



بررسی اثر پلاسمونیک گرافن در طراحی گیت‌های منطقی مبتنی بر موج‌برهای نوری

فاطمه صالحی^۱، زهرا اعلائی^{۲*}

۱- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
۲- مرکز تحقیقات پردازش دیجیتال و بینایی ماشین، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

چکیده: گیت‌های منطقی مبتنی بر موج‌برهای نوری و بررسی اثرات پلاسمونیک بر آنها در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. اثر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن اثر جدیدی است که در این مقاله برای طراحی گیت‌های منطقی AND و XOR به عنوان اجزای پایه برای مدار یک نیم‌جمع‌کننده نوری مورد بررسی قرار می‌گیرد. با اعمال پارامترهای محیط، مقدار رسانایی در پتانسیل شیمیایی 0.565 eV طبق معادله رسانایی برابر $10^{-4} \times 936 \times 0.7$ بدست می‌آید. با توجه به مقدار ثابت گذردهی خلا که برابر یک است و ضخامت گرافن بکار رفته که برابر 0.7 nm است، مقدار قسمت موهومی ضریب دی‌الکتریک در فرکانس کار 7 Grad/s برابر مقدار تقریبی 0.02 بدست می‌آید. طول موج سیگنال ورودی برابر 1.55 میکرومتر در پتانسیل شیمیایی 0.565 eV در نظر گرفته شده است. پس از اعمال پارامترهای تعریف شده گرافن تحت موج‌بر پلاسمونیک برای ساختار مورد نظر، نتایج خوبی برای پاسخ‌دهی به ساختارهای منطقی موجود در یک نیم‌جمع‌کننده مشاهده می‌شود. نخستین افزاره طراحی شده، یک ساختار AND پلاسمونی برپایه گرافن است. ضریب عبور توان این سویچ در شرایط بهینه برای حالت روشن 0.98 است و برای حالت خاموش 0.55 است. سپس، ساختار XOR طراحی شده است که ضریب عبور توان این سویچ در شرایط بهینه برای حالت روشن 0.85 است و برای حالت خاموش 0.02 است که در مقایسه با کارهای انجام شده دارای ویژگی انتقالی حداکثری توان در سیستم مدار یک نیم‌جمع‌کننده است.

واژگان کلیدی: گیت‌های منطقی، پلاسمونیک، گرافن

z.alaie @pel.iaun.ac.ir

باعث افزایش بسیار زیاد میدان نوری در مرز و محبوس شدن قوی نوری شوند [۱].

در مقایسه با سایر ادوات نوری منطقی، استفاده از موج‌برهای پلاسمونیک بدلیل بهبود در کاهش پاشندگی نور و در نتیجه بالا رفتن رباژده منجر به بهینه‌سازی توان مصرفی گیت‌های منطقی نوری می‌شود. از سویی دیگر، سرعت پاسخ‌دهی این نوع از گیت‌ها بالا بوده و بنابراین، توانایی این سیستم‌ها برای کارکردن در فرکانس‌های تراهرتز زیاد است. کاربرد امواج پلاسمون پلاریتون سطحی و پلاسمون سطحی موضعی و روند استفاده از آن‌ها روزبه‌روز شتاب بیشتری می‌گیرد. در زمینه ساخت نیز، ساخت ادواتی غیرفعال مانند موج‌بر، کوپلر، فیلتر و ادوات فعال (ادواتی که در آن‌ها توان تولید می‌شود) مانند تقویت‌کننده،

۱- مقدمه

با پیشرفت پردازش سیگنال‌های نوری و اتصالات داخلی نوری درون تراشه‌ای و بین تراشه‌ای، قطعات نوری بر پایه موج‌برها در جهت پیشرفت تراشه‌های مجتمع نانو نوری اهمیت بسیاری یافته‌اند. برای فائق آمدن بر مشکل حد پراش و بهبود مجتمع‌سازی در قطعات مجتمع، پلاسمونیک به کار رفته‌اند. پلاریتون‌های پلاسمون سطحی تحریکات الکترومغناطیس هستند که با نوسانات الکترون‌های آزاد در فلز کوپل می‌شوند و به مرز فلز و دی‌الکتریک محدود می‌شوند. پلاریتون‌های پلاسمون سطحی با توجه به طول موج بسیار پایینی که دارند، می‌توانند

پرسرعت فراهم می‌شود [۷]. در سال ۲۰۱۵، پژوهشی در مورد گیت‌های منطقی پایه و نیمه‌جمع‌کننده مبتنی بر پلاسمون-پلاریتون انجام شد که نتیجه‌ی آن ارائه‌ی یک مدل پلاسمونیک برای تحقق فوق سریع گیت‌های منطقی تمام‌نوری و نیمه‌جمع‌کننده با استفاده از اثرات تداخل خطی در ساختار موج‌برهای دی‌الکتریک شد [۸] و در همین راستا در سال بعدی، طرحی مبنی بر طراحی گیت منطقی تمام‌جمع‌کننده و تمام‌تفریق‌کننده با استفاده از موج‌برهای فلز-عایق پلاسمونی مطرح شد [۹].

در این مقاله، به بررسی ویژگی‌های گرافن و تاثیر آن بر یک موج‌بر تخت پلاسمونی پرداخته شده است. در ابتدا رفتار تابع دی‌الکتریک گرافن با تغییرات پتانسیل شیمیایی (انرژی فرمی) بررسی شده است. سپس، وابستگی ضریب شکست گرافن به پتانسیل شیمیایی نیز مورد بحث قرار گرفته است. همچنین، در این مقاله موج‌برها پلاسمونیک مبتنی بر گرافن طراحی و شبیه‌سازی می‌شوند و با استفاده از آن، گیت‌های منطقی طراحی می‌شوند. سپس، براساس آن نیم جمع‌کننده منطقی پیاده‌سازی می‌شود و عملکرد آن در حالت‌های متفاوت ورودی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- بخش تجربی

