

웨이퍼 가공공정 실시간 감시제어에 관한 연구 A Study on the Real-time Monitoring & Control for Wafer Fabrication Process

^o 임성호, 이근영, 이법렬, 한근희, 최락만
S.H. Im, G.Y.Lee, B.R.Lee, K.H.Han, R.M.Choe

한국전자통신연구소 응용S/W개발실
Electronics & Telecommunications Research Institute
Application Software Section

Many of semiconductor manufacturing companies pursuit automation of wafer fabrication to improve the yields and quality of their products. Development of real-time control system for wafer fabrication and wafer/cassette automatic transfer-system is the most important part to achieve the purpose. In this paper, SECS protocol proposed by SEMI is briefly reviewed and an implementation method of real-time monitoring and control system is suggested as one of the possible ways for wafer fabrication automation. The system consists of process equipments supporting SECS.

1. 서론

최근 반도체 소자들은 더욱더 고집적화 추세에 있으며, 특수용도 IC(ASIC : Application Specific IC)의 수요가 급속히 증가되고 있다. 이러한 고집적 소자와 ASIC의 제조에는 고도의 정밀성과 청정도가 요구되며, 빈번한 공정 변경이 뒤 따른다. 현재와 같은 작업자 중심의 제조 방식은 공정 관리의 한계성, 작업자에 의한 오류 및 오염 발생 문제등을 야기하고 있다.

반도체 업계에서는 이와같은 문제점들을 해결하기 위하여 컴퓨터를 이용한 단위 공정의 실시간 감시제어와 통합 생산 방식의 도입을 적극 추진하고 있다[1].

반도체 제조는 크게 웨이퍼(wafer) 제조 공정과 가공 공정 그리고 소자 조립 및 검사 공정으로 구분할 수 있으며, 본고는 반도체 소자의 품질 및 생산 수율에 결정적인 영향을 미치는 웨이퍼 가공 공정을 자동화 대상으로 한다.

웨이퍼 가공 공정의 완전 자동화를 구현하기 위해서는 제어 시스템에 의한 단위 공정 장비의 실시간 감시제어 및 상호 유기적인 통합운영, 그리고 각 단위 공정간의 카세트 자동운송이 이루어져야 한다.

지금까지 각 단위 공정 자동화는 상당한 수준에 도달하고 있으나, 단위 공정 장비와 상위의 제어 시스템을 직접 접속시킨 실시간 감시 제어 시스템 실현이 지연된 것은 각 장비 제조회사마다 제각기 다른 통신 방식을 채택한 것이 커다란 장애가 되었기 때문이다[1][2].

이와같은 문제점을 해결하기 위해서 1980년 이후부터

SEMI(Semiconductor Equipment and Materials International)에서는 반도체 공정 자동화용 통신 규격으로 SECS(SEMI Equipment Communications Standard)를 제안함으로써 자동화를 촉진 시킬 수 있는 기반이 마련되었다[3].

본 고는 SECS 프로토콜의 분석과 SECS 프로토콜을 지원하는 장비를 중심으로 웨이퍼 가공 공정 실시간 감시제어 시스템의 구성 및 구현 방법에 대하여 논하였고, 단위 공정간의 카세트 자동운송에 관하여는 다루지 않았다.

2. SECS 프로토콜

(1) SECS 개요

상위 컴퓨터와 반도체 공정 및 측정 장비의 직접 접속시 상호간의 상이점에 구애받지 않고 정보를 전송할 수 있도록 제안된 반도체 공정 자동화용 표준 통신규격이 SECS이다[3].

SECS 프로토콜은 그림 1과 같은 계층 구조를 이룬다.

SECS-I 계층은 반도체 장비에 내장된 제어기와 상위 컴퓨터간의 메시지 전송방식을 정의한다.

SECS-II 계층은 반도체 제조장비와 상위 컴퓨터간에 전송되는 정보의 형식과 구조에 관한 부분으로 반도체 제조 공정과 밀접한 관계가 있는 계층이다[4].

(2) SECS-I 계층

SECS-I은 Physical, Block, Message, Transmission의 4가지 논리적 계층으로 구성되며, 각 계층은 상위 레벨로

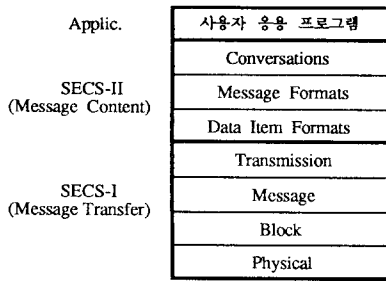


그림 1. SECS 프로토콜의 계층 구조

서비스를 제공한다.

