

<응용기술논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-C.2015.3.4.265>

ISSN 2288-3991(Online)

【특집섹션: 한국기계연구원 주요사업 창의과제】

## 웨이퍼 본딩 장비용 Uniform Press 개발

이창우\*\* · 하태호\* · 이재학\* · 김승만\* · 김용진\* · 김동훈\*

\* 한국기계연구원 첨단생산장비연구본부 초정밀시스템연구실

### Development of Uniform Press for Wafer Bonder

Chang-Woo Lee\*, Tae-Ho Ha\*, Jae-Hak Lee\*, Seung-Man Kim\*, Yong-Jin Kim\* and Dong-Hoon Kim\*

\* Dept. of Ultra Precision Systems, Korea Institute of Machinery & Materials

(Received January 27, 2015 ; Revised September 11, 2015 ; Accepted September 11, 2015)

**Key Words:** Uniform Press, Wafer Bonder, Ultra Thin Wafer, 3D Package, Temporary Bonding, De-bonding

**초록:** 스마트폰을 비롯한 고성능 모바일 전자기기의 발전에 따라서 경박단소한 전자부품의 요구가 커지고 있으며 이를 위해서 새로운 패키징 방법이 탄생하고 있다. 이러한 새로운 패키징 공정에서 웨이퍼 본딩 공정이 많이 요구되고 있다. 웨이퍼 본딩에서 많이 활용되는 방법이 열 압착 방법으로 가열된 헤드로 웨이퍼에 압력을 가하여 본딩하는 방법이다. 열 압착 방법에서 요구되는 공정조건은 온도 균일성과 Uniform Press이다. 온도 균일성은 마이크로 히터와 열 해석을 통한 설계로 비교적 쉽게 요구조건을 만족시킬 수 있지만 Uniform Press를 가공과 조립으로만 요구조건을 만족시키기 위해서는 매우 높은 정밀도가 요구된다. 열 압착 방법은 고온에서 동작되므로 열 변형에 대한 기계적인 오차를 고려하여 설계, 가공, 조립이 진행되어야하므로 많은 어려움이 따른다. 본 연구에서는 Air 스프링과 Metal Form의 자가 보정장치를 이용하여 가공, 조립, 열 변형으로 발생하는 기계적 오차를 보상하여 성능과 신뢰성을 향상시켰다.

**Abstract:** The bonding process should be achieved in vacuum environment to avoid air bubble. In this study, we studied about pressure uniformity that became an issue in thermo compression bonding usually. Uniform press is realized by the method that use air spring and metal form spring. The concept of uniform press using air spring is removed except pressing direction in the press processing so angle between the vector of pressure surface and the pressure axis is parallel automatically. Air spring compensate the errors of machining and assembly. Metal form compensate the thermal deformation and flatness error.

## 1. 서론

세계경제를 이끄는 하나의 축으로 스마트폰 중심의 모바일 기기로 고성능 디바이스의 경박단소한 실장기술이 요구되고 있다. 이러한 기술적 요구에 따라서 본딩 기술이 다양하게 실장 및 패키징 기술에 활용되고 있다. 실장에서는 Flip Chip이나 BGA(Ball Grid Array)와 같이 다 접점이고 미세 피치 단자이기 때문에 기존의 SMT(Surface Mounting Technology) 기술로 실장이 어려운 공정에 본딩을 이용한 고성능 실장 기술이 사용된다. 기존의 SMT는 와이어 본딩에 의해서 반도체 디바이스를 리드프레임과 연결하고 에폭시 몰딩으로 패키징 된 디바이스를 실장 하였지만 고성능 실장에서는 반도체 디바이스를 솔더나 메탈 범프가 있는 기판에 직접 본딩에 의해서 실장 한다. 경박단소한 디바이스 개발을 위해서 새로운 패

† Corresponding Author, [lcwlej@kimm.re.kr](mailto:lcwlej@kimm.re.kr)

