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

ساخت و مشخصه‌یابی توری سوئیچ‌پذیر دوبعدی بر پایه‌ی ثبت هولوگرافیک ترکیبات پلیمر و بلور مایع (HPDLC)

سجاد نوروزی[۱]، حسین مهرزاد[۱] ، عزالدین مهاجرانی[۱]

[۱]پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران

چکیده - بلور مایع مولکولی آلی است که دارای ویژگی‌های الکتریکی و اپتیکی برجسته‌ای بوده و امروزه در صنایع مختلف پیشرفته کاربرد پیدا کرده است. سادگی در ایجاد انواع بلورهای فوتونی و امکان کنترل نور در ابعاد کوچک، باعث گرایش پژوهش‌ها به سمت ترکیبات بلور مایع و پلیمر می‌شود. ساختارهای هولوگرافیک ایجاد شده در این ترکیبات را *HPDLC* (*Holographic Polymer Dispersed Liquid Crystal*) می‌نامند. در این پژوهش توری یک‌بعدی و دوبعدی سوئیچ‌پذیر *HPDLC* ثبت شد سپس آزمون‌های سوئیچ الکترواپتیک نمونه‌ها انجام گرفت. روش اپتیکی ثبت تداخل در نمونه استفاده از منشور بود. سوئیچ الکترواپتیک نیز به دو روش *A.C* و *D.C* صورت گرفت.

کلید واژه- بلور مایع، توری سوئیچ‌پذیر، ترکیبات پلیمر و بلور مایع، هولوگرافی، توری دوبعدی.

Fabrication and characterization of switchable two dimensional grating based on holographic polymer dispersed liquid crystal (HPDLC)

Sajad Norouzi[1] , Hosein Mehrzad[1] , Ezedin Mohajerani[1]

[1] Laser and Plasma Research Instittute , Shahid Beheshti University , Evin , Tehran

Abstract- Liquid crystals have been known as important material for optical and electro-optical applications. Liquid crystals can be used in devices made for lasing and switching purposes and photonic crystal structures by mixing with polymers .One of the applications of LC is in fabrication of switchable gratings. These gratings are based on holographic recording of coherent light in the mixture of polymer and LC. This process is called holographic polymer dispersed liquid crystal (HPDLC). The goal of this article is fabrication and characterization of two dimensional HPDLC grating. After fabrication, electrooptical switching has been tested. A special prism is used in optical recording setup. Electrooptical tests has been done in both A.C and D.C switching methods.

Keywords: Liquid Crystal, Holography, HPDLC, Switchable Grating, Two dimensional.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]

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

۱- مقدمه

بلورهای مایع مولکول‌های آلی‌ای هستند که ویژگی‌های اپتیکی و الکتریکی خاصی از خود نشان می‌دهند. ناهمسان‌گردی دی‌الکتریک باعث دوشکستی اپتیکی در ماده می‌شود. یعنی وقتی مولکول‌های بلور مایع به صورت آمورف قرار گرفته‌اند؛ ماده شفاف است و وقتی که این مولکول‌ها در یک جهت منظم می‌شوند، تفاوتی در ویژگی‌های الکتریکی و اپتیکی جهت موازی و جهت عمود بر محور قرار گرفتن مولکول‌ها ایجاد می‌شود. این تفاوت ایجادشده پایه‌ی قابلیت‌هایی است که بلور مایع را در کاربردهای مختلف خود کارا می‌سازد.

یکی از کاربردهای بلور مایع در ترکیبات بلور مایع و پلیمر است. با استفاده از تابش لیزر بر ماده‌ی مخلوط پلیمر و بلور مایع، می‌توان ساختاری با تناوب ضریب شکست ایجاد کرد که به این ساختار HPDLC می‌گویند. قطعات HPDLC در قطعات مخابرات نوری، المان‌های اپتیکی پراشی، میکروعدسی‌های سوئیچ‌پذیر و نمایشگرهای بازتابی کاربرد دارد[۲].

مونومرها در حضور رادیکال‌های آزاد و تحت تابش نور مولکول‌های پلیمر را می‌سازند. وقتی توزیع تناوبی شدت نور لیزر به ماده‌ی مخلوط پلیمر و بلور مایع اعمال می‌شود، مونومرها طی فرایند پلیمریزاسیون در نواحی روشن تجمع می‌کنند و از حالت مونومر به پلیمر تبدیل می‌شوند. مولکول‌های بلور مایع نیز به نواحی تاریک و در خلاف جهت حرکت مونومرها پخش می‌شوند. این فرایند تا برقراری تعادل شیمیایی ادامه می‌یابد[۳].