امواج پلاسمون-پلاریتون سطحی با حل معادلات ماکسول در سطح مشترک فلز و عایق و اعمال شرط مرزی مناسب، حاصل می‌شوند. در شکل (۱) دو محیط نقره و هوا با مرز مشترک در نظر گرفته شده است و نمودار پاشندگی نور در هوا و نمودار پاشندگی برای مرز بین نقره و هوا نمایش داده شده است. مودهای پلاسمونی در جهت X انتشاری و در جهت Z در دو محیط میرا شونده هستند. مودها را به دو دسته TE و TM تقسیم‌بندی می‌کنیم. با نوشتن روابط و شرایط مرزی برای مودهای TM رابطه زیر به دست می‌آید [۹].

$$\frac{K_{1z}}{\xi_1} + \frac{K_{2z}}{\xi_2} = 0 \quad (1)$$

K_{1z} و K_{2z} به ترتیب ثابت انتشار موج در جهت Z در دو محیط متفاوت است. با توجه به میرا بودن امواج در جهت Z، ثابت انتشار

تشدیدکننده، سوئیچ، مدولاتور و غیره در حال انجام و بهینه‌سازی است [۲]. گیت‌های منطقی پلاسمونیک بدلیل پهنای باند طیفی بزرگ نیز کاربردهای بسیاری دارند. آنها در مخابرات فضای باز، پزشکی، حسگرها و شمارشگرهای فروسرخ کاربرد دارند. از آنها برای پردازش سیگنال‌های نوری نیز استفاده می‌شود [۳].

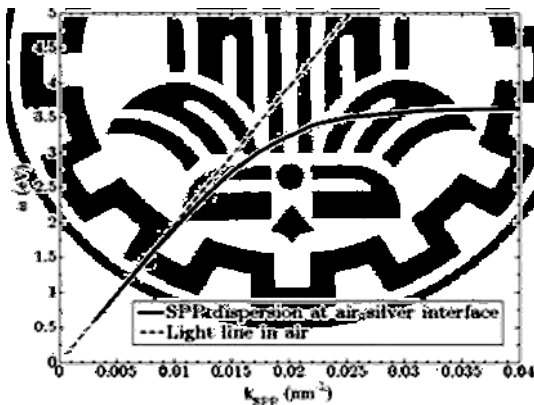
در سال ۲۰۰۴، از ماده‌ای به نام گرافن که نخستین بار به صورت آزمایشگاهی به دست آمد، در ساخت ادوات الکترونیکی استفاده شد. گرافن یک ماده دو بعدی از اتم‌های کربن است که در ساختار لانه‌زنبوری به هم پیوند داده شده‌اند و دارای ویژگی‌های الکترونیکی فوق‌العاده و ویژگی‌های نوری منحصر به فرد است که آن را تبدیل به یک گزینه‌ی جذابی برای تحقق ادوات نوری جدید می‌کند. در فرکانس‌های کوچک‌تر از فرکانس فوتون، گرافن آلاینده شده می‌تواند پلاسمون‌ها را با اتلاف کم انتقال دهد و تلفات پلاسمون‌ها که بیشتر ناشی از گذارهای بین باندی است، با استفاده از آرایش گرافن از بین می‌روند [۴].

در سال‌های اخیر، انواع متفاوتی از ادوات نوری مبتنی بر پلاسمون سطحی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۵]. در سال ۲۰۱۵ پژوهشی در زمینه طراحی سوئیچ تراهرتز پلاسمونیک گرافنی و گیت‌های منطقی آن انجام شد و نشان داده شد که فشرده‌سازی فوق‌العاده و مصرف برق کم در سوئیچ‌های پلاسمونیک تراهرتز مبتنی بر گرافن و گیت‌های منطقی آن برای مخابره داده‌ها در سیستم‌های ارتباطی مناسب هستند و می‌توانند ساختاری برای مدارات پلاسمونیک دیجیتال در آینده باشند که تنها عیب این دستگاه‌های الکترواپتیکی سرعت سوئیچینگ آن‌هاست که بستگی به سرعت مدارهای الکترونیک دارد [۶]. در سال ۲۰۱۶، گیت‌های منطقی الکترواپتیکی مبتنی بر موج‌بر گرافن-سیلیکون مورد پژوهش و بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، طرح‌های گیت‌های منطقی الکترواپتیکی AND/NAND و OR/NOR و XOR/XNOR با سوئیچ‌های آبشاری سیلیکون-گرافن و ترکیب‌کننده‌ی تداخل چندحالتی منظم 2×1 آورده شد. هر سوئیچ متشکل از یک تداخل سنج ماخ-زندر و موج‌بر شیاری-سیلیکونی با پوسته‌های گرافنی است، برای تغییر فاز طراحی می‌شوند. تغییر شاخص موثر مودال موج‌بر شیاری سیلیکونی از طریق تنظیم الکترونیکی سطوح فرمی پوسته‌های گرافن کنترل می‌شود و یک روش مناسب برای تحقق عملکرد سوئیچینگ

همین دلیل امواج پلاسمون سطحی را می‌توان تحت قطبش TM دید [۱۱]. همان‌طور که پیشتر گفته شد، دامنه امواج پلاسمونی به صورت نمایی در دو محیط عایق و فلز می‌شود، طول افت میدان (l_i) در دو محیط به صورت فاصله‌ای از مرز که دامنه به $1/e$ کاهش می‌یابد، تعریف شده است و از رابطه زیر به دست می‌آید. همچنین، شدت میدان در جهت انتشار نیز به صورت نمایی کاهش می‌یابد و پارامتر طول انتشار^۲ (L_{spp}) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$l_i = \frac{1}{l_m(K_{iz})} \quad (۸)$$

$$L_{spp} = \frac{1}{2l_m(\beta_{spp})}$$



شکل ۱. نمودار پاشندگی برای سطح بین نقره و هوا و نمودار پاشندگی نور در هوا [۹].

