

## Aerosol Flame Deposition법을 이용한 Er-doped Sodium Borosilicate 유리박막 제작에 관한 연구

문종하 · 정형곤\* · 이정우\* · 박강희 · 박현수 · 김병훈

전남대학교 세라믹공학과, 신소재 연구소

\*전남대학교 물리학과

(1999년 10월 18일 접수)

## Fabrication of Er-doped Sodium Borosilicate Glass Films Using Aerosol Flame Deposition Method

Jong Ha Moon, Hyung Gon Chung\*, Jeong Woo Lee\*, Kang Hee Park, Hyun Soo Park and Byung Hoon Kim

Dept. of Ceramic Eng., Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

\*Dept. of Physics, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

(Received October 18, 1999)

### 초 록

Aerosol Flame Deposition(AFD)법을 이용하여 실리콘 기판 위에 광증폭기용  $77\text{SiO}_2\text{-}15\text{B}_2\text{O}_3\text{-}8\text{Na}_2\text{O}$  유리박막을 제작하였다. 결정상 생성을 억제하고 유리박막의 굴절률을 조절하기 위하여  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 첨가하였다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  함량이 2에서 12 wt%까지 증가함에 따라 유리박막의 굴절률은 1.4595에서 1.4710으로 선형적으로 증가하였다.  $77\text{SiO}_2\text{-}15\text{B}_2\text{O}_3\text{-}8\text{Na}_2\text{O}+6$  wt% $\text{Al}_2\text{O}_3$  조성의 버퍼층 위에  $77\text{SiO}_2\text{-}15\text{B}_2\text{O}_3\text{-}8\text{Na}_2\text{O}+6$  wt% $\text{Al}_2\text{O}_3+8$  wt% $\text{Er}_2\text{O}_3$  조성의 코어층을 제작하여 식각한 후 흡수스펙트럼을 조사한 결과 1530과 1550 nm 파장에서 광이 흡수됨을 관찰하였다.

### ABSTRACT

Er-doped sodium borosilicate glass films for waveguides amplifier were fabricated by Aerosol Flame Deposition(AFD) method.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  was added to sodium borosilicate glass films to suppress the formation of crystalline phase and control the refractive index. the formation of crystalline phase was suppressed above  $\text{Al}_2\text{O}_3$  of 6 wt%. As the amount of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  increased from 2 to 12 wt% the refractive index of glass films increased lineary from 1.4595 up to 1.4710. After the core of  $77\text{SiO}_2\text{-}15\text{B}_2\text{O}_3\text{-}8\text{Na}_2\text{O}+6$  wt% $\text{Al}_2\text{O}_3+8$  wt% $\text{Er}_2\text{O}_3$  was coated on the buffer layer of  $77\text{SiO}_2\text{-}15\text{B}_2\text{O}_3\text{-}8\text{Na}_2\text{O}+6$  wt% $\text{Al}_2\text{O}_3$ , the core was etched by reactive ion etching. The absorption spectrum of 3 cm waveguide amplifier showed two peaks of 1530 and 1550 nm.

**Key words :** Aerosol flame deposition(AFD) method, Sodium borosilicate glass films, Reactive ion etching, Absorption spectrum

### 1. 서 론

전광 통신망이 가입자쪽으로 확산됨에 따라, 광분배기, 광스위치, WDM 등의 기능을 갖는 수동소자와 더불어, LD, EDFA 등의 능동소자가 필수 불가결한 요소로 대두되고 있다. 또한 광가입자망의 확산을 가속화하기 위해서는 고기능을 갖추는 동시에 소형화와 저가격화가 결정적으로 중요하다. 이에 PLC(Planar Light Circuit)가 기능뿐 아니라 가격적인 측면에서 우수한 것으로 평가되고 있다. 특히 PLC는 부피가 작고, 양산성이 있으며, 고기능 집적화 가능성 등의 장점이 있다.

