

# ファクトリインテグレーション

ITRSのファクトリインテグレーション章ではコストターゲットを達成している間、スケジュールどおりの正しい量で効率的に必要な製品を生産する必要がある全ての工場構成要素に焦点を当てています。ムーアの法則(Moore's Law)を実現するためには、微細化、新材料、100%に近い歩留りへの改善、ウェーハサイズの大口径化、その他の生産性の改善を最大限に活用しなければならない。これは、その他全ての工場構成要素を完全に統合できる工場が必要となる。また、対機能当たりのコストを30%削減のトレンドを何十年間もの間維持するためには、あらゆる可能なコスト削減の機会を活かす必要がある。このペースを維持するには以下の基本的な特徴を持つ生産を精力的に追求しなければならない。即ち、ウェーハの単位面積あたりのコストを維持して、テクノロジーをビジネスニーズの変化に対応できるよう、工場の立ち上げ期間を短縮し、工場の汎用性を向上させることである。(本章への寄稿者はオンラインも含まれます)

半導体の成功と市場の成長は主として機能単位の継続的な改善によるところが大きい。多くの要素はプロセステクノロジーの進歩、ウェーハサイズの大型化、歩留りの向上、製造効率を含む生産性向上を牽引してきた。技術革新(high-k ゲート膜、メタルゲート、銅配線/low-k 膜など)の導入の段階と、高集積で複雑な設計や、30マスク層以上の SoC の様なプロセスの複雑さは生産性を維持することが過去の基準と比較して困難になっている。

経済性の面で工場の生産性を向上し続ける一つの積極的な例は300mmウェーハへの移行である。それは多くの知見によって新しい工場のコストが急激に増大するのを抑える。それにもかかわらず、テクノロジーのコストと規模による効果を追求する大規模工場建設はファブの投資額を増大し続けている。

総合的なファクトリインテグレーションは産業の成長を遅くする恐れのあるいくつかの課題を含みます。

## 1. 複雑な工場と複雑なビジネスモデルの統合

半導体技術、ビジネスの必要条件、より早い製品供給の必要性、多品種および変わりやすい市況などの急速な変化が、歩留り目標の達成や立上げの加速に適合する効果的でタイムリーなファクトリインテグレーションを長い期間にわたっていっそう難しいものにしていく。工場は今や複雑な市場への対応と顧客の要求を満たすために、新しい多くの異なった装置タイプとソフトウェアアプリケーションを統合しなければならない。平均売値が低下する市場における少量多品種の生産はマスク費、製造費、極度に困難な工場の統合を招く。工場の複雑さと設備コントロールのための堅牢で十分な機能が必要とされるソフトウェアシステムの欠落は問題をさらに増やすことになる。

## 2. 製造装置の信頼性、利用率、そして多世代活用性

製造装置が投資と経費に対し、非常に大きいインパクトを与える稼働率や利用率の目標についていくことができている。産業は新しい装置(157nmリソ)や材料(Cu, High kゲートスタック、Low k絶縁膜、SOIなど)が急速に導入されるために、これまでの装置あるいはスキルの効率的な再利用をすることができなくなっている。

## 3. 熟した300mm工場のチャレンジ

私たちは現在300mm工場の立ち上げから成熟期に移行しており、ここから以下の様な300mm効率目標への改善と維持に焦点を当てる必要がある。1) 200mmウェーハに対し2.25倍以上のチップ数、2) 30%以上のチップコストの削減、3) (人間工学上の要求として)100%の工程内および工程間のAMHS(Automatic Material Handling System;自動材料搬送システム)運用上の柔軟性とコストの改善、4) そのためキャリア内でそれぞれのウェーハのために異なったレシピをトラックする能力、5) 施設、電力消費、排出の縮小

## 2 ファクトリインテグレーション

### 4. ポスト Bulk CMOS と次世代大口径ウェーハ製造パラダイム

新規のデバイスと 300mm 以降の次世代大口径ウェーハ(例えば 450mm ウェーハ)への転換は半導体産業におけるキーとなる変曲点を表している。Bulk CMOS 以降の新規デバイスに対応する製造装置および生産への潜在的なインパクトは明らかではないが、重要であると予想される。300mm 以上のウェーハへの転換は製造コスト効率を改善するもうひとつの変化の機会を表しており、ムーアの法則を実現し続ける半導体産業の能力として重要な要素になる。

これらの挑戦に取りかかるために、以下の基礎的な半導体製造の特性を改善しなければならない。

- 単位面積あたりのコスト ウェーハの単位面積あたりの製造コストは生産性を計る一つの指標である。工場投資額は 1980 年代の\$50Mから 2005 年の\$3Bまで毎年著しく増大してきた<sup>1</sup>。
- 高歩留りで高い量産性の工場を立上げる時間 工場を高歩留りで量産にまで立上げる時間を短縮することは、運用コストを削減するよりもっと経済的なインパクトが大きい。新工場は、技術要求表に反映されるように、構築、量産までの立上げが、より速く行われなければならない。また、既存の工場はより速く、進行中の生産に影響を与えないでアップグレードされなければならない。
- 技術とビジネスの変化に対応するために汎用性を増加させること 技術の進歩と企業のグローバル化は電子部品のコスト削減につながっている。これは新市場の開拓を可能にして、新製品導入のペースを増加させるニーズを創造するものである。ビジネス予測におけるこれらの変化に対応する汎用性は大きなコストインパクトなしに向上させなければならない。

## 概要

半導体工場としての範囲は、ウェーハ製造工程と、プローブ・テストを含むチップ製造工程、背面研削およびダイシング(singulation)、最終的にはパッケージが組立てられて、テストされる製品組立て工程にまで至る(図 80)。シリコン基板の製造と製品流通はファクトリインテグレーションの範囲外である。

明確に統合工場の要求を理解して、同時に測定できて活動可能な測定基準を定義するために、ファクトリインテグレーションは半導体製造を実行するのに必要である 5 つの推進力、または機能的な領域に分割されます。5 つの技術項目とは、工場運用(Factory Operations)、製造装置(Production Equipment)、搬送(Material Handling)、工場情報と制御システム(Factory Information and Control System)、ファシリティ(Facilities)である。工場運用、および関連する工場ビジネスモデルは他の 4 項目への要求と行動のキーとなる項目である。全体的に見て、これらの 5 項目は困難な技術課題(Difficult Challenges)から技術的要求事項と解決策候補を抽出するために使われている。これら 5 つの脅威領域に加えて、ファクトリインテグレーション章は横断問題や重点領域もこれら 5 つの脅威に取りかかる。

<sup>1</sup> 工場コストの上限の扱いと決め方の戦略についてはこの章の目的の後にある。

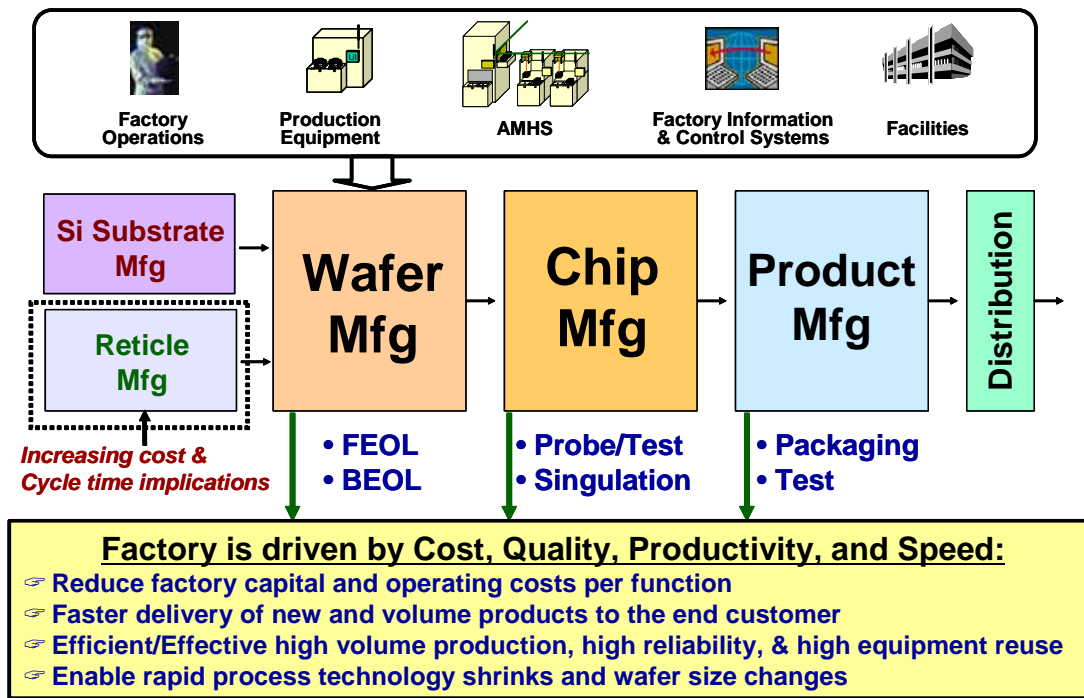


Figure 80 Factory Integration Scope

## 課題

FIの課題を、多世代の技術と5つの技術推進領域に関連させてまとめた。これらの課題への対応は、多くの工場を跨いだ運用がバラバラになるのを最小化するため、しばしば産業上の問題の技術導入と関連している。工場に対する短期の課題はビジネスや技術、必要最低限の経済課題を含んでいる。

#### 4 ファクトリインテグレーション

Table 84a Factory Integration 課題—短期

課題 ≥32nm	課題の要約
<p>急激に変化する複雑なビジネス要求対応</p>	<p>多くのビジネスモデルの並存 (IDM、ファンダリ、ファブレス、ジョイントベンチャ、協業、アウトソーシングなど) を FI で考慮する必要性                      新製品や量産製品の納期短縮要求の増大                      設計から製造までのトータルなプロセス統合の改善の必要性                      早い設計 プロトタイプ of 繰り返し、パイロット 量産                      アウトソーシングを使用しているときの顧客へのレジビリティの増加                      急激な環境変化の中で競争力を保つために、工場の立上げ期間や、装置、プロセスの立上げ期間の短縮                      ニーズが急激に変化する多品種 SOC における 30 以上のマスクを使うシステム構築                      ビジネス要求の変化によって必要になる急な、たびたびの計画変更                      工場のアウトプットを最適化や多品種のサイクルタイム短縮するための工場能力モデリング力                      工場の稼働率を高く保つための装置への定常的な製品着工調整能力                      異なる工場群の要求を共有するための製造知識と制御情報の必要性</p>
<p>マージンが減少している中で難しくなっている高次目標の達成</p>	<p>コスト目標にマッチングするため、上昇するウェハ、組み立てやその他の材料コストへの影響                      立上げ時点で、高歩留をより早く達成                      品質確認のコストを増加させないで、複雑化しているプロセスに対応                      サプライチェーンに跨る複雑性やムダの削減                      製品ウェハに匹敵する量の非製品ウェハ (NPW) による非効率性                      手に入る価格にしようとしている新規設計のマスクセットの高コスト、長納期                      製造の非効率に起因するマスクや装置問題の増加                      マスクセットを共有化する挑戦                      チップサイズやコスト効果のために年当たり 70% の割合でシュリンクしているトランジスタのトレンドを保つ難しさ</p>
<p>工場の複雑性の増大管理</p>	<p>プロセス技術の急激な変化に対応した、すばやく、効果的な統合                      キャリアへの品種混載、ウェハへの製品混載、組み立てでの要素機能混載の管理                      プロセスや材料に対する増加する清浄度の要求への理解                      同一工場にアルミと銅が流れる要求                      複数のプロセスと製品が流れると同時に、プロセス工程数の増加                      増加する高い相関関係にある新旧のシステム群を同時に管理する要求                      プロセスとモデリングの要求によって爆発的に増加しているデータ収集と解析要求                      多品種工場における要求の増加、例としては、小ロットサイズに対応した高頻度のレシピをとまなう複雑なプロセス制御やプロセス装置の変更、高頻度の品質管理</p>
<p>工場や装置のロードマップに沿った信頼性、性能や生産性の達成</p>	<p>プロセス装置の稼働可能率、ランレイト、稼働率目標がロードマップ目標未達成                      工場の運用を保つための装置やシステムの個別や統合化された信頼性                      密接に統合化された複雑な工場において一つの問題が及ぼす影響の増大                      装置プロセス性能向上や NFW 削減のための製造装置の内部制御の品質課題                      最適化や問題の改善をするために装置や工場の有効性をはかるデータの欠如                      工場の能力計画やサプライチェーンマネジメントシステムは、実際の工場データが起こすエラーによって連続的にならない。                      45nm 以降での多くのプロセスモジュールにおいて、プロセス設計余裕や厳しいプロセス制御目標もたらすプロセス制御の困難性                      古い非効率なシステムから新しい効率的なシステムへの移行を妨げているマイグレーションパスの欠如</p>

Table 84b Factory Integration 課題—長期

課題 ≥32 nm	課題の要約
生産性の良い最先端の工場の汎用性、多世代活用性、拡張性要求の達成	<p>装置、ファシリティ、スキルを再使用しながら、新しいプロセス技術に対してすばやく切り替える要求</p> <p>新しい技術に工場を切り替えるときに、工場の稼働ダウンの最小限化</p> <p>40K から 50k 枚 / 月の 300mm 工場に達成するための拡張的立上げ</p> <p>スループットとサイクルタイムの継続的改善</p> <p>多世代の技術ノードに跨る、建屋、製造・サポート装置や工場の情報・制御システムの再利用</p> <p>EFS (Extendibility, Flexibility, Scalability) を実現するまでの事務的コストの理解</p> <p>プロセスや材料の清浄度要求に対する深い理解</p> <p>産業界の要求に合った標準化早さの加速</p>
65nm、45nm ノード時代での量産規模でのプロセス装置の稼働の達成	<p>多くのプロセスモジュールにおいて、65nm &amp; 45nm 技術ノード時代のプロセスのパラッキに対する許容限界やプロセス目標の厳しさは、プロセス制御の難しさを増加させている。</p> <p>工場への次世代のリソグラフィ装置統合化の複雑さ</p> <p>シュリンクのための包括的な開発・量産の実行計画</p> <p>デバイスやプロセスの複雑性は、特定のプロセス領域の機能問題をトレースすることを難しくする。</p> <p>制御条件とサイクルタイムの目標を保ちながら、それぞれのウェハに対して違うプロセスパラメータを実行することの困難さ</p> <p>パラメータ多様性の影響の減少</p>
環境課題でのグローバルな制限	<p>異なる地域での規制に対応する要求</p> <p>ビジネス要求に対応しながら、なお且つ、いくつかの国における技術的制限事項に対応する要求</p> <p>厳しい ESH コード要求への深い理解</p> <p>除外化学物質や制限された材料</p> <p>新材料の導入</p>
現在の CMOS プロセス以降における製造の不確かさ	<p>従来の CMOS に代わる新しいデバイスのタイプの不確かさやそれらの製造がもたらす工場設計への影響</p> <p>低いリスクでの移行ができるため、新デバイスの特定、プロセス技術や工場設計の創造の時間的不確かさ</p> <p>与えられたチップサイズやコスト目標のために、70%のトランジスタシュリンクを毎年続ける潜在的困難性</p> <p>同一の工場で現在の CMOS も次世代のデバイスも流せる要求</p>
発展段階の工場の論理的枠組みと次のウェーハサイズへの移行	<p>次世代のウェーハサイズ 450mm やその切り替え時期に対する不確かさ</p> <p>参考資料参照、リンク先 <a href="http://public.itrs.net">http://public.itrs.net</a></p> <p>次世代のウェーハサイズへの切り替えのためには、現在のキャリア 25 枚の方式はとれないかもしれない。また、製造装置や搬送に重大な影響がでるだろう。</p> <p>可能なコストで 450mm への移行を可能とするために、どのように建屋、装置、システムの再使用を行うかの不確かさ</p>

## 技術的要求

前述した初期の目標を達成するために、技術的要求の検討と課題に対する解決策候補を特定する必要がある。これはファクトリーインテグレーションで、互いに関連し合う次の5つの機能項目にセクションを分けることによって、達成される。

- 工場運用(FO)は、工場内の計画、監視、制御のための方針と手順をカバーする。
- 製造装置(PE)は、検査 / プロセス装置と工場における他の構成要素と装置のインタフェースをカバーする。
- 自動材料搬送システム(AMHS)は、工場内における材料の移送、保管、認識、トラッキングおよび直接的、間接的な材料の制御をカバーする。
- 工場情報制御システム(FICS)は、コンピュータのハードウェア、ソフトウェアおよび、製造関連の支援システム、スケジューラ、装置 / 材料管理、上位プロセス制御などをカバーする。
- ファシリティは、建屋のインフラストラクチャ、用力、モニタリングシステムをカバーする。

Table 85 は 2005 以降の FI 機能項目に対する重要要素と課題のサマリです。次世代ウェハサイズから生ずる課題は別表で抽出すべきであろう。

Table 85 2005 以降の FI 機能項目に対する重要要素と課題

機能項目	重要要素と課題
工場運用 (FO)	1)製造サイクルタイムの短縮 2)設備稼働率向上 3)多品種での損失短縮
製造装置 (PE)	1)非生産ウェハの削減 2)信頼性向上 3)稼働率向上 4)物理的に良品が取れないウェハエッジ幅 1.5mm の課題
自動材料搬送システム (AMHS)	1) 伝統的で統合された搬送のためのスループット向上 2)平均搬送時間短縮 3)信頼性向上
工場情報制御システム (FICS)	1)信頼性向上 2)工場スループット向上 3)マスクショットサイクルタイムの縮小及び維持 4)コスト削減
ファシリティ	1)工場の多世代活用性 2)AMC(空気中の分子汚染) 3)急速な据付/品質検査 4)コスト削減

## 工場運用

工場運用では、リソースの効率的で有効な活用と、製造の他の側面についてのインテグレーションについて述べている。即ち、工期と製品仕掛り(WIP)の最小化とスループットの最大化、かつ運用コストを低く維持するための情報管理システム、搬送、装置、用力についてである。装置の指標、特に稼働率向上、有効性、活用もまた技術的要求の表に含まれる。

工場運用に求められる指標として後述する技術的要求の表では、高いレベルの製造指標と、いつでも競争力のあるパフォーマンス特性を実現できる半導体工場に要求される改善目標値を列挙してある。工場運用の指標とは、特急ロットおよび通常ロットの1マスクあたりのサイクルタイム、X-factor、1キャリア内のロット数、1人1日あたりのウェーハ・レイヤー数である。これらの指標は、多品種大規模生産か少品種大規模生産かでさらに分けて示してある。これらの指標は主に月産 40K の多品種で製品サイクルが短い工場にフォーカスしている。



加えて、工場立上げの指標がある。建物竣工から最初の装置搬入までの期間、装置搬入から最初の一貫処理ウェーハが出てくるまでの期間、製品 / プロセスの技術世代切り替え期間、そしてクリンルームのフロア・スペース効率である。

