

Design and Simulation of a Low-Power All-Optical Plasmonic Switch Using Plasmonic Disks and Gold Nanostructures

Majid Ghadrdan^{1*}, Ehsan Adibnia¹, Mohammad Ali Birjandi Mansouri¹

¹ Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan (USB), Zahedan, Iran

Received: 2026-05-12

Revised: 2026-07-04

Accepted: 2026-08-10

Abstract: In this paper, an all-optical plasmonic switch based on a metal–insulator–metal (MIM) structure is proposed and numerically investigated. The proposed configuration consists of two MIM waveguides and a pair of asymmetric disks filled with a nonlinear Au/SiO₂ material, in which square-shaped gold nanostructures are embedded inside each disk. To achieve fast and low-power switching performance, both the Kerr nonlinearity of the dielectric material and the intrinsic optical nonlinearity of the gold nanostructures are simultaneously exploited. Finite-difference time-domain (FDTD) simulation results indicate that, at low input intensity, the structure exhibits a resonance at a wavelength of 840 nm. As the input optical intensity increases, the resonance wavelength undergoes a red shift due to the combined nonlinear effects, resulting in a sudden enhancement of the transmitted power. The switching threshold power is found to be approximately 0.08 mW/μm², while the maximum transmission reaches about 0.65. Owing to its compact size, low threshold power, and ultrafast response, the proposed plasmonic switch is a promising candidate for applications in plasmonic integrated circuits.

Keywords: Plasmonics, Kerr nonlinearity, All-optical switch, MIM waveguide, Gold nanostructures.

Corresponding Author. Email: ghadrdan@ece.usb.ac.ir

How to Cite This Article:

Ghadrdan M, Adibnia E, Mansouri-Birjandi M A. Design and Simulation of a Low-Power All-Optical Switch Using Plasmonic Disks and Gold Nanostructures. Nanomeghyas. 2026;():e738706 (In Persian). doi: 10.22034/ns.2026.2080794.1416



This is an open access article under the CC-BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

طراحی و شبیه‌سازی سویچ تمام‌نوری با توان مصرفی کم با استفاده از دیسک‌های پلاسمونی و نانوساختارهای طلا

مجید قدردان^{۱*}، احسان ادیب نیا^۱، محمد علی منصوری بیرجندی^۱

^۱گروه برق و الکترونیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۹

چکیده: در این مقاله، یک سویچ تمام‌نوری پلاسمونی مبتنی بر ساختار فلز-عایق-فلز (MIM) ارائه و شبیه‌سازی شده است. ساختار پیشنهادی شامل دو موجبر MIM و یک جفت دیسک نامتقارن پرشده با ماده‌ی غیرخطی SiO_2/Au است که درون هر دیسک، نانوساختارهای مربعی از جنس طلا جاسازی شده‌اند. به‌منظور دستیابی به کلیدزنی سریع و کم‌توان، به‌طور همزمان از دو مکانیسم غیرخطی یعنی اثر کر ماده‌ی دی‌الکتریک و آثار ذاتی نانوساختارهای طلا استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی مبتنی بر روش تفاضل محدود حوزه زمان (FDTD) نشان می‌دهد که در شدت ورودی پایین، تشدید ساختار در طول موج ۸۴۰ نانومتر رخ می‌دهد. با افزایش شدت نور ورودی، به دلیل اثرات غیرخطی ترکیبی، طول موج تشدید دچار جابه‌جایی قرمز شده و منجر به افزایش ناگهانی توان عبوری می‌شود. توان آستانه سویچ برابر با $0.08 \text{ mW}/\mu\text{m}^2$ و بیشینه‌ی انتقال حدود 0.65 به‌دست آمده است. ابعاد فشرده، توان آستانه پایین و پاسخ فوق‌سریع، این ساختار را به گزینه‌ای مناسب برای کاربرد در مدارهای مجتمع پلاسمونی تبدیل می‌کند.

