

半導体製造工程における工程解析に関する研究

クオリティマネジメント研究

600B022-4 川合 康之

指導 棟近雅彦 教授

A Study on Process Analysis of Semiconductor Manufacturing

by Yasuyuki Kawai

1. 研究目的

工程解析とは、「工程における要因と特性の関係を明らかにすること」^[1]である。品質管理で絶えず強調される事実に基づく管理を実践し、工程から取られたデータで工程解析を効率的に進めることが不良低減のために重要となる。

従来は品質管理のためのデータを収集することに労力がかかることが多かったが、測定器や情報処理機器の発達により、さまざまなデータを容易にとることができるようになった。しかし、膨大なデータをうまく扱えず、それを十分に活かしてきれていない場合もある。

本研究では、ある半導体メーカーS社で実際に工程解析を行い、その経緯をたどりながら、なぜデータを問題解決に有効に活かさないのか明らかにする。さらに、把握した問題点の解決方法を提案することを目的とする。

2. 工程解析事例

工程解析を行う際に生じる解析上の問題点を把握するため、S社で工程解析を実施した。その工程解析事例（事例1とする）を以下に示す。

2.1 製造工程の概要とデータ

解析対象とした半導体製品は、図1に示すような工程を経て製造される。各選別検査工程では不良品の早期発見のため、全数検査が実施されている。

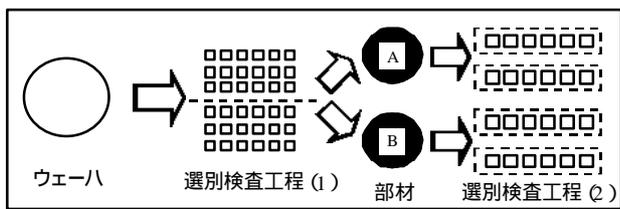


図1 工程の概要

工程の概要は次のとおりである。ウェーハは、チップ状に切り分けられ、選別検査工程(1)で測定され

る。合格となったチップは、この時点で2つのロットに分けられる。その後、それぞれのロットに対して部材を組み合わせ、さらに2分割して合計4つとなった各ロットが選別検査工程(2)において測定される。

選別検査工程で測定されるデータは中間製品の特性値（計量値）で、社内で構築されたデータベースに格納される。解析者は、データ収集作業を支援するシステムを通して要求するデータをデータベースから収集、出力でき、本研究においてもこのシステムからデータ収集を行った。

2.2 不良項目の選定

2つの選別検査工程のデータをもとに、1ヶ月ごとのデータを集計しパレート図を作成したところ、選別検査工程(2)の品質特性Kが不良数、不良金額ともに毎月1位であった。また、全体に占める割合も高かったため、この不良原因を解析することにした。

2.3 不良率による時系列傾向の把握

選別検査工程(2)における品質特性Kの時系列的傾向を把握するため、各ロットの不良率を求めたものが図2である。

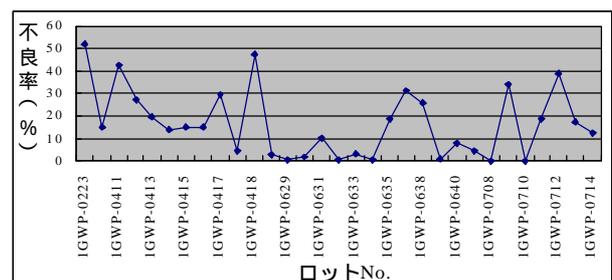


図2 各ロットの不良率

図2より、ロットによって不良率が大きく異なっていることがわかる。したがって、ロット間変動を大きくする原因を追求する必要がある。

2.4 ロット間の分布の比較

図2より不良率の高いロットと不良率が低いロットを選び、品質特性Kのヒストグラムを作成したところ、不良の多いロットは次の特徴があることがわ

かった。

- 1) 平均値が高く、分布が右に歪んでいる。
- 2) 同じウェーハから切り出されたロットでも、不良の少ないロットと、多いロットが混在している。

2.5 ヒストグラムによる問題工程の追求

品質特性 K は選別検査工程(1)でも測定されている。そこで、選別検査工程(1)と選別検査工程(2)におけるばらつきの相違を把握するため、工程によって異なる編成となっているロットの対応をとり、ヒストグラムを作成した。選別検査工程(2)のヒストグラムは、同じウェーハから切り分けられた4つのロットを統合したものである。ヒストグラムを図3に示す。

