

광 증폭기

CIR(Communications Industry Researchers Inc)은 향후 DWDM시스템에 있어서 2002년 평균 40채널로부터 2006년 80채널까지 증가할 것으로 예상하고, 이에 따라 비용, 크기 및 집적 효과가 큰 반도체 광 증폭기 시장은 DWDM시장의 추세를 뒤따르게 될 것이라 전망했다. EDFA시장 또한 2006년까지 30%의 성장률을 보이고 세계 광 증폭기 시장은 2006년에는 1.1억 달러를 넘어설 것으로 예상된다고 말했다. 고도화된 정보화 사회로 들어서면서 통신에 대한 요구가 폭발적으로 증가하고 있는 가운데 광 증폭기를 매개로 한 광통신 기술은 새로운 장을 열어가게 될 것으로 기대된다. 따라서 향후 보다 많은 채널의 고출력 광대역 광섬유 증폭기에 대한 연구가 이루어질 것으로 예상되는 가운데 본 고에서는 이러한 광 증폭기에 대한 특허출원현황을 토대로 하여 기술 및 시장동향을 살펴보고자 한다.

편집자 주

오늘날 고도화된 정보화 사회로 들어서면서 초고속 인터넷, 고용량 데이터 서비스, 멀티미디어 통신에 대한 요구가 폭발적으로 증가하고 있다. 따라서 이러한 초고속 정보 통신망의 구현을 위해 기존의 미약한 신호를 광-전 변환을 통해 전기적인 신호로 바꾼 후 증폭시켜 다시 광 신호로 전환하여 전송시키는 통신시스템의 단점으로 지적된 선로의 손실이나 신호 분배 등의 문제점을 해결하기 위하여 광을 바로 증폭시키는 반도체 및 광섬유 등을 이용한 광 증폭기가 개발되면서 광통신은 기술적으로 새로운 장을 열게 되었다.

현재 사용되고 있는 광 증폭기에는 광섬유에 에르븀, Pr 등의 희토류 금속을 불순물로서 첨가한 광섬유 증폭기와 반도체 레이저 구조를 이용한 반도체 광 증폭기가 있다.

먼저 에르븀 첨가 광 증폭기는 증폭파장이 광선로에서의 최저 손실 파장인 1.55 μ m 대역에 존재하는 것과

우수한 증폭 특성 때문에 단기간에 이미 상용화 되었고 이를 이용하여 무중계(3R)방식의 초장거리 전송이 실현되었다. 그런가하면 반도체 광 증폭기(SOA)는 반도체 레이저가 가진 특성, 즉 전류주입으로 여기 할 수 있고, 소형이라는 특징 때문에 시스템에 이용하고자 하는 연구가 계속되고 있다. 광섬유와의 결합 효율 향상, 누화(cross talk), 편광 의존성, 잡음 등의 개선 점이 남아 있기는 하나 광 스위치, 광 변조기, 반도체 레이저 등의 다른 반도체 광소자와의 집적화가 가능하다는 점, 넓은 증폭 파장 대역과 큰 비선형성을 이용한 파장변환기나 분산보상기로서의 새로운 응용 등 광섬유 증폭기가 구현하기 어려운 특성 등을 가지고 있다. 그리고 불순물 첨가 광 증폭기와 더불어 광섬유의 비선형성 및 분산에 의한 손실을 제어하는 광섬유 전체에 이득이 일정하게 분포하는 분포형 라만 광섬유 증폭기에 대한 연구가 지속되고 있다.

광 증폭기의 구성 및 동작원리

1. 광 증폭기의 구성

그림 1에서 보는바와 같이 점대점 파장다중통신 시스템의 구성은 레이저 다이오드와 광합분파기 및 광섬유 증폭기를 구비하여 파장수에 비례하여 전송용량을 증가시키는 역할을 한다.

광섬유 증폭기는 그림 2와 같이 전방 여기형, 후방 여기형 및 양방향 여기형이 있으며 동작 원리는 증폭기용 광섬유소재내 첨가된 이온들의 전자 상태가 펌프광에

의해 여기 상태로 올라 가 있을 때 신호광이 입사되면 유도자율 방출이 일어나 출력 신호광이 증폭되는 현상을 이용하는 것이다. 광섬유 증폭기를 구성하는데 있어서 가장 핵심이 되는 부분은 광 이득 매질인 증폭기용 광섬유와 고출력 펌프 레이저 다이오드, 파장 다중기 등이 있다. 기타 증폭 특성 향상 및 안정화 등을 위해 광 아이솔레이터, 광신호 분배기, 전자제어 회로 등이 필요하다. 기본적으로 광신호를 증폭해 주는 기능을 할 수 있는 증폭기용 광섬유의 특성이 가장 중요하며, 고출력 펌프 레이저 다이오드 등의 기타 광소자들은 이 광섬유를 증폭기로 활용 하도록 하는 기능을 하고 있다.

