بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۴-۱۲ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

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 فن‌آوری 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 فن‌آوری سیماس ۱۸۰ نانومتری را دارا می-باشد.

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.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

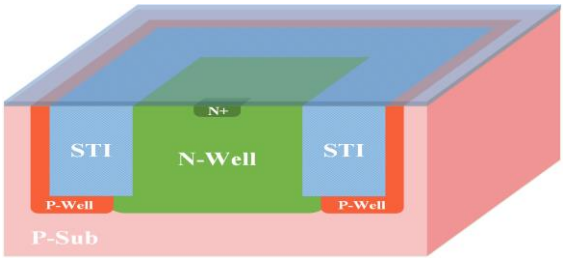
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

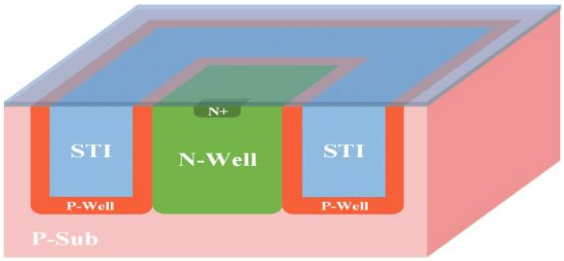
ادوات تصویربرداری ساخته‌شده به منظور کار در محیط‌های تشعشعی مانند فضا همواره در معرض تشعشعات یونیزه کننده می‌باشند[۱]. این تشعشعات پس از برخورد به مدارهای الکترونیکی و افزاره ها، موجب بروز اختلالاتی نظیر تغییر در جریان الکتریکی ترانزیستورها و آشکارسازها می‌شوند[۲]. در آشکارسازهای نوری پیکسل‌های تصویربرداری سیلیکونی سیماس[1]، یکی از مهمترین خرابی‌های ناشی از تابش تشعشعات یونیزان، تغییر جریان تاریک آشکارساز نور است. وجود اکسید در فناوری سیماس از مهمترین چالش‌های موجود در به وجود آمدن خرابی‌های ناشی از تشعشعات یونیزان است[۳]. تابش تشعشع یونیزان به افزاره‌های ساخته‌شده در فناوری سیماس، باعث ایجاد حفره‌های p و در نتیجه آن‌ها، تله‌های اکسید[2] و حالت‌های میانی[3] در مرز مشترک نیمه‌هادی-اکسید می‌شود. بسته به تماس یا عدم تماس ناحیه فعال افزاره با این تله‌های اکسید و حالت‌های میانی، اثرگذاری این بارهای تولید شده ناشی از تشعشع بر مشخصه الکتریکی متفاوت است[۴]. در این مقاله مدلی بر مبنای نتیجه آزمایش‌های تجربی از میزان تله‌های اکسید و حالت‌های میانی مرز مشترک نیمه هادی-اکسید در فناوری ۱۸۰ نانومتری سیماس ارائه شده است. صحت‌سنجی مدل ارائه‌شده، با مقایسه‌ی نتیجه‌های شبیه‌سازی دو آشکارساز ساخته‌شده در این فناوری با مقدارهای تجربی بدست آمده از آزمایش دو قطعه در محیط تشعشعی، انجام گرفته است[۵]. مدل‌سازی اثر تشعشعات بر مبنای تله‌های اکسید و حالت‌های میانی در این مقاله بر اساس عملکردی مشابه مراجع [۶]-[۹] می‌باشد.

۲- ساختارهای مورد مطالعه و روش مدل‌سازی

همان‌طور که در بخش مقدمه نیز به آن اشاره شد، بسته به تماس یا عدم تماس ناحیه فعال (ناحیه دریافت کننده نور) افزاره با اکسید عایق‌سازی STI[4]، اثر تشعشع بر روی عملکرد قطعه متفاوت است. به همین جهت برای مدل‌سازی کامل اثر دوز یونیزان کلی[5] تشعشع بر روی انواع افزاره‌های ساخته‌شده 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 عایق‌سازی STI هستند، استفاده شده است.



شکل ۱: نمای کناری سه‌بعدی از ساختار " STI در تماس با ناحیه فعال" که در آن ناحیه فعال در تماس با اکسید عایق‌سازی STI است.



