

## FHD법에 의한 $B_2O_3$ - $P_2O_5$ - $SiO_2$ 실리카막의 효과적인 $P_2O_5$ 도핑

심재기 · 이윤학 · 성희경 · 최태구  
한국전자통신연구원 통신부품연구실  
(1997년도 12월 5일 접수)

## The Effective $P_2O_5$ Doping into $B_2O_3$ - $P_2O_5$ - $SiO_2$ Silica Layer Fabrication by Flame Hydrolysis Deposition

Jae Ki Sim, Youn Hak Lee, Hee Kyung Sung and Tae Goo Choy

Component Technology Section, Electronics and Telecommunication Research Institute

(Received December 5, 1997)

### 요 약

광집적회로용 평면도파로를 구현하기 위한  $B_2O_3$ - $P_2O_5$ - $SiO_2$  실리카 광도파막을 실리콘 기판위에 FHD(Flame Hydrolysis Deposition)법으로 제조하여 미립자의 미세구조, 실리카막의 굴절률과 조성을 고찰하였다. FHD법에서 도펀트(dopant)물질로 B, P, Ge 등의 산화물이 사용되며, B, Ge 산화물의 경우  $SiO_2$ 와의 결합특성이 우수하여 비교적 도핑(doping)이 용이하지만 P의 경우  $P_2O_5$ 의 낮은 융점에 의한 증발 등으로 효과적인 도핑이 어렵다. 수직형 FHD 토치를 사용하고 화염온도, 기판온도, 토치와 기판간의 거리를 최적화하여 P 농도가 3.3 Wt% 이상이고 고밀화 온도가  $1180^\circ C$  이하인 양질의 실리카막을 얻었다. 실리카막의 굴절률은  $1.55 \mu m$  파장에서  $1.4480 \pm 1 \times 10^{-4}$ 로 측정되었으며,  $22 \pm 1 \mu m$ 의 두께를 보였다.

### ABSTRACT

Boron-phosphor-silicate glass was fabricated on Si substrates by FHD (Flame Hydrolysis Deposition). The microstructure of silica soot deposited at various condition such as composition and substrate temperature was analysed by SEM. After consolidation the refractive index and composition of the silica layer were investigated. For refractive index control B, P and Ge were used as additive elements, while B and Ge oxides are easily mixed into  $SiO_2$ , P oxide( $P_2O_5$ ) doping is difficult because of the volatile property due to low melting point. Boron-phosphorous-silicate glass (BPSG) layer were fabricated using vertical torch and optimized flame temperature, substrate temperature and distance of torch and substrate. P concentration of BPSG layer measured 3.3 Wt% and the consolidation temperature was lower than  $1180^\circ C$ . The measured refractive index of BPSG silica layer in  $1.55 \mu m$  wavelength was  $1.4480 \pm 1 \times 10^{-4}$  and the thickness was  $22 \pm 1 \mu m$ .

**Key words :** Flame hydrolysis deposition, Silica waveguide, Consolidation

### 1. 서 론

광통신에서 광신호 전송경로는 대부분 광섬유를 사용하고 있으나 다분기 광커플러, WDM(Wavelength Division Multiplexer) 소자 등 다수의 채널을 가진 고기능성 소자를 광섬유로 제작하는 것은 기술적으로 한계가 있다. 광회로를 집적화시키는 기술은 PLC(Planar Light-wave Circuit)라 하여 광신호의 경로를 평면 기판상에 구현하는 것으로 반도체, 실리카(silica), 폴리머 등 다양한 한 소재로 제작되고 있다. 실리카의 경우 광섬유와 유사

한 재질로 구성되어 낮은 전송손실 및 광섬유와의 저접속손실의 장점이 있으며, 포토리소그래피, 식각 등 반도체 공정기술을 이용하므로 소형, 저가격의 평면도파로형 광소자의 제작이 유리하고 장기적으로는 각종능동 및 수동광소자를 단일 기판상에 구현하는 IOC(Integrated Optical Circuit)의 기반이 된다. 실리카 도파로에 사용되는 기판은 단결정 실리콘, 석영, 사파이어 등이 있으며, 실리콘이 비교적 가격이 저렴하여 가장 많이 사용되고 있다. 실리카 도파막을 형성시키는 방법에는 FHD(Flame Hydrolysis Deposition)<sup>1)</sup>, CVD

