

# SoC製造のDFMを実現する情報連携プラットフォーム

Information Coalition Platform to Realize Design for Manufacturability in SoC Production

柿沼 英則

森永 裕之

■ KAKINUMA Hidenori

■ MORINAGA Hiroyuki

少量多品種生産のSoC(System on Chip)にとって、設計のやり直しやマスクの作り直しの発生は、TTM(Time-To-Market)の観点から致命的となるため、設計段階から製造や歩留まりを考慮するDFM(Design For Manufacturability)の重要性が高まっている。DFMの効果を発揮させるためには、設計と製造の情報共有と連携が必要である。しかし、設計と製造では場所や環境、IT(情報技術)システムなどが異なり、互いの情報交換に多大な労力を要しており、効率的な情報連携が求められていた。

そこで、東芝は、生産性及び歩留まりの向上に必要な設計と製造の部門を越えた情報連携を実現するために、ITベースの情報連携プラットフォームを開発し、SoC製造に適用している。

In the system-on-chip (SoC) market, which is characterized by a high product mix and low-volume manufacturing, refining a design or a photo mask can be a fatal action in terms of time to market. Design for manufacturability (DFM), which defines the methodology for considering the manufacturing yield at the design stage, is therefore becoming increasingly important. In order to maximize the efficiency of DFM, collaboration between design and manufacturing is necessary. However, differences in the locations, environments, and information technology (IT) systems of the design and manufacturing processes have been causing huge losses in information exchange.

In response to this situation, Toshiba has developed an IT-based platform to realize effective information coalition between design and manufacturing, and integrated the system into actual SoC production.

## 1 まえがき

SoC (System on Chip) は、主にデジタル家電や、携帯電話機、車載用電子機器などに使用される、必要な機能を一つのチップに集積したシステムLSIであり、ユーザーニーズが多様で、かつ変化が早い製品である。これに応えるためにSoCは少量多品種生産が前提となり、チップの設計から製造、出荷までを短期間に実施することが要求される。また、半導体プロセスの微細化の進展は1.5年から2年と非常に早く、SoCの製造プロセスはますます難易度が増加している。このような状況のなかで、SoCビジネスは、ユーザーニーズへの対応と収益性の維持をバランスよく両立させなければならず、その意味で、製造プロセス上の問題を設計まで後戻りして対応することは致命的となる。

このような問題を解決する手段の典型例が、DFM (Design For Manufacturability) である。DFMとは、製造や歩留まりを考慮した設計手法で、設計と製造の部門を越えた連携が強く求められる。しかし、設計と製造とでは既存のITシステムがそれぞれ独立に最適化されているため、情報のトレーサビリティを確保することも難しくなっている。従来の設計と製造間の情報交換は、必然的に技術者個人の運用に依存することとなり、非効率な作業が多くなっていた。この問題を解決するために、東芝は、情報やナレッジ(知識)を共有化するための

新しい情報連携プラットフォームを開発した。

ここでは、SoCのDFMにおける情報連携の例としてホットスポット管理フローを取り上げ、従来システムの問題点を明らかにし、今回開発した情報連携プラットフォームとその有用性について述べる。

## 2 設計と製造の情報連携

### 2.1 半導体の設計から製造の流れ

半導体の製造は、膨大な回路設計情報をマスクを介してウェーハ上に光学的に転写するプロセスである(図1)。設計では機能設計、論理回路設計、及びレイアウト設計が行われ、

