

Bükümlü Nematik Sıvı Kristal Bir Filmin Optik Tepkisi

Sinem ERDEN GÜLEBAĞLAN¹, Rıdvan KARAPINAR²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 35100 İzmir

²Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 65080 Van

Özet: Bükümlü nematik sıvı kristaller taşınabilir ve düz ekran göstergelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada sürtme yöntemi ile elde edilen bükümlü nematik sıvı kristal bir filmin yapımı ve bu filmin uygulanan bir elektrik alandaki optik tepkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bükümlü nematik sıvı kristal madde için (E7) yüzey bağlanma enerjisi hesaplanmıştır. Kullanılan nematik sıvı kristal bileşiğin bağlanma enerjisinin büyük olması ve üstün optik özellikleri nedeniyle, gösterge amaçlı elektro-optik cihazlarda kullanımının uygun olduğu gösterilmiştir. Anahtar kelimeler: Bağlanma enerjisi, bükümlü nematik film, elektro-optik tepki, sürtme yöntemi.

Optical Response of a Twisted Nematic Liquid Crystal Film

Abstract: Twisted nematic liquid crystals have been widely employed for portable and flat screen displays. In this work, fabrication of a twisted nematic film by rubbing method and its optical response as a function of applied electric field have been experimentally studied. Anchoring energy of the twisted nematic liquid crystal material (E7) has been calculated. It has been shown that the nematic liquid crystal used in this study is suitable for electro-optical display devices because of the its high anchoring energy and good optical performance.

Key words: Anchoring energy, electro-optic response, rubbing method, twisted nematic film.

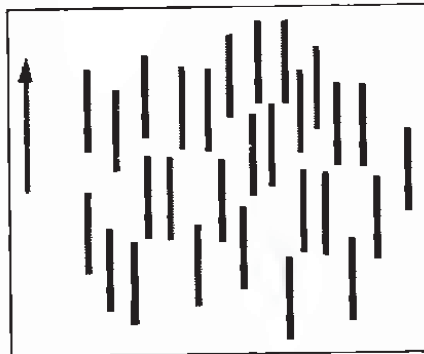
Giriş

Son yıllarda teknolojik açıdan önemi nedeniyle sıvı kristal göstergelere yoğun bir ilginin olduğu gözlenmektedir. Sıvı kristal maddeler düşük güç kayıpları ve istenilen boyutta düz ekranı olarak yapılabilirliği gibi avantajları nedeniyle, elektronik aygıtlarda yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu tür gösterge cihazlarında farklı elektro-optik etkilerden yararlanılmaktadır. Bunlar arasında bükümlü nematik elektro-optik olay oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Nematik sıvı kristaller, kristal yapı katılar ile izotropik sıvıların özelliklerini aynı anda sergileyen maddelerdir. Bir nematik fazda, moleküllerin düzenlenme biçimine bağlı olarak ortamın fiziksel özelliklerinde anizotropik bir davranış ortaya çıkmaktadır. Bu fazda moleküllerin kütle merkezleri uzayda rasgele bir dağılım gösterdiğinden, ortamda konumsal bir düzen mevcut

değildir. Ancak moleküllerin ortaklaşa olarak optik eksen olarak bilinen bir yön vektörü boyunca yönelme eğilimi nedeniyle, ortam içinde bir yönelimsel düzen oluşur. Böylece nematik fazı izotropik sıvılardan ayırt eden en önemli özellik, moleküllerin belirli bir tercih edilen doğrultuda yönelim göstermeleridir (Şekil 1).

Nematik fazdaki moleküller bir dipole sahiptir. Maddenin dielektrik sabiti optik eksen boyunca daha büyük bir bileşene sahip olduğundan, uygulanan elektrik alanı molekülleri dielektrik sabitinin maksimum olduğu elektrik alan doğrultusunda yöneltir. Nematik maddenin sahip olduğu anizotropik davranış nedeniyle, elektrik alan uygulanması durumunda maddeden geçen ışığın kutuplanma özellikleri değişime uğrar. Bu durum ortamda gözlenen bükümlü elektro-optik olayın fiziksel temelini oluşturur.



Şekil 1. Nematik sıvı kristal bir ortamın moleküler yapısı.

