

기술 특 집

# 초대형 기판의 PR Strip을 위한 절연체 격벽 플라즈마 장치

박영춘 (케이씨텍 부설 기술연구소/HGU), 이봉주 (KBSI)

## I. 서 론

현재 TFT-LCD 산업은 제조기술에서의 원가경쟁력 확보를 위하여 기판의 크기를 대형화하는 추세이며, 또한 고정세화 및 저가격화 그리고 고품위화 추세를 보이고 있다. 이에 따라 장치 산업도 TFT-LCD 제조기술의 발전 방향에 맞추어 장치를 개발 생산하고 있다. 그러나 우리나라는 세계 1~2위 수준의 뛰어난 생산기술을 보유한 것에 비해 양산 장비 및 기초소재의 국산화율이 20% 미만으로 선진국 기술 수준의 50% 정도이고, backlight, 편광판 등의 일부 부품을 조립생산하고는 있지만, 기초 소재는 대부분 수입에 의존하고 있다. 특히 기초기술 즉 장치 개발에 대한 기술의 경우 선진국 기술 수준의 30% 정도로 가장 취약한 부분이다.<sup>[1]</sup> 그러므로 기술선진국에 대한 기술종속의 우려가 커지고 있으므로 기술 집약적인 TFT-LCD 장치산업을 적극적으로 육성하여 관련기술에 대한 파급 효과를 증대시켜야 한다.

TFT-LCD 제조는 수많은 공정에 의해 수행되고, 국산화할 분야들은 여러 개가 있으나, 여기서 소개하려는 장치는 에칭(etching) 공정을 진행한 후 불필요한 PR(photoresist)를 제거하는 에싱(ashing) 공정을 수행하는 것이다.

현재 TFT-LCD 생산에서 사용되는 에싱 공정은 습식(wet) 방식과 건식(dry) 방식 그리고 습식방식과 건식방식을 혼용한 방식을 사용하고 있다. 습식방식의 경우에는 강력한 산화작용을 가진 여러 가지 화학약품을 사용하여 도포된 PR을 제거하는 것으로, 기판에 손상을 주지 않고 부드럽게 PR을 제거하는 것이 가능하고 초기투자비가 낮고 공정 시간을 단축시킬 수 있는 장점을 가지고 있으나, 기판의 크기가 대형화됨에 따라 장비의 크기가 이에 비례하여 커지며 사용하는 화학약품의 양이 증가하게 되어 공정 운영비가 증가하며 또한 환경대책에 대한 문제를 포함하게 된다. 또한 현재 사용되고 있는 진공 플라즈마를 이용한 건식방식의 경우에는 공정 진행 후 잔사가 남지 않고, 균일도가 좋으며, 공정 진행비가 낮은 장점을 가지고 있으나, 장치의 복잡성 즉 진공장치가 반드시 필요하여 습식방식에 비하여 장치의

