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

طراحی و ساخت یک مدولاتور فضایی نور به صورت عبوری و بازتابی با استفاده از صفحات نمایشگر کریستال مایع و بررسی مدولاسیون فاز و دامنه آن

سید ایوب موسوی، نفیسه محمدیان، حسین ثقفی فر

دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان، مرکز فناوری اپتیک و لیزر

چکیده - در این مقاله طراحی و ساخت یک مدولاتور فضایی نور بازتابی و عبوری به وسیله صفحات نمایشگر جدید کریستال مایع *TFT* که تعداد پیکسل بالایی در واحد سطح دارند انجام گرفته است. به منظور استفاده از این دستگاه به عنوان یک صفحه فازی، ویژگی های اپتیکی و عملکرد آن به عنوان مدولاتور فضایی فاز و دامنه مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. چیدمان تجربی تداخل سنجی آن با استفاده از نشاندن یک لایه انعکاسی نشان داده شده است.

کلید واژه- اپتیک تطبیقی، صفحات فازی، مدولاتور فضایی نور، کریستال مایع

Design and construction of a transmitive reflective Liquid Crystal SLM and investigation of phase and amplitude modulation

Seyed Ayoob Moosavi,Nafiseh Mohammadian, Hossein Saghafifar

Malek Ashtar University of technology, Faculty of Optics and Laser, Esfahan, Iran

Abstract- in this paper, by using a new commercial high resolution TFT liquid crystal display, a Spatial Light Modulator (SLM) is designed. In order to employ this device as a phase screen, optical properties such as phase and amplitude modulation is studied. By coating a reflective layer, this device can act in the transmission or reflection mode. Finally diagrams of Interferometry setup for phase and amplitude investigations are presented.

Keywords: Adaptive Optics, Phase screen, Spatial Light Modulator, Liquid crystal

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

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

۱- مقدمه

مدولاتور فضایی نور (SLM[1]) به ابزارهای اپتیکی گفته می‌شود که قابلیت تغییر دینامیک در مختصه‌های فضایی جبهه موج را دارند [۱]. درکاربردهای مخابراتی از SLM ها به عنوان سوئیچ های اپتیکی که احتیاج به توری های با حالت دینامیک دارد استفاده می شود و در اپتیک تطبیقی برای تغییر نمایه باریکه لیزر، ساخت صفحات فازی، شبیه سازی انتشار لیزر در اتمسفر و تصحیح جبهه موج استفاده می‌شود [۲و۳]. از پر کاربردترین این ابزارها می‌توان نمایشگرهای کریستال مایع (LCD[2]) که ابزارهای مناسبی برای مدوله کردن فضایی فاز، دامنه و قطبش جبهه‌ی موج هستند را نام برد. اوکوبو[3] برای اولین بار استفاده از صفحات نمایش تلویزیون های LCD به عنوان SLM را پیشنهاد داد [۴]. از مزایای LCD قیمت بسیار پایین و از معایبش شفافیت و کنتراست پایین ، وجود پراش به علت بزرگ بودن خانه‌های کریستال مایع و همچنین فاصله‌ی زیاد خانه‌ها بود. استفاده از LCD دستگاههای ویدئو پروژکتور، آینه های انعطاف پذیر MEMS[4]، DLP[5] و LCOS[6] ها به علت رزولوشن بالاتر نیز در چند سال اخیر پیشنهاد شده است[۷] . تا دهه‌ی اخیر صحبت از نمایشگرهای کریستال مایع با تکنولوژی TFT[7] با کنتراست و رزولوشن بالا و تعداد پیکسل ۱۰۰۰*۱۰۰۰ تازه در مرحله‌ی تحقیقاتی بود اما در چند سال اخیر این تکنولوژی حتی در نمایشگرهای تلفن همراه هوشمند و تبلت به صورت بسیار ارزان قیمت بکار گرفته شده است. با توجه به موارد فوق تصمیم گرفتیم خواص اپتیکی این صفحات نمایشگر را به منظور استفاده به عنوان SLM مورد بررسی قرار دهیم. این مطالعه شامل یک طراحی مناسب ، راه اندازی این صفحات و سپس بررسی میزان مدولاسیون دامنه و جابه‌جایی فضایی فاز جبهه‌ی موج عبوری است.

