

반도체 · 디스플레이산업 근로자를 위한 안전보건모델 (공정별 유해 · 위험)

2020. 12.

KOREA OCCUPATIONAL
SAFETY & HEALTH AGENCY

산업재해예방
안전보건공단
미래전문기술원



차 례

I. 공정 및 유해위험요인	1
1-1. 반도체 공정별 유해위험요인	1
1) 반도체 제품종류	1
2) 반도체 제조공정	3
3) 반도체 공정별 유해인자	4
4) 반도체 가공라인별 노출 가능한 화학물질	45
1-2. LCD 디스플레이 공정별 유해위험요인	49
1) 디스플레이 제품종류	49
2) LCD 디스플레이 제조공정	50
3) LCD 공정별 유해인자	51
4) LCD 제조공정의 물리적 인자 정보	64
1-3. OLED(소형) 디스플레이 공정	66
1) LTPS(저온폴리실리콘)	66
2) 증착(Evaporation)	72
3) 봉지(Encapsulation) 공정	76
4) 플렉시블 봉지(Encapsulation) 공정	82
5) 셀 공정(OLED Cell)	85
6) OLED 모듈(Module) 공정	87
II. 특수가스 공급설비와 1'st 스크리버	89
2-1. 특수가스 종류	89
1) 반도체용 특수가스	89

2) 국내 주요 특수가스 제조기업	91
2-2. 특수가스 안전관리	95
1) 가스 공급설비 개요	95
2) 가스 공급설비	97
3) Gas Scrubber	99
4) TGLD(Toxic Gas Leak Detector) 시스템	105
5) 가스별 반응성	106
참고문헌	109

표 차 례

<표 1-1> 반도체 제품의 분류	2
<표 1-2> 갈륨비소 잉곳 제조공정에서의 노출 가능성 및 노출감소 방안	7
<표 1-3> 확산공정에서 사용되는 화학물질	16
<표 1-4> 감광제의 주요 성분 및 기능	17
<표 1-5> 포토공정에서 사용되는 화학물질	20
<표 1-6> 식각공정에서 사용되는 화학물질	22
<표 1-7> 반도체 공정에서 크리닝 공정의 분류	25
<표 1-8> 증착공정에서 사용되는 화학물질	29
<표 1-9> 반도체 공정별 노출될 수 있는 화학물질	45
<표 1-10> LCD제조공정의 노출가능 전리 및 비전리 방사선	64
<표 2-1> 혼합금지 물질	107

그림 차례

[그림 1-1] 반도체 전체 제조·가공·조립 공정	4
[그림 1-2] 웨이퍼 제조 및 회로설계 단계	4
[그림 1-3] 실리콘/폴리실리콘 잉곳 및 단결정봉 성장과정	5
[그림 1-4] 단결정봉 절단단면과 절단장비	8
[그림 1-5] 웨이퍼 경면 연마장비	9
[그림 1-6] 반도체 집적회로 설계 업무흐름	11
[그림 1-7] 마스크 제작	13
[그림 1-8] 웨이퍼 가공공정 흐름	14
[그림 1-9] 감광제 도포	17
[그림 1-10] 노광 장비 및 모식도	18
[그림 1-11] 감광제 현상 및 박리 모식도	19
[그림 1-12] 식각장비 및 식각공정 모식도	22
[그림 1-13] 이온주입 공정	27
[그림 1-14] 금속배선 공정	31
[그림 1-15] 조립 및 검사 단계	32
[그림 1-16] 웨이퍼 선별·절단·칩 접착	36
[그림 1-17] 금선 연결과정	37
[그림 1-18] 패키징 과정 및 장비	38
[그림 1-19] 최종검사	44
[그림 1-20] LCD 공정과 OLED 공정과 비교	51

[그림 1-21] 패터닝(Patterning) 과정	68
[그림 1-22] ELA(Excimer Laser Annealing) 방식의 결정화	68
[그림 1-23] LTPS 제조과정	69
[그림 1-24] Gate 형성공정	70
[그림 1-25] PDL공정	71
[그림 1-26] OLED 패널의 구조	73
[그림 1-27] FMM(Fine Metal Mask)을 이용한 OLED 소자 증착	74
[그림 1-28] LTPS와 유기물층의 구조	75
[그림 1-29] OLED 증착공정 프로세스	75
[그림 1-30] 봉지의 위치와 구조	77
[그림 1-31] Cell Seal Glass 공정	79
[그림 1-32] 원장 Glass Seal 도포	80
[그림 1-33] Glass 합착	81
[그림 1-34] Laser Sealing	82
[그림 1-35] TFE(박막봉지)의 위치	83
[그림 1-37] TFE(박막봉지)의 구조	84
[그림 1-38] TFE(박막봉지)의 작동원리	85
[그림 1-39] OLED Cell 공정	86
[그림 1-40] OLED 모듈	87
[그림 2-1] 공정흐름도	96
[그림 2-2] 가스 공급설비	97
[그림 2-3] (예)가스케비닛 모니터링 구성도	98
[그림 2-4] Plasma & Wet Gas Scrubber	100

[그림 2-5] Burn & Wet Gas Scrubber	101
[그림 2-6] Heat & Wet Gas Scrubber	102
[그림 2-7] Heat & Cooling Gas Scrubber	103
[그림 2-8] Wet Gas Scrubber	104
[그림 2-9] Dry Gas Scrubber	104
[그림 2-10] TGLD System의 개요	106
[그림 2-11] 특수가스별 반응성	108

I. 공정 및 유해위험요인

1-1. 반도체 공정별 유해위험요인

1) 반도체 제품종류

반도체란 전기를 통과시킬 수 있는 도체와 전기를 통과 시키지 못하는 절연체 사이의 물질로 실리콘(Si)을 사용해 용도에 따라 도체나 부도체 성질로 변환시킬 수 있는 것을 말한다. 반도체도 원래는 전기가 거의 통하지 않지만 필요시 빛, 열, 불순물 등을 가하여 전기를 통하게 함으로써 전기 신호를 제어하거나 증폭, 기억하도록 가공된 전자부품의 일종이다. 현재 가장 많이 사용되는 방법이 반도체물질에 불순물을 집어넣는 방법으로써, 집어넣어주는 불순물의 양을 조절함으로써 반도체 물질의 전기전도도를 조절한다.

주기율표상에 14족에 위치하는 저마늄(Ge), 규소(Si) 등이 대표적인 반도체이다. 초창기에는 저마늄이 주로 사용되었지만 현재는 실리콘에 13족의 붕소(B)나 15족의 인(P)등을 첨가하여 사용한다. 최근에는 13족과 15족의 화합물반도체가 쓰이기도 하며 갈륨비소(GaAs; gallium arsenide)나 인듐인(InP; indium phosphide) 등이 있다. 순수한 실리콘에서는 원자핵에 결합되어 있는 전자가 움직일 수 없기 때문에 실리콘 외부에서 전압을 걸어도 전류는 흐르지 않으며 이를 진성(Intrinsic)반도체라고 한다. 부도체나 다를 바 없는 진성반도체에 특정 불순물을 집어넣어 주면 전류가 흐르기 시작한다. 여기서 불순물은 전류의 근원, 즉 전류이라고 할 수 있으며 이렇게 불순물로 자신의 전기전도도를 조절할 수 있는 반도체를 불순물(Extrinsic)반도체라고 한다.

불순물반도체에는 p형과 n형 두 가지가 있다. 순수한 실리콘, 즉 진성반도체에 주기율표상의 13족원소를 소량 넣어주면 전자가 비어있는 상태, 즉 양공(정

공)이 생긴다. 이 상태에서 실리콘에 전압을 걸어주면 전류가 흐르게 된다.

이를 p형 반도체 또는 p형 실리콘이라고 한다. 반면에 주기율표상의 15족원소를 소량 넣어주면 전자가 남는 상태, 즉 잉여전자가 생긴다. 이 상태에서 실리콘에 전압을 걸어주면 제자리를 찾지 못한 잉여전자가 자유전자가 되며 전류가 흐르게 된다. 이는 n형 반도체 또는 n형 실리콘이라고 하는데, n형 반도체와 p형 반도체를 붙여놓으면 p형 반도체에서 n형 반도체 방향으로 전류가 잘 흐르며 반대방향으로는 거의 흐르지 않는 정류작용이 일어난다. 이러한 소자를 다이오드(diode)라고 하며 이것이 반도체 소자의 기본이 된다. 반도체는 다이오드와 트랜지스터 등으로 이루어진 집적회로소자 이외에도 열전자방출소자, 전자식 카메라의 하결합소자(CCD; charge coupled device)등 첨단 전자산업 부문에 넓게 응용되고 있으며 태양전지나 발광소자에도 사용된다.

반도체의 종류는 정보를 저장할 수 있는 메모리반도체와 연산이나 제어기능 등을 할 수 있는 시스템반도체로 구분된다.

<표 1-1> 반도체 제품의 분류

대분류	중분류	소분류	제품 설명
메모리 반도체	RAM	DRAM	주로 PC용 주기억장치에 이용되며 정보처리 속도 및 그래픽 처리 능력에 따라 SDRAM, 램버스 DRAM, DDR, DDR2, DDR3 등으로 구분
		SRAM	소비전력이 적고 처리속도가 빠르기 때문에 컴퓨터의 캐시, 전자오락기 등에 사용
		VRAM	화상정보를 기억하기 위한 전용 메모리
	ROM	MaskROM	제조공정 시 고객이 원하는 정보를 저장하며, 전자계입기의 S/W저장용, 전자악기, 전자사전 등에 사용
		EPROM	자외선을 이용하여 정보를 지우거나 저장
		EEPROM	ROM의 특징과 입출력할 수 있는 RAM의 특징을 겸비
		Flash Memory	전력소모가 적고 고속프로그래밍 및 대용량 저장이 가능하여 컴퓨터의 HDD를 대체할 수 있는 제품으로

대분류	중분류	소분류	제품 설명
			NOR(코드저장)형과 NAND(데이터 저장)형으로 구분
시스템 반도체	시스템 IC	마이크로 컴포넌트	컴퓨터를 제어하기 위한 핵심부품으로 Micro Processor Unit, Micro Controller Unit, Digital Signal Processor 등이 있음
		Logic (ASIC)	사용자의 요구에 의해 설계된 특정회로 반도체이며, 주문형 IC로서 다품종 소량생산에 적합
		Analog IC	제반 신호의 표현 처리를 연속적인 신호변환에 의해 인식하는 IC로서 Audio/Vedio, 통신용, 신호변환용으로 사용
		LDI	LCD Driver IC로서 구동 또는 제어에 필수적인 IC
		개별소자	다이오드, 트랜지스터처럼 집적회로(IC)와는 달리 개별품목으로서 단일기능을 갖는 제품을 의미하며, 이것이 모여 IC가 됨
		기타	Opto(광반도체), 반도체센서 등

2) 반도체 제조공정

반도체 산업의 제조공정은 제품에 따라 상이하나 크게 웨이퍼 제조, 웨이퍼 가공, 조립 및 검사로 구분할 수 있다. 웨이퍼 제조는 반도체 가공(Fabrication) 단계, 조립 및 검사 단계로 구분하며 각 단계별 세부공정은 26개 공정으로 구분된다.

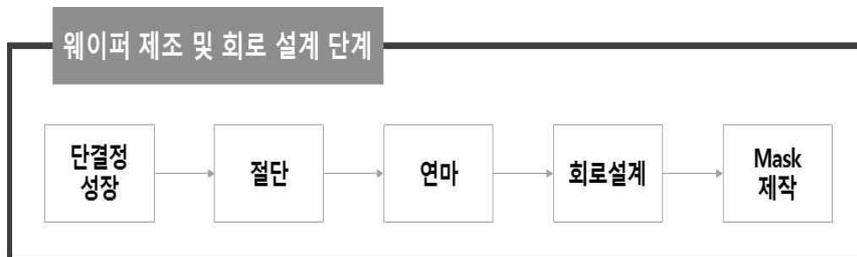


[그림 1-1] 반도체 전체 제조·가공·조립 공정

3) 반도체 공정별 유해인자

(1) 웨이퍼 제조 및 회로설계

웨이퍼 제조 및 회로 설계 단계는 모래에서 추출된 실리콘으로부터 고순도 단결정 실리콘 웨이퍼를 만들고 그 위에 목표한 회로를 설계하는 과정을 말한다. 웨이퍼 제조 및 회로 설계 단계에서는 실리콘 (Silicon) 원석에서 웨이퍼를 제작하는 웨이퍼 제조공정으로 단결정성장, 절단, 연마, 회로 설계, 마스크 (Mask) 제작 5단계의 공정과 세정 및 검사를 거쳐 웨이퍼가 제조된다.



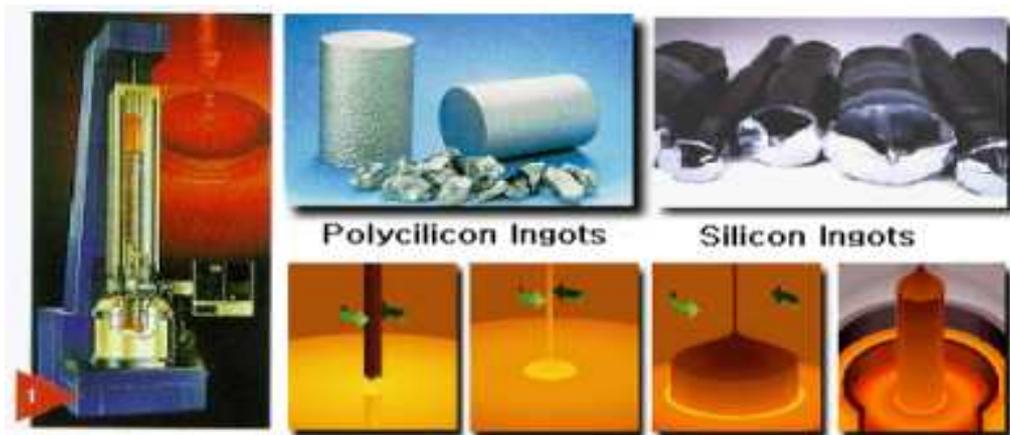
[그림 1-2] 웨이퍼 제조 및 회로설계 단계

가) 단결정 성장

○ 공정 개요

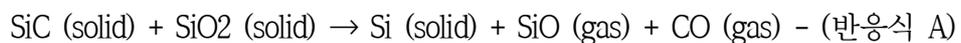
단결정 성장은 실리콘 웨이퍼 제조를 위한 첫 번째 공정으로 고순도의 일정한 모양이 없는 폴리 실리콘이 고도로 자동화된 단결정 성장로 속에서 단결정 봉 (Ingots)으로 변형되는 과정을 말한다. 이 때 고진공 상태에서 1,400°C 이상의 고온에 녹은 폴리 실리콘은 정밀하게 조절되는 조건 하에서 큰 직경을 가진 단결정봉으로 성장한다.

이와 같은 성장과정이 끝나면 단결정봉은 실내온도로 식혀지고 각각의 단결정봉이 여러 조건에 부합되는지를 평가하게 되고, 단결정봉은 부분별로 가공되어 정확한 직경을 갖게 된다. 단결정 성장 방법에는 초크랄스키(Czochralski-Zone)법과 플로팅 존 (Float-Zone)법이 있다.



[그림 1-3] 실리콘/폴리실리콘 잉곳 및 단결정봉 성장과정

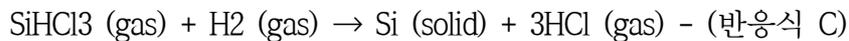
단결정봉은 다음과 같은 반응을 거쳐 생성된다.



위의 반응을 통해 순도 약 98 % 정도의 실리콘이 얻어진다. (반응식 A)에서 얻어진 실리콘을 삼염소산실리콘 (SiHCl₃)으로 형성시키기 위해 분말로 만들어 염산 (HCl)과 300 °C에서 처리한다.



삼염소산실리콘은 상온에서 액체로 존재한다(끓는점 32°C). 액체분별증류를 통해 원하지 않는 불순물을 제거한다. 순도를 높인 삼염소산실리콘은 수소 환원반응에 의해 전자급 수준의 실리콘(Electronic-Grade Silicon, EGS)으로 준비된다.



이 반응은 저항가열된 실리콘막대가 장착된 반응기에서 이루어진다. EGS 즉, 고순도의 다결정체는 소자 수준의 단결정 실리콘을 만들기 위한 기본 재료가 된다. 순수한 EGS는 일반적으로 ppb (10억분의 일) 단위의 불순물 농도를 갖는다.

○ 유해요인의 노출

EGS를 얻기 위해 원료 중 HCl, 삼염소산실리콘 (SiHCl₃), H₂를 사용하고 가스 상태인 SiO, CO, H₂, SiHCl₃가 생성된다. 잉곳 성장 때는 밀폐된 장비 안에서 실리콘이 성장 하게 되므로 정상적인 운전상태에서는 이들 물질이 노출될 가능성은 없으나 유지보수 등 작업시 장비내의 잔류물질을 충분히 배기하지 않은 상태, 사고성 누출에서 작업하면 근로자가 노출될 수 있다

n형 반도체를 만들려면 인, 비소를 넣고, p형 반도체를 만들려면 붕소를 넣는다. 이러한 불순물은 미리 소량을 칭량하여 공급되기 때문에 노출 기회는 적으나, 비소는 유해성이 커서 칭량이나 운반 시 매우 조심해야 한다.

석영 도가니 바깥에는 흑연 발열체가 있고, 그 외부의 고주파 코일에서 열이 발생하게 하는데 이때 발생하는 열은 고주파 가열 또는 저항열이다.

※ 현재는 대부분 실리콘 웨이퍼를 사용하지만, 갈륨비소 웨이퍼는 제조 시 유해성이 큰 것으로 알려져 있다. 갈륨비소 잉곳 제조공정에서 특히 비소의 노출이 문제가 될 수 있는데, 다음과 같은 공정에서 노출 가능성이 높다.

<표 1-2> 갈륨비소 잉곳 제조공정에서의 노출 가능성 및 노출감소 방안

노출 가능성	노출 감소방안
<ul style="list-style-type: none"> • 칭량 및 운송 과정 중 비소 취급시 • 유지 관리 중 : 펌프 오일, 질소 트랩, 오일 버블러, 도가니, 국소박이 라인에 비소 포함 물질이 오염될 수 있음 • 앰플 폭발 과정 • 결정 성장을 진행하는 용기의 세척시 • 앰플을 깨뜨릴 때 • 글로브 박스에 비소를 넣거나 꺼낼 때 또는 고장 시 • 앰플에 비소를 넣거나 꺼낼 때 • 표면 연마 시 	<ul style="list-style-type: none"> • 각종 불순물과 특히 비소의 노출 가능성을 확인하고 노출평가를 수행한다. • 흡입 노출뿐 아니라 피부 노출 가능성도 조사한다. • 불순물이나 사용되는 금속, 특히 비소 농도를 줄이기 위해 적절한 환기장치를 사용한다. • 제조된 잉곳을 적재할 때 층류 방식 후드를 사용한다. • 노출을 줄이기 위한 작업장 청결 유지에 힘쓴다. • 접촉을 줄이기 위해 보호구를 사용한다. • 필요한 곳에는 호흡 보호구를 사용한다. • 적절한 훈련, 유지 관리 절차 준수가 필요하다.

나) 잉곳 절단(Ingot Slicing)

○ 공정 개요

절단은 실리콘 단결정봉을 얇은 슬라이스인 웨이퍼로 변형시키는 공정이다. 단결정조직이 정확하게 정렬되도록 단결정봉을 흑연빔에 위치시킨 다음 고도의

절삭 기술을 사용하여 실리콘 단결정봉을 웨이퍼로 바꾸게 된다. 절삭작업을 거치는 동안 웨이퍼의 가장자리 부분은 매우 날카롭고 깨지기 쉬워지므로 세척 과정을 거친 후 정확한 모양과 치수로 가공하여 손상에 영향을 덜 받게 한다. 세척과정 이후 웨이퍼는 조연마 과정을 거쳐 표면이 평탄하고 두께가 일정하게 되어 표면의 질이 높아진다.



[그림 1-4] 단결정봉 절단단면과 절단장비

○ 유해요인의 노출

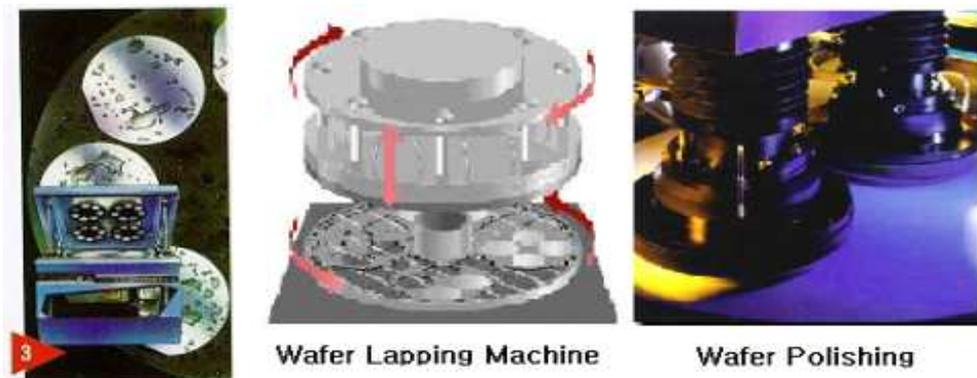
잉곳을 절단하면 웨이퍼가 되는데 이 과정의 중간에 잉곳 표면 연삭, 절단된 웨이퍼의 모서리 연삭, 웨이퍼 표면을 매끄럽게 하는 연마, 세척, 검사 등이 추가로 이루어진다. 안전보건문제는 결정 성장 후 내부의 석영 도가니와 그 안의 녹았다가 굳은 실리콘을 제거하거나 흑연 발열체를 세척할 때 발생할 수 있는 실리콘 또는 실리카의 노출 가능성이 있다. 또한 세척할 때 사용하는 유기용제 성분의 노출 가능성, 그리고 전자기장 노출 가능성이 있다.

다) 경면 연마

○ 공정 개요

경면 연마공정은 표면에 흠결이 있고 매우 거칠어 사용할 수가 없는 절단공

정 직후의 웨이퍼를 평탄하고 결함이 없도록 만드는 과정이다. 이를 위해 경면 연마공정에서 여러 가지 단계를 거치게 된다. 뿐만 아니라, 고객의 요구를 충족시키기 위해 웨이퍼의 특질을 높이는 다른 작업들이 바로 이 부분에서 이루어진다. 먼저, 조연마 과정을 거친 웨이퍼는 식각공정을 거치면서 추가적인 표면 손상을 제거하고, 공정을 정밀하게 통제하는 완전 자동화된 장비로 가장자리 부분과 표면이 연마된다. 연마액과 연마 장비(Polishing machine)를 이용해 웨이퍼의 표면을 거울처럼 반짝이게 갈아내는데 이는 노광공정 시 소자를 형성시킬 수 있도록 매끄러운 표면을 만들기 위함이다. 그 결과 웨이퍼들은 극도로 평탄하고 결함이 없는 상태가 된다.



[그림 1-5] 웨이퍼 경면 연마장비

○ 유해요인의 노출

습식연마의 경우 슬러리가 공기 중에 흩어질 가능성은 낮다. 그러나 장비의 유지보수 시 실리콘 분진 노출의 우려가 있다. 또한 표면 손상을 제거, 보정하기 위하여 화학적 식각을 한다. 이때, 질산(HNO_3), 초산(CH_3COOH), 불산(HF)의 혼합물이 사용되고 이후 크로뮴산(H_2CrO_4)과 불산으로 다시 식각한다. 이때 산의 노출 가능성이 있다. 또한 해당 장비를 정비할 때는 건조한 분진과 산에 작업자가 노출될 가능성이 있다.

연마 과정 후에 표면에 남아 있는 오염물질을 제거하는 크리닝 공정에서는 염산과 과산화수소, 황산과 과산화수소의 혼합 용액에서 실리카 콜로이드를 제거한다. 산 대신 5% 차아염소산나트륨 용액을 사용하기도 하는데, 이 경우에는 염소이온이 남으면 이후 문제가 발생하기 때문에 유기 계면활성제인 에톡시화 아민이 대체제로 사용된다. 세정공정의 최종단계에서는 수산화암모늄(NH₃OH) 용액을 사용한다. 이때, 산 혹은 알칼리 화학물질에 의한 눈과 상기도의 자극을 호소할 수 있다.

최종적으로 웨이퍼 표면 검사, 표면 입자 수 검사, 레이저 검사를 한다.

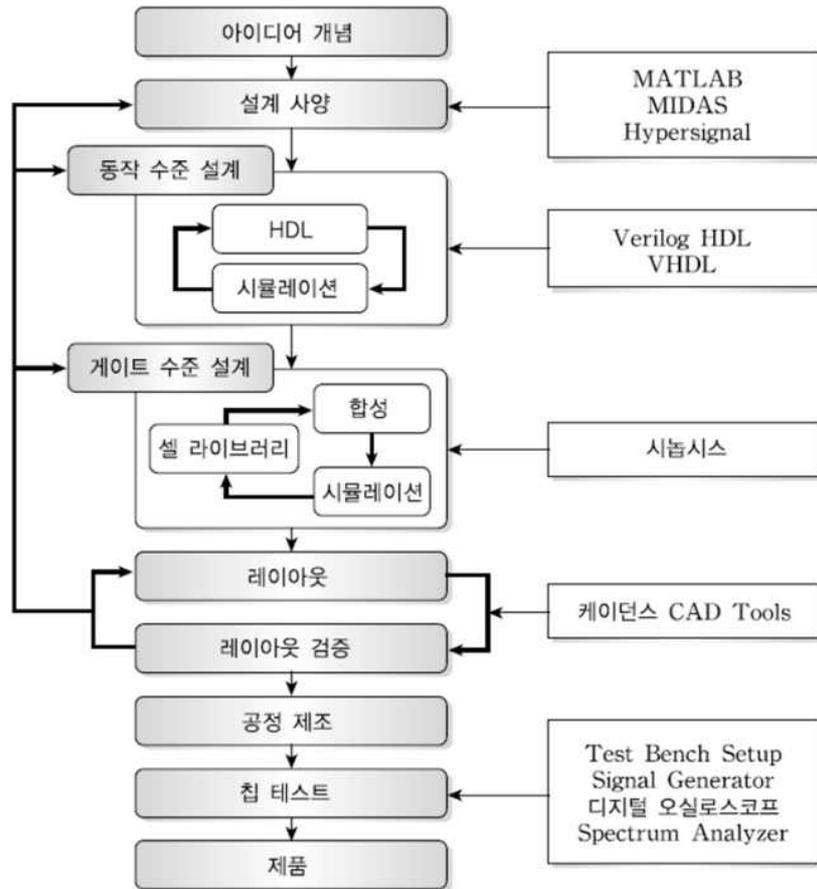
라) 회로설계

○ 공정 개요

CAD(Computer Aided Design)시스템을 사용하여 전자회로와 실제 웨이퍼 위에 그려질 회로패턴을 설계한다. 미국의 시놉시스, 케이던스, 멘토 그래픽스가 개발한 설계자동화 도구가 많이 사용된다.

반도체 회로설계는 [그림 1-6]과 같이 진행되며, 전반부는 설계명세에서 시작하여 레지스터 전송 수준을 거쳐서 게이트 수준설계 데이터를 생성하는 단계이다. 후반부는 레이아웃 데이터를 생성하는 단계로 거쳐 설계된다. 이때, 각 단계에 대한 설명은 다음과 같다.

- 분석 : 시뮬레이션이라고도 한다. 분석은 실제 칩을 제조하여, 측정을 통하여 얻을 수 있는 타이밍, 전력소모, 면적 등을 설계 플로우의 각 단계에서 대략적으로 계산하여 그 데이터를 통하여 각 설계 단계에서 원하는 출력이 잘 나오는지 검증하는 기능을 하고, 목적으로 하는 시스템의 타이밍, 전력소모, 면적 등을 최적화하는 데 도움을 준다.



[그림 1-6] 반도체 집적회로 설계 업무흐름

- 검증 : 타이밍 검증, 기능 검증, 레이아웃 검증 등이 있다. 타이밍 검증은 원하는 타이밍에 출력을 얻을 수 있는지 여부를 판단하고, 기능 검증은 원하는 출력이 제대로 나오는지를 체크한다. 레이아웃 검증의 한 예인 DRC는 제조공정에서 요구하는 각종 설계물을 잘 지켜서 설계했는지를 검증한다.
- 설계 합성 및 최적화 : 동작 수준, 논리회로 수준, 레이아웃 단계에서 설계 최적화를 수행한다.

- 테스트 : 테스트 패턴발생과 오류평가 등이 있다.

- 유해요인의 노출

이 공정에서 안전보건에 대한 연구는 알려진 바 없으나, 오랜 시간 같은 자세로 화면을 보면서 키보드를 치는 작업은 고도의 사고력, 판단력, 집중력을 요하는 작업이다. 주로 컴퓨터 작업으로 인해 VDT 증후군(Visual Display Terminal Syndrome)이 발생할 수 있다. 컴퓨터 모니터 등 VDT를 보면서 장시간 작업을 하고 난 뒤에 발생하는 안 증상과 근골격계 증상, 피부 증상, 정신신경계 증상 등이 발생할 수 있다.

- 마) 마스크(Mask) 제작

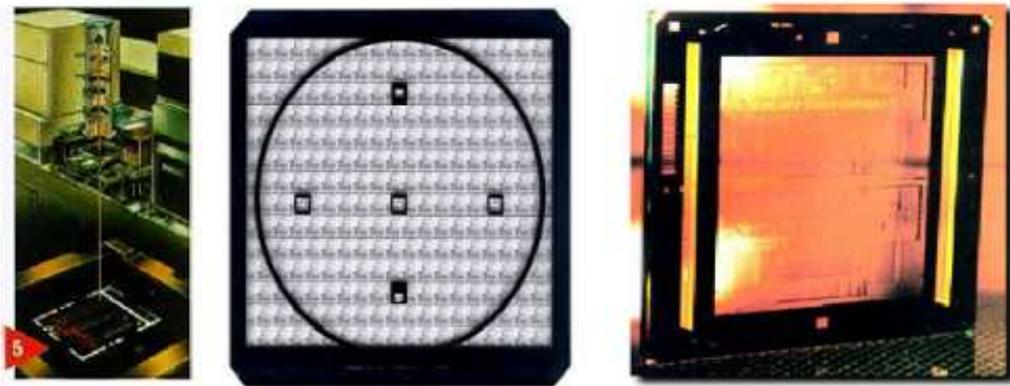
- 공정 개요

반도체 집적회로의 제조공정 중 포토공정에서 사용하는 미세한 전자회로가 그려진 유리판이다. 마스크는 전자빔 설비를 이용해 설계된 회로 패턴을 유리판 위에 그려 넣어 만들어진다. 포토공정은 웨이퍼 위에 전자회로를 그리는 단계로, 반도체 칩에 전자부품 수십억 개와 이를 연결하는 회로선을 그리는 작업이다. 설비에 마스크를 넣고 빛을 투과해 감광액이 칠해진 웨이퍼 위에 미세한 전자회로 그림이 만들어 지도록 하는 것이다. 반도체 회로는 미세하기 때문에 마스크는 웨이퍼보다 크게 제작을 한다. 회로패턴이 담긴 마스크는 축소 촬영법으로 1개의 칩에 회로를 새겨 넣고, 그 후 반복축소 촬영으로 웨이퍼의 전면을 주사하는 방식이다.

마스크를 만드는 것은 설계된 회로패턴을 전자빔 (Electron beam) 설비로 유리판 위에 그려 마스크를 만든다. 이는 포토마스크라고도 하는데 사진용 원판의 역할을 하게 된다. 현상공정에서 마스크를 웨이퍼 위에 얹은 다음, 강한 자외선을 비추면 유리 위에 그려진 회로가 웨이퍼에도 동일하게 그려진다.

