

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEKLİSANS TEZİ

**SIVI KRİSTALLERDE MOLEKÜLER YÖNLENDİRME
VE ELEKTROOPTİK ETKİLER**

Halide MELİK

FİZİK ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2010**

Doç. Dr. Süleyman YILMAZ danışmanlığında, Halide MELİK'in hazırladığı "Sıvı Kristallerde Moleküler Yönlendirme ve Elektrooptik Etkiler" konulu bu çalışma 02/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Süleyman YILMAZ

Üye : Prof. Dr. Emirullah MEHMETOV

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK

Bu Tezin Fizik Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet CİCİ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 2009/36

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Sıvı Kristallerin Tarihçesi.....	1
1.2 Sıvı Kristaller.....	2
1.2.1 Lyotropik sıvı kristaller.....	5
1.2.2 Termotropik sıvı kristaller.....	5
1.2.2.1 Nematikler.....	6
1.2.2.2 Smektikler.....	8
1.2.2.3 Kolesterikler.....	10
1.2.3 Polimer yayılmış sıvı kristaller.....	11
1.3 Yönlendirme Prosesi.....	11
1.3.1 Sıvı kristal yönelimleri.....	12
1.3.2 Yönlendirme metotları.....	13
1.3.2.1 Mekaniksel aşındırma yöntemi (Rubbing).....	13
1.3.2.2 Mikro-aşındırma yöntemi.....	14
1.3.2.3 Işıkla yönlendirme yöntemi.....	15
1.3.2.4 Fotolitografik yöntem.....	16
1.3.2.5 İyon bombardımanı ile yönlendirme.....	16
1.3.3 Sıvı kristal-yönelim katmanı etkileşimi.....	16
1.3.3.1 Eğim (Pretilt) açısı.....	16
1.3.3.2 Bağlanma enerjisi.....	17
1.3.3.3 Hücre kalınlığı.....	18
1.3.3.3.(1) İnterferometrik yöntem.....	18
1.3.3.3.(2) Faz dengeleme yöntemi.....	18
1.3.3.3.(3) Spektrum tarama yöntemi.....	19
1.4 Sıvı Kristallerde Dış Etkiler.....	19
1.4.1 Elektrik ve Manyetik Alan Etkisi.....	19
1.4.2 Sıcaklık etkisi.....	21
1.4.3 Optiksel etkiler.....	21
1.4.3.1 Çift kırılma.....	22
1.4.3.2 Polarizasyon.....	23
1.5 Nematik Sıvı Kristallerde Elektrooptik Etkiler.....	25
1.5.1 Dinamik saçılma.....	25
1.5.2 Konuk-ev sahibi etkisi.....	26
1.5.3 Alanla indüklenmiş nematik-kolesterik faz geçişi.....	27
1.5.4 Mikron ölçekli damlacıklardan ışık saçılması.....	28
1.5.5 Burkulmuş nematik etki.....	29
1.5.6 Süperburkulmuş nematik etki.....	31
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	31
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	37
3.1 Materyal.....	37
3.1.1 Deneyde kullanılan cihazlar.....	37
3.1.1.1 Manyetik karıştırıcı.....	37
3.1.1.2 Çekerocak.....	37

3.1.1.3. Spin kaplama.....	40
3.1.1.4. UV kür kaynağı.....	41
3.1.1.5. Ultrasonik banyo.....	41
3.1.1.6. Fırın.....	42
3.1.1.7. Polarizasyon mikroskobu.....	43
3.1.1.8. Lazer.....	44
3.1.1.9. Mekanik modülatör.....	44
3.1.1.10. Polarizör ve analizör.....	46
3.1.1.11. Numune tutucu.....	46
3.1.1.12. Foto-algılayıcı.....	48
3.1.1.13. Lock-in amplifier.....	49
3.1.1.14. Termostat.....	49
3.1.1.15. Güç kaynağı.....	49
3.1.2. Malzeme veya numunelerin hazırlanması.....	50
3.1.2.1. ITO lameller.....	50
3.1.2.2. ITO lamellerin kaplanması.....	50
3.1.2.3. Sıvı kristal hücrelerin hazırlanması.....	50
3.2. Yöntem.....	53
3.2.1. Mekaniksel aşındırma yöntemi (Rubbing).....	53
3.2.2. Fotolitografik yöntem.....	53
3.2.3. Deney düzeneği.....	53
3.2.3.1. Devre.....	53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	53
4.1. Rubbing Yöntemi ile Hazırlanan Planar Yönelimli Sıvı Kristal Hücre.....	53
4.1.1. Elektrik alana bağlı morfolojik değişimler.....	53
4.1.2. Elektrik alana bağlı ışık şiddeti değişimleri.....	55
4.2. Fotolitografik Yöntemle Hazırlanan Planar Yönelimli Sıvı Kristal Hücre.....	63
4.2.1. Elektrik alana bağlı morfolojik değişimler.....	63
4.2.2. Elektrik alana bağlı ışık şiddeti değişimleri.....	64
4.3. Homeotropik Yönelimli Sıvı Kristal Hücre.....	66
4.3.1. Elektrik alana bağlı morfolojik değişimler.....	66
4.3.2. Elektrik alana bağlı ışık şiddeti değişimleri.....	71
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	82
ÖZET.....	83
SUMMARY.....	84

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

**SIVI KRİSTALLERDE MOLEKÜLER YÖNLENDİRME VE ELEKTROOPTİK
ETKİLER**

Halide MELİK

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Süleyman YILMAZ
Yıl: 2010 , Sayfa: 84**

Bu çalışmada, planar ve homeotropik olarak yönlendirilmiş sıvı kristal numunelerin nematik faz bölgesinde elektrooptik etkileri incelendi. Planar yönelim mekanik aşındırma (rubbing) ve fotolitografik metodla sağlandı. Elektrooptik ölçümler, sıcaklık kontrol ünitesi ve elektrik alan ünitesi yardımıyla optik geçirgenlik ölçüm ünitesinde elde edildi. Sıcaklık kontrol ünitesiyle numunelerin tüm fazlarını içeren düzenli bir sıcaklık artışı, elektrik alan ünitesiyle de moleküler yapıyı ve yönlendirmeyi etkileyen değişken alanlar sağlandı. Ölçümler sonucunda, farklı yöntemlerle elde edilen yönlendirici yüzeylerin moleküler yönelimi büyük oranda etkilediği gözlemlendi. Fotolitografik yöntemde rubbing yöntemine göre moleküller ile yönlendirici yüzey arasında kuvvetli bağlar oluştuğu gözlemlendi. Buna bağlı olarak moleküler yönlendirme daha etkin düzeyde gerçekleşti.

Anahtar Kelimeler: Nematik sıvı kristaller, planar yönelim, homeotropik yönelim, elektrooptik etki, optik geçirgenlik.

ABSTRACT

MSc Thesis

MOLECULAR ALIGNMENT AND ELECTROOPTIC EFFECTS ON LIQUID CRYSTALS

Halide MELİK

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Süleyman YILMAZ
Year: 2010 , Page: 84**

In this study, electrooptical effects of planar and homeotropically oriented liquid crystal samples were investigated in nematic phase. Planar orientation was obtained by mechanical abrasion (rubbing) and photolithographic method. Electrooptical measurements were carried out by optical transmittance measurement unit by means of a temperature control and an electric field units. Temperature control unit was used to include all phases of the samples with a steady increase in temperature, and variable electric field was used to affect the molecular structure and orientation of the molecule. As a result of measurements, variation of temperature and electric field greatly affects the molecular orientation obtained by different methods. In photolithographic method strong bonds between the molecules and the orienting surface were observed in contrast to rubbing method. Based on this, molecular orientation took place at a more efficient level.

KEY WORDS: Nematic liquid crystals, planar alignment, homeotropic alignment, electrooptic effect, optical transmission.

TEŞEKKÜR

Bana tez konumu veren ve alıŐmalarım için bütün imkanları sağlayan, beni destekleyen sayın danıŐmanım Doç. Dr. Süleyman YILMAZ'a;

Labaratuar çalıŐmalarımda karşılaŐtıđım zorluklarda benden yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Maharram ZARBALİYEV'e ve Yrd. Doç. Dr. Mehriban EMEK'e;

Beni hiçbir konuda yalnız bırakmayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli eŐim Mehmet MELİK'e çok teşekkür ediyorum.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Basit bir kübik yapının (a) koumsal düzeni,(b) konumsal ve yönelimsel düzeni.....	3
Şekil 1.2. Katı,sıvı kristal ve sıvının molekül yönelimi.....	4
Şekil 1.3. Katı ve izotropik sıvı faz arasındaki sıvı kristal mezofazlar.....	4
Şekil 1.4. Sıvı kristal fazları, (a) Nematik SK, (b) Smektik SK, (c) Kolesterik SK.....	5
Şekil 1.5. Nematik sıvı kristal.....	6
Şekil 1.6. Nematik fazın şematik gösterimi ve sıvı kristalin fotoğrafı.....	7
Şekil 1.7. Düzen parametresini tanımlamak için kullanılan geometri.....	7
Şekil 1.8. Düzen parametresinin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişimi.....	8
Şekil 1.9. Smektik sıvı kristal.....	8
Şekil 1.10. Smektik-A fazının (a) molekül dizilimi; (b) polarizasyon mikroskobu kullanılarak çekilmiş fotoğrafı.....	9
Şekil 1.11. Smektik-C fazının (a) molekül dizilimi; (b) polarizasyon mikroskobu kullanılarak çekilmiş fotoğrafı.....	9
Şekil 1.12. Kolesterik sıvı kristal: helikal yapının şematik gösterimi.....	10
Şekil 1.13. Polimer yayılmış sıvı kristal malzemenin şematik gösterimi; (a) dış alanın yokluğunda,yüksek saçılma durumu; (b) dış alanın varlığında,şeffaf durumda.....	11
Şekil 1.14. Homeotropik ve planar dizilim.....	13
Şekil 1.15. Mekaniksel aşındırma (rubbing).....	14
Şekil 1.16. Temassız ışıkla yönlendirme ilkesi.....	15
Şekil 1.17. Eğim açısı, lamel yüzeyi ile lokal doğrultu arasındaki açıdır.....	17
Şekil 1.18. Sıvı kristal molekülünün uygulanan elektrik alandan etkilenmesi.....	20
Şekil 1.19. Sıvı kristal molekülleri elektrik alan boyunca yönlenirler.....	20
Şekil 1.20. Nematik yönlendirici (paralel çizgiler) ve ışık demetinin farklı polarizasyonları.....	22
Şekil 1.21. Çift kırılmalı malzeme boyunca ilerleyen ışık polarizasyona bağlı olarak iki farklı kırılma indisi sergiler.....	22
Şekil 1.22. Dalgalar maksimum ve minimum noktalarına aynı anda uzanıyorsa iki dalga tek dalga haline dönüşerek 45 derecelik lineer kutuplanırlar (b) dalgalar faz dışıysa yani biri uç noktada iken diğeri sıfır ise dairesel kutuplanma görülür.....	24
Şekil 1.23. Konuk-ev sahibi sıvı kristal sistemlerde ışığın elektrooptik modülasyonu (a) alanın yokluğunda; (b) alanın varlığında.....	27
Şekil 1.24. Elektrik alanla indüklenmiş kolesterik-nematik faz geçişi.....	28
Şekil 1.25. Yönelim katmanı.....	29
Şekil 1.26. Moleküllerin bir düzlemden diğerine geçerken burkulması.....	30
Şekil 1.27. Çiftlenmiş nematik aygıt geometrisi. Direktör (yönlendirici) ile paralel yönelmiş polarize edici ve analiz edici birbirine diktirler.....	30
Şekil 1.28. Süperburkulmuş hücre ile burkulmuş hücrenin elektrooptik karakteristiklerinin şematik gösterimi.....	32
Şekil 3.1. Manyetik karıştırıcı.....	39
Şekil 3.2. Çekerocak.....	40
Şekil 3.3. Spin kaplama.....	40
Şekil 3.4. UV kür kaynağı.....	41
Şekil 3.5. Ultrasonik banyo.....	42
Şekil 3.6. Fırın.....	42
Şekil 3.7. Polarizasyon mikroskobu ve bölümleri.....	43
Şekil 3.8. Mikroskop altında incelenen malzemenin görüntüsünün kamerayla bilgisayara aktarılması.....	44
Şekil 3.9. Mekanik modülatör.....	45
Şekil 3.10. Mekanik modülatör denetleyicisi.....	45
Şekil 3.11. Mekanik modülatörün pervane kanatları.....	45

Şekil 3.12. Mekanik modülatör ile yapılan tek demet deneyinin şematik gösterimi.....	46
Şekil 3.13. Numune tutucunun kapalı durumda şematik görüntüsü.....	47
Şekil 3.14. Numune tutucunun açık durumda şematik görüntüsü.....	47
Şekil 3.15. Foto-algılayıcı.....	48
Şekil 3.16. Polarizör,numune tutucu,analizör ve foto algılayıcı.....	48
Şekil 3.17. SR530 Lock-in amplifier.....	49
Şekil 3.18. Termostat.....	49
Şekil 3.19. Kaplanmış yüzeyin (a) rubbing uygulanmadan önceki görünümü; (b) rubbing uygulandıktan sonraki görünümü.....	51
Şekil 3.20. Kaplanmış yüzeyin (a) UV ışığına maruz bırakılmadan önce; (b) UV ışığına maruz bırakıldıktan sonraki görünümü.....	52
Şekil 3.21. SE1211+Solvent26 solüsyonuyla kaplanan ITO yüzeyi.....	52
Şekil 3.22. Deney düzeneğinin devre şeması: ısıtma ve sıcaklık kontrol devresi, elektrik alan devresi ve optik ölçüm devresi (3 bağımsız devre).....	54
Şekil 4.1. Rubbinge yönlendirilmiş planar sıvı kristal hücrenin 0 voltteki görünümü.....	56
Şekil 4.2. Rubbinge yönlendirilmiş planar sıvı kristal hücrenin 3 voltteki görünümü.....	56
Şekil 4.3. Rubbinge yönlendirilmiş planar sıvı kristal hücrenin 6 voltteki görünümü.....	57
Şekil 4.4. Rubbinge yönlendirilmiş planar sıvı kristal hücrenin 9 voltteki görünümü.....	57
Şekil 4.5. Rubbinge yönlendirilmiş planar sıvı kristal hücrenin 15 voltteki görünümü.....	58
Şekil 4.6. Rubbinge yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin farklı elektrik alanda ışık şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	59
Şekil 4.7. Rubbinge yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin farklı sıcaklık noktalarında ışık şiddetinin uygulanan elektrik alana bağlı değişimi.....	60
Şekil 4.8. Rubbinge yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 0 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	60
Şekil 4.9. Rubbinge yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 3 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	61
Şekil 4.10. Rubbinge yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 6 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	61
Şekil 4.11. Rubbinge yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 9 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	62
Şekil 4.12. Rubbinge yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 12 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	62
Şekil 4.13. Rubbinge yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 15 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	63
Şekil 4.14. Fotolitografiyle yönlendirilmiş planar sıvı kristal hücrenin 0 voltteki görünümü...	64
Şekil 4.15. Fotolitografiyle yönlendirilmiş planar sıvı kristal hücrenin 3 voltteki görünümü.....	64
Şekil 4.16. Fotolitografiyle yönlendirilmiş planar sıvı kristal hücrenin 6 voltteki görünümü.....	65
Şekil 4.17. Fotolitografiyle yönlendirilmiş planar sıvı kristal hücrenin 12 voltteki görünümü.....	65
Şekil 4.18. Fotolitografiyle yönlendirilmiş planar sıvı kristal hücrenin 15 voltteki görünümü.....	66
Şekil 4.19. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin farklı elektrik alanda ışık şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	67
Şekil 4.20. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin farklı sıcaklık noktalarında ışık şiddetinin uygulanan elektrik alana bağlı değişimi.....	67
Şekil 4.21. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 0 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	68
Şekil 4.22. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 3 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	68
Şekil 4.23. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 6 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	69
Şekil 4.24. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 9 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	69
Şekil 4.25. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 12 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	70
Şekil 4.26. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 15V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	70
Şekil 4.27. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin 0 voltteki görünümü.....	71
Şekil 4.28. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin 3 voltteki görünümü.....	72

Şekil 4.29. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin 6 volttaki görünümü.....	72
Şekil 4.30. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin 9 volttaki görünümü.....	73
Şekil 4.31. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin 15 volttaki görünümü.....	73
Şekil 4.32. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin farklı elektrik alanda ışık şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	74
Şekil 4.33. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin farklı sıcaklık noktalarında ışık şiddetinin uygulanan elektrik alana bağlı değişimi.....	75
Şekil 4.34. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 0 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	76
Şekil 4.35. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 3 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	76
Şekil 4.36. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 6 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	77
Şekil 4.37. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 9 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	77
Şekil 4.38. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 12 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	78
Şekil 4.39. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 15 V'luk elektrik alan için spektrum analizi.....	78

1. GİRİŞ

1. 1 Sıvı Kristallerin Tarihçesi

Sıvı deyince akla, girdiği kabın şeklini alan, akıcı bir şey; kristal deyince de, katı bir cisim gelir. Sıvılarda moleküller gelişigüzel olarak dağılmışlardır ve belli bir şekil, düzen sergilemezler. Buna karşın kristallerin moleküler yapılarının büyük bir düzen içinde olduğu görülür. Sıvı kristaller, sıvıların ve kristallerin bu birbirine zıt özelliklerinin bir arada görüldüğü organik maddelere verilen isimdir.

Sıvı kristallerin varlığı ilk kez 1888 yılında, Avusturyalı botanist Friedrich Reinitzer'in kolesteril benzoatın iki ayrı erime noktası olduğunu farketmesiyle ortaya çıkmıştır. 155°C de katı cisim bulanık bir sıvıya dönüşmüş ve bu 179°C de bulanıklığını kaybederek berrak bir sıvı halini almıştır. Bu buluştan hemen sonra Alman fizikçisi O. Lehman'ın katıdan sıvıya geçiş sırasında görülen bu bulanık sıvı üzerinde yaptığı çalışmalar, kristale benzer bir moleküler yapı özelliğini gösterdiğini ortaya koymuştur. Lehmann ilk bakışta sıvıya benzemesine rağmen kristale benzer yapı şeklinden dolayı buna sıvı kristal adını vermiştir.

Geçen yüzyılın başlangıcında George Friedel sıvı kristaller üzerine çok sayıda deneyler yapmıştır. Friedel sıvı kristal üzerindeki kusurların varlığını ve elektrik alanın etkilerini açıklayan ilk kişidir. O, 1922'de her bir malzemedeki farklı molekül düzenini esas alarak sıvı kristallerin sınıflandırılmasını yaptı.

Daha sonra deneysel çalışan araştırmacıların bir çoğu yeni sıvı kristal maddeler bulmuş ve sıvı kristaller W.H.Biagg, Louis de Broglie ve Max Born gibi tanınmış teorik fizikçilerin de ilgisini çeken popüler bir alan haline gelmiştir. Bütün bu çalışmaların sonucu olarak sıvı kristallerin birçok optik, elektrik ve manyetik özellikleri bulunmuştur. 1930 ve 1960 yılları arasında ise bu alandaki araştırmalar durgun bir döneme girmiştir. Çünkü bu alandaki çalışmaların akademik bir düzeyden ileriye taşınamaması ve uygulama alanlarının bulunamaması etken olmuştur.

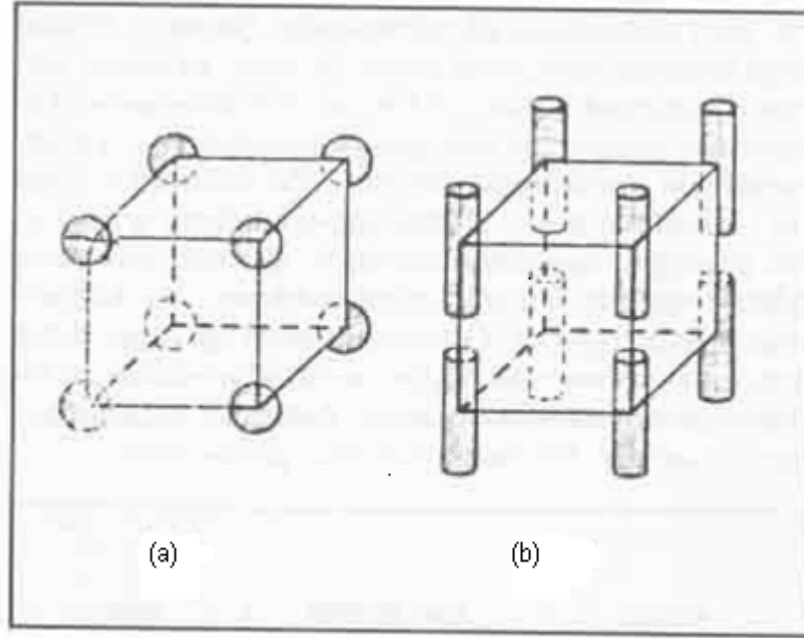
1960 yıllarında Sovyetler Birliği'nde Bilimler Akademisi üyesi Vanstein, Kristolografî Enstitüsü'nde ve Ivanova Üniversitesi'nde bu konularda araştırmalara başlamıştır. İngiltere, Fransa, Japonya, ABD ve Batı Almanya'da da bu maddelerle ilgili araştırmalar başlamıştır. Halen de SSCB'de birçok araştırma merkezi ve yüksek

okul bu maddeleri incelemektedir. Bilim adamları sıvı kristalleri daha iyi tanıdıkça onlarda yeni özellikler keşfetmekte ve yeni uygulama alanları bulmaktadırlar.

Yeryüzündeki bütün canlıların atası olan ilkel plazma kütleleri de sıvı kristallere benzemektedir. Araştırmalara göre hücre zarları ve canlılardaki bazı dokular sıvı kristal niteliğindedir. Örneğin insan ve diğer canlılardaki çizgili ve düz kas lifleri sıvı kristallerden yapılmıştır. Sıvı kristaller çeşitli yağların, fermentlerin ve kırıların yapısına girebilir. Bilim adamlarına göre beynimiz de karmaşık yapılı bir sıvı kristalden ibarettir.

1.2 Sıvı Kristaller

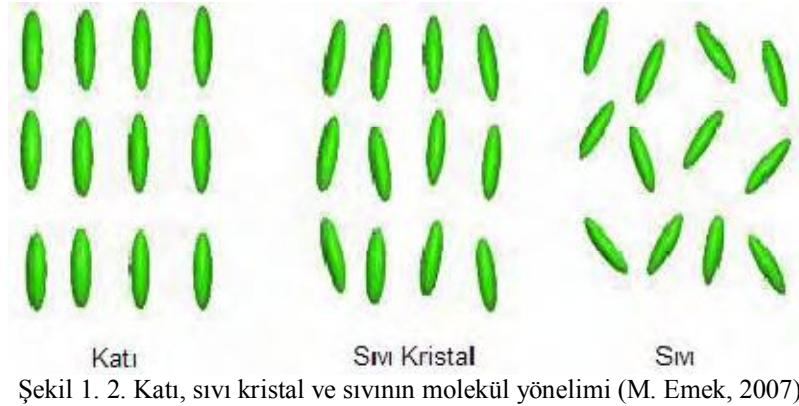
Atom veya atom gruplarının düzenli ve periyodik biçimde düzenlendiği katı bir madde kristal yapılıdır ve bu tip periyodik düzenlenme, anizotropik bir özellik taşır. Yani, kristal örgü farklı doğrultularda farklı fiziksel özellik gösterir. Örnek olarak kuartz kristali, üzerine düşen ışığı çift kırınıma uğratan bir yapıya sahiptir. Ayrıca, bir kristal örgüde mekaniksel bir şekil değişimi yapmak zordur. Örneğin, Şekil 1.1.a' da görülen basit bir kübik örgü düşünelim. Küresel yapıdaki atomlar kübün köşelerinde bulunmaktadır. Kristal örgü, bir 'konumsal düzen' e sahiptir. Kübe uygulanan mekaniksel şekil değişimi anizotropiktir.



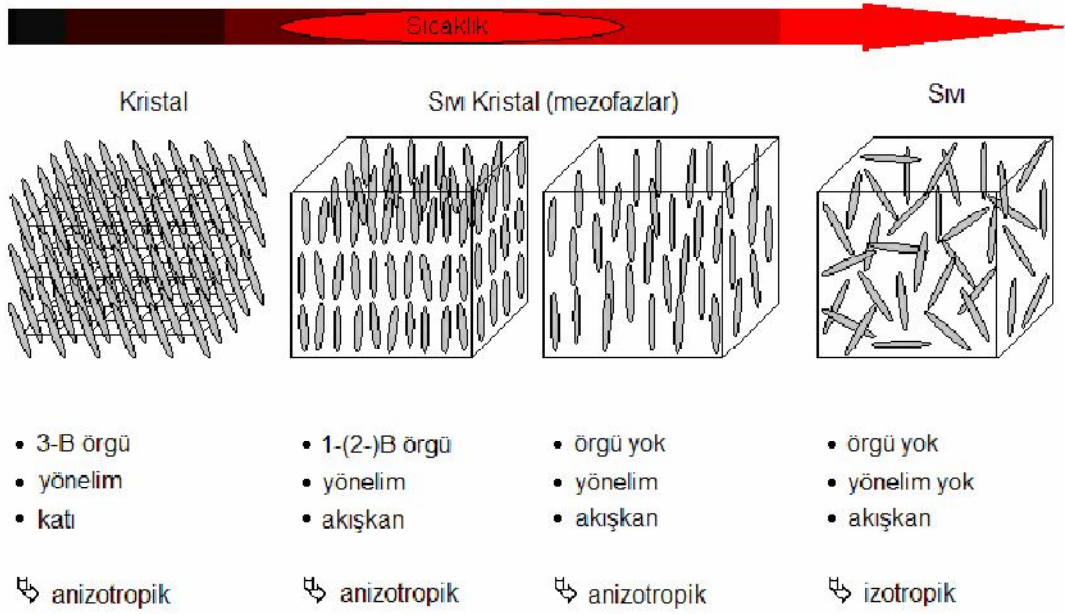
Şekil 1.1. Basit bir kübik yapının a) konumsal düzeni, b) konumsal ve yönelimsel düzeni (R.Karapınar, 1992)

Eğer bu kristal eritilirse, örgü bozulur ve fiziksel özelliklerindeki anizotropi ortadan kalkar. Böylelikle, her doğrultuda eşdeğer özellikte olan izotropik sıvı faz elde edilir. Konumsal düzenin ortadan kalkmasıyla, atomlar bu fazda serbestçe hareket ederler; yani sıvı kolayca şekil değiştirebilir. Bu olayın en tipik örneği, kristal yapılu buzun erimesi sonucu izotropik suya dönüşmesidir. Aynı kristal örgüyü bu kez örgü noktalarında çubuksu moleküller var iken düşünelim (Şekil 1. 1b). Burada konumsal düzene ek olarak, bir ‘yönelimsel düzen’ de vardır. Çubuksu moleküllerin tümü aynı doğrultuda yönelmişlerdir. Şayet bu kristal örgü eritilirse, konumsal düzen ortadan kalkacak, ancak yönelimsel düzen hala mevcut olacaktır.

Yönelimsel düzenden ileri gelen anizotropinin varlığı nedeniyle, anizotropik bir sıvı elde edilecektir. Atomların yönelmiş bu sıvı, kristal yapılu katıların anizotropik özelliğini taşımakla beraber, akışkan davranışı göstermektedir. Bu ara fazdaki madde ‘sıvı kristal’ diye adlandırılmaktadır. Ortamdaki sıcaklık biraz daha arttırılırsa, yönelimsel düzen de ortadan kalkacaktır ve bilinen izotropik sıvı elde edilecektir (R. Karapınar, 1992). Her bir faz için moleküllerin yönelimi aşağıdaki diyagramda verilmiştir.



SK' ler genel olarak iki ana gruba ayrılır. Sıcaklık değişimine bağlı olarak farklı SK fazlar gösteren organik bileşiklere ‘termotropik SK’ler’ denilmektedir. Buna karşın, tütün mozaik virüsü gibi bazı çubuksu yapıdaki moleküller ve amfibilik özellikteki uzun zincirli moleküller uygun bir çözücü içinde (genellikle su) belirli konsantrasyonlarda çözüldüklerinde SK fazlar sergiler; bunlara ‘lyotropik SK’ler’ denir.



Şekil 1. 3. Katı ve izotropik sıvı faz arasındaki sıvı kristal mezofazlar (M. Emek, 2007)

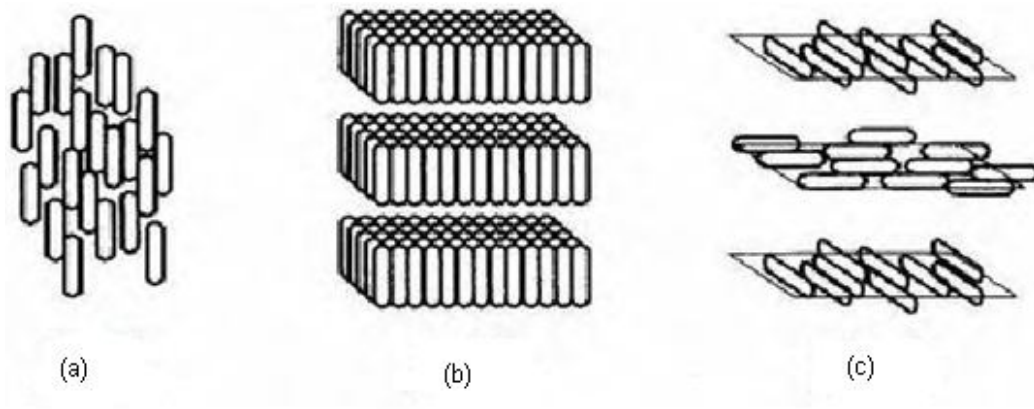
1.2.1 Lyotropik sıvı kristaller

Lyotropik SK'ler ortamdaki su konsantrasyonuna bağlı olarak, tabakalı ve altıgen yapıya ara fazlar gösterirler. Ortamdaki su miktarı arttırıldığında misel yapı ortaya çıkar. Biraz daha su eklenmesi ile sistem gerçek bir çözeltiliye dönüşmüş olur. Lyotropik SK fazlarının yapısal özellikleri X-ışınları ile incelenmektedir.

Lyotropik SK'lerin insan vücudu gibi canlı sistemlerde bulunması nedeniyle, canlı sistemlerin hücre yapısı ve dokusunun incelenmesinde bu tür maddelerin yapısal özelliklerinin araştırılması önem kazanmaktadır.

1.2.2 Termotropik sıvı kristaller

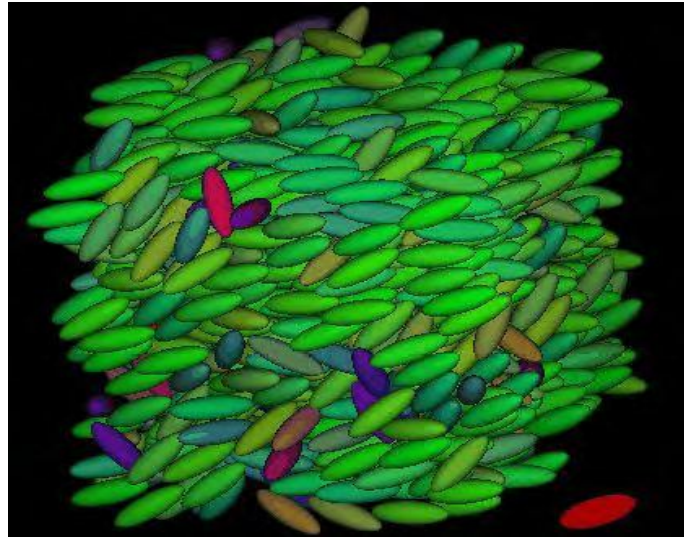
Lineer ve non-lineer optik özelliklerinden dolayı çok fazla incelenen ve en geniş kullanım alanına sahip olan sıvı kristaller termotropik sıvı kristallerdir (Khoo, 1995). Termotropik sıvı kristaller, sıcaklığın fonksiyonu olarak çeşitli sıvı kristal fazlar sergilemektedirler (Şekil 1.4.). Moleküler yapıları oldukça karmaşık olmasına rağmen, çoğunlukla "katı çubuklar" olarak bilinirler. Bu katı çubuklar birbiriyle etkileşerek farklı, düzenli yapılar oluşturmaktadırlar. Bunlar termotropik sıvı kristallerin üç ana sınıfıdır: *nematik*, *kolesterik* ve *smektik*. Smehtik sıvı kristallerin, moleküllerin konumsal ve yönelimsel düzenine bağlı olarak bazı alt sınıflandırmaları vardır. Bu mezofazlar tanımlanmış, uzun- ve kısa-erimli düzen, yönelimsel dağılım fonksiyonu gibi çok sayıda fiziksel parametre ile karakterize edilmiştir.



