

SEMI M73-1108

測定したウェハエッジプロファイルから直接的関連性ある特性を抽出する試験方法

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 2008 年 8 月 29 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2008 年 10 月に www.semi.org で、そして 2008 年 11 月に CD-ROM で入手可能となる。

1 目的

1.1 SEMI M1 ではシリコンウェハエッジ形状の輪郭線をテンプレートで規格化しているが、その方法では複数のシリコンサプライヤーによって製造されたウェハエッジプロファイルに規格内ではあるが広い変動を許す余地がある。

1.2 多くの先端ウェハ応用では、引続く電子回路製造工程での変動を制御するためにエッジプロファイルのもっと狭い規格化が要求されている。これらの規格にはしばしばエッジプロファイル輪郭の部位を記述する幾つかの特性の値を含む。

1.3 エッジプロファイルに関するより狭い許容誤差を規定することに対する先行必要条件はエッジプロファイルを記述するために使われる直接的関連性ある特性の名称と測定したエッジプロファイルからこれらの特性を抽出するための方法についての取決めである。それ故これらの試験方法では、シリコンウェハエッジプロファイルの特性を述べるために使われる用語が命名されその意味が概略図形で例証される。

1.4 この標準は測定したエッジプロファイルからこれらの特性を導出するための二つの試験方法を包む。

2 範囲

2.1 これら試験方法はどちらも産業で使用される。これらは以下のようなプロファイル部位パラメータに対する数値を得るために測定したエッジプロファイルを幾つかの部位にわたって直線、円弧あるいは接線で適合させることに基づいている:

- ベベル角 (bevel angles)
- エッジ幅 (edge widths)
- エイペックス長 (apex lengths)
- エイペックス角 (apex angles), そして
- ショルダー半径 (shoulder radii)

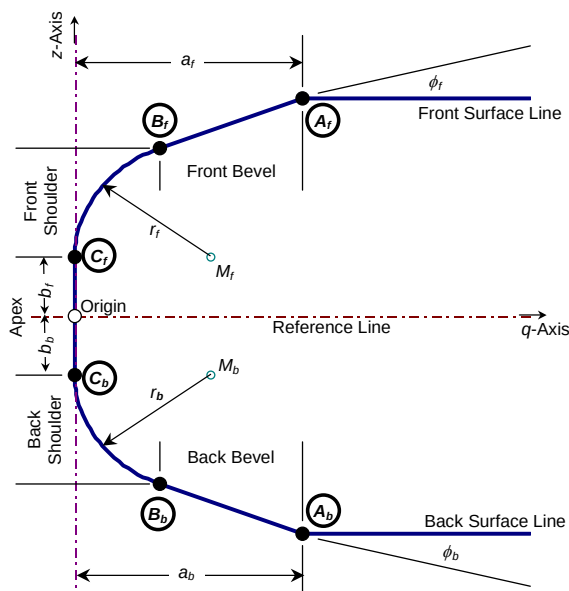
加えて、エッジプロファイルを各部位に分割する基準点の位置が決められる。これら部位パラメータは表 1 にプロファイル回りの順で記載され、図 1 に例証されている。

表 1 エッジプロファイルの部位パラメータ

部位パラメータ	記号	単位	説明
表側ベベル角	ϕ_f	°	表側表面と表側ベベルとの間の角度で、ウェーハ方向に正をとる。
表側ショルダー半径	r_f	μm	表側ショルダーの円弧の半径。
表側エイペックス長	b_f	μm	原点から表側ショルダー円弧の始点までの距離。
表側エイペックス角	β_f	°	z-軸と表側エイペックスとの間の角度で、+q 方向に正をとる。
裏側エイペックス角	β_b	°	z-軸と裏側エイペックスとの間の角度で、+q 方向に正をとる。
裏側エイペックス長	b_b	μm	原点から裏側ショルダー円弧の始点までの距離。
裏側ショルダー半径	r_b	μm	裏側ショルダーの円弧の半径。
裏側ベベル角	ϕ_b	°	裏側表面と裏側ベベルとの間の角度で、ウェーハ方向に正をとる。

