بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۴-۱۲ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

تأثیر پارامتر چرپ در تحول پالس در نانوسیم‌های سیلیکونی با پاشندگی مهندسی شده

زینب دلیریان، حسن پاکارزاده و علیرضا کشاورز

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

چکیده - در این مقاله تأثیر پارامتر چرپ در تحول پالس در نانوسیم‌های سیلیکونی با پاشندگی مهندسی شده از طریق حل معادله غیرخطی شرودینگر با استفاده از نرم افزار متلب به روش فوریه گام مجزا بررسی می‌شود. با در نظر گرفتن پالس ورودی سکانت‌هایپربولیک از مرتبه فمتوثانیه و نیز لحاظ کردن اثرات غیرخطی و ضریب پاشندگی مرتبه دوم و سوم بصورت تابعی از طول، تأثیر پارامتر چرپ در انتشار پالس در طول نانوسیم، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار و علامت چرپ تاثیر بسزایی در تحول پالس و بخصوص پهن شدگی آن در طول نانوسیم دارد بطوریکه می‌توان با افزودن چرپ مثبت به پالس ورودی پهن‌شدگی را کاهش داد. لذا می‌توان با انتخاب مناسب پارامترهای پالس، به گونه‌ای انتشار پالس را کنترل کرد که کمترین پهن‌شدگی حین انتشار ایجاد شود.

کلید واژه- چرپ، معادله غیرخطی شرودینگر، مهندسی پاشندگی، نانوسیم سیلیکونی.

Impact of Chirp Parameter on the Pulse Evolution in Dispersion- Engineered Silicon Nanowires

Zeinab Delirian, Hassan Pakarzadeh, and Alireza Keshavarz

Department of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

Abstract- In this paper, we investigate the impact of chirp parameter on the pulse evolution in dispersion-engineered silicon nanowires by solving nonlinear Schrödinger equation (NLSE) using the split-step Fourier (SSF) method in MATLAB. By assuming femtosecond hyperbolic secant input pulse and including nonlinear effects, second- and third-order dispersion coefficients as a function of length the effect of chirp parameter on pulse propagation along nanowire, is investigated. The results show that the value and sign of the chirp has a significant impact on the pulse evolution and specially the pulse broadening along the nanowire so that the broadening can be reduced by adding a positive chirp to the input pulse. Hence, by choosing proper value of pulse parameters, pulse propagation can be controlled such that the minimum broadening during propagation happens.

Keywords: Chirp, Nonlinear Schrödinger equation, Dispersion engineering, Silicon Nanowire.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

بیشترین انگیزه برای توجه به پدیده‌های نوری غیرخطی در نانوسیم‌های سیلیکونی Si حبس‌شدگی نوری قوی در این موجبرها با ابعاد زیرمیکرومتر است. بدلیل اختلاف ضریب شکست بالا و سطح مقطع بسیار کوچک موجبر، شدت میدان نوری چندین مرتبه از اندازه آن در درون مغزی تار تک مد بالاتر است. علاوه بر این، پاسخ غیرخطی بلور Si بسیار قوی است. در نتیجه، حتی برای یک سیگنال نوری با قله توان در محدوده چند ده میلی وات، اثرات نوری غیرخطی می‌تواند قابل توجه باشد [۱]. علاوه بر اثرات غیرخطی افزایش یافته، موجبرهای با مغزی فوق‌العاده کوچک خواص مفید دیگری مانند پاشندگی سرعت گروه بسیار قابل مهندسی، طول عمر حامل آزاد کاهش یافته در نیمه‌هادی‌ها، و طول کمینه برای مجتمع‌سازی بهینه تراشه-های فوتونیکی فراهم می‌کنند. ترکیبی از این خواص نمایش مؤثری از کاربرد موجبرهای با حبس‌کنندگی بیشینه از جمله مدولاتورهای تمام نوری، سوئیچ‌ها، تاخیردهنده‌های پالس، مولدها، تقویت‌کننده‌ها، فشرده‌کننده‌های پالس، و مبدل‌های طول موج ارائه می‌دهد [۳،۲].

