



بررسی اثر پرتودهی توسط راکتور MNSR و باریکه پروتون دستگاه پلاسمای کانونی بر

پارامتر CTR اپتوکوپلر

دارم، زهرا^(۱) - شیرانی بیدآبادی، بابک^(*) - گلشاه، سعید^(۲) - محمودی ورنامخواستی، محب^(۳) -

جندقیان، بهنام^(۱) - سید حبشی، میرمحمد رضا^(۴)

^۱ دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه مهندسی هسته‌ای

^۲ وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، پژوهشگاه فضایی ایران، پژوهشکده مواد و انرژی

^۳ دانشگاه اصفهان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه برق

^۴ پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشکده پلازما و گداخت هسته‌ای

چکیده

در این پژوهش به بررسی تجربی اثر تابش نوترون و پروتون بر اپتوکوپلر پرداخته شده است. برای پرتودهی نوترونی از راکتور مینیاتوری با شار نوترون $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ برای مدت ۲۰ ثانیه استفاده شد و برای پرتودهی پروتون از دستگاه پلاسمای کانونی با انرژی ۲۰ kJ در ۲۰ شات استفاده شد. نتایج نشان داد که هر دو پرتودهی بطور قابل توجهی بر پارامترهای اپتوکوپلر تاثیرگذار هستند. در این تحقیق نتایج کاهش CTR و افزایش ولتاژ آستانه در اثر پرتودهی و تغییرات منحنی ولتاژ-جریان اپتوکوپلرها، قبل و بعد از پرتودهی ارائه شده است.

کلمات کلیدی: راکتور تحقیقاتی MNSR، دستگاه پلاسمای کانونی، اپتوکوپلر، آسیب تابش

مقدمه

اپتوکوپلر^۱ یکی از عناصر الکترونیکی پرکاربرد می‌باشد که به صورت گسترده برای ایزولاسیون سیگنال، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این قطعه به طور گسترده برای فیدبک گرفتن در کاربردهای فضایی استفاده می‌شود. اپتوکوپلرهای شناخته شده به شدت نسبت به تابش تحت تاثیر قرار می‌گیرند. تابش‌های یونیزان باعث ایجاد آسیب جابه‌جایی و یونش می‌شوند و در نتیجه CTR قطعه کاهش یافته و ولتاژ آستانه اپتوکوپلر افزایش می‌یابد.

محیط‌های تابشی مختلفی وجود دارند که عملکرد مواد را تحت تاثیر قرار می‌دهند. اطلاع از تغییرات ایجاد شده بر اثر تابش می‌تواند موجب پیشرفت در طراحی و انتخاب مناسب مواد به کار رفته در ساختارهای تشکیل دهنده قطعات شود. پرتو در هر یک از این محیط‌ها می‌تواند گاما، ایکس، الکترون‌ها، پروتون‌ها، نوترون‌ها، یون‌های سبک و سنگین و یا ترکیبی از این‌ها باشد.

^۱ Optocoupler



بررسی اثرات تابش بر قطعات الکترونیکی موضوع جدیدی نیست اما این بررسی‌ها با هدف بومی سازی و تست قطعات مورد استفاده در ماهواره‌ها و تجهیزات ماموریت‌های فضایی در داخل کشور انجام شد تا این قطعات در داخل کشور از نظر مقاومت تابشی مورد آزمون قرار بگیرند. این مقاله در نتیجه پروژه مشترک پژوهشی با همکاری پژوهشگاه فضایی ایران ارائه شده است.

تأثیر اصلی تابش بر قطعات الکترونیکی شامل ایجاد تپه‌ی جای در ساختار شبکه، اتم‌های جابجا شده و یونش اتم‌ها در بلورهای کریستالی است. این عوامل باعث کاهش چگالی و تغییر خواص پلاستیکی فلزات به اندازه قابل توجهی می‌شود. به طور کلی تابش می‌تواند باعث از دست رفتن خواص پلاستیکی و شکل‌پذیری و افزایش خواص سختی شود. در پی اندرکنش‌های پرتو با مواد، تغییراتی در خواص ذاتی مواد مانند خواص مکانیکی، رسانایی، ساختار بلوری، مشخصات پیوند اتمی، دمای ذوب، خواص مغناطیسی و حتی رنگ مواد نیز رخ می‌دهد.

