

解説

FA の 実 例



LSI 製造プロセス†

西ヶ谷 勲†† 堀 綏彦††

1. ま え が き

半導体 IC の生産高はここ5年間に、金額で4倍、数量で5倍強となっている。このように高い伸びを示してはいるものの、世界市場における国内メーカー間の競争の激化、貿易摩擦の拡大などで IC 製造メーカーとしては一時の油断も許されない。さらに超 LSI の進展にみられるように、激しい技術革新の継続とそのために巨額化する設備投資、システム化・カスタム化の進展による製造ラインの少品種大量生産と、多品種少量生産の2極化への対応、今後とも続く大量需要に見合う生産基地の拡充を国内、外に継続的に展開しなければならないなど、事業環境上の課題は多い。このようななかで設備の効率的な運用と TAT の短縮、製造技術の変遷に耐え得るフレキシブルな生産システムが要求される。ここでは LSI の製造における自動化の現状について述べてみたいと思う。

2. LSI の製造工程

あらためてここで LSI の製造工程に簡単に触れておくこととする。LSI チップ内の素子、MOS 型トランジスタは図-1 のようになっている。これが配線(アルミ)によって相互に接続され回路を構成する。64K

ダイナミック RAM は1チップ約6mm×3mm の大きさであるが、このチップ内に約15万個のトランジスタ、抵抗などの素子が含まれている。256K ダイナミック RAM の場合は60万個ほどの素子を含むことになる。直径125mm のシリコンウエハ1枚には約500個のチップが形成されるが、この内何個のチップが良品となるかが製造技術のいかににかかわってくる。通常シリコンウエハは25枚あるいは50枚が1ロットを構成し、図-2 にあるようなケースに納められた状態で一連の工程を進む。各工程においては、物理、化学

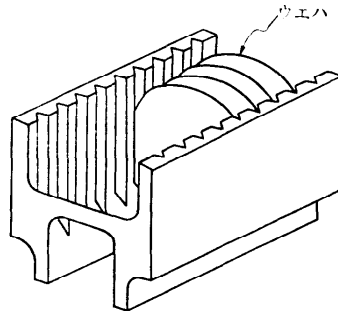


図-2 ウエハケース

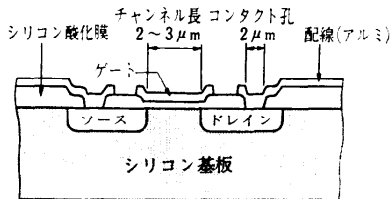


図-1 MOS 型 IC の素子構造††

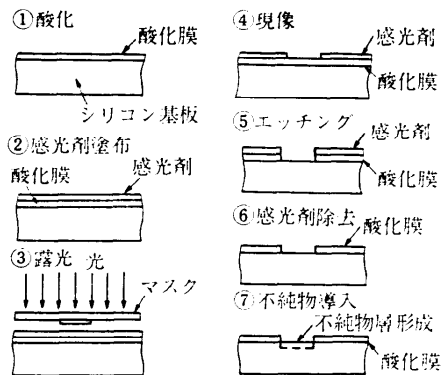


図-3 IC 製造の基本プロセス††

† LSI Fabrication Process by Isao NISHIGAYA and Yasuhiko HORI (1st LSI Division, Manufacturing Automation Dept., NEC Corporation).

†† 日本電気(株)-L・自動化推進部

的な処理を行うために、耐薬品性あるいは耐熱性のある特殊ケースが使用される。製造工程数は 200~300 工程に及び、各工程での高精度加工技術はもちろんのこと、前後工程が複雑に絡んでいるためきめの細かいプロセス管理技術が極めて重要となる。図-3 に LSI 製造工程の基本プロセスを示す。

- ① 酸化：シリコンウエハ上に酸化膜を形成する。
- ② 感光剤塗布：感光剤（フォトレジスト）を塗布する。
- ③ 露光：ガラスマスクをかけた紫外線で露光する。

