

INTERNATIONAL TECHNOLOGY ROADMAP FOR SEMICONDUCTORS

2007 年版

ファクトリインテグレーション

THE ITRS IS DEVISED AND INTENDED FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT ONLY AND IS WITHOUT REGARD TO ANY
COMMERCIAL CONSIDERATIONS PERTAINING TO INDIVIDUAL PRODUCTS OR EQUIPMENT.

訳者まえがき

この文書は International Technology Roadmap for Semiconductors 2007 Edition(国際半導体技術ロードマップ 2007年版)の全訳である。

国際半導体技術ロードマップ(以下 ITRS と表記)は、米国、日本、欧州、韓国、台湾の世界5極の専門家によって編集・作成されている。日本では、半導体技術ロードマップ専門委員会(STRJ)が電子情報技術産業協会(JEITA)内に組織され、日本国内で半導体技術ロードマップについての調査活動を行うとともに、ITRS の編集・作成に貢献している。STRJ 内には 14 のワーキンググループ(WG: Working Group)、2 つのタスクフォース(設計タスクフォースと故障解析タスクフォース)、経済性検討小委員会が組織され、半導体集積回路メーカー、半導体製造装置メーカー、材料メーカー、大学、独立行政法人、コンソーシアなどから専門家が集まり、それぞれの専門分野の調査活動を行っている。

ITRS は改版を重ねるごとにページ数が増え、2007 年版は英文で約 1000 ページの文書となった。このような大部の文書を原文で読み通すことは専門家でも多大な労力を要するし、専門家であっても技術分野が少し異なると ITRS を理解することは必ずしも容易でない。STRJ の専門委員がその専門分野に応じて ITRS を訳出することで、ITRS をより親しみやすいものにすることができるのではないかと考えている。

なお、ITRS 2005 年版(英語の原書)までは、ウェブ公開とともに、印刷された本としても出版していたが、2007 年版以降、は印刷コストが大きくなってきたこと、ウェブ上で無料公開されている文書の出版版を本の形で有償頒布しても需要に限られることなどのため、印刷物の形での出版を断念し、ウェブ公開のみとなった。ITRS の読者の皆様にはご不便をおかけするが、ご理解願いたい。

訳文の作成は、STRJ 委員が分担してこれにあたり、JEITA の STRJ 担当事務局が全体の取りまとめを行った。訳語については、できる限り統一するように努めたが、なお、統一が取れていないところもある。また、訳者によって、文体が異なるところもある。ITRS の原文自体も多くは専門家による分担執筆であり、そもそも原文の文体も一定していないことも、ご理解いただきたい。誤訳、誤字脱字などが無いよう、細心の注意をしているが、短期間のうちに訳文を作成しているため、なお間違いが含まれていると思う。また、翻訳の過程で原文のニュアンスが変化してしまうこともある。訳文についてお気づきの点や、ITRS についてのご批判、ご意見などを事務局まで連絡いただければありがたい。

今回の訳出にあたっては、ITRS の本文の部分のみとし、ITRS 内の図や表の内部の英文は訳さないでそのまま掲載することとした。Executive Summary の冒頭の謝辞(Acknowledgments)に、ITRS の編集にかかわった方々の氏名が書かれているが、ここも訳出せず、原文のままの表記とした。原文中の略語については、できるかぎり、初出の際に、「ITRS(International Technology Roadmap for Semiconductors)」のように()内に原義を示すようにした。英文の略号をそのまま使わないで技術用語を訳出する際、原語を引用したほうが適切と考えられる場合には、「国際半導体技術ロードマップ(ITRS: International Technology Roadmap for Semiconductors、以下 ITRS と表記)」 「国際半導体技術ロードマップ(International Technology Roadmap for Semiconductors)」のように和訳の後に()内に原語やそれに対応する略語を表示した。本書の巻末に用語集(Glossary)も参照されたい。原文の括弧()があってそれを訳するために括弧を使った場合もあるが、前後の文脈の関係で判別できると思う。また訳注は「【訳者注:この部分は訳者の注釈であることを示す】」のように【】内に表記した。また[]内の部分は、訳者が原文にない言葉をおぎなった部分であることを示している。訳文は厳密な逐語訳ではなく、日本語として読んで意味が通りやすいように意識している。ITRS のウェブ版ではハイパーリンクが埋め込まれているが、今回の日本語版ではハイパーリンクは原則として削除した。読者の皆様には不便をおかけするが、ご理解いただければ幸いである。

今回の日本語訳全体の編集は全体のページ数が膨大であるため、大変な作業となってしまいました。編集作業を担当いただいた、JEITA 内 STRJ 事務局の古川昇さん、恩田豊さん、近藤美智さん、明石理香さんにご大変お世話になりました。厚くお礼申し上げます。

より多くの方に ITRS をご活用いただきたいの思いから、今回の翻訳作業を進めました。今後とも ITRS と STRJ へのご理解とご支援をよろしくお願い申し上げます。

2008年5月

訳者一同を代表して

電子情報技術産業協会 (JEITA) 半導体部会 半導体技術ロードマップ専門委員会 (STRJ) 委員長
石内 秀美 (株式会社 東芝)

版權について

ORIGINAL (ENGLISH VERSION) COPYRIGHT © 2007 SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION

All rights reserved

ITRS • 2706 Montopolis Drive • Austin, Texas 78741 • 512.356.7687 • <http://public.itrs.net>

Japanese translation by the JEITA, Japan Electronics and Information Technology Industries Association
under the license of the Semiconductor Industry Association

—引用する場合の注意—

原文(英語版)から引用する場合： 2007 ITRS page XX, Figure(Table) YY

この和訳から引用する場合： 2007 ITRS JEITA 和訳 XX 頁,図(表)YY

と明記してください。

問合せ先：

社団法人 電子情報技術産業協会

半導体技術ロードマップ専門委員会 事務局

Tel: 03-5275-7258 <mailto:roadmap@jeita.or.jp>

TABLE OF CONTENTS

ファクトリインテグレーション	1
適用範囲	2
困難な技術課題	2
技術要求	7
工場運用	7
製造装置	12
材料搬送システム	15
工場情報制御システム	20
ファシリティ	25
解決策候補	30
クロスカット課題	39
フロントエンドプロセス(FEP: FRONT END PROCESS)	39
リソグラフィ	39
環境、安全、健康(ESH: ENVIRONMENTAL, SAFETY AND HEALTH)	40
歩留管理(YIELD MANAGEMENT)	40
計測(METROLOGY)	40
静電気と電磁妨害の制御(STATIC CHARGE AND ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE CONTROL)	41
工場インタフェース標準化要件	41
ファクトリインテグレーションフォーカスエリア	42
気中分子汚染(AMC: AIRBORNE MOLECULAR CONTAMINATION)	42
能動的生産活動の可視化(PROACTIVE VISUALIZATION)	42
省エネルギー(ENERGY CONSERVATION)	44
300MMプライム/450MMへの課題	45
まとめ	49

LIST OF FIGURES

Figure FAC1	Factory Integration Scope	2
Figure FAC2	Factory Operations Potential Solutions	31
Figure FAC3	Production Equipment Potential Solutions	32
Figure FAC4	Material Handling Potential Solutions	34
Figure FAC5	Factory Information and Control Systems Potential Solutions	35
Figure FAC6	Facilities Potential Solutions	37
Figure FAC7	Comprehensive Analysis and Decision Makings Need Matrix Table with Manipulation and Value Axes	43
Figure FAC8	Areas of Usage for Equipment Engineering Data	44
Figure FAC9	Transition to 300' and 450 mm	45
Figure FAC10	450 mm Timeline and Key Attributes	46

LIST OF TABLES

Table FAC1a	Factory Integration Difficult Challenges—Near-term.....	3
Table FAC1b	Factory Integration Difficult Challenges—Long-term	5
Table FAC2	Key Focus Areas and Issues for FI Functional Areas Beyond 2007	7
Table FAC3a	Factory Operations Technology Requirements—Near-term Years	9
Table FAC3b	Factory Operations Technology Requirements—Long-term Years.....	10
Table FAC4a	Production Equipment Technology Requirements—Near-term Years.....	13
Table FAC4b	Production Equipment Technology Requirements—Long-term Years.....	14
Table FAC5a	Material Handling Systems Technology Requirements—Near-term Years	17
Table FAC5b	Material Handling Systems Technology Requirements—Long-term Years.....	18
Table FAC6a	Factory Information and Control Systems Technology Requirements— Near-term Years	23
Table FAC7a	Facilities Technology Requirements—Near-term Years	26
Table FAC7b	Facilities Technology Requirements—Long-term Years.....	27
Table FAC8	Crosscut Issues Relating to Factory Integration	39
Table FAC9	List of Next Wafer Size Challenges	47

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¹章は、要求された製品を適正量でスケジュール通りに目標コストで効率的に生産するために、必要な工場の構成要素全てを統合することに焦点を当てている。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%に近づく歩留り改善、ウェーハの大口径化、その他の生産性改善を最大限に活用しなければならない。言い換えると、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、何十年間ものあいだ機能当たりコストを 30%削減し続けるためには、あらゆるコスト削減の機会を活かす必要もある。このペースを維持するには、以下の基本的な製造特性の精力的な追求が必要である:ウェーハの単位面積あたりのコスト維持、工場の立ち上げ期間短縮、テクノロジーやビジネスニーズの変化に対する柔軟性の向上である。

半導体の成功と市場成長は、主として機能単位の継続的なコスト改善によるところが大きい。これまで多くの要素によってこれらの生産性向上、すなわちプロセステクノロジーの微細化、ウェーハサイズ大型化、歩留り向上、製造効率向上が達成されてきた。積み重ねでない革新的な技術(high-k ゲート膜、メタルゲート、銅配線/low-k 膜など)を導入する時代になり、高集積で複雑な設計や、SoC や SIP の様なプロセスの複雑さにより、生産性改善を従来の速度で維持することが困難になってきている。規模の経済性を追求した大規模工場建設だけでなく、テクノロジーのコストによって、工場投資額は増え続ける。

ファクトリインテグレーション全体では、この業界の成長を遅くする恐れのある以下の課題に取り組んでいる:

1. 複雑な工場と複雑なビジネスモデルの統合——半導体技術革新、ビジネス要件、および早い製品供給、多品種、市況変動への対応が、工場立上目標や歩留目標を達成するための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より難しいものになっている。工場は、複雑な市場への対応と顧客の要求を満たすために、多くの新機種装置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(ASPs: Average Selling Prices)が下降する市場における多品種少量生産はマスク費、製造、および工場統合を極端に難しくする。工場および装置制御の複雑さを克服するために、堅牢でかつ完全に機能統合されたソフトウェアシステムも我々の課題に加えている。
2. 製造装置の信頼性、利用性、そして多世代活用性——製造装置の有用性や利用性が目標に追従できていない、そしてそれが投資と経費に対して非常に大きなインパクトを与えている。潜在的な装置のロスを確認し削減する必要がある。半導体業界では、新しい装置(EUV 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、装置およびスキルの効率的な再利用が不可能になっている。
3. 300mm 工場の課題を継続——これまで 300mm の課題に取り組んできたが、今後も以下のような効率目標の維持と改善に焦点を当てて継続する必要がある。1) サイクルタイム改善、2) 歩留まり改善、3) 運用柔軟性とコスト改善のための、100%自動化された材料搬送システム(AMHS: Automated Material Handling System)、4) 運用柔軟性のための、同一キャリア内ウェーハの異レシビ対応、5) ユーティリティ、電力消費、排出物の削減
4. ポストBulk CMOSと次世代大口径ウェーハ製造パラダイム——新規デバイスへの転換と450mmウェーハへの移行は半導体産業における重要な変曲点を表している。Bulk CMOS を超えた新規デバイスがどのようなもので、それらが装置や製造にどのような影響を与えるかは、明確ではないが、重要であると予想される。450mm ウェーハへの移行は製造コスト効率を改善する機会をもたらし、そして半導体業界がムーアの法則を実現し続けるための重要な要素になる。

これらの挑戦課題に取り組むために、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ひとつの指標である。工場投資額は 1980 年代の 50MUSドルから 2007 年の 3BUSドルまで毎年著しく増大してきた²。
- ・高歩留りの量産工場を立上げる期間 — 工場を高歩留りで量産にまで立上げる期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。新工場の建設および量産立上げは、技術要求表に示したように、より速く行われなければならない。また、既存の工場は、生産に影響を与えないで、より速くアップグレードされなければならない。工場の再利用と環境保護もまた重要になっている。

¹ Factory integration is the combination of factory operations, production equipment, facilities, material handling, factory information and control systems, and probe/test manufacturing working in a synchronized way to produce complex products profitably for a time-sensitive market.

² Strategies for determining or dealing with the upper limit of factory cost are beyond the scope of this chapter.

・技術とビジネスの変化に対応する柔軟性 — 技術の進歩と製造会社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。これらの変化をビジネス上の期待に対応させるための柔軟性は、大きなコストインパクトなしに改善し続けなければならない。

適用範囲

半導体工場はいくつかの製造領域にまたがり、それはウェーハ製造工程、プローブ・テスト、背面研削およびダイシング(singulation) に関するチップ製造工程、そして最終パッケージが組立てられテストされる製品組立工程を含む(図 FAC1)。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。

統合された工場の要件を明確に理解し、同時に、測定および利用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 つの技術推進領域、または機能領域、に分割される。それらは、工場運用(Factory Operations)、製造装置(Production Equipment)、搬送(Material Handling)、工場情報制御システム(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 領域への要求と行動の重要な推進要因となる領域である。概して、5 つの技術推進領域は困難な技術課題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。ファクトリインテグレーション章は、この 5 つの技術推進領域だけでなく、横断的問題、および 5 つの技術推進領域全てにまたがる重点注目分野にも取り組む。

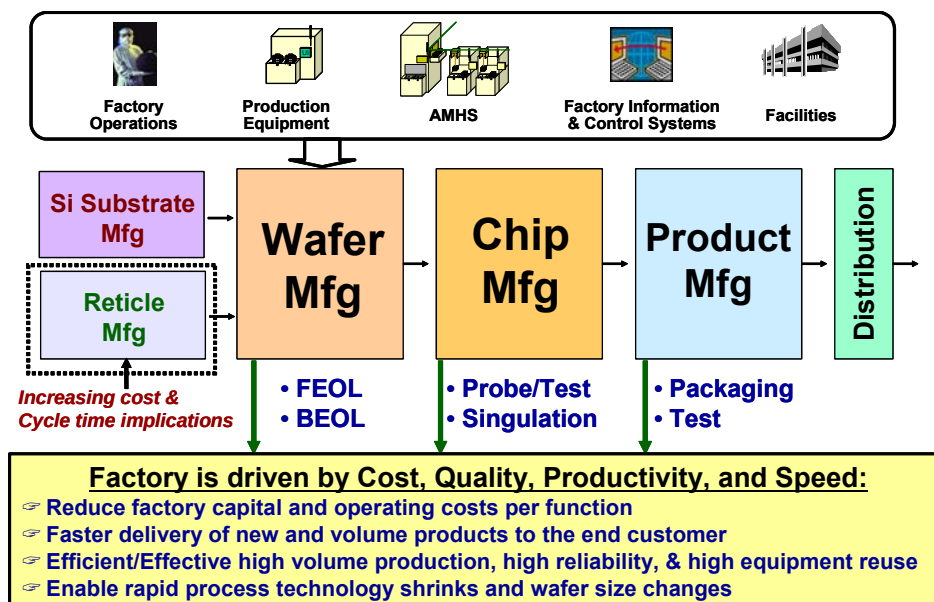


Figure FAC1

Factory Integration Scope

困難な技術課題

ファクトリインテグレーションの困難な技術課題を、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。

Table FAC1a

Factory Integration Difficult Challenges—Near-term

困難な技術課題 22nm 以上	論点の要約
急激に変化する複雑なビジネス要求対応	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)をファクトリインテグレーションで考慮する必要性 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→プロトタイプの繰り返しとパイロット→量産 アウトソーシング生産操業に対する顧客への可視性の拡大 急激な環境変化の中で競争力を保つための、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種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のための工場能力モデリング力 工場の収益性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
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	コスト目標にマッチングするため、上昇するウェーハ、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 製品ウェーハに匹敵する量の非製品ウェーハ(NPW: Non-Product Wafers)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
工場の複雑性の増大管理	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、ウェーハへの製品混載、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の把握 同一工場にアルミと銅が流れる要求