اپتوکوپلر یک قطعه الکترونیکی است که به صورت مدار مجتمع تولید می‌شود. عملکرد اصلی اپتوکوپلر ایزوله کردن دو نقطه از مدار با استفاده از نور می‌باشد. بررسی‌ها نشان داده است که تابش اثرات قابل توجهی بر عملکرد اپتوکوپلر دارد. اثر تابش باعث کاهش CTR^2 و جریان خروجی می‌شود. کاهش CTR وابستگی مستقیم به IF دارد [۶-۱]. در این پژوهش به بررسی اثر پرتودهی بر اپتوکوپلر در راکتور مینیاتوری و در دستگاه پلاسما کانونی پرداخته شده است.

روش کار

یک اپتوکوپلر از ۲ بخش تشکیل شده است: فرستنده نوری که معمولاً یک دیود ناشر نور می‌باشد (**LED**) و بخش گیرنده نوری که می‌تواند یک فوتوترانزیستور باشد. بین این دو بخش هیچ جریان الکتریکی وجود ندارد و کاملاً مجزا از یکدیگر هستند و تنها فوتون‌های مرئی منتقل می‌شوند. این **IC** ها حداقل دارای ۴ پایه هستند. دو پایه آند و کاتد برای تحریک فوتودیود و دو پایه کلکتور و امیتر فوتوترانزیستور می‌باشد. نحوه کار اپتوکوپلر در مدارها به این صورت است که سیگنال ایزولاسیون ابتدا تحریک فوتودیود را انجام می‌دهد و به سیگنال نوری تبدیل می‌شود. نور تولید شده، گیت فوتوترانزیستور را تحریک کرده و می‌تواند سیگنال را از کلکتور و امیتر فوتوترانزیستور خروجی بازبایی نمود. پارامتری که غالباً برای مقایسه میزان کاهش جریان خروجی پس از تابش نسبت به قبل از تابش بررسی می‌شود، پارامتر CTR می‌باشد و به صورت نسبت جریان خروجی به جریان IF در یک ولتاژ خاص از خروجی تعریف می‌شود.

$$CTR = \frac{IC}{IF} \quad (IC: \text{میزان جریان کلکتور (Ic) به جریان مستقیم LED (IF)})$$



اپتوکوپلرهایی که برای این پژوهش انتخاب شدند، اپتوکوپلرهای ساده‌ای هستند که به صورت تجاری در دسترس می‌باشند.

(۱) اپتوکوپلر **LTV814**: این IC یک اپتوکوپلر است و وظیفه آن جداساز فوتون‌های مرئی می‌باشد این IC از

نوع DIP بوده و دارای ۴ پایه می‌باشد.

(۲) اپتوکوپلر **LTV817**: این IC یک اپتوکوپلر تک کاناله با ایزولاسیون ورودی-خروجی 5000 vfm می‌باشد این

IC از نوع DIP بوده و دارای ۴ پایه می‌باشد.

برای بررسی عملکرد یک فتودیود یک راه معمول تحریک فتودیود در جریان‌های مختلف و یافتن نمودار ولتاژ-جریان فوتوترانزیستور در آن جریان فتودیود می‌باشد. از دستگاه Autolab برای یافتن مشخصه ولتاژ-جریان فوتوترانزیستور استفاده شد.

