

# 초음파를 이용한 반도체의 신뢰성 평가

장효성\* • 하 욱\* • 장경영\*\* • 김정규\*\*

(\* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과, \*\* 한양대학교 기계공학부)

## Reliability Evaluation of Semiconductor using Ultrasonic

Hyoseong Jang\* • Job Ha\* • Kyungyoung Jhang\*\* • Jungkyu Kim\*\*

(\* Graduate School of Hanyang University, \*\* School of Mech. Eng., Hanyang University)

### Abstract

Today, Ultrasonic is used as an important non-destructive test tool of semiconductor reliability evaluation and failure analysis. The semiconductor packaging trend goes to develop thin package, this trend makes difficult to inspect to defect in semiconductor package. One of the important problem in all semiconductor is moisture absorption in the atmosphere. This moisture causes crack or delamination to package when the semiconductor package is soldered on PCB. Reliability evaluation of semiconductor's object is investigating the effect of this moisture. For that reason, this study is investigating the effect of this moisture and reliability evaluation of semiconductor after preconditioning test and scanning acoustic microscope.

### 1. 서론

지금까지의 반도체는 생산성과 품질 위주로 생산되어 왔기 때문에 출하당시의 품질에만 문제가 없을 경우에는 판매에 별 문제가 없었다. 그러나 최근 반도체 산업의 발달에 따라 품질과 수율 뿐 아니라 일정한 시간이 경과한 후 반도체가 수명을 다할 때까지 출하당시의 고품질의 신뢰성 (Reliability)을 유지할 것을 고객들이 요청하고 있는 추세이다.

이런 고객들의 요구를 만족하기 위하여 신뢰성을 확보하기 위한 새로운 시험 방법이 나오게 되었고, 이 신뢰성 검사를 통과한 제품들의 양부를 결정하기 위한 여러 가지 방법이 동원되고 있다. 특히 초음파를 이용한 방법은 반도체 내부의 결함의 유무나 결함의 성질을 비교적 정확하게 비파괴적으로 알아낼 수 있기 때문에 매우 강력한 반도체 신뢰성 평가 수단으로 알려져 있다.<sup>1)</sup>

본 논문에서는 초음파주사현미경(SAM)을 이용한 반도체의 신뢰성 검사와 그 검사 결과들을 소개하고자 한다.

### 2. 반도체의 구조

반도체의 내부구조는 사람의 뼈대에 해당하는 lead frame 과 그 위에 설치되는 실리콘 칩(micro chip), 그 실리콘 칩에 있는 전자회로를 외부와 연결해 주는 gold wire 그리고 이 모든 것을 외부로부터 보호해 주는 EMC 로 구성되어 있으며 일반적인 구조는 그림 1 과 같다.

### 3. 초음파의 특징

초음파란 보통 20 kHz 이상의 주파수를 가지는 음파를 말하며 반도체의 신뢰성 평가용 초음파 주사현미경에는 대략 10MHz~300MHz 정도의 주파수를 가지는 초음파가 사용된다. 초음파에는 여러 가지 특징이 있지만 피검사체의 신뢰성을 평가하기 위해서 이용되는 주요한 특징은 다음과 같고 이를 Fig. 2 에 나타내었다.

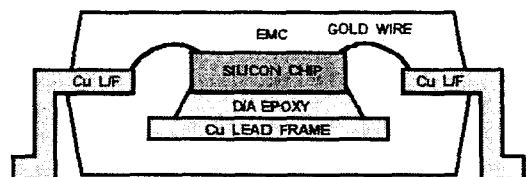


Fig. 1 Internal structure of semiconductor

\* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

\*\* 한양대학교 기계공학부

- 1) 초음파는 음향임피던스가 다른 매질을 만나면 계면에서 투과파와 반사파로 분리되어 진행한다.
- 2) 초음파가 진행하다 공기층을 만나면 거의 100% 반사한다.
- 3) 빛과 같이 직진하는 성질을 갖는다.

