

## 플라즈마 식각공정의 종말점 검출(End Point Detection) 제어

우광방

연세대학교 기계전자공학부

### 1. 서론

반도체 메모리 부문은 최근 수년동안 주요 수출품목으로 자리잡았으며 92년 64메가D램의 개발을 시작으로 일본을 따라잡은 이후 일본과의 기술개발격차를 벌이기 시작했다. 반도체 기술의 핵심은 반도체내의 회로굵기를 보다 미세하게 만드는 것이다. 그래야 반도체의 집적도가 높아지며 원가도 줄어 갈수록 치열해지는 세계반도체업체의 경쟁에서 우위를 지켜나갈수 있기 때문이다. 96년 1기가D램의 개발에 이어 국내의 한 반도체 회사는 최근 회로굵기가 0.13  $\mu\text{m}$ 인 차세대 반도체 4기가D램의 전체공정기술개발을 세계최초로 성공하였다고 발표하였다.

우리나라와 치열한 경쟁을 벌이고 있는 일본의 NEC사가 회로선폭 0.15  $\mu\text{m}$ 의 공정기술개발에 머물러 있는 상태에서 이번 0.13  $\mu\text{m}$  회로선폭기술개발의 성공은 몇 가지 중요한 의미를 갖는다. 우선 64메가MD램과 256메가D램의 생산에 활용되던 기존의 노광 (lithography) 기술과 장비의 응용으로 차세대제품의 생산이 가능해져 2005년 이후에나 가능할 것으로 전망되던 4기가D램 제품 생산이 3~4년 앞당겨질 것으로 예측된다. 또한 이 기술을 현재의 64메가D램이나 곧 출하될 256메가D램에 응용할 경우 수출, 성능, 가격면에서 기존 기술을 이용한 제품을 압도하는 시장경쟁력을 유지할 수 있는 것으로 기대된다.

현재 반도체 메모리 부문의 생산공정은 미세한 굵기를 갖는 회로형성을 위해서 사진, 식각 및 금속배선 구조 공정등을 필요로 하며 제품완성을 위한 전체 공정은 수백여개에 이른다. 이러한 공정가운데 웨이퍼 상에서 집적회로의 패턴대로 불필요한 부분을 제거하는 식각공정은 중요하면서도 그 특성분석이 복잡한 공정이다. 이때 형성되는 패턴은 메모리 집적회로의 경우 캐패시터, 게이트 트랜지스터, 비트선, 워드선, 전력선 등이다. 반도체 집적회로가 고기능, 고집적화되어감에 따라 식각기술에도 많은 변화가 있었다. 초기의 식각은 화학용액에 웨이퍼를 반응시키는 습식식각으로서 다음과 같은 단점을 갖는다.

- 식각후의 유해폐액 처리
- 제조 불안정성

- 종말점 불확실
- 이방성 식각의 불가능
- 식각시 기포발생에 따른 식각불량

이러한 여러가지 단점때문에 생산공정에서는 일부용도를 제외하고는 모두 건식식각으로 대체되었다. 현재의 대표적인 건식식각은 플라즈마 식각으로서 70년대 초 CF<sub>4</sub>를 이용하여 본격적인 플라즈마 식각이 시작되었다. 그러나 플라즈마는 물리적, 화학적 성질이 명확히 밝혀져 있지 않기 때문에 아직도 활발한 연구의 대상이 되고 있으며 현재까지도 플라즈마의 동적 법칙에 근거한 직접적 식각공정의 제어가 아닌 종말점 검출 (End Point Detection : EPD) 시스템을 사용하여 플라즈마의 광방출 현상을 포착하고 이를 공정 진행의 지표로 삼는 간접적 제어를 실제의 생산공정에서 활용하고 있다.

여기서는 국산화한 EPD 제어기의 특성과 제어기법에 대해 알아보고 EPD가 갖는 Gain 파라미터 최적화에 대해 몇가지 사항을 기술해본다.

