

## بررسی تغییرات ولتاژ آستانه ماسفت در پرتودهی چشمه گاما و اشعه-X

صالح اشرفی\*1 - بهارک اسلامی2

1 گروه فیزیک هسته ای، دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز - 2 گروه فیزیک هسته ای، دانشگاه پیام نور، ایران

### چکیده:

در این مقاله تغییرات ولتاژ آستانه ترانزیستورهای اثر میدان نیم رسانای اکسید فلزی (ماسفت) دارای گیت آلومینیومی توسط باریکه اشعه-X  $200\text{kV}$  و  $280\text{kV}$  و پرتو گاما ناشی از چشمه کبالت 60 در محدوده دوز  $1\text{Gy}$  الی  $5\text{Gy}$  به عنوان تابعی از دوز دریافتی جهت استفاده در دوزیمتری رادیوتراپی و تابش درمانی بررسی شده است. برای کاربردهای تجربی در دوزیمتری، نشان داده شده است که حساسیت ماسفتها در برابر اشعه-X بیشتر از تابش گاما می باشد و تغییر قابل توجهی در ولتاژ آستانه ماسفت پرتودهی شده در میدان  $200\text{kV}$  اشعه-X، زمانی که ولتاژ گیت  $+5\text{V}$  است ایجاد می شود.

**کلید واژه:** ماسفت با کانال p، پرتو گاما، چشمه کبالت 60، ولتاژ آستانه، دوز، اشعه-X

### مقدمه:

در سالهای اخیر استفاده از ماسفت ها در زمینه های مختلف مانند دوزیمتری در ماموریت های فضایی، صنایع هسته ای و تحقیقاتی، رادیولوژی و رادیوتراپی گسترش پیدا کرده است [1-2]. مثلاً برای کنترل مراحل رادیوتراپی تعیین دوز دریافتی بیماران با استفاده از دوزیمتر ماسفت ضروری می باشد. سایر انواع دوزیمترها مانند ترمولومینسانس ها (TLDs)، دیوهای نیم رسانا و دوزیمترهای ترمولومینسانس شبیه سازی شده اپتیکی (OSDLs) به طور گسترده ای برای اندازه گیری تابش یونیزان استفاده می شود [3]. ترمولومینسانس ها قابلیت باز خوانی سریع را ندارند و باز خوانی آنها به زمان نیاز دارد. دوزیمترهای دیودی نیز برای عملکرد به یک منبع خارجی نیاز دارند [4]. در مقایسه با انواع مختلف دوزیمترها برخی مزیت های عمده دوزیمترهای ماسفت عبارتند از: ارائه نتایج دوزیمتری به صورت سریع و دقیق، باز خوانی غیر مخرب اطلاعات دوزیمتری، کوچک بودن حجم دوزیمتر، عدم نیاز به توان بالا، حساسیت قابل تنظیم، محدوده دوز قابل اندازه گیری وسیع، ارزان بودن آن نسبت به سایر دوزیمترها. اساس کار ماسفتها به عنوان دوزیمتر، شیفت ولتاژ آستانه در اثر تابش می باشد. عملکرد ماسفتها در پرتودهی نتیجه ای از فرایند های وابسته به انرژی نظیر، تشکیل الکترون-حفره، باز ترکیب الکترون-حفره، انتقال حفره، به دام اندازی

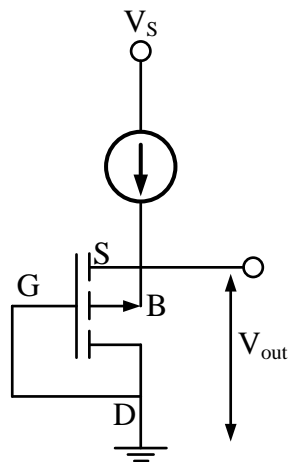
عمیق حفره، دامهای میانی ایجاد شده توسط تابش و بارهای مثبت به دام افتاده در لایه اکسید می باشد. این فرایندها باعث شیفیت ولتاژ آستانه می شود. هدف این مقاله، بررسی میزان حساسیت ماسفتها در دوزهای پایین رایج در رادیوتراپی و ورا دیولوژی داخلی می باشد.

## روش کار:

تعداد بیست عدد از ماسفتهای 3N163 به سه دسته تقسیم شدند: اولین دسته با اشعه- $200\text{kV X}$  و دومین دسته با اشعه- $280\text{kV X}$  و سومین دسته با اشعه گاما با انرژی  $1.17\text{MeV}$  و  $1.33\text{MeV}$  حاصل از کبالت 60 پرتو دهی شدند. پرتو دهی با باریکه ای عمود بر صفحه اکسید گیت در محدوده دوز 1 تا 5 گری در حالت بدون بایاس (غیر فعال) و نیز در حالت فعال با بایاس +5 ولت بر روی گیت انجام شد. به منظور کاهش خطای ناشی از تغییر دما ولتاژ آستانه بلافاصله بعد از هر پرتو دهی اندازه گیری شد. شیفیت ولتاژ آستانه ایجاد شده را می توان به صورت زیر محاسبه نمود.

$$\Delta V_T = V_T - V_{T0} = AD^n \quad (1)$$

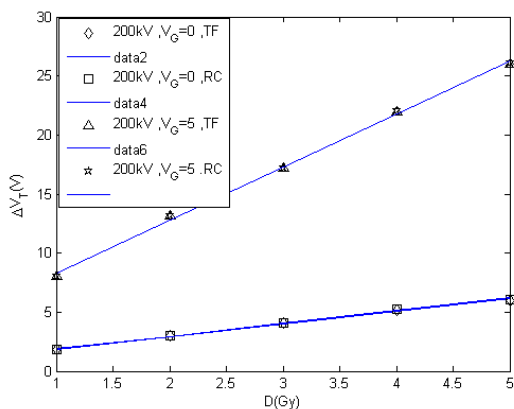
که در آن پارامترهای A و n به ولتاژ بایاس گیت در طول تابش، ضخامت اکسید گیت، دوز جذب شده تابش بستگی دارد. در روش برای تعیین ولتاژ آستانه وجود دارد [5]: الف) تعیین ولتاژ آستانه بر اساس مشخصه های انتقال ماسفت (TF)، از قطع دادن خط مماس بر ناحیه خطی منحنی  $V_G - \sqrt{I_D}$  با محور  $V_G$ ، ب) تعیین ولتاژ آستانه در یک نقطه ثابت از منحنی مشخصه انتقال  $V_G - I_D$  که مدار باز خوانی (RC) نامیده می شود. در روش دوم مطابق شکل (1) ، ماسفت به صورت قطعه ای دو پایه ای عمل می کند. در کانال ماسفت جریان ثابت  $I_D = 10\mu\text{A}$  برقرار می شود و ولتاژ  $V_{out}$  اندازه گیری می شود. این ولتاژ، ولتاژ آستانه را نشان می دهد. مدار باز خوانی اندازه گیری سریع ولتاژ آستانه را امکان پذیر نموده و حساسیت دمایی در طول باز خوانی را کاهش می دهد.



شکل (1): مدار مربوط به بازخوانی (RC)

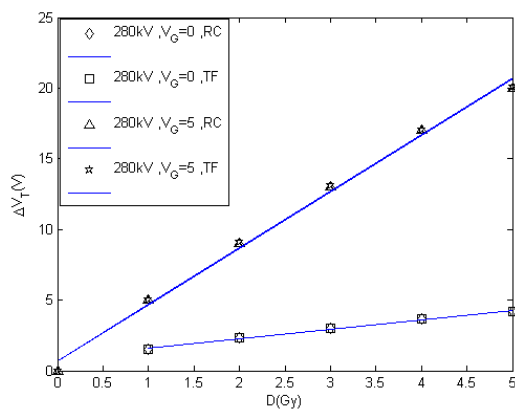
### نتایج:

نتایج نشان داده شده در این تحقیق، اندازه گیری و تجزیه و تحلیل اثر تابش گاما و اشعه-X روی عملکرد ماسفتها برای نشان دادن امکان استفاده آنها در دوزیمتری تابش های هسته ای مخصوصا در رادیوتراپی و رادیولوژی داخلی می باشد. شکل (2) و (3) نتایج به دست آمده تابش اشعه-X به ترتیب با  $200kV$  و  $280kV$  با استفاده از روشهای تعیین ولتاژ آستانه از روی منحنی مشخصه (TF) و با استفاده از مدار بازخوانی (RC)، برای حالت غیر فعال و حالت فعال با بایاس  $+5V$  را نشان می دهد.



شکل (3): تغییرات ولتاژ آستانه در حالت غیر فعال و فعال

برای اشعه X-  $200kV$

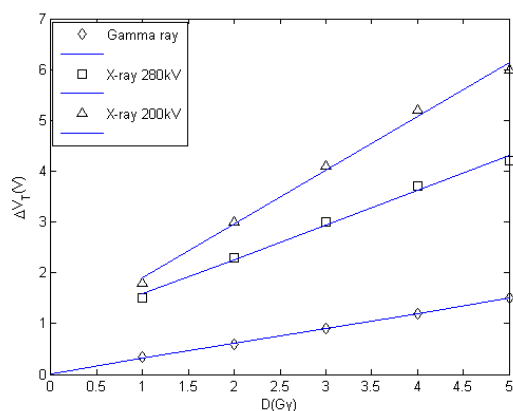


شکل (2): تغییرات ولتاژ آستانه در حالت غیر فعال و فعال

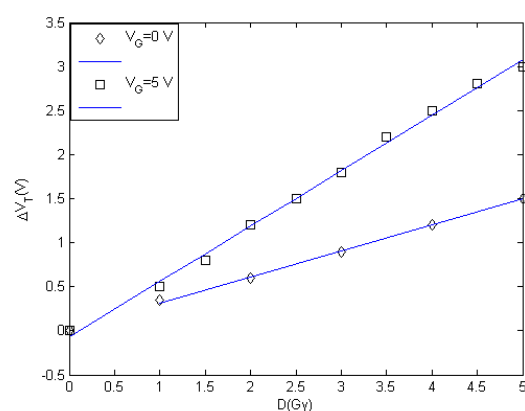
برای اشعه X-  $280kV$

مطابق شکل‌های (2) و (3) تطابق بین دوروش در تمام موارد رضایت بخش است. اما بدلیل سادگی روش بازخوانی استفاده از مدار بازخوانی در کاربردهای تجربی مناسبتر می باشد. همچنین برای یک دوز تابش یکسان، اشعه-X های با انرژی پایین منجر به تغییرات بیشتر در ولتاژ آستانه می شوند.

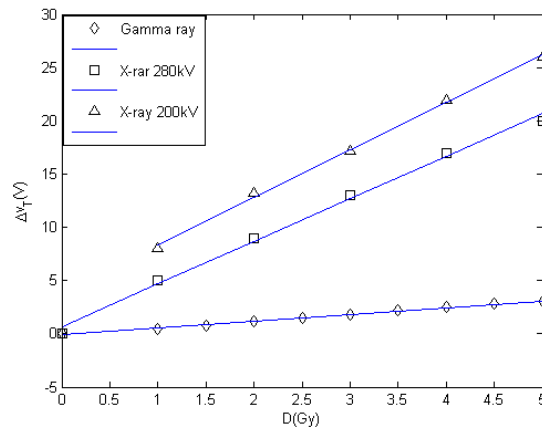
نتایج مشابهی توسط محققین شرکت کانادایی تامسون و نیلسون بدست آمده است [6]. همچنین افزایش ولتاژ گیت در پرتودهی ماسفت منجر به تغییر قابل ملاحظه ای در مقدار ولتاژ آستانه می شود. پاسخ مشابهی از این ماسفت‌ها در پرتودهی گاما برای دوزهای چند ده تا چند صد گری قبلا گزارش شده است [7-8]. مطابق شکل (4) رفتار ماسفت در تابش گاما مشابه حالت پرتودهی با اشعه-X می باشد ولی تغییرات ولتاژ آستانه با افزایش دوز به صورت قابل ملاحظه ای کمتر است و این نشان می دهد که حساسیت ماسفت به گاما کمتر از اشعه-X می باشد. طبق نتایج نشان داده شده در شکل های (5) و (6) حالت غیر فعال با توجه به اینکه در فرایند پرتودهی هیچ نیازی به منبع تغذیه وجود ندارد، می تواند مفید باشد ولی در حالت فعال حساسیت و خطییت بیشتری به دست می آید.



