

반도체 레이저의 AuSn 합금 솔더를 사용한 p-side-down방식의 마운팅

최상현\*\*\*, 허두창\*, 배형철\*, 한일기\*, 이천\*\*  
 한국과학기술연구원 나노소자 연구센터\*, 인하대학교 전기공학과\*\*

P-side-down mounting by using AuSn alloy solder of semiconductor laser

S. H. Choi\*\*\*, D. C. Heo\*, H. C. Bae\*, I. K. Han\*, C. Lee\*\*

KIST NANO DEVICE RESEARCH CENTER\*, INHA UNIVERSITY ELECTRIC ENGINEERING\*\*

**Abstract** - 본 실험은 고효율 반도체 레이저의 p-side-down 마운팅용 솔더로서 AuSn 합금 솔더 (80wt%:20wt%)의 적합성에 대해 연구하였다. 1 $\mu$ m이하의 균일도로 폴리싱 된 Cu heat sink의 표면에 두께 1 $\mu$ m의 Ni로 코팅을 한 다음, AuSn 다층박막은 e-beam 증착기로 AuSn 합금 솔더는 열증착기로 각각 증착하였다. 열처리 산화 방지를 위해 N<sub>2</sub> 분위기에서 행하였으며, 동일한 압력으로 마운팅을 하였다. 표면의 거칠기와 형상은 AFM(Atomic Force Microscope)과 SEM(Scanning Electron Microscopy)으로 그리고 Au와 Sn의 성분비는 AES(Auger Electron Spectroscopy)로 비교하였다. 또한 CW(연속발진)을 통한 L-I(Light-Current)측정을 통해 본딩상태를 비교하였다.

1. 서 론

최근 광통신분야에서 라만증폭기의 중요성이 인지되면서 1400~1500nm 영역의 펄펄용 레이저 다이오드의 수요가 급격히 증가하기 시작하였다. 이러한 LD(laser diode) 칩의 CW(연속발진)을 하게 되면 손실로 많은 열이 발생하게 되는데 이 열을 제거하지 못하면 칩이 손상을 입게 된다. 그러므로 칩 본딩은 LD 패키징에서 아주 중요한 위치를 차지하고 있다.

칩본딩에는 활성층이 아래로 향하는 p-side-down 방식과 위로 향하는 p-side-up 방식이 있는데 고효율을 필요로 하지 않는 경우는 레이저 다이오드의 기판인 n-side를 sub-mount나 heat sink에 마운팅 하는데 이 경우에는 마운팅 하는데 있어서 큰 문제점이 없다. 그러나 레이저 다이오드에서 고효율을 얻고자 할 경우에는 많은 전류를 주입해야 하며, 결과적으로 많은 열이 레이저 다이오드의 활성층에서 먼 n-side(보통 100~150 $\mu$ m)를 통하여 열을 제거해주기 보다는 활성층에서 가까운 p-side(보통 1~2 $\mu$ m)를 통하여 열을 제거해주는 것이 효과적이다. 하지만 p-side-down의 경우 솔더 재료가 활성층까지 연결되어 전기적으로 단락이 되는 경우가 발생하기가 쉬우므로 전기적 단락을 피하기 위해서는 솔더 재료의 박막증착과 함께 마운팅에서의 노하우 기술이 필요하다.

또한 칩본딩에 사용되는 솔더로는 hard solder와 soft solder가 있는데 그 중 hard solder가 주로 사용되고 있다. 그 이유는 hard solder가 기계적 응력을 초기단계에 줄여주지 못하여 본딩 과정이 어렵다는 단점을 가지는 반면 본딩할 때의 기계적 응력을 솔더가 적게 받아 열피로를 줄일 수 있고 그로 인해 시간에 대한 신뢰성을 높일 수 있기 때문이다. 현재 광통신용 솔더로는 AuSn(71at%:29at%)가 주로 사용되고 있다. 그 이유는 무플럭스 솔더링 공정이 가능하고 열전도도가 우수(57W/mK)하며 다른 hard solder보다 녹는점이 낮고 또한, 크리프에 대한 내성이 높기 때문이다. 그리고, LD 접합부에 발생하는 열팽창계수 차로 인한 응력으로 변형

을 견디어 줄으로써 광통신 소자에서의 적용은 필수적이라 할 수 있다. 하지만 그림1에서 볼 수 있는 바와 같이 공정점(Au : Sn = 71at% : 29at%)을 중심으로 조성 변화에 대하여 온도가 대단히 민감하게 반응하게 됨에 따라 솔더 증착시 조성 조절에 정확성이 필요하게 된다.[1-4]