### 2. 플라즈마 식각공정과 EPD 시스템

#### 2.1 플라즈마 식각공정에서의 식각종료시기 검출

초기의 건식식각은 단순히 플라즈마를 이용하는 차원이었지만 그 후 플라즈마를 어떻게 제어하는가 또는 웨이퍼를 어떻게 위치하는가 등의 여러 응용에 대한 연구가 지속되었다. 플라즈마와 웨이퍼사이의 전위를 높여준 RIE (Reactive Ion Etching)형태의 식각장비가 개발된 이후 MERIE (Magnetically Enhanced Reactive Ion Etching), ECR (Electrical Cyclotron Resonance)과 같은 새로운 형태의 플라즈마 응용식각장비가 개발되었다.

이러한 다양한 응용방식에도 불구하고 현재로서는 식각종료시기를 직접 웨이퍼를 관찰하여 결정하는 것이 불가능하며 다음과 같은 간접적인 EPD 방법이 활용되고 있다.

- 레이저 검출법 : 시료에 레이저광을 조사하여 시료에서 반사되는 간섭파형으로 구분하는 방법
- 질량분석법 : 질량분석기에 의해 특정 질량 스펙트럼의 강도변화를 이용하는 방법
- 압력변화법 : 식각전후의 압력전화를 이용하는 방법

- 발광분광 분석법 : 방전으로부터 여기된 입자가 에너지를 잃을 때 생기는 발광 스펙트로를 측정하는 방법
- 방전임피던스법 : 식각전후의 방전 임피던스가 변하는 것을 이용하는 방법

여러 EPD 방법 가운데 통상적으로 발광분광 분석법이 많이 활용되고있다. 플라즈마에서 원자나 분자와 전자에너지가 충돌하면 원자에 에너지가 전달되고 이때 여기된 원자는 광을 방출함으로써 얻어진 에너지를 방출한다. 방출되는 빛은 일정한 에너지를 갖고 있으며 따라서 그 파장으로 어떠한 원자로부터 방출되었는지를 식별해낼 수 있다. 발광분광분석법은 이러한 원리에 따라 방전으로 여기된 입자가 에너지를 잃을 때 생기는 빛을 분광하여 특정 파장을 관찰한다. 관찰하는 기준입자에 따라서 다음과 같은 세가지 모드로 구분할 수 있다.

- Reactant Depletion (R.D) : 플라즈마 가스의 변화에 따른 빛의 세기를 감지
- Product Volatilization(P.V) : 플라즈마 가스와 웨이퍼의 표면반응으로 발생하는 부산물에 따른 반응광의 변화를 감지
- Substrate Volatilization (S.V) : 과도식각에 따른 반응광량의 변화로 식각종말점을 판단

식각반응실 내부의 반응광은 반응실 벽면에 부착된 일정크기의 석영창을 통하여 관찰할 수 있다. 석영창을 통하여 나오는 여러 파장의 빛가운데 반응광을 분광하고 광량을 전압의 크기로 변화시켜 식각종료시기를 검출하고 식각장비의 오프를 제어하는 장비가 발광분광분석에 의한 EPD 시스템이다.

EPD 시스템은 광섬유 케이블, 모노크로메터, 종말점 검출제어기로 구성되어 있으며 각각 다음과 같은 역할을 갖는다.

- 광섬유 케이블 : 식각반응실의 석영창을 통해 반응광을 모노크로메터까지 전달
- 모노크로메터 : 전달된 빛을 격자를 통해 특정파장을 분광하여 전압신호로 변환
- EPD 제어기 : 전압신호의 모니터 디스플레이와 오토스캔 및 식각종료시기 검출알고리즘 구현

오토스캔은 식각시 반응실 내부에서 발생하는 여러 파장 가운데 어떤 파장이 종말점을 검출하는데 가장 적합한지를 파악하기 위해 운영자가 지정한 파장영역을 일정 단위별로 증가시켜가며 검색(Scanning)하는 기능으로 그림 2.1과 같은 신호형태를 갖는다.

