

半導体製造装置制御システムの構築

Control System Package for Semiconductor Manufacturing Equipment

坂本 英幸^{*1} 水守 隆^{*2}
SAKAMOTO Hideyuki MIZUMORI Takashi

本稿は、半導体製造装置を機能分割し、制御システムを構築する方法を提案するものである。このシステムは、当社のネットワークベース生産ソリューション STARDOM を中心に、ユニット制御に IT コントローラ FA-M3 を用いて構築する。本稿では、制御システム構築手法と、半導体製造装置への適応例を示す。

We propose a control system package and its method for establishing the control systems for semiconductor manufacturing equipment. This system is based on the Network-based Control System STARDOM for the batch management and Range-free Multi-controller FA-M3 for the unit control. This paper introduces some applications for semiconductor manufacturing equipment using the technology of building control systems, as well as the method for establishing the control systems.

1. はじめに

半導体デバイスの発展はめざましく、あらゆる産業で半導体が利用されようになり、産業のコメと呼ばれて久しい。半導体の生産には多くの高度な装置を必要とし、しかも現在の 300 mm ウェーハ、0.13 μ m プロセスに対応する半導体製造装置への要求はますます厳しくなる状況にある。技術進歩が早く、製品のライフサイクルが短い半導体業界において、先行者のみが利益を得ることは半導体製造装置においても例外ではない。

現在の装置は一部の装置を除きスタンドアロンでは成り立たず、他の機器・装置と連係して動作せねばならない。そのために、半導体製造にはMES等のソフトウェアインタフェースのみならず、ウェーハ搬送等のハードウェアインタフェースもSEM(Semiconductor Equipment and Materials International)Standards として規定されている。しかし、規格範囲は多岐にわたり、一つの装置を構築する際に、他社機器を取り込んだ形で装置をまとめざるを得ない。

今回、半導体製造装置の制御部分を機能単位に分割し、一般化することで半導体製造装置の制御システムを構築する方法を開発した。

2. 機能構成

半導体製造装置は、小さいながらも一つの全自動プラントを構成する。石油精製等のプラントではプロセス間

搬送を配管などが利用されるのに対し、半導体製造装置では汚染源の排除、誤操作防止のための搬送ロボットが使用される。プロセス対象材料であるウェーハを、人間が直接処理することのない構成である。一般的な半導体製造装置の機能を、図1に示すように分類する。図の一つの機能をユニット機器として形成し、それらをまとめて半導体製造装置が構成される。通常、半導体製造装置の特性を決めるのは、プロセスモジュールと呼ばれる部分である。例えば、CVD(chemical vapor deposition)では薄膜を基板上に形成する薄膜形成工程(プロセス)、拡散炉では拡散工程が装置を決定づける。

装置の本体、すなわちプロセスが行われ、ウェーハが加工されるチャンバーや反応室の制御は、各装置メーカーのKnow Howであり、差別化要素が盛り込まれているため、ブラックボックス化される。

・機能一覧

ホスト通信	.....	ホストとのインタフェース
I/F アプリケーション	...	MES/EES 等の処理
GUI 機能	.....	運転員とのインタフェース
履歴管理	.....	プロセスデータ履歴、操作履歴
レシピ管理	.....	プロセス処理手順の管理
バッチ・ロット管理	.....	ジョブ実行・管理
スケジュール計画	.....	搬送機、プロセス使用計画
スケジュール制御	.....	計画に基づいた実行制御
装置変数管理	.....	装置動作パラメータ
用力管理	.....	共通部資源、用力の制御・管理
本体内部搬送	.....	装置内でのウェーハ搬送
ロードポート	.....	装置へのウェーハ入出庫
プロセスモジュール	...	装置の中心部分