현재까지 연구되고 있는 PLC의 재료들은 반도체, 폴리머(polymer), 실리카 등이 있다. 이들 중에서 전송손실, 접속손실, 온도 안정성 등의 측면에서 가장 뛰어난 재료는 실리카

이다. 실리카 PLC는 실리콘 기판과의 우수한 물리적, 화학적 친화력 외에 광섬유와의 정합성이 우수하다.

실리콘 기판 위에 실리카막을 형성하는 방법은 CVD (Chemical Vapor Deposition),<sup>1)</sup> FHD(Flame Hydrolysis Deposition),<sup>2)</sup> 이온교환,<sup>3)</sup> 이온침투,<sup>4)</sup> 스퍼터링,<sup>5)</sup> 졸-겔법<sup>6)</sup> 등이 있다. 이러한 여러 가지 방법 중에서 FHD법이 현재 많이 사용되고 있는 공정이다. FHD법은 막의 성장 속도는 빠르나 휘발성이 매우 높은 염화물만 사용이 가능하여 유리의 조성이 매우 제한적이다. 특히 광증폭기의 구성원소인 희토류나 알칼리와 같은 금속이온을 첨가할 경우 새로운 보조 장치가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 유리조성의 선택에 제한이 없는 새로운 AFD(Aerosol Flame Deposition) 방법<sup>7)</sup>으로 광증폭기용 유리박막을 제작하고자 한다.

실리콘을 기판으로 하는 평판형 광도파로 소자는 기판 바

로 위에 있는 버퍼(buffer layer)층, 광이 도파되는 코어층(core clad)과 코어층을 보호하는 덮개층(over clad)으로 이루어져 있다. 코어의 굴절률은 버퍼층의 굴절률 보다 약간 높은 것이 이용된다.<sup>8)</sup> 또한 광을 증폭시키는 소자를 제작하기 위해서는 코어층에 Er, Nd, Yb와 같은 희토류 금속 이온을 첨가되어야 한다.

Er(Z=68)은 딱찬 최외각의 전자껍질(shell) 5s, 5p와 다 채워지지 않은 4f로 이루어져 있다. 이 원소가 유리에 첨가되면 3가 이온 상태( $Er^{3+}$ )로 되며 이온이 갖는 전자의 에너지 준위에 의해 빛의 흡수와 방출이 일어나게 된다.<sup>9)</sup> 실리카에 첨가된 Er의 에너지 주흡수 파장대는 980 nm와 1530 nm대역을 들 수 있다.<sup>10)</sup>

본 연구에서는  $77SiO_2-15B_2O_3-8Na_2O$ 계 유리박막을 제작하여 광도파로로서의 가능성을 조사하고, 여기에 Er를 첨가하여 EDPA(Er doped planar amplifier)를 제작하여 광흡수 특성을 조사하였다.

## 2. 실험방법

AFD (Aerosol Flame Deposition) 방법이란 액상의 줄을 초음파 진동자를 사용하여 에어로졸 입자로 만들고, 산·수소 불꽃으로 산화시켜 기판 위에 증착시키는 방법이다. 초음파를 이용하여 에어로졸을 생성시킬 경우 에어로졸의 크기는 입의로 조절될 수 있다. 초음파가 액체를 통과하여 액체와 기체의 경계면에 도착하면 그 경계면에서 액체 방울이 생성되며, 이때 생성된 입자의 크기는 액체의 밀도와 표면장력, 초음파의 각진동수에 의하여 결정된다.<sup>12)</sup>

### 1) 줄의 제조

희토류가 첨가된 sodium borosilicate 유리박막을 제작하기 위하여 실험에서 사용된 시약은 tetraethyl orthosilicate (TEOS),  $B[(CH_3)_2CHO]_3$ ,  $NaNO_3$ ,  $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ,  $Er(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$ ,  $HNO_3$ , Methanol, DI water이다. 먼저 TEOS를 DI water과 메탄올의 몰비가 5:1로 혼합된 용매에서 1시간 동안 가수분해 시켰다. 가수분해 촉매로는 질산을 사용하였다. 여기에  $B[(CH_3)_2CHO]_3$ 를 천천히 첨가하여 자석교반기로 교반하면서 3시간 동안 반응시켰다. 준비된 졸(sol)용액을 에어로졸 발생기에 넣고 에어로졸을 만들어 토치(torch)까지 이송시킨 다음 불꽃반응을 일으키면 산화물 분말을 얻을 수 있게된다.