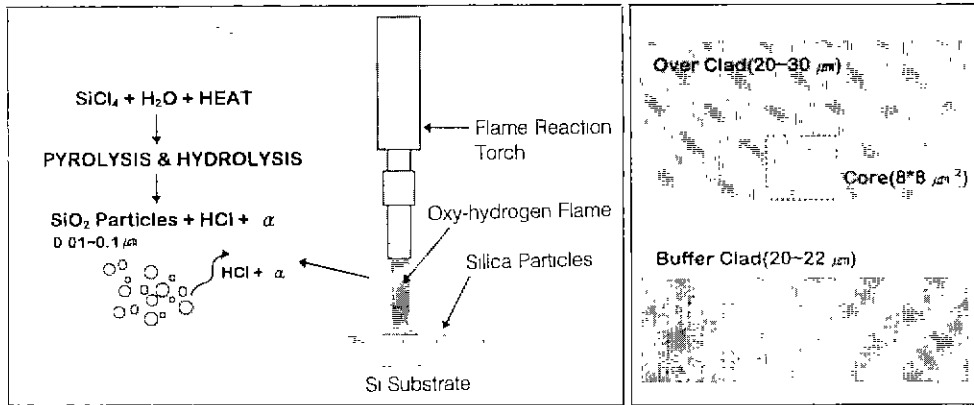
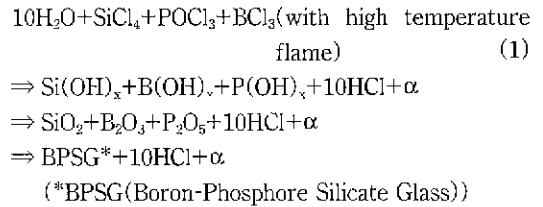


Fig. 1. Schematic diagram of silica particles formation by FHD and cross section of channel waveguide.

(Chemical Vapor Deposition)<sup>23)</sup>, Sol-gel<sup>4)</sup>, Aerosol<sup>5)</sup>, 분말공정법 등이 있다. FHD법은 CVD 등의 방법보다 증착속도가 빠르고 후막(> 30 μm)형성이 용이하여 고 순도의 실리카를 광섬유 단면의 크기와 유사하게 도파로를 제작할 수 있는 잇점이 있다. FHD법에서 실리카 광도파막의 굴절을 및 고밀화 온도 등의 제어를 위한 dopant 물질은 B, P, Ge 등의 산화물이 사용된다. FHD법을 이용한 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub> 계에서 B, Ge 산화물의 경우 SiO<sub>2</sub>와의 결합특성이 좋아서 도핑이 용이하지만 P의 경우 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 낮은 융점(580°C)에 의한 증발특성이 실리카막 형성에 큰 변수로 작용한다. 본고는 도핑 및 열처리 공정에서 문제가 되는 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 실리카막내에 효과적인 도핑으로 정밀한 굴절을 제어와 저온열처리로 기판의 휨(bowing)현상이 작고 광학적 특성이 우수한 광도파막을 형성하는 공정에 관한 것이다. 기판의 휨현상은 실리카 미립자의 고밀화를 위한 고온 열처리후 실리콘 기판과 실리카막의 열팽창계수 차이에 의하여 발생하는 것으로 광도파로의 복굴절로 인한 편광의존성을 발생시키고 기판의 평탄성 저하로 광회로 패턴형성시 리소그래피 열화 등의 요인이 된다. FHD법은 광섬유 모재를 제조하는 방법중 외부증착법으로 분류되고 있는 VAD(Vapor Axial Deposition)<sup>6)</sup>에서 발전한 방법이다. Fig. 1은 FHD법에 의한 실리카 미립자 형성 과정의 개략도와 채널 광도파로 단면 구조를 보인 것으로 원으로 표시된 화염 부분에서 SiCl<sub>4</sub>가 화염반응하여 SiO<sub>2</sub>를 형성하는 과정을 나타낸 것이다. 채널 광도파로의 기본 구조는 하부 클래드(lower clad), 코아(core), 상부 클래드(upper clad)로 구성되며, 광도파로 패턴을 형성하기 위하여 포토리소그래피와 RIE(Reactive Ion Etching), ICP(Inductive Coupled Plasma Etching) 등의 건식식각 과정이 수반된다.

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub>계 실리카 미립자는 (1)식과 같이 고

온의 산수소화염에 염화물이 열분해 반응을 동반한 가수분해반응을 일으켜 산화물이 형성되며, 염화물의 Cl기와 수소의 반응으로 HCl이 발생된다. 미립자는 완전한 유리상태가 아닌 다공성의 구형으로 크기는 0.01~0.1 μm 정도이고 연속적으로 발생된다.



염화물 원료는 SiCl<sub>4</sub>를 주원료로 사용하고 Ge, B, P의 원료로 각각 GeCl<sub>4</sub>, BCl<sub>3</sub>, POCl<sub>3</sub>가 사용된다. 화염의 온도는 1400~1850°C(복사 효과 보정 온도)<sup>7)</sup>로 고온이며, 열분해와 가수분해반응을 통하여 다공성 실리카 미립자(porous silicate particles - SiO<sub>2</sub>, -GeO<sub>2</sub>, -B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, -P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)가 형성된다. 형성된 실리카 미립자는 1100~1350°C의 고온 전기로에서 열처리하여 투명한 실리카막이 얻어진다. BPSG는 Fig. 1의 채널도파로의 하부 클래드(under clad)층, 코아(core)층과 상부 클래드(upper clad)층 형성의 기저물질로 사용된다.

