بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

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

مرتضی نقیبی[۱] ، سعید گل‌محمدی[۲]

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

چکیده

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 ($\lambda\approx$۱۵۵۰nm , $\lambda\approx$۱۳۱۰nm) با برخورد 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 طول‌موج‌ها در ساختار ارائه شده این مقاله نسبت به نمونه‌های قبلی بیشتر، اتلاف کمتر و همچنین همشنوایی نیزکمتر است.

کلید واژه: هپتامر نانو حلقه، پلاسمون‌های سطحی، (دی)مالتی‌پلکسر

Designing and Simulation of Optical Demultiplexer Based on Gold Nanorings

Morteza Naghibi[۱], Saeed Golmohammadi[۲]

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

۲. 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$۱۵۵۰nm, $\lambda\approx$۱۳۱۰nm). 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 ۲input wavelengths with lower loss and crosstalk.

Keywords: Nano ring heptamer, Surface plasmons, Demultiplexer

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

۱-مقدمه:

در حال حاضر مطالعات و کاربردهای مهمی ازپلاسمون-های سطحی با استفاده از طراحی و تولید ساختارهای نانو انجام می‌شود [۱]. پلاسمون‌های سطحی در زنجیره‌های نانو ذرات با اشکال مختلف از فلزات نجیب همانند نقره، طلا و مس و حتی آلومینیوم تولید می‌شوند[۲]. یک 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 می‌شوند. در بسیاری از پیکربندی های مجتمع و ساختارهای نانوفتونیکی بر اساس تحریک پلاسمون‌های سطحی در داخل نانو ذرات و قطعات عمل می‌کنند[۳]. (دی)مالتی‌پلکسر 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 می‌توانند 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[۵،٦]. شکل و جنس نانو ذرات نقش اساسی در تحریک پلاسمون‌های سطحی در فرکانس مشخص بین نانو ذرات فلزی و دی‌الکتریک بازی می‌کنند. از نانو کره ها و نانو میله‌ها می‌توان در قطعات پلاسمونی در بازه طیفی مادون قرمز استفاده کرد، اما تلفات ساختاری آنها قابل توجه است و نمی‌توان عوامل مؤثر در اندازه تلفات را به طور کامل با توجه به ساختار ساده آنها کنترل کرد. به دلیل قابل کنترل بودن ابعاد ساختاری نانو حلقه‌ها، می-توان تشدید پلاسمونی با شدت بالا در طیف مخابراتی قابل حصول است[۷]. تنظیمات در سه بخش هندسی نانو حلقه ها (ضخامت، شعاع داخلی و ارتفاع) کمک می‌کند تا قله تشدید پلاسمونی در طیف دلخواه قابل تنظیم باشد. در این مقاله ساختار یک (دی)مالتی‌پلکسر مبتنی بر ساختار هپتامر 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 کنار هم قرار می گیرند، از ترکیب 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 می‌شوند برای جدا سازی دو طول موج مخابراتی($\lambda\approx$۱۳۱۰nm ,$\lambda\approx$۱۵۵۰nm) 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 طول‌موج مذکور را شامل می‌شود، انجام می-گیرد در حالی که در بازوهای خروجی در دو بازوی بالایی و پائینی به ترتیب تشدید برای ۱۵۵۰nm و ۱۳۱۰nm انجام می‌گیرد و سیگنال ورودی شامل دو طول‌موج از هم تفکیک می‌شوند. 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)مالتی‌پلکسر 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 FDTD[۱] در بازه مادون قرمز جوابگو نیست[۵،۸]. شکل ۱ شمای کلی ساختار (دی)مالتی‌پلکسر ارائه شده را نشان می‌دهد. هپتامرها توسط ماده دی الکتریک SiO_2 احاطه و پر شده‌اند. تعداد سلول‌ها برای شبیه سازی ساختار، اندازه های dx=dy=dz (برای مش بندی ساختار، که جهت بدست آوردن بهترین نمودار اندازه آن بایدکمتر شود)، زمان شبیه سازی، تعداد گام‌های زمانی برای شبیه سازی FDTD و تنظیمات آنها در جدول ۱ آمده است.