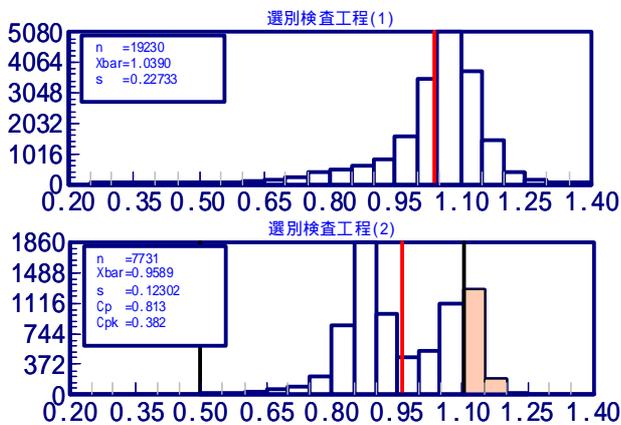


図3 各選別検査工程のヒストグラム

図3より、選別検査工程(1)での分布の形は正規分布である。選別検査工程(2)では、二山形になっている。分布の形が大きく変化していることから、この工程間に影響の大きい要因があると考えられる。

この二山となる原因を追求するためには、検査工程間で考えられる要因による層別を行う必要がある。

2.6 層別を利用した要因の絞込み

技術的な検討と2.5までの分析から4つの要因が考えられた。そこで、層別因子ごとに組み合わせを変え、影響を調べたところある部材(図1のA、B)の特性が大きく影響を及ぼしていることがわかった。

図4に、選別検査工程(2)で測定された1ロットごとのヒストグラムと、使用した部材ごとにまとめたヒストグラムを示す。

これより、部材Bを使用したロットは、上限規格を上回る不良が多発していることがわかる。部材Aを使用したロットは、ばらつきが小さく不良が出ていないことがわかる。

よって、品質特性Kに対して部材の特性が影響を及ぼしていることがわかった。その後、S社では真の要因を追求する活動を展開しているが、具体的な対策が打てないでいる。そこで、部材は一社購入であることから他社製の検討を行っており、現在、試作ラインでテスト中である。

3. 解析で生じた問題点と解決方法の提案

3.1 解析で生じた問題点

これまでに述べた工程解析においては、「層別」と「問題工程を追究するために行ったロットの対応づけ」が本質的である。すなわち、部材AとBに層別して差があることを見つけたこと、ロットの対応を取って検査工程間に分布の形を変化させる要因があることを発見したことが、問題解決でのポイントとなった。そのポイントを見つけるまでに、以下の問題点があったためかなりの時間を要した。