Şekil 1. 4. Sıvı kristal fazları, (a) Nematik SK, (b) Smektik SK, (c) Kolesterik SK (M.Emek, 2007)

1.2.2.1 Nematikler

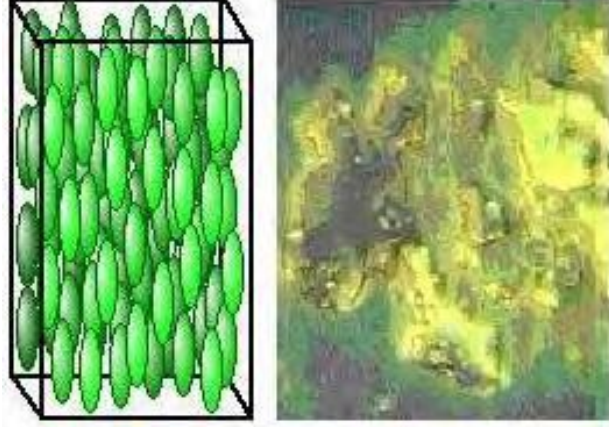
Nematik sıvı kristaller en çok incelenen sıvı kristal türüdür. Aynı zamanda en çok kullanılan sıvı kristallerdir. Bunun nedeni, nematiklerin, sıvı kristallerin ikili doğasına – akıcılık ve kristalite – en iyi şekilde örnek olmasıdır. Bu sıvı kristallere nematik adının verilmesinin sebebi polarize mikroskop altında yapılarının iplik şeklini görünmesinden kaynaklanmaktadır (M.Emek, 2007) (Şekil 1.5.). (Nematik kelimesi Yunanca $\square\square\square\square$ =iplik kelimesinden gelmektedir).



Şekil 1. 5. Nematik sıvı kristal

Nematik sıvı kristallerde moleküller sadece yönelim düzenine sahiptirler konumsal olarak bir düzene sahip değildirler (Şekil 1.6.). Tercih edilen yön n nematik yönlendirici diye adlandırılan birim vektör ile tanımlanabilir. Nematik sıvı

kristaller genel olarak, merkez simetrisine sahiptirler; fiziksel özellikleri $+n$ ve $-n$ yönlerinde aynıdır.

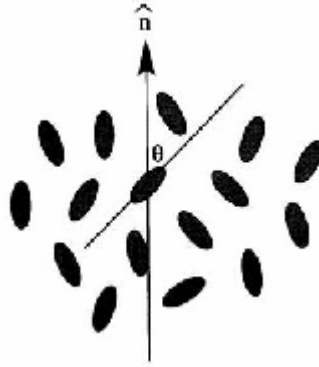


Şekil 1. 6. Nematik fazın şematik gösterimi ve nematik sıvı kristalin fotoğrafı

Nematik sıvı kristallerde düzen parametresi ikinci mertebeden Legendre polinomunun ortalaması olarak elde edilebilir (Klysubun, 2002) (denklem 1. 1):

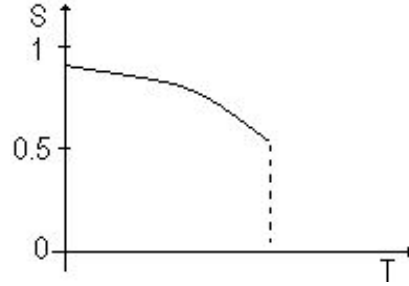
$$S = \langle P_2(\cos \theta) \rangle = \frac{1}{2} \langle 3\cos^2\theta - 1 \rangle \quad (1.1)$$

Burada θ Şekil 1.7.'de görüldüğü gibi molekülün çubuk eksenini ile yönlendirici arasındaki açıdır.



Şekil 1. 7. Düzen parametresini tanımlamak için kullanılan geometri

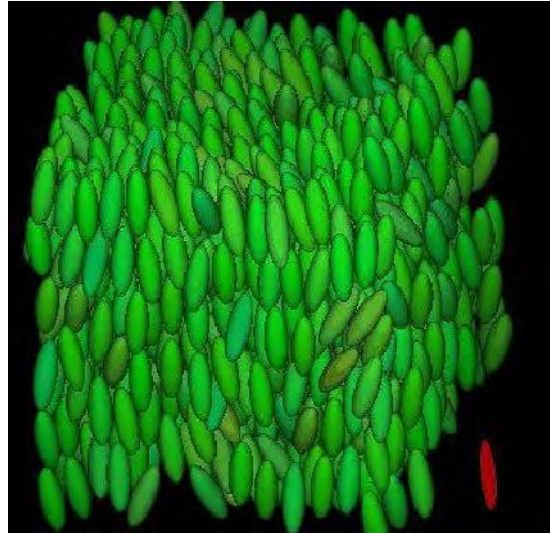
Eğer nematik sıvı kristalin tüm molekülleri kusursuz bir şekilde yönlendiriciye paralel yönelmişlerse, $S=1$, ki bu da maddenin katı halde olduğu anlamındadır. Tüm moleküller tamamen rastgele yönlerde iseler, çubuk eksenleri tüm yönlerde eşit olasılıklarda bulunurlar, $S=0$. Yani madde izotropik haldedir. Genellikle termotropik sıvı kristal fazların düzen parametresi 0.3 ile 0.9 değerleri arasındadır (Kumar, 2001) (Şekil 1. 8.).



Şekil 1. 8. Düzen parametresinin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişimi (Kumar, 2001)

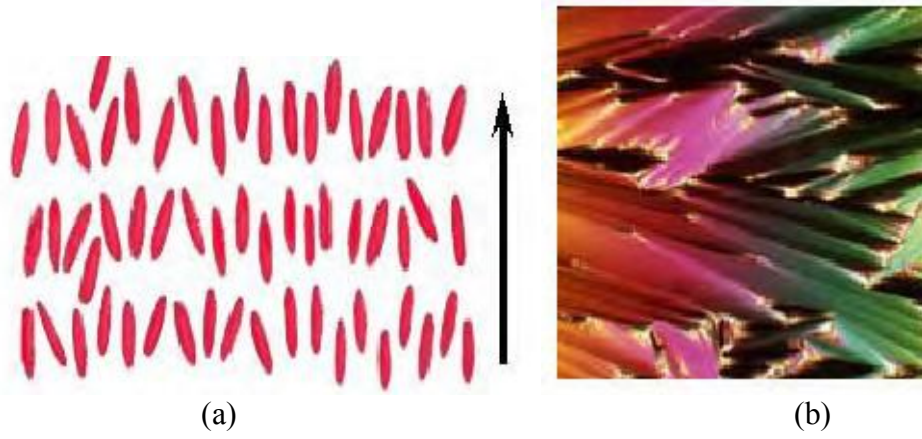
1.2.2.2 Smektikler

"Smektik" kelimesi Yunanca sabun anlamına gelmektedir. Smektik fazda moleküller nematik fazdaki gibi genel bir yönelim düzeni (*orientational order*) göstermekle beraber kendi aralarında katmanlar veya düzlemler oluşturacak şekilde konumsal düzen (*positional order*) de sergilemektedirler. Hareket bu düzlemlerle sınırlanmıştır ve farklı düzlemler birbiri üzerinde kayarak hareket etmektedir (Şekil 1. 9.). Düzenin artması smektik fazın nematik faza göre kristale daha çok benzediğini göstermektedir.



Şekil 1. 9. Smektik sıvı kristal (M.Emek, 2007)

Birçok bileşiğin birbirinden farklı 12 smektik faz oluşturduğu gözlenmiştir. Burada bunlardan sadece birkaç tanesinden bahsedilmiştir. Smektik- A mezofazında yönlendirici, smektik düzleme diktir ve düzlem boyunca özel bir konumsal düzen yoktur (Şekil 1.10.). Benzer şekilde, smektik-B mezofazında yönlendirici smektik düzleme diktir, ancak moleküller düzlem içinde altıgen ağlar halinde dizilmiştir.



Şekil 1. 10. Smektik-A fazının (a) molekül dizilimi ; (b) polarizasyon mikroskobu kullanılarak çekilmiş fotoğrafı (M.Emek, 2007)

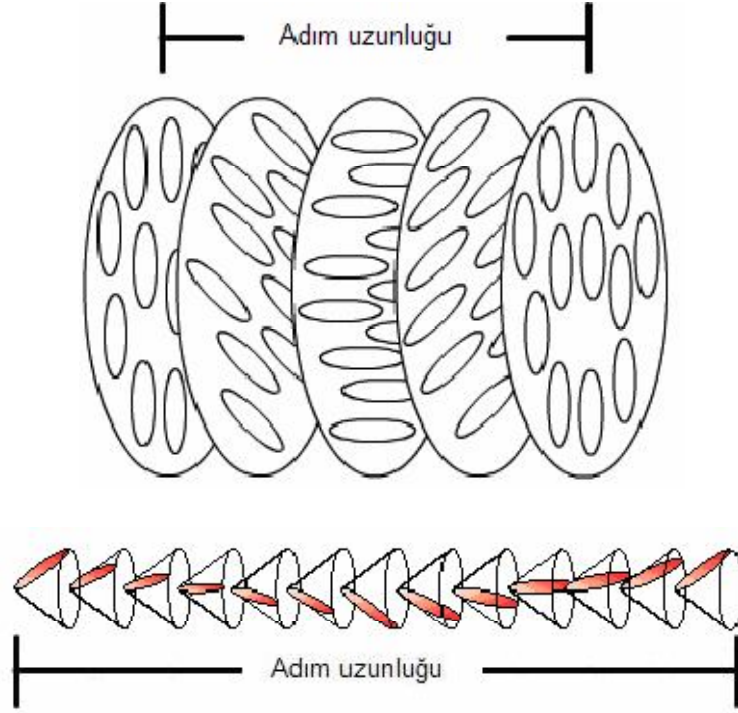
Smektik-C mezofazında, moleküller smektik-A mezofazında olduğu gibi dizilmişlerdir, fakat yönlendirici smektik düzlemin normali ile sabit bir açı oluşturacak şekilde yönelmiştir (Şekil 1. 11.).



Şekil 1. 11. Smektik-C fazının (a) molekül dizilimi ; (b) polarizasyon mikroskobuyla çekilmiş fotoğrafı

1.2.2.3 Kolesterikler

Kolesterik (veya kiral nematik) sıvı kristal genellikle biri diğeri ile küçük bir açı oluşturacak şekilde moleküllerin dizilmesine neden olan moleküller arası kuvvetler oluşturan, kiral merkeze sahip nematik mezogenik moleküllerden oluşmuş sıvı kristal fazıdır. Bu yapıda, yönlendiriciler aşağıdaki Şekil 1.12.'de görüldüğü gibi katmanın normali etrafında sürekli helis eğrisi oluşturuyor.

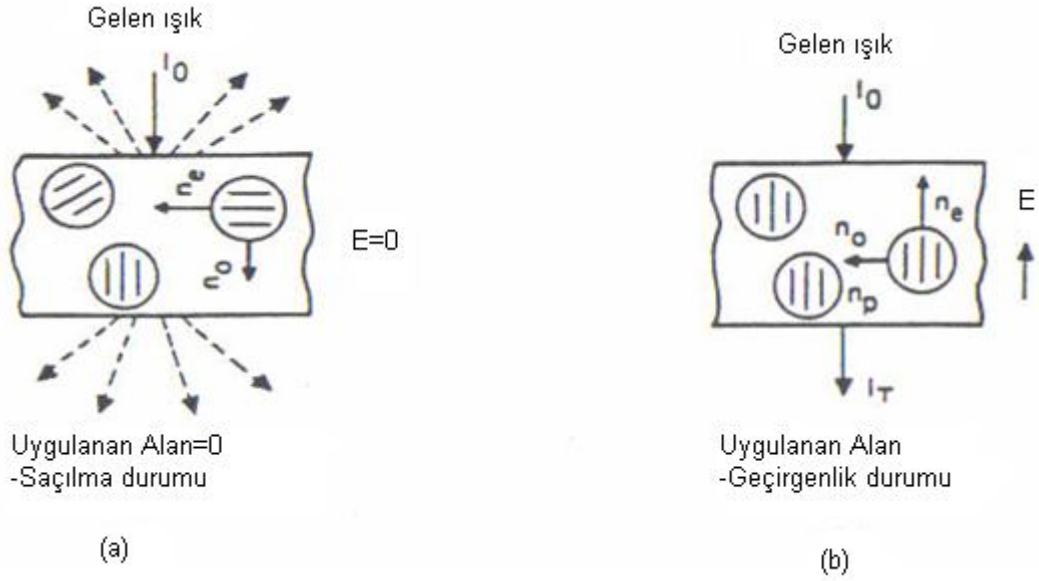


Şekil 1.12. Kolesterik sıvı kristal: helikal yapının şematik gösterimi (M.Emek, 2007)

Kolesterik mezofazın önemli bir özelliği adım (pitch)'dir. Adım p ile gösterilir ve yukarıdaki şekilde de gösterildiği gibi yönlendiricinin helis boyunca bir tam dönüş yapması için gereken mesafeyi gösterir. Bu sıvı kristallerin değişik çeşitlerinin karışımı, çoğunlukla sıcaklık farkına hassas olan çok sayıda değişik sensör yapımında kullanılır.

1.2.3 Polimer yayılmış sıvı kristaller

Polimer-yayılmış sıvı kristaller mikron boyutlarındaki sıvı kristal damlacıklarının polimer matrisinin içine yerleştirmekle oluşturulur. Bu rastgele yönelmiş sıvı kristal damlacıklarının optik indisleri, dış alanın yokluğunda, sınırdaki kristal-polimer etkileşimine bağlı olmaktadır. Bu nedenle rastgele dağılım kabul görmektedir. Bu da büyük saçılmaya neden olmaktadır. Dış alan uygulandığı zaman damlacıklar yönelmekte ve sistem sıvı kristal damlacıklarının kırılma indisinin izotropik polimer zeminin kırılma indisine uyum sağlamasından dolayı şeffaf görünmektedir (Şekil 1.13.).



Şekil 1.13. Polimer yayılmış sıvı kristal malzemenin şematik gösterimi; a) dış alanın yokluğunda yüksek saçılma durumu; b) dış alanın varlığında, şeffaf durumda (Khoo, 1995)

1.3 Yönlendirme Prosesi

Bir elektrooptiksel cihaz içerisinde herhangi bir sıvı kristal materyal kullanmanın önemli anahtarı sıvı kristal moleküllerinin yönelimi konusudur. Önemli uygulamaların çoğunluğu kutuplanmış ışık ve sıvı kristal materyalin optiksel anizotropisi arasındaki etkileşimler üzerine kurulmuş olduğundan iyi yönlendirilmiş bir başlangıç durumu tercih edilir. Bir dış alan uygulanmamış sıvı kristal hücrede moleküllerin yönelimi, sıvı kristal materyal ile substrat yüzeyindeki yönelim katmanı arasındaki sınır koşullarıyla belirlenir. Geleneksel olarak sıvı kristal yönelimi, polimit filmlerinin tek yönlü mekaniksel aşındırılması ile elde edilir.

Sıvı kristal yapıya doğası ve yüzey etkileşimi karmaşıktır ve bazı önemli faktörler içerir. Bunlar:

- Van der Waals Etkileşimleri
- Dipolar etkileşimler
- Sterik etkileşimler
- Hidrojen ve kimyasal bağlar
- Yüzey topografisi
- Etkileşim enerjisi

olarak sıralanır.

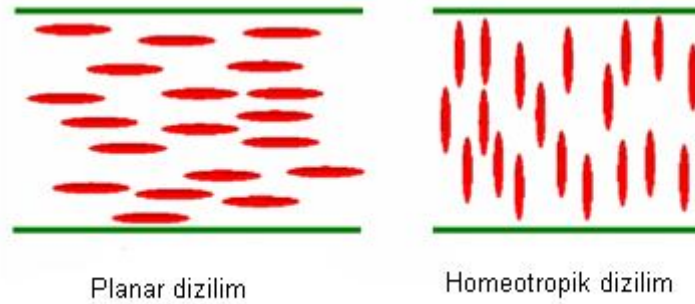
Sıvı kristallerin moleküler yönelimi bu etkileşimlere ve bazı dinamik faktörlere bağlıdır. Bunlar:

- Anizotropi
- Elektro-optiksel etkiler
- Bağlanma enerjisidir.

Moleküler yönlendirilmiş sıvı kristaller birçok teknolojik uygulamalarda kullanılır. Bunlardan bazıları, smart kartlar, mobil telefonlar, birleştirilmiş ekranlar, vs... gibi optik ve elektrooptik uygulamalardır.

1.3.1 Sıvı kristal yönelimleri

Termotropik sıvı kristal numunede, alt tabakayı mekanik ve/veya kimyasal olarak farklı şekillerde işleyerek molekül yönelimlerinin çeşitli türleri elde edilebilir (Klysubun, 2002). Eğer alt tabaka, polar uçları bu tabaka tarafından toplanan amfibilik moleküllerin ince bir filmi ile kaplanırsa, termotropik sıvı kristal molekülleri, yönlendiricileri alt tabakaya dik olacak şekilde dizileceklerdir. Moleküllerin lamellere dik yöneldiği bu yapılandırmaya **homeotropik yönelim** denir. Eğer alt tabaka hassas bir şekilde sürülürse, termotropik sıvı kristal molekülleri, yönlendiricileri alt tabakanın sürülme yönüne paralel olacak şekilde dizilirler. Bu yapılandırma **planar (düzlemsel) yönelim** olarak adlandırılır. Her iki dizilim örneği Şekil 1.14.'te verilmiştir.



Şekil 1.14. Homeotropik ve planar dizilim (Klysubun, 2002)

1.3.2 Yönlendirme metotları

Sıvı kristal moleküllerin yönlendirilmesinde yaygın olarak uygulanan bazı metotlar vardır. Bunlar:

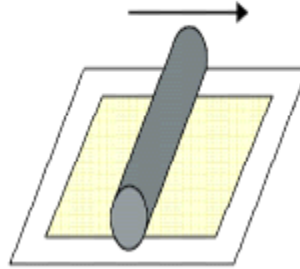
- Mekaniksel (Klasik) aşındırma yöntemi (rubbing)
- Mikro aşındırma yöntemi

- Işıkla yönlendirme yöntemi
 - Kimyasal aşındırmaya ve UV pozlanmaya dayanan fotolitografik metot
 - İyon bombardımanı ile yönlendirme yöntemi
- Olarak sıralanabilir.

1.3.2.1 Mekaniksel aşındırma yöntemi (Rubbing)

Düzgün yönlendirilmiş sıvı kristal hücre üretimi için kullanılan en yaygın yöntemdir. Çünkü bu tekniğin uygulanması diğer yönlendirme metotlarına nazaran kolaydır. Bu yöntemle, sıvı kristallerin düzlemsel yönelimi elde edilir. LCD hücrelerinde sıvı kristalin yönelimi için bu tekniği kullanarak mükemmel elektrooptik performans elde etmek mümkündür.

Bu metotta, yüzey polimitle ince bir tabaka halinde kaplanır. Daha sonra, yüzeyi kısa fiberlerden oluşan kadifemsi bir kumaşla, polimitle doğrudan teması kurularak tek yönlü, bir kaç kez cilalama yapılır (Şekil 1.15.) . Bu metotta en önemli parametre cilalama yüzeyi ile cilalanan bölge arasındaki mesafedir. Bağlanma enerjisi, eğim açısı ve substrat yüzeyinin morfolojisi bu parametreden doğrudan etkilenir.



Şekil 1.15. Mekaniksel aşındırma (rubbing) (J. Osterman, 2005)

Bu tekniğin uygulanmasında bazı olumsuzluklar görülmektedir. Örneğin, cilalama yapılırken oluşan toz parçacıkları LCD'lerde görüntü kalitesini düşürebilir. Ya da istenmeyen elektrik yüklerinin oluşmasıyla transistörün zarar görmesi ve bunun sonucunda mozaik görünümde bozukluk meydana gelebilir. Mekanik aşındırma tekniğindeki bu gibi sorunlar sıvı kristalik cihazların ömrünü kısaltır ve maliyetlerinin yükselmesine sebebiyet verebilir.

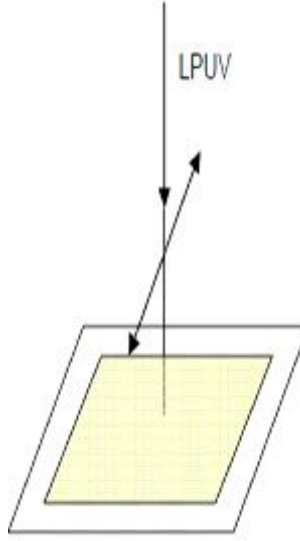
1.3.2.2 Mikro-aşındırma yöntemi

Mikro aşındırma yöntemi ile sıvı kristallerin desenli yönelimi için klasik aşındırılmış polimer katmanlarından oluşan iki homojen hücre oluşturulur. Bu katmanlar ayrıca mikro aşındırılmış kanallar da içermektedir. Hücrelerdeki aşınma doğrultuları birbirine diktir. Bunun sonucu olarak, aynı hücrede çeşitli bölgeler meydana gelir. Bunlar; burkulmuş nematik bölgeler (yün kumaş kullanarak klasik yöntemle aşındırma ile oluşur); düzlemsel bölgeler (klasik yöntemle aşındırılmış katmanlarla mikro aşındırma yöntemiyle oluşan hatların kombinasyonu ile oluşur); mikro aşındırma yöntemiyle oluşan burkulmuş nematik bölgelerdir.

Mikro aşındırma klasik olarak aşındırma yöntemi ile kıyaslanınca, eşik voltajındaki küçük bir artışın bağlanma enerjisinin büyümesine veya eğim açısının küçülmesine neden olduğu görülür. Polimit maddelerin metal küre ile mikro aşındırılması, desenli yönelim katmanlarının oluşturulmasında oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Sıvı kristallerin düzlemsel yönelimini elde etmek için mikro aşındırma yönteminin kullanılması kesin sonuç vermektedir.

1.3.2.3 Işıkla yönlendirme yöntemi

Mekaniksel aşındırma tekniklerine alternatif olarak sıvı kristal moleküllerini yönlendirmede ışıkla yönlendirme tekniği avantajlarından dolayı daha çok ilgi görmüştür. Çünkü mekanik aşındırma metodunda meydana gelen istenmeyen elektriksel yükler veya yüzeyde biriken atık materyaller gibi istenmeyen durumlar bu metotta görülmez. Işıklı yönlendirme yöntemi, mekanik etkilerden uzak, hücreyle temas kurmadan yönlendirmeyi sağlar (Şekil 1.16.). Işıklı yönlendirme metoduyla da planar (düzlemsel) yönelim sağlanır. Sıvı kristalin ışıkla yönelimini sağlamak için, polimit eğik durumda ve kutuplanmamış UV ışığı ile aydınlatılır.



Şekil 1.16. Temassız ışıkla yönlendirme ilkesi (J. Osterman, 2005)

Burada iki farklı sıvı kristal yönlendirilmesi yaklaşımı vardır. Birincisi, lineer kutuplanmış ışığın kullanılmasıyla polimer madde içerisindeki dikroik boyalar yardımıyla yönlendirme. Kutuplanmış ışık, ışık kontrollü yönlendirme katmanlarının yüzeyini etkilemektedir. Bu katmanlara yakın olan sıvı kristal molekülleri de bu etkileşmeden etkilenip yönlenirler. Bu yönlendirme türü tersinirdir. Yani, UV ışığının etkisi kaybolduğunda moleküller eski durumlarına dönerler. İkinci yaklaşımda ise, ışığa duyarlı polimer maddelerin tersinmez reaksiyonları söz konusudur. Bu lineer fotopolimerizasyon metodu, sıvı kristal moleküllerini yönlendirmek için kullanılır.

1.3.2.4 Fotolitografik yöntem

Bu metot, temelde, ince film malzemenin fotolitografik desen yardımıyla UV ile pozlanmasına ve kimyasal aşındırmaya dayanır. Diğer yönlendirme metotlarından farklı olarak uygulanması çok kolaydır. Fotolitografik metot ile yönlendirme sonuçlarının gözlenebilmesi için, hücre kalınlığı ölçülen ve içine nematik sıvı kristal doldurulan hücreye elektrik alan uygulanır.

1.3.2.5 İyon bombardımanı ile yönlendirme

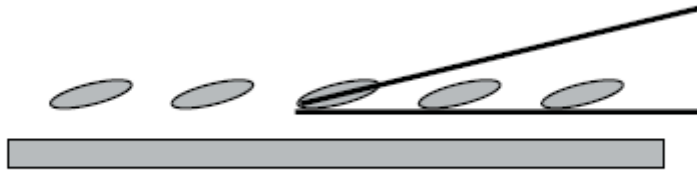
İyon bombardımanı yapılarak cam yüzeyin oyulması sağlanır böylece sıvı kristallerin yönelimini sağlayan ortam elde edilir. U biçiminde, paralel mikro

kanallar açılan cam lamellerin yüzey morfolojisi atomik güç mikroskopuyla incelenerek sıvı kristalin yönelim özellikleri hakkında bilgi edinilebilir. Mikro kanallar açılmış cam yüzeyden sıvı kristal moleküllerinin yönelim kalitesi azimutal bağlanma kuvvetinin ölçümüyle anlaşılır. Kaliteli bir yönelim için; kuvvet $10^{-5} J / m^2$ den büyük; mikro kanal derinliği 56 -121 nm; periyodik aralık $4\mu m$ den az olmalıdır. Aşındırma süreci, yüzeyin anizotropisine sebep olur. Bu metot, geniş alanlı ekranlarda oldukça etkili performans gösterdiğinden sıvı kristal endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.3.3 Sıvı kristal –yönlendirme katmanı etkileşimi

1.3.3.1 Eğim (Pretilt) açısı

Sıvı kristal yönlendirme parametreleri içerisinde en önemlisi olan eğim açısı, Şekil 1.17.'de görüldüğü gibi lamel yüzeyi ile direktör doğrultusu arasındaki açıdır. Bu açı, elektro optiksel uygulamalarda elektrik alanının sıvı kristal direktörünün yönünü değiştirmek için uygulandığı durumlarda önemli bir rol oynar. Sıvı kristal moleküllerinin tümünün aynı doğrultuda yönlendirilmesini sağlamak için eğim açısının yeterince yüksek olması gerekir. Mevcut bir eğim açısı yoksa belirli bir yönelim doğrultusu da yoktur. Tipik eğim açısı değerleri uygulamalara bağlı olarak, planar yönelim için 1° - 10° ; dik yönelim için 80° - 90° arasında değişmektedir(J. Osterman, 2005).



Şekil 1. 17. Eğim açısı, lamel yüzeyi ile lokal doğrultu arasındaki açıdır (J. Osterman, 2005)

1.3.3.2 Bağlanma enerjisi

Eğim açısıyla birlikte bağlanma enerjisi de sıvı kristal yönelimini tanımlamada önemli bir parametredir. Bağlanma enerjisi, molekülün lamele göre yönelim açısına bağlı olarak kutupsal (W_{θ}) ve yüzeyle etkileşmesini içeren azimutal (W_{ϕ}) olmak üzere iki kısımdan oluşur. Bunlar, sıvı kristal madde ile yönlendirme

maddesi arasındaki etkileşim kuvvetini tanımlar. Bunun dışında, sıvı kristal direktörünün tercih edilen bir doğrultudan yüzey doğrultusuna doğru değişiminin ne kadar kolay gerçekleştiğinin de bir ölçüsüdür. Bağlanma enerjisi şu şekilde hesaplanır (J. Osterman, 2005):

$$W(\theta, \phi) = \frac{1}{2}W_{\theta} \sin^2 \theta + \frac{1}{2}W_{\phi} \sin^2 \phi \quad (1.2)$$

Burada, θ ve ϕ yüzeyden belirli bir yöne olan doğrultunun polar ve azimutal açısıdır.

Sıvı kristal görüntüleme teknolojisinde bağlanma kuvveti, ekran tasarımı için önemli bir parametredir. Sıvı kristal moleküllerini iyi bir şekilde yönlendirmek için bağlanma kuvvetini arttırmak gerekir. Bağlanma enerjisi (A), dönme açısına (φ) bağlı olarak:

$$A = \frac{2K_{22}\varphi}{d \sin 2\varphi} \quad (1.3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, K_{22} ; dönme elastiklik katsayısı, d; hücre kalınlığıdır.

Buna göre, dönme açısının ölçülmesiyle bağlanma enerjisi hesaplanabilir.

1.3.3.3 Hücre kalınlığı

Sıvı kristal cihazlarda hücre kalınlığı, sıvı kristal hücrenin performansını yani, parlaklığını, kontrast oranını, tepki zamanını vs..., görüntü kalitesini belirlemede önemli rol oynar. Hücre kalınlığı ölçümünde kullanılan teknikler şunlardır:

- İnterferometrik yöntem
- Spektrum tarama yöntemi
- Faz dengeleme yöntemi
- LCR metre ile ölçüm yöntemi

1.3.3.3.(1) İnterferometrik yöntem

Hücre kalınlığını ölçme teknikleri içerisinde uygulanması en kolay metottur. Bu ölçüm, ışığın boş hücre boyunca geçişine bağlıdır. Numunenin ilk iki yoğunluk pikinin dönme açısına bağlı olarak şiddet eğrilerine bakılır. Elde edilen piklerin açısız karşılığı d'yi bulmamızı sağlar. Boş hücrenin kalınlığını belirleyen bağıntı,

$$d = \frac{\Delta m \lambda}{2(\cos \theta_2 - \cos \theta_1)} \quad (1.4)$$

ile gösterilir. Burada, Δm tepelerin sayısı, λ gelen ışığın dalga boyu, θ_1 ve θ_2 sırasıyla ilk tepenin ve son tepenin karşılığı olan açıdır.

1.3.3.3.(2) Faz dengeleme yöntemi

Bir sıvı kristal hücrenin optiksel performansı güçlü bir şekilde faz dönüşümü parametresine ($l\Delta n$) bağlıdır. Bu metot, yansıtıcı burkulmuş nematik sıvı kristal hücrenin kalınlığını ölçmede kullanılan basit bir metottur. İki farklı kutuplayıcı açısı için yansıtılan ışık yoğunluğunun oranı alınarak, yansıtıcı hücrenin $l\Delta n$ değeri ölçülebilir. Çalışılan sıvı kristalin çift kırınımı da bilirse hücre kalınlığı denklem 1.5'teki gibi hesaplanabilir;

$$d = \frac{l\Delta n}{\Delta n} \quad (1.5)$$

1.3.3.3.(3) Spektrum tarama yöntemi

Spektrometre ile spektrometrik ölçüm tekniğinde salınımın dalga boyunun maksimum ve minimumlarının doğru belirlenmesi çok önemlidir. Dalga boyunun bu değerleri hücre kalınlığı hesabında aşağıdaki denklem 1.6 daki gibi katılır:

$$d = \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{4|\lambda_{\min} - \lambda_{\max}|} \quad (1.6)$$

Burada, λ_{\max} ve λ_{\min} sırasıyla geçen ışığın maksimum ve minimum değerleridir.

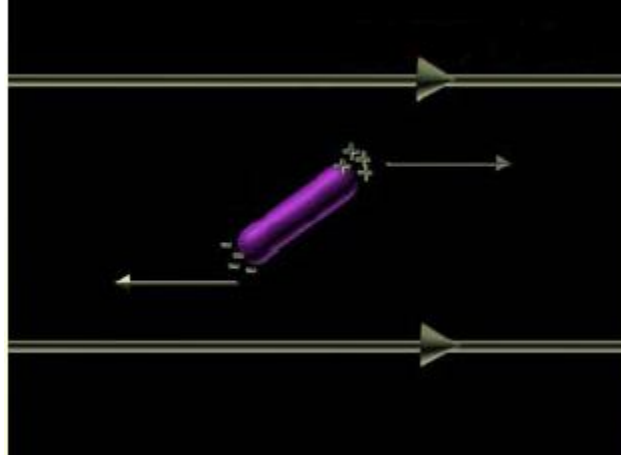
1.4 Sıvı Kristallerde Dış Etkiler

Sıvı kristal materyallerin yapısı ve fazları dış etkilerle birlikte değişim sergilemektedir. Elektrik alan, manyetik alan, sıcaklık gradyeni, basınç, vs. etkiler sıvı kristalin moleküler anizotropisini (yönelim, yerleşim, çift kırılma) etkiler. Dolayısıyla optik ve elektrooptik değişimlere neden olur. Bu değişimler ise, teknolojik anlamda, sıvı kristal görüntüleme, sensör ve ölçüm sistemlerinin gelişimini belirlemektedir.

