

Surface Relief Gratings on the Azo Side-chain Polymer film by Using the Laguerre Gaussian Laser Mode

최현희, 우제훈, 이종구, 우정원
이화여자대학교 물리학과
bluesky@ewhain.net

김동욱, 임동건
고려대학교 물리학과

맥스웰의 이론으로부터 빛이 에너지와 운동량을 가진다는 사실은 잘 알려져 있다. 여기서 운동량은 선운동량과 각운동량의 합으로 나타낼 수 있고, 각운동량은 다시 빛의 편광과 관련된 스핀각운동량과 전자기파의 공간적 분포와 관련된 궤도각운동량으로 나타낼 수 있다.

1992년에 네덜란드의 Les Allen을 포함한 Leiden대학 그룹은 $\exp(-il\phi)$ 의 phase 의존도를 갖는 빛이 편광과는 무관한 궤도각운동량을 가진다는 것을 발견하였다. 여기서 ϕ 는 빛의 단면의 방위각이고 l 은 정수이다. 이러한 위상을 가지는 Poynting 벡터는 방위각 성분을 가지게 되고, 이로부터 궤도각운동량이 생성되며 광자 당 $L=l\hbar$ 인 각운동량을 가질 수 있다. 또한 이 빛은 주어진 l 값에 대하여 l 개의 나선상의 등위상면을 갖는다. 궤도각운동량을 가지는 빛은 세기분포는 정중앙에 특이점을 가지는 것이 특징인데, 이것은 빛의 위상이 $\exp(-il\phi)$ 항에 의존하기 때문에 생기는 현상이다. 따라서 이 빛은 단면 적상에서 항상 고리모양의 세기 분포를 유지하게 된다[1,2].

또한 Azo dye가 측쇄사슬로 달려있는 polymer나 Azo dye가 도핑 되어 있는 주인 손님계의 polymer 필름에 대한 연구가 최근 몇 년간 활발히 진행되고 있다[3,4]. 그 대표적인 것들 중에 하나가 film 표면에서 보이는 광에 의해 유도되는 표면격자인데[3] 광이성질체 현상에 의하여 아조분자들이 편광에 수직한 방향으로 정렬하려는 현상을 바탕으로, 편광과 편광방향으로의 광 세기 분포 등을 구동력으로 표면격자의 형성의 기작을 설명하려는 여러 시도들이 진행되고 있다. 이러한 모든 표면 격자에 관한 연구는 등위상면을 가진 gaussian 파의 간섭 또는 단일 gaussian 파에 의해 생성된 표면 격자나 표면의 변형에 관한 연구였다.

본 연구에서는 위에서 설명된 Laguerre Gaussian(LG) laser mode를 기록광으로 사용하여 azo 폴리머 필름위에 표면 격자를 형성하였다. 그림 1은 실험에 사용된 LG^1_0 파의 전기장과 빛의 세기의 분포를 보여주고 있다. 그림 1의 (c)에서 보이듯이 LG^1_0 파는 단면 중앙에 특이점을 가지며, 그림 1의 (a)의 LG^1_0 파의 전기장 분포에서는 일반적으로 사용되는 Gaussian 모드의 전기장 분포와는 다른 LG^1_0 파의 전기장 분포를 볼 수 있다. 그림 1의 (b)는 위상면 돌고 있음을 보여주는 그림이고 그림 (d)는 다른 방향으로 돌고 있는 원편광인 LG^1_0 을 간섭 시켰을 때의 간섭무늬의 전기장 세기 분포를 나타내는 그림이다.

실험 방법은 다음과 같다. 기록에 사용된 시료의 두께는 약 1 μm 미만의 poly(Disperse Red 1 Methacrylate-co-Methyl Metacrylate)로 이는 azobenzen이 결사슬로 달려 있는 polymer로 기관에 스핀코팅하여 형성시킨다. 사용된 기록과장은 514.5 nm의 Ar⁺ ion laser이고 기록광의 세기는 200 mw/cm^2 이다. Gaussian모드인 원래 레이저 광에서 LG^1_0 모드를 얻기 위해서 CGH(Computer Generated Hologram)을 이용하였다. 일단 투과 회절차수에서 LG^1_0 모드를 얻어낸 후 반사 홀로그래픽 방법을 사용하여 같은 차수의 LG^1_0 파들 사이의 간섭패턴을 만들고 이 간섭 패턴을 폴리머에 기록하여 표면 격자를 형성시켰다. 이때 편광은 같은 방향의 원편광을 사용하였으며 기록시간은 30분이었다. 이

렇게 기록된 폴리머의 표면을 AFM으로 관찰한 결과, 격자 높이가 약 50nm가 되는 균일한 격자들을 관찰할 수 있었으며 이는 그림 2에서 볼 수 있다. 또한 반사,투과의 회절패턴에서 특이점을 관찰 할 수 있었으며 등위상면을 가진 원편광을 기록광으로 하여 기록하였을 경우 보다 기록효율이 더 높은 것으로 보이므로 보다 더 많은 연구가 진행되어야 한다고 사료된다.

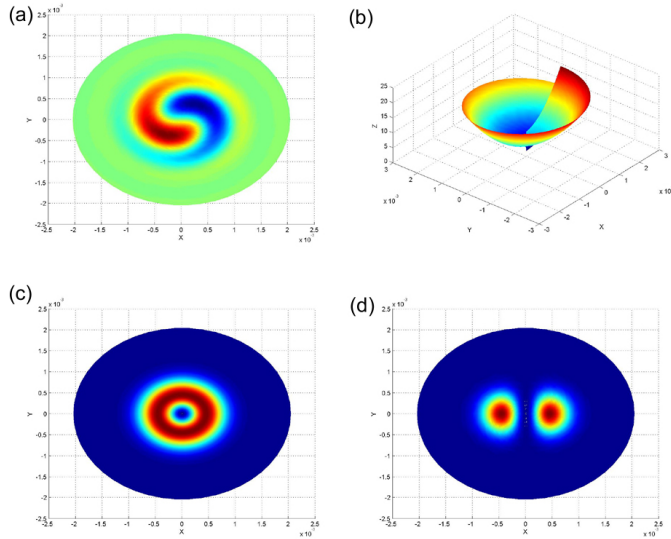


그림 1. LG_0^1 파의 (a)전기장 분포, (b) 위상 (c) 전기장의 세기 분포. (d) 서로 반대 방향으로 돌고 있는 원편광의 LG_0^1 파가 서로 간섭을 했을 때의 전기장 세기 분포

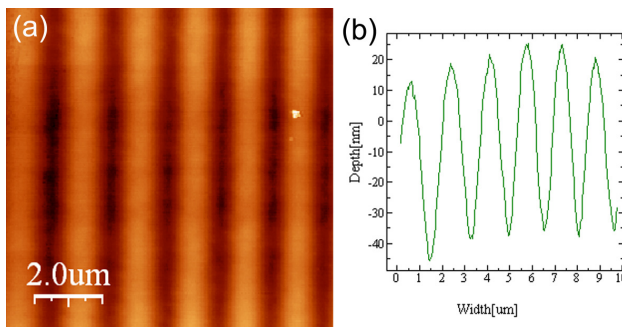


그림 2. (a) LG_0^1 파의 간섭에 의해 형성된 표면 격자의 AFM 사진, (b) 사진 (a)의 측면 그림.

Reference

1. Miles Padgett, Johannes Courtial, and Les Alien, "Light's orbital angular momentum", Physics Today, May, 35(2004).
2. Les Alie, M. W. Beijersbergen, R. J. C. Spreeuw, and J. P. Woerdman, "Orbital angular momentum of light and transformation of Laguerre-Gaussian laser mode, Physical Review A, 45 8185(1992).
3. D. Y. Kim, S. K. Tripathy, L, Li, and J. Kummar, "Laser-induced holographic surface relief gratings on nonlinear optical polymer films", Appl. Phys. Lett. 66, 1166(1995).
4. Ludmila Nikolova, Todor Todorov, Violeta Dragostinova, Tzveta Petrova and Natalia Tomova," Polarization reflection holographic gratings in azobenzene-containing gelatine films", Opt. Lett. 27, 92(2002).