

Wafer-Sawing시 발생하는 particle을 효과적으로 제거하기 위한 DI water 노즐의 최적 설계

김병수 · 이기준 · 이성재

충남대학교 전자공학과

DI water Nozzle Design for Effective Removal of the Particles Generated during Wafer-sawing

Byung-soo Kim, Ki-jun Lee and Song-jae Lee

Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

초 록: CCD(Charge-Coupled Device) wafer와 같이 표면이 polymer 성분의 micro lens로 구성되어 있는 경우 passivation 막을 도포하지 않는 것이 보통인데, 이때 particle이 lens 표면에 쉽게 달라붙는 현상이 나타나게 된다. 특히 sawing하면서 발생하는 particle은 치명적인 불량을 유발한다. 본 연구에서는 sawing에서 발생한 particle을 효과적으로 flushing하기 위한 방안으로 측면노즐과 중심노즐의 분사위치, 분사각도, 퍼짐각도를 최적화 하고, 이를리 flushing 노즐을 추가한 새로운 형태의 wafer saw를 도입하였다. 개선된 saw를 적용하여 실험한 결과 particle로 인한 CCD chip의 불량률이 9.1%로부터 0.63%로 현격하게 개선되었음을 확인할 수 있었다.

Abstract: CCD(Charge-Coupled Device) wafers, with a layer of micro lenses on top, usually are not passivated with dielectric films. Micro lenses, in general, are made of polymer material, which usually has a large affinity for particles generated in the various chip fabrication processes, most notably the wafer sawing for chip-dicing. The particles deposited on the micro lens layer either seriously attenuate or deflect the incoming light and often lead to CCD failure. In this study we introduce new type of saws which would significantly reduce the particle-related problems found in conventional type of saws. In the new saws, the positions and diverging angles of side and center nozzles have been optimized so as to flush the particles effectively. In addition, an independent nozzle is added for the sole purpose of flushing the generated particles. The test results show that, with the new saws, the ratio of the particle-related CCD chip failures has been dropped drastically from 9.1% to 0.63%.

Keywords: CCD(Charge Coupled Device), sawing, particle, flushing nozzle

1. 서 론

CCD(Charge Coupled Device) wafer의 표면은 Fig. 1(a)에 보인 바와 같이 보통 polymer 재질로 이루어진 micro lens층으로 이루어져 있는데, 일반적인 Si wafer 공정에서 사용되고 있는 passivation 막을 도포할 경우 micro lens의 profile이 크게 왜곡되

어져 lens가 제 기능을 발휘하지 못하게 된다. 이와 같은 이유로 CCD wafer의 경우에는 passivation 처리를 하지 않는 것이 보통이다¹⁾. 하지만 passivation 공정을 생략할 경우, micro lens에 이물질이 쉽게 달라붙게 되어 불량을 유발시킬 가능성이 매우 커지게 되는 문제점이 있다. 특히, 보통 micro lens를 이루는 polymer 재질은 wafer sawing 공정 시 다량 발생되는 particle에 대한 친화력이 매우

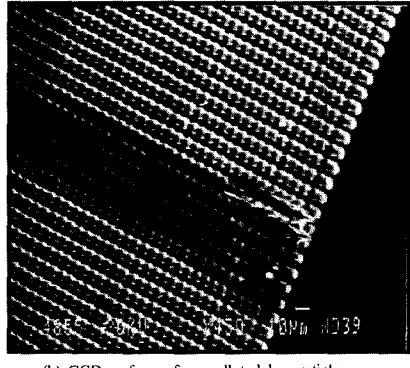
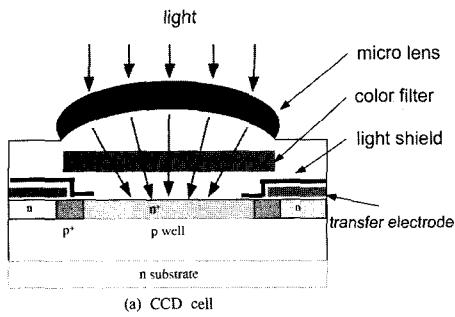


Fig. 1. (a) A typical CCD device and (b) its wafer surface.

커서 wafer의 불량률을 크게 상승시키는 요인으로 작용하고 있다. Fig. 1(b)는 particle들로 오염된 CCD wafer 표면의 한 예를 보여 주고 있는데, 이들 particle들은 CCD 소자로 투과되는 입사광을 흡수하거나 진행 경로를 크게 교란시키게 되어 device 불량을 야기 시키게 된다.

