

축쇄형 광기능성 고분자 PCN에서의 편광홀로그램 특성

주원제 · 오차환 · 송석호 · 김필수

한양대학교 자연과학대학 물리학과

김봉철 · 한양규

한양대학교 자연과학대학 화학과

(1999년 3월 17일 받음, 1999년 9월 22일 수정본 받음)

서로 대칭인 두 광기능성 그룹들(4-cyanoazobenzene groups)을 포함하는 축쇄형 액정 고분자(liquid crystalline polymalonic esters, PCN)에 이광파혼합을 이용하여 소거가 가능한 편광 홀로그램을 기록하였다. 기록된 회절격자의 회절효율을 측정하고, 기록광의 세기에 대한 격자의 기록 특성, 암실 상태에서의 감쇠 및 광에 의한 소거 특성을 조사하였다. 측정결과, 복굴절 Δn 은 약 6.5×10^{-2} 로 Fe:LiNbO₃, Ce:BaTiO₃ 등의 무기결정에 비해 10~100배 정도 높게 측정되었으며, 감쇠곡선도 1시간 동안 $4.3 \times 10^{-5}\%$ 의 감쇠를 나타냄으로서 정보저장소로서의 응용 가능성을 보였다.

I. 서 론

흡수율, 굴절을, 반사율이나 복굴절 등의 광학적 특성이 가역적으로 변화하는 새로운 물질의 개발은 최근 활발한 연구의 대상이 되고 있다. 이러한 물질은 광정보 저장, 광정보 처리 및 광표시 소자 등에 폭넓게 응용될 수 있으며, 렌즈나 광도파로 등의 광학부품의 제작에도 응용될 수 있다.^[1,2] 고분자재료는 전기적, 열적 절연성이 좋기 때문에 관련분야에 폭넓게 활용되어 왔다.^[3] 최근에는 고분자공학의 급속한 발전으로 우수한 역학적, 화학적 특성을 갖는 고분자 구조에 우수한 광굴절 특성을 갖는 유기매질을 첨가함으로써 매우 안정된 광굴절 고분자재료의 제작이 가능하게 되었다. 또한, 축쇄형 메소겐 그룹(mesogenic side groups)을 가진 고분자는 고분자 매트릭스에 메소겐 그룹을 첨가하는 기존의 방법에 비해 10배 이상 첨가가 가능하기 때문에 광학적 특성을 크게 향상시킬 수 있다.^[4] 이러한 고분자물질은 단순한 스피닝(spin-coating)법에 의해 박막으로 제작이 가능하기 때문에 구조면에서 보다 융통성 있는 광소자의 제작을 가능하게 한다. 최근에는 고분자 분자구조의 개선방법, 새로운 광반응분자의 사용 뿐 아니라 flexible spacer의 길이를 조절하는 등의 방법으로, 이방성의 효과를 더욱 크게 하고, 보다 안정적으로 광반응분자군이 배열을 유지하도록 하는 연구가 활발히 진행중이다.

본 연구에서는 한양대학교 화학과 한양규교수팀이 합성한 새로운 고분자재료(PCN)에 이광파혼합장치를 이용하여 홀로그래픽 회절격자를 제작하였다. PCN에 광이 조사되면, 이에 의해 막대모양의 축쇄구조 분자군은 trans-cis의 이성화과정(photo-isomerization)을 반복하면서 조사광의 편광에 대해 수직 방향으로 재정렬하게 된다.^[5-7] 이러한 과정으로 재정렬한 분자군은 PCN에 복굴절을 유도한다. 이러한 메커니즘으로 조사되는 광의 편광을 주기적으로 변조시킴으로 PCN에 주기적인 굴절을 변조를 유도하여 회절격자를 기록하였다. 그리고 기

록광의 세기에 따른 회절격자의 기록특성, 기록된 회절격자의 암실에서의 감쇠 및 광에 의한 소거를 조사하고, PCN의 광정보 처리 소자로서의 특성을 평가하였다.

