

◆ 특집 ◆ 정밀 본딩 및 검사 공정 기술

횡방향 열초음파 본딩 기법을 이용한 COG 접합

Chip on Glass Interconnection using Lateral Thermo-sonic Bonding Technology

하창완¹, 윤원수², 박금생³, 김경수^{1,✉}
Chang-Wan Ha¹, Won-Soo Yun², Keum-Saeng Park³ and Kyung-Soo Kim^{1,✉}

¹ KAIST 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, KAIST)

² 한국산업기술대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Korea Polytechnic Univ.)

³ (주)여의시스템 (Yoi System Co., Ltd.)

✉ Corresponding author: kyungsookim@kaist.ac.kr, Tel: 042-350-3047

Manuscript received: 2010.5.3 / Revised: 2010.5.29 / Accepted: 2010.6.1

In this paper, chip-on-glass(COG) interconnection with anisotropic conductive film(ACF) using lateral thermo-sonic bonding technology is considered. In general, thermo-compression bonding which is used in practice for flip-chip bonding suffers from the low productivity due to the long bonding time. It will be shown that the bonding time can be improved by using lateral thermo-sonic bonding in which lateral ultrasonic vibration together with thermo-compression is utilized. By measuring the internal temperature of ACF, the fast curing of ACF thanks to lateral ultrasonic vibration will be verified. Moreover, to prove the reliability of the lateral thermo-sonic bonding, observation of pressured mark by conductive particles, shear test, and water absorption test will be conducted.

Key Words: Lateral Thermo-sonic Bonding (횡방향 열초음파 본딩), Thermo-compression Bonding (열압착 본딩), Anisotropic Conductive Film (ACF: 비등방성 도전성 필름), Flip Chip Bonding (플립칩 본딩) Chip on Glass (COG: 칩 온 글라스)

1. 서론

최근 정보기술(Information Technology)의 급속한 발전과 멀티미디어 산업의 확산에 따라 디지털 전자기기들의 소형화, 경량화, 저비용화 그리고 고집적화의 경향이 두드러지고 있다. 이러한 추세에 따라 핵심 전자 부품들은 BGA(Ball Grid Array), CSP(Chip Scale Packaging), MCM(Multi Chip Module) 등의 형태를 가지며 점차 핀 배치 밀도가 증가하고 있는 추세이다. 일반적으로 이러한 고밀도 핀 배치를 갖는 부품의 실장은 낮은 접합 저항과 높은 기계적 신뢰성 및 우수한 생산 수율 등 우수한

실장 성능을 만족해야 한다. 따라서 이러한 성능을 만족하는 새로운 칩 실장 기술이 요구되고 있다.¹⁻⁴

대표적인 칩 실장 기술은 와이어 본딩(Wire Bonding), TAB(Tape Automated Bonding), 플립칩 본딩(Flip Chip Bonding)이 있다. 와이어 본딩 및 TAB은 칩이 크고 핀 배치 밀도가 낮은 경우에 매우 효율적으로 적용된다. 반면, BGA, CSP 및 MCM 등에 적용되는 플립칩 본딩은 작은 크기에 고밀도 핀 배치를 갖는 칩 실장에 적합하도록 설계되었다. 따라서 플립칩 본딩을 이용할 경우 작은 접합 면적, 고밀도 입출력 핀 수, 높은 전기적 특성(낮은

접합 저항), 낮은 제조 비용 등 많은 장점을 가지게 된다.⁵ 대표적으로 TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) 구동회로, 카메라 모듈용 CIS(CMOS Image Sensor) 접합 등에서 플립칩 본딩 기술이 사용되고 있다. 특히 높은 열적 안정성, 환경 친화성(무연, 독성 금속 미함류), 공정의 간이화, 이종 금속간의 접합 등을 위해 ACF(Anisotropic Conductive Film)를 이용한 플립칩 본딩이 산업현장에서 널리 사용되고 있다.

