

## 반도체 제조공정의 자동화 기술 동향

李 值 烈\* 崔 洛 滿\*\*

(正 會 員)

韓國電子通信研究所 電子機器開發部  
시스템設計開發室長\* 電子部品開發室長\*\*

## I. 서 론

반도체 제조는 생산규모에 따라 submicrometer 수준의 선폭을 갖는 범용 IC 제조와 다양한 요구조건을 만족시키기 위한 다품종 소량의 ASIC(application specific IC) 제조로 구분되어 진다.

Gate array와 standard cell과 같은 기술상의 진보는 실리콘 위에 비표준 기능을 집적함으로써 시스템 가격과 성능의 이득을 얻기가 매우 쉽게 됨으로써 ASIC 시장은 더욱 확대되고 있다.

과거, 반도체 제조공정의 자동화는 개개 공정장비를 대상으로 하여 왔으나, 더욱 미세화된 선폭, 제품의 다양성 증가, 개개의 웨이퍼 수준에서의 만족할 만한 수율 보장, 엄밀한 납품계획 등의 요구사항들에 의하여 공정 설비 및 장비 전체에 대한 종합적인 제어<sup>(1)</sup>가 요구되고 있다.

반도체 제조공정의 자동화에 대한 동기로는, 제품단가의 인하경쟁, 새로운 기술의 신속한 제품구현이 주된 요인으로서, IC의 기기기술 발전에 관계하고 있는 거의 모든 사람들은 차세대 소자를 만들기 위해서는 자동화가 필요 불가결하다고 믿고 있으며, 이에 대한 여러가지 시도가 진행되어지고 있다.

1970년대 IBM과 Hewlett Packard의 내부적인 노력을 기점으로 오늘날 소수의 CIM(computer integrated manufacturing) 시스템이 상용화되고 있으나 진정한 의미의 CIM 시스템은 아니다. 또한 공정장비 제조회사를 제외하더라도 미국내 20개 이상의 회사들이 반도체 제조 자동화 사업에 참여하고 있으나, 완벽하게 자동화된 반도체 공장은 아직 존재하지 않으며, 시스템을 설치한 회사들도 여러가지 문제점을 발견하게 된다. 즉, 기능의 부족, 막대한 구입비, 고가의 설치 및 유지비용, 급변하는 기술적인 요구사항에의 불충분한 적응성이 그것이다.

반도체 제조공정의 완벽한 자동화를 위해서는 설계, wafer fab, 조립 및 시험공정의 통합이 요구되며, 이를 위해서는 정보처리, 공정제어, 재료처리의 자동화와 이들 분야들 사이의 효율적인 통신이 요구된다.

본고는 반도체 제조공정의 자동화를 구현시키는데 소요되는 관련 기술과 구현방안을 개략적으로 기술하는 것으로서, 반도체 제조 자동화에 대한 인식을 높이는 데 목적이 있다.

이 장에 이어서 자동화의 대상 및 범위, 필요성, 구현방안은 II~IV장에서, 자동화에 관련된 기술현황과 앞서 기술한 내용을 종합한 반도체 제조 자동화가 나아가 갈 경향은 V, VI장에서 기술한다.

## II. 자동화의 대상 및 범위

VLSI 회로 구현을 위한 기술분야는 설계, 제조 및 시험으로 나뉘어지며, 이들 분야에 컴퓨터가 적용됨으로써 CAD(computer-aided design), CAM(computer-aided manufacture), CAT(computer-aided test)라는 용어를 낳게 되었다. 그림 1은 CAD, CAM 및 CAT에 관련된 역할과 도구(tool)를 분야별로 나타낸 것이다. 원래 이들은 독립된 분야로서 개별적으로 발전되어 왔으나, 컴퓨터 기술의 발달과 반도체 시장의 경쟁 심화 등의 요인에 의하여, 하나의 시스템으로 집적화하기 위한 연구가 여러 연구기관에서 진행중에 있으나,<sup>(2)</sup> 현재는 초기상태에 불과하다. 그림 2는 이들 세 분야를 집적시키는데 소요되는 기능 및 도구를 그림 1에 나타낸 기본적인 블록과 관련지어 나타낸 것이다.

이 글에서는 자동화의 대상을 제조분야에 국한시켜, 이에 관련된 사항에 대하여 기술한다. 제조공정의 자동화는 작게는 단일 공정장비의 자동화로부터 lithography 또는 확산공정 등과 같은 work center<sup>(4)</sup> 수준의 자동화와 전 제조공정의 자동화로 구분된다. 단일 공정

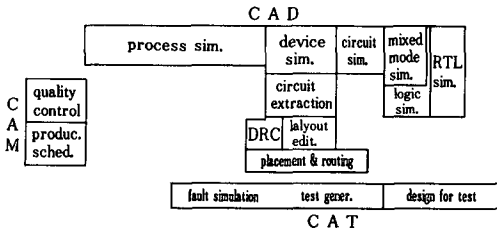


그림 1. 독립적인 CAD, CAM, CAT 시스템

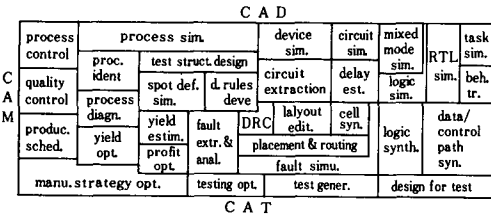


그림 2. 종합화된 CAD, CAM, CAT 시스템

장비의 자동화는 장비에 내장된 microprocessor를 이용한 전용 제어기에 의하여 cassette-to-cassette 조작 수준으로 자동화되어 있다. Work center 수준의 자동화는 관련된 공정을 하나의 전용 시스템으로 제어하는 방식으로서 이에는 공정장비, 전용 감시제어시스템, 웨이퍼/카세트 운송시스템이 소요되며, 이들간의 통신기능도 기본적인 요구사항 중의 하나이다.

