

Fe-Ni 합금 클래드 리드 프레임을 이용한 전자 재료 접합부의 품질향상과 그 신뢰성

신영의* · 최인수** · 안승호***

Quality Improvement on Joints of Electronic Materials and Its Reliability by Fe-Ni Alloy Clad Lead Frame.

Young-Eui SHIN*, In-Soo Choi** and Seung-Ho Ahn***

Key Words : Distribution of thermal stress, Fe-Ni alloy clad lead frame, solder joint, micro crack, thermal fatigue fracture, TSOP

Abstract

This paper discusses distribution of thermal stress, strain at near the joint and investigates the reliability of solder joints of electronic devices on a printed circuit board.

As Electronic devices are composed of different materials, thermal stresses generate at near the interface, such as solder joints and interface between IC device and lead frame pad due to the differences of thermal expansion coefficients, As results of thermal stress, strain, micro crack often occurs thermal fatigue fracture at the interface of different materials, The initiation and propagation of micro crack depend on the environmental conditions, such as storage temperature and thermal cycling.

Finally, this paper experimentally shows a way to suppress micro cracks by using Fe-Ni alloy clad lead frame, and investigates crack and thermal fatigue fracture of TSOP(Thin small outline package) type on printed circuit board.

1. 서 론

전자 기기의 급속적인 발전은 반도체 집적회로

기술의 진보와 더불어 전자 기기의 소형화, 박형화, 고기능화의 실현으로 이루어졌다. 이에 따라 IC 패키지(Package)도 종래의 삽입형 타입으로 부터 탈피하여 표면 실장 기술(Surface Mount Technology)과 더불어 다핀(Multi-Lead)화 미세 피치(Fine

* 정회원, 중앙대학교 공대 기계설계학과

** 비회원, 국방과학연구소

*** 비회원, 삼성전자 기술연구소 PKG. 개발

Pitch)화의 경향이 급속히 증가하게 되었다. 이러한 IC 패키지(Package)의 소형화, 박형화, 미세 피치(Fine Pitch)화의 추세에 따라 표면 실장부품을 탑재 시에는 이종 재료간의 물성치(열전도도, 전기전도도, 열팽창계수, 영율) 및 제특성(인장강도, 경도, 연신율, 피로강도)에 따라 접합, 접속 부위의 품질 및 신뢰성 문제를 고려하여야 한다. 즉, 패키지 내부에서의 칩(Chip)과 리드 프레임 패드(Lead Frame Pad) 면과의 접합 신뢰성과 이종 재료간의 기계적 전기적 접합에 의한 Solder 접합(Solder Joint) 부위의 신뢰성이다.

전자기기의 전원의 on/off에 따른 온도 변화 및 사용 환경 분위기에 따른 온도 변화에 따라 패키지 내부와 Solder 접합부 및 기판의 열 팽창계수 차이에 따라 응력, 변형률이 발생하여 패키지 내부의 균열 및 Solder 접합 부위에서의 열 피로 파단에 이르는 등, 신뢰성 문제에 치명적인 악영향을 미치게 된다. 따라서 본 논문에서는 패키지 내부 균열 및 Solder 접합부 부위의 균열을 최소화시키기 위하여 통상의 리드 프레임(42 합금) 대신에 구리 합금 리드 프레임에 클래드(Clad)를 압연한 새로운 소재를 제작, 이용하여 패키지 내부에서의 균열과 Solder 접합 부위의 신뢰성 평가를 하였다.

2. 연구 경향과 목적 및 이종재료 접합부의 이론

2.1 연구 경향과 목적

리드 프레임 재료는 42 합금(Fe-42% Ni합금), 구리 합금 및 보통강으로 분류된다. 보통강은 주로 발광 다이오드(LED)등의 단품소자 부품에 사용되고 있으며, 그 용도는 한정되고 있다. 한편, 구리 합금은 발열량이 큰 바이폴라(bipolar) IC에 사용되고 있고, 42 합금은 칩 크기가 큰 MOS계열 IC를 중심으로 사용되어 왔다. 그러나 최근의 경향으로는 MOS계열에서도 고밀도화, 고속화가 진행되고 있어, 이에 대한 발열 대책이 필요하게 되었으며, 비용절감 측면에서도 크게 요구됨에 따라 구리 합금의 사용 비율이 점점 높아지고 있다.

