

こ い け あ つ よ し
 氏 名 小 池 淳 義
 授 与 学 位 博 士 (工 学)
 学 位 授 与 年 月 日 平 成 14 年 9 月 11 日
 学 位 授 与 の 根 拠 法 規 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項
 研 究 科 , 専 攻 の 名 称 東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 (博 士 課 程) 電 子 工 学 専 攻
 学 位 論 文 題 目 多 品 種 、 少 量 、 超 短 時 間 半 導 体 生 産 方 法 の 研 究
 指 導 教 官 東 北 大 学 教 授 高 橋 研
 論 文 審 査 委 員 主 査 東 北 大 学 教 授 高 橋 研 東 北 大 学 教 授 坪 内 和 夫
 東 北 大 学 教 授 須 川 成 利 客 員 教 授 大 見 忠 弘
 東 北 大 学 助 教 授 小 谷 光 司 (未 来 科 学 技 術 共 同 研 究 セ ン タ ー)

論 文 内 容 要 旨

半導体産業は、市場がここ数年構造的に大きく変化してきており、戦略性を持ち競争力のある製品もしくは

は生産技術でないと存続そのものが難しい。また昨今、商品サイクルが時代と共に短くなっており、半導体の生産サイクルタイム短縮に対する要望は日増しに強くなってきた。

本論文は約 20 年間にわたり研究してきた枚葉処理技術をベースとして、スピードを強く要求される少量多品種製品の製造を対象にした新たなコンセプトを考案し、半導体生産技術の効率向上と工期短縮についてその効果を具体的に検証した

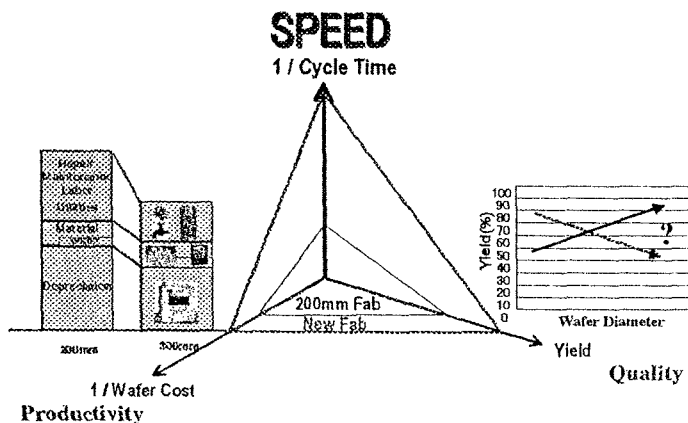


図1 半導体工場の効率指標

ものである。

第二章では、半導体生産評価基準として、図1に示すように、従来のコスト、品質に加え、サイクルタイム短縮を独立した第三の軸とする生産技術体系を考案し、これに基づいて個々の生産の効率を分析し工場の効率評価指標として分析した。

3つのバランスを保ちながら特にサイクル

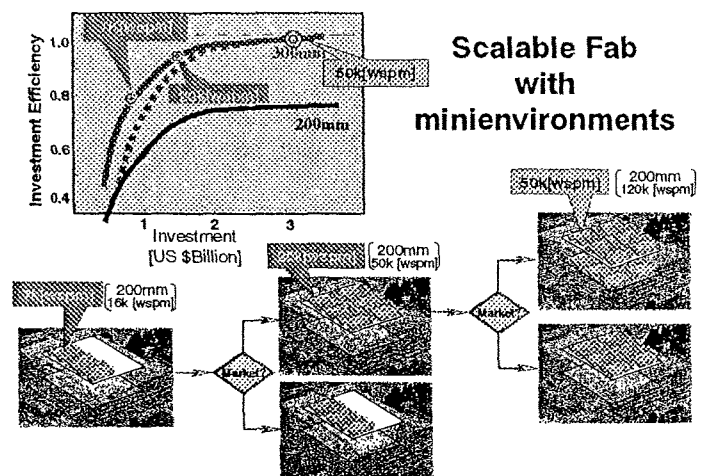


図2 スケーラブル ファブ コンセプト

タイム短縮を主眼にして、市場要求のスピードにマッチする手法として、図2に示すスケラブルファブを、生産に関しては、大口径ウェーハを用いた全工程枚葉処理ラインを考案した。

