

《主 題》

# 광통신용 부품기술

최 상 삼

(한국과학기술연구원 응용물리연구실)

■ 차 례 ■

I. 서 론

II. 본 론

III. 결 론

## I. 서 론

광통신 기술은 1960년 초 최초의 레이저가 발명되고, 1970년대에 들어와서 저손실 광섬유 제조기술과 반도체 레이저 및 광검출기 제조기술이 미국, 일본을 중심으로 경쟁적으로 개발됨에 따라 비약적인 발전을 이루기 시작하여 실용화 단계에 접어들었다. 이후 80년대에는 기존의 PCM기술과 광통신 기술이 결합하여 광전송 시스템의 개발이 세계 각국에서 본격화되기 시작하였다.

이러한 광통신 기술은, 초기에는 광원을 입력신호에 따라 단순히 점멸시키는 즉 광강도를 변조하여 송신하고 수신단의 광검출기에서 광강도를 직접 검출하는 강도변조/직접검파(IM/DD)방식에 불과하여 국간 전송시스템에 주로 사용되었고, 점차 기술이 발전함에 따라 대용량 해저광케이블 분야 및 LAN(Local Area Network)등 여러 분야로 확대되어왔다. 기존의 통신기술의 측면에서 보면 이러한 방식은 반송파로 사용되는 광파의 종류가 오직 하나여서 주파수 분할 다중화가 불가능 하며, 또한 반송파의 위상에 정보를 실을 수 없는 단점이 있고 수신단에 국부발진기가 없어 수신감도가 낮은 단점이 있다. 빛의 높은 주파수(파장 1.5 $\mu$ m 대역에서 약  $2 \times 10^{15}$ GHz)를 감안할 때 비효율적이므로, 이점을 해결하기 위해 80년대 후반에

들어와 차세대 통신방식으로서 수신부에 국부발진기를 사용하는 코히어런트 방식이 제안되었고 계속 연구 개발되고 있다. 이러한 광통신의 기술 진보는 광교환 기술 및 광증폭기술 등의 새로운 광통신 기술로 계속 이어지고 있으며 90년대에는 기존의 방식에 의한 고속 전송 시스템의 보급 및 광가입자의 망의 보급도 계속 확대 일로에 서게될것이다.

이와같이 광통신 기술이 발전을 거듭하기 위해서는 광통신 부품의 발전이 요구되며, 이 분야는 선진국에서도 개발 초기에 있으므로 국내에서도 경쟁 가능한 분야로 사료되며 이런 의미에서 본 고에서는 광통신 부품에 대하여 기술하고자 한다.

## II. 본 론

광통신 부품에는 신호를 주고 받기 위한 광원과 검출기, 광원과 검출기 사이의 광유도매체인 광섬유 및 일종의 시스템 processor인 광 스위치, 합파/분파기, coupler, 변조기와 광증계기로서 광증폭기 등을 들 수 있다.

### 1. 광원 및 검출기

광원은 여러가지가 있을 수 있으나 광통신에 적합한 것으로는 레이저 다이오드와 발광 다이오드를 들

수 있는데 이들은 전기적인 신호를 광신호로 변환하는 소자로 크기가 작고 무게가 가벼운 장점이 있다.

