بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

مطالعه‌ی تجربی عدسی فرنل مبتنی بر ثبت الگو با فاصله‌ی کانونی کوک‌پذیر در بلورمایع آلائیده با رنگینه‌ی آزو

حبیب خوش‌سیما [۱]، مهرزاد جوادزاده [۱]

[۱] پژوهشکده‌ی فیزیک کاربردی و ستاره شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز

چکیده – عدسی‌های فرنل مبتنی بر بلورمایع، به‌دلیل دوشکستی‌های بزرگ این مواد و همچنین، کنترل پذیری آن‌ها با میدان خارجی، مورد استقبال و مطالعات فراوانی قرار گرفته‌اند. کنترل دقیق فاصله‌ی کانونی یک عدسی می‌تواند از ابزارهای قابل توجه فوتونیکی باشد. در این مقاله، روشی تجربی برای ساخت عدسی فرنل مبتنی بر ثبت الگو در بلورمایع نماتیکی *1294-1b* و آلائیده با رنگینه ارائه می شود. دوایر تاریک و روشن متحدالمرکز با تعداد ۲۵ حلقه توسط ماسک لیتوگرافی شده و لیزر دیودی *λ=532nm* به روش ثبت الگو روی سلول بلورمایع ثبت شدند. پس از ساخت عدسی، فاصله‌ی کانونی در ولتاژ صفر از ۳۳ سانتیمتر به ۲۲۵ سانتیمتر در ولتاژ ۲۰ ولت تغییر می‌یابد.

کلید واژه- بلورمایع، عدسی، الگوی فرنل، پراش، عدسی فرنل.

Experimental study of tunable layout printed Fresnel lens structure based on dye doped liquid crystal (DDLC)

Habib Khoshsima [1], Mehrzad Javadzadeh [1]

[1] Research Institute for Applied Physics & Astronomy, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract- Fresnel lenses based on liquid crystals, because of LC's large birefringence & also tunable optical properties, have attracted considerable attention in photonics. Precise controlling of focal length in a lens, can be kind of remarkable tools in photonics. In this article, we introduce a layout printing way for producing Fresnel zone on 1294-1b liquid crystal doped with dye. With layout printing technique, we recorded 25 zones on cell with λ=532nm diode laser. After producing, DDLC Fresnel lens have 33 cm focal length at 0 v and 225 cm focal length at 20 v.

Keywords: Liquid crystal, Lens, Fresnel zone, Diffraction, Fresnel lens.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-17]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

