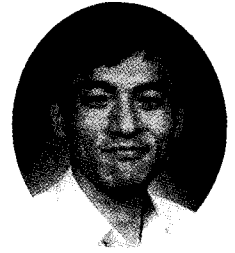


## 실리카 광도파로의 기술현황



이 형 중

전남대학교 물리학과교수

### 1. 서 론

광집적회로는 정밀한 정렬과 파장단위의 미세한 조정이 요구되는 테이블탑의 복잡한 광학계를 평면의 기판상에 단위기능의 도파로 소자들과 이를 연결하는 광도파로로 광회로를 구성하여 집적화 함으로써, 광신호를 단일칩 안에서 종합적으로 처리하게 하는 소자이다. 이러한 광집적회로는 광신호의 전송, 필터, 스위칭, 광계측 등의 복잡한 기능의 광학계를 패키징화한 형태의 진동 및 정렬에 무관한 신뢰성있는 단위소자로 제공함으로써 여러 용도에 공통적으로 사용할 수 있게 해준다. 그러나 광집적회로는 기존의 전자소자처럼 아직까지 광의 논리 연산이 가능한 소자들도 없고 다양한 광학계를 구성할수 있는 단위 광도파소자들도 충분히 개발된 것은 아니어서 그 기능과 응용에서 제한이 되어 있다. 이와같은 문제점에도 불구하고 도파로 분지/결합기, 위상간섭기, 회절격자소자, 도파로 레이저, 증폭기, 거울 등의 비교적 많은 단위소자들이 개발되어 신뢰성 및 양산성 있는 집적광학계의 구성이 가능해졌으며, 광전변환 없이 초고속 대용량의 광신호를 처리할 수 있다는 고유의 장점으로 말미암아 근래에 광전송, 광스위칭, 광신호처리, 광센서 등의 분야에 응용되기 시작하였다.

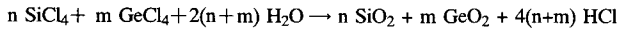
광집적회로의 재료로는 실리카, 소다라임 글래스, 폴리머, 반도체, 강유전체 등의 다양한 재료들이 연구되고 있다. 그중 실리카는 저손실 재료로서 광학적 특성이 우수하고, 광섬유와 동일한 재료로서 광섬유 연결시에 재료적 그리고 광학적 특성상의 잇점이 있다. 또한 실리콘을 기판으로 사용함으로써 전자소자 제작공정을 이용한 고신뢰성, 저가격의 대량생산을 할 수 있으며, V홀과 같은 비등방성 에칭 또는 실리콘의 큰 열전도율을 이용한 레이저, 광섬유, 전자구동소자 등의 다른 소자들과 하이브리드 패키징도 가능하다. 이같은 장점으로 인하여 여러 집적광학의 재료 가운데서 실리카도파로가 먼저 광통신에 실용화의 가능성을 열어주게 되었다.

실리카 광도파로 기술은 1980년경 NTT에서 그리고 80년 초반에 LETI(Laboratory of Electronics and Telecommunication Institute) 및 AT&T 등에서 연구되기 시작한 이래로 꾸준한 발전을 거듭하여 파장다중화소자, 광분할기, 광스위치, 광지연기, 광분산조정기, 도파로레이저 및 광증폭기 등의 보다 집적화된 고급 광회로로서 광통신, 광센서, 광신호처리 등에 실용화되기에 이르렀다. 실리카도파로는 FHD(Flame Hydrolysis Deposition; 화염기수분해 증착법) 또는 CVD(Chemical Vapor Deposition)방법에 의해 만들어진다. FHD와 CVD 방법은 실리카박막을 이용하는 점과, 주로 실리콘을 기판으로 하여 실리콘 전자소자제작에 이용되는 사진식각법과 RIE등의 실리콘 공정법을 이용한다는 점에서 서로 같으나 실리카 박막소재 제작방법에서는 크게 다르다. CVD방법은 AT&T, LETI 등에서 개발한 방법으로서 도파로 패턴형성 공정뿐만 아니라 박막제작공정도 반도체공정인 LPCVD 또는 PECVD를 사용하는 반면, FHD 방법은 NTT에서 개발한 방법으로서 광섬유 제작에서 개발된 VAD(Vapor Phase Axial Deposition) 기술을 바탕으로 이를 실리콘 기판에 적용한 방법이다. 이 글에서는 FHD 방법과 CVD방법을 중심으로한 박막 및 도파로의 제작법, 도파로특성 및 문제점들, 특성 및 평가, 그리고 다양한 광회로의 개발현황 및 발전방향들을 기술하기로 하겠다.

