

カイ 2 乗検定を使った共通項解析 (TOOL SORT)

野洲セミコンダクター(株)技術部 清水 正男

半導体の生産ラインでは、製品の履歴情報から機能試験の結果まで多種多様で大量のデータが存在している。これらのデータを解析し、その結果に基づく対策は、生産ラインの歩留まりを向上させ品質を維持していく上で効果的である。これらのデータを 1 つのデータベースに統合し、技術者用データ解析システムを構築した⁽¹⁾。今回、このシステム上で稼働させることのできるカイ 2 乗検定を使った共通項解析手法(TOOL SORT)を提案し、実際の生産ラインの異常工程・異常装置推定に応用し、その有効性を検討した。時刻・工程・号機とったパラメータが複数個存在し、それらがお互いに関連を持っているため、問題を解決するためには複雑な連立方程式を解く必要があった。問題の事象を簡素なモデルに置き換えることで、カイ 2 乗検定を使った共通項解析手法による問題工程・問題装置の推定は、実際の生産ラインの問題解決手法として有効に使えることを示した。

1. はじめに

半導体の生産ラインでは、製品の履歴データ、工程内で測定された物理特性データや電気特性データ、パーティクル測定装置による概観検査データ、最終機能検査結果のデータなど多種多様で大量のデータが存在する。これらのデータを 1 つのデータベースに統合し、技術者用データ解析システムを構築したことは前回報告した⁽¹⁾。

今回、このシステム上で稼働させることのできるカイ 2 乗検定を使った共通項解析手法(TOOL SORT)を提案し、実際の生産ラインの異常工程・異常装置推定に応用し、その有効性を検討した。TOOL SORT とは、電気特性異常などの半導体生産ラインで発生した異常を、異常製品ロット群と良品製品ロット群に分け、それぞれのロット群の工程履歴の偏り具合から異常発生工程を絞り込む手法である。

異常発生の原因を簡素なモデルに置き換え、共通項解析にカイ 2 乗検定を応用し、異常発生工程・異常発生装置の推定を行った。

この論文では、TOOL SORTを適用した事例を紹介し、異常工程・異常装置推定のための手法として、カイ 2 乗検定を使った TOOL SORT が有効であったことを報告する。

2. 問題解決への手法

製造工程における異常発生の問題を解決するためには、図 2.1 に示す、号機、日付、工程ステップの 3 次元問題を解く必要がある。

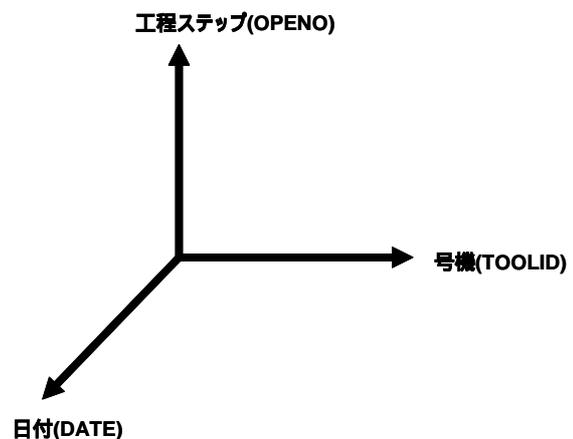


図 2.1 問題工程の 3 要素

また、A 工程では1号機で処理されかつ B 工程では3号機で処理された場合にのみ異常が発生すると言った、工程間の交互作用によって、異常が発生することも予想され、これらの交互作用も考慮して問題を解く必要がある。

標準的な半導体の生産ラインの工程ステップ数は、数 100 にもなるため、上述の工程間の交互作用を含めた問題を、一般的な統計手法を用いたアプローチを行うためには、数 100 個以上のデータが必要となる。つまり、数 100 ロット以上の工程履歴が必要となり、100 ロット以上の異常ロットの履歴および 100 ロット以上の正常ロットの履歴が必要となる。生産工場で 100 ロット以上の異常ロットを作ることはありえず、これだけの異常ロットのデータを集めることは不可能である。