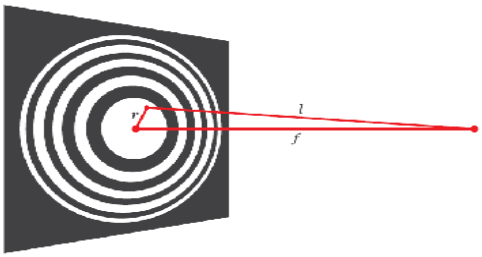
۱- مقدمه

عدسی‌های فرنل، گونه ای از عدسی‌ها هستند که در آن‌ها از خاصیت پراش به‌جای شکست برای کانونی کردن نور استفاده می‌شود. از خواص این عدسی‌ها می‌توان به سبک بودن، بزرگ بودن، تخت بودن و جذب کم نور اشاره کرد[1]. این نوع عدسی‌ها پیشتر نیز در فوتونیک استفاده شده‌اند[2]. روش‌های معمول ساخت عدسی فرنل بر پایه‌ی فوتوماسک‌های الگودهی شده یا الکترودهایی به شکل حلقه‌های متحدالمرکز است. به‌دلیل اینکه فاصله‌ی کانونی عدسی فرنل بستگی به شعاع ناحیه‌ی اول دارد، فوتوماسک‌ها یا الکترودهای تولید شده فقط در یک فاصله‌ی کانونی ثابت قابل استفاده خواهند بود که این باعث محدودیت در شعاع کاری عدسی‌ها خواهد شد[3]. از کاربردهای عدسی فرنل می‌توان به تصویربرداری اپتیکی، ارتباطات راه دور اپتیکی و کاربرد در اکتشافات فضایی نام برد. یک عدسی فرنل می‌تواند توسط مواد مختلفی همچون SiO_2 (شیشه) یا Si_3N_4 توسط روش‌هایی همچون لیتوگرافی، اچینگ، فرز یونی یا تکنیک جایگیری فیلم نازک تولید شود. پیش از این هردو نوع عدسی فرنل با فاصله‌ی کانونی ثابت و کنترل‌پذیر با میدان الکتریکی گزارش شده اند[4]، که در نوع دوم، از بلورمایع مخلوط شده با پلیمر[5] استفاده شده است. بلورمایع به‌دلیل ساخت آسان، کنترل پذیری خواص اپتیکی[3]، خواص برتر الکترواپتیکی و نیاز به ولتاژهای کاری پایین[6]، نامزد خوبی برای ساخت عدسی‌های قابل کنترل با میدان الکتریکی می‌باشد[4]. این درحالی است که وجود پلیمر در ساختار بلورمایع آلائیده با رنگینه‌ی آزو خود باعث ایجاد پراکندگی نور مربوط به تصویر از حلقه‌های عدسی فرنل می‌گردد. در این مطالعه، با استفاده از تکنیک ذخیره سازی طرح در سلول بلور مایع، ساختار هندسی یک عدسی فرنل در سلول بلورمایع آلائیده با رنگینه ثبت می‌شود. ترکیب بلورمایع با طرح فرنل باعث تولید عدسی کوک پذیر برای تغییر فاصله‌ی کانونی می‌شود. با اعمال میدان الکتریکی، اختلاف فاز بین نواحی زوج و فرد توسط بازجهتگیری مولکول‌های بلورمایع القا می‌شود. بنابراین، ضریب شکست و درنتیجه، بهره‌ی پراش یک عدسی فرنل می‌تواند بصورت الکتریکی مدوله شود[7].

۲- مبانی نظری

یک عدسی فرنل، از n حلقه‌ی دارای تقارن شعاعی متحدالمرکز به گونه‌ای ساخته می‌شود که با افزایش شعاع حلقه‌ها، فاصله‌ی آن‌ها از هم کاهش می‌یابد که در این صورت، مساحت حلقه‌ها ثابت خواهد ماند. این حلقه‌ها بصورت یک‌درمیان تاریک و روشن هستند. به‌منظور بررسی عدسی فرنل، نور فرودی را بصورت جبهه‌ی موج تخت درنظر گرفتیم. هدف، بدست آوردن شعاع منطقه‌ی اول برای یک عدسی فرنل با فاصله‌ی کانونی ثابت f است. در شکل (۱)، نمای شماتیکی از یک الگوی مربوط به عدسی فرنل نشان داده شده است. برای شروع، یک نقطه‌ی منبع در صفحه‌ی عدسی فرنل در منطقه‌ی اول در فاصله‌ی r از مرکز عدسی تجسم می‌کنیم. به این ترتیب، l حداکثر مسیر طی شده در ناحیه‌ی اول تا کانون است:

$$l = \sqrt{r^2 + f^2} \qquad (۱)$$



شکل ۱: نقطه‌ی منبع در ناحیه‌ی اول و فاصله‌ی کانونی f و طول راه نوری l

و برای بدست آوردن شعاع نواحی دیگر می‌توان نوشت[8]:

