

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

محمدعلى اماندادى قطبآبادى، سعيد قوامى صبورى، عليرضا خورسندى

دانشکده فیزیک دانشگاه اصفهان

چکیده - در این پژوهش یک سوئیچ دو پایدار 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.

كليد واژه- سوئيچ دوپايداري نوري، آستانه شدت، محيط غيرخطي، نمايه پرتو گاوسي

# 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

#### ۱– مقدمه

وسایل دوپایدار ایده آل برای پردازش دادههای نوری باید کم حجم و سریع باشند[۱]. نیاز به توان سوئیچینگ کـم، عملکرد در دمای اتاق و طول مـوج مرئـی از ویژگـیهای اساسـی ایـن وسایل محسـوب مـیشـود[۲]. بـه منظـور دستیابی به آستانه ی شـدت سـوئیچینگ کـم در وسایل دوپایدار لازم است پارامترهای کاواک آن بهینه شـوند[۱]. معمولاً دوپایداری نوری با مشخصهیابی شـدت بازتـابی یا عبوری به عنوان تابعی از شدت ورودی، بـر اساس حلقـه پسماندی مطالعه میشـود[۳]. در ایـن مقالـه بـه بررسـی بهینهسازی کاواک فابری-پـروی دوپایـدار نـوع بازتـابی و همچنـین اثـر عرضـی نمایـه گاوسـی لیـزر بـر روی محیطغیرخطی *CS* جهـت ایجـاد یـک سـوئیچ دوپایـدار 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 قرار گرفته است. ضریب عبور و بازتاب این کاواک به صورت زیر بیان می شوند [۴].

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

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

که در آنها D طول کاواک،  $\alpha$  ضریب جذب خطی محیط غیر خطی،  $P_f$  و  $R_f$  توانهای بازتاب آیندهای کاواک و  $\varphi$  غیر خطی،  $R_f$  و  $R_f$  توانهای بازتاب آیندهای کاواک و تعییر فاز پرتو در رفت و برگشت میباشند. همچنین  $\pi_{\alpha}$  بازتاب مؤثر میانگین و F ظرافت بازتاب کاواک میباشند. بازتاب مورد 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  $\varphi = N\pi = \varphi = \left(N + \frac{1}{2}\right) = \varphi$  در رابطهی (۱) کمینه و بیشینه بازتاب متناظر با حالتهای پایدار سوئیچ به صورت زیر بدست می آیند.

$$R_{min} = 1 - \frac{1 + R_{\alpha}^2 - R_f - R_B e^{-2\alpha d}}{(1 - R_{\alpha})^2} \times \frac{1}{1 + F}$$
(<sup>(\*)</sup>)

 $R_{max} = 1 - \left[\frac{1 - K_{\alpha} - K_{f} - K_{B} e}{(1 - R_{\alpha})^{2}}\right]$ (\*)  $| \dot{F} | (F_{\alpha})^{2} | (F$ 

به صورت زیر است[۴]:  

$$R_{\rm D} = 4R_{\alpha} \left(\frac{1+(R_{\alpha})^2 - R_{\rm f} - R_{\rm B} e^{-2\alpha d}}{\left(1-R_{\alpha}^2\right)^2}\right) \qquad (\diamond)$$

در شـکل (۲) تغییرات  $R_D$  بر حسب ضرایب بازتاب آینداد کالک R منابعات اندام ت

آینههای کاواک، R<sub>B</sub> و R<sub>f</sub> نشان داده است.



 $R_f$  و  $R_B$  و کاواک  $R_B$  و  $R_B$  مرایب بازتاب آینههای کاواک  $R_B$  و  $\alpha d=1$  به ازای 1=1

همان طور که در شکل بالا نشان داده شده است در  $R_D$  مقدار  $R_D$  بیشینه است. بنابراین می توان متغیر  $R_B = 1$  مقدار و  $R_D$  بیشینه است. بنابراین می توان متغیر  $R_B$  را از فرایند بهینه سازی حذف کرد. اکنون برای در ک اثر  $R_B$  را از  $R_D$  بر آستانه شدت سوئیچینگ، شدت بازتابی  $I_R$  را بر حسب شدت ورودی که با رابطه [۱]:

$$I_R = \mathrm{RI}_0 \tag{(f)}$$

به یکدیگر مربوط میشوند محاسبه میکنیم. نتایج این



همان طور 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 افرایش  $R_D$ ، آستانه شدت سوئیچینگ را کاهش میدهد.

