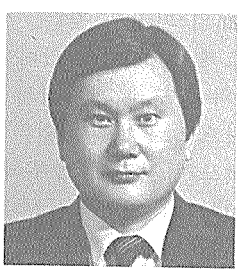
最近 光素子의 技術動向과 展望



馬 東 星

韓國電子通信研究所 基盤技術研究部 研究委員/理博

20세기에 이르러
최대의 발명품인 Laser로
정보의 전송, 처리 및 저장과 계측,
제어, 에너지 전송 및 핵 융합분야에
크게 응용·발전되어 왔다. 특히 Laser의
급속한 발전과 전자공업의 비약적인
발전으로 상호보완적 관계와
더불어 전자공업에 뒤이어
光산업은 차세대의
핵심 산업기술로
대두하고 있다.

Ⅰ. 序 論

인류의 시작과 함께 있어온 光은, 20세기에 이르러 금세기 최대의 발명품인 Laser로 말미암아 인간의 시각과 독립적인 존재로 이용,발전되어 정보의 전송, 처리 및 저장과 계측, 제어, 에너지 전송 및 핵융합분야 등에 크게 응용 발전되어 왔다.

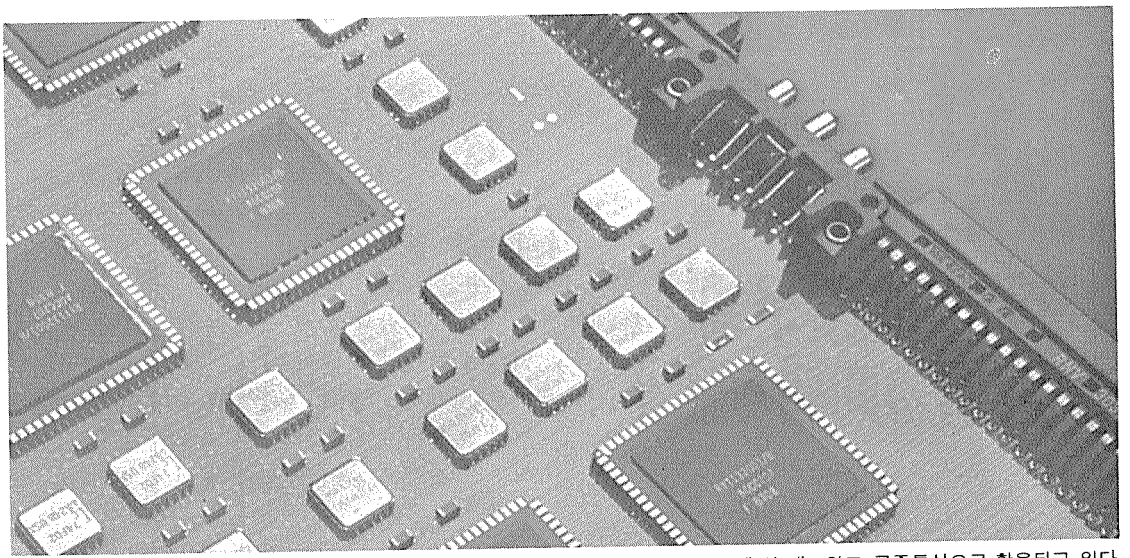
이와 같은 光의 독립적인 응용개발은 비약적인 발전을 거듭하는 전자공업과 서로 보완적인 역할을 함으로써 光관련 산업은 전자공업에 이어 차세대 핵심산업 기술로 대두되고 있다.

특히, 정보 관련 분야의 광통신 분야에서는 국내에서도 45Mb/s, 90Mb/s 광섬유 통신시스템의 상용화에 성공하였고, 현재 560Mb/s 시스템 개발에 관한 연구가 행하여지고 있다. 이와 같이, 광통신은 통신용량의 증대와 함께 전송속도의 고속화로 현대사회의 고속 대용량 정보통신망에 적합하며 컴퓨터 시스템, 컴퓨터 네트워크 및 공중통신에 활용되기 시작하였다.

