研究論文

솔더 포일을 이용한 무플럭스 솔더링에 관한 연구

신 영 의* · 김 경 섭**

A Study on Fluxless Soldering using Solder Foil

Young - Eui Shin* and Kyung-Seob Kim**

Key Words : Flux, Freon gas, solder paste foil, Fluxless soldering, VLSI package, outer lead, bondability

Abstract

This paper describes fluxless soldering of reflow soldering process using solder foil instead of solder pastes. There is an increasing demand for the reliable solder connection in the recent high density microelectronic components technologies. And also, it is problem fracture of an Ozone layer due to freon gas which is used to removal of remained flux on the substrate.

This paper discussed joinig phenomena, boudability and joining processes of microelectronics devices, such as between outer lead of VLSI package and copper pad on a substrate without flux.

The shear strength of jonits is 8 to 13 N using Sn/Pb (63/37 wt. %) solder foil with optimum jonining conditions, meanwhile, in case of using Sn/In (52/48 wt. %) solder foil, it is possible to bond with low heating temperature of 550K, and accomplish to high bonding strength of 25N in condition heating temperature of 650K.

Finally, this paper experimentally shows fluxless soldering using solder foil, and accomplishs key technology of microsoldering processes.

1. 서 론

전자부품 · 기기의 경박 단소화와 아울러 고기능 · 다기능화에 따른 접합 · 접속 기술의 중요성이 대두되고 있다. 따라서 이러한 추세에 따라 접합 · 접속 방법도 종래의 삽입방식에서 표면실장기술(Surface Mount Technology) 방식으로 전환되고 있다.

표면실장기술에서 대표적으로 사용되고 있는 솔더링 방식으로 솔더 페이스트(solder paste)를 인쇄

※ 1998년 5월 14일 접수

* 정회원, 중앙대학교 기계설계학과
** 비회원, 중앙대학교 전기공학과 대학원

방법으로 접합부에 공급하는 리플로(reflow) 솔더링 방식이 있다.

아울러 대부분의 리플로 솔더링 방식은 솔더 페이스트를 사용하고 있으며, 이 솔더 페이스트는 고형성분인 솔더입자(85~92 wt%)와 액상성분인 플럭스(flux, 8~15 wt%)로 구성되어 있다. 이러한 솔더 페이스트는 솔더링 후 플럭스가 기판상에 남게 되면, 사용환경에 따라서는 그것이 부식이나 마이그레이션(migration)의 원인이 된다.

1980년대는 세척제로서 프레온 가스가 주종을 이루고 있었지만, 오존층의 파괴문제가 부각되어 규제받기 시작했으며, 최근에는 대체 프레온 매체가 개발되어 상품화 되고 있다. 즉, 프레온 가스의 대체방안으로 현재 추진되고 있는 것은 수용성 플럭스, 저잔사 플럭스 등이 있으며, Fig. 1에 솔더링 분위기와 플럭스에 따른 세척방법을 나타내었다. 그림 중에서 전자부품 · 기기의 조립업체에서 원하는 최종목표는 무세척에 의한 무플럭스 솔더링의 실현에 있다.

따라서 본 연구는 이러한 배경으로부터 솔더 페이스트 대신에 솔더 포일(solder foil)을 접합재료로 사용하여 무플럭스 솔더링(fluxless soldering) 실현을 위한 기본 실험을 수행하여 그 가능성을 제시하였다. 즉, 본 연구의 내용은 종래의 솔더 페이스트 대신에 플럭스 없이 솔더포일만 기판상의 전극패턴(Cu)에 공급하여 VLSI 패키지의 바깥리드(outer lead)와 접합하여, 접합현상과 접합성 및 접합 프로세스를 검토하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 리드 프레임

본 연구에 사용한 실험재료로는 리드는 42합금(42 alloy, Fe-Ni(40%))과 구리합금(Cu alloy)을 사용하였으며, 리드의 폭은 0.4㎜, 두께 0.15㎜, 길이 13㎜ 이다. 실험에 사용한 구리합금 리드의 기계적, 전기적 특성은 현재 전자산업계에서 사용되고 있는 일반적인 것이지만, 첨가제로써 아연(Zn)을 미량으로 부가함으로서, 가열 · 확산에 의한 구리(Cu)와 솔더(solder) 계면 부근에서 발생하는 커켄달 보이드(kirkendall void)의 발생을 억제하는 재료[1]라는 것에 착안하여 선정하였다.

