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

بهینه‌سازی یک سوئیچ دوپایدار نوری از نوع بازتابی

محمدعلی امانادی قطب‌آبادی، سعید قوامی صبوری، علیرضا خورسندی

دانشکده فیزیک دانشگاه اصفهان

چکیده – *در این پژوهش یک سوئیچ دوپایدار نوری از نوع بازتابی بهینه سازی شده است. این بهینه سازی بر مبنای کاهش شدت آستانه انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهند که آستانه‌ی شدت مورد نیاز برای ایجاد این سوئیچ به ضرایب بازتاب آینه‌های کاواک آن و درآشامندگی محیط غیرخطی درون کاواک وابسته می‌باشد. به این منظور سعی شده است با بهینه‌سازی پارامترهای کاواک آستانه شدت به میزان قابل توجهی کاهش یابد. سرانجام اثر عرضی نمایه گاوسی لیزر بر روی محیط غیرخطی CS جهت ایجاد پدیده‌ی دوپایداری نوری بررسی شده است.*

کلید واژه- سوئیچ دوپایداری نوری، آستانه شدت، محیط غیرخطی، نمایه پرتو گاوسی

Optimization of a Reflective type Bistable Switch

Mohammadali Amandadi Ghotbabadi, Saeed Ghavami Sabouri, and Alireza Khorsandi

Department of Physics, University of Isfahan, 81746-73441 Isfahan

Abstract- In this paper a reflective type bistable switch is optimized. It is based on the reduction of the intensity threshold of the switch. Obtained results indicate that the required intensity threshold depends on the reflectivity coefficients of its Fabry-Perot cavity and the absorbance of the intercavity nonlinear medium. It has been tried to optimize the switch parameters such that the intensity threshold is significantly decreased. Finally the effects of the intensity profile of a laser beam on a bistable optical switch produced by using a carbon sulfide (CS) are investigated.

Keywords: Bistable switch, intensity threshold, nonlinear medium, profile Gaussian beam

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

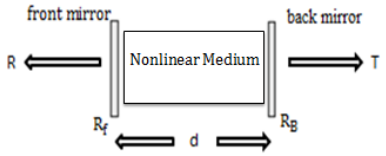
[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]

۱- مقدمه

وسایل دوپایدار ایده‌آل برای پردازش داده‌های نوری باید کم حجم و سریع باشند[۱]. نیاز به توان سوئیچینگ کم، عملکرد در دمای اتاق و طول موج مرئی از ویژگی‌های اساسی این وسایل محسوب می‌شود[۲]. به منظور دستیابی به آستانه‌ی شدت سوئیچینگ کم در وسایل دوپایدار لازم است پارامترهای کاواک آن بهینه شوند[۱]. معمولاً دوپایداری نوری با مشخصه‌یابی شدت بازتابی یا عبوری به عنوان تابعی از شدت ورودی، بر اساس حلقه پسماندی مطالعه می‌شود[۳]. در این مقاله به بررسی بهینه‌سازی کاواک فابری-پروی دوپایدار نوع بازتابی و همچنین اثر عرضی نمایه گاوسی لیزر بر روی محیط‌غیرخطی CS جهت ایجاد یک سوئیچ دوپایدار نوری می‌پردازیم.

۲- دوپایداری نوری و بهینه‌سازی کاواک

در این مقاله خواهیم دید، کاواک در تعیین آستانه‌ی شدت برای مشاهده‌ی دوپایداری نوری نقش اساسی ایفا می‌نماید. در شکل (۱) نمایی از این کاواک نشان داده شده است.



شکل (۱) : نمایی از کاواک فابری– پروی دوپایدار به طول d که در آن یک محیط غیرخطی قرارگرفته است.

ضریب عبور و بازتاب این کاواک به صورت زیر بیان می‌شوند[۴].

$$R = 1 - \left[\frac{1+R_\alpha^2-R_f-R_B e^{-2\alpha d}}{(1-R_\alpha)^2}\right] \times \frac{1}{1+F\left(\sin\varphi\right)^2} \qquad (۱)$$

$$T = \left[\frac{1+R_\alpha^2-R_f-R_B e^{-2\alpha d}}{(1-R_\alpha)^2}\right]\left[\frac{1}{1+F\left(\sin\varphi\right)^2}\right] \qquad (۲)$$

که در آنها d طول کاواک، α ضریب جذب خطی محیط غیرخطی، R_f و R_B توان‌های بازتاب آینه‌های کاواک و φ تغییر فاز پرتو در رفت و برگشت می‌باشند. همچنین R_α بازتاب مؤثر میانگین و F ظرافت بازتاب کاواک می‌باشند.

