مواجهه با نوسانات دما خراب شوند.

● **آشکارسازهای PIPS:** لایه منفعل‌سازی مقاوم تضمین می‌کند که آشکارسازهای PIPS حتی در شرایط محیطی چالش‌برانگیز نیز پایداری خود را حفظ می‌کنند. این امر آن‌ها را برای کاربردهای پایش مداوم در تأسیسات هسته‌ای مناسب می‌سازد.

۴-۳. قابلیت اطمینان عملیاتی در میدان‌های تابشی بالا

در محیط‌هایی با سطح بالای تابش مانند نیروگاه‌های هسته‌ای یا اتاق‌های درمان تابش، توانایی آشکارساز در حفظ عملکرد بدون کاهش چشمگیر، اهمیت دارد.

● **آشکارسازهای SSB:** عدم فعال‌سازی می‌تواند منجر به کاهش عملکرد در مواجهه با دوزهای بالای تابش در طول زمان شود. در نتیجه، ممکن است نیاز به کالیبراسیون و نگهداری مکرر داشته باشند.

● **آشکارسازهای PIPS:** به دلیل یکپارچگی ساختاری بهبودیافته، آشکارسازهای PIPS قادر به

تحمل دوزهای بالاتر تابش بدون از دست دادن قابل توجه حساسیت یا دقت هستند، که آن‌ها را برای کاربرد در محیط‌های تابشی بالا ایده‌آل می‌سازد.

۵. ملاحظات کاربردی

۵-۱. کاربردهای پزشکی

در کاربردهای پزشکی مانند درمان تابش و تصویربرداری تشخیصی، جایی که اندازه‌گیری دقیق دوز و وضوح تصویربرداری حیاتی است، معمولاً از آشکارسازهای PIPS استفاده می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری

آشکارسازهای SSB به دلیل ساختار ساده، هزینه پایین، و حساسیت مناسب به ذرات باردار، برای طیف‌سنجی ذرات در بسیاری از آزمایشگاه‌ها کاربرد دارند. اما محدودیت‌هایی مانند پایداری پایین در شرایط محیطی و نویز بالا در مقایسه با آشکارسازهای پیشرفته‌تر، باعث شده که در برخی کاربردهای دقیق‌تر و طولانی مدت، به طور کلی آشکارسازهای PIPS جایگزین مناسبی باشند. با این وجود، در کاربردهایی که هزینه و سادگی اهمیت دارند، آشکارسازهای SSB همچنان گزینه‌ای محبوب به‌شمار می‌روند. اتصال سطحی (پنجره ورودی) در آشکارساز PIPS به وسیله ایمپلنت یون‌ها ایجاد شده است. شرکت Mirion تکنیک‌های اختصاصی برای کاهش ضخامت پنجره توسعه داده است، در حالی که استحکام، قابلیت اطمینان و ثبات ذاتی، این نوع اتصال را حفظ می‌کند. آشکارساز PIPS دارای پنجره‌ای است که به طور قابل توجهی نازک‌تر از آشکارسازهای SSB متداول و بسیار نازک‌تر از هر آشکارسازی است که به همان میزان استحکام برسد (۲، ۲۲).

جدول ۲- مقایسه میزان استحکام دتکتورهای PIPS & SSB

Detector	Window Thickness (eq. Si)
PIPS	<nm 50
SSB (Au Window)	= nm 80
SSB (Al Window)	>nm 200

این پنجره نازک نه تنها رزولوشن معمولی را همانطور که به طور معمول اندازه‌گیری می‌شود، بهبود می‌بخشد، بلکه حتی بهبود بیشتری را در فاصله نزدیک آشکارساز- منبع نشان می‌دهد که برای دستیابی به راندمان بالای مورد نیاز برای طیف‌سنجی آلفای سطح پایین ضروری است. دلیل این امر بسیار ساده است - در فواصل نزدیک آشکارساز تا منبع، بزرگ‌ترین پیک رخ می‌دهد؛ زیرا بسیاری از