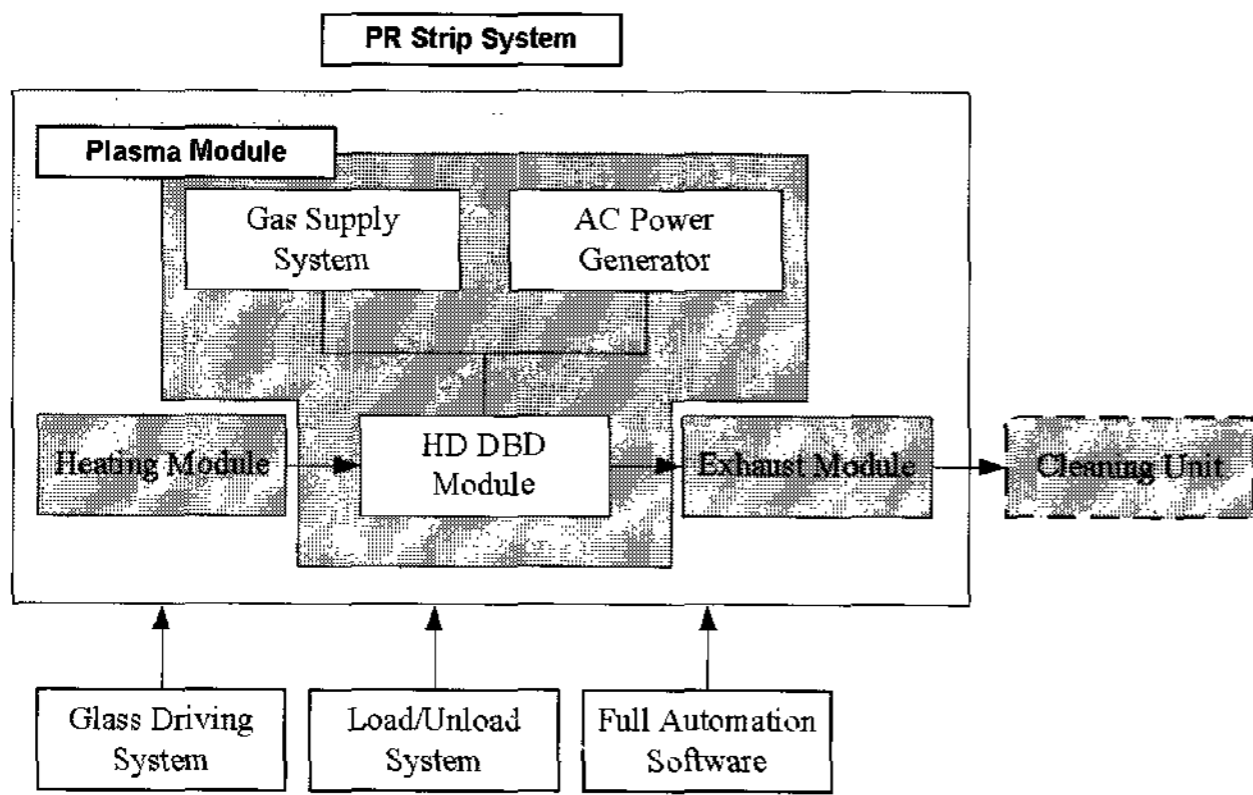
[표 1] 습식방식과 건식방식의 장비 비교표

구 분	건식방식	습식방식
공정방식	진공플라즈마(PE, RIE)	Chemical 분사
사용Gas/Chemical	O <sub>2</sub> (CF <sub>4</sub> )	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 등
Ashing Rate	<8000 A/min	Tact time=40sec/glass
Uniformity	<10%	<10%
장비 가격	약 20억	약 13억
Consumable Cost	Low	High
Market Share	40%	60%

가격이 높고, 공정의 진행속도가 느리며, 사용되는 산소 플라즈마에 의한 기판 손상 및 금속오염의 문제점등이 존재하게 되며 또한 연속생산방식(in-line)에 부적합하여 loading/unloading하는 공정이 요구되어 단위시간당 생산량의 증가에 기여를 하지 못하고 있다. 이런 건식방식과 습식방식의 단점을 보완하기 위하여 이것들이 혼합된 방식을 사용하기도 하지만, 장비 가격과 사용되는 유틸리티 사용 비용, 재료 소모 비용 등이 높다는 단점을 가지고 있다.<sup>[2]</sup> 다음의 [표 1]에 에싱을 위한 건식방식과 습식방식을 6가지의 항목 즉 공정 가스와 화학약품의 종류, 단위시간당 PR 제거율, PR 제거의 균일도, 장비의 가격, 소모자재 가격 그리고 현 시장의 점유율을 통하여 간단하게 비교하였다.

## II. PR Strip을 위한 절연체 격벽 플라즈마 장치

위에서 언급한 것처럼 현재 TFT-LCD 에싱 또는 PR strip 공정에 사용되고 있는 장비들의 단점을 극복하고 장점을 최대한 활용할 수 있는 장치가 현재 본사에서 연구를 수행하고 있는 절연체 격벽 플라즈마를 이용한 PR 에싱 장치이다. 이 장치는 상압 플라즈마를 사용하기 때문에 진공 플라즈마를 사용하는 장치와는 달리 연속생산방식에 적용할 수 있고 진공 반응기를 사용하지 않기 때문에 장비가격 또한 낮출 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 습식 방식에서



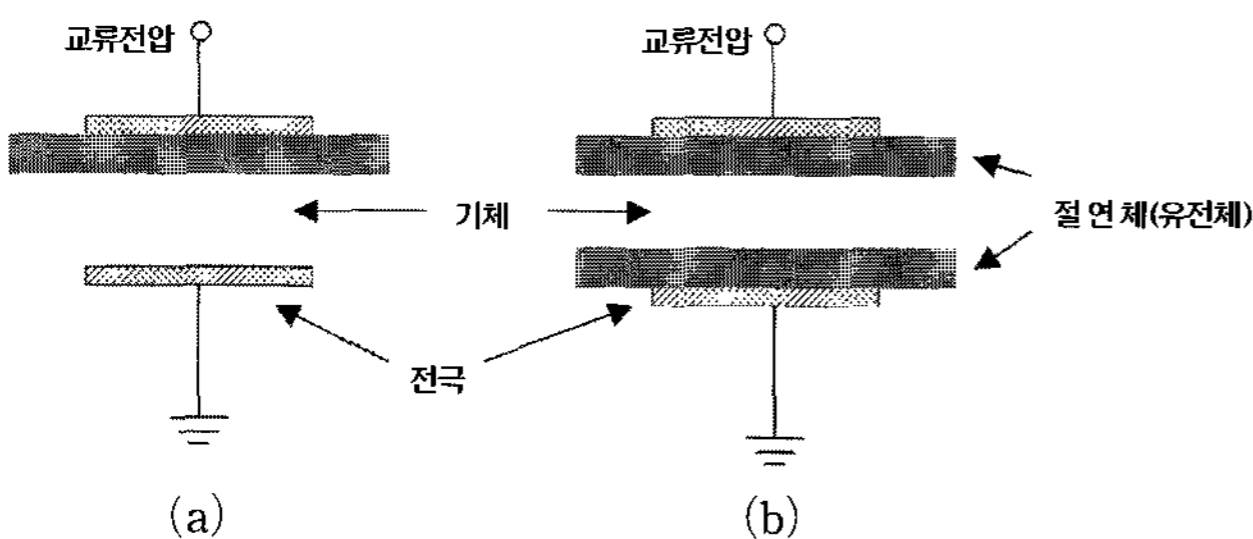
[그림 1] 절연체 격벽 플라즈마를 이용한 에칭 장치의 구성

사용하는 화학약품을 사용하지 않아 친 환경적인 특징을 가지며, 질소와 산소가스를 사용하여 공정을 진행하기 때문에 공정 유지비가 절감되는 장점을 가지고 있다. 또한 절연체 격벽 플라즈마 발생장치에서 발생하는 플라즈마는 저온 플라즈마 이기 때문에, 별도의 냉각 시스템을 필요로 하지 않아 시스템의 구조가 간단해진다.