### 2. 박막 및 도파로의 제작

FHD법은  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{GeCl}_4$  등의 할로젠 화합물 재료들을  $\text{H}_2$ 와  $\text{O}_2$ 의 수증기 화염속에 가수분해반응(hydrolysis reaction)에 의해 화염내에 100-1000Å 크기의 미세한  $\text{SiO}_2$ 가루(Soot)를 생성시키고, 이를 화염기체의 흐름과 열영동(thermophoresis)에 의해 실리콘 기판에 적당한 두께로 균일하게 부착시킨 다음, soot가 부착된 실리콘 기판을 1300 °C 전후의 온도에서 녹여서 투명한 균질 도파박막으로 만들어주는 고밀화(Consolidation)

공정에 의하여 만들어진다.



여기서 Ge의 물분율이 클수록 박막의 굴절률은 증가하게 된다. 그리고 soot의 용점을 낮게하기 위하여  $\text{BCl}_3$ 와  $\text{POCl}_3$  등을 첨가하여 반응시키며 이들은 박막조직의 거칠기를 줄여서 도파박막의 산란손실을 제거해주는 역할을 한다. FHD법은 증착속도가  $1\mu\text{m}/\text{min}$  정도로서 수십  $\mu\text{m}$ 의 두께를 요하는 실리카 도파로의 제작에 효율적인 방법으로 알려져 있다.

FHD법은 산수소 불꽃내에서  $\text{SiCl}_4$ 나  $\text{GeCl}_4$  등의 기체의 nucleation에 의한 증착과정으로서 비평형 homogeneous 기체상 반응이다. 따라서 온도나 반응물의 공급유량 등이 화염 내에서 균일하게 정의될 수 없고 또한 증착표면과 큰 온도차로 인하여 독립적인 공정변수를 추출해내기가 어렵다. 그 결과 불꽃의 높이, 산수소 유량, 반응기체 exhaust 속도 등에 soot특성이 민감하게 변하고 또한 고밀화 공정에 의해서도 크게 좌우된다. FHD방법은 기판의 한쪽면에 수십 마이크론의 실리카 후막을 쌓고 높은 온도에서 열처리를 하기 때문에 실리콘 기판과 실리카 박막의 열팽창 차이로 인하여 응력에 의한 기판의 휨변형이 생긴다. 또한 용점이  $1415^\circ\text{C}$  부근인 Silicon을 기판으로 사용하기 때문에  $1350^\circ\text{C}$  이상의 고밀화 공정 온도에서는 기판의 변형이 쉽게 일어나며, 실리콘 대신 실리카를 기판으로 사용하는 경우는 이같은 변형은 더욱 심하다. 보통 500마이크론 내의 두께의 4~5인치 실리콘 기판의 경우 웨이퍼 중앙의 휨변형의 정도는 0.5mm 정도이다. 이와같은 변형으로 인하여 도파로의 사진식각 공정과정에서 마스크와 접착문제, 광섬유 패키징과정에서 정렬오차 등의 여러 가지 문제가 발생하며 이를 줄이기 위하여 1mm 이상의 두꺼운 기판을 사용하는 것이 일반화 되어 있다.

CVD법은 프랑스 LETI(Laboratories of Electronics and Telecommunication Institute) 그리고 미국 AT&T Bell 연구소 등에서 실리콘 전자소자기술에서 사용해오던 LPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition) 또는 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)를 이용하여 개발한 실리카 도파로의 제작법이다. CVD방법은 분자단위의 준평형 표면 화학반응과정을 통하여 증착되므로 비평형 화염속의 precipitation에 의해 생기는 soot 증착법인 FHD에 비하여 매우 양질의 도파로재료를 만들 수 있다. 이 과정은 기체분자들이 먼저 표면에 흡착되고 반응한 다음, 잔여물들이 다시 탈착되는 과정으로서 증착속도는 기체분자의 표면 흡착률과 표면반응의 속도에 의하여 결정된다. 이와같은 표면반응의 특성으로 인하여 CVD방법은 증착률이 LPCVD의 경우 분당  $100\text{\AA}$  그리고

PECVD의 경우  $400\text{\AA}$  정도로서 낮은 것이 단점이다.

