

펄스 레이저를 이용한 3차원 패키징 기술

3D Packaging Technology Using Femto Laser

김 주석*, 신 영의*, 김 종민*, 한 성원*

* 중앙대학교 기계공학부

ABSTRACT The 3-dimensional (3D) chip stacking technology is one of the leading technologies to realize a high density and high performance system in package (SIP). It could be found that it is the advanced process of through-hole via formation with the minimum damaged on the Si-wafer. Laser ablation is very effective method to penetrate through hole on the Si-wafer because it has the advantage that formed under $100\mu\text{m}$ diameter through-hole via without using a mask. In this paper, we studied the optimum method for a formation of through-hole via using femto-second laser heat sources. Furthermore, the processing parameters of the specimens were several conditions such as power of output, pulse repetition rate as well as irradiation method and time. And also the through-hole via form could be investigated and analyzed by microscope and analyzer.

1. 서 론

기존의 플립칩 접합 방법으로는 더 이상의 미세피치와 고집적화를 구현하기 힘든 한계에 도달하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위한 새로운 패키징 방법으로, 기판 위에 칩을 z축 방향으로 여러 개를 적층시켜 접합시키는 3D 패키징 기술이 대두되고 있다.

이 3D 패키징 프로세스는 여러 개의 칩 간의 전기신호 교환과 접합을 위해 Si 칩에 미세관통홀을 형성한 후 그 안에 Cu를 채워 상부와 하부의 전극을 연결함으로써, 이를 통해 전기적 신호의 교환이 가능하게 한 후 각 칩을 범프를 이용하여 접합하는 방식을 취하게 된다.

이에 본 논문에서는 3D 적층 패키징 과정 중, Si 칩에 미세관통 홀을 형성하는 방법으로서 레이저 어블레이션에 대한 실험을 수행하였다.

레이저를 이용한 미세관통 홀 형성방법은 마스크를 사용하지 않고 비접촉으로 임의로 가공위치를 결정하고, 조건에 따라 미세관통 홀의 직경 또한 임의로 결정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 레이저를 사용함에 따른 Si 칩의 열손상을 최소화하기 위하여 레이저의 에너지출력, 반복주파수, 조사시간 등의 변수를 제어하여 최소한의 열 손상을 주는 최적의 가공 조건을 해석 및 실험을 통하여 제시할 필요가 있다.^{1~4)}

2. 실험방법

본 연구에 사용한 레이저 장치의 사양을 표 1에, 극초단 펄스 펄스 레이저의 펄스파형과 펄스 에너지를 Fig. 1에 나타내었다. 레이저 파워와 미세관통 홀 가공도와의 관계를 살펴보기 위해 각각의 반복주파수에 따라 최대 출력값의 50%, 100%에 해당되는 수치로 실험을 행하였다.

시편은 $10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 0.17\text{mm}$ 크기의 Si-Wafer에 1mm 피치로 3개의 홀을 가공하였다. Fig. 2에 레이저 실험장비와 구성도를 나타내었다. 장비는 크게 레이저 조사장치와 CCD카메라를 이용한 이미지 프로세서, X-Y-Z 3축 스테이지를 가진 레이저 워크스테이션으로 구성되어 있다.

본 연구에서는 여러 종류의 레이저 가공방법 중에서 미세가공에 적합한 방식인 한 지점에 레이저 빔을 조사하는 Percussion 방식을 검토하였다.

Table. 1 Laser specification

Laser		IFRIT Femto Laser	
Wavelength (nm)		780	
Pulse width (fs)		100	
Pulse repetition rate (Hz)	Power (mW)	100	12, 29
		1K	96, 239

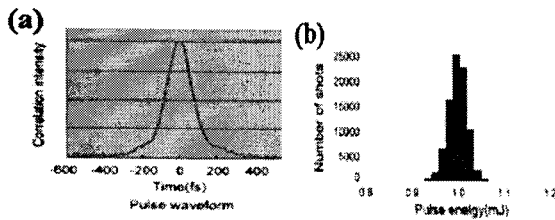


Fig. 1 (a) Pulse wave form (b) Pulse energy

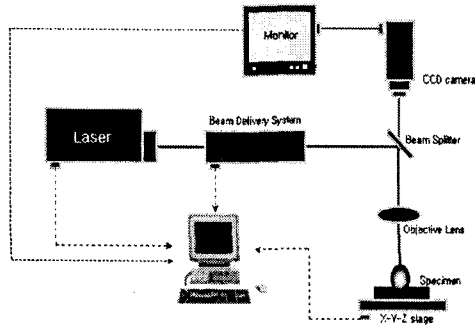


Fig. 2 Schematics of the experimental equipment

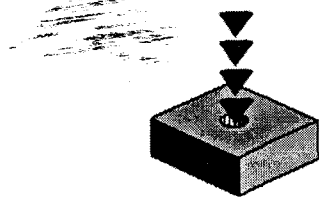


Fig. 3 Laser ablation methods (percussion)