구리 합금은 높은 열전도도 및 전기 전도도와 연성이 좋아 패키지 부품 등의 외부 리드와 회로 기판과의 접합, 접속 측면에서 양호한 특성을 갖지

만, 반도체 칩(Si)과의 열 팽창계수 차이와 기계적 강도의 부족으로 패키지 내부에서의 신뢰성이 문제화 되고 있다.

또한, IC 패키지의 다핀화 및 미세 피치화의 진전에 의하여, 리드와 기판상의 전극간의 접촉면적이 작아지고, 단위 면적당 응력-변형이 증대하여, 이종재료간의 열팽창계수의 차에 의하여 발생하는 열응력 변형이 누적되어 접합부위에서 미세 균열이 발생하여 파단에 이르게 된다. 이러한 신뢰성 요구조건에 따라 IC 패키지 내부에서의 균열 방지와 Solder 접합부위에서의 응력완화 목적으로, 본 연구에서는 두께 150 μm 인 구리합금 리드프레임에 42 합금을 압연한 클래드 리드프레임을 제작하여 패키지 내부에서의 균열과 Solder 접합부위의 신뢰성을 검토하였다.

2.2 이종재료 접합부의 이론

2.2.1 패키지 내부에서의 이종재료 접합의 계면응력

IC 패키지를 구성하는 재료의 열팽창 계수는 Fig. 1에 보인것과 같이 크게 다르다. 특히, 실리콘 칩과 리드 프레임 및 에폭시의 열팽창 계수의 차로 인하여, 이종재료가 접합된 상태에서 온도를 가하면, 접합계면에서의 응력이 발생하고, 이응력은 칩의 끝단 부분과 리드 프레임의 끝단 부분에서 집중되어, 어느 한계 이상이 되면 균열이 발생하기 시작한다. 열팽창계수 차이로 발생하는 열응력(σ)은 일반적으로 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$\sigma = \int_{T_1}^{T_2} E \cdot \alpha(T) dT$$

여기서 $\alpha(T)$ 는 열팽창계수, E: 영율,
T1, T2: 온도

실리콘 칩과 에폭시 계면에 영향을 주는 응력은 몰딩(molding)후의 냉각시에 칩 표면에서는 압축 응력, 에폭시 쪽에서는 인장응력이 발생하여, 이 내부 응력이 접합계면 강도보다 크게 작용하면, 실리콘 칩이나 리드프레임과 에폭시 계면에서 접착이 파괴되어, 패키지 내부의 균열이 발생하게 된다.

