
저 편광의존성을 가지는 반도체 광증폭기의 제작에 관한 연구

황상구*, 김정호*, 김운섭*, 김동욱*, 박윤희**, 홍창희*

A study on the fabrication of the polarization-insensitive semiconductor optical amplifier

Sang-Ku Hwang, Jeong-Ho Kim, Weoun-Seb Kim, Dong-Ook Kim, Yoon-Ho Park, Tchang-Hee Hong

본 논문은 교육부 1998 반도체 분야 학술연구조성비의 ISRC 광소자부분 협동연구과제(ISRC-98-E-3210)연구비에 의하여 연구되었음.

요 약

본 연구에서는 1.55 μm 대역의 편광비의존성을 가지는 반도체 광증폭기를 제작하기 위하여 InGaAsP/InP 이종이종접합 웨이퍼를 이용하여 정방매립형 반도체 광증폭기(SOA)를 제작하였다. 제작된 반도체 광증폭기의 특성을 측정한 결과 3dB대역폭은 35nm이었으며, 3dB포화출력은 4dBm이었다. 150mA의 CW구동에서 최대이득은 19.4dB이었다. 반도체 광증폭기의 ASE power를 ASE측정시스템을 이용하여 TE, TM 모드에 대하여 측정한 결과 최대이득을 나타내는 영역부근에서 TE 및 TM모드의 분포가 거의 일치하였다. 따라서 본 연구에서 제작된 반도체 광증폭기는 비편광의존성 SOA임을 실험적으로 확인하였다.

Abstract

In this study, we fabricated a 1.55 μm polarization-insensitive semiconductor optical amplifier(SOA) with rectangular buried heterostructure using a InGaAsP/InP double heterostructure wafer. Measured characteristics of the fabricated SOA are that 3dB bandwidth is 35nm and 3dB saturation output power is 4dBm. Maximum gain

* 한국해양대학교 전자통신공학과

** 인하대학교 전기전자컴퓨터공학부

접수일자 : 2000. 10. 30.

under the 150mA CW driving condition is 19.4dB. We measured the ASE(amplified spontaneous emission) power spectrum of TE and TM mode in the fabricated SOA using ASE measurement system and knew that distributions of the TE and TM mode about the maximum region are nearly coincident. This shows the fabricated SOA is a polarization-insensitive.

I. 서 론

광섬유 전송선로를 이용하여 정보를 장거리 전송을 할 경우, 선로에 의한 손실과 신호분배 등으로 인하여 발생하는 광 신호의 감쇠를 보완하기 위하여 광을 증폭시킬 필요가 있다. 광신호를 증폭시키기 위한 종래의 방법은 광신호를 전기신호로 변환시켜 사용하는 재발진 증폭기를 사용하는 것이었다. 이러한 방법은 반도체 레이저, 광 검출기와 더불어 펄스 스라이싱, 재타이밍, 파형정형을 위한 전자회로 등이 부가되어 복잡하고 저효율적이었다. 그러나 이와 같이 광전-전광 변환을 하지 않고 광을 직접 증폭시키는 광증폭기가 개발되면서 광통신은 보다 효과적으로 장거리 전송이 가능하게 되었다.¹⁻⁵⁾

광증폭기는 대별하면 반도체 광증폭기(semiconductor optical amplifier:SOA)와 어븀 첨가 파이버 광증폭기(Er^{+3} -Doped fiber amplifier:EDFA)로 나눌 수 있다. 1990년대에 들어서면서 제안된 EDFA는 그 성능의 우수함으로 인하여 1995년에 일본의 국제전신 전화공사에 의하여 태평양 횡단 광통신 선로에 적용되었다. 이후 EDFA는 일반적인 광증폭기로서 자리를 잡았지만, 다른 광소자와의 집적화, 스위칭, 신호템핑, 펄스 형상 재발진과 같은 기능에는 한계가 있었다.⁶⁻⁹⁾ 따라서 광섬유와 결합효율, 편광 의존성과 잡음 등의 문제점이 해결된다면 광스위치, 광 변조기, 반도체 레이저 등과 광집적화가 가능하며, 넓은 증폭파장 대역과 큰 비선형성을 이용한 파장변환기나 분산보상기로서 새로운 응용 등, 광섬유 증폭기가 구현할 수 없는 특성을 가지고 있어¹⁰⁻¹³⁾ 많은 연구자들이 새로운 기능을 가진 SOA를 개발하고, 새로운 응용분야를 창출하기 위하여 노력을 기울이고 있다. 반도체 레이저나 반도체 광증폭기는 일반적으로 편광의존성을 가지는데, 이것을 줄이는 방법으로 MQW 활성영역의 우물층이나 장벽층에 인장응력을 가하여 TM 모드의 이득을 증가시켜 편광의존성을 제거하는 방법이 사용되어 1dB이하의