شکل (5): تغییرات ولتاژ آستانه در حالت غیر فعال



شکل (4): تغییرات ولتاژ آستانه در پرتودهی گاما



شکل (6): تغییرات ولتاژ استانه در حالت فعال

حساسیت پایین ماسفتها در برابر تابش گاما نسبت به اشعه-X، به علت تفاوت انرژی فوتون هایی است که با اتمهای ماده برخورد می کنند. در واقع فوتونهای اشعه-X با انرژی  $90\text{keV}$  و  $140\text{keV}$  موجب یونیزاسیون اتم از طریق اثر فوتوالکتریک می شوند. احتمال وقوع این فرایند برای فوتونهای با انرژی کمتری بیشتر می باشد ( $90\text{keV}$ ). از طرف دیگر فوتونهای گاما با انرژی  $1.33\text{MeV}$  و  $1.17\text{MeV}$  موجب یونش اتم از طریق اثر کامپتون می شود. چون احتمال یونش اتم هنگام تابش اشعه-X با اثر فوتوالکتریک بیشتر از اثر کامپتون می باشد، تعداد بارهای مثبت به دام افتاده در تابش اشعه-X در مقایسه با تابش گاما زیاد می شود. این امر مستقیماً در تغییر مقدار ولتاژ استانه تاثیر می گذارد. در کل، تغییرات ولتاژ استانه نشان دهنده مجموع تغییرات ولتاژ استانه ناشی از دامهای بار اکسید مثبت به اضافه سهم دامهای میانی است. نشان داده شده است که برای دوزهای تا 5 گری در تابش گاما و اشعه-X، سهم دامهای بار اکسیدی مثبت بسیار بیشتر از سهم دامهای میانی می باشد ( $\frac{\Delta V_{ot}}{\Delta V_T} > 90\%$ ) [9].

### بحث و نتیجه گیری:

حساسیت ماسفتها با کانال P دارای گیت آلومینیومی و ضخامت اکسید گیت  $1\mu\text{m}$  برای تابش اشعه-X چند  $\text{keV}$  و اشعه گاما در محدوده دوز 1 تا 5 گری مطالعه شده است. حساسیت با شیفیت ولتاژ استانه که از روی منحنی های مشخصه در ناحیه اشباع و یابازخوانی با مدار اندازه گیری به دست می آید، مشخص می شود. نتایج نشان می دهند هنگامی که ماسفت با اشعه-X پرتو دهی می شود حساسیت آن بیشتر است. که این نتیجه ای از تاثیر غالب اثر فوتوالکتریک در مورد اشعه-X در مقایسه با اثر کامپتون در تابش گاما است. از آنجا که انرژی تابش

پایین تر منجر به تشکیل بارهای اکسید مثبت بیشتری می شود، حساسیت این ماسفتها در دوزهای پایین مخصوصا در مورد اشعه-X بیشتر می شود که استفاده از آنها، برای اندازه گیری دوزهای پایین از مرتبه چندین میلی گری که در رادیوتراپی استفاده می شود را ممکن می سازد. همچنین به کار بردن ولتاژ روی گیت هنگام پرتودهی (حالت فعال)، چگالی این بارها را بیشتر می کند که مقدار شیفت ولتاژ آستانه و حساسیت ماسفت را افزایش می دهد.

## مراجع:

- [1] A. Holmes Siedle , “The space charge dosimeter: general principles of a new method of radiation detection,” *Nuclear Instruments and Methods*, vol. 121, no. 1, pp. 169–179, 1974.
- [2] A. Holmes- Siedle and L. Adams, “RADFET: a review of the use of metal-oxide-silicon devices as integrating dosimeters ,” *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 28, no. 2, pp. 235–244, 1986.
- [3] G. F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley& Sons, New York, NY, USA, 1989.
- [4] L. J. Asensio, M. A. Carvajal, J. A. Lopez-Villanueva, M. Vilches, A. M. Lallena, and A. J. Palma, “Evaluation of a low cost commercial mosfet as radiation dosimeter,” *Sensors and Actuators A*, vol. 125, no. 2, pp. 288–295, 2006.
- [5] A. Kelleher, M. OSullivan, J. Ryan, B. ONeal, and W. Lane, “Development of the radiation sensitivity of pMOS dosimeters,” *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 39, no. 3, pp. 342–346, 1992.
- [6] C. Ehringfeld, S. Schmid, K. Poljanc, Ch. Kirisits, H. Aiginger, and D. Georg, “Application of commercial MOSFET detectors for in vivo dosimetry in the therapeutic X-ray range from 80 kV to 250 kV,” *Physics in Medicine and Biology*, vol. 50, no. 2, pp. 289–303, 2005.
- [7] A. Jaksic, G. Ristic, M. Pejovic, A. Mohammadzadeh, C. Sudre, and W. Lane, “Gamma-ray irradiation and post-irradiation responses of high dose range RADFETs,” *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 49, no. 3, pp. 1356–1363, 2002.
- [8] M. M. Pejovic, M. M. Pejovic, and A. B. Jaksic, “Radiation sensitive field effect transistor response to gamma-ray irradiation,” *Nuclear Technology and Radiation Protection*, vol. 26, no. 1, pp. 25–31, 2011.
- [9] P. J. McWhorter and P. S. Winokur, “Simple technique for separating the effects of interface traps and trapped-oxide charge in metal-oxide-semiconductor transistors,” *Applied Physics Letters*, vol. 48, no. 2, pp. 133–135, 1986.