

第17章 経済性検討小委員会

17-1 はじめに

本年度は経済性フォーラムを2回、半導体の生産技術について7月にNEDO阿刀田氏、9月に米国に置く半導体技術開発に関して元東京エレクトロン畑氏に講演していただいた。またITRSが多様化するための、基本になる考え方の議論を小委員会で行い、その結果を、一橋大学の中馬先生に、ITRSの会議で、またSTRJのシンポジウムで発表していただいた。「設備価格の高騰による、設備投資の増加にどのように対処すべきか」という経済性の課題に加えて、今後は「半導体技術がIT社会にどのように使われていくべきか」を広い視点から検討をしていきたい。

17-2 半導体の生産技術


半導体の生産技術

- 先端SoC製造基盤技術開発 -

(H19新規プロジェクト提案に向けて)

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
電子・情報技術開発部
阿刀田伸史

平成18年7月21日 STRJ 経済性検討委員会フォーラム




平成18年7月21日 STRJ 経済性検討委員会フォーラム

Confidential

1

内容

1. 提案の背景、経緯
2. 現状と課題
 - 棲み分け、
 - 微細化への対応、
 - 多品種への対応
3. 課題抽出
 - プラットフォーム、
 - 業務情報の高度連携、
 - 高混流連続生産
4. まとめ



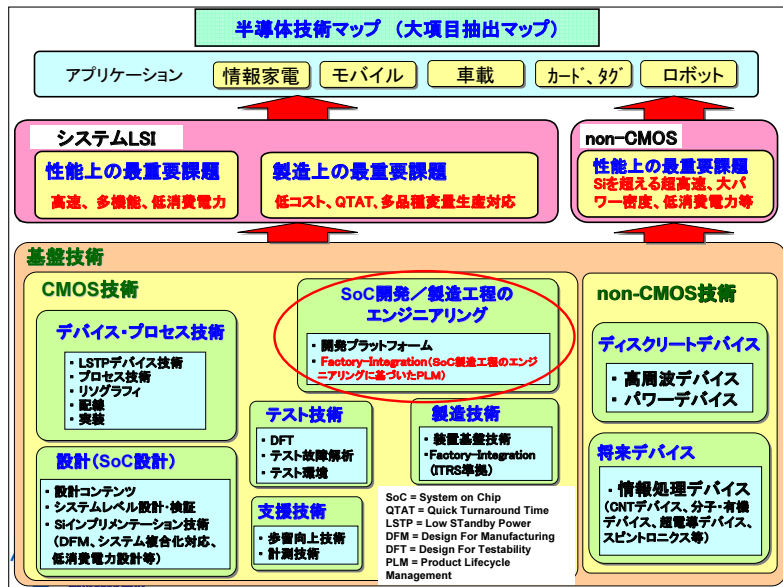
平成18年7月21日 STRJ 経済性検討委員会フォーラム

Confidential

2

1. 提案の背景、経緯

- 平成16、17年度、NEDOロードマップ委員会において、経産省およびNEDO技術開発機構が取り組むべき我が国半導体産業の重要課題のひとつとして「SoC開発／製造工程のエンジニアリング」を取り上げ、ロードマップを作成した。
- 上記ロードマップの深掘りとして、17年度下期に、日本のSoC産業の収益性向上、国際競争力強化のために何をなすべきか、と云う問題意識から、「SoC製造工程のエンジニアリングに関する調査」を実施し、SoC産業の事業形態および製造技術の現状を調査し、今後取り組むべき課題を提起した。
- 上記提言およびその後の個別企業のヒアリング等に基づき、19年度新規プロジェクトとして「先端SoC製造基盤技術開発(仮題)」を提案中。



