



## بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

### شبیه سازی نوع جدیدی از آشکارسازهای سه بعدی سیلیکونی نازک نانو

جلیلوند، محمدمین<sup>۱</sup> - سرآمد، شهیار<sup>۱</sup> - آقایی، حمیدرضا<sup>۲</sup>  
۱ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی هسته‌ای و فیزیک  
۲ نیروگاه اتمی بوشهر، شرکت بهره برداری نیروگاه اتمی بوشهر

#### چکیده:

در این مقاله ساختار جدیدی از آشکارسازهای سه بعدی نازک نانوشبیه سازی شده است که امکان ساخت آن در کشور بوسیله تکنولوژی نانووجود دارد. با توجه به اهمیت شبیه سازی این گونه ساختارها قبل از مرحله ساخت، برای ساختار نانو پیشنهادی، شبیه سازی سه بعدی با استفاده از نرم افزار ۲۰۰۸ SILVACO انجام شده و همچنین سیگنال القایی در آن نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که کوچک کردن ابعاد آشکارساز در حد نانو متری با روش پیشنهادی علاوه بر افزایش سرعت و کاهش ولتاژ بایاس به افزایش مقاومت آن نسبت به تشعشع نسبت به نمونه میکرو آن نیز منجر می‌شود.

**کلیدواژه:** آشکارسازهای سه بعدی سیلیکونی، نانو تکنولوژی، نرم افزار ۲۰۰۸ SILVACO

#### مقدمه:

در حال حاضر استفاده از آشکارسازهای دیودی سیلیکونی سه بعدی با سرعت بالا، قدرت تفکیک مکانی میکرومتری، مقاوم نسبت به تشعشع و ولتاژ تخلیه کامل پایین در فیزیک انرژی بالا گسترش روزافزونی یافته است [۱]. به عنوان نمونه‌ای از این نوع آشکارسازها می‌توان به آشکارساز سه بعدی که در سال ۱۹۹۷ توسط آقای پارکر معرفی گردید و به‌طور عملی در پروژه LHC سرن مورد استفاده قرار می‌گیرد، اشاره کرد [۲]. اما یکی از مشکلات مهم این نوع آشکارسازها قیمت بالای آن است. در این مقاله ساختار جدیدی از آشکارسازهای نازک سه بعدی ارائه و شبیه سازی شده است که امکان ساخت آن بوسیله تکنولوژی نانو به کمک آندایز شیمیایی آلومینیوم و استفاده از اکسید آلومینیم حفره دار به عنوان ماسک برای مرحله اچینگ و افزودن ناخالصی با روش کاشت یونی در کشور وجود دارد. یکی از مهمترین مزایای این آشکارسازها ارزان تر بودن، سرعت بالاتر، قدرت تفکیک مکانی بهتر، ولتاژ بایاس پایین تر و مقاوم تر بودنشان نسبت به تشعشع در مقایسه با آشکارسازهای سه بعدی



## بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

امروزیست. این نوع از آشکارسازهای نازک سه بعدی می‌توانند برای آشکار سازی یونها به خصوص در محیط های اشعه ایکس پلاسمایی با شدت تابش بالا مورد استفاده قرار بگیرد، بطوریکه تحمل بسیار خوبی در برابر افزایش توان گداخت پلازما از خود نشان می‌دهند. افزایش توان گداخت پلازما تابش های نوترون و گاما های زمینه را افزایش می‌دهد. آشکارسازهای مورد استفاده در این محیط تحمل شارهای بالای تابش های زمینه را ندارند بنابراین با رسیدن به حالت اشباع قادر به تشخیص یون های حاصل از پلازما که حاوی اطلاعات بسیار مفیدی درباره پارامترهای پلازما است نیستند [۳].

