بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ 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

تصحیح پاشندگی در فشرده سازی پالس برای لیزر فیبری Yb:Glass فمتوثانیه ای

حمید نادگران[۱] و احسان امیری[۲]

[۱]بخش فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

[۲]گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شیراز

چکیده - در این مقاله طراحی لیزر فیبری Yb:Glass فمتوثانیه ای برای تصحیح پاشندگی در فشرده سازی پالس انجام شده است. در این راستا بهینه سازی و دست یابی به طول موج بیشینه بازتاب و میزان بازتابش و همچنین بررسی پاشندگی و تاخیر گروه در طیف بازتابی توری های براگ لیزر فیبری Yb برای فشرده سازی پالس صورت گرفته است.

کلید واژه: پاشندگی، توری براگ، فشرده سازی پالس، فمتوثانیه، لیزر فیبری.

Dispersion correcting to pulse compression for Yb:Glass Femtosecond Fiber Laser

Hamid Nadgaran[1] and Ehsan Amiri[2]

[1]Departement of Physics, College of Science, Shiraz University, Shiraz 71454, Iran.

[2]Department of Physics, College of Science, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran.

Abstract- In this work a Yb:Glass fiber laser for dispersion correction has been investigated. In this regard optimization of reflection wavelength, the extent of dispersion and group delay in the reflection spectra of the Bragg grationg for the purpose of pulse compression have been investigated.

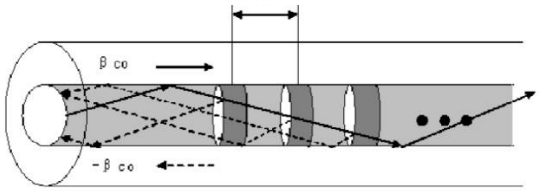
Keywords- Bragg Grating, Dispersion, Femtosecond, Fiber Laser, Pulse Comperes.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

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

مقدمه

عمل فشرده سازی پالس های لیزری در توری های براگ فیبری(FBG)، تحول چشمگیری در لیزرهای فیبری محسوب می شوند[۱]، به طوری که کاربرد تقویت کننده های فیبری آلاییده به Yb و Er در حوزه ی لیزرهای فوق سریع و مخابرات تار نوری، انقلابی ایجاد کرده است[۳،۲]. از آنجا که در این سامانه های فوتونیکی ضریب شکست مغزی فیبر مورد نظر به صورت تناوبی (توریهای براگ فیبری یکنواختU-FBG) و غیر تناوبی (توریهای براگ فیبری چرپC-FBG) تغییر می کند[۸،۴]، برای تحلیل فیزیک این سامانه ها یک موج بر دی الکتریک استوانه ای با اختلال های دوره ای ضعیفی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور باید معادله موج در مختصات استوانه ای با شرایط مرزی مناسب مغزی و غلاف حل شوند[۹]. شکل (۱) طرحواره ای از یک توری براگ یکنواخت که در آن فاصله بین تناوب ها Λ است، را نشان می دهد[۱۰]. در این مقاله بعد از حل معادله موج، تغییرات طیف بازتابی از توری های براگ همراه با پاشندگی و تاخیر پالس گاوسی گزارش می شود. موارد گزارش شده در راستای فشرده سازی پالس یک لیزر فیبری Yb:Glass مورد تحلیل قرار می گیرد[۱۱].



شکل۱: یک توری براگ یکنواخت با مسیر انتشار موج

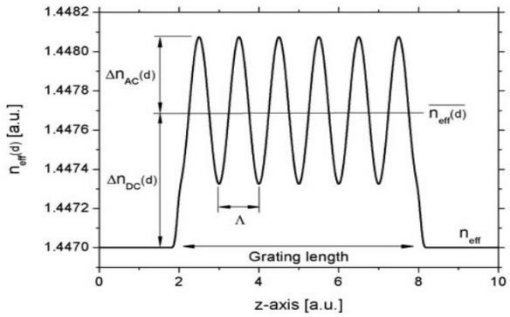
۱- مفاهیم

یک U-FBG از یک مغزی تار نوری با ضریب شکست موثر n_{eff}، تشکیل شده است. که تغییرات ضریب شکست نسبت به محور نوری U-FBG به صورت شکل (۲) است و روابط مربوطه به صورت زیر بیان می شود[۱۱].

