

반도체 제조 환경을 위한 Liquid filtration과 purification 기술 동향

○ 안요한 | (주)엔테그리스 기술팀
 상무
 E-mail : yohan.ahn@entegris.com

1. 서론

반도체 제조 환경 및 인프라 구축을 위한 오염 제어 기술의 발전은 반도체 소자의 기술 발전과 더불어 다양한 측정, 분석 기술을 토대로 지속 발전하였다. 이러한 오염 제어 기술은 air, liquid, gas상의 dust를 포함한 입자 오염의 제거를 1세대로 가정한다면, wafer의 주변 환경에서 AMC(Airborne Molecular Contamination), 수분(Moisture)과 입자 오염 등을 개선하는 2세대를 거쳐, 반도체 제조의 핵심 요소 중 하나인 소재(케미컬, 가스)의 금속 오염, 유기 오염, 나노 입자 오염 그리고 수분 등을 제거, 개선하는 3세대 오염 제어 기술로 발전되어 왔다.

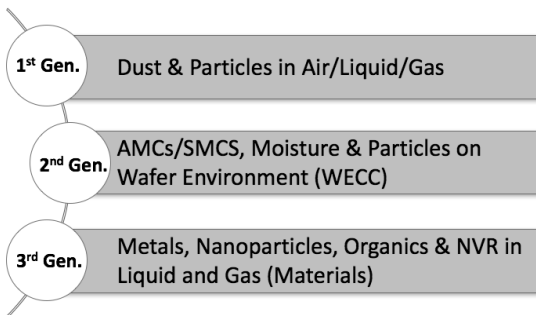


그림 1. 반도체 오염 제어 기술 발전의 예

이러한 오염 제어 기술의 발전은 반도체 소자 제조 공정상의 defects을 모니터링하는 계측 기술의 발전이 소자의 design rule(or technology node) 발전 속도를 따라가지 못함에 따라 defect 예방 제어를 위한 오염 제어 기술의 발전으로 이어져 왔다. 그림 2는 defect계측 설비의 측정 한계를 size별로 정리한 것으로, 현재 14nm LSI(Large Scale Integrated Circuit) 소자의 wafer 표면 입자 오염의 측정 필요치인 7nm를 상회하는 19nm의 측정기술 한계를 보여주고 있다.

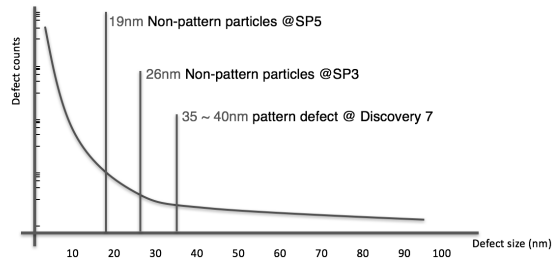


그림 2. Defect size와 계측 기술의 발전 동향

이에 반도체 소자 제조를 위한 예방 오염 제어 기술의 핵심 요소 중 하나인 소재의 오염 제어 기술에 대한 전반적인 동향을 소개하고, 향후의 기술 발전 방향을 논의 하고자 한다.

2. 본 론

반도체 제조에 있어 소자, 공정, 설비를 3대 핵심 요소로서 논의되어 왔으며, 이에 따라 다양하고 심도 있는 기술 발전이 지속되어 왔다. 이와는 별도로 반도체 제조 소재의 기술 발전은 설비 및 공정의 기술 발전 방향과 선행 요구 조건에 따라 기술의 심화가 지속되어 왔으나, 최근 들어 장비의 기술 발전 속도가 소자의 design rule shrink에 비해 더더짐에 따라 소재 기술의 발전 비중이 높아지게 되었다. 또한 이러한 기술 발전은 소재 품질의 지속적인 개선이 뒷받침되어야 함을 다양한 방법으로 논의하고자 한다.

2.1 다양한 defect의 출현 및 이에 대한 계속 기술의 한계 상황

Wafer 표면의 defect 및 수율, 소자의 신뢰성을 저하시키는 defect은 전통적인 입자 오염에서 시작하여 공기중 화학적 성질을 띤 분자성 오염, 케미컬 및 DI water내 함유되어 있는 메탈 및 유기 오염, 가스 및 dry Air내에 포함되어 있는 수분 그리고 이외에 환경적 변화 요인에 의해 다양한 형태의 defect을 유발시키고 있다.

