《연구논문》 Hankook Kwanghak Hoeji, Volume 10, Number 6, December 1999
(Journal of the Optical Society of Korea--Korean Edition)

전기적 스위칭이 가능한 고분자 분산형 액정 제작 및 동적 홀로그램 기록 특성

성기영 · 경천수 · 이영락 · 최병철 · 곽종훈 · 최옥식
영남대학교 물리학과

이윤우
한국표준과학연구원 영상그룹

(1999년 7월 28일 받음, 1999년 10월 11일 수정본 받음)

전기적으로 굴절율 변조값을 조절할 수 있는 부피형 홀로그램 매질(HPDLC)을 제작하였다. HPDLC는 4가 acrylate monomer를 기초로 한 전폴리머(prepolymer)와 액정 혼합물 E7 등으로 구성되어져 있다. 제작된 매질의 광학적 특성을 조사하기 위해 액정 농도, 전기장의 세기에 따른 회절효율을 측정하고, 홀로그래피 방법으로 상을 기록한 후 재생된 상을 전기적으로 조절할 수 있음을 보였다.

I. 서 론

광 정보처리 기술 가운데 홀로그래피 기술은 3차원 영상 디스플레이 뿐만 아니라 집적광학(integrated optics), 광 컴퓨팅(optical computer), 광메모리(optcal memory), 광교환(photonic switching) 등에 응용이 되는 기술로서 전 세계적으로 매우 활발히 연구가 이루어지고 있다.

특히 오늘날 사회가 필요로 하는 소형화, 저가격화, 간편화, 다기능화 등의 요구에 부응하여 기존의 재래식 광학 소자들을 홀로그램 광학 소자들로 대체하기 위한 연구와, 기존의 전자적인 방식과는 전혀 다른 새로운 개념과 구조를 가지는 홀로그램 정보처리 기술연구가 활발히 진행중에 있다.

처음 홀로그램을 이용한 메모리 기술이 제안되었을 당시에는 광재료와 광소자 기술 등의 한계로 인하여 큰 진전을 보지 못하였으나 최근 주변기기의 발전에 힘입어 그 가능성이 새롭게 부각되고 있다. 그러나, 홀로그램을 이용한 메모리 시스템에 대한 급진적인 발전에 비해 아직까지 이러한 시스템에 어울리는 홀로그램 광학재료에 대한 연구와 성과는 아직 미비한 수준이기 때문에 홀로그램 광학 재료 기술은 현재 가장 중요시되고 또한 매우 활발히 연구가 진행되고 있는 분야이다.

현재 널리 사용되고 있는 홀로그램 기록 매질로는 무기물 광굴절 결정(inorganic photorefractive crystal), 포토폴리머(photopolymer), DCG(dichromated gelatin) 등이 있으나 위에서 언급한 매질들은 아래와 같은 문제점들이 지적되면서 새로운 홀로그램 매질에 대한 요구가 나타나게 되었다. 즉, 포토폴리머, DCG 등은 높은 회절효율과 가격이 저렴하다는 장점을 가지고 있으나, 일단 굴절률 변조가 형성되면 굴절률을 사용자 임의대로 다시 변조할 수 없고 지울 수 없다는 단점을 가지고 있다.

무기물 광굴절 결정은 저장 용량과 회절효율 특성이 우수하고 실시간 기록과 높은 비선형성을 가지고 있으며 기록 후 광학적 방법으로 쉽게 지울 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 매질을 제작하기가 어렵고 가격이 매우 비싸다는 단점을 가지고 있다.

따라서 이러한 단점을 극복할 수 있는 적합한 홀로그램 광기록 매질로서 포토폴리머에 네마틱 액정(nematic liquid-crystal, NLC)을 첨가함으로써 굴절율 변조를 임의대로 조절할 수 있다는 사실이 알려져 전기광학-회절광학(electrooptical diffractive optics) 분야로서 응용이 기대되고 있다.

