

光機能 素子

朱武楨 · 李東浩 · 李承遠

I. 서 론

광기능 소자는 반도체 레이저, 발광 다이오드 등과 같이 빛을 발생시키는 발광소자와, photodiode와 같이 빛을 감지하는 수광소자를 제외한 광학소자로서, 빛의 변조, 집속, 분배, filtering 등의 제어 기능을 갖는 소자를 말한다.

이는 다시 filter, mixer, 도파로, 렌즈 등과 같이 외부로부터의 제어 신호 없이 고정된 기능을 발휘하는 수동형 광기능 소자와, 음향광학(acousto-optic) 효과, 전기광학(electro-optic) 효과, 혹은 자기광학(magneto-optic) 효과를 이용하는 소자와 같이 외부로부터 인가되는 제어신호에 따라 기능을 발휘하는 능동형 광기능 소자로 분류할 수 있다.

여기서 알 수 있는 바와 같이 광기능 소자는 매우 종류가 다양하여 전부 열거하기는 어

려우나, 대표적인 것으로는 렌즈, 회절격자(grating), polarizer, 반사경, 박막필터, optical-isolator, 변조기, beam-splitter 등이 있다. 기존의 소자들은 대부분 상당한 크기의 외형을 가지고 있으며, 능동형 소자의 경우 구동 전압이 높거나 전류가 큰 경우가 많아서 통신용으로 사용하기에는 어려움이 많다. 특히 이들 개별 부품들을 조합하는 경우에는 진동, 충격과 같은 외력에 의한 변형으로 말미암아 광학계의 신뢰성을 확보하기 어렵다.

광통신의 장점을 최대한 활용하기 위해서는 광기능 소자의 사용이 필수적이며, 광기능 소자를 광통신에 활용하기 위해서는 신뢰성 향상, 구동 전력의 최소화 및 소형화가 전제되어야 한다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 연구 개발되고 있는 것이 도파로형 광기능 소자이다.

II. 광기능 소자의 필요성

광기능 소자는 빛을 신호 전달 매체로 사용하는 시스템 전반에 걸쳐 사용될 수 있으며 고속 병렬 처리 및 광대역 대용량 등 빛의 유용한 특성을 최대로 이용할 수 있게 해준다. 특히 도파로형 광기능 소자는 집적화에 의한 고신뢰도, 저전력 구동, 저가격 등의 이점이 있으므로 앞으로 사용 영역이 매우 넓어질 것으로 생각된다. 광통신 분야 외에도 광정보 처리와 같은 첨단 기술 영역으로부터 민생용 기기에 이르기까지 빛이 쓰이는 곳마다 광기능 소자가 사용될 것이다.

현재 광통신 분야에 사용되는 광기능 소자로는 WDM(파장분할다중화기), mixer, coupler, filter, isolator 등이 있으며, 민생기기 및 컴퓨터 주변기기에 사용되는 것으로는 레이저 픽업(laser pick-up), 광 disk용 R/W head, scanner, filter 등이 있다. 이외에도 각종 산업용 계측 장비에 특수 광섬유를 비롯한 여러 가지 광기능 소자가 사용되고 있다.

III. 광기능 소자의 종류와 구조

1. 수동형 소자

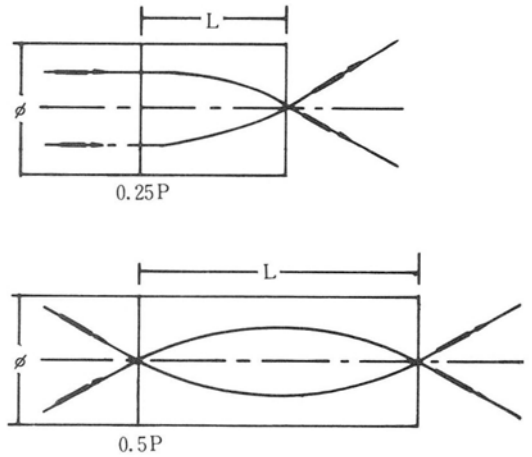
앞서 설명한 바와 같이, 수동형 소자는 기능이 고정되어 있는 소자이다. 대표적인 것으로는 렌즈, 도파로, 필터 등이 있다. 광통신에 사용되는 광소자는 비록 도파로형 광소자가 아니라해도 외형이 매우 작고 흔히 볼 수 있는 광학부품과는 다른 소자들이 사용된다. 예를들면 GRIN rod 렌즈와 micro-lens array 같은 것들이 있다.