4 ファクトリインテグレーション

	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も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
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	プロセス装置の有用性、稼働率、利用性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 装置プロセス性能不安定性や NPW の要求の改善のための製造装置内蔵コントローラの品質課題 最適化や問題の改善をするために装置や工場の有用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 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

Table FAC1b

Factory Integration Difficult Challenges—Long-term

困難な技術課題 22nm 未満	論点の要約
生産性の良い最先端の工場の柔軟性、多世代活用性、拡張性要求の達成	装置、ファシリティ、スキルを再利用しながら、新しいプロセス技術に対してすばやく切り替える要求 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 40K から 50k 枚／月の 300mm 工場に達成するための拡張的立上げ スループットとサイクルタイムの継続的改善 多世代の技術世代に跨る、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 EFS(多世代活用性、柔軟性、拡張性)を実現するまでの先行投資の理解 プロセスや材料の清浄度要求の把握 産業界の要求に合った標準化早さの加速
32nm 世代の量産規模でのプロセス要求の達成	多くのプロセスモジュールにおいて、32nm 世代のプロセスのバラツキに対する許容限界やプロセス目標達成の困難さは、プロセス制御の難しさを増加させている。 工場への次世代リソグラフィ装置統合化の複雑さ 微細化のための包括的な開発・量産の計画 デバイスやプロセスの複雑性は、特定のプロセス領域の問題のトレース機能を難しくしている。 制御条件とサイクルタイムの目標を保ちながら、それぞれのウェー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 パラメータ多様性の影響の減少
環境課題でのグローバルな制限	異なる地域での規制対応への必要性 ビジネスの必要性に対しながら、いくつかの国における技術的制限事項に対応する必要性 厳しい ESH 法規要求の把握 鉛などの除外化学物質や制限された材料 新材料の導入
現在の CMOS プロセス以降における製造の不確かさ	従来の CMOS に代わる新しいデバイスのタイプの不確実性やそれらの製造がもたらす工場設計への影響 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実性 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 同一工場でも CMOS も次世代のデバイスも流せる必要性

6 ファクトリインテグレーション

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	30%のコスト効果を達成するための 450mm の切り替え時期や 300mm ウェーハ工場能力の不確実性 450mm ウェーハサイズ切り替えに、キャリアが、現在 25 枚の方式を取らないことがある。また、製造装置や搬送に重大な影響がでる。 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実性
--	---

技術要求

前述した初期の目標を達成するために、困難な技術課題に対する技術的要求の検討と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、計測／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。また、それは装置の可変的ロスにもフォーカスしてゆく。
- ・自動搬送システム(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、ユーティリティ、モニタリングシステムをカバーする。

表 FAC2 は 2007 年以降のファクトリインテグレーション機能項目に対する重要要素と課題の要約である。次世代ウェーハサイズ(NWS: Next Wafer Size)から生ずる挑戦課題は別表で抽出される。

Table FAC2 Key Focus Areas and Issues for FI Functional Areas Beyond 2007

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)装置利用性向上 3)多品種での損失削減
製造装置 (PE)	1)NPW の削減 2)信頼性向上 3)スループット向上 4) 装置の可変的ロス
自動搬送システム(AMHS)	1) 伝統的で統一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)工場スループットと歩留向上 3)コスト削減
ファシリティ	1)工場の多世代活用性 2) 気中分子汚染(AMC: Airborne Molecular Contamination) 3)単サイクルタイムでの据付/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、サイクルタイムと製品仕掛け(WIP: Work in Progress)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、ユーティリティについてである。装置の指標、特に稼働率向上、有用性、利用性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举してある。工場運用の指標とは、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。建屋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交代期間、そしてクリーンルームのフロア・スペース効率である。

サイクルタイムは今、多品種生産、少品種生産の両方において重要な位置づけとなっている。サイクルタイムは、工場リソースの利用性のような生産装置利用性の視点と、製品側から見た視点の、2 つの異なった視点で評価され

るべきである。

リソース利用性の視点はこれまでよく研究されており、スループットを改良し工場利益を最大にするために、過去から利用されてきた。一方、製品からの視点は 納期や、サイクルタイム管理、コントロールにおいて重要であり、工場コントロールの方法論もサイクルタイムに影響を与える重要な考え方である。

今回 12 枚ロットサイズの少ロットサイズを表す指標として、サイクルタイムやサイクルタイム関連指標のテーブルへ加えた。このサイクルタイム要求値を掲示する事によって、12 枚と 25 枚ロットサイズでの製造装置の能力を類推する事ができ、小ロットサイズ化によって製造装置に何らかの能力低下があるか確認できるようになる。小ロットサイズ化によるロスがよく知られている例としては、少数枚数ロットで装置のレシピ切り替えが発生した時に、装置の処理が一時的に途切れるロスなどがある。小ロットサイズ時の生産性ロスを明らかにする事で、少数ロットサイズ時のサイクルタイムや装置の稼働率の低下について、装置の改善を促すことが出来る。またこのような装置の改善は、少品種生産においても有用であると考えられる。

競争姿勢を明確に示した工場の実行特性は、多くの要素に依存する。例えば、装置を稼働させる程、サイクルタイムが長くなってしまうといったトレードオフの関係にあるサイクルタイムと装置資産利用性のバランスがある。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サイクルタイム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、装置利用、有用性、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: Overall Equipment Effectiveness)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利用、有用性が技術の表で把握されるからである。

かつて、工場の基本的な実行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、サイクルタイムを短くすることか、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 のような)と対になった多品種工場ではレチクル交換のあい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。

工場運用が難しくなっているもう一つの側面として、工場運用におけるマスクオペレーションの影響がある。これは、工場でするマスクやレチクルを製造するマスクオペレーションが、半導体製造のサプライチェーン中で重要な構成要素のひとつであると考えられる。マスク製造の複雑さや、微細化要求、チップコストを低く抑えたいという要求は、マスク製造に影響を与えている。マスク操作における、解決すべきいくつかの重要な挑戦課題としては、膨大なデータ(OPC: Optical Proximity Correction)における計算やマスク作成に必要なデータ作成の時間、Mask Shop データ・システムへテープアウトしたデータを送り、ロードする時間、など)、描画光源のコストの上昇、工場及び良いプロセス制御とサプライチェーンとの同期などがある。

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。そして、今後のモデルとしてそのインテリジェントさを再利用すべきである。工場のデータは、これらのモデルの同様、高い利用性効率のための設計がされるべきである。

工場ネットワーク(ウェーハ処理、ソータ工程、組立工程、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、装置の利用性、有用性の改善、(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、サイクルタイムとオン・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。いくつか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図 FAC2 を参照)

Table FAC3a

Factory Operations Technology Requirements—Near-term Years

Year of Production	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	65	57	50	45	40	35	32	28	25
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	300	300	450	450	450	450
<i>Non-hot lot (average of 94% lots)</i>									
Cycle time per mask layer (days) 25 wafer lot	1.5	1.5	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	1.13	1.13
Cycle time per mask layer (days) 12 wafer lot	1	1	0.84	0.84	0.72	0.72	0.72	0.68	0.68
X-Factor [1]	3.1	3.1	3.05	3.05	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) 25 wafer lot	0.55	0.55	0.51	0.51	0.47	0.47	0.47	0.44	0.44
Cycle time per mask layer (days) 12 wafer lot	0.50	0.50	0.42	0.42	0.36	0.36	0.36	0.34	0.34
X-Factor [1]	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
<i>Super hot lot (average top 1% of lots)</i>									
Cycle time per mask layer (days)	0.32	0.32	0.31	0.31	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
High-mix capacity degradation	8.33%	6.67%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<i>Bottleneck equipment [2] [3]</i>									
Utilization	92%	92%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	94%
Availability	94%	94%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
Wafer layers/day/head count	61	61	67	67	73	73	73	81	81
Number of lots per carrier (high mix) [4]	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple
<i>Facilities cycle time (weeks)</i>									
1st tool to 1st full loop wafer out	13	11	11	11	9	9	9	7	7
Generation-to-generation change-over (weeks)	12	12	11	11	10	10	10	9.5	9.5
Floor space effectiveness	1×	1×	1×	1×	1×	1×	1×	1×	1×
Average number of wafers between reticle changes 25 wafer lot	30	25	20	20	20	20	20	15	15
Average number of wafers between reticle changes 12 wafer lot	15	13	10	10	10	10	10	8	8
New non-product wafers (NPW) as a % of wafer starts per week	<12%	<11%	<11%	<11%	<10%	<10%	<10%	<9%	<9%

Table FAC3b

Factory Operations Technology Requirements—Long-term Years

Year of Production	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	22	20	18	16	14	13	11
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) 25 wafer lot	1.13	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
Cycle time per mask layer (days) 12 wafer lot	0.68	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
X-Factor [1]	3.05	3	3	3	3	3	3
<i>Hot lot (average top 5% of lots)</i>							
Cycle time per mask layer (days) 25 wafer lot	0.44	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Cycle time per mask layer (days) 12 wafer lot	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
X-Factor [1]	1.2	1.1	1.1	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	89	89	89	89	89	89
Number of lots per carrier (high mix) [4]	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple
<i>Facilities cycle time (weeks)</i>							
1st tool to 1st full loop wafer out	7	5	5	5	5	5	5
Generation-to-generation change-over (weeks)	9.5	9	9	9	9	9	9
Floor space effectiveness	1×	1×	1×	1×	1×	1×	1×
Average number of wafers between reticle changes 25 wafer lot	15	13	13	13	13	13	13
Average number of wafers between reticle changes 12 wafer lot	8	7	7	7	7	7	7
New non-product wafers (NPW) as a % of wafer starts per week	<9%	<9%	<9%	<9%	<9%	<9%	<9%

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

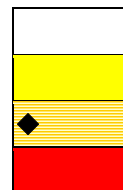


表 FAC3a ,b の注:

[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] 利用性と有用性は継続して改善中

[4] 多品種生産の定義は以下のとおり

- ・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 枚ウェ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ェーハ枚数が平均 50 枚以下
- ・ロット処理開始がカスタマ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日毎に変化
- ・50%以上の製品量の製品をもたず、少なくとも 5 つの量産品(製品フロー)がある

工場運用に求められる指標の説明

項目	説明
1 マスクレイヤあたりのサイクルタイム(通常ロット)	コストにつながる重要な時間指標で、ロットを処理する総時間を 1 マスクレイヤあたりで換算した値。例えば、あるプロセスが 20 枚マスク、1 ロット 25 枚ウェーハの時の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。1 ロット 12 枚の場合のサイクルタイムも同様に算出可能である。
1 マスクレイヤあたりのサイクルタイム(ホットロット)	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、ホットロットのサイクルタイムは、1 ロットのウェーハ枚数が 25 枚の場合や 12 枚の場合どちらも、通常ロットの 50%以下となる。新製品のロットはホットロットとして処理される。
1 マスクレイヤあたりのサイクルタイム(スーパーホットロット)	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ることや、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、スーパーホットロットのサイクルタイムは、ホット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: Raw Process Time)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: サイクルタイム = RPT × 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。 通常ロットとホットロットの RPT が同じとすると、ホットロットの X-factor は“後入れ、先出し”の優先順位で決定される。
多品種による能力低下	多品種(%で示される)による工場運用の不利を能力のロスとしてみる。この能力ロスはバッチサイズの減少、セットアップ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セットアップの平均である。低下は 5%(品種、1FOUP に 25 枚のウェーハ、10 ロットごとにレシピ/セットアップを変える、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/セットアップを変える、1 ロット内に多製品)に増加する。この指標は有効な能力利用に影響する。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能力の利用に貢献していない。
ボトルネック装置の利用性と有用性[2][3]	有用性は SEMI E10 ³ 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す状態にある見込み。」 利用性は 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す割合。」すべてロット 25 枚。

³ SEMI E10-0699E: Specification for Definition and Measurement of Equipment Reliability, Availability, and Maintainability (RAM).

項目	説明
	有用性はセットアップ、無効、処理時間を含む。利用性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、出力能力を決める。
1人1日あたりのウェーハ・レイヤ数	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。
キャリア当たりのロット数(多品種)	追尾、監視、処理にされる各キャリア内の Lot 数。多品種工場において、ウェーハ数はロット当たり 25 枚以下となり、製造装置は、キャリア内の各ウェーハを異なるレシピやパラメータで処理を実行することができなければならない。工場情報制御システムはまた、装置内や工場のそれぞれのポイントの各ウェーハを追尾、監視、制御できるように要求されている。工場情報制御システムは、各ウェーハに対して、異なるレシピやパラメータで処理する製造装置を運用する能力を有しなければならない。キャリア内の多数ロットは、1製造ロット越えることを意味する。多品種は、生産規模の 50%以上を1品種が占めることが無い、少なくとも 5 つの量産品(製造フロー)からなる。
製品／プロセスの切り替え期間(週)	稼動中のラインに新しい製品／製造プロセスが導入完了されるまでの時間(対象とする製造装置が搬入されてから最初のロットが出てくるまで)。約 80%の既存装置が再利用され、20%が新しくされたとする。装置は常に決められた場所か利用できる場所にあるものとし、品質は要求レベルにあるものとする。拡散炉とウェットプロセス装置は、入れ替えなしとする。初号機は該当しない。
クリーンルームのフロア・スペース効率	クリーンルーム内の装置設置密度の指標であり、製造装置のフットプリントを小さくし、処理を速める要求を加速する。(プロセス・ステップ数 × 月産ウェーハ枚数)/(床面積 × 30 日)で表される。すべての世代において、メタル配線が1レイヤ付加され、(ウェーハあたりのプロセス処理時間短縮によって)進捗率が毎年 4%改善すると仮定すると、各新規の世代では、計算上最大で、クリーンルーム単位 m ² あたり同じアウトプットが達成できる。
1週間あたりの生産投入枚数に対する、非製品ウェーハ(NPW)枚数の割合(%)	新規の非製品ウェーハ(NPW)枚数を、同じ時期に投入されたトータル生産ウェーハの枚数で割った値。 典型的な非製品ウェーハは、テストウェーハ、モニタウェーハ、較正用ウェーハ、ダミーウェーハを包括している。
レチクル交換間のウェーハの平均枚数	これは工場内で多品種製品がいかに効率よく処理されたかを測る。 指標が示すように、レチクル交換前に処理されたウェーハの平均枚数である。

FOUP: Front Opening Unified

製造装置

製造装置で扱う範囲は、工場内の全てのプロセスと計測装置を含む。また装置内蔵コントローラ、装置フロントエンドモジュール(EFEM: Equipment Front-End Module)、ロードポート、キャリア、ウェーハ搬送系、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、技術要求には、製造装置の指標、特に、有用性、利用性が包括される。

製造装置の設計と制御は、ウェーハ単位面積あたりのプロセスコストを左右する。またウェーハ当たりのプロセス時間により測定されるスループットの向上は、継続的な改善の結果の典型例である。もし、生産性が大幅に改善することなく投資コストの増加が続くと、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要因はいくつかあり、例えば下記の項目である:

- 1.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
- 2.多品種生産に伴うロスを削減する装置設計(すなわち、セットアップ時間を削減する)技術の向上と装置運転に付

随する非付加価値時間の比率の削減

3.装置の信頼性、有用性、利用性向上への解決策の発見

4.装置内、装置間バラツキの低減、およびチャンバマッチングの実現

5.複数技術世代に対応できる装置の長寿命化

6.環境負荷を低減しながら、ユーティリティと消耗材料(非製品ウェーハを含む)の有効利用を実現

7.「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。これは COO(Cost of Ownership)低減の促進である。