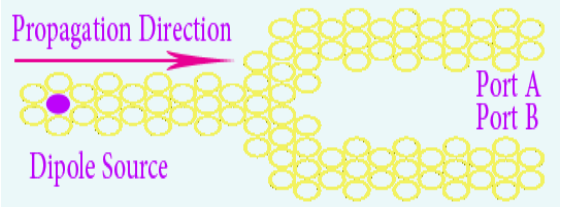
[۱] Finite Difference Time Domain

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

در مسیر اصلی در نانو ساختار هپتامر انتقال سیگنال نوری با دو طول موج λ≈۱۳۱۰ nm و λ≈۱۵۵۰nm مورد بررسی قرار گرفته‌است. انتقال طول موج ها فقط در یک مسیر و همزمان صورت می‌گیرد و بعد از رسیدن به انتهای مسیر اصلی طول موج‌ها از هم جدا شده و هر کدام به مسیر خروجی مورد نظر هدایت می‌شوند. 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 λ≈۱۵۵۰nm و λ≈۱۳۱۰nm 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] می‌توان با تغییرات مناسب در اندازه هندسی نانو حلقه‌های بکار رفته در ساختار، طول-موج‌های تشدید پلاسمون‌های سطحی جایگزیده را تغییر و در طیف مورد نظر تنظیم کرد. بر این اساس کاهش اندازه شعاع داخلی (Ri) و ارتفاع (H) و افزایش ضخامت (t) به طور مستقیم باعث شیفت تشدید پلاسمون از ۱۵۵۰nm به ۱۳۱۰nm نانو متر می‌شود که از این شیفت تشدید پلاسمونی برای طراحی بازوی ۱۳۱۰ nm استفاده شده است. با استفاده از سعی و خطا، ابعاد نانو حلقه‌های فلزی طوری انتخاب شده‌است تا انتقال بیشینه و همشنوایی دو طول موج کمترین مقدار باشد.

۳-نتایج شبیه سازی

ورودی اعمال شده به دی‌مالتی‌پلکسر 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 امکان‌پذیر می‌شود. درشکل‌های ۲ و ۳ تشدیدهای پلاسمونی به منظور بررسی عملکرد (دی)مالتی‌پلکسر، 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 ۱۵۵۰nm 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 ۱۳۱۰nm در مسیر B نشان می دهد.



شکل۱: طرح کلی از ساختار دی مالتی پلکسر برای طول موج های λ≈۱۳۱۰nm و λ≈۱۵۵۰nm

جدول ۱: تو ضیحات پارامتری و تعیین مقادیر و وضعیت آنها در شبیه سازی ساختار ارائه شده

توضیحات پارامتری FDTD	وضعیت و مقادیر
تعداد سلول ها	۵۰۰۰۰۰ سلول
فاصله سلول (dx=dy=dz)	۲ نانومتر
تعداد پله‌های زمانی (dt)	۰،۱فمتو ثانیه
زمان شبیه سازی	۲۰۰۰ فمتو ثانیه
ضریب شکست	۱
شرایط مرزی	لایه ها کاملا همسان
تعداد لایه های کاملا همسان	۱۲۸

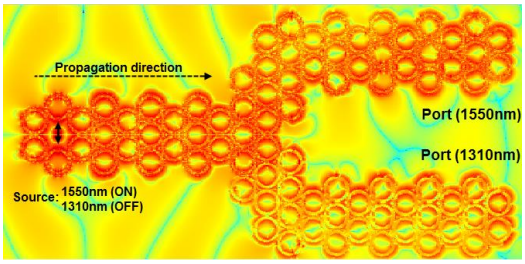
جدول۲ : مقادیر ساختار ناو حلقه های طلا برای طول موج ها

مشخصات	شناسه	λ≈۱۳۱۰nm یا مسیر B	λ≈۱۵۵۰nm یا مسیر A	مسیر اصلی
شعاع داخلی	Ri	۸۷،۵ nm	۹۰ nm	۹۰،۵ nm
ارتفاع	H	۴۰ nm	۴۲ nm	۴۲ nm
ضخامت	**T**	۳۵ nm	۳۲،۵ nm	۳۲ nm

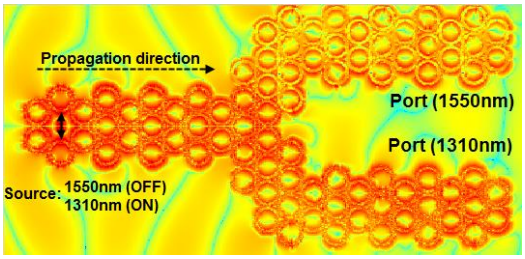
شکل ۴ زمان واقعی تغییرات توان متوسط در طول محور انتشار از طریق هر یک از مسیرها، پس از جدا سازی بخش‌های هپتامر را نشان می‌دهد. این نمودارها برای تعیین میزان توان انتقال یافته و تعیین مقدار نورتزویج شده در مسیر مخالف از طریق هر مسیر استفاده می شود. در منبع [۱۱] ثابت شده است که برای محاسبه نسبت توان انتقال 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 می‌گیرد و برای مسیر A

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

حدود ۸۱,۵۷٪ و برای مسیر B ۸۹,۴۷٪ محاسبه شده-است.