마스크 제작 이후 세정(Cleaning) 작업이 진행되는데, 세정단계에서는 경면연

마 과정을 거친 웨이퍼의 표면에 있는 오염물을 제거한다. 이 공정에서 웨이퍼에 있는 미립자 오염물, 금속, 유기 오염물질을 씻어내며 미립자, 금속, 유기물에 대하여 대단히 엄격한 규정을 적용하는 클린룸 환경에서 이루어진다. 이후 세정공정을 거친 웨이퍼들은 0.1 μm 크기의 미립자까지 검출할 수 있는 레이저 검사 장치로 검사를 받는다.



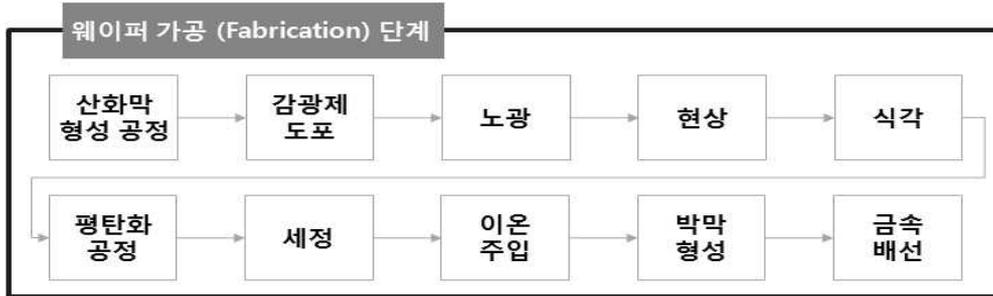
[그림 1-7] 마스크 제작

○ 유해요인의 노출

잉곳의 경면 연마공정과 같이 유해요인 노출 가능성이 있다.

(2) 웨이퍼 가공

웨이퍼 가공(Fabrication) 단계에서는 웨이퍼 표면에 반도체 소자나 IC를 형성하며, 10단계의 공정으로 구분된다.



[그림 1-8] 웨이퍼 가공공정 흐름

가) 확산공정(Diffusion)

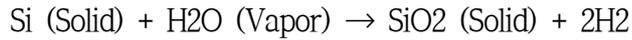
○ 공정 개요

고온의 전기로(diffusion chamber) 내에서 웨이퍼에 불순물(dopant)을 확산시켜 반도체층의 일부분의 전도형태를 변화시키는 공정이다. 확산로에서는 웨이퍼 표면에 산화막을 형성하는 산화(oxidation)와 반도체 결정의 복원 및 불순물의 활성화를 위한 열처리(annealing) 과정 등이 진행된다.

산화막 공정은 웨이퍼를 산화시켜 표면에 산화막(SiO₂)을 형성하는 공정으로 이 산화막은 절연막의 역할을 한다. 웨이퍼에 불순물을 주입하여 전기적 특성을 부여하기 전에 산화공정이 우선 수행되며, 여기서 생성된 산화막은 공정 중 발생하는 오염물질, 불순물 등으로부터 웨이퍼 표면을 안전하게 보호하는 역할을 하며, 웨이퍼 위에 그려지는 각 배선이 합선되지 않도록 구분해주는 절연막의 역할을 한다.

산화막 형성에는 다양한 방법이 있지만 고온에서 웨이퍼 상에 SiO₂를 형성하는 열산화 방법이 주로 사용된다. 열산화 방법은 건식(Dry) 산화와 습식(Wet) 산화로 구분되며, 건식산화는 산소만을 이용하여 얇은 막을 형성할 때 주로 쓰이고, 습식산화는 산소와 수증기를 모두 사용하기 때문에 보다 두꺼운 막을 형성할 때 사용된다. 동일온도와 시간에서 습식산화를 사용하여 얻어진 산화막은 건식산화를 사용한 것보다 약 5~10배 정도 더 두껍다.

산화막 형성공정은 다음과 같은 반응에 의해 이루어진다.



이러한 산화막 형성에는 열처리를 위하여 확산로 (Furnace), 급속 열공정 장비 (Rapid Thermal Processor, RTP) 등의 장비가 사용된다. 확산로는 장시간 열처리하는데 적합하고, 웨이퍼의 온도를 안정하게 유지시키며 단위 시간당 처리량이 높다는 장점이 있다. RTP는 단시간에 가열하여 온도를 상승시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다.

○ 유해요인의 노출

확산공정에서는 고온의 전기로에서 산화막을 형성시키고 비소, 붕소, 인 등의 불순물(dopant)을 확산시키기 위해 각종 가스상 물질 등을 사용하고 있으며, 웨이퍼 세척을 위해 무기산 등을 사용하고 있다.

확산공정은 웨이퍼 표면에 산화막을 형성시키는 과정에서 수소, 염화수소와 같은 부산물이 발생할 수 있다. 따라서 확산공정에서 취급하는 물질은 물론 반응 부산물 등이 근로자에게 노출 가능한 유해인자라고 할 수 있다. 특히 PM(preventive maintenance, 유지보수)작업 시 장비내의 잔류물질을 충분히 배기하지 않은 상태에서 장비 챔버를 열게 되면 챔버 내의 잔류가스가 외부로 확산되면서 근로자에게 노출될 수 있다. 다만, 확산작업 시 사용되는 화학물질은 밀폐된 반응 챔버(전기로) 내에서 사용되기 때문에 유지보수(PM) 작업이나 사고성 누출이 아닌 경우라면 일상적인 작업과정에서 노출될 가능성은 낮다.

한편 웨이퍼 세척과정에서 사용되는 물질의 경우는 작업방법에 따라 노출될 가능성에 차이가 있다. 즉 수동으로 세척작업을 수행하는 경우에는 세척조에 웨이퍼를 투입하거나 회수하는 과정에서 불산, 질산, 황산 등에 노출될 수 있으나 자동으로 세척작업을 수행하는 경우에는 근로자의 노출 가능성은 상대적으로 낮다고 볼 수 있다. 한편 PM작업 등을 위해 세척조 내부에서 작업을 하는

경우에는 세척조 내에 잔류하고 있는 물질(암모니아수, 불산, 황산 등)에 노출될 수 있다.

확산공정에서 사용하고 있는 물질은 <표 1-3>과 같다.

<표 1-3> 확산공정에서 사용되는 화학물질

산화막 형성, 열처리, 불순물 확산	웨이퍼 세척
Ammonia(암모니아)	Acetic acid(초산)
Arsine(삼수소화비소, 아르신)	Ammonium fluoride(불화암모늄)
Boron tribromide(삼브롬화붕소)	Ammonium hydroxide(암모니아수)
Dichloro silane(디클로로실란)	Hydrofluoric acid(불산)
Fluorine(불소)	Hydrogen peroxide(과산화수소)
Hydrogen(수소)	Nitric acid(질산)
Nitrogen(질소)	Sulfuric acid(황산)
Nitrogen monoxide(일산화질소)	
Nitrous oxide(아산화질소)	
Phosphine(포스핀)	
Phosphorus oxychloride(옥시염화인)	
Silane(실란)	

나) 포토공정(Photolithography)

○ 공정 개요

웨이퍼에 회로패턴을 형성시키는 공정을 포토공정(photolithograph)이라 한다. 포토공정에서는 반도체 웨이퍼에 감광성질을 가지고 있는 포토레지스트(photoresist, PR, 감광액)를 도포한 후, 마스크 패턴을 올려놓고 UV 등의 빛을 조사(노광)하여 회로를 구성한다. 포토레지스트는 수지, 용매, 감광성 물질 등으로 구성되어 있다. 포토공정은 감광제(PR) 도포 → 노광(Exposure) → 현상(Development) 공정으로 진행된다.



[그림 1-9] 감광제 도포

감광제(PR) 도포는 빛에 노출되면 화학적 성질이 변하게 되는 감광제를 용도에 따라 선택하여 기판 위에 회전상태에서 얇게 코팅하는 공정이다. 감광제는 빛에 노출된 부분 또는 노출되지 않은 부분제거 여부에 따라 포지티브 (Positive) 및 네거티브 (Negative)형으로 분류된다. 포지티브 감광제는 노광된 부분이 현상액에 용해되며, 네거티브 감광제는 노광된 부분이 녹지 않고 노광되지 않은 부분이 용해되어 나타난다. 감광제 도포 후, 초기 건조공정을 거치고 노광을 진행하며, 여기서 초기 건조공정은 코팅된 감광제로부터 습기와 용제를 제거하는 과정으로 주로 80° C ~ 100° C에서 처리한다. 이 과정은 감광막을 굳히고 부착력을 증가시키며, 용제의 제거는 막의 두께를 감소시킨다.

감광제는 고분자, 용제, 광감응제의 세 가지 성분으로 구성되어 있으며 성분별 기능은 <표 1-4>와 같다.

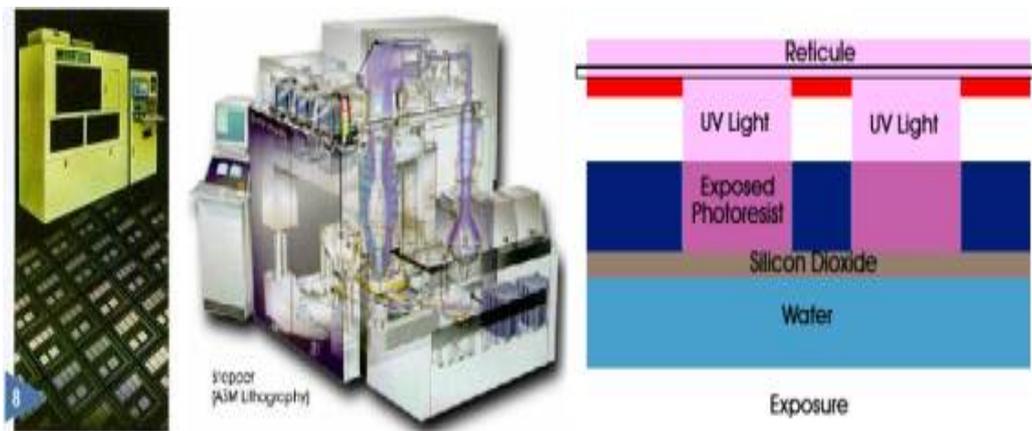
<표 1-4> 감광제의 주요 성분 및 기능

주요 성분	기능
고분자	에너지에 반응하여 구조를 바꾼다(고분자화 또는 광분해)
용제	박막을 스핀코팅법으로 입힐 수 있게 한다(점도 조절)
광감응제	노광되었을 때 감광제의 광화학적 반응을 조절 및 수정한다

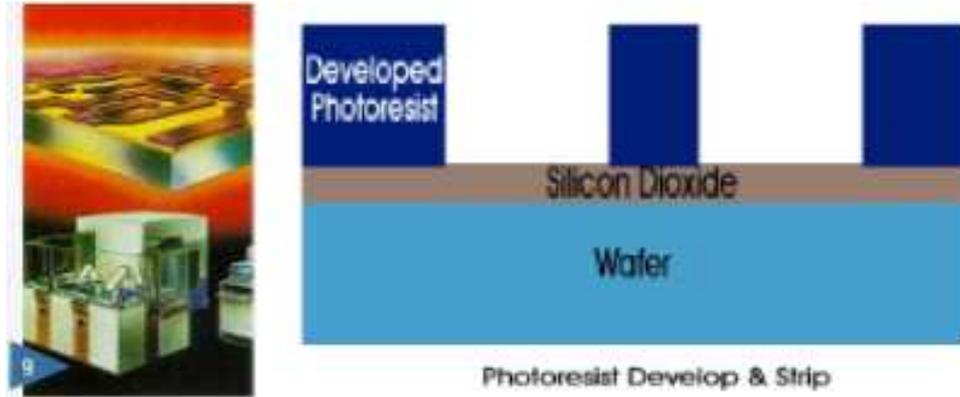
노광은 도포된 감광제에 마스크를 정밀하게 정렬한 후, 자외선(혹은 X-선, 전

자빔, 이온 빔)을 조사하여 선택적으로 물리·화학적인 반응을 일으키게 한다. 반도체 공정 중 매우 중요한 공정의 하나이며 특히 진동에 매우 민감하여 기본적으로 이를 반영한다. 마스크와 웨이퍼 표면의 거리에 따라 접촉식 노광(Contact exposure), 근접식 노광(Proximity exposure), 그리고 투영식 노광(Projection exposure)으로 구분된다.

현상은 감광제 도포, 노광을 거친 웨이퍼에 현상액을 처리하는 공정으로 일반 사진현상의 원리와 동일하다. 현상액 처리 시 감광제의 종류에 따라 (positive 혹은 negative) 노광과정에서 빛에 노출된 부분 혹은 노출되지 않은 부분이 제거되고 웨이퍼에 패턴이 나타나게 된다.



[그림 1-10] 노광 장비 및 모식도



[그림 1-11] 감광제 현상 및 박리 모식도

○ 유해요인의 노출

포토공정에서는 웨이퍼에 회로패턴을 형성하기 위해 포토레지스트를 비롯하여 현상액(developer), 희석제(thinner), 밀착향상제(adhesion promotor) 등을 사용하고 있다. <표 1-5>는 포토공정에서 사용하고 있는 물질을 정리해 놓은 것이다. 한편 <표 1-5>에는 제시되어 있지 않지만 웨이퍼와 포토레지스트간의 밀착성을 향상시키기 위해 밀착향상제를 사용하는데 주로 헥사메틸디실라잔(HMDS)이 사용되고 있다.

포토공정에서는 유기용제가 함유된 포토레지스트를 비롯하여 현상액, 희석제 등 많은 유기화합물이 사용되고 있으며 이들 물질을 웨이퍼에 고르게 도포하기 위해 웨이퍼를 회전시키면서 도포한다. 따라서 도포과정에서 휘발성 유기화합물이 발생될 수 있다. 그리고 포토레지스트를 도포한 후 웨이퍼와의 결합을 강화하고 과량의 용제를 제거하기 위한 bake(가열) 단계가 있는데 이때에도 휘발성 유기화합물이 발생될 수 있다. 한편 회로패턴을 구성하기 위해 포토레지스트에 UV 등의 빛에너지를 조사하는 단계가 있는데 감광성 성분의 경우 빛이 조사되면 구조적으로 변화를 일으키는 특성이 있으며 이 과정에서 부산물이 발생될 수 있고 발생하는 부산물은 감광성 성분 등 포토레지스트의 구성성분에 따라 차이가 있다.

현재까지 많이 알려진 감광성 물질인 DNQ(디아조나프토퀴논)의 경우 방향족 구조를 가지고 있고, 수지 성분으로 많이 사용되고 있는 노보락수지의 경우도 페놀(크레졸)-포름알데히드 중합체로 역시 방향족 구조를 가지고 있다. 따라서 이들 성분들은 빛에 의해 분해될 경우 방향족 화합물이 생성될 수 있고, 문헌에 의해서도 이 같은 사실은 알려져 있다(Goodner MD, 2008; 삼성에스디아이주식회사, 2004).

한편 노보락수지가 함유된 포토레지스트를 이용하여 열분해 실험을 실시해 본 결과 미량이지만 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 페놀, 크레졸 등의 물질이 발생되는 것을 확인할 수 있다.

<표 1-5> 포토공정에서 사용되는 화학물질

수지(Resin)	용매(Solvent)	현상액(Developer)
Acrylate polymer (아크릴중합체)	2-Ethoxyethanol (2-에톡시에탄올)	Aliphatic hydrocarbons (지방족 탄화수소)
Cyclized polyisoprene (고리화된 폴리이소프렌)	2-Heptanone(2-헵타논) 2-Methoxy-1-propanol (2-메톡시-1-프로판올, β -PGME)	Ethyl ethoxypropionate (에틸 에톡시프로피오네이트)
Hydrogensiloxane polymer (수소실록산 중합체)	2-Methoxy-1-propyl acetate (2-메톡시-1-프로필 아세테이트, β -PGMEA)	gamma-Butyrolactone (감마-부티로락톤)
Novolak resin(노보락수지)	Cresol(크레졸) Cyclohexanone(사이클로헥사논)	N-Methyl-2-pyrrolidone (N-메틸-2-피롤리돈)
Polyhydroxystyrene derivative (폴리히드록시스티렌 유도체)	Ethyl benzene(에틸벤젠) Ethyl lactate(에틸락테이트) gamma-Butyrolactone (감마-부티로락톤)	PGMEA (프로필렌글리콜모노메틸에테르 아세테이트)
Polymethacrylate derivative (폴리메타크릴레이트 유도체)	Isopropyl alcohol (이소프로필알콜, IPA) Methyl-2-hydroxy-isobutyrate (메틸-2-히드록시-이소부티레이트)	Polyamide acid (폴리아미드산) Tetramethylammonium-hydroxide(TMAH) (수산화테트라메틸암모늄)
Polyvinylphenol derivative (폴리비닐페놀 유도체)	Methyl-3-methoxy-propionate (메틸-3-메톡시-프로피오네이트) n-Butyl acetate	Xylene(크실렌)

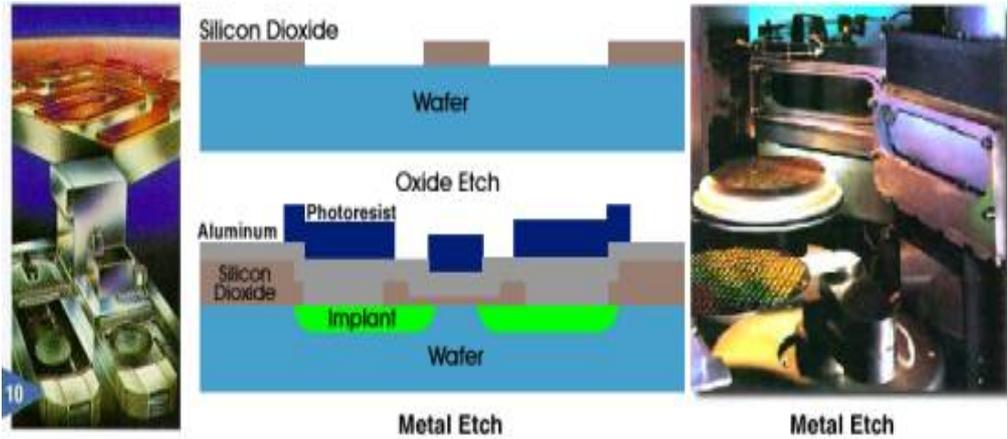
수지(Resin)	용매(Solvent)	현상액(Developer)
	(n-부틸아세테이트) PGME (프로필렌글리콜모노메틸에테르) PGMEA (프로필렌글리콜모노메틸에테르 아세테이트) Xylene(크실렌)	

다) 식각공정(Etch)

○ 공정 개요

식각공정은 포토공정에서 구성한 회로를 완성하기 위해 불필요한 부분을 제거해주는 공정으로 습식식각과 건식식각으로 나누어 볼 수 있다. 식각은 웨이퍼에 회로 패턴을 만들어 주기 위해 화공약품이나 부식성가스를 이용해 불필요한 부분을 선택적으로 제거한다. 각각의 방식에 따라 사용되는 물질에 차이가 있다. 습식식각은 산 및 염기성 물질을 이용하여 식각하는 방식이고 건식식각은 반응성 가스 등을 플라즈마 이온화 상태에서 식각될 표면과의 충돌 및 반응 등을 통해 식각하는 방식이다.

감광제 (Photo Resist, PR)가 남아있는 부분을 남겨둔 채 나머지 부분은 부식시키며, 식각공정 후에는 감광제 또한 황산용액으로 제거한다. 패턴형성 과정은 각 패턴층에 대해 반복적으로 수행된다.



[그림 1-12] 식각장비 및 식각공정 모식도

○ 유해요인의 노출

습식식각 공정에서는 암모니아수, 불산, 과산화수소, 황산, 질산, 초산 등의 각종 산 및 염기성 물질이 사용되며, 건식식각 공정에서는 삼염화붕소, 염소, 질소, 아르곤, 황화카르보닐, 수소, 브롬화수소 등의 물질이 사용된다. 식각공정에서는 기본적으로 습식식각 및 건식식각을 위해 사용되는 무기산, 염기성 물질, 반응성 가스 등에 노출될 수 있고, 식각가스의 상호 반응 등을 통해 수소, 염화수소, 불화수소 등에도 노출될 수 있다.

<표 1-6>은 식각공정에서 사용하고 있는 물질을 정리해 놓은 것이다.

<표 1-6> 식각공정에서 사용되는 화학물질

습식식각(Wet etch)	건식식각(Dry etch)
Acetic acid(초산)	Ammonia(암모니아)
Ammonium fluoride(불화암모늄)	Argon(아르곤)
Ammonium hydroxide(암모니아수)	Boron trichloride(삼염화붕소)
Hydrochloric acid(염산)	Carbon monoxide(일산화탄소)
Hydrofluoric acid(불산)	Carbon tetrafluoride(사불화탄소)
Hydrogen peroxide(과산화수소)	Carbonyl sulfide(황화카르보닐)
Isopropyl alcohol(이소프로필알콜)	Chlorine(염소)

습식식각(Wet etch)	건식식각(Dry etch)
Nitric acid(질산)	Difluoro methane(디플루오로 메탄)
Octyl phenol ethoxylate (옥틸페놀 에톡실레이트, 계면활성제)	Hexafluoro ethane(육불화에탄)
Phosphoric acid(인산)	Hexafluoro-1,3-butadiene (육불화-1,3부타디엔)
Sulfuric acid(황산)	Hydrogen(수소)
	Hydrogen bromide(브롬화수소)
	Methane(메탄)
	Nitrogen(질소)
	Nitrogen trifluoride(삼불화질소)
	Octafluorocyclobutane (옥타플루오로사이클로부탄)
	Octafluorocyclopentene (옥타플루오로사이클로펜텐)
	Octafluoropropane (옥타플루오로프로판)
	Ozone(오존)
	Sulfur hexafluoride(육불화황)
	Trifluoro methane(삼불화 메탄)

습식식각에서 수동으로 습식식각 작업을 수행하는 경우에는 식각조에 웨이퍼를 투입하거나 회수하는 과정에서 암모니아수, 불산, 황산 등에 노출될 수 있고, 자동으로 세척작업을 하는 경우에도 밀폐구조가 아닌 경우는 문틈 등을 통해 증기 등에 노출될 수 있다. 또한 용액을 보충하거나 점검하는 과정에서도 화학물질 노출이 있을 수 있다. 한편 PM작업을 위해 식각조 내부에서 작업을 할 경우 식각조 내에 잔류하고 있는 물질(암모니아수, 불산, 황산 등)에 노출될 수 있다.

건식식각의 경우 부품교체, 세척 등을 위한 PM작업시 반응챔버를 열 때 장비내에 잔류하고 있는 반응가스, 부산물 등에 노출될 수 있다. 다만 건식식각 공정에서는 화학물질이 밀폐된 반응챔버 내에서 사용되기 때문에 유지보수(PM) 작업이나 사고성 누출이 아닌 경우라면 일상적인 작업과정에서 노출될 가능성은 낮다.

라) 연마공정(Cheical Mechanical Polishing, CMP)

○ 공정 개요

연마공정은 다양한 웨이퍼 가공과정에서 생성된 웨이퍼 표면의 산화막 등을 화학적 또는 물리적 방법으로 연마하여 평탄화 시켜주는 공정이다.

평탄화 공정은 반도체 제조공정이 고집적화되고 회로 선폭이 미세화 됨에 따라 디바이스 소자의 배선 단절 현상이 발생하지 않도록 하기 위해 필수적으로 실시되는 공정이다. 가장 일반적으로 사용되는 평탄화 방법은 CMP (Chemical Mechanical Planarization) 이며, 웨이퍼를 회전하는 판성 패드 (Pad) 사이에 화학액인 슬러리 (Slurry)를 뿌려 웨이퍼 표면을 연마하는 기술이다.

CMP 공정에는 장비와 공정에 필수적인 소모품 (슬러리, 패드, 컨디셔닝 디스크 등)이 사용되며, CMP 공정특성은 이들 장치의 성능에 아주 큰 영향을 받고 있다.

CMP 공정의 주요 장비는 CMP 폴리셔 (Polisher), 포스트 CMP 클리너가 있으며, 주변장치로는 슬러리 교반장치, 엔드포인트 탐지장치 (Endpoint Detection)가 있다. 또한 CMP 공정은 단순히 공정장비로만 진행되는 것이 아니라, 원하는 공정 단계 및 재료 등에 따라 각각 다른 종류의 슬러리와 패드를 필요로 하는 반도체 제조공정이다. 최근 장치의 초고집적화에 따른 절연막의 증대로 CMP 공정은 점차 확대되고 있으며, 산화물을 이용한 CMP공정보다 Cu, W, Al 등과 같은 금속을 이용한 CMP 공정이 확대되고 있다.

○ 유해요인의 노출

연마공정에서는 연마액과 불산, 염산, 질산 등이 사용된다. 연마액의 성분에는 비결정형 실리카, 산화세륨, 암모니아수, 수산화칼륨 등이 사용되고 있다. 웨이퍼를 평탄화 시켜주기 위해 연마하는 과정에서 사용물질의 비산으로 연마액과 불산, 염산, 질산 등의 무기산에 노출될 수 있다. 그리고 부품교체, 세척

등을 위한 PM작업 시 장비 내에 잔류하고 있는 연마액, 무기산 등에 접촉될 수 있다.

마) 세정(Cleaning)

○ 공정 개요

웨이퍼 위에 붙어있는 이물질이나 입자를 초순수를 이용하여 제거하는 공정으로 수율에 1차적인 영향을 준다. 특히 막을 입히기 전의 웨이퍼의 세정은 막의 밀착성 (Adhesion)을 높이는 요소이다. 초기 투입이나 공정 중에 웨이퍼나 막 표면의 오염, 입자를 사전에 제거하여 불량 발생하지 않도록 하는 공정이며 또한 막과 막 사이의 밀착성 확보에 도움을 준다. 일반적으로 습식 및 건식 방식으로 구분된다. 반도체 크리닝 공정의 분류는 <표 1-7>과 같다.

<표 1-7> 반도체 공정에서 크리닝 공정의 분류

클리닝 방식	클리닝 방법	대상 오염물질/목적
습식 클리닝	식각	손상된 실리콘 기판
	산화/환원	반응 부산물(중합체, 잔여물), 유기물, 실리콘, 실리카
	용해	유기물, 금속 오염물
	계면활성제	금속 오염물
	초순수	세척
건식 클리닝	플라즈마 방전	실리콘, 실리콘 화학물, 유기물, 탄소(O ₂ , Cl)
	UV/O ₃	유기물, 탄소
	무수 불화수소 가스	자연 산화된 실리카
	H ₂ 어닐링	자연 산화된 실리카
	Ar 스퍼터링	Al ₂ O ₃ , 자연 산화된 실리카
기계적 클리닝	UV/Cl ₂	금속이온
	드라이아이스, 고압 알곤	입자들

○ 유해요인의 노출

습식 클리닝의 문제점은 과산화수소 외에 황산, 염산, 불산 등의 강산과, 암모니아 같이 강알칼리를 다량으로 사용한다는 점이다. 따라서 습식 클리닝은 많은 양의 폐수를 발생시키고, 폐수 처리 시설이 필요하다. 예를 들어 클리닝 공정 중 과산화수소가 분해되어 물이 되면 세정액의 농도가 묽어지고, 따라서 과산화수소를 보충해야 한다. 결과적으로 폐수의 양이 증가하고, 폐수처리 공정에서 잔류 과산화수소를 제거하는 공정도 필요하다. 더불어 클리닝 장비가 커서 많은 공간을 차지하며, 초미세 패턴이 점차 증가함에 따라 습식 클리닝으로 는 오염 물질 제거가 어렵다.

사용되는 각 종류의 산(황산, 염산, 과산화수소, 불산), 산에서 나오는 분해 물질(황산화물, 염소, 불소, 오존), 오존 사용으로 인한 오존의 노출 가능성이 있고, 식각이나 요출로 인해 기존에 쥘워진 금속이온 중 유해 금속이 용출될 수 있다는 점에 주목해야 한다. 즉, 사용하는 강산의 독성의 안전보건 문제, 산성용액의 폐수 처리 문제, 오존 사용시 오존의 노출 문제, 스크러버 유지 관리의 문제가 있다.

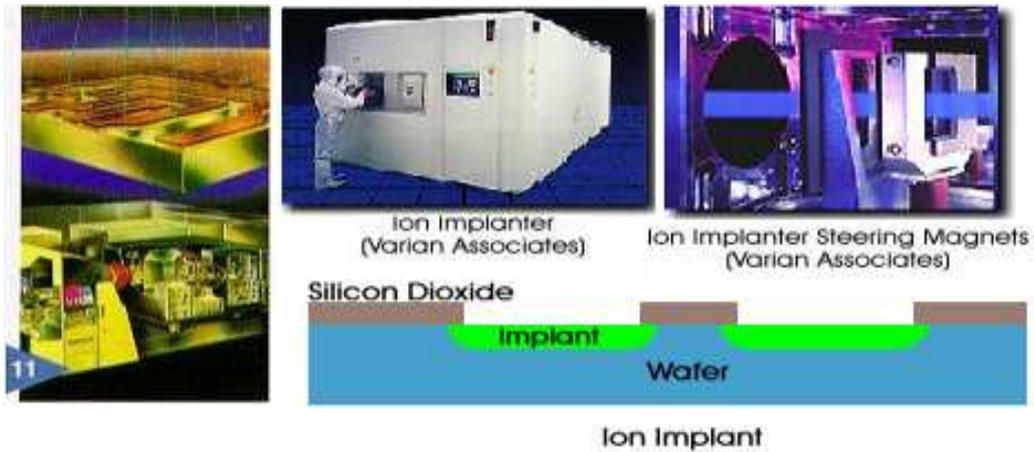
바) 이온주입 공정(Ion Implantation)

○ 공정 개요

이온주입 공정은 반도체에 전도성을 부여하기 위해 불순물을 주입하는 공정으로 이온주입(ion implant) 장비를 이용하여 입자를 가속시켜 웨이퍼에 주입하여 웨이퍼에 원하는 전기적 특성을 만들어 주는 공정이다. 불순물을 미세한 가스입자로 만들어 원하는 깊이만큼 웨이퍼 전면에 균일하게 넣어줌으로써 일정한 전도성을 갖도록 한다. 과거에는 열로 확산하는 방법이 사용되었으나 현재는 이온 주입법이 많이 사용되고 있다.

이온주입을 위해 사용되는 아르신, 포스핀 등의 가스는 좌측하단의 “Gas Box” 에서 공급되며 “Analyzer” 와 “Acceleration column” 을 통해 이온화된

물질이 process chamber에 최종 도달되고 여기서 웨이퍼에 이온주입이 이루어진다.



[그림 1-13] 이온주입 공정

○ 유해요인의 노출

이온주입 공정에서는 이온주입장비에 아르신, 삼불화붕소, 포스핀 등을 공급한 후 이를 이온화시켜서 비소, 붕소, 인 이온만을 선택적으로 반도체 웨이퍼에 주입한다. 따라서 이온화 과정에서 다양한 형태의 부산물이 발생될 수 있다. 특히 아르신의 경우는 분해 온도인 300℃까지 가열되거나 빛에 노출될 경우에는 비소로 분해된다. 아르신이 이온주입장비 내에서 에너지를 받아 이온화과정을 거치면 아르신 이온을 비롯하여 비소 이온, 중성의 비소 등 다양한 형태의 물질이 발생될 수 있다. 이온주입장비 내부에서는 이렇게 다양한 형태의 물질이 발생 할 수 있지만 장비에 웨이퍼를 투입하거나 회수하는 등의 일상적인 오퍼레이션 작업을 수행하는 과정에서는 이러한 유해물질에의 노출 가능성은 낮다. 그러나 부품교체, 세척 등을 위해 이온 소스 부위 등을 해체하는 과정에서 장비 내에 잔류하고 있는 아르신, 포스핀, 비소 및 그 화합물에 노출될 수 있다. 물론 장비내 잔류물질을 완전히 배출한 후, 국소배기장치를 사용하고, 호흡용보

호구 등 개인보호장비를 착용하고 작업을 수행하는 경우에는 유해물질의 노출을 예방할 수 있을 것이다. 그러나 연구결과 장비내에 잔류물질을 충분히 배기하지 않고 PM작업을 수행하는 경우가 있었으며 작업자들이 고농도의 아르신과 비소에 노출되는 경우가 있었다.