#### 4. 초음파를 이용한 신뢰성 평가 방법

초음파를 이용한 반도체의 신뢰성 평가 방법으로는 주로 펄스 반사법과 투과법이 이용된다. 송신파를 검사체 입사했을 때 음향임피던스 차에 의해 계면이나 결함부위를 맞고 돌아오는 반사에코를 가지고 매질 내부의 상태를 평가하는 방법을 반사법이라 하며 B-Scan, C-Scan, TAMI-Scan 등이 있다. 투과법(Thru-Scan)은 가장 간단한 초음파 검사 방법으로, 반사에코가 아닌 투과음파의 손실에 의존하여 평가하게 된다. Fig. 3은 반사법과 투과법을 함께 사용하여 검사를 수행하는 초음파 현미경의 개략적인 모습을 나타낸다.<sup>[1]</sup>

##### 4.1 B-Scan

B-Scan은 수직단면 검사법으로, 반도체의 각 계면에서 돌아오는 신호의 크기와 전파시간을 수집하여 그 수직 단면의 이미지를 보여준다. 이 검사법을 이용하면 불량 위치, 방향, 깊이 등을 정확하게 알 수 있지만 검사하는 면에 존재하는 불량만 볼 수 있을 뿐 불량 전체적인 모양은 보기가 어렵다는 특징을 가진다. 이 검사법은 주로 반도체

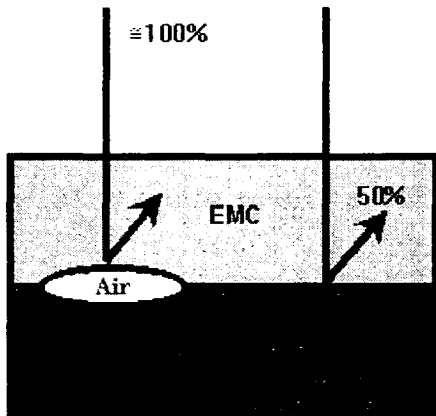


Fig. 2 Characteristic of ultrasonic

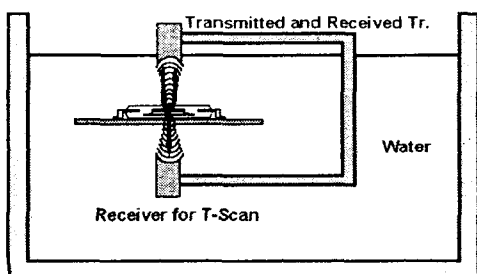


Fig. 3 Scanning Acoustic Microscope(SAM)

package crack, die crack, EMC void 그리고 tilt 등을 검사하고자 할 때 이용된다.<sup>[1]</sup>

##### 4.2 C-Scan

C-Scan은 검사방법 중 가장 많이 사용되는 수평단면 검사법으로, 반도체를 수평으로 절단한 것과 같은 효과를 갖는 이미지를 볼 수 있다. 이 검사법은 반사파의 위상과 크기를 분석하여 접합면의 상태를 보여 주며 불량 전체적인 모양, 발생 부위 등을 알 수 있지만 검사하고자 하는 면에 초점을 맞춰 주어야 하므로 숙련된 전문가 이외에는 검사하기가 쉽지 않다. 이 검사법을 이용해서 주로 반도체 package delamination, crack 등을 정확하게 검사할 수 있다.

##### 4.3 TAMI Scan

TAMI(Tomographic Acoustic Micro Imaging) Scan은 C-Scan의 또 다른 방법으로서 multi-gate 기법을 이용하여 반도체 package 내부의 깊이 방향으로 존재하는 여러 면을 한 번에 볼 수 있게 해주는 최신의 검사 방법이다. 이 검사 방법은 병원에서 인체 진단에 일반적으로 사용되는 CT(Computerized Tomography)와 유사한 검사 방법이라 할 수 있다. 이 TAMI Scan을 이용하면 반도체 내부를 최대 999 등분한 C-Scan 이미지를 얻을 수 있고, 검출 가능한 최소박막의 두께는 사용하는 주파수 파장의 약 1.5 배정도이고, 고주파수의 초음파를 사용하면 어떤 얇은 층이라도 검사가 가능하게 된다. 또 거의 모든 종류의 불량을 단시간(2~3분) 내에 정확하게 검사할 수 있으며 특정한 면에 초점을 맞추는 번거로움이 없기 때문에 전문가가 아니더라도 손쉽게 정확한 검사 결과를 얻을

