

طراحی و تحلیل سنسور نوری با حساسیت بالا مبتنی بر ترانزیستور برای کاربردهای با توان مصرفی کم

صابر شهبازی

کارشناس رشته برق گرایش کنترل ابزار دقیق، دانشکده فنی مهندسی شماره یک کرمانشاه

کد ملی: ۳۳۲۰۰۹۰۸۳۶

چکیده

در این مقاله یک سنسور نوری با حساسیت بالا ارایه شده است که در آن از اکسید روی استفاده شده است که به عنوان یک پنجره ی شفاف نوری روی کانال عمل می کند. حساسیت بالا با استفاده از ترانزیستور ماسفت با گیت احاطه کننده استوانه ای (CSG MOSFET) به دست آمده است. هنگامی که قطعه در معرض نور قرار می گیرد یک افزایش قابل توجه در هدایت ایجاد می شود و در نتیجه تغییرات جریان زیر آستانه به عنوان پارامتر اندازه گیری حساسیت مورد استفاده قرار می گیرد. در اکثر سنسورهای نوری مبتنی بر ترانزیستورهای اثر میدانی ولتاژ آستانه به عنوان پارامتر مقایسه حساسیت استفاده می شود ولی در سنسور ارایه شده این مقاله تغییرات جریان آستانه تحت تابش به عنوان پارامتر حساسیت مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین عملکرد سنسور ارایه شده با سنسورهای مبتنی بر ترانزیستور ماسفت از نظر حساسیت، ولتاژ آستانه و نسبت جریان روشن به جریان خاموش $Ion/Ioff$ مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد که ماسفت CSG به دلیل کنترل موثر گیت روی کانال یک قطعه مناسب به عنوان سنسور نوری با حساسیت بالا است. با استفاده از این سنسور حساسیت بالا، جریان تاریکی پایین، $Ion/Ioff$ بالا و جریان آستانه پایین قابل دستیابی است. علاوه بر این اثر شعاع کانال به پاسخ دهی (Re) و بازده کوانتومی (Qe) و $Ion/Ioff$ مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژگان: سنسور، ابزار دقیق، برق، ترانزیستور

مقدمه:

امروزه تقاضا برای ترانزیستورهای حساس به نور با توان مصرفی کم به طور شگفت آوری افزایش یافته است. این قطعه برای کاربردهای آشکارسازهای شعله، تحلیل ترکیب شیمیایی مواد، پیش بینی دود موشک، تشخیص و درمان بیماری‌ها، دوربین های نظارت و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند [6-1]، و همچنین در برای انتقال داده نوری روی تراشه‌ها [7] و محیط های ذخیره کننده نور مورد استفاده قرار می‌گیرند. سازگاری ترانزیستورهای اثر میدانی با مدارات مجتمع به ساخت موفقیت آمیز این قطعه‌ها به عنوان آشکارساز نوری کمک کرده است. آشکارسازهای نوری مبتنی بر سیلیسیوم عموماً به عنوان یک قسمت از اکثر این کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا فضای کمی را می‌گیرند، نسبت سیگنال به نویز بالایی دارند، فراوان هستند و با میکروالکترونیک سازگاری دارند و به طور گسترده در کاربردهای دفاعی مورد استفاده قرار می‌گیرند [9].

حساسیت یکی از پارامترهای مهم در سنسور های نوری است. امروزه اکثر تحقیقات بر روی استفاده از یک کانال با حساسیت بالا برای حسگری نور متمرکز شده اند [10]. ماده گیت شفاف [11] و روش تابش عقب [12,13] برای بهبود سنسور نور مورد بررسی قرار گرفته اند. در این مقاله مهندسی قطعه برای رسیدن به این هدف مورد استفاده قرار گرفته است زیرا مهندسی کانال برای دستیابی به جریان تاریکی پایین نقش مهمی دارد. برای افزایش بیشتر حساسیت برای ناحیه‌ی طیف مورد استفاده اکسید روی به عنوان ماده‌ی گیت مورد اسفاده قرار گرفته است که به عنوان یک فیلتر نوری هم عمل می‌کند. اکسید روی به عنوان یک ماده شفاف به عنوان گیت برای طیف فرابنفش [14] دارای این مزیت است که برای ناحیه طیف مطلوب بازتاب کمی دارد در نتیجه قسمت زیادی از نور ورودی روی ماده گیت به ماده نیمه هادی می‌رسد.

در مقایسه با ماسفت های دوگیتی ماسفت های CSG به دلیل کوپل الکتروستاتیکی بالای گیت و کانال دارای مزایایی هستند از جمله کم بودن جریان حالت خاموشی، نسبت I_{on}/I_{off} بالا و کاهش اثرات کانال کوتاه [18].