شکل ۲. مسیر انتقال نور در λ≈۱۵۵۰nm

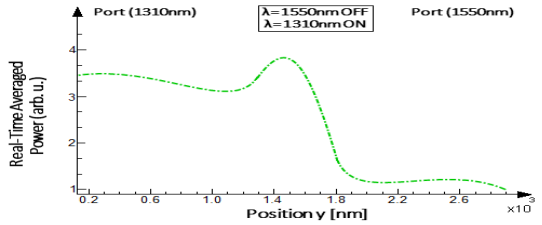


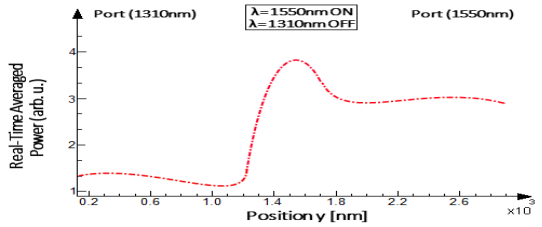
شکل ۳. مسیر انتقال نور در λ≈۱۳۱۰nm

به منظور بررسی دقت و صحت طراحی (دی)مالتی‌پلکسر، 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 λ≈۱۵۵۰nm برابر۱۰,۱dB- و برای λ≈۱۳۱۰nm برابر با ۱۲,۴dB- می‌باشد. این ساختار با توجه به مقادیر بدست آمده برای همشنوایی، ساختار مناسبی برای انتقال توان می‌باشد. ساختار طراحی شده نسبت به ساختارارائه شده در مرجع [۷] دارای طیف باریک تر و تلفات کمتری می‌باشد.

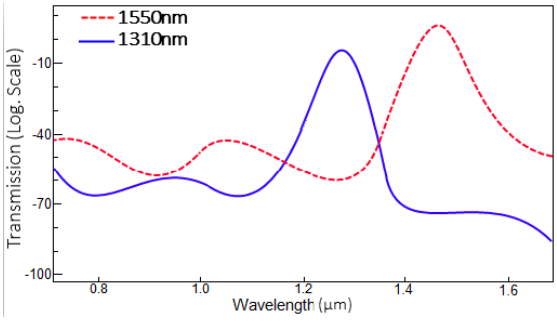
۴- نتیجه‌گیری

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 λ≈۱۵۵۰nm و λ≈۱۳۱۰nm از یکدیگر و هدایت هر کدام به مسیر مجزا 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 باریک‌تر و اتلاف کلی ساختار کمتر است.





شکل ۴. توان انتقال یافته در مسیر های خروجی



شکل ۵. نمودار انتقال در مقیاس لگاریتمی

مراجع

[۱] Kreibig U., Vollmer M., *Optical Properties of Metal Clusters*, Springer-Verlag,۱۹۹۵.

[۲] Barnes W.L., Dereux A., Ebbesen T.W., Surface plasmon subwavelength optics ,Nature ۴۲۴ (۲۰۰۳) ۸۲۴.

[۳] Maier S.A., *Plasmonic: Fundamentals and Applications*, Springer, New York, ۲۰۰۷.

[۴] Raether H., *Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and on Gratings*, Springer-Verlag, ۱۹۸۸.

[۵] 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**. ۸۰ (۲۰۱۳) ۱۵-۲۳.

[٦] Maier S.A., Brongersma M.L., Kik P.G., Meltzer S., Requicha A.A.G., Atwater H.A., Adv. Mater. ۱۹ (۲۰۰۱) ۱۵۰۱.

[۷] 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**. ۳۲۱ (۲۰۱٤) ٥٦-٦٠

[۸] ahmadivand A., Golmohammadi S., *Electromagnetic plasmon propagation and coupling through gold nanoring heptamers: a route to design optimized telecommunication photonic nanostructures*, **APPLIED OPTICS**. ۱۵ (۲۰۱٤) ۳۸۳۲-۳۸٤۰

[۹] 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.** ٦ (۲۰۱۲) ٥٤٨٢-٥٤٨٨

[۱۰] Ahmadivand A., Golmohammadi S., *Compositional arrangement of rod/shell nanoparticles: an approach to provide efficient plasmon waveguide*, **Opto−Electron**. ۸۰ (۲۰۱٤) ۱۰۱-۱۰۸

[۱۱] 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**. ۳۱۰ (۲۰۱٤)۱-۱۱.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]