

펨토초 Z-스캔을 이용한 유기박막의 3차 비선형 광학계수 측정

Femtosecond Measurement of the third order nonlinear optical coefficients in the organic thin film by Z-scan method

신민주*, 우정원
이화여자대학교 물리학과
972PHG05@mm.ewha.ac.kr

중심 대칭성을 갖는 매질 내에 강한 빛이 입사했을 때 빛이 경험하는 굴절률과 흡수율은 다음 식과 같다.

$$n = n_0 + \gamma I \quad \alpha = \alpha_0 + \beta I$$

펨토초 레이저를 사용한 Z-스캔 방법으로 유기 박막 CuPc(Copper Phthalocyanine)의 3차 비선형 굴절 계수 γ 와 흡수계수 β 를 측정하였다. Z-스캔 실험은 하나의 빔을 사용하기 때문에 실험 장치가 간단하고, 시료를 투과한 빔의 위상 변화를 시료 면에서 멀리 떨어진 구경을 통과한 투과율로 측정을 하기 때문에 작은 위상 변화도 측정할 수 있다. 사용된 시료 CuPc는 진공 증착법으로 유리에 증착시켜 제작하였다. 흡수 스펙트럼(그림1)을 보면, 320nm에 peak를 갖는 Soret band와, 610nm와 690nm에 peak를 갖는 Q-band를 가지고 있다. 610nm와 690nm의 Q-band는 진동 포논 모드(vibration phonon mode)이다. 610nm는 $v=1$ 이고, 690nm는 $v=0$ 이다. 이 band는 비균질 넓어지기(Inhomogeneous broadening)이므로, 본 실험에서는 그 안에 있는 흡수선 가운데 하나의 비선형성을 측정하게 된다. 사용한 레이저는 펄스 폭을 150fs으로 하였고, CuPc는 전자적인 왜곡에 의해서 비선형성을 보이므로 약 fs의 반응 속도를 갖는다. 따라서 측정된 3차 비선형 굴절과 흡수계수는 순수하게 전자적인 효과만에 의한 것이라고 볼 수 있다. Pulse selector로 레이저의 반복률을 400kHz, 800kHz, 4MHz로 바꾸어 가면서 실험하였다. 일반적으로 CuPc는 포화 흡수체로 주로 쓰이므로 빛의 세기가 커질수록 흡수가 줄어드는 특성을 가지고 있다. 레이저의 반복률이 400kHz, 800kHz일 때의 β 값은 $-2.7 \times 10^{-8} m/W$ 으로 측정되었다. 그러나 4MHz에서는 반대로 빛의 세기가 클수록 흡수가 많아지는 특성을 보였다. 이것은 선형 흡수에 의해서 흡수된 에너지가 열 에너지로 바뀌게 되고, 이것이 펄스와 펄스사이의 시간 간격이 짧아서 계속 축적되게 되고, 포논과의 잦은 충돌에 의해 여기된 전자가 빠르게 바닥 상태로 떨어져 계속적으로 흡수가 일어나기 때문이다.

이 때 β 값은 $10 \times 10^{-8} m/W$ 로 측정 되었다. 시료의 비선형 굴절 특성은 입사 빛의 세기가 세어질수록 굴절률이 작아지는 특성(self-defocusing)을 보였다. 반복률이 400kHz, 800kHz일 때는 γ 가 $-1.2 \times 10^{-14} m^2/W$ 으로 측정되었고, 4MHz에서는 $-1.6 \times 10^{-14} m^2/W$ 이었다.

실험 장치 배열의 보정을 위해서 CS₂를 사용하였고, 반복률 800kHz, 4MHz에서 약 $\gamma = 2.0 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{W}$ 의 값을 얻었다. 많은 측정 예에서의 값 $3.0 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{W}$ 보다 값이 작게 나온 것은 CS₂의 커 효과(Kerr effect)의 반응 속도가 약 2.1ps 인데, 사용한 레이저의 펄스 폭이 150fs이므로 이 시간 안에 가해진 전기장에 충분히 배열하지 못하기 때문이다.

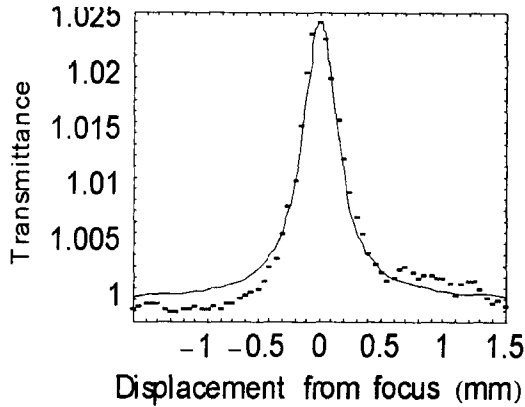


그림 1 CuPc의 800kHz에서의 열린 구경 Z-스캔 실험 결과

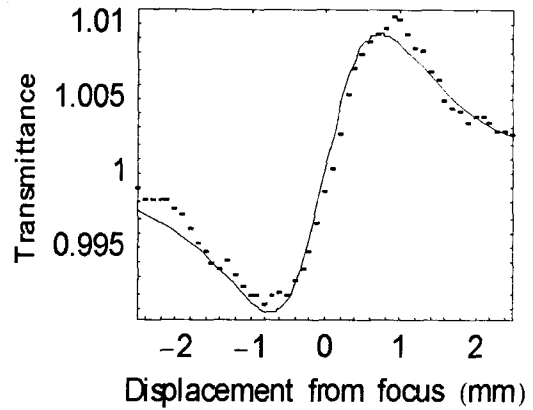


그림 2 CS₂의 800kHz에서의 닫힌 구경 Z-스캔 실험 결과

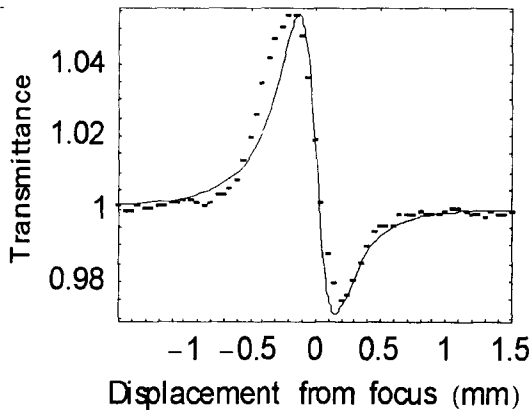


그림 3 CuPc의 4MHz에서의 닫힌 구경 Z-스캔 실험 결과

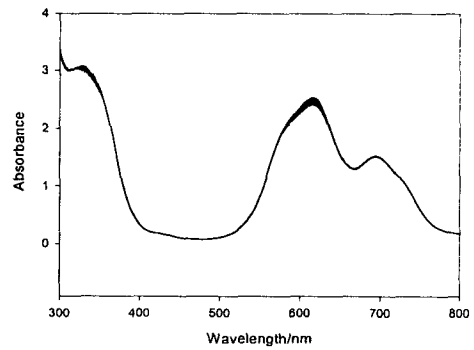


그림 4 CuPc의 흡수 스펙트럼



1. M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T. H. Wei, D. J. Hagen, and E. W. Vanstryland, IEEE J. Quantum Electron., QE-26, 760(1990).
2. Bum Ku Rhee and Jin Seob Byun., J. Opt. Soc. Am. B., 13, 2720(1996).
3. Van Stryland et al., IJNOP, 3, 489(1994).