



مشخصه‌یابی اثر تشعشعات بر روی حسگرهای تصویربرداری ساخته‌شده در فناوری ۱۸۰ نانومتری سیماس

سید کیارش حساس ایرانی، عبدالله پیل‌علی و محمد عظیم کرمی

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده - در این مقاله، مدلی برای مشخصه‌یابی اثر تشعشعات بر روی حسگرهای تصویربرداری ساخته‌شده در فناوری ۱۸۰ نانومتری سیماس ارائه شده است. این مدلسازی با استفاده از بار حالت‌های میانی و تله‌های اکسید صورت گرفته است. برای صحت‌سنجی مدل از دو نوع حسگر تصویربرداری حساس به تشعشع ساخته‌شده در این فناوری کمک گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد میانگین خطاهای مقدار جریان تاریک ساختارها در نتیجه شبیه‌سازی نسبت به نتایج آزمایش‌های تجربی ۳ درصد می‌باشد. مدل ارائه شده قابلیت پیش‌بینی اثر دوز یونیزان کلی تشعشعات در حسگرهای تصویربرداری ساخته‌شده در فناوری سیماس ۱۸۰ نانومتری را دارا می‌باشد.

کلید واژه- اثر دوز یونیزان کلی، تله‌های اکسید، حالت‌های میانی، فناوری ۱۸۰ نانومتری سیماس.

Radiation Effect Modeling in 180nm Complementary Metal–Oxide–Semiconductor (CMOS) Image Sensors

S. Kiarash Hassas Irani, Abdollah Pil-Ali, and Mohammad Azim Karami

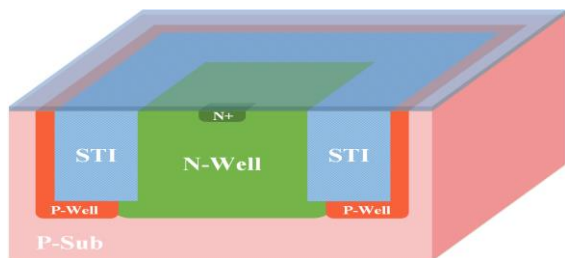
School of Electrical Engineering, Iran University of Science & Technology

Abstract- A new model is developed for the radiation effect analysis in 180 nm CMOS implemented image sensors. The modeling is based on the quantization of interface states and oxide traps charges. For the verification of developed model two different structures are used for comparing the radiation affected results. The verification results show 3% average mismatch between simulated model and the experimental result in dark current of image sensors after the radiation. The model can be used for similar image sensors to be developed on the same technology (180nm CMOS).

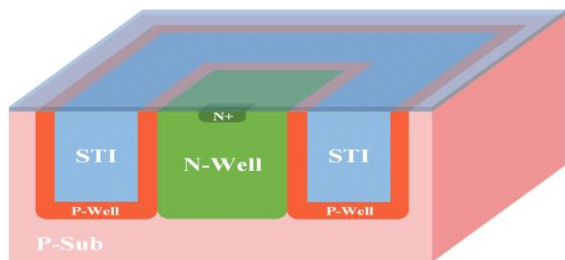
Keywords: Total Ionizing Dose effect, Oxide traps, Interface states, 180nm CMOS technology.

۱- مقدمه

مدل سازی کامل اثر دوز یونیزان کلی^۵ تشعشع بر روی انواع افزاره های ساخته شده در فناوری ۱۸۰ نانومتری استاندارد سیماس، از دو ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال" (شکل ۱) و "STI محیط شده توسط چاه p" (شکل ۲) که در آنها ناحیه فعال به ترتیب در تماس و عدم تماس با اکسید عایق سازی STI هستند، استفاده شده است.



شکل ۱: نمای کناری سه بعدی از ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال" که در آن ناحیه فعال در تماس با اکسید عایق سازی STI است.