절연체 격벽 플라즈마를 이용한 에칭 장치는 [그림 1]과 같이 구성이 되며, 각각의 구성요소에 대한 자세한 특징은 다음과 같다.

1. 절연체 격벽 플라즈마 반응기

오존의 발생기 등으로 광범위하게 이용되고 있는 절연체 격벽 장치(DBD ; Dielectric Barrier Discharge)는 1857년 von Simen에 의해 처음 개발되었다. 절연체 격벽 플라즈마는 대기압 조건에서 두개의 전극사이에 유전체를 삽입하여 고전압 펄스로 인한 아크방전을 억제하고 유전체 전극에서 형성되는 표면전하의 충전과 방전을 이용하여 플라즈마를 발생시키는 장치이다.[그림 2] 인가된 고전압펄스의 처음 반사이클 동안에는 유전체 전극에서 형성되는 전기장과 전극사이에 형성되는 전기장에 의해서 절연체의 벽전하가 충전된다. 그 다음 반사이클 동안에는 전극사이의 전기장과 벽전하에 의해 형성된 전기장의 위상이 일치하여 전극사이의 전기장 세기는 증가하여 전극간의 방전 전기자의 크기가 충족되면 절연파괴가 발생되어 micro-discharge streamer를 형성한다. 따라서 절연체 격벽 장치의 반응기에서는 각 주기에 한번씩 micro-discharge streamer가 전극

