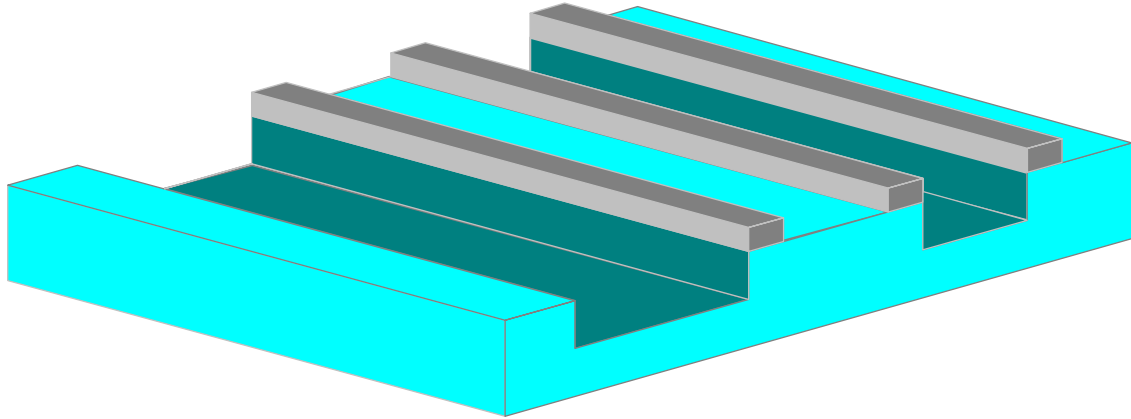


# 位相シフト・フォーカス・モニター



## Benchmark Technologies社から 独占販売

- ◆  $\pm 25\text{nm}3\sigma$ 以内の高精度です。
- ◆ フォーカス・マトリクスが不要です。
- ◆ 結果は露光量の影響を受けません。
- ◆ 既存のオーバーレイ計測器でフォーカス測定ができます。
- ◆ データ収集が自動でできます。
- ◆ 統計的工程管理(SPC)や詳細な分析にも利用できます。
- ◆ レンズの温度上昇、非点収差、フィールド・ティルトが評価できます。

### Other Benchmark Technologies

#### Test Reticles:

Universal Matching

Lens Evaluation

Process Evaluation

## フォーカス・モニターとは

これまでのフォーカス決定法では、フォーカスを振って多数の露光を行なうことが必要でした。露光と現像処理を多数行ない、得られたデータ(最狭残留ピンバーまたは潜像コントラスト)とフォーカス・オフセットの関係をプロットします。この方法は時間がかかるうえ、結果はオート・フォーカス・オフセット機能の精度に依存します。これに代わる方法として、レジストを使わずに光学像を測定する方法が使われていますが、この方法ではウェーハの平坦度などの重要な問題が考慮されません。

**BenchmarkのPhase Shift Focus Monitor**にはIBMが開発した特許出願中の最先端の**Phase Shift Mask (PSM)**技術が利用されています。この技術は、 $180^\circ$  ( $\pi$ )以外の値で位相( $\phi$ )をシフトさせた構造により得られる非対称イメージングを利用したものです。非対称イメージはシフトの振幅の虚数成分から発生するもので、 $\phi = \pi$ のPSMのようにシフトの振幅が実部のみの場合には発生しません。位相シフト量が $n\pi$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ )の場合には、シフト付きパターンとシフトのないパターンのベスト・フォーカス像は一致し、またデフォーカスが水平方向の像の移動を引き起こすことはありません。像面の品質は最良の結像面の両側でほぼ対称です。

しかし位相シフト量が $n\pi$ 以外( $\phi \neq \pi$ )の場合には、デフォーカスによって光学像が非対称になり水平方向への像の移動が生じます。シフト付きパターン( $\phi \neq \pi$ )とシフトのないパターンの像は、ベスト・フォーカスにおいてしか一致しません。従ってフォーカスのずれは、ウェーハ上で簡単に測定できるレジスト・パターンの変位として測定することができます。変位の方向と程度はマスクのレイアウトと位相の相対的变化により決まります。