## 2. 실험방법

Fig. 2는 FHD 시스템의 개략도와 실제 토치(torch)의 화염을 보인 것으로 주요 구성은 화염 및 원료 가스 제어부와 화염을 형성하여 미립자를 발생시켜 증착하는 반응부(reactor) 그리고 반응부산물을 배기 및 폐기처리하는 배기부로 구성된다. 화염 가스는 산소와 수소를 사용하였고 염화물원료는 SiCl<sub>4</sub>, POCl<sub>3</sub>, BCl<sub>3</sub>를 헬륨 가스로 이송하여 반응토치에 공급하였다. 염화물 원료의

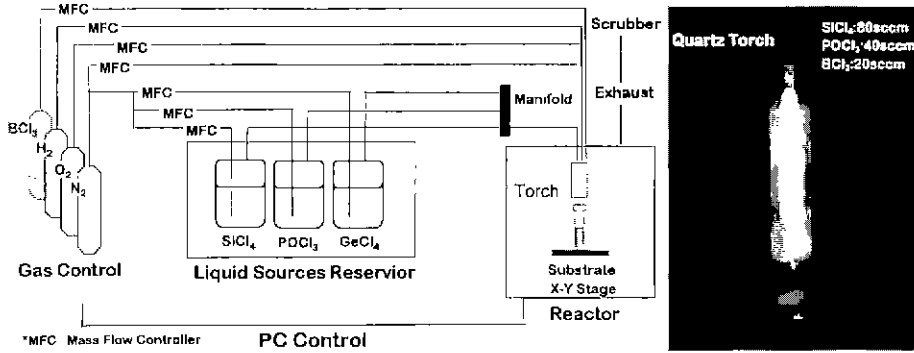


Fig. 2. Schematic diagram of FHD system and torch flame photography.

증기압은 항온조에서  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{POCl}_3$ ,  $\text{BCl}_3$ 를 각각 140 Torr( $25^\circ\text{C}$ ), 60 Torr( $36^\circ\text{C}$ ), 450 Torr( $35^\circ\text{C}$ )로 유지시켰다. 화염의 산수소비는 화염의 온도와 산화물 형성에 중요한 인자이며, 산수소비가 3/2~2/1일때 원료를 인입하지 않은 상태에서 화염온도는  $1400\sim 1850^\circ\text{C}$ 로 측정되었다.

Fig. 3a는 수소의 유량을 4000 sccm으로 고정시키고 산소의 유량을 5000~8000 sccm으로 변화시킨 화염의 측정온도를 나타낸 것이다. 화염의 온도 측정은 토치끝에서 15 mm 아래쪽 중앙에서 B-type 열전대를 이용하여 측정하였다. 산소의 유량이 5000 sccm에서 6000 sccm으로 변할 때는 화염온도의 변화가 작았지만 6000 sccm 이상의 유량에서는 온도가 상승함을 알 수 있었다. 일반적으로 산수소의 부피비가 1일 때 최대온도를 갖지만 본 실험에서는 질드가스( $\text{N}_2=4000$  sccm)의 영향으로 산소가 희석되어 부피비가 1이상일 때 온도가 증가하는 것으로 보인다. 측정된 화염온도에서 실제 미립자 형성을 확인하기 위하여  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{POCl}_3$ ,  $\text{BCl}_3$ 의 유량을 각각 100, 60, 25 sccm을 유입시켜 미립자 형성을 관찰하였다. Fig. 3에서 사각형으로 표시된 부분에서 가장 많은 미립자가 발생하여  $1\sim 2\ \mu\text{m}/\text{mm}$ (고밀화후)의 증

착률을 보였고 표시된 부분보다 화염 온도가 높거나 낮은 경우 증착률은  $0.2\sim 0.5\ \mu\text{m}/\text{mm}$ (고밀화후)로 낮게 측정되었다. 화염에 유입된 염화물은 서로 다른 반응온도를 가지며,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{POCl}_3$ ,  $\text{BCl}_3$ 중  $\text{SiCl}_4$ 의 반응에 필요한 최저온도에서 증착률이 가장 높은 것으로 보인다. 화염온도가 비교적 높은 경우 미립자 발생이 적고 기판과의 심한 온도차이로 미립자가 증착되지 않았으며, 증착에 사용된 기판이 열변형으로 휘는 현상이 발생하였다. Fig. 3b는 산소의 유량을 7000 sccm으로 고정시키고 수소의 유량을 3000~5000 sccm으로 변화시켰을 때 화염의 온도를 측정하는 것이다. 본 실험에서는 원료의 인입시 미립자 크기, 분포 등을 고려하여 화염의 온도를 조절하고 기판과 토치와의 거리를  $20\sim 50$  mm로 조절하였다.