또 다른 정보 관련 기술로서, 光정보의 처리, 기억 등 다음 세대의 光컴퓨터에 직접응용이 연구되고 있고, 특히 光정보의 기억시스템은 최근 실용화된 Digital Audio Disk와 Video Disk 등 ROM에 대응하는 기억 매체로 그 기억용량이 재래식 기억방식에 비해 크게 높고 저장된 정보의 수명이 매우 길어 폭발적인 수요가 예측되고 있다.

이러한 光관련 기술 분야에서 발전의 기본 요소로는 광섬유를 비롯한 광소자 등의 부품 관련 기술의 발전인 것이다. 광섬유의 경우에는, 이미 국내의 대기업에서 우수한 제품이 제작되어 판매되고 있으나, 発光 및 受光素子 등과 같은 光素子의 경우는 본격적인 연구 시작이 오래지 않다.

여기에서는 통신용 광소자를 중심으로 현재 가장 활발히 연구가 되고 있는 반도체 레이저와



광통신은 고속대용량 정보통신망에 적합하며, 컴퓨터시스템 및 네트워크, 공중통신으로 활용되고 있다.

수광소자인 광검출기, 이들 광소자와 트랜지스터와 같은 전자소자를 단일칩 위에 집적시킨 국내외의 최근 연구동향과 앞으로의 전망을 하여 본다.

Ⅱ. 半導体 레이저

반도체 레이저는 전자-정공이 재결합되는 활성층과 반도체 결정면 혹은 Grating을 반사기로 한 레이저 공진기로 기본구조가 형성된다. 반도체 레이저가 발전되기 시작하는 전류를 발진 문턱전류라고 하는데 상온 연속동작을 시키고 발생열에 의한 동작 특성의 열화를 방지하기 위해서 발진문턱전류를 낮추는 것이 중요하다.

이를 위해서는 전자-정공을 좁은 영역에 구속시켜 광이득을 높이고, 동시에 발생되는 빛을 활성영역에 구속하는 광도파로 구조를 형성시켜 유도방출 효율을 높여줄 필요가 있다. 이를 위하여 여러 구조가 제안, 발전되었으며, 대표적으로, 이득 도파형의 Planar Stripe, Proton, Bombarded Stripe, 굴절률 도파형의 BH, VSB, DC-PBH, BC, Ridge-waveguide, Mushroom, CSP, Self-aligned TSJ 등이 있다.

반도체 레이저의 발전 과정을 살펴 보면, 초기에는 0.85~0.9μm 대의 파장을 갖는 GaAlAs/GaAs반도체 레이저가 주로 연구되어 왔으나, 실리카 광섬유의 손실이 1.3μm~1.6μm에서 적은 것으로 나타나 1.3μm~1.6μm파장을 갖는 $In_xGa_xAs_yP/InP$ 반도체 레이저에 관한 연구가 1975년부터 활기를 띠기 시작했다.

또한 Optical Memory의 상품화가 실현되면서 가시영역, 0.5~0.7μm의 파장을 갖는 반도체 레이저에 관한 연구도 활기를 띠고 있다.

1970년대에 있어서의 반도체 레이저의 제작기술은 주로 통신용이었으므로 제작기술은 신뢰성, 고속성 및 단일모드 동작화에 맞추어져 개발되어 왔으나, 1980년대에 들어와서는 통신용은, 소자의 고효율를 위한 단일광집적회로(Monolithic Optoelectronic Integrated Grcuits)에 관한 연구가 가열되고 있다.

광통신의 응용 외에도 Compact Disk, Video Disk 등과 같은 內需用시장이 열림과 함께 레이저 다이오드의 시장은 폭발적으로 증가하고 있다.

여기서는 단일 모드 동작 반도체 레이저, 고출력 반도체 레이저, 가시광 반도체 레이저로 분류하여 각각에 대한 반도체 레이저를 발전동향과 특성 및 응용 등을 논하기로 한다.

