

## 半導體레이저 製作技術의 研究動向

洪 彰 禧

(正 會 員)

韓國海洋大學 電子通信工學科 副教授

### I. 서 론

반도체레이저는 1970년대에 들어서면서 광섬유통신용 광원으로 개발되기 시작한 이래, 제작기술이 향상된 오늘 날에는 광섬유통신용 광원으로서 뿐만 아니라 광디스크, 프린터, 광컴퓨터용 등 일반 광전자산업용 소자로서 사용될 전망이 밝기 때문에, 현재 量産性을 고려한 기술개발을 주축으로하여 각각의 용도에 맞는 고성능화에 관한 構造改善 등 多角度의 연구가 이루어지고 있다.

우리나라에서도 1980년대에 들어서면서 반도체레이저의 개발이 KAIST 학사부와 ETRI를 주축으로 하여 적극 추진되어 왔고 현재 통신용에 있어서는 거의 실용화를 내어다 볼 수 있는 수준까지 기술이 축적되어 있다. 한편 KAIST 연구부에서는 量産性에 있어서 가장 주목을 받고 있는 MOCVD(metal organic chemical vapor deposition) 방법에 의한 결정성장 방법을 확보하고(AlGaAs/GaAs), 최근에는 이 결정을 사용한 可視光레이저의 제작에 관한 연구를 진행하고 있으며, 東國大學校에서는 고성능 레이저를 제작할 수 있는 MBE(molecular beam epitaxy) 기술을 확보함으로써 이들을 효과적으로 조적 운용한다면 세계적인 첨단기술과 어깨를 겨누며 연구개발을 해 나아 갈 수 있는 기초적인 터전은 마련된 것으로 보인다.

따라서 이번 반도체 특집에는 반도체레이저의 세계적인 연구동향을 소개하고 나아가 이 분야에 대한 국내연구의 효율적인 연구방향 모색 및 연구내용의 검토를 행해 보고자 한다.

참고로 반도체레이저에 대한 일반적인 소개는 국외서적으로는 G. H. B. Thompson의 Physics of Semiconductor Laser Devices,<sup>[1]</sup> Y. Suematsu의 長波長集積레이저 및 光集積回路,<sup>[2]</sup> 그리고 국내의 최근 참고자료로서는 광집적회로/광컴퓨터 현황과 장래전망에 관한

연구(1986년)<sup>[3]</sup> 및 다수의 논문과 해설 문헌<sup>[4-11]</sup>이 이미 나와 있다. 따라서 결정성장 방법 및 특성, 용도, 시장성 등에 대하여서는 상기 자료들을 참고하면 될 것으로 생각되므로 여기서는 언급을 피한다.

### II. 제작기술의 동향

반도체레이저의 제작기술에 대한 최근 국제적인 연구동향은 지난 해 10월 중순에 일본에서 개최된 제10차 IEEE의 반도체레이저에 대한 국제회의가 대표적이므로 이 회의 내용을 집약적으로 소개하고자 한다.

1970년대에 있어서의 반도체레이저의 제작 기술은 주로 통신용이었으므로 제작기술은 신뢰성, 고속성 및 단일모드 동작화에 맞추어져 개발되어 왔으나, 1980년대에 들어와서는 통신용은 장거리·고속통신용으로, 일반 광·전자산업용은 대량생산성 및 고출력화 쪽으로 양분화 되는 한편, 소자들의 고효율화를 위하여 단일광 집적회로(monolithic opto. electronic integrated circuits)에 관한 커다란 분기가 생겨나게 되었다.

그림 1은 국제회의에서 발표된 논문편수를 내용별로 분류한 도표이다. 도표에서 single mode LD는 고속장거리 광섬유통신용 반도체레이저에 관한 논문들로서 전체 논문수의 42%를 차지하고 있다. 이는 여러가지 용도에 비추어 통신용 레이저가 가장 엄격한 규격을 요구하고 있기 때문에 아직껏 이 분야에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다는 것을 암시하고 있다. 두번째로 편수가 많은 것은 integrated lasers로써 아직 상용화 단계에까지 이르지 못하는 못하고 있으나 반도체레이저의 제작기술이 향상되어 감에 따라 상당한 추세로 이 방면의 연구들이 진행되고 있음을 나타내고 있다. 세번째로 편수가 많은 것은 high power lasers로써 이는 수십 mW 이상의 고출력을 목표로 하는 연구분야이며, 장차, 광디스크, 프린터 등 일반 광전자산업의 방대한

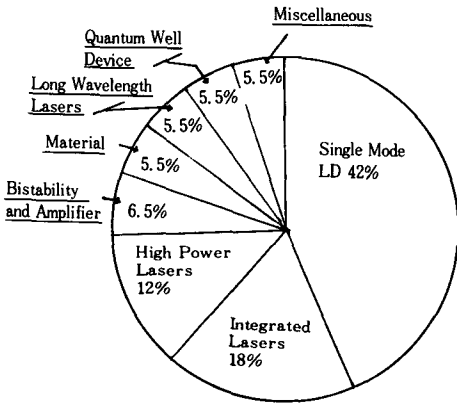


그림 1. 제 10차 IEEE 반도체레이저에 관한 국제회의에서 발표된 논문의 내용별 분류

규모를 생각한다면 우리로써는 상당히 관심을 가져야 할 분야라고 생각된다. 나머지 quantum well device는 반도체레이저의 고효율 및 고성능화를 위한 기초기술로써 MOCVD 및 MBE 기술의 발달에 힘입어 반도체레이저의 제작에 상당한 속도로 이용되어 가고 있다. Bistability and amplifier에 관한 기술은 현재 기초기술 습득단계이므로 아직까지는 독립적으로 연구되고 있는 분야이지만 머지않아 광집적회로에 이용될 것으로 보인다. 한편, fluoride glass fiber는 2-4 $\mu$ m 파장대역에서 0.1dB/km미만의 극저손실을 기대할 수 있기 때문에 최근 이 파장대역의 레이저제작 및 새로운 재료의 탐색에 관한 연구도 행하여지고 있음을 알 수 있다. 국제회의의 참가국은 미국·일본·독일 등 20여국에서 320여명이 참가했고 발표 논문수는 106편이었다.

