

بررسی اثر غیرخطی kerr بر بهبود عملکرد گیت‌های منطقی تمام نوری فشرده مبتنی بر موج بر پلاسمونیک فلز-عایق-فلز ناهم‌جنس

مجتبی کمالی^۱، مهدی ریاحی نسب^{۲*}

۱- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد

۲- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد

چکیده

در این مقاله، اثر غیرخطی kerr بر بالا بردن کارایی گیت‌های منطقی تمام نوری فشرده فلز-عایق-فلز چند کاناله با فلزهای ناهم‌جنس بررسی شده است. در این پژوهش از تداخل خطی بین مدهای پلاریتون پلاسمون سطحی استفاده شده است. اصول کار برای تابع‌های منطقی AND، OR، XOR و NOR به طور عددی با روش اجزای محدود بررسی شده است. برای دستیابی به تابع‌های منطقی متفاوت، یک ساختار با بُدهای فیزیکی ثابت می‌تواند چندین تابع منطقی اساسی را تحقق بخشد. در ساختار پیشنهادی، با اعمال سیگنال‌های نوری به کانال‌های متفاوت ورودی، می‌توان تابع‌های منطقی AND، OR و XOR را پیاده‌سازی کرد. همچنین، با افزودن یک سیگنال نوری کنترل، گیت منطقی NOR برقرار می‌شود. از طرفی برای بهبود تفاوت سطح بین حالت‌های منطقی "0" و "1"، در موج‌برها از فلزهای ناهم‌جنس و همچنین از ماده کر با اثر غیرخطی بهره گرفته شده است. گیت منطقی تمام نوری ارائه شده دارای چیدمان ساده و فشرده است و می‌تواند به بسیاری از قطعه‌های نانوفوتونیک مورد استفاده در شبکه‌های ارتباط نوری نیز اعمال شود.

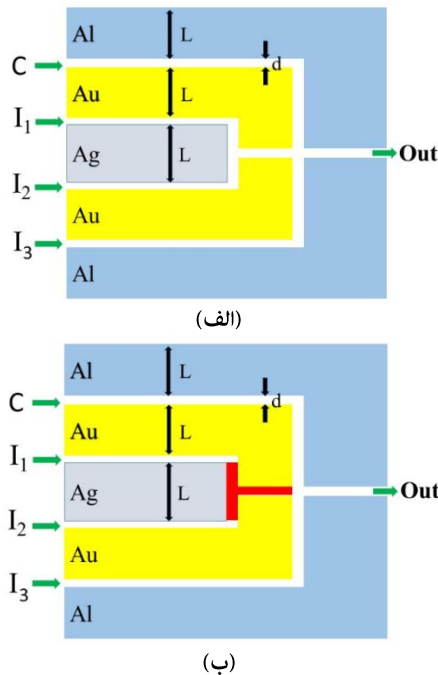
واژه‌های کلیدی: گیت منطقی تمام نوری، موج‌بر پلاسمونیک، اثر کر

نویسنده مسئول: m.riahinasab@pel.iaun.ac.ir

۱- مقدمه

پراش، دارای محدودیت هستند و نمی‌توانند بُدهای فیزیکی زیر مقیاس طول‌موج داشته باشند. همچنین، تاکنون چندین نمونه از قطعه‌های منطقی تداخلی پلاسمونیک بررسی شده‌اند که بر مبنای شبکه‌های نانوسیم فلزی [۵ و ۶] و موج‌برهای فلزی [۷] هستند. باین‌حال در همه این کارها به‌منظور پیاده‌سازی همه تابع‌های منطقی اساسی به ساختارهای متفاوتی نیاز است که باعث پیچیدگی اضافی در طراحی و کاربرد این قطعات می‌شود. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، یک قطعه منطقی تمام نوری جدید مبتنی بر موج‌برهای پلاسمونیک براساس مرجع [۱۳] ارائه شده است. با شبیه‌سازی عددی روی ویژگی‌های ساختار پیشنهادی در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر، تابع‌های منطقی اساسی AND، OR، XOR و NOR پیاده‌سازی شده‌اند. در این طراحی، برای بالا بردن تفاوت سطح بین حالت‌های منطقی "0" و "1"، از فلزهای ناهم‌جنس طلا، آلومینیم و نقره و همچنین از ماده کر با اثر غیرخطی

به‌تازگی گیت‌های منطقی تمام نوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر در شبکه‌های محاسبات نوری بسیار موردتوجه قرارگرفته‌اند [۱ و ۲]. گیت‌های منطقی تمام نوری می‌توانند به دو دسته اصلی تقسیم شوند: یکی بر مبنای تداخل نوری خطی [۳ تا ۶] و دیگری با اثرهای نور غیرخطی [۷ تا ۱۰]. ازاین‌رو، عملیات منطقی گیت‌های خطی به نسبت فاز نوری دو سیگنال ورودی بستگی دارد و حالت‌های متفاوت منطقی بولی، می‌تواند با تداخل سازنده یا مخرب سیگنال‌ها در خروجی گیت پیاده‌سازی شود. با توجه به این‌که کنترل دقیق تفاوت بین فازهای نوری مشکل است، گیت‌های منطقی نوع خطی به‌طورمعمول دارای ناپایداری ذاتی و شدت تفاوت کم بین دو سطح منطقی "0" و "1" هستند [۱۱ و ۱۲]. از طرفی، بیشتر گیت‌های منطقی تداخلی مبتنی بر ساختارهای فوتونیکی مرسوم مثل بلور فوتونی و اجزای سیلیکونی [۵]، به‌دلیل حد