또한 Table. 2에 본 실험에서 미세관통 홀을 형성하기 위해 실시한 가공조건을 공정 변수에 따라 나타내었다. 빔 직경은 10 μ m로 고정되었으며, 레이저의 출력, 반복주파수, 빔 조사 시간을 달리 설정하였다.

Table. 2 Experimental condition for laser ablation

Laser		IFRIT Femto Laser	
Method		percussion	
Pulse repetition rate (Hz)	Power (mW)	100	12, 29
		1K	96, 239
Beam irradiation (sec)		6.5, 13, 26	
Beam diameter (μ m)		10	

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세 관통 홀 형성

Fig. 4에 펨토초 레이저를 이용한 Percussion 방식으로 형성시킨 미세관통 홀 표면 가공 형상을 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 조사

빔 직경이 10 μ m임에도 불구하고 30 ~ 80 μ m의 큰 직경을 갖는 관통 홀이 생성된 것을 볼 수 있었으며, 관통 홀 주변으로 레이저 조사 시 발생한 열영향부의 흔적이 홀 중심으로 직경 200 ~ 400 μ m정도로 넓게 퍼져있는 것을 볼 수 있었다. 이는 레이저 조사 시 발생한 열로 인해 Si 웨이퍼가 용융, 기화되는 과정에서 홀 주변에 미치는 열영향 영역이 상대적으로 넓게 작용했기 때문인 것으로 판단되며, 이와 관련하여 마이크로/나노 스케일의 열전달 메커니즘을 이용한 수치해석 연구를 추가로 진행 중에 있다.

또한 관통 홀 주변에 가공시 발생한 미립자(debris)가 표면에 부착된 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 레이저 가공 시 가공부 주변에 미립자의 부착을 방지할 수 있는 방지책이나, 별도의 세척 공정을 마련할 필요가 있다고 사료된다.

Fig. 5에 각 조건에 따라 형성된 관통 홀의 직경을 정리하여 나타내었다.

레이저 어블레이션을 적용한 실험결과, 레이저의 조사시간에 비례하여 직경이 증가하는 추세를 보였으며, 특히 레이저의 반복 주파수가 높을 경우 레이저 조사시간의 증가에 따른 관통 홀의 직경 증가 폭이 커짐을 확인할 수 있었다. 따라서 레이저의 파워와 반복 주파수를 줄여줌으로써 보다 미세한 직경의 관통 홀을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

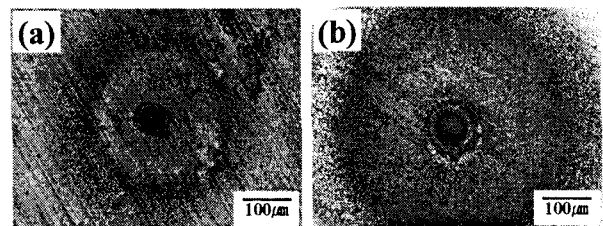


Fig. 4 Micro through hole formed by percussion method (6.5s beam irradiation) (a) 100Hz, 29mW, (b) 1KHz, 239mW

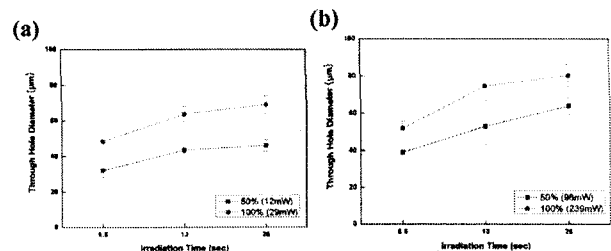


Fig. 5 Mean values of through hole diameter (a) Pulse repetition rate 100Hz, (b) Pulse repetition rate 1kHz

3.2 미세 관통 홀 측면 가공도

Fig. 6에 펄스 레이저를 이용하여 형성시킨 미세 관통 홀의 측면 형상을 각각 나타내었다. 그림에서 살펴 볼 수 있듯이 측면 가공도를 볼 때 조건에 따라 수직에 가까운 측면을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 레이저의 반복 주파수 및 출력을 줄일수록 관통 홀의 직경을 작게 제어할 수 있음을 앞서 알 수 있었다. 그러나 이 경우 관통 홀의 직경은 작게 형성 되지만, Si 웨이퍼 내부의 기화열이 충분히 빠져나가지 못하는 현상이 나타나 홀의 바닥 부분이 더 용융되고 홀 입구보다 직경이 크며 둥근 형태의 형상을 나타내는 것을 관찰 할 수 있었다.