1. 単一 모드 動作 半導体 레이저

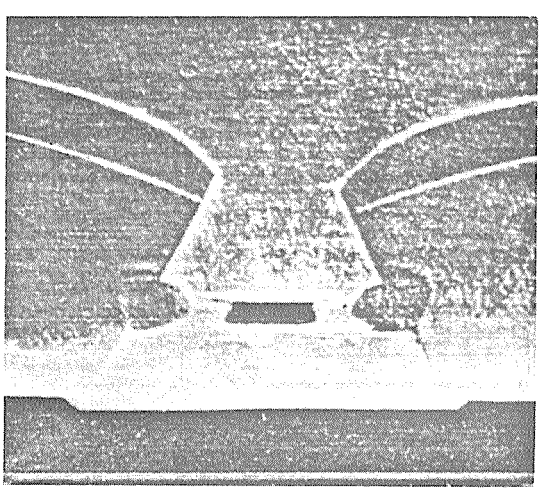
1962년 GaAs Homo Junction LD의 펄스 발진으로 시작된 반도체 레이저 연구는 1963년 H. Kreomer에 의한 Heterojunction 구조제안과 더불어 Epitaxy기술의 발달로 1970년에는 GaAlAs/GaAs LD의 실온 연속동작이 가능하였다.

그후로 발진 모드의 단일화를 위한 공진기 설계 및 제작기술이 연구되어 횡모드 구속을 위한 BH-LD가 발명되었다. 그 결과로, LD의 발진 문턱전류의 감소, 광공진현상 제거, 전류-광출력의 선형 특성을 얻을 수 있고 1970년말 AlGaAs/GaAs 반도체 레이저는 수명이 10^5시간, 통신용 반도체 레이저인 InGaAsp/Inp LD는 10^4시간의 수명이 확보되었다.

1980년대 들어서 InGaAsP/InP 1.3μm 발진 LD는 광통신의 주된 광원으로 이미 상용화가 이루어졌고, 대용량 장거리 광통신을 위한 1.3μm 및 1.55μm대의 동적 단일모드 레이저(DSM-LD)에 관한 상용화가 일부 이루어졌고, 코히어런트 통신용의 가변 레이저에 대한 연구도 진행중이다.

특히 광통신에서 대용량 장거리 통신 및 고속화의 요구에 의해서, 실리카 광섬유에서 손실이 가장 적은 1.55μm 파장대의 광통신이 설계되고 이 때의 색분산 효과를 없애기 위해서 동적 단일 모드 레이저가 필요한 것이다.

〈그림 1〉은 BH-LD(Buried Heterostrcture Laser Diode)의 단면 사진으로서, 가운데의 검은 부분이 활성 영역인데 세로, 가로 방향으로 에너지 캡이 큰 다른 층이 접합되어 있어 이에 의한 전자-정공의 전위 장벽이 형성됨과 동시에 굴절률 차이도 발생하여 빛을 활성층 영역에 구속하는 도파로 구조가 가능하다.

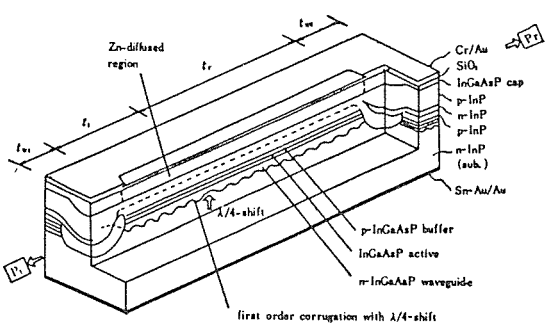


〈그림 1〉 BH-LD (Buried Heterostructure Laser Diode)의 구조

이에 의하여, 낮은 발진 문턱전류의 반도체 레이저의 제작이 가능하고 반도체 레이저의 발진 모드는 모드가 생기는 방향에 따라 횡모드, 측모드, 종모드로 분리할 수 있는데, 이러한 BH-LD로서 횡모드, 측모드는 가로, 세로폭과 두께를 조절함으로써 단일 모드 동작이 가능하나 종모드는 다중모드로 동작하게 된다.

