

피코초 레이저를 이용한 TSV 형성에 대한 연구

A Study of TSV Drilling Formation using Picoseconds Laser

*조용권¹, #서정¹, 신동식¹

* Y. K. Cho¹, # J. Suh¹ (jsuh@kimm.re.kr), D. S. Shin¹

¹한국기계연구원 광응용기계연구실

Key words : picoseconds laser, drilling, TSV, silicon

1. 서론

TSV의 핵심 기술인 실리콘 웨이퍼에 관통전극 즉 via를 형성하기 위한 방법에는 일반적으로 레이저를 이용한 드릴링 방법과 기존의 반도체 공정에서 많이 사용되는 DRIE(Deep Reactive Ion Etching)를 이용하는 방법이 있다. 두 가지 방법 중 어느 한 방법이 우월하다고 할 수는 없고 사용하는 칩의 크기, interconnect pitch, via 직경 및 깊이, via 모양, 웨이퍼 크기에 따라 두 가지 방법을 선택적으로 사용하고 있다.¹

레이저 드릴링 방법은 via 직경에 제한(>10 μ m)이 있고 throughput이 제약을 받고 있는 단점이 있으나 side wall 각도를 비교적 손쉽게 조절할 수 있으며 side wall 표면이 DIRE 고정에 비하여 매끄럽게 형성되고 화학약품을 사용하지 않는 친환경 공정이라는 장점을 갖고 있으며 DRIE 공정에 비해서 장비의 단가가 낮으며 마스크 에칭공정이 필요없어 간편하며 DRIE 공정에서 발견된 스칼롭(scallop)과 같은 문제점이 없어 3차원 패키징 업계에서 기대가 되고 있는 공정이다.²

본 연구에는 피코초 레이저를 이용한 실리콘 웨이퍼의 가공에 관한 실험적 결과를 다루고 있으며 피코초 레이저의 실험변수에 따른 드릴링 깊이 및 형상을 분석하고 있다.

2. 실험방법

실험에 적용된 레이저는 Trumpf사의 Trumicro 5250이며 파장(λ) 343nm, 최대 출력이 15W 그리고 펄스폭이 10ps 이하의 성능을 보유하고 있다.

레이저 빔은 다양한 종류의 광학계과 스캐너를 지나면서 웨이퍼에 도달하며 각 좌표에서 드릴 가공이 이루어진다. 이 때 적용된 F- θ 렌즈는 초점 길이가 56mm로서 형성된 초점크기는 10 μ m이다.

드릴링 가공을 위한 변수는 펄스 반복율(Rep.), 펄스 에너지($E_p=P_{ave}/Rep.$), 펄스 수 및 반복 횟수를 변화시켜 TSV 공정에 있어 총주입에너지가 E_t : 0.38mJ ~ 1.5mJ인 가공 조건에서 수행되었다.

3. 실험결과 및 고찰

고밀도 극초단펄스 레이저 빔은 반도체 재료와 반응하여 고온으로 급격하게 상승시키며 이를 통하여 실리콘의 가전자대(valance band)에서 전자대(conduction band)로 여기되어진다. 본 레이저 가공방법은 기존의 열적 반응 메커니즘과 구분되고 있어 체계적인 실험을 통한 메커니즘 규명이 필요한 실정이다.³

Fig. 1 (a), (b)는 펄스 에너지 및 평균출력에 따른 드릴링 홀의 가공 깊이와 드릴링 후 상면직경을 펄스 반복율로 보여주고 있다. 본 그래프는 펄스 수를 100회로 동일한 조건에서 실험 되었으며 드릴링한 후 단면에서의 측정값을 나타내고 있다. 전체적으로 평균출력이 높아지고 펄스에너지가 낮아질수록 가공홀의 깊이는 깊어지는 것을 보여주고 있으며 총주입에너지가 동일할 경우에는 펄스 반복율이 높을수록 가공홀의 깊이가 깊어지는 것을 보여주고 있다. 또한 평균출력이 동일한 조건일 때는 펄스 반복율이 높을수록 가공깊이가 깊어지는 것을 알 수 있다.

그리고 드릴링 상면직경의 경우에는 평균 13 μ m에 $\pm 2.5\mu$ m 범위 안에 있는 것을 보여 준다.

