

## 집적형 광탐침 헤드의 실리카 광도파로 제조기술

### Silica Waveguide for Integrated Diffractive Optical Head

백문철, 손영준, 서동우, 한기평, 김태엽, 김약연  
(M.C. Paek, Y.J. Sohn, D. Suh, G.P. Han, T.Y. Kim, Y.Y. Kim)

#### Abstract

Silica waveguide for an integrated diffractive optical head system was designed and fabricated. The waveguide was designed to optimize the optical efficiency of red and/or blue laser source, and a lab-made RF magnetron sputter was adopted to deposit silica cladding and core layers on SiO<sub>2</sub>/Si substrates. The cladding and core layers were formed using commercial targets, and the former was done with #7740 and the latter with BK7 and BAK4, respectively. The surface roughness of the waveguide layers was measured to be 30.3Å for BK7 and 17.8Å for BAK4, and the difference of refractive indices between core and cladding layers was 0.9% and 2.5%, respectively. The waveguide fabricated with the core layer of BK7 showed better optical properties when the final diffractive optical probe heads were measured with red laser(650nm) source.

**Key Words** : Integrated Optical Head, waveguide, silica, rf sputter, core layer, cladding layer

#### 1. 서론<sup>1)</sup>

정보의 사용량이 매 5년마다 100배씩의 증가율을 보이고 있는 가운데 엄청난 양의 정보홍수 속에서 유용한 정보를 검색, 정리하고 저장하기 위해서는 대용량 및 고밀도의 저장장치가 필요하며 지능형의 고성능 제어장치를 요구한다[1-3]. 또한 개인 휴대형 정보기기의 발전으로 휴대전화나 PDA, 캠코더 등의 기기에서도 고밀도 마이크로 광디스크 등 초소형 대용량의 정보저장 기능을 요구하게 될 것이다. 이에 따라 미국, 일본 등지에서는 초소형 휴대기기용 디스크 저장장치의 개발에 열을 올리고 있는 실정이며 일부는 상품화되어 소개되고 있다. 미국 IBM사의 마이크로 드라이브, 데이터 플레이사의 데이터 플레이 디스크, 일본 올림푸스사에서 출시한 아이 드라이브 등이 그것인데 대부분 현재의 하드디스크 및 DVD의 크기를 축소 한 형태이며 아직 가격이 비싼 실정이다.

성능을 그대로 유지한 채 크기를 대폭 줄이기 위한 기술로서는 MEMS로 더 잘 알려져 있는 미

세 기계전자기술을 이용하여 광학부품을 구현하는 것이 소개된 바 있는데 이 또한 제작비용이 크게 들어 상용화가 어려운 것이 단점이다.

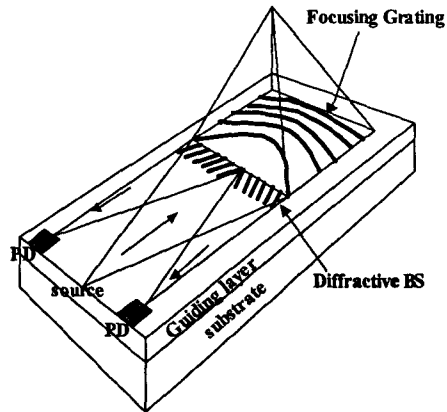


그림 1. 집적형 광탐침의 개략적인 형태

Fig. 1. Schematic diagram of integrated optical probe head

이러한 문제점들은 광도파로를 이용한 집적형 광탐침 기술로 해결하려는 시도가 있어왔다. 즉,

한국전자통신연구원 정보저장소자팀  
(305-350 대전시 유성구 가경동 161 번지)  
Fax: 042-860-5202  
E-mail : backmc@etri.re.kr

광원 레이저의 입출력을 광도파로로써 유도하고 기록/재생을 위한 미세 초점의 형성은 집광형 격자 결합기 (FGC: Focusing Grating Coupler)를 활용하는 기술이다.[4,5] 그림 1.은 집적형 광탐침의 모양을 나타낸 것으로 실제 크기는  $2 \times 3 \text{mm}^2$  정도이며 현재의 광픽업 헤드크기에 비하여 부피와 무게를 대폭 감소시킬 수 있다. 이 기술은 단일모드 레이저 광의 손실을 최대한 억제하여 효율을 높이는 것이 중요하며 이를 위하여 광도파로의 설계 및 공정에서부터 광효율을 고려한 변수가 적용된다.

