

Porous Si layer의 광학특성과 편광소자에의 응용

구경완*, 황재훈*, 白石和男[†], 松村和仁[‡]
 *永同大學校, 宇都宮大學校[‡]

Optical Properties of Porous-Si Layers on Si-substrate
 and its Application of Polarization Devices

K.W. Koo*, J.H. Hwang*, K. Shiraishi[†], K. Matsumura[‡]
 Youngdong University*, Utsunomiya University[‡]

Abstract - We propose that we use a porous-Si for a new spatial walk-off polarizing material with a large split angle. The beam-split angle ϕ is determined by the filling factor g (or porosity p) of the columnar dielectric substance and the slant angle θ . Theoretically, by the assuming that $n_2=3.5$, and $n_1=1$ one can predict that a large split angle, up to 27° , is possible if one can construct such films with Si.^[3] To accomplish this, we use porous-Si. As a result of theoretical simulation, the best structural parameters for attaining the maximum split angle $\phi=27.5^\circ$ are $\theta=58.7^\circ$ and $p=57.6\%$.

1. 서 론

편광분리 소자는 광아이솔레이터나 광점속등에 있어서 중요한 광회로소자의 하나이다. 저자 등은 넓은 개구를 가지며 큰 편광 분리각을 실현하는 방법으로 경사배향 침상 유전체가 갖는 구조복굴절을 이용하는 방법 및 굴절률이 다른 2종류의 유전체를 교차 다층막으로 하여 그 구조이방성에 의해 생기는 굴절률 이방성을 이용하는 적축형 편광분리소자(Laminated Polarization Splitter)에 관한 연구결과를 발표한 바 있다.[1-3]

본 논문에서는 실리콘을 양극 산화하여 얻은 다공성 실리콘이 좁은 원통형 실리콘(Narrow Si columns)과 많은 micropore로 구성되어 있으므로 굴절률 이방성을 보일 것으로 판단하고 편광분리소자로의 응용 가능성을 검토하였다.

Pore의 직경(2-10nm)과 porosity(10-80%)는 양극전류밀도와 HF농도, 그리고 기관의 종류(dopant 및 doping정도)에 의해 제어할 수 있다.[4-7]

원통형의 hole을 갖는 다공성 실리콘을 등가콘덴서 모델로부터 실효 굴절률을 구하였다. 그리고 실효 굴절률에 따른 편광 분리각 특성을 얻음으로써 큰 편광 분리각을 얻을 수 있는 편광분리소자용의 새로운 소재로 기대된다.

2. Porous Si의 콘덴서 모델에 대한 편광 분리각의 검토

Porous Si은 Si기판을 양극 산화하여 공동을 형성한 다공성의 실리콘이다. 즉, 그림 1과 같이 실리콘의 기판 상에 원통형의 공동을 형성한 것이다. 일반적으로 원통형의 공기 공동의 축과 같은 방향으로 편파된 광을 상광이라 하고, 진행방향과 직교하면서 상광과 직교하는 방향으로 편파된 광을 이상광이라 한다. Porous Si은 구조적인 특성 때문에 그림 2와 같이 입사광의 편광방향에 따라 실효적인 굴절률이 달라진다.

본 논문에서는 상광과 이상광에 대한 매질의 실효 굴절률이 달라지게 되는 특성을 이용해 편광분리소자로 사용할 수 있음을 제안한다.

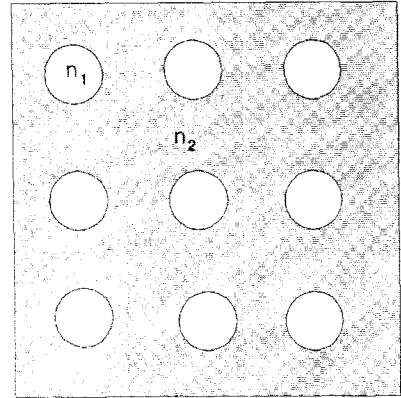


Fig. 1 Condenser model of Porous Si (top view)

