

## 바닥 상태와 들뜬 상태의 비방사 과정에서 나타나는 양자 우물의 광음향 신호 연구

### Photoacoustic signals of quantum wells in the nonradiative deexcitation and excitation processes

이규승, 제구출, 김재혁, 목진명, 박승한

연세대학교 물리학과  
letter@yonsei.ac.kr

광음향 신호는 반복적으로 차단되는 광원이 시료에 흡수되어 열로 전환될 때에, 열파동의 일부분이 시료와 공기가 만나는 경계 영역에 도달하여 주기적으로 공기압력의 변조를 일으킴으로써 발생하는 신호이다.<sup>(1)</sup> 이런 현상을 이용하여 화학 반응 시의 반응 속도 측정, 대기 중 특정 기체의 농도 측정뿐만 아니라, 최근에는 반도체 시료의 광학적, 열적 특성들과 nonradiative deexcitation 과정에 관계되는 relaxation 현상에 대해서 연구가 진행되고 있다.<sup>(2)</sup>

본 연구에서는 다중 양자 우물 구조에서 nonradiative deexcitation 영역과 excitation 영역에 걸쳐 광음향 신호를 연구한다. 다중 양자 우물 구조에 흡수되는 광원의 파장과 차단(chopping) 주파수의 변화에 대한 광음향 신호를 조사함으로써 시료의 광학적인 특성에 대한 정보를 얻고자 한다.

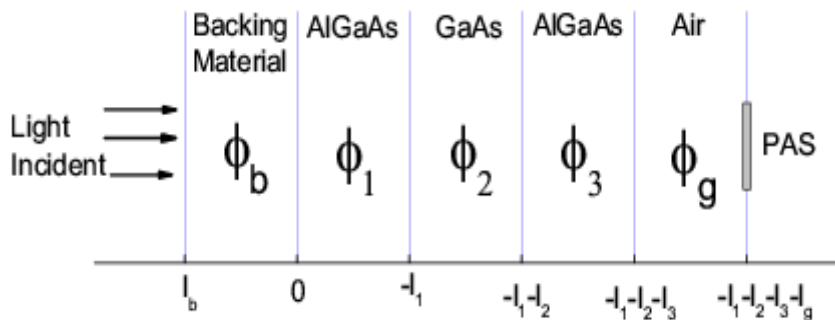


그림 1. 1차원의 다중 우물 구조의 개략적인 광음향 모델

먼저 다층계에 대한 광음향 신호는 공기와 시료 사이 경계면의 온도 변화에 대응되는 압력 변화를 통해서, 다음과 같은  $p = (\gamma P_0 \mu_g / \sqrt{2} T_0 l_g) \phi e^{-i\pi/4} \equiv P e^{i\omega t}$  관계식으로 기술된다.<sup>(1)</sup> 여기서  $\gamma$  는 단열 가스 상수,  $P_0$ 와  $T_0$  는 정상 압력과 온도,  $\mu_g$  는 가스의 열적인 확산 길이,  $l_g$  는 시료의 길이이며  $\phi$  는 각 경계면에서의 온도를 나타낸다. 따라서 그림 1과 같은 모델의 각 층의 경계면에서 열확산 방정식들을 통해 공기와 시료 사이 경계면의 온도  $\phi_g$ 를 계산하여 다층계의 광음향 신호를 얻었다.

그림 2는 계산한 결과를 토대로 흡수 계수가 일정한 경우 양자우물의 폭에 따른 광음향 신호와 위상에 대한 정보를 보여준다. Bulk 시료의 경우에 광음향 신호의 분석을 통해서 반도체의 전하 밀도나 열적 특성들에 대한 연구가 수행되었다.<sup>(2)</sup> 다중양자우물 구조에 같은 방법을 적용하면, 우물 구조 크기(우물의 깊이, 너비, 벽의 두께 따위)를 달리하면서 얻은 광음향 신호를 분석하여 다중양자우물의 기하학적 구조와 광학적이고 열적인 특성들 사이의 관계를 연구할 수 있다.

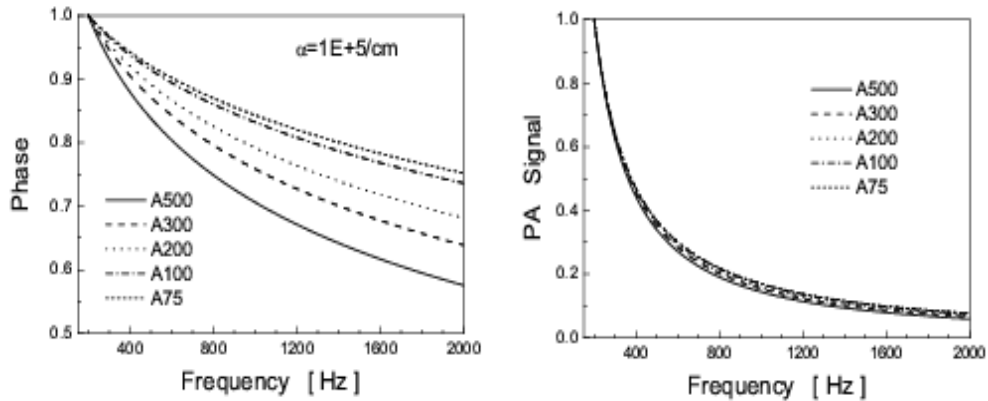


그림 2. 광원 차단 주파수에 대한 우물 너비에 따른 위상과 광음향신호의 변화 (우물의 흡수 계수는  $10^5/cm$ )

따라서 본 논문에서는 양자우물 구조에서 흡수되는 광원의 파장을 변화시키며 광음향 신호를 분석하여 기존에 광학적인 여기 상태에서 얻어지는 물리적인 특성에 대한 정보를 얻을 수 있는지를 살펴볼 것이다. 이를 통하여 양자 우물 구조 변화에 대한 광음향 신호를 연구하여 광학적, 열적 특성들의 광원 파장 의존성에 대한 정보를 제공 할 것이다.

참고 문헌

1. A. Rosenzwaig and A. Gersho, J. Appl. Phys. 47, 64 (1976).
2. J-T Lim, J-G Choi, S-K Noh, K-C Je, S-Y Yim, and S-H Park, Jap. J. Appl. Phys. 46, 7888 (2007).