이 매질은 기존의 홀로그램 매질과는 달리 폴리머의 저렴한 가격과 다양한 광기능성 부여의 용이함, 색소 첨가에 의한 편광 특성, 비등방성, 파장 선택성 등의 매력적인 특징, 그리고 광 신호 및 전기 신호에 의한 외부 변조가 가능한 액정 등의 장점을 살려 동적 홀로그램(dynamic or switchable hologram)의 구현이 가능할 뿐 아니라 능동형 비선형 광학 소자로 구동할 수 있어서 기존의 전자산업과 접목하면 새로운 광 변조 장치, 광 스위칭 소자, 광메모리 장치 등의 광정보 산업 등에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

액정은 여러 분야에서 널리 사용되어져 왔으며 특히 3가지 종류(네마틱(nematic), 스메틱(smectic), 콜레스테릭(cholesteric))의 액정 중에서 네마틱 액정이 전기장, 자기장, 광파(optical field)에 의한 빠른 반응 때문에 가장 널리 이용되고 있다.

액정은 비등방성 광학 특성(anisotropic optical properties) 즉, 두 방향의 방향 의존성 n_e(extraordinary 굴절율), n_o(ordinary 굴절율)을 가지고 있기 때문에 외부에서 전기장을 인가하여 줌으로써 입사한 빛은 편광 방향에 따른 다른 굴절율 변화를 겪게 된다.

이와 같은 액정의 특성을 이용한 것 중의 하나가 polymer-dispersed liquid crystals (PDLCs)인데, 이것은 폴리머 matrix에 액정방울(liquid droplet)이 박혀있는 것으로 외부에서 전기장을 인가하여 주지 않을 때에는 폴리머의 굴절율과 액정방울들의 굴절율에 차이가 있기 때문에 입사한 빛을 산란시키고, 전기장을 인가시켜 주면 폴리머의 굴절율과 액정방울들의 굴절율이 서로 같게 되어 매질은 투명한 상태가 된다. 따라서

이들 매질은 외부의 전기장에 의해 투명/불투명한 상태를 조절할 수 있기 때문에 display와 셔터 등에 이용할 수 있다.

매질 전체에 고르게 액정방울을 형성하는 PDLC와는 달리 비등방적으로 주기적인 액정방울의 공간적 배치를 한 것이 HPDLC(Holographic PDLC)인데, 이것은 전폴리머(prepolymer)와 액정을 일정한 비율로 섞은 용액을 투명전극 (ITO)이 코팅된 두 유리판 사이에 넣어 레이저 광을 빔나누개(beam splitter)로 나눈 후 셀(cell)에 두 빔을 조사하면, 간섭무늬에 의해 셀 안에 있는 폴리머와 액정이 상분리(phase separation)를 일으켜 주기적인 폴리머와 액정의 격자를 형성하게 된다.

폴리머 사이에 갇힌 액정은 외부적인 전기적 신호로 조절할 수 있으므로 전기적으로 조절이 가능한 동적인 홀로그램 격자(dynamic hologram grating)를 형성하게 되는 것이다.

본 논문에서는 HPDLC를 직접 제작하고, 제작된 매질의 실시간 홀로그램의 회절효율 특성과 전기장 세기에 따른 전기광학적인 특성에 대해 조사하였다. 또한 홀로그램 상(image)을 기록, 재생하여 회절된 재생상의 전기장 응답 특성을 조사하였다. 이것은 AC전기장 ON/OFF에 따라 재생된 홀로그램 영상도 밝기 ON/OFF가 가능함을 실험적으로 보인 것으며, 이는 다른 홀로그램 광학매질에서는 구현할 수 없는 HPDLC만의 독특한 특성으로 홀로그램 스위칭 분야 등의 응용 가능성을 제시하고 있다.

II. 실험 결과 및 논의

2.1. 매질제작방법

본 실험에서는 단량체(monomer)로 dipentaerythrol hydroxy penta acrylate(DPHPA), 교차결합 단량체(cross-linking monomer)로 N-vinylpyrrollidone(NVP), 개시제(initiator)로 N-phenylglycine (NPG), 색소(dye)로는 Rose Bengal(RB)을 사용하여 전폴리머를 제작하고, 여기에 굴절율 비등방성이 큰 액정인 E7을 첨가하여 HPDLC 제작에 필요한 전폴리머 시럽(prepolymer syrup)을 준비하였다.

이와 같이 준비된 전폴리머 시럽을 실온, 암실상태에서 교반기(stirrer)를 이용하여 성분들이 균일하게 잘 섞이도록 하였다. 준비된 시럽으로 HPDLC를 제작하기 위해 ITO(indium-tin oxide)가 코팅된 유리판 사이에 모세관 현상을 이용하여 균일하게 분포시켰다. 원하는 매질의 두께(20 μm)를 조절하기 위하여 ITO 사이에 공간자(spacer)를 사용하였다.