키지가 많이 연구되고 있는데 이 분야에서 본딩 기술은 필수적인 기술이다. 고성능 디바이스를 개발하기 위한 여러 가지 패키지 기술 중에서 특히 TSV(Through Silicon Via)를 이용한 3차원 적층기술은 성능을 획기적으로 향상시키고 패키지의 크기 드라마틱하게 줄일 수 있는 기술로 국내외 반도체 생산기업에서 기업의 사활을 걸고 연구개발을 진행하고 있는 분야이며 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>(1-7)</sup> 본딩 방법으로 여러 가지 방법이 있지만 현재 많이 사용되는 방법은 열 압착 방식으로 Cu-Cu나 Au-Au 직접 본딩에 많이 사용된다.<sup>(8,9)</sup> 또한 TSV를 이용한 3차원 적층방식에서 초박형 웨이퍼를 Handling하기 위해서 Temporary Bonding De-Bonding 공정에서도 Wafer-to-Wafer 열 압착 본딩 공정이 사용된다. 특히 Temporary Bonding De-Bonding 공정과 같이 Wafer 전체를 본딩하는 Wafer-to-Wafer 본딩의 경우 Air trap이 없는 균일한 본딩이 요구된다. Air Trap을 방지하기 위해서 진공환경에서 본딩 공정이 수행되고 균일한 본딩 성능을 얻기 위해서 균일 온도와 균일 압력이 요구된다. 균일 온도는 마이크로 히터로 비교적 쉽게 목표성능을 만족하지만 균일 압력을 위해서는 매우 정밀한 가공과 조립이 요구된다.<sup>(10-12)</sup> 높은 가공 정밀도와 조립 정밀도는 장비 가격을 상승시키고 신뢰성이 낮아진다. 본 연구에서는 이러한 점을 해결하고자 자가 보정기능의 Press Head Unit를 개발하였다.

## 2. Uniform Press

본딩에서 일정한 압력을 발생시키기 위해서 유압, 공압, 모터 등을 사용하여 바닥면에 평행하게 평면도가 좋은 면을 가진 Head를 누르는 구조를 가진다. 이때 발생하는 기계적인 오차에 의해서 압력의 불균일이 발생한다. 불균일 압력은 크게 DC와 AC로 두 가지 성분으로 나뉜다. DC 성분의 오차는 주로 조립오차에 의해서 발생하고 AC 성분은 가공오차나 변형에서 기인한다. DC 성분이 주로 큰 오차를 발생시키고 AC 성분의 오차는 크기는 작지만 보정하기가 어려운 성분으로 작용한다. 본 연구에서는 DC 성분의 오차를 제거하기 위해서 3가지의 방법을 제안하였고 AC 성분을 제거하기 위해서 Metal Form 스프링과 Diced Plate를 사용하였다.

### 2.1 Ball을 이용한 자가 보정 Uniform Press

DC 성분을 제거하기 위한 첫 번째 보정방법으로 Ball을 사용한 Press Head를 설계하였다. Fig. 1은 볼을 이용한 Uniform Press의 기본 원리를 나타내는 것으로 Ball은 자유롭게 3자유도로 회전하므로 기준면과 동일한 평면을 유지하면서 두 면이 접촉하게 되어 조립오차를 보정하게 된다. 이러한 성능을 평가하기 위해서 3개의 로드셀을 사용하여 하중 변화에 따르는 반복능을 평가하였다. Fig. 2는 반복능 평가방법과 결과를 나타낸다. 로드셀의 위치를 정확하게 하중 중심과 맞추어 설치하기 어려워 본딩 압력에 해당하는 모터의 토크를 변화시키면서 로드셀에 가해지는 하중 비율의 평균, 표준편차, 변동계수를 구하였다. 반복능에 해당하는 변동계수가 최대 0.5823%로 우수한 성능을 나타내었다.