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。開発、標準化、安定化の実現、総合的な設備技術データ制御システムを通してエンドユーザでの装置非付加価値時間への理解と解析、本質的なセットアップ時間やその他の非付加価値動作の削減が実現した。装置の柔軟性と敏捷性の向上により、装置サイクルタイムの削減、装置利用性の向上が可能となる。信頼性と利用性の改善は In-situ モニタや高度なプロセス制御(APC: Advanced Process Control) 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。よりエネルギー効率の高い装置設計は、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。また、さらに新たな優先分野として、適時装置ユーティリティ消費削減のため、「smart idle」や「sleep mode」といった考えを取り入れること、複数の技術世代に対応できる装置の長寿命化の方法をさぐる、サイクルタイム短縮立上とスぺ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、気中分子汚染(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(製造装置解決策候補は、図 FAC3 を参照)。

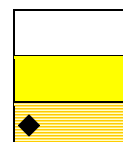
Table FAC4a Production Equipment Technology Requirements—Near-term Years

Year of Production	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	65	57	50	45	40	35	32	28	25
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	300	300	450	450	450	450
Overall NPW activities versus production wafers activities	7%	7%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
% capital equipment reused from previous node	>90%	>90%	>90%	>90%	>90%	>90%	Limited	Limited	>70%
Wafer edge exclusion	2	2	2	2	2	1.5mm	1.5mm	1.5mm	1.5mm
Lithography Equipment Qualification Duration	4wks	4wks	4wks	4wks	4wks	4wks	4wks	4wks	4wks
Process equipment availability (A80)	>92%	>94%	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%
Metrology equipment availability (A80)	96%	>96%	>97%	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%
Equipment-induced non-value added time as a % of total processing time (high mix)	10%	10%	8%	8%	8%	8%	8%	6%	6%
Ability to run different recipes and parameters for each wafer	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
248 nm lithography scanner productivity (wafers outs per week per tool)	7700	7700	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
193 nm lithography scanner productivity (wafers outs per week per tool)	5600	5600	6000	6000	6000	6000	6300	6300	6500
Maximum allowed electrostatic field on wafer and mask surfaces (V/cm)	70	63	55	50	44	38	35	31	28

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known



Manufacturable solutions are NOT known



Table FAC4b

Production Equipment Technology Requirements—Long-term Years

Year of Production	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	22	20	18	16	14	13	11
Wafer Diameter (mm)	450	450	450	450	450	450	450
Overall NPW activities versus production wafers activities	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
% capital equipment reused from previous node	>70%	>70%	>70%	>70%	>70%	>70%	>70%
Wafer edge exclusion	1.5mm	1.5mm	1.5mm	1.5mm	1.5mm	1.5mm	1.5mm
Lithography Equipment Qualification Duration	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks	4 wks
Process equipment availability (A80)	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%
Metrology equipment availability (A80)	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%
Equipment-induced non-value added time as a % of total processing time (high mix)	6%	6%	4%	4%	4%	4%	4%
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)	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500
Maximum allowed electrostatic field on wafer and mask surfaces (V/cm)	25	22	20	18	15	13	10

製造装置に求められる指標の説明

項目	説明
生産ウェーハ数に対する全 NPW 利用率	装置で処理された全非製品ウェーハ量を同じ期間に装置で処理された生産ウェーハ量で割った値。装置は、設計された有用性と予定された利用性で動いていることを前提とする。非製品ウェーハには、テストウェーハ、モニタウェーハ、較正用ウェーハ、テストファイヤウェーハなどがある。この要求は、全ての製造装置(計測を除く)に適用する。
装置の世代間再利用率	前世代の装置のうち、次世代でも使用可能な(製造)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、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。
リソグラフィ装置の性能確認までの期間	装置搬入の完了からフル操業できるようになるまでの期間。この要求は、既存機種のリピート納入の場合に適用する。
プロセス装置の有用性(A80)	100%から(計画ダウンタイム%+計画外ダウンタイム%)を引いた値。この表の指標は、各プロセス装置(計測をのぞく)が週 7 日間 x24 時間の操業において、80%信頼性(装置は 80%の時間においてこの数値以上)を要求する。計画・計画外ダウンタイムは SEMI E10 で定義されている。 注: 製造装置の技術要求に提示された数値は、全装置の A80 の最小値である。工場のボトルネック装置の有用性要求については、工場運用の技術要求を参照のこと。

項目	説明
計測装置の有用性(A80)	100%から(計画ダウンタイム%+計画外ダウンタイム%)を引いた値。この表の指標は、各プロセス装置(計測をのぞく)が週 7 日間 x24 時間のオペレーションにおいて、80%信頼性(装置は 80%の時間においてこの数値以上)を要求する。計画・計画外ダウンタイムは SEMI E10 で定義されている。
全プロセス時間に対する装置要因による非付加価値時間率(多品種環境)	全プロセス時間に対し、各ロットがウェーハにたいして直接プロセスを実施していない時間の比率。非付加価値時間の例として、最初のウェーハによる遅延、処理ロットの製品やレイヤ変更のための装置設定変更、レシピ変更、装置内搬送、アイドル状態からプロセスに移行することによる影響などが含まれる。この要求は、特定された有用性で装置が動き、計画外停止がないことを前提に、全ての装置に該当する。
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	製造装置がキャリア内のウェーハ単位で異なるレシピやパラメータで処理する能力をもつこと。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機能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機能日数当たりの平均良品処理枚数。
ウェーハやマスク表面の最大許容静電界(V/cm)	使用キャリアから抜き取られたときのウェーハやマスク表面の許容静電界。測定方法は SEMI E78 ⁴ と E43 ⁵ 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。この自動搬送システム(AMHS)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、さらにプロセス装置と計測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。

解決策候補の表は、材料搬送システムに対する需要が増加するにつれ、工程間と工程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 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%)とホットロット(約 WIP の 5%)

⁴ SEMI E78: Electrostatic Compatibility – Guide to Assess and Control Electrostatic Discharge (ESD) and Electrostatic Attraction (ESA) for Equipment.

⁵ SEMI E43: Guide for Measuring Static Charge on Objects and Surfaces.

16 ファクトリインテグレーション

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. 重要な計測工程、先行ウェーハ、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。

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。

スループットを増加し搬送時間は短縮しなければならない。更に搬送システムは工場の多世代活用性、柔軟性、拡張性の要求に応えるように設計されなければならない。多品種、小ロットサイズにおいて想定される影響も研究されなければならない。同様に、複数の建屋間あるいはフロア間の AMHS 搬送が必要な大規模化工場も研究されなければならない。

450mm に対する最初の議論が開始され、キャリア容量に関する最初の考えには、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 に影響がある。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、Shared EFEM、装置内保管)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。

その他に AMHS の設計に影響するものは 450mm 工場の規模、レイアウト、AMC に関する要求そして工場のスループット要求がある(材料搬送解決策候補は、図 FAC4 を参照)。

Table FAC5a

Material Handling Systems Technology Requirements—Near-term Years

Year of Production	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	65	57	50	45	40	35	32	28	25
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	300	300	450	450	450	450
Transport E-MTTR (minutes) per SEMI E10	10	10	10	10	10	5	5	5	5
Storage E-MTTR (minutes) per SEMI E10	20	20	20	20	20	20	20	20	15
Transport MMBF	15,000	25,000	25,000	35,000	35,000	45,000	45,000	45,000	55,000
Storage MCBF	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	70,000	70,000	70,000	80,000
Peak system throughput (40K WSPM)									
Interbay transport (moves/hour)	2538	2626	2713	2800	2891	2983	3074	3112	3150
Intrabay transport (moves/hour) — high throughput bay	277	288	300	311	324	337	350	365	379
Transport (moves/hour)—unified system	5512	5701	5891	6080	6220	6359	6499	6579	6659
Stocker cycle time (seconds) (100 bin capacity)	12	12	12	12	12	10	10	10	10
Average delivery time (minutes)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Peak delivery time (minutes)	12	12	12	10	10	10	10	10	10
Hot lot average delivery time (minutes)	4	3	3	2	2	2	2	2	2
AMHS lead time (weeks)	12	12	12	<8	<8	<8	<8	<8	<8
AMHS install time (weeks)	24	24	24	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Downtime to extend system capacity when previously planned (minutes)	15	15	15	10	10	10	10	10	5
Time required to integrate process tools to AMHS (minutes per LP)	15	12	12	10	10	5	5	5	5

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

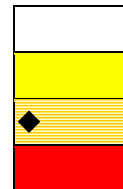


Table FAC5b

Material Handling Systems Technology Requirements—Long-term Years

Year of Production	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	22	20	18	16	14	13	11
Wafer Diameter (mm)	450	450	450	450	450	450	450
Transport E-MTTR (minutes) per SEMI E10	5	5	5	5	5	5	5
Storage E-MTTR (minutes) per SEMI E10	15	15	10	10	10	10	10
Transport MMBF	55,000	55,000	65,000	65,000	65,000	65,000	65,000
Storage MCBF	80,000	80,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
Peak system throughput (40K WSPM)							
Interbay transport (moves/hour)	3188	3285	3383	3480	3520	3560	3600
Intrabay transport (moves/hour) — high throughput bay	394	410	427	443	449	455	461
Transport (moves/hour)—unified system	6740	6879	7019	7159	7241	7323	7406
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)	5	5	5	5	0	0	0
Time required to integrate process tools to AMHS (minutes per LP)	5	5	5	5	5	5	5

材料搬送システムに求められる指標の説明

項目	説明
搬送 E-MTTR(SEMI E10 による最小値)	機器関連(AMHS 搬送)の故障を修理するための平均時間;機器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機器を復帰させるための平均時間;指定された期間(機器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)に負ったすべての機器故障時間の合計時間(経過時間であり、合計人時間ではない)をその期間内に起こった機器関連の故障の回数で割ったもの。 注:計画外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。内蔵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 機器や保管機器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 キャリアや生産実行システム(MES: Manufacturing Execution System) 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。

項目	説明
保管 E-MTTR(E10 による最小値)	機器関連(AMHS 保管)の故障を修理するための平均時間;機器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機器を復帰させるための平均時間;指定された期間(機器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)に負ったすべての機器故障時間の合計時間(経過時間であり、合計人時間ではない)をその期間内に起こった機器関連の故障の回数で割ったもの。 注:計画外でサプライヤ依存の故障と考えられる。保管機器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機器によって行われた平均サイクル回数(A 点から B 点への搬送)。搬送回数割るメーカ依存の計画外故障回数である。搬送回数の詳細については搬送(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 保管機器による平均サイクル回数(A 点から B 点への搬送)、四半期当りの保管サイクル回数割るメーカ依存の計画外故障回数である。保管サイクル回数の詳細については、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、あるストックアでのあるベイ間ビークルへの積み込みから搬送先ストックアでの同一ビ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、ホストである物流制御システム(MCS: Material Control System)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(ストックア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 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(ストックア、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 MCS によってカウントされる。
ストックサイクルタイム(秒) (100 個容量)	ストックサイクルタイムは、ホストである MCS が搬送命令を発してからストックア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1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。

項目	説明
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され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機器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(Wafer Starts per Month)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/ロードポート)	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、装置サイドの平行 I/O インタフェース(PIO: Parallel I/O Interface) 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、ロードポートのティーチング、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ロードポート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 は、歩留、工場運用、製造装置と搬送システムを含む ITRS によって扱われるいくつかの重要機能分野において、重大なインフラストラクチャと技術的な可能性を提供する。

歩留改善は、FICS 解決策に強く依存している。Run-to-Run(R2R)制御、故障検知(FD: Fault Detection)、故障区分(FC: Fault Classification)、故障予測(FP: Fault Prediction)、統計的プロセス制御(SPC: Statistical Process Control)などを含む高度プロセス制御システム APC(Advanced Process Control)を利用するプロセス制御システム(PCS: Process Control Systems)は、広範に行き渡り、FICS 解決策の集約体となっていく。高度に統合された PCS 解決策は、サイクルタイム、条件出し立上時間、計画、計画外ダウンタイムなどの短縮や非製品ウェーハ、スクラップとリワークレベルの削減と同時に、歩留とプロセス能力の改善を可能にしている。ウェーハレベルやさらにサブウェーハレベルにおける R2R 制御はバーチャルメトロロジ(virtual metrology)を利用し、製品変動や保守イベントそしてデータ欠落に効率良く対応して行く。露光-エッチャ-CD コントロールなどのモジュールやクロスモジュール制御解決策はより重要となり、R2R 制御能力は歩留、スループット、電気特性のような工場レベルのパラメータ目標値に関連してくる。故障検知(FD)システムは利用性を拡大すると見られる逐次警報を増す装置データサンプリングのみならず、R2R 制御に繋げるバーチャルメトロロジシステムに入力するレンピスステップの境目で始動を継続する。故障区分(FC)と故障予測(FP)は、技術と標準化のハードルにより、利用の拡大展開が遅くなっているプロセス逸脱の影響や問題解決の時間を削減することができる。SPC は現行の利用率や継続される専門領域によって成熟化する技術である。

製造装置と工場運用は、継続的な装置性能改善や待機時間排除を促進するために、FICS インフラストラクチャとアプリケーションに依存している。装置健全状態の監視、リモート診断(Remote diagnostic)能力、将来の故障の予

見および装置サプライヤによる装置信頼性改善の監視などの増加した情報の収集および分析は、高度に統合された APC 能力を利用する FICS システムによって計画外の装置ダウンタイムを最小限にすることができる。FICS は、APC、生産実行システム(MES)、装置性能トラッキング(EPT: Equipment Performance Tracking)、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(AMHS)の間の協力的な統合化を提供する。システムインテグレーションのこのレベルは、装置有用性を最大限にする適時の材料納期の保証を促進するために要求され、そして、ファブにわたって、インタフェース^Bおよびアプリケーション集積化のための関連する標準の採用、制御診断用ネットワークの増殖および安全信号に、イベントドリブンと FICS、共通のデータウェアハウスおよびデータモデルの中心の再構成可能な監視制御能力によって可能になる。明確となることが要求される革新的合作の解決策は、FD+R2R 制御+スケジューリング/ディスパッチ、FD+メンテナンス管理、R2R 制御のような他のシステムのための健全状態モニタとして利用された FD、安全情報を増強するために利用されたそしてその逆の場合も同様である FD、ライン歩留のようなより高いレベルのパラメータを利用するバーチャルメトロロジ技術、などを包括している。

適切な時の正確な材料、ロットおよびウェーハの出荷予測は、工場運用からサイクルタイム改善への適合にますます重大になっている。より高いプロダクトミックス、より小さいか可変なロットサイズ、セットアップを浪費する時間、レシピ変更および装置制約などは、高レベルの装置利用性を維持し、かつスループット目標を達成するのに必要な処理時間と衝突する。工場は、速く、生産性を最大限にし、かつ目標生産率および優先度(hot)の高いロットの生産時間を維持するために、予期しない装置ダウンあるいは製品スクラップに早急に対応し、スケジュールとディスパッチングを調整するスキームを有していなければならない。スケジューリングの要素は、予言的対反応的なスケジューリング能力を可能にする工場全体にわたる FICS アプリケーションから集められるデータに基づいた計画を生成し再形成するために要求される。これは、最適化モデルが保安全管理、移送管理、プロセス制御および歩留管理のような運用上のインパクト、あるいは、他の FICS アプリケーションへの構造変化を含める能力を提供する。スケジューリングが短期のバッチ生産方式として運行するリアルタイムで実施するか、に関わらず、単一の装置がクラスタ装置かの境界を越えて、計画目標が何を処理するべきかの最良の選択をする。グローバルな視野で、工場活動のスケジューリング構成要素は、工場内の小さなエリアを越えて意思決定することが可能である。その効果は、より大きな工場利用性、より高いスループット、サイクルタイム変動性の削減としてあらわれる。