SoC製造工程のエンジニアリングに関する調査の主な内容

- 第1章 我が国SoC産業の収益性向上のための事業形態のあり方について**
 - ・国内IDMの状況 ・低利益率問題の克服には事業モデルの変革が必要
 - ・世界的潮流としてのプラットフォーム共有 ・業界の構造変革とイノベーション促進の課題
- 第2章 SoC製造エンジニアリング調査の狙いと進め方**
- 第3章 SoC製造エンジニアリングにおける重点施策と達成目標・課題**
 - ・統合プロセス制御： 装置メーカー／デバイスメーカー連携で装置エンジニアリング業務の向上
 - ・統合製造支援設計(DFM) ・統合PLM製造
 - ・データの構造化、モデル化(コストの例) ・ファシリティ情報のモデル化 ・工場のモデル化
- 第4章 国内外コンソーシアムの対応状況**
 - ・標準化に関するコンソーシアム状況 ・アライアンスに関するコンソーシアム状況
 - ・国外コンソーシアム: ISMIIについて
- 第5章 あるべき姿**
 - ・我が国のSoC産業の収益性向上のための事業形態のあり方
 - ・次世代のSoC製造エンジニアリング全体像
 - ・情報のモデル化提言 ・統合プロセス制御提言 ・統合製造支援設計提言 ・統合PLM製造提言 ・効果見込み

SeleteIにおける検討の経緯

16年度

- ・JEITA半導体生産技術専門委員会下の共通課題WGで、次世代生産技術の共通課題を抽出

17年度

- ・JEITA検討結果を基に、新SeleteIに生産システム技術プログラムがスタート
 - 共通プログラム(ベンチマーキング、EES、国際対応WG)
 - 選択プログラム(次世代技術のニーズ検討etc)

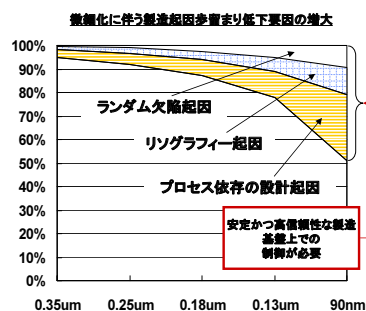
18年度

- ・6月、共通プログラム委員会でNEDOの提案を紹介。有志メンバーにより、NEDO提案に業界ニーズを盛り込み、ブラッシュアップを図る作業がスタート。

2. 現状と課題

現状と課題(1):微細化への対応

- 微細化の深化に伴い、新材料・構造・プロセスの導入や、ばらつき要因の増大等により、プロセスマージンが減少し、歩留りの早期立ち上げが困難になっている。
- 歩留まり低下要因の増大は、極限まで深化した微細化に起因するものであり、科学的な理解に基づく精緻な制御なしでは克服できない。
- 短寿命のSoCに対しては、統計的データ解析に基づくプロセス制御手法は適用できず、科学的知見に基づくモデルによる制御技術を開発する必要がある。

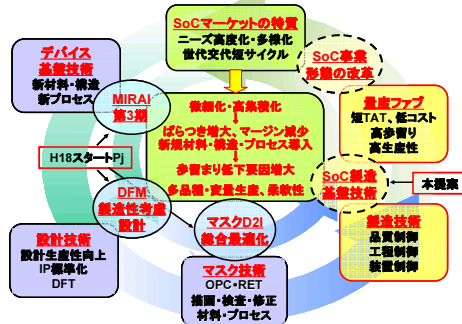


現状と課題(1):微細化への対応

OMIRAI第3期の「ロバストトランジスタPj」ではトランジスタの構造や作製プロセス上の対策により、また「プロセスフレンドリー設計 Pj」ではDFM設計手法により、それぞれこの問題に取り組んでいる。

