

# 반도체 무인화 제조공정을 위한 Wafer Handling 자동화기술의 현황

고 명 삼

(서울대 부설 자동화시스템 공동연구소장,  
동 제어계측공학과 교수)

## 1. 서 론

자동화기술은 microelectronics 기술의 발달과 더불어 모든 산업분야에서 보다 더 중요한 핵심기술로 등장하고 있다. 특히 우리나라 경제가 점차 국제성을 띠게됨에 따라 생산성향상을 위한 자동화기술의 개발연구는 매우 중요하다.

한국의 수출상품 중 전기, 전자 및 기계분야의 공산품인 경우 거의 모든 상품에 반도체소자를 응용하지 않은 기기는 없다. 특히 반도체 소자 중 기억소자와 같은 범용성 반도체 소자인 경우 불과 2-3년 사이에 집적기억용량이 10의 제곱배로 성장하고 있으며 이들 소자들의 양산에 따른 생산성 향상은 1990년대 내지 21세기의 자동화 기술분야에서 새로운 과제로 등장하고 있다.

반도체 소자 중 특히 초고집적도이면서 초고속반도체기억소자(16Mb 혹은 64Mb)의 제조프로세스를 비롯하여 고품질 자동화가 진행되고 있는 광디스크, 태양전지 등의 표면처리, 신소재, 의약품의 융합 조합처리에는 환경의 청정도와 진공도는 매우 중요하다. 따라서 진공청정룸에서의 제조시스템의 자동화 문제는 큰 관심대상이 되고 있다.

진공청정(vacuum clean) 환경에서는 불필요한 개

스 및 먼지입자와 같은 불순물이 없을 뿐만 아니라 열적인 불균일성이 없기 때문에 진공도가 높을수록 보다 더 청정(clean)하게 되며 화학적 금속물성적으로 순수하고 좋은 소재를 만들 수 있게 된다. 최근 일부 선진국에서는 신소재의 융합프로세스를 우주스테인에서 실현시키려고 계획하고 있다. 고품질 환경은 곧 고진공청정이라는 개념에 입각하여 우주( $10^{-7}$ Pa)와 유사한 지상에서의 진공청정 환경에서의 반도체소자 제조공정의 자동화문제는 21세기 자동화 기술 vision의 한 분야이다.

초청정진공 환경에 적응해야 할 각종 자동화장치들은 그 자체로 부터 개스 혹은 먼지입자를 방출할 수 없으며, 대류에 의한 열방산이 없기 때문에 각종 구동 장치에서 발생하는 열에 대한 새로운 열방산내지 냉각방식이 요청된다.

본 원고에서는 진공청정환경에서의 제조공정의 자동화기술에 요청되는 mechatronics 기기의 중심이 될 clean robot, automated guided vehicle system (AGVS) 및 이들 기기들로 구성된 반도체 제조공정에서의 소재 handling을 위한 자동화시스템 기술의 현황과 전망에 대하여 서술하기로 한다.

## 2. 청정실 로봇에 의한 원가절감

반도체 제조공정에서 활용되고 있는 clean room에서 발생하는 불순물 중 그 실내에서 작업하는 기기 운전원에서 발생하는 불순물이 제일 많기 때문에 청정실용 로봇 및 각종 자동화기기의 사용은 반도체 소자의 생산성향상에 크게 기여한다. 지금까지의 통계에 의하면 반도체 제조공정에서 FMS의 설치로 약 15%의 생산성을 향상시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다.

잘 설계된 그리고 좋은 운전상태하에서의 불순입자의 발생과 그 범위는 다음과 같다.

- 장비내의 공기 .....5~10%
- 화학약품(가스 및 약제) .....5~10%
- 프로세스 자체 .....20~30%
- 프로세스장비 .....20~30%
- 운전원 .....30~40%

일반적으로 앉아있는 운전원이 머리, 손 혹은 팔을 움직이는 경우 분당  $0.3\mu$  이상의 크기의 입자 500k를 방출하며, 청정실용 옷을 입었을 경우 분당 100k개의 입자를 방출한다. 64k DRAM의 생산성을 40%라 할 경우 60%의 손실은 contamination, misrouting 및 misprocessing이 주원인이며 이중 15%는 조작원에서 발생한 불순물질이 차지한다. 현재 Veeco's automated wafer fab. system에 의거 인적요인을 34% 감소시키는 경우 생산성은 5% 향상(15%의 34%) 되는 것으로 보고되고 있다.

wafer는 부서지기 쉽기 때문에 6 inches wafer는 자동 handling 장치로 이송시켜야만 wafer의 손상을 최소화시킬 수 있다. 특히 10 inches인 경우 wafer fab. 공정은 자동화공정이 절대적으로 필요하다.

한편 wafer fabrication 공정에서의 작업 소요 시간중

- (1) 소재이동 : 전체작업의 10%
- (2) 프로세스장비에서의 load/unload의 소요시간 33%

은 computer based operation에 의한 자동화로 대체 가능하며 제조원가를 절감할 수 있다.

끝으로 생산경영의 개선 즉 자동화프로젝트에서의 투자환수의 많은 부분은 WIP(work in process)의 감축에 크게 좌우됨을 밝힌다.

현재 일본의 반도체 생산업체에서 wafer의 이송은 wafer 저장상자 및 load/unloaded 로봇까지 내장한 AGVS로 융통성 있게 수행하거나 자기부상형 컴

베이어시스템을 이용하여 완전자동화 이동체제로 실현시키고 있다.

### 3. 청정실용 로봇 설계의 기본개념

현재 국내에서 수백대의 로봇트를 생산공정에서 사용하고 있으나 로봇트를 사용하는 이유는 다음 몇 가지로 요약시킬 수 있다.

- (1) 노동임금의 감소
- (2) 생산비율의 증가
- (3) 위험하거나 원하지 않은 작업의 감소
- (4) 생산품질의 개선
- (5) 제조공정의 융통성 증가
- (6) 원자재손실의 감소
- (7) 자본재의 감소

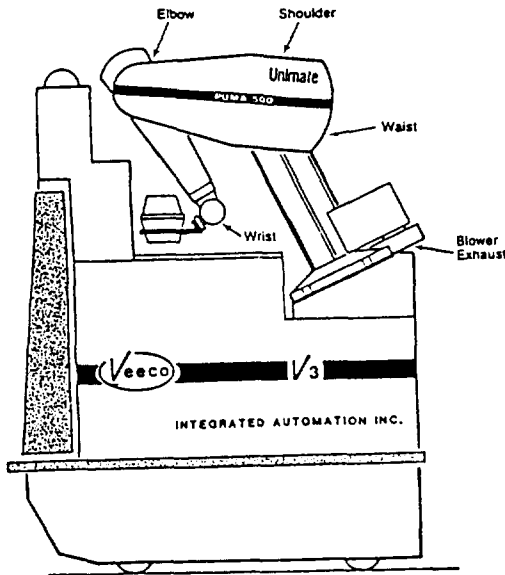
청정실의 표준사양에는 1973년에 최초로 제정된 연방 표준 209B-Federal Standard for Clean Room Workstation Requirements

- Class 100,000 : 공기 1ft<sup>3</sup> 부피내에 크기가  $0.5\mu$  혹은 그 이상의 입자 100,000개 이상 없을 때
- Class 10,000 : 공기 1ft<sup>3</sup> 부피에 크기가  $0.5\mu$  혹은 그 이상의 크기의 입자가 10,000개 이상 없을 때
- Class 1,000 : 공기 1ft<sup>3</sup> 부피에 크기가  $0.5\mu$  혹은 그 이상의 크기의 입자가 1,000개 이상 없을 때
- Class 100 : 공기 1ft<sup>3</sup> 부피에 크기가  $0.5\mu$  혹은 그 이상의 크기의 입자가 100개 이상 없을 때

과 그 후 VLSI 기술의 발달과 더불어 Class 10 및 Class 1이 추가로 제정되었으며 그 내용은 역시 공기 1ft<sup>3</sup> 부피에 내포된 입자의 갯수로 정해졌다. 그러나 최근 Submicron device 제조에는 Class 0.1에 대한 규정이 나오거나 혹은  $0.5\mu$  대신  $0.3\mu$  입자로 대체하여 시험하는 경우도 있다.

재래식 산업용 로봇트에서 기아, 모터, 베어링 및 도장용페인트 등이 오염입자의 발생원이 된다. 그러므로 이러한 오염원으로부터 입자방출을 최소화시키기 위하여 최근 로봇트 제어 업체에서는

- 관절부위를 bellows, cover plates, gaskets 혹은 silicon sealer 등으로 봉합시킴
- 산화되지 않거나 벗겨지지 않은 도장의 사용
- 마모하지 않은 특수한 호스의 사용
- 로봇트의 내부를 부압(<0)으로 함으로써 로보



Particle Emission Rates

Area	Actual Average Particles/Minute Detected
Waist JT1	0.3
Shoulder JT2	1.2
Elbow JT3	1.8
Wrist JT4	0.3
Wrist JT5	1.9
Wrist JT6	1.8
Blower	8.0

Note: Joints run at 100% speed and full travel

그림 1. PUMA로봇의 불순입자 방출시험 결과

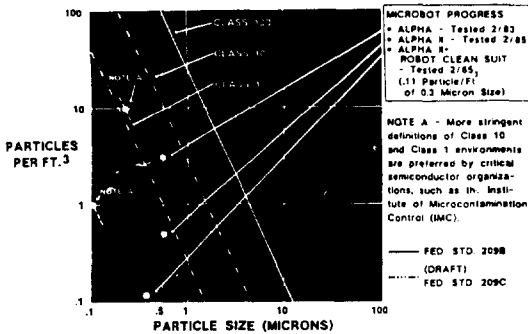


그림 2. Microbot Alpha II+의 실험결과

- 트 내부로부터 청정실로의 입자 방출의 방지
- DD시스템에 의한 gearless manipulator의 구성
- 자기베어링에 의한 직접 접촉부의 제어
- 진공로봇의 개발

등 여러가지 방법으로 기존 산업로봇의 설계를 개량하여 청정실에서 사용할 수 있는 청정실용 로봇을 제작하고 있다. 현재 Toshiba, Yaskawa, Microbot 및 Intelledex 등 여러회사들이 있으나 자세한 사양은 아직 발표된 바 없다.

청정실용 로봇의 성능시험은 일반적으로 로봇 메이커에서 하며 현재까지 알려진 시험방법으로는

다음 두가지 방법이 있다.

- (1) 입자방사를 여러관절과 로봇본체의 여러 부위에서 측정한다. 그림 1은 PUMA로봇의 실험결과이며, 이 실험결과는 Class 10 조건을 만족함을 알 수 있다.
- (2) 로봇본체 전부 위에서 발생한 불순물 입자를 표준청정실내에서 측정하는 경우이다. 그림 2는 Microbot Alpha II+의 시험결과이며 Class 1의 조건을 만족함을 보여준다.

#### 4. AGVS(Automated Guided Vehicle System)

AGV는 CIM 설비에서 가장 중요한 요소이다. AGVS의 기본기능은 계산기 제어로 복잡한 path를 거쳐 멀리 떨어진 장소에 소재 혹은 부품들을 이송시키는데 있다.

재래식 로봇에는 AGVS와 같은 이동성이 없고, 재래식 컨베이어는 flexibility하지 못하다. AGVS의 응용으로 재고관리, 장비와 작업공간의 이용율이 크게 증대하였으며, 제조공정의 융통성, 고생산성 및 생산공정의 관리제어를 보다더 쉽게 하였다. 즉 AGVS는 재료반송 운전요원으로 하여금 재료의 물리적인 단순한 이송보다 오히려 재료반송 순서 및

재고관리에 보다 더 집중시킬 수 있는 지능형물류시스템을 실현시키는 데 기여하였다. 그리고 작업영역의 안정성 역시 보다 더 증진시켰다.

