

طراحی حسگر تصویر CMOS طریقه جریانی در پروسه استاندارد ۰/۱۸ میکرومتر

با قابلیت آشکارسازی رنگ در سطح هر پیکسل

پیمان علی پرست^۱، فاطمه نیک نهاد^۲

چکیده

در این مقاله طراحی دیودنوری و مدار پیکسل طریقه جریانی در پروسه استاندارد $0.18 \mu\text{m}$ TSMC CMOS RF ارائه شده است. دیودنوری پیشنهادی با استفاده از لایه N دفن شده (Deep Nwell) موجود در پروسه استاندارد تحقق یافته است، با استفاده از خصوصیات چاه N دفن شده به سه پیوند دیودی N+/P-Well، DNWell/P-Well و DNWell/Psub دست یافتیم که به ترتیب از آنها به عنوان آشکارسازهای رنگ آبی، سبز و قرمز استفاده کردیم. در نمودار RGB به دست آمده برای دیودنوری، حداکثر بازده کوانتومی در طول موج های 440nm ، 500nm و 620nm به دست آمده اند، که نشان می دهند در مقایسه با روش های دیگر آشکارسازی رنگ، توانستیم در پروسه استاندارد CMOS تجاری بدون هیچ هزینه اضافی به خوبی رنگ ها را از هم جدا کنیم. جهت طراحی مدار پیکسل، از سه مدار آینه جریان با سوئیچینگ وسیع، که برای کار در ولتاژهای پایین مناسب می باشند، استفاده نمودیم. با استفاده از این ساختار پیشنهادی، استفاده از روش های پرهزینه تشخیص رنگ، مانند استفاده از فیلترهای رنگی به روی پیکسل ها، نیاز نخواهد بود. علاوه بر آن، از پیچیدگی پروسه و فضای تراشه نیز کاسته می شود. این در حالیست که به علت تشخیص هر سه رنگ در هر پیکسل کیفیت تصویر برداری نیز به مراتب افزایش می یابد.

کلیدواژه

آشکارسازی رنگ، حسگر تصویر CMOS، دیودنوری، طریقه جریانی، پیکسل تصویر.

مقدمه

در حال حاضر در اکثر دوربین های دیجیتال، موبایل ها، دوربین های DSLR و حتی کپسول های آندوسکوپی [۲] از حسگرهای تصویر CMOS استفاده می شود. حسگر تصویر اساساً یک حسگر تک رنگ است که به انرژی نوری طول موج هایی که به آنها حساس است پاسخ می دهد. بنابراین برای جدا کردن رنگ ها باید روشی در حسگر تصویر پیاده سازی شود تا تصویری از منظره رنگی دوباره ساخته شود [۳]. معمولاً برای داشتن تصویر رنگی، آرایه ای از سه فیلتر رنگی که اغلب به رنگ های قرمز، سبز و آبی هستند بر روی حسگرها قرار داده می شوند که بر طبق الگوی بایر مرتب می گردند [۴]. وقتی دیودنوری تحت تابش نور قرار می گیرد، فوتون های نور تابشی بر اساس انرژی یا طول موجشان به داخل نیمه رسانا نفوذ می کنند. با توجه به اینکه حساسیت نوری سیلیکون به ضخامت آن وابسته است، برای اولین بار ریچارد مریل در سال ۱۹۹۹ با استفاده از فناوری چاه سه تایی، برای

امروزه CMOS و CCD برجسته ترین فناوری ها در حسگرهای تصویر هستند. اما علاقه مندی و درخواست روز افزونی نسبت به حسگرهای تصویر CMOS وجود دارد که دلیل اصلی آن، تقاضا برای سیستم های تصویر برداری کوچک، کم مصرف و ارزان است. در حسگرهای تصویر CMOS امکان مجتمع سازی مقدار قابل توجهی الکترونیک VLSI بر روی یک تراشه وجود دارد، که هزینه ها را به شدت کاهش می دهد [۱]. به همین دلیل

^۱ استادیار برق الکترونیک، پژوهشکده سامانه های فنانوردی، پژوهشگاه

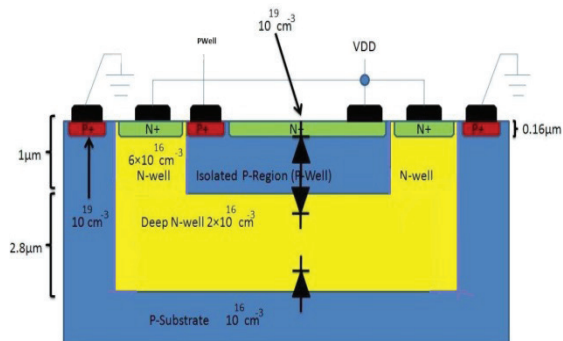
فضایی ایران aliparast@ari.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد الکترونیک، شرکت دانش بنیان هم افزایی فناوری های همگرا

تاریخ دریافت: ۱۵ آبان ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: ۲۵ دی ۱۳۹۲