GRIN rod 렌즈는 원통형 광학 매질에서 반경 방향의 굴절률이

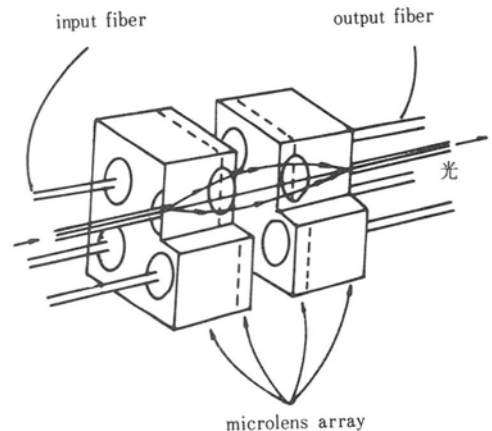
$$n(r) = N_0 \operatorname{sech}(gr) \quad (\text{where } N_0, g \text{ are constants and } r \text{ is radial distance})$$

로 표현될 경우, 이러한 매질 내를 진행하는 근축(paraxial) 광선은 sinusoidal 한 경로를

진행하여 한쪽 면의 상이 다른쪽 면에 결상되는 현상을 이용한 것이다. 단, 결상이 이루어지는 것은 상이 렌즈 면에 위치하는 경우에 한하며, skew ray와 같이 근축광선이 아닌 것은 결상이 이루어지지 않는다. 따라서 GRIN rod 렌즈는 광섬유와 기타 광소자간의 결합용으로 주로 집광을 목적으로 사용된다. ((그림 1) 참조)



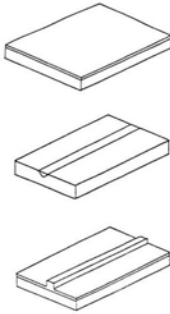
<그림 1> GRIN rod 렌즈의 종류와 기능



<그림 2> 2×2 Micro-lens Array를 이용한 광섬유의 결합

Micro-lens array는 직경 1mm 정도 되는 미세한 굴절률 분포형 렌즈를 평면(주로 유리)위에 array 형태로 배열한 것으로, 다수의 광섬유를 동시에 결합시키는 경우나 광정보 처리 등에 사용된다. (<그림 2> 참조)

도파로형 소자의 대표적 예로는 광섬유가 있다. 도파로의 기능은 빛을 한 점에서 다른 한 점까지 전송하는 것으로, 광섬유의 전송 거리는 수십 km에 이르는 반면, 광기능 소자에 사용되는 도파로는 길이가 수 cm를 넘지 않으며, 용도에 따라 2차원 평면형, channel 형, ridge 형 등이 있다. (<그림 3> 참조) 이

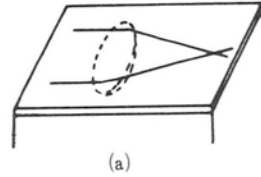


<그림 3> 광기능소자에 사용되는 도파로의 대표적인 종류와 형태

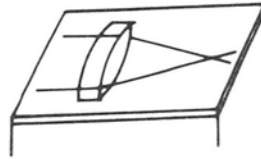
은 교환 등에 의해 도파로를 형성하는 물질의 굴절률을 바꾸거나, 두께를 달리함으로써 유효 굴절률을 변화시키면 도파로내를 진행하는 빛은 이의 영향을 받으며, 렌즈, 프리즘, 필터, polarizer 등의 기능을 부여할 수 있다.

