

# 다중 양자 우물 구조를 이용한 다층 구조 시료에서 발생하는 광음향 신호에 관한 연구

## The Photoacoustic Signals from MQWs as Multi-layered Solid Samples

이규승, 김경석, 제구출\*, 박승한  
연세대학교 물리학과, \*배재대학교 광·전자공학부  
letter@yonsei.ac.kr

광음향 효과는 단속적인 빛을 받은 시료에서 소리가 발생하는 효과<sup>(1)</sup>로서, 넓은 분야에서 이 광음향 효과를 유용하게 사용하고 있다. 의학계에서 살아 있는 생체 시료의 단층 촬영에 활용<sup>(2)</sup>은 물론이거니와 공기 및 수중에 포함된 기체의 성분 및 함량 측정<sup>(3)</sup>은 물론, 화학 반응의 반응 속도 측정<sup>(4)</sup> 등에도 이용되고 있다. 더불어 고체 시료의 열적 특성 등을 조사<sup>(5)</sup>하는 데에도 폭넓게 활용 되고 있다. 하지만 광음향 효과를 활용한 많은 연구는 Rosencwaig과 Gersho에 의해 알려진 단일 성분의 고체 시료에 대한 분석<sup>(6)</sup>을 기반으로 진행되고 있는 실정이어서 좀 더 사실적이고 완전한 광음향 신호의 해석을 위해서는 단일 물질이 아닌 여러 물질들의 혼합 상태에 대해 이해할 필요가 있다. 이런 맥락에서 C. Glorieux, J. Fivex와 J. Thoен은 여러 층으로 구성된 물질에 대한 열적 특성을 계산하고 세 개 층으로 이루어진 샘플을 통해 실험치를 얻어 보았으며<sup>(7)</sup>, Tlamani-Amador와 Perez-Rodriguez는 이론적으로 두 개 층을 갖는 시료에 대해 유효 물리량을 구한 바<sup>(2)</sup>가 있다. 이에 우리는 반도체로 구성된 다중 양자 우물(MQW) 구조에 대한 광음향적인 이론 전개는 물론 실험을 통해 그 타당성을 확인해 보았다.

이론 계산을 위해서 마련된 다중 구조는 대강 「그림 1」과 같다.  $l_b$ 는 광의 흡수가 없는 backing material의 두께이며,  $l_g$  역시 흡수가 없는 gas 영역의 두께이다. 그리고 GaAs를 중심으로 AlGaAs 층이 좌우로 있으며 모든 층의 온도는  $\phi$ 로 표시되어있다. 검출기가 있는 곳에서 압력을 구하기 위해, Rosencwaig과 Gersho의 계산<sup>(6)</sup>과 같이 열확산 방정식을 각 경계에 주어지는 조건에 따라 풀었다. 그 결과로 air 부분의 압력 변화는 「식 1」처럼 주어진다.

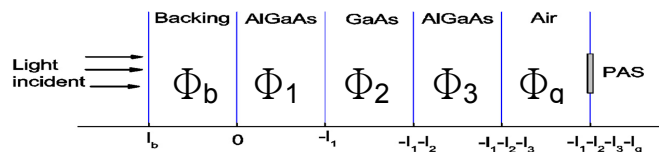


그림 1. 세 개의 층으로 이뤄진 양자 우물 모델

$$\delta P = Re(\delta P(t)) = \frac{\gamma P_0 \Theta_g}{\sqrt{2} l_g T_0 \sigma_g} e^{i(\omega t - \pi/4)} \quad (\text{식 1})$$

여기서  $P_0$ 와  $T_0$ 는 차례대로 주변 압력과 온도이며,  $\Theta_g$ 는 시료와 gas층의 경계에서 나타나는 시료 온도의 변화이다. 또한  $\sigma_g^2 = i\omega/\alpha_g$ 의 관계를 가지며,  $\alpha_g$ 는 thermal diffusivity이다.