معماری دیودنوری پیشنهادی

اصولاً چاه N دفن شده، نسبت به چاه N معمولی در عمق بیشتری از بستر کاشته می شود. این لایه در پروسه های CMOS-RF معمولاً برای عایق بندی بهتر ادوات و کاهش نویز ناشی از اتصال بستر، مورد استفاده قرار می گیرد [۸]. عملکرد یک دیودنوری مجتمع شده ی CMOS، علاوه بر خصوصیات ماده مورد استفاده و طول موج نور به شدت وابسته به ساختار دستگاه، انتخاب لایه های دی الکتریک و سیلیکن، ضخامت و چگالی ناخالصی موجود برای آنها در پروسه است [۸]. سیلیکون، نور را در اعماق مختلفی نسبت به سطح جذب می کند به عنوان مثال نور آبی با طول موج کوتاه تر در نزدیکی سطح جذب می شود و نور قرمز با طول موج بلندتر در عمق بیشتری جذب سیلیکون می گردد. ضریب جذب نور در سیلیکون و عمقی که در آن جذب می شود تا حد زیادی وابسته به طول موج نور تابیده شده است که این ویژگی سیلیکون امکان آشکارسازی رنگها را فراهم می آورد [۷]. جهت استخراج حامل های تولید شده نوری که حاوی اطلاعات نور تک رنگ در اعماق مختلف از سطح می باشند، ساختار دیودی شامل بر سه پیوند مجتمع شده عمودی طراحی شده است که برش افقی دیودنوری پیشنهادی به همراه پارامترهای فناوری CMOS 0.18 μ m در شکل ۱ نمایش داده شده اند.



شکل ۱. پارامترهای پروسه استاندارد فناوری CMOS 0.18 μ m مورد استفاده در ساختار دیود نوری پیشنهادی [۱۱].

عمق این سه پیوند با توجه به چگالی های ناخالصی، مطابق با طول جذب نور آبی، سبز و قرمز می باشند، بنابراین سه جریان نوری مستقل بدست می آید که حاوی اکثر حامل های تولید شده نوری توسط نور آبی، سبز و قرمز می باشند. در آرایش دیودنوری پیشنهادی، تمامی پارامترهای پروسه ساخت مدنظر، مفروض شده است. در این پروسه بستر سیلیکونی نوع P استفاده می شود. لایه ی نازک N+ در عمق ۰/۱۶ میکرون، پیوند PN ای مابین لایه های N+ و Pwell تشکیل می دهد که به عنوان دیود نوری حساس به نور آبی استفاده می شود. با اتصال لایه N+ به Vdd و چاه P به ولتاژی نزدیک به زمین، این دیود به طور معکوس بایاس می شود. دیود

ساخت دیودنوری از سه پیوند در راستای عمودی استفاده کرد و با تنظیم عمق سه پیوند، حداکثر حساسیت نوری مرتبط با رنگ های آبی، سبز و قرمز را به دست آورد [۵]. در سال ۲۰۰۳ حسگر تصویر CMOS در پروسه استاندارد ۰/۳۵ μ m ارائه شد که از دیود نوری ای با دو پیوند مجتمع شده عمودی به همراه فقط دو فیلتر جهت داشتن تصاویر رنگی استفاده می نمود. اندازه آرایه پیکسل حسگر هم با داشتن ۶ ترانزیستور برابر با ۰/۱۶ μ m بود [۶]. همچنین در سال ۲۰۰۹ حسگر تصویر CMOS دیگری در پروسه استاندارد ارائه شد که در آن از تفاوت عمق نفوذ نور تک رنگ در سیلیکون استفاده شده بود. با داشتن دیود مجتمع شده عمودی با دو پیوند در آن، به طور همزمان دو پاسخ، حساس به طول موج نور آبی و قرمز را بدست می داد [۷]. در [۸] ساختار دیودنوری پین^۴ شده ای با استفاده از چاه N دفن شده (Deep-Nwell) در فناوری استاندارد ۰/۱۸ μ m Epitaxial-CMOS معرفی شده است. دانگ و همکارانش هم در سال ۲۰۱۲ موفق شدند گیرنده نوری چندرنگی در فناوری استاندارد ۰/۱۶ میکرومتر CMOS ارائه کنند [۹]. آنها با استفاده از ویفر اپی^۵ دیودنوری با سه پیوند PN در راستای عمودی طراحی کردند که قادر است به طور همزمان، پرتو نوری با رنگ های مختلف را به جریان های مختلفی تبدیل کند.

در این مقاله به معرفی پیکسل حسگر تصویری پرداخته ایم که در پروسه استاندارد CMOS RF 0.18 μ m TSMC طراحی شده است و با توجه به ویژگی متفاوت بودن طول جذب فوتون در سیلیکون برای طول موج های متفاوت، این نیمه هادی قادر به جداسازی رنگها در سطح پیکسل می باشد. با استفاده از این آشکارساز در حسگرهای تصویر CMOS، دیگر نیازی به استفاده از روش های پرهزینه تشخیص رنگ، مانند استفاده از فیلترهای رنگی بر روی پیکسل ها و یا پروسه های ساخت گران قیمت نخواهد بود. بخش دوم این مقاله به معرفی معماری دیودنوری پیشنهادی در پروسه ی استاندارد CMOS اختصاص یافته است. در این بخش نحوه تحقق پیکسل پیشنهادی تشریح خواهد شد. در بخش سوم مدار طریقه جریانی برای اندازه گیری شدت نور هر پیوند پیشنهاد داده خواهد شد. در نهایت در بخش چهارم نتایج شبیه سازی های دیودنوری و مدار پیکسل پیشنهادی مطرح شده اند. بخش پنجم این مقاله نیز اختصاص به جمع بندی و نتیجه گیری دارد.

