

گیت منطقی تمام نوری AND ۴ ورودی با استفاده از تشدیدگر حلقوی غیر خطی

آرش کریم‌خانی^۱، فخرالدین نظری^۲

^۱ استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تفرش، Karimkhani@tafreshu.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، دانشگاه تخصصی فناوری‌های نوین آمل

چکیده

در این مقاله با استفاده از بلور فوتونی دو بعدی با شبکه مربعی و میله‌های سیلیکونی در هوا، گیت ۴ ورودی تمام نوری AND با ساختار تشدیدگر حلقوی و اثر غیر خطی طراحی و شبیه‌سازی شده است. در ساختار تشدیدگر حلقوی از نانو کریستال سیلیکون (Si-NC) دارای اثر غیر خطی کر، با ضریب غیرخطی $10^{-16} \text{ m}^2\text{W}^{-1}$ استفاده شده است و پارامترهایی نظیر شعاع میله‌ها، ضریب شکست، شعاع حلقه تشدیدگر و ثابت شبکه را برای ساختار مربوطه طوری انتخاب نموده‌ایم که تشدید در بازه پنجره فرکانسی C در مخابرات نوری (1550 nm) رخ دهد و تزویج مناسب بین حلقه و موجبر ایجاد شود. شبیه‌سازی به روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان (FDTD) و بسط امواج تخت (PWE) در طول موج 1550 نانومتر انجام شده است. اثر غیرخطی کر در مشخصه‌های خروجی باعث ایجاد شیفت در فرکانس تشدید می‌شود. آستانه‌ی شدت موج ورودی که گیت منطقی تغییر وضعیت می‌دهد در حدود $150 \text{ mW}/\mu\text{m}^2$ و زمان پاسخ‌دهی حدود 85 ps به دست می‌آید. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد نسبت اختلاف بین حالت 0 منطقی و 1 منطقی برای این گیت به بیش از 28 dB رسیده است.

کلید واژه

گیت منطقی تمام نوری، اثر غیر خطی کر، بلور فوتونی، تشدیدگر حلقوی

تمام نوری دارند [۵-۶]. برای تنظیم مشخصات سوئیچ از اثر غیرخطی کر استفاده می‌شود که برای طراحی مدارات تمام نوری مناسب است [۷-۱۳].

در این مقاله، عملکرد گیت منطقی AND ۴ ورودی تمام نوری براساس اثر غیرخطی کر بررسی شده است. ساختار بلور فوتونی از شبکه مربعی از میله‌های دی الکتریک در هوا تشکیل شده است. در این ساختار از تشدیدگر حلقوی دارای اثر غیرخطی کر و موجبر استفاده شده است. یکی از شاخص‌های مهم در مجتمع‌سازی ساختارهای بلور فوتونی یکسان بودن طول موج برای سیگنال‌های نوری است. رسیدن به اختلاف بین حالت 0 و 1 منطقی برای گیت طراحی شده به بیش از 28 dB با پاسخ زمانی کمتر از یک پیکو ثانیه از مزیت‌های گیت AND پیشنهاد شده است. همچنین این ساختار قابلیت کاربرد در مدارهای مجتمع فوتونی و در محدوده فرکانسی مخابرات نوری را دارد. انتشار امواج الکترومغناطیسی در حوزه زمان با استفاده از روش تفاضل متناهی در حوزه

مقدمه

مدارهای الکترونیکی در آینده نزدیک با محدودیت سرعت مواجه می‌شوند. بنابراین مدارهای مجتمع تمام نوری به عنوان یکی از بهترین روش‌های جایگزین هستند. سوئیچ‌ها و گیت‌های منطقی تمام نوری از جمله اجزای اساسی برای طراحی سیستم‌های پردازش اطلاعات و شبکه‌های نوری آینده هستند [۱-۲].

گیت‌های منطقی تمام نوری با عملکرد بالا نقش اساسی را در سیستم‌های پردازش سیگنال و شبکه‌های نوری ایفا می‌کنند. تاکنون ساختارهای مختلفی برای عملکرد گیت‌های منطقی تمام نوری ارائه شده است. در راستای مجتمع‌سازی ساختارهای ارائه شده، گیت‌های منطقی بر اساس بلور فوتونی خطی و غیر خطی مورد توجه قرار گرفته‌اند [۳-۴]. در نتیجه با ایجاد نقص در ساختار شبکه بلور فوتونی می‌توان موجبرها و کاواک‌های بلور فوتونی را ایجاد کرد که کاربردهای زیادی در مدارهای

زمان (FDTD) شبیه‌سازی و باند توقف فوتونی با روش بسط امواج تخت (PWE) محاسبه شده است [۹-۸].

