مقاله پژوهشی

طراحی نانو پالایشگر پلاسمونیکی چنددندانه ای زنجیره ای (CM_{1-r} -TPNF) برای به کار گیری در افزاره های ریز ساختار پزشکی

فريبا سعيد ¹ حسن فاطمی ^۲

۱. کارشناس ارشــد فوتونیک گرایش الکترونیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲. استادیار فیزیک، دانشکدهٔ فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

نویسندهء مسئول: فریبا سعید، تلفن ۹۹۱۳۳۴۰۶۴۹۰ پست الکترونیک: fariba.saeed@gmail.com

خلاصه

مقدمه: در این مقاله به طراحی پالایشگر جدیدی به نام نانوپالایشگر پلاسمونیکی چند دندانهای زنجیرهای (CM_{1-r}-TPNF) پرداخته شده است که بهدلیل داشتن عملکرد گذردهی زیر طولموجی امواج الکترومغناطیس میتوان آن را در ابعاد هندسی بسیار ریز، در مقیاس نانومتر، طراحی و تولید کرد و در ساخت ابزار ریزساختار دقیق پزشکی مانند MEMS ها به کارگرفت.

روش بررسی: این نانوپالایشگر با مدلسازی به روش تفاضل محدود در حوزهٔ زمان (FDTD) در فضای مجازی طراحی و شبیه سازی شده و بررسی عملکرد آن با استفاده از اصل برهمنهی صورت گرفته است. برای اطمینان درستی نتایج با نتایج حاصل از روش هم ارزمداری (ECM) مقایسه شده است.

یافتهها: CM_{1-r}-TPNF از کنارهم قرار گرفتن زنجیروار r نانوپالایشگر پلاسمونیکی چند دندانهای شکل می گیرد و در محدودهٔ طول موجهای ۴۰۰ نانومتر تا ۵ میکرومتر کاربرد دارد و می تواند هم نواحی بسیار باریک میان گذر و هم پهناهای بسیار وسیع میان نگذر را با دقت بالا تولید نماید که فرآیند مربوط به هر دو مورد در مثال هایی آورده شده است.

نتیجه گیری: باتوجه به ویژگیهای CM_{1-r}-TPNF استفاده از آن در ساخت ابزار دقیق و ریزساختار فوتونیکی بسیار مناسب است. در بیناب گذردهی نسبی، آن دو فاکتور شدت دامنه و پهنای باریکهٔ گذردهی به هم وابستهاند که میتوان برحسب مورد و برای کاربردهای گوناگون یکی را نسبت به دیگری در اولویت قرار داد. البته بر اثر افزایش درصدی موج رفتاری نوسانی پلکانی و عملکردی کاواک گونه خواهند داشت.

واژههای کلیدی: نانوپالایشگرهای پلاسمونیکی، نانوپالایشگرهای پلاسمونیکی چنددندانهای، روش تفاضل محدود در حوزهٔ زمان

مقدمه

انسان از دیرباز تاکنون سعی در هرچه کوچکتر کردن ابعاد هندسی ابزار تبدیل و انتقال انواع انرژیها برای کاربردهای گوناگون داشته است. عواملی چون شتاب انقلاب صنعتی، رشد فناوریهای نانو و همچنین دستیافتن به تکنولوژی ساخت افزارههای نانو اپتیکی زمینه را برای گسترش صنایع پیشرفتهٔ ساخت مکانیزمهای ریزساختار تبدیل و یا انتقال انرژی حاصل از امواج الکترومغناطیس فراهم آورده است. بدیهی است ضرورت استفاده از این مکانیزمها در بسیاری از حوزههای کاربردی همچون پزشکی از اهمیت ویژهای برخوردار است. لذا در این مقاله به معرفی نوع جدیدی از نانوپالایشگرهای پلاسمونیکی پرداخته شده است که برای به کارگیری در ساخت دستگاههای دقیق پزشکی طراحی شده و با شبیهسازی در فضای مجازی چگونگی عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است.

