

SiO₂-B₂O₃-CaO-P₂O₅계에서 조성이 Aerosol Flame Deposition법에 의해 제조된 유리박막의 열처리 온도와 굴절률에 미치는 영향

이정우 · 정형곤* · 정석중* · 이형중* · 문중하

전남대학교 세라믹공학과

*전남대학교 물리학과

Effects of the Composition on the Consolidation Temperature and Refractive Index of the Glass Thin Film Fabricated by Aerosol Flame Deposition Method in SiO₂-B₂O₃-CaO-P₂O₅ System

Jeong Woo Lee, Hyung gon Chung*, Suck Jong Chung*, Hyung Jong Lee* and Jong Ha Moon

Dept. of Ceramic Engineering, Chonnam National University

*Dept. of Physics, Chonnam National University

(1998년 10월 8일 받음, 1999년 3월 22일 최종수정본 받음)

초 록 SiO₂-B₂O₃-CaO-P₂O₅계에서 조성이 AFD법에 의해 제조된 유리박막의 열처리 온도와 굴절률에 미치는 영향을 조사하였다. SiO₂-B₂O₃-CaO 삼성분계에서 CaO 함량이 일정할 경우 B₂O₃ 양이 많을수록 용점이 낮아졌으며, SiO₂와 B₂O₃ 함량이 일정할 경우 CaO 양이 많아질수록 용점은 높아졌다. 72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO 조성의 용점을 저하시키기 위해 P₂O₅를 첨가한 결과, P₂O₅ 첨가량이 증가함에 따라 유리의 용융온도는 낮아졌으며 굴절률은 1.4649에서 1.4684로 선형적으로 증가하였다. SiO₂-B₂O₃-CaO-P₂O₅계에서 CaO와 P₂O₅ 함량이 일정할 경우 SiO₂/B₂O₃의 비가 증가할수록 유리박막의 용점이 낮아졌다.

Abstract The effects of the composition on the consolidation temperature and refractive index of the glass thin film fabricated by aerosol flame deposition method in SiO₂-B₂O₃-CaO-P₂O₅ system were investigated. When the amount of CaO was constant in SiO₂-B₂O₃-CaO system the consolidation temperature of glass thin film decreased with increasing the amount of B₂O₃. Also, when the amount of SiO₂ and B₂O₃ was constant the consolidation temperature of glass thin film increased with increasing the amount of CaO. P₂O₅ was added to 72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO in order to decrease its consolidation temperature. As the amount of P₂O₅ increased its consolidation temperature decreased and the refractive index linearly increased from 1.4649 to 1.4684. When the amount of CaO and P₂O₅ was constant in SiO₂-B₂O₃-CaO-P₂O₅ system the consolidation temperature of glass thin film decreased with increasing the ratio of SiO₂/B₂O₃.

1. 서 론

초기의 광회로 소자는 유리,¹⁾ LiNbO₃ 등의 유전체,²⁾ GaAs, InP 등의 반도체³⁾를 사용하여 제작되었으며, 이 회로의 구조 및 배열에 의하여 특수한 기능을 갖는 집적광학 소자의 개발이 이루어졌다. 특히, 유리는 저손실, 광섬유와 융착연결, 모드결합이 용이, 대량생산 가능, 저렴한 가격 등의 장점을 갖고 있기 때문에 근래의 광통신, 광신호처리 및 광검출 등에 사용할 수 있는 광회로 소자로서 활발한 연구가 진행되고 있다.

실리카 광회로의 연구는 1980년대 초기에 일본 NTT, 프랑스 LETI, 미국 AT&T Bell에서 먼저 실리콘을 기반으로 하여 시작되었다. 일본 NTT에서는 광섬유 제작분야에서 연구하던 Kawachi 등이 광섬유 제작에 사용되는 VAD 방법⁴⁾을 실리콘 기판에 적용하여 20-100 μ m의 실리카 후막 제작에 용이한 FHD (Flame Hydrolysis Deposition) 방법⁵⁾을 개발하였으며, 미국 및 프랑스에서는 실리콘 전자

소자에 사용하는 CVD (Chemical Vapor Deposition)⁶⁾ 방법을 적용하여 광도파 박막을 제작하였다. 이들 방법은 실리콘을 기반으로 하며 반도체 공정을 이용한다는 점에서 공통점이 있으나 박막 제작방법은 매우 상이하다. 그 밖에 이온침투,⁷⁾ 스퍼터링,⁸⁾ 졸-겔법⁹⁾ 등의 박막제작 방법 등이 있다. 이 방법들 중 광손실이 적은 것으로 알려져 있는 CVD나 FHD 방법으로 유리박막을 제작할 경우 휘발성이 높은 물질만 사용이 가능하여 유리박막의 조성이 매우 제한적일 뿐 아니라 조성의 제어가 매우 힘들다.