Nematik sıvı kristal maddelerin çeşitli fiziksel özelliklerinin incelenmesi geniş bir araştırma potansiyeli oluşturmaktadır (Anisimov, 1988; Karapınar ve Gündüz 1992, Needham, 1983; MacGregor, 1988, Yaniv, 1989). Nematik ortamdaki moleküllerin levha yüzeylerine paralel ve dik olarak yönelmelerini sağlamak üzere uygulanması gereken yüzey etkinlik işlemleri hakkında literatürde geniş bir bilgi edinmek olasıdır (Sato ve ark., 1972; Uchida ve ark., 1972). Genel olarak levha yüzeyleri ile moleküller arasında van der Waals, hidrojen bağları, dipo-dipol etkileri gibi fiziko-kimyasal kuvvetlerin etkili olduğu belirtilmektedir (Kahn ve ark., 1973; Creagh ve ark., 1972). Hücre yüzeylerinin aynı doğrultuda sürtme işlemine maruz kalmaları sonucunda, bu tür yüzeylerdeki nematik moleküllerin levha yüzeylerine paralel olacak biçimde yönelmeleri ve böylece planar bir yönelimin elde edildiği Berreman (1972) tarafından rapor edilmiştir. Creagh ve ark (1972), yüzey yönelim kuvvetlerinin etkisini göz önünde bulunduran daha farklı bir model ortaya koymuşlardır. Nematik sıvı kristal bir ortamdaki yönelim mekanizması elektron mikroskopu ile incelenmiştir (Dixon ve Hester, 1974). Çeşitli araştırmacılar levha yüzeyleri üzerinde dik veya paralel yönelimlerin oluşumunun nematik akışkanın yüzey gerilme etkisine ve levhanın yüzey enerjisine bağlı olabileceğini belirtmişlerdir. Son yıllarda yapılan araştırmalarda bükümlü nematik bir göstergenin çalışma performansı ve yanıt süresi gibi parametreler inceleme konusu edilmektedir. Nematik bir maddenin voltaja bağlı bükülme etkisi bir yüzeyi sürtme işlemi ile elde edilen planar yönelimli, diğer yüzü ise ışık etkisiyle elde edilen bir yönelim tabakasından oluşmuş film kullanılarak incelenmiştir (Bryan-Brown ve ark. 1998). Yine yüksek performanslı bükümlü nematik göstergenin yapımı Guo ve Kwok (2000) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bükümlü nematik bir filmin farklı bükülme açılarına bağlı olarak incelenmesi yapılmıştır. Geliştirilen bu tür bir gösterge devresi $-\pi/2$ ve $3\pi/2$ bükülme halleri ile yine $\pi/2$ ve $5\pi/2$ bükülme hallerinde optik bir tepki vermektedir (Xie ve Kwok 1998). Nematik sıvı kristal bir ortamın dielektrik sabitlerinin deneysel olarak incelenmesi Yang ve Sambles (2003) tarafından verilmektedir. Nematik bir filmin optik modülasyonu Karapınar ve Gündüz (1994) tarafından yapılan çalışmada incelenmiştir. Bükümlü nematik yapı ile ilgili bir çalışma Karapınar (2005) tarafından verilmiştir. Bükümlü nematik sıvı kristal tabakalar kullanarak, görüş açısı problemini inceleyen bir çalışma Chi-Huang ve ark. (2009) tarafından verilmiştir.

Bu çalışmada, bükümlü nematik sıvı kristal bir filmin yapımı ve bu filmin bazı optik özellikleri, yukarıda söz edilen araştırmalar göz önünde bulundurularak çalışma konusu edilmektedir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada inceleme konusu edilen madde geniş bir sıcaklık bölgesinde nematik sıvı kristal faz gösteren bir bileşiktir. Üç alkilsyanobifenil ve bir alkilsyanoterfenilden oluşmuş bu bileşik için genel olarak E7 kısaltma adı kullanılmaktadır. Bu bileşiğin molekül yapısı Şekil 2'de verilmektedir. E7 bileşiği için nematik-izotropik faz geçişi sıcaklığı $T_{NI} = 62$ °C dir. Syanobifenil ve syanoterfenil bileşikler kimyasal ve fotokimyasal kararlılığa sahip olup, oda sıcaklığında nematik faz gösterirler. Bu maddeler düşük viskozite ve büyük pozitif dielektrik anizotropi göstermeleri nedeniyle alan-etkimele

çeşitli elektro-optik gösterge devrelerinde kullanılmaya avantajına sahiptir.