미국의 물류학회(The Material Handling Institute)의 AGVS Product section에서는 AGV를 다음과 같이 정의하였다.

전자식 혹은 광학식 자동유도장치를 갖춘 운송차. 이러한 운송차는 사전에 정해진 유도길을 따라 갈 수 있거나 시스템에서 요구되는 정지 및 특수 기능을 프로그램에 의해서 수행할 수 있는 차량이다.

AGVS의 기본기능에는 다음 다섯가지가 있다.

- guidance
- routing
- traffic management
- load transfer
- system management

guidance는 주어진 물류작업을 수행하기 위하여 사전에 정해진 최적화행로에 따라 가는 것을 의미하며, 현재 청정실에서의 유도방법으로 광학식과 관성 유도방식이 있다. 적외선시스템도 현재 개발되고 있다.

AGVS routing란 특정행선지를 위한 최적 행로를 선택하기 위하여 유도행로를 따라서 운행하는 운송차의 기능을 의미한다. 이러한 기능을 실현시키기 위하여는 "frequency select method"와 "path switch select method"의 두가지 기법이 있다. frequency select method인 경우 AGVS는 분기점에 접근하여 바닥에 있는 마크로부터 진행방향에 관한 정보인 주파수를 선정 판독한 후 원하는 방향으로 주행하게 된다. 한편 path switch select method은 AGVS가 분기점에 도착하면 그곳에 있는 스위치장치의 동작으로 진행방향의 길을 선택하게 된다.

AGVS 교통관리에선 지역제어, 전진감지(forward sensing) 및 복합제어(combination control) 등 세가지 종류가 있다. 현재 교통관리체제용 센서에는 초음파형, 광학형 및 범퍼형 등 세가지 종류가 사용되고 있으나 컴퓨터비존을 이용한 인공지능형 교통관리 시스템 기능을 갖춘 AGVS가 연구실에서 개발중이다.

## 5. 자동 Wafer etching 및 cleaning

wafer etching 및 cleaning 작업에는 여러장의

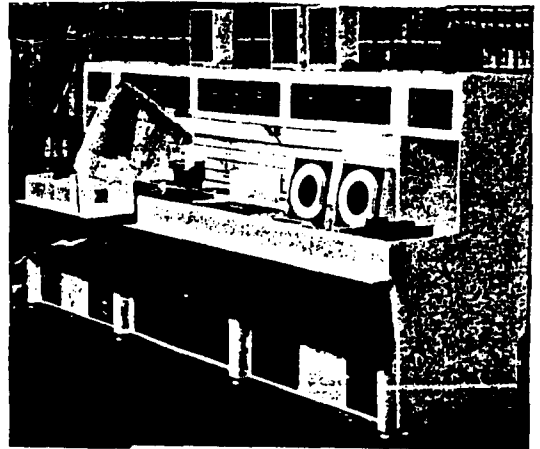


그림 3. Santa Clara Plastics wet process system

wafer와 cassette를 다루게 되며 wafer는 batch processing 혹은 a single wafer-at-a-time processing system 방식으로 세척된다. 순수와 화학물질로 세척한 후 건조과정에 들어가게 되는데 소위 wetbench에서 로봇의 도움으로 세척-건조 작업동작이 자동적으로 수행된다.

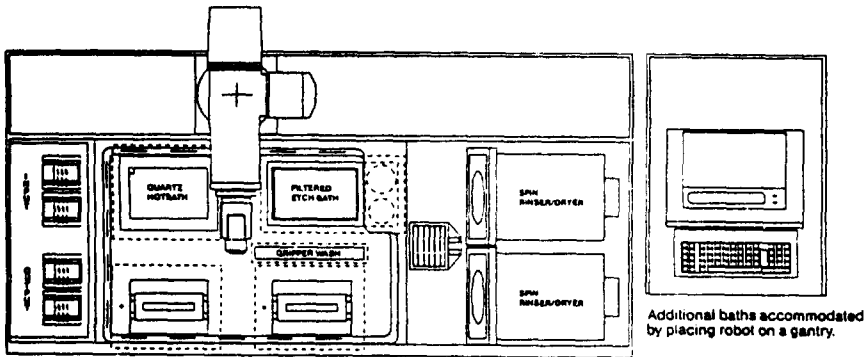
그림 3은 Santa Clara Plastics Wet Process System을 나타내며 wetbench processing에서는 acid etching, quenching, acid cleaning, a second quenching 및 drying 등의 일을 수행한다. 일반적으로 cleaning에는 기계식, 화학식 및 초음파식 등 세가지 종류가 있다.