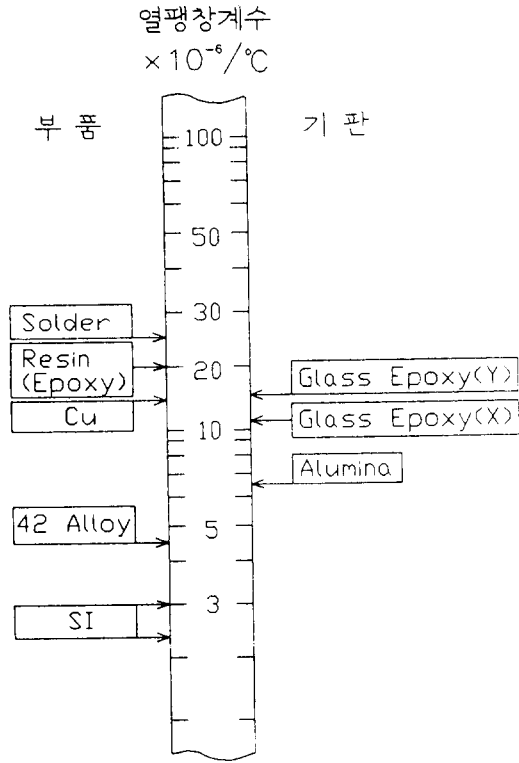


Fig. 1 Thermal expansion coefficient of Components

2.2.2 Solder 접합부위에서의 균열 발생 기구

전자 기기의 고밀도 실장과 더불어 전자부품을 프린트 회로기판이나 세라믹 기판상의 전극과 접합하는 Soldering 기술은 접합부의 면적의 미세화 및 접합 피치의 미세화 추세에 따라, 접합재료로 사용되고 있는 Solder 재료의 선정이 중요하다. 현재, 산업계에서 사용되고 있는 Solder는 Sn-Pb계열의 Solder가 가장 많이 사용되고 있으며, Solder를 이용한 Solder joint 부위의 발생하는 균열의 생성, 성장 기구는 다음과 같이 크게 3가지로 분류할 수가 있다.

- (1) 이종 재료간의 열팽창계수의 차에 의한 열 응력 변형
- (2) Soldering시의 초기 접합 불량
- (3) 확산계수의 차에 의한 Kirkendall void 등으로 위의 3가지 중에서 이론 및 실험차원에서 가장 많이 취급되고 있는 것은 (1)항목이다. 따

라서 미세화되는 접합부위에 대해서 소자의 발열, 냉각이나, 사용환경의 온도 변화에 의한 열응력이 발생하고, 열변위가 반복적으로 발생하여, 초기 미세 균열이 발생하여 최종적으로 열 피로에 도달하게 된다. 이때, 온도변화에 따른 열변위 l은 기판과 패키지 소재의 열팽창 계수의 차($\Delta\alpha$)와 온도차(ΔT) 및 패키지(package)의 크기 (l: 패키지 중심으로부터 가장 먼 Solder 접합부까지의 거리)에 의존한다. 이것을 수식으로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$\Delta l = \Delta\alpha \cdot \Delta T \cdot l \dots\dots\dots (2)$$

또한 접속 부위의 파괴 모드(mode)는 Fig. 2에 보인것 처럼 (1)리드의 계면과 Solder사이에서 파괴 (2) Solder와 pad계면사이에서 파괴 (3)기판에서의 파괴 (4) 리드 자체가 소성변형에 의하여 파괴 (5) Solder 자체내에서의 파괴되는 경우로 분류할 수 있다. 이러한 파괴 모드에서 Sn-Pb 계열의 Solder 재료를 사용한 경우, (5)항목의 균열이 가장 많으며, 이것은 열 응력 분포중에서 응력이 상대적으로 집중하는 곳이 Solder fillet 부분이기 때문이다. 또한 Solder 접합부의 열피로는 일정온도의 기계적 피로와는 달라, 재료강도의 온도의존성이나 금속의 확산, 조직 변화등의, 영향을 받으므로 파괴기구가 복잡하다. Sn-Pb 계열의 Solder 접합부의 열 피로에 관한 연구¹⁴⁾는 접합부에서 발생하는 최대 전단 변형 λ_{max} 를 파라미터로 한 Manson-Coffin에 의한 저 사이클 피로 수명식을 이용하여, 열 피로의 수명을 구하고 있다. 즉, Manson-Coffin의 실험식은 Fig. 3에 보인것과 같이 재료의 응력, 변형 이력곡선이 히스테리시스 루프를 그리며, 최대의 응력 범위 $\Delta\sigma$ 또는 Mises의 상당 변형 범위 $\Delta\epsilon_{umax}$ 가 파단까지의 사이클인 N를 결정하게 된다. 이것을 수식으로 표현하면

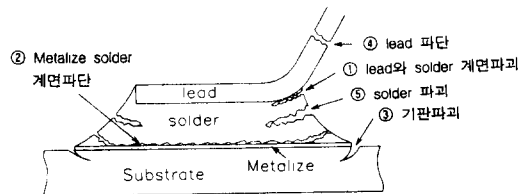


Fig. 2 Fractured mode due to the thermal stress.