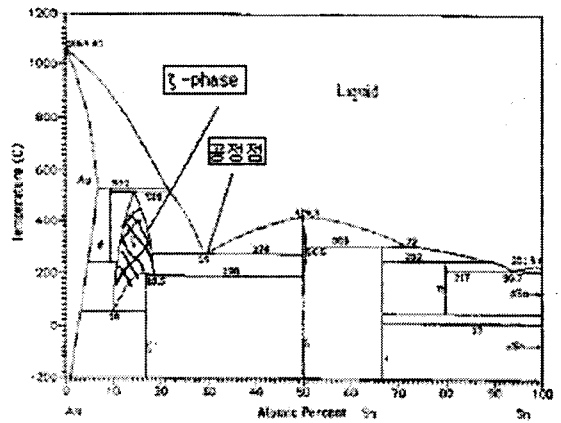


그림1. AuSn phase diagram

현재 이러한 AuSn 솔더는 고효율 반도체 레이저의 마운팅용으로 hard solder인 AuSn을 다층박막으로 증착시켜 interdiffusion에 의한 합금방식이 주로 사용되지만, AuSn 다층박막 증착은 공정점을 맞추기 위한 조성 조절에 어려움과 많은 시간이 소요된다. 본 실험은 증착하기가 간편한 AuSn 합금 솔더와 다층박막 증착을 비교하였고 AuSn 합금 솔더를 사용하여 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

2. 실험 방법

본 실험은 1 $\mu$ m이하의 균일도로 폴리싱 된 Cu heat sink의 표면에 AuSn 솔더가 heat sink 앞으로 확산하는 것을 방지하기 위해 확산 방지층으로 두께 1 $\mu$ m의 Ni로 코팅을 한 다음 AuSn을 증착하였다. AuSn 합금 솔더의 경우 2.3 $\mu$ m를 열증착기를 통하여 증착하였으며, AuSn 다층박막의 경우 Au/Sn을 5번 반복을 하며 e-beam 증착기로 증착하였다. 또한 열처리 산화 방지를 위해 N<sub>2</sub> 분위기에서 행하였으며 온도는 AuSn 합금 솔더의 경우 315 $^{\circ}$ C에서 3분간 수행하였고 다층박막의 경우 320 $^{\circ}$ C에서 6분간 수행하였다. 두 솔더의 마운팅 온도

조건이 다른 이유는 다층박막을 합금술더와 동일한 조건에서 표면이 완전히 녹지 않았기 때문에 다층박막의 적합한 온도조건을 택하였기 때문이다. 칩 마운팅 장비는 본 실험실에서 제조한 장비를 사용하였는데 압력 측정을 위해서 질량계를 사용하였다. 또한 본당상태를 비교하기 위하여 p-side-down 마운팅을 하여 CW(연속발진)을 통한 L-I(Light-Current)측정을 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

그림2의 (a)를 보면 AuSn 합금의 열 증착시 AuSn이 균일한 조성으로 증착되지 않고 표면에 Au-rich, 증착 경계면에 Sn-rich 현상이 나타난다. 이는 용융온도가 낮은 Sn이 먼저 용융되어 증착되기 때문으로 이해된다. 이와 비교하여 그림2의 (c)번을 보면 Au/Sn을 5번 반복하여 e-beam으로 증착한 것은 AuSn의 대체로 균일하게 증착되었고 이들이 각각의 층을 이루지 않고 증착되었음을 볼 수 있었다. 하지만, 열처리 후의 이미지인 (d)를 보면 AuSn의 분포가 불균일함을 알 수 있다. 또한 확산방지층인 Ni이 표면까지 확산하였음을 볼 수 있었다. 이것은 AuSn 다층박막이 합금술더에 비해 공정온도가 높고 공정시간이 길기 때문인 걸로 생각된다. 이에 비해 합금술더인 (a)와 (b)를 보면 비록 열처리 전에 AuSn의 분포가 비 균일하게 이루어졌다 하더라도 열처리 후에는 균일한 AuSn의 분포를 갖게 됨을 볼 수 있다. 이러한 AuSn의 분포(Au : Sn = 90%at : 10%at)는 그림1에서  $\zeta$ -phase 영역에 속하며 이러한 조성비는 519℃이상에서도 안정한 특성을 보인다고 알려져 있다. 또한 표1[5]에서 보이는 바와 같이 stress가 공정점(Au : Sn = 71at% : 29at%)에 비해 적어 LD를 마운팅할 때 낮은 stress 패키징을 이룰 것이다. 하지만 아직까지  $\zeta$ -phase에 대해 단지 조금의 정보만이 알려져 있다.[5]