درحالحاضر نانوپالایشـگرهای پلاسـمونیکی امیان گـذر و میاننگذر بهدليل داشتن عملكرد گذردهي زير طولموجي أمواج الكترومغناطيس آنها در بسیاری از صنایع پیشرفتهٔ فوتونیکی کاربرد فراوان دارند. باتوجه بههمین ویژگی میتوان این پالایشـگرها را در ابعاد هندسـی بسیار ریز، نانومتر، کوچکتر از طولموج ورودی و بدون ایجاد پدیدهٔ پراش و اتلاف انـرژی حاصل از آن [٦٩] طراحی و اجرا کرد تا نواحی میان گذر بسـیار باریک^۳ و میاننگذر بسیار وسیع^۴ را در محدودههای فرکانسی مورد نظر و با دقت مطلوب تولید نمایند[٣]. لذا باتوجه به ضرورت رشد فن آوریهای به کاررفته در ساختار ابزار و ادوات پزشکی دقیق و کم حجم، مانند MEMSهـا، می تـوان از ایـن ویژگی در زمینـهٔ طراحـی و تولید این افزارهها بیشازپیش بهره برد. از این بین، نانوپالایشـگرهای پلاسمونیکی چند دندانهای و یا M-TPNFs ^۵ برای تولید نواحی گذردهی و یا پالایشی محدودهٔ مادون قرمز که برای تشـخیص و درمـان برخی بیماریها حائز اهمیت است، مناسب بهنظر می آیند. اما، درصد زیادی از آنها (چه از نوع میان گذر یا میان نگذر) قادر به تولید محدودههای کاربردی کامل نیستند. بنابراین برای رفع این عیب به طراحی نانوپالایشگرهای پلاسمونیکی چنـد دندانـهای زنجیـر های یـا CM_{1-r} - TPNF ² پرداختـه شـده است کے می تواننے ضمن ایجاد نواحی گذردھے یا پالایشے م ورد نظر به اصلاح و بهینه سازی دقیق این محدوده ما بپردازند.

روش بررسی

مدل سازی عـددی محیط پلاس مونیکی به روش عـددی اختـلاف محـدود در حـوزهٔ زمـان یـا FDTD ^۷ [۶-۴] بـا دقـت $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 2$ nm انجـام شـده اسـت و در مرحلهٔ کدنویسـی به دلیل تقارن سـاختار هندسی مسـئله بدون اینکه در نحوهٔ عملکرد این افزاره اختلالی ایجاد شـود، محاسبات در فضای دوبُعدی انجام شده است تا طراحی و اجرای برنامه ها زمانبری کمتری داشـته باشـند. قسـمتی از این مراحل با کمک محیط نرمافزاری Meep ^۸ [۷] که توسـط دانشـگاه MIT به صورت کدباز ^۹ و مناسب برای محیط های پلاسمونیکی ارائه شده، صورت گرفته است.

بررسیهای مربوط به نحوهٔ عملکرد CM_{1-r}-TPNF و چگونگی ایجاد، اصلاح و بهینهسازی بینابهای گذردهی نسبی پالایشگر براساس مدل دروده-لورنتس^{۱۰} [۱۰-۸] و با استفاده از اصل برهمنهی^{۱۱} بهطور همزمان انجام پذیرفته است و برای اطمینان از درستی عملیات، نتایج بهدست آمده با نتایج حاصلاز روش مدل همارزمداری یا CEM^{۱۰} که براساس تئوری خطوط انتقال مخابراتی عمل میکند[۱۴–۱۱]، تطبیق داده شده است[۱۵].

در روش عددی، اختلاف محدود در حوزهٔ زمان دو معادلهٔ کرل ماکسول بههمراه معادلهٔ چگالی شار به کل تفاضل محدود در هر دو حوزهٔ فضا و زمان تبدیل می شوند [۱۶و۱۷]. در این معادلات میدان الکتریکی و مغناطیسی بر حسب میدان ها در زمان قبلی در هر لحظه محاسبه و بازنویسی می شوند. اگر k نشان دهندهٔ موقعیت و nt نماد زمان باشند، معادلات (۱) و (۲) فرم اختلاف محدود در حوزهٔ زمان مؤلفهٔ x آن ها هستند. به طور مشابه این معادلات برای پنج مؤلفهٔ باقی مانده نیز نوشته شده است و برای گامهای زمانی بعدی و نقاط مکانی دیگر فضا در زمان واحد حل می شوند.