이온주입장비는 입자를 가속시켜 웨이퍼에 불순물을 주입하는 과정에서 전리방사선이 발생하는 방사선발생장치이다. 이온주입장비는 최대전압 170KV 이하이고 표면방사선량률 10 μ Sv 이하의 조건을 만족하는 자체 차폐된 장치로서 안전하게 작동되도록 제조된 장비인 관계로 원자력법에 의한 사용 신고장비에 해당된다. 그러나 문헌에 의하면 이온주입장비에서 방사선 누출이 보고된 바 있다(ACGIH, 1989; Williams ME 등, 1995). 특히 인터록을 해제한 상태에서 이온주입장비 내부로 들어갈 경우에는 전리방사선에 노출될 수 있다.

사) 증착공정(Deposition)

○ 공정 개요

반도체 기판 상에 화학적 또는 물리적 방법으로 전도성 또는 절연성 박막을 형성시키는 공정으로 화학기상증착(chemical vapor deposition, CVD)과 물리적 기상증착(physical vapor deposition, PVD)으로 크게 나누어 볼 수 있다. CVD는 화학반응을 통해 박막을 형성하는 공정이고, PVD는 기판 상에 금속을 물리적으로 증착시키는 공정이다.

박막 형성은 웨이퍼에 증착법을 이용하여 박막을 형성하는 공정으로 형성된 박막은 크게 회로 간 전기적인 신호를 연결해 주는 금속막(전도)층과 내부 연결층을 전기적으로 분리하거나 오염원으로부터 차단시켜주는 절연막층으로 구분된다. 증착 시 사용되는 SiH_4 등과 같은 실란계열의 가스 사용으로 인해 유해가스 노출 가능성이 있어 노출방지 및 처리기술이 요구되며, 가스의 세정을 위하여 C_2F_6 , NF_3 등과 같은 PFC 계열의 가스가 다량 사용되므로 식각공정과 더불어 지구온난화 문제 및 PFC 가스 처리기술 개발이 요구되고 있다. 박막

형성에 사용되는 증착법은 화학 기상증착과 물리 기상증착으로 구분할 수 있으며, 반도체 제조공정 중에서 가장 많은 전기를 소모하는 공정에 해당되어 에너지 절감이 요구된다.

○ 유해요인의 노출

CVD 공정에서는 다양한 유해인자에 노출될 수 있다. 화학물질, 가연성 가스, 부식성 가스, 배기가스, 뜨거운 표면, 기계적 위험, 전기적 위험 등이 이에 해당된다.

화학물질로는 디클로로실란, 삼불화질소, 아산화질소, 오존, 포스핀, 실란 등의 화학물질이 사용되는데 이들 물질의 화학적 반응을 통해 박막을 형성하는 공정이다. PVD 공정은 진공환경에서 고에너지를 이용하여 물리적인 방법으로 웨이퍼 상에 원하는 물질의 박막을 형성하는 공정으로 스퍼터링(sputtering), 전자빔 등의 방식이 있다. PVD 공정에서 사용되고 있는 물질로는 암모니아, 삼불화염소, 디보란, 수소, 삼불화질소 등이 있다.

증착공정은 각종 가스상 물질 등의 화학적 반응을 통해 웨이퍼 표면에 박막을 형성시키는 공정으로 반응과정에서 다양한 부산물이 발생할 수 있다. 수소를 비롯하여 염화수소(HCl), 불화수소(HF) 등이 발생하는 것으로 알려져 있다. 증착 장비에 웨이퍼를 투입하고 꺼내는 오퍼레이션 작업을 수행하는 동안에는 유해물질의 노출 가능성은 낮을 것으로 판단된다. 그러나 부품교체, 세척 등을 위한 PM작업 시 반응챔버를 열 때 장비내에 잔류하고 있는 반응가스, 부산물 등에 작업자가 노출될 수 있다. <표 1-8>은 증착공정에서 사용하고 있는 물질이다.

<표 1-8> 증착공정에서 사용되는 화학물질

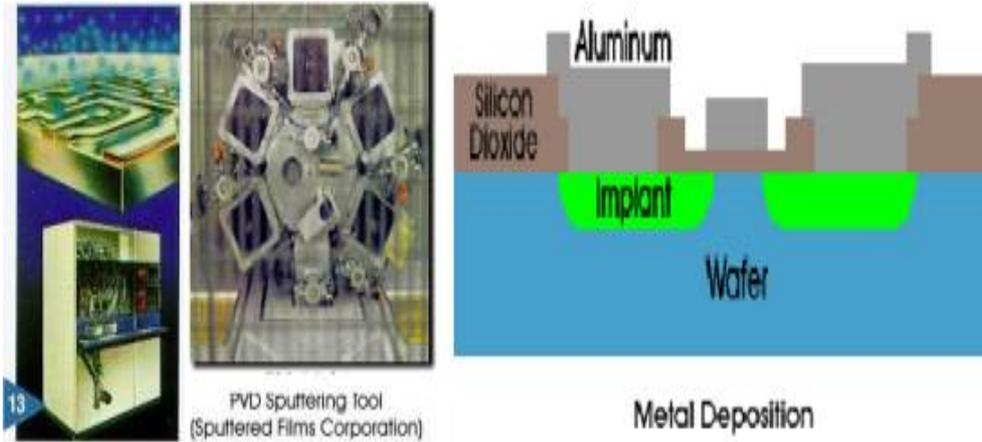
화학기상증착(CVD)	물리적기상증착(PVD)
Acetylene(아세틸렌)	Ammonia(암모니아)
Ammonia(암모니아)	Argon(아르곤)
Chlorine trifluoride(삼불화염소)	Chlorine trifluoride(삼불화염소)

화학기상증착(CVD)	물리적기상증착(PVD)
Diborane(디보란)	Diborane(디보란)
Dichloro silane(디클로로실란)	Hexafluoro ethane(육불화에탄)
Hydrogen(수소)	Hydrogen(수소)
Hydrogen chloride(염화수소)	Nitrogen(질소)
Hydrogen fluoride(불화수소)	Nitrogen trifluoride(삼불화질소)
Nitrogen(질소)	Silane(실란)
Nitrogen trifluoride(삼불화질소)	Tetrachloro titanium(사염화티타늄)
Nitrous oxide(아산화질소)	Tetrakis dimethylamino titanium (테트라키스 디메틸아미노 티타늄, TDMAT)
Octafluoropropane(옥타플루오로프로판)	Tungsten hexafluoride(육불화텅스텐)
Ozone(오존)	
Phosphine(포스핀)	
Silane(실란)	
Silicon tetrafluoride(사불화실리콘)	
Tetraethyl orthosilicate(TEOS) (테트라에틸 오르토실리케이트)	
Triethyl borate(트리에틸보레이트)	
Trimethyl borate(트리메틸보레이트)	
Trimethyl phosphate (트리메틸포스페이트)	
Tungsten hexafluoride(육불화텅스텐)	

아) 금속배선

○ 공정 개요

박막공정(Thin Film)이라고도 하며, 금속 배선은 소자들을 상호 연결하여 회로의 기능을 갖도록 하고 회로 패턴을 따라 전류가 흐를 수 있게 금속선을 이어주는 공정으로 알루미늄(Al), 티타늄(Ti), 텅스텐(W) 등이 사용되며, 실리콘 산화막(Silicon Dioxide)과 부착성도 좋고 가공성이 뛰어난 알루미늄이 가장 많이 사용된다. 최근 회로패턴의 미세화로 저항이 낮고, 발열이 적은 구리(Cu)도 많이 사용한다.



[그림 1-14] 금속배선 공정

금속공정은 대부분 스퍼터링 공정을 사용한다. 스퍼터링이란 건식방식을 사용해 얇은 박막을 코팅하는 공정을 말한다. 높은 에너지를 갖는 이온을 만들어서 이 이온들을 알루미늄판(Target)에 충돌시키면 알루미늄판을 이루는 다수의 알루미늄 원자들이 떨어져 나오게 하는 현상을 이용한 것이다. 이렇게 떨어져 나오는 많은 수의 알루미늄 원자들이 웨이퍼 기판(소스/드레인/게이트) 위에 눈처럼 쌓이도록 하면 얇은 알루미늄막이 형성된다. 얇은 박막을 형성하는 장비를 스퍼터(Sputter)라고 한다. 알루미늄 외에도 여러 가지 금속 박막을 타깃으로 사용 가능하다. 그리고 타깃으로 사용된 금속판의 원소가 막을 형성합니다. 즉, 타깃의 원소가 화학적 변화 없이 금속판에서 물리적으로 위치만 바꾸어 웨이퍼 위에 금속막을 형성하는 것이다.

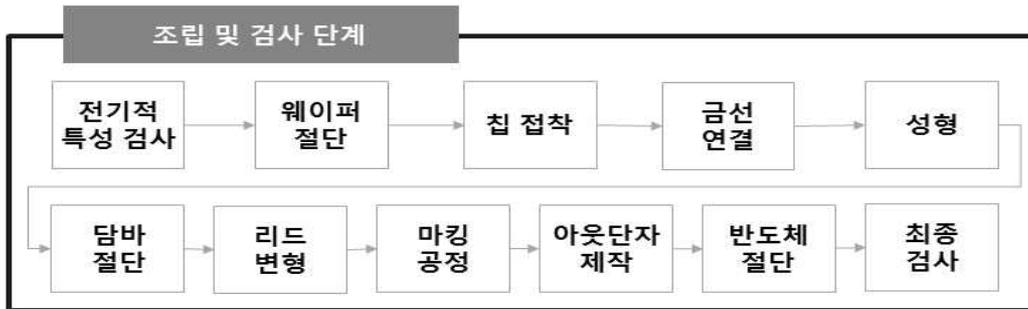
○ 유해요인의 노출

증착공정의 PVD 공정 유해요인 노출 위험성과 동일하다.

(3) 조립 및 검사 단계

조립 및 검사 공정은 전기적 특성을 검사하는 프로브테스트, 가공된 웨이퍼를 칩으로 제작하는 패키지 (Package) 공정, 제품 출하 전 양품과 불량률 검사

하는 최종 검사로 구분된다.



[그림 1-15] 조립 및 검사 단계

가) 전기적 특성 검사(EDS Test)

○ 공정 개요

전기적 특성 검사란 EDS Test (Electrical Die Sorting)라고도 불리며, 불량이나 나타난 집적회로를 걸러 내어 다음 단계인 조립공정으로 넘어가는 것을 방지하기 위해 웨이퍼 전체의 일차적인 전기적 특성을 검사하는 것이다. 전기적 특성 검사는 웨이퍼 상태인 각각의 칩들이 원하는 품질 수준에 도달하는 지를 체크하는 것에서 시작된다. 그 후, 양품이 될 가능 여부를 판단하여 수선 (Repair)이 가능한 칩은 다시 양품으로 만들고, 불가능한 칩은 특정한 표시 (Inking)를 통해 불량으로 판정하여 다음 공정에서 더 이상 작업을 진행하지 않도록 한다.

이러한 EDS Test는 단일 과정이 아닌 세분화된 여러 단계를 거치게 된다. EDS Test는 다음과 같이 크게 5단계로 이루어진다.

- ET Test & WBI (Electrical Test & Wafer Burn In)

ET Test는 반도체 제조공정 중에서 중요한 단위공정으로 반도체 집적회로(IC) 동작에 필요한 개별소자들(트랜지스터, 저항, 캐패시터, 다이오드)에 대해 전기적 직류전압, 전류특성의 파라미터를 테스트하여 작동여부를 판별하는 과정이다. 반도체 칩(Chip)으로 행하는 첫 테스트 공정이다. 이어지는 WBI(Wafer Burn

In) 공정은 제품초기에 발생하는 높은 불량률을 효과적으로 제거하기 위한 목적으로 실행한다. 웨이퍼에 일정온도의 열을 가한 다음 AC/DC 전압을 가해 제품의 약한 부분, 결합 부분 등 잠재적인 불량 요인을 찾아내 제품의 신뢰성을 향상시키는 공정이다.

- Pre-Laser (Hot/Cold)

이 공정에서는 전기적 신호를 통해 웨이퍼 상의 각각의 칩들이 정상인지 이상이 있는지를 판정하고, 수선이 가능한 칩은 수선공정에서 처리하도록 정보를 저장한다. 이때, 특정 온도에서 발생하는 불량을 잡아내기 위해 상온보다 높은/낮은 온도에 따른 테스트가 병행된다.

- Laser Repair & Post Laser

이는 앞서 진행된 Pre-Laser 공정에서 불량이 발생하였지만, 수선이 가능한 것으로 판정된 칩들을 모아 Laser Beam을 이용해 수선하는 공정으로 EDS Test 가운데 중요한 공정이다. 수선이 끝나고 나면 Post Laser 공정을 통해 수선이 제대로 이루어졌는지 재차 검증한다.

- Tape Laminate & Back Grinding

Tape Laminate 공정과 Back Grinding 공정은 교통카드나 여권에 들어가는 IC 카드를 비롯해 두께가 얇은 제품을 조립 할 때 필요한 공정이다. 사업장에 따라 back grind(B/G) 공정 또는 back lap(B/L) 공정으로 불린다. 후면연마공정은 제품에 요구되는 두께까지(수십~수백 μm) 웨이퍼 뒷면을 균일하게 갈아낸다. 웨이퍼 후면을 미세한 다이아몬드 입자로 구성된 연마 wheel로 갈아 칩의 두께를 얇게 함으로써 조립을 용이하게 하는데 그 목적이 있다. 이때, 발생하는 다량의 실리콘 잔여물(Dust) 및 파티클(Particle)로부터 웨이퍼 패턴 표면을 보호하기 위해 전면에 자외선(UV) 테일을 씌워 보호막을 형성하는 것이 바로 Tape Laminate 공정이다. Grinding 이 끝나면 패턴 면을 보호하기 위해 붙여 놓은 테이프는 다시 벗겨 내게 된다.

- Inking

Inking 공정은 Pre Laser 및 Post Laser에서 발생된 불량 칩에 특수 잉크를 찍어 육안으로도 불량 칩을 식별할 수 있도록 만드는 공정이다. Inking 과정을 거치고 나면 조립 과정에서 잉크가 찍힌 불량 칩에 대해서는 조립을 진행하지 않아도 되므로 조립 및 검사 공정에서 사용되는 원부자재 및 설비, 시간, 인원 등의 손실 절감 효과가 있다. 또한 Pre Laser에서 불량으로 판정된 칩과 Post Laser 공정에서 다시금 검증하여 불량으로 처리된 칩, 그리고 웨이퍼 내에서 완성되지 않은 Dummy die의 경우에도 Inking 공정을 통해 구분될 수 있도록 표시한다. Inking 공정까지 끝난 웨이퍼는 건조된 다음 QC Gate의 최종검사를 거쳐 조립 공정으로 옮겨지게 된다.

- 유해요인의 노출

래미네이션 공정에는 특별한 유해요인은 없으나, 자외선을 쬐어야 하는 래미네이션 테이프를 사용하는 경우 자외선에 노출될 가능성이 있다.

후면연마공정에서 사용하는 물질은 연마제이며, 연마제는 물이 70~90%를 차지하고 기타 산화규소(fumed silica), 수산화테트라메틸암모늄(tetramethyl ammonium hydroxide, TMAH) 등이 포함되어 있다. 이 공정에서는 웨이퍼의 뒷면을 얇게 갈아주는 과정에서 연마제의 비산으로 화학물질에 노출 가능하며, 부품교체, 세척 등을 위한 PM작업 시 장비내에 잔류하고 있는 연마제에 접촉이 가능하고, 배관이나 연결부위 점검 및 연마제의 보충과정에서도 노출이 가능하다.

나) 웨이퍼 절단공정(Wafer Saw)

- 공정 개요

웨이퍼를 개개의 칩으로 잘라주는 공정으로 saw blade(원형 칼날)를 이용하여 잘라준다. 웨이퍼에 그려진 수많은 집적회로들을 집적회로 단위로 떼어내기

위해 웨이퍼를 손톱만한 크기로 계속 잘라낸다. 이렇게 절단된 웨이퍼 하나하나를 칩 (Die)이라고 하며, 절단에는 고속의 회전 다이아몬드 톱이 사용된다. 이 공정에 사용되는 장비를 다이싱 톱 (Dicing Saw)이라고 한다.

웨이퍼 절단을 위해 절삭액으로 계면활성제가 사용되며 계면활성제는 물, 폴리옥시렌, 폴리에틸렌글리콜, 습식제 등으로 구성되어 있다.

○ 유해요인의 노출

웨이퍼를 개개의 칩으로 잘라주는 공정으로 절단(sawing) 과정에서 윤활성을 위해 절삭액으로 계면활성제가 사용되며 계면활성제는 물과 폴리에틸렌글리콜, 폴리에틸렌-프로필렌글리콜이 주성분이고 기타 습식제(wetting agent), 보존제(preservative) 등이 포함되어 있다. 웨이퍼를 자르는 과정에서 계면활성제의 비산으로 인해 에틸렌글리콜 등에 노출 가능하며, 부품교체, 세척 등을 위한 PM 작업 시 장비내에 잔류하고 있는 물질에 노출이 가능하다.

다) 칩 접착(Die Bonding)

○ 공정 개요

웨이퍼 절단(wafer saw) 공정에서 날개로 잘려진 칩을 접착제를 이용하여 회로기판에 접착시키는 공정이다. 날개로 분리된 칩 가운데 제대로 작동하는 것만을 골라내어 리드프레임 위에 올려놓는다. 리드프레임 (Lead Frame)이란 반도체에서 지네발처럼 튀어나온 다리 부분으로 반도체가 전자 제품에 연결되는 소켓의 역할을 수행한다. 불량으로 판정된 제품은 자동으로 제외된다. 칩을 리드프레임에 접착하는 공정을 칩 접착공정이라 하며 접착 시 주로 에폭시 접착제를 사용한다. 칩 접착작업이 끝난 제품은 오븐(oven)에서 경화(cure)의 과정을 거친다.



[그림 1-16] 웨이퍼 선별·절단·칩 접착

○ 유해요인의 노출

칩 접착공정은 접착제를 이용하여 칩을 회로기판에 접착시키는 공정으로 사용되는 물질은 접착제이다. 접착제 성분에는 에폭시수지, 은(Ag), 실리카(주로 비결정), 아크릴수지, 경화제(페놀계, 아민계 등), 희석제(아세톤 등의 용제) 등이 사용된다.

• 접착작업

접착제에 포함되어 있는 휘발성 유기화합물에 노출될 수 있다. 특히 스텐실 기법으로 접착제를 도포하는 경우는 스텐실을 세척하는 과정에서 세척용매에 노출될 수 있다.

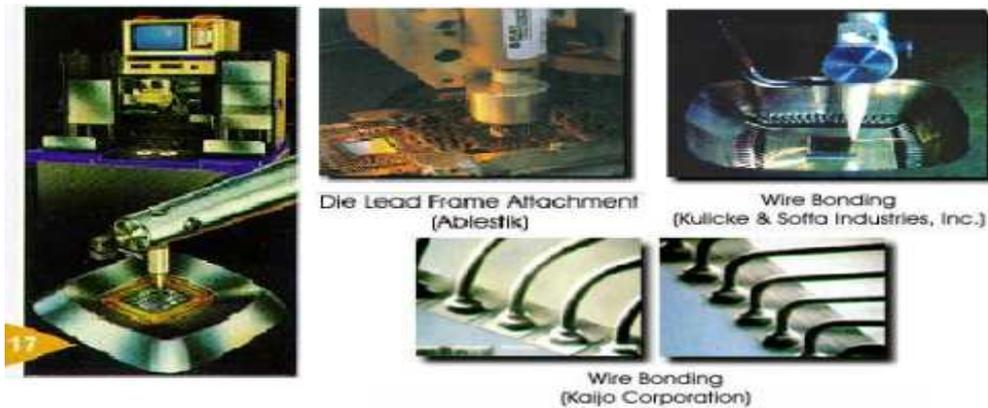
• 경화(cure)작업

경화과정에서 접착제에 함유되어 있던 유기화합물이 휘발될 수 있으며, 특히 경화작업 후 충분한 배기시간을 주지 않을 경우 오븐의 문을 여는 과정에서 유기화합물에 노출될 수 있다.

라) 금(金)선 연결

○ 공정 개요

칩의 외부 연결단자와 리드 프레임을 가느다란 금선으로 연결해 준다. 머리 카락보다 가는 순금을 사용한다(동, 알루미늄선도 사용). 칩과 외부 신호와의 접속을 위해 칩 위의 외부 연결 단자 (Pad 라 불림)와 리드프레임 사이를 금, 알루미늄, 구리 등의 와이어로 연결시킨다.



[그림 1-17] 금선 연결과정

○ 유해요인의 노출

사용되는 와이어가 접합될 때 와이어에 가해지는 초음파나 열에 의해 와이어가 용해되면서 증발될 가능성은 있으나, 그 양은 극히 미미할 것으로 판단된다.

마) 성형(Molding)

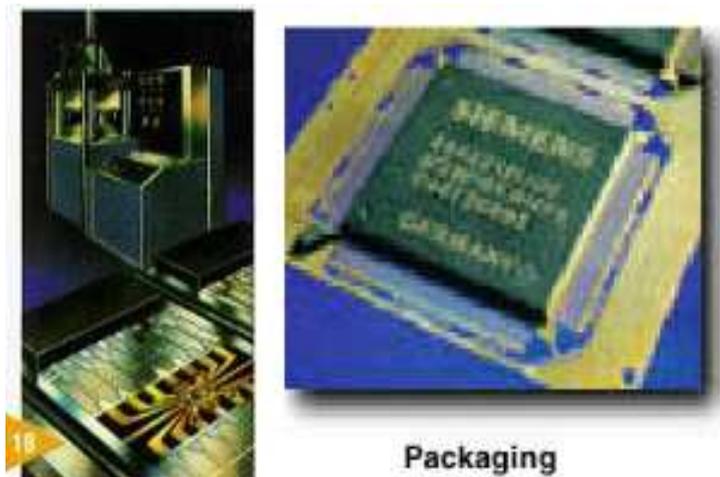
○ 공정 개요

칩을 외부 환경으로부터 보호하고 칩의 성능을 보존하기 위해 칩 위에 성형 화합물(Molding Compound)로 성형하는 과정으로, 외형 만들기 작업이다. 이 과정을 거쳐 우리가 흔히 볼 수 있는 검은색 지네발 모양이 된다. 칩과 연결 금

선을 보호해 주기 위해 플라스틱이나 세라믹 같은 화학수지로 밀봉해 싸준다.

몰드공정은 반도체 칩을 에폭시몰딩컴파운드(epoxy molding compound, EMC)로 감싸주는 공정을 말한다. 몰드온도는 175~185℃이다. 몰드장비의 세정(금형세정)을 위해서 멜라민 수지 등이 함유된 화합물이나 왁스 등이 사용되는데 금형세정 작업도 몰드작업과 유사한 조건에서 이루어진다.

EMC를 안정된 경화물로 만들기 위하여 일정시간 동안 고온에서 경화시키는 것을 몰드 후 경화(post mold cure)라 한다. 경화 온도는 보통 175℃이고 시간은 EMC의 종류에 따라 차이가 있으나 보통의 경우는 1시간에서 5시간 정도이다.



[그림 1-18] 패키징 과정 및 장비

○ 유해요인의 노출

EMC는 에폭시수지(epoxy resin), 페놀수지(phenolic resin), 카본블랙, 실리카(보통은 비결정) 등으로 구성되어 있고, 금형세정제는 멜라민수지, 합성고무, 실리카(보통은 비결정형), 에탄올아민, 셀룰로오스, 왁스, 유기과산화물 등으로 구성되어 있다. 그리고 EMC 및 금형세정제가 가온되거나 녹는 과정에서 부산물

이 발생될 수 있다.

- 몰드작업

에폭시몰딩컴파운드(EMC)를 반도체 칩에 코팅하는 과정에서 에폭시몰딩컴파운드(EMC)의 구성성분인 카본블랙, 실리카, 삼산화안티몬 등이 발생될 수 있다. 그리고 에폭시몰딩컴파운드(EMC)를 180°C 정도로 가열하여 칩에 코팅하는 과정에서 열분해 산물로 벤젠, 포름알데히드 등이 발생될 수 있다.

- 경화작업

경화과정에서 휘발성 유기화합물이 발생 될 수 있으며, 특히 경화작업 후 오븐의 문을 열 때 이러한 휘발성 유기화합물에 노출될 수 있다.

- 금형세정작업

금형세정 과정에서 세정제의 구성성분인 실리카, 에탄올아민 등에 노출될 수 있다. 그리고 금형세정제를 180°C 정도로 가열하여 금형(몰드장비)을 세정하는 과정에서 열분해 산물인 포름알데히드 등 휘발성 유기화합물이 발생될 수 있다.

바) 담바 절단(Trimming)

○ 공정 개요

몰딩 공정에서 성형 화합물의 방출을 막기 위해서 리드프레임의 리드 사이에 담바(dambar)라는 것이 연결되어 있는데 이것을 절단하는 공정을 거치게 된다.

○ 유해요인의 노출

안전보건상 특별한 유해·위험요인은 없을 것으로 판단된다.

사) 리드 변형(Forming)

○ 공정 개요

반도체 칩이 작동하기 위해서는 칩을 인쇄회로 기판에 부착을 해야 하는데 그러기 위해서는 평탄하게 퍼져 있는 리드를 변형시켜야 한다. 이를 리드 변형 공정이라 한다. 통상적으로 포밍이나 트리밍 장비 생산업체는 포밍과 트리밍을 한대의 장비로 처리하여 조립 가공시간을 줄이는 인라인 시스템을 생산하고 있다.

○ 유해요인의 노출

안전보건상 특별한 유해·위험요인은 없을 것으로 판단된다.

아) 마킹공정(Marking)

○ 공정 개요

인쇄공정은 레이저나 잉크를 이용하여 제품별 고유번호나 회사 로고 등을 칩에 인쇄하는 공정이다. 현재 사업장에서는 잉크를 이용한 인쇄는 거의 하고 있지 않으나 일부 잉크마킹을 실시하고 있는 경우가 있다

○ 유해요인의 노출

• 레이저 마킹

레이저를 이용하여 반도체 칩에 마킹을 하는 경우에는 코팅된 EMC 수지에 에너지가 가해짐으로써 휘발성 유기화합물이 발생될 수 있으며, 기타 에폭시물, 덩키파운드(EMC)의 구성성분(카본블랙, 삼산화안티몬 등)도 발생될 수 있다.

• 잉크 마킹

솔벤트납사, 2-부톡시에틸아세테이트, 크실렌, 사이클로헥사논, 트리메틸벤젠, 아세톤, 초산에틸, 톨루엔 등 잉크에 함유된 유기용제 및 희석제에 노출될 수

있다.

자) 아웃단자 제작(Solder Ball Mount)

○ 공정 개요

회로기판에 플럭스(flux)를 이용하여 솔더볼(solder ball)인 주석을 붙여주는 공정으로 solder ball mount 또는 solder ball attach 공정이라고 한다. 회로기판에 솔더 볼을 붙여 아웃단자를 만드는 공정이다. 회로기판에 부착된 솔더볼은 이후 오븐에서 경화의 과정을 거치게 되는데 최고 280°C까지 온도가 설정된다.

납을 함유한 솔더 볼 사용으로 인해 중금속을 함유한 도금폐수 처리가 요구된다. 이러한 도금은 리드프레임(lead frame)의 부식을 막고 특성을 양호하게 하기 위하여 주석 등으로 도금한다. 과거 반도체 사업장에서는 도금공정을 직접 운영하였으나 최근에는 외주를 주고 있다.

○ 유해요인의 노출

솔더볼은 주로 주석(Sn)이 사용되며, 플럭스는 솔더볼을 회로기판에 고정시켜 주기 위해 사용되는데 계면활성제, 글리세롤, 폴리에틸렌글리콜, 에틸렌옥사이드중합체 등으로 구성되어 있다. 솔더볼 부착과정에서 주석, 구리, 플럭스 성분 등에 노출될 수 있고, 솔더볼 부착 후 280°C 정도까지 가열하여 경화(cure)하는 과정에서 플럭스 성분으로부터 휘발성물질이 발생될 수 있다.

도금을 위해 수산화칼륨, 메탄설폰산, 메틸알콜, 과산화수소, 황산, 질산, 주석 메탄설포네이트 등이 사용되며, 도금조에 리드프레임을 투입하거나 회수하는 과정, 도금액을 보충하는 과정 등에서 도금액에 노출될 수 있다. 그리고 설비 및 배관을 점검하거나 폐액회수 등의 과정에서 도금액에 노출될 수 있다.

• 솔더 볼 구성성분

솔더 볼은 주석이 주성분이며 은, 구리 등이 포함된 무연 솔더볼을 최근에 사용하고 있다. 그러나 과거에는 인체 유해성이 큰 납이 함유된 솔더 볼을 사

용하여 공정과정에서 근로자가 납에 노출될 우려가 있다고 판단되었다. 현재 사용되고 있는 무연 솔더 불에도 납이 완벽하게 불 포함되어 있는 것이 아니라 미량(0.1 중량 % 이하)으로 포함되어 있음이 확인되었다.

- 플럭스 성분

솔더 불을 회로기판에 고정하기 위해 사용되는 플럭스는 계면활성제, 글리세롤, 폴리에틸렌글리콜, 에틸렌옥사이드 중합체 등으로 구성되어 있다.

- 리플로 과정에서 발생하는 열분해 산물

공정 중에서 솔더볼 구성성분과 각종 공정 부산물에 노출될 가능성이 있다. 솔더 불 부착 후 280°C 정도까지 가열하여 경화하는 리플로 과정에서 EMC나 플럭스 성분의 영향으로 휘발성 물질 등의 열분해 산물이 발생할 수 있다. 발생할 수 있는 열분해 산물은 사이클로헥사렌, 디에틸렌글리콜 모노헥실에테르, 초산에틸, 산화에틸렌, 글리세롤, 폴리에틸렌글리콜, 테트라하이드로퓨란 등이다. 이렇게 발생된 물질은 장비에 설치된 배기 장치를 통해 제거되므로 정상적인 상황에서는 장비 밖으로는 나오지 않는다. 그러나 장비 고장이나 제품 불량 발생 시 점검하는 과정에서 장비 밖으로 배출되어 근로자가 이에 노출될 수 있다. 수지(레진) 성분이 열분해하여 발생하는 포름알데이드에 노출이 가능하다.

- 물리적 유해인자

SBM 공정에는 다양하고 많은 장비가 한곳에 모여 있어서, 장비를 가동하면 소음과 전자파 등 물리적 유해인자가 발생하여 장비 근처에서 작업하는 근로자가 이에 노출될 수 있다.

차) 반도체 절단(Package Sawing)

- 공정 개요

모듈/보드/카드에 실장할 수 있도록 개별 반도체로 잘라내는 공정이다.

○ 유해요인의 노출

화학적 유해인자는 절단과정에서 발생한다. 이 과정에서 기판과 EMC의 성분이 연기나 입자 형태로 발생할 수 있다. 이렇게 발생한 인자들은 장비에 설치된 배기 장치를 통해 제거되므로 정상적인 상황에서는 장비 밖으로 나오지 않는다. 그러나 장비 고장이나 제품 불량 발생 시 점검하는 과정에서 장비 밖으로 배출되어 근로자가 이에 노출될 수 있다.

물리적 유해인자로는 많은 장비가 한곳에 모여 있어서, 장비를 가동하면 소음과 전자파 등 유해인자가 발생하여 장비 근처에서 작업하는 근로자가 이에 노출될 수 있다.

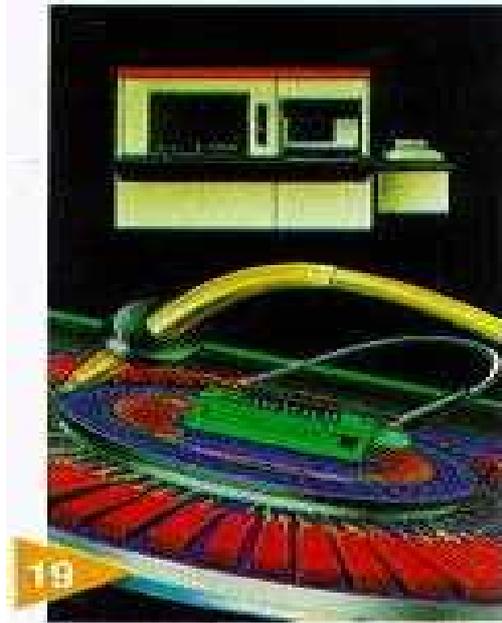
타) 최종검사

○ 공정 개요

최종 검사란 패키징 공정이 완료된 반도체의 전기적 특성이나 기능 등을 패키지 검사(package test) 공정을 통해 제품의 최종 불량유무를 선별하는 것이다. 완제품 형태를 갖춘 후 검사를 진행하는 패키지 검사는 반도체를 검사장비 (tester)에 넣고 다양한 조건의 전압이나 전기신호, 온도 등을 가해 제품의 전기적 특성, 기능적 특성, 동작 속도 등을 측정하여 불량유무를 구별한다.

또한 검사 중 발생하는 자료를 수집·분석해 그 결과를 제조공정이나 조립공정에 피드백 해 제품의 질을 개선하는 역할을 하기도 한다. 메모리 제품인 DRAM (dynamic random access memory)을 기준으로 패키지 테스트 과정은 어셈블리 아웃 (Assembly Out), 직류 검사&로딩/번인 검사 (DC Test & Loading / Burn-In), 모니터링번인&검사 (Monitoring Burn-in & Tester, MBT), 후 번인검사 (Post Burn-In), 최종 검사 (Final Test) 5단계로 구성되어 있다.

특히 번인 검사는 열적 스트레스 등을 가하면서 테스트를 하는 것으로 이 과정을 통해 불량을 제거한다. Burn-in 온도는 최고 125℃이다.



[그림 1-19] 최종검사

○ 유해요인의 노출

테스트과정에서 화학물질을 별도로 사용하지는 않으나 최고 125℃ 정도에서 테스트를 실시하므로 칩에 몰드된 수지로부터 휘발성 유기화합물이 발생할 수 있다. EMC의 구성성분인 에폭시수지, 페놀수지는 열경화성 수지로 몰드공정에서 경화된 상태이며 추가로 열을 가할 경우 수지가 다시 녹지는 않는다. 다만 일정 온도 이상에서는 탈 수도 있다.

반도체 칩에 열이나 전압을 가하여 검사하는 과정에서 패키지를 만들 때 사용된 많은 화학물질이 열이나 전류, 전압과 반응하여 부산물로 휘발성 유기물(톨루엔, n-헥산 등) 등 유해인자를 발생시킬 수 있다. 특히 노보락 수지(페놀-포름알데히드계 수지)의 경우 보건분야에서 중요한 유해인자인 벤젠과 포름알데히드가 열분해 산물로 발생한다고 알려져 있다. 따라서 부산물에 대한 성분 분석과 함께 정량 분석이 필요하다.

장비 내에는 이런 부산물을 제거할 수 있는 배기 장치가 설치되어 있어 근로자가 노출되지 않는다. 그러나 배기 장치가 가동된다고 하더라도 검사가 완료된 패키지를 장비에서 꺼내는 과정에서 근로자가 수작업을 해야 하므로 잔류된 화학물질에 노출될 수 있다. 근로자 노출수준을 낮추기 위해서는 배기 장치의 정상 작동 여부를 확인하고, 검사 완료 후 충분한 냉각(50℃ 이하)과 배기(약 30분 이상)를 하고 나서 제품을 꺼내도록 해야 한다. 웨이퍼의 크기가 작았던(8인치 이하) 과거에는 검사가 완료된 패키지를 꺼낸 후 냉각시켰기 때문에 근로자가 열분해 산물에 노출될 가능성이 있었다.

X-선 형광분석기를 이용하여 제품의 불량을 확인하는 공정이 있는 경우 전리방사선이 발생할 수 있으므로 인터록을 임의로 해제한 상태에서 X-선장비 내부로 신체가 들어갈 경우 전리방사선에 노출될 수 있다.

4) 반도체 가공라인별 노출 가능한 화학물질

반도체의 전 공정과 후 공정에서 노출될 수 있는 화학물질명을 정리하면 <표 1-9>와 같다.

<표 1-9> 반도체 공정별 노출될 수 있는 화학물질

웨이퍼 가공라인	칩 조립라인
1 Acetylene(아세틸렌)	1 Acetaldehyde(아세트알데히드)
2 Acetic acid(초산)	2 Acetone(아세톤)
3 Acetone(아세톤)	3 Antimony trioxide(삼산화안티몬)
4 Aliphatic hydrocarbon(지방족탄화수소)	4 Benzene(벤젠)
5 2-(2-Aminoethoxy)-ethanol [2-(2-아미노에톡시)-에탄올]	5 2-Butoxyethanol (EGBE)(2-부톡시에탄올)
6 Ammonia(암모니아)	6 n-Butyl acetate(n-초산부틸)
7 Ammonium fluoride(불화암모늄)	7 Carbon Black(카본블랙)
8 Aromatic complex(방향족화합물 복합체)	8 Cellulose(셀룰로오스)
9 Aromatic sulfur compounds(방향족 황 화합물)	9 Copper(Cu)(구리)
	10 Cresol(크레졸)

웨이퍼 가공라인	칩 조립라인
10 Arsine(아르신, 삼수소화비소)	11 Crystalline silica(Quartz) (산화규소결정체, 석영)
11 Arsenic(비소)	12 Crystalline silica(Cristobalite)(산화규소결정체, 크리스토파라이트)
12 Benzene(벤젠)	13 Cyclohexanone(사이클로헥사논)
13 Boron tribromide(삼브롬화붕소)	14 N,N-Dimethyl formamide(DMF) (N,N-디메틸포름아미드)
14 Boron trichloride(삼염화붕소)	15 EMC(에폭시몰딩컴파운드)
15 Boron trifluoride(삼불화붕소)	16 Epoxy resin(에폭시수지)
16 n-Butyl acetate(n-초산부틸)	17 Ethanol(에탄올)
17 Carbon monoxide(일산화탄소)	18 Ethanolamine(에탄올아민)
18 Carbon tetrafluoride(사불화탄소)	19 2-(2-Ethoxyethoxy) ethanol(DEGEE, Carbitol) [2-(2-에톡시에톡시) 에탄올]
19 Carbonyl sulfide(황화카르보닐)	20 2-(2-Ethoxyethoxy) ethyl acetate(DEGEEA, Carbitol acetate) [2-(2-에톡시에톡시) 에틸아세테이트]
20 Catechol(카테콜)	21 Ethyl acetate(초산에틸)
21 Cellulose(셀룰로오스)	22 Ethyl benzene(에틸벤젠)
22 Cerium oxide(산화 세륨)	23 Ethylene oxide(산화에틸렌)
23 Chlorine(염소)	24 Formaldehyde(포름알데히드)
24 Chlorine trifluoride(삼불화염소)	25 Glycerol(글리세롤 or 글리세린)
25 Cresol(크레졸)	26 n-Hexane(n-헥산)
26 Cyclized polyisoprene(고리화된 폴리이소프렌)	27 Heptane(헵탄)
27 Cyclohexanone(사이클로헥사논)	28 Hydrogen peroxide(과산화수소)
28 Diborane(디보란)	29 Isopropyl alcohol(IPA) (이소프로필알콜)
29 Dibutyl ether(디부틸에테르)	30 Melamine resin(멜라민수지)
30 1,2-Dichloroethylene (1,2-디클로로에틸렌)	31 Methanesulfonic acid(메탄설폰산)
31 Dichloromethane(디클로로메탄)	32 Methanol(메탄올)
32 Dichlorosilane(디클로로실란)	33 Methyl isobutyl ketone(MIBK) (메틸이소부틸케톤)
33 Difluoromethane(디플루오로메탄)	34 1-Methyl-2-pyrrolidinone or N-Methyl-2-pyrrolidone (1-메틸-2-피롤리디논)
34 N,N-Dimethylacetamide (DMAc)(N,N-디메틸아세트아미드)	35 1-Methoxy-2-propyl acetate(PGMEA)
35 Ethanol(에탄올)	
36 Ethanolamine(에탄올아민)	
37 2-Ethoxyethanol(2-에톡시에탄올)	
38 Ethyl benzene(에틸벤젠)	
39 Ethyl lactate(에틸락테이트)	
40 Ethyl-3-ethoxy propionate (에틸-3-에톡시 프로피오네이트)	
41 Ethylene(에틸렌)	

웨이퍼 가공라인	칩 조립라인
42 Ethylene glycol(에틸렌글리콜)	(1-메톡시-2-프로필아세테이트, or 프로필렌글리콜모노메틸에테르아세 테이트)
43 Fluorine(불소)	36 Mold cleaner(금형세정제)
44 gamma-Butyrolactone (감마-부티로락톤)	37 Nitric acid(질산)
45 Heavy aromatic solvent(중질 방향족 솔벤트)	38 Phenol(페놀)
46 2-Heptanone (Methyl-n-amyketone)(2-헵타논)	39 Phenolic resin(페놀수지)
47 Hexafluoro-1,3-butadiene (헥사플루오로-1,3-부타디엔)	40 Piperazine(피페라진)
48 Hexafluoroethane(헥사플루오로에탄)	41 Polyethylene glycol(폴리에틸렌글리콜)
49 HMDS(헥사메틸디실라잔)	42 Polyethylene-polypropylene glycol (폴리에틸렌-폴리프로필렌 글리콜)
50 Hydrogen(수소)	43 Potassium hydroxide(수산화칼륨)
51 Hydrogen bromide(브롬화수소)	44 Solvent naphtha(솔벤트나프타)
52 Hydrogen chloride(염화수소, 염산)	45 Sulfuric acid(황산)
53 Hydrogen fluoride(불화수소, 불산)	46 Tetrachloroethylene (테트라클로로에틸렌)
54 Hydrogen peroxide(과산화수소)	47 Tetrahydrofuran (테트라하이드로퓨란)
55 Hydroxyl amine(히드록실아민)	48 Tetramethyl ammonium hydroxide (TMAH)(수산화테트라메틸암모늄)
56 Isopropyl alcohol(IPA) (이소프로필알콜)	49 Tin(II) methanesulfonate (주석메탄설포네이트)
57 Methane(메탄)	50 Tin(Sn)(주석)
58 1-Methoxy-2-propanol(PGME) (1-메톡시-2-프로판올 or 프로필렌글리콜모노메틸에테르)	51 Toluene(톨루엔)
59 1-Methoxy-2-propyl acetate(PGMEA)(1-메톡시-2-프로필아 세테이트 또는 프로필렌글리콜모노메틸에테르아세테 이트)	52 Trichloroethylene(트리클로로에틸렌)
60 2-Methoxy-1-propano (β -PGME (2-메톡시-1-프로판올)	53 Xylene(크실렌)
61 2-Methoxy-1-propyl acetate (β -PGMEA)(2-메톡시-1-프로필아세테 이트)	
62 Methyl-2-hydroxy isobutyrate(메틸-2-히드록시이소부티레 이트)	

웨이퍼 가공라인	칩 조립라인
63 Methyl-3-methoxy propionate(MMP) (메틸-3-메톡시프로피오네이트)	
64 1-Methyl-2-pyrrolidinone(NMP) or N-Methyl-2-pyrrolidone(1-메틸-2-피롤리디논)	
65 Nitric acid(질산)	
66 Nitric oxide(Nitrogen monoxide)(일산화질소)	
67 Nitrogen trifluoride(삼불화질소)	
68 Nitrous oxide(아산화질소)	
69 Novolak resin(노보락수지)	
70 Octafluoro cyclobutane(옥타플루오로 사이클로부탄)	
71 Octafluoro cyclopenten e(옥타플루오로 사이클로펜텐)	
72 Octafluoro propane(옥타플루오로 프로판)	
73 Ozone(오존)	
74 Phosphine(포스핀)	
75 Phosphoric acid(인산)	
76 Phosphorus oxychloride(옥시염화인)	
77 Polyethylene glycol 폴리에틸렌글리콜)	
78 Polyhydroxy styrene derivatives (폴리히드록시스티렌 유도체)	
79 Polymethacrylate (폴리메타크릴레이트)	
80 Polysilazane(폴리실라잔)	
81 Potassium hydroxide(수산화칼륨)	
82 Propylene(프로필렌)	
83 Propylene glycol dimethylether (프로필렌글리콜디메틸에테르)	
84 Silane(실란)	
85 Silica amorphous(산화규소 비결정체)	
86 Silicon tetrachloride(사염화실리콘)	
87 Sulfur hexafluoride(육불화황)	
88 Sulfuric acid(황산)	
89 Tetraethyl orthosilicate(TEOS)	

웨이퍼 가공라인	칩 조립라인
(테트라에틸오르토실리케이트) 90 Tetrakis(dimethylamino) titanium (TDMAT)[테트라키스(디메틸아미노)티 타늄] 91 Tetramethyl ammonium hydroxide (TMAH)(수산화테트라메틸암모늄) 92 Titanium tetrachloride(Tetrachloro titanium)(사염화티타늄) 93 Triethyl borate(트리에틸보레이트) 94 Trifluoro methane (트리플루오로메탄) 95 Trimethyl borate(트리메틸보레이트) 96 Trimethyl phosphate (트리메틸포스페이트) 97 Tungsten hexafluoride(육불화텨스텐) 98 Xylene(크실렌)	

1-2. LCD 디스플레이 공정별 유해위험요인

1) 디스플레이 제품종류

디스플레이는 LCD(Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Display Panel), LED(Light emitting diode), OLED(Organic Light Emitting Diode) 제품이 있으나, 현재 디스플레이 시장의 주류를 이루는 것은 LCD와 OLED 시장이다. LCD 시장은 중국의 추격으로 사업성이 점점 떨어지고 있는 추세이다. 이에 따라 국내의 LCD 사업은 점차 철수하고, OLED와 QD(Quantum Dot) 디스플레이 제품을 주력으로 생산하고 있다. LCD의 경우 스스로 발광하지 않기 때문에 후면에 백라이트를 설치하고, 전면에 액정을 설치하여 액정이 전기적 신호에 따라 빛을 통과시키거나 차단하면서 화면을 구성한다. OLED의 경우 스스로 발광하기 때문에 백라이트가 필요 없다. OLED는 TV 등 대형 디스플레이 제품과 스마트폰 등 소형 디스플레이 제품이 있다. 대형 디스플레이 중 QD의 가장 큰 특징 중

하나는 입자 크기에 따라 나타나는 색상이 다르다는 것이다. 같은 조성으로 된 QD를 만들더라도 크기에 따라 서로 다른 색상을 나타낸다. 현재 제품화 되어 있는 QD는 외부로부터 빛(photon, 광자)의 형태로 특정 파장의 에너지가 주입되어 QD가 빛을 내는 ‘광 발광(PL; Photoluminescence)’ 형태의 제품이다. 이는 푸른색의 광원을 QD 입자로 쬐 주어 빨간색, 초록색 등의 빛을 내는 색 변환 물질로써 QD를 이용하는 방법으로 비교적 조절이 용이하기 때문이다. 국내에서 디스플레이 패널을 제조하는 회사는 LG디스플레이와 삼성디스플레이 2개 회사밖에 없다. 이들 회사에서 패널을 제조할 때 본질적으로 유해한 NF₃, SF₆, SiH₄ 등 다양한 독성가스와 다양한 유기화학 용매를 사용한다. 국내 주력 디스플레이 제품인 OLED 패널공정에 관한 연구는 아직 국내에 알려지지 않고 있다. 이에 대한 추가연구가 필요하다.

2) LCD 디스플레이 제조공정

[그림 1-20]과 같이 LCD 제조라인은 크게 TFT 유리 기판 및 CF 유리 기판에 설계패턴을 완성하고 액정을 주입하여 합착하는 가공(Fabrication, Fab) 라인과 합착한 유리 기판에 편광판이나 광원 등을 부착하여 최종 완성하는 모듈(Module) 라인으로 구분된다. OLED 제조공정은 크게 5단계 [LTPS] → [증착(Evaporation)] → [봉지(Encapsulation)] → [셀(Cell)] → [모듈(Module)] 순으로 진행된다. LCD의 컬러필터, 액정주입, 백라이트유닛 단계는 필요 없다.



[그림 1-20] LCD 공정과 OLED 공정과 비교

3) LCD 공정별 유해인자

(1) 결정화(박막트랜지스터) 공정

TFT 공정은 유리 기판에 절연막 또는 금속을 얇게 도포하고 증착을 끝낸 유리 기판위의 이물질을 제거한 후 자외선에 민감하게 반응하는 감광물질(Photo Resistor, PR)로 막을 형성시킨다. 그런 다음, 감광액 코팅이 끝난 유리 기판에 원하는 마스크 패턴을 띄워 자외선을 노광시키면, 자외선을 받은 부분은 연해지고, 받지 않은 부분은 감광액의 코팅 상태를 유지하도록 현상된다. 그리고 자외선을 받지 않은 부분, 즉 감광액이 코팅된 부분을 식각할 때는 두 가지 방식이 있다. 하나는 반도체와 절연체인 경우 플라즈마(아르곤, 산소와 같은 가스상 물질에 에너지를 가하여 이온화된 상태의 기체)를 이용하는 건식 식각(Dry etching) 방식과 다른 하나는 금속막의 경우 용제를 사용하여 식각하는 습식 식각(Wet etching) 방식이 있다. 마지막으로 남아있는 PR을 용제를 이용하여 박리한 후 이상 유무를 확인한다.

가) 세정공정

○ 공정 개요

TFT 공정에서 단위공정별로 가장먼저 이루어지는 공정이 세정공정으로 다음 공정인 증착공정 전에 유리 위에 묻은 이물질을 제거하는 공정이다. 세정작업은 유리 기판이 투입되면 먼저 자외선을 이용하여 유기물 및 이물질을 제거하고 제거방식에 따라 UV 대신 AP(Atmospheric Pressure) 플라즈마를 이용할 수도 있다.

○ 유해요인의 노출

세정공정에서는 여러 종류의 화학물질이 사용되고 있으며 TFT공정의 세정공정에서는 보통 탈이온 수(Deionized water, DI)만을 사용하거나 아세톤이 사용되며 사업장에 따라서는 0.4% 정도의 수산화테트라메틸암모늄(Tetramethyl Ammonium Hydroxide, TMAH)을 사용하여 닦아낸 후 다시 DI를 이용하여 마무리하는 경우도 있다. 특히, 유지보수(Preventive Maintenance, PM)작업 시 장비 내의 잔류물질 또는 이물질을 충분히 배출시키지 못한 상태에서 설비챔버를 열면 오존(O₃)과 같은 부산물이 외부로 누출 및 확산되어 근로자에게 노출될 수 있다.

나) 증착공정

○ 공정 개요

물리적 기상증착(Physical Vapor Deposition, PVD) 공정에서는 인듐, 주석, 이산화티타늄, 산화아연, 알루미늄, 구리 등이 사용되며 진공환경에서 고에너지를 이용하여 물리적인 방법으로 유리 기판 위에 원하는 물질의 박막을 형성하는 공정으로 스퍼터링(Sputtering), 전자빔 등의 방식이 있다. CVD 공정에서는 유리 기판위에 박막을 형성시키기 위해 실란, 삼불화질소, 암모니아, 포스핀 등의 화학물질들을 사용하여 화학적 반응을 일으킨다(박승현 & 정은교, 2012).

화학적인 반응 또는 물리적인 방법으로 유리 기판위에 박막을 형성시키는 공정으로 물리적 방법에 의한 금속막 형성작업은 스퍼터(Sputter) 방식에 의한 증착방법에 의해, 화학적 방법에 의한 절연막 또는 반도체막 형성은 화학기상 증착(Chemical Vapor Deposition, CVD) 방법을 이용하고 있다. 스퍼터 공정은 진공상태에서 알루미늄, 몰리브덴 등과 같은 금속판에 플라즈마를 가하여 금속 입자를 유리 기판에 증착시키는 공정이다

○ 유해요인의 노출

증착공정은 여러 가지 가스상 물질들의 화학반응을 통해 다양한 부산물이 발생할 수 있는데, 수소를 비롯하여 염화수소(Hydrogen chloride), 불화수소(Hydrogen fluoride) 등이 발생하는 것으로 알려져 있다. 증착장비에서 일상적인 운전작업을 수행하는 동안에는 화학물질의 노출 가능성은 낮을 것으로 판단되나, 세정 및 부품교체 등을 하는 PM작업시에는 챔버를 열때 설비내에 잔류하고 있는 가스상물질이나 부산물 등에 노출될 수 있다. 스퍼터 공정에서는 ITO 박막필름 코팅을 위해 갈륨이철(Gallium sesquioxide), 삼산화 디인듐(Diindium trioxide), 산화아연(Zinc oxide), 주석디옥사이드(Tin dioxide), 알루미늄(Aluminium), 몰리브덴(Molybdenum), 티타늄(Titanium), 구리(Copper) 등이 사용되고 있었다.

TFT 공정에서 인듐주석산화물에 노출될 수 있는 장소는 증착공정으로 스퍼터가 작업 중에는 진공상태를 유지하고 있어 인듐에 노출될 확률은 매우 적으나 ITO표적 교체 및 정비 작업 등에서는 작업자가 인듐에 노출될 가능성을 가지고 있다.

다) 포토공정

○ 공정 개요

포토공정(Photolithography)은 유리 기판에 UV를 이용하여 설계된 회로패턴을

구현하는 공정을 말한다. 포토공정에서는 감광성질을 가지고 있는 감광액을 코팅한 후, 설계된 마스크 패턴에 따라 자외선을 조사하여 전기회로를 제작한다. TFT의 포토공정에서는 감광액 코팅전에 먼저 유리 기판의 이물질을 제거하는 세정공정이 있으며 탈이온수만을 사용하거나 추가적으로 UV 또는 플라즈마를 이용하여 이물질을 제거하고 있다.

한편 UV로 노광하기 전에 감광액을 유리 기판에 코팅하여야 하는데 크기가 작은 유리 기판을 가공할 경우에는 스핀방식으로 코팅을 하고 있으나 최근에도 도입된 생산공정은 유리 기판의 크기가 크기 때문에 스핀방식보다는 슬릿 코팅 방식으로 감광액을 코팅하고 있다. 스핀방식인 경우 감광액을 도포한 후에는 사전에 건조 오븐에서 약 100℃ 로 가열하여 감광액의 유기용제 성분을 휘발시킨다. 현재 포토공정에서 노광을 하기위해 사용하고 있는 자외선은 수은램프를 이용하여 공급하고 있으며 UV파장의 범위는 300~450 nm이었다. 노광 후에는 수산화테트라메틸암모늄과 같은 현상액을 이용하여 회로패턴을 만들어 내고 있었다. 현상장비는 하부에 롤러를 이용하여 유리 기판을 이동시키면서 상부에서 현상액을 분사하는 구조로 되어 있다. 현상이 완료된 유리 기판은 건조공정에서 200℃ 정도의 고온 열풍으로 감광액 성분을 가열하여 경화시킨다.

○ 유해요인의 노출

포토리지스트 성분에 함유된 유기용제의 휘발로 인해 노출될 수 있고 현상액을 분사한 후 기판에 고르게 코팅하는 과정에서 휘발되는 유기용제 등에 노출될 수 있으며 용액을 보충하거나 PM작업을 위해 포토장비의 도어를 개방하는 경우 유기용제 등 잔류물질에 노출될 수 있다. 또한, 여러 부속의 세척, 부품 교체, 그 밖의 정비 및 보수 작업과정에서 잔류 물질, 세척액, 폐액 등에 노출될 수 있다.

자외선을 방출하는 노광작업에서 수지나 감광성 물질의 분해로 인하여 오존(O₃)과 같은 부산물이 발생할 수 있고 자외선(UV)에 노출될 수 있다. 노즐(Nozzle)세정시에는 메틸 3-메톡시 프로피오네이트, 초산부틸, 프로필렌글리콜모

노메틸 에테르 등이 사용되며 포토공정에서 감광제로는 1-[2-(2-메톡시에톡시)에톡시]부탄, 디에틸렌글리콜 에틸메틸에테르, 메틸 3-메톡시 프로피오네이트, 벤질알콜, 크레졸, 페놀 포름알데히드 수지, 프로필렌 글리콜모노메틸에테르 (PGME), 수산화테트라메틸 암모늄, 탈이온수 등이 사용되고 있었고 도포제로는 헥사메틸 디실라잔(Hexamethyl disilazane), 정제 및 현상액으로는 탈이온수와 수산화테트라메틸 암모늄을 사용하고 있었지만 사용설비는 밀폐구조로 자동화되어 있어 정상작업 시에는 노출이 극히 낮거나 거의 없었다.

라) 식각공정

○ 공정 개요

식각공정은 포토공정에서 현상이 끝난 감광막 밑에 성장 또는 증착시킨 박막들을 공정상 필요로 하는 목적에 따라 선택적으로 제거하는 공정을 말한다. 식각작업은 회로패턴을 형성시켜 주기 위해 화학물질을 이용하여 필요 없는 부분을 선택적으로 제거시키는 습식식각과 반응성 가스를 사용하여 불필요한 부분을 제거시키는 건식식각으로 나뉘어진다. 감광막에 덮여져 있는 부분은 식각하는 과정에서 보호를 받아 남아 있고 반대로 노출된 부분은 식각되어 제거된다. 금속막의 경우는 용제를 사용하는 습식 식각(Wet etching), 반도체와 절연체는 플라즈마를 이용하는 건식 식각(Dry etching)을 이용한다(한국디스플레이 연구조합, 2016).

습식식각은 식각하고자 하는 박막과 화학반응을 하여 용해될 수 있는 화학물질을 이용하여 식각하는 방법으로 어떤 종류의 산화막이든지 주로 불산에 녹는 성질을 이용하여 식각하는 방법이다. 불산이 수용액 중에서 해리되면 하이드로늄(Hydronium)과 불소(Fluoride)로 분해되며 반응이 진행되면서 하이드로늄 농도가 증가되어 식각속도를 변하게 만든다. 이와 같은 현상을 막기 위해 불화암모니아(Ammonium fluoride)를 첨가하여 식각속도를 일정하게 유지시킨다. 첨가된 불화암모니아는 암모니아와 불소로 해리되며 해리된 불소는 식각반응에

작용한다.

건식식각은 특정한 가스를 두 전극사이에 넣고 주변에 강한 전기장을 주입시키면 전기적인 충격에 의해 가스자체가 이온화된다. 이때 이온화된 가스원자는 반응성이 매우 커서 식각재료로 사용된다. 이 과정에서 발생된 불소는 식각하고자 하는 박막상의 원자들과 반응하여 부산물인 불화실란 및 산소기체를 발생시킨다.

○ 유해요인의 노출

습식 식각공정에서 PM작업을 하거나 습식 식각설비의 배관 등을 점검하는 과정에서 염산, 불산, 황산 등 산·알칼리에 노출될 수 있다. 그리고 건식 식각공정에서는 각종 부속의 세척, 부품 교체, 그리고 정비작업 과정에서 포스핀, 염소, 암모니아 등 잔류가스, 오존과 같은 부산물 등에 노출될 수 있다.

습식 식각공정에서는 5-아미노-1H-테트라졸, 초산, 불화암모늄, 이플루오르화암모늄, 구연산, 황산구리, 과산화 황산암모늄, 염화수소, 메탄술폰산, 질산, 인산, 황산나트륨, 황산, 탈이온수 등이 에칭제로 사용되며 건식 식각공정에서는 삼염화붕소, 염소, 헬륨, 산소, 육불화황, 테트라 플루오로메탄, 트리 플루오로메탄 등이 에칭제로 사용되고 있었다.

마) 박리공정

○ 공정 개요

박리공정은 식각공정에서 설계패턴을 완성한 후 유리 기판에 도포된 감광액 성분을 제거해 주는 공정이다. 박리용액으로는 에틸렌글리콜이나 에탄올아민 등이 주로 사용된다. 박리 방식은 포토공정의 현상장비 또는 습식식각공정의 식각장비처럼 설비내부 하단에 있는 롤러를 통해 이동하는 유리기 판에 박리액을 분사하면서 박리가 이루어진다.

○ 유해요인의 노출

박리공정에서는 박리 및 세정을 위해 에틸렌글리콜, 1-메틸-2-피롤리디논, 에탄올아민, N- 메틸 포름아미드, 카르비톨, 탈이온수 등에 노출될 수 있다. 그러나 화학물질을 사용하는 박리설비들은 밀폐구조로 자동화되어 있어 정상작업 시 노출은 매우 낮거나 거의 없을 것으로 판단되었다.

(2) 컬러필터 공정

블랙매트릭스(Black Matrix, BM)가 형성된 유리 기판 위에 염료나 안료를 사용하여 R(Red), G(Green), B(Blue)의 컬러필터(Color Filter, CF)층을 제작하여 공통 전극용 ITO를 형성하는 공정을 말한다. 색깔의 한 화소를 표현하기 위해 R, G, B의 세 가지 색이 필요하며 이 화소들을 구분하는 선을 BM이라 한다. ITO는 투명한 도체로 액정화소의 동작 구현을 위한 화소전극을 만드는데 사용되는 재료이다.

가) 세정공정

○ 공정 개요

TFT 공정의 세정공정과 같이 다음에 진행되는 증착공정 전에 이물을 제거하는 공정이다. TFT 세정과 같이 세정작업은 유리 기판이 투입되면 자외선이나 플라즈마를 이용하여 유기물을 제거한다. 그리고 세정작업을 하려면 많은 화학물질이 사용될 수 있으나 최근에는 DI만을 사용하고 있고 사업장에 따라서 0.4% 정도의 TMAH 용액을 이용하여 세정한 후 초순수(DI)로 최종 마무리 세척을 한다.

○ 유해요인의 노출

컬러필터공정의 세정공정에서는 포토레지스트를 코팅하기 전에 이물질을 제거하기 위해 자체적으로 세정설비가 갖추어져 있다. 유리 기판이 투입되면 먼저 자외선용 제거기(UV asher)를 통해 화학물질을 제거하고 그런 다음 DI로 세정을 하거나 오염정도에 따라 수산화칼륨 및 수산화나트륨 용액으로 세정한다.

그리고 사업장에 따라서 0.4% 정도의 TMAH 용액, 알콜류의 폴리에틸렌글리콜 트리메틸에테르, 디에틸렌글리콜모노부틸에테르, 계면활성제 등을 이용하여 세정을 하고 DI(초순수)로 최종 마무리 세정을 하는 경우도 있다.

노즐(Nozzle) 세정시에는 무색의 달콤한 냄새가 나는 PGME, PGMEA 등의 인화성 액체에 노출될 수 있다.

나) 증착공정

○ 공정 개요

형성시키려는 박막재료의 가스나 화학물질을 유리 기판 위에 공급하여 표면에서의 화학적 반응을 통해 박막을 만드는 공정으로 박막의 성격에 따라 스퍼터 공정을 진행하거나 제외할 수도 있다.

○ 유해요인의 노출

컬러필터 공정의 증착공정에서는 ITO 등 금속 표적(Target)을 사용한 스퍼터링 방식으로 유리 기판에 증착한다. ITO는 투명전극으로 사용하기 위한 물질이고 블랙매트릭스(BM)의 형성을 위해서는 과거에 크롬이 사용되었으나 지금은 포토공정에서 카본블랙에 의한 유기 BM방식을 사용하고 있었다. 이들 화학물질을 사용하는 증착설비들은 밀폐구조로 자동화되어 있어 정상작업 시 노출은 매우 낮거나 거의 없을 것으로 판단되었다.

다) 포토(Photolithography)공정

○ 공정 개요

TFT 공정에서와 마찬가지로 유리 기판에 도포된 감광액에 자외선이나 전자빔을 입사하여 사진원판(마스크)상의 전자회로도를 정밀하게 기판위에 투영하여 옮겨놓는 공정이다. 다만, CF의 포토공정이 TFT 공정과 다른 것은 유리 기판위에 컬러를 표현하기 위해 빛의 삼원색인 적색, 녹색, 하늘색의 RGB(Red, Green, Blue)와 검정 색깔의 안료가 감광액의 원료로 사용된다는 것이다. 여기

서 검정색의 BM은 삼원색 R,G,B를 구분하기 위한 칸막이 역할을 한다.

컬러필터의 포토공정에서는 TFT 공정처럼 먼저 기판을 잘 세척하고 오염물을 제거한 다음, 포토레지스트용액을 떨어뜨려 기판을 1,000 rpm 속도로 회전시키면서 약 1 μm 두께의 막으로 만들어 그 위에 투명부와 불투명부가 있는 마스크를 놓고 자외선을 수초간 조사시켜 포토레지스트에 광화학 반응이 일어나게 한다. 그런 다음 불용화 부분은 남기고 가용화 부분은 현상액으로 제거한 다음 린스액으로 정착시킨 후 남아있는 포토레지스트를 고착화하기 위해 고온에서 30분 정도 가열처리한다.

○ 유해요인의 노출

컬러필터 공정의 포토공정에서는 감광제로 초산부틸, 시클로헥사논, PGME, PGMEA, 디 프로필렌글리콜메틸에테르, 2-부톡시에탄올, 디아세톤 알코올, 카본블랙, 니켈 등 금속안료, 폴리에틸렌테탈크릭수지 등이 사용되고 있었으며 정제 및 현상액으로는 탈이온수, 수산화칼륨(Potassium hydroxide), 수산화테트라메틸암모늄 등이 사용되고 있었다. UV를 사용할 때 부산물로 오존(O₃)이 발생할 수 있다.

(3) 액정공정

액정(Liquid Crystal, LC) 공정은 TFT 공정과 컬러필터공정에서 가공된 각각의 유리 기판에 배향막을 인쇄하고 액정을 주입한 후 두 개의 유리 기판을 합착하여 패널(Panel) 단위로 절단하는 공정을 말하며 셀(Cell)공정이라고도 부른다. 세정공정, 배향공정, 러빙공정, 액정주입공정, 절단 및 연마 공정 등으로 구성되어 있다.

가) 배향 및 러빙 공정

○ 공정 개요

배향공정으로 가기 전에 먼저 세정제와 탈이온수를 이용하여 유리표면의 이물질을 세정한다. 세정작업 순서는 먼저 유리 기판이 투입되고 박리용액, 이소프로필알콜(Iso Propyl Alcohol, IPA), 중성세제 등 화학물질로 약액세정하고 또 탈이온수로 세척한 다음 자외선(UV)이나 AP 플라즈마를 이용하여 유기물 등을 최종 제거하는 과정을 거친다.

배향막 인쇄공정은 유리 기판에 배향막인 폴리이미드(Polyimide, PI)를 유리기판위의 필요한 부분에만 도포하는 공정을 말한다. 도포하는 방법은 회전(Spinning), 함침(Dipping), 롤러코팅(Roller coating) 등 몇 가지 방법이 있는데 주로 롤러코팅 방법을 사용한다. 배향공정은 다시 인쇄, 건조, 소성 등의 단위공정으로 분류되는데, 폴리이미드와 유기용제가 혼합된 배향액을 일정 두께로 인쇄한 후 오븐(Hotplate)에서 230℃의 온도로 130초 정도 가열하여 배향액의 유기용제를 휘발시켜 건조한 다음 배향막을 고형화하기 위해 오븐에서 130℃의 온도 및 2,000초 정도의 시간으로 소성처리를 한다.

러빙(Rubbing) 공정은 배향막 위를 일정한 힘과 속도, 방향으로 천(Rubbing cloth)으로 문질러 주면 끈이 생겨, 액정이 배향될 수 있게 만드는 공정이다(한국디스플레이연구조합, 2017). 즉 액정의 원활한 구동 방향 및 각도를 형성시키기 위해 배향막 표면에 끈을 내는 공정을 말한다. 액정이 배향되도록 약 6,500~7,000 rpm으로 고속회전하는 러빙포가 감겨 있는 롤러에 배향막이 코팅된 유리 기판을 통과시킨다.

○ 유해요인의 노출

배향공정 전에 유리표면에 묻은 이물질을 제거하기 위해 세정제로는 에틸렌글리콜, 에탄올아민, 수산화테트라메틸암모늄, IPA, 탈이온수 등이 사용되고 있으며 배향액으로는 1-부톡시-2-프로판올, 1-메틸-2-피롤리디논, 다이 에틸렌글리콜, 2-부톡시에탄올, 에탄올 등이 사용되고 있었다. 1-부톡시-2-프로판올은 인화성 액체이고 1-메틸-2-피롤리디논 및 다이 에틸렌글리콜은 무취의 점성 액

체이다. 2-부톡시에탄올은 무색의 달콤한 냄새가 나는 인화성 액체이다. UV를 사용할 때 부산물로 오존(O₃)이 발생할 수 있다.

나) 액정적하, 합착, 절단, 연마 및 액정주입 공정

○ 공정 개요

액정 적하공정에서는 한쪽 유리 기판에는 액정이 흘러나오지 않도록 실런트(Sealant)를 도포하고 다른 쪽의 유리 기판에는 액정을 적하(Dropping)하는 공정이 있다. 사업장에서는 실런트의 도포를 밀봉(Seal) 도포라고 부르고 있다. 종종 실런트는 컬러필터 유리 기판에 도포하고 액정은 TFT 기판에 떨어뜨리는데 그 반대로 이루어질 때도 있다. 실런트는 액정이 새는 것을 막아주기도 하지만 두 개의 유리 기판 사이에 간격을 형성시켜 주는 역할도 한다. 그래서 사업장에 따라 이 공정을 GAP이라고 부르기도 하며 어떤 경우에는 ODF(One Drop Filling)이라고 부르기도 하는데 이는 액정을 적하하여 주입하는 공정이라는 뜻이다. TFT 유리 기판과 CF 기판 사이에 일정 간격을 유지하기 위해 스페이서(Spacer)를 산포하게 된다. 스페이서는 보통TFT 기판에 산포하는데 LCD패널의 액정층 두께를 일정하게 유지하기 위하여 설계된 것으로 실리카(Silica) 또는 염료알갱이로 구성된다. 실런트 도포 및 액정적하 후에는 진공상태에서 두 기판을 합착하며 이후에 UV를 조사하여 실런트를 광(Light) 경화시켜준 후 오븐에서 120℃의 온도에서 3,000초 정도 건조시켜준다(김기웅&정은교&박승현, 2016).

인쇄 및 산포가 완료된 TFT 및 CF 기판은 정밀하게 합착시킨다. 다음에는 합착이 완료된 유리 기판을 패널(Panel) 단위로 자르는 절단공정과 모서리(Edge) 부분을 마무리해주고 정전기 방지회로인 쇼트바(Shorting bar)를 제거해주는 연마공정으로 나누어진다. 연마작업 전에 레이저를 이용해 트리밍(Trimming) 작업을 해주는 경우도 있다. 액정공정의 마지막 공정인 액정주입공정은 셀 내부에 액정을 주입하고 주입구를 봉지제로 봉합하는 공정이다.

○ 유해요인의 노출

액정공정의 액정충진재료는 1-메틸-2-피롤리디논, 2-부톡시에탄올, 감마 부티로락톤 등이 사용되고 실런트로는 산화규소, 고분자화합물 등이 사용되고 있으며 스페이서로는 니켈, 금, 디비닐벤젠폴리머 등이 사용되고 있었다. 두 기판을 합착한 후 이물질을 제거하는 데는 이소프로필알콜 등을 세정제로 사용하고 있었다. UV를 사용할 때 부산물로 오존(O₃)이 발생할 수 있다.

(4) 모듈공정

모듈라인은 LCD 패널 완제품을 만들기 위한 마지막 공정으로 액정공정에서 만들어진 패널에 편광판(Polarizer)과 인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB), 후광등 장치(Back Light Unit, BLU) 등을 부착하는 최종단계의 공정을 말한다. 모듈공정은 단위 부품을 하나의 LCD 모듈로 조립하는 공정으로 액정공정에서 합착되어 절단된 패널에 편광판을 부착한 다음 PCB와 후광등을 연결한 후 최종 검사하는 공정이다.

가) 세정공정

○ 공정 개요

단위 공정에 앞서 먼저 탈이온수, 아세톤 등을 이용하여 이물질을 제거한다. LCD 공정에서 세정공정은 부품의 불량률 최소화를 위해 매우 중요시되는 공정중 하나이다.

○ 유해요인의 노출

패널이 다음공정으로 가기 전에 먼저 세정을 하는데, 세정제로는 에탄올(Ethanol), 아세톤(Acetone), 폴리에스터 수지(Polyester resin) 등이 사용되며 노즐세정제로는 1-메틸-2-피롤리디논, 에틸시클로헥산, 데카 히드로 나프탈렌 등이 사용되고 있었다.

나) 편광판 부착공정

○ 공정 개요

패널에 편광판을 부착하는 공정이다. 보통은 편광판을 롤러에 먼저 부착한 다음, LCD 패널을 이동하면서 롤러 표면의 편광판을 패널에 부착한다. 박막트랜지스터(TFT)와 컬러필터 유리 기판에 각각 편광판을 부착하는데 고압멸균기(Autoclave)에서 열처리를 하여 편광판의 접착력을 튼튼히 하고 기포를 제거한다. 가압 열처리는 0.35 MP, 50°C에서 3분가량 실시한다. 일반적으로 상하단의 편광판은 90도 교차되게 설계한다.

○ 유해요인의 노출

편광판을 패널에 부착하는 과정에서 은 반죽(Ag Paste)을 할 때 아세틸아세톤(Acetylacetone), 은(Silver) 등이 사용되고 있었으며 솔더링(Soldering) 작업을 할 때 은, 주석(Tin) 및 구리(Copper) 등과 같은 금속을 사용하고 있었다. 이들 물질의 사용은 밀폐된 구조의 설비 내에서 이루어지고 있었다.

다) PCB 부착공정

○ 공정 개요

LCD 패널에 Driver IC칩을 접착한 후 다시 PCB 기판에 붙이는 공정이다. 사업장에서는 LCD 패널에 Driver IC칩을 접착하는 것을 OLB(Outer Lead Bonding) 또는 COG(Chip on Glass) 라고 부른다. OLB라는 뜻은 LCD 패널 외부에 리드선을 부착하는 기술을 말하고 COG라는 것은 LCD 패널위에 IC 칩을 포장하는 기술을 말하는 것으로 두 가지 모두 LCD 패널을 작동하기 위해 전기회로를 연결하는 것을 말한다. LCD 패널과 Driver IC 칩과의 접착을 위해서는 이방성 도전성 필름(Anisotropic Conductive Film, ACF)을 이용하는데 압착할 때 ACF내에서 도전 볼(Ball)이 터지면서 통전이 된다. 그런 다음 LCD 패널에 접착

된 IC 칩은 다시 PCB 회로기판과 연결되고 이후 광원인 BLU(Back Light Unit)와 결합되며 검사를 거쳐 최종 제품이 생산된다.

○ 유해요인의 노출

모듈라인의 PCB 부착공정에서는 잉크제, 도포 및 경화제 등과 같은 화학제품이 사용되고 있었다. ACF의 세정제로는 디메틸 카보네이트(Dimethyl Carbonate, DMC)가 사용되고 있는데 이것은 맹독성물질인 포스젠(Phosgene)의 대체물질로 개발된 인화성 액체이다. 배면 도포제로는 초산부틸, 메틸시클로헥산, 에틸시클로헥산, 2-메틸-4'-(메틸 티오)-2-모르폴리노 프로피오 페논, 펜타에리스리톨 트리아크릴 레이트, 2-프로페노익산 아이소데실 에스테르, 아이소보닐 아크릴산염 등이 사용된다. 접착후 빨리 굳게하기 위해 디펜타 에리트 리톨 헥사 아크릴레이트, 도데실 아크릴레이트, 이소 보닐 아크릴레이트 등과 같은 경화제가 사용되었다. 이들 물질의 사용은 밀폐된 구조의 설비내에서 이루어지므로 정상작동시에 노출은 매우 낮은 수준이었다.

4) LCD 제조공정의 물리적 인자 정보

LCD제조업의 전체공정에서 노출될 수 있는 물리적 인자, 특히 전리 및 비전리 방사선의 종류 및 발생원은 <표 1-10>과 같다.

<표 1-10> LCD 제조공정의 노출가능 전리 및 비전리 방사선

전자기파의 종류	엑스선	레이저	자외선	라디오파	라디오파 극저주파
발생공정	TFT의 포토, 건식식각; CF의 포토; LC의 러빙, 배향,	모듈의 패널 절단작업	TFT의 세정, 포토, 습식식각; CF의 세정, 포토; LC의 러빙,배	TFT 및 CF의 화학 기상증착(CVD), 건식 식각(Dry etch)	공정 전체 (TFT, CF, LC, 모듈)

전자기파의 종류	엑스선	레이저	자외선	라디오파	라디오파 극저주파
	액정적하; 모듈의 편광판 부착		향, 액정적하; 모듈의 편광판 부착, TAB 부착		
발생원	이오나이저	레이저 절단기 (Laser Glass Cutting Machine)	세정기, 노광기, 식각장비, 검사장비, Tilter, Filter, Edge exposure, 배향기, 경화기	CVD 및 Dry etch 장비	전기가 통전되는 생산설비 및 장치
사용목적	정전기 제거	LCD 패널 절단	먼지 및 이물질 제거	플라즈마 사용을 위한 주파수 증폭	LCD 패널 제조
발생실태	공정별 이오나이저 설치대수에 따라 노출선량의 크기가 다름	-에너지, 방사위치 등에 따라 차이가 있음 -밀폐구조로 경고표시 부착	-에너지, 밀폐구조 등에 따라 차이가 있음 -경고표시 부착	증폭에너지, 격리 및 차폐구조에 따라 차이가 있음	전기설비의 전류, 에너지 및 차폐정도 등에 따라 노출선량의 크기가 다름

1-3. OLED(소형) 디스플레이 공정

1) LTPS(저온폴리실리콘)

TFT 제작공정 중 AMOLED 디스플레이를 구동하기 위한 Glass(또는 PI기판) 기반 TFT 제작방식인 LTPS(Low Temperature Poly Silicon, 저온폴리실리콘)의 제조공정(과정)이다.

디스플레이에 사용되는 TFT 공정은 3차원의 미세 공정(수um)을 수행하기 위해 현재 위와 같은 방식은 사용할 수 없다. 그래서 미세한 TFT를 제작하기 위해서는 Photo patterning이라는 방식을 사용한다. 미세한 TFT의 회로 패턴을 제작하기 위해서는 Glass(또는 PI기판) 위에 TFT 구성에 필요한 층을 ‘쌓고’, ‘깎고’ 그 위에 또 다른 층을 ‘쌓고’, ‘깎고’ 를 반복해 구성하는 식이다. 이때, 어떤 물질위에 빛을 이용하여 원하는 형태를 Pattern 하는 방식을 Photo patterning이라고 한다.

‘쌓는’ 방법은 ‘증착(蒸着, deposition)’ 을 한다고 하며 쌓으려는 물질의 종류에 따라 물리적인 방법인 PVD(Physical Vapor Deposition)와 화학적인 방법인 CVD(Chemical Vapor Deposition)의 2가지를 사용한다.

‘깎는’ 과정은 ‘식각(蝕刻, etching)’ 을 한다고 하며, 방식에 따라 가스나 플라즈마, 이온 빔을 이용하는 건식 식각과 화학약품을 사용하는 습식 식각이 있다. 그리고 증착과 식각 사이에 가장 중요한 과정으로 pattern 작업이 있는데, pattern 작업은 ‘노광(露光, lithography 또는 exposure)’ 과 ‘현상(現像, development)’ 으로 나뉜다. 우리 일상에서도 촬영한(노광) 사진을 사진관에서 현상할 때와 같이 디스플레이 제조 과정에서도 같은 원리로 이 방법을 사용한다. 이 과정들은 증착한 물질의 식각할 때 필요한 부분은 남기고, 불필요한 부분은 제거하기 위해 사용한다.

먼저 기판(substrate)을 바닥에 배치한다. 그리고 앞서 설명한 PVD 또는 CVD 방법을 활용하여 TFT의 기초가 되는 물질을 기판 위에 고르게 증착한다. 증착

이 끝나면 그 위에 PR이라는(Photo Resistor: 빛이 닿는 부분과 닿지 않는 부분이 서로 다르게 반응하는 물질) 물질을 도포한다. 그 다음 노광이라는 단계에서 원하는 패턴의 모양이 그려진 Mask를 PR 위에 가까이 댄 후 빛을 쏘아 빛을 받은 부위의 PR을 단단하게 만든다. 이후에 현상 시 현상액에 의해 노광 과정에서 Mask에 가려 빛을 받지 못했던 부분의 PR은 녹아버리게 된다. 이렇게, PR에 원하는 패턴만이 남게 되는데, 여전히 물질은 기판 전체에 모두 도포된 상태이다. 이때 식각(Etching)이라는 과정을 통해 PR이 덮여 있지 않는 부분의 물질을 모두 제거한다.

이러한 제작과정을 통해 TFT를 구성하는 적층구조를 제작하게 된다.

패터닝 과정을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

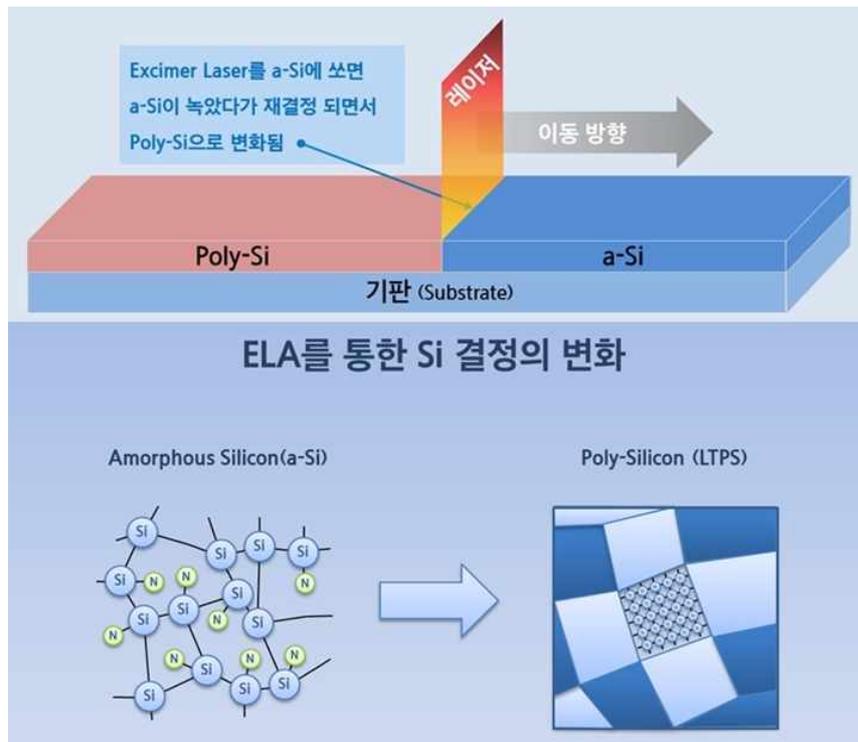
- 증착 : 회로를 그리기 위한 물질(재료)를 전체적으로 고르게 증착
- PR코팅 : 증착한 물질 중 원하는 부분만 남기기 위한 사전 절차로 PR을 코팅
- 노광 : 회로 패턴이 새겨진 MASK를 대고 빛을 쬐서 불필요한 부분의 PR에 반응시킴
- 현상 : 현상액을 투입해 노광 과정에서 빛을 받지 못한 부분을 제거
- 식각 : 식각 과정을 통해 증착했던 물질 중 PR에 덮이지 않은 부분을 제거
- PR 제거 : 원하는 물질만 남기는 역할을 모두 마친 PR은 불필요하므로 제거





[그림 1-21] 패터닝(Patterning) 과정

LTPS를 만들기 위해서는 [그림 1-22]와 같이 a-Si 기반 TFT를 레이저 등을 이용해 가공하는 과정이 필요하다. 이 과정을 통해 전자 이동도가 낮았던 비정질의 실리콘(a-Si)이 Poly-Si이 되면서 전자 이동도가 크게 높아진다.



[그림 1-22] ELA(Excimer Laser Annealing) 방식의 결정화

[그림 1-22]와 같이 ELA(Excimer Laser Annealing) 과정을 거치면 [그림 1-22]의 아래와 같이 영성한 배열의 실리콘들이 오른쪽과 같이 결정화 되면서 단결정 형태의 실리콘 군집을 형성하기 때문이다.

LTPS 제조과정을 그림과 함께 순서대로 표현하면 [그림 1-23]과 같다.

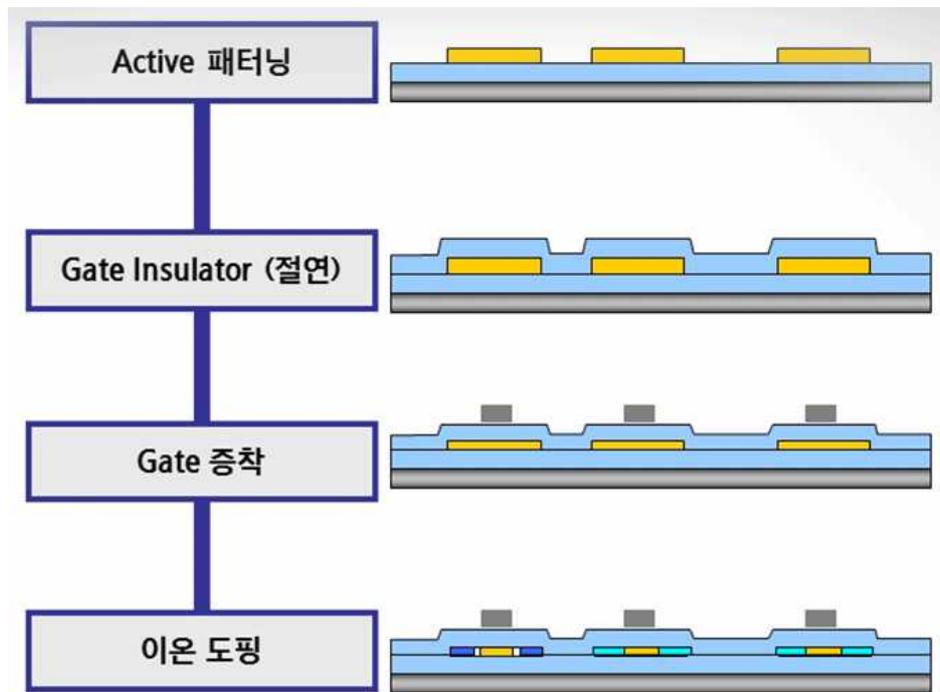


[그림 1-23] LTPS 제조과정

먼저 LTPS의 기반으로 쓸 Glass(유리 기판)를 깨끗하게 세정한다. 디스플레이는 미세공정을 거쳐 만들기 때문에 파티클이라고 불리는 아주 작은 먼지라도 치명적이기 때문에 공정과정에서 청정도가 무척 중요하다.

세정이 끝나면 Glass내의 불순물들이 후속 열처리 공정과정에서 Active층(Poly-Si 부분) 내부로 이동하는 것을 막기 위해 Buffer 층을 깔아준다. 그리고 화학적 증착 방법인 CVD를 이용해 a-Si을 증착한 후, 레이저를 이용한 결정화

과정(ELA)을 거쳐 a-Si을 Poly-Si로 변화시킨다. 이렇게 변화된 Poly-Si층은 포토리소그래피공정(이하 포토공정)을 거쳐 원하는 배선의 모양으로 만들어지며 Active층(활성층)이라고 부른다.



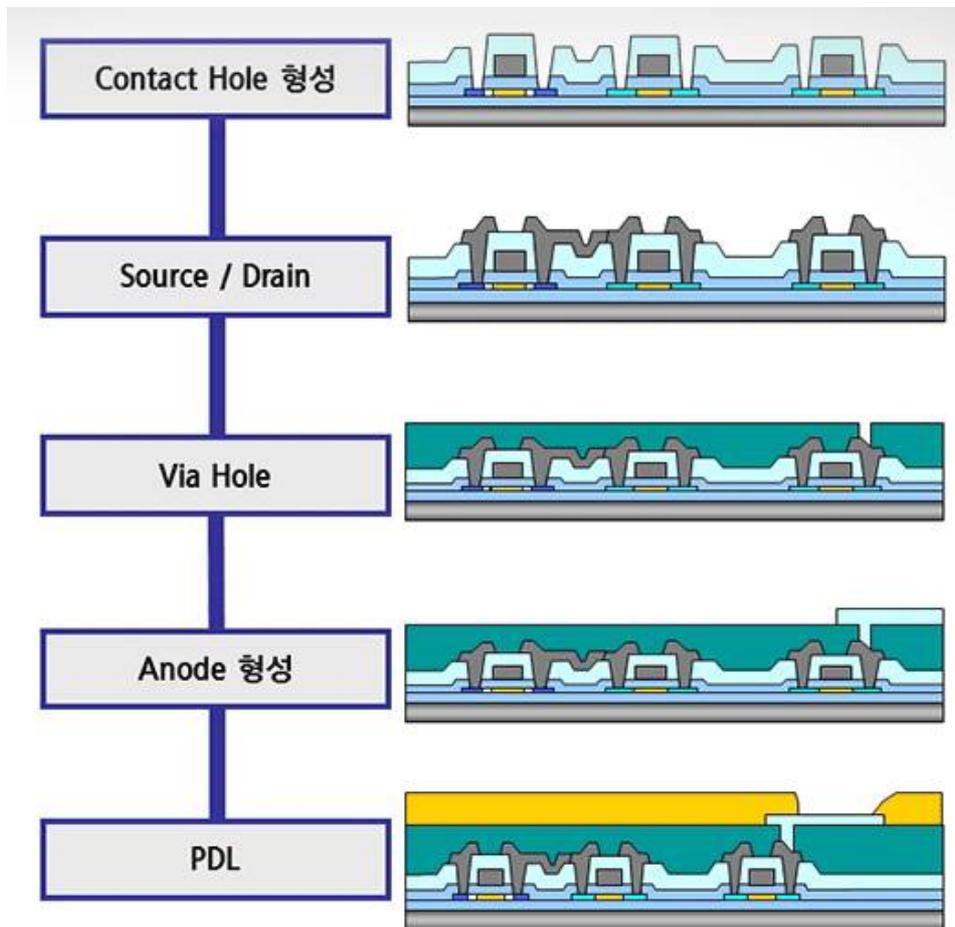
[그림 1-24] Gate 형성공정

Active층이 완성되면, 그 위에 만들 Gate층과의 절연을 위해 Gate Insulator(Gate 절연층)를 입힌다. 그리고 절연층 위에 물리적 증착(PVD) 방식인 Sputter를 이용해 Gate층을 증착하고, 다시 포토공정을 거쳐 원하는 부분의 Gate만 남긴다. Gate 구성이 완료되면, 이온 도핑을 통해 Active에 Source와 Drain을 만든다.

Gate는 전류의 흐름을 결정하는 수도꼭지와 같은 역할을 한다. Gate에 전압을 가해주면, Source와 Drain이라고 이름붙인 전극 사이에 Hole(정공)들이 모이

게 되면서, 채널(Channel)이 형성되고 Source에서 Drain쪽으로 전류가 흐르게 된다. 이렇게 흐른 전류가 각 서브 픽셀에 전달되면서 각 전류량에 따라 서브 픽셀이 각각의 밝기로 구동하게 되는 것이다.

이렇게 Source, Drain, Gate와 같은 기본 층이 모두 완성되면 다시 절연 층을 깔고, 식각을 통해 Source/Drain을 연결할 Contact Hole(연결구멍)을 만든다. 그 위에 Sputter를 이용해 Source와 Drain 전극을 증착한다.



[그림 1-25] PDL공정

그리고 Source/Drain 전극위에 절연층을 올리는데, 나중에 이 층 위에 픽셀층

을 구성하게 된다. 하지만 TFT 구조상 요철이 심하기 때문에 픽셀층을 원활히 구성하기 위해 이를 평평하게 만들어 주어야 한다. 이때 무기물에 비해 평평하게 만들기 쉬운 유기물을 사용한다. 유기 절연층이 형성되면 포토공정만으로 Via에 Contact Hole을 만들어주고 OLED의 핵심층인 유기발광층(EL층)을 구동시키기 위한 Anode전극을 증착한다.

마지막으로 각각의 R,G,B 픽셀들을 구분하기 위한 PDL(Pixel Defining Layer, 격벽재료)층을 만들고 놀림 방지를 위한 Spacer를 이어서 구성하면 LTPS 공정은 마무리 된다.

2) 증착(Evaporation)

디스플레이에서는 픽셀을 형성하는 방법을 컬러 패터닝(Color Patterning)이라고 부른다. 색의 3원색인 빨강(Red), 초록(Green), 파랑(Blue)의 서브픽셀(Sub Pixel, 보통 3개의 서브픽셀이 모여 1개의 픽셀을 구성)들을 한 치의 오차 없이 패터닝해야 원하는 화면을 디스플레이에서 정확하게 보여줄 수 있다. 자체발광 OLED 픽셀을 만드는 방법을 위해 업계에서는 여러 가지 방법이 시도되고 있지만, 현재까지 양산을 위해 가장 보편적으로 사용되는 방법은 바로 ‘증착’이다. 마이크로 단위의 OLED 미세공정에서 정밀하고 불순물이 없이 대량으로 컬러 패터닝을 할 수 있는 방법은 현재로서는 증착이 유일하기 때문이다.

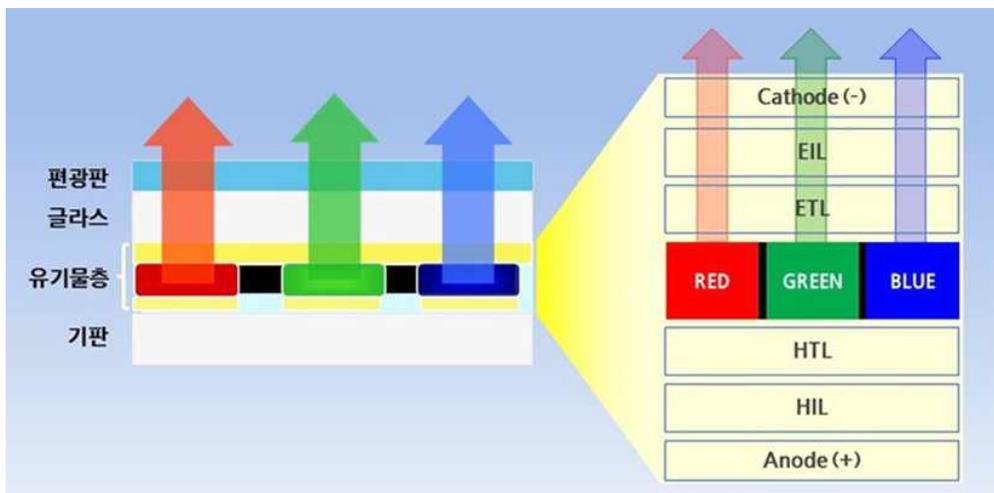
증착(Evaporation)은 OLED의 핵심공정 가운데 하나로, OLED 제조과정을 크게 5단계로 나누어 봤을 때 두 번째 단계에 해당한다.

[LTPS] → [증착(Evaporation)] → [봉지(Encapsulation)] → [셀(Cell)] → [모듈(Module)]

LTPS(저온폴리실리콘)가 빛을 내는 각각의 픽셀들을 컨트롤 하는 역할을 한다면, 증착공정은 빛과 색을 내는 자체발광 픽셀 그 자체를 만드는 작업이다.

OLED는 기판이 되는 유리판(Glass) 위에 빨강(R), 초록(G), 파랑(B)색을 내는

유기 발광층이 있고, 이 유기 발광층을 보호하기 위한 유리판(Glass)이 안전하게 덮어주는 것이 기본 구조이다. 유기 발광층을 더 자세히 들여다 보면, RGB 만으로는 빛을 낼 때 보다 발광 효율이 더 높아지도록 도와주는 HIL, ETL 등의 보조층들이 함께 구성된 모습을 볼 수 있다. [그림 1-26]과 같이 유기물 층을 구성할 때 현재 가장 많이 사용되는 방법이 바로 ‘증착’ 이다.



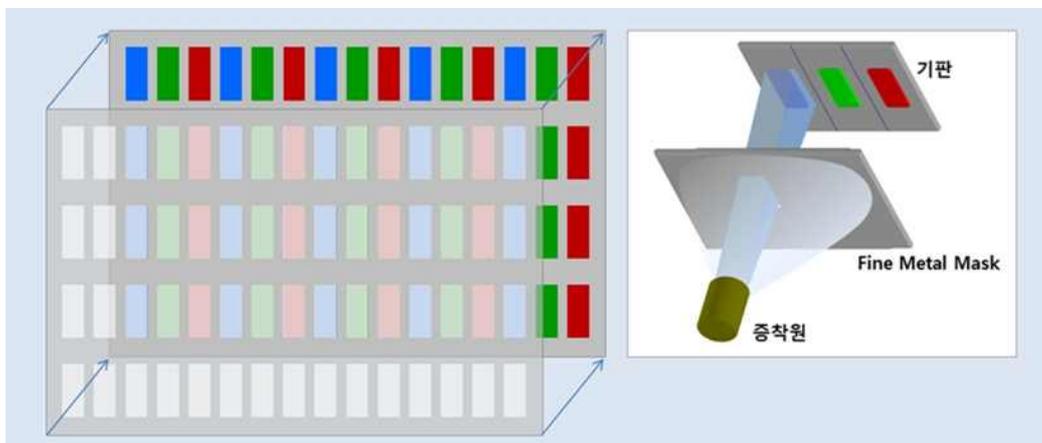
[그림 1-26] OLED 패널의 구조

증착은 증발시킨다는 개념과 유사하다. 마치 냄비에 물을 끓일 때, 수증기가 냄비 뚜껑에 이슬처럼 맺히는 것과 유사하다. 다만 물이 아닌 유기 재료를 사용하는 것이고, 일반적인 대기압 상태가 아닌 진공 상태에서 가열한다는 점이 차이점이다.

증착은 우선 진공 상태에서 이루어져야 하므로, 진공 챔버(Chamber)라고 불리는 설비 안에서 진행된다. 그리고 챔버 안에 컬러 패터닝을 해야 하는 커다란 LTPS 원판을 준비한다. (나중에 이 원판에 컬러 패터닝이 완료되면 셀(Cell) 공정을 통해 스마트폰 사이즈에 맞게 잘라서 사용하게 된다.)

챔버 안에 증착의 기판이 될 LTPS 원판이 준비되면, 그 다음으로 파인 메탈 마스크(FMM, Fine Metal Mask)를 LTPS 원판 아래에 바짝 가져다 댄다. 마스크

(Mask)라는 것은 유기물을 증착할 때 특정 위치에만 증착이 되도록, 얇은 철판에 작은 구멍을 내 놓은 장비이다. 만약 마스크를 사용하지 않는다면 빨강(R) 픽셀에만 빨간색을 내는 유기물이 배치되지 않고, 초록, 파랑색 부분에도 같이 묻으면서 제대로 된 색을 낼 수 없을 것이다. 그래서 RGB 각각의 위치와 모양에 맞는 서로 다른 마스크가 증착공정 안에서 시간차를 두고 사용된다.

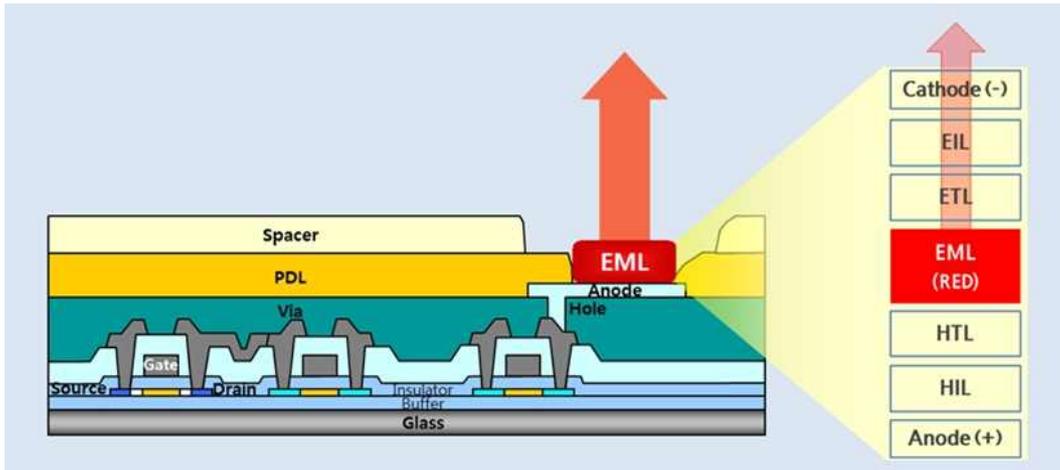


[그림 1-27] FMM(Fine Metal Mask)을 이용한 OLED 소자 증착

마스크까지 준비가 되면, 그 아래에 증착원(Evaporation Source, 유기물 등 증착 물질)을 놓고 적정 온도로 가열한다. 가열이 시작되면 분자 단위의 작은 유기물질들이 마스크를 통과해 원하는 위치에 입혀진다.

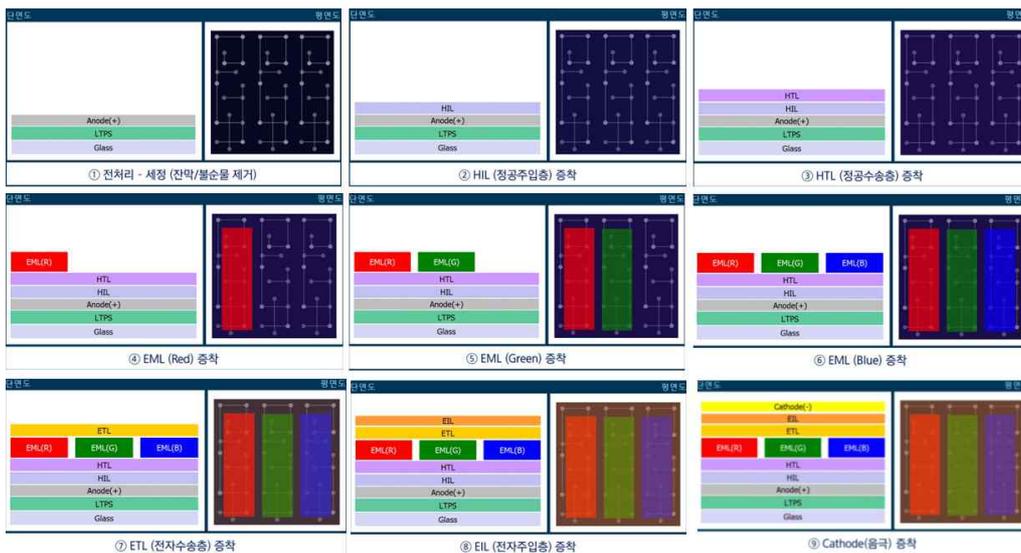
[그림 1-28]처럼 LTPS의 Anode(양극) 위에 EML(Emissive Layer, 발광층)이 존재한다. [그림 1-28]에서는 Red 색을 내는 서브픽셀(Sub-Pixel, 부화소)만 예를 들어 표현했다. 이 구조를 자세히 들여다보면 EML의 발광 효율을 높이기 위해 보조층들이 EML 위 아래로 존재하는 것을 알 수 있다.

Cathode(음극)에서 EIL(전자주입층)에 전자가 주입되고 ETL(전자수송층)을 거쳐 EML에 도달한다. 마찬가지로 반대편에 있는 Anode(양극)에서 정공이 HIL(정공주입층)에 주입되고, HTL(정공수송층)을 거쳐 EML에 도달한다. EML에서 전자와 정공이 만나면 빛이 나게 된다.



[그림 1-28] LTPS와 유기물층의 구조

같은 구조로 Red뿐만 아니라, Green, Blue의 유기발광층이 모두 만들어지면, 이것이 조합해 하나의 픽셀로서의 역할을 하게 된다. 유기발광층이 어떤 순서로 구성되는지, 프로세스를 살펴보면 [그림 1-29]와 같다.



[그림 1-29] OLED 증착공정 프로세스

기본적인 OLED 증착 프로세스는 우선 LTPS(Anode포함) 기판의 잔막과 불순물을 제거하는 작업부터 시작한다. 기판을 세정하고 건조한 후, 플라즈마를 이용해 Anode(양극)부에 남아있는 잔막을 제거하고 Anode에서 HIL로의 정공 주입 특성을 개선시킨다. 그리고 HIL(정공주입층)을 전체에 공통으로 증착하고, 그 다음 HTL(정공수송층)을 마찬가지로 전체적으로 증착해서 정공이 지나가는 보조층을 형성한다.

다음으로 실제로 빛을 내는 EML을 Mask를 이용해 원하는 위치에 선택적으로 증착한다. 이어서 ETL(전자수송층)과 EIL(전자주입층)을 증착해 전자가 이동하는 보조층을 형성한 후, Cathode(음극)을 증착하면 유기발광층의 전체적인 증착 프로세스는 마무리된다.

3) 봉지(Encapsulation)공정

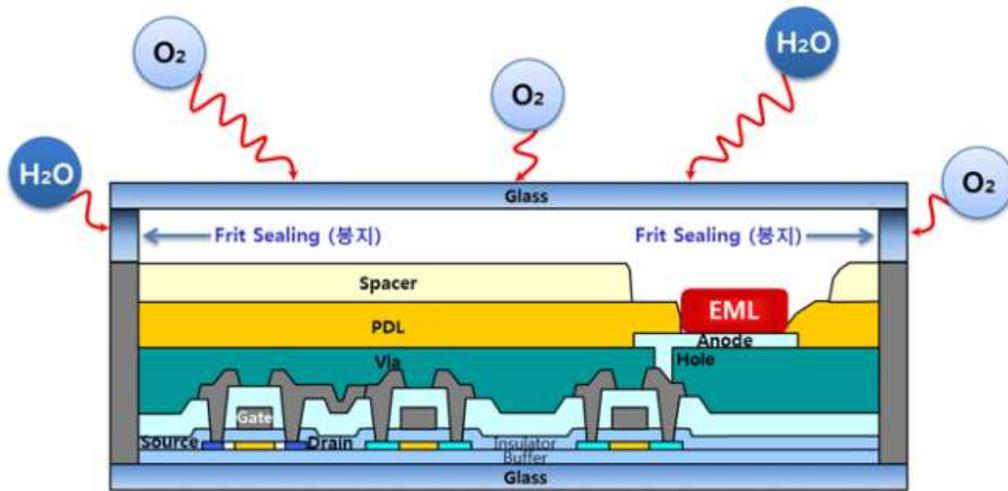
자체발광으로 최고의 스마트폰 화질을 구현하는 디스플레이 OLED 제조기술의 핵심은 바로 자체 발광하는 유기물질을 얼마나 효율적으로 활용하는가에 달려 있다. ‘봉지’ 공정이란 앞서 진행된 이 과정을 거쳐 만들어진 OLED 패널이 외부의 영향을 받지 않고 오랫동안 사용될 수 있도록 마감을 하는 단계이다.

※ 봉지(封止, Encapsulation) : OLED에서 빛을 내는 유기물질과 전극은 산소와 수분에 매우 민감하게 반응해 발광 특성을 잃기 때문에, 이를 차단하기 위한 공정으로 ‘봉지’가 필요하며, 이를 통해 OLED 패널의 수명을 보존 또는 향상시킨다.

위의 설명대로 유기물질을 통해 자체 발광하는 OLED는 산소와 수분에 무척 취약하다. 그래서 제조과정에서 산소와 수분이 유기물에 침투하지 못하도록 밀봉하는 공정이 필요하다. 과자도 신선도 유지를 위해 밀봉을 하고, 봉지를 뜯은 후에 오래 두면 눅눅해지고 맛이 없어지듯이, OLED 패널도 밀봉을 통한 유기물의 보존이 무척 중요하다.

만약 산소(O₂)가 패널의 틈 사이로 침투하게 되면, EML 최상단의 Cathode(음극) 부위와 그 아래의 EIL 층의 접촉부위(계면)에 산화가 이루어져 Cathode와 EIL이 서로 벌어지고 접촉이 약해지게 된다. 이렇게 되면 Cathode와 EIL 사이에 전자가 원활하게 이동하지 못해 암점(검은 픽셀)이 발생하거나 픽셀의 일부가 빛을 내지 못하는 현상이 나타난다.

또한 수분이 침투해도 문제가 생긴다. 패널의 미세한 틈을 통해 수분(H₂O)이 침투하면, 전기 화학적 반응에 의해 수분에 있던 수소가 산소와 분리되고 이렇게 생겨난 수소(H₂)에 의해 버블이 형성된다. 이렇게 발생한 버블은 Cathode(음극) 층을 들뜨게 만들어 Cathode와 EIL 사이에서 전자의 이동을 어렵게 한다. 이렇게 되면 산소가 침투했을 때와 마찬가지로 암점이 생기게 된다. 특히 봉지가 제대로 이루어지지 않을 때 이어지는 큰 문제점은, 산소와 수분이 계속 유입되어 암점이 한 곳에 머무르지 않고, 계속 퍼져나가는 진행성 암점이 된다는 점이다. 그래서 제조단계에서 확실한 봉지는 무척 중요하다.



[그림 1-30] 봉지의 위치와 구조

봉지(Encapsulation)의 외부 영향을 차단하는 방법은 [그림 1-30]의 모양처럼 LTPS 기반에 증착이 이루어진 OLED 패널 위에 봉지 글래스를 덮는 구조이다.

그리고 글래스와 패널층 사이에 공기와 수분이 침투하지 못하도록 유리 재질의 Frit을 바르고 레이저로 녹인 후 경화시켜 글래스와 패널을 합착시킨다. 윗 부분은 글래스가 막아주고, 측면은 단단해진 Frit Sealing이 산소와 수분을 막아주어 OLED 패널 안의 유기물들이 손상 없이 제 기능을 발휘할 수 있게 된다.

봉지공정을 위해서는 크게 세 가지 재료가 필요하다. 인캡 Glass(Encap Glass : 봉지용 유리판)와 접착제 그리고 레이저이다. 이때, 상당수의 작업은 진공챔버(금속으로 만든 진공 구조물)에서 이루어진다.

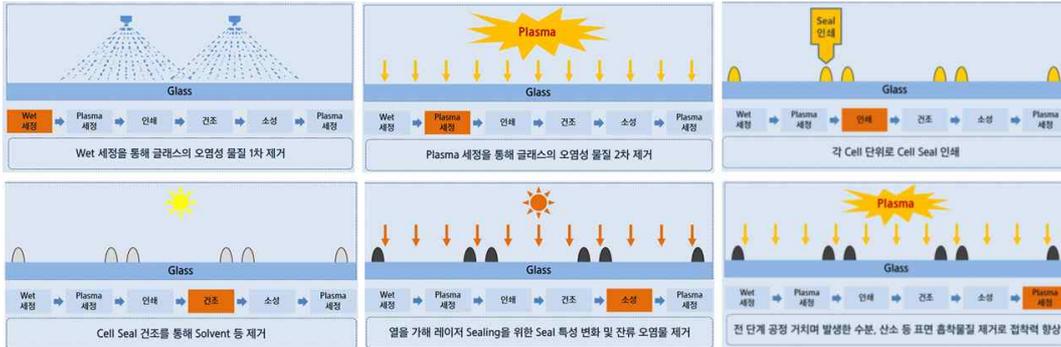
OLED 공정의 앞선 단계를 다시 떠올려 보면, 스위치 역할을 하는 LTPS가 만들어졌고, 그 위에 유기물 증착(evaporation)이 완료됐다. 하지만 이렇게 만들어진 유기물 증착부는 아직 공기와 수분으로부터 보호받지 못하는 환경이다.

물론, 아직 원장 Glass(필요한 디스플레이 크기로 자르기 전의 대형 원판 패널 유리판)의 상태이고 스마트폰 등에 사용하기 위한 크기인 셀(Cell) 단위로 자르기 전이다. 셀 단위는 쉽게 말하면 5인치 스마트폰을 제작하는 공정일 경우, 5인치 사이즈로 잘라낸 패널 하나를 의미한다. 봉지공정은 셀 단위에서도 필요하고, 커다란 원장 상태에서도 진행한다.

봉지공정은 크게 4가지 단계로 나누어진다.

- ① Cell Seal Glass 제작
- ② 원장 Glass Seal 도포
- ③ Glass 합착
- ④ Laser Sealing

가장 먼저 봉지에 쓰일 인캡 Glass를 투입 후 세정을 시작한다. 대부분의 공정은 세정부에서 시작한다. 액체를 이용한 Wet 세정을 통해 Glass의 제작, 포장, 운송 과정에서 오염된 물질을 제거한다. 이어서 표면의 유기 오염물을 제거하기 위해 플라즈마 세정을 진행한다. 플라즈마 세정을 통해 이후에 진행할 Cell Seal(셀 패널 단위의 봉지)의 접착력을 향상시킬 수 있다.



[그림 1-31] Cell Seal Glass 공정

세정이 모두 완료되면 각 Cell 마다 접착 물질인 Cell Seal을 둘러가며 바른다. 이 과정을 Cell Seal 인쇄라고 부른다. 이 과정에서 정밀도는 무척 중요하다. 나중에 EV기관 위에 인캡 Glass를 덮고 난 후 레이저로 Seal을 순간 가열해 굳어지게 해야 하므로, 안정된 두께와 폭, 그리고 정밀한 위치에 인쇄를 해야 한다.

인쇄가 완료되면 건조 단계에 진입한다. 적절한 건조를 통해 솔벤트(다른 물질을 용해시키기 위해 사용하는 액체나 가스. 매니큐어 제거액, 페인트 시너 등이 솔벤트 사용의 예)로 발생한 Cell Seal 내부의 기포 등을 제거해 Seal의 품질 안정성을 확보할 수 있기 때문이다.

다음 단계는 ‘소성(燒成)’이다. 소성공정은 열을 가하는 단계로 남아 있는 Solvent, 유기 Binder 등을 제거하고 추후 레이저 Sealing이 가능하도록 Cell Seal의 특성을 변화시킨다.

※ Solvent와 Binder는 Seal을 구성하는 Frit 파우더를 일정한 형태로 만들어 주는 역할을 한다. 마치 모래에 시멘트를 붓고 물을 부어야 걸쭉해져서 사용을 할 수 있듯이, Frit 파우더도 모래알과 특성이 비슷해 서로 뭉치지 않으므로 이를 붙잡아줄 Binder 물질이 필요하다. 그런데 Binder도 고체 상태이므로 Binder를 녹여줄 Solvent도 함께 필요하다. 이들이 잘 섞여서 Cell Seal Paste(접착제)가 만들어지고 Seal 도포가 가능해 진다.

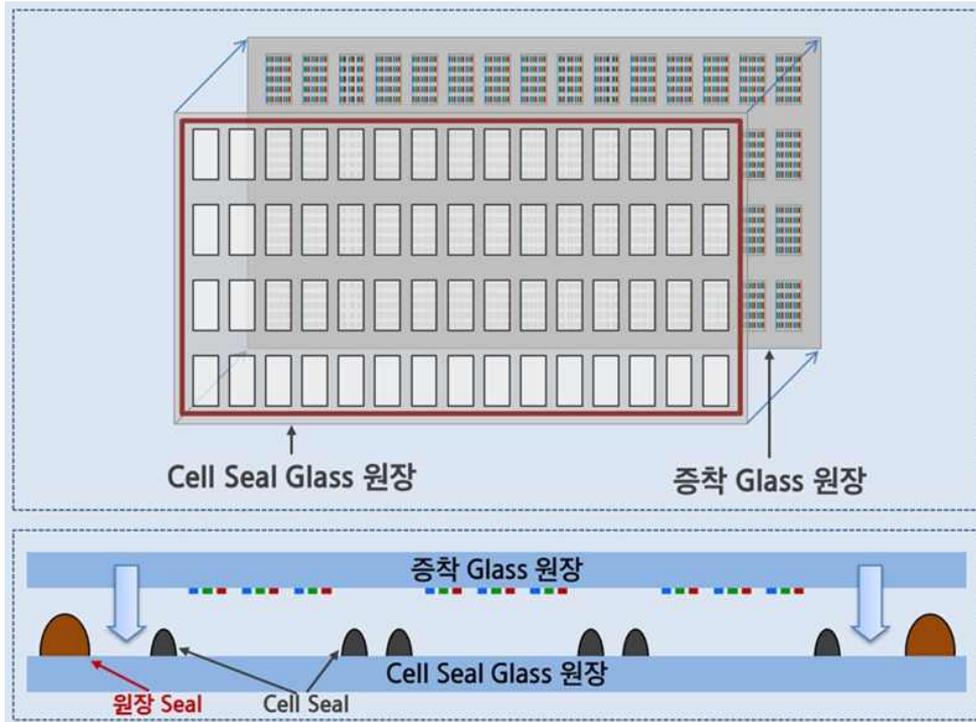
소성이 끝난 인캡 Glass는 마지막으로 플라즈마 세정을 한 번 더 거친다. 여러 공정을 거치면서 흡착된 수분이나 표면의 기타 흡착물질을 제거해 접착력을 향상시키는 매끈한 표면을 만든다.

봉지공정의 4가지 단계에서 첫 번째 단계인 ‘Cell Seal Glass 준비’가 이제 끝났다. 다음 단계는 ‘원장 Glass Sealing’으로 [그림 1-32]와 같이 원장 Glass 테두리에 원장 Seal을 인쇄한다.



[그림 1-32] 원장 Glass Seal 도포

다음은 봉지공정의 세 번째 단계인 ‘합착’이다. 합착은 기존의 증착공정까지 마친 Glass와 Cell Seal Glass를 위 아래로 포개어 붙이는 공정이다. 이 공정을 통해 비로소 나뉘어 있던 OLED Glass들이 하나로 합쳐지게 된다.

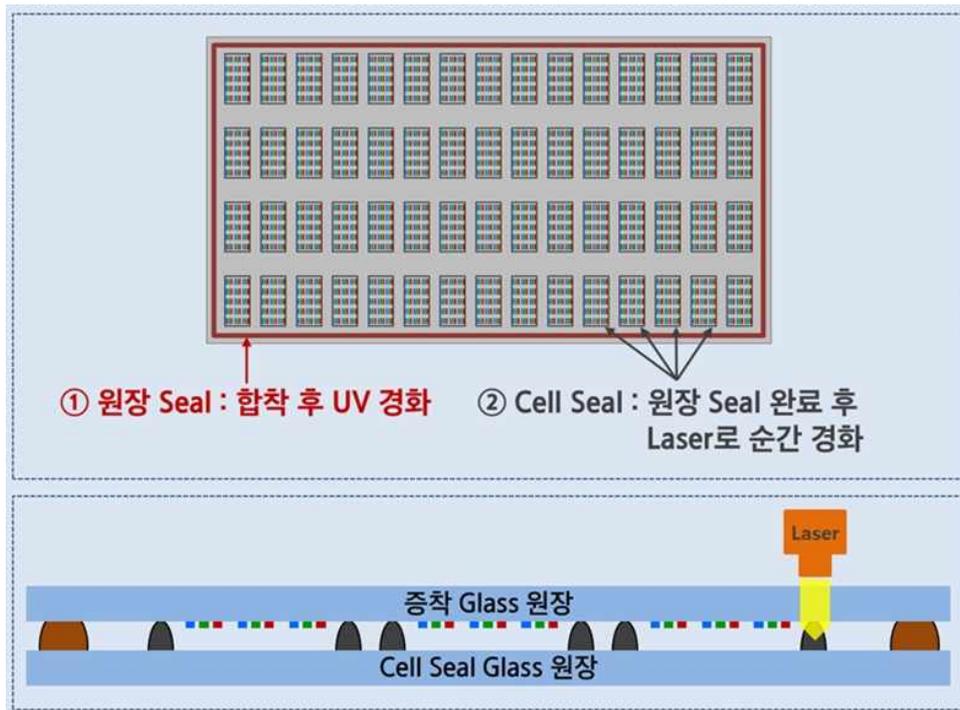


[그림 1-33] Glass 합착

그리고 UV(자외선) 장비를 활용해 원장 Seal을 굳어지게 만든다. 이렇게 굳어진 원장 Seal은 외부 공기와 수분의 침투를 막고, 내부 기압을 유지하는 등의 기능을 담당한다.

이제 최종단계인 ‘Cell Sealing’ 이다. 합착공정을 거친 통합 Glass 위에서 레이저 장비가 각 Cell에 발라 놓은 Seal에 레이저를 쬐서 순간적인 용융과 합착 과정을 수행한다.

이렇게 4가지 단계를 모두 마치면 단일 Glass 형태의 OLED 원장 패널이 완성된다. 그리고 이후 단계로 이 원장을 각 Cell의 크기에 맞게 자르는 Cell 공정이 이어진다. Cell 공정이 끝나면 각각의 잘려진 Cell 패널들은 스마트폰, 태블릿 등 그 목적에 맞게끔 전자회로를 붙이는 등의 모듈공정을 거치고 난 후 각 전자기기의 제조업체로 전달된다.

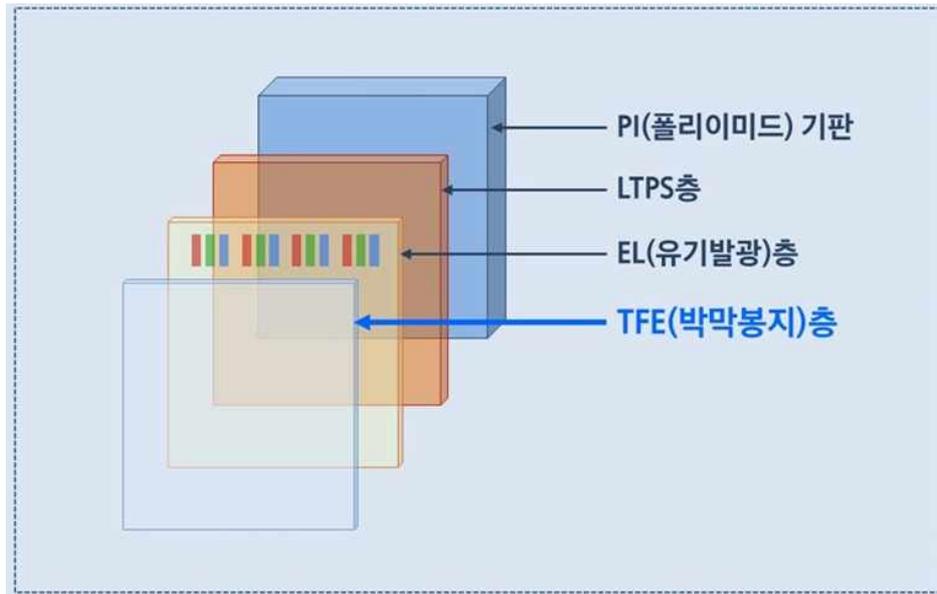


[그림 1-34] Laser Sealing

4) 플렉시블 봉지(Encapsulation)공정

플렉시블은 말 그대로 유연해야 하므로 패널에 Glass 소재를 사용할 수가 없다. Glass를 얇게 가공해 조금 휘 수는 있지만 플렉시블이라는 이름을 붙이기에 부족하다. 따라서 플렉시블 OLED 제작을 위해서는 기판도 PI(폴리이미드)라 불리는 유연한 소재를 사용하며 봉지도 Glass가 아닌 유연성을 갖도록 제작되어야 한다.

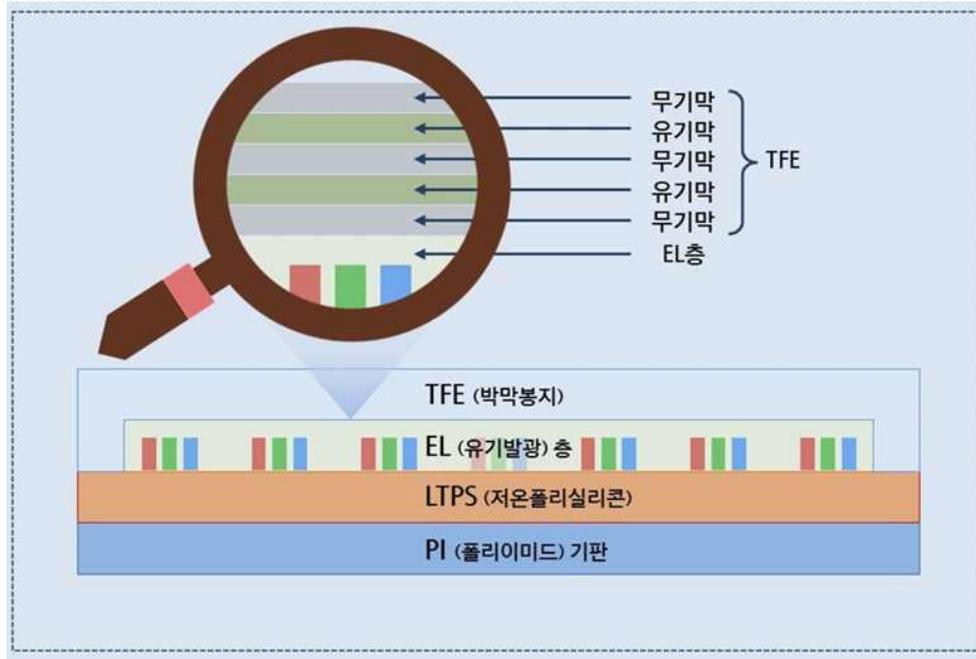
유연하게 구부릴 수 있으면서도, OLED 유기물 층에 공기와 수분의 침투를 효과적으로 막을 수 있는 가장 대표적인 방법은 바로 박막봉지(TFE : Thin Film Encapsulation) 방식이다.



[그림 1-35] TFE(박막봉지)의 위치

언뜻 보기에는 일반 Rigid OLED의 봉지와 차이가 없어 보인다. 단면도로 보면 [그림 1-36]과 같다

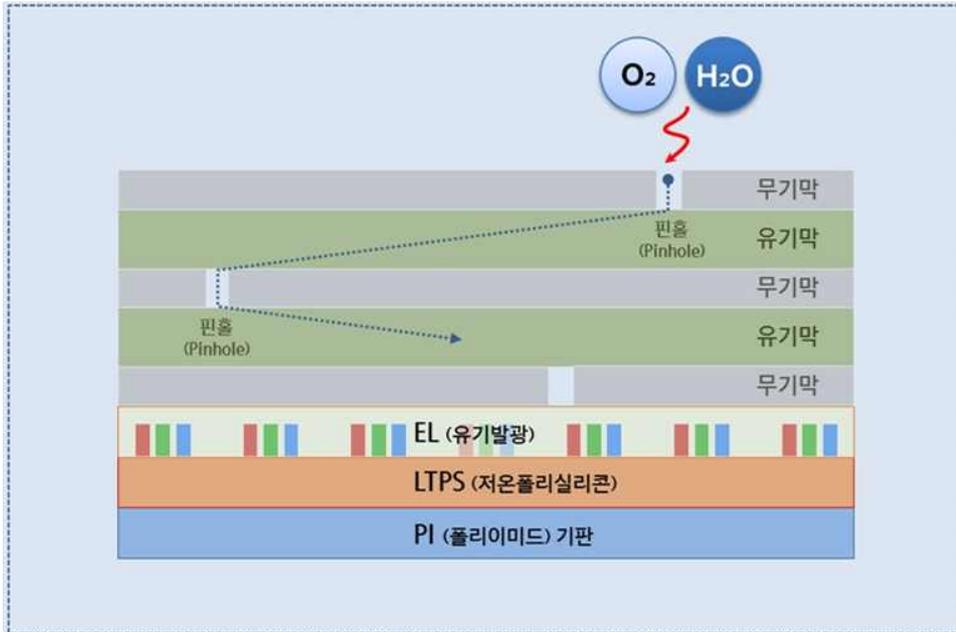
일반 Rigid OLED는 각 Cell마다 테두리에 Frit Sealing이 있는 반면, 박막봉지는 [그림 1-36]과 같이 윗부분과 옆 부분이 동일한 소재로 봉지가 된 모습을 볼 수 있다. 별도의 소재로 덮고 막는 것이 아니라, 증착 단계까지 끝난 패널에 박막봉지 소재를 성막(막을 입힘)하기 때문에 일종의 일체형 봉지라고 볼 수 있다. 유연하게 구부릴 수 있는 플렉시블 디스플레이를 만들기 위해 이에 적합한 소재를 얇게 성막 하는 방식으로 봉지를 구성하는 것이다.



[그림 1-37] TFE(박막봉지)의 구조

박막봉지의 단면도를 확대해 보면 박막봉지는 다시 또 여러개의 층으로 구성되는 것을 알 수 있다. 일반 OLED가 Glass를 이용해 단일층으로 덮는 것과 다르게, 박막봉지는 무기막/유기막의 다층 구조로 패널을 덮어준다. 이렇게 무기막/유기막을 번갈아 성막함으로써 공기와 수분의 침투 경로를 길게 해 발광층까지 도달하지 못하게 한다.

그렇게 무기막/유기막을 번갈아 성막하는 이유는 이상적으로는 단일층으로 얇게 봉지를 하는 것이 가장 좋다. 두께가 얇아지고 재료가 적게 투입될 뿐만 아니라, 공정도 단순해지기 때문이다. 하지만 무기막이 수분과 공기의 침투를 훌륭하게 막아내는 특성을 가지고 있기 때문에 봉지로 쓰기에 적합한 반면, 소재 특성상 파티클(작은 먼지)이 존재하고, 이러한 파티클 때문에 핀홀이라고 불리는 일종의 구멍이 생겨 이 경로를 통해 공기와 수분이 침투하게 된다. 따라서 현재는 무기막을 2개 이상 성막해야 침투를 막을 수 있다.



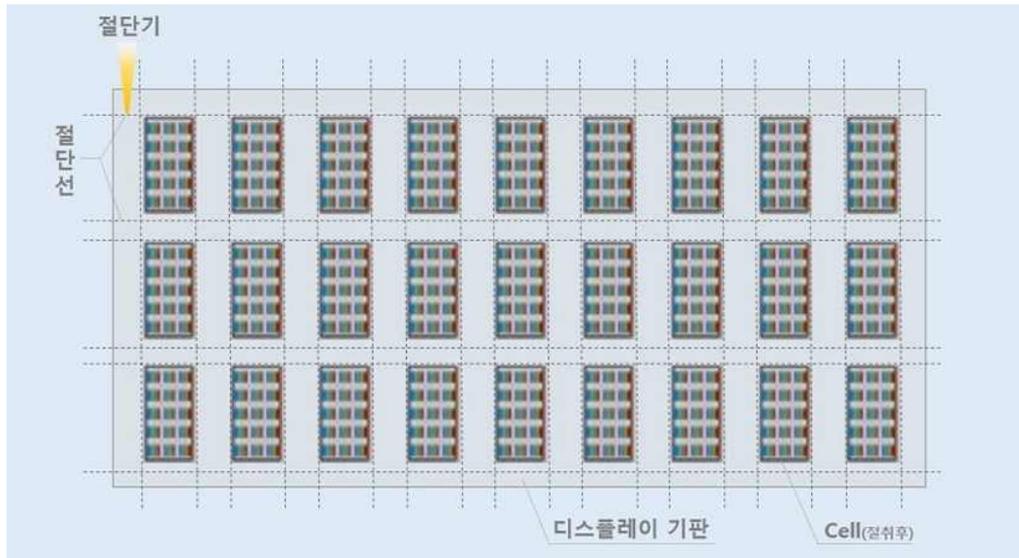
[그림 1-38] TFE(박막봉지)의 작동원리

유기막은 기본적으로 내부가 성긴 물질이다. 그래서 유기막의 역할은 물 분자보다 빈공간이 더 크기 때문에 수분의 침투를 막지 못한다. 유기막은 먼저 사용된 무기막 위에서 파티클을 둘러 싸 평탄화를 하고, 두 번째 무기막을 성막할 때 잘 안착하도록 돕는 역할을 한다.

5) 셀 공정(OLED Cell)

OLED Cell은 FAB 제조 과정인 TFT(Thin Film Transistor, 기판), Evaporation (증착) 및 Encapsulation(봉지) 공정을 차례로 거쳐 만들어진 큰 Size의 디스플레이 기판에서 불필요한 부분을 제거하고 최종 제품 용도에 맞춰 적절한 크기로 잘라낸 상태를 말한다. 즉, 효율적인 생산을 위해 대형으로 FAB 제조 과정이 진행된 디스플레이 원장 기판을 제품 크기가 큰 노트북, 태블릿의 경우 수 개에서 수십 개로, 그리고 스마트폰이나 스마트워치와 같이 제품 크기가 작은 경

우 수십 개에서 수백 개로 잘라진 독립적인 디스플레이 기판을 의미한다.



[그림 1-39] OLED Cell 공정

이러한 Cell을 만드는 과정은 디스플레이 기판을 절단하는 과정이 주요 공정이며 절단 과정에서는 테두리가 날카로운 Wheel 또는 Laser를 주로 활용한다. 제품군별로 절단 방법이 다른데 Rigid OLED의 경우 단단한 유리소재인 원장 기판을 절단할 때는 다이아몬드 소재 Wheel이 주로 사용된다. 갈수록 적용범위가 넓어지고 있는 Flexible OLED의 경우 가공성이 좋은 Laser가 주로 사용된다.

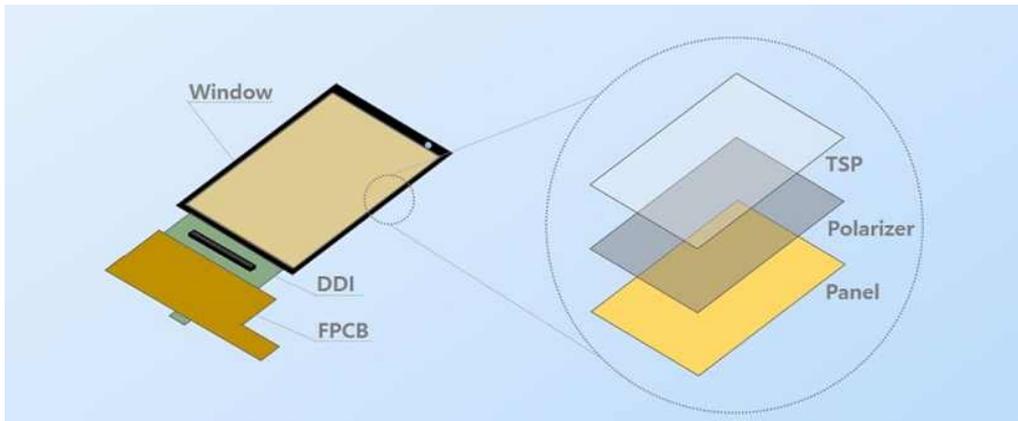
Flexible OLED는 PI 원장을 유리 받침 위에 부착시킨 후 TFT 기판을 형성시키는데, 달라붙어 있는 받침과 PI 기판을 떼어내는 과정도 Cell을 만드는 과정 중에 진행된다.

이렇게 단위 Cell은 최종 제품의 모양에 맞춰 다양한 크기와 모양으로 가공이 완료되면, 다음 공정인 Module공정으로 투입된다.

6) OLED 모듈(Module) 공정

OLED 모듈은 셀 공정을 거친 개별 디스플레이용 패널이 최종제품(스마트폰, 노트북, 스마트워치 등)에서 구동할 수 있도록 한 디스플레이 단위 부품을 의미한다.

OLED 모듈은 Cell공정을 거친 디스플레이 패널에 영상신호처리 반도체(DDI)와 연결 케이블(FPCB)이 최종 제품과 상호 연동할 수 있도록 전기적으로 접속되어 있으며 전면에는 디스플레이를 외력으로부터 보호하기 위한 윈도우(보호커버)와 빛이 특정 방향으로만 발산되도록 하는 편광판(Polarizer)이 부착되어 있다. 사양에 따라 TSP(Touch Screen Panel), 지문인식센서 등 다양한 부품이 추가로 부착된 경우도 있다.



[그림 1-40] OLED 모듈

II. 특수가스 공급설비와 1'st 스크러버

2-1. 특수가스 종류 1)

반도체·디스플레이 공정의 경우 수십 여종의 특수가스가 필요하다. 반도체 용 특수 가스는 박막형성, 성장, 증착, 에칭, 세정 등 전반적인 반도체 제조공정에 적용되며, 반도체 공정 용도별로 사용되는 가스의 종류를 분류할 수 있다.

1) 반도체용 특수가스

(1) 단결정 실리콘 제조

실리콘 반도체의 경우 단결정 규소봉 대신 단결정 실리콘이 사용되는데 단결정 실리콘의 전단계인 다결정 실리콘의 제조에 특수가스가 사용된다. 사용되는 가스로는 고순도 수소(H₂), 고순도 모노실란(SiH₄), 삼염화실란(SiHCl₃) 등이 있다.

(2) 에피택시(epitaxy)

특수가스를 활용해 화학적으로 코팅물질을 증착시킨다고 해서 대개 CVD (Chemical Vapor Deposition)공정으로 불린다.

사용되는 가스로는 고순도 SiH₄, SiH₂Cl₂, SiHCl₃, SiCl₄, GeH₄, B₂H₆, BBr₃, BCl₃, AsH₃, PH₃, TeH₂, SnCl₄, GeCl₄, WF₆, NH₃, CH₄, Cl₂, MoF₆ 등이 있으며, 운반기체(carrier gas)로서 고순도 수소(H₂)와 질소(N₂)가 사용된다.

1) <http://www.amenews.kr/m/view.php?idx=42653&mcode=>

(2) 에칭(Etching)

과거에는 화학 수용액을 사용했었지만 반도체의 정밀도를 낮춘다는 이유로 지금은 가스를 통한 건식 에칭(dry etching)이 일반적이다. 건식에칭은 다시 기상에칭, 플라즈마에칭, 이온빔 에칭으로 나뉘는데 기상에칭의 경우 기존 습식에칭과 별다른 차이가 없어 건식에칭에 포함시키지 않는 경우도 있다.

기상에칭용 가스로는 HCl, HF, HBr, SF₆, Cl₂ 등이 있으며, 플라즈마 에칭용 가스로는 SiF₄, CF₄, C₃F₈, C₂F₆, CHF₃, CClF₃, O₂ 등이 있다. 이온빔에칭용 가스로는 C₃F₈, CHF₃, CClF₃, CF₄ 등이 있다.

(4) 클리닝(Cleaning)

웨이퍼 등을 화공약품 및 순수한 물(De Ionized Water)로서 깨끗이 닦아내는 공정으로 일정부분에서는 에칭공정과도 유사한 개념이다. 사용되는 가스로는 NF₃, CF₄, C₂F₆, C₃F₈, SF₂ 등이 있다.

(5) 이온주입(Ion Implantation)

반도체 소자의 전기적 특성을 의도한 수준으로 조절하기 위해 반도체 웨이퍼의 특정부분에만 수keV~수백 keV까지 고전압으로 가속시킨 이온(ion)을 주입하는 공정이다. 이온을 물리적으로 주입함으로써 전기저항 등과 같은 웨이퍼의 물리적 특성을 통제한다. 사용되는 가스로는 AsH₃, PH₃, PF₅, BF₃, AsF₅, BCl₃, SiF₄, SF₆ 등이 있다.

(6) 도핑(Doping)

도핑(doping)공정은 반도체 웨이퍼에 붕소, 알루미늄, 인, 비소 등의 불순물(dopant)을 주입하는 것으로, 도핑공정을 통해 웨이퍼의 전도(傳導) 특성을 향상시킬 수 있다. 주입되는 불순물에 따라 ‘P형(positive-type) 반도체’와 ‘N형(negative-type) 반도체’로 나뉜다. 도핑용 가스로는 AsH₃, H₂S, GeH₃, SeH₂,

SbH₃, AsCl₃, AsF₃, PH₃, PCl₃, B₂H₆, BF₃ 등이 있다.

(7) 어닐링(Annealing)

어닐링(annealing)은 에칭공정, 이온주입공정 등 각종 공정에서 반도체 웨이퍼가 받았던 물리적, 화학적 스트레스를 열처리를 통해 풀어주는 공정이다. 적절한 온도로 웨이퍼를 가열한후 충분한 시간동안 서서히 냉각시킴으로서 최초 웨이퍼가 지녔던 가장 안정된 상태로 물성을 되돌린다.

(8) 패시베이션(Passivation)

패시베이션(passivation)공정은 반도체 칩의 표면에 보호막을 코팅하는 작업으로 반도체 제조공정의 최후반부에 진행된다. 사용되는 가스로는 O₂, SiH₄, PH₃, SiO₂(산화규소)가 보호막의 역할을 수행한다.

(9) 블랭킷팅(Blanketing)

블랭킷팅(blanketing)은 담요라는 의미의 'blanket' 에서 유래한 것으로 완성된 반도체를 포장하기 직전에 오염물질로부터 반도체를 보호하기 위한 공정이다. 사용되는 가스로는 아르곤(Ar), 헬륨(He), 질소(N₂) 등이 쓰인다.

2) 국내 주요 특수가스 제조기업

국내 주요 특수가스 제조기업으로는 효성화학, SK머티리얼즈, 원익머트리얼즈, 에어프로덕츠코리아, 린데코리아, 대성산업가스, 버숨머트리얼즈코리아, 백광산업, 티이엠씨, 대덕가스, 엠에스머트리얼즈 등이 있다.

(1) 효성화학

효성화학은 울산 용연공장과 중국 저장성 취저우 공장에서 NF₃를 생산하고

있으며, 총 5,800톤의 NF₃ 생산능력을 보유하고 있다. 최신 설비와 화학분야에서 쌓아온 효성화학의 노하우와 기술력을 통해 고품질의 제품을 생산하고 있다. 반도체, 디스플레이 시장의 확대 추세에 발맞춰 생산라인을 지속적으로 증설, 안정적인 공급 체계를 구축했으며, 특수가스 전문 생산업체를 목표로 다양한 제품 생산을 추진하고 있다.

(2) SK머티리얼즈

반도체, 디스플레이 패널 제조에 사용되는 NF₃, WF₆, SiH₄, Si₂H₆, SiH₂Cl₂, CH₃F, C₄F₆ 등 특수가스 및 High-K 전구체와 다양한 산업군에서 사용되는 O₂, N₂, Ar, CO₂ 등 산업가스를 제조 및 판매하고 있다. NF₃의 첫 국산화를 성공시켰고, 현재 NF₃ 및 WF₆ 생산량 및 시장점유율 세계 1위 기업이다. 지난 6월에는 순도 99.999%의 불화수소를 양산했다고 발표했다. 지난해 7월 불화수소 국산화 개발에 착수한지 약 1년도 안되는 기간에 양산에 성공했다. 경북 영주 공장 내 15톤 규모의 생산시설을 건설하며, 2023년까지 국산화율을 70%까지 끌어올린다는 계획이다.

(3) 원익머트리얼즈

2003년 PH₃ 혼합가스를 비롯한 수종의 반도체 공정용 특수가스를 국산화했으며, NH₃, CO₂, N₂O, GeH₄, Si₂H₆, Xe, F₂ Mix, C₄F₈, CH₂F₂ 등 다양한 공정용 특수가스를 반도체 및 디스플레이 업계에 공급하고 있다. 또한 HCDS 합성 기술을 활용한 Si Base Precursor 국산화를 추진하고 있으며, 본격적으로 성장하는 중국 반도체 시장을 겨냥해 중국 현지에서 특수가스 공장을 설립 1,800톤 규모의 N₂, O₂ 제조시설을 갖추고 있다.

(4) 에어프로덕츠코리아

에어프로덕츠코리아는 지난 1973년 설립된데 이래 기흥, 화성, 탕정, 평택, 울

산, 구미, 여수 등 각 산업단지에 ASU 및 질소발생기 등을 구축하고 국내 반도체, 석유화학, 철강 등 제조산업에 필수적인 산소, 질소, 아르곤, 수소 등 산업가스를 공급하고 있다. 또한 글로벌 헬륨 시장에서 우위를 점하고 있으며, 다수의 반도체 및 디스플레이 관련 기업에 공급하고 있다.

(5) 린데코리아

린데는 독일의 린데그룹과 미국 프렉스에어가 합병을 통해 탄생한 세계 최대 산업가스 및 엔지니어링 기업으로 우리나라에서는 한국법인 린데코리아를 통해 철강, 화학, 전자, 식품 및 음료, 에너지, 헬스케어, 우주항공 등에 필요한 고순도·특수가스 등을 공급하고 있다. 린데코리아는 삼성전자 반도체 증설에 따른 산업가스 수요에 대응하기 위해 초고순도 질소, 산소 등을 생산하는 여러개의 ASU 및 수소공장을 건설·운영하는 평택 프로젝트를 2단계에 걸쳐 진행 중이다.

(6) 대성산업가스

대성산업가스는 다양한 전방산업에 소요되는 액체 및 기체상태의 산소, 질소, 아르곤 및 특수가스 등을 생산, 판매하고 있다. 주요 특수가스 제품으로는 NF₃, SF₆, SiH₄, He, NH₃ 외 다수의 제품을 유통하고 있다. SK하이닉스 내 On-Site Plant로 고순도 산업가스를 공급하는 등 반도체 및 디스플레이 업계 공급을 확대하고 있다.

(7) 버숨머트리얼즈코리아

버숨머트리얼즈코리아는 세계적인 전자소재 전문기업으로 시화·반월공장의 경우 전구체사업 및 특수가스, 평택공장은 CMP 슬러리와 세정용 케미칼, 버숨머트리얼즈 한양기공은 딜리버리 시스템에 특화하는 등 각각 전문성을 보유하고 있다. 지난 6월1일부터 머크의 새로운 통합 조직으로 출범했으며, 머크 반도체

체 솔루션 조직은 이미 스핀-온 유전체, 유기실란, 유기금속, 후막 레지스트, 슬러리, 세정, 가스, 전자산업을 위한 공급 장비와 서비스 분야에서 글로벌 선두 주자로 인정받고 있다.

(8) 백광산업

백광산업은 염화나트륨을 원료로 해 알칼리와 염소를 생산하는 무기화학제품 제조기업으로 고순도 염화수소(HCl) 및 아산화질소(N_2O) 생산설비를 완료하고 국내 및 해외 공급에 본격적으로 나서고 있다. 국내 최초로 이온 교환 멤브레인 전해기술을 도입해 산·알칼리 산업을 주도했고, 업계 최초 KS인증과 고순도의 제품을 생산해 명실상부한 우리나라 기초 화학 산업의 전문업체로 자리잡고 있다.

(9) 티이엠씨

티이엠씨는 레이저 가스 분야에서 세계적인 기술력과 경쟁력을 보유하고 있는 젊은 기업이다. 특수가스의 기술자립을 목표로 끊임없는 연구개발과 선제적 투자를 진행하고 있다. 주요 생산품목으로는 Ne, Xe, Kr, C₄F₆, C₄F₈, C₃F₈, CO, CHF₃, COS, Excimer Laser, F₂ Mix, B₂H₆ Mix, 11BF₃ Mix 등이 있다.

(10) 대덕가스

대덕가스는 일반 산업가스는 물론 △크립톤 △네온 △제논 △헬륨 등 희귀가스를 국내 반도체 및 디스플레이 업계에 공급하고 있다. 특히 헬륨 공급시설을 군산공장에 완공하고, 미국 메티슨 트리 가스와 계약을 맺고 안정적으로 헬륨을 확보하고 있다. 또한 △크립톤 △네온 △제논 등은 우크라이나 인가스(ingas)와 손을 잡고 국내에 안정적으로 공급하고 있다.

(11) 엠에스머트리얼즈

엠에스머트리얼즈는 표준가스, 혼합가스, 초고순도 산소, 초고순도 수소, 반도체용 전구체 및 CVD 케미컬 등 다양한 산업가스 및 특수가스를 공급하고 있다. 매년 실적이 상승하고 있으며, 2019년 매출은 전년대비 87% 상승했다.

2-2. 특수가스 안전관리

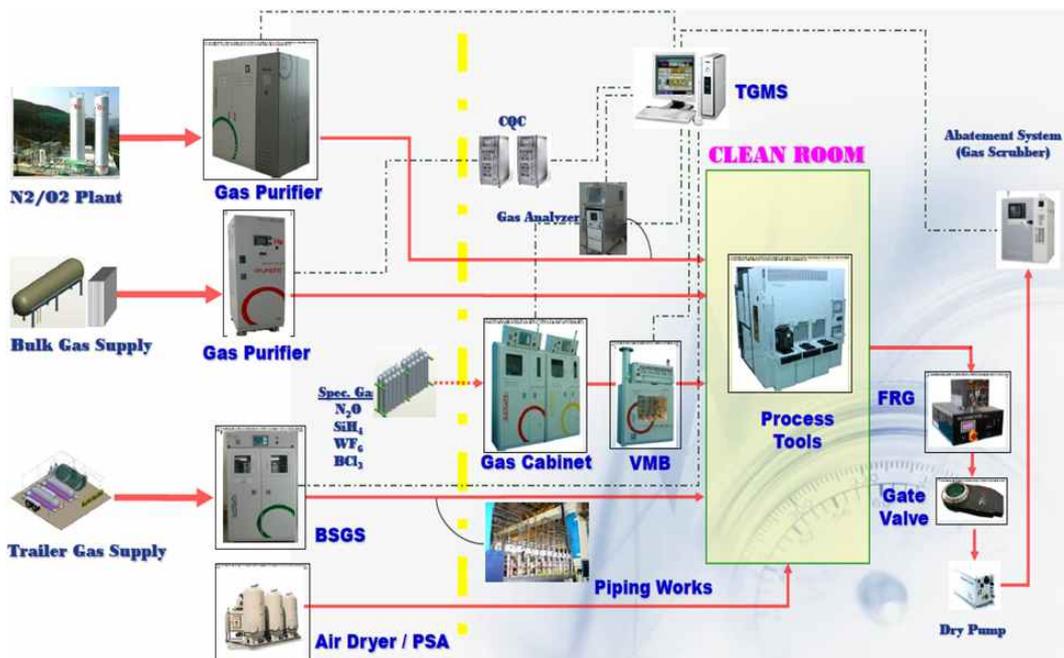
1) 가스 공급설비 개요

반도체·디스플레이 공정은 크게 FAB과 Infra설비로 나눌 수 있다. FAB은 생산장비를 통해 생산하는 크린룸 공간을 말하고, Infra는 크린룸 이외의 설비 혹은 Utility설비를 말한다. GAS Cabinet 설비를 중심으로 공정흐름도를 나타내면 [그림 2-1]과 같다.

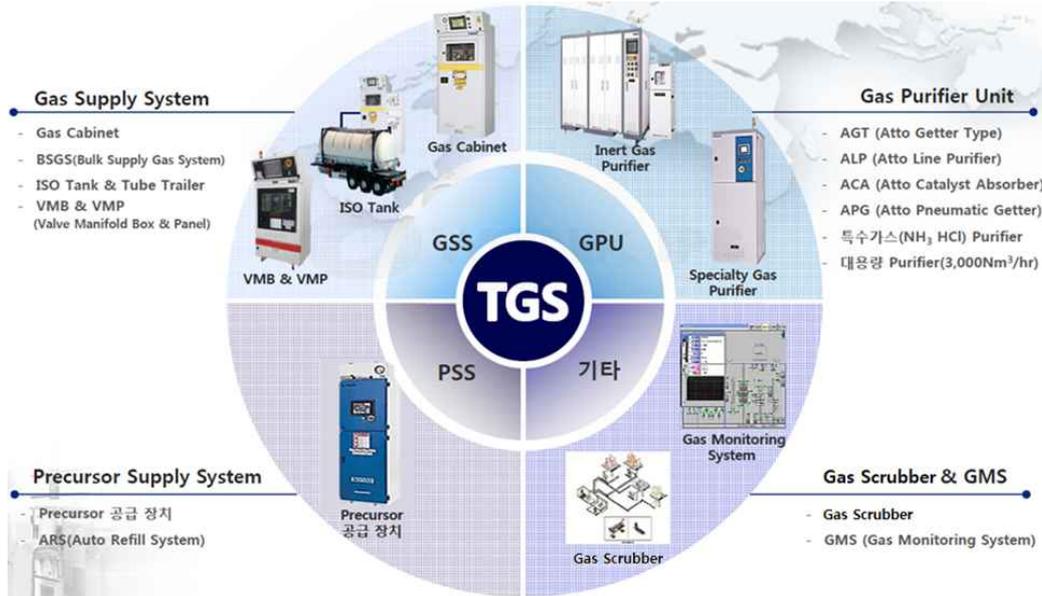
반도체·디스플레이 가스와 관련된 중요 설비로는 [그림 2-2]와 같이 가스 공급설비, 가스 정화설비, 가스 스크러버 등으로 구분할 수 있다.

- Gas Supply System
 - Gas Cabinet, Bundle
 - BSGS (Bulk Specialty Gas System)
 - VMB & VMP(Valve Manifold Box & Panel)
- Gas Purifier Unit-General
 - AGT (Getter Type)
 - AMG & APG (Getter Type)
 - ALP (Line Purifier)
 - ACA (Catalyst Absorber)
 - ACG (Catalyst Absorber)
- Precursor Supply System
 - ARS(Auto Refill System)

- Precursor Supply System
(TEOS, LTO520, HCDS, ECH, TiCl₄ etc.)
- Gas Scrubber
 - Plasma / Wet
 - Burn / Wet
 - Heat / Wet
 - Heat / Cooling
 - Wet
 - Dry



[그림 2-1] 공정흐름도



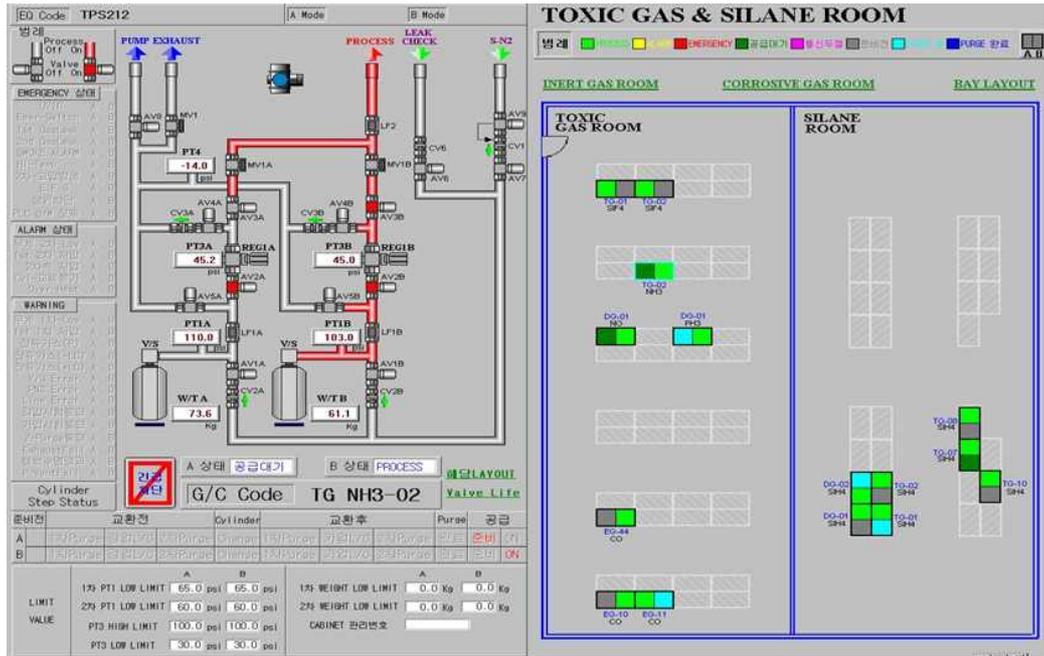
[그림 2-2] 가스 공급설비

2) 가스 공급설비

(1) Gas Cabinet

특수 가스를 필요로 하는 반도체/디스플레이 공정에서 사용되는 가스의 공급/조절 장비로, 가스를 공정 상 요구되는 유량과 압력으로 안전하게 공급하는 장치를 말한다. 가스캐비닛 구성은 [그림 2-3]과 같다

※ 회사에 따라 가스캐비닛 모니터링 구성은 다르다.



[그림 2-3] (예)가스케비닛 모니터링 구성도

(2) BSGS(Bulk Supply Gas System)

Y-Cylinder, Ton-Cylinder와 같이 대 유량으로 공급하는 장치이다. Gas (Specialty)를 원하는 압력과 유량에 맞추어 안전하게 공급하는 장치를 말한다.

(3) Tube Trailer & ISO Tank

BSGS보다 대 유량의 Gas 공급을 필요로 할 때 사용하며 기존 가스 공급 장치보다 다량의 특수 Gas를 사용하는 공정에 안전하고 유용하게 공급하는 장치이다.

(4) VMB & VMP(Valve Manifold box & Panel)

공급장치로부터 Gas를 공급 받아, System 내부에서 일정압력 및 일정량으로 분배하여, 다수의 Main Tool로 공급하며 비상 시 자동차단 배기되도록 구성된

Gas 분배 장치이다.

3) Gas Scrubber

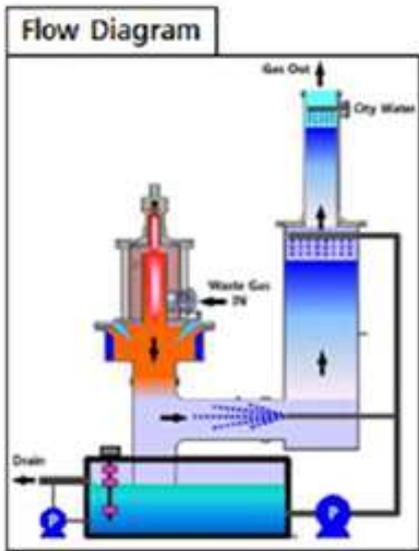
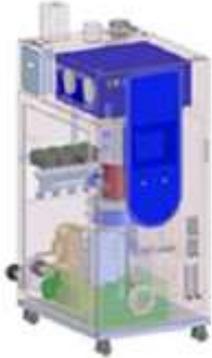
가스스크러버는 Plasma/Wet, Burn/Wet, Heat/Wet, Heat/Cooling, Wet, Dry 등 다양한 스크러버 형태가 존재한다.

반도체/디스플레이 생산장비 내부에서 발생하는 가스, 화합물을 걸러내고 제거하는 스크러버(Scrubber)는 쉽게 말해 클린룸 전용 ‘청소기’라고 할 수 있다. 장비에서 배출되는 부산물을 가장 먼저 제거하는 ‘1차 스크러버’와 이후 남아있는 잔여 부산물을 최종적으로 처리하는 ‘2차 스크러버’로 구성돼 있다. 웨이퍼 생산장비와 직접 연결되는 1차 스크러버는 각 공정별 다양하게 발생하는 부산물의 특성에 따라 처리하며, 모 사업장의 경우 약 6,000대가 설치되어 있다.

이렇게 실시간으로 공정 부산물을 처리하다 보면 스크러버 챔버(Chamber) 내부에 하얀색 찌꺼기인 파우더(Powder)가 생긴다. 이 찌꺼기를 제때 제거하지 않으면 기기 오작동은 물론, 공정 완성도에도 영향을 주기 때문에 주기적으로 사람이 스크러버 장비를 직접 해체해 청소하는 예방정비작업(PM, Preventive Maintenance)을 진행해야 한다. 특히 크기가 작은 1차 스크러버는 PM 주기가 매우 짧아 작업자가 업무 과정에서 가스 등 장비 내 잔여 부산물에 노출되지 않도록 철저히 관리해야 한다.