그림 4는 semifab robot wet process system을 나타내며 pre-diffusion clean, oxide etch 및 resist strip processing 기능을 갖추고 있다.

그림 5는 United States Robots에서 개발된 robotic wafer processing workcell이다. 이 장치에서는 만일 작업중 어떤 문제가 발생하면 경보가 울리면서 동시에 CRT에 사고내용이 나타난다.

## 6. VLSI wafer fabrication을 위한 FMS

FMS는 지난 20년간 기계공구 공업에서 사용하여 왔다. 1980년초에 이 개념은 조립공정에 적용하기 시작하였다. 1984년 미국의 Flexible Manufacturing Systems, Inc. 및 Veeco Integrated Automation,



STATION DECK LAYOUT

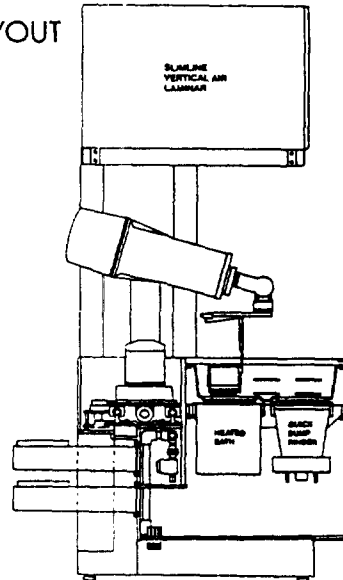


그림 4. Semifab robot wet process system

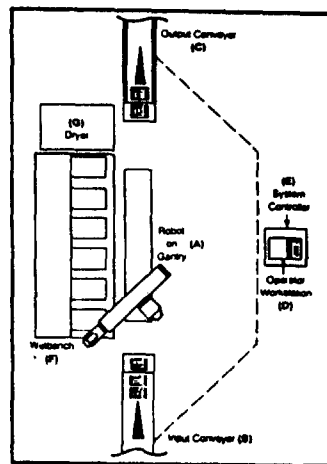
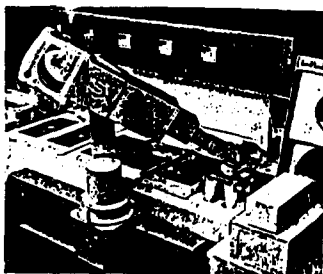


그림 5. wet processing robot workcell

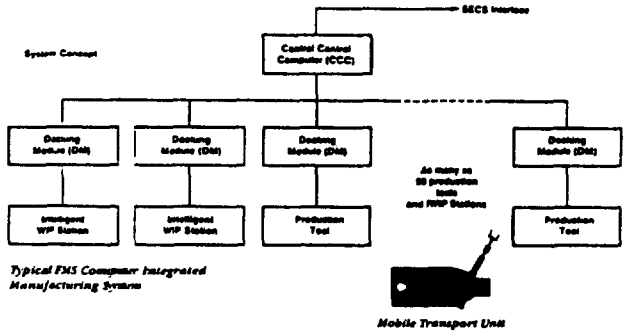
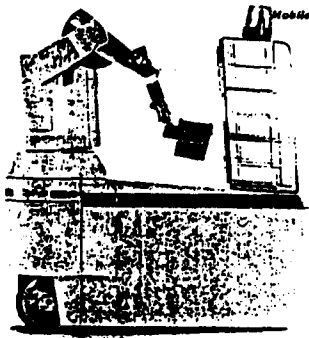


