# Beam-Lead를 이용한 Laser Diode의 제작과 열저항특성

*조 성 대 °조 규 석 양 오 승 권 영 세

한국과학기술원 전기및 전자공학과 한국전기통신공사

# Fabrication of Laser Diodes using Beam-Lead and its thermal characteristics

*Seong Dae Cho °Gyu Seog Cho O Seung Yang Young Se Kwon

Dept. of Elec. Eng. KAIST, * KTA

ABSTRACT

For the effective heat transfering in Laser Diodes, Beam-Lead structure were introduced which is applicable to hybrid Optoelecrtonic Integrated Circuits. A 5-layer planar structure Laser Diode is fabricated and Beam-Lead is made by Au plating. And carrier was made by etching Si substrate and LD was mounted on a carrier. The thermal resistance was measured and we could certain that Beam-Lead structure behaves well as a heat sink.

## I. 서 론

반도체 소자의 대규모 집적화에 따라서 방열은 큰 문제로 대두되었는데 특히 열전도도가 작은 GaAs계열의 OEIC에서 문제시되고있다. Laser Diode와 같이 온도에 상당히 민감한 소자의 경우 IC화하였을때 wire bonding과 같은 기존의 방법으로는 동작시 활성층내의 온도상승은 수십도에 해당하는 큰 온도차이를 보이게 되며 이로인해 발진개시전류및 광power는 상당히 영향받게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 두꺼운 Au pad를 이용한 Beam-Lead를 제안하였다. Beam-Lead를 이용하면 Au의 큰 열전도도로 인해 활성층에서의 온도를 상당히 떨어뜨릴수 있다. 또한 wire bonding 방법에 비해 linc의 inductance 현상을 무시할수 있으므로 고주파소자에의 적용에도 크게 기대된다. Laser Diode의 경우 그림 1에서와 같이 Si carrier에 얹을수 있어 Beam-Lead를 이용해 hybrid 소자로서 적용할수 있음을 보였으며 Beam-Lead로 인해 열저항이 개선됨을 확인하였다.

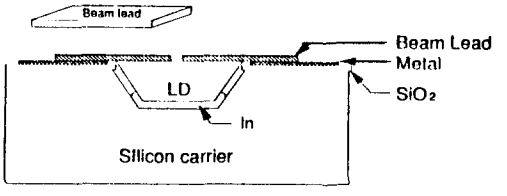



그림 1. hybrid 소자구현을 위해 Beam-Lead를 이용해 Si carrier위에 얹은 모양

## II. Beam-Lead 구조 레이저다이오드

반도체 레이저다이오드는 그 발진특성이 온도에 상당히 영향을 받는데 다음과 같은 실험식으로 주어진다.

$$I_{th} = I(T_1)\exp(\frac{T - T_1}{T_o}) \quad (1)$$

GaAs 계열의 경우 $T_o$는 활성층에서의 장벽높이나 doping 농도에 따라 다른데 대략 150~180의 값을 가진다.[1] 활성층에서 발생하는 열을 빼내기 위해서 개별소자인 경우 활성층에 가까운 면을 열전달율이 좋은 Cu나 diamond heat sink에 In bonding과 같은 기법으로 잘 접착시켜 방열을 시킬수 있다. 하지만 레이저다이오드가 hybrid IC나 OEIC에 응용될때는 이와같은 방법으로는 할수가 없으므로 단순히 열전달율이 나쁜 기판을 통한 방열에만 의존하게 된다. 그림 2에 레이저다이오드내에서의 열의 전달통로를 나타내고 있다.

여기서 $SiO_2$는 thermal conductivity가 매우 작아 thermal barrier로 볼수 있다. 표 1에 몇가지 물질들의 열전도도를 나타내고 있다. 그림 2에서 기판을 통해 Cu heat sink로 방열될 경우 열저항이 매우 크므로 이로인한 활성층내의 온도상승은 매우 커지게 된다. 따라서 그림에서와 같이 Au Beam-Lead를 형성하여 열의 전달을 잘 시켜주어야 할 필요가 있다. 레이저다이오드에 있어서 heat sink점의 온도와 실제 활성층에서의 온도차이는 다음과 같은 열저항으로 흔히 표현된다.