④ 現像：露光されたガラスマスクパターンをフォトレジストに転写する。

⑤ エッチング：フォトレジストパターンをマスクとして酸化膜をエッチングする。

⑥ 感光剤除去：有機薬品または灰化によってフォトレジストを除去する。

⑦ 不純物拡散：酸化膜パターンをマスクとして不純物の層を形成する。

⑧ 酸化：再び酸化膜が形成される。(①にもどる) このプロセスを 10 数回繰り返すことによって、シリ

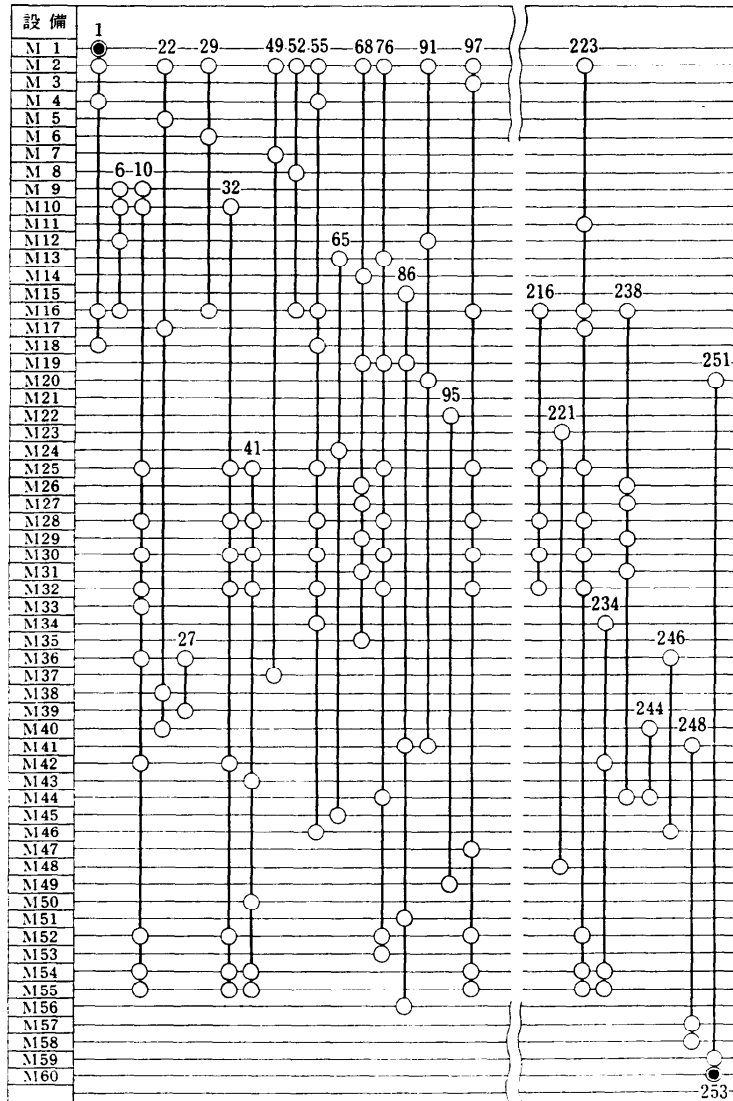


図-4 ウエハの配線

コンウエハ上にトランジスタなどの素子を形成する。最後に形成された素子間を接続するアルミ配線のためのアルミ膜形成と②～⑥の工程を行い、拡散工程と呼ばれる前工程を完了する。図-4は拡散工程内の設備間を動くウエハの動線である。縦軸のM1～M60は60種類の設備に対応し、1～253は工程順を表わす。同一設備を何回も繰り返して通ることがわかる。

3. 製造工程の特徴

LSI製造工程の特徴は資材、設備、工程、製造技術のすべてにわたっての変化の激しさと高精度、高純度、高潔浄度に代表されるものである。システム設計、ソフト、ハード含めてこれらの特徴が十分考慮されていなければならない。

(1) 変化の激しさ

① 工程変更が多い

工程の追加、削除、作業条件の変更が日常行われる。最新のプロセス技術を追求しているため工程が常に変化している。

② 設備の変遷が激しい

微細加工とウエハの大口径化によって常に新しいプロセス技術に対応できる設備が要求される。開発途上

設備の導入もめずらしくなく、そのため稼働の信頼性は低い。

③ 特殊作業が多い

作業ミスあるいは設備トラブルのため生ずる応急処置としての工程追加がある。

(2) 高潔浄度、高精度、高純度

① 微細化が進みわずかの降下塵でも歩留りに影響が出る。主な発塵源である人間の排除と設備の構成材料、構造に十分配慮しなくてはならない。

② 使用する純水、薬品、ガス、治工具材料の純度の維持管理が重要である。

③ 作業室内の温度、湿度、振動が微細加工に及ぼす影響が大きい。

(3) その他

① 各設備のホストコンピュータに対する通信制御手段は各社各様でハード的、ソフト的にまちまちである。システム化を推進するためには各設備それぞれにインタフェースを開発しなければならない。SEMI (Semiconductor Equipment and Materials Institute) が規格化を提案しているが標準装備としている設備は少ない。

