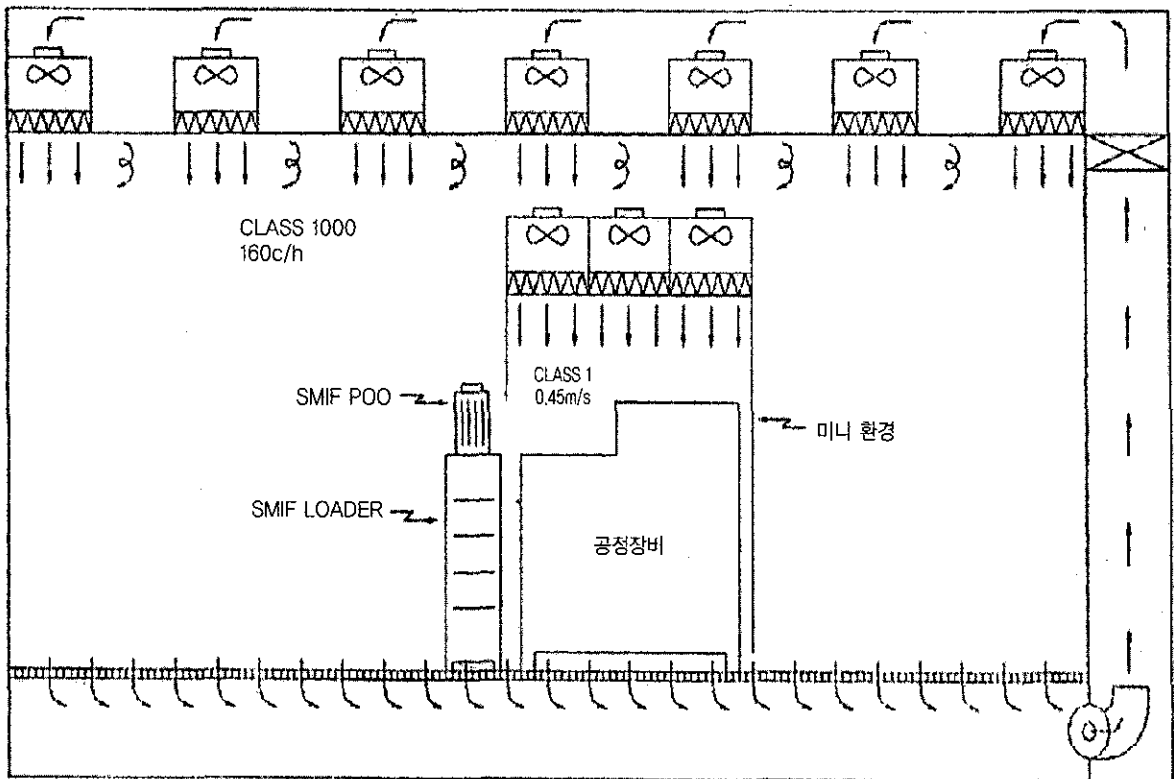


국소청정환경과 SMIF/FIMS 시스템

이 글에서는 반도체 제조공정에서 오염물에 의한 불량감소 및 생산성 향상을 위해 국소청정 환경과 웨이퍼 자동이송용 SMIF/FIMS 시스템을 소개하고자 한다. **이재근**

전 통적인 반도체 생산 방식은 린룸의 환경변화가 웨이퍼에 쉽게 영향을 준다. 생산설비 노화로 인한 화학제품의 누설, 정전사고로 인한 배기중단, 생산라인에 출입하는 작업자 등의 많은 요인에 의해 입자, 흄, 불순물, 이온 등의