شارهای نوترونی بالا و تثبیت شده در راکتورهای تحقیقاتی، همچنین سادگی و سرعت بالا این سامانه‌ها را به بهترین چشمه‌های نوترونی تبدیل کرده است. MNSR یک راکتور از نوع حرارتی با سوخت غنی شده و دارای کندکننده‌ی آب سبک است. مهم‌ترین استفاده‌ی آن در آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی می‌باشد. راکتور مینیاتوری اصفهان دارای قدرت حرارتی نامی 30 kW بوده و بیشینه شار حرارتی آن در این حالت $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ است که در این توان حداکثر $2/5$ ساعت قابل استفاده می‌باشد. پرتوهای حاصل از راکتور از 90 درصد نوترون حرارتی و 10 درصد نوترون سریع تشکیل شده است که تاثیر اصلی، ناشی از نوترون‌های سریع است. با توجه به اینکه نوترون‌های حرارتی توانایی ایجاد آسیب جابجایی ندارند و صرفاً برهمکنش‌های جذب برای آن‌ها امکان‌پذیر است، آسیب ایجاد شده ناشی از نوترون‌های حرارتی قابل چشم‌پوشی است. چون اکثریت آسیب ایجاد شده در قطعات الکترونیکی ناشی از آسیب‌های یونش و جابجایی اتمی است. همچنین دز تابش گامای داخل راکتور برای شار نوترونی $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ برابر با $1/94 \times 10^4 \text{ Gy/h}$ است که برای مدت 20 ثانیه دز پائینی محسوب می‌شود و تاثیری بر پارامترهای الکتریکی قطعات مورد نظر ندارد.

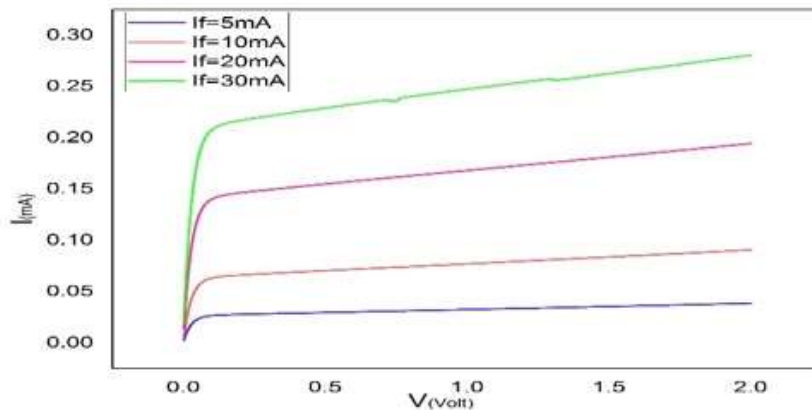
دستگاه پلاسمای کانونی 20 کیلوژول MTPF-2 از نوع مدر با بانک خازنی به ظرفیت $13/5 \mu\text{F}$ ، حداکثر ولتاژ شارژ 20 kV ، اندوکتانس 158 nH و جریان تخلیه 100 kA به عنوان منبع تولید یون‌های پروتون پرنرژی برای پرتودهی نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. دستگاه پلاسمای کانونی طیف انرژی از صفر تا ده‌ها مگاالکترون ولت را داراست که پیک انرژی آن در 100 keV است و با پیک انرژی پروتون‌های مدار LEO در ارتفاع 400 کیلومتری از سطح زمین برابری می‌کند. شار پروتون‌های رسیده به سلول خورشیدی در سقف دستگاه پلاسمای کانونی 10^{15} p/cm^2 در هر شات است. در پرتودهی پروتون، محفظه دستگاه پلاسمای کانونی با گاز هیدروژن پر می‌شود که پس از تشکیل پینچ و پلاسمای فشرده، گداخت رخ نمی‌دهد در نتیجه تولید نوترون نخواهیم داشت. اما تابش‌های یووی و ایکس‌های مشخصه تولید می‌شوند که می‌توان از تاثیر آن‌ها چشم‌پوشی کرد. دستگاه پلاسمای کانونی چشمه‌ای قدرتمند از باریکه‌های پرنرژی یون،



الکترون، تابش‌های ایکس و نوترون‌ها است، گستره انرژی باریکه‌های یون در دستگاه پلاسمای کانونی که با انرژی ذخیره شده در محدوده چند kJ تا MJ عمل می‌کنند، در محدوده ده‌ها کیلو الکترون‌ولت تا چندین مگا الکترون‌ولت اندازه‌گیری شده است [۷].