۲- مبانی تئوری

محیط کریستال های آبگون مارپیچ (TNLC[8]) یک محیط ناهمگن است که می‌تواند به صورت یک کریستال بدون محور در نظر گرفته شود که جهت اپتیکی آن موازی جهت مولکول‌های میله‌ای شکل ماده است. کریستال های مایع معمولاً توسط دو لایه‌ی الکترود شفاف از جنس ایندیم تین اکسید (ITO) احاطه شده‌اند شکل (۱). مشخصات و چگونگی مدولاسیون فاز و دامنه را می توان با استفاده از ماتریس های جونز که توصیف کننده‌ی عبور نور پلاریزه از صفحات چرخاننده‌ی قطبش است بررسی کرد. با توجه به شکل ۱ اگر اختلاف ولتاژ V در راستای Z به صفحات کریستال مایع اعمال شود آنگاه طبق رابطه‌ی (۱) میزان کج شدگی مولکول بدین صورت است[۵].

$$\begin{cases} if \quad v < v_c \quad \theta = 0 \\ if \quad v > v_c \quad \theta = \dfrac{\pi}{2} - 2tan^{-1}e^{\frac{v - v_c}{v_0}} \end{cases} \qquad (۱)$$

V_c ولتاژ آستانه شروع کج شدگی مولکول‌ها است، V_0 ولتاژ مشخصه لگاریتمی کریستال است که تحت آن $\theta = 49.6$ می‌شود. در نتیجه وقتی ولتاژ زیادی اعمال شود θ به سمت $\pi/2$ میل می‌کند.حد اکثر ولتاژ قابل اعمال در LCD ها به ولتاژ سیگنال ویدئو و درجه تنظیم کنتراست آنها محدود می شود. از طرف دیگر ضریب شکست وابسته به میزان زاویه‌ی انحراف مولکول‌ها شده و از رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید[۶،۵].

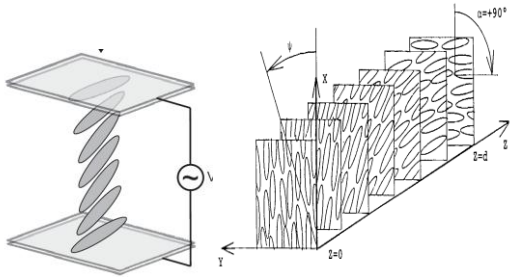
$$\frac{1}{n_e^2(\theta)} = \frac{cos^2\theta}{n_e^2} + \frac{sin^2\theta}{n_0^2} \qquad (۲)$$

که در آن n_e , n_0 به ترتیب ضریب شکست عادی و فوق العاده کریستال هستند.

اگر پارامتر β را بصورت معادله (۳) تعریف کنیم آنگاه می‌توان ماتریس جونز کریستال مایع را فقط تابعی از پارامتر β دانست[۵].

$$\beta = \left(\frac{\pi \mathbf{d}}{\lambda}\right)[\mathbf{n_e}(\theta) - \mathbf{n}_0] \qquad (۳)$$

با افزایش ولتاژ، میزان β به طور یکنواخت کاهش می‌یابد و ارتباط این ولتاژ اعمالی و پارامتر β تقریباً از اختلاف بین ضریب شکست ها مستقل است [۲].



