
반도체 품질 DATA 소개 & Unsupervised MAP Pattern Clustering

발표자 : 백 승 호

목차

1. 제조 회사의 이해
2. 반도체 공정의 이해
3. 공정 DATA의 이해
4. 논문 (Unsupervised MAP Pattern Clustering)
5. Conclusion

제조 회사의 이해



KAKAO



기업의 목적
= **이윤의 극대화**



NAVER



coupang

이윤 = 영업 이익

영업 이익↑ = 매출액↑ - 원가↓

매출액 증가 방안

- 수요의 증가
 - 새로운 생태계 탄생 (Ex .스마트폰 etc)
 - 경쟁 기업의^^;;
- 제품 경쟁력 증진
 - 신제품 개발 (Ex. Mobile/ HBM/ Graphic etc)
 - 고품질 제품 생산 (High Quality & Reliability)

원가 절약 방안

- 원가의 3요소
 - 재료비, 노무비, 경비
- 재료비 절감 방안
 - 공정 세대 전환 (30nm → 20nm → 10nm)
 - 원재료 교체
 - 공정 단순화
 - 설비 가동률 증진
(대기시간 최소화, 공정 MIX)

제조 회사의 이해

▣ 제품의 생애

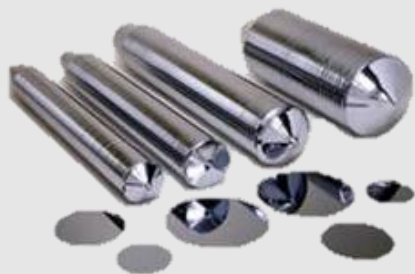
Qual.
↓

구분	제품 기획	제품 개발	양산성 검증	제조	Test / AS
연관 부서	상품기획	개발실 (연구소)	QA	제조팀 각 기술팀	QA CS
우리가 할 일?	Market Prediction 고용량? 저전력? 속도? 비휘발성? 온도? etc	Simulation A.I	Quality & Reliability	Manufacturing Equip- Management (PM) Algorithm	FAB Management Product Release

제조 회사의 이해

▣ 제품의 생애

원자재



Wafer

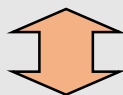


용액

FAB



제조



계측



EDS



전기적 Test

PKG



조립 & Test

반도체 공정의 이해

■ FAB 공정 (8대 공정)

구분	공정명	비고
PHOTO	PHOTO	Pattern의 시작
Etching / CLN	ETCH	이방성 식각 (Plasma를 이용한 물리적 식각, Vertical로 깊은 Pattern을 만들 때 사용)
	CLN	등방성 식각 (용액을 활용한 화학적 식각, 불순물 제거에도 활용)
	CMP	평탄화 공정 (Slurry라는 화학 용액 + 회전하는 PAD를 활용한 평탄화)
Deposition	CVD	Depo용 가스를 Wafer 표면에 흡착시켜 증착
	METAL	Sputter or 도금 방식을 이용한 증착
	DIFF	고온의 설비 안에서 Sub Wafer와 반응하여 새로운 혼합 막질 생성
Implantation	IMP	WF 표면에 강제적으로 Ion을 주입하여 전극을 띄게 만드는 공정

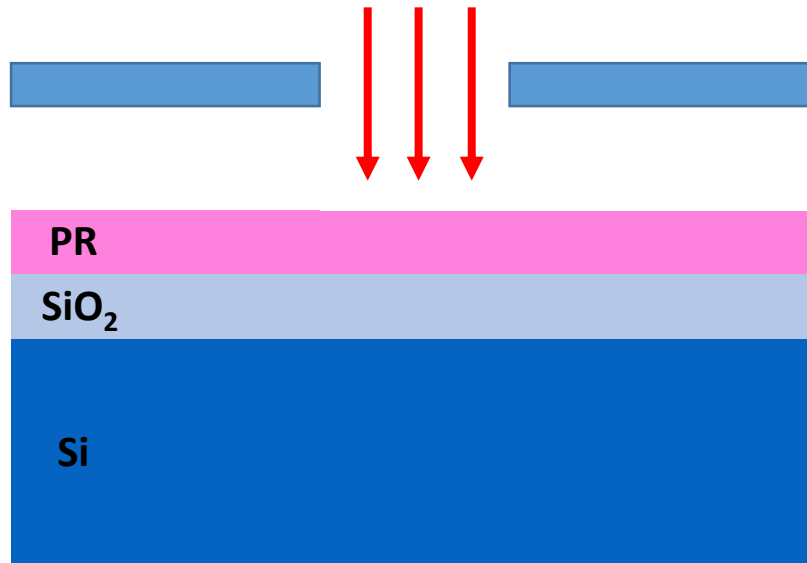
반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (DIFF)



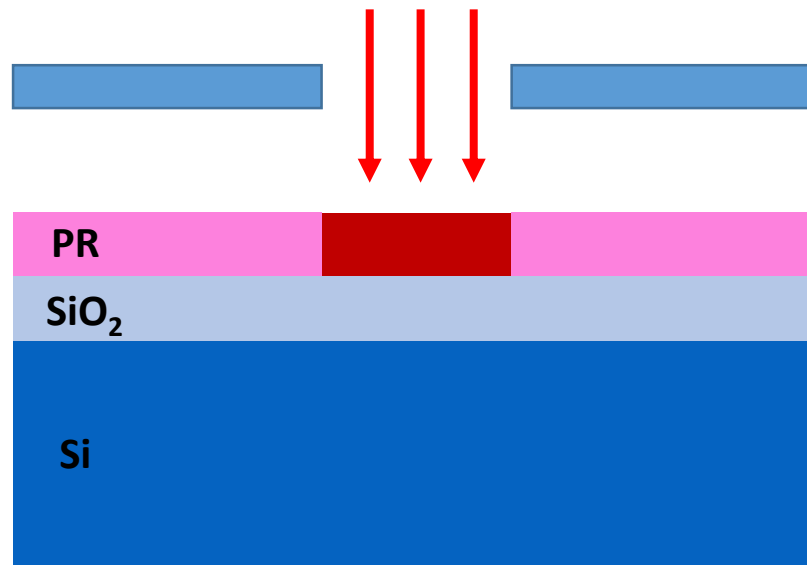
반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (PHOTO)



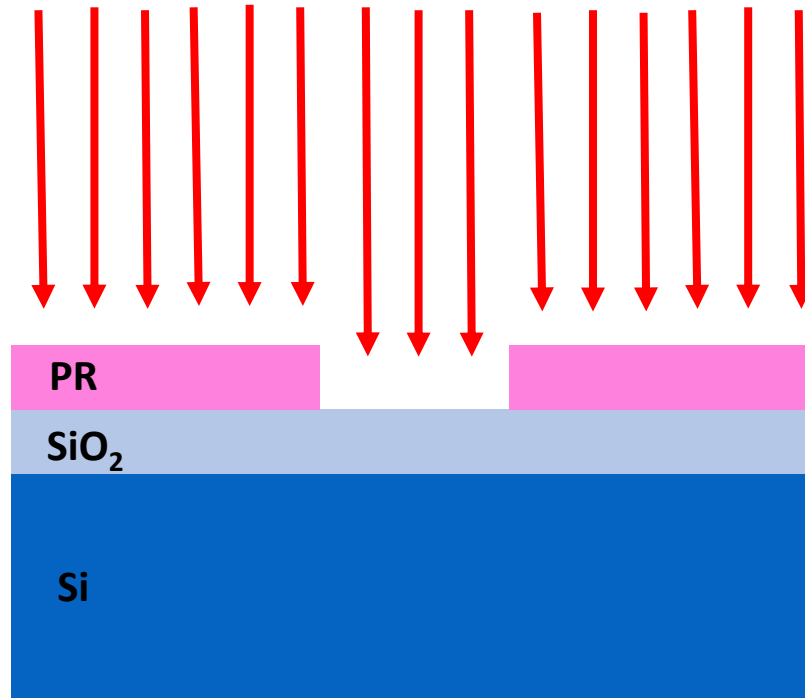
반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (PHOTO)



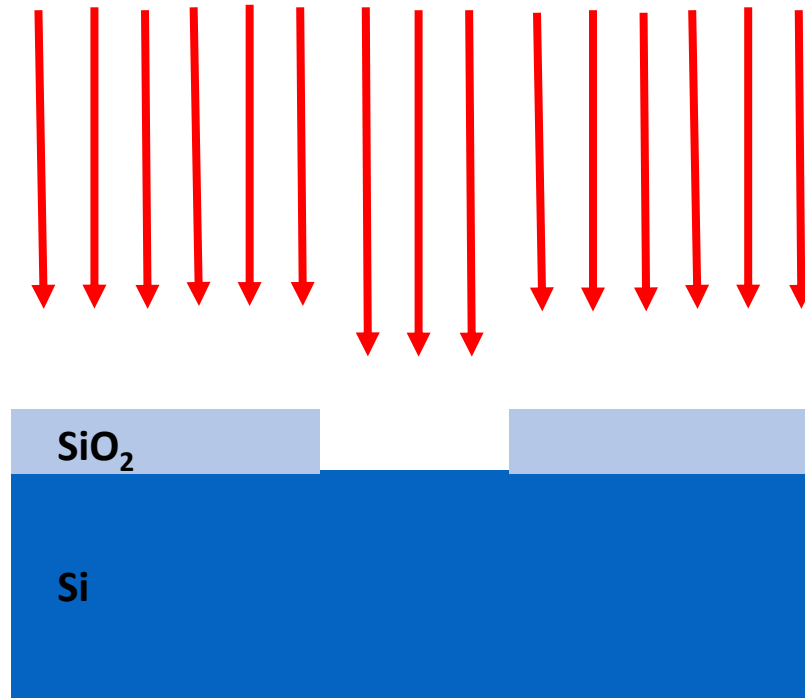
반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (ETCH)



반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (ETCH)



반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (ETCH)



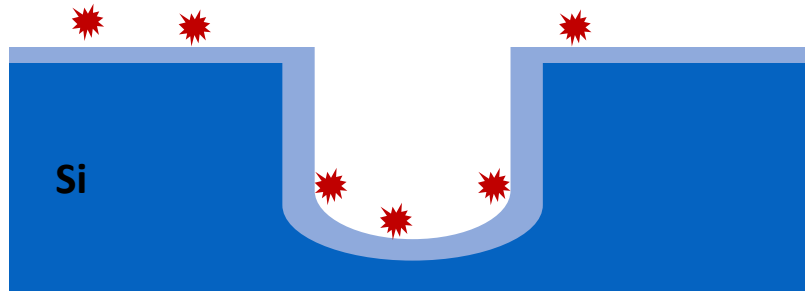
반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (CVD)



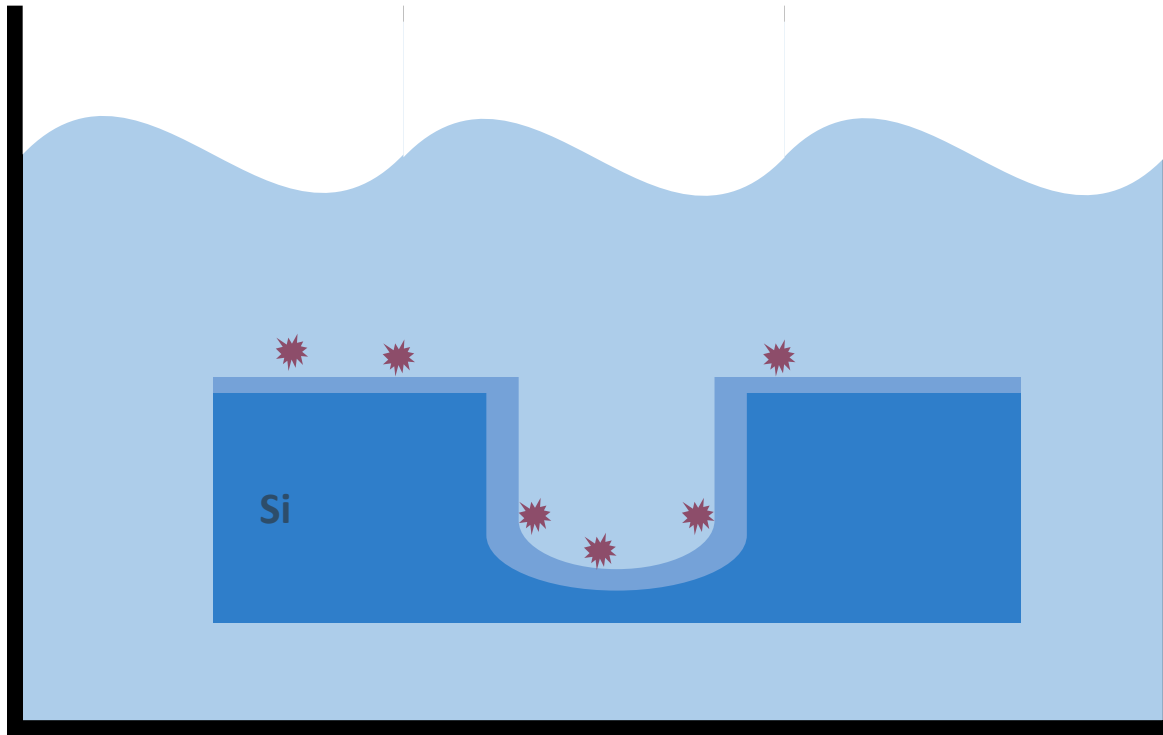
반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (CLN)



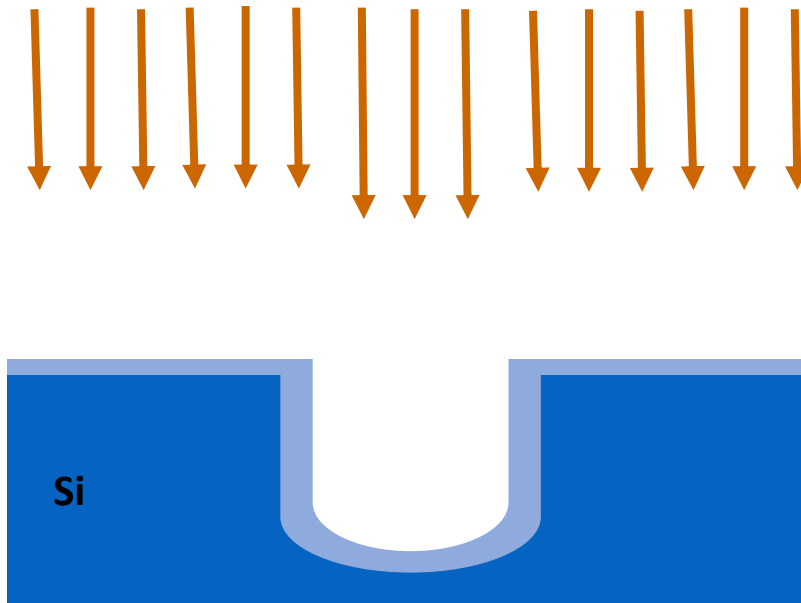
반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (CLN)



