65nm급 300mm Wafer 세정조 개발을 위한 유동 특성연구

김진태†, 김광선*,이승희*, 정은미 *

†한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과, *㈜K.C.Tech

Abstract

The cleaning process to remove small particles, ions, and other polluted sources is one of the major parts in the recent semiconductor industry because it can cause fatal errors on the quality of the final products. According to the other reports, the major factors of bath's fluid motion are the cleaning method, nozzle, the geometry (of bath, guide and wafer), and the position (of guide and wafer). So to enhance cleaning efficiency in the bath, these factors must be controlled. The purpose of this study is to analyze and visualize fluid motion in the cleaning bath as basic data for designing the nozzle system and finding the process control parameters. For that, we used the general CFD code FLUENT.

Key Words : Cleaning process, Overflow, Nozzle Design, Bath Simulation

1. 서론

반도체 산업에서 세정의 목적은 메모리, 비메모리Device의 모체인 Wafer표면과 이면에 불필요한 요소들을 제거하는 것이다. 제조공정상 Wafer내 오염제어기술은 수율(yield)과 직접적인 함수 관계를 갖고 있기에 사업의 성공여부를 좌우할 수 있을 정도로 매우 중요한 단위공정이다. 오염제어기술의 한 부분으로 세정(Cleaning)기술은 1970년 RCA사가 발표한 세정을 기본으로 하여 업계에서 널리 이용되고 있다. 최근 몇 가지 다른 세정방법들이 선보였지만 각각 심각한 한계가 있어 실질적으로 기존의 RCA 타입세정에 비해 실익이 크지 않은 것으로 알려지고 있다. 기본적인 기술은 같지만 반도체 제조회사별로 Know-How가 가장 많은 분야인 만큼 공정장비 제조회사에 따라 차이가 있어 공개 되어진 기술적 체계가 부족한 실정이다.

이로 인하여 세정조의 효율을 높이기 위한 많은 연구와 실험이 진행되었고 또한 여러 연구에서 세정조의 Cleaning efficiency을 좌우하는 요인들은 세정흐름 방식, 세정 액의 투입량, 세정조의 내부구조, Wafer와 Guide의 기하학적 구조 및 위치, 세정조 내부의 유동흐름 특성이라 밝히고 있다. 또한 세정조는 Wet Station 내부의 하나의 Module로서 세정효율 하나만을 위해 독자적인 구조변경과 공정조건의 변화가 불가능하다. 따라서 제한된 실제 공정조건에서 변형이 가능한 세정액의 투입, 세정조 내부구조 변형 및 개선으로 세정의 효과적인 흐름 패턴을 알아야 한다. 기존의 많은 연구에서 세정조의 Outlet 부분의 형상 변형 Wafer Guide 변형 등을 통해 유동현상의 최적화를 시도하였다. 하지만 본 연구에는Bath의 세정효율에 가장 중요한 Factor인 균일한 약액 분포를 위하여 새로운 Nozzle의 형상을 제안하고 세정조내 유체 유동의 흐름의 가시화를 통하여 유동제어 방식을 연구하여 세정효율을 높일 수 있는 유동의 흐름 패턴을 찾는 것을 목적으로 한다.

† E-mail: kjt07@kut.ac.kr

2. 해석

2.1 해석대상

본 연구에 사용된 모델은 ㈜K.C.Tech에서 제공된 설계 도면을 바탕으로 모델링 하였으며 Fig. 1은 세정조의 물리적 형상이며 세정조내 Wafer 50매가 수직 Guide와 수평 Guide에 의해 지지 및 유지가 되어있다. No.1 Wafer에서 No.50 Wafer방향으로 약액이 공급되며 약액이 102개의 Hole을 통하여 토출되어 바닥에서 상부방향으로 Overflow된다. 실제 형상의 세정조는 Overflow 되는 약액을 처리하는 이중구조로 되어있지만 본 연구에서는 배제하였고 Wafer를 지지하는 수평 Guide도 실제 형상에 비해 간략화 시켜 모델링 하였다.

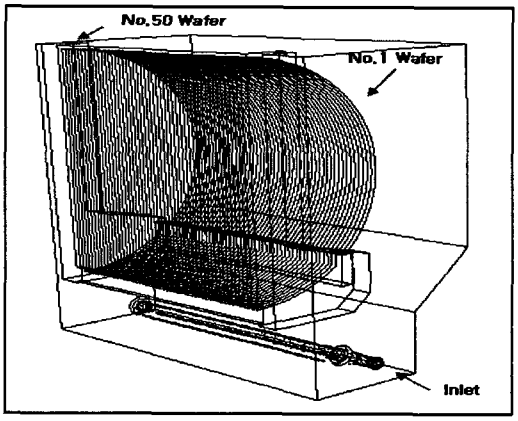

Fig. 1. Half modeling of RAL Type Bath

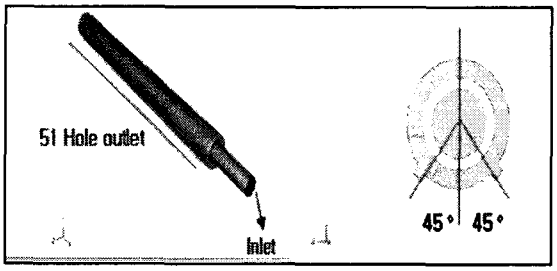

Fig. 2. Nozzle modeling

Fig. 2는 세정조내 유동특성을 결정하는 가장 주요한 인자인 Nozzle의 형상을 나타낸다. 이중형상으로 되어있는 Nozzle은 약액이 Injection 되면 Inner Nozzle 상부에 있는 51개의 Hole을 통하여 Outer Nozzle 로 흐르게 되고 Y축을 하부방향을 기준으로 좌우 45°각도로 되어있는 각 51개의 Hole (Total 102 Holes)로 토출된다.

2.2 해석방법

65nm급 Wafer세정 장비개발을 위해 세정조 내부 약액 흐름의 균일성 확보 방안을 도출해야 한다. 이를 위해서는 실험적 방법과 수치 해석적 방법이 있으나 여러 Type의 세정조를 설계 제작, 실험하는 것은 가공경비 및 시간의 측면에서 많은 제약이 따른다. 따라서 본 연구에서는 세정조의 유체역학적 흐름 특성에 효과적으로 활용할 수 있는 수치해석용 프로그램 Fluent6.2를 이용한다.

2.3 지배방정식

Wafer 주변에서의 유동을 해석하기 위해 3차원,정상상태, 비압축성, 층류 유동에 대한 지배방정식을 일반형으로 표시하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi)+div(\rho u\phi)=div(\Gamma grad\phi)+s$$

여기서 좌변 첫 번째 항은 검사체적 내의 시간에 따른 물리량 변화를 나타내고 두 번째 항은 대류항(Convection Term), 우변 첫 번째 항은 확산항(Diffusion Term)을 나타낸다. 변수Φ에 따라 지배방정식이 달라지며 Φ=1인 경우 연속방정식,Φ가 속도 성분인 경우 운동량 방정식,Φ가 엔탈피인 경우는 에너지 방정식을 각각 나타낸다.

이 일반 식을 각 지배방정식으로 표현하면 다음과 같다.

The Mass Equation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i)=0$$

The Momentum Equation

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j)=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}+\rho g_i$$

위의 방정식에서는 p는 정압, τ_{ij}는 Stress Tensor이다. 오른쪽 3번째 항은 체적력에 해당한다.

2.4 상태량 및 경계조건

본 연구에 쓰인 Hydrogen-fluoride 의 상태량은 Table.1 과 같다.

Table 1. Properties of Hydrogen-fluoride

	Hydrogen-fluoride
Density	1.225 kg/m³
Viscosity	1.7894e-05kg/ms

Velocity Inlet은 1.5m/s 이고 세정조의 출구는 대기조건이므로 Pressure 조건을 설정하였다. 3차원 대칭적 형상으로 인하여 해석의 용이함과 시간절약, 결과 Data 신뢰도 향상을 위하여 Symmetry조건을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Nozzle 해석 결과

Fig. 3 은 Nozzle 단면의 속도분포를 나타내고 그 수치적인 값을 Fig.4 에 나타내었다. 약액의 투입구(Inlet)에서부터 Hole.1~Hole.51번으로 정의 하였고 Hole에서의 치수 값은 좌우 평균값을 나타낸다. 1.5m/s의 속도로 약액을 투입하였을 때Inner노즐을 통해 Outer Nozzle의 Hole의 평균 Velocity 약0.418m/s이며 Hole에서의 최대와 최소의 차이는 약 0.043m/s이다. 노즐에서 토출되는 약액의 속도분포가 거의 균일함을 알 수 있다.

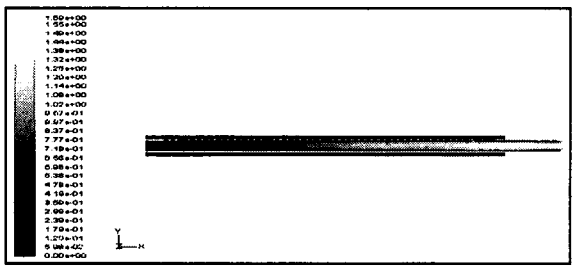

Fig. 3. Contour of Velocity Magnitude

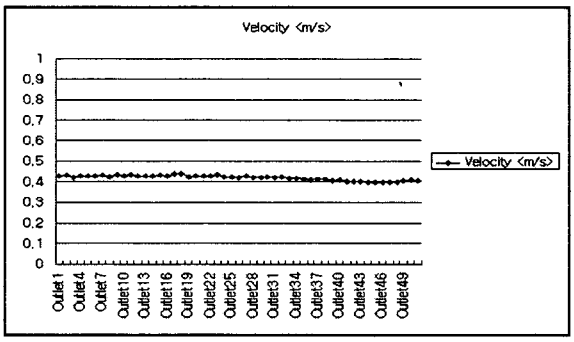

Fig. 4. Velocity distribution of Nozzle

3.2 Bath 해석 결과

Fig. 5는 Wafer의 속도분포를 보기 위한 단면이다. Wafer.1은 No.1 Wafer와 No.2 Wafer 사이의 단면이고 Wafer.25는 No.24 Wafer 와No.25 사이를, Wafer.50은 No.49 wafer와No.50 Wafer사이의 단면을 나타낸다.