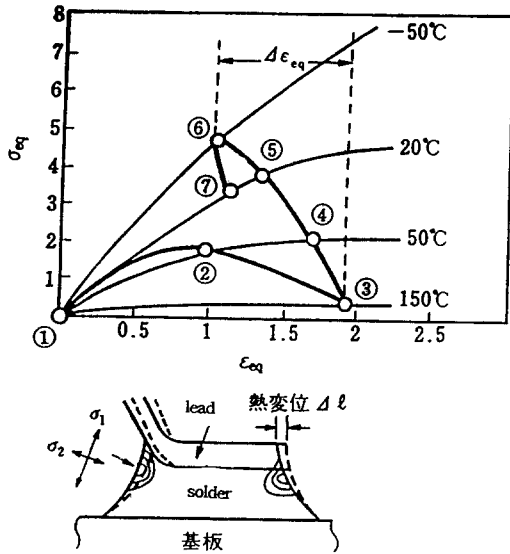


Fig. 3 Hysteresis of thermal stress strain.

$$N_f = C \cdot (\Delta \epsilon_{eq,max})^{-n}$$

이 되고, 여기서, C는 재료상수, n은 지수이다.

3. 실험 재료 및 실험 방법

본 실험에 사용한 리드프레임과 클래드 조성과 제특성을 Table 1과 2에 나타내었다. Fig. 4은 클래드 리드프레임을 이용한 TSOP(Thin Small Outline Package)를 프린트 기판회로상에 Soldering 한 단면도를 보인 것이다.

Fig. 5에는 클래드 리드프레임의 공정의 흐름을 나타내었다. 먼저 마스터(Master) 패턴을 필름에 옮긴 아트워크(Art work)를 제작하여, 클래드 소

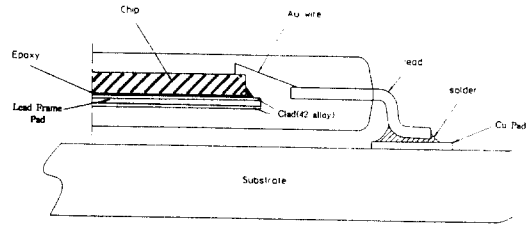


Fig. 4 Cross sectional view of TSOP using clad lead frame.

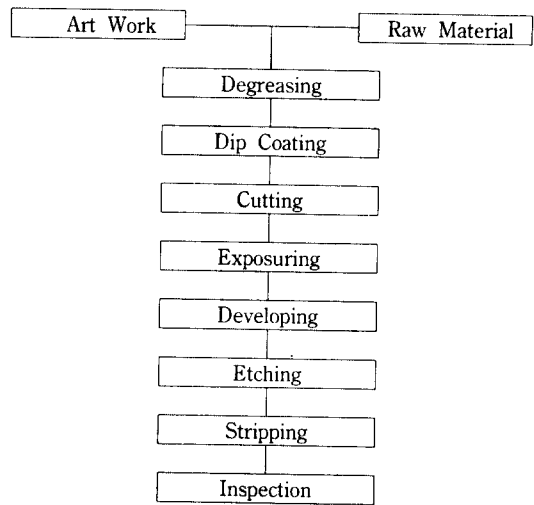


Fig. 5 Manufacturing flow of clad lead frame.

