

Nd:YAG 레이저를 이용한 Flipchip 접합

송춘삼*, 지현식⁺, 김주한⁺⁺, 김종형⁺⁺⁺, 김주현⁺⁺⁺⁺

(논문접수일 2007. 6. 20, 심사완료일 2007. 9. 11)

Flip-chip Bonding Using Nd:YAG Laser

Chun-Sam Song*, Hyun-sik Ji⁺, Joohan Kim⁺⁺, Jong-Hyeong Kim⁺⁺⁺ and Joo-Hyun Kim⁺⁺⁺⁺

Abstract

A flip-chip bonding system using DPSS(Diode Pumped Solid State) Nd:YAG laser(wavelength : 1064nm) which shows a good quality in fine pitch bonding is developed. This laser bonder can transfer beam energy to the solder directly and melt it without any physical contact by scanning a bare chip. By using a laser source to heat up the solder balls directly, it can reduce heat loss and any defects such as bridge with adjacent solder, overheating problems, and chip breakage. Comparing to conventional flip-chip bonders, the bonding time can be shortened drastically. This laser precision micro bonder can be applied to flip-chip bonding with many advantage in comparison with conventional ones.

Key Words : Soldering(솔더링), Flipchip(플립칩), DPSS laser(다이오드 펄프 고체 레이저), Packaging(패키징)

1. 서론

최근의 전자, 통신 제품 관련 산업이 소형화(miniaturization), 고밀도화(high density), 다기능화(multiple functions) 및 고속도(high speed)화 됨에 따라 반도체가 실장 될 공간은 계속 줄어들고 있는 추세이다⁽¹⁾.

반면에 더욱 다기능화, 고성능화 되는 전자제품은 더욱 많은 수의 반도체를 사용할 수 밖에 없다. 따라서 단위체적당 실장효율을 높이기 위해서는 패키징(packaging) 기술이 경박단소화 될 수밖에 없는 상황이다.

이러한 요구로 개발되어 상용화된 패키징 기술이 칩 크기와 거의 같은 크기의 패키지인 CSP(Chip Scale Package)이

* 서울테크노파크
+ 서울산업대학교 에너지환경대학원
++ 교신저자, 서울산업대학교 기계공학과 (joo Hankim@snut.ac.kr)
주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172
+++ 서울산업대학교 기계설계자동화공학부
++++ 국민대학교 기계자동차공학부

다. CSP는 반도체와 패키지의 면적비가 80%이상인 단일 칩 패키징을 의미하는데 전기적 성능, 격자형I/O 배열, 높은 열 방출 특성 등의 장점을 가지고 있으며 기존 SMT 장비가 활용 가능하여 현재 주목 받고 있는 패키징 기술이다. CSP는 다이 인터페이스에 따라 와이어 본드(wire bond), 탭 본드(tab bond), 플립칩(flip-chip) 등으로 분류된다⁽²⁾.

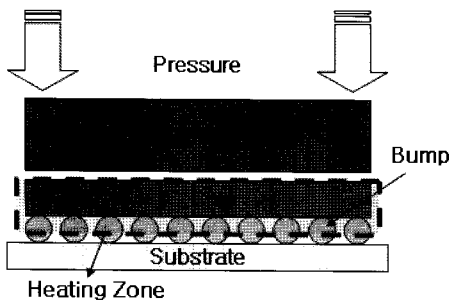
특히 최근에 각광받고 있는 플립칩 기술은 모듈기판(module substrate) 위에 칩 표면(chip surface)을 범핑(bumping) 시킴으로써 최단의 접속 길이와 저열저항, 저유전율의 특성도 가지면서 초소형에 높은 수율의 저 원가생산성을 갖는 첨단 패키징 기술이다⁽³⁾.

