

# Poling된 실리카 유리의 2차 비선형 광특성에 대한 전산모사 해석

## Computer Simulation Analysis on 2nd Order Optical Nonlinearity in Poled Silica Glass

이승규, 유웅현, 신동욱, 정용재  
한양대학교 세라믹공학과  
lsk7377@hanmail.net

### Abstract

Silica glass is a core material for optical fiber in optical telecommunications, but its centrosymmetry eliminates the second order nonlinearity. But it is experimentally well known that the space charge polarization induces the Second Harmonic Generation (SHG) when a strong DC voltage is applied to silica glass for a long period time with metal blocking electrodes.

In this research, a theoretical calculation of the nonlinear optical property caused by the space charge polarization is performed, and a model of a numerical analysis to predict the small change in nonlinear optical property as functions of time and space is provided.

실리카는 이미 광섬유와 같은 수동형 광도파 소재로서 그 우수성이 잘 알려져 있고 집적형 광소자에 있어서도 극히 낮은 광도파 손실, 물리화학적으로 안정된 물성, 제조의 용이성, 기존 광섬유와의 접속 손실이 매우 낮다는 점 등 장점이 매우 많아서 집적 광소자의 소재 중 가장 현실적인 소재로 인정되고 있다. 그러나 실리카는 매우 우수한 광도파 소재이지만 산화물 강유전체나 폴리머 소재 등과 비교할 때, 비선형 광특성이 거의 없으므로 광스위치나 변조기와 같은 핵심적인 부품을 제조할 수 없다는 단점이 있다.

그러나, 1991년에 미국 New Mexico 대학의 Myers 등[1]이 poling된 실리카 유리에서의 비선형 광학 효과를 학계에 발표한 이후, 이러한 현상의 발생기구를 밝히거나 비선형성을 증대시키기 위하여 다수의 연구가 발표되어 왔다[2]. 이러한 비선형 실리카에 대하여 큰 관심을 가지는 이유는 실리카와 같은 우수한 광도파 소재에서 광스위치나 변조기를 구현해 낼 수 있는 가능성을 보았기 때문이라고 할 수 있다. 3차원적으로 균일(isotropic)하고 centrosymmetry가 있어 2차 비선형 광학효과가 없는[3] 실리카 유리에서 2차 비선형 광학 현상이 발생하는 원인으로 가장 유력하게 대두된 기구는 강한 전기장에 의한 공간전하분극(space charge polarization)의 발생이다[4]. 전류를 흘리는 전하운반체는  $\text{Na}^+$ 와 같은 알칼리 이온이나,  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ 와 같은 이온들로 알려져 있다. 이러한 실리카 유리에 금속 전극과 같은 차단전극(blocking electrode)을 이용하여 전기장을 가하면 양극 쪽의 실리카 유리 표면에 공간전하분극이 발생한다. 이러한 공간전하분극은 표면으로부터 수  $\mu\text{m}$ 의 매우 짧은 영역에서 발생하므로 이 영역에서 형성되는 전기장은 매우 크다. 이러한 큰 전계 하에서는 3차 비선형 광학 효과에 의한 주파수 2배수 성분이 발생하고 2차 비선형 광학 계수가 다음과 같은 식에 의해 유도된다.

$$P_{2\omega} = \epsilon_0 \chi_{\text{eff}}^{(2)} E_{\omega} E_{\omega} \quad (1)$$

$$\chi^{(2)}_{eff} = 3 \chi^{(3)} E_{dc} \quad (2)$$

여기서  $P_{2\omega}$ 는 주파수 2배수 성분의 분극 벡터이고,  $\chi^{(2)}_{eff}$ 는 유도 2차 비선형 광학 계수,  $\chi^{(3)}$ 는 3차 비선형 광학 계수,  $E_{\omega}$ ,  $E_{dc}$ 는 각각 입사파에 의해 인가된 전기장과 공간전하분극에 의해 발생된 전기장을 의미한다.