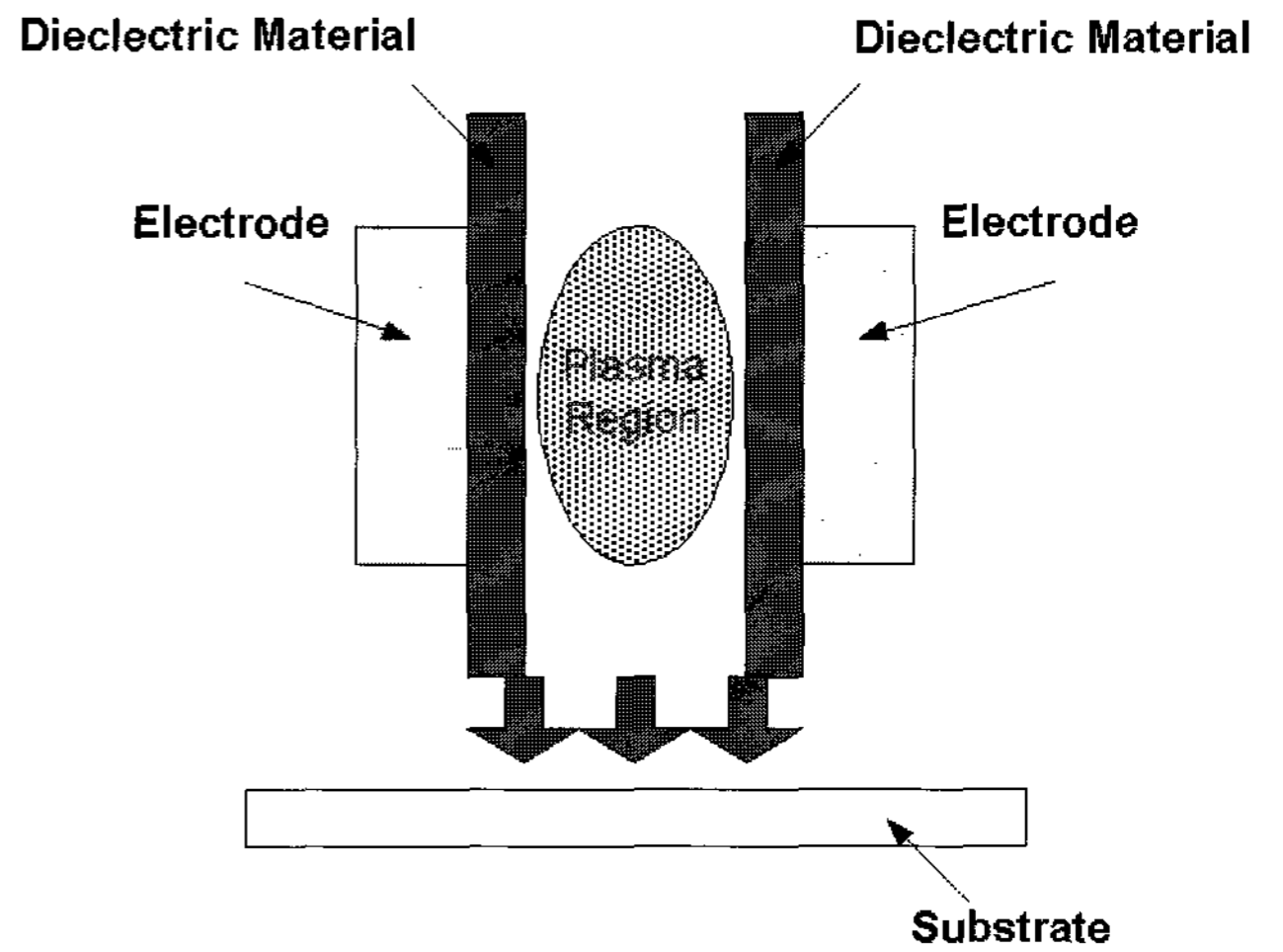


[그림 2] 전형적인 절연체 격벽 플라즈마 장치

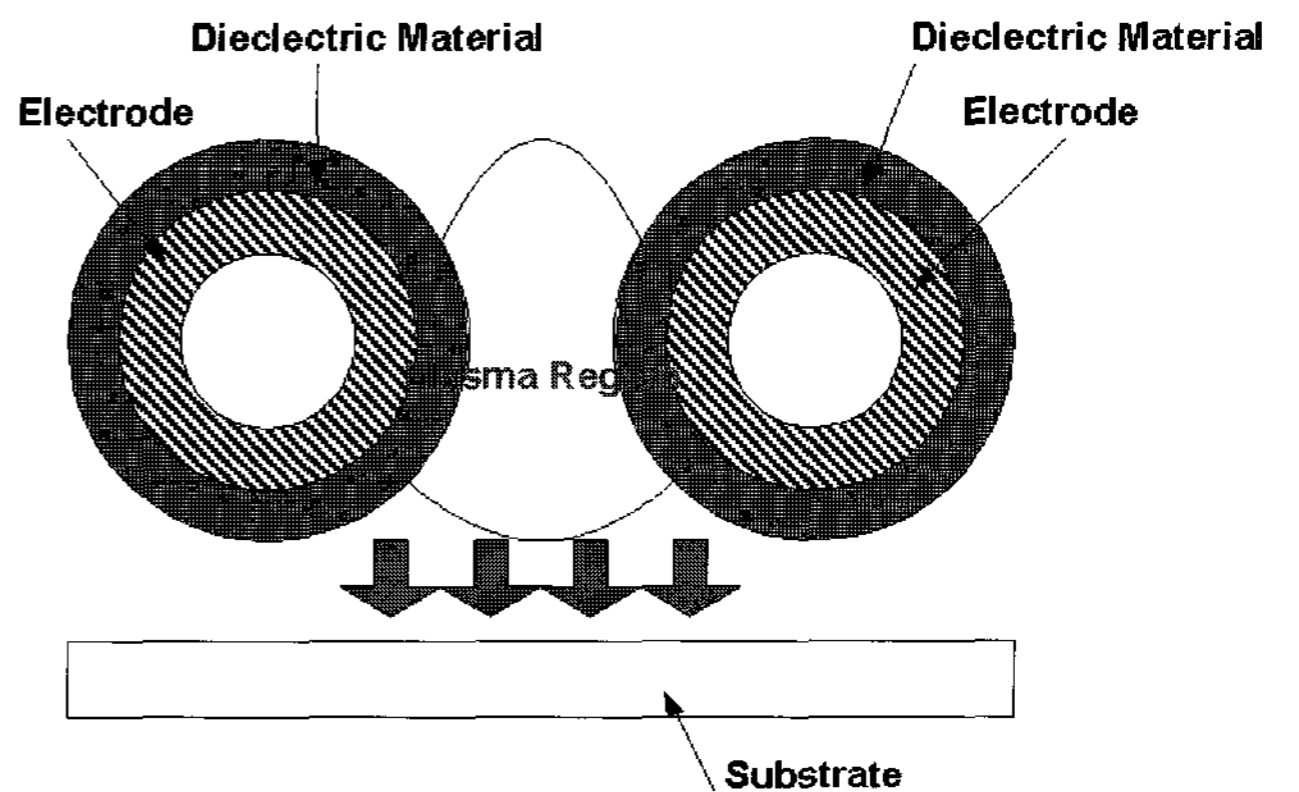
판 사이에서 전 범위에 걸쳐 발생되며, 방전특성은 반응기의 유전체 특성, 입력주파수에 영향을 받게 된다. 일반적으로 micro-discharge는 2~3nsec의 수명을 가지며, 약  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  정도의 전자밀도와 약 4~5eV의 전자온도를 가진다고 알려져 있다.[3]

[그림 2]와 같이 전형적인 절연체 격벽 플라즈마 장치를 사용하여 TFT-LCD 공정을 수행하면, 절연체 사이 즉 발생된 플라즈마에 직접 처리해야 할 기판을 삽입하여야 한다. 그러나 이런 방식으로 공정을 수행하게 되면, 고전압에 의해 기판의 금속막에 손상을 주어 TFT-LCD 생산 공정에 적용이 불가능하게 되며, 또한 공정시 발생하는 유기물이 정전기에 의하여 절연체에 붙으면서 절연체의 특성이 바뀌어서 공정의 재현성이 없다는 단점을 가지게 된다. 이러한 단점들을 극복하기 위해서 국내외의 연구자들은 다음과 같은 방식의 절연체 격벽 플라즈마 반응기를 고안하였다.[그림 3과 그림 4]

