

طراحی و شبیه‌سازی گیت نوری NOT با استفاده از ماده تغییردهنده فاز GST بر بستر InP در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر

علیرضا ملک محمد، محمود نیکوفرد، مصطفی رحیمی

گروه نانوالکترونیک، پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان

alireza1234malekmohammad1234@gmail.com, mnik@kashanu.ac.ir and Mostafa75ra@gmail.com

چکیده - با پیشرفت‌های سریع در فناوری و افزایش نیاز به سرعت و کارایی در پردازش و انتقال داده‌ها، حوزه‌های مختلف علمی و مهندسی به دنبال راه‌حل‌های نوین برای غلبه بر محدودیت‌های موجود در سیستم‌های الکترونیکی هستند. یکی از این راه‌حل‌های پیشرفته، استفاده از فناوری نوری در طراحی و ساخت دروازه‌های منطقی است. ماده GST یکی از متداول‌ترین مواد تغییر دهنده فاز می‌باشد که در این مقاله در طراحی گیت نوری NOT از آن استفاده شده است. در این مقاله ابتدا توسط نرم‌افزار کامسول ساختار سوییچ نوری پلاسمونیکی پیشنهادی تحلیل شده و ضخامت مناسب برای هر یک از لایه‌ها بدست آورده شده است. سپس از آن در طراحی مشددحلقوی بهره برده شده است. همچنین، طول موج تشدید مشددحلقوی پیشنهادی، در هریک از فازهای ماده GST محاسبه شده که در این طول موج، عملکرد مشددحلقوی مانند گیت نوری NOT می‌باشد. کلید واژه- بایولیزر، پروتئین، تابش فلورسانس، مد گالری نجواگر، میکروکاوک.

Design and simulation of NOT optical gate using GST phase change material on InP substrate at wavelength of 1.55 μm

Alireza Malek Mohammad, Mahmoud Nikoufard, and Mostafa Rahimi

Department of Nanoelectronics, Research Institute of Science and Nanotechnology, Kashan University, Kashan

alireza1234malekmohammad1234@gmail.com, mnik@kashanu.ac.ir, and Mostafa75ra@gmail.com

Abstract-With the rapid advancements in technology and the growing demand for speed and efficiency in data processing and transmission, various scientific and engineering fields are seeking innovative solutions to overcome the limitations of electronic systems. One of these advanced solutions is the use of optical technology in the design and fabrication of logic gates. GST is one of the most commonly used phase-change materials, and in this article, it has been employed in the design of a NOT optical gate. In this study, the proposed plasmonic optical switch structure is first analyzed using COMSOL software, and the optimal thickness for each layer is determined. This structure is then utilized as a key component in designing a ring resonator. Furthermore, the resonance wavelength of the proposed ring resonator in each phase of the GST material is calculated, demonstrating that, at this wavelength, the ring resonator functions as a NOT optical gate.

Keywords: Germanium Antimony Telluride (GST), Indium Phosphide, Optical switches, 1.55 μm wavelength.

مقدمه

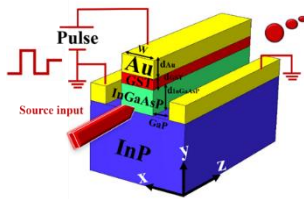
مواد تغییر فاز دهنده موادی هستند که توانایی تغییر بین دو فاز آمورف و بلوری را دارند که با استفاده از این خاصیت، امکان کنترل انتشار نور در موجرها فراهم می‌شود. ماده GST (ژرمانیم-آنتیموان-تلوریم) یکی از متداول‌ترین مواد تغییر دهنده فاز می‌باشد. فاز آمورف ماده GST، مقاومت الکتریکی بالا و بازتاب نوری کم را از خود نشان می‌دهد [۱]، همچنین، فاز آمورف ماده GST یک ساختار بی‌نظم می‌باشد، از طرف دیگر فاز بلوری ماده GST، مقاومت الکتریکی پایین و درجات مختلفی از بازتاب نوری بالا را در مقایسه با فاز آمورف از خود نشان می‌دهند و یک ساختار منظم می‌باشد [۳].

در این پژوهش ابتدا به طراحی یک سویچ نوری پلاسمونیک مبتنی بر ماده تغییر دهنده فاز GST، پرداخته شده و سپس با قرار دادن آن در یکی از بازوهای مشددحلقوی و محاسبه طول موج تشدید آن توسط نرم‌افزار کامسول یک گیت نوری NOT طراحی و شبیه‌سازی شده است.

ساختار سویچ نوری پلاسمونیک پیشنهادی

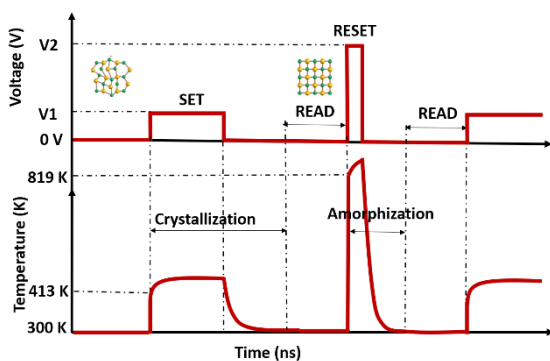
سویچ‌های نوری مبتنی بر مواد تغییردهنده فاز که بر بستر ایندیوم فسفاید ساخته می‌شوند، از قابلیت‌های منحصره‌فردی برای تغییر حالت بین فازهای آمورف و کریستالی برخوردارند. این تغییرات فاز سریع و بازگشت‌پذیر، باعث تغییرات چشمگیری در خصوصیات نوری ماده مانند ضریب شکست می‌شوند. علاوه بر این ماده InGaAsP که به عنوان هسته در ساختار سویچ نوری پلاسمونیک استفاده شده، به دلیل خواص نوری منحصره‌فردی که دارد اخیراً مورد توجه دانشمندان فوتونیک قرار گرفته است [۴]. در شکل ۱، نمای سه‌بعدی

سویچ نوری پلاسمونیک پیشنهادی و فرایند تغییر فاز ماده GST آورده شده است. ضمناً ضرایب شکست لایه‌های هسته، ایندیوم فسفاید، طلا و ماده GST در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر به ترتیب برابر با $n_{\text{Au}} = 0.5406 + 10.742i$ ، $n_{\text{InGaAsP}} = 3.3640$ ، $n_{\text{InP}} = 3.17$ ، $n_{\text{GST Amo}} = 4.6 + 0.12i$ و $n_{\text{GST Cry}} = 7.45 + 1.49i$ می‌باشند [۲].



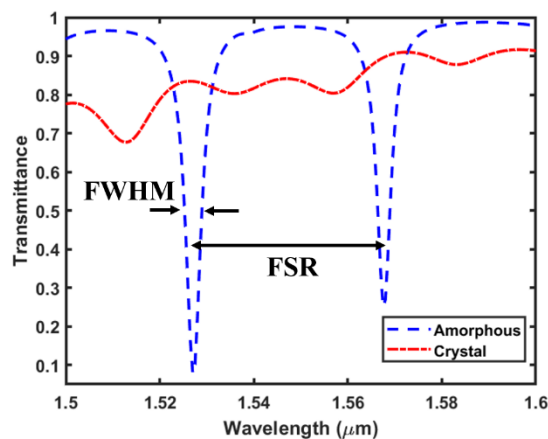
شکل ۱: نمای سه‌بعدی ساختار سویچ نوری پلاسمونیک ارائه شده.

همان‌طور که مشاهده می‌شود ساختار شکل ۱، شامل ۴ لایه مختلف است که هرکدام خواص نوری متفاوتی از خود نشان خواهند داد. باتوجه به این که بیشترین ضرایب شکست مربوط به لایه‌های ماده تغییر فاز دهنده GST و هسته می‌باشد. بنابراین نور در این لایه‌ها محصور خواهد شد. ضمناً با توجه به اینکه قسمت موهومی ضریب شکست لایه GST در فازهای آمورف و بلوری به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را دارد. بنابراین، جذب نور در فاز بلوری بسیار چشمگیر خواهد بود. در شکل ۲، فرایند تغییر فاز ماده GST نمایش داده شده است.