بررسی اثر غیر خطی کر بر دی‌الکتریک مواد

دی‌الکتریک خطی یک ماده توسط یک رابطه‌ی خطی بین چگالی قطبش و میدان الکتریکی تعریف می‌شود، به طوری که داریم:

$$P = \epsilon_0 \chi E \quad (1)$$

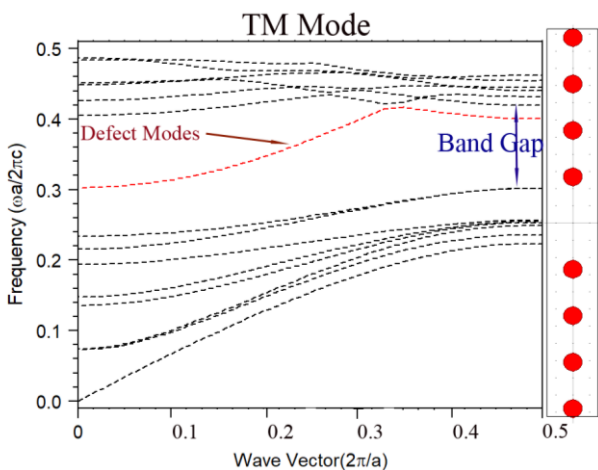
که در آن ϵ_0 گذردهی خلأ ماده است. در یک ماده‌ی با دی‌الکتریک غیرخطی، P و E رابطه‌ای غیرخطی دارند. با توجه به این که ماده‌ی سازنده در بیشتر گیت‌های بلور فوتونی که تاکنون ارائه شده سیلیکون است، اثرات غیرخطی مرتبه دوم به دلیل همسان‌گرد بودن این ماده حذف می‌شود و اثرات غیرخطی مرتبه سوم نمود پیدا می‌کنند که ضریب شکست وابسته به شدت نور یا ضریب شکست غیرخطی موسوم به اثر کر می‌باشد و قابلیت انتشار درون باند توقف را دارد [۱۰]. ضریب شکست وابسته به شدت نور را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی زیر توصیف کرد که در آن I شدت میدان نوری است و n_0 نشان‌گر ضریب شکست خطی و $n_2 I$ ضریب کر است.

$$n = n_0 + n_2 I \quad (2)$$

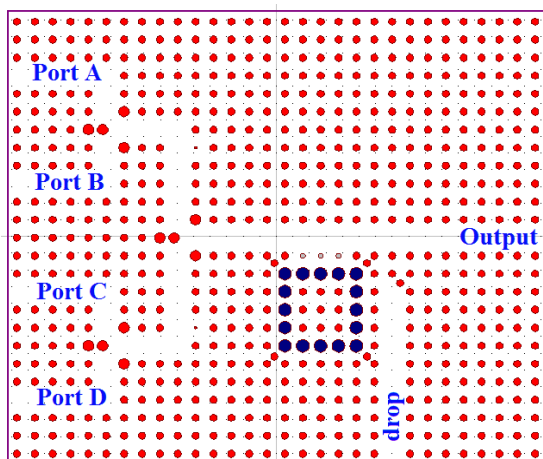
بر اساس رابطه فوق، با افزایش شدت میدان ورودی ضریب شکست ماده افزایش می‌یابد. این تغییر ضریب شکست در نقص‌های بلور فوتونی سبب تغییر فرکانس تشدید و در نتیجه جابجایی فرکانس در حلقه تشدیدگر می‌شود.

طراحی شبکه بلور فوتونی

برای طراحی ساختار، از بلور فوتونی دوبعدی با شبکه مربعی و ابعاد 29×24 استفاده شده است. میله‌های دی‌الکتریک از جنس Si با نفوذپذیری نسبی $\epsilon_r = 12$ در بستر هوا هستند. ضریب شکست هوا $n = 1$ در نظر گرفته شده است. با استفاده از روش بسط امواج تخت باند توقف فوتونی محاسبه شده است. با توجه به دیاگرام باند توقف فوتونی به این نتیجه می‌رسیم که در ساختار مربعی با میله‌هایی از جنس Si به ازای $r = 0.2a$ که a ثابت شبکه و برابر با 540 نانومتر است، بهینه‌ترین باند توقف فوتونی به دست می‌آید. در روش بسط موج تخت زمان محاسبه و در نتیجه حجم حافظه کمتری برای

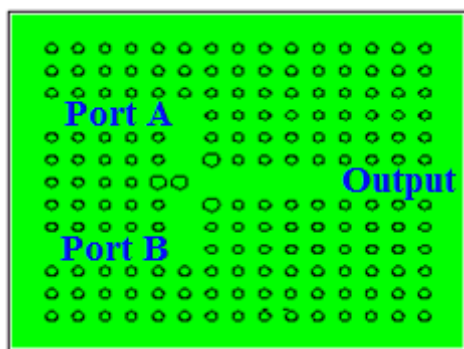


شکل ۱. باند ممنوعه فوتونی برای مد TM (Band Gap)، مدهای ایجاد شده ناشی از حضور نقص خطی در باند توقف (Defect Modes). شکل قرار داده شده در سمت راست، ابر سلول انتخاب شده برای شبیه‌سازی با حضور نقص خطی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. ساختار اصلی گیت AND چهار ورودی

این ساختار شامل سه قسمت می باشد. قسمت اول ورودی ۲ شاخه‌ای می باشد که وظیفه آن دریافت سیگنال از ورودی‌ها و ترکیب سیگنال‌ها است. شکل ۳ ساختار ورودی‌های ۲ شاخه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۳. ساختار ورودی گیت AND