### 2) 박막 증착

줄 용액을 1.5 MHz의 초음파 진동자가 부착된 용기에 넣고 에어로졸을 만든다. 에어로졸은 아르곤 가스에 의해 토치로 이송되고, 산·수소 불꽃에 의해 산화반응 되면서 홀더에 부착되어 있는 실리콘 기판에 증착된다. 이때에 웨이퍼 홀더는 온도조절기를 사용하여 400°C로 유지시켰다. 또한 박막의 두께가 일정하게 증착되도록 토치는 컴퓨터를 이용하여 x, y 방향으로 그물망 모양으로 움직이면서 산화분

말을 증착시켰다. 증착된 산화분말의 미세구조는 SEM을 이용하여 관찰되었다.

### 3) 열처리 공정

증착된 분말의 결정수나 유기물을 제거하기 위하여 500°C 산소분위기에서 2시간 동안 열처리하였다. 건조된 박막을 버퍼층의 경우 1300°C에서 2시간 동안, 코어층인 경우 1200°C에서 1시간 열처리함으로써 산화분말을 용융시켰다. 열처리 후 공기 중에서 급냉시켜 유리박막을 제작하였다.

### 4) 박막의 물성 측정

박막의 두께 및 굴절률을 LD( $\lambda=1.55 \mu m$ )광원과 GGG (Gadolinium Gallium Garnet) 프리즘으로 구성된 프리즘 커플러로 측정하였다. Fig. 1은 유리박막의 흡수 스펙트럼을 측정하기 위한 실험 장치도이다. 입사광으로는 tunable Laser Diode를 사용하였으며 optical spectrum analyzer를 이용하여 1500에서 1580 nm 사이에서 흡수를 관찰하였다.  $77SiO_2-15B_2O_3-8Na_2O+6 \text{ wt}\%Al_2O_3$  유리의 열팽창계수는 TMA (dilatometer)를 사용하였으며 0~30°C에서는 1°C/min, 30~700°C에서는 5°C/min로 승온하면서 측정하였다. 측정에 사용한 시편은 박막 제작시 사용되는 졸(sol)용액을 건조하여 하소한 후 다시 백금도가니에 넣어 1300°C에서 2시간 용융한 후 상온에서 급냉하여 제작하였다.

### 5) 식각공정

코어층 위에 RF sputtering system을 이용하여 Cr 마스크를 코팅하였다. Sputtering은 2 mTorr의 압력에서 Ar가스 30 sccm에 의해서 수행되었고, 이때 source power는 450 Watts였다. 이상의 조건에서 Cr의 증착률은 160 Å/min였으며, 증착된 Cr의 두께는 3000 Å이었다.

증착된 Cr막 위에 스핀 코터를 사용하여 Photo Resist (JSR)를 도포 하였다. 이때 회전속도는 2000 rpm이고, 수행시간은 60초였다. PR에 남아있는 용제를 증발시키고, 접착도를 향상하기 위해 PR이 도포된 웨이퍼를 열판에서 115°C, 3분간 Soft Baking 하였다. Baking 된 웨이퍼는 정확한 선폭을 위해 ORIEL 83210 mask alignment fixture를 사용하여 진공으로 밀착 시켰다. 노광은 1000 W Hg-Xe 램프를 사용하였다. 이때 광량은 4.85 mW/cm<sup>2</sup>이며 노광 시간은