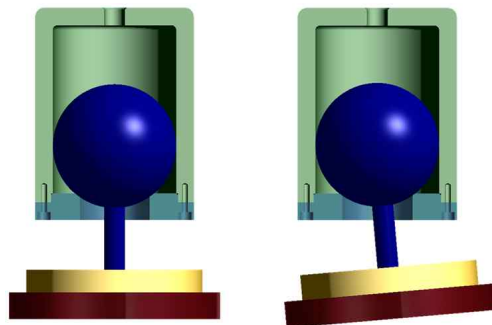


Fig. 1 The basic principle of uniform press using ball

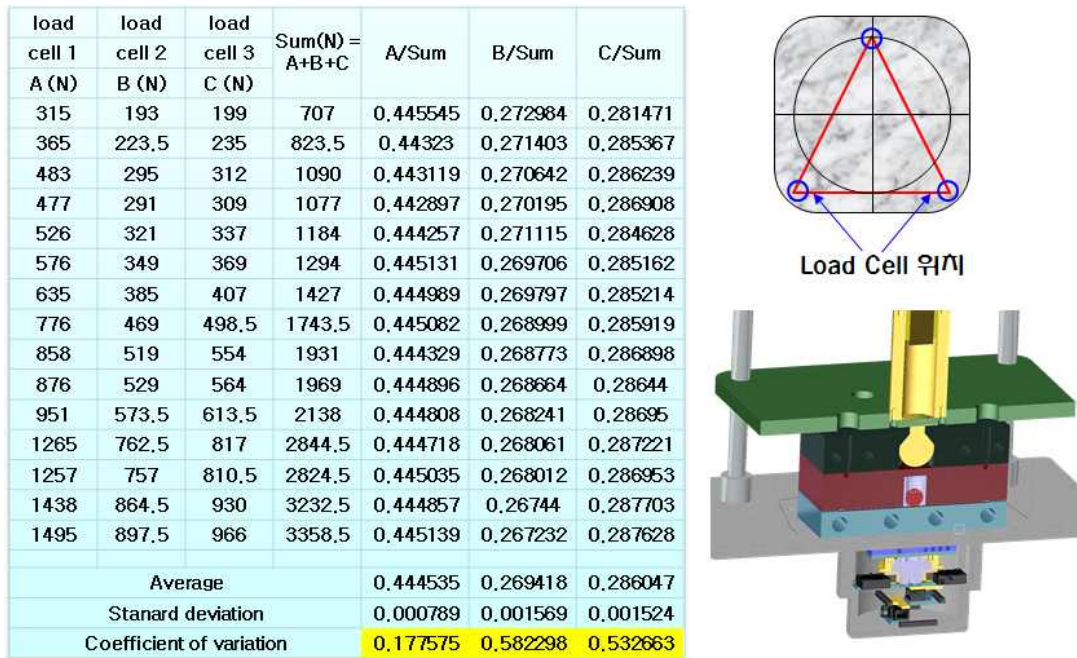


Fig. 2 The repeat performance of uniform press using ball

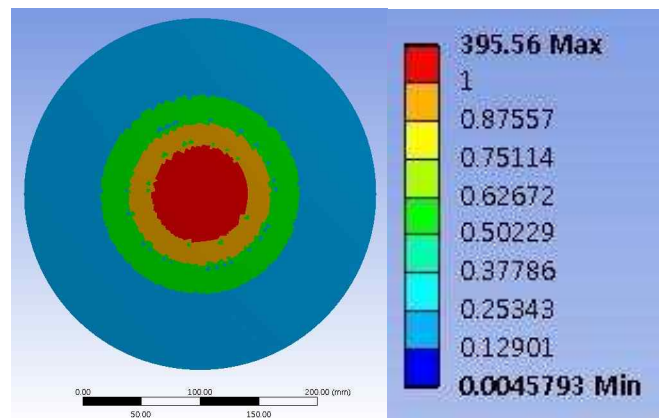


Fig. 3 The Von-Mises stress for the concentrated load : Diameter 300 mm, Thickness 75 mm, Load 2 ton

