



과학기술부 지정 국가지정연구소

반투과형 액정표시소자 설계기술

윤태훈, 박경호, 김재창

부산대학교 전자공학과

E-mail: thyoon@pusan.ac.kr, khopark@pusan.ac.kr, jckim@pusan.ac.kr

URL: <http://photon.ee.pusan.ac.kr>

서론

1970년 처음으로 전자계산기에 적용된 액정표시소자는 스위칭 소자로 박막트랜지스터(TFT)를 적용한 1990년대 이후 눈부신 발전을 거듭했다. 현재 휴대전화, PDA, 노트북 컴퓨터 등의 휴대용 표시소자로부터 모니터, TV 등 그 적용범위가 크기에 관계없이 넓어져가고 있다.

그 중, 휴대용 전자기기의 대중화 및 고급화로 중 소형 액정표시소자의 입지가 커져가고 있다. 휴대용 전자기기는 그 사용 환경이 특정장소에 국한되어 있는 것이 아니기 때문에 모니터나 TV와는 다른 환경 적용에 관한 신기술이 필요하다. 초기에 중 소형 액정표시소자는 반사형 액정표시모드를 사용하여 단지 화면에 문자를 구분할 정도의 성능이었다. 현재 시판되고 있는 휴대폰, PDA, 노트북 컴퓨터 등은 고품위 화면을 위하여 투과형 액정표시모드를 사용하고 있다.

투과형 액정표시모드는 반사형 모드에 비하여 높은 명암대비, 색재현 특성을 제공한다. 그러나 후면광원(back light)을 사용하므로 밝은 환경에서는 성능이 저하된다. 이를 보완하기 위하여 초기 액정표시모드에 적용되었던 반사형 모드를 개선하여 휴대용 기기에 적용하였다. 이는 밝은 환경에서는 반사형 액정모드로 동작하고, 어두운 환경에서는 전면광원(front light)를 사용하여 실내 및 실외에서 적용이 가능하도록 하였다. 이러한 구조는 전면광원을 설계하는데 문제가 발생하면서 지취를 감추게 되었다. 전면광원을 사용하기 위해 전면광원용 도광판(waveguide)이 필요한데, 이 도광판의 주기적인 무늬가 액정표시소자의 칼라 필터와의 주기적 무늬와 간섭을 일으켜 화면에 얼룩을 발생시켜 화질을 저하시킨다. 대안으로 제시되고 있는 휴대용 기기의 액정표시모드는 반투과형 슬릿(transflective slit)을 이용하여 패널의 일부는 투과모드로 일부는 반사모드로 사용하는 반투과형 액정표시모드이다. 반투과형 액정모드에서는 밝은 환경에서는 외부 광원을 이용하여 반사형 액정모드를 사용하고, 어두운 환경에서는 후면광원을 이용하는 투과형 액정모드를 사용하여 외부환경에 관계없이 기기를 사용할 수 있다. 이러한 반투과형 액정모드는 반사형 액정모드와 투과형 액정모드의 조합이 필요한데, 반사부와 투과부의 초기 위상차 값과 on-off 위상지연 변화가 달라 하나의 화소에 두 가지 모드를 조합하기 위하여 반투과형 액정모드를 위한 설계기술이 필요하다.

Sharp사에서 발표한 반투과형 액정모드는 반사영역과 투과영역을 따로 두어서 반사영역의 셀갯은 1/4 파장 설계를, 투과영역은 1/2 파장이 되도록 광학설계를 한 것이다. 특이한 점은 반사영역에 전극을 MRS(micro reflective structure)를 사용하여

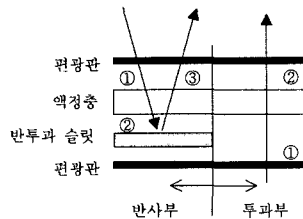
반사시의 광학특성을 개선했다는 점이다. 여기에 사용된 모드는 RTN 모드로 알려져 있다. NEC사는 2인치 반투과형 박막트랜지스터 액정표시소자의 개발에 성공했으며, Toshiba사는 아직 반투과형 액정모드에 대한 연구내용을 공개하지 않았지만, 전 시부스에서는 이미 반투과형 액정모드를 전시한 바 있다. 이들 두 회사의 반투과형 방식은 slit 반투과 기법을 사용했으며, 역시 RTN 모드를 사용하였다. DisplaySearch 자료에 의하면 휴대폰과 PDA 시장이 2005년에 각각 12억\$과 35억\$에 이를 것으로 전망하고 있으며, 이 시장을 사실상 점유하고 있는 이들 업체가 반투과형 방식을 채택함으로써 반투과형 박막트랜지스터 액정 표시소자 시장의 규모가 상당히 커질 것으로 보인다. IMT 2000용은 아니지만 LG-Philips LCD는 12.1인치 반투과형 액정모드를 개발했다. Sharp사에서 제안했던 반투과형 액정모드에서 다른 셀갯을 갖는 원리를 도입하여 ECB 모드로 반투과형 액정모드를 설계했다. 삼성전자가 반투과형 액정모드를 이용해서 제품화 계획을 세우고 있는 시장은 올해 전 세계적으로 6000만개 규모로 추정되는 휴대전화용 컬러 액정모드 시장이다. 아직 반투과형 액정모드에 대한 연구내용을 발표하지는 않았지만, RTN 모드를 이용하여 slit형 반투과형 액정모드를 개발한 것으로 알려져 있다. 삼성전자는 "휴대폰용 2.4 인치 박막트랜지스터 액정 표시소자 제품"은 오는 2005년 3억개까지 시장규모가 급성장할 것으로 전망하고 있으며, 대형 TFT LCD 제품 분야에서 3년 연속 1위를 차지한 여세를 몰아, 올해 휴대폰용과 PDA용에서도 1백만개 이상 판매함으로써 중소형 박막트랜지스터 액정 표시소자 제품시장의 석권을 목표로 하고 있다.

본 기술동향 보고에서는 현재 사용되고 있는 반투과형 액정모드의 기초 설계기술 중 광학설계를 중심으로 설명하겠고, 현재 까지 개발된 반투과형 액정모드와 본 연구실에서 개발하고 있는 반투과형 액정모드에 대해 설명하고자 한다.