競争姿勢を明確に示した工場のパフォーマンス特性は、多くの要素に依存する。例えば、装置を稼働させる程、工期が長くなってしまふといったトレードオフの関係にある工期と装置資産活用のバランスがある。従って、それぞれの工場は、低い装置資産活用コストに対し、自らが関連するビジネスの切り口で工期を短縮する程度を調節しなければならない。同様に、多品種生産の工場は、少品種大規模生産の工場とは異なる運用形態と意思決定の支援ツールが必要となる。装置などの資産活用については、装置活用、有効性、能力低下の形で把握される。別の指標である装置総合効率(OEE)は運用の表では明快に述べられていない。それは OEE の重要な要素である活用、有効性が技術の表で把握されるからである。

かつて、工場の基本的なパフォーマンス特性として確立されてきたものに生産性の継続的な向上があった。この生産性の向上は、同じ投資額において、工期を短くすることか、スループットを向上させることのどちらかを表したものである。またレチクルを交換する前に処理できる平均ウェーハ枚数を提示することが必要である。なぜならば、次期ウェーハサイズ(450mm などの)と対になった多品種工場ではレチクル交換間に処理されるウェーハ枚数がより少なくなるからである。

ここに示す指標は、対象とするものを実現するための研究が、より革新に向けてフォーカスできるようなガイダンスを提供することが主旨である。この革新とは、新しいコンセプト、ポリシー、モデル、アルゴリズム等の形を具体的に描くことである。これらは、開発されたり生産導入されたりするソフトウェア・アプリケーションとして具現化されることになるであろう。そしてこれらのソフトウェア・アプリケーションは、意思決定支援ツール、もしくは実務ツールとして工場全体の情報制御システムに統合されることになり、対象とする工場運用を行うための生産性改善を推進し、支援するツールとなる。

**工場運用の解決策候補** は、計画段階の戦略的意思決定の支援ツールと、実際に稼働している工場の戦術的もしくは実務的なツールに分類される。これら 2 つの解決策候補の内容は、まったく異なる。しかし、多品種の工場を効果的に管理するには必要である。戦略的なツールには、多くの分析やレポート機能といった大量のデータを必要とする意思決定支援ツールとして、処理データへの高速アクセスが要求される。厳格な技術要件は、データの増加する状況において結果として生じるより多くのデータの必要性を追求することである。必要なデータを収集するだけでなく、インテリジェントな解析とデータに基づく判断をするための正しい徴候を認定、使用するアルゴリズムの発展が必要である。

工場ネットワーク(ファブ、ソータ工程、組立て工程、テスト工程)に広がった需要情報が正確でも俊敏でもない場合、結果として供給能力やサプライ・チェーン計画が劣ることになる。いつ、どこで、どのくらいの量の製品が必要とされているかを上手く決めることは、生産性改善のための基本である。主要な装置の購入コストは、著しく増加しており、今やウェーハ工場の主要なコストの 75%以上を占め、固定費の内の多くを装置の減価償却費が占めている。ウェーハ・コスト全体に占めるこのコスト増加のインパクトを減らすことは、装置の活用、有効性の改善、(例えば多品種による)セットアップロス、故障による能力ロスの改善が必要とされる。効率的な工場スケジューリングもまた、装置の信頼性と活用の改善の主要な役割をはたし、工期とオン・タイム・デリバリ(OTD; On-Time-Delivery)の改善につながる。高価な製造装置を効果的に利用するためには、効率的なスケジューリングとディスパッチングのツールの活用がなくてはならない。いくつもの要因が工場スケジューリングを複雑なものにしている。これには、ロット・スケジューリング・ツールにもスケジューリング・ポリシーにも効率的に統合されていない AMHS があげられる。リアルタイム・スケジューラとディスパッチャは、AMHS と装置メンテナンスのスケジューリングが統合され、そしてリソースのスケジューリング・ポリシーが製品仕掛りを減らし、オン・タイム・デリバリを改善し、能力活用を向上させることが要求される。(工場運用の解決策候補の表を参照)(工場運用の技術的要求と解決策候補の追加詳細は、関連として準備)

## 工場運用の技術的要求

Table 86a Factory Operations Technology Requirements—Near-term Years

Year of Production	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	80	70	65	57	50	45	40	35	32
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	450
<i>Non-hot lot (average of 94% lots)</i>									
Cycle time per mask layer (days)	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2
X-Factor [1]	3.2	3.1	3.1	3.1	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05
<i>Hot lot (average top 5% of lots)</i>									
Cycle time per mask layer (days)	0.62	0.55	0.55	0.55	0.51	0.51	0.47	0.47	0.47
X-Factor [1]	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
<i>Super hot lot (average top 1% of lots)</i>									
Cycle time per mask layer (days)	0.33	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.3	0.3	0.3
High-mix capacity degradation	11.67%	10%	8.33%	6.67%	5%	5%	5%	5%	5%
<i>Bottleneck equipment [2] [3]</i>									
Utilization	90%	92%	92%	92%	94%	94%	94%	94%	94%
Availability	92%	94%	94%	94%	96%	96%	96%	96%	96%
Wafer layers/day/head count	55	61	61	61	67	67	73	73	73
Number of lots per carrier (high mix) [4]	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple
<i>Facilities cycle time (months)</i>									
1st tool to 1st full loop wafer out (months)	3.5	3	3	2.5	2.5	2.5	2	2	2
Generation-to-generation change-over (weeks)	13	12	12	12	11	11	10	10	10
Floor space effectiveness	1×	1×	1×	1×	1×	1×	1×	1×	1×
Average number of wafers between reticle changes	40	35	30	25	20	20	20	20	20

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

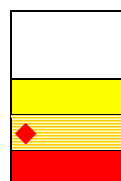


Table 86a and b の注:

[1] X-factor は継続して改善中。実際の X-Factor 値はプロセス技術または世代の正味プロセス時間に大きく依存する

[2] ボトルネックの装置は通常、リソグラフィ装置とみなす

[3] 活用と有効性は継続して改善中

[4] 多品種の定義は以下の通り:

- 同一工場内で3つより多い技術世代が同時に流れている
- 同一の技術世代で10より多いプロセスフローで流れている
- 工場内で50より多い製品が流れている
- 1-10枚ウエーハの小ロットサイズ
- 露光装置でレチクル交換間の処理ウエーハ枚数が平均50枚以下
- ロット処理開始がカスタマーのオーダーによる
- 異なる製品、プロセスフローによりロット数がデイリーで変化
- 50%以上の製品量の製品をもたず、少なくとも5つの製品(製品フロー)がある



Table 86b Factory Operations Technology Requirements—Long-term Years

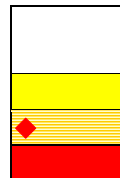
Year of Production	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	28	25	22	20	18	16	14
Wafer Diameter (mm)	450	450	450	450	450	450	450
<i>Non-hot lot (average of 94% lots)</i>							
Cycle time per mask layer (days)	1.13	1.13	1.13	1.05	1.05	1.05	1.05
X-Factor [1]	3.05	3.05	3.05	3	3	3	3
<i>Hot lot (average top 5% of lots)</i>							
Cycle time per mask layer (days)	0.44	0.44	0.44	0.39	0.39	0.39	0.39
X-Factor [1]	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
<i>Super hot lot (average top 1% of lots)</i>							
Cycle time per mask layer (days)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
High-mix capacity degradation	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<i>Bottleneck equipment [2] [3]</i>							
Utilization	94%	94%	94%	94%	94%	94%	94%
Availability	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
Wafer layers/day/head count	81	81	81	89	89	89	89
Number of lots per carrier (high mix) [4]	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple
<i>Facilities cycle time (months)</i>							
1st tool to 1st full loop wafer out (months)	1.5	1.5	1.5	1	1	1	1
Generation -to-generation change-over (weeks)	9.5	9.5	9.5	9	9	9	9
Floor space effectiveness	1×	1×	1×	1×	1×	1×	1×
Average number of wafers between reticle changes	15	15	15	13	13	13	13

*Manufacturable solutions exist, and are being optimized*

*Manufacturable solutions are known*

*Interim solutions are known*

*Manufacturable solutions are NOT known*



## 工場運用に求められる指標の説明

項目	説明
1マスクレイヤーあたりのサイクルタイム(通常ロット)	1枚のウェーハを1マスクレイヤーあたり処理する総時間の計測。 1ロット25枚ウェーハとする。たとえば、あるプロセスが20枚マスク、マスクあたりのサイクルタイムが1.5日だとすると、工場(加工・搬送)のトータル・サイクルタイムは、 $20 \times 1.5 = 30$ 日となる。これはコストにつながる重要な時間指標である。
1マスクレイヤーあたりのサイクルタイム(特急ロット)	定義は上記と同様。一般に工場では、通常ロットよりもこれらのロットが優先される。結果として、特急ロットのサイクルタイムは、1ロットのウェーハを25枚とすると、通常ロットの50%以下となる。新製品のロットは特急品として処理される。
1マスクレイヤーあたりのサイクルタイム(超特急ロット)	1ロットのウェーハを5枚とする。一般に工場では、通常ロットよりもこれらのロットが優先される。迅速にプロセス・フローの下流へとこれらを移動させられるツールが使われたり、抜き取り検査頻度が少なくされることもある。 結果として、超特急ロットのサイクルタイムは、特急ロットのサイクルタイムより短くなる。
X-factor[1]	X-factorはトータルのサイクルタイム(待ち時間+ホールド時間+正味のプロセス時間+搬送時間)を正味のプロセス時間(RPT)で割ったものである。1ロットの1装置におけるRPTはその装置で1ロットが処理される時間である。通常、この時間は装置がロットの処理を開始し、処理が終了するまでで(そのため他の装置へは移動できない)そして次の処理に移動できる。 工程のRPTは工程内のプロセス各装置でのRPTと総搬送時間の合計である。工程の表にはRPTは示されない。なぜならば、X-factorと1マスクレイヤーあたりのサイクルタイムが示されているからである。 関係式は: $\text{サイクルタイム} = \text{RPT} \times \text{X-factor}$ 現状のサイクルタイムを1.6日/マスクで、通常ロットのX-factorを80%の利用で3.2とすると通常ロットのRPT= $1.6/3.2=0.5$ となる。 通常ロットと特急ロットのRPTが同じとすると、特急ロットのX-factorは“後入れ、先出し”の優先順位で決定される。
多品種によるキャパ低下	多品種(%で示される)による工場運用の不利をキャパのロスとしてみる。 このキャパロスはバッチサイズの減少、段取りの増加などによって起きる。 これはライン内のすべての装置の段取りの平均である。 低下は5%(少品種、1FOUPに25枚のウェーハ、10ロットごとにレシピ/段取りを変える、ウェーハ上には1製品の場合)から最大15%(多品種、1FOUPに25枚以下のウェーハ、FOUPごとにレシピ/段取りを変える、1ロット内に多製品)に増加する。 この指標は有効なキャパ利用に影響する。それは(1-Idle No WIP)と定義されるIdle No WIPは装置のキャパの一部である。それは装置が準備状態で装置にかかるWIPがないか装置に搬送中のWIPがない。 あるときはオペレータが有効なキャパの利用に貢献していない。
ボトルネック装置の利用と有効性 [2][3]	有効性はSEMI E10 <sup>2</sup> に定義されている。すなわち“装置が必要なときに意図された機能を果たす状態にある見込み。” 利用はSEMI E10に定義されている。すなわち“装置がある指定された時間内で装置が意図された機能を果たす割合。”すべてロット25枚。 有効性は段取り、無効、処理時間を含む。利用はサイクルタイムを犠牲にすることなしに装置の制約(通常、リソグラフィ装置)を加味した値の時間と考えられている。制約装置の利用(通常、リソグラフィ)は工場の振動となり、出力キャパを決める。
1人1日あたりのウェーハ・レイヤー数	装置のアウトプットと直接人員数を含む生産性の指標。1日に処理される全ウェーハ枚数と露光マスク数の積を1日の直接人員数で割ったもの。

FOUP front opening unified pod

<sup>2</sup> SEMI E10-0699E: Specification for Definition and Measurement of Equipment Reliability, Availability, and Maintainability (RAM).

## ・製造装置

本節で扱う範囲は、工場内の全てのプロセスと評価装置を含む。また、装置コントローラ、キャリアやウェーハ搬送用のEFEM(装置フロントエンドモジュール)とロードポート、ホストシステムとのインタフェースのファームウェアやソフトウェア、装置への用力インタフェースを含む。また、製造装置の指標、特にスループット(run rate)の改善、稼働率、利用率も技術要求に含まれる。

製造装置の設計と制御は、単位面積あたりのプロセスコストの維持と削減の重要な要素である。もし、生産性の大幅な改善無しで投資コストの増加傾向が続くと、産業の成長が将来に渡り維持できなくなる。装置の生産性に影響を与えるいくつかの要因がある。それらは下記の項目である。

1. 装置の信頼性、稼働率、利用率向上への解決策の発見
2. 装置間バラツキの低減、チャンバマッチングの達成
3. 物理的インタフェースおよびデータインタフェースの標準化による装置間での互換性の改善
4. 複数技術世代やノードに対応できる装置の長寿命化
5. 環境への影響を低減しながらのユーティリティと消耗材料(非生産ウェーハを含む)の有効利用の達成
6. “相対的、つまり正規化された装置コスト“(プロセス能力要求に対する装置コスト増の比率)のプロセス処理速度の向上による削減。COO(Cost of Ownership)の削減
7. 短切替時間で多品種生産に対応できる、装置固有のセットアップ時間の短縮
8. 多品種生産に伴うロス削減する装置設計(すなわち、セットアップ時間を削減する装置設計)技術の向上

製造装置の解決策候補は上記項目の実現に向けた施策が優先される。装置標準と相互利用性の解決が直接装置のコスト削減につながる。信頼性と利用率の改善は In-situ(イン・サイチュ)モニタや高度なプロセス制御(APC)性能、高性能の内蔵コントローラ、自己診断機能、リモート診断能力、枚葉ウェーハ管理および制御等の革新的な解決方法によって実現できる。高効率な装置設計は、より高効率のパワー供給システム、加熱と放熱の方法、水の回収と再利用の最適化により実現される。もう一つの優先分野として、複数のテクノロジーノードに対応できる装置の長寿命化の方法をさがることがあげられる。工期の削減や稼働率の向上に向けた装置の適応性として、キャリアレベルとウェーハレベルで統合された物流とその制御が能力向上のための解決策候補となる。その他の重要分野としては工期短縮とスペア部品費用の削減の革新的な解決方法を見つけることがある。さらに、新たな解決策を必要としている領域に、気中の分子レベルでの汚染(Airborne Molecular Contamination: AMC)防止制御がある。最後に、高効率低コストの装置開発は、次世代ウェーハサイズへの移行に当たって不可欠なマイルストーンとなっている。(詳細は”[Production Equipment Potential Solutions table](#)” ”[additional details on Production Equipment technology requirements and potential solutions](#)” ”[additional details on Agile Manufacturing and e-Manufacturing potential solutions](#)”を参照。)

## 12 ファクトリインテグレーション

*Table 87a Production Equipment Technology Requirements—Near-term Years*

<i>Year of Production</i>	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<i>DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)</i>	80	70	65	57	50	45	40	35	32
<i>Wafer Diameter (mm)</i>	300	300	300	300	300	300	300	300	450
Throughput improvement (run-rate) per year	4%	4%	New base	4%	4%	New base	4%	4%	>0%
New non-product wafers (NPW) as a % of wafer starts per week	<14%	<13%	<12%	<11%	<11%	<11%	<10%	<10%	<10%
Overall NPW activities versus production wafers activities	10%	7%	7%	7%	5%	5%	5%	5%	5%
% capital equipment reused from previous generation	>90%	>90%	>90%	>90%	>90%	>90%	>90%	>90%	Limited
Wafer edge exclusion	2 mm	2 mm	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm	1.5mm
Equipment lead time from setup to full throughput capable	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks
Process availability (A80)	92%	>92%	>94%	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%
Metrology availability (A80)	96%	96%	96%	>96%	>97%	>98%	>98%	>98%	>98%
Intrinsic setup time reduction, vs. base	6%	10%	12%	12%	15%	15%	17%	17%	>17%
Ability to run different recipes and parameters for each wafer	Partial	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
248 nm lithography scanner productivity (wafers outs per week per tool)	7400	7400	7700	7700	8000	8000	8000	8000	8000
193 nm lithography scanner productivity (wafers outs per week per tool)	5300	5300	5600	5600	6000	6000	6000	6000	6300
Maximum allowed electrostatic field on wafer and mask surfaces (V/cm)	90	80	70	60	50	50	35	35	35

*Manufacturable solutions exist, and are being optimized*

*Manufacturable solutions are known*

*Interim solutions are known*

*Manufacturable solutions are NOT known*

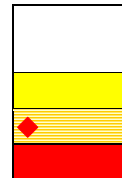


Table 87b Production Equipment Technology Requirements—Long-term Years

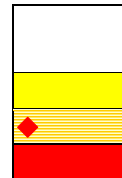
Year of Production	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	28	25	22	20	18	16	14
Wafer Diameter (mm)	450	450	450	450	450	450	450
Throughput improvement (run-rate) per year	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
New non-product wafers (NPW) as a % of wafer starts per week	<9%	<9%	<9%	<9%	<9%	<9%	<9%
Overall NPW activities versus production wafers activities	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
% capital equipment reused from previous generation	Limited	Limited	Limited	Limited	>70%	>70%	>70%
Wafer edge exclusion	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm
Equipment lead time from setup to full throughput capable	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks
Process availability (A80)	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%
Metrology availability (A80)	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%
Intrinsic setup time reduction, vs. base	> 17%	> 17%	> 17%	> 17%	>20%	>20%	>20%
Ability to run different recipes and parameters for each wafer	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
248 nm lithography scanner productivity (wafers outs per week per tool)	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
193 nm lithography scanner productivity (wafers outs per week per tool)	6300	6300	6300	6300	6500	6500	6500
Maximum allowed electrostatic field on wafer and mask surfaces (V/cm)	25	25	25	25	18	18	18

