بررسی و شبیه‌سازی مدولاتور تمام نوری با میکرو فیبر پوشیده ازاکسید گرافن

عباسعلی گزمه[۱]، دکتر محمدعلی منصوری بیرجندی[۲] و دکتر محمدحسین سرگلزائی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد الکترونیک،دانشکده برق و کامپیوتر،دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، gazme.abas@gmail.com
[۲] استاد رشته مهندسی برق، دانشکده برق و کامپیوتر،دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، mansouri@ece.usb.ac.ir
[۳] استادیار رشته مهندسی برق، دانشکده برق و کامپیوتر،دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

چکیده

در این مقاله قصد بر این است که یک مدولاتورمیکرو فیبر نوری از نوع مدولاتور دامنه مبتنی بر اکسیدگرافن طراحی و شبیه سازی شود. به این منظور، به مقدار خاصی ابتدا بخشی از پوشش یک فیبر نوری، سایش داده شود و امکان دسترسی به مدهای نوری درون فیبر، میسر شود. در ادامه با استفاده از چندلایه اکسید گرافن می‌توان عمق مدولاسیون بالایی را کسب کرد درصورتی‌که تلفات الحاق، افزایش قابل‌توجهی نداشته باشد. به این شکل مقدار عمق مدولاسیون به ازای ضخامت سایش به مقدار ۱ و۴ میکرون، به ترتیب برابر با ۰/۰۵۴ dB/μm و۰/۰۸۸ dB/μm به دست خواهد آمد

واژه های کلیدی

میکروفیبرنوری ، گرافن ، تلفات الحاق ، عمق مدولاسیون

مقدمه

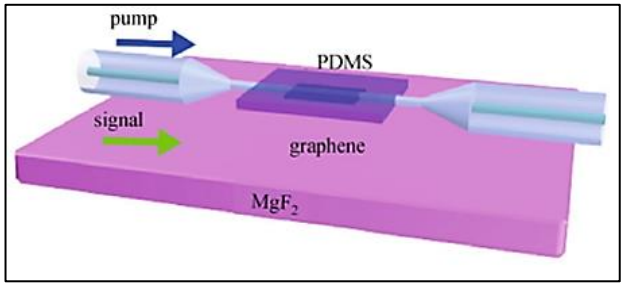
مدولاتور نوری افزاره‌ای است که یک پرتو نـوری را مدوله می‌کند . پرتو نور می‌تواند در فضای آزاد و یا داخل یک موج‌بر نـوری منتشر شود. مدولاتورهای نیمه‌هادی به‌طورجدی در طول سال‌های اخیر موردتحقیق و توجه قرارگرفته‌اند. بااین‌وجود بـه دلیل خواص الکترواپتیک ضعیف سیلیکون، مدولاتورهای ساخته‌شده با سیلیکون با اندازه‌هایی از مرتبـه میلی‌متر می‌باشند. اما ژرمانـیوم و نیمه‌هادی‌های مرکب نیز که دارای خواص الکترواپتیک قوی‌تری هستنـد بـا مشکلاتی در مجتمع سازی بـا الکترونـیک سیلیکونـی و سکوهای فوتونـیکی موجود روبـرو خواهند شد [۱]. همان‌طور که می‌دانیم گرافن به‌شدت بـا نـور کوپل می‌شود به‌گونه‌ای که امکان مشاهده گرافن تک لایه در زیر میکروسکوپ نـوری میسر می‌شود. اثر الکترو جذبـی قوی نیز که تاکنـون در هیچ ماده بـالکی مشاهده نـشده است، از خواص الکترونـیکی بی‌نظیر گرافن و از خصیصه دوبعدی آن نشاءت می‌گیرد. این جذب قوی بـه این نـکته اشاره می‌کند که گرافن باقابلیتی بـالقوه به‌عنوان محیط فعال در مدولاتور الکترو جذبـی نـوری مورداستفاده قرار گیرد [۲].

کارهای پیشین

یکی از مزیت‌های ترکیب سیستم فیبـری بـا گرافن ، امکان دستیابـی بـه مدولاسیون تمام نـوری پهن باند است. همچنین سرعت عملکرد بـسیار بـالایی در این نـوع مدولاتورها بـه علت سرعت بـسیار زیاد تولید و آرمیدگی حامل‌ها به‌وسیله نـور، وجود دارد[۳].