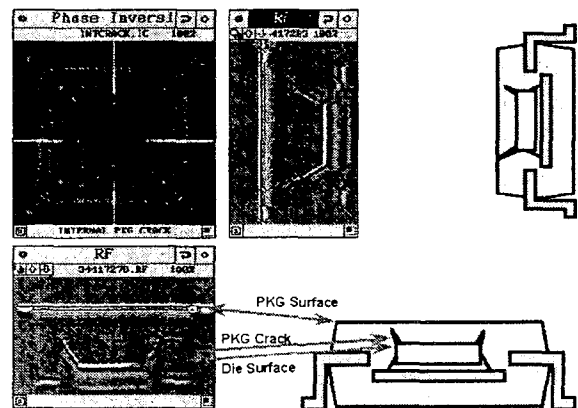


Fig. 4 B-scan image of semi-conductor

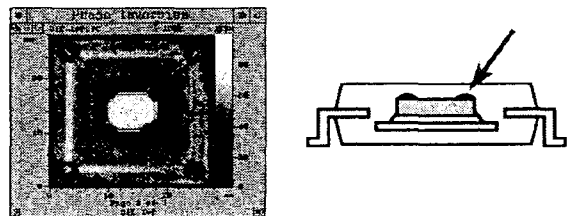


Fig. 5 C-Scan image of die surface

수 있을 뿐만 아니라 내부 불량률 3 차원적으로 볼 수 있다.

Fig. 6 은 TAMI Scan 에 의해 반도체 칩을 31 등분한 이미지를 배열로 나타낸 것이다. 설계과정에서 이미 알고 있는 반도체 소자의 설계치수와 동일한 깊이차를 가지는 계면의 TAMI Scan 이미지를 비교함으로써 결함이 있는 면의 깊이 정보와 결함의 형상을 동시에 확인할 수 있어 반도체 생산 공정에서의 신뢰성 평가에 신속한 응답을 줄 수 있다.

#### 4.4 Thru-Scan

Thru-Scan 은 검사 방법 중 가장 간단한 검사방법으로 X-Ray 검사와 같이 반도체에 초음파를 입사 시킨 다음 그 반도체를 투과해 나오는 투과파를 분석하여 이미지를 보여주는 검사법이다. 이 검사 방법은 초음파에 대한 특별한 지식이 없는 사람도 손쉽게 검사할 수 있는 검사방법이지만 불량률의 존재 유무만 알 수 있을 뿐 결함이나 계면의 위치나 깊이에 대해서는 알 수가 없기 때문에 주로 대량 검사에 사용되고 있다.

Fig. 7 은 Thru-Scan 에 의한 수평단면의 형상으로써 투과파가 생기지 않는 오른쪽에 결함이 있음을 알 수 있다. 이 검사법을 펄스 에코법과 비교

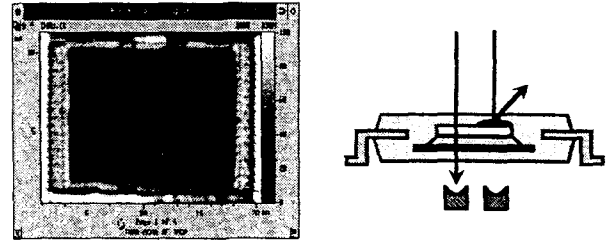


Fig. 7 Thru-Scan image of semiconductor

하면 위상이 바뀌게 되므로 Gray scale 로 나타나는 계면 이미지의 흑백명암이 펄스 에코법과는 반대로 나타나게 된다.

