



## بررسی اثر پرتو گامای چشمه کبالت ۶۰ بر ترانزیستور دو قطبی BC107 و 2N2222، ماسفت

IRF740 و دیود MUR 460

دارم، زهرا<sup>(۱)</sup> - شیرانی بیدآبادی، بابک<sup>(\*)</sup> - گلشاه، سعید<sup>(۲)</sup> - محمودی ورنامخواستی، محب<sup>(۳)</sup> -

جندقیان، بهنام<sup>(۱)</sup> - سید حبشی، میرمحمد رضا<sup>(۴)</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه مهندسی هسته‌ای

<sup>۲</sup> وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، پژوهشگاه فضایی ایران، پژوهشکده مواد و انرژی

<sup>۳</sup> دانشگاه اصفهان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه برق

<sup>۴</sup> پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای

### چکیده

در این پژوهش به بررسی تجربی اثر تابش گاما بر بعضی قطعات الکترونیکی با هدف انجام ماموریت‌های فضایی پرداخته شد. برای پرتو دهی گاما از دستگاه گاماسل حاوی چشمه کبالت ۶۰ با فعالیت ۵۷۷۰ کوری واقع در سازمان انرژی اتمی تهران استفاده شد. آزمایش‌ها برای پرتو دهی قطعات تحت دزهای ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ کیلوگری انجام شدند. نتایج نشان داد که پرتو دهی گاما در این محدوده دز، بطور قابل توجهی بر پارامترهای قطعات الکترونیکی تاثیر گذار است. در همه قطعات الکترونیک، تحت شرایط ثابت، افزایش دز تابش گاما باعث کاهش جریان شد.

**کلمات کلیدی:** آسیب تابش، دستگاه گاماسل، ترانزیستور دو قطبی، ترانزیستور اثر میدان

### مقدمه:

در ماموریت‌های فضایی قطعات استفاده شده تحت پرتوهای یونیزان قرار گرفته و کارایی آن‌ها با افزایش مدت زمان ماموریت و در نتیجه افزایش زمان پرتوگیری کاهش می‌یابد. مکانیسم‌های آسیب تابش شامل دو بخش آسیب جابجایی و یونش است. تابش‌های گاما و الکترون برای بررسی آسیب یونش استفاده می‌شوند. بررسی‌ها نشان داده است که تابش گاما بر کارایی قطعات الکترونیکی تاثیر گذار است [۴-۱]. این تاثیر در قطعات مختلف متفاوت است و در نتیجه عملکرد مواد در محیط‌های پرتوی مختلف، تحت تاثیر قرار می‌گیرد. این محیط‌ها شامل راکتورهای شکافت، راکتورهای گداخت، انبارهای ذخیره پسماندهای هسته‌ای، شتاب‌دهنده‌های ذرات، آزمایشگاه‌های فیزیک ذرات، برخی سیستم‌های نظامی و فضای بین سیاره‌ای یا مگنتوسفر هستند. بررسی پارامترهای وابسته به آسیب پرتویی در مواد یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی و مقاوم‌سازی مواد در محیط‌های پرتوی است. اطلاع از تغییرات ایجاد شده بر اثر پرتو می‌تواند موجب پیشرفت در طراحی سیستم‌های پرتوی و انتخاب مناسب مواد به کار رفته در ساختار قطعات شود.

گاما یک تابش الکترومغناطیسی است که هم رفتار ذره‌ای و هم رفتار موجی دارد. فوتون‌های گامای گسیل شده از چشمه کبالت ۶۰ قطعاً به کریستال نیمه‌هادی می‌رسند و تنها توسط پلیمر محافظ آن تضعیف می‌شوند که این تضعیف با توجه به عدد اتمی پایین



