



مطالعه و بررسی ترانزیستورهای اثر میدان نیم هادی اکسید فلزی PMOS و NMOS بعنوان دزیومتر تابشهای هسته ای

میکائیل یگانه* - بهرام رشیدیان ملکی - هادی متقی بناب - نوید بالکانیان - مهدی تقوی

سازمان انرژی اتمی ایران - شرکت هلدینگ توسعه کاربرد پرتوها، مجتمع پژوهشی کاربرد پرتوهای بناب

چکیده:

در این مقاله از ترانزیستورهای تجاری اثر میدان نیم هادی اکسید فلزی (MOSFET) نوع N و P بعنوان یک سیستم دزیومتری تابشهای گامای حاصل از چشمه کبالت ^{60}Co استفاده می شود که این دزیومترها بر اساس شیفت ولتاژ آستانه در نتیجه پرتودهی کار میکنند. نتایج بدست آمده نشان دهنده این است که ترانزیستورهای نوع P حساسیت دزیومتری بالایی نسبت به ترانزیستورهای نوع N دارند. همچنین ترانزیستورهای با ضخامت اکسید گیت بالا حساسیت دزیومتری بالایی نسبت به سایر ترانزیستورهای هم نوع خود دارند.

کلید واژه: دزیومتری تابشهای هسته ای، MOSFET، حساسیت دزیومتر، شیفت ولتاژ آستانه

مقدمه:

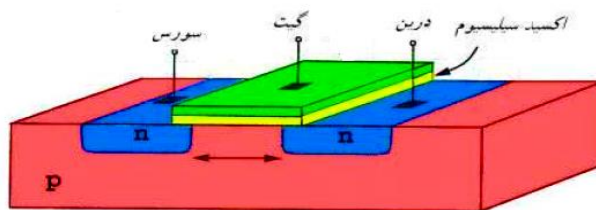
یک دزیومتر تابش ابزار یا سیستمی است که هم بطور مستقیم و یا غیر مستقیم، کمیتهای پرتو دهی، کرما، دز جذبی یا دز معادل یا آهنگ زمانی آنها، یا کمیتهای مربوط به تابش یونیزان را اندازه گرفته و ارزیابی میکند. یک دزیومتر همراه با دستگاه خوانش آن یک سیستم دزیومتری خوانده می شود. یک دزیومتر مفید و سودمند باید دقت بالا، خطیت سیگنال در محدوده دز وسیع، وابستگی کم به دز و آهنگ دز، پاسخ انرژی تخت، وابستگی سمتی کوچک، تفکیک پذیری فضایی بالا و محدوده دینامیکی بزرگ داشته باشد. هیچ دزیومتری به طور واضح همهی مشخصه های بالا را آشکار نمی کند، انتخاب یک دزیومتر باید دقیق و متناسب با موقعیت اندازه گیری باشد [1].

یک ترانزیستور اثر میدان نیم هادی اکسید فلزی (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)، یک ترانزیستور سیلیکون با ابعاد بسیار کوچک میباشد که یک وضوح فضایی بالا نشان میدهد و بعلاوه ابعاد کوچکش،

تضعیف بسیار کمی را در اشعه موجب میشود که این امر برای دزیترهای vivo بسیار مهم میباشد، دزیترهای MOSFET در اصل برای نشان دادن اثرات تابش روی تجهیزات پرنده در فضا طراحی شده بود که ابتدا بوسیله دکتر Andrew Holmes-Siedle در سال 1978 بکار گرفته شد [1,2].

یک MOSFET معمولی شامل یک سورس (S)، یک درین (D)، یک گیت فلزی (G)، و یک زیر بنای نیم رسانا (SB) و یک لایه نارسانای دی اکسید سیلیسیم SiO_2 که گیت را از زیر بنا جدا میکند، میباشد. بخشی از زیر بنای زیر گیت که سورس و درین را فوراً به هم وصل می کند منطقه کانال نامیده می شود. بسته به نوع حاملان بار که جریان کانال را بر قرار می کنند MOSFET ها به دو نوع N (الکترونها حامل بار هستند) و P (حفره ها حامل بار هستند) طبقه بندی می شوند [3-6].

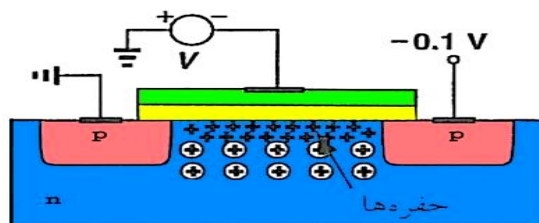
جنس ترانزیستور NMOS از عنصر سیلیسیم نوع P است (که زیر بنا یا بدنه گفته میشود) که به نیمه رسانای نوع n آلوده می شود. بر روی نیمه رسانای نوع p که در بین دو ناحیهی n قرار دارد، یک لایه ی نازک از اکسید سیلیسیم (SiO_2) قرار گرفته که ماده ای نارسانا است. یک لایه ی رسانا نیز بر روی لایه ی نازک اکسید قرار دارد (که گیت (Gate) گفته میشود). یکی از ناحیه های نیمه رسانای نوع n را درین (Drain) و دیگری را سورس (Source) می گوئیم (شکل ۱). ساختار ترانزیستور PMOS نیز شبیه NMOS است با این تفاوت که نوع زیر بنا و درین و سورس عکس NMOS میباشد.



