

半導体入門講座・第 18 回

管理図と日々の監視

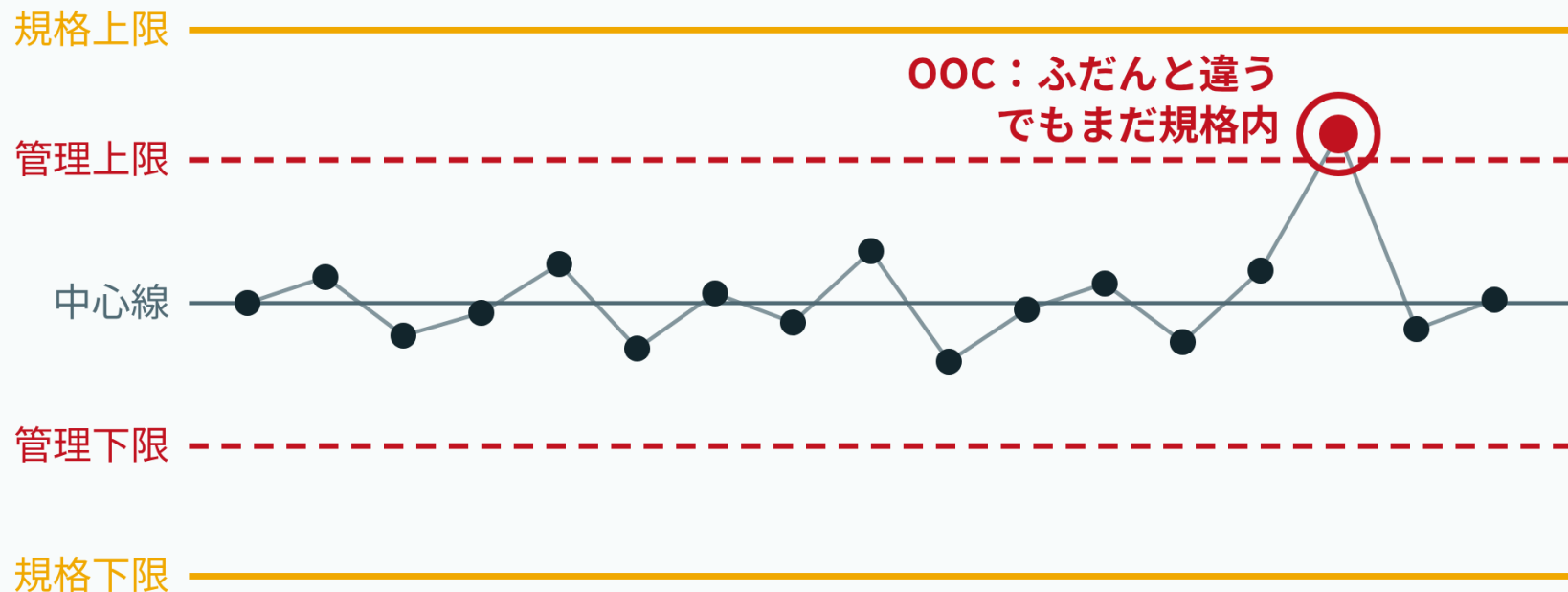
測った数字は、ものさしと比べてはじめて、工程がいつもどおりかどうかわかります。管理図はそのものさしで、不良品が出る前に、工程が変わりはじめたことを見せてくれます。

半導体入門講座：チップの一生をたどる

授業や非営利の目的なら無料で使えます。fab24hr と明記してください。販売することや、自分の作品として使うことはできません。

わかること

- 1 管理限界がどこから来るのか、規格とどう違うのかを説明し、OOCとOOSを区別できる。
- 2 まだ規格内で、管理限界の外に出た点がひとつもなくとも、止めて原因を探すことがあるのはなぜかを説明できる。
- 3 モニターウェーハ、FDC、APCがそれぞれ何をいつ見るのかを言え、システムがルールに従ってロットごとに補正することが、なぜ「限界の内側なら動かさない」と矛盾しないのかを説明できる。