그림 6. FMS CIM 시스템

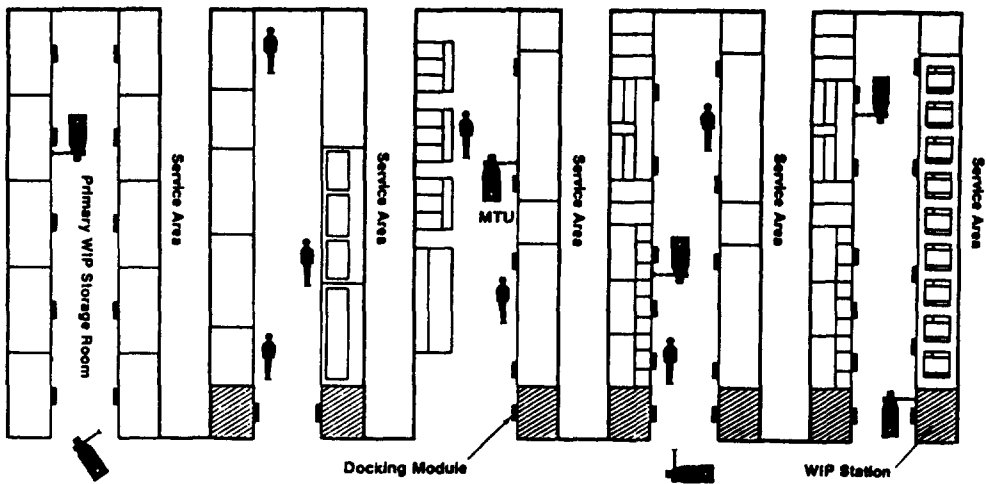


그림 7. FMS MTU를 비치한 semiconductor fab 영역

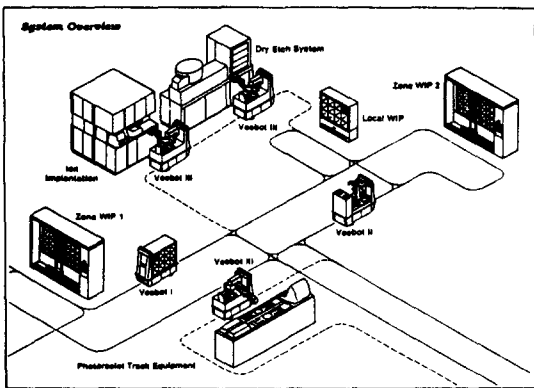


그림 8. Veeco's FAS

산업을 위한 FMS기술과 VLSI wafer fabrication 자동화기법에 대하여 간단히 설명한다.

FMS에는 기본적으로 다음 세가지 물리적인 요소로 구성된다.

- 표준 NC machine tools
- 기계와 fixturing station간의 부품과 공구를 이송하기 위한 컨베이어
- machine tools, parts-moving 요소 및 시편 상호간의 협조체제를 유지할 수 있는 전자동 제어 시스템

전형적인 FMS에는 기계대수가 약 2-20대 내외이며, 반송시스템은 Carousels, conveyors, carts, robots 혹은 이들의 조합체제로 구성된다.