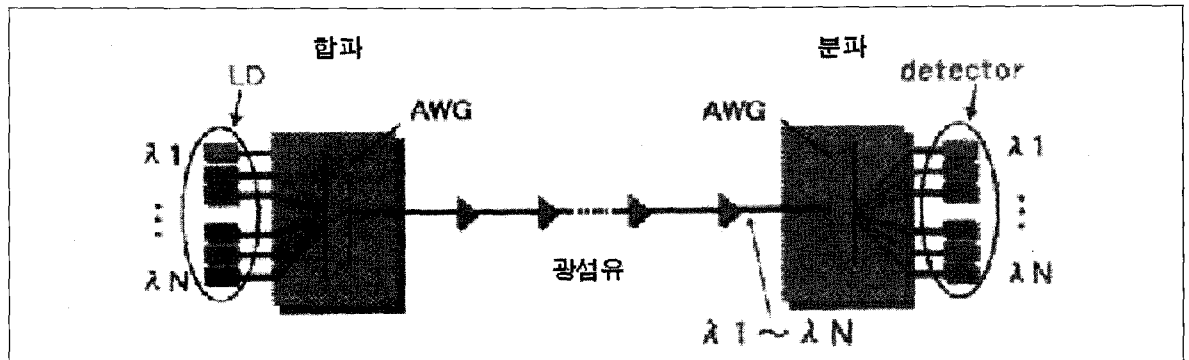


그림 1. 파장다중통신 시스템

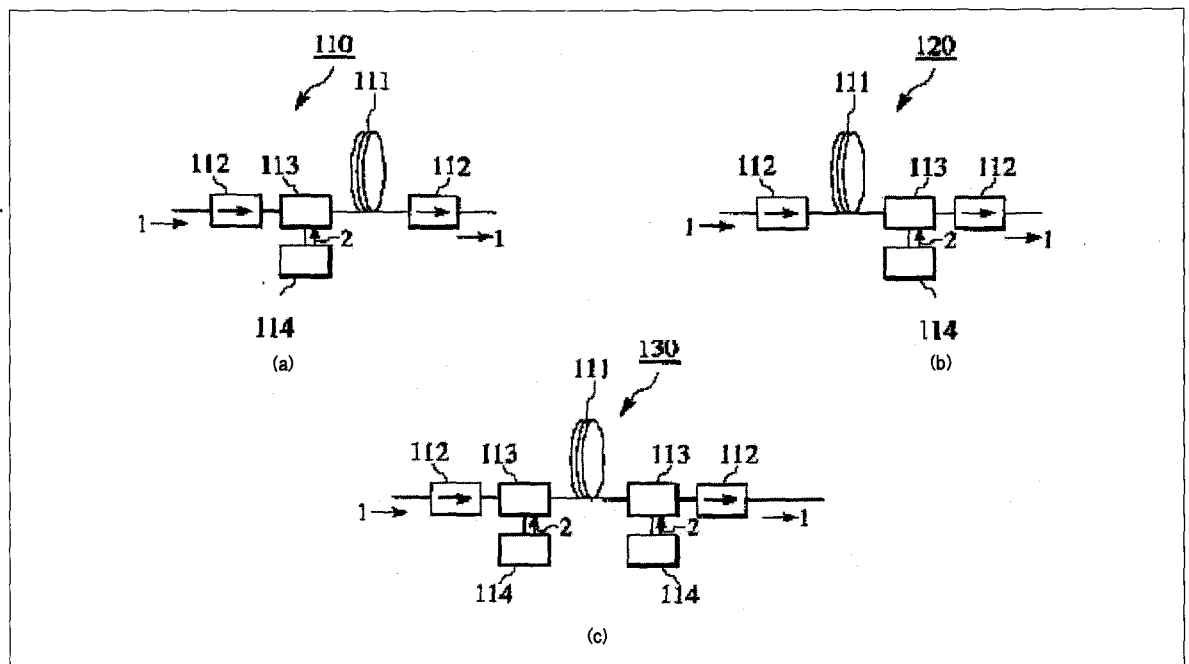


그림 2. 광섬유 증폭기의 종류



2. 광 증폭기의 종류 및 특징

2-1. 반도체 증폭기

① 반도체 광 증폭기의 특성

일반적으로 SOA(Semiconductor Optical Amplifier) 모듈(module)이 증폭기의 역할을 하기 위해서는 25dB 이상의 칩 이득(chip gain)을 가져야 한다. 레이저 다이오드 칩(LD chip)에서는 벽개면(facet)에서 적절한 반사율을 가지고 반사하기 때문에 공진기가 형성되어 레이징(lasing)이 일어나고, 이 때 주입(inject)되는 여분의 전자는 모두 빛으로 바뀌게 된다. 그리고 내부의 이득(gain)에 참여하는 전자는 고정되어 문턱전류 이상에서는 이득(gain)이 증가하지 않고 고정되어 어느 값 이상의 이득을 얻을 수 없다. 그러나 광 증폭을 하기 위해서는 전류가 증가함에 따라 이득도 따라서 증가한다.

