

Low-k 웨이퍼 레이저 인그레이빙 특성에 관한 연구

Study on low-k wafer engraving processes
by using UV pico-second laser

남기중*, 문성욱*, 홍윤석*, 배한성*, 광노홍**
고등기술연구원*, (주)젯텍**

Gi-jung Nam*, Seong-wook Moon*, Yoon-seok Hong*, Han-seong Bae*,
No-Heung Kwak**

Institute for Advanced Engineering*, Jettech LTD.**

ABSTRACT

Low-k wafer engraving process has been investigated by using UV pico-second laser with high repetition rate. Wavelength and repetition rate of laser used in this study are 355nm and 80MHz, respectively. Main parameters of low-k wafer engraving processes are laser power, work speed, assist gas flow rate, and protective coating to eliminate debris. Results show that engraving qualities of low-k layer by using UV pico-second pulse width and high repetition rate had better kerf edge and higher work speed, compared to one by conventional laser with nano-second pulse width and low repetition rate in the range of kHz. Assist gas and protective coating to eliminate debris gave effects on the quality of engraving edge. Total engraving width and depth are obtained less than $20\mu\text{m}$ and $10\mu\text{m}$ at more than 500mm/sec work speed, respectively. We believe that engraving method by using UV pico-second laser with high repetition rate is useful one to give high work speed of laser material process.

Key words : UV pico-second laser, Low-k wafer, Wafer cutting, Laser engraving, free debris, Kerf edge.

1. 서론

현재 반도체 산업은 다양한 분야에서 집적회로(integrated circuits)의 기관으로 얇은 실리콘을 사용하는 추세로 옮겨가고 있다. 반도체 소자는 트랜지스터, 커패시터 그리고 전기 신호를 외부로 전달하는 inter-connection 부분으로 구성되어 있고 inter-connection은 전기 신호 전달에 직접적으로 참여하는 금속 배선과 금속 배선 사이를 절연시키는 절연 막으로 이루어져 있다. 이러한 소자의 데이터 처리 속도의 지연은 트랜지스터의 속도 지연에 기인하는 게이트 지연(gate delay)과 inter-connection 상에서의 속도 지연에 기인하는 RC 지연이 원인이 된다. 현재 소자의 집적도가

증가함에 따라 트랜지스터의 게이트 길이가 감소하여 게이트 지연을 감소시키지만 RC 지연을 유발하는 저항 값을 증가시키는 효과를 가져와 RC 지연이 커지게 된다. RC 지연뿐만 아니라 배선 간격이 좁아짐에 따라 RC 결합(coupling)에 의한 상호 신호 잡음, 전력 소비 문제를 야기하게 된다. RC 지연과 결합에 의한 신호지연 및 상호 잡음 문제의 해결책으로는 저항(R)의 개선과 전기 용량(C)의 개선이다. 저항의 개선은 현재 사용 중인 금속 배선을 알루미늄(Al) 배선에서 비저항이 낮은 구리(Cu) 배선으로 바꾸어 저항 값을 낮추는 것이고, 전기 용량의 개선으로는 절연 막으로 사용되고 있는 실리카(SiO_2 ; $k=4.0\sim 4.5$)를 저유전율을 가지는 새로운 절연 막(저유전막, $k<3.0$) 재료로 사용하는 것이다.^[1]

low-k 유전체는 열적, 기계적으로 야기되는 파손 및 부착력 감소, 낮은 기계적 강도, 수분 흡수성, 시간 의존 특성, 낮은 열전도율 등의 단점으로 인하여 현재 웨이퍼의 기판으로 사용되는 SiO_2 에 비하여 낮은 경도 (mechanical strength)를 갖게 된다. 따라서 low-k 웨이퍼를 절단하는 공정에서 기존의 다이아몬드 saw를 이용하는 공정을 적용하게 된다면 delamination과 crack이 발생한다. 따라서 이와 같은 기계적 절단 기술이 갖고 있는 문제를 극복할 수 있는 대안 기술로 최근에 레이저를 이용하여 low-k 층을 인그레이빙 한 후 SiO_2 층은 기존의 saw를 이용한 웨이퍼 절단 공정이 기존의 공정 대안으로 급격하게 부상하고 있다.^[2] 본 연구에서는 UV picosecond 및 고 반복률을 갖는 레이저를 이용하여 low-k 웨이퍼 인그레이빙 특성에 관하여 연구하였다.

