



طراحی و شبیه سازی دی مالتی پلکسر نوری بر اساس آرایه هپتامر از نانو ذرات حلقوی طلا

مرتضى نقيبى ، سعيد گلمحمدى

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز- گروه مهندسی برق-الکترونیک. ۲. دانشگاه تبریز- دانشکده مهندسی فناوری های نوین

چکیدہ

در این مقاله، تنظیمات و جهت گیری های جدیدی از نانو حلقههای هپتامر صورت گرفته است که تزویج و هدایت تشدید موثر پلاسمونی مورد بحث قرار می گیرد. بر این اساس، یک (دی)مالتیپلکسر کارآمد ارائه داده شده است که دو طول موج مخابراتی را از هم جدا میکند (, ۸۵۰۱۵۵ ا ۱۳۱۰۰mm ای ایرخورد سیگنال نوری بر روی مسیر اصلی و هدایت آن به انتهای مسیر اصلی هر یک از طول موج ها از سیگنال نوری جدا شده و به مسیر مشخص شده هدایت می شود. جهت تحقق این کار، از آرایه های نانو حلقه طلا با اندازه های هندسی خاصی به صورت هپتامر در دو بازوی دی مالتی پلکسر استفاده شده است که توسط مواد سیلیکا احاطه شده است. نشان داده شده است که میزان جداسازی طول موجها در ساختار ارائه شده این مقاله نسبت به نمونههای قبلی بیشتر، اتلاف کمتر و همچنین همشنوایی نیزکمتر است.

Designing and Simulation of Optical Demultiplexer Based on Gold Nanorings

Morteza Naghibi¹, Saeed Golmohammadi⁷

1. Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University Tabriz Branch, Tabriz, Iran

Y. School of Engineering-Emerging Technologies, University of Tabriz, Tabriz ۵۱۶۶۶۱۴۷۶۱, Iran

Abstract

In this paper, a new configuration based on heptamer of nano-rings is presented which works based on direct coupling of plasmonic resonance. Accordingly, a well-organized demultiplexer structure designed that separates two telecommunication wavelength ($\lambda \approx 100$ nm, $\lambda \approx 100$ nm). The input two wavelength light signal is directed into two different output ports based on their wavelengths. In order to separate two wavelengths specific geometric arrays of nano-size gold rings in the two arms of heptamer structure are employed which surrounded by silica material. We have demonstrated that in comparison to other given demultiplexers, our given structure efficiently separates r input wavelengths with lower loss and crosstalk.

Keywords: Nano ring heptamer, Surface plasmons, Demultiplexer

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت <u>www.opsi.ir</u> قابل دسترسی باشد.

۱ -مقدمه:

در حال حاضر مطالعات و کاربردهای مهمی ازپلاسمون-های سطحی با استفاده از طراحی و تولید ساختارهای نانو انجام می شود [۱]. پلاسمون های سطحی در زنجیره های نانو ذرات با اشكال مختلف از فلزات نجيب همانند نقره، طلا و مس و حتى آلومينيوم توليد مى شوند [۲]. يک نمونه از ساختارهای زنجیرهای ارائه شده هپتامرها هستند که در این ساختارها رزونانسهای پلاسمونی با تابش در یک فرکانس مشخص پدید میآیند[۳،٤]، این تشدیدها به عنوان پلاسمون رزونانس سطحی جایگزیده شناخته می شوند. در بسیاری از پیکربندی های مجتمع و ساختارهای نانوفتونیکی بر اساس تحریک پلاسمونهای سطحی در داخل نانو ذرات و قطعات عمل می کنند [۳]. (دی)مالتی پلکسر قادر به جدا کردن دو یا چند طول موج متفاوت از یکدیگر و انتقال هر یک به پورت خروجی جدا از طریق مسیر های خاص است. دی مالتی پلکسر ها یکی از قطعات اصلی هستند که می توانند بر اساس عناصر پلاسمونیک طراحی و ساخته شوند که این قطعات جزء عناصر با ابعاد زیر طول موج هستند. موجبرهای پلاسمونیکی که بر اساس آرایههای نانو از ذرات فلزی هستند و میتوانند توان نوری را زیر حد پراش هدایت کنند[٥،٦]. شکل و جنس نانو ذرات نقش اساسی در تحریک پلاسمون های سطحی در فرکانس مشخص بین نانو ذرات فلزی و دیالکتریک بازی می کنند. از نانو کره ها و نانو میلهها می توان در قطعات پلاسمونی در بازه طیفی مادون قرمز استفاده كرد، اما تلفات ساختارى آنها قابل توجه است و نمى توان عوامل مؤثر در اندازه تلفات را به طور کامل با توجه به ساختار ساده آنها کنترل کرد. به دليل قابل كنترل بودن ابعاد ساختارى نانو حلقهها، مى-توان تشدید پلاسمونی با شدت بالا در طیف مخابراتی قابل حصول است[⁷]. تنظيمات در سه بخش هندسی نانو حلقه ها (ضخامت، شعاع داخلي و ارتفاع) كمك ميكند تا قله تشديد پلاسموني در طيف دلخواه قابل تنظيم باشد. در این مقاله ساختار یک (دی)مالتی پلکسر مبتنی بر ساختار هیتامر متشکل از نانوحلقهها برای جداسازی دو طول موج ارائه شده است. زنجیره هپتامرها به دلیل تولید جریان های ضد حلقه فاز در نانو خوشههای فلزی، پلاسمون مغناطیسی را پشتیبانی میکند. هنگامی که ذرات در كنار هم قرار مي گيرند، از تركيب پلاسمونها و