실리카도파로에 주로 사용되는 박막조성은 BPSG(Borophosphosilicate Glass)로서 굴절률은 P함량에 비례하여 증가하고, B함량에 따라 미량 감소한다. 따라서 굴절률은 주로 P의 함량으로 제어하며, B와 P의 함량에 의하여 박막의 연화온도(Softening temperature)를 조절한다. CVD 방법에서는 증착속도의 제한 때문에 기저 클래딩층으로 일반적으로 Hipox(High pressure oxide)를 사용한다. Hipox는 실리콘 기판을 온도  $1000^\circ\text{C}$  그리고 압력 10~20atm.의 수증기 분위기에서 산화시킨 것으로서 대기압에서 만들 수 있는 산화막의 두께가  $1\sim 2\mu\text{m}$  임에 반해 고압분위기를 줌으로서 산화제인 수증기의 분압을 높여서 산화막의 두께를 증가시킨 것이다. Hipox는 실리콘 기판의 산화막이므로 그 특성이 용융석영과 흡사하여 광학적 특성이 매우 뛰어나다. 반면에 산화공정은 실리콘이 산화되어 이산화규소로 되는 부피팽창과정인므로 산화막의 응력은 다른 실리카 박막에 비하여 더 크고 박막의 부피팽창은 30~50% 더 크다.

CVD는 보통  $500\sim 700^\circ\text{C}$  전후의 온도에서 이루어지며 실리콘 기판의 용점보다 매우 낮아서 FHD에 비하여 기판의 변형을 줄일 수 있다. 또한 LPCVD의 경우 기판이 반응로 내부에서 수직으로 평행하게 세워져 공정이 이루어지므로 기판의 양면에서 증착을 할 수 있어서 박막의 응력에 의한 휨변형을 상쇄시킬 수 있다. CVD의 반응압력은 보통 수백 mTorr로서 기체는 주로 확산과정을 통하여 표면에 도달한다. 이러한 저압공정의 특성상 반응물이 확산과정을 통하여 수송되므로 기판간의 거리를 수mm 내외로 줄이더라도 기판당 2~3% 정도의 높은 증착 균일도를 얻을 수 있다. 또한 1회 증착시 수십내지 일백장까지도 증착할 수도 있으며 이와같은 특징으로 인하여

표 1. 실리카 도파로 기술현황.

Organization	Glass system	Waveguide types	Process
LETI	$\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$	single-mode	plasma-CVD
BTRL	$\text{SiO}_2\text{-GeO}_2/\text{As}_2\text{O}_3$	single-mode	FHD/CVD
Univ. Glasgow	$\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$	single-mode	FHD
AT&T	$\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$	single-mode	LPCVD
Hitachi	$\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$	single-mode	EB-deposition/ FHD
NTT	$\text{SiO}_2\text{-GeO}_2/\text{TiO}_2$	single/ multi-mode	FHD
Furukawa	$\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$	single-mode	FHD
PIRI	$\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$	single/ multi-mode	FHD

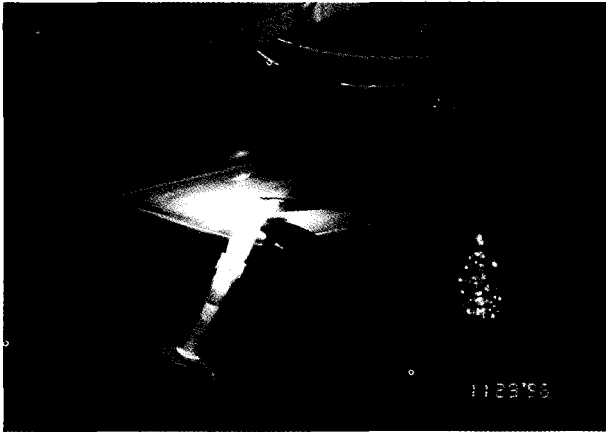


그림 1. FHD 방법에 의한 실리카 입자층의 증착. 산수소 화염속에 상방향으로 기판이 부착되어 있음.