شکل ۱. هندسه ساختار طراحی شده برای گیت منطقی تمام نوری
الف- با استفاده از سه فلز متفاوت ب- با استفاده از سه فلز متفاوت و
مادهی غیرخطی Kerr

۳- بررسی نتیجه‌های عملکرد گیت‌های منطقی تمام نوری

عملکرد گیت‌های منطقی نوری بر پایه ویژگی موجی نور در نظر گرفته شده است. اگر تفاوت فاز بین دو پرتو نوری $2k\pi$ باشد، بین دو پرتو تداخل سازنده رخ خواهد داد که باعث ایجاد یک سیگنال خروجی با شدت به نسبت بالا می‌شود. ولی اگر تفاوت فاز بین دو پرتو نوری $(2k+1)\pi$ باشد، تداخل مخرب رخ می‌دهد و در نتیجه سیگنال خروجی با شدت به تقریب صفر به دست می‌آید [۵]. با تعریف صحیح از شدت آستانه، حالت‌های منطقی بولی "0" و "1" می‌توانند بر مبنای این دو نوع از تداخل محقق شوند [۱۳].

بر اساس ساختار معرفی شده، تفاوت در مسیرهای نوری برای کانال‌های متفاوت باعث ایجاد تداخل سازنده یا مخرب بین سیگنال‌های ورودی می‌شود. تفاوت مسیر نوری بین سیگنال‌ها در کانال‌های I_1 و I_2 وجود ندارد که منجر به یک تفاوت فاز صفر می‌شود. در حالی که تفاوت مسیر نوری برای کانال‌های I_1 (و یا I_2) و I_3 (و یا C) وجود دارد و برابر نصف طول موج مؤثر طول موج مؤثر مدهای پلاسمونیک هدایت شده [۱۳] که باعث تفاوت فاز π می‌شود. بنابراین، تداخل سازنده برای سیگنال‌های کانال‌های I_1 و I_2 رخ خواهد داد. در حالی که پرتو نور در کانال‌های I_1 و I_3 و C با کانال‌های I_1 و I_2 یک تداخل مخرب را در خروجی به وجود می‌آورد. با توجه به مشاهده‌های یاد شده و شبیه‌سازی‌های انجام گرفته، به منظور کاهش تداخل بین سیگنال‌های ورودی و نیز تداخل‌های سازنده و مخرب مورد نیاز، فاصله پهنه بین کانال‌ها برابر $L=550\text{nm}$ در نظر گرفته شده است.

به منظور تحقق تابع‌های منطقی متفاوت، ترکیب دو یا چند کانال در قطعه منطقی مورد نیاز است. جدول ۱، ترکیب‌های

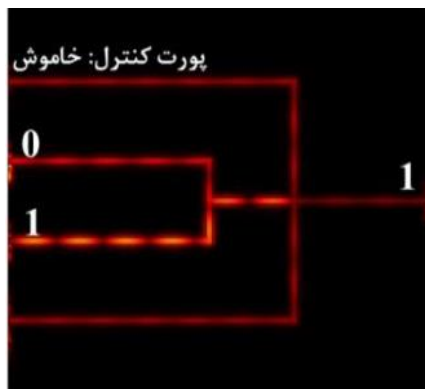
استفاده شده است. گیت‌های شبیه‌سازی شده دارای ساختار ساده، قابلیت تجدید نور در حد نانومقیاس، تداخل کم، فاصله انتشار معقول و انتقال بسیار بالا هستند [۱۴ و ۱۵] که آن‌ها را به گزینه‌ای مناسب برای ساخت قطعه‌های بسیار فشرده [۱۶ تا ۱۸] و دیگر کاربردها در شبکه‌های نوری [۱۹ تا ۲۲] تبدیل کرده است. گیت منطقی مبتنی بر فلز- عایق- فلز می‌تواند تابع‌های منطقی را از راه جابه‌جایی سیگنال‌های نوری در کانال‌های ورودی و کنترل به‌طور مؤثر ایجاد کند. همچنین، تفاوت بالا بین سطوح منطقی "0" و "1" نیز به دست می‌آید.

