

# 플립 칩 전자 패키지의 피로 균열이 미치는 열적 기계적 거동 분석

박진형<sup>†</sup> · 이순복<sup>\*</sup>

## Effect analysis of thermal-mechanical behavior on fatigue crack of flip-chip electronic package

Jin-Hyoung Park and Soon-Bok Lee

**Key Words :** Electronic packaging(전자 패키징), interferometry(간섭계), Twyman-Green interferometry(트와이만-그린 간섭계), ACF(이방성 도체 필름)

### Abstract

The use of flip-chip type electronic package offers numerous advantages such as reduced thickness, improved environmental compatibility, and downed cost. Despite numerous benefits, flip-chip type packages bare several reliability problems. The most critical issue among them is their electrical performance deterioration upon consecutive thermal cycles attributed to gradual delamination growth through chip and adhesive film interface induced by CTE mismatch driven shear and peel stresses. The electronic package in use is heated continuously by itself. When the crack at a weak site of the electronic package occurs, thermal deformation on the chip side is changed. Therefore, we can measure these micro deformations by using Moire interferometry and find out the crack length.

### 기호설명

Interferometry: 간섭계

ACF: 이방성 도체 필름

Glass transition temperature: 천이 온도

SAM (Scanning Acoustic Microscopy): 초음파 현미경

### 1. 서론

Adhesive 를 이용한 Flip-chip assembly 은 PDA, 모바일폰, LCD 와 같은 기기가 많이 쓰이면서 점점 그 활용도가 높아지고 있다. 이는 낮은 공정 온도, 적은 비용, 미세한 패드 간격, 그리고 또한

"Green" technology 와 같은 많은 장점을 가지고 있다. Adhesive type 의 Flip-chip package 에서 그 심플한 공정과 bump 와 전극의 직접적인 접촉하는 ACF(Anisotropic Conductive Film)의 쓰임새가 많아지고 있다<sup>(1)</sup>.

ACF package 에서는 chip 과 PCB 사이에 들어가는 Adhesive 의 특성이 열적 수명에 중대한 영향을 미친다. 일반적으로 Adhesive 가 High E, low CTE, High Tg 일때 NCF package 의 신뢰성이 향상된다고 알려졌다<sup>(2)</sup>.

열적 변형량의 측정은 Optical method 를 사용하였다. Out-of-plane 의 변형량을 알아보기 위하여 Twyman-Green interferometry 가 사용되었다. 이를 통해 온도에 따른 chip 의 warp 되는 양을 알 수가 있다. 또한 ACF package 는 Tg 온도 이상에서는 stress free 상태를 보여주는데 시편에 따른 이 영역을 알아보았다. In-plane 측정에는 PEMI (Portable Engineering Moiré Interferometry) 장비가

<sup>†</sup> 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과

E-mail : turbomb@kaist.ac.kr

TEL : (042)869-3069 FAX : (042)869-3095

<sup>\*</sup> 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과

사용되었다. ACF package 의 주요 파손 요인으로는 chip 과 adhesive 의 끝단에서의 delamination 이다. 이는 끝단의 shear strain 의 양에 큰 영향을 받는다. 따라서 다양한 delamination 길이를 가지는 시편들의 chip 끝단의 strain 값을 PEMI 통한 실험에서 얻어내고 비교해보았다.

PEMI 를 통해 얻은 strain 값은 애매한 경향이 있다. 따라서 본 연구에서는 위상천이 기법을 통해 좀더 정확한 strain 을 값을 얻고자 하였다.

## 2. 플립 칩 패키지의 피로균열

### 2.1 피로균열

전자 패키지의 내부의 크랙은 보통 열응력에 의해 발생한다. 전자 패키지는 사용 중에 고온의 상태에 놓여있기 때문에 열팽창이 되고 패키지 내부의 각각의 재료의 열팽창 계수가 다르기 때문에 열응력이 발생한다. 오랜 시간 이러한 열응력에 노출된 전자 패키지의 연결 부위는 Fig. 1 과 같은 크랙이 생긴다.