در شکل ۱، منحنی واپاشی برای امواج پلاسمون سطحی در مرز مشترک نقره و هوا و منحنی واپاشی برای یک موج تخت که در هوا انتشار یافته است، نشان داده شده است. همان‌طور که به وضوح در شکل ۱ دیده می‌شود، با افزایش فرکانس، منحنی واپاشی امواج پلاسمونی از خط نور^۳ به شدت فاصله می‌گیرد. به طوری که در نزدیکی فرکانس تشدید، β_{spp} بسیار بزرگتر از عدد موج در همان فرکانس در هوا می‌شود. بنابراین، طول موج این امواج بسیار کوچک‌تر از طول موجی با همان فرکانس در هوا خواهد بود. با افزایش β_{spp} و با توجه به رابطه زیر:

موج دارای قسمت موهومی منفی است. در نتیجه با توجه به منفی بودن قسمت موهومی، به منظور برقراری رابطه بالا، باید ضریب گذردهی الکتریکی^۱ دو محیط علامت مخالف داشته باشند. از آنجایی که ضریب گذردهی الکتریکی برای فلزات در بازه‌ای از فرکانس‌ها منفی است، می‌توان در مرز فلز و عایق امواج پلاسمون سطحی داشت ($\epsilon_l = \epsilon_d$ و $\epsilon_2 = \epsilon_m$). رابطه واپاشی برای این مدها به صورت زیر است:

در این رابطه، β ثابت انتشار امواج پلاسمونی در جهت X است.

$$\beta = K_o \sqrt{\frac{\xi_m \xi_d}{\xi_m + \xi_d}} \quad (۲)$$

برای مدهای TE بعد از نوشتن میدان‌ها و اعمال شرایط مرزی در مرز دو ناحیه رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\left(\frac{K_{1z}}{\mu_1} + \frac{K_{2z}}{\mu_2}\right) E = 0 \quad (۳)$$

با توجه به منفی بودن قسمت موهومی k_{1z} و k_{2z} و با فرض اینکه دو محیط غیرمغناطیسی بوده و $\mu_1 = \mu_2 = 1$ باشد، تنها جواب معادله بالا $E=0$ است. زیرا در غیر این صورت خواهیم داشت:

$$K_{1z} + K_{2z} = 0 \quad (۴)$$

و از طرفی داشتیم:

$$K_{1x} = K_{2x} = K_x = \beta \quad (۵)$$

و با توجه به فرمول زیر

$$K_x^2 + K_{z,j}^2 = \xi_j K_0^2 \quad (۶)$$

خواهیم داشت:

$$K_1^2 = (\omega/c)^2 \xi_1 = K_2^2 = (\omega/c)^2 \xi_2 \quad (۷)$$

این معادله پاسخ ندارد و به همین دلیل امواج الکترومغناطیسی سطحی نمی‌توانند برای قطبش TE وجود داشته باشند [۱۰]. بنابراین، امواج پلاسمون سطحی با پلاریزاسیون TE نمی‌توانند در مرز مشترک دو محیط غیرمغناطیسی (به عنوان مثال فلز و عایق) منتشر شوند. در واقع مود TE به موازات سطح مشترک بین فلز و عایق می‌باشد. امواج TE در شرایط مرزی ضریب گذردهی ندارند و تنها ضریب گذردهی قسمت عمودی میدان ظاهر می‌شود. مود TM عمود بر مرز مشترک فلز و عایق است و به

^۲ Propagation Length

^۳ Light Line

^۱ Permittivity

$$K_{iz} = \sqrt{\beta^2 - K_0^2 \xi_i} \quad (9)$$

طول افت میدان در دو محیط کم می‌شود و محدود شدن امواج به سطح مشاهده می‌شود. این ویژگی منجر به امکان متمرکز کردن موج و محلی‌سازی آن می‌شود و در این شرایط پیاده‌سازی ساختارها در ابعاد نانو میسر می‌شود.

گذردهی الکتریکی فلزات در یک گستره گسترده فرکانسی با مدل درود بیان می‌شود. رابطه تقریبی درود برای فرکانس‌های بالا و با فرض اتلاف کم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\xi_r(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + i\gamma\omega} \quad (10)$$

در رابطه بالا، γ سرعت پراکندگی الکترون‌ها^۴ و ω_p فرکانس پلاسمای گاز الکترونی است که معمولاً در مرتبه s^{-1} 10^{14} - 10^{15} است. همان طور که به وضوح مشخص است، برای فرکانس‌های کمتر از ω_p قسمت حقیقی ثابت گذردهی الکتریکی فلزات منفی است و می‌تواند امواج پلاسمون سطحی را هدایت کنند. لازم به یادآوری است که بیشتر فلزات در محدوده نور مرئی و فروسرخ^۵ دارای گذردهی الکتریکی با قسمت حقیقی منفی هستند و بنابراین استفاده از ساختارهای فلزی برای هدایت امواج پلاسمونی در فرکانس‌های نوری مناسب است. گرافن لایه دو بعدی از اتم‌های کربن با پیوند sp^2 در شبکه لانه‌زنبوری است. پیکربندی منحصربه‌فرد اتم‌های کربن منجر به یک رابطه‌ی پراکندگی جدید در حوالی انرژی دیراک می‌شود. در حوالی نقطه دیراک طیف دوبعدی، خطی است و در نتیجه الکترون‌ها با سرعت ثابت (۱۰۰ برابر بیشتر از سیلیکان) در حرکت هستند. بسیاری از ویژگی‌های جذاب گرافن ناشی از این رابطه پراکندگی است که ناشی از فرمیون‌های نسبی بی‌جرم است. در قطعات الکترونیکی مبتنی بر سیلیکان، سرعت عملکرد قطعه با حفره‌ها محدود می‌شود. ولی در گرافن تحرک حفره‌ها برابر با تحرک الکترون‌هاست. در نتیجه، قطعات الکترونیکی مبتنی بر گرافن سریع‌تر عمل می‌کنند. به دلیل عدم وجود گاف انرژی در طیف انرژی، گرافن می‌تواند طیف وسیعی از تابش الکترومغناطیسی را