### 2.1 다중채널 EPD 제어기 개발

최근에는 CLMC(Cluster Module Control)나 CTC(Cluster Tool Control)를 위해 하나의 식각장비에 여러대의 식각반응실을 갖는 식각장비가 많이 활용되고 있다. 이러한 식각장비의 운영을 위해서 단일 EPD 시스

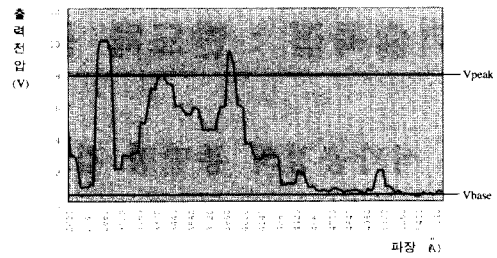


그림 2.1 오토스캔 곡선.

템은 시스템 통합과 비용면에서 그 효율성이 떨어진다. 또한 사용자 중심으로 프로그램이 구축되지 못해 사용자 교육에 많은 시간이 소요된다. 개발된 EPD 제어기는 단일 Host System과 여러대의 Subsystem으로 분리, 설계하였으며 각 Subsystem은 서로 독립적으로 Monochrometer를 제어하여 식각종료시기를 검출하게 된다. 또한 Host System은 일반PC를 사용가능하며 윈 95환경 및 NT환경에서 사용자 중심의 그래픽 프로그래밍을 실현하였다.(그림 2.2)

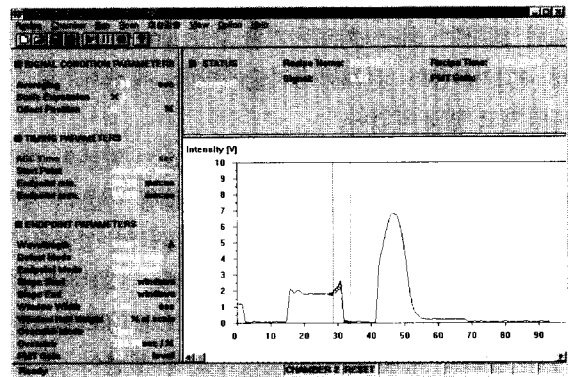


그림 2.2 개발 EPD 제어기의 Host System 초기화면.

그림 2.3에서 보듯이 Subsystem은 서로 독립적으로 주변장비를 관찰하고 Host System과 RS-232 통신으로 연결되어 각 식각장비간의 데이터 혼선을 미연에 방지할 수 있는 다중채널시스템으로 개발하였다. 따라서, 모든 Subsystem들은 동일한 하드웨어 및 소프트웨어적 구조를 갖추게 되고 이들을 병렬로 Host-system에 접속을 시킴으로서 전체구성이 이루어진다.

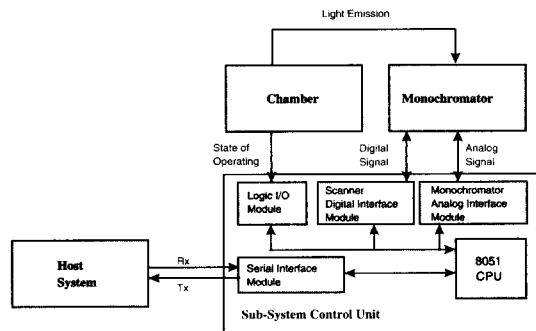
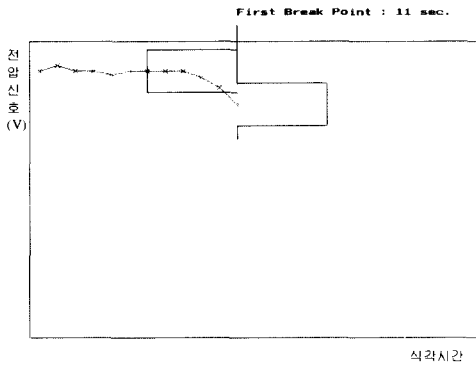


그림 2.3 Sub-system 하드웨어 모듈.