II. 이 론

편광홀로그램이란 기록광의 세기분포가 아니라 편광 성분에 따라 매질 내에서 굴절률이나 흡수율이 변조되어 정보를 저장하는 홀로그램의 방법이다. 편광 홀로그램의 경우, 기록광의 세기는 기록되는 시간에만 영향을 주며, 유도되는 복굴절은 크게 바꾸지 않는다.^[4] 두 광의 편광을 입사평면의 법선 방향에 대해 $\pm 45^\circ$ 의 선편광으로 서로 수직하게 중첩한 경우 두 편광함은 그림 1(a)와 같이 원편광과 선편광 그리고 타원편광이 $\lambda/2 \sin\theta$ 의 주기로 공간적 변화를 나타낸다. 이 때 두 조사광의 사잇각은 3° 로 무시할 만큼 작은 각도이다. 두 원편광을 경계로 하여 편광 배열들은 동일한 각도로 기울어지고 그 다음 주기는 이에 수직인 방향으로 기울어져있다. 두 조사광의 편광이 서로 수직인 원편광일 경우, 편광함은 그림 1(b)와 같이 나타나고, 이 때 조사광의 사잇각은 동일하게 3° 로 하였다. 서로 방향이 다른 선편광이 주기적으로 배열하고 있으며, 두 조사광의 사잇각이 커짐에 따라 선편광의 성분들이 타원편광으로 바뀌는 것을 모의실험으로부터 알 수 있었다. 그리고 두 광의 편광이 모두 선편광이고 입사평면에 있고 사잇각을 30° 로 하였을 때, 중첩된 편광은 그림 1(c)에 나타나 있다.^[8,9]

축쇄형 아조벤젠 그룹의 메소겐은 두 개의 서로 다른 구조의 분자상태, 즉 trans와 cis 상태로 존재하는데, 이들의 분자구조 및 전이(transition)는 그림 2에 잘 나타나 있다. Trans 상태는 긴 막대형의 구조를 하고 있으며 이에 의한 이방성이 유도되고, cis 상태는 trans 상태가 자외선광에 의해서 여기된 구조로 이방성에는 기여하지 않는다.^[7] 그리고 cis 상태는 상온에서 불안정하여 열이나 가시광에 의해서 trans 상태로 되

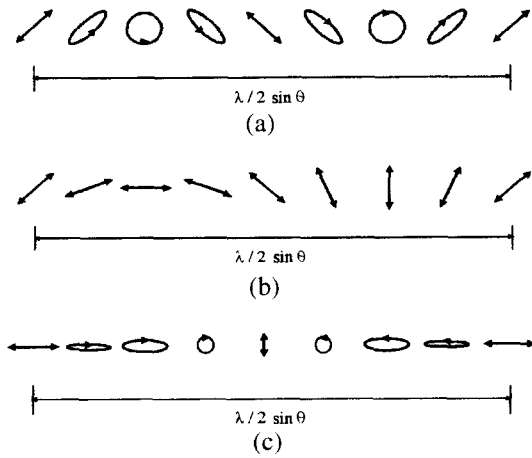


그림 1. (a) 수직하게 선편광된 두 광에 의한 편광합, (b) 수직하게 원편광된 두 광에 의한 편광합, (c) 입사편면상에서 선편광된 두 광에 의한 편광합.

돌아온다. 이러한 메커니즘으로 광에 의한 trans-cis-trans 상태를 반복하는데, 이를 광이성화과정(photoisomerization)이라 한다. 메소겐이 trans에서 cis 상태로 여기될 확률은 $I \cos \phi$ 에 비례하는데, I 는 조사광의 세기이고, ϕ 는 조사광의 편광 방향과 메소겐의 배열 방향과의 사잇각이다. 즉, 편광방향에 평행하게 배열한 trans 상태의 메소겐은 cis 상태로 여기될 확률이 가장 크고, 수직인 방향으로 배열한 메소겐의 경우는 여기될 확률이 가장 적다. 그리고 여기된 메소겐이 다시 trans 상태로 되돌아 올 경우, 임의의 방향을 향하게 된다. 이러한 선택적 여기에 의해서 정상상태에서 메소겐은 조사광의 편광에 수직인 방향으로 정렬을 하게된다. 이러한 과정을 통해 정렬된 메소겐은 복굴절(birefringence)과 이색성(dichroism)을 나타내게 된다.

