شبیه سازی طیف عبوری در نانو مشددهای پلاسمونیک غیرخطی با مواد چلکوجناید

فاطمه دهمرده، محسن حاتمی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز

چکیده - در این مقاله طیف عبوری در یک موجبر نانو پلاسمونیک غیرخطی را شبیه سازی کرده ایم. این دستگاه توسط یک موجبر فلز- دی‌الکتریک- فلز (MDM) تشکیل شده و به طور عمودی به یک پله که متشکل از شیشه های چلکوجناید غیرخطی بالایی است جفت می شود. با توجه به رابطه عبوری که بر حسب امپدانس است رفتار عبوری موجبر را مطالعه می‌کنیم. نتایج نشان می‌دهد جابجایی قابل توجهی با تغییر توان ورودی در طیف عبوری ایجاد می‌شود. از این موضوع می‌توان برای طراحی ابزارهایی نظیر تسهیم کننده طول موج تمام نوری که با توان ورودی کنترل می‌شوند استفاده کرد.

کلید واژه- چلکوجناید، طیف عبوری، نانو پلاسمونیک.

Simulation of transmission spectra in nonlinear plasmonic resonator fill with Chalcogenide

Fatemeh Dahmardeh, and Mohsen Hatami

Faculty of physics, Shiraz University of Technology, Shirazo

Abstract. In this paper we simulate the transmitted spectrum of nonlinear plasmonic resonator with Chalcogenide material. This system is consist of a metal-dielectric-metal (MDM) waveguide and vertically coupled to stub filled with highly nonlinear chalcogenide glasses. We study the transmission behavior of waveguide in order to the impedance transmission relation. The result show that significant shift is happened in transmission spectra due to changes of input power. It can be used in designing systems like all optical de multiplexer which controled by the input power.

Keywords: Chalcogenide, Transmission spectra, Nano plasmonic.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

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

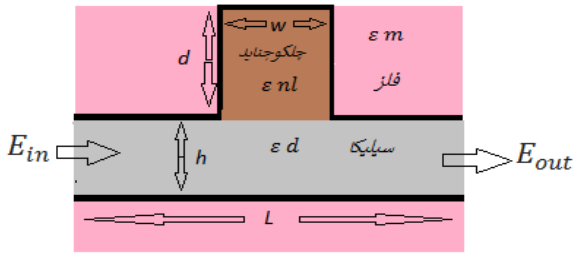
۱- مقدمه

شیشه‌های چلکوجناید عموماً در نواحی مرئی تا فروسرخ شفاف هستند. این شیشه ها مبتنی بر عناصر چلکوجن Te ، Se ، S می‌باشد. این شیشه ها با اضافه کردن عناصر دیگری نظیر Sb، In، Ge، Ga، As ساخته می‌شوند. چلکوجنایدهای $As-S$ به دلیل پایداری مکانیکی و شیمیایی بالا، کاندیدای مناسبی برای ساخت فیبرهای نوری هستند. همچنین چلکوجنایدها دارای ضریب غیر-خطی بالایی چون ($2.03-3.23$) می‌باشند. ضریب کر در این مواد $100-1000$ برابر بیشتر از سیلیکون است. اتلاف نیز در فیبرهایی که از این نوع شیشه ساخته می‌شوند پایین است[۱]. در چند دهه گذشته، پلاسمون- پلاریتون سطحی (SPP) که در سطح فلزات منتشر می‌شدند توجه زیادی را به خود جلب کرده اند[۲]. در حالی که فلز هم اثر غیرخطی دارد اما در مقایسه با اثر غیرخطی چلکوجناید از آن صرف نظر شده است. تمرکز این مقاله روی رفتار طیف عبوری یک ساختار نانو پلاسمونیک است که در این ساختار نانوپلاسمونیک یک موجبر فلز-دی‌الکتریک–فلز (MDM) با یک مشدد پله مانند متشکل ازمواد چلکوجناید جفت می شود. استفاده از پله باعث ایجاد تشدید و دامنه میدان را زیاد می‌کند و در نهایت اثرات غیرخطی را افزایش می‌دهد که اثر تشدید در غیرخطی بودن آن ظاهر می‌شود. در این مقاله شبیه سازی عددی برای رفتار طیف عبوری دریک دستگاه غیر خطی ارائه شده است که با نوشتن کد متلب اثر غیرخطی به صورت تکرار برای رسیدن به یک میدان داخل استب انجام شده است. در اینجا فرض شده که تغییرات ضرایب وابسته به شدت درپله، وابسته به پذیرفتاری مرتبه سوم غیر خطی فلزات می‌باشند. استفاده از توانهای نوری زیاد پاسخ غیرخطی بالایی می‌دهد. هم چنین تغییرات متوسط شدت داخل پله که با محیط کر غیر خطی پر می‌شود را با استفاده از روش تکرار در کد نویسی متلب با توجه به معادلات ۱و۲ به دست می‌آوریم ودر نهایت، الگوی تغییر منحنی‌های طیف عبوری را برای پارامترهای مختلف، مانند تغییر طول پله، عرض و طول موج، نمایش می‌دهیم.