(가) Physical 계층

RS-232C 케이블을 이용하여 물리적인 접속을 담당하는 가장 하위 계층으로 전기적인 특성, 비트와 문자 전송 단위 및 baud-rate등을 규정하고 있다.

(나) Block 계층

SECS 메시지 전송의 기본 단위인 블록 포맷과 그 전송에 관한 프로토콜을 규정한 계층으로 주요 기능은 다음과 같다.

- 정보 전송의 주체(master) / 객체(slave) 규정
- 통신 선로 배정
- Collision 검출 및 처리
- 전송 오류 발생 여부 검출 및 처리
- 단위 문자 전송 유효시간(T1) 규정
- 단위 블록 프로토콜 전송 유효시간(T2) 규정
- 전송 오류 발생시 재전송 횟수(RTY) 규정

단위 블록의 구조는 그림 2 와 같으며 length는 header와 text의 총 byte 수를 나타내고, header는 device ID, stream과 function, block #, system bytes로 구성된다.

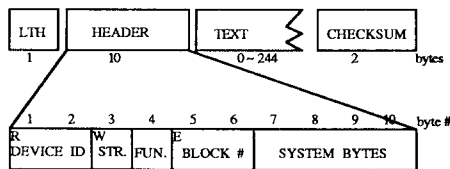


그림 2. SECS 메시지 블록의 구조

(다) Message 계층

Message는 SECS에서 완전한 의미를 갖는 정보 단위로써 하나 이상의 블록으로 구성되며, 이 계층은 다음과 같은 기능을 갖는다.

- 단위 메시지별 전송 및 수신한 블록들을 메시지로 구성

- 단위 블록간의 전송 유효시간(T4) 규정
- 블록 interleaving
- 중복 전송된 블록 검출
- 메시지 레벨에서의 오류 처리

(라) Transmission 계층

질의 메시지와 응답 메시지의 송수신 방법에 관해 규정하고 있는 계층으로 주요 기능은 다음과 같다.

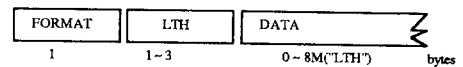
- 응답 메시지의 수신 여부 및 처리 수행
- 질의 메시지에 대한 응답 유효시간(T3) 규정
- 메시지 interleaving
- Function 0에 대한 응답 메시지 처리
- Transaction 레벨에서의 에러 처리

(3) SECS-II 계층

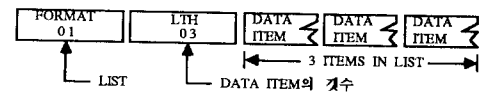
SECS-II는 반도체 장비와 상위 컴퓨터간에 SECS-I을 통하여 교환되는 메시지들의 형식과 해석에 필요한 세부 사항으로 Data item formats, Message formats 그리고 송수신측간의 대화(conversation) 유형들을 규정하고 있다.

(가) Data Item Formats

SECS-I을 통하여 전송되는 메시지에서 text field의 세부 구조 및 기능을 규정한 것으로 그림 3과 같이 기본 데이터 항목(a) 또는 리스트 데이터 항목(b)으로 구성된다.



(a) 기본 데이터 항목의 구조



(b) 리스트 데이터 항목의 구조

그림 3. Text field의 데이터 항목 구조

(나) Message Formats

SECS-II에서 메시지들은 용도와 성격에 따라 stream과 function으로 정의된다.

Stream은 성격이 유사하거나 서로 밀접한 관계에 있는 기능 메시지들의 집단을 의미하며, function은 stream내에서 특정 기능을 수행하는 하나의 메시지를 의미한다.

Stream과 function 코드의 조합은 그림 4와 같이 이미 표준으로 정해진 것과 사용자 정의 영역으로 구성되어 있으며,

stream의 개요 및 주요 기능은 표 2와 같다.

