

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL

پروپوزال

مركز آموزش پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



مركز آموزش روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

کارگاه آنلاین روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



مركز آموزش آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو

تجزیه و تحلیل یک مدولاتور تمام نوری موقعیت پالس

مهدی عبدی، محمد واحدی و علیرضا بهرامپور

تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده فیزیک

چکیده - در این مقاله میزان تأخیر بر حسب شدت پمپ محاسبه و نشان داده شده است که با توجه به بزرگی ضرایب رامان در سیلیکون، میکرو حلقه های سیلیکونی عناصر مناسبی برای ایجاد تأخیر در مدارهای انتگره نوری می باشند. اگر سیگنالی که می خواهیم مدوله کنیم را به عنوان پمپ و یک قطار پالس به عنوان سیگنال به یک موجبر که به حلقه سیلیکونی کوبله شده است وارد شوند، پالس های خروجی متناسب با دامنه پمپ تأخیر می یابند. پس پیکر بندی مذکور (یک موجبر و یک میکرو حلقه سیلیکونی) می تواند به عنوان یک مدولاتور موقعیت پالس عمل کند.

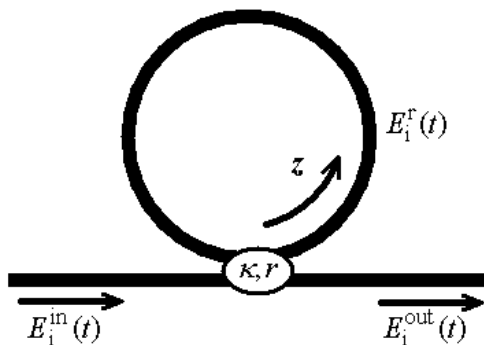
کلید واژه- اثر رامان، مدولاسیون تمام نوری، میکرو حلقه.

کد PACS - ۴۲۸۱-۴۲۸۲-۴۲۸۳.

داشت. از طرفی انبارش میدان در میکرو حلقه ها باعث می شود که اثرات غیر خطی و از آن جمله اثر رامان بیشتر خود نمایی کنند [۴]. در این مقاله انتشار موج در داخل میکرو حلقه با شدت پمپ زیاد و شدت سیگنال اندک مورد بررسی قرار گرفته است. توزیع فضایی شدت پمپ در فرکانس پمپ و توزیع فضایی و زمانی برای سیگنال به دست آمده است. نتایج به دست آمده در مورد تجزیه و تحلیل مدولاتور تمام نوری موقعیت پالس به کار گرفته شده است.

۱- مقدمه

اثر رامان برانگیخته امکان تقویت نور و همچنین کنترل سرعت گروه را در فیبر نوری فراهم نموده است، [۱] و [۲]. در مرجع [۳] نشان داده شده است که ضریب بهره رامان در سیلیکون تقریباً 10^4 برابر سیلیس (فیبر) است. البته با توجه به اینکه سیلیکون نیمه هادی بوده و در فرکانس های مخابراتی جذب دو فوتونی امکان پذیر است و حامل های آزاد باعث جذب و پراکندگی نور می شوند، بنابراین ضریب تقویت مؤثر کمتر از 10^4 برابر سیلیس می باشد. ولی با این وجود بسیار بزرگتر از سیلیس می باشد. به علاوه پهنای باند بهره رامان در سیلیکون حدود صد برابر کوچکتر از فیبر نوری (سیلیس) می باشد. بنابراین به صورت مؤثر سرعت گروه در سیلیکون حدود 10^6 برابر کمتر از سرعت گروه در فیبر نوری می باشد. چنین امکانی باعث شده است که از موجبر سیلیکون در مدارهای انتگره نوری به عنوان خط تأخیر کنترل شده استفاده شود [۲]. با توجه به اینکه ضریب شکست سیلیکون ($n=3.4$) نسبت به سیلیس بزرگ می باشد، نور در موجبرهای سیلیکونی نسبت به سیلیس بسیار مقیدتر بوده و در صورت ساختن میکرو حلقه از آن، افت خمشی بسیار کمتر از میکرو حلقه سیلیسی خواهیم



شکل ۱: ساختمان یک میکرو حلقه از قرار گرفتن یک میکرو مشدد در کنار یک موجبر بوجود می آید.