۲- هندسه گیت منطقی تمام نوری مبتنی بر ساختار MIM یک‌بعدی

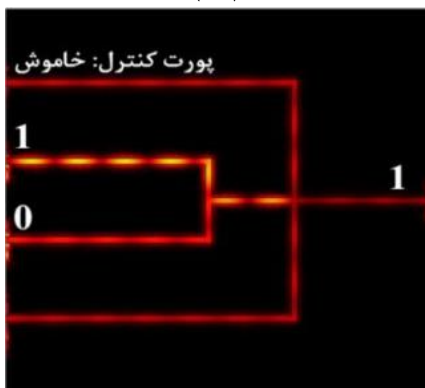
ساختار دوبعدی طرح پیشنهادی اول در شکل ۱-الف نشان داده شده است. این ساختار شامل چهار کانال هوا واقع در بستر فلزهای نقره، طلا و آلومینیم به عنوان پورت ورودی است که به یک کانال سیگنال خروجی منتهی می‌شود. سیگنال‌های ورودی در پورت‌های I_1 و I_2 و I_3 هدایت می‌شود. پورت C نیز به عنوان پورت کنترل برای ایجاد تابع‌های مختلط بیشتر نیاز است. همه کانال‌ها ضخامت یکسان (d) دارند. فاصله بین همه کانال‌ها ثابت و برابر L است. تمامی گوشه‌ها با زاویه 90° درجه و تیز در نظر گرفته شده است. نتیجه‌ها [۱۳] نشان می‌دهد که بخش حقیقی ضریب مؤثر و تلفات انتشار مدهای پلاسمونیک با افزایش ضخامت کانال کاهش می‌یابد. ولی اندازه مد متناظر افزایش می‌یابد. به منظور برقراری شرایط تک مد و همچنین تلفات انتشار قابل قبول، ضخامت کانال‌ها را بین $d=50\text{nm}$ تا $d=100\text{nm}$ در نظر گرفتیم. انتخاب این گستره به دلیل ثابت ماندن بخش حقیقی ضریب مؤثر در این اندازه ضخامت کانال‌ها است. همچنین، به منظور کاهش تداخل بین سیگنال‌های ورودی به کانال‌ها [۱۳] فاصله بین همه کانال‌ها بایستی بزرگ‌تر از مقدار بحرانی لازم برای اطمینان از عملیات منطقی صحیح در نظر گرفته شود. مشخصه‌های نوری قطعات منطقی مبتنی بر MIM در طول موج 1550nm و توسط روش اجزای محدود در نرم افزار کامسول مورد بررسی قرار گرفته است. گذردهی هوا، نقره، طلا و آلومینیم به ترتیب برابر $\epsilon_{Air}=1$ ، $\epsilon_{Ag}=-129+3.3i$ ، $\epsilon_{Au}=-113.53+9.268i$ و $\epsilon_{Al}=-197.92+38.85i$ است.

هندسه دوبعدی ساختار پیشنهادی دوم نیز در شکل ۱-ب) نشان داده شده است، این ساختار دقیقاً مشابه ساختار اول بوده و تنها در قسمت خروجی کانال‌های I_1 و I_2 و اتصال آن‌ها به کانال‌های I_3 و C به جای استفاده از هوا درون موج‌بر، از یک مادهی غیرخطی کر با ضریب غیرخطی 1×10^{16} و ضریب دی‌الکتریک خطی $2/31$ استفاده شده است (در شکل با رنگ قرمز مشخص شده است).

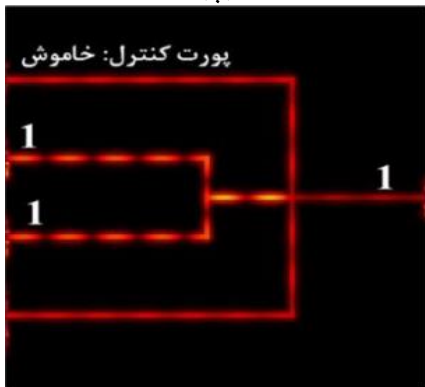
سیگنال نوری می‌تواند از هر دو کانال منتقل شود و به صورت ترکیبی به کانال خروجی Out برسد. به این دلیل که کانال‌های I_1 و I_2 مسیر نوری مشابه و مشترکی دارند و باعث می‌شود تفاوت فاز بین دو سیگنال صفر شود. پس یک تداخل سازنده بین آن‌ها برقرار شده و در نتیجه منجر به شدت خروجی بالا در پورت خروجی می‌شود. در نتیجه این فرایند، عملیات منطقی "1 OR 1=1" می‌تواند محقق شود.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲. توزیع میدان برای حالت‌های متفاوت گیت نوری OR

نمودار شدت میدان خروجی سطح منطقی "1" برای دو ساختار پیشنهادی اول و دوم در گیت منطقی OR در شکل ۳ نشان داده شده است. با مقایسه نتیجه‌ها مشخص است که ساختار دوم نسبت به ساختار اول، شدت میدان به اندازه 77 V/m یعنی حدود ۲۲٪ افزایش یافته است.

اعمال سیگنال به کانال‌های متفاوت را برای عملکرد مرتبط با تابع‌های منطقی OR، AND، XOR و NOR نشان می‌دهد.

جدول ۱. ترکیب‌های اعمال سیگنال به کانال‌های متفاوت برای عملکرد مرتبط با تابع‌های منطقی: OR (تداخل سازنده بین I_1 و I_2)، AND (تداخل سازنده بین I_1 و I_2 - بایستی شدت میدان آستانه دقیق برای خاموش و یا روشن بودن گیت تعریف شود)، XOR (تداخل مخرب بین I_1 و I_2) و NOR (تداخل مخرب بین I_1 و C)

گیت	ورودی I_1 کانال	ورودی I_2 کانال	ورودی C کانال
OR	فعال	فعال	
AND	فعال	فعال	
XOR		فعال	فعال
NOR	فعال	فعال	فعال

پیاده‌سازی تابع‌های OR، AND و XOR می‌تواند با ترکیب دو کانال ورودی فعال شوند. با اعمال تداخل سازنده بین سیگنال‌های کانال‌های I_1 و I_2 و تعریف صحیح شدت آستانه، به ترتیب گیت‌های OR و AND و با اعمال تداخل مخرب بین سیگنال‌های کانال‌های I_2 و I_3 گیت XOR می‌تواند محقق شود. از طرفی، برای تحقق تابع منطقی NOR، باید سیگنال در کانال کنترل نیز فعال شود. به منظور محقق کردن تابع NOR، باید هر دو سیگنال کانال‌های I_1 و I_2 با سیگنال کنترل C ترکیب شوند. برای تحقق گیت NOR شدت سیگنال کنترل باید دو برابر بزرگ‌تر از سیگنال‌های ورودی باشد. آن‌گاه با تعیین صحیح شدت آستانه، گیت NOR می‌تواند محقق شود.