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{P_{in}} \qquad (2)$$

여기서 $P_{in}$은 power dessipation이며 $V \cdot I - P_{opt}$로 나타낼수 있는데 발진개시 이하의 전류에서는 광출력($P_{opt}$)은 무시할만하다. $\Delta T$는 활성층내의 온도와 heat sink점의 온도간의 차이이다.

표 1. 열전도도 [W/cm·°C], 300K

| | | | |
|---|---|---|---|
| GaAs | 0.46 | Si | 1.5 |
| $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ | 0.13 | Cu | 4 |
| $SiO_2$ | 0.014 | Au | 3.18 |
| In | 0.87 | type II Diamond | 20 |

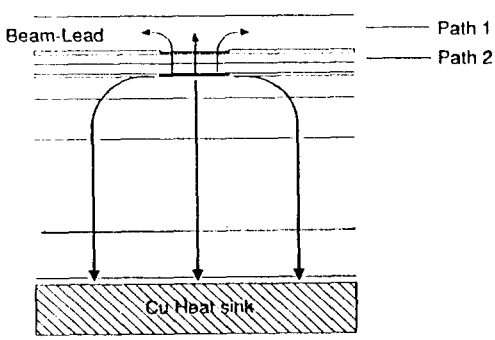



그림 2. 레이저다이오드내에서의 열의 전달통로

III. 공정

Hybrid 소자용 Beam-Lead 구조 레이저다이오드는 다음과 같은 공정을 거쳐 제작되었다.

o LPE system을 이용한 5-layer 성장

o $SiO_2$ sputtering

o p-ohmic용 $SiO_2$ opening및 AuZn 증착

o liftoff및 p-alloying

o n-ohmic용 $SiO_2$ opening및 AuGe/Ni 증착

o liftoff및 n-alloying

o Ni 증착후 Au plating으로 Beam-Lead 형성

o backside 연마

o Front-back align을 이용한 backside etching

Beam-Lead 제작시 Au를 선택한 이유는 Au가 thermal conductivity가 크고 또한 알맞은 전기분해능을 가지고있기 때문이다. Au plating을 이용해 Beam-Lead를 제작한 경우 그림 1에서와 같이 hybrid 소자로 이용하기 위해서는 Beam-Lead는 LD를 지지할수 있을만큼 충분히 두꺼워야 하는데 plating된 Au의 두께가 4μm이상이면 Beam-Lead를 이용한 LD의 지지가

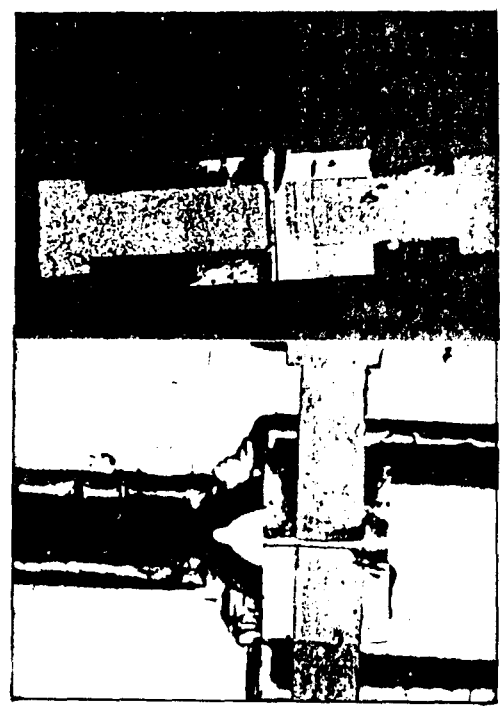


그림 3. 제작된 Beam-Lead 구조 LD와 이를 Si carrier위에 얹은 모양

가능하였다.