1.4.1 Elektrik ve manyetik alan etkisi

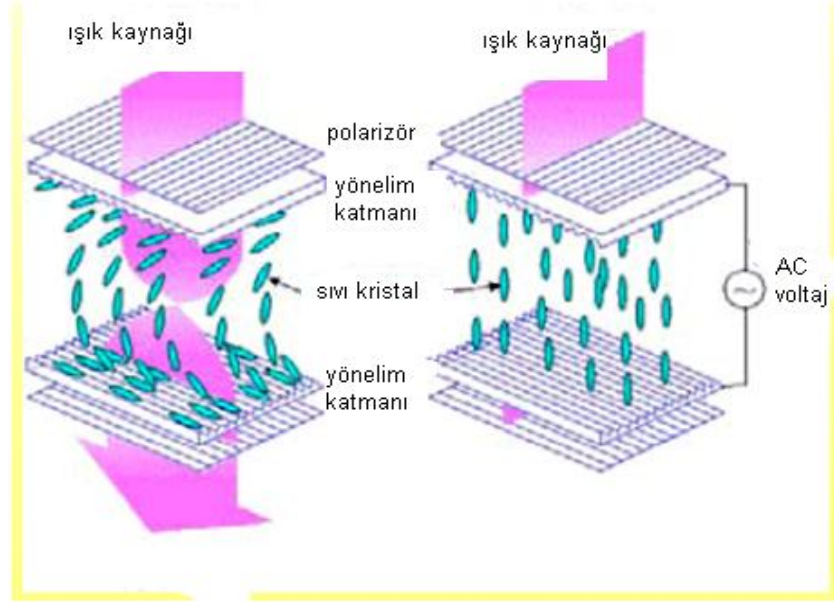
Sıvı kristallerin elektrik alana tepki göstermesi, endüstriyel uygulamalar için en önemli karakteristiğidir. Bir dış alan boyunca direktörün yönelimi, moleküllerin

elektiriksel doğasıyla sağlanır. Kalıcı elektrik dipolleri, molekülün bir ucu net pozitif yüküle diğer ucu net negatif yüküle yüklen-diğinde geręekleřir. Bir sıvı kristale dış alan uygulandığında, dipol molekülleri alan doğrultusu boyunca yönelmeye meyleder. Bir molekül kalıcı dipol formunu almasa bile, elektrik alandan yine de etkilenme gösterir (şekil 1.18.).



şekil 1.18. Sıvı kristal molekülünün uygulanan elektrik alandan etkilenmesi

İndüklenmiş elektrik dipolü durumunda, elektrik alan moleküldeki elektron ve protonların yeniden yönelimini sağlar (şekil 1.19.). Kalıcı dipoller gibi kuvvetli olmasa da dış alanla yönelim hala gözlenebilir. Sıvı kristal moleküllerine manyetik alanın etkisi, elektrik alana benzerdir. Manyetik alan, manyetik dipoller gibi, elektrik yüklerinin hareketiyle geręekleřir. Manyetik alan uygulandığında, moleküller (manyetik dipoller) alan boyunca veya alana ters yönelmeye meylederler.



Şekil 1. 19. Sıvı kristal moleküllerinin elektrik alan boyunca yönlendiği

1.4.2 Sıcaklık etkisi

Sıvı kristaller viskoz, jelatimsi materyaller olup sıcaklığı artırılırken saydam hale dönüşerek sıvılara benzerler. Işığın, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak özel bir dalga boyunu kırması seçici yansıma özelliğine sahip olduğunu gösterir. Çeşitli tipteki sıvı kristal karışımlar sıcaklık değişimine duyarlı sensör yapımında kullanılırlar. Bu sensörler, entegre devre bağlantılarında akışı kontrol eden ısı duyarlı filmlerin oluşumundaki termometrelerde kullanılmaktadır.

Sıcaklık, manyetik alan ve elektrik alan gibi dış etkilerle sıvı kristallerin renkleri kırmızıdan mora (400 nm-760 nm) kadar değişebilmektedir. Bu renk değişimleri birbirini izleyerek ortaya çıkabilmektedir ve genel olarak tersinir bir olaydır. Yani hem bu etkilerin artması esnasında hem de azalması esnasında aynı renk değişimlerini görmek mümkündür. Sıcaklık ölçülmesinde genellikle kolesterik fazdaki sıvı kristaller kullanılır.

1.4.3 Optiksel etkiler

Sıvı kristallerin optik özelliklerini anlamak için kırılma indisinin belirlenmesi birinci derece öneme sahiptir. Polarizasyon mikroskopunda sıvı kristali incelerken rengarenk yapılar gözlenmektedir. Bunun nedeni ışığın hızının dalga boyuna bağlı olması ve polarizasyon düzleminin yönlendiriciye göre yönlendiğidir. Bu olaylardan ilkinde *dispersiyon*, ikincisine ise *çift kırılma (birefringence)* denir. Optik frekanslarda

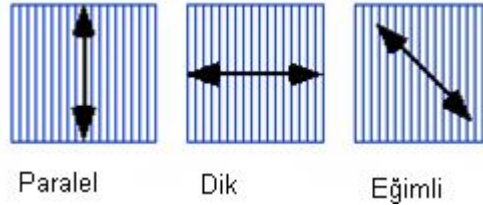
(10^{15} Hz civarında) saydam izotropik malzeme için kırılma indisinin karesi, malzemenin yüksek-frekans elektrik geçirgenliğine eşittir (denklem 1.7):

$$n_{//}^2 = \epsilon_{//} ; n_{\perp}^2 = \epsilon_{\perp} \quad (1.7)$$

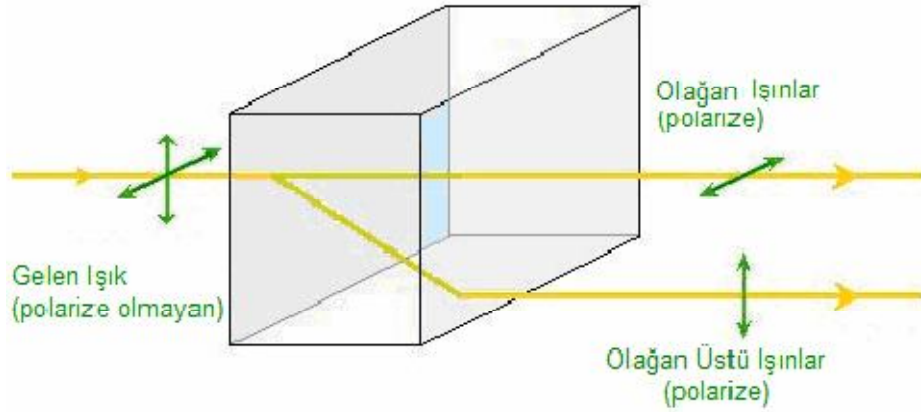
Burada // ve \perp , yönlendiriciye paralel ve dik yönü göstermektedir. Elektromanyetik dalganın optik alan ile etkileşimi dielektrik tensörü aracılığıyla olur. Önemli olan dalganın ilerleme yönü değil de, elektromanyetik dalganın elektrik alanının yönü yani polarizasyonun yönüdür. Optik eksene (yönlendiriciye) paralel olan polarizasyon olağan (ordinary) kırılma indisini ($n_o = n_{//}$) göstermektedir. Optik eksene (yönlendiriciye) dik olan polarizasyon olağan üstü (extraordinary) kırılma indisini ($n_e = n_{\perp}$) temsil etmektedir.

1.4.3.1 Çift kırılma

Sıvı kristaller, optiksel olarak aktif olan anizotropik yapılarından dolayı, çift kırılmaya neden olan malzemelerdir. Yönlendiriciye paralel bir şekilde polarize olan ışık, yönlendiriciye dik şekilde polarize olan ışıktan daha farklı bir kırılma indisine sahiptir. Yani farklı hızlarla ilerlemekteler. Şekil 1.20.'de paralel çizgiler yönlendiricinin alanını, oklar ise polarizasyon vektörünü gösteriyor.



Şekil 1.20. Nematik yönlendirici (paralel çizgiler) ve ışık demetinin farklı polarizasyonları (oklar) (M.Emek,2007)



Şekil 1.21. Çift kırılmalı malzeme boyunca ilerleyen ışık polarizasyona bağlı olarak iki farklı kırılma indisi sergiler (M.Emek,2007)

Böylece, ışık nematik sıvı kristal gibi çift kırılmalı bir malzemeye girdiğinde, ışık demeti *olağan ışınlar* ve *olağan üstü ışınlar* olmak üzere iki bileşene ayrılıyor. Bu bileşenler farklı hızlarla ilerledikleri için, dalgalar arasında faz farkı ortaya çıkıyor. Bu ışınlar, çift kırılmalı malzemeyi terk etmek üzere yeniden birleştiklerinde, bu faz farkından dolayı polarizasyon durumu değişiyor (Şekil 1.21.).

Malzemenin çift kırılma özelliği, olağan ve olağan üstü ışınların kırılma indisleri arasındaki farkı gösteren Δn ile karakterize edilir. Malzemenin kırılma indisi ışığın vakumdaki hızının söz konusu malzemedeki hızına oranına eşit olduğu için yönlendiriciye dik şekilde ilerleyen ve yönlendiriciye göre paralel ve dik şekilde polarize olan dalgalar için (M.Emek,2007):

$$n_e = \frac{c}{v_{//}} \quad (1.8)$$

$$n_o = \frac{c}{v_{\perp}} \quad (1.9)$$

Şeklinde gösterilir. Çift kırılmanın alabileceği en yüksek değer ise,

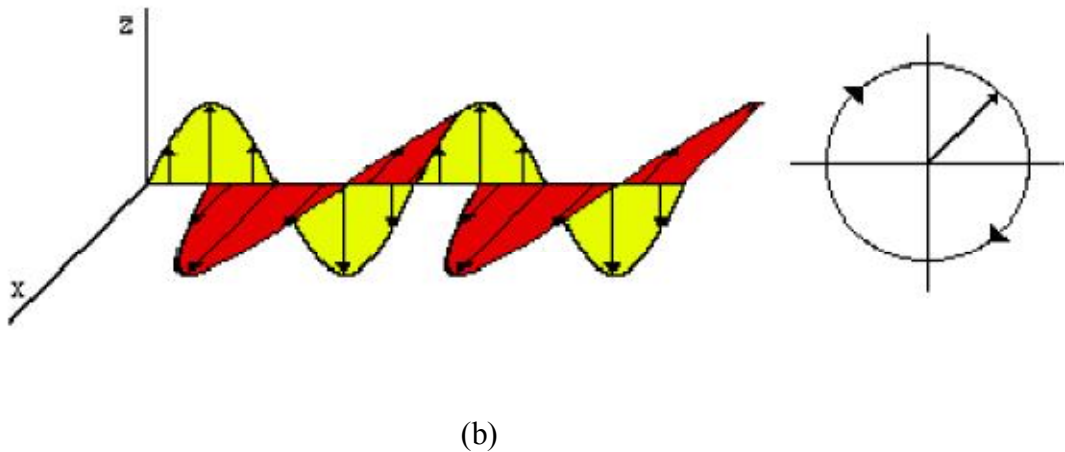
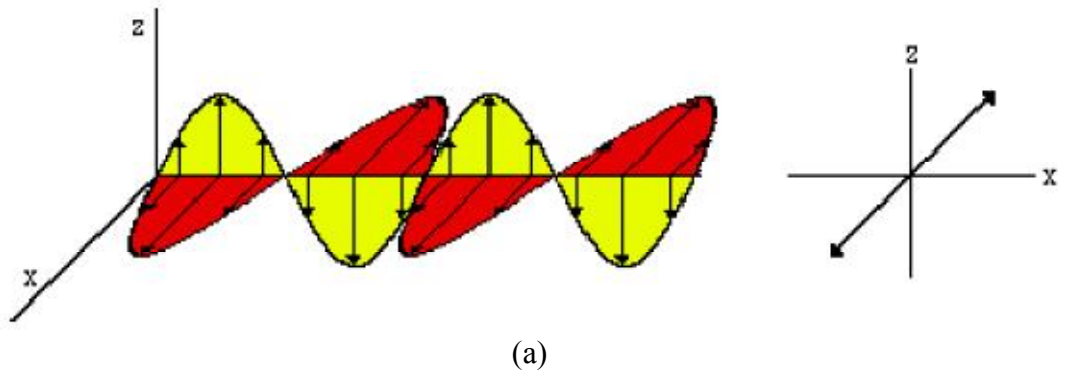
$$\Delta n = n_e - n_o \quad (1.10)$$

ile belirtilir.

Malzemenin çift kırılma özelliğinin olması anizotropik olmasından kaynaklanmakta ve sıvı kristallerin anizotropisi sıcaklığa kuvvetli bir şekilde bağımlılık sergilemektedir. Bu bağımlılık nematik fazdan izotropik faza geçerken kaybolmaktadır. Dolayısıyla çift kırılma sıcaklığa ciddi bir bağımlılık gösterir.

1.4.3.2 Polarizasyon

Işık, dalga hareketi ve ışık akımı olmak üzere ikili bir doğaya sahiptir. Sıvı kristallerin optiksel özelliklerini değerlendirmek için genellikle kullanılan iki yaklaşım vardır. Birincisi, ışık saçılmasıdır; fotonlar ışık hızıyla hareket etmektedir. Işık hareket ederken fotonlar ışığın hareket doğrultusuna dik düzlemde titreşirler. İkinci yaklaşım, birçok ilginç ve özgün optiksel olguları değerlendirmektir; ışık hareket doğrultusuna dik düzlemde hareket eden elektrik ve manyetik alan çiftinden oluşan bir elektromanyetik dalgadır. Konuyu sadeleştirmek için sadece \mathbf{E} elektrik alan vektörü düşünölsün. Bazı süreçler \mathbf{E} alan vektör salınımını karmaşık düzlemde yapabilir. Örneğin, sabit bir noktadan geçmeyle veya bir yüzeyden yansımayla belirli bir doğrultuda lineer salınımı veya düzlemde dönmeyi meydana getirebilir. Işık salınımı davranışı polarizasyon olarak bilinir ve iki lineer kutuplanmış bileşğin süper pozisyonu olarak düşünölebilir. Bu bileşikler birbirine dik, iyi belirlenmiş faz ilişkisine sahiptir (Şekil1.22.). Ancak aşağı yukarı ışığın büyük çoğunluğu kutuplanmamıştır. Kutuplanmamış durumun tamamında elektrik alan vektörü enine düzlemde rastgele hareket içindedir.



Şekil 1.22. (a) Dalgalar maksimum ve minimum noktalarına aynı anda uzanıyorlarsa iki dalga tek bir dalga haline dönüşerek 45 derecelik lineer kutuplanırlar (b) dalgalar faz dışıysa yani biri uç noktada iken diğeri sıfır ise dairesel kutuplanma görülür (R.Matloub, 2008)

1.5. Nematik Sıvı Kristallerde Elektrooptik Etkiler

Sıvı kristallerin önemli özelliklerinden biri, elektrik alan uygulanması sonucu optik özelliklerinin (kırılma indisi, v.b.) değişmesidir. Buna elektrooptik etki denir. Uygulanan dış elektrik alan, sıvı kristal yönlendiricilerinin ilk durumlarını deforme etmekte ve dolayısıyla nüfuz eden ışık demetinin faz ya da genliğini değiştirmektedir. Bu yüzden, sıvı kristaller bir dış elektrik alan altında anahtarlama davranışlarında bulunurlar. Sıvı kristal molekülleri alan boyunca maksimum elektriksel geçirgenlik doğrultusunda yönlenirler. Sıvı kristaller oldukça anizotropik olduklarından 10^{-3} s. zaman sabiti içinde optiksel değişimleri gözlenebilir. Dış elektrik alan ortadan kalktığı zaman yönlendiriciler, sıvı kristalin türüne ve fiziksel mekanizmasına bağlı olarak ya ilk durumlarına geri dönecek ya da son durumlarını korumaya devam edeceklerdir. Nematik sıvı kristallerde dielektrik anizotropinin pozitif olduğu düşünülürse ($\Delta\epsilon > 0$), moleküller boyuna dipol momentine sahiptir. Optik eksenin başlangıç yönü z ekseni boyunca ve elektrik alan z eksenine dikse bu durumda optik eksen z eksenine göre bir θ açısıyla yönlenir. Elektrik alanına paralel ışık yayılması tarafından görülen olağanüstü kırılma indisi (n_e) şu şekilde verilir (denklem 1.11).

$$\frac{1}{n_e^2} = \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} \quad (1.11)$$

Burada n_e ve n_o olağanüstü ve olağan kırılma indisleridir. θ açısı alan kuvvetine bağlıdır. Güçlü bir alanda θ açısı sıfırdır ve çift kırınım kaybolur ($n_e - n_o$ sıfırdır). Alan küçük veya sıfır olduğunda ise $\theta=90^\circ$ olur ve çift kırınım (birefringence) açığa çıkar. Dinamik saçılma, konuk-ev sahibi etkisi, alanla indüklenmiş nematik-kolesterik faz geçişi, mikron-ölçekli damlacıklardan ışık saçılması, burkulmuş ve süperburkulmuş nematik etki, nematik sıvı kristallerde elektrooptik etkilerin en önemli olanlarıdır.

1.5.1 Dinamik saçılma

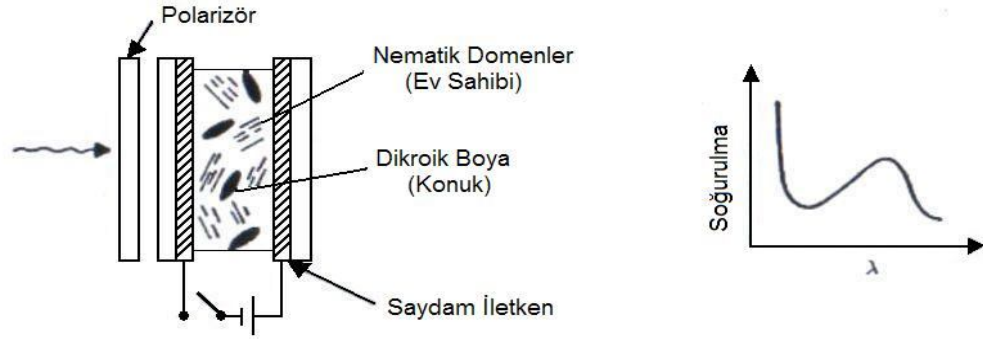
DC veya düşük frekanslı AC alanı nematik sıvı kristal hücreye uygulandığı zaman, iletkenlik anizotropisinden kaynaklanan iyonik hareketlilik, elektrohidrodinamik akım oluşturmaktadır. Sıvı kristalde türbülans oluşmakta ve ışığı kuvvetli bir şekilde saçmaktadır. Genellikle bu etkinin oluşması için gereken DC alanı 10^4 V/cm düzeyindedir (Khoo, 1993).

Dinamik saçılma göstergeleri (Heilmeyer ve ark., 1968) şimdi nadiren kullanılmalarına rağmen sıvı kristal göstergelerin ilk kuşağıdır. Onların çalışma tarzı elektrohidrodinamik etkiye (Helfrich, 1969) bağlıdır. Bu etki, düzeni karışıklık içine iterek ışık saçılmasına neden oluyor ki, bu da düzgün şekilde yönelmiş aydınlık sıvı kristal zemininde görülmektedir. Maksimum ve minimum ışık şiddetleri arasındaki kontrast oranı yaklaşık 20:1 ve yanıt süresi 200 ms'dir. Dinamik saçılma $\Delta\epsilon(0)$ a sahip malzemeler gerektirmektedir ve ilk zamanlarda böyle malzemeler kararsız idiler ve bu da göstergelerin kısa ömürlü olmasına neden oluyordular. Şimdi uygun kararlı malzemeler bulunmasına rağmen, dinamik saçılma göstergelerinin işleyişi ve kullanımı bir takım faktörlerle sınırlanmıştır: yeterli saçılma için gereken yüksek elektrik iletkenliğinden kaynaklanan kısa ömürlülük; daha yüksek güç tüketimi; kararsızlık; düşük görülebilirlik şeklinde sıralanabilir.

1.5.2 Konuk-ev sahibi etkisi

Konuk-ev sahibi sistemleri (Heilmeyer ve Zanoni, 1968), az miktarda (% 1-5) dikroik boyanın sıvı kristal malzemede çözünmesi ile elde edilir. Ev sahipliği yapan malzemenin, çalışmanın yapılacağı spektral bölgede yüksek derecede saydamlılık sergilemesi gerekmektedir. Kontrast oranını kuvvetlendirmek için dikroik boya moleküllerinin bir polarizasyonda kuvvetli, diğer polarizasyonda ise zayıf soğurmaya sahip olması da istenen durumdur. Konuk-ev sahibi sisteminin elektrooptik etkisi Şekil 1.23.'teki şematik diyagramda tasvir edilmektedir. Elektrik alanının kapalı olduğu durumda boya molekülleri ışık demetinin polarizasyonuna hemen hemen paralel olup, kuvvetli soğurma gerçekleştirirler. Sıvı kristal yönlendiricileri, alan ile yönlendirildiklerinde boya molekülleri de yönlenebilir ve soğurulma azalmaktadır.

Konuk-ev sahibi sistemi kullanan aygıtların kontrast oranı dikroik oran, boya moleküllerinin yoğunluğu ve hücre kalınlığına bağlıdır. Genelde bu oran 50:1 civarındadır (Khoo, 1993).



(a) Konuk-Ev Sahibi Sistemi - Alan Yok



(b) Konuk-Ev Sahibi Sistemi - Alan Var

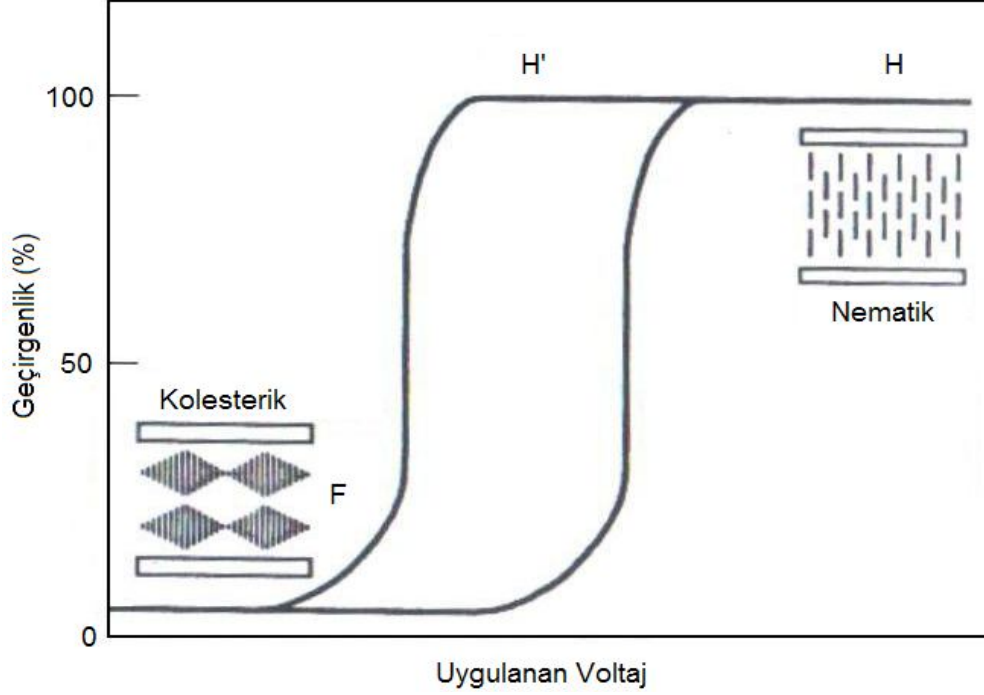
Şekil 1.23. Konuk-ev sahibi sıvı kristal sistemlerde ışığın elektro optik modülasyonu (a) alanın yokluğunda; (b) alanın varlığında (Khoo, 1993)

1.5.3 Alanla indüklenmiş nematik-kolesterik faz geçişi

Elektrik alanla indüklenmiş nematik-kolesterik faz geçişi deneysel olarak gözlenmiş olup (Wysocki ve ark. ,Heilmeyer ve ark. ,1968), göstergelerde kullanılmıştır (Mochizuki ve ark.,1985). Sıvı kristal başlangıçta kristal fazda olup (Şekil 1.24.'te F ile gösterilmiştir) helis eksenine cam levhalara paralel olan helikal yapıya sahiptir. Gelen ışık saçılmakta ve hücre sütsü beyaz görünmektedir. Uygulanan elektrik alan 10^5 V/cm değerinin üzerine çıktığı zaman, helis yapısı bozulacak ve yönelmiş nematik faz, H, ortaya çıkacaktır. Hücre saydam görünecektir.

Voltaj düşürüldüğü zaman, ara nematik fazın, H', oluştuğu gözlenecektir (Lin-Hendel, 1982). H' fazında sıvı kristal hücrenin yüzeylerine yakın bölgelerdeki yönlendiriciler, homeotropik yönelimde kalmaya devam ederken, hacim içerisindeki

yönlendiriciler eğimli düzen oluşturuyorlar. Dolayısıyla histeresis eğrisi oluşmaktadır. Uygulanan voltaj tamamen ortadan kaldırıldığında sıvı kristal yönlendiriciler birkaç milisaniye içinde başlangıç saçılma durumuna döneceklerdir (Khoo, 1993).



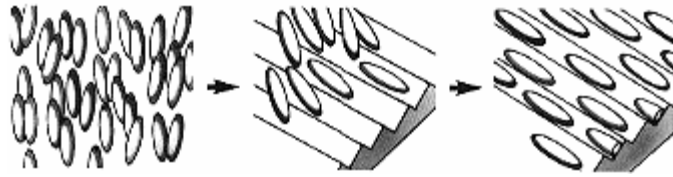
Şekil 1.24. Elektrik alanla indüklenmiş kolesterik-nematik faz geçişi (Khoo, 1993)

1.5.4 Mikron-ölçekli damlacıklardan ışık saçılması

Polimer matris içerisinde yayılmış mikron ölçekli sıvı kristal damlacıkları görünür bölgede önemli derecede ışık saçılmasına neden oluyor (Ferguson, 1985; Doane ve ark., 1986). Voltajın kapalı olduğu durumda böylesine bir ışık saçılmasına neden olan fiziksel mekanizma, sıvı kristal damlacıkları ve ev sahipliği yapan polimer arasındaki kırılma indisi uyumsuzluğudur. Voltajın açık olduğu durumda, damlacıklar alan yönünde yöneleceklerdir. Sıvı kristalin olağan kırılma indisi polimerin indisi ile uyum sağlamaktadır. Sonuç olarak, az miktarda saçılma gerçekleşmekte ve ışığın büyük bir kısmı geçmektedir. Bu tür elektrooptik modülasyonun avantajlarından biri, polarize ışık gerektirmemesidir (polarizör gerekmemektedir). Dolayısıyla optik verim bir hayli artmaktadır (Khoo,1993).

1.5.5 Burkulmuş nematik etki

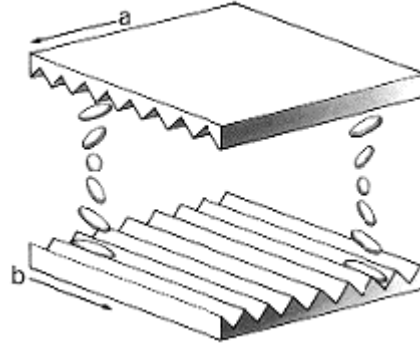
Burkulmuş nematik hücre şunlardan oluşmaktadır: her biri elektrot gibi davranan saydam iletken kaplamalı (örneğin, indium tin oxide) iki cam levha; hücre aralıklarını dikkatle kontrol edebilmek için ayırıcılar; iki çapraz polarize edici (polarize edici ve analiz edici); nematik sıvı kristal malzemesi. Saydam elektrotların sıvı kristalle temas eden yüzeyleri bir yönde pürüzlülük yaratacak şekilde ince polimer tabakası ile kaplanmıştır. Nematik sıvı kristal molekülleri, uzun eksenleri bu yönde yönelecek şekilde yerleşim eğilimi gösteriyorlar (Şekil 1.25.).



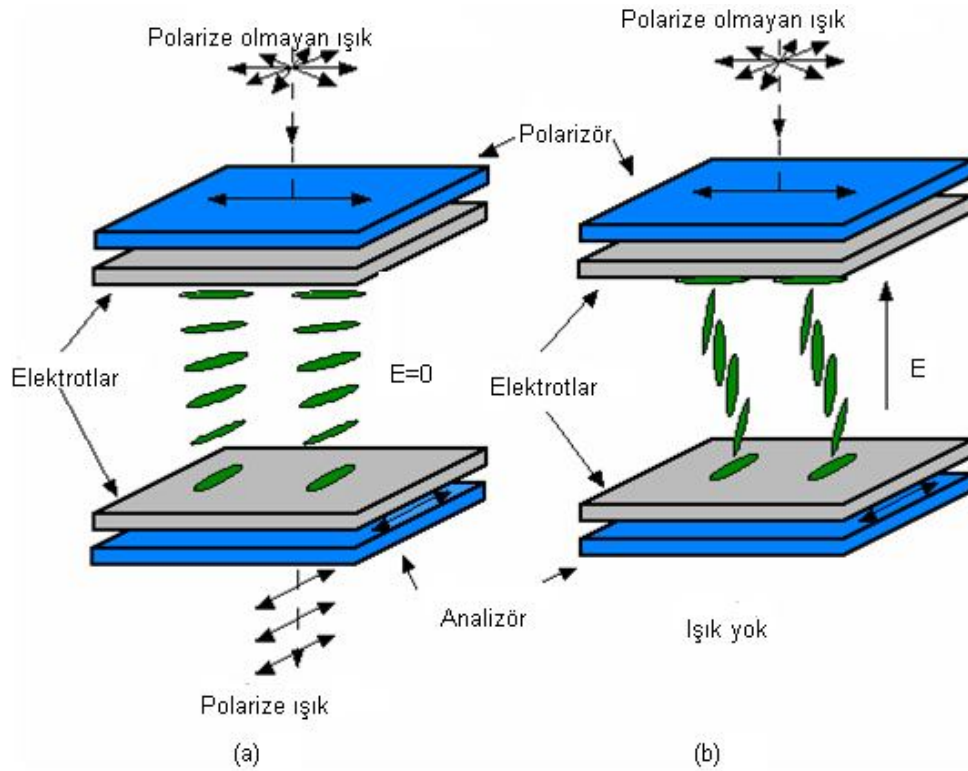
Şekil 1.25. Yönelim katmanı (R.Matloub, 2008)

Şekil 1.27a'da cam düzlemler, üst elektrotun hemen yanındaki moleküllerin, alt elektrotun yanındaki moleküllerle doğru açı oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Her bir polarize edicinin polarizasyon eksenini hemen yanındaki elektrotun yüzeyinde oluşturulmuş kanal yönü ile aynı yönde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Doğrultuların çaprazlanmış olmasından dolayı moleküller doğrultu bir düzlemden diğerine 90° burkulmaya zorlanır (Şekil 1.26.).

Bu nedenle de *burkulmuş nematik sıvı kristal* adını almıştır. Polarize olmayan ışık birinci polarize filtreye giriyor ve sıvı kristal moleküllerin yerel yönelimleri ile aynı düzlemde polarizasyona sahip ışık şeklinde terk ediyor. Hücre içinde sıvı kristal moleküllerinin burkulmuş düzeni daha sonra optik dalga yönlendirici gibi davranır ve polarizasyon düzlemini 90° döndürür. Neticede ikinci polarize ediciye ulaşan ışık buradan rahatlıkla geçiyor. Bu durumda sıvı kristal saydam görünür.



Şekil 1.26. Moleküllerin bir düzlemden diğerine geçerken burkulması (R.Matloub, 2008)



Şekil 1.27. Çiftlenmiş nematik aygıt geometrisi. Direktör (yönlendirici) ile paralel yönelmiş polarize ve analiz edici birbirine diktirler (M.Emek, 2007)

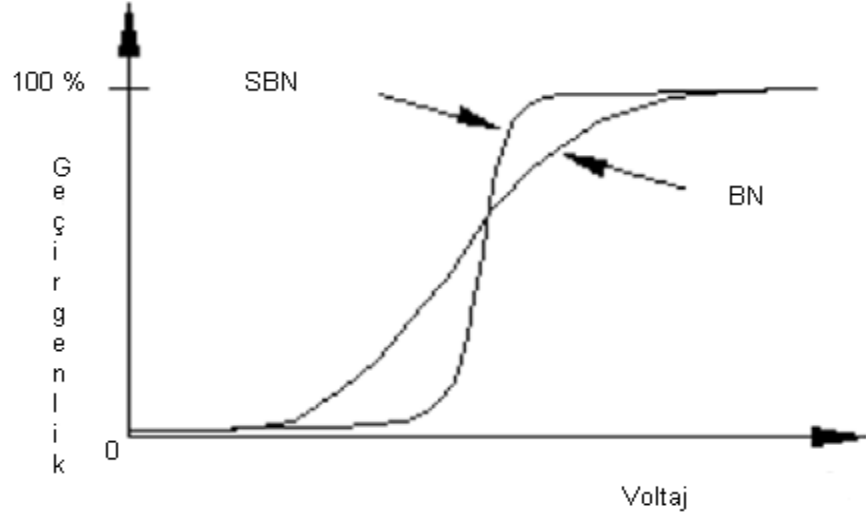
Elektrotlara voltaj uygulandığı zaman, sıvı kristal molekülleri elektrik alan yönünde yönelirler ve hücrenin optik dalga yönlendirici özelliği kaybolur (Şekil 1.27(b)). Bu durumda hücre sıvı kristalin olmadığı durumdaki gibi siyah (mat) görünür. Elektrik alan kaldırıldığında moleküller eski burkulmuş hallerine döner ve hücre yeniden şeffaf görünür.