2.2 솔더 및 기판

솔더 포일은 Sn-Pb(63-37%), Sn-In(52-48%)의 시트를 압연하여 가공하여 두께 50㎛(±10%)의 것을 사용하였다. 또한 기판은 가장 일반적으로 사용되고 있는 FR-4를 사용하였으며, 기판상에 형성되어 있는 구리패턴(Cu pad)과 리드를 솔더 포일(solder foil)을 사용하여 접합 · 접속되도록 실험을 수행하였다. 기판상의 구리패턴의 크기는 1.2×2.0㎜의 크기를 갖는 패턴과 VLSI의 아웃 리드(outer lead)를 접합대상으로 하였다.

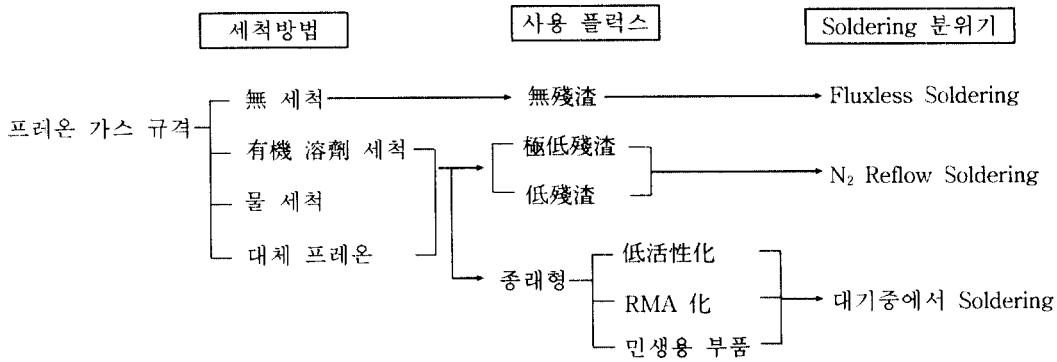


Fig. 1 Cleaning methods and flux types in soldering processes.

2.3 접합장치

본 연구의 초기 접합실험에 사용한 접합장치는 펄스가열(pulse heat) 접합장치를 사용하였으며, 이것은 전극팁(tip)의 온도를 설정온도로 제어할 수 있는 특성을 갖고 있다.

Fig. 2에 펄스가열(pulse heat) 접합장치의 외관을 나타내었다.

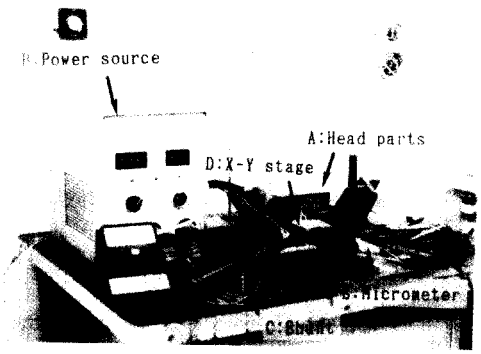


Fig. 2 Appearance of pulse heat bonding equipments.

그림 중의 A는 장치의 Head부(NA-92C), B는 전원부(TCW-115)이다. 이 장치의 특징은 전극팁(tip)에 열전대(thermocouple)를 고착시켜 두어, 접합 중 전극팁(tip)의 온도를 검출하여, 그 열기전력을 제어회로에 귀환(feed back)시킴으로써, 접합과정에서의 전극팁(tip)의 온도를 일정하게 제어할 수 있게 되어 있다. 그림 중의 D는 2개의 마이크로미터(최소 이동거리 : 0.01㎜, 최대 이동거리 : 5㎜)가 부착되어 있는 X-Y 스테이지로 전극팁(tip)과 접합 대상과의 위치 결정을 할 수 있도록 되어 있다. 또한, 그림 중의 E의 마이크로미터(최소 이동거리 : 0.01㎜, 최대 이동거리 : 5㎜)는 리드의 위치를 임의로 이동시킬 수 있으며, 리드와 PCB상의 구리(Cu)패턴과의 상대위치를 조정하기 위하여 사용된다. 또한, 접합대상 재료의 상호 위치결정은 입체현미경(배율 : 5~120배)을 사용하여 위치 결정을 하도록 되어 있다.

