

بررسی قابلیت استفاده از ماسفت‌های قدرت سری IRF^۱ به عنوان دوزیمتر پرتو گاما

امیر موحدی فرا^۱، صالح اشرفی^{۲*} و بهارک اسلامی^۳

^۱گروه فیزیک هسته‌ای، دانشگاه تبریز، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران.

^۲پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی، گروه کاربرد پرتوها، دانشگاه تبریز، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران.

^۳گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، تهران، ایران.

*آذربایجان شرقی، تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده فیزیک، صندوق پستی: ۵۱۶۶۴

پست الکترونیکی: Ashrafi@tabrizu.ac.ir

چکیده

در این مقاله قابلیت استفاده از ماسفت‌های قدرت سری IRF^۱ به عنوان دوزیمتر پرتو گاما مورد بررسی قرار گرفت. برای این هدف، تغییرات ولتاژ آستانه ایجاد شده در اثر تابش پرتو گاما و همچنین مشخصه‌های محو شدگی در دمای اتاق به عنوان دو مشخصه اصلی دوزیمتر ایده‌آل برای سه نوع ماسفت قدرت با مقاومت درین-سورس حالت روشن بزرگتر از ۱ اهم اندازه‌گیری و مقایسه شده است. برای تابش دهی از چشمه کبالت ۶۰ در دزهای تابشی محدوده ۱۰۰-۱ کراد با نرخ دز ۱۰ krad/h استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تغییرات ولتاژ آستانه نسبت به دز تابشی برای هر سه نوع ماسفت خطیت خوبی دارد. همچنین ماسفت با مقاومت حالت روشن بزرگتر حساسیت بیشتری نسبت به تابش گاما دارد. مشخصه محو شدگی برای هر سه نوع ماسفت در بازه زمانی شش ماهه کمتر از ۱ درصد می‌باشد. بنابراین، ماسفت‌های قدرت سری IRF^۱ ارزان قیمت انتخاب خوبی برای دوزیمتری پرتو گاما می‌باشند.

کلیدواژگان: دوزیمتری، ماسفت قدرت، تابش گاما، ولتاژ آستانه، کبالت ۶۰.

۱. مقدمه

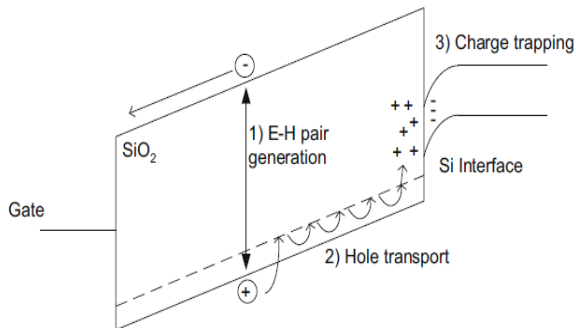
شخصی و پرتو درمانی توسعه بیشتری پیدا کرده است [۱-۴]. وقتی که یک دوزیمتر پی هاس در معرض تابش قرار می‌گیرد ولتاژ آستانه (ΔV_T) آن تغییر می‌کند. با تبدیل این تغییرات به دز جذب شده (D) دوزیمتری تابش‌ها امکان پذیر می‌شود.

عملکرد ترانزیستورهای ماسفت P-کانال به تابش حساس می‌باشد و استفاده از این قطعات الکترونیکی به عنوان دوزیمتر از ابتدای دهه ۱۹۷۰ مطرح شده و امروزه کاربرد دوزیمترهای پی ماس^۳ در پروژه‌های فضایی، صنایع هسته‌ای، دوزیمتری

^۳ PMOS (P-Channel MOSFET)

^۲ MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)

به دام می‌افتند. ساز و کار اصلی به دام افتادن بارها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱): نمایش تراز انرژی محل اتصال سیلیکون-اکسید-گیت و سازوکار انتقال بار مثبت و به دام افتادن.

به دام افتادن بارها در سه مرحله اتفاق می‌افتد. در مرحله اول وقتی تابش یونیزه کننده از داخل اکسید عبور می‌کند، جفت‌های الکترون-حفره تولید می‌کند. تعداد جفت‌های الکترون-حفره تولید شده بستگی به انرژی کل ذرات تابشی و برهمکنش آنها با اتم‌های اکسید دارد. بخشی از این الکترون-حفره‌های تولید شده بلافاصله بدون اینکه تاثیری روی عملکرد ترانزیستور بگذارند، باز ترکیب می‌شوند. الکترون‌های آزاد باقیمانده در داخل اکسید نسبت به حفره‌ها تحرک بالاتری دارند و تحت بایاس مثبت بوسیله پایه گیت جمع‌آوری می‌شوند (ان ماس^۵). این فرایند منجر به باقی ماندن حفره‌های مثبت در داخل اکسید می‌شود. در مرحله دوم این بارهای مثبت از طریق حالت‌های موضعی به سمت محل اتصال سیلیکون مهاجرت می‌کنند که به عنوان سازوکار جهش^۵ شناخته می‌شود. وقتی این بارها به محل اتصال سیلیکون می‌رسند، به دام افتاده و در داخل اکسید باقی می‌مانند.

یک دوزیمتر پی ماس ایده‌آل باید دو ویژگی اساسی داشته باشد: حساسیت بالایی نسبت به تابش داشته باشد و بتواند اطلاعات دز جذب شده را برای مدت طولانی ذخیره کند. وابستگی دز جذب شده (D) به تغییرات ولتاژ آستانه (ΔV_T) با رابطه زیر بیان می‌شود [۵،۶]:

$$(\Delta V_T) = AD^n$$

که در آن V_{T0} ولتاژ آستانه قبل از تابش، $\Delta V_T = V_T - V_{T0}$ تغییر ولتاژ آستانه پس از تابش، A یک ثابت و n درجه خطیت است که در حالت ایده‌آل $n=1$ می‌باشد، که در این حالت نشان دهنده حساسیت ترانزیستور می‌باشد که به صورت زیر بیان می‌شود:

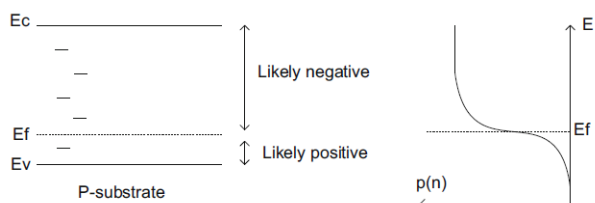
$$S = \frac{\Delta V_T}{D},$$

دوزیمترهای پی ماس نسبت به سایر دوزیمترها دارای مزایای بسیاری می‌باشند از جمله می‌توان به حجم کوچک قسمت حساس به تابش، توان مصرفی کم، قابلیت حمل، قابلیت استفاده در هر دو حالت بایاس و بایاس نشده، قابلیت استفاده در مدارات مجتمع، سازگاری با ریزپردازنده‌ها و قیمت ارزان آنها اشاره نمود [۷]. افزایش حساسیت دوزیمترهای پی ماس یکی از اهداف اصلی در طراحی آنها می‌باشد. این هدف می‌تواند با افزایش ضخامت لایه اکسید [۸،۹،۱۰]، پشته سازی مسافت‌ها [۱۱،۱۲] و اعمال ولتاژ بایاس مثبت به گیت [۹،۱۳،۱۴] بدست آید.

وقتی ترانزیستور ما سفت در معرض تابش با انرژی بالا قرار می‌گیرد در ناحیه اکسید سیلیکون آن جفت‌های الکترون-حفره تولید می‌شوند. این بارها در مسیر حرکت خود در داخل اکسید

⁵ Hopping

⁴ NMOS (N-Channel MOSFET)



شکل (۲): باند گاف یک بدنه نوع P و احتمال وجود بارها در تله‌های داخل باند گاف.

اگرچه بارهای به دام افتاده داخل اکسید برای هر دو ترانزیستور ان ماس و پی ماس مثبت هستند، بارهای به دام افتاده ناشی از تابش برای پی ماس مثبت ولی برای ان ماس منفی هستند. تغییر ولتاژ آستانه کل می‌تواند به صورت مجموع بار تله‌های اکسید Q_{ot} و تله‌های محل اتصال Q_{it} برای پی ماس و ان ماس به صورت زیر محاسبه شود:

$$V_{tot} = V_{ot} + V_{it} = -\frac{Q_{ot} + Q_{it}}{C_{ox}}, \quad (3)$$

برای ترانزیستور پی ماس هر دو Q_{it} و Q_{ot} مثبت هستند و اثر هر دو منجر به یک شیفت منفی در ولتاژ آستانه می‌شود. در ترانزیستور ان ماس Q_{ot} مثبت است در حالی که Q_{it} منفی می‌باشد که منجر به یک اثر رقابتی می‌شوند.

ماسفت قدرت نوع خاصی از ترانزیستور اثر میدانی می‌باشد که به منظور کارکرد در توانهای بالا طراحی شده است. مهمترین مزایای ماسفت قدرت، سرعت سوئیچینگ بالا و کارایی خوب در ولتاژهای نسبتاً پایین (کمتر از ۲۰۰ ولت) می‌باشد. ماسفت قدرت پرکاربردترین کلید مورد استفاده در ولتاژهای پایین است که معمولاً در مدارهای منابع تغذیه، مبدل DC به AC و کنترل کننده‌های موتور الکتریکی به کار می‌رود. ماسفت‌های

از آنجایی که بارهای به دام افتاده مثبت هستند، ولتاژ آستانه ترانزیستور در نتیجه تله‌های اکسید V_{ot} به صورت زیر تغییر می‌کند:

$$V_{ot} = \frac{-Q_{ot}}{C_{ox}} \quad (1)$$

که در آن Q_{ot} بارهای به دام افتاده و C_{ox} ظرفیت لایه اکسید می‌باشد. مقدار بار تولید شده در اثر تابش با ضخامت اکسید نسبت مستقیم دارد، به طوری که اکسید ضخیم‌تر بازده بهتری در تولید بار دارد. بنابر این تغییر ولتاژ آستانه متناسب است با t_{ox}^2 داریم:

$$V_{ot} \propto t_{ox}^2. \quad (2)$$

از روابط ۱ و ۲ می‌توان نتیجه گرفت که یک لایه اکسید نازک‌تر بارهای کمتری را گیراندازی می‌کند و نسبت به تابش مقاوم‌تر بوده و ظرفیت بالایی دارد. بارهای تولید شده در اثر تابش در داخل اکسید منجر به ایجاد تله‌هایی در محل اتصال سیلیکون^۷ و اکسید سیلیکون^۸ می‌شوند. این تله‌ها می‌توانند از نوع خنثی، دهنده یا گیرنده باشند. در ترانزیستورهای ان ماس، که بر روی بدنه نوع P ساخته می‌شوند، تراز فرمی زیر تراز انرژی میانی قرار می‌گیرد. بنابر این، ترازهای انرژی درون بلند گاف احتمالاً توسط بارهای منفی به دام می‌افتند. در ترانزیستورهای پی ماس از آنجایی که تراز فرمی بالاتر از تراز انرژی میانی قرار می‌گیرد، تله‌ها توسط بارهای مثبت اشغال می‌شوند. شکل ۲ نمودار باند انرژی ان ماس با احتمال وجود بار منفی در یک سطح انرژی معین را نشان می‌دهد. این احتمالات از توزیع بولتزمن حامل‌های اضافی در نیم رسانا پیروی می‌کنند.

⁷ Si

⁸ SiO₂

⁶ Oxide layer thickness

در یک ساختار مسطح، مقدار جریان و ولتاژ شکست هر دو تابعی از ابعاد کانال (به ترتیب عرض و طول کانال) هستند. در ساختار عمودی، ولتاژ نامی ترانزیستور تابعی از آرایش^{۱۰} و ضخامت لایه N^+ است در حالی که مقدار جریان تابعی از عرض کانال است. این امر سبب می شود که ترانزیستور بتواند ولتاژ و جریان بالا را در یک قطعه سیلیکون فشرده تحمل کند.

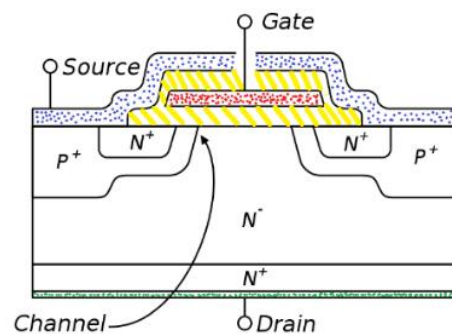
۱.۱. مقاومت حالت روشن

ماسفت قدرت در حالت روشن مقاومتی را مابین پایه های درین و سورس از خود نشان می دهد. همان طور که در شکل ۴ دیده می شود، این مقاومت که R_{DSon} نامیده می شود که مجموع چندین مقاومت اولیه است.

$$R_{DSon} = R_S + R + R_a + R_n + R_D \quad (۴)$$

R_S مقاومت سورس است که نشان دهنده کل مقاومت بین الکتروود سورس و کانال ماسفت یا همان مقاومت بین پایه سورس و قسمت N^+ می باشد. R مقاومت کانال است و نسبت معکوس با عرض کانال و چگالی کانال دارد. مقاومت کانال، یکی از عوامل مهم در تعیین مقاومت حالت روشن ماسفت های ولتاژ پایین است و تلاش های فراوانی در جهت کوچکتر کردن ابعاد کانال به منظور افزایش چگالی آن، در حال انجام است. R_n به مقاومت دسترسی معروف است، نشان دهنده مقاومت ناحیه لایه نشانی شده در زیر ترمینال گیت است. R_D مقاومت قسمت لایه نشانی شده است. از آنجایی که نقش این لایه تحمل افت ولتاژ در حالت قطع ماسفت است، لذا مقدار این مقاومت به طور مستقیم با ولتاژ نامی ماسفت در ارتباط است. یک ماسفت ولتاژ بالا نیازمند یک لایه ضخیم با ناخالصی پایین (مقاومت زیاد) است، در حالی که ماسفتی با ولتاژ پایین نیازمند یک لایه نازک

قدرت با ساختار عمودی که در آن ها جریان الکتریکی به صورت عمودی جاری می شود، می توانند ولتاژ و جریان بالا را در یک قطعه سیلیکون فشرده تحمل کنند (ولتاژ شکست بالایی دارند). همچنین ماسفت قدرت با ساختار افقی نیز وجود دارد که مزیت آن ها این است که در ناحیه اشباع رفتار بهتری نسبت به ماسفت با ساختار عمودی از خود نشان می دهند [۱۵]. در اوایل دهه ۱۹۸۰ و همزمان با معرفی اولین ماسفت قدرت، ساختارهای متعددی ارائه شدند اما اغلب آن ها کنار گذاشته شده و فقط ساختار ماسفت با نفوذ عمودی (VDMOS^۹) مورد توجه قرار گرفت [۱۶]. شکل ۳ سطح مقطع یک VDMOS را نشان می دهد. در این نوع ماسفت پایه سورس بالاتر از پایه درین قرار دارد و به این دلیل جریان الکتریکی به صورت "عمودی" جاری شود. واژه "نفوذ" که در اسم این نوع ترانزیستور وجود دارد به فرآیند ساخت آن مربوط می شود که در آن، نواحی P^+ و N^+ با استفاده از تکنیک نفوذ ایجاد می شوند.



