

## 자외선 피코초 레이저를 이용한 Low-k 웨이퍼 인그레이빙 특성에 관한 연구

문성욱<sup>†</sup> · 배한성 · 홍윤석 · 남기중 · 곽노흥\*

<sup>†</sup>고등기술연구원, \*쥬젯텍

### A Study of Low-k Wafer Engraving Processes by Using Laser with Pico-second Pulse Width

Seong Wook Moon<sup>†</sup>, Han Seong Bae, Yun Suk Hong, Gi Jung Nam and No Heung Kwak\*

<sup>†</sup>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 355 nm and 80 MHz, respectively. Main parameters of low-k wafer engraving processes are laser power, work speed, assist gas flow, and protective coating to eliminate debris. Results show that engraving qualities of low-k layer by using a laser with 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 500 mm/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 in laser material process.

**Key Words :** UV pico-second laser, low-k wafer, laser engraving, free debris, kerf edge

## 1. 서 론

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 내부연결(interconnection) 부분으로 구성되어 있고 내부연결(interconnection)은 전기 신호 전달에 직접적으로 참여하는 금속 배선과 금속 배선 사이를 절연시키는 절연막으로 이루어져 있다. 이러한 소자의 데이터 처리 속도의 지연은 트랜지스터의 속도 지연에 기인하는 게이트 지연(gate delay)과 내부연결(interconnection) 상에서의 속도 지연에 기인하는 RC 지연이 원인이 된다. 현재 소자의 집적도가 증가함에 따라 트랜지스터의 게이트 길이가 감소하여 게이트 지연을 감소시키지만

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 저항이 낮은 구리(Cu) 배선으로 바꾸어 저항 값을 낮추는 것이고, 전기 용량의 개선으로는 절연 막으로 사용되고 있는 실리콘(SiO<sub>2</sub>; k=4.0~4.5)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 웨이퍼[2]의 기관으로 사용되는 SiO<sub>2</sub>에 비하여 낮은 경도(mechanical strength)를 갖게 된다. 따라서 low-k 웨이퍼를 절단하는 공정에서 기존의 다이아몬드 톱(saw)을 이용하는 공정을 적용하게 된다면 중간들뜸(delami-

<sup>†</sup>E-mail : swmoon72@iae.re.kr

nation)과 크랙이 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<sub>2</sub>층은 기존의 다이아몬드 톱(saw)을 이용한 웨이퍼 절단 공정이 기존의 공정 대안으로 급격하게 부상하고 있다[3].

본 연구에서는 자외선 파장과 피코초(10-12초)[4] 영역대의 펄스폭과 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 광검출기로 입사 되어 레이저 빔의 강도를 실시간으로 모니터링 하게 된다. 사용된 레이저는 모드 잠금(mode-locked) 방식의 펄스 레이저로 파장은 Nd:YAG 레이저의 3차 조화파로 355 nm, 펄스 폭은 6ps, 출력은 8W, 펄스 반복율은 80 MHz이다. 집광 렌즈의 초점 거리는 80 mm이고 5배의 빔 확장기를 사용하여 웨이퍼 표면에서 빔 크기를 10 μm 이하로 설계하였다. 레이저 인그레이빙 시 발생하는 가공찌꺼기와 가공부 주위에 가공찌꺼기가 서로 결합하여 붙어있는 상태(이후 debris라고 칭함)[5]를 제거하기 위해서 가공부위에 가스를 레이저 빔과 45도 방향에서 분출하였다. 진공 칩

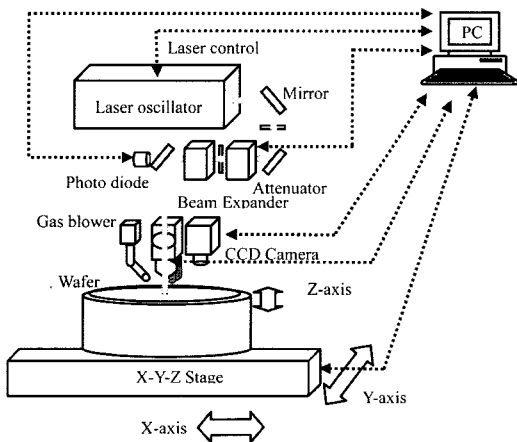


Fig. 1. Experimental set-up for low-k wafer laser engraving process.

은 스테이지가 레이저 인그레이빙을 위해 움직일 때 웨이퍼가 움직이지 않도록 고정시켜주며, 웨이퍼를 척에 완전히 밀착시켜 웨이퍼의 모든 영역이 동일한 높이가 되도록 만들어주었다.