SoC技術の開発課題とNEDOプロジェクト取り組み状況

○しかし、製造段階で許容範囲内のばらつき制御ができなければ、対策は完結しない。

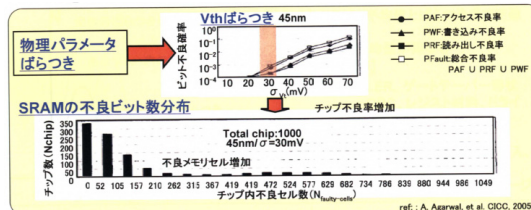


現状と課題(1) 微細化の課題例

○デバイスの微細化により、製造プロセスの許容マージンは世代毎に縮小。

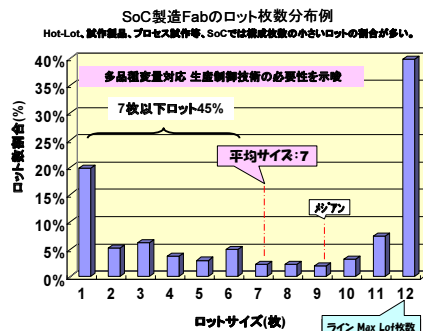
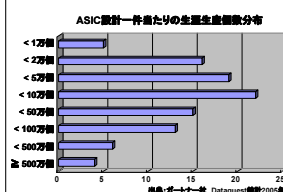
ITRS2005 Edition		ITRS仕様		ITRS 許容マージン		マージン縮小
		90nm	45nm	90nm	45nm	45nm/90nm
L [nm]	65	28		3σ < 3.84 nm	3σ < 2.16 nm	0.56倍
EOT [nm]	2.1	1.0		3σ < 0.08 nm	3σ < 0.04 nm	0.5倍
Xj [nm]	11	6.5		11nm < ±2.75nm	6.5nm < ±1.63nm	0.59倍

○製造プロセスのばらつきに起因する、デバイス特性不良の例
VthばらつきとSRAMビット不良の関係



現状と課題(2):多品種化への対応

○SoCは、製品寿命が短く、仕様や製品需要の変動が激しいため、小ロットサイズで、試作品や多種製品の混流生産が必要となっている。

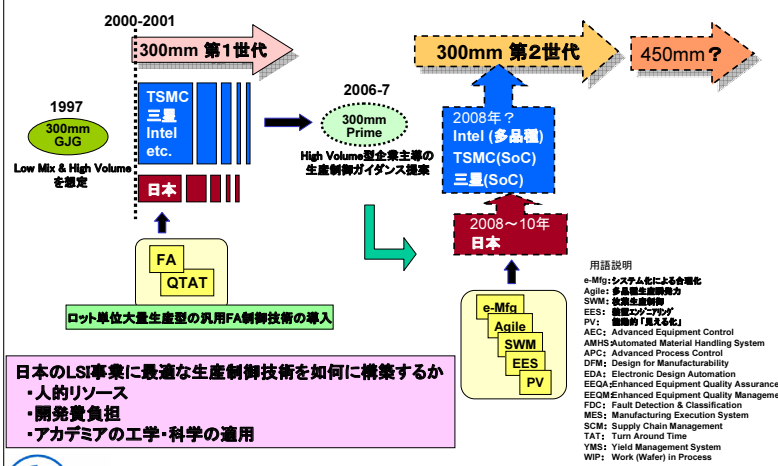


現状と課題(2):多品種化への対応

- 我が国のSoC工場の生産制御システムは、メモリに代表される少品種多量生産型の制御手法を基盤として構築されてきたため、SoC生産に対して硬直的なシステムとなっている。これが、生産効率低下、高コストの大きな要因となっている。
- 生産効率低下による高コスト化
 - ・多種製品を頻繁に切り替える生産を行うために工場制御が著しく煩雑化する
 - ・管理単位が詳細化(ロットサイズの縮小等)し、工場制御の煩雑化と業務量の著しい増加が起きている
 - ・品種ごとの専用装置が増え、設備使用率が悪化している
- 設計と製造間でゆっくりとした繰り返し型の業務情報フィードバックを行う直列性型の業務形態が払拭できていない

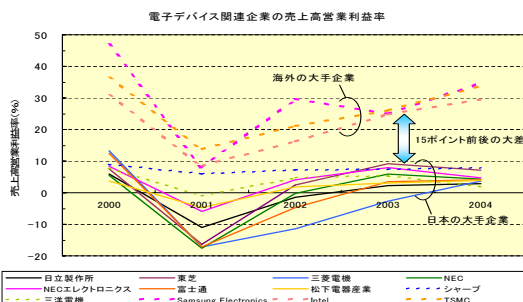


日本仕様 先端SoC製造基盤技術開発の必要性



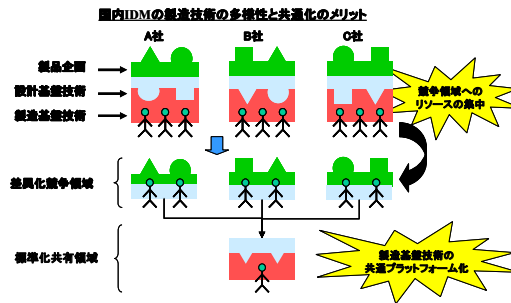
現状と課題(3):事業形態の問題

- 日本の半導体企業の収益率は海外有力企業と比較して圧倒的に低い。独自技術囲い込みによる過剰設備投資、過剰スペック、非効率工程等が要因と考えられる。
- 我が国SoC産業の収益力の向上、国際競争力強化のためには、低コスト、短TATで、歩留り・生産性を急速に立ち上げ、高位安定させることができ、需要の変動にも柔軟に対応できる製造制御システムを開発する必要がある。