پس ضریب شکست عادی n_o و غیرعادی n_e برای لایه‌ی بلور مایع و ضریب شکست n_p برای لایه‌ی پلیمری تعریف می‌شود. ضریب شکست n_p باید تا حد امکان به ضریب شکست عادی بلور مایع n_o نزدیک باشد چرا که حالت Off توری را ایجاد می‌کند. اختلاف n_e و n_o نیز که اساس پراش را شکل می‌دهد باید به حد کافی بزرگ باشد[۱].

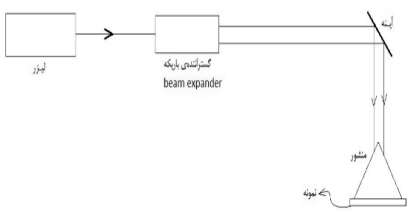
۲- مواد و روش‌های آزمایش

۲-۱- مواد

مخلوط‌های در این آزمایش بر اساس مونومر اصلی به کار رفته شناخته می‌شوند. مواد و درصد وزنی به کار رفته در مخلوط H1 به این شرح است: مونومر اصلی UTMA ٪ ۲۲/۳، مونومر اصلی دوم DPHPA ٪ ۱۶/۵، بلور مایع E7 ٪ ۳۸، مونومر کمکی NVP ٪۹/۵، آغازگر نوری Rose Bengal ٪۱/۹، آغازگر نوری دوم NPG ٪۲/۵ و روان‌کننده (surfactant) S-271 ٪۹/۳ . برای مخلوط H2 نیز چنین ترکیبی را داریم: مونومر اصلی ATOUA ٪۲۲، مونومر اصلی دوم DPHPA ٪۱۴، بلور مایع E7 ٪۴۲، مونومر کمکی NVP ٪ ۱۰/۳، آغازگر نوری Rose Bengal ٪۰/۷، آغازگر نوری دوم NPG ٪۱/۵ و روان‌کننده S-271 ٪۹/۵ . مواد پس از توزین داخل ظرف پوشیده از نور مخلوط می‌شوند و ظرف حاوی مواد داخل حمام اولتراسونیک قرار می‌گیرند تا به صورت مخلوط همگن دربیاید. سپس مواد با استفاده از لایه‌نشانی تزریقی به درون سلول بلور مایع و با استفاده از لوله‌ی مویین تزریق می‌شوند. این سلول‌های شیشه‌ای ضخامت میکرونی و پوشش درونی ITO دارند. ماده درون سلول به آرامی پخش می‌شود و آماده‌ی نوردهی با لیزر است[۱]. ضریب شکست عادی بلور مایع E7 در طول‌موج ۶۳۳nm، ۱/۵۲۱۱ و دوشکستی آن برابر ۰/۲۲۵۳ است. ضریب شکست مخلوط پیش‌پلیمر هم همان طور که یاد شد؛ ترکیب مواد به گونه‌یی انتخاب شد تا در نهایت n_p بسیار نزدیک به n_o شود.

۲-۲- چیدمان ثبت نمونه‌ها

چیدمان ثبت هولوگرافیک شامل لیزر، گسترانده‌ی باریکه، آینه و منشور است. طول موج لیزر به کار رفته باید در محدوده‌ی طول‌موجی ماده‌ی آغازگر نوری باشد. برای این آزمایش لیزر DPSS با طول موج ۴۷۳nm انتخاب شد. در شکل زیر چیدمان ثبت به طور شماتیک نمایش داده شده است.



شکل ۱: چیدمان ثبت هولوگرافیک توری با استفاده از منشور

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]

برای ثبت توری یک‌بعدی از منشوری با دو وجه و برای ثبت توری دوبعدی از منشوری هرمی و با قاعده‌ی مربعی استفاده کردیم که چگونگی ایجاد تداخل باریکه‌ها در منشور در شکل زیر مشخص شده است. نور پس از ورود به داخل منشور شکست پیدا می‌کند و چهار باریکه در وجه زیرین منشور تلاقی کرده و طرح تداخلی شکل می‌گیرد[۶،۵]. جنس منشور BK7 و ضریب شکست این ماده در طول‌موج به کار رفته ۱/۵۲ است.

