JSST

اندازهگیری میزان تأثیر تابش نوترون بر ثابت آسیب **جریان معکوس a دیود**

امیر حسینی'، سیدامیرحسین فقهی'*، حمید جعفری" و میربشیر آقایی[†]

۲،۱ و ۳- گروه کاربرد پرتوها، دانشکدهٔ مهندسی هستهای، دانشگاه شهید بهشتی

۴- گروه قدرت، دانشکدهٔ مهندسی برق، دانشگاه آزاد تهران- جنوب

*تهران، ولنجك

a_feghhi @sbu.ac.ir

هنگامی که قطعات الکترونیکی در معرض تابش نوترون قرار می گیرند بر اثر اندر کنش های نوترون در این قطعات، مشخصات الكتريكي آنها مانند ظرفيت خازني، جريان باياس معكوس، طول عمر حامل اقليت و غيره ... تغییر میکنند. این تغییرات بسیار مهم است تا آنجا که ممکن است عملکرد قطعه را مختل کرده و آن را از کار بیندازد. بنابراین اندازهگیری میزان آسیب ناشی از نوترون در این قطعات بسیار ضروری است. یکی از مهمترین پارامترهایی که در بیان آسیب وارده به قطعات الکترونیکی به کار میرود، ثابت آسیب جریان معکوس lpha است. این ثابت (lpha)، شیب نمودار جریان معکوس بر حسب شارش است که نشان دهندهٔ تغییرات جریان معکوس بر حسب شارش است. هدف از انجام این کار اندازه گیری ثابت آسیب جریان معکوس α برای دیودهای IN4007، BYV27 و BYV95 در ولتاژها و دماهای مختلف است. این دیودها در راکتور تحقیقاتی تهران پرتودهی شدند و نتایج بهدست آمده با روابط تئوری انطباق خوبی دارد.

واژههای کلیدی: ثابت آسیب جریان معکوس، تابش نوترون، آسیب جابه جایی، دیود

J _p J _n	چگالی جریان رانشی حفرہ چگالی جریان رانشی الکترون		علائم و اختصارات
$\mu_{\rm p}$	قابلیت حرکت حفره	n	غلظت الكترون
μ_{n}	قابليت حركت الكترون	Р	غلظت حفره
Φ	شارش	N_{eff}	غلظت حامل مؤثر
α	ثابت آسب جربان میکونین	N_i	غلظت حامل ذاتی
W		N _D	غلظت ناخالصیهای دهنده
	عرص پیوند	N_A	غلظت ناخالصیهای پذیرنده
Eg	انرژی باند ممنوع	V_d	سرعت متوسط
E _A	انرژی فعالسازی	Ip	جریان رانشی حفرہ
Т	دما بر حسب کلوین	In	جريان رانشى الكترون
Ι	جريان الكتريكي		
Е	ميدان الكتريكي		۰. کارشناسی ارشد
Q	یار الکتریکی		۲. دانشیار (نویسنده مخاطب)
А	سطح مقطع		۳. کارشناسی ارشد عدید می ایم ا

۹۲/۰۲/۰۳ مقاله: ۹۱/۱۲/۱۲ ، تأیید مقاله: ۹۲/۰۲/۰۳

۴. دانشجوی کارشناسی

مقدمه

با توجه به انتقال انرژی در اندرکنش پرتوها با مواد، هر یک از آنها دارای اثراتی خواهد بود که گاهی اوقات مفید و سازنده و در برخی موارد موجب آسیبرسانی به ساختار مواد میشود. در پی این اندرکنشها تغییراتی در خواص ذاتی مواد مانند خواص مکانیکی، رسانایی، ساختار بلوری، مشخصات پیوند اتمی، دمای ذوب، خواص مغناطیسی، ظرفیت بار، خاصیت فلورسانسی، خاصیت پلاستیکی، تاب معناطیسی، ظرفیت بار، خاصیت فلورسانسی، خاصیت پلاستیکی، تاب ارتجاعی، حد بیشینه استحکام کششی و حتی رنگ مواد و ... ایجاد میشود. این تغییرات در قطعات الکترونیکی، مبدلهای مکانیکی، ابررساناها، حسگرهای دمایی، آلیاژها، پلیمرها، مواد آلی و فلزات موجود در ساختارهای تشکیل دهندهٔ تجهیزاتی که در معرض تابش قرار می گیرند، رخ میدهد. اثرات در برخی موارد گذرا و زود گذر و در برخی حالات با توجه به نوع اندرکنش و انرژی پرتوها و حساسیت مواد دائمی خواهد بود. اطلاع از هر یک از تغییرات ایجاد شده بر اثر تابش میتواند موجب پیشرفت در طراحی سیستمهای تابشی و انتخاب مناسب مواد به کار رفته در ساختارهای تشکیل دهنده می شود.