한편, 전원부(TCW-115)에서 가변설정할 수 있는 것은 전극팁(tip)의 온도(설정범위 : 373~863K)와 가열시간(설정범위 : 0.1~6.9초)이며, 전극팁(tip)의 가압력은 2~11N의 범위에서 조절 가능하게 되어 있으며, 본 실험에서는 10N으로 설정하여 접합실험을 수행하였다.

Fig. 3에는 전극팁(Mo)의 형상 및 크기를 나타내었다. 이 팁 선단의 온도는 팁 양단에 전압을 인가하여 발생하는 저항의 저항발열에 의하여 온도가 상승하게 되고, 흐르는 전류값에 의하여 온도가 제어되도록 되어 있다.

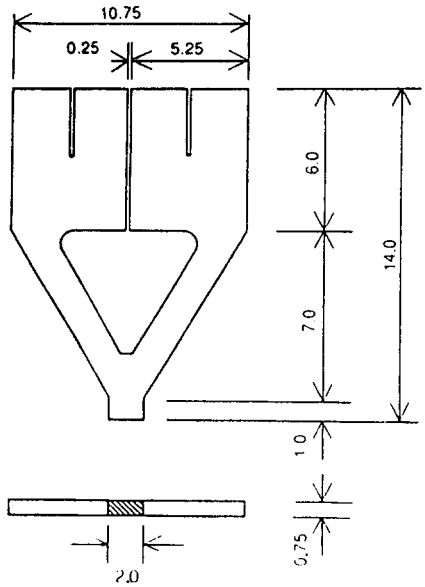


Fig. 3 Shape and size of electrode tip.

이 접합장치의 전극팁의 온도제어의 일례로서, 접합조건을 팁 온도 623K, 가열시간 5초로 한 경우의 파형을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 팁의 온도는 약 0.9초에서 정상상태(steady state) 온도에 이르게 되는 것을 알 수 있다. 또한, 냉각과정은 공냉으로, 접합부의 온도는 약 15~20초에서 거의 상온으로 되고 있다.

2.4 접합방법

Fig. 5에 기판상의 구리패턴(Cu pad)과 리드를 전극팁(tip)에 의하여 가압 · 가열하는 방법을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 리드와 구리패턴의 위치결정을 하여 리드가 접합위치에 loading되기 직전에 질소가스(농도:99.9%)를 분사(5 l /min)시켜, 접합계면에서의 산화를 억제시키고 있다.

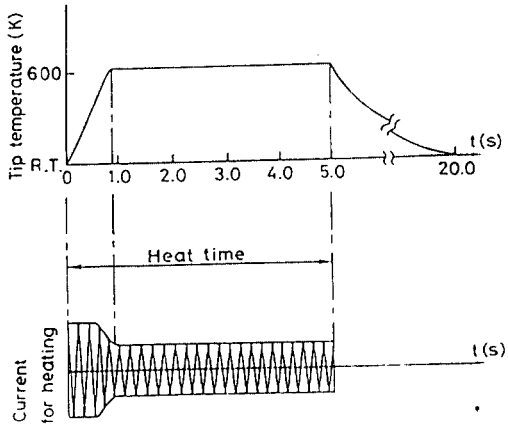


Fig. 4 Temperature profile and bonding current of electrode tip.

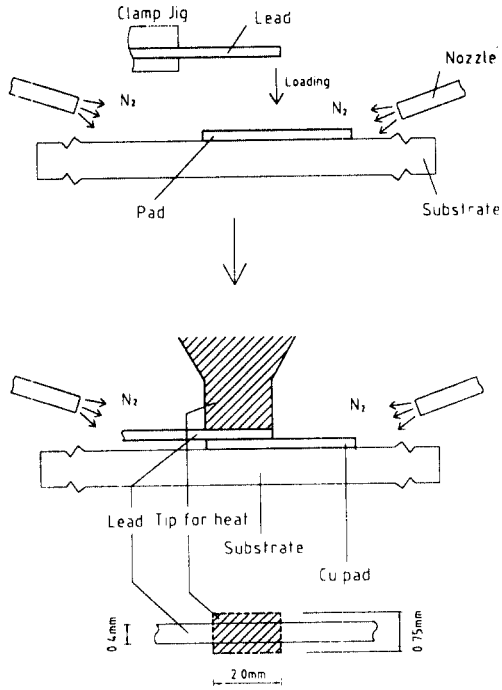


Fig. 5 Configuration of bonding method.