۲- مبانی نظری

$$n_R(\omega; \Omega) = \frac{1}{4n(\omega)} \frac{R_0(\Omega_f^2 - \Omega^2)}{[\Omega_f^2 - \Omega^2]^2 + \Omega^2 \gamma^2} \quad (7)$$

که در آنها $n(\omega)$ ضریب شکست خطی و Ω_f فرکانس تشدید سیلیکون و γ ثابت میرایی نوسانات الکترونی و R_0 پاسخ رامان ϵ_0 ثابت گذردهی الکتریکی خلأ می باشد. در سیستم مذکور با تغییر توان پمپ علاوه بر افزایش ضریب تقویت در حلقه میکرونی، ضریب شکست محیط نیز افزایش یافته، منجر به تغییر سرعت نور در محیط می شود. بنابراین با تغییر توان پمپ زمان تأخیر سیگنال را می توان کنترل کرد. در صورتی که سیگنال قطاری از پالس های تیز انتخاب شده باشد، به عنوان نمونه خروجی یک لیزر مد قفل شده به ورودی سیگنال وصل شده و سیگنالی که قرار است مدوله شود در ورودی پمپ قرار گیرد، آنگاه میزان تأخیر هر یک از پالس های ورودی، توسط توان پمپ در لحظه ورود آنها تعیین می شود. یعنی عمل مدولاسیون موقعیت به راحتی انجام شده است.

در نیمه هادی سیلیکون در طول موج های مخابراتی، جذب دو فوتونی صورت می پذیرد. بنابراین تعداد حامل های آزاد، N ، با افزایش شدت نور پمپ و سیگنال افزایش می یابد:

$$\frac{dN}{dt} = \beta_2 \left(\frac{I_p^2}{2\hbar\omega_p} + \frac{I_s^2}{2\hbar\omega_s} \right) - \frac{N}{\tau_f} \quad (8)$$

که β_2 ضریب جذب دو فوتونی و τ_f طول عمر حاملین بار آزاد می باشد. اگر فرض شود که تغییرات دامنه پمپ نسبت به طول عمر حامل ها در سیلیکون کند تر و شدت پمپ به اندازه ای باشد که بتوان از تخلیه آن به علت اثر رامان صرف نظر کرد ($I_p \gg I_s$)، در این صورت، معادله حامل ها در نیمه هادی به شکل زیر خلاصه می شود:

$$N = \frac{\beta_2 \tau_f}{2\hbar\omega_p} I_p^2 \quad (9)$$

با فرض فوق از رابطه (۱) معادله میدان پمپ به شکل زیر خواهد شد:

$$\frac{dE_p}{dz} = -\frac{1}{2} (\alpha_0 + \beta_p I_p + \frac{\beta_2 \sigma \tau_f}{2\hbar\omega_p} I_p^2) E_p + i \frac{\omega_p}{c} (n_2 I_p + \frac{\beta_2 \rho \tau_f}{2\hbar\omega_p} I_p^2) E_p \quad (10)$$

اساسی ترین عنصر مدار مجتمع فوتونیک مورد بحث میکرو حلقه ای است که در کنار یک موجبر قرار گرفته باشد (شکل ۱). در حالت تشدید میدان الکتریکی در داخل میکرو حلقه انباشته شده و مقدار آن بسیار بزرگتر از میدان الکتریکی در موجبر می شود. با افزایش مقدار میدان الکتریکی در داخل میکرو حلقه، پدیده های غیر خطی از جمله رامان خودنمایی می کنند و ضرایب شکست و جذب محیط تحت تأثیر شدت نور ورودی قرار می گیرند. با فرض اینکه میکرو حلقه از سیلیکون ساخته شده باشد و موجبر با دو فرکانس پمپ (ω_p) و سیگنال (ω_s) تحریک شده باشد، در این صورت معادلات حاکم بر میدان های الکتریکی متناظر با آنها (E_s و E_p) به شکل زیر نوشته می شوند [۵]:

$$\frac{1}{v_g} \frac{\partial E_i}{\partial t} + \frac{\partial E_i}{\partial z} = (-\alpha_i + i\beta_i) E_i \quad (1)$$

که در آن z مختصه محیط حلقه و v_g سرعت گروه و $i=s,p$ و نیز α_i به ترتیب ثابتهای جذب و انتشار مربوطه می باشند و توسط روابط زیر داده می شوند [۶]:

$$\alpha_p = \frac{1}{2} [\alpha_0 + \beta_2 (I_p + 2I_s) + g_R(\Omega) I_s + \sigma N] \quad (2)$$

$$\alpha_s = \frac{1}{2} [\alpha_0 + \beta_2 (I_s + 2I_p) - g_R(\Omega) I_p + \sigma N] \quad (3)$$

$$\beta_p = \frac{\omega_p}{c} [n_2 (I_p + 2I_s) + n_R(\Omega) I_s + \rho N] \quad (4)$$

$$\beta_s = \frac{\omega_s}{c} [n_2 (I_s + 2I_p) + n_R(\Omega) I_p + \rho N] \quad (5)$$