### 5. 반도체의 신뢰성 평가

신뢰도가 높은 반도체는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

- 1) 내습성이 강해야 한다.
  - 2) 열충격에 강해야 한다.
  - 3) 고온에 강해야 한다.
  - 4) 반도체 내부가 외부로부터 완전히 차단 되어야 한다. (L/F 과 EMC 사이에 Gap 이 없어야 한다.)
- 조립 완료된 반도체가 이런 조건들을 만족하는

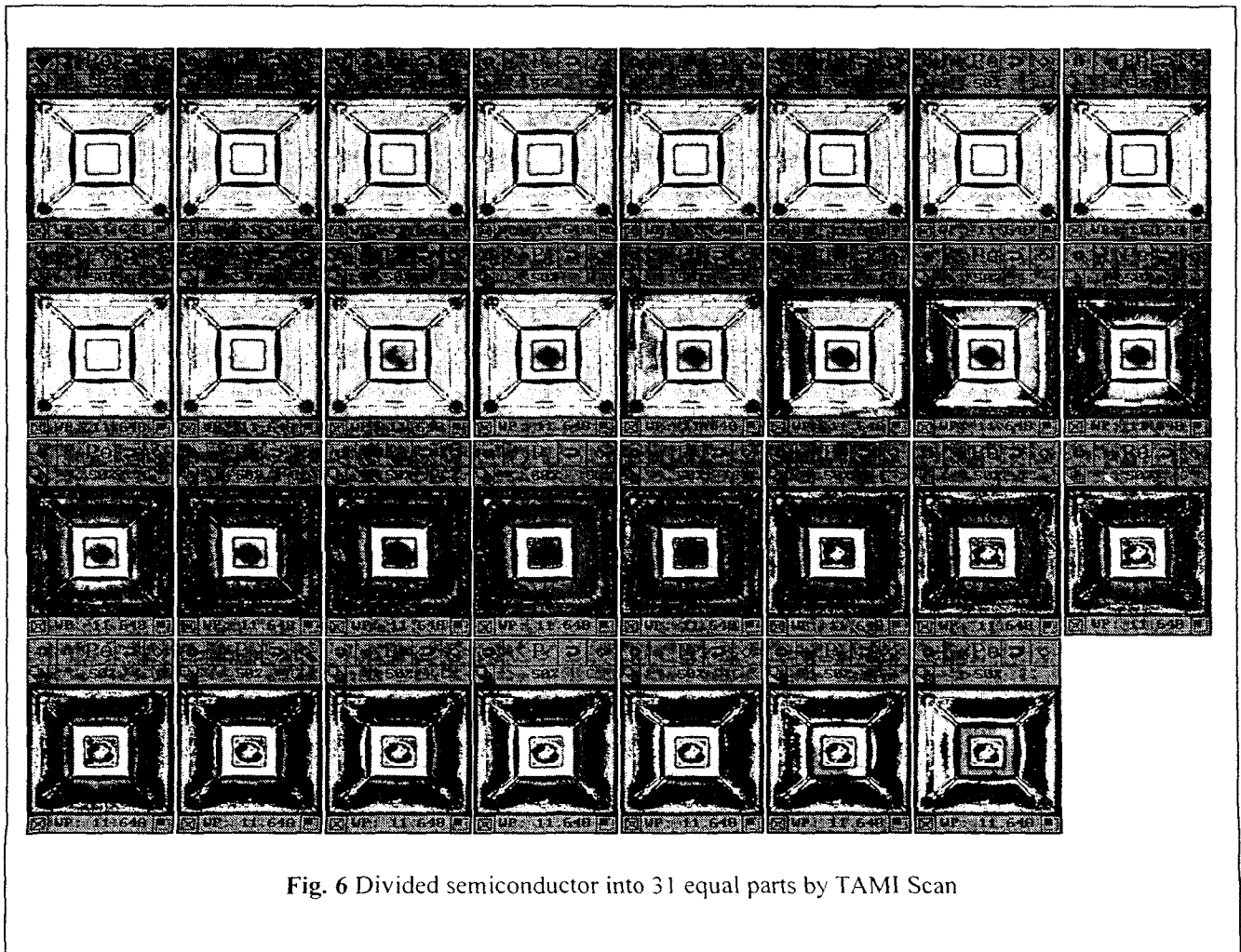


Fig. 6 Divided semiconductor into 31 equal parts by TAMI Scan

가를 알아보기 위해 preconditioning test 라는 신뢰성 평가 방법이 있다. preconditioning test 는 반도체가 조립된 후부터 PCB 에 납땜 될 때까지의 공정을 재현하는 것이다. 즉 조립 완료된 반도체가 PCB 에 부착되고 난 후에도 제대로 작동하는지 여부를 알아보려고 하는 것으로, T/C Test (Temperature Cycling Test), T/S Test(Thermal Shock Test), HTST(High Temperature Storage Test), T&H Test(Temperature & Humidity Test), PCT(Pressure Cooker Test) 등의 세부적인 시험들이 뒤따르게 된다.