이러한 플립칩의 주요 기술로는 접합관련 공정 및 기술, 범핑 기술, UBM 프로세스 기술을 들 수 있다. 특히 접합 관련 공정 및 기술은 접합방식에 따라 열 접합방식(thermo-compression bonding), 초음파 접합방식(ultra-sonic bonding), 그리고 레이저 접합방식(laser bonding)으로 구분되어 연구되고 있다⁽⁴⁻⁶⁾. 이중 열 접합방식은 현재 상용화 되어있는 접합기술이지만 고열로 인한 재료의 열손상을 최소화, 짧은 시간에 열판의 온도를 올려 접합속도를 향상, 그리고 정밀한

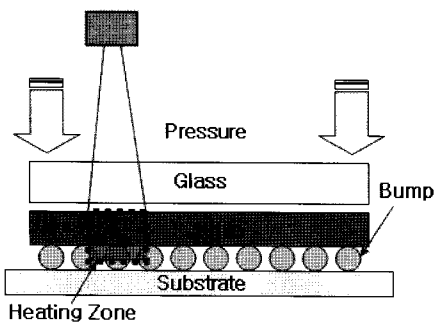
피치 추세(fine pitch)에 대응해야 하는 과제를 안고 있다.

Fig. 1에서와 같이 레이저 접합방식은 국부적인 스캐닝을 통해 접합부의 솔더를 순차적으로 용융시켜 접합하므로 인접 패드가 동시에 녹지 않고 따라서 인접 패드 사이의 브리지가 일어날 가능성이 최소화되며 인접한 부품에 손실을 끼치지 않고 열을 가할 수 있기 때문에 기존의 열 접합방식이 가지고 있는 문제점을 극복할 수 있다⁽⁷⁾. 또한 Fig. 2에서 보여지는 것과 같이 플립칩 접합에서 레이저 접합방식이 열 접합방식에 비해 원하는 온도까지의 가열시간이 짧아 접합 시간을 줄일 수 있는 효과를 얻을 수 있고⁽⁸⁾, 더불어 마이크로 부품의 초집적 패키지 접합공정에 적용할 수 있다. 그러나 현재 개발되어 적용되어지는 레이저 접합기술은 Fig. 1 (b)에서와 같이 빔 에너지를 칩 뒷면에 조사하여 칩을 통해 열을 전달하는 접합 방식이 일반적이다.

따라서 본 연구에서는 크기가 작고, 다루기가 간편하며, 초기 안정화 시간이 짧고, 보수 없이 수천시간 동안 계속해서 사용할 수 있는 장점을 가지는⁽⁹⁾ DPSS(Diode Pumped Solid State) Nd:YAG 레이저를 이용해 칩을 투과한 빔의 에너지를 이용하여 솔더를 직접 가열해 플립칩을 접합하는 시스템을 구성하고 적용해보고자 한다.



(a) Thermo-compression bonding



(b) Conventional laser bonding

Fig. 1 Flip-chip bonding process

2. 하드웨어 구성

본 연구에서는 DPSS Nd:YAG레이저를 이용하여 플립칩을 접합하기 위해 Table 1과 같은 장비를 구성하였다. Fig. 3은 레이저 빔의 실리콘에 대한 투과율을 보여 준다⁽¹⁰⁾. 그래프에서와 같이 레이저가 1000nm ~ 6000nm파장을 가질 때 Si에 대한 투과율은 55%정도 되는 것을 알 수 있다. 따라서