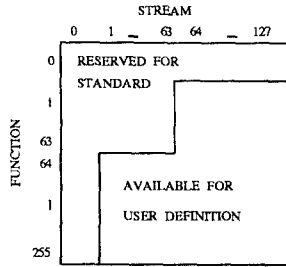


그림 4. SECS에서의 stream과 function 코드 할당

표 2 SECS-II에 정의된 stream의 개요

S	stream 명	기능	F
1	장비 상태	장비의 변화정보 제공	13
2	장비제어 및 분석	장비원격수행, 자재진단 및 보정	31
3	재료 상태	공정중인 재료, 공정시간 정보 재료의 이상 발생 통신	15
4	재료 제어	장비간 재료의 자동운송	12
5	예외 보고	장비에 의해 검출되는 Alarm 처리	8
6	데이터 수집	공정중 측정과 장비 감시	11
7	공정프로그램관리	공정 프로그램의 관리 및 전송	37
8	제어프로그램전송	장비 제어, 공정 프로그램의 수행을 위한 프로그램의 전송	5
9	시스템 에러	처리 곤란한 메시지블럭 수신 및 transaction 유효시간지연 처리	8
10	터미널 서비스	장비에 부착된 터미널과 제어용 컴퓨터간의 텍스트 전송	6
12	웨이퍼 매핑	웨이퍼 상의 die 위치표 정보	20
13	데이터 set 전송	비형식 데이터 set 전송 프로토콜	13

S : stream 코드
F : stream에 따른 function 수

(다) Conversations

Conversation은 특정 작업을 완료하기 위해 사용하는 하나 또는 그 이상의 관련된 transaction들의 연속이며, 다음과 같이 6가지 유형으로 분류한다.

- 질의/비응답 conversation
- 요구/데이터 conversation
- 송신/인식(ACK) conversation
- 조회/허용/송신/인식 conversation
- 재료 제어 conversation
- 사용자 정의 conversation

3. 웨이퍼 가공 공정의 개요

웨이퍼 가공 공정은 제조하고자 하는 소자에 따라 에피택시(epitaxy), 산화막 성장, 확산(deposition), 이온주입,

사진식각, 금속막 증착등의 단위 공정을 반복적으로 수행함으로써 제작된다(그림 5 참조).

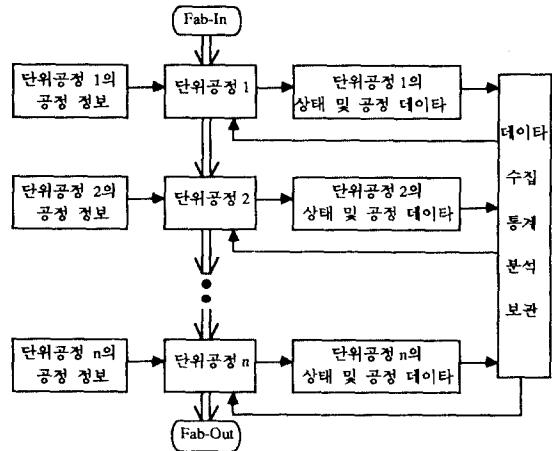


그림 5. 웨이퍼 가공공정 처리 과정

웨이퍼 가공 공정은 공정 설계자가 공정 사양서(run sheet)를 작성하여 Fab 운영팀에 공정을 의뢰함으로써 시작된다.

공정 사양서에는 작업 수행자가 처리하여야 할 단위 공정 순서와, 각 단위 공정에서는 사용할 장비명, 공정 규격 관리(process spec.), recipe 관리, 사용해야 될 재료, 공정 조건, 공정 목표 및 공정 대상 웨이퍼/로트(lot)에 대한 정보가 기록된다.

Fab 운영팀은 각종 공정 장비 및 환경 조건을 최적 상태로 유지, 관리하며 접수된 공정 사양서를 오퍼레이터에 할당하여 처리한다.

오퍼레이터는 담당하는 단위 공정을 작업지시에 따라 초기 조건을 설정하고, 공정을 수행하며, 공정 설계자가 요구하는 각종 측정 데이터를 포함한 공정 결과를 공정 사양서 또는 별도의 공정 보고서에 기록한다.

이와같은 공정 진행중 상세 정보 및 측정 데이터는 공정 결과 문제점이 발생하였을 때 문제점 분석 자료로서 활용된다.

그러나 오퍼레이터가 이와같은 정보를 수작업으로 수집, 분석, 관리하기에는 한계가 있다. 이와같은 문제를 해결하기 위하여 개별 단위 공정의 실시간 감시 제어가 필요하다.