پلیمر بسیار کم است و قابل توجه نیست. پس دز ناشی از پرتو گاما قطعا به کریستال نیمه هادی رسیده و باعث تخریب ساختار کریستالی می‌شود. بنابراین در نتیجه پرتو دهی گاما با کاهش پارامترهای الکتریکی قطعه مورد نظر مواجه خواهیم شد. چپ و همکارانش در سال ۲۰۱۰، به بررسی اثر یونش کل بر روی ترانزیستورهای اتصال دو قطبی پرداختند. آن‌ها تحقیق‌های خود را بر روی اثرات یونیزاسیون تابش توسط ترانزیستورهای تجاری از نوع NPN-BJT با استفاده از پرتو گامای کبالت ۶۰ انجام دادند. آن‌ها مشاهده کردند که قرار گرفتن ترانزیستور BJT در معرض تابش گامای حاصل از کبالت ۶۰، باعث ایجاد آسیب یونش می‌شود. معمولا این آسیب تابشی، در سطوح یا نزدیکی لایه‌ها و عایق‌ها مشاهده می‌شود. آسیب یونش طول عمر حامل‌های اقلیت را کاهش داده و منجر به کاهش بهره ترانزیستورها می‌شود. در نهایت به این نتیجه رسیدند که آسیب یونش ایجاد شده باعث افزایش خسارت دائمی یا موقت در ترانزیستورها می‌شود که این اثر به جریان ترانزیستور و مقدار دز جذبی بستگی دارد [۱].

جاسیم در سال ۲۰۰۹، به مطالعه اثرات مختلف تابش‌های گاما و ایکس بر روی خواص الکتریکی دیود سیلیکونی نوع 1N1405 پرداخت. وی در این آزمایش‌ها ولتاژ بایاس معکوس و مستقیم دیود را قبل و بعد از پرتو دهی اندازه‌گیری کرد. در نهایت به این نتیجه رسید که تابش‌های گاما و ایکس اثرات متفاوتی بر عملکرد دیود می‌گذارد. همچنین اطلاعات متفاوتی را در مورد اثرات تابش یونیزان بر روی دستگاه‌های الکترونیکی مختلف که کاربردهای وسیعی در آشکارسازی میدان‌های تابشی دارند، به دست آورد. افزایش انرژی این تابش‌ها (تابش‌های گاما و ایکس) باعث افزایش جریان و تخریب بیشتر در نیمه‌هادی‌ها می‌شود [۲].

پارک و همکاران در سال ۲۰۰۴، مجموع اثرات دزهای یونیزان را در ترانزیستور MOSFET نوع VD، بررسی کردند. پارک در طول آزمایش‌ها از تکنولوژی جریان مستقیم برای ولتاژ-جریان بارهای به دام افتاده در حفره‌های موجود در گیت ترانزیستورهای تابش دیده، توسط تابش‌های گاما و ایکس حاصل از سزیم ۱۳۷ استفاده کرد. روش DCIV برای بررسی اثرات تابش بر دستگاه‌های الکترونیکی انتخاب شد. دو پیک جریان در داده‌های DCIV حاصل از دستگاه‌های تابش دیده و تابش ندیده، مشاهده شد. این پیک‌ها تابعی از دز بودند [۴].

تابش گاما آسیب حجمی از طریق تولید الکترون‌های ثانویه ایجاد می‌کند. این الکترون‌های ثانویه باعث ایجاد آسیب جابه‌جایی اتمی و یونش می‌شوند. اما آسیب جابجایی ایجاد شده توسط الکترون‌ها تنها سهم کوچکی از کل آسیب تابشی را شامل می‌شود. در نتیجه آسیب کل ایجاد شده ناشی از الکترون‌ها اکثرا ناشی از آسیب یونش است. بنابراین برای بررسی آسیب یونش ایجاد شده در قطعات الکترونیکی معمولا از پرتو دهی الکترون یا گاما استفاده می‌شود.