*1 制御シス海外シス事業部 IASOLセンター

*2 制御シス海外シス事業部 OCSセンター

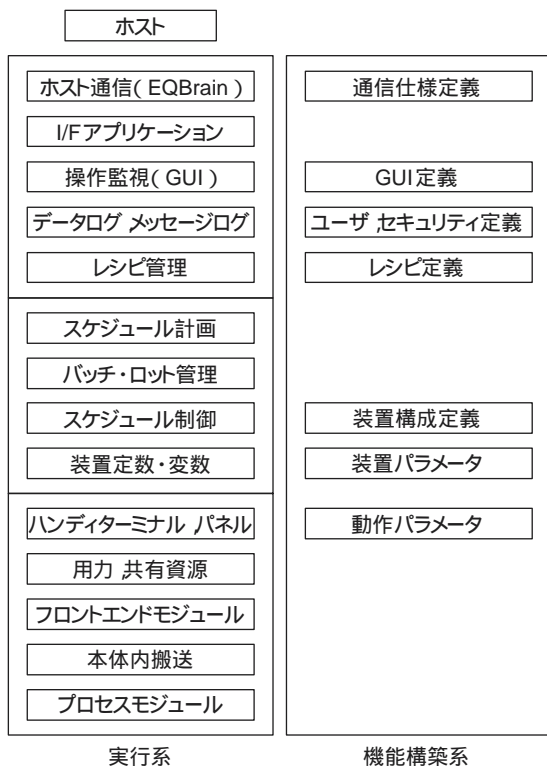


図1 半導体製造装置の機能一覧

ローカルGUI機能 パネルやハンディターミナル等の制御

当社には、ホスト通信インタフェースパッケージとして装置オンライン化パッケージ EQBrain300, EES パッケージとして e-fab Doctotor Passport がある。(この部分は、他の章を参照のこと。)

2.1 GUI機能

半導体製造装置での通常運転では、運転員によるプロセスへの手動操作・介入は、大口径化による人間操作の限界、暴露環境下の時間短縮のためほとんどない。従ってGUIは、ジョブの進捗監視および異常事態への対応が主たる目的となる。クリーンルーム内には各メーカーの様々な装置が多数配置されるため、統一的なインタフェースが運転・保守の面から重要であり、規格に準拠することで統一化が図れる。図2に、SEMI-E95に準拠した画面例を示す。

2.2 バッチ・ロット管理

半導体製造装置では、単一製品の繰り返し生産もあるが、レシピに基づいたバッチ自動運転が基本である。ウェーハサイズが大きくなり枚葉管理の小ロット生産となると、生産管理(バッチ管理)と製品管理(ロット管理)とが一致しなくなり、そのためそれぞれのデータトレースが必須である。バッチサイズがロットサイズより大き

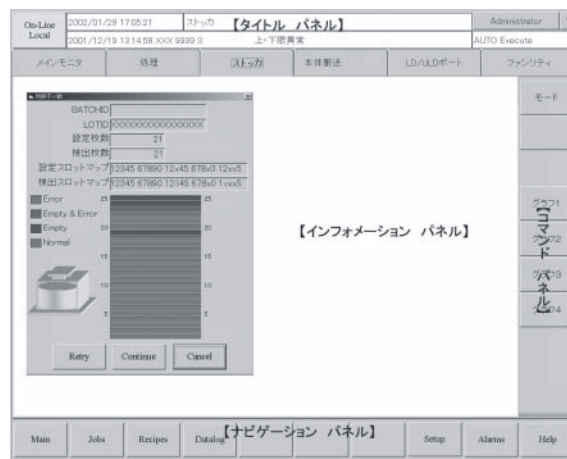


図2 SEMI-E95 準拠の GUI 例

い場合、逆にバッチサイズがロットサイズより小さい場合もあり、いずれも対応が必要である。

2.3 スケジューリング

装置を効率的に動作させるには、装置間スケジューリングと装置内スケジューリングとがキーとなる。半導体製造において、プロセス終了を適切に検出できるオンラインセンサーは限定されるため、プロセスの条件出しがなされた後は、プロセス条件を一定に保ち、時間管理のプロセス操作運転が行われるのが一般的である。