그러므로 직경이 작으면서도 충분한 깊이를 가지는 미세 관통 홀을 얻기 위한 방법으로 공정 제어 인자인 레이저의 반복 주파수와 출력값을 적절히 설정해줄 필요가 있으며, 레이저빔을 회전하여 조사하는 Trepanning 방법도 고려해 볼 수 있다.

Fig. 7에는 각 조건에 따라 형성된 관통 홀의 직경을 정리하여 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 동일한 반복 주파수의 레이저를 사용할 경우에는 출력값의 차이에 따른 관통 홀의 깊이는 큰 차이를 보이지 않았으며, 반복주파수가 100Hz 인 경우보다 1kHz인 경우가 상대적으로 레이저 조사 방향의 절삭 가공도가 높게 나온다는 것을 확인할 수 있었다.

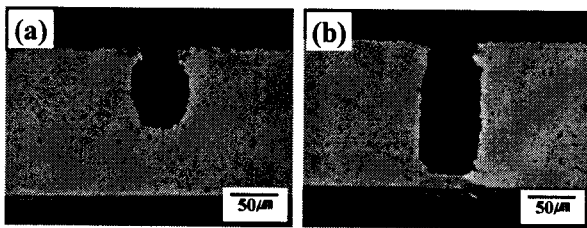


Fig. 6 Cross section view of through hole formed by percussion method (26s beam irradiation) (a) 100Hz, 29mW, (b) 1kHz, 239mW

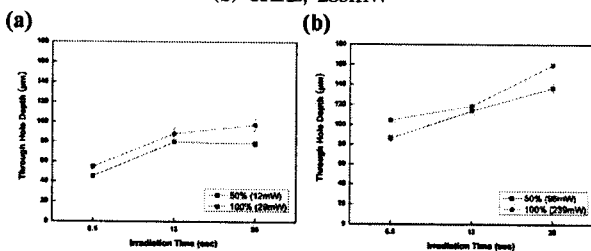


Fig. 7 Mean values of through hole depth (a) Pulse repetition rate 100Hz, (b) Pulse repetition rate 1kHz

4. 결 론

Percussion 방식의 펄스 레이저 어블레이션을 적용한 미세 홀 가공 프로세스의 실험 결과, 양호한 가공도를 보이는 100µm 내외의 직경 및 깊이를 갖는 미세 관통 홀을 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 레이저의 반복주파수, 출력, 조사 시간 등의 공정 제어 변수들은 모두 개별적으로 홀의 직경과 깊이에 대한 가공도에 영향을 미치는 인자들이며, 이런 가공 인자의 제어를 통하여 목표로 하는 관통 홀의 깊이 및 직경, 가공 속도를 조절할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그 중 레이저 조사 시간과 다른 가공 인자와의 상관관계를 고려할 때, 미세 관통 홀 직경 및 깊이의 제어는 무엇보다도 레이저의 반복 주파수 값과 관련이 있음을 실험결과로 확인하였다.

후기

본 연구는 과학재단 특정기초연구과제 (R01-2004-000-10572)의 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

참고문헌

- Leonard W. Schaper, 2005, "Architectural implications and process development of 3-D VLSI z-axis interconnects using through silicon vias", IEEE Transactions of advanced packaging, Vol. 28, No. 3, pp. 356-366.
- Vaidyanathan Kripesh, 2005, "Three-Dimensional System-in-Package Using Stacked Silicon Platform Technology", IEEE Transactions on advanced packaging, Vol. 28, No. 3, pp. 377-386.
- Brian Morgan, 2005, "Substrate interconnect technologies for 3-D MEMS packaging", Microelectronics Engineering, Vol. 81, pp. 106-116.
- Kazumi hara, 2005, "Optimization for Chip Stack in 3-D Package", IEEE Transactions on advanced packaging, Vol. 28, No. 3, pp. 367-376
- Doo Hyun Lee and Choong Don Yoo : Measurement of GMAW Bead Geometry Using Biprism Stereo Vision Sensor, Journal of KWS, 19-2 (2001)atical Theory of Heat Distribution during Welding and Cuttin, 200-207 (in Korean)