شکل ۲: نمای کناری سه بعدی از ساختار "STI محیط شده توسط چاه p" که در آن ناحیه فعال به وسیله چاه p از اکسید عایق سازی STI فاصله گرفته است.

به منظور مدل سازی اثر تشعشع از شبیه ساز افزاره ای ATLAS Silvaco [۱۰] استفاده شده است. به ازای افزایش دوز تشعشعی، غلظت هر کدام از بارهای تله های اکسید و حالت های میانی بیشتر می شود. اثر تله های اکسید که باعث تغییر در تعادل الکترواستاتیک در سطح می شوند [۱۱]، با شبیه سازی مقدار های مختلفی از بارهای مثبت در مرز مشترک سیلیکون-اکسید سیلیکون بررسی شده است. محیط کناری قسمت ناحیه تخلیه، مهم ترین نقش در افزایش جریان تاریک را ایفا می کند [۱۲]. با افزایش تشعشع یونیزان، غلظت بارهای ناشی از حالت میانی افزایش یافته که در نتیجه این افزایش، جریان تاریک آشکار ساز نیز افزایش می یابد. جریان تولیدی از فرآیند شاکلی-رید-هال^۶، محتمل ترین دلیل افزایش جریان تاریک ناشی از تشعشع

ادوات تصویربرداری ساخته شده به منظور کار در محیط های تشعشعی مانند فضا همواره در معرض تشعشعات یونیزه کننده می باشند [۱]. این تشعشعات پس از برخورد به مدارهای الکترونیکی و افزاره ها، موجب بروز اختلالاتی نظیر تغییر در جریان الکتریکی ترانزیستورها و آشکار سازها می شوند [۲]. در آشکار سازهای نوری پیکسل های تصویربرداری سیلیکونی سیماس^۱، یکی از مهمترین خرابی های ناشی از تابش تشعشعات یونیزان، تغییر جریان تاریک آشکار ساز نور است. وجود اکسید در فناوری سیماس از مهمترین چالش های موجود در به وجود آمدن خرابی های ناشی از تشعشعات یونیزان است [۳]. تابش تشعشع یونیزان به افزاره های ساخته شده در فناوری سیماس، باعث ایجاد حفره های p و در نتیجه آن ها، تله های اکسید^۲ و حالت های میانی^۳ در مرز مشترک نیمه هادی-اکسید می شود. بسته به تماس یا عدم تماس ناحیه فعال افزاره با این تله های اکسید و حالت های میانی، اثرگذاری این بارهای تولید شده ناشی از تشعشع بر مشخصه الکتریکی متفاوت است [۴]. در این مقاله مدلی بر مبنای نتیجه آزمایش های تجربی از میزان تله های اکسید و حالت های میانی مرز مشترک نیمه هادی-اکسید در فناوری ۱۸۰ نانومتری سیماس ارائه شده است. صحت سنجی مدل ارائه شده، با مقایسه ی نتیجه های شبیه سازی دو آشکار ساز ساخته شده در این فناوری با مقدارهای تجربی بدست آمده از آزمایش دو قطعه در محیط تشعشعی، انجام گرفته است [۵]. مدل سازی اثر تشعشعات بر مبنای تله های اکسید و حالت های میانی در این مقاله بر اساس عملکردی مشابه مراجع [۶]-[۹] می باشد.

۲- ساختارهای مورد مطالعه و روش مدل سازی

همان طور که در بخش مقدمه نیز به آن اشاره شد، بسته به تماس یا عدم تماس ناحیه فعال (ناحیه دریافت کننده نور) افزاره با اکسید عایق سازی STI^۴، اثر تشعشع بر روی عملکرد قطعه متفاوت است. به همین جهت برای

