

피코초 레이저의 펄스제어모드에 따른 실리콘의 드릴링특성 비교

Effect of Pulse Mode on TSV Drilling Process using a Picoscond Laser

*#신동식¹, 서정¹, 김경한¹

*#D. S. Shin(dsshin@email.com)¹, J. Suh¹, K. H. Kim¹

¹ 한국기계연구원 광응용생산기계연구실

Key words : picoseconds laser, drilling, silicon, TSV, thermal effect

1. 서론

레이저 비아가공 공정은 고가의 리소그래피공정이 필요없으며 공정유연성이 뛰어나 소유비용(CoO: Cost of Ownership)을 낮출 수 있는 장점이 있다.¹ 또한, DRIE 공정에 비해서 장비의 단가가 낮으며 마스크 에칭공정이 필요없어 간편하며 DRIE 공정에서 발견되던 스칼롭(scallop)과 같은 문제점이 없어 3차원 패키징 업계에서 기대가 되고 공정이기도 하다.

그렇지만 일반적인 레이저 가공공정은 수 마이크로급 정밀가공에 있어 DRIE 공정에 비한다면 열적영향이 많아 가공에 한계점을 보이고 있다. 이러한 맥락에서 신개념의 레이저인 극초단 펄스를 이용한 가공성에 관한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 피코초 레이저를 이용한 실리콘 웨이퍼의 가공에 관한 실험적 결과를 다루고 있으며 피코초 레이저의 실험변수에 따른 드릴링 깊이 및 세장비를 분석하고 있다.

2. 실험방법

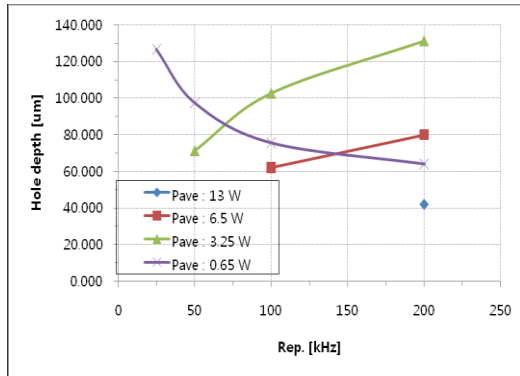
적용된 레이저는 Trumpf사의 Trumicro5250이며 파장(λ) 515nm, 평균출력(P_{ave}) 25W 그리고 펄스폭이 8ps 인 성능을 보유하고 있다. 다양한 종류의 광학계를 지난 레이저 빔은 스캐너(Laylase, Super scan)를 지나면서 웨이퍼에 도달하며 각 좌표에서 드릴링 가공이 이루어진다. 이때 사용된 F- θ 렌즈는 초점길이가 121mm로서 형성된 초점크기는 20 μ m이다. 드릴링 가공을 위한 변수는 평균출력(P_{ave}), 펄스

반복율(Rep.), 펄스에너지($E_p = P_{ave} / Rep$) 및 펄스 수로서 TSV 공정에 있어 총주입에너지(Et: 5.8mJ)인 가공조건에서 수행되었다.

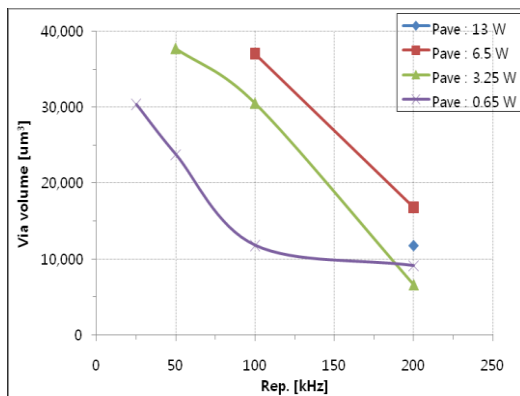
3. 본론

고밀도의 극초단펄스레이저 빔은 반도체 재료의 가공과 반응하여 고온으로 급격하게 상승시키며 이를 통하여 실리콘은 가전자대(valance band)에서 전자대(conduction band)로 여기되어진다. 본 레이저 가공방법은 기존의 열적 반응 메커니즘과 구분이 되고 있어 체계적인 실험을 통한 메커니즘 규명이 필요한 실정이다.²