또한 Si 기판을 이용하여 LD를 얹을수 있는 carrier를 제작하였는데 $SiO_2$로 전면을 마스킹한 후 원하는 부분만을 KOH: Normal propanol: $H_2O$ = 2:1:3을 이용해 70°C~80 °C에서 V-groove형태로 etching하였다. 이 etchant는 [111]면에 비해 [100]면의 etching 속도가 약 100배정도 되이서 약 54°의 경사면을 형성한다.[2] LD의 뒷면을 etching해낼 경우 이와 거의 같은 각도를 가지기 때문에 그대로 얹을수 있다. 또한 방향에 따른 용액식각속도가 크게 다르기 때문에 Si 식각시 mask opening의 폭을 조절함에 따라 국부적으로 높이가 다른 V-groove를 만들수 있다. 이 특성을 이용해 Si carrier위에 LD를 얹는 부분과 광파이버를 연결할수 있는 부분을 동시에 식각해낼수 있었다. 제작된 Beam-Lead구조 LD와 이를 Si carrier에 얹은 사진이 그림 3에 있다. Si carrier위에는 metal pattern을 이용해 다른 소자와의 연결이 가능하게 하였다. LD의 취급은 carrier에 얹은 상태에서 행해졌는데 그로 인해 취급하기가 매우 편리하였다. 제작된 LD의 전압대 전류곡선은 그림 4와 같았으며 직렬저항은 5~20Ω이었다.

## IV. 열저항 측정

열저항을 측정하는 방법으로 여러가지가 알려져있는데[3],[4] 흔히 사용되는 방법으로 온도에 따른 레이저다이오드의 발진개시전류 변화를 측정하는 방법과 온도에 따른 다이오드의 발광 spectrum 변화를 보는 법이

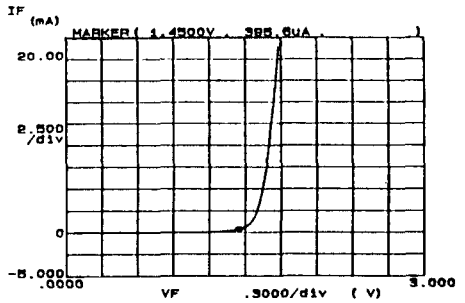



그림 4. 제작된 레이저다이오드의 전압-전류 특성

많이 사용되고있다. 레이저다이오드의 발진개시전류를 매개체로 이용하는 방법으로는 레이저다이오드의 구동전류의 pulse폭을 바꾸어가며 threshold current를 측정함과 동시에, heat-sink지점의 온도를 바꾸어가며 threshold current의 변화를 측정하여 그 비율을 산출하는 것이다. 즉

$$R_{th} = \frac{\Delta I_{th}/\Delta P_{in}}{\Delta I_{th}/\Delta T} \tag{3}$$

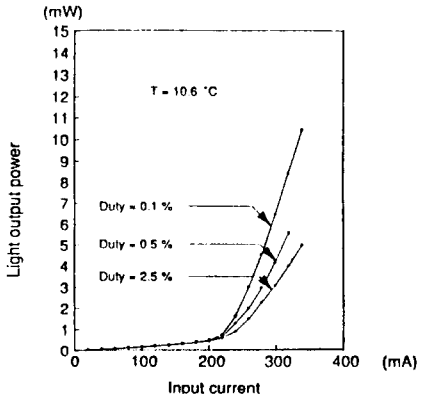
input power의 변화는 구동전류의 duty를 바꾸어서 변화시켰으며 온도변화는 peltier diode를 이용하였다. 그림 5에 이렇한 방법을 이용하여 열저항을 측정하는 과정을 보이고있다. 이때 pulse로 LD를 구동할 경우 구동전류의 pulse width및 repeatition period는 열확산계수와 활성층으로부터 heat sink점까지의 거리를 고려하여 결정하여야 한다.[5] GaAs의 경우 열확산계수는 약 2.8 $cm^2/s$로서 1μm을 진행하는데는 약 40 ns, 100 μm을 진행하는데는 약 360μs가 소요된다. 그림 5에 나타난 레이저다이오드의 경우 열저항이 114 °C/W이었는데 이는 Beam-Lead가 전체면적의 67%만을 덮었기 때문에 이론적인 값보다 크게 나왔다. 1차원적인 근사해석에 의하면 Au가 충분히 두껍고 100%모두 덮을경우 71 °C/W이었다.