شکل ۱: ساختار یک NMOS

در یک MOSFET نوع p (شکل ۲). وقتی ولتاژ گیت صفر است سیستم خاموش میباشد (بین سورس و درین جریانی وجود ندارد). و وقتی که یک ولتاژ V_G کافی به گیت اعمال شود در این حالت یک تعداد قابل قبولی از حاملان اقلیت (حفره ها) از زیر بنای سیلیکونی و مناطق سورس و درین به سطح اکسید سیلیکون جذب میشوند. بدین صورت که ابتدا یک تراکم کافی از حفره ها در آنجا جمع میشوند و کانال رسانش شکل میگیرد و اجازه

عبور یک جریان قابل ارزیابی بین سورس و درین (I_{ds}) را می‌دهد که سیستم در این حالت روشن میباشد؛ کمترین ولتاژ گیت مورد نیاز برای شروع شارش یک جریان قابل ارزیابی بعنوان ولتاژ آستانه سیستم (V_{TH}) تعریف میگردد.

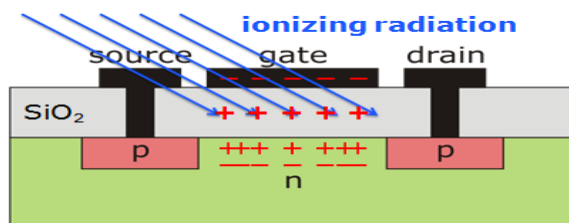


شکل ۲: اگر ولتاژ گیت به اندازه‌ی کافی منفی شود، یک لایه‌ی وارون از حفره‌ها در زیر لایه‌ی اکسید تشکیل می‌شود.

عملکرد ترانزیستور NMOS مشابه ترانزیستور PMOS است، با این تفاوت که همه‌ی ولتاژها معکوس می‌شود.

روش کار:

عملکرد اصلی ترانزیستورهای MOSFET بعنوان دزیمر تابشهای هسته‌ای بر اساس تولید جفت های الکترون - حفره در دی اکسیدسیلیکون، بعلت تابش یونیزه کننده فرودی میباشد. وقتی تابش روی MOSFET تابیده میشود باعث بیرون انداختن الکترونها از اتم های لایه SiO_2 و سوق آنها به به پشت حفره‌های با بار مثبت میشود الکترونها تولید شده که تحركشان در دمای اتاق چهار برابر بزرگتر از حفره ها است به سرعت به سوی الکتروند گیت حرکت میکنند حفره‌هایی که از بازترکیب اولیه فرار میکنند بطور نسبی بدون حرکت مانده و در نزدیکی نقطه تولیدشان می‌مانند.

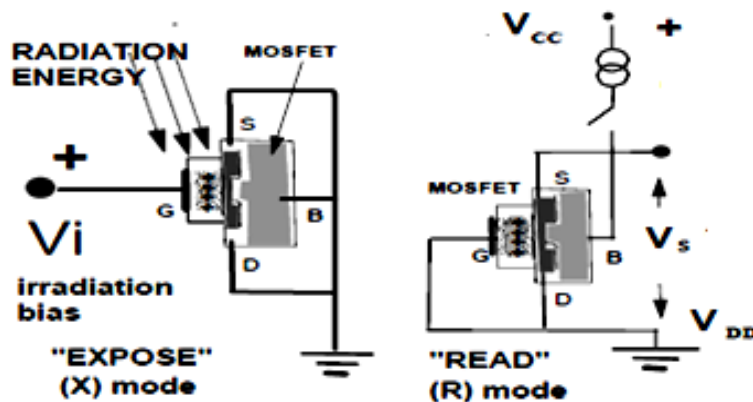


شکل ۳- پرتو دهی MOS

بعد از یک دوره‌ی حدوداً یک ثانیه ای در دمای اتاق، حفره ها دستخوش یک انتقال جهش تصادفی در مسیر فصل مشترک $Si-SiO_2$ میشوند، جاییکه آنها در دراز مدت در محلهای تله‌اندازی در داخل اکسید متوقف شوند، که باعث تولید بار مثبت Q_T میگردد این بار مثبت باقی مانده بطور موثر جریان کانال را تحت تاثیر قرار خواهد