전 제조공정의 자동화는 여러 work center들을 하나의 시스템으로 통합시킨 것으로서 다음과 같은 기능을 가져야 한다.

- 카세트/웨이퍼 운송의 자동화
- 공정 장비의 조작 무인화
- 공정 데이터의 측정, 관리 및 해석의 자동화
- 공정 recipe의 편집 및 장비에의 downloading
- 공정 장비의 효율적인 이용을 위한 최적 생산계획
- MRP(material requirement planning)
- 공정환경의 유지 및 감시
- WIP(work-in-process) tracking

이들 기능을 하나의 종합 시스템으로 구현하는 것이 반도체 제조공정의 CIM을 구현하는 것으로, 일부 기업에서 소형 CIM 시스템을 내놓고 있으나 궁극적인 CIM시스템 구현에는 많은 연구경험과 투자가 소요된다. 특히 국가간의 반도체 산업경쟁이 심화되어 갈수록 이에 대한 연구는 더욱 활발해질 것이며, 반도체 소자의 선폭의 크기가 submicrometer 수준으로 낮아지

며 ASIC 시장의 규모가 커짐에 따라 이의 연구는 필요 불가결하다.

본 고에서는 전 제조공정의 자동화에 소요되는 기술적인 사항, 즉, 정보처리, 공정제어, 재료운송 및 이들의 통합이 요구되는 통신을 중심으로 하여 기술하며, 이들을 구현하기 위한 모델시스템을 제시한다.

### III. 제조공정 자동화의 필요성

현재의 반도체 제조공정은 청정실에서, 전용제어기에 의하여 개별적으로 자동화된 공장장비와 측정장비를 이용하여 로트(lot) 단위로써 약 100~300 단계 순차적인 제조공정을 거쳐 웨이퍼를 처리하고 있다. 그러나, 단위 공정장비에의 웨이퍼 load/unload, 장비에 대한 레시피(recipe)입력, 주요 공정변수 및 공정결과의 측정과 기록, 장비와 장비사이의 카세트/웨이퍼 운송은 대부분 숙련된 작업자의 수작업에 의존하고 있는 실정이다. 이와 같은 수동 제조공정에 의해 대두되는 주요 문제점으로는 다음과 같은 사항들이 있다.<sup>(1)</sup>

#### (1) 오염(contamination) 문제

IC의 다기능화와 소형화의 추세에 따라, 단위 웨이퍼당 집적도가 크게 향상됨으로써 최근에는 submicrometer급의 미세선폭을 갖는 IC가 출현하게 되었다. 이러한 집적도 향상에 따라 인간, 제조장비 및 설비, 화학약품, 공정데이터 기록용 도구에 의해 발생하는 분진은 제품의 불량과 수율(yield)을 결정하는 주요 원인으로 작용하고 있다.

#### (2) 인간에 의한 정보관리 및 분석의 한계성

반도체 제조공정에서는 각 단위공정 장비에 대한 공정변수, 공정결과의 측정데이터, 공정진행 상황 등 방대한 양의 정보가 발생하게 된다. 이러한 정보는 서로 유기적인 관계를 갖는 형태가 아닌 독립적인 데이터로 분산되어 있어 수작업으로 수집, 분석, 관리하기에는 너무나 많은 양일 뿐 아니라 대단히 어려운 작업이다. 또한 작업자에 의해 관측, 수집된 정보가 엔지니어 또는 관리자에 의해 분석단계에 이르기까지는 적지 않은 시간이 소요되어 정보의 유효성은 상실 또는 감소하게 된다.

#### (3) 재현성 문제

반도체 제조공정에서 같은 품질특성을 갖는 동일한 제품을 반복적으로 생산할 수 있다는 것은 매우 중요한 사항이다. 그러나, 동일한 레시피, 작업자, 장비에 의해 생산되는 제품이라 할지라도 주변 환경조건(예: 온도, 습도 등)과 화학약품의 배합율과 순도(purity), 공정장비의 운용이력(operation history), 인접한 단

위공정간의 시간간격, 단위공정의 처리시간 등에 따라, 서로 다른 제품특성을 갖게 된다. 따라서 재현성을 높이기 위해서는 지정된 시간, 장비, 레시피를 이용하여 공정을 정확하게 수행하여야 하며, 공정장비와 주변환경 및 용액 등을 최적조건으로 유지하여야 한다.

(4) 작업자에 의한 작업오류

대량생산 제조공정의 경우 일주일에 약 100~200 로트(2,500~10,000장의 웨이퍼에 해당)를 다양한 공정조건으로, 로트단위로 100~300개의 공정단계를 처리하는 등 매우 복잡한 공정으로 이루어지기 때문에, 작업자는 공정순서에 맞지않는 로트를 처리한다거나, 레시피의 잘못 입력, 계기의 오조작 등을 범하므로써 제품의 품질 및 수율을 저해하고 있다. 또한, 작업자는 자기가 범한 작업오류에 대하여 보고를 기피하므로써 문제점을 해결하는 시간을 지연시키게 되고, 중단해야 될 다음 공정을 계속 진행케 하므로써, 인적·물적자원의 손실을 초래하기도 한다.