여러 스크러버 형태에 대한 설명은 [그림 2-4] ~ [그림 2-9]와 같다.

- ◆ **Variable Plasma Power**
 - 7KW - 20KW
- ◆ **High DRE for PFC Gas**
 - Low Power, High Surface Discharge : Reinforce Energy Efficiency
 - Plasma Swirl Effect : Improve Gas Mixing by Turbulence
 - Heat Conductive Lining : Waste Gas Preheating & High Energy Efficiency
- ◆ **Easy Maintenance**
 - Reduce PM Time



Specifications

Specifications	
Dimension (W×D×H)	800×1000×1800 mm
Capacity	CVD(NF3): Inlet 300slm Etch(CF4): Inlet 200slm
Plasma Torch	- Creation Method : DC Non Transferred Arc Discharge - Max. Power : 20 kW - Torch Type : Rod-nozzle - Cathode, Anode: Tungsten, OFC - Swirling Plasma: Long Life Time Electrode
Application	PFC or Flammable, Toxic Gas Usage Process
Weight	600kg

PFC DRE

	PFC Gas		
	NF3	SF6	CF4
Inlet Flow (slm)	300	250	200
DRE (%)	≥99	≥98	≥95

Utility

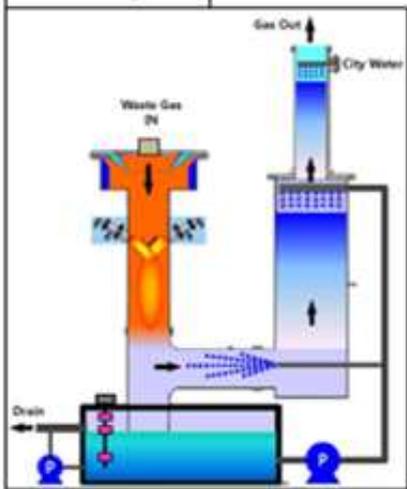
Consumption	
Power	7 ~ 15 KW(AC208V)
CDA	120slm
N2	50slm
PCW	15L/min
City Water	3L/min

[그림 2-4] Plasma & Wet Gas Scrubber

- ◆ **N2 Sleeve Head**
 - Anti-clogging for Powder, Long PM Term
- ◆ **Turbulence 3Burning Nozzle**
 - Improve Gas Mixing by Turbulence
- ◆ **Water Flowing Wall**
 - Anti-clogging for Powder, Long PM Term
 - Excellent Thermal Insulation
- ◆ **Easy Maintenance**
 - Reduce PM Time



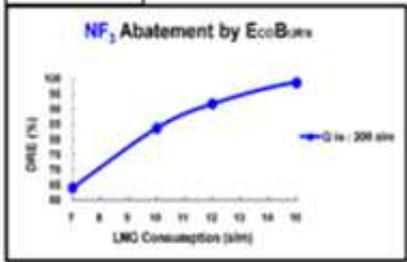
Flow Diagram



Specifications

	Specifications
Dimension (W×D×H)	800×1000×1800 mm
Capacity	CVD(NF3): Inlet 300slm Etch(CF4): Inlet 200slm
Head	N2 Sleeve
Burner	- Turbulence 3Burning Nozzle - INCONEL600 Material - UV Sensor
Reactor	- Water Flowing Wall - Sight Window
Application	PFC or Flammable, Toxic Gas Usage Process
Weight	500kg

PFC DRE

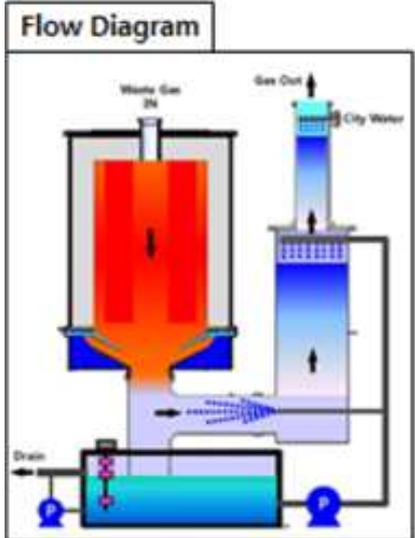


Utility

	Consumption
Power	1 KW(AC208V)
LNG	10 ~ 25slm
O2	20 ~ 50slm
CDA	20slm
N2	30slm
PCW	15L/min
City Water	3L/min

[그림 2-5] Burn & Wet Gas Scrubber

- ◆ **2~3 Zone Heater Control**
 - Backup Function to Heater Fail
 - Long Life Time Heater
- ◆ **Anti-clogging & Anti-corrosion ▶ Long Term MTBP & MTBF**
 - Air Curtain on boundary between Heating Chamber & Cooling Chamber
 - INCONEL600 Material in Heating Chamber
 - Teflon Coating in Wet Chamber
- ◆ **Easy Maintenance**
 - Reduce PM Time



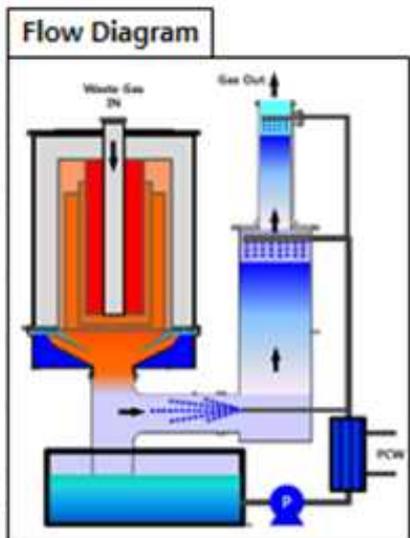
Specifications		
Capacity	500slm	1000slm
Dimension (W×D×H mm)	800×900×1750	940×1050×1800
Heating Chamber	- 2-3Zone Heater Control - INCONEL600 Heater Housing	
Cooling Chamber	- Teflon Coating - Swirling Overflow Water	
Wet Chamber	- Circulation System - Teflon Coating	
Application	- Flammable or Toxic Gas Usage Process	
Weight	500kg	650kg

Utility	Consumption	
	500slm	1000slm
Power	4 - 6 KW AC208V 1Ø	6 - 12 KW AC208V 3Ø
CDA	140slm	260slm
City Water	3L/min	5L/min

PFC DRE	Flammable	Soluble	PFC
	Gas	SiH ₄ PH ₃ TEOS WF ₆ H ₂	NH ₃ HF HCl
DRE(%)	≥99	≥99	≥90

[그림 2-6] Heat & Wet Gas Scrubber

- ◆ **No Water Consumption**
 - PCW Cooling System
- ◆ **No CDA Consumption**
 - Room Air Combustion by Blower Intake
- ◆ **Epi-optimized Heating Chamber**
 - High Efficiency for NH₃, H₂ ▶ Low TN(TN ≤ 5ppm)
 - 3Zone Heater Control ▶ Backup Function to Heater Fail
 - Stable H₂&NH₃ Combustion ▶ No Back Pressure, No Pressure Oscillation
- ◆ **Easy Maintenance**
 - Reduce PM Time



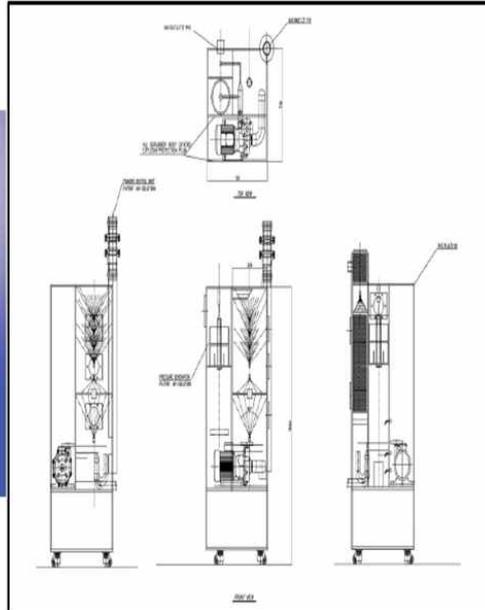
Specifications	
Capacity	H ₂ - 150slm NH ₃ - 60slm
Dimension (W×D×H mm)	800×900×1750
Heating Chamber	- 2 - 3Zone Heater Control - Room Air Intake Blower
Cooling Chamber	- Teflon Coating - Swirling Overflow Water
Wet Chamber	- Circulation System - Teflon Coating
Application	MO CVD Process
Weight	500kg

Utility	Consumption	
	H ₂ 150 NH ₃ 60	H ₂ 300 H ₂ 100
Power	0 - 6 KW AC208V 1Ø	0 - 12 KW AC208V 3Ø
N ₂	60slm	100slm
PCW	20L/min	40L/min
City Water	Emergency Supply (Normal no consumption)	

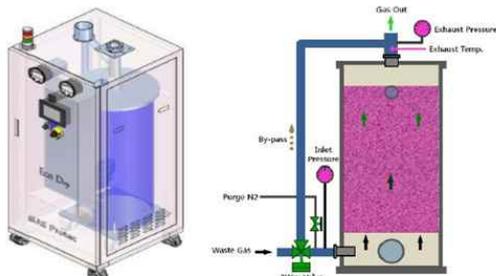
Efficiency	Gas	Drain Water (Condensate)	Byproduct
	NH ₃ H ₂ PH ₃	TN	NO ₂ CO
Efficiency	≥99%	≤5ppm	≥50ppm

[그림 2-7] Heat & Cooling Gas Scrubber

Item		Contents
General Spec.	Scrubber Type	Wet Scrubber
	Capacity	500 SLM
	Dimension (W×D×H) mm	720 × 710 × 1,650
	Weight (kg)	350
Safety Spec.	Certification	CE
	Explosion-proof Construct	Coated explosion-proof film on the chamber surface
	Interlock	Inlet Pressure, Water Flow, Water Level
Performance	Treat Gas	HCl, HF, Cl ₂ , BCl ₃ , SiH ₂ Cl ₂ , HBr, POCl ₃ , NH ₃
	Gas Treat Efficiency	Over 99%
	MTBF (Mean Time Between Failure)	1~1.5 year
	MTTR (Mean Time To Repair)	1~2 hrs
	MTBP (Mean Time Between PM)	0.5~1.0 year
	MTTP (Mean Time To PM)	2 hrs
Utility	Power	AC220V, 3φ, 50W(Max), Normal(3KW)
	N ₂	4 ~ 7 kg/or ²
	CW	2 ~ 5 kg/or ² , 2~5L/min, NPT 1/2"
	Overflow Drain	Acid Drain, 2~5L/min, NPT 2"
	Maintenance Drain	NPT 1/2"
	Gas Inlet	3 Port, NWSO
Process Exhaust	-50 ~ -100 mm-H ₂ O, 2 a/min, 3" Union	

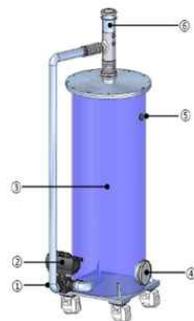


[그림 2-8] Wet Gas Scrubber



일반 사양		
Type	Dry	
Capacity	EcoDry100	EcoDry200
Capacity	200slm	400slm
Dimension(mm)	700×700×1700	750×1150×1750
Weight	350kg	450kg

Component	Function
1 Waste Gas Inlet	폐가스 유입
2 3Way Valve	By-pass
3 Canister	Waste Gas 흡착
4 Maintenance Port	점검창
5 Detection Window	흡착제 교체시기 판단
6 Exhaust	배기



흡착제	제거 Gas	흡착종류	Mechanism
GZ 1	BCl ₃	화학적흡착	- BCl ₃ + 3MOH → 3MO + B(OH) ₃ - BCl ₃ + 3H ₂ O → B(OH) ₃ + 3HCl
	Cl ₂	화학적흡착	- Cl ₂ + 2MOH → 2MCl + H ₂ O + 1/2O ₂ - Cl ₂ + H ₂ O → 2HCl + 1/2O ₂
	BCl ₃	화학적흡착	- 2BCl ₃ + 3M(OH) ₂ → 3MCl ₂ + B ₂ O ₃ + 3H ₂ O - BCl ₃ + 3M(OH) ₂ → 3MCl + B(OH) ₃ - 2BCl ₃ + M ₂ O ₃ → 2MCl ₃ + B ₂ O ₃
GZ 2	Cl ₂	화학적흡착	- Cl ₂ + M(OH) ₂ → MCl ₂ + H ₂ O + 1/2O ₂ - Cl ₂ + 2M(OH) ₂ → 2MOCl + H ₂ O + 1/2O ₂ - 3Cl ₂ + M ₂ O ₃ → 2MCl ₃ + 3/2O ₂
	HBr	화학적흡착	- 2HBr + M(OH) ₂ → MBr ₂ + 2H ₂ O - 3HBr + M(OH) ₃ → MBr ₃ + 2H ₂ O - 6HBr + M ₂ O ₃ → 2MBr ₃ + 3H ₂ O
	HCl	화학적흡착	- 2HCl + M(OH) ₂ → MCl ₂ + 2H ₂ O - 3HCl + M(OH) ₃ → MCl ₃ + 2H ₂ O - 6HCl + M ₂ O ₃ → 2MCl ₃ + 3H ₂ O
	HF	화학적흡착	- 2HF + M(OH) ₂ → MF ₂ + 2H ₂ O - 3HF + M(OH) ₃ → MF ₃ + 2H ₂ O - 6HF + M ₂ O ₃ → 2MF ₃ + 3H ₂ O
	SF ₆	물리흡착	- SF ₆ + 3M(OH) ₂ → 3MF ₂ + SO ₂ + 3H ₂ O

흡착제	처리가스	흡착종류	Mechanism
GZ 3	SiCl ₂ H ₂	화학적흡착 및 분해반응	SiH ₂ Cl ₂ + M(OH) ₂ → MCl ₂ + M ₂ Si + 2H ₂
	SiH ₄	화학적흡착 및 분해반응	SiH ₄ + 2MOH → M ₂ Si + 2H ₂ O + H ₂
GZ 4	NH ₃	화학적흡착	4NH ₃ + MSO ₄ → M(NH ₃) ₄ SO ₄ xNH ₃ + M → M(NH ₃) _x
GZ 5	AsH ₃	화학적흡착 및 분해반응	2AsH ₃ + 3MO → M ₂ As + 3H ₂ O
	PH ₃	화학적흡착 및 분해반응	2PH ₃ + 3MO → M ₂ P + 3H ₂ O
GZ 6	BF ₃	화학적흡착	BF ₃ + 3M(OH) ₂ → 3MF ₂ + B ₂ O ₃ + 2H ₂ O
GZ 7	ClF ₃	화학적흡착	2ClF ₃ + 4M(OH) ₂ → 3MF ₂ + MCl ₂ + 4H ₂ O + 2O ₂
GZ 8	TEOS	화학적흡착	Si(OC ₂ H ₅) ₄ + 2 M ₂ O → MO ₂ + 4 C ₂ H ₅ OH
GZ 9	CO	화학적흡착 및 분해반응	- CO + MO ₂ → MO ₂ - CO
			- CO + 3MO → MO + CO ₂

[그림 2-9] Dry Gas Scrubber

4) TGLD(Toxic Gas Leak Detector) 시스템

반도체·디스플레이 모든 독성가스 공급설비에는 TGLD 설비가 구성되어 있다. 사고를 미연에 방지할 목적으로 가장 많이 사용되는 가스 누출감지시스템은 각종 설비로부터 누출되는 가연성가스나 독성가스 등 작업환경에서 인체에 영향을 주는 위험한 가스를 조기에 감지하여 경고 및 안전차단 등의 조치로 인명이나 재산상 재해의 사전예방을 목적으로 두고 있다. 또한 가스누출의 위험 장소에 설치되어 상시적으로 감시활동을 하며 가스의 누출시 즉각적인 감지하여 시각적 혹은 정보음 등의 방법으로 직각적인 대처가 필요함을 알려주는 매우 중요한 수단이므로 가스 안전에 필수적인 요소라고 할 수 있다.

가스는 통상적으로 압축가스, 액화가스, 용해가스의 3가지 종류로 분류되기도 하고 가스의 성질에 따라 가연성가스, 조연성가스, 불연성 가스로 분류되기도 하며 인체에 유해한 위험성 여부에 따라 독성가스, 비독성가스로 분류되기도 한다.

가스는 온도, 압력 등의 변화와 특성에 따라 많은 위험성을 내포하고 있다. 공기보다 무거운 가연성 가스가 누출되면 낮은 장소에 체류하기 쉽고 가스누출을 알 수 없으며, 주위의 공기와 혼합 하여 발화원이 되기도 한다. 또한 포스젠, 염소와 같은 독성가스가 누출되어 일정 농도 이상이 되면 호흡기가 침식되어 생명의 위험을 가져오게 한다. 이와 같은 가스는 일상생활과 산업에 필요하지만 잘못 취급 사용하면 화재폭발을 일으키거나 인간은 물론 동식물의 생존을 위협하므로 한 건의 사고로 전이될 수 있다.

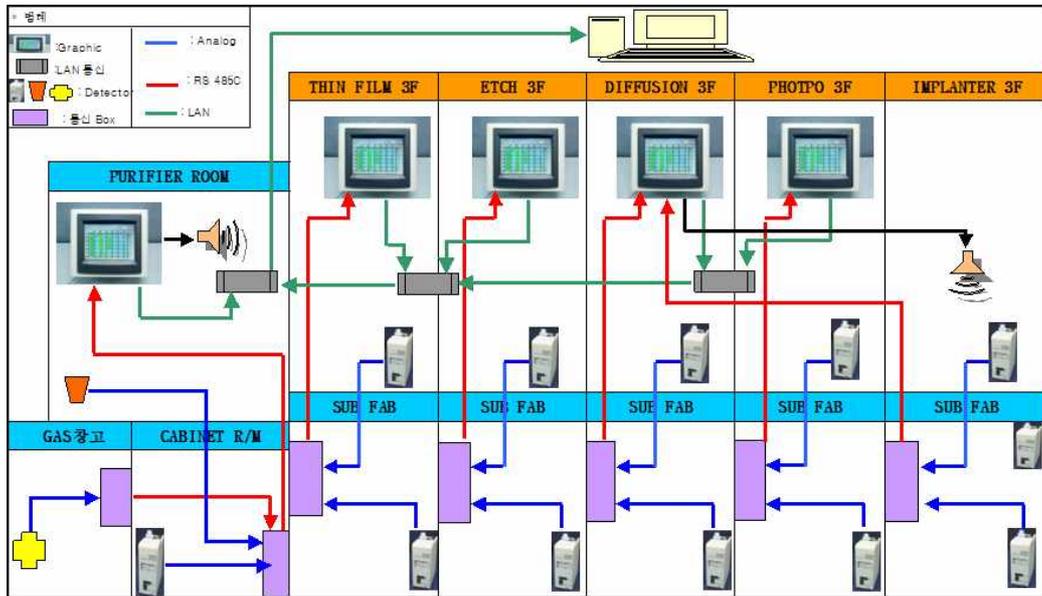
가스 안전관리를 위하여 작업환경측정 및 건강 진단을 하며 가스의 누출 관리를 위하여 가스안전기기 사용 및 설비를 하고 있다. 가스사용시설에서 사용자의 취급부주의나 제품불량 또는 고의에 의하여 가스가 누출되거나, 누출될 우려가 있는 이상 상태를 감지하여 이를 사용자에게 알려주거나 자동으로 차단이 되게 하는 과압안전장치(안전밸브, 릴리프밸브, 파열판), 가스누출경보 및 자동차단장치를 사용하고 있으며 환기설비, 저장설비 및 배관 부식방지설비, 정전

기 제거 설비 등으로 가스 안전예방을 하고 있다.

회사마다 설치 위치는 조금씩 다를 수 있지만, 대개 누출감지기 설치위치는 다음과 같다.

- 웨이퍼 가공라인의 설비내부에 위치하고 있는 가스박스의 상부(국소환기 설비 연결부위)
- 가공라인의 설비 상단에 위치하고 있는 배기덕트 입구
- 가스 실린더가 있는 가스캐비닛 상부의 국소환기설비 연결부위
- 장비에 공급되는 가스 유량을 조절하는 regulator box(가스조절기함)

대표적인 TGLD 시스템 구성은 [그림 2-10]과 같다.



[그림 2-10] TGLD System의 개요

5) 가스별 반응성

반도체·디스플레이 특수가스의 경우 자연발화, 부식성, 인화성, 독성을 가진

물질이 많다. 또한 서로의 반응성으로 인해 비정상적인 누출시, 스크리버 처리 효율 저하 등으로 인해 이들 가스가 배기계통에 서로 섞일 경우 화재, 폭발을 일으킬 수 있다.

SiH₄, SiH₂Cl₂, Si₂H₆, PH₃, B₂H₆, AsH₃ 가스는 산소와 만나면 자연발화 한다. 예를 들어 SiH₂Cl₂의 경우 ① 발화점은 100°C 이지만 58°C 에서 자연발화된 사례도 있으며, 미량의 수분에 의해 염산과 자연발화성 중화물(폴리실록산)을 생성하고, ② 수분과 반응하여 염화수소의 발연을 생성한다(건조상태에서는 반응하지 않음.), ③ 아세톤과 반응하여 Al, 황동, SUS등을 부식시키는 특징이 있다.

몇 가지 알려진 특수가스의 반응성에 대해 요약하면 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 혼합금지 물질

GAS명	현상
SiH ₄ + O ₂	자연발화
SiH ₄ + Halogen Gas	자연발화
SiH ₂ Cl ₂ + O ₂ (or 수분)	HCl 발생, 부식, 자연발화
SiH ₄ + BCl ₃	B ₂ H ₆ 발생
B ₂ H ₆ + Cl ₂	폭발, BCl ₃ 발생
AsH ₃ + Cl ₂	자연 발화, 백색염 발생
PH ₃ + Halogen Gas	자연 발화
NH ₃ + HCl	고형물(염화암모늄) 생성
N ₂ Te + Cl ₂	HCl 발생, 부식
PF ₃ + F ₂	황색염 ⇒ PF ₅ 발생
H ₂ S + Cl ₂ (or Br)	격심한 반응

특수가스별 반응성 매트릭스로 표현하면 [그림 2-11]과 같다. 여기서 0:미반응성, 1:미세 반응성, 2:강한 반응성, 3:폭발 가능성으로 나타내었다.

	AsH3	B2H6	BCl3	BF3	C2H2	CH4	C12	CO	CO2	F2	GeH4	H2	H2O	H2S	H2Se	HBr	HCl	HF	N2O	NF3	NH3	O2	PH3	S12H6	S1F4	S1H4	S1HC1	WF6	Air			
AsH3	0	0	2	3	0	0	2	2	3	3	0	0	1	1	0	1	1	1	3	3	0	3	0	0	3	0	0	3	3	AsH3		
B2H6	0	0	2	3	0	0	2	2	3	3	0	0	3	1	0	2	2	2	3	3	1	3	0	0	3	0	0	3	3	B2H6		
BCl3	2	2	0	0	2	0	0	0	1	2	2	1	2	2	2	0	0	1	0	0	1	0	1	2	0	2	0	0	0	BCl3		
BF3	3	3	0	0	3	1	0	1	1	0	2	1	2	2	2	1	1	0	0	0	1	0	3	2	0	2	1	0	0	BF3		
C2H2	0	0	2	3	0	0	2	1	1	3	1	3	1	1	1	3	3	3	3	3	1	3	1	1	1	0	1	3	3	C2H2		
CH4	0	0	0	1	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	1	2	CH4		
C12	2	2	0	0	2	0	0	1	1	2	2	1	2	1	1	0	0	0	2	1	0	0	2	0	1	2	2	1	0	C12		
CO	2	2	0	1	1	0	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	2	2	2	1	2	2	1	0	CO		
CO2	3	3	1	1	1	0	1	0	0	1	2	2	1	1	1	1	1	0	1	3	0	3	0	3	3	1	3	3	1	0	CO2	
F2	3	3	2	0	2	2	2	2	1	0	3	3	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	3	3	0	3	3	0	1	F2	
GeH4	0	0	2	2	1	0	2	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	3	0	0	3	0	0	3	3	GeH4		
H2	0	0	1	1	3	0	3	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	3	0	0	3	0	0	3	3	H2		
H2O	1	1	2	2	1	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	H2O	
H2S	1	1	2	2	1	0	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	2	0	0	1	0	1	1	1	2	H2S	
H2Se	0	0	2	2	1	0	1	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	3	1	2	0	0	1	0	1	1	1	2	H2Se	
HBr	1	2	0	1	3	0	1	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	HBr	
HCl	1	2	0	1	3	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	HCl	
HF	1	2	1	0	3	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	HF	
N2O	3	3	0	0	3	3	3	2	0	2	3	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	3	3	0	0	0	N2O	
NF3	3	3	0	0	3	3	1	1	1	0	3	3	1	3	3	1	1	0	0	0	3	0	3	3	0	3	3	0	0	0	NF3	
NH3	0	1	1	1	1	0	3	0	2	2	0	0	1	1	1	1	1	1	3	3	0	3	1	2	3	2	2	3	3	0	NH3	
O2	3	3	0	0	3	3	0	2	0	3	3	3	0	2	3	1	0	0	0	0	0	3	0	3	0	3	0	3	0	0	0	O2
PH3	0	0	1	1	1	0	3	2	3	3	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	1	3	0	0	3	0	1	3	3	0	PH3	
S12H6	0	0	2	2	1	0	2	2	3	3	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	2	3	0	0	3	0	0	3	3	0	0	S12H6
S1F4	0	0	0	0	3	1	1	1	0	2	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	3	3	0	S1F4
S1H4	0	0	0	0	3	1	0	3	2	3	3	0	0	0	0	0	1	1	3	3	2	3	0	0	3	0	0	3	3	0	0	S1H4
S1HC1	0	0	0	1	3	1	0	3	2	3	3	0	1	1	1	1	1	0	1	2	3	2	3	1	0	3	0	0	3	3	0	S1HC1
WF6	3	3	0	0	3	2	1	1	1	0	3	3	1	1	1	1	1	0	0	0	3	0	3	3	0	3	3	0	0	0	0	WF6
Air	3	3	0	0	3	0	0	0	3	3	3	0	2	3	1	0	0	0	0	0	3	0	3	3	0	3	3	0	0	0	0	Air

[그림 2-11] 특수가스별 반응성

참 고 문 헌

- [1] 08년 반도체 제조업 사업장에 대한 역학조사, 2008
- [2] 10년간('09년~19년) 암 발생 및 사망 위험비 추적 조사
- [3] 반도체 산업의 웨이퍼 가공 공정 유해인자 고찰과 활용 연구
- [4] 전자산업의 보건관리 실태조사 및 노동자 보호방안
- [5] 반도체 제조 사업장에 종사하는 근로자의 작업환경 및 유해요인 노출특성 연구 등
- [6] 전자(반도체) 산업에 사용되는 유독성 위험물질의 재해방지에 관한 연구 (1992년 ~ 2009년까지 연구)
- [7] 반도체 제조사업장에 종사하는 근로자의 작업환경 및 유해요인 노출특성 연구
- [8] 국내외 생식독성 화학물질 등의 유해인자 규제관리 실태분석 및 제도개선 연계방안 연구
- [9] 노출기준 추가 제정 화학물질의 유해성·위험성 평가 및 기술적 타당성 평가연구
- [10] 허용기준 설정대상 유해인자 선정을 위한 유해성·위험성 평가 및 사회성·경제성 평가 연구
- [11] 전자산업 안전보건 실태확인을 통한 기술지원 및 안전보건관리 모델 개발
- [12] 직업병진단 사례집(2003년부터 2018년)
- [13] 역학조사 및 산재승인 자료 활용 분석
- [14] 박병찬, 직업성 조혈기계암 감시체계 구축·운영, 2009

- [15] 반도체제조업 근로자 비호지킨립프중 코호트 내 환자-대조군 연구 설계 및 실행가능성 조사(김은아 등, 2015),
- [16] 전자산업 근로자 립프조혈기계 악성질환 사례 연구(김은아 등, 2016),
- [17] 반도체 제조공정 근로자에 대한 건강실태 역학조사 - 암 질환 중심 - (김은아 등, 2009)
- [18] 김태욱 등, “화학물질 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식 개발 ”, 안전보건공단 산업안전보건연구원 연구보고서, 2015
- [19] 김형석 등, “화학산단 안전보건모델 개발 연구”, 안전보건공단 연구보고서, 2019
- [20] 피영규 등, “산업안전보건법상 화학물질 규제 수준별 기준마련 및 선정타당성 등에 관한 연구”, 안전보건공단 산업안전보건연구원 연구보고서, 2012
- [21] 원종욱 등, “사업장 보건관리체계의 효율화 방안에 관한 연구 ”, 안전보건공단 산업안전보건연구원 연구보고서, 2015
- [22] 정혜선 등, “전자산업 안전보건 실태 확인을 통한 기술지원 및 안전보건관리 모델 개발”, 안전보건공단 연구보고서, 2019
- [23] 손미아 등, “전자산업의 보건관리 실태조사 및 노동자 보호방안 마련-반도체 제조업 중심”, 안전보건공단 산업안전보건연구원 연구보고서, 2018
- [24] 박동욱 등, “반도체 웨이퍼 가공 공정 및 잠재적 유해인자에 대한 고찰”, 대한직업환경의학회지, 2011
- [25] 박동욱. “반도체 산업의 웨이퍼 가공 공정 유해인자 고찰과 활용 - 화학물질과 방사선 노출을 중심으로”, 한국산업보건학회지, 2016
- [26] 박승현 등, “반도체 제조 사업장에 종사하는 근로자의 작업환경 및 유해요인 노출특성 연구”, 안전보건공단 한국산업안전보건연구원 연구보고서, 2011

- [27] 박승현 외, “반도체 제조업 작업환경관리 매뉴얼 개발 연구”, 한국산업 안전보건공단 한국산업안전보건연구원, 2012
- [28] 이경재 외, “조직의 안전문화에 대한 인식이 개인의 직무만족, 조직몰입에 미치는 영향: 조직신뢰의 매개 효과”, 한전안전경영학회지, 2013
- [29] 이용희, “안전문화의 인간공학적 접근방안에 대한 논의”, 대한인간공학회, 2015
- [30] 이용희, “인적 오류에 영향을 주는 조직특성 및 안전문화 평가방법에 대한 기초조사 연구”, 한국원자력연구원, 2015
- [31] 정재현, “자동차산업 생태계의 동태적 변화 분석”, 한국산업경제학회, 2018
- [32] 김기찬 외, “대중소기업 상생협력의 이론적 모형 설계: 건강하고 지속가능한 기업생태계 구축”, 중소기업연구, 2006
- [33] 김기찬, “기업생태계관점에서의 연구개발 전략과 플랫폼 리더십: 대중소기업 상생협력과 R&D에의 시사”, 중소기업연구, 2009
- [34] 복득규, “외환위기 전후 한국 자동차부품기업의 거래선 다변화 현황과 결정요인 분석”, 산업조직연구, 2008
- [35] 산업연구원, “신성장동력 산업생태계 활성화방안 연구”, 2011.12
- [36] 한국전자정보통신산업진흥회, “전자산업 Value Chain 변화 및 산업생태계 혁신방안 최종보고서”, 2017.12
- [37] 한국고용정보원, “전자산업의 고용구조와 인력수요 전망”, 2016
- [38] 산업연구원, “산업기초분석: 디스플레이산업”, 2018
- [39] 산업연구원, “산업기초분석: 반도체산업”, 2019
- [40] 기업심사센터, “KOSME 산업분석 Report: 반도체”. 2019
- [41] 한국전자정보통신산업진흥회, “전자산업 인력수급 전망 및 실태조사 결

과” , 2016

[42] 산업연구원, “2018 한국의 산업” , 2018

[43] 김치년 등, “반도체 산업 협력사 보건관리 매뉴얼 마련” , 한국반도체산업 협회보고서, 2019

[44] 정은교 등, LCD 제조업 작업환경관리 매뉴얼 개발 연구, 안전보건공단, 2017