$$E_x^{n_t + \frac{1}{2}}(k) = E_x^{n_t - \frac{1}{2}}(k) - \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta x} [H_y^{n_t}(k + \frac{1}{2}) - H_y^{n_t}(k - \frac{1}{2})] \quad (N_t) = \frac{1}{\varepsilon \Delta x} [H_y^{n_t}(k - \frac{1}{2}) - H_y^{n_t}(k - \frac{1}{2})]$$

$$H_{y}^{n_{x}+1}(k+\frac{1}{2}) = H_{y}^{n_{y}}(k+\frac{1}{2}) - \frac{\Delta t}{\mu \Delta x} \left[E_{x}^{n_{y}+\frac{1}{2}}(k+1) - E_{x}^{n_{y}+\frac{1}{2}}(k) \right]$$
(Y

در مدل هم ارزمداری که بر اساس تئوری خطوط انتقال مخابراتی عمل می کند و هم ارزمداری ساختار پالایشگرها را شبیه سازی می کند، ماتریس

- 1. Plasmonic Nano Filter
- 2. Sub-Wavelength
- 3. Narrow-band
- 4. Broad-band
- 5. Multi-Teeth Plasmonic Nano Filters
- 6. Chain Cascaded Multi-Teeth Plasmonic Nano Filters7. Finite Diference Time Domain Method8. MIT Electromagnetic EquationPropagation9. Open Source
- 10. Drude-Lorentz model

11. Super position principle

به بیان ساده میتوان اصل برهمنهی بهطور همزمان را مجموع و یا همپوشانی همزمان تأثیر دو یا چند عامل اثرگذار را در یک موقعیت دانست که در برخی از پدیدههای فیزیکی صادق است. 12. Circuit Equivalent Method TPNF باشــند، بهتر تیب از ابتدای پالایشگر TPNF - m_{1-r} - TPNF هریک دارای TPNF ... n2 ... n2 ... موجب m_{2} که با فاصلهٔ دارای m_{2} , m_{2} ... m_{2} ... m_{2} , m_{2} موجب m_{2} (مال داراند، می باشــند. ارتفاع و پهنـای دندانهها و همچنیـن فاصلهٔ بین دندانههای مجـاور در هریک از این TPNF ها با یکدیگر برابرند. پهنای دندانهها محـاور در هریک از این TPNF ها با یکدیگر برابرند. پهنای دندانهها مجـاور در هریک از d_r ... d_r , m_{2} , d_r ... d_r , m_{2} , m_{2} ... m_{2} ... m_{2} , m_{2} ... m_{2}

$$\varepsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{(\omega - i\gamma)\omega} + \sum_{n=1}^5 \frac{f_n \omega_n^2}{\omega_n^2 - \omega^2 - i\gamma_n \omega} \quad (\lambda$$

۲. چگونگی بهدست آوردن بیناب گذردهی نسبی TPNF .

با توجه به این که بیناب گذردهی نسبی هر پالایشگر تأثیر پاسخ محیطی آن سیستم بر موج الکترومغناطیس ورودی میباشد و ماتریس انتقال سیستمهای اپتیکی چندگانه از حاصل ضرب ماتریس های انتقال هریک از اجزای تشکیل دهندهٔ آن ها شکل می گیرد، اگر تأثیر برهم نهی همزمان r پالایشگر M-TPNF که به صورت زنجیروار چیده شده اند، شکل ۱ مورد نظر باشد، بنابراین می توان با ضرب کردن بیناب های گذردهی نسبی آن ها در یکدیگر و اضافه کردن تأثیر های شرکت کننده در ساختار هندسی پالایشگر، بیناب گذردهی نسبی آن را به دست آورد.

باتوجه به مقالاتی که پیش از این ارائه شدهاند [۲۸و ۲۰]، در هر پالایشگر M-TPNF هریک از دندانه ها و فاصلهٔ بین دندانه های مجاور، Λ ، همانند کاواک های فابری- پرو با اندازهٔ آینه های محدود عمل می کنند و می توانند طی فرآیند تشـدید، برخی فرکانس ها و همچنیـن هارمونیک های آن ها را جـذب کنند و شـدت انرژی موج الکترومغناطیـس را در فرکانس های مذکـور تضعیف نماینـد. البته این موضـوع در TPNF- r_{1-r} -TPN برای مذکـور تضعیف نماینـد. البته این موضـوع در M-TPNF بیان دندانه ها و مرح از ما می کنند و می توانند را جـذب کنند و شـدت انرژی موج الکترومغناطیـس را در فرکانس های مذکـور تضعیف نماینـد. البته این موضـوع در M-TPNF برای مرح ما می مدکر ($\Gamma = 1.2.3$, Λ_{c} ما می کند.