۳-۱- عملکرد گیت OR

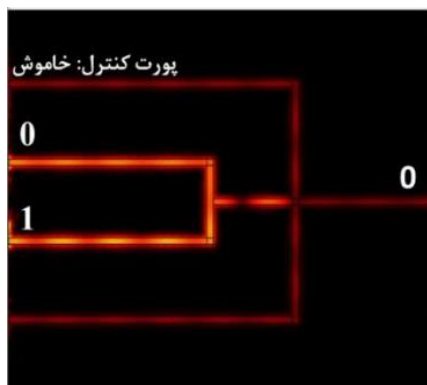
عملکرد گیت OR در جدول ۲ نشان داده شده است. با اعمال سیگنال نوری به پورت‌های ورودی کانال‌های I_1 و I_2 و بدون نیاز به فعال کردن سیگنال کنترل، سطح‌های منطقی خروجی می‌تواند از "0" به "1" تغییر کنند. توزیع میدان مغناطیسی محاسبه شده برای سطح‌های منطقی متفاوت در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. نحوه به‌کارگیری کانال‌های ساختار طراحی شده برای پیاده‌سازی

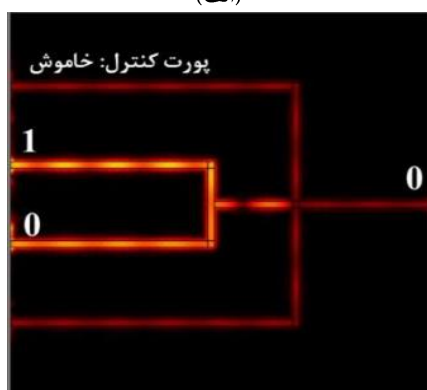
گیت منطقی OR

گیت	ورودی I_1 کانال	ورودی I_2 کانال	ورودی I_3 کانال	ورودی C کانال	کانال خروجی
OR	"0"	"0"		Disable	"0"
	"0"	"1"		Disable	"1"
	"1"	"0"		Disable	"1"
	"1"	"1"		Disable	"1"

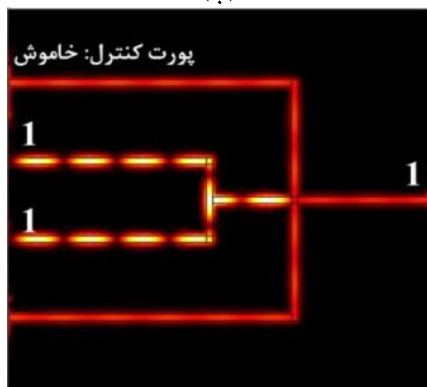
همان‌گونه که در شکل ۲ (الف، ب) مشاهده می‌شود، اگر یک سیگنال به کانال‌های I_1 و I_2 وارد شود، این سیگنال نوری می‌تواند از راه کانال مرتبط انتقال یابد و در پورت خروجی Out که متناظر با عملیات منطقی "0 OR 1=1" یا "1 OR 0=1" است ظاهر شود. از طرفی دیگر، اگر به هر دو پورت ورودی کانال‌های I_1 و I_2 سیگنال به‌طور هم‌زمان تزریق شود (شکل ۲ ج)،



(الف)



(ب)

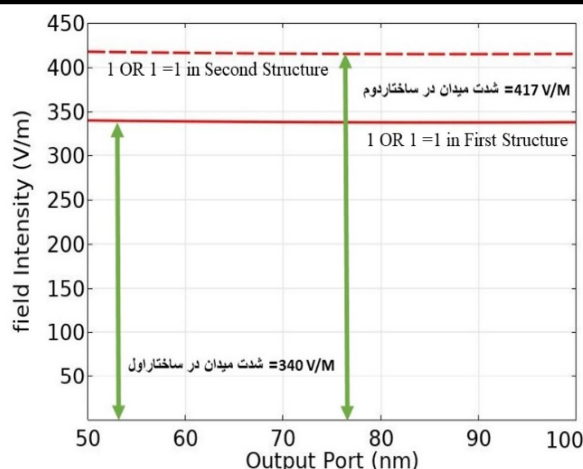


(ج)

شکل ۴- توزیع میدان برای حالت‌های متفاوت گیت نوری AND

نمودار تفاوت شدت میدان خروجی بین سطوح منطقی "0" و "1" برای دو ساختار پیشنهادی اول و دوم در گیت منطقی AND در شکل ۵ نشان داده شده است.

