

# 半導体製造におけるテストデータ自動解析システムの構築

## Development of the data analysis

清水 正男      小木 しのぶ\*      古賀 久芳\*      石田 和宏\*  
M.Shimizu      S.Ogi\*      H.Koga\*      K.Ishida\*

野洲セミコンダクター(株) プロセス開発グループ  
(株)数理システム 科学技術部\*

Yasu Semiconductor Corp. Process Development Group  
Mathematical System Inc. Science Division\*

要約: 半導体デバイスの生産ラインでは製品の特性を管理するために、工程途中でデバイスの特性を計測する場合がある。この計測データの解析結果に基づき生産ラインをコントロールすることは、工程異常の早期発見や品質安定向上に有効である。計測データを一箇所に集め半導体デバイス特有の計算処理や統計解析を自動で行い、その結果に基づき生産ラインのオペレーターに対して瞬時に指示をだすシステムを構築した。

Abstract: In the case of needs, device parameter measurement is done in the middle of manufacturing line. The insitu data analysis is quite effective to detect bad condition of manufacturing process and to keep high quality of products, especially early stage of production phase because of instability of process. The data analysis system that we developed has several new functions, collecting the measurement data on one server, calculating based on semiconductor unique equations, applying statistical analysis, and generating the instruction to the operators in a moment.

キーワード: パラメトリックテスト, TEG テスト, 統計, S 言語, データ解析, 半導体, 製造

Keywords: Parametric test, TEG test, statistics, S language, data analysis, semiconductor, manufacturing

## 1. まえがき

半導体デバイスの生産ラインでは製品の特性を管理するために、工程途中でデバイスの特性を計測する場合がある。この計測データの解析結果に基づき生産ラインをコントロールすることは、工程異常の早期発見や品質安定向上に有効である。しかしながら、半導体デバイスを評価するために必要な電気特性の測定項目は、通常数 10 から数 100 にもおよび、そのため、測定直後に現場作業員に対して短時間で指示を出すためには、測定・計算・判定・指示までの一連の作業を自動化する必要がある。今回、我々はこれらの一連の作業を自動化するシステムを構築したので、今回このシステムについて紹介する。

## 2. システムの開発方針

システムの開発に際して、まず、表 1 に示すような開発指針を設定した。システムの対象者を、生産現場の作業員・担当技術者・お客様を含めた後工程担当者の 3 者に分けそれぞれが必要と考えられる要件を定義した。

現場作業員に対する機能として、最も重要な部分は、測定した後に示される「製品に対する処置内容」であり、時間的には測定後できる限り早く提供されることが望ましく、システム開発に際しては

1 分以内を目標とした。担当技術者の為の要求事項は、計算プログラムの追加修正が容易にできる。また、測定値に異常が認められた場合にデータ解析が容易に行えるような環境を提供できる。等が考えられる。また、お客様へのデータ提供に関しては、cp/cpk に代表される工程管理の指標が簡単に提供される必要がある。

表 1 システム開発指針

### 生産現場の作業員へ

1. 規格値と比較し、製品の良・不良の判定
2. ブラウザ経由で判定結果に従った、製品処置の指示
3. 不良発生時の自動解析機能の提供

### 担当技術者へ

1. 予め設定された手順に従って、測定値の計算
2. 任意の条件でのデータ抽出
3. マップ・トレンドチャートなどの豊富な描画
4. 上位データ解析システムとの連携

### お客様へ

1. 工程能力の把握
2. 特性データの提供

計算プログラムの追加修正は担当技術者によって頻繁に行われるが、担当技術者は半導体デバイスの専門家であっても、必ずしもプログラミングに精通しているわけではない。そのため、プログラミングが容易なインタプリタ形式の言語を本システム

ムの言語として採用することにした。しかしながら、インタプリタ形式の言語は、C 言語のようなコンパイラ形式の言語に比べて処理速度が遅くなる。

我々が対象とするデータは、ロット ID、ウエハ ID、測定位置などのヘッダー部分と測定値そのものを持ち合わせたベクトル形式で表される。つまり、データの形式は、図1に示すようなn次元空間で考えることができる。

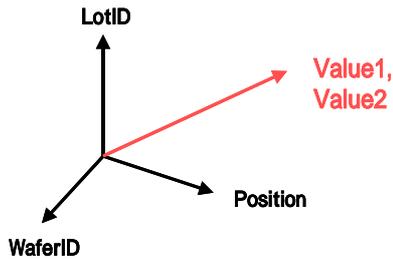


図1 測定データ形式概念図

そこで、配列演算が可能な、インタプリタ形式の言語である S 言語<sup>[1,2]</sup>を本システムの構築する上での基本的な言語として採用することにした。S 言語を採用することで、インタプリタ形式の言語ではあるが、計算を配列演算で扱うことで、計算速度アップが見込まれる。