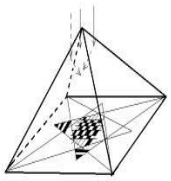
سلول بلور مایع که حاوی پیش‌پلیمر است زیر منشور قرار می‌گیرد. پس از نوردهی سلول را تحت تابش نور فرابنفش قرار می‌دهیم تا ساختارها به طور دایم ثبت شود. طول موج لیزر ۴۷۳nm و مدت تابش فرابنفش ۱۰ دقیقه برای همه‌ی نمونه‌ها بوده است.

جدول ۱: اطلاعات ثبت نمونه‌های توری HPDLC

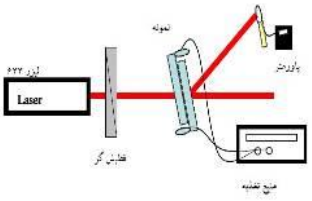
نام ترکیب	توان لیزر(mw)	زمان نوردهی(min)	نام نمونه
H2	۱۰۰	۲۶	A
H2	۸۰	۱۵	B
H2	۱۰۰	۲۰	C
H2	۹۰	۲۰	C2
H1	۸۰	۱۵	D
H1	۹۰	۱۵	E
H1	۱۰۰	۲۶	F
H1	۹۰	۲۰	G
H2	۹۰	۲۰	B4 و B3

۳-۲- آزمون الکترواپتیک

پس از ثبت طرح دوبعدی باید قابلیت سوئیچ شدن توری به حالت شفاف آزموده شود. در شکل زیر چیدمان مربوط به آزمون الکترواپتیک مشاهده می‌شود. نور لیزر ۶۳۳nm بعد از عبور از قطبشگر بر ناحیه‌ی توری نمونه وارد می‌شود و توری ایجاد شده نور ورودی را پراشیده می‌کند و مرتبه‌ی صفر و اول پراش ملاحظه می‌شود. یک آشکارساز مرتبه‌ی اول پراش را اندازه‌گیری می‌کند. وقتی منبع تغذیه ولتاژ اعمال می‌کند مطابق سازوکار شرح داده شده توری به حالت شفاف سوئیچ می‌کند. در این حالت هم مرتبه‌ی اول پراش اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۲: منشور هرمی مورد استفاده در ثبت و چگونگی ایجاد تداخل



شکل ۳: چیدمان آزمون الکترواپتیک نمونه‌های توری HPDLC

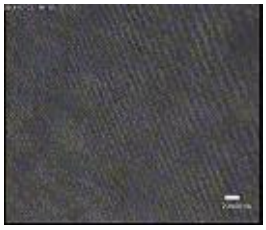
۳- نتایج

۳-۱- ساختارهای ثبت‌شده

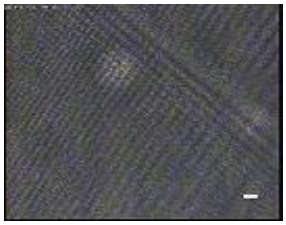
ساختارهای یک‌بعدی و دوبعدی ایجاد شده در تصاویر میکروسکوپ نوری نمایش داده شده‌اند.

الف)

ب)



پ)

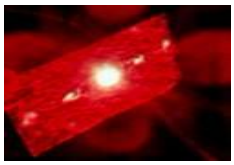


ت)

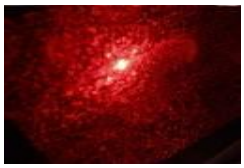
شکل ۴: تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه‌های توری الف) یک‌بعدی و ب) دوبعدی از ماده‌ی H1 ، توری پ) یک‌بعدی و ت) دوبعدی از ماده‌ی H2 (نشانگر مقیاس برابر ۲۰ میکرون)

۳-۲- پراش توری عبوری

تصاویر طرح پراش از توری‌های عبوری ساخته شده در شکل ۵ ملاحظه می‌شود.



الف)



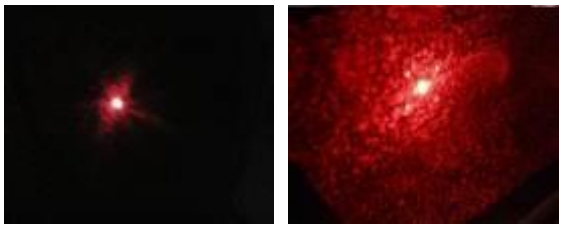
ب)

شکل ۵: تصاویر طرح پراش توری الف)یک‌بعدی و ب)دوبعدی HPDLC

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]

۳-۳- نتایج سوئیچ الکترواپتیک

سوئیچ برای نمونه‌های یک‌بعدی و دوبعدی انجام شد. تصویر طرح پراش نمونه‌ی دوبعدی پیش و پس از اعمال ولتاژ مشاهده می‌شود.