شکل ۲: نمایش فرایند تغییر فاز ماده GST به صورت الکتریکی [۵]

در شکل ۳، مشاهده می‌گردد که مشددحلقوی طراحی شده شامل دو موجبر مستقیم غیرفعال که به یکدیگر نزدیک شده‌اند، یک موجبر فعال مبتنی بر ماده GST (سوییچ نوری پلاسمونیک پیشنهادی) و دو موجبر مستقیم غیرفعال به صورت هندسه تیپری می‌باشند. هنگامی که نور در موجبر مستقیم غیرفعال انتشار یابد، با توجه به فاز کاری ماده GST و طول موج مناسب تشدید، جریان نور به داخل مشددحلقوی یا در موجبر مستقیم هدایت خواهد شد و در نتیجه کنترل نور در خروجی موجبر مستقیم قابل کنترل خواهد بود. بدین منظور، برای بررسی عملکرد مشددحلقوی طراحی شده، پارامتر انتقال (Transmission) که نسبت توان خروجی به توان ورودی است، در طول موج‌های ۱/۵ تا ۱/۶ میکرومتر در شکل ۴، محاسبه شده است که در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم.



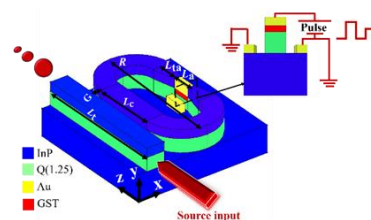
شکل ۴: منحنی‌های پارامتر انتقال در فازهای آمورف و بلوری ماده GST برحسب طول موج با "d" _InGaAsP, "d" _"GST" " = 30 nm " و "W = 150 nm " و "d_Au = 100 nm ".

مطابق شکل ۴، طول موج انتخابی برای عملکرد مناسب مشددحلقوی شکل ۳، باید به گونه‌ای انتخاب گردد، که زمانی که ماده GST در فاز آمورف قرار گیرد، نوری به طور کامل وارد مشددحلقوی شود و نور را به دام اندازد و انتقال نور به خروجی موجبر جلوگیری نماید. همچنین، زمانی فاز ماده GST به حالت بلوری تبدیل گردد، در این حالت باید نور بسیار کمی وارد مشددحلقوی شده و انتقال نور از ورودی

مطابق شکل ۲، برای این که بتوان انتشار نور را کنترل نمود، باید بین فازهای آمورف و بلوری مکعبی ماده GST سوییچ نمود. که این تغییر فاز توسط روش‌های الکتریکی یا پرتو نوری متمرکز، امکان پذیر خواهد بود. با توجه به این که ساختار سوییچ نوری پیشنهادی به صورت پلاسمونیک طراحی شده است. بنابراین، شرایط به نحوی فراهم شده، که از طریق روش الکتریکی تغییر فاز ماده GST صورت گیرد. برای تغییر فاز ماده GST از حالت آمورف به بلوری مکعبی، باید دمای آن از آستانه بلوری شدن عبور نماید و مدت زمان لازم در دمای ثابت قرار گیرد تا پیوندهای آن زمان کافی برای مرتب شدن داشته باشند و سپس باید سرد شوند. بدین منظور باید یک پالس با دامنه و زمان مناسب به قسمت‌های الکتریکی ساختار سوییچ نوری اعمال گردد. همچنین، برای برگشتن به فاز آمورف، باید یک پالس قوی‌تر با زمان کمتر اعمال شود تا به سرعت دمای لایه GST از نقطه ذوب خود عبور نماید و سریع سرد گردد، تا پیوندهای آن فرصت مرتب شدن را پیدا ننماید [۵، ۶].

طراحی مشددحلقوی مبتنی بر سوییچ نوری پلاسمونیک پیشنهادی

مشددحلقوی یکی از مهم‌ترین اجزاء در سیستم‌های اپتیکی و فوتونیک هستند که به طور کلی شامل یک حلقه موجبر است که می‌تواند نور را در داخل خود در طول موج‌های خاص به دام بیندازد و به صورت مکرر به دور خود بچرخاند [۷]. در شکل ۳، نمای سه بعدی مشددحلقوی طراحی شده با استفاده از سوییچ نوری پلاسمونیک مبتنی بر ماده نشان داده شده است. InP بر بستر GST تغییردهنده فاز



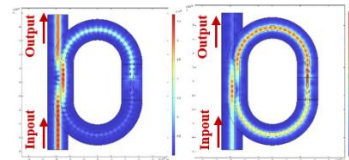
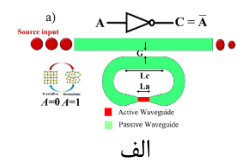
شکل ۳: مشددحلقوی طراحی شده مبتنی بر سوییچ نوری پلاسمونیک.

پژوهش، به طراحی سویچ‌های نوری مبتنی بر ماده GST و استفاده آن در طراحی گیت‌های نوری که نقش حیاتی در طراحی و توسعه مدارهای دیجیتالی را دارند، پرداخته شد. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که گیت‌های نوری نه تنها از نظر سرعت و کارایی نسبت به گیت‌های سنتی مزایای بیشتری دارند، بلکه می‌توانند مصرف انرژی را نیز به طور قابل توجهی کاهش دهند. این ویژگی‌ها باعث شده است که گیت‌های نوری به عنوان یک راه حل امیدوارکننده برای چالش‌های مربوط به پردازش داده‌ها در سیستم‌های محاسباتی پیشرفته مورد توجه قرار گیرند.

مراجع

- [1] M. Alam, J. N. Caspers, J. S. Aitchison, and M. Mojahedi, "Compact low loss and broadband hybrid plasmonic directional coupler," *Optics Express*, vol. 21, no. 13, pp. 16029-16034, 2013.
- [2] H. Liang, R. Soref, J. Mu, A. Majumdar, X. Li, and W.-P. Huang, "Simulations of Silicon-on-Insulator Channel-Waveguide Electrooptical 2×2 Switches and 1×1 Modulators Using a GST Holding Layer," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 33, no. 9, pp. 1805-1813, 2015.
- [3] Z. Yu, J. Zheng, P. Xu, W. Zhang, and Y. Wu, "Ultracompact electro-optical modulator-based Ge $2 \text{ Sb } 2 \text{ Te } 5$ on silicon," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 30, no. 3, pp. 250-253, 2017.
- [4] X. Wang et al., "Advances in photonic devices based on optical phase-change materials," *Molecules*, vol. 26, no. 9, p. 2813, 2021.
- [5] M. Abbaspour, M. Nikoufard, and A. M. Mohammad, "Electro-Thermo-Optical Simulations of Phase-Change GST-SiC Plasmonic Optical Modulator for Telecom Applications," *Advanced Theory and Simulations*, p. 2400546.
- [6] A. Malek Mohammad, M. Nikoufard, and S. Abdolghaderi, "Multiphysics simulations of a cylindrical waveguide optical switch using phase change materials on silicon," *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, p. 10730, 2024.
- [7] A. Nitkowski, A. Baeumner, and M. Lipson, "On-chip spectrophotometry for bioanalysis using microring resonators," *Biomedical optics express*, vol. 2, no. 2, pp. 271-277, 2011.

موجبر به خروجی با اتلاف مناسب صورت گیرد. بنابراین، در شکل ۴، طول موج مناسب برای فازهای آمورف و بلوری ماده GST باید به نحوی انتخاب شود که پارامتر انتقال به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را داشته باشد، که در طول موج ۱/۵۲۷ میکرومتر این شرایط برقرار است. در ادامه در شکل ۵، به بررسی میدان‌های الکتریکی در هریک از فازهای آمورف و بلوری ماده GST در طول موج انتخابی می‌پردازیم.



شکل ۵: الف)، شماتیک مشددحلقوی طراحی شده به عنوان گیت نوری NOT با $L_a = 260 \text{ nm}$, $L_c = 2600 \text{ nm}$, $G = 70 \text{ nm}$ و $\text{Radius} = 10000 \text{ nm}$. ب و ج، توزیع میدان الکتریکی به ترتیب در فازهای آمورف و بلوری ماده GST در طول موج ۱/۵۲۷ میکرومتر.