Dijital saatler ve hesap makinelerinde polarize edicinin arkasına ayna yerleştirilmiştir. Voltajın uygulanmadığı durumda ışık hücreden geçerek aynadan

yansımaktadır, böylece ilerleme yönünü ters çevirerek hücreden geri çıkmaktadır ve gümüşümsü görüntü oluşmaktadır. Elektrik alan uygulandığı zaman, elektrik alanı ile aynı yönde yönelmiş sıvı kristal molekülleri ışığın polarizasyonunu etkilemiyor. İkinci polarize edici gelen ışığın aynaya ulaşmasını engelliyor. Yansıyan ışık olmadığı için hücre siyah görünüyor.

1.5.6. Süperburkulmuş nematik etki

Bu tip sıvı kristal hücrelerin içeriği burkulmuş nematik hücrelere benzerdir. En önemli fark burkulmuş nematiklerde burkulma açısının 90° den büyük olamamasıdır. Sıvı kristal yönlendirici herhangi bir işarete sahip değildir. Örneğin, açı 120° ye arttırıldığında burkulma sabit kalmayacaktır ve düşük enerjili 60° lik burkulmaya geri tepecektir. Bu yüzden burkulmuş nematik hücrelerde 90° lik burkulma net değildir, çok güçlü bir elektrik alanla burkulma çözülür. Ayrıca sıvı kristal hücreyi sadece 90° ye kadar hafızaya sahip kılar. Bu problem, kiral katkı maddesi karıştırılmadığı sürece burkulmuş nematik hücre uygulamalarını düşürür. Kiral katkı maddesi burkulma açısının artmasına da neden olur. Katkı maddesinin konsantrasyonu arttırıldıkça da açı da arttırılmış olur ve kolesterik yapıya ulaşılır. Bu durumda burkulmanın çözülmemesi için eşik voltajının üstüne çıkmamak gerekir. Çünkü eşik voltajına yaklaşımla bile burkulma çözülebilir. Süperburkulmuş nematik hücrelerin bu özelliği yüksek kontrastlı, geniş ekranların üretimine elverişli olduğundan çok tercih edilir (Şekil 1.28.).



Şekil1.28. Süperburkulmuş hücre ile burkulmuş hücrenin elektro optik karakteristiklerinin şematik gösterimi (R.Matloub, 2008)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Karl Amundson ve ark. (1996) PKSK (polimer kaplı sıvı kristal) filmlerin morfolojisini ve elektrooptik özelliklerini incelemiştir. PKSK filmler ITO (Indium tin oksit) kaplı cam düzlemler arasındaki ince açıklık içerisine iki akışkan karışımın yerleştirilmesinden sonra UV ışığıyla kürlenerek hazırlanmıştır. Film içerisindeki SK parçacığı üzerinde elektrooptik özelliklerin güçlü bir biçimde etkisi faz ayrışımı prosesi göz önünde tutularak açıklanmıştır. Odaktaş mikroskop ile PKSK in üç boyutlu morfolojisi hakkında bilgiler elde edilmiştir. Damlacıklar içerisindeki polimerik lifler gözlenmiştir. PKSK filmlerin elektrooptik performansının film morfolojisine bağlı olduğu anlaşılmıştır.

T. Kosa ve P. Pallfy–Muharay (1996), azo dye sıkıştırılmış polimit yönlendirme katmanıyla temas halindeki nematik SK'in ışık indüklü yönelimini incelemiştir. Planar bir nematik hücre oluşturmak için polarize ışık kullanılmıştır. Polimer ve azo dye, konuk-ev sahibi sistemleri için ışığa duyarlı yönelim katmanı olarak kullanılmıştır. Yüzey bağlanmasında ışık indüklü değişimlerden kaynaklanan bölge gelişiminin dinamiği ölçülmüştür. Optiksel yönelimin mümkün uygulamaları tartışılmıştır. Odaklanmış lazer ışığı yönelim katmanını göstermede kullanıldığı zaman yönelimin yüksek bir uzamsal çözünürlükle örneklenebildiği görülmüştür.

Rıdvan Karapınar (1997), PKSK ince filmleri fotopolimerizasyon uyarılmış faz bölüşüm metodu ile hazırlayarak elektrooptik özelliklerini incelemiştir. PKSK filmler, optiksel izotropik polimer matrisi içerisine yayılmış mikron ölçekli damlacıklar halinde SK içerir. Filme çapraz olarak uygulanan bir elektrik alan sonucu damlacıkların da alanla birlikte yönlendiği görülmüştür. Bununla birlikte SK de elektrik alana paralel yönelmiştir. Böylelikle pozitif dielektrik anizotropiye sahip SK materyallerin uzun moleküler eksenleri alan doğrultusuna paralel yönelmişlerdir. Bunun sonucunda elektrik alanın varlığında (on state durumunda) damlacıklar içeren sıvı kristalin olağan kırılma indisi polimer matris materyalinin kırılma indisine yeterli yakınlıkta ise gelen ışık çok saçılmayıp PKSK film parlak halde görülecektir. Hücreye uygulanan farklı frekanslarda voltaj sonucu SK moleküllerinin manevrası çıplak gözle görülebilmektedir. Uygulanan voltajın geri çekilmesiyle de moleküller ilk durumlarına geri dönmüştür. Kürlenme zamanının ve kür yoğunluğunun damlacıkların

boyutunu ve biçimini büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Kısa süreli kürlemede tamamlanmamış polimerizasyon; uzun süreli kürlemede ise damlacık boyutunda uzama gözlenmiştir. SK konsantrasyonundaki artış polimer ağları oluşmasına neden olmuştur. Hücre kalınlığının artması da optik geçişin azalmasına yol açmıştır. Optik geçişteki artış uygulanan voltajın yükseltilmesiyle oluşmuştur. Voltajın etkisi kaldırıldığında optik geçiş te başlangıç durumuna geri dönmüştür.

Dang Hoon Choi ve Young Kwan Cha (2002), fotokimyasal çift işlevsel chalcone-epoxy film üzerindeki düşük moleküler yoğunluklu nematik SK'leri lineer kutuplanmış UV ışığa maruz bırakarak ışıkla yönelimini incelemişlerdir. Sentezledikleri 1.3-bis-(4-hydroxy-phenyl)-propenone içeren chalcone epoxy bileşiminin ana zincirleri arasına uyguladıkları UV ışınması sonucu Siklobütan yapılar oluşmuştur. Chalcone-epoxy bileşiminin anizotropik lineer polarize UV ışık reaksiyonu kutuplanmış absorpsiyon spektroskopisi kullanılarak ölçülmüştür. Fotobaşlatıcı madde ile kaplanan filmde oldukça yüksek bir düzen parametresi bulunmuştur. Lineer kutuplanmış UV ışığı chalcone-epoxy filme uygulandığında homojen yönelim oluşmuştur.

V.Urruchi ve ark. (2003), V-biçimli elektrooptik tepkili kiral smektik sıvı kristal materyallerin elektrooptik performansını incelemişlerdir. Optiksel tepkinin frekans bağımlılığı ve yayılma içindeki hafıza etkisi analiz edilmiştir. Farklı bakış açılarından davranışları açıklayan teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların ilki, her smektik katman içerisindeki moleküler dizilim uyumu ve bitişik katmanlar içerisindeki rastgele moleküler dönme üzerine kurulmuştur. Her katman içerisindeki direktör-polarizasyon çifti kombine edilmiş elastik deformasyonu tanımlar. Silikon doku üzerine kurulu sıvı kristal uygulamasının en doğru yöntem olduğu açıklanmıştır. Görünür eğim açısı, moleküllerin ortalama eksenlerinin projeksiyonunun belirlenmesidir ve optiksel bağımlılık hakkında bilgi verir. Yüksek görünür eğim açısında hızlı yayılma ve parlaklık görülmüştür. Hücre içerisindeki materyalin karakterizasyonu için görünür eğim açısının ortalama değeri 28°den 30° ye kadar değişebilmektedir. Ölçümler sonucunda V biçimli smektik sıvı kristallerin potansiyel kabiliyetlerinin mevcut olduğu anlaşılmıştır. Zıtlık oranının ve tepki süresinin ilerletilmesiyle yeni fabrikasyon sürecinin oluşabileceği açıklanmıştır.

Chin–Poh ve Juh Tzang Lue (2003), ITO kaplı cam lameller arasına yerleştirilmiş SK ile hazırlanmış sıvı kristalik ince filmlere elektrik alan uygulayarak NSK in mikroskobik yapısını Monte Carlo Simulasyon Tekniği ile incelemişlerdir. Bir izotermal izobarik olan bu teknik sert küre zincirler sistemi için durum eşitliği elde etmede kullanılmıştır. Termal denge, sistemin iç entalpisinin minimum olmasıyla gerçekleşmiştir. Monte Carlo Metodunda SK moleküllerinin rastgele yöneliminin her bir aşamasının farklı bir iç enerjiye sahip olduğunu açıklamışlardır.

Rosenblatt ve ark. (2004), mikro desenli yönelim katmanlarını, mikro aşındırma yöntemi ile oldukça sert bir stille elde etmişlerdir. Daha sonra Yokoyama ve çalışanları da (2004) nematik sıvı kristalik cihaz üretmek için mikro desenli yüzeyleri kullanmışlardır. Doğrudan işlenmenin sert stille oluşması, geniş alanlı görüntülemeler için yönelim katmanlarının üretiminde bazı kısıtlamalara neden olmaktadır. Doğru bir elektrooptiksel ölçüm için metalik top ile birlikte iyi cilalama için metalik halka kullanılarak 500 µm derinlikli kanallar açılmıştır. Mikro aşındırılmış polimitlerin eğim açısı konoskopik yöntem kullanılarak ölçülmüştür. Polimit maddelerin metalik küre ile mikro aşındırma yöntemi kullanılarak desenli yönelim katmanlarının oluşmasında oldukça etkili bir metottur. Düzlemsel yönelim polimerik maddenin yumuşak değil de inorganik (rijit) uç ile çizilmesiyle oluşmuştur.

Yea-Feng Lin ve ark. (2005), sıvı kristalleri yönlendirmek için cam yüzeyleri iyonik aşındırma metoduyla sürmüşlerdir. Cam lamellere paralel kanallar açarak sıvı kristallerin bu kanallardan geçmesi sağlanıp yönelimleri incelenmiştir. Bir çift, paralel, aralarında 5CB olan, kanallar açılmış lamellerle bir hücre hazırlanmıştır. İyon bombardımanı metoduyla, U biçiminde, sık periyotlarda ve derinlikte kanallar açılmıştır. Kanallar açılmış cam yüzeyin özellikleri atomik güç mikroskobuyla incelenmiştir. Sıvı kristal için yönlendirme kalitesi yüzey azimutal bağlanma enerjisinin ölçülmesiyle anlaşılmıştır. Başarılı bir yönlendirme için, bağlanma kuvvetinin ve hat yoğunluğunun artırılması gerektiği görülmüştür. Kanalların derinliği küçük iken bağlanma kuvvetinin klasik aşındırılmış polimit yüzeyine göre daha küçük olduğu görülmüştür. Kanalların derinliğinin ve periyodunun çeşitlenmesiyle bağlanma kuvveti artırılabilir. Yüksek bağlanma için rakamsal

değerler ise şöyledir, kuvvet $10^{-5} \frac{J}{m^2}$ den büyük, kanal derinliği 56-121 nm, periyodik kanal mesafesi 4µm den az olmalıdır.

Yuki Suzuki ve ark., homeotropik yönelimli nematik fiziksel jellerin elektrooptiksel materyaller olarak kullanabileceğini açıklamışlardır. Bu jeller, oda sıcaklığındaki nematik sıvı kristaller ile düşük moleküler ağırlıklı l-lysine içeren negatif dielektrik anizotropiye sahip jelatörlerin birleşimiyle oluşturulmuştur. Jelatör konsantrasyonu elektrooptiksel anahtarlamayı büyük ölçüde etkilemektedir. Sıvı kristal ortamların kalıp etkisi ile oluşturulan homeotropik olarak yönlendirilmiş sıvı kristal jellerin yeni tür elektrooptik materyallere uygulanabileceği gösterilmiştir. SK hücreler içerisindeki yönlendirilmiş bu SK jeller elektrik alanın yokluğunda yüksek oranda transparanlık; elektrik alanın varlığında ise ışık saçılması sergilemişlerdir. Bunun dışında bu jeller elektrik alana karşı yüksek kontrast, düşük yürütücü voltaj ve hızlı tepki göstermiştir.

Jun-Ichi Hanna ve Masahiro Funahashi, aşamalı moleküler yönelimli fotoiletken sıvı kristallerin fotoelektrik özelliklerini incelemişlerdir. Aşamalı moleküler yönelim, sıvı kristal hücre içerisindeki moleküllerin aşamalı olarak paralel yönelimden dik yönetime geçmesidir. Aşamalı moleküler yönelimli hücre farklı davranışlar sergileyen iki numunenin kombinasyonu ile oluşturulmuştur. Bu yönelimi gerçekleştirmek için iki ayrı metot kullanılmıştır. Birincisi, numune yüzeyi ile sıvı kristal arasındaki ara yüzey karakteristiğini kontrol altında tutarak ITO ve Al kaplanmış numunelerden birine aşındırma yapılmıştır. Diğerine de TEDS (triethoxydecylsilane) ile kimyasal işlem uygulanmıştır. İkincisi sıvı kristal hücreye elektrik alan uygulanmasıdır. Bu şekilde sıvı kristal dipollerine bağlı olarak elektrik alan boyunca yönelmeye zorlanmıştır. Bu yöntem için elektrik alana daha kolay tepki verebilen fotoiletken nematik sıvı kristaller tasarlanmıştır. Aşamalı moleküler yönelimin karakterizasyonu kutuplanmış foto mikroskop ile gözlenmiştir. Dik (homeotropik) yönelimli hücre ile karşılaştırıldığında paralel (planar) yönelimli hücrenin daha yüksek fotoiletkenlik sergilediği görülmüştür. 5-PNP-01 doldurulmuş hücre, 1×10^4 V/cm elektrik alanla planar yönetime başlamıştır. 2.2×10^4 V/cm'den itibaren dik yönelim gözlenmiştir ve 8×10^4 V/cm'de yönelim tamamlanmıştır. Planar ve dik yönelimli hücrelerin yüzey değişimleri incelendiğinde fotoiletkenliğin net bir

anizotropisi gözlenmiştir ancak aşamalı yönelim oluşmamıştır. Aşamalı moleküler yönelim, 5-PNP-01 nematik fotoiletken sıvı kristale elektrik alan uygulanmasıyla meydana gelmiştir. Bu yüzden, bu yönelim için nematik faz sergileyen smektik sıvı kristallerin tercih edilmesi gerekir.

Dumitrascu ve ark. (2006), nematik sıvı kristal katmanlarının çift kırınım özelliğine dış elektrik alanın etkisini incelemişlerdir. Nematiklerin anizotropisinin en bariz göstergesi çift kırınım özelliklerinin olmasıdır. Nematik SK'ler pozitif optiksel anizotropiye sahiptirler. ($\Delta n = n_e - n_o$) ışığın nematik katman boyunca geçisi sırasında olağan ve olağanüstü ışınlar arasında optiksel yol farkının olduğu gözlenmiştir. Sıcaklığın artırılması anizotropilerin değerinin nematik-izotropik faz dönüşümünde sıfıra ulaşmaya dek düşürmekte olduğu açıklanmıştır. Artan sıcaklık elektriksel iletkenliğin de artmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada, nematik sıvı kristalin görünür bölgede temel ve çift kırılma indisleri bulunmuştur. Olağan ve olağanüstü kırılma indislerinin değerleri Rayleigh İnterferometresi kullanılarak ölçülmüştür. Sonuç olarak, görünür radyasyonun dalga sayısının artırılmasıyla temel kırılma indisinde ve çift kırınımında artış olduğu açıklanmıştır. Dış elektrik alan frekansındaki artışın numunenin çift kırınım özelliğinde azalmaya neden olduğu gözlenmiştir.

Stanislaw J. Klasowicz (2006), görüntülemeler ve optiksel elementler için perspektif ortam olarak polimer kaplı sıvı kristaller hakkında çalışma yapmıştır. Polimer kaplı, sıvı kristal materyallerin elektrooptik özelliklerinin bilgi ekranları içeren, elektrikle çalışan cihazlara uygulanabileceği belirtilmiştir. PKSK'ler bir katı polimer matrisi içerisine gömülü iki faz bileşiği içeren küresel, elipsoidal veya düz SK damlacıklarıdır. PKSK içeren nematiklerde gözlenen temel elektrooptiksel etki, elektriksel olarak uyarılmış ışık iletimidir. Bununla birlikte en önemli elektrooptik etki ise farklı SK fazlarının gözlenmesi olmuştur.

Fuzi Yang ve ark. (2007), aşındırılmış polimit katmanlarının optiksel anizotropisi ile aşındırma (rubbing) süreci arasındaki ilişkiyi yakın zamanda geliştirilen kutuplanma-dönüştürme güdümlü mod tekniği ile incelemiştir. Sonuçlar, polimit katmanlarının etkileyici optiksel anizotropisinin aşındırma sürecinin değiştirilmesiyle olabileceğini göstermiştir. Bunu yaparken polimit katmanlarının sıvı kristal yönelimini sağlama kabiliyetini değiştirmemek gerekmektedir. Yönlendirme metodunda aşındırılmış polimit katmanlarının yaygın olarak

kullanılması düşük maliyetli olduğundan, kolayca uygulanabilirliğinden ve yüksek kalitede eş filmlerin kaplanabilmesinden kaynaklanmaktadır. Yönlendirme aşamasında ilk olarak, film yüzeyi polimit ile kaplanmıştır. Daha sonra yüksek sıcaklıkta ısıtılmıştır ve uygun kumaşla aşındırma (rubbing) yapılmıştır. Aşındırma sonucu mikro kanallar oluşturulmuştur ve aşındırılmış yüzeyde uzun zincirli organik moleküllerin yönelimi gerçekleşmiştir. Benzer polimit kaplı ve farklı boyutlarda aşınmaya uğramış numuneler PCGM (polarization-conversion guided mode) tekniği kullanılarak incelenmiştir. Bu teknikle ince yüzey katmanlarının oldukça zayıf optiksel anizotropisi bile incelenebilmiştir.

Süleyman Yılmaz (2008), bazı nematik sıvı kristal karışımların elektrik alandaki optiksel özelliklerini incelemiştir. Belirli oranlarda hazırlanan karıştırılmış yapıların optiksel yayılımlarının ölçümleri faz dönüşüm bölgesinde alınmıştır. Ölçümler sonucunda optiksel iletimin nematik fazda düşük seviyede, nematik izotropik faz dönüşüm bölgesinde ise yüksek seviyede gerçekleştiği gözlenmiştir. Ayrıca, materyalin domain yapısının uygulanan elektrik alandan, sıcaklık değişimine de bağlı olarak, etkilendiği gözlenmiştir.

M.Emek ve ark. (2009), nematik sıvı kristallerin AC/ DC elektrik alanları altında optiksel özelliklerini araştırmışlardır. Nematik sıvı kristallerin faz dönüşümlerinin optiksel iletime etkileri incelenmiştir. Bu çalışma, farklı sıcaklıklarda ve farklı polarizör açılarında AC/DC elektrik alanı altında elektrooptiksel yöntemlerle yapılmıştır. Materyalin domain yapısının uygulanan elektrik alandan ve sıcaklık değişimlerinden etkilendiği gözlenmiştir. Ayrıca , kristal-nematik faz dönüşümü noktası değişmiştir ve faz dönüşümü bölgesinde sıvı kristal davranışlar bazı farklılıklar sergilemiştir. DC elektrik alan altında geçen ışığın şiddeti elektrik alan arttıkça yüksek seviyelere çıkmıştır. Buna karşın, AC elektrik alan altında geçen ışığın şiddeti başlangıçta artış gösterip yükselen alanla beraber 355 K'den büyük sıcaklıklarda düşüş göstermiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Deneyde kullanılan cihazlar

3.1.1.1 Manyetik karıştırıcı

ITO kaplı camları kaplamak için kullanılan kimyasal malzemeler Şekil 3.1.'de görülen, SBS marka, maksimum 450°C'ye kadar ısınma ve 1500 rpm'e kadar döndürme özelliğine sahip manyetik karıştırıcı kullanılarak uygun bileşim haline getirilmiştir. Aynı zamanda termal tabla görevi de gören manyetik karıştırıcı ile kaplanan ITO kaplı camların hafif ve sert tavlamaları da yapılmıştır.



Şekil 3.1. Manyetik karıştırıcı

3.1.1.2 Çekerocak

Spin kaplama cihazı cam kaplamak için çalışırken açığa çıkan gazlar çekerocak sayesinde dışarı atılır. Şekil 3.2.'deki çekerocak içerideki buharı çekip açık havayla bağlantılı borudan dışarı atmaktadır. Böylece çekerocak laboratuvar ortamını güvenli kılmaktadır.



Şekil 3.2. Çekerocak

3.1.1.3 Spin kaplama

Şekil 3.3.'te görülen spin kaplama ile akışkan çözeltinin küçük bir miktarının kaplanacak yüzey üzerine damlatılması ve yüzeyin yüksek hızda döndürülerek çözeltinin kenarlara kadar yayılması sağlanmıştır. Laurell marka, WS-400E-6NPP/LITE/AS model bu spin kaplamanın çalışması için gerekli olan vakum miktarı minimum 15.00" Hg dır.



Şekil 3.3. Spin kaplama

3.1.1.4 UV kür kaynağı

Fotolitografik yöntemle planar yönelim elde etmek için kaplanan lameller üzerlerine fotomaske konularak Şekil 3.4.'teki Exfo marka OmniCure S1000 model UV kür kaynağından sağlanan UV ışığıyla yakılmıştır.



Şekil 3. 4. UV kür kaynağı

3.1.1.5 Ultrasonik banyo

Deneyde kullanılan ITO lamellerin temizliği ultrasonik banyoda gerçekleşmiştir (Şekil 3.5.). Bandelin Sonorex marka, maksimum 80° sıcaklık ve maksimum 15 dakika süre ayarlaması yapılabilen banyoda 80° C'de 30 dk boyunca, titreşimle lamellerin temizliği gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Ultrasonik banyo

3.1.1.6 Fırın

Yıkanan lamellerin kurutulması, Şekil 3.6.'daki, Nüve FN 032 marka, maksimum 225°C sıcaklığa yükselebilen fırında 180°C'de 5 dk bekletilerek yapılmıştır.

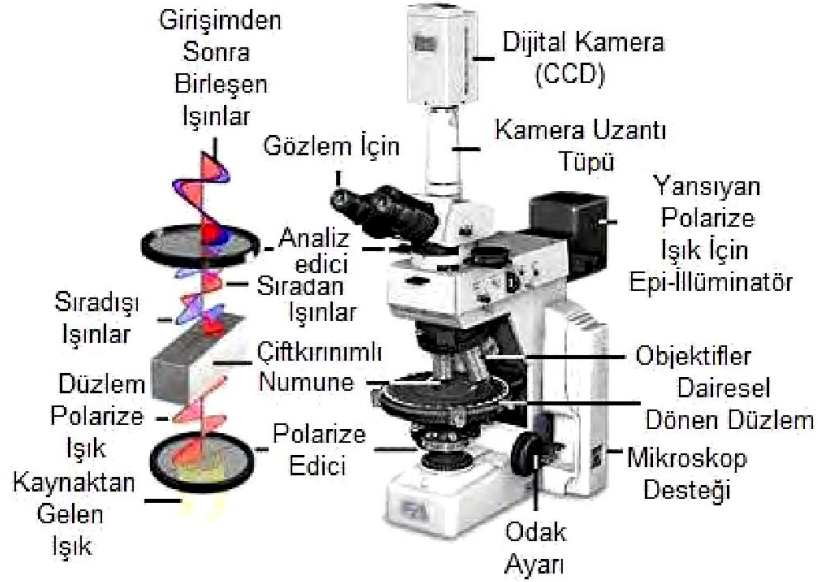


Şekil 3.6. Fırın

3.1.1.7 Polarizasyon mikroskobu

Mezofazların karakterizasyonu için polarizasyon mikroskobu ve mikroskop aksesuarları gerekmektedir (Şekil 3.7.). Bu çalışmada kullanılan Leica DMPL marka polarizasyon mikroskobudur:

1. Isıtma Masası (heating stage) 350°C'ye kadar ısıya dayanabilmektedir;
2. Mikroskop, ısıtma masası için yeterli çalışma alanına sahiptir ve büyük objektif, üzerine odaklanabilmektedir;
3. Dönen objektifler;
4. Beş objektif (2.5x, 10x, 20x, 40x ve 63x);
5. CCD kamera.



Şekil 3.7. Polarizasyon mikroskobu ve bölümleri

Mikroskop altında incelenen malzemenin görüntüsünün kamerayla bilgisayara aktarılması Leica IM50 yazılım programıyla sağlanmıştır (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Mikroskop altında incelenen malzemenin görüntüsünün kamerayla bilgisayara aktarımı

3.1.1.8 Lazer

Ölçümlerde, 1mW gücünde ve 632.8 nm dalga boyunda ışık yayan He-Ne lazeri (PHYWE) kullanılmıştır.

3.1.1.9 Mekanik modülatör

Mekanik modülatör lazer kaynaktan gelen sabit ışık demetini sinüzoidal ışık demetine dönüştürmek amacıyla kullanılmaktadır (Şekil 3.9.). SR540 mekanik modülatör basit ölçümlerden tek demet, çift-demet ve intermodülasyon deneylerine kadar tüm optik kesme gereksinimlerini ele almaktadır. SR540, dört rakamlı frekans göstergesine, ön-panel frekans denetleyicisine, analog voltaj frekans denetleyicisi ve seçilebilir işletim modlarına sahip iki referans çıktısına sahiptir (Şekil 3.10.).

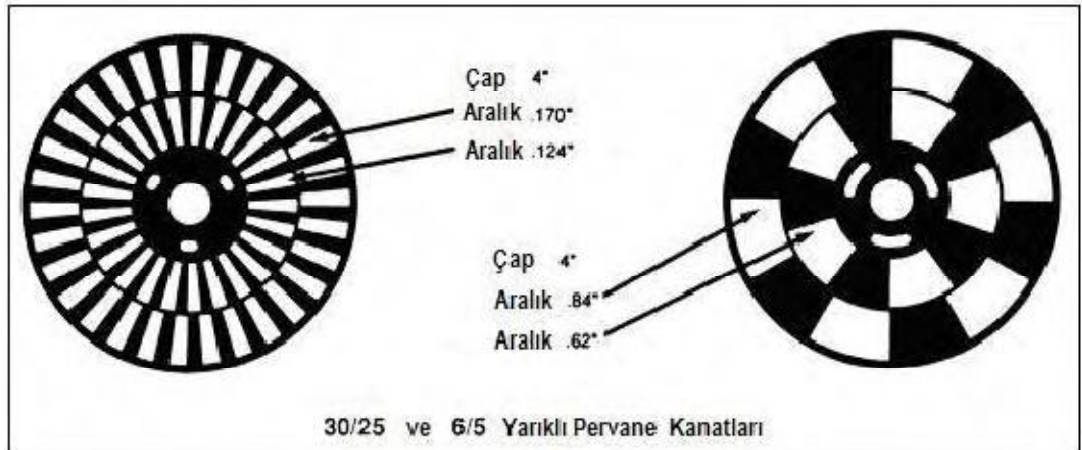


Şekil 3.9. Mekanik modülatör



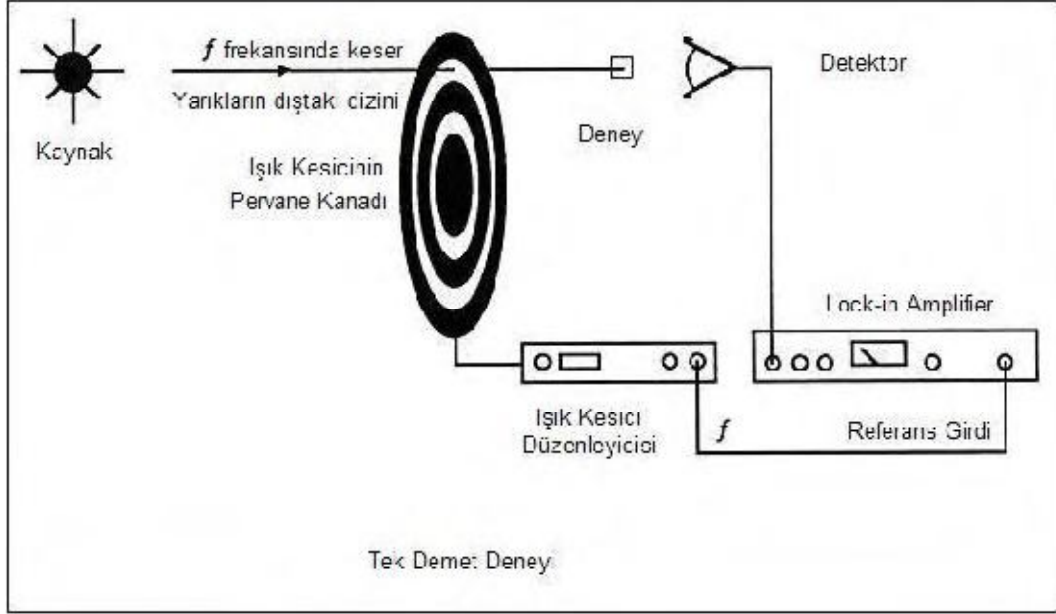
Şekil 3.10. Mekanik modülatör denetleyicisi

Mekanik modülatörün Şekil 3.11.'de görüldüğü gibi iki adet alüminyum kanadı vardır: 5/6 yarıklı pervane kanadı 400 Hz'in üzerindeki frekanslar için ve 25/30 yarıklı pervane kanadı ise 3.7 kHz'in üzerindeki frekanslar içindir. Referans çıktılar, frekansların toplamı ve farkının yanı sıra her bir uzun, dar yarıklar dizinine karşılık gelen frekansları sağlamaktadır.



Şekil 3.11. Mekanik modülatörün pervane kanatları

Tek demetle yapılan deneylerde ışık demeti dar, uzun yarıkların dıştaki dizini tarafından kesilmektedir ve sağ BNC'den gelen referans çıktı lock-in amplifier'ın frekansını ışık kesicinin frekansına kilitlemek için kullanılmaktadır (Şekil 3.12.). İçteki uzun, dar yarıkların dizini sol BNC'nin referans çıkışı olduğu durumda da kullanılabilir. Her iki durumda da REFERENCE MODE “yukarı” pozisyonundadır.



Şekil 3. 12. Mekanik modülatör ile yapılan tek demet deneyinin şematik gösterimi

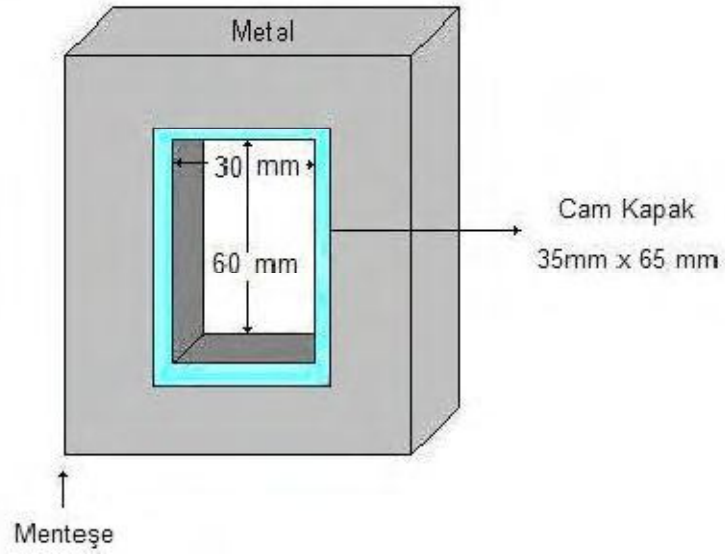
Mekanik modülatör frekansının 225~330 Hz gibi 50 Hz (şebeke frekansı)'nin tam katı olmayan frekanslarda seçilmesi ölçümlerin sağlıklı olmasını sağlar.

