ESPI를 이용한 반도체 패키지 내부결함 검사에 관한 연구

정승택†· 김경석*· 양승필**· 정현철***· 이유황***

A Study on the Inner Defect Inspection for Semiconductor Package by ESPI

Seung-Tack Jung†, Koung-Suk Kim*, Seung-Pil Yang**, Hyun-Chul Jung***, You-Hwang Lee***

Key Words : ESPI(전자처리 스페클 패턴 간섭법), Semiconductor package(반도체 패키지), Inner defect(내부결함), Out-of-plane displacement(면외변위), Full-field measurement(전면적 계측)

ABSTRACT

Computer is a very powerful machine which is widely using for data processing, DB construction, peripheral device control, image processing etc. Consequently, many researches and developments have progressed for high performance processing unit, and other devices. Especially, the core units such as semiconductor parts are rapidly growing so that high-integration, high-performance, microminiatturization is possible. The packaging in the semiconductor industry is very important technique to de determine the performance of the system that the semiconductor is used. In this paper, the inspection of the inner defects such as delamination, void, crack, etc. in the semiconductor packages is studied. ESPI which is a non-contact, non-destructive, and full-field inspection method is used for the inner defect inspection and its results are compared with that of C-Scan method.

1. 서 론

반도체 부품은 각종 전자제품의 개발과 함께 많은 양의 데이터는 물론 처리분야와 데이터베이스 구축, 각종 제어분야, 컴퓨터 산업, 의료기기, 군사무기 등 많은 분야에서 사용되어지고 있다.

전자제품과 관련 주변기기의 성능은 반도체 부품의 성능에 의해 결정된다고 할 수 있으며, 이들 반도체 부품은 하루가 다르게 고집적화, 소형화, 고성능화를 위해 개발되고 있다. 현재 반도체 부품을 패키징하는 기술은 반도체부품의 성능 향상을 위한 핵심 기술의 하나로서 중요시되고 있다. 그 중 BGA(Ball Grid Array)는 종전의 Lead Frame이 포함된 타입의 개선형으로서 회로 집적도 및 고성능화를 갖추고 있기 때문에 급속한 성장률을 보이고 있다.

현재 반도체 검사 시스템으로는 초음파 검사기법과 X-Ray 검사기법 등이 있다. 그러나 초음파 검사기법은 검사자의 숙련성과 많은 횟수의 샘플링 검사를 요구하고, 접촉식의 Scanning 방식이기 때문에 전체적인 패턴을 확인하기에는 많은 시간이 소요된다. 그리고 X-Ray 검사기법은 장비자체가 고가이면서 방사능에 대한 노출이라는 요소가 있다. 따라서 본 연구에서는 반도체 패키징시 발생 가능한 박리와 내부 void, 그리고 운영상에서 발생할 수 있는 구성층간 박리, 경사, 각 구성 층에서의 내부 크랙 같은 결함 등을 검출하기 위해 비접촉, 전면적, 실시간 검사법인 ESPI 기법을 적용하였다. 실험은 기존에 많이 쓰

† 논문발표자의 소속 : 조선대학교 대학원
E-mail : nice-looking@hanmail.net
TEL : (062)230-7004 FAX : (062)230-7838
* 조선대학교 기계정보공학과
** 동아인재대학교 안경광학과
*** 조선대학교 대학원

이고 있는 초음파 검사법인 C-Scan 결과와 비교하는 과정을 거쳐 그 신뢰성을 확보하였고, 열하중에 의해 반도체 내부의 상대적인 변형분포를 외부에서 ESPI로 검출하는 방법으로 반도체 내부 결함에 대해 연구하였다.