*Manufacturable solutions exist, and are being optimized*

*Manufacturable solutions are known*

*Interim solutions are known*

*Manufacturable solutions are NOT known*





## 14 ファクトリインテグレーション

### 項目説明

項目	説明
多品種少量生産における年毎のスループット向上率	スループットはウェーハ毎のプロセス時間の削減、装置内ウェーハ搬送やステージ載置ステップといった付加価値を生み出さない時間の削減、装置制御コントローラの効率向上、ウェーハプロセスステップシーケンスの不要時間の削減によって実現される。仮に、要求値が4%である場合、現状の時間あたりの処理数が100枚であれば、翌年要求される値は時間あたり $(100 \times 1.04) = 104$ 枚で翌々年は $(104 \times 1.04) = 108$ 枚である。
1週間当たりの生産数に対する新規非生産ウェーハ(non-product wafers :NPW) 使用率	新規に使用する非生産ウェーハの量を同じ期間の生産量で割った値。非生産ウェーハにはテストウェーハ、モニタウェーハ、評価用ウェーハ、ダミーウェーハなどがある。
生産数に対する全非生産ウェーハ使用率	使用するすべての(新品、再生品の合計)非生産ウェーハの量を同じ期間の全生産量(再生ステップにかかわる生産数を含む)で割った値。非生産ウェーハについては上記項目の説明を参照のこと。
生産装置の再利用率	前世代の装置のうち、次世代でも使用可能な生産装置の割合。例えば、前世代の装置のうち、X台が次世代でも使用可能であり、また、次世代で使用する装置が全部でY台であるとすると、再利用率はX/Yで定義される。
物理的に良品が取れないウェーハエッジ幅	製品チップを形成できないウェーハ端からの領域(単位はmm)。ウェーハ両面を含む。
装置立ち上げからフル生産までのリードタイム	装置が設置されてから、所定のスループットで生産できるようになるまでの時間。この値は主にこの値が最も長いリソ装置に適用される。
プロセス装置の稼働率(A80)	プロセス装置(検査装置を除く)の稼働率は100%から(計画ダウンタイム%-準備時間%+非計画ダウンタイム%)を引いた値。計画・非計画ダウンタイムはSEMI E10で定義されている。
検査装置の稼働率(A80)	検査装置の稼働率は100%から(計画ダウンタイム%-準備時間%+非計画ダウンタイム%)を引いた値。計画・非計画ダウンタイムはSEMI E10で定義されている。(注: 原文では「検査装置」でなく「プロセス装置」と書かれていますが誤植と思われる)
装置固有立ち上げ時間の年間短縮率	装置固有の立ち上げ時間の短縮は主にプロセス装置における立ち上げ能力の改善(ソフトウェア・ハードウェアの改善)や品質確認の早期化に依存する。
ウェーハ単位で異なるレシピやパラメータで処理する機能	製造装置にキャリア内の各ウェーハ毎に異なるレシピやパラメータで処理する機能。この機能によりキャリア内のマルチロット化が容易となる。基本的な要求項目として、工場内の各ポイントでまたは装置内部において、ウェーハのトラッキングやモニターおよび制御可能な機能を備えていること。製造装置にとっては、同一キャリア内またはキャリア間で連続的に処理が可能となる「レシピ連続処理」の拡大に寄与できる。
248nm スキャナーの生産能力(週あたりのウェーハ生産数)	248nm スキャナーとして使用した場合の稼働日数当たりの平均良品処理枚数。
193nm スキャナーの生産能力(週あたりのウェーハ生産数)	193nm スキャナーとして使用した場合の稼働日数当たりの平均良品処理枚数。
ウェーハ・マスク表面間の最大許容電界 (V/cm)	使用キャリアから抜き取られた時のウェーハ・マスク表面間の許容電界。測定方法はSEMI E78 <sup>3</sup> とE43 <sup>4</sup> を参照。

## 材料搬送システム

効率的で迅速な材料搬送への要求と組み合わされた人間工学と安全からの課題は、300 mm ウェーハ以降の世代の材料搬送システムを明確にするための主要な原動力となる。この自動材料搬送システムは、通常のプロセスフローで使われる全ての製造装置に対して直接的なインタフェースを持ちながら、十分な投資効果(ROI; Return on Investment)を上げなければならない。300 mm 製造装置の装置寸法の増加を見るに伴い、工場のフロアスペースの有効活用は改善されなければならない。製作と据え付け期間を短縮し、さらにプロ

<sup>3</sup> SEMI E78: Electrostatic Compatibility – Guide to Assess and Control Electrostatic Discharge (ESD) and Electrostatic Attraction (ESA) for Equipment.

<sup>4</sup> SEMI E43: Guide for Measuring Static Charge on Objects and Surfaces.

セス装置と検査装置の統合を通じてフロアのスペース効率の改善策が開発されなければならない。

Table 83 は、材料搬送システムに対する需要が増加するにつれ、ベイ間とベイ内に分かれた搬送システムが、それらが統合されたもの(装置間のダイレクト搬送システム)にまとめられていく必要があるという前提に立って作られている。これは、1つのシステムや1つのサプライヤの1つのシステムを意味するのではなく、そのシステムは複数のサプライヤ(最も優れたシステムを持つ)の互換可能なサブシステムから作られることもあり、またストックを経由したロットの送り込みを無しで済ませる性能を有することもある。

このような環境において効率的な生産を行うために、サイクルタイムを短縮させ、製造装置の生産性を向上させ、保管量に関する要求量を減らし、搬送のトータル量を減らすことを目標として、WIP(Work in Process)スケジューリングとディスパッチングシステムを保管及び搬送のシステムと統合する必要がある。ダイレクト搬送の優先は下記のとおりである。

1. スーパーホットロット(< WIP の 1%)と通常ホットロット(約 WIP の 5%)
2. ボトルネック装置について常時稼働状態にすることを保証する。
3. 重要な検査工程、センドアヘッドウェハ、その他タイミングのあったロットのために、ダイレクトの装置間搬送を活用する。現在開発中であり、品質検査と試験生産が 2004-2006 の早い時期に行われることが期待される。

WIP を搬送するため 300 mm 工場における装置間のダイレクト搬送システムの実現を進めると同時に、多品種を大量に作るような IC メーカーでは、レチクル SMIF (Standard Mechanical Interface) ポッドに入ったレチクルの自動搬送が必要とされる。WIP とレチクルの自動材料搬送システムは、それらが同様の性能特質を有することを実証する必要性が期待されている。IC メーカーはレチクルストックに関して異なる保管方法を選択するかもしれない。ストック内でレチクルのみを保管する場合とレチクル SMIF ポッドの形で保管する場合がある。レチクル搬送システムの解決策候補は、リソ装置の設置面積、稼働率、据付け、さらに解体に対して悪い影響を与えてはならない。IC メーカーによる自動レチクル搬送システムの採用は、その工場に適用されるビジネスモデルに依存する。

次の 4 年間を通じて材料搬送装置とその構成機器の故障を約半分まで減らし、その故障に対する復旧時間も同様に減らさなければならない。スループットの向上も搬送時間の短縮とともに十分に達成されなければならない。その上、材料搬送システムは、工場における多世代活用性や汎用性に対する要求に答えられるように設計される必要がある。

次世代ウェーハ口径(450mm)移行の最初の議論が開始され、キャリア容量に関する最初のコンセプトには、次の 2、3 年間を経て研究され、2012 年までに可能なものとして開発、評価される AMHS 上での幾つかの実装形態がある。5 倍の搬送量(MPH)の増加と、5 倍の信頼性の向上に対応できるよう AMHS においてチャレンジがある。ロットサイズと搬送量の増加のトレードオフは評価される必要がある。AMHS の設計には、装置近傍のウェーハ搬送と保管装置が AMHS (EFEM) の範囲にあるかどうかの研究に立ち戻ることが必要になる。

*(材料搬送解決策候補表にリンク) (詳細は材料搬送技術要求と解決策候補の補足ファイル参照のこと)。*

Table 88a Material Handling Systems Technology Requirements—Near-term Years

Year of Production	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DRAM ½ Pitch (nm)(contacted)	80	70	65	57	50	45	40	35	32
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	300	300	300	300	450	450
Transport E-MTTR (minutes) per SEMI E10	10	9	9	8	8	8	8	8	8
Storage E-MTTR (minutes) per SEMI E10	25	25	20	20	20	20	20	20	20
Transport MMBF	8,000	11,000	15,000	25,000	35,000	35,000	35,000	45,000	45,000
Storage MCBF	25,000	35,000	45,000	55,000	60,000	60,000	60,000	70,000	70,000
<i>Peak system throughput (40K WSPM)</i>									
Interbay transport (moves/hour)	2250	2500	2575	2660	2660	2660	2660	2660	2660
Intrabay transport (moves/hour) — high throughput bay	250	260	270	280	290	300	300	300	300
Transport (moves/hour)—unified system	4240	4740	4900	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Stocker cycle time (seconds) (100 bin capacity)	12	10	10	10	10	10	10	10	10
Average delivery time (minutes)	6	5	5	5	5	5	5	5	5
Peak delivery time (minutes)	12	10	10	10	10	10	10	10	10
Hot lot average delivery time (minutes)	3	2	2	2	2	2	2	2	2
AMHS lead time (weeks)	12	<9	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8
AMHS install time (weeks)	24	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Downtime to extend system capacity when previously planned (minutes)	120	<30	<15	<15	<0	<0	<0	<0	<0
Time required to integrate process tools to AMHS (minutes per LP)	15	12	12	10	10	5	5	5	5

Table 88b Material Handling Systems Technology Requirements—Long-term Years

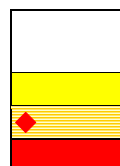
Year of Production	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DRAM ½ Pitch (nm)(contacted)	28	25	22	20	18	16	14
Wafer Diameter (mm)	450	450	450	450	450	450	450
Transport E-MTTR (minutes) per SEMI E10	8	7	7	7	6	6	6
Storage E-MTTR (minutes) per SEMI E10	20	15	15	15	10	10	10
Transport MMBF	45,000	55,000	55,000	55,000	65,000	65,000	65,000
Storage MCBF	70,000	80,000	80,000	80,000	100,000	100,000	100,000
<i>Peak system throughput (40K WSPM)</i>							
Interbay transport (moves/hour)	2660	2660	2660	2660	2660	2660	2660
Intrabay transport (moves/hour) — high throughput bay	300	300	300	300	300	300	300
Transport (moves/hour)—unified system	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Stocker cycle time (seconds) (100 bin capacity)	10	10	10	10	10	10	10
Average delivery time (minutes)	5	5	5	5	5	5	5
Peak delivery time (minutes)	10	10	10	10	10	10	10
Hot lot average delivery time (minutes)	2	2	2	2	2	2	2
AMHS lead time (weeks)	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8
AMHS install time (weeks)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Downtime to extend system capacity when previously planned (minutes)	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
Time required to integrate process tools to AMHS (minutes per LP)	5	5	5	5	5	5	5

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known



## 材料搬送システム要求の項目説明

項目	説明
搬送 E-MTTR(SEMI E10 による最小値)	装置関連 (AMHS 搬送) の故障を修理するための平均時間; 装置関連の故障を修正しそれが元の機能を果たすことができる状態に装置を復帰させるための平均時間; 指定された期間 (装置とプロセス試験時間を含むがメンテナンスの遅れ停止時間を含まない) に負ったすべての装置故障時間の合計時間 (経過時間であり、合計人時ではない) をその期間内に起こった装置関連の故障の回数で割ったもの。 注) 非計画でサプライヤ依存の故障と考えられる。ベイ間とベイ内搬送システムを含む。構成機器のオフライン修理は、この時間には含まない。組み込みソフトウェアの制御システム (搬送コントローラ) は含む。保管のための AMHS 装置や保管装置によって引き起こされたエラーは含まない。ロードポート、FOUP キャリアや MES レベルのソフトウェアの問題は含まない。レチクルシステムは含まない。
保管 E-MTTR (E10 による最小値)	装置関連 (AMHS 保管) の故障を修理するための平均時間; 装置関連の故障を修正しそれが元の機能を果たすことができる状態に装置を復帰させるための平均時間; 指定された期間 (装置とプロセス試験時間を含むがメンテナンスの遅れ停止時間を含まない) に負ったすべての装置故障時間の合計時間 (経過時間であり、合計人時ではない) をその期間内に起こった装置関連の故障の回数で割ったもの。 注) 非計画でサプライヤ依存の故障と考えられる。保管装置のロードポートと組み込みソフトウェアを含む。ベイ間、ベイ内搬送、またはこれらエラーによって引き起こされた事故は含まない。FOUP キャリアまたは MES レベルのソフトウェアの問題は含まない。レチクルシステムは含まない。
搬送 MMBF (故障間の平均搬送回数)	人が故障を直すために介入するまでの AMHS のベイ間とベイ内搬送装置によって行われた平均サイクル回数 (A ポイントから B ポイントへの搬送)。搬送回数 / サプライヤ依存の非計画故障回数。搬送回数の詳細については本表の搬送 (回数/時間) の定義を参照のこと。
保管 MCBF (故障間の平均サイクル)	人が故障を直すために介入するまでの AMHS の保管装置によって行われる平均サイクル回数 (A ポイントから B ポイントへの搬送)。ストックサイクル回数 / サプライヤ依存の非計画故障回数。搬送回数の詳細についてはストックサイクルの詳細については本表のストックサイクルタイムの定義を参照のこと。
ベイ間搬送 (回数/時間)	ベイ間搬送システムによって行われる時間あたりの搬送回数である。ベイ間搬送の 1 回の搬送は、あるストックでのあるベイ間ピークルへの積み込みから搬送先ストックでの同一ピークルからの積み降ろしまでのキャリア搬送として定義される。搬送回数は、ホストである材料制御システム (MCS) によってカウントされる。
ベイ内搬送 (回数/時間)	ベイ内搬送システムによって行われる時間あたりの搬送回数である。ベイ内搬送の 1 回の搬送は、ロードポート間 (ストックのロードポートと製造装置のロードポートの間、2 つの製造装置のロードポート間) のキャリア搬送として定義される。搬送回数は、ホストである材料制御システム (MCS) によってカウントされる。
統合システムにおけるダイレクト搬送 (回数/時間)	1 回の搬送とは、2 つのロードポート (ストック、プロセス装置、または搬送システム間の搬送ポイント) 間のキャリア搬送として定義される。 注) 搬送元から搬送先ロードポートへのストックロボットの搬送は同時に起こるとは想定しないし、システムスループットの搬送回数にも含まない。搬送回数は、ホストである材料制御システム (MCS) によってカウントされる。
ストックサイクルタイム (100 個容量)	ストックサイクルタイムは、ホストである MCS が搬送命令を発生してからストックが完了報告をホストに対して行うまでの時間として定義される。物理的な動作は、ポートまたは保管場所へのストック内部ロボットの回送、キャリアの積み込み、それをもう一つのロードポートまたは同じストック内の保管場所への搬送から成る。ストックサイクルタイムは、所定の期間を通じた幾つかの異なるタイプの搬送の平均として決定される。この搬送は、すべてのロードポートとすべての棚の場所を含む。各搬送は、異なるキャリアの間で交互に行われる必要がある。MCS の最大通信時間は 1 秒として想定される。
平均搬送時間 (分)	MES からのキャリア搬送に対する要求を受けてキャリアが搬送先の装置のロードポートに到着するまでの時間である。
ピーク搬送時間 (分)	ピーク搬送時間は、平均搬送時間に 2 倍の標準偏差を足したものとして定義されるピーク搬送性能と考えられる。
ホットロットの平均搬送時間 (分)	平均搬送時間の定義を参照のこと。ホットロットに関する更に詳細は工場運用のセクションを参照のこと。
AMHS 製作期間 (週)	材料搬送システムに関して発注が発令してから最初の積み渡しがサプライヤドックで行われるまでの週単位の経過時間である。発注命令が出された時に装置構成は決定されていることを前提とする。この製作時間は、サプライヤの需要量に影響されるべきでない。



AMHS 据付期間(週)	材料搬送システムの最初の構成機器がサプライヤドックから搬入された時から最後の構成機器が据え付けられ、立上げられ、フル性能を満足するかどうかのテストが完了するまでの週単位の経過時間である。新しい工場で材料搬送システムの据付に対して阻害のないことを前提としている。ファシリティ、MCS、装置の遅れはないものとする。約 200m×80m で 15-20 の短いベイから成る 20K WSPM の工場の大きさに基づくものである。レチクルシステムは含まない。
事前に計画された場合のシステムの拡張に必要な停止時間(分)	オリジナルの設計の中に事前に盛り込まれている場合において、システム軌道の延長に対する接続や新しいストックの設置に要求される分を単位とする材料搬送システムの停止時間に関する材料搬送への影響である。
製造装置を AMHS に統合するために必要な時間(分/LP)	製造装置を AMHS に統合するための搬送システムの停止時間。装置の周りにはバイパスユニットはなく、既にビークルの往来のある軌道において追加装置が現れる。装置は正しく設置され、物理的な装置の搬入は AMHS には何の影響も与えないものと想定する。システムは、装置サイドの PIO の設置において停止はしない。この時間は、軌道におけるハードウェアの設置、LP のティーチング、ソフトウェアの更新、搬送テストを含んでいる。その範囲の終端は、すべてのビークルが新しい LP に対して搬送が可能となった時である。

## 工場情報制御システム

工場情報制御システム(FICS; Factory Information and Control System)の範囲は、コンピュータハードウェアとソフトウェア、製造実行と決定支援システム、工場スケジューリング、装置と搬送システムの制御およびプロセス制御を含んでいる。FICS アプリケーションは、工場運用、製造装置と搬送システムを含むいくつかの機能分野において技術要求を満たす解決策候補を見出すのに不可欠である。

製造装置と工場運用は、装置性能改善を実現するために、FICS アプリケーションに強く依存している。FICS アプリケーションは、装置利用率、稼働率、ランレートを、正確に、探知しなければならない。深査した報告により、工場は、いち早く、性能ロスの回避や改良の好機を特定できるようになる。ボトルネック装置の平均故障間隔時間(MTBF; Mean Time between Failures)や平均復旧時間(MTTR; Mean Time to Repair)を改善するためには、装置状態のアクティブなモニタリングが要求される。装置エンジニアリング・システムでの E-diagnostic および E-manufacturing 能力に対するアプリケーションが、今まで以上のデータ収集と分析、装置状態のモニタリング、リモート診断機能、突発の修理や装置復旧時間を最小にするため装置メーカーによる装置信頼性改善と将来の故障予知を可能にし、MTTR と MTBF を改善していく。

材料が処理可能となっている時には、工場は製造装置の待ち時間を低減しなければならない。FICS アプリケーションは、工場スケジューラ/ディスパッチャおよび自動搬送システムと一緒に、装置トラッキングを有する生産実行システム(MES; manufacturing execution system)の統合化を支援しなければならない。これらの異なるシステムの統合化が、装置の待ち時間を最小にして、適時な材料出荷を保証するために、1 つの装置で次に、何の材料が、処理されるか決めるために要求される。処理状態、ロードポートの空き状態、予防保全(PM; Predicted Maintenance)、スケジューリング、工期見込みなど、装置から情報を集める必要がある。そして、次に処理される材料を示す、動的なディスパッチリストと比較される必要がある。装置へ材料の次のセットが、正確に、いつディスパッチするのか、AMHS キューイングが決定したように、現状の材料の所在に基づいて、見積られた走行時間に対しても、評価されなければならない。歩留り管理システムを備えた更なる統合化では、歩留りを最大にする装置へ、材料を提供する最適経路を指示することが可能になる。E-diagnostic および PM システムを備えた統合化は、装置使用トレンドに基づいた予防保全を可能にする。工場システムによるインテリジェントな分析は、PM の実施が、装置状態および工場生産高の両方へのどのようなインパクトがあるのか、予測することにより、未来に予定されたか、プッシュされ、より早く終わることができるか、どうかについて、自動的に意志決定できるようになる。

工場運用面から特に、優先ロットのサイクルタイム削減要求から AMHS への追加の技術要求と解決策候補が生まれている。その中には、統合配送、ストックへ返すこと無しに直接装置に材料を運ぶダイレクト搬送が含



まれる。このような製造技術の転換は、必要な時期に適切な材料が手に入ることを保証するため、優先ロットとチャンバレベルの詳細な装置状態の情報とスケジューラ、ディスパッチャ、搬送システムを統合することを要求している。将来の工場システムは、ダイナミックに現状の材料の所在を知り、かつ材料が正しい製造装置に的確に送られることを保証する能力を含んだ、場所を取らない AMHS に基づいた保管システムを支援しなければならない。