با توجه به منحنی‌های شکل ۴ و انتخاب طول موج ۱/۵۲۷ میکرومتر، عملکرد مشددحلقوی مطابق شکل‌های ۵ ب و ج، مانند گیت نوری NOT می‌باشد. در شکل ۵ ب، با توجه به اینکه فاز کاری ماده GST آمورف بوده است. بنابراین، نور در طول موج به دست آمده در داخل مشددحلقوی به دام افتاده و تقریباً ۲۰ درصد توان الکتریکی ورودی به خروجی رسیده است. همچنین، در شکل ۵ ج، به خاطر بلوری بودن ماده فعال، از ورود توان الکتریکی به داخل مشددحلقوی جلوگیری شده و تقریباً ۸۰ درصد توان الکتریکی به خروجی انتقال یافته است که نشان‌دهنده گیت نوری NOT است.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه گیت‌های نوری به عنوان عناصر اساسی در پردازش اطلاعات، نقش محوری در عملکرد و کارایی سیستم‌های الکترونیکی را ایفا می‌کنند. بنابراین، در این

شکل دهی باریکه لیزری از طریق خود مدولاسیون فازی

بهناز سلمان، علی اصغر عجمی

دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

ajami@semnan.ac.ir, benbensoli1376@gmail.com

چکیده- این مقاله به بررسی شکل دهی باریکه لیزر از طریق خود مدولاسیون فازی در محیط های کر می پردازد. در پدیده خود مدولاسیون فازی، انتشار یک باریکه لیزری پر شدت درون یک ماده غیر خطی باعث تغییر ضریب شکست شده که پیامد آن تغییرات فاز در باریکه لیزری در حال انتشار می باشد. در این پژوهش، الگوهای پراش برای یک باریکه گاوسی عبوری از یک محیط کر با استفاده از انتگرال پراش فرنل محاسبه می شود. ماده با ضریب شکست غیر خطی منفی در مکان های مختلف بعد از کمر باریکه قرار می گیرد و توان لیزر برای تغییر فاز غیر خطی بیشینه به اندازه π تنظیم می گردد. در این شرایط یک توزیع شدت حلقوی در میدان دور مشاهده می شود. در فاصله خاص ۱٫۵ برابر طول رایلی از کمر باریکه شدت مرکز طرح پراش حدود ۱۲٪ شدت بیشینه حلقه اطراف مرکز را نشان می دهد که تاریکترین مرکز طرح پراش به ازاء تغییر فاز غیر خطی π می باشد. علاوه بر این، تغییر فاز غیر خطی به اندازه مضرب فردی π منجر به ایجاد طرح پراشی متشکل از حلقه های روشن اطراف یک مرکز تاریک می شود. نتایج این بررسی اهمیت ضریب شکست غیر خطی و انحنای جبهه موج در شکل گیری الگوهای پراش منحصر به فرد را مورد تأکید قرار می دهد و کارایی پدیده خود مدولاسیون فازی برای شکل دهی باریکه و کنترل شدت در سیستم های نوری را نشان می دهد.

کلید واژه- خود مدولاسیون فازی، شکل دهی باریکه لیزری، ضریب شکست غیر خطی، محیط کر، انتگرال پراش فرنل.

Laser beam shaping via self-phase modulation

Behnaz Salman, Aliasghar Ajami

Faculty of Physics, Semnan University, Semnan, Iran.

ajami@semnan.ac.ir, benbensoli1376@gmail.com

Abstract- This article examines beam shaping through self-phase modulation (SFM) in Kerr media. In SFM, the propagation of a high-intensity laser beam through a nonlinear medium causes a change in the refractive index, resulting in phase changes in the propagating laser beam. In this study, diffraction patterns for a Gaussian beam passing through a Kerr medium are calculated using the Fresnel diffraction integral. The medium with a negative nonlinear refractive index is positioned at various locations after the beam waist, and the laser power is adjusted to achieve a maximum nonlinear phase change of π . Under these conditions, a ring distribution is observed in the far field. At a specific distance of 1.5 times the Rayleigh length from the beam waist, the intensity at the center of the diffraction pattern is about 12% of the maximum intensity of the surrounding ring, which represents the darkest center for a nonlinear phase change of π . Additionally, a nonlinear phase change corresponding to an odd multiple of π leads to the formation of a diffraction pattern consisting of bright rings surrounding a dark center. The results of this study emphasize the importance of the nonlinear refractive index and wavefront curvature in the formation of unique diffraction patterns and demonstrate the effectiveness of the self-phase modulation phenomenon for beam shaping and intensity control in optical systems.

Keywords: Self-phase modulation, Beam shaping, Nonlinear refractive index, Kerr medium, Fresnel diffraction integral

I. INTRODUCTION

Beam Shaping involves altering the intensity distribution of a laser beam to achieve a desired profile. This can be accomplished through various optical elements such as lenses, mirrors, and diffractive optics. Beam shaping can be achieved via altering the wavefront by controlling the phase of light across the beam via self-phase modulation (SPM) which is induced by the beam itself. SPM as a nonlinear optical effect occurs when an intense laser beam passes through a medium, causing changes in the phase of light due to the intensity-dependent refractive index of the medium. For Kerr medium the change in refractive index is proportional to the square of the electric field strength, making it more pronounced at higher laser intensities. Therefore, SPM phenomenon can be used to create complex wavefront patterns leading to real-time beam shaping for purposes of intensity adjustments, compensating for aberrations, optical limiting, and optimizing performance [1, 2]. Furthermore, the nonlinear refractive index of a medium can be determined by studying diffraction patterns in the far-field taking benefit of SFM [3].

SFM occurs due to changes in the refractive index of the medium through which an intense laser beam propagates. Generally, the refractive index depends on the light intensity, allowing it to be expressed as a power series of intensity.

$$n(I) = n_0 + n_2 I + n_4 I^2 + \dots \quad (1)$$

where n_0 is the linear refractive index, n_2 is the third-order nonlinear refractive index and n_4 is the fifth-order nonlinear refractive index. When an intense focused Gaussian laser beam propagates through a thin nonlinear medium, the wavefront alters due to the radially nonuniform change in refractive index inducing self-focusing or self-defocusing effect, depending on whether the nonlinear refractive index is positive or negative. The electric field exiting the nonlinear sample is given by

$$E_e(x', y', z') = E_{in}(x', y', z') \exp[i\Delta\Phi(x', y', z')] \quad (2)$$

where E_{in} is the electric field incident on the sample, $\Delta\Phi = kL\Delta n$ with k the wave number, L the sample

thickness and Δn is the refractive index change (e.g. for a Kerr medium $\Delta n = n_2 I$).

The electric field distribution of a light beam transmitted through a nonlinear medium can be determined using the Fresnel diffraction integral.

$$E(x, y, z) = \frac{1}{i\lambda d} e^{ikd} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} E_e(x', y', z') \times e^{i\frac{k}{2d}((x-x')^2 + (y-y')^2)} dx' dy' \quad (3)$$

where $d = z - z'$ is the distance between the nonlinear sample and the observation plane.

The intensity distribution on the observation plane can thus be calculated using Eq. (4) when a Gaussian beam passes through a nonlinear medium.

$$I(x, y, z) = I_0 \left| \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\Delta\Phi_{tot}} e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{w(z)^2}} e^{i\frac{k}{2d}((x-x')^2 + (y-y')^2)} dx' dy' \right|^2 \quad (4)$$

where $I_0 = \frac{n_0 c \epsilon_0 E_0^2 w_0^2}{2\lambda^2 d^2 w^2}$ is the on-axis intensity at sample position, w_0 is the beam waist radius and w is the beam radius on the sample entrance.

In Eq. (4) $\Delta\Phi_{tot} = k(x^2 + y^2)/2R(z) + kL\Delta n$, where $R(z)$ is the radius of wavefront curvature, represents the total phase consisting of two contributions: the first part depends on wavefront curvature, and the second part is influenced by changes in the refractive index. The total phase of the wavefront depends on the signs of both contributions which can be positive or negative.

The diffraction pattern of a Gaussian beam transmitted through a nonlinear medium is generally a set of rings which have been observed and reported by many researchers [4].

2. Results and discussion

The diffraction pattern of a Gaussian beam transmitted through a Kerr medium with a nonlinear refractive index of $n_2 = -5 \times 10^{-8} \text{ W}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ was calculated on an observation screen located 500 mm away from the beam waist using Eq. (4). The laser wavelength and the beam waist radius were set to 532 nm 50 μm respectively. The on-axis phase change at each sample position given by $\Delta\Phi(z) = kLn_2I(z)$ in which $I(z) = 2P/\pi w(z)^2$ and $w(z)$ denotes the beam radius can be controlled by adjusting the laser power P . Figure 1 illustrates a comparison between diffraction patterns causing by $\Delta\Phi(z) = -\pi$ rad when the nonlinear medium is positioned at various positive z -positions. The pattern consists of a bright thick ring around a central dark spot but the central brightness defined by $I_{\text{cen}} \times 100/I_{\text{max}}$ varies based on sample position due to changes in curvature radius of the wavefront.

The central brightness of each pattern was determined and plotted versus sample position as shown in Fig. 2. Numerical calculations indicate that when the sample is positioned at $z = 1.5z_R$ (z_R is the Rayleigh length), the centre of the pattern exhibits minimum brightness, resulting in a donut-shaped beam profile. In Fig. 3(a) the diffraction pattern of the Gaussian beam is compared with the main beam profile for the case of $\Delta\Phi(z = 1.5z_R) = \pi$ rad. For better visualization, the pattern was plotted 3D as shown in Fig. 3(b). In this configuration the central intensity is approximately 12% of the peak intensity observed in the bright surrounding ring.

