

감광성 고분자 범프와 NCA (Non-Conductive Adhesive)를 이용한 COG 접합에서의 불량

안경수 · 김영호*
한양대학교 신소재공학과

Failure in the COG Joint Using Non-Conductive Adhesive and Polymer Bumps

Kyeong-Soo Ahn and Young-Ho Kim*

Div. of Advanced Materials Science Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

초 록: 본 실험에서는 Non-Conductive Adhesive (NCA) 와 고분자 범프를 이용한 COG (Chip-on-glass) 접합에 대하여 연구하였다. 산화막이 증착된 Si 기판 위에 고분자 범프를 사진식각 방법으로 형성하고, 고분자 범프 위에 직류 마그네트론 스퍼터링 방법으로 금속 박막층을 증착하였다. 기판으로는 Al 을 증착한 유리기판을 사용하였다. 두 종류의 NCA 를 사용하여 80°C 에서 하중을 변화시켜가며 접합을 실시하였다. 접합부의 특성을 평가하기 위하여 4단자 저항 측정법을 이용하여 접합부의 접촉 저항을 측정하였으며, 주사전자현미경을 이용하여 접합부를 관찰하였다. 신뢰성은 0°C 와 55°C 사이에서 열충격 실험을 2000회까지 실시하여 평가하였다. 신뢰성 측정 전 접합부의 저항 값은 70-90 mΩ 을 나타내었다. 200 MPa 이상의 접합 압력에서는 고분자 범프가 NCA 의 필러 파티클에 의해 손상된 것을 관찰하였다. 신뢰성 측정 후 일부 범프가 fail 되었었는데 범프의 fail 원인은 범프의 윗부분보다 상대적으로 금속층이 얇게 증착된 범프의 모서리 부분의 금속층의 끊어졌기 때문이었다.

Abstract: We studied a bonding at low temperature using polymer bump and Non-Conductive Adhesive (NCA), and studied the reliability of the polymer bump/Al pad joints. The polymer bumps were formed on oxidized Si substrates by photolithography process, and the thin film metals were formed on the polymer bumps using DC magnetron sputtering. The substrate used was Al metallized glass. The polymer bump and Al metallized glass substrates were joined together at 80°C under various pressure. Two NCAs were applied during joining. Thermal cycling test (0°C-55°C, cycle/30 min) was carried out up to 2000 cycles to evaluate the reliability of the joints. The bondability was evaluated by measuring the contact resistance of the joints through the four point probe method, and the joints were observed by Scanning Electron Microscope (SEM). The contact resistance of the joints was 70-90 mΩ before the reliability test. The joints of the polymer bump/Al pad were damaged by NCA filler particles under pressure above 200 MPa. After reliability test, some joints were electrically failed since thinner metal layers deposited at the edge of bumps were disconnected.

Key words: polymer bump, NCA, flip chip bonding, reliability test

1. 서 론

현재 LCD 구동회로 실장에 Anisotropic conduc-

tive film (ACF)을 이용한 방법이 널리 적용되고 있다. 이 방법은 고분자 기지에 Au, Ni 등의 금속 입자 또는 Au, Au/Ni 을 코팅한 플라스틱 입자와 같

