بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

گیت تمام نوری بر اساس لیزر سولیتون کاواک

زهره صالح نژاد و حمید واحد

دانشکده مهندسی فن‌آوری نوین، دانشگاه تبریز، تبریز

چکیده – سولیتون‌های کاواک نقش مهمی بعنوان بیت‌های اطلاعاتی در بحث پردازش تمام نوری اطلاعات ایفا می‌کنند. قابلیت های سولیتون کاواک تحریک پذیر، امکان استفاده از آن را در طراحی گیت تمام نوری فراهم می‌کند. در این مقاله، نوع جدیدی از سولیتون-های کاواک با عنوان سولیتون‌های کاواک تحریک پذیر در لیزر سولیتون کاواک کلیدزنی شده است و با استفاده از سولیتون‌های کاواک تحریک پذیر به طراحی گیت‌های منطقی *AND* و *OR* می‌پردازیم.

کلید واژه- گیت تمام نوری، لیزر سولیتون کاواک، سولیتون کاواک تحریک پذیر

All optical gate based on Cavity Soliton Laser

Zohre Salehnezhad and Hamid Vahed

School of Emerging Engineering Technologies, University Of Tabriz, Tabriz Iran

Abstract - Cavity Solitons (CSs) have an important role as information bits in all optical information processing. The Capabilities of excitable CSs were created to improve the possibilities in designing of all optical gates. In this paper, we switched on a new type of CS as Excitable Cavity Soliton in the Cavity Soliton Laser (CSL). Also, we designed logical gates (AND, OR) with excitable CSs in the CSL.

Keywords: All optical Gate, Cavity Soliton Laser, Excitable Cavity Soliton

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

سولیتون‌های کاواک قله‌های جایگزیده نور در پس زمینه‌ی همگن و شدت پایین هستند که قابلیت کنترل پذیری دارند و می‌توان آنها را با شدت موردنظر و در مکان دلخواه از صفحه کاواک تولید کرد[۱]. کاواک‌های لیزر نیم رسانا از نوع نشر کننده از سطح با کاواک قائم (VCSEL)، محیطی بسیار مناسب برای تحقق سولیتون‌های کاواک هستند.اخیرا، لیزر سطح گسیل با کاواک قائم همراه با جاذب اشباع پذیر، لیزر سولیتون کاواک را تحقق بخشیده است[۲]. استفاده از سولیتون-های کاواک در ذخیره اطلاعات، سیستم‌های نوری فشرده‌تر را فراهم می‌کند و هر بیت از اطلاعات با یک سولیتون کاواک ارائه می‌شود که حضور یک سولیتون کاواک به عنوان بیت «۱»، و غیاب سولیتون کاواک را به عنوان بیت «۰»، در نظر گرفته شده است[۳]. در کار حاضر، سولیتون کاواک تحریک پذیر در کاواک شامل جاذب اشباع پذیر و بدون حضور پرتو نگه‌دارنده کلیدزنی شده که با حذف پرتو نگهدارنده، علاوه بر کاهش حجم، انعطاف‌پذیری سیستم افزایش می‌یابد. با قرارگیری محیطی بعنوان جاذب اشباع‌پذیر در کنار محیط فعال لیزری در داخل مشدد، به ازای مقادیر خاصی از دمش الکتریکی، یک حالت دوپایایی بین حالتهای لیزرزا و غیر لیزرزا ایجاد شده است. پایداری سولیتون کاواک، به شدت به نسبت $r = b_2 / b_1$، بین طول عمر حاملین در محیط فعال و غیرفعال(جاذب اشباع پذیر) وابسته است[۴]. با ثابت نگه داشتن همه پارامترها و با تغییر پارامتر r می توان انواع مختلفی از سولیتون های کاواک را مشاهده کرد.

سپس با استفاده از سولیتون کاواک‌های تحریک پذیر، امکان طراحی گیت‌های منطقی AND و OR در این محیط بررسی شده‌اند. در این مقاله گیت AND در حالت دو ورودی «۱» و گیت OR در حالت یک ورودی «۰» و یک ورودی «۱» بررسی شده است.