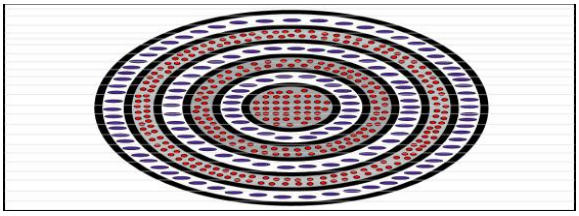
$$r_n = \sqrt{nr_1} \qquad (۲)$$

آلایش بلورمایع با رنگینه‌ی آزو سبب بروز خواص نور القایی جالبی در این مواد می‌شود. ترکیبات آزو، موادی مرکب از گروه‌های $R\text{-}N{=}N\text{-}R`$ می‌باشند که $R$ و $R`$ می‌توانند گروه‌های آلکیلی باشند. به علت عدم استقرار پیوند π گروه آزو ($N{=}N$)، شکل مولکولی رنگینه‌های آزو می‌توانند دستخوش تغییرات شوند. لذا این ترکیبات به دو شکل فضایی ایزومرهای ترانس و سیس ظاهر می‌شوند. با تابش نور در محدوده‌ی جذبی رنگینه‌ها، احتمال وقوع فوتوایزومریزاسیون ترانس – سیس – ترانس شکل می‌گیرد.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-17]

در هر بار وقوع چرخه، موقعیت و جهت گیری مولکول‌ها بطور تصادفی جابه جا می‌شود. لذا پس از وقوع چرخه به دفعات، مولکول‌ها از راستای قطبش نور فرودی دور می‌شوند (عمود بر آن می‌شوند) و تمایل کمتری به جذب نور و شرکت در چرخه پیدا می‌کنند تا اینکه به تدریج بر تعداد این مولکول‌ها افزوده می‌شود و دایرکتور مولکولی عمود بر قطبش نور فرودی جهتگیری می‌کند. با آلایش بلورمایع با رنگینه‌ی آزو، رنگینه‌ها تحت اثر جهتگیری بلورهای مایع آرایش یافته و منظم می‌شوند. حضور میدان نوری سبب بازجهتگیری نور القایی رنگینه‌های آزو می‌شود. این بازجهتگیری روی مولکول‌های بلورمایع گشتاوری را اعمال می‌کند که نهایتا سبب بازجهتگیری بلورهای مایع نیز می‌شوند. با ثبت طرح فرنل روی سلول و ایجاد عدسی به شیوه‌ی ثبت الگو، سطوح سلول دارای نواحی تاریک و روشن می‌شود. درواقع در نواحی نوردهی شده، مولکول‌ها عمود بر راستای نظم اولیه‌ی سلول *(HG)* جایگیری می‌کنند (به عبارتی دارای نظم *HT* می‌شوند) و به دلیل دوشکستی بالا در مولکول‌های بلورمایع، این امر منجر به اختلاف ضریب شکست در نواحی تاریک و روشن بین آن‌ها می‌شود. همچنین در نواحی روشن با حصول انرژی کافی از نور، یونش ناخالصی‌های ذاتی و افزوده شده (رنگینه‌ها) ممکن می‌شود و با اعمال میدان الکتریکی خارجی، یون‌های ایجاد شده از هم جدا می‌شوند و بنابه جهت میدان اعمالی پخش می‌شوند. در اثر جدا شدن این بارها از هم بین آن‌ها و نواحی بدون بار (نواحی تاریک) میدان الکتریکی تحت عنوان میدان بار فضایی شکل می‌گیرد. این میدان اگر در راستای متفاوت با راستای میدان الکتریکی خارجی باشد، می‌تواند منجر به بازجهتگیری دایرکتور مولکولی و مدولاسیون ضریب شکست و در نتیجه، تغییر بهره‌ی پراش گردد[7]. شکل(۲)، نمای شماتیکی از جهتگیری مولکول‌های بلورمایع پس از ثبت الگوی فرنل را نشان می‌دهد:



شکل ۲: طرح شماتیک سطح مقطع عدسی فرنل مبتنی بر بلورمایع بعد از ثبت طرح. خطوط افقی کم‌رنگ جهت الگودهی سلول هستند.