روش کار :



از دستگاه Autolab برای اندازه‌گیری مشخصه جریان-ولتاژ ترانزیستورها استفاده شد. برای این آزمایش‌ها، با استفاده از منبع تغذیه ولتاژ مناسب بر اساس کاتالوگ ترانزیستورها به مدار اعمال شد، سپس محدوده ولتاژ برای رسم منحنی جریان-ولتاژ با استفاده از اتولب تنظیم شد. این دستگاه با اندازه‌گیری ولتاژ (نوع منحنی مورد بررسی تعیین کننده این است که ولتاژ از کدام پایه‌ها قرائت شود) و جریان بطور خودکار و همزمان، در مدت زمان کوتاهی منحنی جریان-ولتاژ ترانزیستور یا دیود را رسم می‌کند. گاماسل یک سیستم تابش گاما با چشمه کبالت ۶۰ است. برای پرتودهی قطعات از گاماسل سازمان انرژی اتمی ایران (حاوی چشمه کبالت با فعالیت تقریبی ۵۷۷۰ کوری) استفاده شد.

ترانزیستورها یکی از پرکاربردترین قطعات الکترونیکی هستند. این قطعات بطور گسترده در پردازش سیگنال و پردازش توان استفاده می‌شوند. به خاطر گستردگی کاربرد این المان‌ها طیف وسیعی از آن‌ها به صورت تجاری موجود است که هر کدام برای کاربرد خاصی استفاده می‌شوند.

در یک تقسیم‌بندی می‌توان ترانزیستورها را به دو دسته ترانزیستورهای دوقطبی و ترانزیستورهای اثر میدان تقسیم نمود که هر کدام کاربرد خاصی دارند. ترانزیستورهای دو قطبی از جمله اولین ترانزیستورهای ساخته شده می‌باشند و کاربرد اصلی آن‌ها در تقویت جریان و در ناحیه‌ی فعال می‌باشد. در ناحیه‌ی فعال یک ترانزیستور دوقطبی، جریان کلکتور  $I_C$  ترانزیستور، برابر با رابطه ۱ می‌باشد [۵].

$$I_C = \beta \times I_B \quad (1)$$

که در اینجا  $I_B$  جریان بیس است. با توجه به دیودی بودن اتصال بیس انتظار می‌رود جریان و ولتاژ بیس رابطه‌ی نمایی داشته باشند و لذا نمودار جریان کلکتور بر حسب ولتاژ کلکتور-امیتر به جریان بیس وابسته است. در این پژوهش از ترانزیستورهای 2N2222 و BC107 استفاده شد که نمونه‌های تجاری هستند. مبنای انتخاب این ترانزیستورها امکان‌سنجی پرتودهی قطعات در کلاس فضایی بوده است. ابتدا برای جریان‌های مختلف بیس، نمودار جریان کلکتور بر حسب ولتاژ کلکتور-امیتر رسم شد. پس از تابش نیز این نمودار مجدداً اندازه‌گیری شد.

ماسفت‌ها نیز از پرکاربردترین ترانزیستورها هستند و در مدارهای مجتمع و به صورت جداگانه بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ناحیه‌ی فعال، جریان درین-سورس ماسفت‌ها به ولتاژ گیت نیز وابسته است. از آنجا که بررسی کل ناحیه‌ی کاری ماسفت مورد نظر است، نمودار جریان درین بر حسب ولتاژ درین-سورس در ولتاژهای گیت مختلف اندازه‌گیری شد.

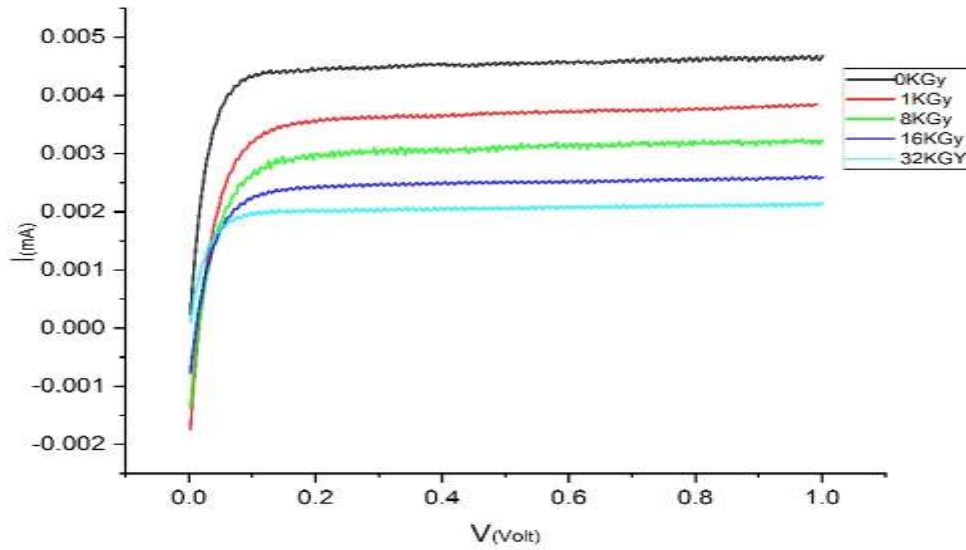
دیود یک المان الکترونیکی است که در مدارات الکترونیکی کاربردهای وسیعی دارد. از این قطعه عمدتاً به عنوان یکسوساز استفاده می‌شود. نمودار جریان-ولتاژ دیود علاوه بر جنس و مشخصات داخلی دیود به دما نیز وابسته است. از