歩留り改善は、さらに FICS に強く依存する。FICS の解決策候補は、データ取得と、プロセスの逸脱を防ぐ advanced process control system と、相互作用し、歩留りを改善し、非製品処理を削減し、再加工により発生したサイクルタイムを縮小して、装置較正および保守の低減を提供する。FICS の解決策候補は、故障検知および分類(FDC; fault detection and classification)、ロットやウェーハレベルの run-to-run control と、統合計測能力を含んでいる装置エンジニアリング・システム(EES; equipment engineering system) を含有している。プロセスコントロールは、プロセス実行から実行までの間やプロセス実行中に、それぞれのウェーハを異なるプロセス・パラメータで実行する能力を支援することができなければならない。それらは、他のプロセス制御や工場システムソフトウェアとデータを交換する頑健な方法でなければならない。プロセスコントロールシステムでは、これらのアプリケーションが要求性能を支援するのに、信頼でき、計量可能であることが必要とされる。

コストとサイクルタイムの低減を実現するために、「エンジニアリング・チェーン」のコンセプトは設計から最終製品まで、正確で、柔軟で、迅速なデータ交換を進めることである。設計、マスク加工、ウェーハ加工および最終加工を含むエンジニアリング・チェーン・パートナーを統合するための共通のデータモデルは、最適な生産効果に必要とされる必須情報へのアクセシビリティを円滑にしている。マスクコストおよびサイクルタイムの増大に対応して、エンジニアリング・チェーン 解決策候補はマスク運用に当初、焦点を合わせた。ウェーハ・リソグラフィ・プロセス・マージンが低下することで、必要とされた、強引な光学的近接補正(OPC; optical proximity correction)は、データ爆発的增加やマスク生産サイクルタイムの増大を引き起こしている。また、それはマスク生産歩留りの低下により、過度に狭められたマスク許容差によって、更に悪化している。OPC とデータ準備のための時間と同様にテープアウト・データを送り、ロードする時間も、各世代につれて著しく増加する。FICS ソリューションは、将来の世代のデザイン中で、増大して行く複雑さに対応して、2004 年から、これらのオペレーションのための安定したサイクルタイムを保全するために要求される。ウェーハ製造歩留りを維持しながら、OPC とマスクの許容差を最適化することは、マスク製作者に対し、コンテキストに応じたマスク許容度を、設計者に効率的に連絡することを要求している。また、設計技術者に、マスクとウェーハのリソグラフィ・プロセス能力に関する正確な情報の適時の交換も要求している。既存の多種類専用のデータフォーマットは、一直線とならなければならないデータの流れに対して、設計の意図や下流の生産能力を不明瞭にしている。生産目標を明瞭にするため、装置およびプロセスを特徴づける本質的なデータおよびフィードバック・メカニズムが明確にされなければならない。既存の粉々となったデータの流れは、データの爆発的增加やマスク書込みツール速度の減少の2つの主なマスク工期・コスト増大要因のうちの一因となって、オリジナル設計データ中の上下関係を台無しにしている。今後の設計およびリソグラフィ手段を支援するマスク・データフォーマットは、データフローを効率的にする。エラー発生時の経費の公正な分担や製作性のための設計を支援するために、エンジニアリング・チェーンに沿った要求を有効に連絡するための情報モデルのような研究が、FICS 解決策候補上で必要である。データがエンジニアリング・チェーンの全体にわたってよりアクセス可能になるに従って、FICS はさらにセキュリティ上の問題を扱わなければならない。

これらの目標を成し遂げるには、業界のインタフェース標準への適合が要求される。装置固有そして / あるいは製造固有に定義された専用インタフェースは受容できない。IC メーカーと FICS サプライヤ双方の実装時間とコスト増大に繋がる個別策を避けるため、オープンで標準化されたインタフェースが要求されている。Agile manufacturing とプロセス制御先導を支援する新しい標準が、要求される。これらの新規標準を開発する時間は、IC メーカーと FICS サプライヤの協力により短縮されなければならない。標準ベースの FICS アプリケーションが工場要求に合わせて入手できるよう、新規標準の開発と標準化された FICS の開発を並行して進めることにより、FICS の標準への適合リードタイムを短縮することが必要である。ITRS 参画企業と大学のグループが、工

場規模のアプリケーションと制御システムアプリケーションを開発・統合する時期を決定するための調査研究を行い、改良点追加の機会を見極める必要がある。最終的には、標準に準拠したアプリケーションが市場に供給される時間を短縮することにより、統合のための時間とコストが低減され、IC メーカーとサプライヤは個別の統合対応にではなく、能力改善に集中することができる。また、新しいアプリケーションを既存の工場に統合する際のリスクも減少される。

工場プロセスと技術がアップグレードされる際に、非常に高いレベルでソフトウェアが再利用できるようにするため、ソフトウェアの汎用性と多世代活用性が要求される。半導体製造メーカーが新しい技術、プロセス、あるいは製品を開発するか、もしくは新しい装置あるいは工場を導入する時、工場情報制御システムを再利用できることが望ましい。再利用性の目標が、新規サプライヤ、新しい考え、システム、あるいは技術の採用に妨げとならないようにしなければならない。この目標は、1 つのテクノロジー世代から次の世代までのソフトウェアシステムのモジュール性と拡張性を保証し、新規アプリケーション導入の際に生じるリスクとコストを減らすことを意図したものである。

増大した複雑さによる困難な技術課題は、製造装置と AMHS によるデータ増大を招く。製造装置は、欠陥検出のために必要とされるセンサデータ、APC データ、装置パフォーマンスデータ、そして 300 mm の処理に必要とされるウェーハレベル情報など、多量のデータを提供することになる。工場情報制御システムは、この増加したデータの収集および蓄積 / 検索の処理ために拡大可能なものでなければならない。さらに、FICS は大規模なデータをフィルタリングして、工場運用あるいはビジネスレベルでの意思決定に必要とされる特定の情報セットを識別する能力を支援しなくてはならない。ビジネスレベルソフトウェアシステムと FICS アプリケーションを統合することで、サプライマネージメントのための正確な工場フロアデータと改善された製品のトラッキングが提供される。解決策候補が、このレベルでの統合を可能にする技術(たとえば XML)の標準化を要求している。

ウイルス、ワームそしてサービスの拒絶のようなサイバー汚染では、そのための停止による工場操業の混乱や製造生産性の減少に対するセキュリティをキーフォーカスエリアにしている。IC メーカーおよび OEM に対するサイバー・セキュリティ・ガイドラインが 2005 年 3 月に ISMI によって発表された。工場停止の脅威に対処するためには、このガイドラインに従うべきである。サイバー・セキュリティがオペレーション環境にタクティカルな救援を提供する一方で、半導体製造装置は、IC メーカー環境の統合化の中で、厳しいセキュリティチャレンジを課せられ続ける。トップの問題は、IC メーカー・ディレクター・サービスで、知的財産(IP)保護、システム保全および統合化を包含している。LDAP(Lightweight Directory Access Protocol)のような業界基準およびおそらく新しい SEMI 標準への役割ベースのセキュリティ、デザインと統合の中で、強化された頑健性およびガイドラインが装置ソフトウェア・サブシステムの再組織のような解決策候補を含んでいる。添付引用を参照のこと。

- ・装置セキュリティ・ガイドライン [www.semiatech.org/docubase/abstracts/4567beng.htm](http://www.semiatech.org/docubase/abstracts/4567beng.htm)
- ・装置のセキュリティの追加適性提案文書

Table 89 に示されるように、工場情報制御システムへの依存が高まることで、システム稼働率が非常に重要になっている。工場に必須なアプリケーションに対する平均故障間隔時間(MTBF)は、6ヶ月から2年に延ばされている。増大した工場の複雑さが、工場情報制御システムの統合拡大を生んでいる。このために、ひとつのアプリケーションの故障によって引き起こされる工場全体の操業停止件数を減少させることへ注意が向けられる。さらに、工場に必須なシステムやデータベースのインストールやアップグレードの時間は、工場運用への影響を最小限に押さえるレベルでなければならない。解決策候補には、ダイナミックなアップグレードができるソフトウェアアプリケーションとデータベース、工場システムの状態のモニタや、ロード・バランシングを促すソフトウェアアプリケーション、そしてフェールオーバーに対し、透明性を有したハードウェア・スイッチングを備えた無停止コンピュータシステムなどが挙げられる。

Table 89a Factory Information and Control Systems Technology Requirements—Near-term Years

Year of Production	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DRAM 1/2 Pitch (nm) (contacted)	80	70	65	57	50	45	40	35	32
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	450
Availability of mission critical applications (% per year)	99.98	99.986	99.987	99.99	99.991	99.991	99.994	99.994	99.994
Downtime of mission critical applications (minutes per year)	105 min	75 min	75 min	68 min	53 min	45 min	30 min	30 min	30 min
Full factory down due to unscheduled FICS downtime (minutes per year)	120 min	60 min	60 min	60 min	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min
Full factory down due to scheduled FICS downtime (minutes per year)	180 min	180 min	180 min	120 min	120 min	120 min	60 min	60 min	60 min
Mean time to recover for mission critical applications (minutes down per year)	30	15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15
MCS design to support peak number of AMHS transport moves (moves/hr)	12.7	14.2	14.7	15K	15K	15K	12.3K	12.3K	12.7
FICS design to support peak number of AMHS direct transport moves (moves/hr)	1270	1420	1470	1500	1500	1500	N/A	N/A	1270
Time to send and load tape-out data into mask shop data system (hours)	6-12	6-12	6-12	6-12	6-12	6-12	6-12	6-12	6-12
Time for OPC calculations and data preparation for mask writer (days)	4-8	4-8	4-8	4-8	4-8	4-8	4-8	4-8	4-8
Time for OPC calculations only (days)	3-6	3-6	3-6	3-6	3-6	3-6	3-6	3-6	3-6
% Factory information and control systems reusable for next generation	>93%	>93%	>93%	>93%	>93%	>93%	>93%	>93%	>93%
Wafer-level recipe/parameter adjustment	Partial	Partial	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Within-wafer recipe/parameter adjustment	Partial	Partial	Partial	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

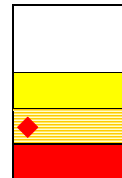


Table 89b Factory Information and Control Systems Technology Requirements—Long-term Years

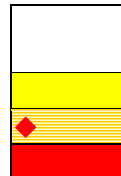
Year of Production	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	28	25	22	20	18	16	14
Wafer Diameter (mm)	450	450	450	450	450	450	450
Availability of mission critical applications (% per year)	99,999	99,999	99,999	99,999	99,999	99,999	99,999
Downtime of mission critical applications (minutes per year)	8 min	8 min	8 min	4 min	4 min	4 min	4 min
Full factory down due to unscheduled FICS downtime (minutes per year)	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min
Full factory down due to scheduled FICS downtime (minutes per year)	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min
Mean time to recover for mission critical applications (minutes down per year)	5	5	5	2	2	2	2
MCS design to support peak number of AMHS transport moves (moves/hr)	14.2	14.2	14.7	15K	15K	15K	15K
FICS design to support peak number of AMHS direct transport moves (moves/hr)	1420	1420	1470	1500	1500	1500	1500
Time to send and load tape-out data into mask shop data system (hours)	6–12	6–12	6–12	6–12	6–12	6–12	6–12
Time for OPC calculations and data preparation for mask writer (days)	4–8	4–8	4–8	4–8	4–8	4–8	4–8
Time for OPC calculations only (days)	3–6	3–6	3–6	3–6	3–6	3–6	3–6
% Factory information and control systems reusable for next generation	>93%	>93%	>93%	>93%	>93%	>93%	>93%
Wafer-level recipe/parameter adjustment	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Within-wafer recipe/parameter adjustment	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known



## 工場情報制御システムの技術要求の項目説明

項目	説明
必須アプリケーションの稼働率 (%/年間) 必須アプリケーションの停止時間 (分/年間)	稼働率(A)は 100% - (計画ダウンタイム%+計画外ダウンタイム%)。計画ダウンタイムと計画外ダウンタイムは SEMI E10 にて定義。
工場全体ダウン回数(年間)	必須アプリケーションの停止による必須システムに対する年間の総工場ダウン発生件数。必須アプリケーションは、ウェーハ工場運転全体を維持するために必要なもの。工場構成に依存して、これらは、MES、スケジューラ/ディスパッチャ、MCS、セルコントローラ、SPC、レティクルシステム、ファシリティ制御システムなどである。
必須アプリケーションの平均復旧時間(分)	必須アプリケーションの計画外ダウンタイムに引き続く平均復旧時間(上記の MTBF での故障毎)。工場情報制御システム内の必須アプリケーションとは、ウェーハ工場全体を稼働させ続けるのに必要なアプリケーションをいう。平均復旧時間は、分単位で発生ごとに測定される。
全工場システムの稼働率 (%/年間) 計画外 FICS ダウンによる工場停止(分/年間) 計画 FICS ダウンによる工場停止(分/年間)	稼働率(Ai)は 100% - 必須工場情報制御システムそれぞれの(計画ダウンタイム%+計画外ダウンタイム%)。計画ダウンタイムと計画外ダウンタイムは SEMI E10 にて定義。 工場の総稼働率= $[A1 \times A2 \times A3 \times A4]$ 。指標値では一つの工場内に4つ以上の必須アプリケーションがあるとしている。
材料コントロールシステム(MCS)によって支援される AMHS 搬送動作のピーク数(動作/時間)	材料コントロールシステム(MCS)によって支援される時間毎の搬送最大動作数。同一搬送システムのピーク時動作数 $\times 1.5$ (工程間/工程内システムへの振り替え) $\times 2$ (FICS に対する安全係数)。
ダイレクト搬送ピーク時動作数(動作/時間)	FICS により支援される時間当りのダイレクト搬送ターゲット動作数。ダイレクト搬送動作は、キャリアが一つの製造装置ロードポートからもう一つの製造装置ロードポートまで、ダイレクトな動作として定義されている。ピーク時の搬送動作数の 10%の前提がダイレクト搬送に要求している。
マスクショップデータシステムにデータ送信とロード・テープアウトする時間(時間)	マスク設計者からマスク・ショップの OPC アプリケーションへデータを送信する時間。
マスクライターに向けた OPC 計算とデータ準備時間(日数) OPC のみの時間(日数)	OPC 計算時間+マスクライターの形式へ OPC エンジンの出力の変換時間+マスクライティングシステムにデータを送信する時間 OPC 計算時間は、単に、一旦、OPC アプリケーションがマスク設計者からテープアウト・データを受信したならば、OPC 計算を行なう数時間となる。
次の世代のために再利用可能な工場情報制御システム(%)	コストで測られるプロセステクノロジー・世代からプロセステクノロジー・世代まで再利用される工場情報制御システム(コンピュータ・ハードウェアとソフトウェア両方)のパーセンテージ。
一処理内のレシピ/パラメータを調整する能力	工場情報制御システムがキャリア内の各ウェーハに対し、異なるレシピおよび/またはパラメータを実行する能力。 これは、1 キャリア当たりの多数ロットを有する能力を促進する。 基本要件は、また、工場あるいは装置内の各ポイントで、ウェーハを追跡し、モニタし、かつコントロールする能力を含んでいる。



## ファシリティ

ファシリティには建物、クリーンルーム、そして半導体製造運用に直結した製造装置やその周辺のインフラシステムまで含まれる。(隣接した統括部門スペースや管理部門エリアは含まない。)製造装置の要求、生産のゴール、経営哲学、環境・安全・健康(ESH)の要求、建築の基準や標準、欠陥低減目標、ウェーハコスト低減目標は、ファシリティやインフラシステムの要求、複雑さやコストに影響を及ぼす。

この産業は、より柔軟性、拡張性、信頼性、俊敏性、投資効率に優れたファシリティを要求し続けているが、製造装置からの要求、ESH 遵守、工場運用の柔軟性は、ファシリティの投資と運用コストを増大させている。工場規模は、製造装置やサポート装置の複雑さ、大きさ、重量の増加を伴いながら、拡大している。

従来と異なる新工程が製造能力の増加以上にクリーンルームの大きさを拡大させている。その結果、工場、製造装置、搬送システムの規模と複雑さの増大から、また同様に建設期間短縮やファシリティコスト抑制のプレッシャから、Table 90a と 90b に記されているように、現状の多くの技術要求を求めている。製造装置の操作、保守、環境要求とファシリティインフラシステムの設計、導入能力のより良い調和は、これらの目標達成や、システム利用効率、ファシリティ投資と運用コストの改善に不可欠である。

ファシリティの複雑さとコストは、ガス / 薬品の種類増加、より厳しい ESH 規制、より厳しい静電気放電(ESD)対策、電磁障害(EMI)対策などによっても増大している。これら全ての阻害要因に適合してゆくには、製造装置メーカーとの早期のコラボレーションが必要であり、これによりメンテナンス、除害、再生 / リサイクルの革新的で、コスト効率的な解が導かれるだろう。ユースポイントで製造装置要求(振動、純度)を満たすやり方は、ファシリティコストの増大やフレキシビリティの犠牲無く将来の要求を満たすコスト効率的なアプローチであろう。例えば、ファシリティの振動要求を抑制し、製造装置メーカーと共同で装置の適正な振動制御を確保することによって、装置位置でのファシリティ振動を調節し、フレキシビリティを犠牲にせずにファシリティコストを低減できる。ガス・薬品純度や集中供給システムの配管仕様を緩和し、特定装置や特定エリアの超高純度要求に特化することは、コスト抑制、フレキシビリティ向上、運用信頼性に有用である。気中分子汚染(AMC)と電磁障害(EMI)の顕在化により、ファシリティ構築材料にも影響する新たな方法や材料を用いた汚染制御が改めて要求されるであろう。ファシリティ運用では、適切な AMC、EMI 対策のために、製造装置メーカーとの調整も必要とするであろう。

製造装置の立上げコストと時間は、ガス、薬品、ユーティリティ接続の増大、ESH 遵守要求、立ち上げの統一性欠如、定常的な設計変更、不正確なドキュメントによって上昇し続けている。新製造装置の設計に早期の段階から配慮し、製造装置接続や構成材を標準化することは、「ファシリティ配慮設計」の基礎を構築することになる。

製造装置の複雑さや運用のフレキシビリティが増加する中、また世界的基準、標準、規制の多様化する中で、起工式から最初の試作ウェーハ完成までの期間を短縮する要求によって、パラダイムシフトが必要になっている。このパラダイムシフトは、IC 製造メーカー、IC 工場の設計 / 建設業者、製造装置メーカー間の完全に一体となった協力プロジェクトを必要としている。そのプロジェクトチームは、小さくとも早期に結成され、プロセスエンジニア、製造エンジニア、ファシリティエンジニア、設計コンサルタント、建設契約業者、販売 / 供給者、プロセス装置製造者を包含しなければならない。建設過剰を緩和し、建築期間を短縮し、ファシリティコストを望ましいゴールに合致させるために、標準化設計概念、標準ファブモデル、オフサイト製造などの手法開発が必要になるであろう。ウェーハサイクル寿命要求をファシリティインフラ能力と整合させる挑戦は、投資コスト抑制とファシリティ構築期間短縮に有用である。

