

피코세컨드 레이저를 이용한 실리콘 웨이퍼 드릴링

Silicon wafer drilling using Picosecond laser ablation

*노지환¹, 손현기, 신동식, 백병만, 서정, #이제훈

*Jiwhan Noh¹, Hyonkee Sohn, Dongsik Shin, Byoungman Paik Jeong Suh, #Jae-Hoon Lee(jaholee@kimm.re.kr)

¹ 한국기계연구원 지능형 생산 시스템 연구 본부

Key words : laser drilling , wafer drilling, picosecond laser

1. 서론

최근 반도체 공정 중에 레이저 미세 가공 공정을 적용하려는 연구가 많이 진행 중이다. 특히 레이저 드릴링을 이용해 웨이퍼에 드릴링을 함으로써 실리콘 웨이퍼 상판과 하판을 통전 시키려는 연구가 진행 중이다. [1]. 기존에는 웨이퍼의 연결은 주로 와이어 본딩에 의해 이루어졌으나, 실리콘 웨이퍼 두께가 얇아지고 레이저 미세 가공 기술이 발전함에 따라 레이저 드릴링을 이용한 웨이퍼 연결이 시도 되고 있다. 와이어 본딩과 레이저 드릴링을 비교해 보면, 와이어 본딩의 경우 실리콘 웨이퍼 외부에서 연결해야 하는 반면, 레이저 드릴링의 경우에는 실리콘 웨이퍼 자체에 구멍을 가공하여 도금에 의해 통전 시키므로, 집적도 측면에서 매우 유리하다고 할 수 있다.

실리콘 웨이퍼에 홀을 가공하는 방법으로 플라즈마 에칭을 이용하는 경우가 있다. 그러나 플라즈마 에칭의 경우는 마스크가 필요하고, 환경 저해 공정이라는 단점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 레이저 드릴링을 이용해 실리콘 웨이퍼 홀을 가공하고자 한다. 레이저를 이용한 미세 가공의 경우 친환경적이며 건식공정이므로 공정이 다른 공정에 비하여 단순하다. 레이저 다이렉트 어블레이션(laser direct ablation)을 이용하면 마스크 없이 드릴링이 가능하다. 레이저를 이용한 실리콘 웨이퍼 드릴링의 경우, UV (ultraviolet)을 이용한 레이저 드릴링 [2,3], 가시광대 영역의 레이저를 이용한 드릴링 [4,5] IR(infrared) 레이저를 이용한 드릴링[6] 등의 연구가 진행 되었다. 특히 최근 들어 극초단파 (ultra-short) 레이저를 이용한 연구[7]도 진행 중에 있다. 극초단파를 사용하는 이유는 레이저 미세 가공의 열영향부를 줄이기 위해 사용된다. 본 논문에서는 극초단파 레이저의 한 종류인 피코세컨드 (picosecond) 레이저를 이용한 레이저 드릴링에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험

본 실험에 사용된 피코초 레이저는 12ps의 펄스폭을 가지고 있으며, 최대 반복율은 640kHz 이다. 기본적인 파장대는 1064nm이다. harmonic generator를 이용하여 532nm의 파장대를 만들어 낸다. 위상 지연판과 편광판을 사용하여 레이저 파워를 조절하였다. 532nm의 레이저 최고 파워는 3.5W (50 KHz)이다. 본 실험에 사용된 갈마노 미러 타입 스캐너는 RAYLASE의 SS-15[DY] 모델을 사용하였다. 포커싱 옵틱으로는 포컬 길이 (focal length)가 120mm인 F-theta 렌즈를 사용하였다. 스캐너에 입사되는 532nm 레이저의 빔 사이즈는 약 3mm이고 M^2 은 1.3이다. 다음 식에 의해서 계산된 광학적 스팟사이즈는 30um이다.

$$w_0 = \frac{\lambda \cdot f}{\pi \cdot w_i} \cdot M^2$$

이 식에서 w_0 은 포커싱된 레이저빔 반경이고, λ 은 레이저의 파장, f 은 포커싱 옵틱의 포컬 길이, w_i 은 입사빔의 반경이다.

3. 실험 결과 및 토의

갈마노 타입 스캐너를 이용하여 퍼쿠션 드릴링(percussion drilling)을 수행 하였다. 실험의 재현성을 판단하기 위해 같은 조건에서 100 개의 홀을 가공하여 재현성이 확보되는지 확인하였다.