Fig. 2는 일반적인 wafer의 sawing에 흔히 사용되고 있는 saw의 schematic을 보여주고 있는데, saw는 크게 고속으로 회전하는 diamond 분말로 coating된 blade wheel과, DI(De-Ionized) water를 분사시키는 노즐로 구성되어 있다고 할 수 있다^{2,3)}. 보통 노즐은 blade wheel의 측면에 위치하여 DI water를 분사시켜 주는 두 개의 측면노즐과 blade wheel에 나란한 방향으로 DI water를 분사시켜 주는 한 개의 중심노즐로 구분할 수 있다⁴⁾. 이들 노즐로부터 분사된 DI water는 냉각기능, 윤활 기능 외에 발생된 particle을 쓸어내리는(flushing) 기능을 한다고 할 수 있다^{5,6)}. Fig. 2에 보인 바와 같은, CCD wafer의 sawing-용으로 특화되지 않은 일반적인 saw를 CCD wafer sawing 공정에 적용할

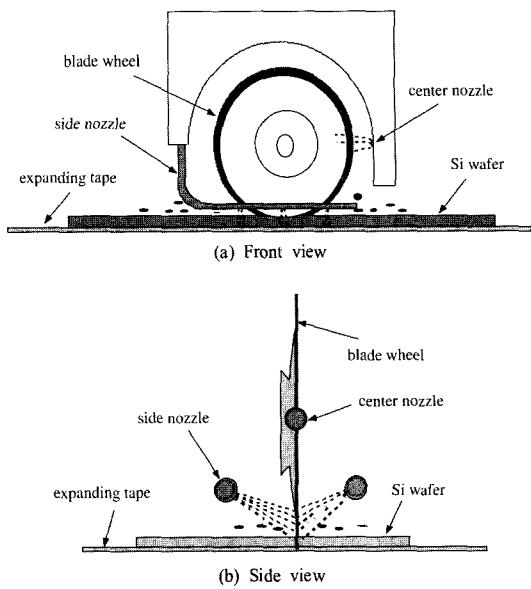


Fig. 2. Schematics of the conventional wafer saw. (a) front view and (b) side view.

경우 다음과 같은 문제점이 들어났다. 즉 중심노즐의 경우, 분사된 DI water가 wafer와 blade wheel이 서로 접촉하는 지점으로 향하는 대신에 blade wheel의 중앙 쪽으로 향하도록 설계되어 있어서 발생된 particle을 쓸어내는 기능이 전혀 없다는 문제점이 나타났다. 한편 측면노즐의 경우에는, DI water 분사 각도가 너무 좁게 설계되어 있어서 분사된 DI water가 blade wheel과 kerf(wafer sawing line) 근처에만 도달하게 됨으로써 wafer의 광범위한 영역에 달라붙게 되는 particle에 대한 flushing 기능이 매우 미미해진다는 점이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 기존의 wafer saw가 갖는 위와 같은 문제점을 크게 개선시킨 CCD wafer에 특화된 saw에 대하여 연구하였는데, 그 개념도를 보면 Fig. 3에 보인 바와 같다. 개선된 saw의 가장 중요한 특징의 하나는 중심노즐의 위치를 CCD wafer 표면에 가깝게 배치하는 한편 DI water의 분사방향을 blade wheel의 중심으로부터 wafer와 blade wheel의 접촉이 이루어지는 지점으로 향하도록 하였다는 점이라고 할 수 있다. 이렇게 함으로써, 중심노즐로부터 분사된 DI water는 냉각기능과 윤활 기능을 수행하는 일 외에, 발생된 particle이 wafer 표면에 부착되기 이전에 쓸어내는 flushing 기능까지도 수행하게 된다. 또한 측면노즐의 경우에는,

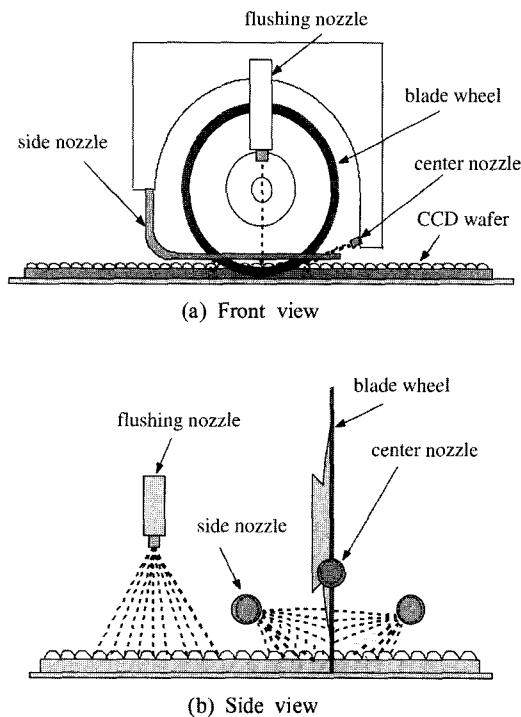


Fig. 3. Schematic figures of the CCD wafer saw used for this study. (a) front view and (b) side view.