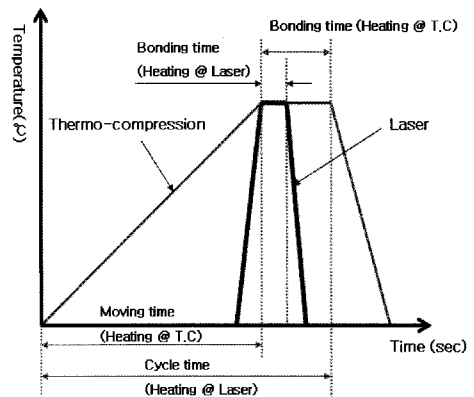


Fig. 2 Comparison of flipchip bonding time

Fig. 4에서와 같이 본 연구에 사용된 레이저는 기존 접합방식과는 달리 레이저 빔이 칩을 투과하여 솔더(solder)를 직접 조사할 수 있도록 1064nm파장의 DPSS Nd:YAG 레이저를 사용하였고, 355nm파장의 레이저를 사용한 비교실험이 가능하도록 2개의 스캐너를 장착하였다. 또한 각각의 스캐너에 비전카메라를 장착하여 재료의 정렬을 용이하게 할 수 있고 접합이 되는 과정의 관찰이 용이하도록 구성하였다. 레이저 빔은 다양한 패턴의 플립칩에 대응할 수 있도록 컴퓨터 프로그래밍을 사용하여 조사 패턴을 제어하였고 모든 실험의 진행은 이 프로그램을 통해 진행되도록 구성하였다.

Table 1 The composition of laser flip-chip bonder

Instrument	type
Laser	- DPSS Dual Wavelength Laser - Power: 13W(1064nm), 2W(355nm)
Beam Expander	- x2~x8
Scanner	- telecentric f-theta objective (f = 80mm) for 1064nm - telecentric f-theta objective (f = 53mm) for 355nm - huryscanII 14 - automatic self-calibration
Objective Lens	- x20
Optical Table	- Size: 1,200mm x 1,800mm x 200mm
Linear X stage	- 450mm / 0.3m/s
Linear Y stage	- 60mm / 0.2m/s
Motorized Z stage	- 8mm / 0.2m/s
Vision	- FOV: 200μm - IEEE1394 Camera

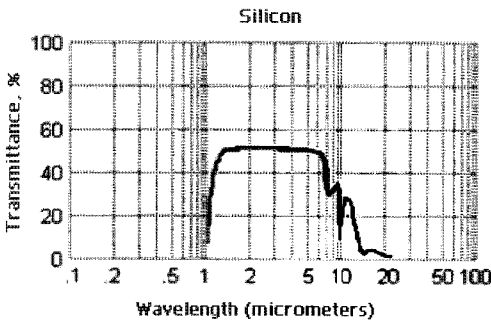


Fig. 3 The transmission properties of Si

또한 실험에 사용된 3D 스테이지는 리니어 서보모터(linear servo motor)를 이용한 x-y스테이지에 볼스크류(ball screw)를 이용한 z스테이지를 사용하여 위치제어를 하였으며, 이때 기계오차범위는 0.1μm이다. Fig. 5는 실험장치의 전체적인 구성을 보여준다.

3. 실험재료 및 방법

본 연구에서 구성된 레이저 접합 장비를 이용한 플립칩 접합을 위하여 Fig. 6과 같은 실험재료를 사용하였다. 사용된 칩은 Topline의 FC48 dummy flip-chip으로 실리콘위에 두께가 1.7μm이고 조성이 AlCu1.0 Si1.0인 금속층을 패드로 사용하고 반도체 보호막(passivation layer)으로는 두께가 1μm인 질화물(Nitride)이 사용되었다. 또한 칩의 크기는 6.3mm × 6.3mm이다. 솔더는 SnAg 3.5 Cu1.0인 무연솔더를 사용하였다. 솔더의 지름은 190μm이고 pitch는 457μm이며 칩 주변으로 각 변에 12개씩 총 48개의 솔더가 형성되어 있다. Fig. 6 (a)는 사용된 범프의 형상이고, substrate는 Fig. 6 (b)에서 나타