واژگان کلیدی: پلاسمونیک، اثر غیرخطی کر، سویچ تمام‌نوری، موجبر MIM، نانوساختار طلا

نویسندهٔ مسئول: ghadrddan@ece.usb.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله: قدردان مجید، ادیب نیا احسان، منصوری بیرجندی محمدعلی. طراحی و شبیه‌سازی سویچ تمام‌نوری با توان مصرفی کم با استفاده از دیسک‌های پلاسمونی و نانوساختارهای طلا. Nanomeghyas. 1405;():e738706. doi: 10.22034/ns.2026.2080794.1416

۱- مقدمه

فناوری پلاسمونی به عنوان پلی میان الکترونیک و فوتونیک، با غلبه بر محدودیت پراش نور، امکان هدایت و متمرکز کردن انرژی نورانی در ابعادی فراتر از محدودیت‌های الکترونیک مرسوم را فراهم می‌سازد [۱]. پلاسمون-پلاریتون‌های سطحی (SPPs)، امواج الکترومغناطیسی هستند که در فصل مشترک فلز و دی‌الکتریک انتشار می‌یابند که بیشینه‌ی میدان الکترومغناطیسی آن‌ها در نزدیکی سطح مشترک قرار گرفته و دامنه‌ی میدان به‌صورت نمایی در دو ناحیه‌ی فلزی و دی‌الکتریک کاهش می‌یابد [۲]. در صورتی که ابعاد ساختارهای فلزی هم‌مرتب با طول موج نوری شود، SPPها برانگیخته شده و می‌توان از آن‌ها برای هدایت نور در مقیاس زیر طول موج استفاده کرد [۳، ۴].

در سال‌های اخیر، انواع متعددی از موجبرها و افزاره‌های پلاسمونی مورد توجه قرار گرفته‌اند که از میان آن‌ها، موجبرهای فلز-عایق-فلز (MIM) به دلیل توانایی منحصر به فرد در محصور کردن شدید نور و ایجاد میدان‌های بسیار متمرکز، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۵]. این افزاره‌ها، بستر مناسبی برای پیاده‌سازی فیلترها، مالتی‌پلکسرها، گیت‌های منطقی [۶] و به‌ویژه سویچ‌های تمام‌نوری فراهم می‌کنند [۷-۹]. پردازش اطلاعات و ارتباطات نوری، به‌طور کلی بر وجود سویچ‌های نوری سریع، پایدار و کم‌مصرف متکی هستند. در این میان، سویچ‌های تمام‌نوری که در آن‌ها کنترل نور توسط خود نور انجام می‌شود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند؛ زیرا نیاز به تبدیل نوری-الکتریکی-نوری را از بین برده و سرعت و پهنای باند بسیار زیادتری را فراهم می‌کنند. در سال‌های اخیر، نمونه‌های مختلفی از سویچ‌های پلاسمونی با بهره‌گیری از ساختارهایی مانند کاواک‌ها [۱۰]، تداخل سنچ‌های ماخ-زندر [۱۱]، فیلترها [۱۲-۱۴] و به‌ویژه، تشدیدگرهای حلقوی گزارش شده‌اند [۱۵-۱۷]. تشدیدگرهای حلقوی پلاسمونی به دلیل ایجاد برهم‌کنش قوی بین نور و ماده، ساختاری ایده‌آل برای طراحی سویچ‌ها هستند. یکی از رویکردهای مهم در طراحی سویچ‌های تمام‌نوری، استفاده از اثر غیرخطی کر است. ساختارهای دارای مواد با ضریب کر زیاد با ایجاد تغییر در ضریب شکست متناسب با شدت نور ورودی، به دلیل پاسخ فوق‌سریع و توان آستانه پایین، باعث جابه‌جایی تشدید، تغییر فاز یا تغییر شدت عبوری می‌شوند. ترکیب این مواد با موجبرهای پلاسمونی، که میدان الکترومغناطیسی را به‌شدت در ناحیه دی‌الکتریک مقید می‌کنند، منجر به تقویت بیشتر آثار غیرخطی مؤثر و کاهش توان آستانه‌ی سویچ می‌شود. علاوه بر مواد دی‌الکتریک غیرخطی، فلزات نجیب مانند طلا نیز دارای آثار غیرخطی ذاتی قابل‌توجهی هستند که ناشی از

برهم‌کنش نور با الکترون‌های آزاد و مقید است و در شدت‌های نوری زیاد نمایان می‌شود [۴، ۱۸، ۱۹].