歩留まりは掛け算で決まる：各工程99.9%が良品

100工程で約9割、500工程で約6割が残る

管理限界は「ふだんと違うか」、規格限界は「合格か」を見ます。点が管理限界を超えたら、製品がまだ合格でも、まず止めて原因を探します。

一歩ずつ

1 工程が安定していたときの自分のデータから管理限界を計算し、ロットを測るたびに 1 点打つ。管理限界の外は OOC、規格の外が OOS。

なぜ：このものさしが示すのは「この工程、この装置のいつもの姿」で、顧客の要求とは関係ありません。ばらつきが十分小さい工程では、OOO が OOS より先に出ることが多いのです。

しないと：OOS になってから動けば、もう不良ができています。前回の正常な計測のあと同じ装置で処理したロットにも問題があるかもしれず、1 つずつ追いかけることになります。

2 外に出た点がなくとも、中心線の同じ側に 8 点続いていないかを見る。

なぜ：工程が変わらず数字が上下に均等にばらつくなら、各点が上に来るか下に来るかはほぼ半々で、8 点続けて下に来る確率は 256 分の 1、上も同じくらいまれです。

しないと：部品が少しずつすり減る、薬液が少しずつ減るときは、どの点も限界の内側にあるので、外に出るのを待つと気づくのが遅れます。

3 限界の内側の小さな上下は、その場で装置をいじらずにそのままにする。

なぜ：それは小さな原因がたくさん重なった自然なばらつきで、工程のもともとの姿です。測った数字による補正は別もので、たとえば重ね合わせがずれたら、システムが前もって決めた計算どおりに、次のロットの露光装置の位置を少し動かします。

しないと：少しずつれるたびにその場で手で調整すると、かえってばらつきが大きくなります。

一歩ずつ

4 生産の前、または決まった間隔で、出荷しないモニターウェーハをまず 1 枚流し、測って管理図に打ち、限界の内側なら製品を流す。

なぜ：製品はパターンだらけで測りにくく、ウェーハをだめにする測り方もあり、製品で測れたときには何ロットも流れているかもしれません。

しないと：装置がずれても誰も気づかず、次のお客さんのロットがそのまま入って、ロットまるごと不良になります。

5 装置がウェーハを 1 枚流すたびに、センサーが記録した曲線を FDC でこのステップのいつもの形と比べ、しきい値を超えたら人を呼ぶ。

なぜ：計測は処理が終わるのを待って何枚かを抜き取るだけで、モニターウェーハもしばらくおきに 1 枚です。FDC は 1 枚残らず、処理しているその場で装置の様子がおかしいことに気づけます。

しないと：2 回の計測のあいだに装置がおかしくなると、センサーの数字が知らないうちに外れても誰も気づかず、計測で見つかったときには何ロットも過ぎています。

6 修理や PM のあとは、チャンバーを開けたならリークチェック、出荷しないダミーウェーハを何枚か流して内壁を落着かせる（シーズニング）、テストランの順に進め、通ってから生産に戻す。

なぜ：組み直しても元どおりとは限らず、PM そのもので間違えることもあります。

しないと：掃除したばかりのチャンバーでは最初の数枚がいつもと違う仕上がりになるので、すぐ製品を流せば、ずれるのはお客さんのウェーハです。

一歩ずつ

7 工程の条件を 1 つでも変えるときは変更管理を通し、何をなぜ変えるかを書き、影響を評価し、少量で試し、関係する人が確認してサインしてから変えて記録を残し、変えた直後の数ロットは管理図をいつもより注意して見る。

なぜ：数字が少し違えば、できるものも少し違うかもしれず、ウェーハができあがって電氣的な数字を測るときにやっとわかることもあります。顧客が評価したのも、もとのつくり方です。

しないと：記録がなければ、問題が起きたとき、どの変更が原因で、どのロットから始まったのかたどれません。人がその場で決まった条件を動かすのは、結果がよさそうに見えても、手順を通していない変更です。