۲- معادلات دینامیکی توصیف کننده سیستم لیزر سولیتون کاواک

معادلات حاکم بر دینامیک لیزر سطح گسیل با کاواک قائم حاوی جاذب اشباع پذیر به صورت ساده شده عبارتند از[۵]:

$$\dot{F} = \left[(1-i\alpha)D + (1-i\beta)d - 1 + i\nabla_{\perp}^{2}\right]F \qquad (۱-a)$$

$$\dot{D} = b_1\left[\mu - D\left(1+|F|^2\right) - BD^2\right] \qquad (۱-b)$$

$$\dot{d} = b_2\left[-\gamma - d\left(1+s|F|^2\right) - Bd^2\right] \qquad (۱-c)$$

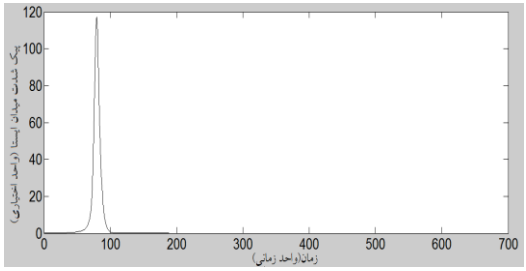
که F، دامنه کند تغییر میدان الکتریکی درون کاواک است. D، و d، متغییرهای مربوط به جمعیت حاملین به ترتیب در محیط فعال و جاذب هستند. پارامترهای α، و b_1، (b_2, β) به ترتیب فاکتور افزایش خط و نسبت طول عمر فوتون در کاواک به طول عمر غیر نوری حاملین τ_{Ph} / τ_{nr}، در محیط بهره (جاذب) هستند. B، ضریب بازترکیب نوری حاملین در نیم رسانا و s، پارامتر اشباع است. μ، پارامتر دمش جریان الکتریکی در محیط بهره و γ، پارامتر جذب در محیط جاذب اشباع پذیر را نشان می‌دهد. در این معادلات زمان بر حسب طول عمر فوتون در کاواک خالی ($\approx 3ps$) و مکان بر حسب طول پراش ($\approx 5\mu m$) مقیاس بندی شده است. تحلیل پایداری خطی جواب‌های همگن معادلات، مقادیر $B = 0.1$، $\alpha = 2$، $\beta = 1$، $\gamma = 2$ و $s = 1$، را برای پارامترهای سیستم نتیجه داده است[۵]. برای بررسی رفتار دینامیکی سیستم، معادلات ($۱-a$) تا ($۱-c$)، با استفاده از روش موسوم به گام مجزا با شرایط مرزی پریودیک در یک شبکه فضایی دو بعدی 128×128 با گام فضایی $ds = 0.25$ و گام زمانی $dt = 0.01$ حل شده‌اند[۶].

۳- کلیدزنی سولیتون کاواک تحریک پذیر در لیزر سولیتون کاواک

برای کلیدزنی سولیتون کاواک، از روش تزریق نیمه-همدوس مطرح شده در مرجع [۷] استفاده شده است. بدین منظور، یک باریکه گاوسی با دامنه ۰/۲۸، پهنای ۴، فاز صفر، در مرکز صفحه عرضی کاواک به مدت زمان ۵۰

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

واحد زمانی تزریق شده است. مقدار پارامتر دمش الکتریکی $\mu = 4.9$ انتخاب شده است.



شکل ۱: نمودار تحول زمانی شدت میدان الکتریکی در محل سولیتون کاواک برای سولیتون تحریک پذیر $r = 2$.

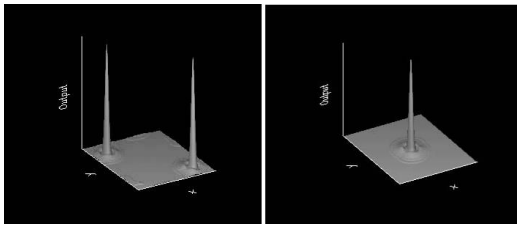
با انتخاب $r = 2$، سولیتون کاواک تحریک پذیر حاصل می شود، که شکل(۱) نمایانگر این نوع از سولیتون کاواک است.

۴- گیت تمام نوری

در این قسمت ما تصمیم داریم از سولیتون‌های کاواک تحریک‌پذیر در خلق گیت‌های منطقی استفاده کنیم. وقتی دو سولیتون کاواک تحریک پذیر در نزدیکی یکدیگر شکل می‌گیرند از برهمکنش متقابل این سولیتون‌های کاواک خروجی سیستم خلق می‌شود. در دو بخش بعدی، امکان شکل گیری گیت AND و OR بررسی شده است.