$$\delta n_{eff} = \bar{\delta} n_{eff}\left[1 + \upsilon \cos\left[\frac{2\pi}{\Lambda} z + \phi(z)\right]\right] \quad (۱)$$

که$\bar{\delta} n_{eff}$ میانگین تغییرات ضریب شکست موثر، υ پدیداری فرانژ و $\phi(z)$ مشخصه توری در وضعیت چرپ است. همانطور که در شکل (۱) قابل مشاهده است با تحقق پایستگی انرژی و تکانه در یک FBG، می توان ساده ترین شرط براگ را برای λ_B بدست آورد[۱۴،۱۳]:

$$\lambda_B = 2 n_{eff} \Lambda \quad (۲)$$



شکل ۲: تغییرات ضریب شکست مغزی یک U-FBG.[۱۲]

ضریب بازتاب دامنه و توان با روابط زیر بیان می شوند[۹]:

$$\rho = \frac{-K_{ac}\sinh\left(\sqrt{K_{ac}^2 - S^2}L\right)}{S\sinh\left(\sqrt{K_{ac}^2 - S^2}L\right) + i\sqrt{K_{ac}^2 - S^2}\cosh\left(\sqrt{K_{ac}^2 - S^2}L\right)}$$

$$R = |\rho|^2 \quad (۳)$$

کهK_{ac} ،ضریب جفت شدگی"ac"، $S = d + K_{ac} - \frac{1}{2}\frac{d\phi}{dz}$ ، ضریب خود ـ جفت شدگی "dc" عمومی و $K_{dc} = \frac{2K_{ac}}{\upsilon}$، ضریب جفت شدگی "dc"، است. همچنین برای محاسبه پهنای طیف FBG (فاصله ی بین اولین صفر اطراف پیک انعکاسی) برای دو نوع توری مرسوم به ضعیف و قوی از روابط زیر استفاده می شود[۹]:

$$\frac{\Delta\lambda_0}{\lambda} = \frac{\upsilon\bar{\delta}n_{eff}}{n_{eff}}\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_B}{\upsilon\bar{\delta}n_{eff}L}\right)^2} \quad (۴)$$

برای توری های ضعیف که ($K_{ac}L < \pi$) داریم:

$$\frac{\Delta\lambda_0}{\lambda} = \frac{\lambda_B}{n_{eff}L} \quad (۵)$$

و برای توری قوی که ($K_{ac}L > \pi$) داریم:

$$\frac{\Delta\lambda_0}{\lambda} = \frac{\upsilon\bar{\delta}n_{eff}}{n_{eff}} \quad (۶)$$

روابط زمان تاخیر و پراکندگی FBG به صورت زیر خواهد بود[۱۶]:

$$\tau_\rho = -\frac{\lambda^2}{2\pi c}\frac{d\theta_\rho}{d\lambda} \quad (۷)$$

که τ_ρ، زمان تاخیر برای موج بازگشتی از FBG می باشد و معمولاً برحسب پیکوثانیه می باشد و $\theta_\rho = \text{phase}(\rho)$ است. پراکندگی $d_\rho(ps/nm)$، برابر نسبت تغییرات زمان تاخیر گروه به طول موج می باشد و با رابطه ی زیر بدست می آید:

$$d_\rho = \frac{d\tau_\rho}{d\lambda} = -\frac{2\pi c}{\lambda^2}\frac{d^2\theta_\rho}{d\omega^2} \quad (۸)$$

بطوریکه در U-FBG این مقدار برای طول موج های نزدیک به λ_{max}، صفر می باشد[۱۷]، که این موضوع در فشرده سازی پالس و تولید پالس های فوق کوتاه مهم است.

