

## 지능형 반도체 세정장비 설계에 관한 연구

김종원<sup>†</sup> · 홍광진 · 조현찬 · 김광선\* · 김두용\*\* · 조중근\*\*\*

<sup>†</sup>한국기술교육대학교 정보기술공학부, \*한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부  
\*\*순천향대학교 정보기술공학부, \*\*\* (주)세메스

### A Study on Design of Intelligent Wet Station for Semiconductor

Jong Won Kim<sup>†</sup>, Kwagn Jin Hong, Hyun Chan Cho,  
Kwang Sun Kim\*, Doo Yong Kim\*\* and Jung Keun Cho\*\*\*

<sup>†</sup>School of Information Technology Engineering, Korea University of Technology and Education,

\*School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

\*\*Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University,

\*\*\*SEMES Co., Ltd.

#### ABSTRACT

As the integrated devices become more and more sophisticated, the diameter of wafers increased up to 300 mm and strict level of cleaning is necessary to remove the particulates on the surface of wafer. Therefore we need a new type of wet-station which can reduce DI water and chemical in the cleaning process. Moreover, it is important to control the temperature and the concentration of chemical in the wet-station. In the conventional chemical supply system, it is difficult not only to fit the mixing rate of chemicals in cleaning process, but also to fit the quantity and temperature. Thus, we propose a new chemicals supply system, which overcomes above problems by the analysis of fluid and thermal transfer on chemical supply system.

**Key Words :** Chemical Supply System, Wet Station, fuzzy logic, intelligent algorithm

## 1. 서 론

반도체 집적회로의 제작공정을 보면 각 공정의 전과 후에는 반드시 세정공정을 수십 회 반복한다. 세정은 일반적으로 웨이퍼 표면의 세정만을 생각하기 쉽지만 실제 제조공정에 있어서는 반도체 제조장비 전체를 통해서 초청정화를 위한 기술로서 광범위하게 이해되어야 한다[1]. 그러나 웨이퍼 표면의 세정은 그 중에서도 가장 중요하고 어려운 기술로서 최종적으로 달성해야 할 초청정화 기술이다.

반도체 웨이퍼의 대구경화와 소자의 미세화가 진행되면서 표면의 오염물질은 소자의 신뢰성에 직접적인 영향을 주기 때문에 미세입자 및 아주 작은 량의 금속

오염 등을 제거해야 한다[1].

구체적인 방식으로는 습식처리 (Wet Treatment)를 주로 사용하는데 그 순서를 보면 에칭, 산화 및 환원반응, 용해, 계면 활성제, 초순수, 건조 등을 통하여 진행한다[2][3].

습식처리에 바탕을 둔 기존의 세정장비는 반도체 부문에 기 설치되어 생산라인에 적용되어 안정적으로 사용되고 있으나, 장비의 거대화화 화학액 과 DI Water의 사용량 증가에 따라 경제적 및 환경적 문제점 등을 야기하고 있다.

기존의 고전제어 시스템으로는 비선형 시스템에 대한 정밀제어가 어려워 파라메타 변화 시간 동안 약액 공급 장치의 정지가 불가피하며 이에 따른 반도체 제조 라인의 후 공정이 짧게는 수초에서 수분에 이르기 까지 흐름이 정지되는 경우가 발생한다. 이 경우 공정 지연도 문제지만 파라메타를 맞추기 위해 버려지는 약

<sup>†</sup>E-mail : kamuiai@kut.ac.kr

액의 소모량이 크다.

또한 두 화학액의 압력 변화가(hunting) 매우 심한데다, 새로운 약액 공급 시스템은 인라인(In-Line) 방식이기 때문에 기존 고전 제어 시스템으로는 농도를 맞추기가 매우 어려운 실정이다.

이를 해결하기 위한 방안으로 주변 환경에 대해 스스로 대응할 수 있는 지능형 제어 알고리즘이 필요하다. 스마트 컨트롤러를 위한 퍼지 알고리즘은 만족스럽게 그 결과를 얻을 수 있다. 또한 퍼지 로직을 이용한 스마트 제어 알고리즘은 응답성이 빨라 실구현화가 용이하다.

본 연구에서는 모델링 및 해석을 통하여 세정장비의 핵심장비인 약액 공급 장치의 처리 단계를 줄이고, 화학액과 초순수의 사용량을 절감할 수 있는 새로운 약액 공급 시스템을 제안한다.