بررسی آسیبهای پرتویی به لحاظ تنوع در نوع و انرژی چشمههای تابشی، تنوع در مواد و محیط تابش؛ اعم از آلیاژها، فلزات، قطعات حساس الکترونیکی و حتی بدن انسان و تفاوت در فیزیک هریک از آنها، مسئلهای بسیار پیچیده است. بررسی و وسیع، کار گروهی بسیار گسترده و افراد متخصص در زمینههای مختلف نیاز دارد. محیط تابشی فضا شامل نوترونها، پروتونها، الکترونها، فوتونها و یونهای سنگین با طیف انرژیهای متفاوتی هستند که بسته به مأموریت ماهوارهها و فضاپیماها میتوانند در محیطهای تابشی با شارها و نوع پرتوهای متفاوتی قرار بگیرند.

از جمله سیستمهای موجود در ماهوارهها و فضاپیماها، سیستمهای الکترونیکی هستند که وجود این محیطهای پیچیده باعث توجه بیشتر تأثیر تابشهای فضایی بر عملکرد قطعات الکترونیک مانند دیود و ترانزیستورها و ... شده است. پرتوهای فضایی اثرات مخربی بر مدارهای الکترونیکی دارند بهطوری که حتی میتوانند یک مأموریت فضایی را در لحظات آغازین با شکست مواجه سازند. علاوه بر این، این پرتوها باعث افت کارایی مدارهای الکترونیکی به مرور زمان میشود. منبع این پرتوها، ذرات به دام افتاده در میدان مغناطیسی زمین، ذرات خورشیدی و ذرات کیهانی هستند [۱].

میزان آسیب به مدت زمان در معرض پرتوبودن و مدار ماهواره یا فضاپیما در داخل فضا و همچنین به شار ذرات بستگی دارد.

هدف این کار اندازهگیری آسیب ناشی از تابش نوترون در قطعات الکترونیکی، بهعنوان یکی از حساسترین و مهمترین

قطعات مورد استفاده در تجهیزاتی است که در برابر تابش کار می کنند. بسیاری از سیستمهای الکترونیکی باید در محیطهای تابش هسته ای نیز عمل کنند. مثال هایی از چنین سیستمهایی عبارتند از: سیستمهای الکترونیکی به کار رفته در فضاپیما و ماهوارهها، هواپیماهایی که در ارتفاع بالا پرواز می کنند، دستگاههای مورد استفاده در نیروگاههای هسته ای، آشکارسازهای مورد استفاده مورد استفاده در نیروگاههای هسته ای، آشکارسازهای مورد استفاده در شتاب دهنده های پرانرژی ذرات، روبات هایی که برای مدیریت پسمانداری هسته ای مورد استفاده قرار می گیرند، بسیاری از نگیرند، باید برای شرایط تابشی القا شده از تسلیحات هسته ای آماده سازی شده باشند و غیره. با توجه به کاربرد زیاد قطعات آلکترونیک در محیطهای تابشی اهمیت و ضرورت انجام محاسبات آسیب پرتویی در این قطعات به شدت احساس می شود.

تأثير پرتو روی قطعات نيمههادی شامل اثر آسيب جابهجايی، آسیب یونیزان، آسیبهای تک رخدادی و واکنشهای هستهای است. در این میان آسیبهای جابهجایی اتمی و یونیزاسیون اهمیت بیشتری دارند. تأثير يونيزاسيون آزاد شدن الكترونها از اتمهايشان است. توليد نقصهای ناشی از آسیبهای تک رخدادی و هستهای در مقایسه با توليد نقصهاي حاصل از آسيب جابهجايي خيلي مهم به نظر نمي سد. آسیب جابهجایی زمانی اتفاق میافتد که اتمها از مکان خود در شبکه بيرون أيند [۲]. أسيب جابهجايي در واكنشهاي پراكندگي الاستيك و غیرالاستیک نوترون، که نوترونها مقداری از انرژیشان را به هستهٔ اتم میدهند اتفاق میافتند. برای جابهجا کردن یک اتم از شبکهٔ پایدار به اندازهٔ انرژی بستگی اتم E_d انرژی نیاز است. اگر انرژی منتقل شده به اتم از E_d بیشتر باشد اتم از مکان خود در شبکهٔ بلور بیرون می آید. این جابهجاییها در شبکهٔ کریستال، اتمهای بین شبکهای و جاهای خالی توليد مي كنند كه أنها را جفت فرانكل مي نامند [٣]. نتيجة همة اين اندر کنش ها تولید حالت های پایدار نقص است که سطوح انرژی در باند ممنوع ایجاد می کنند و تعداد حامل های مؤثر (Neff) در نواحی P و n را تغییر میدهند که در نتیجه باعث تغییر در جریان معکوس میشود. تغییر جریان معکوس میتواند باعث تخریب و از کار افتادن مدارهای الکترونیکی شود. بنابراین در کاربردهای فضایی لازم است که میزان تغییر جریان از قبل پیشیینی شود. برای بیان اثر تابش بر روی سیلیکون به طور کلی فرض شده است که آسیب، با مقدار انرژی که صرف جابهجایی شده متناسب است [۴].