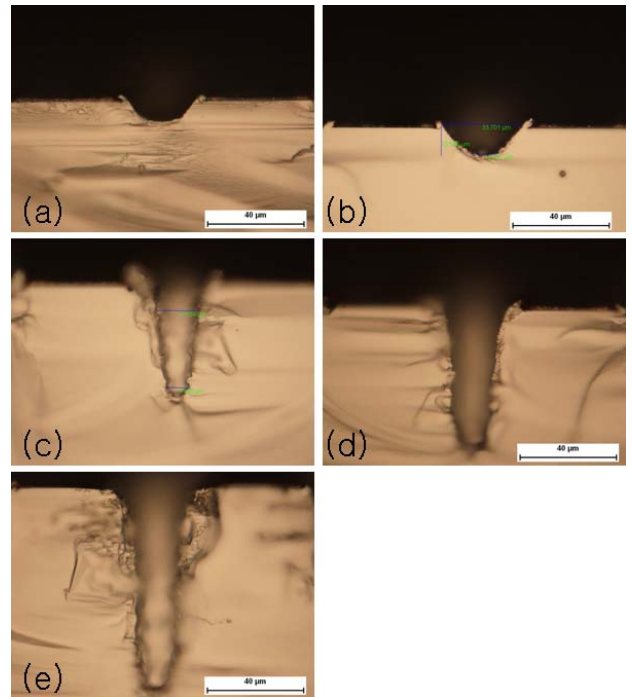


Fig. 1. cross section photograph of laser drilling.
 (a) pulse energy : 10mJ ,(b) pulse energy : 14mJ
 (c) pulse energy : 20mJ, (d) pulse energy : 50mJ
 (e) pulse energy : 70mJ

Fig.1에서 레이저 펄스 에너지를 10mJ에서 70mJ까지 변화시키면서 드릴링 단면의 드릴링 품질을 살펴보았다. 펄스 개수는 150 개, 레이저의 반복율은 50kHz로 고정하였다. 홀과 홀 사이 간격은 80um로 하였으며, 스캐너의 속도는 180mm/sec로 하였다. 실리콘 웨이퍼의 두께는 150um이다.

Fig.1 (a) (b)에서는 반구 모양의 드릴링이 이루어졌다. 다른 높은 pulse energy에서 보다 비교적 거칠지 않은 가공 면을 보여준다. 그리고 드릴링 주변에 생기는 용기 현상 (shoulder)은 (a),(b),(c)(d)에서는 보이지만 (e)에서는 생기지 않는 것이 확인되었다. 높은 펄스 에너지인 경우 이 에너지가 드릴링 상부의 용기 부분을 제거시키는 것으로 사료 된다. 펄스 에너지가 높을 수록 드릴링 가공 면이 거칠어지는 것을 확인 할 수 있었다.

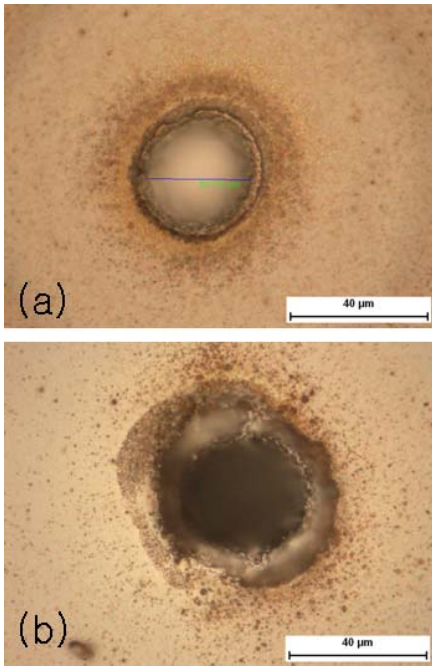


Fig. 2 laser drilling entrance photogy

(a) pulse energy : 10mJ

(b) pulse energy : 70mJ

Fig.2 은 레이저 드릴링 상면의 현미경 사진을 보여주고 있다. Fig.2 (a)에서 보는 바와 같이 낮은 펄스 에너지인 경우에는 ablation particle 들이 매우 작은 것을 확인 할 수 있었고, Fig.2 (b)에서 보는 바와 같이 높은 펄스 에너지인 경우에는 ablation particle 들이 Fig.2 (a) 에 비교해서, 큰 것을 확인 할 수 있다. 이는 높은 펄스 에너지인 경우에는 ablation particle 들이 melting 이 되어 서로 합쳐져서 particle 들이 커지는 것으로 사료된다.