다음 절부터는 그림 1에 분류한 내용별로 특기사항을 간추려 소개하고자 한다.

1. 단일모드 동작 반도체레이저

반도체레이저는 일반적으로 LD(laser diode)라는 기호로 표시되고 있기 때문에 이후에는 간단히 이 기호를 사용하기로 한다.

LD의 단일모드 동작을 위하여서는 지금까지 여러종류의 구조가 제안되었고, 이 구조들 각각의 성능에 대하여서는 참고문헌[3], [7]에 상세하게 소개되어 있기 때문에 여기서는 언급을 피하기로 한다.

단일모드 LD에 관련된 40여편의 논문은 거의 모두가 DFB-LD(distributed feedback LD) 구조에 관한 것이었다. 이러한 현상은 장차 집적화가 필요없는, 즉 단일모드 LD의 단일 칩(chip)만으로 충분한 곳에는 거

의 이 구조가 사용될 것이라는 것을 암시하고 있다. 한편 이 구조는 제작공정이 비교적 간단하며 planar형으로 LD를 제작할 수 있기 때문에 장차 집적화 시키는 방향으로의 연구가 이루어질 것 같다. 본 회의에서도 DFB-LD의 집적화에 관한 논문이 5편이나 발표되었다.

이와 같이 이 구조는 장차 LD의 기본적인 구조가 될 가능성을 가지고 있기 때문에 LD 제작기술에 있어서는 대단히 중요한 부분을 차지하고 있다. 그럼에도 불구하고 우리나라의 기술수준은 아직 여기까지는 미치지 못하고 있는 실정이므로 이 분야의 기술확립에 박차를 가해야 할 것으로 보인다.

표 1은 단일모드 동작을 위한 연구내용들을 세분화시켜 나타낸 것이다. 단일모드화에서 가장 관심이 큰 것은 역시 어느 정도까지 스펙트럼의 폭을 줄일 수 있을 것인가 하는 문제르, 이 분야에는 총 12건의 발표가 있었다. 발표된 논문중 가장 가장 좋은 결과는 Mitsubishi에서 발표한 AlGaAs-DFB-LD로써 14mW 출력에서 13MHz의 선폭을 얻어 내었다는 것이었다.

표 1. 단일모드 동작 LD의 연구내용 (44건)

	내 용	논문수	비 고
1	LD Spectral linewidth	18	$\Delta\nu < 13\text{MHz}$ AlGaAs-DFB
2	High Speed Modulation	9	f cut > 50GHz AlGaAs/GaAs MQW-LD
3	$\lambda/4$ Shifted DFB-LD	5	Aging Test; $5 \times 10^4$ at 50 C
4	Wavelength integration and Wavelength Tunning	6	• Integration: 5 Wavelengths • Tunning: 20 Å
5	other	6	

그림 2는 LD의 길이와 출력에 따른 선폭의 변화를 보이고 있으며, LD의 길이가 길어질 수록 선폭을 개선할 수 있다는 것을 시사하고 있다. 발표자들의 주장은 MBE나 MOCVD의 기술이 발달하면 종전의 LPE 기술에 의한 것보다 훨씬 양질의 웨이퍼를 얻어 낼 수 있으므로 보다 긴 LD를 제작할 수 있기 때문에 선폭을 더욱 개선할 수 있다는 것이었다.

두번째로 관심을 보인 것은 단일모드 동작으로 어느 정도까지 고속변조를 걸 수 있는냐 하는 것으로써, Bell

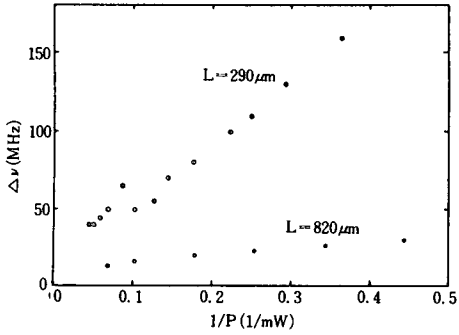


그림 2. 두개의 DFB-LD의 길이에 따른 스펙트럼 선폭의 변화(By Mitsubishi Lab.)

lab.에서는 InGaAsP-LD를 가지고 16GHz의 대역폭을 가진 34km의 전송실험 결과를 발표하였었다. 한편, Hitachi에서는 GaAs/AlGaAs-MQW-LD인 경우 P형으로  $10^{19} \text{cm}^{-3}$  정도 도우핑하면 50GHz 이상의 대역폭을 기대할 수 있다는 이론결과를 발표하였었다. 이러한 결과는 종전 LD의 직접변조 상한 주파수가 수 GHz라고 알려졌던 것에 비하면 장족의 발전이라고 볼 수 있으며 고속변조의 관점에서 MQW-LD 개발의 중요성을 인식하지 않을 수 없다.