مشاهده می‌شود که تفاوت در شدت میدان خروجی برای حالت "0 AND 1 = 0" و حالت "1 AND 1 = 1" در ساختار اول برابر 184 V/m است (فاصله بین خطوط ممتد آبی و قرمز). در حالی که این تفاوت برای ساختار دوم به ۳۱۷ V/m (فاصله بین خط چین آبی و قرمز) رسیده است. با مقایسه نتایج مشخص است که این تفاوت سطح منطقی در ساختار دوم با وجود ماده غیرخطی که نسبت به ساختار اول ۱۳۳ V/m یعنی ۷۲٪ افزایش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود که در ساختار



شکل ۳. نمودار شدت میدان در پورت خروجی گیت OR برای حالت منطقی "1 OR 1 = 1" در ساختار پیشنهادی اول (خط ممتد) و ساختار پیشنهادی دوم (خط چین)

۳-۲- عملکرد گیت AND

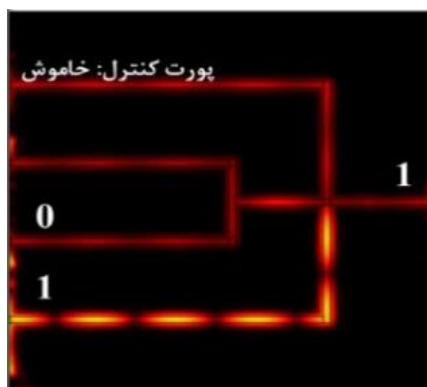
به منظور تحقق تابع منطقی AND، ساختار مشابه با آنچه برای گیت منطقی OR استفاده شد می‌تواند به کار گرفته شود. عملیات منطقی AND می‌تواند با تعریف صحیح شدت آستانه محقق شود. در جدول ۳، عملکرد گیت AND و تنظیمات مربوط به آن نشان داده شده است. فقط زمانی که پورت ورودی هر دو کانال دارای سیگنال نوری باشند، سطح منطقی "1" در پورت خروجی ظاهر می‌شود.

جدول ۳- نحوه بکارگیری کانال‌های ساختار طراحی شده برای پیاده‌سازی

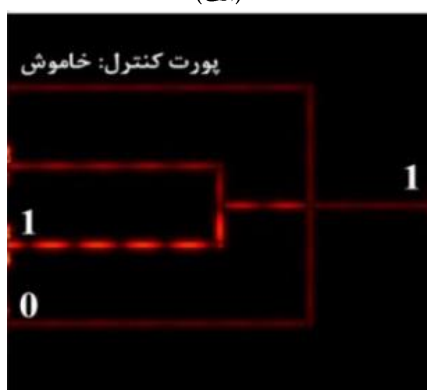
گیت منطقی AND

گیت	ورودی کانال I_1	ورودی کانال I_2	ورودی کانال I_3	ورودی کانال C	کانال خروجی
AND	"0"	"0"		Disable	"0"
	"0"	"1"		Disable	"0"
	"1"	"0"		Disable	"0"
	"1"	"1"		Disable	"1"

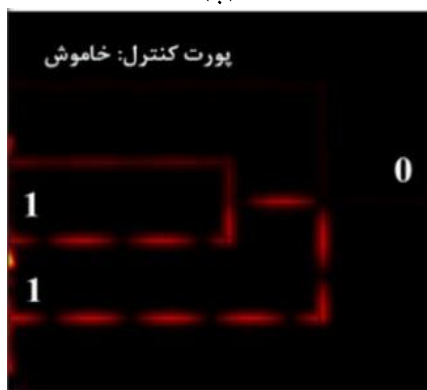
توزیع میدان الکتریکی برای حالت‌های منطقی متفاوت در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۴ (الف، ب) مشخص است، اگر یک سیگنال نوری به کانال I_1 یا کانال I_2 اعمال شود، سیگنال نوری می‌تواند از راه یکی از دو کانال انتقال می‌یابد و به پورت خروجی Out برسد، در حالی که شکل ۴ (ج) نشان می‌دهد که اگر سیگنال نوری به‌طور هم‌زمان به پورت ورودی کانال‌های I_1 و I_2 اعمال شود، سیگنال نوری می‌تواند به‌صورت ترکیب شده به کانال خروجی برسد. با تعریف یک آستانه شدت مناسب بین دو مورد بالا، حالت‌های منطقی "0" و "1" به‌ترتیب می‌توانند محقق شوند. بر مبنای تعاریف مناسب، دو فرایند اول مربوط به عملیات منطقی "0 AND 1 = 0" و "1 AND 0 = 0" می‌شود، در حالی که فرایند سوم متناظر با عمل منطقی "1 AND 1 = 1" است.



(الف)



(ب)

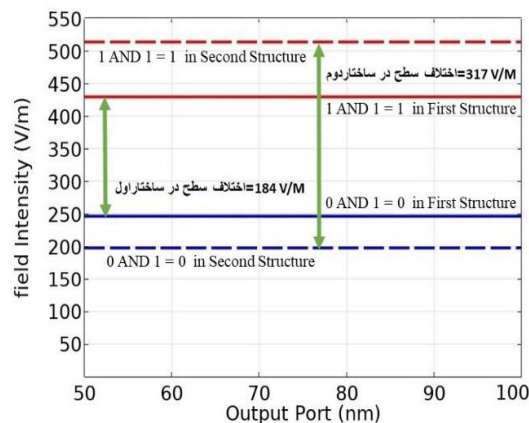


(ج)

شکل ۶- توزیع میدان برای حالت‌های متفاوت گیت نوری XOR

شکل ۷ نتیجه مقایسه عملکرد گیت XOR را در ساختارهای اول و دوم نشان می‌دهد. تفاوت بین سطح‌های منطقی "0" و "1"، در خروجی این گیت برای ساختار اول به مقدار ۱۳۱ V/m و برای ساختار دوم به مقدار ۲۲۰ V/m رسیده است. یعنی ساختار دوم نسبت به ساختار اول توانسته است یک افزایش ۸۹ V/m واحدی یعنی ۶۷٪ را ایجاد کند. مشاهده می‌شود که حالت‌های روشن تفاوت محسوسی را رقم زده‌اند. از آن‌جا که حالت روشن در XOR (در این نمودار) ناشی از رسیدن سیگنال کانال I_3 به خروجی است، پس مشخص است که اثرهای غیرخطی در موج‌بر نامتقارن کانال I_3 که فلز طلا و آلومینیم آن را احاطه کرده‌اند، به صورت قوی‌تر رخ داده است. از این نتیجه‌ها می‌توان به این واقعیت دست‌یافت که ساختار دوم با

دوم، حالت "1 AND 1 = 1" افزایش و حالت "0 AND 1 = 0" کاهش پیدا کرده است.



