

# 클린 튜브 시스템 기술

반도체를 만드는 클린룸은 기술의 발달에 따라 급속도로 발전해 가고 있는데, GIGA급 반도체를 생산하는 클린룸은 경제성과 안정성면에서 클린 튜브 시스템(Clean Tube System)으로 발전될 것이다. **조상준**

## 클린룸

현대의 우리 인간 생활에서 반도체 칩의 중요성은 날로 증가되어 가고 있다. 예를 들면, 컴퓨터는 모두가 칩으로 이루어져 있다고 해도 과언이 아닐 정도이며, 여기에서 시작된 반도체의 응용 기술은 모든 기기류에 사용되는 컨트롤러나, 측정장비류에 널리 활용되고 있다. 향후 가까운 미래에는 자기복제기능을 갖는 반도체 칩을 사용한 컴퓨터가 만들어져 인간을 지배할지도 모른다는 공상소설도 등장하고 있는 실정이다.

이러한 반도체산업은 그 특성상 생산기술의 발전속도가 매우

빠르기 때문에 제품의 라이프 사이클(life cycle)이 짧고, 고부가가치 제품의 다변화 추세로 인한 신규 제품의 빠른 개발이 요구되고 있다. 이러한 반도체의 발전은 표 1에 나타난 바와 같이 약 2~3 년의 주기로 세대교체가 일어나고 있으며, 현재 256 M DRAM이 양산되고 있고, 2~3 년 후에는 GIGA(109)급 반도체인 1 G DRAM(Dynamic Random Access Memory) 양산이 예상된다.

이렇듯 우리 생활에 중요한 필수 요소부품이 되어 버린 반도체를 생산하는 공간이 바로 먼지가 없이 청정도가 매우 높은 클린룸이다.

현재까지는 주로 직경이 200 mm 웨이퍼를 사용한 16~64 M의 제품이 세계 시장의 주류를 이루고 있고, 우리나라도 이 제품으로 세계 시장을 선점하고 있으나, 향후 반도체 시장은 기기(Device)의 고집적화와 이에 따른 웨이퍼의 대구경화로 300 mm 웨이퍼를 사용한 GIGA급 제품으로 발전될 것이다.

웨이퍼의 대구경화와 기기의 고집적화가 급속하게 진전되면 10 nm(1 nm=10<sup>-9</sup> m) 크기의 입자상과 분자 크기의 가스상 오염까지가 제거대상에 포함된다. 이러한 생산조건을 만족시키기 위해서는 클린룸의 청정도를 높일 수밖에 없으며, 클린룸 설비의 품질이 오염원의 축소를 위해서는 고급화될 수밖에 없다. 이는 곧바로 클린룸 건설비와 운전비 상승을 초래하고, 나아가 반도체의 원가 상승, 타산성의 악화를 가져올 것이다.

이러한 문제 해결을 위해서 반도체 생산을 위한 기본적인 인프라인 클린룸에 대한 변화가 요구

연도	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
가공회로 크기 (최소선폭 : μm)	0.35		0.25			0.2~0.18			0.13					0.10		
DRAM 추이	16M		64M			256M~1G			4G					16G		
웨이퍼 크기	φ 200mm			φ 300mm			φ 400mm									
관리 입자 크기(μm)	0.1		0.7			0.05			0.02					0.01		
미세진동(μm)	0.45		0.35			0.25								0.15		

• 조상준 / 신성이엔지 기술연구소, 소장(이사) / e-mail : chosj@shinsung.co.kr

되고 있으며, 지금까지의 단순한 클린룸 수준의 초청정공간 구성을 위하여 고성능 필터와 적정풍속을 유지하는 것으로써 입자의 침착을 제어하는 개념에서 벗어나, 국소적인 고립(Isolation) 개념으로 웨이퍼 수준에서의 오염프리(Contamination free) 환경을 구현하는 방향으로 발전되어 가고 있다.