در این مقاله، یک سویچ تمام‌نوری پلاسمونی مبتنی بر ساختار فلز-عایق-فلز و یک جفت دیسک نامتقارن که با نانوساختارهای مربعی طلا پر شده‌اند، ارائه شده است. وجه تمایز این پژوهش، استفاده هم‌زمان از دو مکانیسم غیرخطی است. مکانیسم اول اثر غیرخطی کر ماده Au/SiO_2 پرکننده دیسک‌ها و مکانیسم دوم غیرخطی بودن ذاتی نانوساختارهای طلای جاسازی شده درون دیسک‌ها. این ترکیب، با هم‌افزایی غیرخطی منجر به دستیابی به سویچی با توان آستانه بسیار پایین، نسبت روشن/خاموش زیاد و ابعاد فشرده می‌شود. تحلیل انتشار موج و محاسبه طیف انتقال با روش تفاضل محدود حوزه زمان (FDTD) عملکرد عالی این سویچ را تأیید می‌کند که آن را به گزینه مناسب برای استفاده در تراشه‌های فوتونی - پلاسمونی تبدیل می‌کند.

۲- ساختار پیشنهادی و مدل نظری

سویچ‌های تمام‌نوری عنصر اصلی در طراحی مدارهای مجتمع نوری هستند و در شبکه‌های تمام‌نوری کاربردهای گسترده‌ای دارند. در این مقاله با استفاده از ساختارهای MIM، دیسک و بهره‌گیری از خواص غیرخطی ذاتی طلا به پیاده‌سازی سویچ پلاسمونی پرداخته شده است. بهره‌گیری از دیسک و قرار دادن قطعه طلا درون آن و همچنین استفاده از موادی با ضریب کر زیاد، منجر به معرفی سویچ تمام‌نوری با توان مصرفی ناچیز و سرعت زیاد می‌شود. علاوه بر ماده دارای ضریب غیرخطی کر، عامل بعدی به کار رفته در پیاده‌سازی سویچ، خواص غیرخطی ذاتی طلاست. زیرا شدت نور زیاد موجب ایجاد اثرات غیرخطی قابل توجه در طلا می‌شود که می‌تواند ناشی از جابه‌جایی الکترون‌های آزاد و مقید باشد.

جدول ۱: پارامترهای فیزیکی و هندسی سویچ پیشنهادی.

نماد	پارامتر	ماده	مقدار
n_b	ضریب شکست بستر	Ag	Drude model [18]
n_2	ضریب غیرخطی دی الکتریک	Au/SiO ₂	2.07 cm ² /GW [15]
n_0	ضریب خطی دی الکتریک	Au/SiO ₂	1.47 [15]
w	پهنای موجبر	Air	150 nm
d	فاصله دیسک‌ها	Ag	150 nm

وقتی نور با قطبش TM به ساختار MIM تزریق می‌شود، نور تابشی به موجبر تزویج خواهد شد و امواج SPP در سطوح مشترک فلزی منتشر می‌شود. در صورتی که نور در طول موج تشدید دیسک‌ها اعمال شود، نور عبور نخواهد کرد. این طول موج به ثابت دی الکتریک حساس است که می‌تواند با نور با توجه به اثر غیرخطی کر ماده تغییر داده شود؛ بنابراین با افزایش شدت نور ورودی، طول موج تغییر و عمل سویچینگ مشاهده می‌شود.

