

SEMI M32-0307 統計的仕様のガイド

本スタンダードは、global Silicon Wafer Committee で技術的に承認されている。現版は 2006 年 11 月 21 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2007 年 2 月に www.semi.org で、そして 2007 年 3 月に CD-ROM で入手可能となる。初版は 1998 年 9 月発行、前版は 2004 年 7 月に発行された。

1 目的

1.1 本仕様は、ユーザ・サプライヤ間で合意された要求事項をベースにしている。本書には、パラメータ仕様の一部としてリスクレベルを定義する系統的な仕様様式を記載している。このアプローチは、品質改善の成果に焦点を合わせ、サンプリングを減らし、低リスクを維持するために工程能力情報を用いる。確固とした信念を持って、仕様により検査による品質確保に代わって、工程での品質確保に向けた活動を促進すべきである。

1.2 採用された方法が彼等の期待を満足させるために品質レベルを認め、相互に合意することは、供給者およびその顧客にとり重要である。統計的仕様は、これを行う便利な方法を提供する。

1.3 統計的仕様は、工程での品質確保に向けた活動を促進するために作成されている。それは、統計的に特性化されている工程に対して最も適切である。これは、有名な製品やあるいは顧客と供給者をより満足させる製品を作り出す統計的分布の形状を目指している。またそれは、現在のニーズに合致することが必要なレベルに対して、工程の統計的管理および計測システムが決定されることを意味している。

2 範囲

2.1 本ガイドは、SEMI M1, SEMI M57, SEMI M61 または SEMI M62 のシリコンウェーハの仕様の注文書の形式に、仕様の変更や追加をする場合に用いることができる。

2.2 統計的仕様は、統計的に特性化されたすべての工程に適用する。二つの製品分布形(正規および対数正規の分布)に対して解明されており、これらの解明についての利点を説明している。付属書 1 は、多くの共通なシリコンウェーハの工程に対する統計的に特性化された形状を示している。

2.3 この指針は、シリコンウェーハの製造と利用に関する工程に適用する。また他の材料の製造と利用にも適用することができる。

2.4 このアプローチは、出荷製品の品質レベルが製造製品の品質レベルと同じであることを意味している。

2.5 この方式は、品質改善を前進させる有効な道具となることができる。

2.6 この方法は、顧客と供給者が必要と思えば、平均値に中心を置き、工程分布内の偏差を低減させるための他の技法と組み合わせることができる。

2.7 付属書 2 は、このアプローチに対する理論的根拠を詳しく説明している。

注意: このスタンダードはその使用に関連したすべての安全問題を取り扱うことを意図していない。このスタンダードの使用者は、その責任において、適切な安全および健康上実施すべき事柄を確立し、また使用前に法規制やその他の制限への適用性を判断するものである。

3 制限

3.1 異常値の影響は、本書の適用範囲外である。

4 参照スタンダードおよび文書

4.1 SEMI スタンダード

SEMI M1 — Specifications for Polished Monocrystalline Silicon Wafers

SEMI M57 — Guide for Specifying Silicon Annealed Wafers

SEMI M59 — Terminology for Silicon Technology

SEMI M61 — Specification for Silicon Epitaxial Wafers with Buried Layers

SEMI M62 — Specifications for Silicon Epitaxial Wafers

注意：別途指示のない場合、引用されたすべての文書は最新の出版バージョンである。

5 用語

5.1 シリコンウェーハ技術に関する用語および略語は、SEMI M59 に記載され、定義されている。

6 正規分布に対する統計的仕様の例

6.1 正規分布はよく知られている。特定値を目標とし、その値の関して対象的不規則偏差を持つ工程を表している。正規性統計的仕様の最初の部分は、普通の許容公差である。それは、仕様上限 (USL) と仕様下限 (LSL)、あるいは目標値にある値をプラスおよび／またはマイナスしたものをを用いている。下記の@印に続く第二の部分は、ppmで表した品質レベルの計測値である。

LSL to USL @ yy ppm または Target $\pm$ xx @ yy ppm

6.2 他の標準許容公差の定義が代用でき、あるいはCpk、Z-値または百分率のような品質レベルに関する他の定義を用いても差し支えない。

6.3 品質レベルが暗示されているだけでなく記載されている場合を除き、統計的仕様は機能的に通常の許容公差と同じである。品質レベルを追加することは、潜在的な意見の相違を取り除き、仕様をより有意義なものにする。