^۴ Electron Scattering Rate

^۵ Infrared

جذب نماید. در نهایت، گرافن می‌تواند در ادوات الکترونیکی از قبیل سلول خورشیدی، دیودهای نورگسیل آلی، آشکارسازهای نوری و سایر موارد مورد استفاده قرار گیرد. با اینحال ادوات مبتنی بر گرافن اگر از سطح نور به آنها تابانده شود، معمولاً بخاطر ضخامت اندک لایه اتمی گرافن برهم کنش نور و ماده خیلی ضعیفی دارند و عملکرد آنها بطور جدی محدود می‌شود. اما از سال ۲۰۱۰ به بعد، ادوات جدید گرافنی با موجبر مجتمع سازی شده ارائه شده اند که طول برهم کنش بیشتری بین میدان موجبر نوری و گرافن نسبت به ادواتی دارند که بطور سطحی نور به آنها تابانده شوند. ادوات فوتونیک مبتنی بر موجبر مجتمع شده گرافنی با فناوری CMOS سازگار هستند و امکان ادغام این دو فناوری وجود دارد که منجر به ایجاد تراشه‌های کم هزینه با چگالی بالا می‌شود. به همین دلیل، سیستم‌های ترکیبی از مدارهای مجتمع گرافنی و سیلیکون در حال افزایش است [۵]. از طرفی دیگر، تمام اتم‌های کربن در سطح گرافن قرار گرفته است و چگالی الکترون‌ها در آن بالا است. همچنین، گرافن تحت تاثیر گازهای محیط اطراف قرار می‌گیرد که این به نوبت باعث ناپایداری شیمیایی گرافن شده و برای بدست آوردن نتایج قابل تکرار به شرایط خلا نیازمند است [۶]. در عمل پتانسیل شیمیایی گرافن را می‌توان با روش‌های متفاوتی از جمله با اعمال یک ولتاژ به نسبت کم به گرافن تغییر داد. در واقع با اعمال ولتاژ، جمعیت الکترونی اضافی به گرافن تزریق می‌شود که باعث بالا رفتن سطح تراز فرمی و پدیده‌ای به نام انسداد پاولی باعث تغییر در قسمت موهومی گذردهی الکتریکی یا به طور معادل قسمت موهومی ضریب شکست گرافن می‌شود. از آنجا که مقدار جذب نور با قسمت موهومی ضریب شکست رابطه دارد، می‌توان با اعمال یک ولتاژ متغیر با زمان، مقدار جذب را در گرافن به صورت دینامیک دستکاری کرد. در پایان هم، گیت‌های منطقی مربوط به موج‌بر تخت پلاسمونی شامل یک لایه گرافن طراحی و با استفاده از نرم‌افزار آرسافت شبیه‌سازی شده است که گرافن در معرض پلاسمون پلاریتون‌های سطحی قرار گرفته است و رفتار موجبر با تغییر پتانسیل شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش پتانسیل شیمیایی در یک گستره خاص، مشاهده می‌شود که توان عبوری موجبر افزایش قابل توجه‌ای می‌یابد. در نهایت، در این پژوهش پتانسیل شیمیایی ۰/۵۱۵ الکترون ولت در نقطه

۳- نتایج و بحث

نخستین افزاره طراحی شده، یک ساختار AND پلاسمونی برپایه گرافن است. ضریب عبور توان این سوئیچ در شرایط بهینه برای حالت روشن، ۰/۹۸ است و برای حالت خاموش ۰/۵۵ است. سپس ساختار XOR طراحی شده است که ضریب عبور توان این سوئیچ در شرایط بهینه برای حالت روشن ۰/۸۵ است و برای حالت خاموش ۰/۰۲ است. این افزاره‌ها در مدارهای نوری دیجیتال کاربرد فراوانی دارند، به خصوص در طراحی مربوط به یک نیم‌جمع‌کننده که در روابط و جداول معرفی و نشان داده شده‌اند. ضریب عبور توان برای حالت منطقی "۱ ۱" و نسبت آن به حالت "۰ ۰" برای گیت AND و XOR بسیار قابل تمایز است.

در ابتدا به طراحی گیت‌های منطقی پایه مدار نیم‌جمع‌کننده می‌پردازیم. سپس، عملکرد مدار را برای ترکیب دو گیت در کنار همدیگر، نتایج شبیه‌سازی و اثرات هم‌شنوایی^۶ را بررسی خواهیم کرد. نتایج نهایی برای یک نیم‌جمع‌کننده با ساختار موج‌بر پلاسمونی مبتنی بر گرافن در طول موج ۱/۵۵ μm و پتانسیل شیمیایی ۰/۵۱۵ eV نمایش داده می‌شود.

۱- نمایش ساختاری مدار برای گیت XOR

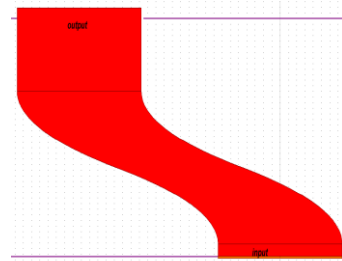
XOR یا همان یای انحصاری، در حقیقت نمایش دهنده مدل مداری برای پاسخ سیستم در خروجی طبق جدول داده شده زیر است:

جدول ۱. جدول صحت گیت XOR.

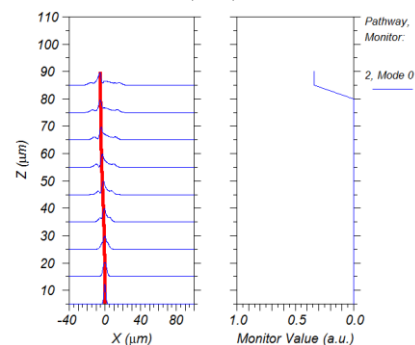
A	B	A XOR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

در این قسمت، معادل ساخته شده موج‌بر نوع پلاسمون مبتنی بر گرافن در محیط نرم‌افزار RSOFT ترسیم شده و در شکل ۳ نمایش داده شده است. نتایج برای ورودی‌های متفاوت مدار XOR در شکل ۴ نمایش داده شده است.

بهینه انتخاب شده است که در آن مقادیر واقعی و موهومی ضریب دی‌الکتریک ماده به ترتیب طبق نمودارهای مشخصه ضریب دی‌الکتریک و پتانسیل شیمیایی سیستم برابر ۰/۰۰۰۰۵ و ۰/۰۲ تعریف شده و در نرم‌افزار آرسافت در پارامترهای ماده جایگزین شده و طراحی گیت انجام شده است. در این مقاله، یک نیم‌جمع‌کننده موج‌بر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن در طول موج مخابراتی ۱/۵۵ میکرومتر پیشنهاد و ساختار به صورت عددی تحلیل شده است. در ساختار آورده شده لایه‌های گرافن که بر بستر دی‌الکتریک SiO_2 لایه نشانی شده است. با استفاده از تغییر پتانسیل شیمیایی یا همان ولتاژ بایاس، مکانیسم سوئیچینگ محقق شده است که می‌تواند در مدارات مجتمع پلاسمونیک قابل استفاده باشد. شبیه‌سازی با استفاده از روش تفاضل محدود در زمینه زمان انجام یافته است. با تحلیل توزیع شدت میدان الکتریکی، عملکرد سوئیچینگ در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر آورده شده است. ساختار موج‌بر پلاسمونیک در شکل ۲ نشان داده شده است، طول موج ورودی برابر ۱/۵۵ μm و پتانسیل شیمیایی ۰/۵۱۵ eV معرفی شده است که قادر است شدت نور ۴۸٪ را در خروجی ایجاد کند.