^۴ Pinned

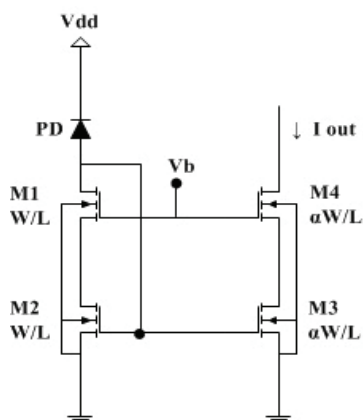
^۵ Epitaxial-wafer

این جریان نوری معمولاً با مدار آینه جریان منتقل می‌شود. در این مدارها، از نسبت انعکاس برای تقویت جریان نوری ورودی استفاده می‌شود. نسبت W/L ترانزیستور M_m به M_1 برابر α می‌باشد، پس جریان خروجی برابر αI_{ph} می‌باشد.

از معایب این مدار این است که در نور کم حساسیت پایینی از خود نشان می‌دهد. همچنین عدم تقارن در آینه جریان ممکن است سبب نویز الگوی ثابت^۶ (FPN) بزرگی شود [۱۰]. شکل ۳ ساختار پیکسل طبقه جریانی پیشنهادی را نمایش می‌دهد. این ساختار از چهار ترانزیستور برای آینه جریان آبخاری^۷ با سوئینگ وسیع و دیود نوری، تشکیل شده است. در فناوری‌های جدید که کانال با طول کوتاه بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد، طراحان اغلب از آینه جریان‌های آبخاری استفاده می‌کنند. اما از آنجا که این آینه‌های جریان، سوئینگ سیگنال را محدود می‌کنند، ما از مدار آینه جریان با سوئینگ وسیع استفاده کردیم که در مدارهایی با ولتاژ پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدار ولتاژ V_b را طوری انتخاب می‌کنیم که ترانزیستورها در حالت اشباع بوده و درین به سورس ترانزیستورها کمترین سقف ولتاژ مجاز را مصرف کنند.

$$V_{GS1} + (V_{GS2} - V_{TH2}) \leq V_b \leq V_{GS2} + V_{TH1} \quad (2)$$

$$V_{GS1} + (V_{GS2} - V_{TH2}) \leq V_b \leq V_{GS2} + V_{TH1}$$



شکل ۳. مدار معادل شماتیکی ساختار پیکسل طبقه جریانی پیشنهادی.

شکل ۴ کل مدار پیکسل برای خواندن جریان‌های نوری دیودهای نوری را نمایش می‌دهد و در جدول ۱ اندازه هریک از ترانزیستورهای مدار پیکسل ارائه شده است. ترانزیستورهای $M_1, M_2, M_3, M_4, M_{15}, M_{16}$ آینه جریان مربوط به دیود نوری رنگ آبی را تشکیل می‌دهند. ترانزیستور M_5 ، گره چاه P (Pwell) را به ولتاژی نزدیک به زمین بایاس کرده، و از طرفی ولتاژ درین به سورس ترانزیستورهای M_6 و M_7 را در حالت اشباع ثابت نگه می‌دارد. در این صورت، جریان خروجی M_4

نوری میانی که برای آشکارسازی رنگ سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد، از پیوند PN مابین چاه P و ناحیه Deep-Nwell تشکیل شده است. این دیود نوری را که در عمق یک میکرون زیر سطح سیلیکون قرار دارد، دیود نوری DNWell/Pwell می‌نامیم. از طرفی پیوند PN مابین ناحیه Deep-Nwell و بستر P، برای آشکارسازی جریان نوری رنگ قرمز مورد استفاده قرار می‌گیرد که آن را دیود نوری DNWell/Psub می‌نامیم. لایه DNWell از طریق لایه‌های NWell به کاتد N^+ متصل شده است. با اتصال بستر هم به زمین، هر دو دیود بایاس معکوس می‌شوند. جریان بایاس معکوس دیودها یا همان جریان تاریک دیود نوری طبق رابطه زیر برای هر پیوند PN قابل محاسبه است:

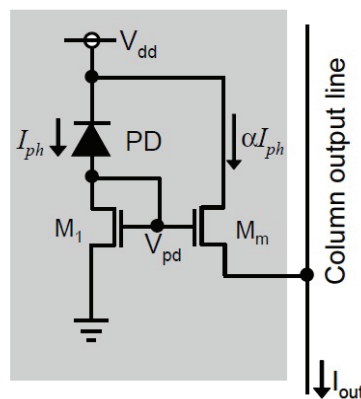
$$I_{diff} = eA \left(\frac{D_n}{L_n} n_{po} + \frac{D_p}{L_p} p_{no} \right) \quad (1)$$

که $D_n, D_p, L_n, L_p, n_{po}, p_{no}$ به ترتیب، ضریب نفوذ، طول نفوذ، چگالی حامل‌های اقلیت در ناحیه نوع P و چگالی حامل‌های اقلیت در ناحیه N هستند. A نیز مساحت برش عرضی دیود است [۱۰].

سه دیود نوری موجود در ساختار، سه پاسخ طیفی متفاوت ارائه می‌دهند و بدین ترتیب سه رنگ آبی، سبز و قرمز در یک ساختار از هم جدا می‌شوند.

مدار پیکسل طبقه جریانی پیشنهادی

همانطور که می‌دانیم در طبقه جریان، به این دلیل که سیگنال‌ها به راحتی با قوانین کیرشهف جمع و تفریق می‌شوند، پردازش سیگنال آنالوگ راحت‌تر خواهد بود. به وسیله مدارهای آینه‌جریان نیز، مدارهای محاسباتی مانند عمل جمع و تفریق، به راحتی قابل پیاده‌سازی می‌باشند. شکل ۲ مدار پایه پیکسل طبقه جریانی خروجی مستقیم را نشان می‌دهد [۱۰]. در مدار خروجی مستقیم، جریان نوری مستقیماً از آشکارساز نوری خارج می‌شود [۱۳-۱۲].