Nematik moleküllerin iletken kaplamalı cam levha yüzeylerine paralel yönelimini sağlayabilmek için polimer filmle kaplanmış cam levha yüzeylerine sürtme işlemi uygulanarak planar yönelimli bir ince film elde edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için yönelim tabakası olarak işlem gören ACH72 polimeri ağırlıkça % 0.1'lik oranında su içerisine konularak bir karışım elde edilmiştir. Bu karışım içerisinde 10 dakika süreyle bekletilen cam levhalar, yüzlerine dokunulmaksızın dışarı alınarak 120 °C sıcaklıktaki bir fırın içerisinde 30 dakika bekletilerek kurutulmuştur. Cam levhalara aynı doğrultuda sürtme işlemi uygulanarak planar yönelimli bir film elde edilmesi amaçlanmıştır. Cam levhalar arasına mylar şeritler yerleştirilerek sabit kalınlıklı ($d = 13$ µm) bir filmin oluşumu gerçekleştirilmiştir. Böylece yüzey etkinlik işlemi uygulanmış cam levhaların birbirlerine yapıştırılması amacıyla sıcaklığa dayanıklı bir yapıştırıcı kullanılmıştır. Nematik madde mylar şeritlerle sınırlanan hücre içerisine doldurulmuştur. Bu işlem sürecinde film içinde herhangi bir hava kabarcığının kalmamasına özen gösterilmiştir. Oda sıcaklığındaki nematik sıvı kristal film, üzerinde incelemeler yapmak üzere polarize mikroskop altında incelenmiştir.

Nematik filmin elektro-optik davranışını incelemek için kullanılan optik yöntemde, bir güç kaynağından elde edilen 0-5 V gerilimleri nematik filme uygulanarak filmde geçen tek-renkli lazer ışığının (633 nm) şiddeti bir foto-dedektör ile ölçülmüştür.

Nematik maddenin arasına konulduğu levha yüzeylerinin birbirlerine göre 90° bükülmesi ile elde edilen ve her bir yüzeydeki moleküllerin optik eksen boyunca yönelmeleri bükümlü nematik yapı elde edilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü gibi üst ve alt levhalar arasında 90°'lik bir bükülme açısı olduğunda, moleküller her iki levhaya paralel biçimde yönelirler; ancak levhalar arasında bir bükümlü yapı oluşmaktadır. Çapraz polarizör sistemi arasındaki bükümlü nematik yapı, üzerine gelen ışığın kutuplanma doğrultusunun tüm ortam boyunca 90° çevirmesi sonucu ortam aydınlık görünür. Ancak bir elektrik alan uygulanması ile bu moleküller yönelim bozulur ve dik bir moleküller yönelimin ortaya çıkması sonucu bu yapıdan ışık geçişi gerçekleşmez. Böylece bükümlü nematik film üzerine elektrik alanı uygulanarak içinden geçen ışık geçişi kontrol edilebilir. Böylece bu tür bir optik sistem, ışık şiddetine dayalı optik modulatör görevi yapmış olur.

Eğer nematik hücre çapraz polarizör çifti arasına konulursa ortamdaki ışık geçişi nedeniyle oluşan bu yapıya beyaz modlu hücre denir. Bu durumda hücrenin giriş yüzeyindeki moleküllerin yönelimi polarizörün geçirgenlik eksenine paralel, ancak çıkıştaki moleküller yönelim ise analizörün geçirgenlik eksenine paraleldir. O halde ışığın kutuplanma düzleminin bir dönme etkisine maruz kalması durumunda bükümlü nematik filmde ışık geçişi için aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