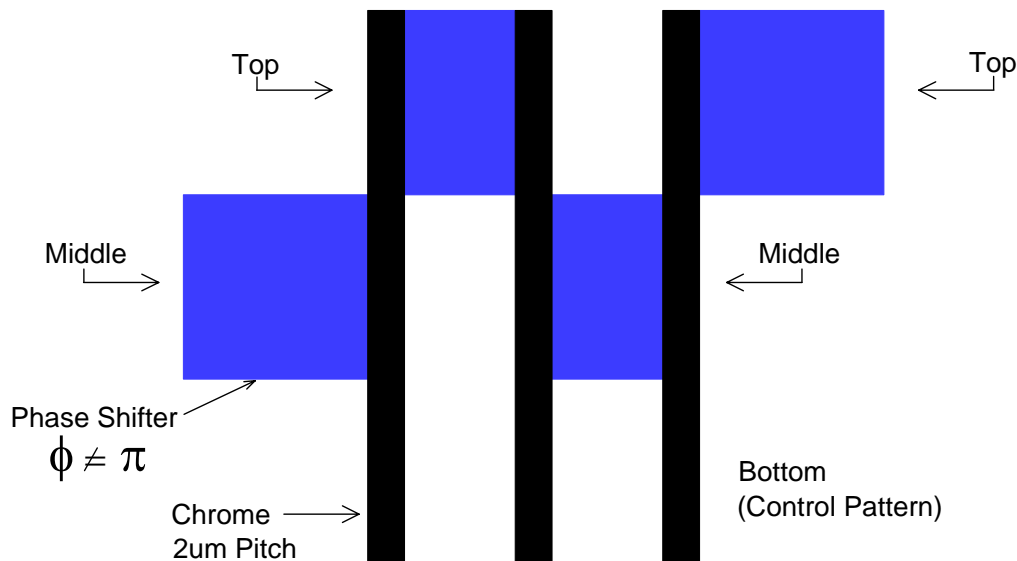


図1

基本的なフォーカス・モニター・パターンは、 $2\mu\text{m}$ ピッチで等間隔に配置された3本のCrで構成されています(図1)。ボックス・イン・ボックス重ね合せ測定パターンに似たこのライン・イン・ラインのパターンで重ね合せ誤差を測定した場合、デフォーカスのある場合でも測定値はゼロになるとお考えかも知れませんが、 $180^\circ$ 以外の位相シフトの構造では光学像の対称性が崩れます。ベスト・フォーカス( $dZ=0$ )の場合だけ、3本の線は等間隔になります。デフォーカスがあると像の位置のずれが生じ、正のデフォーカスのときは像はシフト側に、負のデフォーカスのときはシフトの反対側にずれます。図2Bで、負のデフォーカスによって起こる光学像の非対称性は、中央の線は左に、両側の2本の線は右にシフトし、大きな重ね合せ誤差の原因になることを示しています。上部3分の1が片方に、中部3分の1が反対側にシフトするため、フォーカス・モニターでは差動測定が可能です(図2)。像のシフト量は、ベスト・フォーカス付近ではフォーカスにほぼ比例します。

