차세대 반도체 공정을 위한 실시간 수율관리 시스템 아키텍처 구축에 대한 연구

박유진*, 박영수**, 허선**, 이현**
*중앙대학교 사회과학대학 상경학부 경영학과
**한양대학교 공학대학 산업경영공학과
e-mail:eugenepark@cau.ac.kr

Development of Real-Time Fault Monitoring and Detection System for Next Generation Fab

You-Jin Park*, Young-Soo Park**, Sun Hur**, Hyun Lee**
*Dept of Business Administration, Chung-Ang University
**Dept of Industrial and Management System, Hanyang University

요 약

차세대 반도체 산업은 제조공정의 미세화, 복잡화, 다단계화 등이 심화되고 이로 인해 제조원가의 절감을 위한 단위 Wafer당 보다 많은 칩을 생산할 수 있는 450mm 웨이퍼의 도입을 반드시 필요로 한다. 본 논문에서는 클러스터 툴을 주로 사용하는 450mm 웨이퍼 수율관리·개선 시스템의 구현방향과 상세 기능과 각 모듈에 대한 연구를 수행하였으며, 450mm 웨이퍼 생산체제 하에서 필요한 수율관리 시스템인 RTFMD 시스템을 제안 하였다.

1. 서론

현재 세계 반도체 산업은 제조공정의 미세화·복잡화·다단계화 등이 진행되고 있고, 생산성 및 품질 혁신을 전개하였고 다양한 기술적인 문제들을 획기적인 방법으로 해결함으로써 반도체 산업규모와 반도체 시장을 꾸준히 성장시켜 왔다. 일반적으로 반도체의 생산은 동일한 양의 웨이퍼를 투입하더라도 웨이퍼의 크기, 웨이퍼의 수율, 공정미세화 등에 따라 생산되는 반도체의 수량에 큰 차이를 보인다. 웨이퍼의 크기는 약 10년을 주기로 1.5배씩 확대되어 왔고 2004년도부터는 450mm 차세대 반도체 생산에 대한 필요성이 대두되었다. 성공적인 450mm 웨이퍼 생산체제로의 전환을 위해 전 세계 반도체 회사들의 연구 컨소시엄인 International Semiconductor Manufacturing Initiative(ISMI)는 표준화, 추진계획 로드맵 작성, 산업 간의 합의 등과 같이 450mm 웨이퍼 생산과 관련된 모든 문제들을 공동으로 연구하고 그에 대한 해결방안을 마련하여 개발비용을 절감하려는 노력을 기울이고 있다. 따라서 본 연구에서는 현 300mm 웨이퍼 생산체제에서 450mm 웨이퍼 생산체제로의 전환에 따른 반도체 수율 변화에 대비하고 보다 안정적인 수율확보하기 위한 수율관리 및 개선 시스템의 필수 요구사항과 상세기능에 대한 연구를 수행하였다.

2. 반도체 수율관리 및 개선 기법

현재 반도체 제조공정에서 발생하는 불량을 분석하고 제어하기 위해 다양한 방법들이 개발·적용되고 있다. 예를 들어, 모델기반의 알고리즘을 사용한 방법, 선형모델을 이용한 방법, 최근 공정이나 설비 데이터 값의 추세(Trend)를 판단하여 분석하고 제어하는 방법 등이 있다. 하지만, 이러한 방법들은 어떠한 변인이 반도체 불량에 영향을 미쳤는지 판단하기 힘들고, 정확도 측면에서 매우 신뢰도가 낮으며, 반도체 공정 특성상 불량의 진단·분석 모델의 변경이 빈번하게 요구되는데 이를 수용하기는 것은 현실적으로 매우 어렵다는 단점이 있다. 또한, 웨이퍼의 물리적인 특성으로 웨이퍼의 크기가 커짐에 따라 450mm 웨이퍼 생산 환경에서의 수율 분석·관리 및 개선을 위해 반드시 고려되어야 하는 기법들은 다음과 같다.

2.1 Data Reduction & Dimension Reduction

450mm 웨이퍼 생산체제로 전환될 경우, 공정·설비의 변수의 종류와 데이터의 양은 급격히 증가하고, 이러한 현상으로 인해 중복된 변수와 불필요한

데이터가 존재할 가능성이 높기 때문에 수율에 영향도가 낮은 변수와 데이터가 고려될 가능성이 크다. 따라서 이러한 불필요한 변수와 데이터를 적절하게 줄이는 작업이 매우 중요하다.