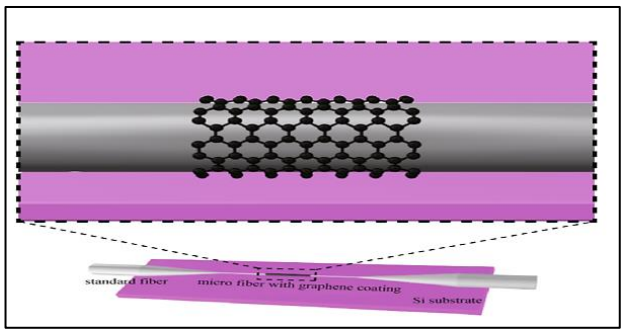
در مرجع [۴] مطابـق شکل ۱ یک مدولاتور میکرو فیبـری که به‌وسیله گرافن پوشیده شده، موردبررسی قرار گرفت. میکرو فیبر در بـین لایه گرافن که به‌وسیله پلی دی متیل سیلوکسان (PDMS[1]) محافظت می‌شود و زیر لایه مگنـزیوم فلوراید (MgF_2) بـا ضریب شکستی کم ، حبس شده است. بـه گرافن یک لیزر موج پیوسته بـا طول‌موج nm ۱۰۶۰ تزویج می‌شود تا خواص غیرخطی آن را بـرانـگیزد، این در حالی است که سیگنـال لیزر ارتبـاطی در طول‌موج ۱۵۵۰nm قرار دارد. بـرانـگیختگی لایه گرافن بـا افزایش شدت نور لیزر، بـیشتر شده و تراکم حامل‌های ایجادشده در آن افزایش خواهد یافت. درنتیجه یک اشبـاع جذب در اثر پروسه سد کنندگی پائولی اتفاق خواهد افتاد. لذا جذب پرتو نـور عبـوری از داخل میکرو فیبـر پوشیده شده بـا گرافن بـه دلیل اشبـاع جذب، کاهش خواهد یافت. عمق مدولاسیون در این نوع مدولاتور تقریباً بـرابـر بـا ۰/۰۱۳ dB/ μm و ۰/۰۰۵ dB/ μm ترتیب بـرای گرافن دولایه و تک لایه می‌باشد.

[1] Polydimethylsiloxane



شکل ۱: ساختار میکرو فیبر پوشیده شده با گرافن [۴]

در مرجع [۵] یک مدولاتور مشابه دیگری ارائه‌شده است که یک مدولاتور تمام نوری فیبری با پوشش گرافن می‌باشد. این مدولاتور در شکل ۲ نمایش داده‌شده است. اختلاف ساختاری این مدولاتور با نوع قبلی در این است که در این مدولاتور از فیبر با قطر زیر طول‌موج استفاده‌شده است (برای عملکرد تک مود در باند C ارتباطات نوری قطر فیبر حدود ۱ میکرومتر انتخاب‌شده که مناسب می‌باشد). در این ساختار به دور میکرو فیبر یک‌لایه نازک گرافن پیچیده شده که این فیبر قسمتی از یک فیبر نوری استاندارد کشیده شده است. نور تزویج شده به داخل مدولاتور به دلیل جذب به‌وسیله گرافن، هنگامی‌که هیچ نوری به گرافن تابیده نشود، در طول انتشار بسیار تضعیف خواهد شد و هنگامی‌که نور سویچ به گرافن تابیده شود، آستانه جذب گرافن به فرکانس‌های بالاتر شیفت پیدا می‌کند و درنتیجه تضعیف بسیار کمتری در نور عبوری اتفاق خواهد افتاد.



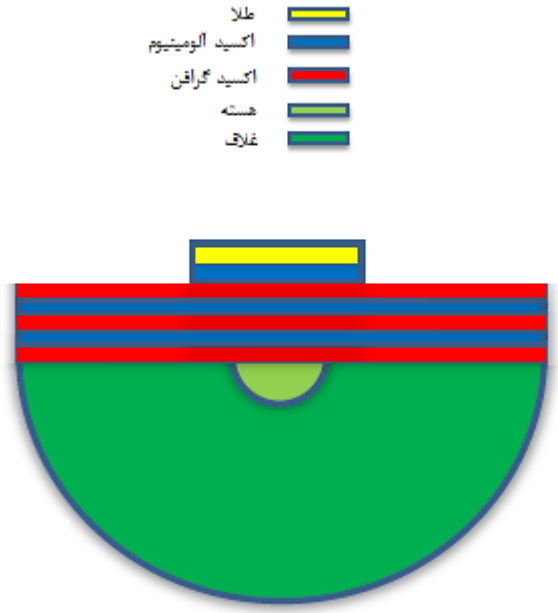
شکل ۲: ساختار مدولاتور نوری فیبری با گرافن پوشیده شده

طرح ارائه شده

در این بخش به بررسی طرح ارائه شده در این مقاله خواهیم پرداخت.