② 部品供給が少ない

生産制御システムの基本構成

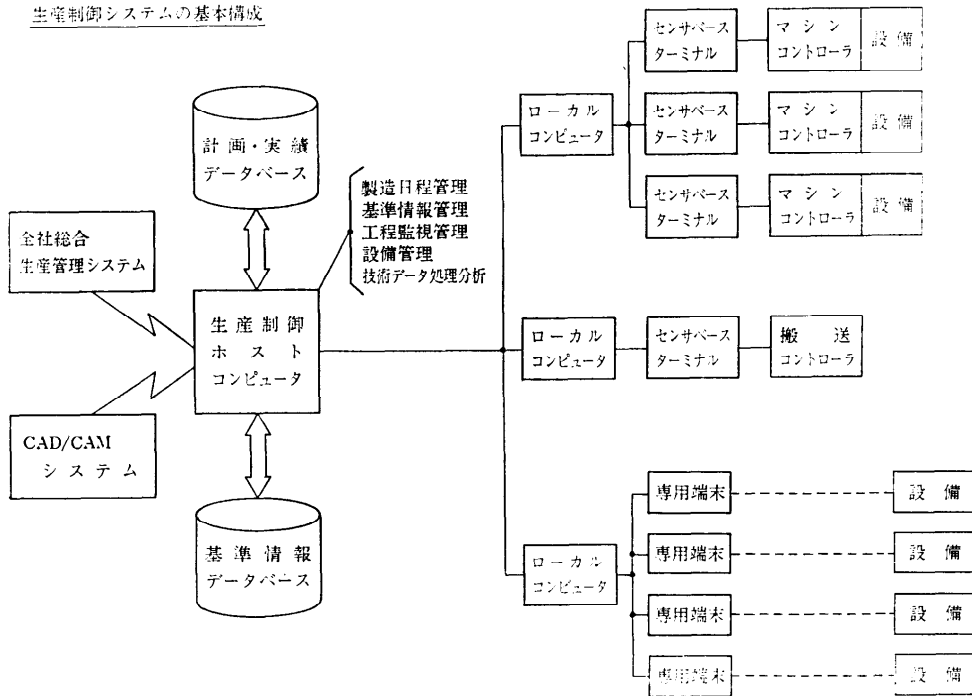


図-5 生産制御システムの基本構成図

拡散工程では部品の供給はまったくない。最初から最後までマクロ的にみた形状の変化がない。組立工程でわずかにベスリボン、ケースの供給があるのみである。

4. 生産制御システムの概要

システム構築にあたって次の項目が要求される。

- ① 1日24時間1年365日連続運転できること。
- ② 問合せ型ではなく自動指示系を持つこと。
- ③ 工程間の製品搬送系を制御すること。
- ④ 収集した工程データをユーザー側で自由に加工してみられること。
- ⑤ 基準情報のメンテナンスが簡単に行えること。

図-5は生産制御システムの基本構成である。

(1) ホストコンピュータ

基準情報及び実績データベース管理を行う。また全社総合生産管理システムにリンクするとともに、下位のローカルコンピュータを監視する。

(2) ローカルコンピュータ

ホストコンピュータと下位のマシンコントローラの間位置し、集配信機能をもつ。下位を監視するとともに、ホストコンピュータダウン時のための実績収集バッファと、マシンコントローラに対する作業条件指示系を受け持つ。