The characteristic of self diffraction rings depends on the interplay between wavefront curvature and nonlinear refractive index changes resulting in two distinct scenarios. When the wavefront curvature and nonlinear refractive index change share the same sign, their effects are constructive, leading to an increase in the total phase of the propagating beam. This constructive scenario is seen when a converging beam traveling through a negative nonlinear refractive index medium or a diverging beam passing through a positive nonlinear refractive index

medium. In this case, the self-diffraction pattern observed on the screen appears with a bright centre surrounded by thin bright rings, and the overall intensity distribution zone becomes significantly more compact [5].

On the other hand, when the signs are opposite, their influences cancel each other out. This occurs when a converging beam propagating through a positive nonlinear refractive index medium or a diverging beam passing through a negative nonlinear refractive index medium. In this case, the self-diffraction pattern on the observation screen appears with a dark centre surrounded by thick bright rings [6, 7].

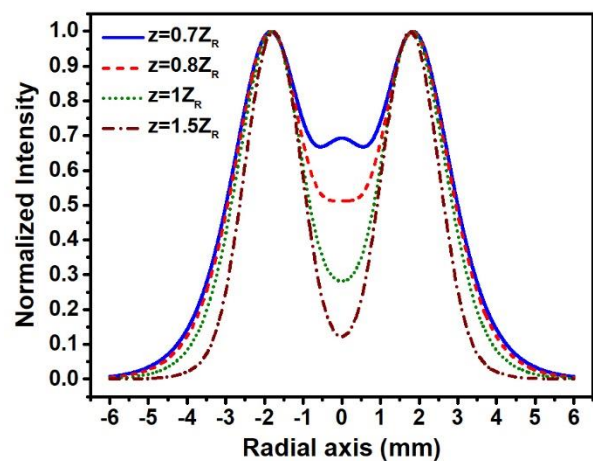


Fig. 1. patterns for different sample positions.

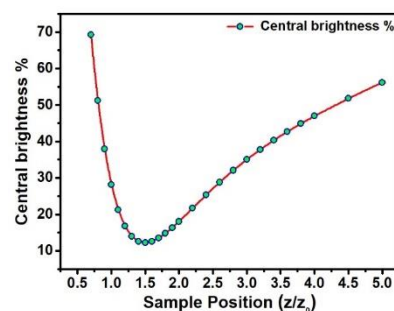


Fig. 2. Central brightness of the patterns.

Adjusting the on-axis phase change by varying laser power causes deformation in the diffraction pattern, revealing additional bright rings with either a dark or bright centre. In Fig. 4, the patterns corresponding to on-axis phase shifts of 3π and 5π are compared with the main beam profile. As can be seen, the pattern consists of two rings for phase shift of 3π and three rings for 5π .

These results support a correlation between phase shift and number of ring N , represented by the relationship

$$N = (\Delta\Phi + \pi)/2\pi$$

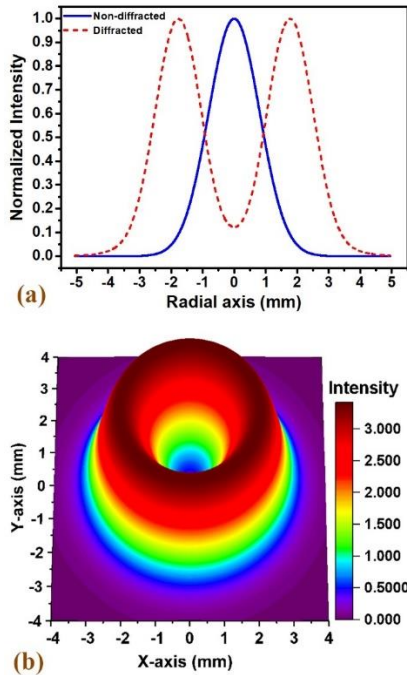


Fig. 3. Comparison between the main beam profile and the diffraction pattern (a) and the 3D donut shape profile of diffracted beam (b).

3. Conclusion

The diffraction pattern of a Gaussian beam through a Kerr medium was analysed using the Fresnel diffraction integral. Scanning the sample after the beam waist, while adjusting laser power for a consistent phase shift $\Delta\Phi(z) = \pi$ rad, revealed a donut-shaped known as vortex beam profile at certain positions of $z = 1.5Z_R$. This pattern, with central brightness reduced to about 12%, is valuable in applications like laser material processing, where structured beam profiles enhance precision and effectiveness. Additionally, an induced on-axis phase shift of $\Delta\Phi(1.5Z_R) = -(2N - 1)\pi$ produces a series of N bright rings around a dark centre.

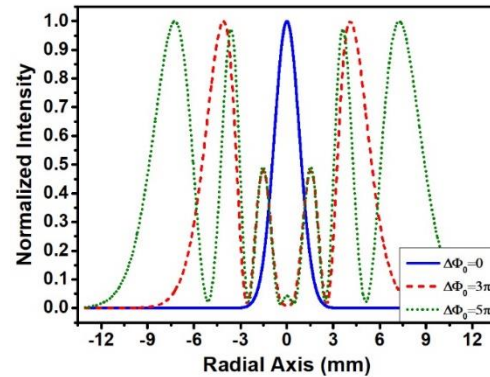


Fig. 4. Comparison diffraction patterns for different on-axis phase change.

II. REFERENCES

- [1] Y. V. G. S. Murti and C. Vijayan, "Self-focusing, Phase Modulation, and Pulse Shaping," in *Physics of Nonlinear Optics*, Y. V. G. S. Murti and C. Vijayan, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 111-128.
- [2] M. H. M. Ara, S. Salmani, S. H. Mousavi, and E. Koushki, "Investigation of nonlinear optical responses and observing diffraction rings in acid dye (Patent Green)," *Current Applied Physics*, vol. 10, no. 4, pp. 997-1001, 2010.
- [3] O. Boughdad, A. Eloy, F. Mortessagne, M. Bellec, and C. Michel, "Anisotropic nonlinear refractive index measurement of a photorefractive crystal via spatial self-phase modulation," *Optics Express*, vol. 27, no. 21, pp. 30360-30370, 2019/10/14 2019.
- [4] A. B. Villafranca and K. Saravanamuttu, "Diffraction rings due to spatial self-phase modulation in a photopolymerizable medium," *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, vol. 11, no. 12, p. 125202, 2009/09/21 2009.
- [5] N. Angie Solano, T. Yezid, M.-C. Jesús, R. Henry, and J. Vladimir, "Fraunhofer diffraction pattern due to spatial self-phase modulation of a Gaussian beam by a photorefractive crystal," ed, 2023.
- [6] R. G. Harrison, L. Dambly, D. Yu, and W. Lu, "A new self-diffraction pattern formation in defocusing liquid media," *Optics communications*, vol. 139, no. 1-3, pp. 69-72, 1997.
- [7] D. Yu, W. Lu, R. G. Harrison, and N. N. Rosanov, "Analysis of dark spot formation in absorbing liquid media," *Journal of Modern Optics*, vol. 45, no. 12, pp. 2597-2606, 1998.

بهینه سازی تبدیلات فرکانسی بر پایه ترکیب چهار موج در نانوساختارهای هیبریدی فلز-دی الکتریک

فاطمه پیمانی، نعمت اله جعفری، علی بهاری

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

f.peymani1992@gmail.com, jafary_68@yahoo.com, alibahari2@yahoo.com

چکیده - در مقیاس های زیرطول موج تابشی مانند نانومتر، شرط تولید بهینه پدیده های اپتیکی غیرخطی، وجود تشدید در طول موج های فرودی و خروجی است. در این مطالعه، محاسبات عددی نشان می دهند که حضور نیم استوانه های فلزی در یک نانوساختار هیبریدی فلز-دی الکتریک، به دلیل تشدیدهای پلاسمون سطحی (SPRs) که در غیاب مواد پلاسمونی وجود ندارند، پاسخ های طیفی چند تشدیدی در طول موج های خاص ایجاد می کند. با محاسبه بازده حالت های مختلف تبهگن و غیر تبهگن پدیده ترکیب چهار موج (FWM) در پیک های تشدیدی، مشاهده شده است که بازده برخی حالت ها نسبت به سایر حالت ها افزایش چشمگیری داشته است. این نتایج نشان می دهند که نانوساختارهای هیبریدی می توانند بازده فرآیندهای اپتیکی غیرخطی را با استفاده از خواص SPR بهینه و تقویت کنند.