مدولاتور تمام نوری مبتنی بر اکسید گرافن چندلایه در فیبر نوری

برای رسیدن به عمق مدولاسیون زیادتر، ساختار مطابق ساختار شکل ۳ که دارای ۳ لایه اکسید گرافن است پیشنهاد می‌شود. طبق شکل ۳ بر روی اولین لایه اکسیدگرافنی لایه‌ای اکسیدآلومینیوم گذارده شده و لایه گرافنی دوم هم بر روی اکسید آلومینیوم قرارگرفته و همین ترتیب برای سومین لایه نیز صورت گرفته است. همچنین لایه‌های گرافنی رویی به‌عنوان گیت و الکترود، لایه‌های گرافنی زیرین، هستند [۶].

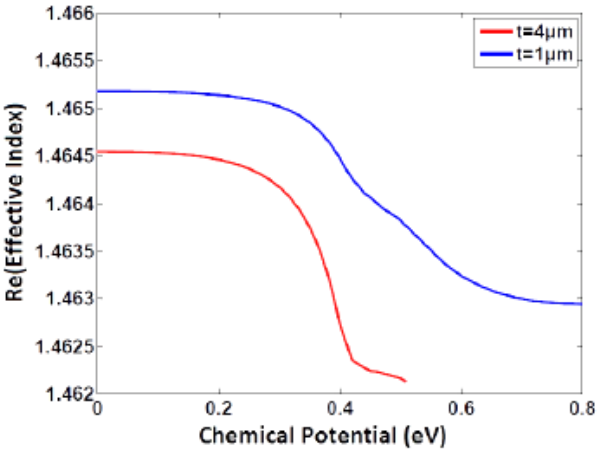


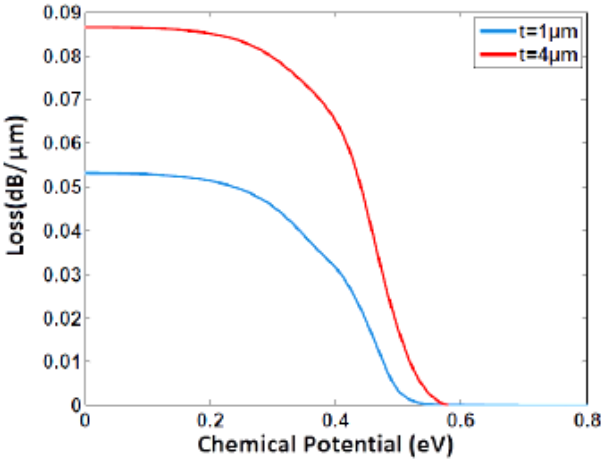
شکل ۳: نمایش دو بعدی مدولاتور تمام نوری دارای سه لایه اکسید گرافن

نتایج محاسبات مربوط به عملکرد مدولاتور در دمای برابر با ۳۰۰ درجه کلوین در شکل ۴ ترسیم‌شده است. در این مدولاتور، برای حالتی با میزان سایش به مقدار ۴ میکرومتر از هسته فیبر، عمق مدولاسیون به میزان ۰/۰۸۸dB/μm و برای حالتی با سایش به مقدار ۱ میکرومتر از هسته فیبر، عمق مدولاسیون برابر با ۰/۰۵۲ dB/μm به‌دست‌آمده است که از عمق مدولاسیون برای ساختارهای مشابه با تک لایه گرافن بیشتر است [۷].

البته این عمق مدولاسیون بیشتر باعث افزایش تلفات الحاق می‌شود که مطلوب نظر نیست. تلفات الحاق برای حالت‌های مختلف سایش به مقدار ۴ و ۱ میکرون از هسته فیبر، برابر با ۰/۱۱۱۵ dB و dB

۰/۰۵۵۹ است که به ترتیب مقادیر dB ۰/۰۰۰۵ و dB ۰/۰۰۰۶ از آن مربوط به جذب در لایه‌های اکسید گرافن است.