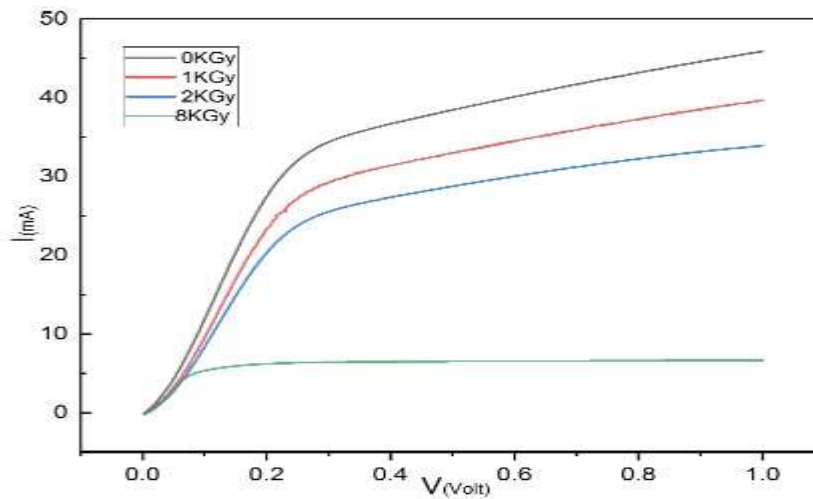
آنجا که هدف این پژوهش یافتن تاثیر پرتو بر پارامترهای الکتریکی دیود است، لذا در دمای ثابت و دزهای مختلف تابش، رابطه جریان-ولتاژ هر دیود اندازه گیری شد.