در روابط فوق I_p و I_s شدت سیگنال و پمپ، α_0 افت ذاتی میکرو حلقه، ρ ضریب حجمی، σ سطح مقطع پراکندگی حامل های آزاد و $g_R(\Omega)$ و $n_R(\Omega)$ طیف تقویت و ضریب شکست رامان می باشند که این دو توسط روابط زیر داده می شوند [۶]:

$$g_R(\omega, \Omega) = \frac{R_0 \omega}{\epsilon_0 c^2 n(\omega \pm \Omega) n^2(\omega)} \times \frac{\Omega \gamma}{[\Omega_f^2 - \Omega^2]^2 + \Omega^2 \gamma^2} \quad (6)$$

با توجه به اینکه α_p و β_p تابع $I_p(t, z)$ می باشند، معادلات (۱۱) و (۱۶) در هم تنیده بوده و حل آنها نسبتاً پیچیده است. در این مقاله، برای حل این معادله از روش تقریب های پی در پی استفاده می شود. بدین ترتیب که ابتدا I_p در طول میکرو حلقه یکنواخت فرض می شود. در این صورت، معادله (۱۶) تبدیل به یک معادله جبری شده و پس از حل آن شدت I_p در داخل میکرو حلقه بر حسب شدت ورودی به دست می آید. سپس I_p به دست آمده را به عنوان شرایط اولیه در نظر گرفته و معادله (۱۱) را با استفاده از تجزیه کسرها حل می کنیم:

$$\left(\frac{I_p(z)}{I_p(0)}\right)^A \left(\frac{I_p(z)-S_1}{I_p(0)-S_1}\right)^{B_1} \left(\frac{I_p(z)-S_2}{I_p(0)-S_2}\right)^{B_2} = e^{-z} \quad (17)$$

که در آن داریم

$$A = \frac{1}{\alpha_0}$$

$$B_1 = \frac{1}{2\alpha_0\Gamma} \left(-\frac{\hbar\omega_p}{\sigma\tau_f} + \Gamma \right)$$

$$B_2 = -\frac{1}{\alpha_0} - \frac{1}{2\alpha_0\Gamma} \left(-\frac{\hbar\omega_p}{\sigma\tau_f} + \Gamma \right)$$

$$S_1 = -\frac{\hbar\omega_p}{\sigma\tau_f} + \Gamma$$

$$S_2 = -\frac{\hbar\omega_p}{\sigma\tau_f} - \Gamma$$

و در همه این روابط Γ عبارتست از:

$$\Gamma = \sqrt{\left(\frac{\hbar\omega_p}{\sigma\tau_f}\right)^2 - \frac{2\alpha_0\hbar\omega_p}{\sigma\beta_2\tau_f}}$$

با استفاده از $I_p(z)$ که از رابطه (۱۷) بدست می آید از (۱۶) به محاسبه مقدار $I_p(t, 0)$ می پردازیم و مجدداً با استفاده از معادله جبری (۱۷) تابع $I_p(z)$ را محاسبه می کنیم. این فرایند ادامه می یابد تا جایی که با متر $L^2(R)$ فاصله جواب های متوالی از خطای مورد علاقه کمتر شده و بدین ترتیب توزیع شدت نور پمپ در داخل میکرو حلقه به دست می آید. شکل ۲ این توزیع را نمایش می دهد.

با کمی محاسبات، معادله شدت پمپ به شکل زیر در می آید:

$$\frac{dI_p}{dz} = -(\alpha_0 + \beta_2 I_p + \frac{\beta_2 \sigma \tau_f}{2\hbar\omega_p} I_p^2) I_p \quad (11)$$

شرایط مرزی برای میدان های پمپ و سیگنال در محل کوپلاژ به صورت زیر به میدان های سیگنال و پمپ ورودی مرتبط می شوند:

$$E_s(t, 0) = r e^{\int_0^L dz(i\beta_s - \alpha_s)} E_s(t - \tau, 0) - i\kappa E_p^{\text{in}}(t) \quad (12)$$

$$E_p = \frac{-i\kappa E_p^{\text{in}}}{1 - r e^{\int_0^L dz(i\beta_p - \alpha_p)}} \quad (13)$$