الف) ب)

شکل ۶: تصویر طرح پراش الف)پیش و ب) پس از اعمال ولتاژ

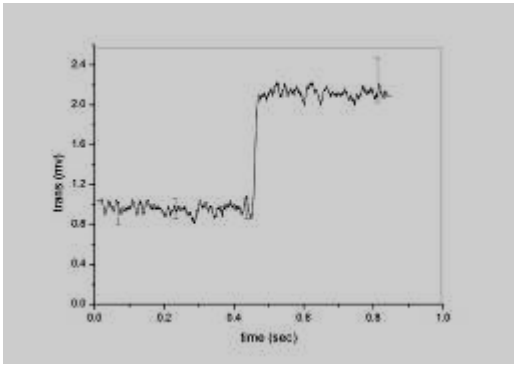
سوئیچ به دو شیوه‌ی A.C و D.C انجام شد[۴]. مرتبه‌ی اول پراش توری با توان‌سنج و فوتودیود اندازه‌گیری شد.

جدول ۲: مشخصات پاسخ الکترواپتیک توری‌های HPDLC به سوئیچ D.C

نام نمونه	زمان خیز(ms)	زمان افت(ms)	اختلاف توان حالت اشباع ON و OFF(٪)	ولتاژ (V)
B3	۴۵	۸۰	۶۰	۳۰
B3	۲۸	۵۲	۷۰	۳۸
A	۸۰	۳۰۰	۷۵	۳۷
C	۷۵	۲۵۰	۵۰	۳۰
F	۱۰۰	۱۲۰	۳۰	۳۰

جدول ۳: مشخصات پاسخ الکترواپتیکی توری به سوئیچ A.C

نام نمونه	زمان خیز(ms)	زمان افت(ms)	ولتاژ(V)	بسامد(Hz)	اختلاف توان ON و OFF (٪)
F	۹	۱۷	۴۰	۲۰	۸۳
B	۱۰	۱۳	۲۰	۱۵	۹۰
B	۷/۵	۸	۳۰	۱۵	۹۰
B3	۶	۱۲	۳۰	۷۰	۷۵
B3	۴	۹/۶	۳۰	۲۵۰	۷۵



شکل ۷: نمودار سوئیچA.C نمونه‌ی B3 – قطع ولتاژ (افت)

بدین ترتیب با ارایه‌ی تصاویر سوئیچ طرح پراش، جدول زمان‌های افت و خیز ناحیه‌ی بلور مایع، که منجر به وجود و عدم توری می‌شود و نیز نمودار توان مرتبه‌ی اول پراش بر اساس زمان در هنگام سوئیچ، می‌توان نتیجه گرفت که توری دوبعدی HPDLC با قابلیت سوئیچ ایجاد شده است.

سپاس‌گزاری

از آقای دکتر فرهود نجفی عضو هیئت علمی پژوهشگاه فناوری رنگ و پوشش، برای سنتز مونومر ATOUA سپاس‌گزاری می‌نمایم.

مراجع

[۱] ناهید حسین‌نتاج، *طراحی قطعات سوئیچ‌پذیر اپتیکی با استفاده از ترکیبات HPDLC بر پایه مونومرهای اکریلاتی و رنگینه‌های آزو*، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۱.

[2] Liu, Y.J, X.W. Sun, J. H. T. Dai, K. S, Xu, "*A Polarization Insensitive 2×2 Optical Switch Fabricated by Liquid Crystal–Polymer Composite*." **Appl. Phys. Lett**. 86 (2005): 041115.

[3] Y. J. Liu, X. W. Sun, "*Holographic Polymer-Dispersed Liquid Crystals: Materials, Formation, and Aplication*", **Advanced in OptoElectronics**. 2008(684349).

[4] Pavani, Kotakonda. "*Holographic liquid crystal devices*." *Doctoral* (2009): 62.

[5] Burrow, G.M.; Gaylord, T.K. "*Multi-Beam Interference Advances and Applications: Nano Electronics, Photonic Crystals, Metamaterials, Subwavelength Structures, Optical Trapping, and Biomedical Structures*". **Micromachines 2011**, *2*, **221-257**.

[6] Sun, X. H., X. M. Tao, et al. (2010). "*Various photonic crystal structures fabricated by using a top-cut hexagonal prism*." **Applied Physics A 98**(2): 255-261.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-02]