ACF 접합은 칩의 범프와 기판의 패드 사이에 도전성 입자가 고르게 분산된 ACF 를 위치 시킨 후 열과 하중을 가하여 도전성 입자들이 범프와 패드 사이에 몰려 전기적 통로를 형성하며 접합되는 방식이다. 산업현장에서는 ACF 플립칩 본딩을 위해 열과 압력을 이용한 열압착 본딩(Thermocompression Bonding)을 이용하고 있다. 하지만 열압착 본딩은 접합 시 칩에 가하는 높은 온도에 의해 디바이스의 손상을 발생시킬 수 있고 공정시간이 상대적으로 길어 생산 효율이 낮아지는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 ACF 접합 공정에 초음파 진동 에너지를 활용한 시도가 이루어졌으나, ACF 특성 분석에 초점이 맞추어져 있고 아직 장비 기술로서의 적용가능성은 제시하지 못하였다.^{6,7}

본 연구에서는 COG(Chip on Glass)에서 기존의 열압착 본딩의 문제 해결 대안으로 횡방향 초음파 진동에너지를 활용한 횡방향 열초음파 본딩(Lateral Thermosonic Bonding)에 대해 살펴본다. 이를 위해 초음파 진동 에너지로 인한 ACF 내부의 추가적인 열 발생을 확인하고 이를 통해 공정시간을 크게 단축시킬 수 있음을 보인다. 횡방향 열초음파 본딩으로 공정시간을 단축시켜 접합시킨 시편의 전기적, 기계적 접합 상태를 확인하기 위해 접합 후 패드에 찍힌 도전볼의 압흔 상태 확인과 전단력 실험을 수행하고 기존의 열압착 본딩 결과와 비교한다. 또한 신뢰성 실험을 통해 횡방향 열초음파 본딩을 이용한 시편의 접합상태를 검증한다. 마지막으로 실험 결과 분석을 통해 제안된 횡방향 열초음파 본딩 방식의 문제점 및 개선해야 할 점에 대해 고찰해 본다.

2. 횡방향 열초음파 본딩

횡방향 열초음파 본딩은 Fig. 1 과 같이 열과 압력을 이용한 기존의 열압착 본딩에 횡방향 초음파

진동에너지를 더한 접합 방식이다. 제안된 방식은 횡방향 초음파와 진동으로 인해 ACF 내부에 점성열을 발생시켜 국부적인 영역에 순간적인 온도 상승 효과를 얻을 수 있다. 초음파와 진동으로 인한 추가적인 열 발생으로 인해 기존의 열압착 본딩보다 더 낮은 공정 온도 조건에서도 접합이 가능하며 또한 전체 공정시간도 크게 단축시킬 수 있어 기존의 열압착 본딩보다 더욱 효율적이고 안정적인 공정이다.⁹

