

반도체 생산공정의 감광액 도포를 위한 FPCS에 관한 연구

박형근^{1*}

¹남서울대학교 전자공학과

Study on the FPCS for Photoresist Coating of Semiconductor Manufacturing Process

Park Hyoung-Keun^{1*}

¹Deptment of Electronic Engineering, Namseoul University

요 약 본 연구에서는 Nano급 반도체 생산공정에서 필수적인 스피너(spinner) 설비의 감광액 도포(photo resist coating) 시스템의 효율을 획기적으로 개선할 수 있는 새로운 완전스캔(Full-scan) 방식의 감광액 도포시스템(FPCS : Full-scan Photo-resist Coating System)을 개발하였다. 또한, 감광액의 미 도포로 인한 복합적인 공정불량을 예방하기 위하여 실시간(real-time)으로 상태요소들을 감시할 뿐만 아니라 상태요소의 비정상적 변화나 웨이퍼 가공불량이 발생할 경우 해당 유니트(unit)를 정지시킴과 동시에 원격지에 있는 엔지니어에게 경보를 전송함으로써 즉각적인 대처가 가능할 수 있도록 개발하였다.

Abstract In this research, developed full-scan photoresist coating system(FPCS) can improve the efficiency of the photoresist coating system essential for spinner equipment in nano semiconductor manufacturing process. The devices developed in this research, which can be swiftly replaced in case abnormal state element changes or wafer manufacturing defect occurs, are anticipated to improve module yield as well as real-time monitoring on the state element in order to prevent the complex process defect due to the photoresist miss coating.

Key Words : FPCS, Spinner, Photoresist, Semiconductor, Full-scan

1. 서론

최근의 반도체 기술개발 동향은 고집적도 및 고속 동작을 실현하면서도 생산비용을 절감하여 가격경쟁력을 확보하려는 데 집중되어 있다. 특히 경쟁력을 갖춘 제품의 적기출하가 시장 지배력과 경제적 이익창출을 주도한다는 면에서 세계 주요 반도체 생산업체들의 경쟁은 더욱 더 치열하게 전개되고 있다. 또한, 반도체 장비 분야의 가장 두드러진 기술변화인 300mm(12인치) 및 450mm(18인치)와 같은 웨이퍼의 대구경화 추세뿐만 아니라 Nano급 이하의 반도체 생산공정이 증설됨에 따라 제기되고 있는 장기적인 수율의 정체를 개선하기 위한 노력들이 요구되고 있다. 더불어 반도체 소자의 제조 및 개발과 관련된

핵심 반도체장비의 국내개발 및 생산은 우리의 반도체산업의 지속적 발전을 위해서는 반드시 필요하다고 할 수 있다[1].

따라서 본 연구개발에서는 Nano급 반도체 생산공정에서 필수적인 스피너(spinner) 설비의 감광액 도포(photo resist coating) 시스템의 효율을 획기적으로 개선할 수 있는 새로운 완전스캔방식의 감광액 도포시스템(FPCS : Full-scan Photo-resist Coating System)을 개발하였다.

또한, 감광액의 미 도포로 인한 복합적인 공정불량을 예방하기 위하여 실시간(real-time)으로 상태요소들을 감시할 뿐만 아니라 상태요소의 비정상적 변화나 웨이퍼 가공불량이 발생할 경우 해당 유니트(unit)를 정지시킴과 동시에 원격지에 있는 엔지니어에게 경보를 전송함으로

본 논문은 2013년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Park Hyoung-Keun(Namseoul Univ.)

Tel: +82-10-3679-6740 email: phk315@nsu.ac.kr

Received July 22, 2013

Revised September 2, 2013

Accepted September 6, 2013

써 즉각적인 대처가 가능할 수 있도록 개발하였다.

2. 반도체 제조공정

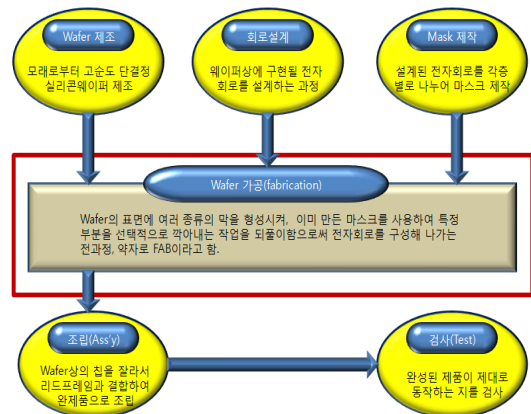
우리나라의 반도체 산업분야는 세계적 기술력과 생산량을 자랑하고 있을 뿐만 아니라 세계 기술표준을 선도하고 있는 대표적인 분야 중 하나이다. 그러나 반도체 Wafer 제조 및 LCD 공정 검사와 같은 고난이도의 첨단 공정장비인 경우에는 현실적으로 외국의 공정장비 자체를 수입함으로써 반도체 수출의 증가와 함께 주요 생산 공정용 장비의 대일·대미 수입 의존도 역시 증가하는 부정적인 결과를 초래하고 있다. 특히, 향후 국가 기간산업과 미래 유망산업으로의 위치를 확고히 해 나가고 있다는 산업의 특수성으로 인해 특별히 현상상황에 맞춘 개발 작업이 필요한 경우의 공정장비는 국내업체가 특화하여 개발하는 것이 필수적이며, 본 연구에서는 Fig. 1의 반도체 제조공정에서 웨이퍼 가공공정에 필요한 Full-scan 방식의 FPCS를 개발하였다.

본 연구의 개발 내용은 기존의 단일 노즐(Nozzle)을 이용하여 회전축을 중심으로 원을 그리며 감광액 도포 및 화학 증착 방식이 아닌 Y축 직선운동에 의한 Full-scan 방식을 이용함으로써 감광액의 유량을 정밀하게 제어하고 감광액의 분사 후 미 도포로 인한 공정손실(Process Loss)을 '0(zero)'에 근접한 수준으로 유지할 뿐만 아니라 손실 및 에러 발생 시 신속한 대처가 가능하여 웨이퍼의 수율을 향상시킬 수 있도록 연구를 수행하였다.

또한, 향후 반도체 생산공정에서 다양한 형태로 이용되는 노즐 유닛의 정밀 위치 제어 및 테스트 용도로 특화된 모듈형 계측제어장치를 개발함으로써 기존 박스형 계측기가 아닌 PC 또는 PXI의 슬롯에 삽입되는 형태로 개발이 된다면 반도체 공정 뿐만 아니라 TFT-LCD 및 LED 디스플레이용으로도 개량이 가능한 장점을 갖도록 하였다. 추가적으로 모듈형 계측제어기와 함께 반도체 공정의 복합 노즐제어에 적합한 여러 응용 소프트웨어를 지원할 수 있도록 개발함으로써 결과적으로 정밀 제어와 약액(Chemical) 흐름제어를 상호 보완할 수 있을 뿐만 아니라 최소한의 비용투자자 최대의 효과를 창출할 수 있다. 또한, 세부 동작 시퀀스를 제어하기 위한 H/W와 S/W 시스템을 생산라인에 실장하고 성능검증을 통하여 제품화하였다.

반도체 제조공정에서 특히 웨이퍼가공(Fabrication)공정은 산화(Oxidation), 감광액(PR ; Photo Resist)도포, 노광(Exposure), 현상(Development), 식각(Etching), 이온주입(Ion implantation), 화학기상증착(CVD ; Chemical

Vapor Deposition), 금속배선(Metallization)공정과 같이 필수적으로 수행해야 하는 각종 공정이 매우 복잡할 뿐만 아니라 단일 노즐(Nozzle)을 이용하여 감광액이나 화학기상증착을 위한 Chemical 및 가스 도포과정 중에서 노즐의 정밀한 제어가 이루어 지지 않을 경우 심각한 공정 불량 및 수율 저하가 필연적이다[2,3]. 또한 이러한 공정 불량을 일으키는 원인에는 최종 주입 속도제어(End Suck Speed Control), 공압 속도제어(Air Speed Control), 유량계 조절 불량 등과 같은 여러 가지 요인들이 영향을 미치며, 결국 웨이퍼 가공공정에서의 불량을 증가와 수율 저하를 야기한다.



[Fig. 1] Semiconductor manufacturing process

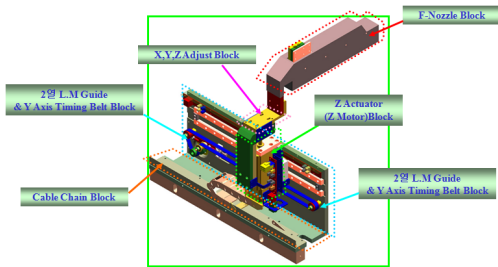
이를 해결하기 위해 분사정도 및 유량을 미세하게 제어할 수 있는 새로운 노즐(Nozzle)시스템을 개발하기 위한 시도도 있었으나 양산 및 검증까지 장기간이 소요됨으로 인하여 급격히 대형화되고 있는 세계적인 반도체 시장에서 기술적 적시성이 문제가 되는 것으로 나타났다. 따라서 이에 대한 대안으로 감광액(photo resist)의 분사 및 도포를 정밀하게 제어할 수 있는 알고리즘과 응용이 가능한 알고리즘이 탑재된 풀 스캔 케미컬 코팅(Full-scan Chemical Coating) 장비의 필요성이 국내 반도체 관련 공정장비 업체에서 대두되어 왔다.