렌즈의 형성은 주로 <그림 4>의 세 가지 방법을 사용한다. (a)는 도파로위에 다른 유전체로 렌즈 모양을 만든 것이다. 유전체의 굴절률 n_a 가 도파로의 굴절률 n_w 보다 큰 경우($n_a > n_w$), 렌즈를 만든 부분의 유효 굴절률은 주위보다 커지게 되어 볼록렌즈가 되고, 반대의 경우 오목렌즈가 된다. (b)는 유전체의 두께를 변화시켜 유효 굴절률 분포

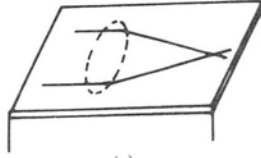
를 제어하는 경우이다. 이 역시 $n_a > n_w$ 인 경우 볼록렌즈 구실을 한다. (c)는 도파로 내의 굴절률 분포가 렌즈 형태가 되도록 불순물 확산 등에 의해 굴절률을 조절하여 렌즈를 제작한 경우이다.



(a)



(b)



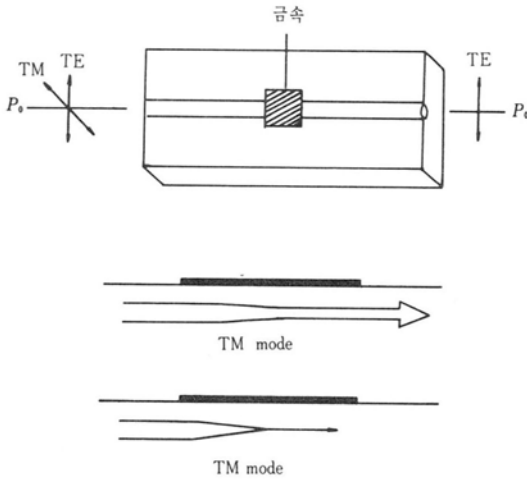
(c)

<그림 4> 도파로형 렌즈

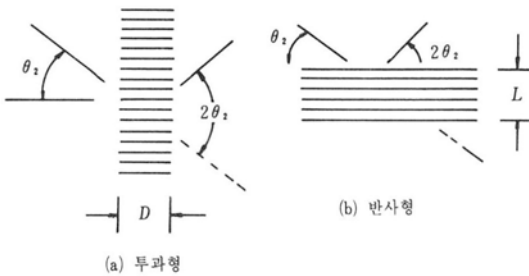
Polarizer를 제작하기 위해서는 도파로 위에 금속 박막을 증착시키는 방법이 가장 널리 쓰인다. <그림 5>와 같이 도파로 표면에 금속이 증착되어 있으면 TE 모드, 즉 전장 방향이 금속막과 평행인 모드만 진행하고, 전장의 방향이 금속막과 수직인 모드(TM 모드)는 금속 표면에서 흡수된다.

도파로에 grating을 형성시키면 필터로 사용할 수 있다. 사용되는 grating에는 반사형과 투과형이 있으며, 투과형의 경우 grating groove의 길이를 조절함으로써, 반사형의 경우 groove의 수를 조절함으로써 특성을 조절

할 수 있다. (<그림 6> 참조)