۳ – کارهای تجربی

برای ساخت عدسی فرنل مبتنی بر ثبت الگوی فرنل در بلورمایع، از سلول با آرایش موازی HG و با ضخامت ۵۰ میکرومتر، و دارای لایه *ITO* استفاده گردید. بلورمایع مورد استفاده در این سلول از نوع *1294-1b* با دوشکستی ۰,۳۱۲ ضریب شکست عادی ۱,۵۰۱ و غیرعادی ۱,۸۱۳ [9]، و رنگینه‌ی آزو متیل‌رد (*MR*) به مقدار ۱ درصد وزنی مورد استفاده قرار گرفت. دمای گذار این بلورمایع در حدود ۱۰۳ درجه سانتیگراد است. بعد از آماده کردن نمونه، 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. ماسک تهیه شده با الگوی فرنل و متناسب با ابعاد ناحیه‌ی فعال الکتریکی سلول ($5*5\ mm^2$)، با مشخصات زیر مورد استفاده قرار گرفت:

تعداد حلقه‌ها	$n=25$
شعاع حلقه ی اول	$r_1=0.0005\ m$
شعاع حلقه ی ۲۴ ام	$r_{24}=0.002449\ m$
شعاع حلقه ی ۲۵ ام	$r_{25}=0.002500\ m$
ضخامت حلقه ی ۲۵ ام	$d_{25}=51\ \mu m$
وضوح حد پراش عدسی توسط معیار رایلی تعریف می‌شود [10]	$R=1.22*d_{25}= 62.22\ \mu m$

با توجه به مقادیر فوق و با استفاده از رابطه‌ی زیر می‌توان فاصله‌ی کانونی چنین عدسی فرنلی را محاسبه کرد[8]:

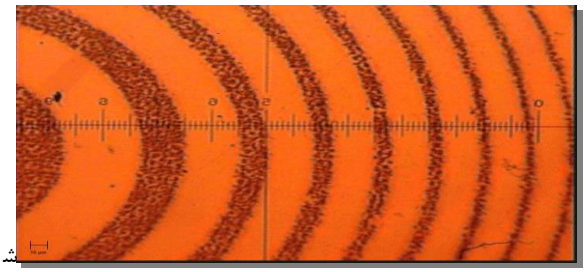
$$r_1 = \sqrt{f\lambda} \qquad (۳)$$

$f=39.5\ cm$

به‌منظور ثبت طرح ماسک بر روی سلول بلورمایع به روش ذخیره سازی الگو در بلورمایع[7]، از لیزر دیودی سبز ($\lambda=532nm$) با توان *100mW* و قطبش *P* (میدان الکتریکی موازی شیارهای سلول) استفاده شد. شکل (۳)، تصویر طرح ثبت شده روی سلول را نشان می‌دهد.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

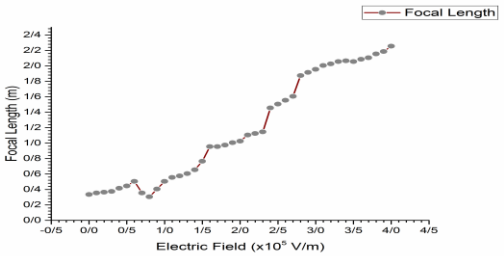
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-17]



کل ۳: طرح ثبت شده روی سلول توسط تکنیک ثبت الگو در بلورمایع زیر میکروسکوپ پلاریزان. کوچکترین ناحیه روی خط کشی، نشان دهنده‌ی دقت ۳۰ میکرومتر است.

۱-۳- ارزیابی عدسی فرنل مبتنی بر بلورمایع

به‌منظور ارزیابی تغییرات فاصله‌ی کانونی عدسی ساخته شده، از نور لیزر *He-Ne* با توان *1mW* و قطبش *S* استفاده شد. یک ولتاژ مربعی با فرکانس حدود *1.5 KHz* به سلول اعمال گردید. در حالت بدون ولتاژ، بیشینه‌ی شدت توسط فوتودیود در فاصله‌ی حدود ۳۳ سانتیمتری مشاهده شد. این همان نقطه‌ی کانون در ولتاژ صفر می‌باشد که طبق محاسبات تئوری در حد خطای ۱۵ درصدی آزمایش قابل پیشبینی بود. با افزایش ولتاژ تا حد ۲۰ ولت، بیشینه‌ی فاصله‌ی کانونی تا ۲۲۵ سانتیمتری حالت اولیه تغییر کرد. شکل زیر نمودار جابه‌جایی فاصله‌ی کانونی با تغییر میدان الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نمودار تغییرات فاصله‌ی کانونی با تغییر میدان الکتریکی.