با توجه به اهمیت شبیه سازی این گونه ساختارها قبل از مرحله ساخت، برای ساختار نانوی پیشنهادی پروفایل پتانسیل و میدان الکتریکی بصورت سه بعدی با کمک روش المان محدود (FEM) با استفاده از نرم افزار 2008 SILVACO استخراج شده و پاسخ آشکارساز به تابش فرودی نیز مورد مطالعه قرار گرفته است.

### روش کار

نرم افزار 2008 SILVACO [4] از محیط های مختلفی تشکیل شده است که شامل ATLAS, TONYPLOT, DECKBILD و غیره می‌باشد. هر کدام از این محیط ها بسته به نیاز در شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفته اند. با استفاده از محیط ATLAS می‌توان ساختار مورد نیاز را تعریف کرد. روش های عددی و مدل های فیزیکی در این محیط انتخاب می‌شوند. همچنین مشخصات الکتریکی آشکارساز در این محیط بدست می‌آید. با استفاده از محیط DECKBILD برنامه شبیه سازی اجرا می‌شود. خروجی این محیط اطلاعاتی در مورد جریان فرآیند شبیه سازی از جمله دستورات خطا می‌دهد و در نهایت خروجی شبیه سازی در محیط TONYPLOT نمایش داده می‌شوند.

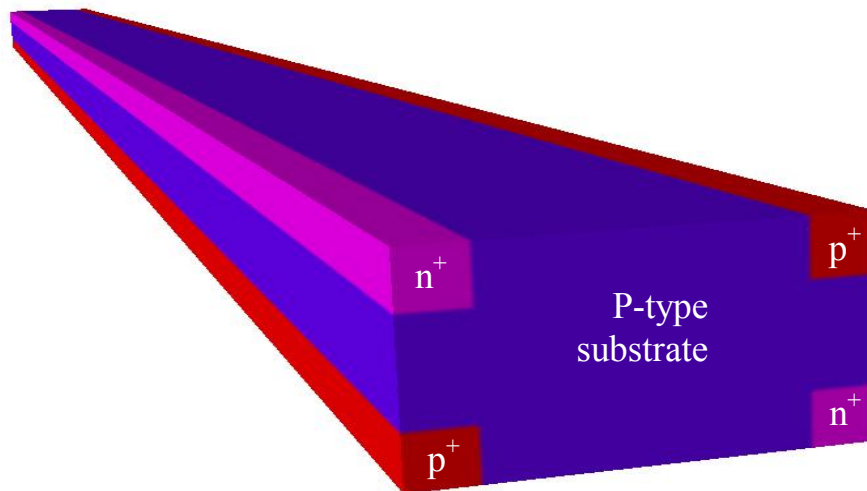
شماتیکی از آشکارساز سه بعدی سیلیکونی نازک نانو در شکل (۱) نشان داده شده است. این ساختار دارای ابعاد  $250\text{ nm}$  در  $433\text{ nm}$  و ضخامت  $10\text{ میکرومتر}$  می‌باشد. بعلاوه محدودیت نرم افزار، الکترودها بصورت استوانه ای در نظر گرفته نشده اند بلکه دارای سطح مقطع مربعی طول



## بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

ضلع  $130\text{nm}$  می باشند. در این ساختار الکترودهای مشابه نوع  $n^+$  و  $p^+$  در دو گوشه سلول شبیه سازی شده و در کل ضخامت آشکارساز نفوذ داده می شوند. غلظت ناخالصی الکترودها بصورت یکنواخت  $10^{18}(1/\text{cm}^3)$  و نوع ویفر از نیمه هادی نوع  $p$  با غلظت ناخالصی  $5 * 10^{12}(1/\text{cm}^3)$  می باشد.