일반 클린룸(Class 1,000) 내 반도체 제조장비의 국소청정공간(Class 1)을 위한 격리시스템

• 이재근 / 부산대학교 기계공학부, 교수 / e-mail : jklee@hyowon.pusan.ac.kr

오염물이 발생하여 공정 대기중 인 웨이퍼를 오염시키고 제품수율을 저하시킨다. 작업자의 영향이 없는 자동 생산라인을 구성하는데 있어 현실적으로 공정의 모니터링, 장비관리 등 완전한 무인화는 기술적 어려움이 따른다. 따라서 현장 근무자의 엄격한 청정도가 요구되지만 오염원을 완전하게 제거하지는 못한다. 현재 반도체 산업의 급속한 발전과 더불어 웨이퍼의 대구경화와 제품의 고집적화가 급속하게 진전되고 있으며, 생산성 향상과 작업효율성을 위해 클린룸 내부의 초청정공간이 요구되고 있다. 현재 256 M DRAM이 양산 체제에 있고 2~3 년 후에는 GIGA급 반도체 칩의 양산 체제를 구축하여야 하므로, 웨이퍼 레벨의 오염 제어로 국한할 수 있는 국소청정 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 이에 따라 반도체 생산을 위한 클린룸에 대하여 단순히 공기 중 부유입자에 의한 청정 공간의 구성이라는 개념에서 벗어나 입자 이외의 분자급 오염제어가 가능한 국소 초청정공간 개념의 연구 방향으로 전환되고 있다. 클린룸 내 국소 초청정 오염제어를 통해 반도체 제조의 고품질화, 불량률 감소 및 클린룸 초기투자의 최소화를 이룰 수 있어 차세대 반도체 경쟁력을 확보할 수 있다.

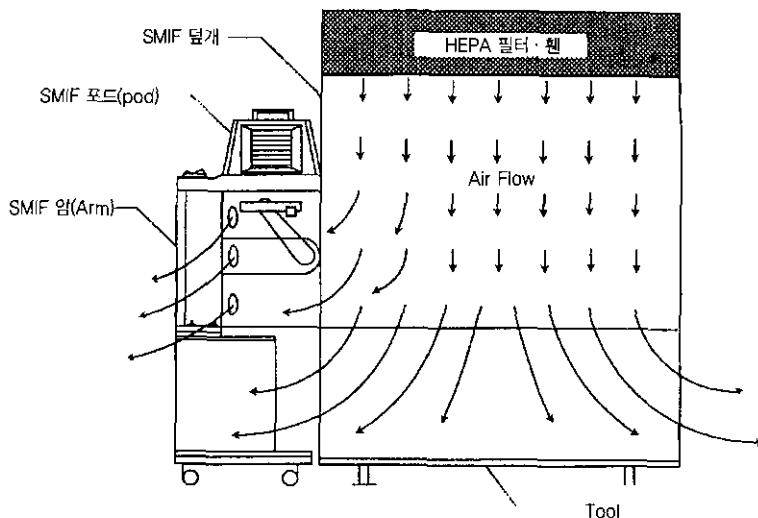
격리 기술

Class 10급 이하의 초청정 클린룸(1 ft³ 공간 내 0.5 μm 입자

10 개 이하로 유지되는 청정공간)으로 반도체 제조공정의 청정도는 원하는 수준으로 유지되나 실제로 웨이퍼의 대구경화와 고집적화가 요구됨에 따라 제조공정의 불량률 일으키는 고청정 공간을 반도체 제조공정 전체에 유지하기는 힘들고 제조공정간 오

까지 관리되고 있다 말할 수는 없게 된다.

