

بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران. ۱۴-۱۴ بهمن ۱۴۰۰



حسگر ضریبشکست فروسرخ نزدیک مبتنی بر توری دوپلهای تمام-فلزی

فاطمه مشتاقیفرد، علیاصغر عسکری، لاله رحیمینژاد

پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر، مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک Fmoshtaghifard@gmail.com اشتر، اصفهان

چکیده – در سالهای اخیر حسگرهای مبتنی بر اثر پلاسمون سطحی بواسطه قابلیت بالا در مجتمع شدن در ابعاد کوچک تر از طولموج و حساسیت زیاد آنها مورد توجه قرار گرفتهاند. در این مقاله، یک حسگر ضریب شکست مبتنی بر یک توری تمام-فلزی که دارای یک ساختار ساده است پیشنهاد و مورد بررسی قرار گرفته است. برای ساختار پیشنهادی، جذب پلاسمون در ناحیه طولموجی مرئی و فروسرخ نزدیک اتفاق میافتد. علاوهبر پارامتری مانند تناوب، عامل دیگری مثل پروفلیل سطح توری نیز بر خصوصیات طیف جذبی، تاثیرگذار است؛ شبیهسازیهای انجام شده به روش المان محدود نشاندهنده این است که با تغییر کوچک و مناسب در پروفایل یک توری معمولی می توان مقدار ضریب شایستگی حسگر را تا حد زیادی ارتقا داد.

کلید واژه- پلاسمونیک، توری تمام-فلزی، حسگر ضریب شکست

A near infrared refractive index sensor based on double-step all-metal grating

F. Moshtaghifard, A. A. Askari, L. Rahimi

Faculty of Applied Science, Malek-Ashtar University of Technology, Isfahan-Fmoshtaghifard@gmail.com

Abstract- In recent years, surface plasmonic-based sensors have received a great deal of attention due to their high sensitivity and ability to integrate into dimensions smaller than the wavelength. In this paper, a refractive index sensor based on an all-metal grating with a simple structure is proposed and investigated. For the proposed structure, plasmonic absorption occurs in the visible and near-infrared wavelength region. In addition to a parameter such as period, another factor such as the grating surface profile also affects the absorption spectrum properties; Finite element simulations show that with a small and appropriate change in the profile of a typical grating, the value of the figure of merit can be greatly increased.

Keywords: plasmonic, all-metal grating, refractive index sensor

بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران، ۱۲– ۱۴ بهمن ۱۴۰۰

مقدمه

حسگرهای مبتنی بر پلاسمون سطحی دارای حساسیت و قدرت تفکیک بالایی هستند. پیکربندیهای متفاوتی می-توانند برای تحریک پلاسمون سطحی استفاده شوند. حسگرهای مبتنی بر منشور و حسگرهای مبتنی بر توری دو نوع متداول از این حسگرها هستند. حسگرهای پلاسمون سطحی مبتنی بر منشور، هرچند دارای حساسیت زیادی هستند، اما معمولا بزرگ و دارای پیچیدگی میباشند و مجتمع نمودن آنها به سختی انجام می شود. از طرف دیگر محسگرهای پلاسمون سطحی مبتنی بر توری، حساسیت مستند که ما را در طراحی و ساخت آنها امیدوار می کند. ساخت توریهای یک بعدی، آسان و تولید آنها به نسبت کم هزینه است. بنابراین می توانند به طور موفقیت آمیزی در اجزای میکروسیالی دستگاههای تشخیصی، مجتمع شوند.