装置内の共有資源である搬送機器がイベント駆動型の動作をするのに対し、レシピ処理(プロセス処理)は、時間駆動型となっている。複数のバッチが実行可能な装置では、装置内機器をレシピ処理に合わせて動作させるため、機器の操作はスケジュールに基づいた制御が必要となる。

2.4 ロードポート

外部から装置内にウェーハを取り入れ/取り出しを行う部分が、フロントエンドモジュールのロードポートである。自動搬送システムあるいは運転員により、前工程から送られて来たキャリア(FOUP, オープンカセット)を装置内に取り込む。装置の処理能力、一回に処理できる量などの関係で、装置内にバッファを有する装置やロードポートを複数持つ装置が存在するが、いずれの場合も外から運ばれてくるキャリアとその中に存在するウェーハ(あるいはロット)を関連付ける。

2.5 本体搬送

装置内でのウェーハ搬送を本体内搬送と称している。ロードポートから取り込まれたウェーハをプロセスモジュールに受け渡す場合、1枚ずつ処理する枚葉の場合、あるいは複数枚をバッチ組して処理する場合でも、プロ

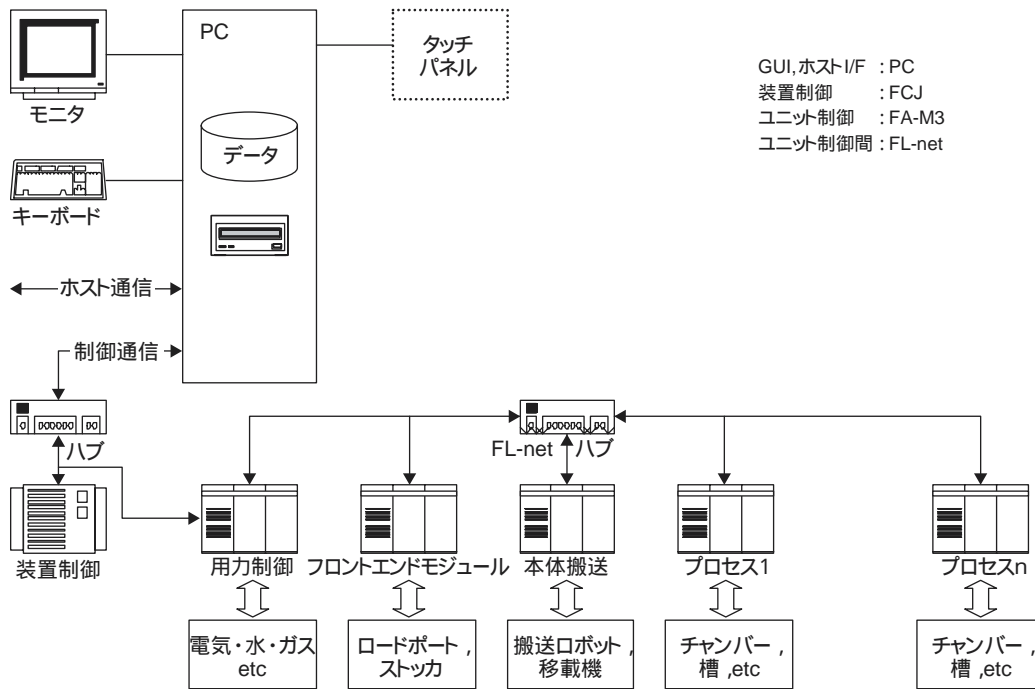


図3 ハードウェア構成例

セスモジュール間をスケジュール指令に基づいて搬送する。

2.6 プロセスモジュール

装置固有の処理・制御を司る部分である。熱拡散や熱酸化の熱処理プロセスではファーネス(炉)の温度制御が、洗浄工程では洗浄液の濃度、温度、洗浄時間が、制御対象となる。

