폴리머 도파로 구조에서의 *In-situ* 전기광학 계수 측정

In-situ Measurement of Electro-optic Coefficient in Polymer Waveguide Structure

이남권, 김상훈, 김광택, 송재원
경북대학교 전자전기공학부
nglee@palgong.kyungpook.ac.kr

최근 전기광학 폴리머의 다양한 장점 때문에 이를 이용한 능동 광소자의 연구가 국내외에서 활발하게 진행되고 있다. 폴리머 내에 불규칙적으로 배열된 비선형 쌍극자들을 폴링으로 특정 방향으로 재배열시키면 포켈효과가 발생한다. 폴링은 일반적으로 유리 전이온도 부근에서 강한 전기장을 인가하여 비선형 쌍극자들을 전기장 방향과 일치시킨 후 냉각시키는 방식이 많이 이용되고 있다. 지금까지 단층 폴리머 필름을 폴링 후 전기광학 효과를 측정하는 방법들은 잘 알려져 있다. 그러나 집적 광학 소자를 구현하는 실제 폴리머 도파로 구조(클래딩층/전기광학 폴리머층/클래딩층)에서의 전기광학 계수 측정방법은 아직 보고되지 않았다. 효과적인 폴링을 하기 위해서는 각 층 물질의 저항률의 온도와 전기장의 세기에 대한 의존성을 정확하게 파악하여야 한다. 유리 전이온도 부근에서 전극 양단에 폴링 전기장을 인가한 후 정상 상태에 도달하면 각 층의 전기장 세기는 물질의 저항 값에 비례한다. 그림1은 실제적인 폴리머 도파로 구조를 RC회로로 등가화 한 것이며, 이 때 각 층의 저항은 온도와 인가되는 전기장의 함수로서 정확하게 측정하기가 어려우므로[1] 전기광학 폴리머층에 인가되는 전기장의 세기를 정확하게 예측할 수 없다. 따라서 실제 도파로 구조에서 폴링이 얼마나 효과적으로 수행되었는지를 판단하기가 쉽지 않다.

본 논문에서는 기존의 반사기법[2]을 이용하여 실제 도파로 구조에서 전기광학 계수를 쉽게, 그리고 직접 찾는 방법을 제안하였다. 기존의 단일 전기광학 폴리머층을 폴링하는 대신 그림2와 같이 세 층으로 구성된 필름을 폴링과 함께 *In-situ* 방식으로 전기광학 계수를 찾는 방식이다. 세 층으로 이루어진 도파로 구조에서는 ac변조 신호를 인가시 분배되는 전압은 각 영역의 정전 용량에 의해서 결정된다. 전기광학 폴리머층에 분배되는 전압 성분만 전기광학 효과에 기여하므로 이 때의 전기광학 계수를 표현하는 식은 전기광학 폴리머층만을 폴링한 경우[3]와 비교하여 식(1)와 같이 변형된다.

$$r_{33} = \frac{3\lambda I_m}{4\pi V_m I_c n^2} \frac{(n^2-\sin^2\theta)^{1/2}}{n^2\sin^2\theta} \frac{2\varepsilon_p d_1 + \varepsilon_c d_2}{\varepsilon_c d_2} \qquad (1)$$

여기서, r_{33}는 전기광학 계수, λ는 광원의 파장, V_m는 인가된 구동 전압의 진폭, θ는 빛의 진행 방향과 시료 표면이 이루는 각, I_m은 변조된 레이저 빛의 ac 성분, I_c는 레이저 빛의 dc 성분을 의미한다. 또한 식(1)에서 이용된 ε_p와 ε_c는 각각 전기광학 폴리머층과 클래딩층의 유전률을 의미하고 d_1과 d_2는 각 영역의 두께를 의미한다. 그림2에서 각 층간의 굴절률 차이는 0.01-0.03 정도로서 경계면에서 Fresnel 반사는 없다고 가정하였다. 그림3은 단일 폴리머층만을 폴링한 경우와 다층 폴리머 도파로 구조에서 폴링한 경우에서 전기광학계수를 측정하여 비교한 것이다. 전기광학 폴리머는 손님/주인계형 PMMA-DR1을 사용하였고,클래딩 물질로는 PMMA을 사용하였다. 온도 80℃에서 폴링 전압에 따른 전기광학 계수를 측정하였고,폴링시간은 5분씩 하였으며, 시료의 두께는 단일 폴리머일때 3μm이고 폴리머 도파로 구조일때 9μm였다.