새로운 약액 공급 장치는 약액의 변화 오차에 대한 모호성과 에러의 불확실성을 퍼지 알고리즘을 이용해 추론하여 파라메타를 제어하는 스마트 컨트롤러를 탑재함으로써 기존의 제어 방법보다 약액 손실이 적고 정밀 제어가 가능하며 환경친화적이다[6].

## 2. 유동해석을 위한 기본 방정식

기존 시스템의 문제점을 파악하고 새로운 시스템 설계 및 제어 알고리즘을 위해서는 유동해석 및 열전달 해석이 필요하다.

유동 해석을 위한 지배 방정식은 질량 보존 법칙, 베르누이 방정식 등이 사용된다.

유체가 다량의 초순수와 소량의 약액이므로 비압축성으로 가정하며 정상 상태에서의 입출구가 하나인 경우에 대해 질량 보존 법칙은 아래와 같이 표현 할 수 있다[4].

$$Q = U_1 A_1 = A_2 U_2 \quad (1)$$

여기서  $Q$ 는 유량,  $A$ 는 직경,  $U$ 는 속도를 나타내며 입의 직경과 속도를 가지는 유체가 입구를 통해 들어가고 출구를 통해 나오는 양은 같다는 것을 나타낸다. 즉 질량이 보존됨을 나타낸다.

또한 비압축성 정상상태에서의 입출구의 개수가 다를 경우에 대해 질량 보존 법칙을 적용하면

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0 \quad (2)$$

로 표현할 수 있다.

또한 운동, 위치, 내부에너지를 포함하는 베르누이

방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다[5].

$$E = gz + \frac{p}{\rho} + \frac{U^2}{2} \quad (3)$$

여기서  $E$ 는 단위 질량에 대한 총 에너지,  $N \text{ m/kg}$  또는  $\text{J/kg}$ ,  $z$ 는 높이,  $\rho$ 는 밀도,  $g$ 는 중력 가속도,  $p$ 는 압력,  $U$ 는 속도를 나타낸다.

식(3)의 양변을 중력가속도  $g$ 로 나뉘 주면 식 (4)와 같은  $H$ 에 대한 방정식이 된다.

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \quad (4)$$

또한 수두차와 압력차에 대한 식이 적용되며, 식(5)와 식(6)으로 나타내어진다.

$$\Delta H = \left( h_1 + \frac{U_1^2}{2g} \right) - \left( h_2 + \frac{U_2^2}{2g} \right) \quad (5)$$

식 (5)와 같이 표현된다. 여기서  $h_1 = z_1 + p_1 / (\rho g)$ 이다.

유사하게 압력차  $\Delta P (=DH\rho g)$ 는

$$\Delta P = \left( p_1 + \rho \frac{U_1^2}{2} \right) - \left( p_2 + \rho \frac{U_2^2}{2} \right) + \rho g(z_1 - z_2) \quad (6)$$

이다.

난류의 수두 손실은 속도의 제곱에 비례한다. 또한 파이프의 손실 계수  $K$ 는 다음과 같다.

$$K = \frac{\Delta H}{U^2/2g} = \frac{\Delta P}{\rho U^2/2} \quad (7)$$

시스템의 모델링을 위한 소프트웨어로서는 플로우 마스터(Flow Master)를 활용 하고, 플로우 마스터로 처리하기 어려운 부분은 이러한 이론들과 프로그래밍을 통하여 해결한다. 또한 화학액의 유동 현상을 보다 자세히 모사하기 위하여 플루언트(Fluent)를 활용하여 신 개념의 약액 공급 장치를 설계한다.

## 3. 약액공급장치설계

### 3.1. 기존 시스템

기존 장비의 도면을 바탕으로 기존 시스템의 유동해석 및 열전달 해석을 하기 위하여 상용 프로그램인 플로우 마스터를 가지고 Fig. 1과 같이 모델링하였다. 현재 사용되고 있는 시스템은 크게 약액공급 수조(tank)로부터 약액의 혼합을 위해 구성되어 있는 혼합 파트(mixing part)와 혼합 탱크(mixing tank)로부터 공급된 약액을 가열(heating)하여 각 챔버(chamber)로 분배하기 위한 매니폴더(manifolder), 챔버의 앞, 뒤(front와 back) 쪽의 공급 라인으로 구성된 공급 파트(supply

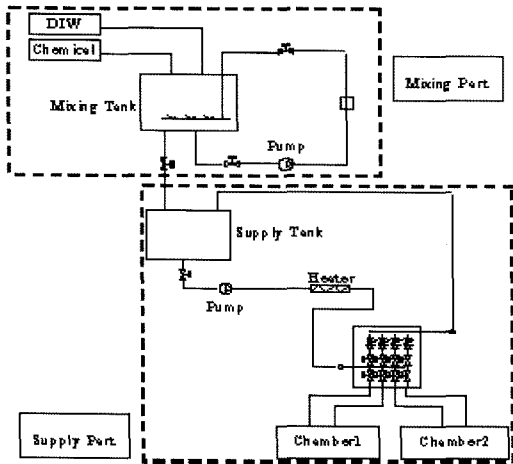


Fig. 1. Simplified modeling of conventional chemical supply system.

part)로 구성되어 있다. 현 시스템의 혼합 파트에 대한 모델링은 단순 혼합을 위한 순환방식을 가지고 있으며 공급 파트 유동에 영향을 미치지 않으므로 배제하였다. 또한 공급 파트에 대한 문제는 추후에 다루기로 하고, 본 연구에서는 혼합 파트만을 다룬다.

기존의 혼합파트에 대한 문제점들은 다음과 같이 요약된다.

1. 약액 공급 Tank로부터의 공급압력이 불규칙적인 Hunting이 발생한다.
2. Wafer의 대구경화에 따른 약액의 사용량 증가로 인하여, Mixing Tank의 부피가 증가되어 장비 전체의 부피가 증대된다.
3. Pump 순환 Mixing 방식의 단점으로 인한 농도의 신뢰도 감소로 정밀 제어가 불가능하다.
4. 기존 PID 제어 기법은 시스템 파라메타 변화 발생 시 전문가가 직접 Gain Control을 해주어야 한다.

### 3.2. 신(新) 약액 공급 장치

앞 절의 문제들을 해결하기 위해 Fig. 2와 같이 새로운 시스템을 개발 하였다[5]. 이는 유동해석 및 모델링, 시뮬레이션을 통해 최적화하여 개발하였다.

Fig. 2의 새로운 약액 공급 장치는 Fig. 1의 기존 약액 공급 장치의 Mixing Part에서의 Tank와 Pump가 없어짐에 따라 Foot Print, 장비 전체의 부피가 크게 감소하였으며, 장비 단가 하락을 기대할 수 있다. 또한 약액과 초순수의 사용량 감소로 환경 친화적인 장점 등을 가지고 있다.

이 시스템을 제어하기 위한 제어 시스템은 Fig. 3과

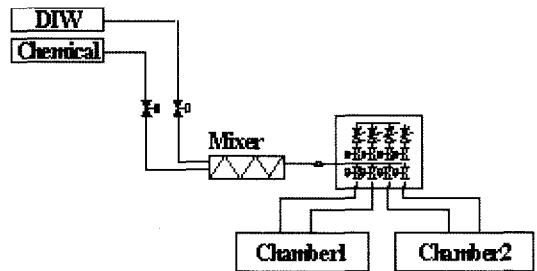


Fig. 2. The modeling of new chemical supply system.

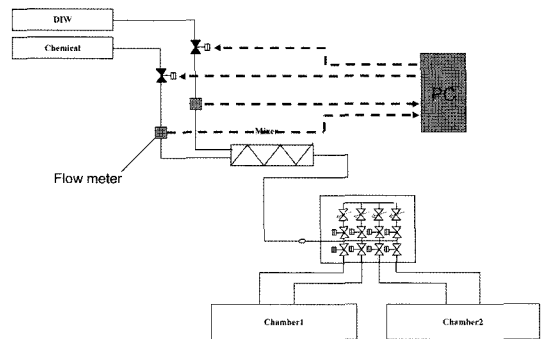


Fig. 3. Smart control system using intelligent algorithm

같다. 시스템의 제어 흐름을 살펴 보면 다음과 같다.

- Step1. PC로부터 동기 신호를 받아 화학액과 초순수의 밸브를 연다.(synchronize)
- Step2. 농도 오차와 오차의 변화율(differential)을 가지고 지능 알고리즘을 이용해 초순수의 양을 미세 조절한다.
- Step3. 혼합 파트에서 나온 용액을 온도 오차에 따라 히터로 가열한다.
- Step4. 작업이 끝나면, PC로부터 동기 신호를 받아 모든 밸브를 닫는다.