4. 실시간 감시 제어 시스템의 구성

웨이퍼 가공 공정의 실시간 감시 제어 시스템은 시설의 규모, 생산 제품 및 공정 방식에 따라 다소 차이는 있으나

일반적인 시스템은 Fab host, 셀 제어기(cell controller), 스테이션 제어기(station controller), 공정/측정 장비로 구성된다.

(1) 하드웨어 구성

실시간 감시 제어 시스템의 하드웨어는 공정/측정 장비와 직접 접속되어 감시 제어를 수행하는 스테이션 제어기, 유사 단위 공정 그룹의 공정을 효율적으로 관리 및 제어하기 위한 셀 제어기, 웨이퍼 공정 전체를 관리하기 위한 Fab host로서 그림 6과 같이 구성할 수 있다.

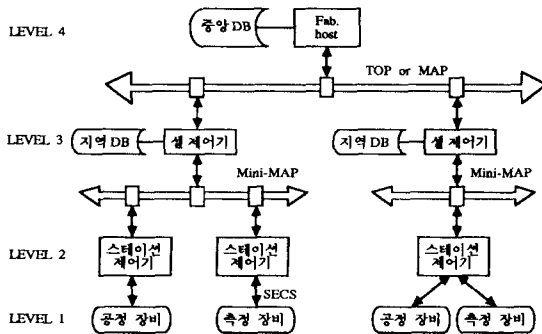


그림 6. 실시간 감시제어 시스템 구조

(2) 하드웨어 구성 요소

(가) Fab Host

Fab host는 주로 공정 설계자, Fab 관리자, 장비/재료/환경 관리 담당자가 주 사용자이며, 이들의 공정 설계, Fab의 전반적인 공정 관리 및 Fab의 시설 관리 업무를 지원하는 시스템이다.

Fab host로는 일반적으로 미니급 이상의 컴퓨터가 사용되며, 셀 제어기와의 접속 방식으로는 공장 자동화용 통신 규격인 TOP(Technical Office Protocol) 또는 MAP(Manufacturing Automation Protocol)이 적합하다.

Fab host의 주요 기능은 다음과 같다.

- 공정 사양서 작성 지원
- 생산 계획 수립
- 공정 일정 계획 수립
- 각종 공정 문서 편집
- 장비/재료/환경 관리 지원
- Fab 차원의 공정 현황 정보 제공

(나) 셀 제어기(Cell Controller)

셀 제어기는 유사 단위 공정 그룹(예; 사진 식각 공정)을 총체적으로 관리한다. 일반적으로 셀 제어기는 마이크로 컴퓨터 또는 소형 워크스테이션이 사용되며, 스테이션 제어기와의 접속 방식으로는 소규모 MAP 즉, Mini-MAP이 적합하다.

셀 제어기의 주요기능은 아래와 같다.

- 셀 차원의 세부 공정 계획 수립
- 스테이션 제어기에 공정 내용 및 방법 전달
- 스테이션 제어기의 통제
- 상세 공정 정보 및 측정 데이터의 수집, 관리, 분석
- 담당 단위 공정의 세부 공정 정보 제공

(다) 스테이션 제어기(Station Controller)

스테이션 제어기는 각 단위공정을 직접 처리하는 오퍼레이터를 지원하는 시스템으로 장비 및 공정의 실시간 감시제어를 담당하는 시스템이다.

스테이션 제어기에는 보통 PC급 컴퓨터가 적합하며, 단일 장비 또는 1대 이상의 유사 장비들과 직접 접속되어 공정을 처리한다. 장비와의 통신 방식으로는 SECS가 많이 이용된다.

스테이션 제어기의 주요 기능은 다음과 같다.

- 장비의 초기 조건 설정
- Recipe up/down loading
- 공정 처리 절차 및 방법 지시
- 원격 제어 명령 처리
- 공정 데이터 자동 수집 및 전송
- Alarm 처리 등

5. 실시간 감시제어 시스템의 소프트웨어

웨이퍼 가공 공정 실시간 감시제어 소프트웨어는 크게 Fab 운영 관리 소프트웨어와 단위 공정 감시제어 소프트웨어로 구분할 수 있으며, 그 세부 기능은 다음과 같다.