اخیراً تلاش زیادی برای طراحی و توسعه ادوات و منابع لیزر جدید که به خصوصیت‌های طیفی و زمانی اجازه کنترل و ارتباط با دقت زیاد را می‌دهد، انجام شده است. این منجر به کارائی بهتر در کاربردهایی که از فوتونیک برای نمونه‌برداری، علم اندازه‌گیری(مترولوژی) و پردازش سیگنال استفاده می-شود، گردیده است. بخصوص پالس‌های چرپ شده و عدسی زمانی بعنوان ابزارهای اساسی که قادر به اندازه‌گیری، مشخصه‌یابی و دستکاری سیگنال‌ها و پدیده‌های نوری بسیار سریع بوسیله وسایل الکترونیکی با سرعت نسبتاً پایین هستند، پدیدار شدند. بیشتر کاربردها، از پالس چرپ شده بعنوان حاملی که اطلاعات روی آن کدگذاری می‌شوند، استفاده می‌کنند. چندین انبار اطلاعات بین هر پالس چرپ شده ضبط می‌شود و اطلاعات با استفاده از اکتساب داده الکترونیکی بازیابی می‌شوند [۴]. پارامتر چرپ ورودی به‌ویژه تأثیر قابل ملاحظه‌ای در روند تحول شکل و طیف پالس در طول نانوسیم‌های معمولی دارد، به‌طوری‌که در رژیم پاشندگی غیرعادی برای پالس‌های چرپ‌شده مثبت ($\beta_2 C<0$) فشردگی پالس رخ می دهد و بالعکس. به علاوه با افزایش مقدار چرپ، میزان تغییر در شکل و طیف پالس خروجی بطور چشم‌گیری افزایش می‌یابد [۵]. در نانوسیم-های سیلیکونی با پاشندگی مهندسی شده، پارامترهای خطی و غیرخطی بصورت تابعی از طول نانوسیم تغییر می‌کنند که این خود منجر به مزایای فراوان نسبت به نانوسیم‌های معمولی (بدون مهندسی شده) می‌شود [۶]. در این تحقیق برای اولین بار تأثیر چرپ در انتشار پالس در نانوسیم مهندسی شده مطالعه و برای چرپ‌های مختلف مثبت و منفی تحول پالس در طول نانوسیم شبیه‌سازی می‌شود. همچنین فاکتور پهن‌شدگی پالس در طول نانوسیم برای چرپ‌های مختلف محاسبه می‌گردد.

۲- مبانی نظری و نتایج شبیه سازی

در این تحقیق برای شبیه‌سازی انتشار یک پالس چرپ شده، که در اینجا از نوع سکانت هایپربولیک است، در طول نانوسیم سیلیکونی مهندسی شده، که اثرات خطی و غیرخطی آن کنترل شده است، از نرم‌افزار متلب استفاده می‌شود. انتشار پالس توسط معادله غیرخطی شرودینگر توصیف می‌شود که برای حل آن روش فوریه گام مجزا به کار رفته است. پالس سکانت هایپربولیک چرپ‌شده توسط رابطه زیر مشخص می‌گردد [۷]:

$$A = A_0 \sec h\left(\frac{t}{T_0}\right)\exp\left[-\frac{iC}{2}\left(\frac{t}{T_0}\right)^2\right] \qquad (۱)$$

که در آن توان قله $P_0 = A_0^2 = 2.21W$، پهنای پالس $T_0 = 100\,fs$ و C پارامتر چرپ هستند. از آنجا که وارد رژیم پالس فوق‌کوتاه نمی‌شویم در معادله غیرخطی شرودینگر از اثر رامان و پاشندگی‌های مراتب بالاتر صرف‌نظر کرده‌ایم و لذا برای معادله غیرخطی شرودینگر داریم[۷]:

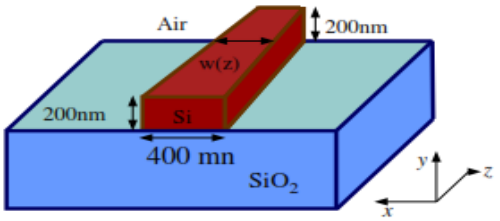
$$\frac{\partial A}{\partial z} = -\frac{\alpha}{2}A - \frac{i}{2}\beta_2\frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \frac{1}{6}\beta_3\frac{\partial^3 A}{\partial t^3} + i\gamma|A|^2 A \qquad (۲)$$