با استفاده از سیگنال‌های بازتابی دوپایداری نوری را مورد بررسی قرار می‌دهیم. هدف این است که ارتباط بین دو حالت پایدار سوئیچ و شدت آستانه را پیدا نماییم در واقع با جایگزین کردن $\varphi = N\pi$ و $\varphi = \left(N+\frac{1}{2}\right)\pi$ در رابطه‌ی (۱) کمینه و بیشینه بازتاب متناظر با حالت‌های پایدار سوئیچ به صورت زیر بدست می‌آیند.

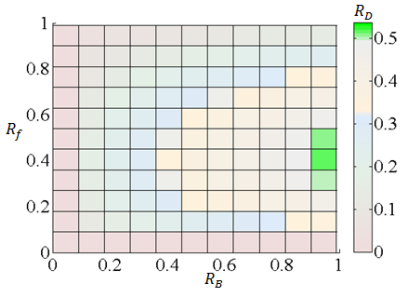
$$R_{min} = 1 - \frac{1+R_\alpha^2-R_f-R_B e^{-2\alpha d}}{(1-R_\alpha)^2} \times \frac{1}{1+F} \qquad (۳)$$

$$R_{max} = 1 - \left[\frac{1+R_\alpha^2-R_f-R_B e^{-2\alpha d}}{(1-R_\alpha)^2}\right] \qquad (۴)$$

اختلاف بین این دو وضعیت پس از اندکی عملیات ریاضی به صورت زیر است[۴]:

$$R_D = 4R_\alpha\left(\frac{1+(R_\alpha)^2-R_f-R_B e^{-2\alpha d}}{\left(1-R_\alpha^2\right)^2}\right) \qquad (۵)$$

در شکل (۲) تغییرات R_D بر حسب ضرایب بازتاب آینه‌های کاواک، R_B و R_f نشان داده است.

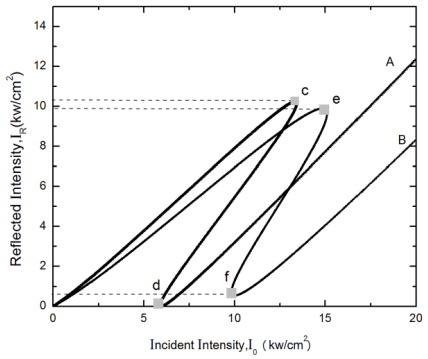


شکل (۲) : تغییرات R_D بر حسب ضرایب بازتاب آینه‌های کاواک R_B و R_f به ازای $\alpha d = 1$.

همان‌طور که در شکل بالا نشان داده شده است در $R_B = 1$ مقدار R_D بیشینه است. بنابراین می‌توان متغیر R_B را از فرایند بهینه‌سازی حذف کرد. اکنون برای درک اثر R_D بر آستانه شدت سوئیچینگ، شدت بازتابی I_R را بر حسب شدت ورودی که با رابطه[۱]:

$$I_R = RI_0 \qquad (۶)$$

به یکدیگر مربوط می‌شوند محاسبه می‌کنیم. نتایج این بررسی در شکل (۳) نشان داده شده است.



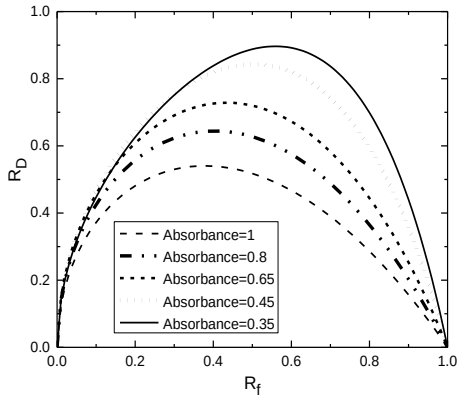
شکل(۳) : نمودار شدت بازتابی بر حسب شدت ورودی. در منحنی A:
$R_f = 0.38$, $R_B = 1$, $\alpha d = 0.35$, $R_D = 0.81$
و در منحنی B:
$R_f = 0.38$, $R_B = 1$, $\alpha d = 1$, $R_D = 0.54$