다시말해서 SOA(Semiconductor Optical Amplifier)는 근본적으로 반도체 레이저와 같은 형태의 이중 이종접합 구조를 가지고 있다. Fabry-Perot형 반도체 레이저의 경우 주입 전류에 의해 높은 에너지 준위인 전도대에서의 밀도 반전이 이루어져, 낮은 에너지 준위인 가전자대로의 천이에 의해 유도 방출이 일어나고 공진기에 의해 증폭되는 과정을 가진다. 일반적인 SOA는 발진 임계 전류 이하로 주입 전류를 인가한 상태에서 밀도 반전이 일어나고, 입사되는 광에 의해 가전자대로 유도 방출된 광은 활성층이 가지는 이득에 의존하여 증폭된다. SOA의 경우 그림 3에 나타나 있는 바와 같이 Fabry-Perot형과 진행파형 광 증폭기로 나누어지며, FPA (Fabry-Perot Amplifier)가 반도체 레이저와 동일한 원리에 의해 광 증폭이 일어나는 반면, 진행파형 광 증폭기는 반도체 레이저의 양 단면에 무반사코팅을 하여 출사 면에서의 반사를 억제하여 FPA에서 일어나는 공진 현상을 억제한 구조로 되어 있다.

FPA의 경우 초창기 반도체 레이저 개발 단계에서 SOA로서의 활용을 위해 간단히 조사되었던 구조로서 이득 특성이 그림 3의(a)와 같이 공진기의 공진 조건에 만족되는 파장에서 이득이 얻어지기 때문에, 현재 SOA라 불리는 것은 대부분 진행파형 증폭기(TWA)를 말한다. TWA의 이득 특성은 그림 3의(b)와 같이

비교적 넓은 파장 영역에 고른 이득 분포를 하고 있으며, 반도체 밴드 구조에 의해 넓은 이득 대역폭을 가지게 된다. 특히 양자우물(quantum well)구조의 SOA의 경우는 밴드내의 캐리어 밀도 분포가 계단 모양을 형성하고 있기 때문에, 벌크(bulk)형에 비해 훨씬 더 넓은 이득 대역폭을 가지게 된다.

② SOA의 제작

SOA의 경우 기본적으로 반도체 레이저와 같은 형태의 구조를 가지며, 공진기 내의 공진 현상을 그대로 이용한 경우를 FPA(Fabry-Perot Amplifier)라 하며, 출사 단면을 무반사 코팅에 의해 공진 현상을 억제한 것을 진행파형 증폭기(TWA)로 분류한다. FPA에서는 공진 조건을 만족하는 파장에 대해 이득은 최대로 되며, 동일한 길이의 TWA에 비해 높은 이득을 갖지만, 입력 파장의 정확한 제어가 필요하고 포화 출력이 낮으며 잡음이 크기 때문에 대부분 TWA를 사용하게 된다. TWA의 실현을 위해서는 무반사막 코팅을 하게 되는데 1dB 이하의 이득변동을 가지기 위해서는 잔류 반사율을 10⁻⁴이하로 감소시켜야 한다.

실례로 반도체 광 증폭기의 제조 방법은 그림 4와 같이 기판 상에 하부 크래드층 및 이득 매체를 순차로 성장시키는 단계, 기울어지지 않은 스트라이프 상의 마스크를 사용하여 이득매체를 메사구조로 패터닝하는 단계, p형 및 n형 전류 차단층을 재성장시키고, 그 위에 상부 크래드층을 증착하는 단계 및 건식 식각법과 마름모꼴의 마스크를 이용하여 기판 상에 형성된 광 증폭기 구조물을 패터닝하여 벽개면이 스트라이프상의 이득매체에서 방출되는 빔과 수직을 이루는 수직면과 소정의 각도(θ)만큼 경사지도록 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

2-2. EDFA(erbium dispersion fiber amplifier)

① EDFA의 특징 및 구성

어븀첨가 광섬유증폭기는 대량의 데이터가 한 가닥의 광섬유를 통해 외부장치를 통한 인위적인 재생없이 장거리에 걸쳐 전송될 때 장거리 전송에 따르는 광신호의 감쇠를 막기 위하여 자체적이고도 주기적으로 광신호를 증폭해 주는데 사용된다. 그러므로 어븀첨가 광 증폭기는 전송되는 광신호 자체를 증폭시키기