آل‌فاها در یک زاویه حاد وارد آشکارساز می‌شوند، با تغییراتی در اتلاف انرژی یا جذب در پنجره ورودی، با پنجره‌های نازک‌تر، شکستگی کمتری رخ می‌دهد. آشکارسازهای سیلیکونی غیرفعال شده^۱ یکی از فناوری‌های پیشرفته در زمینه شناسایی و طیف‌سنجی ذرات باردار، مانند ذرات آلفا و بتا هستند. این آشکارسازها به دلیل طراحی خاص و روش‌های ساخت مدرن، در مقایسه با آشکارسازهای سدّ سطحی سیلیکونی^۲ عملکرد بهتر و پایداری از خود نشان می‌دهند. آشکارسازهای PIPS با توجه به مزایایی مانند پایداری محیطی بالا، جریان نشتی کم، و وضوح انرژی مناسب، گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای دقیق و طولانی مدت در حوزه‌های هسته‌ای و پزشکی هستند. با این حال، هزینه بالای تولید و پیچیدگی فرآیند ساخت این آشکارسازها می‌تواند چالشی برای استفاده از آنها در برخی کاربردهای کم‌هزینه‌تر باشد. بنابراین، انتخاب این نوع آشکارساز بستگی به نیازهای خاص پروژه و میزان دقت و پایداری موردنیاز دارد. در نهایت، انتخاب بین آشکارسازهای SSB و PIPS بستگی به نیازهای خاص پروژه، محیط عملکرد، و بودجه دارد. اگر پایداری محیطی، دقت بالا، و طول عمر طولانی‌تر مدنظر باشد، آشکارسازهای PIPS به عنوان گزینه‌ای مناسب‌تر ظاهر می‌شوند. اما اگر حساسیت بالا در زمان‌های کوتاه و هزینه کمتر اولویت داشته باشد، آشکارسازهای SSB می‌توانند گزینه بهتری باشند. هر دو نوع آشکارساز به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردشان، همچنان در تحقیقات و صنایع مختلف جایگاه خود را حفظ کرده‌اند و انتخاب صحیح میان آنها می‌تواند تأثیر چشمگیری بر کیفیت نتایج اندازه‌گیری‌ها داشته باشد.

1. PIPS

2. SSB

References

1. Moradnasab Badr Abadi S, Sardari D & Athari M. Application, Advantages and Disadvantages of Galium Arsenide Detectors. *Applied Biology*. 2016; 6(22): 15-38.
2. Knoll, Glenn F. *Radiation detection and measurement*. John Wiley & Sons, 2010.
3. Bao, P-F & et al. Development of large-area quadrant silicon detector for charged particles. *Chinese Physics C*. 2014; 38(12): 126001.
4. Kim, H S & et al. Characteristics of silicon surface barrier radiation detectors for alpha particle detection. *Journal of the Korean Physical Society*. 2008; 52(6): 1754-1758.
5. Phong, T H N, Van T N & Le Cong H. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. *Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2018; 908: 128-135.
6. Domula A R & Thurn J, & Zuber K. Beta-spectroscopy of long lived nuclides with a PIPS detector-setup. *EPJ Web of Conferences*. vol. 146. EDP Sciences, 2017.
7. Bosch H E & et al. Semiconductor detectors setup for nuclear spectroscopy studies. *Nuclear Instruments and Methods*. 1974; 117(1): 213-219.
8. Shani G. *Radiation Dosimetry Instrumentation and Methods (2001)*. CRC press, 2017.
9. Muehl B. *Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Technik und Umwelt, Programme nuclear safety research. Annual report 2001. Pt. 2*. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Technik und Umwelt, Programm Nukleare Sicherheitsforschung. Jahresbericht. T. 2. 2002.
10. Baig N, Kammakakam I & Falath W. Nanomaterials: A review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Materials advances*. 2021; 2(6): 1821-1871.
11. Kemmer J & et al. Performance and applications of passivated ion-implanted silicon detectors. *IEEE Transactions on Nuclear Science*. 2007; 29(1): 733-737.
12. Pelletier J & Anders A. Plasma-based ion implantation and deposition: A review of physics, technology, and applications. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 2005; 33(6): 1944-1959.
13. Candelori A & et al. Radiation hardness of silicon detectors for high-energy physics applications. *IEEE Transactions on Nuclear Science*. 2003; 50(4): 1121-1128.
14. Li S S. *Metal-semiconductor contacts*. In: Semiconductor Physical Electronics. New York, NY: Springer New York, 2006: 284-333.
15. Bardelli L & et al. Application of digital sampling techniques to particle identification in scintillation detectors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2002; 491(1-2): 244-257.
16. Jang M & et al. *Design of Radioactive Krypton Detection System using PIPS Detector*. 2021.
URL= https://www.kns.org/files/pre_paper/45/21S-035-%EC%9E%A5%EB%AF%B8.pdf
17. Choppin G, Liljenzin J, Rydberg J & Ekberg C. *Detection and Measurement Techniques*. In: Radiochemistry and Nuclear Chemistry (pp.239-295). 2013

18. *The Continuous Air Monitoring (CAM) PIPS Detector Properties and Applications*. Mirion, 2021.
19. Aggarwal S K. Alpha-particle spectrometry for the determination of alpha emitting isotopes in nuclear, environmental and biological samples: past, present and future. *Analytical methods*. 2016; 8(27): 5353-5371.
20. Wang Nan & et al. Design of a Preamplifier for Silicon Detector Redout Experiment. *Open Access Library Journal*. 2022; 9(11): 1-9.
21. Liu J & et al. Development of Low-Noise Charge-Sensitive Preamplifier Based on PIPS Detector. *Open Access Library Journal*. 2020; 7(10): 1-8.
22. *Mirion Technologies, mirion, Mirion Technologies, Inc.*, 2025. [Online]. Available at: <https://www.mirion.com/faq-for-passivated-implanted-planar-silicon-pips-detectors>.