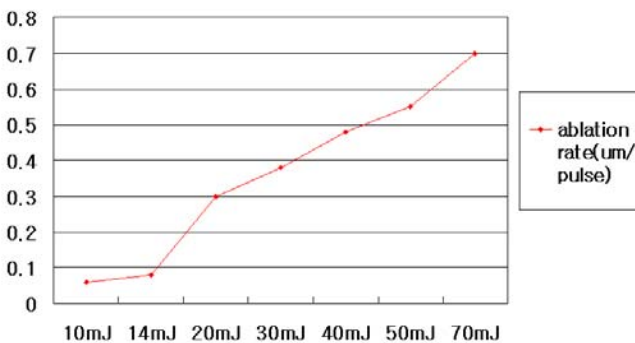


Fig.3 ablation rate according to pulse energy.

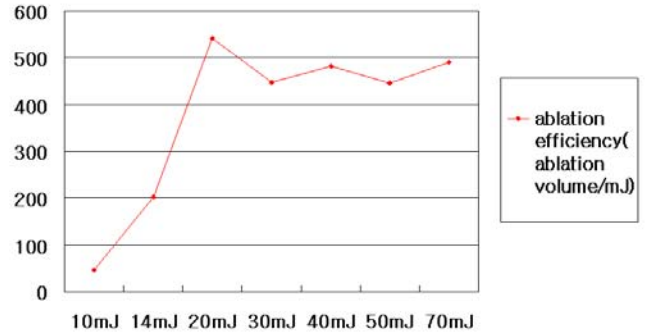


Fig.4 ablation efficiency according to pulse energy

Fig. 3 에서는 각 pulse energy 에 대해서 ablation rate 를 나타내었다. ablation rate 은 가공 깊이를 투입된 펄스 개수로 나누어 준 값으로 정의했다. 예상대로 pulse energy 가 높을수록 ablation rate 는 높아지는 것을 알 수 있다.

Fig.4 에서는 각 pulse energy 에 대해서 ablation efficiency 를 나타내었다. ablation efficiency 는 ablation 된 부피를 펄스 에너지로 나눈 값으로 정의 하였다. ablation efficiency 의 개념은 펄스 에너지에 따른 ablation 되는 정도를 나타내는 값이다. 다시 말해 펄스 에너지 높으면 ablation 되는 양도 늘어나지만, 이 정도가 비례적으로 되지 않는다. Fig.4에서 보는 바와 같이 30mJ 이상의 펄스 에너지를 주입했을 경우는 ablation efficiency 가 높아지지 않는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 레이저 파워 대비 가장 ablation 이 효과적으로 일어날 수 있는 레이저 펄스 에너지는 본 실험에서는 20mJ 인 것을 확인 할 수 있었다. 이 최적화된 펄스 에너지는 홀 지름에 의해 달라질 것으로 예상된다. 30mJ 이상의 펄스 에너지인 경우에 ablation efficiency 가 높아지지 않는 이유는 홀 깊은 곳에서 ablation 되어서 홀 밖으로 빠져 나오는 particle 들이 많지 않기 때문이다. 그러나 20mJ 인 경우는 다른 펄스 에너지에 비해 많은 양의 particle 들이 효율적으로 빠져 나온다고 유추 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 피코초컨드 레이저를 이용하여 실리콘 웨이퍼의 드릴링 실험을 수행하였다. 여러 가지 펄스 에너지에 대해 드릴링 실험을 수행하였고, 각각의 펄스 에너지에 대해서 ablation rate 와 ablation efficiency 를 얻어냈다. 레이저 펄스 에너지 대비 가장 ablation efficiency 를 높일 수 있는 최적의 펄스 에너지를 유추해 내었다.

후기

본 논문은 레이저 미세가공공정 및 시스템 상품화 기반기술 개발 (지식 경제부) 사업의 지원을 받아 수행하였음.

참고문헌

1. Olaf Kruger, Gerd Shone, et al Journal of Physics: Conference Series 59(2007)740~744
2. Cappelli E, Orlando S, Mattei G, et al 1999 Appl. Phys. A 69 515-519
3. Weichenhain R, Horn A et al 1999 Appl. Phys. A 69 855-858
4. Dolgaev SI, Lyalin AA, Shafeev GA, et al 1996 Appl. Phys. A 63 75-79
5. Dolgaev SI, Lyalin AA, Shafeev GA et al 1997 Appl. Surf. Sci. 109-110 559-562
6. Sciti D, Bellosi A, et al 2001 Appl. Surf. Sci. 180 92-101
7. Rudolph P, Brzezinka KW, et al 2003 Appl. Surf. Sci. 208-209 285-289