2.2. 광중합 과정과 실시간 투과형 홀로그램 기록

폴리머와 액정을 상분리시키는 방법에는 열에 의한 상분리(TIPS), 증발에 의한 상분리(SIPS), 빛에 의한 상분리(PIPS) 등이 있는데, 이 중 빛에 의한 상분리가 가장 간편하고 편리하기 때문에 현재 가장 널리 이용되는 방법이다.

이것의 장점은 단일과정(single-step)으로 액정방울의 크기 및 형태, 폴리머와 액정방울의 폭을 조절할 수 있다는 것이다. 비등방적으로 위상 분리된 액정방울의 형태와 크기는 폴리머와 액정의 비율, 빔의 강도 등의 함수로 주어진다. PDLC의 경우 폴리머와 액정의 비율에 따라 swiss cheese, sponge-like, network의 크게 3개의 중요한 형태로 나눌 수 있다. 액정의 밀도가 가장 낮은 swiss cheese 형태의 PDLC는 원형 또는 타원의 액정방울들이 완벽하게 폴리머들에 의해 둘러 싸여 있고, sponge-like에서는 원형 또는 타원의 독립된 액정방울들이 서로 연결되기 시작하고 액정의 밀도가 가장 높은 network에서는 액정이 지배적인 밀도를 보이고 여기에 폴리머들이 실과 같은 형태로 서로 얽혀져 있어 불규칙한 형태의 액정방울들이 형성된다. 주어진 액정밀도에 대해 결과적인 액정방울 크기는 경화속도를 변화시킴으로써 조절할 수 있다.

액정과 전폴리머의 시럽은 빛에 의해 전폴리머가 폴리머가 되면 폴리머는 액정과 서로 섞이지 않으므로 액정과 상분리가 일어나게 되고, 이때 액정방울의 크기와 형태가 액정 분자의 확산과 성장하는 폴리머의 상대적인 전파비율에 따라 결정된다. 어떤 분자무게, 교차결합밀도 이상에서 확산은 느려지게 되고 결국 액정방울의 크기는 고정된다.

이와같이 형성된 비등방적인 폴리머와 액정의 주기적인 분포인 회절격자는 높은 회절효율과 낮은 분산, 그리고 낮은 전압하에서 쉽게 액정 분자를 전기적으로 조절할 수 있다. 굴절률 분포가 주기적으로 형성된 격자를 전기적으로 사용자 임의대로 조절할 수 있다는 것은 그 응용가치가 매우 큰 것으로 이를 이용하면 집적광학(integrated optics), 광 컴퓨팅(optical computer), 광메모리(optical memory), 광교환(photonic switching) 등의 광학소자로 활용할 수 있다.

본 실험에서 사용된 색소(RB)는 514 nm 부근에서 가장 흡수가 크기 때문에 홀로그램의 기록빔(writing beam)으로 녹색의 514 nm 파장을 사용하면 가간섭적인 두 레이저 빔에 의해 회절격자가 형성된다. 색소인 RB에 의해 빛을 흡수하고 결과적으로 singlet 상태를 거쳐 빠르게 triplet 상태로 천이하게 된다.

RB triplet 상태는 전자전이반응(electron-transfer reaction)을 하고, NPG는 electron donor로서의 역할을 하게 되어 NPG 라디칼(radical)을 형성하게 된다.

즉, 자유 라디칼 폴리머화가 NPG 라디칼에 의해 초기화되고 이때 NVP는 폴리머 chain의 교차결합을 촉진시킨다. 이와 같은 메카니즘에 의해 밝은 간섭무늬 영역에서는 폴리머가 지배적인 영역이 형성되고 어두운 무늬 영역에서는 액정이 지배적인 영역이 형성되어 폴리머와 액정의 주기적인 패턴이 발생하게 된다.

2.3. 액정 밀도에 따른 회절효율

빛에 의한 상분리 방법으로 HPDLC를 제작할 경우 액정의 농도, 빛의 세기 등에 따라 폴리머화의 속도를 조절할 수 있고 따라서 액정방울의 크기도 조절할 수 있다.