광도파로 소자는 굴절률이 낮은 base 층, 광이 도파하는 core 층, 그리고 base 층과 굴절률이 같은 over clad 층으로 이루어진다. Base 층과 core 층의 반응을 방지하기 위해서는 core 층의 열처리 온도가 base 층에 비해 낮은 것이 바람직하며, over clad 층의 열처리 온도는 core 층에 비해 낮아야 한다. 특히 식각이 이루어진 core 층, 즉 광도파로 위에 over clad 층을 열처리시킬 경우 두 층 사이의 열처리 온도차가 작을 경우 도파로의 폭이 감소할 뿐 아니라

기포의 제거가 어렵다. 따라서 광도파로 제작시 각 층에 사용된 유리박막의 용점은 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 유리박막의 조성에 제한이 없고 조성의 제어가 용이한 새로운 AFD 방법¹⁰⁾을 이용하여 Si 기판 위에 SiO₂-B₂O₃-P₂O₅-CaO계의 유리박막을 제작한 후, 조성의 변화에 따른 유리박막의 열처리 온도와 굴절률을 조사함으로써 base와 over clad 층으로 적합한 유리박막의 조성을 개발하고자 한다.

2. 실험 방법

AFD 방법이란 액상의 졸을 초음파 진동자를 사용하여 에어로졸 입자로 만들고, 이들을 산·수소 불꽃으로 산화시켜 기판 위에 증착시키는 방법이다. 따라서 AFD (Aerosol Flame Deposition) 방법이라고 명명할 수 있다. 이 방법은 새로운 광도파로 제작방법으로써 AFD를 이용한 SiO₂-B₂O₃-P₂O₅-CaO계 광소자용 유리박막의 제작은 본 연구팀에서 처음으로 시도하고 있다.

본 실험에서는 먼저 AFD 방법을 이용하여 실리콘 기판 위에 그림 1 (SiO₂-B₂O₃-CaO 삼성분계)과 같은 조성들의 유리박막제작의 가능성을 조사한 후 P₂O₅가 SiO₂-B₂O₃-CaO 삼성분계 조성의 유리박막 제작 조건에 미치는 영향을 조사하였다.

본 실험에서 사용된 시약은 tetraethyl orthosilicate (TEOS), B[(CH₃)₂CHO]₃, Ca(NO₃)₂·4H₂O, H₃PO₄이다. 먼저 TEOS와 에탄올을 혼합한 1차 용액에 증류수와 H₃PO₄를 혼합한 2차 용액을 천천히 떨어뜨리면서 자석교반기로 1시간 동안 교반한 후 여기에 B[(CH₃)₂CHO]₃와 메탄올을 혼합한 3차 용액을 같은 방법으로 천천히 떨어뜨리면서 자석교반기로 교반하면서 3시간 동안 반응시켰다.

졸 용액을 1.5MHz의 초음파 진동자가 부착된 용기에 넣고 에어로졸을 만든다. 에어로졸은 아르곤 가스에 의해 토치로 이송되고, 산·수소 불꽃에 의해 산화반응 되면서 실리콘 기판에 증착된다. 이때에 기판의 온도는 400℃로 유지시켰다. 일정한 두께로 분말이 증착되도록 컴퓨터를 이용하여 x, y 방향으로 그물망 모양으로 움직이면서 산화분말

을 증착시켰다.

산화분말의 잔류 결정수와 유기물을 제거하기 위하여 산화분말이 증착된 기판을 500℃ 산소분위기에서 2시간 동안 열처리하였다. 열처리된 박막을 1000~1350℃ 온도영역에서 열처리함으로써 실리콘 기판 위의 산화분말을 용융시켰다. 이때에 1350℃ 이하로 열처리한 이유는 실리콘 기판의 용점은 1410℃로써 알칼리토류가 함유된 산화분말을 1350℃ 이상에서 열처리할 경우 기판과 반응할 가능성이 있기 때문이다. 열처리 후 공기 중에서 급냉시켜 유리박막을 제작하였으며, 조성에 따른 유리박막의 특성을 광학현미경과 XRD를 사용하여 조사하였고 박막의 두께 및 굴절률은 헬륨-네온 레이저 광원과 GGG (Gadolinium Gallium Garnet) 프리즘으로 구성된 프리즘 커플러로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 SiO₂-B₂O₃-CaO 삼성분계에서 실리콘 기판 위에 유리박막의 제작을 위해 선택된 조성들이다. 이 조성들은 SiO₂-B₂O₃-CaO계 상평형도에 의하면 용점이 1000~1200℃ 영역으로 예측되었다. 그럼에도 불구하고 AFD 방법에 의해 실리콘 기판 위에 산화분말을 증착시켜 열처리할 경우 위에서 선택된 조성들은 1350℃ 이하에서 완전히 용융되지 않아 깨끗한 유리박막을 제작할 수 없었으나 16번 조성으로 갈수록 부분적인 용융이 일어났다. 용융 경향은 상평형도와 일치하여 CaO 함량이 일정할 경우 B₂O₃ 양이 많을수록 용점이 낮아 졌으며, SiO₂와 B₂O₃ 함량이 일정할 경우 CaO 양이 많아질수록 용점은 높아졌다. 따라서 그림 1의 조성 중 용점이 가장 낮은 조성은 72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO으로써 16번 조성이었다.