現状と課題(3):事業形態の問題

○製造制御技術を共通基盤技術として位置づけ、開発リソースと技術資産・アイデアの拠出を図り、成果を共有することが我が国のシステムLSI産業の競争力を左右する鍵となる



現状と課題(3):事業形態の問題

○顧客ニーズに適合した俊敏な業務活動を可能とする、自企業内、および企業間の業務に跨る全体最適化を促す業務形態の確立と、そのシステム開発が遅れている

DRAMの業務形態: 設計と製造間でゆっくりとした繰り返し型の業務情報のフィードバックを行う、直列性型

SoCの業務形態: 設計と製造間の素早い並列型の業務情報のフィードフォワード、フィードバックを行う、同時性型

○微細化の進展、新材料・新構造・新プロセスの導入により製造業務が複雑化している

○設計と製造の情報連携が多岐にわたり、難しくなっている
業務情報の粒度と種類の増加、取り扱う情報量の著しい増加
上記情報を使わなければならない業務範囲の著しい増加

3. 課題抽出

20060717修正

課題(1):プラットフォーム

■ 製造業務の全体最適の迅速化を進める業務システム

- 業務情報を共通に扱える基盤部分と経時的に変わって行く業務機能部分を分けた、柔軟な業務システムが必要
- 各社に共通な設計、プロセスのプラットフォーム基礎開発は、業界で進められて来た。