شکل ۵- نمودار شدت میدان در پورت خروجی گیت AND برای دو حالت منطقی در ساختار پیشنهادی اول (خط ممتد) و ساختار پیشنهادی دوم (خط چین)

۳-۳- عملکرد گیت XOR

برای پیاده‌سازی تابع منطقی XOR، تداخل مخرب بین سیگنال‌های نوری کانال‌های I_2 و I_3 نیاز است. اصول عملکرد گیت XOR در جدول ۴ نشان داده شده است. توزیع میدان محاسبه شده برای حالت‌های منطقی متفاوت در شکل ۶ به نمایش گذاشته شده است. همان‌گونه که از شکل ۶ (الف، ب) مشاهده می‌شود، اگر یک سیگنال به پورت ورودی کانال I_2 یا I_3 تزریق شود، سیگنال نور می‌تواند از طریق کانال مرتبط منتقل شود و در پورت خروجی Out قرار بگیرد که متناظر با عملیات منطقی "0 XOR 1 = 1" یا "1 XOR 0 = 1" است. از طرفی دیگر، اگر به هر دو پورت ورودی کانال I_2 و I_3 سیگنال به‌طور هم‌زمان اعمال شود (شکل ۶ ج)، سیگنال منتقل شده و به صورت ترکیبی به کانال خروجی می‌رسد. براساس تنظیمات کانال‌های نشان داده شده در جدول ۱، تفاوت مسیر نوری بین کانال I_2 و I_3 برابر $\lambda_{eff}/2$ است، که متناظر با تفاوت فاز π است. در این صورت تداخل مخرب بین سیگنال‌های نوری در دو کانال باعث یک خروجی با شدت به تقریب صفر در پورت خروجی می‌شوند که متناظر با عملیات منطقی "1 XOR 1 = 0" است.

جدول ۴- نحوه بکارگیری کانال‌های ساختار طراحی شده برای پیاده‌سازی گیت منطقی XOR

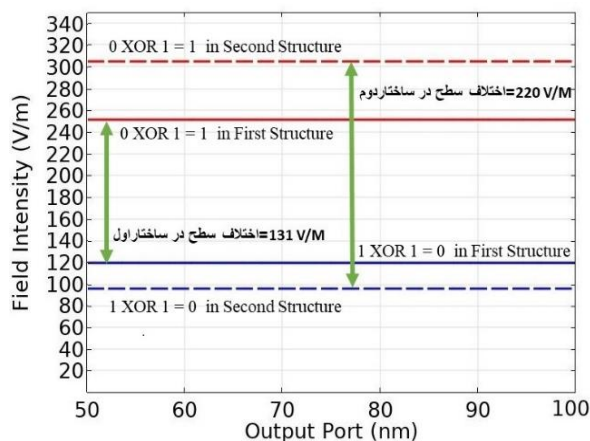
گیت	ورودی کانال I_1	ورودی کانال I_2	ورودی کانال I_3	ورودی کانال C	کانال خروجی
XOR		"0"	"0"	Disable	"0"
		"0"	"1"	Disable	"1"
		"1"	"0"	Disable	"1"
		"1"	"1"	Disable	"0"

بهره‌گیری از اثر غیرخطی ماده کر به افزایش تفاوت سطح‌های منطقی نسبت به ساختار اول منجر شده است.

۳-۴- عملکرد گیت NOR

برای پیاده‌سازی گیت NOR لازم است شدت سیگنال در کانال کنترل C دو برابر شود. عملیات منطقی گیت NOR می‌تواند با تعریف صحیح شدت آستانه محقق شود. در جدول ۵ اصول عملکرد گیت NOR نشان داده شده است. توزیع میدان محاسبه شده برای سطح‌های منطقی متفاوت در شکل ۸ نشان داده شده است.

بر مبنای تعریف‌ها، فرایند اول (شکل ۸ الف) مربوط به عملیات منطقی $0 \text{ NOR } 0 = 1$ درحالی‌که فرایندهای بعدی (شکل ۸ ب، ج، د)) به ترتیب متناظر با عملیات منطقی $0 \text{ NOR } 1 = 0$ ، $1 \text{ NOR } 0 = 0$ و $1 \text{ NOR } 1 = 0$ هستند.



