

世界最新半導体工場

—小投資規模・低投資リスクおよびサイクルタイム短縮を目指して—

Advanced VLSI Manufacturing Fab

■ 小池淳義 Atsuyoshi Koike



最新半導体工場“N3”の外観

“N3”は2階構造としており、現在、2階部分の半分の面積を用いて新ラインを構築中である。世界最短のサイクルタイムと、需要に合わせて拡張が可能な、スケーラブルな工場を目指す。

半導体の需要は好調に推移しており、供給不足が顕著になっている。市場自体も、需要の中心は少品種・大量生産のDRAMから多品種・少量生産のシステムLSIへと変化し、市場と顧客要求への迅速な対応が従来にも増して重要になってきている。

現在、これらに対応するために、茨城県那珂地区に以下のコンセプトを実現した最新工場を構築中である。

(1) 投資効率を高めるために、200 mm径ウェーハではなく、300 mm径ウェーハでの量産を世界に先駆けて行う。当初の生産規模が小さい段階での高効率化を強力に推進することによって投資規模を抑え、需要の変化に合わせて拡張が可能な、スケーラブルな工場を目指す。

(2) 枚葉処理化の推進と高速搬送技術の適用により、世界最短のサイクルタイムを実現する。

(3) ファンドリー(製造専門)ビジネスのノウハウを取り込むことにより、顧客への迅速な対応力を強化する。

新工場の建家・内装・用役工事は日立製作所が行い、生産設備投資とその運営は、日立製作所と台湾のファンドリーメーカー—UMC(United Microelectronics Corp.)が共同出資して2000年3月に設立した、ジョイントベンチャーであるトレセンティテクノロジーズ社(TTI: Trecenti Technologies, Inc.)が行う。

1 はじめに

半導体産業は、ユーザーのコスト要求にこたえるために、各種コスト低減策とともに、工場の大規模化とウェーハの大口径化を進めてきた。現在、ウェーハ径は200 mmから300 mmへの移行が始まろうとしている。これまでの考え方の延長で300 mm径ウェーハ用の大規模工場を建設した場合、その投資額は2,000億円を超える莫大なものになる。このため、投資リスクの回避が300 mm径用半導体工場を実現するための大きな課題の一つと言える。

もう一つの課題は、顧客要求への迅速な対応である。半導体産業は、DRAMからシステムLSIの時代へと変化している。DRAMと異なり製品のライフサイクルも短く、多品種・少量製品であるシステムLSIは、仕込み生産ができない。顧客要求に迅速に対応するには、製品を作るための時間(サイクルタイム)の短縮が重要である。

最新半導体工場“N3”では、これらの課題に対応するため、生産規模が小さい段階での高効率化と、すべての工程の枚葉処理化を推進することにより、サイクルタイムの短縮を図っている。

ここでは、最新半導体工場“N3”に取り込んだこれらの最新の考え方と技術について述べる。

2 300 mm径ウェーハ用半導体工場の投資効率とスケラブルファブの考え方

2.1 300 mm径ウェーハ工場の投資効率

半導体工場の生産効率を示す一つの指標として、投資効率がある。これは、単位投資額当たりどれだけのウェーハを生産できるかを示すものである。200 mm径ウェーハと300 mm径ウェーハを用いた二つの半導体工場の投資効率を試算し、比較したものを図1に示す。投資効率は、投資額が大きい大規模ラインほど高くなる。投資効率がほぼ一定となったところで投資効率を比較すると、300 mm径用工場の投資効率は200 mm径用工場の約1.5倍であり、効率を大幅に改善できることがわかる。ただし、そのときの投資額を見てみると、200 mm径用工場がおよそ1,500億円程度であるのに対し、300 mm径用工場では2,000億円以上と、莫大な投資が必要であり、投資リスクが大きくなる。

2.2 スケラブルファブの考え方

新工場“N3”では、300 mm径ウェーハを用いる。しかし、大規模化によって投資効率を高めるのではなく、生産能力が月産7,000枚(250枚/日)程度の、生産規模が小さ

