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

زهرا بهجت [۱و۲]،فرزانه پناهی[۱]،حبیب خوش سیما[۱]،آرش ثباتیان [۲]

[۱] پژوهشکده‌ی فیزیک کاربردی و ستاره شناسی، دانشگاه تبریز
[۲] گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

چکیده - در این مقاله روشی نوین برای تولید باریکه حلقوی کوک پذیر با میدان الکتریکی خارجی گزارش می شود. 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 می باشد.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 می باشد.

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[1, 2], Farzane Panahi[1] , Habib Khoshsima[1], and Arash Sabatyan[2]

Research Institute for Applied Physics & Astronomy, University of Tabriz, Tabriz
[2]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.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

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 ارایه 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 ارایه شده اند، برای رسیدن به شعاع باریکه حلقوی مطلوب، نیازمند طراحی نمونه های جدید وتنظیم 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 ارایه کرده ایم که میتوان باریکه حلقوی با شعاع کنترل پذیر با میدان الکتریکی تولید کنیم. عدسی‌های فرنل مبتنی بر بلورمایع، به‌دلیل دوشکستی‌های بزرگ بلور مایع ها و همچنین، کنترل پذیری آن‌ها با میدان خارجی، مورد استقبال و مطالعات فراوانی قرار گرفته‌اند[3]. لذا در این کار تحقیقاتی با استفاده از تکنیک ذخیره سازی طرح در سلول بلور مایع آلائیده با رنگینه، سلول موردنظر را خواهیم ساخت. ترکیب بلورمایع با تیغه منطقه ای فرنل شیفت فازی شعاعی(RSFZP) باعث تولید عدسی کوک پذیر برای تولید باریکه حلقوی با شعاع مطلوب میباشد.

مبانی نظری

تابع عبور یک fzp به فرم زیر تعریف میشود:

$$T(r)=\frac{1}{2}(1+\mathrm{sgn}(\cos\frac{k}{2f}r^2))= \sum_{n=-\infty}^{\infty}\frac{\sin(n\pi/2)}{n\pi}\exp(-ikr^2/2f) \quad (۱)$$

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

$$\phi(r)=-\frac{2\pi}{\lambda}\frac{r^2}{2f} \quad (۲)$$

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

$$\phi(r)=-2\pi\frac{(r-\alpha R)^2}{2\lambda f} \quad (۳)$$

که در آن R شعاع قطعه پراشی و α 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 آلایش بلورمایع با رنگینه‌ی آزو، رنگینه‌ها تحت اثر جهتگیری بلورهای مایع آرایش یافته و منظم می‌شوند. از سویی وجود خواص نور القایی در آزوها به هنگام تابش نور در محدوده‌ی جذبی رنگینه‌ها 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 می‌شود. بعبارتی حضور میدان نوری سبب بازجهتگیری نور القایی رنگینه‌های آزو می‌شود. این بازجهتگیری روی مولکول‌های

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

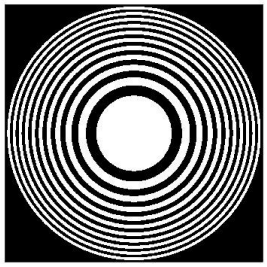
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

بلورمایع گشتاوری را اعمال می‌کند که نهایتا سبب بازجهتگیری بلورهای مایع نیز می‌شوند. با ثبت طرح فرنل روی سلول ، سطوح سلول دارای نواحی تاریک و روشن می‌شود. درواقع در نواحی نوردهی شده، مولکول‌ها عمود بر راستای نظم اولیه‌ی سلول (HG) جایگیری می‌کنند و به دلیل دوشکستی بالا در مولکول‌های بلورمایع، این امر منجر به اختلاف ضریب شکست در نواحی تاریک و روشن بین آن‌ها می‌شود [۴]. با اعمال میدان الکتریکی، اختلاف فاز بین نواحی روشن و تاریک القا می‌شود. بنابراین، ضریب شکست و درنتیجه، بهره‌ی پراش یک عدسی فرنل می‌تواند بصورت الکتریکی مدوله شود. از آنجاییکه در قطعه مورد نظر ما کانونی سازی بر اساس اپتیک پراشی است ، طبیعتا تغییر در بهره‌ی 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=2.5mm که متناسب با ابعاد ناحیه‌ی فعال الکتریکی سلول است و همچنین f=130mm، λ=632.8nm و α=0.05 را در برنامه مطلب شبیه سازی کرده و به روش لیتوگرافی بر روی فیلم لیتوگرافی تجاری چاپ می کنیم.