۲- نتایج و بحث

پارامترهای اولیه که برای این مدل سازی مورد استفاده قرار گرفته به شرح جدول (۱) می باشد. جدول (۲) نشان دهنده ی کمیت های محاسبه شده ی طراحی است.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

جدول ۱: پارامتر های مربوط به لیزر Yb:Glass

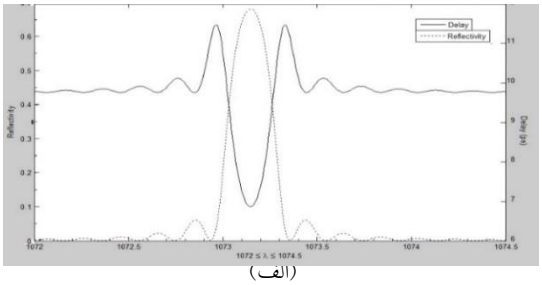
پارامتر		مقدار	مرجع
n_{co}		1.4646	[18]
n_{cl}		1.4572	[18]
r_{co}		4.8 μm	[19]
r_{co}		165 μm	[19]
λ_B		1073 nm	[20] [21]
$\bar{\delta}n_{eff}$	توری قوی	8×10^{-4}	[20]
	توری ضعیف	2×10^{-4}	

جدول ۲: پارامتر های مربوط به لیزر Yb:Glass

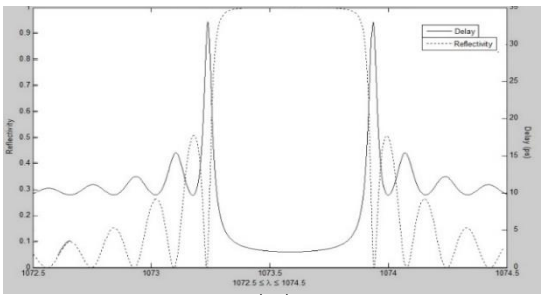
پارامتر		مقدار
L		2000 μm
n_{eff}		1.4630
Λ		336.71 nm
$K_{ac}L$	توری قوی	4.10
	توری ضعیف	1.17

۲-۱- تحلیل طیف بازتابی:

در حالت اول برای FBG خروجی و تمام بازتاب لیزر فیبری Yb مدل سازی انجام می شود، که نتایج این مدل سازی در شکل(۳) با دو حالت U-FBG قوی و ضعیف نشان داده شده است، شایان ذکر است که در دست یابی به دو حالت فوق فقط پارامتر مشخصه ی $\bar{\delta}n_{eff}$ متغییر است. با توجه به نتایج شکل (۳) برای توری ضعیف، بیشینه بازتاب در طول موج 1073.15 nm به میزان 68 درصد در پهنای طیفی اولین صفرهای اطراف پیک انعکاسی از 1072.94 nm الی 1073.35 nm با FWHM=250 pm می باشد و در صورت انتخاب برای FBG خروجی لیزر Yb:Glass می توان به شدت بالای پالس خروجی دست یافت.



(الف)



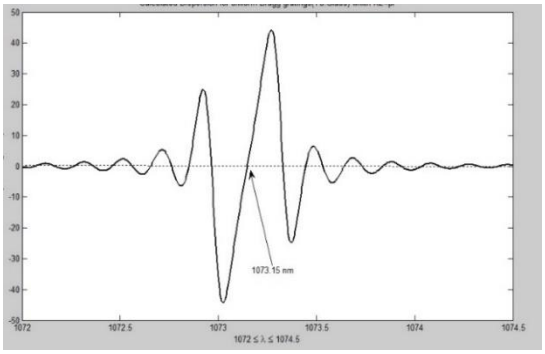
(ب)

شکل ۳: طیف بازتابی و تاخیر گروه U-FBG (الف) ضعیف و (ب) قوی لیزر (محور عمودی سمت راست تاخیر گروه برحسب ps ، محور عمودی سمت چپ بازتابش و محور افقی طول موج برحسب nm)

همچنین برای توری قوی بیشینه بازتاب در طول موج 1073.59 nm به میزان 99.97 درصد در پهنای طیفی اولین صفرهای اطراف پیک انعکاسی از 1073.24 nm الی 1073.94 nm با FWHM=670 pm بدست آمد، که در صورت انتخاب برای FBG تمام بازتاب لیزر Yb:Glass می توان به بازدهی اپتیکی خوبی دست یافت. این مشخصات نیز به طور مشابه در مقالات متعددی به صورت داده های محاسباتی و آزمایشگای مشاهده گردیده است[۲۰،۲۱].