### 클린룸 미래상

위에서 언급한 바와 같이 반도체의 필수불가결성 때문에 세계적으로 반도체의 수요는 폭증하고 있으나, 이에 따라 세계 각국의 생산자들 또한 증가되고 있어, 파인생산에 따른 가격경쟁력 약화의 문제가 대두되었다. 이러한 가격경쟁력에서 우위를 선점하기 위해서는 반도체의 성능을 향상시키고, 제조원가는 절감시키는 기술혁신을 이루지 않으면 안 되며, 이 중 생산원가를 줄이기 위한 새로운 방안을 생각하지 않으면 안 되겠다.

또 하나는, 종래의 반도체 공장 시스템에서의 주류가 되는 것은 전면 층류형 클린룸으로서 다량의 에너지와 초기 투자비가 요구되는 시스템이었다. 즉, 현재까지는 FFU(Fan Filter Unit)시스템이 적용된 슈퍼 클린룸(Super Clean Room)이 널리 보급되고 있으나, 256 M 이상 반도체 생산라인의 클린룸인 경우 건설비를 절약하기 위한 방안으로서 국소

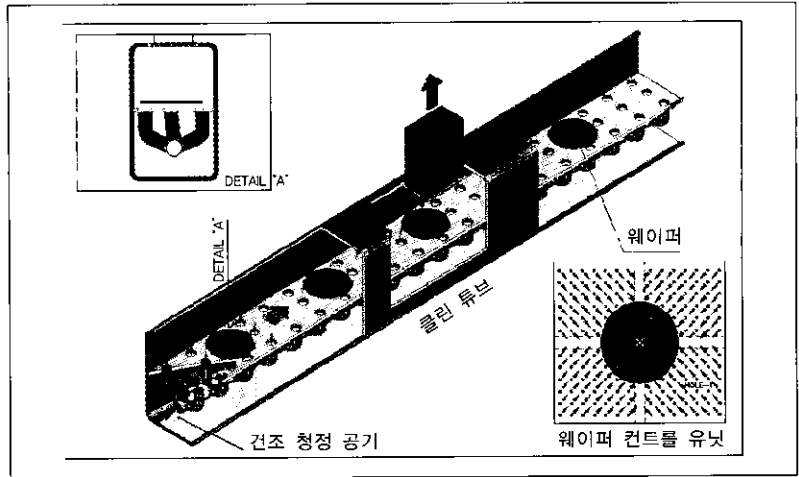


그림 1 클린 튜브 시스템

청정 개념인 종합 M/E(Mini-Environment) 시스템을 적용하는 방식으로 전환될 시점에 있으며, 그 방향은 다음과 같다.

- ① 클린룸의 건설비용을 최소화한 투자비 감소
- ② 클린룸 운전비용의 최소화를 통한 생산원가 절감
- ③ 건설공기를 최소화하여 적기에 새로운 제품을 출시함으로써 가득름 증대
- ④ 생산 공정에서의 Outgas의 최소화로 반도체 수율 향상을 통한 생산원가 절감

또한 이 시스템은 주변 기기와 시스템적으로 사용하게 되어 있어 300 mm 웨이퍼의 사용이 가능해지리라 생각된다. 이 시스템은 가까운 시일 안에 또 다시 클린 튜브 시스템으로 변천되어 갈 것이다.

클린 튜브 시스템은 하나의 고립 시스템으로 단지 개념만 제시되어 있으며, 실질적인 연구는 수행되지 않았다. 개발자마다 서로

다른 형태를 제시하고 있으나, 개념적으로는 아래 그림과 같은 형상을 갖는다. 그림에서 보는 바와 같이 클린 튜브 시스템은 웨이퍼가 최소한의 한정된 공간 내에서 건조청정공기 또는 가스에 의하여 반송되기 때문에 외부 공기와 접촉되지 않아 오염의 가능성이 없으며, 밀폐형 캐리어(carrier)를 사용하지 않기 때문에 용기의 개폐로 인한 오염문제도 배제될 수 있다. 더군다나 생산라인의 전 공정이 하나의 밀폐공간에서 수행되기 때문에 기존의 클린룸이 더 이상 필요하지 않을 수도 있다. 이는 곧 막대한 초기 투자비를 줄이는 효과로 나타날 수 있다.

이제부터는 구체적으로 웨이퍼의 반송에 대한 방법을 검토해보자. 기존의 웨이퍼 반송방법을 이용하고서는 입자 발생을 피할 수 없기 때문에 초청정도 유지 또한 그 한계가 있다. 이에 대한 가장 유력한 해답은 비접촉식 운송 시

시스템이다. 결국 클린 튜브 운송 시스템은 원천적으로 입자를 유발하지 않는 메커니즘으로 이뤄져야 하는 것이다.

비접촉식 운송 시스템의 원리는 부상과 추진이라는 두 가지 메커니즘으로 이뤄진다. 부상과 추진의 두 메커니즘을 기반으로 세부 사항을 간단히 살펴보고자 한다.

### 부상 방법

웨이퍼나 웨이퍼 캐리어(carrier)를 지면과 접촉시키지 않고 비접촉 방식으로 운송하기 위해서는 우선 캐리어나 카세트를 부상시켜야 한다. 이 부상 방법으로서 공기부양 방식은 클린 튜브 내의 트랙 바닥에 미세한 구멍을 통해 가스를 분사하여, 이 분사가스의 정압과 클린 튜브 내부의 정압의 차를 이용하여 부상력을 얻는 방식이다. 이 부상 방식의 가장 큰 장점은 클린 튜브 내부를 고정정도로 유지할 수 있다는 점이다. 하지만 유체의 특성상 웨이퍼 또는 웨이퍼 캐리어의 안정된 위치 제어가 어려우며, 카세트와 같이 비교적 무거운 운송 매체를 부상시키는데 많은 유량이 요구된다는 단점이 있다. 더군다나 공기부양 방식은 대용량의 고순도 가스를 사용하므로 많은 유지비가 소요된다.

자기부상 방식은 자기의 인력 또는 척력을 이용한 부상 방식으로 웨이퍼 단독으로 부상시킬 수는 없고 카세트나 웨이퍼 한 개

부상 방식	원리	특징
가스 부양 방식	· 트랙 바닥의 미세한 구멍들 통해 분사된 질소 혹은 건조청정공기의 분출압을 이용한 부양 방식 · 웨이퍼 및 카세트도 부양 가능	· 고정정도 유지 · 큰 힘을 얻는데 많은 유량이 요구됨. · 유체를 통한 안정된 위치제어가 어려움.
자기 부상 방식	· 자기의 인력 또는 척력을 이용한 부상 방식 · 카세트 및 웨이퍼 한 개 전용 캐리어 부상 가능	· 큰 힘을 내는 데 적합 · 튜브 내부의 자기부상 장치로 인한 오염 가능성 증대 · 클린 튜브 내부에 부상장치 설치로 인한 복잡성 · 안정성을 위한 부상장치가 필수적 · 직진 외의 운동이 매우 어려움

전용 캐리어를 이용해야만 하는 방식이다. 이 방식을 이용하면 공기부양에 비해 큰 힘을 낼 수 있기 때문에 카세트와 같은 무거운 매체를 부상시키는데 용이하나, 클린튜브 내부에 부상장치의 설치로 인한 복잡성 때문에 오염 가능성이 증가한다. 또한 자기부상 원리의 특성상 부상장치의 설치가 필수적이며, 일반적으로 작은 곡률의 경로 생성이 어렵다. 이런 장치의 복잡성 때문에 자기부상 방식은 비용면에서 초기 투자비가 큰 편이다. 표 2는 가스부양 방식과 자기부양 방식의 원리와 특징을 비교하여 나타낸 것이다.

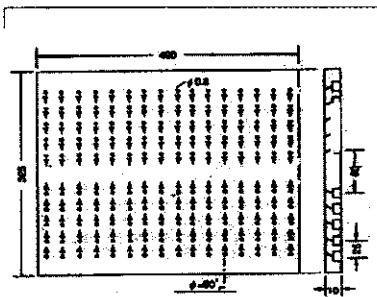
### 추진 방법

부상체에 추력을 발생시키기 위한 방식으로 가장 유력한 방식은 공기마찰에 의한 방식과 리니어 모터(linear motor)를 이용한 방식이다. 공기마찰을 이용한 추진 방식은 공기부상 방식과 더불어 1970년대 말경 IBM에서 연구된 적이 있으나, 제어의 어려움과 경제성 때문에 현장에 적용되지는 못하였다. 공기마찰 방식의 원리

는 웨이퍼 단위의 반송에 있어서는 웨이퍼 바닥면에 그의 진행방향으로 비스듬히 가스를 분사함으로써 발생하는 전단 마찰력을 이용하여 추력을 얻고, 카세트 단위의 반송에서는 힌(fin) 등을 이용하여 발생하는 큰 마찰력을 이용하는 방식이다. 공기마찰을 통해 추력을 얻을 경우 가장 큰 장점은 초정정도의 유지를 들 수 있다. 하지만 공기부상에서 발생했던 문제점과 마찬가지로 정밀한 위치 제어가 힘들고, 생산라인과의 연결장치를 구성하는데 있어서 추가적인 개발이 요구된다.

한편, 리니어 모터를 이용한 방식은 간단히 말하자면 직류 모터, 교류 모터 또는 스테핑 모터를 평면상에 축 방향으로 절개하여 직선 상에 펼쳐 놓은 것과 같은 원리로서 원래 반도체 반송과는 관계없이 독자적으로 발전해 왔으나, 최근 반도체 반송 시스템과 관련하여 주목받고 있는 기술이다. 리니어 모터를 이용한 추진 방식의 가장 큰 장점은 정밀한 위치 제어가 가능하다는 점이다. 하지만 관련 부품 및 제어장비들을

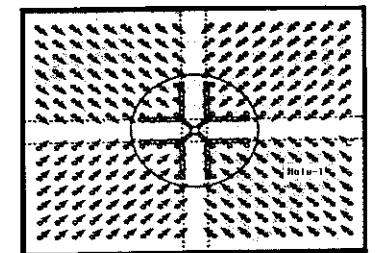
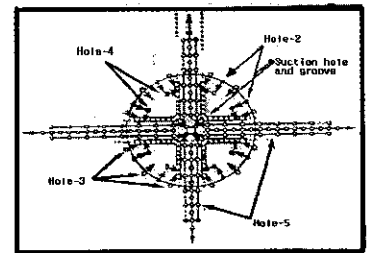
추진 방식	원리	특징
가스마찰 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>웨이퍼 단위로 전송할 경우 웨이퍼 바닥면에 그의 진행방향으로 비스듬히 가스를 분사함으로써 마찰력을 발생시킨.</li> <li>카세트 단위로 전송할 경우 현 등을 통한 큰 마찰력을 이용.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>고정정도 유지</li> <li>정밀한 위치제어가 어렵다.</li> <li>공정라인과의 연결 구성이 어렵다.</li> </ul>
리니어 모터 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>유도 모터, 직류 모터, 스텝핑 모터를 평면상에 펼친 원리임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>정밀한 위치 제어 가능</li> <li>클린튜브 내에 위치함으로써 오염 가능성 중대</li> <li>제어장비는 모두 트랙에 설치 하는 방식이어야 함.</li> </ul>



(a) 웨이퍼 트랙

클린튜브 내의 트랙에 설치해야 하는 부담으로 오염 가능성은 증대된다. 아래 표는 공기마찰 방식과 리니어 모터 방식의 원리와 특징을 비교하여 나타낸 것이다.

그림에 공기부양+공기마찰추진 방법에 사용되는 트랙의 그림을 나타냈다. 결국 이 두 가지 방법을 결합시킨 가스부상 가스마찰 방식의 운송단위는 단지 웨이퍼 하 장만을 대상으로 한다. 전체적인 공정 모습은 교차로 같은 지점들과 일반 도로와 같은 트랙들로 구성되고 있다. 이들은 각각 웨이퍼 컨트롤 유닛(wafer control unit)과 웨이퍼 트랙(wafer track)이라 불리는 것들로서 이 둘을 조합하여 경로를 생성한다. 이때 웨이퍼 컨트롤 유닛은 웨이퍼의 부양과 더불어 추진과 자세 제어에 사용되고, 웨이퍼 트랙은 웨이퍼 컨트롤 유닛에서 추력을 받아 다른 공정으로 이송중인 웨이퍼의 부양을 계속 유지하는 역할만을 한다. 즉, 웨이퍼 컨트롤 유닛은 부양과 더불어 웨이퍼를 가감속시키고, 이때 발생한 관성을 기초로 웨이퍼 트랙은 부양만 유지한 채, 또 다른



(b) 웨이퍼 컨트롤 유닛

가스분사 구멍의 배치 및 가스분사 방향

웨이퍼 컨트롤 유닛이 이 웨이퍼를 감속시켜 정지시키는 방식들의 연속인 것이다.

이밖에도 지금까지 실제 연구되었던 비접촉식 운송 시스템의 예를 간단히 알아보려고 한다.

### 공기부양 + 리니어 유도 모터

웨이퍼 케이스 반송장치에 요구되는 조건은 철저히 마찰이 발생할 수 있는 면접촉을 제거하여 오염을 방지하고, 케이스에 진동이나 충격을 주지 않으며, 구조를 최대한 단순하게 하여 장치가 차지하는 공간을 줄여 신뢰성을 높여야 한다. 일본의 Hitachi에서는 이상의 요구조건을 만족시킬 수 있는 시스템으로 공기 베어링으로 지지되는 반송대를 리니어 유도모터에 의해 구동하는 방식의 자동반송장치를 개발하였다.

청정한 압축공기를 노즐을 통해 분사함으로써 공기 베어링을 구성하고 운반대를 지지한다. UCFT와 마찬가지로 각 정지점에서만 웨이퍼 케이스를 가감시킬 수 있으며, 일반트랙은 부상만 유지시켜 준다.

### 공기 부양 + 리니어 스텝 모터

이 방식은 우리나라의 삼성항공에서 현재 쓰고 있는 방식으로, 반도체 웨이퍼를 대상으로 하지는 않고 일반 운송용으로 이용되고 있다. 운송 단위는 10 kg의 운반대까지 이다.

자기 부상 + 리니어 스텝 모터 자기부상 시스템은 부상력을

얻는 방법에 따라 흡인력과 반발력으로 나뉜다. 반발력은 운반체와 트랙 사이에 같은 극성을 발생시켰을 때의 반발력을 이용한 것으로서 수직 방향으로는 안정하고 측 방향으로는 불안정하다. 흡인력은 운반체와 트랙 사이의 인력을 이용한 것으로 척력보다 힘이 강하고, 누설 자속이 적어 에너지 효율이 크다는 장점이 있다. 이 방식은 측 방향으로는 안정하지만 수직 방향으로는 불안정하다. 보통 흡인력을 이용한 부상 시스템을 사용하는데, 이는 수직 방향의 간극을 측정 한 후 이를 피드백(feed back)하여 공급 전력을 조정함으로써 전자석의 자력을 제어할 수 있기 때문이다. 그 결과 수직 방향의 불안정성이 쉽게 극복되기 때문에 흡인력을 이용한 시스템이 주류를 이루게 되었다.