반투과 액정모드 설계의 원리

2.1 반투과 액정모드의 기본 설계와 문제점

반투과형 액정모드의 설계는 아주 간단한 광학원리에서 비롯된다. 먼저 투과부와 반사부를 나누고 각각을 위한 액정 셀을 설계한다. 투과부의 경우 직교 편광판이 빛을 투과, 차단하고자 입사광의 편광상태를 90° 혹은 0° 변화 시킬 수 있도록 액정의 위상차 값을 설계한다. 반사부의 경우 편광판을 통과한 입사광이 거울에 반사되어 다시 편광판을 통과할 때의 편광상태를 변화시켜 반사, 또는 차단될 수 있도록 액정 셀을 설계한다. 그림 1(a)는 이상적인 반투과 액정모드의 기본 구조를 나타낸다. 이상적인 반투과 액정모드는 두 개의 편광판과 액정 셀, 반투과 슬릿의 구조로 이루어진다. 이상적인 반투과 액정모드는 그림 1(b)와 같은 편광상태 변화를 보이며, 아래의 조건에 맞는 액정 설계조건이 필요하다.



(a) 반투과 액정모드의 이상적인 광학구조

		①	②	③
투과부	dark	↑ ↓	↑ ↓	N/A
	bright	↑ ↓	← →	N/A
반사부	dark	← →	○	↑ ↓
	bright	← →	← →	← →

(b) 투과부와 반사부의 편광 상태 변화

그림 1. 반투과 설계의 기본원리

$$\Delta n_{lc} d_{(trans, bright)} = \lambda + n\lambda, \quad \Delta n_{lc} d_{(trans, dark)} = \frac{\lambda}{2} + n\lambda \quad (\text{단, } n \text{은 정수}) \quad (1)$$

$$\Delta n_{lc} d_{(refl, bright)} = \frac{\lambda}{2} + n \frac{\lambda}{2}, \quad \Delta n_{lc} d_{(refl, dark)} = \frac{\lambda}{4} + n \frac{\lambda}{2} \quad (\text{단, } n \text{은 정수}) \quad (2)$$

식에서 Δn_c 는 액정의 위상차를, d 는 액정 셀의 두께를, λ 는 입사하는 빛의 파장을 의미한다.

그런데, 그림1(b)와 식(1), (2)로터 두 가지 문제점을 지적할 수 있는데, 하나는 반사모드의 어두운 상태 구현시 액정의 파장 분산 특성으로 인한 누설광 발생과 반사부 액정모드와 투과부 액정모드의 조건의 다름이다. 이 두 가지 문제가 반투과형 액정 모드를 설계하는데 있어서 핵심적으로 고려되어야 하는 요소이다.

2.2 반사형 액정모드의 최적화

반사부 액정모드는 편광판 한 장과 액정층, 금속 반사판으로 이루어져 있다. 이 구조에서 완벽한 어두운 상태를 얻을 수 있는 것은 아니다. 그림 1에서 언급된 설계는 설계 기준 파장 λ 에 대해서만 위상 지연 $\lambda/4$ 를 만족하는 조건이기 때문에 설계된 액정 셀이 중심 파장 이외의 파장에 대해서는 위상 지연이 $\lambda/4$ 가 되지 않으므로 설계 기준 파장 이외의 빛은 액정 층을 왕복한 후에 정확하게 입력 편광판에 의하여 차단되지 못하고 누설광이 발생하여 어두운 상태와 밝은 상태의 투과율 또는 반사율의 비로 정의되는 명암대비비가 낮아지게 된다. 그림 2에서 점선으로 표시된 것이 반사부의 어두운 상태를 계산한 결과를 나타낸다. 어두운 상태를 구현함에 있어 설계 기준 파장에 대해서는 반사율이 0으로 내려가지만, 그 외의 파장의 빛에 대해서는 반사율이 0으로 내려가지 않고 누설광이 발생한다. 누설광의 최소화와 높은 명암대비비를 얻기 위하여 현재의 반사부 설계는 광대역 $\lambda/4$ 원리를 이용한다. 광대역 $\lambda/4$ 구현은 1장의 $\lambda/4$ 층과 1장의 $\lambda/2$ 층의 조합으로 가능하다. 먼저 빛이 $\lambda/2$ 층을 지날 때의 임의적으로 파장에 따라 편광 상태가 분산되게 만들고, 분산된 편광이 $\lambda/4$ 층을 지날 때 편광 상태 분산을 보상함으로써 전 파장 영역에서 같은 편광상태를 얻는 것이다^[4]. 이를 만족시키는 조건은 아래와 같다.

$$\theta_{\lambda/4} = 2\theta_{\lambda/2} + \frac{\pi}{4} \tag{3}$$

여기서 $\theta_{\lambda/2}$ 는 편광판과 $\lambda/2$ 층이 이루는 각이고, $\theta_{\lambda/4}$ 는 편광판과 $\lambda/4$ 층이 이루는 각을 의미한다. 식을 통하여 얻어진 조건에 다시 파장분산이 최소가 되는 조건을 찾으면 $\theta_{\lambda/2} = 15^\circ$, $\theta_{\lambda/4} = 75^\circ$ 의 결과가 얻어진다^[4]. 그림 2의 실선이 제시한 조건을 통해 얻어진 결과를 적용한 어두운 상태를 나타낸다. 점선으로 나타낸 기존의 $\lambda/4$ 층을 사용할 때와는 다르게 전 영역에서 누설광 없이 어두운 상태를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

위에 제시한 광대역 조건을 이용하여 반사형 액정모드를 설계하는 방법은 2가지가 있다. 먼저 광대역 $\lambda/4$ 막과 twisted nematic(TN) 액정 셀이나 electrically controllable birefringence(ECB) 액정 셀의 조합으로 반사형 액정모드를 설계하는 방법과 광대역 $\lambda/4$ 구조를 하나의 ECB 액정 셀과 하나의 필름으로 설계하는 방법이 있다^[5].