볼을 이용한 방법은 반복능은 우수하지만 구조적으로 응력집중에 문제가 있다. Fig. 3은 재질 Steel, 직경 300 mm, 두께 75 mm의 원형 헤드에 2 ton의 집중하중이 가해졌을 때 Stress 분포를 나타낸다. 단위는 MPa로 Fig. 3에서와 같이 Head의 중심부와 외곽에 Stress 분포가 많은 차이를 나타낸다. Stress의 차이는 곧 압력의 불 균일을 나타내는 것으로 두께 75 mm의 Steel은 강체로 역할을 할 수 없음을 나타낸다. Head의 구조를 변경하면 완벽하지는 않지만 균일하중으로 설계가 가능함을 FEM 해석을 통해서 입증하였다. 그러나 Ball을 사용하여 Uniform Press를 구현하는 경우에는 Ball의 중심과 가압하는 힘의 중심이 정확히 일치해야 하므로 역시 가공과 조립오차에 의해서 Press의 성능이 많이 좌우되므로 연구의 목적과 부합하지 않는다.

## 2.2 스프링을 이용한 자가 보정 Uniform Press

스프링을 이용한 원리는 Fig. 4와 같이 하중을 원형으로 배치된 스프링에 의해서 전달하는 방법으로

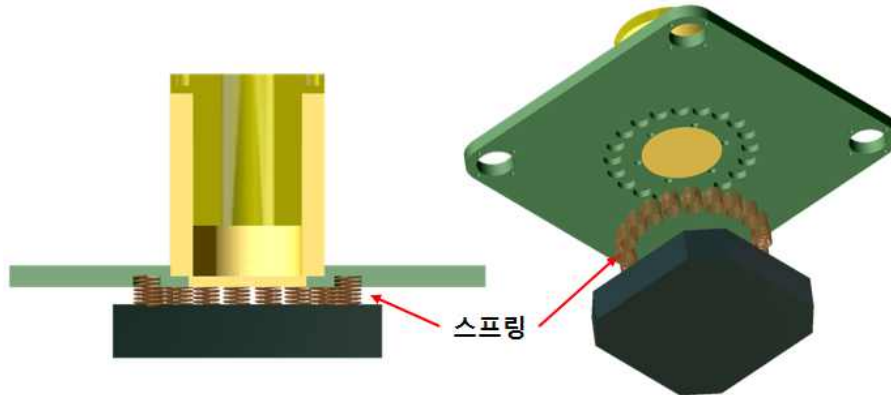


Fig. 4 The basic principle of uniform press using spring

load cell 1 A (N)	load cell 2 B (N)	load cell 3 C (N)	Sum(N)= A+B+C	A/Sum	B/Sum	C/Sum
154	179	182	515	0.299301	0.347825	0.352875
147	240	218	606	0.242819	0.396573	0.360608
278	320	321	919	0.302808	0.348488	0.348704
306	415	395	1116	0.274192	0.372044	0.353765
416	482	476	1374	0.302968	0.350844	0.346187
428	554	532	1514	0.282657	0.366002	0.351341
542	632	621	1795	0.30224	0.351945	0.345815
556	704	680	1939	0.286789	0.362793	0.350418
675	791	774	2240	0.301367	0.353245	0.345388
688	858	832	2379	0.28939	0.360854	0.349756
806	948	924	2679	0.300978	0.353916	0.345106
818	1010	982	2810	0.291152	0.359335	0.349513
938	1103	1073	3114	0.30131	0.354033	0.344657
955	1168	1139	3262	0.292747	0.35798	0.349273
1065	1250	1215	3530	0.30183	0.354071	0.344099
1088	1319	1287	3694	0.294477	0.357011	0.348512
Average				0.291689	0.359185	0.349126
Standard deviation				0.015021	0.011492	0.004109
Coefficient of variation				5.149567	3.199341	1.176801