$$T = 1 - \frac{\sin^2\left(\frac{\pi}{2}\sqrt{1+u^2}\right)}{1+u^2}$$

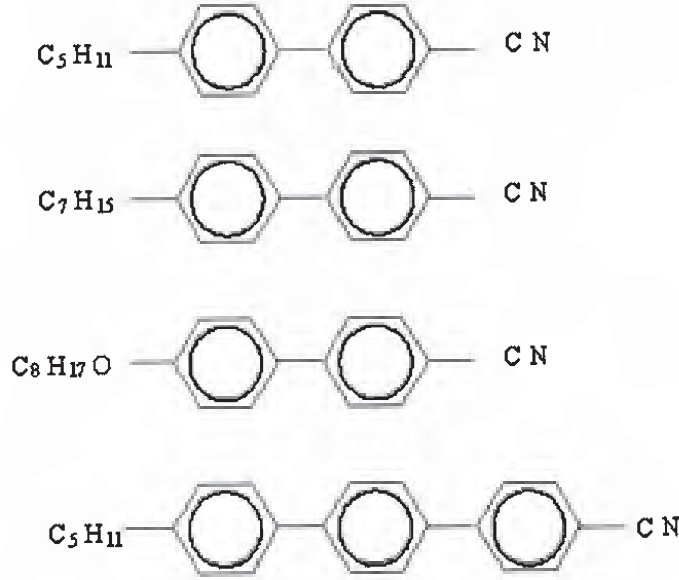
Burada $u = 2d\Delta n/\lambda$ olup; d filmin kalınlığı, λ ışığın dalga boyudur. Δn ortamın optik anizotropisi olup E7 bileşiği için bu değer 0.2 dir. Nematik bir filmin en önemli özelliği ışık

geçişini verir. Filmin kalınlığı $d = 13 \mu\text{m}$ olduğundan Mauguin şartı olan $d\Delta n > \lambda$ gerçekleşmektedir.

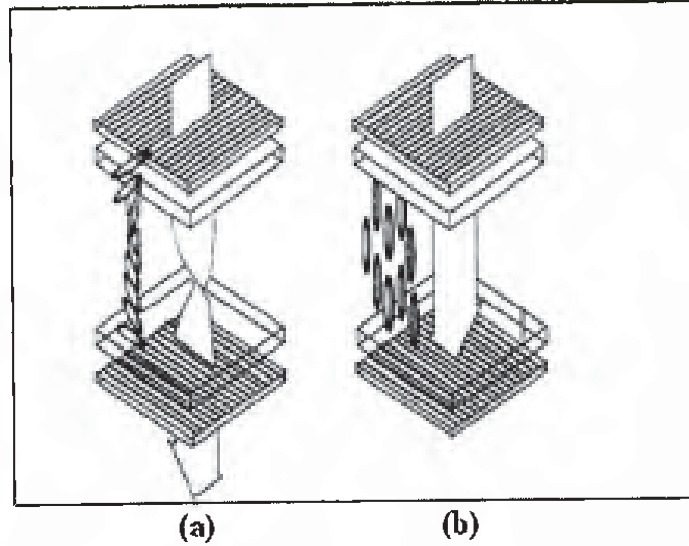
Bükümlü nematik bir filmde voltaja bağlı ışık geçişinin incelenmesi görünür bölgede nematik maddenin çift kırıcılığının belirlenmesine olanak verir. Bükümlü nematik filme uygulanan voltajın eşik değeri aşağıdaki ifade ile verilir. Bu bağıntıda uygulanan voltaj, ortamın esneklik şekil değişimini belirleyen K_{ii} Frank esneklik

sabitlerine ve ortamın ϵ dielektrik sabitlerine bağlıdır. Burada $\Delta\epsilon$ nematik ortamın dielektrik anizotropisidir.

$$V_c = \pi \sqrt{\frac{K_{11} + (K_{33} - 2K_{22}) / 4}{\epsilon_0 \Delta\epsilon}}$$



Şekil 2. E7 bileşiğinin molekül yapısı.

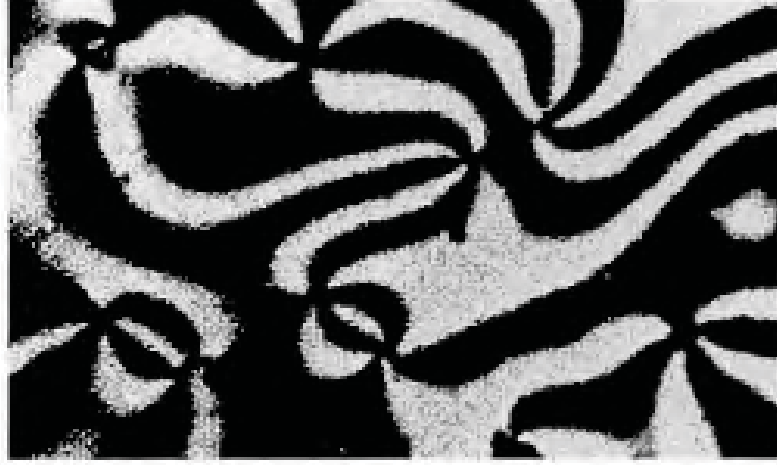


Şekil 3. Bükümlü nematik bir filmin çalışma ilkesi. (a) $V = 0$, (b) $V \neq 0$.

