

## Z-Scan 법을 이용한 GaAs의 2광자 여기 자유전하 흡수 단면적 측정

### Z-Scan measurement of two-photon-absorption generated free carrier's absorption cross-section in bulk GaAs

김상천, 장준영, 전성만, 임상엽, 최문구, 박승한  
연세대학교 물리학과  
kimsc@phya.yonsei.ac.kr

일반적으로 수십 피코초 레이저 펄스를 이용한 GaAs bulk 상태 시료의 비선형 흡수 관찰 실험에서는 200Mw/cm<sup>2b</sup> 이하에서는 여기된 자유전하 운반자 흡수효과는 무시한다.<sup>(1)</sup> 그러나 수 나노초의 레이저 펄스를 이용할 경우, 이광자 흡수에 의해 여기된 자유전하 운반자들이 긴 수명시간으로 인해 재결합되지 않고 여기된 상태에 축적되어 짐에 따라, 레이저 빛을 재흡수 하는 확률이 높아져 낮은 세기의 빛에도 불구하고 비선형 흡수 효과가 크게 나타난다.<sup>(2)</sup> 불순물이 첨가되지 않은 GaAs bulk 상태의 경우 자유전하 운반자 소멸 시간은 수 나노초 영역으로 알려지고 있다.<sup>(4)</sup> 본 실험에서는 수 MW/cm<sup>2</sup> 의 매우 낮은 영역의 세기에서 순수한 GaAs의 bulk에 대하여 실험한 결과 비선형 흡수가 나타남을 관찰하였으며, 더불어 자유전하 흡수 계수를 여러 가지 세기의 빛에서 측정한 결과 자유전하 흡수 단면적이 빛의 세기에 따라 변화하는 것을 관찰하였다.

본 실험에서는 초점거리 7.5 cm의 렌즈를 통하여 직경이 7mm인 레이저 광을 집광한 후 시료를 광축방향과 나란하게 진행하는 전형적인 Z-scan 방법을 이용하여 실험하였다. GaAs의 굴절률이 3.6으로 매우 커서 Fabry-Perot 효과가 나타난다. 그래서 본 실험에서는 시료의 한 쪽면을 SiN로 무반사 코팅을 하여 실험 하였다. GaAs의 표면은 쉽게 레이저 빛에 의해 손상을 입는 것을고려하여 같은 자리에서 여러번의 실험을 하여 같은 결과가 나오는 것을 확인하여 실험 결과를 얻었다. 사용된 레이저는 Nd:Yag 레이저로서 1.064 μm의 파장에서 7 나노초의 펄스를 방출한다. 빛의 세기는 편광기와 half wave plate를 이용하여 변화시켰다.

GaAs의 시료가 충분히 얇다면 시료내부에서의 전기장의 전파는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dI}{dz'} &= -\alpha_0 I - \beta I^2 - \sigma_{ab} NI \\ \frac{d\Delta\Phi}{dz'} &= k(\gamma I + \sigma_r N) \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 2광자 흡수에 의해서 생성된 자유전자 운반자 밀도  $N$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\beta I^2}{2\hbar\omega} - \frac{N}{\tau} \quad (2)$$

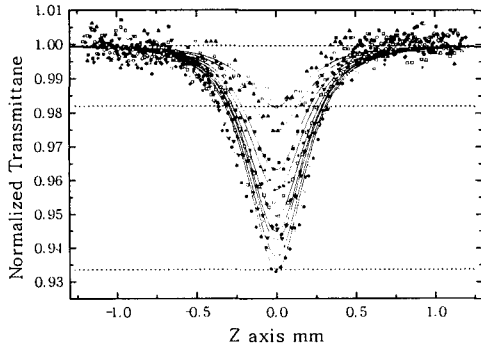


그림 1. 빛의 세기에 따른 GaAs Bulk Open Z-scan Data 입사빔의 세기는 14.6, 15.4, 16.1, 17.3, 18.1, 18.9, 19.6, 20.4, 20.6 Mw/cm<sup>2</sup> 이다.

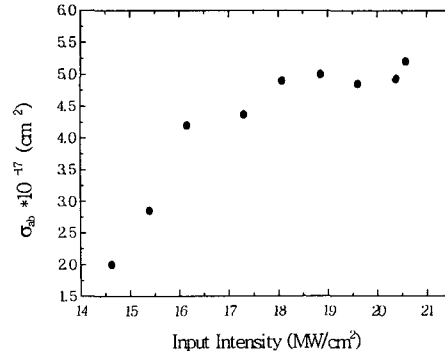


그림 2. 빛의 세기에 따른 흡수단면적 변화 이광자 흡수계수는  $2.6 \times 10^8$  cm/W 로 취함<sup>(1)</sup>

위의 식을 수치적분을 통하여 시료를 통과한 직 후의 전기장의 분포를 얻어 낸 뒤 그 전기장의분포를 이용하여 광 검출기면에서의 전기장의 분포를 Huygens-Fresnel 도파식을 이용하여 구한 결과로 이론식을 구하였다.

2광자 흡수 계수는 문헌값으로부터  $\beta = 2.6 \times 10^{18}$  cm/W 로 정하였으며 그 결과로 얻은 자유전자 운반자의 흡수 계수는 그림 2.에서 보이는 것처럼 빛의 세기에 따라 증가하다가 일정한 세기의 근처에서는 포화 되는 현상을 관찰 하였다. 실제 이광자 흡수에 의해 생성된 자유 전자들의 밀도는 약  $2 \times 10^{15}$  /cm<sup>3</sup> 로 자유전자들 사이의 상호작용에 의해 흡수 단면적의 변화를 기대하기에는 생성된 자유전자의 개수가 적다. 따라서 이것은 이광자 흡수에 의해 여기된 전자들이 점점 전하의 개수가 증가함에 따라 밴드갭 바로 아래에 위치하는 포획 상태를 먼저 채우고 다음에 전도대의 상태를 채움에 따라 나타나는 두 개의 운반자 흡수 단면적의 기여도의 변화에 의한 것이라고 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. A. A. Said, M. Sheik-Bahae, D. J. Hagan, T. H. Wei, J. Young, and E. W. Van Stryland, J. Opt. Soc. Am. B **9**, 405 (1992).
2. K. H. Lee, W. R. Cho, J.-H. Park, J.-S. Kim, S.-H. Park, and U. Kim, Opt. Lett. **19**, 1116 (1994).
3. L. Pavesi, M. Guzzi, J. Appl. Phys. **75**, (1994).
4. M. R. Brozel and G. E. Stillman, *Properties of Gallium Arsenide*, p141, (1998).