بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

اندازه‌گیری و مقایسه مشخصات نوری سه نوع فوتودیود PIN جهت استفاده در سیستم تصویربرداری توموگرافی با پرتو ایکس

اردلان فائزمهر[1*]، مجید خرسندی[1]، حمید جعفری[1]، سید امیرحسین فقهی[1]

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

* ardalan_faezmehr@yahoo.com

چکیده- در دهه اخیر آشکارسازهای حالت جامد نقش ویژه‌ای در سیستم‌های تصویربرداری بخصوص توموگرافی کامپیوتری (CT) با اشعه ایکس داشته‌اند بطوریکه در اکثر آن‌ها از فوتودیودهای نوع PIN همراه با کریستال سوسوزن استفاده می‌شود. در این مقاله سه نوع فوتودیود تجاری از نوع PIN (BPW34B، BS500B و SGPD30C) بمنظور ساخت آرایه آشکارسازی پرتو برای سیستم CT اشعه ایکس مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این راستا، پارامترهای نوری مهم و تاثیرگذار فوتودیودها، اندازه‌گیری شدند و در نهایت با در نظر گرفتن فاکتورهایی مانند قیمت و مساحت نواحی فعال و مرده فوتودیودها هنگام چیدمان آرایه‌ها در کنار یکدیگر، نتایج مقایسه نهایی ارائه شد. این پارامترها عبارتند از: جریان تاریکی در حالت بایاس صفر و بایاس معکوس برای چهار ولتاژ مختلف، پاسخ فوتودیود به دیودهای نور افشان (LED) با سه طول‌موج مختلف که منطبق با طیف سوسوزن CsI(Tl) است. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که استفاده از فوتودیود BPW34B به لحاظ نتایج خروجی مطلوب، مناسب و مقرون به صرفه می‌باشد.

کلیدواژه- آشکارساز فوتودیودی، فوتودیود PIN، جریان تاریکی، دیودهای نور افشان

Optical characteristic measurement and comparison of three PIN photodiodes for using in x-ray tomography imaging system

Faezmehr, Ardalan[1*]- Khorsandi, Majid[1]- Jafari, Hamid[1]- Feghhi, Seyed Amirhossein[1]

1. Shahid Beheshti University, Nuclear Engineering Faculty, Radiation Application Group

*** ardalan_faezmehr@yahoo.com**

In recent decades, solid state detectors had a great role in imaging systems specially in x-ray computed tomography systems as in many of them, coupled photodiodes with scintillator are used. In this project, three commercial PIN photodiodes (BPW34B, BS500B and SGPD30C) have been tested for making CT-scan x-ray detector array. In this way critical optical parameters of photodiodes have been measured and subsequently by considering effective factors such as price, active and death area of photodiodes in arrayed shape, results have been reported. Parameters which have been measured are: dark current in zero biased and reverse biased state for four different voltages, photodiode response to light emission diodes (LEDs) with three different wave lengths which are matched with CsI(Tl) scintillator. Results showed that using BPW34B for this work is much more accessible, comfortable and with appropriate results.

Keyword: Photodiode detector, PIN photodiode, Dark current, Light emission diode

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

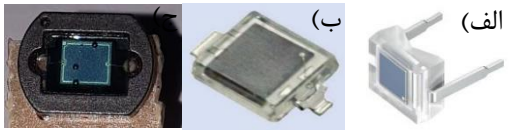
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

۱- 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 دهنده‌ی 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 آشکارسازهای مناسبی برای پرتوهای ایکس و گاما باشند. در این پژوهش مشخصات نوری سه فوتودیود PIN تجاری رایج و موجود در بازار تحت بررسی قرار گرفته‌اند تا بهترین گزینه جهت استفاده در سیستم تصویربرداری با اشعه ایکس انتخاب گردد.

۲-روش کار

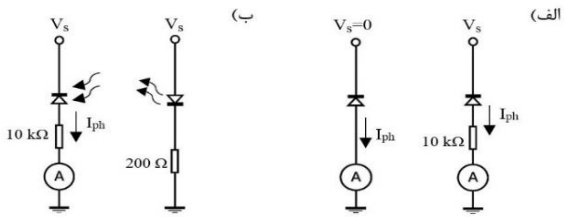
سه فوتودیود PIN با نام‌های تجاری BPW34B [۲] (OSRAM)، BS500B (SHARP ELEK)[۳] و [۴] SGPD30C (SHUGUAN) جهت بررسی انتخاب شد. انتخاب این سه فوتودیود بر مبنای میزان حساسیت طیفی و بازدهی کوانتومی منطبق با طیف نور گسیلی از سوسوزن CsI(Tl)، مقدار کم جریان نشتی تاریکی، هموار بودن سطح فوتودیود جهت سهولت در جفت کردن سوسوزن بوده است. شکل ۱ تصویر این فوتودیودها را نشان می‌دهد.