플립 칩 전자 패키지의 경우는 칩과 PCB 의 연결부분의 가장자리가 가장 취약하다. 각각의 재료간의 CTE 의 차이로 인하여 열응력이 발생하게 되는데 응력이 가장 큰 부분이 칩의 끝단 부분이다. 따라서 이 부분에서 가장 크랙이 쉽게 발생한다. 이러한 크랙은 전자 패키지를 잘라내어서 현미경으로 관찰하거나 SAM 장비를 이용해서 알아낼 수 있다. 이러한 방법은 측정 후에 전자 패키지를 다시 사용할 수 없는 방법들이다. 전자 패키지를 파손시키지 않고 크랙의 길이를 실시간으로 측정하기 할 수 있는 새로운 방법도 현재 활발히 연구 중에 있다.

크랙이 있는 연결부위와 크랙이 없는 연결부위를 똑같이 국부적으로 열을 가하면, 크랙이 있는 연결부위는 크랙이 없는 연결부위보다 열팽창이 많이 된다. 그 이유는 크랙이 있는 경우 연결부위의 구속력이 약하기 때문이다. 크랙이 있는 경우 달라지는 열팽창의 정도의 차이는 칩의 전체적인 변형에 변화를 준다. 또한 연결부위의 바로 윗 부분의 칩 면에도 영향을 준다. 이러한 변화는 마이크로 단위의 매우 작은 차이이므로 사람의 눈으로는 구별할 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 이러한 차이를 미소 변형을 증폭시켜 나타내주는 모아레 간섭계를 이용하였다.

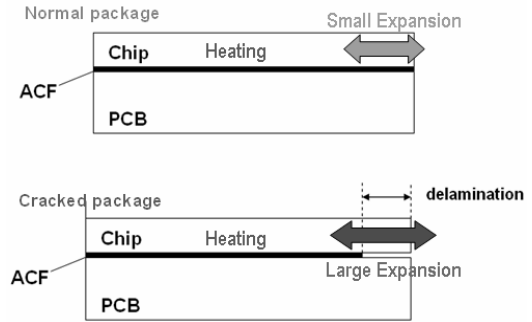


Fig 1. Principle of crack effect

### 2.2 모아레 간섭계

본 연구에서 사용된 모아레 간섭계는 면내 변위 측정이 가능한 2 빔 모아레 간섭계이다. 2 빔 모아레 간섭계 기법의 기본 원리<sup>(3)</sup>는 Fig. 2 에 잘 도시되어 있다. 입사각  $\alpha$  로 조사되는 두 방향의 빛 (Beam 1 & Beam 2)이 회절에 의해 식 (1)과 같이 각 반사각  $\beta_m$  으로 반사된다.

$$\sin \beta_m = \sin \alpha + m\lambda f_s \quad (1)$$

이 때, 회절 차수(diffraction order)  $m$  이 1 이 되게끔 입사각  $\alpha$  와 시편 격자의 주파수  $f_s$  를 조절하여 Beam 1 과 Beam 2 의 wave front 가 간섭을 일으키도록 구성한다. 시편에 변형이 가해질 경우 시편 격자의 주파수  $f_s$  가 국부적으로 변하게 되며 이 때 발생하는 반사각  $\beta_m$  의 변화가 간섭무늬를 발생시키게 된다. 이 때 한 간섭무늬와 이웃한 간섭무늬 사이에, 회절 차수 1 을 사용하였을 경우, 식 (2)와 같이 시편 격자 주파수,  $f_s$  의 두 배의 역수에 해당하는 상대 변위차가 존재하며 이를 분해능, 이라 정의한다.

$$\eta = \frac{1}{2mf_s} \quad (2)$$

일반적으로 모아레 간섭계에서 1200 lines/mm 간격의 시편 격자를 사용한다. 그리고 광원으로는 광 파장의 길이가 633 nm 인 HeNe 레이저를 사용한다. 이 경우 모아레 간섭계의 기본분해능은 417 nm/fringe 이며 위상천이 시, 16 배의 분해능 향상으로 26 nm/fringe 의 분해능을 가진다<sup>(4)</sup>.

