

반도체 생산 기준정보 테이블을 이용한 이탈처리 분석시스템

김태진*, 한영신**, 이철기***

*성균관대학교 대학원 컴퓨터공학, **성결대학교 멀티미디어학부, ***성균관대학교 반도체시스템공학

초록

본 연구는 반도체 산업의 공정에서 자동화를 위한 Solution 개발에 초점을 두었다. Spec-out(불량)이 발생하였을 경우에 엔지니어가 원인을 분석하고 조치를 취하던 이전의 방식을 탈피하여 Expert Knowledge Base System의 On-Line방식으로 전환하고자 한다. 이러한 시스템을 구축하기 위해 공정과 계측간에 발생하는 파라미터들의 상관관계를 수학적으로 도출하였으며, 상관관계들을 이용하여 이탈 발생시 처리를 하기 위한 Rule을 구성하였다. 그리고 이 Rule들을 바탕으로 이탈발생의 원인을 분석하는 추론 시스템을 구성하여 즉각적이고 신속하게 처리를 하기 위한 이탈처리 분석 시스템을 구성하는 방법을 연구하였다.

1. 서론

반도체 제조업의 생산 환경은 완전 자동화에 의한 무인 공장 구축이 목표일 것이다. 그러나 무인 자동화를 위해서는 완벽한 Infra - Structure의 구축과 Intelligent Decision Maker에 의한 컨트롤이 전제 되어야 한다. 국내 반도체 제조 업체들 또한 80년대 중반부터 자동화 시스템을 도입해왔고 높은 기술력을 가지고 있지만 Intelligent Manufacturing에는 못 미치는 단계에서 크게 벗어나지 않은 실정이다. 설비의 현황만을 파악해서는 설비의 이상 등을 사전에 예측, 대처하는데 한계가 있으며 문제의 원인분석이 몇몇 숙련된 작업자의 경험에 크게 의존되어 있다. 때문에 분석 시스템의 결핍, 다중 시스템간의 호환성 결여, 비합리적인 Capacity산정, Yield(수율)의 저하 등의 문제를 심각하게 겪고 있는 것이 현실이다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 불량(Spec-out)의 사전예방, Yield(수율)향상과 Condition Based Maintenance 체제를 구축하기 위하여 현장 엔지니어의 노하우를 데이터베이스화하고 반도체 공정 진행 중 이탈이 발생한 특정 공정의 Lot에 대해 이탈의 원인을 찾는 분석시스템의 구현을 위한 방법을 연구한다.

2. 시스템 구축을 위한 접근

2.1 시스템 구축 방식

시스템 구축을 위한 접근 방식으로 전문가 시스템을 구현하여 품질향상을 이룩할 수 있기 위하여

다음과 같은 과정 분석 및 시스템 구축 방식을 채택하였다.

표1. 시스템 구축을 위한 구축방식

- 현업에서 현재 관리 중인 이탈 처리 분석 및 조치 방식을 파악
- 전문 엔지니어들의 지식을 수집
- 문제의 성립 요건 및 종류를 파악
- 문제의 성립 요건 및 종류에 따른 전문 엔지니어들의 지식과 더불어 이론적인 근거에 바탕을 둔 rule 을 구축
- 모든 엔지니어들이 쉽게 사용할 수 있으며, 처리속도를 최단 시간에 수행할 수 있는 입력 화면을 구성
- 구축된 시스템을 현업에 적용하여 검증을 거쳐 현장에 적용

2.2 공정 파라미터와 계측 파라미터의 상관관계 도출

현재 현업에서는 이탈 발생시 그에 대한 Data를 모두 수작업에 의하여 엔지니어가 DB에서 읽어 온 후 일일이 엑셀로 작업 후 관련 Data를 분석, 출력하고 있다. 그러나 이를 이탈 발생시 그에 해당하는 Data들의 상관관계를 분석하여 그 관계치가 높은 Data들만 따로 출력하게 되면 일차적으로 이탈처리분석에 도움이 될 것이다.

2.3 Correlation(상관관계)의 이론적 배경

Correlation Analysis 는 변수들간에 존재하는 선형 관련성의 정도를 측정하여 분석하는 방법으로 이를 측정하는 척도로는 correlation coefficient(상관계수)를 사용하며 다음과 같은 특징을 갖는다.

표 2. Correlation coefficient (상관계수)의 특징

- correlation coefficient 는 -1 과 1 사이의 값을 갖는다.
- correlation coefficient = 1 이면 두 변수 X, Y 는 완전한 양의 선형관계에 있음을 의미.
- correlation coefficient = -1 이면 두 변수 X, Y 는 완전한 음의 선형관계에 있음을 의미.
- 두 변수 X, Y 가 서로 통계적 독립이면 correlation coefficient = 0 이다. 그러나 correlation coefficient 가 0 이라고 해서 두 변수는 서로 독립이라고 할 수는 없다.

이러한 correlation coefficient의 식은 다음과 같다.

$$Cor(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X)Var(Y)}} \quad (1)$$

Variance(분산)는 변수가 그 평균에 대하여 어떻게 분포되어 있는가를 측정하는 수치이며 Variance가 크다는 것은 그 만큼 변수들이 평균으로부터 멀리 떨어져서 분포한다는 것을 의미하고 반도체 공정의 계측 값으로 본다면 그 만큼 System이 불안정하다는 것을 나타낸다.

Variance 의 식은 다음과 같다.

$$Var(X) = E(X^2) - \mu^2 \tag{2}$$

Covariance(공분산)는 두 변수간의 선형 의존도를 측정하는 것으로 식은 다음과 같다.

$$Cov(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y) \tag{3}$$

Cov(X, Y) = 0 은 두 변수가 전혀 관계가 없음을 나타낸다.

3. 이탈발생시 Rule을 이용한 전문가 시스템 구축 방안

CD (Critical Dimension: 임계치수) 값을 Target으로 CD 값에 영향을 주는 공정 파라미터 4개 Rule을 이용하여 추론하는 방법이다.

3.1 Rule 의 내용

Sample로 구현한 Rule의 내용은 다음과 같다.

표3. Sample Rule의 내용

RULE 1: IF RET-ID가 바뀌었다.	THEN CD 값이 변화한다.
RULE 2: IF EXPOSURE-TIME이 바뀌었다.	THEN CD 값이 변화한다.
RULE 3: IF FOCUS값이 바뀌었다.	THEN CD 값이 변화한다.
RULE 4: IF TTLFC값이 바뀌었다.	THEN CD 값이 변화한다.

3.2 Rule 의 구조

위의 4개의 Rule은 오른쪽과 그림과 같은 구조를 가진다. CD값을 변화 시키는 요인이 되는 Rule 1, Rule 2, Rule 3, Rule4를 CD라는 가설에 연결해 놓는다. 만일 CD값이 이탈하게 되면 Alarm이 발생과 함께 이 Rule들을 이용, 이탈의 원인을 분석하여 그 원인이 되는 데이터를 엔지니어에게 즉시 보여 준다.

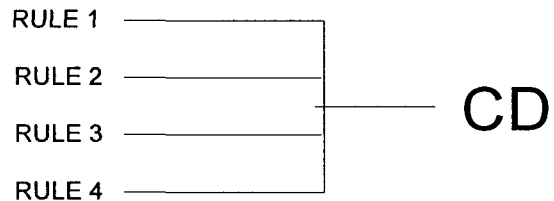


그림1. Rule의 구조

3.3 추론 방법

전문가 시스템의 추론 방법은 Backward Chaining과 Forward Chaining으로 나누어 진다. Forward Chaining이란 주어진 데이터를 가지고 추론을 시작 하여서 그 데이터들을 통해서 Rule-Base의 가설들의 참, 또는 거짓을 검증하는 추론 방법이다. Backward Chaining이란 어떤 특정 가설(Target)의 참, 또는 거짓을 검증하기 위해서 가설(Target)를 지지하는 관련 데이터를 찾아내는 추론 방법이다. 구성한 Rule은 기본적으로 이 두 가지의 추론 방법을 동시에 수행할 수 있도록 구현되어 있다. 그러나 접근하는 문제의 특성상 Backward Chaining방법으로 추론을 하게 된다. 추론 순서는 다음과 같다.

표4. 전문가 시스템에서의 추론순서

- CD값이 이탈이 되었다는 것을 계측 장비로부터 전문가 시스템이 전달 받는다.
- 그와 동시에 전문가 시스템은 CD값의 이탈 원인을 추론하는 가설을 추론 기관 (Inference Engine)에 올려줌으로 추론을 시작한다.
- Rule의 우선 순위에 의해서 추론이 진행 된다. 추론이 진행되는 과정에서 전문가 시스템 은 추론에 필요한 데이터를 데이터베이스를 통해서 직접 추출(extract)하여서 추론에 사 용한다.
- 추론의 결과를 엔지니어에게 보여준다. 추론 결과로는 CD값의 이탈에 영향을 준 항목 (item)을 찾아서 그 영향의 중요도를 계산하여서 높은 순서부터 차례로 보여준다.

3.4 Rule 구성상의 가정

Sample Rule을 만들면서 실제의 데이터 값과 실제 엔지니어들의 지식을 가지고 구성하고자 노력 하였으나 Rule을 만드는 과정에서 가정이 필요하였다.

구현한 Sample Rule에는 CD값의 변화에 영향을 미치는 4개의 항목(ITEM)들을 가지고 추론을 해나간다. 추론의 결과는 CD값의 변화에 미치는 영향의 정도에 따라 항목들을 순서대로 나열 하 는 것이다. 그 순서를 정하는 데는 다음의 두 가지의 요소를 고려해야 한다.

첫째는 공정 엔지니어들이 지식으로 가지고 있는 점검 항목에 대한 중요도이고 두 번째는 위의 4가지 항목들의 자신의 임계치(Threshold)와의 편차이다. 위에서 첫째 요소는 공정 엔지니어들 의 지식을 얻어 Rule에 반영하였다. 그러나 두 번째 요소를 Rule에 반영하는 데는 가정이 필요하 였다.

Sample Rule의 점검 항목들은 모두 각각 단위(Unit)가 다르다. 그러므로, 서로 다른 단위의 항목 값의 편차를 중요도에 반영하는 것은 전문가의 숙련된 경험이 필요하다. 그러나, 편의상 가정에 의해서 Rule을 구현하였다. 그 가정을 다음 공식으로 표현하였다.

표5. 점검 순서 우선순위를 위한 Rule

$$\text{점검 순서 우선순위 결정 Factor} = ((\text{현재 측정값} - \text{이전 측정값}) / \text{Threshold범위}) * \text{공정 엔지니어들이 정한 점검 순서 중요도.}$$

위 식은 먼저 항목들의 측정값의 편차를 구하고 그 값을 Threshold의 범위로 나눔으로 정규화 (Normalize)를 하였다. 그리고 그 값에 공정 엔지니어들이 정해준 점검 순서 중요도를 곱해서 우 선순위 결정 Factor에 반영하였다. 위의 식은 가정에 의해서 결정되었으며 추후에 공정 엔지니어 와 조율을 통해서 최적의 중요도 구현 공식을 찾아 내야 한다.

추론 결과 예

예) CD Value

CD1	CD2	CD3	CD4
0.698	0.527	0.695	<u>0.62</u>

*CD4에 오류 발생.

점검 항목 데이터

	RET-ID	TTLFC	EXP-TIME	FOCUS
PRESENT	VS00860	-0.03	415	0.1
BEFORE	VS00860	0.17	420	0.35

추론 결과.

다음 점검 항목들이 임계치를 넘었습니다.

우선 순위에 의한 점검 순서는 다음과 같습니다.

TTLFC -- 이전 TTLFC : 0.17 현재 TTLFC : -0.03

FOCUS -- 이전 FOCUS : 0.35 현재 FOCUS : 0.1

4. 결론

앞에서 열거한 이론적 배경들과 Rule 을 이용하여 구성된 이탈처리 분석 시스템은 다음과 같은 기능을 가지게 된다.

표 6. 이탈처리 분석 시스템의 주요기능

- 해당 Recp_id 와 Lot_id 를 기준으로 하여 DB에서 Data Extract(기준정보를 참조)
- 점검 우선순위에 의해 이탈발생의 원인 분석
- 분석 결과를 Display 하고 결과를 결과 Table 에 저장

생산 기준 정보 테이블을 이용하여 불량률의 원인 분석 및 사전예방을 하는 본 시스템은 또한 다음과 같은 기대효과를 가질 수 있다.

1. Yield (수율) 향상
2. Business Lead Time 감축
3. 생산효율 증대
4. Condition Based Maintenance 체제 구축
5. Human Factor 에 의한 Error 를 최소화

참고문헌

- [1] Alberto Leon-Garcia, "Probability and Random Process for Electrical Engineering" 2nd-ed. [1994]
- [2] Richard C. Jaeger, "Introduction to Microelectronic Fabrication 2/E : Volume 5 of Modular Series on Solid State Devices" [2001]
- [3] Horowitz, Sahni, Anderson-Freed, "Fundamentals of Data Structures in C" [1997]
- [4] Stanley Middleman, K.Hochberg, "Process Engineering Analysis in Semiconductor Device Fabrication", Mc Graw-Hill,Inc
- [5] 이영훈, "The state of the art in the production planning and control of the semiconductor manufacturing industry", 韓國生産管理學會誌, Vol.11, No.3 [2001], pp 85-110
- [6] Izak D., John W.F and Schruben, L.W., "Planning and Scheduling in Japanese Semiconductor Manufacturing, Journal of Manufacturing Systems", Vol.13, No.5, pp.323-332, 1993
- [7] 이윤우, "반도체 시장현황과 우리의 전략" 공학교육과 기술, Vol. 9 No.4, pp61-63, 2002