반도체 레이저의 단일 횡모드, 단일 측모드 발진과 더불어 단일 종모드 동작을 실현시키기 위하여 지금까지 여러 종류의 구조가 제안 되었으며, 이들 중 위에서 열거한 BH, DC-PBH등의 구조에 회절격자(Grating)를 레이저 공진기의 외부 또는 내부에 형성시켜 특정한 파장 이외의 파장은 반사기 손실을 크게 하여 단일 모드 발진을 하게 하는 Distributed Feedback(DFB)과 Distributed Bragg Reflector(DBR)레이저가 가장 각광을 받고 있다.

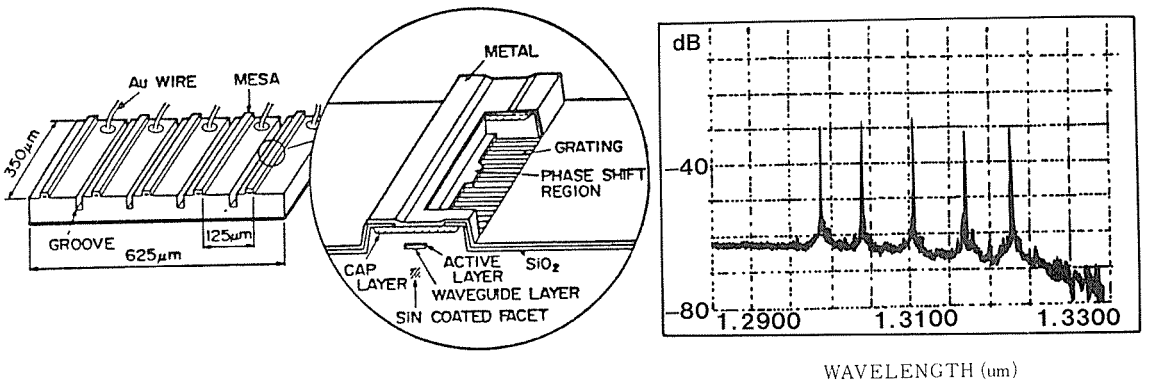
또한 모드 간격을 크게 하여 단일 모드 발진을 용이하게 하는 Short Cavity Laser, 두 Cavity의 Beat 발진을 이용한 Two Cavity Laser 등이 있다. 〈그림 2〉는 DC-PBH-DFB Laser의 구조를 나타내고 있다.



〈그림 2〉 1.55μm GaInAsP/InP DC-PBH-DFB Laser의 구조
(Double Channel Planar Buried Heterostructure Distributed Feedback)

특히, 이 분야에 관한 최근의 발표 논문 중 가장 좋은 결과로는, 일본 Mitsubishi에서 발표한 AlGaAs DFB 레이저로써 14mW 출력에서 13MHZ의 선폭을 얻어낸 것이다.

또한 단일 모드 동작으로 걸 수 있는 고속 변조에 관하여는 Bell lab. 에서 InGaAsP를 가지고 16GHZ 대역폭을 가진 34Km의 전송 실험 결



〈그림 3〉 DFB Laser의 구조와 발진 스펙트럼

과를 발표하였으며 Hitachi에서는 GaAs/AlGaAs 다층 양자 우물 레이저인 경우 P형으로 10^{19} cm^3 정도 도핑하면 50GHz이상의 대역폭을 기대할 수 있는 이론 결과를 발표하였다.

파장 집적 및 가변에 관한 것으로는〈그림 3〉에 나타난 5개의 반도체 레이저를 집적시켜 1.30~1.32μm사이에 5개의 파장을 얻어낸 Toshiba의 결과로 1GHz의 변조를 진 경우 한 파장의 불안정성은 2.5A이하, 파장과 파장사이의 Crosstalk는 -30dB이하이다.