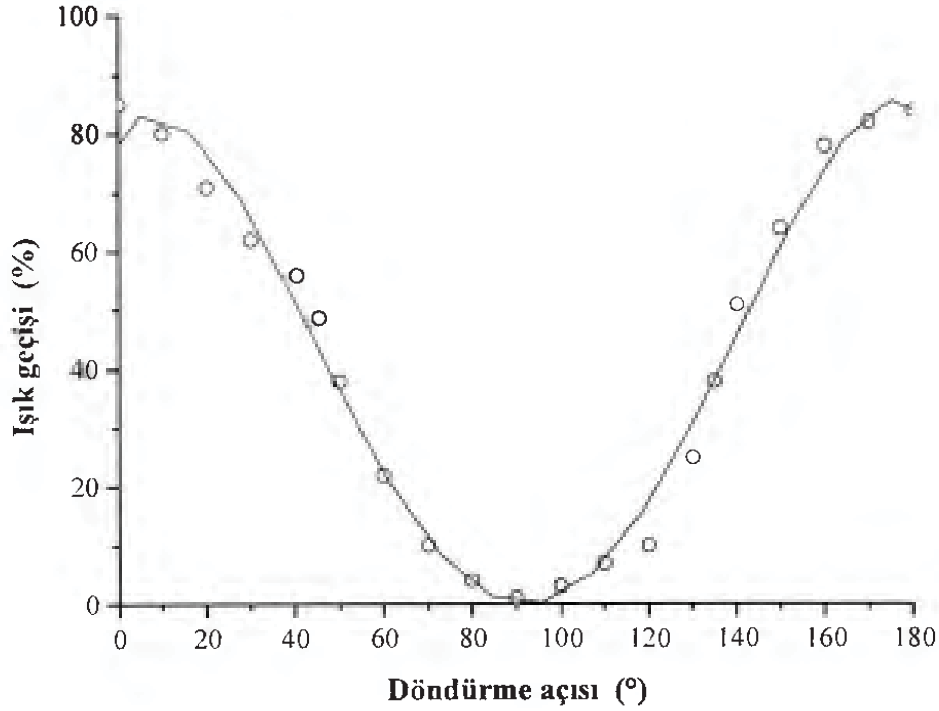
Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, bükümlü nematik ince filmlerin yapımı ve optik özellikleri inceleme konusu edilmiştir. Nematik faz gösteren maddenin polarize mikroskop altında gösterdiği desene ait bir fotoğraf Şekil 4'de gösterilmektedir. Sürtme yöntemi uygulanarak elde edilen nematik filmlerin yönelim durumunun kontrolü polarize mikroskop altında incelenmiştir. Filmin elektrik alan etkimeli ışık geçirgenliği, bükümlü nematik filmin elektrik

alan etkisinde ortamdaki geçen tek-renkli çizgisel kutuplanmış ışığın analiz edilmesi ile incelenmiştir. Bükümlü nematik filmdeki yönelim durumunu izlemek üzere, çapraz polarizörler arasında konularak döndürülen filmde geçen ışık şiddetinde, her 90° 'lik döndürmeye karşılık maksimum ve minimum değerler gözlenmiştir. Bükümlü nematik filmde geçen ışık şiddetinin dönme açısına bağlılığı Şekil 5'de gösterilmektedir.



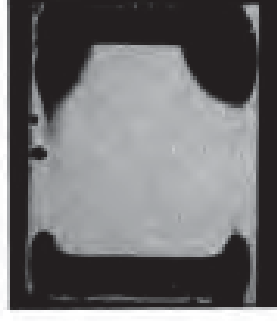
Şekil 4. Nematik filmdeki Schlieren yapısına ait fotoğraf.