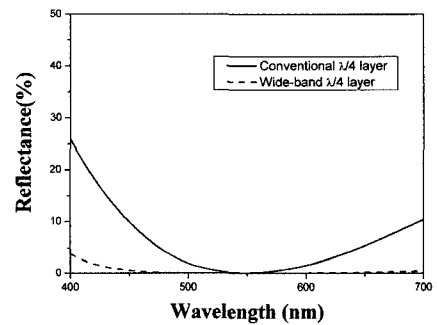


그림 2. 반사부 어두운 상태의 비교(기준 $\lambda/4$ 와 광대역 $\lambda/4$)

2.3 반사형 액정모드와 투과형 액정모드의 조합

반투과형 액정모드설계 중 가장 중요한 점은 반사형 액정모드와 투과형 액정모드의 조합이다. 먼저 식 (1), (2)에서 알 수 있듯이, 전체 위상차 값이 반사부와 투과부가 다르다. 또한, 반사부의 명암대비비 향상을 위하여 광대역 $\lambda/4$ 필름의 사용은 투과부의 위상차에 영향을 주므로 또 다른 위상차 필름으로 보상이 필요하다.

먼저, 초기 위상값의 차이는 반사와 투과부의 액정 위상차를 다르게 함으로 해결 가능하다. 첫 번째는 투과부와 반사부의 액정 층의 두께를 다르게 설계하는 이중 셀

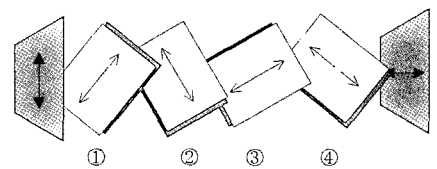


그림 3. 위상 보상법을 이용한 반투과 액정모드의 투과부 설계 기본원리

겹의 방법이 있다. 두 번째는 수직 배향 액정모드를 이용하여 배열상태를 수직으로 형성하고 초기 위상차가 없도록 설계하는 방법이 있다. 세 번째로는 수평 스위칭을 이용하여 광축 변화로 인한 위상 변화를 얻는 방법으로 반사부와 투과부를 설계한다.

반사부와 투과부의 초기 위상차가

달라 생기는 문제는 보상필름의 사용으로 해결할 수 있다. 반사부의 명암대비비를 높이기 위하여 광대역 $\lambda/4$ 필름을 사용하게 되는데, 이는 투과부의 불필요한 위상 변화를 일으킨다. 이를 보상하기 위해서, 먼저 반사부의 위상을 완전히 제거하여 초기 상태를 반사부와 같은 광학조건을 맞추어 간다. 이렇게 설계하는 방법을 위상보상법이라고 불리며, 그 구성은 그림 3과 같다. 그림에서 위상차 층 ①, ②는 광대역 $\lambda/4$ 를 이루게 된다. 이를 보상하는 부분이 ③, ④가 된다. 보상하는 원리는 간단하다. 그림에서 ①과 ④, ②와 ③은 똑같은 위상차 값을 가지고 있다. 이를 수직으로만 배열하면, ②와 ③ 층의 위상차 값은 0이 되고 ①과 ④의 위상차 값도 0이 되므로 보상이 가능하다. 여기에 각 모드에 따라서 편광판의 위치만 변화시켜주면 된다. 이러한 방법을 투과부에 적용시킬 경우, 수직방향 광 투과특성은 향상되나, 시야각이 좁아지는 현상을 초래할 수 있다. 이를 보완하기 위하여 분광특성이나 명암대비비를 향상시키기 위한 위상차 필름의 수를 줄여야 할 것이다.

표 1. 각 패턴 size 별 최대 반사 및 투과율

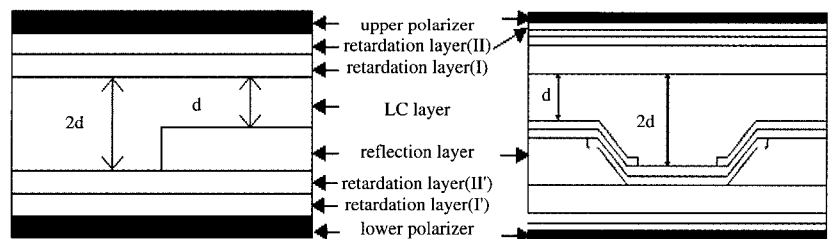
	8 μ m : 32 μ m		6 μ m : 24 μ m		4 μ m : 16 μ m		3 μ m : 12 μ m		2 μ m : 8 μ m	
	V_{sat}	$T_{max}(\%)$ $R_{max}(\%)$	V_{sat}	$T_{max}(\%)$ $R_{max}(\%)$	V_{sat}	$T_{max}(\%)$ $R_{max}(\%)$	V_{sat}	$T_{max}(\%)$ $R_{max}(\%)$	V_{sat}	$T_{max}(\%)$ $R_{max}(\%)$
투과 모드	5V	25%	4.5V	23%	5.5V	25%	5V	23%	5.5V	26%
반사 모드	7V	5%	4V	4%	4V	3%	4V	4%	4.5V	1%

반투과 액정모드 기술

3.1 이중 셀갯을 이용한 반투과형 액정모드

현재 개발된 반투과형 액정모드는 거의 이중 셀갯 구조를 채택하고 있다. 이중 셀갯 구조는 복잡한 셀구조를 가지지만 복잡한 광학구조가 필요없다는 장점을 가지고 있다⁽⁶⁻⁹⁾. 그림 4는 이중 셀갯 구조를 이용한 반투과 액정모드 구조들을 나타내었다. 그림 4(a)는 최초로 Sharp사에서 개발된 이중 셀갯 구조를 가지는 반투과형 액정모드를 나타낸 것이다⁽⁶⁻⁸⁾. 이 구조는 4개의 위상차 필름과 액정 셀로 구성되어 있으며, 위상보상법을 사용하여 필름의 위치를 최적화하였다. 위상차 필름(I), (II)는 반사부의 광대역 $\lambda/4$ 필름으로 반사부의 광특성을 우수하게 만들기 위하여 삽입되었고, 아래의 위상차 필름(I), (II)는 반투과 설계 기본의 위상 보상법을 위하여 필름(I), (II)와 동일한 필름이 위상보상을 위하여 삽입된다. 또한, 이중 셀갯 구조를 이용하여 반사부와 투과부의 초기 위상차를 서로 다르게 설계하였다. 그림 5(a)는 이 구조의 밝은/어두운 상태의 분광특성을 나타낸 것이다. 위상보상법과 이중 셀갯 구조의 사용으로 아주 우수한 분광특성을 나타내나, 위상차 필름의 수가 많아 시야각이 좁아지는 단점과 반사부, 투과부의 전기광학 특성이 다르므로 두 개의 구동회로가 필요하다는 단점을 안고 있다.