또한 이러한 wafer 표면의 defect을 반도체 소자의 제조 환경에서 실시간으로 모니터링을 적용하기에 기술 및 비용관점의 한계에 부딪히고 있다. 예를 들어 20nm 소자의 제조 공정에서 10nm의 defect의 모니터링 필요성에 대해 현재 19nm의 non-patterned wafer defect이 그 기술적 한계이며, 이 또한 비용 관점에서 고가의 계측 장비와 생산성 관점에서 모든 defect 계측에 적용키 어려운 면이 있다.

2.2 Defect source의 다양화

2.1항의 defect source는 전통적으로 클린룸 환경, 장비의 cleanliness, 공정 부산물 관점에 접근되어

왔으나, 최근 들어 소재의 제조 환경, 제조후 보관 및 이동, filtration 적용 등에 따라 다양한 형태의 오염이 유발되고 이로 인한 defect이 야기되는 현상이 보고 되고 있다.

이러한 defect의 유발 요인으로는 입자오염, 메탈 오염, 유기오염, 비휘발성 residue 등을 들 수 있으며, 소재의 원자재의 impurity, 제조 공정에서의 불완전한 반응과 의도치 않은 반응 부산물, 제조 공정의 다양한 interface로 부터의 용출, 보관 용기 및 소재의 이동 장비로 부터의 용출 및 오염 가중 등을 들 수 있다.

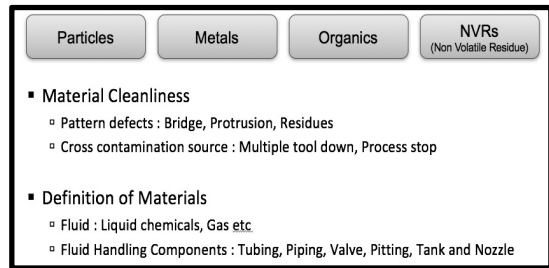


그림 3. Defect source 및 오염 형태

2.3 반도체 소재의 다양한 interface points

2.2항에서 언급된 다양한 defect의 유발 요인에 대한 소재의 제조, 보관, 이동 경로를, 원자재로 부터 wafer 표면에 공급되어 공정이 진행되는 순간까지로 나누어 POS(Point of Supply), POD(Point of Delivery), POC(Point of Connection), POE(Point of Entry), POU(Point of Use), POP(Point of Production)으로 Table 1과 같이 구분하고 있으며, 최근 들어 POS가 더욱 세분화되는 추세를 보이고 있다. 각각의 interface points는 오염의 가중, 용출 등의 위험성을 내포하고 있으며, 이러한 위험을 개선하고자 각 단계별 오염 제어 기술이 독자적으로 발전되어, 이제는 통합 관리 단계로 적용되고 있다.

Table 1. ITRS의 "Definitions for the Different Interface Points"

	POS	POD	POC	POE	POU	POP
	Point of Supply Delivery Point of Gas/Chemical Supplier	Point of Delivery Outlet of Central Facility System	Point of Connection VMB/VMP Take off valve	Point of Entry Entry of Equipment or Sub Equipment	Point of Use Entry to the Process Chamber	Point of Production Contact with Wafer
UPW	Raw water	Outlet of final filtration in UPW Plant	Outlet of submain take off valve	Inlet of Wet bench or sub-equipment	Inlet of Wet bench bath, spray nozzle or connection point to piping	Wafer in Production
Process Chemicals	Chemical Drum/Tote/Bulk supply	Outlet of final filtration of chemical distribution unit	Outlet of VMB valve	Inlet of Wet bench or sub-equipment	Inlet of Wet bench bath, spray nozzle	Wafer in Production
Bulk gases	Bulk gas delivered on site or gas generator	Outlet of final filtration/purification	Outlet of submain take off valve or VMB valve	Inlet of equipment/sub-equipment	Inlet of chamber(outlet of MFC)	Wafer in Production
Specialty gases	Gas cylinder or bulk specialty gas systems	Outlet of final filtration of gas cabinet	Outlet of VMB valve	Inlet of equipment	Inlet of chamber	Wafer in Production

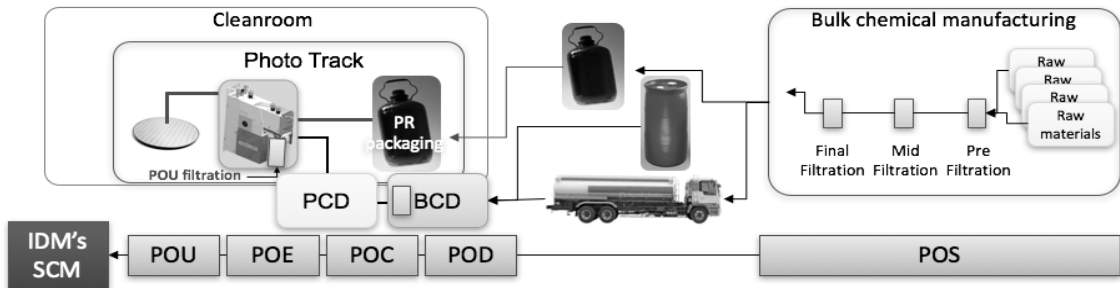


그림 4. 반도체 제조를 위한 소재의 공급 계통

Example: Entegris has solutions to achieve purity of photochemicals – from production to consumption