*Corresponding author
E-mail: kimyh@hanyang.ac.kr

은 전도 입자가 들어있는 이방성 전도 필름을 IC 칩과 LCD 패널 사이에 넣고 열압착시켜 IC 칩을 LCD 패널에 실장 시키는 방법이다. 현재 전도 입자로는 Au/Ni 을 코팅한 플라스틱 입자를 많이 사용하고 있는데, 이는 접합 시 범프의 높이 편차를 전도 입자의 변형으로 보정해 줄 수 있을 뿐 아니라 접합 후 전도 입자의 탄성 변형에 의한 접합부의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 그러나 내부 전도성 입자에 의해 범프와 패드가 연결되므로 범프 면적에 비해 접합 면적이 상대적으로 작아 높은 접촉 저항을 가질 뿐 아니라 미세피치로의 적용에 있어 접합부의 open 현상과 단락현상이 발생할 수 있다.¹⁻⁵⁾ 따라서 디스플레이 분야에 적용 가능한 새로운 저온 접합 공정 개발이 요구되고 있고, 실용화에 적합한 높은 신뢰성을 갖는 접합 또한 필요하다.⁶⁾ 이러한 저온 접합이 가능하고, 높은 신뢰성을 갖는 접합 방법 중 고분자 범프를 이용한 접합 방법이 연구되었다.⁷⁻¹⁷⁾ 일반적으로 금속 범프의 열팽창 계수는 접착제에 비해 상당히 낮기 때문에 온도가 변화함에 따라 범프보다 접착제의 팽창 및 수축이 더 커서 접합부에 큰 스트레스를 가하여 open circuit을 유발할 수 있다.¹⁵⁾ 그러나 고분자 범프를 사용할 경우 고분자의 탄성계수가 작으므로 낮은 압력 하에서 접합이 가능하며, 접합 후 고분자의 탄성력에 의해 기판과 패드 사이를 분리시키는 응력을 완화시켜주기 때문에 물리적, 전기적으로 신뢰성 있는 접합을 가능하게 해준다.¹⁷⁾ 또한 고분자 범프는 범프 형상과 높이의 제어가 용이하고, 제조 공정이 간단하여 시간과 비용을 절약할 수 있다는 장점이 있다.¹⁰⁾ 기존에 고분자 범프를 형성하는 방법으로는 은 입자가 함유된 전도성 고분자를 이용하는 방법⁷⁻¹⁰⁾과 칩 소켓을 이용한 방법¹¹⁾, 감광성 고분자를 이용하여 고분자 범프를 형성하는 방법¹²⁻¹⁷⁾ 등이 있다. 그러나 전도성 고분자를 이용하는 방법과 칩 소켓 등을 이용하는 방법은 범프 높이의 균일함이 좋지 않거나 공정이 복잡하다는 단점이 있기 때문에 본 연구에서는 감광성 고분자를 이용하여 고분자 범프를 형성하였다. 기존의 금속 범프 대신 감광성 고분자를 사용함으로써 범프 높이의 균일함이 향상될 뿐 아니라 제조 공정이 간단하다는 장점이 있다. 또한 고분자 범프의 열팽창 계수가 크면 신뢰성 테스트 동안 발생하는 Non-conductive adhesive (NCA) 의 Z

축으로의 팽창을 보정해 줄 수 있다는 장점이 있다.¹⁵⁾ 따라서 본 연구에서는 감광성 고분자 범프와 저온 경화가 가능한 NCA 를 이용하여 칩과 유리 기판을 접합하였다. 고분자 범프의 전기적 도전을 위해 고분자 범프 위에 금속 박막층을 증착하였고, 접합성은 각각의 범프 저항을 측정하여 평가하였다. 신뢰성은 열충격 장비를 사용하여 실험하였으며, 열충격 실험 후 NCA 종류에 따른 시편의 단면을 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 분석하였다.

2. 실험 방법

산화막이 입혀진 Si 위에 감광성 특성을 가진 고분자를 스핀 코팅하고 사진식각 공정을 이용하여 고분자 범프를 형성한 후, 고분자 범프의 전기적 도전을 위해 고분자 범프 위에 Au (0.05 μm)/Cu (1 μm)/Ti (0.05 μm)의 박막층을 증착하였고, 유리기판 위에는 Al (1 μm)의 박막층을 직류 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착하였다. 사용한 고분자 재료의 특성은 Table 1에 나타내었다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 Si 위에 형성된 금속층이 증착된 고분자 범프와 Al 패드를 열압착 방법을 사용하였으며, 접합 전 NCA를 미리 고분자 범프 위에 도포한 후 80°C에서 다양한 하중을 가하면서 모두 360초 동안 접합을 실시하였다. 이 때 열팽창 계수가 서로 다른 두 종류의 NCA 를 사용하였다. 신뢰성은 열충격 실험을 하여 평가하였는데 0°C 에서 15분, 55°C 에서 15분간 유지하는 것을 1회로 하여 2000회까지 실시하였으며, NCA 1 과 NCA 2 의 T_g 온도는 Table 1에 나타내었듯이 각각 72°C, 55°C 이다. 접합부의 전기적 특성은 Aglient 사의 433B