#### 가. 레이저 다이오드

레이저 다이오드는 유도방출을 공진기를 이용하여 증폭하는 장치로서 발진 스펙트럼폭과 방사각도가 좁고 변조대역폭이 넓으며 주입전류에 대한 광출력 특성에 threshold가 있어 전광 변환효율이 높은 장점을 갖고 있다. 보통의 레이저 다이오드의 변조 대역폭은 1~3GHz 정도이며 고주파용은 높은 바이어스 전류에서 15~20GHz 정도가 되는데 이를 위해서는 동작온도를 낮추거나 양자우물(quantum well) 구조를 사용한다. 보통의 FP 레이저에서는 반치폭이 1~3nm 정도이나 변조주파수가 증가함에 따라 커져 1GHz 정도에서는 DC에서의 값의 2배 정도가 되고 발진파장의 분포가 한 펄스 내에서도 시간에 따라 변하기 때문에 검출기에서 보면 일종의 잡음으로 보여 FP 레이저는 1Gbps 이상의 고속 장거리 통신에는 적합하지 않다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해 발진과장을 하나로 고정시킨 DFB 또는 DBR 레이저 다이오드가 고속 장거리 통신에 적합하다. IM/DD 방식의 장거리 통신에서는 위의 특성으로 1Gbps 이하에서는 FP 레이저를 1~10Gbps 까지는 DFB 레이저를 쓰게 되며, 최근에 565Mbps 시스템에서도 DFB 레이저를 사용하기도 한다. 그런 DFB 레이저도 완전한 해결책은 아니다. 왜냐하면 spatial hole-burning에 의한 주모드 선택도의 불안정성과 TE, TM 모드간의 이득차이 등이 문제가 된다.

보통의 DFB 레이저의 선폭은 광출력에 따라 다르지만 대개 1~100MHz 정도여서 선폭을 더 줄이려는 노력이 계속되고 있으며, 선폭을 결정하는 요소는 자연방출에 의한 잡음과 활성층 내에서의 전류주입에 따른 굴절을 변화가 주요인으로 이것들을 줄이는 것이 선폭을 줄이는 것이다. 최근에 다중 양자우물 구조의 DFB 레이저는 출력 2mW 이상에서 5MHz 이하의 선폭을 갖는 것으로 밝혀졌다.<sup>(1)</sup>

#### 나. 발광 다이오드

발광 다이오드는 전류를 흘려주어 주입된 전자와 정공이 p-n 접합부에서 재결합 하면서 자연 방출된 빛을 이용한 소자로서 광출력은 주입 전류에 비례하며 발광 스펙트럼의 폭 및 방사각도가 넓고 따라서 광섬유에 결합되는 광파워도 낮다. 또 변조대역폭도 캐리어 수명에 의해 제한되어 보통 100MHz 정도로 레이

저 다이오드에 비해서 좁다. 불순물 농도를 증가시켜 캐리어 수명이 짧아지게 하여 변조대역폭을 1GHz까지 높인 결과도 보고되고 있지만 발광효율이 낮아 광출력이 작은 문제가 있다. 그러나 전반적으로 소자의 신뢰도가 높고 동작특성이 온도변화에 덜 민감한 장점이 있어 단거리 데이터 통신에 적합하다.

발광 다이오드는 구조적으로 볼때 표면발광형과 단면발광형으로 나눌 수 있다. 표면 발광형은 온도 안정도가 높고 신뢰도가 높으며 저렴한 반면 출력이 작고(10 $\mu$ W 이하) 발광 스펙트럼폭이 크다. 한편 단면발광형은 발광 스펙트럼폭이 좁고 출력이 크지만 온도의존도가 크므로 신뢰도가 낮으며 구조적으로 복잡하여 제조공정이 다소 어렵다.

#### 다. 광검출기

광검출기는 광원에서 발생한 광신호를 검출하여 다시 전기적인 신호로 변환하는 소자로서, 그 주요 특성은 대역폭, 신호대 잡음비, 수광율, 암전류 등을 들 수 있다. 광검출기는 광에너지에 의해서 반도체의 전도도가 변하는 성질을 이용한 포토다이오드와 이것을 npn 트랜지스터로 증폭한 포토트랜지스터로 나눌 수 있으며, 포토다이오드에는 pin, APD 포토다이오드가 있다. 주요 소재는 가시광 영역에서는 Si가 사용되고 있으며 10~1.5 $\mu$ m 영역에서는 Ge와 InGaAs가, 그리고 5~10 $\mu$ m 영역에서는 HgCdTe, InSb 등이 사용되며 400nm 이하의 영역에서는 ZnS와 같은 밴드폭이 넓은 소재가 사용된다.