편광의존성을 얻고 있으며^{14,15)}, 벌크 활성층의 경우 활성층의 폭을 좁게하여 정사각형에 가까운 활성층 구조, 즉 정방형구조를 가지게 하여 편광의존성을 줄이는 방법이 사용되고 있다^{16,17)}.

이상적인 진행파형 광증폭기(traveling wave amplifier: TWA)는 출사면의 반사율이 0이 되어야한다. 그러나 실제 소자제작 과정에서 반사율을 0으로 한다는 것은 불가능하므로, 출사면의 잔류반사율에 의한 공진현상은 무시할 수 없게 된다. 출사면의 반사율을 무시할 수 없는 경우에는 이득스펙트럼에서 $c/2L$ 주기(c : SOA 내의 광속, L : SOA의 길이)의 흔들림(gain ripple)이 나타나는데 이러한 현상은 파장분할 다중화 시스템에서와 같이 여러 가지 파장의 입력신호 광이 동시에 입사된 경우, 각 채널 당 이득차가 발생하는 요인이 된다. 따라서 공진현상을 제거하기 위하여 출사면의 반사율을 얼마로 줄일 수 있는가 하는 문제가 관건이 되며, 1dB 이하의 이득변동을 가지기 위해서는 잔류반사율을 10^{-4} 이하로 감소시켜야 한다. 이러한 잔류반사율을 줄이기 위하여 양 단면을 무반사 코팅을 하는방법, 경사도 파로를 형성시키는 방법, 윈도우 구조를 가지는 방법 등이 제안되었다.

본 연구에서는 편광의존성을 줄이기 위하여 비교적 제작이 간편한 정방형 활성층과, 단면반사율을 줄이기 위하여 무반사 코팅을 한 정방매립형 진행파(rectangular buried heterostructure traveling-wave amplifier : PBH-TWA)형 반도체 광증폭기를 제작하였으며, 그 특성을 측정된 결과 3dB 대역폭은 35nm이었으며, 3dB포화출력은 4dBm이었다. 150mA의 구동에서 최대이득은 19.4dB이었다. ASE(amplified spontaneous emission) power를 측정된 결과 최대이득을 나타내는 영역부근에서 TE, TM모드가 거의 일치하였다.

II. 1.55um InGaAsP/InP SOA의 제작

일반적으로 반도체 광증폭기는 반도체 레이저와

동일한 형태의 이중접합구조를 가진다. 반도체레이저의 단면을 무반사 코팅을 하게되면 반도체 광 증폭기를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 InP 기판 위에 격자정합된 InGaAsP를 활성층으로 하는 이중 이중 접합(double heterojunction:DH)웨이퍼를 이용하여, wet etching에 이어 전류차단층, 캡층을 성장시킨 후, 단면을 무반사 코팅하여 반도체 광 증폭기를 제작하였다. 본 장에서는 제작된 반도체 광증폭기의 구조와 무반사막의 코팅에 관하여 서술하였다.

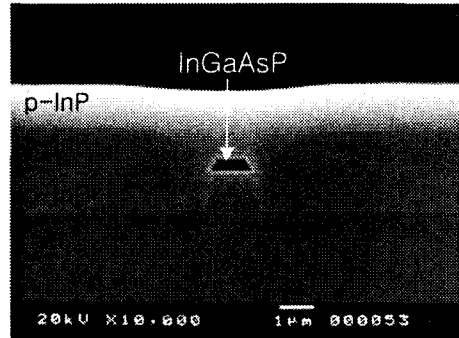


그림 1. 성장이 완료된 SOA

1. 편광무의존성 정방형 단면구조의 제작

반도체 광증폭기가 편광무의존성을 가지도록 하기 위하여 여러 가지 방법들이 연구되었다. 다중양자 우물층을 가지는 활성영역에서 우물층이나 장벽층에 응력을 가하여 TM 모드의 이득을 증가시켜 편광의존성을 줄이는 방법이 사용되어 1dB 이하의 편광의존성을 얻고 있다^{14,15}. 그리고 벌크 활성층의 경우 활성층의 폭을 좁게하여 정사각형에 가까운 활성층구조를 가지게 하므로써 편광의존성을 줄이는 방법이 있다^{16,17}. 본 연구에서는 활성층의 폭을 좁게하여 편광무의존성을 가진 반도체 광증폭기를 제작 하였다.