Table 1. The properties of polymer material obtained from the manufacturer

Properties	NCA 1	NCA 2
Matrix	Epoxy	Epoxy
Nonconductive fillers	Yes	Yes
Viscosity (Pas)	100	65
CTE (10 ⁻⁶ /°C)	α_1	65
	α_2	195
T _g (°C)	72	55

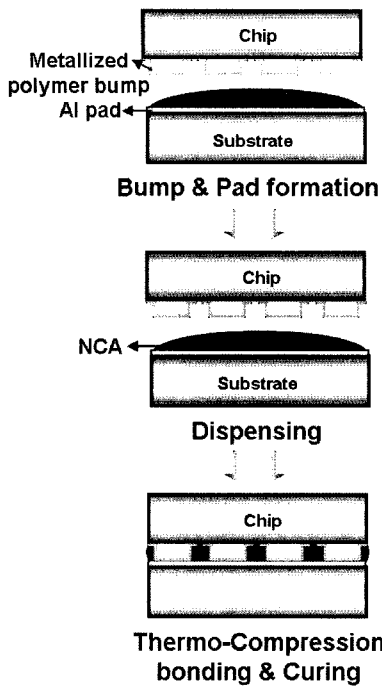


Fig. 1. Schematic view of the metallized polymer bump/Al pad joint formation

milliohm meter 를 이용하여 4단자 측정방식으로 저항 값을 측정하여 평가하였으며, 범프의 저항 값이 초기 저항 값의 20% 이상 증가한 경우 failure 로 간주하였다. 접합부의 단면 관찰은 JEOL 사의 SEM 을 사용하여 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Si 기판 위에 형성된 고분자 범프와 Al 패드를 접합할 때 가하여 주는 물리적인 압력은 고분자

범프의 탄성변형을 일으킨다. 접합 도중 압력을 제거한 후에도 NCA 가 경화되므로 Si 기판과 유리기판 사이는 고정되고, 접합할 때 탄성 변형된 고분자 범프는 기판에 압력을 가하므로 접합부의 신뢰성 향상에 도움을 준다.

Fig. 2는 감광성 고분자 재료를 이용하여 정사각형 모양의 범프를 형성하고, 형성된 범프 위에 Au/Cu/Ti 금속층을 증착한 모양을 보여준다. Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)는 금속선과 고분자 범프가 잘 형성되었음을 보여주며 Fig. 2(c)는 고분자 범프의 단면을 보여주는 사진으로 고분자 범프 위에 형성된 금속층을 보여준다. 고분자 범프의 모서리 부분이 수직임에도 불구하고 모서리 부분에 금속 박막층이 증착되었고, 증착하는 동안 가열되었던 시편이 냉각되는 과정에서 고분자와 금속의 열팽창 계수가 달라 범프 표면에 주름이 형성 될 수 있지만¹¹⁾ 본 실험에서는 이런 현상이 발견되지 않았다.

Fig. 3은 다양한 압력 하에서 접합한 접합부의 단면을 보여주는 SEM 사진이다. 100 MPa의 하중에서는 접합이 제대로 이루어지지 않아 접촉저항이 매우 큰 경우가 종종 발견되었는데 이는 금속 패드와 금속층이 증착된 고분자 범프 사이에 NCA와 filler가 끼여들어 생긴 현상이다(Fig. 3(a)). Fig. 3(b)와 Fig. 3(c)의 150 MPa의 하중에서 접합한 경우 Al 금속 패드와 금속층이 증착된 고분자 범프 사이가 잘 접촉되어 있음을 보여주며 Fig. 3(d), (e)를 보면 200 MPa의 하중에서는 접합 후 금속층이 증착된 고분자 표면이 과도한 하중에 의해 손상되었음을 보여준다. 접합된 시편의 고분자 범프의 모서리 부분을 보면 고분자 범프가 하중을 받아 접합 전에 수직이던 범프가 변형이 일어났으며 따라서 그 위에 증착된 금속층도 변형되었음을 알