Wafer fabrication을 위한 FMS에서는 Wafer lot tracking과 material handling을 한 개의 시스템으로

Inc.의 두 회사에서 반도체 산업용 FMS를 처음 개발하였다. 여기서는 이들 두 회사가 개발한 반도체

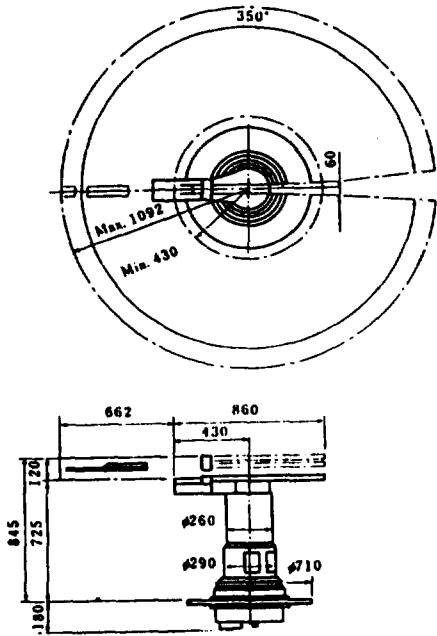


그림 9. 진공로봇

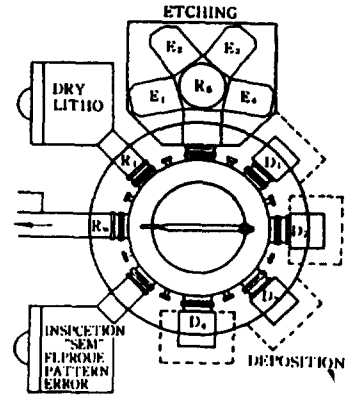


그림 10. SCARF 시스템

통합함으로써 청정실 요원을 크게 줄일 수 있다. 그림 6, 7은 FMS를 위한 CIMS를 나타낸다. 즉 FMS CIM 시스템에는 Mobile Transport Unit, Docking Module, Tool Interface, General Control Computer

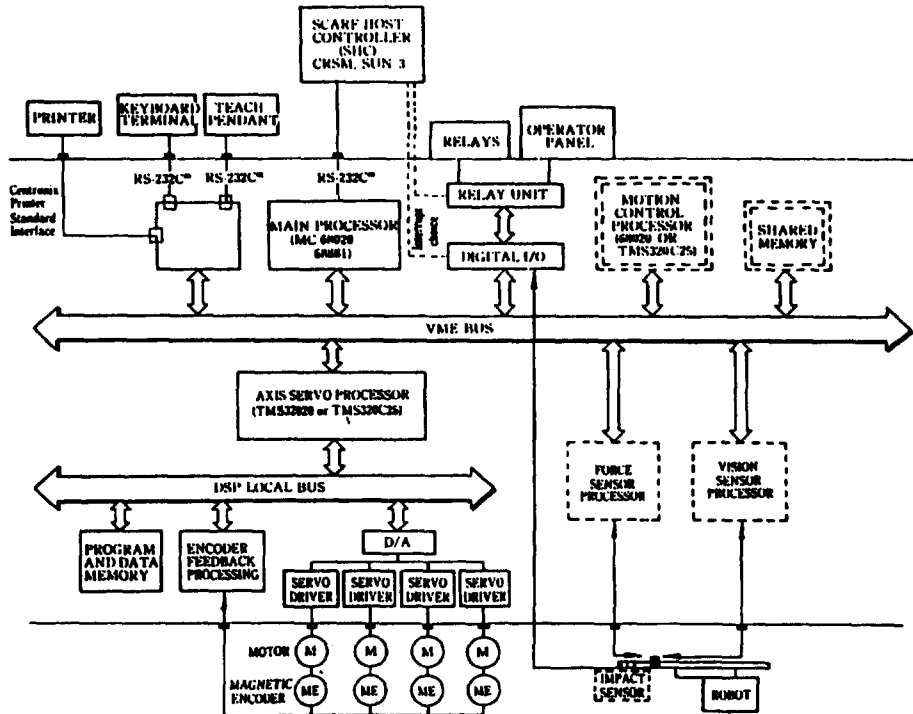


그림 11. 진공로봇 제어장치의 구조

표 1. SCARF 진공로봇의 기본사양

	선회축( $\theta$ )	수직축(Z)	신축축(R)
동작범위	350°	120mm	662mm
최대속도	90°/s	60mm/s	250mm/s
반복도	±0.006°	±0.002mm	±0.02mm
하반중량	0.4kg		
내진공도	10 <sup>-7</sup> Torr		
내베이킹 온도	150°C		

및 Intelligent WIP Station의 다섯가지의 Subsystem들이 상호연계 구성된다. 특히 그림6의 SECS link는 Semiconductor Equipment Communication Standard Link로서 wafer processing에 관한 각종 data를 host computer에 link시키는 역할을 한다. 그림 8은 veeco's 사에서 개발한 VLSI용 FMS이다.