重要 FICS システム構成要素、より小さなロットサイズおよびよりタイトなプロセスウィンドの間のデータの交換と統合レベルの増加は、FICS によって管理されなければならない増大したメッセージ量とデータ負荷を誘引する。製造装置は、故障検知に必要なセンサデータ、高度プロセス制御(APC)データおよび装置性能データ(マスフロー、圧力および温度調節計のような重大な装置アクチュエータを含んだ)などのデータ量を増加させる。FICS は、増えるデータ転送率や、増加した情報収集、保管および修正の管理に適用するために拡張性を有していなければならない。分散型システムが新規ではないが、FICS 構造は、工場レベル下のデータ/アプリケーションを次第に分散して行く。分散型データ/アプリケーションは、工場領域の競合を減少させて、工場運用およびビジネスレベルの意思決定に対して必要な情報の明確なセットを特定するために大量のデータをフィルタリングするための FICS 能力を強化する。ビジネスレベルソフトウェアシステムで FICS アプリケーションの統合は、サプライマネージメントのための正確な現場データや改良された製造追尾を提供する。解決策候補では、統合化のこのレベルを可能にする技術(例えば SOAP/XML)の標準化を要求している。

これらの FICS 要件の達成は、データ収集、データ交換およびレシピ管理などの業界標準への整合を必要とする。特殊なツール、サプライヤあるいは製造上定義された独自仕様のインタフェースは、IC メーカーおよび FICS サプライヤの両方に実装時間およびコストを増大させるカスタム的解決法となる。新しい標準がアジャイルマニュファクチャリング(agile manufacturing)とプロセス制御の主導をサポートするために要求される。これらの新しい標準を開発する時間は、IC メーカーおよび FICS サプライヤの間の協力によって短縮しなければならない。標準への FICS 適合のためのリード・タイムは、標準に基いた FICS アプリケーションが工場要件を満たすことを保証するために、新しい標準と FICS の標準化の並行開発を通じて、短縮する必要がある。ITRS ファクトリと大学のグループは、工場全体に渡るアプリケーションや制御システムアプリケーションを開発し、かつ改善ための追加機会を識別し、統合する時間を決定するために研究を行う必要がある。最終的に、標準準拠したアプリケーションの市場投入への時間改善は、IC メーカーおよびサプライヤがカスタマイズした統合化よりも、改善された能力に集中することを可能にし、新しいアプリケーションを既存工場に導入するリスクを減少させて、統合化のための時間およびコストを低減する。

FICS インフラストラクチャに対する工場の依存増大は、工場システムの複雑さを増し続ける。それは、全面的な工場システム有用性の増進維持、そして基幹アプリケーションの単一の故障によって引起される完全なファブダウン事故の発生を減少させることを推進することへの配慮拡大である。基幹の FICS 構成要素(ソフトウェアおよびハードウェアの両方)は、インストールするかアップグレードするために計画されたダウンタイムと同様に計画外の工場システム故障も排除するための対故障解決策を提供しなければならない。解決策候補は、ダイナミックなアップグレード、工場システムの健全状態を監視することが可能であり、ロードバランシングを引起すことが可能であるソフトウェア・アプリケーション、および障害迂回のための可視なハードウェアスイッチングでフォールト=トレラント=コンピュータシステムができるソフトウェア・アプリケーションおよびデータベースを包括している。

サイバーセキュリティは、引続き工場運用観点から優先度が高い。サイバー攻撃は、より巧妙で、かつソフトウェアによく融和するようになってきている。この2〜3年で、ICメーカはサイバーセキュリティを扱う際に非常に成熟し、サイバー事故によって、ダウンタイムが発生しない程度まで有効に、毎日の標準運用手順をサイバーセキュリティ手法としてまとめた。2005年3月に ISMI によって、最初にサイバーセキュリティのための利用可能な手法を文書化したサイバーセキュリティガイドラインが発表された。サイバーセキュリティの様々な手法に関連したユースケースの公表に焦点をシフトしたガイドラインへの更新が発表された。ガイドラインは、サイバー攻撃に対応するために使用された多様な戦術を明らかにしている。サイバーセキュリティによって、半導体製造に対する脅威の少なさをもたらしていることにより、その焦点は、装置内の知的財産(IP: Intellectual Property)を保護することによって変わってきている。半導体製造装置は、現在、ネットワーク上の装置を管理サービスするエンジニアとテクニシャンによって、FICS インフラストラクチャとして統合されている。装置は、ICメーカおよびサプライヤの両方のための IP を含んでいる。IP 保護の確保は、運用レベルで重要な価値がある環境において全面的な財務達成に重大である。

表 FAC6a, b の中で示されるように、工場情報制御システムに対する依存の増大は、システム有用性に、より大きな重要性を置いている。増大した工場の複雑さは、工場情報制御システムの統合化拡大へ導く。このために、単一のアプリケーションの故障によって引起された完全な工場ダウンタイムの発生を減少させることが、付加的留意事項になる。更に、基幹システムとデータベースをインストールするかアップグレードするための計画上のダウンタイムは、工場操業への影響を最小としなければならない。解決策候補は、ダイナミックなアップグレード、工場システムの健全状態を監視することが可能であり、負荷バランシングに誘導することが可能な、障害迂回のための可視なハードウェアスイッチングでフォールト=トレラント=コンピュータシステムができるソフトウェア・アプリケーションおよびデータベースを包括している。FICS 解決策候補は、また、ウェーハコスト、歩留および生産性を改善するためのクロスカット課題を解決する総合データを提供することに焦点を当てている。

Table FAC6a

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

Year of Production	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	65	57	50	45	40	35	32	28	25
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	300	300	300	450	450	450
Availability of mission critical applications (% per year)	>99.99%	>99.99%	>99.99%	>99.99%	>99.99%	>99.99%	>99.995%	>99.995%	>99.995%
Downtime of mission critical applications (minutes per year)	<53 min	<53 min	<53 min	<53 min	<35 min	<35 min	<26 min	<26 min	<26 min
Unscheduled downtime of mission critical applications (minutes per year)	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min	<10 min	<10 min	<10 min
Scheduled downtime of mission critical applications (minutes per year)	<40 min	<40 min	<40 min	<40 min	<20 min	<20 min	<15 min	<15 min	<15 min
MCS design to support peak number of AMHS transport moves (moves/hr)	14.7K	15K	15K	15K	15K	15K	15K	15K	15K
Wafer-level (within-lot) recipe / parameter adjustment	Partial	Partial	Partial	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Within-wafer recipe / parameter adjustment	No	No	No	Partial (Litho)	Partial (Litho)	Partial (Litho)	Yes (Litho)	Yes (Litho)	Yes (Litho)

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

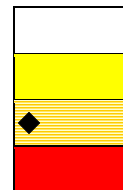


Table FAC6b

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

Year of Production	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	22	20	18	16	14	13	11
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)	≤5 min	≤5 min	≤5 min	≤5 min	≤5 min	≤5 min	≤5 min

24 ファクトリインテグレーション

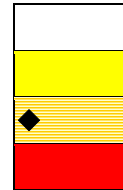
Unscheduled downtime of mission critical applications (minutes per year)	≤5 min	≤5 min	≤5 min	≤5 min	≤5 min	≤5 min	≤5 min
Scheduled downtime of mission critical applications (minutes per year)	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min
MCS design to support peak number of AMHS transport moves (moves/hr)	15K	15K	15K	15K	15K	15K	15K
Wafer-level (within-lot) recipe / parameter adjustment	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Within-wafer recipe / parameter adjustment	Yes (Litho)	Yes (Litho)	Yes (Litho)	Yes (Litho)	Yes (Litho)	Yes (Litho)	Yes (Litho)

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に求められる指標の説明

項目	説明
基幹アプリケーションの有用性(%/年間)	有用性(A)は、装置が SEMI E10 の中で定義されているように要求された時、所期の機能を遂行する状態にあり、100%(計画ダウンタイム%+計画外ダウンタイム%)からマイナスされて計算される確率である。計画ダウンタイムおよび計画外ダウンタイムは、SEMI E10 の中で定義される。
基幹アプリケーションのダウンタイム(分/年間)	基幹アプリケーションがその所期の機能を遂行するために、利用可能でないか、条件にない時間。基幹アプリケーションはウェーハ工場全体の操業可能にしておくのに必要なものである。工場の構造に依存して、これらは次のものを包括している: MES、スケジューラ/ディスパッチャ、MCS、PCS、レシピダウンロード、レチクルシステムおよびファシリティ制御システムである。ハードウェア、システムおよびソフトウェアのアップグレードは、SEMI E10、セクション 5.10.1 の中で定義されるような非計画時間の一部で、ダウンタイムに包含されていない。
基幹アプリケーションの計画ダウンタイム(分/年間)	SEMI E10 の中で定義されるような装置が計画ダウンタイムイベントによって所期の機能を遂行することが可能でない非有用である時間。計画ダウンタイムはメンテナンス遅れ、生産試験、予防保守、消耗品費交換、セットアップ、およびファシリティに関連するイベントを包括している。
基幹アプリケーションの計画外ダウンタイム(分/年間)	SEMI E10 の中で定義されるような計画外のダウンタイムイベントにより装置が所期の機能を遂行することが可能でない時間。計画外ダウンタイムは保全遅れ、修理、消耗品交換、スペック外インプット、およびファシリティに関連するイベントを包括している。
FICS 設計によって支援される AMHS 搬送動作のピーク数(回数/時間)	次のものをサポートするのに有能である: 合一された搬送システムのピーク動作数×1.5(工程間/工程内システムを分離と解釈する)×2(FICS のための安全係数)。ピークシステムスループット(40K の WSPM) —搬送(回数/時間)—合一されたシステムのための自動搬送システムの技術要求を参照。
ウェーハレベルレシピ/パラメータ調整 ウェーハレシピ/パラメータ内部調整/	工場情報制御システムが様々なレシピおよび(または)キャリア内の各々のウェーハのパラメータを実行するべき能力。これはウェーハからウェーハへのレシピおよびパラメータ調整を促進し、1 つのキャリア当たりの複数のロットを得る能力をサポートする。この要求は、工場の、あるいは装置内の各々のポイントでウェーハを追跡し、監視し、かつコントロールする能力を提供するウェーハトレーサビリティを包括している。

ファシリティ

ファシリティには建屋、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、建築の法規や標準、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、多世代活用性、信頼性、俊敏性、投資効率的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。従来と異なる新プロセス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、材料搬送システムの規模と複雑さの増大から、また同様に市場への建設期間短縮やファシリティコスト抑制の圧力が、表 FAC7a と b に記されている挑戦課題のように、現状の多くの工場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、導入されたユーティリティ能力、そしてファシリティスペース(体積)の間のより良い調和は、システムや空間利用の改善、ファシリティ投資と運用コストの改善、これらの目標達成に不可欠である。

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: Electrostatic Discharge)対策、電磁妨害(EMI: Electromagnetic Interference)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、装置メーカーとの早期の協業が必要であり、これによりメンテナンス、除害、再リサイクルの革新的で、コスト効率的な解決策が導かれる。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となる。例えば、ファシリティへの振動要求を抑制し、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、柔軟性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、柔軟性向上、運用信頼性に有用である。気中分子汚染(AMC)の発生は、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を改めて要求している。ファシリティ運用では、適切な AMC 対策のために、装置メーカーとの調整も必要となる。

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 遵守要求によって、上昇し続けている。装置アダプタプレートの開発と導入は、製造装置導入手法の一貫性の確保と装置設計変更の要求を減じ、確実な導入のための文書提供を援助している。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。

製造装置の複雑さの増加や運用の柔軟性追及が求められ、また世界的基準、標準、規制の多様化する中で、起工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、ファシリティを提供する上で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、建設業者、販売／供給者、プロセス装置製造者を包括しなければならない。建設地の集中を緩和し、建築期間を短縮し、コスト削減のゴールに合致させるために、標準化設計概念、標準工場モデル、オフサイト製造などの手法開発が必要になる。装置メーカーと工場設計が標準化されたユーティリティインフラを開発かつそれに順守して行く意欲は、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。

工場運転コストは、ファシリティ減価償却、ユーティリティ消費および人件費によって、より高く設定され続けている。工場建設および操業のための持続可能な概念の開発は資源利用を改善し、環境負荷を軽減することである。例えば:

- ・建築費は、製造装置に対して、排気/空調量要求の低減、プロセス装置冷却水温度の上昇および高電圧電力を使用することによって縮小することができる。
- ・運転コストは、超純水、装置への「sleep」モード導入、冷却水温度の上昇、ミニエンバイロメントや隔離技術(SMIF: Standard Mechanical Interface, FOUP)の利用によるクリーンルーム清浄度要求の緩和、そしてユーティリティ利用に対する逐次監視と制御を介した運用可視化の導入などの革新的な再使用やリサイクル概念によって、縮小す

ることができる。

先行投資による期首資本コストは増加することがあるが、ライフサイクルコストと環境負荷は持続可能性努力を通じて低減される。この資源保護努力や留意を持って、ファシリティや製造装置の運用上の要求が妥協無く発揮されなければならない。例えば、クリーンルーム浮遊パーティクル清浄および関連する気流の削減は温度、湿度、清浄度および製造装置メンテナンスを招くことがある。これらの懸念事項は、ESH、Yield Enhancement および製造装置と共同で取り組まなければならない。一般的な工場清浄度が ISO のクラス 6 に到達するとともに、製造装置のメンテナンス要件として、ポータブルのダウンフロー式局所排気の使用を通じて、装置に組み込むことができることがある。これは、工場環境の汚染からメンテナンス作業を防止し、部分的な清浄化された空気を提供する。

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、この過剰な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のために必要である。ファシリティ設備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。

最後に、製造装置セット(新しい化学物資や窒素、真空、枚葉処理などウェーハ取り扱い環境要求など)あるいはポスト CMOS、次世代大口径ウェーハのような重大な変化は、工場の要求、スケジュール、コストにインパクトを発生する。これらは、現在の 300mm 技術(図 FAC6 ファシリティ解決策候補参照)から確実に予測できない。

Table FAC7a

Facilities Technology Requirements—Near-term Years

Year of Production	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	65	57	50	45	40	35	32	28	25
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	300	300	450	450	450	450
Manufacturing (cleanroom) area/wafer starts per month (m ² /WSPM) (low mix only)	0.6	0.625	0.65	0.675	0.7	0.725	0.75	0.775	0.8
SubFab to Fab ratio (see definition)	1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Facility service 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 7 at rest [2]	Class 7 at rest [2]	Class 7 at rest [2]	Class 7 at rest [2]
Facility cleanliness level (Airborne molecular contamination AMC) - ppt	Discussed in Yield Enhancement Chapter								
Facility critical vibration areas (lithography, metrology, other) (micrometers per second) [3]	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) [3]	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)
Temperature and Humidity Specifications	Discussed in Yield Enhancement Chapter								

Maximum allowable electrostatic field on facility surfaces (V/cm)	70	63	55	50	44	38	35	31	28
Gas, water, chemical purity	Discussed in Yield Enhancement Chapter								
Factory construction time from groundbreaking to first tool move-in (months)	12	11	11	10	10	9	9	9	9
Production equipment install and qualification cost as a % of capital cost [4]	10%	9%	9%	8%	8%	8%	8%	8%	7%
Facility power, water, and chemical consumption	Discussed in ESH Chapter								
Energy Consumption Total Fab Support System (kWh/cm ² per wafer out)	Discussed in ESH Chapter								
Ratio of tool idle versus processing energy consumption (kWh)	0.75	0.75	0.60	0.50	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

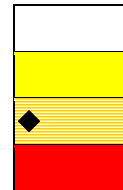


Table FAC7b

Facilities Technology Requirements—Long-term Years

Year of Production	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	22	20	18	16	14	13	11
Wafer Diameter (mm)	450	450	450	450	450	450	450
Manufacturing (cleanroom) area/wafer starts per month (m ² /WSPM) (low mix only)	0.825	0.85	0.875	0.9	0.925	0.95	0.975
SubFab to Fab ratio (see definition)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Facility service life (in three-year nodes)	3	3	3	3	3	3	3
Facility cleanliness level (ISO 14644) [1]	Class 7 at rest [2]	Class 7 at rest [2]	Class 7 at rest [2]	Class 8 at rest [2]	Class 8 at rest [2]	Class 8 at rest [2]	Class 8 at rest [2]
Facility cleanliness level (Airborne molecular contamination AMC) - ppt	Discussed in Yield Enhancement Chapter						
Facility critical vibration areas (lithography, metrology, other) (micrometers per second) [3]	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) [3]	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)

Temperature and Humidity Specifications	Discussed in Yield Enhancement Chapter						
Maximum allowable electrostatic field on facility surfaces (V/cm)	25	22	20	18	15	13	10
Gas, water, chemical purity	Discussed in Yield Enhancement Chapter						
Factory construction time from groundbreaking to first tool move-in (months)	8	8	8	8	8	8	8
Production equipment install and qualification cost as a % of capital cost [4]	7%	6%	6%	5%	5%	5%	5%
Facility power, water, and chemical consumption	Discussed in ESH Chapter						
Energy Consumption Total Fab Support System (kWh/cm^2 per wafer out)	Discussed in ESH Chapter						
Ratio of tool idle versus processing energy consumption (kWh)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Note: Facilities technology requires table make the following assumptions with respect to legends:

	Current solutions provide cost effective trade off between facilities and equipment installation
	Does not prevent manufacturing, but use of space is not optimized.
	