داد. چنانچه بطور فیزیکی خیلی نزدیک به کانال قرار میگیرد از اینرو برای برقراری یک شار جریان ثابت داده شده در سرتاسر کانال، یک شیفت ولتاژ آستانه ΔV_{TH} در گیت نیاز داریم. شیفت ولتاژ آستانه ΔV_{TH} متناسب با تعداد کل بارهای به دام انداخته شده و متناسب با دز تابشی جذب شده در لایه اکسید میباشد. در عمل این شیفت ولتاژ آستانه ΔV_{TH} بطور معمول اکثراً با برقرار کردن یک جریان ثابت (مثلاً $50\mu A$ یا ...) میان سورس و درین و اندازه گیری بایاس گیت مورد نیاز قبل و بعد از پرتودهی مشخص می شود.

دیگرامی از مدار لازم برای اندازه گیری ولتاژ آستانه قبل و بعد از پرتودهی برای MOSFET در شکل ۴ آمده است. هنگام پرتودهی MOSFET میتواند در مد غیرفعال (بدون ولتاژ بایاس روی گیت $V_G=0$) و یا در مد فعال (با یک بایاس گیت مثبت $V_G>0$) کار کند [3-7].



شکل ۴: مدار لازم برای اندازه گیری ولتاژ آستانه قبل و بعد از پرتودهی برای MOSFET

بین دز تابشی جذب شده و شیفت ولتاژ آستانه رابطه زیر برقرار است

$$\Delta V_T = A \cdot D^n, \quad \Delta V_T = V_T - V_{T0} \quad (1)$$

A ضریب ثابتی است و n به ضخامت اکسید گیت و دز جذب شده بستگی دارد در حالت ایده آل که این وابستگی

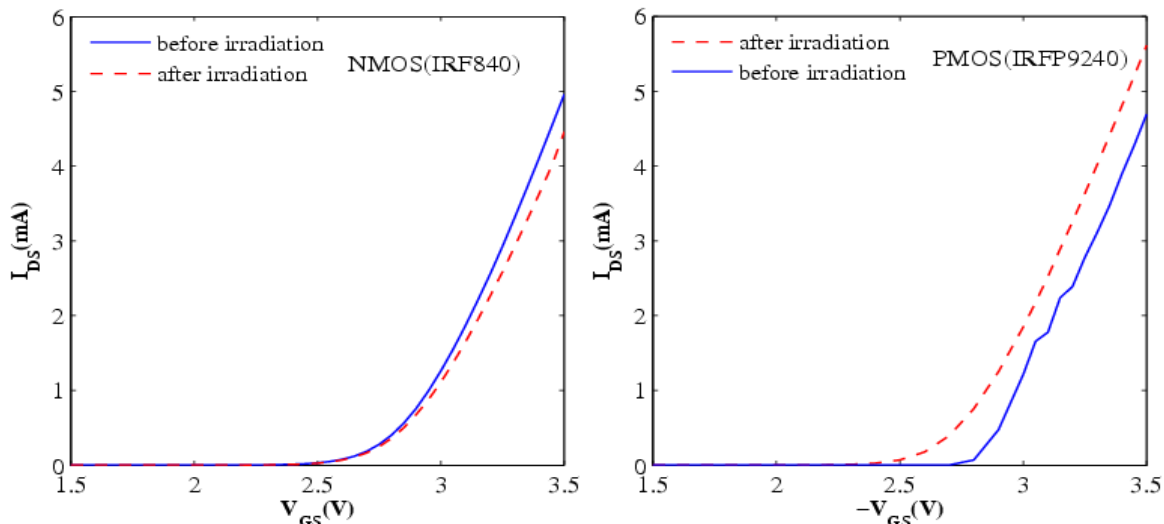
$$\text{خطی است (n=1), حساسیت دزیتر نامیده میشود و با S نمایش داده میشود } S = \frac{\Delta V_T}{D}$$

نتایج:

برای مطالعه ترانزیستورهای تجاری MOSFET بعنوان سیستم دزیتری، از چشمه‌ی کبالت ۶۰ موجود در مجتمع کاربرد پرتوهای بناب با آهنگ دز $37 \mu Sv/h$ استفاده میگردد، در این کار MOSFET ها را در مد غیر