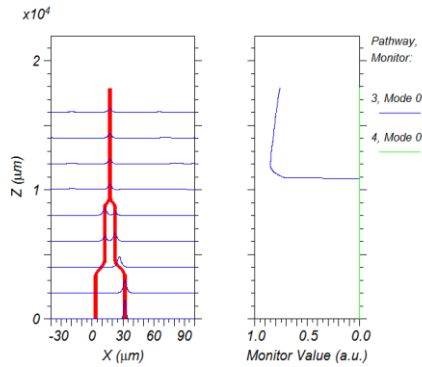
(الف)



(ب)

شکل ۲. (الف) نمایش طرح‌واره یک موج‌بر ساده پلاسمونیک و (ب) نمایش توان طیف آن در حالت slices.

^۶ crosse talk



(د)

شکل ۴. (الف) نمایش مدار خروجی گیت XOR برای ورودی حالت ۱ ۱
 (ب) نمایش مدار خروجی گیت XOR برای ورودی حالت ۰ ۰ (ج) نمایش مدار خروجی گیت XOR برای ورودی حالت ۱ ۰ (د) نمایش مدار خروجی گیت XOR برای ورودی حالت ۰ ۱

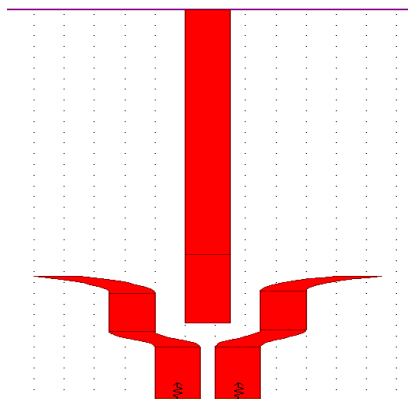
۲- نمایش ساختاری مدار برای گیت AND

پاسخ سیستم در خروجی گیت AND مطابق با جدول ۲ است.

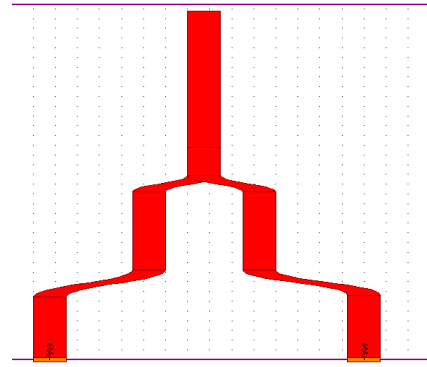
جدول ۲. جدول صحت درستی گیت And.

A	B	A AND B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

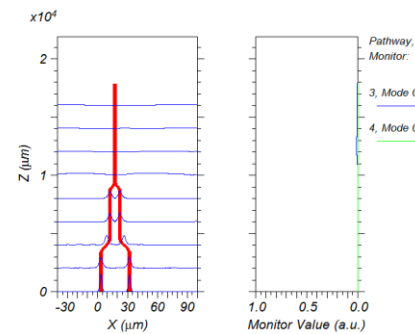
حال در این قسمت معادل ساخته شده موج بر نوع پلاسمون مبتنی بر گرافن در محیط نرم افزار RSOFTR ترسیم شده است و در شکل ۵ نمایش داده شده است. سپس، برای ورودی‌های متفاوت، نتایج مدار AND را بررسی می‌کنیم که در شکل ۶ نمایش داده شده است.



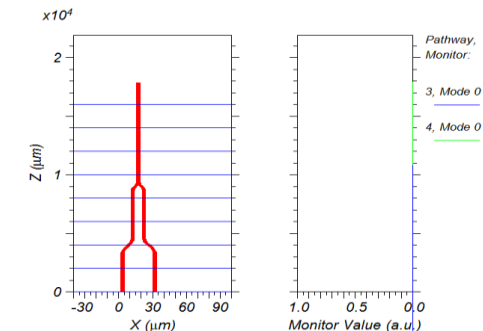
شکل ۵. نمایش گیت AND.



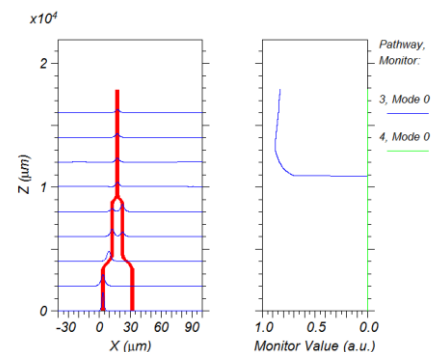
شکل ۳. نمایش گیت XOR



(الف)



(ب)



(ج)

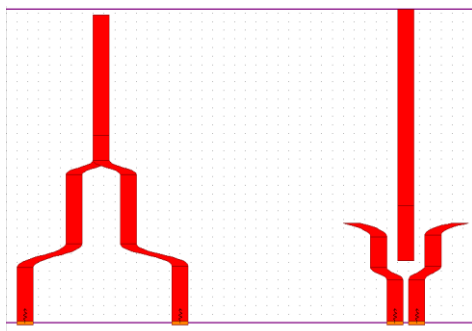
۳- نمایش ساختاری مدار نیم جمع کننده

مدار نیم جمع کننده در حقیقت نمایش دهنده مدل مداری برای پاسخ سیستم در خروجی طبق جدول داده شده زیر است:

جدول ۳. جدول صحت درستی مدار جمع کننده.