Fig. 1은 펄스반복율 및 평균출력에 따른 드릴링홀의 가공깊이(hole depth) 및 가공률(ablation rate)를 보여주고 있다. 본 그래프는 주입된 에너지는 5.8mJ로서 동일한 조건에서 실험되었으며 펄스의 간격(interval), 펄스에너지 및 펄스수로 표현되는 펄스모드를 변경해 가며 드릴링한후 단면에서의 측정값을 나타내고 있다. 전체적으로 평균출력이 높을수록 홀의 깊이는 감소하였으며 펄스반복율이 높아지고 펄스에너지가 낮아질수록 가공홀의 깊이는 깊어졌으나 가공량은 줄어들었다는 것을 보여주었다. 단, 0.65W의 낮은 평균출력하에서는 펄스 반복율이 낮아질수록 가공깊이 및 가공량이 향상되었는데 이는 3.25W 이상의 평균출력하의 가공과는 차별화되는 현상이다. 즉, 평균출력 3.25W 이상의 영역에서 높은 펄스에너지는 가공량(ablation rate)의 향상에는 도움이 되지만 정밀 드릴링가공(< hole diameter: 10 μ m, >AR: 5)에는 한계가 있다는 것을 의미한다.

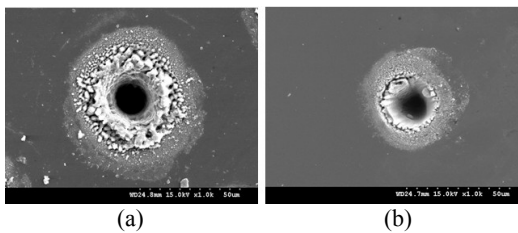


(a)



(b)

Fig. 1 The graphs of (a) hole depth and (b) ablation volume as a function of the repetition rate (Rep.) and the average power (P_{ave}) under the same total input energy (E_t : 5.8mJ)



(a)

(b)

Fig. 2 SEM images of a drilled surface with the conditions of (a) P_{ave} : 6.5W, E_p : 32.5 μ J, F: 10.3J/cm², Rep.: 200kHz and (b) P_{ave} : 0.65W, E_p : 6.5 μ J, F: 2J/cm², Rep.: 100kHz at τ_p : 8ps, λ : 515nm, E_t : 5.8mJ

Fig. 2 는 앞서 설명한 피코초 레이저의 높은 에너지의 가공영역과 낮은 에너지의 가공영역에 대한 대표적 조건에서 실리콘을 드릴링한 후 표면의 전자현미경 사진이다. 비록 동일한 주입에너지가 입사되었지만 32.5 μ J의 펄스에너지로 180회 조사한 경우가 6.5 μ J의 펄스에너지로 900회 조사한 경우에 비하여 상대적으로 많은 표면잔유물(Surface debris) 및 용융물(melt)가 발견되었다. 이는 높은 에너지의 극초단 펄스는 열적영향을 수반하여 낮은 에너지의 펄스를 여러 펄스로 나누어 가공하는 방법이 정밀가공에는 유리하다는 것을 의미하고 있다.

4. 결론

본 연구는 기존의 나노초 레이저를 이용한 TSV 가공시 발생했던 열적영향의 한계점을 극복하기 위한 실험적 시도를 다루고 있다. 이를 위해 극초단 펄스 레이저인 피코초 레이저를 사용하였으며 실험적 검증을 통하여 가공깊이, 세장비 및 열적영향의 유무를 판단하였다. 실험결과 피코초 레이저를 사용하는 경우에도 높은 펄스에너지($E_p > 10\mu J$)를 조사하게 된다면 펄스당 가공깊이가 오히려 줄어들며 세장비가 높은 정밀가공이 이루어지지 않으며 열적영향이 늘어나는 문제점이 발견되었다. 낮은 펄스 에너지를 여러 번 조사한다면 열적영향이 최소화된 정밀가공이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부의 협동연구개발사업의 일환인 “차세대 반도체 MCP 핵심기술 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Rodin, A. M., Callaghan, J. and Brennan, N., “High Throughput Low CoO Industrial Laser drilling Tool,” EuroAsia Semiconductor, **30(6)**, 11-16, 2008.
2. Van Vechten, J. A., Tsu, R., and Saris, F. W., “Nonthermal pulsed laser annealing of Si: plasma annealing,” Physics Letter A., **74**, 422-426, 1979.