

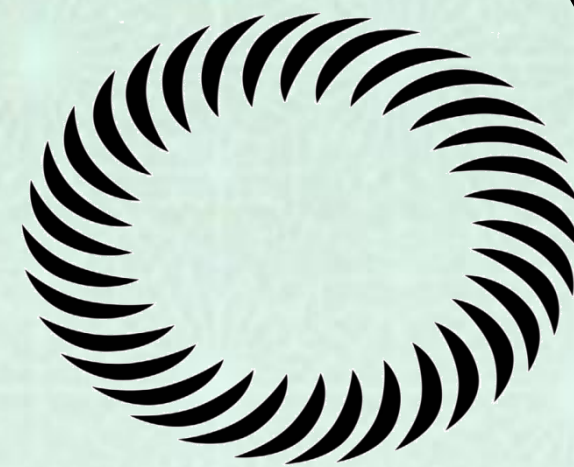


نمایشگاه هفته پژوهش و فناوری
دانشگاه صنعتی همدان
آذر ۱۴۰۴

تغییر دهنده فاز فوتونیک سیلیکونی MEMS دو بیتی

مهشید باقری

گروه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی همدان
mahshidbagheri9999@gmail.com



هفته ملی پژوهش و فناوری

چکیده

این پژوهش به بررسی طراحی یک تغییردهنده فاز مبتنی بر سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS) می‌پردازد که برای عملکرد در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر بهینه سازی شده است. هدف از این پژوهش دستیابی به یک تغییردهنده فاز سیلیکونی در ابعاد میکرومتری است که قادر به ایجاد چهار فاز ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه باشد و بتواند به عنوان یک تغییردهنده فاز دوبیتی عمل کند. در این دستگاه، کنترل دقیق فاز از طریق تحریک الکترواستاتیکی انجام می‌شود. در این طراحی با اعمال ولتاژ به الکتروود تحریک و با بهره‌گیری از نگهدارنده‌هایی که در طراحی گنجانده شده است، فاصله بین موجبر و الکتروود تحریک برای رسیدن به اختلاف فاز مورد نظر تنظیم می‌شود. این تغییر فاصله منجر به تغییر در ضریب شکست موثر شده که عامل اصلی ایجاد اختلاف فاز است. نتایج حاصل از این طراحی، دستیابی به چهار حالت فاز و تلفات کم را نشان می‌دهد. این تغییردهنده‌ی فاز، راه‌حلی کارآمد برای کاربردهای مختلف در مدارهای مجتمع نوری است.

واژه های کلیدی : تغییردهنده فاز، سیستم‌های میکروالکترومکانیکی، فوتونیک سیلیکونی

مقدمه

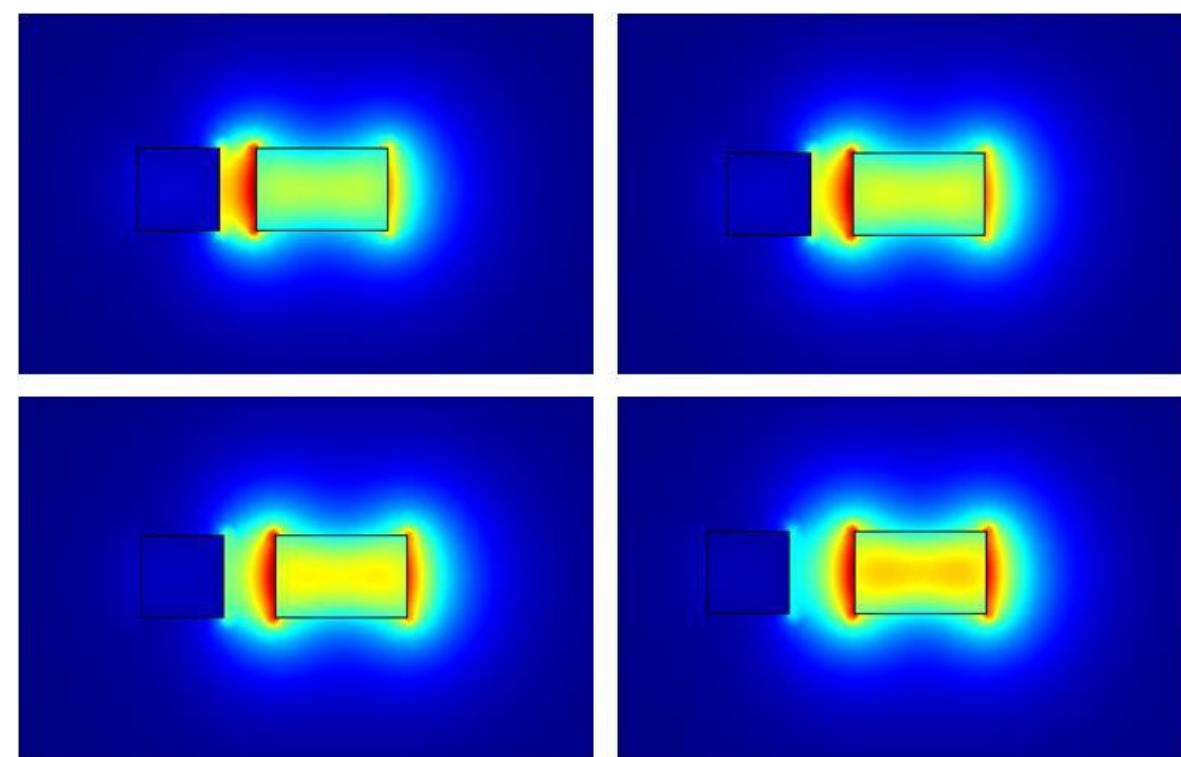
فوتونیک سیلیکونی به عنوان یکی از شاخه‌های نوین فناوری نوری، امکان طراحی و ساخت سامانه‌های نوری مجتمع، پرسرعت و کم‌هزینه را با بهره‌گیری از فرآیندهای استاندارد ساخت نیمه‌رسانا فراهم می‌سازد [۱]. در این میان، مدارهای مجتمع فوتونیک به عنوان یکی از عناصر بنیادین در این حوزه شناخته می‌شوند که قابلیت انجام عملکردهای پیچیده نوری مانند مدولاسیون، تقویت، سوئیچینگ و آشکارسازی را فراهم می‌کنند [۲]. برای پیاده‌سازی عملکردهای دینامیک در این مدارها، کنترل فاز امری ضروری است. این کنترل توسط تغییردهنده فاز انجام می‌شود که در مسیر انتشار نور، تغییرات مورد نظر در فاز را ایجاد می‌کند. روش‌های رایج تغییر فاز در پلتفرم سیلیکونی شامل استفاده از اثر گرمایی [۳]، تزریق یا تخلیه حامل‌های آزاد [۴] و استفاده از ساختارهای MEMS است. با وجودی سادگی در طراحی، بسیاری از این روش‌ها با چالش‌هایی همچون مصرف توان بالا، سرعت پاسخ‌دهی پایین یا افزایش تلفات نوری روبه‌رو هستند که محدودیت‌هایی را در پیاده‌سازی مدارهای مقیاس‌پذیر و پرسرعت ایجاد می‌کند. به همین دلیل، بهره‌گیری از فناوری MEMS به عنوان روشی مؤثر و قابل کنترل در طراحی تغییردهنده‌های فاز نوری در بستر فوتونیک سیلیکونی مطرح شده است.