فيزيك الكترونيك

الکترون های مقید اتمها و ملکول ها در یک جامد، سطوح فعال انرژی به همراه یک باند ممنوع بین آنها را تشکیل میدهند. در یک

جامد به دليل بالابودن تعداد الكترونها سطوح انرژى بسيار به هم نزدیک هستند و با افزایش انرژی در باند چیده شدهاند. باند ظرفیت الكترون هايي را شامل مي شود كه فقط به يك هسته جامد مقيد هستند. برای مثال در سیلیسیم، آنها در پیوندهای کوالانسی هستند. باند هدایت شامل الکترون های آزاد است که می توانند به هدایت الکتریکی مواد کمک کنند. بین باندهای هدایت و ظرفیت، یک ناحیه انرژی وجود دارد که هیچ سطح مجازی در آن وجود ندارد. این ناحیه باند ممنوع (Eg) نامیده می شود. پهنای این ناحیه عایق، نیمه هادی، یا هادی بودن ماده را تعیین میکند. در یک نیمه هادی پهنای باند ممنوع تقريباً ۱ الكترونولت است. به عنوان مثال در دماي اتاق براي $E_g=$ ۰/۶۷ سیلیسیم $E_g=1/17$ الکترون
ولت و برای ژرمانیوم، $E_g=1/17$ الكترونولت است [۶ و ۵]. الكترونهاى مقيد اتمها و ملكولها در یک جامد می توانند با کسب انرژی از باند ظرفیت به باند هدایت بروند و یک جای خالی در باند ظرفیت به جای گذارند که به آن حفره می گویند. هر دو حامل الکترون و حفره می توانند در میدان الکتریکی نیمههادی حرکت کنند. چگالی الکترون و حفره را به ترتیب با n و p نشان میدهند. حاصل ضرب n و p در یک نیمه هادی در یک دمای معین مقدار ثابتی است که از رابطهٔ ۱ بهدست میآید.

 $np = n^2$

که n_i غلظت حامل ذاتی یعنی غلظت حامل در نیمه هادی خالص است. این مقدار در سیلیسیم ^{۱۰} ۱۰×۱/۴۵ سانتیمترمکعب است [۶ و ۵].

معمولاً اتمهای ناخالصی با ۳ الکترون ظرفیت (بور) یا ۵ الکترون ظرفیت (فسفر, آرسنیک) در شبکه بلور سیلیسیم وارد میکنند که باعث تغییر در مشخصات الکتریکی نیمههادی میشود. غلظت ناخالصیهای دهنده را با N_0 و غلظت ناخالصیهای پذیرنده را با N_A نشان میدهند. غلظت حاملهای آزاد در یک کریستال سیلیسیم ناخالص شده با اتمهای دهنده، برابر است با $n=N_D$. در این کریستال اکثریت حاملها الکترونها هستند و مادهٔ سیلیکون نوع n نامیده میشود. بهطور مشابه یک کریستال سیلیسیم ناخالص شده با اتمهای پذیرنده سیلیکون نوع q نامیده میشود و غلظت حاملهای آزاد اکثریت (حفره ها) برابر با p=N است.