세번째는 장거리 고속 광통신용 소자로서 지금까지 각광을 받아 왔던  $1.55 \mu\text{m}$  DFB-LD의 파장안정성에 관한 논문으로써 여기에는 5건의 발표가 있었다. 논문 중에 가장 관심을 끌었던 발표는 KDD lab.의  $\lambda/4$  shifted DFB-LD의 수명시험 결과였다. 그림 3은 이 LD의 수명시험 결과로서 장수명 동작을 하는 LD의 경우는  $I_{th}$  및 파장변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이로써  $1.55 \mu\text{m}$  LD는 장거리 광통신시스템에 사용될 수 있을 정도로 개발이 완료된 것으로 판단된다. 단, 이

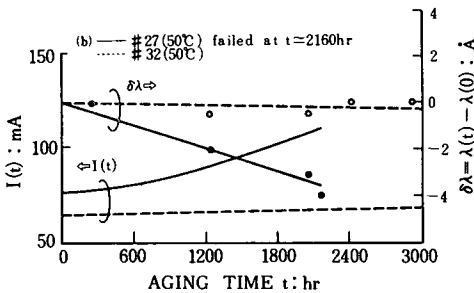


그림 3. 두개의  $\lambda/4$  shifted DFB-LD의 수명시험, 5mW출력을 위한 동작전류  $I(t)$ 와 파장변화 (By KDD Lab.)

실험에 사용된 LD는 LPE 방법으로 제작된 것이기 때문에 장차 MQW-DFB-LD 구조 등을 도입한다면 보다 더 성능이 좋은 LD를 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

네번째로는 파장집적 및 파장가변에 관한 내용이다. 그림 4는 Toshiba에서 발표한 것으로서 5개의 LD를 집적시켜  $1.30 \mu\text{m} \sim 1.32 \mu\text{m}$  사이에 5개의 파장을 얻어낸 결과이다. 1GHz의 변조를 건 경우 한 파장의 불안정성은  $2.5 \text{ \AA}$  이하, 파장과 파장사이의 크로스토크는 그림에서 알 수 있듯이  $-30\text{dB}$ 이하로서 WDM 광통신용 소자로서 상당한 수준까지 개발되어 있음을 알 수 있다.

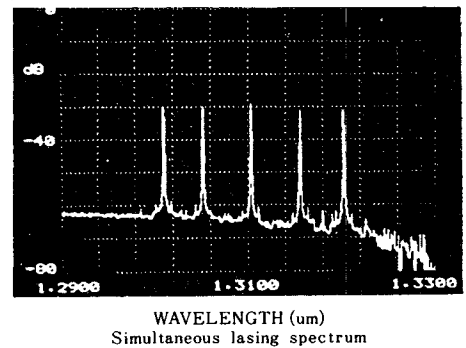
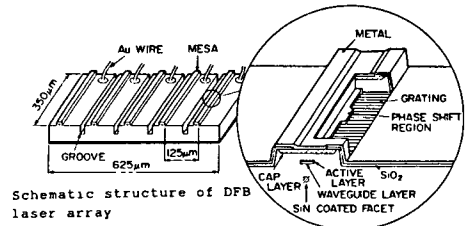


그림 4. 다섯개의 파장다중 집적화 LD (By Toshiba Lab.)

그림 5는 NTT에서 발표한 파장가변의 예를 보여주고 있다. 파장가변 방법은 그림에서 보여주고 있는 바와 같이 전류주입에 의하고 있으며, LD의 출력을 5 mW로 고정시키기 위하여 자동 광전력 조절을 시키고 있다. 파장의 가변정도는  $20 \text{ \AA}$ 으로써 측모드 억압을 30dB 이상 시킬 수 있다고 한다.

나머지는 파장안정을 위한 외부공진기 효과, 저전류 동작 LD 및 LD의 새로운 제작방법 등 이었다.

## 2. LD의 집적화

LD를 집적화시키는 기술에 대하여서는 아직도 초기

Experimental arrangement with a 1.5 $\mu$ m range multi-electrode DFB laser.

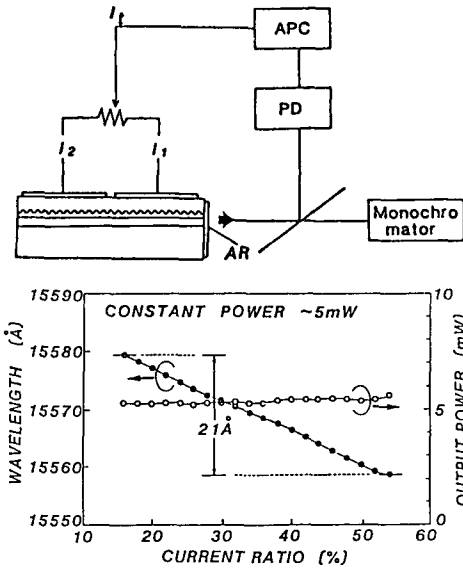


그림 5. DFB-LD의 파장가변의 예 (By NTT Lab.)

단계여서 LD, 변조기, 증폭기, 분배기 등 여러기능을 집적화시킨 예에 대한 보고는 없었다. 그러나 부분적인 집적화기술은 MOCVP, MBE 기술 향상에 힘입어 종전보다 상당히 진전된 감이 들었다. 표 2는 LD 집적화 기술을 내용별로 분류해 본 것이다.

가장 논문수도 많고 관심을 보였던 것은 LD array로써 내용은 주로 얼마나 고출력으로 어느 정도까지 지향성을 유지시킬 수 있느냐 하는 것이다.

그림 6은 Naval Research Lab.에서 발표한 40개 LD array의 지향성을 보여 주고 있다. 발표자는 LD array 10개, 20개, 40개 일때 각각 FWHM이 0.5°, 0.3°, 0.15°로서 LD의 수의 증가에 따라 FWHM은 현격하게 감소되어 간다고 하였다.

표 2. LD의 집적화(19건)

	내 용	논문수	비 고
1	LD array	8	• Far field: 0.15° • P out > 20mW / chip
2	DBR-LD	5	Ith < 30mA
3	Multi-function Integration	4	
4	others	2	

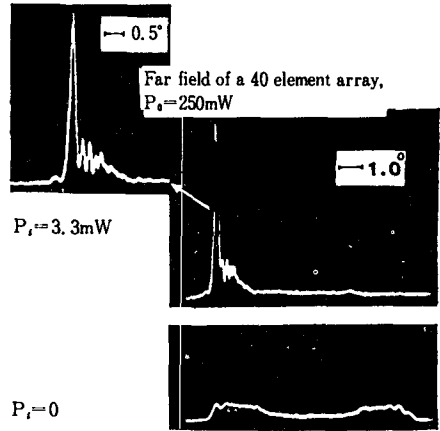


그림 6. 40개의 LD array의 지향성 (By Naval Research Lab.)

그림 7은 Mitsubishi에서 발표한 고출력 AlGaAs-LD array로서 5개의 LD에서 100mW 출력을 얻어 내고 있으며, 50°C, 100mW-CW출력으로 750시간 이상 동작되고 있다고 한다. 따라서 고출력 LD array의 상용화가 곧 이루어질 정도로 기술이 개발되었음을 알 수 있다.

두번째로는 장차 단일집적화(monolithic integration)용 단일모드 LD로 가장 유력시 되고 있는 DBR 구조

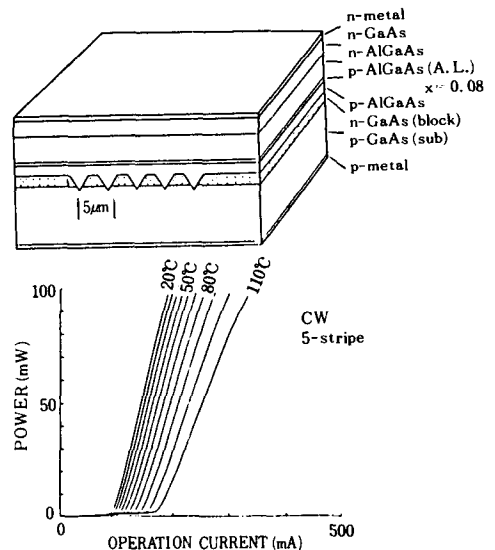


그림 7. 고출력 LD array의 출력특성 (By Mitsubishi Lab.)

의 LD로써 다섯편의 논문이 발표되었었다. 이 분야는 앞절에서 언급된 DFB 구조와 경합을 하는 분야로써 단일모드 고속직접변조에 있어서는 DFB 구조보다 파장 안정도가 좋으며 집적화시키는 것이 용이할 것으로 기대되고 있지만 아직  $I_{th}$ , 양자효율 등의 성능면에서는 DFB 구조에 미치지 못하고 있으므로 실용화를 위하여서는 보다 적극적인 연구가 뒤따라야 할 것으로 보인다. 그림 8은 Fujikura에서 발표한 DBR-LD의 특성으로써  $I_{th}=37mA$ ,  $75^{\circ}C$  까지 CW동작이 가능함을 보여주고 있다. 발표자의 발표내용에 따르면 최소  $I_{th}$ 는  $24^{\circ}C$ 에서  $28mA$ 까지 얻어낼 수 있었다고 하므로 이 구조의 LD도 거의 실용화 가능한 수준까지 기술이 향상되었음을 알 수 있다.

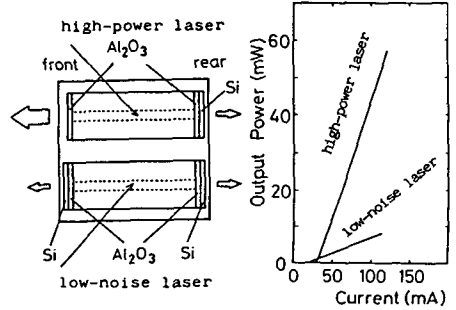
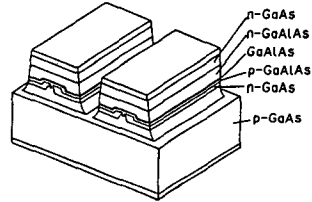


그림 9. 광디스크용 Read/Write LD array (By Matsushita Lab.)

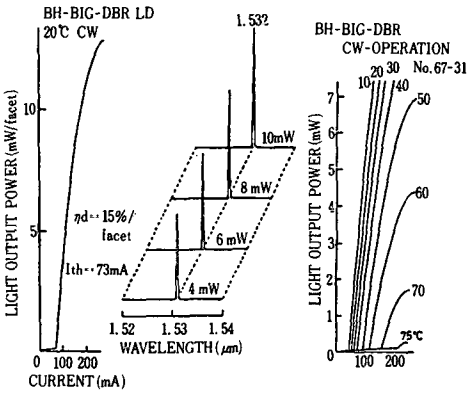


그림 8. DBR-LD의 발전 Current (mA) 특성 (By Fujikura Lab.)

세번째로는 다기능집적화 LD로써 아직 실용화 수준에는 못미친다고는 하나 4건의 발표가 있었다. 논문 중 특기할 만한 것은 NTT Lab.에서 발표한 DFB-LD와 MQW 광스위치를 집적화시킨 예로써 6V의 전압으로 90%까지 광을 소거시킬 수 있었다고 한다.