본 연구에서는 가공되는 웨이퍼 표면에서의 레이저의 출력이 1, 2, 3, 4, 5, 6W 그리고 인그레이빙 속도를 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 mm/s로 설정하여 각각의 경우에서 레이저 출력과 가공속도에 따른 low-k 웨이퍼의 인그레이빙 특성 연구와 가공시 생성되는 찌꺼기를 제거하기 위해 사용된 보조 가스 효과 그리고 웨이퍼 표면을 수용성 코팅 용액으로 코팅하여 가공 시 생성되는 가공부 주위에 가공찌꺼기가 서로 결합하여 붙어있는 상태(debris)의 제거 효과와 가공폭(kerf edge)[6]의 특성 연구를 수행하였다. 실험에 사용된 low-k 웨이퍼의 두께는 340 μm 이며 low-k 층의 두께는 약 5 μm이다.

### 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 보

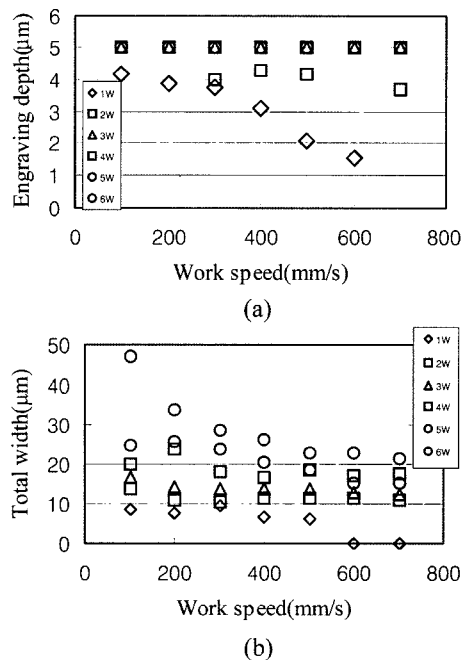


Fig. 2. Laser engraving depth and width with respect to power and work speeds. (a) engraving depth, (b) total engraving width.

여주고 있다. (a)에서 보듯이 1W와 2W 출력에서 300 mm/s 이상의 속도에서는 low-k층이 모두 인그레이빙 되지 않고, 4W 이상의 레이저 출력에서는 low-k층 모두가 500 mm/s이상의 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. 총가공 폭은 레이저 출력이 증가함에 따라 증가하는 경향을 띄었고, 가공 속도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. Low-k 웨이퍼의 가공선의 총 가공 넓이는 500 mm/s 이상에서 20  $\mu\text{m}$  이하로 나타났다.

**3.2. Assist gas 효과**

Fig. 3은 레이저 출력이 4W이고 가공 속도가 100, 300, 500, 700 mm/s 일 때, 보조 가스 유량을 10, 30, 50, 70 L/min으로 설정하여 각각의 경우에 대해 인그레이빙 실험을 수행한 결과이다. 100 mm/s의 낮은 가공 속도에서 보조 가스 유량이 10 L/min로 낮으면 주위로 전달되는 열이 많고, 70 L/min의 높은 유량에서는 주위로 전달되는 열이 적은 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 가스 유량이 low-k 웨이퍼 레이저 인그레이빙 가공 품질에 영향을 준다는 것을 알 수 있다[7].

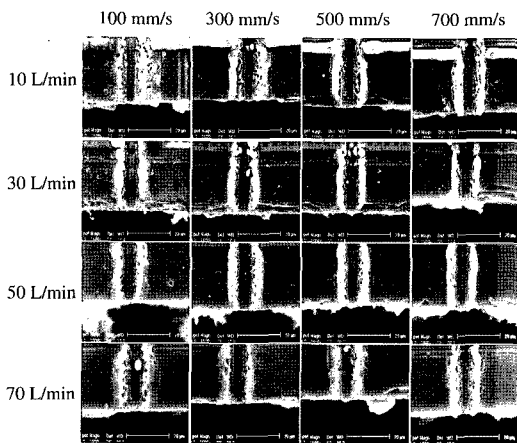


Fig. 3. Assist gas blow effects on laser engraving line.