(5) 비효율적인 장비운영

대부분 고가인 반도체 제조장비의 이용율은 낮은 것으로 분석되고 있다. 장비의 이용율을 제고하기 위해서는 단위 공정장비당 작업량의 분포가 시간적으로 균일하여야 한다. 특정 단위공정에서 병목현상(bottle neck)이 발생하지 않도록 장비운용계획이 수립 조정되어야 한다. 또한, 장비운용 계획은 공정진행 상태에 따라 유연성 있게 변경되어야 하며 로트 추적(lot tracking)에 관한 정확한 정보의 수집·관리가 잘 이루어지지 않은 상태에서는 장비 이용율을 극대화하기 어렵다.

(6) 다양한 공정변화

최근 ASIC에 대한 수요증대에 따라 제조공정의 절차와 내용이 빈번하게 변화되고 있다. 이와 같은 다양한 공정변화는 fab내 작업자에게 혼란을 야기시켜 수율과 생산성을 저하시키는 결과를 초래할 뿐만 아니라, 최적 장비상태와 공정조건을 유지하는데 커다란 어려움을 주고 있다.

IV. 자동화 시스템의 요소 기술 및 구현방안

1. 개요

반도체 제조공정의 CAM을 구현하기 위해서는 정보처리, 공정제어, 재료운송의 자동화가 이루어져야 하며, 이들 영역간의 상호작용을 최적으로 유지함으로써 품질향상, 제조원가 절감, 생산성 향상 등의 효과를 얻을 수 있다. 정보처리 시스템이 가져야 할 주요 기능으로는 공정 데이터 관리 및 해석, 공정레시피 관리

및 상위 컴퓨터로부터 장비에로의 download, 장비 운영계획 및 MRP, 표준 통신 방식을 통한 장비와 상위 컴퓨터와의 통신기능을 들 수 있다.

공정제어는 장비조작의 무인화, fab 환경조건의 유지, 공정결과를 바탕으로 한 장비 재조정과 같은 계획제어, 장비내의 공정변수제어, 반도체 공정용 언어개발이 주요 연구대상이며 이들은 정보처리시스템이 갖는 장비간의 통신기능을 기본으로 한다.

재료운송은 공정의 무인화를 위한 기본 요소로서 공정장비와 공정장비 또는 측정장비 사이의 웨이퍼/카세트 운송을 무인화시키는 것으로서, 현재 대부분의 장비가 cassette-to-cassette 처리기능을 가지므로 주된 연구 대상은 cassette 단위의 운송시스템 개발로 집중되어지고 있다. 그림3은 앞서 기술한 3개의 주요 자동화 대상을 종합화시킨 제조공정의 모델시스템으로서 현재의 발전중인 반도체 기술과 병행하여 구현되어야 할 시스템의 개략도이다. 이 모델시스템은 계층구조로서 분산제어를 기본으로 하여 나타낸 것으로, work center 단위의 분산제어로서, 공정전체에 걸친 MAP(manufacturing automation protocol)을 이용한 광대역 통신, work center 내의 SECS(SEMI equipment communications standard) 프로토콜을 이용한 통신,<sup>16)</sup> 고속 정보통신을 위한 data highway를 기본으로 구성되어 있다.

이 모델시스템에서 fab. management computer는 생산계획, 장비 유지관리, 카세트의 교통제어, reporting 데이터 종합분석, 레시피 종합관리 등이 주된 기능이다. Work center computer의 기능으로는 공정라인

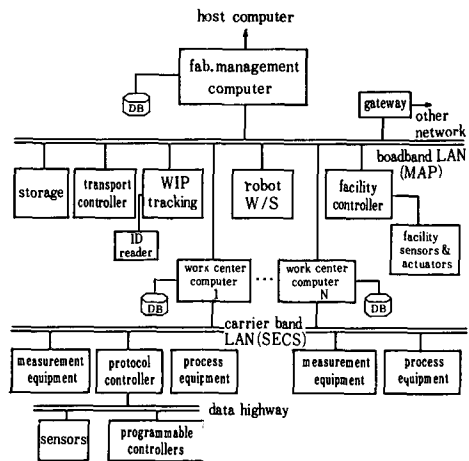


그림3. 반도체 제조 공정용 CAM 모델 시스템

관리, 레시피 관리, 데이터 해석, 공정제어를 들 수 있다. 여기서 data highway는 공정장비 외의 설비에 소요되는 기기제어용 버스로서 protocol controller를 통하여 상위 통신망과 통신을 한다. Transport controller는 WIP tracking 시스템의 데이터를 기본으로 하여 동작되어지며, 이는 robot workstation과 밀접한 관계를 가짐으로서 장비에로의 로봇을 이용한 load/unload를 구현할 수 있다.

2. 정보처리 시스템

반도체 제조공정의 자동화에 있어서 정보처리 시스템은 공정정보의 수집·전송을 위한 데이터 통신망과, 복잡하고 방대한 정보를 효율적으로 보관·관리하는 데이터베이스 관리시스템을 기반으로 하여, 제조공정의 자동화에 필요한 카세트/웨이퍼 추적, 공정/생산관리, 문서관리, 장비 및 환경관리, 데이터 통계·분석 등과 같은 주요 기능들을 컴퓨터를 이용하여 전산화 처리하는 시스템(그림 4 참조)으로, 이들 주요 요소의 개요는 다음과 같다.<sup>(1)</sup>

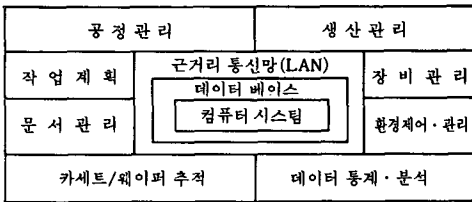


그림 4. 정보처리시스템의 구성

(1) 데이터 통신망

제조공정의 자동화에 사용되는 각종 정보처리기기(예를 들면 중앙컴퓨터, work center용 컴퓨터, 정보 표시 장치, 단말기기 등)들 간의 정보유통은 쉽고, 값싸게 이루어져야 하며, 이러한 데이터 통신망으로는 이미 상용화된 여러 종류의 근거리통신망(LAN)이 있다. 통신망은 접속되는 장비의 종류나 수, 설치위치에 대하여 유연성을 가져야 하며, 설계시 유통되는 정보의 양에 따라 적절한 대역폭이 고려되어야 하고, 통신망 자체에 문제가 발생하였을 경우에 대한 대책도 수립되어야 한다.