72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO 조성의 용점을 저하시키기 위해 P₂O₅를 첨가하였다. 유리의 용점을 저하시키기 위해서는 72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO 조성의 B₂O₃ 양을 증가시키거나 P₂O₅를 첨가하는 방법이 있다. Hammond¹¹⁾ 등에 의하면 silica glass의 용점을 낮추는데 있어서 B₂O₃에 비해 P₂O₅가 효율적이며, 일반적으로 B₂O₃에 비해 P₂O₅가 광손실을 줄인다고 알려져 있어서 본 실험에서는 P₂O₅를 첨가하였다. 그림 2는 P₂O₅ 첨가량에 따라 1250℃에서 열처리된 72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO 유리박막의 광학현미경사진(×100)이다. P₂O₅ 함량이 15wt%일 경우 용융이 전혀 일어나지 않았으며, 20wt%일 경우 부분적인 용융 현상은 일어났으나 큰 기공들이 존재하였다. 25wt%일 경우 기공이 없는 깨끗한 유리박막이 얻어졌으며, 30wt%일 경우 P₂O₅의 휘발로 인한 기공이 다시 생성되었다. 이 결과로부터 P₂O₅ 첨가량이 증가함에 따라 실리콘 기판에 증착된 산화물의 용융온도는 낮아짐을 알 수 있다.

그림 3은 P₂O₅ 첨가량에 따라 1250℃에서 열처리된 72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO 유리박막의 X-ray 회절분석 결과이다. 15wt% P₂O₅가 첨가되어 용융이 전혀 일어나지 않을 경우 cristobalite 결정상이 관찰되나 P₂O₅ 첨가량이 증가하여 용융이 일어날 경우 결정상의 생성은 없었다. 특히, 너무 높은 열처리 온도로 인하여 휘발이 일어난 경우에도

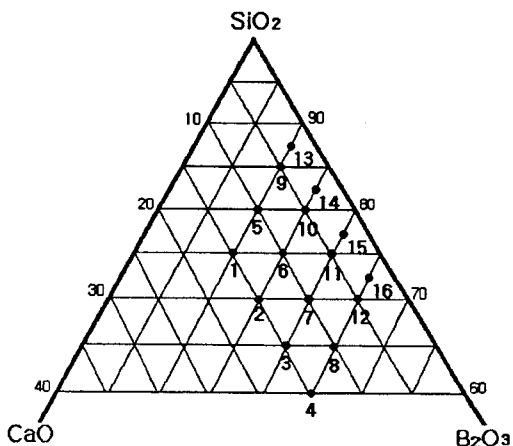


Fig. 1. Selected glass composition at SiO₂-B₂O₃-CaO system.

