

## 레이저 솔더링과 접합부 평가 Laser Soldering and Inspection of the Solder Joint

한유희\*, 김인웅\*, 방남주\*

You-Hie Han\*, In-Woong Kim\*, Namju Bang\*

\*한국기계연구원 레이저가공연구그룹

('98.6.25심사시작-'98.8.21심사완료)

### ABSTRACT

As very large scale integration technology has been developed, much more accurate, reliable technology is needed for outer lead bonding. Laser soldering has been researched as an alternative for fine pitch device bonding. This study is focused on how to select optimal laser soldering variables with which solder wets parent materials, the microstructural results of laser soldering and the reliability test. One of popular packages, QFP100 was soldered successfully with two kinds of solder. The inspection of the joint for reliability was carried out by optical microscope, SEM, EDAX and pull test, which demonstrated the superiority of laser soldering

Key Word : laser soldering(레이저 솔더링), Sn/40%Pb, Sn/35%Ag, QFP100 package(QFP100 패키지), microstructure(미세조직), pull test(인장시험)

### 1. 서론

전자제품의 경량화와 소형화는 회로기판의 고집적기술, 표면실장기술의 발달에 의한 것이며 회로의 고집적도가 이루어지려면 고정도의 표면실장기술은 물론 미세접합기술이 향상되어야 한다. 미세접합기술에 있어서 기존의 웨이브(wave)나 리플로우(reflow)와 같은 일괄적인 접합방법은 미세피치 경향이 증가하면서 한계를 보이고 있고 새로운 접합기술로 대체되어야 할 필요가 있다.

회로기판 전체가 솔더링 온도영역에 있게 되는 기존의 방법의 단점은 열에 민감한 전자부품의 소재에 나쁜 영향과 서로 다른 열팽창계수에 의한 결함을 가져올 수 있고 미세피치 접합에 있어서 브릿지와 같은 결함을 발생시킬 수 있다는 것이다. 또 솔더의 낮은 용융점은 부품의 사용온도

를 제한하고 creep과 같은 결함을 유도하여 접합부의 질을 저하시킬 수 있다<sup>2)</sup>.

이에 반해 레이저를 사용한 솔더링은 레이저가 순차적으로 리드를 접합하기 때문에 인접한 패드 사이가 동시에 녹지 않는다. 따라서 패드 사이에 브릿지가 일어날 가능성이 최소화된다. 또, 에너지가 접합부에만 적용되기 때문에 열에 민감한 부품을 접합하는데 이상적이고 국소 부분에만 순간적으로 솔더가 용융되고 그 외 PCB는 상온이기 때문에 low-stress를 형성한다. 그리고 급랭된 접합부는 미세한 구조를 갖고 low cycle fatigue 성질을 갖는 것으로 보고되고 있다<sup>3)</sup>.

본 연구에서는 Nd:YAG 레이저를 사용한 솔더링 시스템으로 두 가지 솔더 Sn/40%Pb와 Sn/35%Ag를 QFP100 패키지에 사용하여 솔더링

변수를 최적화한 다음 그 접합부를 광학현미경, EDAX, SEM, 인장강도 시험을 통하여 검사하였다.

Table 1. Design and size of samples

samples	configurations
lead	gull-wing type QFP100 package : 0.65 mm pitch, 300 $\mu$ m width, 150 $\mu$ m thickness, 100 leads
solder	● electroplated Sn/40Pb over lead, hot solder Sn/40Pb on land pattern ● Sn/3.5Ag paste
substrate	Cu coated FR4, finger type pad of 12 mil width, 92 mil length
flux	non-cleaning type RMA

## 2. 실험방법

Nd:YAG 레이저를 사용하고 A/O modulator로 레이저 빔의 on/off를 제어하며 galvanometer scanner로 주사하는 시스템을 구성하여 QFP100 package에 레이저 솔더링을 적용하였다. 실험에 사용한 시편의 종류와 사양은 Table 1에서 정리하여 나타내었다.