재의 표면에 부착되어 있는 오염층 및 산화피막을 제거하여, 감광막의 밀착성을 향상시키는 세척공정을 거치고, 세척된 소재 금속을 감광성 용액 탱크안으로 침적시켜서 금속 표면에 감광액을 일정한 두께의 감광막으로 형성시켰다. 감광막이 형성된 소재와 아트워크(Art work)를 밀착 부착시킨후

Table 1. Chemical Composition of Clad Lead

Item	Compositon(%)	Si	Ni	Mg	Mn	Cr	Co	P	S	Cu	Fe
Cu alloy (Base)		0.65	3.00	0.15	—	—	—	—	—	96.30	—
42 alloy (Clad)		0.06	40.55		0.42	0.04	0.09	0.04	0.04	—	58.76

Table 2. Properties of Cu alloy and 42 alloy

Material	Tensile Strength(N/mm ²)	Hardness (H _B)	Thermal Expansion Coefficient(°C ⁻¹ ×10 ⁻⁶)	Young Modulus (N/mm ²)	Thermal Conduction Coefficient(W/m·k)
Cu alloy	440	125	17.7	121000	2.62E+2
42 alloy	620	170	5.3	132300	14.7

에 일정량의 빛을 조사하여 감광막을 제품형태로 고착시켜 현상공정에서 노출시킨다. 이렇게 노출된 금속 표면에 FeCl₃ 용액을 분사시켜서, 노출된 금속표면을 화학적으로 용해시키고, 부식(etching) 후에 남아 있는 감광막을 제거하였다.

또한, IC 패키지의 봉합재료는 EMC(epoxy mold compound)를 사용하였으며, 패키지 타입은 경박 단산화 추세에 따라 TSOP를 사용하였다. 또한 접합용 solder재료는 Table 3에 보인 것과 같은 특성을 갖는 Sn/Pb(63/37) 공정(共晶) Solder paste를 사용하고, 기판은 에폭시계열의 FR-4를 이용하여 워크스테이션 및 슈퍼 컴퓨터의 메모리용으로 이용되는 모듈(Module) 샘플을 제작하였다. Solder paste는 스크린 프린터를 이용하여 Fig. 6에 보인 것과 같이 기판상의 전극 패턴(0.8×2.0mm)상에 두께 160 μm의 Solder paste를 공급하였다. Soldering 방법은 핫에어(Hot air) 방식을 이용하여, 예비가 열을 100초간 실시하고 235℃에서 20초간 가열하여, 냉각은 강제순환 방식으로, 약 120초 후에 상온에 도달하게 된다.

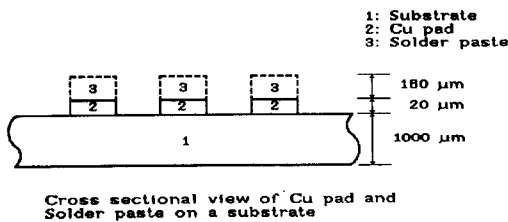


Fig. 6 Cross sectional structure of Cu pad and solder paste on a substrate.

4. 이종 재료접합의 최적 구조를 위한 고찰 및 실험 결과

4.1 클래드의 최적 두께를 위한 모의해석(Simulation)

IC 패키지의 내부 균열의 저지를 목적으로 클래드 리드프레임의 제작에 앞서, 클래드의 적정 두

께를 계산하기 위하여 42합금의 클래드의 두께를 10, 20, 30 μm에 따른 각각의 구리 합금리드와 클래드의 계면에 미치는 열응력, 변형을 유한 요소법(FEM)을 이용하여 Simulation하였다. 패키지 내부에서 응력분포는 위치에 따라 차이가 있으며, 당연히 패키지 중앙부를 중심으로 가장자리로 갈수록 응력이 커지는 경향이 있다.

