

층밀립간섭계를 이용한 극화고분자박막의 비선형광학효과 측정

Measurement of the nonlinear optical effects in the poled polymer thin film by a shearing interferometer

최지연*, 조주희, 우정원
이화여자대학교 물리학과
972phg10@mm.ewha.ac.kr

이미 많은 연구와 논문을 통해 간섭계를 이용하여 물질의 제2차 비선형효과인 선형전기광학계수를 측정하는 방법이 소개되었다. 단일빔 편광 간섭계(Single Beam Polarization Interferometry : SBPI)는 가장 쉽게 선형전기광학계수를 측정하는 방법으로서 널리 알려져 있다. SBPI에서는 편광의 방향으로 교차되어 놓여진 편광자 사이에 비선형 물질을 두고 물질에서 얻어진 s파와 p파의 상대적인 위상 차이를 편광자를 통과하는 빛의 미세한 진폭의 차이로 바꾸어 측정하는데, 측정시간이 짧고 방법이 간단하여 자주 이용되고 있는 방법이다. 그러나 이러한 SBPI의 단점은 선형전기광학계수 r_{33} 과 r_{13} 의 비를 3:1로 가정하기 때문에 알아낼 수 있는 텐서량이 결국 하나밖에 안된다는 점이다. 물질의 특성을 연구하기 위해서는 두 텐서량의 독립적인 값이 중요해질 수가 있는데 이를 위해서 두 빛 간섭계가 제안되었다. 대표적인 두 빛 간섭계인 마흐-젠더 간섭계는 하나의 빛에서 출발하여 빔가르개로 빛을 나누어 경로를 분리한 후 그 중 하나의 경로에 측정하고자 하는 비선형물질을 두고 물질을 통과한 빛과 기준 빛을 다시 합쳐서 물질에 의해 유도된 위상차이로 간섭을 일으키는 방식이다. 이때 광원의 편광각을 바꾸어 주면서 각각의 편광에 관련된 계수를 얻어내기 때문에 열역학적인 가정을 사용하지 않고도 정확한 계수비를 얻을 수 있다. 본 실험에서 사용된 층밀립 간섭계 역시 두 빛 간섭계의 일종이므로 독립적인 선형전기광학계수의 측정이 가능하다. 특히 층밀립 간섭계에서 얻을 수 있는 이점은 간섭무늬모양이 안정하다는 것이다. 그러므로 좀 더 안정된 변조세기의 크기를 얻을 수 있다.

전극 위에 스피노딩등의 방법으로 박막형태로 만든 후 고분자의 유리전이온도에서 극화전기장을 박막 양단에 걸어주면 고분자 내부의 쌍극자들이 전기장의 방향을 따라 정렬하게 된다. 전기장이 인가된 상태로 박막을 실온까지 냉각시키면 인위적인 단축결정형태의 비등방성 구조로 만들 수 있고 제2차 비선형광학성질을 띠게 된다. 실험에 사용된 PU1-CNMS 박막은 10wt%로 cyclohexanone에 녹여 ITO유리위에 600rpm에서 약 50초간 스피노딩방법으로 약 $1\mu\text{m}$ 두께로 제작하였다. 이어 알루미늄전극을 진공 증착법으로 증착시켰다. 전선을 연결하고 오븐에서 유리전이온도(140°C)까지 약 $4^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 온도를 올린 후 8분간 $120\text{V}/\mu\text{m}$ 으로 극화시켰다. 폴리우레탄박막과 동시에 비선형광학계수가 잘 알려져 있는 결정인 LiNbO_3 를 측정하여 기준으로 삼았다. 결정의 크기는 $15\text{mm}\times 15\text{mm}\times 1\text{mm}$ 이며 c-cut이다. 선형 전기광학계수 측정을 위한 장치는 그림(1)과 같다. 출력 5.6mW의 He-Ne 레이저에서 나온 빛은 반파장판(half wave plate)에 의해 편광방향이 조절된다. 편광된 빛을 배율40의 대물렌즈와 $10\mu\text{m}$ 의 바늘구멍(pin hole)로 구성된 공간거르개(spatial filter)로 확산시킨 후 시준렌즈(collimating lens)로 보낸다. 시준렌즈의 초점거리는 20cm이고 시준렌즈의 초점종이동오차 D 를 변화시킬 수 있게 하기 위해 병진 이동기위에 설치하였다. 층밀립을 주는 췌기판은 굴절률이 1.457이고 직경 50mm, 췌기각의 크기는 8.32