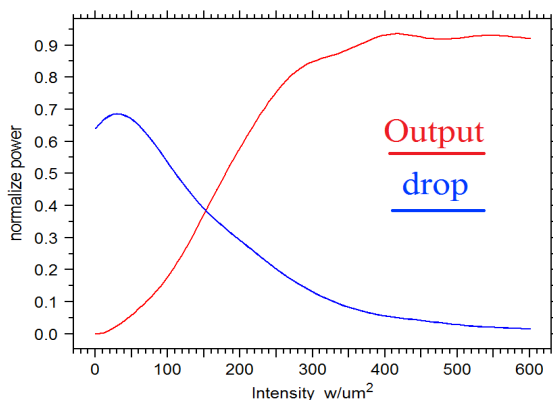
قسمت دوم نقص‌های نقطه‌ای است که در درون ساختار اصلی قرار دارد که با تغییر شعاع میله‌ها به دست آمده است. وظیفه این قسمت محدود کردن توان سیگنال‌های ورودی و جلوگیری از برگشت سیگنال به دیگر ورودی‌ها می باشد. ضریب شکست این میله‌ها $n = 3/46$ می باشد ولی شعاع آن‌ها را به گونه‌ای تغییر داده‌ایم که توان سیگنال‌های ورودی و سیگنال‌های برگشتی را محدود کنند. شعاع این میله‌ها $r = 0/3a$ انتخاب شده است و موقعیت آن‌ها (چهار میله) در محل تقاطع شاخه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است

قسمت سوم تشدیدگر حلقوی و خروجی‌های Output و drop است. حلقه تشدیدگر از دو ماده مختلف ساخته شده است که علت استفاده و نوع طراحی انجام شده برای آن، قبلاً ذکر شد.

طراحی ساختار تشدیدگر حلقوی

تشدیدگرهای حلقوی مستطیلی شکل در مقایسه با نقص‌های نقطه‌ای و خطی، به دلایلی چون مقیاس‌پذیری در اندازه ساختار و پارامترهای زیاد طراحی از جمله شعاع پراکنده‌کننده‌ها، فاصله میله‌ها و ضریب شکست ساختار، انعطاف‌پذیری و سازگاری بهتری را در طراحی ساختار ارائه می‌دهند [۱۱]. این گیت، دارای چهار کانال ورودی به نام A-B و C-D و دو کانال خروجی به نام Output و drop است. سیگنال ورودی از نوع گوسین و توان آن نسبت به یک نرمالیزه شده است. ضریب شکست ماده سیلیکون مورد استفاده در ساختار برابر $n = 3/46$ است. برای ایجاد تشدیدگر حلقوی مستطیلی شکل، از ماده غیرخطی (نوع کر) نانو کریستال سیلیکون (Si-NC) با شعاع بزرگتر استفاده شد. نانو کریستال سیلیکون دارای ضریب شکست خطی $n = 1/5$ و ضریب غیرخطی کر، n_2 برابر $r = 0/36a$ است. شعاع میله‌های این قسمت $10^{-16} \text{ m}^2 \text{ W}^{-1}$ انتخاب شده است. نانوبلور سیلیکونی به راحتی در بستر بلور فوتونی در کارهای متفاوت استفاده و همچنین ساخته شده است [۱۶-۱۷]. علت استفاده از این ماده در این مقاله به دو دلیل است. اولاً این ماده نسبت به سیلیکون معمولی از ضریب غیرخطی کر بالایی (چند صد برابر قوی‌تر از سیلیکون) برخوردار است که همین موضوع موجب می‌گردد که آستانه توان نور ورودی برای تحریک اثر غیرخطی کر بسیار کاهش یابد. ثانیاً، ضریب شکست پایین‌تر آن و شعاع بزرگتر آن کمک شایانی در جهت به تله انداختن طول موج با کیفیت بالا در حلقه مستطیلی شکل دارد. از طرفی شعاع بزرگتر این میله‌ها نسبت به سایر میله‌های سیلیکونی موجب می‌گردد که مقدار فعل و انفعال نور به تله افتاده با ماده بیشتر گردد و اثر غیرخطی قوی‌تر و سریعتر آشکار شود. شکل ۲ ساختار این گیت را نشان می‌دهد.

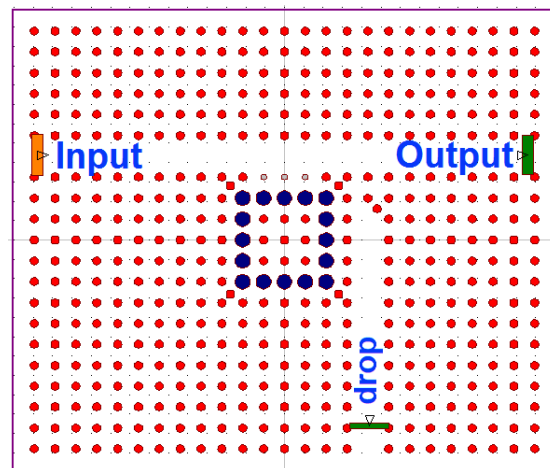
می‌شود و از مسیر پایین عبور (drop) می‌کند. با توجه به تغییرات شدت سیگنال در ورودی تشدیدگر حلقوی می‌توان زمان و توان سوئیچ حلقه تشدیدگر را از روی شکل ۵ بدست آورد. آستانه‌ی شدت موج ورودی که به ازای آن تشدیدگر حلقوی به دلیل نمود اثر کر در حالت سوئیچ قرار می‌گیرد در حدود $150 \text{ mW}/\mu\text{m}^2$ به دست می‌آید. لازم به ذکر است شدت آستانه موج ورودی برای بروز آثار غیرخطی در بسیاری از کارهای مشابه در حدود $1 \text{ KW}/\mu\text{m}^2$ تا $2/5 \text{ KW}/\mu\text{m}^2$ است [۱۹-۲۰]. البته به ندرت، در برخی مراجع شدت مورد نیاز نور ورودی در حدود مقادیر کار حاضر است. از جمله در مرجع [۲۱] شدت مورد نیاز حدود $156 \text{ mW}/\mu\text{m}^2$ است.