<그림 5> Metal-coated Wave Guide Polarizer

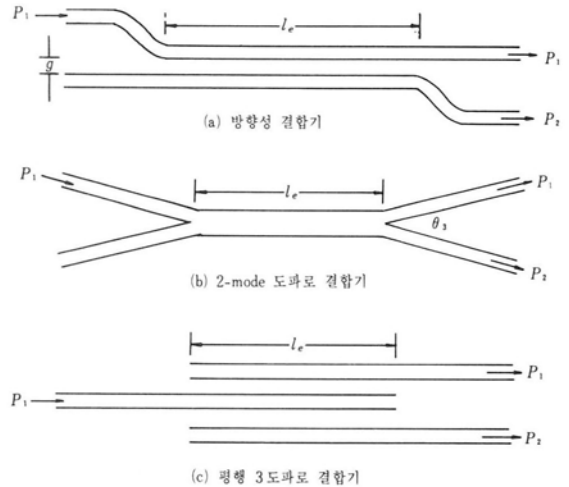


<그림 6> Grating 필터의 종류

2. 능동형 소자

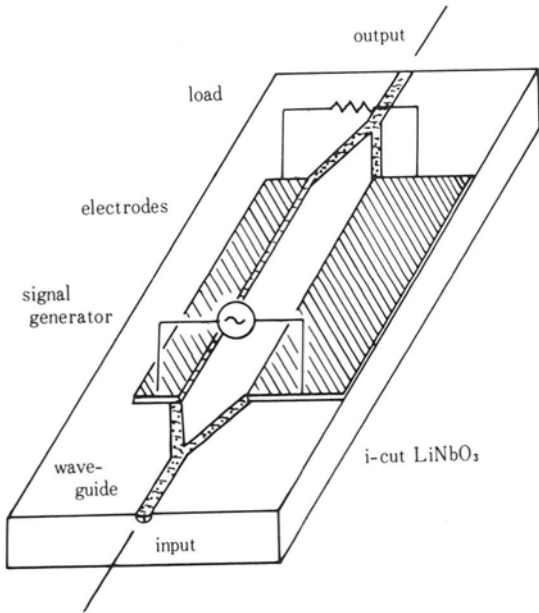
능동형 광기능 소자는 외부로부터 인가되는 신호에 따라 빛을 제어하는 소자이다. 대표적인 소자로는 변조기, 스위치 등이 있으며, 제어 신호로 무엇을 사용하는가에 따라 전기광학 소자, 자기광학 소자, 음향광학 소자로 나뉜다.

전기광학 소자로는 lithium niobate를 기반으로 하는 광 스위치 / 변조기가 있다. 방향성 결합기 구조를 사용한 광 스위치 / 변조기의 구조는 <그림 7>과 같다. 전극에 전압이 인



<그림 7> 방향성 결합기의 예

가되면 도파로의 굴절률이 변하며, 인접한 도파로와의 결합률이 변하게 되어 인접한 도파로로 옮겨가는 빛의 양을 조절할 수 있다. 이 소자는 변조기로 동작할 뿐 아니라 2x2 스위치로도 동작할 수 있다. 최근에는 전체의 길이를 줄일 수 있는 X자형 스위치/ 변조기에 대한 연구도 활발하다. 이외에도 Mach-Zehnder형 광변조기가 상품화되어 있다. (<그림 8> 참조) 동작 원리를 보면 Y-분기에서 갈라진 빛이 두 도파로를 따라 진행할때 각각의 도파로의 굴절률이 다르면 optical pathlength가 달라지므로 다음번 Y-분기에서 만나게 되면 위상의 차이가 발생한다. 이때 위상 차이가 pi 이면 소멸 간섭 (destructive interference)이 일어나게 된다. 따라서 전극에 가해지는 전압을 조절함으로써 빛의 변조가 가능하다.



〈그림 8〉 간접계형 광변조기

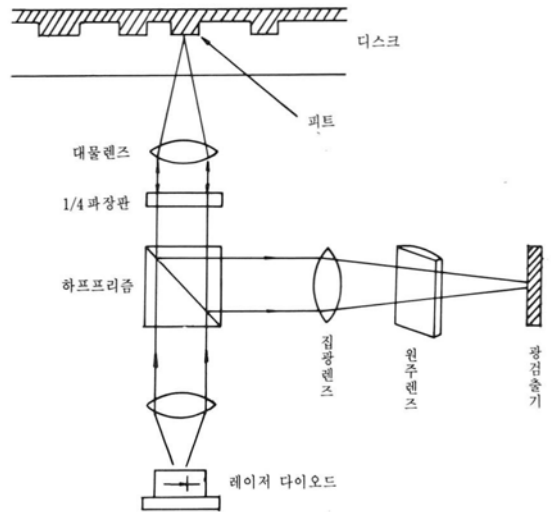
음향광학 소자는 음파가 매질 내를 진행할 때 매질의 밀도가 변하는 것을 이용한다. 여기서 음파는 주로 표면파(Surface Acoustic Wave : SAW)를 이용하며, transducer의 집적화를 위해 압전 효과(piezoelectric effect)를 갖는 lithium niobate가 주로 사용된다. 이는 도파로를 진행 하는 빛이 SAW에 의해 형성된 주기적인 밀도 변화층에서 회절 현상을 일으키는 것을 이용하는 소자로, SAW transducer에 적절한 신호를 공급함으로써 원하는 결과를 얻을 수 있다.