CMP(Chemical Mechanical Planarization) 공정을 통하여 상면 용융층을 제거한다면 10 μ m이하의 홀 직경을 만들 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 2는 파장(λ) 343nm, 펄스 에너지(E_p) 7.5 μ J, 펄스 반복율(Rep.) 400kHz, 총주입에너지(E_t) 0.75mJ, 평균출력(P_{ave}) 6W로 가공한 실리콘

웨이퍼의 단면을 나타낸 사진이다.

Fig. 3은 구리도금과 CMP공정 후 전자현미경으로 분석한 사진이며 via 홀 직경이 약 8.5 μm 정도 나오는 것을 알 수 있다.

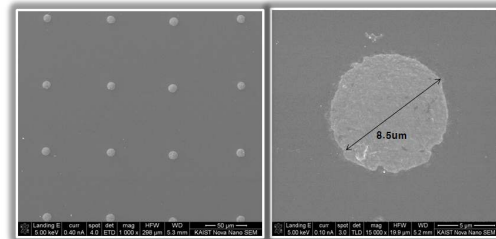
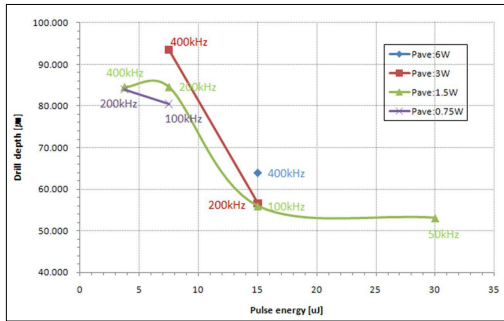
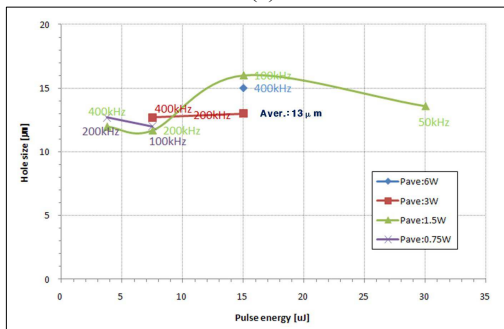


Fig. 3 SEM images of hole diameter by plating and CMP process



(a)



(b)

Fig. 1 The graph of (a) hole depth and (b) hole size as a function of the pluse energy(E_p) and the average power(P_{ave})

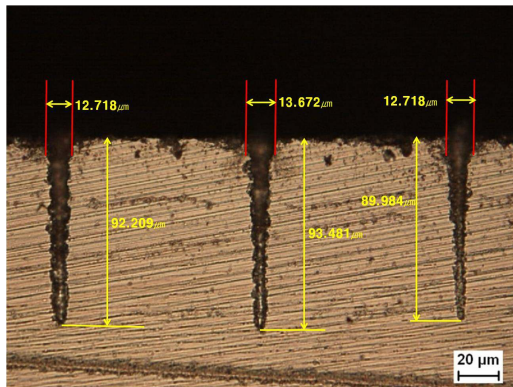


Fig. 2 The image of a drilling cross-section with the conditions of E_p :7.5 μJ , Rep.:400kHz, F:0.75mJ, P_{ave} : 6W at λ 343nm, E_t :0.75mJ

4. 결론

본 연구는 MCP를 위한 실리콘 웨이퍼 TSV 가공 공정에 관한 연구로서 환경적, 경제적 및 기술적으로 단점을 지니고 있는 DRIE의 대체 공정의 일환으로 피코초 레이저를 이용하여 실험적으로 TSV 형성을 비교함으로써 적정가공영역인 펄스 에너지 (E_p):7.5 μJ , 펄스 수:100회, 총주입에너지 (E_t):0.75mJ임을 도출할 수 있었다.

또한 구리도금과 CMP공정 후 직경이 10 μm 이하인 via의 생성을 확인할 수 있었다.

후기

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

참고문헌

1. 신동식, 서정, 이재훈, 김경한, 백병만, “피코초 레이저를 이용한 TSV가공 특성에 관한 연구”, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 701-702, 2009.
2. 신동식, 서정, 김경한, “피코초 레이저의 펄스제어 모드에 따른 실리콘의 드릴링특성 비교”, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 541-542, 2010.
3. 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.
4. Duley, "UV Laser : effects and applications in materials science", Cambridge, 148-199, 1996