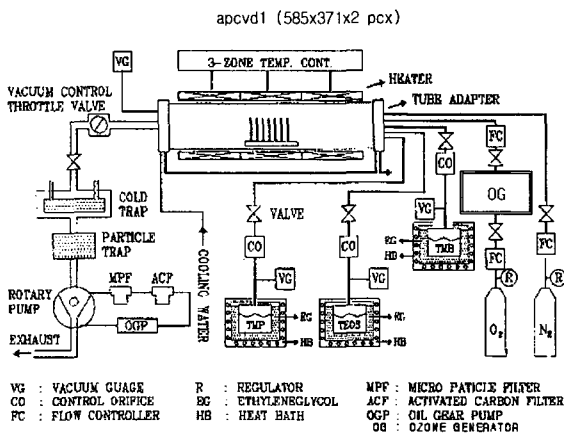


그림 2. LPCVD 방법에 의한 실리카박막의 증착장치.

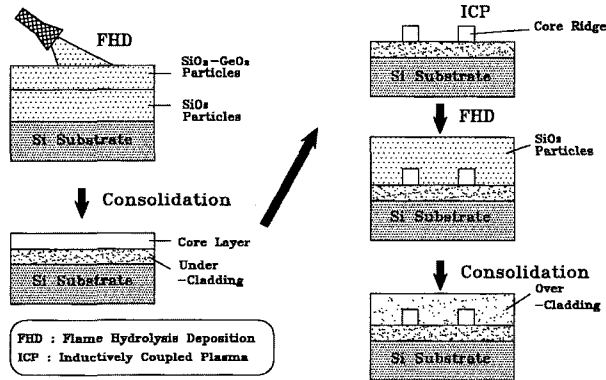


그림 3. 실리카 도파로의 제작방법의 개략.

LPCVD방법이 증착속도가 낮더라도 경쟁력있는 기술이 되게 하고 있다. 그림 1과 그림 2는 FHD와 CVD 방법에 의한 증착 과정을 나타낸다.

실리카 도파로의 제작방법은 그림 3과 같다. 기층 실리카는 실리콘을 기판으로 하여 Hipox 또는 CVD나 FHD 방법에 의하여 만든다. 그 다음 기층 실리카 위에 도파로 코어층을 증착

표 2. FHD와 CVD의 특성비교.

	FHD	CVD
증착속도	고속증착 (1um/min)	저속증착 (10-40nm/min)
반응물	Ge, Ti, Er, Nd, B, P 도우핑 비평형 homogeneous 기체상 반응	PSG, BPSG, Ge, As, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 준평형 heterogeneous 표면 반응
특성비교	도파손실은 중급 공정제어가 어렵다. 소단위 batch 공정 (10wafer/run)	도파손실은 고급 공정제어의 용이 대단위 batch 공정 (100wafer/run)
증착조건	단면증착 및 고온공정으로 휨변형이 큼	양면증착 및 저온공정으로 휨변형이 작음
부가적 열처리	soot 증착으로 부가적 열처리 공정 필요	고밀도 박막 직접 증착

하고 마스크를 이용하여 도파로의 패턴을 전사하고 식각을 한다. 마지막으로 제작된 도파로 형상위에 워트 덮개층을 씌워 완성한다. 이때 박막은 밑에 있는 층일수록 연화온도가 높아야 하며, 이와같은 온도차에 의하여 각 박막의 공정과정 중에 도파로 패턴의 움직임을 막을 수 있다. 실리콘 대신에 실리카를 기판으로 사용할 수도 있다. 실리카 도파로의 복굴절이 매우 적고, 기저층이 없이 도파로 코어를 바로 증착할 수 있다는 장점이 있는 반면, 비정질인 실리카 재료의 특성상 1200°C부터 기판의 변형이 일어나기 시작하고 박막간 응력이 있을 경우 계면에서 균열이 쉽게 일어나기 때문에 제작공정상의 조건의 폭이 좁은 단점이 있다. 도파로 패턴의 식각은 주로 RIE (Reactive Ion etching) 등을 사용해 도파로 형태를 만든다. 도파로 폭이 두께에 비하여 훨씬 큰 경우 습식식각을 사용할 수 있다. 그러나 이 경우 도파로의 가로방향과 세로방향으로 도파로의 구조에 기인하는 모드굴절률의 차이가 있어 편광의존도가 생기게 된다.

### 3. 광회로의 특성 및 설계

표 3은 자주 사용되는 도파로의 대표적 규격이다. 낮은 Δ 도파로는 Δ 값이 광섬유와 거의 같아 광섬유와 모드결합효율이

표 3. SiO<sub>2</sub>-GeO<sub>2</sub> 도파로의 대표적 규격.