반응에 사용한 토치는 서로 다른 크기의 석영관을 동축 구성하고 기판과 수직하게 장착하여 기판과 접촉할 때 화염의 형태가 직경이  $20\sim 30$  mm의 원형으로 형성시켰다. FHD 토치는 일반적으로 기판에  $40\sim 60^\circ$  정도의 기울기로 정렬되어 있으나 기판에 수직으로 형성된 화염과 기판 접촉시 원형을 유지하여 증착의 균일성이 향상된다.  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 증발에 따른 도평의 기판온도 의존성을 고찰하기 위하여 기판 장착대를 저항가열 방식으로 최

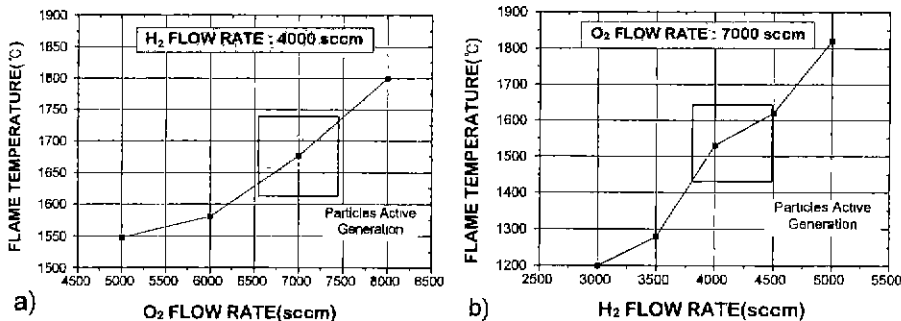


Fig. 3. Flame temperature change versus oxygen and hydrogen flow rate.

고 500°C까지 가열하였다. 가열된 기판은 X-Y축으로 100 mm/sec의 속도로 이동하고 scan step을 5 mm씩 구동하도록 프로그램하여 증착하였다. 실리카 미립자의 증착률은 10~20 μm/min이고 고밀화된 실리카막의 증착률은 1~2 μm/min로 측정되었다. 실리카 미립자의 고밀화는 상온에서 전기로를 10°C/min의 승온속도로 가열하여 1100~1350°C 온도에서 2 시간동안 열처리하여 실리카막을 얻었다. 형성된 실리카 미립자와 실리카막의 특성을 측정하기 위하여 ICPMS(Inductive Coupled Plasma Mass Spectroscopy), EDS(Energy Dispersive Spectroscopy)로 조성을 분석하고 프리즘 커플링법<sup>8)</sup>으로 굴절률 및 두께를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

실리카 미립자는 원료가스의 인입과 동시에 발생되며, 크기와 모양이 화염온도나 이송기체 유량 등에 따라 다르게 나타난다. 미립자 형성은 원료의 유량에 따라 차이는 있지만 화염온도와 산소의 유량에 따라 변화한다. 초기 화염의 온도는 1400~1850°C의 고온에서 원료의 인입에 의하여 약 200~300°C정도 낮아지며, 미립자가 형성될 때 온도의 직접측정은 오차가 발생하여 적용이 어려우므로 순수한 화염의 온도를 적용하였다. Fig. 4는 화염온도 1560°C일 때 SiCl<sub>4</sub>, BCl<sub>3</sub>, POCl<sub>3</sub> 등의 원료를 각각 인입하여 화염에 0.1초간 노출시킨 수트(soot)의 미립자 표면 SEM사진이다. SiCl<sub>4</sub> 유량이 100 sccm일 때 발생된 실리카 미립자는 Fig. 4a와 같이 구형과 비구형의 미립자가 유사한 비율로 형성되었고 미립자의 크기가 최대 0.12 μm으로 분포되었다. POCl<sub>3</sub>의 첨가로 구형 미립자의 크기는 Fig. 4b와 같이 0.1 μm 이하의 분포를 보이고 비구형의 발생빈도가 낮아진 것을 볼 수 있다 또한 BCl<sub>3</sub>를 첨가한 경우 Fig. 4c,d와 같이 비구형의 미립자가 급격히 줄었고 구형의 미립자 크기가 작아진 것

을 알 수 있다. 이러한 차이점을 보인 것은 BCl<sub>3</sub>, POCl<sub>3</sub>의 원료가 토치에 유입되면서 화염의 온도가 낮아지고 화염의 길이가 증가되어 저온에서 반응 시간이 길어진 것으로 판단된다. 구형의 미세립자 발생은 유리화 온도와 실리카막의 균질성에 영향을 주며, 기공 등의 결함을 억제하여 도파로의 전송손실을 향상시킨다.

