



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و  
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس  
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،  
دانشگاه شیراز،  
شیراز، ایران.  
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷



## تولید پرتو حلقوی با شعاع قابل کنترل در سلول بلورمایع آلائیده با رنگینه‌ی آزو

<sup>۱</sup> زهرا بهجت<sup>۱،۲</sup>، فرزانه پناهی<sup>۱</sup>، حبیب خوش سیما<sup>۱</sup>، آرش ثباتیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشکده‌ی فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

چکیده - در این مقاله روشی نوین برای تولید باریکه حلقوی کوک پذیر با میدان الکتریکی خارجی گزارش می‌شود. روش کار بر اساس استفاده از تکنیک ذخیره سازی طرح ماسک تیغه منطقه ای فرنل با تغییرات شعاع فازی (RPS FZP) بر روی سلول بلور مایع نماتیکی ۱۲۹۴-b۱ آلائیده با رنگینه آزو می‌باشد. تغییرات شعاع باریکه حلقوی با میدان الکتریکی خارجی کاربردهای بسیار جالبی در بیوفوتیک و صنعت فراهم میکند. از سویی چیدمان اپتیکی ساده و عدم نیاز به طراحی سلولهای مختلف برای دستیابی به شعاعهای متفاوت از دیگر ویژگیهای بارز این کار می‌باشد.

کلید واژه- باریکه حلقوی، بلورمایع، پراش، تیغه منطقه ای فرنل.

## Generation of electrical tunable Annular beam in the cell of dye doped liquid crystal

Zahra Behjat<sup>1,2</sup>, Farzane Panahi<sup>1</sup>, Habib Khoshsima<sup>1</sup>, and Arash Sabatyan<sup>2</sup>

Research Institute for Applied Physics & Astronomy, University of Tabriz, Tabriz

<sup>2</sup>Department of Physics, Science Faculty, University of Urmia, Urmia

**Abstract-** In this paper we report a novel way for generating tunable Annular beam. The method is based on recording the printed pattern of Radial shifted Fresnel zone plate (RSP FZP) on the cell of 1294-1b liquid crystal doped with dye. Varying the radius of annular beam or being tunable with the external electrical field, supply interesting application for our sample both in bio photonics and in industry. Moreover, simplicity in creating electrical tunable annular beam is another interesting feature of this technique.

**Keywords:** Annular Beam, Liquid crystal, Diffraction, Fresnel Zone Plate.

شیفت فازی شعاعی (RSFZP) باعث تولید عدسی کوک پذیر برای تولید باریکه حلقوی با شعاع مطلوب می‌باشد.

## مقدمه

موج حلقوی موجی با توزیع شدت متمرکز شده در یک حلقه است که شدت در مرکز چنین حلقه ای برابر با صفر می باشد [۱]. پرتوهای حلقوی به روشهای متعددی تولید می شوند بعنوان مثال می توان با کسر کردن دو پرتو گوسین با بیشینه شدت یکسان ولی پهناهای متفاوت از هم، پرتو حلقوی را تولید کرد. همچنین از قطعات پراشی اپتیکی مانند تیغه های منطقه ای فرنل می توان برای تغییر توزیع شدت یک منبع نور موجود به توزیع دلخواه استفاده کرد. اخیرا [۲] با اعمال شیفت فازی شعاعی به تیغه منطقه ای فرنل دایره ای و تابش پرتو تخت لیزری به آن، پرتو حلقوی در کانون این لنز پراشی به دست آمده است. شعاع باریکه حلقوی با فاکتور تغییر شیفت فازی شعاعی ارتباط مستقیم داشته و به ازای یک پارامتر شیفت فازی شعاعی خاص طبق روابطی که در قسمت بعدی ارائه خواهد شد، تنها یک باریکه حلقوی منحصر بفرد می توان تولید کرد. شکل دهی پرتو به شکل حلقوی کاربرد های جالبی همچون در تله اندازی اپتیکی، توییزرها، جراحی های لیزری، برشهای لیزری صنعتی و غیره دارد. در روشهایی که تاکنون ارائه شده اند، برای رسیدن به شعاع باریکه حلقوی مطلوب، نیازمند طراحی نمونه های جدید و تنظیم مجدد چیدمان اپتیکی هستیم که روشهای فوق از نظر زمان و هزینه قابلیت کاربردی نخواهند داشت لذا در این کار تحقیقاتی ما برای اولین بار روشی ارائه کرده ایم که میتوان باریکه حلقوی با شعاع کنترل پذیر با میدان الکتریکی تولید کنیم. عدسی های فرنل مبتنی بر بلورمایع، به دلیل دوشکستی های بزرگ بلور مایع ها و همچنین، کنترل پذیری آنها با میدان خارجی، مورد استقبال و مطالعات فراوانی قرار گرفته اند [3]. لذا در این کار تحقیقاتی با استفاده از تکنیک ذخیره سازی طرح در سلول بلور مایع آلاییده با رنگینه، سلول مورد نظر را خواهیم ساخت. ترکیب بلورمایع با تیغه منطقه ای فرنل