(3) センサースターミナル

各設備ごとに異なる通信制御手順の変換機能を持つ。

(4) マシンコントローラ

各設備に内蔵されたマイクロコンピュータでプロセス制御、シーケンス制御を行う。形式は設備ごとにまったく異なる。

(5) 専用端末

設備によっては上位との通信手段を持たないものがあるため、実績収集と作業条件表示のできる小型の端末が必要となる。

次に、図-6に生産制御システムの機能を示す。

(1) 製造実施計画管理

長期的、短期的日程計画立案時のサ

ポートとして機能する。負荷平準化によって投入計画を出力する。

(2) 設備管理

設備の有効稼働を計るため、定期点検指示及び設備稼働状況の集計、工程能力管理を行う。

(3) 基準情報管理

品名、工程、作業条件、使用設備などの基礎データの登録、更新、検索を行う。

(4) 技術情報管理

実績データとして収集された技術データを処理分析することによって、不良解析及び不良発生の未然防止を行う。

(5) 工程監視管理

ロット進捗トレース、実績データの収集、作業条件

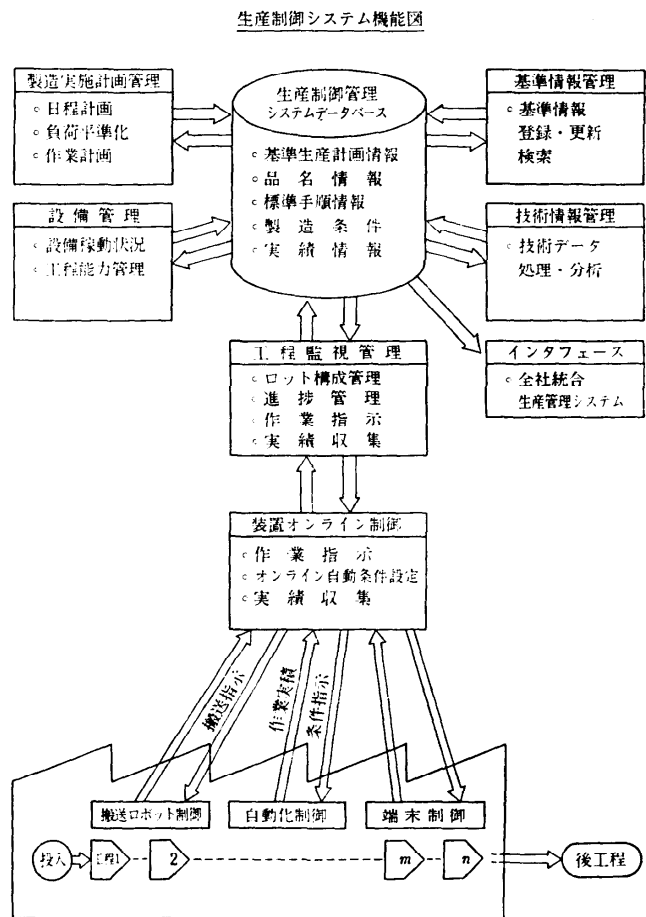


図-6 生産制御システムの機能図

指示, 作業着手優先順指示, 搬送系の運用制御を行う。

5. プロセス制御の自動化

プロセスのオンライン制御を実現するためには次の項目が必要不可欠となる。

① 設備のコントロールパラメータとプロセスパラメータの相関が判っていること。例えば温度, ガス流量と成長膜厚の相関などがあげられる。

② 設備のコントロールパラメータが外部から設定できる通信制御手段を持っていること。

③ 設備の信頼性が高いこと。

オンライン制御をする目的は次の各項である。

① 作業者の操作を簡易化し 操作ミスの排除を図る。

② 個人差, 習熟度差の排除によって処理の均一性を図る。

③ 高精度化, ファインコントロールを行うこと。制御方法は大きく3つに別れる。

① 設備内でのフィードバック制御

各工程のプロセスパラメータを基準値に対しばらつきを小さくすることが目的となるもの。例えばエッチング設備の終止点自動検出制御があげられる。

② 工程間にまたがったフィードバック制御

各工程のプロセスパラメータを基準値に対しばらつきを小さくする目的ではあるが, フィードバックループが工程間にまたがっているものである。例えば拡散工程と膜厚測定工程の場合にみられるように, 拡散工程を終了した製品の膜厚を後工程で測定し, 基準値との偏差を検出し拡散炉のコントロールパラメータを制御する場合にみられる。

③ フィードフォワード制御

工程終了後のプロセスパラメータの基準値に対する偏差を後工程で補正しようとするものである。例えば膜厚とエッチング時間のように, アルミ膜厚によって後工程であるアルミエッチング時間を制御する場合である。

拡散工程のコントロールパラメータの種類は膨大である。各工程のプロセスパラメータは互いに複雑に影響を及ぼし合っている。コントロールパラメータとプロセスパラメータの相関も十分解析されていない面があるため未知な領域が広い。さらに処理中の状態を計測するインプロセスモニタリング技術も十分であるとは言えない。フィードバック, フィードフォワードのオンライン自動制御を全工程にわたって適用するこ

とは困難である。

6. 製造設備の自動化

VLSI の製造において, 高良品率を得るには, 工程中のウエハが, 塵埃や汚染を受ける機会が増えたり, 人為的なミスを生じたり, いわゆる人間とのかかわりあいから生ずるマイナスの面を排除することが必要である。つまり設備の自動化が重要である。