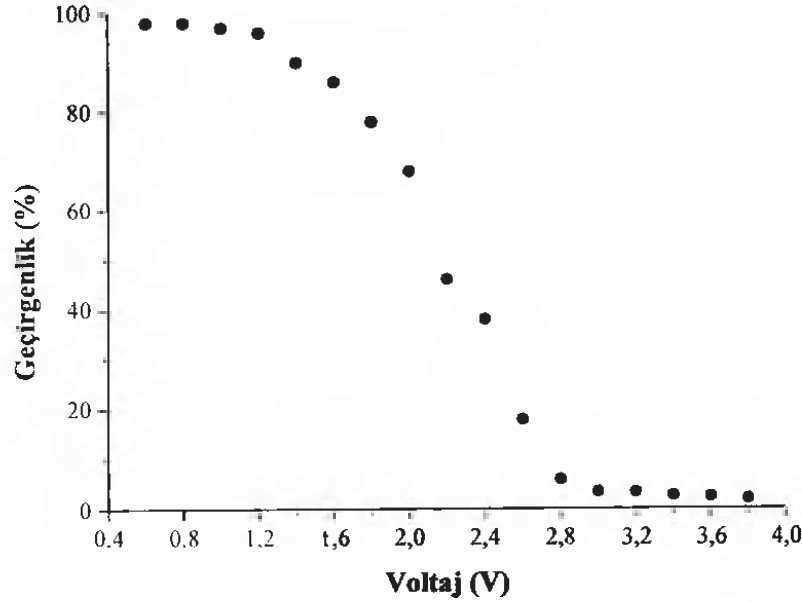
Şekil 5. Çapraz polarizörler arasındaki bükümlü nematik filmin ışık geçirgenliği.

Deneyde yapılan gözlemler, filmlerde bükümlü nematik yapının ortaya çıktığını göstermektedir. Filme uygulanan sürtme işlemi doğrultusu polarizörlerden birisinin geçirgenlik eksenini boyunca seçildiğinde ortamdaki ışık geçişi maksimum olmaktadır. Bu durum filmdeki optik eksen doğrultusunun, yani yönelim doğrultusunun sürtme işlemi doğrultusu boyunca ortaya

çıktığını belirtmektedir. Bu durumda çapraz polarizör sistemi arasına konulan bükümlü nematik film aydınlık gözükmemektedir (Şekil 6). Uygulanan bir dış elektrik alanının etkisini gözlemek amacıyla yapılan incelemede, bükümlü nematik filme uygulanan voltajın fonksiyonu olarak ışık şiddetinde gözlenen değişim Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 6. Çapraz polarizörler arasında bükümlü nematik bir filmin makroskopik fotoğrafı.



Şekil 7. Bükümlü nematik filmde voltaja bağlı ışık geçişi.

Bu deneysel çalışmada kullanılan nematik E7 bileşiği için tipik fiziksel sabitler $K_{11} = 9.2 \times 10^{-12}$ N, $K_{22} = 7.1 \times 10^{-12}$ N, $K_{33} = 16.2 \times 10^{-12}$ N ve $\Delta\epsilon = 13.8$ kullanılarak eşik voltajı için $V_c = 0.88$ V teorik değeri elde edilmiştir. Ancak yapılan çalışmada deneysel olarak $V_c = 1.4$ V değeri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi, bükümlü nematik film çok küçük çalışma voltajlarında elektro-optik tepki göstermektedirler. Bu düşük çalışma voltajı çok az güç harcamasına neden olduğundan ($\sim 1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$), bu tür maddelerin gösterge devrelerinde kullanımı yaygındır.

Nematik bir maddenin bir yüzey üzerindeki bağlanma enerjisinin ölçülmesi fiziksel açıdan oldukça önemlidir. Elektro-optik gösterge devrelerinin verimi, yüzeyle nematik madde arasındaki etkileşime bağlıdır. Bağlanma enerjisi ne kadar büyük olursa, maddenin bir dış alandaki elektro-optik tepkisi daha da kararlı olur.