شکل ۵. نمودار توان خروجی‌ها نسبت به شدت نور در ورودی حلقه تشدیدگر

همچنین، در بدترین حالت ۰ منطقی برای گیت ۴ ورودی یعنی در حالت‌های (۱۱۰۱-۱۰۱۱-۰۱۱۱-۱۱۱۰) که دارای بیشترین زمان تاخیر در عملکرد گیت می‌باشند، با توجه به نتایج شبیه سازی در شکل ۶، حداکثر زمان تاخیر سوئیچ حلقه تشدیدگر حدود $0/85 \text{ ps}$ بدست می‌آید. این زمان در مرجع [۲۱] که تنها دو ورودی دارد بیشتر و برابر با $0/95 \text{ ps}$ گزارش شد.

این دو ماده Si و (Si-NC) است. در این قسمت از اثر غیر خطی کر استفاده شده است. اگر در ساختار تشدیدگر از ماده غیر خطی استفاده شود، (اثر غیر خطی کر) یک سوئیچ منطقی تولید می‌شود. در این ساختار ضریب شکست و در نتیجه طول موج تشدید را می‌توان با شدت نور در تشدیدگر تغییر داد. زمانی که مسیر طی شده از یک رفت و برگشت نور مضرری از طول موج موثر است، تداخل سازنده رخ می‌دهد و در نتیجه ساختار تشدید می‌کند. طول موج تشدید حلقه به عواملی از جمله ضریب شکست ماده موجبر و ماده حلقه تشدید، شعاع حفره‌ها یا میله‌ها، نوع شبکه (مثلثی، مربعی، شش ضلعی) و ثابت شبکه بستگی دارد [۱۲-۱۳ و ۱۸]. در شکل ۴ ساختار بلور فوتونی دو بعدی با شبکه مربعی دیده می‌شود.

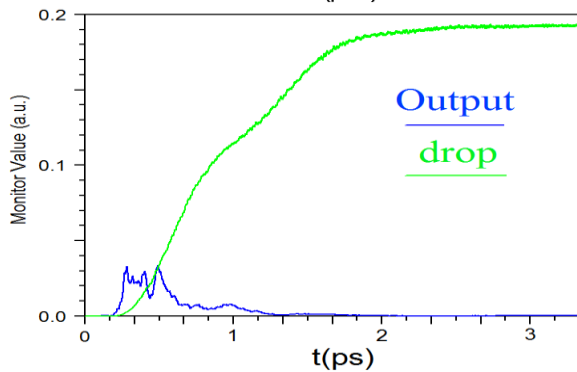
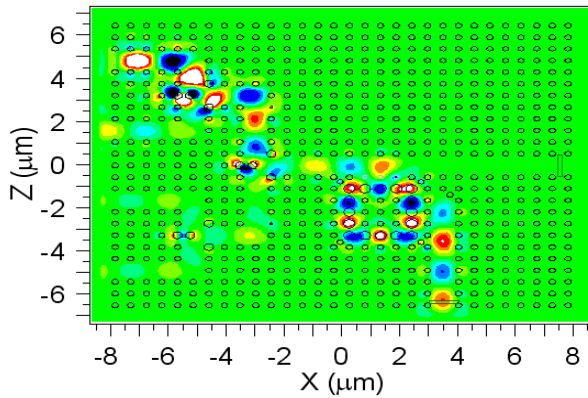


شکل ۴. ساختار شبکه مربعی تشدیدگر حلقوی مستطیلی شکل متشکل از میله‌های نانوبلور سیلیکونی (میله‌های سیاه رنگ) با شعاع $r = 0/36a$ ، و ضریب شکست خطی $n = 1/5$ و ضریب شکست غیرخطی کر $n_2 = 10^{-16} \text{ m}^2\text{W}^{-1}$

میله‌های بین حلقه مستطیلی شکل تشدیدگر و موجبر (سه میله کوچک‌تر) شعاع $r = 0/1 a$ دارند.