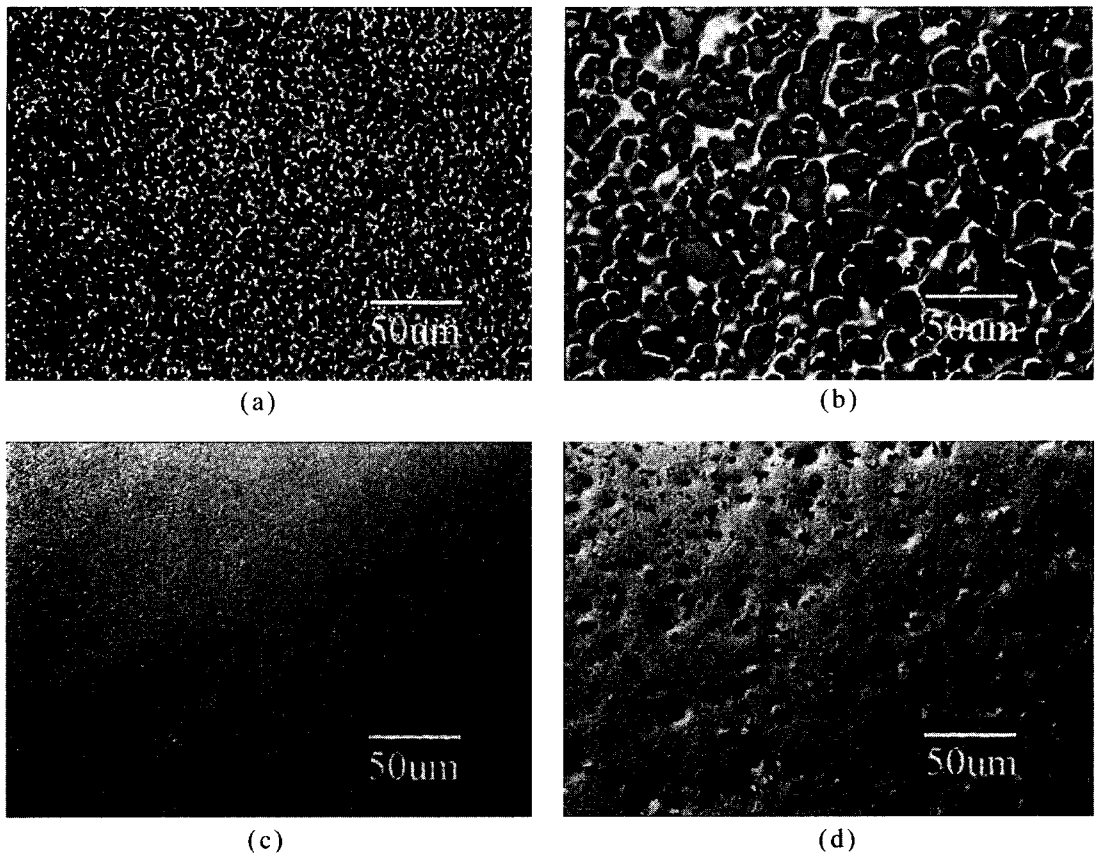


Fig. 2. Optical micrographs of $72.5\text{SiO}_2\text{-}25\text{B}_2\text{O}_3\text{-}2.5\text{CaO} + x\text{wt}\% \text{P}_2\text{O}_5$ ($x=15, 20, 25, 30$) glass film consolidated at 1250°C (a) $x=15$, (b) $x=20$, (c) $x=25$, (d) $x=30$

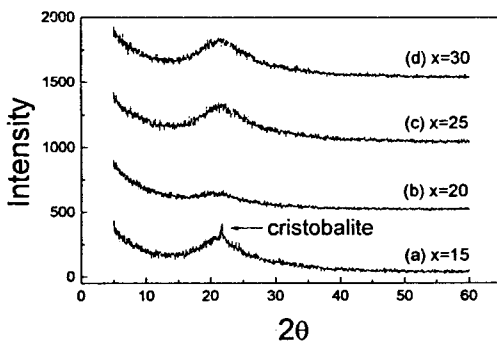


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of $72.5\text{SiO}_2\text{-}25\text{B}_2\text{O}_3\text{-}2.5\text{CaO} + x\text{wt}\% \text{P}_2\text{O}_5$ ($x=15, 20, 25, 30$) glass film consolidated at 1250°C

결정상의 피크는 관찰되지 않았다.

그림 2의 (d)에서 알 수 있는 바와 같이 열처리 온도가 너무 낮을 경우 산화물은 용융되지 않으며, 너무 높을 경우 P_2O_5 의 높은 휘발성으로 인하여 용융유리의 끓음 현상이 발생하였다. 따라서 P_2O_5 가 함유된 유리박막을 제작할 경우 적절한 열처리 온도가 필요함을 알 수 있다. 그림 4는 $1000\sim 1350^\circ\text{C}$ 영역에서 열처리된 $72.5\text{SiO}_2\text{-}25\text{B}_2\text{O}_3\text{-}2.5\text{CaO} + x\text{wt}\% \text{P}_2\text{O}_5$ ($x=15, 20, 25, 30$) 유리박막의 상태를 광학현미경으로 조사하여 최적의 열처리 온도를 제시한 결과이다. P_2O_5 첨가량이 15, 20, 25, 30wt%일 경우 최적

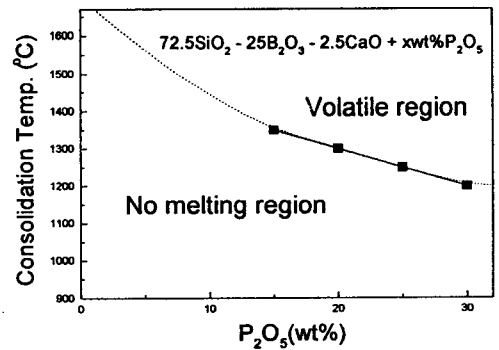


Fig. 4. Optimal consolidation temperature of $72.5\text{SiO}_2\text{-}25\text{B}_2\text{O}_3\text{-}2.5\text{CaO} + x\text{wt}\% \text{P}_2\text{O}_5$ ($x=15, 20, 25, 30$) glass film consolidated at 1250°C

의 열처리 온도는 각각 1350, 1300, 1250, 1200°C 정도였다. 열처리 온도가 최적의 온도보다 약 25°C 이상 높을 경우 휘발로 인한 끓음 현상이 관찰되었으며, 약 25°C 이상 낮을 경우 산화물은 용융되지 않았다.

그림 5는 $72.5\text{SiO}_2\text{-}25\text{B}_2\text{O}_3\text{-}2.5\text{CaO} + x\text{wt}\% \text{P}_2\text{O}_5$ ($x=15, 20, 25, 30$) 유리박막의 굴절률 변화이다. P_2O_5 의 첨가량이 증가함에 따라 $72.5\text{SiO}_2\text{-}25\text{B}_2\text{O}_3\text{-}2.5\text{CaO}$ 유리박막의 굴절률은 1.4649에서 1.4684로 선형적으로 증가하였다. Hammond¹¹⁾에 의하면 silica glass에 첨가할 수 있는