شکل (۱) چرخش مولکول‌ها و تغییر قطبش در کریستال مایع

[1] Spatial Light Modulator
[2] Liquid Crystal Display
[3] Ohkobu
[4] Micro Electro Mechanical Structures
[5] Digital Light Prosccesor
[6] Liquid Crystal on silicons
[7] Thin film transistor
[8] Twisted Nematic Liquid crystal

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

صفحه‌ی نمایش کریستال مایع اغلب بین دو صفحه پلاریزور و آنالیزور با زوایای ψ_1 وψ_2 با محور x قرار می‌گیرد. جابه‌جایی فاز را برای یک نور فرودی که به صورت خطی پلاریزه شده است طبق رابطه (۴) بر حسب β بیان خواهد شد [۵].

$$\delta = \beta - \tan^{-1}\left\{\left\{(\beta/\gamma)\sin\gamma\left[\sin(\psi_1+\psi_2)\sin\alpha - \cos(\psi_1+\psi_2)\cos\alpha\right]\right\} \times\left\{\cos(\psi_1-\psi_2)\left[\cos\alpha\cos\gamma+(\alpha/\gamma)\sin\alpha\sin\gamma\right] + \sin(\psi_1-\psi_2)\left[\sin\alpha\cos\gamma-(\alpha/\gamma)\cos\alpha\sin\gamma\right]\right\}^{-1}\right\} \quad (۴)$$

که در آن $\gamma = \sqrt{\alpha^2+\beta^2}$. برای بیشتر کاربردها زاویه چرخندگی کریستال مایع حدود ۹۰ درجه در نظر گرفته می‌شود. خاصیت مدولاسیون دامنه در کریستال های مایع ناشی از چرخش قطبش نور است. جهت گیری مولکول های کریستال مایع نه تنها باعث چرخش بلکه ایجاد کج شدگی موازی محور چرخش نیز می‌کنند. پس دارای یک سلول با قابلیت دو شکستی قابل کنترل هستیم که منجر به مدولاسیون فاز می‌شود. فاز نسبی سلول های روشن و خاموش از رابطه‌ی زیر قابل حدس زدن است[۲].

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} n(\alpha) d \quad (۵)$$

که در آن n(α) ضریب شکست بر حسب زاویه‌ی کج شدگی است و d ضخامت و ΔΦ جابه‌جایی فاز نسبی است. اگر در چنین وضعیتی آنالیزور بعد از سلول قرار ندهیم دیگر شاهد مدولاسیون دامنه نخواهیم بود و فقط مدولاسیون فاز خواهیم داشت.

۳- طراحی و ساخت

نمایشگر کریستال مایع استفاده شده در این طرح از نوع "4.3 TFT با دقت 1280×780 است. زمان پاسخ این نوع LCD در حدود 15ms است که قابلیت بازنشانی کل تصویر با فرکانس 60Hz را دارد. ابعاد پیکسل های این نوع LCD, 190×190μm است. برای راه اندازی این LCD از یک مدار راه انداز با قابلیت تبدیل VGA به LCD و همچنین تبدیل ورودی AV به LCD استفاده شده است در نتیجه این دستگاه می‌تواند مستقیماً به رایانه و دوربین های معمولی متصل شود.

به منظور استفاده‌ی راحت و مناسب از این وسیله روی میز اپتیکی جعبه‌ای مطابق شکل(۲) برای آن تعبیه شد. برای عبور هرچه بهتر نور از LCD لایه‌های انعکاسی مزاحم برداشته شده‌اند و از تیغه‌های پلارایزور استفاده شد.

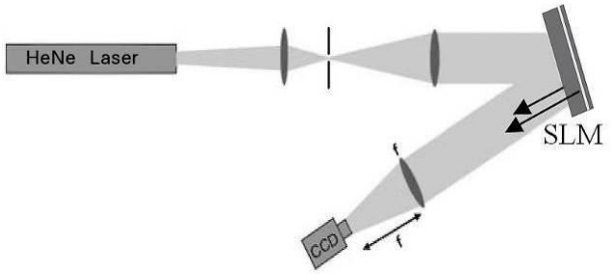


شکل(۲) نمایی از SLM شامل قسمت های عبوری و بازتابی، کلید های کنترل و ورودی های رایانه و دوربین

برای آنکه بتوان از این SLM هم در حالت عبوری و هم حالت انعکاسی استفاده کرد $1/3$ از مساحت سطح آن را از یک طرف به وسیله‌ی آلومینیوم خالص که انعکاس بالایی دارد به ضخامت 100nm لایه نشانی انجام دادیم.