(1) 各製造設備のウエハハンドリング方式

製造設備は, 大別してウエハをカセットより1枚ずつ取り出すウエハシングルハンドリングと, ウエハをカセットのまま送るウエハバッチハンドリングとがある。

(2) リソグラフィ工程

基本的な工程は, **PR 塗布** → **露光** → **現像** であり, 代表装置として最近注目を集めている縮小投影露光装置 (ステッパ) を説明する。ステッパはウエハシングルハンドリングである。縮小投影露光方式は, 実際のパターンの5倍あるいは10倍のサイズで描いたレティクルのパターンを縮小レンズを通してウエハ上に縮小投影するもので, ウエハ全面をカバーするために順次ステップ送りをしながら露光していく。外観としては図-7 に示すような構成になっていて, ウエハはウエハセンダ (ローダ) から1枚ずつ取り出されて, ウエハフローでプリアライメントされ, アームにより X, Y ステージにセットされる。X, Y ステージでステップ・アンド・リピート露光されてウエハ全面露光が終ると, アームにより取り出されウエハレシーバ (アンローダ) に収納される。また図-8 は, CPU によるコントロール系統図を示している。

(3) ドライエッチング工程

本工程もウエハシングルハンドリング装置が主流で, 装置の種類も多数存在する。VLSI に使用されているものは, RIE (リアクティブイオンエッチ) が代表的である。RIE とは平行電極間にプラズマを発生させる, これによりラジカルが化学エッチングを行うと同時に, プラズマによって発生した反応性イオンがスパッタ作用によってウエハに垂直に衝突し, 被エッチング材を物理的に除去するプラズマエッチングである²⁾。ドライエッチャのウエハハンドリングの特徴は, 真空中を搬送することであり, ドライエッチャが CPU によりコントロールされる大きな理由は, エッチングを左右するパラメータが多いため, シーケンサなどでは制御しきれない点にある。エッチングパラ

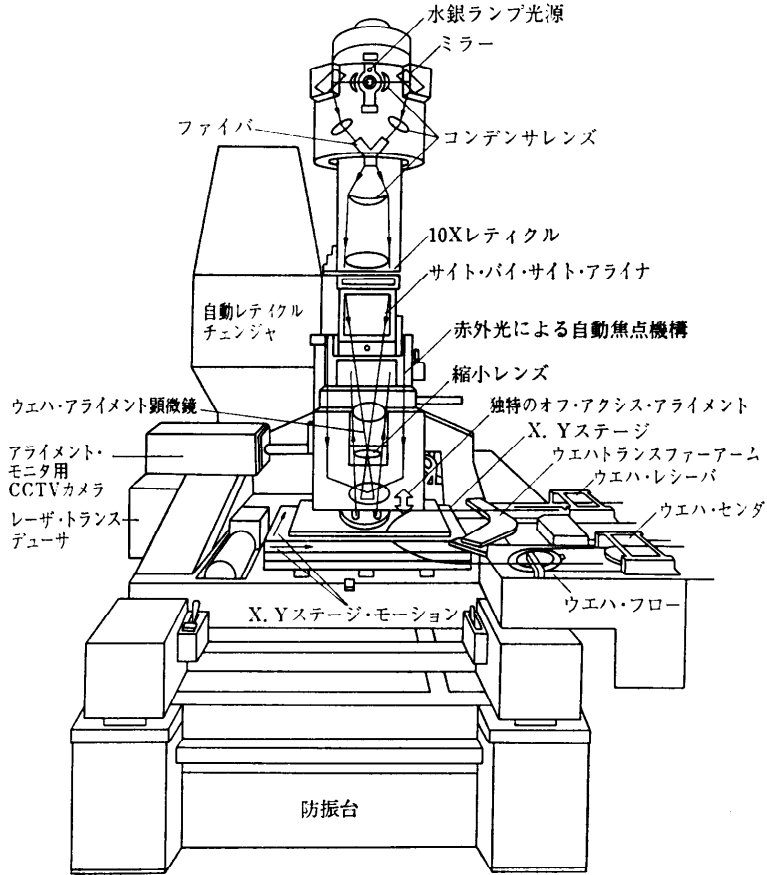


図-7 縮小投影露光装置

メータとしては、図-9でもわかるように、真空圧力・ガス流量・ガスの混合比・高周波電力を常時モニターし、コントロールし、エッチング終点を検出しなければならない。

(4) イオン注入工程

本工程も、ウエハシングハンドリング装置が主流である。イオン注入法とは、イオンを加速してウエハに衝突させウエハ中に侵入させることにより、半導体の p-n 接合を作るために利用されている³⁾。本装置の特徴は、高度な質量分析技術が応用されていて、それにより必要なイオンのみ加速させて、ウエハに注入している。前記のステップ・ドライエッチャはウエハ上にパターンを形成する2次元的加工であるのに対して、イオン注入と後記するメタライゼーションは、ウエハ面に垂直方向に加工する1次元的加工と言える。イオン注入装置の構成を図-10に示す。ウエハハンドリングとしては、エンドステーション(ES)内でローダ