管理限界は工程自身の「いつもどおり」、規格は使えるかどうか

ロットを 1 つ測るたびに、たとえばエッチング後の線幅を、管理図に 1 点打ち、時間の順に右へ並べます。中心線はいつもの平均で、上下の管理限界はふつう中心線から上下に標準偏差 3 つ分のところに引きます。標準偏差は「ふだんどれくらいばらつくか」を測るものさしです。工程が変わっておらず、数字が釣り鐘形に分布していれば、外に出るのは 1000 点に 3 点足らずです。これらの線は、その工程が安定していたときの自分のデータから計算したもので、顧客の要求とは関係ありません。顧客や設計が求める範囲は規格です。管理限界の外は OOC（管理外れ）で「いつもと違う」という意味、規格の外は OOS（規格外）です。工程のふだんのばらつきが十分に小さければ、管理限界は規格の内側に入るので、OOC は OOS より先に現れることがよくあります。まだ何も不良になっていないうちに、工程の変化が見えるのです。逆に、数字がふだんから規格の外までばらつくなら、どの点も「いつもどおり」なのに不合格品ができます。そのときに変えるべきは工程そのものです。

外に出た点がなくても、8点続けて片側なら異常とみなす

工程が変わっておらず、数字が上下に均等にばらついていれば、それぞれの点が中心線の上に来るか下に来るかはほぼ半々で、コイン投げと同じです。8回続けて裏が出る確率は256分の1。だから中心線の下に8点続いたら、何かが変わった可能性のほうが高いのです。判定ルールは「中心線の同じ側に何点も続く」（よく使われるのは8点）と書かれることが多く、部品が少しずつすり減る、薬液が少しずつ減っていく、といった変化をとらえます。どの点もまだ限界の内側なのに、並び全体が同じ方向へ進んでいきます。外に出るまで、あるいは規格を外れるまで待てば、その間につくったロットを全部追いかけることになります。ルールを増やすほど早く気づけますが、誤報も増えます。どのルールを使うかは工場ごとに決めます。

手で揺れを追わず、システムがルールで補正する：フィードバックとフィードフォワード

装置はゆっくりドリフトします。エッチングのチャンバー内壁には付着物がたまり、研磨パッドは使ううちになめらかになり、同じ設定でも結果が少しずつずれていきます。メンテナンスとメンテナンスのあいだのこうしたドリフトは、システムがルールに従ってロットごとに少しずつ補正することが多く、これを APC（先進プロセス制御）といいます。フィードバックは、自分の装置で処理して測った直近の結果を見て、次のロットを直すこと。フィードフォワードは、前の工程で測った数字を見て、このロットを処理する前に合わせておくことで、たとえば膜が少し厚ければ、次の研磨（CMP）は少し長めに磨きます。これは「管理限界の中の小さな揺れは動かさない」と矛盾しません。違うのはどう調整するかです。1点が少しずれたのを見て、人が手でずれた分をそのまま戻すと、1点はたいていただのノイズなので、揺れをもう一度足すことになります。APCのフィードバックは前もって決めたいくつかの数字だけを、何ロット分かの平均をもとに少しずつ動かし、同じ方向へのゆっくりしたドリフトを追います。フィードフォワードが受け持つのは「入ってくるものが違う」ほうです。急に大きく跳んだときは、やはり管理図が知らせ、人が止めて原因を探します。