DI water의 분사각도를 크게 증가시킴으로써, 윤활 및 냉각 기능 외에 flushing 기능도 추가하였다. 이와 아울러 개선된 saw에서는, Fig. 3(b)에 보인 바와 같이 flushing 기능만을 전담하는 노즐을 별도로 설치함으로써 particle의 flushing 기능을 크게 강화시켰다.

2. 본 론

2.1 Saw의 주요 규격

실험을 위해 사용된 saw는 DISCO사의 DFD-640 model을 기본으로 선택하였다. Blade wheel의 주요 parameter로는 Fig. 4(a)에 표시된 바와 같이 blade wheel의 두께 T(thickness)와 blade wheel의 hub 밖으로의 노출 길이 E(exposure), blade wheel의 직경 L(length)을 들 수 있는데, blade wheel은 보통 다음과

$$E = 20T \quad (E_{max}=30T) \quad (1)$$

$$D = 10T \quad (D_{max}=15T) \quad (2)$$

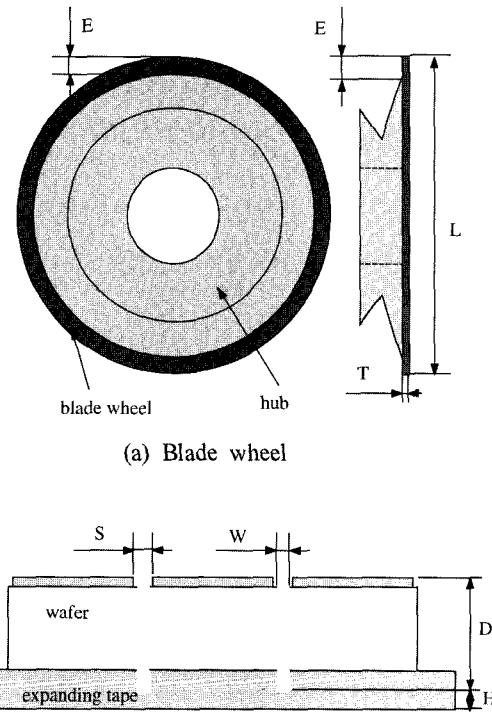


Fig. 4. Schematic diagram of (a) the blade wheel and (b) diced CCD wafer.

$$W = 1.1T \quad (3)$$

과 같은 관계식을 적용하여 선정되고 있다⁴⁾. 식 (1)~식(3)에서 D, W는 각각 Fig. 4(b)에 표시된 바와 같이 sawing 깊이(depth), kerf의 폭(width)을 의미하며, Fig. 4(b)에서 S와 H는 각각 sawing 허용 폭(street line width)과 sawing되지 않고 남은 expanding tape의 높이(height)를 나타낸다. 본 실험에서 사용된 blade wheel은 DISCO사의 27HEFF model을 택하였는데, 이 경우 T, E, L은 각각 0.04-0.05 mm, 1.02-1.15 mm, 55.57 ± 0.01 mm의 값을 갖는다⁷⁾.

2.2 실험방법

먼저 중심노즐의 경우, DI water 분사점의 위치와 함께 분사방향과 퍼짐각도는 중심노즐의 가장 중요한 변수라고 할 수 있는데, 이들 변수는 Fig. 5의 중심노즐의 설계도에 따라 결정하였다. 우선 중심노즐의 위치는 설치공간상의 제약을 감안하

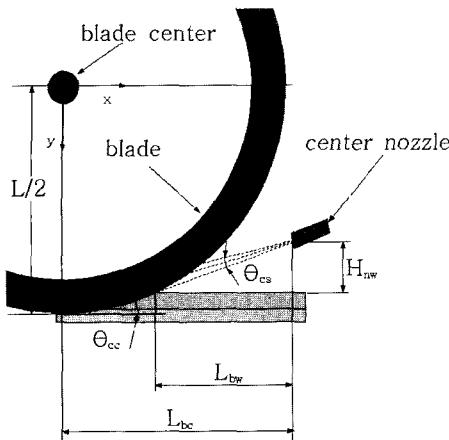


Fig. 5. The design of the center nozzle.