2. ESPI의 원리

ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometry)는 가장 널리 알려진 Holography 기법과 같은 원리로부터 이해할 수 있다. Holography 기법에서는 레이저의 간섭현상을 이용하여 변형 이전과 변형 이후의 이미지를 hologram에 저장하고, 처리하여 이를 재생(reconstruction)함으로써 변형 정보를 얻을 수 있다. ESPI에서는 hologram을 대신하여 CCD Camera와 광합성기(beam combiner)를 이용하여 레이저의 간섭성질에 의해 일어나는 물체표면으로부터의 speckle의 강도분포로 각 이미지의 위상정보를 컴퓨터에 저장하고, 화상처리장치를 통하여 두 이미지를 감산(subtraction) 또는 가산(addition)처리를 함으로써 변형 정보를 담고 있는 프린지 패턴 (fringe pattern)을 얻게 된다. CCD에 수광된 변형 전·후의 빛의 강도분포를 나타내는 두장의 스페클 패턴, $I_{bef}(x,y)$와 $I_{aft}(x,y)$를 감산처리하면 대상체의 변형 정도가 가시화된다. 만일 CCD 카메라의 수광소자에 입력되는 변형전·후의 신호인 $V_{bef}(x,y)$ 와 $V_{aft}(x,y)$ 가 이미지의 강도 분포에 비례한다면 감산된 신호 $V_S(x,y)$는 다음과 같다.

$$V_S(x,y) = V_{bef}(x,y) - V_{aft}(x,y) = 4\sqrt{I_{bef} I_{aft}}\sin\left(\phi(x,y) + \frac{\Delta\phi(x,y)}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\Delta\phi(x,y)}{2}\right) \quad \text{-------- (1)}$$

여기에서 $\phi(x,y)$: 초기위상,
$\Delta\phi(x,y)$: 물체의 변형에 따른 위상차

이 신호는 음수값과 양수 값을 갖게 된다. 그러나 모니터는 음수값을 검정색으로만 표시하게 되며 이를 피하기 위해 정류과정을 거쳐 모니터에 표시를 한다. 위상변화를 일으키는 물체의 면외변위 d_1는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$d_1 = \frac{\lambda}{4\pi}\Delta\phi \quad \text{---------------------- (2)}$$

$\Delta\phi$의 일반화된 형식은

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(\mathbf{n}_o - \mathbf{n}_s)\cdot \mathbf{d} \quad \text{------------- (3)}$$

여기에서 $\mathbf{n}_o$: 레이저조사 방향 벡터
$\mathbf{n}_s$: 관찰 방향 벡터이다.

ESPI는 물체의 변형방향에 따라서 면내변위와 면외변위를 측정할 수 있으며, 본 연구에서는 3D 측정이 가능한 ESPI 시스템을 사용하였다. 면외변위 측정을 위한 간섭계를 Fig. 1에 나타냈다.

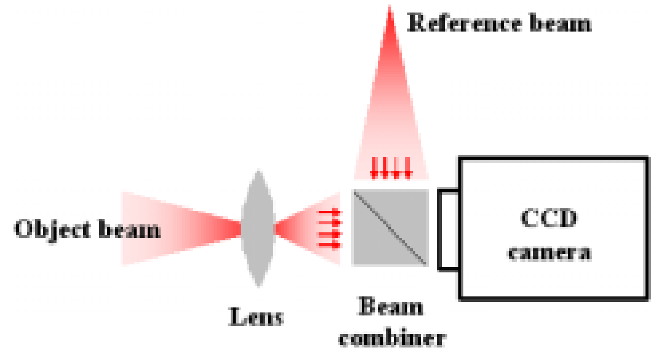


Fig. 1 Out-of-plane displacement interferometer

3. 반도체 패키지의 구조 및 결함 형태

반도체가 고집적화, 소형화, 고성능화됨에 따라 파워분배, 신호분배, 회로보호, 열 분배 등의 역할을 해주는 패키지 산업이 급속히 발전되고 있다. 그중 최근 BGA(Ball Grid Array)는 종전의 lead frame이 포함된 타입의 개선형으로서 회로집적도 및 고성능화를 갖추고 있기 때문에 급속한 성장률을 보이고 있다. BGA의 내부 구조는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 PCB, PCB 위에 Die, Die와 PCB를 연결해주는 Wire, Die를 둘

러싸고 있는 Molding Compound 로 구성되어 있다, 반도체 패키지에서 나타나는 결함으로는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 기포, 구성 층간의 박리, Die나 Molding Compound 상에서의 크랙, 와이어 접착부에서의 크랙, 경사 등이 있다.