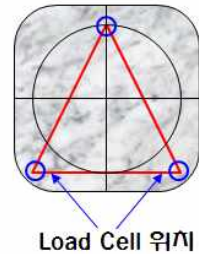


Fig. 5 The repeat performance of uniform press using spring

가공 및 조립에서 발생하는 오차를 스프링의 변위로 흡수하는 방식이다. 가공과 조립에서 발생하는 오차가 100  $\mu\text{m}$  이하로 Press를 제작하는 것은 쉬운 일이다. FEM 해석 결과 최대 오차가 100  $\mu\text{m}$  일 때 Uniform Press 성능에 커다란 영향이 없음을 확인하여 실제로 Press Head를 제작하여 Ball을 이용한 방법과 동일하게 반복능을 평가하였고 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5의 반복능 결과에서처럼 반복능에 해당하는 변동계수가 최대 5.149 %로 볼을 사용한 방법에 비해서 10배로 만족한 결과를 얻지 못했다. 원인은 사용된 스프링의 강성이 동일하지 않고 스프링의 높이가 동일하지 않은 것이 원인으로 예상된다. 균일한 스프링 성능에 의해서 Press의 성능이 좌우되어 본 연구의 목적에 부합하지 않는다.

### 2.3 Air 스프링을 이용한 자가 보정 Uniform Press

Air 스프링은 외부 진동을 차단하여 장비에 전달되지 않도록 하기위해서 사용되는 방진구이다. 구조는 알루미늄으로 구성된 상판과 하판 사이에 Rubber Bellows가 있으며 상판에는 공기 주입구가 있다. 재질

이 Rubber이기 때문에 고온에 노출되지 않도록 상판에 Cooling Plate를 두어 열이 Air 스프링 전달되지 않도록 하였다. 본 연구에 사용된 Air 스프링은 내압이 8 bar 이고 하중은 3.1 ton으로 본 연구에 적용이 가능하다. Fig. 6은 동일하게 반복능을 평가한 결과로 변동계수가 0.246 %로 가장 우수한 성능을 보여준다. 또한 Air 스프링의 구조상 Ball을 사용했을 때와 다르게 응력집중이 발생하지 않는다.

Fig. 7은 Air 스프링을 사용한 Uniform Press의 감압지 테스트 결과를 나타낸다. Air 스프링을 이용한 Uniform Press는 가공과 조립오차에서 기인하는 DC 성분만 보정하는 구조이므로 가공오차와 변형에서 발생하는 AC 성분은 보정할 수 없으므로 평면도가 좋은 정반을 사용하여 실험하였다. Fig. 7의 결과에

load cell 1	load cell 2	load cell 3	Sum(N) = A+B+C	A/Sum	B/Sum	C/Sum
A (N)	B (N)	C (N)				
1324.5	1468	1329	4121.5	0.3214	0.3562	0.3225
1220.5	1353	1226	3799.5	0.3212	0.3561	0.3227
1117.5	1239	1122.5	3479	0.3212	0.3561	0.3227
1015.5	1127	1020	3162.5	0.3211	0.3564	0.3225
904	1004	907	2815	0.3211	0.3567	0.3222
809.5	899	812	2520.5	0.3212	0.3567	0.3222
708	786	708.5	2202.5	0.3215	0.3569	0.3217
601.5	668	601	1870.5	0.3216	0.3571	0.3213
515	572	514	1601	0.3217	0.3573	0.321
405.5	449.5	404	1259	0.3221	0.357	0.3209
317	350	314.5	981.5	0.323	0.3566	0.3204
Average				0.3215	0.3566	0.3218
Standard deviation				0.0006	0.0004	0.0008
Coefficient of variation				0.1733	0.1149	0.246