در دماهای بسیار بالا غلظت حاملهای ذاتی افزایش یافته و همهٔ نیمههادیها ذاتی می شوند. شکل (۱) نمودار غلظت حامل اکثریت برحسب دما برای نمونهٔ سیلیسیمی که به میزان مال اکثریت برحسب دما برای نمونهٔ سیلیسیمی که به میزان n با D =1015 #/cm3 می دهد. برای نمونه سیلیسیم موجود، در محدودهٔ وسیعی از دما تقریباً با ND برابر است. این ناحیه را ناحیهٔ حرارتی غیر ذاتی می نامند. در دماهای پایین نزدیک به صفر کلوین n به مقداری بسیار کمتر از ND کاهش می یابد و همین طور که T به سمت

صفر میل می کند n نیز به صفر نزدیک می شود، این ناحیه را ناحیهٔ انجماد می نامند. در انتهای دیگر مقیاس دما با افزایش T، n از ND فزونی می گیرد و به طور مجانبی به ni نزدیک می شود. در دماهای نزدیک به صفر کلوین انرژی حرارتی سیستم برای برانگیزش الکترونها به نوار هدایت کافی نیست. افزایش جزئی در دما باعث آزاد شدن الکترونهایی می شود که به مکانهای بخشنده به طور سستی پیوند خوردهاند. با افزایش می شود دما تقریباً همهٔ الکترونهایی که دارای پیوند سست هستند بیشتر دما تقریباً همهٔ الکترونهایی که دارای پیوند سست هستند آزاد می شوند و n به ND نزدیک می شود و از ناحیهٔ انجماد وارد ناحیهٔ غیرذاتی می شود. با پیشروی در ناحیهٔ حرارتی غیرذاتی، الکترونهای بیشتری از روی شکاف انرژی برانگیخته می شوند اما تعداد آنها کمتر از ND است سرانجام الکترونهای برانگیخته می شوند می شده از روی شکاف، با الکترونهای گرفته شده از بخشندهها برابر می شوند و سپس بر آنها فزونی می گیرند و سپس آنها را در خود محو می کنند [Y و ۸].



شبکل ۱– نسبت چگالی الکترون ها به چگالی ناخالصی های دهنده در دماهای مختلف (نمودار نقطه چین مربوط به غلظت حامل ذاتی ni)

حرکت هر ذرهٔ باردار بر اثر میدان الکتریکی را رانش می گویند. هرگاه یک نیمه هادی در یک میدان الکتریکی قرار گیرد حفرهها در جهت میدان الکتریکی و الکترونها در خلاف جهت میدان الکتریکی شتاب می گیرند و در نیمههادی جریان جاری می شود. جریان عبارت است از باری که در واحد زمان از صفحهٔ عمود بر جهت جریان عبور کند [۳]. جریان رانشی حفرهها با رابطهٔ ۲ داده می شود: $I_p = qpV_dA$ (۲)

که در آن p تعداد حفرهها، p بار الکتریکی حفره، V_d سرعت متوسط حفرهها و A سطح مقطع نیمههادی است. چگالی جریان به صورت رابطهٔ m تعریف می شود [Λ]:

$$J_{\rm p} = q p V_d \tag{(7)}$$

(١)

امیر حسینی، سیدامیرحسین فقهی، حمید جعفری و میربشیر آقایی

سرعت رانش، یک تابع خطی از میدان الکتریکی اعمال شده است که طبق رابطه ۴ بهدست میآید.

$$V_{\rm d} = \mu_{\rm p} E \tag{(f)}$$

$$J_n = q\mu_n nE \tag{(9)}$$

روابط ۵ و ۶ نشان میدهد که چگالی جریان الکترون و حفره بهصورت خطی متناس با میدان الکتریکی اعمالی است.

معرفى ثابت أسيب جريان معكوس

جریان نشتی در یک دیود پرتودهی شده که بهطور معکوس بایاس شده است و دارای دو مؤلفه است. یکی مؤلفهٔ جریان ذاتی دیود و دیگری مؤلفهٔ حجمی که وابسته به غلظت مراکز تولید است [۵]. بهطور تجربی مشاهده شده است که جریان نشتی در یک دیود بایاس معکوس، بهصورت خطی با شارش افزایش مییابد. وابستگی جریان به شارش ذرات یونیزان میتواند به صورت رابطهٔ ۷ نوشته شود:

$$\Delta I = I(\varphi) - I(\varphi = 0) = \alpha. \varphi \tag{Y}$$

که در آن α ثابت آسیب جریان معکوس نامیده می شود. α شیب نمودار جریان بر حسب شارش است. شکل (۲) افزایش جریان بر اثر افزایش شارش را نشان می دهد. تناسب جریان با شارش، نتیجه می دهد که افزایش جریان به دلیل ایجاد خطی مراکز ترکیب و تولید فعال است که بر جریان معکوس ذاتی غالب می شود. ارتباط بین جریان نشتی و شارش تابش یونیزان بر اساس این فرض است که جریان تولیدی بدنه که با چگالی نقص های تابشی القاشده متناسب است و جریان اندازه گیری شده را تحت کنترل قرار می دهد [۵].