۴- چیدمان تجربی

نمایی از چیدمان تجربی را در شکل زیر مشاهده می‌کنید. باریکه‌ی لیزر هلیوم نئون با توان ۵ میلی وات توسط یک پرتو گستر ابعادی در حدود ۲cm به خود می‌گیرد. دو تیغه پلاریزور با زاویه‌ی ۹۰ درجه نسبت به همدیگر در دو طرف کریستال مایع قرار دارند. میزان روشنایی هر عنصر کریستال مایع توسط ولتاژ اعمالی توسط ماتریس کنترل که از رایانه اعمال می‌شود کنترل می‌شود. میزان چرخش مولکول به دامنه ولتاژ ورودی وابسته است. نمایه‌ی باریکه توسط یک دوربین CCD ثبت می‌شود. صافی فضایی برای حذف نورهای اضافی ناشی از پراش های مرتبه‌ی بالاتر خاصیت توری مانند کریستال مایع استفاده می‌شود.

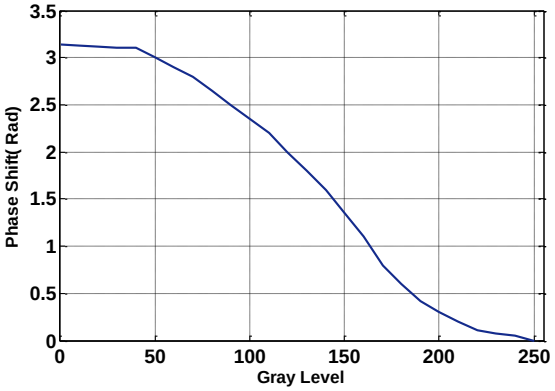


شکل (۳) چیدمان آزمایش تداخل سنجی برای تعیین جابه‌جایی فاز

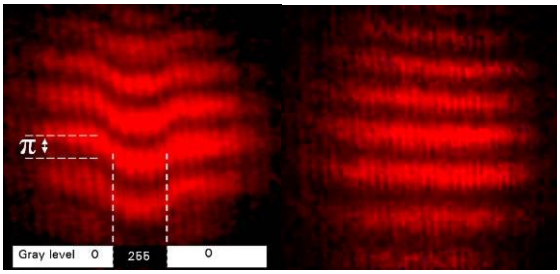
به منظور به دست آوردن میزان جابه‌جایی فاز در SLM از روش های تداخل سنجی از جمله تداخل سنج مایکلسون و ماخ‌زندر استفاده شده است [۵]. اما روشی که استفاده کردیم بسیار ساده‌تر و کارآمدتر است. مطابق شکل زیر با لایه نشانی آلومینیوم در پشت SLM نور تابیده شده به SLM به مانند یک

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

توری یک انعکاس از سطح شیشه‌ی جلویی خود دارد و انعکاس دیگر پس از عبور از کریستال مایع از سطح لایه نشانی شده خواهد داشت. مجموع این دو باریکه یک طرح تداخل ایجاد می‌کنند. حال کافیست با تغییر سطح رنگ هر پیکسل از کریستال مایع (در حالت ۸ بیت از ۰ تا ۲۵۵ سطح) میزان جابه‌جایی فاز اندازه گیری شود.

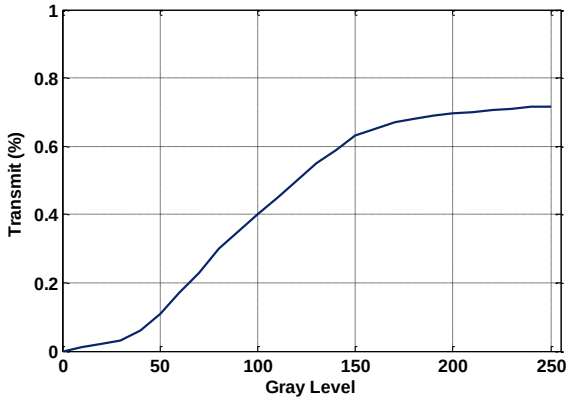


شکل (۴) نمودار میزان جا به جایی فاز بر حسب سطح شدت سلول



شکل (۵) الگوی تداخلی: در شکل سمت چپ با تغییر سطح شدت سلول در قسمتی از نمایه فرانژ ها جابه‌جا می‌شوند.