Pin은 반도체의 p층과 n층 사이에 높은 저항을 갖는 진성층을 성장시킨 구조를 갖는데 양자효율 80%, 정전용량 1pF 이하, 누설전류 1nA 이하의 좋은 성능의 소자들이 양산되고 있으며 최근 1.06 $\mu$ m 파장대에서 67GHz의 고속기능 실험이 보고되었다.<sup>(2)</sup>

APD는 저출력의 광신호를 감지할 경우에 사용하는 것으로 avalanche multiplication에 의한 이득이 있기 때문에 수신감도가 높은 장점이 있으나 동작전압이 높고 동작특성이 온도 및 바이어스 전압에 민감한 단점이 있다. 현재 APD의 고속기능으로는 1.3 $\mu$ m 파장 영역에서 60GHz의 전송 실험이 보고되었다.<sup>(3)</sup>

단파장(0.6~0.9 $\mu$ m) 전송용 포토다이오드로는 실리콘의 pin과 APD가 사용되지만 전자는 성능, 제조, 가격의 측면에서 충분한 장점을 가지고 있지만 후자는 제조기술의 개선이 요구되고 있다. 장파장(1.0~1.5 $\mu$ m) 전송용 포토다이오드는 3-5족 화합물 반도체인 InGaAs 등의 포토다이오드와 APD가 실용화 되고 있

지만 MBE, MOCVD 등 고도의 박막공정 기술을 요한다.

포토티랜 지스터는 신호가 동일 칩 내에서 증폭되고 있기 때문에 잡음이 적고 출력이 크지만 출력의 선형성이 포토다이오드에 비해 떨어지며 광결합이나 광isolator에 응용되고 있다. 주파수 특성을 증가시키기 위해 빗형 또는 오버레이 구조에 폴리 실리콘 전극을 사용 적외공의 대부분을 베이스 부분까지 흡수시키는 방법이 고안되었다. 또한 고속화, 소형화를 위해 수광부와 증폭부를 떼어 전원회로, 증폭회로, 파형성형회로 등과 함께, 한소자 안에 내장하여 집적화한 것이 있다.

2). 광섬유

광섬유는 투명한 유전체로 만들어진, 길고 가파란 선으로 가시광선 또는 적외선 영역의 빛을 유전체 경계면에서의 전반사 현상을 이용하여 유도시키는 역할을 하는 것으로 1966년 영국의 Kao 박사가 실리카 유리를 전송매체로 쓸 수 있다고 한 논문에서 자극 받아 1970년 미국의 Corning 유리회사가 실리카로 만들어지고 광손실이 20dB/Km 이하인 광섬유를 최초로 제조하여 광섬유의 연구, 개발에 박차를 가하는 계기가 되었다. 그후 미국, 일본을 중심으로 세계 각국에서 많은 연구가 진행되어 광섬유의 손실이 거의 이론체에 접근하는 20dB/Km에 도달하게 되었다. 현재 전세계에 수백개의 상용 통신시스템이 이미 설치되었고, 대륙간 통신을 위해 해저 광케이블을 설치하는 수준에 도달하고 있다.

광섬유의 구조는 중심부에는 빛이 유도되는 코아와 그 외부에 굴절율이 약간 낮은 클래딩이 있고, 바깥에 표면손상을 막기위해 피복을 입힌 구조를 갖는

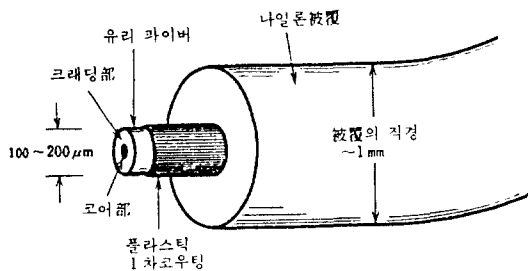
다. 광섬유를 코아의 굴절율 분포에 따라 분류하면 굴절율이 일정한 step-index 광섬유와 중심으로 갈수록 굴절율이 서서히 증가하는 graded-index 광섬유로 나누고, 모드의 수에 따라 단일모드 광섬유와 다중모드 광섬유로 나눈다. 다중모드의 경우 주로 graded-index 형태를 갖으며 모드간의 분산으로 인해 단일모드 광섬유보다 대역폭이 작은 반면에 제조와 설치상의 편리함 때문에, 광통신 시스템 초기에는, 주로 사용되었다. 그러나 더욱 큰 정보 전달 용량에 대한 필요성이 증가하여 단일모드 광섬유와 다중모드 광섬유로 나눈다. 다중모드의 경우 주로 graded-index 형태를 갖으며 모드 때문에, 광통신 시스템 초기에는, 주로 사용되었다. 그러나 더욱 큰 정보 전달 용량에 대한 필요성이 증가하여 단일모드 광섬유에 대한 연구, 개발에 관심이 기울어 많은 발전을 이루게 되었으며 현재 설치되는 시스템은 대부분이 단일모드 광섬유를 채택하고 있다.

