

반도체 제조공정의 포토레지스트 정량 토출 펌프에 관한 연구

박형근
남서울대학교 전자공학과

Study on the Photoresist Quantitative Emission Pump for Semiconductor Manufacturing Process

Hyoung-Keun Park
Deptment of Electronic Engineering, Namseoul University

요약 본 논문에서는 반도체 제조공정의 포토공정에 사용되는 TRACK 설비에서 고가의 포토레지스트를 웨이퍼에 정량 및 정압으로 토출할 수 있는 펌프를 제안하였다. 포토레지스트의 기술적 요구사항은 대량생산의 특성상 단 한번의 오류도 허용되지 않는 높은 수준의 신뢰성을 요구하고 있다. 또한, 반도체 제조라인에서는 원가절감을 위해 지속적인 노력을 기울여 현재 12인치 웨이퍼 코팅을 기준으로 0.8cc~1.5cc의 포토레지스트를 사용하고 있다. 포토레지스트 사용량이 줄어들면서 정량토출 및 Cut-off/suck-back 제어의 정밀도와 정확성 향상이 수율 향상을 위한 대책으로 필수적이다. 제안된 펌프는 초소형 다이어프램과 리니어 모터를 이용한 Cut-off/Suck-back valve 구동장치로 구성되며, 5ml 토출을 기준으로 기존 Millipore사 Intelligen RDS 펌프의 $\pm 0.02\text{ml}$ 이내 대비 최소 $\pm 0.008\text{ml}$ 이내에서 최대 $\pm 0.018\text{ml}$ 이내의 정량 특성을 나타내어 각 구간 측정 오차가 $\pm 0.02\text{ml}$ 범위내에 포함됨을 확인하였다.

Abstract This study developed a pump capable of emitting an expensive photoresist used in TRACK equipment of semiconductor photoresist material manufacturing on a wafer quantitatively and at constant pressure. Technically, the photoresist emission is required to be highly reliable without allowing a single error, even under the mass production of the semiconductor. In addition, semiconductor manufacturing lines continue to make efforts to reduce manufacturing costs and currently use a low photoresist volume of 0.8cc to 1.5cc to coat it on a 12-inch wafer. So, as the photoresist volume usage continues to decrease, the precision and accuracy of the quantitative emission and the cut-off/suck-back control are essential measures to improve the semiconductor yield. Along these lines, the pump developed in this study consisted of a cut-off/suck-back valve drive with an ultra-small diaphragm and a linear motor to achieve high semiconductor yield. In particular, for 5ml of the photoresist discharge, the $\pm 0.02\text{ml}$ of the existing Millipore Intelligent RDS pump showed the best quantitative photoresist emission characteristics within $\pm 0.008\text{ml}$ and up to $\pm 0.018\text{ml}$.

Keywords : Photoresist, Photoresist Pump, Diaphragm, Semiconductor, Semiconductor Process

이 논문은 2021년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음

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

email: phk315@nsu.ac.kr

Received July 11, 2022

Accepted September 2, 2022

Revised August 29, 2022

Published September 30, 2022

1. 서론

반도체 생산공정에서 Photo lithography 공정은 크게 스�핀코터(spin coater)를 이용한 감광액(photoresist) 코팅, 패턴이 있는 마스크를 웨이퍼 위에 놓고 빛을 조사하는 노광(exposure), 패턴이 웨이퍼 상에 노광된 상태에서 패턴을 드러내는 현상(develop) 공정으로 이루어진다. 반도체 회로의 집적도가 높아지면서 포토공정에서 기존보다 높은 resolution의 포토레지스트가 요구되고 있으며, 공정에서 발생 가능한 불량요인의 제거가 중요한 이슈가 되고 있다. 또한 일본의 포토레지스트의 수출 규제와 함께 약액 자체의 개발뿐만 아니라 코팅공정의 품질 향상에 대한 요구가 지속적으로 대두되고 있다[1].

포토공정에 사용되는 TRACK 설비에서 고가의 감광액을 웨이퍼에 정량 및 정압으로 토출해주는 PR PUMP의 기술적 요구사항은 대량생산의 특성상 단한번의 오류도 허용되지 않는 높은 수준의 신뢰성을 요구하고 있다. 이러한 반도체 제조공정에 사용되고 있는 PR PUMP는 전량 일본과 미국에서 생산되고 있으며, LED 및 프로브 카드 제작업체에 사용되는 일부 펌프만 국산이 사용되고 있다[2,3].