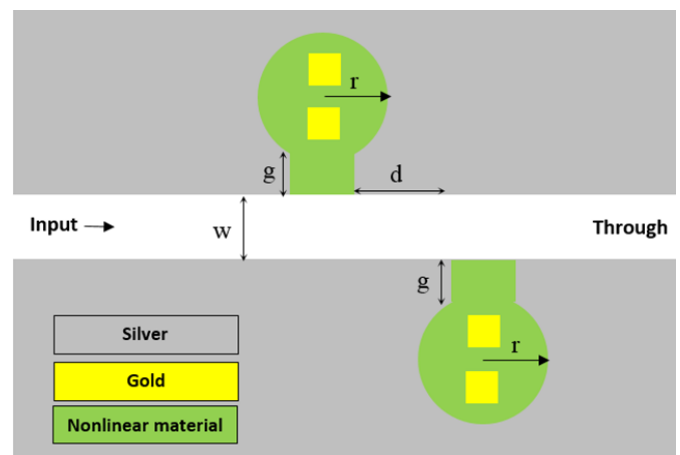
۳- طراحی و شبیه‌سازی

نانوساختار نشان داده شده در شکل ۱، تشدید قوی در جفت دیسک غیرخطی نامتقارن و در طول موج نور دارد. شکل ۲ طیف انتقال ساختار را در دو حالت به ازای شدت ورودی کم و زیاد نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ در شدت ورودی کم و برابر ۰/۰۱ یک کمینه در طول موج ۸۴۰ نانومتر مشاهده می‌شود. اگر شدت نور ورودی به مقدار ۰.۰۸ mW/μm² افزایش یابد، ثابت دی الکتریک ماده غیرخطی نیز افزایش می‌یابد، و در نتیجه کمینه حدود ۱۰ نانومتر به مقدار ۸۵۱ نانومتر جابه‌جایی قرمز می‌یابد. این جابه‌جایی ناشی از افزایش ضریب شکست مؤثر در ناحیه دیسک‌ها تحت تأثیر اثرات غیرخطی ترکیبی است. مطابق رابطه $\Delta n = n_2 I$ ، برای شدت ۰.۰۸ mW/μm²، تغییر ضریب شکست حدود $\Delta n \approx 0.0165$ محاسبه می‌شود.

شکل ۳ مطالعه کمی وابستگی انتقال سیگنال به شدت نور ورودی را در طول موج ۸۴۰ نانومتر نشان می‌دهد. در شدت‌های نور پایین ($I < 0.06$ mW/μm²)، با مقدار انتقال ناچیز ساختار در حالت "خاموش" قرار دارد. اگر شدت نور تابشی تغییر کند، تغییرات ثابت دی الکتریک ناشی از شدت میدان مکانی در دیسک‌ها، موجب تفاوت در طیف انتقال سیگنال می‌شود. در نتیجه سازوکاری برای رفتار دوگانه نور در خروجی برحسب شدت نور ورودی فراهم می‌شود. هنگامی که شدت نور ورودی به مقدار ۰.۱۱ mW/μm² افزایش می‌یابد، یک گذار سریع و غیرخطی در شدت آستانه $I_{th} < 0.07$ mW/μm² رخ می‌دهد که در آن انتقال به ۰/۶۵ افزایش می‌یابد (حالت "روشن"). بنابراین برای تحقق عمل کلیدزنی نوری تنها نیاز به شدت نور

در شکل ۱ طرح‌واره‌ای از سویچ پیشنهادی که متشکل از دو پوشش فلزی از جنس نقره، یک موجبر مستقیم و یک جفت دیسک نامتقارن است، مشاهده می‌شود. موجبر مستقیم و کاواک‌ها به ترتیب با هوا با ضریب شکست $n_0=1$ و ماده غیرخطی کر Au/SiO₂ با ضریب شکست خطی $n=1.47$ و ضریب غیرخطی کر $n_2=2.07 \times 10^{-9}$ cm²/W پر شده‌اند [۲۰]. درون هر دیسک دو قطعه مربعی شکل از طلا با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ نانومتر مربع قرار داده شده است. پهنای موجبرها w و فاصله بین دیسک‌ها d برابر ۱۵۰ نانومتر در نظر گرفته شده است. هنگامی که نور با قطبش TM به این ساختار تابیده می‌شود، SPP در مرز واسط فلز-دی الکتریک برانگیخته و منتشر می‌شود [۲۱]. معادله پراکنش برای مد اساسی TM₀ در یک موجبر MIM به صورت زیر است [۲۲]:

$$\tanh\left(\frac{k_d w}{2}\right) = -\frac{\varepsilon_d k_m}{\varepsilon_m k_d} \quad (1)$$