پیوند آنها حالتهای جدید پلاسمونی باندی و ضد باندی پدیدار میشوند[۹]. این تعامل شباهت زیادی با تشکیل اوربیتال های مولکولی در یک مولکول چند اتمی چند هستهای دارد. با بهره برداری از اثر تزویج تشدید پلاسمون مغناطیسی بین زنجیره هپتامرها، یک موجبر عملی جدید پلاسمونیکی برای جداسازی طولموجها طراحی شده است. با استفاده از نانو حلقههای فلزی با آرایش هپتامر، ساختاری با دو بازوی پلاسمونی که از یک مسیر اصلی جدا می شوند برای جدا سازی دو طول موج مخابراتی($\lambda \approx 1^{\circ} \cdot nm$, $\lambda \approx 1^{\circ} \cdot nm$) و هدایت آنها به مسیرهای خروجی خاص طراحی شدهاست. ساختار طراحی شده به شکل Y است که بازوی اصلی طوری طراحی شده است که تشدید پلاسمونی در بازه وسیعی که هر دو طول موج مذکور را شامل می شود، انجام می-گیرد در حالی که در بازوهای خروجی در دو بازوی بالایی و پائینی به ترتیب تشدید برای ۱۳۵۰ nm و ۱۳۱۰ nm انجام می گیرد و سیگنال ورودی شامل دو طول موج از هم تفکیک می شوند. با استفاده از روش سعی و خطا تلاش شده است ساختاری با جداسازی بهتر و اتلاف کمتر با نانو حلقههای فلزی طراحی شود.

۲-طراحی و تحلیل دی مالتی پلکسر

در این بخش، فرایند طراحی (دی)مالتی پلکسر بر اساس نانو حلقههای طلا با چینش هپتامر بیان شده است. هپتامر پیشنهاد شده شامل نانوحلقههای سازمان یافته هستند که در مجاورت هم با نزدیکی ۲nm قرار گرفتهاند. ویژگیهای طلای استفاده شده در این ساختار مبتنی بر ثابت جانسون کریستی میباشد. شبیه سازیهای متعدد نشان دادهاست که طلا با ثابت پالیک در مدلسازی 1 TDTD در بازه مادون قرمز جوابگو نیست[۵،۸]. شکل ۱ شمای کلی ساختار (دی)مالتی پلکسر ارائه شده را نشان شمای کلی ساختار (دی)مالتی پلکسر ارائه شده را نشان پر شدهاند. تعداد سلولها برای شبیه سازی ساختار، اندازه می دهد. هپتامرها توسط ماده دی الکتریک ۲OT احاطه و پر شدهاند. تعداد سلولها برای شبیه سازی ساختار، اندازه مای مرودن بهترین نمودار اندازه آن بایدکمتر شود)، مادست آوردن بهترین نمودار اندازه آن بایدکمتر شود)، وزمان شبیه سازی، تعداد گامهای زمانی برای شبیه سازی