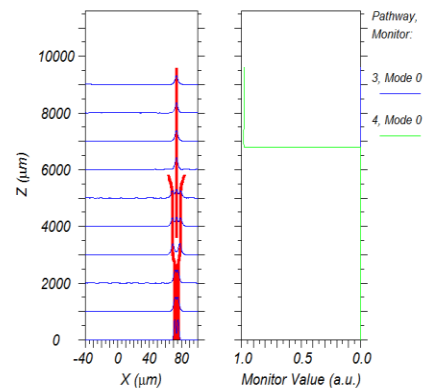
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>S</i>	<i> Cout</i>
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

در این قسمت معادل ساخته شده موج بر نوع پلاسمون مبتنی بر گرافن در محیط نرم افزار RSOFT طراحی شده و در شکل ۷، نمایش داده شده است.

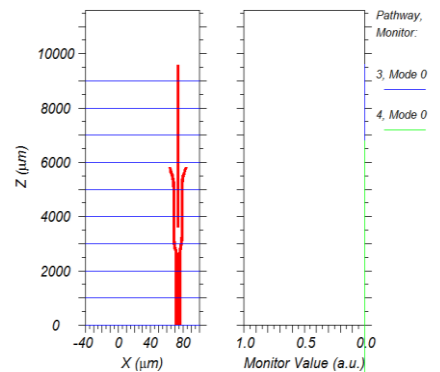


شکل ۷. نمایش مدار نیم جمع کننده مبتنی بر گرافن طراحی شده

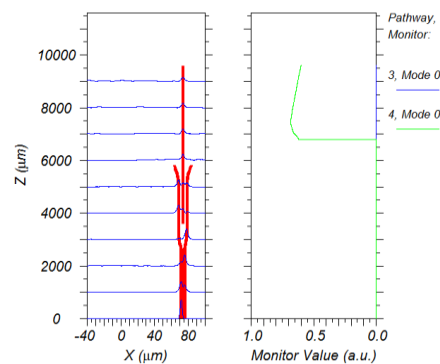
به منظور دستیابی به مدارهای مجتمع نوری، نیازمند موج برهایی با قابلیت انتقال نور در ابعاد نانو و غلبه بر محدودیت پراش نور هستیم. اما موج برهای رایج قادر نیستند، در ابعاد زیر طول موجی در خمهای تند هدایت خوبی داشته باشند. در نتیجه به منظور حل این مشکل و هدایت نور در ابعاد کوچکتر از حد پراش اپتیکی می توان از موج برهای پلاسمونیک بهره برد. در ابتدا، به بررسی ساختار بدست آمده تحت حالت پلاسمونیک تحت میدان الکتریکی می پردازیم و نتایج حالات متفاوت جدول مربوط به یک مدار نیم جمع کننده را بررسی خواهیم کرد (شکل ۸). سپس نتایج را برای ورودی های متفاوت مدار نیم جمع کننده در حالت پلاسمونیک مبتنی بر گرافن تحت میدان الکترومغناطیسی بررسی و نمایش داده شده است (شکل ۹).



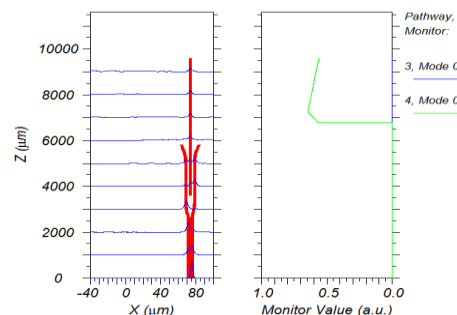
(الف)



(ب)

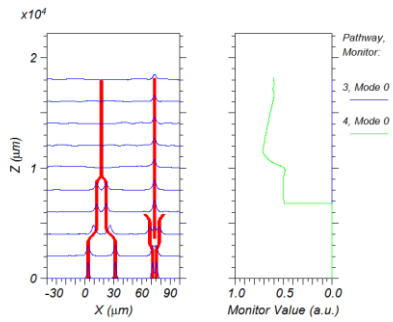


(ج)

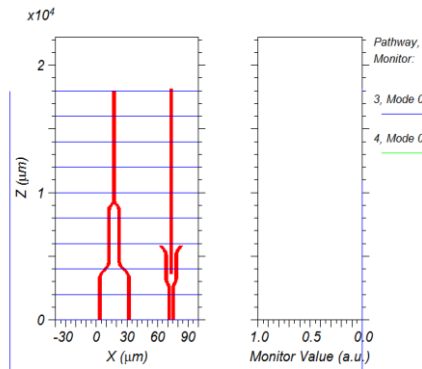


(د)

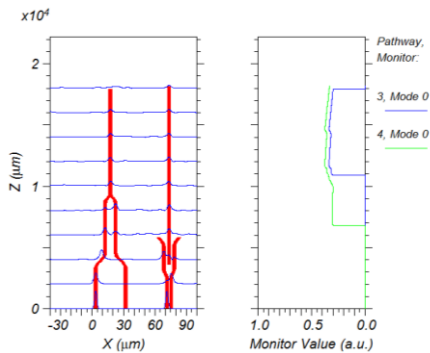
شکل ۶ (الف) نمایش مدار خروجی گیت AND برای ورودی حالت ۱ ۱
 (ب) نمایش مدار خروجی گیت AND برای ورودی حالت ۰ ۰ (ج) نمایش مدار خروجی گیت AND برای ورودی حالت ۱ ۰ (د) نمایش مدار خروجی گیت AND برای ورودی حالت ۰ ۱



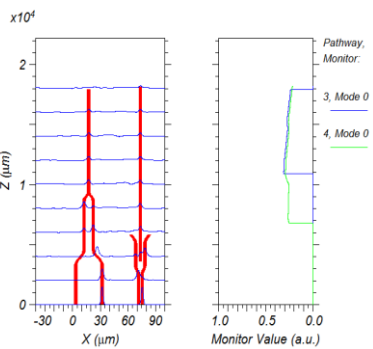
(الف)



(ب)

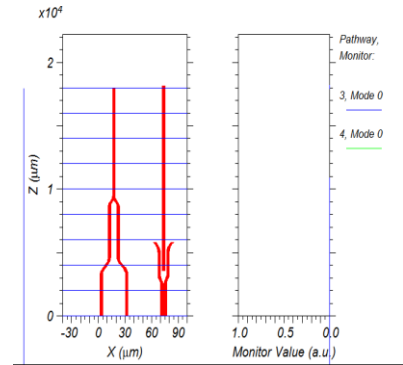


(ج)