현재 반도체 제조라인에서는 원가절감을 위해 지속적인 노력을 기울여 12인치 웨이퍼 코팅을 기준으로 소량(0.8cc~1.5cc)의 PR을 사용하고 있다. PR 사용량이 줄어들면서 필연적으로 정량토출 및 Cut-off/suck-back 제어의 정밀도와 정확성 향상이 불량률 감소를 위한 방안으로 크게 대두되고 있으나 대부분의 설비 및 PR PUMP 제조사에서는 이에 대한 종합적인 솔루션을 제공해주고 있지 않다. 이러한 가장 큰 이유는 기본적으로 자체 제조설비 및 장치에 대한 기술에 치중하기 때문에 현실적으로 제조 현장에서 다양한 특성의 케미컬을 사용함에 따른 문제점에 정확히 대처할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 초소형 다이어프램의 설계 및 제작, 리니어 모터를 이용한 Cut-off/Suck-back valve 구동장치의 설계 및 제작을 통하여 정량 및 내압력 특성이 기존 대비 우수한 포토레지스트 펌프를 개발하였다.

2. 기존의 포토레지스트 펌프

2.1 Bellows & Diaphragm type pump

동일한 volume을 가진 펌프에서 Bellows 타입의 펌프는 Diaphragm 타입의 펌프와 비교하여 표면적이

15~20배 이상이며, Dispense시 응력이 변하면 volume hunting이 크게 나타난다. 또한 Fig. 1의 Bellows 타입의 펌프는 내부에 주름이 많아 오염에 대단히 취약하다[4].

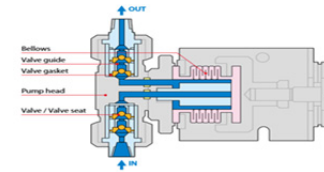


Fig. 1. Bellows type pump structure

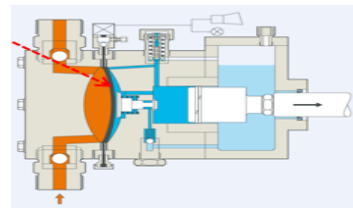


Fig. 2. Diaphragm type pump structure

Fig. 2 Diaphragm 타입의 펌프에서 Diaphragm을 구동하기 위해 초기에는 Air-cylinder를 사용함으로써 비용은 저렴하지만 정량, 정압제어에 많은 문제점이 있다. 공압식의 경우 PR 필터가 막히게 되면 부하가 증가하게 되고 일정 시간동안 실린더를 밀어주더라도 토출유량이 줄어들게 된다. 따라서 정확한 위치제어와 Feed-back이 가능한 스텝 또는 서보모터를 사용한다. 필터의 막힘으로 부하가 증가하더라도 토크가 허용하는 범위에서 일정한 이동거리를 유지 및 정량제어 가능하다.

2.2 IWAKI사 PDS PUMP

TEL사 표준제품으로 지정 및 사용되고 있으며 단순한 구성과 펌프 본연의 기능인 정량, 정압제어에 특화되어 있다. IWAKI사 펌프에서 약액을 흡입하고 밀어주는 diaphragm은 PFA(Perfluoroalkoxy) 재질의 tube diaphragm이며, 오일은 Bellows 타입의 piston load와 diaphragm 사이에 충전된다. 또한 Piston load는 외부적으로 스텝모터와 연결되며, 정해진 값으로 스텝모터가 load를 앞으로 밀어주면 충전된 오일에 의해 diaphragm이 수축되어 내부의 약액을 펌프 out-let으로 밀어 보낸다. 스텝모터가 후진하면 오일의 압력에 의해 diaphragm이 팽창되면서 in-let으로 약액이 흡입되고, 약액을 흡입, 토출할 때 특정방향으로 흐름을 제어

하기 위해서 In/out-let에 check valve가 장착되어 있다[5].