본 논문에서는 반사기법을 이용하여 실제 폴리머 도파로 구조에서 폴링과 동시에 전기광학 계수를 측정할 수 있는 기법을 제안하였고, 단일 폴리머 구조일때와 폴리머 도파로 구조일때 전기광학 계수를 측정 비교하였다. 제안된 기법을 이용할 경우 실제 소자와 거의 동일한 구조에서 전기광학 계수를 측정하므로 완성된 소자에서의 전기광학 효과를 더 정확히 예측할 수 있으며, 클래딩층의 선정작업에도 유용하게 이용될 수 있다.

참고문헌

1. Hung C. Ling, W. R. Holland, and H. M. Gordon, J. Appl. Phys., 70, 6669(1991)
2. C. C. Teng and H. T. Man, Appl. Phys. Lett., 56, 1734(1990)
3. W.Ren, S. Bauer, S. Yilmaz, W. Wirges, and R. Gerhard-Multhaupt, J. Appl. Phys., 75, 7211(1994)
4. Lawrence A. Hornak, *Polymers for Lightwave and Integrated Optics*, Marcel Dekker Inc., 365(1992)

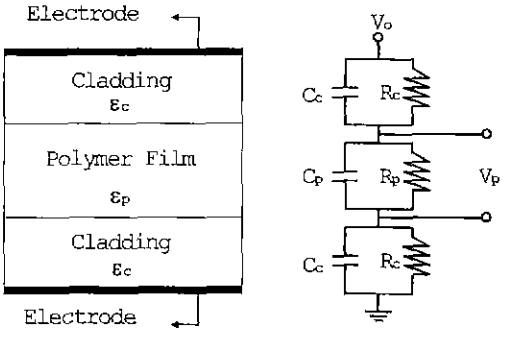

그림 1 폴리머 도파로 구조의 등가 모델

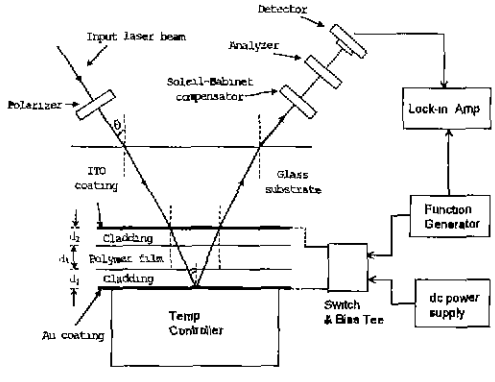

그림 2. 전기광학 계수 측정 장치도

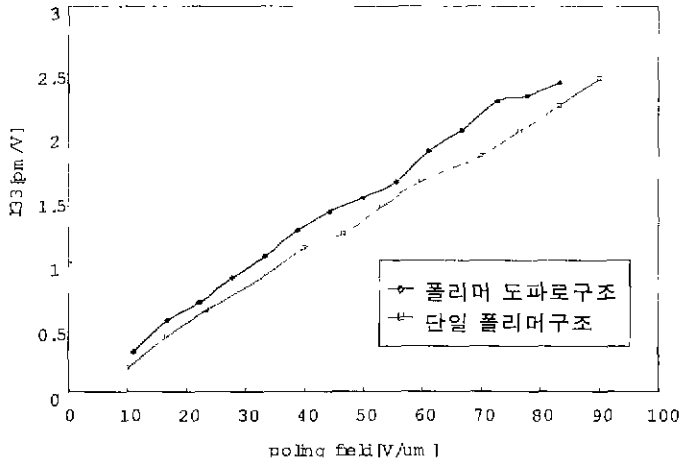

그림 3 폴링 전기장에 따른 전기광학 계수 비교