2. 실험 장치 및 방법

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 레이저 인그레이빙 장치의 개략도를 나타낸다. 레이저에서 나온 빔은 반사 거울을 통해 감쇄기로 입사되어 원하는 출력으로 감쇄된다. 감쇄된 빔은 빔 확장기로 입사되며 확장된 빔은 반사 거울을 거쳐 집광 렌즈로 입사되어 빔이 웨이퍼 표면에 조사되고 반사 거울을 통과하는 약한 빔은 광 검출기로 입사 되어 레이저 빔의 강도를 실시간으로 모니터링 하게 된다. 사용된 레이저는 모드 잠금(mode-locked) 방식의 펄스 레이저로 파장은 Nd:YAG 레이저의 3차 조화파로 355nm, 펄스 폭은 6ps, 출력은 8W, 펄스 반복율은 80MHz이다. 집광 렌즈의 초점거리는 80mm이고 5배의 빔 확장기를 사용하여 웨이퍼 표면에 빔 크기를 10 μm 이하로 설계하였다. 레이저 인그레이빙 시 발생하는 debris와 가공 찌꺼기들을 제거하기 위해서 가공부위에 가스를 레이저 빔과 45도 방향에서 분출하였다. 진공 척은 스테이지가 레이저 인그레이빙을 위해 움직일 때 웨이퍼가 움직이지 않도록 고정시켜주며, 웨이퍼를 척에 완전히 밀착시켜 웨이퍼의 모든 영역이 동일한 높이가 되도록 만들어주었다.

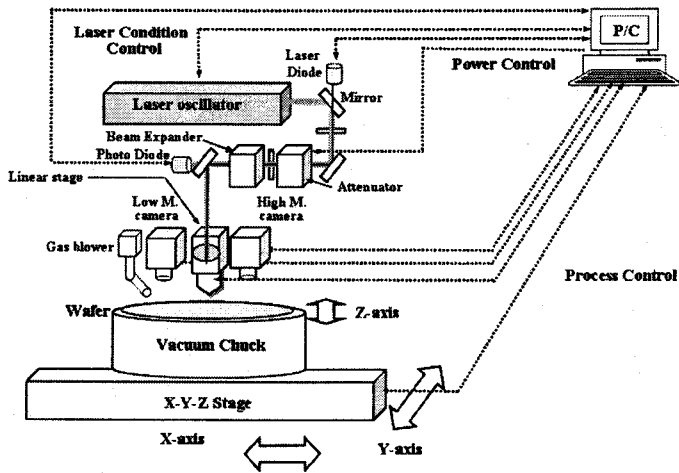


Fig.1 Experimental set-up for low-k wafer laser-engraving process

본 연구에서는 가공되는 웨이퍼 표면에서의 레이저의 출력이 1, 2, 3, 4, 5, 6W 그리고 인그레이빙 속도를 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700mm/s로 설정하여 각각의 경우에서 레이저 출력과 가공 속도에 따른 low-k 웨이퍼의 인그레이빙 특성 연구와 가공시 생성되는 찌꺼기를 제거하기 위해 사용된 assist gas blow 효과 그리고 웨이퍼 표면을 수용성 코팅 용액으로 코팅하여 가공 시 생성되는 debris의 제거 효과와 Kerf edge의 특성 연구를 수행 하였다. 실험에 사용된 low-k 웨이퍼의 두께는 340 μ m이며 low-k 층의 두께는 약 5 μ m이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 레이저 출력과 가공 속도에 따른 인그레이빙 효과

Fig. 2의 (a)와 (b)는 각각 레이저 출력과 가공 속도에서 low-k 층의 가공 깊이와 총 인그레이빙 폭을 보여주고 있다. (a)에서 보듯이 1W와 2W 출력에서 300mm/s 이상의 속도에서는 low-k 층이 모두 인그레이빙 되지 않고, 4W 이상의 레이저 출력에서는 low-k 층 모두가 500mm/sec 이상의 속도에서도 인그레이빙 된 것을 보여주고 있다. Fig. 2의 (b)에서는 레이저 출력과 가공 속도에 따른 low-k 웨이퍼의 street line에 생성된 인그레이빙 폭을 보여주고 있다. 동일한 속도에서 레이저의 출력이 증가함에 따라 가공되는 깊이와 가공 폭이 증가하기 때문에 생성되는 debris의 양도 증가하는 것을 알 수 있다. 생성된 debris에 의한 edge에서의 비드 폭이 레이저 출력이 증가함에 따라 증가하는 경향을 띄었고, 가공 속도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. low-k 웨이퍼의 street line의 총 가공 넓이는 500mm/sec 이상에서 20 μ m 이하로 나타났다.