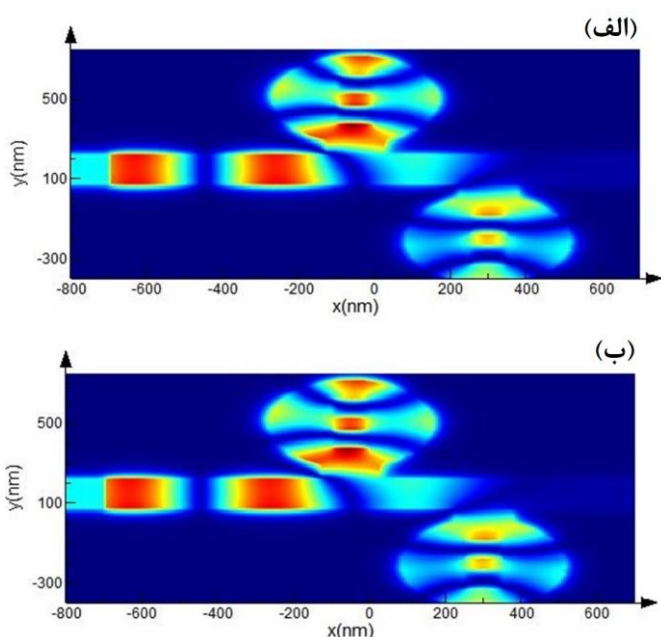
شکل ۱. ساختار سویچ پلاسمونی متشکل از دو پوشش فلزی نقره، یک موجبر مستقیم و یک جفت دیسک نامتقارن.

که در این رابطه، w عرض لایه دی الکتریک، ε_d و ε_m به ترتیب ثابت دی الکتریک ماده عایق و فلز، β ثابت انتشار موج پلاسمونی، $k_d = \sqrt{\beta^2 - k_0^2 \varepsilon_m}$ و $k_m = \sqrt{\beta^2 - k_0^2 \varepsilon_d}$ مؤلفه‌های عمودی عدد موج در دی الکتریک و فلز، و $k_0 = 2\pi/\lambda$ عدد موج در خلأ است. در ساختار مورد بررسی، فلز تشکیل‌دهنده موجبر نقره در نظر گرفته شده و ثابت دی الکتریک آن بر اساس مدل درود بیان می‌شود [۲۳]:

$$\varepsilon_m(\omega) = \varepsilon_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 - j\gamma\omega} \quad (2)$$

که در آن ε_∞ ثابت دی الکتریک در فرکانس‌های بسیار بالا، ω فرکانس زاویه‌ای نور فرودی، ω_p فرکانس پلاسمای الکترون‌های آزاد و γ فرکانس برخورد الکترون‌ها است. با استفاده از داده‌های تجربی مرجع [۲۳]، پارامترها به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند: $\varepsilon_\infty = 1.95$ ، $\omega_p = 1.37 \times 10^{16}$ rad/s، $\gamma = 20 \times 10^{12}$ rad/s، and $\gamma = 20 \times 10^{12}$ rad/s. جدول ۱، پارامترهای فیزیکی و هندسی سویچ پیشنهادی را ارائه می‌دهد.

ساختارهای پلاسمونی مبتنی بر موجبرهای MIM به دلیل توانایی هدایت نور در ابعاد بسیار کوچکتر از طول موج، گزینه‌ای جذاب برای ادوات نوری هستند. با ترکیب این ساختارها و مواد دارای ضریب غیرخطی کر زیاد می‌توان با طول‌های مؤثر در حد صدها نانومتر و توان‌های ورودی نسبتاً پایین، کلیدزنی تمام‌نوری را محقق ساخت. در مقایسه کیفی با سایر ساختارها، ساختار پیشنهادی به دلیل سادگی هندسه، اندازه کوچک، و قابلیت پیاده‌سازی، می‌تواند بلوک سازنده مناسبی برای کلیدزنی نوری باشد.

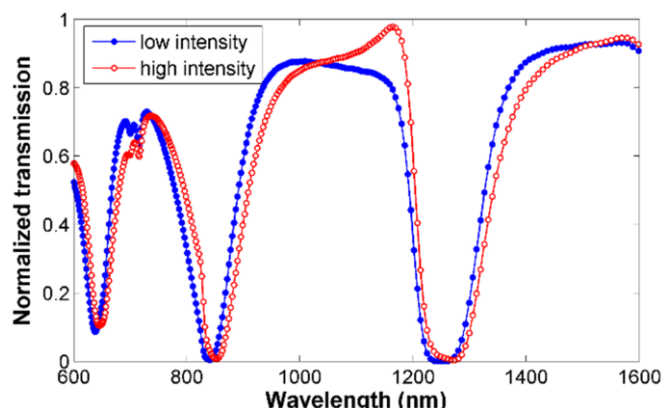


شکل ۴. توزیع میدان سویچ پلاسمونی مبتنی بر جفت دیسک نامتقارن، به ازای شدت ورودی (الف) کم، (ب) زیاد.