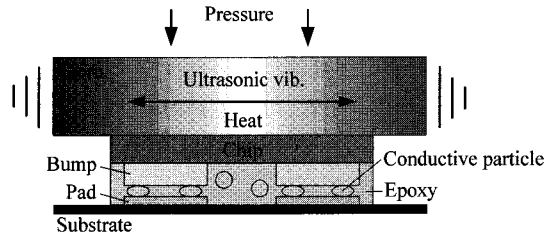


Fig. 1 Mechanism of lateral thermosonic bonding

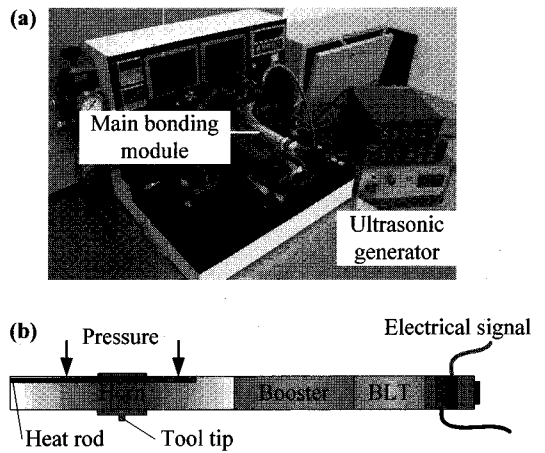


Fig. 2 (a) Lateral thermosonic bonding equipment (b) main bonding module

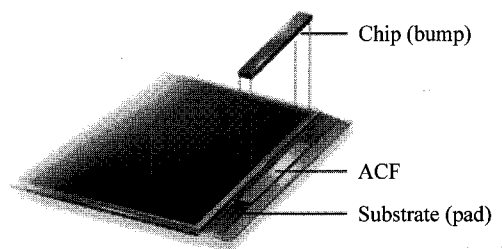


Fig. 3 LCD module assembly structure with ACF¹³

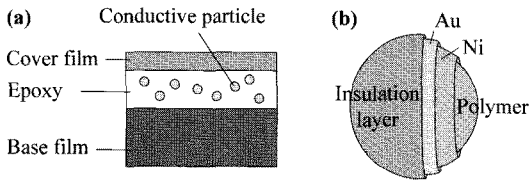


Fig. 4 (a) Schematics of ACF, (b) conductive particle

3. 실험환경

3.1 횡방향 열초음파 본딩 장비

Fig. 2(a)는 제안된 횡방향 열초음파 본딩을 위해 제작된 장비로 크게 초음파 발전기와 메인 본딩 모듈로 구성된다. 초음파 발전기는 40kHz의 정현파를 발생시키며 최대 출력이 60W가 되도록 제작되었다. Fig. 2(b)에서 볼 수 있듯이 메인 본딩 모듈은 진동자(Bolted Langevin-type Transducer: BLT, NTK Technologies Inc.), 부스터, 혼으로 구성된다. 진동자는 초음파 발전기에서 만든 40kHz의 정현파에 의해 초음파 진동을 만들고 그 진동은 부스터를 통해 혼으로 전달된다. 초음파 혼은 정밀 접합을 위해 기생진동(Parasitic Vibration)을 최소화 되도록 대칭적으로 설계된 단차식 혼(Stepped Horn)을 사용하였고, 혼의 길이는 진동자의 공진주파수에 맞춰 제작되었다. 제작된 혼의 툴팁(Tool Tip)에서의 최대 진폭은 $\pm 4\mu\text{m}$ 이다. 혼 내부에는 가열부가 있어 혼을 누르는 압력과 함께 열 에너지를 툴팁을 통해 시편으로 전달시킬 수 있다.

3.2 실험재료

실험에 사용된 시편은 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 휴대폰에 들어가는 2.4인치 LCD 모듈이다. LCD 기관(CASIO Co.)은 40.1mm(W) x 56.9mm(L) x 1.55mm(T) 규격이며 $25\mu\text{m}$ (W) x $100\mu\text{m}$ (L) 사이즈의 ITO(Indium Tin Oxide)로 코팅된 1400여 개의 패드가 $50\mu\text{m}$ 의 피치(Pitch) 간격으로 LCD 기관에 분포되어 있다. LCD 구동회로는 24.2mm(W) x 2.2mm(L) x 0.5mm(T) 규격이며 LCD 기관의 패드와 동일하게 Au 범프가 분포되어 있다. LCD 모듈을 접합하기 위해 사용된 ACF(CP8830IH4, Sony Chemicals Co.)는 Fig. 4(a)와 같이 지름 $4\mu\text{m}$ 인 도전볼(Conductive Particle)과 열경화성 물질인 에폭시로 구성되어 있다. 도전볼은 Fig. 4(b)에서 볼 수 있듯이 폴리머 입자에 Ni-Au로 도금되어 있고 Ni-Au 도금층 위에 절연층이 구성되어 있다. 절연층

은 본딩 시 열과 압력에 의해 파괴되고 표면상에 드러난 Ni-Au에 의해 범프와 패드간의 통전이 이루어지게 된다.