Fig. 7은 두께 30 μm의 클래드를 이용한 경우의 실리콘 칩과 다이패드의 응력 분포를 Simulation한 결과이다. Simulation의 조건은 TSOP 전체 모델의 1/2을 모델링하였으며, 4절점 평면변형률 요소(Plane strain element)를 사용하였다. 모델 구성에 사용된 메쉬(mesh)는 요소수(element) 1560개, 절점수(node) 1647개이며, 각 소재의 물성값은 온도에 따라 일정한 값을 이용하였다. 또한 각 소재들 간의 경계조건은 완전 접촉으로 가정하였으며, FEM의 소프트웨어는 앤시스(ANSYS 5.0)를 이용하였고, 온도 조건은 반도체 제조 공정에서 이용되고 있는 T/C(Temperature cycle) -50~150℃를 simulation 조건으로 수치해석을 하였다. 그림과 같이 패키지 중앙부에서 가장자리로 갈수록 응력이 커지는 결과가 나왔으며, 또한 모의해석(simulation) 결과와 같이 현실적으로 패키지 내부의 균열은 다이패드(Die pad)의 상하단 가장자리에서 T/C(Temperature cycle)의 증가와 함께 발생하고 있다.

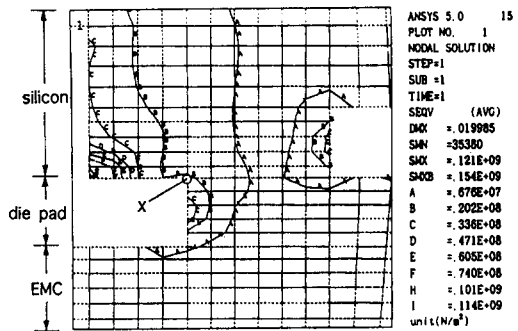


Fig. 7 Thermal stress distribution between silicon chip and die pad using thickness of 30μm clad lead frame.

Table 3. Physical Properties of Sn/Pb(63/37) Solder alloy

Density(g/cm ³)	Thermal Conductivity(W/mk)	Electrical Conductivity(%)	Thermal Expansion Coefficient(°C × 10 ⁻⁶)	Hardness (H _p)
8.3	50.9	11.8	21.4	17

Fig. 8은 Fig. 7의 다이패드(Die pad)의 가장자리(그림 중 X부분)의 응력값을 클래드의 두께에 따라 Simulation한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 클래드를 사용한 경우, 다이패드 가장자리 부위에 걸리는 Von-Mises응력은 클래드가 30 μm 인 경우 최소값을 나타내었다. 또한 각 소재에 따른 응력(σ_m)은 42합금<클래드(30 μm)<구리합금의 순으로 나타나며, 클래드구조에서는 클래드 두께가 30 μm <20 μm <10 μm 의 순으로 되어 있어, 본 연구에서는 두께 30 μm 의 클래드를 제작하여 신뢰성 실험을 하였다.

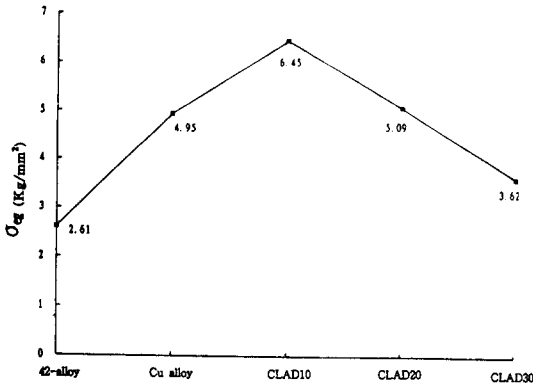


Fig. 8 Stress values at die pad edge.

