



## اندازه‌گیری و مقایسه پاسخ نوری و پرتویی سه نوع دیود نوری PIN تجاری برای استفاده در یک سیستم مقطع نگاری پرتو ایکس

اردلان فائز مهر<sup>۱</sup>، مجید خرسندی<sup>۱\*</sup>، حمید جعفری<sup>۱</sup>، سید امیرحسین فقهی<sup>۱</sup>

۱. دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

\* m\_khorsandi@sbu.ac.ir

### چکیده:

در دهه اخیر آشکار سازهای حالت جامد نقش ویژه‌ای در سیستم‌های تصویربرداری بخصوص مقطع نگاری کامپیوتری (CT) با اشعه ایکس داشته‌اند. در این مقاله بمنظور ساخت آرایه آشکار سازی پرتو برای سیستم CT اشعه ایکس، سه دیود نوری نوع PIN جهت بررسی انتخاب شد که دو تا از آن‌ها دیود نوری تجاری با کاربرد عام بوده و دیگری مختص تصویربرداری با اشعه ایکس است. در این راستا، متغیرهای نوری تاثیرگذار دیودهای نوری، اندازه‌گیری شدند و در نهایت با در نظر گرفتن فاکتورهای تأثیرگذاری همچون قیمت و مساحت نواحی فعال و مرده دیودهای نوری، نتایج مقایسه نهایی ارائه شد. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که استفاده از دیود نوری BPW34B برای این کار مطلوب است.

**کلمات کلیدی:** آشکار ساز دیود نوری، دیود نوری PIN، جریان تاریکی، دیودهای نور افشان

### مقدمه:

دیودهای نوری حسگرهای نیمه‌هادی هستند که به نور و پرتوهای دیگر پاسخ داده و جریان الکتریکی تولید می‌کنند. با قرار دادن یک لایه از نیمه‌رسانای ذاتی با مقاومت بالا به عنوان ناحیه تخلیه در بین دو لایه نوع n و نوع p تشکیل دهنده آن‌ها، دیودهای نوری نوع PIN تشکیل می‌شوند که بدلیل ویژگی‌های مناسب آن‌ها [۱]، در زمینه‌های متعددی قابل استفاده و مطلوب هستند. همچنین هنگامی که سوسوزن با آن‌ها جفت شود، این دیودهای نوری سیلیکونی می‌توانند آشکار سازهای مناسبی برای پرتوهای ایکس و گاما باشند. در این پژوهش مشخصات نوری مرتبط با پاسخ به اشعه ایکس سه دیود نوری PIN تحت بررسی قرار گرفته‌اند تا مقرون به صرفه‌ترین دیود نوری با پاسخ مطلوب برای سیستم مقطع نگاری پرتو ایکس انتخاب گردد.

### روش کار:

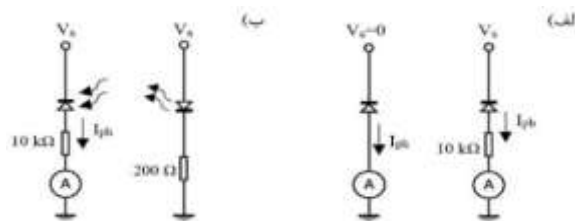
سه دیود نوری PIN با نام‌های تجاری [۲] BPW34B (OSRAM)، [۳] S10357-01 (HAMMAMATSU) و [۴] BS500B (SHARP) جهت بررسی انتخاب شد که کاربرد دیود نوری S10357-01 مختص تصویر برداری با اشعه

ایکس است. انتخاب این سه دیود نوری بر مبنای میزان حساسیت طیفی و بازدهی کوانتومی منطبق با طیف نور گسیلی از سوسوزن CsI(Tl)، مقدار مطلوب جریان نشتی تاریکی، هموار بودن سطح دیود نوری جهت سهولت در جفت کردن سوسوزن است. شکل ۱ تصویر این دیودهای نوری را نشان می‌دهد.