Fig. 4의 (a)와 (b)는 레이저 출력이 3W, 가공 속도가 100, 300, 500, 700 mm/s일 때, 보조가스 유량을 10, 30, 50, 70 L/min로 변화하면서 low-k 웨이퍼의 street line을 레이저로 인그레이빙 한 후 생성된 debris 넓이 (a)와 총 가공 넓이(b)를 보여준다. Fig. 4에서 보는 바

와 같이 인그레이빙된 debris 넓이와 총 가공 폭은 가스 유량이 50 L/min까지 증가 할 수록 작아지는 것을 알 수 있고, 50 L/min 이상에서는 다시 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 가스 유량이 적으면 레이저 가공 시 생성되는 입자들을 충분히 날려내지 못하게 되어, 날아 가지 않은 입자들이 가공 선 위로 쌓여 debris폭이 증가하는 것으로 생각된다. 또한 가스 유량이 증가하여 50 L/min정도가 되면 가공 시 생성되는 입자들을 충분히 불어낼 수 있기 때문에 가공선 위에 쌓이는 debris 폭도 감소하는 것으로 생각된다. 가스 유량이 50 L/min보다 더 크게 되면, 가공 시 생성되는 입자들을 충분히 불어내지만 동시에 레이저의 열에너지를 가공선 주위로 전달시키기 때문에 가공선 주위에 열적인 효과가 더 넓게 나타나는 것으로 생각된다. 이러한 실험 결과를 통해 레이저 가공 시 가스 유량을 적절히 조절할 필요가 있음을 알았고, 본 실험에서는 50 L/min의 유량을 분사할 때 500 mm/s에서 가공 폭은 15  $\mu\text{m}$  이하가 되는 것을 알 수 있었다.

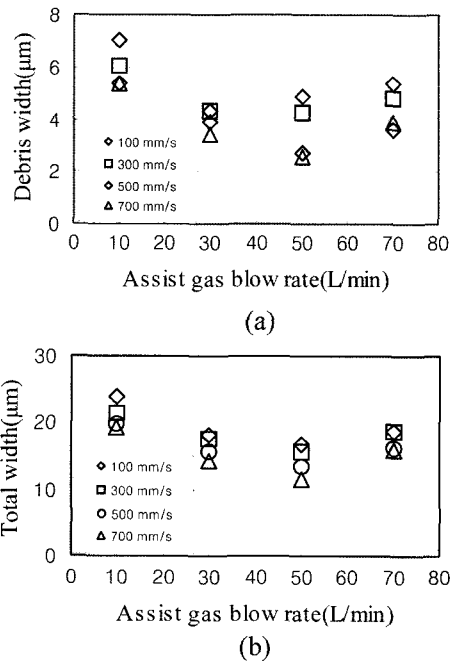


Fig. 4. (a) Total width and (b) debris width of engraved line with respect to blow rate of assist gas at 3W, respectively.

**3.3. free-debris를 위한 웨이퍼 코팅 후 세정효과**

Fig. 5는 수용성 코팅 용액을 사용하여 웨이퍼 표면을 코팅하여 레이저 인그레이빙 후, 세정된 표면의 debris 제거 특성을 보여준다. 웨이퍼를 코팅하지 않고

레이저로 인그레이빙하여 DI water로 세정한 것(a)과 웨이퍼를 코팅하고 레이저 인그레이빙하여 증류수(DI water)로 세정 했을 때, debris가 제거된 것(b)을 보여주고 있다. Fig. 5에서 보이는 것처럼 코팅 후 레이저 인그레이빙한 후 세정하게 되면 웨이퍼 표면에 가공 찌꺼기가 없어지고 생성된 debris도 제거되는 것을 확인하였다.

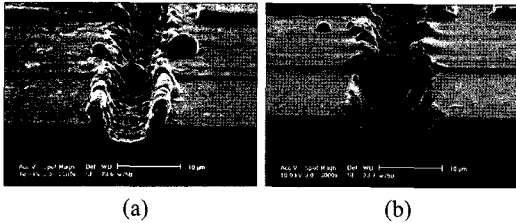
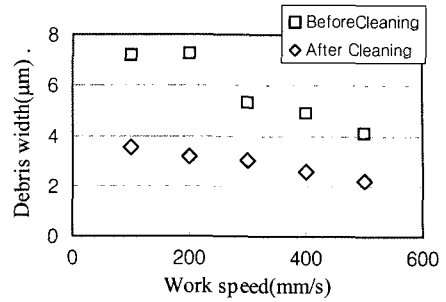


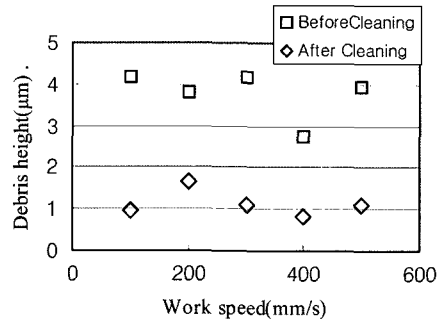
Fig. 5. Qualities of engraving edge of low-k layer after cleaning (a) without protective coating, and (b) with protective coating at 4W and 500 mm/s.