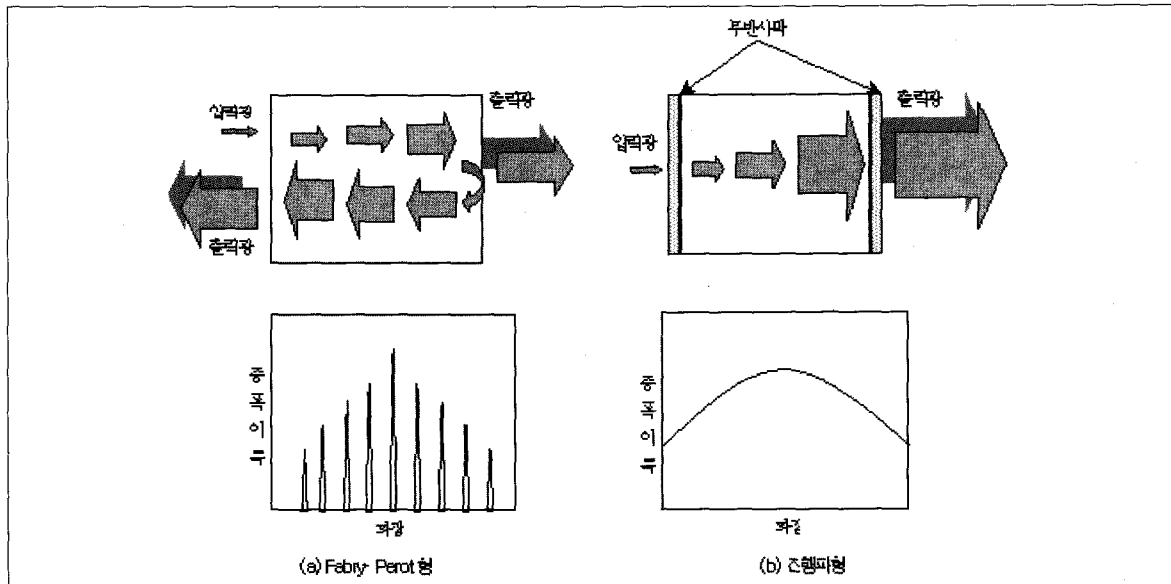


그림 3. 반도체 광 증폭기

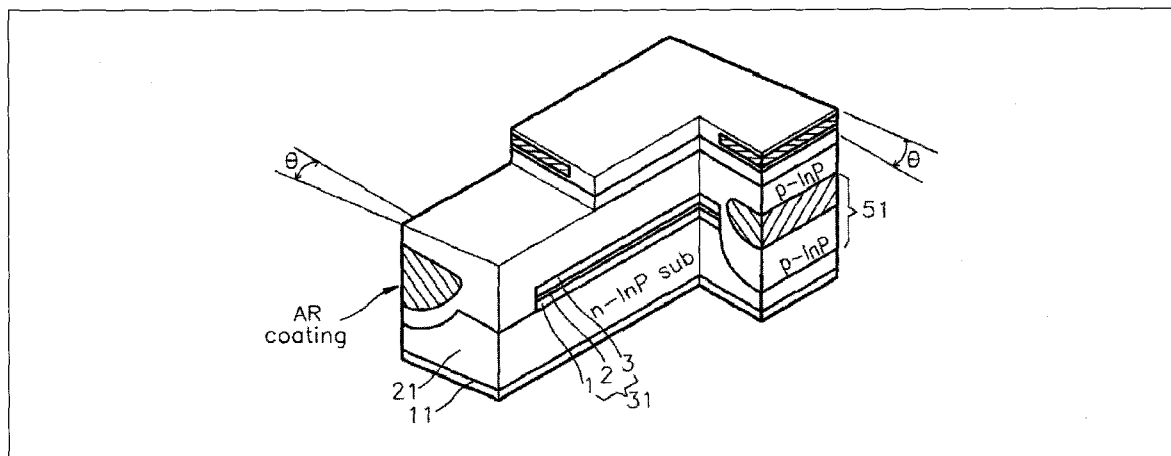


그림 4. 반도체 광 증폭기의 절단면

때문에 증폭효율이 뛰어나고, 노이즈 발생을 억제할 수 있다. 현재 광통신에 사용되고 있는 파장은 1,310nm 영역과 1,550nm 영역이다. 초기에는 1,310nm의 영역이 1,550nm 영역보다 먼저 사용되기 시작했지만, 장파장대에서 동작 가능한 레이저 다이오드가 개발되고 상대적으로 손실이 적은 1,550nm 대역을 통신에 사용할 수 있게 됨에 따라 전송거리가 늘어날 수 있게 되었다. 장파장대역 중에서도 1,550nm 영역은 매우 중요한 의미를 갖는데, 기존의 1,300nm대에서 동작하는 반도체 증폭기와 달리 EDFA는 삽입손실이 적을 뿐