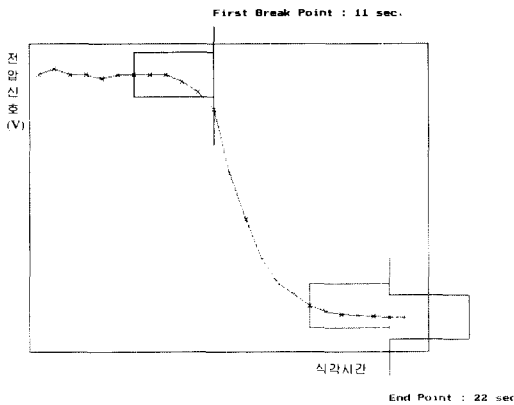
### 3. EPD 파라미터 최적화

#### 3.1 식각종료시기 검출기법

종말점 검출은 윈도우기법을 이용한다. 윈도우 법이란 사용자가 미리 윈도우의 폭과 높이를 결정하고 공정이 진행되면서 궤적이 윈도우의 어떤 방향으로 진행되는가를 보고 공정상태를 판단하는 것으로 식각물질의 반응광을 관찰하는 P.V 모드를 선택한 경우, 그림 3.1과 같이 식각이 시작되면 신호강도가 약화되면서 궤적이 윈도우의 아랫방향으로 통과하고 다시 궤적이 윈도우의 우측면을 통과하면 식각이 완료됨을 알 수 있다.



(a) slope start.



(b) slope end.

그림 3.1 Slope start와 slope end.

윈도우법을 이용하여 EPD를 행할 경우 초기의 전압 크기가 적당한 범위내에 들지 않으면 slope start와 slope end의 위치를 정확하게 감지하기 어렵다. 따라서 적절한 전압크기의 변화가 디스플레이되기 위해서는 PMT Gain과 Amplifier Gain의 설정이 중요하다. PMT Gain은 일정과장을 갖는 광의 세기를 전압으로 변환할 때 0V에서 10V사이의 적절한 값으로 변환하기 위한 이득이며 Amplifier Gain은 제어기화면에 디스플레이되는 신호변화의 크기를 조정하기 위한 이득을 의미한다.

#### 3.2 Gain 파라미터 최적화

기존의 제어기는 PMT Gain의 설정을 위해 AGC

(Auto Gain Control) 기능이 포함되어 있으며 이것은 단순한 비교논리에 따라 일정시간 이내에 반응광을 3V로 맞춰주는 PMT Gain을 탐색한다. 사용자는 PMT Gain을 모르는 상황에서 원하는 디스플레이 환경이 될 때까지 반복된 실험과 시행착오를 거쳐 Amplifier Gain을 설정하도록 되어있다.

기존의 AGC보다 탐색시간을 단축하고 보다 정확한 Gain을 얻기위해 새로 개발된 EPD 제어기는 퍼지추론을 이용한 PMT Gain 탐색알고리즘을 갖는다. 또한 Amplifier Gain의 최적화를 위하여 EPD 제어기가 갖고 있는 오토스캔기능의 활용범위를 확대하였다.

AGC를 위한 퍼지추론기구는 그림 3.2와 같이 구성되며 퍼지추론 규칙은 표 3.1과 같다. 표 3.1에서 SI (Signal Intensity)는 전압크기를 의미하며 0~10V사이의 범위를 갖는다. 따라서 Error는 -10에서 10까지의 값을 갖게 된다. 또한 PG1에서 PG7은 모노크로메터의 사양에 따라 얻어지는 PMT Gain의 범위내에서 정해진다.

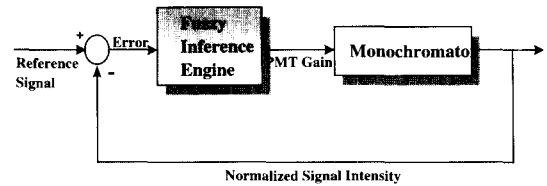


그림 3.2 AGC를 위한 퍼지추론기구.

표 3.1 PMT Gain 퍼지추론규칙.

$\text{Error} = \text{Wanted Value} - \text{SI (Signal Intensity)}$ <p>Rule1 : If Error = VNB (Very Negative Big) then PMT gain = PG1.</p> <p>Rule2 : If Error = NB (Negative Big) then PMT gain = PG2.</p> <p>.....</p> <p>Rule7 : If Error = PVB then PMT gain = PG7.</p>
---

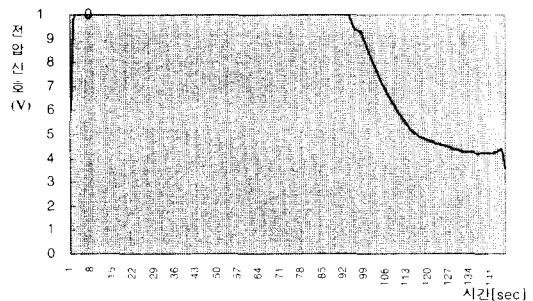


그림 3.3 Amplifier Gain이 너무 큰 경우.

