بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

بهینه سازی دوپایداری نوری در توری‌های براگ فیبر غیرخطی چلکوجناید

الهام یوسفی[۱] و محسن حاتمی[۲]

[۱]دانشکده علوم پایه بخش فیزیک، دانشگاه یزد، یزد

[۲]دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز

چکیده – در این مقاله، بر روی خواص توری‌های براگ فیبر چلکوجناید مطالعه شده است. اثر طول توری فیبر و پارامتر غیرخطی مرتبه سوم بر نسبت کلیدزنی روشن – خاموش، بررسی شده و به صورت عددی به‌دست آمده است. در این مقاله یک طول بهینه به دست آمده است که در آن، نسبت کلید زنی روشن- خاموش بیشینه مقدار خود را دارد و بر خلاف تصور، این طول غیر وابسته به خاصیت غیر خطی مرتبه سوم است.

کلید واژه- توری براگ فیبر، دوپایداری نوری، کلیدزنی تمام نوری، شیشه‌های چلکوجناید.

Optimization of Optical Bistability in Chalcogenide Nonlinear Fiber Bragg Gratings

Elham Yousefi [1], Mohsen Hatami[2]

[1]Department of Physics, Yazd University, Yazd

[2] Faculty of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz.

Abstract- In this paper, we study the bistability characteristics of chalcogenide nonlinear FBGs. The effect of length and third order nonlinearity on On-Off switching ratio and intensity distribution in FBG are investigated numerically. We obtained that there exist an optimum FBG length, that on-off switching ratio is maximized and is independent of the third order nonlinearity.

Keywords: Fiber Bragg grating, Optical bistability, All optical switching, Chalcogenide glasses.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

۱- مقدمه

توری‌های براگ فیبر بخاطر کاربرد های فراوان آنها در سامانه های مخابرات نوری و سنسورهای فیبر نوری، نقش مهمی را در سامانه‌های مخابرات تمام نوری آینده بازی می‌کنند. به عبارت دیگر توری های براگ فیبر می توانند به عنوان کلیدزن‌ها و حافظه‌های تمام نوری طراحی شوند [۱-۳].

مطالعه بر روی کلیدزنی نوری از حدود سال ۱۹۷۹ شروع شد و تا به الان ادامه دارد [۴-۶]. این پدیده ها همچنین به شدت قله ی زیادی در حد چند GW/cm^2 نیاز دارند، اما در سالهای اخیر با استفاده از توری های فیبر چلکوجناید این مقدار حدود ۱۰۰۰ برابر کاهش یافته است بخاطر خاصیت غیرخطی مرتبه سوم بالاتر این مواد در مقایسه با مواد سیلیکونی [۷]. همچنین بخاطر این خاصیت این نوع از توری ها به طول‌های کمتری برای ساخت یک دوپایداری خوب نیاز دارند.

در این مقاله بر روی اثرات طول توری فیبر و مقادیر متفاوت پارامتر غیرخطی مرتبه سوم مواد چلکوجناید بر روی یکی از پارامترهای دوپایداری یعنی نسبت کلیدزنی روشن– خاموش بحث و بررسی می‌شود.

۲- تئوری

در حالت کلی، توری فیبر به طول L و بدون اتلاف در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱). در توری‌ها ضریب شکست در طول توری به طور تناوبی تغییر می‌کند به این ترتیب تغییر ضریب شکست در این توری های فیبر به صورت زیر می‌باشد:

$$n(z) = n_0 + n_1(z)\cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda}z + \phi(z)\right) + n_2 |E|^2, \quad (۱)$$

که در آن E میدان الکتریکی در حوزه‌ی فرکانس است، n_0، ضریب شکست خطی و یا ضریب شکست میانگین، n_1 ضریب شکست مدوله (دامنه ی ضریب شکست تناوبی توری فیبر)، Λ دوره تناوب براگ توری فیبر (از یک ضریب شکست کمتر یا ضریب شکست کمتر متوالی یا از یک ضریب شکست بیشتر تا یک ضریب شکست بیشتر متوالی) می باشد. $\phi(z)$ نیز انتقال فاز را نشان می‌دهد و مقدار آن در این رساله برابر با صفر است و n_2، ضریب شکست غیرخطی مرتبه‌ی سوم می‌باشد.