نمودار طرح تداخلی و همچنین نمودار تغییرات فاز به ازای میزان شدت سلول را در شکل‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌کنید. همان‌گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود این جابه‌جایی فاز به صورت خطی نبوده و از طرفی اختلاف فاز ایجاد شده در حدود π رادیان است که نسبت به LCD های قدیمی تر که حدود 2π است کمتر است. با کاهش اندازه سلول ها و به تبع آن کاهش اثر پراش، میزان اختلاف فاز ایجاد شده که به ضخامت سلول نیز وابسته است کم می‌شود. از جمله نتایج بررسی های مدولاسیون دامنه قرارگیری پلارایزور و آنالیزور در زوایای ۴۵- و ۴۵+ درجه برای بهترین حالت عبوری است یعنی در این زوایا، با تغییر شدت سلول دامنه عبوری در کمترین و بیشترین مقدار خواهد بود.



شکل (۶) نمودار میزان درصد عبور بر حسب شدت سلول

با توجه به شکل (۶) با تغییر درجه‌ی رنگ سلول از ۰ تا ۲۵۵ میزان نور عبوری روندی عکس نمودار فازی دارد و در حالتی که سلول در مد عبور است نیز دارای حدود ۳۰ درصد کاهش دامنه هستیم. با حذف انالیزور می‌توان از این SLM برای مدولاسیون فاز به تنهایی استفاده کرد.

۵- نتیجه گیری

با انتخاب و راه اندازی یک نمایشگر کریستال مایع مناسب که پراکندگی و پراش کمی داشته و همچنین عبور خوبی داشته باشد توانستیم یک مدولاتور فضایی نور بسازیم. عملکرد این SLM به عنوان ابزاری برای مدولاسیون فاز در حد π و مدولاسیون دامنه، قابل قبول است. این ابزار با هزینه بسیار پایین‌تر از نمونه‌های تجاری قابلیت آموزش اپتیک فوریه، ایجاد روزنه‌های مختلف، هولوگرافی، ساخت انبرک های نوری، ایجاد گردابه های نوری و همچنین تبدیل باریکه نمایه‌ی گوسی که خروجی اکثر تشدیدگرها است به نمایه‌ی تخت برای حالاتی که تغییرات فاز مهم نباشند را داراست. از معایب آن پیکسلی شدن تصویر و کاهش دامنه را میتوان نام برد.

مراجع

[1] L Hu, L Xuan, Y Liu, Z Cao, D Li, and Q Mu, "*Phase-only liquid-crystal ... for wave-front correction with high precision*", Opt. Express 12. 6403., (2004)

[2] Liesl Burger et al, "*Simulating atmospheric turbulence using a phase-only spatial light modulator* " South African Journal of Science 104, March/April (2008)

[3] S. Ahderom, M. Raisi" *Applications of Liquid Crystal Spatial Light Modulators in Optical Communications*" IEEE, 0-7803-7600 ,(2002)

[4] James C. Kirsch "*optical modulation characteristics and applications of liquid crystal televisions* "technical report RD-WS-92-6- (2003)

[5] Kazonubo. ohkubo "*Evaluation of LCTV as spatial light modulator"Optics commonications* 102,116-124 (1993)

[6] *Geoffery New "Introduction to nonlinear optics" University Press, Cambridge,chapter 4, ISBN 978-0-521-87701-5*,(2011)

[7] Sui Zhan et al "Beam shaping laser beam by using the liquid crystal of commercial display device"Chin.Phys.Lett, vol.22,No.7,(2005)

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]