각각의 성장재료(InAs, InP, GaAs)를 발진파장과 성장조건에 맞도록 정량하여 InP/ In_{0.58}Ga_{0.42}As_{0.9}IP_{0.01}/InP DH 웨이퍼를 성장시켰다. 각 층에 사용되는 melt의 균일도를 유지하기 위하여 650℃에서 40분간 soaking 시킨 후 냉각률 0.8℃/min로 하여 성장을 행하였다. 성장시작 전 InP 웨이퍼가 고온에서 P 성분의 증발에 의하여 발생한 열손상부분을 제거하기 위하여 635℃에서 3초간 meltback을 하였다. Meltback에 의한 기판 불균일도를 완화시키기 위하여 2×10¹⁸cm⁻³의 n-InP층을 활성층 성장직전까지 성장시킨 후 630℃에서 활성층이 되는 In_{0.58}Ga_{0.42}As_{0.9}IP_{0.01}층을 성장시켰다. 활성층 위에 p-InP를 0.3µm 성장시키고, 냉각시 발생할 수 있는 DH웨이퍼 표면의 열손상을 줄여주기 위하여 p-InGaAs층을 성장 시켰다.

BH (Buried Heterostructure)구조를 제작하기 위하여 스트라이프 폭 3µm의 SiN_x 막을 lithography 공정을 통하여 형성시켰으며, 메사 구조를 형성하기 위하여 습식 식각을 하였는데, H₃PO₄:HCl용액에서

p-InP 클래드층을 식각한 후 H₂SO₄:H₂O₂:H₂O용액으로 활성층을 식각하였다. SOA의 경우 편광의존성을 줄여주기 위하여는 활성층 구조를 정방형에 가깝게 하여야 하기 때문에 식각 시간을 조절하여 활성층 폭을 조절하는 방법을 통해 1µm 이하 폭을 유지할 수 있도록 하였다. 활성층 식각 후 H₃PO₄:HCl 용액으로 n-InP를 식각하여 전류 차단층 성장 두께인 2.5~3 µm 깊이가 되도록 하였다.

p-InP (1µm, 7×10¹⁸cm⁻³)와 n-InP (2×10¹⁸cm⁻³), p-InP(7×10¹⁸cm⁻³)를 차례로 성장시켜 전류 차단층을 형성시켰다. 전류 차단층 성장시에는 DH웨이퍼의 성장과는 달리 meltback을 할 수 없으므로 성장직전의 웨이퍼 표면의 열손상을 줄여주기 위하여 600℃에서 재성장을 하였다. Soaking 온도는 610℃로 하였으며, 성장 마지막 층 역시 냉각시 일어나는 웨이퍼의 열손상을 억제하기 위하여 InGaAs층을 성장하였다. 이렇게 전류 차단층이 성장된 웨이퍼에서 BOE (buffered oxide etchant)용액으로 SiN_x의 스트라이프를 제거한 후 p-InP의 캡층을 성장시키고, 이어서 전극과 저항성 접촉을 형성하기 위한 p⁺-InGaAs층을 성장시켰다. 그림1은 전극을 형성하기 이전단계의 제작된 SOA의 SEM단면 사진이다.

2. 무반사막 코팅

진행파형 반도체 광 증폭기를 만들기 위해서는 무반사막 코팅을 하게되며, 1dB이하의 이득변동을 가지기 위해서는 출사 반사도를 10⁻⁴이하로 낮추어야 한다. 반사도를 낮추기 위하여 출사단면 양쪽을