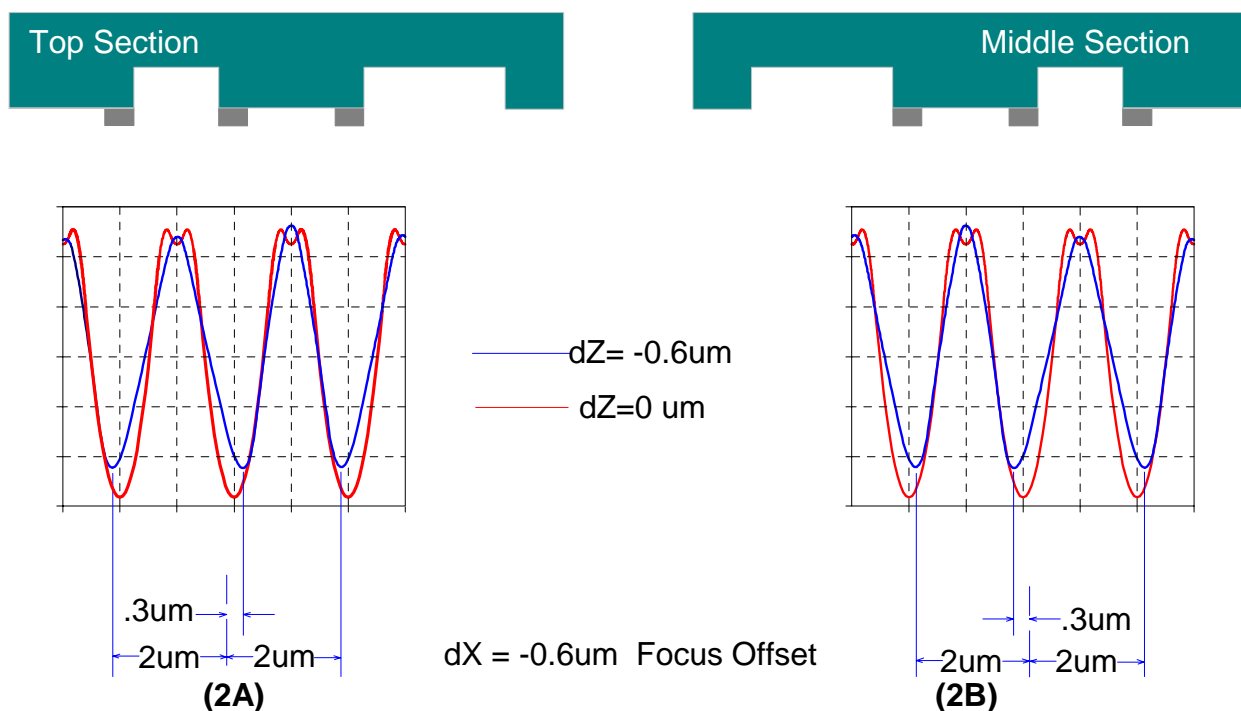


図 2

重ね合せ誤差は、テストパターンの上部、中部で別々に測定します。シフトの総量  $dX$  は2つの誤差の差です。図1の下部の基準パターンの繰り返し測定精度は  $0 \pm 10\text{nm}$  以内です。同じ場所で水平方向のテストパターンを測定し、シフトの総量  $dY$  を求めます。4つの測定は標準的な計測器で行なうことができるため、多数の測定点の正確なデータを簡単に収集することができます。測定された重ね合せ誤差は、露光量に大きく影響されることはありません。図3に  $3\mu\text{m}$  のフォーカス・レンジで露光したフォーカス・マトリクス・校正曲線を示します。重ね合せの誤差は、デフォーカスに直線的に比例しています。各部分で測定したフォーカス・モニター・シフトは、デフォーカス  $1\text{ m}$  につき水平方向に約  $0.17\text{ m}$  で変化しています。従って、垂直方向のフォーカス・オフセット  $dZ_x$ 、水平方向のフォーカス・オフセット  $dZ_y$  はそれぞれ次式で表わされます(単位  $\text{m}$ )。

$$dZ_x = dX/0.17$$

$$dZ_y = dY/0.17$$

$dX$ と $dY$ に一定の差がある場合、非点収差が存在します。実測の重ね合せ誤差が、露光量に強く依存することはありません。

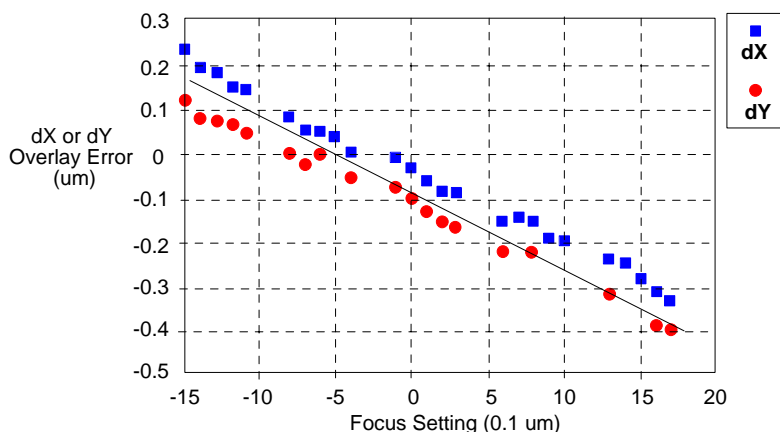


図 3

応用

**Benchmark の Phase Shift Focus Monitor** はフォーカスの変化に対して最適な感度を得られるように設計されています。フォーカス・モニター・マスクにはステッパのレンズ・フィールド内に数多くのフォーカス・モニターをのせてあり、寸法と位相シフトの量については厳しい仕様を満たしています。このレティクルにより、レンズ収差を詳細に検討することができます。ウェーハ上の多数の箇所測定を行ない、垂直と水平方向のフォーカス・オフセットの差 ( $dZ_x - dZ_y$ ) をプロットすることによって、レンズ・フィールドの平坦性や非点収差を求めることができます。また、公称フォーカス値で 16 チップのアレイ露光を行ない各チップの 5 箇所を測定することによって、フィールド・ティルトを求めることができます。それぞれにおける実測のフォーカス・エラーは図 4 のようにプロットされます。この図の左上(Site 1)から右下(Site 3)までの全体的な傾きは 300nm であることがわかります。