추진 방식은 스테핑 모터를 평면에 펼쳐 놓은 원리로서 쌍극자 모멘트를 대칭으로 배치하여 전선 주위의 전자기와 작용하여 발생하는 힘을 이용한다.

이 시스템이 기존 다른 시스템과 다른 점은 운송대에는 단지 센서와 부상 철심, 그리고 안정화를 위한 영구자석만을 설치하였으며, 제어는 모두 고정된 트랙에서만 이루어지도록 하여 가벼워진 운송대를 적은 전류만으로 부상할 수 있다는 점이다. 다른 특징은 트랙을 다단식으로 설치하여 트랙 제작이 쉽고, 트랙 외부에서

의 부상 및 안정화를 피하였기 때문에 트랙 접촉 부위에서 운송대가 걸리는 것을 피할 수 있다. 트랙을 다단식으로 만들면 완만한 곡선을 이루는 트랙을 만들 수 있는 장점이 있다.

#### 일체형 자기부상 + 리니어 유도 모터

이 시스템은 부상장치와 제어 장치를 탑재한 웨이퍼 한 개 전용 캐리어를 자기부상시킨 후, 리니어 모터를 통해 반송하는 시스템으로 일본의 Toshiba에서 개발한 제품이다. 가이드 레일을 갖고 있으며, 캐리어에 영구자석과 제어용 전자석 및 구동용 배터리를 탑재하고 있다. 이 시스템은 영구자석과 가이드 레일의 흡인력에 추가적으로 미소한 제어전력만 주어 전자석의 힘을 보탬으로써 적당한 부상간격을 유지할 수 있다. 추력은 지면에 설치된 리니어 모터를 통해 공급된다. 반송 트레이의 치수는 길이 350 mm, 너비 250 mm, 높이 135 mm이며, 레일과의 갭은 4~5 mm로 유지되고, 중량은 약 5 kgf로서 최대 적재량은 5 kgf이다. 이 장치는 특히 반경 300 mm 정도의 곡선궤도 부분에서도 쉽게 운전할 수 있고, 스테이션 정지위치 결정 정밀도도 0.5 mm 이하로 좋은 편이다.

결국 클린튜브 시스템은 반도체 제조공정, 스토커(stocker), 웨이퍼 반송장치, 공기청정 시스템

및 수많은 자동화 장비(sensors, actuators, controllers 등)들로 구성된 거대한 첨단 자동화 시스템이다. 이런 시스템의 총괄 제어, 유지 및 보수를 위해서는 각각의 하부 시스템 및 각종 자동화 장비들을 하나로 통합할 수 있는 네트워크 기술이 반드시 필요하다. 이러한 네트워크 기술에는 1980년대 후반부터 대두된 분산 제어 및 자동화 시스템에서 필드에 설치된 장비들 간에 실시간으로 데이터를 교환하도록 하는 디지털 통신방식이 사용될 것이다. 또한, 각각의 공정에서 생성되는 정보들을 수집, 분석, 가공, 저장 및 각 공정에서 필요로 하는 정보를 적시에 제공하기 위해서는 전체 시스템에 대한 정보를 효율적으로 관리하는 것이 필요하며, 이를 위해서 데이터 베이스 시스템이 사용되어야 한다.

이 클린튜브 시스템이 완성되면, 생산라인의 전 공정이 하나의 밀폐공간에서 수행되기 때문에 기존의 클린룸이 더 이상 필요하지 않음으로써 건물규모의 축소(높이, 바닥면적 등)가 가능하기 때문에 이는 곧 막대한 초기 투자비를 줄이는 효과로 나타날 수 있으며, 작업자에게 있어서도 아무런 클린 장비를 장착하지 않아도 되는 클린룸 프리(Clean Room Free)의 작업환경에서 평상 작업을 입고 작업이 가능한 시대가 오리라 확신한다.