고분자재료에 두 빔을 조사하였을 때, 매질 위에서 조사광의 편광합은 그림 1에서와 같이 주기성을 가지고 있고, 이에 의해서 유도되는 매질의 굴절률의 변화도 동일한 주기로 변하게 된다. 내부에 유도된 굴절률의 변화가 Δn 일 때, 형성된 얇은 위상 회절격자에서의 회절효율은 매질 내 검출광의 흡수가 무시 가능할 때,

$$\eta = J_q^2(m/2)$$

이다. 여기에서 $J_q(x)$ 는 Bessel 함수이고, q 는 회절차수, $m/2$ 는 매질 전체의 변조 굴절률 크기로, 매질의 두께가 d 이고, 검출광의 파장이 λ 일 때, $m/2 \frac{2\pi \Delta n d}{\lambda}$ 이다.^[10, 11]

III. 실험

PCN에 포함되어 있는 mesogenic alcohol은 아조벤젠 그룹에 flexible spacer로서 ethyleneoxy 그룹이 2개 결합하여 액정성을 최대로 발휘하도록 하였다. 그리고 mesogenic alcohol을 반복 단위당 2개씩 갖는 새로운 구조의 단량체를 합성하였으며, 이를 중합하여 PCN을 제작하였다. 그림 3의 (a)는 PCN의 분자구조식이고, (b)는 PCN의 UV-흡수스펙트럼으로

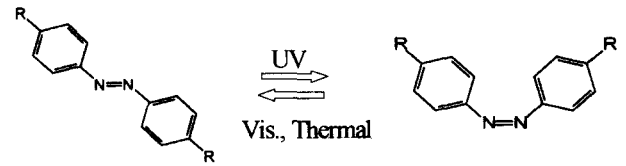


그림 2. 아조벤젠 그룹 메소겐의 trans - cis 상태 구조도.

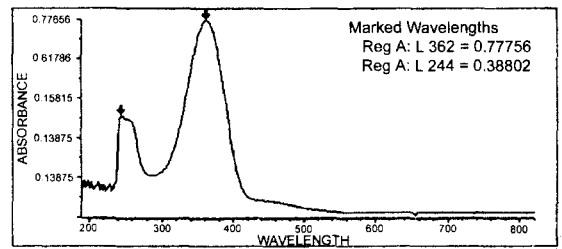
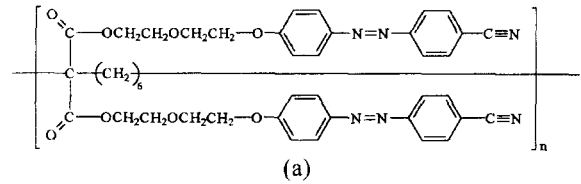


그림 3. PCN의 (a) 분자 구조도, (b) UV-흡수 스펙트럼.

362 nm에서 최대 흡수를 나타낸다. 이 파장의 흡수는 축색형 분자들이 trans에서 cis로의 이성화과정의 흡수를 나타낸다. PCN은 spin coator에서 1500 rpm으로 회전시키면서 유리판 위에 박막으로 제작하였고, α -step으로 측정된 두께는 0.286 μm 이다.

PCN에 위상 회절격자를 기록하기 위한 이광파혼합장치를 구성하였다(그림 4). 이광파혼합장치의 기록광원으로는 457 nm 파장의 Ar⁺ 레이저를 이용하였고, $\lambda/2$ 및 $\lambda/4$ 파장판을 이용하여 기록광의 편광을 조절할 수 있도록 장치하였다. 기록 매질에 입사된 두 빔은 서로 간섭을 일으켜 매질 상에서 세기와 편광의 주기적인 배열을 형성한다. 이 때 광의 간섭성을 고려하여 두 빔의 경로차를 1 cm 이내가 되도록 하였다. 재생광원으로는 632.8 nm 파장의 He-Ne 레이저를 이용하였고, 재생 시 기록매질에 영향을 주지 않기 위하여 광감쇠기를 이용하여

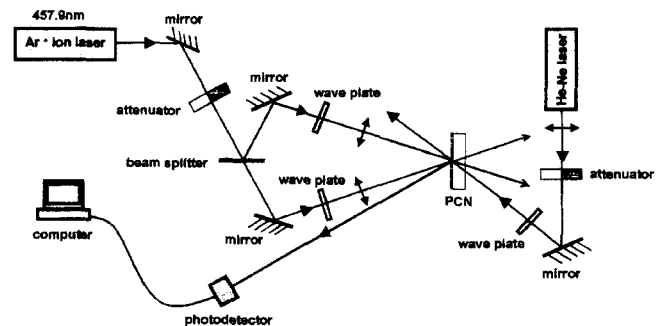


그림 4. 이광파혼합을 위한 장치도.