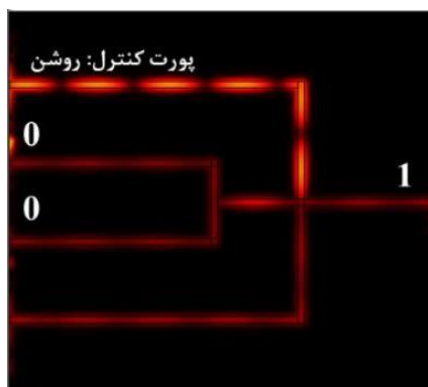
شکل ۸- نمودار شدت میدان در پورت خروجی گیت XOR برای دو حالت منطقی در ساختار پیشنهادی اول (خط ممند) و ساختار پیشنهادی دوم (خط چین)

در شکل مشاهده می‌شود وقتی سیگنالی به ورودی‌ها اعمال نشود (شکل ۸ الف)، سیگنال کنترل از راه کانال C در خروجی قرار می‌گیرد. بنابراین، زمانی که هیچ سیگنالی به ورودی اعمال نشود، خروجی در سطح "1" خواهد بود. از طرفی دیگر اگر یک سیگنال به پورت‌های ورودی کانال‌های I_1 یا I_2 اعمال شود (شکل ۸ ب، ج)، نور از راه کانال‌ها یادشده منتقل شده و پس از ترکیب با سیگنال کنترل به کانال خروجی می‌رسد.

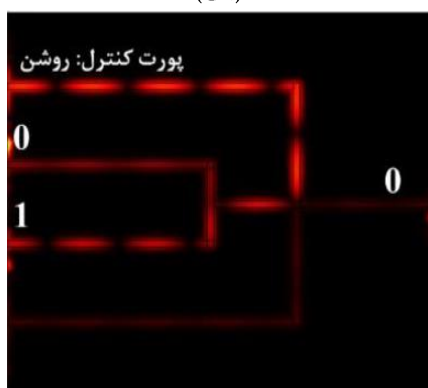
جدول ۵- نحوه بکارگیری کانال‌های ساختار طراحی شده برای پیاده‌سازی

گیت منطقی NOR

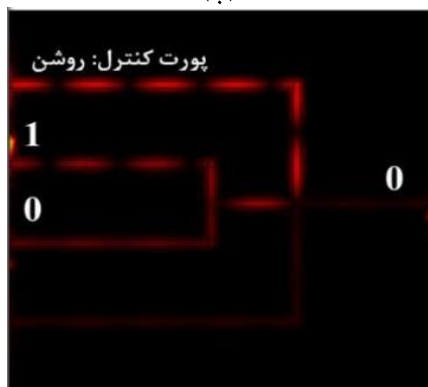
گیت	ورودی کانال I_1	ورودی کانال I_2	ورودی کانال I_3	ورودی کانال C	کانال خروجی
NOR	"0"	"0"		"1"	"1"
	"0"	"1"		"1"	"0"
	"1"	"0"		"1"	"0"
	"1"	"1"		"1"	"0"



(الف)



(ب)



(ج)



(د)

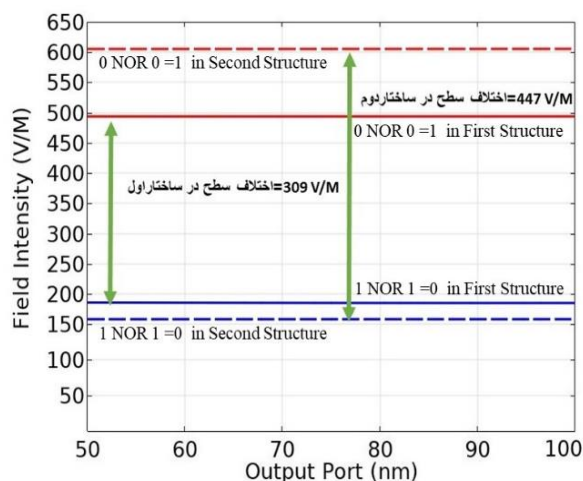
شکل ۸- توزیع میدان برای حالت‌های متفاوت گیت نوری NOR

AND، XOR و NOR پیاده‌سازی و نشان داده شد که تداخل خطی بین مدهای پلاریتون پلاسمون سطحی باعث ایجاد خروجی موردنظر در گیت منطقی می‌شود. مزیت ساختار پیشنهادی در این است که یک ساختار با بدهای فیزیکی ثابت می‌تواند چندین تابع منطقی اساسی را تحقق بخشد. در این مقاله، نشان داده شد که ماده غیرخطی Kerr باعث افزایش در تفاوت سطح منطقی "0" و "1" برای گیت OR برابر ۲۳٪، یک برای گیت AND برابر ۷۲٪، برای گیت XOR برابر ۶۷٪ و برای گیت NOR برابر ۴۴٪ می‌شود. چیدمان ساده و فشرده گیت‌های منطقی تمام نوری مبتنی بر موج‌بر پلاسمونیک فلز-عایق-فلز ناهم‌جنس قابلیت استفاده در بسیاری از قطعه‌های نانوفوتونیک سامانه‌های نوری را دارند.

۵. منابع

- [1] Liu, Jia-Ming. *Photonic devices*. Cambridge University Press, 1, 10-17, (2005).
- [2] Norgard, John. "The electromagnetic spectrum." *National Association of Broadcasters Engineering Handbook (Tenth Edition 12, 3-10, (2010).*
- [3] Gramotnev, Dmitri K., and Sergey I. Bozhevolnyi. "Plasmonics beyond the diffraction limit." *Nature photonics* 4, 83-91, (2010).
- [4] Georgi, Howard. *The physics of waves*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, (2015).
- [5] Fu, Yulan, et al. "All-optical logic gates based on nanoscale plasmonic slot waveguides." *Nano letters* 12, 5784-5790., (2012).
- [6] Papaioannou, Maria, et al. "Two-dimensional control of light with light on metasurfaces." *Light: Science & Applications* 5, 160-170, (2016).
- [7] Li, Zhangjian, Zhiwen Chen, and Baojun Li. "Optical pulse controlled all-optical logic gates in SiGe/Si multimode interference." *Optics express* 13, 1033-1038, (2005).
- [8] Kauranen, Martti, and Anatoly V. Zayats. "Nonlinear plasmonics." *Nature Photonics* 6, 737-745, (2012).
- [9] Garmire, Elsa. "Nonlinear optics in daily life." *Optics express* 21, 30532-30544, (2013).
- [10] Rao, A. Srinivasa. "Overview on Second and Third Order Optical Nonlinear Processes." *arXiv preprint arXiv:14, 1612-1620, (2016).*

