

레이저 유도 플라즈마를 이용한 수용액 속의 나노 콜로이드 입자 크기 측정

Size Measurement of Colloidal Nanoparticles in Aqueous Solution Using Laser-Induced Plasma

정의창, 송규석, 박경균, 박영재, 김원호
한국원자력연구소 원자력화학연구부
ecjung@kaeri.re.kr

수용액 속에 존재하는 콜로이드 입자는 대개 1-1000 nm 크기를 가지고 있다. 1980년대 말 일본의 연구팀은 반도체 공정에 사용되는 깨끗한 물속에 불순물로 존재하는 미세한 콜로이드 입자를 측정할 수 있는 LIBD (Laser-Induced Breakdown Detection) 방법을 개발했다.^(1,2) 1990년대 중반 독일의 연구팀은 지하수 속에 있는 방사성 물질이 수십 nm 크기의 콜로이드 입자를 운반체로 삼아 토양으로 확산되는 현상을 조사하기 위해 LIBD 방법을 이용하기 시작했다.^(3,4) LIBD 방법은 렌즈를 이용해 펄스 레이저빔을 수용액에 입사시켰을 때 용액 속에 있는 입자가 파열되면서 발생하는 레이저 유도 플라즈마의 특성을 이용하는 것이다. 압전소자(PZT)를 이용해 플라즈마가 발생할 때의 충격파(shock wave)를 측정하는 방법과 CCD 카메라를 이용해 플라즈마에서 방출되는 빛의 2차원 공간분포를 측정하는 방법이 알려져 있다. 광 산란 세기를 측정하여 입자 크기를 측정하는 고전적 방법에 비해 LIBD 방법은 20 nm 이하의 작은 크기를 측정할 수 있다는 것을 장점으로 꼽을 수 있으며, 수십 ppt (part per trillion) 정도의 농도를 측정할 수 있을 정도로 측정감도 또한 우수하다.

이 연구에서는 그림 1(a)의 실험 장치에서 보인 것과 같이 레이저 유도 플라즈마에서 발생하는 충격파 또는 방출되는 빛의 영상분포를 측정하여 미세 콜로이드 입자의 크기 및 농도를 결정한 결과를 설명한다. 그림에서 보인 두 개의 편광판은 레이저빔 에너지를 조절하기 위해 설치된 것이며, 레이저빔 직경은 4 mm, 렌즈의 초점거리는 40 mm이다. 플라즈마가 형성되기 위해 필요한 레이저빔 에너지는 매질의 종류(고체 < 액체 < 기체 순)에 따라 다르기 때문에 에너지를 적절히 조절함으로써 수용액 속에 있는 고체 상태의 입자만을 플라즈마로 만들 수 있다. 이 실험에서는 MilliQ-UV-Plus 장치에서 추출한 순수한 물에 크기를 정확하게 알고 있는 polystyrene 입자를 섞어서 시료로 만들었다. 순수한 물이 파열되는 레이저빔 에너지는 이 실험조건에서 약 0.9 mJ이고, polystyrene 입자를 파열시키기 위해 사용한 레이저빔 에너지는 약 0.5 mJ이다. 레이저빔 에너지 변화에 따른 breakdown 확률곡선과 입자의 크기에 따라 달라지는 플라즈마 영상분포를 분석한 결과를 설명한다.

그림 1(b)에는 PZT 대신 Heterodyne 방식의 광 간섭계를 사용하여 입자의 크기를 측정할 수 있는 실험 장치를 보였다. 레이저빔 에너지 변화에 따른 breakdown 확률곡선을 이용한다는 점에서는 PZT를 사용하는 것과 동일한 측정원리를 가지고 있지만 PZT를 광학 셀에 직접 부착하여 사용하는 것에 비해

비접촉 방식이라는 점과 수용액 내부의 국소적인 부위에서 일어나는 동역학적인 충격파 현상을 직접 볼 수 있다는 측면에서 장점이 있다. 시간 분해 및 cell 내부에서 공간 분해된 광 간섭계 신호 분석을 통해 알 수 있는 레이저 유도 플라즈마의 특성에 대해 논의한다.