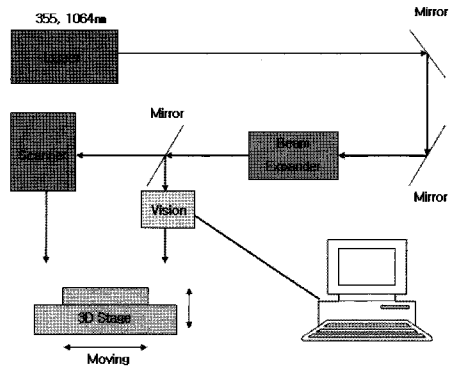


Fig. 4 Schematic diagram of the experimental setup

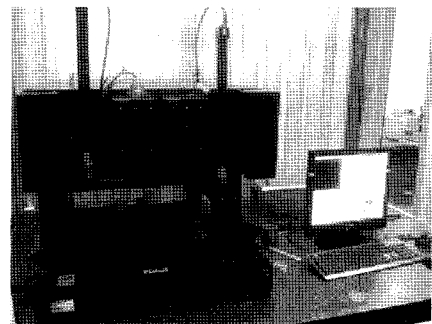


Fig. 5 Photograph of the experimental setup

낸 것과 같이 FR-4에 Cu-Ni-Au을 증착하여 사용하였다.

실험은 기존 접합방식과는 달리 레이저 빔이 칩을 투과하여 솔더를 직접 조사할 수 있도록 1064nm파장의 DPSS Nd:YAG 레이저를 사용하였으며 프로그래밍 된 스캐너가 칩의 솔더 패턴을 따라 빔을 조사하여 칩과 substrate를 접합하였다. 이때 범프에 조사된 빔의 스폿지름(spot size)은 범프의 지름과 같은 크기인 190 μ m로 하여 빔 에너지가 가해지는 영역을 최소화 하였다. Fig. 7은 플립칩이 접합되는 과정을 보여준다. 이때 레이저 공정변수로는 빔 파워 및 빔의 조사속도를 변화시켰으며, 접합 압력을 일정하게 고정시킨 상태에서 빔 파워가 7W(24kW/cm²)인 경우 빔 조사속도를 1, 2, 3 mm/s로, 빔 파워가 8W(28kW/cm²)는 빔 조사속도를 1, 2, 3, 4, 5, 6 mm/s 변화시켜가며 실험을 진행하였다. Table

2 는 실험 조건을 나타낸 표이다. 또한 솔더의 재산화 방지 및 젖음성 향상을 위해 무세척 플럭스를 도포하여 실험하였다.

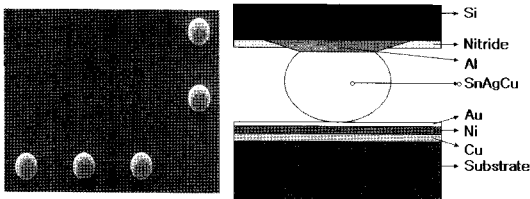
4. 결과 및 고찰

Fig. 8과 Fig. 9는 구축된 레이저 접합 실험 장비를 테스트 하기 위해 접합한 플립칩 시편의 단면 모습을 SEM을 통해 관찰한 사진이다. Fig. 8 (a)에서 빔파워가 7W(24kW/cm²) 이고 빔 조사속도가 1mm/sec인 경우 접합된 솔더가 많이 녹아 퍼져버려 칩 접합에 적합하지 않은 것을 알 수 있다. 이는 솔더가 받는 빔 에너지가 컸기 때문이라고 사료된다. 따라서 빔 조사속도를 높여 실험을 한 결과 2mm/sec일 때는 Fig. 8 (b)에서와 같이 접합이 잘 되었으며 3mm/sec일 때는 접합이 불가능하였다. 이는 본 연구에서 구축된 레이저 접합 장비는 7W(27kW/cm²) 정도의 낮은 빔 파워로도 접합이 충분히 가능하다는 것을 증명한다. 또한 빔 파워를 1W 높이고 빔 조사속도를 2,3,4mm/sec로 빠르게 접합하여 실험한 결과의 단면을 Fig. 9에 a,b,c에 각각 나타내었다. 그림을 통하여 접합이 잘 이루어진 것을 알 수 있었으며 4mm/sec 정도의 빠른 속도로 접합이 가능한 것을 알 수 있었다. 본 실험에 사용된 6.3 \times 6.3mm 플립칩 시편의 경우 4mm/sec의 빔 조사속도로 접합 시 6초 이내의 빠른 접합시간을 보여준다. 따라서 적절한 빔 파워의 조절시 좀 더 빠른 접합이 가능하리라고 사료된다.