그림 4(b)의 구조는 앞에서 설명한

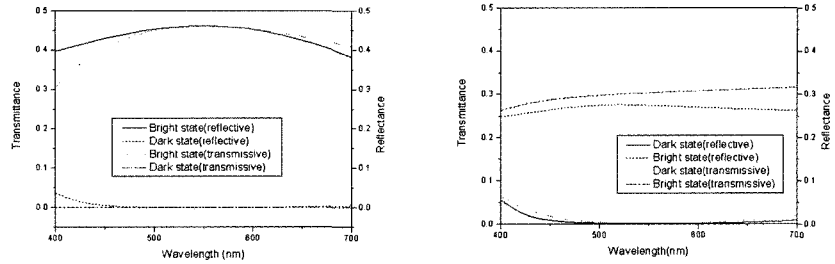


(a) 광대역 $\lambda/4$ 필름을 이용한 구조

(b) 광대역 $\lambda/4$ 구조를 이용한 구조

그림 4. 이중 셀갯을 이용한 반투과 액정모드

구조의 단점 중의 하나를 보완하기 위하여 LG-Philips LCD에서 개발한 반투과형 액정모드의 구조이다^[9]. 이 구조도 이중 셀갭 구조를 사용하는 것은 동일하나, 그림에 나타나 있듯이 한장의 위상차 보상필름만을 사용한다. 이 구조의 경우 작은 수의 보상필름을 사용하여 필름 수는 줄였으나, 그림 5(b)에서 볼 수 있듯이 분광특성은 좋아 보이나 투과율이 현저하게 감소함을 알 수 있다. 이것은 두 장의 위상차 층이 위상보상법이나 광대역 조건을 완전히 만족시킬 수 없어 누설광이 생긴다.



(a)그림 4(a)의 구조 (b)그림 4(a)의 구조
그림 5. 이중 셀갭을 이용한 반투과 액정셀의 분광특성

3.2 단일 셀갭을 이용한 반투과형 액정모드

반투과형 액정모드에서 핵심적으로 개발하고 있는 분야는 단일 셀갭으로 반사모드와 투과모드에서 사용할 수 있는 방법에 대한 것이다^[10]. 그런데 해답은 아주 간단한 곳에서 얻어질 수 있었다. 수직 배향모드를 사용하면 초기에 수직으로 배향되어 있으므로 투과부와 반사부가 서로 다른 감마커브를 가지기만 한다면 쉽게 해결된다. 여기서 소개할 단일 셀갭을 이용한 반투과형 액정모드는 twisted nematic vertical aligned(TVA) 액정모드를 사용하여 반투과형 액정모드를 설계하는 방법이다^[11].

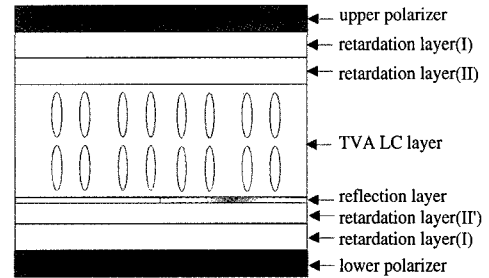
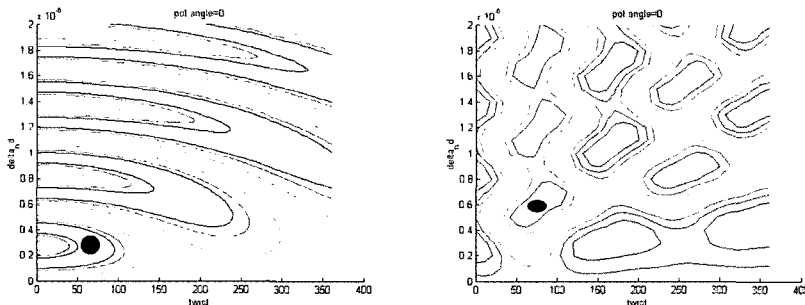


그림 6. 단일 셀갭을 이용한 반투과 TVA 액정모드

TVA 모드를 이용하여 반투과형 액정모드를 설계할 경우, 투과형의 최적조건은 일반적으로 알려져 있는 것처럼 90° twist 상태가 최적이나 반투과형 구조에서는 반사형 모드로의 전환 시의 특성을 반드시 함께 고려되어야 하기 때문에 90° twist 상태를 최적의 조건으로 선택할 수가 없다. 따라서 투과모드를 최적으로 하면서도 반사형의 특성을 어느 정도 유지하는 또는 투과형과 같은 우수한 특성을 요구하는 설계가 필요하다. 이러한 조건을 찾아내기 위하여 parameter space diagram(PSD)를 통하여 반사부와 투과부의 꺾임각 조건과 액정의 위상차 값을 계산한다. 그림 6은 계산에 사용된 반투과형 TVA 모드의 구조이다. 이 구조는 그림 4(a)의 구조와 유사하나, TVA 액정모드가 액정 층으로 사용되어 위상차 변화를 시키는 점이 다르다. 그림 7은 꺾임각과 위상차를 변화시키며 투과율과 반사율을 계산한 결과이다. 이 중의 하나의 조건을 찾아 사용하게 된다. 그림에서 twist 조건은 동일하나, 액정의 위상차는 다르다. 초기에 액정이 수직으로 배열되어 있어 위상차가 같으므로 전기광학 특성이 다를 뿐 단일 셀갭



(a) 반사형 (b) 투과형
그림 7. PSD를 이용한 반투과형 TVA 액정모드의 최적화

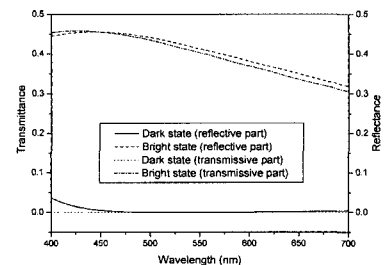


그림 8. 반투과형 TVA 액정모드의 분광 특성

구조로 구현이 가능하다. 그림 8에서는 그림 7에서 얻어진 결과를 통해 반사부와 투과부의 분광특성을 확인한 결과이다. 어두운 상태에서는 각 부분에서 특성이 좋은 것으로 판단되나, 밝은 상태에서는 푸른색 천이 현상이 발생하는 것이 확인된다.

