

## شبیه سازی طیف عبوری در نانو مشددهای پلاسمونیک غیر خطی 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-دی الکتریک-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 امیدانس است رفتار عبوری موجبر را مطالعه می کنیم. نتایج نشان می دهد جابجایی قابل توجهی با تغییر توان ورودی در طیف عبوری ایجاد می شود. از این موضوع می توان برای طراحی ابزارهایی نظیر تسهیم کننده طول موج تمام نوری که با توان ورودی کنترل می شوند 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.

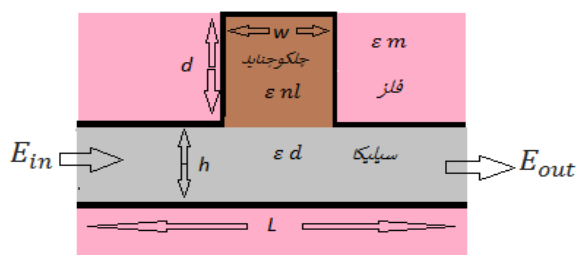
## ۱- مقدمه

شیشه‌های چلکوجناید عموماً در نواحی مرئی تا فرورسرخ شفاف هستند. این شیشه‌ها مبتنی بر عناصر چلکوجن  $Te$  ،  $S$  ،  $Se$  می‌باشد. این شیشه‌ها با اضافه کردن عناصر دیگری نظیر  $As$  ،  $Ga$  ،  $Ge$  ،  $In$  ،  $Sb$  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 ( 3.23-2.03 ) 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 نانو پلاسمونیک یک موجبر فلز-دی‌الکتریک-فلز ( $MDM$ ) با یک مشدد پله مانند متشکل از مواد چلکوجناید جفت می‌شود. 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 در یک 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 در پله، 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 ۱ و ۲ به دست می‌آوریم و در 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 مد که با ماده غیرخطی چلکوجناید پر شده است به آن اضافه شده را در یک محیط کر غیرخطی نشان می‌دهیم (شکل ۱). مدهای  $SPP$  در یک ساختار دوبعدی، در دو جهت جانبی و عمودی محدود می‌شوند. در حالی که محدوده جانبی با روکش فلزی پوشانده می‌شود، و افزایش ضریب موثر بازتاب در هسته دی‌الکتریک باعث می‌شود که ضریب هدایت محدوده‌ی عمودی نیز افزایش یابد [۳].

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



شکل ۱. ساختار مشدد موجبر پلاسمونیک  $MDM$  با پهنا  $h$  و یک پله با پهنا  $w$  و طول  $d$  است. گذردهی الکتریکی مواد در پله،  $\epsilon_{nl}$  است. پارامترهای مهم در متن بیان شده است این هندسه اجازه می‌دهد 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. امیدانس مشخصه این خطوط عبارتند از:

$$Z_0(h, \epsilon_d) = \beta(h, \epsilon_d) h / (\omega \epsilon_0 \epsilon_d) \quad (1)$$

$$Z_s = Z_0(w, \epsilon_l)$$

$\omega$  فرکانس زاویه ای است،  $\epsilon_0$  ثابت گذردهی خلا و  $\beta(h, \epsilon_d)$  ثابت انتشار مد  $SPP$  در موجبری با پهنا  $h$  است که می‌تواند از رابطه زیر بدست آورد:

$$\tanh(k_d \frac{h}{2}) = -\frac{k_m \epsilon_d}{k_d \epsilon_m}$$

$$k_x = \sqrt{\beta(h, \epsilon_d)^2 - k^2 \epsilon_x} \quad (2)$$

گذردهی فلز مورد استفاده قرار می‌گیرد. ثابت گذردهی الکتریکی مواد چلکوجناید  $\epsilon_d = 6.5025$  می‌باشد.

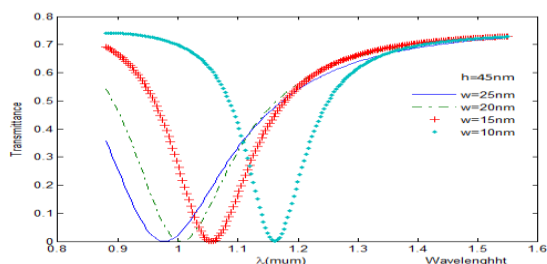
در نهایت رفتار طیف عبوری را در حالت غیر خطی برای یک موجبر جفت شده با استب بررسی می‌کنیم. مواد غیر خطی

در کاواک توسط  $\epsilon_l = 2.25$  و  $\chi^{(3)} = 0.78272e - 5 \frac{m^2}{V^2}$