### ۳- بهینهسازی پارامترهای کاواک

رابطه (۵) یک معادلهی اساسی جهت بهینهسازی است. به این منظور R<sub>D</sub> را بر حسب R<sub>f</sub> به ازای مقادیر معین در آشامندگی محیط، αd، محاسبه می کنیم. در شکل زیر نتایج این محاسبه نشان داده شده است.



شکل (۴) : تغییرات *R<sub>D</sub> بر حسب ضریب بازت*اب آینـهی جلـو، *R<sub>f</sub>، بـه* ازای مقادیر مختلف در آشامندگی محیط غیرخطی

دیده می شود بیشترین مقدار  $R_D$  در  $R_f = 0.5$  به ازای ad = 0.35 می شود بیشترین مقدار ad = 0.35 یکی ad = 0.35 دیگر از پارامترهای تأثیر گذار بر شدت آستانهی سوئیچینگ دوپایدار می باشد. برای این کار  $I_D$  را که به شدت بحرانی موسوم است به صورت زیر معرفی می نماییم [1]:

$$\begin{split} I_{\rm D} &= \beta \left[ \frac{\pi}{8} \frac{\left(1 - R_{\alpha}^2\right)^2}{(1 - R_f)(1 + R_{\rm B}e^{-\alpha d})(1 - e^{-\alpha d})R_{\alpha}} \right] \quad (\mathsf{Y}) \\ I_{\rm D} \quad \mathsf{I}_{\rm D} \quad \mathsf{I}_{\rm D} = \frac{\lambda \alpha}{3\pi n_2} \text{ is constrained} \quad \mathsf{I}_{\rm D} \end{split}$$



شكل(۵) نمودار شدت بحرانی بر حسب درآشامندگی محیط غیرخطی برای  $\beta = 3.05 \times 10^3$ ,  $R_f = 0.5$ ,  $R_B = 1$ همان طور كه در شكل (۵) دیده می شود، به ازای  $\alpha d \sim 0.33$  شدت بحرانی كمینه است. همچنین به ازای  $\alpha d \sim 0.33$  م  $\alpha d \geq 0.6 = 0.6$  شدت سوئچینگ به شدت افزایش می یابد. در این حالت  $R_D$  كاهش و آستانه شدت برای سوئیچینگ افزایش می یابد.

۴- شبیهسازی سوئیچ دوپایدار با نمایه گاوسی چیدمان لازم برای ایجاد سوئیچ با نمایه گاوسی در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۴): چیدمان لازم برای ایجاد سوئیچ دوپایدار با نمایه گاوسی. توزیع شـدت پرتـوی گاوسـی بـه صـورت زیـر بیـان میشود[۵]:

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

$$\sum_{b \in C} W_{0b} = \frac{w_{0a}}{\sqrt{\left(1 - \frac{d_1}{f}\right)^2 + \left(\frac{\pi w_{0a}^2}{f\lambda}\right)^2}}$$

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

$$w(z) = w_{0b} \times \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2}$$
(۹)  
که در آن z مسافت انتشار پرتو و  $\frac{\pi w_{0b}^2}{\lambda}$  بازهی

ریلی پس از عدسی می اشند. همچنین  $I_c$  میانگین شدت  $I_c$  داخل کاواک و  $I_R$  شدت بازتابی از آن عبارتند از [۴]:

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

$$I_R = I - I_c \left[ \frac{ad(1 + R_a^2 - R_f - R_B e^{-2\alpha d})}{(1 - R_f)(1 + R_B e^{-\alpha d})(1 - e^{-\alpha d})} \right]$$
(11)