装置も自分が正常だと示す：モニターウェーハは決まった間隔で、FDCは1枚ごとに

モニターウェーハは工場自身の、出荷しないウェーハで、たいていはパターンのないまっさらなウェーハで、平らなので測りやすいのです（削れた量や磨いた量を測るものには、先に膜をつけておきます）。お客さんのウェーハを装置に入れる前に、または決まった間隔で、いつもの条件で1枚流し、膜がどれだけついたか、どれだけ削れたか、パーティクルがいくつ増えたかを測って、その装置専用の管理図に打ちます。限界の内側なら製品を流し、外れたり同じ方向へ進み続けたりしたら、OCAPに従ってまず装置を止めます。PMのあとも、まず出荷しないウェーハを何枚か流して内壁を落ち着かせ（シーズニング）、それからモニターウェーハでテストランをします。ただ、計測は処理が終わるのを待って何枚かを抜き取るだけで、モニターウェーハもしばらくおきに1枚なので、そのあいだに装置はもう何ロットも処理しているかもしれません。そこで装置がウェーハを1枚流すたびに、センサーが圧力、温度、電力、ガス流量を記録し続け、FDC（故障検知・分類）がその曲線をこのステップのいつもの形と比べます。しきい値を超えたら人を呼ぶ通知を出し、どの種類の問題か、つまり部品が本当に壊れたりすり減ったりしたのか、センサーの信号が一瞬途切れたただけなのかを見分けます。装置自身も知らせます。軽いワーニングならたいてい動き続けて黄ランプ、重いアラームならたいてい自分で止まって赤ランプです。

よくある誤解

よく聞く：規格内に収まっていれば、問題はない。

実は：そうとは限りません。OOC は不合格より先に現れることがよくあります。製品はまだ使えても工程はもう変わっていて、遅刻はしていないのに、いつもよりずっと遅く着いた通勤のようなものです。よくあるのは、まずそのロットをホールドして測り直し、計測装置のずれではないことを確かめてから、前もって書いておいた手順（OCAP）に沿って原因を探し、最後にエンジニアが次の工程へ通すか、ホールドしたまま調べるかを決めることです。

よく聞く：点が少しずれたら、すぐ装置を調整するのがいちばん安全だ。

実は：工程には毎日、たくさんの小さな原因が重なった自然なばらつきがあり、それが本来の姿です。そのばらつきを異常と見なして、少しずれるたびに調整すると、かえってばらつきが大きくなります。管理図のもう半分の役目は、動かないほうがいいときを教えることです。限界の内側の上下はそのままにし、限界を出たり、一方方向に並んだりしたときだけ原因を探します。

遊ぶ

第 7 章「火消し」から：OOC のロットが判断を待ち、計測装置には中心線の下に 8 点続いた管理図がある

スマホで読み取って、ここから遊ぶ

fab24hr.com/ja/?story=7&utm_source=slides



考える

- 1 管理図が「まだ規格内だが、いつもと違う」と示し、ロットが待っています。次の工程へ通した場合と、ホールドしたまま調べる場合、それぞれ誰が代償を払いますか？
- 2 管理図の判定ルールも FDC のしきい値も、厳しくするほど早く気づけますが、誤報も増えます。ゆるすぎれば、ゆっくり悪くなるものが見えませんが、あなたが決めるなら、どこで線を引きますか？ 誤報で何度も呼ばれた人は、次も真剣に見るのでしょうか？

必読

SPC の管理図とは？ OOC と OOS はどう違う？

fab24hr.com/ja/blog/what-is-spc/

モニターウェーハ、ダミーウェーハとは？ 装置は毎日どうやって「いつもどおり」を確かめるのか

fab24hr.com/ja/blog/monitor-wafer/

APC とは？ 測ったあと自動で補正する仕組み：フィードバックとフィードフォワード

fab24hr.com/ja/blog/apc/

FDC とは？ 装置のセンサーは、どうやってずっと見張られているのか

fab24hr.com/ja/blog/fdc/

関連

装置の PM（予防保全）とは？ なぜ定期的に止めるのか

半導体工場の変更管理とは？ 条件を 1 つ変えるのに、なぜ何人もの承認が要るのか

半導体入門講座：チップの一生をたどる

<https://fab24hr.com/ja/learn/spc/>

公開されている教科書、業界の標準、大学の講義資料、論文をもとにまとめました。ゲームに出てくる会社、人物、装置の番号、数字は架空のものです。

授業や非営利の目的なら無料で使えます。fab24hr と明記してください。販売することや、自分の作品として使うことはできません。

公開資料をもとに AI の助けで作った一般的な模式図。誤りがあるかもしれません。特定の会社の装置ではありません