همایش نانوفوتونیک ایران ۱۳۹۹- ۱ و ۲ آبان
Iranian Nano-Photonic Conference 2020
October 23 and 24

دوپایداری نوری با پاسخ زمانی سریع و توان آستانه پائین در ساختار تزویج شده موجبر و رزوناتور میکرو-دیسک مبتنی بر گرافن

پیمان کشتکار[۱,*]، مهدی میری[۱]، قاسم جدید[۱]

[۱] گروه الکترونیک، دانشکده مهندسی برق دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

چکیده: در این مقاله یک ساختار تزویج شده موجبر و رزوناتور میکرو-دیسک برای دستیابی به دوپایداری نوری با استفاده از هدایت غیرخطی گرافن ارائه شده است. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های تمام عددی و تئوری تزویج مود نشان می‌دهد که با تنظیم شعاع میکرو-دیسک می‌توان به دوپایداری نوری با توان آستانه بسیار کوچک 0.79μW و یا زمان‌های افت و خیز بسیار کوتاه 1.24ps و 1.53ps دست یافت. در مقایسه با پژوهش‌های پیشین ساختار پیشنهادی پاسخ زمانی سریعتری دارد و ضمن داشتن ابعاد کوچکتر و سهولت ساخت، توان آستانه آن بسیار کم‌تر از ساختارهای پیشین است.

کلید واژگان: توان آستانه؛ دوپایداری نوری؛ رزوناتور میکرو-دیسک؛ گرافن

Ultra-fast and low threshold optical bistability in a graphene-based coupled waveguide and micro-disk structure

Peyman Keshtkar[1], Mehdi Miri[1], Ghasem Jadid[1]

1 Dept. of Electronics, Faculty of ECE, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Abstract- In this paper, a coupled waveguide and micro-disk resonator structure is proposed to achieve optical Bistability using graphene nonlinearity conduction. The simulation results from all-numerical method and coupled mode theory has shown that by adjusting the micro-disk radius, Optical Bistability can be achieved with a very small threshold power of 0.79μW or very short rise and fall time of 1.24ps and 1.53ps. Compared to previous works, the proposed structure features a faster response time, smaller dimensions and ease of fabrication, while its threshold power is much lower than previous works.

Keywords: Threshold power; Optical Bistability; Micro-disk resonator; Graphene

* P.keshtkar@shirazu.ac.ir

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

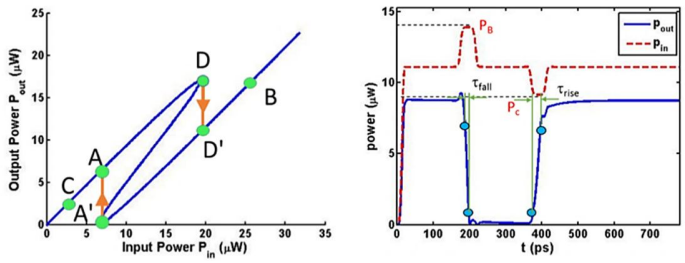
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر پدیده‌های غیرخطی به دلیل کاربردهای متنوع آن، در ساختارهای مبتنی بر موجبرهای پلاسمونیک [۱] مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین پدیده‌های غیرخطی پذیرفتاری الکتریکی مرتبه‌ی سوم؛ $\chi^{(3)}$ است که می‌توان از آن برای دستیابی به انواع مختلفی از عملکردهای غیرخطی با سرعت پاسخ بسیار زیاد استفاده کرد. به عنوان مثال از ترکیب پذیرفتاری الکتریکی مرتبه‌ی سوم با فیدبک نوری در یک ساختار کاواک نوری می‌توان به دوپایداری نوری دست یافت. از این اثر می‌توان جهت ساخت حافظه نوری [۲]، سوئیچ تمام نوری (که در آن تغییر وضعیت سوئیچ، تنها با تغییر دامنه نور ورودی انجام می‌شود) [۳]، درگاه‌های منطقی تمام نوری [۴] و نوسان‌ساز [۵] بهره برد. در این پژوهش ما به معرفی یک ساختار تزویج شده موجبر و میکرو-دیسک مبتنی بر گرافن می‌پردازیم که در آن از زیرلایه نیترات-بور-شش وجهی (HBN) برای گرافن استفاده شده است. ماده HBN از لحاظ ساختار اتمی مشابه گرافن بوده و استفاده از آن به عنوان زیرلایه تاثیرات منفی بر روی هدایت الکتریکی گرافن را به حداقل می‌رساند [۶]. شبیه‌سازی‌های انجام شده در این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از ساختار پیشنهادی می‌توان به دوپایداری نوری با توان آستانه 0.97μW در نزدیکی طول موج 1.55μm دست یافت.