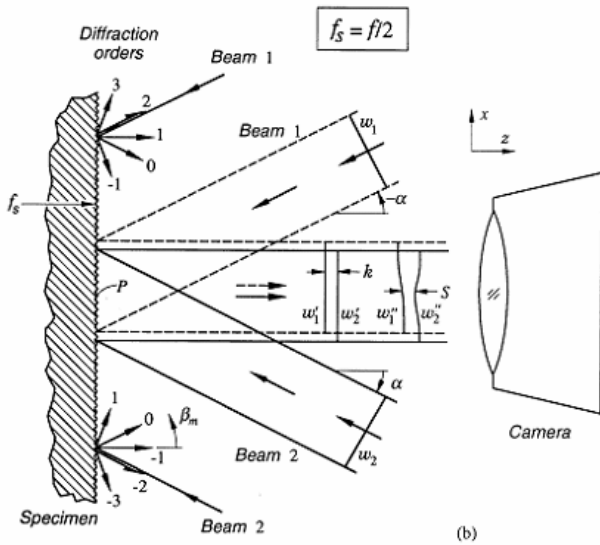


Fig. 2 Principle of in-plane Moire

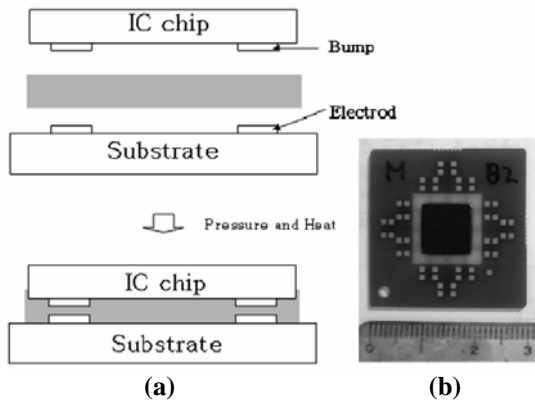


Fig. 3 ACF package specimen

### 3. 실험 결과

#### 3.1 시편

본 실험에서는 ACF type package 시편이 사용되었다. 시편의 ACF는 일반적인 폴리머 매트릭스를 가지며 glass transition temperature는 113°C이다. 시편은 45MPa, 180°C에서 20초간 압착하여 본딩시켰다(Fig. 3(a)). ACF의 두께는 50 μm이다. 시편의 크기는 모두 동일하며, 칩은 10mm×10mm×0.6mm이다. gold bump의 크기는 120 μm×120 μm×18 μm이며, bump pitch는 130 μm이다. PCB는 30mm×30mm×1.155mm이다(Fig. 4).

ACF 패키지 시편에 반복적인 열 사이클을 가하면 칩 끝단에서 박리가 일어난다. 이러한 박리가 연결부위까지 진전되면 시스템의 파괴를 일으킨다. 본 연구에서는 시편에 -40°C에서 125°C의 반복적인 열 사이클을 가하였다. 열 하중을 전혀 받지 않는 시편을 SAM으로 찍어보면 Fig. 5(a)와 같이

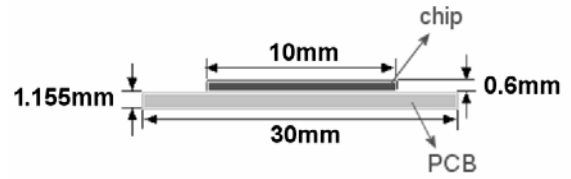


Fig. 4 Schematic view of an ACF specimen

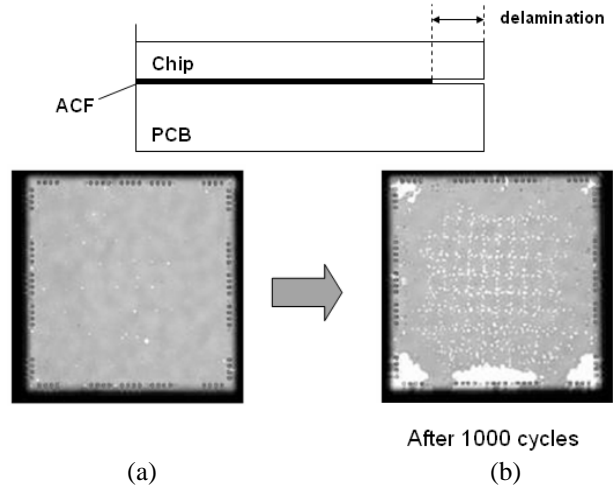


Fig. 5 Delamination of ACF specimen

칩 끝단에 박리가 없는 것을 알 수 있다. 하지만 반복적인 열 사이클 1000번을 시편에 가하면 Fig. 5(b)와 같이 칩 끝단에 박리가 발생한다. 본 연구에서 사용된 ACF 패키지 시편은 1000 μm 박리가 일어나게 되면 전극 부근까지 크랙이 진전하게 되어 결국 시스템의 파괴를 일으킨다. 따라서 1000 μm 박리가 일어났을 때를 파괴의 시점으로 본다.