注 1 ウェーハ厚さは z-軸方向にある。

注 2 エッジ幅は q-軸方向にある。エッジ幅はウェーハの表側と裏側表面で同じまたは異なる；もし同じであれば、プロファイルは対称である。



注 1: この標準の中のこの図およびその他の図において、ウェーハエッジはウェーハの中心方向で半径に沿った q-軸の正方向を持ちそしてウェーハの表側表面方向に z-軸の正方向を持つウェーハエッジの円形周辺部分に沿ったウェーハ表面に垂直なウェーハ断面として描写されている。エイペックス角 β_f と β_b はモデルプロファイルに対しては零に等しいと仮定されている。

注 2: ウェーハの現実のエッジプロファイルでは、基準点 A_f と A_b での角張りは滑らかであり実際のエッジ幅はそんなに正確には確定できない。結果として、エッジ幅と品質保証領域の外側限界線との間のウェーハの全領域が平坦であることは期待できない。

図 1
プロファイルを記述するために使われる用語、
記号と基準点を例示するモデルエッジプロファイルの略図

2.2 二つの方法の間で適合させる場所と手順がかなり異なるため、特定の部位パラメータについて得られた結果が同一になりにくい。

2.3 この標準で扱う両方の試験方法はシリコンウェーハの測定したエッジプロファイルの全ての型に応用可能である。

2.3.1 試験方法1では、指定したエッジ幅が測定したエッジプロファイルの適合させるべき領域を決定するために使われ、基準点位置の座標は測定したエッジプロファイルの適合領域から導出される。試験方法1のやり方を記述する:

- エッジプロファイルパラメータをウェーハの周縁部から規定した距離で測定したエッジプロファイルから直接に抽出し、それらを指定値と比較する,
- 抽出した特性値を使ってエッジプロファイルを再構築する, そして
- 測定した, 目標とした, そして再構築したプロファイルの間的一致を評定し, ユーザが抽出パラメータがいかに代表的に測定パラメータを顧慮しているかを調べることを可能にさせる。

2.3.2 試験方法 2 では、指定したベベル角度が測定したエッジプロファイルの適合させるべき領域と基準点 A_i と B_i の座標の両方を決定するために使われる。試験方法2のやり方を記述する:

- エッジプロファイル特性パラメータをウェーハの周縁部から規定した距離で測定したエッジプロファイルの部分に直線または円弧を適合させることにより抽出し、それらを指定値と比較する。
- 適合させた直線と円弧を測定したプロファイルの適切な部分と比較し, ユーザが抽出したパラメータが各部位でいかに上手く適合しているかを調べることを可能にさせる。

注 1: 両試験方法に対し、三つの異なるエッジプロファイル型に対して測定した結果が例としてこの標準の最後の関連情報1に与えられる。

2.4 これらの試験方法は明確にシリコンウェーハを指しているが、他の材料のウェーハにも応用できるかもしれない。

2.5 これらの試験方法はエッジプロファイルを測定するために使われる装置あるいはこのような測定の方法論に対するどちらの要求事項も包含していない。これらはまた、ウェーハのエッジプロファイル測定のための装置あるいは技術のどちらの能力評定法も記述していない。

2.6 これらの試験方法は表面仕上げあるいはエッジ近傍領域のエッジロールオフに対するどちらの評価も包含していない。

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 これらの試験方法の結果はプロファイルの測定品質に依存する。

3.2 これらの試験方法の結果はウェーハ上のパーティクル汚染, ウェーハの欠陥, 使用する測定系の不調整, 測定系との相対的なウェーハの不調整, そしてひどいウェーハ曲がりによって不利に影響される。

3.3 これらの試験方法により決定された抽出特性に対して得られた数値は試験手順に基づいた指定パラメータの値, つまり, エッジ幅あるいはベベル角に依存する。

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 M20 — Practice for Establishing a Wafer Coordinate System

SEMI M59 — Terminology for Silicon Technology

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 シリコン技術に関連しこの標準に使われる一般用語、頭字語、省略語と記号はSEMI M59 の中に列挙され定義される。特にSEMI M59 に与えられたエッジプロファイルに関する定義には裏側表面、エッジプロファイル、表側表面と厚さが含まれる。

5.2 エッジプロファイルに関する他の用語

5.2.1 エイペックス(*apex*) — 鈍い先端、しかし必ずしも直線でない、エッジプロファイルの部位、基準線に凡そ垂直方向で表側と裏側ショルダーとの間に位置する。

5.2.2 エイペックス角(*apex angle*) — z -軸と表側あるいは裏側エイペックスとの間の角;エイペックス角の符号は q -座標が増加すると $|z|$ の大きさも増加する方を正とする。