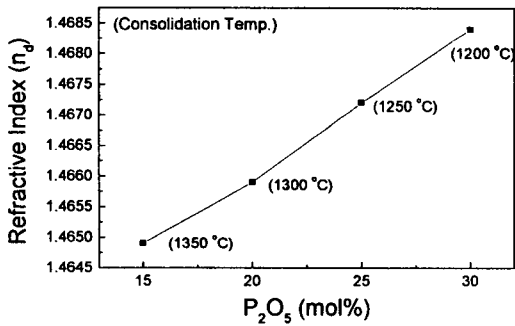


Fig. 5. Refractive index of 72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO + xwt% P₂O₅(x= 15, 20, 25, 30) glass film

P₂O₅의 양은 열팽창 계수의 차이 때문에 25mol%가 한계이다. 이 경우 굴절률은 silica의 굴절률보다 최대 0.9% 증가한 값이라고 하였다. 본 실험에 있어서의 굴절률 변화가 이에 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

SiO₂와 B₂O₃가 SiO₂-B₂O₃-CaO-P₂O₅계 유리박막의 융점에 미치는 영향을 조사하기 위하여 CaO와 P₂O₅ 양을 고정시키고 SiO₂/B₂O₃의 비를 변화시켰다. 그림 6은 1250 °C에서 열처리된 xSiO₂-yB₂O₃-2.5CaO + 25wt% P₂O₅ (x/y=8.75, 5.5, 3.88, 2.9) 유리박막의 광학현미경사진이다. (a), (b), (c), (d)는 각각 그림 1의 13, 14, 15, 16

번 조성에 25wt% P₂O₅가 첨가된 조성에 해당한다. CaO와 P₂O₅ 함량이 일정할 경우 SiO₂/B₂O₃의 비가 증가할수록 기공은 커지며, 기공의 분율은 증가하였으며 X-ray 회절 결과 전 조성에서 특별한 결정상은 관찰되지 않았다. 이 기공들은 P₂O₅의 휘발로 인한 풀음 현상에 의하여 생성된 것들로써 SiO₂/B₂O₃의 비가 감소할수록 유리의 융점이 높아짐을 의미한다. 일반적으로 유리의 융점은 SiO₂/B₂O₃의 비가 감소함에 따라서 낮아지지만 이와 같이 유리의 융점이 높아지는 이유는 B와 P의 강한 결합에 의해 생성된 BPO₄ (T_m≃1450 °C)¹²⁾의 영향으로 SiO₂의 양이 감소하지만 상대적으로 BPO₄에 의한 융점 상승의 영향이 더 크기 때문이라고 생각된다. 이것은 상평형도 (SiO₂-B₂O₃-P₂O₅계)¹³⁾의 결과와도 잘 일치하고 있다.

P₂O₅가 첨가되지 않은 그림 1의 상평형도에서 13에서 16번 조성으로 갈수록, 즉, SiO₂/B₂O₃의 비가 증가할수록 융점이 낮아졌으나, P₂O₅가 첨가될 경우 SiO₂/B₂O₃의 비가 증가할수록 융점이 낮아지는 결과가 나타났다. 따라서 P₂O₅가 SiO₂-B₂O₃-2.5CaO계 유리박막의 융점에 미치는 영향을 조사하기 위하여 P₂O₅ 함량을 변화시켰다. 그림 7은 1250 °C에서 열처리된 xSiO₂-yB₂O₃-2.5CaO + 10wt% P₂O₅(x/y=8.75, 5.5, 3.88, 2.9) 유리박막의 광학현미경 사진이다. SiO₂/B₂O₃의 비가 작은 (d)의 경우 전혀 용융이