국내의 경우에는 반도체 레이저에 대하여서는 주로 KAIST 와 ETRI에서 연구 진행되고 있으며, 1984년에 1.3μm파장의 InGaAsP/InP LD의 펄스 발진의 성공에 이어 1986년도에 실온 연속 발진에 성공하므로써 반도체 레이저에 관한 연구의 결실을 보기 시작하였으며, ETRI에서는 1986, 1987년에 걸쳐서 단일 모드 동작 LD의 실온 연속 발진에 목표를 두고 연구에 박차를 가하고 있다.

2. 高出力 半導体 레이저

수십 2mW 혹은 그 이상의 고출력 반도체 레이저는 광 디스크 기록, 고속 레이저 프린터,공중통신, 광통신 분배 회로 및 고체 레이저 Pumping등에 사용된다.

한 개의 에미터를 갖는 반도체 레이저의 출력을 높이는 기법으로는

가. 얇은 활성층을 사용하거나, Large Optical Cavity (LDC) 레이저를 제작함으로써 반사면의 손상을 방지하는 방법

나. 반사면을 굴절률이 낮은 물질로 Coating 해 주는 방법

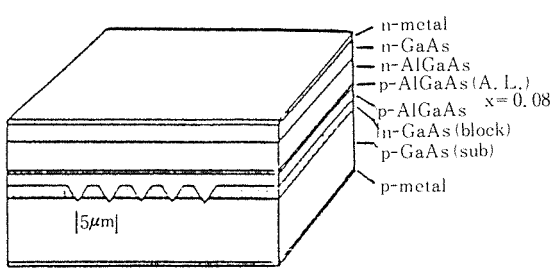
다. 비흡수 반사면을 쓰는 방법

등이 있다.

일본의 Matsushita에서는 AR Coating 및 내부 스트라잎 전류 구속 방법으로 200mW 까지, NEC 에서는 ARCoating 된 DC-PBH 레이저로 140mW까지 연속 발진시켰다.

한편 단일 소자로서 얻을 수 있는 출력에는 한계가 있으므로 이를 극복하기 위하여, 여러개의 레이저를 근접하게 위치함으로써, 레이저 사이에 위상 고착이 일어나게 하여 고출력을 얻을 레이저 다이오드 어레이가 활발히 연구되고 있다.

이러한 레이저 다이오드 어레이로써 최근에는는 10W 이상의 고출력을 얻고 있다. 〈그림 4〉는 어레이의 한 예를 보여주고 있다.



〈그림 4〉 고출력 레이저의 구조

3. 可視光 半導体 레이저

오디오 및 비디오 광디스크 레이저 프린터 및 영상정보처리장치 등 광정보처리 단말기기의 필요성이 크게 대두됨에 따라 가시광 영역의 반도체 레이저의 수요가 해마다 급증하고 있다.

이러한 수요에 따라 가시광 레이저인 AlGaInP/GaAs 및 InGaAsP/GaAs계에 대한 연구가 진행되고 있다. InGaAsP/GaAs 계인 종래의 액상 에피층 성장법(LPE)에 의해 가능하나, AlGaInP/GaAs는 MOCVD나 MBE와 같은 성장법으로만이 가능하여 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 최근에 NEC에서 저압MOCVD 성장법으로 0.616μm, AlGaInP/GaAs반도체 레이저 제작에 성공하였는데, 이 파장을 위한 조성비는 $(Al_{0.1}Ga_{0.9})_{0.5}In_{0.5}P$이었고, Al조성비를 증가시킨다면 0.587$\mu$m 반도체 레이저도 가능하다고 발표된 바 있다.

이는, 반도체 레이저의 파장 영역의 확대와 영상 정보처리 및 광정보 처리의 응용에 고무적인 것이라 볼 수 있다.

Ⅲ. 光檢出器

현재 일반적으로 이용되고 있는 광검출기로는 파장영역이 1μm이하의 Si광검출기와 가시광영역에서 1.6μm까지 감지할 수 있는 Ge 검출기가 있다.