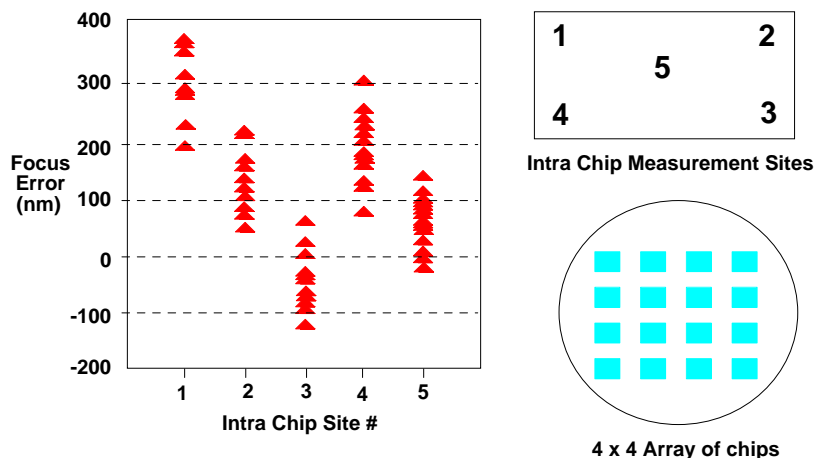


図4

レンズの温度上昇によって、特にクリアなフィールド・マスクの場合、露光時にフォーカス・エラーが発生する可能性があります。ここでの例は、16mm x 11mm のチップ・サイズで、冷えた状態での 0.48NA i-line ステッパで 1 ロット 3 枚のウェーハを公称フォーカス値で露光したものです。各チップのセンターでフォーカス・モニターを測定しました。フォーカス・エラーと露光回数との関係を示した図 5 から、レンズが加熱されると非点収差は一定のまま、フォーカスが約 350nm ずれることがわかります。いずれのウェーハも最初と最後の何回かの露光では、ウェーハの端に近いことによってフォーカスずれが生じることに注目ください。