کلید واژه- اپتیک غیرخطی، ترکیب چهار موج، تشدیدهای پلاسمون سطحی، روش عناصر محدود، نانوساختارهای هیبریدی

Optimization of frequency conversions based on four-wave mixing in hybrid metal-dielectric nanostructures

Fatemeh Peymani, Neamat A. Jafari, Ali Bahari

Department of Physics, Faculty of Basic Science, University of Lorestan, Khorramabad, Iran

f.peymani1992@gmail.com, jafary_68@yahoo.com, alibahari2@yahoo.com

Abstract- At subwavelength scales of radiation, such as the nanometer, the optimal generation condition of nonlinear optical phenomena is the presence of resonance at both the input and output wavelengths. In this study, numerical calculations show that the presence of metal hemi-cylinders in a metal-dielectric hybrid nanostructure creates multi-resonant spectral responses at specific wavelengths due to surface plasmon resonances (SPRs), which do not exist in the absence of plasmonic materials. By calculating the efficiency of different degenerate and non-degenerate states of the four-wave mixing (FWM) phenomenon at resonant peaks, it was observed that the efficiency of some states has increased significantly compared to others. These results indicate that hybrid nanostructures can optimize and enhance the efficiency of nonlinear optical processes by utilizing SPR properties.

Keywords: Nonlinear optics, four-wave mixing, surface plasmon resonances, finite element method, hybrid nanostructure

مقدمه

فرآیندهای تبدیل فرکانس اپتیکی غیرخطی شامل برهمکنش دو یا چند فوتون در یک محیط غیرخطی جهت تولید یک فوتون با فرکانس چند برابر و دستیابی به منابع نوری در طول موج‌هایی هستند که به‌طور طبیعی تولید نور همدوس در آنها امکان‌پذیر نمی‌باشد. ازجمله پدیده‌های برجسته در این زمینه، پدیده ترکیب چهار موج (FWM) است که از برهمکنش چهار موج با طول‌موج‌های مختلف در یک محیط غیرخطی ناشی می‌شود. این پدیده توانایی تبدیل و تولید فرکانس‌های غیرخطی در طیف وسیعی از فرکانس‌ها، از نور مرئی تا مادون قرمز (IR) را دارد. با این حال، به دلیل ماهیت بسیار ضعیف مواد غیرخطی و بازده پایین پدیده FWM، ایجاد آن مستلزم شدت ورودی بسیار بالایی است [۱]. به همین منظور، در اپتیک مدرن جهت تقویت فرآیندهای اپتیکی غیرخطی، نانوساختارهای هیبریدی فلز-دی‌الکتریک به‌عنوان گزینه‌ای کارآمد مطرح شده‌اند. این نانوساختارها، با به‌کارگیری تشدیدهای پلاسمونی سطحی جایگزیده (LSPRs) در نانوذرات و تشدیدهای پلاریتون پلاسمون‌های سطحی (SPPRs) در ساختارهای پیوسته، قادرند میدان‌های الکترومغناطیسی را در حجم‌های کوچک‌تر از طول‌موج (زیرطول‌موج) به شدت تقویت کنند. این قابلیت می‌تواند منجر به افزایش چشمگیر بازده برهمکنش‌های مختلف نور-ماده شود [۲]. در این کار، به پدیده FWM در یک نانوساختار هیبریدی فلز-دی‌الکتریک پریودیک با استفاده از روش المان محدود (FEM) پرداخته شده است. ابتدا، پاسخ طیفی خطی نانوساختار در حضور و عدم حضور نیم‌استوانه‌های فلزی تحلیل و بررسی شده است. سپس با تعیین طول‌موج‌های تشدید، بازده پدیده FWM در این طول‌موج‌ها محاسبه شده است. درنهایت، جهت دستیابی به حالت بهینه ترکیب امواج، بازده پدیده FWM برای حالات مختلف تبه‌گن نیز بررسی شده است.

محاسبات و نتایج

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، نانوساختار

هیبریدی فلز-دی‌الکتریک مورد بررسی شامل زیرلایه‌ای از طلا (Au)، یک لایه نازک دی‌الکتریک HfO_2 و دو نیم‌استوانه فلزی جفت شده Au است که نیم‌استوانه‌ها به‌صورت دوره‌ای روی لایه دی‌الکتریک قرار گرفته‌اند. در پدیده FWM، هنگامی که فرکانس هر سه فوتون فرودی متفاوت باشد، یک فرآیند غیرتب‌ه‌گن رخ می‌دهد که منجر به تولید پنج فرکانس مختلف می‌شود. در این مطالعه، حالت ترکیب تفاضل چهار موج (four-wave difference mixing)، یعنی $\omega_4 = \omega_1 - \omega_2 + \omega_3$ بررسی شده است. با توجه به اینکه فرآیندهای اپتیکی غیرخطی مرتبه سوم می‌توانند در هر دو نوع مواد متقارن مرکزی و غیرمتقارن مرکزی رخ دهند، طبق کار قبلی [۳]، هر دو ماده HfO_2 و Au دارای مؤلفه‌های قطبش غیرخطی مرتبه سوم هستند. بنابراین، قطبش غیرخطی مرتبه سوم مرتبط با پدیده FWM را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$P_{FWM}^{(3)}(\omega_4) = \epsilon_0 \chi_{HfO_2}^{(3)} E(\omega_1) E(\omega_2)^* E(\omega_3) + \epsilon_0 \chi_{Au}^{(3)} E(\omega_1) E(\omega_2)^* E(\omega_3) \quad (1)$$

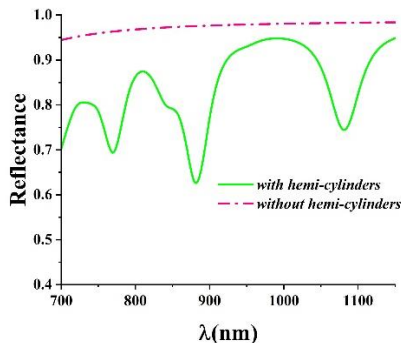
که $E(\omega_i)$ نشان‌دهنده شدت میدان الکتریکی هر یک از موج‌های فرودی است و این معادله به‌عنوان منبع تولید پدیده FWM در نظر گرفته می‌شود.

از طرفی دیگر، بازده تبدیل پدیده FWM به‌صورت نسبت توان موج خروجی به توان موج اولیه تعریف می‌شود [۴]:

$$\eta_{FWM} = \frac{P_{FWM}}{P_{FF}} \quad (2)$$

بازده FWM به پارامترهای هندسی نانوساختار مانند شعاع و طول نیم‌استوانه‌ها و همچنین شدت میدان‌های الکتریکی فرودی بستگی دارد. با تنظیم دقیق این پارامترها، می‌توان بازده این پدیده را بهینه‌سازی و تقویت کرده و به بازده تبدیل مؤثر دست یافت.

شماتیکی از نانوساختار مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. در این محاسبات، پذیرفتاری‌های اپتیکی غیرخطی مرتبه سوم مواد HfO_2 و Au از [۵ و ۶] استخراج شده‌اند. میدان تابشی نیز به‌صورت یک موج تخت با قطبش TM است که در جهت Z- منتشر می‌شود.

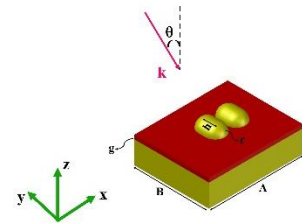


شکل ۲: پاسخ طیفی خطی نانوساختار هیبریدی فلز-دی الکتریک برحسب

طول موج در حضور و عدم حضور نیم استوانه‌های فلزی جفت شده

به‌طور مشابه، با تغییر طول موج‌های تابشی دوم و سوم نیز رفتاری مشابه دو حالت قبل خواهیم داشت. علاوه بر تشدیدهای موجود در پاسخ‌های خطی تابش‌های فرودی، می‌توان با استفاده از ترکیب فرکانس‌های مختلف، طول موج خروجی را به‌گونه‌ای تنظیم کرد که در پیک‌های تشدید یا نواحی اطراف آنها قرار گیرد و باعث افزایش چشمگیر بازده شود. در نتیجه، با توجه به این ترکیب‌ها میدان در طول موج خروجی در نواحی تشدید قرار می‌گیرد و در این حالت بازده به بیشترین مقدار خود می‌رسد. این نتایج اهمیت تنظیم دقیق طول موج‌های تابشی را در بهینه‌سازی بازده فرآیندهای اپتیکی غیرخطی نشان می‌دهند، به‌طوری‌که با انتخاب طول موج تابشی مناسب و تنظیم پارامترهای هندسی می‌توان به بازده معقول و بالایی دست یافت.