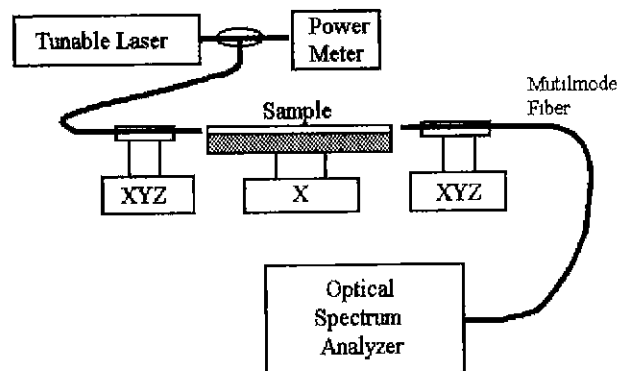


Fig. 1. Setup for measurement of absorption spectrum.

60초이다. 노광 후 식각되어야 할 부분에 존재하는 PR막의 제거를 위해 노광 된 웨이퍼를 현상하였다. 현상은 NMD-W (2.38%) 용액에서 침입법을 사용하였고, 60초 동안 수행되었다. 잔여 용제를 제거하여 PR막을 건조시키고 기판에 대한 접착도를 증가시키기 위해 현상된 웨이퍼를 열판에서 115°C, 5분간 hard baking 하였다.

Cr 마스크 패턴제작은 MAKHC4(HNO<sub>3</sub> 15.10-17.10%) 부식액에서 습식에칭으로 수행되었다. 시간은 8분 정도 소요되었다. Cr 마스크 위에 PR막은 photo resist striper(ACT-1)을 사용하여 제거하였다.

PR막 제거 후 패턴이 형성된 4인치 웨이퍼를 3×2cm<sup>2</sup>의 크기로 질라 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>유량-7.5 sccm, O<sub>2</sub>첨가량-20%, RF power-270 watts, 압력-150 mm Torr의 조건에서 120분동안 식각하였다. 식각된 도파로 위에 덮게층을 코팅한 후 광흡수특성을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

광도파로로 사용되는 유리조성의 불균일은 광손실의 중요한 요인중의 하나이다. 본 실험에 사용되는 77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O계의 유리조성은 열팽창계수(77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O+ 6 wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> :  $\alpha=5.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  in Fig. 3)가 Si 기판( $\alpha=3.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )과 비슷하여 광도파로에 응력은 줄일 수 있으나 쉽게 결정상이 생성되는 조성이다. 결정상 생성으로 인한 조성의 불균일을 억제하기 위하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가하였다.<sup>13)</sup> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 2 wt% 일 때까지는 cristobalite 결정상이 관찰되었으나, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 증가할수록 결정상의 크기는 작아지며, 6 wt% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 이상에서는 결정상이 없는 유리박막이 얻어졌다.

6×6 μm의 도파로를 갖는 증폭소자를 제작하기 위해서는 버퍼층과 코어층의 굴절률 차이가 0.75가 되어야 한다. 77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가할 경우 결정상 생성을 억제할 뿐만 아니라 유리박막의 굴절률을 용이하게 조절할 수 있다. Fig. 2에서 볼 수 있는 것처럼 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량이 증가함에 따라 유리박막의 굴절률이 1.4595(2 wt%)에서 1.4710(12 wt%)까지 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

그러나 유리의 굴절률은 열처리조건(thermal history)에 따라 달라지며, 광도파로 제작 시 버퍼층은 두 번 코어층은 한번 더 열처리 과정을 거친다. 즉, 실리콘기판 위에 증착된 버퍼층의 산화분말을 유리화하고, 여기에 코어층의 산화분말을 증착하여 열처리하여 유리화시킨다. 그런 다음 도파로 형성을 위해 코어층을 식각하고 그 위에 덮게층의 산화분말을 증착하여 마지막으로 열처리함으로써 광도파로소자가 제작된다. 이 과정에서 버퍼층과 코어는 굴절률이 변할 수 있다. 따라서 재열처리 후 굴절률의 변화 여부는 매우 중요하며, 재열처리 온도 조건을 결정하기 위하여 77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O+6 wt%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 조성의 분말을 알루미나 도가니에서