۲- طراحی

ما یک موجبر تک مد را که به یک پله تک مدکه با ماده غیرخطی چلکوجناید پرشده است به آن اضافه شده را در یک محیط کر غیرخطی نشان می‌دهیم (شکل ۱). مدهای SPP دریک ساختار دوبعدی، دردو جهت جانبی و عمودی محدود می‌شوند. در حالی که محدوده جانبی با روکش فلزی پوشانده می‌شود، و افزایش ضریب موثربازتاب در هسته دی‌الکتریک باعث می‌شود که ضریب هدایت محدوده‌یِ عمودی نیز افزایش یابد [۳].

عرض و طول موجبر (پله) به ترتیب h و L (w و d) در نظر گرفته شده است. ثابت گذردهی الکتریکی ساختارهای دی-الکتریک، فلز و پله غیرخطی با ε_d، ε_m و ε_{nl} مشخص می-شود. ثابت گذردهی الکتریکی غیرخطی می‌تواند به متوسط شدت میدان الکتریکی داخل پله با رابطه $\varepsilon_{nl} = \varepsilon_l + \chi^{(3)}\overline{E}_s{}^2$ مشخص می‌شود، که در آن که $\chi^{(3)}$ ضریب غیر خطی است.



شکل ۱. ساختار مشدد موجبر پلاسمونیک MDM با پهنای h و یک پله باپهنای w و طول d است .گذردهی الکتریکی مواد در پله، ε_{nl} است. پارامترهای مهم در متن بیان شده است

این هندسه اجازه می دهد تا در پله تشدید صورت گیرد و اثرات غیرخطی افزایش یابد. میدان الکتریکی کلی پله (E_s) ، در محیط های غیرخطی پیدا شود. ساختار شکل ۲ متشکل از دو خط گذار است که به موجبرهای اصلی و فرعی مربوط می‌شود. امپدانس مشخصه این خطوط عبارتند از:

$$Z_0(h,\varepsilon_d) = \beta(h,\varepsilon_d)h/(\omega\varepsilon_0\varepsilon_d)$$
$$Z_s = Z_0(w,\varepsilon_l) \qquad (1)$$

ω فرکانس زاویه ای است، ε_0 ثابت گذردهی خلا و $\beta(h,\varepsilon_d)$ ثابت انتشار مد SPP در موجبری باپهنای h است که می تواند از رابطه زیر بدست آورد:

$$\tanh(k_d \frac{h}{2}) = -\frac{k_m\varepsilon_d}{k_d\varepsilon_m}$$
$$k_x = \sqrt{\beta(h,\varepsilon_d)^2 - k^2\varepsilon_x} \qquad (۲$$

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

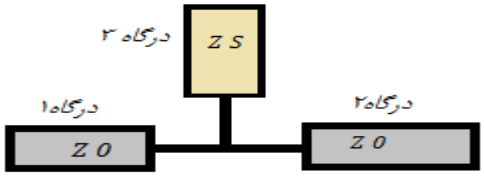
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

($x = m, d$) و d بردار موج فضای آزاد است [۳و۴].