۴-۱- گیت AND

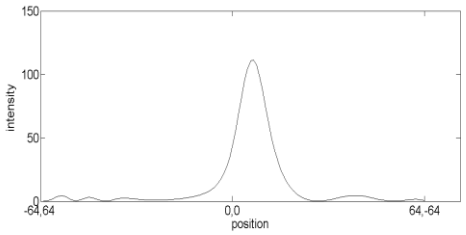
در گیت AND، عملکرد به این صورت است که تنها زمانی پاسخ برابر با «۱» می‌شود که هر دو ورودی برابر با «۱» باشند، و در غیر این صورت در حالت‌هایی که حداقل یکی از ورودی‌ها صفر باشد خروجی گیت برابر با صفر خواهد شد[۸]. برای سادگی نمایش، مرکز صفحه‌ی سطح عرضی کاواک، مختصه‌ی فضایی (۰،۰) در نظر گرفته شده است. برای نمایش عملکرد گیت، دو پرتو گاوسی شکل با دامنه $F_{inj} = 0.35$، $FWHM = 4$ و فاز $\varphi = 0$ را در مختصات فضایی عرضی کاواک در (۶۲، ۶۲-) و (۶۲-، ۶۲)، تزریق شده است. شکل ۲، نمایش سه بعدی از سولیتون‌های ورودی تزریق شده و خروجی حاصل از آن‌ها را بعد از گذشت زمان مشخص نشان می‌دهد.



شکل۲: تصویری از گیت AND با ورودی‌های "۱" . در این حالت یک بیت "۱" در خروجی حاصل می‌شود. تصویر سمت راست خروجی و سمت چپ ورودی را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود در شکل سمت چپ دو سولیتون به عنوان ورودی تزریق شده و از برهم کنش این دو بعد از گذشت ۶۰ واحد زمانی، دو سولیتون ورودی نابود شده و از برآیند آنها در جایی میان آن دو، سولیتون خروجی شکل می‌گیرد. شکل سمت راست، تصویری از خروجی شکل گرفته شده است.

علاوه بر نمایش سه بعدی، برای کسب اطمینان پروفایل فضایی شدت میدان الکتریکی در طول قطر صفحه عرضی کاواک در زمان تشکیل خروجی (۶۰ واحد زمانی) نیز رسم شده است. در این لحظه زمانی، همانطور که از شکل ۳ مشهود است، به جز در جایی نزدیک مرکز کاواک هیچ قله‌ی شدت قابل توجه دیگری در طول قطر کاواک دیده نمی‌شود و این مطلب نشان دهنده‌ی این است که گیت ما به درستی کار کرده و هیچ قله‌ی شدت اضافه‌ای تولید نمی‌کند. قله‌ی مشاهده شده در شکل ۳ همان خروجی گیت ما است.



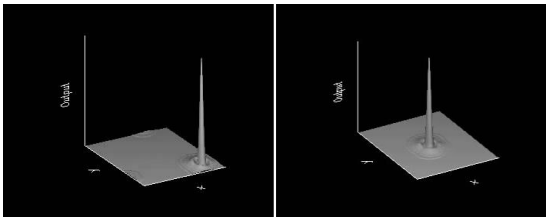
شکل۳: پروفایل شدت میدان الکتریکی در طول قطر صفحه عرضی کاواک در لحظه ۶۰ واحد زمانی.

۴-۲- گیت OR

در گیت OR، در حالتی که فقط یکی از ورودی‌ها برابر با «۱» باشد، یا هر دو ورودی «۱» باشند خروجی «۱» خواهیم داشت و تنها در صورتی خروجی صفر است که هر دو ورودی ما صفر باشند. در اینجا، در حالت‌هایی که خروجی گیت برابر با «۱» است عملکرد گیت نمایش داده

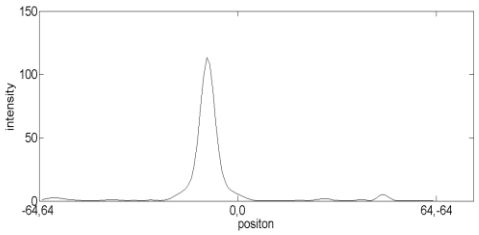
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

می‌شود. در حالتی که هر دو ورودی برابر با «۱» هستند مشابه با عملکرد گیت AND است و نتایجی مشابه با آن دارد. برای حالتی که، یکی از ورودی‌ها «۱» و دیگری صفر باشد باید دو پرتو گاوسی شکل با دامنه‌های متفاوت در دو مختصه از صفحه عرضی کاواک تزریق کنیم. بدین منظور، یکی از پرتوهای گاوسی با دامنه‌ی $F_{inj}=0.35$ ،$FWHM=4$ و فاز $\varphi=0$ را در مختصه فضایی عرضی (۴۲- ، ۴۲)، و پرتو گاوسی دوم با دامنه بسیار کوچکتر (نزدیک به صفر)، $FWHM=4$ و فاز صفر را در مختصه فضایی عرضی (۴۲ ،۴۲-)، تزریق شده است. شکل ۴، نمایش سه بعدی از سولیتون‌های کاواک تحریک پذیر ورودی و خروجی حاصل از آن‌ها را بعد از گذشت ۹۲ واحد زمانی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، در شکل سمت چپ سولیتون کاواک تحریک پذیر به عنوان ورودی تزریق شده و بعد از گذشت ۹۲ واحد زمانی، سولیتون کاواک ورودی نابود شده و در میانه‌ی صفحه عرضی کاواک، سولیتون کاواک خروجی شکل می‌گیرد (تصویر سمت راست در شکل ۴).



