

EPD 신호검출에 의한 플라즈마식각공정의 이상검출

Malfuction Detection in Plasma Etching Process Using EPD Signal Trace

○이종민, 차상엽, 이석주, 최순혁, 우광방

연세대학교 전기공학과 자동화기술 연구소(Tel: 361-2767; Fax: 362-7611, E-Mail: Plasma@auto.yonsei.ac.kr)

Abstracts EPD(End Point Detection) is used to decide etching degree of layer which must be removed at wafer etching process in plasma etching process which is one of the most important process in semiconductor manufacturing. In this thesis, the method which detects malfunction of etching process in real-time will be discussed. Several EPD signal traces are collected in normal plasma etching condition and used as reference EPD signal traces. Critical points can be detected by applying differentiation and zero-crossing techniques to reference EPD signal. Mean and standard deviation of critical parameters which is memorized from reference EPD signal are calculated and these determine the lower and higher limit of control chart. And by applying statlcal control chart to EPD signals which are collected in real etching process malfunctions of process are detected in real-time. By means of applying this method to the real etching process we prove our method can accurately detect the malfunction of etching process and can compensate disadvantage of current industrial method.

Keywords EPD(End Point Detection), Plasma Etching, Malfuction detection.

1. 서론

현재의 반도체 생산공정은 복잡한 단위공정들이 순서적으로 연결되어 있으며 불량품 검출을 위해 단위공정의 종료후 품질 관리검사가 수행된다. 웨이퍼들은 25매 또는 50매의 단위로 공정을 행하는데 품질검사는 이들중 샘플웨이퍼를 통하여 이루어진다. 하지만 이러한 샘플검사는 모든 웨이퍼의 품질을 보증할 수 없고 단위공정처리가 완료된 후에야 공정의 이상을 검출할 수 있다는 단점을 갖고 있다.

플라즈마 식각공정은 주요한 단위공정의 하나로 위와 동일한 이상검출을 행하고 있다. 또한 현재 식각공정을 수행하면서 EPD 장비의 화면에 나타나는 EPD 신호패치를 공정운영자가 육안으로 감시하여 식각의 이상유무를 판별하고 있는 실정인데 기준신호패치와 비슷한 EPD신호패치에 대해서는 육안검사에 의한 이상검출이 사실상 어려우므로 효율적인 이상검출이라 할 수 없다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 다음과 같은 실시간 이상검출을 제안한다.(그림 1)

1) Monochrometer와 데이터 수집장치를 이용하여 정상적인 식각공정에 대한 복수의 EPD 기준신호패치를 저역통과필터를 통과시켜 잡음을 제거하고 수집한다. 2)수집된 신호패치에 미분과 영점교차방법을 적용하여 특성점을 검출한다. 3)기저레벨(base level) 검사에 의해 신호패치를 여러 영역으로 나누고 특성점에 의해 결정되는 특성파라미터(신호강도, 기울기, 시간, 피크,오버슈트)와 기호로 변환된 파형속성을 추출,저장한다. 4)특성파라미터의 평균치와 표준편차의 계산에 의해 관리상한 UCL과 관리하한 LCL을 구한다. 5)Monochrometer와 데이터수집장치를 이용하여 실제공정에서 시험할 EPD신호패치를 수집한다. 6)실제 신호패치에 대해서 단계 2),3)을 적용하여 실제패치의 특성점, 파형속성, 특성파라미터를 추출한다. 7)실제패치의 특성파라미터에 대해서 통계적 공정관리를 적용하여 실시간