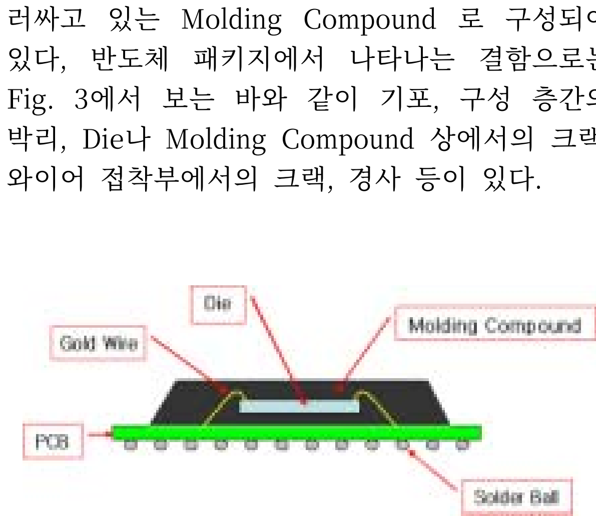


Fig. 2 Structure of BGA(Ball Grid Array)

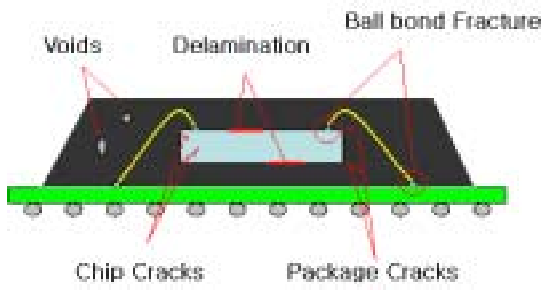


Fig. 3 Various types of inner defects in BGA

4. 실험 장치구성 및 실험 방법

4.1 실험장치의 구성

실험장치는 크게 ESPI 시스템과 반도체 패키지에 열하중을 줄 수 있는 가열장치로 구성하였다. ESPI 시스템은 독일 Ettemeyer 사 제품을 이용하였으며, 면내, 면외 변위를 모두 측정할 수 있는 장비이다. 열하중 장치는 플라스틱 관의 한 면에 부착하여 열을 내도록 하였고, 전체적인 분위기 온도를 가질 수 있는 대기와의 온도차에 의한 온도 구배를 최소화시킨 적당한 두께의 플라스틱 관으로 제작하였다.

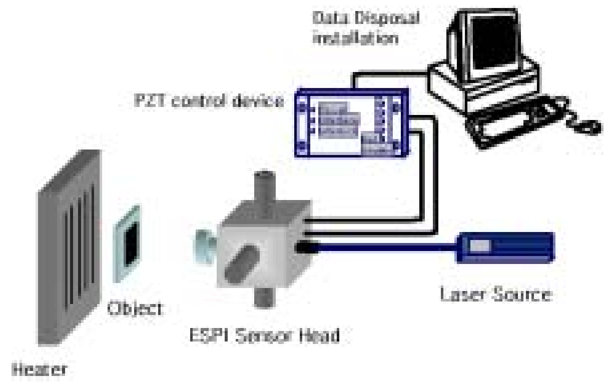


Fig. 4 Configuration of ESPI System

4.2 실험 방법

기존에 많이 쓰이고 있는 초음파 검사 기법은 장비의 고성능화로 보다 용이한 결함의 판단을 가능하게 해주었으나, 검사자의 숙력성과 많은 횟수의 샘플링 검사를 필요로 하고, Scanning 방식으로 스캔한 다음 이를 보여주기 때문에 시간이 많이 소요되는 단점을 가지고 있다. 그러나 ESPI 기법은 실시간, 비접촉, 전면적 측정이 단시간에 가능하기 때문에 시간적, 경제적인 면에서 보다 효율적이라 할 수 있다.