(2) 데이터베이스

반도체 제조공정에서는 방대한 양의 정보가 발생하며, 이 정보를 분석·처리하여 유효한 정보를 적절한 시간내에 추출하기 위해서는 효율적인 데이터 관리가 필수적이다. 데이터베이스의 구성방법은 자동화 대상

의 규모와 시스템의 구조에 따라 여러가지 방법이 있으나, 대규모 생산시스템의 경우 정보검색 시간의 단축과 데이터 안전관리를 위해 central DB와 여러 개의 local DB로 분산관리하는 것이 바람직하다.

즉, central DB는 fab 전체의 관리에 필요한 제반 정보(예를 들면, 로트추적, 작업계획, 공정상태에 관한 정보 및 통계·분석용 데이터 등)를 관리하고 local DB는 단위공정 라인을 관리·제어하는데 필요한 제반 정보(예를 들면, 관할 단위공정에 대한 레시피, 주요 공정변수의 값, 공정 및 장비상태 등)를 관리한다는 것이다.

(3) 카세트/웨이퍼 추적

제조공정의 자동화를 위해서는 공정대상인 카세트와 웨이퍼가 현재 어느 곳에 위치해 있는가를 정확하게 파악하고 있어야 하며, 이러한 기능을 일반적으로 work-in-process(WIP) 추적이라 한다. 카세트나 웨이퍼에 대한 위치정보는 공정의 시작시점이라든가, 공정지연 또는 이상 유무와 같은 공정진행 현황을 파악하고, 작업계획을 공정현황에 따라 최적으로 조정하는데 이용된다.

(4) 문서관리

반도체 제조공정에서는 여러 종류의 정형화된 종이 문서(예를 들면, run sheet, log sheet, process spec., 레시피)가 많이 사용되는데, 이러한 문서들은 fab의 오염원인이 될 뿐 아니라, 매 제조공정마다 작성되기 때문에 수작업으로 관리하기에는 그 양이 대단히 많고 복잡하다. 또한, 작업내용을 지시하는 run sheet 등이 변경되었을 때, 그 변경된 사항을 적절한 시간내에, 해당 작업자에 전달한다는 것은 매우 어렵다. 따라서, 이들 문서들의 전산화 관리·제어가 필요하다.

(5) 공정관리

공정진행 상황을 감시하고, 문제점 발생 즉시 적절한 조치를 취하기 위해서는 무엇보다도 주요 공정변수에 대한 정보를 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 현재 부분적으로 자동화된 공정장비는 작업자의 지시에 따라 공정을 자동으로 처리하고, 각종 공정정보를 전면판에 부착된 지시기에 실시간으로 표시할 뿐, 대부분 별도로 공정정보를 기록·보관하지 않는다. 따라서 측정·검사단계에서 문제점이 발견된다 하여도, 원인 규명이 불가능한 경우가 있다. 그러나 공정장비를 컴퓨터에 직접 접속시켜 컴퓨터로 하여금 주어진 시간에, 주어진 장비에서, 특정 레시피를 수행하도록 지시하고, 수행중인 공정정보를 실시간으로 수집·분석하면 문제점을 조기에 발견하고, 적절한 조치를 취할 수 있다.

이에 따라 작업자에 의한 오염문제와 작업오류의 최소화 가능하며, 재현성 및 수율을 향상시킬 수 있게 된다.

#### (6) 데이터 통계 분석

반도체 제조공정에서는, 제조공정 각 단계에서 균일성과 품질에 관한 방대한 정보가 수집되며, 이러한 정보는 데이터로 분산되어 있어 수작업으로 통계·분석·관리하기에는 대단히 어렵다. 따라서 공정중 수집된 방대한 정보중 필요한 정보만을 추출하여 의사결정에 유효한 정보를 산출하는데는 온-라인 분석도구가 요구된다.

현재 표준화된 정적 품질관리(static quality control) 도구들이 상품화되어 있다.<sup>18)</sup> 그러나 자동화되지 않은 현재의 공정방식에서는 이 도구를 사용하기 위한 적절한 데이터가 수집되지 않고 있으며, 공정제어 도표를 손으로 직접 그려야 하는 불편이 있고, 또한 수시로 변하는 공정규격과 제어변수들에 대한 현황을 유지하기는 매우 어렵다. 최근에는 이러한 적정 품질관리 기능을 갖고 있으면서 독립적으로 운용되고 있는 표준화된 소프트웨어들이 만들어졌으나, 궁극적으로는 전체 자동화시스템에 흡수되어 일반적인 계산, 데이터의 자동검사, 경보기록, 여러가지 형태의 리포트를 제공하여야 한다.

#### (7) 장비관리

반도체 제조용 공정·검사·측정장비는 대단히 복잡하고, 원래의 허용범위 보다도 과도하게 사용되는 경우가 많다. 이 결과로 장비는 공정중 보수나 교정이 필요하게 되어 생산계획에 많은 차질을 야기시킨다. 또한 반도체 장비는 고가이기 때문에 매일 2~3교대로 작업이 이루어지므로 작업자에게 공정장비가 정상적으로 동작하도록 관리해야 한다는 추가적인 부담을 안겨준다.