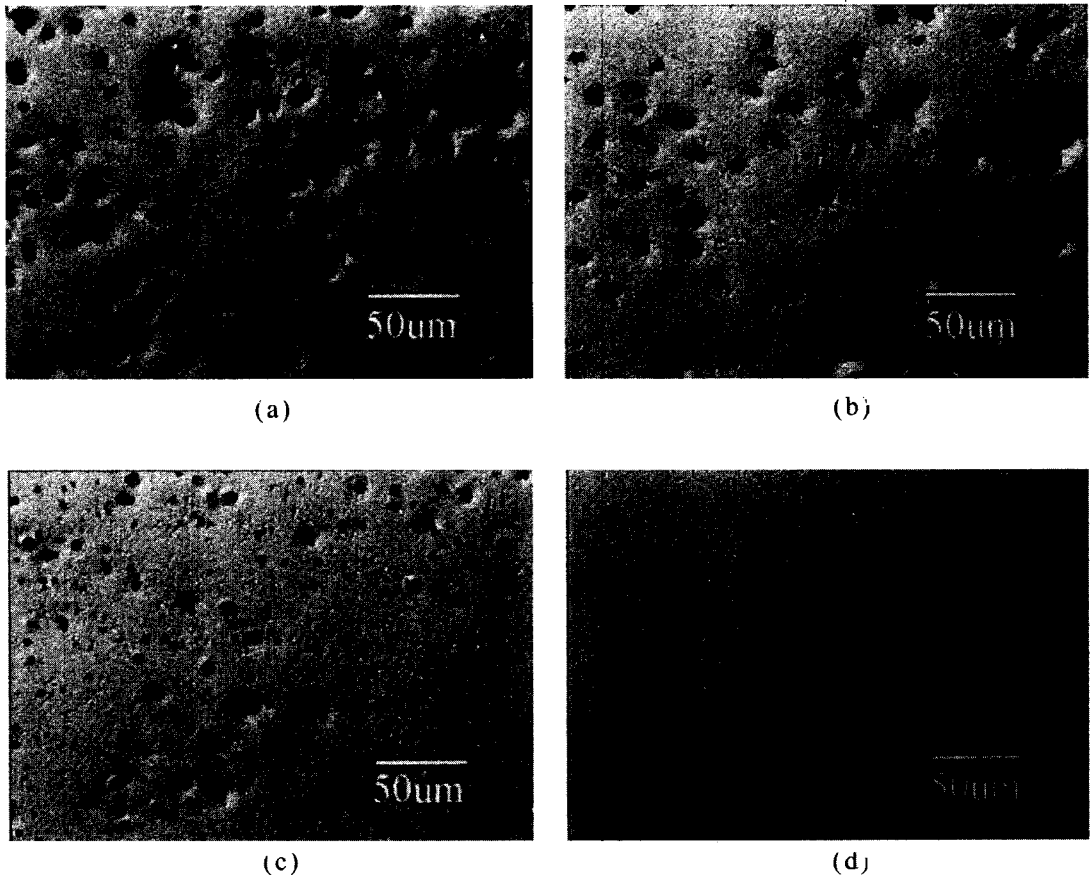


Fig. 6. Optical micrographs of xSiO₂-yB₂O₃-2.5CaO + 25wt% P₂O₅ (x/y= 8.75, 5.5, 3.88, 2.9) glass film consolidated at 1250 °C (a) x/y=8.75, (b) x/y=5.5, (c) x/y=3.88, (d) x/y=2.9

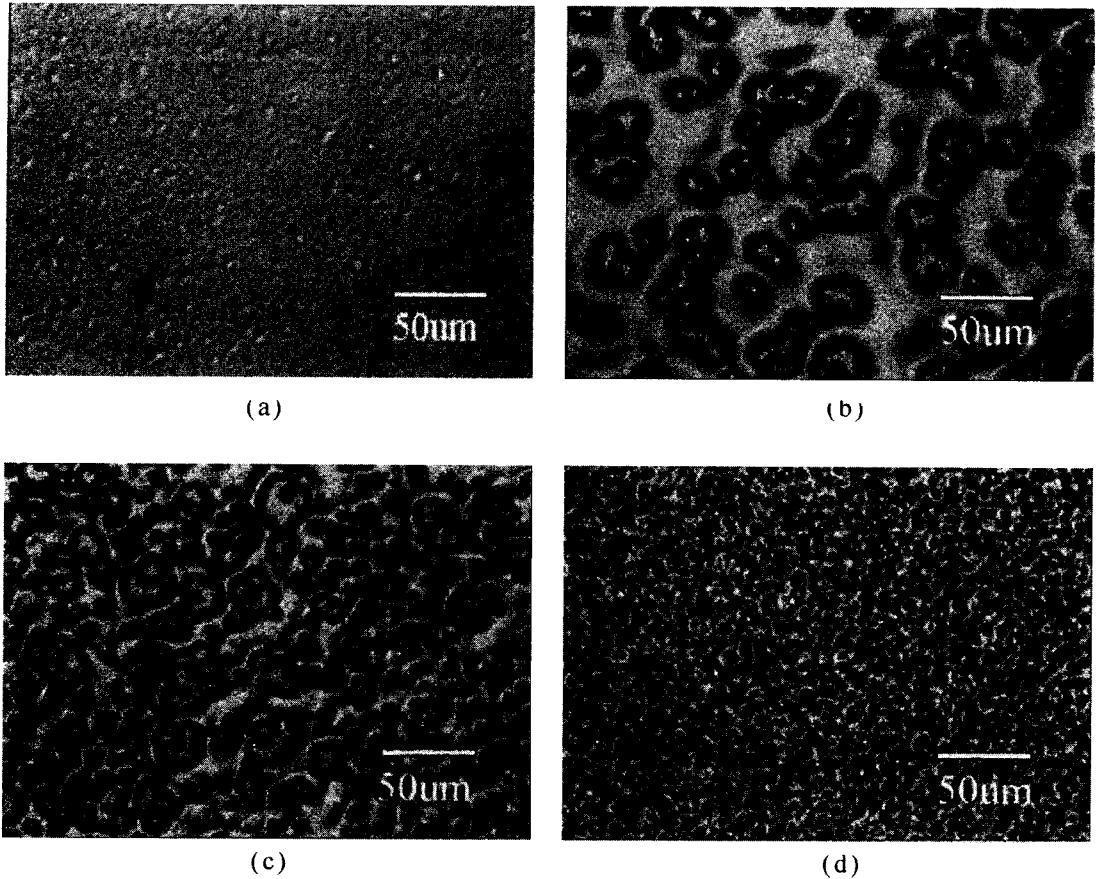


Fig. 7. Optical micrographs of $x\text{SiO}_2-y\text{B}_2\text{O}_3-2.5\text{CaO} + 10\text{wt}\% \text{P}_2\text{O}_5$ ($x/y=8.75, 5.5, 3.88, 2.9$) glass film consolidated at 1250°C (a) $x/y=8.75$, (b) $x/y=5.5$, (c) $x/y=3.88$, (d) $x/y=2.9$