۲-۲- بررسی پاشندگی در فشرده سازی پالس:

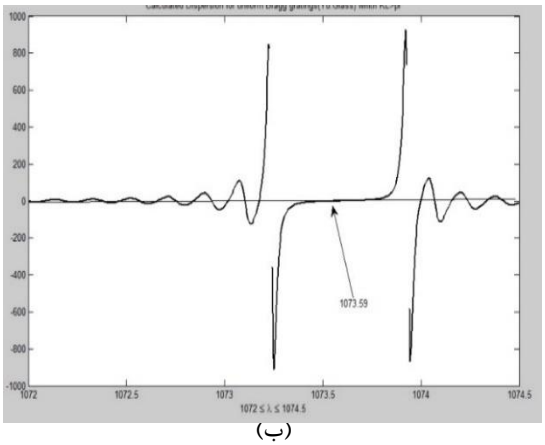
در اینجا به بررسی تاخیر گروه و پاشندگی برای FBG طراحی شده لیزر Yb:Glass پرداخته می شود. با مدل سازی انجام شده که در شکل (۳) با دو حالت U-FBG قوی و ضعیف نمودارهایی برای تاخیر گروه بر حسب طول موج بدست آمدند که کمینه تاخیر گروه بدست آمده برای U-FBG ضعیت در طول موج بیشینه بازتاب 1073.15 nm مقدار 6875 fs بدست آمد و همچنین برای U-FBG قوی در طول موج بیشینه بازتاب 1073.59 nm مقدار 2085 fs بدست آمد که این نوید را می دهد تاخیر گروه برای توری قوی که FBG تمام بازتاب لیزر Yb:Glass می باشد، بسیار کمتر از تاخیر گروه در توری ضعیف است[۱۷]. همانطور که در شکل(۳) قابل مشاهده است، طول موج بیشینه برای بازتاب با طول موج کمینه ی تاخیر گروه یکی می باشد که می توان گفت در طول موج بازتاب بیشینه برای FBG طراحی شده ی لیزر Yb:Glass کمترین مقدار تاخیر گروه را خواهیم داشت، که در فشرده سازی پالس امری مهم است. با این محاسبات می توان نمودار تغییرات پاشندگی را برای FBG مورد بحث بررسی نمود. طراحی انجام شده در این خصوص در شکل (۴) قابل مشاهده است، و این موضوع به روشنی مشخص می باشد برای طول موج بیشینه بازتاب FBG لیزر Yb:Glass میزان پاشندگی صفر می باشد، نوید این را خواهد داد در پالس بازتابی از FBG مورد بحث تصحیح پاشندگی در فشرده سازی پالس میسر است.این موضوع در تطابق کامل با کارهای دیگر است[۱۷].



(الف)

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]



(ب)

شکل۴: پاشندگی U-FBG (الف) ضعیف و (ب) قوی لیزر Yb (محور عمودی پاشندگی برحسب ps/nm و محور افقی طول موج برحسب nm)

۳- نتیجه‌گیری

با مدل سازی های انجام شده برای FBG های تمام بازتاب و خروجی یک لیزر فیبری YB:Glass مشخص گردید که اولاً، برای دست یابی به پالس های پرشدت استفاده از FBG ضعیف برای FBG خروجی لیزر مناسب است، چرا که با مدل سازی انجام شده دست یابی به بازتاب با پهنای طیفی کم در FBG ضعیف و بازتابش کـم میسر می باشد. ثانیاً برای دست یابی به پالس های کوتاه و همچنین فشرده سازی پالس استفاده از FBG برای ساخت لیزر فمتوثانیه ای و پرشدت به این دلیل مناسب است که در هر دو نوع FBG طراحی شده برای لیزر فیبری Yb:Glass در طول موج بیشینه بازتابش، پاشندگی صفر بدست می آید که خود مستلزم تاخیر گروه کمینه بود و این کمینه نیز مشاهده گردید.