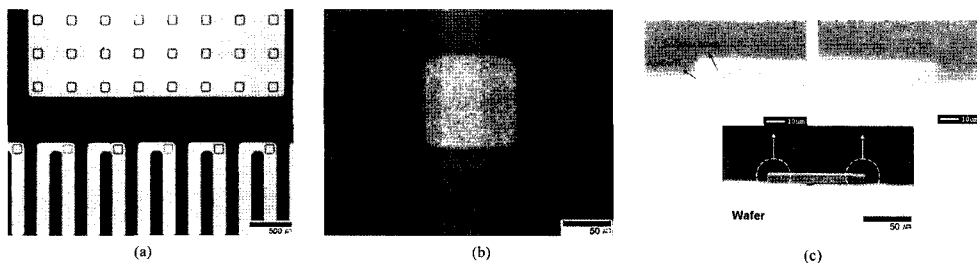


Fig. 2. Optical microscope images showing metallized polymer bumps: (a) metal patterns (b) polymer bump (c) cross-sectional view of a metallized polymer bump

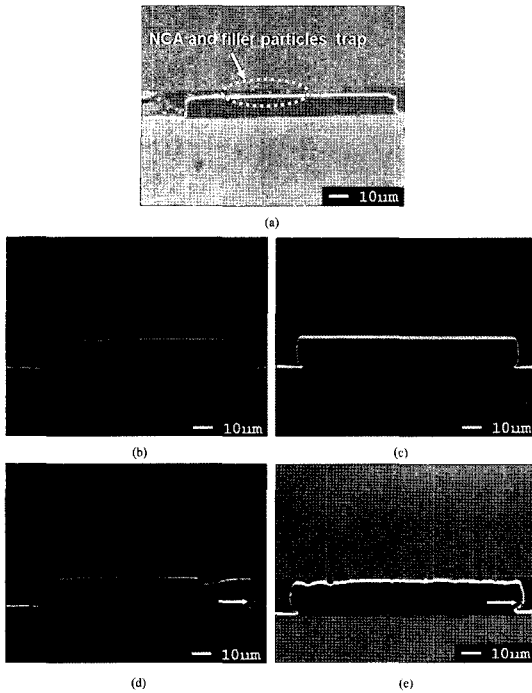


Fig. 3. Cross-sectional SEM image of the metallized polymer bump/Al pad joint after bonding: (a) under 100 MPa using NCA 2 (b) under 150 MPa using NCA 1 (c) under 150 MPa using NCA 2 (d) under 200 MPa using NCA 1 (e) under 200 MPa using NCA 2

수 있다. 하중이 증가할수록 모서리 부분의 변형이 더 커진 것을 알 수 있으며 200 MPa에서는 금속층의 변형이 심하여 일부 끊김 현상(화살표)이 발생하였다. 이런 금속 층의 변형은 신뢰성에 악영향을 미칠 수 있다.

두 종류의 NCA 를 사용하여 150 MPa의 하중 하에서 금속층이 증착된 고분자 범프/Al 패드간 접합 후의 초기 평균 접촉 저항 값을 Table 2에 나타내었다. NCA 1 을 사용하여 접합한 시편의 평균 저항 값은 약 75 mΩ, NCA 2 를 사용하여 접합한 시편의 평균 저항 값은 약 80 mΩ 으로 저항 값의

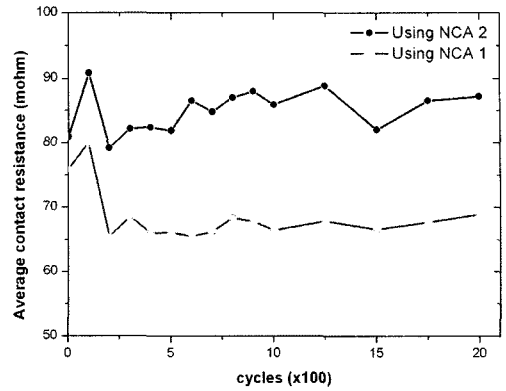


Fig. 4. Average contact resistance of the metallized polymer bump/Al pad joint during 0°C-55°C thermal cycling test.