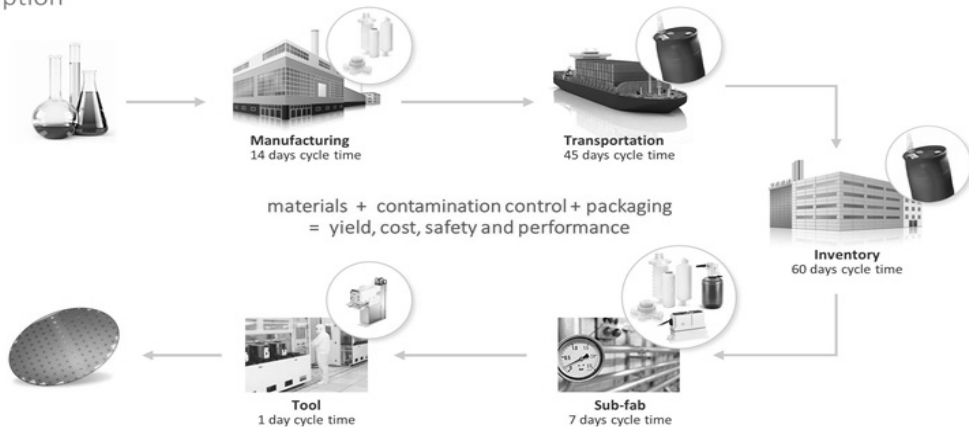


그림 5. 소재 제조, 공급 및 사용 경로에 따른 오염 요인

그림 5.는 이러한 반도체 소재의 원자재 단계에서 제조, 선적, 보관 그리고 반도체 Fab내의 중앙 공급 시스템 그리고 제조 설비에서의 공급 단계에 따른 각종 오염 제어 기술의 현황을 도시하고 있다.

2.4 오염 제어 기술의 발전 추세

반도체 제조 환경의 변화와 소재의 기술적 중요도가 부각됨에 따라 소재의 제조, 보관, 이동에 대한 다양한 형태의 오염제어 기술이 발전되어 왔으며, 이는 반도체 제조 공정중 계측 기술의 적용 한계점에 대한 보완 및 품질 및 오염 사고 발생의 예방 기술 성격으로 발전되어 왔다.

이러한 기술의 발전은 크게 filtration 기술 적용을 통한 입자 오염의 예방 감소, purification 기술 적용을 통한 원자재 및 소재의 메탈 오염의 개선, 각 interface points로 부터의 용출 및 입자 오염 가중을 억제키 위한 고순도, 고기능 소재의 개발로 발전되어 왔다.

Filtration 기술의 발전은 filter membrane의 pore size의 shrink를 통한 나노 입자의 제어 기술로서, 1nm의 UPE(Ultra-high molecular weight Polyethylene) membrane, 7nm의 PTFE membrane 등의 개발로 이어져 10nm의 소자 제조 공정에서 소재의 입자 오염 제어에 적용되고 있다. 또한 membrane pore size의 shrink 기술이 향후 sub 1nm membrane의 개발에서 어떻게 구현될 지에 대한 다양한 개발이 진행중이다. 또한 이러한 filtration 기술의 발전은 sieving 효과와 non-sieving 효과로 구분할 수

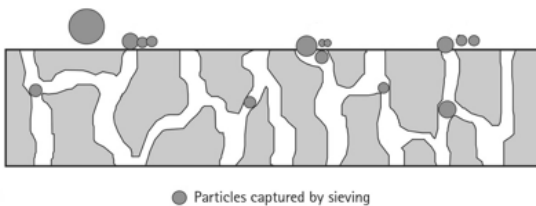


그림 6. Sieving effects in liquid filtration

있으며, Sieving 효과는 size exclusion 기술로서, pore size보다 큰 입자를 제거하는 방식으로 그림 6.과 같다.

이러한 Sieving 효과는 그림 7.과 같이 5nm의 Au nano particle로 측정한 결과, 멤브레인의 pore size 별로 제거 효율이 발전되어 왔다.