Waveguide type	low Δ	middle Δ	high Δ	super high Δ
Relative index difference Δ (%)	0.25	0.45	0.75	1.5-2
Core size (μm)	8×8	7×7	6×6	4.5×4.5-3×3
Loss (dB/cm)	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Fiber coupling loss (dB/point)*	<0.1	0.1	0.5	2
Minimum bending radius(mm)**	25	15	5	2

\* Index-matching oil과 일반 단일모드 광섬유를 사용

\*\* Bending loss in a 90° arc waveguide is less than 0.1 dB at λ=1.55μm

좋으며, 도파로의 휨이 있을 경우 광손실이 커서 광분지거나 WDM 커플러와 같은 거의 직선에 구조의 도파로소자의 경우 자주 사용된다. 중간  $\Delta$  도파로는 광섬유와 접속손실은 다소 있더라도 도파로의 휨에 따른 광손실을 줄이기 위하여  $\Delta$  값을 증가시킨 구조로서 비대칭 간섭기, WDM 소자 또는  $8 \times 8$  광스위치 배열 등의 도파로 휨이 크고 중급 집적도를 갖는 정밀한 도파로의 경우에 주로 사용되는 도파로이다. 현재까지는 낮은  $\Delta$ 와 중간  $\Delta$ 의 두가지가 주로 사용되며, 높은  $\Delta$  도파로는 아직까지 많은 연구가 되고 있는 것은 아니지만 향후  $16 \times 16$  광스위치 배열(256개 대칭성 간섭기가 사용됨) 등의 고집적도를 요하는 도파로소자에 사용되리라 기대되는 도파로로서 많은 연구가 되리라 된다. 이 경우 광섬유와의 모드 결합효율이 떨어지게 되므로 이를 개선하기 위한 모드변환도파로 소자가 필요할 것으로 기대된다.

실리콘 기판위의 도파로는 실리콘 기판위에 수십미크론에 이르는 후막속에 묻혀있다. 따라서 실리콘 기판과 실리카 박막의 열팽창 차이에 의한 도파로의 응력과 변형이 크며, 비등방적 박막응력에 의하여 박막내에는 복굴절이 생기게 된다. 보통 그 크기는  $5 \times 10^{-4}$  정도로서 nm정도의 파장 정밀도를 요하는 소자들의 경우 이같은 효과는 신호의 cross-talk로 매우 치명적으로 작용하게 된다. 이같은 효과를 제거하는 방법으로는 도파로에서 2-3미크론 떨어진 거리에 실리콘 질화막과 같은 고굴절층을 수십 nm정도로 두어 TE와 TM의 유효굴절률을 변화시키거나, 소자위에 응력을 가하는 실리콘 막을 두거나 또는 실리카 도파로 주변에 깊은 호를 파서 응력을 차단시켜주는 방법들이 고안되었다. 이러한 방법들은 도파로소자의 부분적인 트리밍, 마스크링 또는 식각 등의 부가적인 마스크 공정을 필요로 하는 것이어서 소자제작의 신뢰성을 떨어뜨리고 도파로의 다른 특성들의 제어에 영향을 주게된다.

도파로의 복굴절과 관련하여 최근 에어로졸 화염증착법이 개발되었으며 Na계의 금속 및 알칼리토금속을 포함하는 Pyrex( $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ )계의 유리박막의 제작이 가능하게 되었다. Pyrex는 열팽창률이 Si의 열팽창률과 같아 박막의 휨이나 응력이 전혀 생기지 않는 복굴절이 없는 도파로의 제작이 가능하여 그 결과가 주목되고 있다. 현재로서는 Na의 건식 식각에 어려움이 있어 도파로의 기하학적 모양의 제어에 어려움이 있으나 도파로의 식각을 얇게하고  $\Delta$ 치를 크게하여 사용할 수 있으며, 모드변환기 또는 다른 패턴링의 방법 개발에 따라 사각형의 채널도파로와 접합도 가능할 수 있으리라 본다. 그리고 이 재료는 희토류 재료 즉 Er, Nd, Yb 등의 용해도가 커서 고이득률의 도파로를 만들 수도 있어서 중요한 재료이기도 한다.