접합은, foot pedal을 눌러 전극팁(tip)이 하강하여, 전극팁(tip)과 리드 및 솔더 포일, 구리패턴이 접촉하여, 설정한 가압력에 달한 후, 통전 개시 스위치가 작동하여 설정온도, 설정시간 동안 가열된다. 여기서 설정온도라는 것은 평형온도를 의미하며, 설정시간은 전극팁(tip)이 설정온도에 도달한 시간부터 가열전류 차단까지의 시간을 의미한다. 질소(N2)가스의 공급은 가열전류 차단과 동시에 차단되도록 되어있다.

또한 리드와 구리패턴(Cu pad) 및 전극팁(tip)의 상호 위치결정은 입체현미경으로 관찰하여 마이크로미터로 조정하여 설정하였으며, 리드와 구리패턴(Cu pad)간의 접촉면적은 0.4×2.0㎜(0.8㎟)로 설정하여 접합실험을 하였다.

2.5 접합강도 평가 및 실험방법

접합강도 시험장치의 시험속도는 0~30㎜/min으로 제어 가능하게 되어 있으며, 하중계의 허용하중은 49N의 것을 사용하였다. 아울러 하중계를 통하여 얻어진 전압을 스트레인 증폭기를 통하여 증폭하여 기록지(pen recorder)에 기록하였다. 또한 시험속도는 1~10㎜/min 사이에서는 하중에 의한 영향이 없는 것을 별도 확인하였으며, 본 실험에 있어서는 10㎜/min의 속도로 강도실험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 솔더 포일 종류에 따른 인장전단 강도

솔더 포일(solder foil)은 Sn-Pb(63-37%), Sn-In(52-48%)의 것을 사용하여 전극팁으로 가압·가열하여 접합하고, 접합강도 실험을 하였다. 솔더 포일의 크기는 폭 1.0㎜×길이 2.0㎜×두께 0.05㎜, 가압력 10N으로 하여, 팁 온도 및 가열시간을 변화시켜 접합하였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 솔더 포일(Sn-Pb:63-37%)을 사용하여 접합한 경우의 팁(tip)온도 및 가열시간과 인장전단 강도와의 관계를 나타낸 것이다.

우선 Fig. 6은 솔더 포일(두께 : 50㎛)의 조성이 Sn-Pb(63-37%)의 것으로서, 팁 온도가 600K 이하에서는 접합이 불가능하였으며, 팁온도의 상승과 더불어 인장전단 강도는 증가하는 경향을 보였으며, 약 750K 영역에서 인장전단 강도가 최대치를 유지하였다. 또한 팁 온도가 770K 이상에서는 접합강도가 다소 떨어지는 경향을 보였으며, 이것은 솔더 페이스트와는 다소 다른 경향으로서, 플럭스

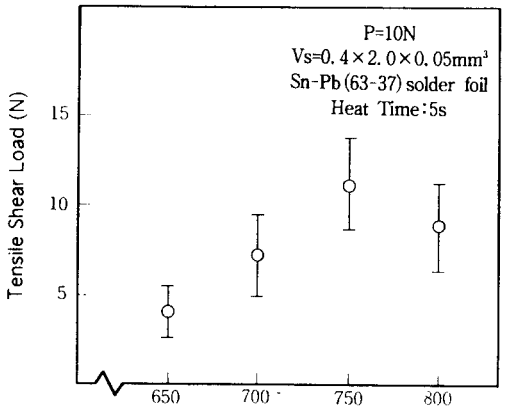


Fig. 6 Relationship between tensile shear load and tip temperature with Sn/Pb solder foil.

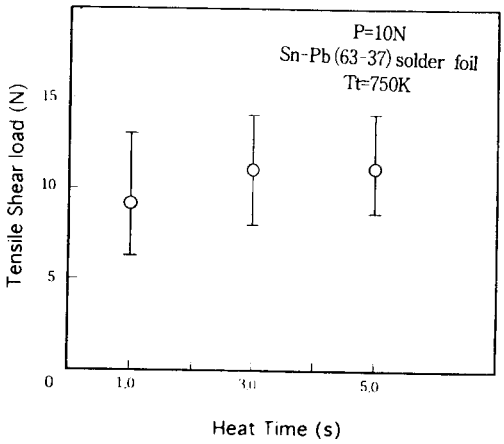


Fig. 7 Relationship between tensile shear load and heat time with Sn/Pb solder foil.