3.1.1.10 Polarizör ve analizör

Ölçümlerde kullanılan ışık demetini polarize etmek ve numuneden geçen ışığın polarizasyonunu incelemek için polarizör ve analizör kullanıldı.

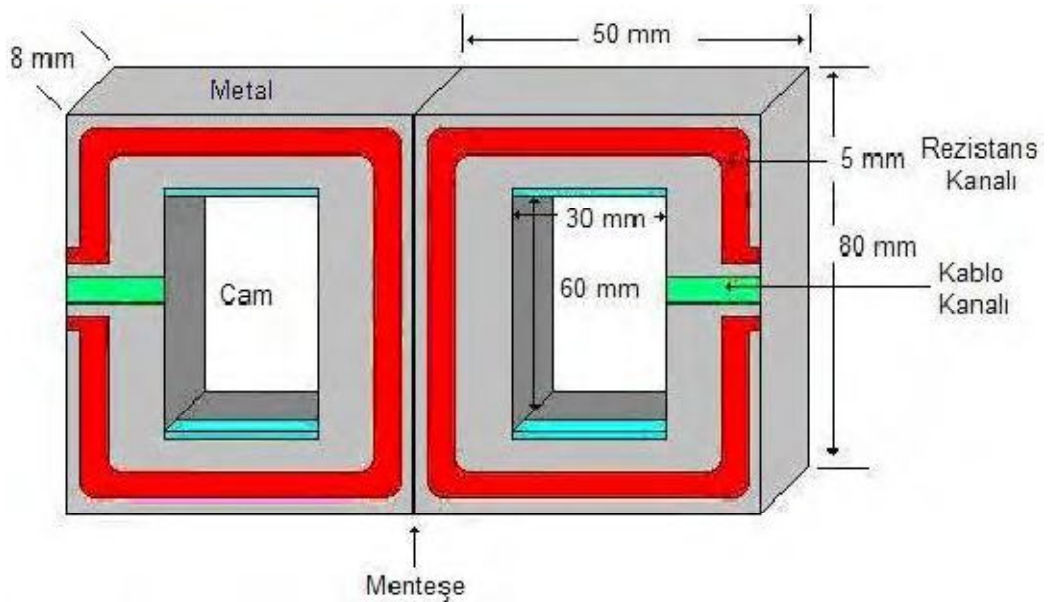
3.1.1.11 Numune tutucu

Numuneyi ısıtırken ve elektrik alan uygulanırken çevre koşullarından etkilenmemesi amacıyla yalıtım yapmak için açılıp kapanan iki kollu çerçeve şeklinde olan numune tutucu hazırlandı (Şekil 3.13.). Numune tutucu için quartz cam kullanıldı ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması açısından antimon alaşım kullanıldı.



Şekil 3.13. Numune tutucunun kapalı durumda şematik görüntüsü

Rezistans kanalına, ısıtmayı temin etmek için kablo yerleştirildi. Kablo kanalı ise elektrik alan uygulanması için kablo ve termometre girişi için kullanıldı. Bu kabloların her birine kısa devre olmaması için yalıtım yapıldı (Şekil 3.14.).



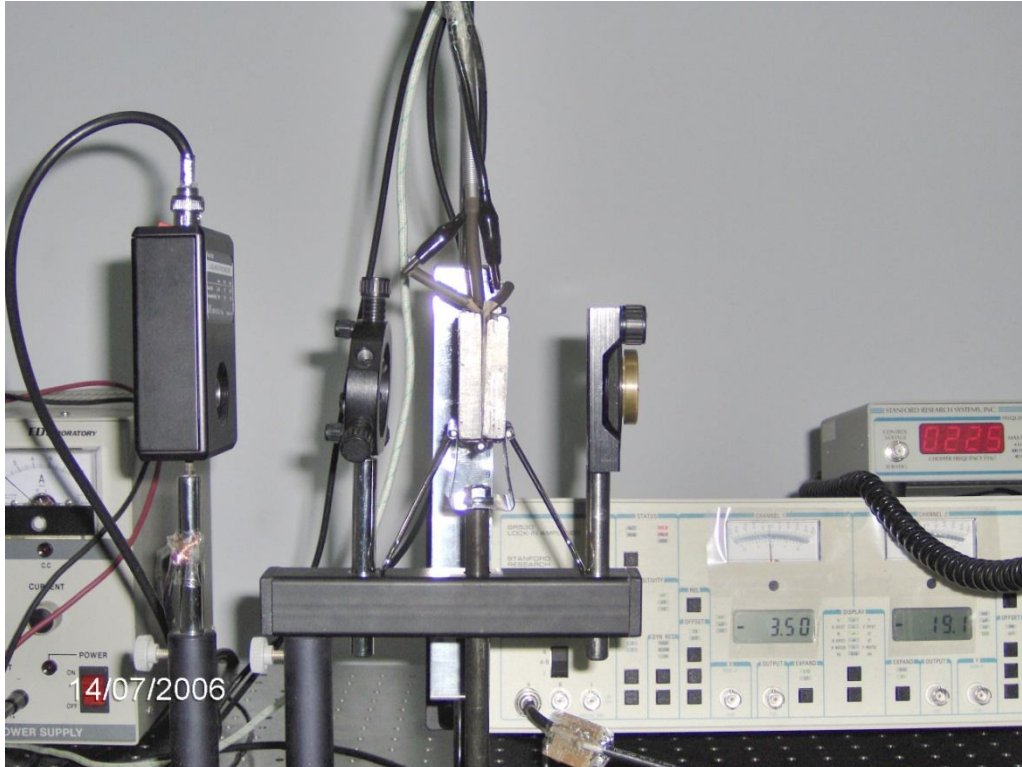
Şekil 3.14. Numune tutucunun açık durumda şematik görüntüsü

3.1.1.12 Foto-algılayıcı

Lazerden yayılan ve sıvı kristal malzemedan geçen ışığın algılanması için Şekil 3.15.'te görülen Phyure 2032 marka Geniş Alan UV Foto-algılayıcı (Large-Area UV Photoreceiver) kullanılmıştır (Şekil 3.16.).



Şekil 3.15. Foto-algılayıcı



Şekil 3.16. Polarizör, numune tutucu, analizör ve foto-algılayıcı

3.1.1.13 Lock-in amplifier

Lock-in Amplifier kullanmadaki amaç sinyalleri gürültüden ayırmak ve yükseltmektir (Şekil 3.17.).



Şekil 3.17. SR530 lock-in amplifier

3.1.1.14 Termostat

Ölçümler esnasında mikro kontrolör ile tasarlanmış ayarlanabilir zaman oransal kontrol yapabilen çift kontaklı dijital sıcaklık kontrol cihazı olarak TE 7272 D tipi endüstriyel elektronik sıcaklık denetleyicisi kullanılmıştır (Şekil 3.18.). Ölçümler sırasında termostat, sıcaklık artışı 3°C/dak hızla gerçekleşecek şekilde ayarlandı.



Şekil 3.18. Termostat

3.1.1.15 Güç kaynağı

Ölçümler sırasında sıvı kristal numuneye elektrik alan uygulamak ve sıvı kristal numuneyi ısıtmak amacıyla Netes 3603D dijital DC güç kaynağı kullanılmıştır.

3.1.2. Malzeme veya numunelerin hazırlanması

3.1.2.1 ITO lameller

Sıvı kristal hücreleri hazırlarken Indium-Tin-Oxide (InTiO₃) kaplamalı cam lameller kullanılmıştır. Bunun nedeni, lamellerin iletken olmasıdır. İki adet cam lamel üst-üste konularak, sonra bir biri üzerinde kaydırılır ve her birinin kenarları çıkıntı oluşturacak şekilde yerleştiriliyor. Indium-Tin-Oxide kaplamalı lamellerin kalınlığı: 1.12mm; uzunluğu: 72 mm; genişliği: 26 mm dir. ITO lameller daha ekonomik olması için üç eşit parçaya ayrılmıştır. Dolayısıyla hücre hazırlanırken kullanılan lamellerin boyutları şu şekilde değişti: kalınlığı: 1.12 mm; uzunluğu: 24 mm; genişliği: 26 mm.

3.1.2.2 ITO lamellerin kaplanması

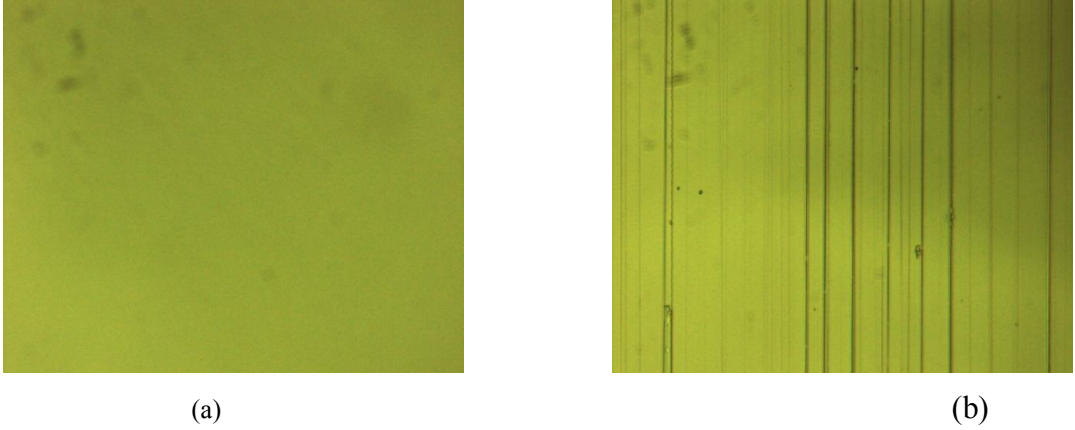
Sıvı kristal moleküllerinin paralel yönelimini elde etmek için ITO lameller, rubbing uygulamasından önce, PI2555 polimit maddesiyle T9039 incelticisinin (thinner) belirli oranlardaki solüsyonları elde edilerek bu solüsyonlarla kaplanmıştır. Litografik uygulama ile paralel yönlendirme için ise ITO lameller, polimitli solüsyonun ardından G2 Positive Photoresist maddesiyle kaplanmıştır.

Sıvı kristal moleküllerinin dik yönelimini elde etmek için ise ITO lameller, SE1211 ile incelticisi olan Solvent 26 maddesiyle hazırlanan solüsyonla kaplanmıştır. Kaplama işlemi, ITO lamele, uygulanması istenen yöneme göre gerekli solüsyondan damlatılıp, spin kaplama cihazında döndürülerek, solüsyonun lamel üzerinde merkezkaç kuvveti ile homojen yayılması sağlanarak gerçekleştirilmiştir.

3.1.2.3 Sıvı kristal hücrelerin hazırlanması

Planar yönelimli hücre elde etmek için, ITO lameller polimitli solüsyonla kaplandıktan sonra bir süre sıcak tabla üzerinde kurutulmuştur. Daha sonra klasik mekaniksel aşındırma yöntemine göre kaplanan yüzey kadife kaplı düz bir metal ile sürülmüştür. Kanallar istenilen ölçüde düzgün oluştuğunda, ITO lamellerin kaplanan ve işlenen yüzeyleri birbirine bakacak şekilde, aralarına 30 mikronluk mikrofiber konularak ve uçları çıkıntı oluşturacak şekilde hafifçe kaydırılarak kapatılmıştır.

Kenarlarına epoxy tutkal sürülmüştür. Çıkmı oluşan uca sıvı kristal malzeme konularak kohezyon kuvvetiyle iki lamel arasındaki bölgeye akması sağlanmıştır. Daha sonra malzemenin buharlaşmasını veya lamellerden dışarı akmasını önlemek amacıyla diğer uçlar da epoxy tutkal ile yapıştırılmıştır. şekil 3.19. da kaplanmış yüzeyin (a) rubbing uygulanmadan önce ve (b) sonraki görüntüleri verilmiştir:



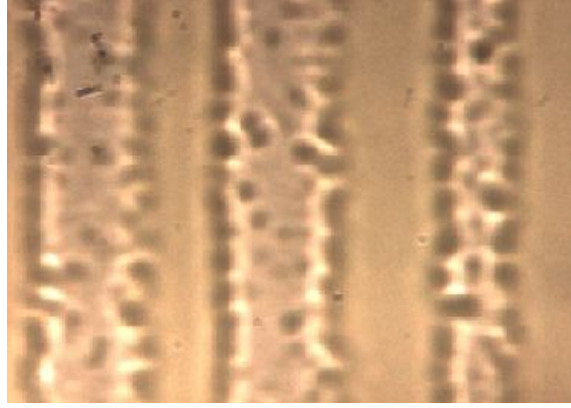
şekil 3.19. Kaplanmış yüzeyin (a) rubbing uygulanmadan önceki görünümü; (b) rubbing uygulandıktan sonraki görünümü

Planar yönelimli hücre litografik yöntem ile elde edilmek istenirse, polimitli solüsyonla kaplandıktan sonra sıcak tabla üzerinde kurutulup G2 Positive Photoresist maddesiyle de kaplanıp kurutulur. Kaplanan yüzey üzerine fotomaske yerleştirilip UV kür kaynağı altına konularak birkaç saniye yakılır. Daha sonra yanan yüzeyin temizlemesi için kimyasal solüsyonlara daldırılıp çıkarıldıktan sonra tekrar kurutulmuştur. Bu ITO lameller de yukarıda bahsedilen şekilde hücre haline getirilir. şekil 3.20. de kaplanan yüzeyin UV ışığına maruz bırakılmadan önceki ve sonraki görünümü verilmiştir.

Dik yönelimli hücre elde etmek için ITO lameller SE1211+Solvent26 solüsyonuyla kaplandıktan sonra sıcak tablada bir süre kurutulmuş ve hücre oluşturmak için bahsedilen aşamalar aynen uygulanmıştır. şekil 3.21.'de solüsyonla kaplanan yüzeyin fotoğrafı verilmiştir.

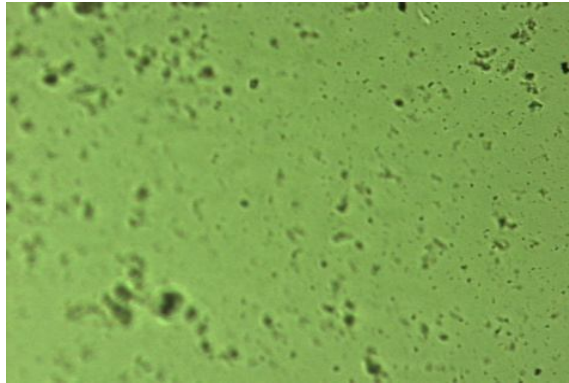


(a)



(b)

Şekil 3. 20. Kaplanmış yüzeyin (a) UV ışığına maruz bırakılmadan önce; (b) UV ışığına maruz bırakıldıktan sonraki görünümü



Şekil 3. 21. SE1211+Solvent26 solüsyonuyla kaplanan ITO yüzeyi

3.2.Yöntem

3.2.1 Mekaniksel aşındırma yöntemi (Rubbing)

Sıvı kristal moleküllerinin paralel yönelimini sağlamak için uygulanan pratik yöntemlerden biridir. Öncelikle ITO lamellere polimit kaplama yapılmıştır ve düşük ve yüksek ısılarda hafif ve sert kurutmaları yapılmıştır. Daha sonra kadife kaplı düz bir metal ile kaplanan yüzeye tek yönlü aşındırma yapılmıştır. Aşınan yüzeyde oluşabilen toz ve istenmeyen parçacıkları temizlemek için saf su ile yıkanmıştır ve tekrar kurutulmuştur.

3.2.2 Fotolitografik yöntem

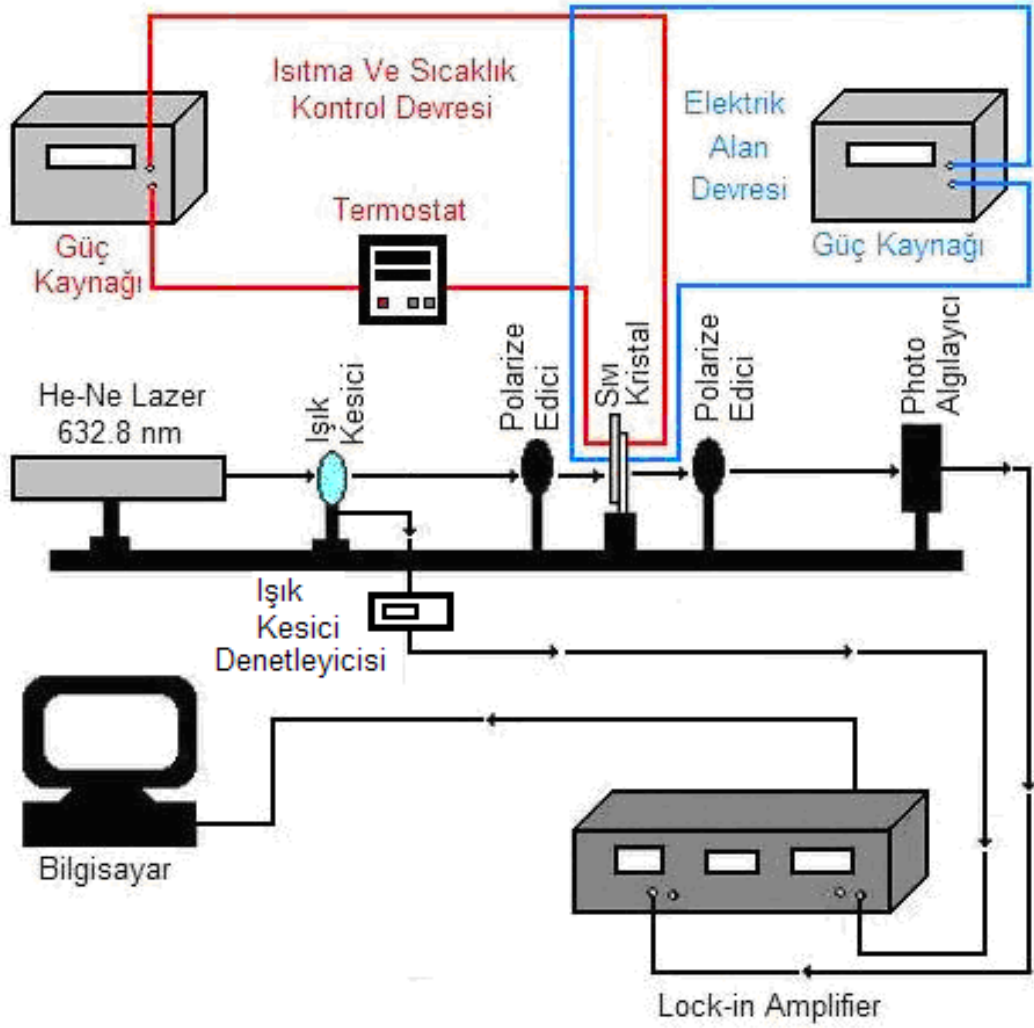
Sıvı kristal moleküllerinin paralel yönelimini sağlamak için kullanılan bir diğer yöntem de fotolitografik yöntemdir. Burada polimit kaplama yapılan ITO lameller G2 Positive Photoresist maddesiyle de kaplandıktan sonra düşük ısıda kurutulmuştur. Ardından kaplanan yüzey üzerine fotomaske yerleştirilip UV kür kaynağı altında yakılmıştır. Yakma işleminden sonra yanan bölgelerin temizlenmesi için güçlendirici ve aseton solüsyonlarına daldırılıp çıkarıldıktan sonra tekrar kurutulmuştur.

3.2.3 Deney düzeneği

3.2.3.1 Devre

Deney düzeneği Şekil 3. 22.'de görüldüğü gibi üç üniteden oluşmaktadır. Bunlar:

- Isıtma ve sıcaklık kontrol ünitesi;
- Elektrik alan ünitesi;
- Sinyal alan ve güçlendiren ölçüm ünitesidir.



Şekil 3.22. Deney düzeneğinin devre şeması: ısıtma ve sıcaklık kontrol devresi, elektrik alan devresi ve optik ölçüm devresi (3 bağımsız devre)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışmamızın Materyal ve Yöntem Bölümü'nde belirlenen metot ve deney setleri kullanılarak aşağıdaki uygulamaların elektrooptik etkileri incelenmek üzere ölçümleri alınmıştır.

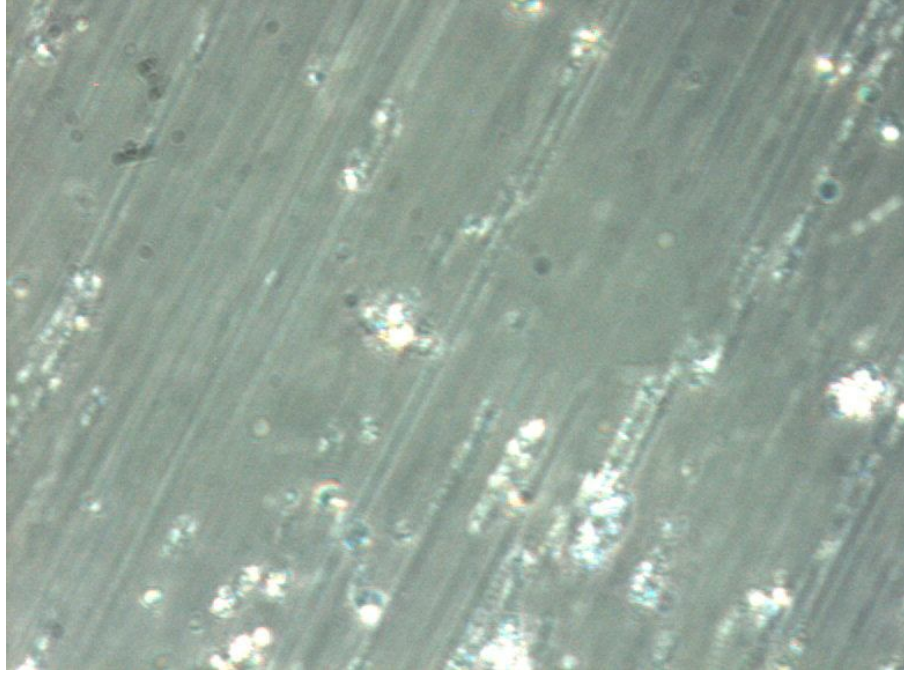
1. Rubbing yöntemiyle hazırlanan planar yönelimli sıvı kristal hücre;
2. Fotolitografik yöntemle hazırlanan planar yönelimli sıvı kristal hücre;
3. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücre.

Tüm bu çalışmalar NSK faz bölgesini içine alan sıcaklık aralığında yapılmıştır. Bu nedenle sıcaklık aralığı 298 K ile 328 K olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda sistemden geçen ışığın şiddetinin dış etkenlere bağlı olarak nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu çalışmaların hepsi hazırlanan 3 numuneye uygulanmıştır. Çalışmada malzeme olarak 5CB ($C_{18}H_{19}N - 4'$ -Pentyl-4-biphenylcarbonitrile, % 98) sıvı kristali kullanılmıştır.

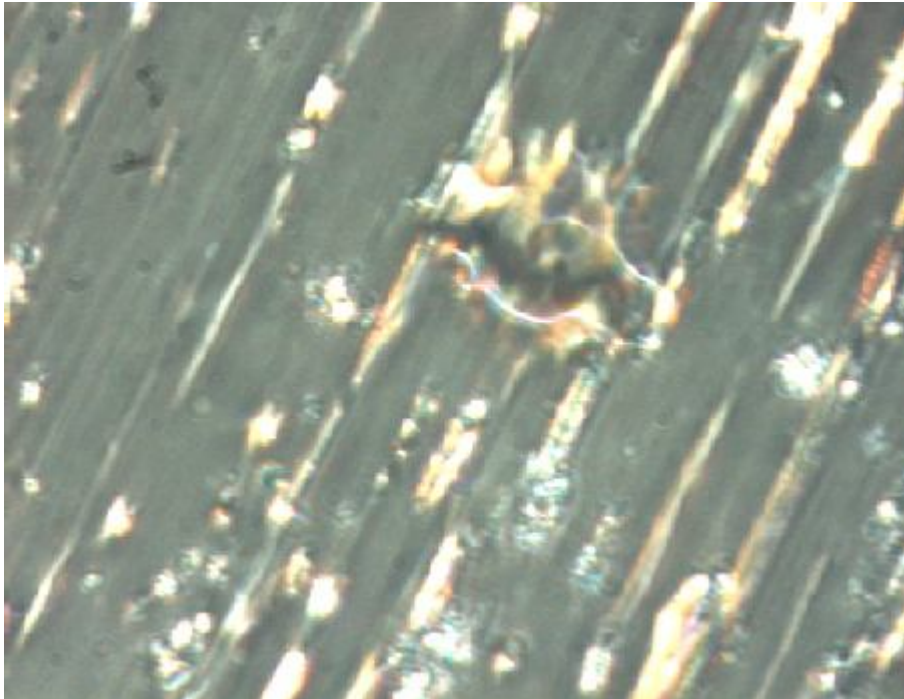
4.1. Rubbing Yöntemi ile Hazırlanan Planar Yönelimli Sıvı Kristal Hücre

4.1.1. Elektrik alana bağlı morfolojik değişimler

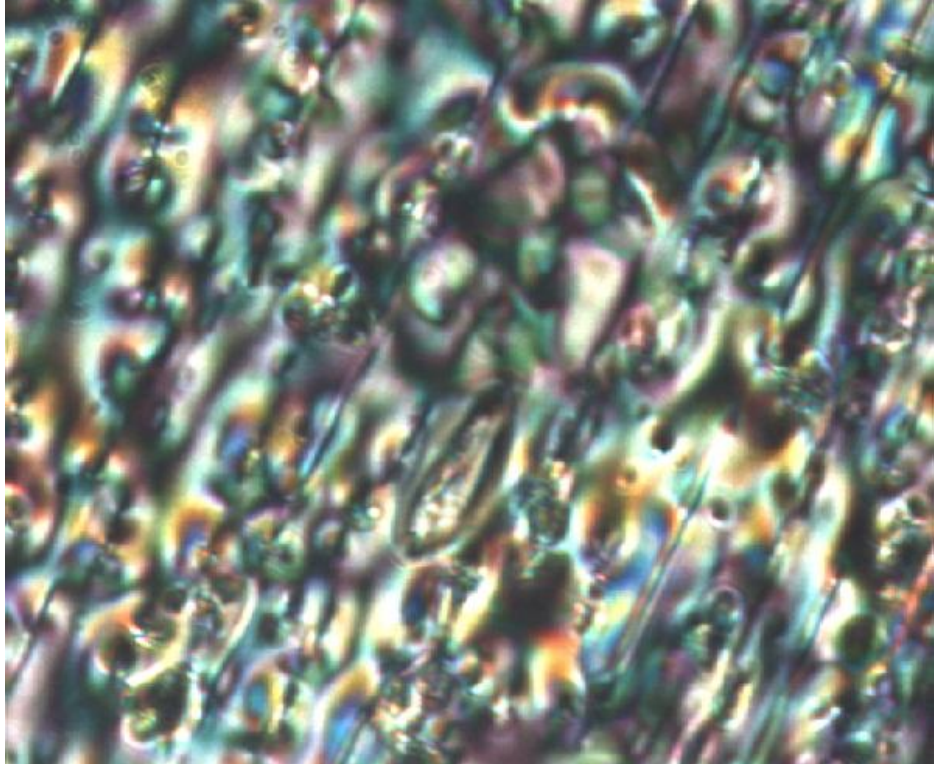
Rubbing yöntemiyle oluşturulan planar yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan farklı voltajlara tepkisi polarizasyon mikroskopundan CCD kamera yardımı ile gözlemlendi. Morfolojik yapıdaki bu değişimler uygulanan 0, 3, 6, 9 ve 15 Voltluk DC gerilimler için sırasıyla Şekil 4.1., 4.2., 4.3., 4.4. ve 4.5.'te verilmiştir.