끝으로 진공 연속제조프로세스 기법으로 VLSI칩을 생산하는 SCARF(Self Contained Automated Robotic Fabrication) 진공로봇에 대하여 간단히 소개한다.

SCARF 로봇트는 Univ. of California, Santa Barbara의 CRSM(Center for Robotics Systems in Microelectronics)와 일본 Yaskawa Denkki가 공동개발한 것으로 원통3축이며  $\theta$ 축(axial gap motor), Z축(radial gap motor), R축(linear pulse motor)로 구성되고 그 기본사양은 표1과 같다. 그림 9는 SCARF 로봇트의 치수를 나타낸다.

SCARF는 ASIC(Application Specific IC) 전용 프로세스용이다. 다종소량 생산 밖에 될 수 없는 ASIC 제조시스템에서 자동화와 효율화는 큰 기술과제가 된다.

이를 해결하기 위하여 그림 10과 같이 SCARF 시스템 즉 원형진공 실내에 etching, deposition, lithography wafer결합검사등의 process station을 배치하여 각 process간의 wafer 반송을 진공 SCARF 로봇트로 이송함으로써 종전의 clean환경에서는 얻기 어려운 고품질, 고집적도화를 진공청정 환경에서 실현시키자는 목적이 있으며 cycle time이 빠른 제조시스템을 실현시킬 수 있다는데 그 특징이 있다. 그림 11은 SCARF 시스템에서 사용된 SCARF 로봇트 제어장치의 구조를 나타낸다.

## 7. 결 론

여러 산업분야에서 요구되는 자동화, 정밀화는 인간이 개입할 수 없는 진공프로세스를 요구하기에 이르렀다.

LSI제조 프로세스에서 제조공정의 약 70%를 차지하는 wafer의 반송에서 flexibility를 갖고 고속위치결정이 가능한 로봇트가 필요하게 되었으며, 핵융합로의 유지용 로봇트 및 우주공간에서 운전되는 로봇트등 청정진공형 로봇트에 대한 기대가 높아지고 있다. 본 강연에서는 미국 및 일본 등지에서 wafer자동반송장치로 현재 개발되었거나 혹은 개발중인 자동화장치 기술에 관한 주요한 몇가지 점을 소개하였다.

반도체 산업이 수출의 주요산업으로 등장하고 있는 이때 반도체 제조공정의 자동화기술의 확보는 매우 시급한 과제이며 이를 해결하기 위하여 특별기술개발위원회를 구성하여 산학협동하여 조직적으로 최소한 5개년계획으로 추진할 것을 제의한다.

## 참 고 문 헌

- [1] "AGVs Boost Productivity In Precision Assembly," Modern Materials Handling, June 1985, pp. 52-56.
- [2] Ashmore, A. (ed.), "Disk Handling System Increases Profits," Robotics World, January 1985, pg. 44.
- [3] "Automation of Semiconductor Wafer Manufacturing Seen," Automation News, 3 December 1984, pg. 44.
- [4] Floyd, R.E., "Clean Room Robotics," Proceedings of Robots 9, SME, Dearborn, MI, 1985, pp. 9-17 to 9-82.
- [5] Giannone, G.J.(ed.), "A Clean Machine," Automation News, 17 June 1985, pg. 2.
- [6] Harper, J.G. and Bailey, L.G., "Flexible Material handling Automation in Wafer Fabrication," Solid State Technology, July 1984, pp. 60-68.
- [7] Harper, J.G., burkhardt, G.B., and Nelson, R.R., "Information, Communication, and Control in Flexible Wafer Fabrication Automation," Solid State Technology, January 1985, pp. 38-44.
- [8] Nava, J. and Foggiato, J., "A CIM System for Automated Material Handling, Transport, and WIP Inventory Control in Assembly and Test," Flexible Manufacturing Systems, Inc., Los Gatos, CA, 1985.