의 유무, 접합계면 온도 및 열용량의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 또한 Fig. 7은 인장전단 강도가 최대값을 갖는 750K를 팁 온도로 설정하고, 가열시간을 1.0, 3.0, 5.0 초로 변경하여 접합하여, 그 때의 접합강도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 가열시간과 관계없이 인장전단 강도는 거의 동일한 값을 나타내었다. 접합강도의 변동폭은 약 ±30% 정도로 솔더 페이스트[2]에 비해 작게 나타나고 있어, 재현성 측면에서 다소 안정되어 있다고 할 수 있다. 이러한 동일 조건하에서의 접합강도의 변동폭이 있는 것은 가열된 팁의 온도가 일정하여도 접합계면 온도에 달하는 열전달 상태(경계조건)가 다소 다름을 의미하고 있으며, 팁의 온도가 일정하여도 접합계면 온도는 접촉상태 및 표면상태에 따라 차이가 있다는 것을 의미하고 있다.

Fig. 7에서 보았듯이 Sn-Pb(63-37%) 솔더 포일을 사용한 경우에는, 접합개시 온도가 약 650K이고, 팁의 온도가 750K에서 최대강도 약 10N이 얻어졌었다. 반면에, Fig. 8에서 보듯이 Sn-In 솔더 포일을 사용한 경우에는, 접합개시 온도가 약 520K이고, 온도상승과 더불어 인장전단 강도도 크게 증가하여 팁의 온도가 약 650K에서 약 25N이 되었다.

3.2 접합부의 형태와 솔더거동

전술한 바와 같이 솔더 포일을 사용한 경우에는, 우선 그 조성이 Sn-Pb(63-37%)의 경우는 가열된 팁의 온도가 상승함에 따라 인장전단 강도도 증가하는 경향을 나타내어, 팁의 온도가 약 750K에서 최대강도 약 10N이라는 강도가 얻어졌다. 반면에 솔더 포일의 조성이 Sn-In(52-48%)의 경우는 가열온도의 저온화는 물론 팁 온도가 약 650K에서 약 25N의 강도가 얻어져, 약 2.5배의 강도가 향상되었음을 알 수 있었다. 즉, 가열온도와 각 조성에 따른 접합강도와의 상관성을 검토하기 위하여 접합부의 각 원소의 확산거동과 용융된 솔더의 거동을 관찰, 분석하였다.

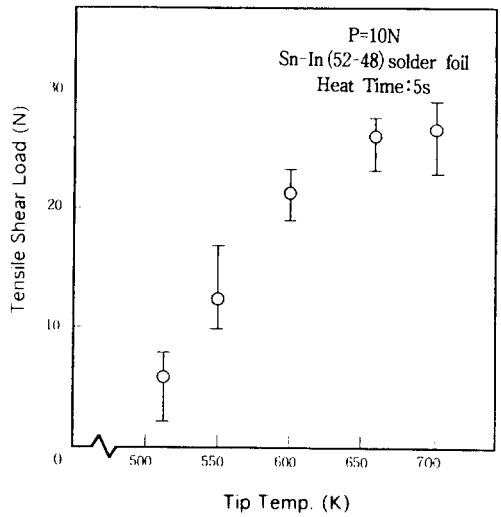


Fig. 8 Relationship between tensile shear load and tip temperature with Sn/In solder foil.

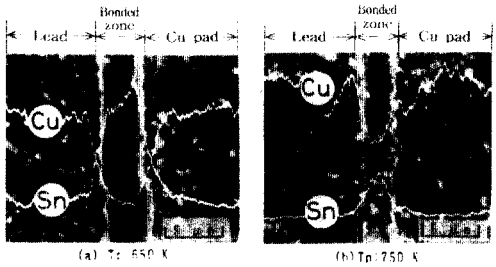


Fig. 9 Line analysis at joints.

3.2.1 Sn-Pb 솔더포일

Fig. 9는 Sn-Pb(63-37%)의 솔더 포일을 사용하여 접합한 시료를 연마하고, 표면을 에칭하여 접합단면을 EDX(Energy Dispensive X ray)에 의하여 선분석한 결과를 보인 것이다.