증착된 실리카 미립자는 전기로에서 고온 열처리를 통하여 투명한 실리카막이 된다. 미립자가 증착된 기판은 1100~1350°C로 가열되며, 승온속도는 10°C/min로 조절하였다. Fig. 5는 고온 열처리후 실리카막을 단광장 현미경을 사용하여 막의 투명성 및 표면형상을 보인 것이다. Fig. 5a는 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 농도에 비하여 고밀화 온도가 높은 1300°C에서 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 안정하게 유리화되지 못하고 버블(bubble)이 형성된 시료의 표면 사진이며, 농도에 비하여 고밀화 온도가 높을 경우 전형적인 표면 형상이다. Fig. 5b는 비교적 농도가 낮은 시료를 1300°C에서 고밀화시킨 시료의 표면으로 주조성인 SiO<sub>2</sub>와 결합하여 일부는 유리화되고 일부는 미립자 덩어리로 남아있어 투명하지 않은 상태를 보인 것이다. Fig. 5c는 미립자 대부분이 고밀화되어 투명하였으나 간섭무늬의 형성이 분명하지 않아 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 농도에 비하여 고밀화 온도가 낮은 것을 알 수 있다. Fig. 5d,e는 완전하게 고밀화되어 두께차이에 따른 간섭무늬(fringe)가 선명하게 나타난 시료의 표면 사진이다. 현미경의 조명은 나트륨 등을 사용하여 파장이 583 nm이므로 프린지 간격에 해당하는 두께차이는 약 3000 Å(λ/2)정도이며, 기판 바깥쪽의 급격한 두께변화와 중심부의 완만한 두께차이를 보였다. 실리카막 두께는 광도파로의 허부 플랫폼 형성을 위하여 22±1 μm으로 제어하였고 두께의 균일성은 3인치 기판의 경우 ±5% 이내로 측정되었다.

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub>계 실리카의 증착은 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 증발을 막고 막내에 안정하게 함유시켜야 하며, 특히 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 증발을 억제하여야 한다. 기판온도가 80°C 이하로 낮

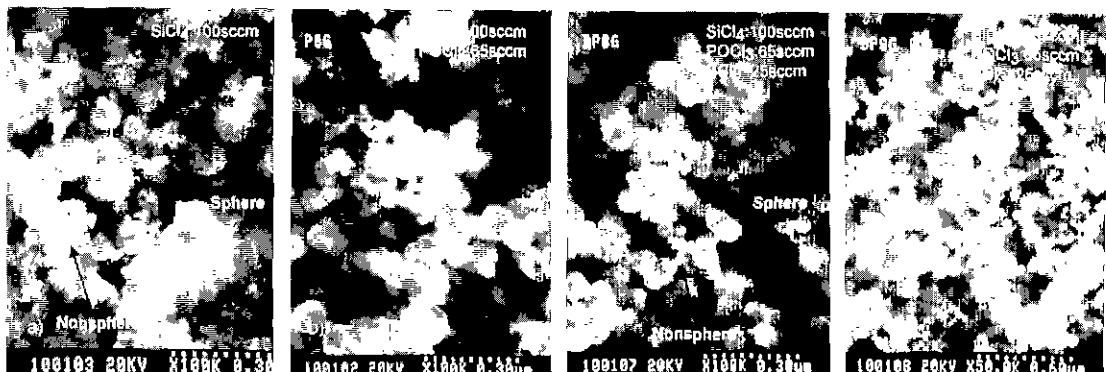


Fig. 4. SEM surface morphology of silica particles.