#### (8) 생산관리

반도체 제조공정에서 기본 생산계획은 시설용량과 현재의 작업분량에 의해 결정되며, 이러한 계획은 공정진행중 장비의 상태, 원자재 수급, 납품기한 등에 의해 유연성있게 재조정되어야 한다. 이를 위해서는 현재의 작업현황과 가용인력, 장비, 기자재 현황과 같은 정보가 제공되어, 생산관리자로 하여금 정확한 의사결정을 내릴 수 있도록 하여야 한다.

#### (9) 환경관리 제어

반도체 제조공정에서 환경조건(예를 들면 온도, 습도, 청정도, 탈이온수 저항값 등)은 제품의 품질특성과 수율에 중요한 영향을 미치게 되므로 최적 환경조건을 유

지하도록 관련 설비가 관리·제어되어야 한다.

### 3. 제조공정의 제어 및 감시

제어는 반도체 제조공정에서 가장 기본적인 자동화 대상으로서, 반도체 공정장비의 종류는 다양한 반면 실제 제어할 대상으로는 mass flow, 온도, 압력, 회전수, 광량을 들 수 있다. 이와 같은 공정 변수들은 산업화의 초기부터 리레이를 이용하여 ON/OFF 형태로 제어하여 왔으나 아날로그 제어기의 현장적용으로 feed-forward/feedback 방식으로 발전하게 되었으며 디지털 컴퓨터가 저렴하여 짐에 따라 아날로그 제어기는 범용성이 강한 디지털 제어기로 대체되고 있다.

현재, 대부분의 공정장비는 전용 디지털 제어기를 가지며 운영자가 입력하는 레시피에 따라 제어가 내장되고 있는 제어알고리즘에 의하여 원하는 공정을 수행하게 된다.

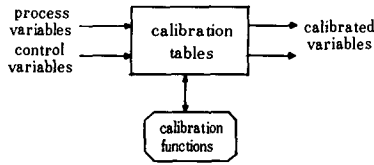
제조공정의 규모가 커짐에 따라 fed 설비내에 동일한 여러 장비 또는 동일한 기능의 이중 장비들이 운영되는 경우, 이들 전체를 하나의 제어시스템에 의하여 조작할 필요성이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 이용되는 방법으로는 보정테이블(calibration table)과 가상장비 테이블(virtual equipment table)이<sup>19)</sup> 있다. 보정테이블은 동일장비간의 센서 입력을 균일화시키는 방식이며 가상장비 테이블은 동일한 기능을 가진 이중장비 사이의 공정 자체를 균일화시키기 위한 방식이다. 그림 1에 이들의 개략도를 나타냈다.

여러 장비를 하나의 시스템으로 제어하는 경우, 시스템과 개개 장비에 내장된 제어기 간의 통신은 필연적인 기능으로서, 상위 컴퓨터에서 통신 링크를 통하여 레시피를 장비의 제어기에 download하며 공정중에 발생하는 각종 공정변수 등은 통신 링크를 통하여 upload하며, 공정후 측정 결과의 분석에 이용하도록 한다.

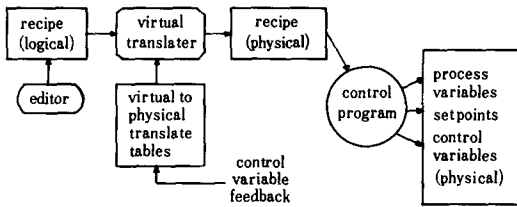
반도체 제조공정의 CAM을 구현하기 위한 제어구조는 주로 통신 선로를 이용하여 제층구조를 갖는 분산 제어로 집중되어지며, 장비내의 공정 변수에 관련된 제어는 장비 제조회사에서 독립적으로 수행되고 있다.

또한, 대규모 공정의 중량제어를 위한 연구로서 제조용 프로그래밍 언어개발이 있다. 그의 대표적인 예로서 FABLE<sup>11)</sup>을 들 수 있는데 이 언어는 5개의 계층, 즉, process layer, effect layer, treatment layer, setting layer, physical layer로 구성되어진다. Process layer는 제조하려는 소자의 특성을 특징짓는 것으로서 이는 effect layer에서 gate-oxidation, metal-deposition 등과 같이 여러 공정단계로 나누어진다.

Treatment layer는 장비와 독립적인 spec.으로 effect layer의 각 공정 단계를 더욱 세분화시킨 것으로서, 이는 setting layer에서 장비와 밀접한 관계를 갖는 명령어로 변환되어진 후 physical layer에서 통신을 위한 데이터 형태로 번역되어진 후 통신 링크를 통하여 실제 장비에 전송되어진다. 현재 통신을 위한 프로토콜은 SEMI에서 제시한 SECS가 표준으로 채택되었으며, 이에 대한 상세한 내용은 뒷절에서 기술할 것이다.



(a) 보정 테이블 방식



(b) 가상 장비테이블 방식

그림 5. 장비의 균일화 방법

4. 카세트/웨이퍼 운송 시스템

현재의 반도체 장비는 대부분 cassette-to-cassette 처리 기능을 가지므로 제조공정 전체를 자동화시키기 위해서는 각종 장비들 간의 카세트 운송을 자동화시켜야 한다. 즉, 운송시스템과 개개 장비와의 interlock에 의하여 하나의 단위공정이 끝난 카세트를 공정순서에 따라 운송시스템을 이용하여 다음 공정장비 또는 측정 장비로 넘겨 주게 된다. 이러한 자동운송 시스템은 그의 규모에 따라 하나의 장비, 부분적인 일부 장비 또는 전체 공정장비를 대상으로 한다.

