



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۱-۲۵۶۰-۱۰-A

ساخت فیلتر لایه نازک میان نگذر با استفاده از کریستال‌های مایع نماتیک کایرال

محمد محمدی مسعودی*، فرید خوش خطی

دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

Mo.masoudi@ut.ac.ir

چکیده - یک فیلتر نوری لایه نازک با استفاده از مونومرهای کریستال مایع نماتیک کایرال ساخته شده است. این فیلتر در بازه‌ی طول موج ۶۵۰ تا ۷۲۰ نانومتر، ۵۰ درصد نور ورودی را منعکس می‌نماید. بازه پهنای باند انعکاسی وابسته به غلظت افزونه کایرال اضافه شده به مخلوط کریستال مایع می‌باشد. عدم پراکندگی نور، شفافیت، مقاومت شیمیایی در برابر حلال‌های پروتیک، مقاومت گرمایی تا دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد، امکان جدا شدن از شیشه و قابلیت نصب بر روی ادوات اپتیک از ویژگی‌های این فیلتر می‌باشد. این فیلترهای نوری در بعضی ادوات اپتیکی از جمله لیزرها و قطبنده‌ها کاربرد دارند.

کلید واژه- پهنای باند فتونیک، فیلتر نوری، فیلم بدون پراکندگی، کریستال مایع نماتیک کایرال

Thin Film Optical Filter Based on Chiral Nematic Liquid Crystal

Mohammad Mohammadimasoudi *, Farid Khoshkhati

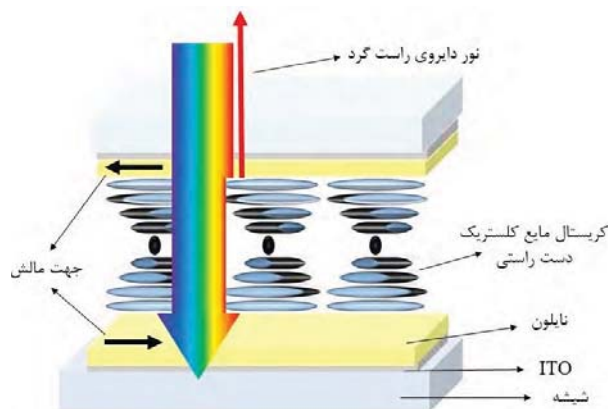
University of Tehran, Faculty of New Sciences and Technologies, Tehran, Iran.

*Corresponding author: Mo.masoudi@ut.ac.ir

Abstract- A thin film optical filter is fabricated using chiral nematic liquid crystals (CLCs). The filter can reflect the half of incident unpolarized light in the region of 650 to 720 nm without any significant scattering. The photonic bandgap varies by varying the concentration of chiral dopant. The optical filter has chemical stability for protic solvents and thermal stability to 110 °C. Thickness of the film is 6.75 μm and can be delaminated from the substrates. The stand free film can be also used in other optical devices such as lasers, displays, and optical shutters.

Keywords: Chiral nematic liquid crystal, color filter, photonic bandgap

بسته به ماهیت افزونه کایرال، پیش ایجاد شده می‌تواند راست دستی و یا چپ دستی باشد که نور قطبیده‌ی دایروی همانند خود را در محدوده‌ی پهنای باند فوتونیک منعکس کرده و قطبش مخالف بدون مانع انتشار می‌یابد (شکل ۱) [۱۴]. در نتیجه، میزان کل بازتاب در یک سلول حاوی کریستال مایع کلاستریک برای نور غیر قطبیده، نمی‌تواند از ۵۰٪ تجاوز نماید [۱۵].



شکل ۱: نمای کلی ساختار فیلتر رنگی و عدم عبور نور هم‌جهت با چرخش کریستال‌های مایع در پهنای باند انعکاسی

برای یک ترکیب کریستال مایعی، مقدار Δn به طور معمول بین ۰.۰۵ تا ۰.۲ است، بنابراین، برای تنظیم پهنای باند باید P را تغییر دهیم. توانایی افزونه کایرال برای ایجاد پیش فاز نماتیک با (HTP) بیان می‌شود [۱۴]. با کمک معادله (۲) مقدار عددی گام (P) بدست می‌آید که در آن ee مقدار مازاد انانتیومریکو $[C]$ غلظت افزونه کایرال می‌باشد.