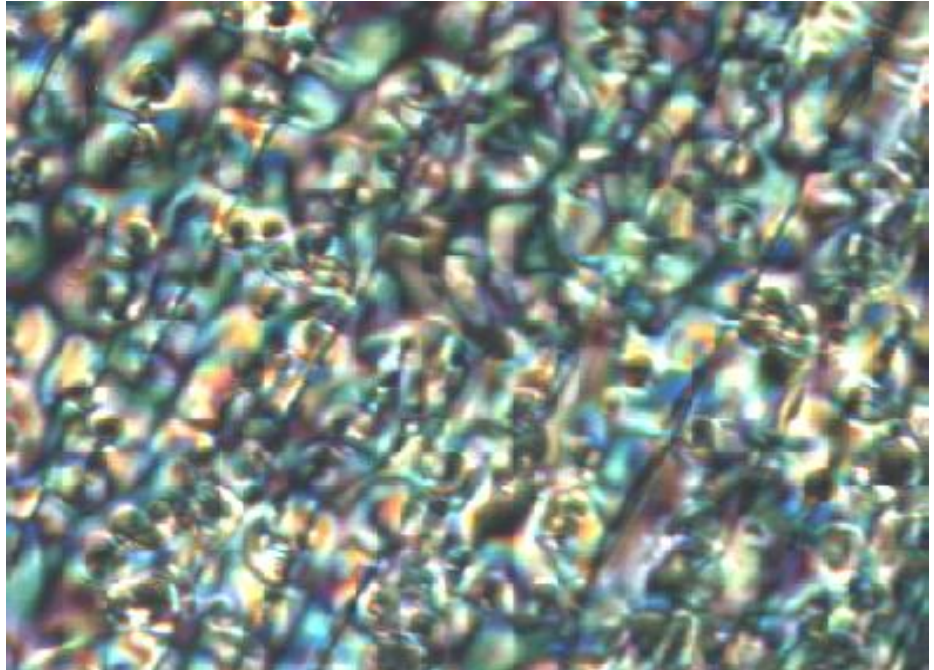
Şekil 4.1. Rubbinge yönlenmiş planar sıvı kristal hücrenin 0 voltteki görünümü



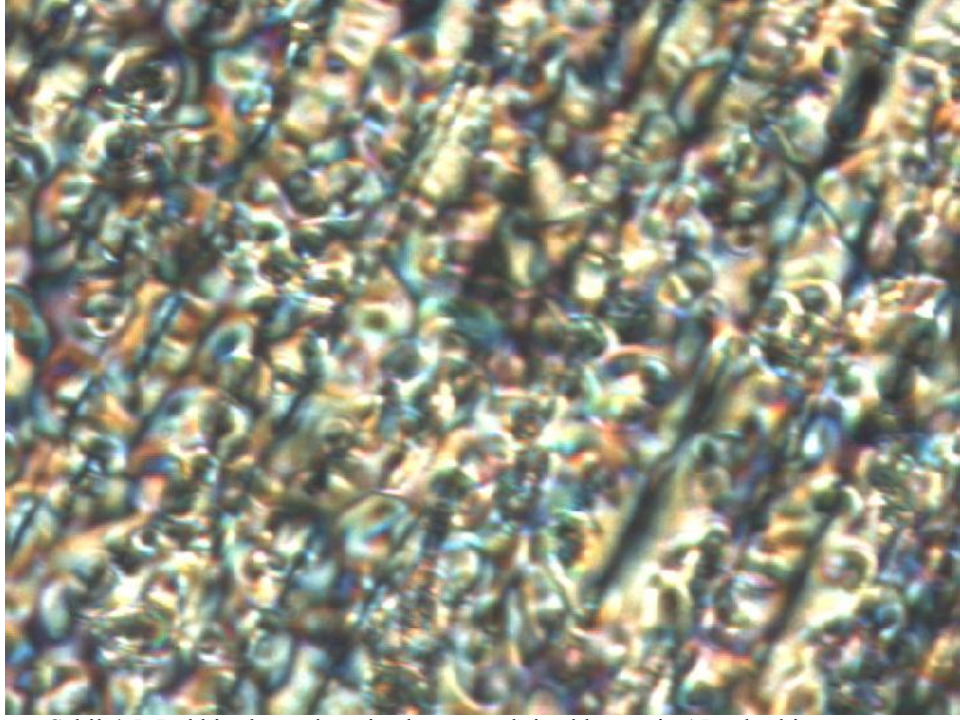
Şekil 4.2. Rubbinge yönlenmiş planar sıvı kristal hücrenin 3 voltteki görünümü



Şekil 4.3. Rubbinge yönlenmiş planar sıvı kristal hücrenin 6 voltteki görünümü



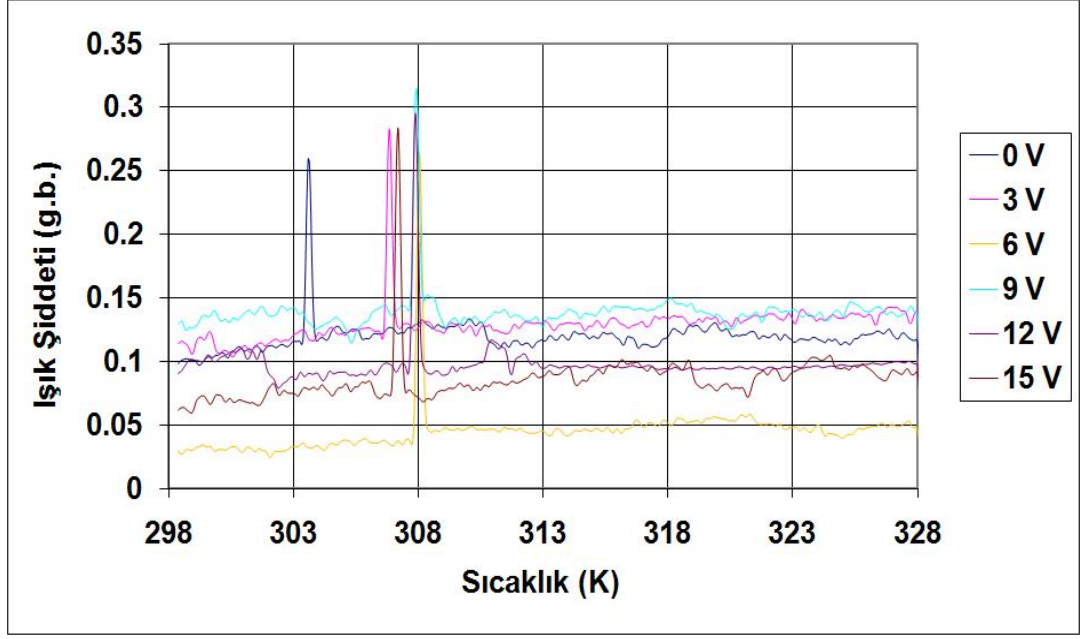
Şekil 4.4. Rubbinge yönlenmiş planar sıvı kristal hücrenin 9 voltteki görünümü



Şekil 4.5. Rubbingle yönlenmiş planar sıvı kristal hücrenin 15 volttaki görünümü

4.1.2. Elektrik alana bağlı ışık şiddeti değişimleri

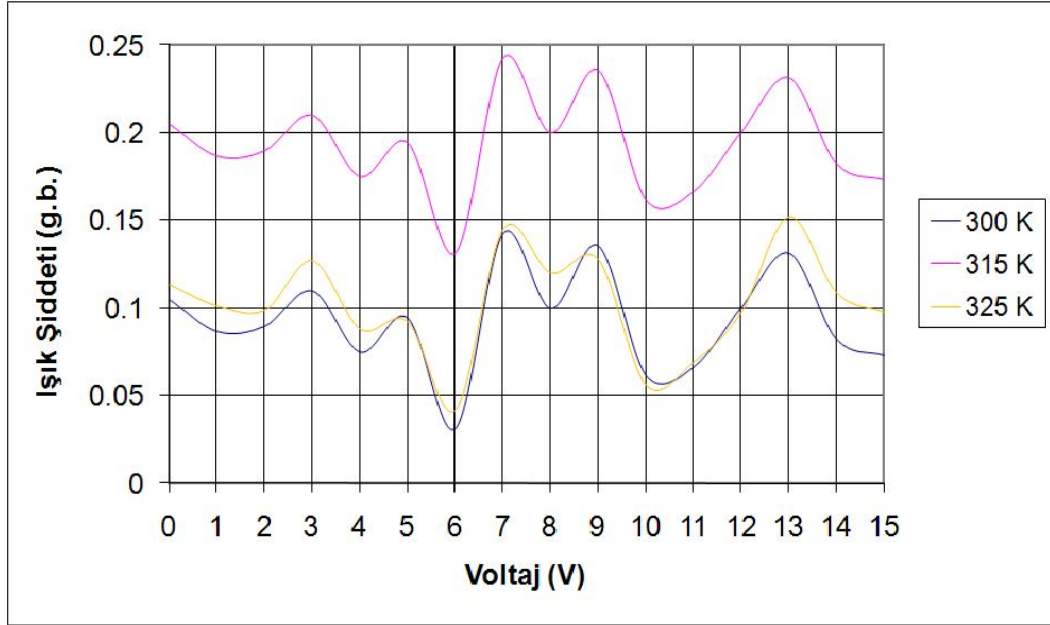
Rubbingle yönlendirilmiş sıvı kristal hücreden geçen ışığın şiddetinin farklı elektrik alan değerlerinde sıcaklığa bağlı değişim grafiği Şekil 4.6.'da verilmiştir. Uygulanan elektrik alana bağlı olarak geçen ışığın şiddetindeki sıcaklığa bağlı değişim düşük seviyelere doğru kayarken kritik voltajdan sonra tekrar yüksek seviyelere doğru kayma sergilemiştir. Hazırlanan numune için faz geçişi keskin piklerle belirlenmiş ve bu piklerin sıcaklık aralığı uygulanan alana göre yüksek sıcaklık bölgesine doğru kayma göstermiştir.



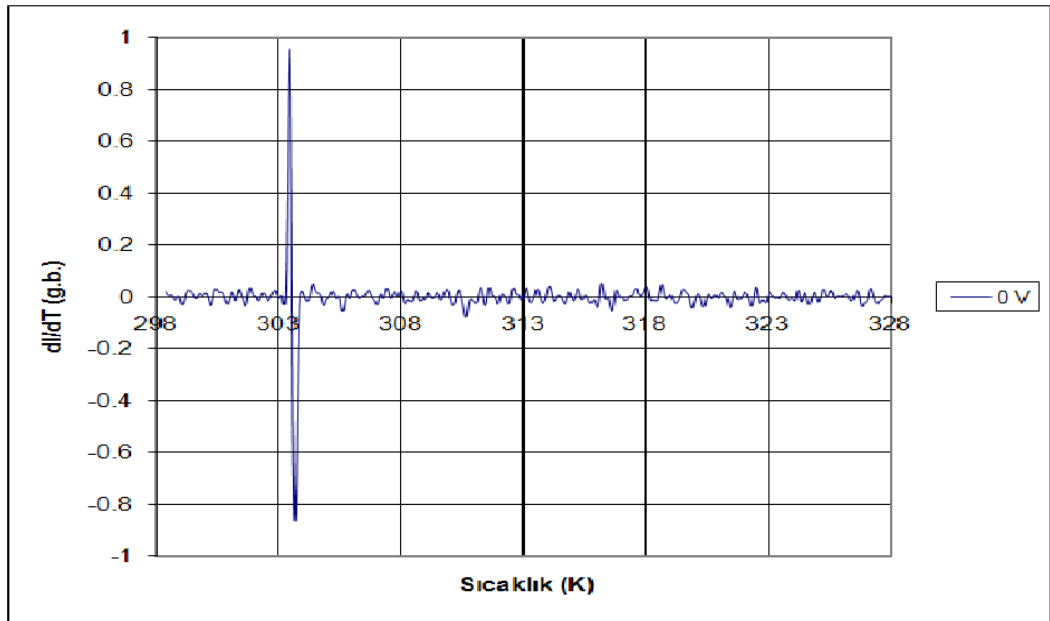
Şekil 4.6. Rubbingle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin farklı elektrik alanda ışık şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi

Rubbingle yönlendirilmiş sıvı kristal hücreden geçen ışığın şiddetinin farklı sıcaklık değerlerinde uygulanan elektrik alana bağlı değişim grafiği Şekil 4.7.'de verilmiştir. Hücrenin sıcaklıkları sabit tutularak, ışık şiddetinin uygulanan elektrik alana bağlı değişim eğrilerinde kritik voltajın 6 V olduğu belirlenmiştir.

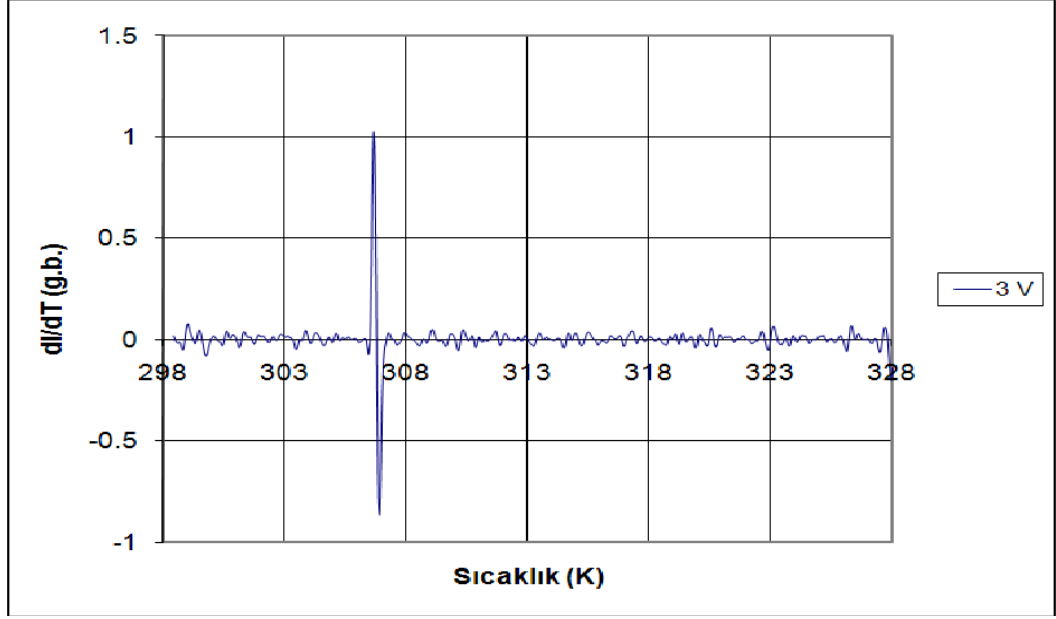
Rubbingle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan farklı elektrik alan değerleri için spektrum analizlerini gösteren grafikler Şekil 4.8., 4.9., 4.10., 4.11., 4.12. ve 4.13.'te verilmiştir. Spektrum analizini gösteren grafiklerde de farklı alanlar için faz geçişinin yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı açık bir şekilde gözlenmektedir.



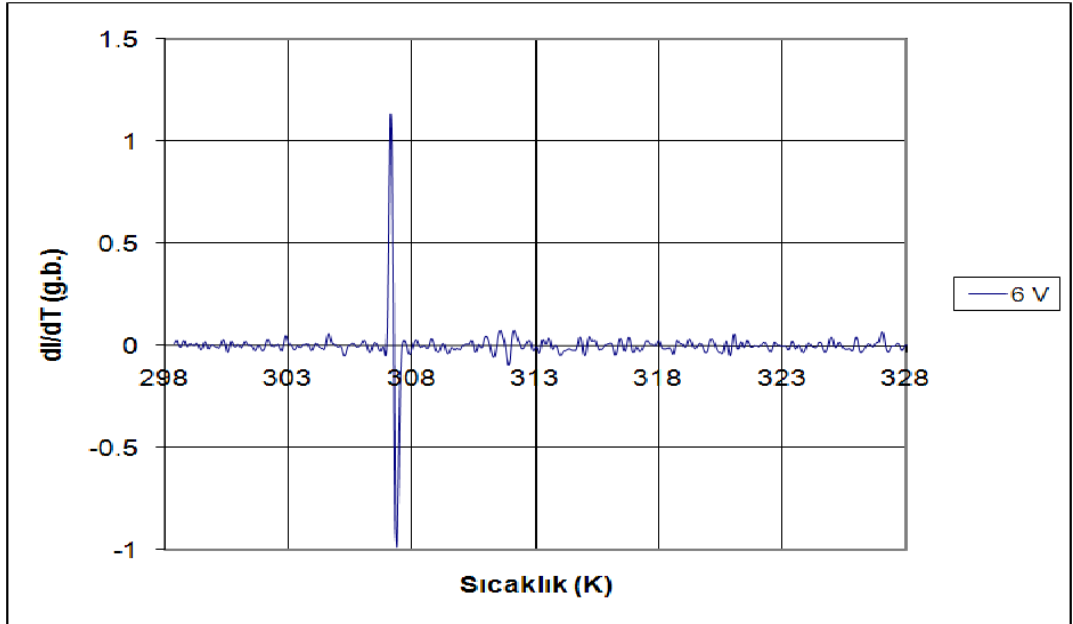
Şekil 4.7. Rubbingless yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin farklı sıcaklık noktalarında ışık şiddetinin uygulanan elektrik alana bağlı değişimi



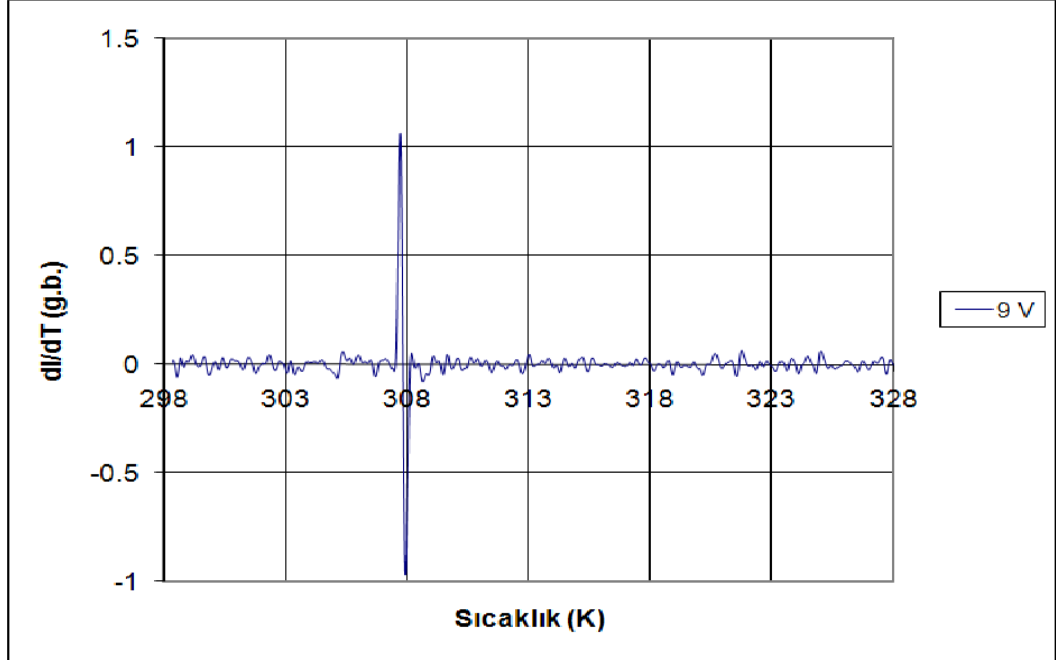
Şekil 4.8. Rubbingless yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 0 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



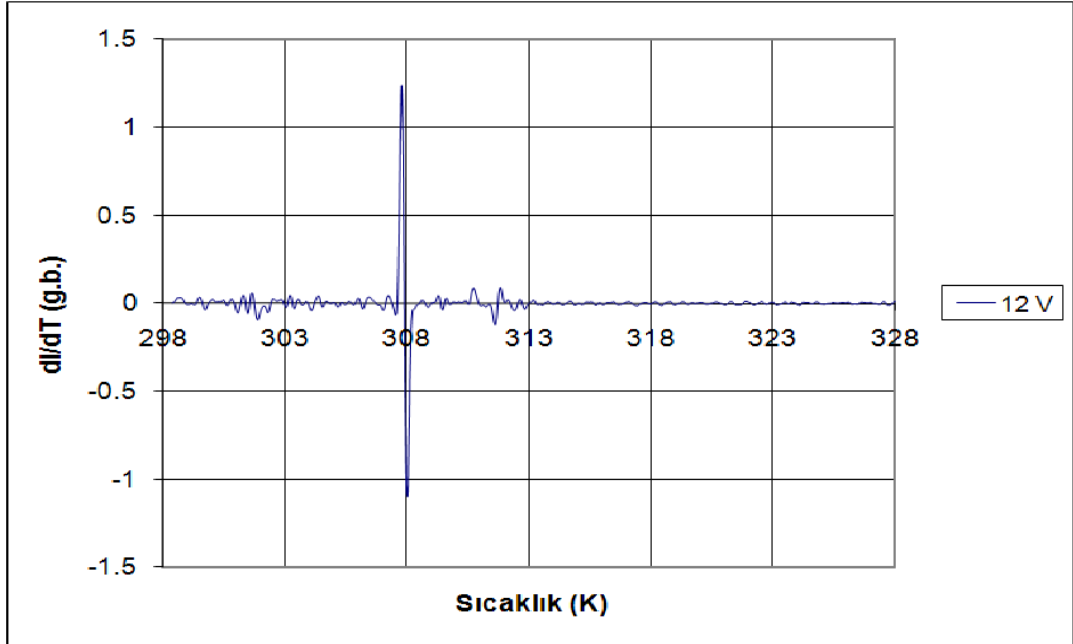
Şekil 4.9. Rubbingle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 3 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



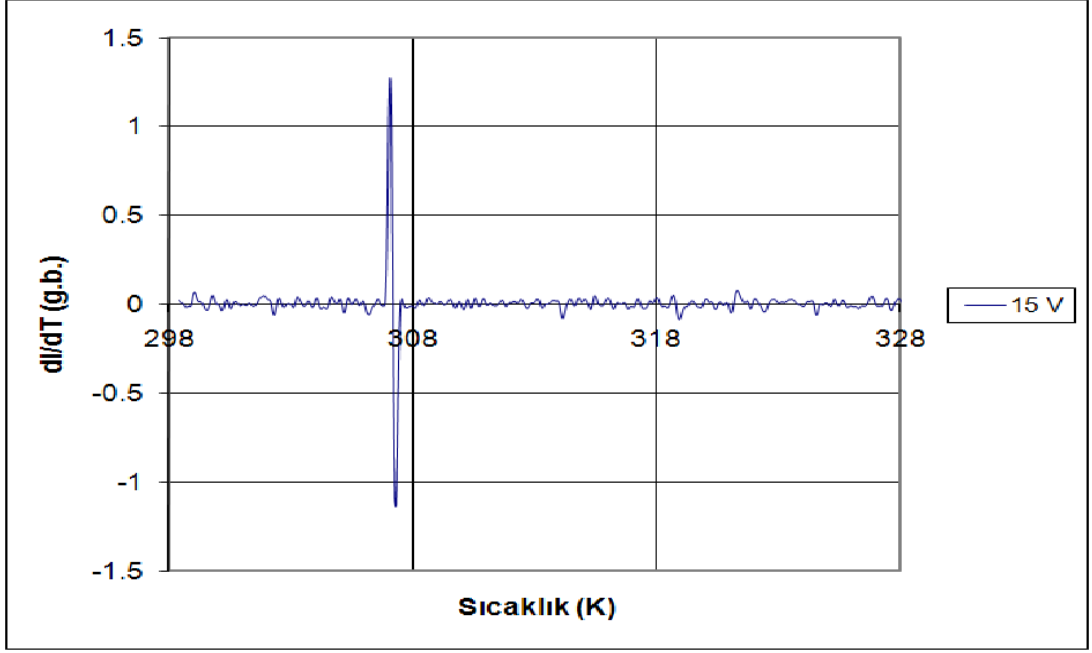
Şekil 4.10. Rubbingle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 6 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



Şekil 4.11. Rubbinge yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 9 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



Şekil 4.12. Rubbinge yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 12 V'luk elektrik alan için spektrum analizi

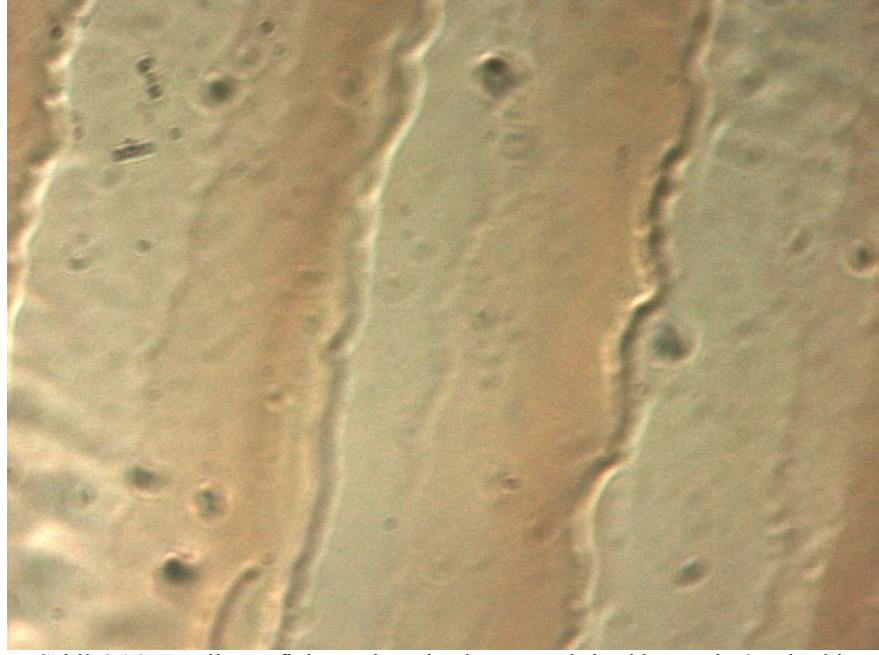


Şekil 4.13. Rubbing yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 15 V'luk elektrik alan için spektrum analizi

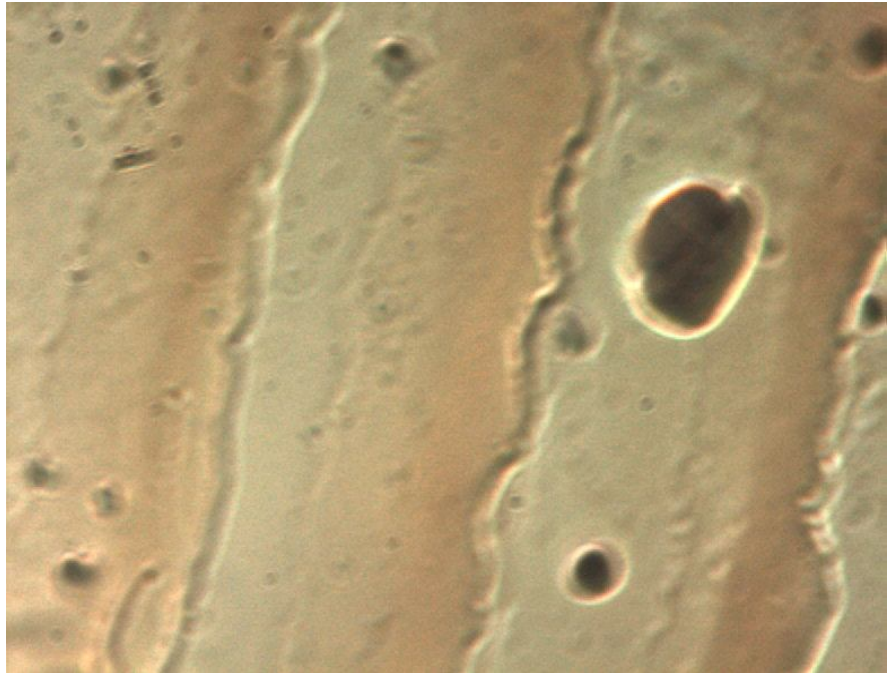
4.2. Fotolitografik Yöntemle Hazırlanan Planar Yönelimli Sıvı Kristal Hücre

4.2.1. Elektrik alana bağlı morfolojik değişimler

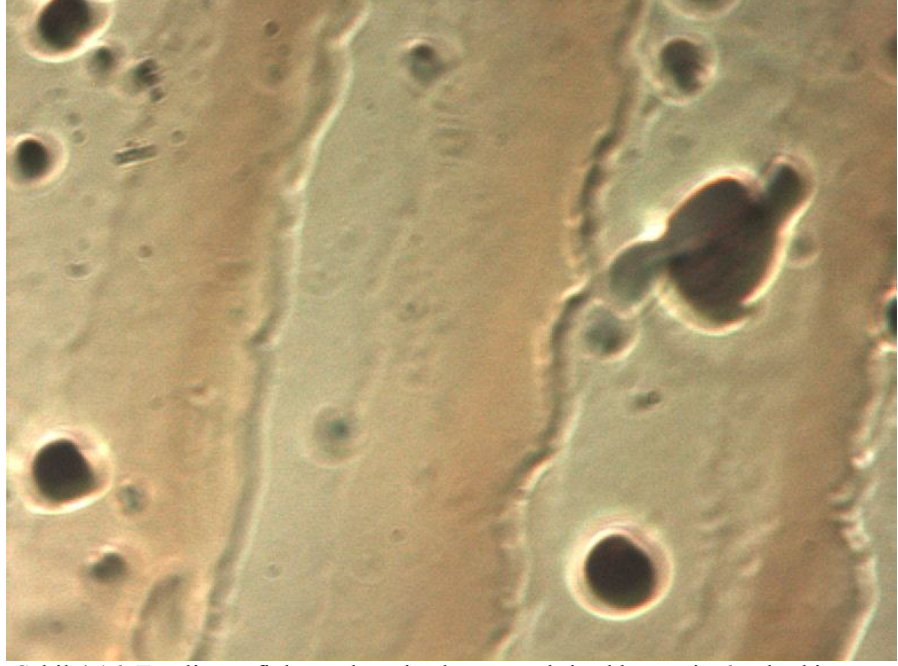
Fotolitografik yöntemle oluşturulan planar yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan farklı voltajlara tepkisi polarizasyon mikroskopundan CCD kamera yardımı ile gözlemlendi. Morfolojik yapıdaki bu değişimler uygulanan 0, 3, 6, 12 ve 15 Voltluk DC gerilimler için sırasıyla Şekil 4.14., 4.15., 4.16., 4.17. ve 4.18.'de verilmiştir.



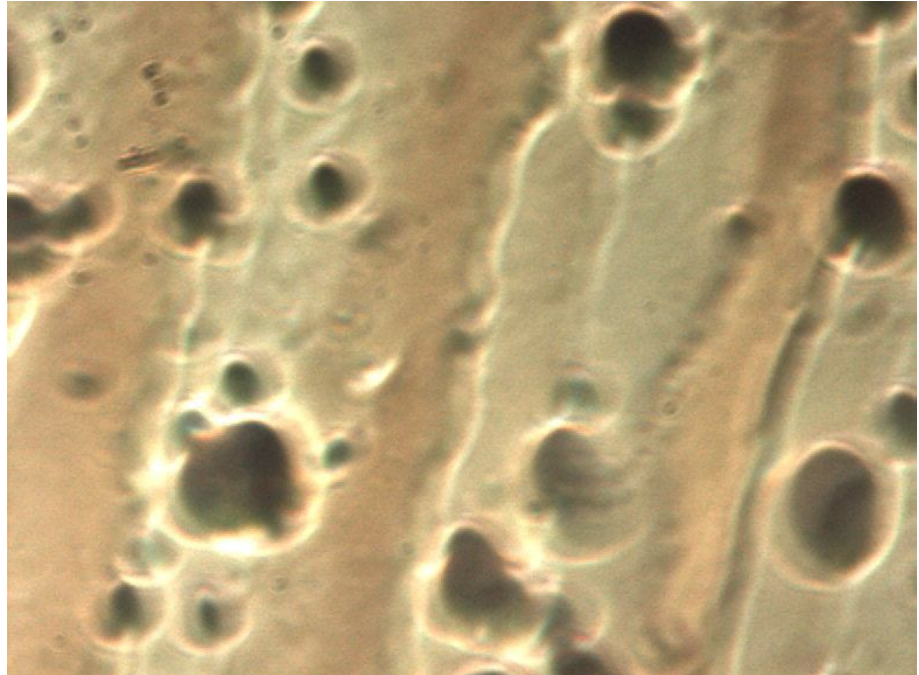
Şekil 4.14. Fotolitografiyle yönlenmiş planar sıvı kristal hücrenin 0 voltteki görünümü



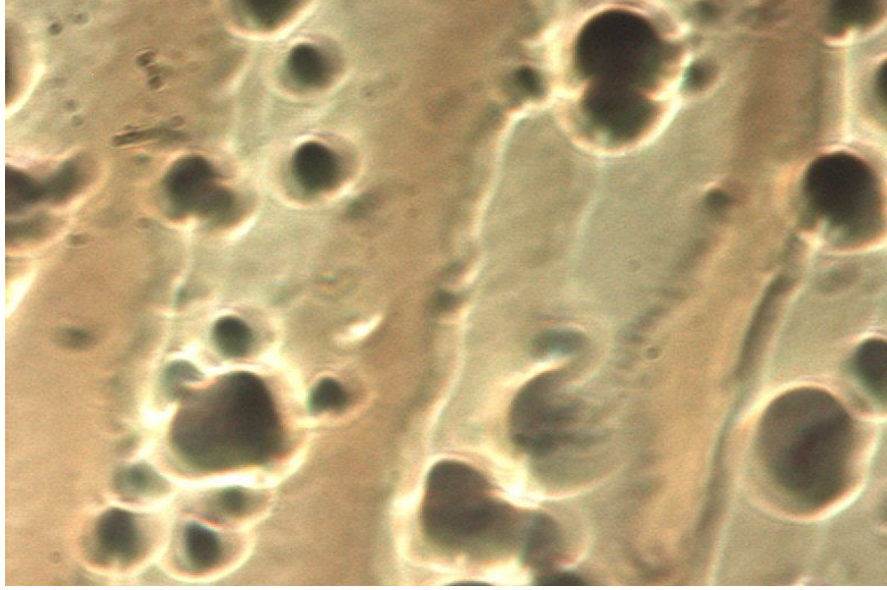
Şekil 4.15. Fotolitografiyle yönlenmiş planar sıvı kristal hücrenin 3 voltteki görünümü



Şekil 4.16. Fotolitografiyle yönelmiş planar sıvı kristal hücrenin 6 voltteki görünümü



Şekil 4.17 Fotolitografiyle yönelmiş planar sıvı kristal hücrenin 12 voltteki görünümü

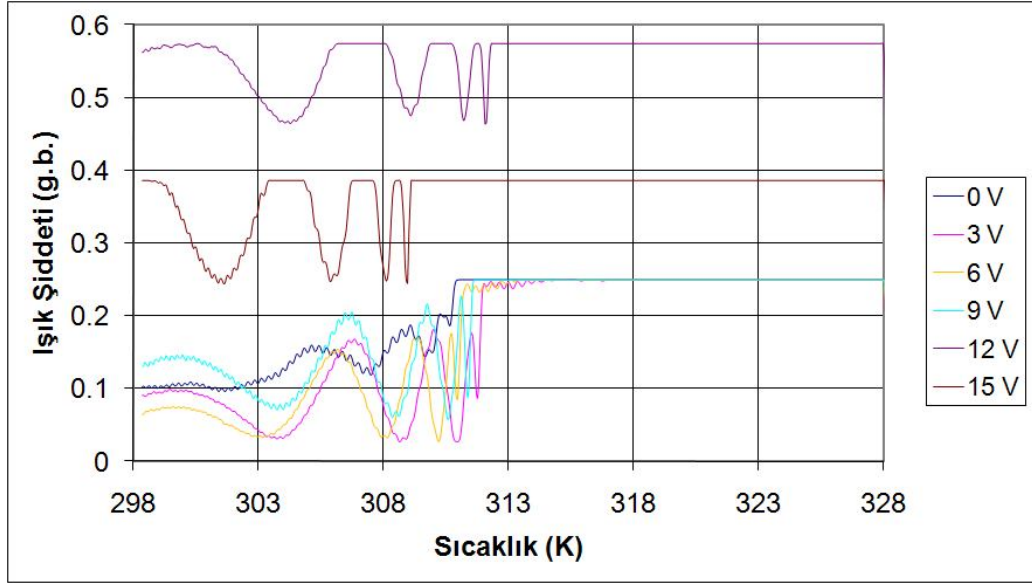


Şekil 4.18. Fotolitografiyle yönlendirilmiş planar sıvı kristal hücrenin 15 volttaki görünümü

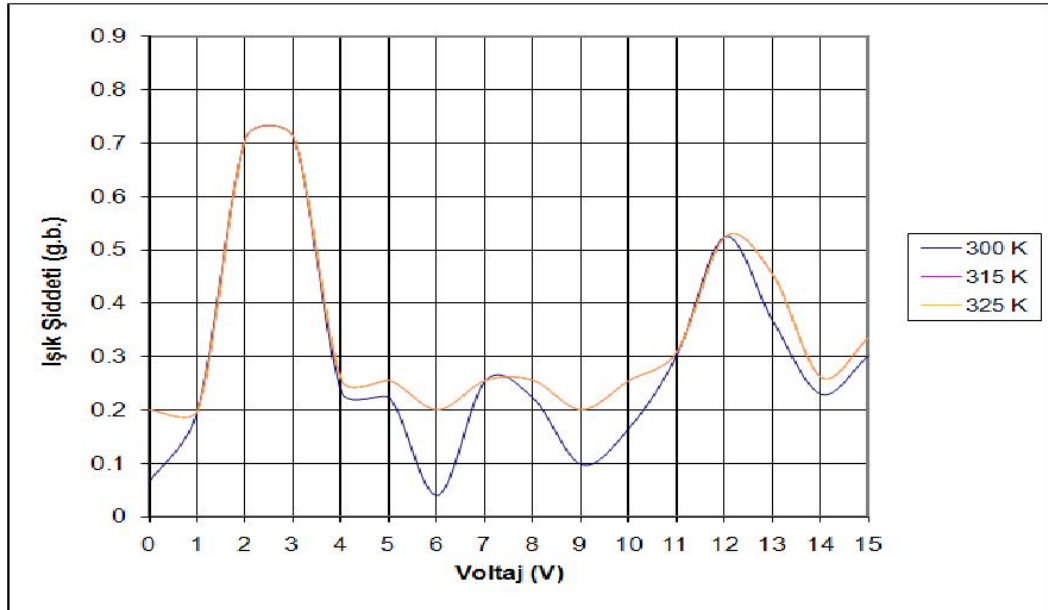
4.2.2. Elektrik alana bağlı ışık şiddeti değişimleri

Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücreden geçen ışığın şiddetinin farklı elektrik alan değerlerinde sıcaklığa bağlı değişim grafiği şekil 4.19.'da verilmiştir. Uygulanan elektrik alana bağlı olarak geçen ışığın şiddetindeki sıcaklığa bağlı değişim düşük seviyelere doğru kayarken kritik voltajdan (yaklaşık 2.5 volt olarak gözlenmiştir) sonra tekrar yüksek seviyelere doğru kayma sergilemiştir. Hazırlanan numune için faz geçişi keskin piklerle belirlenmiş ve bu piklerin sıcaklık aralığı uygulanan alana göre yüksek sıcaklık bölgesine doğru kayma sergilemiştir.