하나의 장비를 위한 시스템의 예로는 furnace의 보오트에 웨이퍼를 load/unload시키는 시스템이 있으며, 부분적인 운송시스템의 예로서는 lithography line과 같은 work center를 대상으로 한다.

일반적인 제조공정에 비해 반도체 제조공정은 환경에 대한 엄격한 제약조건을 가지므로, 이와 같은 조건을 만족시킴과 투자대 획득효과를 고려한 운송방식을 선택해야 한다. 반도체 제조공정이 갖는 독특한 환경

조건 중의 하나는 적정 청정도 유지로서 현재의 기술적인 여건으로 class 10이 구현되어지고 있다. 이와 같은 제약조건을 고려한 카세트 운송시스템의 요소로는 AGV(automatic guided vehicle), 로보트, SMIF (standard mechanical interface) box, auto-track 들이<sup>10,11</sup> 있으며 이들의 조합에 의하여 운송시스템을 구현한다. SMIF box란 Hewlett Packard Lab.에서 개발한 것으로서 웨이퍼를 사람이나 fab 환경과 격리시킴과 동시에 청정을 유지할 부피를 최소화함으로써 청정설비에 소요되는 비용을 최소화하려는 방식이다.

일본의 NTT/ECL연구소는 1983년 fab 천정에 설치된 운송기구에 의하여 SMIF box를 이동시키는 시스템을 개발한 예가 보고되고 있다.

Auto-track 방식은 class 10정도의 청정도가 유지되는 터널을 통하여, cart에 카세트를 적재한 후 원하는 장비로 웨이퍼를 운송하는 방식으로, cart는 2개의 레일(직경 0.5inch, 폭 5.5inch)을 따라 자체 DC motor에 의하여 구동되어진다. Cart에 기록된 barcode를 인식하는 WIP 추적 시스템은 그 데이터를 중앙 컴퓨터에 송신하며, 제조 소자의 종류 및 공정진행 상태에 따라 전용 컴퓨터에 의하여 traffic control 되어진 후 진행 방향에 대한 명령어를 cart에 송신한다. 이 방식은 미국 Varian사에서 실제로 구현한 방식으로서 fab 내의 장비 변경에 따른 개조 및 설치의 용이성이 요구된다.

AGV를 이용한 방식은 일반제조 공정에 이용되는 무인 반송차와 동일한 것으로서, 정해진 트랙을 따라 주행하는 반송차에 카세트를 적재한 후, 개개의 장비 앞에 설치된 스택에 카세트를 이송시키게 된다. 이 방식은 fab 설비 전 공간이 청정조건을 유지해야 되는 문제가 있으며, 일본 Mitsubishi Electric사에서는 AGV를 이용하여 64K DRAM 제조공정을 1984년 초에 자동화시킨 예가 있다.

로보트 wet-station 등 부분적인 공정에 널리 이용되고 있으며, 앞서 기술한 auto-track, AGV들과의 조합에 이용된다. 즉, 트랙이나 레일을 따라 운송된 카세트를 공정장비에 load/unload하는 기능을 로보트에 의하여 구현한다. 또 다른 이용 방식은, 장비와 장비 사이의 카세트 운송을 직접 로보트로 운송하는 것으로서 이때 로보트 제어기는 장비들과의 정보교환이 필수적인 요구사항이다.

5. 반도체 제조공정 자동화용 통신규격

반도체 제조공정을 자동화하기 위해서는, 컴퓨터로

부터 작업내용(예: 레시피)을 공정장비에 직접 전달하고, 공정장비로부터 발생하는 공정정보를 실시간으로 자동검출하는 공정의 자동감시, 제어기능이 필수적이라 할 수 있다.

여러 종류의 컴퓨터와 공정장비 사이의 효율적인 정보교환을 위해서는 통신방법이 마련되어야 하며, 이 통신방법은 장비 제조업체 측면에서 볼 때 컴퓨터에 대한 세부지식이 없이도 접속이 가능한 장비를 제조하여야 하며, 컴퓨터 측면에서는 공정장비에 대한 세부지식이 없이도 공정장비와의 통신이 가능하도록 규격화되고 표준화되어야 한다.

이와같은 요구에 따라, SEMI(semiconductor equipment and material institute)에서는 1980년에 반도체 제조장비용 통신규격으로 SECS를 제안하였고, 많은 반도체 제조업체에서는 이 통신규격을 지지하고 있으며, 일부 공정장비에서는 이미 이러한 기능을 제공하고 있다. SECS는 이미 국제 규격화된 RS-232C를 기초로 하여 만들어진 point-to-point 방식의 통신규격으로 크게 두 부분(SECS I/II)으로 구성된다. SECS I은 컴퓨터와 공정장비간의 물리적인 접속방법(OSI모델의 계층 1과 2에 해당)을 규정하고 있으며, SECS II는 메시지 전송방식(OSI 모델의 계층 7에 해당)을 규정한다.<sup>[5,6]</sup>

또 하나의 컴퓨터와 공정장비간의 통신규격으로 유용한 것으로 MAP이 있다.<sup>[12]</sup> MAP은 1980년 미국의 General Motors사가 ISO의 OSI 7계층 모델을 기초로 하여 실시간 제어에 적합하도록 제안한 broadband token passing 방식의 공장자동화용 통신규격이다. 한편, MAP을 용도에 따라 제한된 기능으로 사용할 수 있도록 간편화한 통신규격으로 Mini MAP이 있으며, SECS는 이 Mini MAP과 유사하다.