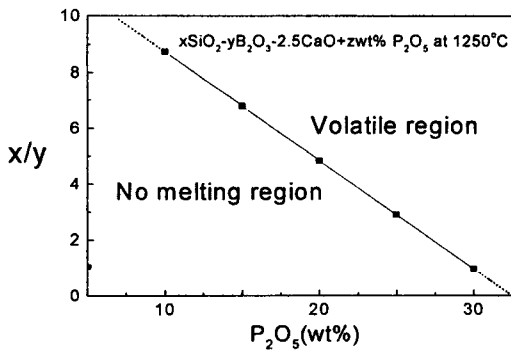


Fig. 8. Phase diagram of $x\text{SiO}_2-y\text{B}_2\text{O}_3-2.5\text{CaO} + z\text{wt}\% \text{P}_2\text{O}_5$ ($x/y=8.75, 5.5, 3.88, 2.9, 2.25, z=10, 15, 20, 25, 30 \text{ wt}\%$) glass film consolidated at 1250°C

일어나지 않으며 25wt% P_2O_5 가 첨가된 경우와 마찬가지로 $\text{SiO}_2/\text{B}_2\text{O}_3$ 의 비가 증가할수록 용융온도가 낮아지고 있음을 관찰할 수 있다. 이 결과는 P_2O_5 함량이 증가할수록 $\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-2.5\text{CaO}$ 계 용융온도가 낮아짐을 의미한다.

그림 8은 P_2O_5 함량과 $\text{SiO}_2/\text{B}_2\text{O}_3$ 의 비에 따른 1250°C 에서 열처리된 $x\text{SiO}_2-y\text{B}_2\text{O}_3-2.5\text{CaO}$ 유리박막의 생성여부에 관한 그래프이다. 1250°C 에서 열처리할 경우 실선에 해당하는 조성에서는 깨끗한 유리박막이 얻어지나 실선 아래 부분의 조성은 용융이 되지 않으며, 위 부분의 조성은

P_2O_5 의 휘발로 인한 기포가 생성되는 영역이다.

그림 9는 P_2O_5 함량과 $\text{SiO}_2/\text{B}_2\text{O}_3$ 의 비에 따른 1250°C 에서 열처리된 $x\text{SiO}_2-y\text{B}_2\text{O}_3-2.5\text{CaO}$ 유리박막의 굴절률 변화이다. 각각의 조성에서 P_2O_5 함량과 $\text{SiO}_2/\text{B}_2\text{O}_3$ 의 비가 증가함에 따라 굴절률은 1.4625에서 1.4689로 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

광도파로 소자는 base, core, over clad 층으로 구성되며, AWG (Arrayed Wave Guide)의 경우 광이 도파되기 위해서는 base와 over clad는 굴절률이 같고 core 층의 굴절률은 base와 over clad 층에 비해 0.75% 높아야 한다. 한편, base 층위에 core 층 soot를 형성하여 열처리 할 때나, 식각된 core 층위에 over clad 층의 soot를 열처리할 때 각층의 계면을 뚜렷이 유지하기 위해서는 base, core, over clad 층의 순서로 열처리온도가 점점 낮아지는 것이 바람직하다. 본 실험계인 $\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5$ 계에서 굴절률과 융점은 CaO 함량에 의해 쉽게 변화될 수 있으나 CaO는 열처리 중 쉽게 확산되기 때문에 각 층들의 굴절률이 변화될 우려가 있다. 따라서 $\text{SiO}_2, \text{B}_2\text{O}_3, \text{P}_2\text{O}_5$ 의 조성의 변화로 굴절률과 융점을 조절해야 하나, core 층의 굴절률은 ZrO_2 나 GeO_2 등의 첨가로 쉽게 조절이 가능한 반면, base와 over clad 층의 경우 조성을 변화시켜 굴절률은 같으면서 융점은 차이가 나게 하기는 쉽지 않다. 위의 결과에 의하면 $\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5$ 계를 이용하여 광도파로 소

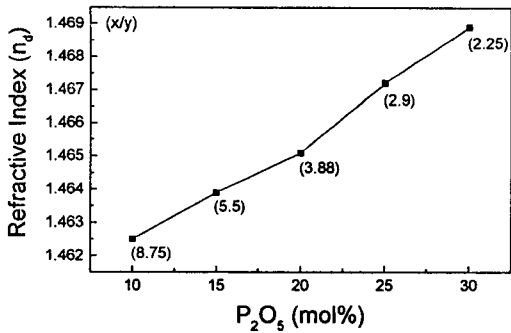


Fig. 9. Refractive index of xSiO₂-yB₂O₃-2.5CaO + zwt% P₂O₅ (x/y=8.75, 5.5, 3.88, 2.9, 2.25, z=10, 15, 20, 25, 30 wt%) glass film consolidated at 1250°C