이와 같은 시험법들은 반도체의 신뢰성을 확보하기 위해 모두 중요하지만 특히 모든 반도체에 있어서 가장 큰 문제는 대기중의 수분을 흡수한 반도체가 PCB 위에 납땜 되어지는 과정에서 crack 이나 delamination 과 같은 치명적인 불량을 발생시킨다는 것이다.<sup>14)</sup>

반도체의 신뢰성 평가는 이 수분이 반도체에 어떤 영향을 미치는가 그리고 반도체가 수분에 얼마만큼 잘 견디는가를 알아보는 데 주목적이 있다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 수분에 의한 영향을 알아보는 preconditioning test 와 초음파 주사 현미경을 이용한 신뢰성 평가에 대해서 알아보고자 한다.

### 5.1 preconditioning test 절차

preconditioning test 절차는 Fig. 8 과 같이 초음파 현미경과 open/short tester 를 이용하여 시험할 샘플 중에서 불량품을 선별해 내고 나서 조립 완료된 반도체가 항공기에 의해 운송되는 과정 중의 온도 변화를 재현해주는 Temperature Cycle Test(-55/125deg.C, 5X)를 수행한다. 그리고 나서 수분 제거용 건조공정을 재현해 주는 Dry Bake Test(125deg.C, 24HRs), 방습포장 개봉후의 대기중 수분 흡수량을 재현해 주는 항온 항습 시험(level 1~6), 전자부품을 PCB 에 납땜하는 공정을 재현해주는 Reflow(240

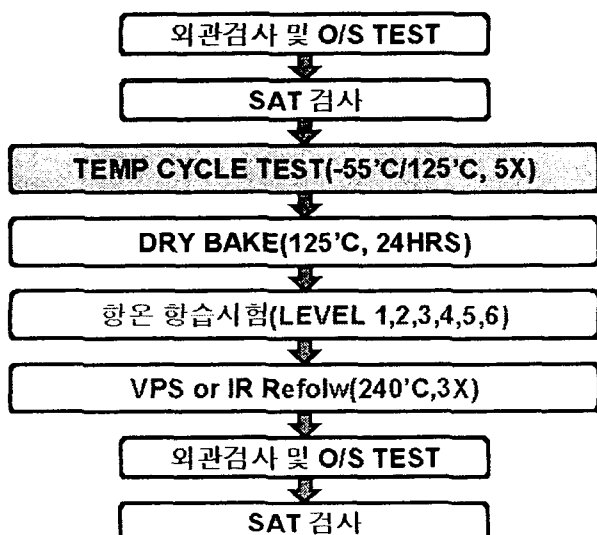


Fig. 8 Preconditioning test procedure

deg.C, 3X)를 거쳐야 한다. 이 모든 시험을 통과하게 되면 반도체의 양부 여부를 판정해주는 초음파 현미경과 open/short tester 검사를 다시 실시한다.

preconditioning test 과정 중에서도 항온 항습 시험은 제품 신뢰성 평가에 가장 중요한 판정 요소인 수명과 관련되기 때문에 다른 절차보다도 중요한 시험 단계라 할 수 있다. 항온 항습 시험에서는 반도체가 어떤 온도-습도 조건에서 어느 정도의 수명을 가지는지를 예측하는 정도를 moisture sensitivity level 로 정의한다. moisture sensitivity level 은 level 1 에서 6 까지 6 단계로 나누어지며, level 1 쪽으로 갈수록 신뢰성이 좋은 반도체로 판정 받으며 moisture sensitivity level 에 따라 제품의 가격이 결정된다. 현재의 표준 moisture sensitivity level 은 level 3 이나 고객들이 원하는 level 은 level 1 이다.