['] Finite Difference Time Domain

در مسیر اصلی در نانو ساختار هپتامر انتقال سیگنال نوری با دو طول موج λ≈۱۵۵۰nm و λ≈۱۵۵۰nm مورد بررسی قرار گرفتهاست. انتقال طول موج ها فقط در یک مسیر و هم زمان صورت می گیرد و بعد از رسیدن به انتهای مسیر اصلی طول موجها از هم جدا شده و هر کدام به مسیر خروجی مورد نظر هدایت می شوند. جهت انتقال توان نوری از طریق ساختار نانو حلقه نوری برخی از پارامتر های خاص باید در نظر گرفته شده و استفاده شود. ابعاد هندسی مطلوب برای نانو حلقه های هپتامر ارائه شده جهت انتقال نور در ۱۵۵۰nm و ۱۳۱۰ $pprox \lambda pprox$ در جدول ۲ آمده است. برای مسیر اصلی و بازوی هدایت برای محدوده طول موج ۱۵۵۰nm مقادیر ابعاد نانو حلقه-ها (ضخامت، شعاع داخلی و ارتفاع) از [۸] استفاده شده است. همچنین برای بازوی هدایتی برای محدوده طول موج ۱۳۱۰nm مقادیر از سعی و خطا و روشهای ارائه شده در [۸،۱۰] اقتباس شدهاند. با استفاده از روشهای ارائه شده در [۸] و [۱۰] می توان با تغییرات مناسب در اندازه هندسی نانو حلقههای بکار رفته در ساختار، طول-موجهای تشدید پلاسمونهای سطحی جایگزیده را تغییر و در طيف مورد نظر تنظيم كرد. بر اين اساس كاهش اندازه شعاع داخلی (Ri) و ارتفاع (H) و افزایش ضخامت (t) به طور مستقيم باعث شيفت تشديد پلاسمون از ۱۵۵۰nm به ۱۳۱۰۰m نانو متر می شود که از این شیفت تشدید پلاسمونی برای طراحی بازوی ۱۳۱۰ nm استفاده شده است. با استفاده از سعی و خطا، ابعاد نانو حلقههای فلزى طورى انتخاب شدهاست تا انتقال بيشينه و همشنوایی دو طول موج کمترین مقدار باشد.

۳–نتایج شبیه سازی

ورودی اعمال شده به دیمالتی پلکسر طراحی شده شامل دو طول موج به صورت سیگنالی ترکیبی به طور همزمان از طریق مسیر اصلی(ورودی) با استفاده از منبع نور دو قطبی است. تشدید پلاسمونی در این ساختار با تزویج بازه وسیعی از طول موجها پدید میآید و انتقال انرژی با تشدید پلاسمونی امکان پذیر می شود. در شکلهای ۲ و ۳ تشدیدهای پلاسمونی *به* منظور بررسی عملکرد (دی)مالتی پلکسر، برای هر دو طول موج از طریق مسیر مشترک و مسیرهای جدا ارائه شده است. شکل ۲ تحریک نانو حلقه ها و تزویج حالت پلاسمون در امتداد مسیر اصلی و مسیر A را نشان می دهد. مسیر ذکر شده توان

نوری را با طول موج ۱۵۵۰۰m با نشتی کمی به مسیر خروجی دیگری انتقال میدهد. همچنین شکل ۳ تصویر دیگری از انتقال نور جدا شده از مسیر ورودی را با طول موج ۱۳۱۰۰m در مسیر B نشان می دهد.



شکل۱: طرح کلی از ساختار دی مالتی پلکسر برای طول موج های λ≈۱۹۵۰mm و λ≈۱۵۵۰m

شبيه	لها در	وضعيت آن	مقادير و	تعيين	پارامتری و	ضيحات	۱: تو	جدول
			ئه شده	ختار ارا	ساز ی سا			

توضيحات پارامتري FDTD	وضعیت و مقادیر
تعداد سلول ها	۵۰۰۰۰۰ سلول
(dx=dy=dz) فاصله سلول	۲ نانومتر
(dt) تعداد پلەھاى زمانى	۰٫۱ فمتو ثانيه
زمان شبیه سازی	۲۰۰۰ فمتو ثانيه
ضريب شكست	١
شرایط مرزی	لايه ها كاملا همسان
تعداد لایه های کاملا همسان	١٢٨

جدول۲ : مقادیر ساختار ناو حلقه های طلا برای طول موج ها

مشخصات	شناسه	لیλ≈۱۳۱۰nm	λ≈۱۵۵∙nm	مسير
		مسيرB	یا مسیر A	اصلی
شعاع داخلى	Ri	۸۷,۵ nm	۹۰ nm	۹۰,۵
				nm
ارتفاع	Н	۴۰ nm	۴۲ nm	۴۲ nm
ضخامت	Т	۳۵ nm	۳۲,۵ nm	۳۲ nm

شکل ۴ زمان واقعی تغییرات توان متوسط در طول محور انتشار از طریق هر یک از مسیرها، پس از جدا سازی بخشهای هپتامر را نشان میدهد. این نمودارها برای تعیین میزان توان انتقال یافته و تعیین مقدار نورتزویج شده در مسیر مخالف از طریق هر مسیر استفاده می شود. در منبع [۱۱] ثابت شده است که برای محاسبه نسبت توان انتقال یافته، جنبه پیچیده محاسبات عددی باید اعمال شود. براین اساس، توان انتقالی را از طریق بازوهای هدایتی در ساختار با نمودارهای بدست آمده، تعیین می-کنیم. همانطورکه در شکل مشاهده می شود تلفات و نشت نور هنگام جدا سازی طول موج ها به نسبت توان انتقال یافته خیلی ناچیز صورت می گیرد و برای مسیر A





[1] Kreibig U., Vollmer M., *Optical Properties of Metal Clusters*, Springer-Verlag, 1996.