میدان الکتریکی در داخل توری را می‌توان به صورت ترکیبی از امواج پیش‌رونده و پس‌رونده نوشت:

$$E(\mathbf{r},t) = \frac{1}{2}F(x,y)[A_f(z,t)e^{i\beta_B z} + A_b(z,t)e^{-i\beta_B z}]e^{-i\omega_0 t} + c.c., \quad (۲)$$

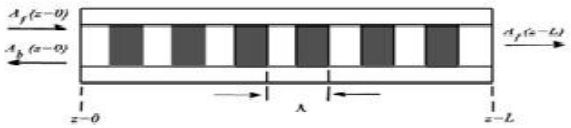
که در آن A_f و A_b به ترتیب دامنه های موج پیش‌رونده و پس‌رونده می‌باشد. با جایگذاری معادله های (۲) و (۳) در معادله‌ی موج ماکسول (معادله‌ی هلمهولتز) و با استفاده از تقریب دامنه‌ی کندتغییر، دو معادله‌ی جفت شده برای دامنه‌های موج پیش‌رونده و پس‌رونده به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\partial A_f}{\partial z} + \frac{\alpha}{2}A_f = i\delta A_f + i\kappa A_b + i\gamma(|A_f|^2 + 2|A_b|^2)A_f, \quad (۳)$$

$$-\frac{\partial A_b}{\partial z} + \frac{\alpha}{2}A_b = i\delta A_b + i\kappa A_f + i\gamma(|A_b|^2 + 2|A_f|^2)A_b, \quad (۴)$$

که در آن پارامتر β_1 نشان‌دهنده‌ی پاشندگی مرتبه‌ی اول است و با عکس سرعت گروه ارتباط دارد $\beta_1 = 1/v_g$. پارامتر α نشان دهنده‌ی مقدار اتلاف درون توری فیبر است که در این نوشته از آن صرفنظر می شود. پارامتر δ ضریب کوک ناپذیری است و مقدار آن برابر با $\delta = (\omega_0 - \omega_B)/v_g$ است که در $\omega_B = \omega_0$ حاصل آن برابر با صفر می‌باشد. پارامتر κ همان ضریب جفت شدگی است که به تغییرات ضریب شکست بستگی دارد و برای توری یکنواخت عرضی به صورت $\kappa = 2\pi\delta n_1/\lambda$ می باشد. پارامتر γ بیان کننده‌ی خاصیت غیرخطی فیبر بوده که جمله‌ی شامل آن با افزایش توان پالس ورودی اهمیت پیدا می‌کند این پارامتر به صورت $\gamma = n_2\omega_0/(cA_{eff})$ به n_2 وابسته است و در آن A_{eff} مساحت موثر هسته فیبر می‌باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]



شکل ۱- نمونه از توری براگ فیبر به طول L. امواج پیش‌رونده و پس‌رونده در شکل مشخص شده‌اند.

شرایط مرزی برای معادلات جفت شده در حوزه‌ی فرکانس عبارتند از [۷]:

$$A_f(0,\omega) = A_{f0}(\omega), \qquad A_b(L,\omega) = 0, \qquad (۵)$$

که در آن A_{fL} دامنه‌ی میدان الکتریکی پیشرونده در انتهای توری براگ فیبر و L طول توری فیبر می‌باشد.

با استفاده از شرایط مرزی معادله ی (۵) و با استفاده از روش رانگ کوتا و روشهای پیشگو کننده و با تبدیل شرایط مرزی به شرائط اولیه، معادلات جفت شده شبیه سازی شدند که شکل های ۲ تا ۵ نتیجه‌ی این شبیه سازی ها می باشند.