광섬유의 특성 중 중요한 것은 손실과 분산이다. 손실은 광신호가 광섬유 내를 전파함에 따라 얼마나 감쇄되는가를 나타내고 분산은 광펄스의 폭이 증가하는 정도를 나타내어 정보전달 용량 즉, 대역폭을 결정하는 이 두가지 특성이 광통신 시스템의 설계에 지대한 영향을 미친다. 광통신의 파장으로는 0.8 $\mu$ m, 1.3 $\mu$ m, 1.5 $\mu$ m 3방향이 쓰이는데, 이것이 손실과 밀접한 관련이 있다. 0.8 $\mu$ m 파장에서는 손실이 세 파장 중에서 가장 크지만 광원과 광검출기의 개발이 가장 앞서 있어서 시스템에 먼저 실용화 되었다. 그 후 사용 파장이 1.3 $\mu$ m로 옮겨졌고, 현재는 1.5 $\mu$ m 파장에서의 광통신 시스템이 실용화되고 있으며 이것은 1.5 $\mu$ m 파장에서 광섬유의 손실이 가장 작기 때문에, 최저손실 파장을 사용하여 중계 거리를 최대화하는데 그 이유가 있다.

국내에서는 1979년 부터 한국과학기술연구원(KIST)에서 광섬유 제조 연구를 계속하던 중 국내 기업체들이 경쟁적으로 외국의 광섬유 제조 기술을 도입하여 1984년 이후부터 통신용 광섬유의 제조가 급속수준에 이르는 상태에 있으며, KIST에서는 코아에 희토류 원소인 Erbium을 첨가하여 광신호를 증폭시키는 광섬유 증폭기에 대한 연구를 추진하고 있다.

실리카 광섬유의 제조법은 모재(preform)의 합성 공정과 이 모재에서 실제 광섬유를 녹여 뽑아내는 drawing 공정으로 되어있다. 모재의 제조방법은 MCVD(Modified Chemical Deposition), OVPO(Outside Vapor Phase Oxidation), VAD(Vapor Phase Axial Deposition)방법 등 세 종류의 합성 방법이 있다.

Backreflection < -60dB



피복된 광섬유

MCVD법은 1974년 Bell연구소에서 개발되어 현재 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는데 정밀한 굴절률 분포 제어가 가능해서 고품질의 광섬유를 만들 수 있으나, 코어 중심부에서 굴절률이 떨어지고 양산성이 결여되는 등의 약점을 지니고 있다. OVPO법은 미국의 Corning 유리회사에서 개발한 기술로서 막대모양의 중심재료(보통 graphite)표면에 MCVD법과 동일한 화학물을 붙여 넣어 유리의 미립자 층을 얻는다. 다음에 graphite막대를 빼낸 후 전기로에서 가열하여 모재를 만드는 것으로 비교적 대형의 모재를 만들 수 있으나 길이에 제한을 받아 양산성에 문제가 있다. VAD법은 유리 합성을 축 방향으로 행하는 것으로 모재의 길이 방향으로 연속 제조할 수 있다는 것이 최대의 장점으로 모재의 길이가 가장 커서 양산에 적당한 방법이라고 할 수 있다. 또한 코어 중심부에서 굴절률이 떨어짐이 없어 특성의 향상에 기여할 수 있다.