여 wheel center로부터 아래쪽으로 약 20 mm 정도 내려온 지점으로 택하였는데, 이 경우 nozzle 끝에서 wafer 표면까지의 높이 H_{nw} 는 7.1 mm 정도가 되었다. 그리고 중심노즐의 blade wheel의 중심으로부터 수평방향으로의 거리 L_{bw} 는 30 mm가 되도록 선정하였다. 노즐의 분사방향을 나타내는 방법의 하나는 분사되는 water beam의 중심선과 wafer 표면이 이루는 각 θ_{cc} 를 지정해 주는 것이라고 할 수 있다. Water beam의 중심선이 blade wheel의 최저점에 도달하도록 선정할 경우 θ_{cc} 는

$$\theta_{cc} = \tan^{-1}\left(\frac{D + H_{nw}}{L_{bw}}\right) \quad (4)$$

와 같이 주어진다. 여기서 sawing depth D는 blade wheel 두께 T의 1/2값과 wafer 두께를 합한 값으로 0.71 mm을 사용하고 위에서 주어진 변수들을 이용할 경우 θ_{cc} 의 값으로 14.6° 를 얻을 수 있었다.

Blade wheel의 wafer 표면과 최초로 접촉이 이루어지는 지점의 위치 L_{bw} 는 다음의

$$(L_{bc} - L_{bw})^2 + \left(\frac{L}{2} - D\right)^2 = \left(\frac{L}{2}\right)^2 \quad (5)$$

원의 방정식을 만족한다. 위에서 결정된 변수들을 대입하여 계산한 결과 L_{bw} 로 23.8 mm을 얻었다.

중심노즐의 마지막 변수인 water beam의 퍼짐각은 water beam의 분포가 노즐의 중심축에 대하여 대칭형태를 보이며, water beam 분사방향의 최저

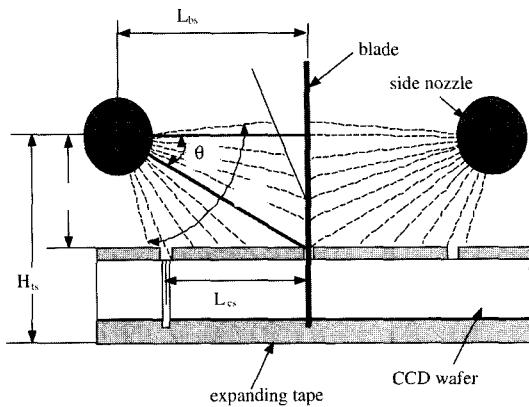


Fig. 6. The design of the side nozzle.

점이 blade wheel과 wafer 표면과의 최초의 접촉이 이루어지는 지점으로 향하는 정도로 충분하다고 간주할 경우 water beam의 퍼짐각 θ_{cs} 는

$$\theta_{cs} = 2 \left\{ \tan^{-1}\left(\frac{H_{ws}}{L_{bw}}\right) - \theta_{cc} \right\} \quad (6)$$

와 같이 표현된다. 위에서 얻은 변수들을 식(6)에 대입할 경우 θ_{cs} 는 4° 로 계산 되어진다.

측면노즐의 경우도 중심노즐의 경우와 비슷한 방법으로 중요 설계변수들을 정의할 수 있는데, 측면노즐의 분사방향과 퍼짐각도는 Fig. 6의 측면노즐 설계도를 기준으로 하여 결정하였다. 측면노즐의 위치는 그림과 같이 측면노즐 설계도에서 blade wheel로부터 수평방향에 대한 거리 L_{bs} 와 wafer의 밑면에 부착된 expanding tape로부터 측면노즐까지의 수직방향에 대한 거리 H_{ts} 에 의하여 결정된다고 할 수 있는데, DFD-640 model의 경우 L_{bs} 와 H_{ts} 는 각각 7.5 mm와 5.5 mm 정도이다. 분사방향은 water beam의 중심선과 blade wheel에 수직인 면이 이루는 각 θ_{sc} 에 의해 결정되는데, water beam의 중심선이 blade wheel과 wafer가 만나는 지점을 향하도록 선정할 경우 θ_{sc} 는

$$\theta_{sc} = \tan^{-1}\left(\frac{H_{ws}}{L_{bs} - \frac{S}{2}}\right) \quad (7)$$

와 같이 표현 되어진다. 여기서 sawing 허용 폭 S 는 0.13 mm을 사용하였으며, H_{ws} 는 wafer 표면에서부터 side nozzle까지의 수직방향에 대한 거리로 표현될 수 있는데 다음

$$H_{ws} = H_{ts} - D - H \quad (8)$$

의 관계식으로부터 구할 수 있다. 여기서 sawing 되지 않고 남은 높이 H 의 값으로 0.09 mm를 적용하였는데 이 값은 실험에서 27HEFF blade wheel과 두께 0.12 mm의 expanding tape를 사용하였기 때문이다. 위에서 얻은 변수들을 식(8)에 대입하면 H_{ws} 는 4.7 mm로 계산 되어진다. 끝으로 식(8)의 계산 결과와 위에서 주어진 변수들을 식(7)에 대입하면 θ_{sc} 의 값은 $29.6^\circ\sim32.3^\circ$ 로 계산되어 진다.