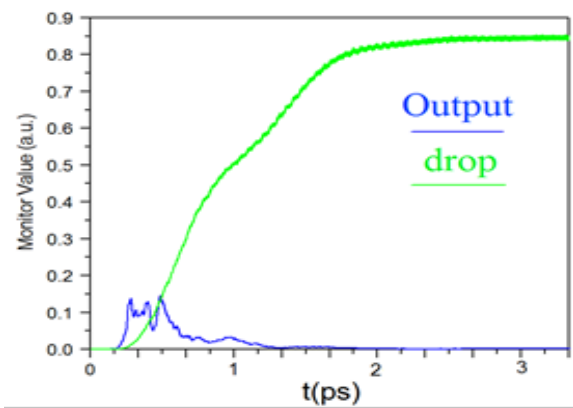
تحلیل و شبیه سازی

اگر شدت نور ورودی کم باشد ضریب شکست همان n_0 است و اگر شدت نور از آستانه سوئیچ حلقه تشدیدگر بیشتر شود آنگاه ضریب شکست $n_0 + n_2 I$ می‌شود. به کمک خاصیت تغییر ضریب شکست، در اثر پاسخ به شدت نور متفاوت، مسیر نور در ساختار تغییر می‌کند. اگر شدت نور زیاد باشد ضریب شکست میله‌ها افزایش می‌یابد و سیگنال به طور مستقیم از موجبر بالایی (Output) خارج می‌شود و اگر شدت نور کم باشد ضریب شکست تغییری نمی‌کند و سیگنال اعمالی در حلقه قفل



شکل ۷. اعمال موج به پورت A و شدت میدان در پورت خروجی برای حالت ۰۰۰۱

صفر منطقی می‌شود. خروجی drop در حدود $0.65P_0$ تا $0.75P_0$ شده است. در شکل ۹ و ۱۰ شدت میدان در پورت خروجی و شبیه سازی برای این حالت نشان داده شده است. در حالت‌های ۰۱۱۱ و ۱۰۱۱ سه ورودی در حالت یک منطقی قرار دارند. در نتیجه میزان سیگنال ورودی به حلقه تشدیدگر افزایش می‌یابد. اما با توجه به عبور از محدود کننده باز هم میزان آن برای تحریک اثر کر کافی نمی‌باشد. در نتیجه خروجی Output صفر منطقی می‌شود. اما خروجی drop در حدود $0.85P_0$ شده است. در شکل ۱۱ و ۱۲ شدت میدان در پورت خروجی و شبیه سازی برای این حالت نشان داده شده است.

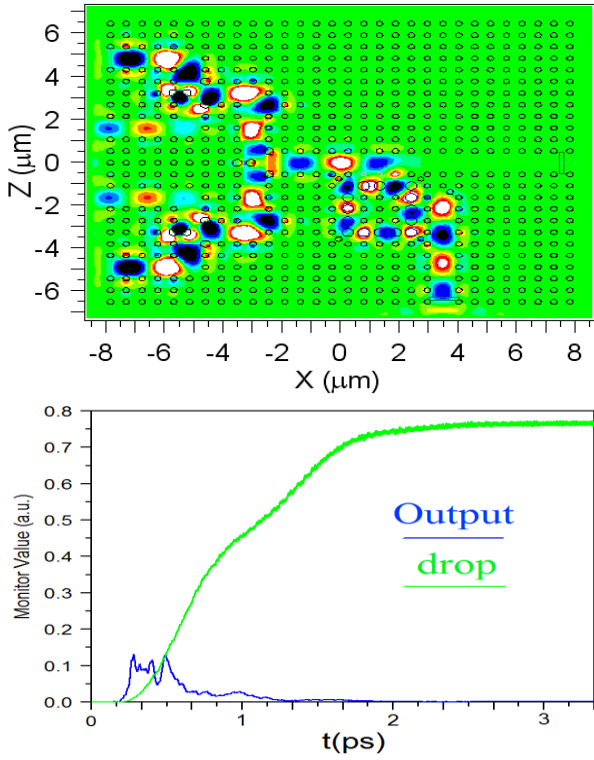


شکل ۶. نمودار خروجی‌ها در حالت ۰۱۱۱

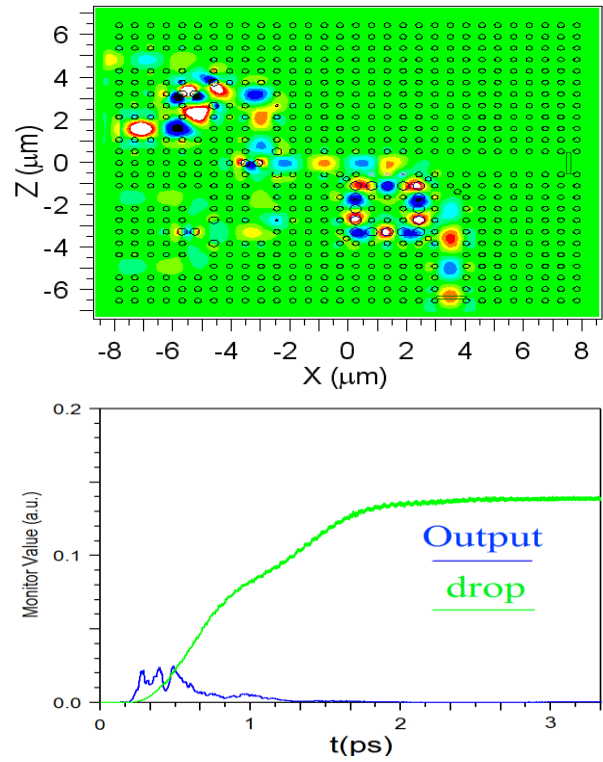
برای ورودی‌های یک گیت AND با ۴ ورودی، ۱۶ حالت مختلف وجود دارد که با در نظر گرفتن حالت‌های تکراری به ۸ حالت کاهش می‌یابد. (۰۰۰۰-۰۰۰۱-۰۰۱۰-۰۰۱۱-۰۱۰۰-۰۱۰۱-۰۱۱۰-۱۱۱۱)