#### 3.1.1 시편격자의 접합

시편격자는 측정하고자 하는 시편의 면에 접합하게 된다. 따라서 모아레 간섭계에서 시편격자는 시편의 변형을 대신하여 나타내준다. 시편이 늘어나게 되면 시편격자 또한 같이 늘어나므로 시편격자의 주파수  $f_s$ 가 달라진다. 주파수  $f_s$ 의 변화는 모아레 프린지를 만들어낸다. 이를 통해 시편의 변형을 알 수 있으므로 시편격자의 정교한 접합은 매우 중요하다. 본 실험에서는 상온에서 시편격자를 시편의 칩 윗면에 접합하였다. 접합에는 TRABOND F114 에폭시가 이용되었다.

HeNe 레이저 모아레 간섭계에 사용되고 있는 시편 격자는 1200 lines/mm (=833.3nm)이며 U, V 방향 변형을 동시에 측정할 수 있게끔 격자 패턴

이 동일 면상에 직교하는 sinusoidal 격자의 형상을 가지고 있다.

본 실험에서는 1200 lines/mm 를 갖는 시편격자가 사용되었다. 이는 피치가 833nm 급의 규칙적인 나노 패턴이다. 패턴의 형상은 나선 형태의 U groove 나 톱날 형태의 V groove 에 상관없이 적용 가능하다.

### 3.2 Warpage 실험 결과

시편의 박리는 앞의 실험에서와 같이 면내 변위의 변형을 일으킬 뿐만 아니라 면외 변위의 변형을 일으킨다. 일반적으로 크랙의 길이가 길 때 면외 변형량인 warpage 가 감소한다고 알려져 있다<sup>(5)</sup>. 본 연구에서는 또 다른 광학적 측정법인 Fig. 6 과 같은 셋업의 Twyman-Green 간섭계<sup>(6)</sup>를 이용하여 온도 별 warpage 를 측정해 보았다. Fig. 7 은 각각의 시편의 온도 별 모아레 프린지의 모습이다. 프린지의 개수가 많을수록 warpage 가 크음을 의미한다. Twyman-Green 간섭계의 분해능은  $0.316 \mu\text{m}/\text{fringe}$  이다. 실험 결과 크랙의 길이가 길 때 온도가 증가할수록 warpage 의 값이 더 많이 증가함을 알 수 있다(Fig. 8).

### 3.3 In-plane 실험 결과

온도를 올려가며 크랙이 있는 시편과 크랙이 없는 시편의 열변형량을 측정하였다. 시편을 가열하기 위하여 복사열 방식의 열 가열기가 사용되었다. 온도 별로 시편의 칩 면의 y 방향의 모아레 프린지 변형장은 Fig. 7 과 같다. 실험 결과 크랙이 길이가 길 수록 칩에 대한 구속력이 작아져서 좀더 열변형이 쉽게 되어 전체 열변형량이 크게 된다. 이는 온도가 많이 올라갈수록 열변형량의 차이는 더욱 크게 된다(Fig. 11).

열변형량의 측정을 칩의 전체 면뿐만 아니라 칩의 끝단의 크랙이 있는 작은 부분만의 열변형을 측정하여 보았다(Fig. 10). 모아레로 측정한 칩의 끝단의 면적은  $1\text{mm} \times 1\text{mm}$  이다. 칩 끝단의 열변형은 칩의 전체 열변형량 보다 매우 크음을 알 수가 있다(Fig. 12).