従って、数ロット程度の異常ロットの履歴とそれに見合う数の正常ロットの履歴を用いて解析できる手法が、半導体生産ラインでの問題工程抽出のための手段として必要になる。

そこで、問題を簡単なモデルに置き換える。まず、過去の経験から、量産を開始した生産ラインでは、製品に異常が発生した場合、複数の工程や複数の装置にまたがって原因が存在することは極まれで、1 つの工程の 1 台の装置に起因することが大半を占める。

従って、上述の工程間の交互作用はないものと仮定し、また、異常は 1 つの工程の 1 台の装置で引き起こされたと仮定する。異常発生期間は、最初に異常ロットが処理された時から最後の異常ロットが処理された時までと仮定する。

3. カイ 2 乗検定の応用

「子供がお菓子を他の子供に与える行動について調査する場合、模範を示したグループと模範を示さなかったグループで、行動に差があるか」、のような問題を解析するためにカイ 2 乗検定は適している⁽²⁾。前項で簡単なモデルに置き換えることによって、生産工程での異常発生を、図 3.1 に示すとおり、「ある基準でロットを良品・不良品のグループに分けた場合、その分かれ方と、それぞれの工程ごとでロットが処理された装置号機の別れ方に差があるか」と言うカイ 2 乗検定の問題として取り扱うことができる。

グループ	お菓子をお互い分け与えた	お菓子を分けなかった
模範を示した	25	15
模範を示していない	10	30



グループ	良	不良
ロット判定結果	25	15
装置の分かれ方	10	30

図 3.1 カイ 2 乗検定の適用

次に、解析手順について述べる。まず複数の、異常ロット、正常ロットを決め、前述の技術者用データ解析システムから ODBC 接続を使い、それらのロット履歴を抽出する。次に、自分の PC 上で解析用にデータフォーマットを変換すると同時に、使われている装置が 1 台だけの工程データを削除する。次に、工程毎にロットの異常・正常の偏り具合と、使用された装置の偏り具合から、カイ 2 乗値を求める。最後に、カイ 2 乗値の大小に従い、各工程を並べる。

この順番に沿って、異常発生 of 物理的電氣的メカニズムの妥当性を順番に吟味する

ことで、異常発生 of 工程および装置を抽出することができる。

4. 適用事例

図 4.1 に示すある電気特性のロット単位の変化の様子は、前回報告した技術者用データ解析システムから毎日提供される特性値の一つである。図 4.1 に示す事例は、拡散層の抵抗値が、数ロットにわたって異常に低くなる問題が発生したときのものである。

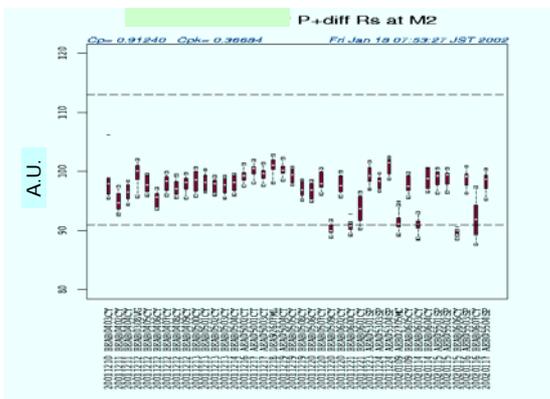


図 4.1 定型レポートに見られた電気特性異常。ロット全体の値がシフトしている

図 4.1 から異常ロット3ロット、正常ロット5ロットを決定し、TOOL SORT を適用した。その結果を表 4.1 に示す。

表 4.1 TOOL SORT の解析例

	BEA00200 S3	BEA00203 S3	BEA00204 S3	BEA00603 C1	BEA00604 C1	BEA00605C 1	BEA00606 C1	BEA00607 C1	0
G/B	1	1	1	0	1	1	0	0	0
20	T02011	T02011	T01031	T02011	T01031	T02011	T01031	T02011	0.035
420	T17040	T17070	T17070	T17040	T17040	T17040	T17070	T17040	0.035
690	T20020	T20010	T20010	T20020	T20020	T20010	T20010	T20010	0.035
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
2830	T23050	T23050	T05080	T05080	T23050	T23050	T05080	T05080	4.8
810	T15020	T15020	T15020	T13080	T09010	T15020	T09010	T13080	5.86
3590	T22050	T22050	T22050	T22160	T22050	T22050	T22160	T22160	8