شکل (۱): شماتیکی از آشکارساز سه بعدی سیلیکونی نازک نانو

در جریان شبیه سازی، شرط مرزی نیومن برای مرزهای حجم آشکارساز و بر روی الکترودهای نوع  $n^+$  اتصال اهمی آندی و بر روی الکترودهای نوع  $p^+$  اتصال اهمی کاتدی با قرار دادن ضخامت نازکی از آلومینیوم بر روی آنها، در نظر گرفته شده است. بمنظور بدست آوردن ولتاژ تخلیه، آندهای  $1\text{A}$  تا  $2\text{A}$  ولتاژ  $0.2\text{V}$  و کاتدهای  $1\text{A}$  تا  $2\text{A}$  ولتاژ  $0.2\text{V}$  بایاس شدند. بمنظور شبیه سازی پاسخ زمانی آشکارساز ابتدا در مرکز آشکارساز به مختصات  $(216\text{nm}, 125\text{nm})$ ، خط باری از جفت حامل های آزاد الکترون - حفره قرار گرفت. پس از آن جریان الکترودها در طول زمان بدست آمد. تعداد کل حامل های آزاد الکترون - حفره در داخل آشکارساز برای مطابقت با  $\text{minimum ionizing}$  ( $80\text{ particle pairs}/\mu\text{m}$ ) می باشد [5]. حرکت حامل های آزاد توسط میدان الکتریکی بر روی الکترودها سیگنال الکتریکی القاء می کند.

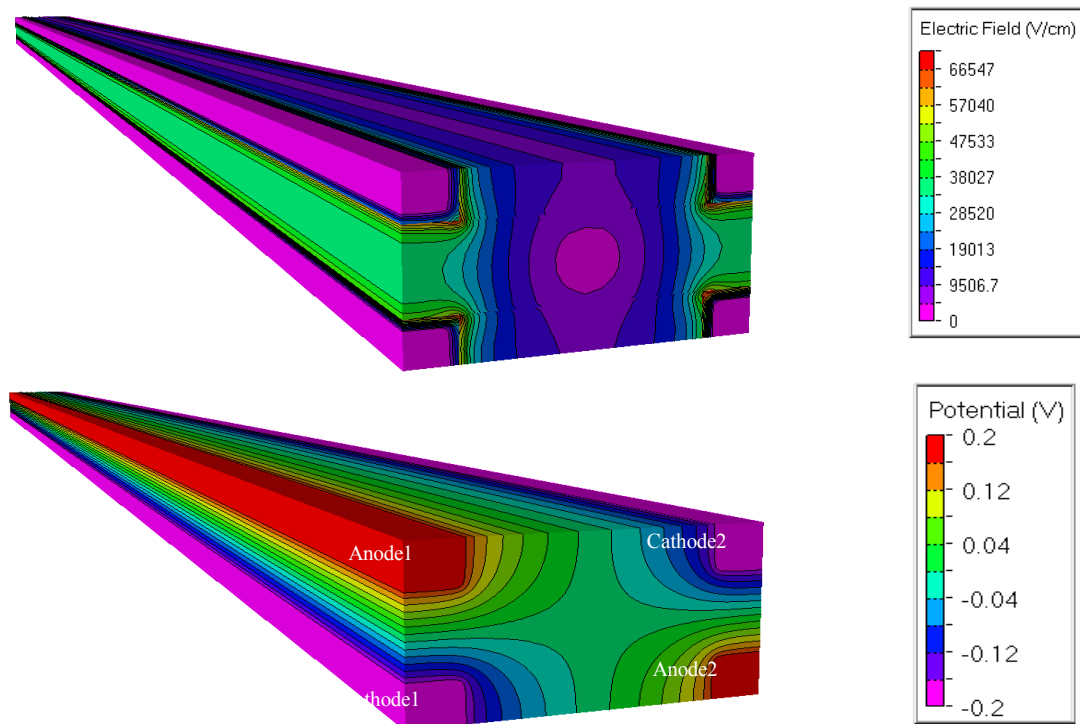
نتایج



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفندماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