또한 웨이퍼 가공 공정상의 비효율성으로 인하여 웨이퍼가 불량으로 판정될 경우 폐기되거나 재작업(rework)해야 하고 불량을 판정하지 못할 경우 결과적으로 수율을 떨어뜨리는 결과를 나타낸다. 더욱이 사용자의 요구 증대 및 관련 기술의 발전으로 현재 생산되고 있는 반도체 웨이퍼의 규격이 급격히 증가할 뿐만 아니라 고가의 대형 웨이퍼들이 등장함에 따라 생산 공정상에서 수율을 높이기 위한 계속적인 연구개발과 공정개선을 위한 제어 장치에 대한 연구가 필수적이다.

3. 완전스캔 감광액 도포 시스템

1) Full-scan Nozzle Unit 개발

Full-scan Nozzle Unit은 크게 Chemical과 Gas가 웨이퍼에 Full-scan 도포되는 고경도 PP 재질의 특수 Nozzle 부와 이 노즐의 비접촉 높이 관련 파라미터를 제어하고 구동을 담당하는 Z-Actuator 및 센서부, 노즐의 Full-scan 기능을 담당하며 timing Belt 시스템이 조합된 L.M Guide 및 Y Axis Timing Belt부로 분리함으로써 향후 제품의 개선 및 타 공정 응용개발이 용이하도록 개발하였다.



[Fig. 2] Full-scan Nozzle Unit

F-Nozzle은 Chemical이 웨이퍼에 SCAN 도포되는 고경도 PP재질의 특수 Nozzle이며, Z-Actuator(Z Motor)는 F-Nozzle의 높이 관련 Factor를 제어 및 구동하는 Ball Screw와 Linear Guide 부착된 직선 운동체 Unit으로 0.05mm의 Z Teaching 제어 정밀도를 갖는다. 또한 Z Unit내에는 모터 구동 시 Up/Down의 위치를 감시하는 Z Sensor Board가 내장되어 있어 위치 감시를 담당한다.

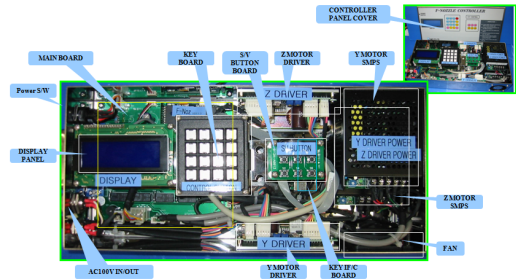
2열 L.M Guide & Y Axis Timing Belt는 F-Nozzle의 SCAN 영역을 담당하는 직선 2열 L.M Guide Rail에 고경도 Y Steppin Motor를 적용한 후 Timing Belt System이 조합된 블록이다. 또한 Y Unit내에는 모터 구동 시 전진(For)/후진(Rev)의 위치를 감시하는 초장축 Y Sensor Board가 내장되어 있어 위치 감시를 담당한다.

X, Y, Z Adjust는 F-Nozzle의 미세 높이, 전후, 수평, 수직 등의 위치를 미세하게 조정 후 고정하며, CABLE Chain은 F-Nozzle의 Y축 이동시 Z Motor Signal, Sensor Signal, Break Signal을 동시에 같이 이동하는 Block으로, 이때 Cable 등의 손상을 막기 위해 고속의 특수 Chain을 사용하여 Y축 이동에 의한 Cable 손상을 최소화하였다.

2) Full-scan Nozzle Unit Controller 개발

Controller는 F-Nozzle Unit의 정밀 위치 제어와 각종 Setting Offset 등의 입력이나, 확인, Manual 등의 동작과 F-Noz Unit의 Teaching의 작업을 수행하기 위한 필수 장

치로 32Bit Microprocessor를 장착한 CPU Board와 정보 Display 장치, Motor Driver, SMPS, Button Unit을 한곳에 탑재한 종합제어기이다.