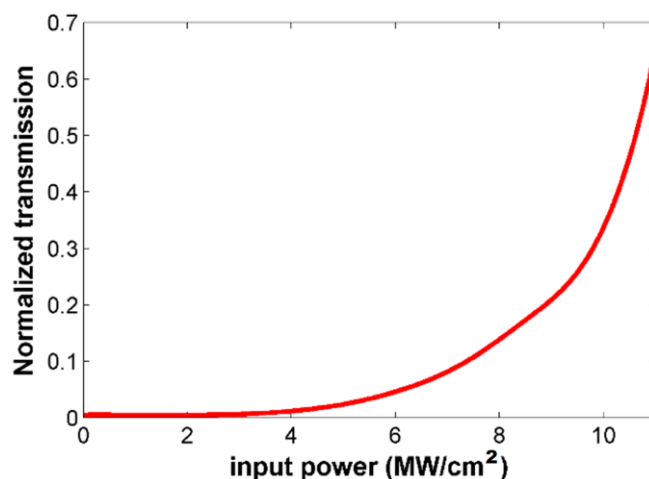
۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، با استفاده از ساختارهای MIM، یک جفت دیسک نامتقارن و بهره‌گیری هم‌زمان از خواص غیرخطی کر ماده SiO_2/Au و خواص غیرخطی ذاتی نانوساختارهای طلا سویچ پلاسمونی تمام‌نوری پیاده‌سازی شد. سویچ پلاسمونی متشکل از دو پوشش فلزی، یک موجبر مستقیم و یک جفت دیسک نامتقارن به ترتیب از جنس نقره، هوا و ماده غیرخطی است. درون کاواک‌ها نیز قطعاتی مربعی‌شکل از طلا با ابعاد 100×100 نانومتر مربع قرار داده شده است. با استفاده از روش FDTD، طیف انتقال ساختار در شدت‌های مختلف ورودی محاسبه شد. با بررسی طیف انتقال نتایج نشان داد به ازای شدت ورودی کم، یک کمینه در طول موج 840 نانومتر داریم. وقتی شدت نور تابشی به مقدار $0.11 \text{ mW}/\mu\text{m}^2$ افزایش یافت، تغییرات ثابت دی‌الکتریک ناشی از شدت میدان مکانی در دیسک‌ها، موجب تفاوت در کمینه طیف انتقال شد، به‌طوری که میزان توان انتقالی به خروجی به مقدار 0.65 افزایش یافت. توان آستانه ساختار با استفاده از نانوساختارهای فلزی طلا برابر $0.08 \text{ mW}/\mu\text{m}^2$ به دست آمد.

زیادتر از شدت آستانه خواهد بود. نسبت روشن به خاموش در این نقطه حدود $8/1$ دسی‌بل است.



شکل ۲. طیف انتقال سویچ پلاسمونی موجبر مستقیم و جفت دیسک نامتقارن، به ازای ورودی کم و زیاد.



شکل ۳. وابستگی انتقال به شدت نور ورودی سویچ پلاسمونی با موجبر مستقیم و جفت دیسک نامتقارن.

برای نشان دادن عملکرد سیگنال نور تابشی در شرایط خاموش و روشن، توزیع میدان مغناطیسی ساختار در شرایط شدت نور کم و زیاد در شکل ۴ ترسیم شده است. مشخص است که در حالت خاموش (شدت کم)، میدان به طور مؤثر در ناحیه دیسک‌ها به دام افتاده و تقویت می‌شود که نشان‌دهنده شرایط تشدید است. در این حالت، انرژی کمی به خروجی منتقل می‌شود. در حالت روشن (شدت زیاد)، به دلیل جابه‌جایی طول موج تشدید، پرتو ورودی از ناحیه دیسک‌ها خارج شده و از طریق موجبر اصلی به سمت خروجی هدایت می‌شود. تمرکز میدان در نانوساختارهای طلا در این حالت به‌وضوح قابل‌مشاهده است که سهم غیرخطی بودن ذاتی طلا را در عملکرد سویچ تأیید می‌کند. نتایج به‌خوبی با پاسخ طیف انتقال سیگنال در شرایط روشن و خاموش مطابقت دارد.