[그림 3]은 플라즈마 발생영역에 기판을 넣어 처리하지 않고, [그림 2]와 같은 형태의 반응기를 90도 회전하여 세운 것과 같은 반응기 구조를 갖는다. 이 반응기는 평행하게 배치된 두개의 전극 사이에서 형성된 플라즈마 발생공간의 한 면에 처리가스의 유입구 및 플라즈마 발생공간의 타측면



[그림 3] 평행판 전극 구조를 갖는 torch 반응기



[그림 4] 원통형 전극 구조를 갖는 반응기

에 형성된 배출구를 가지고 있다. 유입구를 통해 플라즈마 발생공간으로 처리가스가 유입되고, 유입된 처리가스는 전극에 공급되는 교류전압에 의해 플라즈마로 전환된다. 생성된 플라즈마 및 플라즈마로 전환되지 아니한 처리가스는 배출구를 통해 플라즈마 발생공간의 외부로 유도되고, 기판의 표면과 접촉하여 기판의 표면을 처리하게 된다. 그러나 [그림 3]에서 보이는 플라즈마 발생기는 플라즈마와 플라즈마로 전환되지 아니한 처리가스의 배출구가 플라즈마 발생공간의 일측면에 형성됨으로써 처리하고자 하는 폭에 제한을 받을 수 밖에 없다는 단점이 있다. 만약 면적이 넓은 기판을 처리하고자 플라즈마의 배출구의 면적을 늘리고자 한다면, 인가되는 교류전압이 급격하게 높아지는 문제점을 가지고 있다.

[그림 4]에서 보이는 것과 같은 원통형 전극을 가진 반응기는 절연체로 절연된 한 쌍의 원통형 전극 사이에서 플라즈마가 생성되며, 생성된 플라즈마는 표면처리 장치의 외부에 설치된 기판의 표면과 접촉하여 기판의 표면을 처리하게 된다. 이 장치는 원통형 전극을 채용함으로써 처리의 폭을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있으나, 전극의 단위 면적당 플라즈마 발생공간이 평판형 전극[그림 3]보다 현저히 줄어들게 되어 플라즈마 전하 효율이 저하된다는 단점을 가지고 있다. 즉 [그림 4]에서 보여지는 원통형 전극을 갖는 반응기는 처리가스를 플라즈마로 전환시킬 수 있는 전극의 유효면적이 현저히 감소되어 플라즈마 전환 효율이 저하되고, 따라서 기판의 처리효율이 감소하게 된다. 더 나아가, 원통형 전극의 반응기는 플라즈마 전환효율이 저하됨에 따라 평판형 전극보다 많은 양의 전력을 공급하여야 하며, 전력의 낭비를 발생하게 된다.