또한 모든 실험결과에서 칩에 대한 손상은 없었으며, 이는 본 연구에서 사용된 1064nm파장의 DPSS Nd:YAG 레이저가 칩을 투과시켜 솔더를 직접 가열하고 열 발생영역이 스폿 지름으로 최소화되었기 때문이라고 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 파장이 1064nm인 DPSS(Diode Pumped Solid State) Nd:YAG 레이저를 이용해 플립칩을 접합하는 시스템을 구성하고 적용해 보았다. 본 시스템은 1064nm파장의 레이저를 사용하여 빔 에너지가 칩을 투과시켜 직접



(a) The shape of solderball (b) The composition of experimental material

Fig. 6 The shape of experimental material

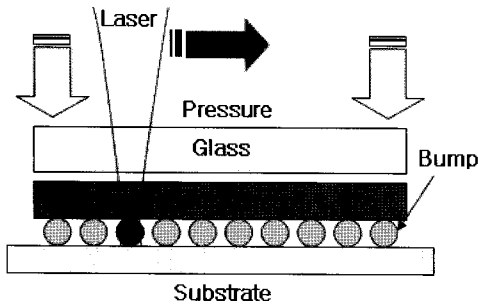
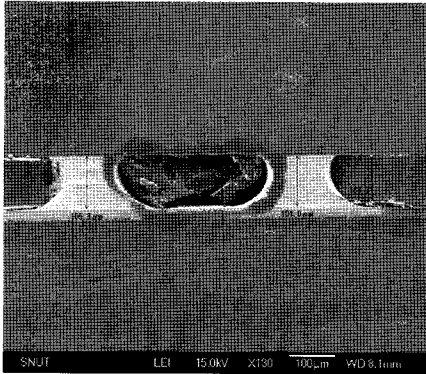


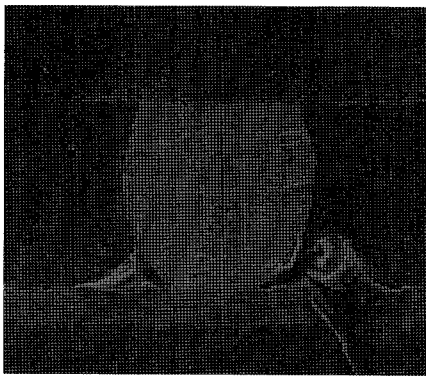
Fig. 7 Schematic experimental setup of new flip-chip laser soldering

Table 2 Bonding conditions

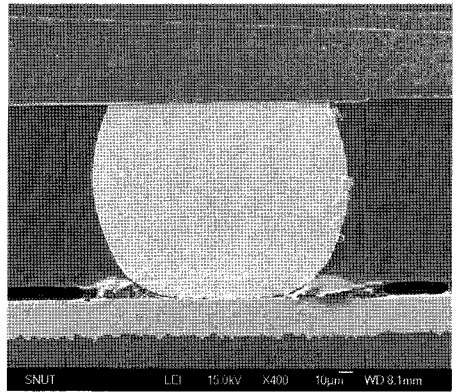
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9
Sacr speed(mm/sec)	1	2	3	1	2	3	4	5	6
Power(W)	7	7	7	8	8	8	8	8	8
Spot size(μ m)	190	190	190	190	190	190	190	190	190