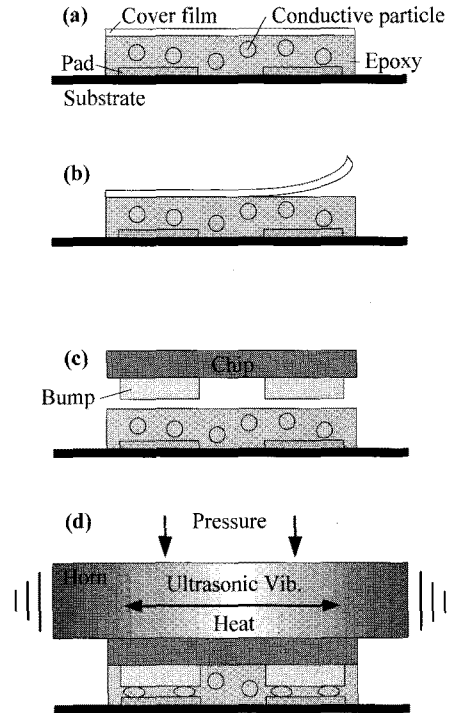


Fig. 5 Schematic of the lateral thermosonic bonding process, (a) placement of ACF on the substrate, (b) pre-bonding, (c) alignment, (d) main bonding

Table 1 Conditions of bonding experiment

	Temperature	Pressure
Pre-bonding	70 °C	200kPa
Main bonding	170 °C	30MPa

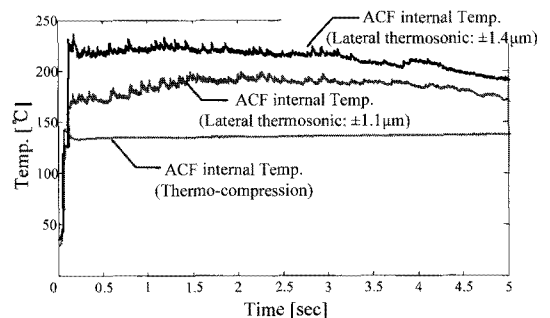


Fig. 6 Measurement of internal temperature of ACF

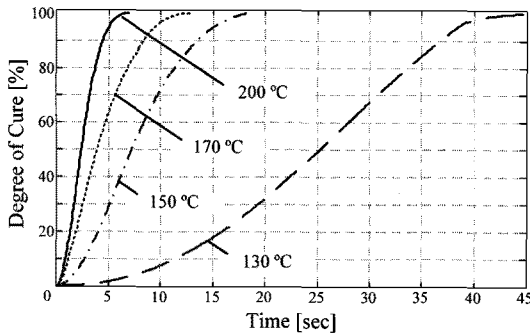


Fig. 7 The degree of cure as a function of time of ACF at different curing temperatures from DSC experiments

3.3 공정조건

횡방향 열초음파 본딩은 Fig. 5 와 같이 4 가지 과정을 통해 진행된다. (a)과정에서는 기판을 유기 용매로 세척한 후 하부 보호 필름을 제거한 ACF 를 기판 위에 붙인다. (b)과정은 온도 70℃와 압력 200kPa 로 1 sec 동안 가압착한 후 ACF 의 상부 보호 필름을 제거한다. (c)과정은 범프와 패드간의 정렬을 맞춘다. (d) 과정은 온도 140℃와 압력 30MPa 로 본압착을 진행한다. 본압착 과정에서는 초음파 진동을 제거한 기존의 열압착 본딩과 초음파 진동을 추가한 횡방향 열초음파 본딩을 각각 수행한 후 결과를 비교해 본다. 실험에 사용된 공정조건 은 Table 1 에 정리되어 있다.