4.2 Solder 접합부 및 패키지 내부의 신뢰성 평가

Solder 접합부위의 신뢰성평가는 Fig. 9에 보인 것과 같이 Solder 접합부의 신뢰성 평가 항목중 일 본, 미국 전자 산업체에서 보편적으로 이용하고 있는 조건인 온도사이클 시험(-50~150 $^{\circ}\text{C}$, 1 cycle 30분)을 이용하였으며, 신뢰성 평가 대상은 클래드를 사용한 구리합금 리드 및 42 합금 리드의 아우터(outer) 리드와의 Solder 접합부위를 대상으로 하였다. Fig. 10은 현재 전자 산업계에서 사용하고 있는 42 합금리드를 이용한 Solder 접합 부위의 접합부의 형상을 나타낸것으로, 온도 사이클이 500 사이클 진행됨에 따라 균열이 진행되어 접합부가 파단되어 있는 것을 알 수 있다. 한편 Fig. 11 (a), (b)는 클래드 리드프레임을 이용한 Solder 접합 부위의 접합 단면도를 보인것으로 온도 사이클이 진행됨에 따라 필렛(fillet) 중앙부에서 균열이 발생하여 리드프레임과 Solder 계면부근으로 균열이 진

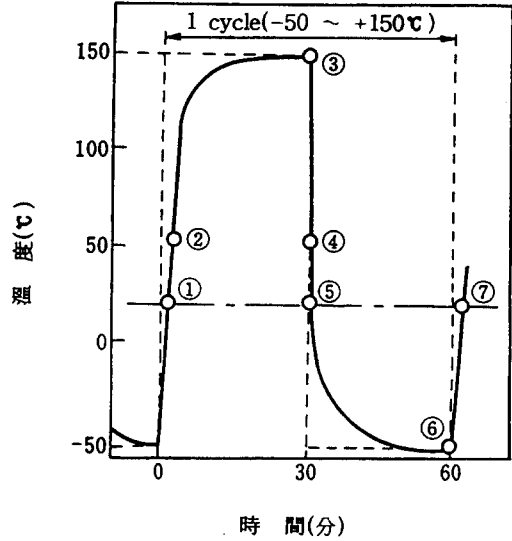


Fig.9 Profile of temperature cycling test.

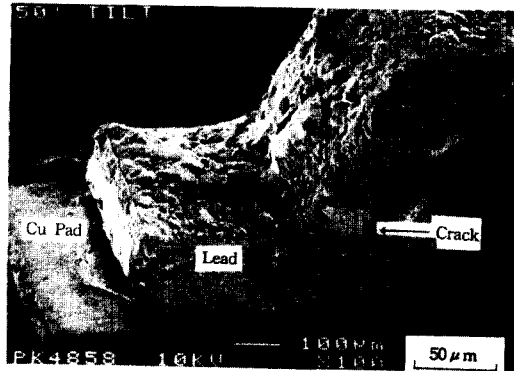
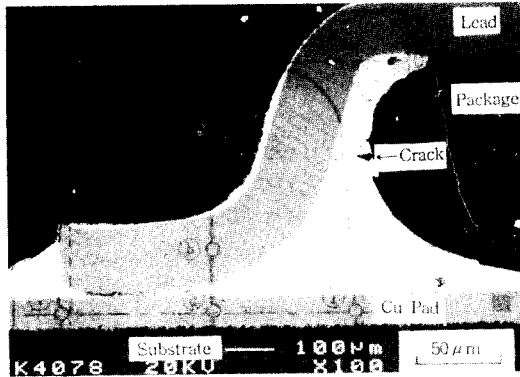
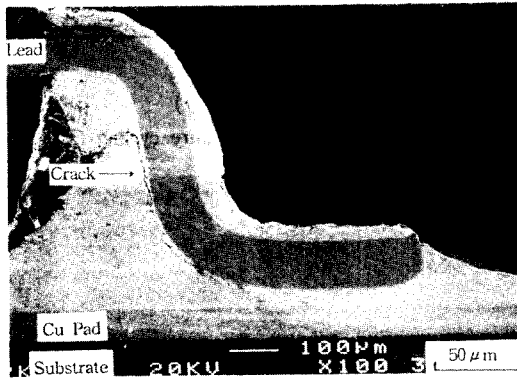


Fig. 10 Configuration of solder joints with 42 alloy lead frame(500 cycle).