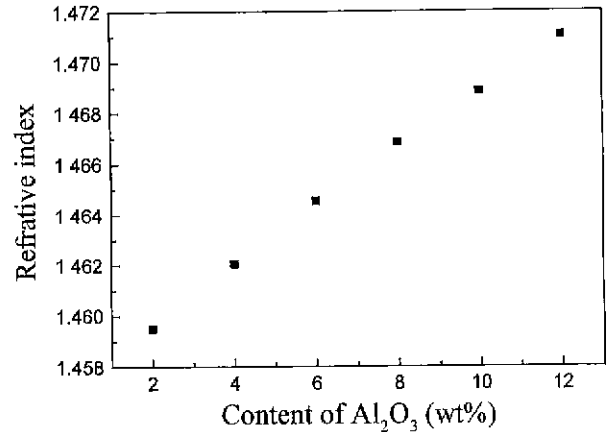


Fig. 2. Refractive index of 77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O glass film doped with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

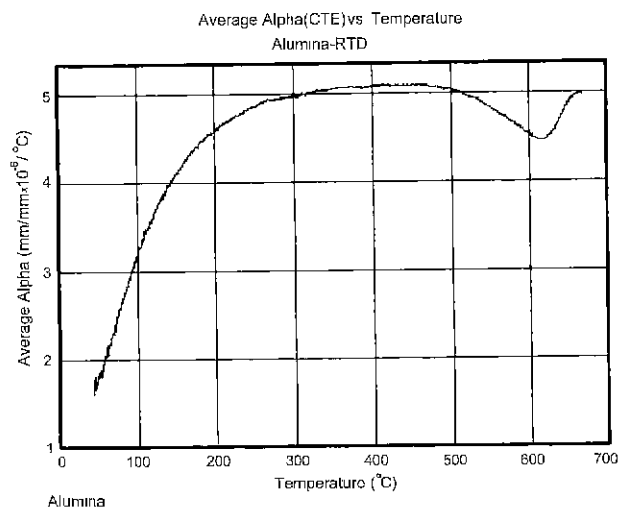


Fig. 3. Measurement of thermal expansion coefficient of 72SiO<sub>2</sub>-14B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O-6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glass film.

용융 후 유리의 열팽창계수를 측정하였다. Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 유리의 열팽창계수( $\alpha$ )는  $5.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이며, 전이온도는 610°C이다. 따라서 전이온도 바로 이하의 온도에서부터 시간에 따라 재열처리 후 굴절률을 측정하였다. Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 전이온도 이하에서는 열처리 시간이 증가함에 따라 원자의 재배열에 의하여 굴절률이 증가하나 전이온도 이상에서는 굴절률이 증가 후 감소한다. 1000°C 이상에서 열처리할 경우 굴절률의 변화가 없음을 알 수 있다. 이는 코어나 덮게층의 유리화 온도가 1000°C 이상일 경우 버퍼층의 굴절률이 변하지 않음을 의미한다.

77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O계 유리박막의 광도파로박막으로써 응용 가능성을 알아보기 위하여 굴절률이 1.4645인 77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O+6 wt%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 조성의 유리박막을 버퍼층으로 하여 실리콘 기판 위에 제작하고 그 위에 굴절률이 1.4685인 77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O+10 wt%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 조성의 유리박막을 코어층으로 선택하여 두 층으로 구성된 광도파로박막을 제작하