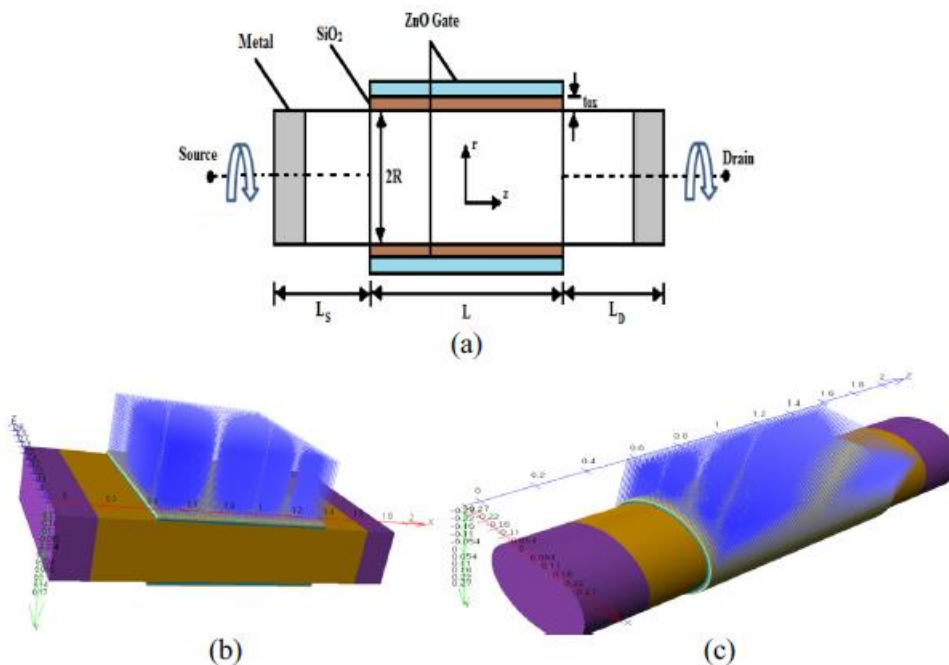
در این مقاله ماسفت CSG با اکسید روی به عنوان ماده گیت و دی اکسید سیلیسیوم به عنوان ماده‌ی دی الکتریک برای طراحی سنسور نوری با حساسیت بالا و توان پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده‌ی همزمان از مهندسی قطعه و مهندسی ماده‌ی کانال باعث ایجاد یک سنسور نوری می‌شود که به طور موثری برای کاربرد در محدوده‌ی فرابنفش مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در این مقاله عملکرد این سنسور نوری با سنسور نوری مبتنی بر ماسفت دو گیتی از نظر جریان حالت خاموشی، ولتاژ آستانه و نسبت I_{on}/I_{off} مقایسه شده است که نشان می‌دهد این نوع سنسور عملکرد بهتری را به عنوان یک سنسور نوری با حساسیت بالا نشان می‌دهد. تاثیر شعاع کانال روی پاسخ دهی (R)، بازدهی کوانتومی (Qe) و نسبت I_{on}/I_{off} نیز برای قطعه ارایه شده مورد مطالعه قرار گرفته است.

۱- ساختار قطعه و ساختار شبیه سازی

شکل ۱ (a) مقطع عرضی ماسفت CSG را نشان می‌دهد و شکل ۱ (b) ساختار شبیه سازی سه بعدی ماسفت دو گیتی تحت تابش را نشان می‌دهد. شکل ۱ (c) ساختار شبیه سازی شده ماسفت CSG تحت تابش را نشان می‌دهد. R شعاع کانال، L طول کانال، L_s طول سورس، L_D طول درین، Z جهت کانال و t_{ox} ضخامت اکسید را نشان می‌دهد.

برای به دست آوردن مشخصات قطعه در حالت تاریکی از نرم افزار شبیه سازی سیلواکو اطلس سه بعدی (Silvaco Atlas 3D) [19] برای شبیه سازی ماسفت CSG استفاده شده است. پارامترهایی که در شبیه سازی استفاده شده اند در جدول ۱ داده شده اند. همچنین برای به دست آوردن مشخصات قطعه تحت تابش شبیه ساز پیشرفته قطعه های نوری LUMINOUS-3D مورد استفاده قرار گرفته است که از روش مسیر پرتوی نوری (Ray trace) برای محاسبه نرخ تولید نور روی مش بندی تعریف شده استفاده کرده است. پارامترهای اپتیکی تابش ورودی مانند شدت تابش پرتو ورودی، طول موج و مکان توسط کلیدواژه BEAM که در LUMINOUS-3D وجود دارد تنظیم شده اند.

مدل های مختلفی برای شبیه سازی ماسفت CSG استفاده شده است که عبارتند از: مدل موبیلیته وابسته به میدان (FDM) و مدل شاکلی-رد-هال (SRH). مدل FDM وابستگی موبیلیته حاملها به میدان الکتریکی بالا را در نظر می گیرد و مدل SRH احتمال پدیده ی بازترکیب حامل ها در تله ها را در نظر می گیرد.