그림 중 (a)는 전극팁 온도가 650K의 것으로서, 모재 양측(리드와 Cu pad)의 계면 부근에서 솔더와 반응하여, 접합부에서의 구리의 농도는 거의 나타나지 않고, 접합부를 형성하고 있다. 이것에 반하여, 팁 온도가 750K의 경우(그림 중 b)는, 주석과 구리의 상호확산에 의해 접합부 내의 주석의 농도는 상대적으로 줄고, 역으로 구리의 농도는 증가하고 있다.

결국, 온도상승과 더불어 접합계면에서의 용융된 솔더를 측면부로 배출하는 양은 Fig. 10에 보인 것과 같이 많아지고, 용융된 솔더가 측면부로 배출되어 형성되는 필렛의 양이 커짐으로서 접합강도를 향상시켰다고 판단되어 진다.

또한 solder의 인장강도[3,4]는 그 조성에 따라 5~80MPa의 범위에 있으며, Sn-Pb (63-37%)의 경우는 52MPa의 인장강도와 38MPa의 전단강도를 지니고 있다. 아울러, 이러한 솔더의 합금은, 솔더 조성에 따라 접합성과 신뢰성 측면에서도 문제점[5~7]을 지니고 있다.

3.2.2 Sn-In 솔더포일

Fig. 11은 Sn-In(52-48%)의 솔더 포일을 사용하여 접합한 접합부의 단면을 관찰 · 분석한 것이다.

그림 중 (a)는 팁 온도가 550K의 경우이며, 접합부의 폭은 약 5㎛ 전후이며, 용융된 솔더는 모재인 구리와 많은 반응을 하지 않고 있음을 구리의 농도 분포로부터 알 수 있다. 즉 접합부는 솔더(Sn-In)를 주성분으로 한 합금층으로 형성되어 있음을 알

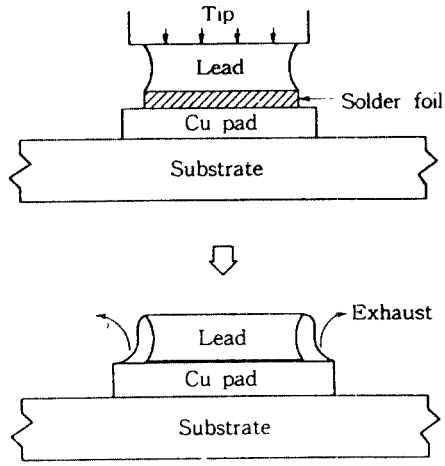


Fig. 10 Exhaust of solder foil due to heat and pressure.

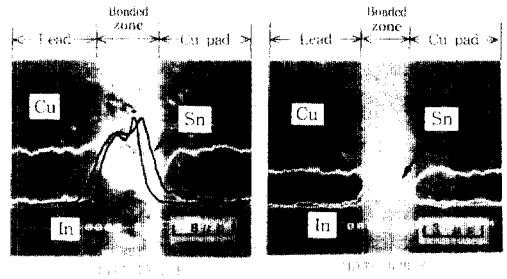


Fig. 11 Line analysis at joints.

수 있다.

반면에, 팁의 온도가 650K(그림 중 b)의 경우에는, 접합계면 부근에서의 주석(Sn)과 인듐(In)의 농도는 팁의 온도가 550K의 경우와 비교해서 상대적으로 떨어져, 역으로 구리의 농도는 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 접합부를 중심으로 각각의 원소의 분포는 대칭적으로 되어 있다. 이와 같이 가열온도의 상승과 더불어 접합계면에서의 용융된 솔더포일(Sn-In)이 측면으로 배출하는 양이 늘어, 접합부의 폭은 역으로 가열온도가 높아질수록 좁아지고 있다. 이 원인은, 용융된 솔더 포일 전체가 접합계면에서의 두께방향으로만 반응하는 것이 아니라, 가압 · 가열에 의하여 모재의 측면부에 대부분 배출하는 것에 기인하고 있다.