	Does not prevent manufacturing, but impact on space, time to manufacturing, and cost of ownership is not known.

ファシリティに求められる指標の説明

項目	説明
生産(クリーンルーム)領域面積 (m ²)	生産(クリーンルーム)領域面積は、フォトリソグラフ、拡散、エッチ、薄膜プロセス、CMP など直接生産プロセスに用いる製造装置や計測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階下(Sub Fab)領域は除外される。 クリーンルーム規模に影響する予測可能な技術は、リソに対する二重露光や付加的なメタル層のようなものである。
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。
階下(Sub Fab.)/階上(Fab.)面積比	階上(Fab.)エリアに対する階下(Sub Fab.)エリアの比は、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。 床面積の25%の削減は、ファシリティによって要求された階下(Sub Fab.)の柱や安全設備を許容している。この項目は工場運用のスペースフロア効率に関連する。
ファシリティ寿命(3年毎)	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世代(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 ⁶ により規定する。
クリティカル領域(リソ, 計測, 他)	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

⁶ ISO 14644-1.: Cleanrooms and controlled environments, Part 1: Classification of air cleanliness

におけるファシリティの振動 ($\mu\text{m}/\text{秒}$)	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製造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-CC0012.2 ⁷ 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($\mu\text{m}/\text{秒}$)	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-CC0012.2を参照。
ファシリティ表面の最大許容静電界(V/cm)	ファシリティ表面の最大許容静電界は、工場の全ての材料、例えば建設資材、備品、人、装置やキャリアに適用される。測定法に関しては SEMIスタンダード E129 ⁸ 、E78 ⁹ および E43 ¹⁰ 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、最初のコンクリート打ち基礎工事から、工場に最初に装置が搬入され、かつ機器連結(Hook up)可能な状態となるまでの月数である。すなわち建屋システム(例として建築、火気、安全システムなど)が化学物質などの検査を済んで、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(%)	「装置導入立上コストは」、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、必要となる人件費や材料などの全てのコスト。ファシリティシステム確認コストは含むが、ファシリティインフラシステムやその更新、そして製造装置コストや製造装置条件だしコストは含まない。
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。
装置待機時対プロセス時のエネルギー消費比率	SEMI S23 ガイドについて、装置がウェーハ処理している間とウェーハを処理していない時のプロセス装置および補機のエネルギー消費量の比率。

⁷ IEST-RP-CC012.2: Considerations in Cleanroom Design.

⁸ SEMI E129: Guide to Assess and Control Electrostatic Charge in A Semiconductor Manufacturing Facility.

⁹ SEMI E78: Electrostatic Compatibility – Guide to Assess and Control Electrostatic Discharge (ESD) and Electrostatic Attraction (ESA) for Equipment.

¹⁰ SEMI E43: Guide for Measuring Static Charge on Objects and Surfaces

解決策候補

ファクトリインテグレーションの基本的到達目標は、シリコン単位面積あたりの一定コストの維持、工場立上げ期間短縮、技術やビジネスモデルの変化への工場柔軟性の拡大である。困難な技術課題であるところの 1)複雑なビジネス要求への対応、 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、多世代活用性、および拡張性ニーズへの合致、 6)32nm および 22nm 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拡大、 8)従来の CMOS 製造以降を担う次製品の模索、および 9)新たな工場のパラダイムシフトと次のウェーハサイズの出現 以上の目標を達成することである。解決策候補は工場運用、製造装置、材料搬送システム、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棒グラフの部分は、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に向けた解決策の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、技術要求に取り組み、かつこれらの解決策候補を開発するために、計画(例:FORCe)されている。単に表中では、これらの活動が直列的に行われるように示されているが、実際には、それぞれの活動はオーバーラップしている。

解決策候補の表は、新しいファクトリインテグレーションの技術要求に対処するいくつかの解決策候補を含めるため、進歩した内容を反映し、2007 年版用に改定された。解決策候補は、ファクトリインテグレーションの個々のサブセクションに必要な解決策候補に相当する表として、5 つの表で提示されている。

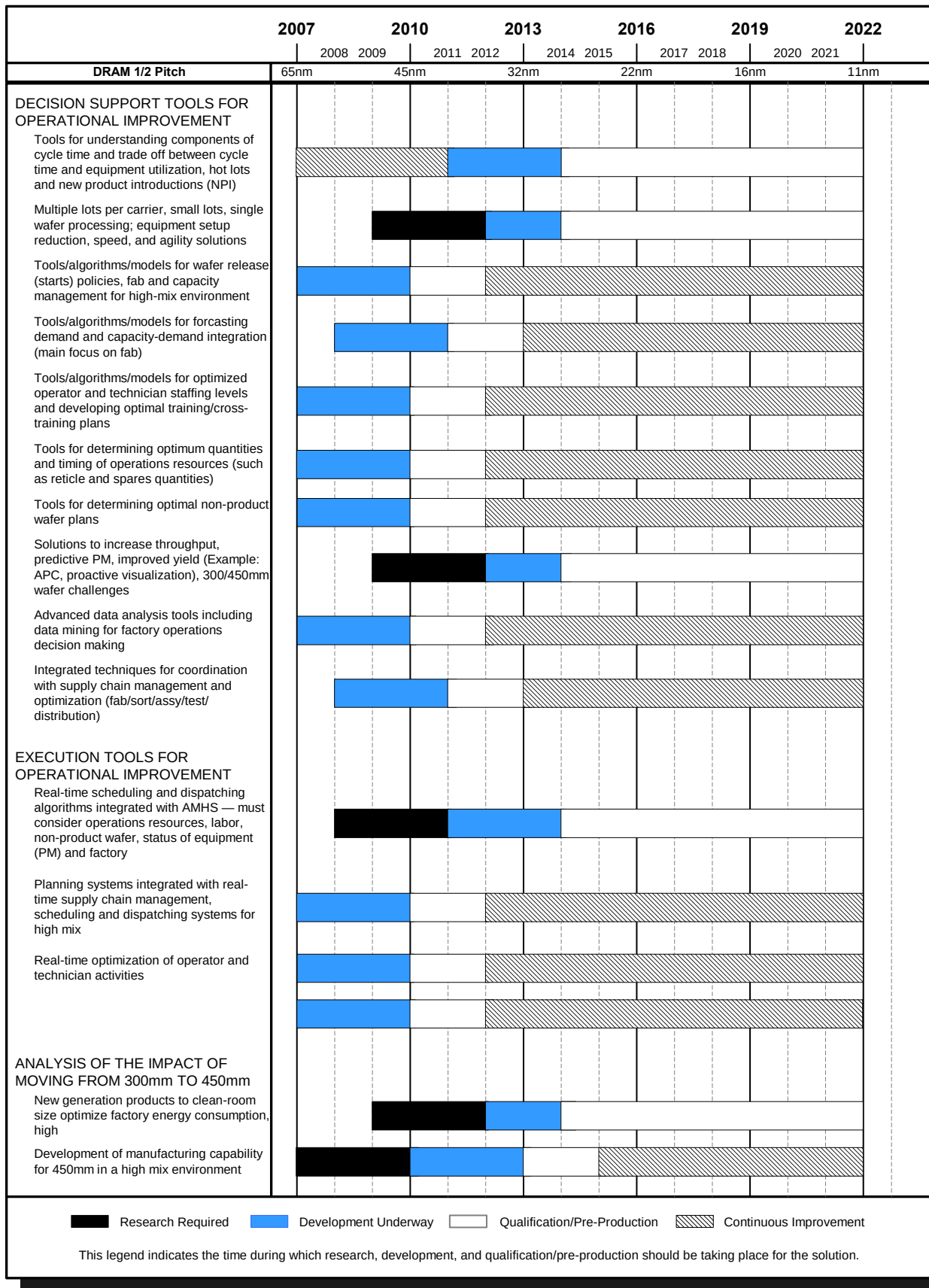


Figure FAC2

Factory Operations Potential Solutions

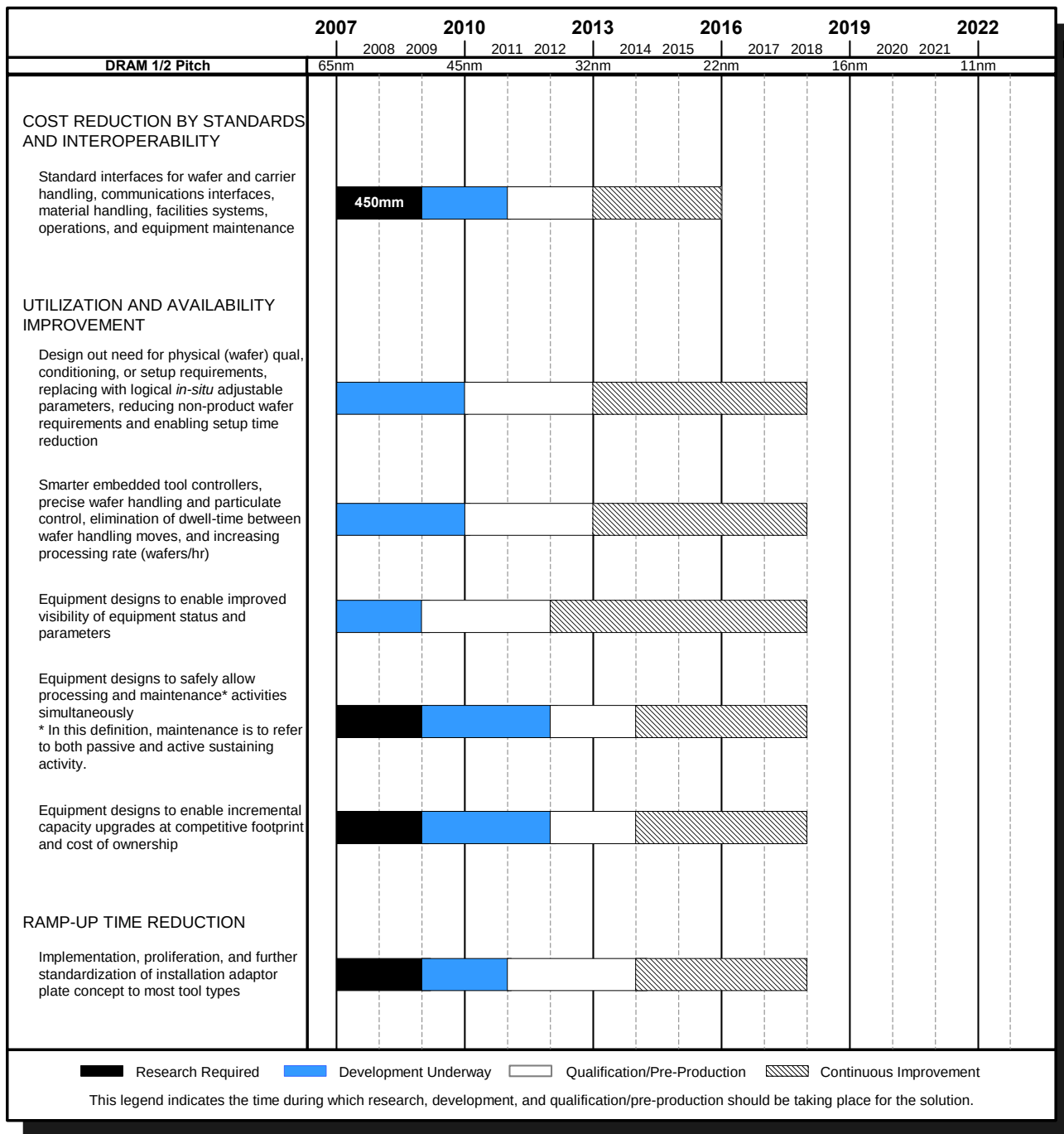


Figure FAC3

Production Equipment Potential Solutions

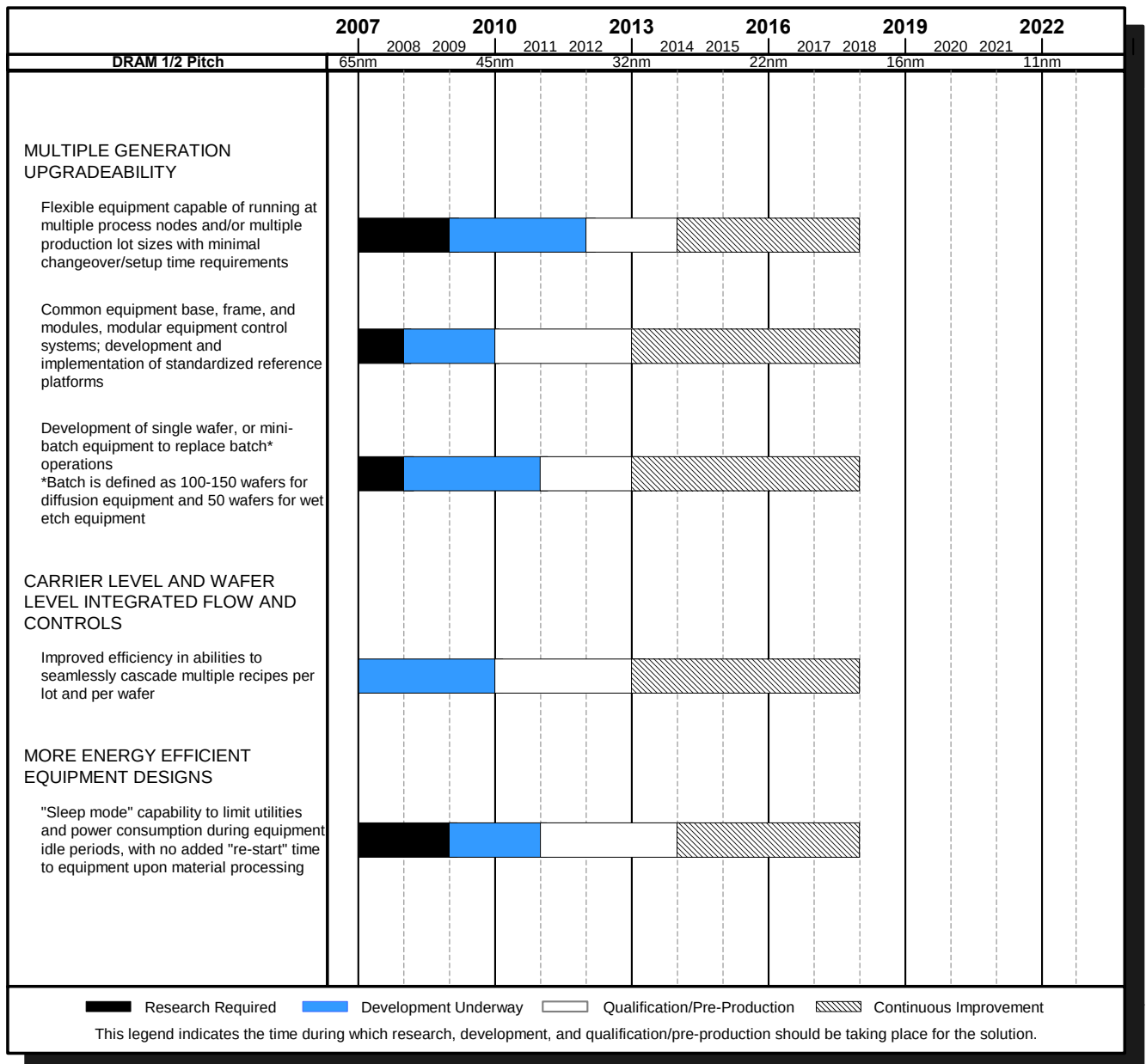


Figure FAC3

Production Equipment Potential Solutions (continued)