شکل ۱ (a) مقطع عرضی ماسفت CSG (b) ساختار شبیه سازی سه بعدی ماسفت دو گیتی تحت تابش (c) ساختار شبیه سازی شده ماسفت CSG تحت تابش

جدول ۱) پارامترهای مورد استفاده در شبیه سازی

| نماد | تعریف | مقدار |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| L | طول کانال | 1 μm |
| t_{si} | ضخامت فیلم سیلیسیومی | 0.5 μm |
| R | شعاع کانال ($t_{\text{si}}=2R$) | 0.25 μm |
| L_{S} | طول سورس | 0.5 μm |
| L_{D} | طول درین | 0.5 μm |
| t_{ox} | ضخامت اکسید | 10 nm |
| N_{A} | چگالی ناخالصی کانال | $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ |
| N_{D} | چگالی ناخالصی سورس/درین | $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ |

ضخامت هر دولایه ی اکسید روی و دی اکسید سیلیسیوم کوچک در نظر گرفته شده اند تا اکثر میزان نوری که روی گیت می تابد به ناحیه ی سیلیسیومی زیر آن برسد. در مسیر نور از هوا به کانال موانعی وجود دارد که به دلیل بازتاب از سه سطح است: سطح

هوا-گیت (اکسید روی)، سطح گیت - اکسید گیت (SiO_2) و سطح اکسید گیت - نیمه هادی (سیلیسیوم). بازتاب از این سطح ها به تحلیل رفتار قطعه تحت تابش کمک می کند. ضرایب بازتاب برای این سه سطح با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود [20]:

$$R_c = \frac{(n_c - n_{c+1})^2 + k_{c+1}^2}{(n_c + n_{c+1})^2 + k_{c+1}^2} \quad (1)$$

که در آن R_1 ، R_2 و R_3 ضرایب بازتاب سه سطح مشترک هستند که به ترتیب عبارتند از: سطح هوا-گیت، سطح گیت - اکسید گیت و سطح اکسید گیت - نیمه هادی. n_1 ، n_2 ، n_3 و n_4 به ترتیب قسمت های حقیقی ضریب شکست هوا، گیت، اکسید و نیمه هادی هستند. k_c ها متناظر با قسمت موهومی ضرایب شکست هستند. پایگاه داده SOPRA [21] برای تعیین مقادیر حقیقی و موهومی ضریب شکست ها برای محاسبه ی ضریب بازتاب برای شبیه سازی ماسفت CSG مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۲ مقادیر قسمت های حقیقی و موهومی ضرایب شکست برای اکسید روی، دی اکسید سیلیسیوم و سیلیسیوم به ازای طول موج های مختلف ورودی و ضرایب بازتاب محاسبه شده برای سه سطح مشترک ذکر شده را نشان می دهد.

جدول ۲ مقادیر قسمت های حقیقی و موهومی ضرایب شکست برای اکسید روی، دی اکسید سیلیسیوم و سیلیسیوم به ازای طول موج های مختلف ورودی و ضرایب بازتاب محاسبه شده برای سه سطح مشترک [21]

| طول موج (نانومتر) | اکسید روی (ZnO) | | | دی اکسید سیلیسیوم (SiO_2) | | | سیلیسیوم (Si) | | | |
|----------------------|-----------------|---------------------|-------|--------------------------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------------------------------|
| | n_1 | k | R_1 | n_2 | k | R_2 | n_3 | k | R_3 | $(\text{cm}^{-1} \alpha) \times 10^6$ |
| 250 | 1.92 | 0.383 | 0.115 | 1.6 | 0.008 | 0 | 1.58 | 3.63 | 0.56 | 1.827 |
| 300 | 1.99 | 0.404 | 0.126 | 1.578 | 0.013 | 0 | 5 | 4.168 | 0.48 | 1.746 |
| 350 | 2.14 | 0.457 | 0.150 | 1.565 | 0.024 | 0 | 5.43 | 2.989 | 0.41 | 1.073 |
| 400 | 2.27 | 4×10^{-3} | 0.151 | 1.557 | 0.035 | 0 | 5.57 | 0.387 | 0.31 | 0.121 |
| 450 | 2.11 | 4×10^{-18} | 0.127 | 1.552 | 0.023 | 0 | 4.67 | 0.139 | 0.25 | 0.03886 |
| 500 | 2.05 | 0 | 0.119 | 1.548 | 0.019 | 0 | 4.29 | 0.069 | 0.22 | 0.01746 |
| 550 | 2.02 | 0 | 0.114 | 1.545 | 0.018 | 0 | 4.08 | 0.043 | 0.20 | 0.00985 |

همچنین مقادیر ضریب جذب سیلیسیوم (α) در طول موج های مختلف داده شده است. مقداری از نور ورودی که توسط کانال سیلیسیومی جذب می شود که در اثر آن جفت های الکترون-حفره (EHP) تولید می شوند به طور عمده به میزان جذب سیلیسیوم وابسته است که با نماد ضریب جذب (α) نشان داده می شود. پارامتر α برای سیلیسیوم به ازای طول موج های تابش ورودی مختلف متفاوت است و برای طول موج های بالاتر کاهش می یابد [22,23].