شکل (۳): سطح مقطع سلول اولیه یک VDMOS را نشان می دهد. الکتروود سورس (قسمت آبی رنگ)، الکتروود گیت (قسمت قرمز رنگ)، عایق گیت (قسمت زرد رنگ)، الکتروود درین (قسمت سبز رنگ). اندازه یک سلول بسیار کوچک است (از چند میکرومتر تا چند ده میکرومتر) و یک ماسفت قدرت از چندین هزار از این سلول ها تشکیل یافته است.

¹⁰ Doping

⁹ Vertical Double Diffused Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

که در آن ϵ_{ox} ضریب گذردهی الکتریکی لایه اکسید است و خواهیم داشت:

$$R_{DS}(on) = \frac{t_{ox}}{\mu_n \epsilon_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})} \quad (9)$$

از رابطه ۹ نتیجه می‌گیریم:

$$R_{DS}(on) \propto t_{ox} \quad (10)$$

از روابط (۱۰-۳) داریم:

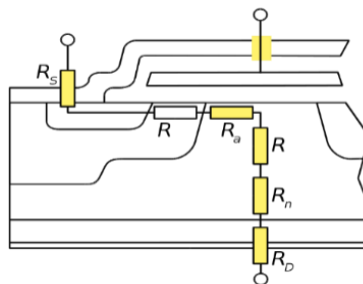
$$\Delta V_{tot} \propto R_{DS}^2(on) \quad (11)$$

از رابطه ۱۱ می‌توان نتیجه گرفت که برای ماسفت‌های قدرت مختلف با شرایط یکسان، ماسفت‌های با مقادیر مقاومت حالت روشن بزرگتر در اثر تابش تغییر ولتاژ آستانه بیشتری خواهند داشت.

لی و همکارانش عملکرد دو پی ماسفت قدرت IRF9533 و J182 تابش داده شده در حالت بی‌پایان شده برای دز ۱۰۰-۱ krad را مطالعه کردند. آن‌ها خطیت خوبی بین تغییرات ولتاژ آستانه با دز جذب شده در حالت پس از تابش و بازپخت در دمای اتاق پیدا کردند. همچنین آن‌ها موفق به ساخت یک ماژول سخت افزاری و نرم افزاری برای مشاهده دز تجمعی در هر لحظه شدند [۱۶].

هدف این مقاله بررسی و مقایسه قابلیت استفاده از پی ماسفت‌های قدرت تجاری سری IRF با مقادیر مقاومت حالت روشن بزرگتر از ۱ اهم به عنوان دوزیمتر برای دزهای محدوده ۱۰۰-۱ krad می‌باشد. خطیت خوب در تغییرات ولتاژ آستانه و حساسیت مناسب این نوع ماسفت‌ها نشان می‌دهد که آن‌ها برای اهداف دوزیمتری مناسب هستند. همچنین آثار محوشدگی در دمای اتاق نیز به عنوان فاکتور مهم برای یک دوزیمتر ایده‌آل بررسی می‌شود.

با ناخالصی بالا (مقاومت کم) است؛ بنابراین در یک ماسفت ولتاژ بالا، R_n عامل اصلی در مقاومت کل ماسفت است. R_D معادل مقاومت R_S برای درین است. این مقاومت، نشان دهنده مقاومت بدنه ترانزیستور است.



شکل (۴): سهم بخش‌های مختلف در مقاومت حالت روشن.

جریان درین در ماسفت نوع N با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left((V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right) \quad (5)$$

که در آن μ_n تحرک الکترون‌ها است و برای ماسفت نوع P کافیسیت در معادله بالا μ_p برای تحرک حفره‌ها جایگزین شود، V_{DS} ولتاژ درین-سورس، V_{GS} ولتاژ گیت-سورس، W عرض کانال و L طول کانال ماسفت در ناحیه خطی ($|V_{DS}| \ll (V_{GS} - V_{TH})$) برای جریان درین داریم:

$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} \quad (6)$$

سپس مقاومت حالت روشن در ناحیه خطی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$R_{DS}(on) = \frac{V_{DS}}{I_D} = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})} \quad (7)$$

با در نظر گرفتن ظرفیت اکسید به صورت زیر:

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}} \quad (8)$$

۲. مواد و روش‌ها

جدول (۱): مشخصه‌های الکتریکی ماسفت‌های انتخاب شده

MOSFET	$V_{DSS}(V)$	$V_{GS(max)}(V)$	$R_{DS(on)}(\Omega)$	$I_D(A)$
IRF9610	-۲۰۰	$20 \pm$	۳	-۰/۹
IRF9634	-۲۵۰	$20 \pm$	۱	-۲/۵
IRF9310	-۴۰۰	$20 \pm$	۷	-۱/۱

