



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷



بررسی مدهای انتشاری و رفتار دوپایداری نوری در موجبر نانومشدد پلاسمونیک غیر خطی با مواد چلکوجناید

فاطمه دهمرده، محسن حاتمی

2014 dahmardeh02@gmail.com

چکیده در این مقاله مدهای انتشاری و رفتار دوپایداری را در یک نانومشدد پلاسمونیک غیر خطی با ساختار فلز_دی_الکتریک_فلز (MDM) با طول موج مخابراتی به صورت عددی با روش تکرار بررسی می‌کنیم. در این سیستم یک موجبر (MDM) به صورت عمودی به یک استب که با شیشه‌های چلکوجناید پر شده است جفت می‌شود و یک نانو رزنانور پلاسمونیک غیر خطی ساخته می‌شود. این نتایج می‌تواند برای کلیدزنی تمام نوری و حافظه به کار برود.

کلید واژه- استب، دوپایداری نوری، نانومشدد پلاسمونیک، نانوپلاسمونیک غیر خطی

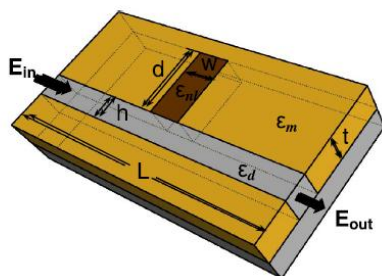
Study of distribution modes and optical bistability in nonlinear plasmonic nanoresonator fill with Chalcogenide

Fatemeh Dahmardeh, and Mohsen Hatami

2014 dahmardeh02@gmail.com

Abstract-In this paper we study numerically With repeat method distribution modes and the bistable behavior of a nonlinear metal-dielectric-metal (MDM) plasmonic nanoresonator at telecom wavelength. In this system a MDM waveguide, vertically coupled to stub filled with highly nonlinear coefficient chalcogenide glasses to make a nonlinear plasmonic nanoresonator. The result of this research can be used for all optical switching and memory

Keywords: Stub, optical bistability, plasmonic nanoresonator, Nanoplasmonic nonlinear



مقدمه

نخستین تحقیقات انجام شده بر روی پلاسمونیک به ابتدای قرن بیستم باز می‌گردد. ساختارهای پلاسمونیک، متشکل از فلز و دی‌الکتریک بوده و ابعاد آن‌ها زیر طول موج تحریکی، طول موج پرتویی که باعث تحریک امواج پلاسمونیک می‌شود، قرار دارد [۱]. از آنجا که اثرات غیرخطی در آزمایشگاه فقط با لیزرهایی با توان بسیار بالا قابل دیدن بود، از لحاظ آزمایشگاهی کاری بسیار سخت و ناممکن به حساب می‌آمد تا اینکه با تولید مواد جدیدی با ضریب شکست‌های ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر نسبت به ضریب شکست‌های غیرخطی مرسوم که از جنس سیلیکا بودند، این مواد با نام شیشه‌های چلکوجناید شناخته می‌شوند [۲]. در این‌جا هدف ما بررسی رفتار دوپایداری نوری در این موجبر نانوپلاسمونیک است. برای این کار ابتدا مدهای انتشاری در موجبر پلاسمونیک را محاسبه می‌کنیم.

طراحی هندسی

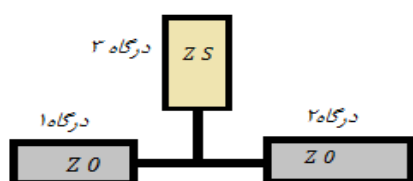
شکل ۱ یک دستگاه نانو مشدد پلاسمونیک را نشان می‌دهد که از یک موجبر فلز-دی‌الکتریک-فلز که به طور عمودی با یک استب که با محیط غیر خطی کر پر می‌شود جفت می‌شود، تشکیل شده است. این نوع خاص از موجبر به دلیل متمرکز کردن بالای نور مورد بررسی قرار می‌گیرد. ما ابتدا مشخصه‌های عبوری این موجبر را بررسی می‌کنیم. پهنا و طول موجبر (استب) به ترتیب h و wL می‌باشد. ثابت گذر دهی دی‌الکتریک ساختارهای دی‌الکتریک، فلز و استب توسط ϵ_m, ϵ_d و ϵ_{nl} مشخص می‌شود. ثابت گذر دهی الکتريکی غیرخطی می‌تواند به میانگین شدت میدان الکتريکی داخل استب به عنوان $\epsilon_{nl} = \epsilon_l + \chi^{(3)} \bar{E}_s^2$ مربوط شود، با توجه به اینکه $\chi^{(3)}$ ضریب غیرخطی است [۳].