2.2 Statistical Process Control

반도체 제조공정에서는 수율변동의 원인을 신속하고 정확하게 파악하는 것뿐만 아니라 수율특성치의 산포를 줄이는 것도 매우 중요한 이슈이다. 450mm 웨이퍼 생산체제에서는 관리해야 하는 공정·설비 데이터의 종류와 양이 급격히 증가하므로 300mm 웨이퍼 생산 때보다 향상된 Spec관리기술이 필요하다.

2.3 설비 데이터 관리 및 분석을 통한 수율예측과 산포 개선

450mm 웨이퍼 생산설비에서 생성되는 설비 상태 데이터(일반적으로 FDC 데이터라고 함.)의 선택, 설비 상태 데이터의 처리 등이 중요한 이슈이므로 설비 상태 데이터에 대한 종합적이고 체계적인 관리가 필요하다. 450mm 웨이퍼 생산 시에 발생하는 FDC 데이터의 종류와 양 또한 크게 증가될 것으로 예상되기 때문에 FDC 데이터의 실시간(Real-time) 관리는 보다 더 중요해 질 것으로 판단된다.

2.4 클러스터 툴(Cluster Tool)에서의 수율관리

450mm 웨이퍼 생산체제로 전환 시, 웨이퍼의 대구경화로 인해 대부분의 공정이 웨이퍼 단위로 이루어지는 Single Wafer Processing(SWP) 형태로 변화가 되므로, 공정과 설비의 형태는 복수의 단일 공정들 또는 여러 개의 다른 공정들을 하나의 설비로 구성한 클러스터 툴(Cluster tool)의 형태를 갖출 것으로 예상하고 있다. 따라서 450mm 웨이퍼 제조공정에서는 클러스터 툴 기반의 수율분석과 개선활동이 이루어져야 할 것이다.

3. 450mm 웨이퍼 생산 환경에서의 수율관리 시스템의 구현 방안

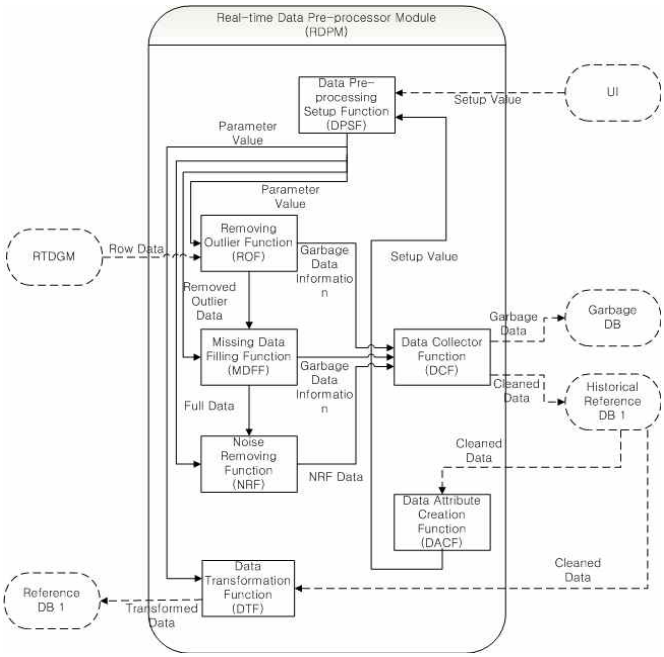
본 연구에서는 앞서 서술한 바와 같이 450mm 웨이퍼 생산체제에 민첩하게 대응하기 위해 300mm 웨이퍼 생산체제에서 사용되는 수율관리 시스템보다 효율적인 실시간 수율관리 시스템인 Real-Time Fault Monitoring & Detection(RTFMD) 시스템을 구축해야 한다.

3.1 RTFMD 시스템 구성 모듈

RTFMD 시스템을 구성하는 모듈은 공정·설비 데이터를 실시간으로 분석하여 데이터 변수를 줄이기 전 데이터를 정제시키는 Data reduction 모듈, 정제 과정을 거친 데이터의 불필요한 변수를 제거하는 Dimension reduction 모듈, 다양한 통계적 기법들을 이용하여 데이터 관리 및 분석을 하는 모듈이다. 본 연구에서 제안하고자 하는 실시간 수율관리 및 개선(RTFMD) 시스템의 구성 모듈에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.[그림 1], [그림 2], [그림 3]은 각 Module의 상세구조를 나타내고 있고, [표 1], [표 2], [표 3]은 이 Module이 가진 주요 기능들을 정의하고 각 기능들 간의 관계를 정의한 기능 명세서이다.

3.1.1 Real time Data Preprocessor Module

Real time Data Preprocessor Module은 실시간으로 수집된 반도체 공정·설비 데이터를 사전 처리 하는 모듈로서 데이터 정제(Data Cleaning) 와 데이터 변환 (Data Transformation) 역할을 수행한다. 즉, 정제된 데이터를 Garbage DB 1, Historical Reference DB 1, Reference DB 1으로 전송한다.



[그림 1] Real time Data Preprocessor Module

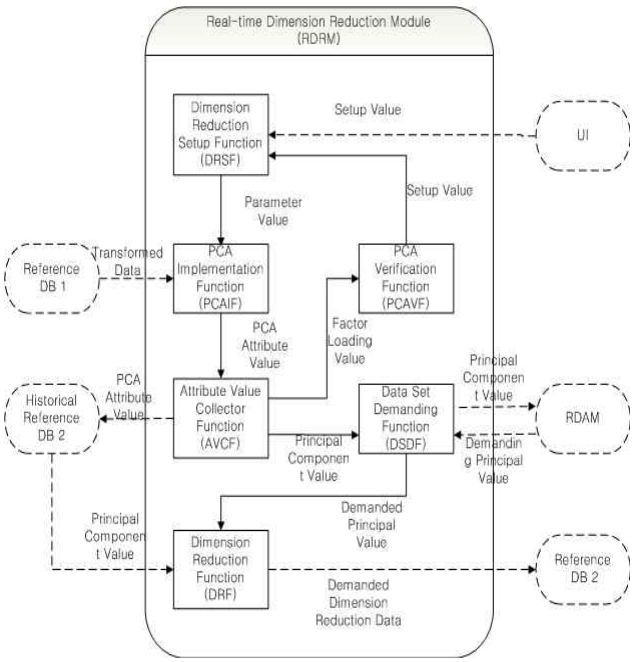
[표 1] Real time Data Preprocessor Module 기능명세서

Name	Define	I/O Function	
		Input	Output
DPSF	수집된 데이터를 사전처리 하기 위한 Parameter 설정	UI, DCF	ROF, MDFF,

			NRF, DTF
ROF	실시간 데이터를 입력 받아 Outliner 제거 수행	RTDGM, DDSF	MDFF, DCF
MDFF	ROF로부터 데이터를 받아 Missing Data 생성	ROF, DPSF	NRF, DCF
NRF	MDFF로부터 Full data를 받아 Noise 제거	MDFF, DPSF	DCF
DCF	정제된 데이터를 모아 쓸모없는 데이터와 NRF에서 받은 데이터를 구분하여 각 DB로 전송	ROF, MDFF, NRF	Historical Reference DB 1, Garbage DB
DACF	Historical Reference DB 1의 데이터를 분석하여 최적값을 DPSF로 전송	Historical Reference DB 1	DPSF
DTF	Historical Reference DB 1 으로부터 데이터를 받아 마이닝에 적절한 형태로 데이터를 변환하여 Reference DB 1로 전송	Historical Reference DB 1	Reference DB 1

3.1.2 Real time Dimension Reduction Module

Real time Dimension Reduction Module은 정제·변환된 실시간 데이터의 차원을 축소하고 Real time Data Analysis Module으로 전송하는 모듈이다. 이 모듈을 구축하기 위해 사용하는 대표적인 기법은 주성분분석 (Principal Component Analysis)이 있다.



[그림 2] Real time Dimension Reduction Module

[표 2] Real time Dimension Reduction Module 기능명세서

Name	Define	I/O Function	
		Input	Output
DRSF	변환된 데이터 차원 축소화에 필요한 Parameter 설정	UI, PCAVF	PCAIF
PCAIF	정제되어 변환된 데이터를 PCA method를 이용하여 분석하고 PCA attribute값을 AVCF로 전송	DRSF, Reference DB 1	AVCF
PCAVF	AVCF로부터 Factor Loading Value를 전송받아 Dimension Reduction Setup Function으로 Setup Value를 전송	AVCF	DRSF
AVCF	PCAIF로부터 PCA Attribute Value를 입력받아 속성값을 PACF 와 Historical Reference DB 2에 전송하며, DSDF에는 주성분값을 전송	PCAIF	PCAVF, DSDF, Historical Reference DB 2
DSDF	AVCF로부터 PCA Value를 받아 RDAM에 전송하고 RDCF로 요구된 PCA Value를 전송	AVCF	RDAM, DRF
DRF	DSDF로부터 요구된 PCA정보를 받고 Historical Reference DB2로부터 PCA Value를 받아 차원이 축소된 데이터를 전송	DSDF, Historical Reference DB 2	Historical Reference DB 2

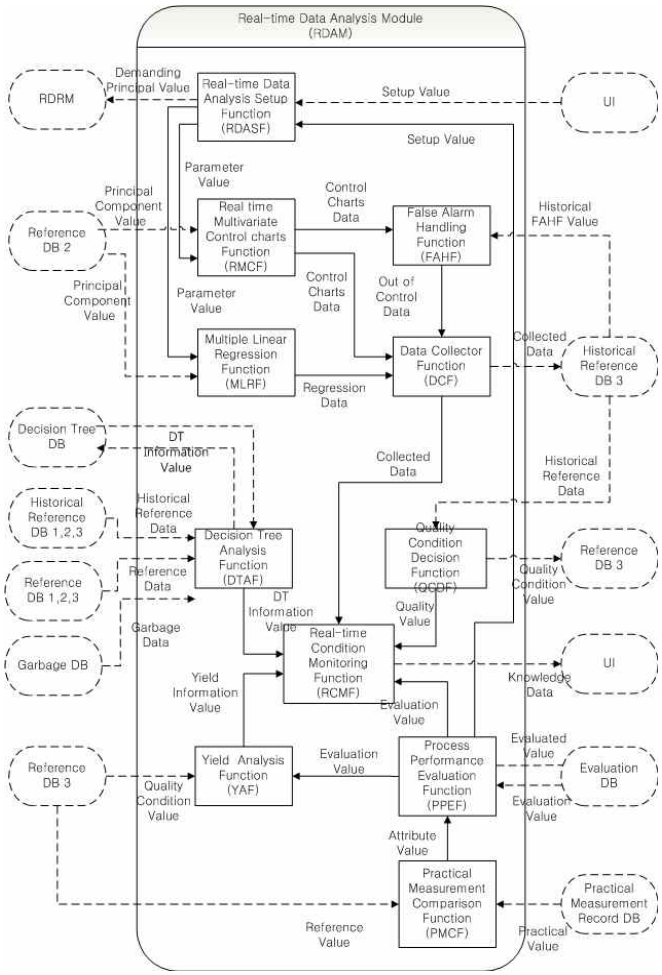
3.1.3 Real time Data Analysis Module

Real time Data Analysis Module은 불필요한 데이터와 변수가 제거된 데이터의 특성값과 DB에 저장된 값을 이용하여 다변량관리도, 다변량회귀분석, 의사결정나무, 수율분석, 프로세서의 수행도 평가 등을 수행하여 실시간 모니터링과 감지 및 수율분석을 수행하는 기능을 포함한 모듈이다.

[표 3] Real time Data Analysis Module 기능명세서

Name	Define	I/O Function	
		Input	Output
RDASF	분석에 필요한 차원의 PCA Value를 요구 하고, 다변량 관리도와 다중선형회귀분석의 설정에 필요한 Paremeter Value를 설정	UI, PPEF	RMCF, MLRF
RMCF	관리도의 민감도를 결정하는 값을 입력받고, PCA Value를 관리도 작성에 필요한 값을 실시간으로 생성	RDASF, Reference DB 2	FAHF, DCF
MLRF	다중선형회귀분석 값을 실시간으로 생성하고, 그래프를 결정하는 값을 입력받는다.	RDASF, Reference DB 2	DCF
FAHF	관리도 상에서 실시간으로 업데이트 되는 데이터의 값을 분석하여 False Alarm과 이상치 값을 전송	RMCF, Historical Reference DB 3	DCF
DCF	실시간으로 분석된 데이터를 수집하여 Historical Reference DB 3 에 전송	RMCF, MLRF	Historical Reference DB 3

DTAF	의사결정나무를 이용하여 에러의 발생 지점이나 원인을 탐색	Historical Reference DB 1,2,3 Garbage DB, Reference DB 1,2,3	RCMF, DTDB, Reference DB 1,2,3
QCDF	DCF에 의해 전송 되어진 Historical Reference DB 3 에서 데이터를 받아 부적합, 혹은 적합을 판단	Historical Reference DB 3	Reference DB 3, RCMF
YAF	실시간 Wafer와 공정의 예상 수율을 분석	Reference DB 3, PPEF	RCMF
PPEF	실측값과 예측값을 비교 분석하여 얻어진 값을 Evaluation DB 값과 비교	PMCF, Evaluation DB	YAF, RCMF, RDASF
RCMF	관리자가 실시간으로 품질관리 상태를 모니터링 할 수 있게 함	DTAF, QCDF, YAF, PPEF, DCF	UI
PMCF	실측값과 예측값을 비교, 분석하여 속성값을 PPEF로 전송	Practical Measurement Record DB, Reference DB 3	PPEF



[그림 3] Real time Data Analysis Module

4. 결론

본 연구에서는 현재 300mm 웨이퍼 생산체제에서 450mm 웨이퍼 생산체제로 전환되었을 경우, 웨이퍼의 수율(반도체 수율)을 효과적으로 관리·제어·개선하기 위한 시스템의 아키텍처와 주요 모듈들의 상세 기능에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과로서 300mm 웨이퍼 생산 환경과 450mm 웨이퍼 생산 환경에 대한 전반적인 고찰을 수행하였고, 450mm 웨이퍼 수율관리·개선 시스템의 구현방향과 상세 기능과 각 모듈에 대한 연구를 수행하였으며, 450mm 웨이퍼 생산체제 하에서 필요한 수율관리 시스템인 RTFMD 시스템을 제안 하였다.

본 연구의 결과를 토대로 추후 수율관리 시스템의 flow chart에 대한 검증과 실시간 수율관리 시스템의 구동로직에 대한 검증을 실시하고자 한다. 결론적으로 본 연구의 결과를 적절히 활용하여 성공적인 웨이퍼 크기 변환을 이루어 원가 절감과 생산성 향상이라는 목표를 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] Lee, J-H; "A New Abnormal Yields Detection Methodology in the semiconductor Manufacturing Process", Journal of Information Technology Application & Management, 15(1), 243-260, 2008.

[2] Ruixiang, G., Zhenggang, C.; "Integrated Inspection and Control for Semiconductor Cluster Tools", grants special research project report of National Science Council, 1890.

[3] Tong L-I., Wang C-H., and Huang C-L., "Monitoring Defects in IC Fabrication Using a Hotelling T^2 Control Chart", *IEEE transactions on semiconductor manufacturing*, 18(1), 2005

[4] Chen, A., Guo, R-S., and YEH, P-H.; "An Effective SPC Approach to Monitoring Semiconductor Manufacturing Process with Multiple Variation Sources", *The Ninth International Symposium on Semiconductor Manufacturing*, 2000

[5] Guh, R-S.; "Utilization of decision tree learning for online monitoring multivariate control charts", *Quality Association 42th Annual Conference of Republic of China,* 1-10

[6] 백동현, 한창희; "데이터마이닝을 이용한 반도체 FAB공정의 수율개선 및 예측", 한국지능정보시스템학회논문지, 9(1), 2003

[7] S. UMIT OKTAY, CIGDEM A., "Multivariate Quality Control a historical perspective", pp.54-67

[8] S.Umit O. F., Cigdem A.C., "Multivariate Statistical Process Control Methods and new approaches", The 6th TQM World Congress, pp.239-246, 2001