شکل ۲- تغییرات جریان نشتی در یک دیود بایاس معکوس بر حسب شارش

تغيير ثابت آسيب جريان معكوس lpha با ولتاژ

یک پیوند $n \pm P \pm N$ که به طور معکوس بایاس شده در شکل (۳) نشان داده شده است. هنگامی که ذرات یونیزان از این پیوند عبور می کنند، جفت حفره– الکترون (e-h) در امتداد مسیر ذرات ایجاد می شود. این جفتها قبلاً از اینکه بتوانند دوباره باهم ترکیب شوند توسط میدان الکتریکی در ناحیهٔ تخلیه به طرف آند (الکترونها) یا کاتد (حفرهها) حرکت می کنند و از هم جدا می-شوند. حرکت بار تولید شده یک سیگنال روی الکترودهای دیود طبق قانون رامو⁶ ایجاد می کند که در رابطهٔ ۸ نشان داده شده است [۹]:

$$\Delta Q = Q \frac{\Delta x}{w} \tag{A}$$

که W ضخامت پیوند است. جریان القا شده توسط رابطهٔ ۹ بهدست می آید:

$$i(x) = \frac{dQ}{dt} = \frac{Q}{w}\frac{dx}{dt} = \frac{Q}{w}\mu E(x)$$
(9)

همان طور که ملاحظه می شود جریان با میدان الکتریکی رابطهٔ مستقیم دارد. در یک مقدار شارش ثابت هرچه ولتاژ معکوس و میدان الکتریکی قوی تر باشد بازده جمع آوری بارهای ناشی از پرتودهی افزایش می یابد و جریان بیشتر می شود. در واقع میدان الکتریکی ضعیف قادر به جمع آوری تمام بارهای تولید شده نیست و هرچه میدان قوی تر باشد میزان بیشتری از بارها را می تواند جمع آوری کند و جریان افزایش می یابد. این افزایش جریان باعث افزایش تا می شود.





اندازهگیری میزان تأثیر تابش نوترون بر ثابت آسیب جریان معکوس lpha دیود

تغییر ثابت آسیب جریان معکوس $m{a}$ با دما

جریان نشتی به شدت تحت تأثیر دماست. وابستگی دمایی جریان نشتی برای دیودهای پرتودهی نشده به صورت گستردهای مطالعه شده است و دادههای بهدست آمده با رابطهٔ ۱۰ همخوانی دارد [۱۰–۱۳]:

$$I \propto T^2 \exp\left(-\frac{E_A}{k_B(T+273.2)}\right)$$
 (1.)

که در آن E_Aانرژی فعالسازی و T دما بر حسب سلسیوس است. مقدار E_A توسط افراد مختلف از ۱/۶ تا ۱/۷ بهدست آمده است [۱۵و ۱۴].

ثابت آسیب جریان معکوس α نیز با دما تغییر میکند. زیرا با افزایش دما اندازهٔ شکاف انرژی مواد نیمههادی کاهش مییابد و در نتیجه در یک مقدار شارش ثابت تعداد بیشتری حامل تولید میشود و α افزایش مییابد. اندازهٔ شکاف انرژی برای سیلیسیم بر حسب دما در رابطهٔ ۱۱ آورده شده است [۸ و ۷]:

$$E_{g} = 1.1557 - \frac{7.021 \times 10^{-4} T^{2}}{1108 + T}$$
(11)

در دماهای بالا افزایش ثابت آسیب جریان معکوس ۵ بسیار کند و ناچیز است. علت این مسئله این است که در دماهای بالا تعداد حاملهای ذاتی نیمههادی بهشدت افزایش یافته و حاملهای ناشی از پرتودهی در مقابل آنها قابل صرفنظر است. در این حالت می گویند نیمههادی ذاتی شده است.