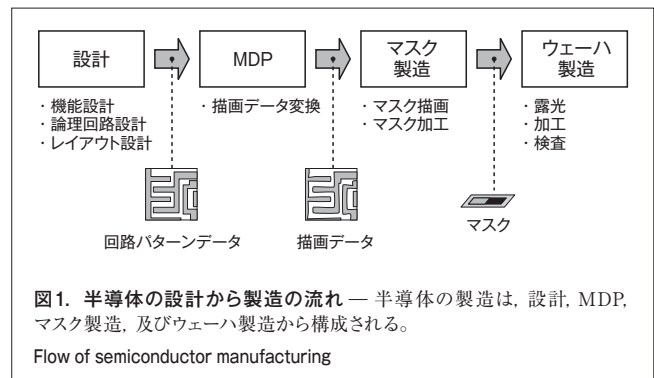


図1. 半導体の設計から製造の流れ — 半導体の製造は、設計、MDP、マスク製造、及びウェーハ製造から構成される。

Flow of semiconductor manufacturing

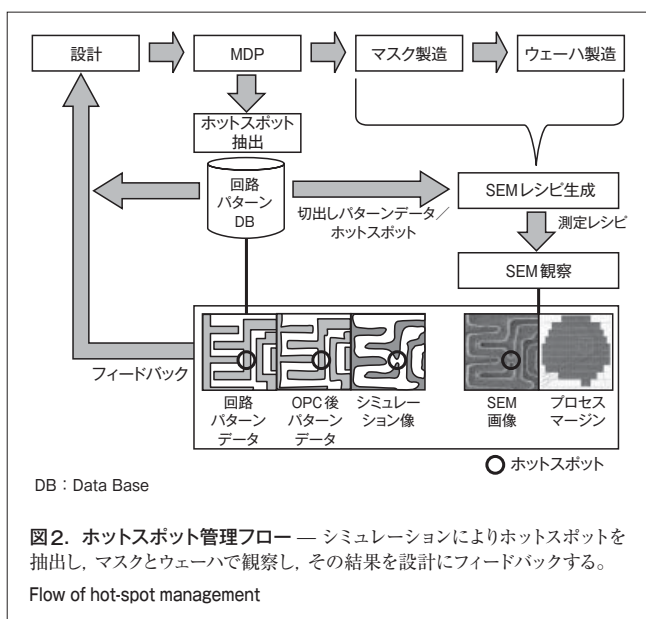
回路パターンデータが最終的に出力される。MDP (Mask Data Preparation) では、それをマスク描画データに変換し、マスク製造では、そのデータを基に、電子ビーム描画装置で回路パターンのマスクを作成する。ウェーハ製造では、リソグラフィ工程でこのマスクを用いて回路設計情報をウェーハ上に転写し、エッチングや酸化拡散などのプロセスを繰り返すことで、シリコン上に回路を形成していく。

## 2.2 DFM 情報連携の例

DFMでの情報連携の例として、ホットスポット管理フローについて以下に述べる。

リソグラフィ技術は、デバイス世代ごとに回路パターンの最小寸法を前世代の70～80%まで微細化することが求められ、数ナノレベルの加工精度が要求される<sup>(1)</sup>。そのため、露光マージンが十分に確保できない場合には、デザインルールを遵守して設計しても、回路パターンの中に正しく転写できない部分(ホットスポット)が現れてしまう。このホットスポットは欠陥となり、歩留まりを大幅に低下させる要因になる。ホットスポットを事前に予測しマスクパターンを補正することで、設計に忠実なパターンをウェーハ上に形成する技術を、光近接効果補正(OPC: Optical Proximity Correction)という。OPC技術は250nm世代から導入され実用化されてきているが、65nm世代以降は高度なOPC技術を用いても、回路パターンの組合せの中に転写しにくいホットスポットが紛れ込むケースが増えている。

このような問題に対して、設計面でのチェックに加え、製造面でのチェックを行いその結果を設計にフィードバックする、ホットスポット管理フローを導入している<sup>(2)</sup>(図2)。チップ設計後、MDPでは、OPC処理を施して露光シミュレーションを行い、ホットスポットが出ないか事前にチェックする。ホットス



ポットの位置情報をマスクやウェーハの製造ラインに送り、走査型電子顕微鏡(SEM)などのパターン検査装置でその部分をモニタしながら製造を行う。その結果、ホットスポット部の状況によっては、露光プロセス条件を変えて歩留まり対策が行われる。また、場合によっては後戻りとなるが、マスクの作り直しにまで及ぶこともある。いずれにしても、ここで得られた知見は設計にフィードバックされ、次の製品や世代の設計ルールに適用される。

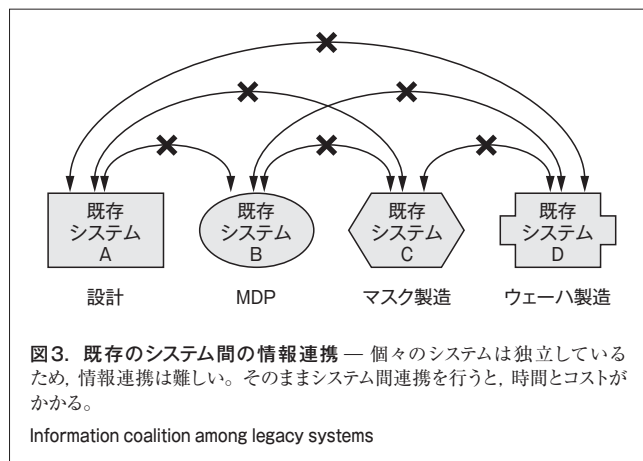
しかし、SoCは多品種であることから、製造に際して前述のフローを人間系で運用するのは困難であり、効率的な運用を行うには、このフローを自動化して対応することが必要となる。フローの情報連携には、設計、MDP、マスク製造、及びウェーハ製造の各ITシステムを有機的に連携させ、必要な情報の共有化と新規機能の開発を進める必要があった。