۱.۲. روش انتخاب ماسفت

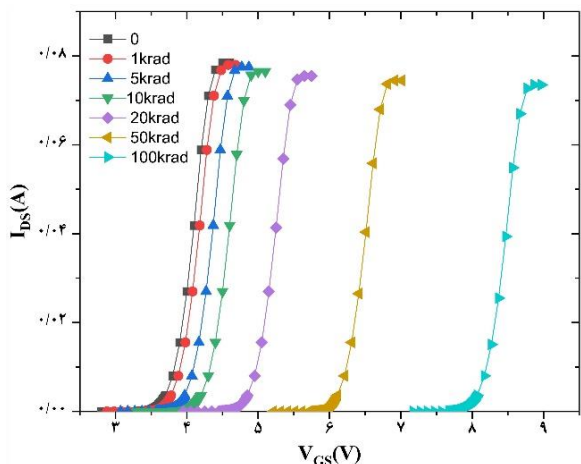
برای پیدا کردن جایگزین مناسب برای رادفت‌ها^{۱۱}، لازم است اثر تابش بر روی ماسفت‌های قدرت تجاری ارزان قیمت را بررسی کنیم. ماسفت‌های قدرت با تنوع بسیار زیادی در بازار موجود می‌باشند که دارای ساختارهای متفاوتی بوده و هر کدام برای کاربردهای مختلف طراحی شده‌اند. برای کاربرد ماسفت قدرت به عنوان دوزیمتر اولویت انتخاب با ماسفت قدرت با حساسیت بیشتر نسبت به تابش گاما می‌باشد. اولین قدم انتخاب از میان ماسفت‌های قدرت نوع P می‌باشد. از آنجایی که در ماسفت نوع P، هم بارهای به تله افتاده داخل اکسید (Q_{ot}) و هم بارهای میانی (Q_{it}) منجر به شیفت ولتاژ آستانه در یک جهت می‌شوند می‌توانند تغییر ولتاژ آستانه بزرگتری نسبت به ماسفت نوع N، به ازای دز تابشی یکسان ثبت کنند [۱۷]. در مرحله بعد اولویت انتخاب با ماسفت‌های قدرتی است که دارای ضخامت لایه اکسید بزرگتری نسبت به بقیه باشند [۱۸]. مطابق معادله (۳)، ضخامت لایه اکسید رابطه مستقیمی با مقاومت حالت روشن ماسفت دارد. از آنجایی که ضخامت لایه اکسید ماسفت‌ها به ندرت در برگیرنده مشخصات فنی^{۱۲} کارخانه سازنده درج می‌شود، به سراغ ماسفت‌های قدرتی می‌رویم که در شرایط تقریباً مشابه از نظر پارامترهای الکتریکی، مقاومت حالت روشن بزرگتری نسبت به بقیه داشته باشند. با در نظر گرفتن تمامی این معیارها سه نوع ماسفت IRF9610، IRF9634، IRF9310 را با بررسی و مقایسه با یکدیگر انتخاب کردیم که مشخصه‌های اصلی آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

V_{DSS} ماکزیمم ولتاژی هست که می‌تواند بین پایه‌های درین و سورس اعمال شود در حالی که پایه‌های گیت و سورس اتصال کوتاه باشند.

۲.۲. نحوه تابش دهی

با اندازه‌گیری پارامترهای الکتریکی، از میان تعداد زیادی ماسفت از هر نوع ماسفت تعداد ۳۰ عدد که دارای مشخصه‌های همسان بودند را انتخاب نمودیم. ماسفت‌ها در حالت غیرفعال^{۱۳} تابش دهی می‌شوند که در آن سه پایه ماسفت اتصال کوتاه می‌باشد [۱۹]. تابش دهی در شش دز مختلف از $10-100 \text{ krad/h}$ و با نرخ دز 10 krad/h انجام می‌شود و در هر مرحله از دز تابشی تعداد ۵ عدد از هر نوع ماسفت تابش داده می‌شود. برای کاهش خطاهای احتمالی در اثر تغییرات حرارت، ولتاژ آستانه بعد از هر تابش دهی در دهای صفر درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری می‌شود. برای تابش دهی از چشمه کبالت ۶۰ واقع در مجتمع پژوهشی کاربرد پرتوهای بناب سازمان انرژی اتمی استفاده نمودیم. برای اندازه‌گیری ولتاژ آستانه ماسفت، جریان درین را در ولتاژهای مختلف گیت اندازه‌گیری می‌کنیم، در حالی که درین در ولتاژ ثابت $V = -0.1$ نگه داشته می‌شود. برای اعمال ولتاژ از منبع تغذیه 3032-odp

¹² Datasheet¹³ Passive¹¹ RADFETs (Radiation sensitive Field Effect Transistors)



شکل (۵): ج) نمودار جریان - ولتاژ ماسفت IRF9310

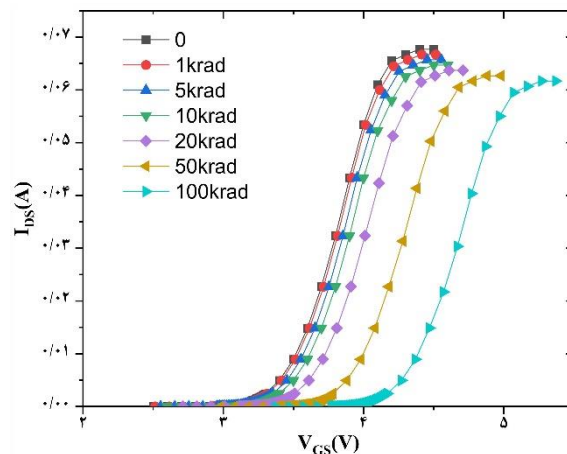
برای تعیین ولتاژ آستانه از روش برون یابی در ناحیه خطی استفاده می شود [۲۰، ۲۱، ۲۲]. مقادیر ولتاژ آستانه در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول (۲): مقادیر ولتاژ آستانه در دزهای مختلف تابش