نرخ تولید جفت های الکترون - حفره EHP به میزان جذب تابش ورودی توسط سیلیسیوم که زیر تابش قرار دارد وابسته است. همانطور که در بالا ذکر شد نرخ تولید به ضریب جذب ماده حساس به نور وابسته است که در قطعه مورد بررسی ما سیلیسیوم است. نرخ تولید EHP توسط فرمول زیر داده می شود [24]:

$$G_F = \alpha \Phi_d \quad (2)$$

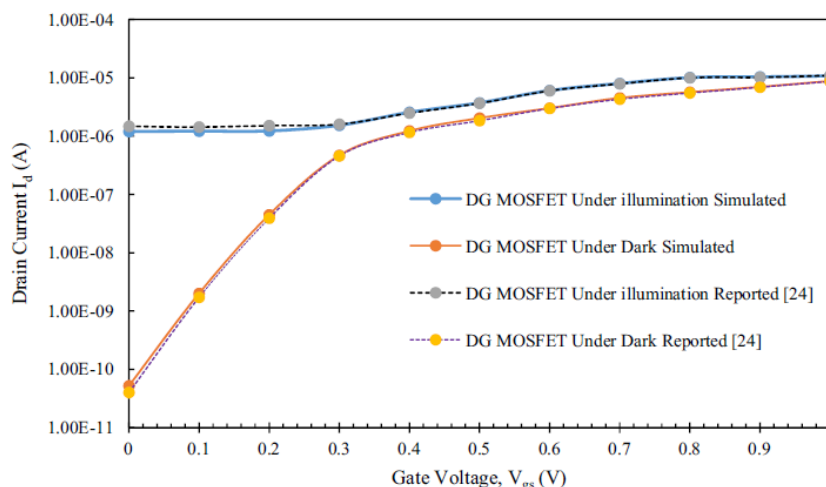
که در آن Φ_d چگالی شار طیف فوتون های ورودی است و عبارت است از [24]:

$$\Phi_d = I_0 \frac{h}{c\lambda} (1 - R_1)(1 - R_2)(1 - R_3) \quad (3)$$

که در آن I_0 شدت تابش ورودی است، c سرعت نور و h ثابت پلانک است.

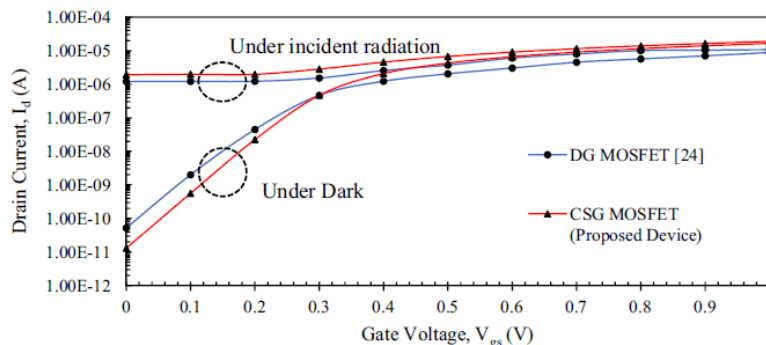
۳- نتایج شبیه سازی و تحلیل

شکل ۲ مشخصه I_d-V_{gs} را در شرایط تاریکی نشان می دهد و همچنین مشخصه ی تحت تابش ماسفت دو گیتی [24] با قطعه ی حاضر مقایسه شده است که مطابق نتایج کارهای انجام شده قبلی است [25-27]. مشخصه I_d-V_{gs} شبیه سازی شده برای ماسفت دوگیتی تقریباً همین تغییرات را نشان می دهد و به همین دلیل در ادامه برای مقایسه با CSG مورد استفاده قرار می گیرد.