시스템 파라메타 변화 발생시 직접 Gain Control을 해주어야 하는 기존 제어 방식을 보완하기 위해 퍼지 로직을 이용하여 지능 제어를 하였다. 퍼지화는 이동변 삼각형을 이용하였고 입력 변수는 농도 에러와 에러의 differential을 사용하였다[6]. 근사추론은 맘다니의 Max-Min법을 이용하였고, 비퍼지화는 함수를 이용하였다[7][8].

## 4. Implementation

Fig. 2의 모델링을 바탕으로 Fig. 4와 같이 시스템을

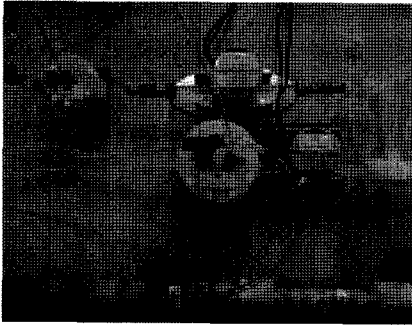


Fig. 4. In-line mixing system.

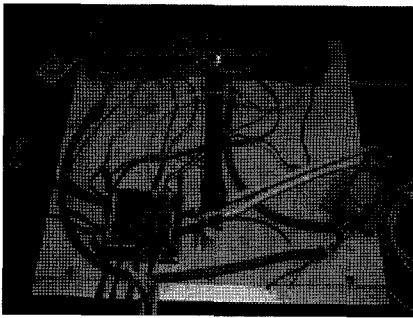


Fig. 5. Wiring of PC and DeviceNet.

제작하였다.

상단에 보이는 것이 순서대로 화학액 밸브(HICV), 화학액 유량계(chemical flow meter), 중간 부분에 초순수 밸브(HICV), 초순수 유량계(DIW flow meter), 하단에 보이는 것이 믹서(mixer)이다.

PC 제어를 위해 전장 및 디바이스넷(DeviceNet) 결선을 Fig. 5와 같이 하였다.

좌측 상단에 보이는 것은 아날로그 디지털 변환기(A/D Converter)로서 화학액과 초순수(DIW)의 유량(flow rate)을 입력받아 디바이스넷을 통해 PC로 전송된다.

PC의 지능제어 알고리즘은 입력 데이터를 가지고 디지털 아날로그 변환기(D/A Converter)로 데이터(data)를 전송하여 밸브(HICV)를 제어하게 된다.

디바이스넷(DeviceNet)은 산업 디바이스들을 단일 네트워크를 통해 서로 연결하기 위한 신뢰성 있는 캔(CAN) 기술을 바탕으로 한 공개형 저가 커뮤니케이션 링크이다[10]. 디바이스넷을 통해 PC와 장치(device)간 통신을 할 수 있다[11].

Fig. 6은 실제 시스템에서 구성한 디바이스넷 네트워크를 보여주고 있다. Fig. 6에서 마스터(master)는 PC이고, Device16은 D/A converter이다. 그리고 Device56은

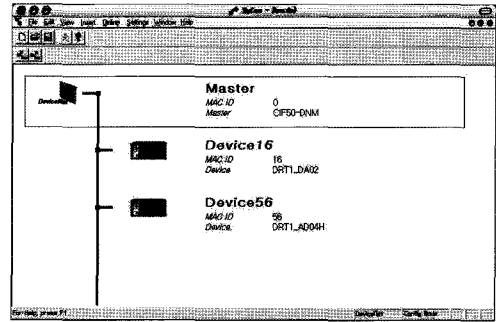


Fig. 6. DeviceNet Network.

A/D converter를 나타낸다.

Fig. 7은 PC에서 손쉽게 혼합 비율(mixing rate)를 설정하고 제어하며, 현재 두 화학액의 유량(flow rate)을 모니터링 해주는 모사 프로그램이다[8]. 프로그램의 좌측 부분은 혼합 비율을 설정하고 두 화학액의 현재 유량을 표시해 주는 제어판이다.

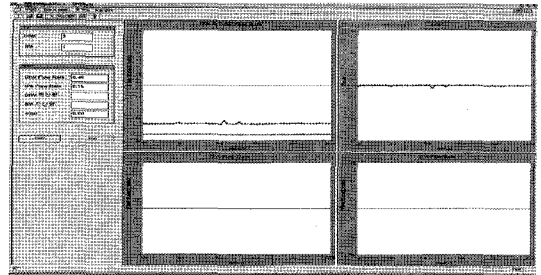


Fig. 7. Simulation result for the mixing rate of 1:3

Fig. 7-Fig. 9는 1:3-1:5까지의 혼합 비율에 대한 실험 결과를 보여주고 있다.