즉, 액정의 농도가 높아지면 상대적으로 전폴리머의 농도가 낮아져 전폴리머가 폴리머가 되는 속도가 느려지게 되기 때문에 액정방울의 크기는 커지게 된다. 액정방울의 크기와 형태는 회절효율에 큰 영향을 끼치기 때문에 적절한 액정의 농도는 매우 중요하다.

그림 1은 액정의 농도를 30 wt%로 하여 실시간 회절효율 측정에 의해 얻어진 전형적인 HPDLC회절 곡선으로 s-파로 편

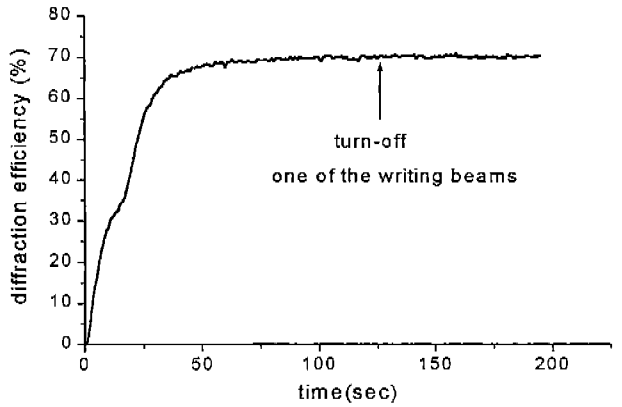

그림 1. 시간에 따른 실시간 회절효율(전폴리머에 대한 LC의 무게비 30 wt%).

광된 Ar-ion 레이저의 두 빔에 의해 투과형 회절격자가 만들어지고, 브래그 조건을 만족하는 각으로 p-파로 편광된 He-Ne 레이저 빔을 입사시켜 회절광파를 측정하였다. 매질에 입사하는 Ar-ion 레이저 광의 두 빔의 입사각도는 40°로 하였다. 최대 70%의 회절효율을 얻었으며 이 때 사용한 Ar-ion 레이저 광의 두 빔의 강도는 각각 10 mW/cm^{2}이다. 격자의 굴절율 변조는 50초 정도까지는 거의 선형적으로 성장하고 50초 이후부터는 굴절율 변조가 포화되었다. 투과형 격자의 굴절율이 충분히 포화된 후(125초 정도) 두 기록빔 중 한 빔을 막고, 다른 한 빔을 HPDLC에 조사하여 필름의 안정도를 조사하였다. 그림 1의 화살표 이후에 나타난 것처럼 회절효율에 어떠한 변화도 나타나지 않았다.

따라서 제작된 HPDLC는 일단 투과형 격자가 형성되어 굴절율 변조가 포화된 이후에는 더 이상 레이저 광의 노출과 같은 외부의 환경에 대해 매우 안정된 것을 알 수 있다.

그림 2는 액정 밀도에 따른 회절효율을 나타낸 것이다. 실험 결과에 의해 전폴리머에 대한 액정의 밀도가 낮을 때에는 낮은 회절효율 나타내다가 액정의 밀도가 30 wt%일 때 최대 70%의 회절효율을 나타내었으며 액정의 밀도가 30 wt% 보다 높을 때에는 다소 회절효율이 감소하는 경향을 나타내었다.

2.4. PDLC의 전기광학(electrooptic) 특성

PDLC에 홀로그램 방법으로 형성된 HPDLC는 폴리머와 액정이 교대로 주기적으로 형성되어 있다. 따라서 폴리머에 의해 형성된 부분은 외부의 환경에 대해 변화하지 않는 고정된 상태로 존재하게 되고, 액정이 지배적인 영역의 경우는 외부에서 인가하는 전기적인 신호에 의해 액정 분자의 방향을 쉽게 조절할 수 있는 특징을 가지고 있다. 따라서 홀로그램을 기록한 후 p-파로 편광된 탐사빔에 의해 홀로그램의 굴절율을 읽어낼 때 HPDLC에 전기장을 인가하지 않았을 경우에는 폴리머의 굴절율(n_p)과 액정의 굴절율(n_{LC})인 정상 액정 굴절율($n_{LC,o}$)과 이상 액정 굴절율($n_{LC,e}$)의 혼합된 유효 굴절율과의 차이 즉, 굴절율 변조값에 의해 회절을 일으키게 된다. 만약 전기장을 인가하여 액정의 분자 방향이 탐사빔의 Bragg 각으로 재배열한다면 탐사빔은 정상 액정 굴절율($n_{LC,o}$)만을 읽게 된다. 따라서 폴리머의 굴절율(n_p)이 액정의 정상 액정 굴절율($n_{LC,o}$)과 동일한 폴리머를 사용한다면, 전기장을 인가하여 회절이 전혀 일어나지 않게 할 수 있다. 본 실험에서 사용한 액정 E7은 $n_{LC,e}=1.7462$, $n_{LC,o}=1.5216$으로 굴절율 비등방성이 $\Delta n = n_{LC,e} - n_{LC,o} = 0.2246$으로 매우 높기 때문에 전기장의 조절에 의한 회절효율의 동적특성은 매우 크다.