شکل ۱: ساختار مشدد موجبر پلاسمونیک MDM با پهنای h و یک استب با پهنای w و طول d است. [۴].

ساختار شکل ۲ متشکل از دو خط گذار است که به موجبرهای اصلی و فرعی مربوط می‌شود. امپدانس مشخصه این خطوط عبارتند از $Z_0(h, \epsilon_d) = \beta(h, \epsilon_d)h / (\omega \epsilon_0 \epsilon_d)$ و $Z_0(w, \epsilon_l) = \beta(w, \epsilon_l)w / (\omega \epsilon_0 \epsilon_l)$ که ω فرکانس زاویه ای است، ϵ_0 ثابت گذر دهی خلا و $\beta(h, \epsilon_d)$ ثابت انتشار مد SPP در موجبری با پهنای h است که می‌تواند از رابطه زیر بدست آورد:

$$\tanh(k_d \frac{h}{2}) = -\frac{k_m \epsilon_d}{k_d \epsilon_m} \quad (1)$$

که $k_x = \sqrt{\beta(h, \epsilon_d)^2 - k^2 \epsilon_x}$ و $(x = m, d)$ بردار موج فضای آزاد است [۴].

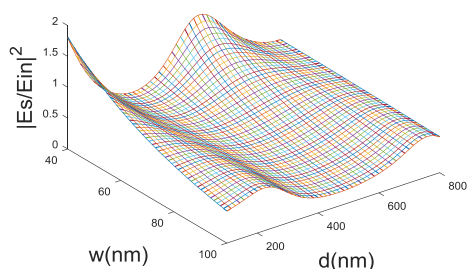


شکل ۲: مدار معادل مشدد پلاسمونیک شکل (۱) که به ۳ درگاه تقسیم می‌شود [۴].

رابطه بین شدت ورودی و خروجی این ساختار به شکل پارامتریک به صورت زیر می‌باشد [۵]:

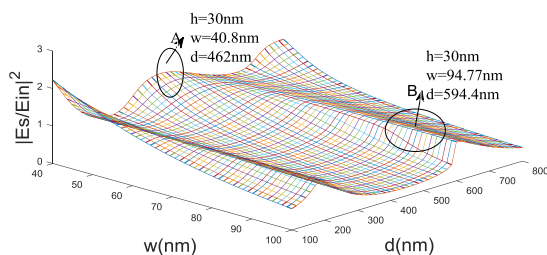
$$|E_{in}(\bar{E}_s)|^2 = |E_1^+(\bar{E}_s)|^2 \exp(L_1 / L_{SPP}) \quad (الف)$$

$$|E_{out}(\bar{E}_s)|^2 = |E_2^-(\bar{E}_s)|^2 \exp(-L_2 / L_{SPP}) \quad (ب)$$



شکل ۴: نسبت شدت میدان داخل استب به شدت میدان ورودی در اصطلاحاتی از d و w بدون در نظر گرفتن اثرات غیرخطی.

شکل ۵، نتایج شبیه سازی برای حالت غیر خطی و بدون هیچ تغییری از پارامترهای شکل ۴ را نشان می دهد.



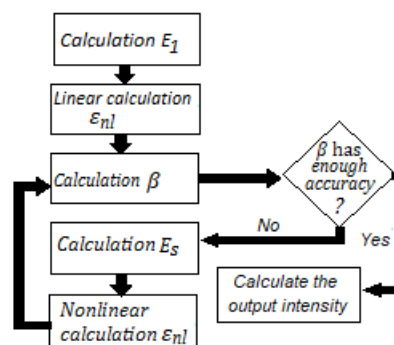
شکل ۵: نسبت شدت میدان داخل استب به شدت میدان ورودی برای $\chi^{(2)} = 100 \chi_{silica}^{(2)}$ با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی.

ما علاقه مندیم که رفتار دوپایداری برای توان ورودی و خروجی را بررسی کنیم. به همین دلیل ما دو نقطه در شکل ۵ را انتخاب می کنیم اولین نقطه A است که میدان داخلی شدیدتری با $w = 40.8 \text{ nm}$ و $d = 462 \text{ nm}$ را دارد و دومین نقطه B است که توان خروجی آن رفتار غیر عادی دارد و تغییرات میدان خروجی آن شدید است. شکل ۶ (الف) رفتار غیرخطی و دوپایداری ندارد اما در

E_{in} و E_{out} به ترتیب میدان های الکتریکی ورودی و خروجی از استب است. متوسط شدت میدان الکتریکی در استب به صورت انتگرال $\bar{E}_s^2 = \int_0^L |E_s(vd)|^2 dv$ بیان می شود.