## مبانی نظری

تابع عبور یک fzp به فرم زیر تعریف میشود:

$$T(r) = \frac{1}{2} (1 + \text{sgn}(\cos \frac{k}{2f} r^2)) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin(n\pi/2)}{n\pi} \exp(-ikr^2/2f) \quad (1)$$

قسمت موهومی تابع عبور یا عبارتی توزیع فازی تیغه منطقه ای فرنل در تقریب پیرامحوری به فرم زیر می‌باشد:

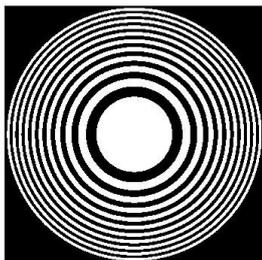
$$\phi(r) = -\frac{2\pi}{\lambda} \frac{r^2}{2f} \quad (2)$$

که در آن  $r$  مولفه شعاعی،  $f$  فاصله کانونی و  $\lambda$  طول موج نور است. توزیع فازی تیغه منطقه ای فرنل با شیفت فازی شعاعی به صورت زیر می باشد:

$$\phi(r) = -2\pi \frac{(r - \alpha R)^2}{2\lambda f} \quad (3)$$

که در آن  $R$  شعاع قطعه پراشی و  $\alpha$  پارامتر جابجایی شعاعی می باشد. نشان داده شده است که توزیع شدت برای رابطه (۳) متناسب با تابع دلتا یا باریکه های حلقه ای می‌باشد [۲]. با ترسیم قسمت موهومی تابع عبور تیغه در برنامه MATLAB نمونه های فازی یا طرح فرنل مطلوب طراحی می شوند.

به هنگام آرایش بلورمایع با رنگینه ای آزو، رنگینه ها تحت اثر جهتگیری بلورهای مایع آرایش یافته و منظم می شوند. از سویی وجود خواص نور القایی در آروها به هنگام تابش نور در محدوده ای جذبی رنگینه ها احتمال وقوع پدیده فوتوایزومریزاسیون ترانس - سیس - ترانس را شکل میدهد و پس از طی چرخه های متوالی دایرکتور مولکولی عمود بر قطبش نور فرودی جهتگیری می شود. عبارتی حضور میدان نوری سبب بازجهتگیری نور القایی رنگینه های آزو می شود. این بازجهتگیری روی مولکول های



شکل ۱: طرح ماسک (تیغه منطقه ای فرنل با شیفت فازی شعاعی با  $(\alpha=0,05)$ )

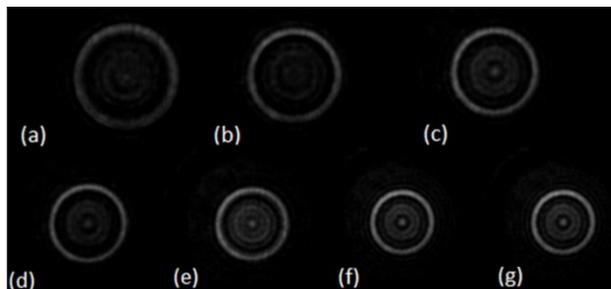
برای ساخت عدسی فرنل مبتنی بر ثبت الگوی فرنل در بلورمایع، از سلول های آماده ی تهیه شده از شرکت AWAT-PPT لهستان، با آرایش موازی HG و با ضخامت ۵۰ میکرومتر استفاده شده است. ساختار سلول طبق شکل ۲، شامل لایه ی بیرونی شیشه ای، لایه ی رسانای شفاف ITO، و لایه ی داخلی پلیمری PVA می باشد. لایه ی شیشه ای برای سوار کردن زیر لایه ها در سلول استفاده شده است و به علت اینکه شفاف نسبت به نور مرئی است، گزینه ی مناسبی برای مطالعات اپتیکی است. ITO به دلیل اینکه ماده ای شفاف و رسانا می باشد، جهت اعمال میدان الکتریکی در سلول، مورد استفاده قرار گرفته است. لایه ی پلیمری نیز برای جهت دهی سطح سلول و ایجاد لنگراندازی با مولکول های بلورمایع، استفاده شده است. بلورمایع مورد استفاده در این سلول از نوع ۱۲۹۴- b1 با دوشکستی ۰,۳۱۲، ضریب شکست عادی ۱,۵۰۱ و غیرعادی ۱,۸۱۳، و رنگینه ی آزو متیل رد به مقدار ۱ درصد وزنی مورد استفاده قرار گرفت. سلول به مدت ۱ ساعت درون کوره با دمای ۷۰ درجه و همچنین ۱۶ ساعت در دمای ۴۰ درجه، به منظور سرد شدن تدریجی بلورمایع و جایگیری بهتر بلورمایع در شیارهای سلول قرار داده شد. نهایتاً سلول طبق شکل ۲ در مقابل تابش باریکه نویسنده قرار می گیرد. باریکه نویسنده لیزر دیودی سبز ( $\lambda=532\text{nm}$ ) با توان ۱۰۰ mW و قطبش P (میدان الکتریکی موازی شیاره ای سلول) می باشد.

