

知識ベースに基づく

1L-9 半導体プロセス診断システムの機能構成

小林 隆 栗原 謙三 明石 吉三

((株)日立製作所システム開発研究所)

1. はじめに

集積回路の電気特性は、製造プロセスの変動に左右される。設計者は、この変動を考慮して余裕をもったプロセス設計を行う。しかし、最近の超微細化に伴って、プロセス余裕が十分にとれず、従来は問題とならない僅かなプロセス変動で特性がばらつき、歩留まりは低下する。このため、プロセス起因の製品不良の原因を迅速に究明する診断システムの開発が望まれている。

一方、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ため、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不可欠である。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、実験式、理論式などの数式モデルと、技術者の経験により得られた現象・原因間因果関係知識とを、組み合わせ活用することを特徴とする、半導体プロセス診断方式を既に提案した。(1)

本論文では、提案方式に基づいて開発した診断システムの機能構成を示す。

2. 知識工学応用プロセス診断方式

完成品の構造上の異常箇所が分かれば、その異常原因は膜の形成に関与する少数の工程に限定できる。提案方式では、完成品をソフトウェア技術で模擬的に分解して異常箇所を抽出し、その結果を知識ベースで解析する。すなわち、診断用TEG(Test Element Group)を製品ウエハ上に形成し、その電気測定データと数式モデルから素子構造パラメータ値を推定する。次に、これらの推定値の異常発生状況と現象・原因間因果関係知識から原因を究明する。このように、技術者に分散している定量的な数式モデルと定性的な現象・原因間因果関係知識を知識ベース化し、これらを組み合わせ活用して診断する。

以上の構想に基づき、図1に示す2ステップで半導体プロセスを診断する。以下、その概要を示す。

(1)ステップ1：素子構造パラメータ値の推定

素子構造パラメータ値の直接測定は困難である。そこで、その値を診断用TEGの電気測定データから推定する。一般に、製品の電気測定値と素子構造パラメータ値に関する、多変数の数式モデルの開発は容易でない。しかし、TEGでは関与する変数が少なく、実験式や理論式として数式モデルが得られる。

(2)ステップ2：異常原因の究明

素子構造パラメータ値は多種類のプロセスパラメータ値で決まり、装置個々の特性も影響する。そのため、両パラメータ間の数式モデルの開発は容易でない。そこで、定性的な現象・原因間因果関係知識によるプロダクションシステムで異常原因を究明する。

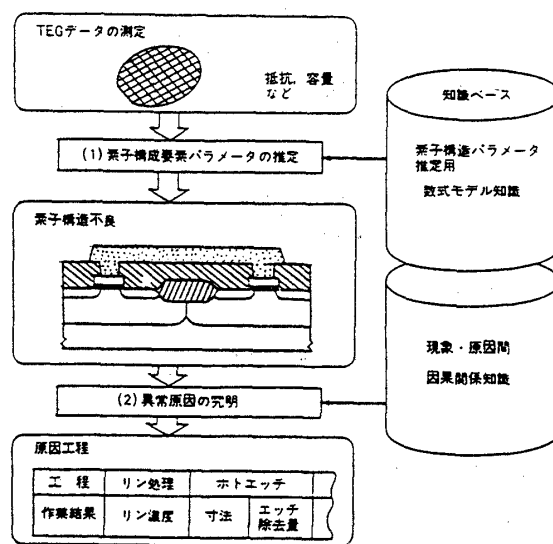


図1 半導体プロセス診断方式

### 3. プロセス診断システムの機能構成

経験的知識による演えきの推論だけで、異常原因の全ては究明できない。熟練技術者は、帰納的推論と直観的推論も使って、未経験の原因を究明する。

本システムでは、既経験の原因を演えきの究明するために、プロダクションシステムによる診断機能を設けた。ここで、最終判断は技術者自身が下すものであり、各究明原因の根拠説明機能も設けた。

一方、未経験の原因究明には、技術者の帰納的、直観的推論が不可欠である。通常、未経験の製品不良が発生した場合、技術者は、TEG測定データ、素子構造パラメータなどを解析し、それらのデータの相関性、プロセスパラメータに対する依存性、ウエハ内のバラツキ特性などを調べる。その結果をもとに、帰納的、直観的に異常原因の仮説をたて、この仮説を試行錯誤で検証する。本システムでは、このような推論を支援するために、TEG測定データ、素子構造パラメータなど診断の途中経過を、任意の時に一覧表あるいはグラフィック形式で表示する、データ解析機能を設けた。

本システムの解析機能は、解析対象データの種類により、単一ペレット解析、2ペレット比較解析、ウエハ全面解析、の3機能群に分類できる。単一ペレット解析機能群が基本であり、これを繰り返し実行・集計するのが他の解析機能群である。技術者はこれら解析機能を任意の順に実行できる。以下、主な機能の概要を示す。

- (1)単一ペレット解析機能群： ペレットごとに、TEG測定値の規格チェック、素子構造パラメータ値の推定（前記ステップ1）と規格チェック、原因究明（前記ステップ2）を実施する。ここでは、推定・究明過程も表示できる。また、既知情報だけで断定できない原因は、質疑応答形式で検定する。
- (2)2ペレット比較解析機能群： プロセス条件の異なる2ウエハまたは同一ウエハ上の異なる領域からの2ペレットについて、単一ペレット解析を実行し、両者の相違を表示する。
- (3)ウエハ全面解析機能群： ウエハ全面に渡って単一ペレット解析し、異常発生状況を解析する。結果は一覧表で示すと共に、各データごとにウエハ上の分布状況を鳥瞰図、等高線図などで表示する。
- (4)マンマシンインタフェース機能： 本システムは、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、システムと対話してプロセスを診断できなければならない。このため、マンマシンインタフェース開発の課題は、解析指定や結果表示の際のシステム操作性を充実させることである。本機能では、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実現した。(2)

### 4. あとがき

数式モデルと現象・原因間因果関係知識を組み合わせ活用することを特徴とする、半導体プロセス診断システムを開発した。本論文では、その機能構成を報告した。半導体プロセスの異常診断には、技術者の経験的知識による演えきの推論だけでなく、帰納的、直観的推論も不可欠である。このため、本システムでは、測定データ、推定データなどの診断の途中経過を一覧表あるいはグラフィック形式で表示するデータ解析機能を強化した。

#### <参考文献>

- (1)栗原、明石：知識ベースに基づく半導体プロセス診断方式、情報処理学会論文誌、vol.27、no.5、pp541-551(1986)
- (2)栗原、小林：知識ベースに基づく半導体プロセス診断システムにおけるマンマシンインタフェース、情報処理学会第33回全国大会予稿集(1986)