## 3 DFM 情報連携プラットフォーム

### 3.1 DFM 情報連携における問題点

従来の設計から製造までの各ITシステムの連携は、生産にかかわる情報である回路パターンデータや、マスク描画データ、マスク出荷データなどが中心であったが、ホットスポット管理フローを実現するには、新たな技術情報として、ホットスポット座標、検査結果、レシピ情報などを扱う必要がある。そこで、このような新規の技術情報を流通させる新しい機能(以下、サービスという)の開発が必要となるが、既存のシステムに影響を与えることなく、かつ管理コストを削減する創造的な手法が求められた。しかし、既存のシステムをベースとするため、新たなサービスの実装にあたっては以下のような問題が生じ、開発期間とコストを増大させる要因となる。

- (1) 既存のシステムはそれぞれの目的を達成するために最適化されており、他工程や他部門との連携は考慮していない(図3)。個々のシステムは独立に開発・運用されているため、容易に情報連携することは難しい。プロトコル変換な



どの情報連携機能を個別に作り込むには時間とコストがかかり、更に複雑さも増してメンテナンスが煩雑となる。

- (2) 各システムで情報のユニークキーや単位系、座標系が統一されていないため、情報連携の際に論理的整合がとれなくなるおそれがある。例えば、情報のトレーサビリティがとれない、座標系が合わないなどという問題が生じる。
- (3) 設計・シミュレーションツール、マスク管理システム、検査装置など、既存のシステムの機能はそのまま利用したい。しかし、従来のマスク管理システムのように巨大なプログラムの中では、データ変換や進捗(しんちやく)管理といった関連機能が一体で作られてしまっている。そのため、必要な機能だけを切り出して活用することが難しい。

### 3.2 新しい情報連携プラットフォーム

これらの問題を解決するために、図4に示すような、設計から製造まで共通のIT環境下で情報連携を行うプラットフォームを開発した<sup>(3)</sup>。このプラットフォームは、インタフェースレイヤ、サービスレイヤ、アプリケーションレイヤの3階層から成り、SOA (Service Oriented Architecture) の概念を取り入れて開発している。SOAは業務フローを統合するためのフレームワークで、標準化されたソフトウェアコンポーネントをサービスとしてサポートし、そのサービスの組合せと再利用によって、変化するビジネス環境に柔軟に対応できる。

プラットフォームを構成するそれぞれのレイヤについて、以下に述べる。

- (1) インタフェースレイヤ このプラットフォームでは、情報交換の手段としてXML (eXtensible Markup Language) Webサービスを用いている。Webサービスは、SOAP (Simple Object Access Protocol) というXML形式で情報の交換を行い、ネットワーク上に分散したサービスを呼び出すことができる。また、WSDL (Web Services Description Language) などによって、インタフェース

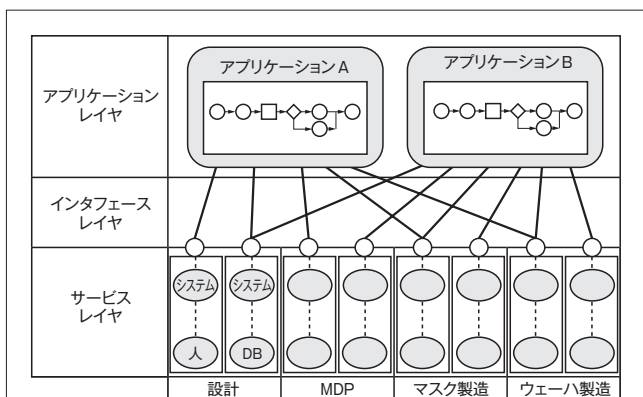


図4. 設計と製造の情報連携を行うプラットフォーム — インタフェースレイヤ、サービスレイヤ、アプリケーションレイヤの3階層から成り立ち、SOAの概念を取り入れている。