솔더는 두 종류를 사용하였는데, 한 종류는 리드 표면에 Sn/40%Pb 가 35 - 40  $\mu$ m 전저 도금된 것과 Cu가 코팅된 land pattern 위에 hot solder Sn/40%Pb 가 올려진 것을 무세척 flux를 적용한 것이며 또 한 종류는 0.15 mm 두께의 stencil을 사용하여 manual printing 하는 Sn/3.5%Ag paste를 사용한 것이다. QFP100 패키지는 0.15 mm 두께의 gull-wing type의 lead를 갖고 있고 0.65 mm 피치 간격을 가진다.

레이저 빔 주사방법은 리드 끝에서 본체 방향으로 일정한 속도로 주사하였다. 접합이 잘 이루어졌는지 평가하기 위해 접합단면을 광학 현미경을 사용하여 외곽선을 관찰하였으며 이것으로 레이저 솔더링 공정변수를 결정하였다. 접합부의 미세 조직은 연마하고 에칭한 후에 SEM으로 관찰하였고 각 morphology에 따른 성분을 EDAX로 확인하였다. 접합부의 기계적 강도를 평가하기 위하여

각 공정변수에서 접합한 시편을 수직방향으로 인장하여 파단이 일어나는 최대 인장력을 측정하고 다른 솔더링 방법에서 보고된 인장 강도와 비교하였다.

## 3. 결과 및 고찰

본 연구의 레이저 솔더링 시스템을 QFP100 package에 적용한 결과 Fig. 1과 같이 도금한 시편을 사용했을 때 기판 표면에 나타날 수 있는 솔더 불이나, 리드 사이에 솔더가 서로 붙는 브릿지같은 결함이 없는 건전한 접합이 이루어졌다.

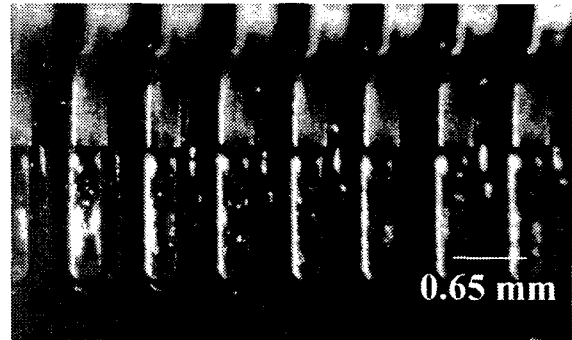


Fig. 1 Laser soldered QFP100 package(Sn/40%Pb solder)

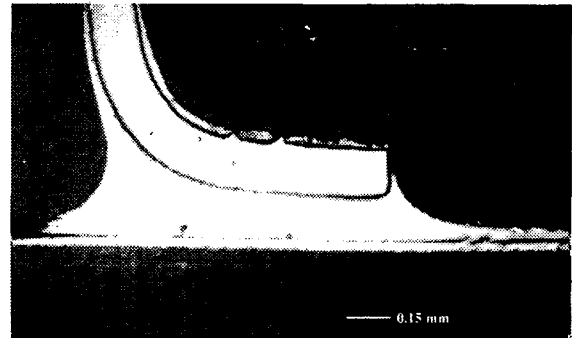


Fig. 2 Cross section of laser soldered lead(Sn/3.5%Ag solder)

솔더링 후의 접합부를 평가하는 방법으로 접합 단면의 외곽선과 모재와 솔더사이의 접촉각을 육안으로 관찰하는 방법을 택하였다. Wetting이 잘 이루어진 단면은 Fig. 2에서 보인 접합 단면에서와 같이 모재와 솔더사이의 접촉각이 작으며 모재사이에 솔더가 오목한 외곽선을 보이며 기공없

이 안정하게 채워진 것이다.

2 - 14 W의 레이저 출력과 100 - 500 ms 사이의 노출시간에서 접합이 잘 이루어지는 레이저 공정변수를 실험적으로 결정한 후, 안정한 접합을 이루는 공정변수 영역을 접합부의 열적특성을 고려한 아래의 식<sup>5)</sup>을 사용하여, Fig. 3과 같이 결정하였다. 표시한 영역은 다음 식으로 계산하였을 때 구한  $Q_{joint}$ ,  $\tau_{joint}$ 의 표준오차를 고려한 영역이다.