روش کار

راکتور تحقیقاتی تهران با طیف نوترون شکافت با شار بالای ۱۰^۳ بهعنوان چشمه پرتودهی در این کار مورد استفاده قرارگرفته است. عملیات پرتودهی در ۶ شارش مختلف ۱۰^{۱۸}×۱/۱۰، ۱۰^{۱۸}×۲۰۶ ^{۱۸}×۸، ۱۰^{۱۲}×۲۰۱^۲، ۱۰۲×۴، ۱۰^{۲۲}×۸۰ انجام شد. با توجه به اینکه ضریب سختی K برای راکتور تحقیقاتی تهران برابر ۲–۲۰×۲۰۵۷ است شارشهای معادل نوترون ۱ میکروالکترونولت عبارتند از: ۱۸۳۵×۲۰۱۳، ۲۱/۳۵×۲۰۱۶ تعداد بر سانتی متر مربع. پرتودهی بر ۱۸۴۵×۱۰۱۴ های ۲۰۱۲×۲۰۶۵ تعداد بر سانتی متر مربع. پرتودهی بر روی سه نوع دیود با نامهای تجاری ۱۸۹۵07، ۲۷۲27 و BYV27 انجام شد که هر نمونه دیود در ۶ شارش مختلف روی سه نوع دیود با نامهای تجاری ۱۸۹۵07، ۲۷۷27 و پرتودهی شد. سپس جریان معکوس دیودها در ولتاژها و دماهای پرتودهی شد. سپس جریان معکوس دیودها در ولتاژها و دماهای مختلف اندازه گیری شد. برای اندازه گیری جریان معکوس دیودها از دستگاه LCR Meter که دقت بسیار بالایی دارد استفاده شده است.

نتايج

ابتدا تغییرات جریان بر حسب ولتاژ در شارشهای مختلف و در



شکل ۴- نمودار I-V دیود BYV27 در شارشهای مختلف



شکل۶– نمودار I-V دیود 1N4007 در شارشهای مختلف



شکل ۹- نمودار جریان بر حسب شارش در ولتاژهای مختلف برای دیود 1N4007

از شکلهای (۷) تا (۹) میتوان حداکثر شارش یا ولتاژ معکوس قابل تحمل دیود در یک مأموریت فضایی را استخراج کرد. به عنوان مثال اگر بدانیم شارشی که دیود در طول یک مأموریت فضایی دریافت میکند کمتر از ۱۰۱۷ است و جریان معکوس این دیود در مدار الکترونیکی نباید از ۱۵ میکروآمپر افزایش یابد اگر از دیود BYV27 استفاده شود حداکثر ولتاژ معکوس قابل تحمل حدود ۲ ولت، اگر از دیود و اگر از دیود IN4007 استفاده شود ولتاژها بیشتر از ۳۰ ولت را هم میتواند تحمل کند زیرا حداکثر جریان آن در ۳۰ ولت با استفاده از شکل (۶) حدود ۱۰ میکروآمپر است. شیب نمودار جریان بر حسب شارش، ثابت آسیب جریان معکوس (۵) است. بنابراین با استفاده از شکلهای (۷) تا (۹)، تغییرات ثابت آسیب جریان معکوس (۵) بر حسب شدارش، ثابت آمد که نتایج در جدول (۱) و شکلهای (۱۰) تا (۱۲) آورده شده است.

جدول 1 – ثابت آسیب جریان معکوس (α) در ولتاژهای مختلف برای دیودهای BYV95 ،BYV27 و 1N4007

α [A. cm ²]	BYV27	BYV95	1N4007
۱V	1/+888×1+-**	٣/٣١٧١×١٠	\/λγγγ×ι• ^{-γγ}
۲V	1/VQN&X1.	٧/۵۴٧۴×١٠ ^{-٣٣}	٣/٢۴۶۵×1+ ^{-٣٣}
۳V	۲/۳۰۵۶×۱۰ ^{-۳۳}	۱۱/۹Y×۱۰ ^{-۳۳}	۳/۸۵۱×۱۰ ^{-۳۳}
۴V	۲/۷۹۵۵×۱۰ ^{-۳۳}	18/7XY×1.	4/71•7×1• ⁻¹⁷
۵V	٣/٢۶١×١٠ ^{-٣٣}	5./96×111	4/2847×112
۶V	٣/۶٩٠١×١٠	24/200×1.	4/X991×1""
٧V	4/12.0×1.	۲۸/۷۹ <i>۱</i> ×۱۰ ^{-۲۳}	۵/۲۲۰۷×۱۰ ^{-۳۳}
٨V	4/0824×1.	۳۲/۸۴۶×۱۰ ^{-۳۳}	۵/۵۳۶۳×۱۰ ^{-۳۳}
٩V	۴/۹۳۶1×1.	٣۶/٧٧۵×١٠ ^{-٣٣}	$\Delta/\Delta \Lambda \cdot 1 \times 1 \cdot 1^{-\gamma\gamma}$
١٠V	۵/۳۱۰۶×۱۰ ^{-۳۳}	4./841×1.	8/1880×1.