광의 세기를 $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 로 낮추었다. 회절된 재생광은 photodiode 광검출기로 측정하였고, 이로부터 회절격자의 회절 효율을 계산하였다. PCN의 광학적 두께가 얇아서 thin 회절격자를 형성하게 된다. 회절격자의 두께가 두꺼운 경우 하나의 회절범이 존재하는 Bragg 회절이 일어나고, 얇은 경우 여러 차수의 회절이 발생하는 Raman-Nath 회절이 일어나는데, 이 경계를 식 (2)의 Q 값으로 구분한다. 즉 $Q > 1$ 인 경우는 Bragg 회절이 일어나고, $Q < 1$ 인 경우는 Raman-Nath 회절이 일어난다.^[11]

$$Q = \frac{2\pi\lambda L}{n\Lambda^2} \quad (2)$$

여기서 L 은 회절격자의 두께, λ 는 검출광의 파장, n 은 격자의 굴절율이고 Λ 는 회절격자의 격자간격이다. 실험에서 PCN에 기록된 회절격자는 $\Lambda = 1.2 \mu\text{m}$, $\lambda = 632.8 \text{ nm}$, $n = 1.5$ 이고, 계산된 $Q = 0.53$ 으로 Raman-Nath 회절이 일어남을 알 수 있다. 실험적으로 회절효율은 입사빔의 세기 I_0 에 대한 1차 회절된 빔의 세기 I_1 의 비($\eta = I_1/I_0$)로 결정하였다.

그림 5는 기록광의 세기의 변화에 따라 형성되는 회절격자를 기록시간에 대하여 관찰한 그래프이다. 이 때 기록하는 두 빔의 편광은 모두 입사평면상에 있도록 하였고(p-편광), 그 사이의 각도는 30° 로 고정하였다. 이 때 기록매질 면에서의 편광 분포는 그림 1(c)와 동일한 경우이다. 기록광의 세기가 커짐에 따라 측정된 회절효율은 점차 증가하였고, 회절격자의 형성, 정상상태에 도달하는 시간도 점차 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 기록광의 세기가 커짐에 따라 단위시간동안에 trans-cis 이성화과정의 반복하는 횟수가 증가하게 되고, 따라서 측쇄형 분자군이 재정렬하는데 필요한 시간이 감소하기 때문이다. 또, 기록광의 세기가 증가함에 따라 정상상태에서의 회절효율이 증가하는데, 이는 매질의 두께효과로 설명할 수 있다. PCN에서의 두께효과는 매질 내에서 기록광의 흡수가 커서 투과깊이가 매질의 두께보다 작을 경우에 크게 나타난다. 기록시간이 증가할수록, PCN의 배열 정도가 커지고, 흡수율이 감소하며, 이는 투과깊이를 증가시킨다. 투과깊이가 깊어지면 정렬에 기여하는 분자의 수가 증가하게 되고, 결국 유

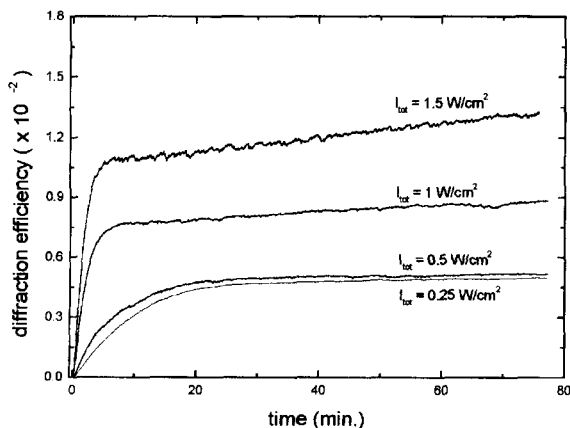


그림 5. 기록광의 세기에 따른 회절격자의 기록곡선.