شکل ۴ حالات مختلف پدیده FWM و تأثیر آنها بر بازده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این نانوساختار هیبریدی فلز-دی الکتریک برای پدیده FWM، دو حالت تبهگن وجود دارد و در حالت‌هایی که تبهگنی برای موج تابشی سوم رخ می‌دهد، بازده به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. در حالت‌هایی که فرکانس پدیده FWM برابر با فرکانس‌های تابشی (مانند $\omega_4 = \omega_1, \omega_2, \omega_3$) می‌شود، نیازی به محاسبه بازده نیست؛ زیرا بازده این حالت‌ها نسبت به حالت‌های خطی بسیار کمتر بوده و این فرکانس‌ها به‌طور خودبه‌خود وجود دارند.



شکل ۱: شماتیک یک سلول واحد از نانوساختار هیبریدی فلز-دی الکتریک.

پارامترهای هندسی عبارت‌اند از: $A = 250\text{nm}$, $B = 200\text{nm}$, $t =$

60nm , $g = 11\text{nm}$, $h = 70\text{nm}$, $r = 25\text{nm}$

در شکل ۲، به‌منظور بررسی پاسخ اپتیکی خطی، رفتار پیک‌های تشدید نانوساختار هیبریدی فلز-دی الکتریک به‌صورت تابعی از طول موج در حضور و عدم حضور نیم استوانه‌های جفت‌شده محاسبه شده است. در غیاب نیم استوانه‌های پلاسمونی (فلزی) به دلیل عدم وجود SPRs، هیچ تشدید مشاهده نمی‌شود. اما با حضور نیم استوانه‌های فلزی، تشدیدهایی در سه طول موج مشخص ظاهر می‌شوند. این نقاط تشدید به علت افزایش و محبوس شدگی شدید میدان‌های الکترومغناطیسی در مرز بین نیم استوانه‌ها و دی الکتریک که ناشی از حضور SPRs است، شکل می‌گیرند. بنابراین، با استفاده از مواد پلاسمونی و تنظیم دقیق پارامترهای هندسی می‌توان یک تشدید بهینه در SPRs ایجاد کرد که منجر به افزایش قابل توجه بازده و بهبود عملکرد پدیده‌های اپتیکی خطی و غیرخطی در کاربردهای عملی می‌شود.

در شکل ۳ تأثیر تغییرات طول موج بر بازده پدیده FWM در زوایای تابشی ثابت محاسبه شده است. در این محاسبات، از آنجایی که پذیرفتاری غیرخطی مرتبه سوم HfO_2 سه مرتبه کمتر از Au است، سهم آن در مقایسه با Au بسیار ناچیز است و در نتیجه، نقش غالب را در این فرآیند ایفا می‌کند. با تغییر طول موج تابشی اول (λ_1) مشاهده می‌شود که λ_1 یک بار با λ_2 و بار دیگر با λ_3 برابر می‌شود. زمانی که λ_1 با λ_2 و λ_3 برابر می‌شود، پیک تشدید در λ_1 با پیک‌های تشدید در λ_2 و λ_3 تقریباً همپوشانی دارد.

شکل ۴: مقایسه حالات مختلف FWM تبهنگ

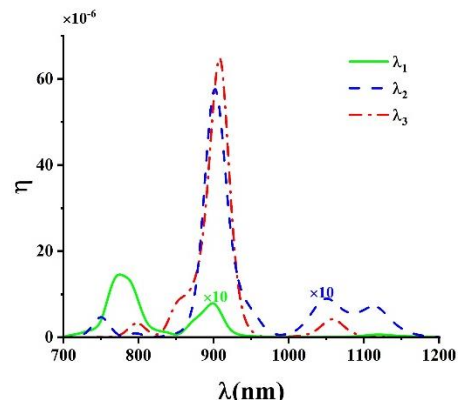
این نانوساختارها با استفاده از خواص منحصربه‌فرد SPRs، توانایی افزایش بازده فرآیندهای اپتیکی غیرخطی و بهبود عملکرد دستگاه‌های اپتیکی را دارند که به‌عنوان گامی مهم در مسیر توسعه حوزه نانوفوتونیک به‌شمار می‌روند.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که وجود نانوذرات پلاسמוنی در نانوساختارهای هیبریدی باعث بهبود پاسخ‌های اپتیکی خطی و غیرخطی می‌شود. علاوه بر این ایجاد یک پاسخ چندتشدیدی شرط تولید بهینه پدیده‌های اپتیکی غیرخطی مانند FWM را مهیا می‌کند. از طرفی انتخاب مناسب طول‌موج‌های تابشی جهت همپوشانی بهتر در نقاط تشدیدی باعث افزایش بازده این پدیده خواهد شد.

مرجع‌ها

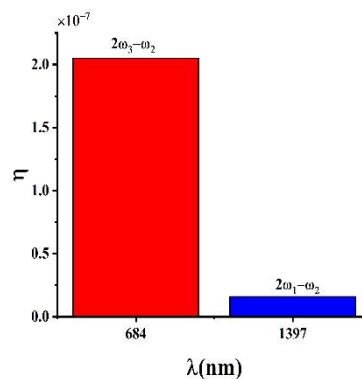
- [1] R. W. Boyd, *Nonlinear Optics*, Cambridge Academic Press, 2020.
 - [2] A. Barreda, F. Vitale, A. Minovich, C. Ronning and I. Staude, "Applications of Hybrid Metal-Dielectric Nanostructures: State of the Art", *Adv. Photon. Res.*, Vol. 3, No. 4, pp. 2100286, 2022.
 - [3] F. Peymani and A. Bahari, "Numerical investigation of high-order harmonic generation by gold nanorod arrays in hybrid nanostructures: effect of number of gold nanorod", *Phys. Scr.*, Vol. 99, No. 7, pp. 075519, 2024.
 - [4] T. Akylbek, T. Akhmet and T. Liliya, "Experimental study of four-wave mixing based on a quantum dot semiconductor optical amplifier", *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, Vol. 13, No. 5, pp. 5179-5189, 2023.
 - [5] C. Rodriguez, S. Gunster, D. Ristau and W. Rudolph, "Frequency tripling mirror", *Opt. Express*, Vol. 23, No. 24, pp. 31594-31601, 2015.
- E. Poutrina, C. Ciraci, D. J. Gauthier and D. R. Smith, "Enhancing four-wave mixing processes by nanowire arrays coupled to a gold film", *Opt. Express*, Vol. 20, No. 10, pp. 11005-11013, 2012



شکل ۳: بازده کلی FWM برحسب تغییرات طول‌موج‌های تابشی اول، دوم

و سوم در زوایای فروودی عمودی

درواقع، هدف اصلی پدیده FWM، تولید امواج جدید در فرکانس‌های متفاوت است. به‌وضوح دیده می‌شود که بیشترین بازده FWM در حالتی رخ می‌دهد که موج تابشی دوم با موج تابشی سوم یعنی $2\omega_3 - \omega_2$ همپوشانی دارند. از طرفی دیگر، کمترین بازده نیز در حالتی که موج تابشی اول با موج تابشی دوم همپوشانی داشته یعنی $2\omega_1 - \omega_2$ مشاهده می‌شود. دلیل بازده بالای پدیده FWM در حالت $2\omega_3 - \omega_2$ این است که شدت میدان الکتریکی در فرکانس تابشی سوم به مراتب بیشتر از سایر فرکانس‌های تابشی است و این افزایش شدت به‌طور قابل‌توجهی بازده FWM را افزایش می‌دهد. این ویژگی‌ها نشان‌دهنده توانایی بالای نانوساختارهای هیبریدی فلز-دی‌الکتریک در ایجاد پاسخ طیفی خطی چندتشدیدی جهت تقویت فرآیندهای اپتیکی غیرخطی در کاربردهای مختلف فوتونیک و اپتیکی



می‌باشند.

تشخیص اشیاء در تصویر با استفاده از شبکه عصبی عمیق

فائزه مهدی ملکی، محمدرضا جعفر فرد، بابک زارع

دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

Faezeh_mahdi76@physics.iust.ac.ir, mrmrjafarfard@iust.ac.ir, bzarer@iust.ac.ir

چکیده - برای مشخصه یابی یک شیء خاص در یک تصویر، علاوه بر تشخیص وجود آن در تصویر احتیاج به مکان-یابی دقیق آن در تصویر مورد بررسی داریم. در این مقاله با بکارگیری هوش مصنوعی و استفاده از رهیافت شبکه عصبی عمیق به مطالعه و بررسی تشخیص اشیاء در تصاویر پرداخته شده است. یادگیری عمیق به کمک شبکه‌های عصبی، می‌تواند امکان طبقه بندی و مکان-یابی همزمان اشیاء را فراهم آورد. از طرف دیگر، رویکردهای مبتنی بر شبکه عصبی عمیق از شبکه عصبی کانولوشن (CNN) برای تشخیص شیء استفاده می‌کنند که در آن ویژگی‌های شیء در تصویر نیازی به تعریف و استخراج جداگانه ندارند و این کار به صورت خودکار توسط شبکه عصبی کانولوشن انجام می‌پذیرد.