5.2.3 エイペックス長(*apex length*) — エッジプロファイルの表側と裏側ショルダーとの間で z -軸に沿った距離、通常は基準線から表側と裏側ショルダーまでの二つの距離に分割される。

5.2.4 ベベル(*bevel*) — 表面線とショルダーとの間に位置するエッジプロファイルの部位。

5.2.5 ベベル角(*bevel angle*) — 中央表面とエッジプロファイルの表側または裏側ベベルとの間の角。

5.2.6 中心基準の(形容詞)(*center-referenced (adj.)*) — SEMI M20 のウェーハ座標系の中にあるように、ウェーハ中心を原点として確立した位置を持つ測定、計算、あるいは座標系の特性。

5.2.7 シリコンウェーハのエッジ(*edge, of a silicon wafer*) — エッジプロファイルを形成するために化学的にまたは機械的に故意に形造られた周縁部から内側にあるウェーハの環状領域。

5.2.8 エッジ基準の(形容詞)(*edge-referenced (adj.)*) — ウェーハの周縁部を原点として確立した位置を持つ測定、計算、あるいは座標系の特性。

5.2.9 エッジ幅(*edge width*) — ウェーハの周縁部から内側にエッジプロファイルの終わりまでの距離。エッジプロファイルの内側境界は明確には線引きされていないので(プロファイル遷移参照), エッジプロファイルの終わりは基準点 A_i で表示される。

5.2.10 ファセット(*facet*) — 好ましくない、エッジを使うこと。

5.2.11 ファセット長(*facet length*) — 好ましくない、エッジ幅を使うこと。

5.2.12 測定エッジプロファイル(*measured edge profile*) — 測定系により取得されたエッジプロファイルの断面図を描写する q, z 点の有限配列。

5.2.13 モデルエッジプロファイル(*model edge profile*) — 断面図を直線(エイペックスとベベル), そして円弧(ショルダー)のみで構成した部位を持つウェーハエッジプロファイル。

5.2.14 エッジ近傍領域(*near-edge region*) — エッジの内側境界(エッジプロファイルの内側終点)と品質保証領域の外側との間のウェーハの環状領域。エッジ近傍領域は文章の前後関係に依存してFQA外側境界で終了するかまたは少しの距離をFQA内に拡張する。

5.2.15 エッジプロファイル部位のパラメータ(*parameter, of an edge profile segment*) — 部位の特性(長さ, 角度, あるいは半径)。

5.2.16 シリコンウェーハのプロファイル遷移(*profile transition, of a silicon wafer*) — 表側または裏側表面がエッジと交わるウェーハの領域。

5.2.17 q -軸(*q-axis*) — ウェーハのエッジ断面図で基準線とウェーハ周縁部との交点を原点としウェーハ中心方向を正方向とする基準線。

5.2.18 再構築エッジプロファイル(*reconstructed edge profile*) — 測定エッジプロファイルから抽出されたパラメータを使って構築されたモデルエッジプロファイル。

5.2.19 基準線(*reference line*) — 表側と裏側表面線との間の中間で、ウェーハのエッジ断面図の中央面を表わす線;断面図の q - z エッジ基準座標系の q -軸である。

5.2.20 エッジプロファイルの部位(segment, of an edge profile) — シリコンウェーハ上のエッジプロファイルの定義された領域。

5.2.21 ショルダー(shoulder) — ベベルとエイペックスとの間のエッジプロファイルの曲線状領域。

5.2.22 ショルダー半径(shoulder radius) — ショルダーを表わす円の半径。

5.2.23 表面線(surface line) — ウェーハのエッジ断面図におけるエッジプロファイル上の規定された点を越えた表側または裏側ウェーハ表面を表わす線。

5.2.24 目標プロファイル(target profile) — 指定されたあるいは別の方法で事前に選定されたエッジプロファイルパラメータを使って構築されたモデルエッジプロファイル。

5.2.25 z-軸(z-axis) — 周縁部と基準線との交点に原点を持つウェーハエッジの断面図においてウェーハ周縁部を通る基準線に垂直でウェーハの表側表面方向を正方向とする線。

5.3 記号

5.3.1 この標準の使用者の便利のために、この中で使われる記号を表 2 と図 1 に要約する。

表 2 この標準で使われる記号

記号	意味	単位
β ^{注 1, 注 2}	エイペックス角	度
ϕ ^{注 1, 注 2, 注 3}	ベベル角	度
a ^{注 1, 注 2, 注 3}	エッジ幅(以前は ファセット長と呼ばれた)	μm
A_i ^{注 1, 注 2}	ベベルが表面と交わる基準点	$\mu\text{m}, \mu\text{m}$
b ^{注 1, 注 2, 注 4}	エイペックス長	μm
B_i ^{注 1, 注 2}	ベベルとショルダーとの間の基準点	$\mu\text{m}, \mu\text{m}$
C_i ^{注 1, 注 2}	ショルダーとエイペックスとの間の基準点	$\mu\text{m}, \mu\text{m}$
M ^{注 1, 注 2}	ショルダー円の中心点	$\mu\text{m}, \mu\text{m}$
O	ウェーハのエッジ断面図で使われる q-z エッジ基準座標系の原点	0 μm , 0 μm
q	ウェーハのエッジ断面図で使われる q-z エッジ基準座標系の半径座標	μm
r ^{注 1, 注 2}	ショルダー半径	μm
t	厚さ	μm
z	ウェーハのエッジ断面図で使われる q-z エッジ基準座標系の垂直座標	μm

注 1 下付き文字 i が使われる時は、適時に、表側と裏側の量のどちらか一方または両方を意味する。

注 2 下付き文字 f が使われる時は、表側表面の量を意味する。下付き文字 b が使われる時は、裏側表面の量を意味する。

注 3 プライム符号(') が使われる時は、エッジ幅またはベベル角の値がカスタムにより指定されたもの、あるいは別の方法で試験手順の初めに仮定されたものであることを意味する。

注 4 下付き文字が使われない時は、 b_f と b_b の合計を意味する。

6 エッジプロファイル型

6.1 エッジプロファイルを議論する便宜上、三つの型のエッジプロファイルの 3 組のパラメータ値が以下のよう
に確認された(表1参照):

- A—エッジ幅が長く、ショルダー半径が小さく、そしてエイペックス長が長い。
- B—エッジ幅が短く、ショルダー半径が小さく、そしてエイペックス長が長い。
- C—エッジ幅が中間的で、ショルダー半径が大きく、そしてエイペックス長が短いまたは無い。

6.2 これら種々のパラメータの値が表 3 に与えられている。

表 3 異なるエッジプロファイル型のパラメータ値

パラメータ	記号	エッジプロファイルの型		
		A	B	C
エッジ幅	a_f 又は a_b	300 から 400 μm	200 から 270 μm	240 から 310 μm
ショルダー半径	r_f 又は r_b	200 から 260 μm	200 から 260 μm	300 μm から $t/2$
エイペックス長	b_f 又は b_b	100 から 175 μm	100 から 175 μm	0 から 100 μm

7 試験方法 1—エッジ幅法

7.1 方法の要約

7.1.1 測定点がウェーハの周縁部上に選ばれる (SEMI M20 に定義されたウェーハ座標系の R, θ 座標で)。もし測定がウェーハの周縁部回りの幾つかの場所でなされる場合は、測定位置に対するサンプリング計画が選択される。

7.1.2 測定エッジプロファイルが取得される。

7.1.3 測定エッジプロファイルの断面図は最も外側のエッジ位置を左に内側への半径拡がりをも右に位置調整される。

7.1.4 エッジプロファイルの特徴付けに対する座標系が設定される。

7.1.5 測定点間隔が表面線、ベベル、ショルダーとエイペックスに適合させた線または円弧に亘って指定される。

7.1.5.1 直線をウェーハの表側と裏側のベベル、表面線とエイペックスの測定点に適合させる。

7.1.5.2 半径 r_i で中心点 M_i を持つ円がウェーハ表側と裏側表面のエッジプロファイルショルダーの測定点に適合させられる (ここでそしてその後も、下付き文字 i は表側には f 、あるいは裏側には b を立てる)。

7.1.6 エッジプロファイルを七つの領域に分ける六つの基準点の位置 A_i , B_i , と C_i は適合させた線の交点と円の接点とで決定される。

7.1.7 表側と裏側のエッジ幅 a_i , ベベル角 ϕ_i , ショルダー半径 r_i , エイペックス長 b_i , そしてエイペックス角 β_i は上記の点, 線, そして円を使って計算される。

7.1.8 エッジプロファイルは抽出されたパラメータを使って再構築され、測定プロファイルから再構築プロファイルの二乗平均平方根偏差が計算される。

7.1.9 もしウェーハ当たり幾つかの方位位置が使われるならば、平均値、標準偏差そしてそれらの 95% 確定間隔が計算される。

7.1.10 抽出されたパラメータ, 点 A_i , B_i , と C_i の座標, 測定パラメータと再構築パラメータとの偏差, それらの統計量も同様に報告される。

7.2 手順

注 2: 以下の手順は一般には測定装置内部で自動的に実行される。採用した手順の性質を示すためここに情報が提供される。

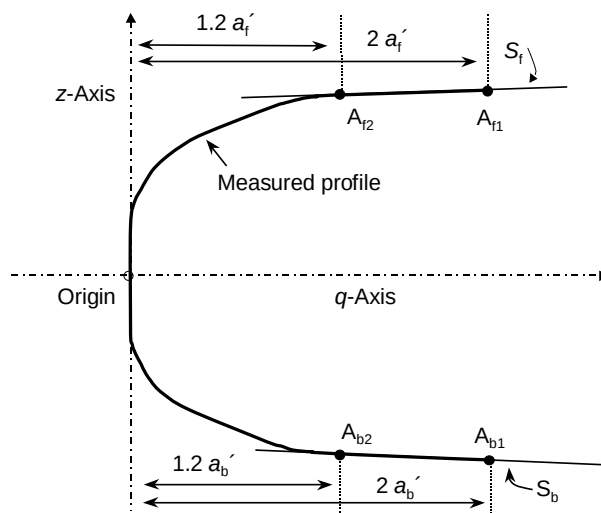
7.2.1 試験関係者間の合意に従ってサンプリング計画を、もし何かあればそれを、選択し記録する。

7.2.2 SEMI M20 の $R-\theta$ 座標系に従って、プロファイル測定の方角位置を度で決定する。

7.2.3 一つの方位角 θ で、ウェーハエッジのエイペックスから半径方向内側に $2a_i'$ (ここで a_i' =表側($i=f$)領域のまたは裏側($i=b$)領域の使用者により指定されたエッジ幅)以上か等しい距離まで、試験関係者間で合意した適切な装置を使って測定点の q - z 座標の組としてウェーハ表側と裏側領域のウェーハエッジプロファイルを取得する。

7.2.4 測定したエッジプロファイルの断面図をエッジプロファイルの最も外側の半径位置を左に内側への半径広がりをして位置調整する(図1参照)。

7.2.5 次の手順により座標系を設定する(図2参照)：



注： q -軸は線 S_f と S_b との間の角を2等分している。

図2

ウェーハのエッジプロファイルに対する座標系設定の実例

7.2.5.1 直線 S_i ($i=f, b$) を $1.2a_i'$ (点 A_{i2}) と $2a_i'$ (点 A_{i1}) との間で q -座標を持つ表側と裏側表面の測定点に適合させる。

注3： この試験方法で要求された測定点に直線と円弧の全ての適合が二乗平均平方根ベストフィット手法を使って実行される。

7.2.5.2 直線 S_i の二等分線として基準線を計算する。その基準線をウェーハ中心方向が正方向となる座標系の q -軸としてとる。

注4： 指定されたエッジ幅が分からない場合は、自動選択値(表4)あるいは帰納的(反復的)計算のどちらかが使われる(付録1参照)。

注5： “実際の” ウェーハ表面と比較して測定した表面線の傾きは現在広く使われている測定系からの産物である。この差異はエッジプロファイルの投影像を造り出すために使われる平行光束に対するウェーハの不整合、光路に沿ったウェーハの厚さ変動、そして光の回折など幾つかの効果に起因している。

表4 指定されたエッジ幅 a_f' と a_b' に対する自動選択値

エッジプロファイルの型	A	B	C
a_f' [μm]	350	235	275
a_b' [μm]	350	235	275

7.2.5.3 座標系の原点を q -軸と q -軸の両側で q -軸に最も近い5測定点に適合させた直線との交点にとる。

7.2.5.4 q -軸に垂直で原点を通る線を構築し、この線をウェーハ表側表面方向に正方向を持つ座標系の z -軸にとる。

注6： SEMI M1 では、¶7.2.5.4 に定義された z -軸は y -軸と呼ばれ、この軸はウェーハ表面(表側または裏側)での原点からウェーハ中央面方向へ向かう正の値しか持たない。