3) 광통신 부품

광섬유를 광통신에 사용할 때 손실에 의해서 그 거리가 제한되므로 광섬유간 또는 광섬유와 광소자간의 접속이 필요하다. 접속방법에는 mechanical하게 접속하는 방법과 두 광섬유를 녹여 부치는 용착접속법으로 나눌 수 있다.

먼저 mechanical하게 접속하는 방법은 광섬유의 외경과 비슷한 크기에 내경을 갖는 capillary를 사용하여 capillary속에 두 광섬유를 집어 넣어 고정시키는 것으로 국가별, 시장별로 다양하게 개발되어 있다. Connector는 광섬유간 또는 광섬유와 광소자간의 접속을 위한 것으로 여러 종류가 있는데, 예를들면 Biconic, ST, SMA, FC, D4등이 있으며, 일반통신에는 Biconic, ST, FP, PC, D4가 사용되며 데이터 통신에는 Biconic, SMA, ST가 주로 사용된다. 기존 screw형태의 광커넥터는 접속이 용이하고 소형인 광커넥터로 교체되고 있다. 이러한 광커넥터는 접속이 용이하고 소형인 광커넥터로 교체되고 있다. 이러한 광커넥터는 대표적으로 SC,  $\mu$ ENC와 fast assemble connector등이 있다. 구조는 세라믹 ferrule과 플라스틱으로 제작되어 가격이 저렴하다. 이들은 조립시간이 기존의 connector에 비해 매우 짧다.

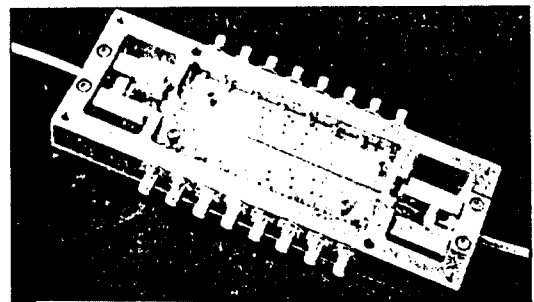
용착접속법은 mechanical splicer나 connector를 사용하는 경우에 비해서 접속손실을 최소화할 수 있는 방법으로 그 특성이 뛰어나지만 현재까지는 한번에 접속시키는 광섬유의 수에 제한을 받고 있다.

Coupler는 tree coupler와 star coupler의 두가지로 나

눌 수 있는데 tree coupler는 하나의 광채널을 다중의 광채널로 분배하고, 다중의 광채널을 하나의 광채널로 합류시키는 역할을 한다. 이들은 1×N의 입출력 특성을 갖고 있으며 모든 출력단의 광전력은 동일하게 되어 있으므로 양방향성이며 따라서 합과/분과기로 사용된다. 여기서 1은 입력단이고 N은 출력단의 수이다. Star coupler는 일반적으로 입력단의 수와 출력단의 수가 같은 N×N 구조를 갖는다. 이러한 coupler는 광섬유를 사용하여 만들기는 무척 힘들과, 광섬유를 사용하여 만드는 coupler로서 실용성이 있는 것은 3dB coupler가 있는데 이것의 제작 방법은 용융인장법과 연마법이 있다. 연마법에 의해서 만들어지는 coupler는 제조공정에 비교적 많은 주의가 요구되나 완성된 후에는 결합 길이를 조절하여 출력을 조절할 수 있는 장점을 가지고 있다. 용융인장법에 의한 coupler는 제조공정이 비교적 쉬워 상품화된 것도 많다. 그리고 이 방법을 사용하여 4×4 정도의 star coupler도 제작되고 있으나 입출력이 늘어날수록 제조하기가 어렵다. 따라서 LiNbO<sub>3</sub>나 반도체 광도파로를 사용하여 주로 만들어지고 있으며 최근에는 광섬유와의 접속손실을 최소화하기 위해서 광섬유와 굴절률이 일치하는 silica 유리 도파로를 이용하여 만들어지고 있다. 이 silica 도파로는 일본 NTT의 M. Kawachi가 기존 광섬유 모재 제조방법인 VAD 방법을 응용하여 silicon wafer위에 광섬유와 같은 굴절률을 갖는 유리 박막을 형성시키고 반응성 이온 식각방법으로 도파로를 만든 것을 시발점으로 하여 세계 각국에서 다양한 방법으로 연구 개발하고 있다. 특히 이 유리 도파로를 이용한 방법은 수동 광회로를 제작하는데 있어서 장점이 있다고 본다.