## نتایج و بحث

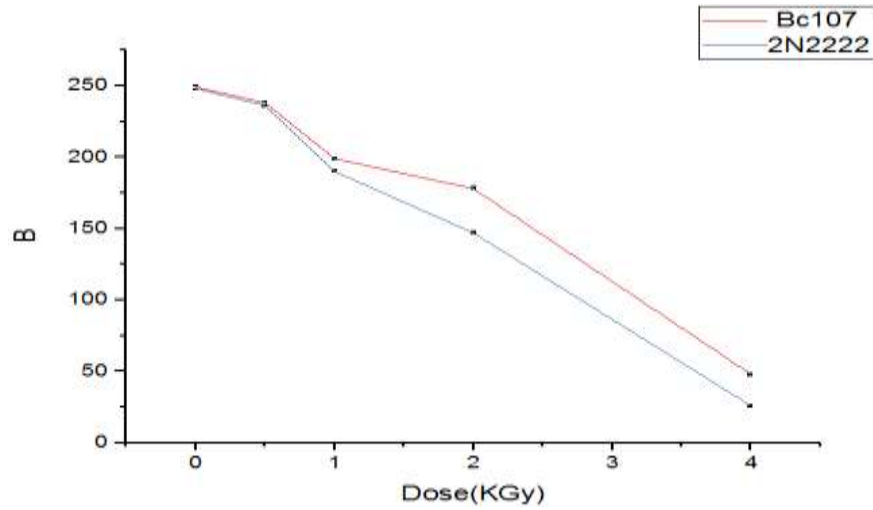
ترانزیستور 2N2222 یک ترانزیستور همه منظوره npn می باشد که کاربرد زیادی در تقویت کنندگی سیگنال و سویچینگ دارد. بیشینه جریان کلکتور این ترانزیستور ۸۰۰ mA و بیشینه ولتاژ کلکتور-امیتر آن ۳۰ V است. ترانزیستور 2N2222 با دزهای مختلف گاما پرتو دهی شد و تحت ولتاژ ۰/۵ V مشخصه جریان-ولتاژ آن اندازه گیری شد که تغییرات آن در شکل ۱ نشان داده شده است. ترانزیستور BC107 نیز یک ترانزیستور npn می باشد که بیشینه ولتاژ کلکتور امیتر آن ۴۵ V و بیشینه جریان کلکتور آن نیز ۲۰۰ mA است و در تقویت سیگنال های صوتی کاربرد زیادی دارد. نتایج آزمایش روی این نوع ترانزیستورها تحت تابش گامای چشمه کبالت ۶۰ در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، این قطعه در دز ۸ کیلوگری سوخته و منحنی دزهای بالاتر در شکل نشان داده نشده است. تغییرات بتای ترانزیستورهای 2N2222 و BC107 قبل و بعد از پرتو دهی گاما اندازه گیری شد که در دز ۸ کیلوگری، ترانزیستور BC107 سوخته و منحنی بتای ترانزیستورها فقط تا دز ۴ کیلوگری در شکل ۳ قابل مشاهده است. ترانزیستور IRF 740 یک ترانزیستور کاربردی در منابع تغذیه ی سویچینگ می باشد که دارای بیشینه ولتاژ درین-سورس ۴۰۰ ولت و بیشینه جریان کلکتور ۱۰ آمپر می باشد. ترانزیستور IRF 740 با دزهای مختلف گاما تابش دهی شد و منحنی های آن تحت ولتاژ ۱V اندازه گیری شد که در شکل ۴ قابل مشاهده است. اثر تابش گاما بر دیودهای MUR 406 نیز برای دزهای مختلف از ۱ تا ۳۲ کیلوگری بررسی شد و نمودار تغییرات مشخصه جریان-ولتاژ دیودها در شکل ۵ مشاهده می شود.



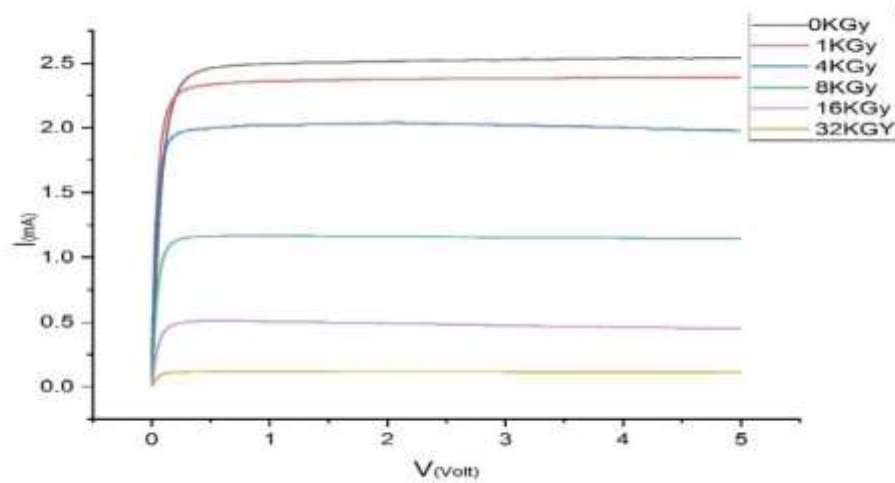
شکل ۱. تغییرات منحنی I-V ترانزیستور 2N2222 با ولتاژ ۰/۵ V تحت دزهای مختلف