생산성 향상과 제조공정에서 오염관리 효율화를 위해 웨이퍼 제조공정별로 필요한 부분에만 국소적으로 초청정 공간을 만들고 공정간 웨이퍼 이송과 반송은 자동화된 기계적인 장치를 이용



국소청정공간 내의 제조장비로 200 mm 웨이퍼카세트를 자동반송하는 SMIF 시스템 구성도

염물 이동이 심해 원하는 청정도를 얻지 못하는 경우가 많다. 실제로 청정도 Class 10의 클린룸에서 오염입자를 측정하여 보면 많게는 수백 개 (0.1 μm 이상) 정도 발견되는 것을 알 수 있다. 이것에 대한 원인 중에는 생산장비, 재료, 작업자 등에 의한 것이 주류를 이루고 있으며, 클린룸 환경에서 제어되었다고 해서 웨이퍼수준의 환경이 실제 제조공정상의 불량률 야기하지 않는 수준

하는 클린룸 내 초청정 클린룸의 격리(Isolation) 기술이 바람직하다. 따라서 국소 공간의 고 청정화를 위한 격리 기술로 환경 제어 공간을 주변으로부터 분리한 완전한 폐쇄공간 또는 밀폐공간으로 하는 것이 가장 효과적이다. 국소청정 기술은 주변의 청정도를 낮은 상태로 유지하면서 효과적으로 국소 청정도를 제어하는 격리 기술로서 이로 인하여 클린룸 전체를 고청정 공간으로 유지

하는 종래의 방식보다 더 효율적인 청정도를 얻을 수 있다.

격리 시스템은 웨이퍼 레벨의 고청정화 달성과 공정수율 향상을 위해, 클린룸의 청정도를 Class 1,000 이상(1 ft³ 공간 내 0.5 μm 입자 1,000 개 이하로 유지되는 청정공간)으로 유지하면서 중요 제조공정의 국소 내부 청정도를 Class 0.1~1로 구성하는 것이 일반적이며, 국소적으로 청정도를 높여 오염을 제어하는 장치이다. 클린룸 전체를 고청정 공간으로 유지하는 종래의 방식보다 웨이퍼 레벨의 고청정도를 얻을 수 있고 제어공간의 국소화로 인해 클린룸 설치비 및 운전비를 크게 절감할 수 있다. 격리시스템의 주요 구성으로는 현재 주류를 이루는 200 mm 웨이퍼 제조공정에서 웨이퍼를 카세트에 보관하여 국소청정 공간 내의 제조공정으로 웨이퍼를 자동으로 이송/반송하는 인터페이스 설비인

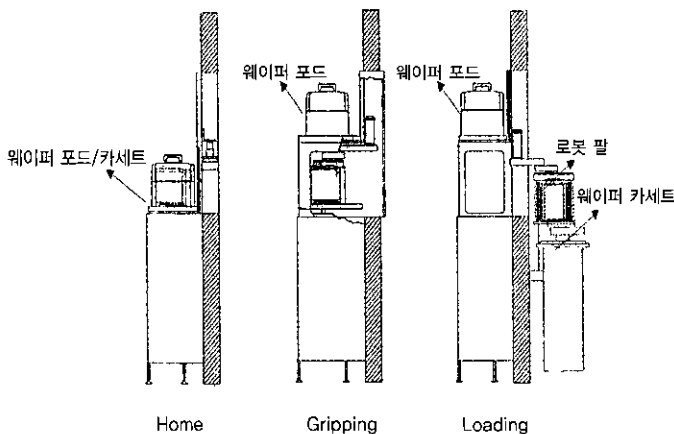
SMIF(Standard Mechanical Interface) 시스템, 300 mm 웨이퍼 용 FIMS(Front opening Interface Mechanical Standard) 시스템이 있으며, SMIF와 FIMS 시스템은 국소청정공간(Mini-environment)와 통합되어 웨이퍼 레벨의 고청정 환경을 제어한다. 격리 시스템은 주로 미국과 독일 등이 세계 시장을 독점하고 있으며, 국내에서도 SMIF와 FIMS 시스템, 국소청정 설비가 개발되어 국내의 시장을 개척하고 있다.

SMIF 시스템

SMIF(Standard Mechanical Interface) 시스템은 200 mm 웨이퍼 제조공정에서 웨이퍼를 카세트에 보관하여 국소청정 공간 내의 제조공정으로 웨이퍼를 자동으로 이송/반송하는 인터페이스 설비로, 격리기술을 사용하여

외부환경과의 분리라는 의미에서 효과적이다. 반도체 생산라인에서 웨이퍼 공정시간을 보면 웨이퍼가 처음 공정에 투입되어 공정이 완료될 때까지 전체 공정시간 중 순수하게 공정이 진행되는 시간이 20%, 공정 대기중인 시간이 80% 정도로 실제로 많은 시간 동안 웨이퍼는 공정 대기 중에 있다. SMIF 시스템은 공정 대기중인 웨이퍼 카세트를 Pod라고 하는 밀폐된 특수용기에 넣어서 보관, 반송하고 국부적 고청정도가 유지된 공간에서만 공정이 이루어지도록 되어 있어 외부 환경변화로부터 완전하게 고립되기 때문에 안정된 제품 생산량을 유지할 수 있다.

SMIF 시스템은 SMIF Pod와 SMIF Loader 등으로 구성되고 국소청정장치 내에 있는 반도체 공정장비 및 측정장비와 완벽한 통합제어를 통해 최적의 국부적 청정도를 유지할 수 있다. SMIF Pod는 웨이퍼 카세트를 내장하여 청정공간을 제어 및 유지할 수 있는 밀폐용기로서, 웨이퍼 자체도 카세트와 함께 주위 오염원과 격리된 SMIF Pod에 보관 및 운반되어 외부의 입자발생원으로부터 오염을 방지할 수 있다. SMIF Loader는 SMIF Pod를 개방시키고 국소청정공간 내부로 웨이퍼의 Loading 및 Unloading 작업을 수행하기 위해 웨이퍼 카세트를 이동시켜, 고청정 공간 안에서 웨이퍼 공정이 이루어지게 하는 장치로서 Robot Arm, Motor Driving System, Wafer



웨이퍼카세트를 로봇에 의해 국소청정공간 내에 설치된 반도체 제조장비로 반송시키는 SMIF 시스템 운전동작

Mapping Sensor 등으로 구성된 다. SMIF 시스템의 동작은 기본적으로 웨이퍼가 SMIF Pod안의 카세트에 내장된 채 SMIF 시스템이 놓이고 (Home), 로봇에 의해 웨이퍼 카세트를 잡고 (Gripping), 국소청정 공간으로 웨이퍼 카세트를 이동시키는 Loading 동작과 공정이 끝난 뒤, 다시 로봇에 의해 카세트를 SMIF 시스템에 Unloading 동작을 갖는다. SMIF 시스템은 로봇에 의해 웨이퍼 카세트를 국소초청정 공간에 이송/반송시키는 것이므로 1,000 번 작동시 웨이퍼에 침착되는 입자가 10 개로 제어하는 시스템성능평가, 미세오염입자제어, 진동소음제어, 로봇 제어 등이 주요 핵심기술이다.

SMIF 시스템은 주로 DRAM 이외의 반도체 생산이 주종인 미국에서 개발 보급되기 시작하여 주로 기존의 오래된 라인의 업그레이드가 주종이었으나, 그 후 대만이나 싱가포르, 태국 등의 신규 ASIC 공정에 도입되기 시작하였다. 현재 한국의 신규 ASIC 공정에 이미 도입되어 설치 공사중이며, 일부 DRAM 공정의 증설 라인에도 도입되어 성공적으로 운영되고 있으며 국내에서는 200 mm 웨이퍼용 SMIF 시스템을 개발하여 상품화하였다.

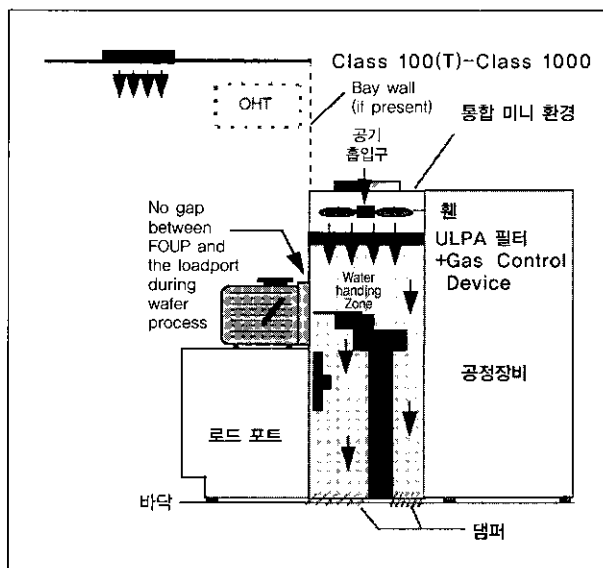
FIMS 시스템

향후 반도체 산업은 1 MEGA DRAM에서 1 GIGA DRAM으로 집적도가 수천배 증가하면서

패턴치수는 현재보다 10 분의 1 이하($<0.1 \mu\text{m}$)가 되고 저 단가로 대량생산하기 위해서는 생산성의 관점에서 웨이퍼 크기가 필연적으로 300 mm 이상으로 요구된다. 직경 300 mm 이상의 웨이퍼를 가공하기 위해서 제조장치나 반송시스템 개념이 변경되어야 하고 클린룸 자체의 구조도 변경되어야 한다. 1 GIGA 시대 생산성을 향상시키기 위해서는 웨이퍼의 대구경화에 기인하여 취급이 용이하여야 하고, 미세화 가공과 함께 수율을 향상시키며, 장치의 신뢰성을 높이는 반면 제조라인 설비 가동률 향상이 요구된다. 무인 자동화에 의한 웨이퍼의 반송은 수동 반송보다 웨이퍼 표면오염도가 낮게 나타나고 크기나 중량 면에서 안정된 작업조건을 얻을 수 있다. 300 mm 공정에 있어서 웨이퍼의 대구경화에 의한 중량 상승에 따라 입경 $0.01 \mu\text{m}$ 이상의 가스상 및 분자상 오염입자가 제어되는 청정 내부 환경을 갖는 고정정 반송 시스템의 중요성이 증대되었으며, 200 mm 시대에는 작업자의 손으로 반송하였던

것도 300 mm에서는 완전 자동화된 기계적 힘의 필요성이 증대되고 있다. GIGA급 반도체 제조 전 공정의 자동화와 연속적인 대량생산으로 인해 웨이퍼 반송 요구량이 공정 간에 시간당 500~800 회가 일반적이고 향후 시간당 1,000 회 이상을 반송할 수 있는 시스템 제어기술이 요구되고 있다. 웨이퍼의 다품종 및 소량생산 등의 추세에 대응하기 위한 반송 리드타임의 단축이 요구되는데, 이러한 요구를 만족시키기 위해 5 분 이하의 평균 반송 시간을 가지는 Clean Tube 초청정 웨이퍼 반송시스템이 필요하다. 따라서 향후 GIGA DRAM의 생산을 위한 클린룸은 건설비 축소, 에너지 절약, 생산성 향상 및 오염제어를 통한 수율향상을 고려하여 설계하여야 한다.

