

## 제 2 고조파 발생에서 다공질 규소의 비선형 감수율 측정

### Measurement of nonlinear susceptibility of porous silicon through second harmonic generation

서영석, 조창호 \*, 김영유 \* \*  
 배재대학교 물리학과 \*, 공주대학교 물리학과 \* \*  
 sys2745@backsan.paichai.ac.kr

1. 서 론

양극산화 방법으로 제작한 다공질 규소는 무결정이나 결정질의 규소에 비해 강력한 가시광선의 발광을 하기 때문에 많은 관심을 끌고 있다. 다공질 규소의 표면 구조를 이해하기 위하여 x-선 회절, 라만 산란, AFM(atomic-force microscopy)을 이용하여 관찰하였다.

제2 고조파 발생을 이용하여 표면과 경계면의 관찰이 꾸준히 발전되어 왔는데, 표면의 전자구조와 경계면 그리고 비선형 광학반응의 관계를 이해하는데 유용하다. 본 연구는 다공질 규소의 표면에서 Nd:YAG 레이저의 제2 고조파를 발생시켰다. 이로부터 다공질 규소의 제작조건에 따른 유전율을 계산하였으며, 신호를 분석하여 PL과의 관계를 논의하였다.

2. 이론적 접근

레이저 광을 입사시켜서 발생한 반사된 제2 고조파 광의 세기는 아래와 같이 주어진다.<sup>(1)</sup>

$$I(2\omega) = \frac{32 \pi^3 \omega^2 \sec^2 \theta_2 \omega}{c^3 \epsilon(\omega) \omega^2 (2\omega)} \left| \hat{e}_{2\omega} \cdot \chi_s^{(2)} : \hat{e}_\omega \hat{e}_\omega \right|^2 I_\omega^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

매질사이의 경계면에 두께 d인 매질이 있을 때, 입사광과 제2고조파 사이의 반사와 굴절의 관계는 아래와 같이 주어진다.<sup>(2)</sup>

$$\frac{I_{SHG}^{\alpha \beta}}{I^2} = (A \cos^2 \alpha + B \sin^2 \alpha)^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{I_{SHG}^{\alpha \gamma}}{I^2} = (H \sin 2\alpha)^2$$

입사광의 편광과 결정의 상태와의 관계를 알 수 있다. 입사광이 입사 평면에 각 α로 선형 편광되었을 경우의 식이다.

3. 실험 및 결과

다공질 규소를 제작하기 위한 실험장치는 그림1과 같다. 붕소를 함유한 비저항 0.015 Ω·cm의 p형 (100) 단결정 규소기판을 20%, 25% HF-에탄올 용액에서 전류밀도와 전류가 흐르는 시간을 변화시키면서 제작하였다. HF-에탄올과 기판접촉면적 0.125 cm<sup>2</sup>이었으며, 기판 뒷면에 가는 Al선을 연결(양극)하였고, 백금선(음극)을 사용하였다. 전류밀도 측정은 Galvanostat(Houkuto Denko Ltd., HA-301)를 사용하였다. 기판에 인가한 시간은 100, 200, 400, 500, 700, 1000초 이었으며, 전류밀도는 1, 5, 10, 20, 50 mA/cm<sup>2</sup> 이었다. 각각의 시료는 상온에서 제작하였다. Q-스윗칭된 Nd:YAG 레이저의 펄스폭은 약 7ns, 펄스 반복율은 10Hz 이고, 출력은 약 10 MW/cm<sup>2</sup> 이었다. 제작한 다공질 규소 표면에 레이저 광을 입사하여 산란된 광을 분광광도계에 입사시킨다. 제2 고조파인 파장 0.532 μm의 출력은 광증배관인 PM