코팅하는 방법¹⁶⁾, 활성영역에 5~10°의 경사를 주는 방법, 활성영역의 끝부분에 윈도우 영역을 두는 방법 등이 사용되고 있다. 출사 양단면을 코팅하는 방법은 반도체 매질의 굴절률을 n_1 , 외부의 굴절률을 n_2 라 하면 무반사막의 굴절률 $n=(n_1n_2)^{1/2}$ 의 조건을 가지도록 SiO_x 나 $SiNx$ 를 사용하여 $\lambda/4$ 의 두께로 코팅하여야 한다. 활성영역에 경사를 주게되면 출사 단면에서 굴절률의 변화에 의하여 10^{-3} 정도의 반사율을 가지게 되고, 여기에 부가적으로 무반사 코팅을 하게되면 10^{-4} 이하로 반사도를 낮출 수 있게 된다¹⁸⁻²⁰⁾. 활성영역의 끝부분에 밴드갭에너지가 큰 매질로 된 윈도우 영역을 두면 반사도를 낮출 수 있으며, 이 구조는 고출력 반도체 레이저에서 좁은 활성영역에 수MW/cm²이상의 광출력이 출사단면에 집중되어 출사면이 파괴되는 것을 막기 위하여 제안된 방법이다. 윈도우 구조에서 활성영역과 출사면 사이에 도파로가 형성되어 있지 않으므로 출사면까지 광모드의 크기가 커지게 되어 반사율이 감소하게 된다.

반도체 레이저에서 거울면 코팅은 DFB-LD의 경우 출사단면에서의 반사도를 줄여서 회절격자의 위상에 따라 영향을 감소시켜 단일모드 수율이 향상되도록 하며, Fabry Perot LD는 발진을 억제시키면 센서용 광원으로 널리 사용되는 superluminescent diode로 동작하며, 특히 무반사 코팅에 의하여 거울면 양단의 반사율이 10^{-4} 이하가 되면 반도체 광증폭기로도 동작시킬 수 있다. 이러한 목적을 이루기 위하여 거울면 코팅 이외에도 InGaAsP 활성영역의 끝단에 window 구조가 되도록 하거나 경사 도파로를 형성시켜 반사도를 줄이는 방법들이 있다. window는 빔의 크기를 증가시켜 반사되어 다시 소자의 활성영역으로 결합되는 빛의 양을 줄여 주어 실효반사도를 낮추기 위한 것이다.

본 연구에서는 InGaAsP/InP 재료를 이용한 광통신용 소자의 무반사코팅에 폭 넓게 사용되고 있으며 효과도 검증된 TiO_2/SiO_2 단일쌍을 이용한 무반사막 코팅을 채택하였다.

TiO_2/SiO_2 다층 코팅에는 Leybold Z-550 sputter를 사용하여 각각 50층씩 증착시켰다. 정확하게 두께를 측정하기 위하여 Si모니터 웨이퍼가 코팅용 지그와 소자의 높이가 같도록 챔버내에 설치한다.

코팅용 지그는 5mm 깊이로 파진 홈내에 위치시키고 모니터는 지그 근처의 홈의 바깥에 위치시켰다. 이때 두께가 차는 2% 이내로 보이며 두께로 환산하면 TiO_2 가 25Å, SiO_2 의 경우 40Å 정도로 예상된다. 증착속도는 Ti를 reactive sputtering하는 TiO_2 가 SiO_2 에 비하여 훨씬 느리다. 시간에 따라 대체로 선형적인 특성을 보이거나 run-to-run변화 때문에 증착률을 구하는 것의 의미가 적고, 시간에 따른 증착 두께를 나타내는 것이 더 유익하며, 원하는 두께는 이 데이터를 가지고 반복적으로 구하는 것이 바람직하다. 단면반사율을 참고문헌(21)의 결과를 이용하여 비교한 결과 10^{-3} 정도임을 알수 있었다.

III. SOA의 특성측정 및 평가

본 연구에서 제작된 SOA는 길이 L이 600 μ m이며 활성층의 폭이 1 μ m정도이다. 제작된 소자의 출사단면을 무반사막 코팅을 한 후 소자의 특성을 측정하였다.

정확한 측정을 위해서는 측정대상에 맞게 측정 시스템을 구성하여야 한다. 칩 상태의 SOA를 분석하고자 할 때, 우선 광섬유 결합, 편광자 삽입을 통한 편광 회절 조절이 반드시 필요하다.

그림 2의 측정 장치를 이용하여 SOA를 측정할 때 다음과 같은 점에 유의하였다. 우선 광섬유에서의 반사가 영향을 미치므로 경사진 광섬유를 사용하였으며 SOA와의 거리는 최소 40 μ m 이상 유지하였다.

