하이브리드 공정을 이용한 실리콘의 비아특성 연구

TSV Formation using Laser-based Hybrid Process

*신동식[1], #서정[1], 이제훈[1], 김정오[1], 이왕구[2]
*D.S. Shin[1], #J. Suh(jsuh@kimm.re.kr)[1], J.H. Lee[1], J.O. Kim[1], W.K. Lee[2]
[1] 한국기계연구원 광응용생산기계연구실, [2]서울시립대학교 신소재공학과

Key words : TSV, Laser, Hybrid process, RIE, Drilling

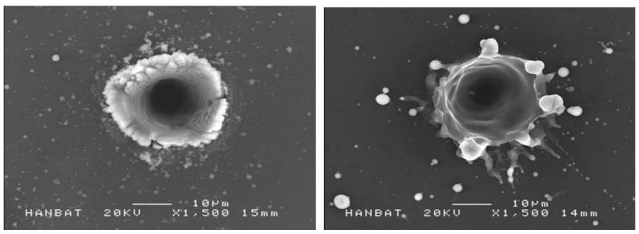
1. 서론

TSV의 핵심 기술인 실리콘 웨이퍼에 관통전극 즉 via를 형성하기 위한 방법에는 일반적으로 레이저를 이용한 드릴링 방법과 DRIE(Deep Reactive Ion Etching)를 이용하는 방법으로 고려되고 있으며 사용하는 칩의 크기, interconnect pitch, via 직경 및 깊이, via 모양, 웨이퍼 크기에 따라 두 가지 방법을 선택적으로 사용하고 있다.

DRIE공정은 기존의 레이저 가공공정에서 불가능하였던 10㎛급 이하의 직경을 가공하는데 유용하게 적용이 가능하여 미세 비아홀 가공시장을 선점하고자 하고 있다[1]. 그렇지만 DRIE공정은 금속층 가공의 한계, 대면적 가공의 어려움, 낮은 깊이 균일도, 리소그래피 공정으로 인한 공정지연, 환경오염 그리고 플라즈마로 인한 회로의 손상에 자유롭지 못한 한계가 있어 이에 대한 대체공정이 필요한 실정이다.

이에 반해 레이저 가공공정은 금속층의 가공이 가능하며 고속가공공정이며 대면적에 용이하고 웨이퍼의 가장자리와 중간의 깊이 차이가 없으며 리소그래피가 없는 장점이 있다. 뿐만 아니라 filling을 위한 최적의 sidewall taper인 85°를 제어하기 용이하며 부드러운 side wall 표면을 가지며 이로 인하여 void가 발생하지 않으며 active층의 구조를 손상시키지 않는 장점이 있다[2].

그렇지만 레이저 가공공정은 상기 장점에도 불구하고 열적영향이 있다는 단점이 있다. 이로 인하여 10㎛이하의 비아홀을 가공하기에는 한계에 다다랐으며 이를 보완하기 위한 노력은 극초단 펄스레이저를 이용한 공정으로 진행되고 있다[3].



(a) (b)

Fig. 1 SEM images of drilled hole using (a) picosecond and (b) nano-second pulse laser process

즉 나노초 레이저를 이용한 가공의 경우 상부에 열적영향에 의한 용융물 형태의 재융착층(recast layer)이 형성되었으나 피코초 레이저의 경우 재융착층이 상대적으로 적게 나타났다[4]. 그렇지만 파티클 형태의 잔유물은 가공부 내부에 여전히 존재하였는데 이는 10㎛급 이하의 직경가공시에는 가공결함으로 작용될 수 있다.

이에 따라 새로운 형태의 가공공정형태인 하이브리드 공정을 고안하였는데 이는 레이저와 (D)RIE 또는 레이저와 습식에칭으로 구분하여 실험을 진행하였다. 본 발표에서는 이의 가능성을 검토하여 현장 적용성을 더욱 높이기 위한 실험을 진행다루고 있다.

2. 하이브리드 가공공정의 개요

레이저에 의한 TSV의 드릴링 공정은 기존의 DRIE공정에 비해 금속층의 가공이 가능하며 active device에 손상을 주지 않으며 환경친화적이고 리소그래피공정이 필요없는 photomask-free이 가능한 장점이 있지만 극초단 펄스 레이저를 사용했음에도 불구하고 측벽에 용융물이 미량으로 남아있으며 상면에 표면잔유물(surface debris) 발생하는 단점을 보유하고 있다. 이를 보완하기 위해 한국기계연구원에서는 하이브리드 공정을 제시하였는데[5] 이는 극초단 펄스 레이저를 이용하여 최소한의 열영향(HAZ)을 유지한채 금속층 및 실리콘층을 가공한 후 (D)RIE공정또는 기타의 방법을 통하여 가공홀 내부의 용융층을 식각하여 측벽균일도(side wall roughness)가 우수하며 filling시 void를 방지할 수 있는 최적의 각도제어가 가능한 가공법으로 예상된다.