으로 공정이상을 검출한다

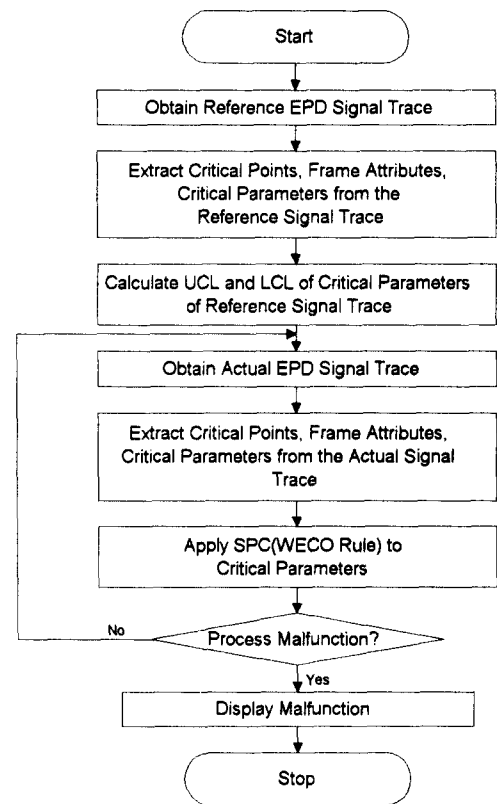


그림 1. 실시간 이상검출의 흐름도

Fig 1. Flowgraph of real-time malfuction detecon

2. EPD시스템에 의한 이상검출 알고리즘

본 논문의 식각대상은 MOS(Metal Oxide Semi conductor)다바 이스 생산의 핵심공정인 다결정실리콘 게이트이다. 그림 2는 다결정 실리콘 게이트 식각공정의 EPD 기준신호궤적이다. 세로축은 식각장비에 삽입되어 있는 EPD의 광케이블이 받아들이는 일정파장의 빛을 전압레벨로 변화시킨 값이고 가로축은 시간이다. 그림 2에서 처음에 EPD신호강도가 기저레벨에 있다가 플라즈마를 가동하는 RF전력(source, bottom전력)이 입력되면 EPD 신호강도가 급격히 증가하고 RF 전력이 OFF되면 급격히 감소하는데 이때 설정시간동안 자연산화층이 식각되는 deglaze 공정이 수행된다. 다시 RF전력이 입력되면 EPD신호강도가 급격히 증가하다가 안정상태를 보이는데 이때 설정시간동안 다결정실리콘이 식각되는 bulk식각이 수행된다. 그리고 이후 EPD 신호강도가 안정상태에서 급격히 감소하는 부분이 생기는데 이 부분에서 식각의 끝점이 검출된다. 이후 설정시간동안 일정레벨을 유지하다 RF전력이 OFF되면 EPD신호강도는 기저레벨로 복귀되고 식각공정이 끝나게 된다.

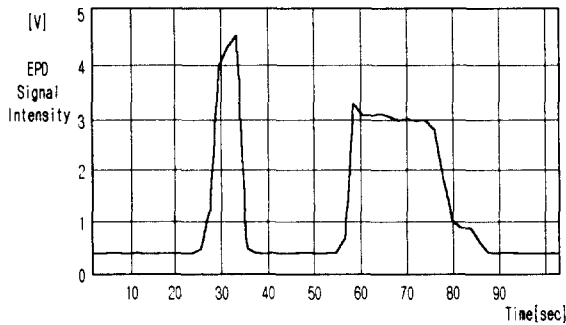
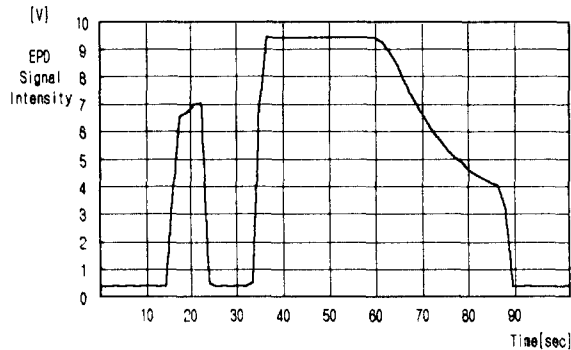


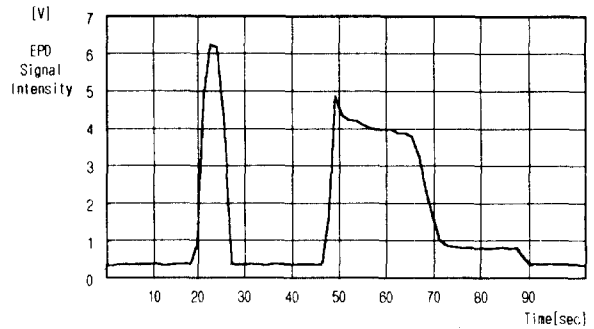
그림 2. 2단계 다결정실리콘게이트 식각공정의 EPD 기준신호궤적

Fig 2. Reference EPD signal trace of 2 step polysilicon gate etch process

그림 3의 (a),(b)는 공정입력을 인위적으로 변화시켜 이상을 발생시켰을 때 나타나는 2개의 EPD의 이상신호궤적이다. 그림 3의 (a)는 육안으로도 쉽게 이상이 생겼음을 알 수 있지만 (b)는 육안비교에 의해서는 이상검출이 어렵다는 것을 알 수 있다.