شکل ۲. مدار پایه پیکسل طبقه جریانی مستقیم [۱۰].

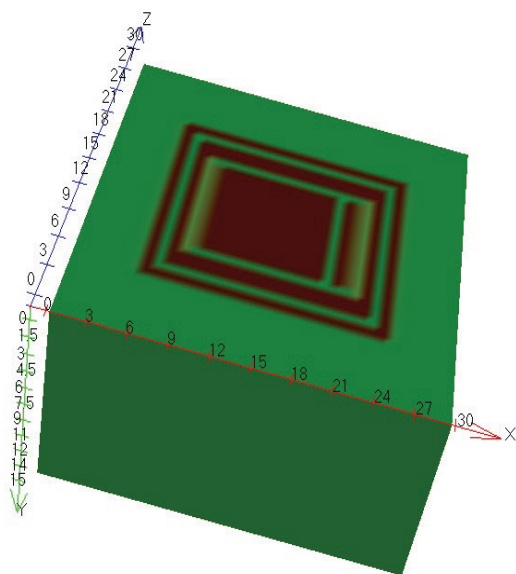
^۶ Fixed Pattern Noise
^۷ Cascode

$$\eta_Q \equiv \frac{I_L / e}{p_0 / h\nu} \quad (3)$$

$$\eta_Q \equiv \frac{I_L / e}{P_0 / (h\nu)}$$

که در آن (I_L) مقدار جریان نوری تولید شده و p_0 واحد توان نور P_0 در برخورد نور به ماده می‌باشند [۷].

شکل ۷ بازده کوانتومی دیود نوری حساس به نور آبی را نشان می‌دهد که در طول موج ۴۴۰nm، حداکثر بازده را در ۰/۷۵ دارد. بازده کوانتومی دیودنوری حساس به نور سبز در شکل ۸ نمایش داده شده است که در طول موج ۵۰۰nm حداکثر بازده کوانتومی ۰/۱۲ را از خود نشان داده است. بازده کوانتومی دیودنوری حساس به نور قرمز هم که در شکل ۹ نمایش داده شده، در طول موج ۶۲۰nm به حداکثر مقدار خود رسیده است که برابر با ۰/۳۸ می‌باشد. در مقایسه با یکدیگر، آشکارساز رنگ قرمز بیشترین بازده و آشکارساز رنگ آبی کمترین بازده را به دست داده‌اند که این تفاوت، ناشی از تفاوت در مساحت پیوندهای PN آنها می‌باشد.



شکل ۵. نمای ۳ بعدی دیود نوری پیشنهادی که توسط نرم افزار سیلوکو رسم شده است.

معکوسی (جریان تاریک) برابر $200 \mu A$ است. چون خروجی از گره چاه P گرفته می‌شود، جریان دیود آبی هم وارد مدار آینه جریان دوم می‌شود. در نهایت پس از حذف جریان انحراف و جریان نوری رنگ آبی، جریان نوری رنگ سبز را در خروجی خواهیم داشت.

ترانزیستورهای M11، M12، M13، M14، M19 و M20 نیز مدار آشکارساز رنگ قرمز هستند. دیود نوری رنگ قرمز (DNWell/Psub)، جریان بایاس معکوسی (جریان تاریک) برابر $313 \mu A$ از آن می‌گذرد. اما به دلیل مشترک بودن گره Deep-NWell بین دو دیود، جریان خروجی این مدار برابر مجموع جریان‌های دو دیود آشکار کننده رنگ سبز و قرمز خواهد بود که پس از حذف انحراف و تفریق جریان نوری رنگ سبز، میزان جریان نوری آشکارسازی شده رنگ قرمز، به دست خواهد آمد.

نتایج شبیه سازی

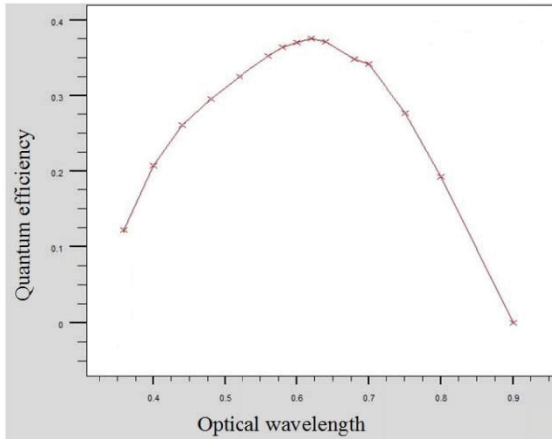
شبیه سازی دیود نوری پیشنهادی توسط نرم افزار سیلوکو^۸

برای تست دیود نوری پیشنهادی، از نرم افزار سیلوکو [۱۴] جهت شبیه سازی ساختار مورد نظر استفاده شده است. شکل ۵ نمای سه بعدی این دیود نوری را نشان می‌دهد که توسط ابزار تونپلات سه بعدی^۹ سیلوکو رسم شده است.