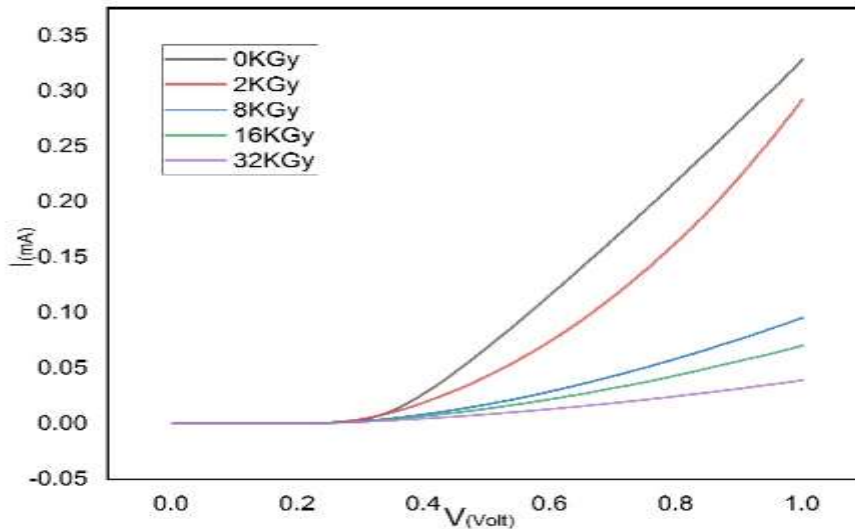
شکل ۲. تغییران منحنی جریان-ولتاژ ترانزیستور BC107 با ولتاژ ۱ V تحت دزهای مختلف



شکل ۳. تغییرات بتای ترانزیستورهای BC107 و 2N2222 با افزایش دز در پرتودهی گاما



شکل ۴. تغییرات منحنی جریان-ولتاژ ترانزیستور IRF 740 با ولتاژ ۱V تحت دزهای ۱ تا ۳۲ کیلوگری



قبل و بعد از پرتو دهی گاما با دزهای ۲، ۸، ۱۶، ۳۲ کیلوگری 460 MUR دیود V-اشکل ۵. نمودار

## نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی تجربی اثر پرتو گاما بر قطعات الکترونیک پرداخته شد. نتایج نشان دادند که پرتو دهی گاما در محدوده دز ۱-۳۲ kGy، بطور قابل توجهی بر پارامترهای قطعات الکترونیکی تاثیر گذار است. این تاثیر در قطعات مختلف متفاوت است و عملکرد مواد در محیط‌های پرتوی گاما، تحت تاثیر قرار می‌گیرد. جریان دیود در یک ولتاژ ثابت، با افزایش دز گاما کاهش می‌یابد. همچنین در مورد انواع ترانزیستورها نیز با افزایش دز گاما، منحنی‌های I-V افت کرده و مقدار پارامتر  $\beta$  کاهش می‌یابد.

## مراجع

- [1] Chee F. P, Haider F. Abdul A., Saafie S., Azali M., Effects of Total Ionizing Dose on Bipolar Junction Transistor, American Journal of Applied Sciences, 2010; 7 (6): 807-810
- [2] Najim, J. M. (2009). Studying the different effects of gamma and x-ray irradiation on the electrical properties of silicon diode type 1N1405, 1(1), 41-46



بیست و ششمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۸۰۷ اسفندماه ۱۳۹۸ - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تهران



- [3] Pushpa, N.; Praveen, K.C.; Gnana Prakash, A.P.; Prabhakara Rao, Y.P.; Ambuj Tripathi, G.; Revannasiddaiah, D. Nucl. Instr. Meth. Res. A. 2010, 613, 280–289.
- Park, M., 2004. Total ionizing dose effects in power vertical double-diffused metal- [4]  
xidesemiconductor field effect transistors. University of New York at Buffalo.
- Anjum, A.; Vinayakprasanna, N.H.; Pradeep, T.M.; Pushpa, N.; Krishna, J.B.M.; Gnana [۵]  
Nucl. Instr. Meth. Res. B. 2016, 379, 265–271. Prakash, A.P.