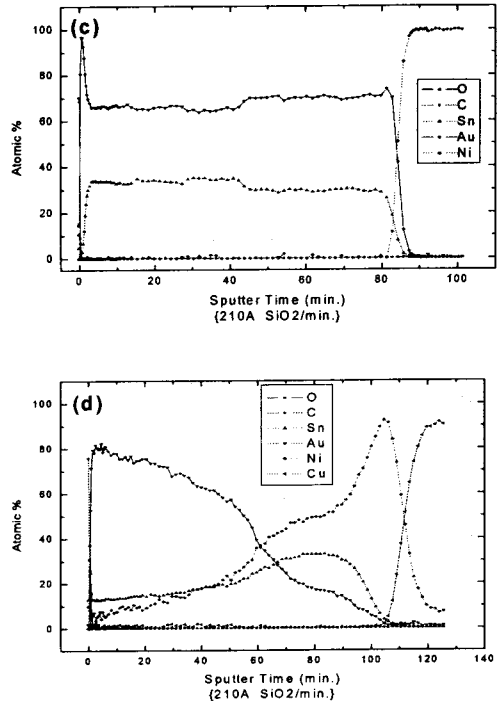
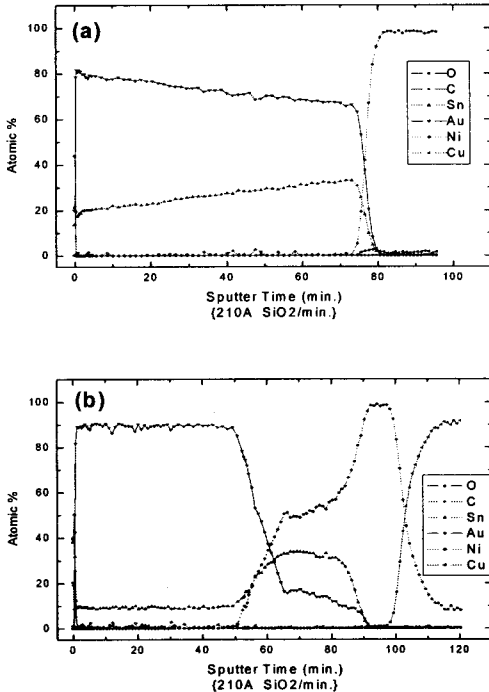
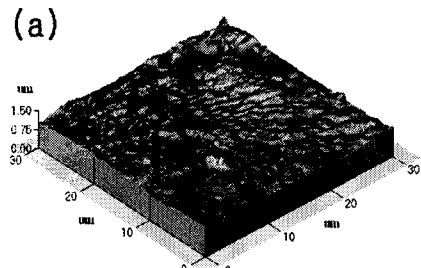


그림2. 증착된 AuSn의 열처리 전·후의 AES이미지 (a)열처리 전의 합금술더 (b)열처리 후의 합금술더 (c)열처리 전의 다층박막술더 (d)열처리 후의 다층박막술더

Phase	shear stress [MPa]	tensile stress [MPa]	peel stress [MPa]
공정점	110.3	94	50.1
$\zeta$	106.9	91.9	47.6

표1. 325℃에서 본딩을 하였을 때 가해진 기계적 스트레스의 계산.

그림3과 그림4는 각각 AFM과 SEM 이미지이다. 다층박막술더의 열처리후 모습과 달리 합금술더의 열처리 후 모습은 Grain을 형성한 것을 알 수 있다. 이 Grain은 앞에서 설명한 것과 같이  $\zeta$ -phase에 형성으로 인해 생긴 것으로 생각된다.[6]



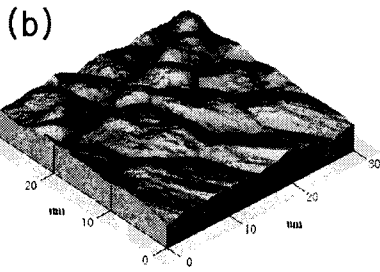


그림3. 증착된 AuSn의 열처리후의 AFM이미지  
(a)열처리 후의 다층박막솔더 (b)열처리 후의 합금솔더

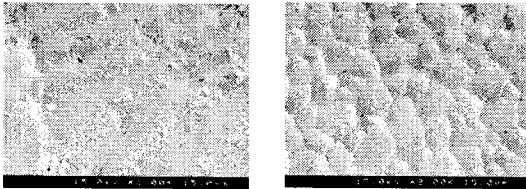


그림4. 증착된 AuSn의 열처리후의 SEM이미지  
(a)열처리 후의 다층박막솔더 (b)열처리 후의 합금솔더

표2는 AFM으로 구한 AuSn의 열처리전후의 거칠기 값을 조사한 것이다. 열처리 전후에 표면의 거칠기가 4~5배 이상 거칠어졌다. 하지만 이러한 거칠기는 RMS가 0.1 $\mu$ m이하여서 마운팅에는 문제가 되지 않는 거칠기이다. 또한 열처리후의 거칠기는 솔더가 용융후 다시 응고가 되면서 생기는 것이므로 LD가 마운팅이 되는 시점은 용융상태이므로 이러한 거칠기와는 무관하다. 다만 거칠기가 너무 심한 경우 LD가 마운팅할 때 전기적으로 쇼트를 일으킬 수 있다.