در کاربردهای فضایی با توجه به مداری که ماهواره در آن قرار می گیرد و میزان تابشی که دریافت می کند و مداری الکترونیکی که دیود در آن استفاده شده است میتوان دیود مناسب را انتخاب کرد. به عنوان مثال اگر ولتاژ معکوس دیود در مدار مورد استفاده استفاده از شکلهای (۴) تا (۶) اگر از دیود BYV27 استفاده شود حداکثر شارش قابل تحمل حدود ^{۱۰} ۲۰/۲۰، اگر از دیود BYV95 استفاده شود حداکثر شارش قابل تحمل حدود ^{۱۰} ۲۰×۵ استفاده شود مداکثر شارش قابل تحمل حدود ^{۱۰} ۲۰×۵ استفاده شود مداکثر شارش قابل تحمل حدود (۱۰×۵ ماهواره میتوان دیود مناسب را انتخاب کرد. سپس با استفاده از شکلهای (۴) تا (۶) تغییرات جریان بر حسب شارش در ولتاژهای ۱ شکلهای (۴) آورده شده است. (۷) تا (۹) آورده شده است.



شکل ۷- نمودار جریان بر حسب شارش در ولتاژهای مختلف برای دیود BYV27



شکل ۸- نمودار جریان بر حسب شارش در ولتاژهای مختلف برای دیودBYV95



شکل ۱۲ – ثابت آسیب جریان معکوس a بر حسب ولتاژ برای دیود 1N4007

برای اندازه گیری ثابت آسیب جریان معکوس α در دماهای مختلف، ابتدا تغییرات جریان بر حسب شارش در دماهای مختلف اندازه گیری شد. برای اندازه گیری تغییرات جریان بر حسب شارش در دماهای مختلف از دستگاه LCR Meter 819 و حمام پارافین استفاده شد. همان طور که در شکل (۱۳) نشان داده شده است دیود در یک بشر پر از پارافین قرار داده شده و دمای پارافین به وسیلهٔ دستگاه گرم کنندهٔ شرکت AS One در دماهای مختلف تنظیم شد. ولتاژ معکوس دیودها در این آزمایش ۲۷ است. نتایج اندازه گیری تغییرات جریان بر حسب شارش در دماهای مختلف در شکلهای (۱۴) و (۱۵) نشان داده شده است.



شکل ۱۳ – چیدمان آزمایش اندازه گیری تغییرات جریان بر حسب شارش در دماهای مختلف



شکل **۱۴** – جریان بر حسب شارش در دماهای مختلف برای دیود BYV95

www.SID.ir





شکل ۱۵ – جریان بر حسب شارش در دماهای مختلف برای دیود ۱N4007

با استفاده از شکلهای (۱۴) و (۱۵) میتوان حداکثر شارش یا دمای قابل تحمل دیود در یک مأموریت فضایی را استخراج کرد. به عنوان مثال اگر شارش دریافتی توسط دیود در یک مأموریت فضایی^۲ ۱۰ باشد و جریان معکوس دیود در ولتاژ ۷۷ نباید از ۴ میکروآمپر افزایش یابد اگر از دیود BYV95 استفاده کنیم حداکثر دمای قابل تحمل حدود ۶۰ درجهٔ سانتیگراد و اگر از دیود IN4007 استفاده کنیم حداکثر دمای قابل تحمل حدود ۴۰ درجه سانتیگراد فواهد بود. که با توجه به دمای ماهواره در مدار مورد استفاده میتوان دیود مناسب را انتخاب کرد. با استفاده از شکلهای (۱۴) و میتوان دیود مناسب را انتخاب کرد. با استفاده از شکلهای (۱۴) و تغییرات α بر حسب دما برای دیودهای BYV95 و IN4007 در جدول (۲) آورده شده و در شکلهای (۱۶) و (۱۷) رسم شده است.

جدول ۲ - ثابت آسیب جریان معکوس α بر حسب دما برای دیودهای BYV95 و 1N4007

α[A.cm ²]	BYV95	1N4007
۳۰ ^{oC}	۱/۶×۱۰ ^{-۳۳}	٣/۵۶×۱۰ ^{-۲۳}
۴. ^{0C}	$Y/\Lambda \times 1 \cdot -Y^{T}$	9/88×1 •- ⁴⁸
۵۰ ^{oC}	۶×۱۰ ^{-۲۳}	۱/۷۹×۱۰ ^{-۲۲}
۶۰ ^{0C}	1/24×1+-**	٣/٣×١٠ ^{-٣٢}
γ۰ ^{°C}	۱/۵٩×۱٠ ^{-۲۲}	٣/٣٣×1•-**
۸۰ ^{oC}	1/8×1+ ⁻⁸⁸	٣/٣۵×١٠ ^{-٣٢}

همان طور که ملاحظه می شود ثابت آسیب جریان معکوس α با افزایش دما، افزایش می یابد ولی در دماهای بالا این افزایش بسیار کند و ناچیز است. علت این مسئله این است که در دماهای بالا تعداد حامل های ذاتی به شدت افزایش می یابد و حامل های ناشی از

www.SID.ir



پرتودهی در مقابل آنها قابل صرفنظر است. در این حالت میگویند نیمههادی ذاتی شده است.