기존의 광통신 방식은 앞에서 언급한 바와같이 강

4 X 4 optical switch



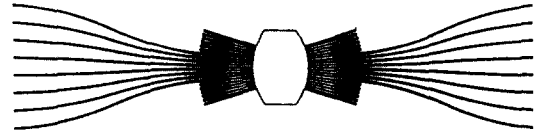
4×4 광스위치 시제품

도변조 / 직접검파 방식을 벗어나지 못하고 있기 때문에 빛을 캐리어로 사용하기는 하지만 빛의 넓은 주파수 대역폭을 충분히 활용하지 못하였다. 따라서 이러한 빛의 장점을 충분히 활용하기 위해서는 진폭변조(ASK), 주파수 변조(FSK), 위상변조(PSK)등을 행하여 송신하고 수신하는 방법을 채택하여야 한다. 이러한 방식을 위해서 변조기가 개발되어 왔는데 이들은 인가된 전계에 따른 재료의 후수계수의 변화, 이득 및 굴절율의 변화를 이용한 것이 대부분이며, 흡수계수의 변화를 이용한 것은 전계에 따른 유효 에너지 갭의 변화, Franz-keldysh 효과, 양자우물구조에서의 양자구속 Stark 효과 등을 이용한 것<sup>(4)</sup>으로 굴절율의 변화에 의해 빛의 위상이 변하게 된다. 이러한 광변조기는 광변조특성인 편광의존성, 파장의 존성 및 안정성, 집적화, 신뢰도향상 방열, 광섬유와의 결합등 해결되어야 할 문제점들을 갖고 있다.

그리고 미래에는 광섬유를 통하여 영상정보, 고속데이터 등의 대용량의 정보가 흐를 것으로 예측되므로 많은 양의 광대역 신호의 분배 및 교환 수요가 발생할 것이므로 이것을 감당하려면 광전송 기술에 부응하는 광교환 기술이 필요하다. 광교환기에는 광교환기와 광전교환기가 있는데, 광교환기(optical switch)는 광의 형태로 전달된 정보를 전기신호로 변환함이 없이 광의 상태로 직접 교환하는 것으로 이 방식은 전자제어 / 광교환과, 광제어 / 광교환이 있다. 초기에는 공간용 혹은 분배 스위치용인 공간분할 방식을 중심으로 LiNbO<sub>3</sub> 광스위치를 사용하는 것이 주종을 이루었으나 최근에는 단일 칩 집적화하고 부피를 축소시키기 위해 InP나 GaAs 소재를 사용하고자 하는 경향을 보이고 있다.<sup>(5)</sup> 이러한 소자에는 방향성 결합기(directional coupler), Mach-Zehnder 간섭계, 전반사 거울 및 공진기 등이 있다. 현재 광교환기의 연구개발 수준은 정보처리 속도가 512Mb/s정도로 TV나 HDTV 신호를 교환할

수 있는 실험 시스템이 일본에서 시도된 바 있다.<sup>(6)</sup>

광전교환기는 광신호를 받아 전기적신호로 변환하여 교환을 하는 것으로 광접속과 고속전자교환회로의 결합으로 분수 있다.