در حالتی که تمام ورودی‌ها صفر منطقی هستند هیچ سیگنالی در خروجی وجود ندارد. در حالت‌های ۰۰۰۱ و ۰۰۱۰ چون فقط یک ورودی در حالت یک منطقی است در نتیجه با توجه به عبور سیگنال از مسیر محدود کننده و رسیدن آن به ورودی حلقه تشدیدگر میزان آن برای تحریک اثر کر کافی نمی‌باشد در نتیجه خروجی Output صفر منطقی می‌شود. خروجی drop از $0.14P_0$ تا $0.19P_0$ است. در شکل ۷ و ۸ شدت میدان در پورت خروجی و شبیه‌سازی برای این حالت نشان داده شده است.

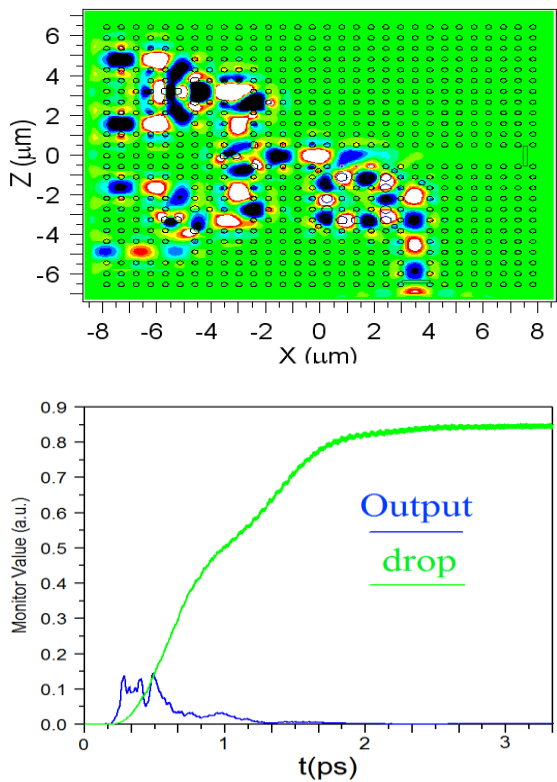
در حالت‌های ۰۰۱۱ و ۱۰۰۱ دو ورودی در حالت یک منطقی قرار دارند. در نتیجه میزان سیگنال ورودی به حلقه تشدیدگر افزایش می‌یابد. اما با توجه به عبور از محدود کننده میزان آن برای تحریک اثر کر کافی نمی‌باشد در نتیجه خروجی Output



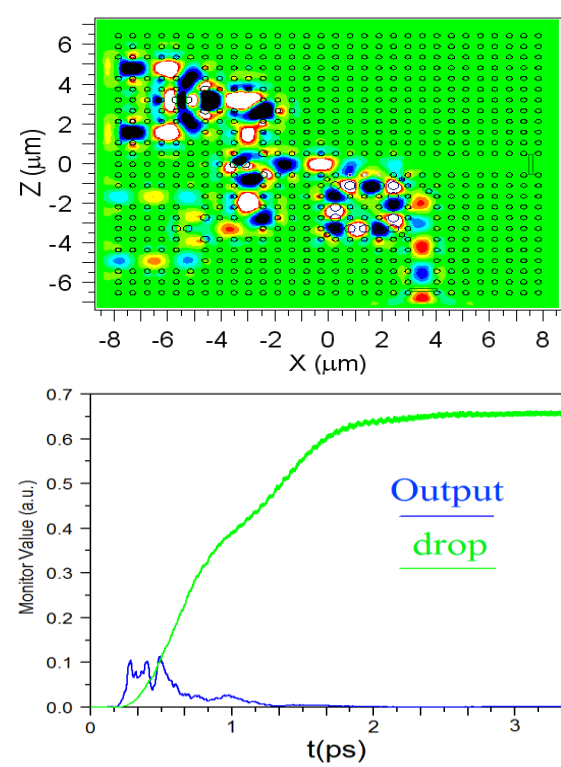
شکل ۱۰. اعمال موج به پورت ورودی D و A و شدت میدان در پورت خروجی برای حالت ۱۰۰۱



شکل ۸. اعمال موج به پورت B و شدت میدان در پورت خروجی برای حالت ۰۰۱۰



شکل ۱۱. اعمال موج به پورت ورودی C و B و A و شدت میدان در پورت خروجی برای حالت ۰۱۱۱



شکل ۹. اعمال موج به پورت ورودی A و B و شدت میدان در پورت خروجی برای حالت ۰۱۱۰

در حالت ۱۱۱۱ تمام ۴ ورودی در حالت یک منطقی قرار دارند. در نتیجه میزان سیگنال ورودی به حلقه تشدیدگر افزایش می‌یابد و به دلیل نمود اثر کر حلقه تشدیدگر از حالت سوئیچ خارج می‌شود. در نتیجه خروجی Output یک منطقی و خروجی drop صفر منطقی می‌شود. در شکل ۱۳ شدت میدان در پورت خروجی و شبیه سازی برای این حالت نشان داده شده است. میزان توان انتقالی در حالت‌های مختلف در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱. توان خروجی گیت منطقی AND با ۴ ورودی در حالت‌های مختلف