AGC 시간은 종말점 검출이 실행되지않는 정해진 초기시간 이내로 제한되며 퍼지추론에 의한 PMT Gain 최적화는 매우 짧은 시간이 소요기 때문에 초기화 시간동안 식각반응실의 변동에 민감하게 대응할 수 있는 장점을 갖는다.

Amplifier Gain은 윈도우법의 적용을 위해 중요한 파라미터로서 그림 3.3은 Amplifier Gain을 너무 크게 설정해서 올바른 slope start 시기를 놓치게 된 경우이다.

오토스캔은 장비의 도입초기에 그림 2.1에서 보듯이 EPD 파장을 설정하기위해 사용되며 설정된 파장의 피크치(Vpeak)는 Amplifier Gain의 최적화를 위해 기준전압으로 설정할 수 있다. Amplifier Gain을 중간값으로 설정하고 오토스캔을 구동한 뒤, Vbase를 기준으로 전압신호가 적절한 범위를 갖는 파장을 선택한다. 오토스캔모드에서 PMT Gain은 1로 설정되기 때문에 선택된 파장의 전압범위(Vpeak ~ Vbase)는 PMT Gain을 고려하지 않은 값이다. 따라서 AGC시간이 경과하고 PMT Gain이 정해진후 전압신호를 오토스캔에서 구한 신호범위(Vpeak-Vbase)와 비례에 의한 함수로 구성하여 최적한 Amplifier Gain을 구할 수 있다.

파라미터의 최적화를 통해 적절한 EPD 신호케이스가 도출되면 윈도우법에 의해 slope start와 slop end가 검출된다. 이때 정해진 시점에서 웨이퍼상의 식각불균일도 극복을 위해 과도식각을 진행하는 것이 일반화되어 있다.

#### 4. 결 론

이상으로 플라즈마 식각공정의 진행에 있어서 중요한 EPD제어 기법과 파라미터 최적화에 대해 서술하였다. 또한 플라즈마 응용 식각장비의 발전 경향과 다중 채널 제어기의 개발에 대해서도 알아보았다.

현재의 연구는 기존의 장비를 이용하여 회로를 보다 미세화하고자 하는 연구와 새로운 장비의 개발을 통한

고집적화로 구분할 수 있다. 또한 제품의 가격 경쟁력을 위해서 웨이퍼의 대구경화가 일반적인 추세이다. 웨이퍼의 대구경화는 불균일도의 극복을 위해 새로운 제어와 보다 향상된 EPD 기법을 필요로 한다. 따라서 기존의 제어기법을 향상시키려는 노력과 새로운 검출기법에 대한 연구도 지속적으로 진행되고 있다.

#### 참고 문헌

- [1] "Dry Etching (Process 이해)", 삼성전자주식회사, 1990.
- [2] Model 1015 Plasma Endpoint Controller Instruction Manual, Luxtron, 1991.
- [3] Chin-Teng Lin and C. S. George Lee, Neural Fuzzy Systems, Prentice-Hall, 1996
- [4] S. M. Sze, VLSI Technology, 2nd Ed. McGraw-Hill, 1988.

#### 저자소개

##### 우 광 방

1957년 연세대 전기공학과 졸업(석사).  
 1962년 오레곤 주립대학 전기공학과 석사.  
 1964년 오레곤 주립대학 전기공학과 박사.  
 1996년-1971년 워싱턴대 전기공학과 조교수.  
 1971년 미 국립 암 연구소, 책임연구원.  
 1980년 재미한국인과학기술자협회장.  
 1982년-현재 연세대 전기공학과 교수.  
 1992년-현재 연세대학교 자동화기술연구소 소장.  
 1995년 당 학회 회장.

<관심분야>

반도체공정자동화 및 스케줄링, 인공지능제어기법, FMS.