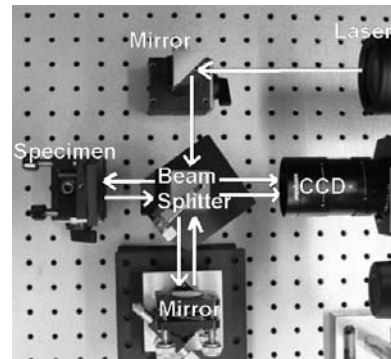


Fig. 6 Twyman-Green setup

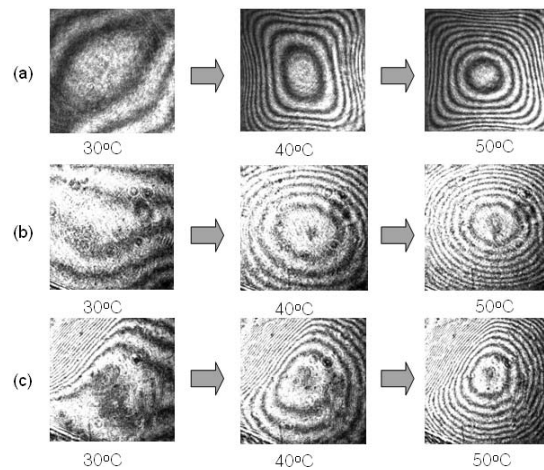


Fig. 7 Out-of-plane moiré fringe images (a) No crack (b)1000  $\mu\text{m}$  crack (c)1600  $\mu\text{m}$  crack

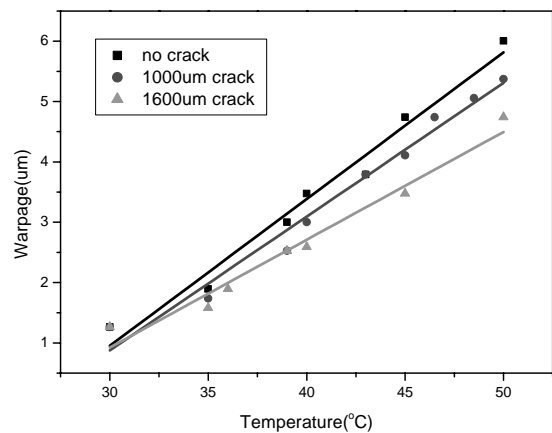
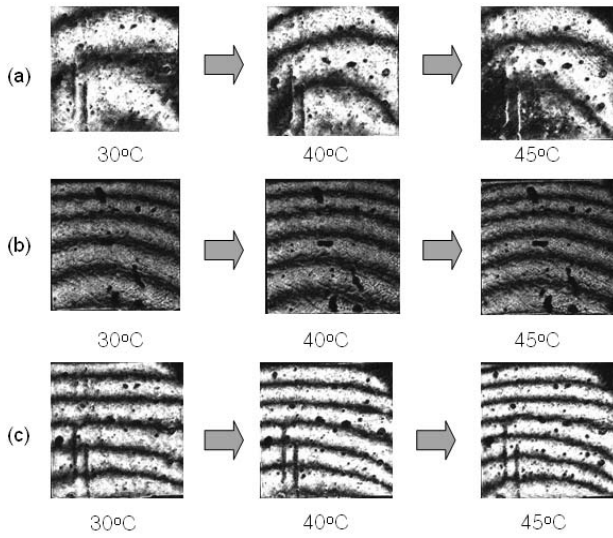
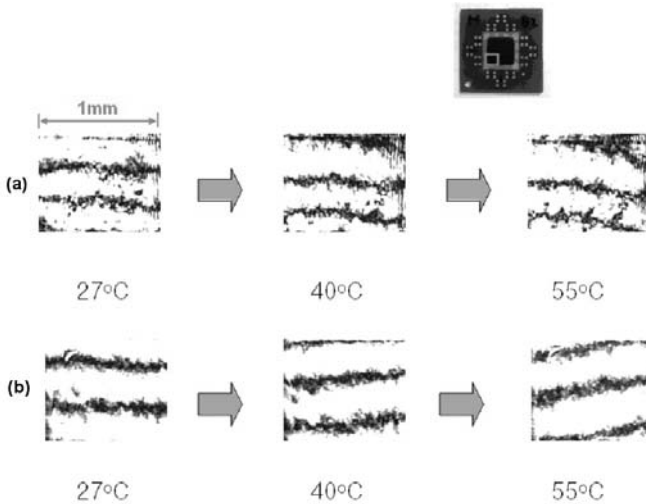