FIMS(Front opening Inter-



300 mm 웨이퍼용 FIMS 시스템과 국소청정공간 개념도

face Mechanical Standard)은 고청정 웨이퍼 자동 반송시스템과 공정장비간에 300 mm 웨이퍼를 수송하고 저장하기 위해 사용되는 전면 개방박스과 공정장비 사이의 인터페이스 장치로서, FOUP(Fronting Opening Unified Pod), FOUP Opener 등으로 구성된다. 300 mm 웨이퍼는 13장 혹은 25장을 수평으로 넣고 측면 전방부에 뚜껑을 갖는 FOUP라고 불리는 용기에 수납되어 운송된다. 운송된 FOUP을 여는 로봇은 SEMI E15.1과 E62에서 규정되어 있는 FIMS 인터페이스를 가지고 있으며, 전방에 있는 자동문의 개폐에 의해 덮개가 열린 후 장치 내의 핸들링 로봇에 의해 웨이퍼가 국소초청정 공간 내의 장치로 한 장씩 운반되어 공정작업 완료 후 다시 원 위치로 자동이송된다. 기본적으로 Bay방식과 유사하여 Load-port는 주로 AMHS(Automated Material Handling System)측에서 반출입을 수행한다. FIMS 시스템은 카세트와 박스 일체형의 밀폐용기인 FOUP 내에 웨이퍼가 담겨있기 때문에 SMIF 시스템과 비교하여 웨이퍼의 운반 시 발생하는 입자오염을 최소화할 수 있다는 장점이 있다.

현재 미국 및 일본은 300 mm 웨이퍼를 FOUP 또는 Open Cassette의 형태로 클린룸 내 청정공간을 최소화시키는 연구개발

에 많은 투자를 하고 있으며, 국내에서도 300 mm 웨이퍼용 FIMS System(SSL-3000)을 개발하여 상용화 중이다. 장비의 국소청정화 동향을 살펴보면 장비 회사 자체에서 설계하여 장착하기보다는 더욱 전문성이 뛰어난 국소청정장치 시스템 전문회사에 의뢰하여 국부적으로 장비의 청정도를 극대화시키는 OEM 생산 방향으로 그 추세가 변화하고 있다. 향후 GIGA급 반도체를 생산하기 위해서는 300 mm 웨이퍼를 이용하여 반도체를 양산할 수 있는 신개념의 클린룸 설계기술을 구축하여 생산원가를 절감하고 생산수율을 높여야 할 것이다. 차세대 GIGA급 클린룸 시스템은 사용자의 요구와 생산품의 특성에 따라 달라질 수 있는데, 선진국에서도 제품에 따른 확정된 시스템은 아직 보고되고 있지 않으며, 현재 기술개발 중인 상태이다.

국소청정환경

국소청정환경(Mini-Environment)은 작업자나 주위환경에서 발생하는 오염을 방지하기 위해 웨이퍼나 공정장비를 국소적으로 격리시키는 장치이다. 국소청정환경은 Class 1,000 이상의 청정도를 갖는 클린룸 내에서 SMIF 또는 FIMS 인터페이스와 결합되어 팬의 구동에 의한 유속

제어와 ULPA 필터를 통과한 청정공기로 국소 작업공간을 Class 1 이하로 유지한다. 또한 유속제어와 함께 국소청정환경 내 공정 중에 발생하는 오염을 최소화하고, 자동 압력보정장치인 PID형 압력제어기와 정전기 발생을 억제하기 위한 이온나이저(Ionizer)를 설치함으로써 장치의 안정성과 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

현재 직경 300 mm 웨이퍼 생산을 위한 국소청정환경 기술의 표준화에 대해 SEMATECH I300I 규정에서는 FIMS 인터페이스와 통합 국소청정환경 시스템을 제창하고 있으며, 이는 국소청정환경을 Class 100~1,000의 청정도를 갖는 클린룸에 설치하고 공정 중 Handling Robot 내에 있는 웨이퍼, FOUP Door의 개폐기구 및 Loading/Unloading 장치가 청정환경 하에서 일체화된 시스템을 의미하므로 300 mm용 웨이퍼 공정장비는 국소청정환경과 통합된 개념 속에서 설계된다.

향후의 반도체 공정에서의 환경제어 관점은 설비운영, 생산성, 융통성을 고려한 국소청정공간과 통합된 SMIF 및 FIMS 시스템으로 초청정 오염제어를 통해 반도체 제조의 고품질화, 불량률 감소 및 클린룸 초기투자의 최소화를 이룰 수 있어 차세대 반도체 경쟁력을 확보할 수 있다.