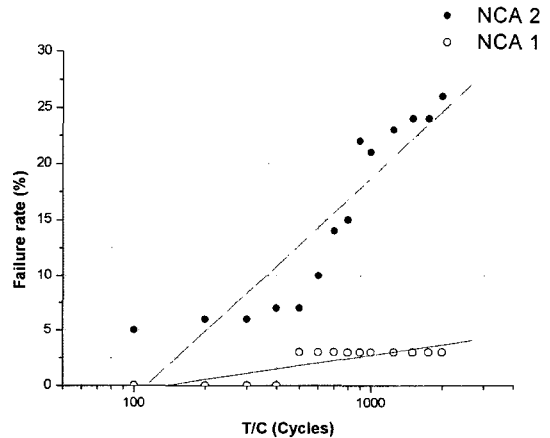


Fig. 5. Failure rate of polymer bump/Al pad joint after thermal cycling test

차이는 거의 없었다.

150 MPa 의 하중에서 접합한 시편으로 열충격 실험 후 저항 값의 변화를 측정하여 Fig. 4에 나타내었고, failure rate 를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 4 에서 보듯이 2000회까지의 열충격 실험에서 fail 이 되지 않은 범프의 저항 값은 큰 차이를 보이지 않았으나, failure rate는 두 종류의 NCA 에 대해서

Table 2. The average contact resistance and standard deviation before thermal cycling test

NCA	NCA 1		NCA 2	
	Contact resistance	Standard deviation	Contact resistance	Standard deviation
Metallized polymer bump/Al pad	75.8 mΩ	29.2	80.9 mΩ	37.6

크게 달라졌다(Fig. 5참조). NCA 1 을 사용하여 접합한 시편의 경우 500회의 열충격 실험 후 3%의 failure rate 가 나타난 후 2000회까지 증가하지 않았으나, NCA 2 를 사용하여 접합한 시편의 경우 100회의 열충격 실험 후 5%의 failure rate 가 나타난 후 그 값이 2000회까지 꾸준히 증가하여 2000회의 열충격 실험 후에는 약 26%의 failure rate 를 나타내었다. 열충격 실험 후 범프의 fail 된 원인을 분석하기 위하여 2000회의 열충격 실험 후의 접합부의 단면 이미지를 Fig. 6에 나타내었다. 범프 fail 은 NCA 의 종류에 상관없이 앞에서 언급되었던 과도한 하중에 의한 fail 원인과 마찬가지로 상대적으로 금속 박막층이 얇게 증착된 범프 모서리 부분의 금속 박막층이 열충격 실험 동안 NCA 와 고분자 범프의 연속적인 Z축으로의 팽창, 수축을 견디지 못하고 끊어짐으로 생겼다. 고분자 범프의 열팽창 계수는 $50 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 NCA 보다 작으므로 NCA의 영향이 더 클 것이다. 특히 접합과정에서 고분자 범프가 압축 변형되므로 고분자 범프의 모서리 부분의 금속층은 열충격 실험할 때 더 취약할 것이다.

따라서 범프의 모양을 사다리꼴 형태로 만들면 범프가 변형될 때 금속층의 변형이 심하지 않아 굴곡이 덜 생길 것이므로 금속층의 균열이 잘 생기지 않을 것이다. 또한 사다리꼴 범프에서는 금속이 증착될 때 비교적 전면에 걸쳐 일정한 두께

의 금속이 증착될 것이므로 모서리 부분에 증착된 금속층의 두께가 얇지 않아 접합할 때 금속층의 변형이 생기더라도 끊어지지 않을 것이다.

NCA 2 를 사용하여 접합한 시편이 NCA 1 을 사용하여 접합한 시편보다 failure rate 가 높게 나타난 이유는 55°C에서 NCA 2의 열팽창 계수가 더 크므로 열충격 실험 동안 NCA 2의 팽창, 압축률이 NCA 1 보다 상대적으로 더 컸기 때문에 고분자보다 변형률이 더 적은 금속 박막층에서 상대적으로 더 얇게 증착된 모서리 부분의 금속 박막층이 이러한 응력을 견디지 못하고 끊어졌다고 생각된다. 그러나 그 원인을 보다 정확하게 분석하기 위해서는 열충격 실험에서의 최고온도를 55°C와 72°C 사이로 더 높여 실험하는 등의 추가 실험이 필요하다.