به‌دلیل این حقیقت که تداخل مخرب بین سیگنال‌های اعمال‌شده رخ می‌دهد و به‌دلیل این‌که شدت سیگنال کنترل دو برابر بزرگ‌تر از سیگنال‌های ورودی است، شدت سیگنال در خروجی بزرگ‌تر از صفر اما کوچک‌تر از شدت سیگنال کنترل است. شکل ۸-د حالتی را نشان می‌دهد که سیگنال به‌طور هم‌زمان به پورت‌های ورودی کانال‌های I_1 یا I_2 اعمال می‌شود. با توجه به تداخل مخرب کامل بین سیگنال این دو کانال و کانال کنترل، شدت در پورت خروجی به‌تقریب صفر خواهد شد. با تعیین یک شدت آستانه مناسب بین سه مورد بالا، سطح‌های منطقی "0" و "1" به‌ترتیب می‌توانند اجرا شوند. به‌کارگیری ساختار پیشنهادی دوم در گیت NOR نیز به‌طور قابل‌توجهی تفاوت بین سطوح منطقی "0" و "1" را افزایش می‌دهد. این موضوع از نمودار شدت میدان پورت خروجی در شکل ۹ قابل‌مشاهده است. ساختار پیشنهادی دوم، نسبت به ساختار اول توانسته است تفاوت بین سطوح منطقی را 138 V/m واحد یعنی ۴۴٪ افزایش دهد. دلیل این افزایش در عملیات منطقی " $0 \text{ NOR } 0 = 1$ " (خط‌چین قرمز) مربوط به کانال کنترل است که براساس آنچه اشاره شد، در این حالت سیگنال خروجی از راه کانال کنترل تأمین می‌شود که فلز طلا در زیر این موج‌بر و فلز آلومینیم در بالای آن قرار دارد و باعث می‌شود اثرهای غیرخطی با استفاده از تزویج مدهای پلاسمونیک متفاوت در چنین موج‌بر نامتقارنی بیشتر افزایش یابد.



شکل ۹- نمودار شدت میدان در پورت خروجی گیت NOR برای دو حالت منطقی در ساختار پیشنهادی اول (خط ممتد) و ساختار پیشنهادی دوم (خط‌چین)

۴- نتیجه‌گیری

از راه شبیه‌سازی ساختار پیشنهادی با روش اجزای محدود توسط نرم‌افزار کامسول، نشان داده شد که گیت منطقی تمام نوری با استفاده از فلزهای ناهم‌جنس و ماده غیرخطی کر باعث بهبود عملکرد آن شده و تفاوت سطح بین سطح‌های منطقی را افزایش می‌دهد. در این مقاله گیت‌های منطقی OR،



- [11] Sankar, Pranitha, and Reji Philip. "Nonlinear optical properties of nanomaterials." *Characterization of nanomaterials*. Woodhead Publishing, 17, 301-334, (2018).
- [12] Pedrotti, Leno S. "Basic physical optics." *Fundamentals of Photonics* 1, 152-154, (2008).
- [13] Bian, Yusheng, and Qihuang Gong. "Compact all-optical interferometric logic gates based on one-dimensional metal-insulator-metal structures." *Optics Communications* 313; 27-35, (2014).
- [14] C. Soennichsen, *Plasmons in metal nanostructures*, PhD Dissertation, Physics Dept. of University of Munich, (2001).
- [15] Kuttge, M., et al. "Terahertz surface plasmon polaritons on metal and semiconductor surfaces." *Infrared and Millimeter Waves, 2004 and 12th International Conference on Terahertz Electronics, 2004. Conference Digest of the 2004 Joint 29th International Conference on*. IEEE, (2004).
- [16] Barnes, William L., Alain Dereux, and Thomas W. Ebbesen. "Surface plasmon subwavelength optics." *nature* 424, 824-826, (2003).
- [17] Kawata, Satoshi, and V.M. Shalaev. "Nanophotonics with surface plasmons." 34, 28-38, (2007).
- [18] Maier, Stefan Alexander. *Plasmonics: fundamentals and applications*. Springer Science & Business Media, 27, 61-67, (2009).
- [19] Maier, Stefan A., et al. "Local detection of electromagnetic energy transport below the diffraction limit in metal nanoparticle plasmon waveguides." *Nature materials* 2, 229-233, (2003).
- [20] Takahara, Junichi, et al. "Guiding of a one-dimensional optical beam with nanometer diameter." *Optics letters* 22, 475-477, (1997).
- [21] Onuki, T., et al. "Propagation of surface plasmon polariton in nanometre-sized metal-clad optical waveguides." *Journal of microscopy* 210.3 (2003): 284-287.35
- [22] Berini, Pierre. "Plasmon-polariton waves guided by thin lossy metal films of finite width: Bound modes of asymmetric structures." *Physical Review B* 63, 125-134, (2001).