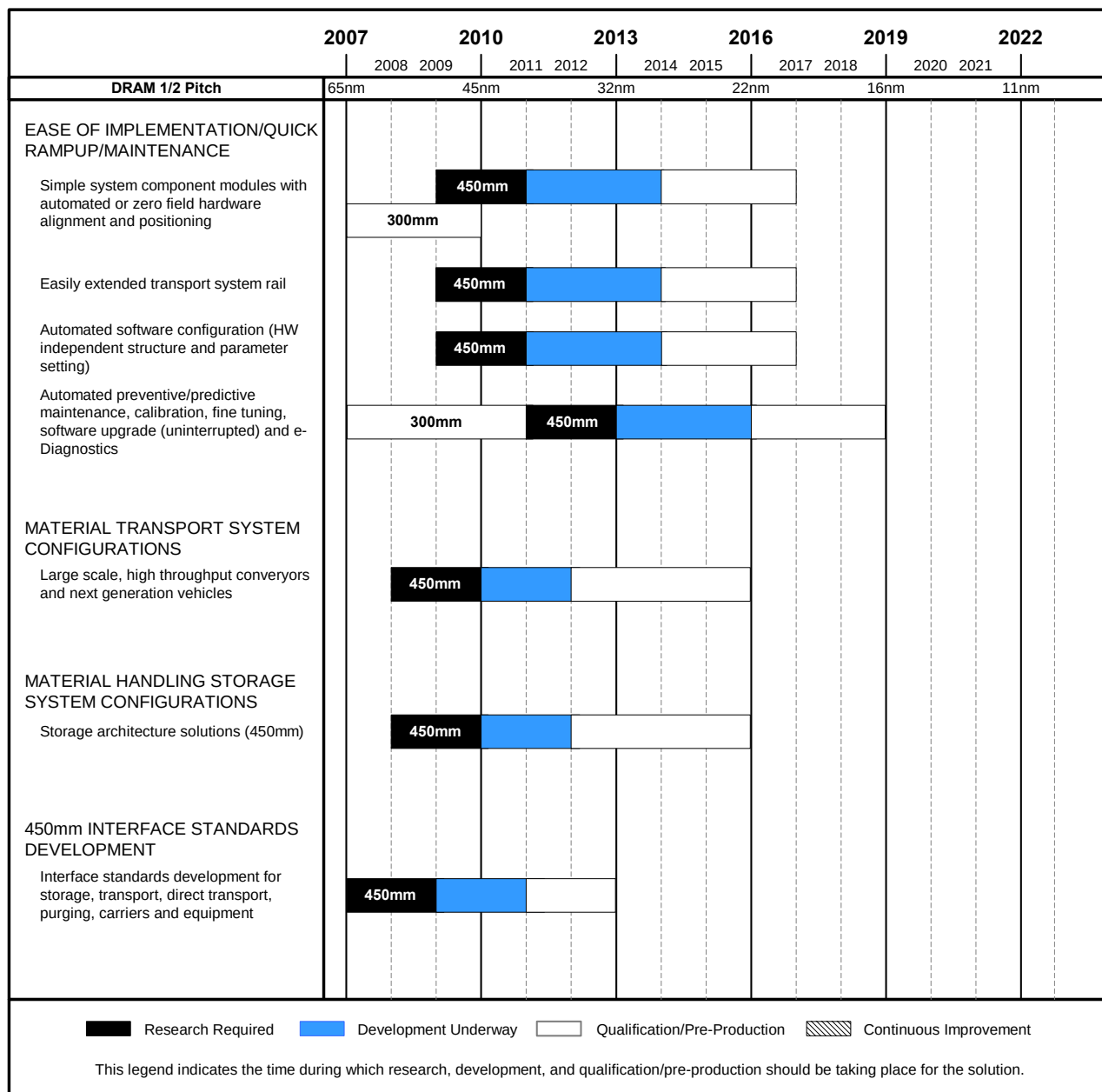


Figure FAC4

Material Handling Potential Solutions

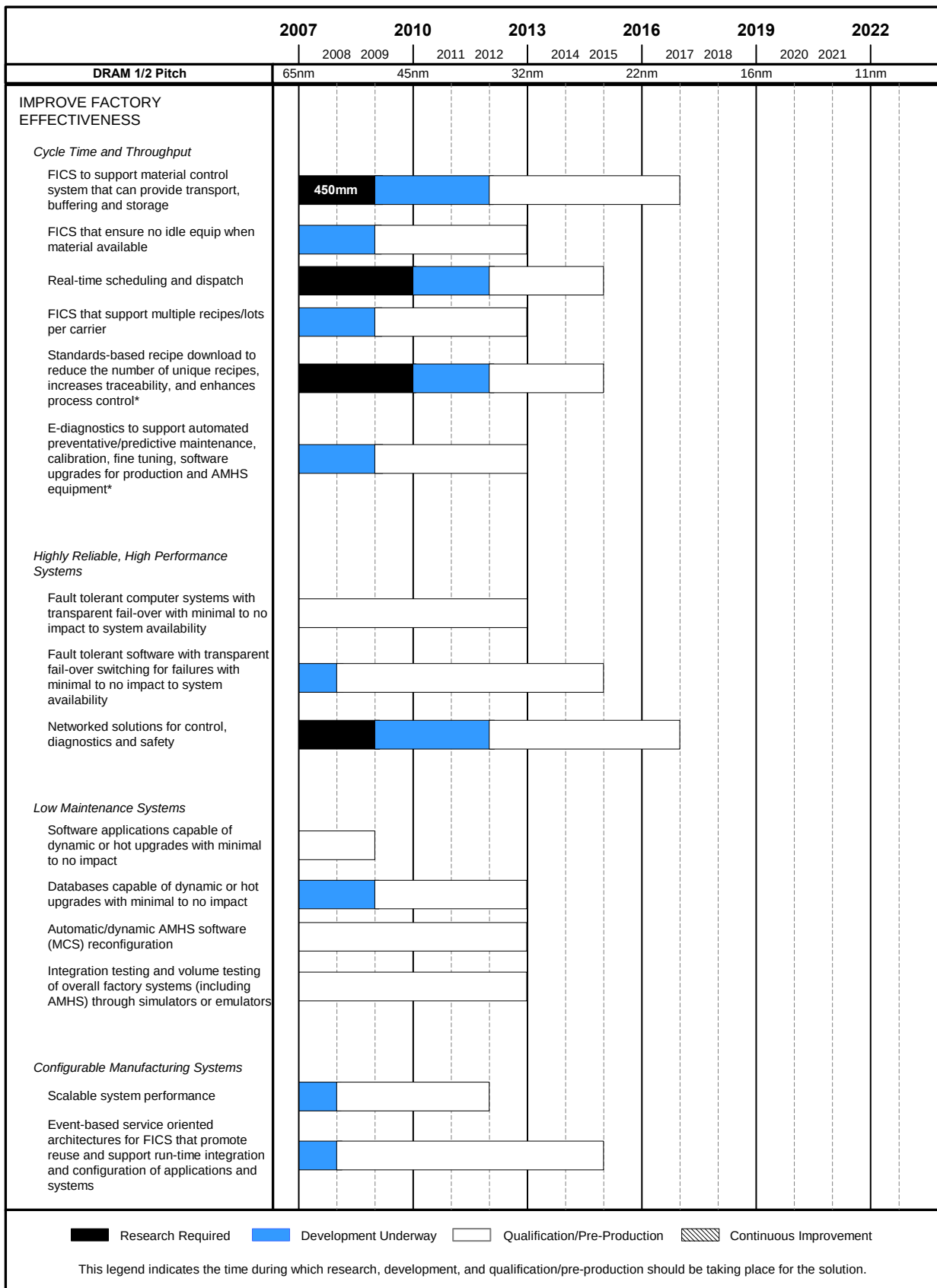


Figure FAC5

Factory Information and Control Systems Potential Solutions

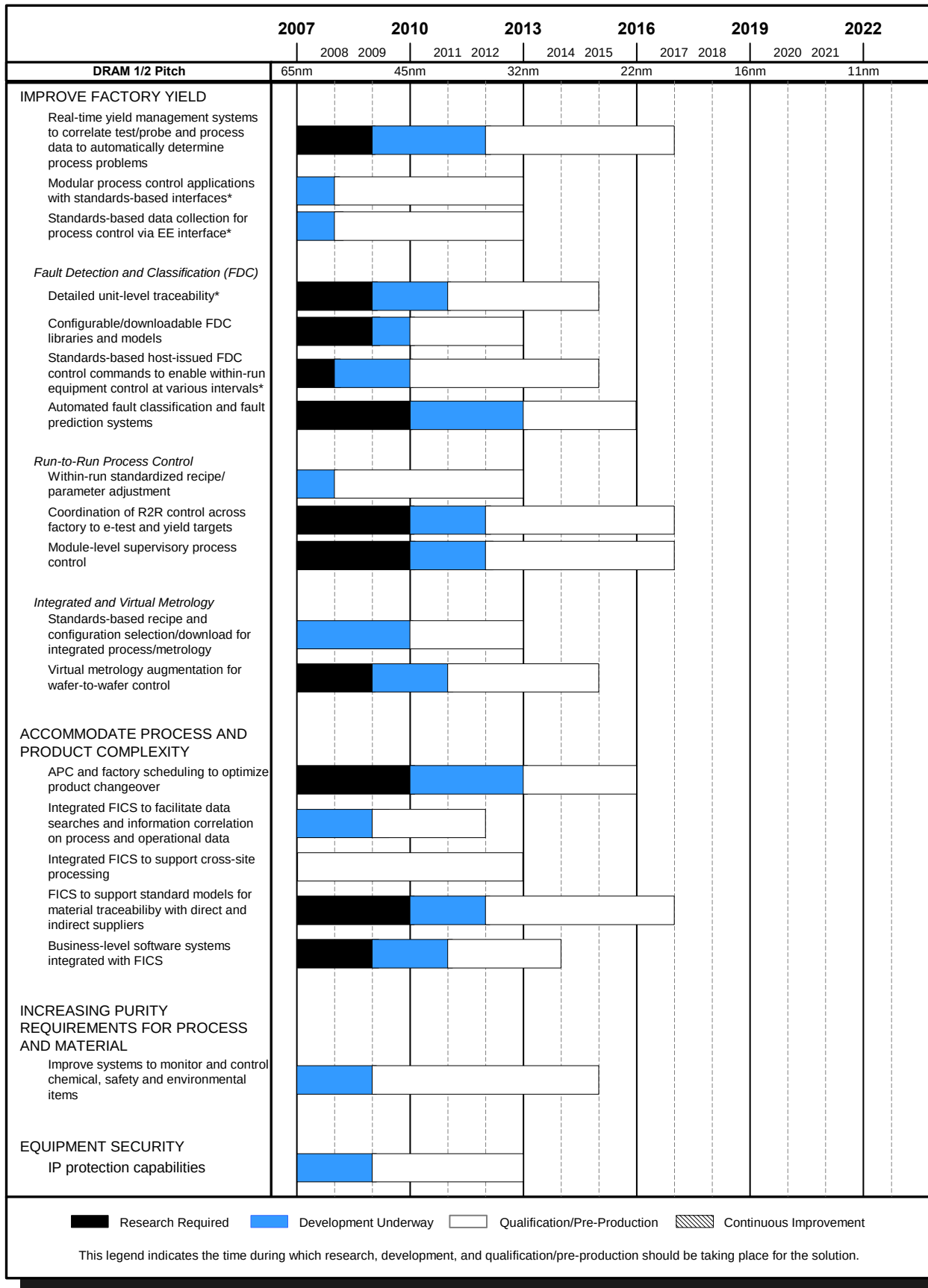


Figure FAC5

Factory Information and Control Systems Potential Solutions (continued)