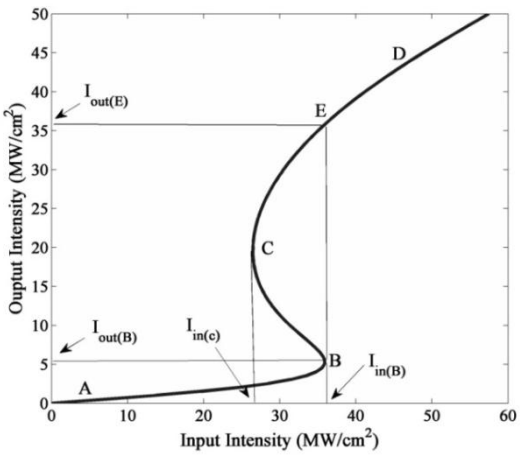
۲-۱- اثر طول توری و پارامتر غیرخطی مرتبه سوم بر دوپایداری نوری

شکل ۲ یک دوپایداری نوری نوعی را نشان می‌دهد که با پارامترهای زیر به دست آمده است:

$$\lambda_B = 1550\,\text{nm}, \quad \lambda = 1550.015\,\text{nm}, \quad L = 0.0164\,\text{m},$$

$$n_0 = 2.54, \quad n_1 = 1.5\times10^{-4}, \quad n_2 = 220\, n_{2silicon},$$

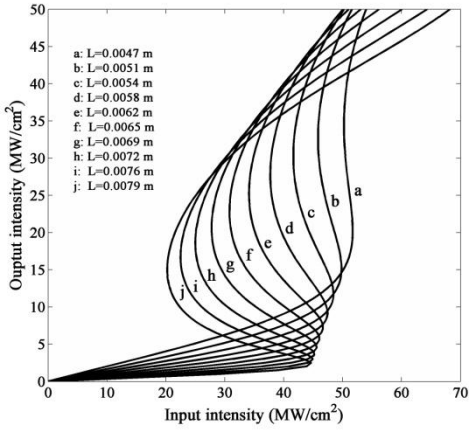
$$n_{2silicon} = 0.273\times10^{-19}\,\text{m}^2/\text{W}$$



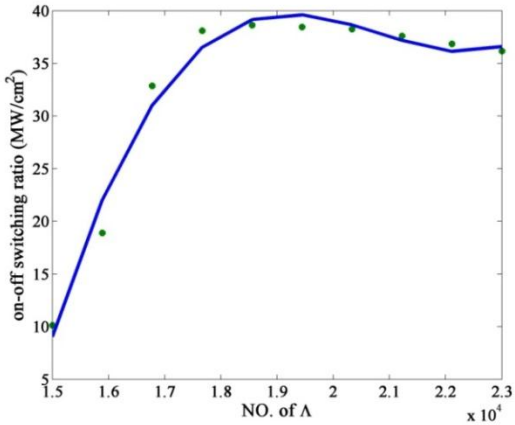
شکل ۲- نمودار دوپایداری نوری.

این نمودار از سه شاخه تشکیل شده است: شاخه‌ی پایین، شاخه‌ی وسط و بالا. شاخه‌ی وسط شاخه‌ای ناپایدار است. به مقدار تفاوت $I_{out(E)}$ با $I_{out(B)}$ نسبت کلیدزنی روشن- خاموش گویند.

می‌توان طول توری را به صورت $L = N_L\Lambda$ نوشت که در آن N_L تعداد دوره تناوبهای توری فیبر می باشد بنابر این با تغییر در N_L در واقع در طول توری تغییر داده می‌شود. نتیجه‌ی محاسبات برای ده مقدار طول یعنی از طول‌های ۰.۰۰۴۷ متر تا ۰.۰۰۷۹ متر، در نمودار دوپایداری شکل ۳ نشان داده شده است. اگر نمودار تغییرات نسبت کلیدزنی روشن – خاموش را بر حسب تعداد تناوب های توری رسم شود (شکل ۴) مشاهده می‌شود که مقداری بهینه برای طول وجود دارد که در این مقدار، نسبت کلیدزنی روشن- خاموش بیشینه مقدار خود را دارد.



شکل ۳- نمودارهای دوپایداری نوری برای ده مقدار از طول توری.



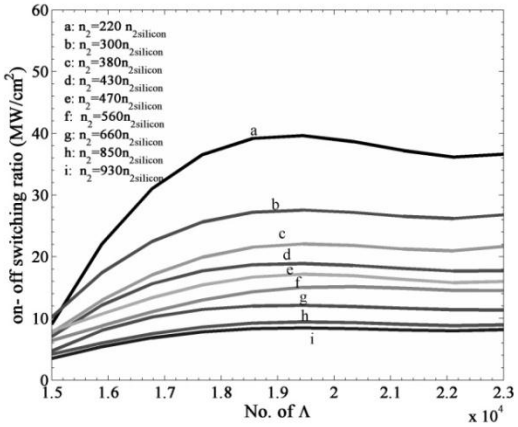
شکل ۴- تغییرات نسبت کلیدزنی روشن- خاموش بر حسب طول توری فیبر. منحنی آبی بر روی نقاط تنظیم شده است، طول بهینه در

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

L=0.0061 m اتفاق می‌افتد.