한편, Fujitsu Lab.에서는 AlGaAs/GaAs GR-IN-SCH-SQW LD와 PD, FET를 집적화시킨 OEIC Transmitter에 대한 발표를 했었다. LD의  $I_{th} < 10mA$ , 미분양자효율 45% 이상, 변조주파수 4GHz 이상이라는 대단히 양호한 결과를 얻어 내고 있어서 실용화 가능한 선까지 개발되었음을 보여주었다. 한편, Matsushita에서는 그림 9와 같은 광디스크용 read/write LD array에 관한 발표가 있었다. Read-LD는 수 mW 미만의 저출력 LD로 상대잡음강도(relative intensity noise)가  $-135dB/Hz$  미만, 그리고, Write-LD는 40mW

이상의 고출력 LD로 구성되어 있다.

기타로는 장차 집적화 LD를 만드는데 있어서 상당히 중요한 기술중 하나인 dry etching에 의한 LD의 거울면형성 기술에 대하여 2건의 발표가 있었다.

그림 10은 France의 Centre Nationed d'Etudes des Telecommunications에서 발표한 Ar-ion beam etched mirror-LD의 동작특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 etched mirror의 특성은 cleaved mirror의 특성과 거의 차이가 없다. 여기서 etched mirror면은 0.05%  $B_{r2} : CH_3OH$  용액으로 손상된 면을 살짝 걷어 내었다 한다.

### 3. 가시광 및 고출력 LD

가시광 및 고출력 LD를 개발하는 목적은 주로 광디스크 및 레이저 프린터용에 있다. 이 분야의 발표논문수는 13편으로써, 가시광에 중점을 둔 것이 6편, 고출력 쪽에 중점을 둔 것이 7편이었다. 장차 이 두분야는 한 분야로 합쳐질 것이지만, 현재로서는  $0.7 \sim 0.8\mu m$  대역의 LD는 고출력 쪽으로 기술개발을 해나가고 있으며,  $0.7\mu m$  미만의 파장 대역은 새로운 재료를 이용해서 계속 단파장쪽 LD를 개발해 나가고 있는 실정에 있다.

이번 회의에서 최단파장 LD는 NEC의 Opto-Electronics Research Lab.에서 발표한 AlGaInP LD의  $6160\text{\AA}$  이었다. 이 파장을 위한 조성비는  $(Al_{0.1} Ga_{0.9})_{0.5} In_{0.6} P$ 로서 GaAs를 기판으로 하여 저압 MOCVD 방법

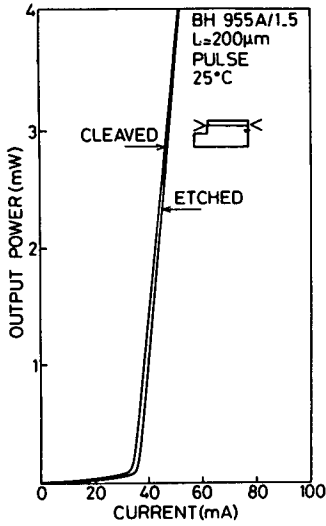


그림10. Ar-ion beam etched mirror-LD의 발전특성 (By France, Centre Nationed d'Etudes des Telecom. Lab.)

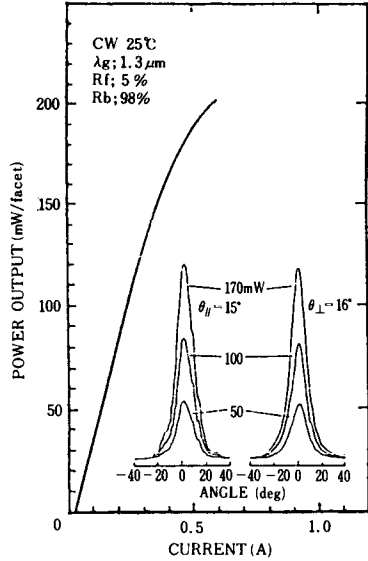


그림11. 고출력 단일 칩 LD의 출력특성 (By OKI Elect. Lab.)

에 의해 제작되었고, Al 조성비를 증가시키다면 5870 Å 까지도 얻어낼 수 있다고 한다.

한편, 단일 chip으로 가장 고출력 LD는 OKI에서 발표한 1.3μm LD의 200mW였다. 그림11은 이 LD의 출력특성으로써 출력쪽 거울의 반사율은 5%, 뒷면 거울의 반사율은 98%로써 출력 거울의 반사율을 높여 주면  $I_{th}$ 는 감소하나 출력효율과 최대출력 역시 감소한다. 지향성도  $\theta_H, \theta_V$  모두 15°~16°로써 단일 chip LD로서는 상당히 양호한 편이다.

4. 쌍안정 LD와 광증폭소자

이 분야에는 6 편의 논문이 발표되었었다. 전체적인 분위기는 아직도 이 분야는 기초연구단계에 있음을 알 수 있었다. 논문중 가장 관심을 끌었던 것은 東京大學에서 발표한 광쌍안정성을 이용한 광증폭기였다. 피증폭 광의 파장을 증폭기의 파장에 일치시킨다면 수천 배 이상의 증폭효과가 있으며, 광쌍안정 동작에 있어서는 스위칭 속도가 100ps 미만이라 한다.

5. 장파장 LD와 재료

이 분야에는 12편의 논문이 발표되었었다. 특기할만한 것은 이들 중 일본에서 발표한 논문은 단 두편 밖에 없었다는 것이다. 미국이 6편으로 전체 수의 반을 차지하였고, 나머지는 프랑스, 소련, 중국, 독일에서 각각 한편씩의 발표가 있었다. 새로운 형의 소자를 고안 한다거나, 소자의 실용화를 위한 분야에 대하여서는 일본의 논문 수가 압도적으로 많았던 것을 생각한

다면 일본의 연구풍토와 방법은 다른 나라와는 상당히 차이가 있는 것 같다.