즉 본 가공법은 레이저 드릴링 및 DRIE공정의 상호간의 단점을 보완하며 장점을 보강할 수 있는 기법으로서 레이저가공의 측면에서는 PR코팅 및 현상공정으로 상면에 형성되던 표면잔유물(surface debris)을 제거할 수 있으며 가공홀에 형성되던 열적영향(용융물, 열응력)을 제거할 수 있는 장점이 있으며 DRIE의 측면에서는 PR경화를 위한 마스크가 필요 없으며 금속 회로층, 폴리머층과 같은 이종재료가 형성된 후에도 가공이 가능하여 TSV공정에 있어 공정유연성을 더욱 증가시킬 것으로 기대하고 있다(Fig. 2 참조).

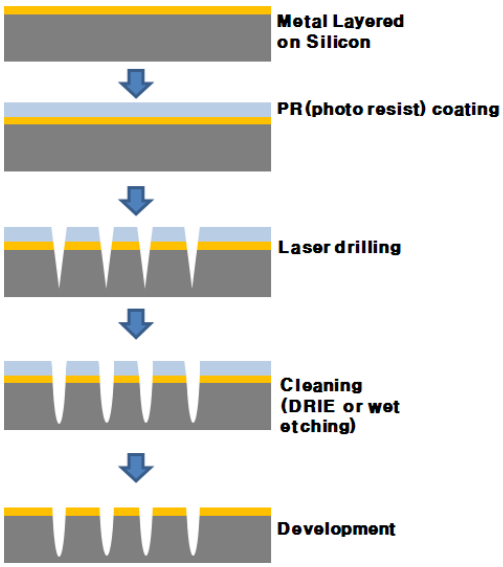
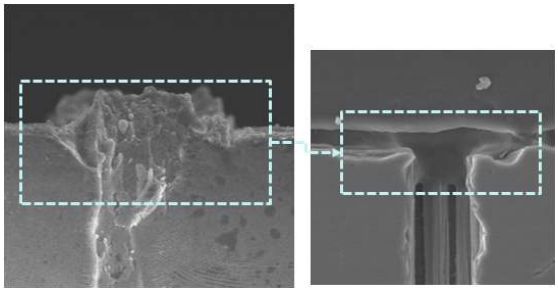


Fig. 2 Fabrication of Through Silicon Via using Hybrid process

3. 레이저 및 RIE를 이용한 하이브리드 가공공정

앞장에서 제시된 하이브리드 공정의 적용성을 검토하기 위해 실리콘 웨이퍼 표면에 스퍼터링을 통하여 Al을 0.5㎛ 두께로 코팅하였으며 이후 PR을 도포한 후 레이저 가공을 수행한후 (D)RIE 공정을 통한 크리닝을 시도하였다.

Fig. 3은 레이저 드릴링후의 웨이퍼 표면에 형성되던 용융물과 RIE가공후 용융물이 사라진 모습을 보여주고 있는 전자현미경 사진으로서 하이브리드 공정의 가능성을 보여주고 있다. 즉 레이저 드릴링에 의한 용융물을 (D)RIE 기법으로서 제거가 가능하다는 점을 실험적으로 증명하고 있다.



(a) (b)

Fig. 3 SEM images of drilled hole by (a) laser and (b) hybrid process

한편 Fig. 4는 하이브리드 공정에 의해 가공된 실리콘 웨이퍼의 단면을 보여주고 있는 전자현미경 사진으로서 레이저 드릴링한 후 (D)RIE에 의해 후가공을 한 가공면을 나타내고 있다. 현재 (D)RIE에 의한 가공면이 거칠며 레이저 가공부의 용융물층만 제거가 되는 것이 아니라 보다 넓게 가공이 되는 문제점이 발견되었다.

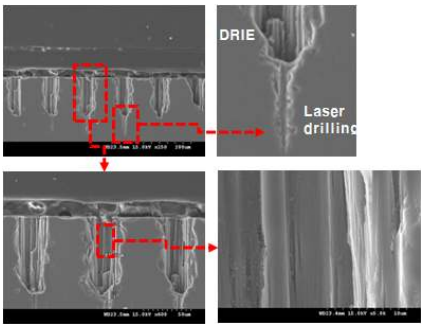


Fig. 4 SEM images of drilled hole by hybrid process (0.7W, 100kHz, 200pulses)

4. 레이저 및 습식에칭을 이용한 하이브리드 가공공정

본 발표에서 제시한 하이브리드 공정은 레이저+(D)RIE공정과 같은 건식공정 뿐만 아니라 레이저+습식에칭과 같은 습식공정도 내포하고 있다. 레이저와 습식에칭공정의 검증을 위해서는 KOH를 사용한 이방성 에칭을 시도하였다.

실리콘은 결정방향에 따라 이방성 에칭특성을 나타내고 있는데 습식에칭으로서 고려되고 있는 실리콘의 결정은 크게 (100)과 (110)형태가 있으며 깊이 방향으로는 (100)의 경우 54.74°의 경사각을 가지고 있고 (110)은 수직의 결정 구조를 가지고 있다[6-8]. 이와 같은 결정방향은 60℃이상의 KOH용액에서 다음과 같은 화학반응에 의한 에칭시 이방성을 결정하는 요소이다.