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]

همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، نقاط $d-c$ و $f-e$ به ترتیب حالت‌های پایدار سوئیچ را به ازای دو مقدار مختلف R_D نشان می‌دهند. از طرفی با افزایش اختلاف بین حالت‌های پایدار، آستانه‌ی شدت جهت ایجاد سوئیچ دوپایدار نوری کاهش یافته است. این به آن معنی است که افزایش R_D، آستانه شدت سوئیچینگ را کاهش می‌دهد.

۳- بهینه‌سازی پارامترهای کاواک

رابطه (۵) یک معادله‌ی اساسی جهت بهینه‌سازی است. به این منظور R_D را بر حسب R_f به ازای مقادیر معین درآشامندگی محیط، αd، محاسبه می‌کنیم. در شکل زیر نتایج این محاسبه نشان داده شده است.

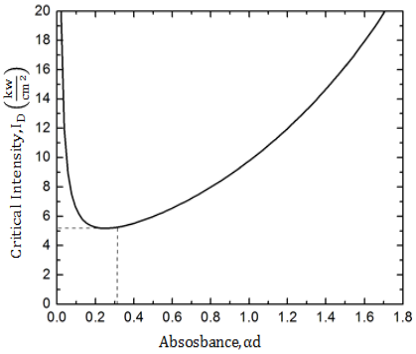


شکل (۴) : تغییرات R_D بر حسب ضریب بازتاب آینه‌ی جلو، R_f، به ازای مقادیر مختلف درآشامندگی محیط غیرخطی

دیده می‌شود بیشترین مقدار R_D در $R_f = 0.5$ به ازای $\alpha d = 0.35$ اتفاق می‌افتد. درآشامندگی غیرخطی یکی دیگر از پارامترهای تأثیر گذار بر شدت آستانه‌ی سوئیچینگ دوپایدار می‌باشد. برای این کار I_D را که به شدت بحرانی موسوم است به صورت زیر معرفی می‌نماییم [۱]:

$$I_D = \beta\left[\frac{\pi}{8}\frac{(1-R_\alpha^2)^2}{(1-R_f)(1+R_B e^{-\alpha d})(1-e^{-\alpha d})R_\alpha}\right] \qquad (۷)$$

که در آن $\beta = \frac{\lambda\alpha}{3\pi n_2}$ می‌باشد. در شکل زیر تغییرات I_D بر حسب αd مشاهده می‌شود.

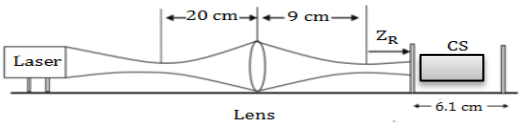


شکل(۵) :نمودار شدت بحرانی بر حسب درآشامندگی محیط غیرخطی برای $\beta = 3.05\times10^3$, $R_f = 0.5$, $R_B = 1$

همان‌طور که در شکل (۵) دیده می‌شود، به ازای $\alpha d \sim 0.33$ شدت بحرانی کمینه است. همچنین به ازای $\alpha d \le 0.1$ و $\alpha d > 0.6$ شدت سوئچینگ به شدت افزایش می‌یابد. در این حالت R_D کاهش و آستانه شدت برای سوئیچینگ افزایش می‌یابد.

۴- شبیه‌سازی سوئیچ دوپایدار با نمایه گاوسی

چیدمان لازم برای ایجاد سوئیچ با نمایه‌ی گاوسی در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): چیدمان لازم برای ایجاد سوئیچ دوپایدار با نمایه گاوسی.