또한 높은 광결합효율이 필요한 경우를 제외하고는 100 μ m 이상으로 충분히 떨어뜨려 측정하였다. return loss를 줄이기 위해 모든 광결합 부분은 APC 커넥터를 사용하였다. 실제로 커넥터가 서로 잘 물려 있지 않으면 장주기 요동이 발생하므로 이에 유의하여야 한다. 편광조절기를 사용하여 편광의존성

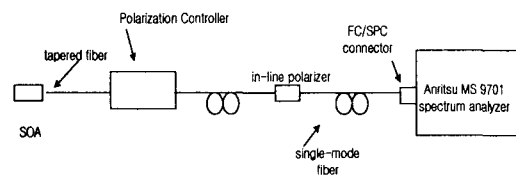


그림 2. SOA 측정장치²²⁾

을 관측할 때에는 optical spectrum analyzer를 ASE 스펙트럼의 최대치에 놓고, span을 0으로 한 후에, 충분히 낮은 속도로 scan을 한다(scan speed 2이하). Scan 스피드가 2일 때, 1 왕복의 소요시간은 1분 30초이다. 그림 3은 무반사막 코팅을 한 후 SOA의 상온에서 펄스동작에 의한 I-L 특성과 스펙트럼 특성을 나타내고 있다.

그림 3(a)의 경우는 무반사막 코팅된 SOA의 칩이나 단면반사율이 충분히 낮지 않아서 레이저로 동작함을 알 수 있으며, 그림 3(b)의 경우는 단면 반사율을 더 낮춘 경우로서 SOA로 동작함을 보여 주고 있다.

그림 4는 제작된 SOA의 ASE 출력을 ASE 측정 시스템을 이용하여 스펙트럼을 TE, TM 모드에 대해 측정한 것으로 각각 주입 전류에 따른 거동을 나타내고 있다. 각각의 주입전류에 대해서 최대 이득을 나타내는 영역부근에서 TE 및 TM 모드의 분포가 거의 일치 하는 것으로 보아 편광의존성이 거의 없는 것을 알 수 있다. 한편, 그림 4는 각각 60, 100, 150mA에서 ASE의 스펙트럼을 나타내고 있다. 각 스펙트럼의 최대치 부근에는 이득의 요동이 관

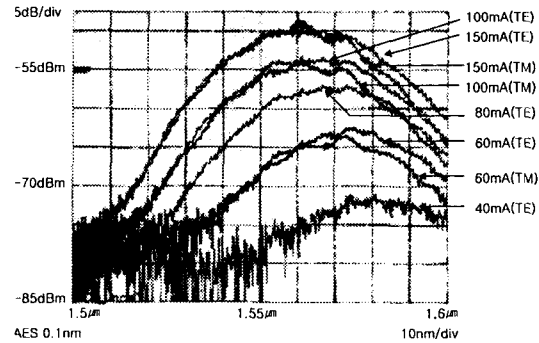
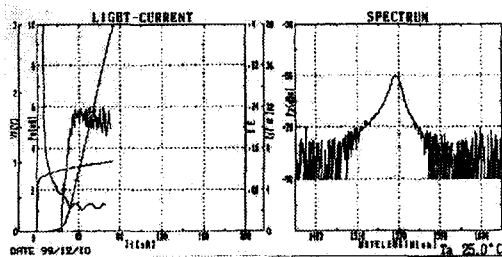


그림 4. 제작된 SOA의 ASE spectrum

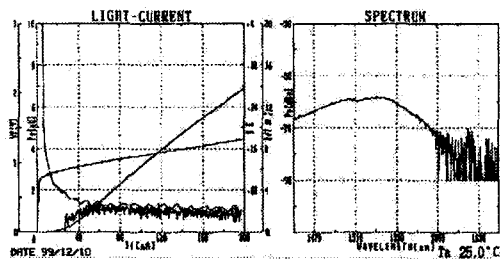
측되고 있다. 이는 단면이 완전하게 무반사코팅, 즉 단면반사율이 10^{-4} 미만으로 코팅되지 않았기 때문에 일어나는 반사와 광섬유의 입력단에서의 반사 및 측정시스템으로부터의 반사된 광이 SOA로 재환되어 간섭하므로서 생기는 요동이다. 이러한 요동들은 광증폭시 신호를 왜곡시킬 우려가 있는데, 이를 억제시키기 위해서는 SOA 자체 반사율을 가능한 낮추며, 외부 재환을 줄이기 위해서 taper된 광섬유로 광결합하거나 SOA의 활성층을 약간 기울여서 제작하면 이러한 현상을 억제할 수 있을 것이다. 그리고 특히 ASE 측정시 조립과정에서 광섬유의 반사에 의한 영향을 최소화하는 것이 필수적이다.