장파장쪽 LD에 대하여서는 Bell Lab.에서 발표한 GaInAsSb/AlGaAsSb DH-LD가 220K까지 연속동작을 했다는 것이다. 이 온도에서  $I_{th}$ 는 120mA로서 이는 장차 상온 CW화도 가능할 것이라는 기대를 가져다 주고 있다. 발전파장은 2~4μm 사이로서 장차 fluoride glass fiber를 사용하는 초장거리 광섬유통신(중계기 간격 수 천 km)용 광원으로써 발전될 전망이다.

재료부면에서 관심을 집중시켰던 것은 Bell Lab.에서 발표한 chemical beam epitaxi 방법이였다. 이 방법은 종래의 MOCVD와 MBE의 장점을 따서 병합시킨 기술로서, 장차 상당한 속도로 연구발전될 가능성이 있다. 성장온도는 550°~600°C, 진공도는  $\sim 10^{-4}$  Torr이고 성장속도는 2~4 μm/hr로써 MBE에의 한 속도보다 배이상 빠르다.

두번째는 Si 기판을 이용한 LD의 제작이었으나 아직 실은 연속동작에는 미치지 못하고 있었다.

세번째는 France의 THOMSON-CSF에서 발표한 LP-MOCVD에 의하여 제작된 1.3μm~1.5μm LD의수명 시험결과였다. 70°C에서 1만 시간 이상 수명을 가지고 있다고 하니 MOCVD 기술도 상용화 수준까지 도달되었다고 보인다.

6. Quantum Well 소자

이 분야는 MBE나 MOCVD 그리고 앞절에서 언급한

CBE에 의하여 초박막 성장을 하는 분야로서 1980년대에 들어서면서 급격하게 발전되었고, 현재, 고성능 LD를 만드는 데에 커다란 기여를 하고 있다. 처음에는 AlGaAs/GaAs, InGaAsP/InP에 관한 연구가 대부분이었으나, 지금에 와서는 GaSb/AlSb 등 새로운 재료의 박막성장에 관한 연구도 행하여지고 있다.

발표된 논문중 가장 뛰어난 것은 Sanyo에서 발표한 외부양자효율 80%를 가진 SCH-LD였다. 발표자에 따르면 이 LD의 내부양자 효율은 95%에 달한다고 한다. 그림 12는 AlGaAs-SCH-LD의 광출력 특성을 보여주고 있다.

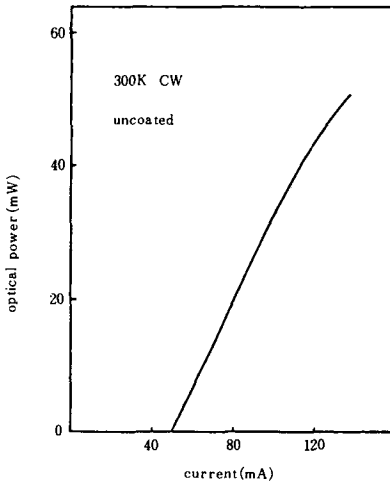


그림 12. AlGaAs-SCH-LD의 광출력 특성 (By SANYO Lab.)

이로써 1차원 quantum well 구조에 대한 기술 개발은 거의 실용화 단계에 접어들었다고 볼 수 있다. 그러나 2次元 3次元 quantum well 구조를 가지면 훨씬  $I_{th}$ 를 줄일 수 있고 파장선택성이 양호할 것이라는 이론해석이 발표되었으므로,<sup>[8]</sup> 장차 이 구조의 제작에 관한 연구들이 진행될 것으로 보인다.

7. 기타

기타에는 5건의 발표가 있었다. 이들 중 특기할 만한 것은 Cal. Tech.에서 발표한 그림 13과 같이 HBT와 LD를 수직으로 집적시킨 것이다. 이 LD의  $I_{th}$ 는 30mA이고, 16mA의 베이스전류( $I_b$ )로 40mA의 콜렉터전류( $I_c$ )를 흘릴 수 있었고, 이때  $\beta$ 는 20이었다 한다. 한편,  $I_c > 100mA$  경우에는 100이상의  $\beta$ 를 얻을 수 있었다 한다. 이 구조는 LD의 고속동작이 가능하므로 향후 지속적인 연구가 이루어질 것으로 기대된다.

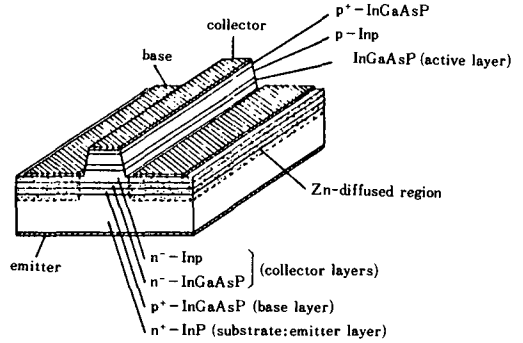


그림 13. HBT와 LD를 수직으로 집적시킨 예 (By Cal. Tech.)