[Υ] Barnes W.L., Dereux A., Ebbesen T.W., Surface plasmon subwavelength optics ,Nature $\Upsilon\Upsilon$ ($\Upsilon \cdot \Upsilon$) $\Lambda\Upsilon\Upsilon$.

[r] Maier S.A., Plasmonic: Fundamentals and Applications, Springer, New York, Y...Y.

[f] Raether H., Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and on Gratings, Springer-Verlag, 19AA.

[°] Ahmadivand A., Golmohammadi S., Rostami A., Broad Comparison Between Au Nanospheres, Nanorods and Nanorings as an S-bend Plasmon Waveguide At optical C-Baand Spectrum,, **Opt. Technol.** $\land \cdot (\uparrow \cdot \uparrow \uparrow) \uparrow \circ \cdot \uparrow \uparrow$.

[¹] Maier S.A., Brongersma M.L., Kik P.G., Meltzer S., Requicha A.A.G., Atwater H.A., Adv. Mater. 19 (Y.) 1001.

[Y] Golmohammadi S., Khalilou Y., Ahmadivand A., A route to design an optical demultiplexer based on gold nanorings arrays to operate at near infrared region (NIR), **Optics Communications**. $YY = (Y + 1 \le 0.1)$

[Λ] ahmadivand A., Golmohammadi S., *Electromagnetic* plasmon propagation and coupling through gold nanoring heptamers: a route to design optimized telecommunication photonic nanostructures, **APPLIED OPTICS**. 1° (Y · 1[£]) " Λ "Y-" Λ [£].

[\P] Liu N., Mukherjee S., Bao K., Li Y., Brown L. V., Nordlander P., Halas N. J., *Manipulating Magnetic Plasmon Propagation in Metallic Nanocluster Networks*, ACSNANO. $(\Upsilon \cdot \Upsilon) \circ \sharp \Lambda \Upsilon - \circ \sharp \Lambda \Lambda$

[\cdot] Ahmadivand A., Golmohammadi S., *Compositional arrangement of rod/shell nanoparticles: an approach to provide efficient plasmon waveguide*, **Opto–Electron**. $\land \cdot (\uparrow \cdot \uparrow \pounds) \uparrow \cdot \uparrow \cdot \uparrow \cdot \land$

[11] Ahmadivand A., Golmohammadi S., *Comprehensive* investigation of noble metal nanoparticles shape, size, and material on the optical response of optimal plasmonic Y-splitter waveguides, **Optics Communications**. $r_1 \cdot (r_1 \cdot i_1) \cdot 1_1$. حدود ۸۱٬۵۷٪ و برای مسیر ۸۹٬۴۷ B٪ محاسبه شده-



 $\lambda pprox$ ۱۳۱۰nm شکل ۳. مسیر انتقال نور در

به منظور بررسی دقت و صحت طراحی (دی)مالتی پلکسر، انتقال توان نوری برای هر طول موج ورودی در شکل ۵ به صورت مقیاسهای لگاریتمی نشان داده شدهاست. این شکل میتواند در محاسبه همشنوایی استفاده شود. اندازه همشنوایی در این شکل برای ۱۵۵۰ سم برابر H۵۹۰۳-و برای ۱۳۱۰ می برابر با ۱۵۵۰ سم برابر B۰۰۱۰ ساختار با توجه به مقادیر بدست آمده برای همشنوایی، ساختار مناسبی برای انتقال توان می باشد. ساختار طراحی شده نسبت به ساختار ارائه شده در مرجع [۷] دارای طیف باریک تر و تلفات کمتری می باشد.

۴- نتیجهگیری

در این مقاله دیمالتی پلکسری با پیکربندی هپتامر تشکیل یافته از نانو حلقه ها احاطه شده با سیلیکا برای جدا کردن دو طول موج مخابراتی ۱۵۵۰m \approx و λ و ۱۳۱۰nm طراحی شد. با کنترل در اندازه نانو حلقه ها و تنظیمات طراحی شد. با کنترل در اندازه نانو حلقه ها و تنظیمات اوج تشدید پلاسمونی در طیفهای مورد نظر ساختاری طراحی شد که به عنوان یک (دی)مالتیپلکسر عمل کند. نشان دادهشد که اندازه تفکیک دو طول موج نسبت به ساختار دی مالتی پلکسر با نانو ذرات ساده بیشتر است. طیف انتقال دی مالتیپلکسر طراحی شده نسبت به ساختارهای ساده تر باریک تر و اتلاف کلی ساختار کمتر است.