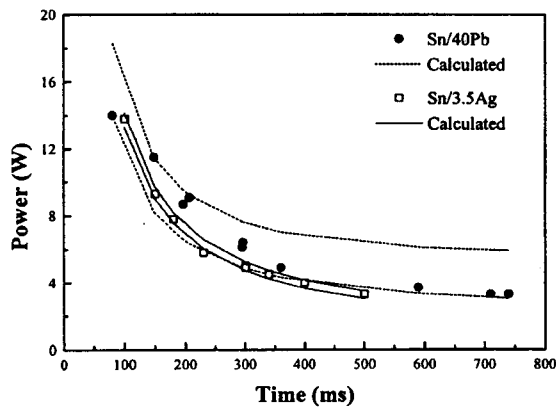


Fig. 3 Laser soldering process variables

$$\phi = \frac{Q_{joint}}{\tau_{joint} [1 - \exp(-\frac{\tau}{\tau_{joint}})]}$$

(Q : total energy,  $\phi$  : laser power,  $\tau$ : duration time,

$Q_{joint}$  : energy for melting of the solder and heating of the solder joint to the max. temp.

$Q(t)$  : dissipated power

$\tau_{joint}$  : thermal time constant of solder joint)

레이저 노출시간이 적거나 파워가 적으면 접합이 제대로 이루어지지 않았다. 위의 식을 사용하여 모사한 결과  $Q_{joint}$ 는 Sn/40%Pb와 Sn/35%Ag의 경우에 각각  $1119 \pm 105.8$  mWs,  $1312 \pm 26.26$  mWs 으로 계산되었다. 또, 노출시간이 적을수록 손실되는 에너지가 적은 것으로 나타났으므로 짧

은 시간동안 주사하여 솔더링하는 것이 최적조건이 될 수 있음을 알 수 있었다.

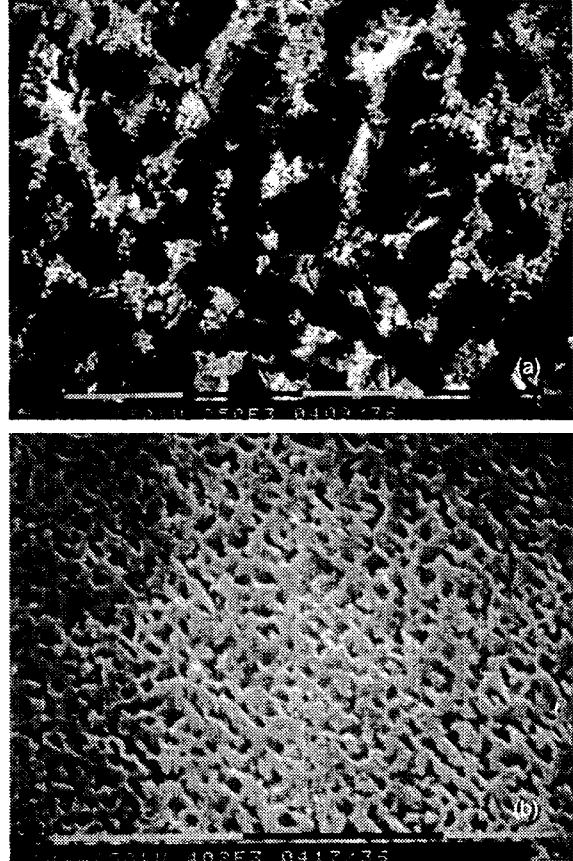


Fig. 4 Microstructures of laser soldered joints by SEM  
(a) Sn/40%Pb solder joint(@4.9 W/360 ms)  
(b) Sn/3.5%Ag solder joint(@4.5 W/340 ms)