4. 결 론

본 실험에서는 고분자 범프와 NCA 를 이용한 COG 접합을 실시하였다. 다층 금속층이 증착된 고분자 범프와 Al 패드를 형성하여 여러 하중에서 접합을 실시하였으며, 서로 다른 열팽창 계수를 갖는 두 종류의 NCA 를 사용하여 신뢰성에 미치는 영향을 관찰하였다. NCA 의 종류에 따른 신뢰성 테스트 후 전기적 저항 값을 측정하고 접합 단면 이미지를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 감광성 고분자 재료를 이용하여 정사각형 모양의 범프를 형성하고, 형성된 범프 위에 Au/Cu/Ti 금속층을 증착하였다. 고분자 범프의 모서리 부분에 금속 박막층이 성공적으로 증착되었고, 증착하는 동안 가열되었던 시편이 냉각되는 과정에서 고분자와 금속의 열팽창 계수의 불일치에 의해 범프 표면에 쉽게 형성되는 주름 또한 발견되지 않았다

2. 다층 금속층이 증착된 고분자 범프와 Al 패드를 두 종류의 NCA 를 사용하여 80°C의 저온에서 다양한 하중에서 접합하였고, 200 MPa 이상의 높은 접합 압력에서 접합한 경우 과도한 하중을 받아 고분자 범프가 심한 변형을 일으켜 상대적으로 금속 박막층이 얇게 증착된 범프 모서리 부분의 금속 박막층이 끊김으로써 일부 범프의 접속 저항을 측정할 수 없었다. 두 종류의 NCA 를 사용하여 150 MPa의 하중에서 접합한 시편의 초기 평

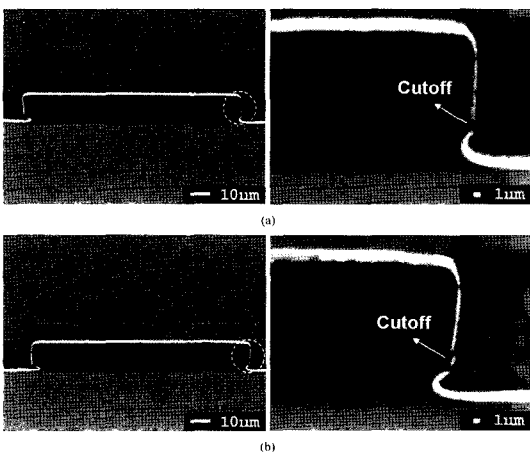


Fig. 6. Cross-sectional SEM image of the metallized polymer bump/Al pad joint after thermal cycling test: (a) using NCA 1 (b) NCA 2

균 접속 저항 값은 NCA 1, NCA 2 에 대해 각각 75 mΩ, 80 mΩ 로 큰 차이가 없었다.

3. 2000회의 열충격 실험 후 두 종류의 NCA 에 대해 각기 다른 failure rate 를 나타내었고, NCA 1 을 사용하여 접합한 시편의 경우 2000회의 열충격 실험까지 단 3%의 failure rate를 나타낸 반면에 NCA 2 를 사용하여 접합한 시편의 경우 100회의 열충격 실험 후부터 failure rate 가 꾸준히 증가하여 2000회의 열충격 실험 후에는 26%의 failure rate 를 나타내었다.

4. Fail 된 범프의 단면 이미지 관찰 결과 사용한 NCA 에 상관없이 상대적으로 금속 박막층이 얇게 증착된 범프 모서리 부분의 금속 박막층이 열충격 실험 동안 NCA 와 고분자 범프의 팽창, 수축을 견디지 못하고 끊어짐으로써 fail 되었다.