도파로소자의 설계는 크게 박막계의 해석과 도파로의 2차원 및 3차원 해석으로 나눌 수 있다. 우선 박막계의 해석은 방사 모드 또는 복소굴절률을 포함하는 경우까지 거의 완벽하게 풀려 있으므로 여기서 논하지 않겠다. 2차원 해석은 도파로의 굴절률 변화가 큰 경우에 필요한 벡터해석과 굴절률변화가 작은 경우에만 적용할 수 있는 스칼라 해석으로 나누며, 경계점 정합법(Point matching method), 유효굴절률법, 모드 정합법(mode matching method), 조화함수 전개법, Hermite-Gaussian 함수전개법, 변분법(variational method), 다중극 전개법(multiple multipole method), 유한차분법(finite difference method), 유한요소법(finite element method) 등의 도파로의 고유모드 계산법이 있다. 3차원 해석은 2차원 해석에 의해 구한 모드에 산란행렬을 적용한 방법이나 beam propagating method, coupled mode method 등이 있으며 경우에 따라 도파로 굴곡 또는 방사이론 등의 다양한 방법이 사용된다. 최근 이러한 해석법의 일부를 포함하며 BPM 등을 사용한 도파로 소자의 설계후 마스크 제작용 file까지 만들 수 있는 전산설계 도구들이 개발되고 있다.

#### 4. 실리카 도파로소자들

광회로의 다양한 기능들은 광을 분지하고 각 분지된 광에 위상차를 준 다음 다시 이들을 결합하게 함으로서 얻어진다. 이와같은 기능을 수행하게 하는 기본 단위는 Y-branch와 coupler이며 MZ(Mach-Zender) 간섭기,  $1 \times N$  또는  $2 \times N$  광분할기 등도 이와같은 기본 구조로 이루어진다. 그림 4는 이러한 단위 소자 및 이들로 구성되는 기본 소자들을 보여준다. MZ 간섭

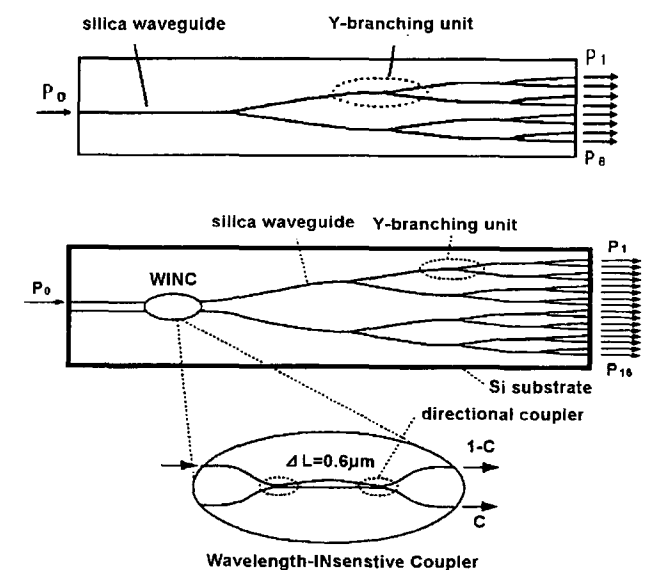


그림 4. 광분지기와 커플러를 이용한 광분할기.

기는 두 간섭 팔(arm)간의 경로차를 조절함으로써 두 출력단 간에 스위칭을 할 수 있다. 이때 두 팔은 대칭 또는 비대칭으로 만들 수 있으며 대칭일 경우는 그 특성이 파장에 무관하게 동작하는 파장무관 위상간섭기가 되며, 비대칭일 경우는 파장 또는 편광의 투과 특성이 달라지며 두 팔간의 광로차가 커짐에 따라 파장무관 1.3/1.5 $\mu\text{m}$  2 $\times$ 2 광분할기, 1.3/1.5 $\mu\text{m}$  WDM 커플러, FDM 필터 등까지 다양하게 만들 수 있다.

이와같은 단위소자를 더욱 집적화하면 새로운 기능을 가진 집적도가 높은 소자들 즉  $N \times N$  광스위치, programmable delay line이나 시간상의 신호 패턴을 구별해 낼수 있는 transversal 필터, 광분산 제어에 사용될 수 있는 lattice 필터, 주파수 변별기 등을 만들 수 있다. 이들 간섭형 광소자에서 경로차 튜닝(tuning)에는 실리카의 열광학효과를 이용한다. 이때 기판인 실리콘은 좋은 열도체로서 이 열광학소자의 안정적 작동을 도와준다. 이들 소자를 보다 빠른속도로 동작시키고 전력손실을 줄이기 위해서는 Si 기판을 국부적으로 식각하여 bridge같은 구조로 고립시켜 thermal mass를 줄일 수도 있으며 스위칭 속도는 1 msec 내외이다.