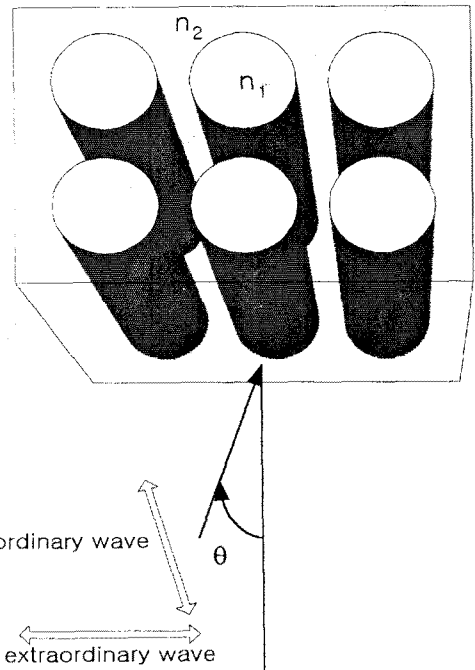


Fig. 2 ordinary wave(E_o) and extraordinary wave (E_e)

편광 분리소자로 사용할 수 있음을 확인하기 위해서, 우선 Porous Si을 콘텐서 모델화해서 실효 굴절률을 구하고 또한 실효 굴절률에 따르는 편광분리특성을 구한다.

편광 분리각 ϕ 는 (1)식과 같이 상광과 이상광에 대한 실효굴절률 n_o , n_e 및 면에 대한 입사각 θ 에 의해 결정된다.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{(n_e^2 - n_o^2) \tan \theta}{n_e^2 + n_o^2 \tan^2 \theta} \quad (1)$$

여기서, n_o 및 n_e 는 Lorentz-Lorentz 식으로부터 얻어지는 상광 및 이상광에 대한 실효 굴절률로 (2)식 및 (3)식과 같이 나타낸다.

상광에 대한 실효 굴절률

$$n_o = \left[\frac{p(1-\sqrt{p})n_2^4 + [p + (1-\sqrt{p})^2]n_1^2 n_2^2}{\sqrt{p}n_2^2 + (1-\sqrt{p})n_1^2} \right]^{1/2} \quad (2)$$

이상광에 대한 실효 굴절률

$$n_e = [\sqrt{p}n_1^2 + \sqrt{1-p}n_2^2]^{1/2} \quad (3)$$

(2)식과 (3)식에 n_o 은 공기의 굴절률(1.0)이고, n_1 은 Si의 굴절률(3.5)이다. 또한 p 는 실리콘중의 공기의 비율을 나타내는 porosity이다.

그림 3에 porosity에 따르는 상광 및 이상광에 대한 매질의 실효 굴절률의 계산결과를 나타낸다.

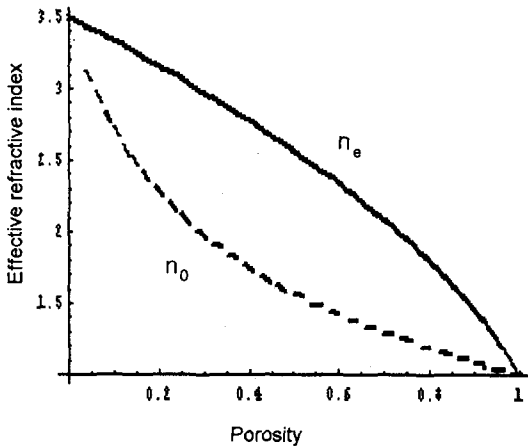


Fig. 3 Porosity에 따른 실효 굴절률의 변화

그림으로부터 porosity가 변함에 따라 상광 및 이상광에 대한 실효 굴절률이 변함을 알 수 있다. Porosity가 '0'인 경우는 순수한 실리콘과 같으므로 실효 굴절률이 3.5가 됨을 알 수 있다. 또한 porosity가 '1'인 경우는 순수한 공기로 실효 굴절률이 공기의 굴절률인 1과 같아짐을 알 수 있다. 또한, 상광에 대한 실효 굴절률의 변화율과 이상광에 대한 실효 굴절률의 변화율이 porosity에 따라 달라짐을 알 수 있다. 이러한 특성에 의해 상광과 이상광이 분리되는 것임을 알 수 있다. 따라서 상광과 이상광에 대한 실효 굴절률의 차이가 최대

가 되는 porosity에서 상광과 이상광은 최대로 분리된다. 본 계산에서 porosity가 0.576(57.6%)일 때 상광과 이상광간의 실효 굴절률의 차이가 최대가 되고, 그때의 실효 굴절률 n_o 및 n_e 는 각각 1.4574 및 2.40153이 되었다. 이러한 결과를 식 (1)에 대입하여 편광 분리각 ϕ 를 구할 수 있다.