工場運用コストは、ファシリティ減価償却の高騰、ユーティリティ消費増大、労働コスト高騰によって増加を続

けている。給排気の削減や製造装置への供給電圧を高くすることは、建設コスト同様、運用コスト削減になる。ミニエンバイロメントや隔離技術(SMIF,FOUP)の使用によるクリーンルーム清浄度の緩和は、初期投資抑制同様に運用コストを抑制するであろう、しかしながら、クリーンルーム気中粒子清浄度要求は気流を削減することになり、温度、湿度、清浄度、メンテナンスに間する懸念を生じる。クリーンルーム清浄度緩和に伴い、これらの懸念は、製造装置を通して対応されなければならない。例えば、一般のファブ清浄度がISOクラス6になったときに、製造装置メンテナンスからの要求は装置内に構成されるか局所清浄空気をつくる可搬型の換気フードを使用する必要がある。

ファシリティインフラシステムの信頼性は現在、製造をサポートするには十分であるが、この多くの信頼性は高価な冗長性(余剰能力)によって達成されている。改善はなお、個々の電気、機械、制御コンポーネントおよび製造障害抑制システムの設計と運用において必要である。ファシリティ装置メーカーとの協力は冗長性の N+1 原理を緩和し、信頼性を犠牲にすることなくコストに良い影響を与えるであろう。

最後に、製造装置セット(新しい化学やウェーハ環境要求など)あるいはポストCMOS、300mm以降のどのような重大な変化も、現在の300mm技術から正確に予測できない工場の要求、スケジュール、コストにインパクトを持つであろう。(ファシリティポテンシャルソリューション図参照)

ファシリティ技術要求とポテンシャルソリューションの詳細に関しては、FI オンラインの章リンクにアクセスのこと。

Table 90a Facilities Technology Requirements—Near-term Years

Year of Production	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	80	70	65	57	50	45	40	35	32
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	300	300	300	300	450	450
Manufacturing (cleanroom) area/wafer starts per month (m <sup>2</sup> /WSPM) (low mix only)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
SubFab to Fab ratio	1	1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Facility sevice life (in three-year nodes)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Facility cleanliness level (ISO 14644) [1]	Class 6 at rest	Class 6 at rest	Class 6 at rest	Class 6 at rest	Class 6 at rest	Class 6 at rest	Class 6 at rest	Class 7 at rest	Class 7 at rest
Facility cleanliness level (Airborne molecular contamination AMC) – ppt M	Discussed in <a href="#">Yield Enhancement Tables</a>								
Facility critical vibration areas (lithography, metrology, other) (micrometers per second) [2]	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)
Facility non-critical vibration areas (micrometers per second) [2]	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)
Maximum allowable electrostatic field on facility surfaces (V/cm)	90	80	70	63	55	50	44	38	35
Gas, water, chemical purity	Discussed in <a href="#">Yield Enhancement Chapter</a>								
Factory construction time from groundbreaking to first tool move-in (months)	10	9	9	9	8	8	9	9	9
Production equipment install and qualification cost as a % of capital cost	8%	8%	7%	7%	6%	6%	5%	8%	8%
Facility operating cost (including utilities) as a % of total operating cost	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%
Utility cost per total factory operating cost (%)	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Power, water, and chemical consumption	Discussed in <a href="#">ESH Chapter</a>								

Manufacturable solutions are known  
 Interim solutions are known  
 Manufacturable solutions are NOT known

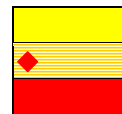


Table 90b Facilities Technology Requirements—Long-term Years

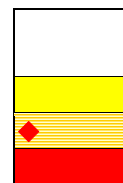
<i>Year of Production</i>	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<i>DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)</i>	28	25	22	20	18	16	14
<i>Wafer Diameter (mm)</i>	450	450	450	450	450	450	450
Manufacturing (cleanroom) area/wafer starts per month (m <sup>2</sup> /WSPM) (low mix only)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
SubFab to Fab ratio	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Facility sevice life (in three-year nodes)	3	3	3	3	3	3	3
Facility cleanliness level (ISO 14644) [1]	Class 7 at rest	Class 7 at rest	Class 7 at rest	Class 7 at rest	Class 7 at rest	Class 8 at rest	Class 8 at rest
<i>Facility cleanliness level (Airborne molecular contamination AMC) – ppt M</i>	<i>Discussed in Yield Enhancement Tables</i>						
Facility critical vibration areas (lithography, metrology, other) (micrometers per second) [2]	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)
Facility non-critical vibration areas (micrometers per second) [2]	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)
Maximum allowable electrostatic field on facility surfaces (V/cm)	31	28	25	22	20	18	15
<i>Gas, water, chemical purity</i>	<i>Discussed in Yield Enhancement Chapter</i>						
Factory construction time from groundbreaking to first tool move-in (months)	9	9	8	8	8	8	8
Production equipment install and qualification cost as a % of capital cost	8%	7%	7%	6%	6%	5%	5%
Facility operating cost (including utilities) as a % of total operating cost	13%	13%	13%	13%	13%	13%	13%
Utility cost per total factory operating cost (%)	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
<i>Power, water, and chemical consumption</i>	<i>Discussed in ESH Chapter</i>						

*Manufacturable solutions exist, and are being optimized*

*Manufacturable solutions are known*

*Interim solutions are known*

*Manufacturable solutions are NOT known*



## ファシリティに対する要求項目の説明

項目	説明
生産(クリーンルーム)面積/ 月間ウェーハ投入枚数 (m <sup>2</sup> /WSPM)	生産領域(クリーンルーム)は、フォトリソグラフ、拡散、エッチ、薄膜、CMP など直接生産プロセスに用いる生産装置や検査装置が設置されるスペースであり、平方メートルで表す。補機類やファシリティインフラシステムが設置されるサブファブ領域は除外される。
月間ウェーハ投入枚数 (WSPM)	月間ウェーハ投入枚数は、30 日間に生産に投入される 300mm 新ウェーハの数として定義される。
サブファブ領域対ファブ領域の比率	ファブ領域に対するサブファブ領域の比は、製造装置補機類設置面積とその上の生産領域のフットプリントの比で定義する。この項目は工場運用の床スペース使用効率に関連する。
ファシリティ寿命(3 年ノード)	ファシリティサービス(システム)寿命は、プロセス要求に適合させるため大改修を行うまでのノード(プロセス世代交代)数で表す。
ファシリティ空気清浄度クラス(ISO 14644)	ウェーハを扱う工場の製造エリア(クリーンルーム)の清浄度を ISO14644-1 により規定する。
クリティカル領域(リソ、計測、他)におけるファシリティの振動 ( $\mu\text{m/s}$ )	振動に対してクリティカル領域とは、装置の重要機能部分が床振動に極めて鋭敏である、装置自体に振動緩和機構が備えられていない、あるいは過剰な振動が生産に重大な支障を引き起こす生産装置のある床領域と定義する。この分類の要求に基づいてファシリティの構造と機械デザインの広範囲な測定が必要である。振動基準は床、その他装置支持物の振動速度の許容限界であり、VC-x で与えられる。ここで x は A から E の文字で指定され、各々振動速度スペクトルに対応する。振動速度の定義、測定法、および信号処理法は IEST-RP-DTE012.1 を参照のこと。
非クリティカル領域におけるファシリティの振動( $\mu\text{m/s}$ )	振動に対して非クリティカル領域とは、全てあるいは大部分の装置が振動にあまり敏感でなく構造システム性能を緩和できる生産領域である。振動基準は、床またはその他装置支持物の振動速度の許容限界であり、VC-x で与えられる。x は A から E の文字で指定され、各々振動速度スペクトルに対応する。振動速度の定義、測定法、および信号処理法は IEST-RP-DTE012.1 を参照。
ファシリティ表面の最大許容電界(V/cm)	ファシリティ表面の最大許容電界は、工場の全ての材料、例えば建設材料、備品、人間、装置やキャリアに適用される。測定法に関しては SEMI スタンドアード E129、E78 および E43 を参照のこと。
基礎工事から最初の装置搬入までの工場建設期間(月)	工場建設期間は、最初の基礎工事から、工場に最初に装置が搬入され、かつフックアップ可能な状態となるまでの月数である。すなわち建物システムの検査が済んで装置類の立ち上げを開始できるまでの期間である。
総投資コストに占める装置導入立ち上げコスト	装置受け入れ、搬入、ファシリティ接続等、装置が製造可能とするために必要となるコスト。装置認定コストを含む。ファシリティコスト、製造装置コストは含まない。
総投資コスト	新規工場を建設するためのすべての人件費、材料費、製造装置費用、ファシリティ投資費用の総額。土地取得費用は除く。
工場全体の運用コストに占めるファシリティ(ユーティリティを含む)運用コスト	ファシリティ運用コストは直接的に生産支援に要する全てのファシリティ費用であり、減価償却、ユーティリティ、労働力、およびメンテナンス費用を含む。
工場全体の運用コストに占めるユーティリティコストの割合	ユーティリティコストは生産に要する電力、水、ガス、および薬品コストと定義され、工場に必要な材料や消耗品を含む。
工場全体の運用コスト	工場全体の運用コストは、減価償却、材料、メンテナンス、および労働力を含む工場運用に必要な年間運用費と定義される。



## 解決策候補

ファクトリーインテグレーションの基本的到達目標は、単位面積あたりの一定コストの維持、立ち上げ機関の削減、技術やビジネスモデルの変化への工場汎用性の拡大である。困難なチャレンジであるところの1)複雑なビジネス要求への回答、2)成長目標の達成、3)工場複雑さの管理、4)工場と装置信頼性、能力または生産性要求への合致、5)柔軟性、伸張性、および拡張性のニーズへの合致、6)65nm および 45nm の量産稼動におけるプロセス要求への合致、7)環境問題に対する世界的な制約の増進、8)既存 CMOS 製造を担う次製品の模索、および 9)工場の枠組みと次のウェーハサイズの出現 は、これらの目標を達成するためである。解決策候補は工場運用、製造装置、搬送システム、工場情報制御システムおよびファシリティで区分される。ウェーハ口径を含むグラフの部分は、特定のウェーハサイズが解決策候補であることに留意されたい。

解決策候補は、研究段階、開発段階、試作段階で示される。その目的は、研究者、サプライヤ、IC メーカーに対して工場内での解決策が必要な時期の指針を提供することにある。いくつかの研究努力は技術必要条件に取り組み、かつこれらの潜在的な解決策を開発するための計画(例:FORCe)が始まっている。単に図表中では、これらの活動が連続的に行われるように示されているが、実際に各活動はオーバーラップしている。