بدیهی است سیستم مطلوب پالایشگری سیستمی است که بتواند بیشترین جذب و یا گذردهی را در محدودههای پالایشی مورد نظر داشته باشد. با درنظر گرفتن کاربردهای متفاوت، درمواردی لازم است در یک محدودهٔ پالایشی گسترده تنها ناحیهٔ بسیار باریکی از بازهٔ

$$T = A(L)B(Z_{Tooth}^{(1)})A(\Delta_1)B(Z_{Tooth}^{(j)})A(\Delta_1)...B(Z_{Tooth}^{(i+1)})...A(\Delta_{M-1})B(Z_{Tooth}^{(M)})A(L)$$

$$\mathbf{A}(z) = \begin{pmatrix} \exp(-j\beta z) & 0\\ 0 & \exp(-j\beta z) \end{pmatrix}$$
(*

$$\mathbf{B}(Z_{Tooth}^{(i)}) = \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_{Tooth}^{(i)}}{2Z_{MDM}} & -\frac{Z_{Tooth}^{(i)}}{2Z_{MDM}} \\ \frac{Z_{Tooth}^{(i)}}{2Z_{MDM}} & 1 - \frac{Z_{Tooth}^{(i)}}{2Z_{MDM}} \end{pmatrix}$$
(2)

$$Z_{MDM} = \frac{\beta(h)h}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_1} \tag{9}$$

$$Z_{Tooth} = \frac{\beta(w) w \sqrt{\varepsilon_1} - j \sqrt{\varepsilon_2} \tan \beta(w) d}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_1 \sqrt{\varepsilon_2} - j \sqrt{\varepsilon_1} \tan \beta(w) d}$$
(Y

که در آن ماتریس انتقال امواج الکترومغناطیسی توصیف کنندهٔ انتشار موج در قسمتهای ابتدایی و انتهایی موجبر، $A(\Delta_i)$ ماتریس مربوط به انتقال در فاصلههای بین دندانههای موجبر، $B(Z_{Tooth}^{(i)})$ متریس توصیف کننده جفتشدگی بین موجهای ورودی و بازتابشی مربوط به هریک از دندانهها و Z_{MDM} و Z_{Tooth} بهترتیب امپدانسهای همارزمداری برای موجبر و هریک از دندانهها میباشند[۱۵].

يافتهها

۲. ساختار هندسی TPNF. ساختار

شـکل ۱ مقطـع عرضـی از الگـوی طراحیشـده بـرای یـک نانوپالایشـگر پلاسـمونیکی چنددندانـهای زنجیرهای را نشـان میدهد. CM_{1-r}-TPNF از کنارهـم قرارگرفتـن زنجیروار r پالایشـگر از نوع M-TPNF تشکیل میشود.



شکل ۱: مقطع عرضی از الگوی طراحی شده برای CM_{1-r}-TPNF

اگر M-TPNF، n2-TPNF، ... و nr- سال n1-TPNF، n2-TPNF، ... و

فرکانسی اجازهٔ گذردهی داشته باشد یا برعکس در برخی موارد ایجاد محدودهٔ پالایشی گستردهتری موردکاربرد می باشد. درهرصورت معمولاً ابتدا محدودهای تقریبی از بازهٔ پالایشی مطلوب را تولید می کنند و سپس طی فرآیندی برنامه ریزی شده به اصلاح آن می پردازند تا بازهٔ پالایشی مورد نظر حاصل شود. البته این روند برای بهینه سازی نواحی پالایش شده نیز کاربرد دارد. بنابراین می توان با انتخاب صحیح با یکدیگر داشته باشند به ایجاد، اصلاح و بهینه سازی محدوده های گذردهی و پالایشی مطلوب دست یافت. درادامه، برای واضح تر شدن مطلب با دو مثال کاربردی نحوهٔ عملکرد TPNF برای تولید پالایشگرهای میان گذر و میان نگذر توضیح داده شده است.