مشخص می‌شوند. با استفاده از پارامترهای هندسی موجبر و پله  $d = 300nm$ ،  $L = 300nm$  و

$E_s^2 = 2.25 \times 10^1$  و مقادیر مختلف  $h$  و  $w$  طیف عبوری

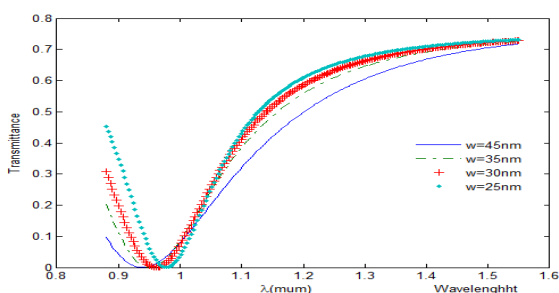
را در دو حالت بدست می‌آوریم:



شکل ۳. 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  $2.25 \times 10^1$

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



شکل ۴. طیف عبوری در حالت غیر خطی به ازای  $h = 60nm$  و مقادیر 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  $2.25 \times 10^1$

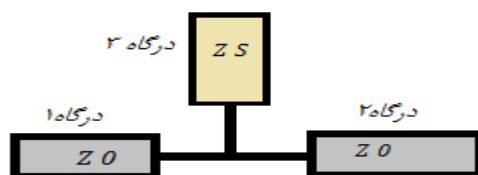
$w$	مقدار انتقال عبور صفر از حالت خطی
15nm	0
13nm	$0.034 \times 10^{-6}$

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

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

$$L_{SPP} = (2 \text{Im}[\beta])^{-1} \quad (3)$$

با به دست آمدن ثابت انتشار به صورت عددی، امپدانس‌های پله و موجبر 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 می‌کنیم.



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

در طول موج‌های مخابرات نوری، میدان الکتریکی داخلی ناحیه دی الکتریک یک موجبر  $MDM$  بسیار بزرگتر از فلز است و توزیع آن می‌تواند در جهت عرضی تقریباً یکنواخت فرض شود. متوسط شدت میدان الکتریکی در پله به صورت انتگرال  $\bar{E}_s^2 = \int_0^1 |E_s(vd)|^2 dv$  بیان می‌شود. افت در موجبرها میتواند با شدت داخلی و خارجی ساختاری به شکل پارامتری، ارتباط داشته باشد

### ۳- محاسبات عددی

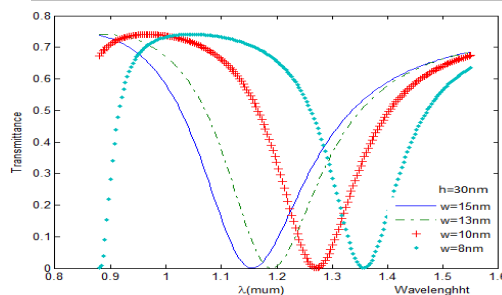
ابتدا رفتار طیف عبوری از موجبر فلز-دی الکتریک-فلز با یک پله را در حالت خطی و سپس برای ساختارهای غیر خطی بررسی می‌کنیم.

رفتار طیف عبوری را در حالت خطی برای یک موجبر بدون در نظر گرفتن اثرهای غیر خطی محاسبه و شبیه سازی می‌کنیم [۴].

$$T = |t|^2 = \left| 1 + \frac{Z_{stub}}{2Z_{wg}} \right|^{-2} \exp\left(-\frac{L}{L_{SPP}}\right) \quad (4)$$

$Z_{stub}$  و  $2Z_{wg}$  به ترتیب امپدانس موثر پله و امپدانس مشخصه موجبر را بیان می‌کند.  $L_{SPP}$  طول انتشار پلاسمون-پلاریتون های سطحی در دی الکتریک و  $L$  طول کل دستگاه است.  $\epsilon_s$  ثابت گذردهی الکتریکی فلزات در پله است. درسراسر متن، مدل درود لورنتس برای توصیف ثابت

10nm	$0.118 \times 10^{-6}$
8nm	$0.202 \times 10^{-6}$



شکل ۵. 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 می توان برای طراحی WDM یا همان تسهیم کننده های تمام نوری استفاده کرد.

#### ۴- نتیجه گیری

اثرات خطی و غیرخطی طیف عبوری برای یک موجبر پله دار 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 شکل ها نتیجه می گیریم که اثرات غیرخطی با کاهش پهنا افزایش می یابد به ازای یک پهنا با افزایش دامنه ورودی طیف تغییر پیدا می کند.

#### 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.