반투과 액정모드의 설계 신기술

본 장에서는 최근에 발표되었던 반투과형 액정모드에 관하여 설명한다. 앞에서 소개된 모드들과 달리 광학설계에만 의존하는 구조가 아니라, 새로운 부품이나 모드의 개발로 반투과 액정모드의 성능을 향상시킨 구조들을 소개한다.

4.1 반투과형 PVA 액정모드

기존의 반투과형 LCD는 반사부와 투과부의 셀갭을 달리하거나 구동 전압을 달리하여 반투과 모드를 구현한다. 이런 경우 multi cell gap을 위한 제작공정이 필요하게 되거나 구동회로가 두 개로 늘어나게 되는 단점이 있다. 이런 단점들을 극복하기 위해 반투과형 LCD에 PVA 모드를 적용하여 단일 셀갭은 물론 단일 구동회로로 반투과 모드를 구현할 수 있는 반투과형 PVA 액정모드가 설계되었다^[12-13].

PVA 모드는 아래·위 기판의 패턴된 전극에 의해 전계의 방향이 왜곡되는 현상을 이용하여 광시야각 모드에 적용된다. 또한 이러한 현상으로 인해 액정 cell의 director profile이 주기적인 형태를 보이게 되며 retardation 또한 큰 부분과 작은 부분이 주기적으로 나타난다. 한 픽셀 내에서 retardation이 다르게 나타나는 특성을 이용하여 그림 9에 나타낸 전극 구조를 통해 retardation이 큰 부분은 투과부로 작은 부분은 반사부로 설계를 하였다. 표 1은 몇 가지 비율에 따른 반사율과 투과율을 계산한 결과이고, 반사부와 투과부에서의 문턱전압치와 포화전압치가 일치하는 조건의 전기광학 특성을 그림 10에 표시하였다. 그림 11은 이 구조의 어두운/밝은 상태의 분광특성을 나타낸다. 분광특성은 기존의 이중셀갭을 이용하는 구조와 광학구조가 같

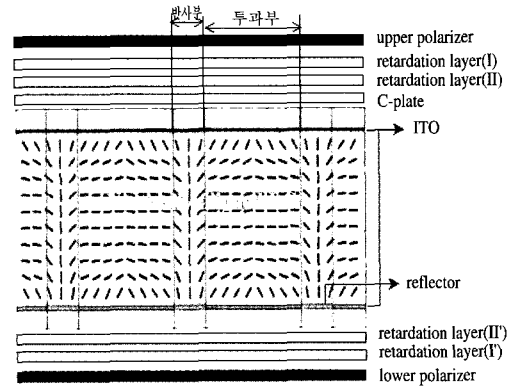
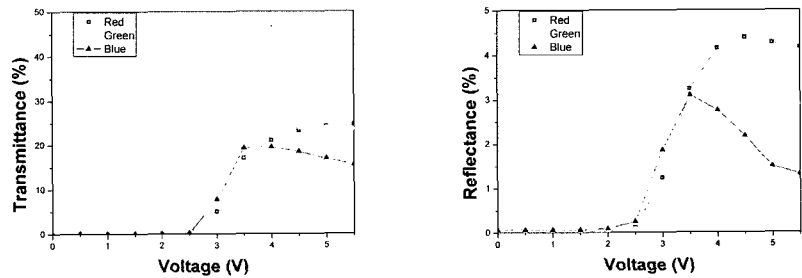


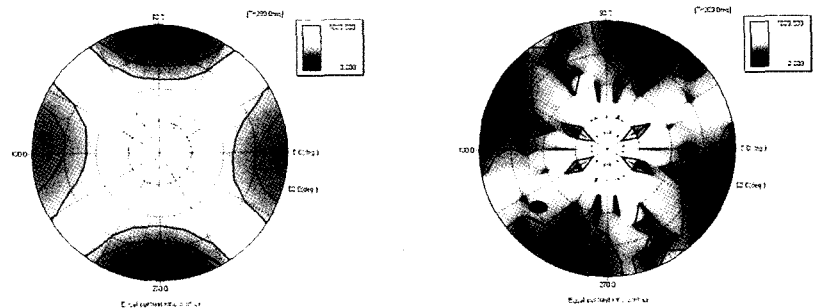
그림 9. 반투과형 PVA 모드의 구조



(a) 투과부

(b) 반사부

그림 10. 최적화된 패턴 구조에 대한 전기광학특성



(a) 투과부

(b) 반사부

그림 11. 최적화된 C-plate를 적용한 PVA를 이용한 반투과형 액정모드의 시야각 특성

으므로, 그림 5(a)와 동일하다.

또한 negative C-plate의 사용으로 시야각 특성도 개선되었다^[13]. 여러 개의 위상차 필름의 사용과 수직 스위칭의 사용은 좁은 시야각의 원인이 되는데 이를 negative C-plate 최적화로 시야각을 넓힐 수 있다. 그림 11은 시야각 보상 필름을 사용하여 시야각을 최적화 한 결과이다. 투과모드의 그림에는 명암대비가 30:1인 선과 10:1인 선을 나타내었고, 반사모드의 그림에는 명암대비가 10:1인 선을 나타내었다. 투과모드는 모든 패턴 구조에서 상하좌우 160° 이상의 넓은 시야각 범위를 얻을 수 있었다.

4.2 반투과형 IPS 액정모드

현재 개발된 투과형 액정모드 중, 보상필름 없이 가장 넓은 시야각을 가지고 있는 액정 모드는 IPS 액정모드이다. 그러나 몇 가지 이유로 반투과형 액정모드에 in-plane switching(IPS) 모드를 적용하기에는 많은 문제점을 안고 있었다. 먼저, 반사형 액정모드의 분광특성을 향상시키기 위한 광대역 λ/4필름의 적용이 힘들었고, 광대역 λ/4구조를 이용하여 반사형 구조를 설계하는 시도가 있었지만, 높은 구동전압으로 문제점을 드러냈다. 이러한 문제점은 위상차 필름을 셀 내부에 코팅하는 기술이 개발됨에 따라 사라졌고, 수평 스위칭의 이용으로 생기는 부가적인 기능을 포함한 반사형, 반투과형 액정모드 개발

이 가능하게 되었다^[14]. 그림 12는 inner retarder를 사용하였을 때와 그렇지 않았을 때의 액정 셀 구조를 나타낸다. 그림에서 inner retarder의 사용은 외부에 있었던 두께 100 um 이상의 위상차 필름과 반사판을 액정셀 내부에 2 um 이하로 코팅하므로 시차문제를 극복할 수 있고, inner retarder에 의한 구동전압 저하 문제도 전극을 유리 상판에 형성하여 함께 극복할 수 있게 되었다^[15-17]. 두 가지 반투과형 IPS 액정모드에 대해 살펴보았다. 첫 번째는 단순히 inner retardation layer를 이용하는 방법이고, 둘째는 inner retarder를 투과부, 반사부에 각각 적용시키는 patterned retardation layer를^[18] 이용하는 모드를 소개한다.