Fig. 3. Appearance of IWAKI Co. pump

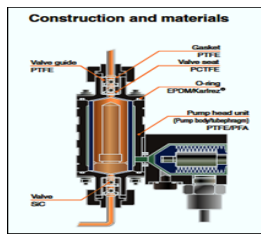


Fig. 4. Internal structure of IWAKI Co. pump

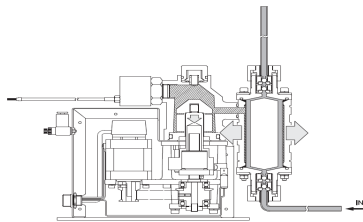


Fig. 5. Suction Operation of IWAKI Co. pump

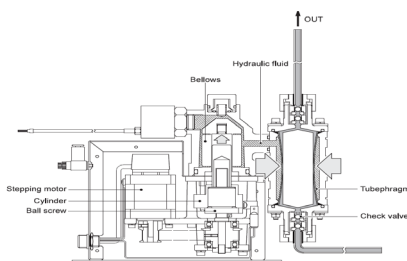


Fig. 6. Discharge operation of IWAKI Co. pump

2.3 Intelligen RDS 펌프

필터 회사인 Millipore사에서 제작한 펌프이며 초기에는 삼성반도체에서 TRACK 설비업체에 요구하여 설비와 인터페이스가 가능하며, 삼성반도체에서 TRACK 설비업체 표준으로 채택하게 요구함으로써 많이 사용되고 있다. 관련 제품으로는 Intelligen- 1,2,3,4 Model까지 개발되었다[6].

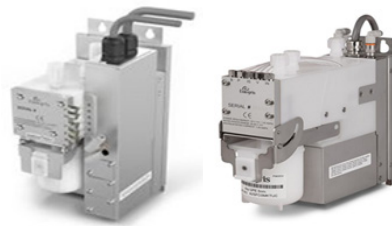


Fig. 7. Intelligen-3 & Intelligen-4 RDS PUMP

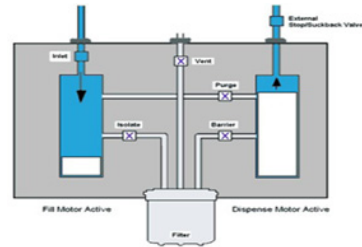


Fig. 8. Dispense operation of Intelligen pump

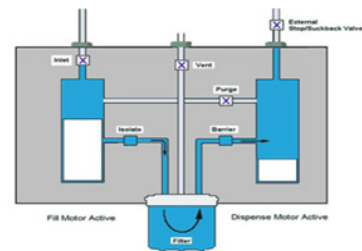


Fig. 9. Fill operation of Intelligen pump

Intelligen RDS 펌프는 Tow stage 구조(Intelligen 특허)로 최종적인 Dispense Pump가 Filter 뒤에 위치하여 정량제어에는 유리하나 Particle에는 취약하다. Fig. 8과 Fig. 9에서 좌측 Feed 펌프가 Dispense 펌프로 약액을 밀어주면 약액이 필터를 통과하면서 차압에 의해 기포가 일부 발생하는데 필터에서 기포는 Vent 라인으로 제거해 주고 Dispense 펌프로는 버블이 제거된 약액만 보내므로 정밀한 제어가 가능하다. 하지만 기포 발생 많을 경우 완전히 제거됐는지에 대한 확인이 불가능하며 일부 제거되지 않은 기포로 인해 불량이 발생하며 비메모리중 하나인 CIS(CMOS Image sensor)에 사용되는 컬러필터용 PR의 경우 수십나노미터 수준의 안료가 들어있어 기포가 다량 발생한다. Intelligen 펌프는 이러한 문제를 최소화하기 위해 2개의 펌프를 사용하며 PR 필터는 두 개의 펌프 사이에 설치한다[7,8].

3. 초소형 Diaphragm 및 펌프 개발

3.1 On/Off 밸브용 초소형 Diaphragm

On/Off 밸브용 초소형 Diaphragm은 PFA재질의 0.3T이하 두께, 지름 15mm이하 크기로 소형 Diaphragm을 제작 후 내부압력 0.5MPa상태에서 1000회(Interval Time 3sec) 가속 테스트를 실시하였으며, 그 결과 형태의 변형이 없었다. 또한, 가속테스트 후 밸브내부에 0.5MPa의 압력을 가압한 상태에서 Leak가 발생하지 않았으며, 정상적인 상황에서는 Diaphragm에 0.3MPa이하로 압력이 가해진다.

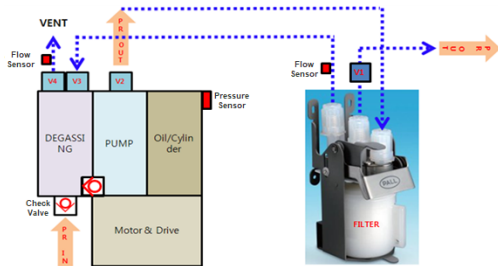


Fig. 10. Conceptual map of proposed photoresist pump

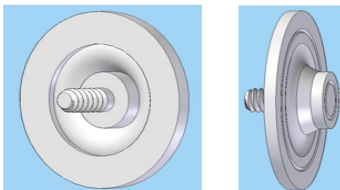


Fig. 11. Appearance of ultra-small diaphragm

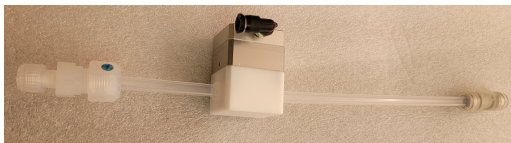


Fig. 12. Developed prototype diaphragm

3.2 펌프 바디 설계 및 제작

펌프에 사용되는 실린더 제작을 위해 AL(백색유광 아노다이징) 재질로 Insert를 가공하였으며, 정밀 연마된 SUS 재질의 실린더를 삽입 후 일체형 Body로 제작하였다.

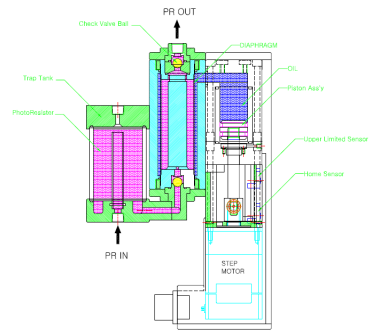


Fig. 13. Structure of basic type pump



Fig. 14. Developed photoresist pump

3.3 정량 토출 및 내압특성 시험

정량 토출 시험 환경은 일반 상온 및 대기 조건에서 0.5ml부터 0.5ml씩 5ml까지 증가하며 정량여부를 측정하였다.

0.5ml 토출의 경우 Fig. 15와 같이 최대 ± 0.015 ml 이내, 1.0ml 토출의 경우 Fig. 16과 같이 최대 ± 0.016 ml 이내의 특성을 나타내었다. 또한, 2.0ml 토출의 경우 Fig. 17과 같이 최대 ± 0.016 ml 이내, 3.0ml 토출의 경우 Fig. 18과 같이 최대 ± 0.018 ml 이내, 5.0ml 토출의 경우 Fig. 19와 같이 최대 ± 0.008 ml 이내의 특성을 나타내어 각 구간 측정 오차가 ± 0.02 ml 범위내에 포함됨을 확인하였다.

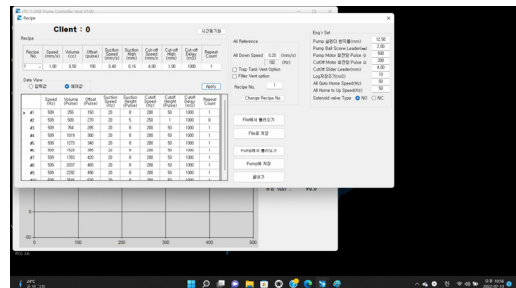


Fig. 15. Flow measurement result(0.5ml)

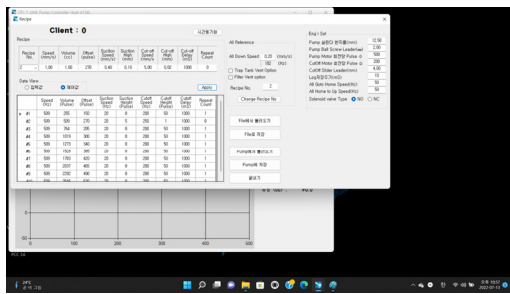


Fig. 16. Flow measurement result(1.0ml)

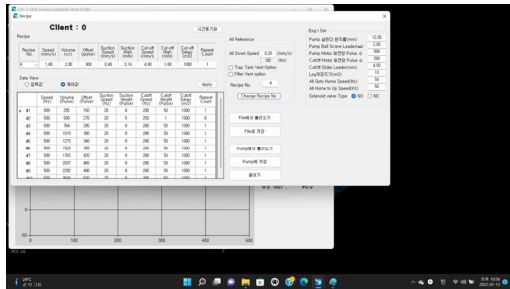


Fig. 17. Flow measurement result(2.0ml)