■ 業務の同時性を強化する業務システム

- 装置関連業務、プロセス制御関連業務、品質/デバイス特性制御関連業務、生産制御管理業務の同時連携化
- 業務情報の業務間相互流通化と利用効率向上技術の革新

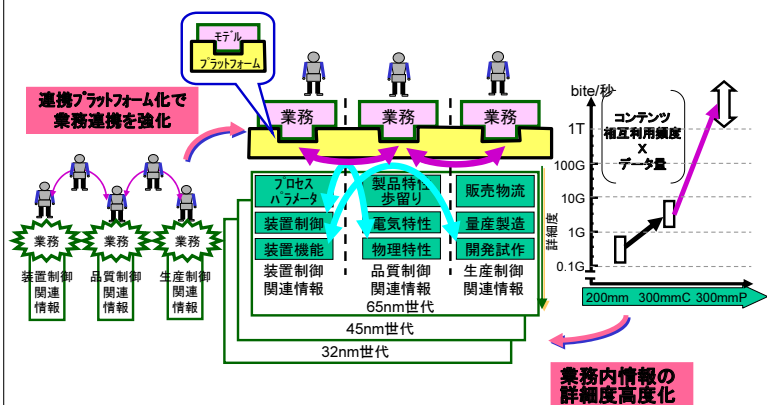


平成18年7月21日 STRJ 経済性検討委員会フォーラム

Confidential

18

業務の統合化と同時化



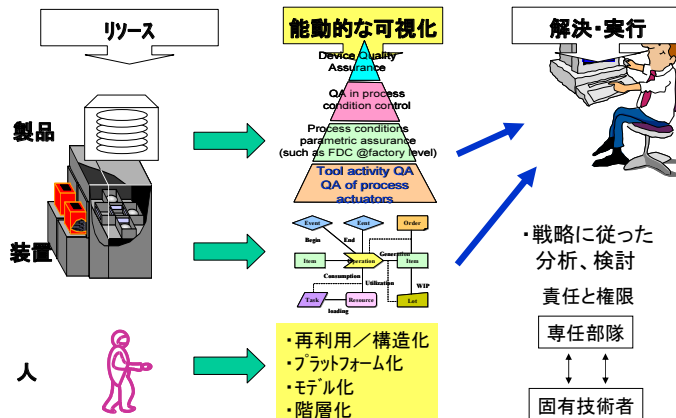
平成18年7月21日 STRJ 経済性検討委員会フォーラム

Confidential

19

工場の能動的可視化と俊敏な実行

工場の変化する状況を戦略的に分析し、解決施策を導き出す



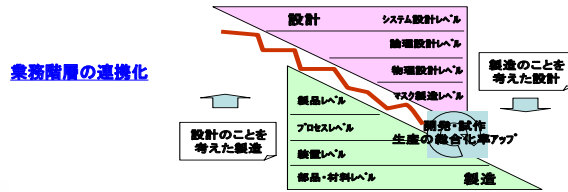
平成18年7月21日 STRJ 経済性検討委員会フォーラム

Confidential

20

課題(2): 業務情報の高度連携

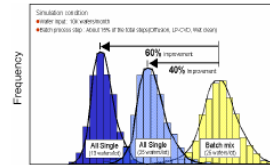
- 製造業務の複雑化への対応
 - 製造と設計を結ぶワークフロー連携を強化するシステム確立が必要
 - 利用を考慮したデータ/情報収集技術の開発が必要
- 微細化への対応
 - 科学的知見に基づくモデルによる制御技術の開発が必須
 - 統計的データ解析に基づくプロセス制御手法の確立
 - ◇ 継承可能な知識=モデルを再利用
- 設計と製造の情報連携を取る仕組みの高度化が必須
 - 装置関連業務、プロセス制御関連業務、品質/デバイス特性制御関連業務、生産制御管理業務の詳細連携化
 - 業務情報の業務間相互流通化と利用効率向上技術の革新



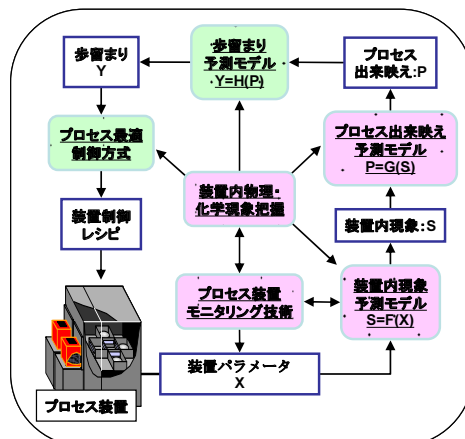
課題(3): 新生産方式の必要性

- 新規な生産制御・管理技術の開発が急務
 - 生産の俊敏性を高めた実容を可能にする
 - ◇ 試作との混流、または多品種混流
- 目指すべき方向: 「混流連続生産」
 - 多品種化に於ける、段取り回数が増大による生産性低下を根本改善
 - 試作混流、多品種混流を柔軟性高く制御できる工場技術
 - 枚葉、実時間制御、品質・納期・コストの同立
- これまでのDRAM型生産との決別
 - 同一の製品をできるだけ一括して流し、段取りを減らし装置利用効率を上げる
- メガファブ(超大規模工場)に生産性で勝る技術の確立が必要
 - TSMC : 300mmで~100K枚/月投入
 - ◇ 投資リスク、品質リスクの増大が課題

ハッチvs枚葉
中トサイズvs小

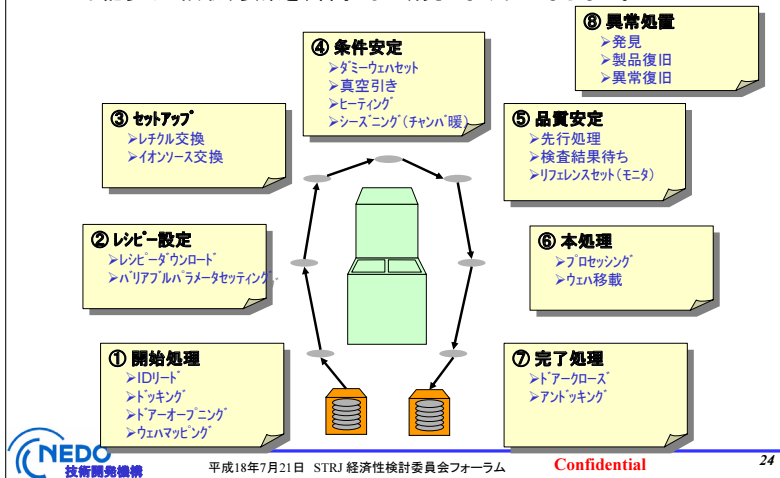


○プロセス装置内で生起する物理・化学現象の把握に基づき、プロセスの出来映えや歩留まりへの影響を予測するモデルを構築し、プロセスパラメータのモニタリング技術と組み合わせることによって、プロセスをリアルタイムに制御する技術。