본 연구에서는 초소형 광디스크에 적용하기 위한 집적형 광탐침 용 광도파로를 설계하고 제작 및 측정하였다. 도파로 소재는 실리카를 사용하였으며 실리카 도파로 층을 형성하기 위하여 RF 마그네트론 스퍼터를 이용하였다. 굴절률의 선택은 서로 다른 타겟을 사용하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실리카 광도파로의 설계

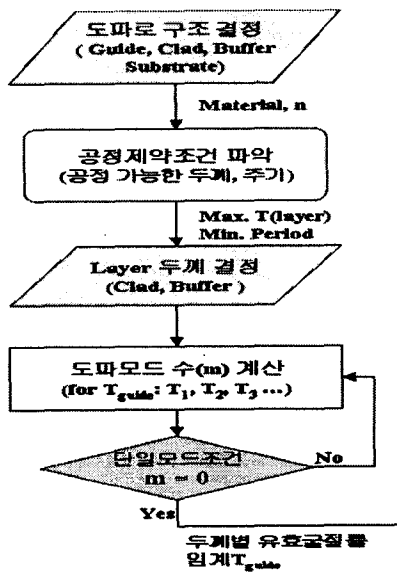


그림 2. 실리카 광도파로의 설계 순서도  
Fig. 2. Flow chart of silica waveguide design

실리카를 이용한 광도파로를 설계하기 위해서는 구조적인 특성과 광학적인 특성을 동시에 고려해야 한다. 그림 2는 광도파로 설계순서도를 나타낸

것이다. 광도파로의 설계는 완충층(buffer layer), 보호층(cladding layer), 코어 층(core layer)의 특성을 고려하여 가능한 공정의 범위 이내에서 이루어졌다. 또한 입사 레이저의 효율을 최대화하고 최종 초점의 크기를 최소화하기 위해 도파로 모드수를 단일모드로 결정하였다.

### 2.2 실리카 광도파로의 제작공정

실리카 광도파로의 증착공정은 4인치 직경의 (100) 실리콘 기판에  $1.0 \sim 2.5 \mu\text{m}$  두께의 열산화막을 성장시킨 후 완충층으로 사용하였다. 실리카 도파로 층은 RF 마그네트론 스퍼터를 제작하여 증착하였다. 스퍼터는 4인치 직경의 타겟을 3개까지 장착할 수 있으며 600W의 RF 파워를 얻을 수 있다. 본 실험에서는  $100 \sim 200\text{W}$ 의 범위에서 실험을 수행하였고, 증착온도는 상온에서  $300^\circ\text{C}$ 의 범위로 하였다.

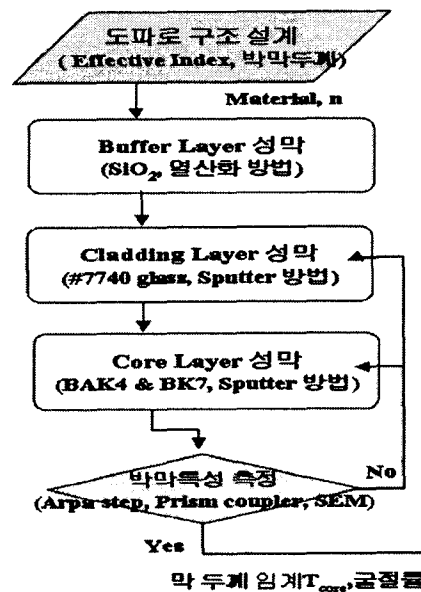


그림 3. 실리카 광도파로의 공정 순서도  
Fig.3. Flow chart of silica optical waveguide processing

스퍼터 챔버 내부의 압력은  $10^{-3}$  torr을 유지하였으며 증착시간은 20~210분 사이로 조정하여 원하는 두께를 얻을 수 있도록 하였다. 그림 3은 설계로부터 공정을 거쳐 측정을 하기까지에 대한 순서도를 나타낸 것이다.