شکل ۱. دیودهای نوری استفاده شده در آزمایش (الف) BPW34B، (ب) S10357 و (ج) BS500B

سه پارامتر انتخابی جهت مقایسه دیودهای نوری مذکور عبارتند از: جریان تاریکی در حالت بایاس صفر و بایاس معکوس در چهار ولتاژ ۰/۰۰۷، ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۱۰ ولت، پاسخ دیود نوری به دیودهای نور افشان (LED) با سه طول موج ۴۸۰، ۵۲۰ و ۵۸۵ نانومتر منطبق با طیف سوسوزن CsI(Tl) برای چهار ولتاژ بایاس معکوس ذکر شده و پاسخ دیودهای نوری به تابش اشعه ایکس در چهار انرژی ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ کیلوولت با جریان ۴۰۰ میکروآمپر در حالت بایاس صفر هنگامی که سوسوزن CsI(Tl) بر روی آنها جفت شده باشد. در این آزمایش از هر نوع دیود نوری، سه نمونه برگزیده شد و در شرایط یکسان تحت آزمایش قرار گرفتند. با توجه به زمان بر بودن فرآیندهای آزمایش، برای هر نمونه نیز ۴ بار آزمایش تکرار شده است. برای اندازه‌گیری پاسخ دیودهای نوری به طول‌موج‌های مختلف، از دیودهای Power LED استفاده شد. جریان حاصل از دیودهای نوری بوسیله الکترومتر KEITHLEY مدل 6517B [۵] اندازه‌گیری شده است. شکل ۲، مدار مورد استفاده برای بدست آوردن جریان دیودهای نوری را نشان می‌دهد.



شکل ۲. الف) مدار اندازه‌گیری جریان تاریکی دیودهای نوری ب) مدار اندازه‌گیری جریان دیودهای نوری حاصل از تابش نور

لازم به ذکر است اندازه‌گیری‌های فوق در محیط کاملاً تاریک و دمای  $23^{\circ}\text{C}$  انجام شده و از یک محفظه آلومینیومی متصل به پتانسیل زمین نیز برای حذف اثر نویزهای محیطی و EMI استفاده شده است. در این آزمایش، دیودهای LED با زاویه صفر درجه تابانده شده‌اند. شکل ۳ محفظه فلزی ساخته شده و چیدمان آزمایش را نشان می‌دهد.

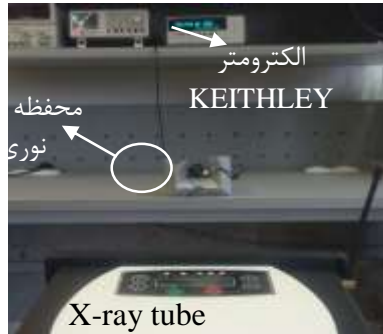


شکل ۳. چیدمان آزمایش و محفظه فلزی ساخته شده برای اندازه‌گیری جریان تاریکی و جریان حاصل از تابش دیودهای LED

شدت نور تابیده شده از دیودهای LED بر روی دیودهای نوری برای هر طول‌موج به طور جداگانه ثابت تنظیم شده است. در اندازه‌گیری خروجی دیودهای نوری حاصل از تابش اشعه ایکس، از سوسوزن‌های CsI(Tl) با ابعاد  $4 \times 5 \times 5$  میلی‌متر استفاده شده است و برای جلوگیری از فرار نور، اطراف سوسوزن با نوار تفلون و سپس فویل آلومینیومی پوشانده شده است. جهت انطباق نوری مناسب، میان دیود نوری و سوسوزن از روغن ایمر سیون استفاده شده است. جهت تابش اشعه ایکس دیودهای نوری جفت شده درون محفظه تاریک قرار گرفتند که شکل ۴ این محفظه را نشان می‌دهد.



شکل ۴. محفظه قرارگیری دیود نوری جهت تابش اشعه ایکس به همراه سوسوزن جفت شده بر روی دیود نوری BPW34B بدلیل عدم پایداری جریان در حالت بایاس معکوس، اندازه‌گیری جریان دیود نوری برای این آزمایش در حالت بایاس صفر انجام شده است. در این آزمایش از تیوب اشعه ایکس مدل (MEDEX GemX-160) استفاده شده است. پرتو ایکس با انرژی‌های ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ کیلوولت و جریان ۴۰۰ میکروآمپر از فاصله یک متری به دیودهای نوری تابانده شده است. شکل ۵ چیدمان کلی آزمایش با مولد پرتو ایکس را نشان می‌دهد.