그림 3은 폴리머와 액정의 주기적인 배열에 의해 형성된 HPDLC에 He-Ne 레이저의 p-편광으로 Bragg 조건을 만족하는 각도로 입사시켰을 때 전기장의 세기에 따른 액정 방향자 배열을 나타낸 그림이다. Ar-ion레이저를 이용하여 s-편광으로 기록시킨 후 전기장을 가하였을 때 액정은 전기장의 세기가 클수록 매질의 표면에 수직한 방향으로 배열하려고 한다. 이때 p-편광된 He-Ne 레이저를 이용하여 매질의 회절효율을 측정하게 되면 Bragg각으로 입사하는 탐사빔은 $n_{LC,e}$와 $n_{LC,o}$의 유효굴절율을 보게 되고 s-편광으로 입사한 빛은 단지 $n_{LC,o}$만을 보게 된다.

LC의 농도가 폴리머의 농도에 비해 작을 때에는 액정이 지배적인 영역에 순수한 액정만 존재하는 것이 아니라 폴리머에 액정이 원형 또는 타원의 형태로 갇혀진 액정방울이 형성된다. 이때 만들어지는 액정방울은 폴리머와 액정의 계면 상호작용에 따라 radial, axial형, bipolar형 등으로 형성될 수 있으나 가장 일반적인 경우 bipolar형으로 형성된다. 만약 액정의 농도가 폴리머의 농도에 비해 매우 클 경우에는 거의 액정만 어두운 간섭무늬 영역에 존재하게 된다. 위의 액정 밀도에 따른 회절효율 실험에서 액정의 농도가 30 wt% 일때 최대 회

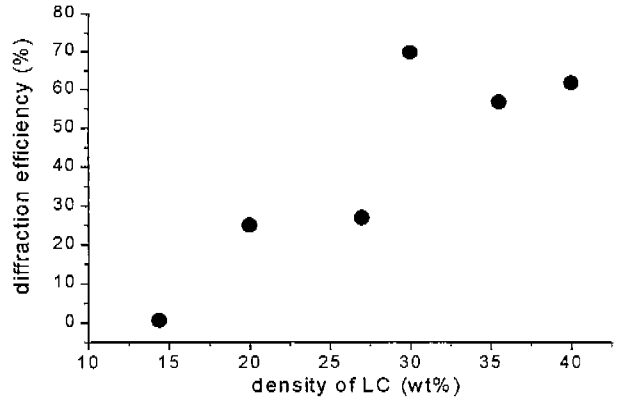

그림 2. LC의 무게비(wt%)에 다른 회절효율.

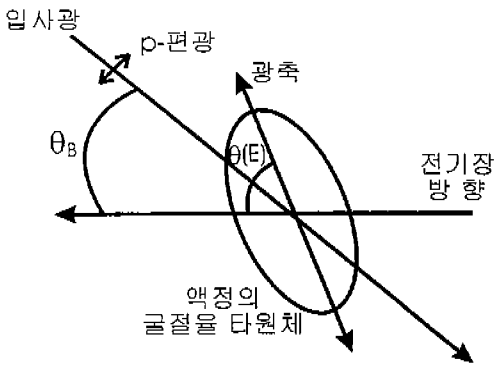

그림 3. Bragg 각도로 입사하는 입사광(p편광)과 액정의 전기장에 따른 상호작용 개략도.