그림 13에서는 두 가지 반투과 액정모드의 구조를 설명한 그림들이다. 두 가지 모드가 앞에서 설명했던 모드들에 비하여 위상보상 필름의 수가 적다^[15-17]. 그림 13(a)의 경우 액정 층을 필름 대신에 사용하여 그림 3(a)에

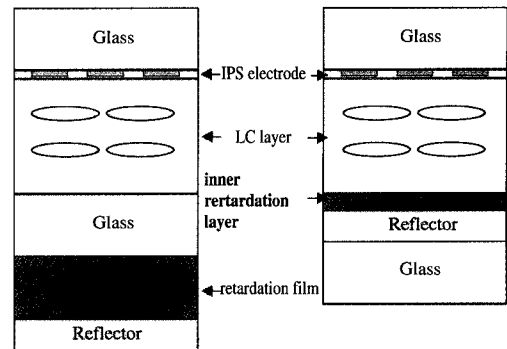
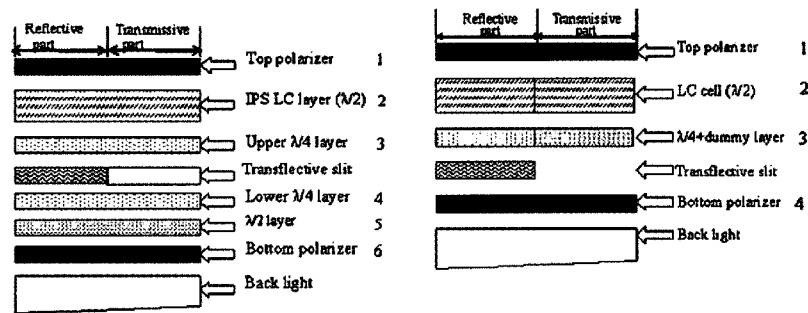


그림 12. inner retarder layer를 사용한 반사형 구조



(a) inner retarder를 사용한 구조 (b) patterned retarder를 사용한 구조
그림 13. 반투과형 IPS 액정모드의 구조

표 2. 반투과 IPS 액정모드의 광학 조건(그림 14(a))

No. of components in Fig. 15(a)	1	2	3	4	5	6
Reflective part	0°	15° (dark) to 37.5° (bright)	75°	N/A	N/A	N/A
Transmissive part	0°	15° (dark) to -30° (bright), 15° (dark) to 60° (bright)	75°	165°	105°	90°

표 3. 반투과 IPS 액정모드의 광학 조건(그림 14(b))

No. of components in Fig. 15(b)	1	2	3	4
Reflective part	0°	15° (dark) to 37.5° (bright)	75°	N/A
Transmissive part	0°	0° (dark) to 45° (bright)	N/A	90°

서 위상 보상법을 실현하여 줄였으며, 그림 13(b)의 경우는 반사부와 투과부에 멀티 도메인을 이용하여 반사부의 위상 변화가 투과부에 영향이 없도록 하여 필름의 수를 줄일 수 있다. 또한, $\lambda/2$ inner retarder를 액정 층 밑에 배치하고, 액정 층의 광축의 변화로 어두운, 밝은 상태를 결정함으로써 단일 셀갭으로 반투과형 액정모드를 실현할 수 있다.

그림 13(a)의 반투과 액정모드는 반사부는 광대역 $\lambda/2$ 구조를 이용하고, $75^\circ \lambda/2$ 상차 층 위의 $\lambda/2$ 액정 층이 어두운 상태 15° , 밝은 상태 37.5° 로의 광축변화로 실현된다⁴⁾. 투과부는 그림 3의 위상 보상법을 이용하여 반사부의 위상차를 보상하여 먼저 초기 어두운 상태의 조건을 찾고, 그림 14에서 알 수 있듯이 액정 층의 광축 변화에 따른 투과율 계산을 밝은 상태의 조건을 찾는다. 표 2는 inner retarder를 이용한 반투과형 IPS 액정 셀의 최적 조건이다¹⁵⁻¹⁷⁾. 그림 15(a)는 표 2의 조건을 이용한 액정 셀의 반사/투과 특성을 나타내었다. 그림의 투과부에서 -30° 스위칭했을 때의 밝은 상태의 분광 특성이 60° 로 스위칭했을 때의 분광 특성보다 조금 더 우수함을 알 수 있다. 이때 반사부와 투과부의 액정의 스위칭 방향이 서로 반대가 되는데 이는 지그재그 전극 구조의 사용으로 해결가능하다¹⁶⁾.

그림 13(b)의 반투과형 액정모드는 새로운 반투과 액정모드의 기본을 제시하는 구조이다. 여기에 제시된 구조는 반투과 액정모드의 반사부와 투과부가 완전히 독립된 구조이다. Patterned retarder로 반사부에만 위상차 막을 형성하고, 투과부에서는 dummy layer를 형성함으로써 광학적인 영향을 미치지 못하게 하였다¹⁹⁾. 또한 ion-beam 배향기술을 이용하여 멀티 도메인 구조를 형성하여 투과부와 반사부의 초기 액정의 배열 방향이 서로 다르게 배치하여 투과부는 기존의 투과형 IPS 액정모드의 구조를 그대로 적용하였고 반사부는 위에서 표 2의 반사부 조건과 동일하다. Patterned retarder를 이용한 반투과형 IPS 액정모드의 최적 광학조건은 표 3에 분광 특성은 그림 15(b)에 나타내었다.

그림 16은 지금까지 설명한 반투과형 IPS 액정모드의 시야각 특성을 나타낸다. 다른 시야각 보상필름이 없이도 반사부, 투과부 모두 최소 $\pm 40^\circ$ 이상의 넓은 시야각을 나타낸다.