شکل ۱. فوتودیودهای استفاده شده در آزمایش، الف) SGPD30C [۴]، ب) BPW34B [۲]، ج) BS500B

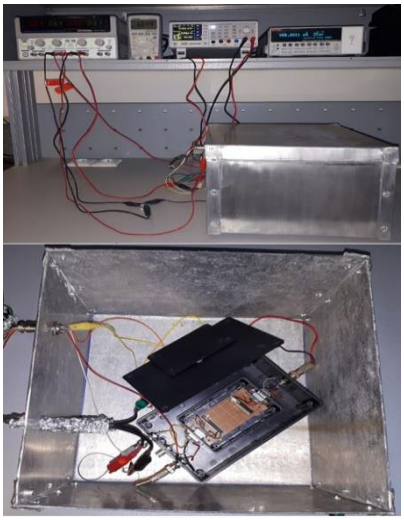
جهت کاهش اثر اختلاف اندکی که ممکن است در جریان تاریکی و پاسخ فوتودیودها وجود داشته باشد، از هرنوع فوتودیود، سه نمونه برگزیده شد و در شرایط یکسان تحت آزمایش قرار گرفتند. با توجه به زمان بر بودن آزمایش‌ها، فرآیندهای آزمایش برای هر نمونه ۴ بار تکرار شده است. برای اندازه‌گیری پاسخ فوتودیودها به طول‌موج‌های مختلف، از دیودهای Power LED استفاده شد.

جریان حاصل از فوتودیودها بوسیله الکترومتر KEITHLEY مدل 6517B [۵] اندازه‌گیری شده است. شکل ۳، مدار مورد استفاده برای بدست آوردن جریان فوتودیودها را نشان می‌دهد.



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

لازم به ذکر است اندازه‌گیری‌های فوق در محیط کاملاً تاریک و دمای ۲۳ °C انجام شده و از یک محفظه آلومینیومی متصل به پتانسیل زمین نیز برای حذف اثر نویزهای محیطی و EMI[۳] استفاده شده است. در این آزمایش، دیودهای LED با زاویه صفر درجه تابانده شده‌اند. شکل ۴ 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 گسیلی از دیودهای LED توسط نورسنج TES 1335 اندازه‌گیری شد و ضریب اصلاح مربوط به هر طول‌موج در خروجی این نورسنج اعمال گردید[۶]. شدت‌های نور اندازه-گیری شده برای طول موج‌های ۴۸۰، ۵۲۰ و ۵۸۰ به ترتیب برابر با ۷۳۶۸، ۴۰۴۶ و ۲۲۵۷ لوکس بدست آمده است.

[۳] Electromagnetic Interference

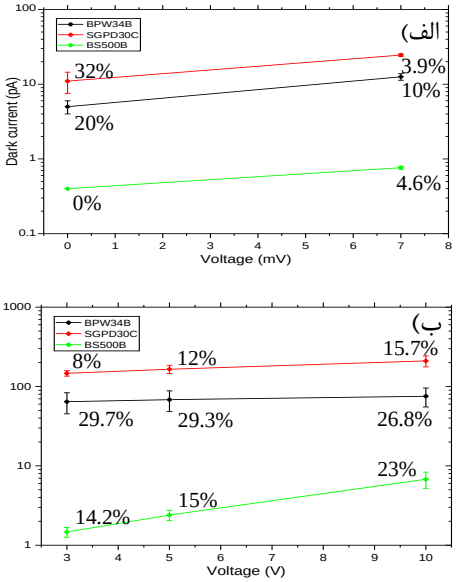
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

۳- نتایج آزمایش

۳-۱- مقادیر جریان تاریکی

نمودار متوسط جریان‌های تاریکی برای این سه فوتودیود در حالت بایاس صفر و همچنین با اعمال چهار ولتاژ ۰/۰۰۷، ۳، ۵ و ۱۰ ولت در حالت بایاس معکوس در شکل ۵ آورده شده است. درصد انحراف معیار نسبی جریان اندازه‌گیری شده $(\frac{\text{مقدار انحراف از معیار نمایش داده شده در ولتاژ مربوطه}}{\text{مقدار جریان تاریکی فوتودیود در ولتاژ مربوطه}} \times 100)$ نیز بر روی نمودارها نشان داده شده است.