موارد فوق برای یک لیزر فیبری Yb:Glass مدل سازی شد با مشخصات ارائه شده در جدول های (۱) و (۲)، برای FBG خروجی لیزر در طول موج 1073.15 nm بازتابندگی ۶۸ درصد، FWHM=250 pm و میزان تاخیر گروه 6875 fs و برای FBG تمام بازتاب لیزر در طول موج 1073.59 nm، بازتابندگی 99.97 درصد، FWHM=670 pm و میزان تاخیز گروه 2085 fs بدست آمد که برای هر دو FBG میزان پاشندگی در طول موج های بیشینه بازتابش صفر مشاهده گردید. با این تحلیل فرآینده تصحیح پاشندگی در جهت فشرده سازی پالس شکل خواهد گرفت که در FBGهای طراحی شده دست یابی به پالس های پرشدت و کوتاه امکان پذیر است.

مراجع

[1] J. Zeludevicius, R. Danilevicius and K. Viskontas, "Femtosecond fiber CPA system based on picosecond master osillator and power amplifier with CCC fiber," Opt. Express, vol. 21, no. 5, pp. 5338-5345, 2013.

[2] M. Inguscio, Fiber laser in: Solid-state lasers, Plenum Press, 1993.

[3] K. O. Hill, "Photosensitivity in optical waveguides: Applicatin to reflection filter fabrication," Appl. Phys., p. 647, 1987.

[4] P. S. J. Russel, J. L. Archambault and L. Reekie, "Fiber Grating," Phys. World, pp. 41-46, 1996.

[5] R. J. Campbell and R. Kashyap, "The propertices germanosilicate fiber," Int. J. Optoelectron, vol. 9, pp. 33-57, 1994.

[6] K. O. Hill, B. Malo, F. Bilodean and D. C. Johnson, "Photosensitivity in optical fibers," Annu. Rey. Mater. Sci., vol. 23, pp. 125-157, 1993.

[7] W. Mory, G. A. Ball and G. Melt, "Photoiduced bragg gratings in optical fibers," opt. phton. news., vol. 5, pp. 8-14, 1994.

[8] I. Bannion, J. A. R. Williams and L. Zhang, "UV-written in fiber bragg gratings," Opt. quantum electrin, vol. 28, pp. 693-135, 1996.

[9] R. Kashyap, Fiber Bragg grating, San Diego: Academic Press, 1999.

[10] K. O. Hill and G. Meltz, "Fiber Bragg grating thechnology fundamentals and overview," J. of Lightwave Tech., vol. 15, pp. 1263-1276, 1997.

[11] S. Suchat and P. Yupapin, "A phase mask fiber grating and sensing applications," Sci. and Tech., vol. 25, pp. 615-622, 2003.

[12] J. Florian and R. Johannes, "Determination of the effective refractive index of various single mode fibers for fiber bragg grating sensor applications," in sensor test Co., 2009.

[13] M. Born and E. Wolf, Principles of optics, New York: Academic, 1987.

[14] T. Elsman, T. Habisreuther, A. Graf, M. Rothhardt and H. Bartelt, "Inscription of first-order sapphaire Bragg grating using 400 nm femtosecond laser radiation," Opt. Express, vol. 21, no. 4, pp. 45-91-4597, 2013.

[15] A. Yariv, "Cpupled-mode theory for guided-wave optics," IEEE, vol. 9, pp. 919-933, 1973.

[16] H. Kogelnik, Theory of optical waveguides, New York: Springer Verlag, 1990.

[17] T. Erdogan, "Fiber Grating Spectra," IEEE, vol. 15, pp. 1277-, 1997.

[18] M. Sbaeian and H. Nadgaran, Thermal effects on double clad octagonal Yb:Glass Fiber laser, Opt. Materials, 2009.

[19] H. Nadgaran and P. Elahi, "The analytical investigation of the super-Gaussian pump source on the thermal, stress and thermo-optics properties," 95-105, p. 65, 2005.

[20] M. Bernier, R. Vallee and B. Morass, "Ytterbium fiber laser based on first order fiber braggg gratings written with 400nm femtosecond pluse and a phase mask," OSA, vol. 17, pp. 18887-18893, 2009.

[21] L. Jun, L. Ge, Y. Zhang and D. Yi, "Bragg grating written in rare-earth-doped double clad diber investigation of photosensitivity and thermal decay," SPIE, vol. 6019, pp. 60192m-1-60192m-4, 2005.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]