$$P = \frac{1}{HTP \times [C] \times ee} \quad (2)$$

خواص مختلف کریستال‌های مایع کلاستریک مانند پهنای باند فوتونیک، می‌تواند توسط عملیات سطحی مناسب و یا پلیمرهای پراکنده کنترل شود [۱۶]. بعلاوه، با استفاده از مزوژن‌های مونومری همراه با گروه آکریلات و در حضور یک‌آغازگر، پس از پلیمریزاسیون با استفاده از اشعه ماورا بنفش، می‌توان ساختار مارپیچ را در یک شبکه پلیمری ثابت کرد [۱۴].

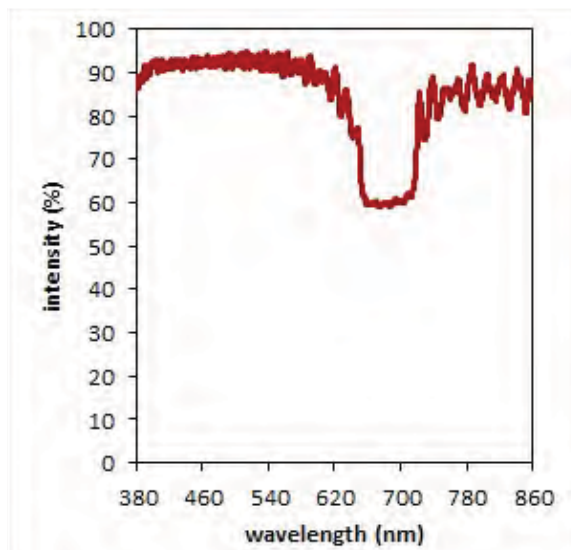
مقدمه

فیلترهای میان‌گذر نوری جزو اساسی‌ترین ادوات برای دست‌کاری طول موج نور در حوزه‌ی پردازش سیگنال اپتیکی هستند. از این فیلترها در موارد مختلفی مانند میکروسکوپ‌های چند فوتونی، تلسکوپ‌های فضایی و طیف‌سنجی بر پایه‌ی رامان استفاده می‌شود [۱]. علاوه بر این، در محدوده‌ی مرئی می‌توان از این فیلترها به عنوان فیلتر رنگی و یا در کاواک لیزرها استفاده نمود [۲-۴]. تا به امروز از روش‌های مختلفی برای کنترل پهنای باند نور مانند ادوات میکروالکترومکانیکی [۵]، فیلترهای فابری پرو (FP) [۶] و فیلترهای الکترواپتیکی [۷] استفاده شده است. کریستال‌های مایع بدلیل تنوع فازی و خواص الکترواپتیکی کاربردهای فراوانی دارند. یک فاز از نحوه چینش کریستال‌های مایع، فاز کلاستریک می‌باشد که در کاربردهای متنوعی از جمله انواع مختلف فیلترهای رنگی، لیزرهای با طول موج خروجی متغیر، فناوری اطلاعات فوتونیک و بازتابنده‌های تعویض پذیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۴، ۸-۱۲].

کریستال‌های مایع نماتیک کایرال با افزودن مقدار مشخصی از افزونه کایرال در کریستال مایع نماتیک ایجاد شده و یک ساختار کلاستریک و مارپیچی بین لایه-های کریستال مایع ایجاد می‌کنند. این ساختار متناوب است و ضریب شکست نیز با همین تناوب تغییر کرده و در نتیجه ساختار مانند بازتابنده‌های Bragg رفتار می‌نماید و دارای یک پهنای باند فوتونیک است که مقدار آن از معادله (۱) بدست می‌آید که در آن $\Delta n = n_e - n_o$ اختلاف ضرایب دوشکستی کریستال مایع بود و P طول یک دور چرخش کامل مولکول کریستال مایع است که به آن گام می‌گوییم [۱۳]:

$$\Delta \lambda = \Delta n P \quad (1)$$

۶۸۵ نانومتر دارد. این فیلتر ۵۰٪ از نور مرئی ورودی در محدوده پهنای باند خود را منعکس نموده در حالیکه در مابقی ناحیه ی مرئی شفاف باقیمانده است.