工場運用

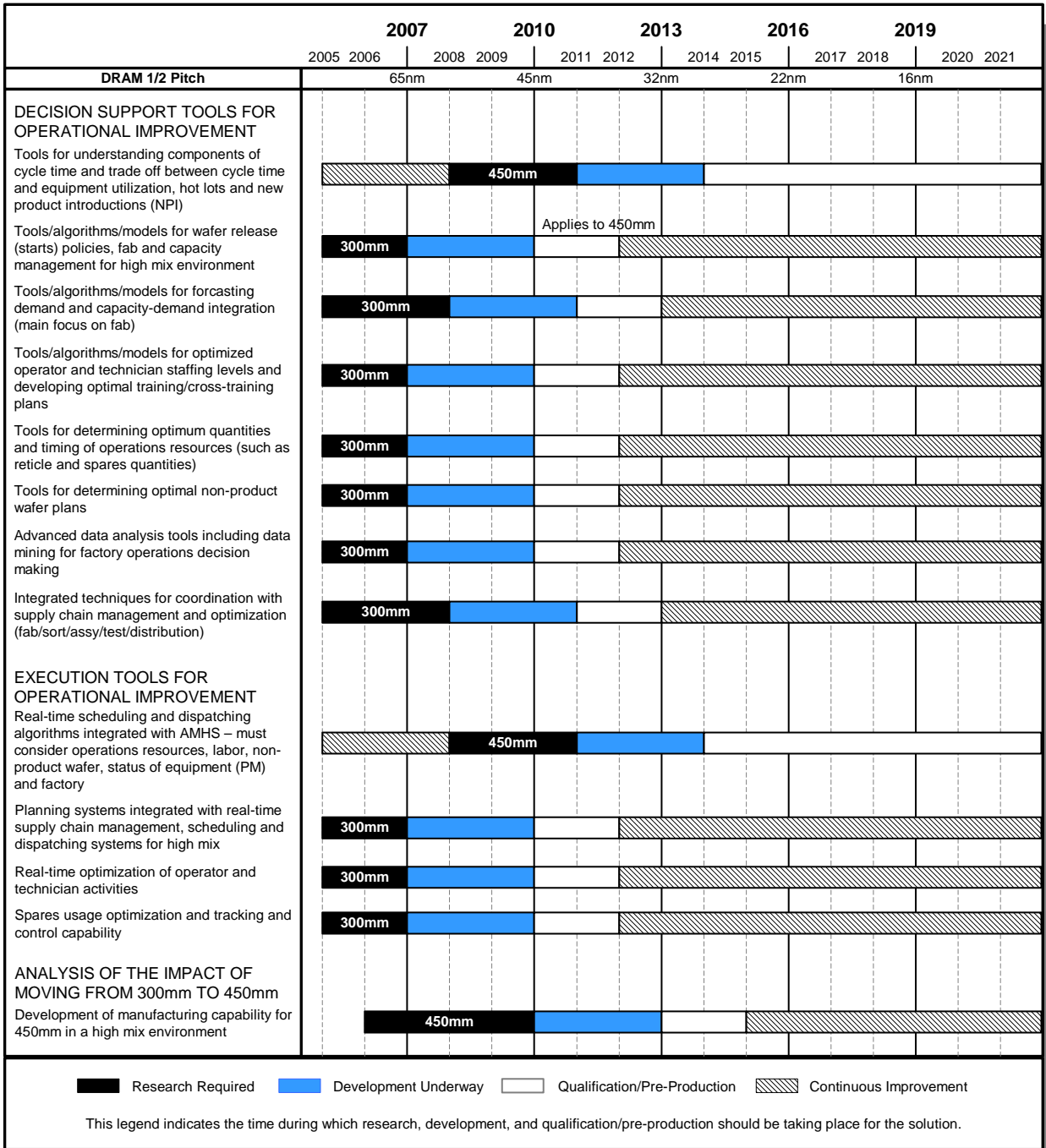


Figure 81 Factory Operations Potential Solutions

製造装置

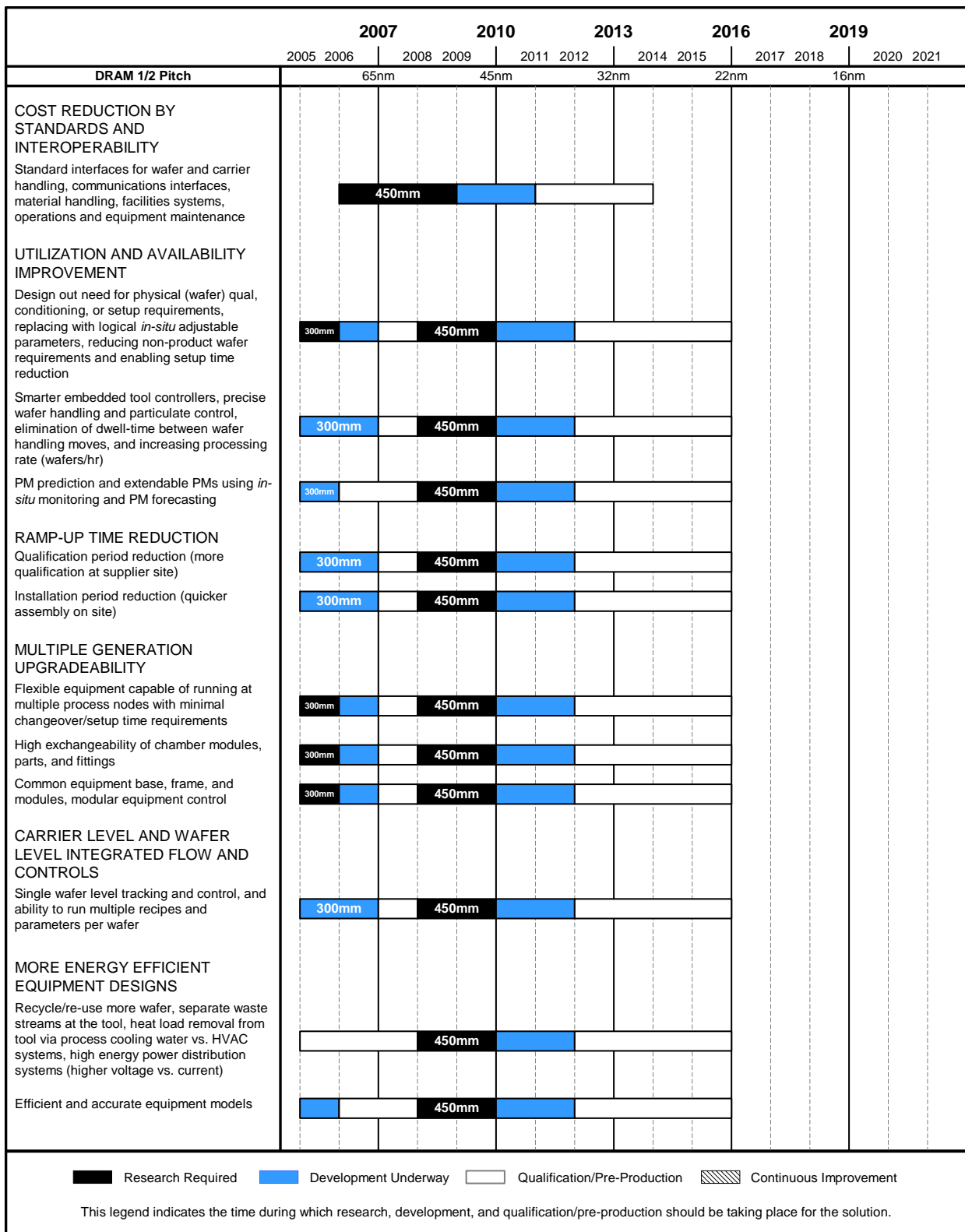


Figure 82 Production Equipment Potential Solutions

材料搬送システム

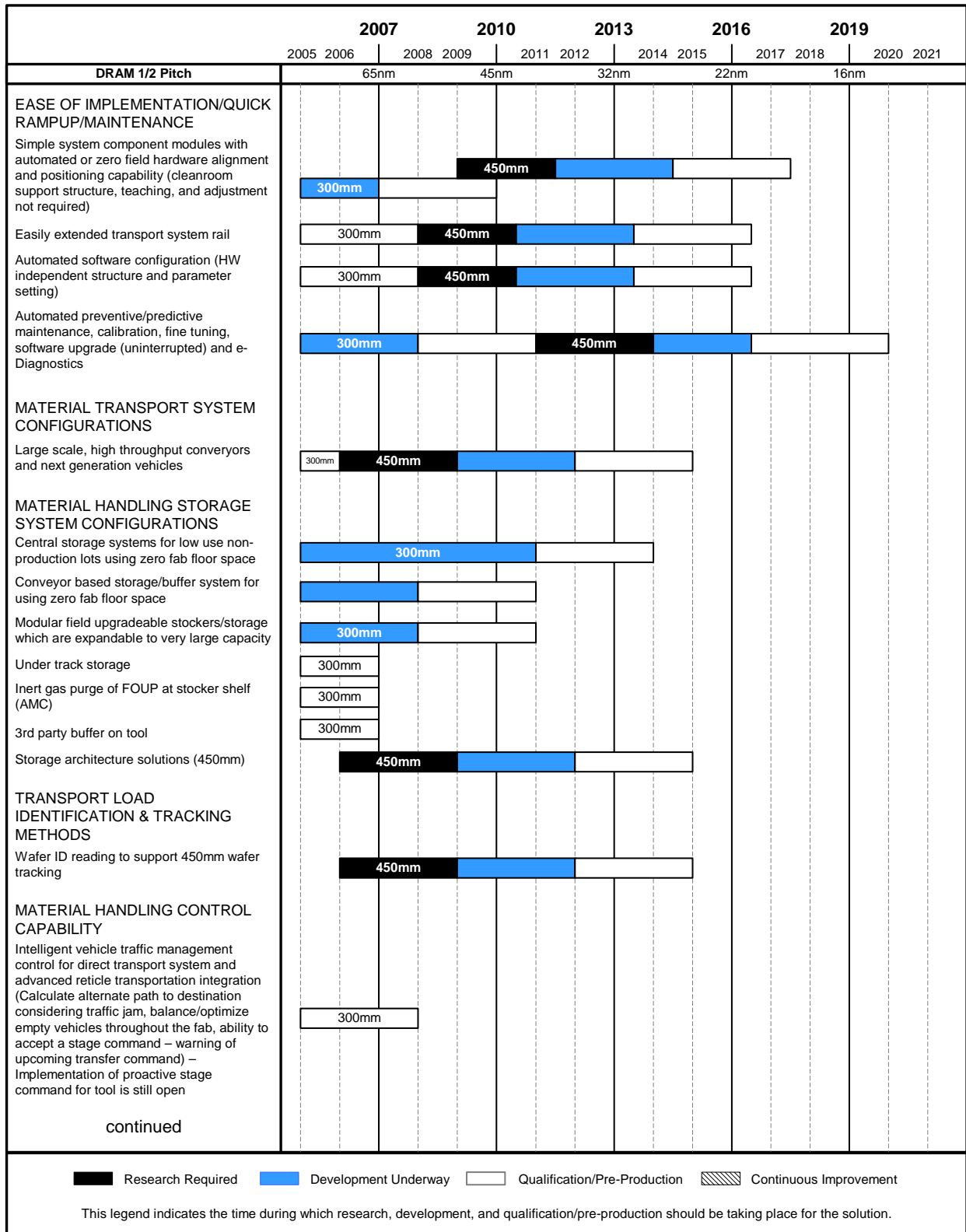


Figure 83 Material Handling Systems Potential Solutions

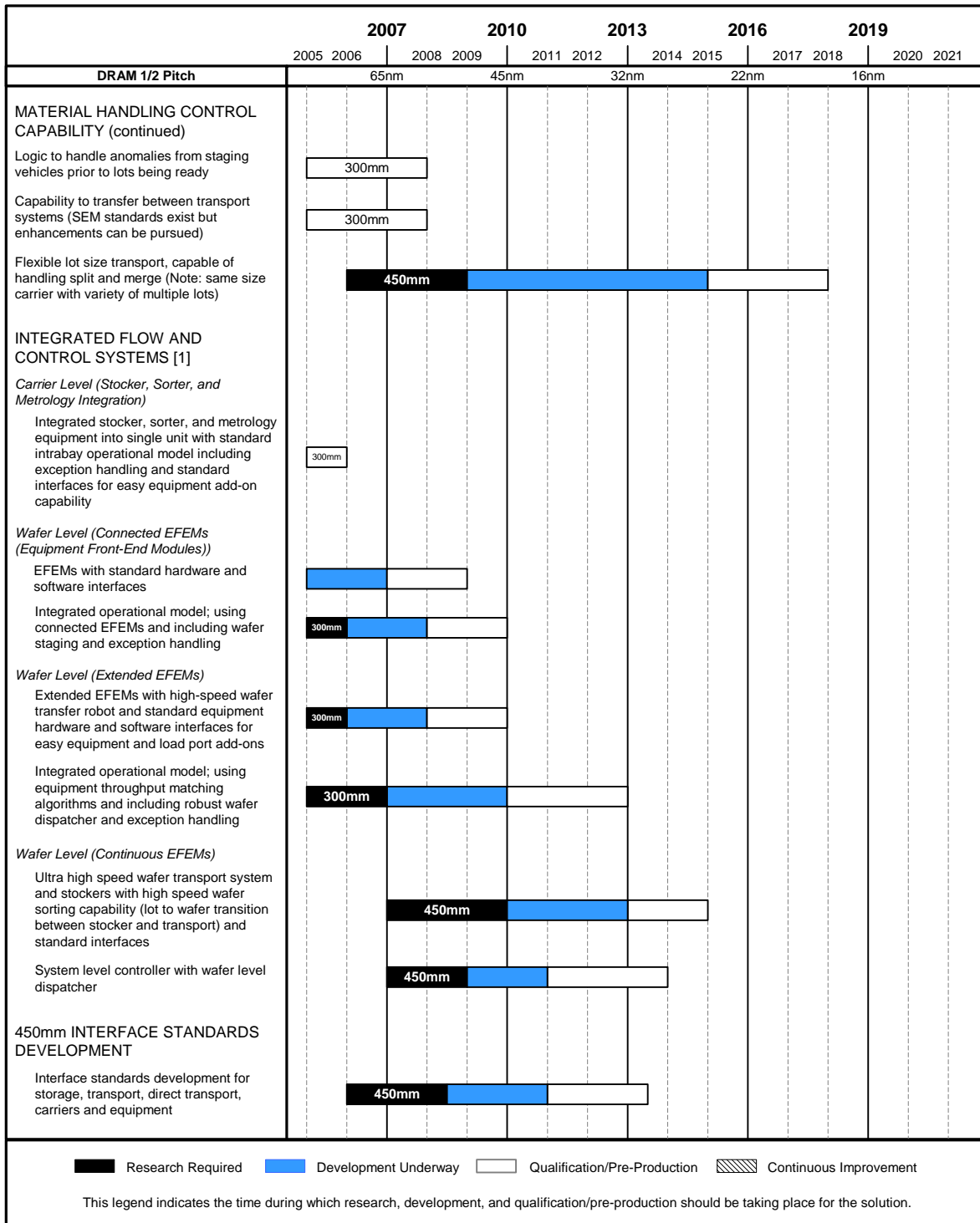


Figure 83 Material Handling Systems Potential Solutions (continued)

工場情報制御システム

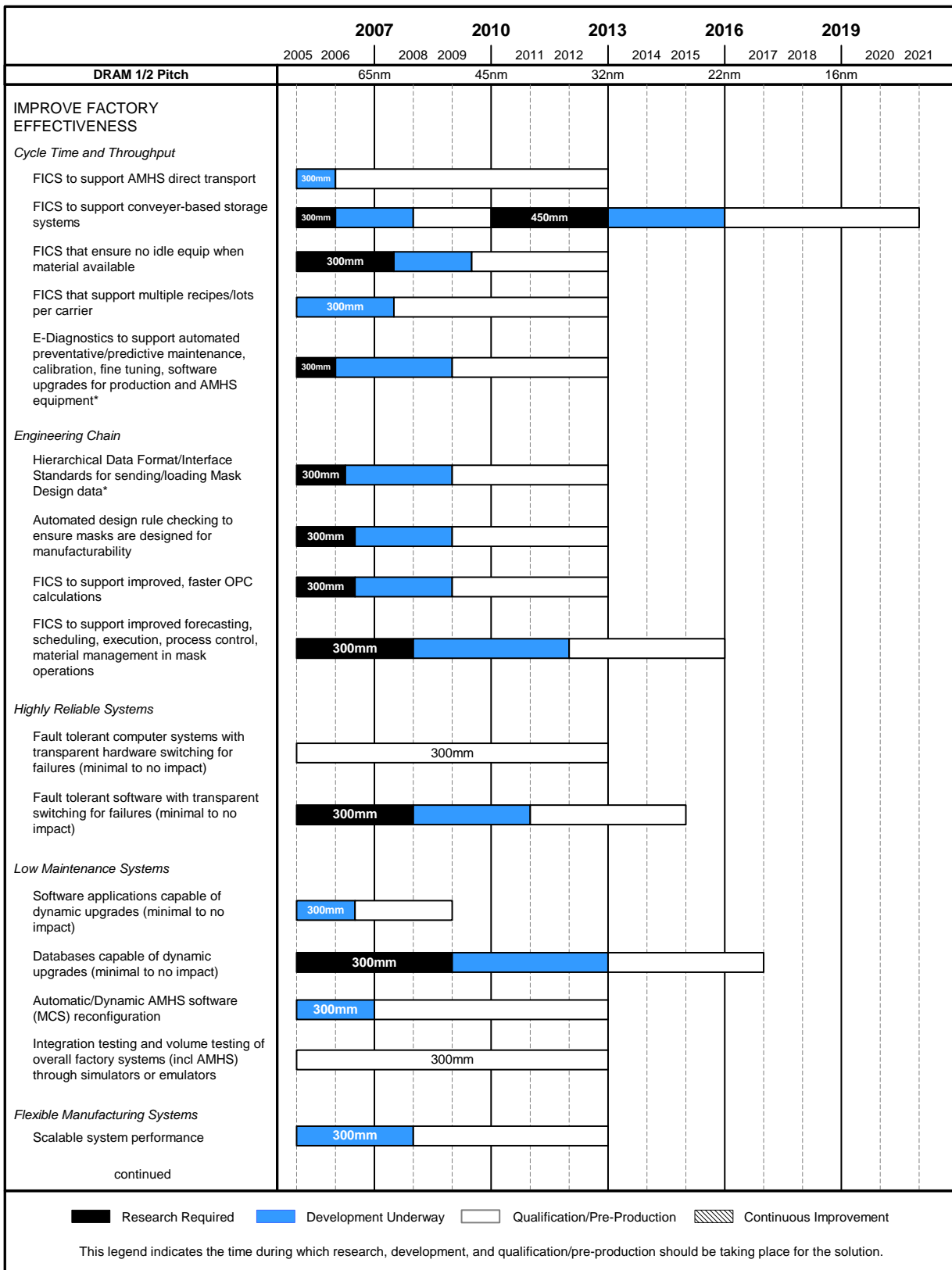


Figure 84 Factory Information and Control Systems Potential Solutions



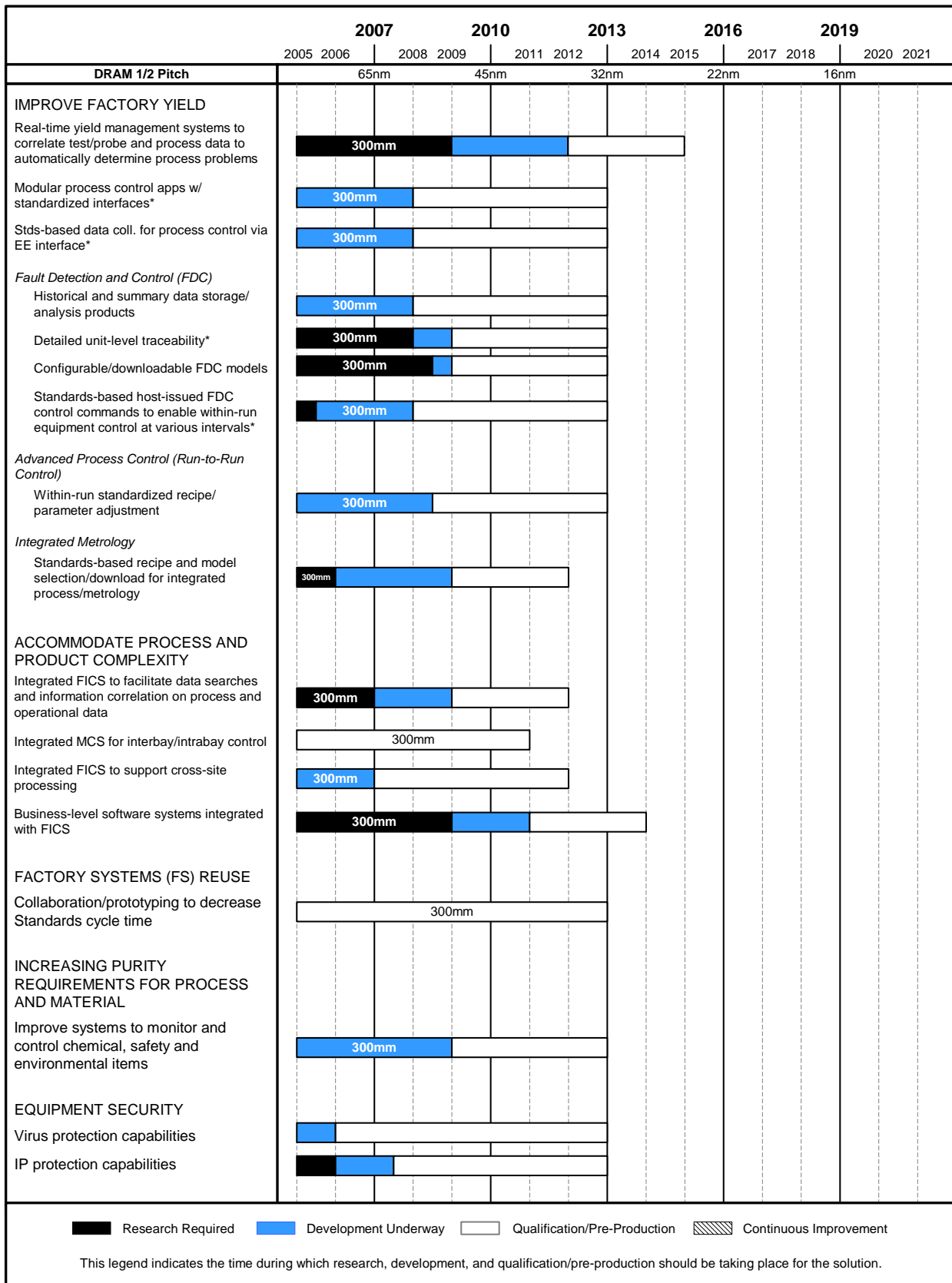


Figure 84 Factory Information and Control Systems Potential Solutions (continued)

ファシリティ

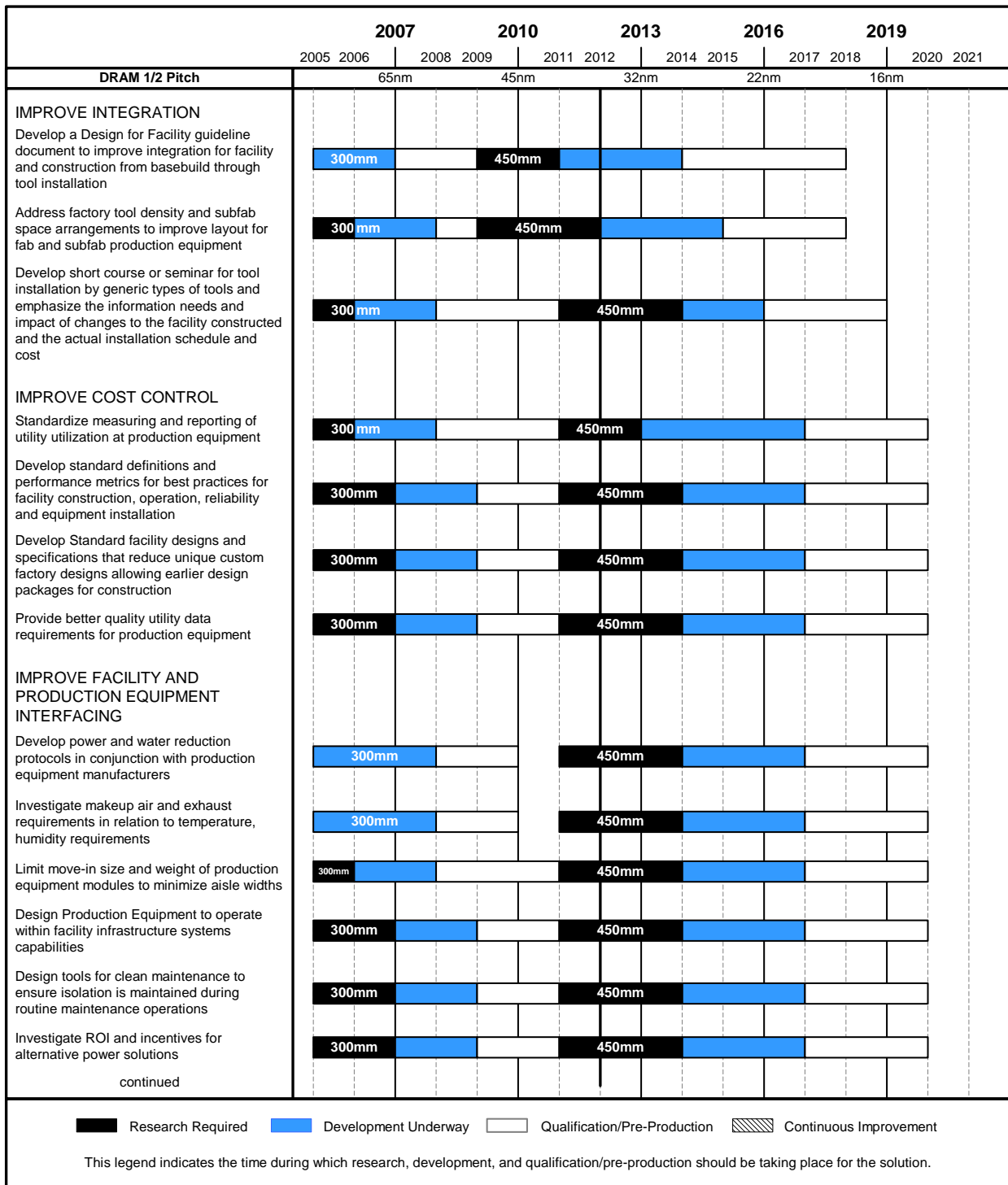


Figure 85 Facilities Potential Solutions

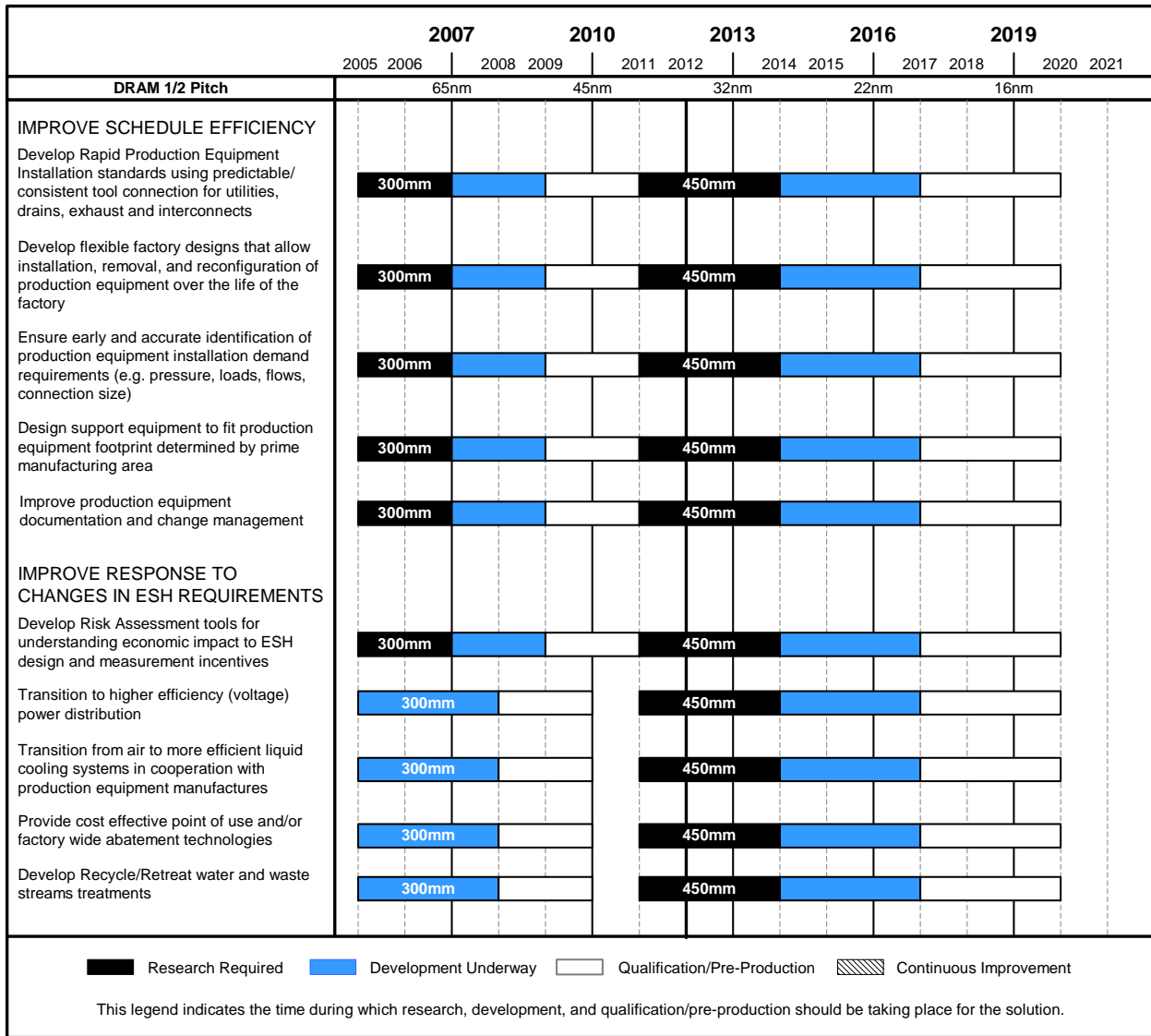


Figure 85 Facilities Potential Solutions (continued)