표 1. 실리카 타겟의 성분비교

Table 1. Composition of silica targets

target	#7740	BK7	BAK4
SiO <sub>2</sub>	81	69.6	44-55
ZnO	-	-	5-15
BaO	-	2.5	15-25
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	9.9	1-10
Na <sub>2</sub> O	4	8.4	1-10
K <sub>2</sub> O	-	8.4	1-10
Traces	-	1.2	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2	-	-
n	1.473	1.51509	1.5667

실리카 타겟은 표 1.과 같이 3개를 사용하였으며 각각의 구성성분을 표에 나타내었다. 여기에서 굴절률이 비교적 낮은 #7740을 보호층으로, BK7 및 BAK4는 각각 코어층으로 하여 광도파로를 제작하였다. 그런데 타겟에서 주어진 굴절률은 실제 증착된 실리카 박막에서 ellisometer를 이용하여 측정된 값과 차이를 보여 이를 각각 보정할 필요가 있다. 표 2.는 이에 대한 차이를 나타낸 것으로 이를 감안하여 각각 보정하였다.

표 2. 실리카 타겟과 증착된 박막의 굴절률 차이 비교표

Table 2. Difference of refractive indices of silica targets and deposited films

	#7740	BK7	BAK4
n <sub>target</sub>	1.473	1.515096	1.5667
n <sub>film</sub>	1.5266	1.5413	1.5659
Δn	0.0536	0.02621	0.0008

3. 결과 및 고찰

RF 스퍼터를 이용하여 증착된 박막의 증착속도는 온도와 RF 파워에 따라 차이를 보였다. 그림 4.는 그 결과로써 RF파워의 증가에 따라 증착속도가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 온도에 대해서는 50~100℃ 범위에서 거의 같은 값을 보이다가 300에서는 증착속도가 낮아지는데 이것은 비교적 높은 온도인 300℃에 이르러 증착된 실리카 박막이 치밀해지면서 밀도가 높아지기 때문인 것으로 보인다. 즉, 높은 온도에서 실리카 구성원

소의 이동도가 증가하여 구조적으로 안정된 위치로 이동하므로 전체 박막의 부피가 감소하게 되고 결과적으로 낮은 증착속도를 보이는 것으로 생각된다.

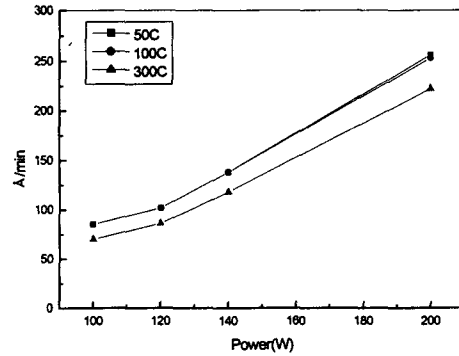


그림 4. RF power에 따른 성장속도의 변화  
Fig. 4. Deposition rate vs. RF power in sputter

이와 같은 공정결과에 따라 스퍼터의 공정조건은 200W의 RF파워와 300℃의 공정온도로 고정하여 수행하였으며 박막의 두께는 증착시간으로 조절하였다.

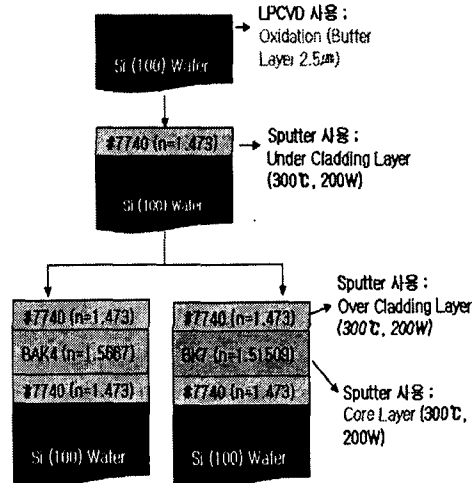
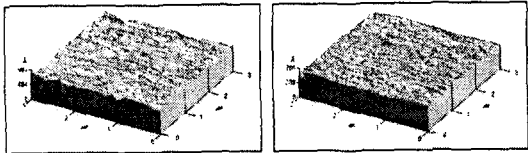


그림 5. 광도파로 층의 제작과정  
Fig. 5. Process of waveguide layers

저압산화막 증착공정(LPCVD)으로 제작한 SiO<sub>2</sub> 완충층에 2가지의 광도파로를 형성한 과정을 그림 5.에 나타내었다. 코어층을 BK7으로 한 경우에는

보호층과 코어층 간의 굴절률 차이가 0.9%이며, BAK4를 코어층으로 한 경우에는 2.5%이었다. 즉, BAK4에 비해서 BK7을 사용하는 경우에 양호한 단일모드의 레이저 광원을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한 증착 후 표면 및 각 실리카 박막사이의 계면은 효율 및 광특성에 큰 영향을 미치는데 그림 6 및 그림 7은 각각 원자현미경 (AFM) 및 주사전자현미경으로 관찰한 표면과 단면의 모습이다.