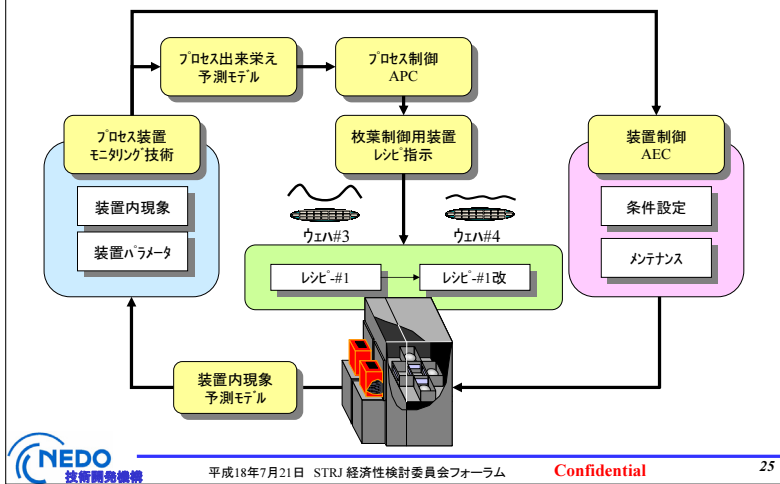
具体例(2): 外段取り化

■下記多くの段取り要素を、科学的に研究しなければならない。



具体例(3): プロセス制御性の高度化 高速化・詳細化

20060718修正

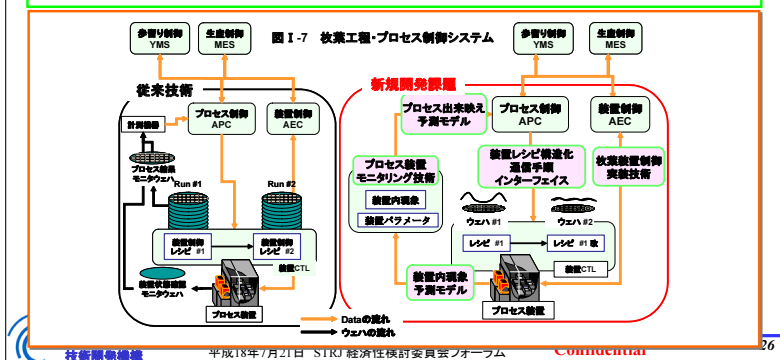


技術開発課題

(1) 枚葉生産制御システムの開発

最近のSoC製造では、高混流・変量生産の必要性の高まりに伴い、少数枚ロットで、しかもウェハ単位で工程およびプロセスを変化させることが必要になってきている。このため、従来の静的な制御に代わり、工程およびプロセスをリアルタイムで動的に制御する技術を開発する必要がある。

- ① 枚葉工程制御システム：搬送、装置稼働制御、レジビ切り替え、プロセス・工程情報のウェハ単位での管理等
- ② 枚葉プロセス制御システム：プロセス装置内の物理・化学現象を科学的に把握し、装置稼働状態とプロセスの出来映えを関係付けるモデルを開発し、それに基づく予測技術によりウェハ単位でプロセスを制御する
- ③ 製造装置実装技術およびインターフェース標準化：枚葉工程・プロセス制御システムと個々の装置間の通信手順、およびそのインターフェースの開発



技術開発課題

(2) 枚葉生産工程管理・品質管理システムの開発

① 枚葉工程管理システム
 製造ラインの稼働率を高いレベルで安定化させることを目的として、ウェハ1枚単位の工程管理を前提としたロット編成、優先順位決定、ライン移動状態監視、ライン組み替え、メンテナンス、故障予知等を最適に制御するためのシステムを開発する必要がある。

② 枚葉プロセス品質管理システム
 製品歩留まりの急遽立ち上げと高位安定を目的として、上述の枚葉プロセスをベースとしたモジュールプロセスの出来映えモデルと歩留り予測モデル、それらに基づく製品品質監視・制御システム の開発が必要である。

① 枚葉工程管理システム

生産制御 MES

a) Lot編成、優先順位変更、etc.