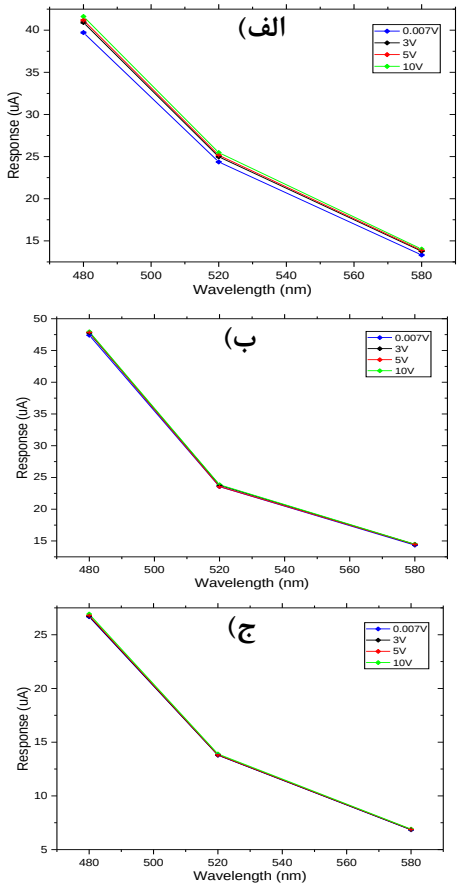


شکل ۴. متوسط جریان تاریکی فوتودیودهای نوع PIN، الف) در حالت بایاس صفر و بایاس معکوس ۰/۰۰۷ ولت. ب) در حالت بایاس معکوس برای سه ولتاژ ۳، ۵ و ۱۰ ولت.

با توجه به شکل ۵، کمترین مقادیر جریان تاریکی برای حالت بایاس صفر به ترتیب مربوط به فوتودیود BS500B، BPW34B و SGPD30C است. در بررسی مقادیر انحراف از معیار فوتودیودها و درصد نسبی آن‌ها، مشاهده می‌شود به طور متوسط کمترین مقدار انحراف از معیار به ترتیب مربوط به فوتودیود BS500B، BPW34B و SGPD30C است و برای انحراف از معیار نسبی، کمترین مقدار در حالت بایاس صفر نیز به ترتیب مربوط به BS500B، SGPD30C و BPW34B است که پس از اعمال ولتاژ در حالت بایاس معکوس، فوتودیود SGPD30C از جایگاه سوم به جایگاه اول نقل مکان کرده است.

۳-۲- جریان فوتودیودها حاصل از تابش نور

شکل ۶ متوسط جریان فوتودیودها در اثر تابش نور با سه طول موج ۴۸۰، ۵۲۰ و ۵۸۰ نانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۵. پاسخ فوتودیودها به تابش نور. الف) SGPD30C، ب) BPW34B، ج) BS500B

با توجه به نمودارهای شکل ۶، بیشترین بازدهی جریان در اثر تابش نور با طول‌موج‌های ۴۸۰ و ۵۸۰ نانومتر به فوتودیودها به ترتیب مربوط به BPW34B، SGPD30C و BS500B بوده و برای طول موج ۵۲۰ نانومتر جایگاه فوتودیودهای BPW34 و SGPD30C در ترتیب فوق جابه‌جا شده است.

۴-دیگر پارامترهای مؤثر

در سنجش فوتودیودها، علاوه بر موارد فوق، پارامترهای دیگری نیز مؤثر هستند که این اطلاعات همراه با خلاصه نتایج آزمایشات قبل در جدول ۱ آورده شده است. ضرایب وزنی هر یک از پارامترهای ارائه شده در جدول، نسبت به بهترین مقدار آن پارامتر (بسته به نوع پارامتر، کوچکترین یا بزرگترین مقدار به عنوان بهترین مقدار در نظر گرفته می‌شود) نرمالیزه شده است. در این پژوهش ارزش تمام پارامترهای جدول ۱، نسبت به یکدیگر، برابر در نظر گرفته شده است. با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۱ می‌توان دریافت که اثر مساحت سطح فعال در پاسخ فوتودیودها به نور بسیار بیشتر از حساسیت نوری مندرج در برگه اطلاعات فوتودیودها است، در نتیجه انتخاب فوتودیود با سطح

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

فعال بزرگ‌تر به معنای مقادیر جریان بیشتر است اما از طرفی برای داشتن رزولوشن مکانی بهتر به فوتودیود با سطح فعال کوچکتر و نسبت مساحت سطح فعال به مساحت کل سطح بیشتر نیاز داریم. با توجه به ردیف آخر جدول ۱ (جمع مقادیر نرمال شده)، ترتیب برتری مشخصات فوتودیودها به صورت BPW34B، SGPD30C و BS500B است. با توجه به قیمت فوتودیودها و لزوم استفاده تعداد زیادی از آن‌ها به عنوان آرایه‌های آشکارسازی، فوتودیود BPW34B برای کاربردهای تعداد بالا، مناسب‌تر از انواع دیگر فوتودیودها بنظر می‌رسد.