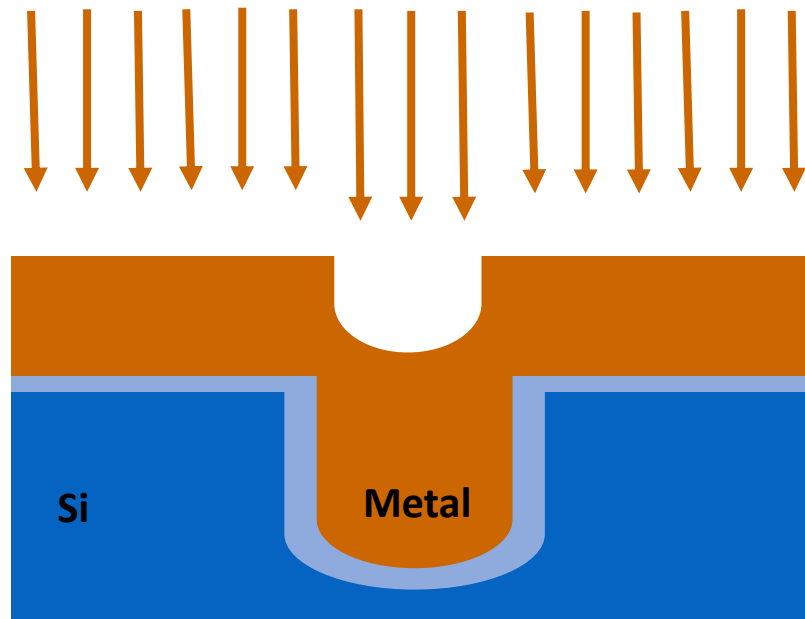
반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (Metal)



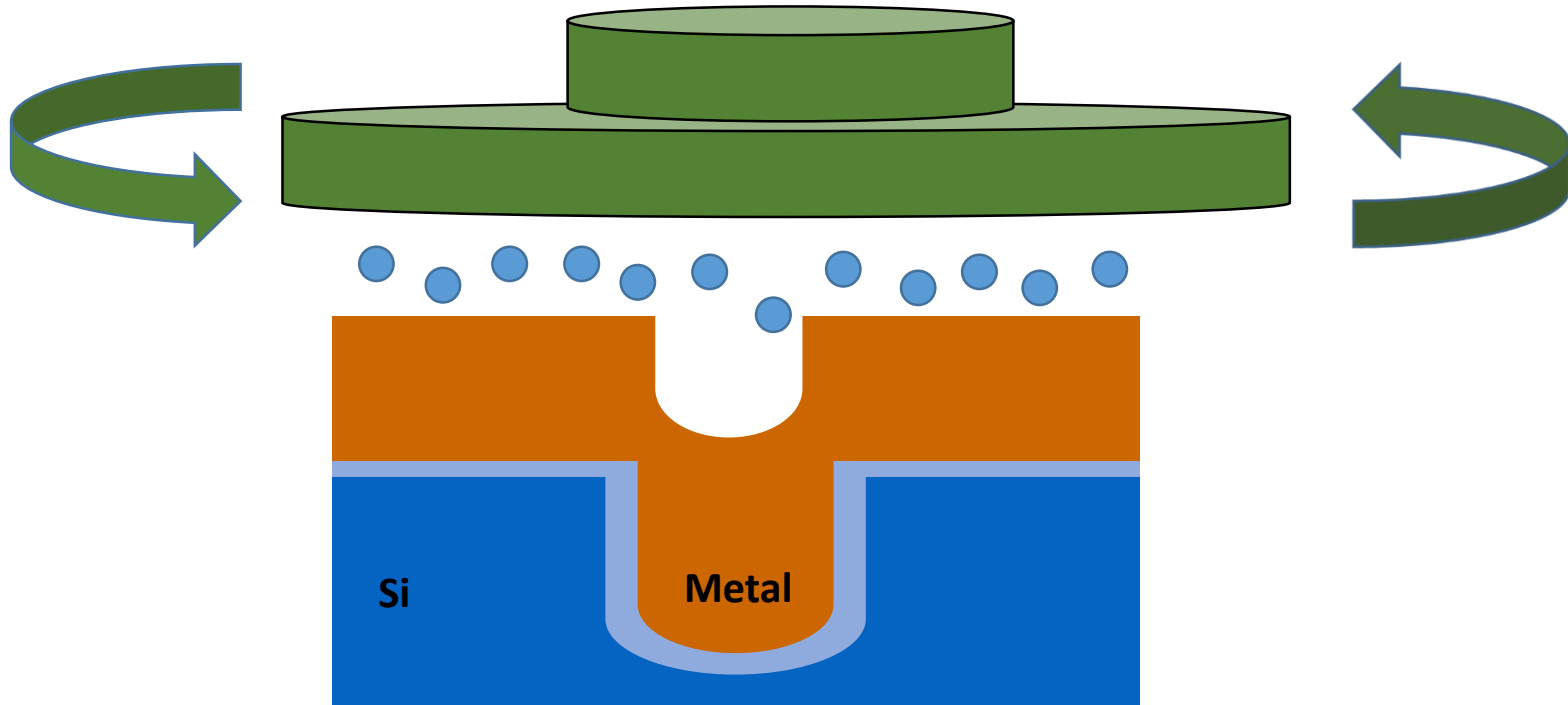
반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (Metal)



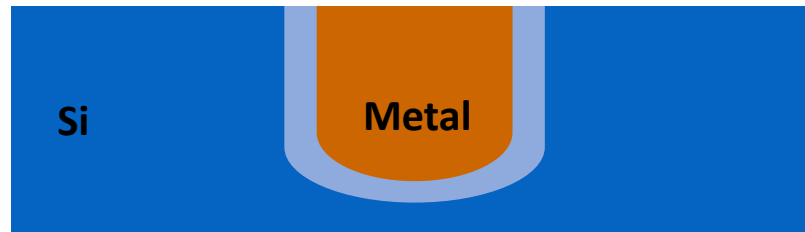
반도체 공정의 이해

■ FAB 공정 (CMP)



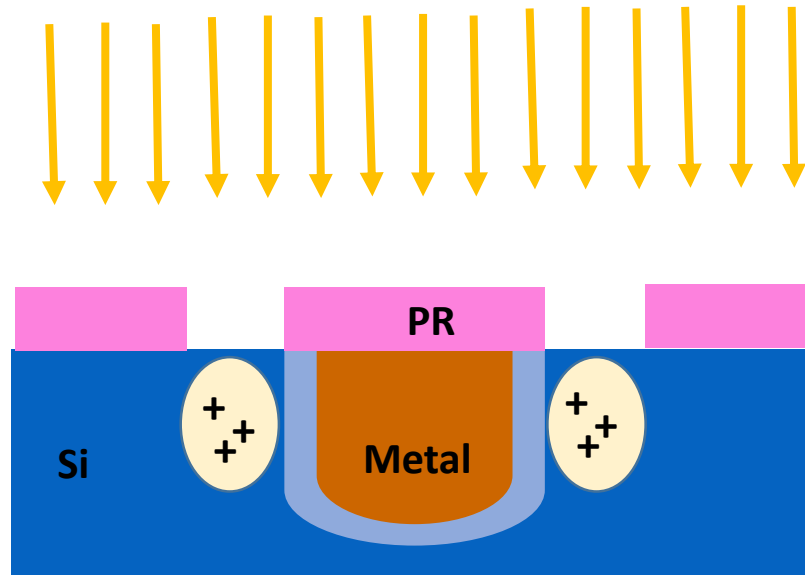
반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (CMP)



반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (IMP)



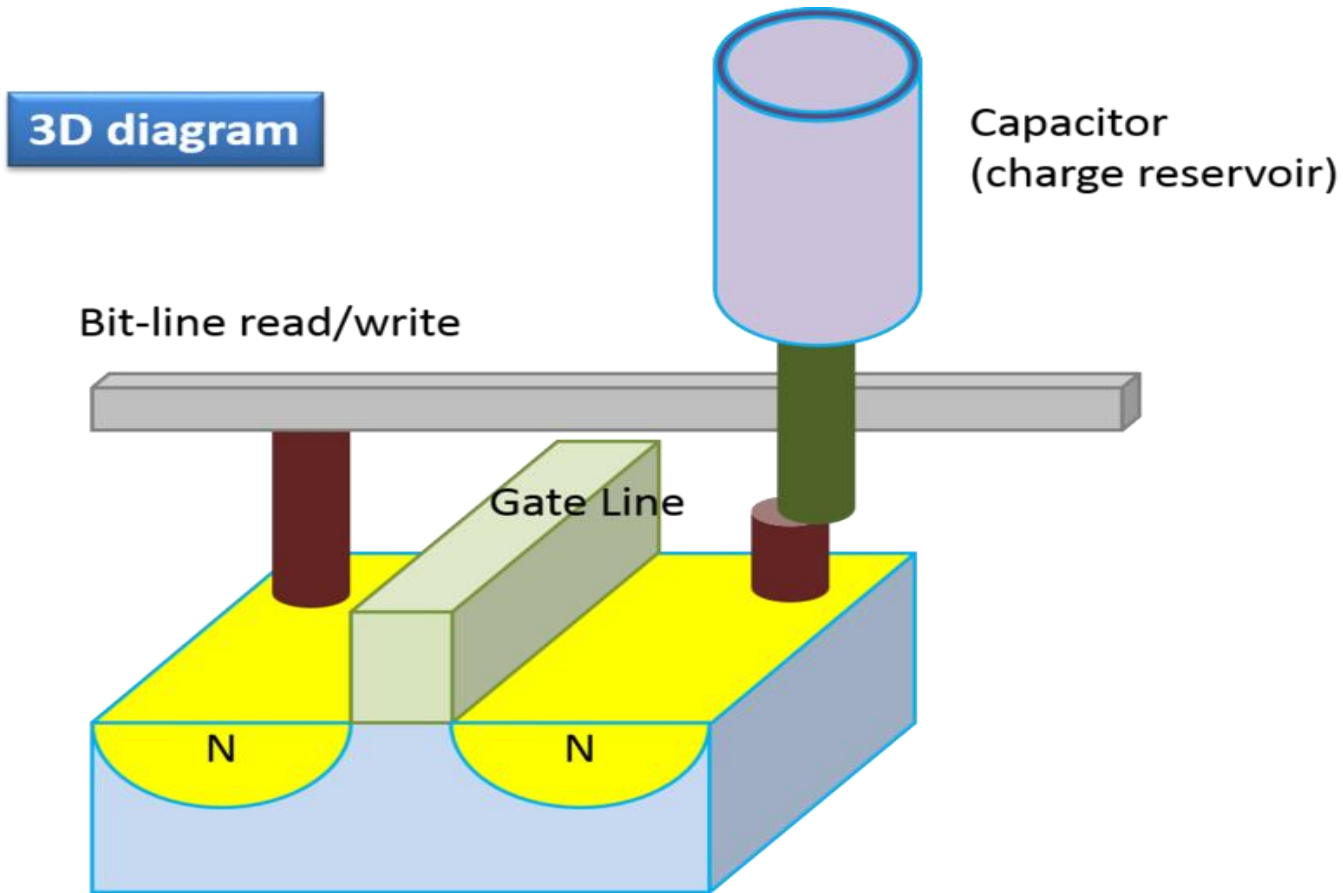
반도체 공정의 이해

▣ FAB 공정 (IMP)



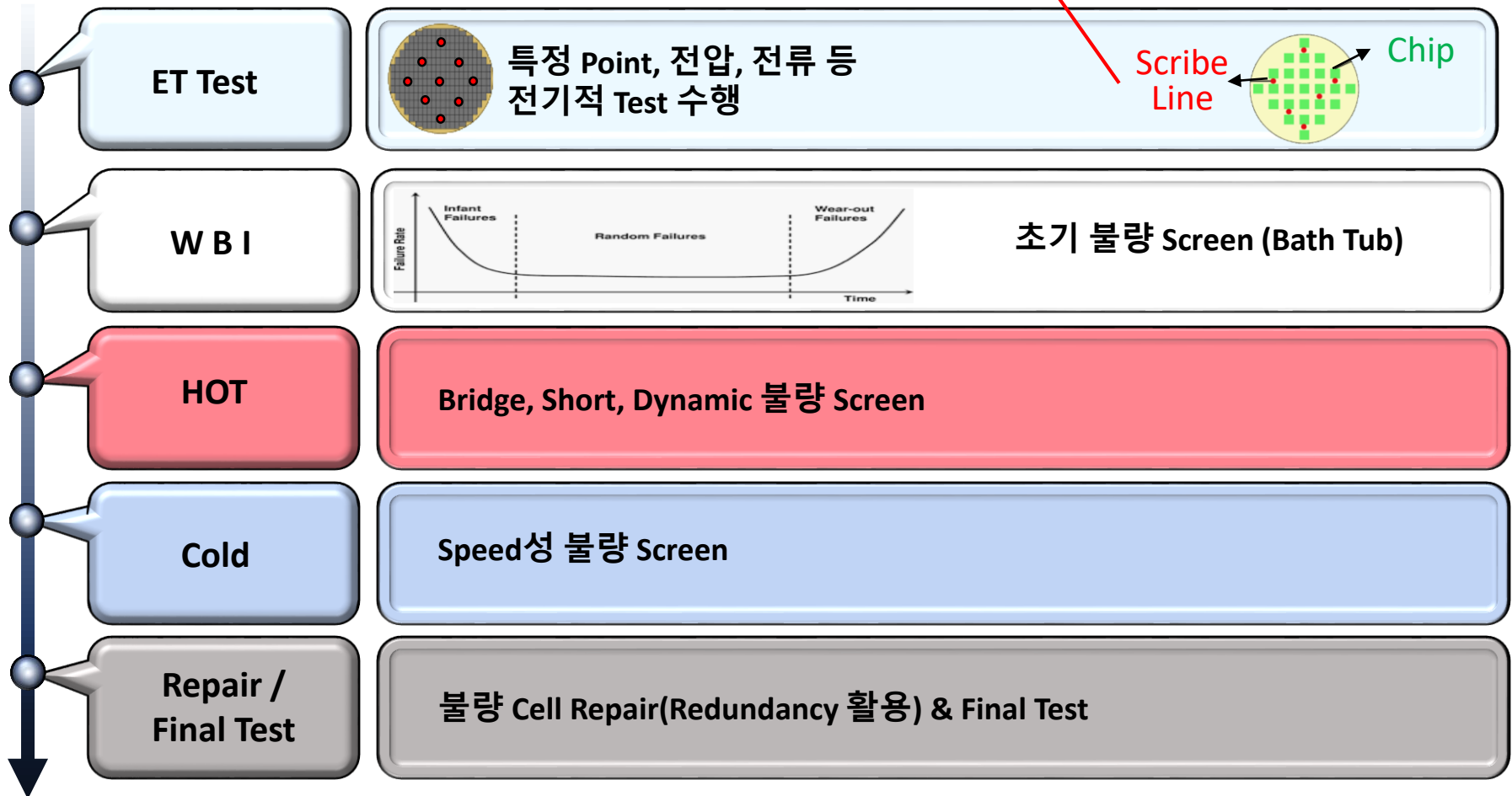
반도체 공정의 이해

■ FAB 공정 (DRAM Structure)