مواد چلکوجناید بر حسب نوع ماده‌ی کاربردی در آنها، دارای پارامتر غیرخطی مرتبه سوم متنوعی می باشند که از ۲۲۰ تا ۹۳۰ برابر پارامتر غیرخطی مرتبه سوم سیلیکون هستند.

نمودارهای تغییر کلیدزنی روشن- خاموش را نسبت به تعداد تناوب‌های توری فیبر برای این مقادیر مختلف از پارامتر غیرخطی در شکل ۵ رسم شده است. در داخل شکل مقدارهای مختلف پارامترهای غیرخطی مرتبه سوم نوشته شده است.



شکل ۵- منحنی‌های تغییرات نسبت کلیدزنی روشن- خاموش بر حسب تعداد تناوب های توری فیبر برای نه مقدار مختلف از پارامتر غیرخطی مرتبه سوم.

همانطور که مشاهده می‌شود با تغییر پارامتر غیرخطی مرتبه سوم، هیچگونه تغییری در طول بهینه توری فیبر رخ نمی دهد بلکه در همان طول قبلی یعنی در L=0.0061 m ، بیشینه مقدار نسبت کلیدزنی روشن- خاموش اتفاق می افتد.

۳- نتیجه‌گیری

در آینده‌ای نه چندان دور، توری‌های براگ فیبر به‌خاطر توانایی فوق العاده‌شان در تولید و ایجاد کلیدزنی تمام نوری و حافظه‌ی تمام نوری می‌توانند انقلابی بزرگ در سامانه‌های مخابراتی ایجاد کنند. مواد چلکوجناید نیز به-خاطر کلیدزنی در شدت‌های مورد نیاز بسیار پایین‌تر نسبت به نوع ماده سیلیکونی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

در این مقاله معادلات حاکم بر توری‌های براگ فیبر، با استفاده از روش‌های عددی، شبیه‌سازی شدند و نمودارهای دوپایداری بر حسب مقادیر مختلف طول توری فیبر رسم شد. یکی از مشخصه‌های نمودار دوپایداری یعنی نسبت کلید زنی روشن- خاموش بر حسب طول توری بدست آمد و مشاهده شد که در یک طول خاص در حدود ۶ میلیمتر از توری فیبر، بیشینه مقدار خود را دارد و حتی با تغییر پارامتر غیرخطی مرتبه‌ی سوم نیز در این مقدار تفاوتی ایجاد نمی‌شود و ثابت می‌ماند.

مراجع

[1] J. F. Tian, *Investigation on the bistability of linearly chirped nonlinear Bragg gratings*, **Int. J. Light Electron Opt.** 122 (2011) 1381-1383.

[2] Y. Yosia and P. Shum, *Optical bistability in periodic media with third fifth- and seventh- order nonlinearities*, **J. Lightwave technol.** 25 (2007) 875-882.

[3] H. Lee, G. P. Agrawal, *Nonlinear switching of optical pulses in fiber Bragg gratings*, **IEEE J. Quantum Electron.** 39 (2003) 508-515.

[4] H. G. Winful, J. H. Marburger, and E. Garmire, *Theory of Bistability in Nonlinear Distributed feedback structures*, **Appl. Phys. Lett.** 35 (1979) 379-381.

[5] S. Radic, N. George and G. P. Agrawal, *Theory of low-threshold optical switching in nonlinear phase-shifted periodic structures*, **J. Opt. Soc. Am. B** 12 (1995) 671-680.

[6] N. G. R. Broderick, *Bistable switching and multiple gap-soliton formation in a fiber Bragg grating*, **Opt. Commun.** 148 (1998) 90-94.

[7] Y. Yosia and S. Ping, *Double Optical Bistability and its Application in Nonlinear Chalcogenide-Fiber Bragg Gratings*, **Phys. B** 394 (2007) 293-296

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]