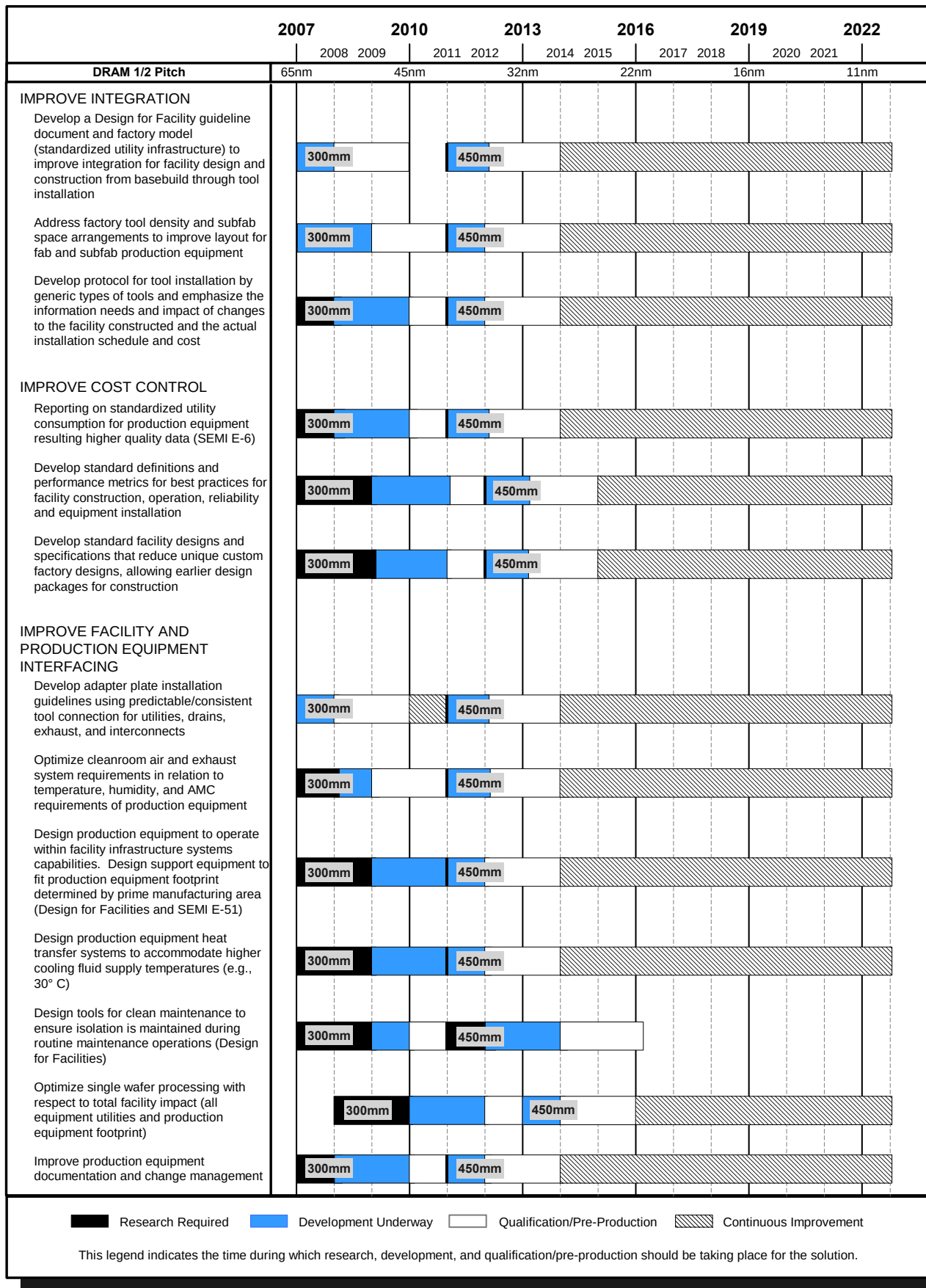


Figure FAC6

Facilities Potential Solutions

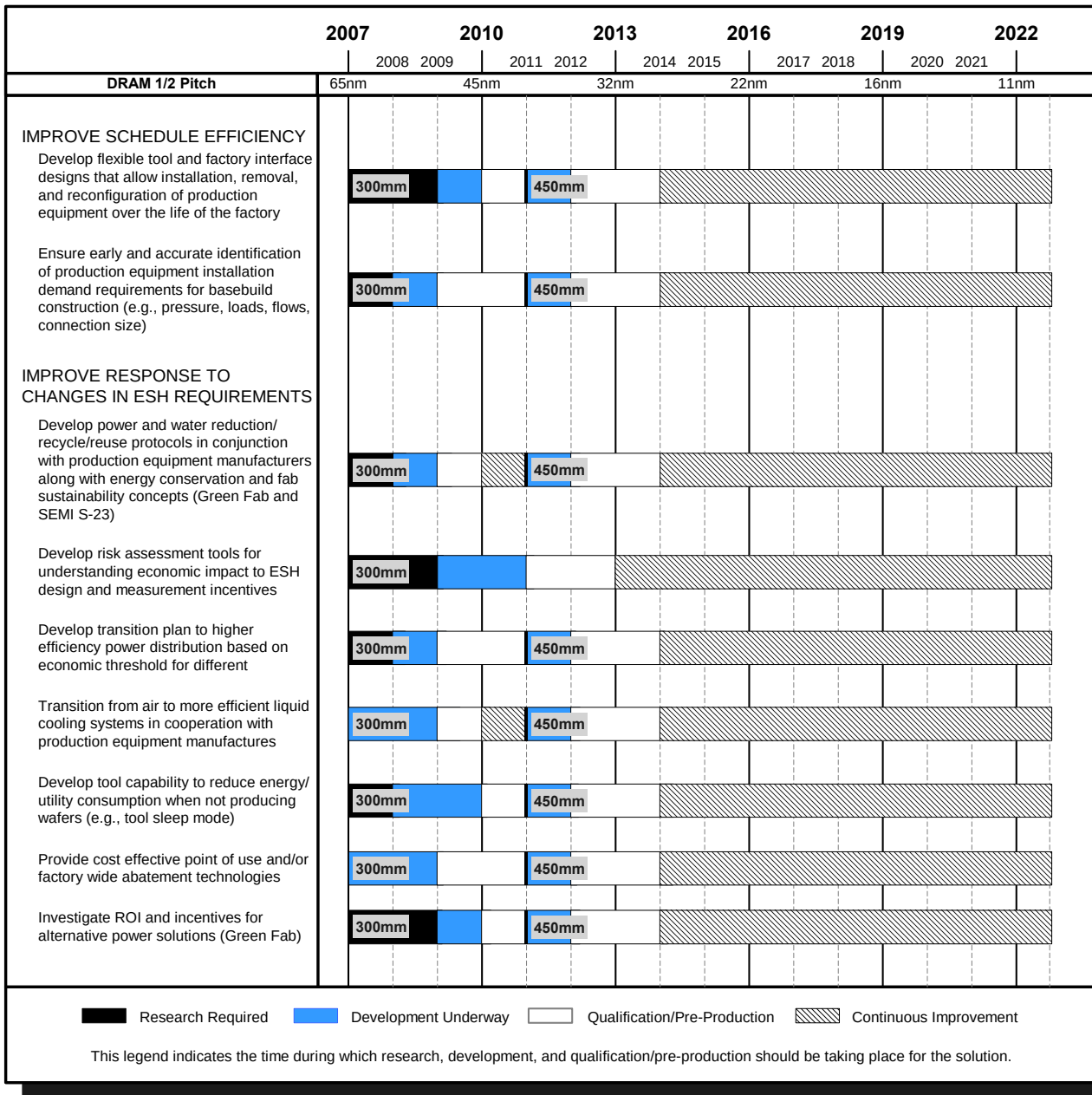


Figure FAC6

Facilities Potential Solutions (continued)

クロスカット課題

ファクトリインテグレーションの技術要求は、デバイス、プロセス、歩留、計測、ESH、リソグラフィ、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、他のワーキンググループと歩調を合わせて取り組んだ重要なクロスカット挑戦課題と要求をリストにした。これまで数年間、実質対応されてきたいくつかのクロスカット課題と、2007年にFEP、Lithography、ESH、Metrology、歩留技術の各WGとファクトリインテグレーションにおいて主活動であった課題が、以下の表 FAC8 に記載されている。ファクトリインテグレーションは、2007年以降に発生するこれらの主要クロスカットの挑戦課題と要求に対応し続ける。(450mm のクロスカット課題は後のページに記載されている)

Table FAC8 Crosscut Issues Relating to Factory Integration

Crosscut Area	Factory integration related key challenges
Front end Process (FEP)	Wafer edge exclusion was changed from 1.5 mm to 2 mm for near-term years since no feasible solution exists. Factory and FEP teams will continue to work on AMC requirements. Working with FEP on what process equipments are suitable for equipment sleep mode for energy conservation.
Lithography	Continuing to understand EUVL (power, consumables) requirements from Factory Integration perspective; Fast reticle change; reticle storage issues and reticle buffering due to small lots; Need to coordinate yield inputs on temperature and humidity requirements (particularly temperature variation inside the tools); AMC relative to the reticle and tighter process control needs. Lithography DFM needs.
ESH	Primary focus is on energy and resource conservation. Co-sharing of metrics for energy and resource sharing need to be in-sync. Ergonomics, tool design, chemical consumption concerns; AMC and particulate levels to be maintained; Regulations; ESH chemical abatement analysis needed.
Metrology	Industry wide wafer map coordinate standards are needed. Comprehensive metrology roadmap to be jointly defined. AMC, temperature, and humidity control will also be a crosscut issue
Yield Enhancement	Maintain temperature control at the lithography and metrology area. Propose to relaxation of the control on absolute humidity (energy savings). Factory Integration to work with the Yield team on specifying particle and AMC targets for equipment, AMHS, and FOUF. Yield will provide Factory Integration information on gas and chemical process control.

フロントエンドプロセス(FEP: FRONT END PROCESS)

フロントエンドプロセスのロードマップは、微細化の進む MOS トランジスタ(MOSFETs)や DRAM の記憶容量、同様にフラッシュや強誘電体 RAM(FeRAM)デバイス製造に関する将来のプロセス技術要求や解決策候補にフォーカスしている。ファクトリインテグレーションの WG とフロントエンドプロセス WG で共通の重要課題は、物理的に良品が取れないウェーハエッジ幅と 450mm ウェーハへの挑戦である。省エネルギーのための装置スリープモードもクロスカットの課題であり、1.5mm のウェーハエッジの排除領域もシリコン基板と SOI 基盤にとって長期的な非常に大きな挑戦課題である。フロントエンドプロセスは、AMC 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

リソグラフィは、パターンニングの物理限界に対する光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光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。ファクトリインテグレーション分野に関する重要な挑戦課題は、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 技術の改良も大きな課題である(例えば、オーバーレイやエッジラフネスに対するより厳しい制御が必要である)。その他の課題としては、DFM(Design for Manufacturing)や装置内の温度変動、レチクルに対する AMC 汚染がある。

環境、安全、健康(ESH: ENVIRONMENTAL, SAFETY AND HEALTH)

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 からの要求に適合した工場を早期に立上げるために、必須である。

装置メーカは、ユースポイントで除害設備と装置の統合を着々と進めた。しかしながら、その結果、階下(Sub Fab.; 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、早急な挑戦課題として、設置面積全体の増加なしで使用設備を階下(Sub Fab.)だけでなく階下(Sub Fab.)と階上(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導く。この標準は、自動化システムとインタフェースをとる装置、およびそのインタフェースにおいても適用される。

半導体業界は、ますます増大している環境上の制限に直面している。適性な給水能力の有用性を得るために、工場規模や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。

省エネルギーは必須である。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。今年から、ファクトリインテグレーションと ESH のチームは省エネルギー(例えば、装置スリープモード)について、一緒に活動を始める。

ESH プログラムに対する多くの責任を装置メーカが負う一方で、高度のリソースマネジメントプログラムの適用が重要な影響となる。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は、ESH: Environmental, Safety and Health の章を参照されたい。

歩留管理(YIELD MANAGEMENT)

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計測装置およびモニタウェーハの必要性を低減できる。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、急速な歩留り立上、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。温度と湿度の指標化は AMC の技術要求と合わせてファクトリインテグレーションと歩留りワーキンググループとが共に進めて行く。

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 は非競合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計測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 Yield Enhancement の章を参照されたい。

計測(METROLOGY)

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、最終テストの範囲におよび、事業レベルの情報まで連携される。この「データの情報化」は、装置適用認定時間および量産立上げ時間を最小化するために、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により飛躍的に増加しつつある。これらのデータを解析するには、工場(ウェーハ工程、プローブ検査、等)を

また、複数のデータ源との接続と相関が必要である。300 mm 工場では、高効率な工場インタフェースを実現するために、欠陥をレビューし分類する計測装置がクラスタ装置あるいは統合クラスタ装置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)機能を有するものも出てくるであろう。ファクトリインテグレーション WG と計測 WG は引き続き VM(Virtual Metrology)と IM の要求検討に取り組む。また、両 TWG はウェーハマップ座標の業界標準の必要性を認識している。IM に要するコストは、工場全体の生産性改善の実施およびその効果とうまくバランスを取らなくてはならない。計測についての総合的な記述については、Metrology の章を参照されたい。

静電気と電磁妨害の制御(STATIC CHARGE AND ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE CONTROL)

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(ESA: electrostatic attracted)起因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。
2. 静電気放電(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破損する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 つの問題は材料ウェーハやレチクルの製造、ウェーハ加工、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。

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)¹¹は装置の停止や不調、センサの誤検知、測定エラー他などの半導体製造の色々な問題の原因となる。半導体環境の EMI 発生源は多く、ESD、装置操業、超高エネルギー設備、無線機、などからの電磁放射である。高エネルギー設備と敏感な設備の併設、配線、アース問題、不適切な設備保守などが EMI 問題を悪化させる。

微細化につれて、上で説明した影響は、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ので、特に計測装置でより著しくなる。従って、EMI の現象、影響、およびコスト効果の高い方法で緩和する方法を将来のプロセス技術の進歩につれて理解することがより重要になる。現在の EMI はエンドユーザ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す。将来の電磁関連の障害増加に対する準備をグローバルなレベルで取り組む必要がある。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とされている。

工場インタフェース標準化要件

標準は、非競合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。非専売標準をうまく開発・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くことのできる工場を容易に展開することができる。相互に関係し合って動く要素、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、非競合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もたらすとともに、工場の複雑さを低減するのに役立った。最近、ファクトリインテグレーションのサブチームであるファシリティが、装置導入期間改善のためのアダプタスタンダードを定義するためのチームを、SEMI と一緒にキックオフした。

¹¹ SEMI E33-94 - Specification for Semiconductor Manufacturing Facility Electromagnetic Compatibility.

ファクトリインテグレーションフォーカスエリア

5つのサブチームに跨った検討と他の技術WGとのクロスカット活動による技術検討に加えて、ファクトリインテグレーションチームは中長期的に本技術分野に影響が出る重要な技術事項についての検討を実施した。本章では以下の3つのより重要な技術事項についてその詳細を述べるものである。その技術事項は;

(1) 気中分子汚染、(2)能動的な生産活動の可視化、(3) 省エネルギー、(4) 次世代 300mm(300Prime)と 450mm ウェーハの大口径への移行、である。

気中分子汚染(AMC: AIRBORNE MOLECULAR CONTAMINATION)

AMC は(定義については SEMI スタンダード F21 を参照願いたい)¹²、半導体の製造工程である FEOL(Front End of Line)及び BEOL(Back End of Line)の両方で管理される必要がある。このような汚染管理の実施は、工場全体で適用するか、あるいは特段のプロセスで実施するかに分かれ、プロセスに依拠して管理レベルも異なるべきである。歩留り向上の章に掲載されているウェーハ汚染環境レベル制御に関する表には以下に示す環境汚染レベルの管理が推奨されている;

- ・AMC はクリーンルーム環境、あるいはパージガス環境で測定あるいは監視されるべきである
- ・表面分子汚染(SMC: Surface Molecular Contamination)は、監視用ウェーハの表面で監視されるべきである

経済性効果のあるAMC制御を盛り込んだ工場設計には、AMCの原因同定、制御方法、ウェーハ環境の積極的維持方法に至るまで、多くの対策事項が勘案される必要がある。2005 年のファクトリインテグレーション章にはエアーハンドリングユニット、ケミカルフィルタ、レチクルキャリアについての要求を述べた。ファクトリインテグレーションでは、AMC 制御は歩留まりに直接的な影響があるので、これに加えて装置レベルと FOUP レベルとでの AMC に関する要求が明確にされるべきであると考えている。

AMC 制御に最も効果的なソリューションについては、適当な可視化ツール、モデリングと計算シミュレーションによって評価がなされるべきである。

能動的生産活動の可視化(PROACTIVE VISUALIZATION)

デバイスメーカーは夫々が所有する生産資産とその運用方法を、様々に変化する顧客要求に対応するために、俊敏性と柔軟性をもって適応させる必要がある。SoC 製造は顧客ニーズへの迅速な対応が強く求められる典型的な例であり、このために生産上の隘路事項を内包している。能動的な生産活動の可視化とは、製造上の問題や要求事項を一度成分分解し、抽象性の高い整理軸に従って組立て直すことである。図 FAC7 は工場活動の可視化指標とその相互関係を総合的に示したものである。同図の構造は工場運用の軸と価値の軸を持ち、階層的に設計されるべきである。

能動的な生産活動の可視化のもうひとつの重要な側面には納期がある。納期とコスト あるいは納期と製品品質保証には、潜在的にトレードオフの関係があり可視化が望まれている。納期は工場リソース観点、工場運用観点、製品(ロット)観点の 3 つの観点に沿ってブレイクダウンされるべきである。工場リソース観点と工場運用観点は、今までも少品種大量生産のビジネスモデルで、工場生産量の最大化と、コストの最小化に用いられてきた。しかしながら製品(ロット)観点は製造サイクルタイム縮減、納期遵守の観点から使われている。高混流少量生産では、これらの 3 つの観点からの工場生産性が最大化されるように調整されるべきである。納期の成分の幾つかはロットサイズに依存性を持つ。ファブの能力は、小枚数のロットを扱いの観点からも記述される必要がある。

SoC 製造の平均的なロットサイズは、ウェーハの大口径化の進展と、短納期の要求の強まりの中で次第に縮小していくと考えられている。ITRS のロードマップでは製造サイクルタイムについてのトレンドは、オーダーサイズとその年代で量産に使用できるウェーハの最大口径に沿って表記される必要がある。これらの要求トレンドを表現するためにファクトリインテグレーション技術要求表は 2007 年版から小ロットサイズでのサイクルタイムを併せて掲載した。

1 マスク層のサイクルタイムは便利性の高い指標あり、代表ロットサイズの小型化トレンドにリンクして、縮減していくと考えられる。

¹² SEMI F21-1102 - Classification of Airborne Molecular Contaminant Levels in Clean Environments.