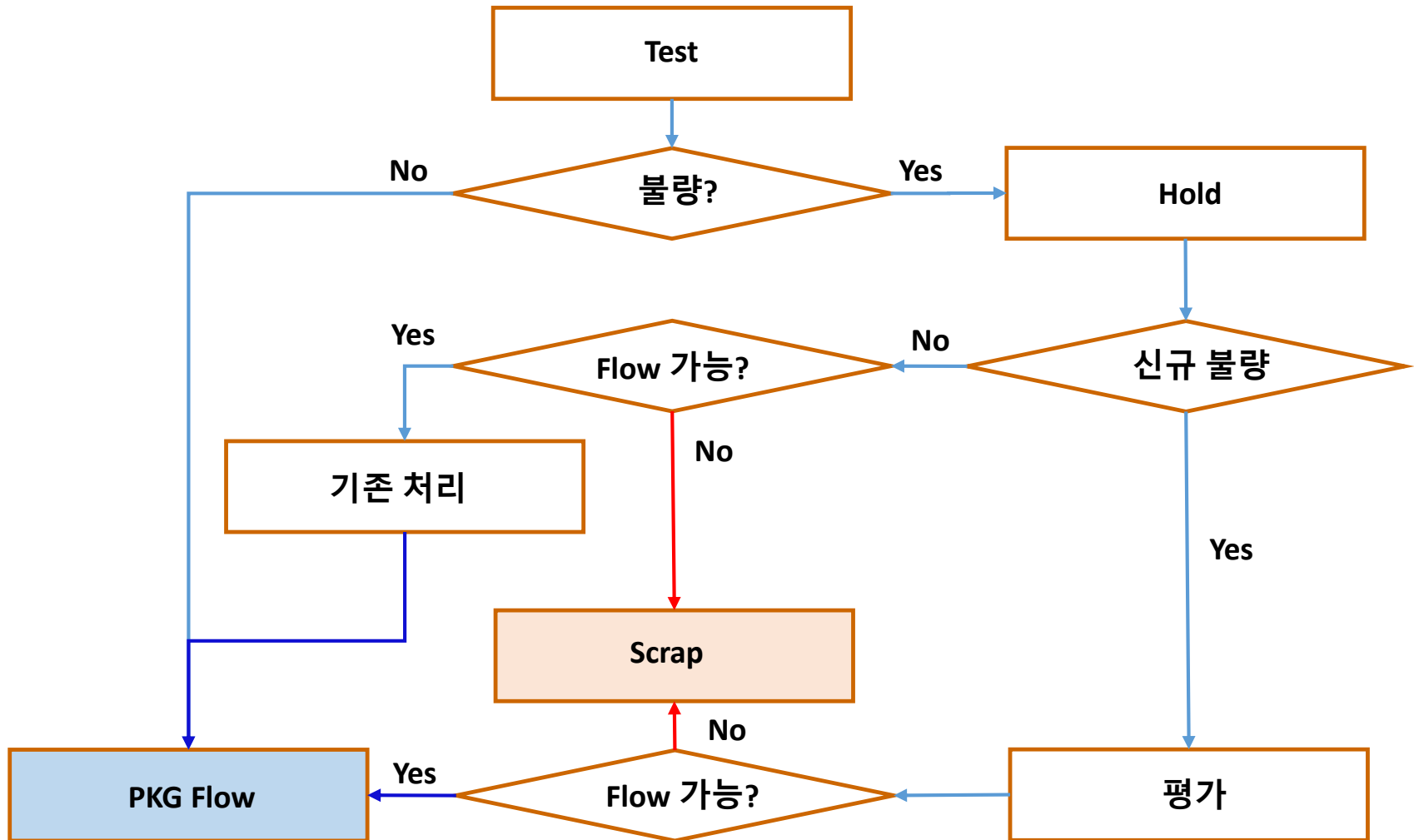
반도체 공정의 이해

EDS 공정 (Test)



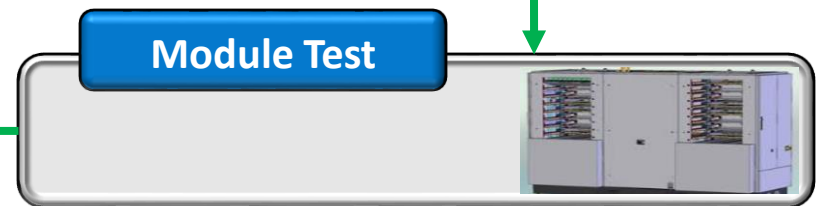
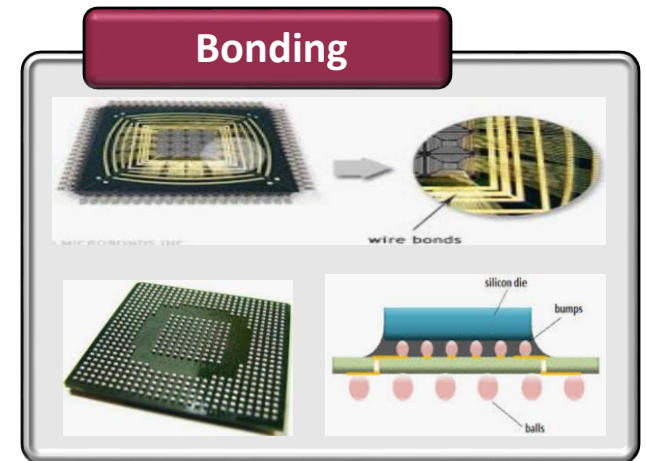
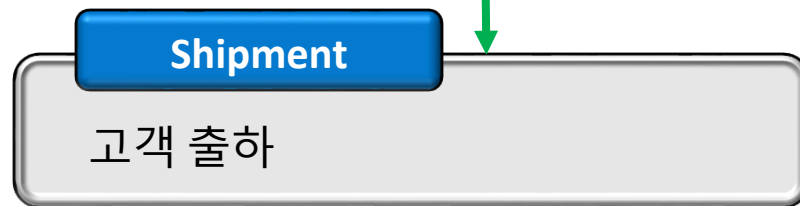
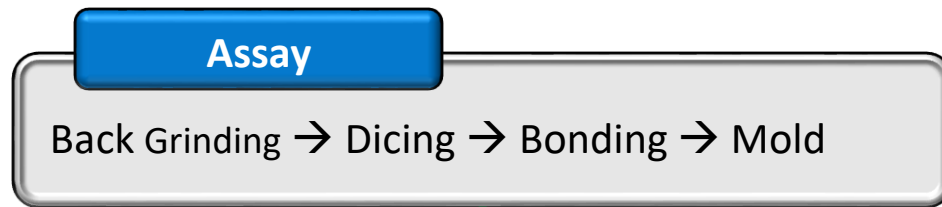
반도체 공정의 이해

EDS 공정 (물량 운영)



반도체 이해

PKG 공정



공정 DATA의 이해

반도체 공정 DATA

공정	구분	장점	단점	활용
FAB	환경 DATA	전 Line에 영향을 줄 수 있는 위험 탐지 가능	잡은 Haunting	- 혐의 확인/Monitor(하동)
	설비 DATA	모든 Wafer에서 측정 가능	낮은 연관성	- 가상 계측
	계측 DATA	정확한 DATA	Sample 계측 특정 Point	- SPC 공정관리/ 공정능력 - 동일성 검증
	P/C DATA	정확한 DATA WF 전면 영향성 확인 가능	Sample계측	- 오염 관리
	비정기 DATA (표면 / TEM)	정확한 DATA Critical 불량 탐지 가능	극 소수의 계측 파괴 검사 계측 시간 多	- 계측 불가 항목 모니터
EDS	전기적 DATA	전수 DATA 정확한 DATA	늦은 불량 탐지 (Affect 多)	- 불량 구분 - 혐의 공정 탐색
PKG	전기적 DATA	전수 DATA 정확한 DATA	늦은 불량 탐지 (Affect 多)	- 상 동

공정 DATA의 이해

반도체 공정 DATA

공정	구분	장점	단점	활용
FAB	환경 DATA	전 Line에 영향을 줄 수 있는 위험 탐지 가능	잡은 Haunting	- 혐의 확인/Monitor(하동)
	설비 DATA	모든 Wafer에서 측정 가능	낮은 연관성	- 가상 계측
	계측 DATA	정확한 DATA	Sample 계측 특정 Point	- SPC 공정관리/ 공정능력 - 동일성 검증
	P/C DATA	정확한 DATA WF 전면 영향성 확인 가능	Sample계측	- 오염 관리
	비정기 DATA (표면 / TEM)	정확한 DATA Critical 불량 탐지 가능	극 소수의 계측 파괴 검사 계측 시간 多	- 계측 불가 항목 모니터
EDS	전기적 DATA			- 불량 구분 - 혐의 공정 탐색
PKG	전기적 DATA			- 상 동

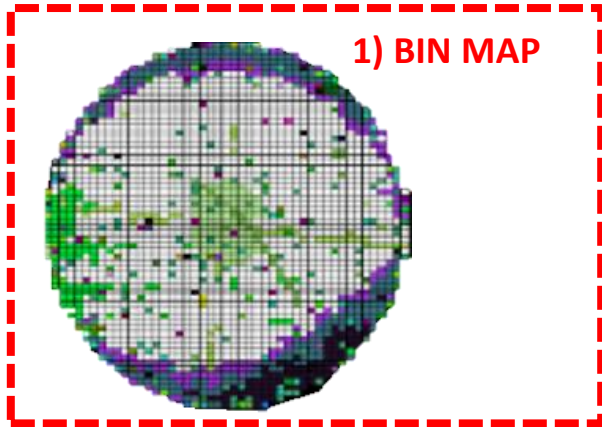
공정 DATA의 이해

반도체 공정 DATA

공정	구분	장점	단점	활용
FAB	환경 DATA	전 Line에 영향을 줄 수 있는 위험 탐지 가능	잡은 Haunting	- 혐의 확인/Monitor(하동)
	설비 DATA	모든 Wafer에서 측정 가능	낮은 연관성	- 가상 계측
	계측 DATA	정확한 DATA	Sample 계측 특정 Point	- SPC 공정관리/ 공정능력 - 동일성 검증
	P/C DATA	정확한 DATA WF 전면 영향성 확인 가능	Sample계측	- 오염 관리
	비정기 DATA (표면 / TEM)	정확한 DATA Critical 불량 탐지 가능	극 소수의 계측 파괴 검사 계측 시간 多	- 계측 불가 항목 모니터
EDS	전기적 DATA	전수 DATA 정확한 DATA	늦은 불량 탐지 (Affect 多)	- 불량 구분 - 혐의 공정 탐색
PKG	전기적 DATA	전수 DATA 정확한 DATA	늦은 불량 탐지 (Affect 多)	- 상 동

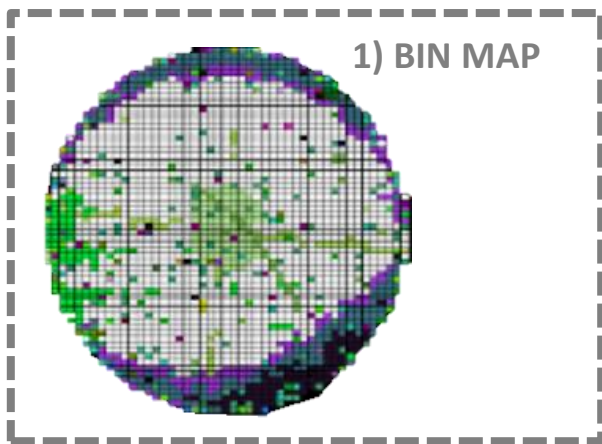
공정 DATA의 이해

■ 전기적 Test의 결과 (MAP/SBL)



공정 DATA의 이해

■ 전기적 Test의 결과 (MAP/SBL)



2) BIN

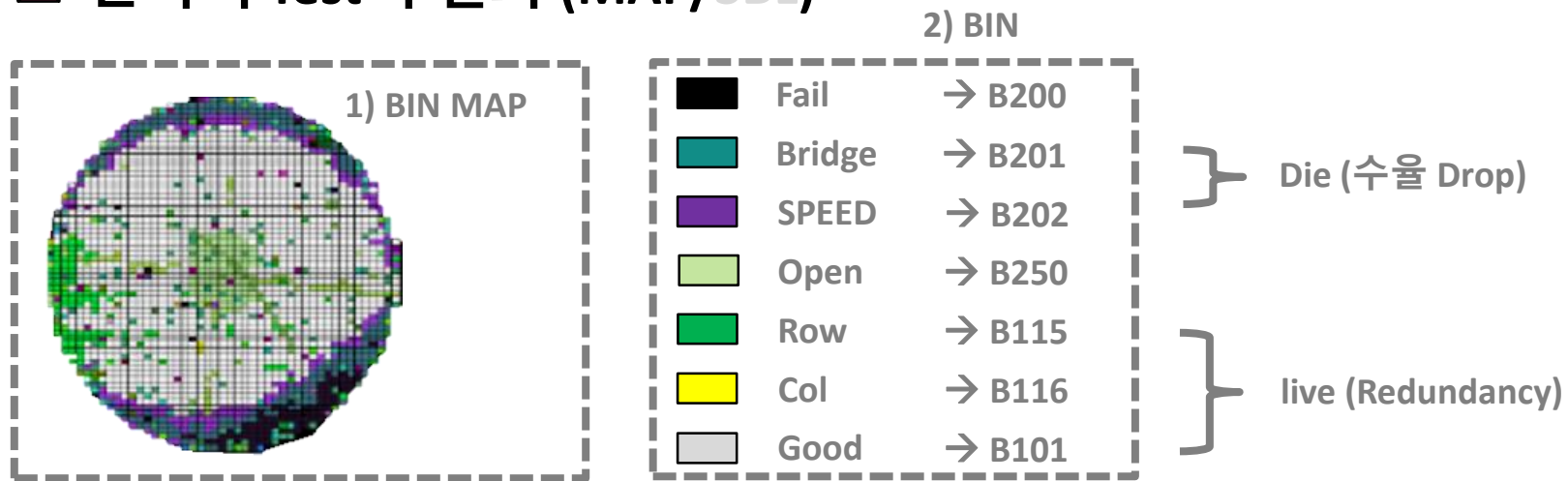
Fail	→ B200
Bridge	→ B201
SPEED	→ B202
Open	→ B250
Row	→ B115
Col	→ B116
Good	→ B101

} Die (수율 Drop)

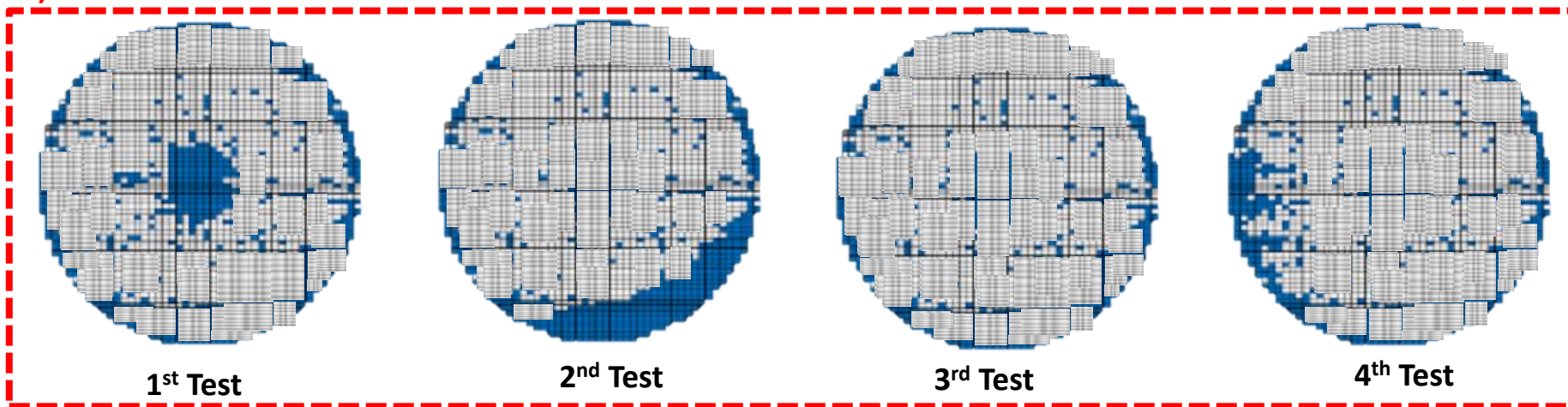
} live (Redundancy)

공정 DATA의 이해

■ 전기적 Test의 결과 (MAP/SBL)



3) FBM



공정 DATA의 이해

■ 전기적 Test의 결과 (MAP/SBL)

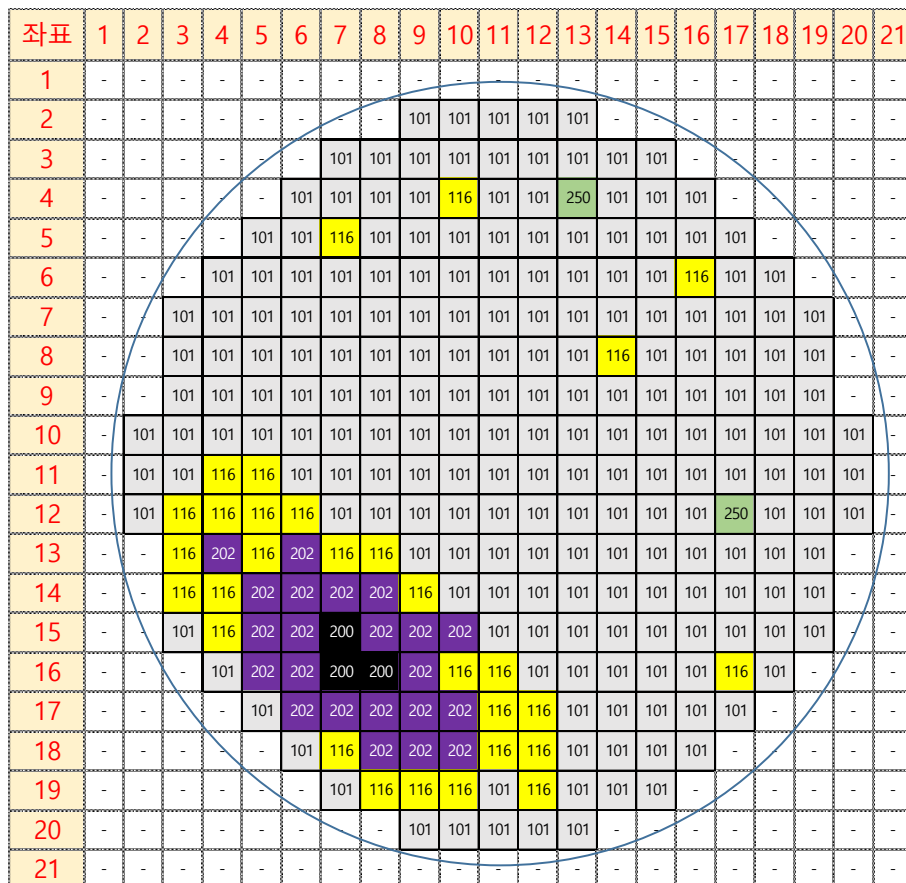
Fail
 SPEED
 Open
 Col
 Good

→ B200
 → B202
 → B250
 → B116
 → B101

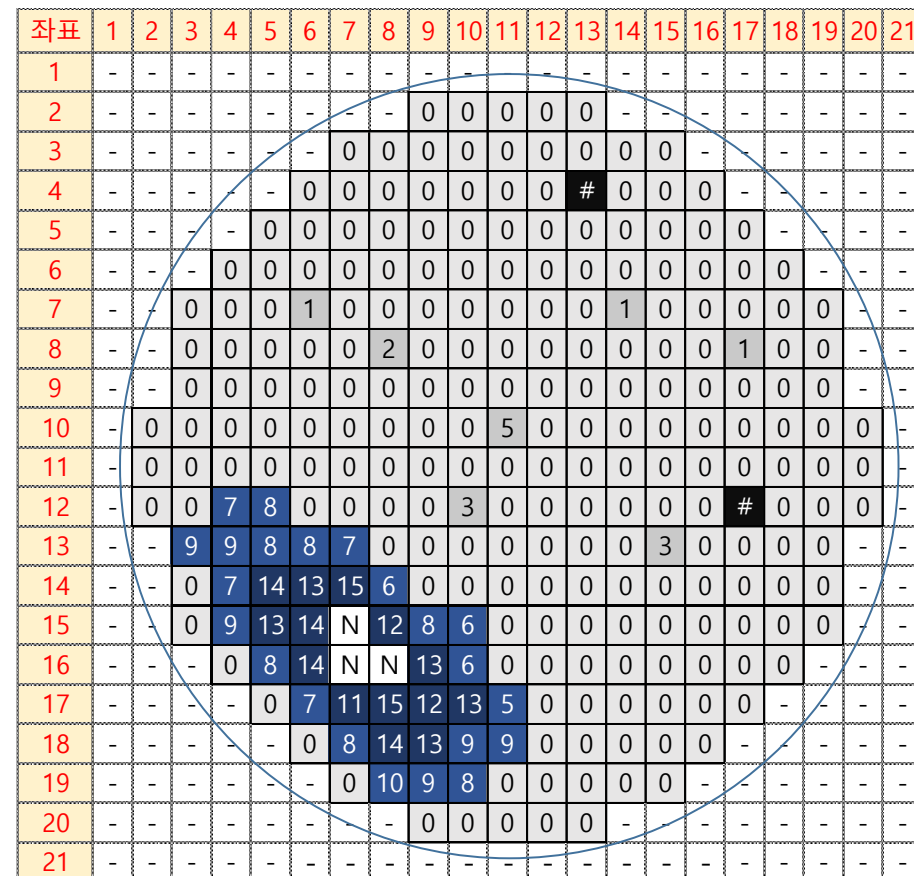
Color	범위
	0
	1~5
	5~10
	11~15
	16~

: 큰 수
N : Test (Die)

➤ Bin MAP (Category)

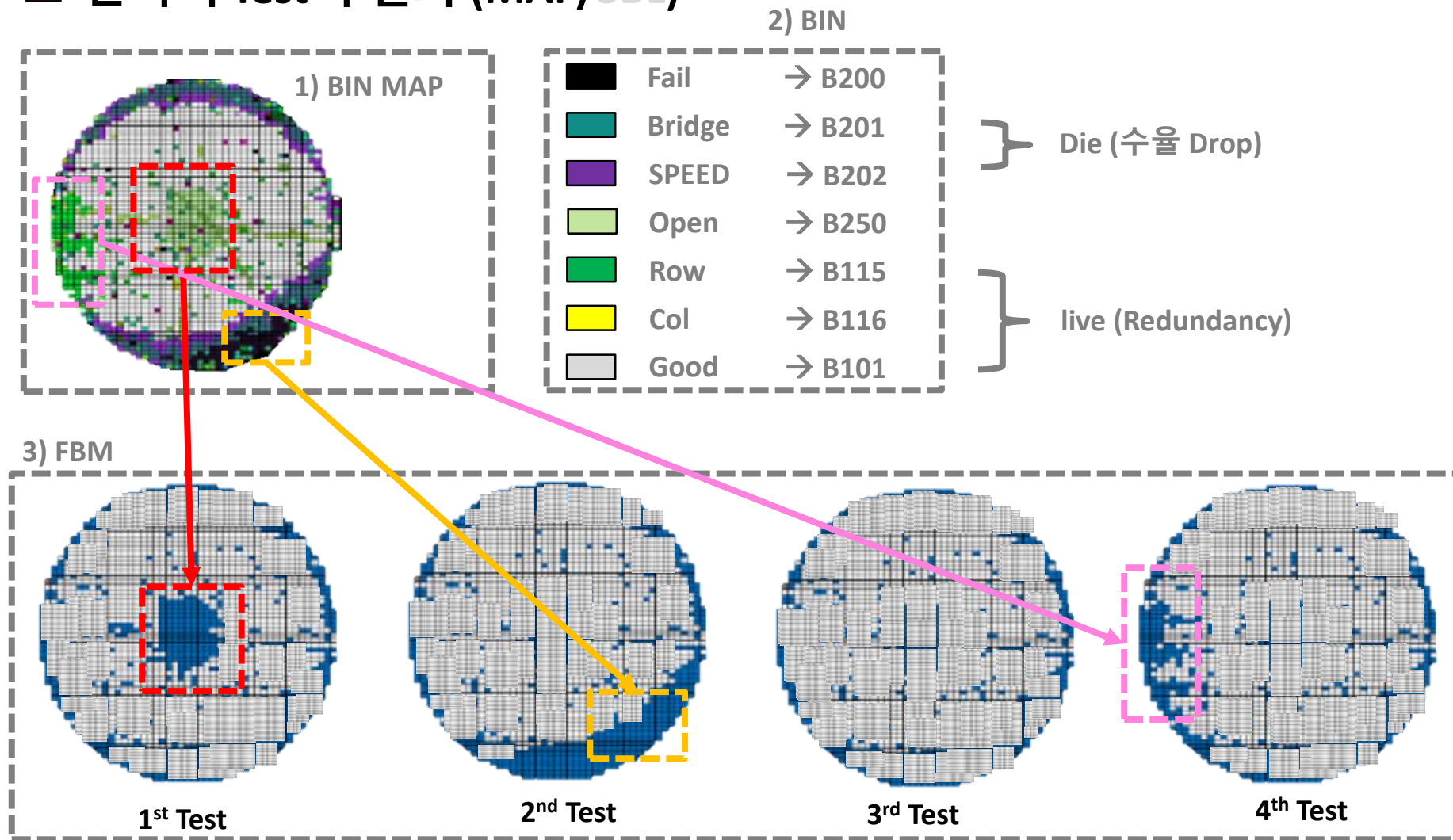


➤ Fail bit Map (Continuous)



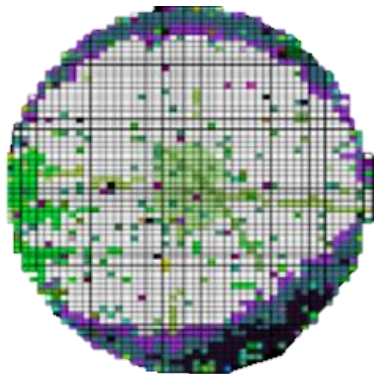
공정 DATA의 이해

■ 전기적 Test의 결과 (MAP/SBL)



공정 DATA의 이해

■ 전기적 Test의 결과 (MAP/SBL)



MAP 장점	MAP 단점
1) 직관적이다 (한눈에 불량 구분) 2) 불량 형태 확인가능 3) 불량 구분에 용이	1) 수치화 어려움 2) 판별 요원의 편차 3) 자동화 어려움 4) 모니터 시간 多



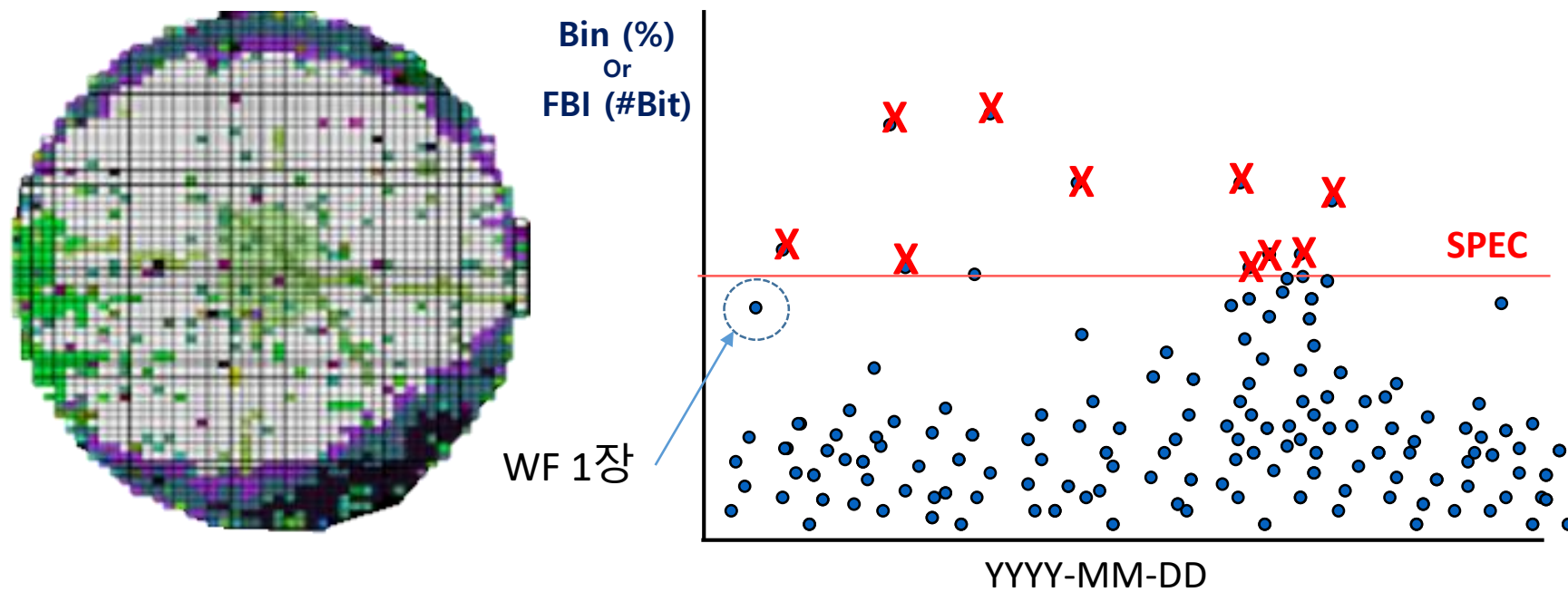
통계적 관리의 필요성 대두

공정 DATA의 이해

■ 전기적 Test의 결과 (MAP/SBL)

➤ SBL이란?

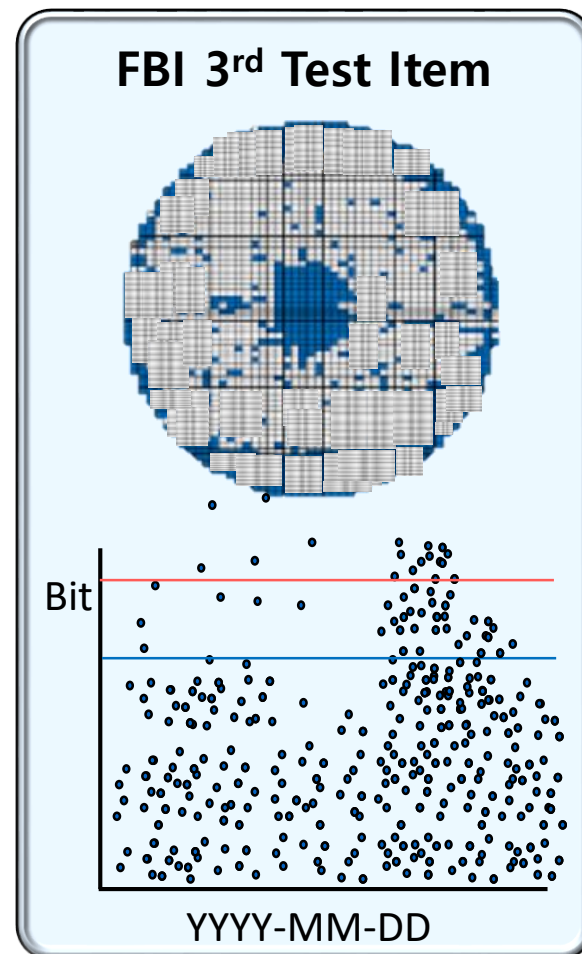
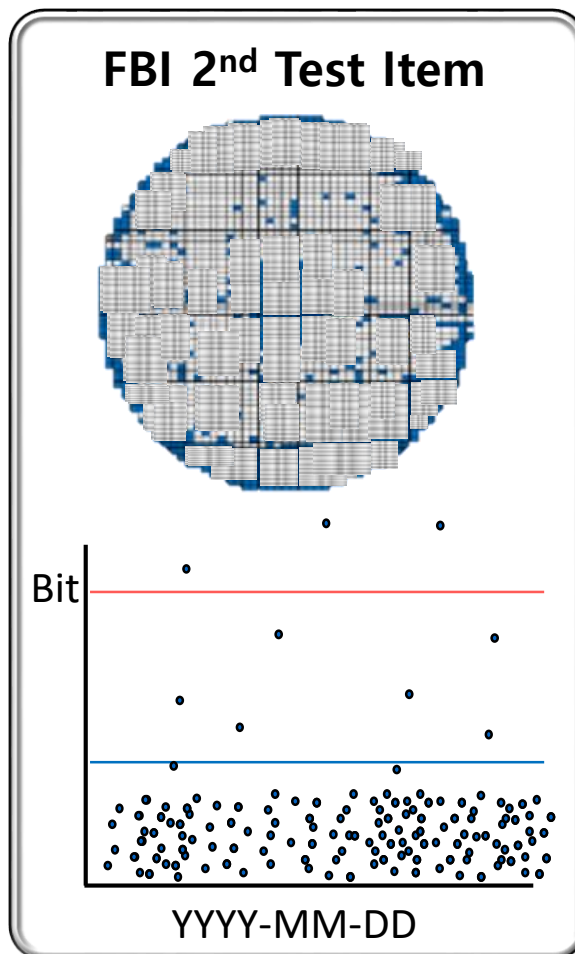
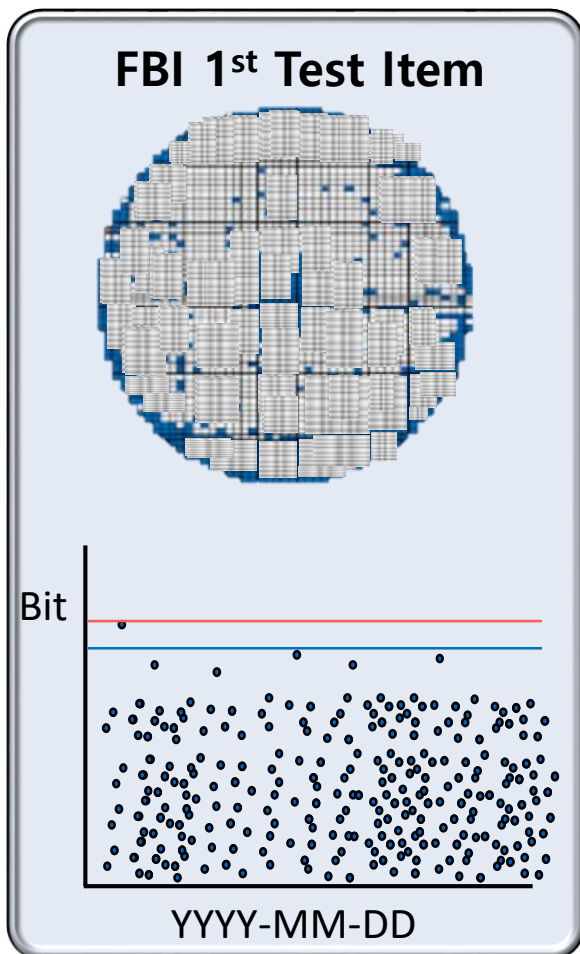
- Statistical Bin Limit의 약자
- 각 Bin(%) 및 FBM(bit) 항목별 시계열 Scatter Plot으로 표현



공정 DATA의 이해

■ 전기적 Test의 결과 (MAP/SBL)

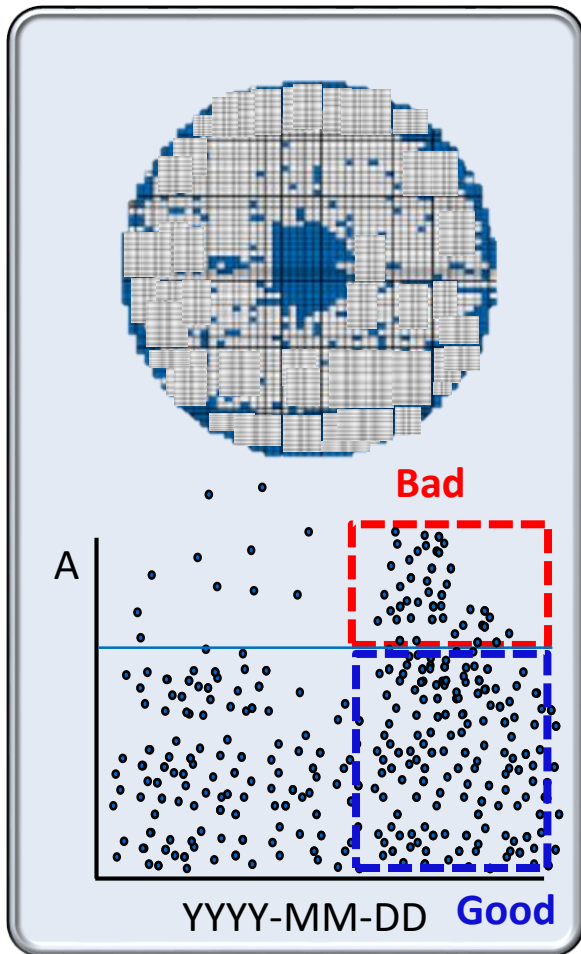
— SPEC
— Control Limit



공정 DATA의 이해

MAP Labeling의 필요성

❖ 혐의 공정 분석



# of LOT	# of WF																								
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

Good/Bad구분

# of LOT	# of WF																								
A	1		3		5		7		9		11		13		15		17		19		21		23		25
B		2		4				8			12				16									24	
C			3				7				11				15				19		21				

# of LOT	# of WF																								
A		2		4		6		8		10		12		14		16		18		20		22		24	
B	1		3		5	6	7		9	10	11		13	14	15		17	18	19	20	21	22	23		25
C	1	2		4	5	6		8	9	10		12	13	14		16	17	18		20		22	23	24	25

$f(x)$ FAB 진행 이력,

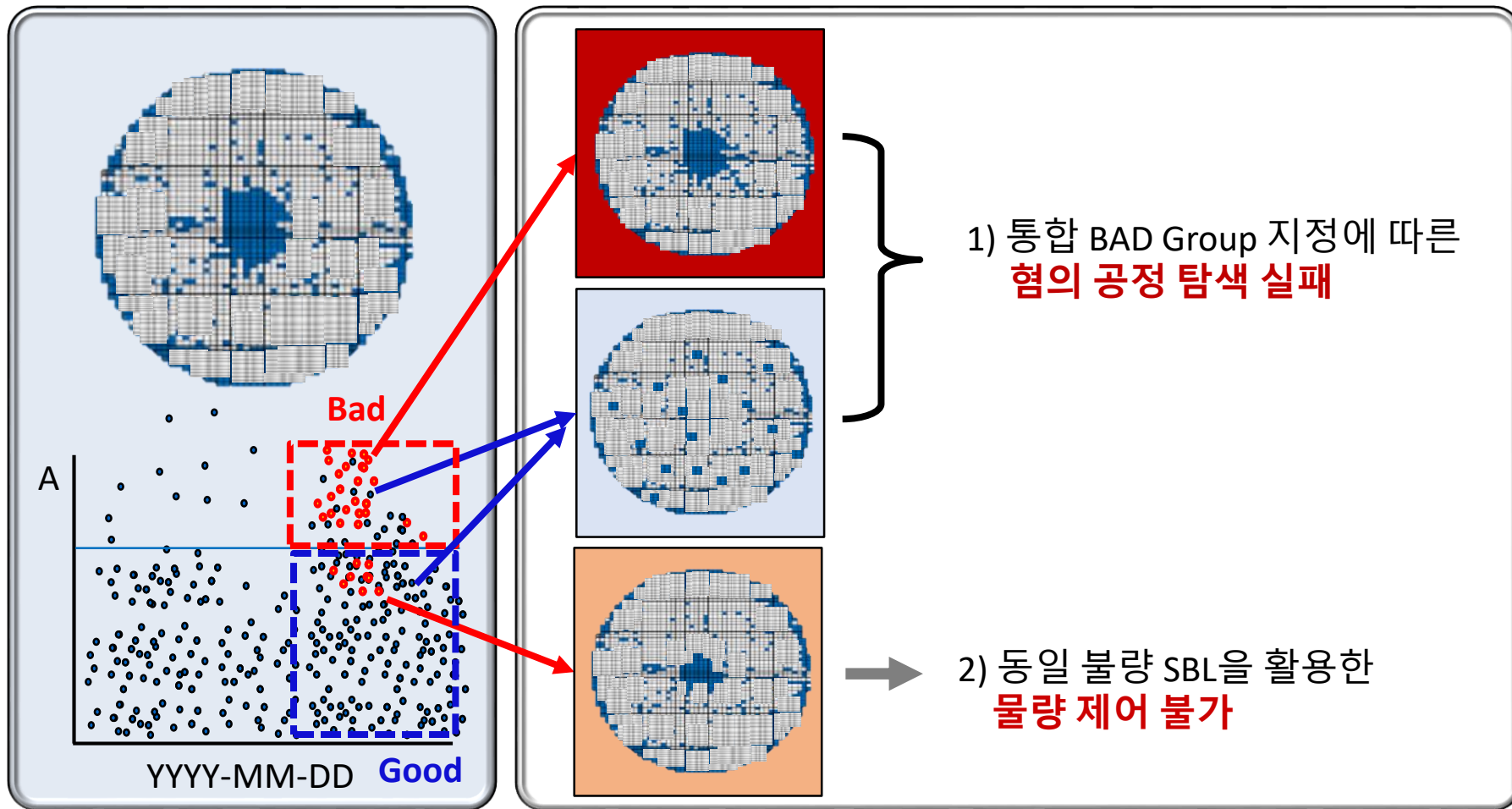
→ 설비(챔버, Mask..) 시간,
소재, 변경점

1순위 :
2순위 :
3순위 :

공정 DATA의 이해

MAP Labeling의 필요성

❖ 혐의 공정 분석

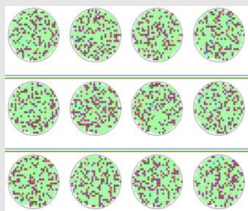


공정 DATA의 이해

MAP Labeling의 필요성

❖ MAP Labeling의 어려움

판단기준



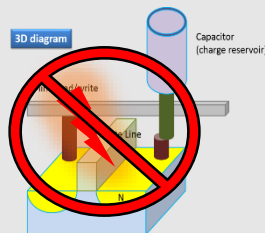
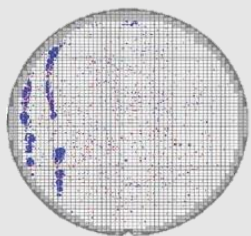
1Lot (25WF)

투입



정상
A불량
B불량
C불량
...

평가 Process



불량

검출&분류

속성 확인

처방

평가

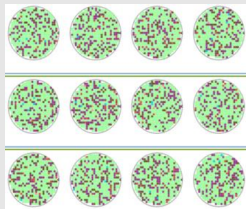
판단

공정 DATA의 이해

MAP Labeling의 필요성

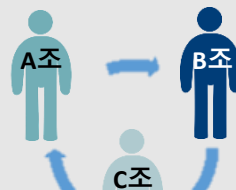
MAP Labeling의 어려움

판단기준



1Lot (25WF)

투입



정상

A불량

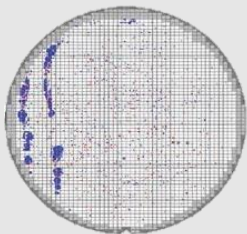
B불량

C불량

...

Unsupervised MAP Clustering
기법을 활용한 Wafer 선별 要

평가 Process

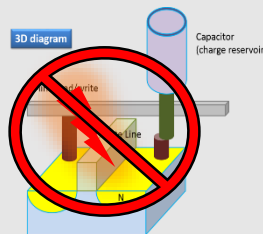


정상

A불량

B불량

C불량



불량

검출&분류

속성 확인

처방

평가

판단

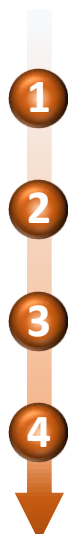
논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

■ 논문 소개

Unsupervised Wafermap Patterns Clustering via Variational Autoencoders

Peter Tulala^{*1}, Hamidreza Mahyar^{*2}, Elahe Ghalebi³, Radu Grosu⁴

Institute of Computer Engineering, Vienna University of Technology (TU Wien)
{¹ptulala, ²hmahyar, ³eghalebi}@cps.tuwien.ac.at, ⁴radu.grosu@tuwien.ac.at

- 
- 1 Introduction
 - 2 Pre-Data processing
 - 3 Feature extraction
 - 4 Clustering & Evaluation

논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

■ Data Pre-processing

❖ Data Pre-Processing 방법 소개

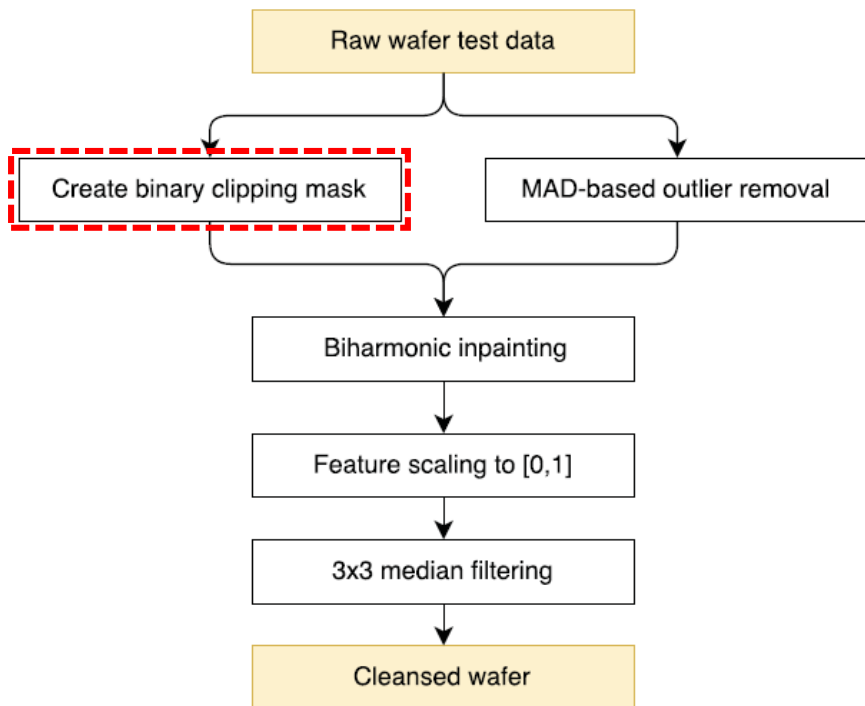


Fig. 1: Overall wafer pre-processing procedure

✓ Wafer Contour 생성

- Data 有 → 1
 - Data 無 → 0
- } Working Die 좌표 구분

좌표	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
6	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
7	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
8	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
9	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
10	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
11	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
12	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
13	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
14	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
15	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
16	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
17	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
18	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
19	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
20	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

■ Data Pre-processing

❖ Data Pre-Processing 방법 소개

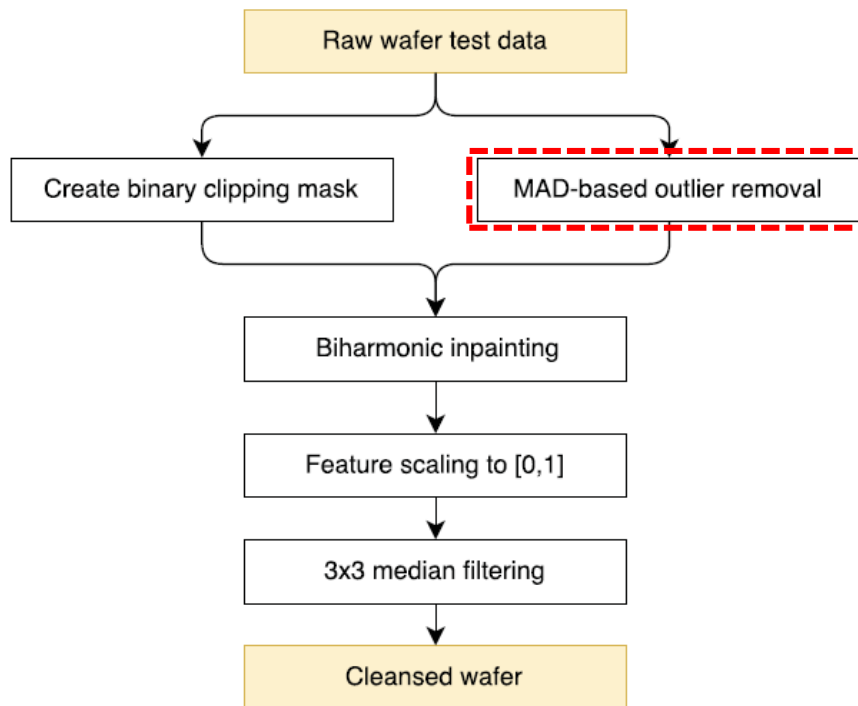
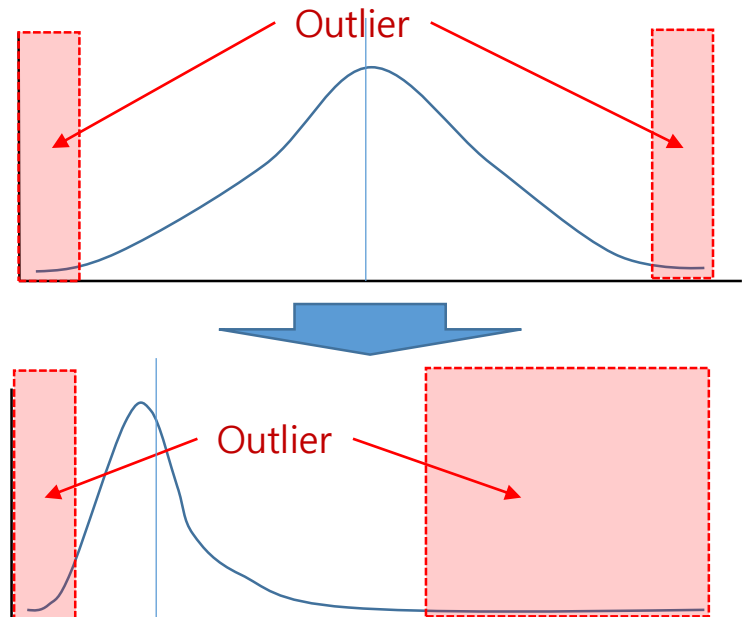


Fig. 1: Overall wafer pre-processing procedure

✓ Outlier (Testing Error?)

- Data분석 시 오류 발생의 요소 (제거 必)

$$z_i = \frac{x_i - \mu(X)}{\sigma(X)}, \quad N(0,1)$$



논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

■ Data Pre-processing

❖ Data Pre-Processing 방법 소개

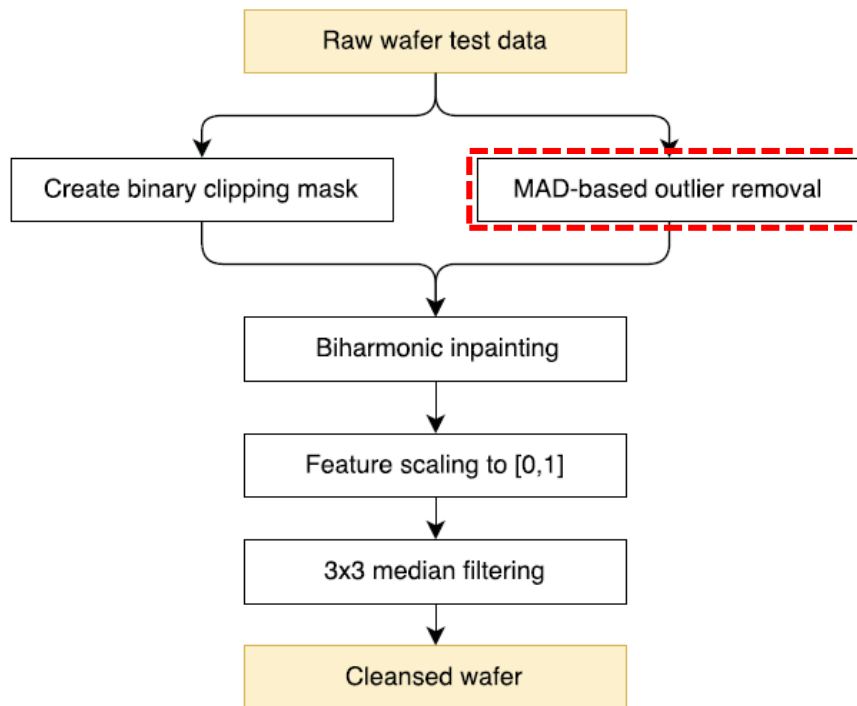


Fig. 1: Overall wafer pre-processing procedure

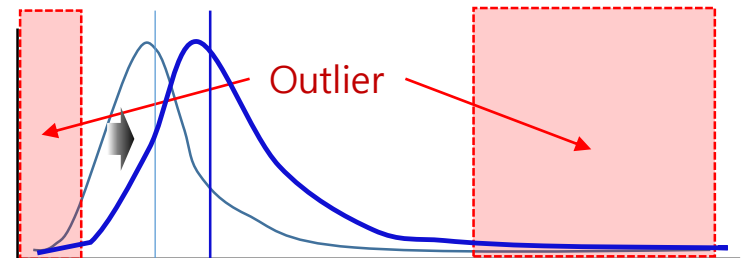
✓ MAD (Median Absolute Deviation)

$$z_i = \frac{x_i - \mu(X)}{\sigma(X)}$$

$$\hat{\sigma}(X) = k \cdot MAD$$

$$* MAD = med(\{|x_i - med(X)| \mid x_i \in X\})$$

$$|z'_i| = \frac{|x_i - med(X)|}{\hat{\sigma}(X)}$$



논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

■ Data Pre-processing

❖ Data Pre-Processing 방법 소개

✓ MAD (Median Absolute Deviation)

$$|z'_i| = \frac{|x_i - \text{med}(X)|}{\hat{\sigma}(X)}$$

$$\hat{\sigma}(X) = k \cdot \text{MAD}$$

$$* \text{MAD} = \text{med}(\{|x_i - \text{med}(X)| \mid x_i \in X\})$$

$$\text{MAD}_L = \text{med}(\{x_i \mid x_i \in X \leq \text{med}(X)\} - \text{med}(X))$$

$$\text{MAD}_R = \text{med}(\{x_i \mid x_i \in X \geq \text{med}(X)\} - \text{med}(X))$$

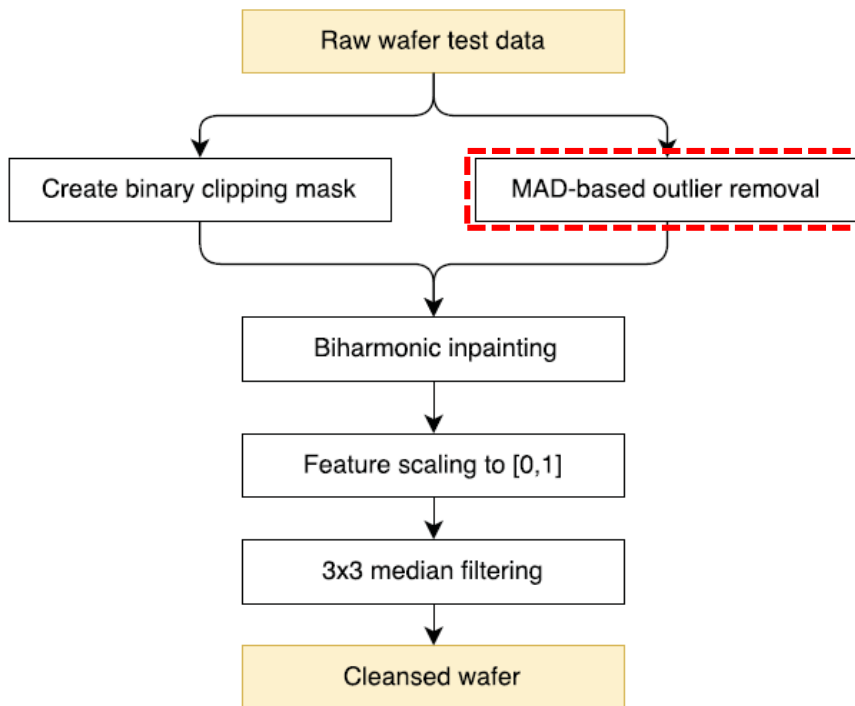
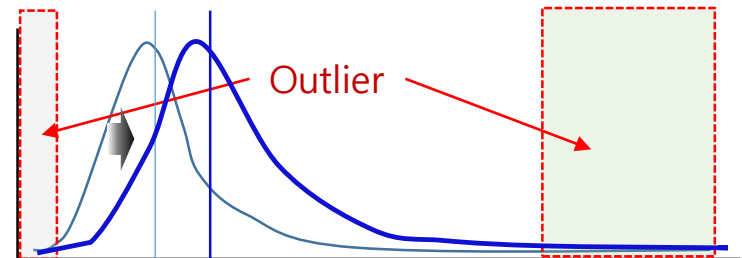


Fig. 1: Overall wafer pre-processing procedure

논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

■ Data Pre-processing

❖ Data Pre-Processing 방법 소개

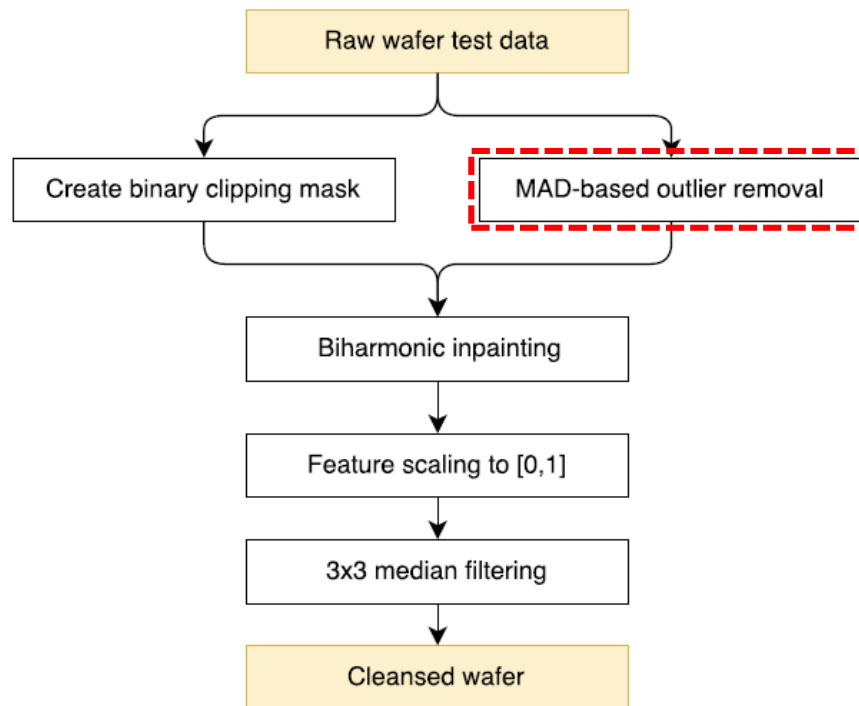
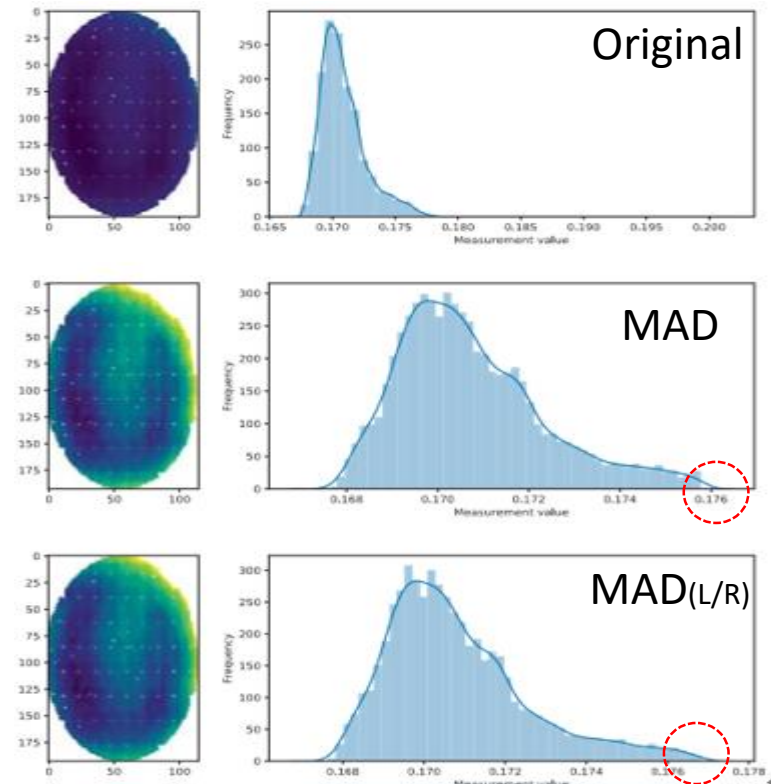


Fig. 1: Overall wafer pre-processing procedure

✓ MAD (Median Absolute Deviation)



논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

■ Data Pre-processing

❖ Data Pre-Processing 방법 소개

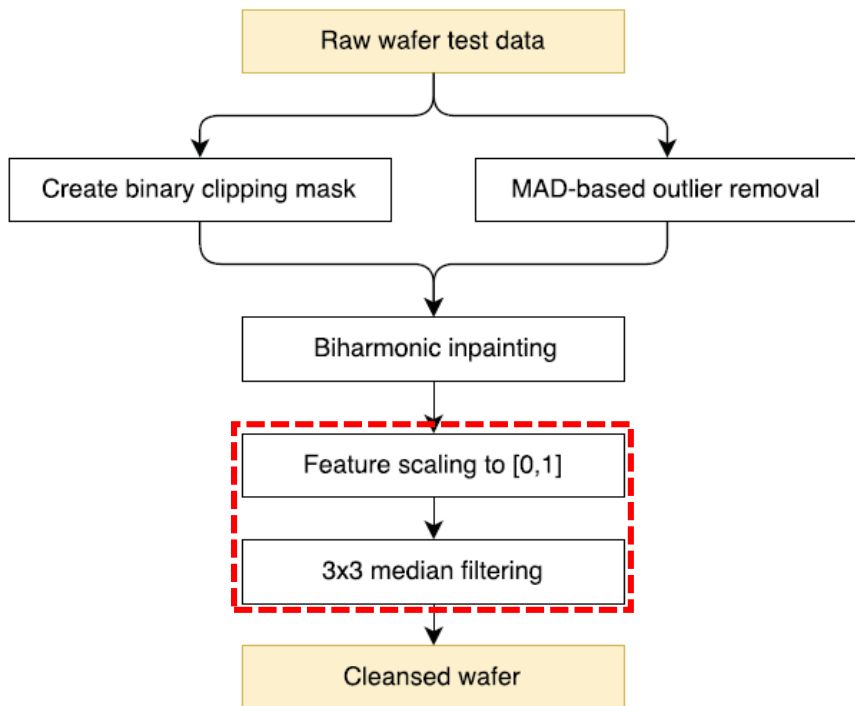


Fig. 1: Overall wafer pre-processing procedure

1) Feature Scaling

$$\textcircled{1} \quad f(x) = \frac{C_1 \cdot (x - \min)}{\max - \min} + C_2$$

* $C_1 = 0.95, C_2 = 0.05$

② Put "0" on the outside of Clipping Mask

👉 $\textcircled{1} + \textcircled{2} = 0_{(\text{out})} \ \& \ 0.05 < f(x) < 1_{(\text{inside})}$

2) 3x3 Median Filtering

5	7	2
3	21	4
4	8	6



5	7	2
3	5	4
4	8	6

논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

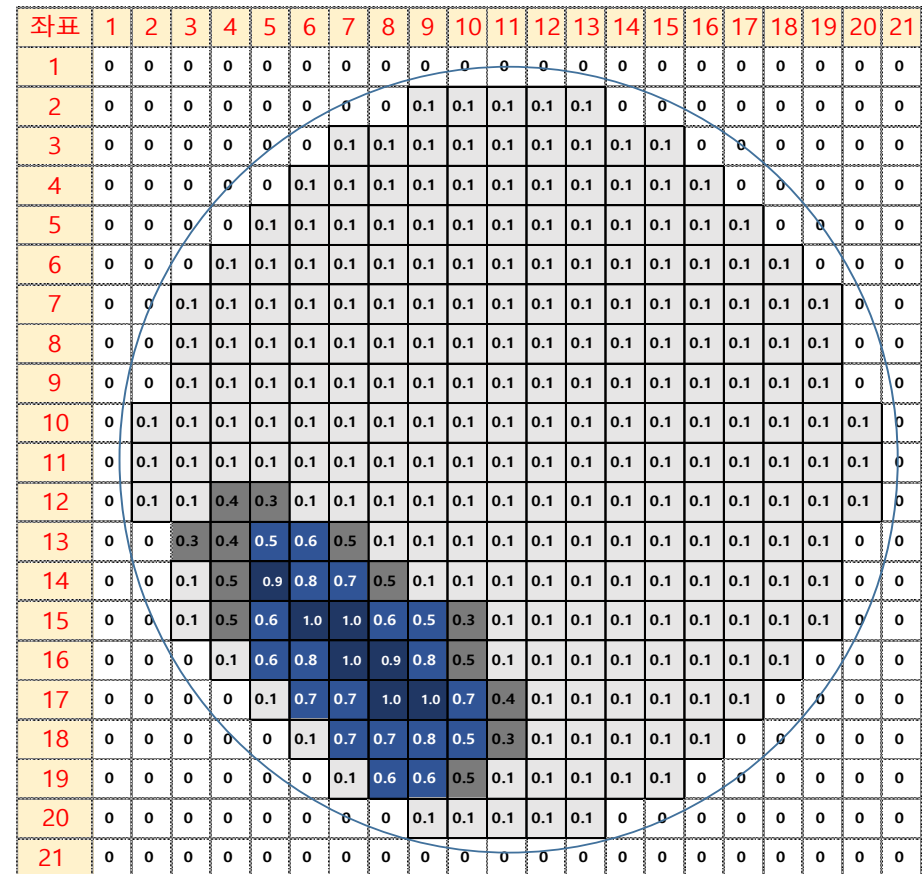
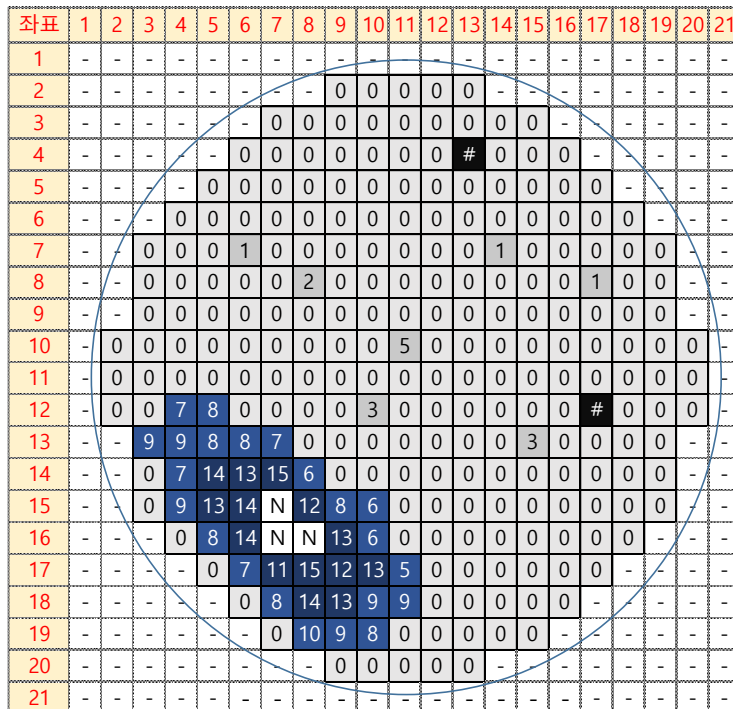
■ Data Pre-processing

❖ After Data Pre-Processing

Color	범위
	0
	1~5
	5~10
	11~15
	16~

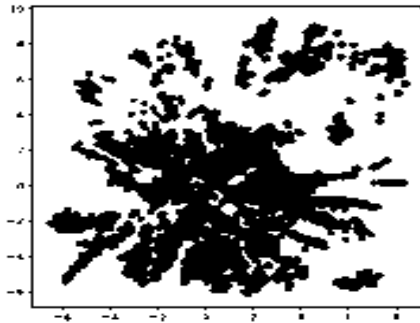
: 큰 수

N : Test (Die)

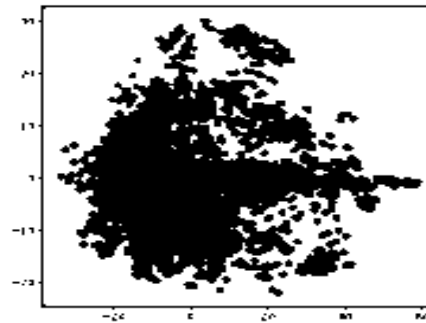


논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

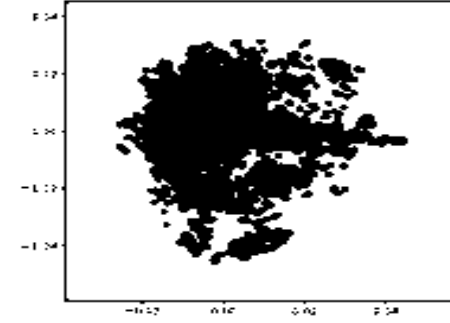
Feature Extraction (2-dimension)



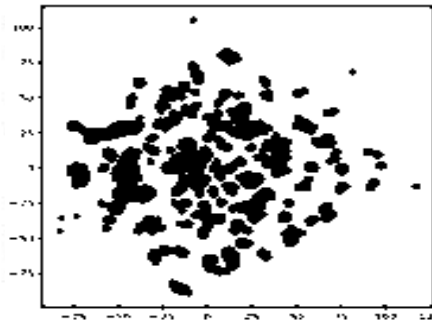
(a) VAE



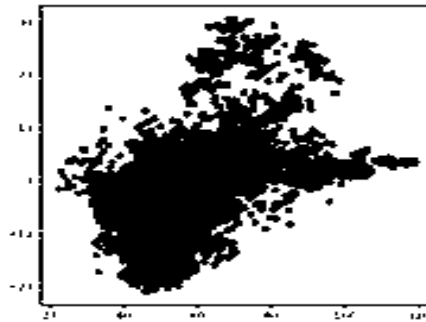
(b) PCA



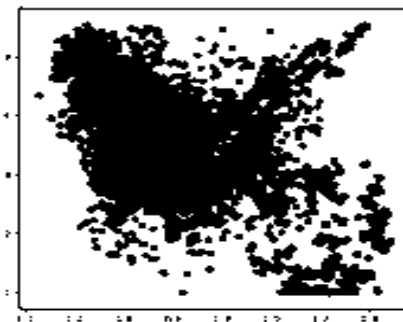
(c) ICA



(d) t-SNE



(e) truncated SVD



(f) NMF

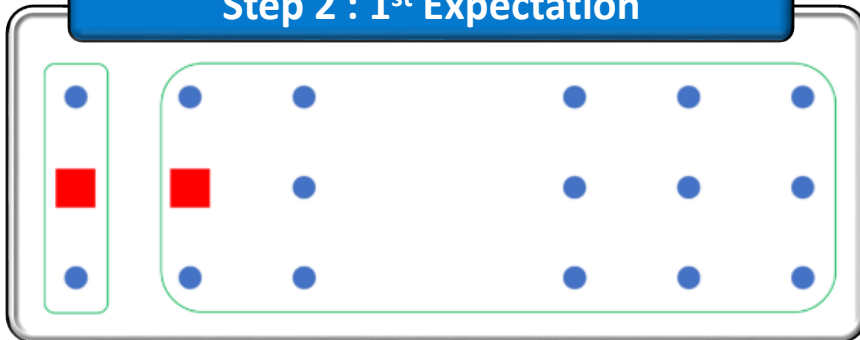
논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

Clustering – K-means

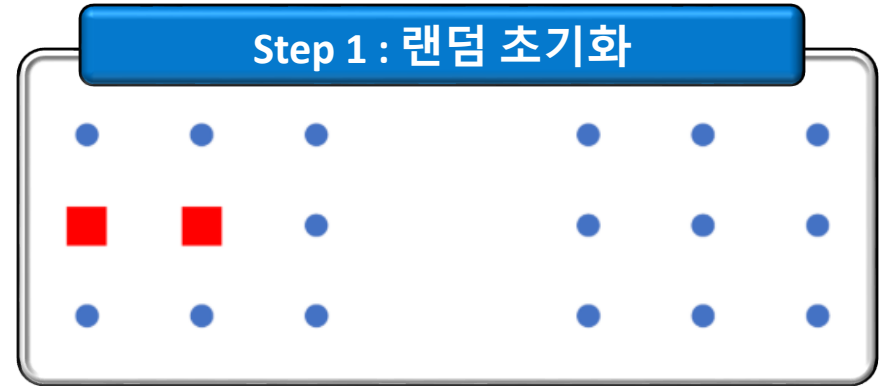
$$X = C_1 \cup C_2 \dots \cup C_K, \quad C_i \cap C_j = \phi$$

$$\operatorname{argmin}_C \sum_{i=1}^K \sum_{x_j \in C_i} \|x_j - c_i\|^2$$

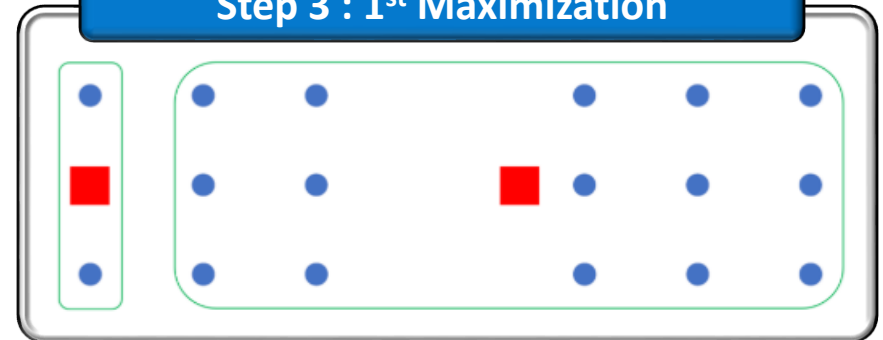
Step 2 : 1st Expectation



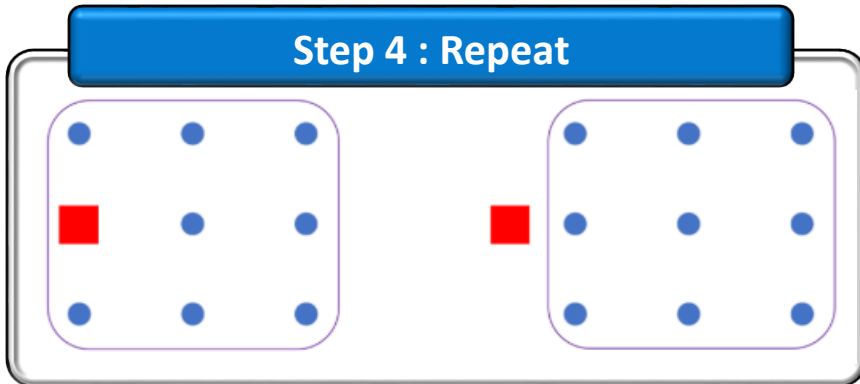
Step 1 : 랜덤 초기화



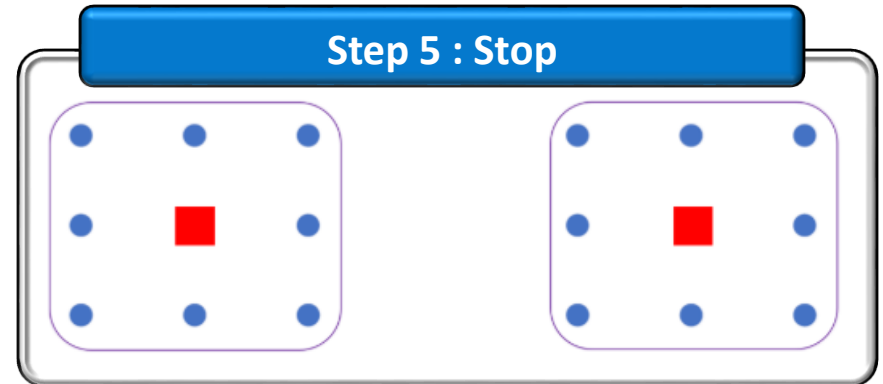
Step 3 : 1st Maximization



Step 4 : Repeat

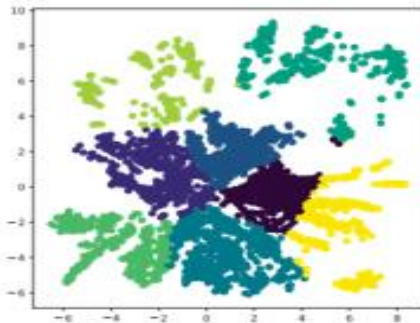


Step 5 : Stop

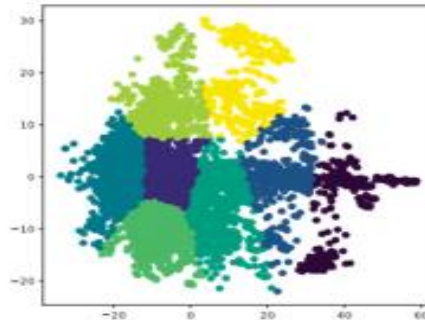


논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

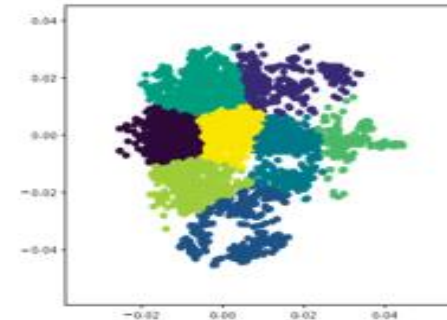
Clustering – K-means (8-clusters, Sample)



(a) VAE

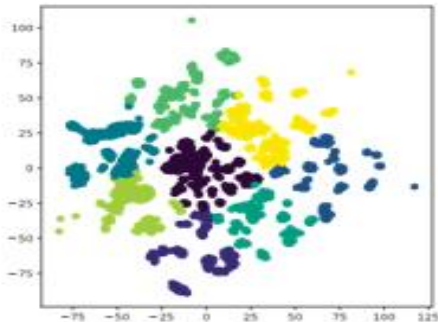


(b) PCA

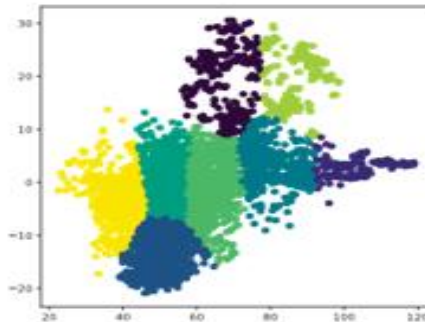


(c) ICA

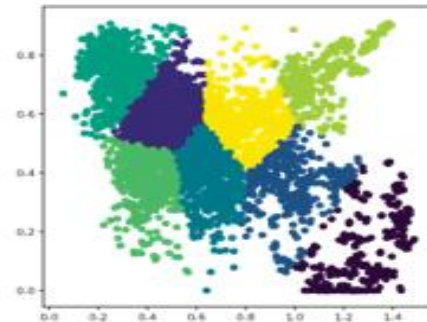
↶



(d) t-SNE



(e) truncated SVD



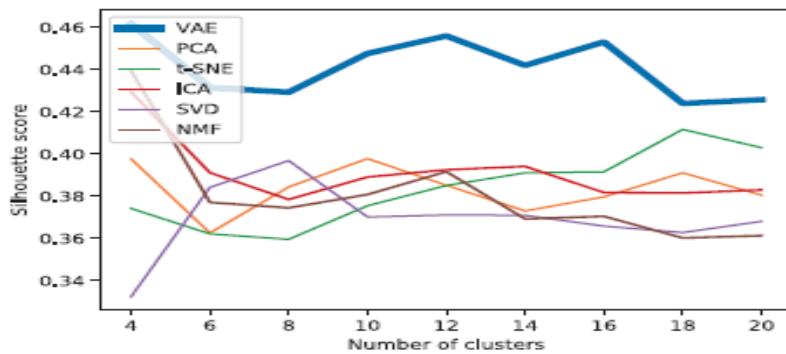
(f) NMF

↶

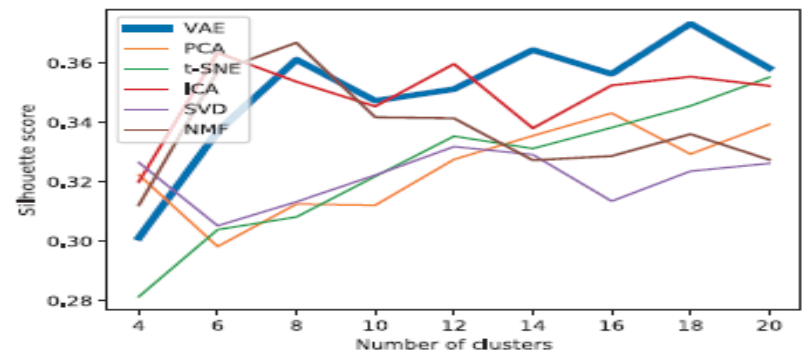
논문 (Unsupervised Map Pattern Clustering)

Evaluation

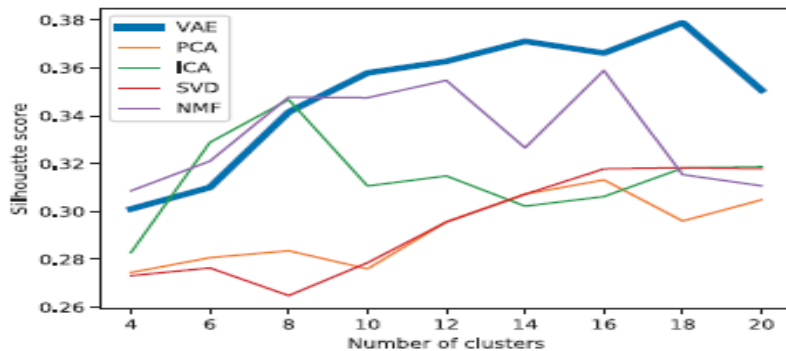
❖ **Silhouette metric** $Sil(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\text{Max}\{a(i), b(i)\}}$



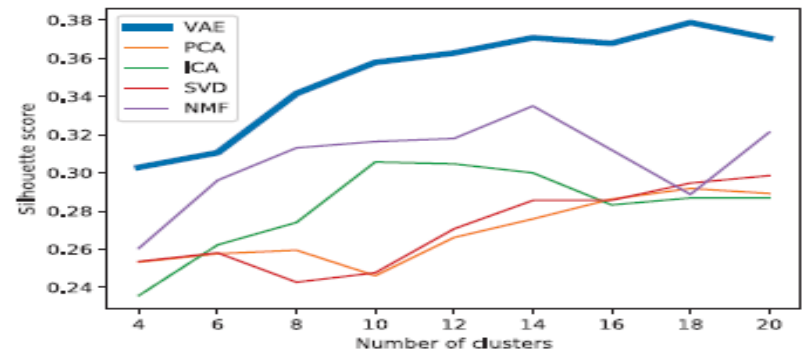
(a) K-means, 2-dimensional latent space



(b) K-means, 3-dimensional latent space



(c) K-means, 4-dimensional latent space



(d) K-means, 5-dimensional latent space

■ Conclusion

- 1) 제조업에서 품질 관리는 기업을 성패를 가르는 중요한 요소이다.
- 2) 구매 / 제조 / Test 단계별 확보 가능한 Data를 통해 현업에서 진행하고 있는 품질 방안을 엿볼 수 있었다.
- 3) 공수가 많이 들어가는 MAP Labeling 작업을 Label이 없이 Clustering 할 수 있는 가능성을 볼 수 있었다.
- 4) Clustering 효과에 대한 증명 및 최적의 K값을 찾는 Logic을 탑재한다면 현업에 큰 도움될 것으로 보인다.

■ Critic

- 1) WF 좌표에 대한 기본 정보가 있는데 Contour를 지정하기 위한 추가 작업이 필요한지 의문 임.
- 2) 실 DATA를 바탕으로 본 논문의 실효성을 간접적으로 평가해 볼 수 있었을 것으로 보이나, Cluster 후 Silhouette Score로 대신함에 의문이 생김

감사합니다.