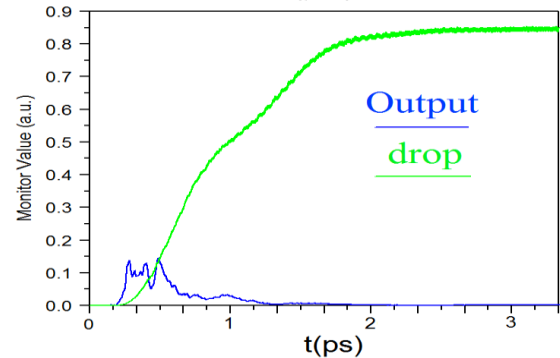
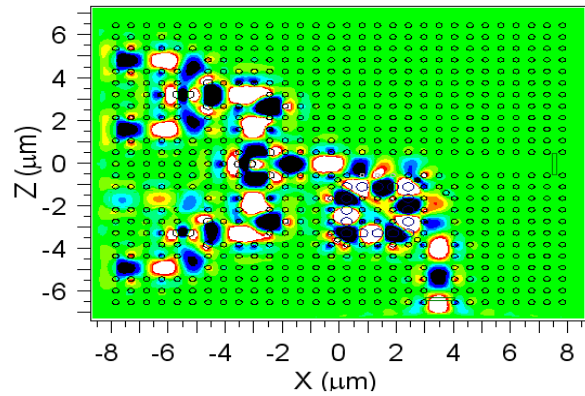
| A | B | C | D | Ideal Output | Current Work |
|---|---|---|---|--------------|--------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0P0 | 0P0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0P0 | 0.0004P0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0P0 | 0.0002P0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0P0 | 0.0010P0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0P0 | 0.0015P0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0P0 | 0.0015P0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 0P0 | 0.0015P0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1P0 | 0.99P0 |

جهت مقایسه ساختار پیشنهادی با ساختارهای مشابه جدول ۲ ارائه شده است.

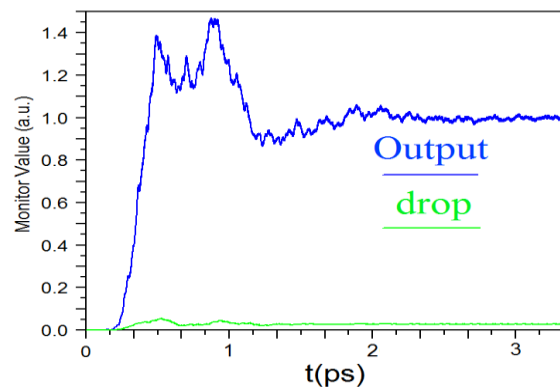
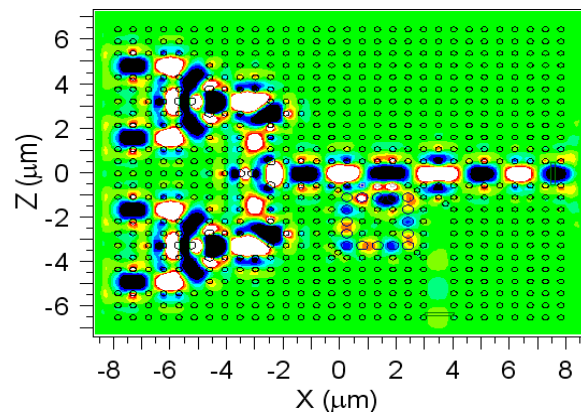
جدول ۲. مقایسه گیت منطقی تمام نوری پیشنهادی با ساختارهای مشابه

| | Reported gates | Number input | Operating speed (Gb/s) | Contrast ratio (dB) | Area (μm^2) |
|---------------------|----------------|--------------|------------------------|---------------------|--------------------------|
| Current Work | AND | 4 | 720 | 28 | 252 |
| MZI configure [4] | OR/AND | 2 | 333 | 12.78-5.85 | 284 |
| Ring Resonator [12] | XOR/AND | 2 | 746 | 5.67 - 12.78 | 320 |
| Multibranch [22] | OR/XOR | 2 | 650 | 5.85 | 144 |

همان طور که ملاحظه می‌شود در ساختار حاضر ضمن افزایش تعداد ورودی، سایر مشخصات نیز به طور چشم‌گیری بهبود یافت.



شکل ۱۲. اعمال موج به پورت ورودی D و B و A و شدت میدان در پورت خروجی برای حالت ۱۰۱۱



شکل ۱۳. اعمال موج به تمام ۴ ورودی ABCD و شدت میدان در پورت خروجی برای حالت ۱۱۱۱

نتیجه گیری

از جمله روش‌های طراحی مدارت تمام نوری بلور فوتونی، ساختار تشدیدگر حلقوی می‌باشد. یکی از مولفه‌های اساسی در این روش طراحی، آستانه‌ی شدت موج ورودی که به ازای آن تشدیدگر در حالت سوئیچ قرار می‌گیرد است که با قرار دادن تشدیدگر غیر خطی با اثر کر این توان در حدود $150 \text{ mW}/\mu\text{m}$ رسیده است. تاخیر در طرح پیشنهادی از لحظه تغییر وضعیت خروجی تا رسیدن به ۹۰٪ مقدار نهایی در حدود 0.85 ps به دست آمده است. نسبت کنتراست بین حالت ۰ منطقی و ۱ منطقی در این گیت به بیش از 28 dB رسید. شبیه سازی به روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان (FDTD) و بسط امواج تخت (PWE) در طول موج 1550 nm نانومتر انجام شده است.