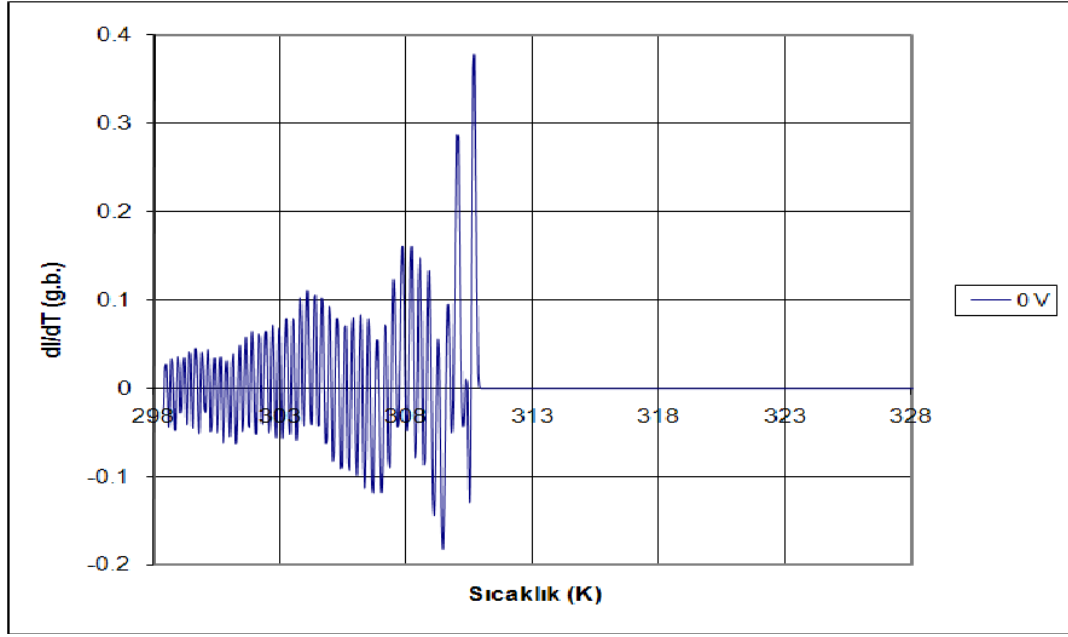
Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücreden geçen ışığın şiddetinin farklı sıcaklık değerlerinde değerlerinde uygulanan elektrik alana bağlı değişim grafiği şekil 4.20.'de verilmiştir. Hücrenin sıcaklıkları sabit tutularak, ışık şiddetinin uygulanan elektrik alana bağlı değişim eğrilerinde kritik voltajın 6 V olduğu belirlenmiştir. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan farklı elektrik alan değerleri için spektrum analizlerini gösteren grafikler Şekil 4.21., 4.22., 4.23., 4.24., 4.25. ve 4.26.'da verilmiştir. Spektrum analizini gösteren grafiklerde de farklı alanlar için faz geçişinin yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı açık bir şekilde gözlenmektedir.



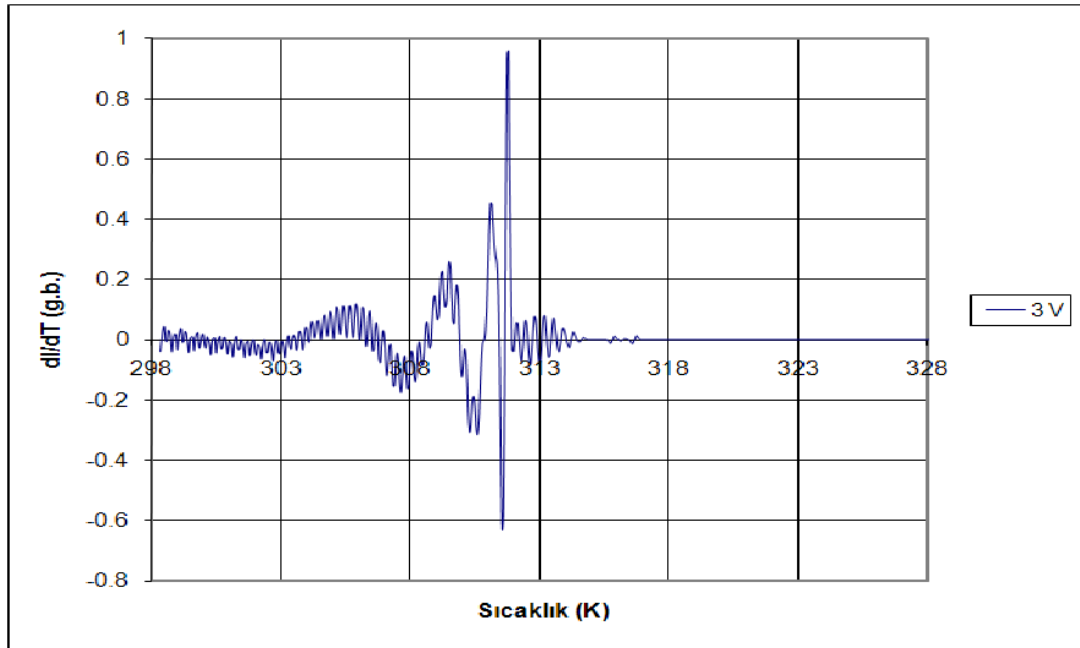
Şekil 4.19. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin farklı elektrik alanlarında ışık şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi



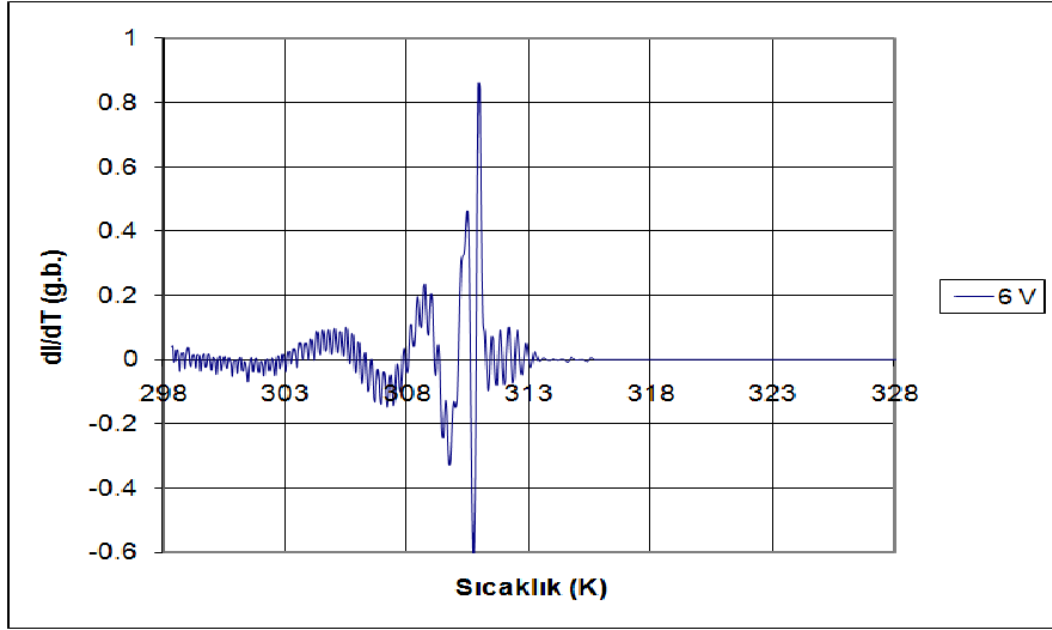
Şekil 4.20. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin farklı sıcaklık noktalarında ışık şiddetinin uygulanan elektrik alanına bağlı değişimi



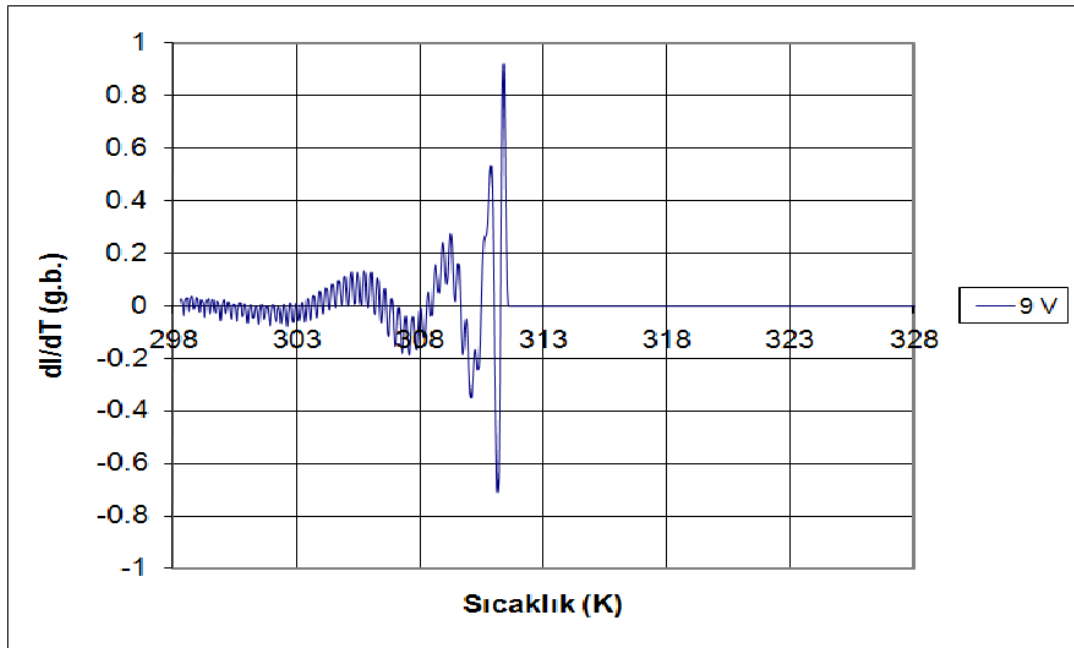
Şekil 4. 21. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 0 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



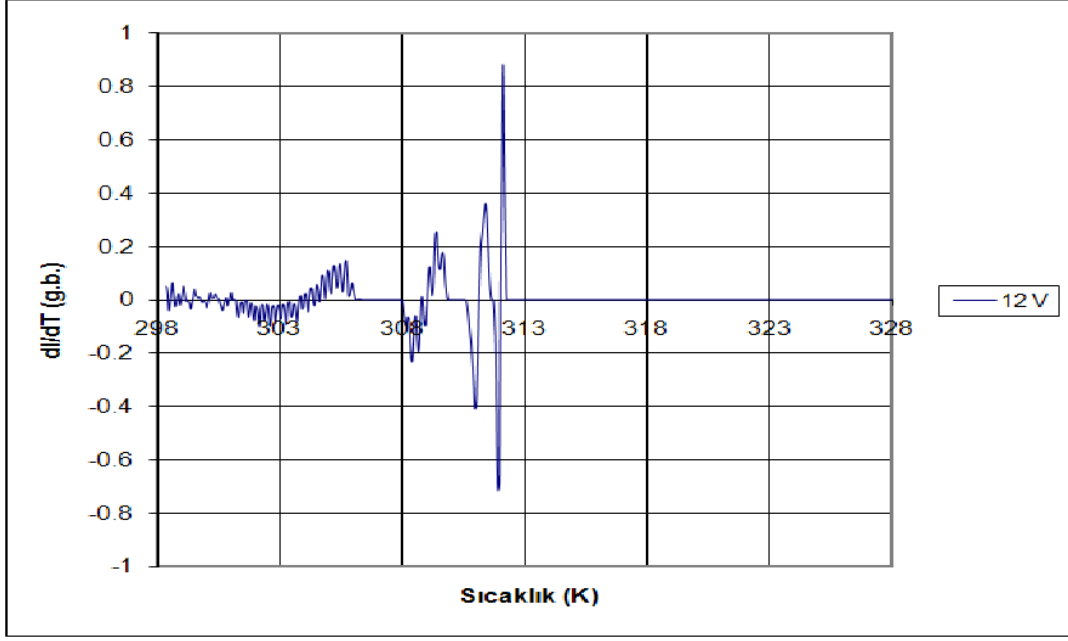
Şekil 4. 22. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 3 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



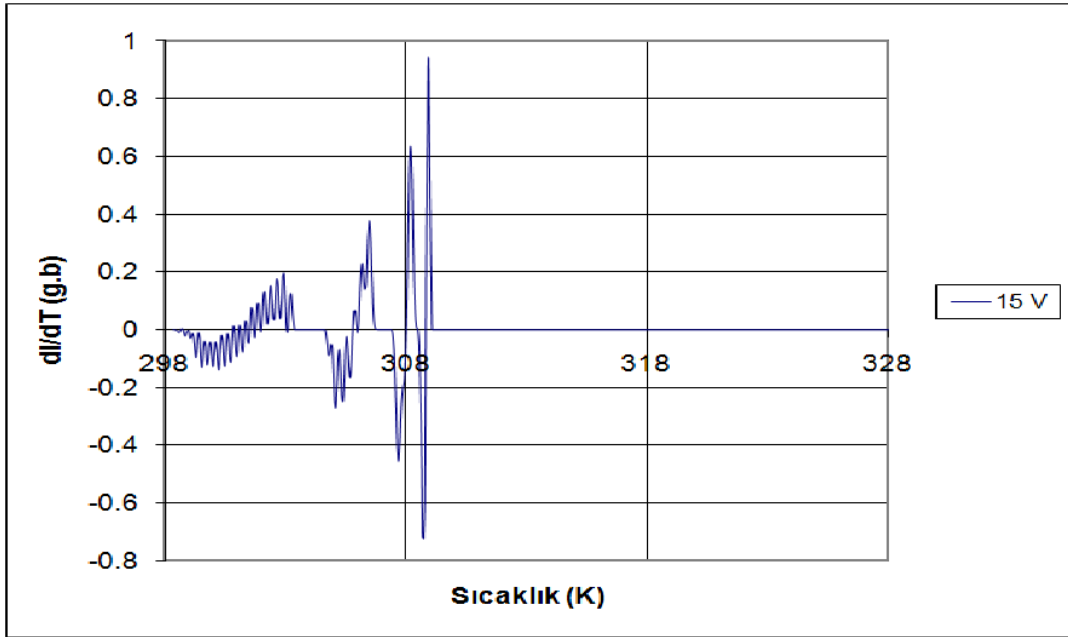
Şekil 4.23. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 6 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



Şekil 4.24. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 9 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



Şekil 4.25. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 12 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



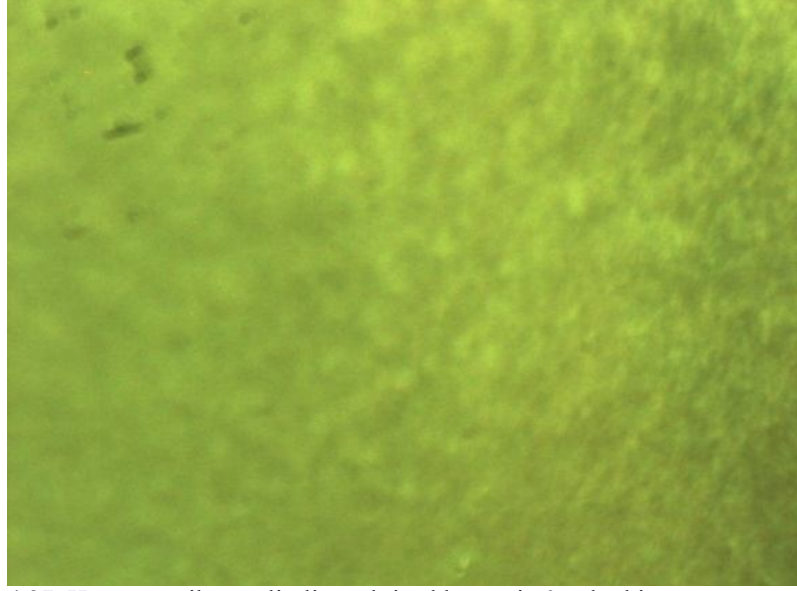
Şekil 4.26. Fotolitografiyle yönlendirilmiş sıvı kristal hücrenin uygulanan 15V'luk elektrik alan için spektrum analizi

4.3. Homeotropik Yönelimli Sıvı Kristal Hücre

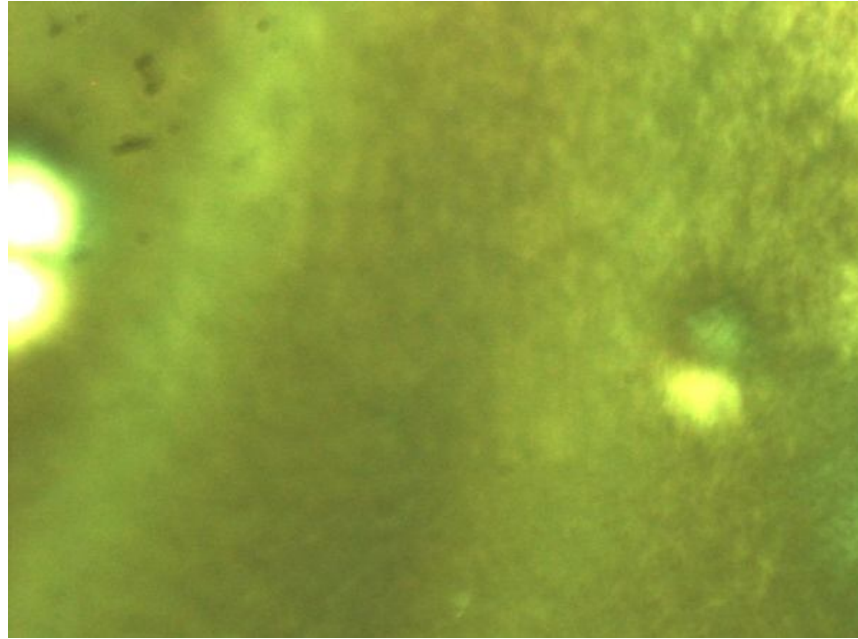
4.3.1. Elektrik alana bağlı morfolojik değişimler

Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücre oluşturulduktan sonra uygulanan farklı voltajlara tepkisi polarizasyon mikroskopundan CCD kamera yardımı ile

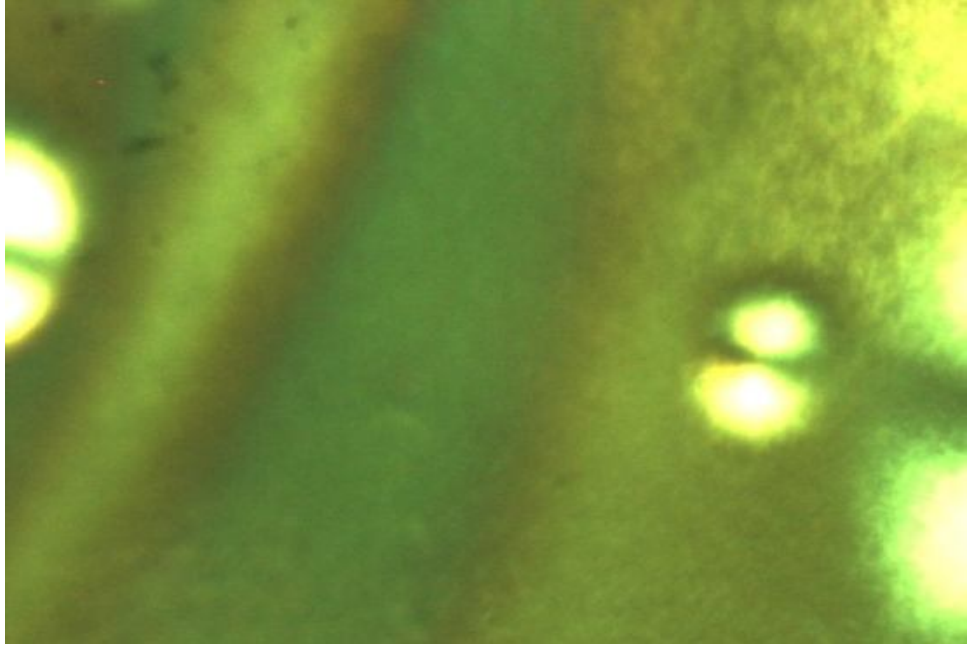
gözlendi. Bu gözlemlerde uygulanan elektrik alanla yüzeyde fokal fanlar oluştuğu farkedildi. Morfolojik yapıdaki bu değişimler uygulanan 0, 3, 6, 9 ve 15 Voltluk dc gerilimler için sırasıyla Şekil 4.27.,4.28.,4.29.,4.30. ve 4.31.'de verilmiştir.



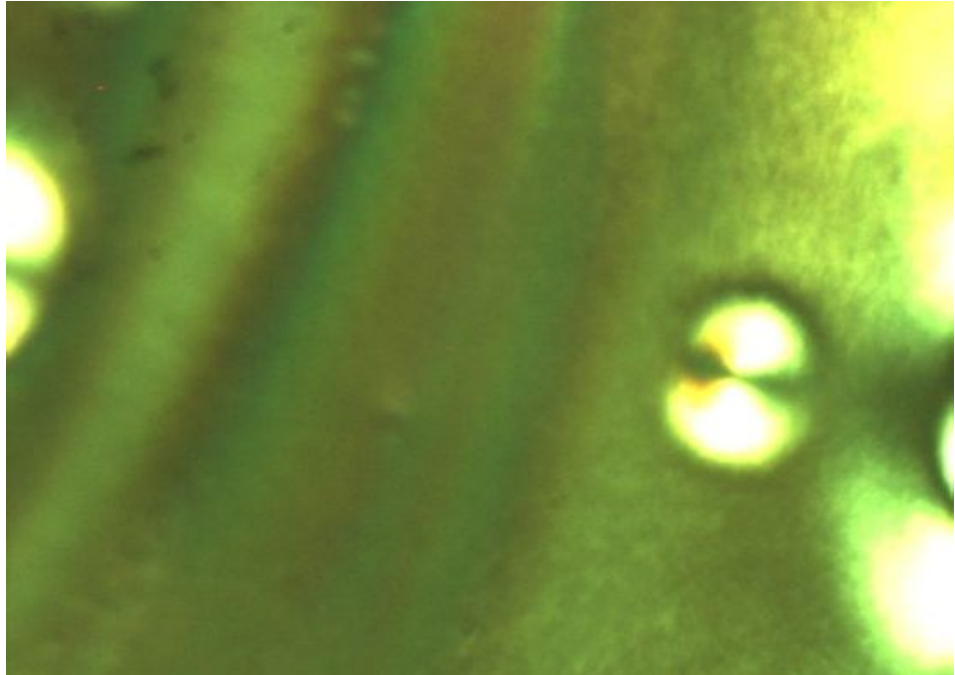
Şekil 4.27. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin 0 voltteki görünümü



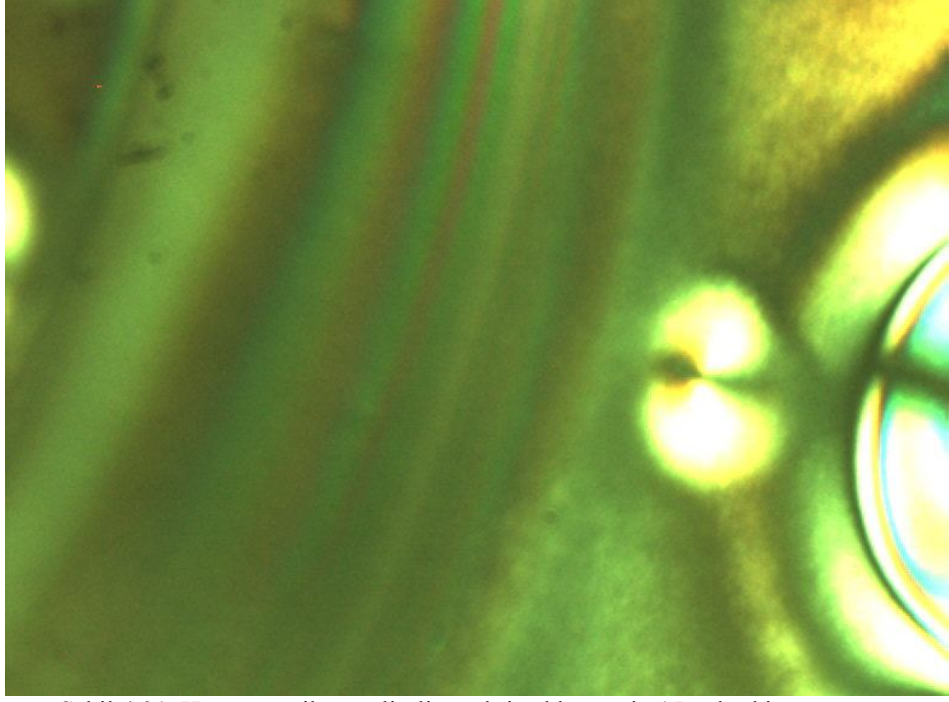
Şekil 4.28. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin 3 voltteki görünümü



Şekil 4.29. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin 6 volttaki görünümü



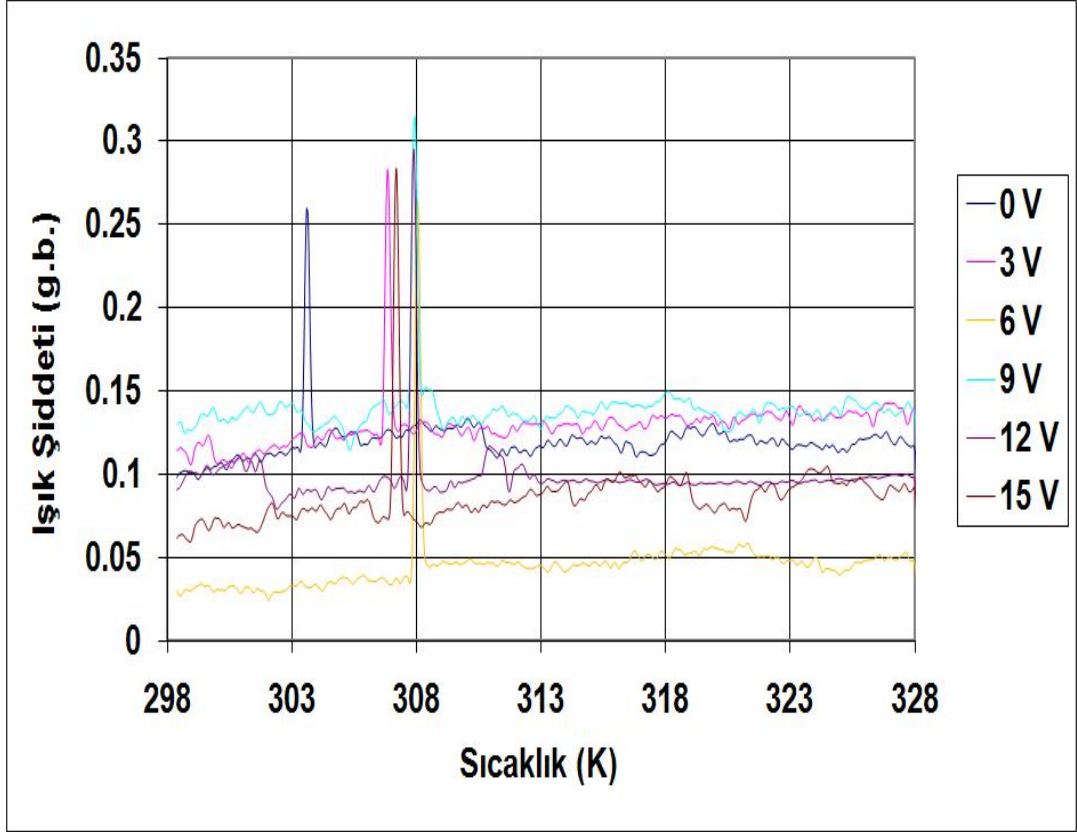
Şekil 4.30. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin 9 volttaki görünümü



Şekil 4.31. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin 15 voltteki görünümü

4.3.2. Elektrik alana bağlı ışık şiddeti değişimleri

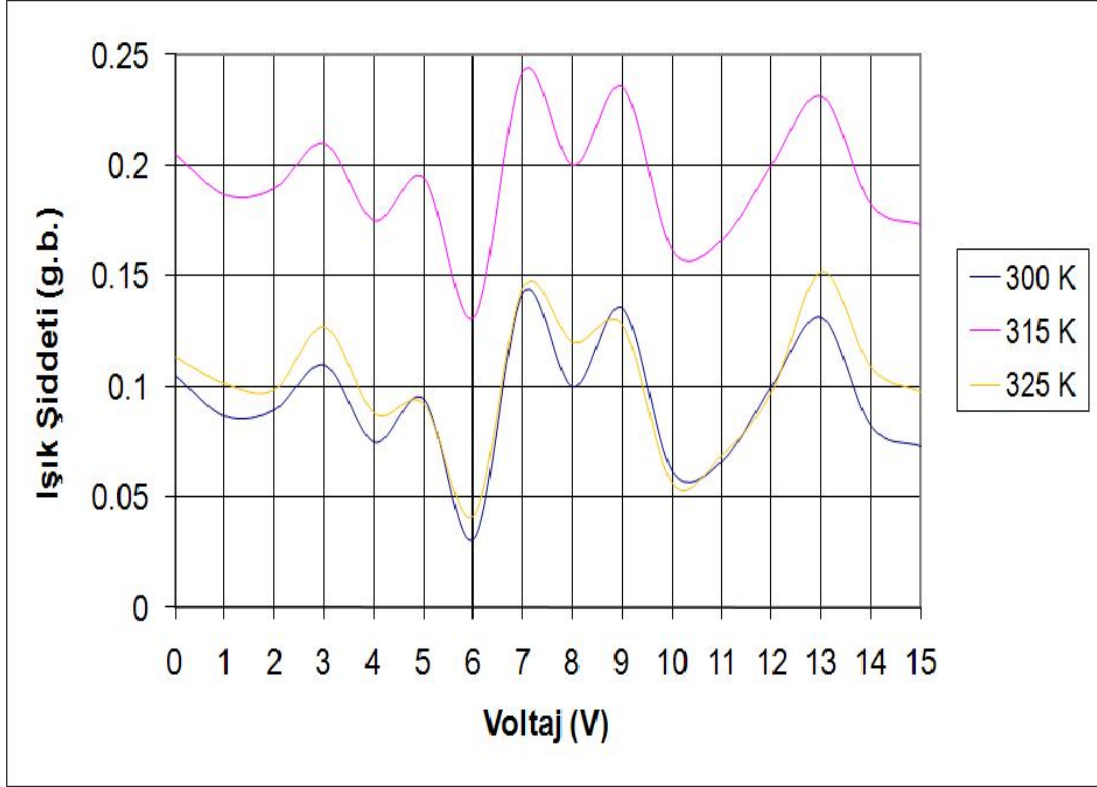
Homeotropik yönlendirilmiş sıvı kristal hücreden geçen ışığın şiddetinin farklı elektrik alan değerlerinde sıcaklığa bağlı değişim grafiği şekil 4.32.'de verilmiştir. Uygulanan elektrik alana bağlı olarak geçen ışığın şiddetindeki sıcaklığa bağlı değişim düşük seviyelere doğru kayarken kritik voltajdan (6 volt olarak gözlenmiştir) sonra tekrar yüksek seviyelere doğru kayma sergilemiştir. Hazırlanan numune için faz geçişi keskin piklerle belirlenmiş ve bu piklerin sıcaklık aralığı uygulanan alana göre yüksek sıcaklık bölgesine doğru kayma sergilemiştir.



