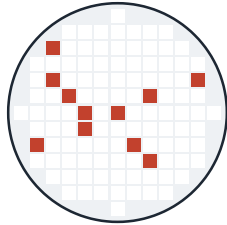


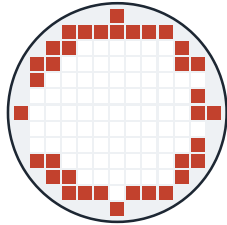
불량 칩이 놓인 모양이 원인을 가리킨다

빨간 칸: EDS 불량 칩 · 개념 예시



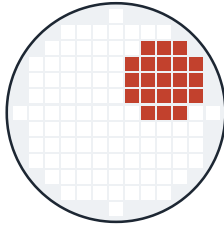
랜덤

파티클 등 무작위



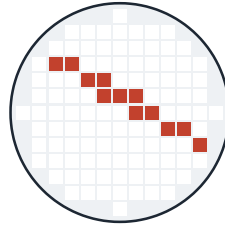
가장자리 링

가장자리 막·식각 균일도



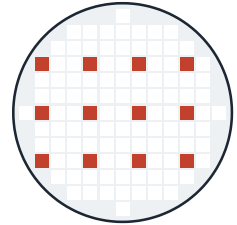
군집

국소 오염·핸들링



선

CMP·이송 중 긁힘



샷 반복

레티클·노광

모양만으로 원인을 확정할 수는 없습니다. 어디부터 의심할지를 정하는 첫 단서입니다.

자료 6 공정엔지니어 면접 자료 시리즈

수율과 SPC

수율 모델, 웨이퍼 맵 읽기, 관리도와 Cp·Cpk, 양산의 자동 관리
4년제 공정기술·양산기술 신입 대상, 삼성전자와 SK하이닉스 면접 공통

"수율이 떨어지면 어떻게 하겠습니까?"는 공정과 상관없이 나오는 질문입니다. 이 자료는 그 질문에 데이터의 언어로 답하는 법을 다룹니다.

세미팜 AI

반도체 장비공학 박사, 대학 반도체 공정 강의
semifabai.com

2026 하반기판
무료 배포용

"수율"은 한 숫자가 아닙니다. 웨이퍼가 라인을 무사히 통과하는 비율, 웨이퍼 위 칩이 전기 검사를 통과하는 비율, 패키지 후 최종 검사를 통과하는 비율이 곱해져 최종 수율이 됩니다. 어느 수율이 떨어졌는지부터 말하는 것이 답의 시작입니다.

구분	뜻	주로 무엇이 떨어뜨리나
라인 수율	투입한 웨이퍼 중 라인을 끝까지 통과한 비율	파손, 공정 사고로 폐기(스크랩)
다이(EDS) 수율	웨이퍼 위 칩 중 전기 검사를 통과한 비율	결함, 공정 산포로 인한 특성 이탈
패키지·테스트 수율	패키징 후 최종 검사를 통과한 비율	조립 불량, 신뢰성 불량

결함 밀도와 수율: 푸아송 모델

결함이 웨이퍼 위에 무작위로 떨어진다고 가정하면, 칩 하나에 결함이 하나도 없을 확률이 수율입니다.

$$Y = e^{-A \cdot D_0} \quad A: \text{칩 면적}, D_0: \text{결함 밀도(치명 결함 기준)}$$

칩 면적 A	결함 밀도 D_0	$A \cdot D_0$	수율 Y
1 cm ²	0.1 /cm ²	0.1	약 90.5%
2 cm ²	0.1 /cm ²	0.2	약 81.9%
1 cm ²	0.5 /cm ²	0.5	약 60.7%

- **읽는 법.** 같은 결함 밀도에서도 칩이 크면 수율이 지수적으로 떨어집니다. 큰 칩일수록 결함 관리가 더 엄격해야 하는 이유입니다.
- **한계.** 실제 결함은 무작위가 아니라 뭉쳐 떨어지는 경우가 많아, 같은 평균 결함 밀도라도 푸아송 모델보다 실제 수율이 높게 나오곤 합니다. 그래서 뭉침을 반영한 음이항 모델($Y = (1 + A \cdot D_0 / \alpha)^{-\alpha}$)을 쓰기도 합니다.
- **모든 결함이 불량을 만들지는 않습니다.** 결함이 회로의 민감한 위치(치명 면적)에 떨어져야 불량이 됩니다. 그래서 D_0 는 "검사로 찾은 결함 수"가 아니라 "치명 결함" 기준입니다.