실험에서 사용한 시료는 다층 구조의 물질로서,  $350\mu\text{m}$ 의 semi-insulation GaAs substrate 위에 MBE(molecular beam epitaxy)법으로 GaAs와 AlGaAs를 번갈아 쌓아 만든 다중 양자 우물(multi quantum well)이었다. 그 종류는 두 가지이며, 각각의 GaAs 두께(well width)는  $300\text{\AA}$ 과  $75\text{\AA}$ 이다. 모든 양자 우물에는  $100\text{\AA}$ 의  $\text{Al}_{0.34}\text{Ga}_{0.66}\text{As}$ 가 barrier로 쓰였다.  $300\text{\AA}$ 의 우물 폭을 갖는 양자 우물은 총 16개의 GaAs well을 가지며,  $75\text{\AA}$ 의 우물 폭을 갖는 양자 우물은 총 65개의 GaAs well을 갖고 있다.  $830\text{nm}$ 의 광원으로 얻어진 두 시료에 대한 광음향 신호의 세기와 위상은 「그림 2」에 잘 나타나 있다.

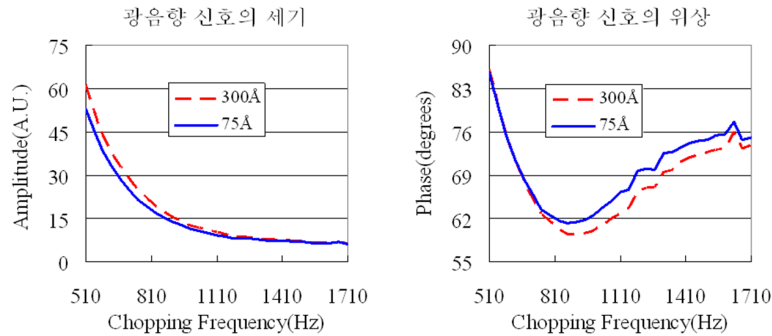


그림 2. 양자 우물에서 측정된 광음향 신호의 세기와 위상

이번 연구를 통해서 일반적인 도체뿐만 아니라 반도체로 이루어진 다층 구조의 고체 시료에 대해서도 이론적인 예측이 가능하며, 측정을 통해 해당 시료의 열적, 광학적 특성과 더불어 기하 구조까지 파악할 수 있음을 알았다.

1. A. G. Bell, "The Production of Sound by Radiant Energy", *Science* 2, 242-253 (1881).
2. Kwang Hyun Song, George Stoica, and Lihong V. Wang, "In vivo Three-dimensional Photoacoustic Tomography of a Whole Mouse Head", *Optics Letters* 31, 2453-2455 (2006).
3. Angela Elia, Pietro Mario Lugarà, and Corrado Giancaspro, "Photoacoustic Detection of Nitric Oxide by Use of a Quantum-cascade Laser", *Optics Letters* 30, 988-990 (2005).
4. Hwee-Won Koh, Sung-Han Lee, and Joong-Gill Choi, "Conversion of CO<sub>2</sub> to CO with CH<sub>4</sub> over Ni/SiO<sub>2</sub> Catalyst: Photoacoustic Measurements of Reaction Rate", *Bull. Korean Chem. Soc.* 25, 1253-1256 (2004).
5. Pinto Neto, A., H. Vargas, N. F. Leite and L. C. M. Miranda, "Photoacoustic Characterization of Semiconductors: Transport Properties and Thermal Diffusivity in GaAs and Si", *Physical Review B* 41, 9971-9979 (1990).
6. Rosencwaig, A. and A. Gersho, "Theory of the Photoacoustic Effect with Solids", *J. Appl. Phys.* 47, 64-69 (1976).
7. C. Glorieux, J. Fivex, and J. Thoen, "Photoacoustic Investigation of the Thermal Properties of Layered Materials: Calculation of the Forward Signal and Numerical Inversion Procedure", *J. Appl. Phys.* 73, 684-690 (1993).
8. J. Tlamani-Amador and F. Pérez-Rodríguez, "Effective Thermal Parameters for a Bilayer", *J. Appl. Phys.* 104, 093535 (2008).