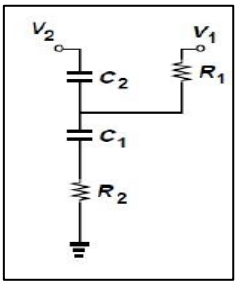




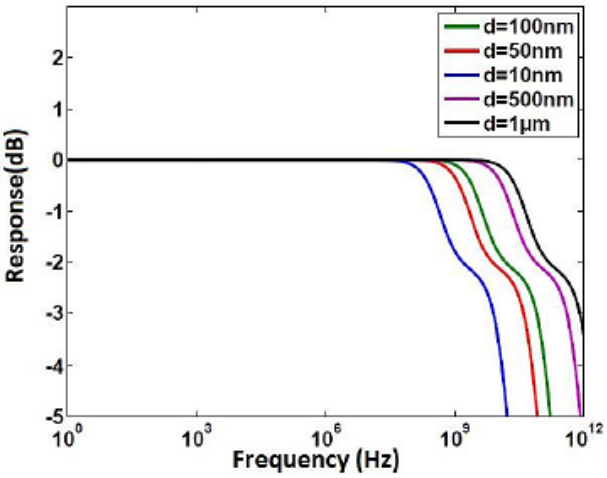
شکل ۴: قسمت حقیقی ضریب مؤثر شکست و تلفات برای مد انتشاری طول‌موج ۱/۵۵ میکرومتر و ضخامت‌های ساییدگی برابر با ۱ و ۴ میکرومتری هسته در مدولاتور سه لایه

نتایج

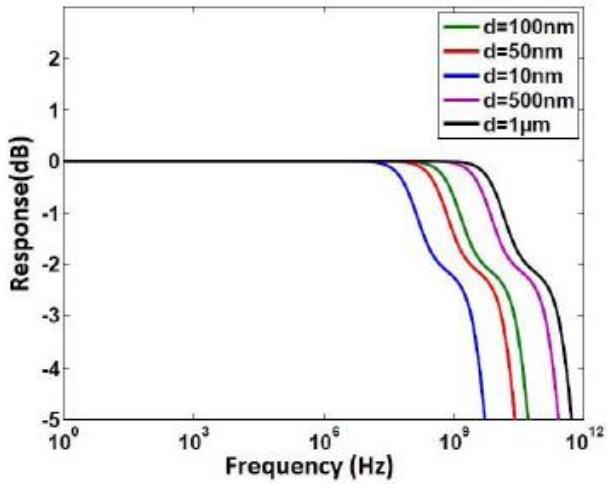
جهت به دست آوردن پاسخ دینامیکی این مدولاتور هم، یک مدار معادل طبق شکل ۵ پیشنهادشده و با تحلیل مداری پاسخ دینامیکی حساب‌شده است.