EDS 결과를 칩 위치대로 그린 것이 웨이퍼 맵입니다. 불량 칩이 놓인 모양은 원인 공정을 좁히는 첫 단서입니다. 단서일 뿐 결론이 아니라는 점을 꼭 붙여 말하세요.

모양	이렇게 보이면	먼저 의심할 곳
랜덤	웨이퍼 전체에 흩어져 있음	파티클 같은 무작위 결함. 결함 검사 데이터와 결함 밀도 추이
가장자리 링	가장자리 칩에 몰림	가장자리의 막 두께·식각 균일도, 가장자리 부품 마모, 베벨 오염
중앙·동심원	중앙이나 원형 띠 모양	회전하는 공정(스핀 코팅, CMP), 척 온도 분포, 가스 분배
군집	한 곳에 뭉쳐 있음	국소 오염, 파티클 덩어리, 웨이퍼 취급 중 접촉
선	직선이나 호 모양으로 이어짐	CMP 스크래치, 이송 중 긁힘
샷 반복	노광 샷마다 같은 위치에 반복	레티클(마스크) 결함, 노광 조건
한쪽 쓸림	웨이퍼 반쪽이나 한 방향으로 치우침	척 기울기, 가스 흐름 방향, 웨이퍼 놓인 방향과 관계된 공정

공통점 분석: 나쁜 Lot이 함께 거친 곳을 찾는다

수율이 떨어진 Lot과 정상 Lot의 공정 이력을 나란히 놓고, 나쁜 Lot만 공통으로 거친 장비·챔버·시간대를 찾습니다. 양산 라인에서 가장 먼저 쓰는 분석입니다.

Lot	수율	식각 챔버	증착 챔버
L1	92%	A	C
L2	91%	A	D
L3	78%	B	C
L4	93%	A	D
L5	77%	B	D
L6	79%	B	C

가상의 예시 데이터입니다.

수율이 낮은 L3, L5, L6은 모두 식각 챔버 B를 거쳤고, 증착 챔버는 섞여 있습니다. 식각 챔버 B가 가장 유력한 후보입니다. 하지만 **공통점은 상관이지 원인이 아닙니다**. 표본이 여섯 개뿐이고, B를 거친 Lot이 우연히 다른 공통점(같은 날, 같은 원자재)을 가졌을 수도 있습니다. 그래서 B 챔버의 장비 로그와 인라인 측정값, 웨이퍼 맵 모양이 B의 특성과 맞는지로 확인합니다.

Spec과 관리한계는 다르다

	Spec (USL / LSL)	관리한계 (UCL / LCL)
어디서 오나	제품 설계·고객 요구. "이 범위를 벗어나면 불량"	공정 데이터. 평소 흔들리는 폭(보통 평균 $\pm 3\sigma$)
벗어나면	그 제품이 불량	공정이 평소와 달라졌다는 신호. 아직 불량이 아닐 수 있음
누가 바꾸나	설계·고객 합의 없이는 못 바꿈	공정이 바뀌면(개선 등) 데이터로 다시 계산

관리도의 종류

$\bar{X}$-R 관리도	몇 개씩 묶어 켜 값(예: 같은 조건에서 연속으로 켜 다섯 개)의 평균과 범위를 함께 봄. 평균의 이동과 산포의 변화를 따로 잡음. 웨이퍼 안 여러 점은 웨이퍼 평균을 I-MR로, 웨이퍼 내 산포는 따로 관리하는 경우가 많음(웨이퍼 안 점들로 묶으면 관리한계가 너무 좁아짐)
I-MR 관리도	한 번에 하나씩 나오는 값(예: Lot당 한 값)과 이웃 값의 차이를 봄
p 관리도	불량률처럼 비율 데이터
c·u 관리도	결함 개수처럼 셀 수 있는 데이터

이상 신호 규칙 (Western Electric)

1. 한 점이 $\pm 3\sigma$ (관리한계) 밖
2. 연속 세 점 중 두 점이 같은 쪽 2σ 밖
3. 연속 다섯 점 중 네 점이 같은 쪽 1σ 밖
4. 연속 여덟 점이 중심선 한쪽

Nelson 규칙은 여기에 "연속 여섯 점이 계속 증가 또는 감소" 같은 추세 규칙을 더합니다. 규칙을 많이 쓸수록 이상을 일찍 잡지만, 정상인데 울리는 오경보도 늘어납니다. 정규분포라면 한 점이 $\pm 3\sigma$ 밖으로 나갈 확률은 약 0.27%로, 관리점이 많으면 오경보가 꽤 자주 생깁니다. 어떤 규칙을 쓸지는 이 맞바꿈으로 정합니다.

Cp와 Cpk

Cp	$(USL - LSL) / 6\sigma$	Spec 폭이 공정 산포의 몇 배인가. 평균 위치는 안 봄
Cpk	$\min(USL - \mu, \mu - LSL) / 3\sigma$	평균이 Spec 중앙에서 치우친 정도까지 반영

계산 예. USL 160, LSL 140, 평균 $\mu = 152$, $\sigma = 2$ 이면 $C_p = 20 / 12 \approx 1.67$, $C_{pk} = \min(8, 12) / 6 \approx 1.33$ 입니다. 산포는 충분히 좁은데 평균이 위쪽으로 치우쳐 C_{pk} 가 C_p 보다 낮습니다. 개선 방향은 산포를 줄이는 것이 아니라 **평균을 중앙으로 옮기는** 것입니다. C_p 와 C_{pk} 의 차이가 무엇을 고칠지 알려 줍니다.

$C_{pk} = 1.0$ 이면 가까운 쪽 Spec이 평균에서 3σ , 1.33 이면 4σ 떨어져 있다는 뜻입니다. 정규분포라면 가까운 쪽 Spec 밖으로 나갈 비율은 각각 약 0.135%, 약 0.003%입니다. 또 하나, σ 를 짧은 기간의 군내 변동으로 구하면 C_p · C_{pk} , 전체 데이터의 변동으로 구하면 P_p · P_{pk} 라고 구분해 부르기도 합니다.

양산 라인에서는 사람이 모든 차트를 보지 않습니다. 이상을 감지하고, 막고, 보정하는 일의 상당 부분이 시스템으로 돌아갑니다. 신입이 이 이름들을 알고 있으면 현장 이해가 드러납니다.

이름	하는 일	알아 둘 점
OCAP	관리도 이상이 생겼을 때 누가 무엇을 할지 정해 둔 대응 절차(Out of Control Action Plan)	"이상이면 어떻게 하겠냐"는 질문에 "정해진 OCAP에 따라 먼저 측정이 맞는지(계측기 상태·재측정) 확인하고, 이상이 맞으면 장비·Lot을 홀드하고..."로 시작할 수 있음
FDC	설비 센서 데이터(압력, RF 반사 전력, 유량, 온도 등)를 실시간으로 보고 이상을 감지(Fault Detection and Classification)	측정 결과가 나오기 전에 장비 이상을 잡는 장치
R2R / APC	앞 측정값으로 다음 Lot의 레시피를 자동 보정(Run-to-Run 제어). 예: 들어온 막 두께에 맞춰 CMP 시간을 조절, 오버레이 보정값 갱신	보정이 원인을 덮을 수 있음. 보정량 자체가 계속 커지면 그것이 이상 신호
MES 홀드	이상이 확인된 Lot이 다음 공정으로 넘어가지 않게 시스템에서 막음	홀드는 생산 지연이라는 대가가 있음

"보정은 원인을 숨긴다"를 말할 수 있으면 한 단계 위입니다. R2R이 식각 시간을 매번 조금씩 늘려 깊이를 맞추고 있다면, 결과 차트는 평평해 보여도 장비는 조금씩 나빠지고 있습니다. 그래서 결과값뿐 아니라 보정량의 추세도 관리 항목으로 둡니다.

1. Spec 안인데 관리한계를 벗어났습니다. 문제인가요?

→ 지금 Lot은 불량이 아니지만, 공정이 평소와 달라졌다는 신호입니다. 원인을 모른 채 두면 다음 Lot이 Spec을 벗어날 수 있으므로 OCAP에 따라 조사합니다.

2. Cp는 높는데 Cpk가 낮습니다. 무엇을 하겠습니까?

→ 산포는 충분히 좁고 평균이 한쪽으로 치우친 상태입니다. 평균을 Spec 중앙으로 옮기는 조정(레시피 중심값 조정)이 우선입니다.

3. 수율과 결함 밀도의 관계는?

→ 푸아송 모델에서 $Y = e^{-A \cdot D_0}$ 라 결함 밀도와 칩 면적이 클수록 수율이 지수적으로 떨어집니다. 실제로는 결함이 뭉쳐 있어 모델보다 수율이 높게 나오기도 합니다.

4. 데이터에서 이상값을 빼도 되나요?

→ 측정 오류로 확인된 경우에만 뺍니다. 확인 없이 빼면 실제 공정 이상을 지우는 것이 됩니다. 뺐다면 왜 뺐는지 기록합니다.

Q 어제부터 한 제품의 EDS 수율이 5%p 떨어졌습니다. 원인 분석 순서를 말해 보세요.

1 현상	어떤 불량 항목(EDS 불량 분류)이 늘었는지, 언제 투입된 Lot부터인지 확인합니다. 전기 특성 불량인지 기능 불량인지에 따라 의심 공정이 달라집니다.
2 범위	웨이퍼 맵 모양을 보고, 나쁜 Lot과 정상 Lot의 공정 이력으로 공통점 분석을 합니다. 같은 공정을 쓰는 다른 제품도 떨어졌는지 봅니다. EDS 테스터 자체 문제는 아닌지도 확인합니다.
3 가설	공통으로 거친 장비·챔버, 그 시기에 있었던 정비·레시피 변경·원자재 교체.
4 확인	의심 장비의 FDC 데이터와 인라인 측정값, 결함 검사 이미지, 필요하면 불량 칩 단면 분석으로 원인을 확정합니다.
5 조치·대가	의심 장비를 홀드하고 다른 장비로 생산을 돌립니다. 처리량이 줄고, 이미 그 장비를 거친 Lot은 추가 검사가 필요합니다. 원인이 확정되면 정비 후 기준 웨이퍼로 확인하고 해제합니다.
6 재발 방지	먼저 움직였던 FDC 신호나 인라인 지표를 관리 항목으로 추가합니다.

꼬리질문 "공통점이 두 개 나오면요?" → 예를 들어 나쁜 Lot이 같은 식각 챔버와 같은 날 들어온 원자재를 함께 공유한다면, 한쪽만 다른 Lot이 있는지 찾아 갈라 봅니다. 없다면 의도적으로 나눠 흘리는 실험(스플릿)으로 확인합니다.



읽은 것을 손으로 해 보기

공정엔지니어 미션

관리도와 장비 로그, 측정 데이터를 열어 공정 사건의 원인을 좁히고, 라인을 어떻게 운영할지 결정합니다. 판단마다 AI 면접관이 근거를 묻습니다.

semifabai.com/missions

카카오톡 채널

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

pf.kakao.com/_VXHFX

카카오톡 채널 검색: semifabai

다음 편: 자료 7

진공·설비 기초

펌프와 게이지, 압력 제어, MFC, 리크와 RF 매칭. 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
05	포토 면접 집중편	해상도와 초점 심도, 감광액과 PEB, 오버레이, EUV	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. 표지의 웨이퍼 맵과 본문의 Lot 표는 개념 설명용 가상 데이터입니다. © 2026 세미랩 AI. 개인 학습용으로 자유롭게 쓰시고, 다른 곳에 올리실 때는 출처를 남겨 주세요.