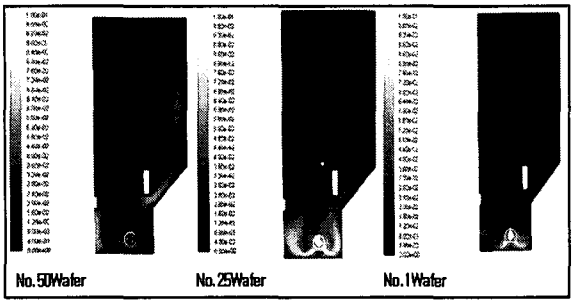

Fig. 5. Contour of velocity in wafer face

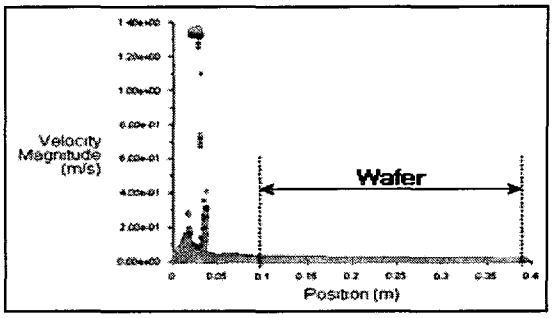

Fig. 6. Velocity distribution in No.50 Wafer face

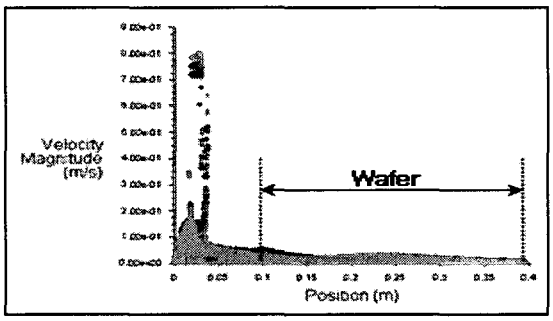

Fig. 7. Velocity distribution in No.25 Wafer face

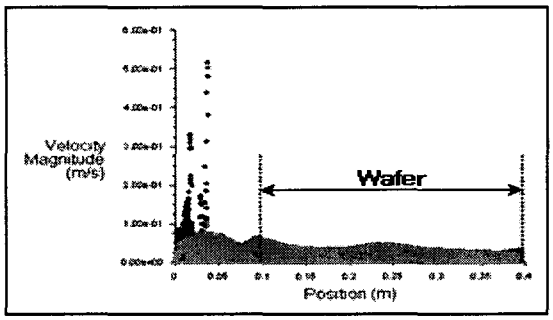

Fig. 8. Velocity distribution in No.1 Wafer face

Fig 6~8은 wafer사이 단면의 속도분포를 수치적으로 나타낸 값이다. Nozzle에서 토출되어 나오는 약액의 속도로 인하여 그래프의 앞부분은 속도가 높게 나오고 Wafer부분에서는 각 표면에서 Wafer표면에서의 속도분포가 유사함을 알 수 있다. Wafer표면에서의 최고 속도는 0.01mm/s이며 유동의 균일성에 큰 영향이 없다.

Fig. 9은 각 Wafer사이의 속도 분포를 하나로 나타낸 것으로No.15~No.50 Wafer에서의 속도분포는 Wafer의 하부방향에서 상부방향(Outlet)방향으로 갈수록 속도가 줄어들며 Wafer의 중심에서부터 상부까지는 속도가 전 영역이 균일하다. No.1~No.15 Wafer에서는 하부에서부터 상부까지 속도의 편차가 크지 않고 비교적 일정하게 유지되는데 이는 Wafer Guide와의 위치적인 요인이 작용함을 알 수 있다. Outer Nozzle의 Hole.1 번이 Hole.51 번 보다 상대적으로 Velocity 값이 크지만 세정조와 Wafer Guide의 위치적 요인으로 인해 약액이 Wafer사이로 유입될 때 No.50 Wafer Velocity 가 No.1 Wafer Velocity 보다 더 크다는 것을 알 수 있다. 또 세정조의 중간부분은 수직으로 지지되는 Wafer Guide의 영향이 적어 속도 분포가 가장 빠른 것을 알 수 있다.

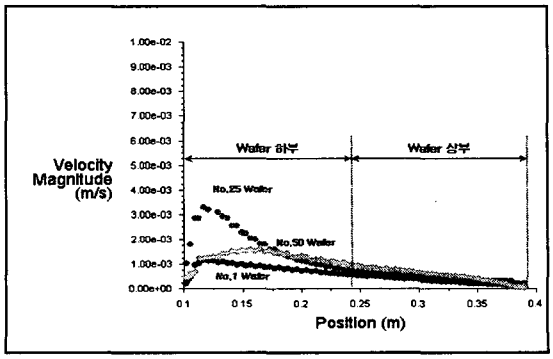

Fig. 9. Velocity distribution of Wafer face

4. 결론

현재까지 수행된 유체 Simulation을 기초 토대로 얻어진 세정조의 유체 흐름특성을 살펴보면 Nozzle을 통해 토출되는 약액의 속도로 인하여 세정조의 바닥부분 속도분포가 강하게 나타나는 반면 Wafer로 접근할수록 속도가 현저히 감소함을 알게 되었다. 이것은 약액이 Wafer표면에서 체류하는 시간이 길어짐을 의미하며 이것은 Etching Rate에 큰 영향을 줄 수 있다. 또 유체 흐름의 균일을 위해 세정조내 Guide의 위치적 요인을 고려해야 한다. 마지막으로 Etching Rate 와 약액의 Velocity 의 관계가 더욱 연구 되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 부품소재 기술개발 사업으로 수행된 연구 결과임.

참고문헌

[1] Patankar, S.V, "Numerical Heat Transfer & Fluid Flow", McGRAW-Hill, New York, pp.11-22, 1980.
[2] Frank M. White, "Fluid Mechanics", McGRAW-HILL
[3] KLAUS A.HOFFMAN & TEVE T. CHIANG, "Computational Fluid Dynamics For Engineers", Vol.1, pp288-295
[4] 구교욱, "300mm Wafer세정조의 유동해석을 통한 최적 설계", 호서대 석사논문 2005.