که L محیط میکرو حلقه و κ ضریب کوپلاژ و r ضریب عبور می باشند. به فرض کوچک بودن τ (زمان طی یک دور در حلقه توسط فوتون ها) نسبت به طول عمر فوتون های سیگنال در داخل میکرو حلقه، رابطه (۱۲) به این صورت خلاصه می شود:

$$\frac{dE_s(t, 0)}{dt} = -i\frac{\kappa}{r\tau} e^{\int_0^L dz(\alpha_s - i\beta_s)} E_s^{\text{in}}(t) - \frac{1}{\tau} \left(\frac{1}{r} e^{\int_0^L dz(\alpha_s - i\beta_s)} - 1 \right) E_s(t, 0) \quad (14)$$

از حل معادله (۱۱) و شرایط مرزی (۱۳)، توزیع شدت پمپ در طول میکرو حلقه به دست می آید. سپس از حل معادله (۱۴) توزیع شدت سیگنال در ابتدای میکرو حلقه محاسبه می شود. میدان خروجی موجبر نیز توسط رابطه زیر داده می شود [۴]:

$$E_s^{\text{out}}(t) = r E_s^{\text{in}}(t) - i\kappa e^{\int_0^L dz(i\beta_s - \alpha_s)} E_s(t - \tau, 0) \quad (15)$$

۳- محاسبات عددی

شرایط مرزی پمپ، رابطه (۱۳)، به شکل زیر دوباره نویسی می شود:

$$I_p(t, 0) = \kappa^2 I_p^{\text{in}} \left\{ \left[1 + r^2 e^{-2\int_0^L dz\alpha_p} - 2re^{-\int_0^L dz\alpha_p} \cos\left(\int_0^L dz\beta_p\right) \right] \right\} \quad (16)$$

شدت نور ورودی به صورت قطاری از توابع گاوسی با عرض یک پیکو ثانیه در نظر گرفته شده است. برای یک پالس گاوسی شکل به عنوان ورودی از رابطه (۱۴) میدان سیگنال در حلقه را محاسبه کرده، سپس از رابطه (۱۵) شکل سیگنال خروجی را بدست می آوریم. شکل پالس خروجی به ازاء مقادیر مختلف شدت پمپ بهنجار شده محاسبه و در شکل ۳ نمایش داده شده است.

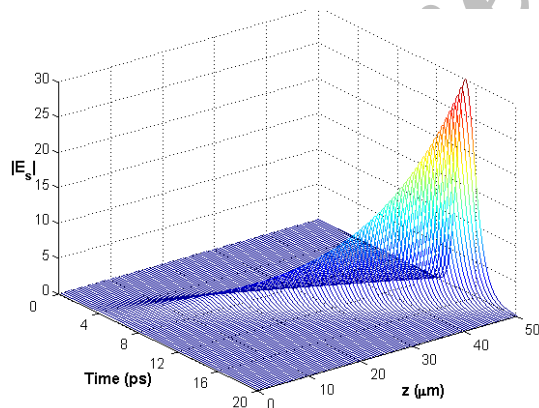
از معادله (۱) به رابطه زیر برای محاسبه تغییرات فضایی- زمانی میدان سیگنال می توان رسید:

$$E_s(t, z) = E_s(t - \bar{\tau}, 0) e^{-\int_0^z \alpha_s dz} e^{i \int_0^z \beta_s dz} \quad (20)$$

که در آن زمان تأخیر به شکل زیر داده شده است:

$$\bar{\tau} = \int_0^L \frac{dz}{v_g} \approx \frac{z n}{c} \quad (21)$$

در شکل ۴ تغییرات فضایی- زمانی شدت نور در میکرو حلقه در فرکانس سیگنال نمایش داده شده است. انبارش میدان در مورد سیگنال به خوبی قابل مشاهده است.

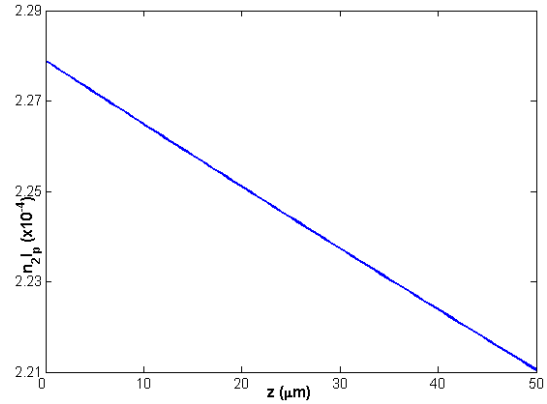


شکل ۴: تغییرات زمانی- فضایی شدت نور سیگنال در داخل میکرو حلقه به ازای توان پمپ بهنجار شده $n_2 I_p = 1 \times 10^{-4}$.