(a) 기준신호궤적과 상이한 EPD 이상신호궤적



(b) 기준신호궤적과 비슷한 EPD 이상신호궤적

그림 3. EPD 이상신호궤적의 예

Fig 3. Example of malfunction EPD signal traces

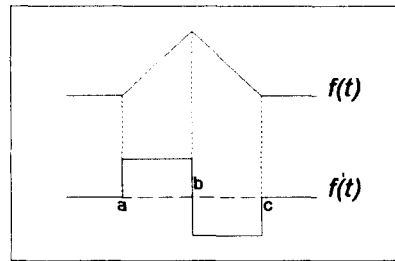


그림 4. 영점교차를 이용한 특성점 후보의 검출

Fig 4. Detection of critical point candidate by zero-crossing

EPD신호궤적에서 특성점을 찾기위한 방법은 신호의 미분치를 이용하여 기울기가 변하는 점의 위치를 찾는 것이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 임의의 파형이 주어지면 파형의 미분치는 그림 4의 하단과 같이 되고 이경우 기울기가 변화하는 변곡점이 a,b,c의 3점에서 나타난다. 미분치를 구하기 위한 점을 기준으로 양 옆의 기울기를 서로 곱한 값의 부호를 이용하여 특성점 후보들의 위치를 찾는다. 점 a의 경우 점 a를 중심으로 양 옆 점들의 기울기를 곱한 값은 0이 되고 우측의 기울기가 0이 아니므로 점 a는 특성점이 된다. 점 c의 경우는 좌측의 기울기가 0이 아니므로 역시 특성점이 된다. 점 b의 경우는 기울기의 곱이 음수가 되는데 이 경우에는 양 옆에서 기울기의 부호가 바뀌는 특성점으로 인식한다. 그림 5는 미분과 영점교차 방법에 의해 결정된 특성점, 영역이고 표 1은 특성파라미터이다.

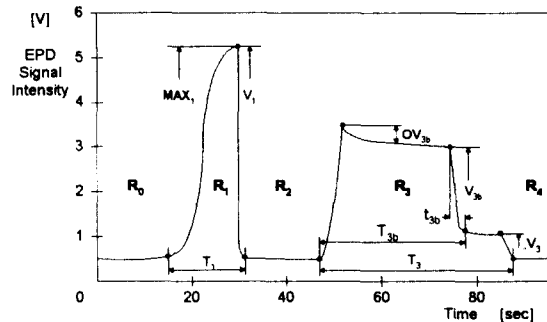


그림 5. EPD 기준신호궤적의 특성점, 영역, 특성파라미터
Fig 5. Critical points, region and critical parameters of reference EPD signal trace

4. 실험 및 결과 고찰

표 1. EPD신호제적의 특성파라미터
Table 1. Critical parameters of EPD signal trace

| 번호 | 파라미터 | 설명 |
|----|------------------|--|
| 1 | T ₁ | Deglaze식각시간 |
| 2 | V ₁ | Deglaze식각강도 |
| 3 | MAX ₁ | Deglaze 최대식각강도 |
| 4 | T _{3b} | Bulk식각시간 |
| 5 | V _{3b} | Bulk 식각강도 |
| 6 | S _{3b} | Endpoint 기율기(=V _{3b} /t _{3b}) |
| 7 | OV _{3b} | Bulk 식각의 오버슈트 |
| 8 | T ₃ | Bulk 식각 설정시간 |
| 9 | V ₃ | Overetch 식각강도 |

3. 특성 파라미터에 대한 SPC

품질제어는 1920년대 슈하트에 의해 통계적 제어의 개념과 관리도가 고안된 이래 공정의 중요한 파라미터의 변동을 줄여 서 공정성능을 개선시키기위해 널리 사용되어왔다. 통계적 품질제어는 공정의 상태가 안정되어 제품의 품질이 만족스럽다고 판단되는 기간동안에 생산된 제품의 특성을 추출하여 공정에 대한 통계적 분석을 행한후에 이후 생산되는 제품의 특성치를 이러한 통계적 분석에 비교함으로써 공정상태의 이상 유무를 판별하는 기법이다.

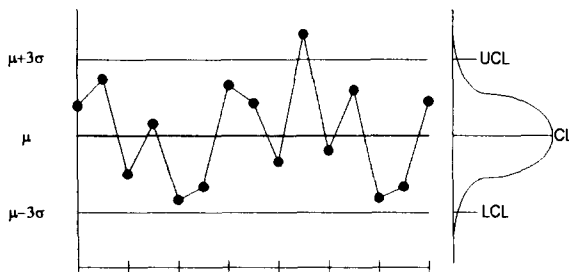


그림 6. 관리도와 가설검정
Fig 6. Chart and provement of hyperthesis

본 연구에서는 다결정 실리콘 게이트 식각공정의 이상을 검출하기 위해서 표 1과 같은 특성 파라미터를 선정하고 정상상태의 식각을 여러번 반복한 후 각 특성 파라미터의 평균과 표준편차를 계산하여 평균은 중앙값 CL로, ±3*표준편차는 상한값 UCL, 하한값 LCL으로 설정한다(그림 6).