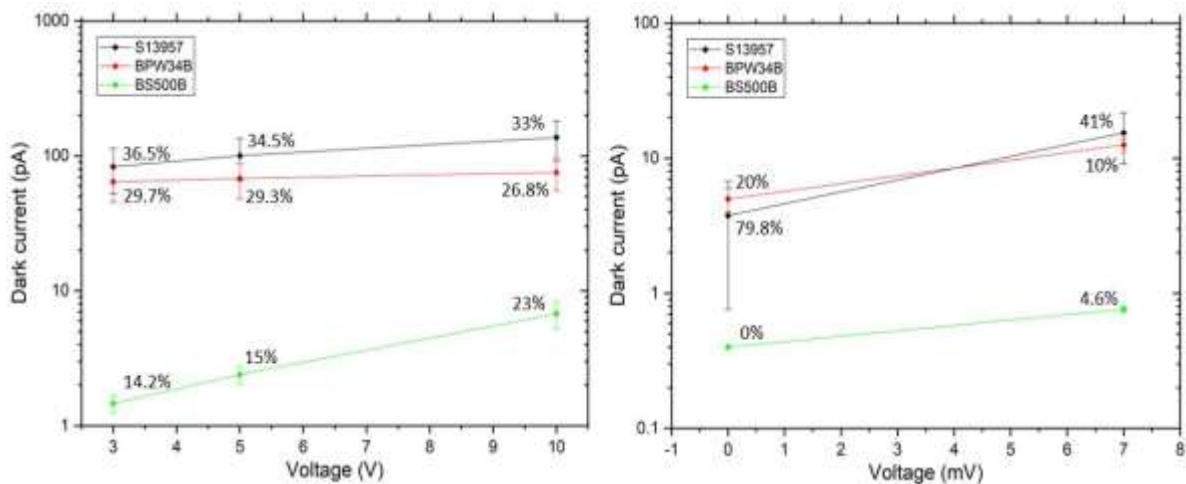
شکل ۵. چیدمان کلی آزمایش با مولد پرتو ایکس

## نتایج :

### مقادیر جریان تاریکی

نمودار متوسط جریان‌های تاریکی برای این سه دیود نوری در حالت بایاس صفر و همچنین با اعمال چهار ولتاژ ۰/۰۰۷، ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۱۰ در حالت بایاس معکوس در شکل ۶ آورده شده است. در صد انحراف معیار نسبی جریان اندازه‌گیری

شده (  $100 \times \frac{\text{مقدار انحراف از معیار نمایش داده شده در ولتاژ مربوطه}}{\text{مقدار جریان تاریکی دیود نوری در ولتاژ مربوطه}}$  ) نیز بر روی نمودارها نشان داده است.



شکل ۶. الف) متوسط جریان تاریکی دیودهای نوری در حالت بایاس صفر و بایاس معکوس ۰/۰۰۷ ولت. ب) متوسط جریان تاریکی

دیودهای نوری در حالت بایاس معکوس برای سه ولتاژ ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۱۰ ولت.

با توجه به شکل ۶، کمترین مقادیر جریان تاریکی برای حالت بایاس صفر به ترتیب مربوط به دیود نوری BS500B، S10357-01 و BPW34B است اما پس از اعمال ولتاژ در حالت بایاس معکوس، جریان تاریکی دیود نوری S10357-01 افزایش یافته و از دیود نوری BPW34B پیشی گرفته است. در بررسی مقادیر انحراف از معیار دیودهای نوری و



درصد نسبی آن‌ها، مشاهده می‌شود به طور متوسط کمترین مقدار انحراف از معیار ابتدا مربوط به دیود نوری BS500B، BPW34B و سپس S10357-01 است.

### جریان دیودهای نوری حاصل از تابش نور

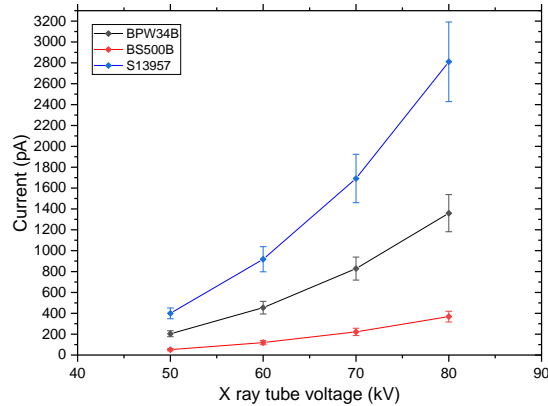
در جدول ۱، متوسط جریان دیودهای نوری در اثر تابش نور با سه طول موج ۴۸۰، ۵۲۰ و ۵۸۰ نانومتر آورده شده است. با توجه به جدول ۱، بیشترین بازدهی جریانی در اثر تابش نور به دیودهای نوری به ترتیب مربوط به S10357-01، BPW34B و BS500B است که عامل اصلی این اختلاف مساحت سطح فعال دیودهای نوری است. همچنین افزایش تدریجی پاسخ نوری این دیودهای نوری با افزایش ولتاژ قابل مشاهده است.