Ⅲ. 국내·외 연구동향 분석

광·전자산업의 기술분야는 크게 광이 전자파라는 관점에서 볼 때 정보의 전송 및 처리에 관련된 통신 공학적인 기술과 함께, 영상정보의 검출, 처리 및 표시 등의 화상공학적인 기술, 그리고 레이저의 고밀도에너지를 이용하는 광에너지 기술로 나누어 볼 수가 있다. 반도체레이저는 장차 이런 분야에 사용될 핵심소자로서, 앞 절에서 설명해 온 바와 같이 반도체레이저의 제조기술은 역사적으로 볼 때 발아기, 성장기를 벗어나 이제 성숙기에 접어든 감이 든다. 발전추세로 보아 앞으로 5~10년 정도의 성숙기를 거쳐, 1995년~2000년경 부터는 현재 트랜지스터, IC가 응용단계에 있는 것과 같이 광·전자산업 전 분야에 걸쳐 대대적으로 응용될 확실한 전망을 가지고 있다.

따라서 본 절에서는 앞절에서 지적한 선진기술의 동향을 토대로 하고, 우리나라의 기술여건을 고려하여 기술도입 전략에 대하여 고찰해 보고자 한다. 단, 이 분야는 광·전산업기술 중 기초기술 분야인 한편, 향후 10여년 이내에 기술정착이 이루어져야만 응용기술면에 있어서는 선진기술과 어깨를 나란히 하여 부가가치가 높은 상품을 창안, 제작해 낼 수 있기 때문에 조속한 시일내에 국가적인 차원에서 자세한 검토가 이루어져야만 할 것이다. 따라서, 여기에서는 상세한 기술분석 및 검토는 피하기로 하고, 대체적인 윤곽만 살펴보기로 한다.

표 3에는 반도체레이저 제작기술에 대하여 국내·외 기술 현황 및 개발목표 또는 방향을 요약하여 보았다. 뚜렷하게 구분지을 수는 없으나 대략 고성능은 통신용과 정보처리용이고, 고출력은 군수용을 포함한 일반 광·전자산업용이다. 표에서 파장과 OEIC는 기술개발이

완료된 연후에는 결국 고성능, 고출력으로 구분될 수 있겠지만, OEIC는 아직 기초기술 확립단계에 불과하며, 파장에 있어서 7800Å~8500Å 대역 및 1.3μm~1.5μm 대역은 이미 상용화 단계에 들어설 정도이지만, 보다 단파장 또는 보다 장파장쪽은 아직 재료탐사 및 기초기술개발 단계에 있으므로 우리나라에서도 이 분야는 일찍부터 선진기술에 참여할 수 있는 가능성이 크기 때문에 이들을 따로 열거해 놓았다.

표 3. 국내의 LD 기술의 비교

분야	내 용	기술 정도		선진기술 목표 또는 연구방향
		선 진	국 내	
고 성 능	단일모드	○	△	상 용 화
	고속변조	50GHz	×	100GHz이상
	파장가변	20Å	△	100Å, 실용화
	파장다중	5파	×	수십파, 상용화
고 출 력	저 전 류	2~5mA	20~50mA	1mA이하
	단 일 칩	200mW	×	~300mW, 실용화
	Array	2.5W	△	~10W, 실용화
	지 향 성	0.1°	×	0.1°미만, 실용화
파 장	가 사 파 7800Å	○	△	고출출력, 대량생산
	6000Å	6200Å	×	5000Å미만, 실용화
	1.3μm~1.5μm	○	실 용 화	대량생산, 고성능화
	2μm이상	2.8μm	×	실연연속동작, 실용화
OEIC용		△	×	실용화

○ : 확립, △ : 착수, × : 미착수

표에서 알 수 있듯이 거의 모든 부문에 걸쳐 선진기술은 실용화 및 상용화 단계에 들어섰는데 비하여, 국내기술은 불과 중요한 몇몇 부문만 제외하고서는 아직도 대부분 미착수 상태에 있다.

표에 나타나 있는 규격과 성능을 가진 반도체레이저를 제작하기 위한 기초로서는 우선 재료, (단결정성장, 고순도 반도체재료 정제기술), hetero epitaxi 기술, 공정기술, 측정 분석기술 등이 필요하다.

이 모두를 10년내에 소정의 수준까지 끌어 올린다는 것은 장비, 연구비, 숙련된 연구 인력 모든 면에서 무리인 것처럼 보인다. 우선 재료는 상당한 기술축적이 있어야 하는 부문이므로 별도로 장기적인 계획을 세워 추진을 해나가도록 하고, 나머지 부문은 한데 묶고 또 우리나라의 관련 모든 연구·학술기관이 모두 한 연구기관 안에 속해 있는 것과 같은 정도의 조직력을 발휘할 수만 있다면 10년내에 소정의 목표달성은

낙관적이라 볼 수 있다.

이것은 다음과 같은 사실로부터 긍정적으로 받아들여질 수가 있다. 첫째, heteroepitaxi 기술은 LPE, MOCVD, MBE가 이미 도입되어 현재 정상 가동되고 있으며, 둘째, 공정기술은 Si 반도체에서 이미 VLSI 수준급 기술까지 도입, 또는 개발되어 있기 때문에 이들을 약간 변형 또는 추가 적용하면 되고, 셋째, 측정·분석쪽도 Si 반도체 기술에서 약간 추가·변형하여 적용시킬 수가 있기 때문이다.

표 4는 위와 같은 상황, 즉, 조직적 연구품도가 마련되었다고 가정하고 우리나라가 취해야할 기술개발 단계를 종합해 본 것이다.