그림 4는 porosity가 0.576(57.6%)일 때의 파의 입사각에 따른 편광 분리각의 관계를 나타낸다. 이 그림으로부터 입사각이 1rad 부근에서 편광 분리각이 최대가 됨을 알 수 있다. 정밀 계산의 결과, 입사각이 1.02535rad(58.7°)에서 편광 분리각이 최대가 됨을 알 수 있었다.

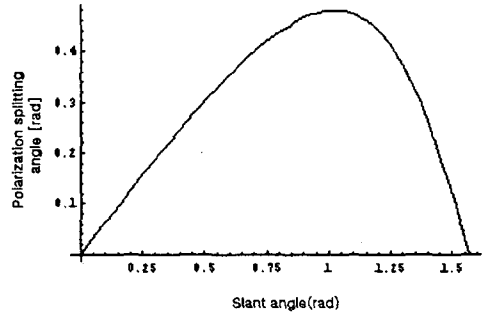


Fig. 4 The relation of slant angle and polarization splitting angle

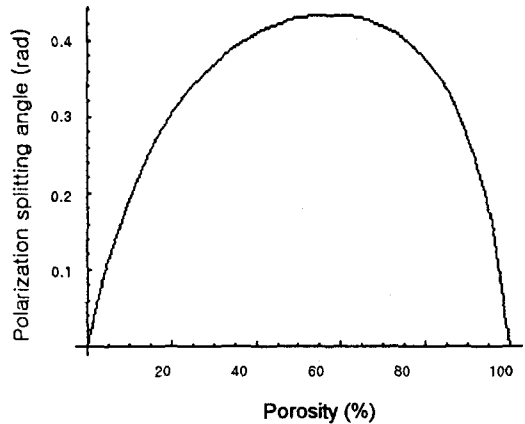


Fig. 5 The relation of Porosity and polarization splitting angle

그림 5는 입사각이 1.02535rad일 때 porosity와 편광 분리각의 관계를 나타내고 있다. 그림으로부터 porosity가 57.6%일 때 편광 분리각은 0.4799(rad), 즉 27.496°로 최대가 됨을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 편광분리소자의 큰 편광 분리각을 실현시킬 수 있는 새로운 방법으로 다공성 실리콘의 굴절률 이방성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

[1] 상광 및 이상광의 실효 굴절률 변화로부터 57.5%의 porosity에서 실효 굴절률차가 최대가 되고 그때의 실효 굴절률 n_o , n_e 는 각각 1.46 및 2.40이었다.

[2] 57.6%의 porosity. 파의 입사각 58.7 °에서 편광 분리각은 27.5 °로 최대가 됨을 알 수 있었고 이는 지금까지 최대로 기록되고 있는 실리콘 경사 증착막의 경우(이론계산: 26.6 °, 실현 : 20 °)보다 양호한 값이다.

(참 고 문 헌)

- [1] K. Shiraishi, T.Sato, and S. Kawakami, Appl. Phys. Lett. 58, 211, 1991
- [2] K. Muro and K. Shiraishi, J. Lightwave Technology 16, 127, 1998
- [3] K. Shiraishi and T. Aoyagi, Optics Letters, Vol. 23, No. 15, p1232, 1998
- [4] L.T. Canham, Appl. Phys. Lett. 57, 1046, 1990
- [5] N. Koshida and H. Koyama, Jpn. & Appl. Phys. 30(7B), L1221, 1991
- [6] N. Koshida and H. Koyama, Appl. phys. Lett. 60:347, 1992
- [7] N. Koshida and H. Koyama, MRS. Symp. proc. 256, 219, 1992