Fig. 4는 레이저 솔더링한 접합부의 미세조직을 나타낸 것이다. Fig. 4 (a)는 Sn/40%Pb 솔더를 사용한 경우이며 밝은 색과 어두운 부분은 각각 Pb-rich phase, Sn-rich phase임을 EDAX를 사용하여 확인하였다. 리플로우 솔더링에서 냉각속도를 수 - 수 백 °C/s 범위에서 달리하며 실험한 것<sup>7)</sup>과 비교할 때 접합부 조직은 미세하게 형성되었다. 레이저 솔더링은 열이 국부적으로 공급되므로 빔을 차단하면 접합부는 빠른 속도<sup>6)</sup>로 냉각된다. 용융되었던 접합부의 솔더가 응고될 때 급랭되므로 접합부 조직은 0.5  $\mu$ m 정도로 미세하게 형성되었

다. 접합부의 미세조직은 기계적인 강도와 사용환경에서 발생하는 열적 피로현상에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다<sup>7)</sup>. Fig. 4 (b)는 Sn/3.5Ag 솔더를 사용한 경우이며 접합부 조직을 보기 위하여 표면을 연마한 후에 2% HNO<sub>3</sub> - 5% HCl - 93% alcohol 로 수 초동안 에칭한 것이다. EDAX로 Sn based matrix에 1 μm 이내의 Sn-Ag 화합물이 형성된 것으로 확인하였다.

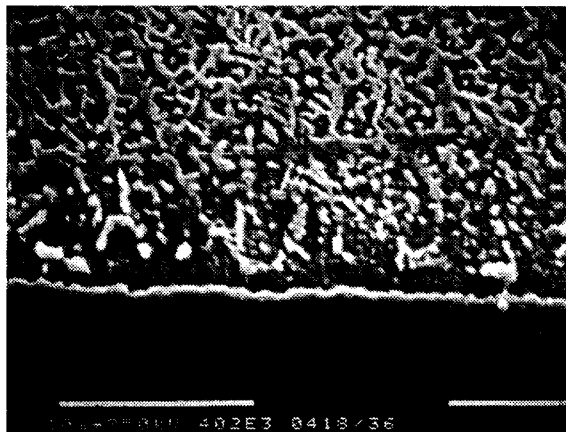


Fig. 5 Interface between Sn/3.5%Ag solder and Cu pad

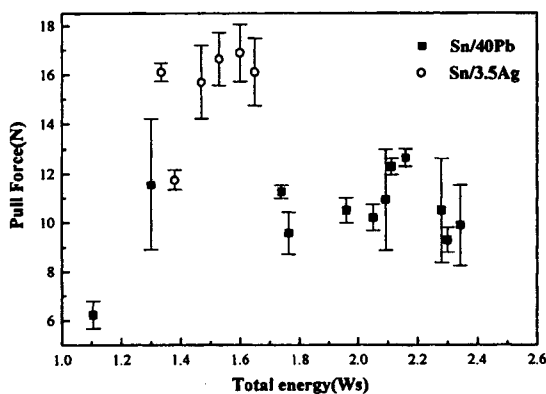


Fig. 6 Pull forces at various soldering conditions

Fig. 5는 솔더링 후에 Sn/3.5%Ag 솔더와 Cu 모재사이의 계면을 보인 것으로 금속간 화합물이 두께 1 μm 이내로 형성되었다. EDAX로 성분검사를 한 결과, 39 wt% Sn-61 wt% Cu 가 검출되었으며, 이것으로 열역학적으로 안정한 화합물<sup>7)</sup> 중

에 Cu<sub>3</sub>Sn이 형성되었음을 알 수 있다. 이 결합층도 사용환경에서 발생하는 열에 의해 성장하면서 접합부의 피로현상과 기계적 강도에 영향을 미치게 된다.

Fig. 6은 레이저 출력과 노출시간의 곱으로 표현되는 사용한 총에너지에 따른 인장실험 결과를 두가지 솔더에 대하여 나타낸 것이다. 한 조건에서 10회 정도의 반복실험으로 평균한 값과 분포를 나타내었다. 본 실험 결과에서는 공정변수 조건에 따른 기계적 강도의 일관성은 분명하게 나타나지 않았다.