半導体製造に用いられている装置は、個々の装置の機能活動においても、また装置全体の機能活動においても非常に複雑なものになっている。装置機能の品質確認は装置サプライヤとデバイスメーカの両方にとって大きな課題となっている。装置の活動は以下に示す 3 つの隣接した仮説的な階層に分解することができる；

1. プロセス条件を生成する
2. 装置の内部機能を制御する活動
3. 装置の機能あるいはサブシステムの活動

今日では上記の最上層の活動が限られたデータで、装置が生成したプロセス条件として監視されている。その下の階層は今まで十分な可視化努力の対象となっておらず、上記の 3 階層の活動が連携されてプロセス実行業務の品質確認のためには十分に可視化されていない。

Selete/JEITA と ISMI が共同して開発した EEC ガイドライン(2002 年)¹³ではプロセス実行業務の高品質化のために、装置から得られる高品質な装置エンジニアリングデータに仲介された装置サプライヤとデバイスメーカの協業が必要であることを要求している。

上記したプロセス実行業務の品質確認の階層間ギャップは、そこで扱われる情報の粒度を向上させ、階層相互間の連携性を高めることで埋めることができる可能性がある。装置品質の高度保証のコンテンツ、即ち、装置正常動作の証拠データ、データモデル、装置機能検定判定条件、等は装置サプライヤとその装置ユーザであるデバイスメーカ間で取り交されることで、階層間がリンクすることになる。EEC ガイドラインの中で要求されている装置エンジニアリングデータが得られるようになることで、装置サプライヤの会社内、デバイスメーカ内において、且つ、同時に装置サプライヤとデバイスメーカとの間で、ビジネス境界を跨った能動的な可視化が進み、より戦略的に重要な業務分担を可能にすると考えられている。

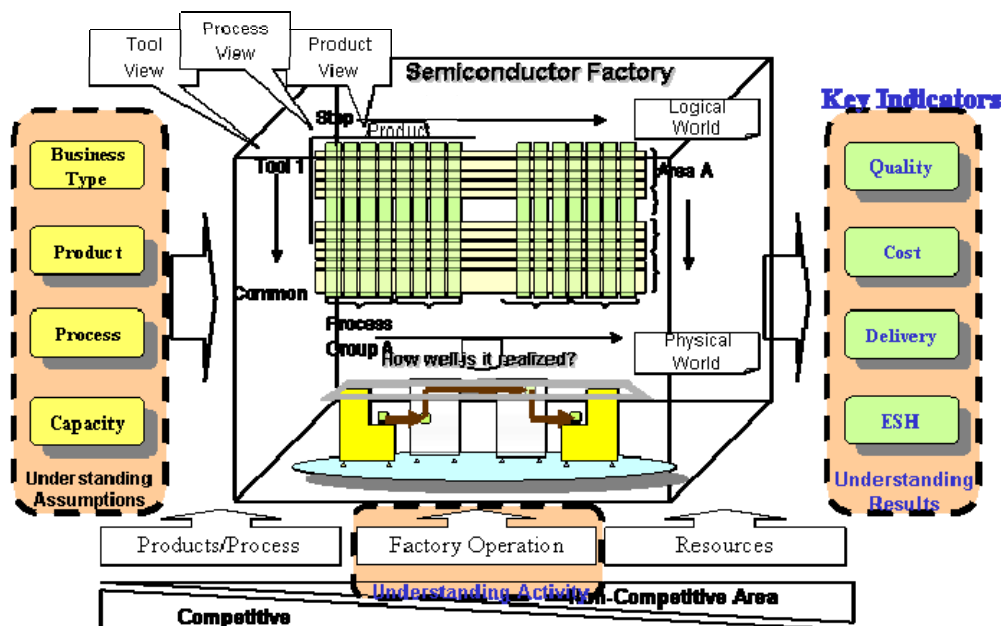


Figure FAC7 Comprehensive Analysis and Decision Making Need Matrix Table
with Manipulation and Value Axes

上記した能動的な可視化への装置サプライヤの参加の提案については既に EEQA(Enhanced Equipment Quality Assurance)として概念化されている。装置の真性的なロス(生産性の無駄)を分析するために装置からモデルに則ったデータが得られることが必要である。装置エンジニアリングデータは装置機能の活動、同状態、同性能を表すように純正的にモデル化されて定義されるべきである。装置エンジニアリングデータを使用することで装置サプライヤは、装置機能の調整、装置性能の正常性確認を実施することができるし、デバイスメーカは装置が、生産現場で期

¹³ Equipment Engineering Capability Guidelines by Selete/JEITA and ISMI (2002).

待通り正常に動作していることを確認することができる。装置エンジニアリングデータの用途は装置サプライヤとデバイスメーカにとって有意なように再定義をする必要がある。装置から装置の制御のためでない、装置の詳細な状態データを送出するための所謂“セカンドデータポート”の導入は、広いバンド幅とよく設計されたエンジニアリングデータが送出されるためのメカニズムとして機能すると期待される。

装置エンジニアリングデータは以下の 5 つの重要な用途をカバーするべきである;

- ・工場ホスト側からの装置制御が実施されたことと、その結果で起こる装置の純正的な動作(GEM300)を詳述するデータ用途
- ・ウェーハ処理ために生成されたプロセス条件を表現するデータ用途
- ・ホスト側/装置外側での装置の活動状況捕捉、装置生産性の計算の実行、装置の真性ロスの計算実行へのデータ用途
- ・装置によるエネルギー消費、材料消費、部品消耗の分析と改善をおこなうためのデータ用途
- ・装置内部のプロセスアクチュエータ等の活動制御が実施されたことと、装置間での活動比較、その結果で起こる装置の純正的な動作を詳述するデータ用途

上記のいずれのデータ用途でも、図 FAC8 に示すように装置エンジニアリングデータはウェーハの括りの観点と、チェンバの括りの観点から整理されて提供されるべきである。装置エンジニアリングデータはシステムチックで自動化したデータ利用が可能のように、十分なコンテキスト情報が添付され、また必要に応じて、関連付けて理解する必要のある事象については、同期したタイムスタンプが添付される等の設計が為されている必要がある。装置エンジニアリングデータの標準化によって、装置エンジニアリングデータから、再利用が可能な抽象度の高い装置の生産性指標情報(例: 単位時間当たりの処理数)、装置内部の物理的な機能性能の評価情報(例: 圧力制御、流量制御、温度制御、etc.) までの抽出が可能になり、その抽出方法は再利用が可能となる。装置サプライヤは装置エンジニアリングデータの質の改善によって装置に内蔵される装置の機能個々の性能を確認することができるようになる。装置個々機能の検定を積み重ねることで装置全体の機能性能の確認ことができ、最終的には装置の品質を可視化することに帰着する。このような装置データ質の改善と標準化はサードパーティの装置データ利用のアプリケーションの開発を促進させることになる。

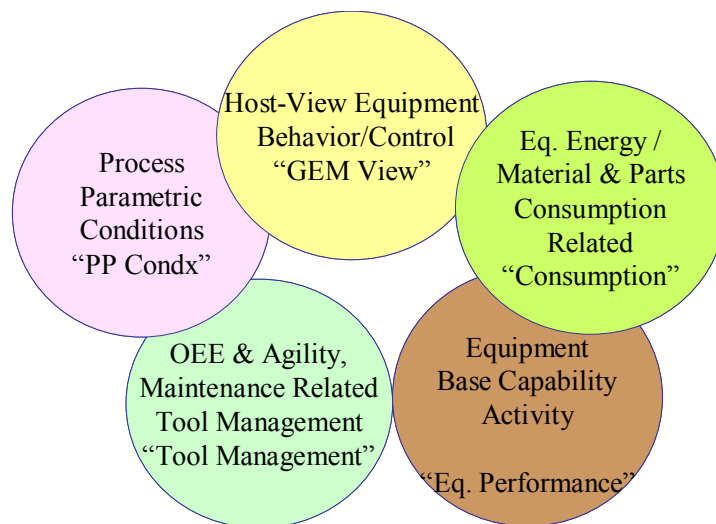


Figure FAC8

Areas of Usage for Equipment Engineering Data

省エネルギー(ENERGY CONSERVATION)

省エネルギーの主たるゴールは、その基本的な機能が記述された要求ベースのファシリティ利用モデルによる、ファシリティの運用コスト削減である。2007 年にファクトリインテグレーションチームは、いくつかのファシリティや製造装置のサブチームと省エネルギーの定義について共同作業を行った。この活動の挑戦課題と出力は、ファシリティの技

術要求テーブルに掲載されている、装置の稼働時と待機時の使用電力の比較の指標に関するものである。また、製造装置とファシリティのサブチームは、省エネルギーのための幾つかの解決策として、装置のスリーピングモードを評価している。装置のスリーピングモードとは、例えばウェーハの加工をしていないとき(すなわちアイドル時)にポンプを止める機能をもつことである。しかし、装置の生産性や歩留への影響なく、装置の一部の停止を実現する必要があることは言うまでもない。ファシリティサブチームは、チラーや排水システムなどのファシリティユニットについてもエネルギー効率対応を評価している。ファクトリインテグレーションチームでは、2008 年以降も引き続き省エネルギーをフォーカスエリアとして取り上げ、技術要求や解決策候補を定義していく。

300mm プライム/450mm への課題

ムーアの法則を守るための一つの方向として、デバイス改革(トランジスタ設計の改善、新材料、リソグラフィの形状サイズ縮小)加えて大口径化が半導体産業で検討され始めている。これらの改革により、工場の高い生産性向上を成し遂げ、過去 30 年間毎年機能当たりのコストを約 30%削減してきた。これまでの最後のウェーハサイズの変更は、10 年前の 200mm から 300mm への変更であった。その変更は 30%のコスト削減を明確に示した。45nm 世代がメインとなる時代には、450mm への以降はスムーズに行われなければならない。300mm プライムの活動は、図 FAC9 に示すようにバックワードコンパチを保ってシームレスに以降が進む位置づけとしてある。450mm のキー目標は、30%のコスト削減と 50%のマスク当たりのサイクルタイム削減である。

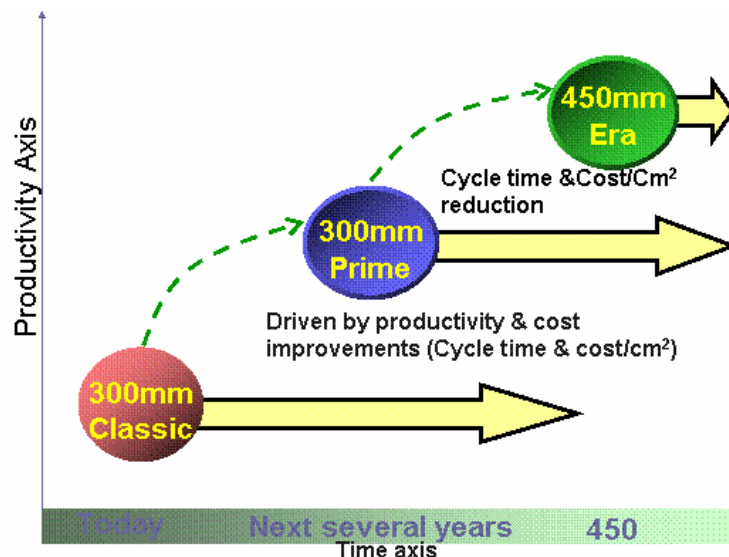
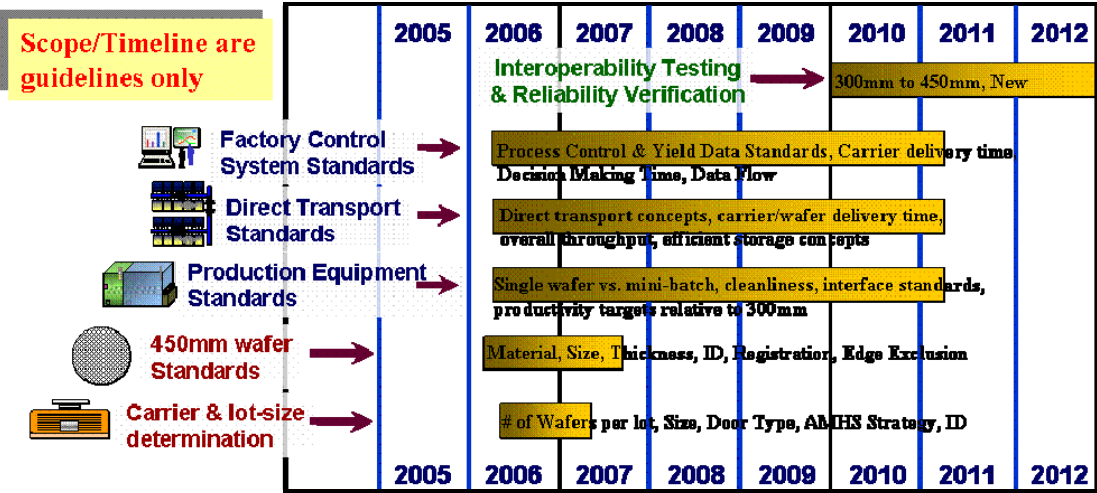


Figure FAC9

Transition to 300' and 450 mm

ファクトリインテグレーションチームは、450mm の特性とタイムラインを図 FAC10 にまとめた。そして、JEITA と ISMI



のガイドラインを比較し、ファクトリインテグレーションサブチーム領域のそれぞれの技術要求や解決策候補へ位置づけようとしている。

Figure FAC10 450 mm Timeline and Key Attributes

現在、ファクトリインテグレーションチーム内やその他の技術 WG と 450mm への以降に対する技術的、ビジネス的いくつかの技術課題が話し合われている。表 FAC11 にこれらの検討のまとめを示した。

Table FAC9

List of Next Wafer Size Challenges

Technology WG	450mm の挑戦課題
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 多品種対少品種 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 多品種の課題 サイクルタイムの課題
FI – Production Equipment	一定の小容量ミニエンバイロメントキャリア混用 コンベヤ搬送 小床面積ツールバップファリング 300mm から 450mm への変換 装置プラットホームコンセプトとアダプタプレートの使用 ウェーハグリッピング、エッジ除外 α 装置開発、省エネルギー
FI – Factory Information and Control Systems	工場自動化(ロードロック、搬送方法など) 多品種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/月の工場に必要になるかもしれない mph へのインパクト 搬送バッチサイズ
FI – Facilities	現状工場の多世代活用性 増大したサブファブ領域の認識 除害ユースポイントおよび新材料の課題 高さ、振動、フロア密度 省エネルギー
Interconnect	450mm の問題点に取り組む共通のチームが必要(300i に類似) 良品の取れないウェーハエッジ領域(1.5mm?) NWS と新材料に対する除害費用
Front end Process (FEP)	<u>技術性</u>:より大きな領域の上での仕様への対応 <u>経済性</u>:ウェーハメーカ、装置メーカへの対応 <u>クリティカルパスの定義</u>:開発サイクル対応への遅れ <u>標準化</u>:ウェーハスペック(タイプ、厚さ、直径許容差) FEP は、ミニバッチ装置やバッチ装置に対し、枚葉ウェーハ処理への切り換えが、どの世代で発生するのか調査している

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 振動目標値 レチクル保管の課題 重ね合わせの厳密性要求
ESH	人間工学、装置設計、化学物質消費が懸念事項である AMC および微粒子のレベルの保全 規制
Metrology	計測統合化継続の必要性 データ標準
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 の課題(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。多品種および速い製造サイクルタイム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、ビ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。IC メーカー、ファブダリ、サプライヤすべての半導体関連者が、経済性の観点で、ムーアの法則を維持するためにこのタイムラインの実現に協調することが重要である。

まとめ

ITRS のファクトリインテグレーション章は、要求された製品を適正量でスケジュール通りに目標コストで効率的に生産するために、必要な工場の構成要素全てを統合することに焦点を当てている。2007 年には、ファクトリインテグレーションの章では、5 つのサブグループによる技術的要求と解決施策をまとめた。またこの章では、他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課題および重点注目分野(AMC、能動的工場の可視化、省エネ、300Prime/450mm の課題)もまとめた。それらは、技術的世代交代への追従、生産性改善、それと同時に、機能当たりのコストが年率 30 パーセント低下する傾向を数十年に渡って維持させる目的もある。この章で扱う課題は、製造、プロセスおよびビジネスに関する問題の複合体である。それらは、ITRS ファクトリインテグレーションのグローバルチームによって、共同で理解される必要がある。