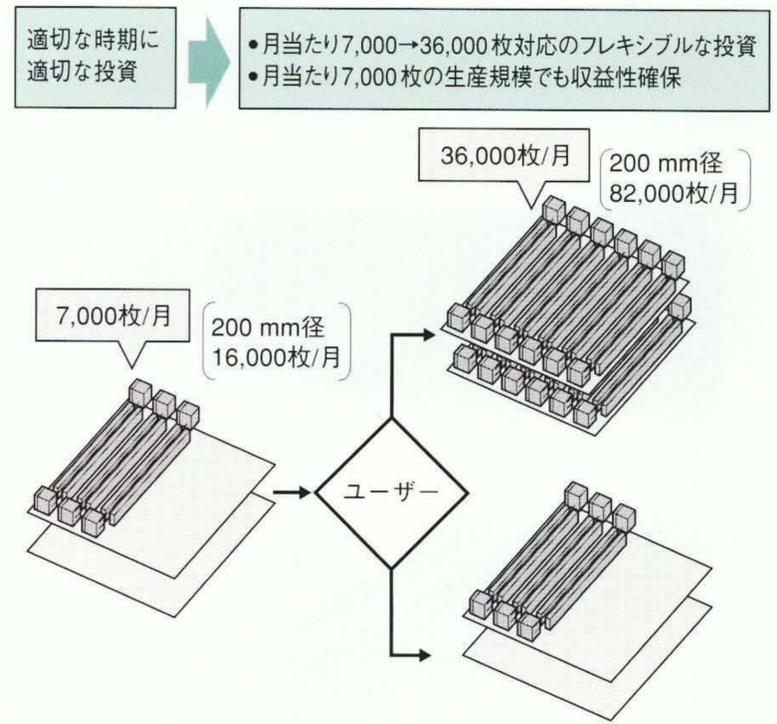
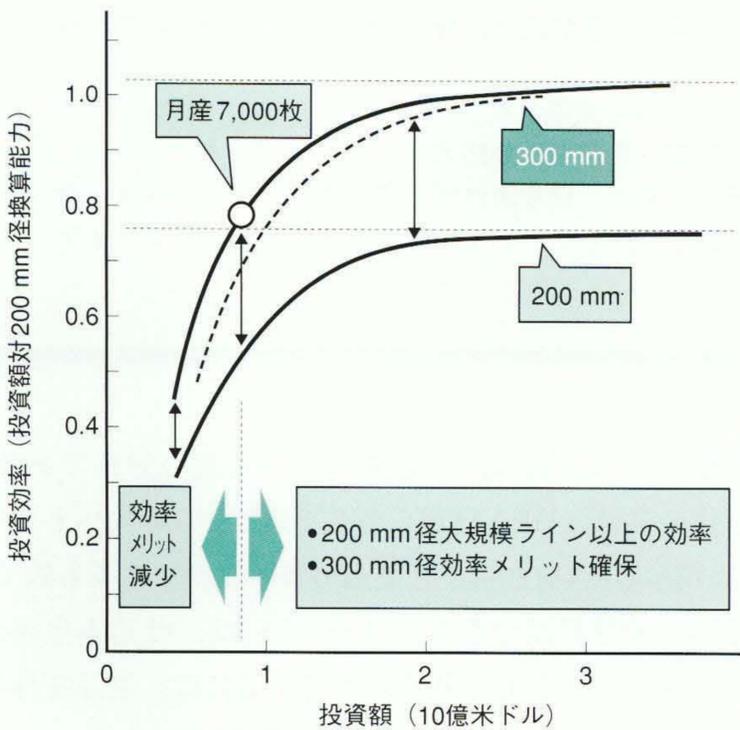


図2 300 mm径ウェーハ用スケラブルファブの概念
最新工場“N3”は、生産能力7,000枚/月を拡張単位として考え、その投資効率を高めることにより、市況に合わせて拡張が可能な、スケラブルな工場とする。

い段階での高効率化を進める。これにより、投資規模を小さくし、投資リスクを低減することができ、状況の変化に応じて能力の拡張が可能な、スケラブルな工場を実現することができる(図2参照)。



注：200 mm径対300 mm径製品チップ取得数比率=2.35
図1 300 mm径と200 mm径ウェーハ用工場の投資効率比較
投資効率がほぼ一定となる投資額は、200 mm径が1,500億円程度であるのに対し、300 mm径では2,000億円を超える投資が必要となる。