자기광학 소자는 비교적 개발이 늦은 상태이다. 주된 이유는 자기광학 효과가 큰 박막을 만드는 것이 어렵기때문으로, 도파로형 소자를 제작하는 것은 아직 어려운 상태이다. Optical isolator와 같은 비가역 소자는 자기광학 소자로 제작해야하므로 많은 연구가 있어야 할 것이다.

IV. 광기능 소자의 응용 예

현재 광기능 소자를 사용하여 제작된 장치로는 spectrum analyzer, convolver, correlator, optical pickup 등이 있다. Spectrum analyzer는 반도체 레이저에서 발생된 빛이 도파로를 따라 진행할 때 RF 신호를 SAW transducer를 통해 표면파 형태로 도파로상에 걸어 줌으로써 빛을 산란시켜, 이를 일차원 광검출기로 검출하는 구조이다.

Optical pickup(〈그림 10〉 참조)은 민생용 기계에의 응용 예로, 〈그림 9〉와 같은 기존의 CD(Compact Disk)나 VDP(Video Disk Player)의 pickup을 hybrid집적화 한 것이다. 특성은 아직 만족할 만한 것은 아니지만 앞으로의 가능성을 보여주는 좋은 예이다.



〈그림 9〉 기존 Laser Pick-up의 구조

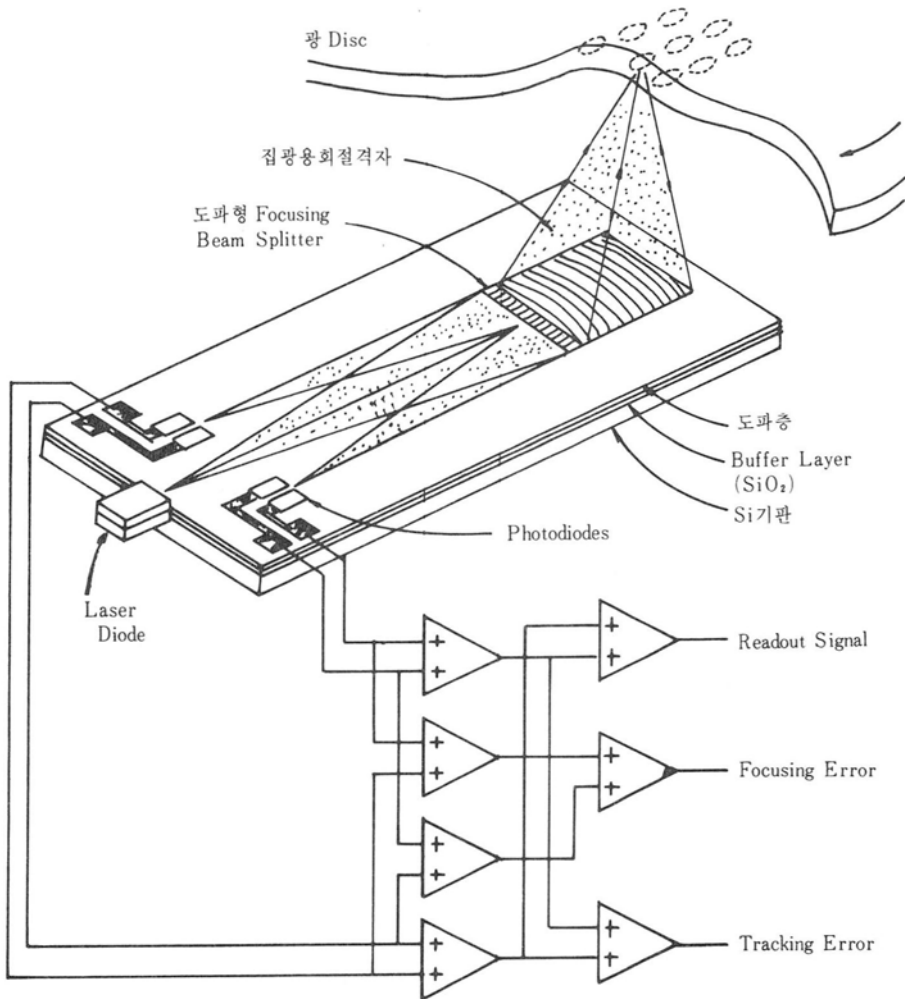
V. 광기능 소자의 미래

광기능 소자는 개별 소자로서의 의미 보다는 집적화에 더 비중이 주어진다. 현재 광소자의 집적화는 monolithic형과 hybrid형의 두가지 방법이 거론되고 있으나, 단기적으로는 hy-

brid가, 궁극적으로는 monolithic 집적화가 이루어질 것으로 보인다. 그렇다고 해서 완전히 대체될 수 있는 것은 아니고, 다양한 기능이 요구되는 분야에는 hybrid 집적화된 광기능 소자가 사용될 것이다.

이 분야의 연구는 구조 설계, 재료 개발, 제조 기술의 세가지로 구분하여 볼 수 있다. 집적화를 위해서는 크기가 작은 것이 좋으나, 현재 도파로형 광기능 소자의 길이는 전자 소자에 비해 매우 길다(약 10mm). 따라서 사