## クロスカット課題

ファクトリーインテグレーションの要求課題は、デバイス、プロセス、歩留り、計測、ESH、リソグラフィー、他のワーキンググループの要求によって、左右される。クロスカット課題を十分理解するために、2005年度の他のワーキンググループと歩調を合わせて取り組んだキーとなるクロスカットチャレンジと要求を Table 91 にまとめておく。(次世代ウェーハのチャレンジは別表)

Table 91 Crosscut Issues Relating to Factory Integration

Crosscut Area	Factory integration related key challenges
Interconnect	1.5 mm wafer edge exclusion may post challenges (need to justify additional die per wafer from 1.5mm); Overall increasing cost of abatement needs to be addressed. New materials impact.
Front end Process (FEP)	1.5 mm wafer edge exclusion is a challenge to starting material and SOI. FEP to communicate special facility AMC requirements.
Litho	Current focus on Immersion and EUVL (power, consumables); Fast reticle change; vibration specs; reticle storage issues; Need to coordinate YE inputs on water quality (temp and pH); AMC relative to the Reticle (reticle storage and in the litho equipment).
ESH	Ergonomics, Tool design, Chemical consumption concerns; AMC and particulate levels to be maintained; Regulations; ESH chemical abatement analysis needed. As per ESH, the trend is point of use versus central. Global warming ◊ Factories and Power suppliers will be asked to limit CO <sub>2</sub> emissions soon.
Metrology	Need for Integrated Metrology continues? Data standards; AMC relative to the Reticle (reticle storage and in the litho equipment).
Yield Enhancement	YE to maintain AMC technical requirements; traceability issues? No wafer coordinate standards exist today. Not having a data standard is inconvenience only. Need Design to Test coordinate system
Assembly & Packaging	Wafer level packaging issues (will be addressed by A&P and they will let FI know if there is any specific FI needs); Chip level (Dice) traceability.

## 配線

総合的な技術要求を満足するために必要である新規配線材料、層間膜材料が、配線分野には必要である。2005年度、配線グループは、ウェーハエッジエクスクルージョン、気中有機物汚染、次世代ウェーハサイズ(450mm)の点で、ファクトリーインテグレーショングループと共同作業を行っている。ファクトリーインテグレーションにインパクトを与える配線グループの他のチャレンジは、新規材料の導入である。

## フロントエンドプロセス

フロントエンドプロセスのロードマップは、シュリンクの進む MOS トランジスタ、DRAM の記憶容量、フラッシュあるいは強誘電体 RAM デバイス製造に関する要求事項にフォーカスしている。ファクトリーインテグレーションの WG とフロントエンドプロセス WG で共通の重要項目は、エッジエクスクルージョン、時期ウェーハサイズである。1.5mm のウェーハエッジの排除領域はシリコン基板と SOI 基盤にとっても非常に大きなチャレンジである。フロントエンドプロセスは、AMC(気流汚染)についての要求を満たすファシリティについてもファクトリーインテグレーションと共同で取り組む必要がある。

## リソグラフィ

リソグラフィの節は、パターンングの物理限界に対する工学的手法の拡張にかかわる困難性を扱っている。また、まったく新しいポスト工学的技術を工場に実装するための開発要件を検討している。FI分野に関するキーチャレンジは、EUVL のために必要になる電力や水のインフラの確保である。また、リソグラフィ装置にたい

する APC (Advanced Process Control) 技術の改良も大きな課題である。その他の課題としては、振動の低減とレティクルに対する雰囲気汚染がある。

## 環境、安全、健康 (ESH)

ESH は半導体工場の設計および運用において非常に重要な役割を担っている。工場計画当初の段階における意志決定は、厳密な安全および環境に対する要求に経済的に合致する工場を造る上で大変重要なインパクトとなる。安全と環境面に配慮した設計を早期にすることは、高額な再設計および改造を避けながら、ESH からの要求条件に適合した工場を早期に立上げるために、絶対必要である。

装置メーカーは、ユースポイントで除害装置と設備の統合を着々と進めた。しかしながら、その結果、サブ Fab (fabrication; 装置およびファシリティ設備設置場所) での設備設置面積は著しく増大した。従って、早急なチャレンジとして、設置面積全体の増加なしで使用設備をサブ Fab だけでなくサブ Fab と Fab の両方に組み入れる効率的なデザインを見出すことが必要である。

将来の工場における継続的な安全性向上計画を確立しなければならない。自動化された装置に対して起こる危険リスクへの綿密な検討が、作業員および製品のための安全な作業条件を保証する標準の形成を指導する。この標準は、自動化システム、自動化システムがインタフェースをとる装置、およびインタフェースにおいても適用される。

我々の業界は、ますます増加している環境上の制限に直面している。利用可能な給水能力は、すでに工場のおおきさおよび場所に制約を課している。資源消費を最小にし、再利用を最大にする工場の建設が目標である。環境上有害な材料の流出物をゼロに近いレベルに引き下げる必要がある。

省エネルギーは以前よりもさらに重要になってきている。省エネルギー化を妨げる要因は工場規模の大型化である。これによってエネルギー供給側とウェーハ製造工場側双方が解決策候補の策定を迫られている。

ESH プログラムに対する多くの責任を装置メーカーが負う一方で、先進のリソースマネジメントプログラムの適用が大変重要である。業界のために、業界によって確立された訓練計画により、ESH の国際的標準化および設計に関する各プログラムの大幅な改善を可能とすることができる。装置設計、メンテナンス、最終廃出処理における ESH 標準の検討が、ESH 性能ならびにコストに関して多大な改善効果をもたらす。より広範囲に亘る情報と、関連した新しいケミカルスクリーニングツール(化学物質制限表)に関する記述は、*Environment, Safety, and Health chapter* を参照されたい。

## 歩留り管理

優れた歩留り管理戦略を構築することにより諸コストおよび投資リスクを低減することができる。工場歩留りモデルは標準的な運用性能を明確にし、性能・歩留りの悪化要因についてのパレート図を得ることができる。実験的なプロセスパラメータのマッピングおよびプロセス制御戦略に基づいた工場モデルにより、増加しがちであった検査装置およびモニタウェーハの必要性を低減する。生産ラインでの最終検査への依存度を減らすためには、プロセスパラメータのバラツキの許容範囲およびプロセス間の相互干渉度を割り出すことも非常に重要である。また、短時間での工場建設、急速な歩留り向上、高い装置利用率および将来の技術世代に対する多世代活用性を達成するための効率的な工場デザインが問題なくできるように、工場モデルは欠陥低減に関する情報入力に対応できなければならない。

歩留り管理システム(YMS; Yield Management System)は多様なデータソースからの情報にアクセスし、その情報の相関を明らかにできるように開発されなければならない。YMS はブリコンペティティブな標準に基づいたデータフォーマットを用いた複数のサプライヤからの検査装置の環境下で稼動しなくてはならない。YMS のより総合的な議論については歩留り向上の章を参照。



## 計測

計測システムは、処理単位ごとのプロセス制御、歩留り解析、生産中の物流追跡やその他のオフライン解析を容易にするため、工場情報制御システムと完全に統合されなければならない。測定データ源の範囲は主要サプライヤ(マスクやシリコンウェーハ)からウェーハ工程、プローブテスト、組立て、最終テストにまでおよび、事業レベルの情報までその繋がりは及ぶ。装置の生産への適用可能性を認定し、生産開始するまでの時間を最小化するために、この「データから情報」への繋がりは工場運用開始後できる限り早い段階で実現すべきである。総データ量とデータ転送スピードは大口径化とプロセス微細化の進行により飛躍的に増加しつづけていく。このデータ解析には工場中(ウェーハ工程、プローブ検査、等)の様々なデータベースと容易に接続ができ、相関を取れるようなシステムが必要である。300 mm 工場では、欠陥をレビューし分類する検査装置が高効率な工場インタフェースを実現するクラスターツールあるいは統合クラスターツールの中に組み込まれて登場してくるだろう。300 mm のプロセス装置の中には、サイクルタイムやウェーハ間の製造バラツキを低減するために、IM(Integrated Measurement)を有するものもある。統合計測は、ICメーカーの十分な考慮の上で選択され、また装置自身の制御機能と完全に一体化され、且つ装置の占有面積を増加させることなく組み込まれている必要がある。IM に要するコストは工場全体の生産性を向上させるための個々の運用に関する決定事項から得られる利益とうまくバランスが取れるよう注意しなくてはならない。計測についての総合的な記述については、[計測の章](#)を参照されたい。

## アセンブリとパッケージング

パッケージングはシステムコスト及び性能を限定する要素となっている。アセンブリとパッケージングの役割はシステムレベルの統合された機能を含むところまで拡大している。プロセスフローの複雑さおよびフォームファクターの激増は、半導体製造のアセンブリとパッケージ段階において、近年では材料搬送の増大とソフトウェアによる自動化によりコスト高となり、汎用性へのチャレンジが求められている。

材料搬送コストは、装置間の製品および装置内の製品を搬送するために使用されるカート、保管庫、キャリア、トレイなどの補助材料により変動する。その他の材料搬送コストは製品をロードし、搬送するために使用される主要な装置に起因している。

装置自動化のソフトウェアコストは、適切な標準の欠如と既存標準の固守の不足により増大している。従ってカスタムソフトウェアインタフェースの開発が要求される。これらの生産サイクルにわたって装置をトレースする要求が、主要な装置生産性を増大させるデータおよび制御の要望と結び付けられることにより、アセンブリとパッケージエリアのこのソフトウェアオートメーションの需要は急激に増大している。

平均的な売り値の低下、および増大した市場分野を持つ業界のトレンドに合致させるため、材料搬送と装置の通信分野においてコスト低減と汎用性の向上が必要とされる。アセンブリとパッケージ工程のキャリア、メディアおよび装置ハードウェア/ソフトウェアインタフェースの要求の確認と標準化の推進にロードマッププロセスを適用することは、これらのコスト問題の解決策候補となる。このアセンブリとパッケージングに関する記述は、パッケージ技術への特殊な要求を詳述する。

## 静電気と電磁妨害の制御

静電気の帯電は半導体生産のあらゆる局面で悪影響を与え、大別して3つの問題を引き起こす。

1. 静電気引力起因 (ESA; electrostatic attracted) 汚染は異物サイズが小さくなるに伴い増大し、欠陥密度の目標達成をますます難しいものになっている。現在マスクの焦点面に異物を存在させないようにするために用いられているペリクルを、将来使用しないようになると、この静電気引力によるマスクへの異物付着は、一層深刻な問題となるだろう。



2. 静電破壊(ESD; electrostatic discharge)はデバイスやホトマスクにダメージを及ぼす。デバイス寸法の微細化はより小さいエネルギーでデバイスやマスクが静電破壊を引き起こすことを意味している。デバイスの動作速度の増加はチップ上の ESD 保護構造の限界に達し、ESD ダメージへのデバイス感度を増加させる。
3. 装置は ESD に関連した電磁妨害(EMI; electromagnetic interference)によって OEE が低下する。装置内 CPU の動作スピードが向上するに伴い、誤動作の頻度も増加してきている。

これらの3つの問題は材料としてのウェーハやレティクルの生産現場、ウェーハ加工、デバイスがパッケージング・組立て・テストのあらゆる場所で発生する。(ESD 技術要求とポテンシャル技術の詳細に関わる補助的な記述を参照されたい)

静電気制御に加えて、電磁妨害(EMI) (定義に関しては SEMI E33 標準を参照)<sup>5</sup>は設備の停止や不調、センサーの誤検知、測定エラー他などの限定されない半導体製造装置の色々な問題の原因となります。半導体環境のEMI発生源はESDや設備オペレーション特に高エネルギー設備や無線やこれらと同類の設備からの電磁放射などたくさんある。高エネルギー設備、配線、アース問題、不適切な設備の維持などは同じ場所にある敏感な設備のEMI問題を悪化させる。形状が小さくなるにつれて、上で説明した影響は特に意図した機能を実現するためにビームプロセスを利用する測定装置でより著しくなりそうです。従って、プロセス技術が未来まで進歩するとき、EMI現象を理解し、その効果やコスト効果の高い方法でどの様に緩和するかがより重要になります。現在のEMIはエンドユーザーに良く理解されておらず、その結果、問題の誤診やEMIの緩和/制御の誤用を引き起こします。これは未来において電磁関連の障害を予想するための準備をグローバルなレベルで取り組む必要がある。上記の心配に対して言及するために以下のことを提案します：

- ・ 電磁波の傾向を文書化するワーキンググループを技術ロードマップのフォームに作る。
- ・ この領域で EMI 指標の感度をより良くする研究をして下さい。
- ・ 文書としてのユーザーガイドの公表：
  - 使える用語による EMI 理論
  - 明確にした問題の種類と典型的な解決策の EMI の歴史
  - 関連領域のイベント数と EMI 強度の測定を含む実在の用途のための EMI 測定方法
  - これらの方法の監査と査定のための EMI 緩和方法と一般的な工業的経験

ウェーハや材料や設備における EMI の負の影響を制御し減らすために、より包括的な研究や高度な方法や測定ツールが必要です。

## 工場インタフェース標準の必要条件

標準は非競争技術分野に適用され、全ての参加者に利益がもたらされるときに、最も力を発揮する。非競争技術としての標準をうまく開発・導入・テストすることにより、短期間内に工場システムに接続し、低コストでフル生産にもっていきこのことのできる工場を容易に展開することができる。相互に関係し合っただけでなく、特に工場内の異なるシステム間のインタフェースを標準化することによって、急激に増加する工場の複雑さを管理する能力が改善される。

300 mm 工場を目指す IC メーカーや装置メーカー間のグローバルな協力体制により、非競争技術として工場インタフェース標準を定義・導入することができた。これにより、半導体産業は装置開発期間を最小にし、プロセス開発のコスト/リスクを減らす上で莫大な恩恵を得るとともに、工場の複雑さを低減するのに役立った。

図 87 は 300 mm 標準化の開発および展開に対する業界全体での進捗を示している。同時に現在標準がないが必要とされている分野で何をすべきかが特定できる。本図はグローバルな共同作業により最も大きな利益をもたらす工場の 4 つの基本要素、即ち、製造装置、ファシリティシステム、AMHS、工場情報制御システムをカバーしている。

<sup>5</sup> SEMI E33-94 Specification for Semiconductor Manufacturing Facility Electromagnetic Compatibility

## フォーカス領域

2005年、ファクトリインテグレーションの短期、長期に影響を与えるいくつかの主要な技術領域を評価したファクトリインテグレーションは、全てのファクトリインテグレーションの細部を必要とし、(全てのファクトリインテグレーションの細部にも)広く及んでいる。このセクションでは、3つの主要なフォーカス領域に関する詳細を提供する。1) 空気中の分子汚染(AMC) 2) 将来展望 3) 次世代ウェハサイズ(450mm)への挑戦

## 空気中の分子汚染(AMC)

空気中の分子汚染(AMC)(定義に関してはSEMI Std F21を参照)は、半導体工場のライン運用のフロントエンドとバックエンドでコントロールされる必要がある。このコントロールは、工場全体もしくはある重要なプロセスで、さらには異なるプロセスの異なるレベルでも潜在的に達成されるかもしれない。歩留まり向上の章の「ウェハ環境汚染コントロール」表は、以下の通りに推奨された汚染レベルを提供する。

- a. クリーンルームのエア、パージガス環境で測定もしくはモニターされた AMC(空気中の分子汚染)
- b. モニターしているウェハの表面分子汚染(SMC)

工場設計と運用への AMC(空気中の分子汚染)コントロールのコスト効率が高い統合は、コントロール手段を介した AMC(空気中の分子汚染)源の検出からウェハ環境の有効な保護(プロテクション)まで全て、様々な測定を組み込むべきである。AMC(空気中の分子汚染)源は、工場の外部、内部から共に生じる。外部の AMC(空気中の分子汚染)源の原因は以下の通りである。産業(例えば有機肥料、酸)、交通、農業(例えばアンモニア、硫化水素)、その他の汚染タイプ。不幸にも、コントロールされないと、半導体工場の排気自体が、(工場に逆戻りする)AMC(空気中の分子汚染)の主な外部源に変わる。内部の AMC(空気中の分子汚染)源の原因は以下の通りである。建設資材(例えばポリマー、コーティング、コンクリート)からのガスの放出、偶発的な排気放出、メンテナンス、洗浄、組立作業のためクリーンルームで使用される科学物質。これら全てもまた、ウェハとファシリティ資材の腐食、ボロンシリケートガラスファイバーにおける損傷、その後のボロンのクリーンルームへの放出を導くかもしれない。さらに、クリーンルームの人員は、AMC(空気中の分子汚染)源となっている。更なる(空気中の分子汚染)源が加わらなければ、工場資材のガス放出によって引き起こされる AMC(空気中の分子汚染)レベルは、通常時と共に減少するでしょう。AMC(空気中の分子汚染)源の時宜を得た(タイムリーな)識別は、どの測定がウェハの損傷を防ぐために適切であるかを決定する。ファシリティで知られている有効な AMC(空気中の分子汚染)コントロール測定は、以下の通りである。