جدول ۱. اطلاعات مربوط به پارامترهای مؤثر در بررسی فوتودیودها

پارامترها	فوتودیود						واحد
	BPW34B		SGPD30C		BS500B		
	مقدار پارامتر	ضریب وزنی	مقدار پارامتر	ضریب وزنی	مقدار پارامتر	ضریب وزنی	
جریان تاریکی (بایاس صفر)	۵	(۰/۵۷)	۱۱	(۰)	۰/۴	(۱)	pA
پاسخ به طول‌موج ۴۸۰ nm در بایاس معکوس ۷ mV	۴۷/۴۰	(۱)	۳۹/۷۲	(۰/۶۳)	۲۶/۶۷	(۰)	uA
پاسخ به طول‌موج ۵۲۰ nm در بایاس معکوس ۷ mV	۲۳/۵۶	(۰/۹۲)	۲۴/۳۷	(۱)	۱۳/۸	(۰)	uA
پاسخ به طول‌موج ۵۸۰ nm در بایاس معکوس ۷ mV	۱۴/۳۴	(۱)	۱۳/۳۳	(۰/۸۷)	۶/۸۴	(۰)	uA
مساحت سطح فعال	۷/۰۲	(۰)	۵/۶	(۰/۸۵)	۵/۳۴	(۱)	mm^2
مساحت سطح فعال / مساحت کل	۰/۳۲۵	(۱)	۰/۲۲۴	(۰/۶۳)	۰/۱۱۱	(۰)	——
نحوه جفت شدن سوسوزن	خوب	(۰/۸)	خوب	(۰/۷)	متوسط	(۰/۵)	تجربی
حساسیت نوری به طول موج ۵۴۰ nm	۶۶٪	(۰)	۷۰/۷۳٪	(۰/۱۵)	۹۶/۶۷٪	(۱)	A/W
قیمت هر قطعه (در تاریخ ۹۸/۰۱/۱۷)	۱۰۰۰۰	(۰/۶۳)	۵۴۰۰	(۱)	۱۸۰۰۰	(۰)	تومان
جمع مقادیر نرمالیزه شده	——	۵/۹۲	——	۵/۸۳	——	۳/۵	——

۵- نتیجه‌گیری

در این کار ۳ فوتودیود نوع PIN جهت استفاده به عنوان آشکارساز پرتو در سیستم تصویربرداری اشعه ایکس تحت بررسی قرار گرفتند. سنجش این فوتودیودها بر مبنای جریان تاریکی آن‌ها، جریان تولیدی حاصل از تابش نور منطبق با طول موج سوسوزن CsI(Tl) به آن‌ها، جریان تولیدی حاصل از تابش اشعه ایکس با وجود سوسوزن، مساحت سطح فعال، نسبت مساحت سطح فعال به مساحت کل سطح آن‌ها، نحوه چیدمان آن‌ها جهت ایجاد آرایه‌های فوتودیودی، میزان سهولت در جفت کردن سوسوزن و قیمت هر محصول صورت گرفته است. نتایج نشان داد که جریان فوتودیودهای هم نوع، تفاوت محسوسی با یکدیگر دارند که این امر لزوم اعمال ضریب کالیبراسیون برای هر فوتودیود به صورت جداگانه را نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ابتدا فوتودیود BPW34B و سپس SGPD30C بهترین مشخصات را در بین ۳ فوتودیود تحت بررسی در این پژوهش دارند که قیمت و سهولت تهیه آن‌ها تعیین کننده برتری بین آن‌ها خواهد بود.

منابع

[۱] 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

[۲] BPW34B, "*Silicon PIN Photodiode with Enhanced Blue Sensitivity - Osram*," Osram, 8 p, 2016.

[۳] BS500B, "*BS500B Blue Sensitive Photodiode*", Sharp Microelectronics, 2 p, n.d.

[۴] SGPD30C, "*Technical Data Sheet Silicon Planar PIN Photodiode : SGPD30C*", SHUGUAN, 4 p, 2013.

[۵] KEITHLEY 6517B, "*6517B Electrometer/High Resistance Meter*", KEITHLEY A Tektronix Company, 12 p, 2016.

[۶] TES-1335 DIGITAL ILLUMINANCE METER, "*TES-1335 INSTRUCTION MANUAL*", TES ELECTRICAL ELECTRONIC CORP., 4 p, 2006.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]