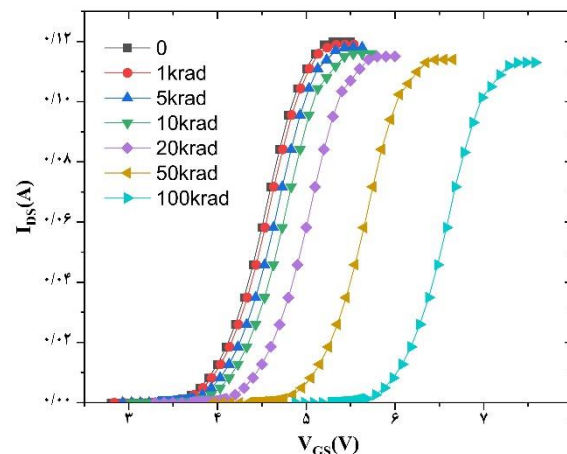
Dose (krad)	V_T
0	3/88
1	3/916
5	4/01
10	4/11
20	4/38
50	5/03
100	5/96

در شکل ۶ نمودار تغییرات ولتاژ آستانه برحسب دز تابشی و مقدار خطیت برای هر نوع از ماسفت نشان داده شده است.

شرکت OWON و برای اندازه گیری جریان از مولتی متر GDM-8351 شرکت GWINSTEK استفاده نمودیم. منحنی مشخصات خروجی و شیفت ولتاژ آستانه در شکل ۵ نشان داده شده است.



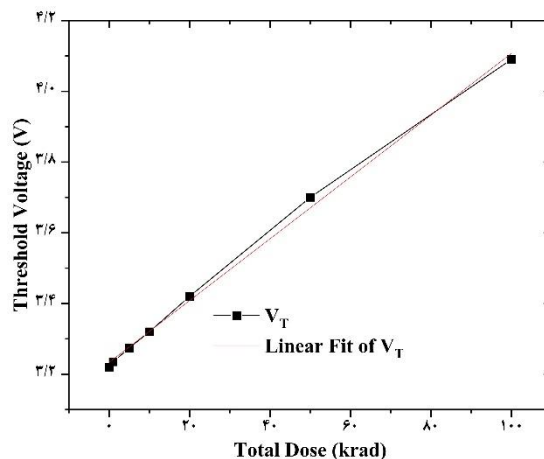
شکل (۵): الف) نمودار جریان - ولتاژ ماسفت IRF9634



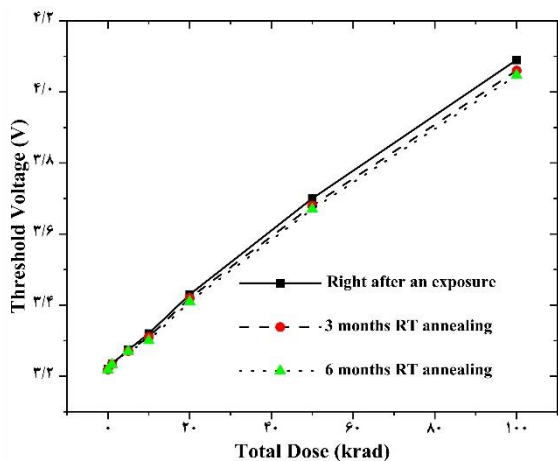
شکل (۵): ب) نمودار جریان - ولتاژ ماسفت IRF9610

۳.۲. تعیین مشخصه‌های محوشدگی^{۱۴}

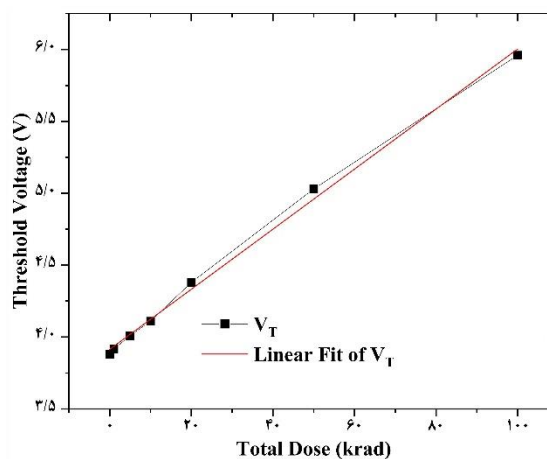
مشخصه‌های محوشدگی در دمای اتاق (محوشدگی خود به خودی) برای هر سه ماسفت در بازه زمانی سه و شش ماهه انجام شده است و در شکل ۷ نمودار تغییرات ولتاژ آستانه بر حسب دوز کل تابشی در زمان‌های مختلف نشان داده شده است.