아니라 잡음지수가 낮으며, 작은 신호에 대한 이득이 30dB 정도로 매우 크고 넓은 대역폭(25~30nm)의 신호를 한번에 증폭할 수 있기 때문이다. 만약, 980nm 또는 1480nm 근처의 파장을 갖는 빛이 erbium-doped fiber로 펌핑되어진다면, 광섬유에 있는 전자들은 펌핑된 빛의 에너지를 흡수함으로써 여기되어 1550nm대 파장의 에너지 레벨주위로 모아진다. 1550nm대의 광이 에르븀이 도핑된 광섬유를 지나가면 여기된 전자는 그들의 에너지를 입사된 광으로 전달함으로써 입력된 광을 증폭하게 되는 것이다.

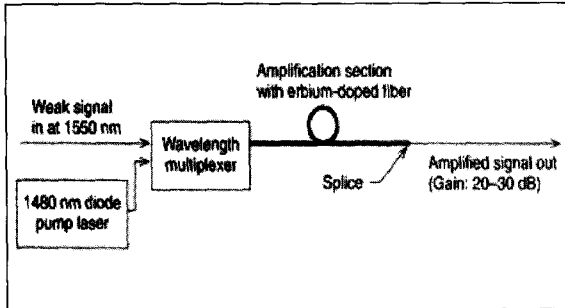


그림 5. Forward pumping EDFA

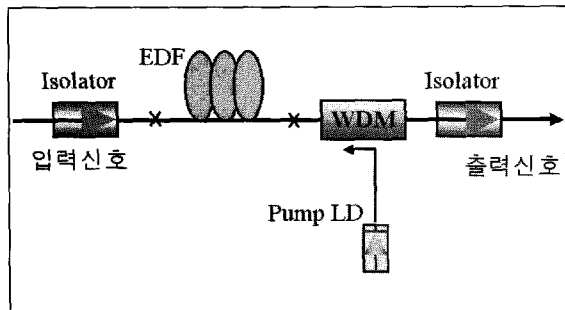


그림 6. Backward pumping EDFA

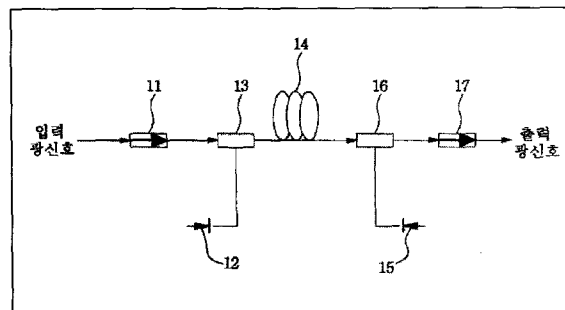


그림 7. Bidirectional pumping EDFA

② EDFA 의 종류

그림 5는 입력신호쪽에서 Pump LD를 사용한 방법으로서 Noise Figure 가 우수하다. 주로 전지 증폭기에 많이 사용하고 있는 형태이다.

그림 6의 Backward pumping EDFA는 출력측에 Pumping LD를 사용하는 방식이다. 이 Backward pumping EDFA는 높은 출력 세기를 가지며 광선로 증폭기에 사용한다.

그림 7의 Bidirectional pumping EDFA는 그림 5와 그림 6을 조합한 형태이다. 양방향 방식은 Forward와 Backward의 장점을 모두 가지고 있다. 송신단에

설치된 EDFA는 전력 증폭기로서의 역할을 하고, 수신단에서는 수신된 약한 신호를 증폭함으로써 수신단 감도를 증가시키는 prefilter로 작용한다. 그래서 수신단에 있는 EDFA는 광섬유 증폭기에서 생긴 잡음을 최대한 얼마나 낮출 수 있는지가 중요하다. 단, repeater에 있는 EDFA에 대해서는 전력증폭과 잡음억제 둘 다 중요하다.

2-3. 라만 증폭기(Raman amplifier)

① 라만 증폭기 특징 및 원리

최근 파장분할다중방식(WDM : Wavelength Division Multiplexing) 광통신 시스템이 초고속, 대용량화됨에 따라 넓은 대역폭을 가지는 라만 증폭기에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 이것은 라만 증폭기가 낮은 잡음 지수를 가지며, 넓은 대역에서 평탄한 이득을 제공하기 때문이다. 라만 증폭기는 증폭 매질로 광섬유를 이용하기 때문에 광섬유의 특성에 따라 그 성능이 크게 좌우된다.

그림 8과 같이 라만 증폭기는 희토류 원소 첨가 광섬유 증폭기와 구성상 유사하나 라만 증폭 현상을 이용하여 여기 광의 파장을 적절히 설정함으로써 이득을 갖는 파장 대역을 얻는 것을 특징으로 한다.