Side nozzle의 DI water 퍼짐각도는, water beam의 모양이 beam의 중심선에 대하여 좌우 대칭 형태로 주어진다고 가정하고, water beam 분사방향의 최저점이 최소한 CCD chip의 한 개의 폭에 걸쳐 분사되어 질 수 있도록 하였다. 이 경우 water beam의 분사각 θ_{ss} 는 다음의

$$\theta_{ss} = 2 \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{H_{ws}}{L_{bs} - L_{cs} - \frac{3S}{2}} \right) - \theta_{sc} \right\} \quad (9)$$

관계식을 만족하게 된다. 여기서 CCD chip 1개의 폭 L_{cs} 로는 6.0 mm를 사용하였다. 주어진 parameter와 위에서 구한 θ_{sc} 를 식(9)에 대입할 경우 측면노즐의 DI water 퍼짐각도 θ_{ss} 는 90° 로 계산되어 진다.

본 실험에서 특기할 만한 사항의 하나는, 기존의 saw에서는 제공되지 않는 flushing 노즐을 새롭게 추가하였다는 점이라고 할 수 있다. 기존의 경우, 측면노즐과 중심노즐은 DI water의 분사압력이 낮을 뿐만 아니라 동시에 이들 nozzle의 분사영역이 크게 제한되어 있어서 많은 문제점이 나타났다. 즉 kerf 내부와 expanding tape 접착면에 달라붙는 particle이 쉽게 제거되지 못할 뿐만 아니라, 크게 제한되어 있는 분사영역으로 말미암아 wafer 표면의 전 영역에 부착되어 있는 particle에 대한 flushing 기능이 원활하게 이루어지지 못하였다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방안으로 본 연구에서는, Fig. 7의 flushing nozzle의 개략도와 같이, 크게 증가된 압력의 DI water를 wafer 표면의 넓은 영역에 분사시켜줄 수 있는 flushing nozzle를 새롭게 추가하였다. 여기서 주목할 점은 flushing nozzle의 DI water의 압력이 너무 증가될 경우 micro lens가 손상을 피하기 어렵다는 점과, 한편으로 flushing nozzle가 blade wheel에 너무 가깝게 위치할 경우, 분사된 고압의 DI water에 의해 blade wheel이 휘어짐으로써 kerf의 위치가 원하는 지점으로부터 벗어난다는 점이라고 할 수 있다. 이와 같은 사항들을 적절히 고려하여 flushing nozzle의 위치, 즉 wafer의 밑면에 부착된 expanding tape로부터의 수직 방향의 거리 H_m 은 15 mm 정도이고 blade wheel로 부터의 수평 방향의 거리도 역시 15 mm 떨어진 지점에 위치하도록 설치하였다.

Flushing nozzle의 분사된 DI water의 퍼짐각도는 CCD chip의 폭 L_{cs} 값의 2배 정도를 flushing해 줄 수 있도록 할 경우, 퍼짐각도 θ_{ns} 는

$$\theta_{ns} = 2 \tan^{-1} \left(\frac{L_{cs} + \frac{S}{2}}{H_{wn}} \right) \quad (10)$$

와 같이 표현되는데, 위에서 주어진 parameter를 식(10)에 대입하면 θ_{ns} 는 46° 로 계산되어 진다.

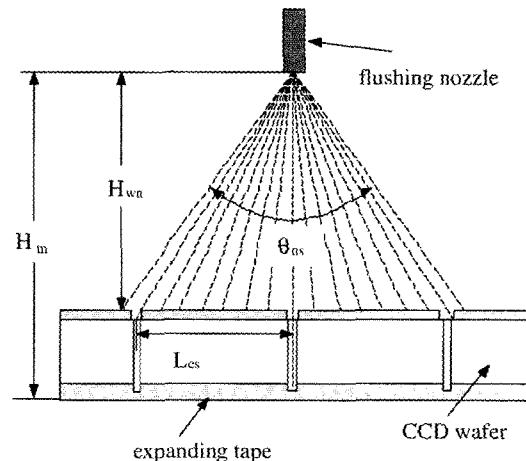


Fig. 7. The design of the flushing nozzle.

3. 결과 및 고찰

일반적으로 노즐은 water beam의 분사지점의 위치, 분사방향, 퍼짐각 등의 3개의 변수를 갖고 있다고 할 수 있는데, 본 연구에서 사용된 saw는 중심노즐, 측면노즐 및 flushing 노즐을 갖추고 있기 때문에 철저한 실험을 하기 위해서는 9개의 설계 변수들을 독립적으로 변화시켜 가면서 실험의 결과를 관측해야 한다고 할 수 있다. 하지만 본 실험에서는 실험의 편리성을 고려하여 중심노즐과 측면노즐의 경우에는 분사지점의 위치와 퍼짐 각은 앞 절에서 계산된 값으로 고정하고 분사방향만을 변화시켜 가면서 발생된 particle의 제거에 미치는 영향을 살펴보았다. 한편 flushing 노즐의 경우에는 분사지점의 위치와 분사방향을 고정하고 퍼짐 각만을 변화시켜 가면서 실험을 하였다.