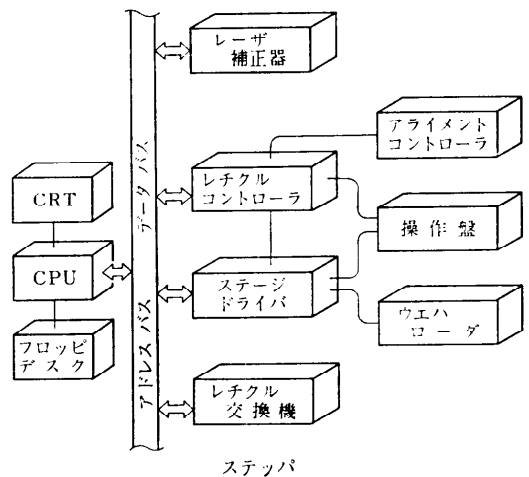


図-8 ステップの制御系統図

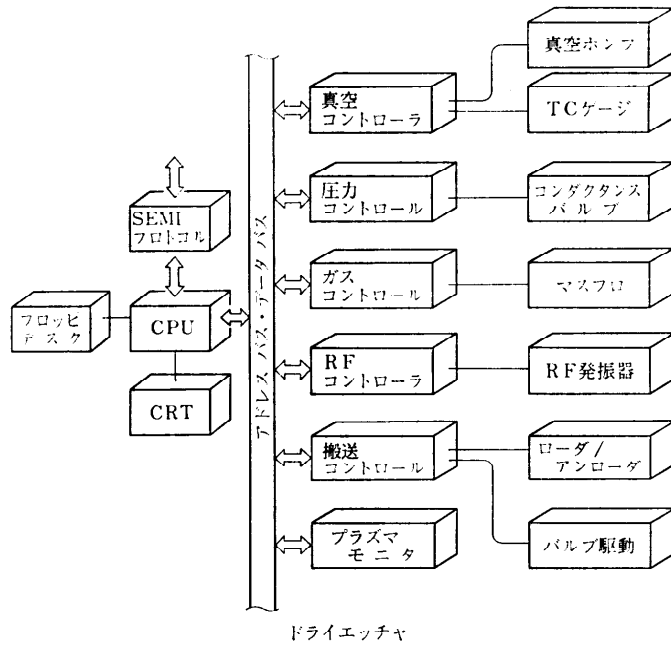


図-9 ドライエッチャの制御系統図

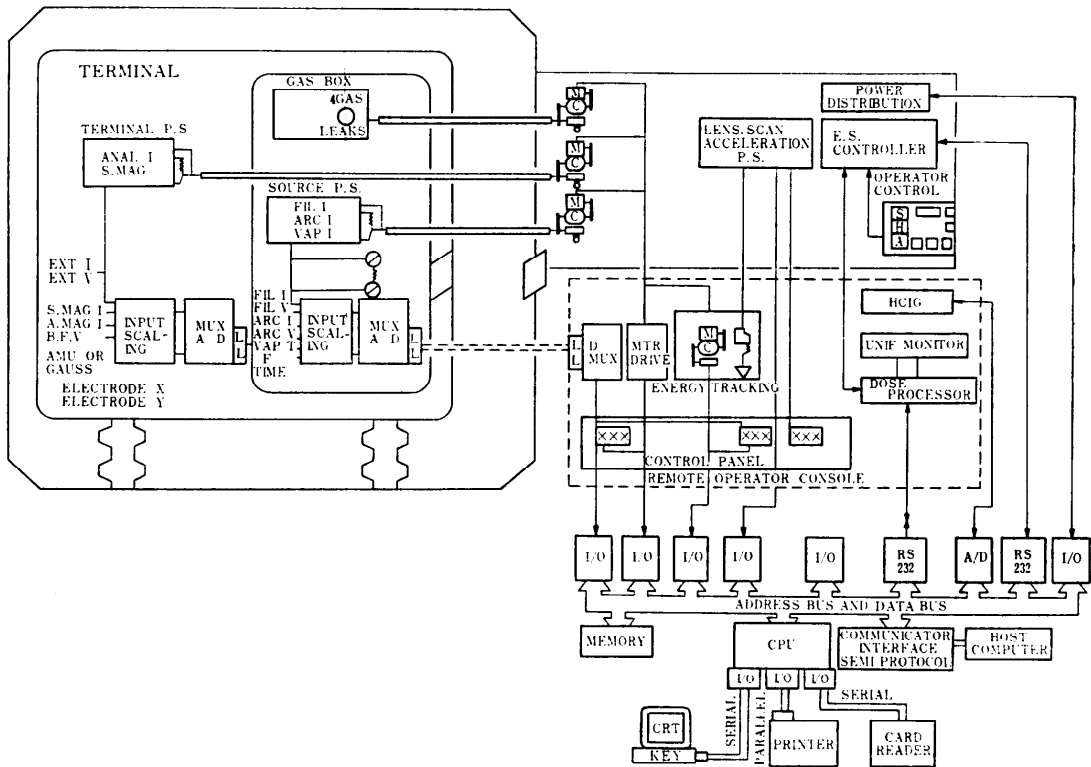


図-10 イオン注入装置の制御系統図*

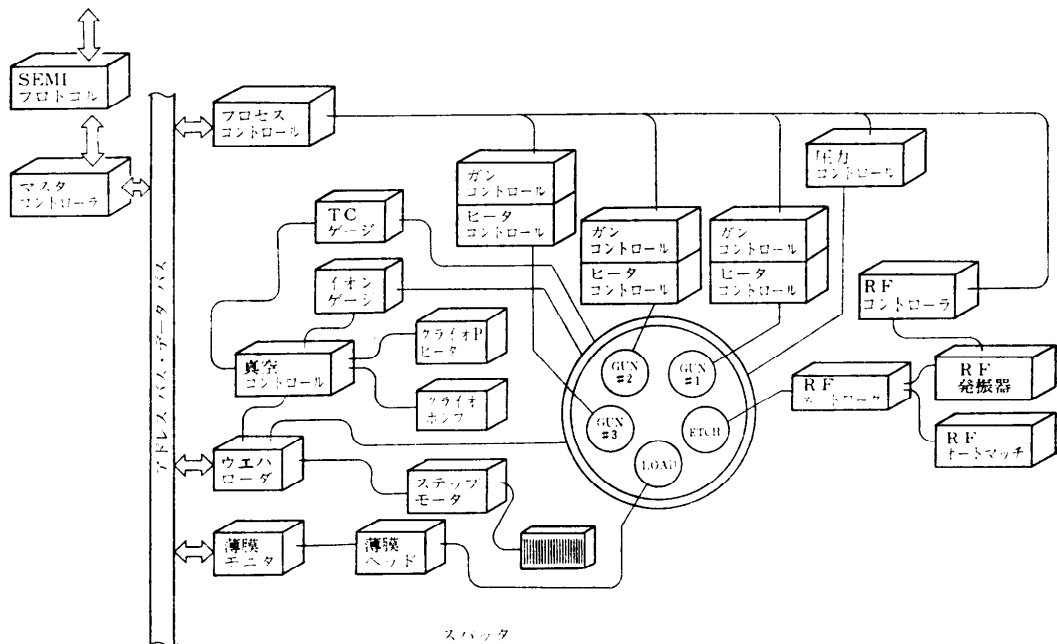


図-11 スパッタ装置の制御系統図

から1枚ずつ取り出され、注入後アンローダに収納される。

(5) メタライゼーション工程

IC の内部素子の相互配線には、アルミニウムが金属薄膜化して用いられ、被着法としては、真空蒸着法が用いられてきた。しかし、VLSI レベルの微細パターンでは、問題が出てきた。問題とは、

- ① ステップカバレッジ（ウェハ表面の段差部でのアルミ膜切れ）
- ② 合金膜の必要性

の2点であり、これを解決するために、スパッタ法が採用されるようになってきた²⁾。このスパッタ装置は、図-11 に示すような構成になっていて、三大真空装置の1つである。ちなみに、三大真空装置とは、スパッタ装置・イオン注入装置・ドライエッチャである。スパッタ装置は、ドライエッチャよりも高真空領域での処理であり、多数のコントローラ、たとえば、真空システムコントローラ・プロセスコントローラ・ウェハの真空ハンドリングコントローラなどを、トータル的にコントロールせねばならないので、複数段のCPUにより制御されている。ウェハのハンドリングは、これもウェハシングルハンドリングである。