تغییر فاز سیگنال خروجی نسبت به ورودی با رابطه زیر داده می شود:

$$\phi = \int_0^L dz \beta_s(z) + \frac{n \omega_s}{c} L - \pi \quad (22)$$

زمان تأخیر غیر خطی نیز از رابطه زیر حساب می شود:



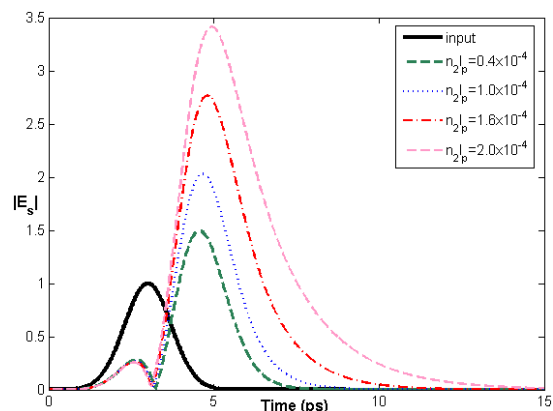
شکل ۲: توزیع شدت نور پمپ در داخل میکرو حلقه در شدت پمپ ورودی بهنجار شده $n_2 I_p = 1 \times 10^{-4}$ پارامترهای ذیل در محاسبات منظور شده اند: $\alpha_0 = 100 \text{ m}^{-1}$ ، $n_2 = 4 \times 10^{-14} (\text{m}^2/\text{W})$ ، $\beta_2 = 7 \times 10^{-8} (\text{m}/\text{W})$ ، $\alpha_0 = 100 \text{ m}^{-1}$ ، $\lambda_p = 1.428 (\mu\text{m})$ ، $\tau = 1 (\text{ns})$ ، $\rho = 10^{-27} (\text{m}^3)$ ، $\sigma = 1.5 \times 10^{-21} (\text{m}^2)$ ، $\kappa = 0.917$ ، $r = 0.399$ ، $\lambda_s = 1.545 (\mu\text{m})$.

با توجه به اینکه شدت نور در فرکانس پمپ بسیار بزرگتر از شدت نور در فرکانس سیگنال می باشد، α_s و β_s تقریباً مستقل از شدت سیگنال می باشند:

$$\alpha_s = \frac{1}{2} \left[\alpha_0 + 2\beta_2 I_p + g_R(\Omega) I_p + \frac{\beta_2 \sigma \tau_f}{2\hbar \omega_p} I_p^2 \right] \quad (18)$$

$$\beta_s = \frac{\omega_s}{c} \left[2n_2 I_p + n_R(\Omega) I_p + \frac{\alpha_2 \rho \tau_f}{2\hbar \omega_p} I_p^2 \right] \quad (19)$$

با توجه به اینکه شدت نور پمپ در داخل میکرو حلقه محاسبه شده است، پس مقادیر α_s و β_s در هر نقطه از میکرو حلقه معین می باشند. بنابراین از حل معادله (۱۴) شدت میدان الکتریکی سیگنال در نقطه $z=0$ به دست می آید.



شکل ۳: پالس خروجی موجبر به ازای شدت های مختلف پمپ ورودی (بهنجار شده) وقتی که پالس ورودی یک موج گاوسی با پهنای یک پیکو ثانیه باشد. (پارامترهای مورد استفاده در شکل ۲ ذکر شده اند)