شکل ۲: نمای کناری سه‌بعدی از ساختار " STI محیط شده توسط چاه p " که در آن ناحیه فعال به‌وسیله‌ی چاه p از اکسید عایق‌سازی STI فاصله گرفته است.

به منظور مدل‌سازی اثر تشعشع از شبیه‌ساز افزاره‌ی ATLAS Silvaco [۱۰] استفاده شده است. به ازای افزایش دوز تشعشعی، غلظت هر کدام از بارهای تله‌های اکسید و حالت‌های میانی بیشتر می‌شود. اثر تله‌های اکسید که باعث تغییر در تعادل الکترواستاتیک در سطح می‌شوند[۱۱]، با شبیه‌سازی مقدار های مختلفی از بارهای مثبت در مرز مشترک سیلیکون-اکسید سیلیکون بررسی شده است. محیط کناری قسمت ناحیه تخلیه، مهم‌ترین نقش در افزایش جریان تاریک را ایفا می‌کند[۱۲]. با افزایش دوز تشعشع یونیزان، غلظت بارهای ناشی از حالت میانی افزایش یافته که در نتیجه این افزایش، جریان تاریک آشکارساز نیز افزایش می‌یابد. جریان تولیدی از فرآیند شاکلی-رید-هال[6]، محتمل‌ترین دلیل افزایش جریان تاریک ناشی از تشعشع

[1] CMOS Image sensor
[2] Oxide trapped
[3] Interface state
[4] Shallow Trench Isolation
[5] Total Ionizing Dose (TID)
[6] Shockley-Read-Hall

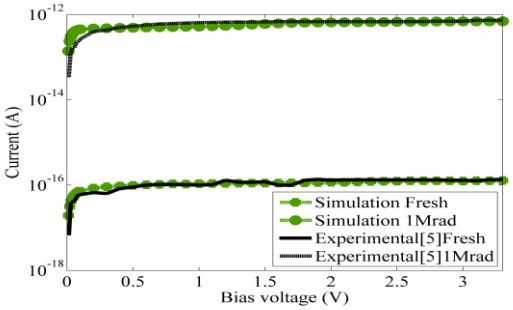
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

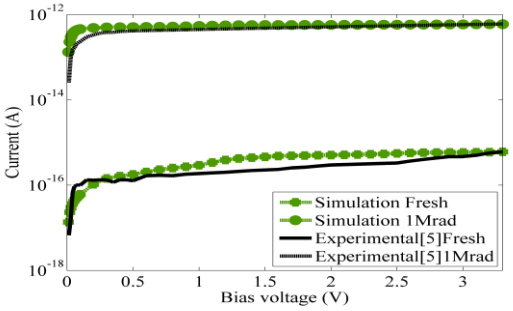
یونیزه کننده کلی است[۵]. با استفاده از این دو ساختار، می‌توان اثر تشعشع را در تمامی ساختارهایی که در آن‌ها، ناحیه فعال افزاره دارای هم‌پوشانی با اکسید عایق‌سازی STI هست و یا به وسیله‌ای از بارهای مثبت ناشی از تشعشع موجود در اکسید عایق‌سازی STI فاصله گرفته است، مدل کرد.

۳- نتایج مدل‌سازی و صحت سنجی

شکل ۳ و شکل ۴ مشخصه‌ی جریان ولتاژ در نتیجه استفاده از مدل ارائه‌شده و صحت‌سنجی با مقدارهای 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.

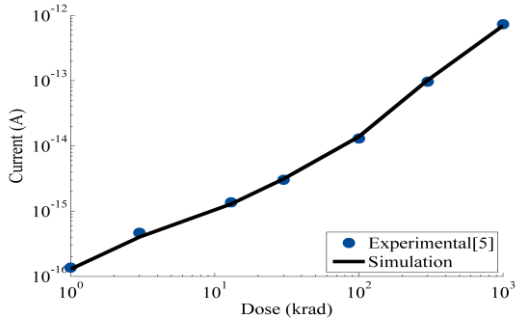


شکل ۳: تغییرات جریان تاریک برحسب ولتاژ معکوس در آشکارساز ساختار " STI در تماس با ناحیه فعال" به ازای حالت قبل (Fresh) و بعد از تابش با دوز تشعشعی ۱ مگا راد با استفاده از مدل ارائه شده و نتایج عملی (Experimental)[۵].