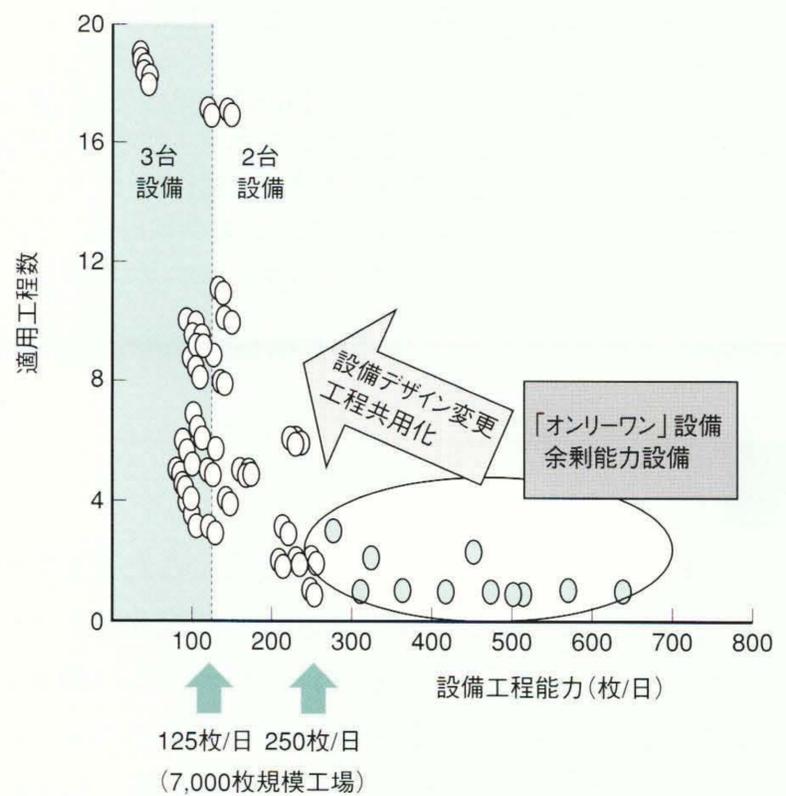


図3 設備の工程能力と適用工程数の関係
投資効率が落ちている余剰能力設備や「オンリーワン」設備のデザイン変更、適用工程数の最適化により、投資効率を改善する。

生産設備の工程能力(設備能力÷適用工程数)と適用工程数の分布を図3に示す。設備能力が大きく適用工程数の少ない設備では、工程能力が大きくなる。生産能力が7,000枚/月の工場では250枚/日の工程能力があればよく、それ以上の工程能力は余剰能力となり、むだな投資をしていることになる。

また、これらは「オンリーワン」設備であり、これらの設備がストップした場合は工場全体が止まる。このため、実際の工場ではもう1台の設備を準備する投資が必要となる。N3工場では、生産規模が小さい段階での投資効率を高めるために、これらの設備に対して、プロセス側からは適用が可能な工程を増やして工程能力を最適化し、設備自体についても仕様の見直しを行った。

従来、このような設備では、単位投資当たりのスループットと機能を高めるために、マルチチャンバ・クラスタ化が進められてきた(図4参照)。その結果、設備能力と機能は高まったが、設備投資額も大きくなった。これらの設備は、大規模工場に適用すれば投資効率を高めるのに有効である。しかし、逆に、生産規模が小さい段階では余剰能力と余剰機能を持つこととなり、投資効率を落とすことになる。プロセスインテグレーション上からは、必要な工程に対する投資はやむをえないが、それ以外の工程については機能を単純化、シングルチャンバ化し、能力も価格も抑えた設備が生産規模の小さい段階では適していると言える。これらの考え方を導入すること

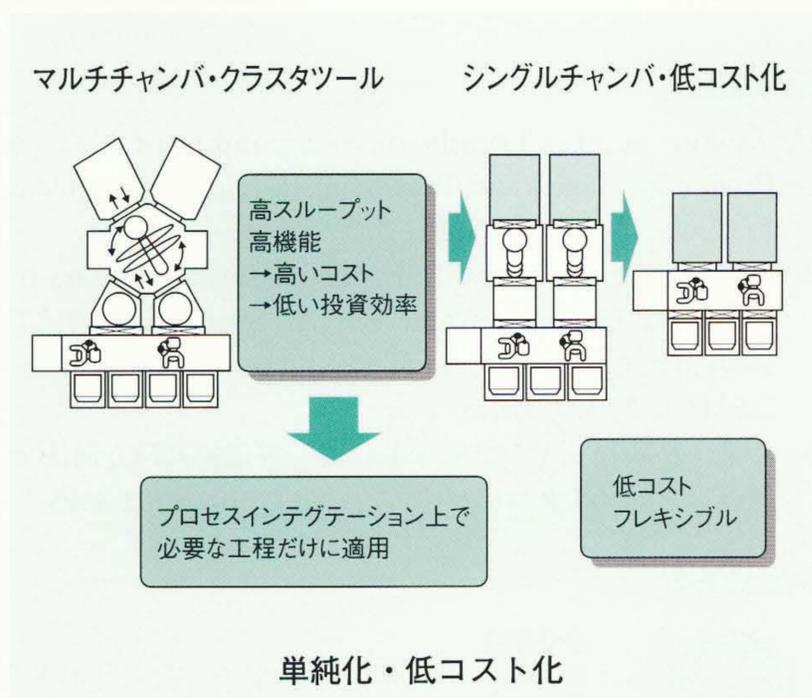


図4 300 mm径ウェーハ用設備の方向(1)