به‌طوری‌که افت نانوسیم $\alpha = 2dB/cm$، ضریب پاشندگی مرتبه دوم $\beta_2 = \beta_{2_0}\exp^{-\alpha_1 L}$، ضریب پاشندگی مرتبه سوم $\beta_3 = \beta_{3_0}\exp^{-\alpha_1 L}$ و سطح مؤثر مدی موجبر $A_{eff} = -3\times10^{-7}(W - 375\times10^{-9}) + 0.215\times10^{-12}$ که

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

$\beta_{2_0} = -2.56 ps^2/m$ ، $\beta_{3_0} = -0.04 ps^3/m$ ، W پهنای نانوسیم و $\alpha_1 = 4.5 dB/cm$ هستند. به علاوه پارامتر غیرخطی نانوسیم $\gamma = \Gamma + \Gamma'$ است به طوری که $\Gamma = \frac{2\pi n_2}{\lambda A_{eff}}$ می‌باشد که در آن $n_2 = 6\times10^{-18} m^2/W$ ضریب شکست غیرخطی سیلیکون در طول موج $\lambda = 1550\ nm$ می‌باشد و نسبت $r_{TPA} = \frac{\Gamma'}{\Gamma} = 0.12$ تخمینی از قدرت مربوط به پدیده جذب دو فوتونی است که به ماده و موجبر وابسته است [۸]. طرح نانوسیم که در آن پهنا W با طول z تغییر می‌کند در شکل ۱ آمده است. در واقع تغییر W برحسب z منجر به تغییر پارامترهای خطی و غیرخطی می‌شود و موجبر حاصل به نانوسیم مهندسی شده موسوم است.



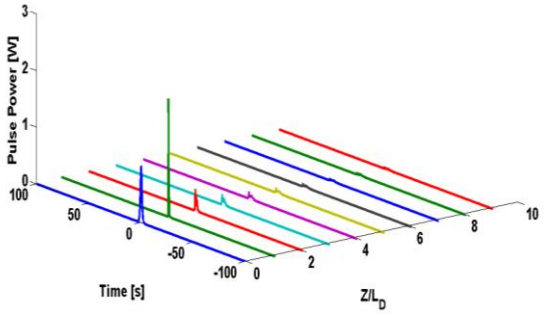
شکل ۱: طرح نانوسیم سیلیکونی با پاشندگی مهندسی شده [۸].

شکل ۲ چگونگی تحول پالس را برحسب طول بهنجار (مسافت تقسیم بر طول پاشندگی) نانوسیم نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود به ازای چرپ مثبت (شکل ۲ (الف)) به دلیل $\beta_2 C < 0$ در نزدیکی طول بهنجار $\frac{z}{L_D} = 1$ فشردگی داریم و همچنین چرپ مثبت باعث افزایش نوسانات ناشی از پاشندگی مرتبه سوم (TOD) شده و پالس را به شدت پهن می‌کند، اما چرپ منفی (شکل ۲ (ب)) به نحوی نوسانات یا همان چرپ اکتسابی را خنثی کرده و با حفظ تقارن شکل پالس آن را با سرعت کمتری نسبت به چرپ مثبت پهن می‌گرداند.

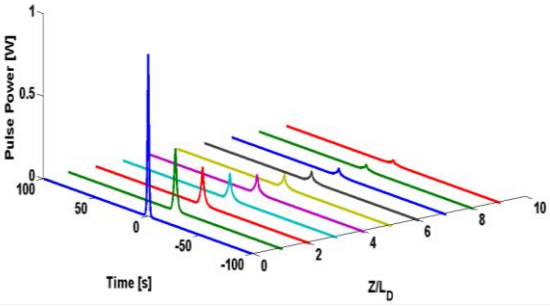
برای واضح‌تر دیدن اثر چرپ بر پهن‌شدگی پالس نمودار پهن‌شدگی بهنجار $\frac{\sigma}{\sigma_0}$ را به ازای چرپ‌های مختلف در حین انتشار رسم کرده‌ایم (شکل ۳). پهن‌شدگی بهنجار به این صورت تعریف می‌شود [۷]

$$\frac{\sigma(z)}{\sigma(0)} = \sqrt{\frac{\langle T(z)^2\rangle - \langle T(z)\rangle^2}{\langle T(0)^2\rangle - \langle T(0)\rangle^2}} \qquad (۳)$$