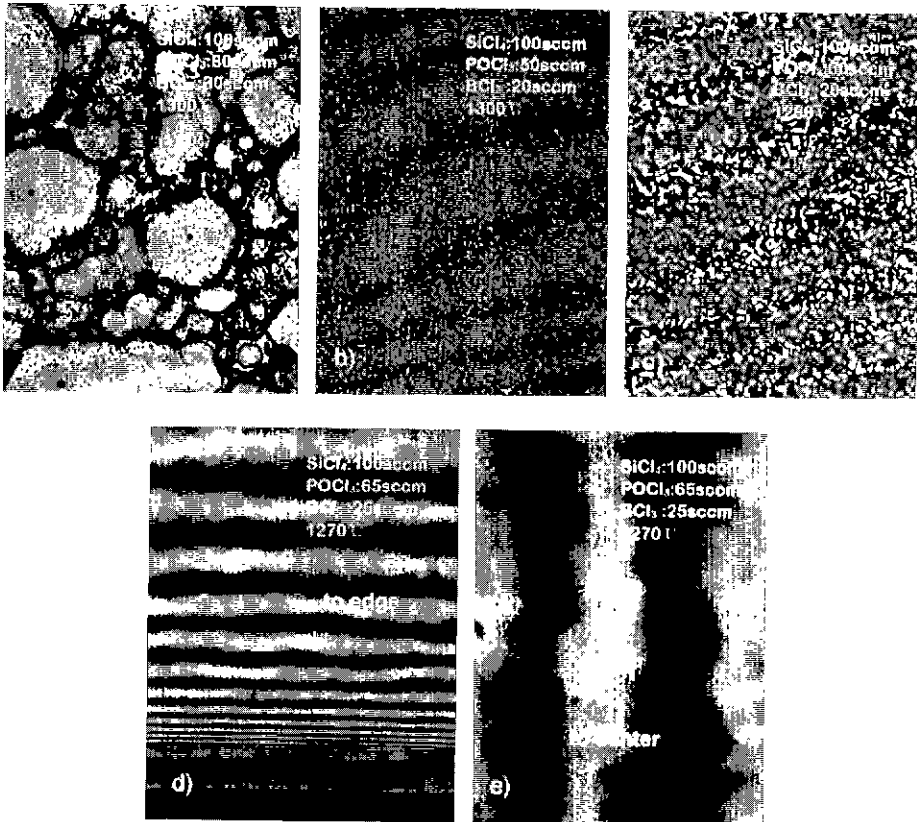


Fig. 5. Optical photograph of silica layer after consolidation ( $\times 200$ ).

은 경우  $P_2O_5$ 의 증발이 발생하지 않지만 기판 및 기판장착대에 화염에 의한 수증기의 형성으로 기판에 불균일한 막이 형성된다. 따라서 기판온도를 100~500°C로 증가시키며, 미립자의 조성을 HF 용액에 녹여 습식 ICPMS로 측정하여 P 조성의 기판 온도의존성을 확인하였다. Fig. 6에 나타낸 것과 같이 기판온도 200°C 이하일 때 미립자의 P 조성은 30 wt% 이상이 함유되었으며, 300°C 이상의 온도에서 P 농도가 급격히 감소하였다. 300°C 이상의 온도에서는 초기에 형성된 불안정한 P 원소 혹은 산화물이 증발되어 원료인입량에 관계없이 농도가 낮아진 것으로 판단된다. 기판온도에 따른 실리카막의 굴절률은  $P_2O_5$ 의 함유량에 거의 선형적으로 비례하며, Fig. 7에 나타낸 바와 같이 기판온도와  $BCl_3$  유량에 대한 굴절률은 근소한 차이지만 기판온도가 150°C일 때 가장 높게 나타났다.

기판과 토치의 거리에 따른 미립자의 크기분포는 거리 20~50 mm에서 큰 차이점이 없었으나  $P_2O_5$ 의 함유를 나타내는 굴절률은 거리에 따라 다르게 측정되었다. Fig. 8은  $POCl_3$ ,  $SiCl_4$  유량이 각각 100, 80 sccm이고 기판온도를 200°C로 고정시키고 기판 거리를 변화시키며

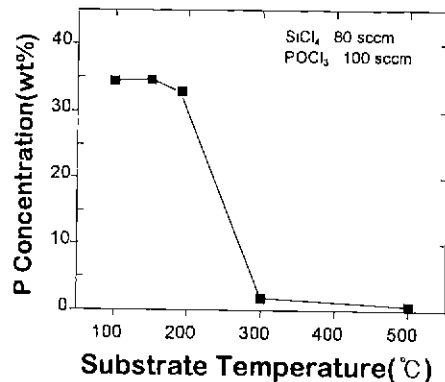


Fig. 6. P concentration change versus substrate temperature.

형성한 실리카막의 굴절률(측정파장: 1550 nm)을 보인 것이다. 기판과 토치의 거리가 40 mm일때 굴절률은 최대값을 보이고 기판과의 거리가 짧을수록 굴절률값이 낮게 측정되었다. 기판과의 거리가 짧은 경우 화염에 의한 온도 상승 효과로  $P_2O_5$ 의 증발이 발생하여 굴절률이 낮은 것으로 판단된다.

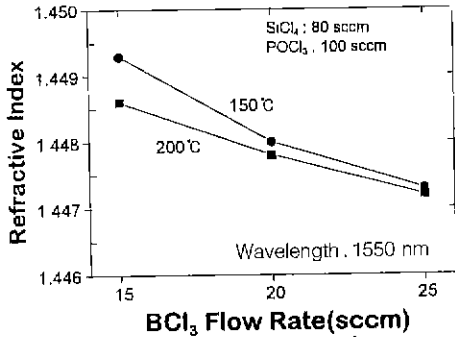


Fig. 7. Silica refractive index change versus BCl<sub>3</sub> flow rate (Consolidation Temp.: 1270°C).

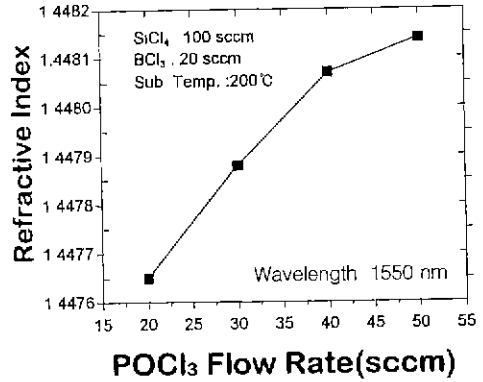


Fig. 9. Silica refractive index change versus POCl<sub>3</sub> flow rate (Consolidation Temp.: 1300°C).