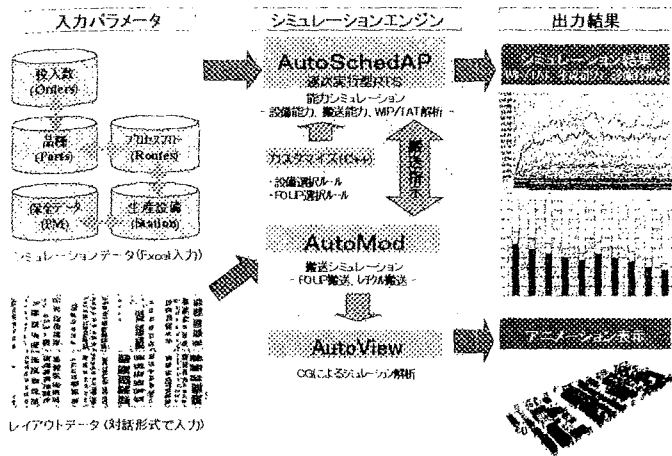


図3 工場コンセプトのシュミレーション手法

実際の工場では、製品構成や、プロセス、設備により、効率が大きく左右されるために評価が難解であった。そのため図3に示す逐次シュミレーションを用いて、これらの全パラメータを可能な限り入力し、各コンセプトの効率の検証を行った。各種出力結果を分析し、製品構成、設備構成の最適化を繰り返し、実データとの比較から精度を高めた。このシュミレーターを用いて、枚葉処理ラインの最適化、並びに搬送方式の最適化を行った。

最適モデルを用い、コンセプトに基づく全工程枚葉処理ラインのサイクルタイム効果を検証した結果を図4に示す。従来方式に比べ、枚葉処理化により40%のサイクルタイム短縮効果があること、ロットの中の枚数を従来の25枚から13枚ロットにするとさらに20%の短縮効果が加わることが判明した。このために必要な搬送能力、搬送スピードを求め、スピード重視であるRGV (Rail Guided Vehicle) 方式の搬送手法を選択し、ラインコンセプトにフィードバックをかけた。

必要なチップ数で考えると、300mm大口径ウェーハ枚葉ラインの場合、チップ取得数の差から従来の200mmウェーハに比べて半分以下のウェーハ枚数で補える。枚葉ラインではウェーハ枚数とサイクルタイムがほぼ比例することから、サイクルタイムを半分以下に出来ることになる。全工程枚葉処理と大口径化を同時に行うことにより、従来の1/4のサイクルタイムを実現する本論文の核となる、新ラインコンセプトを考案した。

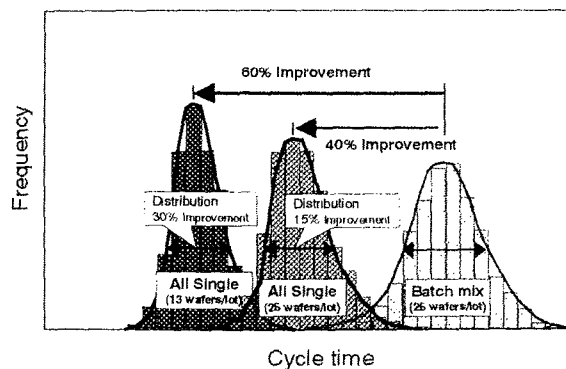


図4 サイクルタイム短縮シュミレーション

サイクルタイム短縮の経済的効果を具体的なモデルから検証し、この効果だけで売上げは

30%、利益率は20%それぞれ向上することを示し、如何にサイクルタイム短縮が重要かを顕した。

第三章では従来バッチ処理装置が広く用いられてきた代表的な工程である酸化拡散、洗浄、イオン打ち込み工程の枚葉化に関して研究したものである。酸化工程では、減圧タイプの酸素/水素ダイレクト注入のラン

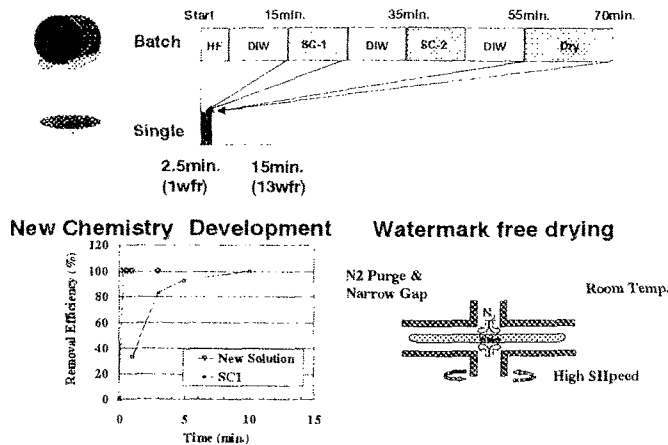


図5 枚葉洗浄によるサイクルタイム短縮効果

プ枚葉装置を最適化すること、洗浄工程では RCA 洗浄に変わる新たな洗浄技術を開発しこれに適応したウェー
ターマークの発生しない装置を開発すること、
そしてイオン注入工程に関しては斜め打ち込みの
必然性から、枚葉化し打ち込み角度の精度を上げ
る事で、これらの工程全てが、プロセス性能向上
面のみならず短サイクルタイム化の面でも 3/4~
1/5 にでき、断然優位である事を述べた。