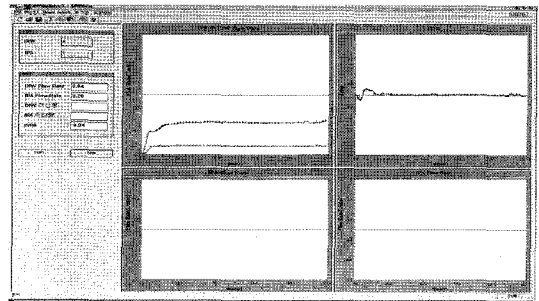


Fig. 8. Simulator result for the mixing rate of 1:4.

프로그램의 그래프 부분에서 좌측 상단은 화학액의 유량(하)와 초순수의 유량(상)을 보여주고 있다. 우측의 그래프는 오차(error) 그래프를 나타내고 있다.

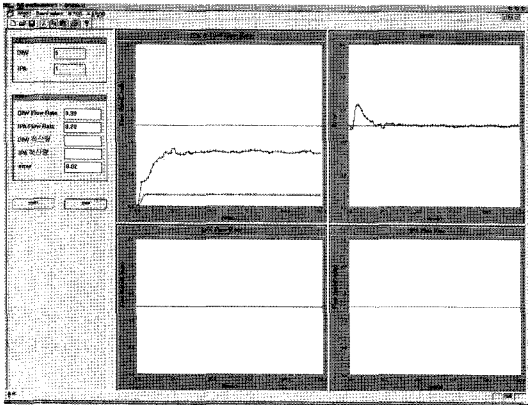


Fig. 9. Simulator result for the mixing rate of 1:5.

위의 결과에서 알 수 있듯이 스마트 제어기는 기존 시스템의  $\pm 5\%$  농도 오차를  $\pm 2\%$  이내로 제어함으로써 효율성을 검증하였다[5].

#### 4. 결 론

새로운 약액 공급 시스템은, 기존 PID 농도제어 탱크로 인해 버려지게 되는 최대용량 2l보다 최소 100 ml 최대 2l의 약액 손실이 적고, 기존의 제어기에 비해 정밀 제어가 가능하다.

또한 실험 결과에서와 같이 압력 헌팅에 대해 지능알고리즘의 사용을 통해 능동적으로 제어를 함으로서 기존의 PID 제어기 보다 오차 보정에 대한 효율성이 증가하였다. 이는 기존의 제어기가 갖지 못하는 환경변화에 능동적으로 적용 할 수 있는 특징을 갖게 되었다.

현재 연구된 약액공급장치는 약액의 혼합파트에 집중되어 연구되었고 그에따라 약액의 지속적인 모니터링의 필요성과 약액공급장치가 In-line 시스템으로 구동되어 전체 시스템의 운용시간이 기존의 PID 제어기와 Tank의 혼합방식에 비해 혼합방식에 비해 환경변화

에 민감해 지는 문제점을 보였다. 이를 위해 원격제어 시스템과 모니터링 시스템의 연구가 함께 이루어져야 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

#### 참고문헌

1. Maeda Kazuo, "Semiconductor's Manufacture Equipments", Japanese Industrial Standards Committee, 1999.
2. Louis, C. Burmeister, "Elements of Thermal Fluid System Design", Prentice Hall, 1998.
3. Edgar, T. F. & Himmelblau, D. M., "Optimization of Chemical Processes", McGraw Hill, 1993.
4. Miller, D. S., "Internal Flow System", BHRA(information service), 1986.
5. Kwang-Jin Hong, *et al.*, "Design of Smart Controller for New Generation Semiconductor Wet Station", Proc. of KFIS Spring Conference 2004, Korea, May 1, 2004, Vol.14, No.1, pp.149-152.
6. Zenn Bien, Z., "Fuzzy-Logic Control", Hongrung Science, 1997.
7. Zimmermann, H. J., "Fuzzy Set Theory and It's Applications", Kluwer-Kijhoff, 1986.
8. Oh, S. K., "Fuzzy Model & Control System by C Programming", Naeha, 2002.
9. Semiconductor World Journal, "Recently Semiconductor Process Technology(Technology & Equipment)", 1998.
10. Hilscher, SyConDN System Configurator DeviceNet, Hilscher, 2001.
11. Hilscher, Device Driver, Hilscher, 2001.