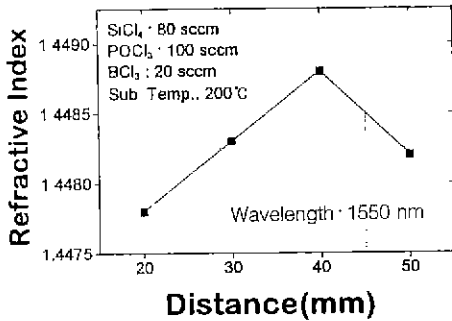


Fig. 8. Silica refractive index change versus distance of torch and substrate.

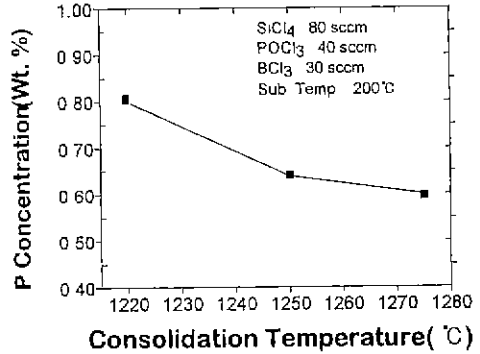


Fig. 10. P concentration change versus consolidation temperature.

실리카막내에 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 농도가 증가하면 굴절률이 높아지는 반면에 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 농도가 증가하면 굴절률이 낮아진다. Fig. 9는 BCl<sub>3</sub>의 유량을 20 sccm으로 고정하고 POCl<sub>3</sub>의 유량을 증가시켰을 때 굴절률을 나타낸 것으로 선형적인 굴절률 증가를 보였다. 형성된 실리카막의 굴절률은 고순도 실리카 굴절률 1.4440을 기준하여 4×10<sup>-4</sup>정도 높게 측정되었다.

고밀화 열처리 공정에서 온도에 따라 미립자에 함유된 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 많은 양이 증발되어 고밀화 온도에 따른 미세한 농도변화를 보였다. 동일한 온도에서 열처리된 실리카막의 굴절률은 ±1×10<sup>-4</sup>대의 균일한 제어특성을 보였다. 하지만 열처리 온도의 증가에 따라 굴절률이 감소하는 경향을 보였고 Fig. 10에 보인 것과 같이 고밀화 온도에 따른 P 농도는 온도 증가에 따라 감소하는 것을 알 수 있었다.

고밀화 온도가 높을 때 실리콘 기관과 실리카막의 열팽창계수의 차이로 기관의 휨(bowing)현상이 발생한다. 휨현상은 실리카막내에 응력을 유발시켜 복굴절 등 광학적 특성을 저해하고 평탄성이 요구되는 리소그래피의 정밀성을 저하시킨다. 고밀화 온도를 낮추기 위하여 상기한 실험변수를 토대로 POCl<sub>3</sub>의 유량을 제어하여 저온

고밀화를 시도하였다. POCl<sub>3</sub>의 유량을 120 sccm까지 증가시켰고 굴절률을 보상하기 위하여 BCl<sub>3</sub>의 유량을 증가시켜 증착하였다. 증착된 시료는 1200°C 이하의 고밀화 온도에서 투명한 실리카막이 형성되었다. Fig. 11은 BCl<sub>3</sub>의 유량을 30 sccm으로 고정하고 POCl<sub>3</sub>의 유량 변화에 따른 굴절률을 보인 것이다. Fig. 9와 비교할 때 POCl<sub>3</sub>의 유량이 크게 증가하여도 굴절률을 낮추는 BCl<sub>3</sub>의 유량이 30 sccm으로 증가하여 유사한 굴절률을 얻었다. EDS로 측정된 P 농도는 2~3.3 Wt%정도의 함유량을 보였고 굴절률을 보상하기 위한 BCl<sub>3</sub>의 첨가도 Fig. 12와 같이 POCl<sub>3</sub>의 유량이 90 sccm일 때 굴절률이 전체 6×10<sup>-4</sup>정도 감소하였다. Fig. 7의 결과와 비교할 때 Fig. 12는 BCl<sub>3</sub>의 첨가와 고밀화 온도가 1180°C로 낮기 때문에 증발 효과가 적고 유사한 굴절률을 나타내는 것을 알 수 있다.