본 연구의 목적은 실리카 유리를 이용하여 광스위치를 제작하기 위한 기초연구로써 2차 비선형 광학 효과를 유도하기 위한 Poling을 할 때 실리카 유리 내에서 발생하는 공간전하분극을 이론적 계산을 통하여 분석하고자 하였다. 실리카 유리에 이온 차단 전극을 이용하여 직류 전압을 인가하였을 때, 실리카 유리 내에서는 오로지  $Na^+$ 만이 전하 운반체의 역할을 하고, 또한  $Na^+$ 는 실리카 유리 내의 어떠한 이온이나 결합과 반응(recombination)하지 않으며, 새로이 발생하지도 않는다고 가정한다. 실리카 유리에 전압이 인가되었을 때, 일정한 농도 분포를 띄는  $Na^+$ 는 Drift를 하게 되고, Drift에 의해  $Na^+$ 의 농도 구배 (Concentration Gradient)가 전기장 방향의 반대 방향(-)극에서 (+)극 방향으로 발생한다.  $Na^+$ 는 이온 차단전극에 의해 비정질 실리카와 전극판 사이의 이동이 불가능하므로, 음극(Cathode)에서는  $Na^+$ 의 축적이, 양극(Anode)에서는  $Na^+$ 의 공핍이 발생하게 된다(Fig. 1).

Simulation을 통해 얻어진 Fig.2 와 같이 고전압이 인가되었을 경우, 포텐셜의 분포가 확실한 비대칭성을 보인다. 또한 더욱 우리가 주목해야 할 점은 강한 전기장을 걸어주었을 때 양극쪽에서 포텐셜의 감소가 매우 크게 나타난다는 것이다. 시편의 양극쪽 전극에서부터 0.2가 변화할 때 포텐셜의 감소는 거의 절반이나 일어남을 볼 수 있고 이런 점에서 공간 전하 분극에 의해 발생하는 비선형 광특성이 음극 쪽보다는 양극쪽의 공핍층에 주로 지배된다는 것을 생각할 수 있다.

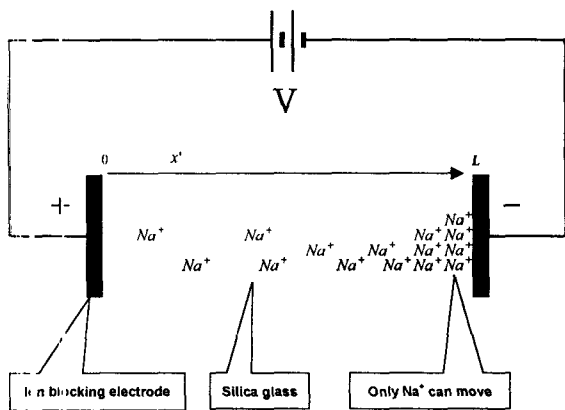


Fig. 1 Schematic illustration of the polarization of the  $Na^+$  ion under the applied voltage.

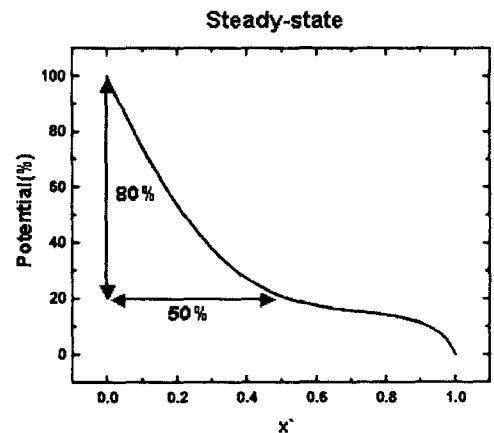


Fig. 2. Potential distribution as a function of the time at ( $L'=10$ ,  $V'=20$ )

참고문헌

[1] R. A. Myers, N. Mukherjee, and S. R. J. Brueck, "Large second order nonlinearities in poled fused silica." Opt Lett., **16**, 1732-1734 (1991)  
 [2] H.G. Kazansky, P.St.J. Russell, and H. Takebe, "Glass fiber poling and applications," J. Lightwave Technol., **15**(3), 1484-1493 (1997)  
 [3] J.F. Nye, Physical Properties of Crystals, Oxford University Press, 241 (1967)  
 [4] P. G. Kazansky, A. R. Smith, P. St. J. Russell, G. M. Yang, and G. M. Sessler, "Thermally poled silica glass: Laser induced pressure pulse probe of charge distribution," Appl. Phys. Lett., **68**, 269-271. (1996)