#7740/BK7/#7740/SiO<sub>2</sub>/Si #7740/BAK4/#7740/SiO<sub>2</sub>/Si  
rms Roughness : 30.3Å rms Roughness : 17.8Å

그림 6. AFM으로 관찰한 광도파로 증착표면  
Fig. 6. AFM image of surface of waveguide

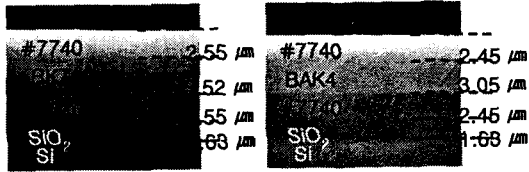


그림 7. 광도파로 층의 단면 SEM  
Fig. 7. Cross section SEM image of waveguide layers

상부 보호층까지 증착된 광도파로 층의 표면은 코어층을 BK7 및 BAK4 타겟을 사용했을 경우 그림 6에서 같이 각각 30.3Å 및 17.8Å을 보여 대체로 양호한 표면상태를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 BAK4에 비하여 BK7일 때에 표면 상태가 더 개선되는 것으로 보인다.

단면을 관찰한 SEM 사진에서는 두 경우에 모두 평탄한 계면을 나타내고 있으며 각 층의 두께도 균일하게 형성된 것을 알 수 있다. 광도파로의 광학특성은 650nm 파장의 적색 레이저를 사용하여 광탐침을 제작한 후 종합적으로 측정되었는데 코어층을 BAK4로 하였을 때에 비하여 BK7타겟을 사용하였을 때에 광효율이 더 우수한 것으로 나타났다. 이것은 코어층과 보호층 간의 굴절률 차이가 전체 광탐침의 특성에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

#### 4. 결론

평면도파로를 이용한 초소형 광탐침의 제작을 위해 실리카 광도파로를 설계, 제작하였다. 자체 제작한 RF 마그네트론 스퍼터를 이용하여 박막형 광도파로를 구현하였으며 코어층을 BK7 및 BAK4 타겟을 이용하여 각각 증착하였다. 제작된 도파로의 표면상태는 코어층이 BK7인 경우보다 BAK4일 때에 양호하게 나타났으나 코어층과 보호층 간의 굴절률 차이  $\Delta n$ 은 반대로 나타났다. 그리고 최종 제작된 광탐침의 효율에서도 코어층이 BK7일 때에 더 우수하게 나타났다. 따라서 다층구조로 형성된 광도파로의 층간 계면 및 표면 특성은 본 실험의 조건에서 매우 양호하여 큰 문제가 없으나 굴절률의 조정에 의하여 광학특성이 영향을 받는 것을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 2001년도 정보통신부 선도기반기술개발 사업의 결과 중 일부입니다.

#### 참고 문헌

- [1] S.C. Esner, M.H. Kryder, W.D. Doyle, M. Keshner, M. Mansuripur, and D.A. Thomson "The Future of Data Storage Technologies", WTEC report, 1999
- [2] 백문철, 한기평, 최성율, 조경익 "고밀도 광저장 장치의 동향과 전망", 주간기술동향 833권, 1-29 페이지, 1999.
- [3] 백문철, 조경익 "미리 보는 정보화 시대의 광 정보저장기술", Electronics 21 p.68, 2000.
- [4] S. Sheard, T. Liao, G. Yang, P. Prewett, and J. Zhu, "Focusing waveguide grating coupler using a diffractive doubler", Appl. Opt. Vol. 11, p.1400, 1997
- [5] S. Sheard, T. Suhara, and H. Nishihara, "Integrated-optic implementation of a confocal scanning optical microscope", J. Lightwave Technol., Vol. 11, p. 1400, 1993