Table 1.은 항온 항습 시험에서 각 moisture sensitivity level 의 흡습량을 재현하기 위해서 표와 같은 온도-습도 조건을 주었을 때의 기준 수명 시간을 만족하게 되면 건조포장 개봉후의 수명은 표의 우측 열과 같은 결과를 기대할 수 있음을 보여 준다. 또 Fig. 9 의 (a)와 (b)는 최상의 신뢰성을 가지는 level 1 부터 표준 level 인 level 3 까지의 반도체의 수분 함량에 따른 흡습과 탈습 시간의 추이를 나타낸다. 두 경우 모두에서 각 level 은 같은 수명시간을 가질 때 level 1 이 수분 함량이 가장 많음을 알 수 있다. 따라서 항온 항습 시험은 수명시간에 대한 신뢰성 확보를 위해서 필수적인 평가 항목이라 하겠다.

### 5.2 결함 발생 메커니즘

preconditioning test 에 의해서 발생된 불량들의 대부분은 반도체 포장에 사용되는 EMC(epoxy molding compound) 내부에 존재하고 있는 수분에 의해서 발생된다. 이들 수분은 상온에서는 대기중에 있는 수분 알갱이들이 EMC 내부에 흡수되어 있다가 납땜을 하기 위해 240 deg.C 의 온도에 노출되었을 때 이 수분이 기화하면서 약 1900 배의 부피팽창을 일으키는데 이 때 순간적으로 발생하는 수증기압에 의해서 EMC 와 lead frame 의 계면에서 package crack, delamination, 그리고 electrical open/short 와 같은 치명적인 불량이 발생된다.

LEVEL	온습도 조건 (°C/%RH)	건조포장 개봉후의 수명
1	85/85, 168시간	UNLIMITED
2	85/60, 168시간	1년
3	30/60, 192시간	168 시간 (1주일)
4	30/60, 96시간	72 시간 (3일)
5	30/60, 72시간	48 시간 (2일)
6	30/60, 6시간	6 시간

Table 1. Moisture sensitivity level

이외에 불량 발생의 원인으로서는 반도체 재료 사이의 열팽창율 차이, 이질 재료간의 접착력 부족, 동질 재료 내부의 응집력 부족 등을 들 수 있다. Fig.10 은 preconditioning test 에 의한 불량들 중 package crack 의 SEM 사진이다.

### 5.3 신뢰성 평가 방법

이 preconditioning test 를 실시하기 전후에 초음파 현미경을 이용해서 반도체 내부를 검사하게 되는데 preconditioning test 전에 하는 검사는 test 전의 sample 에 포함되어 있는 불량품을 가려내어 양품만으로 test 를 실시하기 위한 목적이며 preconditioning test 후에 하는 검사는 test 중 어떤 불량들이 발생되었는가를 알아보는 데 그 목적이 있다.

검사방법에는 이 논문의 평가방법에 기술한 바와 같이 B-Scan, C-Scan, TAMI-Scan, Thru-Scan 이 있으며 이 시험 후에 발생할 수 있는 불량들의 종류는 delamination, crack 등이 있다.

package 두께는 매우 얇아지고 있다. 이로 인해 PCB 에 package 를 납땜하는데 있어 수분이나 다른 요인들에 의해 들뜸이나 깨짐과 같은 반도체 성능에 치명적인 영향을 미치는 결함을 발생하게 된다. 이런 결함들을 효과적으로 검출해 낼 수 있는 방법으로 초음파를 이용한 비파괴 검사법이 있고, 그 검사결과도 상당한 신뢰성을 가진다. 따라서 반도체의 신뢰성 확보를 위해서는 앞서 다루어졌던 preconditioning test 와 초음파 현미경을 이용한 결함 검사가 유용하다고 볼 수 있다. 그러나 현재까지의 초음파 현미경은 수침식을 이용하기 때문에 재료의 방수성이 확보되어야 하고 비교적 두께가 얇은 재료에 한해서만 결함 검출이 가능하기 때문에 범용으로 활용할 수 있는 기법의 개발과 초음파와 같이 고해상도를 유지하면서도 물을 사용하지 않는 검사 방법이 요구되어진다.