۴- نتیجه گیری

در این کار، یک عدسی فرنل کوک پذیر با میدان الکتریکی بر پایه‌ی بلورمایع آلاییده با رنگینه‌ی آزو توسط تکنیک ثبت الگو با ماسک، ساخته شد. مشخصات کانونی شدن پرتوی تک بعدی توسط عدسی فرنل تولید شده نشان می‌دهد که با افزایش ولتاژ اعمالی به سلول، می‌توان فاصله‌ی کانونی عدسی فرنل را به‌طور محسوسی تغییر داد. وابستگی قطبش عدسی تولیدی نشان می‌دهد که در صورت پرتو دهی عدسی با پرتویی با قطبش موازی با راستای شیارهای سلولی (قطبش *P*)، در حضور یا عدم حضور ولتاژ اعمالی هیچ کانونی شدگی ظاهر نشده و محیط رفتار همگن از خود نشان می‌دهد. این امر ناشی از یکسان بودن ضریب شکست نواحی مختلف الگوی فرنل در بازخوانی آن‌ها با قطبش *P* است. می‌توان انتظار داشت که عدسی‌های تخت فرنل کوک پذیر مبتنی بر بلورمایع در کاربردهایی همچون ساخت ادوات کوک پذیر نوری نظیر اسپکترومترها، سویچ‌ها و مدولاتورهای نوری به‌کار روند.

مراجع

[1] H. Jashnsaz, E. Mohajerani, H. Nemati, S. H. Razavi, and I. A. Alidokht, "Electrically switchable holographic liquid crystal/polymer Fresnel lens using a Michelson interferometer.," *Appl. Opt.*, vol. 50, no. 17, pp. 2701–2707, 2011.

[2] K. C. Lo, J. D. Wang, C. R. Lee, and T. S. Mo, "Electrically controllable and polarization-independent Fresnel zone plate in a circularly symmetric hybrid-aligned liquid crystal film with a photoconductive polymer layer," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 91, no. 18, pp. 89–92, 2007.

[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] Y.-H. Fan, H. Ren, and S.-T. Wu, "Switchable Fresnel lens using polymer-stabilized liquid crystals.," *Opt. Express*, vol. 11, no. 23, pp. 3080–3086, 2003.

[5] H. Jashnsaz, N. H. Nataj, E. Mohajerani, and A. Khabbazi, "All-optical switchable holographic Fresnel lens based on azo-dye-doped polymer-dispersed liquid crystals.," *Appl. Opt.*, vol. 50, no. 22, pp. 4295–4301, 2011.

[6] 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*, vol. 18, no. 25, pp. 26325–26331, 2010.

[7] 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.

[8] W. Hung, T. Liu, and M. Tsai, "Voltage-controllable liquid crystals lens," *World Acad. Sci., Eng.* , vol. 1, no. 7, pp. 846–849, 2011.

[9] K. Milanchian, E. Abdi, H. Tajalli, S. Ahmadi K., and M. S. Zakerhamidi, "Nonlinear refractive index of some anthraquinone dyes in 1294-1b liquid crystal," *Opt. Commun.*, vol. 285, no. 5, pp. 761–765, 2012.

[10] Y. Suzuki, A. Takeuchi, H. Takano, and H. Takenaka, "Performance Test of Fresnel Zone Plate with 50\,nm Outermost Zone Width in Hard X-ray Region," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 44, no. 4A, pp. 1994–1998, 2005.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-17]