6.4 統計的仕様は、許容公差または他の仕様様式に対して直接的に代用できる。統計的仕様は、品質改善努力に焦点を合わせ、出荷－在庫の関係を達成し、工程での品質確保を促進し、そして事後検査を減らすために特に有効である。この状況の下で、それらは次のように用いられる。

6.4.1 記録される監査結果と能力を通じて、特定のパラメータは改善に対する目標となり、または出荷－在庫比の候補値として選択される。

6.4.2 管理方式、分布形状および統計的仕様は合意されること。統計的仕様に定めた許容公差と品質レベルは、要求される工程能力をあらゆる点で決定する。

6.4.3 一旦必要な能力が常時超過していることが示されれば、検査サンプリングは、ユーザまたはサプライヤに対してリスクを増加することなく、低減することができる。この方法での工程管理は、次第に品質保証に移行し、そして事後検査は次第に品質記録を無くすために必要なレベルまで引き下げることができる。

6.5 解説 — 統計的仕様は曖昧さを取り除き、リスクを小さくし、そしてより良い工程管理と少ない事後検査に向けた活動を促進する。品質レベル(すなわち、yy部分)は、しばしば誤解される。ある人々は、ppmレベルの品質を欲しているが、エラーで 50,000～200,000 ppmまでを可能とする方法を導入するよう主張している。これは混乱を招く。

6.5.1 許容公差は、その範囲内に収めるために 100%のデータを必要とするゴールポストであるとの誤解を、多くの人が持っている。工程は、通常統計的分布によって表される、それ故、品質レベルが定められていない場合、仕様は殆ど意味を持っていない。長年の間、99.73%(すなわち、 ± 3 シグマ)が十分であると考えられた。“許容公差内”は、99.73%の信頼性を持つ許容公差または 0.27%の品質レベル内を意味していると理解されていた。後で、99.73%の工程は“残酷なもの”として定義された。0.27%は、もはや受入れ可能な品質レベルではなく、品質のふらつきは、より高い不合格率さえ発生させると考えられた。これは、より良い工程能力(すなわち、より高いCpk's)に対する要求となり、工程の特性化および管理方式において対応する改善を求めた。同時に他の顧客は、彼等の許容公差を過管理をもたらす点に縛りつけた。リスクが注意深く評価されない場合、両極端では、期待と能力との間にミスマッチを生ずる恐れがある。

6.5.2 能力をベースにしたサンプリングは、恐らく、高いリスクを招くことなく検査ベースの品質から工程ベースの品質に確実に移行する唯一の方法である。一旦仕様が明確に定められると、それは明らかに達成可能である。能

力をベースにしたサンプリングの詳細は、本書の範囲外であるが、基本概念は容易に理解できる。もし工程に非常に余裕があり管理されているならば、システムは信頼して少ない事後検査で必要な品質レベルを作り出すことができる。これは、両者に対しても有効である。顧客はより信頼性のある品質を得、サプライヤは品質の改善成果と最も重要な工程に直接的資源を集中するのに必要な情報を得る。

6.5.3 一旦工程が統計的に特性化されると、すべてのことがより容易になる。計算は、分単位ではなくミリ秒の単位で行なうことができる。これは仕様の容認、比較および多様な解析を含んでいる。 $\% < A$ 、 $\% < B$ および $\% < C$ のような複数レベルは、分布形状が分かっている場合も明らかに不必要である。これは、多量の重複作業を防止する。

7 対数正規分布に対する統計的仕様の例

7.1 対数正規確率関数は、シリコン業界で遭遇する多くの片側分布を示している。それは、ゼロを限度とする平滑度および反りのようなパラメータに適用する。対数正規性の工程には、パラメータの値は次のように規定される:

$$\leq xx @ yy \text{ ppm}$$

7.2 他の標準許容公差の定義を代用でき、あるいはECPK、Z-値または百分率のような品質レベルに関する他の定義を用いても差し支えない。繰返すと、ECPKは非正規性に対して修正された同等な正規のCpkである。同等なCpkに関する追加の情報は¶7.4.2-7.4.4に示している。

7.3 A2-1.3 正規分布と共に品質レベルを追加することは、潜在的な意見の相違を取り除き、仕様をより有意義なものにする。主要な目的は、品質改善努力焦点を合わせ、出荷－在庫の関係を達成し、工程での品質確保を促進し、そして事後検査を減らすことである。手順は、正規分布のための¶6.4に示されたものと同じである。主な違いは、アッパーテイル (upper tail) のみが考慮されるよう要求されていることである。ただし、対数正規のテイルはずっと遠くに離れてしまうので、余り微妙でない品質レベルを容認することが必要になるであろう。