7.2.6 直線 G_i を $0.5a_i'$ (点 B_{i1}) と $0.8a_i'$ (点 A_{i3}) との間で q -座標を持つベベル領域内で測定されたエッジプロファイルの点に適合させる(図 3 と図 4 参照)。

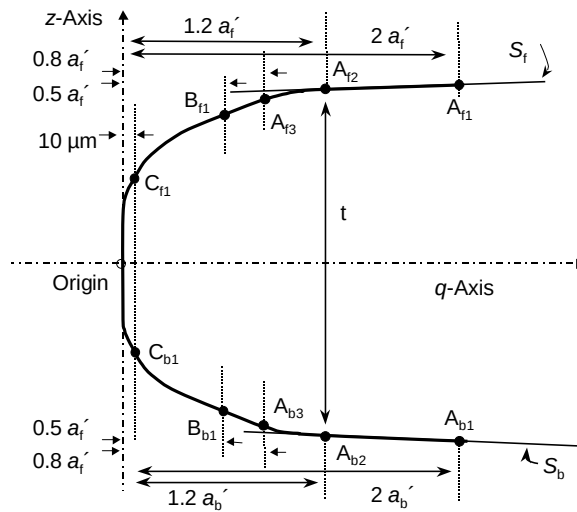


図 3
点 A_{i2} , B_{i1} , と C_{i1} , 理想表面線 K_i , そして厚さ t の決定

7.2.6.1 直線 L_i を $0 \mu\text{m}$ (原点) と $10 \mu\text{m}$ (点 C_{i1})との間で q -座標を持つエイペックス領域内で測定されたエッジプロファイルの点に適合させる(図 3 と図 5 参照)。

7.2.7 基準点 A_i の位置とエッジ幅 a_i , ベベル角 ϕ_i , エイペックス角 β_i , そして厚さ t の大きさを次のようにして決定する:

7.2.7.1 基準点 A_i の位置を線 G_f と線 S_f との交点(図 4 参照)または線 G_b と線 S_b との交点にとる。

7.2.7.2 エッジ幅 a_i の大きさを基準点 A_i の q -座標としてとる(図 4 参照)。

7.2.7.3 ベベル角 ϕ_i の大きさを線 G_i と q -軸との間の角としてとる(図 4 参照)。

7.2.7.4 エイペックス角 β_i の大きさを線 L_i と z -軸との間の角としてとる(図 5 参照)。

7.2.7.5 厚さ t の大きさを z -方向の点 A_f と A_b との間の距離としてとる(図 3 と図 4 参照)。

7.2.8 基準点 B_i と C_i の位置, エッジプロファイルのショルダー半径 r_i とエイペックス長 b_i の大きさを以下のようにして決定する:

7.2.8.1 線 I_i を q -軸方向へ $10 \mu\text{m}$ の距離に線 G_i と平行に引く。線 I_i と測定エッジプロファイルとの交点が点 B_{i2} を生ずることに注意する(図 5 参照)。

7.2.8.2 q -座標 $\geq 10 \mu\text{m}$ 点(点 C_{i1})と ウェーハ表側表面に対しては線 I_f の q -座標 $\geq 10 \mu\text{m}$ より小さいか等しい z -座標点あるいはウェーハ裏側表面に対しては線 I_b の q -座標 $\geq 10 \mu\text{m}$ より大きい等しい z -座標点を持つエッジショルダー領域に円弧を適合させると, 結果としての円は z -軸に最も近い終点上の線 L_i と z -軸から最も遠い点での線 G_i とに接する(図 6 参照)。

注 7: もしショルダー半径が非常に小さくなければ, B_{i2} の z -座標は C_{i1} の z -座標よりも大きい。円を適合させるための同じ手順は B_{i2} の z -座標が C_{i1} の z -座標よりも小さい場合にも適用できる。点 B_{i2} と C_{i1} 位置が同じかほぼ同じ場合にはショルダー半径は $r_i = 10 \mu\text{m} / (1 - \cos((90 - \phi_i - \beta_i)/2))$ により計算することができ, 従って 2 点間には唯一の測定点があるかまたは無いかわかる。