1.3μm 파장대의 광섬유통신시스템의 광검출기로 Ge검출기가 사용되고 있으나, Ge 검출기는 잡음이 크고, 1.6μm 파장대 이상에서는 감도가 급격히 떨어지는 특성을 갖고 있어서,최근에 들어서 잡음 특성이 좋고 수십 GHz이상 초고속 동작이 가능하며 1.67μm 대까지 좋은 감도를 갖는 InGaAs광검출기의 연구가 활발히 진행되고 있고 일부 시판되고 있다.

특히, 1.3μm, 1.5μm 대의 InGaAsP/InP반도체 레이저와 구성 성분이 같아, 광집적이라는 의미에서도 기대를 갖게 한다. 특히 APD(Avalnche Photo Diode) 의 경우 InGaAs/InP 계는 〈111〉면의 Wafer 를 사용했을 경우 잡음 특성이 우수한 것으로 나타나 많은 연구가 진행되고 있다.

국내의 경우, ETRI 에서도 1986년에 LPE성장법으로 InGaAs/InP계PIN 구조 광검출기 시험 모델 제작에 성공하였고, 1987년부터, 광을 흡수하는 층과 이를 증폭시키는 층을 분리시켜 잡음 요소를 줄일 수 있는 SAM-APD의 개발에 착수하여 순조롭게 진행되고 있다.

Ⅳ. 光電集積回路

광소자들이 개별소자로써 성숙단계에 들어섬에 따라서 단위 소자의 집적은 필연적으로 이루어지고 있다. 레이저 다이오드, 광검출 등의 소자는 근본적으로 광전(Opto-electronic) 소자로서 전기신호를 광신호로 변환시키거나 광신호를 전기신호로 변환시키는 소자들이다.

그리고 신호의 증폭 및 스위치 등의 기능은 트랜지스터와 같은 전자소자를 이용하고 있다. 이러한 두가지 형태의 소자들을 단일 칩 위에 집적시킬 경우 광통신 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 그밖의 다른 시스템에서의 응용도 매우 유망하다고 볼 수 있다.

1978년 Galtech 의 Yarive 등에 의해 처음으로 반도체 레이저와 Gann 다이오드와의 집적이 이루어진 후, 광소자로써 GaAs계 및 InP 계의 반도체 레이저, LED 및 PIN광검출기와 전자소자인 FET, HBT 및 Gann다이오드 등과의 집적화 연구가 가속되고 있다.

이러한 광집적회로의 장점으로서 첫째는, 전기신호 처리회로가 집적되어 있으므로광소자의 오동작을 줄일 수 있고, 둘째로는, 주변 소자들과의 접속에서 발생하는 기생용량과 자기유도를 집적화에 의해 없앨 수 있으므로 동작속도와 잡음 특성을 개선할 수 있으며, 세째로는, 높은 집적도에 의해 간단하고 신뢰성이 높은 시스템은 싼 값에 제작 가능하다.

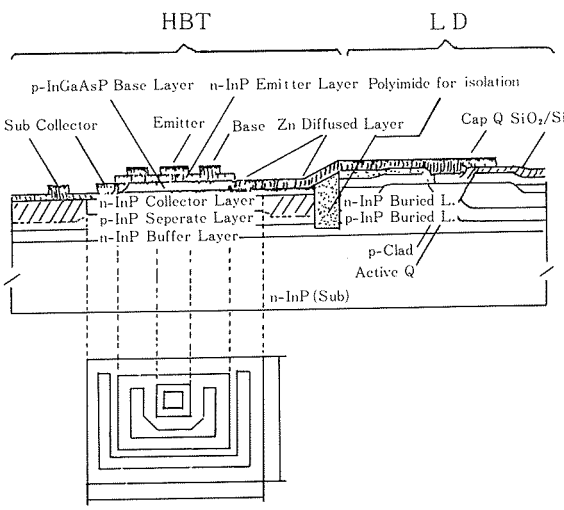
그러나 제조 공정이 전혀 다른 광소자와 전자소자를 단일 칩 위에 집적시키는 데는 여러가지 공정상의 문제가 있다. 특히 평면화 공정, 레이저의 반사면 형성기술 및 Epitaxy 등의 중요한 문제가 있다.