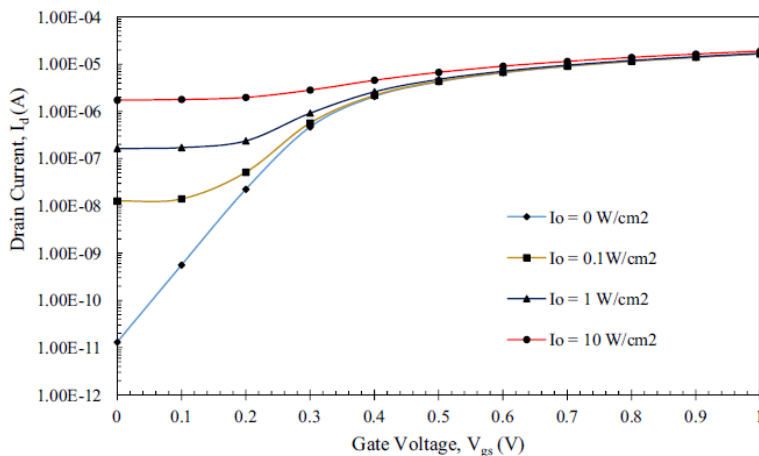


شکل ۲) مشخصه ی I_d-V_{gs} برای ماسفت دوگیتی و قطعه ی ارایه شده در شرایط تاریکی و تحت تابش برای $V_{ds}=0.05V$ و $I_0=10W/cm^2$ و $\lambda=250nm$ و $t_{si}=0.3\mu m$

شکل ۳ تغییرات مشخصه I_d-V_{gs} ماسفت دوگیتی و ماسفت CSG شبیه سازی شده را در شرایط تاریکی و تحت تابش نشان می دهد. همانطور که از شکل برداشت می شود در مقایسه با ماسفت دوگیتی، ماسفت CSG دارای جریان حالت تاریکی کم تر و جریان تابش بالاتر است که به دلیل کوپل الکتروستاتیکی موثر بین گیت و کانال است زیرا گیت کاملاً ستون سیلیسیومی را احاطه می کند. شکل ۴ یک نتیجه است که تغییرات مشخصه I_d-V_{gs} ماسفت CSG را تحت شدت های تابش I_0 مختلف نشان می دهد. هنگامی که شدت تابش ورودی افزایش می یابد هدایت کانال افزایش می یابد که باعث جریان بالاتر تحت تابش می شود و این تغییرات جریان تحت تابش در شرایط زیر آستانه نسبت به ناحیه ی خطی یا اشباع بیشتر مشخص است و در نتیجه این قطعه به عنوان یک آشکار ساز نورمردی- فرابنفش در شرایط زیر آستانه بهتر عمل می کند.



شکل ۳) مشخصه ی I_d-V_{gs} برای ماسفت دوگیتی و قطعه ی ارایه شده در شرایط تاریکی و تحت تابش برای $R=0.25\mu m$ و $\lambda=250nm$ و $V_{ds}=0.05V$ و $I_0=10W/cm^2$

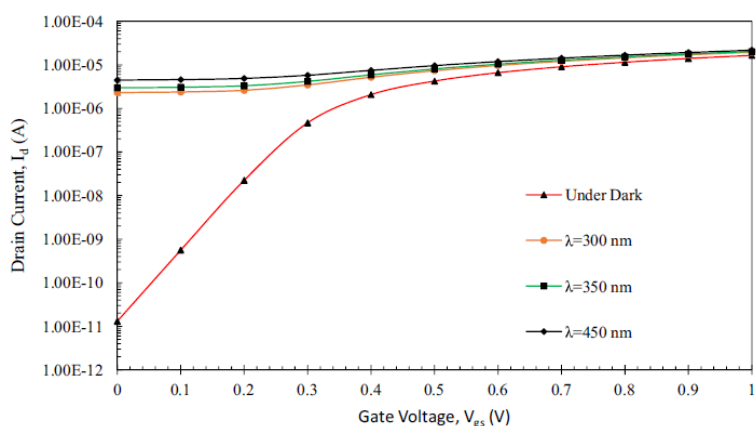


شکل ۴) مشخصه ی I_d-V_{gs} برای شدت های تابش مختلف برای $I_0=10W/cm^2$ و $V_{ds}=0.05V$ و $\lambda=250nm$ و $R=0.25\mu m$

شکل ۵ وابستگی مشخصه ی I_d-V_{gs} به طول موج تابش ورودی را نشان می دهد. برای طول موج های بزرگتر جریان حالت تابش بالاتر است و برای شعاع کانال $R=0.25\mu m$ در طول موج $\lambda=450nm$ نسبت I_{on}/I_{off} بیشینه است. در نتیجه قطعه ارایه شده می تواند در این ناحیه از طیف به عنوان یک سنسور نور با توان مصرفی پایین مورد استفاده قرار گیرد. پاسخ دهی و بازدهی کوانتومی خارجی از پارامترهای بسیار مهم در سنسور نوری هستند. این پارامترها با استفاده از فرمول های زیر تعیین می شوند [28]:

$$Re = \frac{I_{ap} (A)}{P_0 (W)} = \frac{\text{جریان الکتریکی تولید شده}}{\text{توان نوری ورودی}} \quad (4)$$

