بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

سوییچ پلاسمونی مبتنی بر یک جفت کاواک عمودی تعبیه شده با نانوساختار مربعی طلا

مجید قدردان[۱]، مجتبی شهرکی[۲]

[۱و۲] دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان

[1]ghadrdan@ece.usb.ac.ir, [2]m.shahraki@ece.usb.ac.ir

چکیده - در این مقاله، با اســـتفاده از ســـاختارهای فلز-عایق-فلز و کاواک و همچنین بهره‌مندی از خواص غیرخطی ذاتی طلا و اثر غیرخطی کر، سوییچ پلا سمونی پیاده سازی شده ا ست. افزایش شدت نور موجب ایجاد اثرات غیرخطی قابل توجه در طلا و ماده غیرخطی می شود. با برر سی طیف انتقال به ازای شدت ورودی کم، ساختار پی شنهادی دارای یک کمینه در طول موج ۸۶۰ نانومتر ا ست. وقتی شدت نور تابشی افزایش می‌یابد، ثابت دی الکتریک و در نتیجه طول موج تشدید تغییر می‌کند. میزان توان انتقالی به خروجی با افزایش شدت نور ورودی تا مقدار ۰/۸ افزایش می‌یابد. توان آستانه سوییچ پلاسمونی نیز برابر $0.07\ mW/\mu m^2$ است.

کلید واژه- اثر غیرخطی کر، آثار غیرخطی طلا، سوییچ پلاسمونی، کاواک.

Plasmonic switch based on a pair of vertical cavities with embedding gold square nanostructures in the cavities

Majid Ghadrdan[1] and Mojtaba Shahraki[2]

[1,2]Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

E-mails: [1]ghadrdan@ece.usb.ac.ir , [2]mo_shahraki@ece.usb.ac.ir

Abstract- In this paper, we propose an all-optical switch based on nonlinear metal-insulator-metal (MIM) nanoplasmonic structures. The nonlinear Kerr effect and the intrinsic nonlinear properties of gold are used to implement the plasmonic switch. Increasing the intensity of the input light causes significant nonlinear effects. By examining the transmission spectrum, the proposed structure has a minimum at 860 nm. When the light intensity increases, the resonance wavelength changes. The result showed that the proposed switch has a threshold power equal to $0.07\ mW/\mu m^2$ and the transmission ratio of about 0.8.

Keywords: Cavity, Gold nonlinear properties, Nonlinear Kerr effect, plasmonic switch.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-16]

مقدمه

سوییچ‌های تمام نوری عنصر اصلی در طراحی مدارهای مجتمع نوری هستند و در شبکه‌های تمام نوری کاربردهای گسترده ایی دارند. ساختارهای پیشنهادی برای پیاده‌سازی سوییچ‌های نوری بر مبنای اصول متفاوت عمل می‌کنند و دارای ویژگی‌ها و کاربردهای مختلف هستند که از میان آن-ها، سوییچ‌های نوری بر اساس تحریک پلاسمون‌های سطحی به دلیل زمان پاسخ فوق العاده سریع، توان مصرفی ناچیز و مقیاس نانومتری توجه زیادی را به خود جلب نموده‌اند [۳-۱].

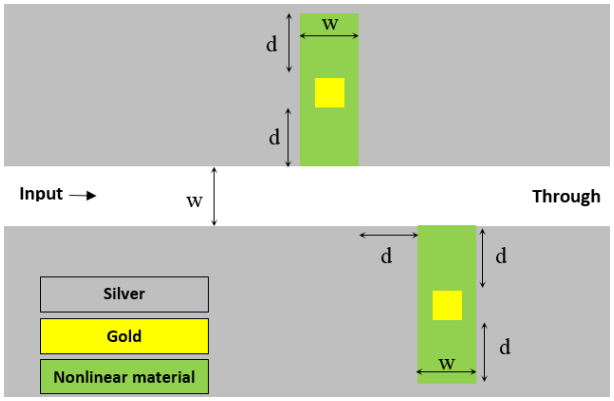
سوییچ‌های پلاسمونی دارای ابعاد نانومتری، سرعت زیاد، توان ورودی کم و بازده انتقال بالا هستند. در ساختارهای فلزی، تنها قطبش TM، پلاسمون‌های پلاریتون سطحی (SPP) را تحریک می‌کند [۴]. هنگامی که نور با قطبش TM به ساختار فلزی اعمال می‌شود، نور تابشی، SPPها را بر روی سطوح واسط فلز و عایق تحریک می‌کند.

تئوری و ساختار

در این مقاله با استفاده از ساختارهای MIM، کاواک و بهره گیری از خواص غیرخطی ذاتی طلا به پیاده‌سازی سوییچ پلاسمونی پرداخته شده است. بهره‌گیری از کاواک و قرار دادن قطعه طلا درون آن و همچنین استفاده از موادی با ضریب کر زیاد، منجر به معرفی سوییچ تمام‌نوری با توان مصرفی ناچیز و سرعت زیاد می‌شود. شدت نور زیاد موجب ایجاد اثرات غیرخطی قابل توجه در طلا می‌شود که می‌تواند ناشی از جابجایی الکترون‌های آزاد و مقید باشد [۸-۵].