که در آن σ_0 پهنای زمانی پالس ورودی است. این نمودار نشان می‌دهد که با منفی‌تر شدن چرپ پهن‌شدگی بسیار زیاد شده و با مثبت شدن آن تا حدودی پهن‌شدگی کم و فشرده‌سازی ایجاد می‌گردد که در نتیجه با تنظیم دقیق چرپ و TOD می‌توان به رفتار سالیتون رسید.

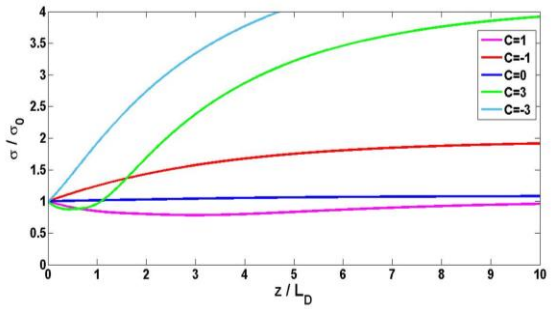


(الف)



(ب)

شکل ۲: تحول پالس چرپ شده الف) مثبت $C = +2$ ب) منفی $C = -2$ در طول نانوسیم با پاشندگی مهندسی شده.



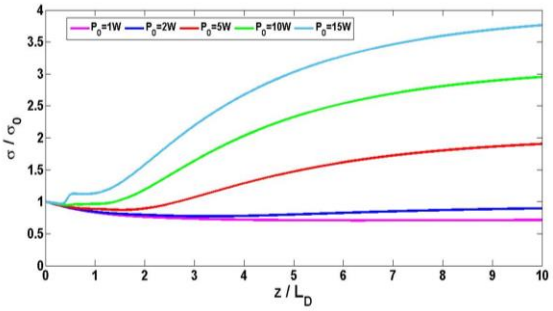
شکل ۳: تحول پهن‌شدگی پالس در طول نانوسیم با پاشندگی مهندسی‌شده به ازای مقادیر مختلف چرپ.

تاکنون فرض بر این بود که توان ورودی $P_0 = 2.21W$ ثابت

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

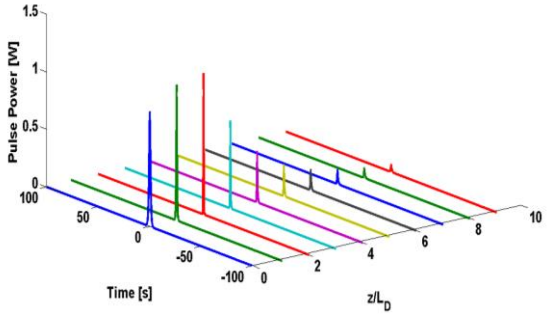
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

است حال اگر برای $C=1$ توان‌های ورودی مختلف را در نظر بگیریم می‌بینیم که با افزایش توان پهن‌شدگی افزایش می‌یابد. کمترین پهن‌شدگی در $P_0=1W$ روی می‌دهد. شکل ۴ این تغییرات را نشان می‌دهد.

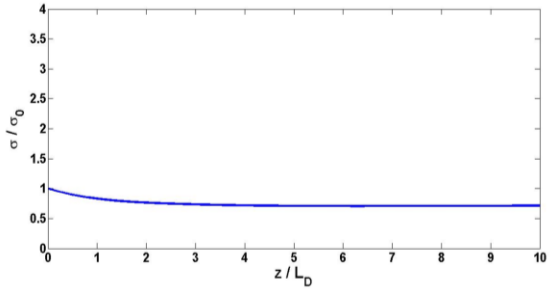


شکل ۴: تحول پهن‌شدگی پالس در طول نانوسیم با پاشندگی مهندسی شده به ازای مقادیر مختلف توان و مقدار چرپ ثابت $C=1$ و $T_0=100\,fs$.