또다른 방법으로 온도에 따른 spontaneous emission의 peak spectrum의 변화를 측정하는 방법으로 다음과 같이 쓸수 있다.

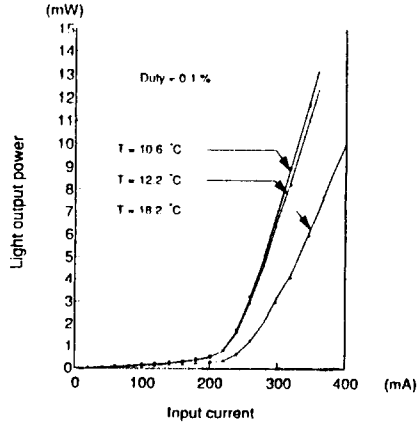
$$R_{th} = \frac{\Delta\lambda_{peak}/\Delta P_{in}}{\Delta\lambda_{peak}/\Delta T} \tag{4}$$

이 방법은 LD의 발진개시전류이전의 특성을 이용한다는 특징이 있다.

Beam-Lead가 차지하는 면적을 달리하며 열저항을 측정하였는데 그림 6과 같다. Beam-Lead가 차지하는 면적이 많을수록 열저항은 줄어들었으며 이것은 substrate를 통한 방열에 비해 Beam-Lead가 좋은 heat-sink로서 동작됨을 나타내고있다. Beam-Lead의 두께를 좀더 두껍게 한다면 열저항은 더욱 줄일수 있다.[6]




(a) input power를 바꾸었을때




(b) heat-sink의 온도를 바꾸었을때

그림 5. 발진개시전류 변화를 이용한 열저항 측정방법

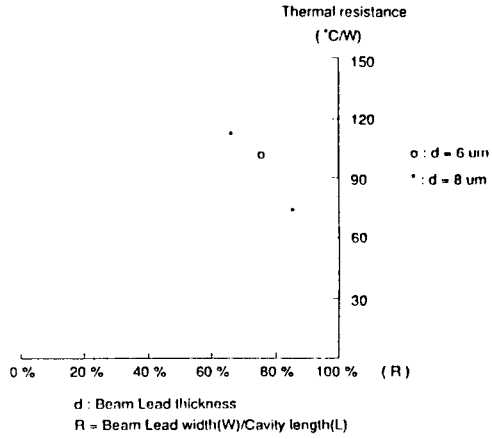



그림 6. Beam-Lead가 차지하는 면적에 따른 열저항특성

## V. 결과

하이브리드형 광전집적회로 제작을 위해 Beam-Lead구조를 가지는 평면형 LD를 제작했다. Beam-Lead를 사용함으로써 열의 전달통로가 됨을 확인할 수 있었는데 측정된 열저항은 Beam-Lead가 전체 면적의 약 85%를 차지할때 약 78 °C/W를 얻었다. Beam-Lead의 두께를 좀더 두껍게 하고 Beam-Lead가 차지하는 면적을 늘릴경우 더 낮은 값의 열저항을 얻을수있다. Si carrier위에 레이저다이오드를 얹을수 있게하여 hybrid 소자로서의 가능성을 제시하였다. Transistor나 기타 소자를 역시 Beam-Lead를 이용하여 Si위에 얹을 경우 hybrid OEIC의 구현은 곧 실현될수 있을것이다.

## 참 고 문 헌

[1] Dutta,Nelson, IEEE J. of Quant. Elect., VQE-18, pp871, 1982

[2] Kenneth E.Bean, IEEE Trans. E.D., VED-25, pp1185, 1978

[3] C.H. Gooch, IEEE J. of Quant. Elect., VQE-4, pp140, 1968

[4] Thomas L. Paoli, IEEE J. of Quant. Elect., N7, pp498, 1975

[5] Kressel, Buttler,"Semiconductor Lasers and Heterojunction LEDs"

[6] Joyce, Dixon, J. of Appl. Phys, V46, pp855, 1975