(I)システムに収集すべき層別因子データに関する問題

2.6で層別による分析を行おうとしたところ、層別因子データの収集に時間を要した。これは、解析に

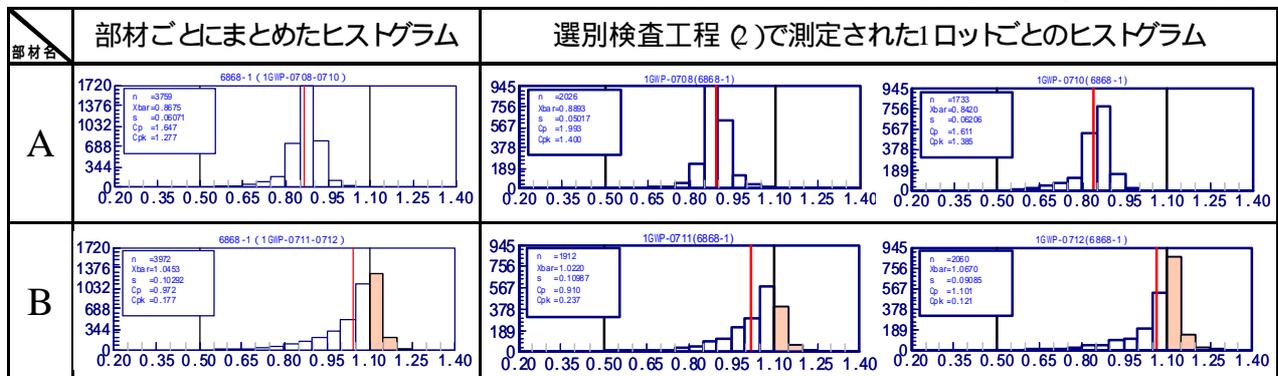


図4 層別したヒストグラム

必要な層別因子がシステムに蓄積されていないため、それらのデータを帳票から収集する作業に多くの時間を要したからである。この帳票はフォーマットが定まっておらず、非常に調査しづらい状態であった。

また、事例2では、品質特性Lを測定する工程のロット内に複数の測定号機で測定されたものが含まれていた。これにより、層別因子である測定号機と品質特性Lとの正確な対応がとれなくなり、層別を行うことができないという解析上の問題が発生した。

() ロットの対応取りに関する問題

半導体製造工程では、1枚のウェーハが中間工程で分割を繰り返しながら工程を経ていくため、工程によって異なるロット編成になっている。

2.5の分析で、選別検査工程(1)と選別検査工程(2)におけるばらつきの相違を把握するため、ロットの対応を取ろうとしたところ、工程によって異なるロットNo.がついていた。そのため、対応関係を帳票から調べる作業に多くの時間を要した。

3.2 解決方法の提案

工程解析を効率よく行うために、前述の問題点における解決方法を提案する。

(I) システムに収集すべき層別因子データの整理方法の提案

ある品質特性に影響を及ぼす要因は無限に存在するため、あらゆる層別因子情報を、常時システムに入力し管理することはコスト的にみて得策ではない。そこで、工程に存在する層別因子を階層的に把握し、以下に示す項目と固有技術的な知見をもとに検討を行い、システムに収集すべき層別因子を体系的にチ

品質特性と管理水準
層別因子の重要度
過去のトラブル記録
ロットの大きさとの層の大きさ

ェックシートでまとめることを提案する。

このようなチェックシートにまとめることで、不具合発生時において解析に必要な層別因子を明確に把握することができる。

() ロットの対応取りに関する提案

ロットの対応取りを効率よく行うためには、

- ・ 着目した工程に対して比較可能な工程の存在を迅速に把握できる
- ・ それぞれのロットに対して一意に識別できるロットNo.が付けられている

ことがよい。さらに、ロットNo.で層別因子を識別できれば、解析に必要な情報がわかりやすい。

そこで、以下に示す項目を参考にトレーサビリティが行いやすい対応ロットNo.の付け方と比較可能な工程をチェックシートでまとめる方法を提案する。

比較すべき品質特性値どうしの関係
対応させるロットNo.の形式
工程間に存在する重要な層別因子と因子の種類

このようなチェックシートにまとめることで、品質特性ごとに比較可能な工程を把握でき、データを効率的に解析することができる。

3.3 事例への適用

S社の半導体製造工程に対して、Dライン工程を解析対象として2つの提案方法で検討を行った。その結果を表1に示す。

層別因子チェックシートを利用して検討した結果、事例3ではシステムに収集されていなかった層別因子を5つ抽出することができた。

また、ロットの対応取りについても既存のロットNo.を応用する方法を用いていることから、現状の生産体制にあまり負荷をかけずに実施することができ、事例2で活用することができた。

表1 層別因子チェックシート(抜粋)

階層構造	工程名	品質特性	管理水準	重要度	過去トラブル	ロットの大きさ	データ収集方法	ロットNo.例	層別因子	層の混入状況	比較可能工程				層別因子識別No.	対応ロットNo.
											工程名	比較対象	ロットNo.例	No.抽出		
	Dライン工程	電流特性1	1.5 ~ 2.0	A	部材の影響大	約2000	測定機自動収集	1D-1334	部材	-	Aライン工程	絶対値	S5L-1053-1	1053-1	部材因子A B C	1D-1334 (053-1-A)
		電流特性2	21.3 ~ 34.6	B	-				治具	-	Bライン工程	変化率	1C-790	790	治具No.1 ~ 4	1D-1334 (790-2)
		電流特性3	4.5 ~ 7.2	C	設備精度と関係有				測定号機	-	Bライン工程	絶対値	1C-802	802	号機No. 1 ~ 5, 11 ~ 21	1D-1334 (802-21)