همانطور که در شکل‌های قبل مشاهده شد P_0 و C پارامترهای مهم تاثیرگذار در انتشار پالس در نانوسیم می‌باشند. بنابراین می‌توان با انتخاب مناسب این پارامترها، به گونه‌ای انتشار پالس را کنترل کرد که کمترین پهن شدگی ایجاد شود. در شکل ۵ با درنظر گرفتن $C=1$، $P_0=1W$ و $T_0=100\,fs$ تحول پالس در طول نانوسیم شبیه‌سازی شده است چنانچه ملاحظه می‌گردد شکل پالس در طول انتشار حفظ می‌شود همچنین با توجه به شکل ۶ پهن‌شدگی تقریبا ثابت است.



شکل ۵: تحول پالس بهینه در طول نانوسیم با پاشندگی مهندسی شده.



شکل ۶: تحول پهن‌شدگی پالس بهینه در طول نانوسیم با پاشندگی مهندسی شده.

۳- نتیجه‌گیری

با انتشار پالس در طول نانوسیم با پاشندگی مهندسی شده ملاحظه می‌گردد که با افزودن چرپ مثبت به پالس ورودی پهن‌شدگی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش اندازه چرپ و توان ورودی پهن‌شدگی زیاد می‌شود. بنابراین می‌توان با انتخاب مناسب این پارامترها، به گونه‌ای انتشار پالس را کنترل کرد که کمترین پهن‌شدگی ایجاد شود. همچنین با تنظیم مناسب پارامترهای پالس می‌توان در نانوسیم‌های سیلیکونی رفتار سالیتونی ایجاد و یا سیگنال را پردازش کرد.

مراجع

[1] R. M. Osgood, N. C. Panoiu, J. I. Dadap, X. Liu, X. Chen, I-Wei Hsieh, E. Dulkeith, W. M. J. Green, Y. A. Vlasov, “Engineering nonlinearities in nanoscale optical systems: physics and applications in dispersion-engineered silicon nanophotonic wires”, Adv. Opt. Photonics, Vol. 1, pp. 162–235, 2009.

[2] J. B. Driscoll, R. M. Osgood, R. R. Grote, J. I. Dadap, N. C. Panoiu, “Squeezing Light in Wires: Fundamental Optical Properties of Si Nanowire Waveguides”, J. Lightwave Technol., Vol. 33, No. 14, pp. 3116-3131, 2015.

[3] M. A. Foster, A. C. Turner, M. Lipson, A. L. Gaeta, “Nonlinear Optics in Photonic Nanowires”, Opt. Express, Vol. 16, pp. 1300-1320, 2008.

[4] P. J. Delfyett, D. Mandridis, M. U. Piracha, D. Nguyen, K. Kim, S. Lee, “Chirped pulse laser sources and applications”, Prog. Quant. Electron., Vol. 36, pp. 475–540, 2012.

[5] H. Pakarzadeh, Z. Delirian, M. Taghizadeh, “Simulation of Chirped Pulse Propagation in Silicon Nanowires: Shape and Spectrum Analysis”, Opt. Photonics J., Vol. 6, pp. 53-61, 2016.

[۶] دلیریان، زینب؛ حسن پاکارزاده، علیرضا کشاورز، ”مقایسه انتشار پالس در نانوسیمهای سیلیکونی با پاشندگی ثابت و متغیر“، *کنفرانس ملی پژوهش های نوین در مهندسی برق*، بابل، موسسه علمی تحقیقاتی کومه علم آوران دانش، ۱۳۹۵.

[7] G. p. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics* 4th edition, Academic Press, 2006.

[8] D.C. Zografopoulos, R. Beccherelli, E.E. Kriezis, “Quasi-soliton propagation in dispersion-engineered silicon nanowires”, Opt. Commun., Vol. 285, pp. 3306–3311, 2012.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]