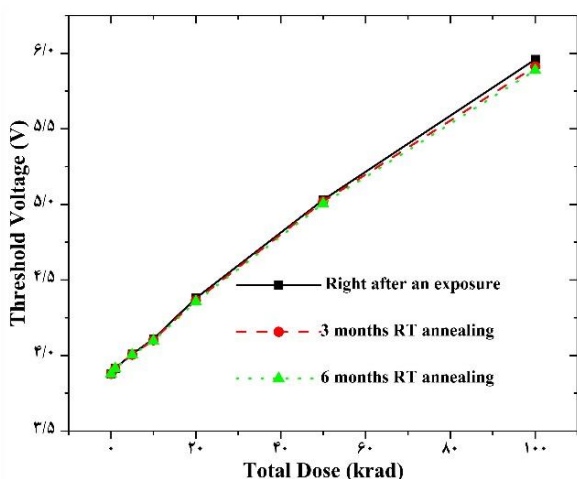
شکل (۶): الف) نمودار تغییرات ولتاژ آستانه ماسفت IRF9634



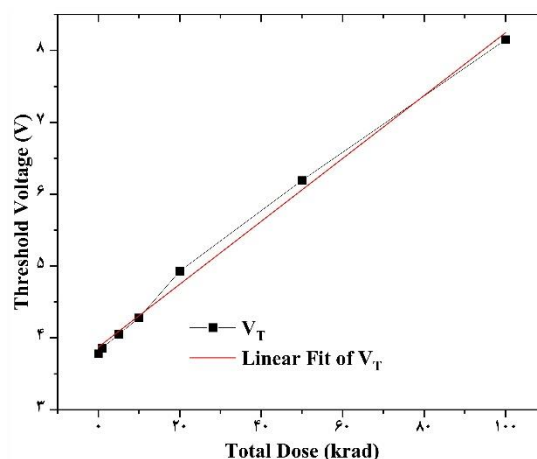
شکل (۷): الف) نمودار محوشدگی در دمای اتاق، ماسفت IRF9634



شکل (۶): ب) نمودار تغییرات ولتاژ آستانه ماسفت IRF9610



شکل (۷): ب) نمودار محوشدگی ماسفت IRF9610

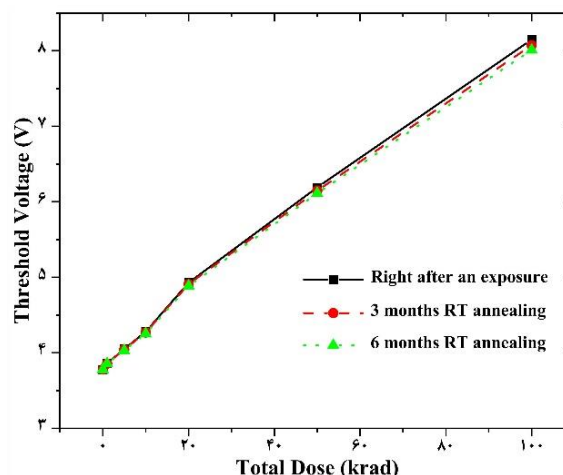


شکل (۶): ج) نمودار تغییرات ولتاژ آستانه ماسفت IRF9310

دزهای پایین می‌باشد. ماسفت IRF9310 در محدوده دز تابشی ۰-۲۰ krad رفتار خطی بهتری نسبت به دو ماسفت دیگر دارد. همچنین آثار محو شدگی نیز در دز کل تابشی محدود به ۰-۱۰۰ krad در دمای اتاق در دوره‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه خطیت خوبی نشان می‌دهد. مشخصه‌های محو شدگی در بازه زمانی ۶ ماهه برای هر سه نوع ماسفت مقداری کمتر از ۱ درصد محو شدگی می‌باشد که نشان می‌دهد این نوع ماسفت‌ها توانایی ذخیره سازی طولانی مدت مقدار دز تابشی را دارند. با توجه به خطیت خوب، ذخیره سازی طولانی مدت اطلاعات دز تابشی، ارزان بودن و در دسترس بودن این نوع ماسفت‌ها می‌توان از آن‌ها به عنوان دوزیمتر پرتو گاما و جایگزین مناسبی برای رادف‌های گران قیمت استفاده کرد.

۴. مراجع

1. A. Holmes-Siedle. The space-charge dosimeter: General principles of a new method of radiation detection. Nuclear Instruments and Methods. 121 (1) (1974) 169-179.
2. A. Holmes-Siedle, L. Adams. RADFET: A review of the use of metal-oxide-silicon devices as integrating dosimeters. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Phys. Chem. 28 (2) (1986) 235-244.
3. A. Kelleher, N. McDonnell, B. O'Neill, W. Lane, L. Adams. The effect of gate-oxide process variations on the long-term fading of PMOS dosimeters. Sensors and Actuators A: Physical. 37 (1993) 370-374.
4. D. J. Gladstone, X. Q. Lu, J. L. Humm, H. F. Bowman, L. M. Chin. A miniature MOSFET radiation dosimeter probe. Med. Phys. 21 (11) (1994) 1721-1728.
5. G. S. Ristić, Thermal and UV annealing of irradiated pMOS dosimetric transistors. J. Phys. D: Appl. Phys. 42 (13) (2009) 135101.