図 5 に、枚葉洗浄が如何にサイクルタイムを
短縮出来たかを示す。13 枚/ロットでは従来の 1
/4 以下であるが、これを達成するために、ウォ

ーターマークの発生しない乾燥方式の開発と RCA 洗浄を改善した全く新たな洗浄技術を開発した。

最終的にこれらの工程の枚葉処理化に成功したことにより、全工程枚葉化が可能になり、高品質でサイク
ルタイムの短い製造技術として実用化の段階に入った。

第四章では、これまで経験的にしか説明できなかった”大口径ウェーハの歩留まりが良い”という仮説に
ついて、基本理論を用いて説明し、さらに 200mm ウェーハと 300mm ウェーハとの欠陥密度の比較により仮説
の検証を実施した。大気中、真空中の異物付着メカニズムを考察し、欠陥密度とウェーハ径との関係をモデル
化した。図 6 に大気中の代表例として洗浄工
程のモデルと結果を示す。欠陥はウェーハ外周
部に集中し、欠陥密度はウェーハ径に依らずウ
ェーハエッジからの距離にのみ比例することを
モデルと実験結果から明らかにした。このモデル
を実際の製品ウェーハに適用し、歩留まり向上
を定量化した(チップ面積 0.35 cm²換算
で7%)。この数値と実データは極めて高い相関
(図 6) を示し、モデルの検証と大口径ウェー
ハの歩留まり向上効果を明確にした。

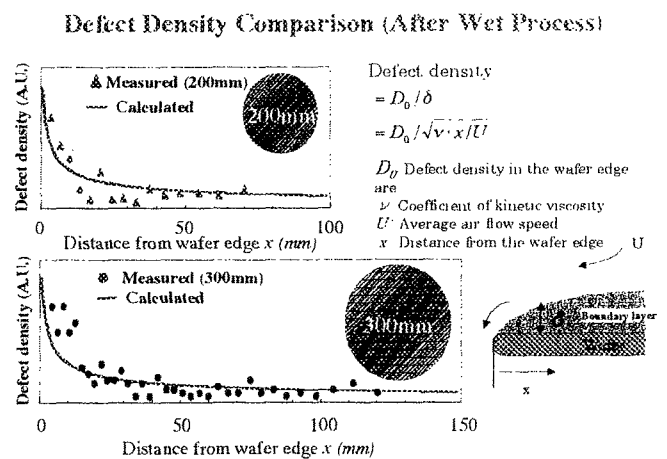


図6 口径差による欠陥分布比較

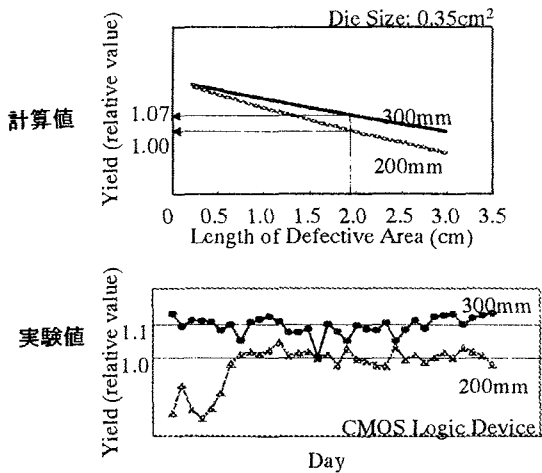


図7 大口径ウェーハの歩留まり向上効果

性の向上を確認した。

実際の試作や量産において、ラインを早く立ち上げる意味でも、製造装置、プロセスチャンバー間のバ
ラツキを押さえ込むことは現状の技術では極めて難しい。機差解析が重要な事を示し、枚葉ラインでは解
析スピードが速いことから、プロセス、設備
改善が進む事を示した。

上記の検討結果にもとづき、300mmウェー
対応の全工程枚葉処理のファブを実際に立上
従来に比べて 1/3~1/4 のサイクルタイム
実現し、歩留まり、効率のモデルの有効性を
証した。図 8 に試作した結果の一例を示す。

際に本コンセプトを採用したラインは、ホッ

ロットのサイクルタイム面で ITRS2001 のロードマップに対して 10 年先行したことになる。

半導体生産技術の効率評価基準を見直し、近年益々重要度が増しつつある、サイクルタイム短縮に重点
を置いた、新たな大口径枚葉処理方式のファブコンセプトを提案し、その効果をシュミレーションと個別
技術で検証した。1/4 のサイクルタイムをこれらの技術を総合的に組み合わせた新ラインで達成するこ
とに成功した。同時に大口径ウェーハは歩留まりが高いことを理論と実験から明らかにした。