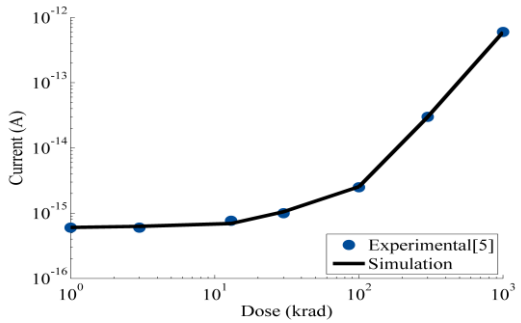


شکل ۴: تغییرات جریان تاریک برحسب ولتاژ معکوس در آشکارساز ساختار " STI محیط شده توسط چاه p " به ازای حالت قبل (Fresh) و بعد از تابش با دوز تشعشعی ۱ مگا راد با استفاده از مدل ارائه شده و نتایج عملی (Experimental)[۵].

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 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 مقدارهای 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 مقدارهای 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 مقدارهای 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].

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

جدول ۱: نتایج مدل‌سازی ارائه شده که نشان‌دهنده‌ی مقدار درست از غلظت تله‌های اکسید و حالت‌های میانی مرز مشترک سیلیکون-اکسید سیلیکون در دوزهای مختلف تشعشعات یونیزه‌کننده‌ی تابشی برای ساختار " STI در تماس با ناحیه فعال" و ساختار" STI محیط شده توسط چاه p " می‌باشد.

دوز تشعشع یونیزان تابشی (krad)	غلظت تله‌های اکسید در ساختار " STI در تماس با ناحیه فعال" ($cm^{-۲}$)	غلظت حالت‌های میانی در ساختار " STI در تماس با ناحیه فعال" ($cm^{-۲}$)	غلظت تله‌های اکسید در ساختار" STI محیط شده توسط چاه p " ($cm^{-۲}$)	غلظت حالت‌های میانی در ساختار" STI محیط شده توسط چاه p " ($cm^{-۲}$)
۳	---	$۲,۵\times۱۰^{۱۰}$	۱×۱۰^{۱۰}	---
۱۳	$۴,۵\times۱۰^{۱۰}$	۹×۱۰^{۱۰}	۴×۱۰^{۱۰}	۲×۱۰^{۹}
۳۰	$۱,۶۵\times۱۰^{۱۱}$	$۱,۷\times۱۰^{۱۱}$	$۱,۱\times۱۰^{۱۱}$	۳×۱۰^{۹}
۱۰۰	$۲,۷\times۱۰^{۱۱}$	۵×۱۰^{۱۱}	$۱,۵\times۱۰^{۱۱}$	۵×۱۰^{۹}
۳۰۰	$۳,۰۵\times۱۰^{۱۱}$	$۹,۹\times۱۰^{۱۱}$	$۱,۹\times۱۰^{۱۱}$	۲×۱۰^{۱۰}
۱۰۰۰	$۳,۱\times۱۰^{۱۱}$	۴×۱۰^{۱۱}	$۳,۶۵\times۱۰^{۱۱}$	۷×۱۰^{۱۱}

نتایج مدل‌سازی در جدول ۱ ارائه شده است. جدول ۱ مدل ارائه‌شده از مقدار درست غلظت تله‌های اکسید و حالت‌های میانی استفاده شده به منظور شبیه‌سازی اثر دوز تشعشعی یونیزان بر افزاره‌های 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 می‌دهد.

۴- نتیجه گیری

مدل‌سازی تشعشعات در این مقاله بر اساس مقادیر تجربی ساختارهای مشابه پیاده‌سازی شده به عنوان حسگر تصویربرداری انجام شده است. با استفاده از مقادیر به‌دست آمده‌ی غلظت تله‌های اکسید و غلظت حالت‌های میانی در مرز مشترک نیمه هادی-اکسید، می‌توان تاثیر تشعشعات بر روی حسگرهای تصویربرداری ساخته‌شده 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.

[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 Virmontois, 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.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]