



# 광 음향파 이미징용 광원의 개발

글 팀리더 와다 사토시, 연구원 오가와 타카요, 연구원 마루야마 마사유키, 선임연구원 카세 키와무 /

국립연구개발법인 이화학연구소 광양자공학연구센터 광양자제어기술개발팀

번역 유정훈 / 그린광학 사업개발그룹장

## 1. 처음

이화학연구소 광양자공학연구센터 광양자제어기술개발팀에서는 물체와 생체를 파괴하지 않고, 형상과 성분을 분석할 수 있는 비침습 계측기술의 연구개발을 추진하고 있다. 이러한 기술은 본래 기초연구 분야에서 증배된 기술이다. 그러나 넓게 사회문제에 대응하는 기술로서 착안되고, 여러 가지 방면에서 연구개발이 진행되고 있다. 본고에서는 그 중에서 착안되고 있는 광초음파를 이용한 3차원 이미징시스템<sup>1)</sup>의 특히 광원부분에 초점을 두어 소개하겠다.

예를 들면 초고령화 사회를 맞아, 국민 건강으로의 주목이 집중되고 있다. 광초음파에 의해 비침습에서 몸 안 혈관의 3차원 화상을 취득할 수 있으면 여러 가지 건강정보를 얻을 수 있다<sup>2)</sup>. 혈관이 집중하고 있는 곳에서는 종양이 존재할 가능성이 있다. 요구되는 계측정도는 1 mm이하이다. 응용은 산업용도에서도 이용되고 있다. 예를 들면 FRP 실용화로의 이용이 검토되고 있다. 자동차의 경량화와 안전성 양립은 매우 중요한 과제이지만, 국내 자동차메이커에서는 FRP 채용은 한정적이다. 기계특성이 알려진 소재에서도 성형중의 섬유 배향과 분포가 변

화해서 제어가 어렵고, 성형과정의 가시화가 중요하다. 그리고 신소재에서도 성형과정의 가시화는 중요하다. 글라스와 셀룰로스(주섬유), MFC(증점제), CNF(첨가제)로 이루어진 GC-SMC(Glass & Cellulose Sheet Molding Compound)의 성형조건에 대해서도 펄스 레이저광에 의해 금형 내에서 유동하고 있는 섬유와 수지에 침입해서 발생하는 초음파를 취득하는 것에 의해 안정한 생산조건을 인출할 수 있다. 광 음향 이미징센서의 개발이 최적해를 추구해서 경량화재의 양산 성형기술을 더욱더 발전시킬 수 있는 가능성이 있다.

이러한 새로운 응용이 기대되는 반면, 기반으로 되는 레이저, 음향파 센서, 시스템 개발은 현재도 진행 중이다. 특히 본고에서는 레이저에 착안해서 우리들이 진행하고 있는 개발 현상을 말하겠다.

## 2. 광 음향파 이미징기술의 원리

광 음향파 이미징기술의 원리를 그림1에 나타냈다. 레이저가 물질에 흡수되면 많은 물질은 여기상태에서 기저상태로 완화하는 과정에서 열 발생을 동반하고, 그것이 물질 팽창과 완화를 일으키고, 최종적으로는 진동파를 발생한다. 이 진동파를 광 음향파라고 한다. 이 진동파를 3차원으로 설치한 진동센서에서 계측하고, 시간차에서 위상정보를 계산하는 것에 의해 광초음파 발생원의 3차원 화상화가 가능으로 된다. 계산상 얻어지는 분해능은 수십 마이크로 오더의 이미징이 가능으로 된다<sup>3)</sup>. 통상의 초음파 만에 의한 이미징 분해능이 수 밀리인 것에 비해, 매우 높은 공간분해능을 얻을 수 있다. 그림2에 각종 3차원 이미징 방법에 의해 얻어지는 공간분해를 나타냈다. 본 방식은 광을 이용하지 않는 방식과, 광만을 이용하는 방식의 중간영역의 분해능을 얻을 수 있는 것이 특징이다. 그리고 이용하는 레이저 파장을 바꾸는 것에서 광을 흡수해서 음향파를 내는 물질을 선택할 수 있기 때문에 복수 물질의 선택적 이미징이 가능하다.