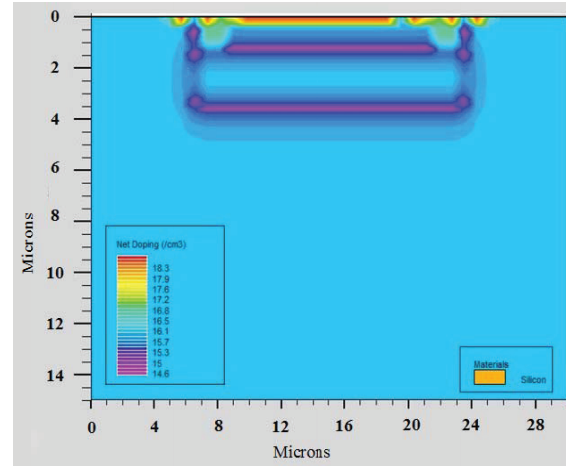
این دیود نوری در ابعاد $30 \times 30 \times 15 \mu m^3$ طراحی شده است تا بتواند تمامی حامل‌های نوری تولید شده را جمع آوری نماید. مساحت دیود N+/P-well، $10 \times 10 \mu m^2$ است. دیود DNWell/Pwell، $14 \times 12 \mu m^2$ و دیود DNWell/Pwell، $14 \times 16 \mu m^2$ مساحت دارند. برش افقی ساختار موردنظر هم در شکل ۶ نمایش داده شده است که تمام پارامترهای پروسه ساخت CMOS 0.18 μm در آن لحاظ شده است. از سه دیود ایجاد شده از پیوندهای PN موجود در پروسه، به عنوان سه دیود نوری استفاده شده است و جریان خروجی دیودها به ازای شدت نور ثابت $0.2 W/m^2$ ، در طول موج های مرئی به دست آمده است، که به واسطه آن نمودار بازده کوانتومی هریک از دیودها در رنج طول موج های مرئی به دست آمده است.

بازده کوانتومی به صورت نسبت تعداد حامل‌های تولید شده نوری بر تعداد فوتون‌های ورودی تعریف می‌شود. تعداد فوتون ورودی در واحد زمان $\frac{P_0}{(h\nu)}$ و تعداد حامل‌های تولید شده در واحد زمان برابر $\frac{I_L}{e}$ می‌باشد. بنابراین بازده کوانتومی به این صورت قابل بیان است:

^۸ Silvaco
^۹ Tonyplot3D



شکل ۹: بازده کوانتومی دیود نوری حساس به نور رنگ قرمز.

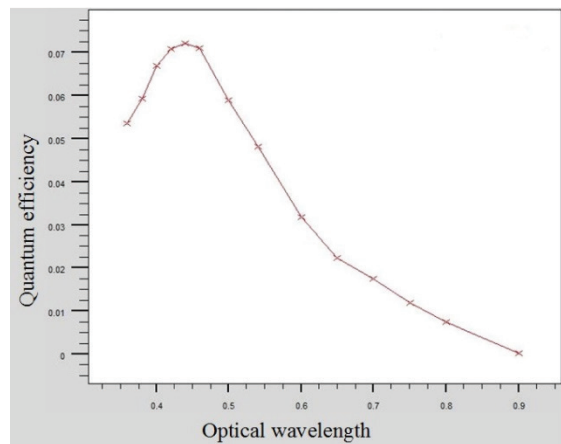


شکل ۶: برش افقی دیود نوری پیشنهادی.

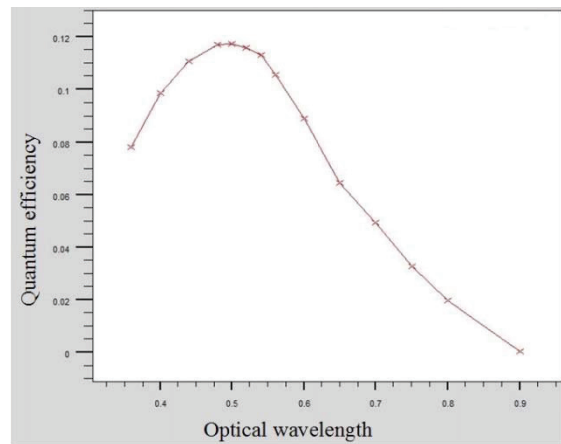
جهت بدست آوردن نمودار RGB دیود نوری پیشنهادی، هر سه بازده کوانتومی را نرمالیزه نموده و در یک نمودار نمایش داده-ایم. دقت نمایید که در عمل این نرمالیزه‌سازی توسط بهره جریان منابع آینه جریان به راحتی تحقق می‌یابد.

نمودار RGB به‌دست آمده برای دیودنوری طراحی‌شده، در شکل ۱۰ قابل مشاهده است که نشان می‌دهد با توجه به محل قرارگرفتن سه پیوند در زیر سطح سیلیکون، پیوند $N^+/PWell$ بیشتر حساس به طول موج‌های کوتاه‌تر (آبی)، پیوند $PWell/DNWell$ حساس به طول موج‌های میانی (سبز) و پیوند $DNWell/PWell$ حساس به طول موج‌های بلندتر (قرمز) می‌باشند و حساسیت کمتری به سایر طول موج‌ها از خود نشان می‌دهند. با توجه به معادله (۳) این سه دیود نوری در طول موج‌های 440 nm ، 500 nm و 620 nm بیشترین جریان نوری و در نتیجه بزرگترین بازده کوانتومی را از خود نشان داده‌اند. لذا سه رنگ آبی، سبز و قرمز به خوبی، بدون هیچ هزینه اضافی، درپروسه استاندارد CMOS تجاری از هم جدا می‌شوند.