表中、最初の行はロット ID を示し、2 行目はそれぞれのロットの良否を示しており、1 が良品、0 が不良品である。また、一番左の列は、工程番号を示し、一番右の列は、そ

れぞれの工程番号と 2 行目の良否判定とのカイ 2 乗値である。表出力する際に、工程番号順ではなくカイ 2 乗値によってソートして、この順番によって問題発生 of 可能性が高いと考える。つまり、この事例では一番下の行のカイ 2 乗値が最大になっており、工程番号 3590 の装置 ID が T22160 でトラブルが発生した可能性が一番高いと言う結果になった。

トラブル発生 of 可能性が高い順番を考えると、3590, 810, 2830...となる。この順番に従って、問題の現象をそれぞれの工程の物理的要因を考慮し、調査することで真の問題工程、問題装置を突き止めることが可能になる。

この事例の工程番号 3590 は、アニール工程 (熱工程) で物理的に考えても、この工程で異常が発生したと仮定すれば、半導体の拡散層の抵抗値が変動することには矛盾はない。

従って、この解析結果から、「トラブルは工程番号 3590 のアニール工程の装置 ID が T22160 で発生した可能性が高い」と言える。履歴のデータ解析から、問題工程をここまで絞り込むことができたので、この後は、実際に「怪しいとされた工程で使用されている装置」を点検し、装置的な問題が発見されればそれを整備することで、問題を解決することができる。

次に、同じく技術者用データ解析システムから毎日提供される特性値で、測定点の数箇所に値が大きくなる異常値 (フライヤー) が観測された事例を図 4.2 に示す。

この事例の場合、問題となる特性値は、半導体の素子間を接続する金属配線の抵抗値を示しており、最初の事例とは異なり、ロットの平均値のシフトではなく、測定値にフラ

イヤーがあることが問題となる。

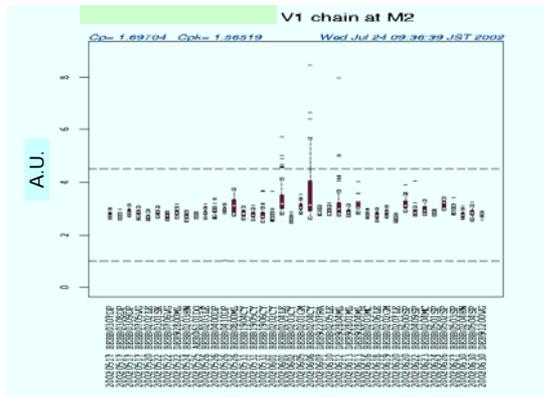


図 4.2 定型レポートに見られた電気特性異常。異常に大きな値が数点認められる

ここで、フライヤーのあるロットを不良、それ以外のロットを良品とし、今回提案する解析を行った。その結果、スパッター工程(配線用金属薄膜の成膜工程)に問題がある可能性が高いことが示唆された。

上述のスパッター工程に問題があると仮定すると、配線の断線やショートを引き起こし、該当の測定値にフライヤーが現れることは十分考えられる。このように該当工程の物理的な意味(影響)を考えた場合、当然の現象と考えられるので、後は、実際に「怪しいとされた工程で使用されているスパッター装置」を点検し、装置的な問題が発見されればそれを整備することで、問題を解決することができる。

5. まとめ

半導体の生産ラインで発生するトラブルを、簡単なモデルに置き換え、ロットの良不良とロット履歴をカイ2乗検定することで、問題工程および問題装置を抽出することができた。

製品ロットを良品不良品に分類するには、

それぞれの特性値の意味および性質を十分考慮し、分別する必要がある。

今回の手法で導き出された結果は、あくまでも製品履歴から導き出された「怪しい工程の怪しい装置」であって、その結果を物理的に吟味して、妥当性を検討する必要がある。

謝辞

この論文をまとめるにあたって、数理システム中園美香氏には有益なご助言をいただいたことを感謝する。

参考文献

1. 第1回 S-PLUS ユーザーカンファレンス 予稿集, 2001, Nov
2. サイエンスライブラリー統計の基礎, サイエンス社