در شکل ۱ طرح‌واره‌ای از سوییچ پیشنهادی که متشکل از دو پوشش فلزی نقره، موجبر مستقیم و یک جفت کاواک عمودی نامتقارن است، مشاهده می‌شود. ثابت دی الکتریک مختلط نقره توسط مدل درود مشخص می‌شود، [۹].

موجبر مستقیم و کاواک‌ها به ترتیب با هوا و ماده غیرخطی کر Au/SiO_2 پر شده‌اند. ضریب خطی ماده Au/SiO_2، ۱/۴۷ و ضریب غیرخطی آن (cm^2/W) $۲/۰۷\times۱۰^{-۹}$ است [۱۰ و ۱۱]. پهنای موجبرها w و فاصله بین کاواک‌ها d برابر ۱۵۰ نانومتر در نظر گرفته شده است. درون کاواک‌ها قطعه‌ای مربعی شکل از طلا با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ نانومتر قرار داده شده است. وقتی نور با قطبش TM به ساختار MIM تزریق می-شود، نور تابشی به موجبر تزویج خواهد شد و امواج SPP در سطوح مشترک فلزی منتشر می‌شود. در صورتی که نور در طول موج کاواک اعمال شود، نور عبور نخواهد کرد. با افزایش شدت نور ورودی، طول موج تغییر و عمل کلیدزنی مشاهده می‌شود.



شکل ۱. ساختار سوییچ پلاسمونی متشکل از دو پوشش فلزی نقره، یک موجبر مستقیم و یک جفت کاواک عمودی

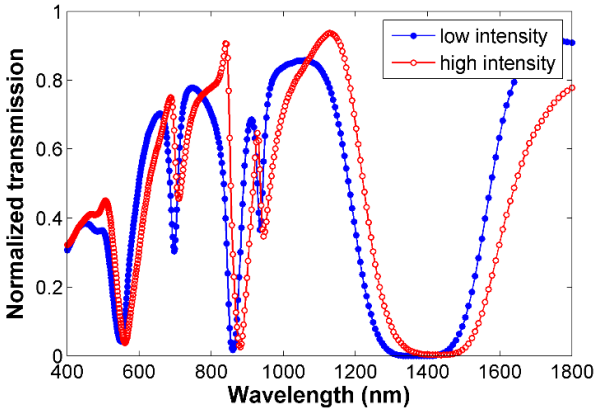
طراحی و شبیه‌سازی

نانوساختار نشان داده شده در شکل ۱، تشدید قوی در جفت کاواک 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 $0.01mW/\mu m^2$ یک کمینه در طول موج ۸۶۰ نانومتر مشاهده می‌شود. اگر شدت نور ورودی به مقدار

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

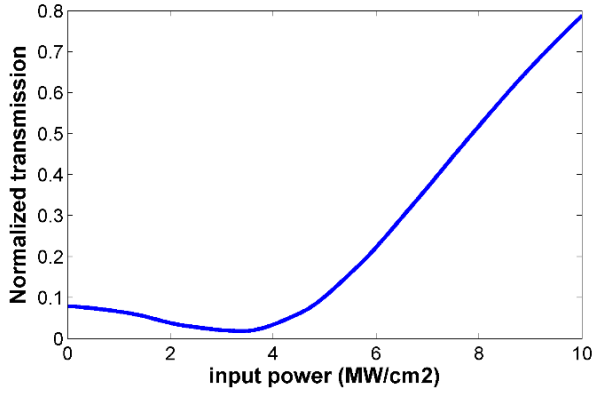
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-16]

$0.1MmW/\mu m^2$ افزایش یابد، ثابت دی الکتریک ماده غیرخطی نیز افزایش می‌یابد، و درنتیجه کمینه به مقدار ۸۸۰ نانومتر جابجایی قرمز می‌یابد.



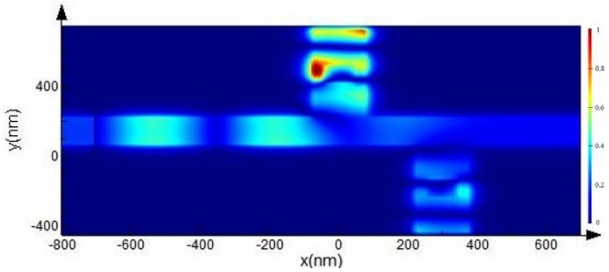
شکل ۲. طیف انتقال سوییچ پلاسمونی موجبر مستقیم و جفت کاواک عمودی نامتقارن، به ازای ورودی کم و زیاد

شکل ۳ وابستگی انتقال سیگنال به شدت نور ورودی را نشان می‌دهد. اگر شدت نور تابشی تغییر کند، تغییرات ثابت دی الکتریک ناشی از شدت میدان مکانی در کاواک‌ها، 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 افزایش می‌یابد، میزان انتقال سیگنال به خروجی نیز به سرعت و به طور ناگهانی به مقدار بالاتر در حدود ۰/۸ افزایش می‌یابد. توان آستانه سیگنال نیز برابر $0.07mW/\mu m^2$ است.