본 실험에서는 자연 결함을 가진 반도체 패키지와 인공적인 물리적 충격을 받아 내부에 결함이 생긴 반도체 패키지 그리고 열충격에 의해 내부에 박리가 일어난 반도체 패키지를 대상으로 초음파 검사기법과 ESPI 검사기법으로 검사를 한 다음, 그 결과를 비교하므로서 ESPI검사 기법의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

실험에서는 반도체 패키지와 ESPI 센서 헤드를 플라스틱 관안에 넣고 가열장치로 서서히 가열 하였다가 플라스틱 관안의 온도가 상온이 된 상태에서 대기압과의 온도차로 서서히 식으면서 관안의 온도 구배가 적고 대류가 거의 없는 상태에서 변형전의 스페클패턴을 저장하고 다시 온도가 내려가면서 반도체 패키지에 변형이 생기면 화면상에 선명하게 보이는 스페클패턴을 저장하여, 결함을 측정하였다.

5. 실험 결과

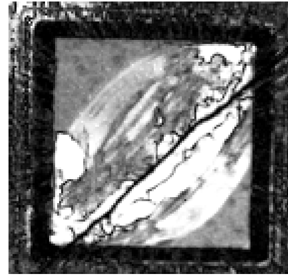
5.1 초음파 검사기법에 의한 결과

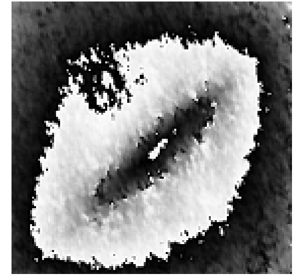
초음파 검사기법으로는 물속에 반도체 패키지를 넣고 탐촉자와 대상체를 접촉시키지 않은 상태에서 검사하는 수침법을 이용하였다. 수침법을 사용하면 음향렌즈로부터 초음파 빔을 가늘게 하여 방위 분해능의 향상이 가능하므로 미소 결함의 검출성이 좋아진다. 실제 실험에서는 충격결함이 가해진 반도체 패키지와 박리가 된 반도체 패키지를 대상으로 초음파 검사방법으로 가장 많이 사용하고 있는 C-Scan 기법을 사용하여 Die 저면에 포커스를 맞추어 반도체 패키지 내부의 각 계면에서 반사되어 돌아오는 신호의 크기와 위상을 측정하여 검사하고자 하는 수평 단층의 화상을 Fig. 5 ~ 7의 (a)에 결과를 나타냈다.

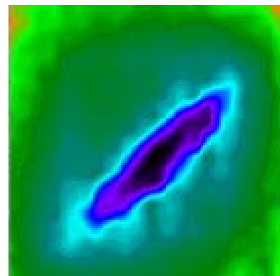
5.2 ESPI 기법에 의한 내부결함 검사 결과

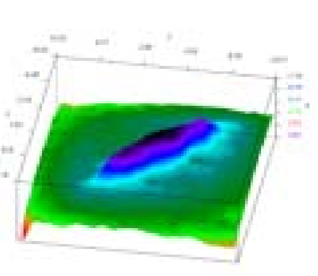
ESPI를 결함평가에 응용할 경우 실험적인 영향인자는 물체에 가하는 외력만이 존재하기 때문에, 정성적인 평가를 할 수 있을 뿐만 아니라 물체의 표면변위를 직접 측정하므로 결함의 위치 및 크기를 쉽게 확인할 수가 있다. Fig. 5, 6, 7에서 각각의 (a)의 이미지는 C-Scan 기법을 사용하여 얻은 이미지 들이고 나머지 (b), (c), (d)는 ESPI에 의해 얻어진 이미지들이다. (b)의 이미지가 변형정보를 담고 있는 변형 전·후의 스패클패턴을 감산 처리한 이미지이고 (c)는 (b)를 unwrapping한 이미지이다. 그리고 (d)는 ESPI에 의해 얻은 결함을 3차원으로 표현해 줌으로써 결함의 위치 및 형태를 좀더 시각화한 것이다. (e)는 결함의 길이 방향으로의 Line-profile을 통해 결함의 크기를 나타낸 것으로서 정량해석이 가능하다는 것을 보여주고 있다.