절 효율을 나타내고 이보다 높은 회절효율에서는 다소 회절효율이 감소하는 경향을 나타내었기 때문에 액정 농도가 30 wt% 일때 가장 적정한 용량이었으나 전기장에 따른 회절효율 실험에서는 액정의 농도가 적을수록 외부에서 가해 주어야 하는 문턱 전기장(threshold electric field)의 세기가 커지고 전기광학 효과도 작아지므로 본 실험에서는 63.7 wt%의 액정농도를 사용하였다. 어두운 간섭무늬 영역에 존재하는 액정의 유효 굴절율을 그림 3과 같이 나타낼 수 있으며 본 연구에서 사용하는 액정 E7의 대칭축 굴절률(n_o, n_e)은 이 축에 수직인 축의 굴절율($n_\perp$, n_o) 보다 크다. 따라서 각각의 어두운 무늬 영역의 액정의 유효 굴절율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$n_{LC,eff}=\frac{n_o n_e}{\sqrt{n_e^2\cos^2\ [\theta(E)-\theta_B]+n_e^2\sin^2\ [\theta(E)-\theta_B]}} \quad (1)$$

여기에서 θ_B는 입사빔의 Bragg각 입사각도이고 $\theta(E)$는 작용전기장과 액정 광축 사이의 전기장의 함수로서의 각도이다.

모든 각도에 대해 $n_{LC,eff} > n_{polymer}$라고 가정하면, 외부 전기장을 가해 줌에 따라 굴절률 변조는 점점 줄어들게 되어 최소 굴절률 변조는 $\theta(E)=\theta_B$일 때 일어나게 된다. 이보다 더 큰 전기장이 인가되어 액정의 광축이 두 ITO 셀에 수직하게 배열되면 굴절율 변조값은 다시 커져 회절 효율은 증가하게 된다.

흡수가 없다고 가정하면 Kogelnik의 회절효율 이론식에 의해 회절효율은 다음과 같이 주어진다.

$$\eta=\sin^2\ \kappa L \quad (2)$$

여기서 L은 HPDLC의 두께이고, 결합계수 κ는 액정의 굴절율과 폴리머의 굴절율의 차이에 비례한다($\kappa \propto [n_{LC,eff}-n_{polymer}]$). 실험에 의한 전형적인 회절 효율 곡선은 그림 1에 나타내었으며 회절효율이 안정화된 후 외부에서 V_{rms}=375 V이며 주파수가 1000 Hz인 정현파 전기장을 ON, OFF 하였을 때의 회절효율의 변화를 그림 4에 나타내었다. 전기장의 ON, OFF에 따라 회절 효율이 반복적으로 재생 소멸됨을 알 수 있으며 이는 전기장에 따른 스윗칭(switching)에 응용할 수 있음을 나타내고 있다.

그림 5는 전기장의 세기에 따른 회절효율의 변화를 나타내

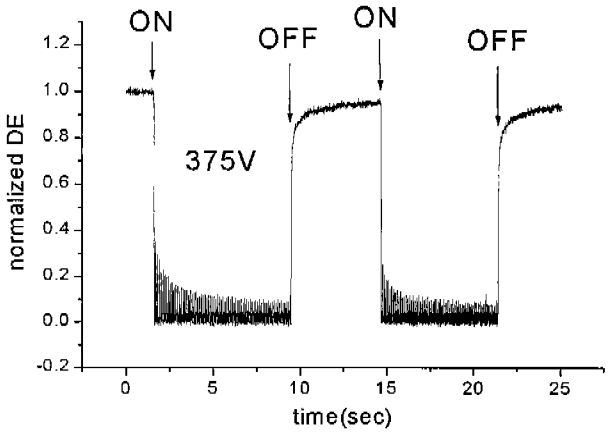

그림 4. 외부 전기장의 ON, OFF에 따른 HPDLC의 전기광학 효과.

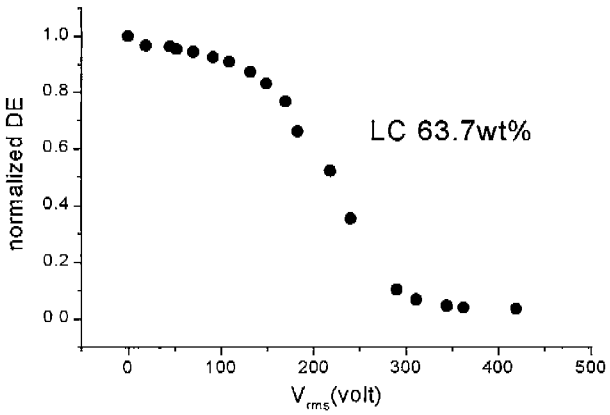

그림 5. 외부 전기장에 따른 회절효율의 변화.