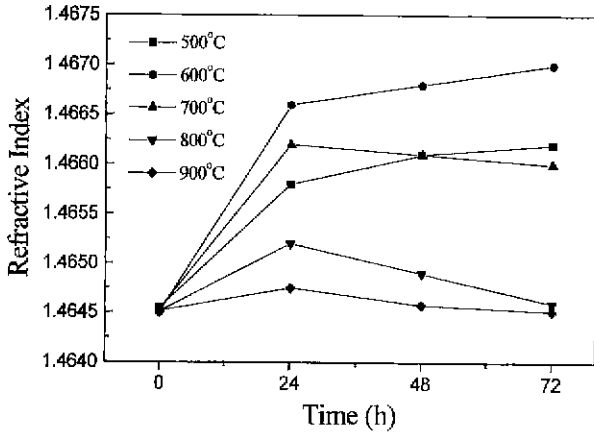


Fig. 4. Refractive index of 72SiO<sub>2</sub>-14B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O-6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glass thin films annealed at 500°C, 600°C, 700°C, 800°C and 900°C as a function of the annealing time

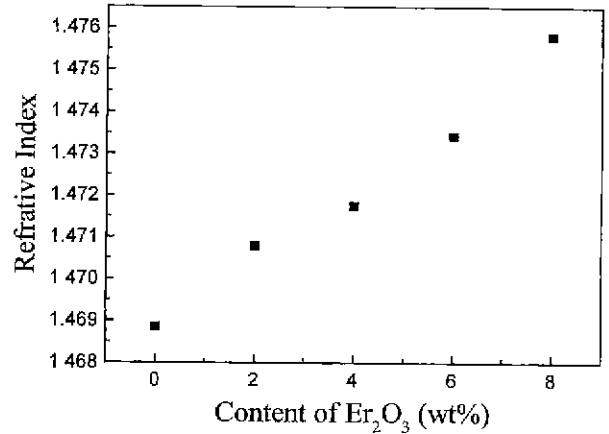


Fig. 6. Refractive index of 72SiO<sub>2</sub>-14B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O-6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glass film doped with Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

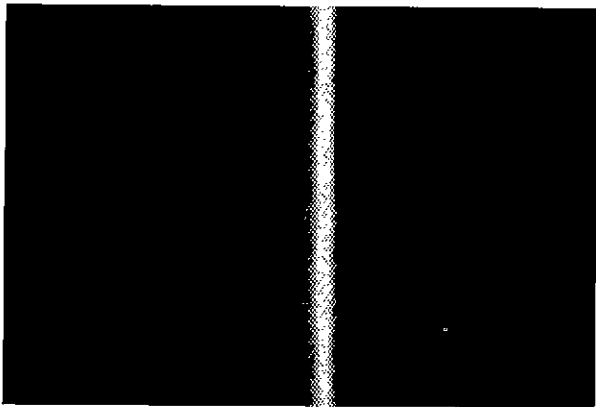


Fig. 5. Near field pattern of 72SiO<sub>2</sub>-14B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O-6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glass film.

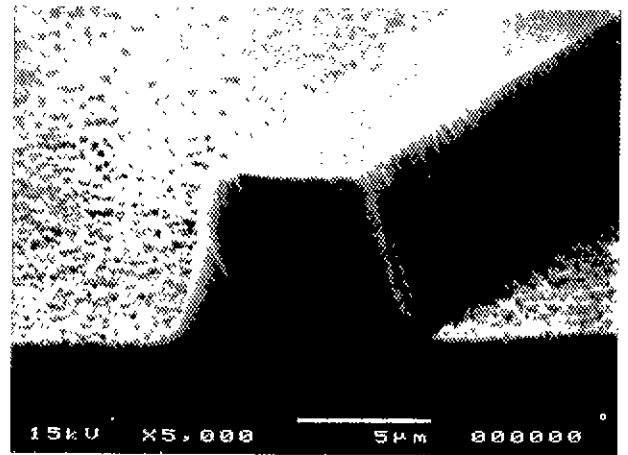


Fig. 7. SEM photographs of ridge guide structure after reflow at 1000°C for 10 minutes.