편광과 무관한 ASE 스펙트럼을 조사하여 주어진 주입전류에서의 3dB 대역폭을 조사하였다. 그림 5에서는 주입 전류가 150mA에서 3dB 대역폭이 약 35nm임을 알 수가 있다.

그림 6에서는 입력광에 대한 SOA의 이득을 나타



(a)



(b)

그림 3. SOA의 I-L 및 스펙트럼 특성곡선

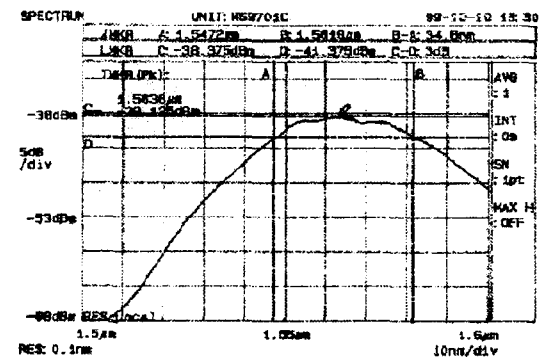


그림 5. 주입 전류 150mA에서 SOA의 ASE 스펙트럼

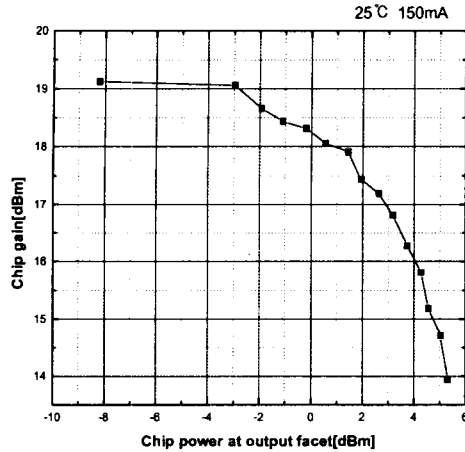


그림 6. 입력광에 대한 SOA의 이득

내었다. 이때 SOA 칩은 Si submount 위에 die bonding하여 칩 상태에서 150mA로 구동을 하였다. 입력광이 증가하면 SOA의 이득이 감소하는데, 이는 이득포화에 기인한 것으로 생각된다. 제작된 SOA의 3dB 포화 광출력은 4dBm이다. 측정시 TEC로 온도 조절을 하지 못하여 실제 값보다 작은 값으로 측정이 되었다. 따라서 실제로는 4dBm보다 큰 것으로 추정된다. 150mA CW에서 최대 이득은 19.4dB를 얻을 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 평면매립형 반도체 광증폭기를 제작하였다. 그리고 TiO₂를 25Å, SiO₂를 40Å 정도로 50층 무반사 단면을 코팅하여 단면반사율을 10⁻³ 정도로 확보한 후, 반도체 광증폭기로서의 특성을 측정하였다. ASE 출력을 측정한 결과 TE, TM 모드의 분포가 거의 일치하는 것으로 보아 편광 의존성이 매우 적은 것으로 나타났다. 주입전류가 150mA 일때 3dB 대역폭은 약 35nm 이었다. 제작된 SOA의 3dB 포화 광출력은 4dBm이었으며, 150mA에서 CW 최대 이득은 19.4dB 이었다. 향후, 코팅조건을 보다 완전히 하고, 잔류반사도를 줄이기 위하여 윈도우 영역이나 출사단면에 기울기를 주거나 활성층의 폭을 조절하는 것과 같은 구조로 제작된다면 보다 우수한 반도체 광 증폭기를 제작 할 수 있을 것

으로 기대된다.