b) 装置メンテ/故障影響予測

② 枚葉プロセス品質管理システム

品質制御 YMS 生産制御 MES

分子分層モジュール

Tiモジュール

配線モジュール

a) 歩留り管理確率

b) モジュール出来映え制御

NEC 技術開発情報 平成18年7月21日 STRJ 経済性検討委員会プラットフォーム Confidential 27

技術開発課題

(3) 枚葉生産制御プラットフォームの開発

① 枚葉生産システムのモデル化技術
 生産ライン全体のTAT、効率、歩留まり、コスト等について、SoC生産に関わる種々の因子、即ち搬送やウェハの投入量・流し方等の工程、装置の稼働状況、プロセスの性能、品質管理等に対する相互依存関係をモデル化して、シミュレーション可能とする技術の開発が必要である。

② 制御モジュール統合化技術、制御状態可視化技術
 各階層における個々の問題解決機能部分の制御システムで扱う情報の構造化、共通化を行い、各制御システム間、およびプラットフォーム機能部分と制御システム間の情報流通の円滑化を図る。また、プラットフォーム部分および各制御システム上での状態監視および制御指示入力の可視化技術の開発が必要である。

① 枚葉生産システムのモデル化技術
 → コスト、TAT、品質、生産性等の可視化を図る

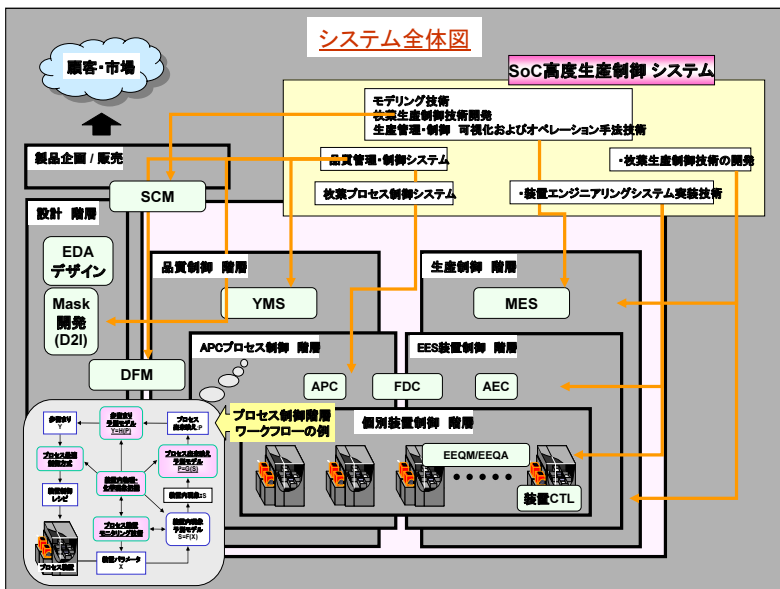
② 制御モジュール統合化技術、制御状態可視化技術
 → 最新ソフトウェア技術の適用

次世代SoC生産制御システム

製品性能設計 | 品質制御 YMS | 生産制御 MES

プロセス制御 APC | 装置制御 AEC

NEC 技術開発情報 平成18年7月21日 STRJ 経済性検討委員会プラットフォーム Confidential 28



期待される効果

- ・開発技術を、複数企業間連携による共用ファブ、あるいは個々のデバイスメーカーの製造プラットフォームとして活用することにより、我が国SoC産業の**競争力強化と利益率の向上**に寄与できるものと期待される。
- ・製品毎の詳細な生産進捗の制御や生産ロット順位の組み替え制御、不良仕掛かり在庫の極小化、NPW(Non Productive Wafer: プロセスや装置の状態確認のために流され、製品とはならないウェハ)数の削減、装置稼働率向上等が可能となり、**低コスト、短TAT、高歩留まりと高い生産性**のSoC製造技術を実現することができる。
- ・プラットフォーム部分と、それに搭載される問題解決をする個々の機能部分に分けて開発することにより、個別装置・プロセスの差異やその後の技術進展にも**柔軟**に適応させることができ、**汎用的かつ長期間有効**に機能させることができる。
- ・実際の生産工場におけるシステムの効果実証を含めた技術開発とすることにより、**実用化に向け即効的な成果**が期待される。
- ・上記の生産制御方式を可能とするプラットフォームを開発対象とすることにより、実用化において成果利用者である我が国の**デバイスメーカー内に技術ノウハウが蓄積**される構図となる。