4. 횡방향 열초음파 본딩 검증 실험

4.1 ACF 내부 온도 측정

횡방향 초음파 진동으로 인한 ACF 내부의 추가적인 열 발생을 확인하기 위해 ACF 내부에 지름이 25μm 인 Thermocouple(J type, Omega Inc.)을 삽입한 후 본딩이 진행되는 동안의 ACF 내부 온도를 측정하였다. Fig. 6 은 혼의 온도를 170℃로 유지한 상태에서 열압착 본딩과 진폭이 다른 두 종류의 횡방향 열초음파 본딩을 수행하면서 측정된 ACF 의 내부 온도이다. 열압착 본딩의 경우 열 전달 과정에서의 손실로 인해 혼 온도보다 30℃ 낮은 140℃로 ACF 내부 온도가 일정하게 유지된다. 반면 횡방향 열초음파 본딩의 경우 진동 에너지로 인해 추가적인 열 발생이 나타난다. 또한 진폭이 커짐에 따라 열 발생량이 많아진다. 진동 에너지로 인한 추가적인 열 발생은 진폭의 제곱에 비례

한다고 알려져 있다.¹⁰ 따라서 횡방향 열초음파 본딩에서 균일한 열 발생을 위해서는 안정적인 진폭 관리가 필수적이다.

ACF 가 충분히 경화되는데 필요한 공정시간은 DSC(Differential Scanning Calorimeter)를 이용한 특정 온도 하에서 시간에 따른 경화도 관계를 통해 알 수 있다. Fig. 7 은 실험에 사용한 ACF 의 DSC 실험 결과이다. Fig. 7 에서 볼 수 있듯이 온도가 상승함에 따라 경화속도가 빨라지고 충분한 경화도를 얻는데 필요한 공정시간이 단축된다. 열압착 본딩의 경우 ACF 를 충분히 경화시키는데 30 sec 정도 걸리는 반면 진폭을 ±1.1μm, ±1.4μm 사용한 횡방향 열초음파 본딩을 사용할 때에는 공정시간을 각각 10 sec, 5 sec 로 크게 단축시킬 수 있다 (Table 2 참조).

횡방향 열초음파 본딩을 이용하여 공정시간을 단축시킨 시편의 전기적, 기계적 접합 상태와 신뢰성을 확인하기 위해 다음 두 경우에 대해 비교 분석한다.

대조군: ACF 사양서에서 제시한 열압착 본딩으로 접합 시편⁸

실험군: ±1.4μm 의 진폭으로 5 sec 동안 횡방향 열초음파 본딩을 접합시킨 시편

Table 2 Required bonding time for full curing of ACF

	Vibration amplitude	Required bonding time
Thermo-compression	-	30 sec
Lateral thermosonic	±1.1μm	10 sec
	±1.4μm	5 sec

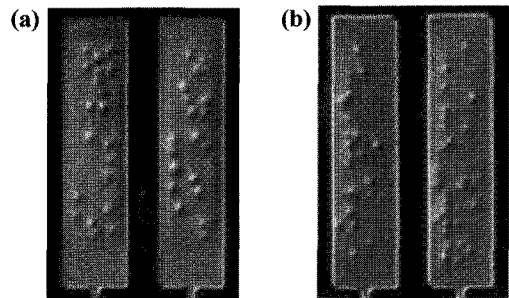


Fig. 8 Pressured marks by the conductive particles on the pads, (a) thermo-compression bonding case, (b) lateral thermosonic bonding case

Table 3 Experimental results of the shear tests

	Sample	Thermo-compression	Lateral thermosonic
Die shear strength	# 1	420.9N	427.1N
	# 2	450.3N	476.9N
	# 3	466.7N	498.8N
	mean	446.0N	467.6N