### 3. システム概要

テスターから本システムへ送られ来るデータは、テスターのメーカーや機種の違いにより、その形式や送信されてくるタイミングが異なる。そこで、テスター群と本システムの間にはファイル・フォーマッターと呼ぶ中間処理機能を設けて、フォーマットや送信タイミングを合わせることにした(図2)。

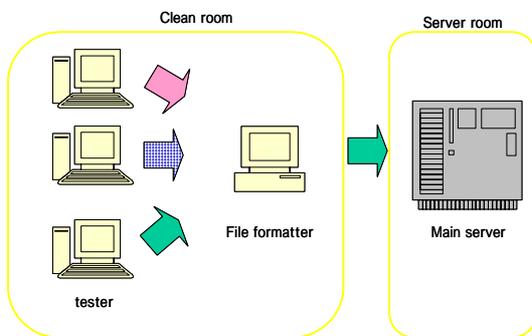


図2 データファイル転送図

次に、本システムの本体計算部分の構成を図

3に示す。

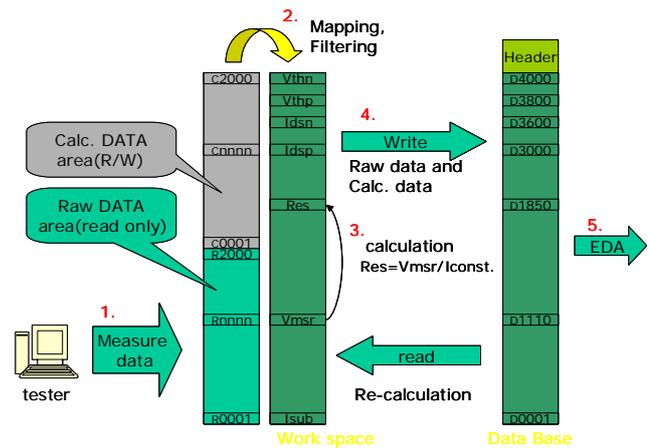


図3 システム本体計算部分の構成図

テスターからファイル・フォーマッターを介して送られてきた、データは Raw Data area と呼ばれる領域に取り込まれる。同時に Calc. Data area と呼ばれる計算結果を保管する領域が確保される。次に、これらの領域にあるそれぞれの変数に対してユニークなら変数名を割り当て (mapping) その変数名を用いて計算を行う。計算式は、担当技術者によって前もって記述されており、システムから自動的に呼び出されて適用される。計算式中に記述された、「製品に対する処置内容」はイントラネットを通して現場作業者に通知される。最後に、元データおよび計算結果はシステム内部のDB に保管され、上位のデータ解析システムへ転送される。

### 4. 欠損値の処理

一般的にテスターでは、TEG(Test Element Group)自体の不良など(特性異常ではなく)のために、特異な値が観測される場合がある。本来このような特異な値はデータ解析の観点からは欠損値(Null)として取り扱うべきであるが、テスター制御に用いられている多くの言語では、欠損値をそのまま取り扱うことができない。従って、通常の計測値から極端に異なる値を欠損値の代替として測定値に代入する。

たとえば、MOS トランジスタの閾値電圧(通常数 100mV)を測定するさいには、-9999E-33 などを欠損値の代替として測定値に代入する。この場合、数チップを測定し単純に平均を取ると、欠

損値に影響され、正しい平均値が求められないため、欠損値の代替値を削除するサブルーチンがシステム中随所に必要となる。

また、トランジスタ幅の設計寸法からの誤差 ( W) を電氣的に求める(図 4)場合、幅の異なる複数のトランジスタのオン電流(I<sub>ds</sub>)を測定し、直線近似した後、X 軸との交点を求めることで、 W を求める。

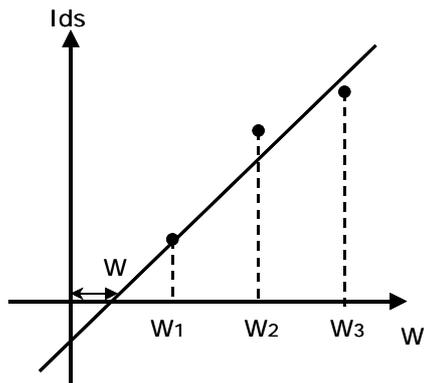


図 4 W の計算方法

図 4 では 3 つのトランジスタの値から W を求める例を示しているが、3 つのトランジスタのうち 1 つが欠損値を示した場合でも、精度は劣るもの残りの 2 つのトランジスタの測定値から W を計算させたほうが、単にエラーとして W を計算しないよりも、生産工程管理の観点からは有効である。

S 言語では欠損値をそのまま NA として取り扱うことができるため、本システムでは、-9999E-33 などの代替値を欠損値(NA)に変換し、計算効率を高めている。