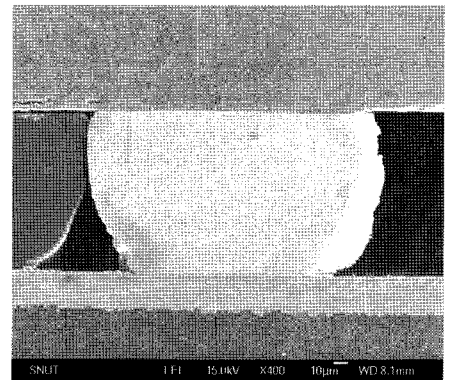
(a) 1mm/s, 7W



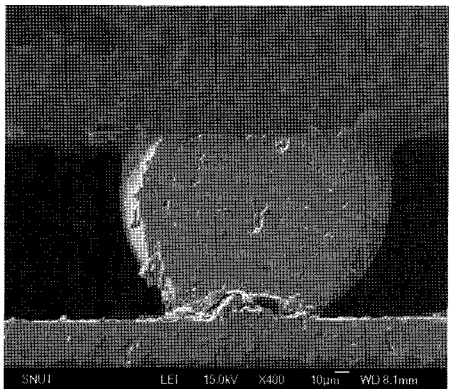
(b) 2mm/s, 7W



(a) 2mm/s, 8W



(b) 4mm/s, 8W



(c) 5mm/s, 8W

Fig. 8 Cross sectional view of laser bonded solder at $24\text{kW}/\text{cm}^2$

솔더에 열을 가할 수 있었기 때문에 작은 파워로 고속 접합이 가능하게 하였다. 이때 칩에 열이 가해지는 영역은 스폿 지름과 같으므로 최소화 되고 열의 지속시간이 짧아짐에 따라 칩의 열 손상을 최소화 할 수 있었다. 또한 DPSS 레이저를 사용함으로 시스템 크기를 소형화 하였으며, 초기 안정화 시간이 짧고 다루기가 간편하며 보수 없이 수천시간 동안 계속해서 사용할 수 있는 장점을 가지는 시스템을 구성할 수 있었다. 따라서 마이크로 부품의 초집적 패키징 접합공정에 효율적으로 적용할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 서울산업대학교의 서울시 전략산업 혁신클러스터 육성 지원사업인 “3D Microsystem packaging을 위한 접합공정 및 장비개발”의 지원을 받았음.

Fig. 9 Cross sectional views of laser bonded solder at $28\text{kW}/\text{cm}^2$

참고 문헌

- (1) Kim, J. W., Kim, D. G., Ha, S. S., Moon, W. C., Yoo, C. S., Moon, J. H., and Jung, S. B., 2006, "Evaluation of Thermo-mechanical Reliability of Flip Chip Solder Joints(I):I Pb-bearing Solder," *The Korean Institute of Metals and Materials*, Vol. 44, No. 8, pp. 581~586.
- (2) Tummala, R. R., 2001, *Fundamentals of Microsystems Packaging*, McGraw Hill, pp. 281~284.
- (3) Ulrich, R. K., and Brown, W. D., 2006, *Advanced Electronic Packaging*, Wiley-Interscience, pp. 417~418.
- (4) Schafer, H., Yuan, P., and Wang, Z. P., 2003, "Investigation of Ultrasonic Flip Chip Bonding on Flex Substrates," *Electronic Packaging Technology Proceeding*, pp. 117~120.
- (5) Theppakuttai, S., Shao, D. B., and Chen, S. C., 2004, "Localized Laser Transmission Bonding for Microsystem Fabrication and Packaging," *Journal of Manufacturing Process*, Vol. 6, No. 1, pp. 1~8.
- (6) Li, M. Y., Wang, C. Q., Bang, H. S., and Kim, Y. P., 2005, "Development of a Flux-less Soldering Method by Ultrasonic Modulated Laser," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 168, Issue. 2, pp. 303~307.
- (7) Kim, S. W., Kim, S. H., and Youn, B. H., 2005, "Bonding Properties of BGA Solder Ball with Laser Process," *KWS*, Vol. 45, Autumn.
- (8) Teutsch, T., Zakel, E., and Azdasht, G., 2006, *Advanced packaging*, PennWell.
- (9) Son, H. K., 2007, "266nm DPSS Laser Micro Machining Technology," *Journal of the KSMTE*, Vol. 47, No. 2, pp. 19~21.
- (10) Ready, J. F., Farson, D. F., and Feeley, T., 2001, *Handbook of Laser Materials Processing*, Laser Institute of America, p. 138.