۳-۱- اســـتفاده از CM_{1-r} -TPNF برای پالایش پهنای گستردهای از بازهٔ فرکانسی در طول موجهای بخصوص

در اینمرحلـه بهعنـوان مثال، طراحی پالایشـگر میاننگذر برای ایجاد پهنای پالایشـی بین طولموجهای ۱ تا ۲/۳ میکرومتر موردنظر میباشد. برای این کار مشـاهده میشـود همپوشـانی بینابهای گذردهی نسبی پالایشـگرهای TPNF و با ارتفاع دندانههای ۲۰۰ نانومتر و 3-TPNF با ارتفاع دندانههای ۳۰۰ نانومتر میتوانند این محدوده را پوشـش دهند. حاصل ضـرب این دو بیناب نتیجهٔ برهمنهی این دو TPNF - 3 میباشـد که در شـکل۲ نمایش داده شده است. درصورتی که اثر م



C3-3-TPNF (۲) بناب (۲)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF (۱)، TPNF دوم بیناب (۲)، حاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF بیناب (۳)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF بیناب (۳)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF بیناب (۳)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF بیناب (۳)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF بیناب (۳)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF بیناب (۳)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF بیناب (۳)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF بیناب (۳)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF بیناب (۳)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF بیناب (۳)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF بیناب (۳)، محاصل برهم نهی آن ها بیناب (۳) و C3-3-TPNF (۳)

در این پالایشگر فرض بر این است فاصلهٔ بین 3-TPNF نخست و S-TPNF دوم (یا) برابر با فاصلهٔ بین هردو دندانهٔ مجاور در هریک از $\Delta TPNF$ ها (یعنی؛ $\Delta \Delta_1 = \Delta_1 = \Delta_2$) باشد. با توجه به اندازهٔ یکسان M-TPNF و $\Delta_1 \cdot \Delta_2$ این پارامترها از عملکرد مشابهی دررابطه با انتخاب و حذف طول موجهای مناسب برخوردارند. بنابراین همان گونه که در شکل ۲ دیده می شود، بیناب (۴) انسبت به بیناب (۳) از افت دامنهٔ گذردهی بیشتری در طول بازهٔ فرکانسی برخوردار است.

برای پهنتر نمودن بازهٔ پالایشی کافیاست TPNF-Mهای مناسب دیگری را به سیسیتم اضافیه کرد تا بیناب گذردهی نسیبی آنها بتواند

باقیماندهٔ بازهٔ فرکانسی مورد نظر را پالایش دهد.

بدیهی است با توجه به افزایش تعداد دندانهها، تعداد *۲*ها و همچنین Δ*C*ها کیفیت فرآیند پالایشـگری افزایش می یابد و دامنهٔ بیناب گذردهی کاهش پیدا می کند. همان گونه که در شـکل (۳- الف) نشـان داده شـده اسـت یک پالایشـگر TPNF دیگر با ارتفاع دندانههای ۴۰۰ نانومتر به مجموعهٔ پالایشـگر شـکل (۲- الف) اضافه شده اسـت. در شکل (۳-ب) با مقایسـهٔ بینابهای گذردهی نسبی C3-TPNF -C3-3، بیناب (۱)، و پهن تر اشاره نمود.



شکل ۳: الف) مقطع عرضی از C3-3-3-TPNF بینابهای گذردهی نسبی C3-3-TPNF بیناب (۱) و C3-3-3-TPNF بیناب (۲)

۲-۳- اســـتفاده از CM_{1-۲}-TPNF بـرای گذردهی باریکهای از بازهٔ فرکانسی در طولموجهای بخصوص

طراحی پالایشگر میان گذری که باریکهٔ گذردهی را در طول موج ۱ میکرومتر و با دامنهٔ گذردهی نسبی حداقل ۴۵ درصد به گونه ای ایجاد کند که گذردهی طول موجهای پیرامون آن صفر باشد. شکل (۴-ج) بیناب گذردهی C4-6-TPNF، بیناب (۳) را به از ای

d₁=350 nm و d₁=350 نشان میدهد. همان گونه که دیده می می شود ناحیهٔ پالایشی از بازهٔ فرکانسی در تمام طول موجها از دامنهٔ صفر برخوردار نیست. بنابراین برای بهدست آوردن محدودهٔ پالایشی دقیق تر با دامنهٔ صفر دوباره از اصل برهمنهی استفاده می شود تا بتوان گسترهٔ پالایشی و باریکهٔ گذردهی مورد نظر را ایجاد نمود.