반응메커니즘으로서는 실리콘과 OH기가 서로 반응하며 부산물로서 수소와 물이 생성되는 공정이 있으며 온도 및 KOH의 농도에 따라서 다양한 형태의 단면을 제조할 수 있다.

$$Si + 2(OH)^- + 4H_2O \rightarrow Si(OH)_6^{--} + 2H_2$$

$$Si(OH)_6^{--} + 3C_6H_4(OH)_2 \rightarrow Si(O_2C_6H_4)_3^{--} + 6H_2O \qquad (1)$$

Fig. 5는 레이저 드릴링한 홀을 30%의 KOH용액속에서 80℃의 온도로 각각 5분, 1시간, 2시간의 시간이 경과된 후의 홀 표면 및 단면의 전자현미경 사진을 나타내고 있다. 실험결과로서 KOH는 예측했던 바와 같이 결정방향에 따른 이방성 에칭특성이 있어 장시간 에칭을 하였을 경우 사각형 형태의 홀로 변화하였으며 단면의 각도는 (111)방향과 일치하는 54.7°및 85°를 얻을 수 있었다.

그렇지만, 레이저 드릴링에 의한 용융부 및 재융착부만 단독적으로 에칭하기에는 한계가 있으며 고온의 KOH는 소자에 손상을 줄 위험이 있어 이를 보완하기 위한 추가연구가 필요한 실정이다.

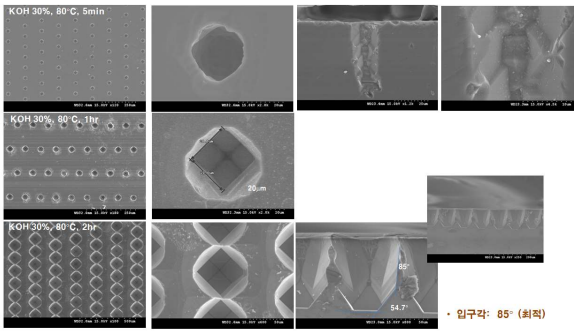


Fig. 5 SEM images of drilled hole using laser drilling and anisotropic etching by KOH

4. 결론

본 논문에서는 한국기계연구원에서의 진행중인 극초단 펄스 레이저 드릴링 및 (D)RIE, 그리고 습식에칭의 하이브리드 공정에 대하여 실험적 가능성을 소개하였다. 두가지 하이브리드 공정의 실험결과 기존의 공정에서 부가공정으로 작용하던 마스크공정을 배제한 체 드릴링을 진행할 수 있는 장점이 있었다. 건식공정인 (D)RIE공정과의 하이브리드 공정은 레이저에 의해 발생하였던 용융층의 제거가 용이한 장점이 있었으나 가공면이 거칠었으며 레이저 가공면보다 넓게 에칭이 되는 단점이 있었다. 이와 같은 단점은 습식공정과의 하이브리드 공정도 마찬가지로 보유하고 있었는데 결정방향으로 가공이 되어 사각형의 홀이 형성되었다. 이는 향후 패키징시 응력이 집중된다면 파손의 우려가 있어 추가적인 연구가 필요하다는 것을 보여준다. 현 단계에서는 하이브리드 공정 연구의 초기단계로서 다양한 문제점들이 제기되었으나 추가적인 공정최적화를 통한 레이저 가공부의 재융착부를 제거한다면 기존의 DRIE공정의 단점을 보완할 수 있는 신공정기술로 거듭날 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Alcatel Micro Machining Systems, http://www.alcatelmicromachining.com
2. XSiL, www.xsil.com
3. Coherent Inc, www.coherent.com
4. 신동식, 서정, 이제훈, 김경한, "레이저를 이용한 TSV 드릴링 공정", 한국 정밀공학회지 Vol 26(12), 41-46, 2009.
5. Shin, D., Suh, J. and Lee, J., “Fabrication of Through Silicon Via using Hybrid process,” KIMM, No. 0103681, 2009 (patent pending).
6. TANAKA Hiroshi, YAMASHITA Shuichi, ABE Yoshitsugu, SHIKIDA Mitsuhiro, SATO Kazuo, "Fast etching of silicon with a smooth surface in high temperature ranges near the boiling point of KOH solution", Sensors and actuators. A, Physical Vol.114(2-3), 516-520, 2004.
7. 조남인, 천인호, "KOH 용액 및 KOH-IPA 혼합용액에 의한 단결정 실리콘의 이방성식각 특성", Journal of the Korean Vacuum Society Vol.11(4), 249-255, 2002.
8. Shung-wen Kang, Jong-shun Chen and Jong-yun Hung, "Surface Roughness of (110) Orientation silicon based micro heat exchanger channel", Int. J. Mach Tools Manufact. Vol. 38(5-6), 663-668, 1998.