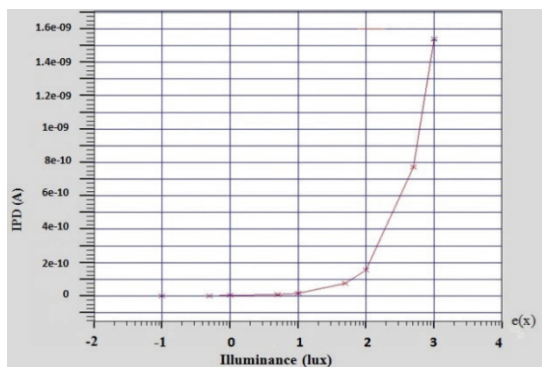
در جدول ۲ مقایسه‌ای بین پاسخ طیفی فیلترهای بایر [۴] و دیود نوری ریچارد مریل [۵] با دیود نوری پیشنهادی در این مقاله انجام شده است که نشان می‌دهد دیود نوری طراحی شده در پروسه استاندارد CMOS، پاسخ قابل قبولی در مقایسه با دیودهای نوری ارائه شده در پروسه‌های خاص و فیلترهای بایر از خود نشان می‌دهد.



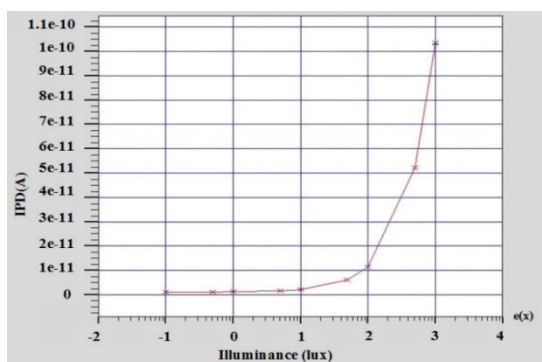
شکل ۷: بازده کوانتومی دیود نوری حساس به نور رنگ آبی.



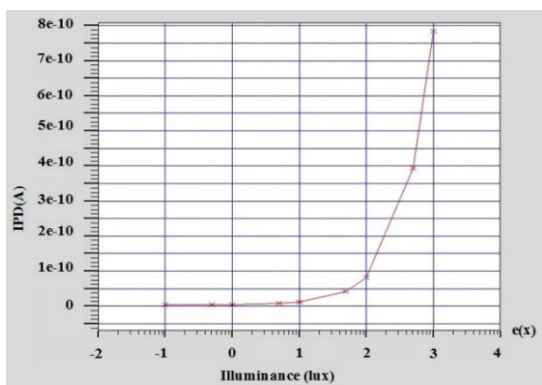
شکل ۸: بازده کوانتومی دیود نوری حساس به نور رنگ سبز.



شکل ۱۱. جریان نوری آشکار ساز رنگ آبی بر حسب روشنایی.

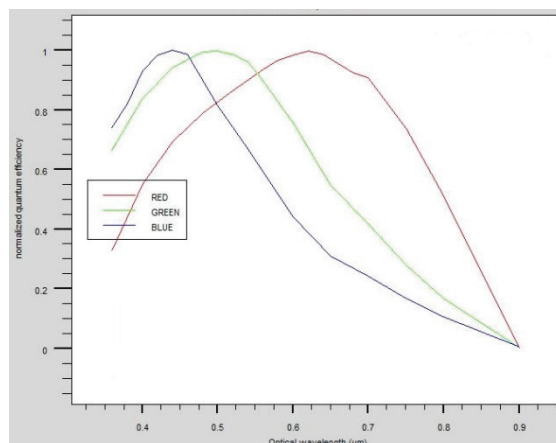


شکل ۱۲. جریان نوری آشکار ساز رنگ سبز بر حسب روشنایی.



شکل ۱۳. جریان نوری آشکار ساز رنگ قرمز بر حسب روشنایی.

دیود آشکار ساز رنگ سبز نیز تحت تابش منبع نور تک رنگی با طول موج 500 nm قرار گرفته است که نمودار جریان نوری آن بر حسب روشنایی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. شکل ۱۳ نیز نمودار جریان نوری دیود آشکار ساز رنگ قرمز را نشان می‌دهد که منبع نور تک رنگی با طول موج 620 nm به آن می‌تابد. از آنجا که در یک لوکس روشنایی، در طول موج‌های ذکر شده، توان نور رنگ آبی حدوداً ده برابر توان نور رنگ‌های سبز و قرمز است، جریان نوری به دست آمده از دیود آشکار کننده رنگ آبی نسبت به جریان نوری به دست آمده از دو دیود دیگر خیلی بیشتر است. از طرفی مشاهده می‌شود، دیود نوری رنگ قرمز بازده کوانتومی بالایی به دست می‌دهد که علت آن این است که این دیودنوری به این دلیل که دارای سطح پیوند PN بزرگی



شکل ۱۰. نمودار دیود نوری پیشنهادی.

جدول ۲. مقایسه دیود نوری پیشنهادی با ساختارهای تشخیص رنگ دیگر.

عنصر تشخیص رنگ	طول موج در محل پیک منحنی RGB		
	منحنی BLUE	منحنی GREEN	منحنی RED
فیلترهای بایر [۴]	۴۷۰ nm	۵۴۰ nm	۶۳۰ nm
دیود نوری ریچاردمریل [۵]	۴۳۰ nm	۵۲۰ nm	۶۰۰ nm
دیود نوری پیشنهادی مقاله	۴۴۰ nm	۵۰۰ nm	۶۲۰ nm