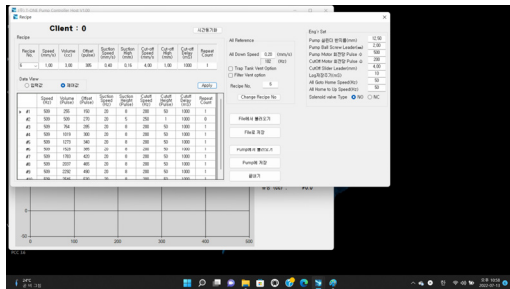


Fig. 18. Flow measurement result(3.0ml)

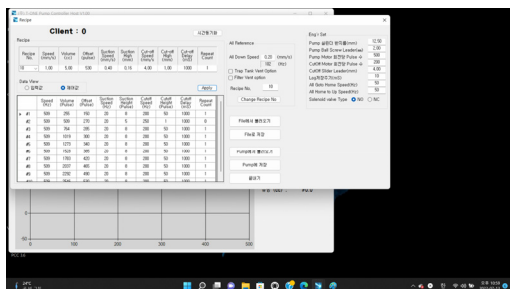


Fig. 19. Flow measurement result(5.0ml)

내압력(leak)은 펌프 OUT단을 막고 IN단에 공압 1MPa의 압력을 가하여 물속에서 시험하였으며, 시험결과 Leak가 발생하지 않았다.



Fig. 20. Pressure resistance characteristics test

4. 결론

반도체 회로의 집적도가 높아지면서 포토공정에서 기존보다 높은 resolution의 포토레지스트가 요구되고 있으며, 공정에서 발생 가능한 불량요인의 제거가 중요한 이슈가 되고 있다. 본 논문에서는 반도체 제조공정의 포토공정에 사용되는 TRACK 설비에서 고가의 포토레지스트를 웨이퍼에 정량 및 정압으로 토출할 수 있는 펌프를 개발하였다. 포토레지스트 정량토출 및 Cut-off/suck-back 제어의 정밀도와 정확성 향상을 위해 초소형 다이어프램과 리니어 모터를 이용한 Cut-off/Suck-back valve 구동장치로 구성된 포토레지스트 펌프를 설계 및 제작하였으며, 5ml 토출을 기준으로 기존 Millipore사 Intelligen RDS 펌프의 $\pm 0.02\text{ml}$ 이내 대비 구간별로 최소 $\pm 0.008\text{ml}$ 에서 최대 $\pm 0.018\text{ml}$ 의 정량 특성을 나타내어 각 구간 측정 오차가 $\pm 0.02\text{ml}$ 범위내에 포함됨을 확인하였다. 또한 내압력의 경우 0.7MPa 이상 대비 1.0MPa 이상의 특성을 확보하였다.

개발된 펌프는 전량 수입에 의존하는 On/Off 밸브용 초소형 Diaphragm의 수입대체 뿐만아니라 PR 배관내부 유체흐름 및 배관계통에 위치한 밸브들에 대한 미세변화를 검출하고 빅데이터를 통한 정밀한 관리 프로파일 제공하는데 활용이 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] Hyoung-Keun Park, "A Study on the High Viscosity Photosensitive Polyimide Degassing and Pumping System", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.16, No.2, pp.1364-1369, Feb. 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.2.1364>

- [2] S. H. Park, H. K. Park, Development of Efficient MP-GVI Package Handler for WLCSP in Semiconductor Manufacturing Process, Ministry of SMEs and Startups Research report, Anysol Co. Ltd & Namseoul univ., Korea, pp.10-28, 2014.
- [3] Hyoung-Keun Park, "Development of Machine Vision Monitoring System for Semiconductor Package Sorter", *International Journal of Control and Automation*, Vol.9, No.4, pp.63-72, April, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.14257/ijca.2016.9.4.07>
- [4] <https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=rspak&logNo=60213823898>
- [5] <https://iwakikorea.co.kr/en/catalogue/items/pds-series>
- [6] <https://www.entegris.com/content/dam/web/resources/data-sheets/datasheet-rds-01-v2-controller-with-flowmeter-option-8417.pdf>
- [7] G. K. Sahu, Pumps: Rotodynamic and Positive Displacement Types : Theory, Design and Applications, p.300, New Age Publishers, 2000, pp.204-208.
- [8] Marc J. Madou, Manufacturing Techniques for Microfabrication and Nanotechnology, p.670, CRC Press, 2011, pp.16-23.

박 형 근(Hyoung-Keun Park)

[중신회원]



- 1995년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 원광대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1998년 5월 ~ 2002년 9월 :
(주)미디어서브기술연구소
선임연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

〈관심분야〉

반도체공정, 마이크로프로세서응용, SoC