감사의 글

광증폭기 제작에 있어 AR coating과 특성측정에 도움을 주신 삼성종합기술원 광전자연구실의 김호인전문연구원과 김종렬 팀장님께 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] H.Tagu, N.Takeda, K.Imai, S.Yamamoto, and S.Akiba, "5Gbps, 16WDM transmission experiments over 7300km through 0.98um/1.48um hybrid pumped transmission line", OECC'96, Chiba, 1996, pp.24-25.
- [2] J.J.E.Reid, P.I.Kuindersma, G.P.J.M. Cuijpers, G.N. van den Hovern, S.Walczyk, B.Teichmann, C.Dorschky, R.Seitz, C.Schulien, L.Cucala, H.Leppla and A. Mattheus, " High bitrate 1.3um optical transmission in the field using cascaded semiconductor optical amplifier", ECOC'97, Edinberg, vol.1, 1997, pp.83-86
- [3] M.Nissov, C.R.Davison, K. Rottwitt, R. Nenges, P.C. Corbett, D.Innis and Neal S. Bergano, " 100Gb/s(10×10Gb/s) WDM transmission over 700km using distributed Raman amplification", ECOC'97, Edinberg, Post Deadline Paper, 1997, pp.9-12.
- [4] H.Tagu, T.Miyakawa, K.Murashige, N.Edagawa, M.Suzuki, H.Tanaka, K.Goto and S.Yamamoto, "A half Tbit/s(50×10.66Gbit/s) over 1,600km transmission experiment using widely gain-flattened EDFA chain", ECOC'97, Edinberg, Post Deadline Paper, 1997, pp.13-16.
- [5] A.K.Srivastava, J.B. Judkins, Y.Sun, L.Garrett, J.W.Sulhoff, C.Wolf, R.M.Derosier, A.H. Gnauck, R.W. Tkach, J.Zhou. R.P. Espindola, A.M. Vengsarkar and A.R.Chraplyvy, "32×10Gb/s WDM transmission over 640km using broad band gain-flattened Erbium-doped silica fiber amplifier", DFC'97, Dallas, PD18,1997

- [6] M. J. O'Mahony, "Semiconductor laser optical amplifiers for use in future fiber systems," *J. Lightwave Technol.*, vol. 6, pp. 531-544, 1988.
- [7] K. Y. Liou, U. Koren, E. C. Burrows, M. Oron, B. I. Miller, M. Young, G. Raybon and C. A. Burrus, "Operation of integrated InGaAsP-InP optical amplifier monitoring detector with feedback control circuit," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 2, pp. 870-880, 1990.
- [8] G. P. Agrawal and N. A. Olsson, "Self-phase modulation and spectral broadening of optical pulses in Semiconductor laser amplifiers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 25, pp. 2297-2306, 1989.
- [9] K. T. Koai, R. Olshansky, and P. M. Hill, "Dual-function semiconductor laser amplifier in a broad-band subcarrier multiplexed system," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 2, pp. 926-928, 1990.
- [10] C. Hoerfensen, S. L. Danielsen, P. B. Hansen, K. E. Stubkjaer, M. Schilling, K. Daub, E. Lach, G. Laube, and W. Idler, "All-optical 40Gbit/s compact integrated interferometric wavelength converter", *OFC' 97, Dallas, 1997*, pp. 72-73.
- [11] N. Edagawa, M. Suzuki, S. Yamamoto, and S. Akiba, " Novel wavelength converter using an electroabsorption modulator: conversion experiments at up to 40Gbit/s", *OFC' 97, Dallas, 1997*, pp. 77-78
- [12] K. Komatsu, "Hybrid optical matrix gate switches for photonic switching", *ECOC' 97, Edinbergg*, vol. 2, 1997, p. 85
- [13] R. Satoh, Y. Sakai, S. Sekine. Y. Tohmori, Y. Inoue, K. Shuto, M. Yamada, and T. Kanamori, "Hybrid integrated-wavelength-converter module using a spot-size converter integrated semiconductor optical amplifier array on a PLC platform", *OECC' 97, Seoul, 1997*, pp. 182-183.
- [14] M.Joma, "Polarization insensitive semiconductor laser amplifiers with tensile strained InGaAsP/InGaAsP multiple quantum well structure", *Appl. Phys.Lett.*, vol.62,1993, pp.121-122.
- [15] A.Ougazzaden, "Atmospheric pressure MOVPE growth of high performance polarization insensitive strain compensated MQW InGaAsP/InGaAs optical amplifier", *Electron.Lett.*, vol.31, no.15, 1995, pp.1242-1244.
- [16] B. Mersali, G. Gelly, A. Accard, J. L. Lafragette, P. Doussiere, M. Lambert, and B. Fernier, " 1.55 μm high-gain polarization-insensitive semiconductor travelling wave amplifier with low driving current", *Electron. Lett.*, Vol. 26, no. 2, Jan 1990, pp. 124-125.
- [17] N. A. Olsson, r. F. Kazarinov, W. A. Nordland, C. H. Henry, M. G. Oberg, H. G. White, P. A. Garbinski, and A. Savage, "Polarization-independent optical amplifier with buried facets", *Electron. Lett.*, vol. 25, no. 16, 1989, pp. 1048-1049.
- [18] C.E.Zah, J.S. Osinski, C.Caneau, S.G.Menocal, L.A. Reith, J.Salzman, F.K.Shokoohi, F.Favire and T.P.Lee, "Fabrication and performance of 1.5um GaInAsP travelling-wave laser amplifiers with angled facets", *Electron. Lett.*, vol.23, no.19, 1987. pp.990-992.
- [19] C.E.Zah, R.Bhat, S.G.Menocal, N.Andreadakis, F.Favire, C.Careau, M.A.Koza and T.P.Lee," 1.5um InGaAsP angled-facet flared-waveguide travelling wave laser amplifiers", *OFC'90, San Francisco, THB3,1990*.
- [20] Z. Wang, H. Farre, B. Mikkelsen, L. Eskildsen, K. E. Stubkjaer, A. J. Collar and G. D. Henshall, " Angled facet amplifiers with low reflectivity and high coupling efficiency", *Optical Amplifier and Their Applications, Monterey, ME2, 1990*.
- [21] P.Doussiere, "Recent advances in conventional and gain clamped semiconductor optical amplifiers", *Proc. of OAA'96, July, 1996*. pp.170-189.
- [22] 김종렬, "모드 크기 변환기가 접적화된 1550nm 반도체 광증폭기 소자 및 그 응용" 한국과학기술원 박사학위논문, 2000, pp.74