2.7 その他

装置は、冷却水、クリーンエアや電気などのユーティリティ(用力)を必要とする。これらユーティリティは装置の設置される工場や環境に依存するため、装置が設置される環境に対応したエンジニアリングを毎回必要とする。

3. 装置の構成

図1で示される機能をどのように配置するかは、装置の特性、規模に依存する。基本的には各機能をいずれの制御機器に実装しても良く、スケジュール管理、バッチ/ロット管理より上位の管理機能を汎用OSのPC上で行い、制御を専用コントローラとするのが一般的である。

今回のシステム構成は、信頼性の高いシステムを提供するためにスケジュール制御、バッチ実行管理の装置制御部分をコントローラ上(STARDOM)で実行する構成としている。

3.1 ハードウェア構成

図3に、ハードウェア構成例を示す。製造装置をフロントエンドモジュール部(ロードポート、内部バッファ、キャリアオープナーなど)、本体内ウエーハ搬送部、チャンバや処理室と言ったプロセスモジュール部に分け、各部毎に制御を行うユニットコントローラと、バッチ制御管理・データ管理を装置制御コントローラを配置した。オペレータインタフェースおよびホストインタフェースは、汎用PC上に構築した。

スケジュール管理・制御、バッチ管理を、コントローラ上で実現する方法として、リアルタイムOSと専用ポートコンピュータを用いる場合がある。数の出る量産品の場合は、コストメリットを出すことができるが、迅速な対応を必要とする開発やエンジニアリング要素の強い装置においては、パッケージやライブラリが使える開発環境が重要になる。また、開発した製品を維持・管理するには、使用機器および開発環境が長期安定的に供給されるか否かも重要な要素である。スケジュール制御、バッチ実行管理などの装置制御部分にSTARDOMを使用することで汎用性を確保している。特にバッチ制御は、当社のプロセス制御用バッチパッケージと同様に、実行開始したバッチをコントローラ上で完結することで信頼性の高いシステムを提供している。

ユニットコントローラ間は、通信のリアルタイム性と信頼性を確保のために、FL-netを用いた。

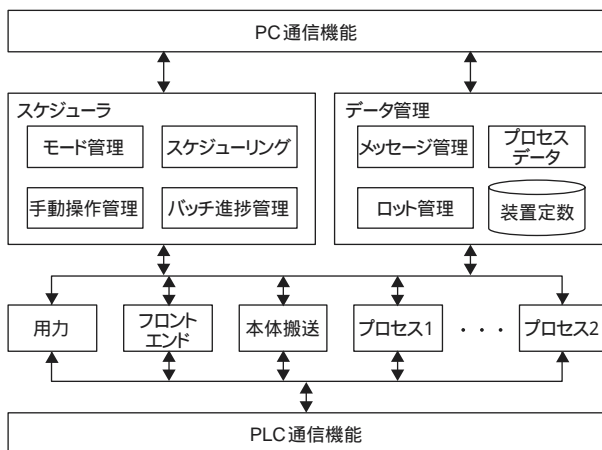


図4 装置制御ソフトウェア構成

3.2 ソフトウェア構成

図1は、リアルタイムの実行系とシステム構築のための機能とから構成される。一品一様の試作品等のような機器の場合は、システム構築をプログラム開発環境そのもので行うが、製品が製造ラインに流れるようになると、生産性を上げるために専用の治具(エンジニアリングツール)が必要となる。その役目を担うのが、システム構築機能である。システム構築機能も一つの機能としてPC上に実装され、現場での調整作業にもユーザ制限付きで使用される。

図4に、装置制御のソフトウェアの構成を示す。装置制御では、装置データを一元的に管理するデータ管理部とレシピに基づき、バッチを実行管理するスケジュール部から構成される。