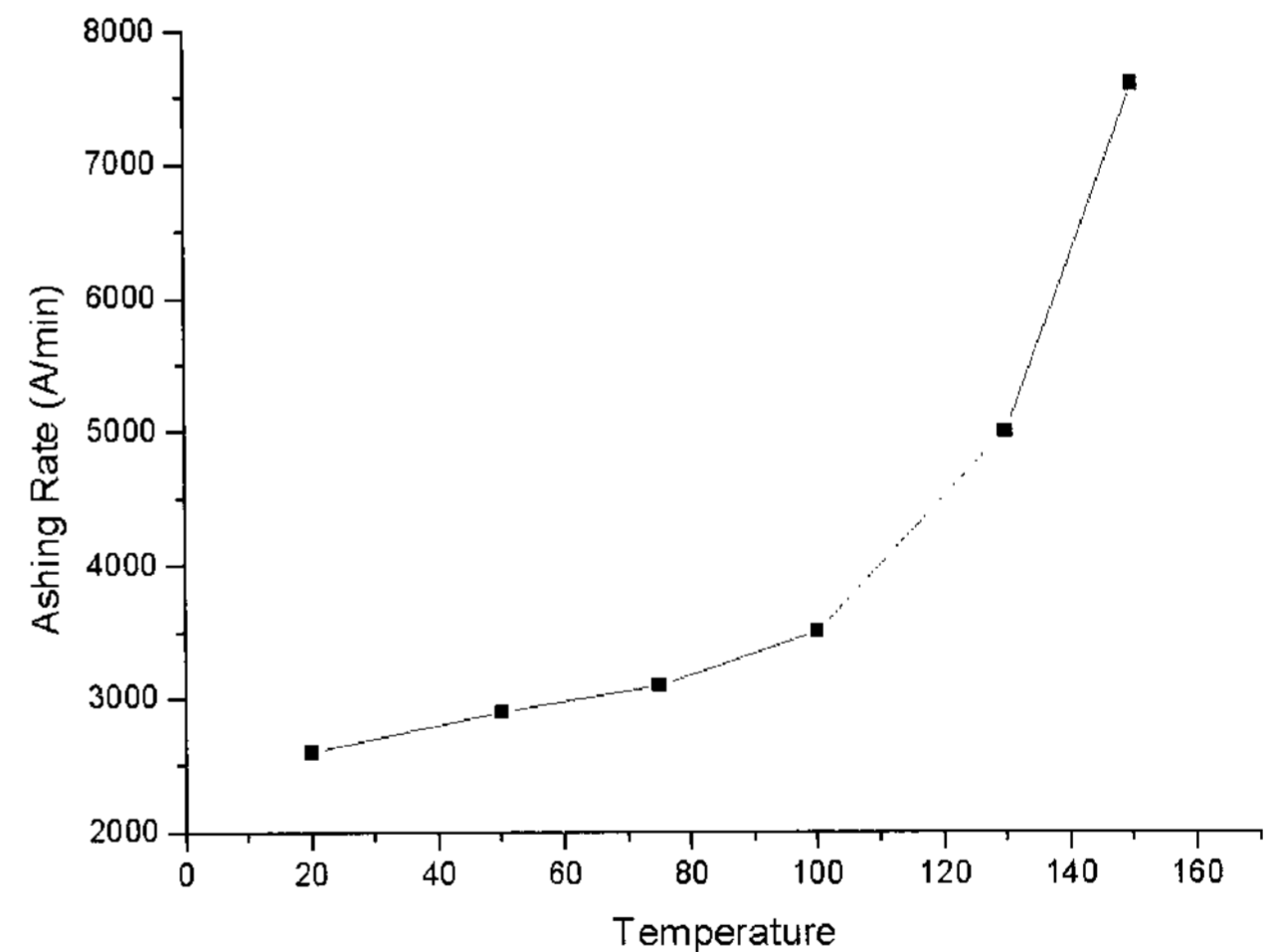
이러한 단점들을 극복하기 위해서 본 연구에서 사용하는 절연체 격벽 플라즈마 발생장치는 [그림 2.(b)]에서 설명한 기본적인 절연체 격벽 플라즈마 반응기의 구조를 기본으로 하여 절연체 사이에 플라즈마 형성 가스인 비활성 가스와 공정 가스인 산소를 공급 받아 플라즈마를 발생시키고, 또한 활성화된 산소 원자를 생성과 동시에 공급되는 가스의 압력에 의해서 활성화 된 산소 원자를 처리하고자 하는 기판의 상부에 뿜어져 나가게 함으로써 공정을 수행하게 된다. 반응기 밖으로 빠져 나온 플라즈마(주로 diffusion에 의해)와 활성화된 산소 원자는 절연체 사이에 걸리는 고전압과 기판의 절연체와 도체 사이에서 전하에 의한 potential 차이를 만들지 않으므로 금속막과 절연막이 공존하는 기판에 전혀 손상이 없다.

또한 평판형 구조의 반응기를 사용하기 때문에 원통형 구조의 반응기에 비해서, 입력 전원 공급에 대한 플라즈마 발생 효율 및 기판 처리효율이 높다는 장점을 지니며, [그림 3]에서 나타낸 평판형 전극을 갖는 반응기와는 달리 플라즈마 처리의 면적을 증가시키어도 양 전극사이의 거리가 넓어지지 않기 때문에, 일정수준으로 교류전압의 값을 고정시킬 수 있어, 현재 사용되고 있는 5세대 기판이 처리뿐만 아니라, TFT-LCD 공정에 적용될 차세대 기판을 처리할 수 있는 반응기를 제작할 수 있다.

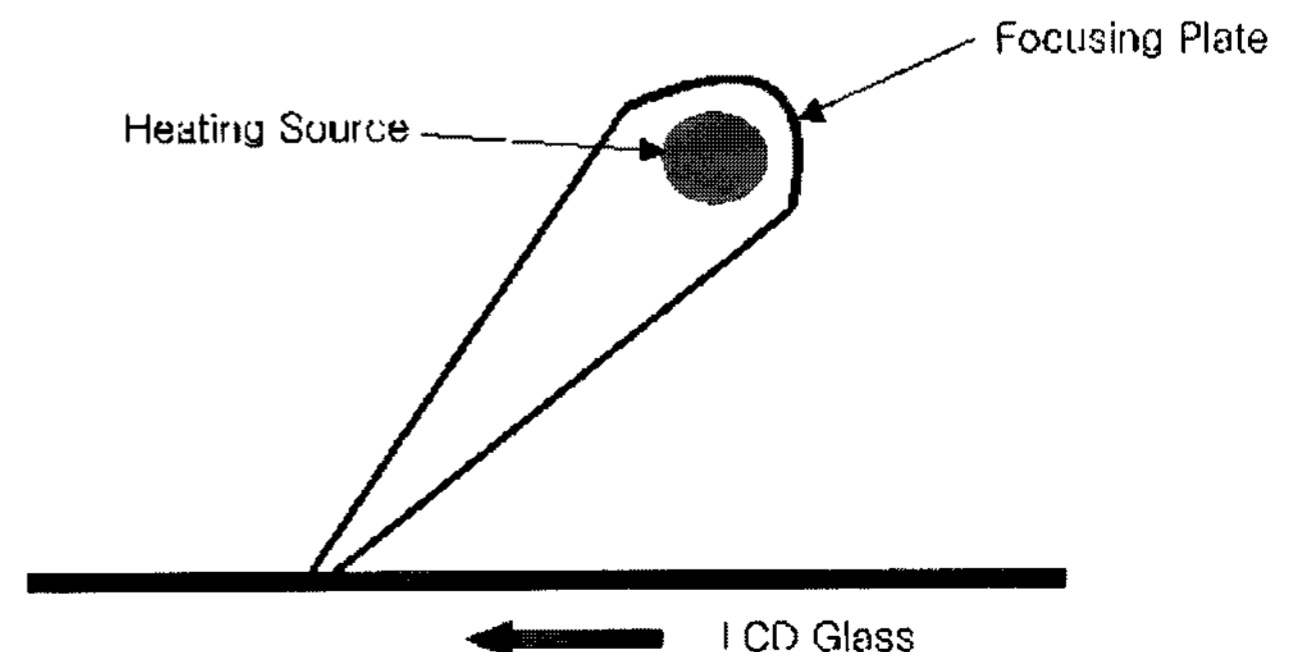
## 2. 예열장치(Heating Module)