بلورمایع گشتاوری را اعمال می کند که نهایتاً سبب بازجهتگیری بلورهای مایع نیز می شوند. با ثبت طرح فرنل روی سلول، سطوح سلول دارای نواحی تاریک و روشن می شود. در واقع در نواحی نوردهی شده، مولکول ها عمود بر راستای نظم اولیه ی سلول (HG) جایگیری می کنند و به دلیل دوشکستی بالا در مولکول های بلورمایع، این امر منجر به اختلاف ضریب شکست در نواحی تاریک و روشن بین آن ها می شود [۴]. با اعمال میدان الکتریکی، اختلاف فاز بین نواحی روشن و تاریک القا می شود. بنابراین، ضریب شکست و در نتیجه، بهره ی پراش یک عدسی فرنل می تواند بصورت الکتریکی مدوله شود. از آنجاییکه در قطعه مورد نظر ما کانونی سازی بر اساس اپتیک پراشی است، طبیعتاً تغییر در بهره ی پراش بر نحوه کانونی شدن پرتو بر روی حلقه شدتی موثر خواهد بود.

### شبیه سازی عددی و ترتیبات تجربی

برای طراحی ماسک، نمونه ای با شعاع  $R=2.5\text{mm}$  که متناسب با ابعاد ناحیه ی فعال الکتریکی سلول است و همچنین  $f=130\text{mm}$ ،  $\lambda=632.8\text{nm}$  و  $\alpha=0.05$  را در برنامه مطلب شبیه سازی کرده و به روش لیتوگرافی بر روی فیلم لیتوگرافی تجاری چاپ می کنیم. همانطور که قبلاً توضیح داده شد، به ازای  $\alpha$  بخصوص  $(0 \leq \alpha \leq 1)$ ، شعاع حلقه پرتو بسلی در صفحه کانونی تیغه منطقه ای فرنل در محاسبات عددی شبیه سازی و همچنین در چیدمان تصویرگیری همدوس، یک مقدار ثابت و منحصر بفرد حاصل می شود بنابراین برای دسترسی به سایر شعاعهای مطلوب باید طرح جدید با  $\alpha$  دیگری ترسیم نمود. طبیعی است حالت  $\alpha=0$  منطبق بر تیغه منطقه ای فرنل کلاسیک می باشد که توزیع شدت مربوط به آن نقطه ای می باشد، همچنین با افزایش فاکتور  $\alpha$  شعاع پرتو حلقوی افزایش می یابد. نمونه به کار گرفته شده در این کار، (تیغه منطقه ای فرنل با شیفت فازی شعاعی با  $\alpha=0.05$ ) در شکل ۱ نشان داده شده است.

میدهد. قابل ذکر است تغییرات شعاع باریکه حلقوی در ۵۰ ولت به حالت پایدار میرسد. لازم به ذکر است شعاع باریکه حلقوی از ۲۰۰ میکرومتر در ۰ ولت به ۱۲۵ میکرومتر در ولتاژ ۵۰ ولت خواهد رسید.