نتایج

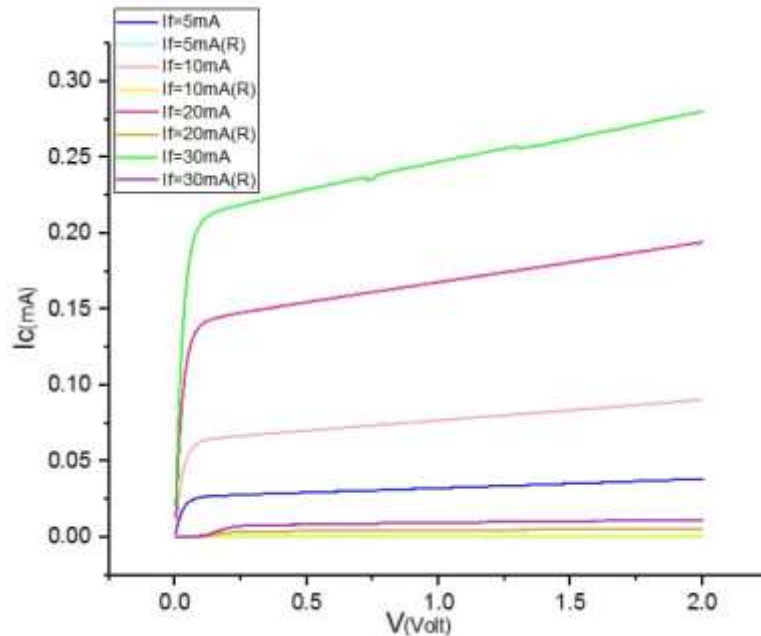
همانطور که اشاره شد، نمودار I-V اپتوترانزیستور در جریان‌های مختلف گذرنده از دیود می‌تواند به خوبی عملکرد اپتوکوپلر را نمایش دهد. از این رو ابتدا قبل از پرتودهی، برای جریان‌های IF مختلف، نمودار جریان-ولتاژ هر کدام از اپتوکوپلرها رسم شده و در شکل ۱، نمایش داده شده است. در ادامه برای مقایسه بهتر تاثیر تابش، نمودار I-V اپتوترانزیستور خروجی در IF های مختلف قبل و بعد از تابش رسم و مقایسه شده‌اند. تغییرات به وجود آمده در منحنی I-V اپتوترانزیستور خروجی به وضوح در شکل ۲ مشاهده می‌شوند. همانطور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود جریان خروجی اپتوترانزیستور پس از تابش نوترون کاهش می‌یابد. میزان کاهش به شار نوترون وابسته است.



شکل ۱. اپتوکوپلر ۸۱۴ با جریان‌های مختلف قبل از پرتودهی

اثر پروتون دستگاه پلاسمای کانونی سازمان انرژی اتمی تهران با شرایط مشابه آزمایش‌های قبل بر اپتوکوپلر ۷۱۴ نیز تست شد که تغییرات منحنی جریان-ولتاژ آن را در شکل ۳ مشاهده می‌کنید. در جریان ۳۰ میلی‌آمپر تغییرات ایجاد شده ناشی از پرتودهی پروتون، واضح تر است.

در جدول‌های ۱ و ۲ نسبت CTR بعد از تابش و قبل از تابش برای هر دو اپتوکوپلر قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در تابش نوترون و پروتون نسبت CTR بعد از تابش و قبل از تابش کاهش یافته است. این کاهش در پرتودهی نوترونی واضح تر است. همان طور که مشاهده می‌شود پس از پرتودهی ولتاژ اشباع افزایش یافته است.