همانطور که قبلاً ذکر شد پارامتر ولتاژ تخلیه یکی از مهمترین مزیت‌های آشکارسازهای سه بعدی است که در ولتاژهای پایین‌تر اتفاق می‌افتد. شبیه‌سازی سه بعدی آشکارساز استاندارد مشخص می‌کند که ولتاژ تخلیه آشکارساز در ولتاژ ۰.۴ ولت روی می‌دهد. شکل (۲) پروفایل میدان و پتانسیل الکتریکی را در اختلاف ولتاژ 0.4 نشان می‌دهد. ماکزیمم میدان الکتریکی (ناحیه قرمز رنگ) در لبه الکترودها بعلاوه چهار گوش در نظر گرفتن آنها ایجاد می‌شود. بجز مرکز آشکارساز که میدان الکتریکی بعلاوه تقارن سلول ضعیف است، بیشتر حجم آشکارساز دارای میدان بسیار قوی است که باعث افزایش سرعت آشکارساز و جمع‌آوری سریع حامل‌های آزاد ناشی از تابش یوننده می‌شود.



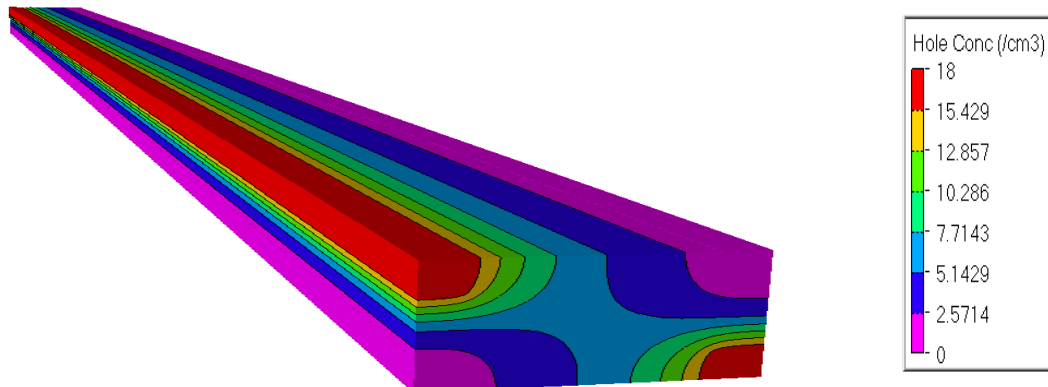
شکل (۲): پروفایل میدان و پتانسیل الکتریکی در ولتاژ ۰.۴ ولت

شکل (۳) غلظت حامل‌های حفره در ولتاژ ۰.۴ را نشان می‌دهد. بیشتر حجم آشکارساز در این ولتاژ از حامل‌های بار تخلیه شده است.



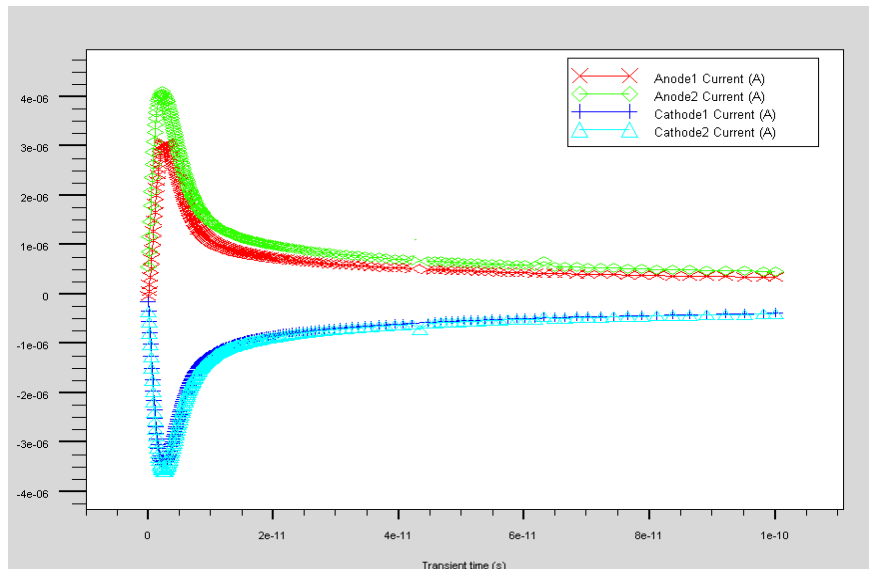
# بیست و یکمین کنفرانس هسته ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل (۳): غلظت حفره در ولتاژ ۰.۴ ولت