감사의 글

이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (KRF-2006-005-J04101)

참고문헌

1. R. Joshi, "Chip on glass--interconnect for row/column driver packaging", *Microelectronics Journal*, Vol.29, No.6, 343-349 (1998)
2. M. -J. Yim and K. -W. Paik, "Design and understanding of anisotropic conductive films (ACF's) for LCD packaging", *IEEE Tran. Comp. Packag. Manufact. Technol., Part A*, Vol. 21, No. 2, 226-234 (1998)
3. J. Liu, Z. Lai, H. Kristiansen, and C. Khoo, "Overview of conductive adhesive joining technology in electronics packaging applications", *Adhesive Joining and Coating Technol. in Electron. Manufact., Proc. of 3rd Inter. Conf.*, 1-18 (1998)
4. F. G. Shi, M. Abdullah, S. Chungpaiboonpatana, K. Okuyama, C. Davidson, and J. M. Adams, "Electrical conduction of anisotropic conductive adhesives: effect of size distribution of conducting filler particles", *Mater. Sci. in Semiconductor Processing*, Vol.2, No.3, 263-269 (1999)
5. Y. -T. Hsieh, "Reliability and failure mode of chip-on-flim with non-conductive adhesive", *Electron. Mater. Packag., Proc. of the 4th Inter. Symp.*, 157-160 (2002)
6. M. Takeichi and M. Nagashima, "Trend of solder-less Joint in Flip Chip Bonding", *Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics, First Inter. IEEE Conf.*, 168-172 (2001)
7. R. H. Estes, "Flip-chip packaging with polymer bumps", *Semiconductor inter.*, Vol. 20, No.2, 103-108 (1997)
8. K. W. Oh and C. H. Ahn, "A new flip-chip bonding technique using micromachined conductive polymer bumps", *IEEE Tran. Adv. Packag.*, Vol. 22, No.4, 586-591 (1999)
9. C. K. Y. Wong, O. C. T. Cheung, B. Xu, and M. M. F. Yuen, "Using PDMS microtransfer molding (μ TM) for polymer flip chip", *Electron. Comp. Technol. Conf., Proc. 53rd*, 652-657 (2003)
10. D. W. Prather and S. Lohokare, U.S Patent, 7,109, 107, 9 (2006)
11. G. Norberg, S. Dejanovic, and H. Hesselbom, "Very High Density Interconnect Elastomer Chip Sockets", *IEEE Tran. Adv. Packag.*, Vol. 29, No.2, 202-210 (2006)
12. W. -Y. Zhang, J. P. Labukas, S. Tatic-Lucic, L. Larson, T. Bannuru, R. P. Vinci, and G. Ferguson, "Novel room temperature first level packaging process for microscale devices", *Sensors and actuators. A, Phys.*, Vol. 123/124, 646-654 (2005)
13. C. -T. Pan, H. Yang, S. -C. Shen, M. -C. Chou, and H. -P. Chou, "A low-temperature wafer bonding technique using patternable materials", *J. micromechanics and microengineering*, Vol. 12, No.5, 611-615 (2002)
14. W. -Y. Zhang, G. S. Ferguson, and S. Tatic-Lucic, "Elastomer-supported cold welding for room temperature wafer-level bonding", *Micro Electro Mechanical Systems, 17th IEEE Inter. Conf. (MEMS)*, 741-744 (2004)
15. K. Keswick, R. L. German, M. Breen, and R. Nolan, "Compliant bumps for adhesive flip-chip assembly", *IEEE Tran. Comp. Packag. Manufact. Technol. Publication of the IEEE Comp., Packag. Manufact. Technol. Society and the IEEE Lasers and Electro-Optics S*, Vol. 18, No.3, 503-510 (1995)
16. H. -C. Cheng, C. -L. Ho, K. -N. Chiang, and S. -M. Chang, "Process-dependent contact characteristics of NCA assemblies", *IEEE Tran. Comp. Packag. Technol.*, Vol. 27, No. 2, 398-410 (2004)
17. S. -M. Chang, Y. -C. Lee, H. -M. Yu, L. -H. Yang, and J. -H. Jou, U.S Patent, 5,393,697,2 (1995)