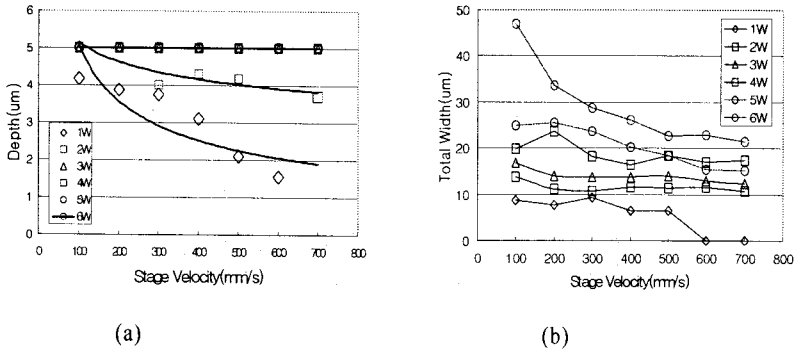


Fig. 2 Laser engraving depth and width with respect to laser power and work speeds. (a) engraving depth, (b) total engraving width

3.2 Assist gas 효과

Fig. 3은 레이저 출력이 4W이고 가공 속도가 100, 300, 500, 700mm/s, 일 때, assist gas 유량을 10, 30, 50, 70 L/min으로 설정하여 각각의 경우에 대해 인그레이빙 실험을 수행한 결과이다. 실험 결과로부터 gas blow량이 low-k 웨이퍼 레이저 인그레이빙 edge 품질에 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 Fig. 3에서 보이는 바와 같이 인그레이빙 된 debris 넓이와 총 가공 폭은 gas blow 량이 50 L/min까지 증가할수록 작아지는 것을 알 수 있고, 50 L/min 이상에서는 다시 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 50L/min의 유량을 분사할 때 500mm/s 속도에서 가공 폭은 15 μm 이하로 나타났다.

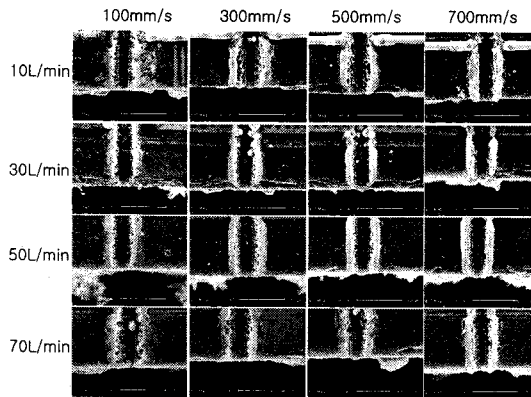


Fig. 3 Assist gas blow effects on laser engraving line

3.3 free-debris를 위한 웨이퍼 코팅 후 클리닝 효과

Fig. 4는 수용성 코팅 용액을 사용하여 웨이퍼 표면을 코팅하여 레이저 인그레이빙과 클리닝 후 표면의 debris 제거 특성을 보여준다. 웨이퍼를 코팅하지 않고 레이저로 인그레이빙 하여 DI water로 클리닝한 것(a)과 웨이퍼를 코팅하고 레이저 인그레이빙 하여 DI water로 클리닝 했을

때, 인그레이빙 라인의 edge에서 생성된 debris에 의한 비드가 제거된 것(b)을 보여주고 있다.

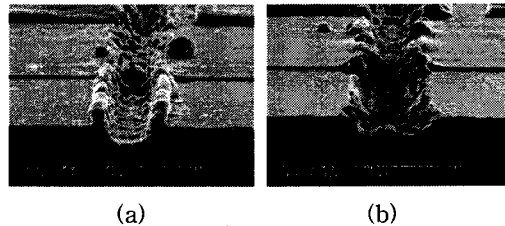


Fig. 4 Qualities of engraving edge of low-k wafer after cleaning (a) without protective coating, and (b) with protective coating at 4W and 500mm/sec.

4. 결론

본 연구에서는 UV pico-second 및 고 반복률을 갖는 레이저를 이용하여 low-k 웨이퍼의 인그레이빙 특성에 관하여 연구하였다. 실험 결과 인그레이빙 된 선폭은 생성된 debris의 양과 폭에 영향을 받는다는 것을 확인 하였다. 생성되는 debris는 수용성인 웨이퍼 보호 코팅 용액의 사용으로 제거가 되는 것을 확인 할 수 있었다. 결론적으로, low-k 웨이퍼의 인그레이빙에 있어서 펄스 폭이 짧은 UV pico-second 및 고반복률 레이저를 사용하면 4W 출력과 500mm/s의 빠른 속도에서 좋은 kerf edge와 총 가공 넓이가 20 μ m이하로 가공이 가능하다는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 공통핵심기술개발사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Jin-Heong Yim, Hyun-Dam Jeong, and Lyong Sun Pu, "A Study on the Porous Cyclic Silsesquioxan Low-k Thin Films by Using Cyclodextrin -Based Porogen", J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 15, No. 7, pp.728-732, 2004.
2. M. H. Hong, Q. Xie, K.S. Tiaw, and T. C. Chong, "Laser Singulation of Thin Wafers & Difficult Processed Substrates: A Niche Area over Saw Dicing", JLMN, Vol. 1, No. 1, pp.84-88, 2006.