튜브를 이용하여 측정하였다. 제2 고조파 광의 세기의 비등방성은 입사광 평면과 시료 표면 위의 고정 방향과의 이루는 방위각을 변화시키면서 측정하였다. 그림2는 방위각을 변화시키면서 측정한 제2 고조파의 세기를 나타낸 것이다.  $\pi/2$ 를 주기로 하여 같은 결과가 나온다. 입사광의 편광각을 변화시키면서 제2고조파 중에서 s-편광만의 세기를 나타낸 결과가 그림3 이고, p-편광만의 세기를 나타낸 결과가 그림4 이다.  $\pi$ 를 주기로 하여 같은 결과가 나타난다. 그림5는 같은 위치에 레이저 광을 계속 입사하였을 경우 나타난 결과이다. 실험 결과의 점은 10회를 평균한 값이다. 시간은 경과한 시간이다.

4. 결 론

규소의 결정은  $C_{3v}$  대칭이었는데, 다공질 규소는 그림2로부터  $C_{2v}$  대칭이다. 비선형 광학 감수율은 식(1)로부터  $\chi_{eff}^{(2)} \sim 8.4 \times 10^{-8} e.s.u$  이었다. 규소의  $\chi^{(2)} \sim 1.0 \times 10^{-9}$ 에 비하여 증가함을 알 수 있다. 레이저 플라즈마의 영향으로 공기중에서 Si-O-H 형성으로 인한 제2고조파의 발생의 세기가 감소함을 알 수 있다.

참고문헌

- 1.Kuang-Yao Lo and Juh Tzeng Lue, The Optical Second-Harmonic Generation from Porous Silicon, IEEE Photon. Technol. Lett., 5(6), 651 (1993)
- 2.T.G.Zhang, C.H.Zhang, and G.K.Wong, Determination of molecular orientation in molecular monolayers by second-harmonic generation, J. Opt. Soc. Am. B, 7(6), 902 (1990)

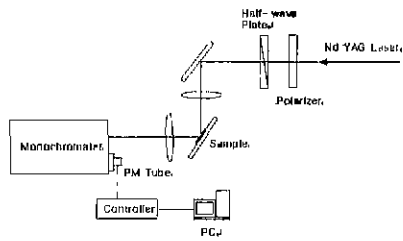


Fig 1 The experimental setup for measuring Second Harmonic Generation signal

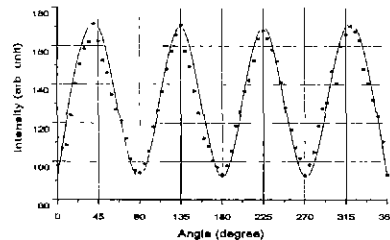


Fig 2 The experimental dependence of the SHG intensity on angle. Solid line: Theoretical curve. Dot line: PS (100s-20mA)

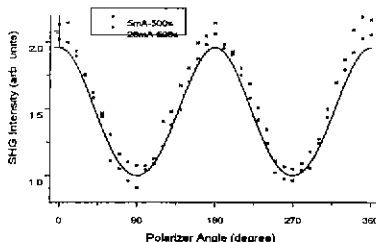


Fig 3 Experimental s-polarized SHG intensity data and a Theoretical fit for a PS(500s-5, 20mA)

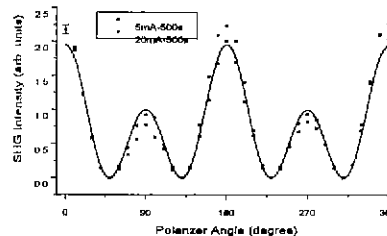


Fig 4 Experimental p-polarized SHG intensity data and a Theoretical fit for a PS(500s-5, 20mA)

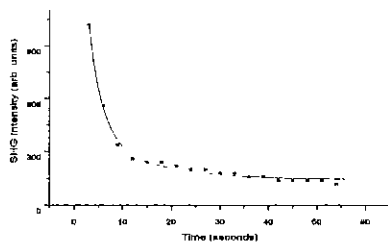


Fig 5 The SHG intensity decay rate for the PS(100). The dots are the experimental value and the solid line is curve fitting