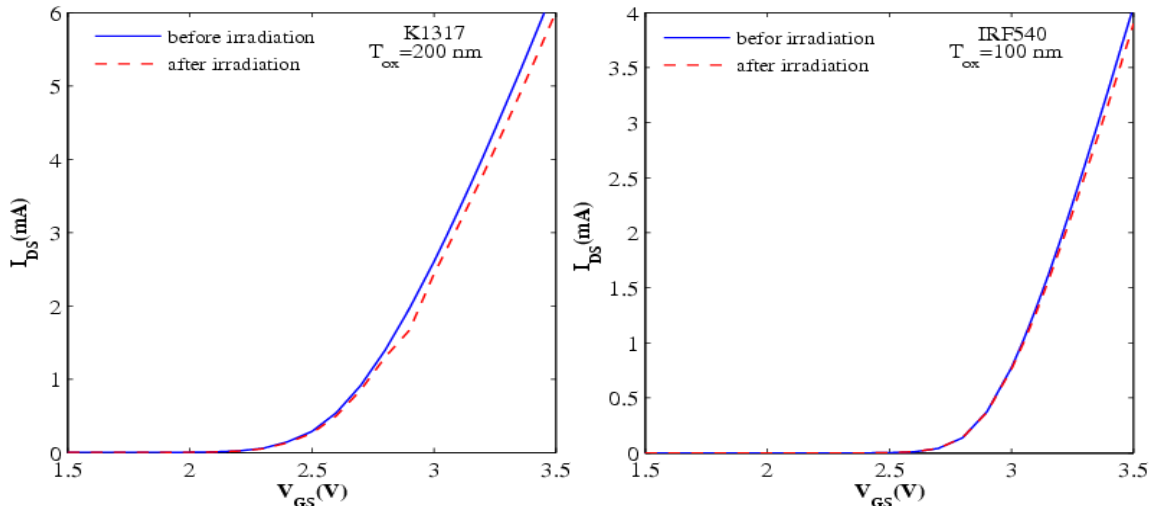
فعال تحت تابش قرار دادیم. با توجه به اکتیویته پایین چشمه موجود، در زمانهای پرتو دهی کم (یک تا دو ساعت) تغییر چندانی در ولتاژ آستانه MOSFET ها مشاهده نگردید.

اما در زمانهای پرتو دهی بیشتر شیفت ولتاژ آستانه مشاهده شد. نتایج بدست آمده نشان میدهند که در زمانهای پرتو دهی یکسان و در MOSFET های با ضخامت اکسید گیت یکسان، PMOS ها شیفت ولتاژ و در نتیجه حساسیت دزیمتری بالایی نسبت به NMOS ها دارند که در شکل زیر نمونه‌ای از شیفت ولتاژ دو ترانزیستور IRFP9240(PMOS), IRF840(NMOS) در اثر تابش دهی ۲۴ ساعته آورده شده است.



شکل ۶: شیفت ولتاژ آستانه برای دو نوع ترانزیستور (IRFP9240(PMOS), IRF840(NMOS))

همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که با افزایش ضخامت اکسید گیت حساسیت دزیمتری و در نتیجه شیفت ولتاژ افزایش می‌یابد که شیفت ولتاژ برای دو ترانزیستور نوع N، k1317 (با ضخامت اکسید گیت 200nm) و IRF540 (با ضخامت اکسید گیت 100 nm) در تابش دهی ۱۰ ساعته با چشمه موجود در شکل ۷ نشان دهنده این نتیجه می‌باشد.



شکل ۷: شیفت ولتاژ برای دو ترانزیستور k1317 (با ضخامت اکسید گیت 200nm) و IRF540 (با ضخامت اکسید گیت 100 nm)

بحث و نتیجه گیری:

نتایج بدست آمده نشان دهنده این است که ترانزیستورهای نوع p حساسیت دزیمتری و در نتیجه شیفت ولتاژ بالایی نسبت به ترانزیستورهای نوع N دارند. و همچنین ترانزیستورهای با ضخامت اکسید گیت بالا حساسیت دزیمتری بالایی نسبت به سایر ترانزیستورهای هم‌نوع خود دارند که این می‌تواند بدلیل افزایش تولید جفت های الکترون - حفره در اکسید گیت ضخیم تر در اثر پرتودهی باشد.

مراجع:

- [1]. Izewska J., Rajan G., "Radiation dosimeters," Document IAEA 08/2005, STI/PUB/1196, Textbook, Chapter3, 71–99
- [2]. Gad Shani, *Radiation dosimetry: instrumentation and methods*, 2nd Edition CRC Press, (2000).
- [3]. Frank H. Attix, William C. Roesch, Eugene Tochilin, *Radiation Dosimetry: Sources, fields, measurements, and applications*, Academic Press, (1969).
- [4]. K. Mahesh, D. R. Vj, *Techniques of radiation dosimetry*, Wiley, 1985.
- [5]. G. Sarraayrouse, A. Bellaouar and P. Rossel, *Revue Phys. Appl.* 21 (1986) 283-287
- [6]. Soubra, M., Cygler, J. and Mackay, G.F., "Evaluation of a Dual Metal Oxide-Silicon Semiconductor Field Effect Transistor Detector as a Radiation Dosimeter", *Med. Phys.* 21 (4) April 1994.
- [7]. Thomson I., Reece M.H., "Semiconductor MOSFET Dosimetry", *Proceedings of Health Physics Society Annual Meeting* (1988).