방식으로는 상술했듯이 어느 영역에 한번 광을 달고, 복수의 검출소자를 이용해서 3차원 계측을 하는 방법과, 레이저빔을 적게 모으고, 광 음향파를 발생할 수 있는 영역을 국재화하고, 빔을 주사하면서 광초음파를 적은 검출기로 검출하는 방식이 이용되고 있다. 개념도를 그림3에 나타냈다. 레이저 빔을 스캔하는 방식은 광 음향파

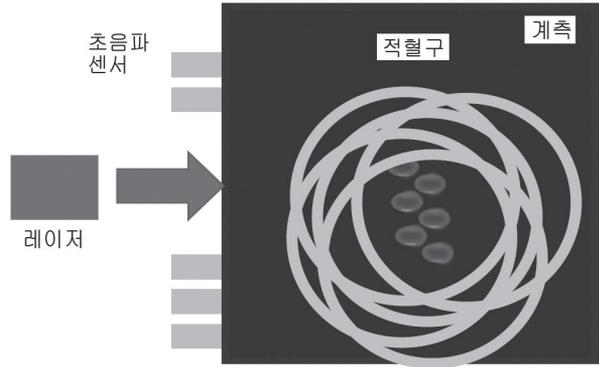


그림1 혈관의 광 음향파 이미징의 원리

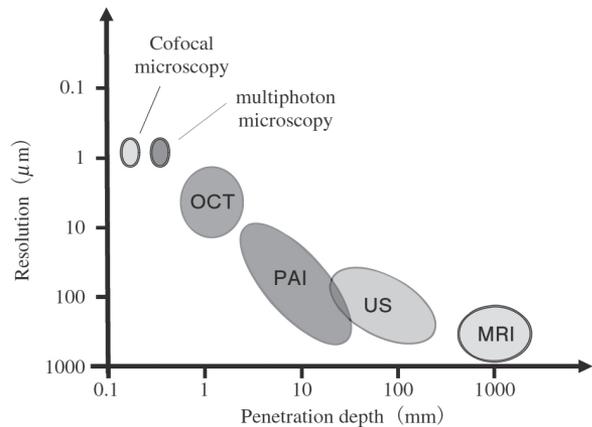


그림2 각종 이미징 방식의 특징

PAI: 광초음파, US: 초음파센싱, MRI: 핵자기공명, OCT: 코히런트 토모그래피

현미경이라고 하는 것도 있다<sup>4)</sup>.

광 음향파 이미징기술의 특징은 광 파장의 선택에 의해 계측대상으로 되는 물질 선택이 가능한 것과 수십 마이크로미터의 공간분해능이 얻어지는 것이다.

## 3. 광 음향파 발생용 광원의 개발

지금까지 광 음향파 이미징이 실용화되지 않았던 이유는 파장가변레이저, 3차원 초음파센서, 3차원의 화상구축을 위한 계산시스템의 기술이 실용화 레벨에 도달하지 않았기 때문이다. 내각부의 혁신

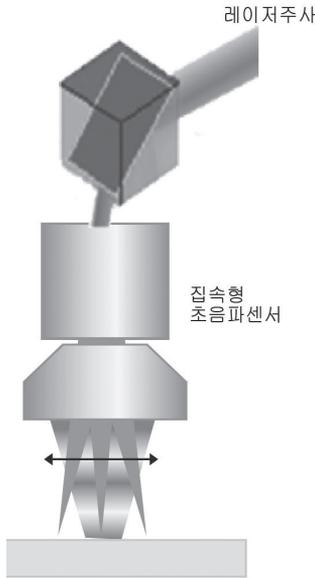


그림3 광초음파 현미경 개념도

적 연구개발추진프로그램 (ImPACT)은 광 음향파 이미징의 실용화에 목표를 모으고, 이들 개발을 급속히 진행한 것에 프로그램의 특징이 있다. 광 음향파를 발생하기 위해서는 계측대상으로 되는 물질에 특이한 흡수파장의 레이저광이 필요하다.