شکل (۷): نمودار محو شدگی ماسفت IRF9310.

آثار محو شدگی در حالت بازیخت^{۱۵} خود به خودی در دمای اتاق بعد از گذشت شش ماه در هر سه ماسفت فقط حدود ۰/۹۸٪ محو شدگی برای دوز کل تابشی ۱۰۰ krad را نشان می‌دهد که بیانگر این است که ماسفت‌های قدرت انتخاب خوبی برای اهداف دوزیمتری می‌باشند.

۳. نتیجه گیری

در این مقاله سه نوع ماسفت قدرت با مقاومت حالت روشن بزرگتر از ۱ اهم در حالت غیرفعال تابش دهی شد. نمودار شیف و ولتاژ آستانه در دز کل تابشی محدود به ۰-۱۰۰ krad برای هر سه نوع ماسفت خطیت خوبی نشان می‌دهد. با توجه به این که ماسفت IRF9310 شیف و ولتاژ بیشتری نسبت به دز تابشی کل در مقایسه با ماسفت‌های دیگر دارد، به عبارت ساده تر یعنی با جذب دز تابشی برابر، مقدار تغییرات ولتاژ آستانه نسبت به دو ماسفت دیگر بیشتر می‌باشد بنابراین از نظر حساسیت به تابش گزینه بهتری برای اهداف دوزیمتری در

6. G. Ristić, S. Golubović, M. Pejović. pMOS transistors for dosimetric application. *Electronics Letters*, 29 (18) (1993) 1644-1646.
7. S. Pejovic, P. Bosnjakovic, O. Ciraj-Bjelac, M. M. Pejovic. Characteristics of a pMOSFET suitable for use in radiotherapy. *Appl. Radiat. Isot.* 77 (2013) 44-49.
8. S. Ashrafi, B. Eslami. Investigation of sensitivity and threshold voltage shift of commercial MOSFETs in gamma irradiation. *Nucl. Sci. Technol.* 27 (2016) 144-150.
9. G. Ristić, S. Golubović, M. Pejović. Sensitivity and fading of pMOS dosimeters with thick gate oxide. *Sensors and Actuators A: Physical*, 51 (2-3) (1995) 153-158.
10. G. Ensell, A. Holmes-Siedle, L. Adams. Thick oxide pMOSFET dosimeters for high energy radiation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 269 (3) (1988) 655-658.
11. A. Kelleher, W. Lane, L. Adams. A design solution to increasing the sensitivity of pMOS dosimeters: The stacked RADFET approach. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 42 (1) (1995) 48-51.
12. B. O'Connell, A. Kelleher, W. Lane, L. Adams. Stacked RADFETs for increased radiation sensitivity. In *Proceedings of the Third European Conference on Radiation and its Effects on Components and Systems* (pp. 481-486). IEEE, (1995, September).
13. A. Jaksic, G. Ristic, M. Pejovic, A. Mohammadzadeh, C. Sudre, W. Lane. Gamma-ray irradiation and post-irradiation responses of high dose range RADFETs, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 49 (3) (2002) 1356-1363.
14. M. M. Pejović, M. M. Pejović, A. B. Jakšić. Radiation-sensitive field effect transistor response to gamma-ray irradiation. *Nucl. Tech. Radiat. Protec.* 26 (1) (2011) 25-31.
15. D. A. Grant, J. Gowar. *Power MOSFETS: Theory and Applications*. Wiley-Interscience. New York (1989).
16. N. H. Lee, J. W. Cho, S. H. Kim, G. U. Youk. Development of electronic radiation dosimeter using commercial power Pmosfet. *J. Nucl. Sci. Tech.* 37 (sup1) (2000) 803-807.
17. J. Barthe. Electronic dosimeters based on solid state detectors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 184 (1-2) (2001) 158-189.
18. C. Conneely, and et al., Strategies for millirad sensitivity in PMOS dosimeters, In *RADECS 97. Fourth European Conference on Radiation and its Effects on Components and Systems* (Cat. No. 97TH8294) (pp. 288-293). IEEE, (1997, September).
19. A. Lelis, H. E. Boesch, T. R. Oldham, F. B. McLean. Reversibility of trapped hole annealing. *IEEE Tran. Nucl. Sci.* 35 (6) (1998) 1186-1191.
20. K. Terada, K. Nishiyama, K. -I. Hatanaka. Comparison of MOSFET-threshold-voltage extraction methods. *Solid-state Electronics* 45 (1) (2001) 35-40.
21. J. J. Liou, A. Ortiz-Condez, F. G. Sanchez. Extraction of the threshold voltage of MOSFETs: an overview. In *1997 IEEE Hong Kong Proceedings Electron Devices Meeting* (pp. 31-38). IEEE, (1997, August).
22. A. Ortiz-Conde, F. J. García-Sánchez, J. J. Liou. An overview on parameter extraction in field effect transistors. *Acta Científica Venezolana* 51 (3) (2000) 176-187.