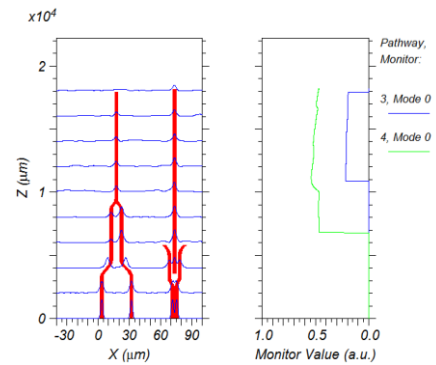


(د)

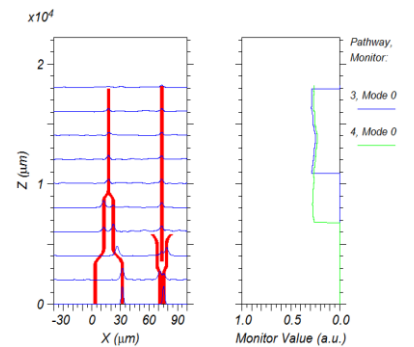
شکل ۹. (الف) نمایش مدار خروجی گیت نیم‌جمع‌کننده برای ورودی حالت ۰۰ (ب) نمایش مدار خروجی گیت نیم‌جمع‌کننده برای ورودی حالت ۰۱ (ج) نمایش مدار خروجی گیت نیم‌جمع‌کننده برای ورودی حالت ۱۰ (د) نمایش مدار خروجی گیت نیم‌جمع‌کننده برای ورودی حالت ۱۱



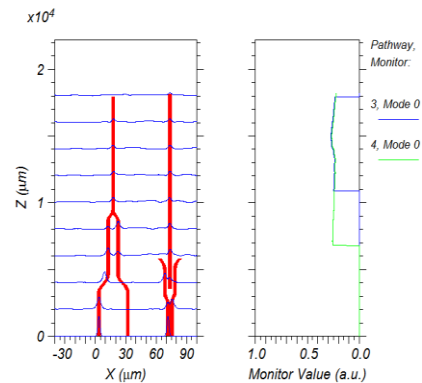
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۸. نمایش مدار خروجی گیت نیم‌جمع‌کننده غیر پلاسمونیک برای (الف) ورودی حالت ۰۰ (ب) ورودی حالت ۰۱ (ج) ورودی حالت ۱۰ و (د) ورودی حالت ۱۱.

جدول ۴- مقایسه روش بکاررفته برای طراحی گیت‌های منطقی از نظر توان ورودی و خروجی

XOR - OR	نتایج این مقاله		[۷] گیت XOR	گیت [۶] OR	[۵] گیت OR (DB)
	TM- PLAS MONI C	TE- PLASMO NIC			
A B					
0 0	0	0	0.05	0.014	-43.01
0 1	0.3	0.25	0.4	0.29	-5.35
1 0	0.3	0.25	0.4	0.29	-5.35
1 1	0	0.2	0.1	0.415	-5.25

۴- نتیجه گیری

در سال‌های اخیر، کاربردهای بسیار متنوعی برای پلاسمون‌های سطحی بکار رفت. میل روزافزون به این شاخه از علم را می‌توان بیشتر به شکستن و پایین آوردن حد پراش نور و کوچک‌تر کردن آن از مرتبه طول موج نسبت داد. کاربرد امواج پلاسمون پلاریتون سطحی و پلاسمون سطحی موضعی و روند استفاده از آن‌ها روزبه‌روز شتاب بیشتری می‌گیرد. در این مقاله یک نیم‌جمع‌کننده موج‌بر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن در طول موج مخابراتی ۱/۵۵ میکرومتر طراحی و تحلیل شده است. در ساختار ارائه شده لایه‌های گرافن بر بستر دی‌الکتریک SiO₂ قرار گرفته‌اند و با استفاده از تغییر پتانسیل شیمیایی یا همان ولتاژ بایاس، مکانیسم سوئیچینگ محقق شده است که می‌تواند در مدارات مجتمع پلاسمونیک قابل استفاده باشد. شبیه‌سازی با استفاده از روش تفاضل محدود در زمینه زمان انجام و با تحلیل توزیع شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی، عملکرد سوئیچینگ در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر آورده شده است. در این پژوهش تلاش شده است با ارائه پارامترهای نزدیک به مدل گرافن به یک مدل ترکیبی از گیت‌های منطقی دست یابیم که می‌توان گفت در بهینه‌ترین حالت ضمن داشتن تأثیرات هم‌نشوایی امواج پلاسمونی، پاسخ قابل قبول برای انجام ساختار منطقی یک نیم‌جمع‌کننده را دنبال کند. همچنین، تلاش‌هایی برای یکی کردن ورودی‌ها انجام شد که به دلیل بالا بودن حساسیت ساختارهای مجتمع‌نوری اعمال یکسان ورودی غیر قابل انجام می‌کند. این در حالی است که می‌توان به‌عنوان یک کار جدید

همانطور که در شکل‌های بالا مشاهده می‌کنیم، مطابق با شکل ۸، در حالت اول پلاسمونیک خروجی‌های گیت‌های منطقی به خوبی جدول درستی را برای میدان الکتریکی دنبال نمی‌کنند ولی مطابق با شکل ۹، نتایج در حالت پلاسمونیک تحت میدان الکترومغناطیس بهبود قابل ملاحظه‌ای دارد.