شکل ۲: طیف عبوری فیلتر برحسب طول موجهای مختلف

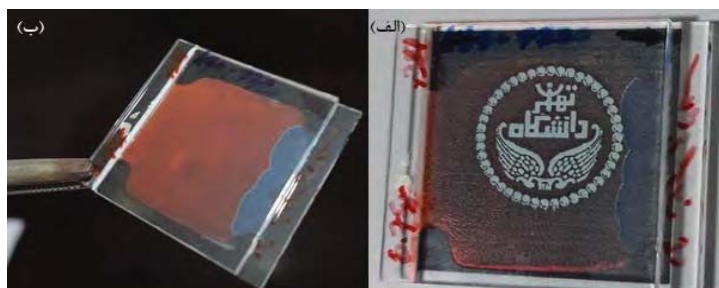
عدم پراکندگی نور و شفافیت و بهترین ویژگی‌های این فیلتر هستند. برای اثبات این ویژگی‌ها، نشان سفید رنگ دانشگاه تهران را بر روی یک سطح سیاه چاپ نموده و سپس، فیلتر را بر روی آن کاغذ قرار دادیم و همانطور که در شکل ۳ الف مشاهده می‌شود، یک فیلم بدون پراکندگی نوری داریم که هیچ بخشی از نور مرئی را پراکنده نکرده و نشان دانشگاه تهران به وضوح دیده می‌شود. شکل ۳ ب نیز یکنواختی بازتاب رنگ قرمز فیلتر ساخته شده را نشان می‌دهد. علاوه بر ویژگی‌های فوق، این فیلتر دارای مقاومت شیمیایی در برابر حلال‌های پروتیک و مقاومت گرمایی تا دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد بوده و امکان جدا شدن از شیشه و قابلیت نصب بر روی ادوات اپتیکی مختلف را دارد.

در این تحقیق، یک فیلتر لایه نازک میان‌گذر بسیار پایدار ساخته شده است که بسته به غلظت افزونه کایرال-۵۰٪ از نور غیر قطبیده ورودی در محدوده ۶۵۰ تا ۷۲۰ نانومتر را بدون تخریب یا انکسار، منعکس کرده در حالیکه در سایر محدوده مرئی کاملاً شفاف و بدون پراکندگی باقی می‌ماند.

بخش تجربی

برای دستیابی به ساختار ماریچ، ترکیبی از کریستال‌های مایع مونومری به همراه افزونه کایرال دست راستی (BDH1305) و مانع‌شونده (tert-Butylhydroquinone) و آغازگر (Irgacure 81) در فاز آیزوتروپیک با کمک خاصیت موینگی به یک سلول خالی انتقال یافت. سلول شامل دو بستر شیشه‌ای با ابعاد ۲.۵ در ۲.۵ سانتی‌متر با الکترودهای رسانا ایندیوم تین اکساید (ITO) به ضخامت ۳۰ نانومتر بود که یک لایه نایلون به ضخامت ۳۰۰ نانومتر روی لایه ITO پوشانده شده و شیار داده شده است. بدین ترتیب مولکول‌های کریستال مایعکه وارد سلول می‌شوند در جهت شیارها قرار گرفته و کریستال مایع‌های بعدی نسبت به لایه اول زاویه می‌سازند و به همین منوال محورهای ماریچ عمود بر زیرلایه ی شیشه شکل می‌گیرند (شکل ۱).

بعد از شکل‌گیری فاز کلستریک، سلول در معرض اشعه ماورابنفش ۳۶۵ نانومتر به مدت ۱ دقیقه قرار می‌گیرد تا یک فیلم پلیمری لایه نازک فیلتر نوری شکل بگیرد. طیف عبوری نمونه ساخته شده توسط یک طیف سنج اندازه-گیری شده و در شکل ۲ به نمایش درآمده است. فیلم-ساخته شده پهنای باند کلی تقریباً ۷۰ نانومتر با محوریت



شکل ۳: تصویر فیلتر نوری ساخته شده در طیف قرمز (الف) بر روی صفحه‌ای سیاه منقش به طرح سفید دانشگاه تهران که وضوح طرح سفید نشان از عدم پراکندگی کل طیف مرئی دارد، (ب) با زاویه برای نشان دادن یکنواختی فیلتر ساخته شده. ابعاد شیشه‌های سلول ۲.۵ در ۲.۵ سانتی‌متر می‌باشد.