اهداف و روش پژوهش

در این پژوهش، یک ساختار تغییردهنده فاز فوتونیک مبتنی بر فناوری MEMS طراحی شده است که از محرک‌های الکترواستاتیکی برای جابجایی کنترل شده استفاده می‌کند. عنصر کلیدی در عملکرد این سیستم میله‌ای است که به بخش متحرک MEMS متصل شده است و در مجاورت موجبر نوری سیلیکونی قرار دارد. با جابجایی این میله نسبت به موقعیت موجبر، فاصله بین آن‌ها تغییر می‌کند و در نتیجه ضریب شکست مؤثر مسیر نوری تغییر می‌یابد. این تغییر در ضریب شکست مؤثر منجر به تغییر در فاز سیگنال نوری عبوری از موجبر می‌شود. ویژگی متمایز این طراحی، امکان تولید چهار وضعیت مختلف فاز شامل ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه است. این چهار حالت با استفاده از استاپروهای که در مسیر حرکت MEMS تعبیه شده‌اند، محقق می‌شود.

یافته‌های پژوهش

مدلسازی نوری نشان می‌دهد که موجبر در طول موج مخابراتی ۱۵۵۰ نانومتر قادر به هدایت نور در مد پایه TE است. با اعمال نیروی الکترواستاتیکی به قسمت متحرک و تغییر فاصله بین موجبر و بازوی متحرک طول مسیر نوری مؤثر تغییر کرده و اختلاف فاز سیگنال خروجی نیز تغییر می‌کند. برای اطمینان از عملکرد صحیح دستگاه، ارتباط متقابل میان جابجایی مکانیکی و رفتار نوری شبیه‌سازی شد. شکل ۱ نشان‌دهنده تغییر حالت انتشار میدان نسبت به تغییر فاصله بین موجبر و بازوی متحرک است. این میدان با بخش متحرک برهم کنش داشته و این برهم کنش باعث تغییر در توزیع میدان و در نتیجه تغییر در ضریب شکست مؤثر می‌شود که منجر به تغییر فاز می‌شود. مطابق شکل ۲ تغییرات ضریب شکست مؤثر و تغییر فاز نسبت به جابجایی میله متحرک مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد تغییر فازهای مورد انتظار در طول جابجایی کل ۳۵ میکرومتر و تغییر ضریب شکست کل ۰/۰۴ بدست آمده است که منجر به بیش از ۴۰۰ درجه تغییر فاز می‌شود.



شکل ۱. تغییرات میدان مد ویژه با تغییر فاصله بین موجبر و میله متحرک

راهنمای پیشنهادی

- برای به‌کارگیری کامل پتانسیل این طراحی و بهبود عملکرد، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- انجام بهینه‌سازی‌های همزمان اپتیکی و مکانیکی ساختار با هدف کاهش بیشتر تلفات نوری و کاهش ولتاژ مورد نیاز تحریک.
 - بررسی اثرات دینامیک ساختار با هدف به حداکثر رساندن سرعت پاسخ‌دهی دستگاه.

منابع

- [1] Shekhar, Sudip, et al. "Roadmapping the next Generation of Silicon Photonics." Nature Communications, vol. 15, no. 1, Jan. 2024, p. 751
- [2] Sun, Haoyang, et al. "Silicon Photonic Phase Shifters and Their Applications: A Review." Micromachines, vol. 13, no. 9, Sept. 2022, p. 1509.
- [3] Liu, Shengping, et al. "Thermo-Optic Phase Shifters Based on Silicon-on-Insulator Platform: State-of-the-Art and a Review." Frontiers of Optoelectronics, vol. 15, no. 1, Dec. 2022, p. 9.
- [4] Bogaerts, W., et al. "Silicon Microring Resonators." Laser & Photonics Reviews, vol. 6, no. 1, Jan. 2012, pp. 47-73.

تایید استاد راهنما

نام و امضا استاد راهنما : دکتر میثم شفاعی

تایید تحصیلات تکمیلی :

تایید امور پژوهشی: