

# 집적 광학 소자와 그 응용

## Integrated Optic Devices and Applications.

김 선 호  
한국 과학 기술 연구원 응용 광학실

### 1. 서 론

집적광학은 광도파로에 의하여 도파되는 광을 이용하여 하나의 기판위에 여러개의 광학부품을 제조하여 광학 소자를 구성하는 기술이다. 이러한 집적광학의 개념은 1960년대 초에 박막 광도파로의 개념으로 부터 기인된 것으로 그 이후의 발전은 새로운 개념보다는 구조의 설계 및 제조기술의 발달과 기판 재료의 개발에 의하여 주도되어 왔다.

이러한 집적광학 기술은 마치 전자 회로의 집적화에 의하여 전자 산업의 획기적인 발전이 이루어진 것과 같은 효과를 광산업에 주어 광산업의 획기적인 발전에 기여하게 될 것이 예측되었으나 실제 그 기술의 발전 속도는 예상외로 지연되었다.

그러나 그럼에도 불구하고 선진각국의 국가 연구소, 대학등에서 지속적인 연구가 이루어져 그 결과 기판 재료, 도파로의 제조 기술, 광학 부품의 설계와 광학 소자의 설계등의 방면에서 많은 연구 결과가 축적되어 현재에 이르러서는 그 실용화를 목전에 두고 있다.

집적광학 소자는 도파로를 진행하는 도파광을 이용하여 하나의 기판에 제작됨으로 그 크기가 소형이고 외부의 진동이나 온도, 습도등의 외부환경에 의한 영향을 받지 않는 안정된 광학 소자를 구성할 수 있으며 도파광의 크기가 수  $\mu\text{m}$  정도의 크

기임으로 그 광을 제어하는 방법도 저전압을 이용할 수 있고 그 제어속도도 높일 수 있는 특징이 있다.

이 집적광학 소자의 이용분야는 광통신이외에도 광 신호처리, 광 계측, 광 computer 등의 여러 분야가 있다. 이들 중, 광통신분야에의 이용을 위한 고속 시간 다중 분배기와 파장 다중 분파기의 연구 결과가 가장 실용화에 접근하여 있으며 광 신호처리 분야의 RF-spectrum analyzer와 광 correlator등도 실용화에 접근하고 있다. 광 도파로에 광을 효과적으로 결합할 방법으로는 prism 결합기와 회절결자 결합기등이 있으나, 실용화를 위한 방법으로는 적합하지 않다. 이에 도파로의 단면에서 광을 결합시키는 방법을 발전시켜 실용적인 광학 소자는 광섬유를 이용한 단면 결합 방식을 채택하고 있다.

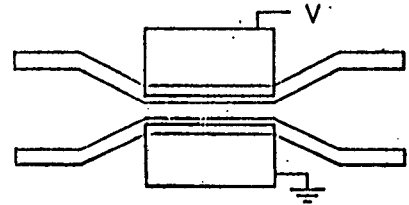
### 2. 대표적인 집적광학소자 : 고속 광 변조기

#### 가. 광 변조기의 종류

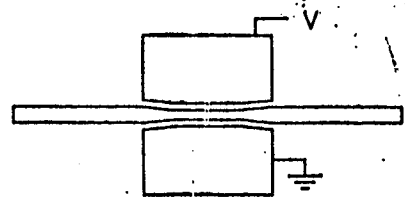
레이저가 개발된 이래 광대역 고속 정보 통신의 매체로 레이저광을 사용하기 위하여 여러가지 광 변조기가 개발되어 왔으나 그중 전기광학 효과들을 이용한 방법이 고속동작이 가능함으로 널리 사용되고 있다. 전기광학 효과를 이용한 변조기로 전장을 인가하는 방법에 따라 Bulk 형태와 도

파로 형태가 있다. 충분한 효과를 얻기 위한 전장의 세기는 대략  $10^4 \sim 10^5$  V/cm인데 이를 얻기 위하여 두께 1mm인 Bulk인 경우 인가전압이 1kV에 이르나 도파로의 경우는 전극사이의 간격이 수  $\mu\text{m}$ 이므로 5V내외의 전압으로 충분히 동작한다.

이러한 전기광학 효과를 이용한 도파로 변조기에는 그림 1과 같이 여러 방식이 있다.<sup>(1)</sup> 방향성 결합기(directional coupler)는 두 도파로를 따라 진행되는 광파의 결합 정도를 변조하는 것이며, 간섭기(interferometer)는 각각의 도파로를 진행하는 광파의 광학길이(optical length)를 다르게 하는 Mach-Zender 간섭기이다. 그리고 cut-off식 변조기나 TIR(total internal reflector)는 인가전압으로 굴절율을 낮추거나 높여주어 광의 전파를 막거나 반사시키는 방법이다. 그러나 이 중에서 방향성 결합기를 이용한 광변조기는 광분할, 변조, 광파장 선택, 다중화(multiplexing), 그리고 편광선별등의 다양한 기능을 가지고 있을 뿐 아니라 광손실도 작아 가장 널리 쓰인다.<sup>(2)</sup>

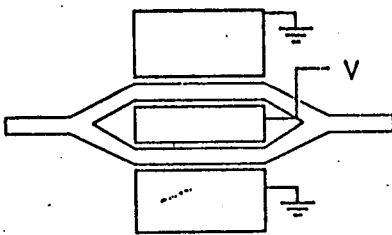


DIRECTIONAL COUPLER

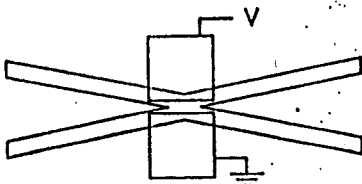


CUT-OFF WAVEGUIDE

그림 1. 도파로 광 변조기의 종류



INTERFEROMETER



TOTAL INTERNAL REFLECTOR

나. 진행파형 변조기(Traveling-wave Modulator)

집적광학 소자에 쓰이는 전극의 형태는 크게 Lumped 형 변조기와 진행파형 변조기(Traveling-wave modulator)의 두가지로 나뉜다.

Lumped형인 경우 그림 2와 같이 전극에 인가전압만을 연결해 주는 경우이고, 진행파형 변조기는 그림 3에서와 같이 전극에 인가된 전계가 레이저광이 진행되는 방향으로 전극을 따라 진행하면서 레이저광과 계속적인 반응을 일으키는 것이다.

이 경우 위상 변조효율은,<sup>(3)</sup>

$$\eta = \frac{\sin U}{U}$$

$$U = \pi f L \left( \frac{1}{V_m} - \frac{1}{V_l} \right)$$

f : 변조 주파수  $V_l$  : 레이저 광 속도

L : 전극 길이  $V_m$  : 전극의 Microwave 속도

가 된다. 그러므로 이 변조기의 대역폭 B는

$$B \approx \left| \frac{1.4}{\pi L \left( \frac{1}{V_m} - \frac{1}{V_\ell} \right)} \right|$$

이 된다. Lumped Modulator ( $1/V_m = 0$ )에 비해, Traveling-wave modulator는  $V_m$ 이  $V_\ell$ 에 가까워짐에 따라 훨씬 큰 대역폭을 갖게 된다.

### LUMPED

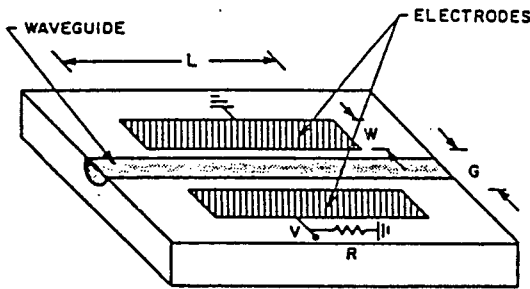


그림 3. 진행파형 변조기

### TRAVELING WAVE

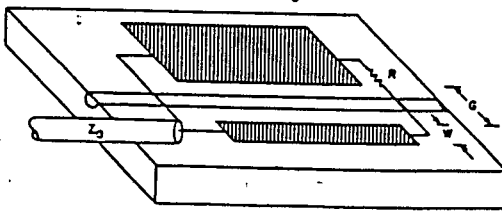


그림 2. Lumped 형 변조기

다. 진행파형 역  $\Delta\beta$  변조기(Traveling-wave Reversed- $\Delta\beta$  Modulator)

진행파형 변조기는 변조 대역폭을 크게 증가시킬 수 있는 반면, 제작상의 오차등으로 인해 방향성 결합기의 길이가 결합 길이( $l_c$ )와 일치하지

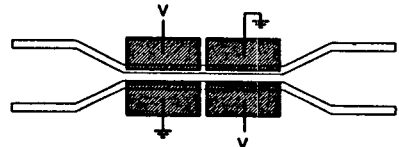
않을 때 생기는 변조효율 감소를 극복하는 방법으로 역  $\Delta\beta$  전극의 응용도 매우 추천할 만하다.

그런데 이 두 변조방식의 장점을 합성한 진행파형 역  $\Delta\beta$  (Traveling-wave Reversed -  $\Delta\beta$  : TWRD) 변조기의 특성에 대한 고찰을 하려 한다.

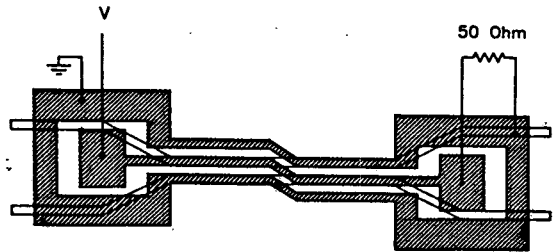
먼저 z-cut LiNbO<sub>3</sub> 방향성 결합기에 전파형 변조기와 역  $\Delta\beta$  변조기는 각각 그림 4 (a), (b)와 같다. 그러나 이를 그림 4의 아래와 같이 합성하게 되면, 전체적으로 3중 stripline 전송선이 되어 진행파형 변조기가 된다. 그러나 도파로에 인가되는 전계의 방향은 도파로 전반부는 전계가 가운데 stripline에서 아래쪽 stripline으로, 후반부에서는 윗쪽 stripline에서 가운데 stripline으로 인가되어 결국 전계의 방향이 서로 반대가 되어 역  $\Delta\beta$  변조기가 된다.



(a) traveling-wave electrode



(b) reversed delta-beta electrode



TWRD modulator on z-cut LiNbO<sub>3</sub>

그림 4. 진행파형 역 변조기

Reference

- 1) T. Sueta and M. Tzutsu, "High Speed Guided-Wave Optical Modulator", J. Opt. Comm., 3, 52, 1981.
- 2) R. C. Alferness, R. V. Schmidt and E. H. Turner, "Characteristics of Ti-indiffused LiNbO<sub>3</sub> Optical Directional Coupler", Appl. Opt., 18, 4012, 1979.
- 3) K. Atsuki and E. Yamashita, "Transmission Line Aspects of the Design of Broad-Band Electrooptic Traceling-wave Modulator", J. Lightwave Tech., LT-5, 316, 1987.