- Liquid Crystals*, vol. 488, no. 1, pp. 279-308, 2008.
- [9] A. Chanishvili *et al.*, "Lasing in dye-doped cholesteric liquid crystals: two new tuning strategies," (in 11), *Advanced Materials*, vol. 16, no. 9-10, pp. 791-795, 2004.
- [10] H. Shirvani-Mahdavi, E. Mohajerani, and S.-T. Wu, "Circularly polarized high-efficiency cholesteric liquid crystal lasers with a tunable nematic phase retarder," (in 12), *Optics express*, vol. 18, no. 5, pp. 5021-5027, 2010.
- [11] Y. Inoue, H. Yoshida, K. Inoue, A. Fujii, and M. Ozaki, "Improved lasing threshold of cholesteric liquid crystal lasers with in-plane helix alignment," (in 13), *Applied Physics Express*, vol. 3, no. 10, p. 102702, 2010.
- [12] L. Penninck, J. Beeckman, P. De Visschere, and K. Neyts, "Numerical simulation of stimulated emission and lasing in dye doped cholesteric liquid crystal films," (in 14), *Journal of Applied Physics*, vol. 113, no. 6, p. 063106, 2013.
- [13] P.-G. De Gennes and J. Prost, *The physics of liquid crystals*. Oxford university press (in 11), 1993.
- [14] D. Mulder, A. Schenning, and C. Bastiaansen, "Chiral-nematic liquid crystals as one dimensional photonic materials in optical sensors," (in 9), *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 2, no. 33, pp. 6695-6705, 2014.
- [15] H. Khandelwal, R. C. Loonen, J. L. Hensen, A. P. Schenning, and M. G. Debije, "Application of broadband infrared reflector based on cholesteric liquid crystal polymer bilayer film to windows and its impact on reducing the energy consumption in buildings," (in 10), *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 2, no. 35, pp. 14622-14627, 2014.
- [16] D. K. Yang, J. L. West, L. C. Chien, and J. W. Doane, "Control of reflectivity and bistability in displays using cholesteric liquid crystals," (in 12), *Journal of applied physics*, vol. 76, no. 2, pp. 1331-1333, 1994.
- [1] M.-Y. Jeong and K. Kwak, "Continuously Tunable and Bandwidth Variable Optical Notch/Band-Pass Filters Over 500 nm Spectral Range Using Cholesteric Liquid Crystals," (in 5), *IEEE Photonics Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 1-11, 2018.
- [2] M. Mohammadimasoudi, K. Neyts, and J. Beeckman, "Thin film polarizer and color filter based on photo-polymerizable nematic liquid crystal," in *Emerging Liquid Crystal Technologies X*, 2015, vol. 9384: International Society for Optics and Photonics, p. 93840E.
- [3] J. Lub, D. Broer, R. Wegh, E. Peeters, and B. I van der Zande, "Formation of optical films by photo-polymerisation of liquid crystalline acrylates and application of these films in liquid crystal display technology," (in 9), *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, vol. 429, no. 1, pp. 77-99, 2005.
- [4] M. Mohammadimasoudi, J. Beeckman, J. Shin, K. Lee, and K. Neyts, "Widely tunable chiral nematic liquid crystal optical filter with microsecond switching time," (in 14), *Optics express*, vol. 22, no. 16, pp. 19098-19107, 2014.
- [5] J.-W. Jeong, I. W. Jung, H. J. Jung, D. M. Baney, and O. Solgaard, "Multifunctional tunable optical filter using MEMS spatial light modulator," (in 15), *Journal of microelectromechanical systems*, vol. 19, no. 3, pp. 610-618, 2010.
- [6] J. Stone and L. Stulz, "Pigtailed high-finesse tunable fibre Fabry-Perot interferometers with large, medium and small free spectral ranges," (in 16), *Electronics letters*, vol. 23, no. 15, pp. 781-783, 1987.
- [7] D. Sadot and E. Boimovich, "Tunable optical filters for dense WDM networks," (in 17), *IEEE Communications Magazine*, vol. 36, no. 12, pp. 50-55, 1998.
- [8] V. Belyakov, "Low threshold DFB lasing at the edge and defect modes in chiral liquid crystals," (in 10), *Molecular Crystals and*

مرجع‌ها