¹ CMOS Image sensor

² Oxide trapped

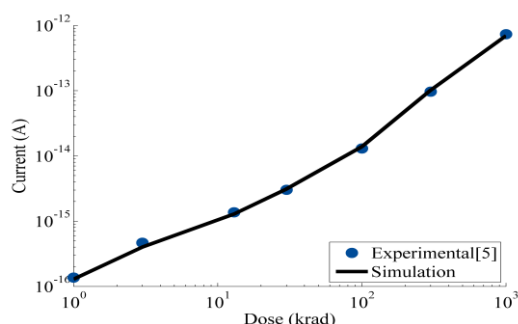
³ Interface state

⁴ Shallow Trench Isolation

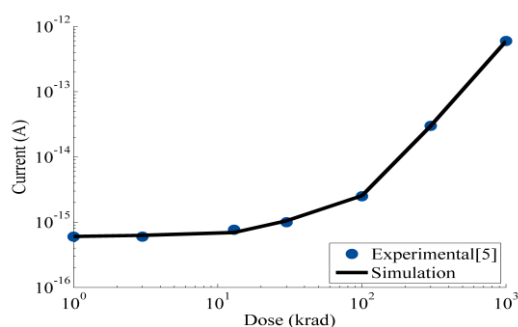
⁵ Total Ionizing Dose (TID)

⁶ Shockley-Read-Hall

بررسی اثر تنها تله‌های اکسید و حالت‌های میانی در نظر گرفته نشده است [۱۳]. با توجه به اینکه غلظت این نقص‌ها و تله‌های موجود در بدنه نیمه‌هادی مربوط به فرآیند ساخت، در مقایسه با تله‌های اکسید و حالت‌های میانی به‌وجود آمده ناشی از تشعشعات در دوزهای تشعشعی بالا، قابل صرف‌نظر کردن است، نتیجه‌های شبیه‌سازی با مقادارهای عملی در دوزهای بالا مطابقت بهتری را نشان می‌دهند. عدم وجود اختلاف در شیب تغییرات جریان برحسب ولتاژ در شکل ۳ به دلیل تمیزتر بودن فرآیند ساخت و در نتیجه کم‌تر بودن غلظت نقص‌ها و تله‌های موجود در بدنه نیمه‌هادی در مقادارهای عملی ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال" است. همچنین مشخصه‌ی جریان بر حسب مقدار دوز تشعشعی یونیزان در بایاس معکوس ۳,۳ ولت، در نتیجه استفاده از مدل ارائه‌شده و صحت‌سنجی با مقادارهای عملی [۵] برای ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال" و ساختار "STI محیط شده توسط چاه p" به ترتیب در شکل ۵ و شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۵: مشخصه‌ی جریان تاریک برحسب مقدار دوز تشعشعی یونیزان در بایاس معکوس ۳,۳ ولت در آشکارساز ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال" با استفاده از مدل ارائه شده و نتایج عملی (Experimental) [۵].

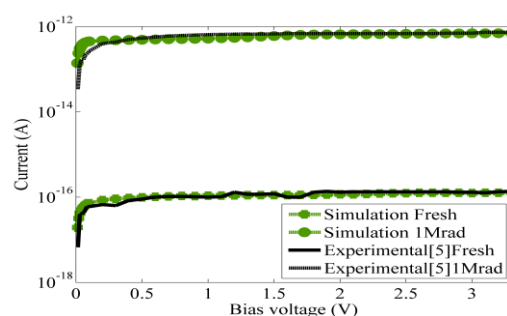


شکل ۶: مشخصه‌ی جریان تاریک برحسب مقدار دوز تشعشعی یونیزان در بایاس معکوس ۳,۳ ولت در آشکارساز ساختار "STI محیط شده توسط چاه p" با استفاده از مدل ارائه شده و نتایج عملی (Experimental) [۵].