محاسبات عددی

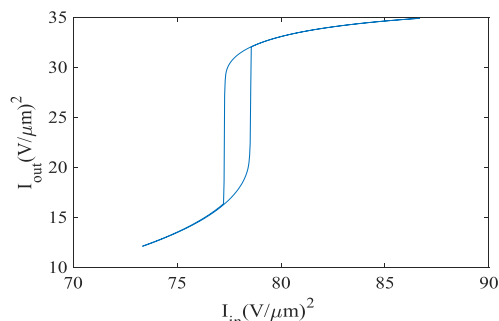
ابتدا میدان الکتریکی داخل استب را در حالت های خطی و غیرخطی محاسبه کرده و سپس دوپایداری را بدست می آوریم. در حالت خطی گذردهی الکتریکی چلکوجناید در داخل استب مستقل از میدان الکتریکی است بنابراین میدان الکتریکی در استب به طور معمولی محاسبه می شود. در حالت غیرخطی، گذردهی چلکوجناید در داخل استب به میدان الکتریکی داخل استب و میدان الکتریکی داخل استب به گذردهی وابسته است.



شکل ۳: فلوچارت ثابت انتشار و میدان الکتریکی داخل استب

شکل ۴ شدت میدان الکتریکی داخل استب $|E_s|^2$ پهنای موجبر $h = 30 \text{ nm}$ و برای مقادیر مختلف از پارامترهای d و w استب و دیگر پارامترهای $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ ، $L = 300 \text{ nm}$ را در حالت خطی نشان می دهیم.

شکل ۷: نسبت شدت میدان داخل استب به شدت میدان ورودی برای $\chi^{(r)}_{silica} = 100\chi^{(r)}$ با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی.



شکل ۸: رفتار دوپایداری نوری در $\chi^{(r)}_{silica} = 100\chi^{(r)}$ با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی

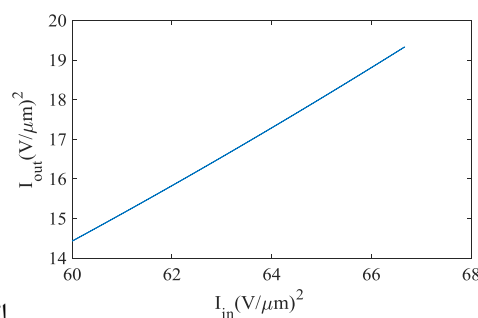
نتیجه گیری

رفتار دوپایداری نوری برای یک موجبر استب دار با استفاده از روش عددی تکرار به ازای شدت‌های مختلف شبیه سازی کردیم. با افزایش شدت اثرات غیرخطی به وضوح دیده می‌شود و تغییرات ناگهانی در میدان الکتریکی مشاهده می‌شود که در آن نقاط دوپایداری شکل می‌گیرد رفتار دوپایداری مقدمه طراحی حافظه‌های تمام نوری با دستیابی تصادفی است.

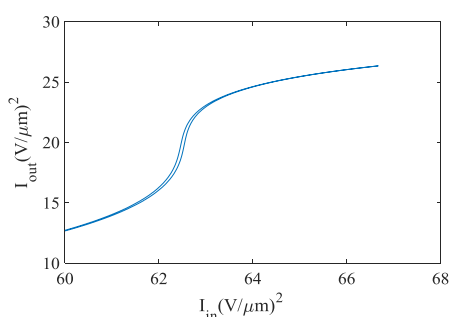
مرجع‌ها

- [1] Kohler R., "Terahertz semiconductor-heterostructure laser", *Nature*, **417**(6885), 156-159 (2002).
- [2] Shiryayev V. S. and Chorbanov M. F., "Preparation of High-Purity Chalcogenide Glasses", *Cheminform*, **46**, 3-35 (2015).
- [3] Boyd. R., "Nonlinear Optics", 2nd ed. *Academic*, (2003).
- [4] Pannipitiya A., Rukhlenko I. D., Premaratne M., "Analytical theory of optical bistability in plasmonic nanoresonators, " *J.Opt. Soc.* **28**, 2820-2826 (2011).
- [5] Kohler R., "Terahertz semiconductor-heterostructure laser", *Nature*, **417**(6885), 156-159 (2002).

شکل ۶(ب) رفتار غیرخطی دارد ولی به دوپایداری نرسیده است.



الف



ب

شکل ۶: رفتار دوپایداری نوری (الف) برای پارامترهای در نقطه A.

(ب) برای پارامترهای در نقطه B.

برای رسیدن به دوپایداری ما شدت ورودی را افزایش

می‌دهیم و اثرات غیرخطی را در نظر می‌گیریم و به شکل ۷

می‌رسیم که در این حالت میدان به طور ناگهانی در بعضی

نقاط تغییر می‌کند.