شـكل ۴: الف) مقطع عرضی از C4-6-TPNF بیناب (۲) و C3-4-6-TPNF ج) بینابهای گذردهی نسـبی TPNF میناب (۱)، C4-6-TPNF بیناب (۲) و C3-4-6-TPNF بیناب (۲) و C3-4-6-TPNF بیناب (۲) و C3-4-6-TPNF بیناب (۳) و (۳) در ازای 100m d₂ = 350mm , d₁ = 740nm (۳) در ازای در ازای C3-4-6-TPNF (۳) در از C3-4-7-5-5-TPNF (۳) در از C

ردهی نسبی C3-4-6-TPNF بیناب گذردهی نسبی C3-4-6-TPNF بیناب بیناب(۳) را از برهمنهی بینابهای گذردهی نسبی TPNF بیناب(۱) با C4-6-TPNF بیناب(۲) نشان میدهد، ملاحظه میشود اندازهٔ دامنهٔ بازهٔ پالایشی حاصل صفر و همچنین اندازهٔ دامنهٔ ناحیهٔ باریک گذردهی با بزرگی مطلوب میباشد.

$\mathrm{CM}_{1-\mathrm{r}} ext{-}\mathrm{TPNF}$ تأثیر تغییرات Δc_1 بر بیناب گذردهی نسبی $4 ext{-}^{+}$

با فرض ثابت بودن دیگر پارامترها تأثیر تغییرات Δc_1 در بیناب گذردهی نسب ی فرض ثابت بودن دیگر پارامترها تأثیر تغییرات Δc_1 در بیناب گذردهای نسبی پالایشگر \mathbf{CM}_{1-r} -TPNF بررسی شد. در شکل ۵ نمودارهای تغییرات طول موجهای مرکزی بازههای پالایشی و نقاط بیشینهٔ بینابهای گذردهی نسبی نسبی از تغییرات درصدی Δc_1 ناشی از تغییرات درصدی رفتار موج نمایش داده شده است. رفتار پلکانی تکرارشوندهٔ موجود مبین رفتار موج

انسبت به پارامتر Δc_1 و عملکرد کاواک گونهٔ فضای Δc_1 میباشد. اگر R اندازهٔ درصد اضافه شده به Δc_1 باشد در درصدهای کمتر و یا مساوی با اندازهٔ درصد اضافه شده به Δc_1 باشد در درصدهای کمتر و یا مساوی با ۱۰۰ طول موج مرکزی ناحیهٔ پالایشی و نقطهٔ بیشینهٔ باریکهٔ گذردهی به سمت طول موجهای بلندتر و در درصدهای بیشیتر از ۱۰۰ به سمت طول موجهای کوتاهتر جابه جا می شوند. این روند جابه جایی در درصدهای بیشتر نیز دیده می شود.

درواقع، پالایشــگر CM_{1-r} -TPNF را میتوان بهگونهای طراحی نمود که فاصلهٔ بین TPNFهای تشکیلدهندهٔ آن در یکی از این بازههای تکرارشونده قرار بگیرد.



شکل۵: نمودارهای تغییرات طول موجهای مرکزی محدودههای پالایشی (۱) و تغییرات نقطهٔ بیشینه (۲) برروی بیناب گذردهی نسبی C3-4-6-TPNF بهازای تغییرات درصدی (۵ 🖉 خ

بحث و نتيجه گيرى

همان گونه کـه در شـکلهای ۲ و ۴ دیـده میشـود TPNF-Mهـا به تنهایـی قادر به تولید بازههای گذردهی و یا پالایشـی مورد نظر به طور کامل نیسـتند. اما با توجه به بینابهای گذردهی TPNF - TPNFها، شـکل گرقته ۳ و ۴ کـه از تأثیر عملکرد همزمـان دو یا چند M-TPNF شـکل گرقته اند، می توان محدوده های میان گـذر و میان نگذر مطلوب را مناسـب برخوردارند درصورتی که این دو فاکتـور در بینابهای گذردهی مناسـب برخوردارند درصورتی که این دو فاکتـور در بینابهای گذردهی مناسـب مونیکی چنددندانهای زنجیـرهای (ندارند. بنابراین نانوپالایشـگرهای پلاسـمونیکی چنددندانهای زنجیـرهای (تا پالایشـگر از نوع TPNF) کـه از گرفته اند می توان دو فاکتـور در این انوپالایشـگرهای تولیـد، اصـلاح و بهینهسازی محدودههای میان گذر بسـیار باریک و مولیـد، اصـلاح و بهینهسازی محدوده های میان گذر بسـیار رادیک و

البته باتوجه به اینکه بینابهای گذردهی نسبی CM_{1-r}-TPNF و همچنین تأثیر نقش ها حاصل از برهمنهی همزمان M-TPNF ، r و همچنین تأثیر نقش پالایشگری Δ۵ها میباشند از افت دامنهٔ چشمگیری نسبت به بینابهای گذردهی نسبی هریک از M-TPNFهای اولیه برخوردار هستند. لذا، M-TPNFهایی که در آنها تعداد دندانهها کمتر و اندازهٔ ارتفاع کوچکتر باشد، میتوانند بهترین گزینهها برای طراحی این پالایشگرها باشند.