한편, Fig. 12는 리드와 구리패턴을 솔더 포일

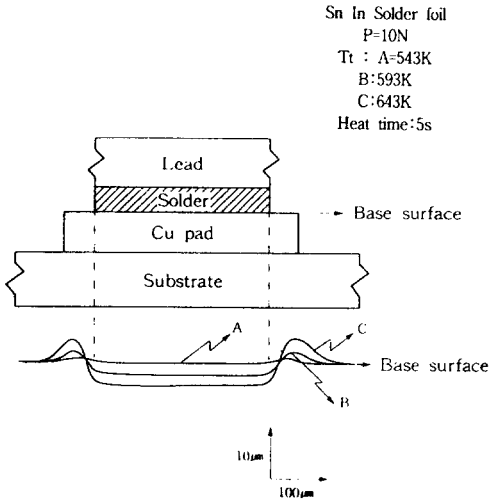


Fig. 12 Configuration of fracture surface (Cu pad side)

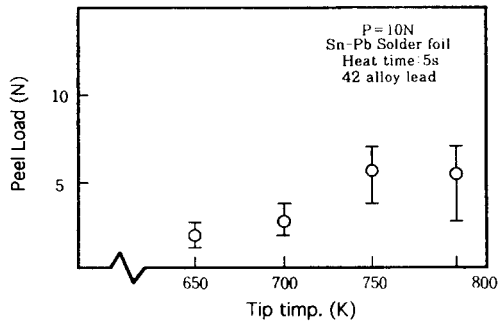
(Sn-In)을 사용하여 접합시켜, 인장전단 시험후의 파단면을 측면으로부터 표면거칠기 측정기로 관찰 · 계측한 것이다.

그림과 같이 팁의 온도가 543K의 경우에는, 측면으로 배출된 솔더가 A로 나타낸 것과 같은 필렛을 형성하고 있으며, 팁의 온도가 593K의 경우에는, 용융 · 배출된 솔더 포일이 그림 중 B와 같이 크게 형성되고 있다. 팁의 온도가 643K의 경우에는 그림 중의 C와 같이 필렛형성이 온도상승과 더불어 커져 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 온도상승과 더불어 용융된 솔더의 대부분은 측면부로 배출되고 있다.

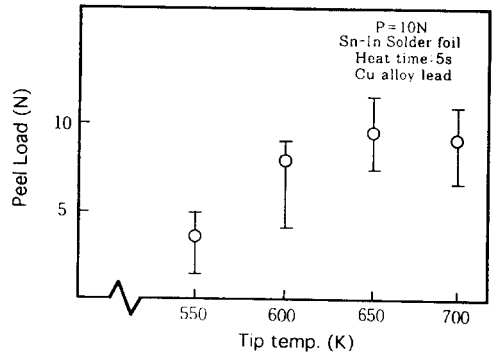
3.3 솔더포일에 따른 peel 하중과 변위량

미세접합부의 기계적 성질 및 미시적인 질과 변위량을 구체적으로 검토하기 위하여, 접합계면에 우선적으로 응력이 집중되는 peel 하중시험을 통하여 파단상황을 검토하였으며, 하중과 변위량을 측정하였다. 무플럭스(fluxless) 솔더 포일을 사용한 경우의 90° peel 파단시험 결과를 Fig. 13 (a), (b)에 나타내었다.

그림 중 (a)는 Sn-Pb 솔더 포일을 사용한 것으로, 팁 온도는 650~800K의 범위에서 변화시켜 peel 파단하중을 나타낸 것이고, 그림 (b)는 Sn-In 솔더포일을 사용하여 팁 온도를 550~700K 범위



(a) Sn-Pb(63-37 Wt%) solder foil



(b) Sn-Pb(52-48 Wt%) solder foil

Fig. 13 Relation between peel load and tip temperature.

에서 온도와 peel 파단하중과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 무플럭스인 솔더 포일(Sn-Pb)을 사용한 경우는 peel 파단하중이 가열온도가 높아짐에도 불구하고 약 3~6N의 낮은 값을 나타내었으며, Sn-In의 솔더 포일을 사용한 경우에는 7~12N의 상대적으로 큰 peel 파단하중을 얻고 있다.

한편, 솔더 포일을 사용하여 변위량과 하중과의 전형적인 관계를 나타낸 것이 Fig. 14이며, 그림에서 알 수 있듯이 파단하중의 최고값 직후에 하중값이 거의 0에 접근하는 것은 솔더페이스트를 사용한 것과 같이 필렛 형성 부위가 상대적으로 훨씬 작은 것에 기인한 것으로 판단된다.