었다. 실리콘 기판 위에 형성된 버퍼층의 경우 프리즘 커플러를 이용하여 측정한 결과 유리박막의 두께는 15±0.3 μm 이었으며 굴절률은 1.4645±2.0×10<sup>-4</sup>이었다. 버퍼층 위에 형성된 코어층의 경우 두께는 5±0.3 μm이었으며 굴절률은 1.4688±2.0×10<sup>-4</sup>이었다. 또한 프리즘 커플러를 이용하여 코어층으로 광을 도파시켜 측정한 근접장상(Near Field image)을 관찰한 결과 Fig. 5에서와 같이 광이 균일하게 도파됨을 알 수 있다. 결과적으로 77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O계 유리박막은 광도파소자로 응용 가능성을 알 수 있다.

EDPA(Er-doped Planar Amplifier)를 제작하기 위하여 어븀의 첨가량에 따른 77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O 유리박막의 굴절률을 조사하였다. Er이 첨가된 코어층은 77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O+6 wt%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 버퍼층 위에 제작되었다. Fig. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량이 0에서 8 wt%까지 변화될 때 굴절률은 1.4688에서 1.4758로 선형적으로 증가하고 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 비해 굴절률 증가효과가 큰 이유는 Er과 같이 이온반경이 큰 원소가 첨가될 경우 비가교 산소이온의 분극률이 증가되기 때문이다.

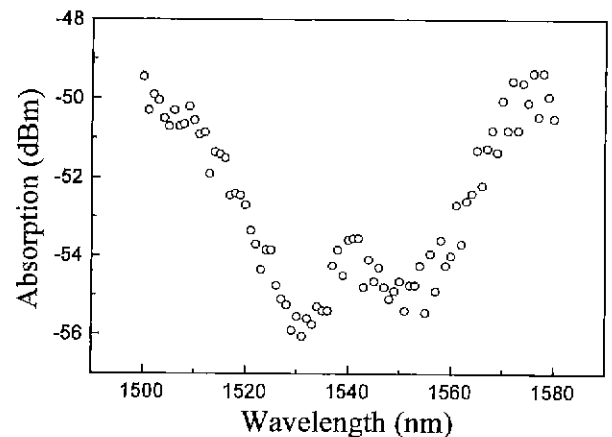


Fig. 8. Absorption spectrum of 72SiO<sub>2</sub>-14B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O-6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+8 wt%Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glass film.

광도파로를 제작하기 위하여 77SiO<sub>2</sub>-15B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8Na<sub>2</sub>O+6 wt%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+8 wt%Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 조성의 코어층을 RIE법을 이용하여 식각하였다. 이때 식각은 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>유량-7.5 sccm, O<sub>2</sub>첨가량-20

%, RF power-270 watts, 압력-150 mTorr의 조건에서 120 분 동안 행하였다. 식각률은  $180 \text{ \AA}/\text{min}$ 이었으며, Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 도파로 표면은 거치나 Na, Al, Er과 같은 증기압이 낮은 원소가 존재함에도 불구하고  $6 \mu\text{m}$  이상 식각하였다. 여기에 굴절률이 1.4644인  $60\text{SiO}_2\text{-}35\text{B}_2\text{O}_3\text{-}5\text{Na}_2\text{O}$  조성의 덮개층을 형성시켜 길이 3 cm의 직선형 광증폭로 소자를 제작하였다.

덮개층의 열처리 공정으로 의한 도파로 형태 변화로 광증폭특성은 얻을 수 없었으나 Fig. 8에서와 같이 흡수 스펙트럼은 얻을 수 있었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 1500에서 1580 nm까지 넓은 영역에 걸쳐 광을 흡수하며, 1530과 1550 nm에서 흡수피크 값을 갖는다. 이는 어븀에 의한 흡수로 판단되어지며, 도파로 형성을 위한 식각 공정이나 덮개층의 열처리 공정의 최적화로에 의해 광증폭특성 또한 충분히 얻을 수 있을 것으로 본다.

#### 4. 결 론

AFD(Aerosol Flame Deposition) 방법을 이용하여 실리콘 기판 위에 광증폭기용  $77\text{SiO}_2\text{-}15\text{B}_2\text{O}_3\text{-}8\text{Na}_2\text{O}$  유리박막을 제작하였다.