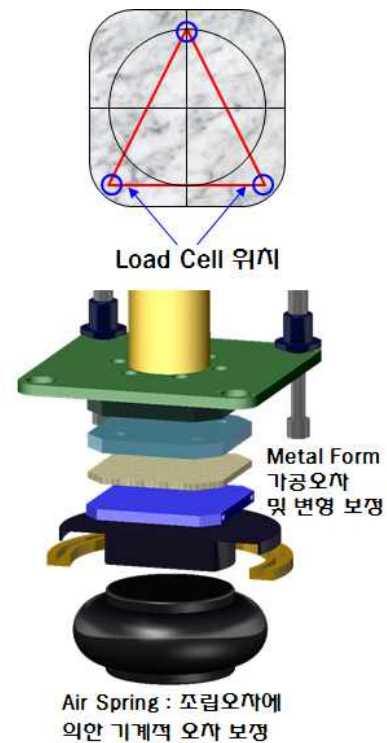


Fig. 6 The repeat performance of uniform press using air spring



(a) Uniform pressing testing experiment using the surface plate

(b) Result of the pressure-sensitive paper test

Fig. 7 The pressure-sensitive paper test

서처럼 가공과 조립오차에서 발생하는 DC 성분의 오차를 만족스럽게 보정하는 결과를 나타낸다.

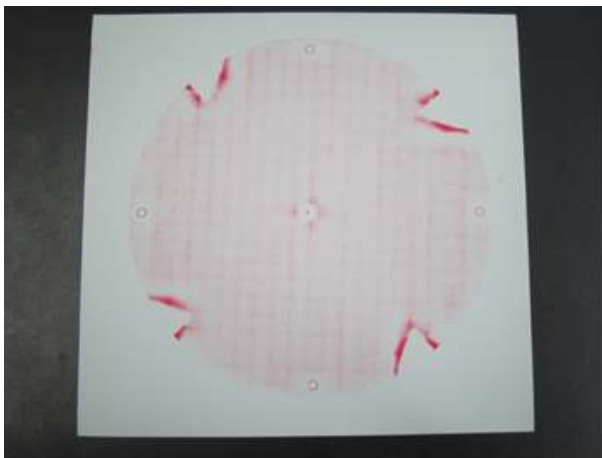
#### 2.4 형상오차 보정

불 균일 압력을 발생 시키는 오차 성분으로 DC 성분은 주로 조립오차에서 발생하고 크기가 크다. AC 성분은 주로 가공오차나 변형에 의해서 발생하는 성분으로 대개  $10 \mu\text{m}$  이하로 크기는 작지만 랜덤하게 발생한다. AC 성분을 제거하기 위해서 간단하게 사용할 수 있는 방법이 실리콘이나 고무판을 사용하는 방법이 있는데 본딩 공정이 고온에서 수행되므로 내열성이 높은 판구조의 탄성체가 요구된다. Metal Form은 다공성의 금속판으로 다공성에 의해서 먼 스프링 역할을 한다. 또한 금속으로 되어 있어 내열성도 높아 본 연구에 적용이 가능하다. 그러나 Fig. 7에 나타난 것처럼 표면이 매끄럽지 못하여 형상에 의한 응력 집중이 발생한다. 이러한 응력집중을 해결하기 위해서 박판을 삽입하면 역할을 하지 못하고 두꺼운 판을 삽입하면 두꺼운 판의 가공오차가 AC 성분으로 작용한다.

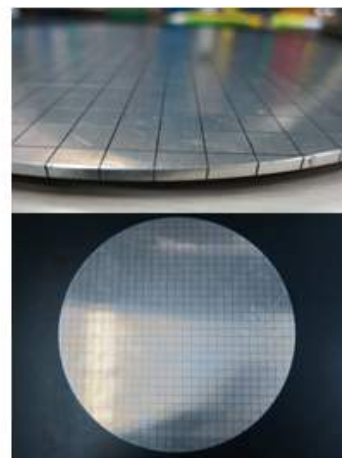
이러한 문제점을 해결하기 위해서 Fig. 8과 같은 Diced Plate를 제작하였다. Diced Plate는 두께 3 mm 알루미늄 원판을 2.9 mm 깊이로 Dicing하였다. 결과적으로 0.1 mm 판에 가로 세로  $10 \times 10 \text{ mm}$  두께 2.9 mm 조각이 붙어있는 형상이다. 두께가 3 mm로 Metal Form의 거친 표면을 Wafer에 전달하지 않으면서 0.1 mm의 얇은 판에 의해서 쉽게 변형되는 특성으로 Metal Form의 스프링 역할을 동시에 수행한다. Fig. 8은 Metal Form과 Diced Plate를 혼합하여 형상오차를 보정한 감압지 테스트 결과를 나타낸다. Wafer 전면에 균일한 압력이 발생함을 보여주는 결과이다.