جدول ۱. نتایج جریان خروجی دیودهای نوری در اثر تابش نور به آن‌ها

|                                 | ولتاژ (V) |        |        |        | طول موج (nm) | دیود نوری |
|---------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------------|-----------|
|                                 | ۱۰        | ۵      | ۳      | ۰/۰۰۷  |              |           |
| پاسخ<br>دیودهای<br>نوری<br>(uA) | ۱۶۷/۶۴    | ۱۶۵/۳۶ | ۱۶۴/۰۲ | ۱۶۰/۴۲ | ۴۸۰          | S10357-01 |
|                                 | ۸۳/۸      | ۸۳/۰۶  | ۸۲/۶۸  | ۸۱/۴   | ۵۲۰          |           |
|                                 | ۴۷/۵۴     | ۴۶/۹۶  | ۴۶/۵۵  | ۴۵/۶۲  | ۵۸۵          |           |
|                                 | BPW34B    | ۴۷/۹۵  | ۴۷/۸۷  | ۴۷/۷۷  | ۴۷/۴۰        | ۴۸۰       |
|                                 |           | ۲۳/۸۶  | ۲۳/۸۲  | ۲۳/۷۷  | ۲۳/۵۶        | ۵۲۰       |
|                                 |           | ۱۴/۵   | ۱۴/۴۷  | ۱۴/۴۴  | ۱۴/۳۴        | ۵۸۵       |
|                                 | BS500B    | ۲۶/۹۳  | ۲۶/۷۹  | ۲۶/۷۳  | ۲۶/۶۷        | ۴۸۰       |
|                                 |           | ۱۳/۹   | ۱۳/۸۲  | ۱۳/۸۰  | ۱۳/۷۸        | ۵۲۰       |
|                                 |           | ۶/۹    | ۶/۸۸   | ۶/۸۶   | ۶/۸۴         | ۵۸۵       |

### خروجی حاصل از تابش اشعه ایکس

متوسط جریان دیودهای نوری کوپل شده با سوسوزن حاصل از تابش پرتو ایکس به آن‌ها با چهار انرژی ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ کیلوکلوکترن ولت و جریان ۴۰۰ میکروآمپر در حالت بایاس صفر در شکل ۷ آورده شده است که نشان می‌دهد بیشترین حساسیت و خروجی دیودهای نوری جفت شده با سوسوزن CsI(Tl) در اثر تابش پرتو ایکس به آن‌ها به ترتیب مربوط به دیود نوری S10357-01، BPW34B، و BS500B است که با افزایش انرژی پرتو ایکس اختلاف خروجی بین آن‌ها نیز بیشتر شده است.



شکل ۷. جریان خروجی دیودهای نوری جفت شده با سوسوزن در اثر تابش پرتو ایکس به آنها

### دیگر متغیرهای مؤثر

در سنجش دیودهای نوری متغیرهای دیگری از جمله مساحت سطح فعال دیودهای نوری، نسبت سطح فعال دیودهای نوری به مساحت کل سطح آنها، نحوه چیدمان آرایه‌های دیودهای نوری در کنار یکدیگر و نحوه جفت شدن سوسوزن با دیودهای نوری و قیمت آنها نیز مؤثر هستند که این اطلاعات همراه با خلاصه نتایج آزمایشات قبل در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۱ می‌توان دریافت که تأثیر مساحت سطح فعال بر پاسخ دیودهای نوری بسیار بیشتر از حساسیت نوری مندرج در برگه اطلاعات آنها است در نتیجه جهت دریافت مقادیر جریان بیشتر، باید دیود نوری با سطح فعال بزرگ‌تر انتخاب شود اما از طرفی برای هدف تصویربرداری هرچه سطح فعال این دیودها کوچکتر باشد و نسبت مساحت سطح فعال به مساحت کل سطح آنها بیشتر باشد، قدرت تفکیک مکانی بهتری خواهیم داشت.