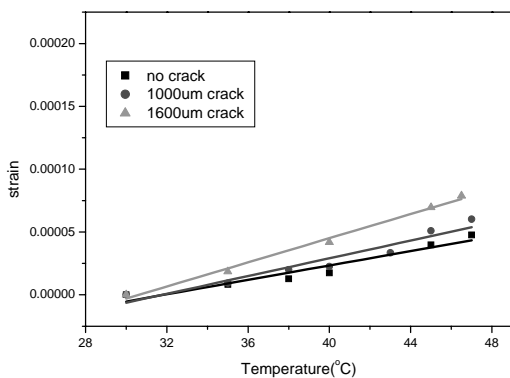
Fig. 8 Graph of temperature versus warpage



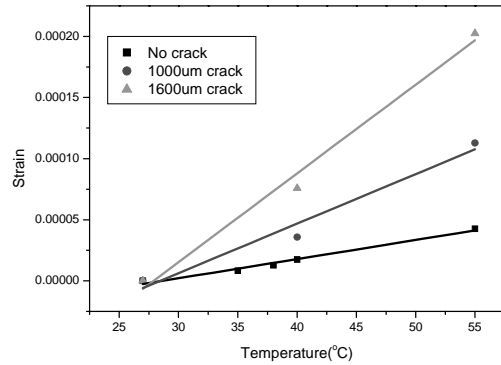
**Fig. 9** In-plane moiré fringe images (a) No crack (b)1000 μ m crack (c)1600 μ m crack



**Fig. 10** Moiré fringe images at the edge of the chip (a) 1000μm crack (b) 1600μm crack



**Fig. 11** Graph of temperature versus in-plane strain of whole chip



**Fig. 12** Graph of temperature versus in-plane strain at the edge of the chip

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 플립 칩 전자 패키지에 발생된 크랙이 전체 열적 기계적 변형에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 알아보았다. ACF 타입의 패키지는 칩 끝단에서 일어나는 박리가 주요 파손 인자이다. 이러한 크랙은 칩의 열변형에 미세한 영향을 미친다. 본 연구에서는 이러한 미세한 열변형을 광학적 간섭계로 측정하였다. 면외 열변형은 Twyman-Green 간섭계를 이용하여 측정하였으며 크랙의 길이가 길수록 면외 변형인 warpage의 값이 작아짐을 알 수 있었다. 면내 열변형은 2 빔 모아레 간섭계를 이용하였으며 크랙의 길이가 길수록 열변형량의 크기를 알 수 있었다.

#### 후기

본 연구는 나노 메카트로닉스 기술개발 사업단(나노 구조 및 나노 공정의 해석, 측정 및 평가에 관한 기초 기술)의 지원 하에 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

- (1) Nysaether, J. B., Lundstrom, P. and Liu, J., 1998, "Measurements of Solder Bump Lifetime as a Function of Underfill Material Properties," *IEEE Trans. on*

*Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part A*, Vol. 21, No. 2, pp. 281~287.

- (2) Yang, Se Young, Kwon, Woon-Seong, Lee, Soon-Bok and Paik, Kyoung-Wook, 2004, "Chip Warpage Damage Model for ACA/NCA Flim Type Electronic Packages," *2004 APCFS (Asian Pacific Conference for Fracture and Strength)*, pp. 321.
- (3) Park, Jin-Hyoung, and Lee Soon-Bok, "Evaluation of Thermal Deformation Behavior in Electronic Package using UV moire interferometry," *2005 Electronic Materials and Packaging, Proceedings of the 7th International Symposium*, pp. 209~214.
- (4) Yang, Se Young, Lee, Soon-Bok, Kwon, Woon-Seong, and Paik, Kyung-Wook, 2002, "Analytical approach to evaluate shear stress in flip chip interconnection using NCA/ACF," *2002 Electronic Materials and Packaging, Proceedings of the 4th International Symposium*, pp. 204~209.
- (5) Yang, Se Young, Kwon, Woon-Seong, Lee, Soon-Bok, and Paik, Kyoung-Wook, 2005, "Chip Warpage Damage Model for ACA/NCA Flim Type Electronic Packages," *Key Engineering Materials*, Vol. 297~300, pp. 887~892.
- (6) Daniel, Post, Bongtae, Han and Peter, Ifju, 1994, "High Sensitivity Moiré," *Spring-Verlag, NY*, pp. 50~53.