그림 8을 참고하여 작동원리를 설명하면 라만 증폭용 광섬유(11), 광 서큘레이터(121, 122), 광원 유닛(13), 대역필터(15), 수광소자(16) 및 아이솔레이터(17)로 구성된 라만 증폭기는 광 서큘레이터(122)로부터 라만 증폭용 여기광이 공급되고 광 서큘레이터(121)에서 광 서큘레이터(122)로 신호광을 전송하는 것과 동시에 상기 신호광을 라만 증폭한다. 아이솔레이터는 순방향으로만 광을 통과시키고 역방향으로 차단한다. 광 서큘레이터(121)는 아이솔레이터로부터 도달한 신호광을 라만 증폭용 광섬유에 출력함과 동시에 라만 증폭용 광섬유로부터 도달한 광을 대역 필터에 출력한다. 광 서큘레이터(122)는 라만 증폭용 광섬유로부터 도달한 광신호를 후단으로 출력하고 광원부로부터 도달한 여기광을 라만 증폭용 광섬유에 출력한다. 대역필터는 광 서큘레이터(121)로부터 도달한 신호광을 입력하고 상기 신호광 중 특정 파장의 것을 출력한다. 수광소자는 대역필터로부터 출력된 특정 파장의 신호광을 수광하고 수광량에 따른 전기

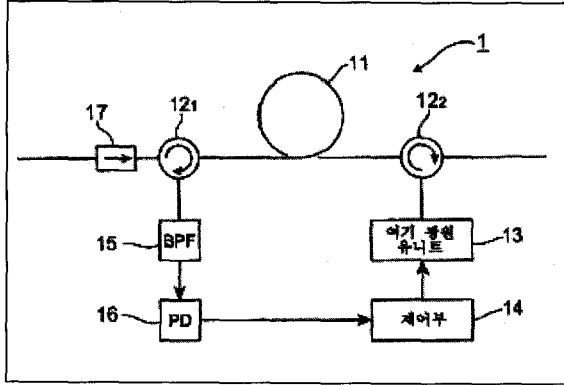


그림 8. 라만 광섬유 증폭기

신호를 출력한다. 제어부는 수광소자로부터 출력된 전기 신호에 근거하여 여기 광원 유닛으로부터 출력되는 라만 증폭용 여기광의 파워를 제어하거나 스펙트럼을 제어하여 이득 스펙트럼을 평탄화 한다. 이와같은 구성에 의하여 기존 전송용 광섬유와의 좋은 결합 특성과 저손실 특성, 소재 안정성, 고출력 및 고속 특성이 있어 희토류 첨가 광섬유와 더불어 개발되고 있지만 원하는 파장대에서 광 증폭기로 사용하기 위해서는 증폭기를 구동하는 고출력 펌프 LD가 특수 파장대에서 필요하고 이 펌프 LD를 개발해야 하는 기술적인 단점을 가지고 있기도 하다.

광 증폭기의 시장동향

CIR(Communications Industry Researchers Inc)은 향후 DWDM시스템에 있어서 2002년 평균 40채널

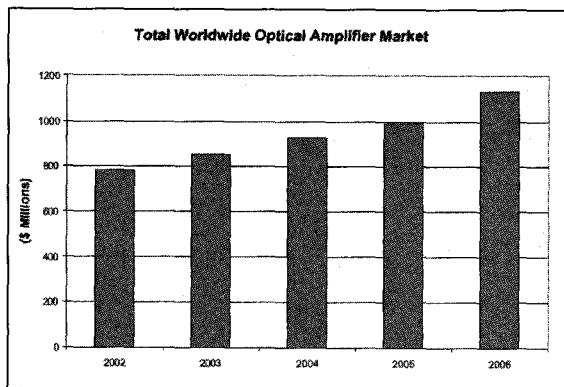


그림 9. 세계 광 증폭기 시장규모

로부터 2006년 80채널까지 증가할 것으로 예상하고, 이에 따라 비용, 크기 및 집적 효과가 큰 반도체 광 증폭기 시장은 DWDM시장의 추세를 뒤따르게 될 것이라 예상하고 있다.

EDFA시장 또한 2006년까지 30%의 성장률을 보이고 아시아 지역의 성장에 따라 그림 9와 같이 세계 광 증폭기 시장은 2006년에는 1.1억 달러를 넘어설 것으로 예상된다고 말하고 있다.

그림 10과 같이 향후 5년간 광 증폭기 전체 시장은 지속적인 성장세를 나타내지만 2002년에 비하여 EDFA시장은 성장률에 있어서 약세를 보이고, 기타 다른 도핑 광섬유와 SOA 및 라만 증폭기의 성장률이 전체 광 증폭기 시장내에서 보다 많은 영역을 차지하게 될 것으로 추측하고 있다.