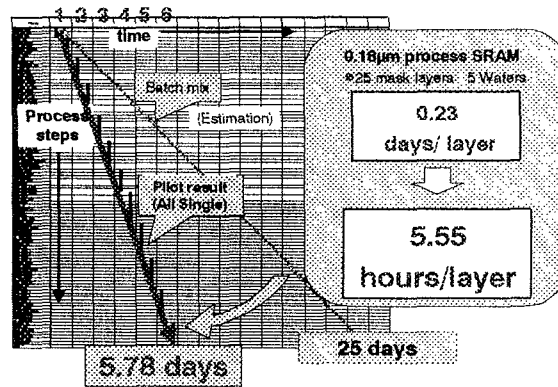


図8 ホットロット試作結果

の
ハ
げ、
を
実
実
ト

論文審査結果の要旨

半導体産業は、CPUやメモリといった汎用LSIからシステムLSIを中心とした少量多品種の製品へと大きく変化してきており、その製品価格は月々3～9%低下するというきわめて変化の激しい市場環境となっている。そのため、きわめて短期間に高品質かつ低コストで半導体製品を生産する新しい生産方式の構築が強く求められている。本論文は、著者が長年にわたり研究してきた枚葉処理技術を基礎として、少量多品種LSIを短期間に効率的に生産する新たな半導体生産方式を考案し、実用化した成果をまとめたものであり、全文6章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、半導体生産評価指標として、従来のコスト、品質に加え、製造工期短縮を第三の軸とする生産技術体系を提案し、これに基づいて生産の効率を分析している。逐次実行型の全工程シミュレーション技術を開発し、これを用いて枚葉処理することにより40%、一括処理単位を25枚から13枚ロットにするとさらに20%の工期短縮効果が得られることを明らかにしている。従来の200mm径ウェーハから300mm径に大口径化したラインを構築し、工期を半分以下にすることと併せて、最終的に1/4以下への工期短縮を可能とする新生産方式を提案している。これは、きわめて有用な成果である。

第3章では、従来バッチ処理装置が広く用いられてきた代表的な3工程、すなわち、酸化、洗浄、イオン注入工程に適応した新しい枚葉処理技術について論じている。酸化工程では、減圧型の O_2/H_2 直接注入ランプ加熱型枚葉装置を、洗浄工程では従来のRCA洗浄に変わる新たな枚葉洗浄装置および洗浄技術を開発、イオン注入工程では斜め打ち込みの必然性から、枚葉化し打ち込み角度の精度を上げることで、これらの工程の性能が向上するだけでなく3/4～1/5に短工期化できることを明らかにしている。これは、重要な成果である。

第4章では、これまで経験的にしか説明できなかった”大口径ウェーハほど歩留まりが良い”という仮説について、200mmと300mmウェーハとの欠陥密度の比較により仮説の検証を行っている。大気中、減圧雰囲気中の異物付着機構を考察し、欠陥密度のウェーハ面内密度をモデル化した結果、現状の装置群を用いた場合には、欠陥はウェーハ径に依らずウェーハ端からの距離約19mm以内の周辺部に集中することを明らかにしている。更に実製品を用いて、大口径ウェーハの歩留まりが向上することを欠陥密度モデルから定量化し、実験的にもこれを検証するとともに、次世代半導体製造装置開発の最重要課題がウェーハ端部に集中する欠陥発生の除去にあることを明確に指摘している。これはきわめて重要な成果である。

第5章では、従来枚葉処理化が難しかった深い拡散層形成プロセス、短時間アニール素子分離プロセス、さらに高精度拡散層形成プロセスについての新規枚葉短時間プロセスの研究結果を論じている。高温短時間ゲート酸化により酸化膜特性が向上すること、熱処理時間の短縮によりデバイス特性のバラツキが低減することを実験的に確認している。これらの技術を用い、0.18 μm デバイスを試作し、デバイス特性、信頼性の向上を300mmウェーハで明らかにした。さらに、300mmウェーハ対応全工程枚葉処理の工場を実際に立上げ、従来の1/3～1/4に工期を短縮、さらに歩留まり向上のモデルの有効性を実証している。本成果はITRS2001のロードマップにおける最短工期製造技術と比較すると10年先行したことになる。これは、きわめて有用な成果である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、超短時間半導体製造方式を、枚葉処理技術と大口径ウェーハ技術を併用することで実現したものであり、同時に半導体生産技術の体系化に成功しており半導体電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。