توزیع شدت پرتوی گاوسی به صورت زیر بیان می‌شود[۵]:

$$I(x,y,z) = I_0\left(\frac{w_{0b}}{w(z)}\right)^2 e^{-\left(\frac{2r}{w(z)}\right)^2} \qquad (۸)$$

که در آن $w_{0b} = \frac{w_{0a}}{\sqrt{\left(1-\frac{d_1}{f}\right)^2+\left(\frac{\pi w_{0a}{}^2}{f\lambda}\right)^2}}$ کمر پرتو گاوسی در مکان b است که آن را به نقطه‌ی a مربوط می‌کند. همان‌طور که پیداست مقدار این کمیت وابسته به λ طول موج پرتو ورودی و f فاصله کانونی عدسی می‌باشد. در رابطه‌ی (۱)، I_0 شدت نمایه در مکان b است که مقدار آن وابسته به توان ورودی لیزر، P، و به صورت $I_0 = \frac{P}{\pi w_{0b}{}^2}$ بیان می‌شود. تغییرات شعاعی نمایه گاوسی به صورت $r = \sqrt{x^2+y^2}$ است. همچنین w_{0a} کمر پرتو گاوسی در مکان a و d_1 فاصله کمر پرتو تا عدسی می‌باشند از طرفی تغییرات اندازه‌ی لکه پس از عدسی را به صورت زیر بیان می‌شود.

$$w(z) = w_{0b}\times\sqrt{1+\left(\frac{Z}{Z_R}\right)^2} \qquad (۹)$$

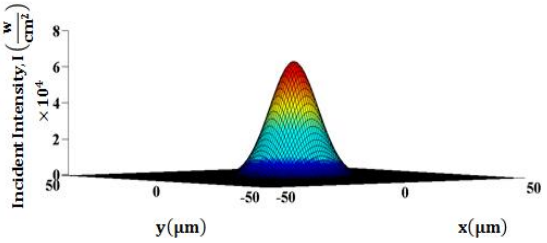
که در آن z مسافت انتشار پرتو و $Z_R = \frac{\pi w_{0b}{}^2}{\lambda}$ بازه‌ی ریلی پس از عدسی می‌باشند. همچنین I_c میانگین شدت داخل کاواک و I_R شدت بازتابی از آن عبارتند از[۴]:

$$I_c = I\times\left[\frac{(1-R_f)(1+R_B e^{-\alpha d})(1-e^{-\alpha d})}{\alpha d(1-R_\alpha)^2\left[1+F\left(sin\left(\varphi(I_c)\right)\right)^2\right]}\right] \qquad (۱۰)$$

$$I_R = I - I_c\left[\frac{\alpha d(1+R_\alpha^2-R_f-R_B e^{-2\alpha d})}{(1-R_f)(1+R_B e^{-\alpha d})(1-e^{-\alpha d})}\right] \qquad (۱۱)$$

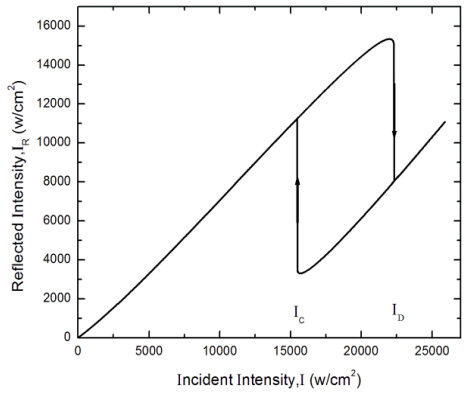
[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]

همچنین عبارت $\varphi(I_c) = \gamma I_c - \delta$ در این روابط تغییر فاز پرتو رفت و برگشتی داخل کاواک است. به طوری‌که γ وابسته به بخش غیرخطی ضریب شکست محیط کربن سولفید، n_2، است که به صورت $\gamma = \frac{3\pi n_2 d}{\lambda}$ بیان می‌شود. همچنین در این روابط I توزیع شدت نمایه گاوسی است. پارامترهای انتخاب شده برای شبیه‌سازی عبارتند از: $d_1 = 20cm$ ، $d_2 = 9cm$، $f = 7.5cm$، $w_{0a} = 1mm$ و $\lambda = 632nm$. هدف این است مشخص کنیم چه قسمتی از نمایه، سوئیچ دوپایدار را فعال می‌نماید. برای این منظور لکه‌ی درون ناحیه‌ی برد ریلی را در نظر می‌گیریم.