C-Scan 법에 의해 얻은 결함 위치 및 형태와 ESPI 기법에 의해 얻은 결과를 비교해 볼 때 Fig. 5에서는 +45° 방향으로 길게 결함이 생긴 걸 볼 수 가 있고, Fig. 6에서는 -45° 방향으로 "y"자 형태의 결함을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 7에서는 반도체의 상면에 초승달 모양의 박리가 있는 걸 확인하였다.


(a) Image by C-Scan


(b) Phase map


(b) Unwrapped image


(d) 3D image

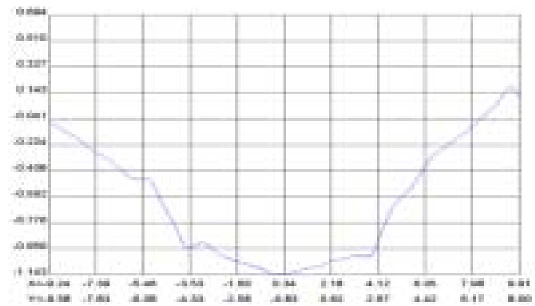
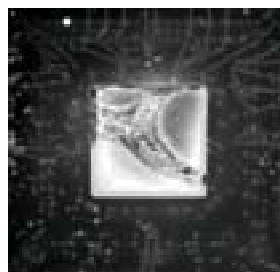
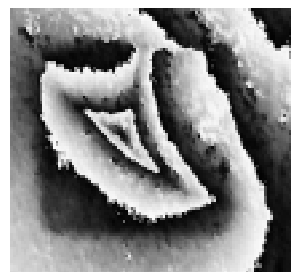
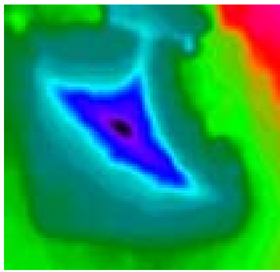
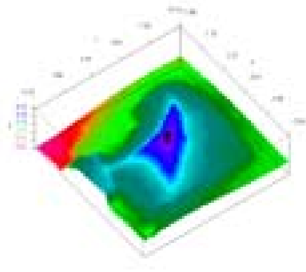

(e) Line profile

Fig. 5 Results of C-Scan and ESPI inspection for the impact-damaged defect Type I