인간의 혈관이미지에 대해서 예를 나타내겠다. 혈액의 흡수특성을 그림4에 나타냈다. 물과 혈액의 흡수대에서 투과창이 파장 700 nm와 1100 nm

영역에 있는 것을 알 수 있다. 이 파장영역을 사용하는 것에 의해 탐부의 이미징이 가능으로 된다. 헤모글로빈의 흡수파장은 약 800 nm로, 탈산소, 산화헤모글로빈의 값이 같게 되는 점이 있고, 동맥, 정맥을 구별하는 것 없이 이미징을 하는 것에는 이 점을 이용한다. 그리고 또 한 점, 참고로서 750 nm를 이용한다. 장래 적으로는 파장선택에 의해 림파액의 가시화도 응용이 기대되고 있다<sup>2)</sup>.

광초음파 이미징으로의 응용에서는 고속인 한편 2파장을 선택적

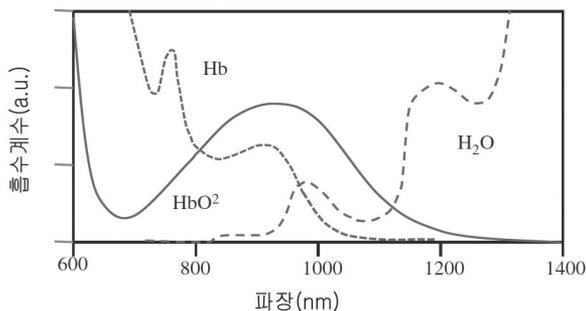


그림4 탈산소, 산화헤모글로빈, 물의 흡수 스펙트럼

으로 전환할 필요가 있다. 우리들은 지금까지 개발을 진행해온 전자 파장 가변레이저를 도입했다<sup>5)</sup>. 고체레이저결정 중에서 에너지준위가 활성이온과 결정장의 상호작용에 의해 밴드구조로 되어 있는 레이저결정이 있다. 밴드와 밴드 간에서 레이저천이를 일으키기 위해서 넓은 에너지 폭을 가지고, 스펙트럼은 브로드밴드로 된다. 공진기에 특정 파장만 선택할 수 있는 소자를 도입하는 것에 의해 파장을 선택할 수 있다. 지금까지 복굴절판, 회절격자, 프리즘이 이용되어 왔다. 그러나 이들 소자를 이용해도 소자의 기계구조에 의한 회전이 필요하기 때문에 파장의 안정도와 정도, 파장을 전환하는 속도는 제한되어 왔다. 우리들은 파장선택소자에 음향광학파장 가변 필터(AOTF)라고 하는 소자를 도입했다. AOTF는 인가하는 라디오 주파수 신호에 의해 광의 회절하는 파장을 전기적으로 전환할 수 있는 소자이다. 이 소자를 공진기에 삽입하고, 회절하는 파장에 대해서 공진기를 구성하는 것에 의해 전기적으로 파장선택 가능한 레이저를 구축할 수 있다.

그림5에 발진기 및 레이저 스캐너를 나타냈다. 파장가변 레이저로서는 티탄사파이어 레이저를 사용했다. 티탄사파이어 레이저는 파장 700~1000 nm에서 파장가변한 것에서 혈관 이미지를 하기 위해 필요한 파장 레이저를 발생할 수 있다. 파장선택소자로서 AOTF를 공진기에 배치했다. 외부에서 라디오주파수를 인가하는 것에 의해 0.2 ms에서 파장을 전환할 수 있다. 본 연구 시스템에서는 1W정도의 레이저출력이 필요하기 때문에 증폭시스템을 탑재했다. 본 레이저 시스템에서 최대, 5 kHz, 평균출력 1 W 출력을 얻는 것에 성공했다. 티탄사파이어 레이저의 여기에는 Nd:YLF 레이저의 제