شکل(۷): توزیع شدت نمایه گاوسی با ابعاد عرضی x و y با اندازه لکه ثابت $w_{0b} = 15\ \mu m$

با بررسی اثر قسمت‌های مختلف نمایه شدت ورودی به کاواک و با تعیین مقدار کمیت I_R از رابطه‌ی (۱۱) رفتار محیط مشخص می‌شود. شکل (۸) نمایش این رفتار را برای محیط CS با بخش غیرخطی ضریب شکست $n_2 = 2.5 \times 10^{-10}\ \left(\frac{w}{cm^2}\right)$ نشان می‌دهد.



شکل(۸): نمودار شدت بازتابی بر حسب شدت ورودی با $R_f = 0.5$, $R_B = 1$, $\alpha d = 0.33$, $\delta = 2.5$, $p = 450$ mw, $w_{0a} = 1$mm, $w_{0b} = 15\mu m$.

شکل (۸) نمودار پسماند را نشان می‌دهد که با افزایش شدت ورودی، کاهش شدیدی در شدت بازتابی در آستانه‌ی سویچینگ بالا(I_D) مشاهده می‌کنیم که به دلیل افت ناگهانی شدت داخل کاواک است یا به بیانی دیگر به دلیل افت ناگهانی در بخش غیرخطی ضریب شکست محیط کربن سولفید می‌باشد. همچنین با کاهش شدت ورودی لیزر افزایش شدیدی در شدت بازتابی در آستانه‌ی سوئیچینگ پایین (I_C) مشاهده می‌کنیم که به دلیل افزایش ناگهانی شدت داخل کاواک است. به عبارتی دیگر می‌توان آن را ناشی از افزایش ناگهانی بخش غیرخطی ضریب شکست محیط دانست. به این ترتیب حلقه‌ی پسماند تشکیل می‌شود و وجود پدیده‌ی دوپایداری نوری را ثبیت می‌کند. همان‌طور که از شکل پیداست آستانه‌ی شدتی که سوئیچ دوپایدار را فعال می‌کند برابر با $I_D = 25 \times 10^4\ \frac{w}{cm^2}$ می‌باشد. با مقایسه این مقدار با توزیع شدت نمایه گاوسی دیده می‌شود تنها بخشی از لکه درون ناحیه ریلی، شدت‌های سوئیچینگ مورد نیاز برای ایجاد پدیده‌ی دوپایداری را بوجود می‌آورند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله عملکرد سوئیچ دوپایدار نوری مورد بررسی قرار گرفت. دیده شد که آستانه شدت برای ایجاد سوئیچینگ دوپایدار با تغییر، R_f از مقدار 0.38 به 0.5 و تغییر αd از مقدار 1 به 0.33 این آستانه از حدود $13\left(\frac{kw}{cm^2}\right)$ به مقدار $5\left(\frac{kw}{cm^2}\right)$ کاهش می‌یابد. بنابراین لازم است برای بهینه‌سازی سوئیچ دوپایدارطراحی شده مقادیر αd و R_f به درستی و با دقت لازم انتخاب شوند. علاوه براین محیط داخل کاواک در معرض تابش لیزری با نمایه‌ی گاوسی قرار گرفت که برای این منظور لکه درون برد ریلی به کاواک وارد شده است. نتیجه اینکه بخش عمده‌ای از این لکه‌ی باعث ایجاد پدیده‌ی دوپایداری می‌شود.

مراجع

[1] .B. Wherrett, "*Fabry-Perot bistable cavity optimization on reflection*," Quantum Electronics, **IEEE Journal** of **20**, 646-651 (1984).

[2].Y. Esnaashari, A. Koohian, S. Jelvani, and S. Abolhosseini, "*Theory of increasing absorption optical bistability and self-focusing in bulk ZnSe*," **Laser Phys**. 15, 415-418 (2005).

[3]. M. Soljačić, M. Ibanescu, S. G. Johnson, Y. Fink, and J. D. Joannopoulos, "*Optimal bistable switching in nonlinear photonic crystals*," **Physical Review** E 66, 055601 (2002).

[۴]. امانـدادی قطب‌آبادی، محمدعلی، قوامی صبوری، سعید و خورسندی علیرضا،۱۳۹۳، "طراحی و مشخصه‌یابی کاواک فابری-پروی دوپایدار نوع بازتابی"، **کنفرانس فیزیک ایران**، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

[5].K.-E. Peiponen, A. Zeitler, and M. Kuwata-Gonokami, *Terahertz Spectroscopy and Imaging* (Springer, 2013).

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]