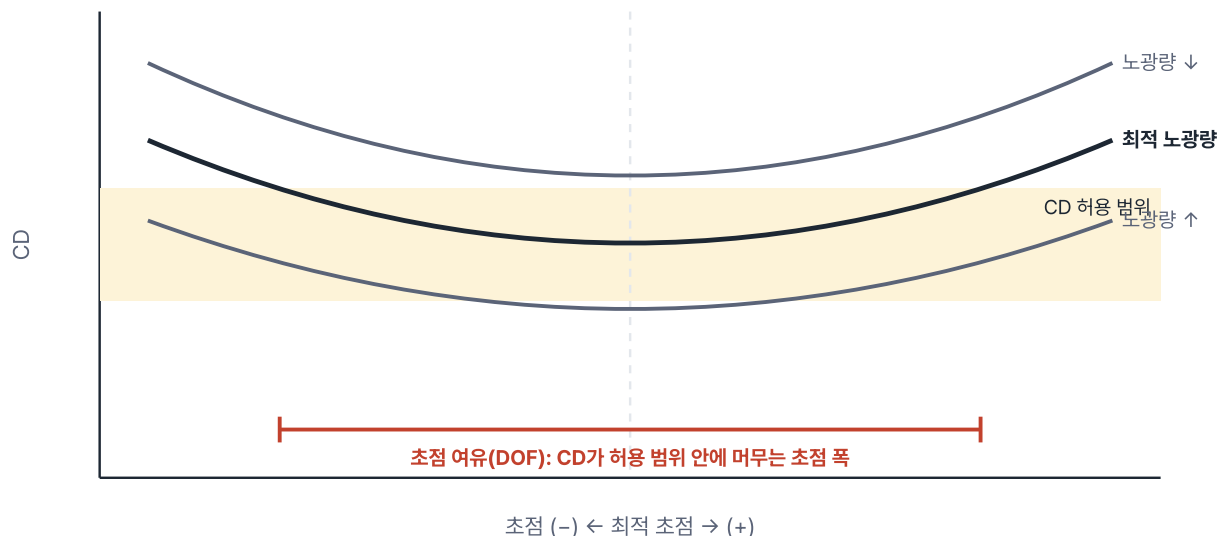




자료 5 공정엔지니어 면접 자료 시리즈

포토 면접 집중편

해상도와 초점 심도, 감광액과 PEB, 오버레이, EUV까지

4년제 공정기술·양산기술 신입 대상, 삼성전자와 SK하이닉스 면접 공통

"해상도를 높이려면?"에 공식으로 답하는 지원자는 많습니다. "그 대가는요?"에 초점 여유와 공정 창으로 답하는 지원자는 드뭅니다.

포토는 웨이퍼 위에 처음으로 패턴이 생기는 공정이고, 뒤의 식각과 이온주입은 이 PR 패턴을 마스크로 삼아 아래로 옮깁니다(옮기면서 CD가 다시 바뀝니다). 그래서 포토 엔지니어는 세 가지 숫자를 붙들고 삽니다. 선폭(CD), 층과 층의 정렬(오버레이), 결함.

지표	뜻	어떻게 재나
CD	패턴의 선폭이나 홀 지름	CD-SEM(위에서 본 전자현미경), 광학 산란 계측(OCD)
오버레이	이번 층 패턴이 아래층 패턴과 얼마나 어긋났나	전용 마크를 광학으로 측정. 이미지 방식(IFO)과 회절 방식(DBO)
결함	패턴 쓰러짐, 이어짐(브리지), 바닥 찌꺼기 등	광학·전자빔 결함 검사
PR 두께·프로파일	감광액이 얼마나 고르게 발랐고 단면이 어떤가	두께 측정, 단면 SEM

포토 공정의 순서

1. 표면 처리

HMDS 같은 처리로 표면을 소수성으로 바꿔 PR이 잘 붙게 함

2. PR 도포

스핀 코팅. 회전 속도와 점도로 두께를 정함.
가장자리 두꺼운 테두리는 제거(EBR)