[Fig. 3] Full-scan Nozzle Unit Controller

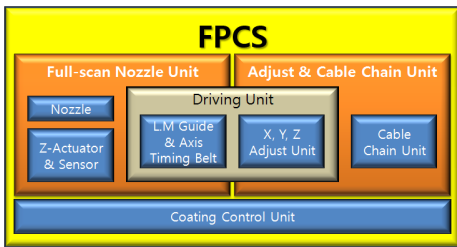
Z-Actuator(Z Motor) Driver는 Z Motor의 정밀 위치 제어장치로서 Power부, Driver부, 제어기부로 구성되었으며, Y Stepping Motor Driver는 Y Motor의 정밀 위치 제어장치로서 Power부, Driver부, 제어기부로 구성되었다.

S/V Button은 기존 Cup Up/Down과 D.I Nozzle Up/Down, Chuck Vacuum Pump를 동작시킬 수 있는 장치가 내장되어 있어서 Controller의 사용명령에 의해 언제든지 작동이 가능하기 때문에 기존에 S/V를 직접 누를 필요가 없어서 관리 및 유지가 용이하다.

또한 F-Nozzle Controller는 80B Type의 AC100V를 Cable을 통해 직접 입력 받을 수 있으며, C1 통합 Cable에 의해 모든 제어신호를 통제할 수 있다. 또한 발열방지를 위해 3000rpm의 고속 Fan을 사용하였으며, 외부 Chemical 등에 의한 내부 방수를 위해 준 밀폐형의 Chamber 구조를 실현하였다. 그리고 Motor Power는 Y Axis와 Z Axis 각각의 제어 영향에 의한 독립성 및 안정성을 최대한 보장하기 위해 2개의 고경도 SMPS를 적용하였다. 또한 각각의 장치 제어 부품들은 자체에 과부하 방지 Fuse를 가지고 있기 때문에 System의 문제로 인한 장치 손상을 최소화할 수 있도록 설계하였다.

3) Adjust 및 Cable Chain Unit 개발

Adjust 및 Cable Chain Unit은 노즐의 미세 높이, 전후 수평, 수직 등의 위치를 정밀하게 조정 후 고정 할 수 있는 X, Y, Z Adjust부와 노즐의 Y축 이동시 Z Motor Signal, Sensor Signal, Break Signal을 동시에 같이 이동하는 Cable Chain부로 분리함으로써 X, Y, Z 조정 및 이동에 의한 케이블 손상을 최소화할 수 있도록 개발하였다.

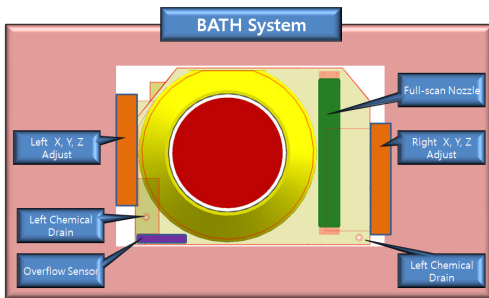


[Fig. 4] FPCS block diagram

4) BATH 및 Full-scan Nozzle Pot 설계

반도체 공정용 장비의 개발은 기존의 생산공정에 부하를 유발하지 않도록 하는게 장비개발의 성공여부를 결정하는 중요한 요소이다. 따라서 Fig. 4와 같은 기존의 BATH 시스템에 적용이 가능하기 위해서는 기존 BATH의 약액 튼(rebound) 방지 및 Robot Access 위치 등은 동일하지만 웨이퍼의 전체 영역을 스캔할 수 있을 정도의 영역을 확보할 수 있도록 개발하였다.

또한, 높이 및 전후좌우, 수평 등을 조절할 수 있는 Adjust를 추가함으로써 Spin Chuck과 동일한 수평을 유지할 수 있을 뿐만 아니라 약액의 Overflow를 검출하고 즉각적인 대처가 가능하도록 수위를 검출하는 기능도 고려하였으며, 개발된 BATH의 개념도는 Fig. 5와 같다.