4.2 전도성 실험

ACF 접합에 있어 범프와 패드간의 전도성은 패드에 찍힌 압흔의 개수와 선명도를 통해 판단된다. 열압착 본딩(대조군)과 횡방향 열초음파 본딩(실험군)에 대해 각각 시편 10 개씩 실험한 후, 평균 도전볼 개수와 압흔 선명도를 관찰한다. 열압착 본딩과 횡방향 열초음파 본딩으로 접합시킨 시편을 비교해 보면, 각각 19.0, 19.3 개의 평균 압흔 개수가 관찰된다. Fig. 8(a)는 열압착 본딩으로 접합한 시편의 압흔 상태이고, Fig. 8(b)는 횡방향 열초음파 본딩으로 접합한 시편의 압흔 상태이다. Fig. 8 에서 볼 수 있듯이 열압착 본딩과 횡방향 열초음파 본딩의 압흔의 선명도 및 평균 도전볼의 개수가 거의 일치하다. 이를 통해 횡방향 열초음파 본딩에 의한 시편의 전도성은 열압착 본딩에 의한 시편의 결과와 비슷하다고 판단된다. 하지만 몇 개의 시편에서 모서리 부분의 압흔 상태가 양호하지 못한 것이 발견되었다. 이는 참고문헌에서 언급했듯이 칩과 기판간의 상호평탄도(Co-planarity) 오차에 따른 압력분포 차이로 인한 현상으로 판단된다.⁹⁻¹¹ 따라서 횡방향 열초음파 본딩에서 균일한 접합을 위해서는 칩과 기판간의 상호평탄도를 유지시키는 것이 중요하다.

4.3 전단력 실험

횡방향 열초음파 본딩을 이용한 시편의 기계적 접합 성능을 확인하기 위해 전단력 실험을 수행한다. 전단력 실험은 시편이 견딜 수 있는 최대 하중을 측정하는 것이며 본 연구에서는 UTM-5565 (INSTRON Co.) 장비를 이용하여 열압착 본딩(대조군)과 횡방향 열초음파 본딩(실험군)으로 접합시킨 시편의 전단강도를 측정한다. Table 3 은 열압착과 횡방향 열초음파 본딩으로 접합시킨 시편에 대한 전단력 실험 결과이다. 횡방향 열초음파 본딩의 경우 평균 전단강도는 467.6N로 열압착 본딩의 평균 전단강도 446.0N 보다 조금 크다. 이를 통해 횡

방향 열초음파 본딩에 의한 시편의 기계적 접합이 열압착 본딩에 의한 시편의 결과와 비교하여 동등 또는 우수하다고 판단된다.

4.4 신뢰성 실험

횡방향 열초음파 본딩을 이용한 시편의 접합 신뢰성을 검증하기 위해 흡습 실험을 수행한다. 흡습 실험은 에폭시의 경화상태, Crack 발생 등 시편의 총체적 접합 상태를 나타낸다고 알려져 있다.¹² 흡습 실험은 초기 시편의 무게와 121℃, 상대 습도 100%, 2 기압 조건하에 일정 시간 방치시킨 후 시편의 무게 변화를 관찰하는 실험이다. 흡습 실험은 PCT chamber(PC-422R8, HIRATAMA Corp.)를 이용하여 열압착 본딩(대조군)과 횡방향 열초음파 본딩(실험군)으로 접합시킨 시편을 위의 조건 하에 96 시간 동안 방치시킨 후 시편의 무게 변화를 측정하였다. Table 4 는 열압착 본딩과 횡방향 열초음파 본딩으로 접합시킨 시편에 대한 흡습 실험 결과이다. 열압착과 횡방향 열초음파 본딩 모두 0.12mg 평균 무게 상승이라는 동일한 결과를 나타냈다. 이를 통해 횡방향 열초음파 본딩을 이용한 접합 신뢰성은 열압착 본딩과 비슷한 수준임을 판단할 수 있다.

