

비선형광학 계수측정

Measurements of Nonlinear Optical Susceptibilities

이범구

서강대학교 물리학과

brhee@ccs.sogang.ac.kr

비선형광학은 1962년 Franken과 그 동료진에 의하여 루비 레이저빔을 수정결정에 입사시킨 결과로 루비 레이저파장의 반에 해당하는 자외선빛의 발생을 관찰한 이후 지난 40년간 급속히 발전해온 광학의 한 연구분야로, 물질내에 전기장에 대하여 2차이상에 비례하는 분극이 유도됨으로 인하여 생기는 모든 효과를 통칭 비선형광학효과라고 한다. 그중 제2차 비선형현상은 광전효과를 이용한 빛변조, 제2차고조파 발생 및 합/차 주파수파발생을 통한 다양한 파장의 결맞은 광원으로써 응용되고 있을 뿐 아니라, 제3차 비선형현상으로 Optical bleaching, 자체집광/퍼짐, 광학적 고립파 및 Optical Switching 등 빛을 이용한 빛제어(Light control by light)를 할 수 있는 응용성이 있어 오늘날 까지도 활발한 연구가 진행되고 있다.

이와같은 모든 비선형 광학성에 관한 기초 및 응용연구에 있어 가장 중요한 일중의 하나는 비선형 광학계수가 큰 물질을 찾거나 합성하는 것으로 이를 위하여서 물질의 비선형광학계수의 정밀한 측정은 비선형광학연구의 첫 걸음이라 할 수 있다. 따라서 본 광학특강에서는 물질의 제2차 및 3차 비선형광학계수를 측정할 수 있는 대표적 방법, 즉 제2차 비선형광학계수를 측정하는 방법으로는 제2고조파 발생을 이용한 Maker무늬 방법⁽¹⁾을, 또 제3차 비선형광학계수를 측정하는 방법으로는 Z-scan방법^(2,3)을 소개하여 수강자의 비선형광학 연구에 도움을 주고자 한다. 각 방법의 소개에 있어 원리와 관련이론은 물론 측정장치와 측정에 및 분석방법까지 종합적으로 논리적 순서에 따라 기술하고자 한다.

1. Maker무늬 방법을 이용한 제2차 비선형광학계수측정

제2차 비선형 광학적 성질은 물질내 대칭구조에 있어 반전대칭성(inversion symmetry)이 결여된 경우에만 존재한다. 또 반전대칭성이 없더라도 제2고조파 발생이 크기 위해서는 위상정합조건이 만족되어야 하며 이 조건은 극소수의 결정에서만 성립하는 것으로 알려지었다.⁽⁴⁾ Maker무늬 방법은 위상정합이 만족되지 않는 상황에서도 물질내에 진동수 ω 의 기본파를 입사시키면 입사각과 같은 각으로 진동수 2ω 의 제2고조파가 발생하여 투과되어 나오며, 이와같이 발생된 제2고조파는 2차비선형분극의 진동과 직접 연관된 구속파와 자유로운 제2고조파와의 간섭효과에 의하여 입사각변화에 대하여 주기적 특성이 있음을 정량적으로 기술할 수 있고 이를 Maker무늬라고 부른다. 이 특성을 이용하여 관찰되는 제2고조파발생을 물질에 입사하는 기본파의 입사각의 함수로 측정하고 해당하는 이론과 비교함으로써 제2차 비선형 광학계수를 결정하는 방법으로 어떤 물질이나 구조에도 적용할 수 있으므로 오늘까지도 다양한 물질과

구조의 2차 비선형광학성 연구에 널리 이용되고 있다.

2. z-scan 방법을 이용한 제3차 비선형광학계수 측정

제3차 비선형광학성은 제2차 비선형광학성과는 달리 모든 물질에 존재한다. 제3차 비선형광학계수를 측정하는 방법으로는 축퇴4광파합성⁽⁵⁾과 z-scan방법이 가장 많이 사용되고 있으며, 축퇴4광파합성법으로는 제3차비선형계수의 아주 작은 값까지도 측정할 수 있는 장점을 갖고 있으나 다른 한편으로는 제3차 비선형계수의 절대값에 대한 정보만을 얻게 되는 단점을 갖고 있다. 반면 z-scan은 임의의 레이저빔을 렌즈로 집광하고 측정하고자 하는 시료를 렌즈의 초점위치(z)전후로 이동하며 시료를 투과한 빛을 측정하고 분석함으로써 물질의 제3차 비선형광학계수를 측정하게 된다. 특히 투과한 빛의 중심부분만을 측정하는 closed-aperture z-scan과 투과한 빛의 전체를 측정하는 open-aperture z-scan의 두 상호 보완적인 측정을 통하여 제3차비선형계수의 허수부와 실수부를 구분할 수 있을 뿐아니라 각각의 부호까지도 측정할 수 있는 장점뿐아니라 실험장치도 비교적 간단하여 최근까지 가장 많이 사용되고 있는 제3차 비선형광학계수 측정법이다.

참고문헌

- [1] J. Jerphagnon and S.K. Kurtz, "Maker Fringes: A Detailed Comparison of Theory and Experiment for Isotropic and Uniaxial Crystals," Appl. Phys. **41**, 1667 (1970).
- [2] M. Sheik-Bahae, A.A. Said, and E.W. Van Stryland, "High-sensitivity single-beam n_2 measurement," Opt. Lett. **14**, 955 (1989).
- [3] Bum Ku Rhee, J.S. Byun, and E.W. Van Stryland, "z-scan using circularly symmetric beams," J. Opt. Soc. Am. B **13**, 2720 (1996).
- [4] R.W. Boyd, *Nonlinear Optics* (Academic Press, New York, 1991).
- [5] R.A. Fisher, ed., *Optical Phase Conjugation* (Academic Press, New York, 1983).