채널도파로는 그 구조상 1차원적인 선을 따라 광이 이송되는 특징을 갖는다. 따라서 광신호를 공간적으로 병렬 처리하도록 할 수 없을뿐 아니라 광의 다중간섭을 유도하기 어려워 파장필터 소자의 경우 파장선택성을 높일수 없다. 이러한 구조상의 단점은 평판 슬랩(slab)을 써서 보완할 수 있다.  $N \times N$  스타 커플러와 Arrayed Waveguide Grating (AWG)는 슬랩도파로를 이용하여 광의 병렬처리 또는 다중간섭을 일으키는 소자이다. 우선  $N \times N$  스타커플러는 채널 도파로의 도파모드를 도파로 진행의 횡방향으로 전파할수 있는 슬랩 도파로로 변환시켜 도파모드의 회절을 일으키고 다시 N개의 채널도파로로 광파면의 분할하여 광신호의  $N \times N$  연결을 하는 소자이다. 따라서 N이 클 경우 매우 효율적으로 광을 분할할 수 있다. 그리고 AWG는 위의 스타커플러 2개를 각각 위상이 일정한 차이를 갖는 N개의 도파로로 연결함으로써 1개의 채널도파로 광을 N개 채널도파로로 나누고 각각 도파로가 일정한 경로차를 갖도록 한 다음 다시 N개의 채널도파로하여 grating 광학소자와 같은 역할을 유도한 소자이다. 특히 도파로를 이용하기 때문에 도파로간 위상차를 크게 할 수 있어 공간광학적으로는 얻을 수 없는 수백차수 회절차수를 갖도록하여 결과적으로 고분해능을 갖게하는 소자이다.

도파로공진기는 원 또는 Bragg 격자 공진기가 있으며 그 구성은 그림 5와 같다. 원 공진기는 폐곡선 루프의 도파로를 구성하여 만들고, 격자 공진기는 직선 도파로의 양단에 브래그 격자를 놓아서 만든다. 이때 격자는 홀로그램 사진식각과 건식식

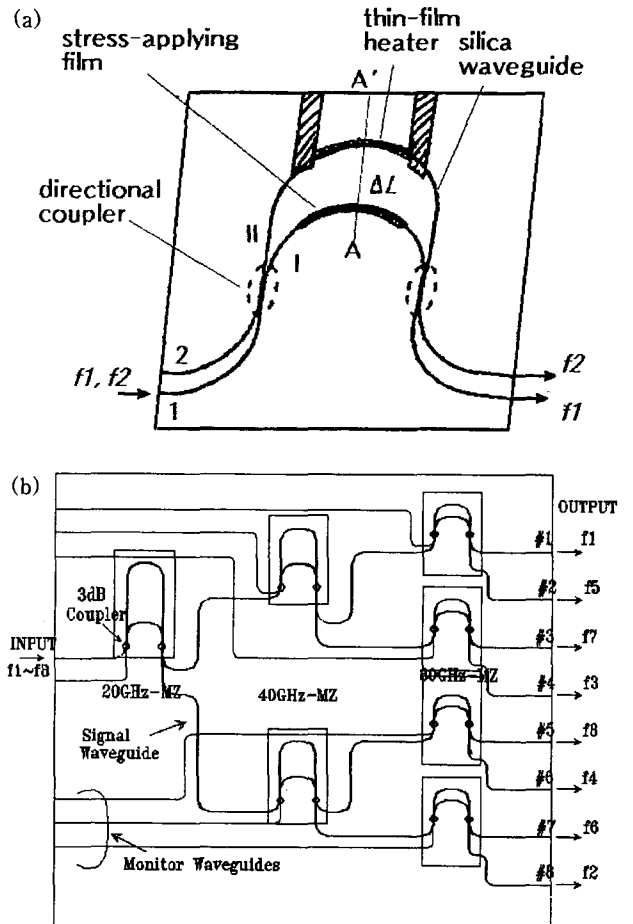


그림 5. Mach-Zehnder 간섭기를 이용한 주파수선택 필터. (a) 단위 Mach-Zehnder 필터, (b) 주파수 선택 필터.