용하는 재료의 불균일성에 의한 영향을 많이 받으며, 제조 공정에 어려움이 많은 실정이다. 크기를 축소시키기 위해서는 새로운 물질의 개발과 구조 설계기술의 향상이 필요하다. monolithic 집적화를 위해서는 전기적인 특성과 광학적인 특성을 동시에 만족시켜야 한다는 어려움이 있다. 그럼에도 불구하고 광기능 소자는 컴퓨터, 통신, 광정보처리 등의 첨단 기술의 실용화와 관련 기술의 보급에 중요한 일익을 담당하고 있다.



(그림 10) Integrated Laser Pick-up

〈参 考 文 献〉

1. 주 무정, Lithium niobate 광기능소자 기술동향 분석, TM 86-1430-3, ETRI.
2. 광 집적 회로 / 광 컴퓨터 현황과 장래 전망에 관한 연구, 과기처 특정연구개발 사업보고서 N199-2429-9, KAIST.
3. 西原 浩, 春名正光, 栖原敏明, 光集積回路, OHM社, 1985

4. Amnon Yariv, Optical Waves in Crystals.
5. 鈴木 明, Trigger 86-1, 95,1986 .
6. Trigger, 85-7, 10,1985 .
7. Laser Focus, Dec., 50,1985 .
8. R. C. Alferness and J. J. Veselka, Elec. Lett., 21, 466, 1985.
9. G. I. Stegeman and C. T. Seaton, J. Appl. Phys., 58, R57, 1985.



朱 武 楨 (Chu, Moo-Jung)
 1958年 2月 6日生
 1980年 2月 : 연세대학교 물리학과 (이학사)
 1982年 2月 : 한국과학기술원 물리학과 (이학석사)
 1985年 2月 : 한국과학기술원 물리학과 (이학박사)
 1985年 3月 1日 ~ 현재 : ETRI 광소자연구실 선임연구원.



李 東 浩 (Lee, Dong Ho)
 1958年 2月 28日生
 1981年 2月 : 서강대학교 물리학과 (이학사)
 1984年 2月 : 서강대학교 대학원 물리학과 (이학석사)
 1984年 2月 ~ 현재 : ETRI 광소자연구실 연구원



李 承 遠 (Lee, Seung Won)
 1961年 10月 15日生
 1984年 2月 : 서울대학교 물리교육과 (이학사)
 1986年 2月 : 한국과학기술원 물리학과 (이학석사)
 1986年 2月 ~ 현재 : ETRI 광소자연구실 연구원