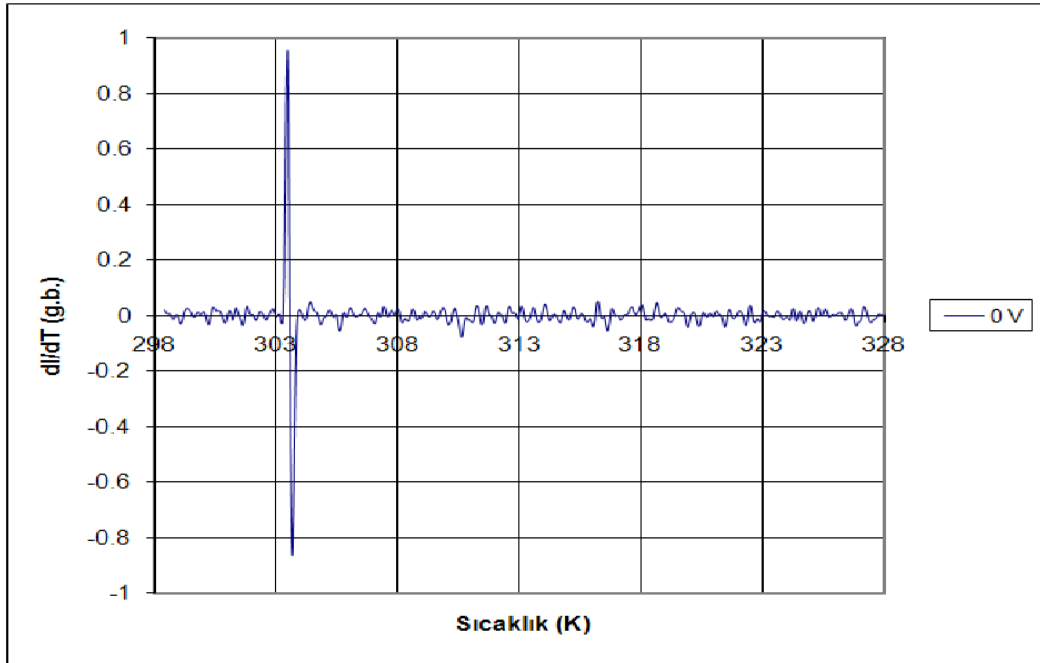
Şekil 4.32. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin farklı elektrik alanda ışık şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimi

Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücreden geçen ışığın şiddetinin farklı sıcaklık değerlerinde uygulanan elektrik alana bağlı değişim grafiği şekil 4.33.'te verilmiştir. Hücrenin sıcaklıkları sabit tutularak, ışık şiddetinin uygulanan elektrik alana bağlı değişim eğrilerinde kritik voltajın 6 V olduğu belirlenmiştir.

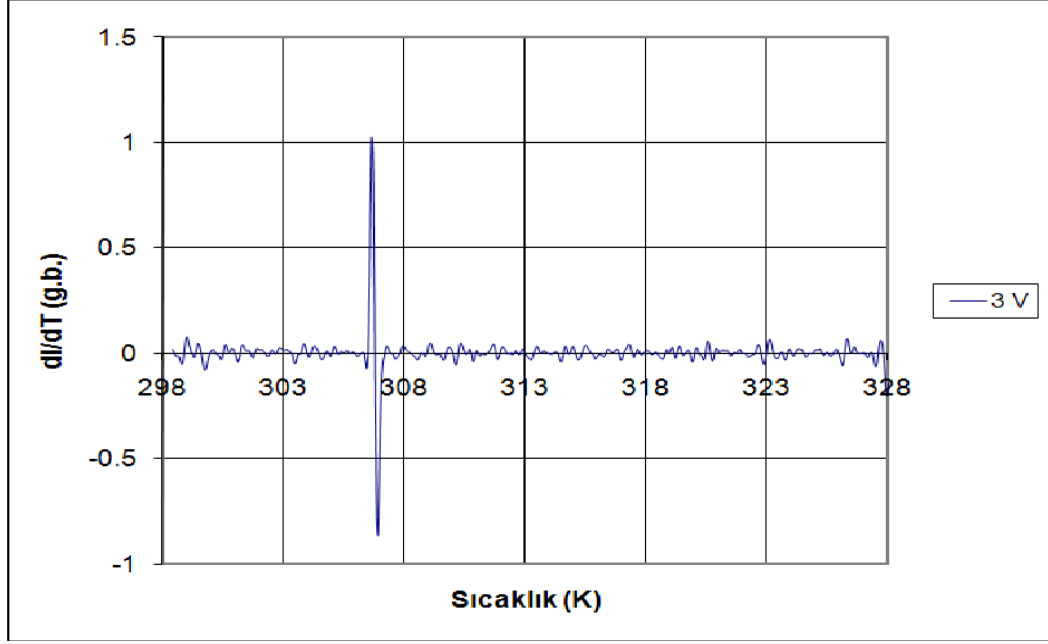
Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan farklı elektrik alan değerleri için spektrum analizlerini gösteren grafikler Şekil 4.34. , 4.35. , 4.36. , 4.37. , 4.38. ve 4.39.'da verilmiştir. Spektrum analizini gösteren grafiklerde de farklı alanlar için faz geçişinin yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı açık bir şekilde gözlenmektedir.



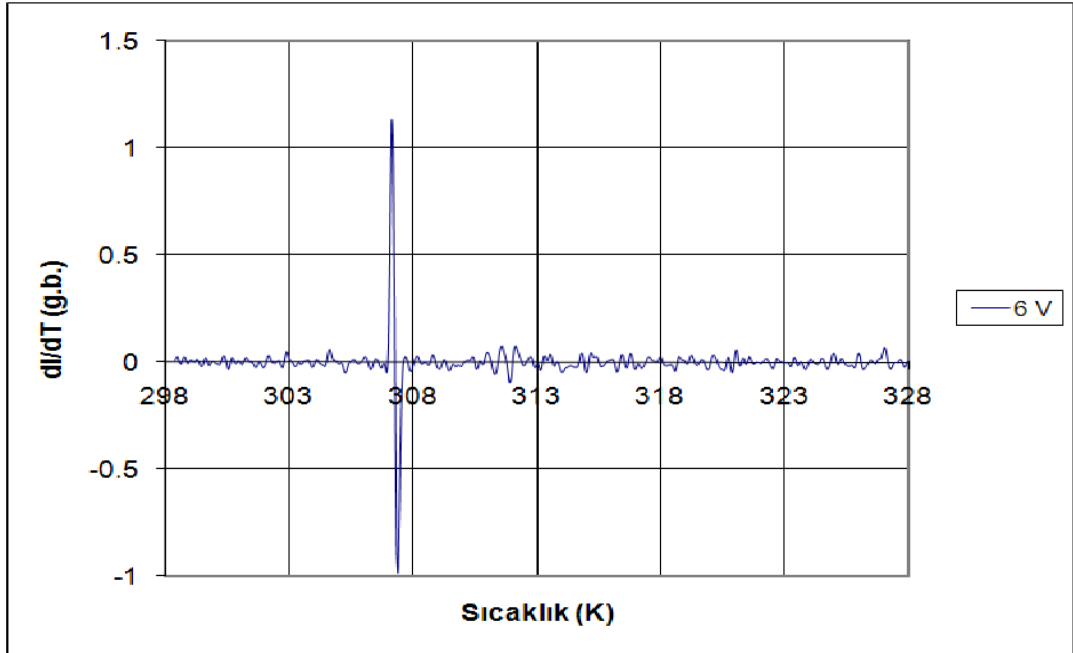
Şekil 4.33. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin farklı sıcaklık noktalarında ışık şiddetinin uygulanan elektrik alana bağlı değişimi



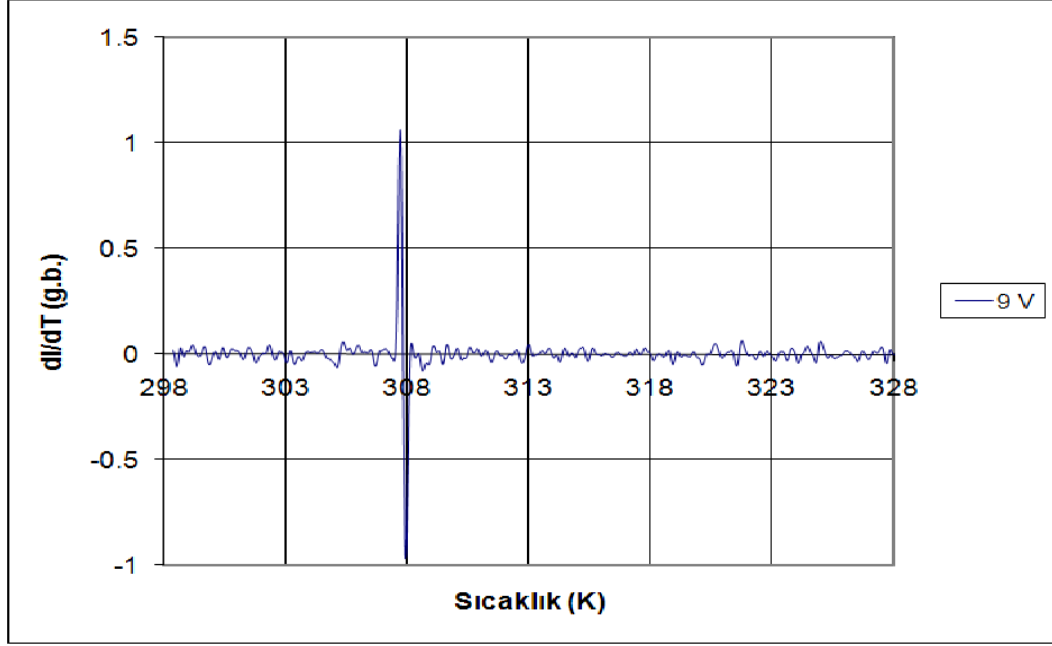
Şekil 4.34. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 0 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



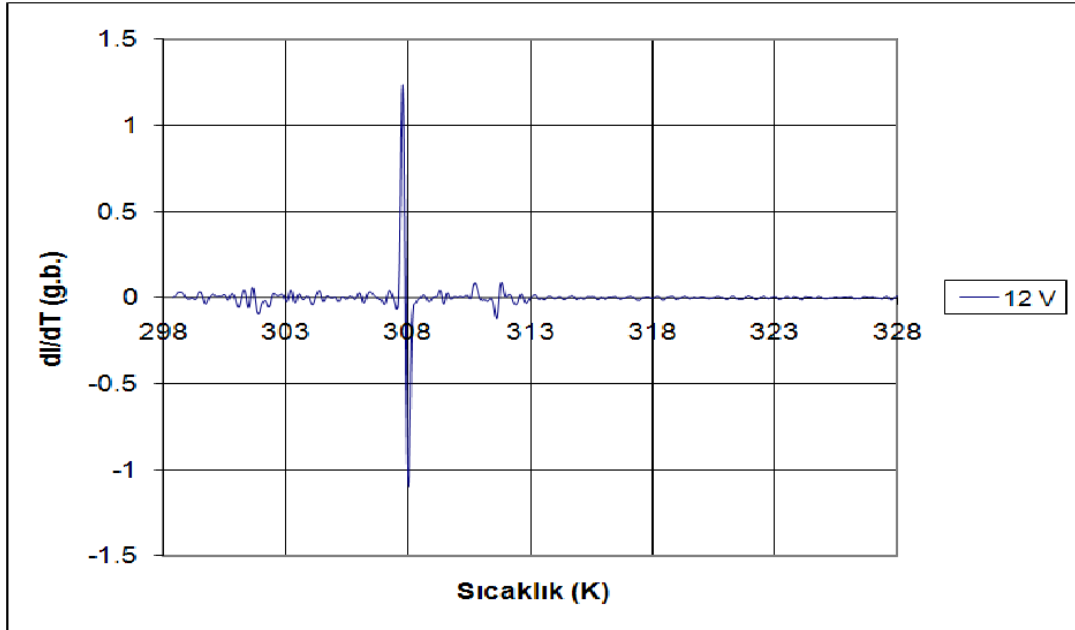
Şekil 4.35. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 3 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



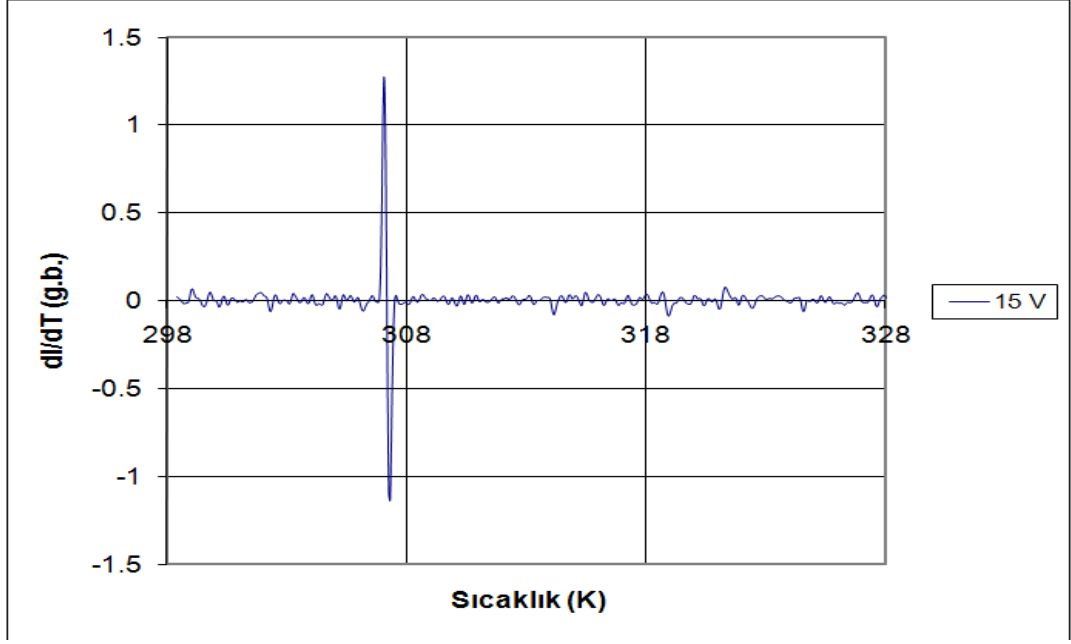
Şekil 4.36. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 6 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



Şekil 4.37. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 9 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



Şekil 4.38. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 12 V'luk elektrik alan için spektrum analizi



Şekil 4. 39. Homeotropik yönelimli sıvı kristal hücrenin uygulanan 15 V'luk elektrik alan için spektrum analizi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, mekanik aşındırma (rubbing) ile fotolitoğrafik metodla planar ve homeotropik olarak yönlendirilmiş sıvı kristal numunelerin Nematik faz bölgesinde elektrooptik etkileri incelendi. Yönlendirici yüzey kaplaması olarak planar yönelim için PI2555 polyimide maddesi ile homeotropik yönelim için SE1211 polyimide maddesi kullanıldı. Sıvı kristal malzeme olarak 5CB ($C_{18}H_{19}N$ – 4'-Pentyl-4-biphenylcarbonitrile, % 98) ve 8CB ($CH_3(CH_2)_7C_6H_4C_6H_4CN$ – 4'-Octyl-4-biphenylcarbonitrile, % 98) kullanıldı. Kullanılan 8CB'de sıvı kristal numunenin sıcaklığa ve diğer dış şartlara bağlı olarak deforme olması sonucu beklenen ölçümler gerçekleşmedi. Yapılan morfolojik gözlemler ve elektrooptik ölçümlerden sonra aşağıdaki sonuçlar elde edildi:

1. Mekanik aşındırma ile sağlanan yönlendirici yüzeyde kullanılan kadife kumaşın özelliğine bağlı olarak aşındırma derinliği ve mikro kanal aralıkları farklı morfolojik şekillerde olmaktadır. Paralel yapıdaki mikro kanalların aralığı 20 mikron ile 50 mikron arasında değişmektedir. Buna karşın fotolitoğrafik olarak UV ışıkla pozlama sonucunda elde edilen kanalların derinliği ve paralelliği büyük bir düzenlilik sergilemektedir. Kullanılan maskın ölçütlerine göre mevcut imkânlarla 100 mikron civarında mikro kanal aralığı elde edilmektedir. Ticari olarak sağlanabilecek uygun aralıktaki fotomask ile mikro kanallar arasındaki bu aralıkların nanometre boyutuna kadar inebileceği kanaatindeyiz.
2. Rubbing ile yönlendirilmiş sıvı kristal hücrelerde uygulanan elektrik alana bağlı olarak geçen ışığın şiddetinde sıcaklığa bağlı değişimler incelendiğinde şiddetin dağılım eğrisi voltajın artmasıyla önce düşük seviyelere, kritik voltajdan sonra ise yüksek seviyelere doğru kaymalar sergilemiştir. Uygulanan alanın eşik değerinden sonra moleküler yönlendirmede alanın etkisi artmıştır. Yine aynı numune için faz geçişleri keskin pikler şeklinde gözlenmiş ve bu piklerin karşılık geldiği sıcaklık noktalarını temsil eden faz geçiş bölgesi uygulanan alanla yüksek sıcaklık bölgesine doğru kayma sergilemiştir. Rubbing ile yönlendirmede sabit sıcaklıklarda voltajın kritik sınırı 6 Volt civarında tespit edilmiştir.

3. Fotolitografik metotla planar yönlendirilmiş sıvı kristal hücrelerde uygulanan elektrik alana bağlı olarak geçen ışığın şiddetinde sıcaklığa bağlı değişimler incelendiğinde benzer olarak şiddetin dağılım eğrisi voltajın artmasıyla önce düşük seviyelere, kritik voltajdan sonra ise yüksek seviyelere doğru kaymalar sergilemiştir. Benzer şekilde uygulanan alanın eşik değerinden sonra moleküler yönlendirmede alanın etkisi arttığı, aynı numune için faz geçişleri önceki ölçümlerden farklı olarak platolu pikler şeklinde gözlenmiş ve belli bir sıcaklık bölgesinden sonra şiddet değişimi gözlenmemiştir. Bu piklerin karşılık geldiği sıcaklık noktalarını temsil eden faz geçiş bölgesi uygulanan alanla yüksek sıcaklık bölgesine doğru kayma sergilemiştir. Fotolitografik metotla planar yönlendirmede sabit sıcaklıklarda voltajın kritik sınırı 2,5 Volt civarında tespit edilmiştir. Ayrıca spektrum analiziyle elde edilen eğrilerin daha büyük genlikte osilasyonlar sergilediği gözlenmiştir.
4. Homeotropik yönlendirilmiş sıvı kristal hücrelerde uygulanan elektrik alana bağlı olarak geçen ışığın şiddetinde sıcaklığa bağlı değişimler incelendiğinde benzer olarak şiddetin dağılım eğrisi voltajın artmasıyla önce düşük seviyelere, kritik voltajdan sonra ise yüksek seviyelere doğru kaymalar sergilemiştir. Aynı numune için faz geçişleri keskin pikler şeklinde gözlenmiş ve bu piklerin karşılık geldiği sıcaklık noktalarını temsil eden faz geçiş bölgesi uygulanan alanla yüksek sıcaklık bölgesine doğru kayma sergilemiştir. Homeotropik yönlendirmede sabit sıcaklıklarda voltajın kritik sınırı 6 Volt civarında tespit edilirken, özellikle 315 K sıcaklığında şiddetin dağılım eğrisi 300 K ve 325 K sıcaklıklara göre daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir.
5. Sıvı kristallerin planar yönelimi için uygulanan mekaniksel aşındırma (rubbing) ile fotolitografik yöntem arasında bir kıyaslama yapıldığında, her ikisi de planar yönelimi sağlamakla birlikte rubbing yöntemiyle elde edilen yönlendirmede elde edilen eğrilerdeki piklerin, fotolitografik yöntemle elde edilen piklere nazaran daha keskin olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi her ne kadar rubbing yöntemiyle elde edilen mikro kanallar fotolitografik yöntemle elde edilen kanaldan daha dar olmasına rağmen, fotolitografik yöntemdeki mikro kanalların derinliği daha büyük olduğundan, daha sıkı moleküler bağlanma gerçekleşmiştir.

6. Bu alanda yapılmış önceki çalışmalar incelendiğinde, özellikle rastgele yönelime sahip sıvı kristal hücrelere uygulanan elektrik alan sonucu hücreden geçen ışığın şiddetinin alanla orantılı olarak arttığı gözlenirken, belli yönelime sahip sıvı kristaller hücrelerden geçen ışığın uygulanan alanda farklı davranış sergilediği, alana bağlı olarak önce azaldığı, kritik voltajdan itibaren ise artış sergilediği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- AMUNDSON, K.,BLAADEREN, A., WİLTZİUS, P. ,1997. Morphology and electro-optic properties of polymer-dispersed liquid-crystal films. PHYSICAL REVIEW E, Vol.55, No.2;1646-1654.
- CHOİ, D.H., CHA, Y.K., 2002. Photo-alignment of Low-molecular Mass Nematic Liquid Crystals on Photochemically Bifunctional Chalcone-epoxy Film by Irradiation of a Linearly Polarized UV Light. Photo-alignment of Low-molecular Mass Nematic Liquid Crystals, Vol.23, No.4; 587
- DUMITRASCU, I. , DUMITRASCU, L. , DOROHOI, D. O.,2006. The influence of the external electric field on the birefringence of nematic liquid crystal layers. Journal of optoelectronics and advanced materials, Vol. 8, No. 3; p. 1028 – 1032.
- EMEK, M. ,2007. Faz Dönüşümlerinin Nematik Sıvı Kristallerin Elektrooptik Özelliklerine Etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.Adana.
- EMEK, M., BEŞLİ, N.,YILDIRIM, A., YILMAZ, S.,2009. Optical properties of nematic liquid crystal under AC/DC elektrik fields. Journal of Physiscs, 87; 293-298.
- FERGASON, J. L., 1985, Polymer Encapsulated Nematic Liquid Crystals for Displayand Light Control Applications, SID Digest, 16, 68.
- HEILMEIER, G.H., ZANONI, L.A., 1968, Guest-Host Interactions in Nematic Liquid Crystals: A New Electro Optical Effect , apply. Physc. Lett 13, 91.
- HOOGBOOM, J. , ELEMANS, J. , RASİNG, T. , 2007. Supramolecular command surfaces for liquid crystal alignment. Polymer international, 56; 1186-1191.
- HWANG, S.J., LIN, S., LAI, C., 2006, A novel method to measure the cell gap and pretilt angle of a reflective liquid crystal display. Optic Commnications, 260: 614-620.
- KARAPINAR, R., O'NEILL, M., KELLY, S. M., HALL, A.W.,OWEN, G. J. ,1998, Molecular Alignment of Liquid Crystals on a photosensitive polymer surface exposed to linearly polarised ultraviolet laser radiation, 51 : 61-65.
- KARAPINAR, R., 1998. Electro-optic Response of a Polymer Dispersed Liquid Crystal Film. Tr. J. of Physics, 22; 227-235.
- KHOO, I.C., 1993, Optics and Nonlinear Optics of Liquid Crystals, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- KHOO, I.C., 1995, Liquid Crystals: Physical Properties and Nonlinear Optical Phenomena , New York.
- KLYSUBUN, P., 2002, Nonlinear optical studies of dye-doped nematic liquid crystals, dissertation for he degree of doctor of phyolsophy in physics, Virginia, 150.
- KONOVALOV, V., CHIGRINOV, V., KWOK, H., TAKADA, H., TAKATSU, H., 2004. Photoaligned Vertical Aligned Nematik Mode in Liquid Crystals, Japanese Journal of Applied Physics. vol. 43, pp. 261-266.
- KOSA, T., MUHORAY, P.P., 1996. Optically aligned liquid crystals: physics and applications. Pure Appl. Opt.,5; 595-602.

- KUMAR, S., 2001, *Liquid Crystals: Experimental Study of Physical Properties and Phase Transitions*, Cambridge University Press, Cambridge.
- LAN, Y., LIN, Y., LI, Y., PAN, R., 2005, Intracavity measurement of liquid crystal layer thickness by wavelength tuning of an external cavity laser diode. *Optics Express*. Vol.13, No. 20. pp. 7905-7912
- LIN-HENDEL, C.G., 1981, Tristability in the Electric-Field-Induced Phase Transformation of Liquid Crystal Films, *Appl. Phys. Lett.* 38, 615; Also, 1982, Electric-Field-Induced Texture and Phase Transformation of Liquid Crystal Films, *J.Appl. Phys.* 53, 916.
- LIN, Y., TSOU, M., PAN, R., 2005, Alignment of Liquid Crystals by Ion Etched Grooved Glass Surfaces, *Chinese Journal Of Physics*. Vol. 43, No. 6. pp. 1066-1073.
- MACGREGOR, A. R., 1988, Modelling the Optical Properties of Twisted Nematic Guest-Host Liquid Crystals, *J.Phys. D. Appl. Phys.* 21: 1438-1446.
- MATLOUB, R., 2008. *Liquid Crystals*. Report for Molecular electronics course, Royal Institute of Technology.
- MOCHIZUKI, A., GONDO, H., WATANUBA, T., SAITO, K., IKEGAMI, K., and OKUYAMA, H., Nematic-Cholesteric LCD Using Hysteresis Behavior, 1985, *SID Technical Digest*, 16, 135.
- OO, T.N., IWATA, T., KIMURA, M., AKAHENE, T., 2005. Surface alignment of liquid crystal multilayers evaporated on photoaligned polyimide film observed by surface profiler. *Science and Technology of Advanced Materials* ,6; 149-157.
- OSTERMAN, J. 2005. *Investigations of Optical Properties and Photo-Alignment in Bistable Nematic Liquid Crystal Displays*. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 115, ACTA UNIVERSITATIS UPSALIENSIS UPPSALA.
- SUZUKI, Y., MIZOSHITA, N., HANABUSA, K., KATO, T., 2003. Homeotropically oriented nematic physical gels for electrooptical materials. *Journal of Materials Chemistry*, 13; 2870-2874.
- VARGHESE, S., NARAYANANKUTTY, S., 2004, Patterned Alignment Of Liquid Crystals by μ -Rubbing . *Advanced Materials* 16, No. 18. pp. 1600 -1605
- WYSOCKI, J. J., ADAMS, J. and HAAS, W., Electric-Field-Induced Phase Change in Cholesteric Liquid Crystals, 1968, *Phys. Rev. Lett.* 20, 1024.
- YANG, F., ZORUNANTS, G., RUAN, L., SAMBLES, J.R., 2007. Optical anisotropy and liquid-crystal alignment properties of rubbed polyimide layers. *Liquid Crystals*, Vol. 34, No. 12; 1433-1441.
- YILMAZ, S., 2008, Optical properties of some mixed nematic liquid crystals in electric field. *Materials Chemistry and Physics*, 110; 140-144.
- ZHU, X., CHOI, W., WU, S., 2002, A simple method for measuring the cell gap of a reflective twisted nematic lcd. *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 49, No. 11. pp. 1863-1867

ÖZGEÇMİŞ

25 Haziran 1983 yılında Şanlıurfa'da doğdum. 1995-2002 yılları arasında orta ve lise öğrenimimi Şanlıurfa Anadolu Lisesi'nde tamamladım. 2002 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünü kazandım. Lisans eğitimimi 2007 yılında tamamladım. Şubat 2008'de Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı olarak başladığım yüksek lisansa halen devam etmekteyim.

ÖZET

Bu çalışmada, planar ve homeotropik olarak yönlendirilmiş sıvı kristal numunelerinin nematik faz bölgesinde elektrooptik etkileri incelenmiştir. Planar yönelim mekanik aşındırma (rubbing) ve fotolitografik metotla ayrı ayrı elde edilmiştir. Yönlendirici yüzey kaplaması olarak planar yönelim için PI2555 polyimide maddesi ile homeotropik yönelim için SE1211 polyimide maddesi kullanılmıştır. Sıvı kristal malzeme olarak 5CB ve 8CB kullanılmıştır. Kullanılan 8CB’de sıvı kristal numunenin sıcaklığa ve diğer dış şartlara bağlı olarak deforme olması sonucu beklenen ölçümler gerçekleşmemiştir.

Mekanik aşındırmada kullanılan kadife kumaşın özelliğine bağlı olarak sağlanan yönlendirici yüzeyde oluşan mikro kanalların derinliği ve aralıkları belli bir düzende olmamaktadır. Buna karşın fotolitografik olarak UV ışıkla pozlama sonucunda elde edilen mikro kanal derinliği ve paralelliği büyük bir düzenlilik sergilemektedir. Rubbing ile yönlendirilmiş sıvı kristal hücrelerde uygulanan elektrik alana bağlı olarak geçen ışığın şiddetinde sıcaklığa bağlı değişimler incelendiğinde şiddetin dağılım eğrisi voltajın normal seyirde artmasıyla önce düşük seviyelere, kritik voltajdan sonra ise yüksek seviyelere doğru kaymalar sergilemiştir. Fotolitografik metotla elde edilen planar olarak yönlendirilmiş sıvı kristal hücrelerde uygulanan elektrik alana bağlı olarak geçen ışığın şiddetinin sıcaklığa bağlı değişimler incelendiğinde, rubbing uygulamasına benzer olarak şiddetin dağılım eğrisi voltajın artmasıyla önce düşük seviyelere, kritik voltajdan sonra ise yüksek seviyelere doğru kaymalar sergilemiştir. Homeotropik olarak yönlendirilmiş sıvı kristal hücrelerde uygulanan elektrik alana bağlı olarak geçen ışığın şiddetinde sıcaklığa bağlı değişimler incelendiğinde, diğer planar yönelim uygulamalarına benzer olarak şiddetin dağılım eğrisi voltajın artmasıyla önce düşük seviyelere, kritik voltajdan sonra ise yüksek seviyelere doğru kaymalar sergilemiştir. Homeotropik yönlendirmede sabit sıcaklıklarda voltajın kritik sınırı 6 Volt civarında, fotolitografik metotla planar yönlendirmede sabit sıcaklıklarda voltajın kritik sınırı 2,5 Volt civarında, rubbing ile yönlendirmede sabit sıcaklıklarda voltajın kritik sınırı 6 Volt civarında tespit edilmiştir.

SUMMARY

In this study, electrooptical effects of planar and homeotropically oriented liquid crystal samples were investigated in nematic phase. Planar orientation was obtained separately by mechanical abrasion (rubbing) and photolithographic method. PI2555 polyimide gel for planar orientation and SE1211 polyimide for homeotropic orientation was used as a surface coating material. Materials used as liquid crystals were 5CB and 8CB.

Expected outcome measurements could not be performed due to deformation of 8CB liquid crystal sample because of temperature and other external conditions dependence. Based on the features of velvet fabric used for mechanical corrosion, range and depth of micro channels were not in a particular order. However, photolithographic UV light exposure caused micro-channel depth and order of the channels to be in great regularity. In oriented liquid crystal cells by rubbing a change in light intensity in the presence of applied electric field shows that light intensity decreases for regular voltage increments and after critical voltage light intensity shifted to higher levels. In planar oriented liquid crystal cells by photolithographic method, when variation of intensity distribution with respect to temperature in the presence of applied electric field were investigated, similar to rubbing application when voltage was increased intensity distribution curve were shifted to lower levels. In contrast, intensity curve shifted to higher levels after critical voltage. Homeotropically oriented liquid crystal cells showed that temperature dependence of light intensity in an applied electric field was shifting the intensity to lower levels when the voltage was increased and after critical voltage the shift was to higher levels. At constant temperatures, the critical voltage was about 6 volts, 2.5 volts and 6 volts for homeotropic, photolithographic planar and rubbing orientation methods, respectively.