각에 의하여 만들거나 UV광을 도파로에 조사하여 만들 수도 있다. 그러나 UV 조사에 대한 도파로의 굴절을 변화는 도파로 도판트, 조사광의 파장 등에 따라서 크게 달라지므로 앞으로 많은 연구가 이루어져야 할 분야이기도 하다. Bragg 격자 공진기는 AWG와 마찬가지로 다중간섭을 이용하므로 분광분해능이 높고 단순하면서도 AWG에 비하여 소자의 집적도가 크다. 그러나 채널도파로를 이용하므로 N개의 다중채널을 동시에 분광할 수는 없다. 따라서 채널수가 적어도 되는 가입자 광통신망 등의 응용에 쓰일 수 있을 것이다.

## 5. 전망 및 결론

지금까지 FHD 및 CVD 실리카 도파로소자의 기술현황과 제작방법을 살펴보았다. 실리카 소자는 현재 광분할기, 커플러 등의 소자들이 광통신 및 기타 현장에서 쓰이고 있으며, AWG, WDM/FDM 필터 등의 소자는 앞으로 다가온 Tera bit 전송기술의 국간망 및 가입자 망에서의 핵심부품으로 자리를

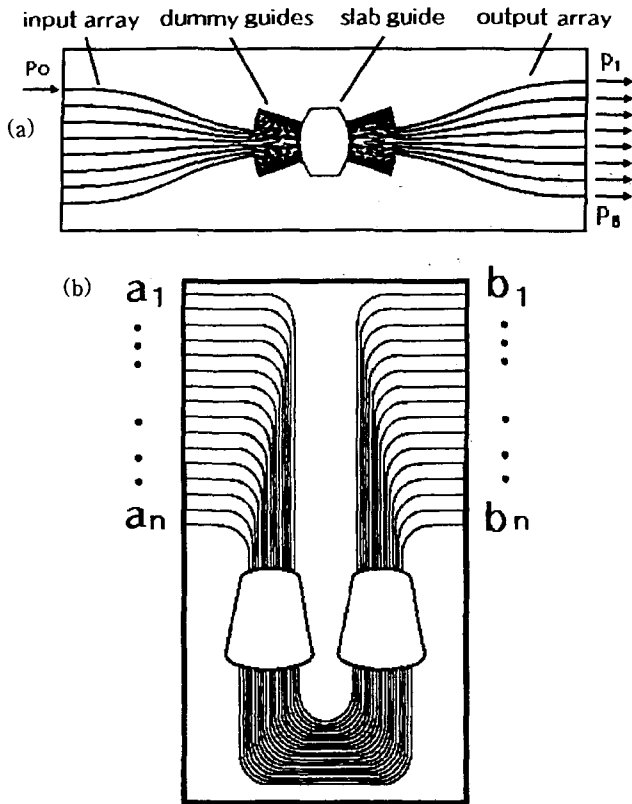


그림 6. 평판도파로를 이용한 실리카소자. (a) NxN 스타 커플러, (b) Arrayed Waveguide Grating 파장필터.

잡아가고 있다. 그리고 실리콘 전자소자는 극한 기술로 발전하고 있으며 최근 실리카 도파로를 사용하는 SiOB(silicon opt-

ical bench)기술은 광소자의 패키징기술로 발전하고 있다. 그러나 실리카소자 패키징 기술이 미흡하여 양산공정화에 어려움이 있으며 발광 및 수광소자의 집적화기술의 고급화가 필요하다. 그리고 그 기능성 면에서도 Er 재료를 이용한 증폭 및 레이저 기술, UV-writing 및 전기폴링에 의한 EO 효과의 유도 등이 연구되고 있다. 실리카 기술은 지난 15년간의 기술개발기를 거쳐 이제 동기술의 활용 및 도약단계에 이른 것으로 생각된다. 동 분야의 기술이 재료, 공정, 측정, 설계 등의 여러분야의 기술을 종합적으로 필요하고 있다. 따라서 국내에서도 서로 유기적 협력을 통한 발전이 필요하며 한국이 세계적으로 경쟁력있는 동분야의 기술을 확보할수 있기를 기대한다.

### 참고문헌

1. M. Kawachi, "Integrated Silica Waveguide Technology," OFC '96 Tutorial (1996).
2. M. Kawachi, "Silica Waveguides on Silicon and their application to Integrated-Optic Components," *Optical and Quant. Electronics* **22**, 391-416 (1990).
3. S. Valette, et al., "Si-Based Integrated Optics Technologies," *Solid State Technology* **32**(2), 69 (1989).
4. C. H. Henry, et al., "Glass Waveguides on Silicon for Hybrid Optical Packaging," *J. of Lightwave Technol.* **7**(10), 1530 (1989).