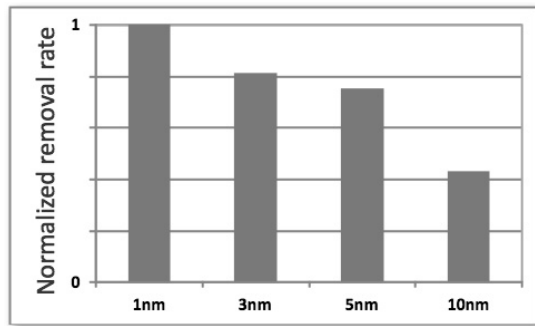


그림 7. Retention rate of 5nm Au nano particles(Normalized)

Non-sieving 효과의 경우, 멤브레인의 표면 흡착 또는 표면 반응에 의해 제거되는 거동으로, 멤브레인의 pore size와 관련없이 입자를 제거하는 기술이다.

또한 이러한 filtration 기술의 발전은 filter로 부터 용출되는 초기 오염을 개선하는 기술이 지속적으로 발전되어 왔으며, 이는 필터의 제조에 사용되는 소재의 고순도화, 제조 환경의 개선, 그리고 제조후의 filter cleaning 기술과 더불어 발전되었다. 그림 8.은 이러한 기술 발전의 예로서, 일반 표준형 filter와 Clean 기술이 적용된 필터의 초기 입자량을 지수화 한 예이다. 이러한 Clean filter 기술은 장비상의 필터 적용 초기에 flushing out 케미칼의 양을 절감하고, 조기에 설비의 안정화를 도모함으로써, 현장에서의 CoO에 기여하고 있다.

이외에 반도체 소재내의 메탈 오염을 정제(purification)하는 기술이 개발, 발전되어 왔으며, 반도체 소재의 제조 공정에 사용되는 resin과 solvent내에

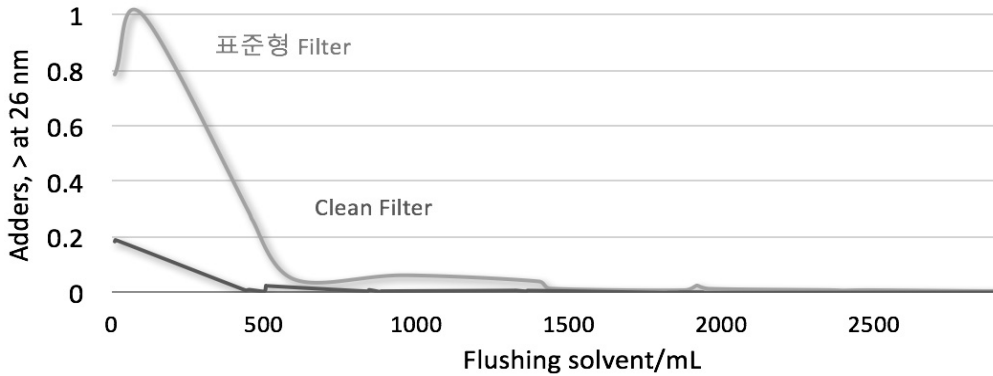


그림 8. Clean filter와 일반 표준형 filter의 초기 입자 발생량

metal 오염이 잔류될 경우 이로 인한 반도체 소자의 patterning defect, 소자의 전기적 신뢰성 저하 문제 등을 예방하기 위해 적용되고 있다.

이러한 purification 기술은 이온 교환 수지 또는 membrane의 표면 처리 등을 통해 소재의 원자재 제조 및 소재 제조 공정 그리고 공정 장비 등에 적용되고 있다.

3. 결 론

반도체 제조공정의 핵심요소 중 하나인 소재의 예방 오염 제어 기술로 적용중인 filtration과 purification 기술은 멤브레인의 pore size shrink 기술로 대표되는 sieving과 표면처리를 통한 Non-sieving

기술이 발전되어 왔으며, filter의 소재 고순도화 및 제조환경의 발전 그리고 post cleaning 기술 적용을 통한 Clean filter의 개발로 연계되어 지속적으로 반도체 제조 기술 발전에 이바지 하고 있다.

이러한 filtration과 purification 기술은 반도체 생산 설비의 POU filtration에서 공급시스템, 소재의 제조시스템 그리고 소재의 원자재 생산 시스템으로 확산되어 왔으며, filtration을 통한 입자 오염의 제거와 purification을 통한 메탈 오염의 개선 기술로 연계되어 첨단 나노 소자의 제조에 적용되고 있다.

또한 이러한 오염 제어 기술은 소재의 요소 기술 중 하나로서 지속적으로 성장, 발전할 것으로 예상된다.