또한 Sn-In의 솔더포일을 사용한 경우에는 변위량과 하중에 대한 기울기가 Sn-Pb와 비교하면 상대적으로 완만하여 응력에 대한 완화작용 효과가 향상되었다고 판단된다.

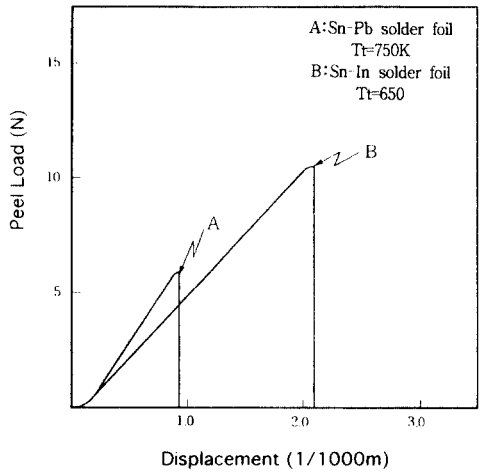


Fig. 14 Relation between peel load and tip displacement.

4. 결 론

IC의 바깥리드와 PCB 상의 구리패드와를 접합대상으로 하여, 솔더 포일을 접합재로 공급하여 펄스가열(pulse heat)방식에 의하여 가열 · 접합시켜, 그 초기 접합강도를 인장전단 시험 및 peel 파단하중에 의하여 평가하였다.

한편, 플럭스 함유에 의한 세척문제, 환경문제, 기판의 부식, 절연저항의 감소 등의 문제점에 착안하여, 본 연구에서는 무플럭스 솔더링(fluxless soldering)의 응용수단으로 솔더 포일을 사용하여 N_2 가스를 접합계면에 분사시켜 실험을 병행, 수행하여 실현 가능성을 제시하였다.

본 연구의 실험을 통하여 얻어진 결론을 간략하게 요약하면 우선, 무플럭스 솔더링의 실현을 위한 솔더 포일(solder foil)을 사용한 경우에는 가열온도의 상승과 함께 인장전단 강도도 증가하는 경향을 보였으며, Sn-Pb 솔더포일을 사용한 경우에는, 접합강도가 8~13N(전극팁 온도:750K) 정도의 인장전단 강도가 얻어졌다. 반면에 Sn-In 솔더포일의 경우에는, 가열온도가 저하되었으며, 전극팁 온도가 650K 전후에서 25N 이상의 접합강도를 얻었다. 이것은 합금반응층의 성질에 기인한 것으로 판단된다. 또한 솔더 포일을 사용하여 무플럭스 솔더링(fluxless soldering)의 실현가능성을 실험적으로 밝혔다.

아울러 접합부의 미시적 품질을 평가하기 위한 수단으로 peel 인장시험을 한 결과, Sn-In을 사용한 경우가 변위량과 파단하중의 기울기로부터 Sn-Pb의 솔더보다 약 2배 이상의 변위량이 증가함을 밝혔다.

후 기

본 연구는 1997년도 한국과학재단 핵심연구(과제번호: 971-1007-046-1)에 의하여 연구되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Y. Fujita : 希薄亞含有銅合金의 주석 및 solder의 밀착성, 일본 마이크로접합 위원회, MJ-168-91, (1991), PP. 33-44
2. 신영의 : Sn-Pb 솔더 접합부의 초기강도에 관한 연구, 대한용접학회 논문집, 제4권, 제3호, (1996), PP. 185-191
3. K. Kitakaze : Solder 도금 리드 프레임 재료의 가열 확산과 밀착성, 일본 마이크로접합 연구위원회, MJ-58-86, (1986), PP. 2-18
4. Sato : Pb-Sn계 solder의 주조 조직과 인장 특성, 일본 금속학회지, Vol. 49, No. 1, (1985), PP. 26-33
5. V. L. A. Silverra : Degradation of Cu/Sn/Pb Surface Layers on Aluminum Conducters by the Action of an Electric Current, IEEE. CHMT, Vol. 8, No. 3, (1995), PP. 328-332
6. Glazer, J. : Microstructure and Mechanical Properties of Pb-Free Solder Alloys For Low Cost Electronic Assembly, A Review of J. Electronic Materials, Vol. 23, (1994), PP. 693-699
7. M. Sanji : Characteristics Evaluation of Pb free solder Alloy920, Microjoining and Assembly Technology in Electronics, Mate 97, (1997), PP. 77-82