و طول پلاسمون پلاریتون سطحی با توجه به رابطه زیر به دست می‌آید[۵]:

$$L_{SPP} = (2\,\mathrm{Im}[\beta])^{-1} \qquad (۳)$$

با به دست آمدن ثابت انتشار به صورت عددی، امپدانس‌های پله وموجبر را بر حسب ثابت انتشار محاسبه کرده و در نهایت طیف عبوری را به ازای مقادیر مختلف پهناهای پله و موجبر محاسبه و شبیه سازی می-کنیم.



شکل ۲. موجبر به ۳ درگاه تقسیم میشود: درگاه ۱و درگاه ۲ با امپدانس Z_0 برای دی الکتریک و درگاه ۳ با امپدانس Z_S برای پله می‌باشد.

درطول موج‌های مخابرات نوری، میدان الکتریکی داخل ناحیه دی الکتریک یک موجبر MDM بسیار بزرگتر از فلز است و توزیع آن می‌تواند در جهت عرضی تقریبا یکنواخت فرض‌شود. متوسط شدت میدان الکتریکی درپله به صورت انتگرال $\overline{E_s^2} = \int_0^1 |E_s(vd)|^2 dv$ بیان می‌شود. افت در موجبرها میتواند با شدت داخلی وخارجی ساختاری به شکل پارامتری ، ارتباط داشته باشد

۳- محاسبات عددی

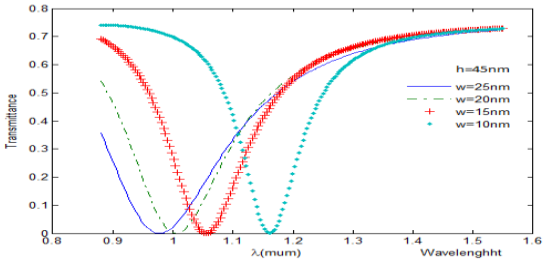
ابتدا رفتار طیف عبوری از موجبر فلز- دی‌الکتریک– فلز با یک پله را درحالت خطی و سپس برای ساختارهای غیرخطی بررسی می‌کنیم.

رفتار طیف عبوری را در حالت خطی برای یک موجبر بدون درنظر گرفتن اثرهای غیرخطی محاسبه و شبیه سازی می-کنیم[۴].

$$T = |t|^2 = \left|1 + \frac{Z_{stub}}{2Z_{wg}}\right|^{-2} \exp\left(-\frac{L}{L_{spp}}\right) \qquad (۴)$$

Z_{stub} و $2\ Z_{wg}$ به ترتیب امپدانس موثر پله و امپدانس مشخصه موجبر را بیان می‌کند. L_{spp} طول انتشار پلاسمون- پلاریتون های سطحی در دی‌الکتریک و L طول کل دستگاه است. ε_s ثابت گذردهی الکتریکی فلزات در پله است. درسراسر متن، مدل درود لورنتس برای توصیف ثابت گذردهی فلز مورد استفاده قرار می‌گیرد . ثابت گذردهی الکتریکی مواد چلکوجناید $\varepsilon_d = 6.5025$ می‌باشد.

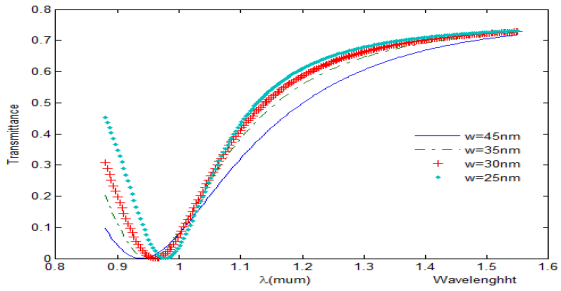
در نهایت رفتار طیف عبوری را در حالت غیرخطی برای یک موجبرجفت شده با استب بررسی می‌کنیم. مواد غیر خطی در کاواک توسط $\varepsilon_l = 2.25$ و $\chi^{(3)} = 0.78272e-5\frac{m^2}{V^2}$ مشخص می‌شوند. با استفاده از پارامترهای هندسی موجبر و پله $d = 300\,nm$، $L = 300nm$ و $\overline{E_s}^2 = 2.25\times10^1$ و مقادیر مختلف h و w طیف عبوری را در دو حالت بدست می‌آوریم:



شکل۳. طیف عبوری در حالت خطی به ازای $h = 45nm$ و مقادیر مختلف w که در شکل ذکر شده، نشان داده شده است.

جدول ۱. مقادیر مختلف انتقال از حالت خطی به ازای w های مختلف برای $h = 60nm$ در توان 2.25×10^1

w	مقدار انتقال عبور صفر از حالت خطی
$45nm$	0
$35nm$	0.014×10^{-6}
$30nm$	0.024×10^{-6}
$25nm$	0.041×10^{-6}



شکل۴. طیف عبوری در حالت غیرخطی به ازای $h = 60nm$ ومقادیر مختلف w که در شکل ذکر شده، رسم شده است.

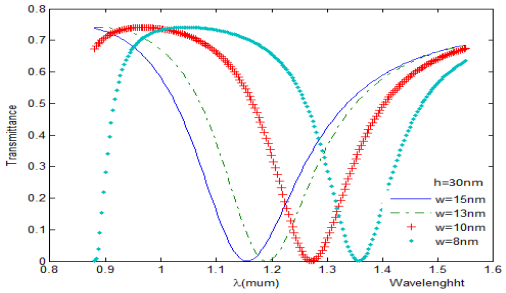
جدول ۲. مقادیر مختلف انتقال از حالت خطی به ازای w های مختلف برای $h = 30nm$ در توان 2.25×10^1

w	مقدار انتقال عبور صفر از حالت خطی
$15nm$	0
$13nm$	0.034×10^{-6}

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]

$10nm$	0.118×10^{-6}
$8nm$	0.202×10^{-6}



شکل۵. طیف عبوری در حالت غیرخطی به ازای $h=30nm$ و مقادیر مختلف w رسم شده است.

با توجه به تغییر توان شدت خروجی به ازای طول موج‌های مختلف، که مفهوم آن کلیدزنی است می‌توان برای طراحی WDM یا همان تسهیم کننده‌های تمام نوری استفاده کرد.

۴- نتیجه‌گیری

اثرات خطی و غیرخطی طیف عبوری برای یک موجبر پله‌دار به طول ۳۰۰ نانومتر به ازای پهناهای مختلف را شبیه سازی کردیم. اثر پهنا و ارتفاع پله بررسی شد. با توجه به مقادیر مشاهده شده در شکل‌ها نتیجه می‌گیریم که اثرات غیرخطی با کاهش پهنا افزایش می‌یابدبه ازای یک پهنا با افزایش دامنه ورودی طیف تغییر پیدا می‌کند.

مراجع

[1] Kook kim J, Investigation of high Nonlinearity glass fibers for potential applications in ultrafast nonlinear fiber devices, Tez of Doctor (2005).

[2] D.R K. Gramotnev and S. I. Bozhevolnyi, “Plasmonics beyond the dif fraction limit,” Nat. Photon. 4, 83 –91 (2010).

[3] G. Veronis and S. Fan, “Bends and splitters in metal-dielectric-metal subwavelength plasmonic waveguides,” Appl. Phys. Lett. 87, 131102 (2005).

[4] A. Pannipitiya, I. D. Rukhlenko, M. Premaratne, H. T. Hattori, and G. P. Agrawal, “Improved transmission model for metal-dielectric-metal plasmonic waveguides with stub structure,” Opt. Express 18, 6191–6204 (2010).

[5] Maier S.A., “Plasmonics: fundamentals and applications “ ,first ed., springer Science & Business Media,2007.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-07]