광 증폭기의 특허동향

그림 11의 광 증폭기의 종류에 따른 연도별 출원분포를 보면 1980년대부터 1990년 중반까지는 저비용, 집적 가능한 소형 증폭기란 측면에서 꾸준히 성장했으나 1990년대 중반 이후부터는 광섬유에 불순물을 첨가하여 광섬유 자체를 증폭매질로 사용하므로 광대역 고효율의 광 증폭기에 대한 관심이 고조되어 비선형성 및 분산에 의한 신호의 왜곡을 저감하는 EDFA는 라만 증폭기에 대한 개발이 확대되었다.

그림 12의 라만 광섬유 증폭기의 국가별 출원건수 추이를 보면 90년대 중반이후부터 고효율의 펌핑 광원이 개발되면서 본격적으로 개발영역이 확대된 라만

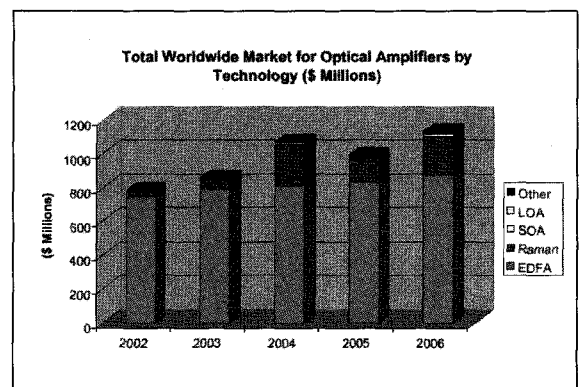


그림 10. 광 증폭기 기술별 세계 시장규모

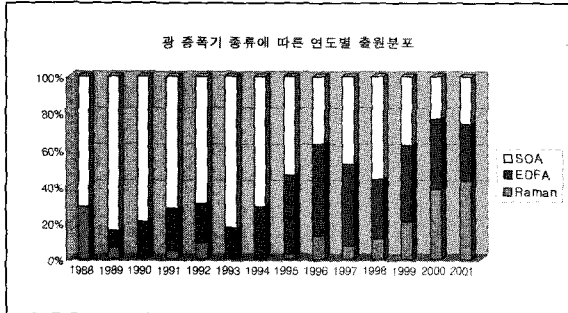


그림 11. 광 증폭기의 종류에 따른 연도별 출원분포

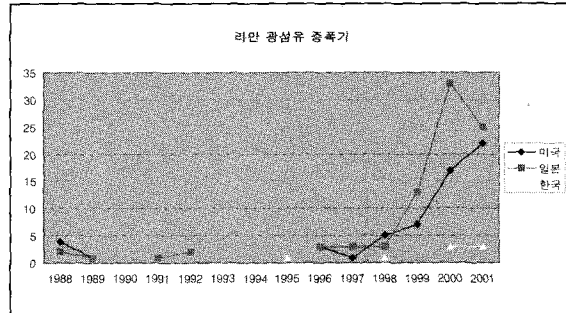


그림 12. 라만 광섬유 증폭기의 국가별 출원건수 추이

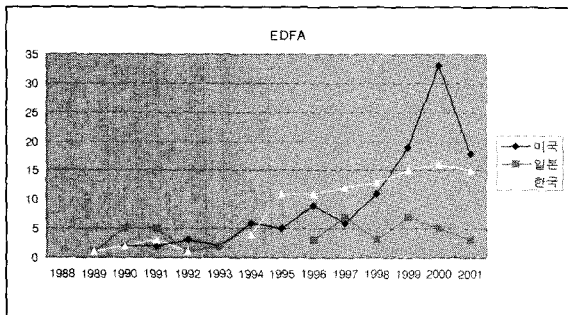


그림 13. 어븀첨가 광섬유 증폭기의 국가별 출원건수 추이

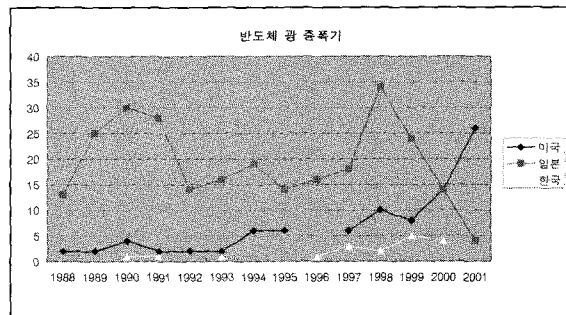


그림 14. 반도체 광 증폭기의 국가별 출원건수 추이

광섬유 증폭기는 일본과 미국에서 주로 높은 출원율을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 13의 어븀첨가 광섬유 증폭기의 국가별 출원건수 추이를 보면 90년대 초반부터 지속적인 개발이 이루어졌던 EDFA(어븀첨가 광섬유 증폭기)는 1990년대 중반에 걸쳐 한국, 미국, 일본에서 골고루 출원하고 있지만 90년대 후반부터는 미국의 출원량이 급속히 증가되고 있음을 알 수 있다.