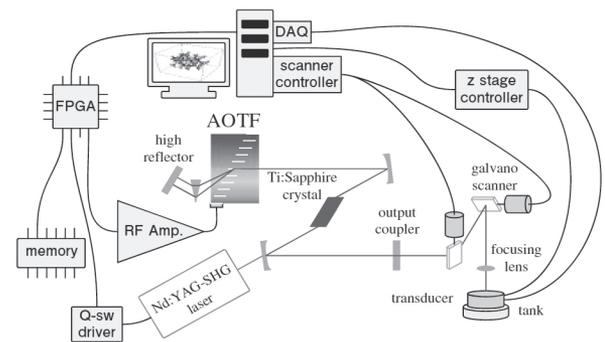


그림5 전자파장 가변레이저

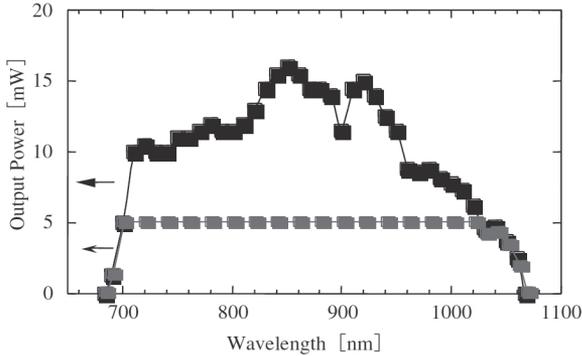


그림6 전자파장 가변 티탄사파이어 레이저 발진기 출력특성

2 고조파를 이용했다. 본 레이저 시스템은 펄스마다 자유롭게 파장을 절환할 수 있다. 파장의 절환은 모두 컴퓨터에 적혀진 프로그램으로 제어가능하다. 또 본 레이저는 AOTF의 회절효율을 변화시키는 것에서 레이저 출력도 제어 가능한 것도 특징이다. 그림6에 레이저의 가변파장특성을 타나냈다. 동시에 출력 제어를 행하고, 출력의 평준화를 행한 결과가 나타났다. 파장 680 nm ~ 1053 nm에서 발진이 얻어지고 있다.

장치의 실용화에서는 목적으로 되는 물질이 고정되어 있는 경우, 필요한 레이저파장도 2파장으로 결정되고, 다른 파장을 바꿀 필요가 없어 비용이 중요하게 된다. 이러한 시스템에서는 공진기에 사용되는 미러 그것에서 파장을 선택하고, 결과적으로 출력되는 레이저 파장을 선택할 수 있다. 고정된 2파장에서 절환하는 광원의 실용화도 성공했다. 생체 이미징에서는 현상, 필요한 파장영역은 450 nm에서 1300 nm이고, 제2 고조파와 OPO를 겸용하는 것에서 파장가변영역을 확보하기 위한 기술개발도 추진하고 있다.

#### 4. 응용분야

본 연구에서 개발한 광 음향파 이미징 장치의 응용분야는 다양하다. 첫 번째 목적으로서 사람 혈관의 이미징기술을 목적으로 개발이 진행되었다. 특히 0.1 mm정도의 혈관이 집중하는 장소의 특정에서 종양 발견을 목적으로 한 개발이 진행되고 있다. 혹은 피부 표층의 혈관 이미징에서 피부의 노화와 혈류 상태를 계속하는 장치로서 개

발이 진행되고 있다. 의료응용은 ImPACT 프로그램으로서 복수 대학의 의학부에서 다분야에 걸쳐 응용영역의 연구가 개시되고 있다.

본 시스템은 산업용도에서도 주목을 모으고 있다. 처음에 기술했듯이 새롭게 주목되고 있는 폴리머에 의한 모노츠클리에 중요한 역할을 담당하려고 하고 있다. 또 농작물과 식육 등의 식품의 비침습계측에도 이용이 기대되고 있다. 응용분야는 이후의 과제이다.

#### 5. 결론

본고에서는 광초음파를 이용한 3차원 이미징기술 및 그것에 필요한 광원개발의 현상을 소개했다. 광 음향파의 이용은 아직 막 시작했을 뿐이다. 이후 다양한 분야로 전개되는 것을 기대한다.

본 연구의 일부는 혁신적 연구개발추진프로그램(ImPACT) '이노베티브한 가시화기술에 의한 신성장산업의 창출'에 의해 이루어진 성과이다.

#### 참고문헌

1. Mehrmohammadi M., Yoon S. J., Yeager D., Emelianov S. Y., Curr. Mol. Imaging, 2, 89-105 (2013).
2. Wang L. V., Hu S., Science, 335, 1458-1462 (2012).
3. Manohar S., Vaartjes S. E., van Hespren J. C., Klaase J. M., van den Engh F. M., Steenbergen W., van Leeuwen T. G., Opt. Express, 15, 12277-12285 (2007).
4. Wickramasinghe, H. K., et al. Applied Physics Letters 33.11923-925 (1978).
5. S. Wada, K. Akagawa, H. Tashiro: "Electronically tuned Ti:sapphire laser"Opt. Lett., 21, 731-733 (1996).