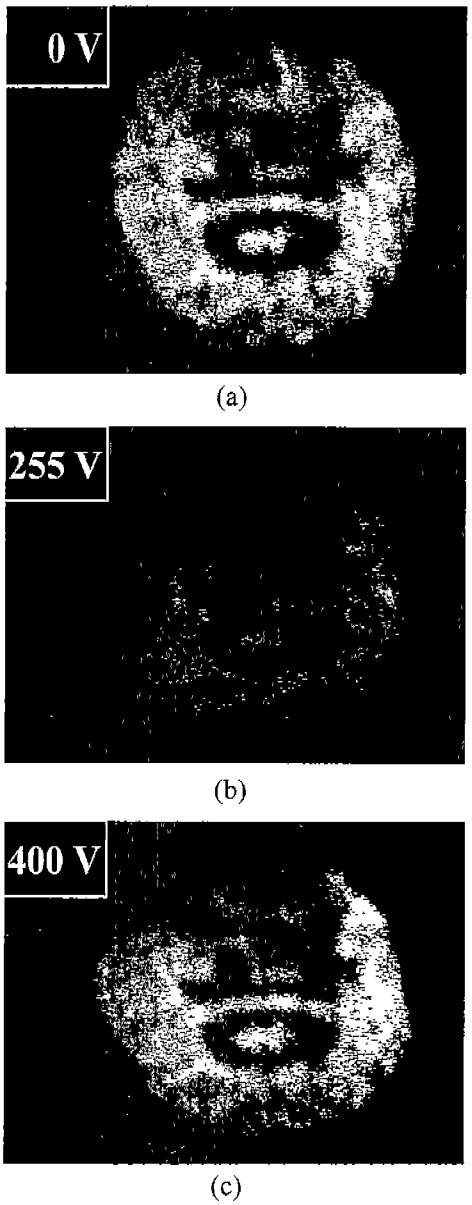

그림 6. 외부 전기장에 따른 회절된 홀로그램 상 (a) 0V, (b) 255 V, (c) 400 V.

고 있다. 외부에서 전기장을 가함에 따라 액정의 광축이 Bragg 각도에 만족하도록 재배열됨에 따라 p-파로 편광된 He-Ne 레이저 빔은 액정의 정상 굴절율을 읽게 되고 액정의 정상 굴절율은 거의 폴리머의 굴절율과 동일하므로 굴절율 변조는 최소로 접근하게 되므로 이때 최소의 회절효율을 얻게 된다. 가해지는 전기장의 세기는 동일한 액정의 농도에도 형성되는 액정과 폴리머의 상호작용에 따라 약간의 변화를 보였다.

그림 6은 s-파로 편광된 가간섭적인 두 빔의 Ar-ion 레이저를 이용하여 상을 기록한 후 p-파의 He-Ne 레이저로 상을 재생시켜 외부의 전기장의 세기에 따른 상의 변화를 나타낸 것이다. 재생된 홀로그램 상은 흰 스크린에 투영시켜 CCD 카메라를 이용하여 컴퓨터에 기록하였다. 위의 전기장에 따른 회절실험에서와 동일하게 초기에는 높은 회절효율의 영향으로 깨끗하고 밝은 상을 얻을 수 있었고, 전기장을 서서히 가해 225V정도 가했을 때 회절효율이 급격히 떨어져 상은 거의 회절이 일어나지 않았다. 이는 입사빔 방향과 액정 광축이 서로 평행하게 배열하여 액정의 굴절율과 폴리머의 굴절율이 서로 거의 일치하여 굴절율 변조가 최소가 되기 때문이다. 여기에 전기장의 세기를 더 증가하게 되면 액정의 광축은 더욱 ITO 셀에 수직하게 배열되고 Bragg 조건에 맞게 p-파로 입사하는 입사빔은 식 (1)에서 알 수 있는 것처럼 액정의 정상 굴절율 ($n_{LC,o}$)과는 다른 유효굴절율을 가지게 되므로 회절효율은 다시 증가하게 되어 밝은 회절상을 얻을 수 있다. 그림 5와 6에서 최소 회절효율을 얻기 위한 외부 전기장의 세기가 다른 것은 인가해 주어야 할 전기장의 세기가 액정방울이 형성되는 모양 및 형태의 함수로 주어지기 때문이다.