## 6. 결론

현재 반도체의 추세는 성능면에 있어서는 고집적화, 고속화를 요구하고 있기 때문에 반도체

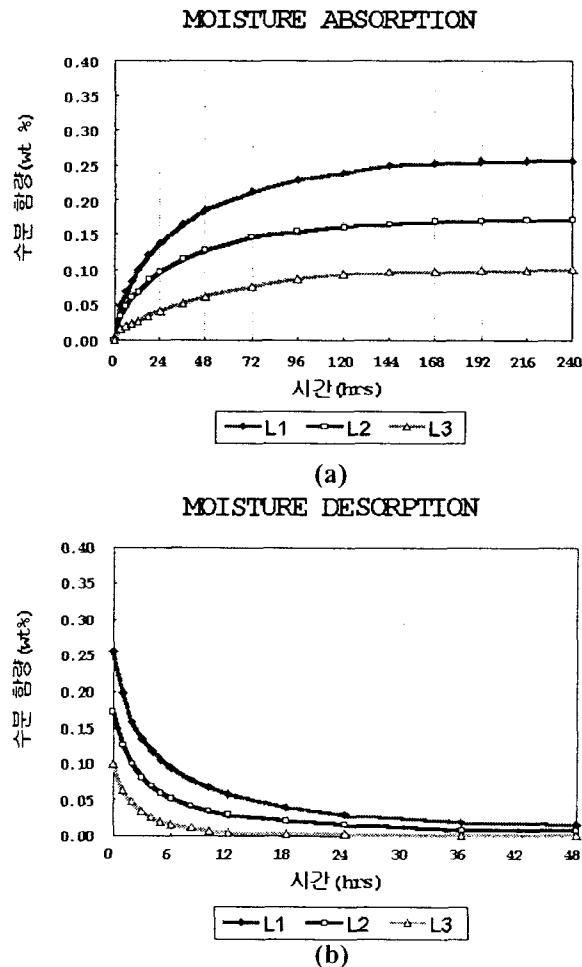


Fig. 9 Moisture absorption and desorption

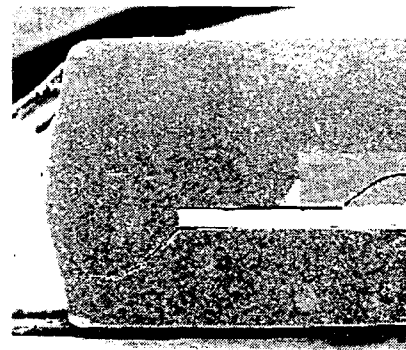
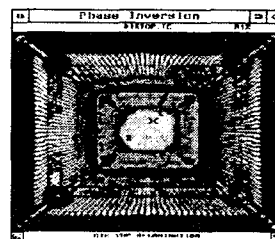
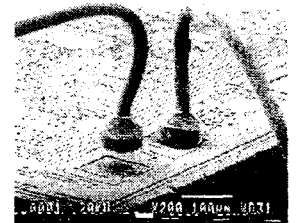


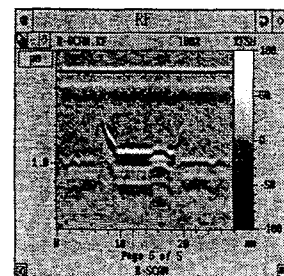
Fig. 10 Package crack by preconditioning test



(a) Delamination



(b) Bond lift



(c) Package crack by B-Scan

Fig. 11 Defects after preconditioning test

## 참고문헌

- [1] Joshino Nonaka, Takoyuki Shimodairo, Yasuo Hayakawa(1992), Nondestructive evaluation of bonding and delamination by ultrasonic testing, 일본기계학회 논문집.
- [2] James. Siettmann, Rajen Dias, Ken. Fiebelkorn(1992), Acoustic evaluation of electronic plastic packages, IEEE/IRPS, 309-314.
- [3] Isao Ishikawa, Hiroshi Kanda, Kazeyoshi Takura, Tkuya Semba(1989), Measurement of damaged layer thickness with reflective acoustic microscope, IEEE, Vol. 36, No. 6.
- [4] T. M. Moore, R. McKenna, S. Kelsal, Interpretation of scanning acoustic micrographs of moisture induced damaged in surface mount I.C.