بررسی جریان نوری دیودهای نوری در شرایط نوری متفاوت

در شرایط نوری متفاوت، میزان روشنایی بر حسب لوکس متفاوت است. با توجه به اینکه در روشنایی ثابت، به طور مثال در نور اتاق، برای طول موج‌های آبی، سبز و قرمز، توان نور متفاوت خواهد بود، جریان‌های نوری به دست آمده از دیودها هم، متناسب با توان نور تابیده شده می‌باشد. لذا اگر به هریک از دیودها، منبع نور تک رنگی با طول موج متناسب با آن دیود تابیده شود، در روشنایی‌های مختلف، جریان‌های نوری متفاوتی تولید خواهند کرد. بنابراین با شبیه‌سازی‌هایی که در نرم‌افزار سیلواکو انجام دادیم، هر یک از دیودها را تحت تابش منبع نور تک‌رنگ قرار داده و جریان نوری هریک را در روشنایی‌های متفاوت در رنج 10^3 - 10^1 لوکس به دست آوردیم. شکل ۱۱ نمودار جریان نوری دیود آشکار ساز رنگ آبی را بر حسب شدت روشنایی نشان می‌دهد که تحت تابش منبع نور تک رنگ با طول موج 440 nm قرار گرفته است.

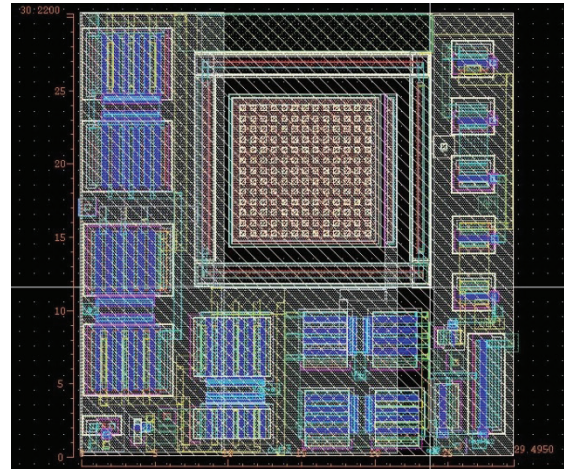
ترانزیستور M9 هم جریان دیوهای نوری رنگ آبی و سبز را با آینه کردن جریان M6 و M7 به خروجی دوم مدار (out2) می-فرستد. جریان M6 برابر $240\ \mu\text{A}$ و جریان M9 نیز حدوداً $240\ \mu\text{A}$ به دست آمده است. آینه جریان سری سازی سوم، مجموع جریان های دیوهای نوری سبز و قرمز را به خروجی سوم مدار (out3) می فرستد. M11 جریانی برابر $520\ \mu\text{A}$ از آن می گذرد و M14 با جریانی حدود $520\ \mu\text{A}$ جریان M11 و M12 را به خروجی سوم مدار (out3) آینه می کند.

در نهایت جریان خروجی هر سه مدار، جهت حذف سیگنال-های جریانی ناخواسته و نویز FPN، به مدارهای نمونه بردار^{۱۲} فرستاده می شوند [15]. علت انعکاس جریان بدون هیچ گونه تقویت جریان این است که اولاً ترانزیستورها جریان انحراف^{۱۳} بزرگی دارند، که به همراه جریان نوری تقویت می شود، ثانیاً از آنجایی که در خروجی دوم و سوم مدار، مجموع جریان دو دیود نوری، به خروجی می رود، لازم است تمام جریان های نوری به یک میزان تقویت شده و پس از جداسازی و حذف جریان های انحراف، به میزان لازم تقویت شوند. شکل ۱۴ جانمایی مدار پیکسل طراحی شده را نشان می دهد. اندازه پیکسل تقریباً 30×30 میکرومتر مربع به دست آمده است.

نتیجه گیری

در این مقاله، پیکسل حسگر تصویر CMOS طریقه جریانی، با دیود نوری ای با سه پیوند PN در راستای عمودی به عنوان عنصر حساس به نور، در پروسه استاندارد CMOS RF $0.18\ \mu\text{m}$ TSMC طراحی و شبیه سازی شده است. اساس کار این دیوهای نوری به این صورت است که به دلیل داشتن سه پیوند PN در اعماقی تقریباً برابر با طول جذب فوتون ها با طول موج های رنگ قرمز، سبز و آبی، موفق به آشکارسازی این سه رنگ اصلی در سطح پیکسل می شوند. به دلیل استفاده از لایه DNWell/Psub بازده کوانتومی دیود نوری رنگ قرمز بیشتر از دو دیود نوری دیگر است. نمودار RGB به دست آمده از شبیه سازی دیود نوری پیشنهادی، نشان می دهد که در طول موج های $440\ \text{nm}$ ، $500\ \text{nm}$ و $620\ \text{nm}$ به خوبی سه رنگ آبی، سبز و قرمز از هم جدا شده اند. جهت خواندن و تقویت جریان دیوهای نوری، مدار پیکسل طریقه جریانی با استفاده از مدارهای آینه جریان سری سازی با سوئینگ وسیع طراحی شده است که مناسب کار در ولتاژهای پایین هستند. از آنجا که در مدارهای آینه جریان، نویز FPN به همراه جریان های نوری تقویت می شود، در مدارهای آینه جریان تقویتی صورت نگرفته

است، قادر به جمع آوری حامل های نوری زیادی از بستر P می باشد.



شکل ۱۴. جانمایی مدار پیکسل طراحی شده.

لذا با توجه به اینکه توان نوری رنگ سبز و قرمز در طول موج های $500\ \text{nm}$ و $620\ \text{nm}$ تفاوت چندانی با هم ندارند، جریان نوری دیود نوری رنگ قرمز در یک لوکس، بیشتر از جریان نوری دیود نوری سبز می باشد. برای مثال در روشنایی $100\ \text{lux}$ جریان نوری دیود رنگی آبی 150 پیکوآمپر، جریان نوری دیود نوری قرمز برابر 75 پیکوآمپر و جریان نوری دیود نوری رنگ سبز 11 پیکوآمپر به دست آمده است.