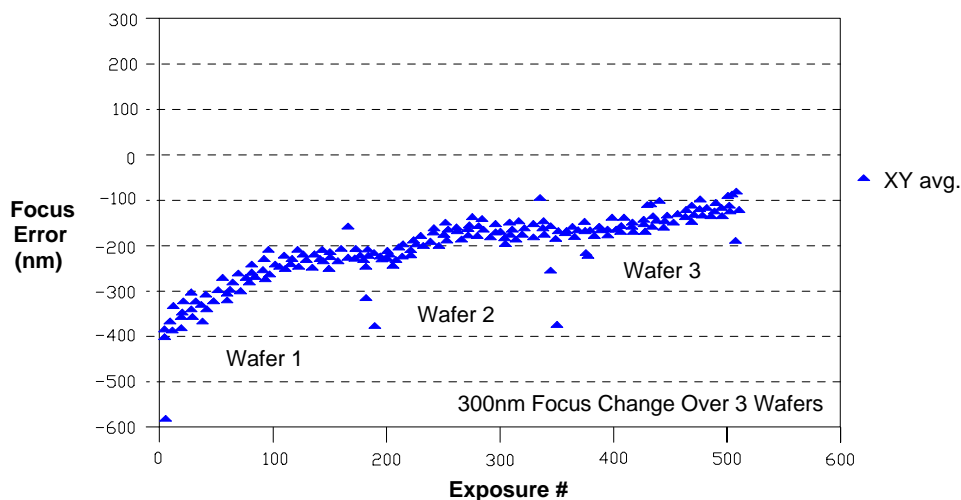
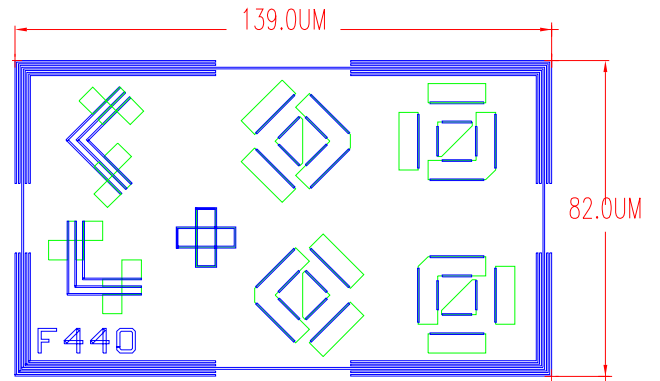
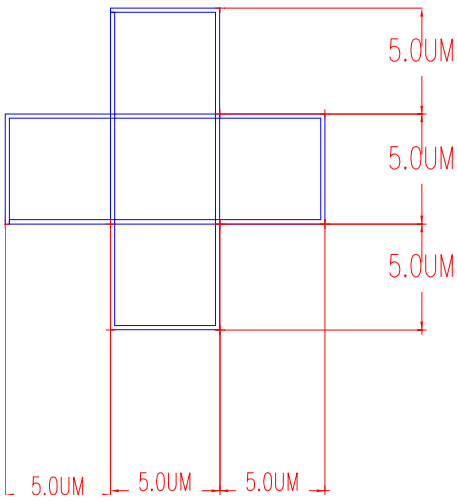
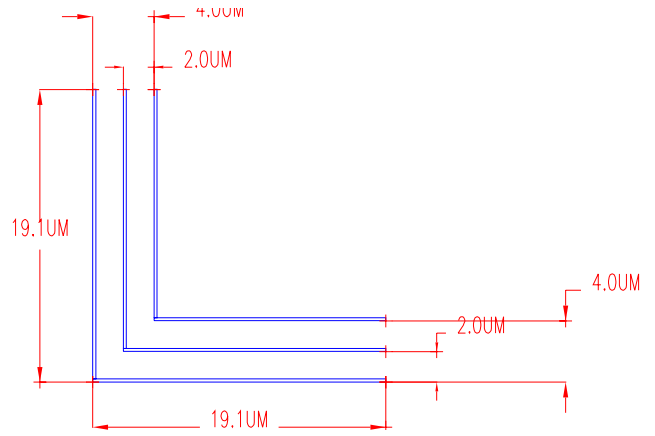
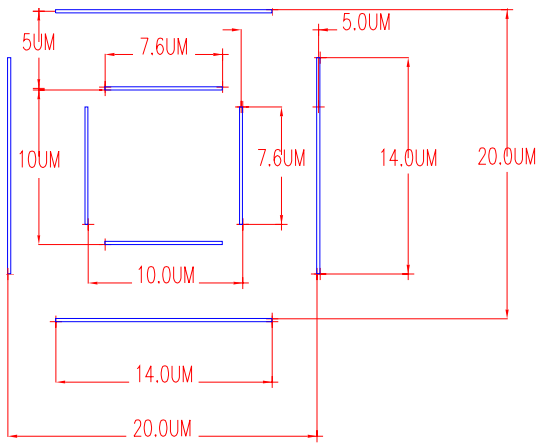
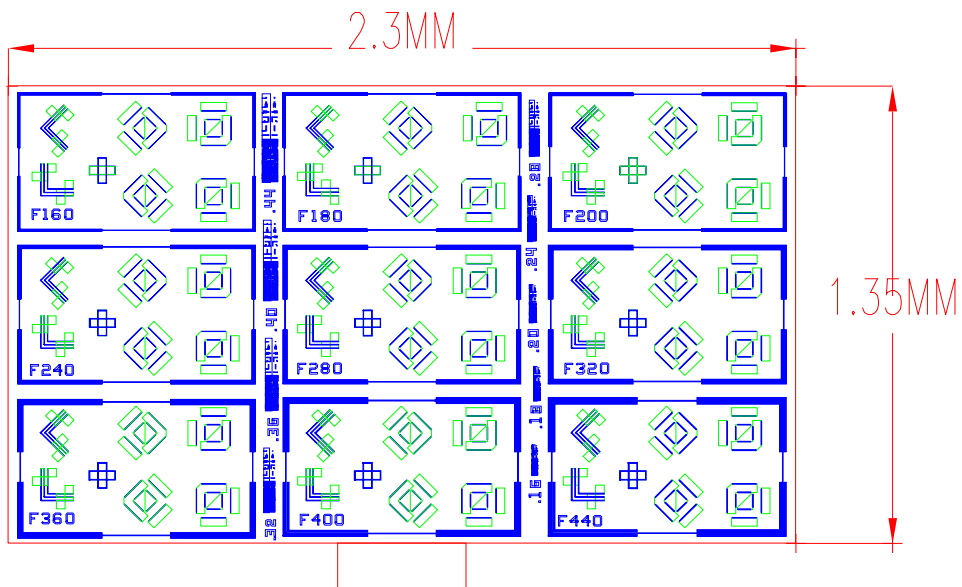


図5



**FOCUS MONITOR CELL**



**FOCUS MONITOR MODULE**