管理対象となるプロセスデータをはじめ、ロット情報、バッチ情報は、STARDOMのデータ構築機能を利用し構造体形式のデータオブジェクトとして規定し、オブジェクト名にてGUIから扱えるようしている。図5は、ロットオブジェクトの定義例である。

3.3 適応例

これまでに示してきた手法を適応するには、装置構成に合わせ機能選択が行われる。例えば、CVD装置では、プロセスモジュールであるチャンバーがエンドユーザの使用目的に合わせ個数が変わる。しかも、複数のウェーハ処理が同時進行するため、バッチ・ロット管理以外にバッファの管理、および搬送機をバッチの進捗に同期して使用するスケジュール制御が必須である。

装置全体の機能を分割し、各機能を装置構成パラメータで規定することにより、所掌範囲の変更やプロセスモジュールの変更が、フロントモジュール部や本体内搬送装置の制御へ与える影響を最小限にすることが可能になる。

(** ロットオブジェクトパラメータ **)

```

TYPE
  S_G_LOBJ_ST:    (*構造体*)
  STRUCT
    DIS          : BOOL;          (*ロットディスエーブル*)

    INIT         : BOOL;          (*初期化*)
    STS          : UINT;          (*ロットの状態*)
    WAF_STS      : UINT;          (*ウェーハ状態*)
    FOUF_POS     : UINT;          (*FOUFポジション*)
    WAF_POS      : UINT;          (*ウェーハポジション*)
    STK_POS      : UINT;          (*バッファポジション*)
    WAF_QTY_SV   : UINT;          (*設定ウェーハ枚数*)
    WAF_QTY_PV   : UINT;          (*読み込みウェーハ枚数*)
    SLOTMAP_SV   : UINT25;        (*設定ロットマップ*)
    SLOTMAP_PV   : UINT25;        (*読み込みロットマップ*)
    LID          : STRING16;      (*ロットID*)
    BID          : STRING16;      (*バッチID*)
    PPID         : STRING16;      (*レシピID*)

  END_STRUCT;

  S_G_LOBJ: ARRAY [1..n] OF S_G_LOBJ_ST; (*ロットオブジェクト配列*)

END_TYPE
    
```

図5 ロットオブジェクト例

4. おわりに

半導体あるいは液晶製造産業は、高度なプロセス設備を必要とする装置産業であり、しかもクリーンルームでの生産が必須である。このような環境下で24時間365日最大限の生産を担う製造設備は、導入後の素早い立ち上り、長期安定な動作が期待される。機能分割によるシステム開発は一般的な手法であるが、装置ものと呼ばれる機器はソフトウェア開発比重が工数的にも金額的にも低く抑えられ、一つのコントローラに色々な機能を押し込む傾向がある。短期開発、機能アップ、特注対応といったことに対応するには、各機能が簡単に取り替えることのできる構造は大変魅力的であり、そのような環境が量産品でない半導体製造装置にも整ってきている。ここで実現した各機能、特にバッチ管理機能やスケジュール管理といった機能は、プロセス産業用に既にパッケージとして存在し、実用化されている。しかし、いずれも装置組み込みを意識したものではない。日本の装置メーカーが今後も業界トップで活躍するには、自社のリソースを装置本体のプロセス技術に集中し、システム化や装置制御といった部分は、他を活用せざるを得ない。その際には、当社の技術が活躍できるものと考えている。

参考文献

- (1) 川崎信幸, "半導体製造ソリューションビジネスの現状", 横河技報, vol. 45, no. 2, 2001, p. 103-106
- (2) 茂木宏也, "半導体製造装置オンライン化へのソリューション", M&E, vol. 25, no. 10, 1998, p. 134-140
- (3) 岡田智, "STARDOM自立型コントローラFCN/FCJ", 横河技報, vol. 46, no. 1, 2002, p. 7-10

* EQBrain, e-fabDoctor, STARDOMは、横河電機(株)の登録商標です。