مراجع

- Springer Press, Berlin, 2005.
- [10] R. W. Boyd, "Nonlinear Optics 2nd Ed," San Diego, CA Academic Press, 2003.
- [11] S. Robinson, R. Nakkeeran, "Investigation on dimensional photonic crystal resonant cavity based band pass filter," *Optic-Int. J.Light Electron Optic*, vol. 13, pp.140-147, 2012.
- [12] M. Ghadrnan, M. Mansouri-Birjandiand, "Concurrent implementation of all-optical half-Adder and AND & XOR logic gates based on nonlinear photonic crystal," *Opt Quant Electron*, vol. 45, pp. 1027-1036, 2013.
- [13] T. Ahmadi, B. Memarzadeh, and A. R. Maleki Javan, "Bistability of Nonlinear Photonic Crystal Micro ring Resonators," *Piers Proceedings, Moscow, Russia*, vol. 18, no. 121, 2009.
- [14] A. Khodabakhsh, M. K. Moravvej-Farshi, and M. Ebnali-Heidari, "Band structures for 2D photonic crystals in presence of nonlinear Kerr effect calculated by use of nonlinear finite difference time domain (NFDTD) method," *Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 122-130, 2011.
- [15] K. L. Low, M. Z. Mat Jafri, and A. Khan, "Band gap calculation using the plane wave expansion method for metallic substrate photonic crystals (PC) with air rods in E polarizing mode," *Chinese Journal of Physics*, vol. 47, no. 9, pp. 853-861, 2009.
- [16] M. Xie, Z. Yuan, B. Qian, and L. Pavesi, "Silicon nanocrystals to enable silicon photonics," *Chinese Optics Letters*, vol. 7, no. 4, pp. 319-324, 2009.
- [17] I. D. Rukhlenko, "Modeling nonlinear optical phenomena in silicon-nanocrystal composites and waveguides," *J. Opt.*, vol. 16, pp. 11-22, 2014.
- [18] J. Bao, J. Xiao, L. Fan, X. Li, Y. Hai, T. Zhang, and Ch. Yang, "All-optical NOR and NAND Gates based on photonic crystal ring resonator," *Optics Communications*, vol. 329, pp. 109-112, 2014.
- [19] F. Mehdizadeh and M. Soroosh, "Designing of all optical NOR gate based on photonic crystal," *Indian J. Pure and appl. Phys.*, vol. 54, 2016.
- [20] H. Alipour-Banaei, S. Serajmohammadi, and F. Mehdizadeh, "All optical NOR and NAND gate based on nonlinear photonic crystal ring resonators," *Optik*, vol. 125, pp. 5701-5704, 2014.
- [21] M. A. Mansouri Birjandi, and M. Ghadrnan, "All-optical ultracompact photonic crystal switch based on nonlinear micro ring resonators," *Intl. Res. J. Appl. Basic Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 972-975, 2013.
- [22] K. Goodarzi, and A. Mir, "Design and analysis of an all-optical Demultiplexer based on photonic crystals," *Infrared Physics & Technology*, vol. 68, pp. 193-196, 2015.
- [1] L. El-Hang, "Micro/nano-scale optical network a new challenge toward next generation Transpare Optical Networks," *Anniversary International Conference*. vol. 10, pp. 158-162, 2008.
- [2] Y. Yi-Pinet al, "Binary Operating in All Optical Logic Gates Based on Photonic Crystals," *Internatioinal Symposium on Computer*. vol. 58, pp. 4-7, 2012.
- [3] A. P. Kabijan, X. S. Christina, and P. E. Caroline, "Photonic crystal based all optical OR and XOR Logic gates," *Proc. OJ IEEE ICCCNT*, vol.124, pp. 1-4, 2010.
- [4] Y.J. Jung, S.Yu, S. Koo, H. Yu, S. Han, N. Park, J. H. Kim, Y. M. Jhon, S. Lee, "Reconfigurable All-optical logic AND, NAND, NOR, XOR and XNOR gates implemented by photonic crystal," *Electro-optics*, vol. 09, pp. 47-50, August 2009.
- [5] A. Sukhoivanov, and V. Guryev. "Photonic crystals physics and practical modeling," *Springer Vol. 152*, 2009.
- [6] J. Steven, G. etal, "Linear waveguides in photonic-crystal slabs," *Phys*. vol. 62, pp. 212-217, 2000.
- [7] Z. Zhi-Hong, "High-contrast light-by-light switching and AND gate based on nonlinear photonic Crystals." *Optics Express*, vol. 14.5, pp. 1783-1788, 2006.
- [8] M. F. Yanki, S. Fan, M. Soljagic, and J. D. Joannopoulos, "All-optical transistor action with bistable switching in a photonic crystal cross-waveguide geometry," *Optical Letters*, vol. 28, pp. 2506-2508, 2003.
- [9] J. M. Lourtioz etal. "Photonic Crystals"