III. 결 론

단량체로 dipentaerythrol hydroxy penta acrylate (DPHPA), 교차결합 단량체로 N-vinylpyrrollidone (NVP), 개시제로 N-phenylglycine (NPG), 색소로 Rose Bengal (RB)을 사용한 전폴리머(prepolymer)에 액정(liquid crystal, E7)을 혼합한 HPDLC 시럽을 제작하고 Ar-ion 레이저를 이용하여 주기적인 액정과 폴리머의 패턴을 형성하였다.

전기장을 인가하지 않았을 경우 액정의 농도가 30 wt%일 때 최대 70%의 회절효율을 얻었으며 액정의 밀도가 30 wt%보다 높을 때에는 다소 회절효율이 감소하는 경향을 나타내었다.

제작된 HPDLC는 일단 투과형 격자가 형성되어 굴절율 변조가 포화된 이후에는 외부의 환경(부가적인 노출)에 매우 안정됨을 알 수 있었다.

전기장에 따른 회절효율의 동적 특성을 실험하여 제작된 매질의 전기광학적 응용성을 밝히고, 홀로그래픽 방법으로 상을 기록한 후 전기장에 의해 재생상의 밝기를 조절할 수 있음을 보였다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 영남대학교 교비 자유 공모 과제로 수행하였습니다.

참고문헌

[1] D. Psaltis, M. A. Neifeld, A Yamamura, and S. Kobayashi, Appl. Opt. **29**, 2038 (1990).
[2] J. H. Hong, I. McMichael, T. S. Chang, W. Christian, E. G. Paek, Opt. Eng. **34**, 2193 (1995).
[3] K. Curtis, A. Pu, and D. Psaltis, Opt. Lett. **31**, 993 (1994).
[4] D. Psaltis, Byte, **17**, 179 (1994).
[5] R. L. Sutherland, L. V. Natarajan, and V. P. Tondiglia, Chem. Mater. **5**, 1533 (1994).
[6] J. Zhang, C. R. Carlen, S. Palmer, and M. B. Sponsle, J. Am. Chem. Soc. **116**, 631 (1994).
[7] P. G. deGennes, *The Physics of Liquid Crystals* (Oxford University Press, London, 1994).
[8] D. Coates, J. Mater. Chem. **5**, 2063 (1995).
[9] P. Simoni, *Nonlinear Optical Properties of Liquid Crystals and Polymer Dispersed Liquid Crystals*, (World Scientific, Singapore, 1997).
[10] H. Kogelnik, Bell Syst. Tech. J. **48**, 2909 (1969).
[11] T. J. Bunning, L. V. Natarajan, V. Tondiglia, and R. L. Sutherland, Polymer **36**, 2699 (1995).
[12] R. L. Sutherland, V. P. Tondiglia, and L. V. Natarajan, Appl. Phys. Lett. **64**, 1074 (1994).
[13] V. P. Tondiglia, L. V. Natarajan, R. L. Sutherland, T. J. Bunning, and W. W. Adams, Opt. Lett. **20**, 1325 (1995).

Electrically controllable polymer-dispersed liquid crystal

Gee Young Sung, Chon Su Kyong, Yeung Lak Lee, Byoung Chul Choe,
Chong Hoon Kwak and Ok Shik Choe
Department of Physics, Yeungnam University, Kyungsan 712-749, Korea

Yun-Woo Lee
Image Technology Group, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-600, Korea

(Received July 28, 1999, Revised manuscript received October 11, 1999)

We report on the results of holographic transmission grating that can be controlled by the applied AC electric field. We have fabricated a polymer-dispersed liquid crystal material that composed of multifunctional acrylate monomer blended with the liquid crystal mixture E7. To investigate an electro-optic properties of fabricated HPDLC, diffraction efficienties (DE) are measured as a fuction of applied electric field and density of liquid crystal. Maximum DE of about 70% is obtained about 30 wt% of LC concentration at a zero field. We have also shown that optical image was recorded in the film, and then the reconstructive image was switchable with the applied electric fields.