Platform to realize information coalition between design and manufacturing

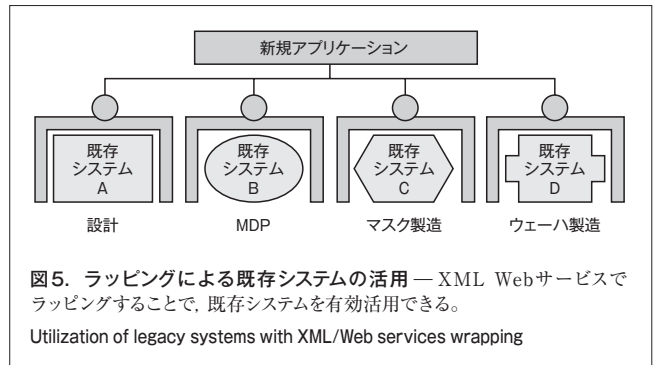


図5. ラッピングによる既存システムの活用 — XML Webサービスでラッピングすることで、既存システムを有効活用できる。  
Utilization of legacy systems with XML/Web services wrapping

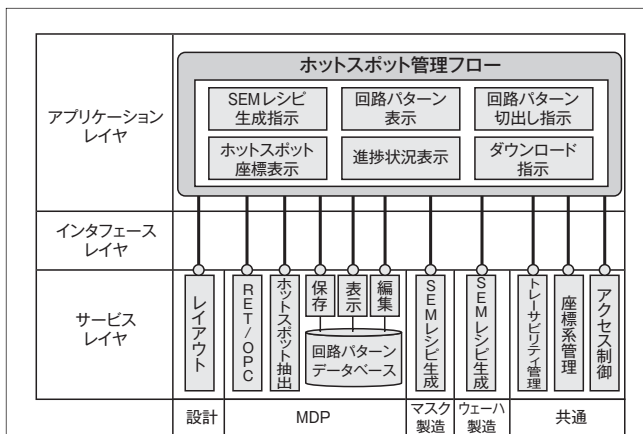
が明確に定義される。各サービスは、定義されたインタフェースに従って実装を行い、プラットフォーム上に配置される。サービスのインタフェースが明確であるということは、複数のアプリケーションで利用でき、かつサービスの再利用性が高いことを意味する。また、定義されたインタフェースに即していれば、実装に使用するOS (基本ソフトウェア) や開発言語には制限されない。これにより、既存システムをWebサービスで包み込み(ラッピング)、インタフェースを合わせ込むことでプラットフォーム上に配置できるため、有効利用することができる(図5)。

- (2) サービスレイヤ サービスとは、標準的なインタフェースを持ち、外部のプログラムから呼び出すことができる、単体で意味のある機能を持つ標準化されたコンポーネントで、通常、データベース(DB)と何らかの処理機能を併せ持っている。
- (3) アプリケーションレイヤ プラットフォーム上に配置されているサービスを束ねて、アプリケーションを構築する。システム担当者は、このプラットフォームを用いて現場に適したフローを迅速に開発できる。

### 3.3 ホットスポット管理フローの実装

図2で示すホットスポット管理フローを、このプラットフォーム上に実装した(図6)。このシステムは、シミュレーションにより抽出されたホットスポット箇所の回路パターンを表示したり、切り出したりする機能や、ホットスポット箇所を観察するためのSEMレシピ生成機能などを持っている。また、部門を越えた円滑な情報連携を行うために、情報のキーを管理する機能や、情報セキュリティのためのアクセス権を管理する機能、座標系を管理する機能も共通サービスとして実装されている。座標系管理機能は、図7に示すように、回路パターンデータとマスク、マスクとウェーハの位置関係を把握している。シミュレーションによって抽出されたホットスポットの座標をSEMの座標系に変換したり、ウェーハ欠陥検査装置で見つかった欠陥の座標を回路パターン上の座標に変換することが、この機能により容易となった。

このシステムを用いてホットスポット管理フローのTAT (Turn Around Time)<sup>(注1)</sup>を評価した結果、従来の人間系の



RET : Resolution Enhancement Technology (超解像技術)