Fig. 8은 측면노즐에 대한 분사방향 θ_{sc} 와 퍼짐각 θ_{ss} 를 각각 앞 절에서 구한 값, 즉 $\theta_{sc} = 32.3^\circ$, $\theta_{ss} = 90^\circ$ 로 고정한 상태에서, 중심노즐의 분사방향을 의미하는 각 θ_{cc} 만을 0° 부터 60° 까지 순차적으로 변화시키면서 particle의 발생비율을 측정한 결과를 보여주고 있다. 세로축은 wafer 10매로부터 얻은 전체 불량 chip중에서 particle에 의하여 발생된 불량 chip의 비율을 의미한다. 그림에서 알 수 있듯이 θ_{cc} 가 약 15° 에서 최적의 결과를 보여주고 있는데, 이 경우 중심노즐의 water beam의 wafer 상에서의 겨냥지점은 blade wheel의 최저점으로부터 x 축 방향으로 1 mm정도 당겨진 지점이었다. 실험

결과로부터 θ_{cc} 가 15° 보다 작은 값을 갖게 되면 particle의 발생비율이 점점 증가하는 결과를 보여주고 있는데, 이 경우 분사된 DI water의 겨냥지점이 wafer의 위쪽으로 점점 더 벗어나게 되어 발생된 particle을 충분하게 flushing하지 못하게 되기 때문이다. 한편 θ_{cc} 가 15° 보다 너무 큰 값을 갖는 경우에도 particle 발생이 급격히 증가하는 현상을 보여주고 있는데, 이 경우에는 분사된 DI water의 겨냥지점이 실제 sawing이 이루어지는 지점으로부터 너무 앞쪽으로 당겨지게 되어 역시 발생된 particle들을 충분하게 flushing 해주지 못하기 때문인 것으로 분석된다.

Fig. 9는 중심노즐에 대한 분사방향 θ_{cc} 와 퍼짐각 θ_{cs} 를 각각 Fig. 8로부터 얻은 최적 값, 즉 $\theta_{cc} = 15^\circ$, $\theta_{cs} = 4^\circ$ 로 고정한 상태에서, 측면노즐의 water beam의 분사방향을 의미하는 θ_{sc} 를 0° 부터 60° 까지 순차적으로 변화시키면서 particle 발생량을 측정한 결과를 보여주고 있다. 여기서 주목할 점은 side nozzle의 퍼짐각 θ_{ss} 는 앞에서 계산된 값인 90° 로 고정하였다. 그럼에서 알 수 있듯이 분사 중심 beam의 각도 θ_{sc} 가 33° 일 때 최적의 결과를 보여줄 수 있는지 알 수 있는데, 이 경우 중심 water beam의 겨냥 지점은 blade wheel과 wafer가 만나는 지점으로부터 앞쪽으로 0.2 mm 정도 당겨진 지점이었다. 실험결과로부터 θ_{sc} 가 33° 이하인 경우에는 water beam의 겨냥지점이 wafer의 위쪽으로 올라가게 되어 발생된 particle에 대한 flushing 효과가 감소되는 것으로 분석된다. 이에 비하여 θ_{sc}

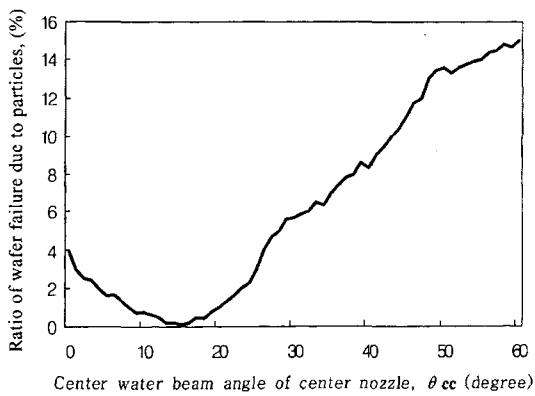


Fig. 8. Ratio of wafer failure due to particles as a function of center water beam angle of center nozzle.

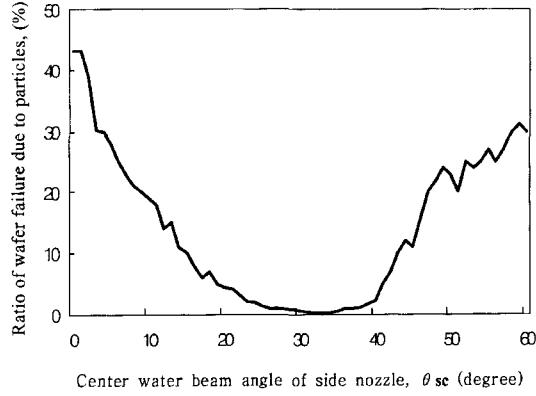


Fig. 9. Ratio of wafer failure due to particles as a function of center water beam angle of center nozzle.