1. T. Kitamori, K. Yokose, K. Suzuki, T. Sawada, Y. Gohshi, "Laser Breakdown Acoustic Effect of Ultrafine Particle in Liquids and Its Application to Particle Counting", Jpn. J. Appl. Phys. 27, L983-L985 (1988).
2. H. Fujimori, T. Matsui, T. Ajiro, K. Yokose, Y-M. Hsueh, S. Izumi, "Detection of Fine Particles in Liquids by Laser Breakdown Method", Jpn. J. Appl. Phys. 31, 1514-1518 (1992).
3. F.J. Scherbaum, R. Knopp, J.I. Kim, "Counting of particles in aqueous solutions by laser-induced photoacoustic breakdown detection", Appl. Phys. B 63, 299-306 (1996).
4. T. Bundschuh, W. Hauser, J.I. Kim, R. Knopp, F.J. Scherbaum, "Determination of colloid size by 2-D optical detection of laser induced plasma", Colloids Surf. A 180, 285-293 (2001).

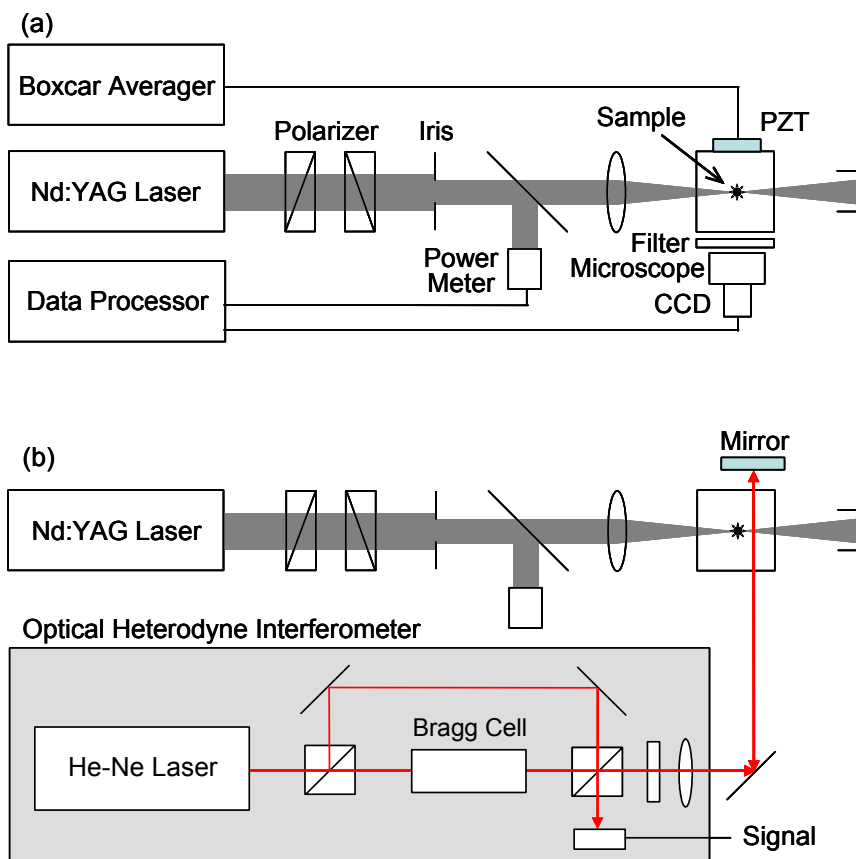


그림 1. LIBD 장치, (a) PZT를 이용하여 충격파를 측정하는 장치와 CCD 카메라를 이용해 플라즈마 영상을 측정하는 장치, (b) Heterodyne 방식의 광 간섭계를 이용하여 충격파를 측정하는 장치.