- switch using plasmonic nanowires placed in nonlinear resonator structure," *Journal of Nanophotonics*, 11, 036017-036017, 2017. <https://doi.org/10.1117/1.JNP.11.036017>
- [9] M. Ghadrdan and M. A. Mansouri-Birjandi, "Implementation of all-optical switch based on nonlinear photonic crystal ring resonator with embedding metallic nanowires in the ring resonators," *Optical and Quantum Electronics*, 48, 299, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11082-016-0552-8>
- [10] M. Ghadrdan, M. Shahraki, and M. A. Mansouri-Birjandi, "Plasmonic switch based on asymmetric cavities with embedding square of gold inside the cavities," *Journal of Nanophotonics*, 17, 036004-036004, 2023. <https://doi.org/10.1117/1.JNP.17.036004>
- [11] R. A. Wahsheh, "Plasmonic Mach-Zehnder interferometers based on air-gap couplers," *IEEE Photonics Journal*, 15, 1-10, 2023. <https://doi.org/10.1109/JPHOT.2023.3329940>
- [12] M. A. Mansouri-Birjandi, A. Tavousi, and M. Ghadrdan, "Full-optical tunable add/drop filter based on nonlinear photonic crystal ring resonators," *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications*, 21, 44-51, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.photonics.2016.06.002>
- [13] E. Adibnia, M. Ghadrdan, and M. A. Mansouri-Birjandi, "Chirped apodized fiber Bragg gratings inverse design via deep learning," *Optics & Laser Technology*, 181, 111766, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2024.111766>
- [14] E. Adibnia, M. Ghadrdan, and M. A. Mansouri-Birjandi, "Inverse Design of FBG-Based Optical Filters Using Deep Learning: A Hybrid CNN-MLP Approach," *Journal of Lightwave Technology*, 1-10, 2025. <https://doi.org/10.1109/jlt.2025.3534275>
- [15] E. Adibnia, M. Ghadrdan, and M. A. Mansouri-Birjandi, "Inverse design of octagonal plasmonic structure for switching using deep learning," *Results in Physics*, 71, 108197, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2025.108197>
- [16] E. Adibnia, M. Ghadrdan, and M. A. Mansouri-Birjandi, "Nanophotonic structure inverse design for switching application using deep learning," *Scientific Reports*, 14, 21094, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56522-3>
- [1] B. Jafari, E. Gholizadeh, B. Jafari, M. Zhoulideh, E. Adibnia, M. Ghafariasl, M. Noori, and S. Golmohammadi, "Highly sensitive label-free biosensor: graphene/CaF₂ multilayer for gas, cancer, virus, and diabetes detection with enhanced quality factor and figure of merit," *Scientific Reports*, 13, 16184, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43480-5>
- [2] T. Nurmohammadi, D. Jafari, M. Danaie, S. T. Foroughi, M. A. Sharif, and E. Adibnia, "A novel approach to the design of all-optical plasmonic switch utilizing the Kerr effect," *Optics & Laser Technology*, 192, 114095, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2025.114095>
- [3] S. Feng, X. Zhang, J. Li, and P. J. Klar, "Coupling between the plasmonic and photonic resonance modes in wave-guided metallic photonic crystals," *Journal of Nanophotonics*, 6, 063513-063513, 2012. <https://doi.org/10.1117/1.JNP.6.063513>
- [4] D. K. Gramotnev and S. I. Bozhevolnyi, "Plasmonics beyond the diffraction limit," *Nature photonics*, 4, 83-91, 2010. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2009.282>
- [5] E. Adibnia, M. A. Mansouri-Birjandi, M. Ghadrdan, and P. Jafari, "A deep learning method for empirical spectral prediction and inverse design of all-optical nonlinear plasmonic ring resonator switches," *Scientific Reports*, 14, 5787, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56522-3>
- [6] M. Ghadrdan and M. A. Mansouri-Birjandi, "Concurrent implementation of all-optical half-adder and AND & XOR logic gates based on nonlinear photonic crystal," *Optical and Quantum Electronics*, 45, 1027-1036, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11082-013-9713-1>
- [7] M. Mansouri-Birjandi, M. Moravvej-Farshi, and A. Rostami, "Ultrafast low-threshold all-optical switch implemented by arrays of ring resonators coupled to a Mach-Zehnder interferometer arm: based on 2D photonic crystals," *Applied optics*, 47, 5041-5050, 2008. <https://doi.org/10.1364/AO.47.005041>
- [8] M. Ghadrdan and M. A. Mansouri-Birjandi, "Low-threshold photonic crystal all-optical