شکل۴: تصویر شماتیک از گیت OR با ورودی‌های "۱" و "۰" . در این حالت یک بیت "۱" در خروجی حاصل می‌شود. تصویر سمت راست خروجی و سمت چپ ورودی سیستم را نشان می‌دهد.

در شکل ۵، پروفایل فضایی شدت میدان الکتریکی در طول قطر صفحه عرضی کاواک در زمان تشکیل خروجی (۹۲ واحد زمانی) ثبت شده است. در این لحظه زمانی، به جز در جایی نزدیک مرکز سطح عرضی کاواک، هیچ قله‌ی شدت قابل توجه دیگری در طول قطر کاواک وجود ندارد. قله‌ی مشاهده شده در شکل۵ همان خروجی گیت است.



شکل۵: پروفایل شدت میدان الکتریکی در طول قطر صفحه عرضی کاواک در لحظه ۹۲ واحد زمانی

با توجه به شبیه‌سازی‌ها و نتایج بدست آمده و شرایط صفحه‌ی عرضی کاواک می‌توان نتیجه گرفت که تشکیل سولیتون کاواک در صفحه‌ی عرضی کاواک باعث تشکیل حفره‌ی جمعیت در کاواک می‌شود که به دلیل بزرگ بودن دامنه‌ی شدت سولیتون تحریک پذیر، این حفره‌ها بزرگ هستند. کنار هم قرارگرفتن سولیتون‌های کاواک باعث تداخل و درنتیجه برهم کنش حفره‌های جمعیت با هم می‌شود که این برهم کنش عامل ایجاد سولیتون کاواک خروجی گیت‌ها است.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله امکان استفاده از سولیتون‌های کاواک تحریک‌پذیر در طراحی گیت‌های تمام نوری AND و OR بررسی شده است، که این گیت‌ها برای کاربرد در سیستم‌های تمام نوری مناسب هستند. در اینجا گیت AND در حالت دو ورودی «۱» و گیت OR در حالت یک ورودی «۰» و یک ورودی «۱» بررسی شده است.

مراجع

[1] L. A. Lugiato. "Introduction to the feature section on cavity solitons: An overview" IEEE J. Quantum Electron. **39** (2003) 193

[2] Elsass K., Gauthron K., Beaudoin G., Sagnes I., Kuszelewicz., Barbay s., Control of cavity solitons and dynamical states in a monolithic vertical cavity laser with saturable absorber, **Eur. phys**. j. D 59 (2010) 91-96

[3] Prati P., Tissoni F., Lugiato G., Aghdami L. A., and Brambilla K. M., *Spontaneously moving solitons in a cavity soliton laser with circular section*, **Eur. Phys**. J. D, 59 (2010) 73.

[4] S. Babland, J.R. Tredicce, M. Brambilla, L.A. Lugiato, S. Balle, M. Giudici, T. Mggipinto, L.Spinelli, G.Tissoni, T.Knodl, M. Miller, and R. Jager, "cavity solitons as pixels in semiconductor Microresonators", **Nature**, vol.419 (2002) 669-702

[5] Bache M., Prati F., Tissoni G., Kheradmand R., Lugiato I., Protsenko L.A., and Brambilla M., *Cavity soliton laser based on VCSEL with saturable absorber*, Appl. Phys. B: **Lasers Opt**. 81 (2005) 913.

[6] Eslami M.,Kheradmand R., All optical logical gates based on cavity solitons with nonlinear gain, **Optical Review** vol.19. No.4 (2012) 242-246.

[7] Mahmoud Aghdami K., Prati P., Caccia, Tissoni G., Lugiato L.A., Kheradmand R. and Tajalli H., *Comparison of different switching technigues in cavity soliton laser*,**Eur. Phys**. J. D 47 (2008) 447.

[8] Jenkins G.D., Integrated Optics, 604, 2007.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]