sec of arc이다. 썩기판과 시료는 회전대위에 설치하여 입사각의 변화를 줄 수 있도록 하였다. 시료에서 반사된 빛은 광검파기(photodiode SP-3ML)로 측정되고 광검파기는 빛이 진행하는 방향과 수직방향으로 이동한다. 광검파기와 연결된 오실로스코프(Hung Chang 5502)와 Lock-in amplifier (EG&G 5110)로 신호가 보내어져서 간섭세기 I_{dc} 와 변조세기 I_{ac} 를 측정하게 된다. function generator(Stanford reserch systems DS335)는 본 실험에서는 200Hz 에서 800 Hz사이의 낮은 주파수를 가진 sine파의 최대 20 V_{pp}의 전압을 시료에 인가하며 동시에 Lock-in amplifier에 같은 주파수로 reference 신호를 주었다. 이렇게 얻어진 간섭세기와 변조세기에 대해 층밀립 간섭계에 대한 파면오차 분석과 그에 따른 간섭무늬의 해석을 통해서 선형전기광학효과로 인한 광학적 위상의 크기를 정량적으로 표현하였다. 층밀립 간섭계는 썩기판과 시료면의 입사각에 따라 반사율이 다르고 시료를 투과하지 않은 빛들이 기준파로, 시료를 투과했다가 알루미늄전극에 반사되어 나온 빛을 시험파로 이용되므로 시료에 대한 입사각과 시료를 지나는 경로에 많은 영향을 받는다. 그러므로 본 실험에서는 모든 측정에서 썩기판에 입사하는 He-Ne 레이저의 입사각을 70° 이상으로 하여 충분한 밝기가 되도록 하였다. 우선 광검파기를 빛의 진행방향과 수직인 x방향으로 이동하면서 간섭세기와 변조세기의 관계를 살펴보고 간섭세기와 변조세기의 일정한 변화양상을 확인하였다. 시료의 입사각을 미세하게 변화시켜서 얻은 s파와 p파에서의 간섭세기와 변조세기의 세기비를 얻음으로써 선형전기광학텐서의 두 독립인자 r_{33} 과 r_{13} 를 구하였다.

*본 연구는 한남대학교 고분자학과 기능성 고분자 연구실에서 제작된 폴리우레탄 박막을 이용하여 수행되었습니다. 시료를 제공해주신 이광섭교수님께 감사드립니다.

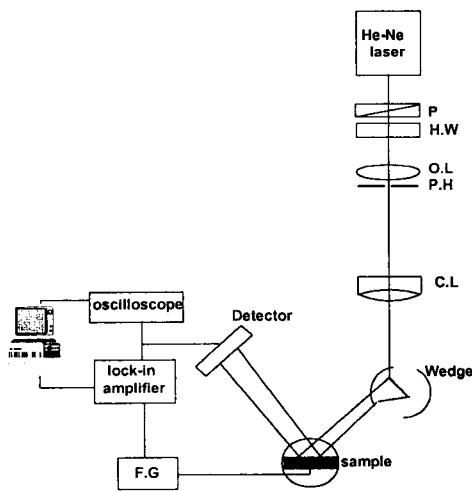


그림 1 실험 장치도

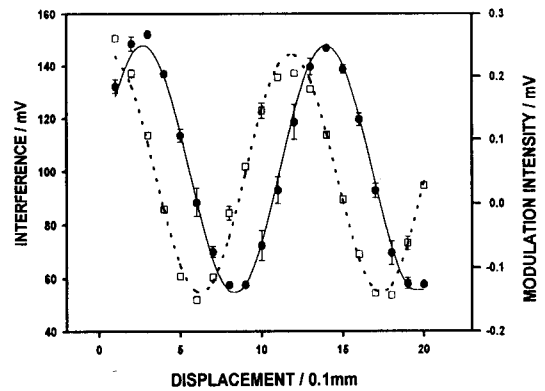


그림 2 detector 의 이동에 따른 간섭세기(실선)와 변조세기(점선)의 변화

1. 조주희, 썩기판 간섭계를 이용한 극화폴리머의 선형전기광학효과 측정, (이화여자대학교 대학원, 석사 학위논문, 1998).
2. Y. W. Lee, H. M. Cho, I. W. Lee, Opt. Eng. 32, 2837 (1993).
3. D. Malacara, *Optical Shop Testing* (John Wiley & Sons, New York, 1992).