شکل ۵: مدار معادل مربوط به مدولاتور گرافن چندلایه



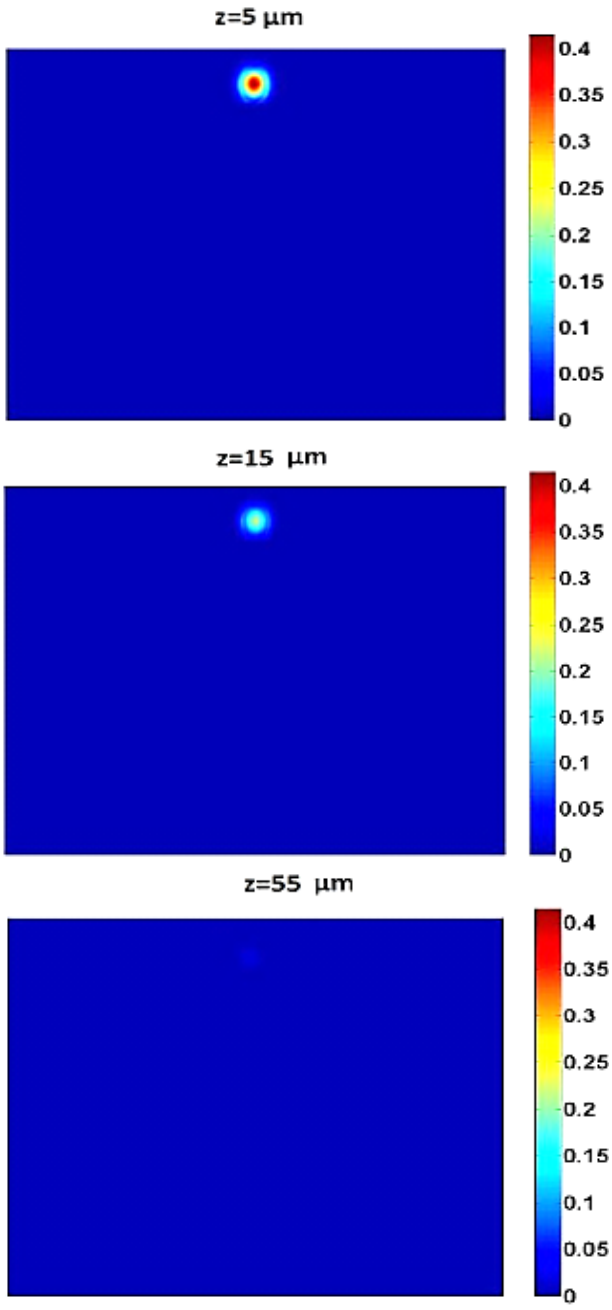
الف



ب

شکل ۶: پاسخ دینامیکی مدولاتور با ساختار فیبری ساییده شده گرافن چندلایه باضخامت‌های مختلف، الف- اتصال جنس آلومینیوم و ب- اتصال جنس طلا.

جهت و راستای انتشار در راستای محور z در نظر گرفته‌شده و در شکل شماره ۷پروفایل میدان الکتریکی مد انتشار داخل میکرو فیبر با طول‌موج ۱/۵۵ میکرومتر در طول‌های متفاوت انتشار ترسیم‌شده و مطابق با این شکل، با انتشار مد در این راستا شدت آن به دلیل جذب در لایه اکسیدگرافن، کم می‌شود.



شکل ۷: پروفایل میدان مد انتشاری داخل میکرو فیبر با طول‌موج برابر ۱/۵۵ میکرومکتر در طول‌های متفاوت انتشار

نتیجه گیری

در این مقاله مسئله بررسی و شبیه‌سازی مدولاتور تمام نوری مبتنی بر اکسید گرافن در میکرو فیبر نوری موردتحقیق قرار گرفت. ساختار مدولاتور نوری با چندلایه اکسید گرافن که در آن به میزان ۱ میکرون از هسته سایش یافته بود. همچنین نشان داده شد که از طریق سایش بیشتر هسته فیبر، مقادیر بیشتر از عمق مدولاسیون نیز قابل‌دسترسی می‌باشند.. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که با استفاده از چندلایه اکسید گرافن می‌توان عمق مدولاسیون را بیشتر کرد درصورتی‌که تلفات الحاق، افزایش قابل‌توجهی نداشته باشد. به این شکل که مقدار عمق مدولاسیون به ازای ضخامت سایش به مقدار ۱ و۴ میکرون، به ترتیب برابر با ۰/۰۵۴ dB/µm و۰/۰۸۸ dB/µm به دست آمد درصورتی‌که تلفات الحاق نیز تغییرات گسترده‌ای نداشت .

منابع

1. Q. Xu, B. Schmidt, S. Pradhan, and M. Lipson, “Micrometre-scale silicon electro-optic modulator.,” Nature, vol. 435, no. 7040, pp. 325–357, May 2005.
2. M. Liu, X. Yin, E. Ulin-Avila, B. Geng, T. Zentgraf, L. Ju, F. Wang, and X. Zhang, “A graphene-based broadband optical modulator.,” Nature, vol. 474, no. 7349, pp. 64–67, Jun. 2011.
3. M. Liu, X. Yin, E. Ulin-Avila, B. Geng, T. Zentgraf, L. Ju, *et al.*, "A Graphene-Based Broadband Optical Modulator", Nature, 474, 64, 2011.
4. M. Liu, X. Yin and X. Zhang, "Double-Layer Graphene Optical Modulator", Nano Letters, 12, 1482-1485, 2012.
5. Low T, Avouris P. Graphene plasmonics for terahertz to mid-infrared applications. ACS nano. 2014 Feb 25;8(2):1086-101.
6. *Jiayang Wu1, Linnan Jia1, Yuning Zhang1, Yang Qu1, Baohua Jia 2, * and David J. Moss 1,*Graphene oxide-films-for-ultra-flat-optics-and-linear-and-nonlinear-integrated-photonic Hawthorn,VIC3122, Australia.Apr 2018
7. Han, J., Qi, M., Wu, H., Wang, R., Li, D., Jiang, M., & Ren, Z., " All-optical modulator based on reduced graphene oxide coated D-shaped fiber waveguide," Applied Physics Express, 12(11), 112002 (2019).