جدول ۲. اطلاعات مربوط به متغیرهای مؤثر در بررسی دیودهای نوری

| واحد | دیود نوری     |               |               | متغیرها                                    |
|------|---------------|---------------|---------------|--|
|      | BS500B        | BPW34B        | S10357-01     |  |
|      | مقدار پارامتر | مقدار پارامتر | مقدار پارامتر |  |
| pA   | ۰/۴           | ۵             | ۳/۷           | جریان تاریکی (بایاس صفر)                   |
| uA   | ۲۶/۶۷         | ۴۷/۴۰         | ۱۶۰/۴۲        | پاسخ به طول موج ۴۸۰ nm در بایاس معکوس ۷ mV |
| uA   | ۱۳/۸          | ۲۳/۵۶         | ۸۱/۴۰         | پاسخ به طول موج ۵۲۰ nm در بایاس معکوس ۷ mV |



|                 |        |       |        |   |
|-----------------|--------|-------|--------|---|
| uA              | ۶/۸۴   | ۱۴/۳۴ | ۴۵/۶۲  | پاسخ به طول موج ۵۸۰ nm در بایاس معکوس ۷ mV                          |
| nA              | ۰/۳۷   | ۱/۳۶  | ۲/۸۱   | پاسخ به تابش پرتو ایکس ۸۰ keV با وجود سوسوزن CsI(Tl) (در بایاس صفر) |
| mm <sup>2</sup> | ۵/۳۴   | ۷/۰۲  | ۲۳/۰۴  | مساحت سطح فعال  |
| —               | ۰/۱۱۱  | ۰/۳۲۵ | ۰/۹۲۱۶ | <u>مساحت سطح فعال</u><br>مساحت کل                                   |
| تجربی           | بد     | عالی  | عالی   | نحوه جفت شدن سوسوزن   |
| A/W             | ۹۶/۶۷٪ | ۶۶٪   | ۳۸٪    | حساسیت نوری به طول موج ۵۴۰ nm                                       |
| دلار            | ۱/۸    | ۰/۸۲  | ۵۰     | قیمت هر قطعه (در تاریخ ۹۸/۰۱/۱۷)                                    |

### بحث و نتیجه گیری :

در این کار ۳ دیود نوری نوع PIN جهت استفاده به عنوان آشکار ساز پرتو در سیستم تصویربرداری اشعه ایکس تحت بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که جریان دیودهای نوری هم نوع، تفاوت محسوسی با یکدیگر دارند که این امر لزوم اعمال ضریب کالیبراسیون برای هر دیود نوری به صورت جداگانه را نشان می‌دهد. همچنین می‌توان مشاهده کرد که هر چند مشخصات دیود نوری S10357 بسیار مطلوب است ولی از قیمت بسیار بالایی برخوردار است در نتیجه انتخاب دیود نوری مطلوب، از بین دو مورد دیگر صورت پذیرفته است و با توجه به کمتر بودن نواحی مرده دیود نوری BPW34B نسبت به BS500B و قیمت کمتر آن، دیود نوری BPW34B برای تصویربرداری اشعه ایکس با آرایه‌های تعداد بالا، مناسب‌تر از انواع دیگر دیودهای نوری بنظر می‌رسد و برای طراحی یک سیستم آشکار سازی تصویر برداری می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

### مراجع :

- [1] El\_Tokhy, M., & Mahmoud, I. (2015). Performance analysis of PIN photodiode under gamma radiation effects through modeling. *Journal Of Optics*, 44(4), 353-365. doi: 10.1007/s12596-015-0310-5
- [2] BPW34B, "Silicon PIN Photodiode with Enhanced Blue Sensitivity - Osram," Osram, 8 p, 2016.
- [3] S10357-01-01, "Si photodiode S10357-01-0", HAMAMATSU, 3 p, 2011.
- [4] BS500B, "BS500B Blue Sensitive Photodiode", Sharp Microelectronics, 2 p, n.d.
- [5] KEITHLEY 6517B, "6517B Electrometer/High Resistance Meter", KEITHLEY A Tektronix Company, 12 p, 2016.
- [6] TES-1335 DIGITAL ILLUMINANCE METER, "TES-1335 INSTRUCTION MANUAL", TES ELECTRICAL ELECTRONIC CORP., 4 p, 2006.