PR 제거 공정을 수행함에 있어, PR의 제거율(ashing rate)을 향상시키기 위해서는 PR의 온도를 상승시키는 것이 매우 효율적이다. 이러한 현상은 모든 반도체 제작 공정이나 TFT-LCD 제작 공정의 PR 제거 시에 나타나는 현상이다. 그 이유는 PR이 탄소와 수소를 기본으로 하는 유기화합물이며 이러한 유기화합물의 결합상태는 열이 가해졌을 경우 매우 느슨해지게 되며, 이 때 PR 제거를 수행하게 되면 제거 속도가 급격하게 증가되는 현상이 나타난다. [그림 5]에서 보는 것과 같이 대략 100℃까지는 온도가 증가함에 따라 PR 제거율(3300 Å/min)이 선형적으로 증가하지만, 100℃ 이상에서는 지수함수에 비례하여 증가하는 것을 볼 수 있다. 150℃에서 PR의 제거율은 7600 Å/min이다.

반도체와 같이 상대적으로 작은 시료의 표면을 처리할 때는 기판의 하부에서 가열을 수행하여도 매우 빠르게 원하는 온도로 가열할 수 있으나, TFT-LCD 공정에서와 같이 기판의 크기가 대형화 되어가게 되면, 이 방법은 기판의 온도를 빠르고 균일하게 원하는 온도까지 상승시킬 수 없게 된다. 그러므로 본 연구에서 고안된 PR의 예열장치는 PR의 표면을 간접적으로 그리고 선택적으로 예열함으로써 기판에 직접 가열하여 예열을 수행하는 것보다 기판에 가해지는 열 손상을 현저히 감소시킬 수 있고, 원하는 온도로 기판의 일부분을 빠른 속도로 가열시킬 수 있으며, TFT-LCD 특성



[그림 5] 온도에 대한 ashing rate 변화



[그림 6] 예열장치의 개념도

에 영향을 주지않는 장점을 갖게 된다.[그림 6]

개발된 예열장치는 수msec 동안 PR의 온도를 150℃까지 증가시킬 수 있는 특징을 갖고 있으며, 예열 시키는 면적을 조절할 수 있도록 설계되어 있다.

### 3. 기판 구동 장치

본 장치에서 사용되는 기판 구동장치는 연속생산방식에 적합하고, 현재 생산공정에서 사용되어 안정성을 인정 받고 있는 컨베이어 구동방식을 채택한다. 현재 생산공정에 사용되고 있는 5세대 기판 처리를 위한 구동장치에서 구동 축들은 기판의 처짐이 공정조건에 적합한 값을 가지게 하기 위해서 120 mm 간격을 두고 설치되어 있다.

차세대 기판의 구동을 위한 축 간격과 롤러의 간격을 최적화하기 위하여, 사용되고 있는 구동장치에 대한 5세대 기판의 처짐을 FEM 해석과 실험을 통해 FEM 모델에 대한 신뢰성을 확보할 수 있었다, 또한 신뢰성이 확보된 모델을 확장하여 차세대 기판에 적용하여 FEM 해석을 수행함으로써 차세대 기판 구동장치에 필요한 축 간격과 기판을 지지하는 롤러의 개수를 최적화 할 수 있었다.[그림 7]

이 해석에서 사용된 FEM 해석프로그램은 ANSYS를 사용하였고, 5세대 기판 처짐의 해석 값은 현재 사용되고 있는

5세대 장비에서 레이저 변위센서를 이용하여 측정한 처짐량과 비교함으로써 검증되었고, 모델의 신뢰성을 확보할 수 있었다.

위의 해석 과정을 통해서 차세대 기판의 구동에 적용되는 구동 장치는 100 mm 축간격을 갖고, 중간 지지 롤러가 4개 필요하다는 것을 알 수 있었고, 이 조건에서 기판의 처짐량은 공정을 진행하기에 충분했다.