1)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  함량이 2에서 12 wt%까지 증가함에 따라  $77\text{SiO}_2\text{-}15\text{B}_2\text{O}_3\text{-}8\text{Na}_2\text{O}$  유리박막의 굴절률은 1.4595에서 1.4710까지 선형적으로 증가하였다.

2)  $77\text{SiO}_2\text{-}15\text{B}_2\text{O}_3\text{-}8\text{Na}_2\text{O}+6 \text{ wt}\% \text{Al}_2\text{O}_3$  유리박막을 버퍼층으로,  $72\text{SiO}_2\text{-}14\text{B}_2\text{O}_3\text{-}8\text{Na}_2\text{O}-6\text{Al}_2\text{O}_3$  유리박막을 코어층으로 하는 광소자용 도파로박막을 제작하고 프리즘 커플러를 이용하여 광이 도파됨을 확인하였다.

3) 코어층 유리박막에 어븀 함량이 0에서 8 wt%까지 변화할 때 유리박막의 굴절률은 1.4688에서 1.4758로 변화하였다.

4) 어븀이 8 wt% 첨가된 광증폭기를 제작하여 1530과 1550 nm 파장에서 광이 흡수됨을 관찰하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(97-0300-03-01-3)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### REFERENCES

1. T. Valette and J. P. Jadot, "Si-based Integrated Optics Technologies," *Solid State Tech.*, **Feb.**, 69-75 (1989).
2. M. Kawachi, "Silica Waveguide on Silicon and Their Application to Integrated Optic Components," *Optical and Quantum Electronics*, **22**, 391-416 (1990).
3. N. A. Sanford, K. J. Malone and D. R. Larson, "Integrated-Optic Laser Fabricated by Field-Assisted Ion Exchange in Neodymium-Doped Soda-Lime-Silicate Glass," *Opt. Lett.*, **15**, 366-368 (1990).
4. P. W. Leech and M. C. Ridgway, "Waveguides Fabricated in Fused Silica by Germanium Ion Implantation at Varying Doses," *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **392**, (1995).
5. N. Imoto, N. Shimizu, H. Mori and M. Ikeda, "Sputtered Silica Waveguides with an Embedded Three-Dimensional Structure," *J. of Lightwave Tech.*, **LT-11**(1), 289-294 (1993).
6. R. R. A. Syms and A. S. Holmes, "Reflow and Burial of Channel Waveguides Formed in Sol-Gel Glass on Si Substrates," *IEEE Photonics Tech. Lett.*, **5**(9), 1077-1079 (1993).
7. T. F. Morse, A. Kilian and L. Reinhart, "Aerosol Techniques for Glass Formation," *J. Non-Crystalline Solids*, **129**, 93-100 (1991).
8. F. S. Hickernell, "Optical Waveguides on Silicon," *Solid State Tech.*, **Nov.** 83-88 (1988).
9. C. R. Giles and E. Desurvire, "Modeling Erbium-doped Fiber Amplifier," *J. of lightwave Tech.*, **9**(2), 271-283 (1991).
10. D. N. Payne and R. I. Laming, "Optical Fiber Amplifiers," *Proc. of OFC'90*, 331-353 (1990).
11. 정형근, 문종하, 정석중, 김병훈, 이형중, "제열처리가  $76\text{SiO}_2\text{-}14\text{B}_2\text{O}_3\text{-}6\text{Na}_2\text{O}-4\text{Al}_2\text{O}_3$  유리박막의 광학적 특성에 미치는 영향," 한국세라믹학회지, **36**(3), 231-236 (1999).
12. R. L. Pescin, R. J. Raco, "Ultrasonic Atomization of Liquids," *J. Acoust. Soc. Am.*, **35**(9), 1378-1381 (1963).
13. 정형근, 전영윤, 문종하, 정석중, 이형중, "첨가제가 AFD법에 의해 제조된 광소자용 Sodium Borosilicate 박막의 물성에 미치는 영향," 한국재료학회지, **8**(8), 693-698 (1998).