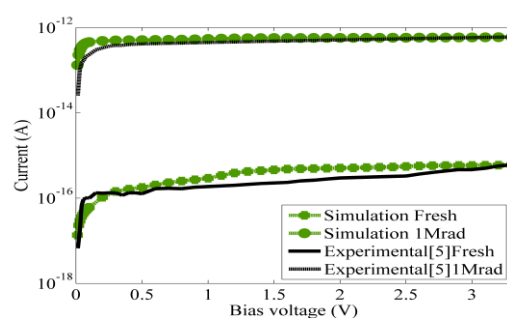
یونیزه کننده کلی است [۵]. با استفاده از این دو ساختار، می‌توان اثر تشعشع را در تمامی ساختارهایی که در آن‌ها، ناحیه فعال افزاره دارای هم‌پوشانی با اکسید عایق‌سازی STI هست و یا به وسیله‌ای از بارهای مثبت ناشی از تشعشع موجود در اکسید عایق‌سازی STI فاصله گرفته است، مدل کرد.

۳- نتایج مدل‌سازی و صحت‌سنجی

شکل ۳ و شکل ۴ مشخصه‌ی جریان ولتاژ در نتیجه استفاده از مدل ارائه‌شده و صحت‌سنجی با مقادارهای عملی [۵] را به ترتیب در ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال" و ساختار "STI محیط شده توسط چاه p" به ازای عدم تابش و تابش تشعشع با مقدار دوز تشعشعی یونیزان، ۱ مگا راد، نشان می‌دهند.



شکل ۳: تغییرات جریان تاریک برحسب ولتاژ معکوس در آشکارساز ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال" به ازای حالت قبل (Fresh) و بعد از تابش با دوز تشعشعی ۱ مگا راد با استفاده از مدل ارائه شده و نتایج عملی (Experimental) [۵].



شکل ۴: تغییرات جریان تاریک برحسب ولتاژ معکوس در آشکارساز ساختار "STI محیط شده توسط چاه p" به ازای حالت قبل (Fresh) و بعد از تابش با دوز تشعشعی ۱ مگا راد با استفاده از مدل ارائه شده و نتایج عملی (Experimental) [۵].

شیب تغییرات موجود در مشخصه‌ی جریان ولتاژ شکل ۴، به دلیل وجود نقص‌ها و تله‌های موجود در بدنه نیمه‌هادی در فرآیند ساخت است که این مطلب در شبیه‌سازی‌ها به دلیل

جدول ۱: نتایج مدل سازی ارائه شده که نشان دهنده مقدار درست از غلظت تله های اکسید و حالت های میانی مرز مشترک سیلیکون-اکسید سیلیکون در دوزهای مختلف تشعشعات یونیزه کننده تابشی برای ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال" و ساختار "STI محیط شده توسط چاه p" می باشد.

غلظت تله های اکسید	غلظت تله های میانی	غلظت تله های اکسید	غلظت تله های میانی	دوز تشعشع یونیزان تابشی (krad)
در ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال"	در ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال"	در ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال"	در ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال"	
(cm^{-2})	(cm^{-2})	(cm^{-2})	(cm^{-2})	
---	1×10^{10}	2.5×10^{10}	---	۳
4.5×10^{10}	4×10^{10}	9×10^{10}	2×10^9	۱۳
1.65×10^{11}	1.1×10^{11}	1.7×10^{11}	3×10^9	۳۰
2.7×10^{11}	1.5×10^{11}	5×10^{11}	5×10^9	۱۰۰
3.05×10^{11}	1.9×10^{11}	9.9×10^{11}	2×10^{10}	۳۰۰
3.1×10^{11}	3.65×10^{11}	4×10^{11}	7×10^{11}	۱۰۰۰