Table 4 Experimental results of the water absorption tests

	Sample	Thermo-compression	Lateral thermosonic
Mass change	# 1	0.10mg	0.09mg
	# 2	0.11mg	0.13mg
	# 3	0.16mg	0.15mg
	mean	0.12mg	0.12mg

5. 결론

본 연구에서는 기존의 ACF 를 이용한 열압착 접합 공정의 단점인 높은 공정 온도와 긴 공정시간을 개선 할 수 있는 횡방향 열초음파 접합 공정에 대하여 기술하였다. 횡방향 열초음파 본딩의 가능성을 확인하기 위해 초음파 진동으로 유발되는 추가적인 열 발생을 확인하였고 이를 통해 공정시간이 크게 단축 될 수 있음을 보였다. 또한 횡방향 열초음파 본딩을 이용하여 공정시간을 줄인 시편의 전기적, 기계적 접합 상태와 신뢰성을 검증하기 위해 패드에 찍힌 도전볼의 압흔 검사와

전단력 실험 그리고 흡습 실험을 기존의 열압착 본딩의 결과와 비교 분석하였다. 이를 통해 횡방향 열초음파 본딩이 기존의 열압착 본딩의 접합 성능을 유지시키면서 공정시간을 단축할 수 있음을 확인하였다. 그러나 신뢰성 있는 횡방향 열초음파 본딩을 위해서는 안정적인 진폭 관리와 칩과 기판간의 상호평탄도를 유지시키는 문제는 앞으로 해결해야 할 과제로 남아있다.

후 기

본 연구는 지식경제부 전략기술개발사업(CCM 인라인 조립장비개발), 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업 및 교육과학기술부 BK21 지원으로 연구되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Lau, J. H., "Low-cost Flip Chip Technologies," McGraw-Hill Press, pp. 1-95, 2000.
2. Garrou, P., "Wafer Level Chip Scale Packaging (WL-CSP): An overview," IEEE Transaction on Advanced Packaging, Vol. 23, No. 2, pp. 198-205, 2000.
3. Kim, J. W., Lee, Y. C., Kim, D. G. and Jung, S. B., "Reliability of Adhesive Interconnections for Application in Display Module," Microelectronic Engineering, Vol. 84, No. 11, pp. 2691-2696, 2007.
4. Sato, K., Lee, K., Nishimura, M. and Okutsu, K., "Self-alignment and Bonding of Microparts using Adhesive Droplets," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 8, No. 2, pp. 75-79, 2007.
5. Riley, G. A., "A Buyer's Guide to Flip Chip," <http://flipchips.com>.
6. Tan, Q., Zhang, W., Schaible, B., Bond, L. J., Ju, T. H. and Lee, Y. C., "Thermosonic Flip-chip Bonding using Longitudinal Vibration," Proceeding of 47th Electronic Components and Technology Conference, pp. 1128-1133, 2007.
7. Lee, K. W., Kim, H. J., Yim, M. J. and Paik, K. W., "Curing and Bonding Behaviors of Anisotropic Conductive Films (ACFs) by Ultrasonic Vibration for Flip Chip Interconnection," Proceeding of Electronic Components and Technology Conference, pp. 918-923, 2006.
8. Sony Chemical, "CP8830IH4 Technical Data," 2001.
9. Jang, T. Y., Ha, C. W. and Kim, K. S., "Lateral Thermosonic Flip-chip Bonding with Anisotropic Conductive Film (ACF)," Proceeding of IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing, pp. 113-117, 2009.
10. Joung, S. W., Yun, W. S. and Kim, K. S., "Ultrasonic ACF Bonding Technique for Mounting LCD Driver ICs," Journal of Institute of Control, Robotics and System, Vol. 14, No. 6, pp. 543-547, 2008.
11. Ha, C. W., "A Study on Lateral Thermosonic Bonding Technology," Mechanical Engineering, Mater Thesis, KAIST, 2010.
12. Jang, T. Y., Yun, W. S., Kim, S. H. and Kim, K. S., "Using Ultrasonic Energy for Reducing ACF Bonding Process Time," Proceeding of 33rd International Electronics Manufacturing Technology Conference, pp. 171-176, 2008.
13. Sony Chemical & Information Device Corporation, www.sonycid.jp