최근 SECS는 MAP이 공장자동화용 통신규격으로서 보다 더 포괄적인 내용을 포함하기 때문에 MAP으로의 이행이 검토되고 있다.<sup>[13]</sup>

## V. 국내의 자동화 현황 및 동향

### 1. 자동화 변환 추이

오늘날 반도체 산업에서 수율과 생산성 향상을 위한 제조공정의 자동화는 필수적인 것으로 인식되고 있다. 자동화의 대상 및 범위에 있어서도 종전의 공정장비의 개선을 통한 기술고도화와 공정장비 자체의 자동화에서, 소형컴퓨터를 이용한 단위공정의 자동감시 제어화, 컴퓨터와 웨이퍼 자동운송기기를 이용하여 상호 밀접한 관계를 갖는 단위공정들로 구성되는 work center

(예를 들면 lithography 라인)의 자동화, 몇개의 work center 자동화시스템과 공장레벨의 정보관리시스템을 근거리 통신망을 통하여 상호 접속시켜, 전 제조공정을 완전 자동화하는 CAM으로 발전하고 있으며, 이러한 CAM시스템은 관련 CAD, CAT, MRP시스템 등과 통합되어 CIM으로 발전하는 추세를 보이고 있다.<sup>[14]</sup>

### 2. 개발 운용중인 자동화시스템

자동화시스템 개발업체에서 개발중에 있거나, 전세계 반도체 생산업체에서 활용중인 주요 자동화시스템은 표 I 과 같다.<sup>[5]</sup> 이중 archival host급으로는 FASTTRACK, COMETS, INCYTE 등이 있으며, PRO-MIS와 SPN은 local hosts로 분류할 수 있다.<sup>[15]</sup>

표 I. 주요 자동화시스템 일람표

제조회사/제품명	장비 접속	Area w/s	Cell host system	software package	Software Package description
ASM America ACAMS	X	X	X	X	CIM, 개발중
BTU Eng. Inc. FASTTRACK			X	X	Relational database for manufacturing
Cameo systems CAMEO II	X	X		X	CIM with various computers
Consilium Inc. COMETS	X		X	X	CIM with DEC VAX
CTX Int'l CTX 1000 CTX 2000	X	X	X		
DEC Dec Secs				X	SECS protocol with DEC VAX
GCA Corp. TOTAL CIM	X	X	X	X	CIM
Hewlett-Packard SPN	X	X	X	X	CIM with H-P computers
I.P. sharp PROMIS	X		X	X	CIM with DEC. VAX IBM & ELXSI
Fairchild INCYTE				X	CIM with DEC VAX

### 3. 국내의 업계의 자동화 동향

#### (1) 미국의 경우

INTEL, AT & T, Motorola, Fairchild, TI, IBM LSI Logic 등 미국의 주요 반도체 제조업체에서는 자동화의 정도에는 약간씩 차이가 있지만 대부분 자동화시스템을 도입 활용하고 있다. 또한, Northern Telecom사는 1985년부터 컴퓨터와 AGV, 로봇트 등을 이용하여 자동화의 효과가 큰 photolithography 라인의 완전 자동화에 착수하였다.<sup>[11]</sup> 한편, 미국의 Stanford 대학

의 IC Lab에서는 기초연구 및 실험, 데이터 통계 분석을 위하여 자체 실험실을 부분적으로 자동감시·제어 화하고, 종이를 사용하지 않는 실험실 체제를 구축하였다.<sup>16)</sup>

### (2) 일본의 경우

Toshiba, NEC, Mishubishi 등 일본의 주요 반도체 제조업체에서는 자체기술을 이용하여 독자적인 자동화 시스템을 개발 활용하고 있다. 특히, Mishubishi 사는 Saijo 공장을 1984년에, NMB 반도체사는 1985년에 자체 IC제조공정을 완전자동화 하였다고 발표하였다.<sup>17,18)</sup> 일본은 자동화, 특히 로보트 분야의 기술우위를 바탕으로 하여, 제조업계 현장의 자동화는 미국보다 더 많이 실현하고 있다.

### (3) 국내의 경우

국내의 경우, 연구소와 반도체 장비 제조업체에서는 일부 자동화된 단위 공정장비의 국산화 작업을 진행하고 있으나, 소프트웨어는 외국에 의존하면서, 하드웨어만을 모방 개발하고 있는 실정이다. 국내 반도체 제조업체중 일부는 외국의 자동화 시스템을 도입·운용하고 있거나, 도입을 검토하고 있으며, 제조공정 자동화를 위한 연구는 기업내 연구소에서 부분적으로 추진되고 있다. 한편, 관련 정부출연 연구기관에서는 대량생산업체용이 아닌 실험실 규모의 Fab을 paperless 화하기 위해 수동데이터 입력형 공정정보 처리 시스템의 개발을 추진중에 있으며, 계속해서 점진적인 자동감시 제어화를 추구하고 있다. 또한, 웨이퍼 자동운송 및 Fab내 오염문제 해결을 위한 연구는 아직 기초연구 단계에 있다.

## Ⅶ. 향후 경향 및 맺음말

반도체 제조공정의 자동화에 관한 관련기술, 구현방안, 현황 등을 기술하였다. 수요자의 요구조건에 의해 미세화된 선풍, 다품종의 ASIC 및 반도체 시장 경쟁 심화들의 요인에 의하여 자동화의 요구가 높아지고 있다. 외국의 경우, work center 수준의 자동화는 성숙되어 가는 단계이며, 전 제조공정의 자동화는 여러 work center들의 조합형태로 개발중에 있으며, 향후 이 시스템은 CAD, CAT과의 통합을 이룰 것으로 예상된다.