도되는 복굴절의 크기가 커지게 된다. 동일한 방법으로, 기록광의 세기가 커지면, 투과깊이가 깊어지고, 결국 정렬에 기여하는 분자수를 증가시킨다. 결과적으로, 시간에 따라 유도 복굴절은 증가하며, 기록광의 세기에 따라 복굴절의 크기가 증가하게 된다.^[11]

그리고 두 기록광의 세기가 $1 \text{ W}/\text{cm}^2$ 인 경우, 기록곡선을 이중지수함수 $\{\eta = A [1 - \exp(-k_1 t)] + B [1 - \exp(-k_2 t)]\}$ 로 곡선맞춤하면 110초의 빠른 반응과 11,000초의 느린 반응으로 이어지는 다중기록 특성을 나타낸다. 빠른 반응은 trans-cis 이성화과정에 의한 측쇄형(side-chain) 분자군의 정렬에 기인하고, 느린 반응은 PCN의 주쇄형(main chain) 분자군의 이동으로 설명할 수 있다.^[12] 두께가 $0.286 \mu\text{m}$ 인 PCN에서 $1.5 \text{ W}/\text{cm}^2$ 의 세기로 기록한 경우, 정상상태의 회절효율은 약 0.012이다. 얇은 위상 회절격자에서의 회절효율의 식 (1)으로부터 매질 내 유도된 복굴절을 구하면, Δn 은 6.5×10^{-2} 이다.

그림 6은 기록 후 15분 동안 PCN의 회절격자 감쇠 특성을 광정보 처리 소자로서 범용으로 사용되는 무기결정들과 비교하였다. 여기에서 사용된 무기결정들은 cerium이 0.03% mol이 첨가된 BaTiO₃ 결정과, 각각 0.03% mol의 Fe와 6% mol의 MgO가 첨가된 두 개의 LiNbO₃ 결정들이다. 각각의 결정에 회절격자를 기록하고 15분이 경과한 후, Ce:BaTiO₃ 결정은 거의 다 지워졌고, MgO:LiNbO₃ 결정은 약 65%, 그리고 저장특성이 가장 우수하여 광정보 저장소자로 각광받고 있는 Fe:LiNbO₃ 결정의 경우는 약 98%가 남아있었다. 결정들은 fixing 과정을 거치지 않고 감쇠 시켰다. 동일한 방법으로 PCN에 회절격자를 기록하고 감쇠를 관찰하였다. 그 결과 Ce:BaTiO₃나 MgO:LiNbO₃ 결정들에 비해서 훨씬 우수한 저장특성을 나타내었고, Fe:LiNbO₃ 결정과 거의 유사한 저장특성을 보였다.

그림 7은 기록 후 25시간 동안의 PCN의 회절격자 기록-감쇠특성을 나타낸다. 이 때 기록광의 세기는 $800 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 이었다. 먼저 회절격자를 기록한 후 기록광을 끄고 5시간 동안 암실에서 감쇠를 관찰하였고, 15시간동안 암실 보관 후, 다시 5시간 동안의 감쇠를 관찰하였다. 기록한 직후 5시간 동안의 감

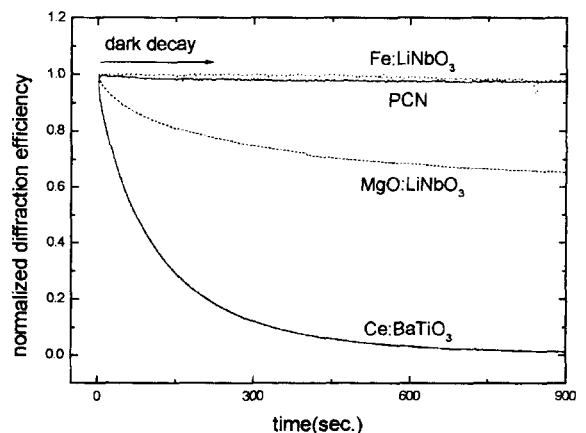


그림 6. PCN과 무기결정들(Fe:LiNbO₃, MgO:LiNbO₃와 Ce:BaTiO₃)에서 기록된 회절격자의 감쇠특성 비교.

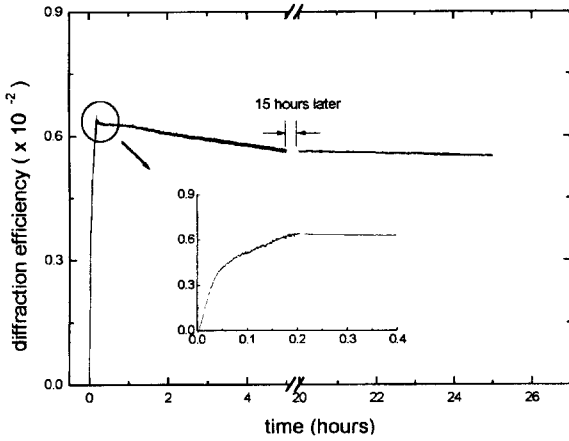


그림 7. PCN에서 기록된 회절격자의 기록 및 감쇠곡선.

최 기울기는 $2.35 \times 10^{-4} \%$ /hour이고 기록하고 20시간 후 5시간 동안은 $4.30 \times 10^{-5} \%$ /hour로 시간이 지나면서 보다 안정적으로 정보를 저장하고 있음을 알 수 있었다. 이때 기록된 회절격자는 상온에서 3개월 동안 유지되었고, 그 이상의 정보저장도 예상할 수 있었으나 실험으로는 확인하지 못하였다.

그림 8에서는 PCN의 가역적 정보저장 특성을 관찰하였다. 기록 시에는 세기가 같은 두 선편광된 빔으로 기록하였고, 소거 시에는 두 기록빔 중 한 빔을 막고 다른 한 빔으로 조사하여 기록된 회절격자를 소거하였다. 여기서 선편광된 빔으로 소거된 PCN 내부에서 분자군이 임의 방향으로 배열된 것이 아니라 일정한 방향, 즉 소거광으로 사용된 빔의 편광방향에 수직인 방향으로 일정하게 정렬시킴으로 굴절률의 국소 변조, Δn 을 없앤 것이다. 그리고 다시 두 빔을 조사하면 PCN 내부에 회절격자가 형성되는데, 이러한 기록-소거를 십여 회 동안 반복하여도 광에 의한 매질의 손상은 없었으며, 기록-소거의 횟수가 늘어나면서 회절효율이 점차 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 기록-소거를 반복하면서 분자군이 재정렬할 수 있는 자유 공간이 형성되는 것으로 설명할 수 있으나, 이에 대해서도 보다 자세한 연구가 필요하다. 이러한 특성은 PCN이 광정보 저장 소자로 적용될 때, 보다 폭넓은 응용을 가능

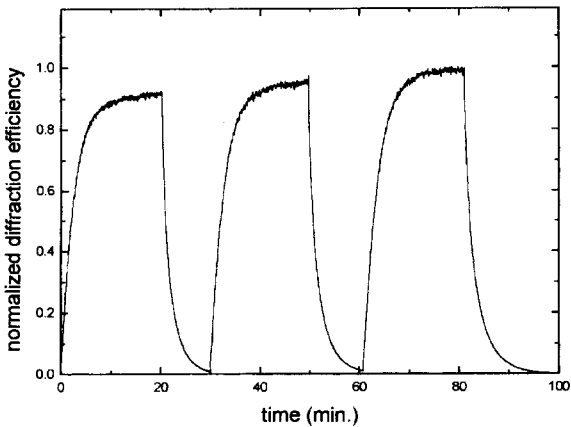


그림 8. PCN에서의 가역적 기록 및 소거곡선.

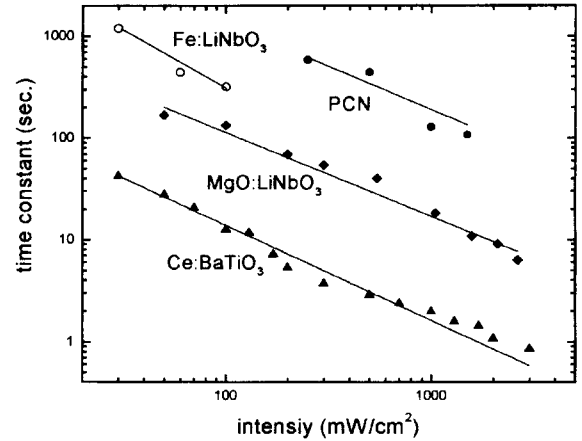


그림 9. PCN과 무기결정들에서의 기록광의 세기에 따른 응답특성.

하게 해 줄 것이다.

그림 9는 기록광의 세기에 대한 회절격자의 기록시간에 대한 특성을 나타낸다. 그림 6에서 비교했던 한 개의 $BaTiO_3$ 과 두 개의 $LiNbO_3$ 결정들에서 PCN에서와 동일하게 회절격자를 기록하였고, 회절효율을 관찰하였다. $LiNbO_3$ 결정은 광에 대한 응답이 비교적 느린 단점을 가지고 있지만 매우 안정적으로 정보를 저장하는 특성이 알려져 있다. 여기에 Fe를 첨가하면 그 저장특성이 더욱 향상되는 것으로 알려져 있고, MgO를 첨가하면 광에 대한 저항성이 크게 증가하여 수 백 W/cm^2 정도 세기의 광이 조사되어도 결정의 손상을 피할 수 있다. 그리고 $BaTiO_3$ 은 매우 높은 전기광학계수(γ_{31})를 가지고 있어서 광증폭기나 위상공액거울등의 응용이 되고 있다. 그림에서 결정에 대해서 시상수(time constant)를 정상상태 회절효율의($1-e^{-1}$)에 도달하는 시간으로 정의하였다. 그러나 PCN의 경우는 기록광이 세기에 따라 정상상태에서의 회절효율이 변하고 정상상태에서도 계속 증가하는 경향을 보이므로 결정에서 사용한 정의를 동일하게 적용하는데는 애매한 점이 있었다. PCN에서의 시상수는 기록곡선의 기울기가 완만해 지는 때의 회절효율의 ($1-e^{-1}$)에 도달하는 시간으로 정의하였다. 100 mW/cm^2 세기의 기록광에 대해서 $Ce:BaTiO_3$ 은 약 10초, $MgO:LiNbO_3$ 은 110초 그리고 $Fe:LiNbO_3$ 은 300초의 정도로 $BaTiO_3$ 결정이 다른 두 결정에 비해서 응답시간이 비교적 빠르다는 것을 알 수 있었다. 이상의 무기결정들은 광굴절현상으로 회절격자가 기록되는데, 광굴절현상을 일으키는 과정은 광에 의한 전자의 여기, 확산에 의한 전자의 이동과 전자의 포획으로 이루어진다. 이에 비해 mesogenic alcohol 분자군을 기본단위로 하여 정렬시키는 과정까지 포함하는 광이성화과정을 기록 매커니즘으로 하는 PCN에서는 무기결정에 비해 응답특성이 느린 것은 당연하게 예상된 결과이다. PCN은 무기결정 중에서 비교적 느린 $Fe:LiNbO_3$ 결정과 비슷한 정도의 시상수를 보여주고 있고, 또한 비교적 강한 세기의 기록광을 요구한다. 그 이유는 앞서 설명한 바와 같이 기록광으로 사용된 Ar^+ 레이저의 파장 457 nm 로 PCN의 흡수가 적기 때문이고, 흡수 중심파장에 가까운 파장을 기록광원으로 사용하면 훨씬 적은 세기의 기록광으로도 회절격자를 형성시

킬 수 있을 것이다.

IV. 결 론

PCN에 회절격자를 형성하기 위한 이광파혼합장치를 구성하였다. 두께가 0.286 μm 인 PCN의 회절효율은 1.2×10^{-2} 이고, 이 때의 유도된 복굴절 Δn 은 6.5×10^{-2} 이다. 이는 PCN과 유사한 아조벤젠이 포함된 고분자에서 기존에 보고된 복굴절이 $\sim 10^{-3}$ 정도인 것에 비해 매우 우수한 결과이다. 또한 현재 홀로그래프의 재료로 많이 사용되는 LiNbO_3 , BaTiO_3 과 같은 무기단결정에서 광굴절 효과로 유도된 복굴절이 $\Delta n = 10^{-3} \sim 10^{-5}$ 정도인 것에 비해서도 매우 크다.^[13]

PCN에 기록된 회절격자는 암실 상태에서 기록 후 15분 동안 Ce:BaTiO_3 나 MgO:LiNbO_3 결정보다 매우 우수한 안정성을 보였고, Fe:LiNbO_3 결정과 거의 유사하였다. 그리고 회절격자 기록 후 25시간의 감쇠를 관찰하였는데, 처음 5시간 동안의 감쇠 기울기는 $2.35 \times 10^{-4} \%/ \text{hour}$ 이고 15시간 후 5시간 동안은 $4.30 \times 10^{-5} \%/ \text{hour}$ 로 시간이 지나면서 보다 안정적으로 기록된 정보를 저장하고 있음을 알 수 있었다. 이미 기록된 PCN에 원편광이나 선편광된 빔을 조사함으로써 기록된 회절격자를 소거할 수 있었다. PCN의 동일한 위치에 회절격자를 반복적으로 기록-소거할 수 있었고, 실험적으로 수 십여 회의 반복에도 매질에 손상 없이 가역적 정보저장 특성을 나타내었다. 그러나 회절격자의 기록시간은 약 100~1000초 정도로 느리다는 한계를 보여주고 있는데 이 한계는 광이성화과정인 기록 메커니즘에 의해 주어지는 것이다.

정보저장 소자로서의 PCN은 유도되는 복굴절이 기존의 무기결정에 비해 10~100배 이상 크고, Fe:LiNbO_3 결정과 유사한 안정성으로 저장된 정보를 저장하며 저장된 정보는 광으로 소거가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 반응시간이 느리고 흡수 파장의 영역이 자외선 영역이라는 해결해야 할 문제를 가지고 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초과제(과제번호:96-03-00-10-01-3-01)와 한국학술진흥재단 과학기술기초 중점연구(과제번호:1998-015-D00127)에 의해 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] P. Rochon, D. Bissonnette, A. Natansohn, S. Xie, *Appl. Opt.* **32**, 35, 7277 (1993).
- [2] Manfred Eich, Joachim H. Wendorff, *Makromol. Chem. Rapid Commun.* **8**, 467 (1987).
- [3] D. S. Chemla, J. Eyss, eds., *Nonlinear Optical Properties of Organic Molecules and Crystals vol. I* (Academic, New York, 1987), pp. 409.
- [4] V. P. Shibaev, *Polymers as Electroptical and Photooptical Active Media* (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1996), pp. 46.
- [5] Hans-Werner Schmidt, *Angew. chem. Int. Ed. Engl. Adv. Mater.* **7**, 28, 940 (1989).
- [6] Thomas Bieringer, Roland Wuttke, Dietrich Haaver, *Macromol. Chem. Phys.* **196**, 1375 (1995).
- [7] A. Natansohn, P. Rochon, J. Gosselin, S. Xie, *Macromolecules* **25**, 2268 (1992).
- [8] T. Todorov, L. Nikolova, Tomora, *Appl. Opt.* **23**, 24, 4588 (1984).
- [9] L. Nikolova, T. Todorov, *OPTICA ACTA* **31**, 5, 579 (1984).
- [10] Joseph W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics* (McGRAW-HILL, Singapore, 1996), pp. 82.
- [11] Pochi Yeh, *Introduction to Photorefractive Nonlinear Optics* (John Wiley & Sons, Canada, 1993) pp. 62.
- [12] M. S. Ho, A. Natansohn, P. Rochon, *Macromolecules* **28**, 6124 (1995).
- [13] P. Gunter, J. P. Huignard, *Photorefractive Materials and Their Applications I* (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1988), pp. 53.

Characteristics of polarization hologram in a side-chain polymalonic ester

Won Jae Joo, Cha Hwan Oh, Seok Ho Song and Pill Soo Kim

Department of Physics, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Bong Chul Kim and Yang Kyu Han

Department of Chemistry, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received March 17, 1999, Revised manuscript received September 22, 1999)

Erasable polarization holographic grating was recorded with two-wave mixing in PCN which was side-chain liquid crystalline polymalonic esters containing two symmetrical 4-cyanoazobenzene as photoresponsive groups. The diffraction efficiency of recorded grating was measured and the characteristics of recording, decay in a dark room and erasing by circularly polarized light were investigated. As the results, birefringence, Δn of PCN was measured 6.5×10^{-2} , which was 10~100 times higher than those of crystals such as Fe:LiNbO_3 , Ce:BaTiO_3 crystals. Dark decay rates was $4.3 \times 10^{-5} \%/ \text{hour}$, which showed the possibility of application as data storage media.