- [4] Jie Liu., Jicheng Zhou, Hongwei Luo, Xuedong Kong, Yunfei En, Qian Shi, Yujuan He, "Total-dose-induced edge effect in SOI NMOS transistors with different layouts," ELSEVIR Microelectronics Reliability 50, pp.45-47, 2010.
- [5] Goiffon, Vincent, Cédric Virmondois, Pierre Magnan, Sylvain Girard, and Philippe Paillet. "Analysis of total dose-induced dark current in CMOS image sensors from interface state and trapped charge density measurements," IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 57, no. 6, pp. 3087-3094, Dec. 2010.
- [6] I. Sanchez Esqueda, H. J. Barnaby, and M. P. King "Compact Modeling of Total Ionizing Dose and Aging Effects in MOS Technologies," IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 62, no. 4, pp. 1501-1515, AUGUST 2015.
- [7] H. J. Barnaby, M. L. McLain, I. S. Esqueda, and X. J. Chen, "Modeling ionizing radiation effects in solid state materials and CMOS devices," IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers, vol. 56, no. 8, pp. 1870-1883, 2009.
- [8] I. S. Esqueda, H. J. Barnaby, M. L. McLain, P. C. Adell, F. E. Mamouni, S. K. Dixit, R. D. Schrimpf, and W. Xiong, "Modeling the radiation response of fully-depleted SOI n-channel MOSFETs," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 56, no. 2, pp. 2247-2250, Apr. 2009.
- [9] I. S. Esqueda, H. J. Barnaby, K. E. Holbert, F. El-Mamouni, and R. D. Schrimpf, "Modeling of ionizing radiation-induced degradation in multiple gate field effect transistors," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 58, no. 2, pp. 499-505, Apr. 2011.
- [10] Silvaco International, *Atlas User's Manual*, 2010.
- [11] A. S. Grove and D. J. Fitzgerald, "Surface effects on p-n junctions: Characteristics of surface space-charge regions under non-equilibrium conditions," Solid-State Electron, vol. 9, no. 8, pp. 783-806, 1966.
- [12] V. Goiffon, P. Magnan, O. Saint-Pé, F. Bernard, and G. Rolland, "Total dose evaluation of deep submicron CMOS imaging technology through elementary device and pixel array behavior analysis," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 55, no. 6, pp. 3494-3501, Dec. 2008.
- [13] Karami, Mohammad Azim. Deep-submicron CMOS single photon detectors and quantum effects. TU Delft, Delft University of Technology, 2011.

نتایج مدل سازی در جدول ۱ ارائه شده است. جدول ۱ مدل ارائه شده از مقدار درست غلظت تله های اکسید و حالت های میانی استفاده شده به منظور شبیه سازی اثر دوز تشعشعی یونیزان بر افزاره های ساخته شده در فناوری ۱۸۰ نانومتر استاندارد سیماس را بر اساس ساختار "STI در تماس با ناحیه فعال" و ساختار "STI محیط شده توسط چاه p" نشان می دهد.

۴- نتیجه گیری

مدل سازی تشعشعات در این مقاله بر اساس مقادیر تجربی ساختارهای مشابه پیاده سازی شده به عنوان حسگر تصویربرداری انجام شده است. با استفاده از مقادیر به دست آمده غلظت تله های اکسید و غلظت حالت های میانی در مرز مشترک نیمه هادی-اکسید، می توان تاثیر تشعشعات بر روی حسگرهای تصویربرداری ساخته شده در فناوری ۱۸۰ نانومتری سیماس را شبیه سازی کرد.

مراجع

- [1] "Radiation Effects in Advanced Commercial Technologies: How Device Scaling has affected the Selection of Spaceborne Electronics," Nuclear and Space Radiation Effects Conference Short Course Notebook, 2003.
- [2] Leo H. C. Braga, Suzana Domingues, Milton F. Rocha Jr., Leonardo B. Sa', Fernando S. Campos, Filipe V. Santos, Antonio C. Mesquita, Ma'rio V. Silva, Jacobus W. Swart, "Layout techniques for radiation hardening of standard CMOS active pixel sensors," Springer. Analog Integr Circ Sig Process, pp.129-139. 2008.
- [3] Hugh J. Barnaby, Michael L. McLain, Ivan Sanchez Esqueda, and Xiao Jie Chen, "Modeling Ionizing Radiation Effects in Solid State Materials and CMOS Devices," IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS: REGULAR PAPERS, VOL. 56, NO. 8, AUGUST, 2009.