Bükümlü nematik bir filmdeki bükülme açısı ölçülerek W bağlanma enerjisi hesaplanabilir. Film levhalarından birisindeki sürtme doğrultusu, çapraz polarizörlerden birisine paralel olacak biçimde seçilerek, analizörün döndürülmesi ile bükülme açısı tayin edilir. Bağlanma enerjisinin bu yaklaşımla belirlenmesi

yöntemi Bryan-Brown ve Sage (1996) tarafından kullanılmıştır. Bükümlü nematik filmdeki moleküllerin sürtme işlemi uygulanmış polimer yüzeyindeki bağlanma enerjisi aşağıdaki bağıntı ile verilir:

$$W = \frac{2K_{22}\phi}{d \sin 2\phi}$$

Burada d filmin kalınlığı, K_{22} Frank bükülme esneklik sabiti ve ϕ bükülme açısıdır. Deneyde nematik E7 bileşiği için yapılan incelemede $K_{22} = 7.1 \times 10^{-12}$ N değeri alınarak ve bükülme açısının ölçülen $\phi = 87^\circ$ değeri kullanılarak bağlanma enerjisi için $W = 1.6 \times 10^{-5}$ J/m² değeri bulunmuştur. Bu değer MBBA gibi klasik nematik maddelerin $\sim 10^{-6}$ J/m² değerinden büyüktür. Sonuç olarak E7 nematik bileşiğinin başlıca optik özelliklerinin yanısıra bağlanma enerjisinin de büyük olması nedeniyle, bükümlü nematik göstergelerde kullanımının uygun olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

- Anisimov, M.A., 1988. Critical phenomena in liquid crystals. *Mol.Cryst. Liq.Cryst.*, **162**: 1-93.
- Bereman, D.W., 1972. Solid surface shape and the alignment of an adjacent nematic liquid crystal. *Phys. Rev. Lett.*, **28**: 1683-1686.
- Bryan-Brown, G.P., Brown, C.V., Sage, I.C., Hui, V.C., 1998. Voltage-dependent anchoring of a nematic liquid crystal on a grating surface. *Nature*, **392**: 365-367.
- Chi-Huang L., Ru-Hsien C., Ming-Li H., Chia-Wei C., Chie-Tong K., 2009. Viewing angle switching panels using large optically anisotropic behaviours of twisted-nematic liquid-crystal layers, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **42**: 245502-245508.
- Creagh, L.T., Kmetz, A.R., 1972. Performance advantages of liquid crystal displays with surfactant-produced homogeneous alignment. Digest of Soc. for Information Display International Symp., *San Francisco, Calif.*, 90.
- Dixon, G. D., Brody, T. P., Hester, W. A., 1974. Alignment mechanism in twisted nematic layers. *Appl. Phys. Lett.*, **24**: 47-49.
- Guo, J.X., Kwok, H.S., 2000. High performance transmittive bistable twisted nematic liquid displays. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39**: 1210-1216.
- Kahn, F.J., Taylor, G.N., Schonhom, H., 1973. Surface produced alignment of liquid crystals. *Proc.IEEE.*, **61**: 823-829.
- Karapınar, R, Gündüz; E. 1994. An acousto-optic modulator with a liquid crystal. *Optics Communications*, **105**: 29-32.
- Karapınar, R, Gündüz; E., 1992. Sıvı kristal displayler. *YYU, Fen-Ed. Fak. Fen. B. Derg.*, **3**:93-105.
- Karapınar, R., 2005. Bükümlü nematik sıvı kristaller. *Geleneksel Erzurum Fizik Günleri-II*, 25-28 Mayıs 2005. Erzurum.
- MacGregor, A.R., 1988. Modeling of the optical properties of twisted nematic guest-host liquid crystals. *J. Phys.D: Appl. Phys.*, **21**: 1438-1446.
- Needham, B., 1983. Practical limits on addressing twisted nematic displays. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **309**: 179-188.
- Sato, S., Wada, M., 1972. Molecular orientation effects in compensated liquid crystals. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **11**: 1566-1570.
- Xie, Z. L., Kwok, H. S., 1998. New bistable twisted nematic liquid crystal displays. *Journal of Applied Physics*, **84**: 77-82.
- Uchida, T., Watanabe, H., Wada, M., 1972. Molecular arrangement of nematic liquid crystals. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **11**: 1559-1565.
- Yang, F., Sambles, J.R., 2003. Determination of the permittivity of nematic liquid crystals in the microwave region. *Liquid crystals*, **30**: 599-602.
- Yaniv, Z., 1989. The new wave in displays. *Photonics Spectra*, *April*: 95-100.