۲- دوپایداری نوری در ساختار تزویج شده موجبر و میکرو-دیسک مبتنی بر گرافن

موجبر و میکرو-دیسک پیشنهادی این پژوهش از چیدمان عمودی چندلایه سیلیکون-HBN-گرافن-HBN-نقره ساخته شده که ضخامت لایه‌های آن به ترتیب برابر h_{Si}=340nm، $h_{H\text{-}BN}$=10nm، h_{Gr}=0.34nm و h_{Ag}=100nm در نظر گرفته شده است. ضخامت گرافن به علت یک لایه بودن آن برابر 0.34nm لحاظ شده و در مورد سایر لایه‌ها ضخامت براساس سهولت ساخت انتخاب شده است. ساختار کلی بر ویفر سیلیکون-برروی-عایق (SOI) مبتنی بوده و بر روی یک زیرلایه از جنس اکسید-سیلیکون به ضخامت 3μm قرار دارد. در ساختار چندلایه عمودی مودهای نوری با قطبش میدان مغناطیسی (TM) در ناحیه HBN-گرافن-HBN متمرکز بوده و دارای برهمکنش قوی با گرافن هستند، به همین دلیل تمایل داریم که در ساختار پیشنهادی مود غالب، دارای قطبش TM باشد. برای این منظور عرض موجبر را برابر w =200nm در نظر گرفته‌ایم. با توجه به روابط حاکم بر گرافن که در مرجع [۷] آورده شده است، این برهمکنش قوی با گرافن باعث کاهش توان آستانه جهت دستیابی به دوپایداری نوری می‌شود. همچنین برای قرار گرفتن طول موج یک مود رزونانسی در نزدیکی 1.55μm و تزویج بحرانی بین موجبر و رزوناتور، شعاع میکرو-دیسک و فاصله بین موجبر و میکرو-دیسک به ترتیب برابر R=0.92μm و g=80nm انتخاب شده است. نمودار توان خروجی ساختار پیشنهادی بر حسب زمان و توان ورودی طبق روابط مرجع [۷] در شکل ۱ به نمایش در آمده است.



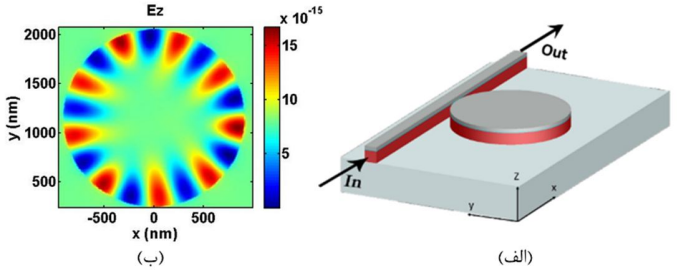
(ب) (الف)

شکل ۱: الف) نمودار تغییرات زمانی توان خروجی ساختار پیشنهادی به ازای شعاع میکرو-دیسک؛ R=0.92μm، ب) نمودار توان خروجی ساختار تزویج شده موجبر و میکرو-دیسک بر حسب توان ورودی که نشان دهنده‌ی رفتار دوپایداری نوری در ساختار است.

همچنین نمای سه بعدی ساختار به همراه توزیع میدان الکتریکی دیسک با شعاع 0.92μm در شکل ۲ به نمایش در آمده است.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]



شکل ۲: الف) نمای سه بعدی و محل تزویج موج ورودی و خروجی به ساختار ب) توزیع میدان الکتریکی E_z میکرو-دیسک در محل گرافن

مشخصات ساختار پیشنهادی جهت مقایسه با پژوهش‌های قبل در جدول ۱ جمع آوری شده است.

جدول۱: مقایسه مشخصات ساختار پیشنهادی با برخی از ساختارهای گزارش شده‌ی دارای دوپایداری نوری

Ref	R (μm)	P_0 (μW)	Q_i	t_{fall} (ps)	t_{rise} (ps)
[7]	3.25	6100	5017	6.1	32
[8]	1	215000	1750	~5	~5
[9]	1.16	2750	14330	47	19
[10]	2	1340000	500	2	2
This work	0.91	8.6	1898	3.59	6.06
	0.92	0.79	6260	13.8	22.59
	0.93	79	623	1.24	1.53

طبق جدول ۱ ساختار پیشنهادی در این پژوهش از نظر توان مصرفی، ابعاد و زمان افت و خیز نسبت به مراجع پیشین بهبود یافته است.

۳- نتیجه گیری

در این پژوهش یک ساختار تزویج شده موجبر و رزوناتور میکرو-دیسک مبتنی بر گرافن برای دستیابی به دوپایداری نوری ارائه شد. شبیه سازی‌های انجام شده نشان می‌دهد که با تنظیم پارامترهای هندسی ساختار می‌توان به توان آستانه دوپایداری بسیار کوچک 0.79μW رسید. همچنین شبیه‌سازی‌های زمانی نشان می‌دهد که زمان افت و خیز پاسخ زمانی ساختار پیشنهادی را می‌توان به ترتیب تا 1.24ps و 1.53ps کاهش داد. براساس نتایج این پژوهش، ساختار ارائه شده در مقایسه با دیگر ساختارهای دارای دوپایداری نوری زمان پاسخ کوتاهتری داشته و بر این اساس گزینه‌ای مناسب برای تحقق سوئیچ‌ها و درگاه‌های منطقی تمام نوری بسیار سریع است. همچنین این ساختار ضمن داشتن ابعاد کوچک‌تر و سهولت ساخت به نسبت ساختارهای پیشین، توان آستانه بسیار کوچکی دارد.

۴- مراجع

[1] M. Kauranen and A. V. Zayats. **Nature photonics 6**(11) 737, 2012.
[2] T. Tanabe, M. Notomi *et. al.* **Optics letter 30**(19) 2575, 2005.
[3] M. Notomi, A. Shinya *et. al.* **Optics Expres 13**(7) 2678, 2005.
[4] Q. Xu and M. Lipson. **Optics express 15**(3) 924, 2007.
[5] S. Malaguti, G. Bellanca *et. al.* **Physical Review** A **83**(5) 051802, 2011.
[6] W. Yang *et. al.* **Nature materials 12**(9) 792, 2013.
[7] T. Christopoulos, O. Tsilipakos *et. al.* **Journal of Applied Physics 122**(23) 233101, 2017.
[8] O. Tsilipakos and E. E. Kriezis. **JOSA B 31**(7) 1698, 2014.
[9] O. Tsilipakos, T. Christopoulos *et. al.* **Journal of Lightwave Technology 34**(4) 1333, 2015.
[10] T. Christopoulos, G. Sinatkas *et. al.* **Optical and Quantum Electronics 48**(2) 128, 2016.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]