

知識ベースに基づく半導体プロセス診断システム 1M-2 におけるマンマシンインタフェース

栗原 謙三 小林 隆 明石 吉三
(日立製作所 システム開発研究所)

1 はじめに

半導体製品の開発、製造には、ノウハウ技術が多数存在する。その異常診断には、対象の物理化学現象に関する理論的知識だけでなく、熟練技術者の経験的知識が必要である。しかし、プロセスの複雑化により経験的知識は多数の人に分散する傾向にある。このような背景から、知識の共有、高度化による迅速な診断を狙いとした、診断システムの開発が望まれている。

定性的な因果関係知識と、実験式や理論式などの数式モデルとの組合せ活用を特徴とする半導体プロセス診断方式を既に提案した(1)。さらに、本方式に基づく診断システムTEGMAPをワークステーション上に開発した(2)。本論文では、そのマンマシンインタフェース方式とソフトウェア構成を提案する。

2 マンマシンインタフェース方式

2.1 マンマシンインタフェース開発における課題

計算機を少数の専門家が利用した時代には、マンマシンインタフェースは機械優先であり、人間が機械に近づいた。しかし、誰もが計算機を利用し、しかも、計算機の能力に余裕が出た現在、計算機を人間に近づけて使い易くするようになった。

TEGMAPは、非定型な診断業務を対話形式で支援する。しかも、計算機に不慣れなプロセス技術者が、TEGMAPと対話してプロセスを診断できなければならない。TEGMAPマンマシンインタフェースの開発課題は、解析指定法や結果表示法などのシステム操作性と、出力結果の十分性を満足することである。

(1) システム操作性

①思考の連続性：対話形式で解析を進める場合には、ある解析を実施後、技術者がその結果を判断して次の解析を実行する。例えば、ウェハ全面解析で特異ペレットを見つけ、そのペレットを単一ペレット解析機能で解析する。このような解析機能間の連続性を阻害しないインタフェースを開発する。

②入力操作の容易性：キーボードによる解析内容の入力は、計算機に不慣れな者にとって面倒である。

(2) 出力結果の十分性

①診断根拠の明示：計算機出力は判断支援資料であり、技術者自身が判断する。計算機の診断過程を明示できねばならない。

②プロセス技術者自身の知識による診断の実現：知識ベース中の知識だけで、全ての診断が実現できるとは限らない。技術者自身が、自分の知識や直感も使って診断できねばならない。

Man-Machine Interface of Knowledge-Based Process
Diagnosis System for Semiconductor Manufacturing
Kenzo KURIHARA, Takashi KOBAYASHI, Kichizo AKASHI
Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.

2.2 マンマシンインタフェース方式

TEGMAPでは、マウス、カラービットマップディスプレイなどの優れた入出力装置を活用して、前述の各課題を解決する。

(1) システム操作性

思考の連続性を確保するには、入出力の高速性と解析の連続性が要求される。高速入出力は、ビットマップディスプレイとマウスの活用で実現できる。しかし、解析の連続性は、優れたハードウェアの活用だけでは解決できない。

前述のような思考の連続性を実現するために、各解析結果の出力画面が次の解析用アイコンを兼ねる方式を開発した。例えば、前出の例の場合、ウェハ全面解析結果を表示したウェハマップ上で、解析するペレットをマウスでポイントする。

一方、入力操作の容易性はキーボードレス化で実現した。すなわち、全操作をマウスによるアイコンポイント方式とした。

(2) 出力結果の十分性

TEGMAPは、各診断ステップに対応して、素子構造パラメータの推定根拠と、プロダクションルールによる原因究明の根拠を説明できる。前者は、推定に使ったデータと推定式を表示する。ここで、回帰分析による推定などは、グラフ表現も導入した。後者は、原因究明に使ったルールを表示する。なお、これら説明機能を実行する際も、操作の容易性を確保するために、出力結果をアイコンとして利用する。例えば、図1に示すように、原因名をポイントすれば、その究明過程が表示される。

知識ベース中の知識だけで診断できない場合、技術者は自分自身の知識と帰納的・直観的推論によって診断する。これを支援するために、①診断の途中経過表示機能と、②複数の解析結果の比較解析機能を用意した。前者は、最終診断結果だけでなく、測定値や推定値などを整理して表示する。後者は、マルチウィンドウ機能を使って、複数の解析結果を並記する。

```

***** CAUSE INFERENCE *****
THE FOLLOWING ITEMS CAN BE THE CAUSES
1  N2_ANL  :: 七ヶノハヲ : V
2  P+_ION  :: ウチヨリヨク : V
3  POLY_SiL :: ショキヨク : A
4  NF_ION  :: ウチヨリヨク : A
5  PW_ION  :: ウチヨリヨク : V

*** CAUSE
POLY_SiL :: ショキヨク : A
----- BECAUSE ----- RULE NO.
POLY_SiL :: ショキヨク : A          R00129
OK T_OX_P : V-VV                  R00320
OK T_OX_P : V
OK T_OX_N : V-VV                  R00321
OK T_OX_N : V
    
```