- ・エアハンドリングユニットにおける空気洗浄器/吸入器
- ・再循環気流におけるケミカルフィルタ
- ミニエン/ストッカーのためのケミカルフィルタ
- ・ウェハとレチクルキャリアのパージング

最も適切な統合された AMC(空気中の分子汚染)コントロールソリューションを決定し、確証するために、モデリングとシミュレーションツールが要求される。その上、これらのツールは、提案されたソリューションの費用効果を見積もるために適正な根拠を手渡すべきである。AMC(空気中の分子汚染)をコントロール下に置き続けるため、多面(multi-faceted)プログラムは推奨されます。それらは、表面分子汚染(SMC)の測定と分析、インピンジャー(空気中の粉塵の標本を採取する装置)を用いたオフラインサンプリング、オンライン計装、クーリングトラップ、吸着チューブ、を含みます。

大きな挑戦と必須の目標は、データ管理システムを作り上げることです。そのシステムは、互換性のあるデータインターフェースを通して APC, Run-to-Run コントロール用フィードバックを計装(metrology)し、供給するために、これらの測定を結合します。

## 能動的可視化

デバイスメーカーは、製造リソースと運用モデルを、複雑化し多様な環境にフレキシブルかつ俊敏に対応することを望んでいる。SoC製造は、異なる製品の欠乏にさらされるような典型的挑戦的製造ビジネスモデルの良い例である。能動的可視化は、高次の概念的現象から細かい情報粒度までを分解、再構成することにより、製造の問題点や要求を捕まえる努力することである。figure86 は、広範囲な可視化のマトリックスと関係を示している。テーブル構造は、操作軸と価値軸の階層構造の典型的なマトリックスになっている。

能動的可視化の利用局面としては、納期の構造化がある。納期とコスト、サイクルタイムと品質保証などのトレードオフ問題は研究される必要がある。納期は、工場リソース、工場運用、流れる製品に3つの視点に分解される。リソースと運用観点は、多品種少量生産の最大スループットかつ最小コストに使われることが多い。一方、製品、運用観点は、サイクルタイムや納期対応の分析観点に使われることが多い。多品種少量生産モデルは、高次のレベルの最適化ため、これらすべての観点からの分析を必要としている。納期要素のいくつかは、ロットサイズに依存している。小ロットの扱いの工場の俊敏対応能力を表現することが重要である。

SoC のオーダサイズは、大口径ウェハ化への移行やたえまない納期の短縮要求から継続的に縮小化すると信じられている。サイクルタイムの傾向は、ITRS のロードマップの量産製品に対して、オーダサイズの傾向と許容されるウェハサイズにそって把握される必要がある。1 マスクレイヤ当たりの平均サイクルタイムは、良いマトリックスになりうると同時に、仮定されたデフォルトロットサイズの減少傾向もいっしょに減少することを期待されている。

## 戦略的な階層化品質管理

現在の半導体製造用加工装置/評価装置は非常に多くの機能から複雑に構成され、また複雑な機能を持つものである。このために半導体製造装置/評価装置自身の品質保証は、装置サプライヤー、そして最終ユーザーにとって非常に重要で困難な課題となっている。装置活動は以下に示すように、以下の3つのお互いに隣接した抽象的な階層に分けて理解することができる。

1. 主に装置レシピに記載される装置動作を定めるために醸成されたパラメータ状態
2. 装置内部の制御活動
3. 下位のサブシステムあるいは 機能部品/デバイスの活動

上記したうちで一番上に位置する装置活動状況は、限られたプロセスパラメータについてモニタリングが為されている。それ以下の層に位置する装置活動は十分に可視化されておらず、このために、これら 3 つの層が相互の関連しながらプロセス実行条件醸成信頼性の監視がなされてはいない。

2002年に Selete/JEITA と ISMI が共同開発し発行された [装置エンジニアリング機能ガイドライン](#)(EEC ガイドライン)では、装置サプライヤーとデバイスメーカーが装置の第二ポートから得られる質の高い装置エンジニアリングデータを共同して使用することが要求されている。

プロセス実行の信頼性の観点から前述した装置の隣り合う活動層間の連なりは、この粒度の高い装置エンジニアリングデータを介在した協業によって、ビジネスバウンダリを越えて相互の関連が付くことが可能になる。装置信頼性のコンテンツ(装置機能の信頼性データ、データのモデル、信頼性検定の判定基準)は装置サプライヤーとデバイスメーカー間で交換され、上記の協業が為される必要がある。かくして EEC ガイドラインで要求されている装置エンジニアリングデータは 能動的可視化を同一社内で、またはビジネスバウンダリを超えて可能にする。装置サプライヤーの能動的可視化への参加の必要性は、業界全体に提案されている EEQA の概念に統合されて述べられている。EEQA (Enhanced Equipment Quality Assurance: 強化された装置信頼性確認)



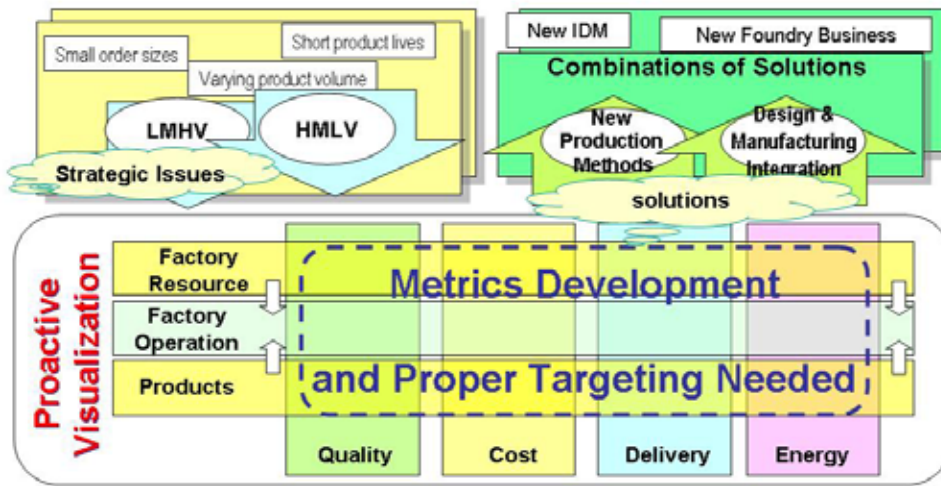


Figure 86 Comprehensive Analysis and Decision Making Matrix Table with Manipulation and Value Axes

### 次期ウェーハ・サイズ(450mm)移行への課題

ムーアの法則に遅れないように、半導体産業は、工場が高度に生産性を維持しながら、過去 30 年にわたって、毎年～30%の1機能当たりのコスト減のためのトランジスタデザインの改善、新素材、リソグラフィ微細化のようなデバイス技術革新に加えて、ウェーハ・サイズを拡大することを実現可能なオプションと見ている。200mm から 300mm へのウェーハ・サイズ移行が、10 年前から始まり、～30%のコスト改善が明らかになっている。300mmのウェーハ生産が、その3つの主な技術世代(130nm、90nmおよび65nm)に入るとともに、産業は、今や、リスクを管理し、経済的重要性を含む将来の運用上の必要性に対応する方法として、次のウェーハ・サイズ450mmへの移行を検討し始めている。2005年に、ファクトリインテグレーションは、2012の頃に次のウェーハ・サイズ移行があると評価している。300mmへの移行が、ICメーカーおよびサプライヤに対して、約7年間の準備時間を必要としたとすれば、450mmが図87の中で示されるような同様の準備スケジュールを、さらに必要とすることが推測される。

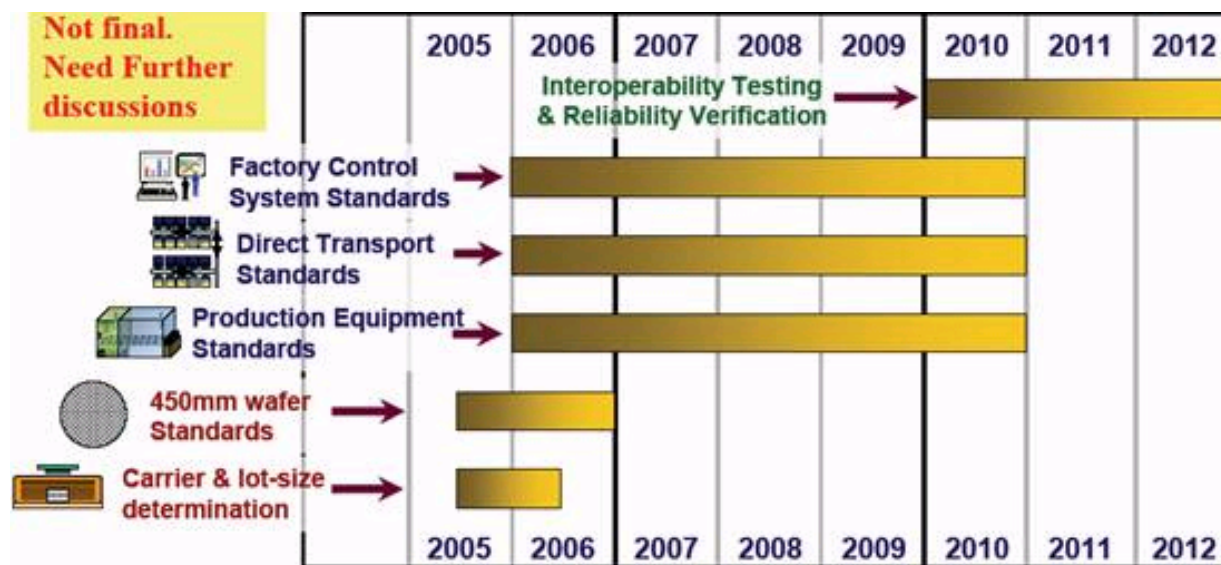


Figure 87 450 mm Timeline

工場設備とシステムが設計される前のクリティカル・テクノロジー決定は、2005年にスタートするこのスケジュールによって下されることができよう。ITRSメンバー内のいくつかの議論に基づいて、最も早いテクノロジーの決定は、これらドライブ・プロセス、計測装置構成、材料搬送システムおよび全面的なファシリティ/工場のデザイン前に、清浄化、能力中の柔軟性などのような、ウェーハ仕様、生産ロットサイズおよびウェーハ・キャリア特性のまわりで下されることになっている。図 88 は、有効な 450mm の工場デザインを求めて評価される必要のある 6 つの重要な属性を示す。

**#1 Priority for 2005 Industry Analysis is Wafer Characterization**


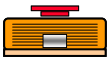
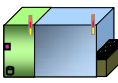



Attribute	Technology Decisions
<b>Wafer</b> 	<b>Material, Size, <u>Thickness</u>, ID, Registration, Edge Exclusion</b>
<b>Wafer Carrier</b> 	<b><u>Number of Wafers</u>, Size, Door Type, AMHS Strategy, ID</b>
<b>Production Equipment</b> 	<b><u>Single wafer vs. mini-batch</u>, cleanliness, interface standards, productivity targets relative to 300mm (NPW usage, etc.)</b>
<b>Factory</b> 	<b><u>Factory Size</u>, Egress, Cleanliness, Sub-Fab attributes, Clean-room height</b>
<b>Automated Material Handling Systems</b> 	<b><u>Direct transport concepts</u>, carrier delivery time, overall throughput, efficient storage concepts</b>
<b>Manufacturing Systems</b> 	<b><u>Process Control &amp; Yield Data Standards</u>, Carrier delivery time, Decision Making Time, Data Flow</b>

Figure 88 450 mm Key Attributes

ファクトリインテグレーションチームとおよびさらに他方の TWG との 450mm のウェーハ移行に関する、当初の議論では、ビジネスチャレンジだけでなく、いくつかの技術的な課題を掘り起こした。Table 92 は、これらの議論から捕らえられた課題を記載している。

Table 92 次期ウェーハサイズの課題

Technology WG	次期ウェーハサイズ(450mm)の課題
FI – Factory Operations	ビジネスモデル:運用軸を定義する必要がある:大量生産対少量生産;高混流対少混流;フロント・エンド対バックエンド(メタル・レイヤ)、Cu/Al;ロジック対 DRAM、WSPW(小対大)。搬送ロット・サイズ対キャリア・ロット・サイズ;より多くの枚葉プロセス;2-10 ウェーハロット;高混流の課題;サイクル時間課題。
FI – Production Equipment	一定の小容量ミニエンバイロメントキャリア(例: Bottom opening の 5-10 ウェーハ・キャリア)混用;コンベヤ搬送;小床面積ツール・バッファリング;300mm から 450mm への変換?装置プラットフォーム・コンセプト;ウェーハグリッピング、エッジ除外; 装置開発?
FI – Factory Information & Control Systems	工場自動化(ロードロック、搬送方法など);高混流少量ロット生産への厳重なプロセス管理が必要
FI – AMHS	コンベヤ搬送は、少量(5-10 のウェーハ)ロット・キャリアを実行する、20k ~ 30k 枚/月の工場に必要なかもしれない;mph へのインパクト;搬送バッチ・サイズ?
FI – Facilities	搬送バッチ・サイズ?現状ファブの多世代活用性、増大したサブファブ領域にも注視する;除害コースポイントおよび新素材課題;高さ、振動、フロア密度
Interconnect	450mm の問題点(300i に類似)に取り組む共通のチームが必要 良品の取れないウェーハ・エッジ領域(1.5mm?);NWS と新素材に対する除害費用。
Front end Process (FEP)	450mm は先例がないチャレンジを示す:技術的:より大きな領域の上での仕様への対応;経済性:ウェーハメーカ、装置メーカへの対応;クリティカル・パスの定義;開発サイクル対応への遅れ;標準化:ウェーハ・スペック(タイプ、厚さ、直径許容差);FEPは、枚葉ウェーハ処理への切り換えに対して、どの世代で発生するのか調査している;450mmの課題は、ポジションペーパー、サブチャプターの中で強調されている
Lithography	液浸および EUVL(電力と消耗品)への現在の焦点;速いレチクル交換;振動仕様;レチクル・ストレージの問題点
ESH	人間工学、装置設計、化学物質消費が課題である;AMC および微粒子のレベルの保全;規制
Metrology	統合計測に対する必要性は継続? データ基準;
Yield Enhancement	ウェーハ・サイズ構成 トレーサビリティ?
Assembly & Packaging	ウェーハ・パッケージ(FOSB、FOUP、ドア構成など);トレーサビリティ?
Other	450mm の問題点(300i に類似)に取り組む共通のチームが必要 200mm から 300mm の移行で学習された教訓を適用 LCD 製造から知見を得る必要がある。

ほとんどの場合、これが工場デザインの決定を支配するために、ウェーハ属性の定義から始めることは重大で必須である。高混流および速い製造工期の要求に対応するために、産業が今後数年間に提案される必要のある装置製造および運用に対するいくつかのチャレンジを提起するすべての製造装置のための枚葉処理戦略を導入するかもしれない。枚葉処理対ミニ・バッチに加えて、異なる容量(例:ボトム開閉 キャリア)や少数を指定するフレキシブルなロット・サイズのために、混流利用を許容する、ピークルを基礎とするコンベヤ輸送システム、装置上のバッファリングの必要性、ミニエンバイロメントキャリアに対して、評価することが必要である。オープンな業界基準の開発によって、デザイン変更の回数数を減じて、かつ工場内の費用対効果を成就するために、これらの重大な決定に従うべきである。図 89 は次期ウェーハ・サイズのための着手を 2012 年としたスケジュールに準備ができるように、推奨されたアプローチである。



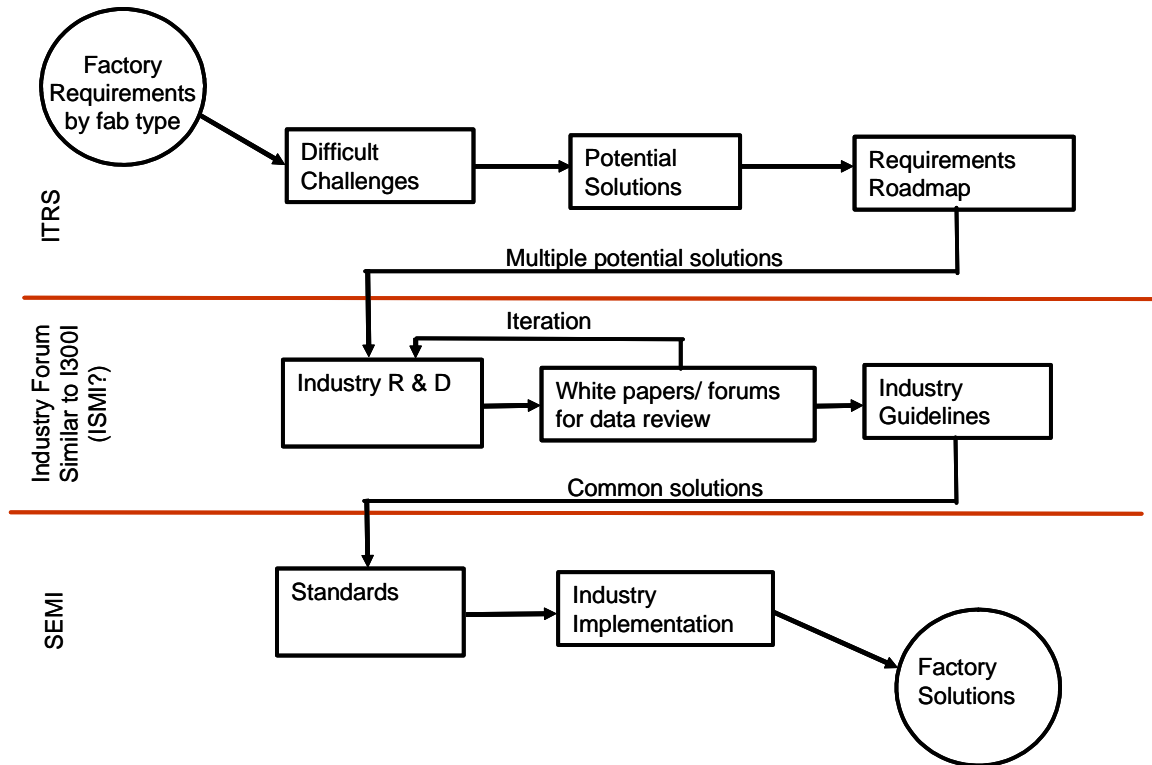


Figure 89 Approach to Address 450 mm Initiative

## まとめ

ITRS のファクトリインテグレーションの章は、工場のすべてのコンポーネントが、製品が要求される量、要求される時期に、コスト目標に合って供給されるために、統合されることに注目している。2005 年には、ファクトリインテグレーションの章では、5 つのグループの分けた技術的要求と解決施策をまとめた。またこの章では、タグループとのクロスカットからのファクトリインテグレーションに関する挑戦課題や重点注目分野(AMC、能動的工場の可視化、次世代のウェハサイズ)もまとめた。それらは、技術世代課題の遅れをとらないようにするためと同時に、機能当たりのコスト低減が、年率 30 パーセント低下する傾向を維持目的もある。この章で扱う挑戦課題は、製造プロセスやビジネス関係課題の複合体である。それらは、グローバルなファクトリインテグレーションのチームによって、協力して検討される必要がある事象である