図6. ホットスポット管理のシステム構成 — プラットフォーム上に、ホットスポット管理フローを構築した。

Configuration of hot-spot management system

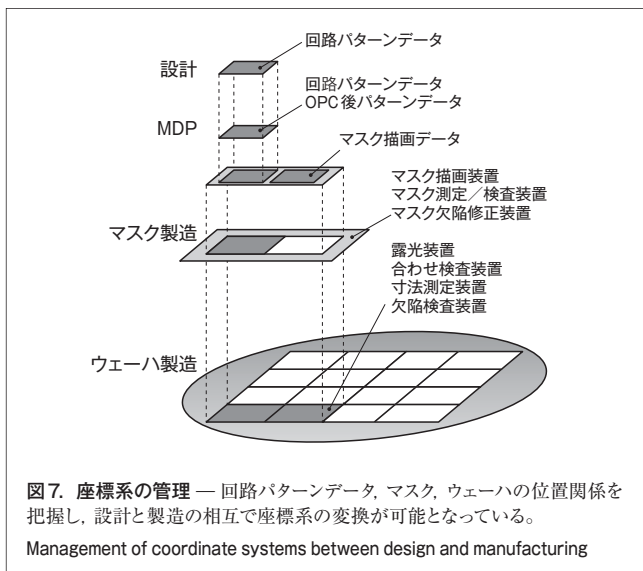


図7. 座標系の管理 — 回路パターンデータ、マスク、ウェーハの位置関係を把握し、設計と製造の相互で座標系の変換が可能となっている。

Management of coordinate systems between design and manufacturing

運用フローと比較して約1/20に削減できた。ここまで合理化されると、実際の製品開発及び生産の現場でホットスポット管理フローを運用することが可能となる。

### 3.4 DFM 情報連携プラットフォームの再利用性

このプラットフォーム上に、前節のホットスポット管理を含む17個のアプリケーションから成るDFM情報連携フローを構築し、実際の製造と歩留まり向上施策に適用している。これらのフローを構成するために、12個のサービスを開発し、アプリケーションの開発効率を評価するために、サービスの再利用率を算出した(図8)。その結果、12個のうち9個のサービスが2個以上のアプリケーションから呼び出され、再利用率は平均75%となり開発効率が良いことが証明された。

(注1) 開発開始から生産立上げまでにかかる時間。

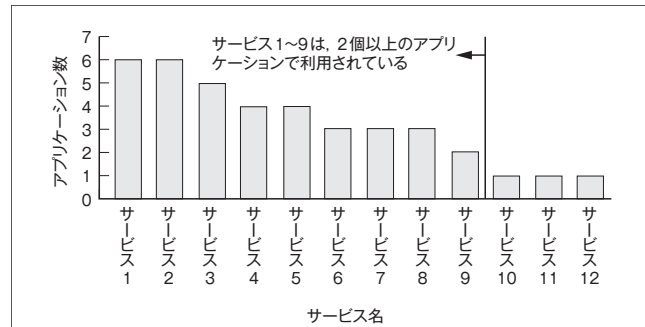


図8. サービスの再利用 — サービスの再利用が可能となり、アプリケーションの開発効率が上がった。

Reuse of services

## 4 あとがき

SoC製造のDFM情報連携フローを実現するため、SOAの概念を取り入れた新しいプラットフォームを開発した。このプラットフォーム上に、生産性や歩留まりの向上に必要な技術情報を連携するDFM情報連携フローを構築し、実際のSoC製造に適用した。その結果、DFM情報連携フローは、情報連携のTAT短縮とともに、サービスの再利用によって、変化する要求にも柔軟に対応できることを確認した。

今後は、このプラットフォームを活用することで設計と製造の情報連携を活発化するとともに、TAT短縮及び高歩留まりを実現するフローを構築していく。更に、この技術をメモリ製造へも展開していく予定である。

## 文献

- (1) 森 一朗, ほか. 先端リソグラフィ技術の課題と革新. 東芝レビュー. 59. 8, 2004, P.8-12.
- (2) Hashimoto, K., et al. "Hot spot management in Ultra-low k1 Lithography". Proc. SPIE, 6156. Design and Process Integration for Microelectronic Manufacturing IV. USA, 2006-02, PMJ, BACUS and SPIE. USA, SPIE, 2006, p.212-223.
- (3) Morinaga, H., et al. "Development of a platform for collaborative engineering data flow between design and manufacturing". Proc. ISSM 2006. The 15th International Symposium on Semiconductor Manufacturing (ISSM). Tokyo, 2006-09, ISSM. 2006, p.45-48.



柿沼 英則 KAKINUMA Hidenori

セミコンダクター社 プロセス技術推進センター 半導体プロセス開発第三グループ長。半導体生産システムの開発業務に従事。

Process & Manufacturing Engineering Center



森永 裕之 MORINAGA Hiroyuki

セミコンダクター社 プロセス技術推進センター 半導体プロセス開発第三部主務。半導体生産システムの開発業務に従事。

Process & Manufacturing Engineering Center