(6) ウェットエッチング工程

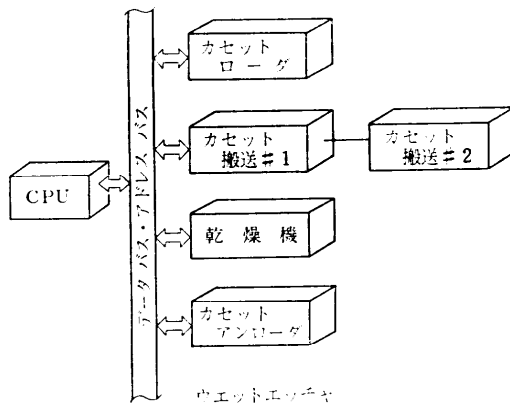


図-12 ウェットエッチャ制御系統図

ウェットエッチング技術は最も古くからあるものであり、完全な化学的処理である。本工程がウェハパッチハンドリングの代表的なものである。自動ウェットエッチャは、ウェハをテフロンカセットに収納したまま、ローダからハンドリングロボットにより取り出され、薬液槽に浸漬され、乾燥されて、アンローダに送り出される。図-12 に示すような構成であり、今後は、工程間搬送と密接にかかわりあっていくと思われる。

7. 工程間搬送の自動化

一般に工程間の搬送は 25 枚入り ウエハケースを用い、ロット単位で行われる。ウエハの大型化と超 LSI 化は設備の大型化と工程数増加の方向となり、工場フロア面積を大きくした。さらに設備設置上の制約（床の耐荷重、毒ガス使用、嫌振、発塵、悪臭等）によって工程順からは不利ではあるがどうしても互いに隔離して設置しなければならない場合が生ずる。工程間自動搬送の第 1 レベルは、このような離れた場所へ物を運ぶ必要性から生じたものである。第 2 レベルは、製造ライン内の人の動きをなるべく少なくし、人からの発塵を極力おさえようとするところにある。第 3 レベルは、ホストコンピュータと接続することによって、複雑な工程間搬送をまちがいがなく自動的に行うことと、工程間バッファを制御することによって、物の流れの平準化を計ろうとするものである。自動搬送機として現在実用化されているものには次のような物がある。

- ① 有軌道自走台車 (図-13 参照)。
- ② 無軌道自走台車 (図-14 参照)。

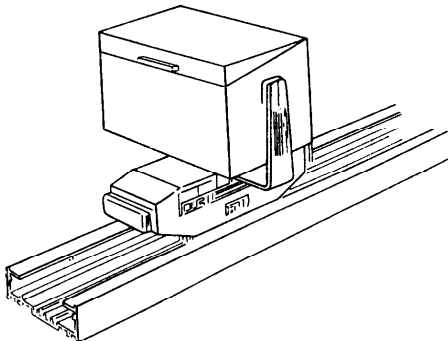


図-13 有軌道自走台車

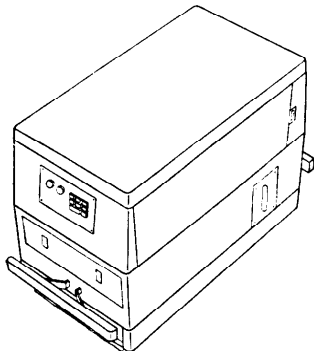


図-14 無軌道自走台車

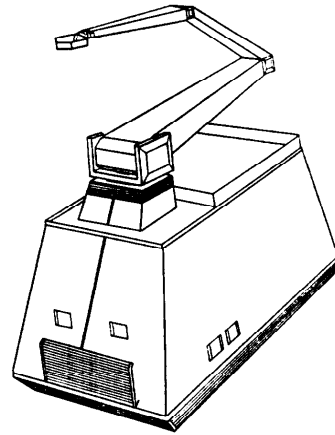


図-15 自走ロボット

- ③ 自走ロボット (図-15 参照)。

無発塵、小型、安全、メンテナンスフリー、高潔浄度な環境を乱さない、高機能等要求されるが現在ある物は一長一短である。使用方法、設置方法を十分検討して選択しなければならない。

8. おわりに

LSI 製造自動化の現状について述べたが今後部分的な自動化領域は広がるであろうが、全自動化まではさらにかかりの期間を必要とする。今後我々の施策項目として、プロセス制御精度向上のためインプロセスモニタリング技術開発、不良解析システムの充実、生産管理では設備の有効稼働を計るための流れ制御の精度向上、自動搬送では製品のロット識別技術の向上、無誘導自走高機能ロボット開発、無発塵搬送装置として磁気浮上リニアモータのシステム化など考えられる。本稿では LSI 製造の前工程についてのみ触れたが、後工程としての組立、検査さらには回路設計をも含めた総合自動化システムとして考えておかねばならない。

参考文献

- 1) 宮崎: 超 LSI 生産を支える微細加工技術, 日経メカニカル 4-12 (1982)。
- 2) 宮崎: LSI 生産技術, 日本機械学会第 557 回講習会教材。
- 3) 電子イオンビームハンドブック, 日本学術振興会。
- 4) GCA カタログ。
- 5) 半導体百科, Vol. 8。

(昭和 59 年 1 月 25 日受付)