したがって、提案した方法を工程解析において実際に活用していくことにより、ロットの対応に要する時間や層別因子の収集に要する時間を削減できると考えられる。また半導体製造工程だけでなく、連結したいいくつかの要素工程とその上流にある要素工程に「原因 結果」の連鎖関係が予想される工程であれば活用することができるので、汎用性の高い方法と考えられる。

4. 考察

4.1 層別因子データの重要性

工程解析事例において用いた QC 七つ道具の中で、最も重要な手法は層別であると考えられる。不良発生の原因を究明するためには、様々な要因の中から良品を製造したときの条件と不良品を製造したときの条件を探し出さなければならない。そのためには、いろいろな視点からの層別を行い、良品と不良品にわかれる層別因子を発見することが重要である。もし、層別がうまく行えない場合は、特性要因図の全ての要因をしらみつぶしに調べていくという大変効率の悪い解析を余儀なくされる。

よって、原因を素早く探し出すためには、あらかじめ重要な層別因子データをシステムに蓄積し、層別因子データの収集を電子化による処理速度向上によって支援することが有効と考えられる。

また、層別を行うためには層別因子と品質特性値の対応がとれていなければならない。対応が取れていないと労力をかけて収集した層別因子データを解析に活かすことはできない。また、層の大きさによっては品質特性を測定するロット内に層が混在して層別が行えないという問題が生じる場合がある。このような問題を防ぐための対応取りの管理や記録はコストの増大につながるが、層別の重要性を理解し、その仕組み作りを行うことが重要と考えられる。

4.2 ロットの対応取りの重要性

ロットの履歴（素性）が明確にわかることは重要である。

例えば、事例1のように工程で不良が発生し、その原因が部材に起因することが判明したとき、原因追求のためにそのロット No.から追跡調査ができることが必要である。同一ウェーハから切り出されたロットは、現在どの工程まで流れているのか、同一ロットの未使用分の部材はどこにあるのかなど、的確に判明できる仕組みをつくり、常に管理状態にし

ておくことは重要である。

本研究において要因を把握することができたのは膨大な帳票類をもとに、中間検査工程によって異なるロット No.のついたデータの対応を調査したところが大きい。また、ロットの対応を調査し不良が発生した工程の前工程における特性値の分布を比較することで、工程間の変化量を捉え、原因追求のポイントを絞ることができた。

中間検査工程でとられる品質特性などの中には前工程に対しては結果であり、後工程に対しては原因となりうるようなデータが存在する。このデータを有効に使用し、工程の変動や工程間の変化量を素早く捉えることが重要である。そのためには、解析するロットどうしの対応が取りやすいように一意に識別できるロット No.を付ける工夫や、迅速にロットの対応取りができる仕組み作りを行うことが重要である。

4.3 層別因子チェックシートの意義

層別因子チェックシートは、従来の QC 工程表に層別因子を加えたものとみなすことができる。そのため、このチェックシートは工程解析に必要なデータを体系的に表すことができるので、結果系データと原因系データのつながりを明確に管理することができる。さらに、収集すべきデータについて洩れや重複を減らすことが期待できる。

また、層別因子を階層的に把握することで、システム開発者は工程解析に適したデータベースを開発しやすくなり、解析者に対して無駄なアクセスがなく効率的にデータを提供することができると期待できる。

5. 結論と今後の課題

本研究では、半導体製造工程の工程解析を行い、不良原因を明らかにし対策の方向性を示した。また、工程解析を行った際に生じた問題点を明らかにし、その解決方法を提案した。

今後の課題としては、真の要因の追求と、提案した方法の問題点の抽出、改善を行っていく必要がある。

参考文献

- [1]細谷克也(1984):『QC 的ものの見方・考え方』, 日科技連出版社 .
- [2]磯部邦夫(1981):『ノウハウを生み出す品質管理』, 日本規格協会 .