	AuSn박막솔더	AuSn합금솔더
열처리전	RMS=122Å	RMS=182Å
열처리후	RMS=523Å	RMS=926Å

표2. AFM으로 구한 AuSn의 열처리전후의 거칠기 값  
그림5는 AuSn 합금 솔더와 AuSn 다층박막 솔더를 사용하여 p-side-down 마운팅후 L-I 특성을 비교한 것이다. 사용한 대면적 레이저 다이오드의 길이와 폭은 각각 1.5mm와 100 $\mu$ m이었다. 양쪽 거울면은 AR/HR코팅을 수행하지 않았다. 그림5는 광출력면에서 AuSn 다층박막과 합금사이의 큰 차이가 없음을 보여준다. 이는 AuSn 합금 솔더가 p-side-down 마운팅용 솔더로 사용가능함을 의미한다. 본 실험은 아직 시간에 대한 신뢰성에 대한 테스트, Shear test등과 같은 0가 더 진행되어야 할 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 고풍력 반도체 레이저의 p-side-down 마운팅용 솔더로서 AuSn 합금 솔더(71at%:29at%)의 적합성을 조사하기 위해 실험을 수행하였다. AuSn 다층박막 증착은 공정점을 맞추기 위한 조성 조절에 어려움과 많은 시간이 소요되기 때문에 본 실험은 증착하기가 간편한 AuSn 합금 솔더와 다층박막 증착을 비교하였다. 대면적 레이저 다이오드를 이용한 L-I특성을 비교한 결과 광출력면에서 AuSn 다층박막과 합금사이의 큰 차이가 없음을 확인 할 수 있었다.

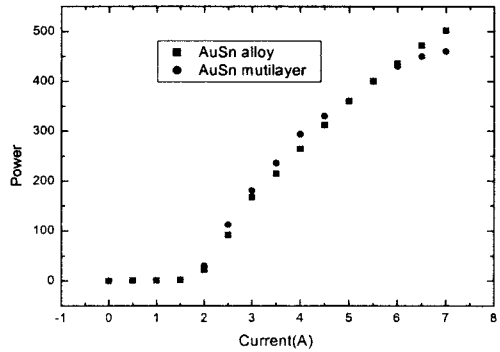


그림5. AuSn 합금 솔더와 AuSn 다층박막 솔더의 P-side-down 마운팅후 L-I 특성

#### [참 고 문 헌]

- [1]. Olivier J. F. Martin, Gian-Luca Bona, and Peter Wolf. "Thermal behavior of Visible AlGaInP-GaInP Ridge Laser Diodes", IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS. VOL. 28, NO. 11, 1992
- [2]. Chin C. Lee, Chen Y. Wang, and Goran S. Matijasevic, " A new bonding technology using gold and tin multilayer composite structures", IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, VOL. 14, NO 2, 1991
- [3]. Pitroff, W.; Erbert, G.; Beister, G.; Bugge, F.; Klein, A.; Knauer, A.; Maeger, J.; Ressel, P.; Sebastian, J.; Staske, R.; Traenkle, G. "Mounting of high power laser diodes on boron nitride heat sinks using an optimized Au/Sn metallurgy", IEEE Transactions on Advanced Packaging, Volume: 24 Issue: 4 , Nov 2001
- [4]. 이종현, 엄용성, 최광성, 박홍우, 윤호경, 최병석, 문종태. "Au-20Sn 솔더의 제조 공정과 Co 확산방지층과의 반응 특성" Photonics Conference 2002, p221-222, 2002
- [5]. Stefan Weiß, Elke Zakel, Herbert Reichl. "Mounting of High Power Laser Diodes on Diamond Heatsinks". IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING, AND MANUFACTURING TECHNOLOGY -PART A, VOL. 19, NO. 1, MARCH 1996
- [6]. L. BUENE, H. FALKENBERG-ARELL AND J. TAFTO. "A STUDY OF EVAPORATED GOLD-TIN FILMS USING TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY". Thin Solid Fil.,s,65 (1980) 247-257