همانطور که قبلا توضیح داده شد، به ازای α بخصوص (0≤α≤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 میشود بنابراین برای دسترسی به سایر شعاعهای مطلوب باید طرح جدید با α دیگری ترسیم نمود. طبیعی است حالت α=0 منطبق بر تیغه منطقه ای فرنل کلاسیک می باشد که توزیع شدت مربوط به آن نقطه ای می باشد ، همچنین با افزایش فاکتور α شعاع پرتو حلقوی افزایش می یابد. نمونه به کار گرفته شده در این کار، (تیغه منطقه ای فرنل با شیفت فازی شعاعی با α=0.05) در شکل ۱ نشان داده شده است.



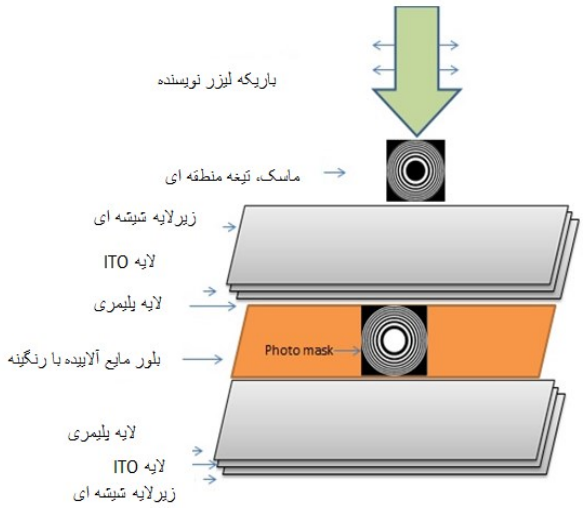
شکل ۱: طرح ماسک (تیغه منطقه ای فرنل با شیفت فازی شعاعی با α=۰,۰۵)

برای ساخت عدسی فرنل مبتنی بر ثبت الگوی فرنل در بلورمایع، از سلول های آماده‌ی 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 لایه‌ی بیرونی شیشه‌ای، لایه‌ی رسانای شفاف ITO، و لایه‌ی داخلی پلیمری PVA می‌باشد. لایه‌ی شیشه‌ای برای سوار کردن زیر لایه‌ها در سلول استفاده شده است و به‌علت اینکه شفاف نسبت به نور مرئی است، گزینه‌ی مناسبی برای مطالعات اپتیکی است. ITO به‌دلیل اینکه ماده‌ای شفاف و رسانا می‌باشد، جهت اعمال میدان الکتریکی در سلول، مورد استفاده قرار گرفته است.لایه‌ی پلیمری نیز برای جهت‌دهی سطح سلول و ایجاد لنگراندازی با مولکول‌های بلورمایع، استفاده شده است. بلورمایع مورد استفاده در این سلول از نوع ۱۲۹۴-b۱ با دوشکستی ۰,۳۱۲ ضریب شکست عادی ۱,۵۰۱ و غیرعادی ۱,۸۱۳ ، و رنگینه‌ی آزو متیل‌رد 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، به‌منظور سرد شدن تدریجی بلورمایع و جایگیری بهتر بلورمایع در شیارهای سلول قرار داده شد.

نهایتا سلول طبق شکل ۲ در مقابل تابش باریکه نویسنده قرار می گیرد. باریکه نویسنده لیزر دیودی سبز (λ=532nm) با توان mW۱۰۰ و قطبش P (میدان الکتریکی موازی شیاره ای سلول) می باشد.

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

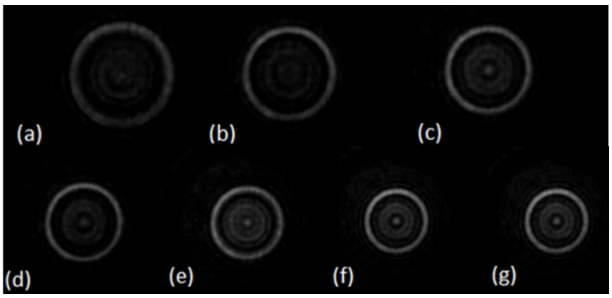
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]



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 می شود. 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 می باشد.

شکل۳(a) تا ۳(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 میدهد. قابل ذکر است تغییرات شعاع باریکه حلقوی در ۵۰ ولت به حالت پایدار میرسد. لازم به دکر است شعاع باریکه حلقوی از ۲۰۰ میکرومتر در ۰ ولت به ۱۲۵ میکرومتر در ولتاژ ۵۰ولت 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 آلاییده 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.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]