가 33° 를 넘는 경우에는 중심 water beam이 blade와 wafer가 닿는 부분을 겨냥하지 못하기 때문에 particle을 flushing하는 효과가 감소되는 것으로 분석된다.

Fig. 10은 flushing 노즐의 분사 퍼짐각도 θ_{ns} 가 particle 발생에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 분사방향은 wafer에 대하여 수직인 방향으로 고정하고, 퍼짐각도 θ_{ns} 만을 변화시켜 가면서 발생된 particle의 양을 측정한 결과를 보여 주고 있다. 퍼짐각도 θ_{ns} 를 미세하게 변화 시켜가면서 실험을 하는 것이 효과적이지만 제작상의 어려움으로 인하여 그림에서와 같이 $30^{\circ}, 45^{\circ}, 60^{\circ}$ 의 경우에만 국한하여 실험하여 결과를 얻었는데, θ_{ns} 가 45° 일 때 불량률이 약 5%로서 가장 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 이때 분사 beam이 wafer 표면에 접촉되는 폭은 실험에서 사용된 chip의 폭 L_{cs} 의 2배 정도가 되었다.

Fig. 11은 위에서 얻은 최적의 nozzle 변수로 고정한 상태에서 약 4개월간의 비교적 긴 시간동안에 걸쳐 이루어진 측정 결과를 보여주고 있는데, 기존의 saw를 이용한 경우 4개월 평균의 particle의 발생비율이 9.1%인데 비하여 개선된 saw의 경우에는 그 비율이 0.63%로 현격하게 감소됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 12(a)와 12(b)는 각각 기존의 saw와 개선된 saw를 적용하여 얻은 샘플들의 표면사진의 예들을 보여주고 있는데, 개선된 saw를 사용하여 얻은

샘플의 경우 표면상태가 크게 개선되었다는 것을 확인해 알 수 있다. 한편 본 연구에서 적용한 saw

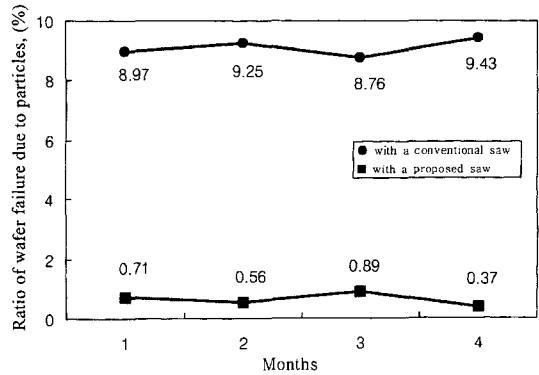
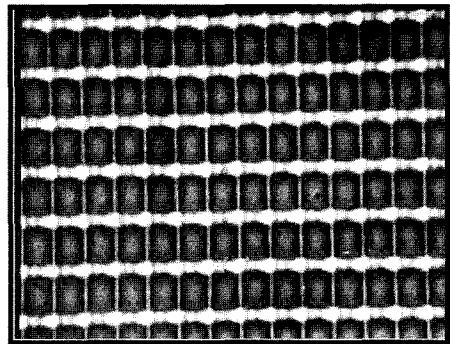
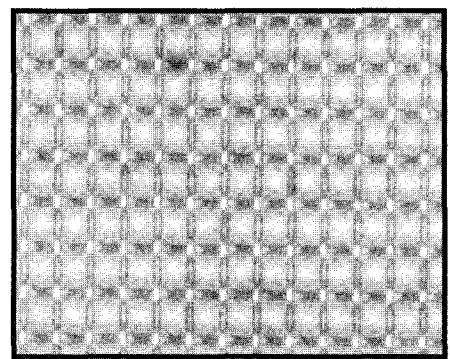


Fig. 11. Ratio of wafer failure due to particles observed a long time period. (● : with a conventional saw, ■ : with a proposed saw).



(a) With a conventional saw



(b) With a proposed saw

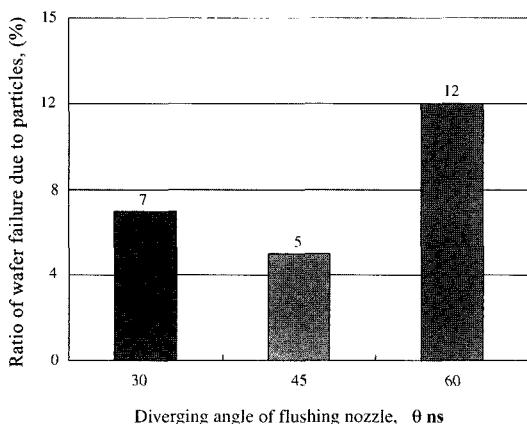


Fig. 10. Ratio of wafer failure due to particles as a function of diverging angle of flushing nozzle.