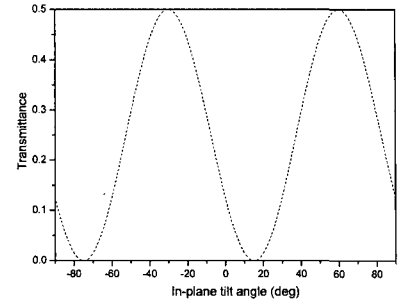
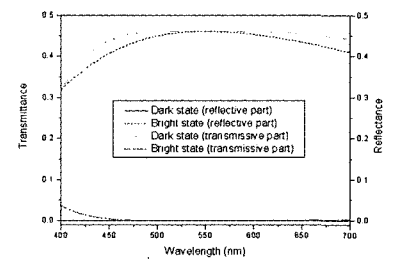
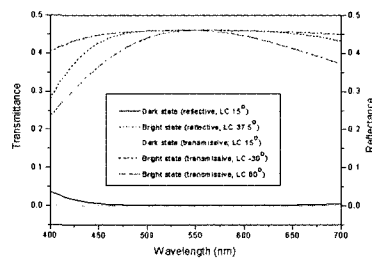


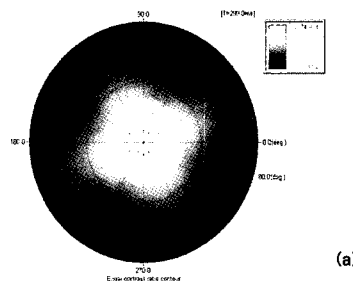
그림 14. 스위칭 각에 따른 투과율(그림 13(a)구조).



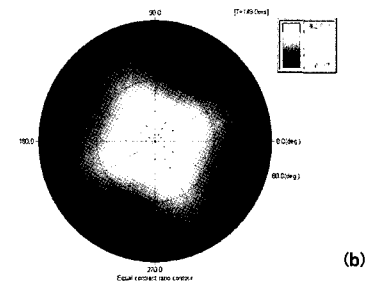
(a) inner retarder를 이용하는 구조(그림 13(a))

(b) patterned retarder를 이용하는 구조(그림 13(b))

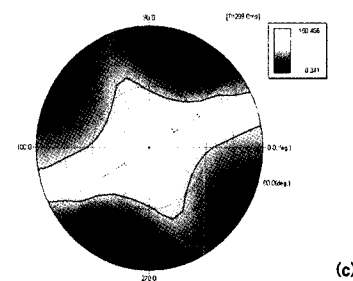
그림 15. 반투과형 IPS 액정모드의 분광특성



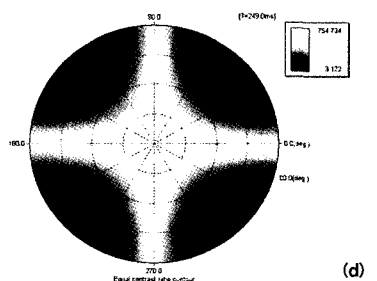
(a) 모든 구조의 반사부



(b) 표 2의 투과부(밝은 상태: 60°)



(c) 표 2의 투과부(밝은 상태: -30°)



(d) 표 3의 투과부(밝은 상태: 45°)

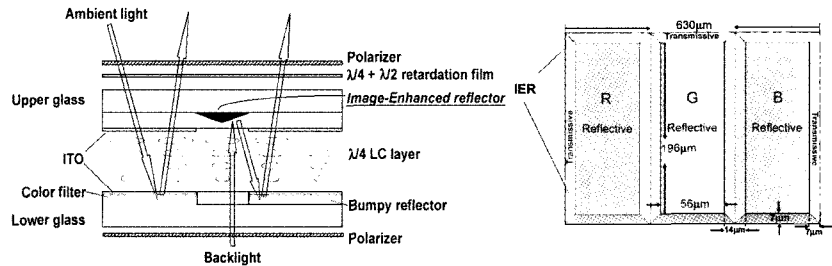
그림 16. 반투과형 IPS 액정모드의 시야각 특성

4.3 Image Enhanced Reflector를 사용한 반투과형 액정모드

단일 셀갯을 이용한 반투과형 액정모드를 설계하기 위한 image enhanced reflector(IER)가 개발되었다^[20]. 그림 17(a)은 IER을 사용한 반투과형 액정모드의 단면도와 화소의 그림을 나타낸다. 이것은 반사부에서는 기존의 반사형 구조를 따르고, 투과부에서는 슬릿을 통과한 빛이 IER에 반사되어 다시 반사부의 거울에 반사되어 투과형을 구현하는 방법이다. IER 아래쪽 기판에는 전극이 없어, 슬릿을 통과하는 빛은 IER에 반사되기 전에 항상 전계인가 유무에 관계없이 $\frac{\lambda}{4}$ 위상 층을 통과하고, 반사부 픽셀을 지나게 된다. 이것은 마치 액정 셀 외부에 $\frac{\lambda}{4}$ 위상지연 필름을 붙인 것과 동일한 광특성을 가

진다. IER 아래 부분을 보상필름처럼 사용하므로 필름의 수를 현저히 줄일 수 있다. 그림 4(b)의 구조와 비교하여 1장의 필름만을 더 삽입한 구조로 그림 18에서와 같이 그림 4(b)의 구조보다는 우수한 광특성을 나타낸다. 하지만, 투과부에서 어두운 상태의 누설광이 관측되는데 이것은 IER 아래의 액정이 이루는 $\frac{\lambda}{4}$ 위상지연 층이 광대역 조건을 만족하기 때문이다.

또한, 그림 17(b)에서 알 수 있듯이, 기존의 반사부를 투과부에서 사용할 수 있으므로 반사율과 투과율이 증가할 것이다. 표 4는 IER의 변화에 따른 반사부와 투과부의 면적이용비율을 계산하였다. 가장 높은 면적이용비율은 95%를 상회하는 높은 값을 나타냈다. 이는 광원에 대한 효율을 높이는데 도움을 줄 것이라 생각한다.