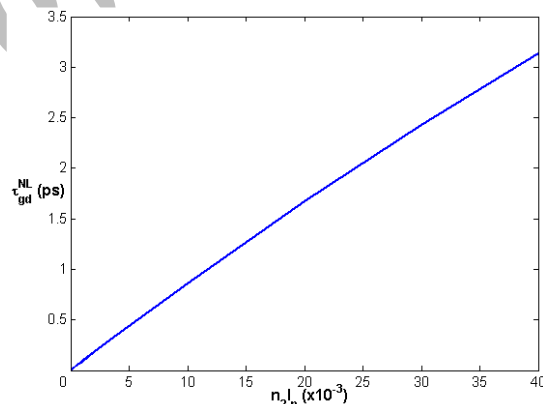
مراجع

- [1] R. Claps, D. Dimitopoulos, V. Raghathan, Y. Han, and B. Jalali, "Observation of stimulated Raman amplification in silicon waveguides", *Opt. Express* **11**, 1731-1739 (2003).
- [2] Jay E. Sharping, Yoshitomo Okawachi, and Alexander L. Gaeta, "Wide bandwidth slow light using a Raman fiber amplifier", *Opt. Express* **13**, 6092-6098 (2005).
- [3] Richard L. Espinola, Jerry I. Dadap, Richard M. Osgood, Jr. Sharee, J. McNab, and Yuri A. Vlasov, "Raman amplification in ultrasmall silicon-on-insulator wire waveguides", *Opt. Express* **12**, 3713-3718 (2004).
- [4] T. A. Ibrahim, *Nonlinear optical semiconductor Micro-ring resonators*, Phd thesis, University of Maryland (2003).
- [5] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, Academic Press, Boston, 1989.
- [6] S. Blair, and K. Zheng, "Intensity tunable group delay using stimulated Raman scattering in silicon slow-light waveguides", *Opt. Express* **14**, 1064-1069 (2006).

$$\tau_{gd}^{NL} = \frac{d\phi}{d\omega_s} \cong \frac{L}{c} [(2n_2 + n_R) \bar{I}_p + \frac{\rho \tau_f \beta_2}{2\hbar \omega_p} \bar{I}_p^2] + \frac{\omega_s L}{c} \frac{\partial n_R}{\partial \omega_s} \bar{I}_p \quad (23)$$

البته به علت تغییرات n_R در اثر تغییرات فرکانس سیگنال برای یک فرکانس پمپ ثابت، ω_p ، سهم عمده زمان تأخیر غیر خطی سیگنال از جمله دوم رابطه فوق حاصل می شود و تنها در شدت های خیلی بالاتر پمپ ورودی که اثر حاملین بار آزاد قابل ملاحظه می شود جمله اول موجب کاهش زمان تأخیر خواهد شد.

در شکل ۵ زمان تأخیر بر حسب شدت پمپ ورودی رسم شده است. با توجه به شکل ملاحظه می شود که در شدت های بالای پمپ ورودی، اثر حاملین بار آزاد در میزان زمان تأخیر ایجاد شده در پالس های گاوسی شکل سیگنال اثر کرده و از میزان آن می کاهند و در نتیجه نمودار میزان تأخیر غیر خطی بر حسب شدت پمپ ورودی کاملاً خطی نیست.



شکل ۵: زمان تأخیر غیر خطی بر حسب شدت های مختلف پمپ ورودی. پارامترهای ذیل نیز استفاده شده اند؛ $\gamma = 2\pi \times 0.08 \text{ (rad/ps)}$ ، $R_0 = 2.99 \times 10^{12} \text{ (m}^2\text{s}^2\text{/W)}$ ، $\Omega = 2\pi \times 15.9 \text{ (rad/ps)}$

۴- نتیجه گیری

محاسبات نشان می دهند که میکرو حلقه سیلیکونی در مدارهای انتگره نوری به عنوان یک خط تأخیر کنترل شده به خوبی عمل می نماید و از آن به راحتی به عنوان یک مدولاتور موقعیت پالس (PPM) می توان استفاده کرد. از طرفی روش محاسبات پی در پی ارائه شده در این مقاله یک روش دقیق و سریع برای انجام محاسبات مربوط به اثر رامان در میکرو حلقه ها می باشد.

Analyzing an all-optical Pulse Position Modulator

Mehdi Abdi, Muhammad Vahedi, and Ali-Reza Bahrampour

Department of Physics, Sharif University of Technology, Tehran

Abstract- We calculate group delay of a pulse passing a silicon micro-ring resonator versus input pump intensity and show that according to large Raman parameters of silicon, silicon micro-rings are appropriate elements for making delay in photonic integrated circuits (PIC). If modulating signal behaved as input pump and insert a series of sharp pulses as signal to a waveguide which has coupled to a silicon micro-ring, output pulses take delay depending on input pump intensity. So silicon micro-rings coupled to a straight waveguide acts as pulse position modulator (PPM).

Keywords: all-optical modulation, Micr-oring, Raman effect.

PACSNo: 4265 – 4281 – 4282 – 4283.

Archive of SID

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL
پروپوزال

پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



ISI
Scopus

آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

دکتره تهرانی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو