

차세대 웨이퍼 생산시스템에서의 실시간 스케줄링 시스템 아키텍처

이 현* · 허 선^{*†} · 박유진** · 이건우*** · 조용주****

*한양대학교 산업경영공학과

**중앙대학교 경영학과

***㈜미라콤 아이앤씨

****한국생산기술연구원

A Real-Time Scheduling System Architecture in Next Generation Wafer Production System

Hyun Lee* · Sun Hur^{*†} · You-Jin Park** · Gunwoo Lee*** · YongJu Cho****

*Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

**Department of Business Administration, Chung-Ang University

***Miracom, Inc.

****Korea Institute of Industrial Technology

In the environment of 450mm wafers production known as the next-generation semiconductor production process, one of the most significant features is the full automation over the whole manufacturing processes involved. The full automation system for 450mm wafer production will minimize the human workers' involvement in the manufacturing process as much as possible. In addition, since the importance of an individual wafer processing increases noticeably, it is necessary to develop more robust scheduling systems in the whole manufacturing process than so ever. The scheduling systems for the next-generation semiconductor production processes also should be capable of monitoring individual wafers and collecting useful data on them in real time. Based on the information gathered from these processes, the system should finally have a real-time scheduling functions controlling whole the semiconductor manufacturing processes. In this study, preliminary investigations on the requirements and needed functions for constructing the real time scheduling system and transforming manufacturing environments for 300mm wafers to those of 400mm are conducted and through which the next generation semiconductor processes for efficient scheduling in a clustered production system architecture of the scheduler is proposed. Our scheduling architecture is composed of the modules for real-time scheduling, the clustered production type supporting, the optimal scheduling and so on. The specifications of modules to define the major required functions, capabilities, and the relationship between them are presented.

Keywords : Semiconductor, 450mm Wafer Production, Real-time Scheduling, Manufacturing Execution System

논문접수일 : 2010년 08월 06일 논문수정일 : 2010년 09월 08일 게재확정일 : 2010년 09월 13일

† 교신저자 hursun@hanyang.ac.kr

※ 본 연구는 지식경제부 우수제조기술연구센터 지원사업의 연구비로 진행되었음(10032910-2010-12).

1. 서 론

반도체 산업에서 웨이퍼 크기는 약 10년을 주기로 150mm에서 200mm로, 200mm에서 300mm로 1.5배씩 확대되어 왔으며 이는 반도체 산업의 지속적인 수익성 향상과 산업성장의 기반이 되어왔다. 과거 200mm 웨이퍼에서 300mm 웨이퍼로 전환할 당시 전환과정이 성공적이었음에 비추어 이제 원가 절감과 생산성 향상 목표 달성을 위한 차세대 450mm 웨이퍼 도입의 필요성이 대두하게 되었다. 현재 450mm 웨이퍼를 도입하기 위한 표준화, 로드맵 작성, 산업간 합의 등의 노력이 진행 중에 있으며, 450mm 웨이퍼 생산체계로의 전환을 위한 대표적인 프로그램으로 International Semiconductor Manufacturing Initiative(ISMI)에서 주도적으로 진행하고 있는 Next Generation Factory(NGF)가 있다. NGF 프로그램은 생산성을 향상시킨 차세대 공장의 구현을 통한 비용절감과 사이클 타임 단축을 목표로 하고 있다. 특히 기존의 300mm 공정에서 30%의 웨이퍼당 비용감축과 50%의 사이클타임 감축을 “Blue-diamond target”으로 제시하고 있다.

ISMI의 향후 전망에 따르면 <그림 1>과 같이 2008년부터 2010년까지 실리콘 및 장비 테스트베드의 초기단계 개발을 완료하고 자동화 표준과 범용도구의 개발이 완료될 것으로 예상된다. 또한, 2009년부터 2011년까지 450mm 테스트 웨이퍼를 생성하고 이에 대한 자동화 표준의 검증을 추가할 예정이며, 최종적으로 2015년까지 초기생산 가동을 위한 환경의 구축을 목표로 하고 있다.

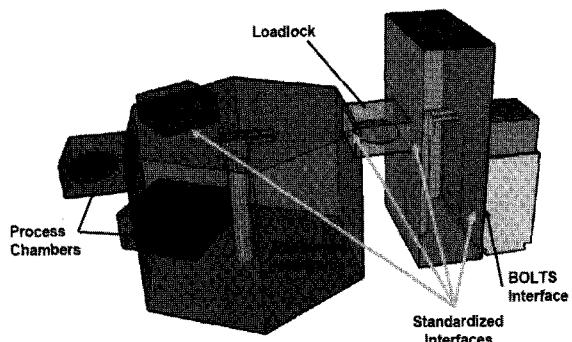


<그림 1> 450mm 기술 개발 목표

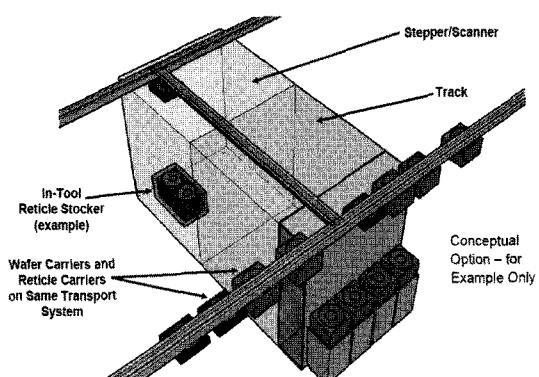
차세대 반도체 공정인 450mm 웨이퍼 도입에 따라 회로의 선풍은 현재 40~70nm에서 22~32nm로 더욱 미세해 질 것이며 프로세스 장비의 균일도(Uniformity)가 공정 컨트롤에 있어 더욱 중요해질 것으로 예상된다. 또한 450mm 웨이퍼 환경에서는 장비의 가동시간과 고장시간

같은 성능을 보다 정확히 예측하고 스케줄링 할 수 있어야 한다. 또한 완전자동화(Full Automation)는 450mm 웨이퍼 환경에서 가장 중요한 요구사항이다. 450mm 웨이퍼 환경에서는 프로세스 상에서의 웨이퍼 이동이 작업자에 의해 수행될 수 없고, 개별 프로세스에 대한 작업자의 개입이 불가능해질 것으로 예상되므로 작업자의 간섭을 최소화한 무인화/자동화 공장의 구현이 요구되며, 특히 운영시스템 측면에서 보다 견고한 스케줄링 시스템이 요구된다.

차세대 반도체 공정의 완전자동화 실현을 위해서는 다수의 공정을 하나의 장비에 집약시킨 클러스터 툴(Cluster Tool)과 자동화된 웨이퍼 이송장치가 매우 중요하다. 기존 Fab은 생산량을 최대화하기 위해 배치단위(Cassette, FOUP)의 프로세스로 구성되었으나 웨이퍼 크기가 증가함에 따라 개별 웨이퍼 단위로 작업하는 SWP(Single Wafer Processing) 기술이 등장하였다. SWP에서는 개별 웨이퍼의 저장 및 운송시간을 줄이는 것이 중요하며 이를 위해 챔버 내에서 공정이 이루어지는 하나의 장비, 즉 클러스터 툴을 도입하게 된 것이다. 아래의 <그림 2>와 <그림 3>은 각각 클러스터 툴과 자동화된 레티클(Reticle) 이송 장치를 나타내고 있다.



<그림 2> 클러스터 툴



<그림 3> 자동화된 레티클 이송방식

2. 클러스터 툴에 대한 스케줄링 연구

클러스터 툴은 운송로봇과 고정밀도 클린환경 플랫폼이 결합된 형태의 장비로서 공정에 따라 구성되는 다수의 모듈을 가진다. 클러스터 툴에서의 스케줄링은 수시로 변화하는 웨이퍼 흐름을 반영하고 공정 후 모듈 내 체재시간을 최소로 하며 모듈의 재진입(Re-entrant) 공정을 고려해야 한다. 현재 300mm 웨이퍼 환경에서의 클러스터 툴 스케줄링 문제를 다룬 여러 연구가 진행된 바 있다.

Srinivasan[1]은 클러스터 툴의 스케줄링을 위한 방법론으로 Petri-net 모델링을 사용하였는데 이는 엔지니어로 하여금 반도체 공정상에서 웨이퍼의 흐름을 이해하는 데에 도움을 주고 장비를 구성하는 다양한 서브시스템의 복잡한 상호작용을 이해하여 생산량의 영향을 분석하는데 도움을 주었다. Zuberek[2]은 Timed Petri-net을 이용하여 클러스터 툴을 모델링하고 단일 로봇암(Single Robot Arm)과 듀얼 로봇암(Dual Robot Arm)의 성능을 비교 분석하였으며 모듈의 재진입 공정을 고려한 웨이퍼 라우팅 모델과 다양한 웨이퍼 프로세싱에 대한 연구를 수행하였다. Kim et al.[3]의 연구에서는 엄격한 시간 제약이 존재하는 공정에서의 클러스터 툴 스케줄링 문제를 다루었으며 이를 공정에서 시간제약으로 발생할 수 있는 품질문제를 해결하기 위해 시스템적 해결방법을 제안하였다. Lee and Lee[4]의 연구는 다양한 재진입 웨이퍼 흐름이 존재하는 단일 로봇암 클러스터툴에 대한 스케줄링 문제를 다루었고 Petri-net을 이용하여 장비 동작행태(Tool Operational Behavior)를 모델링하는 방법을 개발하였다. 또한, 최적의 장비동작순서(Tool Operation Sequence)와 스케줄, 사이클타임(Cycle Time)을 결정할 수 있는 혼합정수계획법모델을 개발하였다. Kim과 Lee[7]의 연구에서는 모듈 내에서의 웨이퍼 지연 제약 조건을 만족하는 장비동작스케줄(Tool Operation Schedule)이 존재하는 것을 증명하고 Time Constrained Decisionfree Discrete-event System의 schedulability를 정의하는 시스템적 방법을 개발하였다.

차세대 반도체 공정의 자동화 공정을 지원하고 실시간 데이터를 처리하는 스케줄링에 대한 연구로서는 Wu and Zhou[6]가 있는데, 여기서는 트랙시스템(Track System)에 대한 Real-time Deadlock Free Scheduling 방법으로서 CTROPN (colored-timed resource-oriented PN) 모델을 제안하고 실시간 시스템에서 deadlock을 방지할 수 있는 휴리스틱 스케줄 생성 룰을 제안하였다. Lee 등[8]의 연구에서는 실시간 생산 환경에서의 다중 목적 스케줄링과 실시간 디스패칭 방법을 제안하고, Priority-ranking Algorithm을 이용한 다중 목적 스케줄 통합과 실시간 디스패칭 실행

알고리즘을 연구하였다. 한편, Wang et al.[5]의 연구에서는 이산사건 시뮬레이션 기술을 이용하여 반도체 생산라인의 실시간 스케줄링 시스템을 모델링하였으며, Ham et al.[9]의 연구에서는 IP 기반의 실시간 스케줄링 방법론을 제시하고 동일한 반도체 생산 환경 문제에 대한 두 가지 IP 해법을 제시하였다.

3. 차세대 스케줄링 시스템 요구사항

차세대 450mm 웨이퍼 생산을 위한 반도체 공정의 스케줄링 시스템은 Fab의 완전자동화를 지원하고 작업자의 간섭을 최소화할 수 있는 견고한 스케줄링 기법이 요구된다. 이러한 차세대 반도체 공정의 스케줄링 시스템 요구사항을 정리하면 다음과 같다.

1) 자동화공정 지원

자동화/무인화가 구현된 Fab에서 각 개별공정의 스케줄링을 제공하고 계획된 스케줄링에 따라 공정 프로세스를 컨트롤할 수 있는 기능이 필요하다.

2) 스케줄링/디스패치ing 최적화

복잡한 반도체 제조공정의 제조환경을 반영하고 수많은 스케줄링 제약조건들을 반영한 자동화된 개별공정의 스케줄링과 공정 내에 존재하는 무수히 많은 장비들의 최적화된 스케줄링/디스패치ing을 제공할 수 있는 기능이 필요하다.

3) Fab 최적화

반도체 제조공정의 전반에 대한 전략적 통합생산계획을 최적화하고 개별공정의 제조환경과 장비별 공정순서 등을 반영한 Fab 관점에서의 최적화 기능을 제공할 필요가 있다.

4) 실시간 데이터 처리

차세대 반도체 공정 스케줄링 시스템의 완전자동화 공정을 효과적으로 지원하고 실시간으로 변화하는 공정 상태를 반영한 스케줄링 및 리스케줄링이 가능한 실시간 데이터 처리기능이 필요하다.

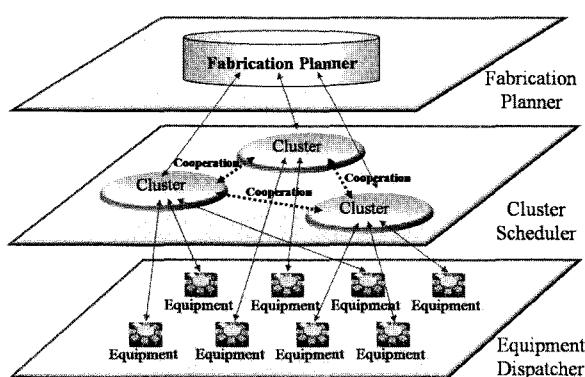
5) 사용자 편의성

차세대 반도체 환경에서는 자동화로 인해 작업자가 공정프로세스를 직접적으로 제어할 수 없으므로 작업자가 보다 공정을 잘 이해하고 컨트롤할 수 있도록 사용자 편의성을 고려한 사용자환경(User Interface)을 제공할 필요가 있다.

본 연구에서는 차세대 스케줄링 시스템의 요구사항을 만족하고 효과적인 스케줄링 및 리스케줄링을 가능하게 하는 스케줄링 시스템 구축을 위해 클러스터형 스케줄러 아키텍처를 제안하고자 한다. 클러스터형 스케줄러

아키텍처는 유사 공정들의 클러스터링을 통해 실제 작업이 이루어지는 장비의 디스패칭과 개별공정들의 스케줄링을 최적화하고 궁극적으로 Fab 단위의 통합생산계획을 최적화한다.

<그림 4>는 Fabrication Planner, Cluster Scheduler, Equipment Dispatcher의 레이어로 구성된 클러스터형 스케줄러 아키텍처의 개략적인 개념을 설명하고 있다. Fabrication Planner는 전사적인 관점에서 반도체 제조공정의 웨이퍼흐름 전반에 대한 마스터플랜(master plan)을 수립하고 제조 라인에의 웨이퍼 공급, Fab 전체의 공정능력, 반도체 수율 등을 고려한 Fab 단위의 전략적 통합생산계획을 수립한다. Cluster Scheduler는 유사 공정들의 집합으로 정의되는 클러스터 단위의 생산계획, 웨이퍼 흐름계획을 수립하고 실시간으로 변화하는 공정변화를 감지하여 다수의 클러스터들간의 협업을 통해 실시간 리스케줄링을 수행한다. 그리고 Equipment Dispatcher는 장비의 공정특성을 고려한 디스패칭을 수행하고 실시간 작업환경변화에 따라 필요시 실시간 리디스패칭 기능을 수행한다. 제 4절에서는 이러한 클러스터형 스케줄러 아키텍처의 각 모듈들의 구성과 기능들을 세부적으로 설명한다.



<그림 4> 클러스터형 스케줄러 아키텍처

4. 클러스터형 스케줄러 시스템

4.1 클러스터형 스케줄러

차세대 스케줄링 시스템은 자동화공정을 지원하고 스케줄링/디스패치 최적화를 통한 Fab 최적화가 가능해야 한다. 또한, 반도체 공정의 실시간 데이터를 스케줄링 및 리스케줄링에 반영하고 사용자 편의성을 갖추어야 한다.

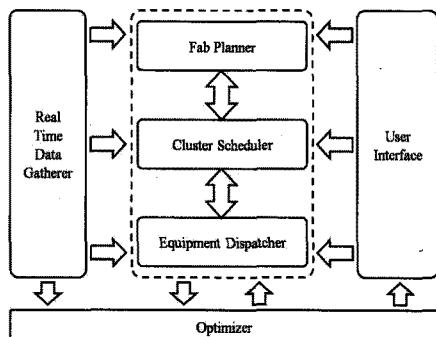
본 연구에서는 이러한 차세대 스케줄링 시스템의 요구사항을 만족시키기 위한 클러스터형 스케줄러를 제안한다. 클러스터형 스케줄러는 유사 공정의 클러스터링을 구축하고 각 클러스터 내에 존재하는 장비의 자동화된 디스패칭을 지원하며 이를 최적화한다. 또한, 각 클러스터의 스케줄링과 리스케줄링 생성을 용이하게 하고 최적화하며 클러스터간 협업을 통해 Fab 최적화를 가능하게 한다. 이러한 클러스터형 스케줄러는 각 클러스터의 공정효율을 증대시켜줄 수 있는 분산시스템으로 구축하여야 하며 장비, 클러스터, Fab의 계층적 구조를 통해 궁극적으로는 Fab 최적화를 가능하게 한다.

차세대 반도체 환경에서의 스케줄러는 완전 자동화된 반도체 공정에 적합해야하고 각 공정 뿐만 아니라 전체 Fab 측면에서 제한된 시간 내에 최적화된 스케줄링을 도출할 수 있어야 한다. 클러스터형 스케줄러의 구현을 위해 먼저 클러스터형 스케줄러 아키텍처를 Fab Planner, Cluster Scheduler, Equipment Dispatcher의 모듈들로 구성하고 차세대 반도체 스케줄링 시스템의 요구사항인 실시간 데이터 처리와 사용자 편의성, 그리고 스케줄링과 디스패치의 최적화를 위한 Real Time Data Gatherer, User Interface, Optimizer의 모듈로 구성한다.

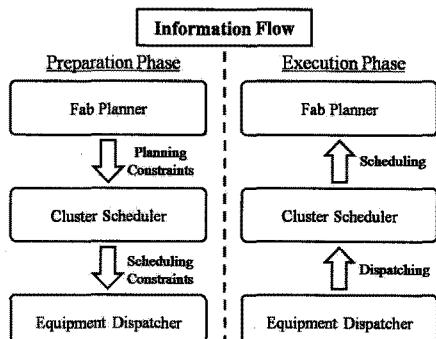
<그림 5>는 이들 각 모듈간의 관계와 클러스터형 스케줄러 내에서의 정보 흐름을 나타낸다. Real Time Data Gatherer 모듈은 반도체공정의 실시간 정보를 수집하고 분류하여 이를 필요로 하는 각 모듈로 전달한다. User Interface 모듈을 통해 제공되는 기본정보는 사용자에 의해 정의된 플래닝 및 스케줄링, 디스패치 규칙과 시스템 설정정보를 포함하며 각 모듈에 특화된 User Interface 모듈을 통해 제공된다. Fab Planner, Cluster Scheduler, Equipment Dispatcher 모듈들은 Real Time Data Gatherer 모듈과 User Interface 모듈로부터 플래닝, 스케줄링, 디스패치에 필요한 각 기본정보들을 제공받는다.

Fab Planner, Cluster Scheduler, Equipment Dispatcher 모듈들 사이에서의 모듈간 정보흐름은 <그림 6>과 같이 크게 사전준비단계(preparation phase)와 실행단계(execution phase)의 두 단계로 나누어진다. 사전준비단계에서는 Fab Planner, Cluster Scheduler 모듈들이 플래닝, 스케줄링을 위한 다양한 제약조건들을 상위모듈에서 하위모듈로 전달하고 실행단계에서는 Cluster Scheduler, Equipment Dispatcher 모듈들이 스케줄링과 디스패치 결과를 상위모듈로 전달한다. 이를 통해 Cluster Scheduler 모듈은 Equipment Dispatcher 모듈에서 수립한 디스패치 정보를 제공받아 스케줄링을 수행하고 Fab Planner 모듈은 Cluster Scheduler 모듈에서 수립한 스케줄링 정보를 포함한 플래닝을 수립한다. 마지막으로 스케줄링과 디스패치 시 최적화 솔루션을 필요로 하는 경우 Optimizer 모듈과의 연동을 통해 최적화된

스케줄링 및 디스패칭 결과를 도출한다.



〈그림 5〉 클러스터형 스케줄러 모듈간의 정보흐름



<그림 6> 핵심 모듈간의 정보흐름 단계

4.2 클러스터형 스케줄러 모듈

본 연구에서 제안하고자 하는 클러스터형 스케줄러는 다음과 같이 모듈화된 구성을 가진다.

1) Fab Planner Module

Fab Planner Module은 반도체 제조공정의 웨이퍼흐름 전반에 대한 마스터 플래닝과 Fab 플래닝을 담당하고 제조 라인에의 웨이퍼 공급, Fab 전체의 공정능력, 반도체 제조 공정의 웨이퍼 흐름을 관리하는 역할을 합니다.

체 수율 등을 고려한 Fab 단위의 전략적 통합생산계획을 수립한다. 세부적인 기능으로는 demand planning, Fab 단위의 production planning, inventory planning, transportation planning 등이 있다. <그림 7>은 이러한 Fab Planner Module을 설명하고 있고 <표 1>은 Fab Planner Module의 기능들을 정의하고 각 기능들의 관계를 정의한 기능 명세서이다.

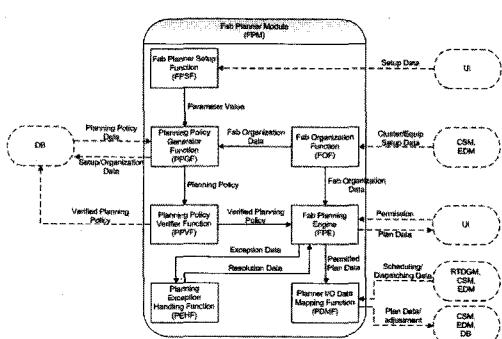
<표 1> Fab Planner Module 기능명세서

Name	Define	I/O Function	
		Input	Output
FPSF	Fab의 전체 Planning에 대한 기본 설정	UI	PPGF
PPGF	생산계획 수립 시 반영되는 Planning 정책을 생성	FOF, DB	PPVF, DB
PPVF	새롭게 생성된 Planning 정책이 적합한지를 검증	PPGF	FPE, DB
FOF	Fab 전체의 구조를 Equipment/ Clustering/Fab 단위로 구성하고 관리	CSM, EDM	PPGF, FPE
FPE	각 Function에서 입력받은 데이터를 통해 Fab 전체의 Plan을 생성하는 엔진	UI, FOF, PPVF, PEHF	UI, RPDMF, PEHF
PDMF	Fab Planner Module에서 생성된 I/O 데이터를 하위 Scheduler, Dispatcher와 연결	RTDGM, CSM, EDM	CSM, EDM, DB
PEHF	Plan의 생성 및 실행단계에서 발생하는 예외사항을 처리	FPE	FPE

<그림 7>과 <표 1>에서 생략된 용어의 약어는 RTDGM(Real Time Data Gatherer Module), CSM(Cluster Scheduler Module), EDM(Equipment Dispatcher Module), UI(User Interface), DB(Data Base)이다.

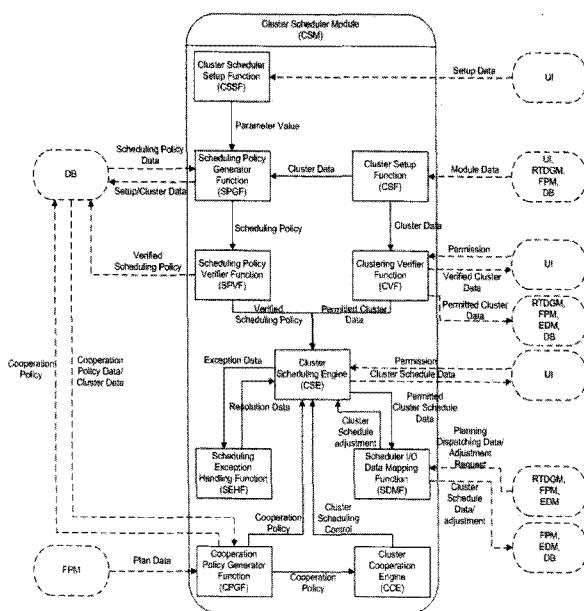
2) Cluster Scheduler Module

Cluster Scheduler Module은 전체 반도체 제조공정 중 유사 공정들의 집합으로 정의되는 클러스터를 형성하고 클러스터로 정의된 각 공정들의 스케줄링을 도출한다. 또한 클러스터내의 개별 공정 특성을 정의하고 클러스터에 속한 공정들의 작업환경을 고려한 최적의 스케줄링을 수립한다. Cluster Scheduler Module은 실시간으로 변화하는 공정상의 작업환경 변화를 감지하고 필요 시 실시간 리스케줄링을 수행하며 Fab 내에 존재하는 다수의 클러스터들간의 협업을 통해 Fab 전체의 capacity flexibility를 확보한다.



<그림 7> Fab Planner Module

Cluster Scheduler Module의 주요 알고리즘은 각 Cluster를 구분해 주는 Clustering 알고리즘과 각 Cluster에서 공정이 이루어져야 하는 웨이퍼를 장비에 할당하는 스케줄링 알고리즘이다. 세부적인 기능으로는 order scheduling, cluster 단위의 production scheduling, wafer flow scheduling 등이 있다. <그림 8>은 이러한 Cluster Scheduler Module을 설명하고 있고 <표 2>는 Cluster Scheduler Module의 기능들을 정의하고 각 기능들의 관계를 정의한 기능 명세서를 나타내고 있다. <그림 8>과 <표 2>에서 생략된 용어의 약어는 RTDGM(Real Time Data Gatherer Module), FPM(Fab Planner Module), EDM(Equipment Dispatcher Module), UI(User Interface), DB(Data Base)이다.

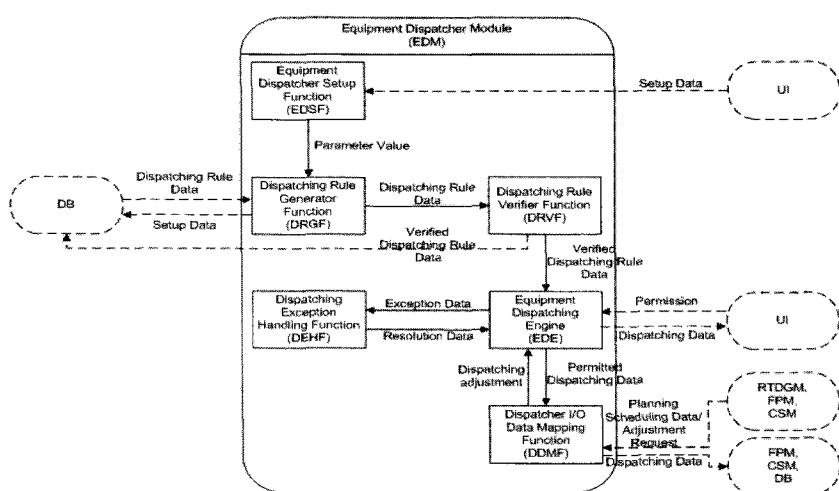


<그림 8> Cluster Scheduler Module

Name	Define	I/O Function	
		Input	Output
CSSF	각 Cluster 별 Scheduler 설정	UI	SPGF
SPGF	각 Cluster 별 적용하는 Scheduling 정책을 생성	CSF, DB	SPVF, DB
SPVF	새롭게 생성된 Scheduling 정책이 적합한지를 검증	SPGF	CSE, DB
CSF	공정별 Clustering을 구분/설정	UI, RTDGM, DB, FPM	SPGF, CVF
CVF	공정별 Clustering 구분/설정이 적합한지를 검증	UI, CSF	UI, RTDGM, FPM, EDM, CSE, DB
CSE	각 Function에서 입력받은 데이터를 통해 Cluster의 Scheduling을 생성	UI, SPVF, CVF, SDMF, PGF, CCE, SEHF	UI, SDMF, SEHF
CPGF	Cluster별 특성을 고려한 Cluster Cooperation Policy 생성	FPM, DB	CSE, CCE, DB
CCE	Cluster간 협업을 조절하고 실행하는 엔진	CPGF	CSE
SDMF	Clustering Schealer Module에서 생성된 I/O 데이터를 Planner, Dispatcher와 연결	CSE, RTDGM, FPM, EDM	CSE, FPM, EDM, DB
SEHF	Scheduling의 생성 및 실행 단계에서 발생하는 예외처리	CSE	CSE

3) Equipment Dispatcher Module

Equipment Dispatcher Module은 장비의 공정특성을 고려한 dispatching rule을 정의하고 개별 장비의 최적 디스패치를 수행한다. 또한 실시간 작업환경변화에 따라 필



<그림 9> Equipment Dispatcher Module

<표 3> Equipment Dispatcher Module 기능명세서

Name	Define	I/O Function	
		Input	Output
EDSF	각 장비별 기본 Dispatcher 설정	UI	DRGF
DRGF	각 장비의 Dispatching Rule을 생성하는 기능	EDSF, DB	DRVF, DB
DRVF	새롭게 생성된 Dispatching Rule이 적합한지를 검증	DRGF	EDE, DB
EDE	각 function에서 입력받은 data를 통해 Equipment의 Dispatching을 생성	UI, DRVF, DDMF, DEHF	UI, DDMF, DEHF
DDMF	Equipment Dispatcher Module에서 생성된 I/O 데이터를 상위 Planner, Scheduler와 연결	EDE, RTDGM, FPM, CSM	EDE, FRM, CSM, DB
DEHF	Dispatching의 생성 및 실행 단계에서 발생하는 예외 처리	EDE	EDE

요 시 실시간 리디스패칭을 수행하며 operation dispatching, real-time re-dispatching, equipment maintenance control 등의 세부기능들을 수행한다. Equipment Dispatcher Module의 핵심 알고리즘은 장비에 할당된 웨이퍼들이 장비 내에서 가장 짧은 사이클타임 내에 모든 공정을 마칠 수 있도록 작업 순서를 결정해주는 Dispatching 알고리즘이다.

<그림 9>는 이러한 Equipment Dispatcher Module을 나타내고 있다. <표 3>은 Equipment Dispatcher Module의 기능들을 정의하고 각 기능들의 관계를 정의한 기능 명세서이다.

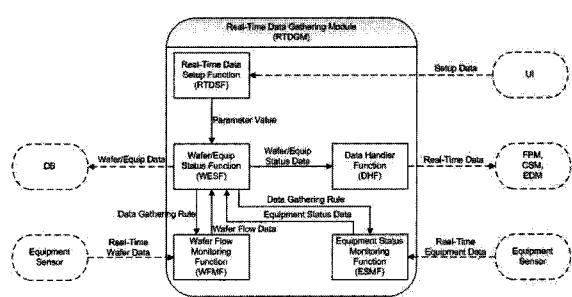
4) Real Time Data Gatherer Module

Real Time Data Gatherer Module은 각 장비의 실시간 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 스케줄러 아키텍처의 각 모듈들로 전달한다. Real Time Data Gatherer Module을 통해 수집된 실시간 데이터를 이용하여 Fab Planner, Cluster Scheduler, Equipment Dispatcher는 실시간 스케줄링을 수행하며, 스케줄링 및 리스케줄링 시 상호 간에 필요로 하는 정보들을 주고받게 된다. <그림 10>은 이러한 Real Time Data Gatherer Module을 나타내고 있다. <표 4>는 Real Time Data Gatherer 모듈의 기능들을 정의하고 각 기능들의 관계를 정의한 기능 명세서이다.