(1) Fab 운영 관리 소프트웨어

Fab 운영 관리 소프트웨어는 Fab의 효율적인 운영을 지원하는 부분으로 필요에 따라 기능 및 구성이 다양하나, 기본 기능을 포함한 일반적인 모델은 그림 7과 같으며, 각 모듈별 기능은 다음과 같다.

(가) 시스템 모니터

- 고유명 관리
- 보안 관리
- DB 관리
- 시스템 관리 등

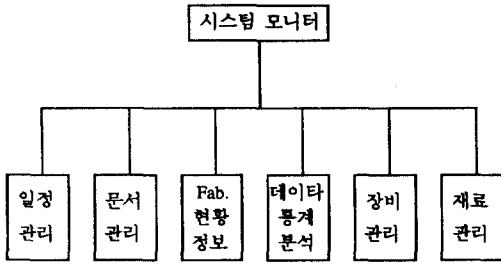


그림 7. Fab 운영 관리 소프트웨어 구성

(나) 일정 관리

- 작업 일정 관리
- 작업 기록 관리 등

(다) 문서 관리

- 공정 사양서 관리
- Recipe 관리
- 공정 규격 관리
- Log sheet 관리 등

(라) Fab 현황 정보

- 공정현황
- 장비 현황
- 환경 조건 현황(온도, 습도, 청정도 등)

(마) 데이터 통계.분석

- 측정 항목별 통계.분석
- 수율 통계.분석
- 불량률 통계.분석 등

(바) 장비 관리

- 장비 상태 정보
- 장비 운용 이력
- 예비 보수 지원 등

(사) 재료 관리 모듈

- 구매 관리
- 입고 관리
- 재고 관리 등

(2) 단위 공정 감시 제어 소프트웨어

각 단위 공정을 실시간으로 감시 제어 하기 위한 소프트웨어로서 셀 제어기로 부터 전달되는 단위 공정의 처리 방법 및 절차에 따라 장비를 직접 제어 하는 부분으로 그 구성은 그림 8과 같다

장비에서는 필요한 SECS stream/function만을 제공하며, 각 stream/function에 대한 데이터 형식은 장비에 따라 다르다.

따라서 단위 공정의 감시 제어 소프트웨어를 작성하기 위해서는 장비에서 제공하는 stream/function의 분석이 선행되어야 하고, 장비 고유의 단위 공정 감시 제어 소프트웨어가 있어야 한다.

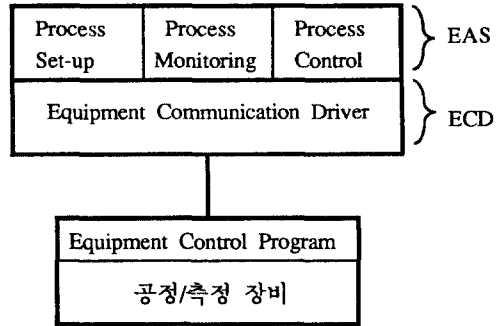
(가) Equipment Application Software(EAS)

EAS는 단위 공정의 실시간 감시 제어 처리를 위하여 장비와

오퍼레이터 및 상위제어 컴퓨터사이의 인터페이스 부분이다.

EAS의 기능은 단위 공정시 공정에 필요한 많은 데이터를 상위 제어 컴퓨터로 부터 제공받아 이를 오퍼레이터에 제공하고, 오퍼레이터가 지시한 명령에 따라 장비를 제어하며, 공정중 공정 진행 상황 데이터 및 공정/측정 데이터를 수집하여 이를 오퍼레이터와 상위제어 컴퓨터에 전송한다. EAS의 구성은 실시간 감시제어에 필요한 기능에 따라 process set-up, process monitoring, process control 모듈로 분류된다.

장비에 따라 기능에는 차이가 있으나 모듈별 기능은 다음과 같다.



EAS : Equipment Application Software

그림 8. 단위 공정 감시 제어 소프트웨어 구성

1) Process Set-Up

Process set-up 모듈은 단위 공정 초기에 공정 사양서에 따라 해당 장비를 공정/측정 하기 위하여 필요한 준비 과정을 담당하는 부분으로서 주로 사용되는 SECS stream은 S2, S7, S8이다.

Process set-up에서 처리하는 주요 사항은 다음과 같다.

- SECS 파라미터 설정
- Equipment 파라미터 설정
- 공정 파라미터 설정
- Recipe down load
- 공정 수행 명령 처리 등.