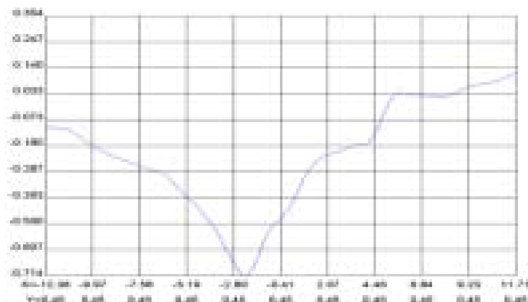

(a) Image by C-Scope


(b) Phase map



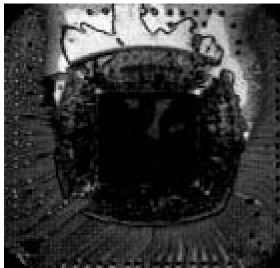


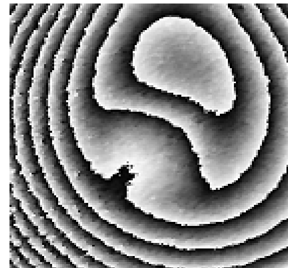
(b) Unwrapped image (d) 3D image



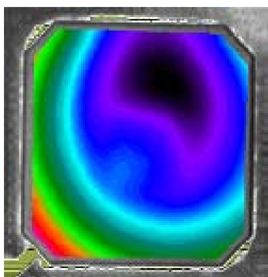
(e) Line profile

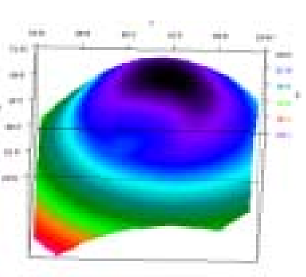
Fig. 6 Results of C-Scan and ESPI inspection for the impact-damaged defect Type Ⅱ



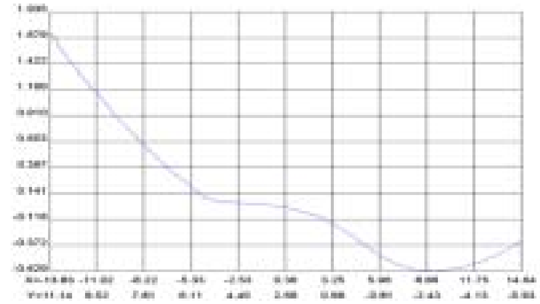


(a) Image by C-Scope (b) Phase map





(b) Unwrapped image (d) 3D image



(e) Line profile

Fig. 7 Results of C-Scan and ESPI inspection for the delamination

6. 결론

ESPI를 이용하여 하나의 반도체 패키지의 내부결함을 검출해 내기 까지는 다른 검사 기법보다 수 십초에서 수 분까지 짧다는 것을 확인하였다. 또한, 다른 검사기법에 비해 비숙련자도 보다 쉽게 결함을 검사하거나 검사 결과를 해석 할 수 있었다. 그리고 ESPI 는 면외변위에 분해능이 우수하기 때문에 작은 열하중에서도 정상부분과 결함부분의 상대적인 다른 거동 형태를 쉽게 확인 할 수 있었다.

결함에 대한 해석 결과에서도 기존에 많이 쓰이고 있는 초음파 검사기법과 거의 동일한 결함평가 결과를 나타냈으며, 결함에 의한 반도체 패키지의 크랙, 박리 상태를 컬러 이미지로 표현해 줌으로써 결함의 위치, 결함의 형태를 한눈에 확인할 수가 있었고, 이것을 3차원으로 표현해 줌으로서 보다 쉽게 반도체 패키지의 전체적인 결함의 형태를 확인할 수가 있었다. 이와 같은 실험 결과를 통해 비접촉, 실시간, 전면적 측정이 가능한 ESPI 기법을 활용한다면 반도체 패키지 산업의 결함평가에 적용성이 높을 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 과학기술부한국과학재단지정 지역협력연구센터인 레이저응용 신기술개발 연구센터의 2003년도 연구비 지원에 의해 연구되었으며, 본 실험을 도와주신 제어공학실험실 여러분께 진심으로

감사의 말씀드립니다.

참고문헌

(1) Pramod K. Rastogi and Daniele Inaudi, 2000, "Trends in Optical Non-destructive Testing and Inspection", Elsevier, p.287 ~ 322

(2) W Steinchen, L Yang, G Kupfer and P Mackel, 1998, "Non-destructive testing of aerospace composite materials using digital shearography", Proc. Instm. Mech. Engrs., Vol. 212, Part G, p.21 ~ 30

(3) Murukeshan, V.M., Ong, L.S. & Asundi A, 1998, "Polarization Phase-shifting Shearography for Metrological Applications", Optics & Laser Technology. Vol. 30 p.527-531

(4) Wolfgang Steinchen Lianxiang yang, 2003, "Digital Shearograhpy", SPIE, p.67 ~ 71, 263 ~ 293

(5) Sang Su Lee, 1993, " Laser Speckle and Holography", p.124 ~ 160

(6) Young Ho Kim, Soon Bok Lee, 2003, "Reliability to Electronic Package"