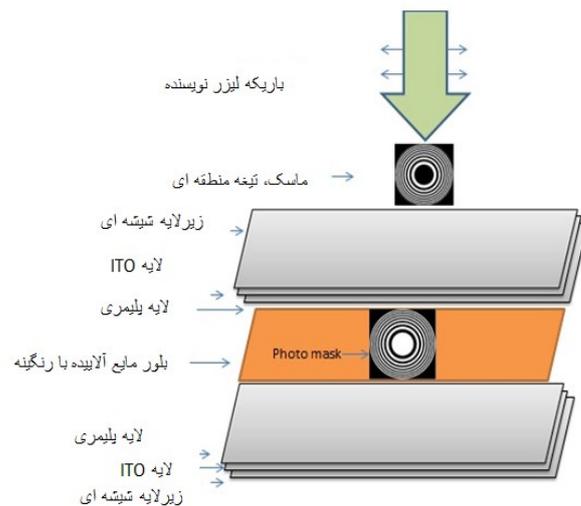
شکل ۳: توزیع شدت عرضی در صفحه کانونی به ازای ولتاژهای اعمالی به ترتیب از صفر در (a) تا پنجاه ولت در (f) و پنجاه ولت در (g).

### نتیجه‌گیری

در این کار، عدسی فرنل کوک پذیر با میدان الکتریکی بر پایه‌ی بلورمایع آلاینده با رنگینه‌ی آزو توسط تکنیک ثبت الگو با ماسک، ساخته شد که با افزایش ولتاژ اعمالی به سلول، می‌توان شعاع باریکه حلقوی را کنترل کرد.

### مرجع‌ها

- [1] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier optics*, Mc Graw- Hill Book Company, New York, (1996) 99-100 & 66-67
- [2] Arash Sabatyan and Bahar Meshgingalam, "Generation of annular beam by a novel class of Fresnel zone plate"; *Applied Optics*, Vol. 53, No. 26, pp.5995-5996, 2014.
- [3] H.-C. Yeh, Y.-C. Kuo, S.-H. Lin, J.-D. Lin, T.-S. Mo, and S.-Y. Huang, "Optically controllable and focus-tunable Fresnel lens in azo-dye-doped liquid crystals using a Sagnac interferometer.," *Opt. Lett.*, Vol. 36, No. 8, pp. 1311-1313, 2011.
- [4] F. Moghadas, H. Khoshsima, and B. Olyaeefar, "High diffraction efficiency in permanent optical memories based on Methyl Red doped liquid crystal," *Opt. Quantum Electron.*, Vol. 47, No. 2, pp.225-233, 2014.
- [5] S.-C. Jeng, S.-J. Hwang, J.-S. Horng, and K.-R. Lin, "Electrically switchable liquid crystal Fresnel lens using UV-modified alignment film.," *Opt. Express*, 18(25), pp. 26325-26331, 2010.



شکل ۲: سلول مورد استفاده برای ثبت طرح توسط لیزر آرگون

به منظور بررسی نحوه تغییرات توزیع شدت در کانون به ازای ولتاژهای متفاوت، سلول آماده شده در چیدمان تصویرگیری اپتیکی قرار داده می‌شود. در این آرایش تجربی، از لیزر گازی هلیوم - نئون ۱۷ میلی واتی با پروفایل شدت گوسی با طول موج ۶۳۲٫۸ نانومتر، که به دور از محدوده‌ی طول موج جذبی رنگینه‌ی متیل‌رد است، استفاده کردیم. همچنین، با افزودن قطبشگر به چیدمان، پرتو را عمود بر سلول در نظر گرفتیم چراکه در حالت موازی بر شیارهای سلول، هیچگونه تغییری ناشی از وجود عدسی فرنل در نور خروجی از سلول مشاهده نشد. با توجه به راستای قطبش، پرتوی کاوشگر در نواحی تاریک الگوی فرنل ne و در نواحی روشن، no را تجربه خواهد کرد. سپس با اعمال میدان الکتریکی متناوب مربعی به سلول توسط ژنراتور تابعی با فرکانسی برابر ۱٫۵ kHz، بردار راهنمای مولکول‌های بلور مایع دستخوش تغییر می‌شوند [۵] که نتیجه‌ی آن، تغییر در ضریب شکست بلورمایع در هر دو ناحیه‌ی روشن و تاریک الگوی فرنل و در نتیجه، تغییر در بهره‌ی پراش و نحوه کانونی شدن پرتو بر روی حلقه شدتی می‌باشد.

شکل (a) تا (g) توزیع شدت عرضی در صفحه کانونی که توسط CCD ثبت شده و به کامپیوتر منتقل شده اند را به ازای ولتاژهای اعمالی از ۰ تا ۵۰ به ترتیب نشان