کلید واژه- تشخیص اشیاء، یادگیری عمیق، شبکه عصبی، شبکه عصبی کانولوشن، مدل یولو

Objects detection in the image using deep neural network

Faezeh Mahdimalaki, Mohammadreza Jafarfard, Babak Zare

Department of Physics, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Faezeh_mahdi76@physics.iust.ac.ir, mrmrjafarfard@iust.ac.ir, bzarer@iust.ac.ir

Abstract - In order to identify a specific object in an image, in addition to detecting its presence in the image, we need to accurately locate it in the investigated image. In this article, by applying artificial intelligence and deep neural network approach, the study and investigation of object detection in images has been done. Deep learning with the help of neural networks can provide the possibility of simultaneous classification and location of objects. On the other hand, approaches based on deep neural network use Convolutional Neural Network (CNN) for object recognition, where the features of the object in the image do not need to be defined and extracted separately, and this work is done automatically by Convolutional Neural Network.

Keywords: Object Detection, Deep Learning, Neural Network, Convolutional Neural Network, YOLO Model

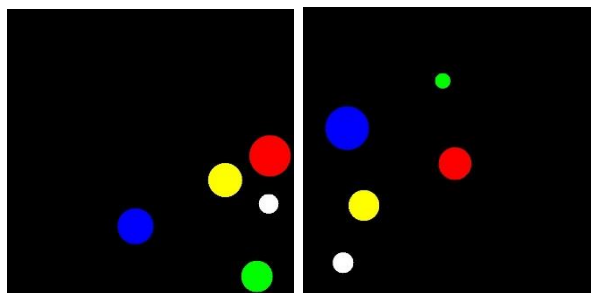
مقدمه

امروزه پردازش تصاویر بیشتر به واکاوی یک تصویر دیجیتالی، به منظور دستیابی به یک تصویر بهبود یافته و یا برای استخراج برخی اطلاعات مفید از آن تصویر اطلاق می‌شود که وظایفی از جمله طبقه‌بندی تصویر، تشخیص شیء، تقسیم‌بندی رابه کمک دانش رایانه و هوش مصنوعی اجرا می‌کند. یک تصویر از اشیاء مورد نظر و پس‌زمینه تشکیل شده است. هر شیء با ویژگی‌های اصلی مانند شکل، اندازه، رنگ، بافت و دیگر خصوصیات تعریف می‌شود [۱]. تشخیص اشیاء ترکیبی از طبقه‌بندی با مکان‌یابی دقیق شیء، ترسیم جعبه مرزی در اطراف شیء و شناسایی کلاس آن است که درک کاملی از تصویر را فراهم می‌کند. در ابتدا نیاز است که یک مدل از آن شیء را بسازد. در مرحله بعد الگوریتم آن مدل بر اساس ویژگی‌های اصلی یا روش‌های پیچیده ریاضی شروع به جستجو در تصویر می‌کند تا شیء مورد نظر را پیدا کند [۲]. از آنجایی که شبکه عصبی کانولوشنی قدرت نمایش ویژگی بالایی دارد، در نتیجه در معماری مدل‌های تشخیص شیء بر پایه یادگیری عمیق از شبکه عصبی کانولوشنی استفاده می‌شود. در یک شبکه عصبی کانولوشنی، هر لایه کانولوشنی، تصویر ورودی را با مجموعه‌ای از فیلترهای قابل یادگیری برای تولید مجموعه‌ای از نقشه‌های ویژگی پردازش می‌کند. لایه‌های ادغام با کاهش ابعاد نقشه‌های ویژگی، تعداد پارامترها و محاسبات را کاهش داده و به مدل کمک می‌کند تا ویژگی‌های مهم را حفظ کنند. لایه تمام متصل، ترکیب و خلاصه سازی تمام ویژگی‌های استخراج شده را بر عهده دارد تا بتواند ویژگی‌های پردازش شده را به خروجی نهایی تبدیل کند [۳]. مدل‌های تشخیص شیء بر پایه شبکه کانولوشنی به دو دسته کلی الگوریتم‌های یک مرحله‌ای و الگوریتم‌های دو مرحله‌ای تقسیم می‌شود. در الگوریتم‌های دو مرحله‌ای ابتدا مکان اشیاء را محاسبه و سپس در مرحله دوم کلاس‌های مربوط به اشیاء یافته شده را طبقه بندی می‌کنند. مانند مدل‌های SPPNet, RCNN, FastRCNN, FasterRCNN, R-FCN. در الگوریتم‌های یک مرحله‌ای به طور مستقیم مکان‌های احتمالی در

شبکه را جستجو و طبقه بندی را انجام می‌دهند، مانند مدل‌های YOLO, SDD, RetinaNet, CornerNet [۴].

شبیه سازی

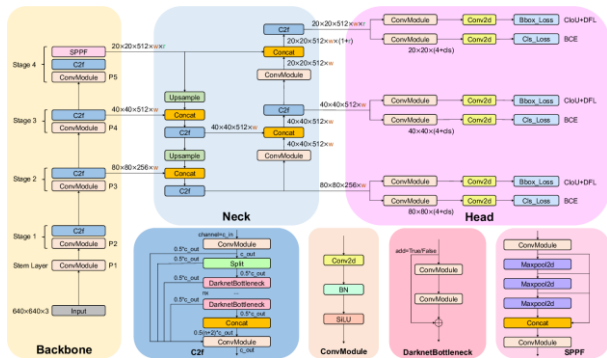
در ابتدا برای ساخت مجموعه داده ۱۰۰۰ تصویر برچسب گذاری شده با ابعاد 100×100 پیکسل شامل پنج دایره در پنج کلاس رنگی با شعاع و مراکز تصادفی در سه دسته، ۷۰٪ داده‌ی آموزشی (۷۰۰ تصویر)، ۲۰٪ داده‌ی اعتبارسنجی (۲۰۰ تصویر) و ۱۰٪ داده‌ی آزمایشی (۱۰۰ تصویر) تولید شده است. در شکل (۱) نمونه‌ای از تصاویر مجموعه داده نمایش داده شده است.



شکل ۱: دو نمونه از مجموعه داده تولید شده در پنج کلاس برچسب گذاری شده ی blue, green, red, yellow و white.

در این مقاله از نسخه هشتم مدل YOLO که نسبت به مدل‌های پیشین دارای سرعت تشخیص بالا برای مسائل بلادرنج است، استفاده شده است. ابتدا یک شبکه کانولوشنی روی تصویر کامل اعمال می‌شود و تصویر ورودی به یک شبکه مشبک $S \times S$ تقسیم می‌شود و برای هر سلول، جعبه‌های مرزی B که احتمال حضور شیء در آنجا وجود داشته باشد و همچنین احتمال تعلق آن‌ها برای کلاس‌های مختلف C را به صورت هم‌زمان پیش‌بینی می‌کند. در صورتی که مرکز یک شیء در محدوده هر سلول این شبکه مشبک قرار بگیرد این شبکه می‌تواند شیء را تشخیص دهد. هر سلول دارای شیء شامل ۵ مقدار (w, h, y, x, Pc) است. که Pc نمره اطمینان جعبه، x و y مختصات مرکز جعبه نسبت به سلول شبکه و h و

شیء، طبقه بندی و رگرسیون جعبه مرزی در تشخیص اشیاء با اندازه‌های مختلف استفاده می‌کند [۶].



شکل ۲: معماری شبکه نسخه هشتم YOLO.

از طرفی در این مقاله از YOLOv8n که کوچک ترین مدل ارائه شده از نسخه هشتم YOLO می باشد و شامل ۱۶۸ لایه و ۳۰۰۶۶۲۳ پارامتر است استفاده شده است.

تحلیل عملکرد مدل

آموزش مدل با مجموعه داده های آموزشی و اعتبارسنجی انجام می شود. الگوریتم با تغییر مقیاس تصاویر، تصاویری با ابعاد ۶۴۰×۶۴۰ پیکسل را به عنوان ورودی می پذیرد. همانطور که در شکل (۳) مشاهده میکنیم YOLOv8n در طی ۲۰ دوره آموزشی توانسته خطای تشخیص جعبه مرزی، طبقه بندی شیء و خطای کانونی توزیع (DFL) جعبه را در داده های آموزشی و اعتبارسنجی بطور قابل ملاحظه ای کاهش دهد. این ارزیابی، بیانگر مقدار صحت متوسط میانگین (MAP) ۹۹/۷٪ در حد آستانه ۰/۵ تا ۰/۹۵ و صحت متوسط میانگین ۹۹/۳٪ در حد آستانه ۰/۵ است. همچنین، معیار صحت (P) و معیار فراخوانی (R) سیستم به ترتیب ۹۹/۶٪ و ۹۹/۸٪ بوده است.