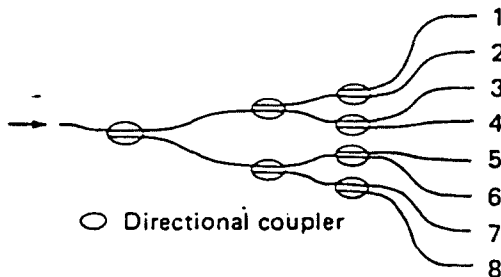
실리카 유리를 이용한 8x8 Star coupler

4) 광섬유 증폭기

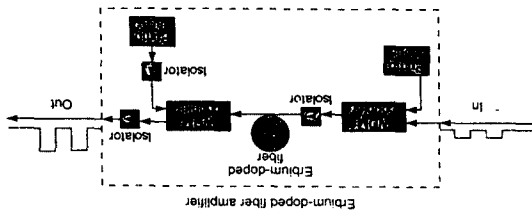
광증폭 기술은 재래의 광통신 중계장치를 대체할 수 있는 것으로 기존의 중계장치에서 광신호를 전기신호로 변환하고 신호의 re-timing 전기적 증폭 및 재생과정을 거쳐 다시 광신호로 변환하여 송신하는 번거로움을 해소시켜 직접 광 / 광증폭하므로 시스템이 간단해지고 따라서, 시스템의 신뢰도와 경제성을 높게 된다. 또한 이 방식은 전송속도가 광변조 방식에 무관하게 증폭할 수 있고, 파장분할 다중화의 경우에 여러 채널을 하나의 광증폭기로 한꺼번에 증폭할 수 있는 장점이 있다.

광통신에 활용될 수 있는 광증폭 기술은 반도체 레이저 증폭과 광섬유 증폭의 두가지가 있다.<sup>(7)</sup> 이 중에서 광섬유 증폭기는 선형중계기로서, 희토류 원소인 Erbium을 광섬유 코어에 첨가시킨 것으로 통신용 광섬유와 기본적으로는 같기 때문에 결합 손실이 작고, 이득이 편광에 무관하며 강도변조시에도 채널간의 누화(crosstalk)가 적음 등의 단점으로는 선형중계이기 때문에 광손실은 보상되거나 잡음과 지터(jitter)는 여러 증폭단을 거치는 경우 누적되어 시스템의 제한 요인이 되기도 한다. 따라서 광섬유 증폭기를 무제한으로 연결할 수 없다. 또한 증폭파장대역이 비교적 고정되어 있고, 이득곡선이 평탄하지 않으며, 포화광출력이 낮은 점(10dBm)등의 단점도 있다.

광섬유 증폭기의 펄프파장으로는 980nm와 1480nm의 두 파장대역이 각기 장단점이 있다. 1480nm 대역은 효율이 2dB/mW 정도로 비교적 높고 펄프광원인 LD가 상용화되어 있어 편리하다. 또한 신호광 파장(1550nm)과 근접하여 있으므로 신호광과 같은 기본모드로 진행할 수 있어 효율적인 증폭이 이루어질 수 있으나 펄프광과 신호광을 분리하기 어려운 단점도



실리카 유리를 이용한 1x8 Coupler

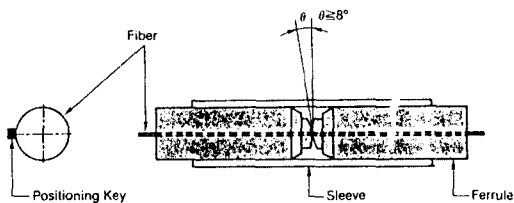


Er이 첨가된 광섬유 증폭기의 개략도

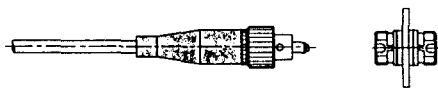
있다. 980nm 대역에서는 4dB/mW 이상의 높은 펄프 효율이 보고되고 있으며 최저잡음지수 면에서도 3dB로 1480nm 대역의 5dB에 비하여 우수하다. 그러나 아직까지 980nm 파장의 고�출력 LD가 상용화되지 않은 점이 해결되어야 할 과제이다.

최근 미국과 일본등의 주요 연구기관에서 광섬유 증폭기를 사용한 장거리 전송 시험이 행해지고 있다. (9) 또한 광섬유 증폭기를 가입자용 광통신 시스템에도 적용하고 있다. 끝으로 광통신 부품의 예를 그림으로 첨부하였다.