(a) 광학구조 (b) 화소의 구조
그림 17. IER을 이용한 반투과형 액정모드의 구조

표 4. IER의 크기변화에 따른 투과율, 반사율의 변화

IER Width(μm)	8	14	20
Reflective region utilization(%)	81.4	68.4	56.1
Transmissive region utilization(%)	14.3	23.9	32.2
Total area utilization(%)	95.7	92.3	88.3

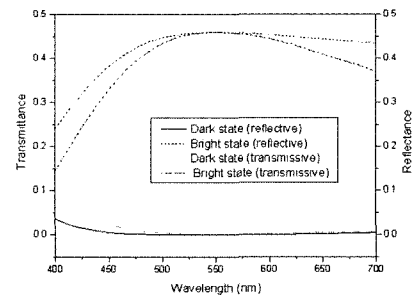


그림 18. IER을 이용한 반투과형 액정모드의 분광특성

결론

본 기술보고에서는 반투과 액정모드의 기본 설계기술을 소개하였다. 반사부와 투과부의 광학조건이 다르므로 두 부분의 위상차 조건의 차이가 생기는데, 이를 제거하기 위한 필름 보상방법과 이중 셀갯 설계방법을 소개하였다. 또한, 현재 개발 중인 반투과형 모드에 대하여 설명하였다. 하나는 TVA 모드를 사용하여 단일 셀갯을 구현하는 방법을 설명하였고, 이중 셀갯 구조로 반투과 액정모드를 최적화한 결과를 보였다. 두 가지 방법은 반투과 설계 기술을 포함하는 구조이지만, 시야각이 좋지 못하거나 좋지 못한 분광특성을 보였다.

마지막으로 광학조건이 이외의 새로운 부품을 이용한 세 가지 모드에 대하여 설명하였다. PVA 모드를 이용하여 투과부, 반사부 모두 동일한 구동조건을 얻을 수 있는 반투과형 PVA 모드를 설명하였다. 또한, C-plate의 최적화로 좁은 시야각 특성을 향상됨을 확인하였다. inner retarder를 이용하는 반투과 IPS 액정모드를 소개하였는데, inner retarder의 사용은 시차문제를 제거할 수 있어, IPS 액정모드가 반투과 액정모드에 적용가능하게 했다. 반사부의 최적화를 위하여 광대역 $\frac{\lambda}{4}$ 구조를 사용하여

보상필름의 수를 줄일 수 있었다. 또한, patterned retarder와 멀티 도메인 구조를 이용하여 반사부와 투과부를 완전히 독립 시키는 반투과형 IPS 액정모드에 대하여 소개하였다. 이 두 가지 모드는 수평 스위칭을 이용하므로 넓은 시야각 특성을 나타낸다.

IER을 이용한 반투과형 액정모드의 경우, IER을 사용하여 액정층 자체를 보상필름처럼 사용하여 보상필름의 수를 현저하게 줄일 수 있다. 또한, 반사부만을 이용하여 설계하므로 높은 면적이용비율을 나타낸다.

참고문헌

- [1] P. Hariharan, P. E. Ciddor: Mea. Sci. & tech., 11(2000), p. N117.
- [2] G. D. Lee, H. J. Kim, T.-H. Yoon, and J. C. Kim: Displays, 22(2001), p. 19.
- [3] G. D. Lee, G. H. Kim, S. H. Moon, J. D. Noh, S. C. Kim, W. S. Park, T.-H. Yoon, J. C. Kim, S. H. Hong, and S. H. Lee: Jpn. J. Appl. Phys. 39(2000), p. L221.
- [4] T.-H. Yoon, G. D. Lee, and J. C. Kim: Opt. Lett., 25(2000), 1547.
- [5] J. C. Kim, C. G. Jhun, K. H. Park, J. S. Gwag, S. H. Lee, G. D. Lee, and T.-H. Yoon: Proc. IMID '03, p. 283.
- [6] M. Kubo, T. Ochi, Y. Narutaki, T. Shinomiya, and Y. Ishii, J. SID, 8(2000), p. 299.
- [7] Y. Narutaki, M. Kubo, T. Shinomiya, and N. Kimura: Proc. Euro Display '99, p. 121.
- [8] M. Kubo, S. Fujioka, T. Ochi, and Y. Narutaki: Proc. IDW '99, 1999, p. 183.
- [9] H. I. Baek, Y. B. Kim, K. S. Ha, D. G. Kim, and S. B. Kwon, Proc. IDW '00, p. 41.
- [10] C. J. Yu, J. Kim, D. W. Kim, and S. D. Lee: SID '04 Digest, p. 642.
- [11] 도희욱, 백봉진, 이서현, 윤태훈, 김재창; 한국광학회 2003년도 동계학술회의, p. 118.
- [12] 도희욱, 이서현, 이기동, 윤태훈, 김재창; 제10회 광전자 및 광통신 학술회의, 2003, p. 635.
- [13] H. W. Do, S. J. Park, S. H. Lee, G. D. Lee, T.-H. Yoon, and J. C. Kim: Proc. IDW '03, p. 153.
- [14] H. K. Lee, S. E. Lee, S. A. Cumming, M. Verrall, O. Parri, R. Harding, and S. Marden: Proc. IMID '03, 2003, p. 266.
- [15] T.-H. Yoon, K. H. Park, and J. C. Kim: SID '04 Dig. 2004, p. 46.
- [16] K. H. Park, J. C. Kim, and T.-H. Yoon: "In-plane-switching liquid crystal cell with zigzag electrodes for a transmissive display," Jpn. J. Appl. Phys. 43(2004), no. 11A(scheduled for publication).
- [17] K. H. Park, J. C. Kim, and T.-H. Yoon: "Horizontal switching of a half-wave liquid crystal cell for a transmissive display," Jpn. J. Appl. Phys. (accepted for publication)
- [18] C. Doornkapm, S. J. Roosendaal, B. M. I. van der Zande, L. W. G. Stofmeel, J. J. van Glabbeek, and J. T. M. Osenga: SID '04 Digest, p. 670.
- [19] K. H. park, Y. J. Ko, J. H. Kim, J. C. Kim, and T.-H. Yoon: Proc. IMID '04, p. 895.
- [20] Y. P. Yuang, M. J. Su, H. P. D. Shieh, and S. T. Wu: SID '03 Digest, p. 86.

약 력



윤대훈

1979년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사
1982년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
1986년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
1986년 11월 ~ 부산대학교 전자공학과 교수



박경호

1999년 2월 부산대학교 전자공학과 공학사
2001년 2월 부산대학교 전자공학과 공학석사
2001년 ~ 부산대학교 전자공학과 박사과정



김재향

1969년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사
1979년 8월 University of Alabama 전기공학과 공학석사
1981년 8월 University of Alabama 전기공학과 공학박사
1981년 9월 ~ 부산대학교 전자공학과 교수