図1 異常原因の究明過程説明例

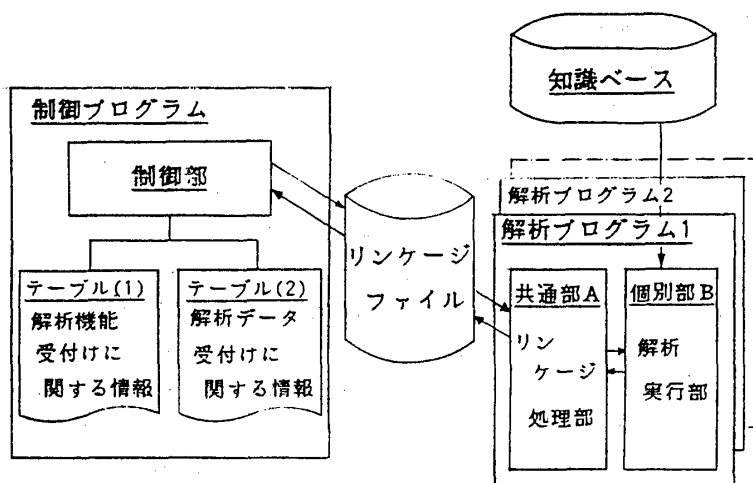


図2 ソフトウェア構成の概念図

3 ソフトウェア構成

技術者はTEGMAPの解析機能を任意の順に実行して診断する。そこで、ソフトウェア構成は、制御プログラムの下に各解析プログラムを楕型につけた構成とした。概略構成を図2に示す。

3.1 制御プログラムのソフトウェア構成

制御プログラムは、実行する解析機能をアイコンで受付ける。次に、CRT上の解析結果の中から、受付けた解析機能の対象データが表示されているものを選び、それをアイコンとして解析対象データを受付ける。ここで、複数の解析結果が該当するときは、最新の結果を選択し、思考の連続性を確保する。ユーザが別の解析結果を要求した場合は、新しいものから順に選択する。この解析対象データ受付け後、制御プログラムは指定された解析プログラムを起動する。この状況を状態遷移図として、図3に示す。

解析機能はシステム活用結果を踏まえて修正される。プログラムの拡張性を確保するために、変更する可能性のある部分をテーブル化し、解析プログラムリンケージ方法を標準化した。

(1) 変更する可能性のある部分のテーブル化

解析機能を修正する際、可変部分は次の2項目である。

- ①解析機能受付けに関する情報：指定用アイコン受付け領域、表示文字、対応する解析プログラムNo.
 - ②解析データ受付けに関する情報：解析プログラムごとに、解析データ受付け画面を出力する解析プログラム名の一覧表。
- (2) 解析プログラムリンケージ方法の標準化

制御プログラムから解析プログラムに受渡すデータは、起動目的コードと別の解析プログラムから受渡しを依頼されたデータである。起動目的コードは「そのプログラムを起動したのは、データ解析のためか、または、解析対象データ受付けのためか」を示すコードであり、各解析プログラムに共通である。一方、受渡し依頼データは解析内容に依存し、個性がある。そこで、データ受渡し用ファイルを設け、その先頭に起動目的コードを、その後に解析プログラム個別のデータを入れる。

同様に、各解析プログラムから制御プログラムに受渡すデータは、プログラム状態コード（休止状態と終了状態の識別）と

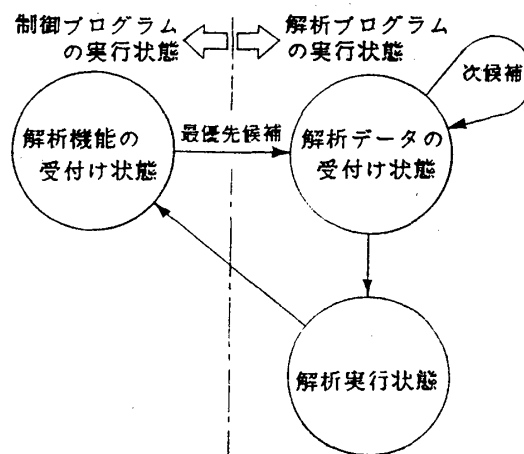


図3 TEGMAPソフトウェアの状態遷移図

他プログラムへの転送依頼データである。これらは上記データと同形式であり、上記の受渡し用ファイルを利用する。

3.2 各解析プログラムのソフトウェア構成

各解析プログラムの概念的構造を図2に示す。図のA部は各解析プログラムに共通であり、起動目的の判定、状態コードの設定、異常処理、などを行う。B部は個別部分である。

TEGMAPの解析プログラムは、単一ペレット解析プログラム群、2ペレット解析プログラム群、ウェア全面解析プログラム群、に3分類できる。単一ペレット解析が基本であり、他はこのプログラムを繰り返し実行し、集計する。ここで、各解析プログラムの素子構造パラメータ推定部は、数式モデルを知識と見たプロダクションシステムに相当する。すなわち、付記されている前提条件が成立する数式モデルを探索し、その数式モデルにより素子構造パラメータを順次推定する。この推定値を使って別の推定値を多段に求めることもできる。また、原因究明部は、現象・原因間因果関係を表すif then ルールを利用したプロダクションシステムであり、TEGデータおよびこれに基づく推定値の異常発生状況からその異常原因を究明する。

4 あとがき

半導体プロセスの物理化学現象に関する数式モデル知識を、現象・原因間因果関係知識で結合して活用することを特徴とする診断方式を既に提案した。今回、本方式に基づく半導体プロセス診断エキスパートシステムをワークステーション上に開発した。ここでは、操作性向上を狙って、解析結果の出力画面が解析指定用アイコンを兼ねる、キーボードレス方式を考案した。また、対話型システムにおける、マンマシンインタフェース管理方式とそのソフトウェア構成を提案した。

< 参考文献 >

- 1) 栗原、他：知識ベースに基づく半導体プロセス診断方式、情処学会論文誌、Vol.27, No.5, pp.541-551 (1986)
- 2) 小林、他：知識ベースに基づく半導体プロセス診断システムの機能構成、情処学会研究発表会予稿集 (1986年10月)