그림 14의 반도체 광 증폭기의 국가별 출원건수 추이를 살펴보면 본격적으로 EDFA나 라만 증폭기와 같은 광섬유 증폭기에 대한 개발이 이루어지기 전인 90년대 전반부터 현재까지 지속적인 기술개발이 이루어졌으나 90년대 후반 광섬유 증폭기에 대한 관심이 고조되면서 약세를 보이고 있음을 알 수 있다.

반도체 광 증폭기는 현재까지 증폭 출력이 낮고 특성이 상대적으로 불리한 점이 있어 응용 분야가 부분적으로 국한되지만 지속적인 출원증가율을 보이고 EDFA를 기반으로 한 라만 광섬유 증폭기 또한 비선형성과 분산제어 효율이 높고 이득 평탄성을 높이는 동시에 광대역화를 실현시키는 방향으로의 지속적인 연구개발이 이루어 질 것이다.

그리고 어븀첨가 광섬유 증폭기는 현재까지 1.3 μ m 대역, 1.45 μ m 대역, 1.5 μ m 대역 및 1.7 μ m 대역에서 작동하도록 개발되고 있고, 과거에 비하여 출원경향이 둔화되었지만, 최근에는 ETRI에서 1.61~1.65 μ m 대역에서 작동하는 증폭기가 개발되어 향후 고화질 영상 및 입체 영상, 가상현실 등의 대용량 첨단 정보통신 서비스를 수용할 수 있는 차세대 10Tbps급 이상의 초 대용량 광통신 기술 및 적외선 영역의 센서, 의료용 레이저 등으로 이용될 수 있어 그 파급효과가 기대된다. 이와 더불어 앞으로도 보다 많은 채널의 고출력 광대역 광섬유 증폭기에 대한 연구가 이루어 질 것으로 예상된다.

참고자료

1. www.comweaver.com/technical.htm(기술자료실)
2. 과학기술원 논문자료실
3. www.netmanias.com (white paper자료실)
4. 과학신문
5. Kipris 검색시스템
6. 한국전자통신연구원 NEWS, 주간 기술동향
7. 2002 Communications Industry Researchers Inc.(향후 5년간의 광증폭기 시장)

한국특허정보원은 특허청 산하의 **특허기술정보 전문서비스 기관**으로 지식정보화 사회에 부응하는 국가 특허기술정보 인프라 구축을 위해 최선의 노력을 다하고 있습니다.

특허는 재산 · 기술은 힘 · 정보는 생명

정부 위탁 사업

- ◆ 특허청 선행기술조사
- ◆ 국제특허분류(IPC) 부여
- ◆ 특허문서전자화
- ◆ 영문조목사업
- ◆ 전자데이터 구축

민간 공익 사업

- ◆ 특허성/기술정보조사
- ◆ 벤처기업 인증을 위한 선행기술조사 서비스
- ◆ 이의신청/심판/소송자료조사
- ◆ 침해/분쟁 방지조사
- ◆ 특허맵(PM)작성 서비스
- ◆ 기술가치평가 서비스
- ◆ IP컨설팅 서비스
- ◆ KIPRIS 특허정보검색 무료서비스
- ◆ 정보가공 서비스
- ◆ 상표조사 서비스

☞ Homepage : <http://www.kipi.or.kr>
 ☞ 선행기술조사서비스 : 02-3452-8144 (교590) (<http://www.chosa.or.kr>)
 ☞ KIPRIS 인터넷서비스 : 02-3452-8144 (교320) (<http://www.kipris.or.kr>)



한국특허정보원
Korea Institute of Patent Information

135-080, 서울시 강남구 역삼동 814-1 발명회관
대표전화 : 02-3452-8144, FAX. : 02-3453-2966



최재욱

한국특허정보원
조사분석 3팀

한국특허정보원

한국특허정보원은 특허기술정보 인프라를 구축하고 산업계, 연구소, 학계, 변리사 등에게 우수 발명의 창출과 첨단기술개발의 도우미 역할을 수행하기 위하여 1995년 7월에 설립된 특허청 산하의 특허기술정보서비스 전문기관이다. 한국특허정보원은 현재 350여명의 인원으로 구성되어 있으며, 자체에서 구축한 고품질의 KIPRIS 온라인 특허기술검색, 국내외 특허정보의 수집·가공, 선행기술조사 및 기술가치평가 서비스를 제공함으로써 국가 기술 경쟁력 확보의 길잡이가 되고자 노력하고 있다.

문의 : (02)3452-8144(교 532)
홈페이지 www.kipi.or.kr