従来の高スループットと高機能をねらいとした設備は、小さい生産規模では投資効率を落とす。小さい規模の工場には、機能を単純化、シングルチャンバ化した低価格な設備が適している。

により、N3工場では、生産能力が7,000枚/月(250枚/日)という規模でも、200 mm径ウェーハを扱う大規模工場以上の投資効率を実現できる見通しである。

3 サイクルタイム短縮

3.1 枚葉処理化によるサイクルタイム短縮

半導体のサイクルタイムは、プロセス処理時間、着工待ち時間、および搬送時間によって決まる。半導体の生産設備には、「バッチ処理設備」と「枚葉処理設備」がある。バッチ処理設備は4ロット(100枚)程度のウェーハを一括処理することから、量産性には優れている(図5参照)。しかし、同一処理条件のロットが集まるまで処理を待つので、少品種・大量生産の場合はよいが、多品種・少量のシステムLSIでは着工待ち時間が増し、サイクルタイムが著しく悪くなる。これに対して枚葉処理設備の場合には、1ロット単位での着工となるため、待ち時間が少なくなり、サイクルタイムを短縮することができる。プロセス処理時間についても、枚葉処理設備のそれはバッチ処理設備に比較して短く、サイクルタイム短縮には有利である。また、一括処理の単位が、バッチ処理設備では4ロット(100枚)程度なのに対し、枚葉処理設備では1枚なので、枚葉処理のほうが加工精度を上げやすく、将来の微細化にも容易に対応することができる。

日立製作所はこの点に早くから着目し、1994年からプロセスの枚葉化と枚葉設備の開発への取組みを開始した。当時の枚葉設備の量産性はまだバッチ設備に劣っていたので、適用は試作などの特定ロットに限定された。しかし、枚葉処理化がサイクルタイム短縮に効果があることが確認でき、開発期間短縮にも寄与した。その後のプロセスと設備の改善により、現在の300 mm径用設備

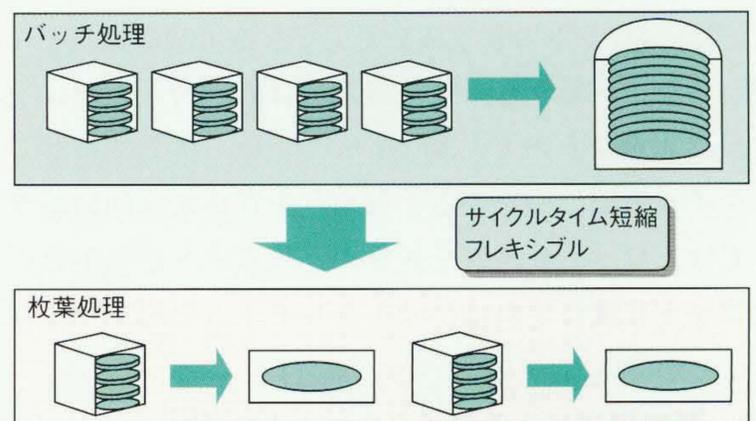


図5 300 mm径ウェーハ用設備の方向(2)