سیگنال الکتریکی القایی بر روی آندها و کاتدهای آشکارساز سه بعدی استاندارد در شکل (۴) نشان داده شده است. مطابق شکل (۵) سیگنال القاء شده بر روی آند شماره ۱ در زمانی بین ۰.۰۲ تا ۰.۰۳ نانو ثانیه به بیشینه مقدار خود رسیده و به آهستگی تا رسیدن به مقدار صفر کاهش می یابد.

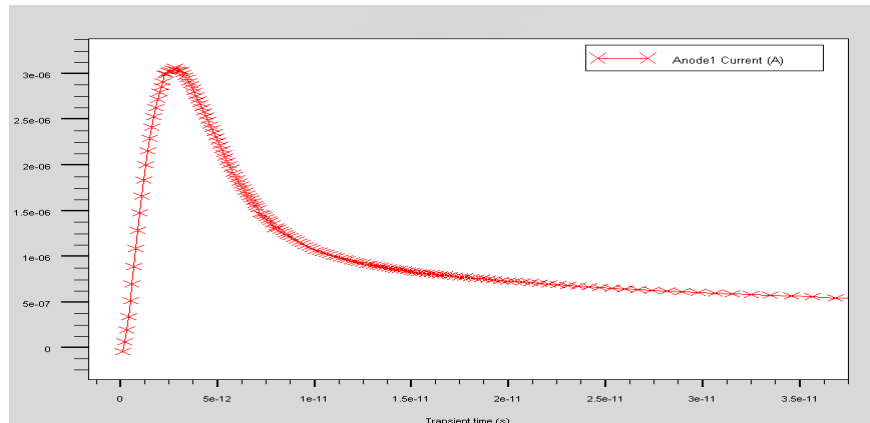


شکل (۴): سیگنال القایی الکترودها بصورت تابعی از زمان



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل (۵): سیگنال القاء شده بر روی آند شماره ۱

## بحث و نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از شبیه سازی سه بعدی آشکارساز استاندارد با کمک نرم افزار SILVACO2008 با روش پیشنهادی نشان می‌دهد که کوچک کردن ابعاد آن در حد نانو متری علاوه بر کاهش ولتاژ بایاس نسبت به نمونه میکرووی آن، به افزایش سرعت بیشتر جمع آوری بارهای آزاد ایجاد شده بوسیله تابش یوننده و در نتیجه مقاومت بیشتر آن نسبت به تشعشع نیز منجر می‌شود. آشکارسازهای سه بعدی بعلت مقاوم بودنشان نسبت به تشعشع امروزه در فیزیک انرژی بالا، بررسی مشخصه پلاسما و غیره کاربردهای فراوانی دارند که آشکارساز نازک پیشنهادی را می‌توان برای آشکار سازی یونها به خصوص در محیط های اشعه ایکس پلاسمایی مورد استفاده قرار داد.

## مراجع

- [۱] Large Hadron Collider experiment, "<http://lhc-new-homepage.web.cern.ch/>".
- [۲] S. Parker, "3D - A Proposed New Architecture for Solid State Radiation Detectors", Nucl. Instr. and Meth. A 395 pp. 328-343, 1997.
- [۳] G. Pellegrini, "Fabrication and simulation of novel ultra-thin 3d silicon detector", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A604 pp. 115-118, (2009).
- [4] ATLAS User's Manual: Device Simulation Software, SILVACO; 2008
- [5] Sadrozinski, H. F. W. Applications of silicon detectors. IEEE Trans. Nucl. Sci. 48(4), 933-940, 2001.