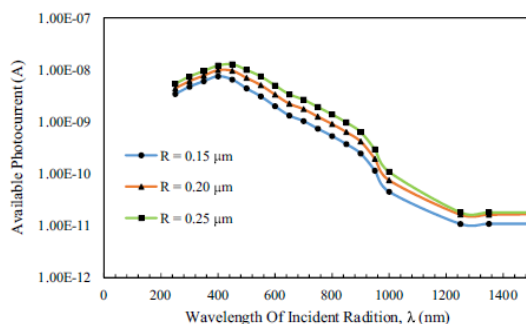
$$Qe = R_e \times \frac{hc}{q\lambda} \quad (5)$$



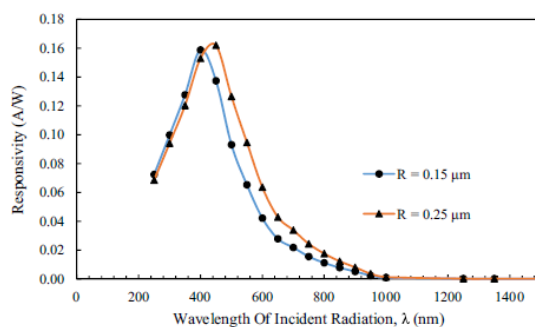
شکل ۵) مشخصه ی I_d-V_{gs} برای طول موج های تابش مختلف برای $I_0=10W/cm^2$ و $V_{ds}=0.05V$ و $R=0.25\mu m$ نتایج داده شده در شکل ۶ (a) وابستگی جریان تولید شده به طول موج نور ورودی را برای شعاع های مختلف کانال نشان می دهد. واضح است که هر چه شعاع کانال بیشتر باشد مساحتی که نور در آن جذب می شود بیشتر است و جریان بیشتری تولید می شود. در طول موج های بزرگتر جریان تولید شده به دلیل دو عامل کاهش می یابد اول این که انرژی برای جدا کردن الکترون از اتم سیلیسیوم در طول موج های بزرگتر کافی نیست و دوم این که طبق جدول ۲ در طول موج های بالاتر ضریب جذب کاهش می -

یابد. علاوه بر این قابل مشاهده است که جذب نور در محدوده $\lambda=250\text{ nm}$ تا $\lambda=600\text{ nm}$ برای سیلیسیوم در ماسفت های CSG با اکسید روی به عنوان ماده‌ی شفاف برای گیت اتفاق می‌افتد.

شکل ۶ (b) وابستگی پاسخ سنسور نوری ارایه شده را به طول موج و شعاع های مختلف کانال نشان می‌دهد. با دقت مشاهده می‌شود که ماکزیمم پاسخ دهی در $\lambda=0.4\text{ }\mu\text{m}$ برای $R=0.15\text{ }\mu\text{m}$ و $\lambda=0.45\text{ }\mu\text{m}$ برای $R=0.25\text{ }\mu\text{m}$ اتفاق می‌افتد. دلیل این رفتار بر اساس این است که زمانی که شعاع کانال کوچک است جذب موثر نور برای طول موج های کوچک تابش ورودی اتفاق می‌افتد اما هنگامی که شعاع کانال افزایش می‌یابد طول موج های بلند تر می‌توانند تا عمق بیشتری از کانال نفوذ کنند که باعث جذب موثر نور می‌شود [29]. بیشینه پاسخ دهی سنسور همچنین تحت تاثیر شرایط بایاس، پروسه های بازترکیب و پدیده های نوری مانند بازتاب و تداخل قرار می‌گیرد [30-32].



(a)



(b)

شکل ۶ (a) جریان نوری نسبت به طول موج های مختلف برای شعاع های مختلف کانال، (b) پاسخ دهی نسبت به طول موج های مختلف برای شعاع های مختلف کانال

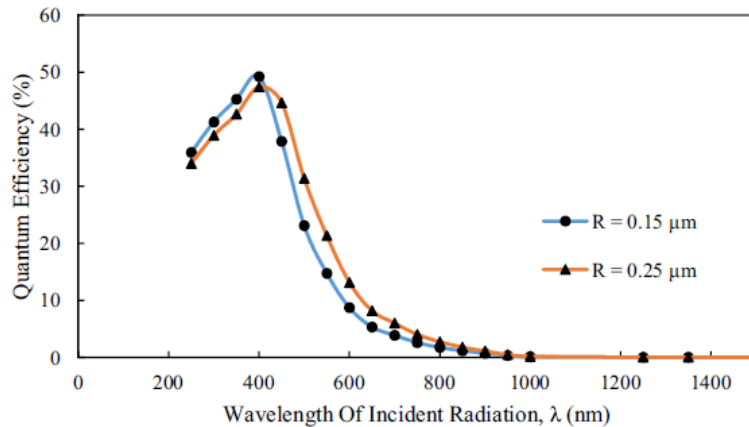
$$V_{gs}=0.0V \text{ و } V_{ds}=0.05V \text{ و } I_0=10W/cm^2$$