Fig. 7 Metal Form



(a) Result of the pressure-sensitive paper test



(b) Diced Plate

Fig. 8 The pressure-sensitive paper test using metal form and diced plate

### 3. 결 론

반도체 분야에서 새로운 패키지, 실장, TSV(Through Silicon Via) 같은 신 공정 등에서 본딩 공정이 많이 사용되고 있다. 본딩 공정에서 현재 가장 많이 사용되는 열 압착 방법에서 기술적 이슈는 Uniform Press이다. 현재는 가공과 조립 정밀도에 의존하는 Uniform Press 기술을 자가 보정이 가능한 Uniform Press Head를 개발하여 낮은 정밀도의 가공과 조립에 의해서도 Uniform Pressing 기능을 구현하였다. 특히 Wafer-to-Wafer 본딩의 경우에는 열 변형과 신뢰성 문제가 커다란 문제로 대두되고 있다. 본 연구에서 개발한 자가 보정 Uniform Press Head 기술은 현재의 문제점을 해결함과 동시에 낮은 정밀도로 구현이 가능하므로 장비의 가격을 현저히 낮춰 가격 경쟁력을 높일 수 있다.

### 후 기

본 연구는 국가과학기술연구회에서 지원하는 한국기계연구원 주요사업으로 수행되었습니다.

### 참고문헌 (References)

- (1) Yole Development Report, 2012 "Equipment & Materials for 3DIC and Wafer-Level\_Packaging."
- (2) Yole Development Report, 2011 "Thin Wafer Manufacturing Equipment & Materials Markets."
- (3) Morrow, P., Kobrinsky, M., Harmes, M., Park, C., Ramanathan, S., Ramachandrarao, V., Park, H., Kloster, G., List, S. and Kim, S. E., 2004, "Wafer Level 3D Interconnect in Cu Bonding," *Proc. AMC*, 20, pp. 125~130.
- (4) Lai, M., Li, S., Shih, J. and Chen, K., 2011, "Wafer-Level Three-Dimensional Integrated Circuits (3D IC): Schemes," *Microelectron. Eng.*, 88, pp. 3282~3286.
- (5) Kim, Y., Kang, S. K., Kim, S. and Kim, S. E., 2012, "Wafer Warpage Analysis Of Stacked Wafers for 3D Integration," *Microelectron. Eng.*, 89, pp. 46~49.
- (6) Choi, M. K. and Kim, E., 2008, "Effect of Si Wafer Ultra-Thinning On The Silicon Surface for 3D Integration," *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 15(2), pp. 133~137.
- (7) Kim, S. E., 2013, "Manufacturing Yield Challenges For Wafer-To-Wafer Integration," *Journal of the Microelectronics & Packaging Society*, Vol. 20, No. 1, pp. 1~5.
- (8) Kim, S. D., Kim, S. E., Kang, S. K., Kim, Y. R., Lee, J. E., Kim, E. S., Lim, N. E. and Jung, T. K., 2011, "Wafer level Cu-Cu Bonding Technology for 3D Packaging," 한국생산제조시스템학회 추계학술대회 논문집, p. 48.
- (9) Hyun-Kee Lee, Young-Sik Kand, Nam-Su Park, Sang-Kee Yoon, Jong-Hwan Min, Yeong-Gyu Lee, 2012, "A Study of Au-Au Thermocompression Wafer Bonding," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 18~20.
- (10) Song, J. Y., Kang, J. H., Lee, C. W., Ha, T. H., Jee, W. H. and Kim, W. K., 2005, "Development of Automatic Bonding System for GaAs Wafer," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집.
- (11) Lee, J. H., Song, J. Y., Kim, H. J., Kim, S. M., Ha, T. H., Lee, C. W., 2014, "Study On Pressure Uniformity of Wafer Bonder," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, p. 1057.
- (12) <http://www.evgroup.com/ko>