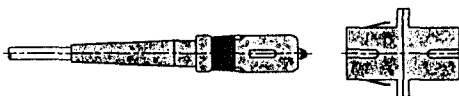
**Backreflection <-60dB**



Ferrule Tips

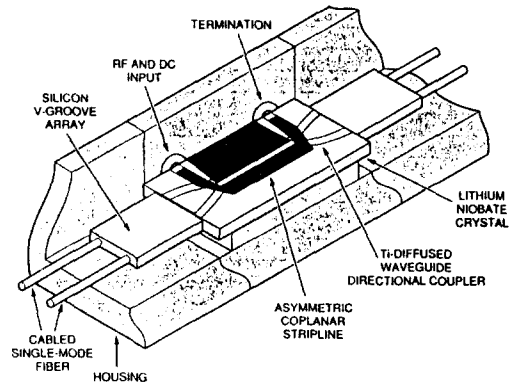


FC/APC

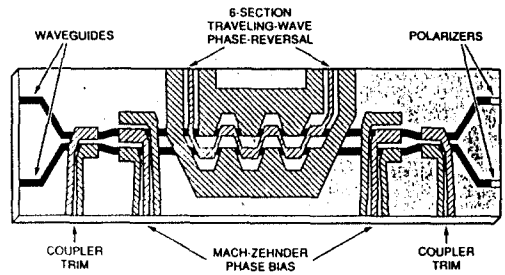


SC/APC

콘넥터의 예



고속 광스위치의 시제품 개략도



속도정합 Ti:LiNbO<sub>3</sub> Mach-Zehnder 스위치의 예

III. 결 론

이상에서 살펴본 바와같이 광통신 부품기술의 발전은 광통신 기술의 발전에 따라 많은 발전을 거듭하고 있으며 앞으로 코히런트 광통신 시대가 다가옴에 따라 더욱 발전하게 될 것이다. 이 시점에서 국내에서도 이 분야에 더 많은 투자가 이루어지길 기대한다.

참 고 문 헌

1. K.Kobayashi et al. IEEE J. of L.T. vol.6, #11, pp. 1623-1633, 1988.
2. R.s.Tucker et al, Elect. Lett. vol.22, pp.917-918, 1986.
3. H.Inoue et al, IEEE J. of L.T. vol.3, pp.1270-1276, 1985.
4. T.H.Wood, IEEE J. of L.T. vol.6, #6, pp.743-757, 1988.

5. H.Inoue, Proc. IOOC'89, paper 21a3-2, 1989.  
 6. T.Yasui and H. Goto, IEEE comm. Magazine, vol.25, pp.10, 1987.  
 7 P. Urquhart, IEEE Proc. vol.135, p385, 1988.  
 8. N. Edagawa et al, Proc. ECOC'89, paper PDA-8, 1989.  
 9. K. Hagimoto et al, Proc. OFC'90, paper PD2, 1989.  
 F. Satio et al, Proc. OFC'90, paper PD2, 1990.  
 A. Righetti et al, Proc. ECOC'89, paper PDA-10, 1989.



최 상 삼

- 1940년 5월 23일 생
- B.S. in Physics, Univ. of North Carolina, Chapel Hill, N.C., U.S.A.(1966)
- M.S. in Physics, Michigan State Univ., East Lansing, Michigan, U.S.A.(1968)
- Ph.D. in Physics, The Ohio State Univ., Columbus, Ohio, U.S.A.(1971)
- Research Associate, U.V. Photoelectron Analysis Lab., Dept. of Chemistry, Univ. of North Carolina, Chapel Hill, N.C., U.S.A.(1971 ~ 1974)
- Visiting Research Scientist, Group des Transitions de Phases, Centre National Research Scientific (CNRS), Grenoble, France (Sept.1974 ~ Aug.1975)
- Principal Research Scientist, Head, Applied Physics Lab., Korea Institute of Science and Technology (1974 ~ Present)
- 金星電線 技術 顧問(1984 ~ 1985)
- 韓國通信 技術 諮問 위원(1990 ~ present)