3. 소프트 베이크

PR 속 용매를 날려 막을 안정화

4. 노광

마스크(레티클) 패턴을 렌즈로 축소해 샷 단위로 찍음. 정렬 후 노광

5. PEB

노광 후 굽기. 화학증폭형 PR에서는 여기서 녹을 영역이 실제로 정해짐

6. 현상

현상액으로 녹일 부분을 녹임. 양성 PR은 빛 받은 곳이 녹음

7. 하드 베이크

필요할 때 PR을 단단하게 (공정에 따라 생략)

8. 계측(ADI)

CD, 오버레이, 결함을 재고, 벗어나면 PR을 벗기고 다시 함(재작업)

포토만 가진 특권: 재작업. 식각이나 증착은 한 번 하면 되돌릴 수 없지만, 포토는 현상 뒤 검사에서 문제가 보이면 PR을 벗기고 다시 할 수 있습니다. 그래서 포토 후 계측(ADI)은 불량을 되돌릴 수 있는 마지막 관문입니다. 이 말 한마디로 포토 계측이 왜 중요한지 설명됩니다.

해상도	$R = k_1 \cdot \lambda / NA$	찍을 수 있는 가장 작은 선폭(반 피치). 작을수록 좋음
초점 심도	$DOF = k_2 \cdot \lambda / NA^2$	초점이 조금 어긋나도 패턴이 유지되는 범위. 클수록 좋음
개구수	$NA = n \cdot \sin \theta$	렌즈가 빛을 모으는 각도의 크기를 나타내는 값. 렌즈와 웨이퍼 사이 매질의 굴절률 n 이 곱해짐

해상도를 높이는 세 방향과 각각의 대가

방향	어떻게	대가
파장 $\lambda \downarrow$	g선(436 nm) → i선(365) → KrF(248) → ArF(193) → EUV(13.5 nm)	광원·렌즈·PR·마스크를 모두 새로 개발. EUV는 장비 구조 자체가 바뀜(03장)
NA $\uparrow$	렌즈를 키우거나, 렌즈와 웨이퍼 사이를 물로 채우는 액침(ArF 액침은 NA 약 1.35까지)	렌즈 각을 키워 NA를 올리면 DOF가 NA^2 에 반비례해 줄어듦(웨이퍼 평탄도·초점 관리 부담). 액침은 같은 해상도에서 건식보다 DOF가 오히려 넓다는 장점도 있음
$k_1 \downarrow$	OPC(마스크 모양 보정), 위상반전 마스크, 변형 조명(사입사 조명)	마스크 설계·계산 비용 증가, 패턴 모양에 따라 효과가 다름. 단일 노광의 이론 한계는 $k_1 = 0.25$

이 한계보다 작은 피치가 필요하면 노광을 여러 번 나눠 찍는 멀티 패터닝을 씁니다. 두 번 찍고 두 번 깎는 방식(LELE)이나, 패턴 옆에 스페이서를 붙여 피치를 반으로 줄이는 방식(SADP, 네 배로 줄이는 SAQP)이 있습니다. 대가는 공정 단계와 비용 증가이고, LELE는 두 노광 사이의 정렬(오버레이), SADP·SAQP는 피치가 고르지 않게 되는 문제(피치 워킹)와 패턴을 잘라내는 추가 마스크 부담이 있습니다.

표지 그래프 읽는 법(Bossung(보쌈) 곡선). 노광량을 고정하고 초점을 바꾸면 CD가 위아래로 휩니다. 노광량이 다르면 곡선 전체가 위아래로 움직입니다. CD가 허용 범위 안에 머무는 초점 폭이 초점 여유(DOF)이고, 노광량 폭이 노광 여유입니다. 이 둘이 만드는 면적이 **공정 창(process window)**입니다. 실제로는 노광량과 초점을 바둑판처럼 바꿔 찍은 웨이퍼(FEM)로 이 그래프를 얻습니다.

고리질문 대비. "공정 창이 좁으면 무엇이 문제죠?" → 양산에서는 웨이퍼 휨, 막 두께 차이, 장비 초점 흔들림 때문에 초점과 노광량이 조금씩 흔들립니다. 공정 창이 좁으면 그 흔들림만으로 CD가 Spec을 벗어납니다. 그래서 해상도를 올리는 기술은 항상 공정 창을 얼마나 지키느냐와 함께 평가됩니다.

	양성(positive) PR	음성(negative) PR
빛 받은 곳	현상액에 녹음	남음(녹지 않게 바뀜)
주로 쓰는 곳	미세 패턴 대부분	특정 층, 일부 공정. 참고로 음성 톤 현상(NTD)은 양성 화학증폭형 PR을 유기 현상액으로 현상해 음성 상을 얻는 방식

화학증폭형 PR(CAR)은 왜 PEB에 민감한가

KrF 이후의 PR 대부분은 화학증폭형입니다. 노광하면 PR 속 광산발생제(PAG)가 산을 만들고, PEB로 가열하면 그 산이 퍼지며 수지의 보호기를 떼어내 현상액에 녹는 상태로 바뀝니다. 산은 반응 후에도 남아 다음 반응을 계속 일으키는 촉매라서, 적은 빛으로도 큰 변화를 만듭니다(증폭).

- 그래서 **PEB 온도와 시간이 CD를 직접 바꿉니다**. 산이 얼마나 멀리 퍼지고 얼마나 반응하는지가 온도·시간에 달려 있기 때문입니다. 핫플레이트 온도 분포가 웨이퍼 CD 분포로 그대로 나타날 수 있습니다.
- **노광 후 PEB까지의 대기 시간도 관리 항목입니다**. 대기 중 염기성 물질(아민 등)이 표면의 산을 중화하면 위쪽이 덜 녹아 T자 모양(T-top)이 생깁니다.
- **산의 확산은 해상도의 적이기도 합니다**. 산이 너무 멀리 퍼지면 패턴 가장자리가 흐려집니다. 증폭(감도)과 선명함(해상도)이 맞바뀌는 지점입니다.

포토의 대표 불량

불량	모양	흔한 원인
패턴 쓰러짐	가늘고 높은 PR 패턴이 넘어지거나 붙음	현상 후 건조 때 패턴 사이 액체의 표면장력. 중형비가 클수록 심함. PR을 얇게 하거나 린스액 개선
T-top	위쪽이 덜 녹아 T자 모양	대기 중 염기성 오염이 표면 산을 중화. PEB까지 대기 시간, 환경 관리
스کم·푸팅	바닥에 PR이 덜 녹고 남거나 아래가 넓게 퍼짐	아래 막과 PR의 상호작용(예: 질화막 표면), 노광·현상 부족
브리지	이웃 패턴이 이어짐	노광량·초점 이탈, 공정 창 밖
정재파 무늬	측벽이 물결 모양	아래 막에서 반사된 빛이 간섭. 반사방지막(BARC)으로 줄임

오버레이: 층과 층의 정렬

반도체는 수십 개 층이 정확히 겹쳐야 동작합니다. 콘택이 아래 소자에서 조금만 비껴도 저항이 오르거나 끊깁니다. 노광 장비는 웨이퍼 위 정렬 마크를 읽어 위치를 맞추고, 노광 후에는 오버레이 마크로 얼마나 어긋났는지 잽니다.

어긋남의 종류	설명
이동(translation)	전체가 한 방향으로 밀림
회전(rotation)	전체가 돌아감
배율(magnification)	패턴이 조금 커지거나 작아져 바깥으로 갈수록 어긋남이 커짐
웨이퍼 변형	앞 공정의 막 응력, 열처리, CMP로 웨이퍼가 미세하게 휘거나 늘어나 위치마다 다르게 어긋남
샷 내부 성분	한 샷 안에서의 배율·회전, 렌즈 왜곡. 웨이퍼 전체 성분(인터필드)과 구분해 샷 내부 성분(인트라필드)이라 부름

앞의 세 가지는 장비가 측정값으로 보정할 수 있는 성분이 많습니다. 보정하고도 남는 어긋남(잔차)이 문제인데, 그 원인이 포토가 아니라 앞 공정에 있는 경우가 많습니다. 자료 4의 막 응력이 오버레이를 망가뜨리는 이유가 여기에 있습니다.

면접 답의 핵심 한 줄. "오버레이가 나빠졌다면 노광 장비만 보지 않고, 그 층 이전에 웨이퍼 형태를 바꾸는 공정(막 응력, 열처리, CMP)이 바뀌었는지 같이 보겠습니다." 증상 공정과 원인 공정이 다를 수 있다는 시리즈 공통의 판단이 여기서도 쓰입니다.

EUV는 무엇이 다른가

	ArF 액침	EUV
파장	193 nm	13.5 nm
광학계	렌즈(투과)	거울(반사). EUV는 거의 모든 물질에 흡수돼 렌즈를 못 씴. Mo/Si 다층 거울을 여러 장 쓰고, 거울마다 일부가 흡수돼 빛이 줄어듦
환경	대기 중	진공. 공기도 EUV를 흡수함
마스크	투과형	반사형 마스크
광원	ArF 엑시머 레이저	주석(Sn) 방울에 레이저를 쏘아 만든 플라스마에서 나오는 빛
NA	약 1.35	0.33, 차세대 High-NA는 0.55

EUV의 숨은 문제: 광자가 적다

EUV 광자 하나의 에너지는 약 92 eV로, ArF 광자(약 6.4 eV)보다 열네 배쯤 큼니다. 같은 노광량이면 광자 수가 그만큼 적습니다. 광자가 적으면 작은 패턴 하나하나에 떨어지는 광자 수가 통계적으로 흔들려, 어떤 홀은 안 열리고 어떤 선은 붙는 무작위 불량(확률적 결함)이 생깁니다. 노광량을 올리면 줄지만 처리량이 떨어집니다. "EUV의 과제는?"에 광원 출력과 함께 이 점을 말하면 깊이가 드러납니다.

1. 해상도를 높이는 방법은?

→ $R = k_1 \lambda / NA$ 에서 파장을 줄이고(EUV), NA를 키우고(액침), k_1 을 낮추는(OPC, 위상반전 마스크, 변형 조명) 세 방향입니다. 각각 비용, DOF 감소, 공정 창 축소라는 대가가 있다는 것까지 말하세요.

2. 액침 노광은 왜 해상도가 좋아지나요?

→ 렌즈와 웨이퍼 사이를 굴절률이 공기보다 큰 물로 채우면 $NA = n \sin \theta$ 에서 n 이 커져 NA가 1을 넘을 수 있습니다. 액침은 같은 해상도에서 초점 여유가 건식보다 넓은 장점이 있습니다. 대가는 물방울 결합, 물과 PR의 상호작용 관리입니다.

3. PEB는 왜 하나요?

→ 화학증폭형 PR에서 노광으로 생긴 산이 PEB 가열로 퍼지며 반응해야 패턴이 만들어지기 때문입니다. 온도와 시간이 CD에 직접 영향을 줍니다.

4. OPC란?

→ 빛의 회절 때문에 마스크 모양이 웨이퍼에 그대로 옮겨지지 않는 것(모서리가 둥글어지고 선 끝이 짧아짐)을 미리 계산해, 마스크 패턴을 일부러 변형해 두는 보정입니다.

5. 오버레이가 나빠지면 무엇을 보나요?

→ 어긋남을 성분(이동, 회전, 배율, 웨이퍼 변형)으로 나눠 보고, 장비 보정으로 안 잡히는 잔차가 크면 앞 공정의 웨이퍼 변형(막 응력, 열처리, CMP)을 의심합니다.

Q 웨이퍼 전체에서 선 패턴 CD가 조금씩 커졌습니다. 노광 장비는 정상이라고 합니다. 무엇을 보겠습니까?

1 사실 확인	얼마나, 언제부터 커졌는지 SPC로 확인하고, CD-SEM 교정 상태와 측정 위치가 바뀌지 않았는지(측정 문제) 먼저 봅니다.
2 범위	한 트랙(도포·현상 장비)이나 한 핫플레이트를 거친 웨이퍼만인지, 특정 PR 병(로트)을 쓴 웨이퍼만인지 이력으로 가릅니다.
3 가설	PEB 온도·시간 변화, 노광 후 대기 시간 증가, PR 로트 감도 차이, PR 두께 변화, 현상 조건, 아래 막 반사율 변화(앞 공정 막 두께).
4 확인	PEB 핫플레이트 온도 로그, 노광에서 PEB까지 대기 시간 기록, PR 로트 교체 시점과 CD 변화 시점 비교.
5 조치·대가	원인 확정 전에는 노광량 보정으로 CD를 맞출 수 있지만, 원인이 그대로라 공정 창 중심이 옮겨진 상태로 운영하게 됩니다. 이미 현상한 웨이퍼는 재작업(PR 제거 후 재도포)이 가능하므로, 시각으로 넘기기 전에 보류합니다.

꼬리질문 "노광량을 바꿔 맞추면 되지 않나요?" → 당장 CD는 맞지만 원인이 PEB나 PR이라면 초점 여유가 줄어든 상태일 수 있고, 원인이 더 커지면 노광량 보정으로 못 따라갑니다. 보정은 시간을 버는 수단이지 해결이 아닙니다.



읽은 것을 손으로 해 보기

포토 공정 시뮬레이터

도포부터 노광, 현상까지 8단계를 직접 돌려 보고, 조건을 바꿨을 때 패턴이 어떻게 달라지는지 확인할 수 있습니다.

semifabai.com

카카오톡 채널

새 자료 공개 소식을 채널에서 먼저 알려 드립니다. 채널을 추가해 두세요.

pf.kakao.com/_VXHFX

카카오톡 채널 검색: semifabai

다음 편: 자료 6

수율과 SPC

수율 모델, 웨이퍼 맵 읽기, 관리도와 Cp-Cpk. 자료실에서 지금 받을 수 있습니다.

공정엔지니어 면접 자료 시리즈

01	공정엔지니어 면접, 판단을 말하는 법	상황형 질문과 PT 면접을 6단계로 푸는 법	받기 가능
02	반도체 8대 공정, 순서에 이유가 있다	두 가지 8대 공정, 열 예산, FEOL과 BEOL	받기 가능
03	식각 면접 집중편	건식과 습식, 이방성, 선택비, ICP와 CCP, 프로파일 불량	받기 가능
04	증착 면접 집중편	CVD, PVD, ALD 차이와 스텝 커버리지, 응력, 갭필	받기 가능
06	수율과 SPC	수율 모델, 웨이퍼 맵 읽기, 관리도와 Cp-Cpk	받기 가능
07	진공·설비 기초	펌프와 게이지, 압력 제어, MFC, 리크와 RF 매칭	받기 가능
08	삼성전자 PT 면접 유형별 연습 문제 10선	시나리오형·데이터 해석형·조건 선택형·개선안형	받기 가능
09	DRAM, NAND, HBM 구조를 면접 수준으로		예정
10	미세화 트렌드 답변법	GAA, 3D NAND, 하이브리드 본딩	예정
11	공정기술, 설비기술, 양산기술 직무 차이 지원 동기 쓰는 법		예정
12	반도체 자소서와 1분 자기소개		예정

공개된 자료는 semifabai.com/resources 에서 받을 수 있습니다. 순서와 제목은 의견에 따라 바뀔 수 있습니다.

이 자료는 삼성전자, SK하이닉스와 관계없는 독립 학습 자료입니다. 표지 그래프는 개념 설명용 예시이며 실제 측정값이 아닙니다. 공정 조건의 방향은 일반적인 경향이며 장비·재료·세대에 따라 다릅니다. © 2026 세미랩 AI. 개인 학습용으로 자유롭게 쓰시고, 다른 곳에 올리실 때는 출처를 남겨 주세요.