이 분야에서 선두주자인 일본에 대항하여 미국의 반도체 업체도 ASIC 시장을 목표로 많은 연구투자를 함으로써 제품의 성능대 가격비는 크게 향상되리라 예측되므로, 국내 업체도 이에 대한 대응책을 강구하여야 할 것이다. 자동화의 구현에 제기되는 문제점으로는

자동화 기기에 의한 오염, 공정장비간 접속의 표준화, 공정장비의 신뢰도, 과도한 초기 투자비용 등이 제기되고 있으나, 이는 자동화 분야가 성숙될 경우 점진적으로 해소될 것이다.

## 參 考 文 獻

- [1] R.A. Hughes, J.D. Shott, "The Future of Automation for High-Volume Wafer Fabrication and ASIC Manufacturing," *Proceedings of the IEEE*, vol. 74, no. 12, Dec. 1986.
- [2] D. Lang, P. Denning, "CAM System Requirements of ASIC Manufacturing," *Solid State Technology*, May 1986.
- [3] S.W. Director, et al., "Integrated CAD, CAM and CAT of VLSI Circuits and Systems: the CMU Perspective," *IEEE Design & Test*, June 1985.
- [4] N. Sabo, J. Secrest, "The Work Center Works for Wafer Fab," *Semiconductor International*, May, 1985.
- [5] P. Burggraaf, "Semiconductor Factory Automation: Current Theories," *Semiconductor International*, Oct. 1985.
- [6] SEMI Communication Subcommittee, 1987 SEMI Standards, vol.2, *Semiconductor Equipment and Materials Institute*, CA, 1987.
- [7] J.G. Harper, et al., "Communication, and Control in Flexible Wafer Fabrication Automation," *Solid State Technology*, Jan. 1985.
- [8] D.M. Campbell, Z. Ardehali, "Process Control for Semiconductor Manufacturing," *Semiconductor International*, June 1984.
- [9] B. Johnson, "Process Control in Wafer Fabrication," *Solid State Technology*, May 1986.
- [10] P.G. Borden, et al., "Casey Jones would have manufactured his IC devices this way," *Industrial Research & Development*, July 1983.
- [11] M.L. Shopbell, W.F. Hastings, "Automation Removes Contaminants from Fabrication Lines," *Research & Development*, Oct. 1986.
- [12] GM MAP Task Force, *Manufacturing*



- Automation Protocol (MAP) Specification, Version 2.1, General Motors Tech. Center Rep., Mar. 1985.
- [13] 이봉진, "FA용 통신제어의 금후과제", 정보산업, 7, 1986.
- [14] J. Secrest, "Forecast '87: CIM Trends," Semiconductor International, Jan. 1987.
- [15] P.H. Singer, "Computerizing the Process Line: A Must for Automation," Semiconductor International, Apr. 1984.
- [16] J. Shott, et al., "Computer-Aided Design and Manufacturing of Integrated Circuits," Stanford Univ., Aug. 1983.
- [17] J. Grenier, "The Mitsubishi Saijo Factory: A New and Fully Automated IC Facility," Solid State Technology, Jan. 1986.
- [18] J. Grenier, "NMB Semiconductor: A New Automated Japanese Semiconductor Facility," Solid State Technology, Sept. 1986. \*

◆ 用語 解 說 ◆

**마이크로파 집적회로 (Microwave integrated circuit)**

마이크로파의 증폭, 발전, 변환, 마이크로파에 의한 연산등의 처리를 하는 집적회로

**Mask Layout**

집적(集積) 회로 제조용의 마스크를 만드는데 소자(素子) 재료나 분리 개소, 도통(導通) 개소의 크기, 모양, 위치 등을 전기적, 자기적, 열적으로 가장 효과적인 배치를 생각하여 이것을 마스크에 할당하여 적절한 설계를 하는 것

**Integration (집적화)**

기능을 직결시킬 목적으로 수많은 구성 부분을 설계로 부터 제조, 시험, 운용에 이르기까지 각 단계에서 하나의 단위로 취급하는 상태로 결합하여 기기, 회로등을 만드는 것. 현시점에서는 주로 반도체 기술, 박막 제조 기술이 쓰인다.

**막 집적 회로 (膜集積回路)**

세라믹, 유리 등의 절연물 기판에 금속 또는 합금을 진공증착, 스퍼터링 등으로 부착시킨 것. 또는 저항도료(塗料), 유전 재료를 바르거나 프린터하여 구운것을 말한다. 이 막의 두께가  $1(\mu\text{m})$  이하의 것을 박막 집적회로,  $1(\mu\text{m})$  이상의 것을 후막(厚膜) 집적 회로라고 한다. 이들은 저항, 커패시터 등의 수동 소자용이며 일반적으로 트랜지스터 등의 능동 소자와 조합하여 사용하게 된다.

**금속간 화합물 (Intermetallic compound)**

2종 이상의 금속 원소가 어느 조성비로 결합한 화합물. 또한 성분의 일부가 반금속 원소(半金屬元素)인 화합물 또는 비금속(非金屬)의 침입형 화합물이라도 조성비가 일정하고 금속에 가까운 성질을 나타내는 것은 이것에 포함시킨다.

**더블 베이스 다이오드 (Double base diode)**

pn접합을 형성하는 한쪽 반도체에 2개의 옴(ohm) 접촉 전극을 설치하고, 여기에 직류 전류를 흐르게 할 때 생기는 pn접합부의 전류 제어형 음저항 특성을 이용하는 반도체 장치. 단접합 트랜지스터 (unijunction transistor) 라고도 한다.