枚葉処理化の推進により、着工待ち時間が低減できる。

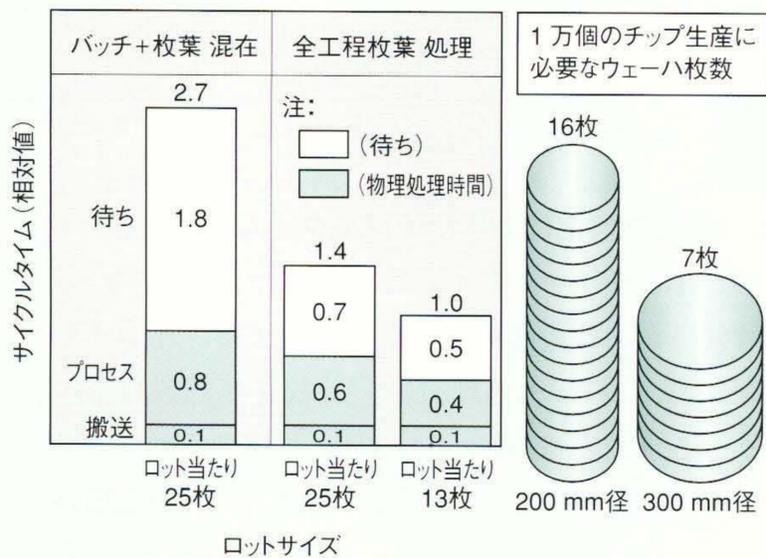


図6 サイクルタイム短縮効果

枚葉処理化の推進によってサイクルタイムを $\frac{1}{2}$ に短縮でき、ロットサイズを通常の半分の13枚にすることにより、サイクルタイムをさらに短縮することもできる。

では、量産性の面からもバッチ処理設備と同等以上の性能を実現している。新ラインでは、量産に全面的に枚葉プロセスと枚葉設備を用いることにより、全ロットのサイクルタイム短縮を図っている。

1ロットのサイズを通常の25枚ロットで比較すると、枚葉処理化することによってプロセス処理時間と待ち時間が減り、全体のサイクルタイムを約 $\frac{1}{2}$ に短縮できることがわかる(図6参照)。

また、300 mm径ウェーハでは200 mm径ウェーハよりも面積が大きくなるので、同じチップ数を生産するのに必要なウェーハ枚数を減らすことができる。比較的一般的な仕様の1万個のチップを生産するのに必要なウェーハ枚数を比較したものを図6に示す。300 mm径ウェーハでは、平均すると面積比率以上の約2.35倍のチップを1枚のウェーハから得ることができるため、必要なウェーハ枚数は半分以下で済む。一括処理を行うバッチ処理設備では、1ロットのサイズを変えても処理時間はほとんど変わらない。しかし、枚葉処理では処理時間がウェーハ枚数に比例するので、300 mm径化は、実効的にサイクルタイム短縮につながる。枚葉化を進めた今回の新ラインでは、ロットサイズを通常の25枚ロットから半分の13枚ロット程度にすれば、サイクルタイムを約30%短縮することができる。

3.2 高速搬送によるサイクルタイム短縮

半導体の製造ステップは約400にも及ぶ。設備から設備へロットを運ぶ搬送時間も、全体のサイクルタイムが短縮

されると無視できない値である。

300 mm径ウェーハを扱う工場では、通常、FOUP (Front Opening Unified Pod)と呼ばれる、標準化されたロットケースを用いる。この場合、ウェーハを含めた1ロットの質量は約8 kgにもなるので、すべての搬送の自動化が必須となる。今回のN3工場では、ベイ内搬送には、搬送方式そのものを見直した、新規開発の高速搬送方式を採用している。これにより、通常用いられているAGV (Automated Guided Vehicle)方式に比べて、搬送時間を約 $\frac{1}{5}$ に短縮している。ベイ間搬送についても、搬送スピードの改善に加え、分岐型の搬送路を用いることにより、優先順位の高いロットが他のロットを追い越しできるようにしている。

4 おわりに

ここでは、現在構築中の世界最新半導体工場“N3”について述べた。

N3工場には、以下の二つの考え方を取り込んでいる。
 (1) 生産規模が小さい段階での高効率化によって投資リスクを回避し、状況に応じて能力の拡張が可能な、スケーラブルな工場を目指す。
 (2) 枚葉プロセスや枚葉設備でのサイクルタイム短縮技術を全面的に導入することにより、世界最短のサイクルタイムを実現する。

N3工場では、現在、主要生産設備の導入が完了し、設備の立ち上げを進めている。今後、この世界最新半導体工場に導入した技術の優位性を実証していく考えである。

参考文献

- 1) Koike, et al.: Trends in Semiconductor Device Production Lines and Processing Equipment, Hitachi Review, 44-2, 71-78(1995)
- 2) Koike, et al.: A New LSI Manufacturing Scheme in the Large-Diameter Wafer Era for Super-Quick TAT Development and Volume Production, Proceedings ISSM'95, 239-242(1995)
- 3) 小池：小規模ラインで効率的に動く製造装置の方向性を提言，日経マイクロデバイス，1998-7，102～103(1998)

執筆者紹介



小池淳義

1978年日立製作所入社，半導体グループ 生産統括本部所属
 現在，トレセンティテクノロジーズ社へ出向中
 E-mail: Atsuyoshi.Koike@trecenti-tech.com