제안된 이상검출 방법을 이용한 공정이상 검출을 시험하기 위해서 공정의 입력을 의도적으로 변화시키면서 공정이상의 검출여부를 조사하고 이 결과를 Opti-probe 2000으로 식각률을 측정하여 공정이상을 검출한 결과를 비교분석한다. 이를 위해 30번의 정상운전을 통하여 관리도의 중앙값과 상,하한을 구하였으며 이를위해 시간이 오래 경과되어 여러입력에 동시에 변화를 주어 이상검출을 행할 때에는 4회의 정상운전을 행하였다. 그림 7은 Bulk 식각시간의 관리도이고 그림 8은 Bulk 식각률의 개별 측정치를 나타낸 관리도이다.

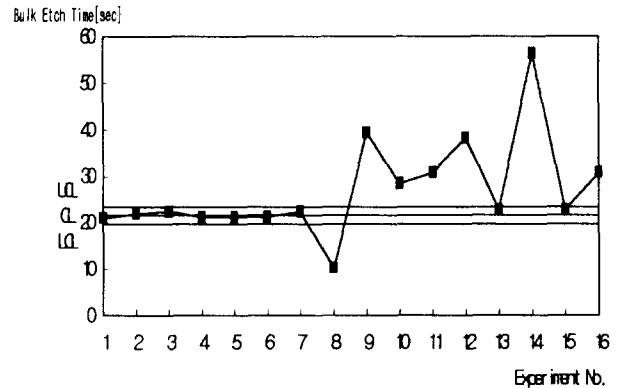


그림 7. EPD 신호제적의 Bulk 식각시간의 개별 측정치 관리도
Fig 7. Individual chart of EPD signal trace with bulk etch time

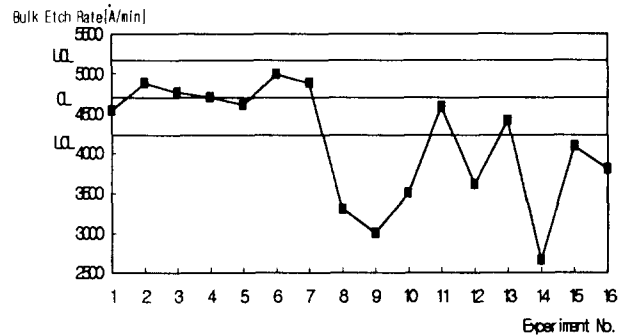


그림 8. Bulk 식각률의 개별 측정치 관리도
Fig 8. Individuals chart of bulk etch rate

35회부터 bottom전력, Cl₂ 흐름율, O₂흐름율 등을 동시에 변화시켰으며 그 결과 이상이 검출되었다. 38회와 42번째에서 두 개의 공정관리도의 이상검출 결과가 불일치하는 것을 볼 수 있는데 이는 검증결과 웨이퍼의 오염, 계측불량 등의 원인으로 식각률이 부정확하게 계측되었다고 판단된다. 따라서 EPD를 통한 실시간 이상검출은 성공적으로 이루어졌지만 데이터 수집 장치의 부정확한 scan과 계측기의 계측 오차 등을 보상하는 등의 연구도 필요하다고 본다.

5. 결 론

본 논문에서는 플라즈마 식각공정의 이상을 실시간으로 정확하게 검출하기 위해서 Monochro meter와 데이터 수집장치를 이용하여 수집된 EPD 신호케체에 미분과 영중교차방법을 적용하여 특성점, 기호로 변환된 파형 속성과 특성파라미터를 추출하고 특성 파라미터에 대해 통계적 공정관리를 적용하여 공정 이상을 실시간으로 검출하였다. 실제 공정에 적용해 본 결과 제안된 방법은 다음과 같은 장점을 갖는 것으로 입증되었다. 1) 처리된 모든 디바이스의 품질을 보장할 수 있다. 2) 이상발생 공정에서 같은 이상이 반복되거나 다음 공정에 이상이 파급되는 것을 방지 할 수 있다. 그리고 검출정확도면에서는 계측기를 이용하여 식각률을 측정하는 방법과 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

앞으로의 과제는 계측기의 오차보상과 데이터 수집의 scan 정확도를 높일 필요가 있으며 자기진단에 의한 입력의 조정에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- [1] M.D.Baker,C.D. Himmel and G.S.May, "Time Series Modeling of Reactive Ion Etching Using Neural Network", *IEEE Trans. Semicond.Manufact*, vol.8, no.1, Feb.1995
- [2] S.M.Sze, VLSI Technology, 2nd Edition, McGraw-Hill, 1988
- [3] HP.K.Mozumder and G.G.Barna, "Statistical Feedback Control of Plasma Etch Process", *IEEE. Trans. Semicond. Manufact*, vol.7, no.1, pp.1-11, Feb.1994
- [4] Xnix EPD System User's Manual
- [5] Opti-porbe 2000 System Operation Manual.1
- [6] 하성도, 신기술 소개, 서울 공대 '94.3.4, pp.43-47