2) Process Monitoring 기능

공정 중에 공정 진행 상황 데이터 및 공정/측정 데이터를 수집하여 오퍼레이터와 상위 컴퓨터에 이를 제공하는 부분으로서 주로 사용되는 SECS stream은 S1, S3, S5, S6, S9, S10, S13이다.

Process monitoring에서 처리하는 주요 항목 및 기능은

다음과 같다.

- 공정 진행 상태 데이터
- 공정/속정 데이터
- Alarm 정보
- Material 상태 데이터
- Recipe up load 등

3) Process Control 기능

Process monitoring에서 수집한 공정 상황 정보에 따라 오퍼레이터 및 상위 제어 컴퓨터에서 장비의 공정을 통제하기 위한 부분으로서 주로 사용되는 stream은 S2, S4, S12이다.

Process control에서 처리하는 주요 항목 및 기능은 다음과 같다.

- 원격 제어 명령 처리
- Material 제어
- Wafer mapping 제어 등.

(나) Equipment Communication Driver(ECD)

장비를 실시간 감시제어하기 위해서는 장비와 스테이션 제어기 간에 많은 데이터 교환이 필요하며, 이러한 데이터는 장비에서 이해 할 수 있는 메세지로 구성되어야 하고, 각 장비에서 전송된 메세지는 오퍼레이터 및 상위 컴퓨터에서 알 수 있는 형태로 표현되어야 한다.

따라서 ECD는 단위 공정 수행시 EAS에서 장비로 보내는 명령이나 요구 사항을 장비가 요구하는 SECS 메세지 형태로 encoding 하여 장비에 전송하고, 장비에서 보내온 SECS 메세지를 EAS가 알수 있도록 decoding하여 EAS에 전달한다. 이와같은 기능은 SECS tool을 사용하면 용이하게 구현할 수 있다[5,6].

6. 결론

본 고에서는 SECS 프로토콜을 지원하는 장비를 대상으로 웨이퍼 가공 공정 실시간 감시제어 시스템의 구현 방법을 제시하였다.

그러나 완전 자동화를 위해서는 장비간 웨이퍼 자동 운송에 대한 연구.개발이 추가 되어야 할 것이다. 또한, SECS 프로토콜을 지원하지 않는 장비에 대해서는 별도의 프로토콜 변환기를 개발하여 사용하면 해결할 수 있으나 그 추가 부담이 적지 않다. 웨이퍼 가공 공정의 자동화를 쉽게 추진하기

위해서는 장비 선정시 SECS 프로토콜 지원 여부를 주요 선정 기준의 하나로 고려 할 필요가 있다.

한편 국내 장비 제조 업체에서도 장비의 극산화 개발을 활발하게 추진하고 있으나, 산업계의 자동화 요구의 증대에 따라 앞으로 SECS 프로토콜 지원 기능이 없는 장비는 경쟁력을 상실할 것으로 판단되므로, 개발시 SECS 지원 기능을 포함 시켜야 할 것이다.

웨이퍼 가공 공정에 대한 실시간 감시 제어가 실현되면 작업자의 Fab내 체류 시간을 줄임으로써 작업자에 의한 오염 발생 문제를 극소화하고, 빈번한 공정 변경 요구에 신속.유연하게 대처할 수 있을 것이다. 또한 공정중 발생하는 문제들을 조기 발견 및 해소 능력을 갖추으로써 수율 및 품질 향상과 재현성을 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

*본 연구는 한국전기통신공사 출연으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] 이근영, 임성호, "Sputtering 공정 원격 감시제어 시스템 설계," 전자통신, 1989 1, 39 제10권 제4호, pp60-68.
- [2] 이성수, 최락만, "반도체 공장 자동화용 통신규격," 전자통신, 1989 1, 39 제10권 제4호, pp47-59.
- [3] Semiconductor Equipment and Material International, Vol. 2 Equipment Automation : Book of SEMI Standards, 1988.
- [4] SECS Handbook, GW Associates, Inc., May 1988.
- [5] SDR SECS DRIVER USER GUIDE, GW Associates, Inc., June 1988.
- [6] SECSIM USER GUIDE, GW Associates, Inc., June 1988.
- [7] W. A. Bosenberg, "A Structured Approach to CAM Semiconductor International, June 1987, pp62-68.
- [8] R. A. Hughes and 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, pp1776-1793.