همچنین عبارت  $\delta - \gamma I_c = \gamma I_c - \delta$  در این روابط تغییر فاز پرتو رفت و برگشتی داخل کاواک است. به طوری که  $\gamma$ وابسته به بخش غیرخطی ضریب شکست محیط کربن سولفید ، $n_2$  است که به صورت  $\frac{3\pi n_2 d}{\lambda} = \gamma$  بیان می شود. همچنین در این روابط I توزیع شدت نمایه گاوسی است. پارامترهای انتخاب شده برای شبیه سازی عبارتند از:  $w_{0a} = 1mm$ , f = 7.5cm,  $d_2 = 9cm$ ,  $d_1 = 20cm$ و $m_{0a} = 1mm$ , f = 7.5cm,  $d_2 = 9cm$ ,  $d_1 = 20cm$ و $m_{0a} = 1mm$ , f = 7.5cm,  $d_2 = 9cm$ ,  $d_1 = 20cm$ و $m_{0a} = 1mm$ , f = 7.5cm,  $d_2 = 9cm$ ,  $d_1 = 20cm$ و $m_{0a} = 1mm$ , f = 7.5cm,  $d_2 = 9cm$ ,  $d_1 = 20cm$ 



شکل(۲): توزیع شدت نمایه گاوسی با ابعاد عرضی x و y با اندازه لکه ثابت $w_{0b}=15~\mu{
m m}$ 

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



شـكل(۸): نمـودار شـدت بازتـابی بـر حسـب شـدت ورودی بـا  $R_f = 0.5$  ,  $R_B = 1$  ,  $\alpha d = 0.33$  ,  $\delta = 2.5$  , p = 450 mw,  $w_{0a} = 1$  mm,  $w_{0b} = 15$  µm. شكل (۸) نمودار پسماند را نشان می دهد كـه بـا افـزایش شـدت ورودی، كـاهش شـدیدی در شـدت بازتـابی در آستانهی سویچینگ بالا $(I_D)$  مشاهده می كنیم كه به دلیل افت ناگهانی شدت داخل كاواک است یا به بیانی دیگر بـه دلیل افت ناگهانی در بخـش غیـرخطی ضریب شكسـت محیط كربن سولفید می باشد. همچنین بـا كـاهش شـدت

ورودی لیزر افزایش شدیدی در شدت بازتابی در آستانه ی سوئیچینگ پایین  $(I_c)$  مشاهده می کنیم که به دلیل افزایش ناگهانی شدت داخل کاواک است. به عبارتی دیگر می توان آن را ناشی از افزایش ناگهانی بخش غیر خطی ضریب شکست محیط دانست. به این ترتیب حلقه ی پسماند تشکیل می شود و وجود پدیده ی دوپایداری نوری پسماند تشکیل می شود و وجود پدیده ی دوپایداری نوری را ثبیت می کند. همان طور که از شکل پیداست آستانه ی شدتی که سوئیچ دوپایدار را فعال می کند برابر با شدتی که سوئیچ دوپایدار را فعال می کند برابر با توزیع شدت نمایه گاوسی دیده می شود تنها بخشی از لکه درون ناحیه ریلی، شدتهای سوئیچینگ مورد نیاز برای ایجاد پدیده ی دوپایداری را بوجود می آورند.

### نتيجهگيرى

در این مقاله عملکرد سوئیچ دوپایدار نوری مورد بررسی قرار گرفت. دیـده شـد کـه آسـتانه شـدت بـرای ایجـاد سوئیچینگ دوپایدار با تغییر،  $R_{f}$  از مقدار 0.38 بـه 0.5 و تغییـر da از مقـدار 1 بـه 0.33 ایـن آسـتانه از حـدود  $\left(\frac{kw}{cm^2}\right)$  13 به مقدار  $\left(\frac{kw}{cm^2}\right)$  5 کاهش مییابد. بنابراین لازم است برای بهینه سازی سوئیچ دوپایدارطراحی شده مقادیر da و  $R_{f}$  به درستی و با دقـت لازم انتخـاب شـوند. عـلاوه براین محیط داخـل کـاواک در معـرض تـابش لیـزری بـا نمایه ی گاوسی قرار گرفت که برای این منظور لکـه درون برد ریلی به کاواک وارد شده است. نتیجـه اینکـه بخـش عمدهای از ایـن لکـهی باعـث ایجـاد پدیـدهی دوپایـداری

مىشود.

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 selffocusing 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).

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