광전집적회로로서 선택되어지는 레이저로서는 기존의 모든 레이저가 가능하나, 집적 방법에 따라 제한되며, 전자소자의 경우에는 GaAs계에서는 MESFET 혹은, HBT를 이용한다.

InGaAsP/InP계의 경우에는 MESFET의 제작이 어려운 관계로 MISFET, HBT 및 JFET 등이 이용되고 있다.

광전집적회로를 세 가지로 분리할 수 있는데, 첫째는, 광원인 레이저와 레이저를 구동시키는 전자회로를 집적시키는 단일 칩 광송신기, 둘째로는, 광검출기와 증폭회로가 집적된 광수신기, 최종적으로는 이 둘의 기능을 합친 단일 칩 광중계기이다.

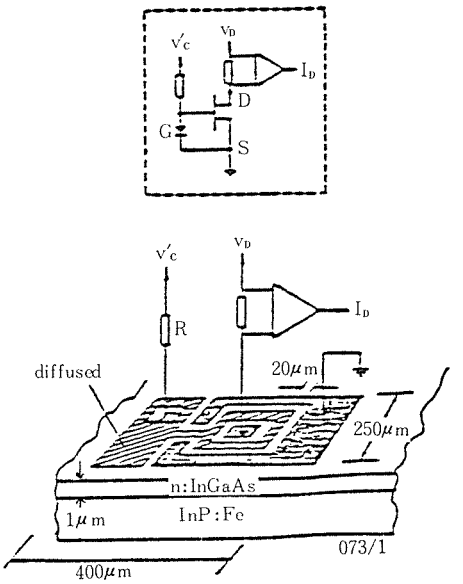
〈그림 5〉는 1984년에 Shibata 등에 의해 제작되어진 단일 칩 광송신기의 예로서 3개의 HBT와 BH-LD를 집적시킨 것이다. 이 구조는 n-InP 기판위에 트랜지스터층과 LD의 Blocking층을 공히 2단계 LPE 기술로 제작한 것으로서 1.6GHz까지 동작하였다.



〈그림 5〉 BH-LD/HBT OEIC 구조

〈그림 6〉은 1980년 Leheny에 의해 제작되어진 단일 칩 광수신기의 예로서 InGaAs/InP 계의 PIN와 MISFET을 집적시켰다. 광수신기의 경우는 레이저에서는 필수적인 도파로의 형성이 필요하지 않으므로 전자 소자와의 구성을 쉽게 이룰 수 있다.

국내의 경우에는, ETRI에서 1.3μm LD 실온 연속 발진 및 PD제작 성공의 기술을바탕으로 LD와 HBT 를 집적화시키는 기초적인 연구를 시작하였다.



〈그림 6〉 InGaAs/InP PIN/FET 광수신기의 구조와 등가회로

V. 結 論

光전자산업의 기술분야는 커다란 의미에서 광이 전자파라는 관점에서 볼 때, 정보의 전송 및 처리에 관계있는 통신공학적인 면과 상(像) 정보의 검출, 처리 및 표시 등의 화상 공학적인 면, 그리고 레이저의 고밀도 에너지를 이용하는 광에너지의 측면으로 고려될 수 있다.

이러한 것의 가장 기본적이고 핵심적인 소자가 광소자인 것이다. 발전 추세로 보아서 앞으로 5~10년 정도의 성숙기를 거쳐 1995년~2000년경부터는 현재 트랜지스터 IC가 응용단계에 있는 것같이 光전자산업 전 분야에 걸쳐 대대적으로 응용될 전망을 보이고 있다.

국내에서는 ETRI, KAIST에서 계속적인 연구를 진행하고 있으나 연구 인력의 부족, 재정적인 어려움으로 인하여 어려움을 겪고 있으나, 짧은 기간의 연구 경력임에도 불구하고 반도체 레이저의 상온 연속 발진, PIN광검출기의 제작 성공에 의한 기술 축적을 바탕으로 세계 수준으로의 도약을 꾀하고 있다.