مقایسه نتایج این مقاله با طراحی مقالات دیگر، برای گیت‌های پایه مدار نیم‌جمع‌کننده یعنی XOR و AND در جدول ۴ مشاهده می‌شود. در این پژوهش، مقدار خروجی به ازای ورودی صفر صفر، مقدار صفر را در مقایسه با سایر مقالات ایجاد می‌کند و این نشان دهنده عدم بازتولید توان نوری در خروجی سیستم دارد. از ویژگی طراحی این پژوهش سادگی و در عین حال پاسخ‌های قابل قبولی است که در این مدارات با وجود اثراتی امواج منابع ورودی بر روی هم به‌عنوان هم‌نشوایی می‌گذارند، می‌توان بیان کرد. شبیه‌سازی‌های انجام شده در این پژوهش و مقاله [۱۲] تحت نرم‌افزار آرسافت است و در مقالات [۵] و [۱] شبیه‌سازی تحت نرم‌افزار کامسول انجام شده که نسبت به سایر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی شامل محاسبات دقیق‌تر و طراحی دقیق‌تری از این موضوع است که همین می‌تواند علت تفاوت‌هایی برای پاسخ‌های خروجی نتایج پژوهش نسبت به سایر مقالات باشد. ولی با این حال در مقایسه کار در حالت تجمیع شده نتایج خوبی برای این شبیه‌سازی بدست آمده است. مطابق مقادیر جدول زیر، برای توان انتقال نور در این تحقق نسبت به سایر مقالات، مقادیر قابل قبولی برای خروجی‌های این پژوهش می‌توان مشاهده کرد که نمایش‌دهنده عملکرد خوب این مدار نیم‌جمع‌کننده برای ساختار تجمیع شده گیت‌های XOR, AND است.

از معایب این کار عدم یکسان‌سازی منابع ورودی برای هر دو گیت مدار نیم‌جمع‌کننده را می‌توان نام برد. برای اجرای این عملیات بایستی منابع تولید نوری ورودی سیستم را برای ورودی‌های A, B برای هر دو گیت یکسان در نظر گرفت یا می‌توان به‌عنوان کاری جدید با استفاده از ساختار لایه‌لایه نمودن طراحی به اجرا و ساخت هر بلوک در یک لایه، افزودن و تزریق منابع ورودی‌های هم‌زمان در طبقات متفاوت گیت‌ها در نظر داشت.

[11]. V. Yu, N.M.R. Peres, and M. I. Vasilevskiy, "A Primer on Surface Plasmon-Polaritons in Graphene" International journal of modern physics B 27, 10, 1-75, 2013.

[12]. E. Yaghoubi, L. Ashrafbakhtiar, M. Hamidisangdehi, A. Adami, "A novel design for all-optical NAND/NOR/XOR/gates based on nonlinear directional coupler", Journal of Advances in Computer Research, 2, 4, 51-59, 2011.

برای یکسان‌سازی ورودی‌های ساختارهای مجتمع و چند گیتی از لایه‌های متفاوت و عایق نوری استفاده کرد تا انتقال نور در آن غیرممکن باشد و اثرات نشتی و نفوذی و هم‌سنوایی گیت‌ها را نسبت به هم کاهش دهند. در ادامه، برای توسعه این فناوری می‌توان تلاش کرد تا با این روش مدارات منطقی در سطح پیچیدگی بیشتر را توسعه داد.

مراجع

[1]*

*محمود درخشی و داوود فتحی " گیت‌ها منطقی and, or بر پایه موجبر پلاسمونی با پوشش نا همسان گرد " بیست و دومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و هشتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران دانشگاه یزد سال ۹۴.

[2]. H.M. Gibbs, "Controlling Light with Light", Optical Bistability, 10, 1-5, 1985.

[3]. J. A. Kelvin, H.S. Chu, P. Bai, L. Kee, "Electro-optical graphene plasmonic logic gates", OPTICS LETTERS, 39, 6, 1629-1632, 2014.

[4]. P. Singh, D.K. Tripathi, Sh. Jaiswal, H.K. Dixit, "Review Article All-Optical Logic Gates: Designs, Classification, and comparison", Advances in Optical Technologies, 12, 13-20, 2014.

[5]. W. Jiaqi, X. Zhengkun, Ch.Xia, Ch. Zhenzhou, Li. Xuejin, L. Tiegeng, "Recent Progress in Waveguide-Integrated Graphene Photonic Devices for Sensing and Communication Applications", Frontiers in Physics, 8, 37-45, 2020.

[6]. M.Yarahmadi, M.K. Morannej-Farshi, L. Yousefi, "Subwavelength Graphene Based Plasmonic THz Switches and Logic Gates", IEEE Transaction on terahertz technology, 5, 5, 725-731, 2015.

[7]. Ch. Weiwei, Y. Longzhi, W. PengJun, Zh. Yawei, Zh. Liqiang Y. Tianjun, "Electro-optical logic gates based on graphene-silicon waveguides", Frontiers in Physics, 31, 85-90, 2016.

[8]. B. Tobias, Z. Urs, C.H. Parv, N. Boris, R. Carsten, "Ultrafast surface plasmon-polariton logic gates and half-adder" Opt.Express, 23, 25, 1-11, 2015.

[9]. K. Santosh, S. Lokendra, R. Sanjeev Kumar, C.H. Nan-Kuang, "Design of full-adder and full-subtractor using metal-insulator-Metal plasmonic waveguides", CrossMark, 10, 1-11, 2016.

[10]. E.D. Palik, Handbook of Optical Constants of Solids-Part II (Academic, 1985).



Investigation of plasmonic effect of graphene in the design of the optical waveguides based logical gates

F.Salehi, Z.Alaie*

Electrical Engineering College, Islamic Azad University of Najafabad, Najafabad, Iran

Abstract: Logic gates based on optical waveguides have been implemented in recent years. The graphene-based plasmonic effect is a novel effect that is discussed in this paper on nanostructure devices such as semiconductor. In this paper, a logical innovation for the design of the logical gates AND and XOR has been implemented as the basic components for the half adder circuit based on graphene plasmonic waveguides. By applying the environmental parameters, the conductivity value at the chemical potential of 0.565 eV is obtained according to the conductivity equation of 0.936×10^{-4} . Due to the constant value of the permeability of the vacuum, which is equal to one and the graphene thickness is equal to 0.7 nm, the amount of the dynamic part of the dielectric coefficient at the 7 Grad / s work frequency is the approximate value of 0.02. The wavelength of the input signal is 1.55 μm in the chemical potential of 0.565 eV. After applying the defined parameters of graphene under the plasmonic waveguide for the desired structure, there are good results for responding to the logical structures in half adder circuit. The first designed device is a graphene-based AND plasmon structure. The power factor of this switch is 0.98 for optimum on state and 0.55 for off state. Then the structure of XOR is designed, whose power factor of this switch in optimal conditions is 0.85 for on state and 0.02 for off mode, which a in comparison with previous works, have maximum power transfer characteristics in the half adder circuit.

Keywords: Logical Gates, Plasmonic, Graphene.