جدول ۳ مقایسه عملکرد ماسفت دوگیتی و ماسفت CSG را از نظر تغییر ولتاژ آستانه و نسبت I_{on}/I_{off} برای طول موج $\lambda=250\text{ nm}$ نشان می‌دهد. ماسفت CSG ولتاژ آستانه پایین تر و نسبت I_{on}/I_{off} بالاتری در ناحیه‌ی زیر آستانه دارد که به دلیل موثر گیت روی کانال است و می‌تواند به عنوان یک سنسور نوری با توان مصرفی پایین مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۳ مقایسه ولتاژ آستانه و نسبت I_{on}/I_{off} برای ماسفت دوگیتی و CSG برای شدت های تابش ورودی مختلف $\lambda=250\text{ nm}$. $W=1\text{ }\mu\text{m}$ ، $L=1\text{ }\mu\text{m}$ ، $t_{si}=0.3\text{ }\mu\text{m}$ ، $R=0.25\text{ }\mu\text{m}$

| I_0 W/cm ² | DG MOSFET (V_{th}) | CSG MOSFET (V_{th}) | DG MOSFET (I_{on}/I_{off}) | CSG MOSFET (I_{on}/I_{off}) |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 0 | 0.35 | 0.310 | 1.75×10^5 | 12.6×10^5 |
| 0.1 | 0.34 | 0.302 | 0.925×10^3 | 1.30×10^3 |
| 1 | 0.30 | 0.272 | 0.716×10^2 | 1.03×10^2 |
| 10 | 0.19 | 0.212 | 7.19 | 10.9 |

شکل ۷ یک منحنی است که درصد بازدهی کوانتومی خارجی را برای طول موج های مختلف تابش ورودی نشان می دهد. با دقت در شکل متوجه می شویم که بازدهی کوانتومی ابتدا با افزایش طول موج افزایش می یابد و بعد از رسیدن به یک مقدار ماکزیمم در $\lambda=400\text{nm}$ برای $R=0.15\mu\text{m}$ و $\lambda=450\text{nm}$ برای $R=0.25\mu\text{m}$ کاهش می یابد. بنابراین قطعه ارایه شده می تواند به عنوان یک سنسور نوری با بازده بالا در این ناحیه از طیف مورد استفاده قرار گیرد.

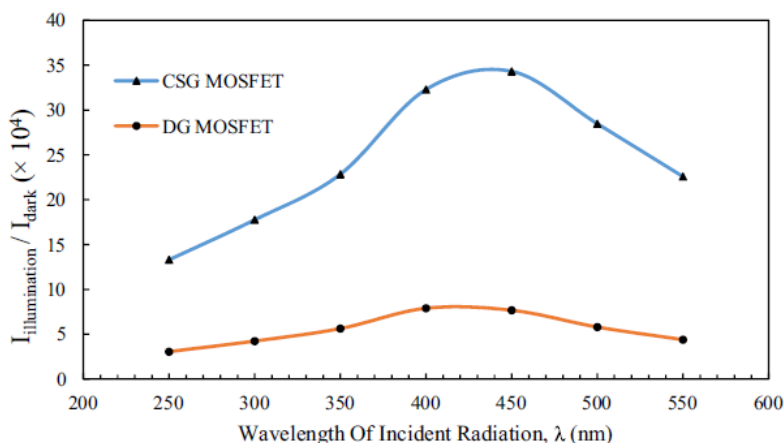


شکل ۷) بازدهی کوانتومی نسبت به طول موج برای شعاع های مختلف کانال. $V_{gs}=0.0V$ و $V_{ds}=0.05V$ و $I_0=10W/cm^2$. جدول ۴ تغییرات در ولتاژ آستانه، I_{on} ، I_{off} و نسبت I_{on}/I_{off} نسبت به شدت تابش ورودی و شعاع را در $\lambda=250\text{nm}$ نشان می دهد. تابش باعث می شود جریان نشتی حالت خاموشی افزایش یابد، شیب زیر آستانه کاهش یابد و مقدار ولتاژ آستانه کاهش یابد. ولتاژ آستانه پایین و نسبت I_{on}/I_{off} بالا در ناحیه زیر آستانه به کاربرد این قطعه به عنوان سنسور نوری با توان پایین می افزاید. جدول ۴ تغییرات در ولتاژ آستانه، I_{on} ، I_{off} و نسبت I_{on}/I_{off} نسبت به شدت تابش ورودی و شعاع های مختلف $R=0.15\mu\text{m}$ و $R=0.25\mu\text{m}$ و $R=0.2\mu\text{m}$