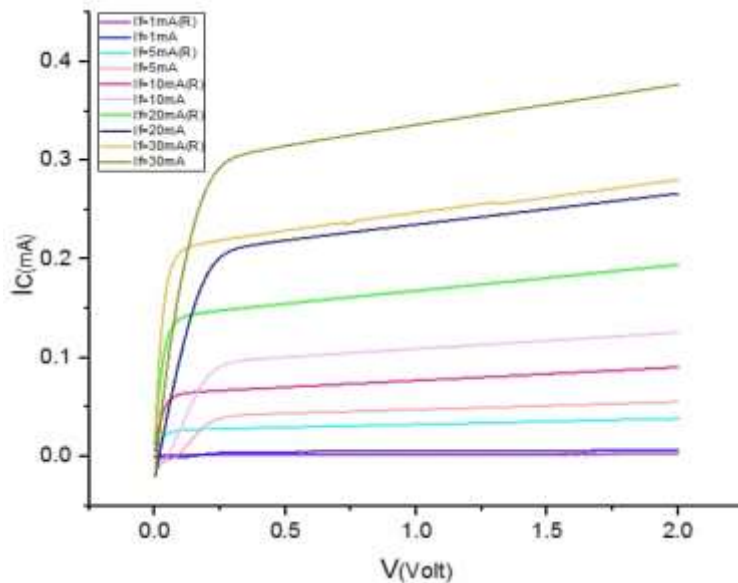
شکل ۲. تغییرات مشخصه جریان-ولتاژ اپتوکوپلر ۸۱۴ در برابر شار ۱۱e۵ نوترون راکتور MNSR در جریان‌های مختلف

جدول ۱. نسبت CTR بعد و قبل از تابش نوترونی

IF=30mA	IF=20mA	IF=10mA	IF=5mA	اپتوکوپلر
4/22=0.18	2.5/20=0.125	0.25/8=0.03	0.15/3.5=0.04	LTV814
2/24=0.083	2.5/18=0.13	0.1/7=0.014	0.1/30=0.003	LTV817

جدول ۲. نسبت CTR و نسبت ولتاژ اشباع بعد و قبل از تابش پروتونی

IF=20mA	IF=20mA	IF=10mA	IF=5mA	اپتوکوپلر LTV814
0.6636	0.06153	0.0661	0.666	نسبت CTR
3	2.5	2.375	2.533	نسبت ولتاژ اشباع



شکل ۳. اثر تابش پروتون بر بر ایتوکوپلر (۸۱۴)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثرات پرتودهی نوترون راکتور مینیاتوری با شار $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ و باریکه پروتون دستگاه پلاسمای کانونی بر روی دو نوع ایتوکوپلر، به صورت تغییر قابل توجه منحنی‌های I-V قطعات مشاهده شد. یکی از مهمترین اثرات تابش نوترون و پروتون بر روی قطعات، جابجایی اتم‌های ماده از محل ثابت خود در شبکه کریستالی است که این پدیده باعث ایجاد بیشترین تغییرات در پارامترهای الکتریکی قطعات می‌شود.

مراجع

- [1] "Optoelectronic Devices with Complex Failure Modes", A. H. Johnston et al., IEEE NSREC Short Course, Reno July 2000.
- [2] "Proton Damage in Linear and Digital Optocouplers", A. H. Johnston et al., IEEE Trans. Nuc. Sc. Vol 47, n°3, June 2000.
- [3] "Proton Degradation of Light-Emitting Diodes", A. H. Johnston et al., IEEE Trans. Nuc. Sc. Vol 46, n°6, Dec. 1999.
- [4] "A Compendium of Recent Optocoupler Radiation Test Data", K. A. Label et al., 2000 IEEE Rad. Effects Data Workshop Rec.
- [5] "Total Dose and Proton Damage in Optoisolators", B. G. Rax et al., IEEE Trans. Nuc. Sc. Vol 43, Dec. 1996.
- [6] R.A,Read,p,w.Marshal,A.H. Johnston, J.L.Barth, C.J. Marshall ,K.A Label, M, D'Orbine, H.S. Kim, M.A. Carts, 'Emerging optocoupler issues with energetic particle induced transients and permanent radiation degradation' IEEE Trans. Nucl. Sci, vol. 40, pp. 2833-2841,1993



بیست و ششمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۸ و ۷ اسفندماه ۱۳۹۸ - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تهران



-
- [7] R. Niranjan, R.K. Rout, R. Srivastava, Y. Chakravarthy, P. Mishra, T.C. Kaushik, S.C. Gupta, Applied Surface Science, 355 (2015) 989-998.