자를 제작할 경우 base 층으로는 열처리온도가 1350°C이며 굴절률이 1.4649인 72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO+15wt%P₂O₅ 조성의 유리박막과, overlaid 층으로는 열처리온도가 1250°C로 base에 비해 낮으나 굴절률은 1.4651로 base와 비슷한 77.5SiO₂-20B₂O₃-2.5CaO+20wt%P₂O₅ 조성이 적합하다. 한편, 72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO+25wt%P₂O₅ 조성 (1250°C, 1.4672)에 미량의 GeO₂를 첨가하여 열처리온도는 base와 overlaid의 중간으로 조정하고 굴절률을 0.75% 정도 높이면 core 층으로 적합할 것으로 생각된다.

4. 결 론

SiO₂-B₂O₃-CaO-P₂O₅계에서 조성이 유리박막의 열처리온도에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) SiO₂-B₂O₃-CaO 삼상분계에서 CaO 함량이 일정할 경우 B₂O₃ 양이 많을수록 융점이 낮아졌으며, SiO₂와 B₂O₃ 함량이 일정할 경우 CaO 양이 많아질수록 융점은 높아졌다.
- 2) 72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO 조성의 융점을 저하시키기 위해 P₂O₅를 첨가한 결과, P₂O₅ 첨가량이 증가함에 따라 유리의 용융온도는 낮아졌으며 굴절률은 1.4649에서 1.4684로 선형적으로 증가하였다.
- 3) SiO₂-B₂O₃-CaO-P₂O₅계에서 CaO와 P₂O₅ 함량이 일정할 경우 SiO₂/B₂O₃의 비가 증가할수록 유리박막의 융점이 낮아졌다.
- 4) P₂O₅ 함량과 SiO₂/B₂O₃의 비에 따른 1250°C에서 열처리된 xSiO₂-yB₂O₃-2.5CaO 유리박막에 있어서, 각각의 조성에서 P₂O₅ 첨가량이 증가함에 따라 굴절률은 1.4625에서 1.4689로 선형적으로 증가하였다.
- 5) SiO₂-B₂O₃-CaO-P₂O₅계 유리박막의 열처리온도와 굴절률을 고려할 때 광소자의 base 층으로는 72.5SiO₂-25B₂O₃-2.5CaO+15wt%P₂O₅ 조성 (1350°C, 1.4649), overlaid 층으로는 77.5SiO₂-20B₂O₃-2.5CaO+20wt%P₂O₅ 조성 (1250°C, 1.4651)이 적합할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(97-0300-03-01

-3)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. M.J. Weber, "Science and Technology of Laser Glass," *J. Non-Crystalline Solids*, **123**, 208-222 (1990)
2. P.G. Clem, D.A. Payne, "Heteroepitaxy and Waveguide Formation for Solution Deposited LiNbO₃ Thin Layers," *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **392**, (1995)
3. B.J. Stadler, K. Vaccaro, A. Davis, E.A. Martin, G. O. Ramseyer, "Characterization of Magneto-Optical Rare Earth-Doped InGaAsP Thin Films on InP," *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **392**, (1995)
4. T. Izawa, N. Inagaki, "Materials and Process for Fiber Preform Fabrication-Vapor Phase Axial Deposition," *Proceedings of The IEEE*, **68**(10), 1184-1187 (1980)
5. M. Kawachi, "Silica Waveguide on Silicon and Their Application to Integrated Optic Components," *Optical and Quantum Electronics*, **22**, 391-416 (1990)
6. T. Valette, J.P. Jadot, "Si-based Integrated Optics Technologies," *Solid State Tech.*, 69-75, Feb. (1989)
7. Patrick W. Leech, Mark C. Ridgway, "Waveguides Fabricated in Fused Silica by Germanium Ion Implantation at Varying Doses," *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **392**, (1995)
8. J.A. Gates, A.J. Bruce, J. Shmulovich, Y.H. Wong, G. Nykolak, M.R.X. Barros, R. Ghosh, "Fabrication of Er-Doped Glass Films as used in Planar Optical Waveguides," *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **392**, (1995)
9. R.R.A. Syms, A.S. Holmes, "Reflow and Burial of Channel Waveguides Formed in Sol-Gel Glass on Si Substrates," *IEEE Photonics Tech. Lett.*, **3**(9), Sept. (1993)
10. T.F. Morse, A. Kilian, L. Reinhart, "Aerosol Techniques for Glass Formation," *J. Non-Crystalline Solids*, **129**, 93-100 (1991)
11. C.R. Hammond, "Fusion temperatures of SiO₂-P₂O₅ binary glasses", *J. Physics and Chemistry of Glasses*, **19**(3), 41-42 (1978)
12. G. Baret, R. Madar, C. Bernard, *J. Electrochem. Soc.*, **138**(9), 2830 (1991)
13. W.J. Englert, F.A. Hummel, *J. Soc. Glass Tech.*, **39**, 126T (1955)