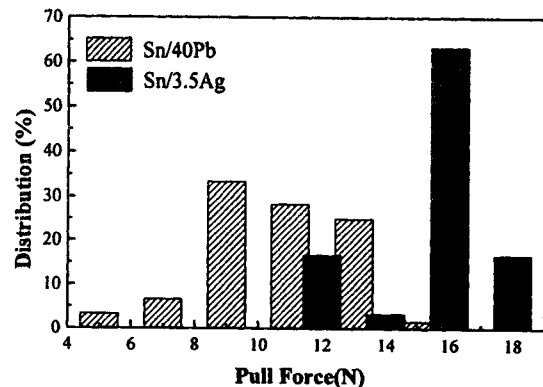


Fig. 7 Maximum pull force causing the rupture of solder joint

Fig. 7은 Fig. 3에서의 공정조건에서 접합한 시편의 리드를 수직방향으로 인장하였을 때 파단이 일어나는 인장력 분포를 나타낸 것이다. 전체 시편의 경향은 Sn/40%Pb 솔더인 경우에는 5 - 15 N, Sn/3.5%Ag 솔더인 경우에는 12 - 18 N 사이에서 파단이 일어났다. 전체 시편의 90 % 이상이 각각 9 - 13 N, 16 - 18 N에 최대 인장력이 분포되어 있다. 이것은 유사한 시편으로 리플로우 솔더링한 후 평가한 것<sup>8)</sup>이 1 - 8 N 사이에 분포하는 것과 비교할 때 우수한 것이며, 이미 보고한 레이저 솔더링이 주는 급랭효과로 인해 접합부 조직이 다른 방법에서보다 미세하게 형성되므로 나타나는 장점이라 생각된다.

레이저 솔더링에 의한 접합부의 모재와의 결합

층(bonding layer)에 대한 평가와 aging에 의한 변화 특성과 미치는 영향에 관한 연구가 앞으로 더 진행될 예정이다.

#### 4. 결론

구성한 레이저 솔더링 시스템을 QFP100 package에 두가지 솔더 Sn/40%Pb와 Sn/35%Ag를 사용하여 적용한 결과 기판 표면과 접합부 단면의 결함없이 솔더링 할 수 있었다. 각 솔더의 열적 특성을 고려하여 공정변수 영역을 실험적으로 결정하였으며 접합부를 광학현미경, EDAX, SEM, 인장실험을 통하여 평가하였다. 접합부에 형성된 화합물은 급냉효과에 의해 기존의 다른 솔더링 방법보다 미세한 조직의 Sn, Pb 상과 Sn-Ag상이 형성되었으며, Sn/35%Ag솔더의 경우에는 모재와의 금속간 화합물 층도 1 $\mu$ m 이내로 적게 형성되었음을 관찰할 수 있었다. 기계적강도는 두가지 솔더 모두 다른 접합 방법에서 평가된 것보다 우수한 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

- 1) 임형철, 장석원, "리플로 납땜에서 플라스틱 패키지의 신뢰성", 대한기계학회지, 제 36권, 제 10호, p. 921, 1996
- 2) Robert W. Messler, Jr. and Don L. Millard, "Laser soldering : New light on an old joining process", Welding journal, October, p43-48, 1994
- 3) C. Lea, "Laser soldering-production and microstructural benefits for SMT", Soldering & Surface Mount Technology, No. 2, June, 1989
- 4) 김인웅, 한유희, 이제훈, 서정, 박정호, 김정오, "Beam scanner를 이용한 실장용 lasersoldering 기술 개발", 한국기계연구원, (1997.1)
- 5) Johann Nicolics, Laszlo Musiejovsky and E.Semerad, "Optimization of Process parameters for Laser Soldering of Surface Mounted Devcies", IEEE Transaction on component, hybrids and

manufacturing technology, vol. 15, No.6, December, 1992

6) 한유희, 김인웅, 방남주, "레이저를 이용한 microsoldering 기술 개발", 제 8회 레이저가공기술 심포지움 proceedings, 대전 한국기계연구원, 1997

7) Jennie S. Hwang, "Modern Solder Technology for Competitive Electronics Manufacturing", McGraw-Hill, 1996

8) N. Brady, T. J. Ennis, "Empirical Modelling of Surface Mount Solder Joints from 132 Pin Quad Flat Pack Components", Soldering & Surface Mount Technology No. 10 Feb. p4-7, 1992