2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72125-4>
- [17] M. Ghadrdan and M. A. Mansouri-Birjandi, "Design and implementation of optical switches based on nonlinear plasmonic ring resonators: circular, square and octagon," *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications*, 29, 15-21, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.photonics.2018.01.003>
- [18] J. I. Dadap, H. B. de Aguiar, and S. Roke, "Nonlinear light scattering from clusters and single particles," *The Journal of chemical physics*, 130, 2009. <https://doi.org/10.1063/1.3141383>
- [19] A. T. Rahmati and N. Granpayeh, "Low power nonlinear active devices based on intrinsic metal nonlinearities," *Journal of Lightwave Technology*, 32, 3402-3408, 2014. <https://doi.org/10.1109/JLT.2014.2344018>
- [20] H. Liao, R. Xiao, J. Fu, H. Wang, K. Wong, and G. Wong, "Origin of third-order optical nonlinearity in Au: SiO₂ composite films on femtosecond and picosecond time scales," *Optics letters*, 23, 388-390, 1998. <https://doi.org/10.1364/OL.23.000388>
- [21] P. Berini, "Plasmon-polariton waves guided by thin lossy metal films of finite width: Bound modes of symmetric structures," *physical Review B*, 61, 10484, 2000. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.61.10484>
- [22] R. Zia, M. D. Selker, P. B. Catrysse, and M. L. Brongersma, "Geometries and materials for subwavelength surface plasmon modes," *Journal of the Optical Society of America A*, 21, 2442-2446, 2004. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.21.002442>
- [23] A. Taflove, S. C. Hagness, and M. Picket-May, "Computational electromagnetics: the finite-difference time-domain method," *The Electrical Engineering Handbook*, 3, 15, 2005. <https://doi.org/>

Design and Simulation of a Low-Power All-Optical Plasmonic Switch Using Plasmonic Disks and Gold Nanostructures

Majid Ghadrdan^{1*}, Ehsan Adibnia¹, Mohammad Ali Birjandi Mansouri¹

¹ Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan (USB), Zahedan, Iran

Received: 2026-05-12

Revised: 2026-07-04

Accepted: 2026-08-10

Abstract: In this paper, an all-optical plasmonic switch based on a metal–insulator–metal (MIM) structure is proposed and numerically investigated. The proposed configuration consists of two MIM waveguides and a pair of asymmetric disks filled with a nonlinear Au/SiO₂ material, in which square-shaped gold nanostructures are embedded inside each disk. To achieve fast and low-power switching performance, both the Kerr nonlinearity of the dielectric material and the intrinsic optical nonlinearity of the gold nanostructures are simultaneously exploited. Finite-difference time-domain (FDTD) simulation results indicate that, at low input intensity, the structure exhibits a resonance at a wavelength of 840 nm. As the input optical intensity increases, the resonance wavelength undergoes a red shift due to the combined nonlinear effects, resulting in a sudden enhancement of the transmitted power. The switching threshold power is found to be approximately 0.08 mW/μm², while the maximum transmission reaches about 0.65. Owing to its compact size, low threshold power, and ultrafast response, the proposed plasmonic switch is a promising candidate for applications in plasmonic integrated circuits.

Keywords: Plasmonics, Kerr nonlinearity, All-optical switch, MIM waveguide, Gold nanostructures.

Corresponding Author. Email: ghadrdan@ece.usb.ac.ir

How to Cite This Article:

Ghadrdan M, Adibnia E, Mansouri-Birjandi M A. Design and Simulation of a Low-Power All-Optical Switch Using Plasmonic Disks and Gold Nanostructures. Nanomeghyas. 2026;():e738706 (In Persian). doi: 10.22034/ns.2026.2080794. 1416



This is an open access article under the CC-BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).