شکل ۱۶ – ثابت آسیب جریان معکوس ۵ بر حسب دما برای دیود BYV95



نتيجه گيري

همان طور که بیان شد جریان معکوس دارای یک مؤلفه است که به غلظت مراکز ترکیب و تولید وابسته است. هرچه غلظت مراکز ترکیب و تولید بر اثر پرتودهی بیشتر شود، ثابت آسیب جریان معکوس (Ω) بزرگتر میشود و نشان دهندهٔ این است که قطعه در برابر پرتو آسیب پذیرتر است. برعکس هرچه ثابت آسیب جریان معکوس (Ω) کوچکتر باشد نشان دهندهٔ این است که قطعه در برابر پرتو مقاومتر است. با توجه به اینکه ثابت آسیب جریان معکوس (Ω) وابسته به ولتاژ معکوس و دماست در هر کاربرد با توجه به دمای محیط و ولتاژ معکوس میتوان مناسب ترین قطعه را انتخاب کرد. فصلنامهٔ علمی- پژوهشی علوم و فناوری فضایی / ۹۹ جلد ۶/ شمارهٔ ۲/ تابستان ۱۳۹۲

- اندازه گیری میزان تأثیر تابش نوترون بر ثابت آسیب جریان معکوس lpha دیود
- [8] Navon, D. H., *ElectronicMatrials and Devices*, Boston, Houghton Mifflin, 1975.
- [9] Robert, M. B. and Donovan, R. P., Fundamental of Silicon Integrated Device Technology, Vol. 1, Prentice-Hall INC, 1967.
- [10] Gill. K., et al., "Radiation Damage by Neutrons Andphotons to Silicon Detectors", *Nucl. Inst. and Meth. A322*, 1992, pp.177-188.
- [11] Barberis. E., et al., "Temperature Effects on Radiation Damage to Silicon Detectors, *Nucl. Inst. and Meth.* A326, 1993, pp. 373-380.
- [12] Chilingarov, A., et al., "Radiation Studies and Operational Projections for Silicon in the Atlas Inner Detector," 6th Pisa Meeting on Advanced Detectors, Vol. 360, Issues 1–2, Italia, 1995, pp. 432–437.
- [13] Lemeilleur, F., et al., "Study of Characteristic of Silicon Detectors Irradiated with 24GeV/c Protons between -20°C and +20°C," *Nucl. Inst. and Meth. A360*, 1995, pp. 438-444.
- [14] Barberis, E., et al., "Radiation Damage in Silicon Detectors – Self Annealing Corrections," SITP-Internal Note, SITP-002, 1991.
- [15] Hall, G., et al., "Neutron Radiation Damage Studies of Silicon Detectors – Summary of Recent Results," *Imperial College Internal Note, IC/HEP/91/1*, 1991.

مراجع

- Leroy, C. and Rancoita, P. G., Particle Interaction and Displacement Damage in Silicon Devices Operated in Radiation Environment, IOP Publishing, 2007, pp.493-625.
- [2] Reed, R., LaBel, K., Kim, H., Leidecker, H. and Lohr, J., Test Report of Proton and Neutron Exposures of Devices that Utilize Optical Components and AreContained in the CIRS Instrument, NASA Test Report i090397, 1997.
- [3] ASTM E722 Standard Practice for Characterizing Neutron Energy Fluence Spectra in Termsof an Equivalent Monoenergetic Neutron Fluence for Radiation-Hardness Testing of Electronics, *American Society for Testing Materials* 722–94, Philadelphia, Pennsylvania, 1994.
- [4] Korde, R, "The Effect of Neutron Irradiation on Silicon Photodiodes," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 36, Issue 6, 1989, pp. 2169-2175.
- [5] Fraser, D. A., *The Physics of Semiconductor Devices*, Oxford Physics Series, 4th Edition, 1986.
- [6] Sze, S. M., *Physics of Semiconductor Devices*, Second Edition, J. Wiley & Sons, 1981.
- [7] dler, R. B., Smith, A. C. and Longini, R. L., Introduction to Semiconductor Physics, Semiconductor Electronics Education Committee (SEEC), Vol. 1, NewYork: Wiley, 1964.