## 5. 計算式の記述比較

シート抵抗(R<sub>s</sub>)を計算する場合を例にとり、C 言語と S 言語との記述形式を比較する。図 5 に示すような TEG に定電流を印加しその両端に生じる電圧から抵抗を求め、TEG のサイズ(L/W)から式1を用いて、R<sub>s</sub>を計算する。

$$R_s = R / (L/W) = R / Sq \quad (式 1)$$

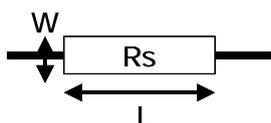


図 5 シート抵抗(R<sub>s</sub>)を求めるための TEG 形状

データが lot, wafer, chip の三次元データの場合、上記の計算は、

```
for(i = 0; i < size_lot; i++){
  for(j = 0; j < size_wafer; j++){
    for(k = 0; k < size_chip; k++){
      Rs[i][j][k] = R[i][j][k] / Sq;
    }
  }
}
```

と、記述されるのに対して、S 言語では

```
Rs <- R / Sq
```

と次元を意識せず簡単に記述される。<- は S 言語では右辺の計算結果を左辺に代入する演算子である。

## 6. 現場作業員への指示機能

計算完了と同時にあらかじめ決められた判定手順に従い、計測値が評価され、その結果に応じて製品の処置手順がイントラネットを通して作業員に指示される。表示例を図 6 に示す。



図 6 作業指示の表示例

測定ロット単位あるいはウエハ単位で指示が出

される。現場作業者はこの指示書に従い、今測定した製品をそのまま次工程へ進める、再測定する、などタイムリーな作業が行えるため、夜間などで担当技術者が不在の場合でも製品の進捗が工程内で滞ることは極端に少なくできる。

## 7. データ自動解析機能

測定データに規格外れが生じた場合、作業者は製品の処置を行い、担当技術者はその原因を追求し、問題解決にあたらなければならない。担当技術者の問題解決の助けとなるために、規格はずれが生じた場合には、ウエハ面内の状況を示すマップなど決められた手順に従い、自動的にデータ解析を行いグラフ化する機能を盛り込んだ。図7にマップを表示した場合の例を示す。

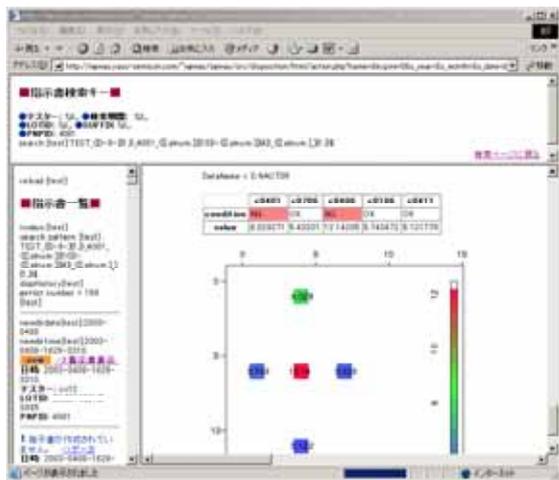


図7 データ自動解析機能の表示例

サーモグラフと同様の色合いをつけることで、数値の大小を感覚的に知ることができる。図7の例では、ウエハ中央の値が大きくなっていることが一目でわかるため、プロセス原因調査のヒントとすることができる。

## 8. データ処理機能

本システムには、ロット単位・ウエハ単位のデータ処理にとどまらず、複数ロットにまたがった、工

程能力の計算(cp/cpk)や、WE ルール(ウエスタン・エレクトリック・ルール)による傾向管理機能を自動化してシステムに組み込むことで、工程異常の早期発見を行うことを可能にした。

## 9. まとめ

本システムを開発することで以下のことが可能になった。

S 言語を使うことで、欠損値の取り扱いが容易にできるシステム構築が可能になった

配列演算機能をフルに使うことで、インタプリタながらデータを高速処理できるシステム構築が可能になった

テスト完了から 40 ~ 50 秒で指示書を発行することができるシステムを構築できた

自動解析機能を備えることで、規格外れが発生した場合の敏速な対応が可能となった

## 謝辞

本システム開発にあたり、有益な助言をいただいた、IISC 社、吉瀧久司氏に心より感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] John.M.Chambers, “Programing with Data”, Springer
- [2] W.N.Venables and B.D.Ripley, “Modern Applied Statistic with S-plus 3<sup>rd</sup> edition”, Spriner

## 連絡先

連絡先氏名 清水 正男  
所属機関 野洲セミコンダクター(株) 技術部 プロセス開発グループ  
所在地 〒520-2362 滋賀県野洲郡野洲町市三宅 686-1  
電話番号 077-587-7448  
FAX 番号 077-587-7503  
E-mail Shimizu.Masao@yasu-semicon.com