

삼차 조화파 발생을 이용한 산란체 투과 조영법

Imaging through scattering media using third harmonic generation

차명식, G. Ramos-Ortiz*, B. Kippelen*, S. Barlow**, G. A. Walker**, S. R. Marder**,
 부산대학교 물리학과, *Optical Sciences Center, **Department of Chemistry, University of Arizona
 mcha@pnu.edu

생체 조직과 같이 빛을 심하게 산란하는 물체를 투과하여 광학적으로 상을 얻는 방법으로는 광 결맞음 단층영상법(optical coherence tomography; OCT), 확산광 단층영상법(diffuse optical tomography; DOT) 등의 방법이 있다⁽¹⁾. 이들은 X-ray 촬영법과는 달리 인체에 무해하고, 보다 나은 분해능을 제공할 수 있으므로 활발히 연구되고 있다. 그러나 이 방법들은 광원이나 검출기를 스캔하는 방식을 채택하고 있으므로 검사에 시간이 걸리고, 실시간의 비디오 상을 얻기는 어렵다.

최근 연구되기 시작한 탄도 광자 영상법(ballistic photon imaging)은 이러한 단점을 본질적으로 개선하는 광학 조영 기술이다. 극초단 펄스를 산란체 안에 가려진 물체에 입사하면 산란된 광자는 산란체 안을 무작위로 돌아다니다가 먼 경로를 통해 투과하는 반면, 산란되지 않은 탄도 광자는 최단 거리를 통해 나오므로, 펄스의 앞부분만을 잘라 보면 산란 효과를 배제한 깨끗한 상을 얻을 수 있는 것이다. 여기서 비선형 광학 소자를 사용하면 매우 빠른 시간 자르기(time-gating)가 가능하게 된다. 사용된 비선형 광학 효과로는 광학 Kerr gate⁽²⁾, 광굴절 효과⁽³⁾, 2차 조화파 발생⁽⁴⁾ 등이 있다.

본 발표에서는 유기물 필름에서 일어나는 매우 효율적인 3차 조화파 발생(third-harmonic generation; THG)을 이용하여 탄도 광자 영상법으로 산란체에 가려진 물체를 조영하는 방법을 소개하고자 한다. 본 연구에 사용된 유기물 분자는 517 nm 근처에서 매우 효율적인 THG를 나타내는 물질이다⁽⁵⁾. 광원으로는 Ti:sapphire laser로 동기 펌핑된 광매개 공진기(optical parametric oscillator)를 사용하였다. 광원의 파장은 1550 nm에 고정하였고, 펄스폭은 95 fs, 반복률은 80 MHz 였다. 그림 1(a)는 광학 상 맺음계의 간단한 도식이다. 광매개 공진기로부터 나오는 기본파를 둘로 나누어 하나는 물체('4'자가 음각으로 새겨진 슬라이드)를 투과하고 산란체를 지나 THG 물질에 집광되며, 다른 한 펄스는 물체광 필스에 대해 적절한 시간 지연을 주어 THG 물질에서 시·공간적으로 겹치도록 하였다. 이 때에만 그림 1(b)의 사진에서 보는 것처럼 가운데 2개의 밝은 THG 점들이 관측된다.

그림 2(b)는 산란체를 투과한 펄스가 시간적으로 처져 나오는 것을 보여준다. 이 펄스의 앞(이른) 부분에 기준파 펄스를 맞추면 상단의 둥근 THG 신호를 관측할 수 있다. 그림 2(a)는 이와 같은 조건에서 '4'자의 상 맺음을 보여준다. 오른쪽으로 갈수록 산란을 많이 하는 경우이고, 위의 열은 직접 상 맺음(1550 nm), 아래 열은 가운데의 THG 신호를 CCD 카메라로 받은 사진이다. 산란으로 인하여 알아볼 수 없을 정도로 흐려진 상을 THG를 이용하면 재생할 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 THG 상은 분해능이 뛰어나며, 전체 상을 동시에 찍기 때문에 실시간 비디오 이미징을 가능하게 한다.

본 연구에서는 THG 물질의 한계로 파장 1550 nm의 빛을 사용하였는데, 생체 관측용으로는 투과율이 좋은 파장 범위 600-1100 nm의 펄스를 사용하는 것이 바람직하므로 이에 적합한 비선형광학 물질이

연구되고 있다.