مهمترین پارامتر برای ارزیابی حسگرهای مبتی بر توری، ضریب شایستگی^۱ است. در طراحی حسگر، طیف مرئی و فروسرخ نزدیک بیشتر موردتوجه واقع میشوند؛ زیرا در این نواحی، تعدد و تنوع چشمههای نوری و آشکارسازها را داریم. در این زمینه، مطالعات بسیاری صورت گرفتهاست؛ از جمله یک بیوحسگر ضریبشکست مبتنی بر توری با ضریب یک بیوحسگر ضریبشکست مبتنی بر توری با ضریب شایستگی ¹-۲۹۳/۵RIU که برپایه کاواک فابری-پرو طراحی شدهاست[۱]. یا یک حسگر ضریبشکست دیگر که از جنس Al-MoS₂ است و براساس پیکربندی کرشمان طراحی شده و دارای ضریب شایستگی ¹-۳۳۵/۱۳RIU

¹ Figure Of Merit (FOM)

البته حسگری در نواحی فرابنفش هم صورت میگیرد که عمدتا دارای FOM بالایی است؛ اما هم قطعات حسگری آن، کمتر دردسترس هستند و هم دارای قیمت بالاتریاند. در اینجا، به مطالعه یک توری دوپلهای تمام-فلزی در طیف مرئی و نزدیک فروسرخ پرداخته شده؛ و درنهایت، با یک توری ساده تکپلهای مقایسه میشود و افزایش FOM مورد مطالعه قرار می گیرد.

معرفى ساختار

 w_1 شکل ۱، طرح شماتیک توری دوپلهای را نشان میدهد. w_1 و h_1 پهنا و ارتفاع پله دوم h_2 و w_2 و h_2 پهنا و ارتفاع پله دوم هستند. Λ نیز تناوب توری است. همچنین جنس توری از فلز طلا و محیط اطراف آن، هوا است.



شکل ۱: طرح شماتیک توری دوپلهای

هدف از این طراحی، بهدستآوردن نمودار بازتاب با بیشترین نسبت ارتفاع به پهنا است؛ بدین منظور، پارامتر FOM تعریف می شود.

$$FOM = S \times \frac{H}{W} \tag{1}$$

در این رابطه، S حساسیت توری، H ارتفاع طیف بازتاب و W پهنای آن است. حساسیت، مشتق طول موج نسبت به ضریب شکست یعنی $d\lambda/dn$ تعریف می شود که این مشتق از طریق رابطه انطباق فاز توری، قابل محاسبه است که با توجه به فرود عمود، ($\theta = 0$)، به شکل زیر تعریف می شود:

$$m\frac{\lambda_0}{\Lambda} = \pm \sqrt{\frac{\varepsilon_d \varepsilon_m}{\varepsilon_d + \varepsilon_m}} \tag{(Y)}$$

 λ_0 طول موج نور فرودی، m مرتبه پراش و b_3 و m_3 بهترتیب تابع دیالکتریک محیط اطراف و توری فلزی هستند. در طول موجهای فروسرخ نزدیک، بخش حقیقی تابع دی-الکتریک توری فلزی، خیلی بزرگتراز یک است. بنابراین رابطه ۲ با تقریب، میتواند به صورت $\Lambda \approx S$ نوشته شود؛ از آن جایی که تنها مراتب اولیه پراش بررسی میشوند، از آن جایی که تنها مراتب اولیه پراش بررسی میشوند، عددی حساسیت تقریبا همان مقدار تناوب را دارد. اکنون که مقدار عددی حساسیت را به دست آوردیم، مرحله بعدی، بهینه-سازی پارامترهای پله دوم و به دست آوردن بیشترین مقدار برای H/W است.

شبيەسازى

برای حل معادلات ماکسول در این گونه ساختارها، روش تفاضل محدود و روش المان محدود مورد استفاده قرار می-گیرد؛ در اینجا هندسه توری با استفاده از نرمافزار کامسول که برپایه روش المان محدوداست، شبیهسازی میشود. هم-چنین تابع دیالکتریک فلز طلا طبق مدل لورنتز-درود چنین تابع دیالکتریک فلز طلا طبق مدل لورنتز-رود تعیین می گردد [۳]. در همه مراحل، فرود عمود داریم و تناوب، مقدار ثابت ۷۵۰nm را داراست. طیف بازتاب برای بهینهترین حالت توری دوپلهای در مقایسه با توری تک پله-ای که برآمدگی آن، کاملا در میانه هندسه قرار گرفته، در شکل ۲ نمایش داده شدهاست.