دقت در نمودارهای شکل ۵ که حاصل از بررسی انجام شده درخصوص افزایش درصدی Δc_1 میباشــند، برای انتخاب اندازهٔ صحیح Δc_1 در هر پالایشــگر مفروض ضروری است. رفتار نوسـانی پلکانی موج و عملکردی کاواک گونـه Δc_1 کـه براثــر افزایش درصـدی آن بروز می کنــد، مبین عملکردهای یکسان پالایشگرها در طراحیهای متفاوت است.

References:

1. Maier S. Plasmonics – Towards Subwavelength Optical Devices. Current Nanoscience 2005; 1: 17-22.

2. Kim K. Plasmonics - Principles and Applications. InTech.: 2012.

3. Sorger V., Oulton R., Ma R., Zhang X. Toward integrated plasmonic Circuits. MRS Bull. 2012; 37: 728-38.

4. Hu F., Yi H., Zhou Z. Band-pass plasmonic slot filter with band selection and spectrally splitting capabilities. Opt. Exp. 2011; 19: 4848-55.

5. Hu F., Zhou Z. Wavelength filtering and demultiplexing structure based on aperture-coupled plasmonic slot cavities. J. Opt. Soc. Am. B 2011; 28: 2518-23.

6. Tao J., Huang X. G., Lin X., Zhang Q., Jin X. A narrow-band subwavelength plasmonic waveguide filter with asymmetrical multipleteeth-shaped structure. Opt. Exp. 2009; 17: 13989-94.

7. Oskooi A., Roundy D., Ibanescu M., Bermel P., Joannopoulos J.D., Johnson S. G. MEEP: A flexible free-software package for electromagnetic simulations by the FDTD method. Compu. Phys. Commun. 2010; 181: 687–702.

8. Maier S. Plasmonics: Fundamentals and

Applications. Springer Science+Business Media LLC: New York, 2007.

9. Novotny L., Hecht B. Principles of Nano-Optics. Cambridge University Press: New York, 2006.

10. Jackson J. Classical Electrodynamics. John Wiely & Sons Inc.: New York, 1962.

11. Premaratne M., Pannipitiya A., Rukhlenko I. Analytical modeling of resonant cavities for plasmonic-slot-waveguide junctions. IEEE Photon. J. 2011; 3: 220–33.

12. Haroldo M., Pannipitiya T., Rukhlenko I., Agrawal G. Improved transmission model for metal-dielectric-metal plasmonic waveguides with stub structure. Opt. Exp. 2010; 18: 6191–204.

13. Pozar D. Microwave Engineering. Wiley: New York, 1998.

14. Zhang D. Electromagnetic Theory for Microwaves and Optoelectronics.2nd edn, Springer: Berlin, 2008.

15. Saeed F, Fatemi h, Khaksar A. Introducing and characterization of Multi-Teeth Plasmonic Nano Filters (M-TPNFs) and Chained Cascaded M-TPNFs, using FDTD and CE methods. 19th Iranian Annual Physics Conference: Birjand

university, June 2013.

16. Sullivan D. Electromagnetic Simulation using FDTD. IEEE Press: New York, 2000.

17. Taflove A., Hagness S. C., Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. 3nd edn, Artech House Publishers: 2005.

18. Khaksar A, Fatemi H. Changes in the transmission properties of multi-tooth plasmonic nano-filters (M-TPNFs) caused by geometrical imperfection. J Opt 2012; 14: 085003-11.

19. Rakic A.D., Djurisic A.B., Elazar J.M., Majewski M.L., Optical properties of metallic films for vertical-cavity optoelectronic devices Appl. Opt. 1998; 37: 5271-83.

20. Sheppard C, Fatemi H, Gu M. The Fourier optics of near-field microscopy. Scanning 1995; 17: 28-40.

21. Yariv A, Yeh P. Photonocs- Optical Electronics in Modern Communications. 6nd edn, Oxford University Press: New York, 2007.