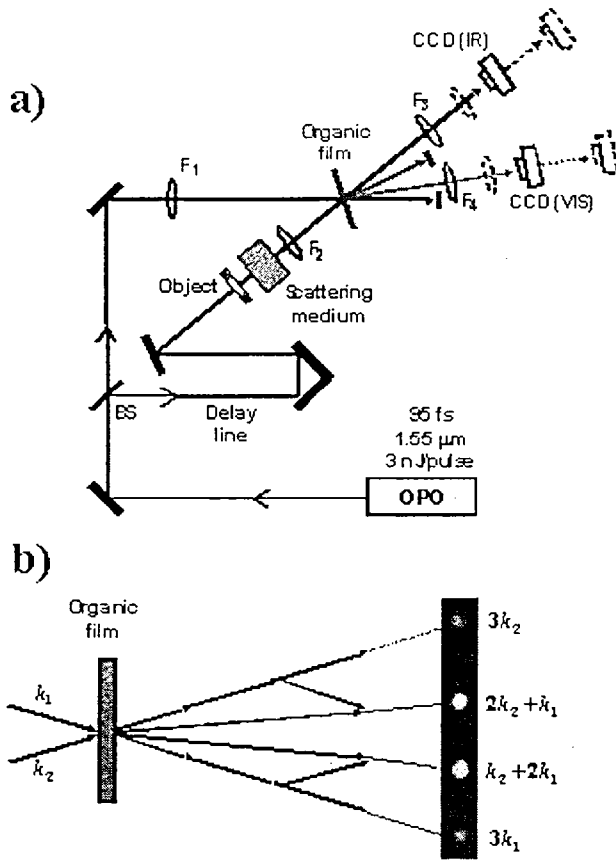


그림 1. 실험 장치도(a)와 THG 사진(b)

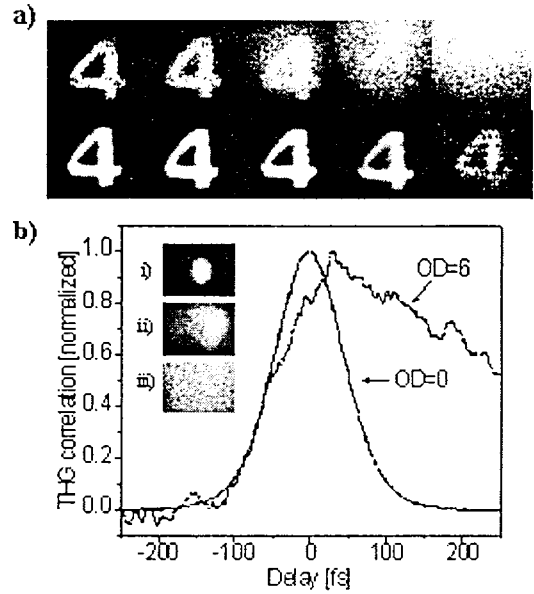


그림 2. 물체 '4'의 상(a)과 펄스 늘어짐(b)

1. 이병하, 김법민, 오정택, "광학 이미징의 원리와 응용", 광학과 기술 7(3), 14 (2003).
2. L. Wang, P. P. Ho, C. Liu, G. Zhang, and R. R. Alfano, "Ballistic 2-D imaging through scattering walls using an ultrafast optical Kerr gate", Science 253, 769 (1991).
3. B. Kippelen, S. R. Marder, E. Hendrickx, J. L. Maldonado, G. guillemet, B. L. Volodin, D. D. Steele, Y. Enami, Sandalphon, Y. J. Yao, J. F. Wang, H. Röckel, L. Erskine, and N. Peyghambarian, "Infrared photorefractive polymers and their applications for imaging", Science 279, 54 (1998).
4. E. Abraham, E. Bordenave, N. Tsurumachi, G. Jonusauskas, J. Oberlé, Rullière and A. Mito, "Real-time two-dimensional imaging in scattering media by use of a femtosecond Cr⁴⁺:Forsterite laser", Opt. Lett. 25, 929 (2000).
5. G. Ramos-Ortiz, M. Cha, S. Barlow, G. A. Walker, S. R. Marder, B. Kippelen, "Direct imaging through scattering media using Efficient Third-Harmonic Generation in Organic Molecule", submitted to Proceedings of National Academy of Sciences of America (2003).