홍 창 희(洪彰禧, Tchang-Hee Hong)
 1969 한국해양대학교 (공학사-
 항해학)
 1974 부산대학교 (이학사-물리학)
 1977 동경공업대 (공학석사-전
 자공학)

1981 동경공업대 (공학박사-전자물리)
 1972-1979 한국해양대학교 전임강사
 1979-1983 한국해양대학교 조교수
 1982-1983 서울대학교 객원교수
 1983-1988 한국해양대학교 부교수
 1988-현재 한국해양대학교 교수



박 윤 호(朴潤浩, Park Yoon Ho)
 1985-1989 한국해양대학교 전자
 통신공학과 공학사
 1991-1993 한국해양대학교 전자
 통신공학과 공학석사
 1994-1998 한국해양대학교 전자

통신공학과 공학박사
 1999.12 -2000.11 한국과학기술연구원 Post-Poc. ~
 선임연구원
 2000.12-2001.01 LG Cable 광통신연구소 선임연구원
 2001.01-현재 Neopt다 광통신연구소(LG Cable 광통
 신 연구소에서 분리)책임연구원
 관심분야 : 광집적소자, 광기능 소자



황 상 구(黃尙九, Sang-Ku Hwang)
 1985-1990 동아대학교 전자공학
 과 공학사
 1990-1992 한국해양대학교 전자
 통신공학과 공학석사
 1997-현재 한국해양대학교 전자

통신공학과 박사과정
 주관심분야: 반도체레이저,반도체 광증폭기



김 정 호(金廷昊, Jeong-Ho Kim)
 1993-1998 한국해양대학교 전자
 통신공학과 공학사
 1998-2000 한국해양대학교 전자
 통신공학과 석사과정
 2001-현재 한국해양대학교 전자

통신공학과 박사과정
 주관심분야: 반도체레이저,반도체 광증폭기



김 운 섭(Weoun-Seub Kim)
 1991-1999 한국해양대학교 전자
 통신공학과 공학사
 1999-현재 한국해양대학교 전자
 통신공학과 석사과정
 * 주관심분야: 통신용 광소자,
 광집적소자



김 동 욱(Tong-Wook Kim)
 1991-1998 한국해양대학교 전자
 통신공학과 공학사
 1998-현재 한국해양대학교 전자
 통신공학과 석사과정
 *주관심분야: 반도체레이저,
 SOA, SLD