| I_0 W/cm ² | V_{th} (V) | I_{on} (μA) | I_{off} (nA) | I_{on}/I_{off} |
|--------------------------|--------------|----------------------------|----------------|--------------------|
| (a) | | | | |
| 0 | 0.310 | 9.94 | 0.019 | 5.20×10^5 |
| 0.1 | 0.308 | 9.96 | 7.33 | 1.35×10^3 |
| 1.0 | 0.298 | 10.1 | 88.0 | 1.14×10^2 |
| 10 | 0.242 | 11.0 | 852 | 12.91 |
| I_0 W/cm ² | V_{th} (V) | I_{on} (μA) | I_{off} (nA) | I_{on}/I_{off} |
| (b) | | | | |
| 0 | 0.310 | 13.3 | 0.015 | 8.52×10^5 |
| 0.1 | 0.306 | 13.4 | 9.94 | 1.34×10^3 |
| 1.0 | 0.297 | 13.6 | 125 | 1.08×10^2 |
| 10 | 0.221 | 14.9 | 1260 | 11.8 |
| I_0 W/ μm^2 | V_{th} (V) | I_{on} (μA) | I_{off} (nA) | I_{on}/I_{off} |
| (c) | | | | |
| 0 | 0.310 | 16.4 | 0.013 | 12.6×10^5 |
| 0.1 | 0.302 | 16.5 | 12.6 | 1.30×10^3 |
| 1.0 | 0.272 | 16.9 | 164 | 1.03×10^2 |
| 10 | 0.212 | 18.9 | 1730 | 10.9 |

حساسیت آشکارساز نوری به صورت نسبت جریان تحت تابش به جریان در شرایط تاریکی تعیین می شود $I_{illumination}/I_{dark}$. شکل ۸ نموداری است که تغییرات حساسیت نسبت به طول موج تابش ورودی را نشان می دهد. در مقایسه با مسافت دو گیتی هنگامی

که ماسفت CSG در معرض نور قرار می گیرد حساسیت بالاتری نشان می دهد که به دلیل جریان تحت تابش بالاتر و جریان خاموشی پایین تر است. در قسمت کم نوار حساسیت کوچک است و در $\lambda=450\text{nm}$ برای $R=0.25\mu\text{m}$ به ماکزیمم می رسد و دوباره در قسمت دیگر نمودار کاهش می یابد. در نتیجه قطعه ارایه شده می تواند به عنوان یک سنسور نوری با حساسیت بالا در ناحیه نور مرئی مورد استفاده قرار گیرد و همچنین می تواند در بقیه ی قطعه های اثر میدانی مانند نانولوله کربنی [33] و اتصالات فلز-نیمه هادی یونیزاسیون برخوردار [34] مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۸) حساسیت نسبت به طول موج $R=0.25\mu\text{m}$ و $V_{gs}=0.0V$ و $V_{ds}=0.05V$ و $I_0=10W/cm^2$

۴- نتیجه گیری

ماسفت CSG با اکسیدر وی به عنوان ماده گیت و دی اکسید سیلیسیوم به عنوان عایق گیت در ناحیه ی مطلوب طیف دارای حساسیت بالایی است. حساسیت ماسفت CSG در مقایسه با ماسفت دوگیتی 4.5 برابر است و بیشینه حساسیت در $\lambda=450\text{nm}$ برای $R=0.25\mu\text{m}$ مشاهده می شود و می تواند به طور موثری به عنوان سنسور نوری با حساسیت بالا در این ناحیه از طیف مورد استفاده قرار گیرد. قطعه ارایه شده جریان تحت تابش بالا در ناحیه ی زیر آستانه، ولتاژ آستانه پایین و نسبت I_{on}/I_{off} بالا نشان می دهد و بنابراین می تواند به عنوان یک قطعه با توان مصرفی کم برای عملکرد بهینه در ناحیه ی زیر آستانه بایاس شود اکسید روی به عنوان ماده گیت می تواند به عنوان فیلتر نوری عمل کند که فقط به طول موج های نور مرئی اجازه عبور می دهد و مانع از رسیدن بقیه طول موج ها به کانال زیری سیلیسیومی می شود و بنابراین حداکثر جذب نوری در محدوده ی نور مرئی اتفاق می افتد و می تواند به طور موثری به عنوان آشکار ساز نور مرئی کار کند.

منابع:

۱. ↑پرش به بالا به ۱۱۰۰ ۱۱ ۱۲. Springer Handbook of Automation. ۲۰۰۹. صص ۳۳۳-۳۳۴. شابک ۹۷۸-۳-۵۴۰-۷۸۸۳۱-۷.
- ۲- کتاب اینترنت اشیا (IOT)، کاربرد و چالش های این فناوری نوشته رضا جاوید عضو هیئت مدیره شرکت خدمات Seo جامپر
- ۳- «HART Communication Foundation». www.hartcomm2.org. بایگانی شده از اصلی در ۱۱ سپتامبر ۲۰۱۷. دریافت شده در ۲۰۲۰-۰۹-۰۹.
- ۴- «Fieldbus Foundation». www.fieldbus.org. بایگانی شده از اصلی در ۱۴ نوامبر ۲۰۲۰. دریافت شده در ۲۰۲۰-۰۹-۰۹.