Fig. 6은 레이저 출력을 4W로 고정하고 가공 속도가 각각 100, 200, 300, 400, 500 mm/s인 경우에, 수용성 코팅 용액으로 low-k 웨이퍼를 코팅하여 레이저로 인그레이빙한 후 DI water로 세정하기 전과 후의 debris의 넓이(a)와 높이(b)에 대한 크기를 보여준다. Fig. 6의 (a)에서 보는 바와 같이 세정 전에 debris의 넓이는 가공 속도가 증가할수록 상대적으로 큰 폭으로 좁아지고 있으나 클리닝 후에는 가공 속도에 따라 완만한 기울기로 좁아지는 것을 알 수 있다. 또한 debris의 제거율은 생성된 debris의 양에 비례하는 것을 알 수 있고, 특히 500 mm/s에서는 4 µm에서 2 µm로 50%의 제거율을 보이고 있다. Fig. 6의 (b)에서 보이는 바와 같이 세정 전의 debris 높이는 가공 속도와 상관없이 비슷한 양이 생성되고 세정 후에도 속도와 상관 없이 비슷한 양으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이렇게 가공 속도에 상관없이 비슷한 높이로 debris가 생성되는 이유는 5 µm의 low-k 층을 각각의 속도에서 모두 가공하였기 때문에 생성되는 debris의 높이도 비슷한 것으로 판단된다. 클리닝 후 debris의 제거율은 4W의 500 mm/s 경우에 75%의 제거율을 보이고 있다.

본 실험을 통해 debris 제거율은 최대 100%에서 최소 50%임을 확인 하였다. 이렇게 debris 제거율이 변하는 주된 이유는 웨이퍼를 세정할 때 분사되는 증류수의 분사압이 충분히 크지 않기 때문으로 생각되며, 증류수의 분사압을 충분히 높여주면 생성된 debris는 모두 제거 할 수 있을 것으로 판단된다.



(a)



(b)

Fig. 6. Comparison debris (a) width and (b) height between before cleaning and after cleaning at 4W and 500 mm/s

## 4. 결 론

본 연구에서는 자외선 파장과 피코초(10-12초) 영역대의 펄스폭과 고 반복률을 갖는 레이저를 이용하여 low-k 웨이퍼 인그레이빙 특성에 관하여 연구하였다. 실험 결과 인그레이빙 된 선 폭은 생성된 debris의 양과 폭에 영향을 받는다는 것을 확인 하였다. 또한 가공선 주위로 전달되는 열적효과와 가공선의 내부에 잔존하는 가공 찌꺼기들은 보조 가스를 불어주면 깨끗이 없앨 수 있다는 것을 확인하였다. 생성되는 debris는 수용성인 웨이퍼 코팅용액의 사용으로 제거가 되는 것을 확인 할 수 있었다. 결론적으로, low-k 웨이퍼의 인그레이빙에 있어서 펄스폭이 짧고 고 반복률을 갖는 자외선 레이저를 사용하면 500 mm/s 이상의 빠른 가공 속도에서 주위의 열전달 효과를 최소화 하여 우수한 인그레이빙 품질을 얻을 수 있음을 확인하였다.

## 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 공통핵심기술개발사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

### 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 Wafer & Difficult Processed Substrates: A Niche Area over Saw Dicing", JLMN, Vol. 1, No. 1, pp.84-88, 2006.
3. Mingwei Li, Kevin Hartke, "Study of silicon micro-machining using diode-pumped solid-state lasers", Proc. of SPIE Vol. 5339, pp.64-72, 2004.
4. Andreas Ostendorf, Frank Siegel, "Micro-machining using high energy picosecond laser pulses a cause-effect consideration", ICALEO Processing Using Ultrashort Laser Pulses, pp.62-69, 2004.
5. Gerard M. O'Connor, Helen Howard, Alan J. Conneely and Thomas J. Glynn, "Analysis of debris generated during UV laser micro-machining of silicon", Proc. of SPIE Vol. 5339, pp.241-249, 2004.
6. K C Yung, H H Zhu and T M Yue, "Theoretical and experimental study on the kerf profile of the laser micro-cutting NiTi shape memory alloy using 355 nm Nd: YAG", Smart Materials and Structures. 14, pp. 337-342, 2005.
7. KaiDong Ye, chengWu An, MinHui Hong, YongFeng Lu, "Wafer dicing by laser induced thermal shock process", Proc. SPIE Vol. 4557, pp.174-182, 2001.