차세대 반도체 공정인 450mm 웨이퍼환경을 고려한 클러스터형 스케줄러 아키텍처와 주요 모듈의 정의 및 명세서 도출은 효과적인 차세대 반도체 공정의 시스템 구축을 위한 준비단계라 할 수 있다. 이러한 클러스터형 스케줄러를 검증하고 개선하기 위해서는 클러스터형 스케줄러 아키텍처의 수리모형 개발과 각 모듈들의 주

<표 4> Real Time Data Gatherer Module 기능명세서

Name	Define	I/O Function	
		Input	Output
RTDSF	실시간 데이터 수집을 위한 단위시간(Unit Time), 파라메터(Parameter) 등을 설정	UI	WESF
WESF	공정별 흐름에 따른 Wafer/Equipment 상태변화(설정된 품질/공정 기준에서 벗어나는 상태) 데이터 수집	RTDSF, WFMF, ESMF	DHF, DB, WFMF, ESMF
WFMF	웨이퍼 흐름의 모니터링을 담당	Sensor, WESF	WESF
ESMF	장비의 상태정보의 모니터링을 담당	Sensor, WESF	WESF
DHF	실시간으로 수집된 정보를 필요한 모듈에 전달하는 기능을 담당	WESF	FPM, CSM, EDM



<그림 10> Real Time Data Gatherer Module

요 기능들에 대한 알고리즘의 개발이 추후 연구로 진행되어야 한다. 또한, 구현된 클러스터형 스케줄러의 성능 분석을 통해 차세대 반도체 공정에서 요구하는 시스템의 성능치에 대한 적정성 만족 여부를 검증할 필요가 있다.

5. 결 론

차세대 반도체 공정인 450mm 웨이퍼 환경의 가장 큰 특징은 반도체 생산 공정에 대한 완전 자동화이다. 차세대 반도체 공정의 스케줄링 시스템은 개별 웨이퍼에 대한 실시간 정보의 수집과 완전 자동화된 공장의 공정프로세스를 지원할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 반도체 제조공정 전반에 대한 마스터 플래닝을 수립하는 Fab Planner와 유사 공정들로 구성된 클러스터의 스케줄링을 담당하는 Cluster Scheduler, 그리고 장비의 작업환경변화를 실시간으로 반영하여 반도체 제조공정을 최적화할 수 있는 Equipment Dispatcher 등으로 구성된 클러스터형 스케줄러 아키텍처를 제시하고, 이러한 클러스터형 스케줄러 아키텍처를 구성하는

각 모듈들의 세부기능들을 정의한 스케줄러 기능명세서를 도출하였다. 추후 연구과제로서 클러스터형 스케줄러 아키텍처의 사용자환경모듈(User Interface Module)과 최적화모듈(Optimizer Module)을 정의하고 이들 모듈들에 대한 기능명세서를 도출할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] R. S. Srinivasan; "Modeling and Performance Analysis of Cluster Tools Using Petri Nets," *IEEE Transaction on Semiconductor manufacturing*, 11(3) : 394-403, 1998.
- [2] Wlodek M. Zuberek.; "Timed Petri Nets in Modeling and Analysis of Cluster Tools," *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, 17(5) : 562-575, 2001.
- [3] Ja-Hee Kim, Tae-eog Lee, Hwan-yong Lee, and Doo-byeong Park.; "Scheduling Analysis of Time-constrained Dual-armed Cluster Tools," *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, 16(3) : 521-534, 2003.
- [4] Hwan-yong Lee, Tae-eog Lee.; "Scheduling Single-armed Cluster Tools with Reentrant Wafer Flows," *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, 19(2) : 226-240, 2006.
- [5] Zhongjie Wang, Xinhua Jiang, and Qidi Wu.; "Modeling and Real-time Scheduling of Semiconductor Manufacturing Line Based on Simulation," *Lecture Notes in Computer Science*, 4688 : 579-589, 2007.
- [6] Naiqi Wu, MengChu Zhou.; "Real-time Deadlock-free Scheduling for Semiconductor Track Systems Based on Colored Timed Petri nets," *OR Spectrum*, 29 : 421-443, 2007.
- [7] Ja-Hee Kim, Tae-eog Lee.; "Schedulability Analysis of Time-constrained Cluster Tools with Bounded Time Variation by an Extended Petri Net," *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, 5(3) : 490-503, 2008.
- [8] Y. F. Lee, Z. B. Jiang, and H. R. Liu.; "Multiple-objective Scheduling and Real-time Dispatching for the Semiconductor Manufacturing System," *Computers and Operations Research*, 36 : 866-884, 2009.
- [9] Myoungsoo Ham, Uoung Hoon Lee, and John W. Fowler.; "Integer Programming-based Real-time Schedule in Semiconductor Manufacturing," *The 2009 Winter Simulation Conference*, 1657-1666, 2009.