7.4 解説 — 統計的仕様は、対数正規分布を持つ工程に対して非常に良く機能する。それらは正規分布に対して記載された利点のすべてを持っており、またある点ではずっと容易ですらある。対数正規工程テイルが片方にしかないため、どちらが重要であるか判断するために両方のテイルをチェックする必要がある。また対数正規工程がふらつきを示す傾向がないことが経験的に観測されてきたので、それはずっと安定的であるようである。主な障害は、分布形状が正規であると仮定される場合、そうでない時にどれだけのエラーが持込まれるかを理解することである。

7.4.1 図 1 は、対数正規過程と正規過程の差を示している。実線のおよび明らかに対称でないカーブは、対数正規分布である。破線のカーブは、正規分布である。対数正規過程を特性化するために間違っ正規工程を用いた場合のエラーは、表 1 に示している。1 シグマ毎の平均値からの増分に対しては、この値より大きなppmが各カーブに対して与えられて差(またはエラー)が計算される。それを容易に視覚的にするため、単一の正規平均値とシグマ(それぞれ 1.8263 および 0.7568)が“値”の欄に用いられている。対数正規統計値を計算するために、1.8258 の正しい対数正規幾何平均および 0.7550 の対数正規幾何分散が用いられる。カーブ間エラーは、ポイント・オブ・インタレスト (point of interest) が分布の中心に向けて動くので増加するが、最も重要な問題はテイルの長さである。対数正規分布の正しいテイルはヒストグラムに沿って伸びているが、正規分布はずっと短い。図 1 において重要性が視覚的に見逃される恐れがあるが、テイル確率がppmで示されている場合(表 1 参照)、差は明らかである。

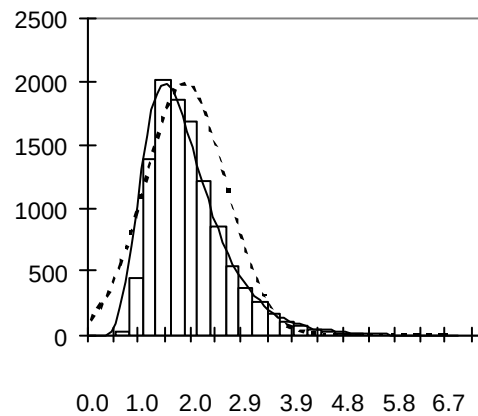


図 1
対数正規対正規カーブ

表 1 対数正規対正規データ

値	表示値	正規 ppm >	対数正規 ppm >	エラー
1.8263	平均値	500000	420997	79003
2.5831	+1s	158655	141869	16786
3.3399	+2s	22750	42836	20086
4.0967	+3s	1350	12783	11433
4.8535	+4s	32	3914	3882
5.6103	+5s	0.3	1247	1247
6.3671	+6s		415	415
7.1239	+7s		144	144
7.8807	+8s		52	52
8.6375	+9s		20	20
9.3943	+10s		8	8
10.1511	+11s		3	3
10.9079	+12s		1	1

7.4.2 公式が分かっていると、対数正規分布は正規分布と同様容易に数学的に取扱うことができる。過去の困難さは、正規分布に対して開発された多くの計算式が対数正規に対して利用できなかったことであつた。等価の正規Cpk (ECPK)がこの問題に向けて開発された。対数正規分布に対して、ECPKが下記に示すように計算されている。それは推定または仮定のない正確な数学的展開である。それは、人々が真のデータを知り、それらを全く見ることができないコンピュータ内にすべての変換式および換算式を保つことができるように設計された。二つのケースが示されている。『A2-3.3 は統計ソフトウェアのパッケージが利用できるケースを記載しており、『A2-3.4 は計算がスクラッチから導かれる場合に用いられるショートカットを述べている。両ケースでは、コンピュータのみがこれらの公式を知っていることを忘れないことが重要である。

7.4.3 統計ソフトウェアのパッケージは、通常幾何平均と幾何標準公差を出力する。 μ が対数正規幾何平均、 σ が対数正規幾何標準公差および $\ln$ が自然対数関数である場合、ECPKは次のように計算される。

$$ECPK = \frac{\ln(USL) - \ln\left[\frac{\mu^2}{\sqrt{\mu^2 + \sigma^2}}\right]}{3 \left[\sqrt{\ln\left(\frac{\mu^2 + \sigma^2}{\mu^2}\right)} \right]} \quad (1)$$