행되고 있으나, 클래드를 사용하지 않은 42 합금의 리드프레임과 비교하면, Solder joint 부위의 균열 진전을 저지할 수 있음을 알 수 있다. 이것은 동일한 두께(150 μm)의 리드 프레임을 soldering 공정에 이용하였을때 구리합금의 소재가 42 합금보다 flexibility가 좋아, 온도 변화에 따른 Solder 접합 부위의 응력 완화작용에 기인한 것으로 판단된다. 한편 Fig. 12는 클래드 리드 프레임을 이용하여 온도사이클 1000 사이클 뒤의 패키지 내부의 실리콘 칩과 다이패드 간에 접합상태를 관찰한 것으로 디바이스인 실리콘 칩과 클래드(30 μm)를 이용한 다이패드 간의 접합상태는 균열의 발생없이 양호하



(a) 500 cycle



(b) 1000 cycle

Fig. 11 Cross sectional view of solder joints with clad lead frame.

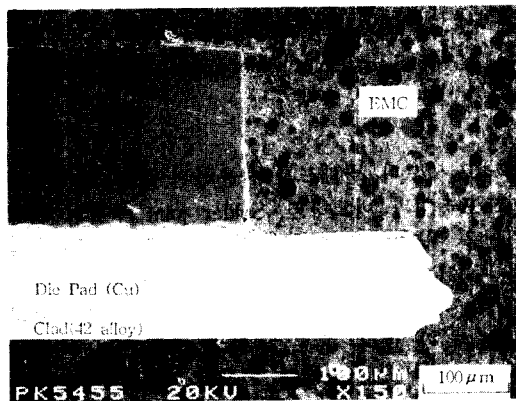


Fig. 12 Cross sectional view of joints between silicon chip and die pad.

게 접합되어 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

현재 산업계에서 문제시되고 있는 IC 패키지의 내부 균열과 Solder 접합 부위의 균열의 발생, 성장의 저지책으로 클래드 리드프레임을 이용하여 열응력, 변형 Simulation을 하여, 최적 응력치를 구하여, 제작하고 신뢰성 실험을 하였다. Simulation과 실험을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 각소재의 열응력-변형에 대한 Simulation 결과, 실리콘 칩과 다이패드 간의 응력(σ)은 42합금<클래드(30 μ m)>구리합금 순임을 밝혔다.
- 2) 클래드 소재의 두께에 따라 Von Mises의 상당응력(σ_m)은 30 μ m<20 μ m<10 μ m의 순이며, 클래드 두께가 30 μ m 구조가 응력 측면에서 최적값임을 Simulation을 통하여 밝혔다.
- 3) 동일한 두께(150 μ m)의 리드프레임을 Soldering 공정에 이용하였을때, 리드프레임의 소재가 42 합금보다 구리합금 계열의 소재가 유연성(Flexibility)이 좋아 온도변화에 따른 Solder 접합 부위의 응력 완화 작용으로 인하여, 온도 사이클 실험(500 사이클, -50~150 $^{\circ}$ C)에서 균열이 발생하지 않는 것을 실험적으로 밝혔다.
- 4) FR-4 PCB기판과 42합금의 리드프레임 및 TSOP를 이용한 Solder 접합 부위의 신뢰성은 약 500 사이클 (-50~150 $^{\circ}$ C)에서 접합부가 파단에 이르는 것에 반하여, 두께 30 μ m의 클래드를 이용한 구리합금의 리드프레임은 1000 사이클에서도 부분적으로 균열이 발생하였지만, 신뢰성 측면에서 수명(N)을 크게 향상시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

1. H. J. Shah, : Inter. Hybrid Microelectronics Symp., 3.4.1 (1970)
2. R. N. Wild : Welding Research Supplement, 52 1(1972)
3. W. Englmaier : Elect. Pack. and Prob., Apr., 58 (1983)
4. Satou : 전자 회로에 대한 Pb-Sn계합금 미세 접속부의 열피로, 일본 금속 학회 논문 강연집, 11(1988)