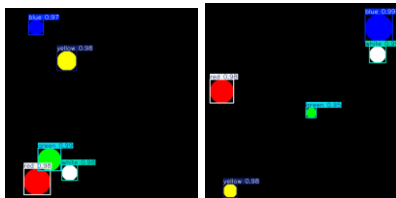
ارتفاع و عرض جعبه نسبت به تصویر کامل هستند. وجود یا عدم وجود شیء در جعبه مرزی با ضریب اطمینان طبق رابطه (۱) نشان داده میشود.

$$confidence\ score = p(object) * IOU_{pred}^{truth} \quad (1)$$

که در آن $p(object)$ احتمال وجود شیء با بازه ۰ تا ۱ را نشان می دهد (۰ نشان دهنده عدم وجود شیء) و IOU_{pred}^{truth} اشتراک بر روی اتحاد جعبه مرزی پیش بینی شده با جعبه مرزی واقعی را نشان می دهد. خروجی این مدل یک تانسور مکعبی با ابعاد $(S \times S \times (B \times 5 + C))$ است. در نهایت، با استفاده از عملیات حذف غیر حداکثر (NMS) جعبه های اضافی را فیلتر و فقط دقیق ترین آن ها را برای هر شیء حفظ می شود [۵].

نسخه هشتم YOLO از مکانیزم تشخیص بدون جعبه محور استفاده می کند. باتوجه به شکل (۲)، معماری این مدل شامل سه قسمت یعنی ستون فقرات، گردن و سر است. قسمت ستون فقرات که وظیفه استخراج ویژگی را دارد، یک CSPDarknet53 اصلاح شده به همراه ماژول جدیدی به نام ماژول لایه ی جزئی چند مرحله ای با دو شبکه کانولوشن (C2f) استفاده می شود که ویژگی های سطح بالا را با اطلاعات متنی ترکیب کرده و به افزایش دقت تشخیص کمک می کند. گردن وظیفه دارد که ویژگی های متفاوتی که توسط ستون استخراج شده را با هم ترکیب کند و ویژگی های پیچیده تر و متفاوت تری بسازد. در این مدل از ترکیب شبکه تجمع مسیر (PAN) و شبکه هرمی ویژگی (FPN) برای جمع آوری ویژگی ها از سطوح مختلف شبکه و تولید نقشه های ویژگی در مقیاس ها و وضوح های متعدد استفاده می شود. سر شبکه از نقشه های ویژگی ستون برای حل مسئله ای مثل تشخیص شیء استفاده می کند. نسخه هشتم YOLO از یک مدل سر جدا شده، که هر کدام مقیاس متفاوتی دارند، برای پردازش مستقل کلاس

سنجش دقت و عملکرد، به مدل داده می‌شوند. هر تصویر دارای برجسب کلاس‌های شیء می‌باشد که با میزان درصد ضریب اطمینان به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۳: نمونه اشیاء تشخیص داده شده در مدل پیشنهادی.

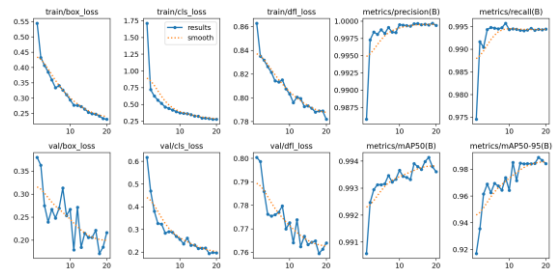
نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از یک شبکه عصبی کانولوشن به تشخیص اشیاء در تصاویر پرداخته‌ایم. نتایج معیارهای ارزیابی متفاوت مورد بحث و بررسی قرارگرفت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد مدل معرفی شده با دقت متوسط میانگین بیش از ۹۹٪ می‌تواند تمامی اشیاء مد نظر در تصاویر را تشخیص دهد.

مرجع‌ها

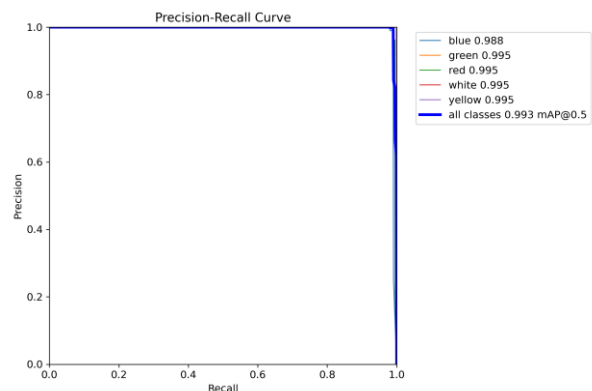
- [1] K. L. Masita, A. N. Hasan, and T. Shongwe, "Deep learning in object detection: A review," in 2020 International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD), 2020: IEEE, pp. 1-11.
- [2] F. Jalled and I. Voronkov, "Object detection using image processing," arXiv preprint arXiv:1611.07791, 2016.
- [3] S. S. A. Zaidi, M. S. Ansari, A. Aslam, N. Kanwal, M. Asghar, and B. Lee, "A survey of modern deep learning based object detection models," Digital Signal Processing, vol. 126, p. 103514, 2022.
- [4] Z. Zou, K. Chen, Z. Shi, Y. Guo, and J. Ye, "Object detection in 20 years: A survey," *Proceedings of the IEEE*, vol. 111, no. 3, pp. 257-276, 2023.
- [5] J. Redmon, "You only look once: Unified, real-time object detection," in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016.

D. Reis, J. Kupec, J. Hong, and A. Daoudi, "Real-time flying object detection with YOLOv8," arXiv preprint arXiv:2305.09972, 2023.



شکل ۱: نمودار خطاها و معیارها در طی ۲۰ دوره آموزشی.

با محاسبه صحت در نقاط مختلف فراخوانی و متصل کردن این نقاط به یکدیگر منحنی صحت-فراخوانی ایجاد می‌شود. مساحت زیر این منحنی را به عنوان صحت متوسط (AP) در نظر می‌گیریم. صحت و فراخوانی همیشه بین ۰ تا ۱ است. بنابراین صحت متوسط نیز بین ۰ و ۱ نیز قرار می‌گیرد. شکل (۴) نشان می‌دهد که صحت در تمام محدوده‌های فراخوانی نزدیک به ۱ است. این امر به معنی آن است که مدل تقریباً تمامی دایره‌های موجود را تشخیص داده و پیش‌بینی‌های آن خطای بسیار کمی دارند. در برخی زمینه‌ها ما AP را برای هر کلاس محاسبه می‌کنیم و از آنها میانگین می‌گیریم. مقدار ۹۹/۳٪ که در منحنی برای تمام کلاس‌ها ذکر شده، نشان‌دهنده همان میانگین صحت متوسط در آستانه برابر با ۵۰ درصد است.



شکل ۲: منحنی صحت-فراخوانی.

شکل (۵) بیانگر خروجی پیش‌بینی شده مدل بر روی ۱۰۰ تصویر آزمایشی است که پس از آموزش مدل به منظور

سی و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و هفدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه

علم و صنعت ایران، تهران، ایران، ۱۷ و ۱۸ بهمن ۱۴۰۳

مقالات پوستر





سی و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران

هفدهمین کنفرانس مهندسی
و فناوری فوتونیک ایران

نشانی کمیته علمی
تهران، بزرگراه جلال آل احمد
خیابان جانبازان، خیابان تئات
کوچه عشقی پور، کوچه آریا، دفتر انجمن
اپتیک و فوتونیک ایران
تلفن: +۹۱۲۳۱۹۶۲۳۴ ۲۱ ۴۴ ۲۵ ۵۹ ۳۷
رایانامه: info@icop.ir
تلفن همراه: +۹۱۲۳۱۹۶۲۳۴ ۲۱ ۴۴ ۲۵ ۵۹ ۳۷

نشانی کمیته اجرایی
تهران، نارمک؛ دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشکده فیزیک
تلفن: +۹۱۲۳۱۹۶۲۳۴ ۲۱ ۴۴ ۲۵ ۵۹ ۳۷
نمابر: +۹۱۲۳۱۹۶۲۳۴ ۲۱ ۴۴ ۲۵ ۵۹ ۳۷

تاریخ برگزاری کنفرانس
۱۷ و ۱۸ بهمن ماه سال ۱۴۰۳
دانشگاه علم و صنعت ایران

ارسال مقالات از تاریخ ۱۷ شهریور لغایت ۱۸ آبان
وبگاه کنفرانس برای ثبت نام و ارسال مقاله <http://icop.ir>