고밀화 온도는 최소 1100°C까지 낮추어 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 막내에 안정한 함유로 투명한 실리카막을 형성하였다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 막내 함유는 유량뿐만 아니라 기관온도, 화염과 기관

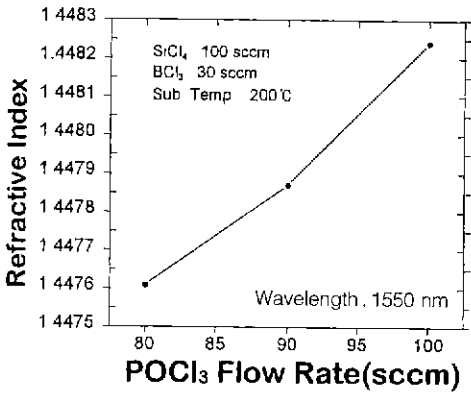


Fig. 11. Silica refractive index change versus POCl<sub>3</sub> flow rate (Consolidation Temp.: 1180°C).

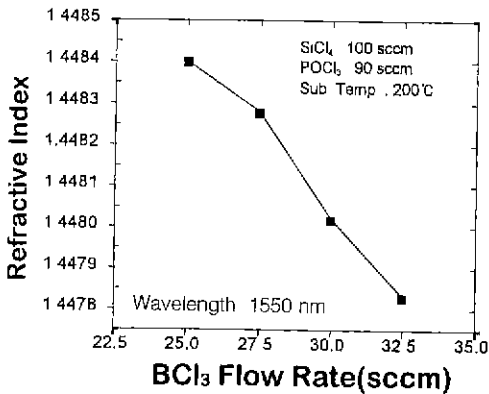


Fig. 12. Silica refractive index change versus BCl<sub>3</sub> flow rate (Consolidation Temp.: 1180°C).

간의 거리, 고밀화 온도 등의 변수에 매우 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다. 특히 고밀화 온도를 결정하는 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 탁내 함유가 고밀화 조건에 따라 변하기 때문에 원료의 유량과 고밀화 온도 등의 다양한 변수를 최적화하여 굴절률 및 두께의 정밀한 제어가 요구된다.

#### 4. 결 론

FHD법에서 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub>계 실리카막은 광도파로

형성에 가장 기본적인 조성으로 사용되며, 고농도 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함유로 저온 고밀화가 요구된다. 실리카 광도파로의 형성에 사용되는 dopant중 B, Ge 산화물은 SiO<sub>2</sub>와의 결합이 비교적 용이하지만 P의 도핑은 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 낮은 용점에 의한 증발특성 등으로 실리카막 형성이 어렵다. SiCl<sub>4</sub>, GeCl<sub>4</sub>, BCl<sub>3</sub>, POCl<sub>3</sub> 등의 원료를 사용하고 안정한 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 도핑을 위하여 화염온도, 기관온도, 기관과의 거리 등의 조절하여 미립자를 형성하고 고밀화하여 P 농도 3.3 Wt% 이상의 실리카막을 형성하였다. 미립자 형성이 가장 활발한 화염온도는 1500~1600°C였고 기관온도는 200°C 이하에서 P 농도가 높게 나타났다. 형성된 미립자는 고온 열처리로 고밀화되어 투명한 실리카막이 얻어졌으며, 1180°C 이하의 저온에서도 고밀화되었다. 실리카막의 굴절률을 1.4480±1×10<sup>-4</sup>급으로 제어하고 22±1 μm의 두께 균일성을 보이는 광도파로의 하부 클래드를 형성하였다.

#### REFERENCES

1. M. Kawachi, "Silica Waveguide on Silicon and Their Application to Integrated Optic Components," *Optical and Quantum Electronics*, **22**, 391-416 (1990).
2. T. Valette and J.P. Jadot, "Si-based Integrated Optics Technologies," *Solid State Tech.*, Feb., 69-75 (1989).
3. H. Verbeek and C.H. Henry, "Integrated Four Channel Mach-Zender Multi/Demultiplexer Fabricated with Phosphorous Doped SiO<sub>2</sub> Waveguides on Si." *J. Lightwave Technol.* **6**(6), 1011-1015 (1988).
4. J.J. Zelinski, B.D. Fabes, et al Sol-gel Processing of Passive Components for Integrated Optics, Ch. **44**. 467-482(1992)
5. F. Morse, A. Kilian, L. Reinhart, et al. "Aerosol Doping Technique for Glass Formation." *J Non-Crystalline Solids*, **129**, 93-100 (1991).
6. T. Izawa, N. Inagaki, "Materials and Process for Fiber Preform Fabrication-Vapor Phase Axial Deposition," *Proceedings of The IEEE*, **68**(10), 1184-1187 (1980).
7. J.P. Holman, *Experimental Methods For Engineers*, Fifth Edition, MacGraw-Hill, 326 (1990).
8. H.J. Lee and S.S. Lee, "Measurement of the Effective Indices of InGaAsP Waveguides by Silicon Prism Coupler," *J Kor. Phys. Soc.* **22**(4), 487-491 (1989).