표 4. 국내 연구개발 추진단계

단계	목표	년 도	내 용	비 고
1	도입	1980~1985	LD 제작기술	LPE, MOCVD, MBE등의 장비운영기술 확립
2	정착	1985~1990	일반구조 LD 실용화	BH, DFB, DBR, QW, OEIC 기초 연구 및 측정분석 기술확립
3	응용	1990~1995	·일반구조 LD 상용화 ·선진기술 규격에 도전	QW, 초격자에 의한 고성능, 고출력 LD의 실용화 및 장비의 개발

단적으로 본다면 고성능, 고출력 LD를 만들기 위하여서는 장치 MOCVD, MBE, 또는 CBE 등에 의한 quantum well, 또는 superlattice구조의 결정성장 기술과 E-beam lithography, Ion-beam etching 등 정밀 가공기술만 확보된다면, 나머지는 부수적으로 해결되어 나가리라 생각되기 때문에 이 부문을 주축으로 하여 집중적인 연구투자가 이루어져야 할 것이다.

#### IV. 결 론

지금까지 반도체레이저의 개발에 관한 선진 연구동향을 제 10차 IEEE 반도체레이저에 관한 국제회의의 주요 내용을 소개 정리하였고, 이 분야에 관한 국내 연구현황을 비교하여 다음과 같은 사항을 기술하였다.

선진기술은 몇몇 새로운 부문을 제외하면 거의 실용화 내지 실용화 단계에 들어서 있다. 한편, 우리나라는 heteroepitaxi(LPE, MOCVD, MBE)에 의한 결정성장 기술 및 간단한 구조의 LD 제작기술 만이 기술도입 단계를 벗어나 이제 막 기술정착 단계에 들어섰고, 대부분은 아직 개념 형성도 되어 있지 않은 상태에 있음을 지적하였다. 한편, 국가적인 차원에서 이 분야의



기술을 10년내에 도입 정착시켜야 한다는 당위성을 지적하였고 이를 위하여서는 다음과 같은 추진전략이 필요하다는 것을 제안하였다.

(1) 조속한 시일내에 국가적인 차원에서 10년 정도의 장기 계획을 수립하여야 한다.

(2) 학술: 연구계의 장비, 인력, 예산을 마치 한 연구기관 내에 있는 것과 같은 조직력을 발휘할 수 있도록 협력체제를 수립해야 한다.

(3) 초박막, 초격자, 초정밀 가공 부분의 기술을 뼈대로 한 연구체제를 확립하고 창구를 일원화하여 집중적인 예산지원이 있어야 할 것이다.

### 參 考 文 獻

- [1] G.H.B Thompson, *Physics of Semiconductor Laser*, John Wiley & Sons, 1980.
- [2] Y. Suematsu, *Longwave Integrated Lasers and Opto-electronic Integrated Circuits*, Ohm, 1985.
- [3] 권영세, "발광소자" 광집적회로/광컴퓨터 현황과 장래전망에 관한연구" 과학기술처 연구보고서, N 199-2429-9, 1986.
- [4] Y. Suematsu, III-V Compounds Light Emitting Devices.  
Q. Kim, State of the Art in Integrated Optical Communications.  
이상, Proceedings of 1982 Seoul International Symposium on the Physics of Semiconductors and its Applications, Korean Physical Society, 1982.
- K. Iga, Present Status of Optical Devices Development for Communication.
- 홍창희, Light Source & Detectors.
- 권영세, Integrated Optics.  
이상, 光通信技術 短期講座, 電子工學會, 1983.
- 김대만, Nonlinear Optics: Phase Conjugate Waves and Picosecond Semiconductor Lasers.
- 심상근, Review of Electro-Optic and Optical Device Technology for Optical Communication.
- 홍창희, 광통신용 광소자  
이상, '83 국내의 한국과학기술자 학술회의 논문집, 추계 Workshop편, 한국과학기술단체총연합회, 10월 26일, 1983.
- Progress in Light Sources for Optical Fiber Communication.
- 오신무, Progress in Light Sources for Optical Fiber Communication.
- 홍창희, 1.3 $\mu$ m InGaAsP/InP 반도체레이저의 실온연속동작
- 강광남, Compound Semiconductor: Optical and High Speed Application.  
이상, '85 국내의 한국과학기술자 학술회의 논문집, 추계 Workshop편, 한국과학기술단체총연합회, 11월, 1985.
- S. Wang, Semiconductor Laser Arrays.
- K. Ploog, Molecular Beam Epitaxial Growth of Low-dimensional Semiconductor Structures for Advanced Devices.
- H. Kukimoto, Laser Assisted Metal-organic Vapor Phase Epitaxy of GaAs and AlGaAs.
- J.L. Merz, Materials and Devices for Opto-electronic Integrated Circuits.
- K. Kaminishi, Heteroepitaxial Growth of GaAs on Si and its Application to the Electron Devices.
- E-H. Lee, III-V Compound Semiconductors On Silicon for Monolithic Integration of High Speed I.C. and Opto-Electronic Devices.
- H.S. Oh, Array Mode Characteristics of Channeled Substrate-Planar Semiconductor Laser Arrays.  
이상, Proceedings of 1986 Seoul International Symposium on the Physics of Semiconductors and its Applications, Korean Physical Society, 1986.
- [5] 신동혁등, "1.3 $\mu$ m InGaAsP/InP 반도체레이저의 발진특성" 전자공학회지, 제22권 제4호, pp. 375, 7월, 1985.
- [6] 유태경등, "1.3 $\mu$ m GaInAsP/p-InP BH형 레이저의 상온연속 발진" 전자공학회지, 제23권, 제6호, pp. 780~788, 11월, 1986.
- [7] 홍창희, "단일모드 반도체레이저", 1986년도 III-V 화합물반도체 Workshop, 전자공학회, 8월, 1986.
- [8] M. Asada, Y. Miyamoto and Y. Suematsu, "Gain and the Threshold of Three-Time Dimensional Quantum-Box Lasers," Tech. Group Meeting on Opto-and Quantum Electron., IECE of Japan, OQE85-74, Sept. 1985. \*