Fig. 12. The surface of sawed CCD wafers with (a) a conventional saw and (b) a proposed saw.

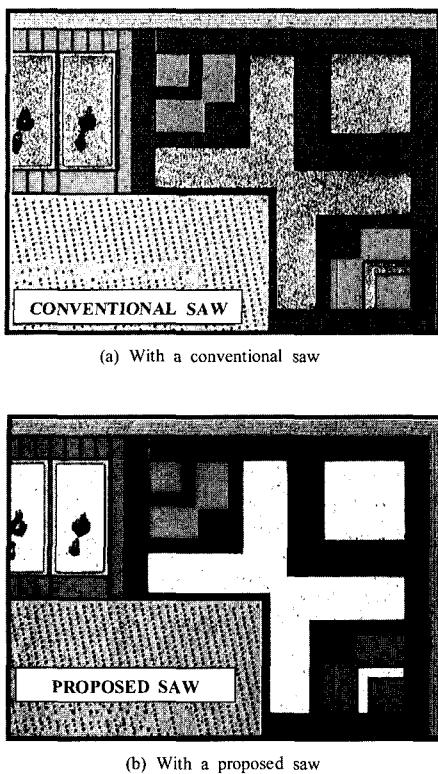


Fig. 13. The surface of sawed wafers with wide bonding pad using (a) a conventional saw and (b) a proposed saw.

는 CCD wafer 뿐만 아니라, 상대적으로 넓은 면적의 bonding pad (bonding pad의 경우 passivation 처리를 할 수 없음)를 갖는 wafer의 경우에도 매우 효과적이라는 사실을 확인할 수 있었다. 한 예로서 Fig. 13(a)와 13(b)는 각각 기존의 saw와 개선된 saw를 적용하여 얻은 넓은 면적의 bonding pad를 갖는 wafer 샘플들의 표면사진의 예들을 보여주고 있는데, 개선된 saw를 사용하여 얻은 샘플의 경우 표면상태가 크게 개선되었다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

CCD wafer와 같이 표면에 passivation 처리를 하

기 어려운 경우에, sawing 공정에서 발생한 particle은 wafer 표면에 달라붙어서 품질 불량을 일으키기도 하지만, 후속 공정을 진행하면서 원부자재의 오염을 유발하여 또 다른 불량을 발생시킬 위험이 매우 높다^{8,9)}. 이러한 문제를 해결하기 위해서 측면노즐과 중심노즐의 분사위치, 분사각도, 퍼짐각도를 최적화 하고, 아울러 flushing 전용의 새로운 노즐을 추가한 새로운 형태의 wafer saw를 제작하였다. 제작된 saw를 적용하여 실험한 결과 particle로 인한 CCD chip의 불량률이 9.1%로부터 0.63%로 현격하게 개선되었음을 확인할 수 있었다. 이와 같이 개선된 saw는 넓은 면적의 bonding pad를 갖고 있는 wafer에 대해서도 발생된 particle을 제거하는 효과가 매우 탁월함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Gerald C. Holst, "CCD Arrays, Cameras, And Displays", JCD publishing, pp. 90-121(1996).
2. Efrat U., "Optimizing the wafer dicing process", Proceedings IEEE/CHMT, pp. 245-253(1993).
3. Koichi Kondo, "DAD-2H/6T Operation manual and Technical guide", Disco Corp., B21(1995).
4. Koichi Kondo, "DFD-640 Operation manual and Technical guide", Disco Corp., F14-15(1998).
5. H. D. Jerro, S. S. Pang, C. Yang, and R. A. Mirshams, "Kinematics analysis of the chipping materials using superabrasive diamond tools", Proceedings of the ASME/ETCE 1995 Energy Sources Technology Conference & Exhibition, 71, pp. 83-88(1995).
6. H. D. Jerro, S. S. Pang, C. Yang, and R. A. Mirshams, "Grit distribution in superabrasive diamond sawing", International Journal of Advanced Manufacturing Systems, 1(1), pp. 25-38(1998).
7. Keiichi Kajiyama, "Dicing blades and wheels", Disco Abrasive Systems K.K., 1(2001).
8. Michael Pecht, "Handbook Of Electronic Package Design", Marcel Dekker, pp. 587-611(1991).
9. Rao R. Tummala, Eugene J. Rymaszewski, "Microelectronics Packaging Handbook", Van Nostrand Reinhold, pp. 361-453(1989).