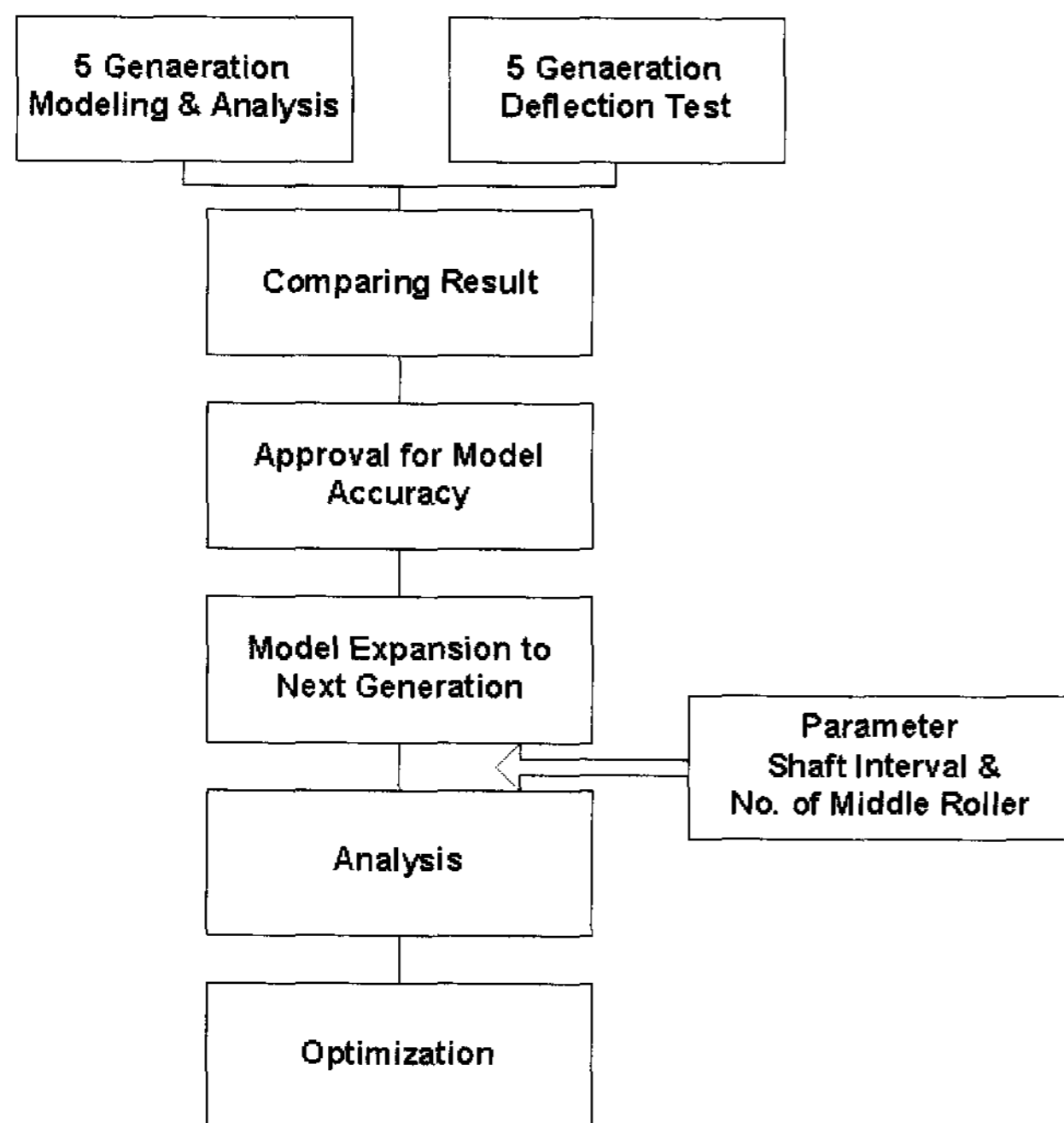
### III. 맺음말

본사에서 개발하고 있는 절연체 격벽 플라즈마 PR 제거 장치는 기존 에싱 공정에서 사용하고 있는 습식 방식과 건식 방식의 단점은 보완하고 장점은 유지할 수 있도록 개발되어 가고 있으며 그 특징은 다음과 같다.

- 대기압에서 공정을 수행하기 때문에 생산시간의 단축을 위한 연속생산방식(in-line)에 대응 가능하다.
- Downstream 플라즈마를 사용하기 때문에 기판에 손상을 주지 않는 안정한 공정의 진행이 가능하다.
- 화학약품을 사용하지 않고 가스를 사용하여 공정을 진행하기 때문에 공정 유지비를 절감할 수 있으며, 친 환경적인 공정이 가능하다.
- 저온 상태의 플라즈마를 생성하기 때문에 절연체 및 전극에 가해지는 열이 적어, 별도의 냉각 시스템이 필요 없는 간단한 구조의 장치 제작이 가능하다.
- 예열장치를 가지고 있는 이 장치는 PR 제거율을 효과적으로 향상시킬 수 있어 현재 생산되고 있는 공정 뿐만 아니라 기판의 크기가 대형화되는 차세대 기판의 공정에도 사용이 가능하다.
- FEM 해석을 통하여 차세대 기판에 적용할 수 있는 구동 장치의 최적화를 실현할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

[1] 장진, "TFT-LCD 산업 경쟁력 향상 방안", 인포메이션 디스플레이, 제 2 권 제 1 호, pp.9-16, 2001  
 [2] Displaysearch, pp. 225-229, 2001  
 [3] 이덕출, 황명환, "고전압 플라즈마 공학", 동일출판사, 1997  
 4. ANSYS Verification Manual, 1999



[그림 7] 차세대 기판 구동 장치의 최적 설계 과정