نتایج شبیه سازی مدار پیکسل در اچ اسپایس و کیدنس^{۱۰}

در نرم افزار اچ اسپایس، جریان نوری دیوهای نوری با یک منبع جریان وابسته که از کاتد به آند دیودها متصل اند مدل شده است. اندازه جریان این منابع را برابر با الگوی جریان نوری که دیوهای نوری به ازای بازه روشنایی تعیین شده تولید کردند با توجه به نتایج شبیه سازی در نرم افزار سیلوکو، در نظر گرفتیم. میزان جریان نوری توسط آینه جریان با سوئینگ بالا، خوانده شده، به میزان لازم تقویت می شود و به خروجی پیکسل فرستاده می شود تا از آنجا به مدارهای حذف انحراف فرستاده شود. ترانزیستور M4 جریان دیود نوری رنگ آبی را به خروجی اول مدار (out1) می فرستد. همانگونه که انتظار می رفت ترانزیستور M3 دارای جریانی حدود $35\ \mu\text{A}$ است که ترانزیستور M4 این جریان را به خروجی آینه کرده است. در شبیه سازی های انجام شده در اچ اسپایس ولتاژ گره PWell برابر $600\ \text{mV}$ به دست آمده است که در این صورت ترانزیستورهای M6 و M7 نیز در ناحیه اشباع می باشند.

^{۱۲} Sample and Hold
^{۱۳} Offset

^{۱۰} Hspice
^{۱۱} Cadence

- Proceedings of the 35th International convention, pp. 156-161, 2012.
- [10] J. Ohta, Smart CMOS Image Sensors and Applications. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008.
- [۱۱] پیمان علی پرست، طراحی حسگر تصویر CMOS هوشمند برای کپسول‌های اندوسکوپی بیسیم. رساله دکتری، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، ۱۳۹۱.
- [12] Y. Huang and R.I. Hornsey, "Current-mode CMOS image sensor using lateral bipolar phototransistors." IEEE Trans. Electron Devices, vol 50, pp. 2570-2573, 2003.
- [13] M. Szelezniak, G.W. Deptuch, F. Guilloux, F. Heini, and A. Himmi, "Current Mode Monolithic Active Pixel Sensor with Correlated Double Sampling for Charged Particle Detection." IEEE Sensors Journal, vol 7, pp. 137-150. 2007.
- [14] ATLAS User's Manual: Device Simulation Software, SILVACO; 2008.
- [15] P. Aliparast, Z. D. Koozehkanai, "A Current Mode Active Pixel with High Sensitivity Pinned PD in Standard CMOS Process for Smart Image Sensors", Journal of Microelectronics, ELSEVIER, ISSN: 0026-2692
<http://dx.doi.org/10.1016/j.mejo.2013.08.005>, 2013.

است تا پس از حذف جریان‌های دی‌سی^{۱۴}، تقویت انجام شود. لذا لازم است خروجی مدار برای حذف انحراف و تقویت بیشتر به مدارهای نمونه‌بردار فرستاده شود. بدین ترتیب توانستیم بخش تشخیص رنگ و مدار پیکسل را روی یک بستر پیاده‌سازی نماییم که این کار از ایجاد بسیاری از خازن‌های پارازیتی و نویزهای ناشی از مدارهای جانبی جلوگیری کرده، از پیچیدگی پروسه کاسته و اندازه تراشه را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. بعلاوه، دیگر نیازی به استفاده از روش‌های رایج تشخیص رنگ در پیکسل‌های حسگر تصویر CMOS که اغلب پرهزینه‌اند، نخواهد بود.

مراجع

- [1] E. R. Fossum, "CMOS Image sensors: Electronic camera-on-a-chip." IEEE, Trans. Electron Devices, vol 44, pp 1689-1698, 1997.
- [2] L. Dung, and Y.Y. Wu, "A Wireless Narrowband Imaging Chip for Capsule Endoscope." IEEE TRANS. BIOMEDICAL CIRCUITS AND SYSTEMS, vol 4, pp 462-468, 2010.
- [3] J. Nakamura, "Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras". Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006.
- [4] B.E. Bayer, "Color imaging array" US patent, 3971065, 1976.
- [5] R.B. Merrill. "Color Separation in an Active Pixel Cell Imaging Array Using a Triple-Well Structure" US Patent, 5965875, 1999.
- [6] K. M. Findlater, D. Renshaw, J. E. D. Hurwitz, R. K. Henderson, M. D. Purcell, S. G. Smith, and T. E. R. Bailey, "A CMOS Image Sensor With a Double-Junction Active Pixel" IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 50, NO. 1, pp. 32-42, JANUARY 2003.
- [7] C. Yuan, XU Zhihai, F. Huajun, "A CMOS Image Sensor for monochromatic Spectrum Imaging" IST 2009 - International Workshop on Imaging Systems and Techniques Shenzhen, China, May 11-12, 2009.
- [8] B. Ciftcioglu, L. Zhang, J. Zhang, J.R. Marciante, J. Zuegel, R. Sobolewski, and H. Wu, "Integrated Silicon PIN Photodiodes Using Deep N-Well in a Standard 0.18-um CMOS Technology." JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, vol 27, pp. 3303-3312, 2009.
- [9] J. Dong, W. Gaberl, K. Schneider-Hornstein, and H. Zimmermann, "A fully integrated multicolor photoreceiver." MIPRO, 2012