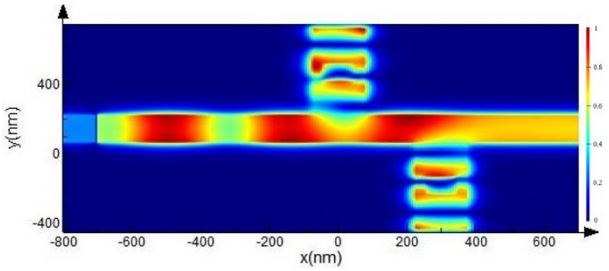


شکل ۳. وابستگی انتقال به شدت نور ورودی سوییچ پلاسمونی با موجبر مستقیم و جفت کاواک عمودی

توزیع میدان مغناطیسی ساختار در شرایط شدت نور کم و زیاد در شکل ۴ ترسیم شده است. مشخص است که وقتی شدت نور ورودی کم است، نور سیگنال منعکس می‌شود و هنگامی که شدت نور ورودی زیاد می‌شود، می‌تواند از موجبر مستقیم عبور کند.



الف



ب

شکل ۴. توزیع میدان سوییچ پلاسمونی موجبر مستقیم و جفت کاواک عمودی، به ازای ورودی الف) کم، ب) زیاد

نتیجه‌گیری

در این مقاله، با استفاده از ساختارهای MIM، کاواک و بهره گیری از خواص غیرخطی ذاتی طلا سوییچ پلاسمونی تمام نوری پیاده‌سازی شد. سوییچ پلاسمونی متشکل از دو پوشش فلزی، یک موجبر مستقیم و یک جفت کاواک عمودی نامتقارن به ترتیب از جنس نقره، هوا و ماده غیرخطی است. درون کاواک‌ها نیز قطعه‌ای مربعی شکل از طلا قرار داده شده است. با بررسی طیف انتقال به ازای شدت

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-16]

ورودی کم، یک کمینه در طول موج ۸۶۰ نانومتر مشاهده شد. وقتی شدت نور تابشی به مقدار $0.1mW/\mu m^2$ افزایش یافت، تغییرات ثابت دی الکتریک ناشی از شدت میدان مکانی در کاواک‌ها، موجب تفاوت در کمینه طیف انتقال شد، به طوری که میزان توان انتقالی به خروجی به مقدار ۰/۸ افزایش یافت. توان آستانه ساختار با استفاده از نانوساختارهای فلزی طلا برابر $0.07\ mW/\mu m^2$ بدست آمد.

مرجع‌ها

[1] He, Z., Li, H., Zhan, S., Li, B., Chen, Z., Xu, H., Tunable Multi-switching in Plasmonic Waveguide with Kerr Nonlinear Resonator, Vol. 5, pp. 15837, 2015.

[2] Nozhat, N., Granpayeh, N., All-optical nonlinear plasmonic ring resonator switches, *Journal of Modern Optics*, Vol. 61, No. 20, pp. 1690-5. 2014.

[3] Wu, Y.D., Hong, S.R., Shih, T.T., New All-Optical Switch Based on the Local Nonlinear Plasmonic Mach-Zehnder Interferometer Waveguides, *PIERS Proceedings*, Stockholm, Sweden, Aug. 12-15, 2013.

[4] Maier, S.A., Plasmonics- Fundamentals and Applications, *springer, New York*, 2007.

[5] Dadap, J. I., Aguiar, H. B., Roke, S., Nonlinear light scattering from clusters and single particles, J. Chem. Phys., Vol. 130, pp. 214710-1–214710-7, 2009.

[6] Abajo, F. J. G., Nonlocal effects in the plasmons of strongly interacting nanoparticles, dimers, and waveguides, J. Phys. Chem. C, Vol. 112, pp. 17983–17987, 2008.

[7] P. B. Johnson and R. W. Christy Optical constants of the noble metals, Phys. Rev. B, Vol. 6, pp. 4370–4379, 1972.

[8] Taher Rahmati, A., Granpayeh, N., Low Power Nonlinear Active Devices Based on Intrinsic Metal Nonlinearities, Journal of Lightwave Technology, Vol. 32, No. 21, 2014.

[9] Li, H., Noh, J.W., Chen, Y., Li, M., Enhanced optical forces in integrated hybrid plasmonic waveguides, *Opt. Express*, Vol. 21, pp. 11839–11851, 2013.

[10] Liao, H.B., Xiao, R.F., Fu, J.S., Wang, H., Wong, K.S., Wong, G.K.L., Origin of third-order optical nonlinearity in Au: SiO_2 composite films on femtosecond and picosecond time scales, *Optics Letters*, Vol. 23, No. 5, pp. 388-390, 1998.

[11] Rout A., Boltaev G.S., Ganeev R.A., et al. Nonlinear Optical Studies of Gold Nanoparticle Films. *Nanomaterials (Basel)*, Vol. 9, No. 2, 2019.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-16]