شکل ۲: مقایسه طیف بازتاب توری تک پلهای و توری دوپلهای

این شکل، نشان میدهد مشخصات سطح توری نیز در شکل نهایی طیف بازتاب، تاثیر گذار است؛ یعنی میتوان با ایجاد تغییرات جزئی در هندسه توری، بهعنوان مثال اضافه کردن یک پله دیگر، مقدار FOM را افزایش داد.

در شبیهسازی اول، h₁ و h₂ بهترتیب دارای مقادیر ۱۵۰ و ۸۰ نانومتر هستند و w₁ دارای مقدار ۱۲۰nm است. هدف، بهینه کردن مقدار w₂ است. شکل زیر، نتایج شبیهسازی اولیه را نشان میدهد:



شکل ۳: نمودار ارتفاع، پهنا و نسبت این دو پارامتر، برای مقادیر مختلف پهنای پله دوم

طبق شکل ۳، بیشترین مقدار نسبت ارتفاع به پهنا، ۸۹۷nm⁻¹/۱۰است. در این حالت ۶۷۲RIU⁻¹ ،FOM میشود. گام بعدی، بهینهسازی پارامتر h₂ خواهد بود.



شکل ۴: نمودار ارتفاع، پهنا و نسبت این دو پارامتر، برای مقادیر مختلف ارتفاع پله دوم

طبق شکل ۴، بیشترین مقدار نسبت ارتفاع به پهنا، ۱/۰۵۴nm⁻¹ است. بنابراین، درنهایت، FOM دارای مقدار ۷۹۰RIU⁻¹ می شود.

بحث و بررسی

مشاهده می شود بعداز طی دو مرحله شبیه سازی، مناسب -ترین مقادیر برای پهنا و ارتفاع پله دوم، به دست می آیند که به ترتیب ۱۹۰ و ۸۵ نانومتر هستند. گام بعدی سنجش صحت کارکرد حسگر ضریب شکست است. بدین منظور، مقادیر مختلفی برای ضریب شکست محیط اطراف توری درنظر گرفته می شود و طیف بازتاب برای آن ها رسم می -گردد. نتیجه به صورت زیر نمایش داده می شود:



طبق شکل ۵ با افزایش مقدار عددی ضریب شکست، طیف بازتاب به سمت طول موجهای بیشتر می رود.



شکل ۶: موقعیت مکانی طول موج طیف بازتاب برحسب مقادیر مختلف ضریب شکست محیط اطراف

شکل ۶، محل فرورفتگی طیف بازتاب را نشان میدهد که دارای رفتار خطی است.

نتيجهگيرى

در این مقاله یک حسگر ضریب شکست با ساختار ساده مبتنی بر توری تمام-فلزی در بازه طول موجی فروسرخ نزدیک طراحی شد که مقدار FWHM آن ۶۰/۳ در فرود عمود است. هم چنین در این مقاله پارامترهای موثر بر طیف بازتاب مورد مطالعه قرار گرفت. از آنجایی که ویژگیهای سطح توری در شکل طیف بازتاب نقش دارد، با تغییر کوچکی در سطح توری، یعنی اضافه کردن یک پله، توری ساده تک پلهای به توری دوپلهای تبدیل شد و FOM آن از ساده تک پلهای به توری دوپلهای تبدیل شد و FOM آن از که با تغییرات کوچک در یک ساختار ساده، به بهینه سازی پارامترهای آن کمک شود.

مراجع

- [1] L. Zeng, M. Chen, W. Yan, Z. Li, and F. Yang, "Sigrating-assisted SPR sensor with high figure of merit based on Fabry–Pérot cavity," *Opt. Commun.*, Vol. 457, No. September 2019, p. 124641, 2020.
- [2] S. Shukla and P. Arora, "Design and comparative analysis of aluminum-MoS2 based plasmonic devices with enhanced sensitivity and Figure of Merit for biosensing applications in the nearinfrared region," *Optik (Stuttg).*, Vol. 228, No. December 2020, p. 166196, 2021.
- [3] A. D. Rakić, A. B. Djurišić, J. M. Elazar, and M. L. Majewski, "Optical properties of metallic films for vertical-cavity optoelectronic devices," *Appl. Opt.*, Vol. 37, No. 22, p. 5271, 1998.