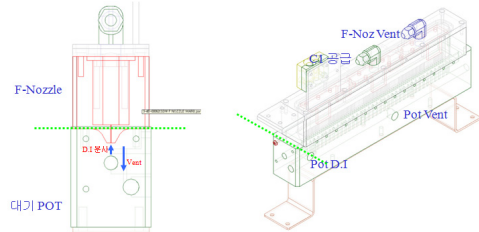


[Fig. 5] BATH Unit block diagram

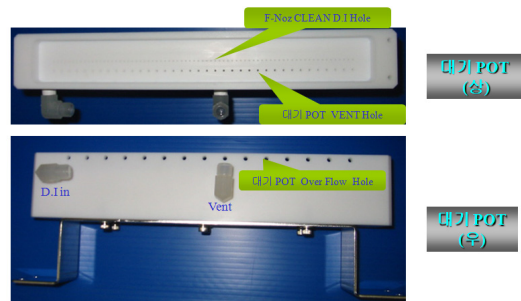


[Fig. 6] Developed BATH Unit & FPCS

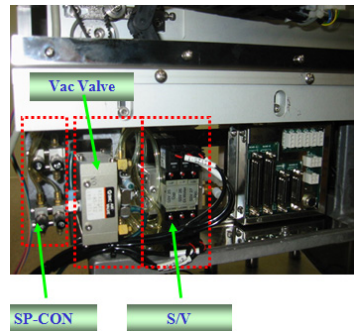
F-Nozzle 대기 POT에서 F-Nozzle Clean 방법은 대기 POT에 F-Nozzle이 복귀하면 대기 POT 내부 중앙에서 (F-Nozzle Center) Chemical Dispense에 의해 90도 위로 분사되면서 세정한다.



[Fig. 7] F-Nozzle Clean structural drawing



[Fig. 8] Standby POT structure



[Fig. 9] FPCS inner part structure

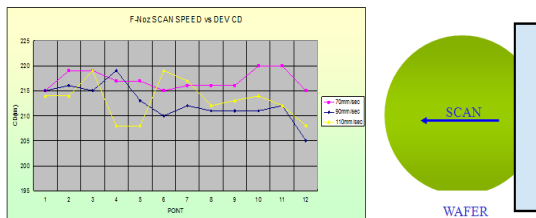


[Fig. 10] FPCS control unit

5) 비교 테스트

[Table 1] F-Nozzle Scan Speed VS DEV CD(Contact & Hole)

Speed	70	90	110
1	215	215	214
2	219	216	214
3	219	215	219
4	217	219	208
5	217	213	208
6	215	210	219
7	216	212	217
8	216	211	212
9	216	211	213
10	220	211	214
11	220	212	212
12	215	205	208
max.	220	219	219
min.	215	205	212
avg.	217	212	213



[Fig. 11] F-Nozzle Scan Speed VS DEV CD(Contact & Hole) Graph

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 단일 노즐을 이용하여 회전축을 중심으로 원을 그리며 감광액 도포 및 화학 증착 방식이 아닌 Y축 직선운동에 의한 Full-scan 방식을 이용함으로써 감광액의 유량을 정밀하게 제어하고 감광액의 분사 후 미 도포로 인한 공정손실을 예방하고 손실 및 에러 발생 시 신속한 대처가 가능하여 웨이퍼의 수율을 향상시킬 수 있도록 연구를 수행하였다. 추가적으로 모듈형 계측제어기와 함께 반도체 공정의 복합 노즐제어에 적합한 여러 응용 소프트웨어를 지원할 수 있도록 개발함으로써 결과적으로 정밀 제어와 약액(Chemical) 흐름제어를 상호 보완할 수 있을 뿐만 아니라 최소한의 비용투자와 최대의 효과를 창출할 수 있다. 또한, 세부 동작 시퀀스를 제어하기 위한 H/W와 S/W 시스템을 생산라인에 실장하고 성능점검을 통하여 제품화하였다.

References

- [1] Korea semiconductor industry association, <http://ksia.or.kr>, Understanding of semiconductor and status of semiconductor industry
- [2] Leslie KE. Binks RA. et. al., "Three component spinner magnetometer featuring rapid measurement times", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1, pp.1051-8223, Mar. 2001
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/77.919331>
- [3] Villegas I, Napolitano P., "Development of a continuous-flow system for the growth of compound semiconductor thin films via electrochemical atomic layer epitaxy", Journal of the Electrochemical Society, Vol. 146, No. 1, pp. 117-124, Jan. 1999
DOI: <http://dx.doi.org/10.1149/1.1391573>
- [4] Chiu WKS, Jaluria Y, "Continuous chemical vapor deposition processing with a moving finite thickness susceptor", Journal of Materials Research, Vol. 15, No. 2, pp.317-328, Feb. 2000
DOI: <http://dx.doi.org/10.1557/JMR.2000.0050>

박 형 근(Hyung-Keun Park)

[정회원]



- 1995년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1998년 5월 ~ 2001년 9월 : (주) 미디어서비스기술연구소 선임연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

마이크로프로세서응용, 임베디드시스템, SOC