

Optolith

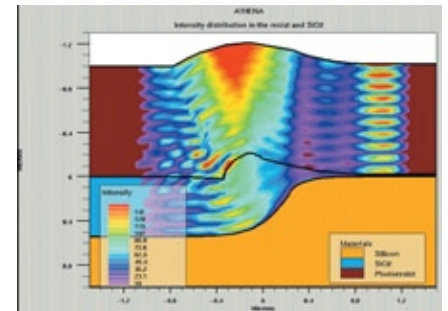
高度な2次元光学リソグラフィ・シミュレータ

Optolith はパワフルな非平坦に対応した 2 次元リソグラフィ・シミュレータで、最新のディープ・サブミクロンに対するリソグラフィのすべての要素 (結像、露光、フォトレジスト・ベーク、現像、リフロー) をシミュレートします。実際に試作して、マスクの印刷適正やプロセス管理を評価することと同様のことが、Optolith を使用すると、高速で正確に行えます。また、マスクとレジストの距離による投影結像と近接をシミュレートします。Optolith は、GDSII および CIF フォーマットに準拠するすべての市販 IC レイアウト・ツール、および MaskViews で使用される特定の自社開発フォーマットにも完全に連携します。また、プロセス・シミュレーション・フレームワーク ATHENA の構成要素の 1 つとして、拡散、酸化、イオン注入、エッチング、およびデポジションなどのシミュレーション機能とシームレスに統合します。このようなシミュレーション環境により、酸化、デポジション、およびエッチングで生成された多層ノンプレーナ構造における複雑なリソグラフィ効果が解析できます。さらに、実際のフォトレジストのマスク形状を考慮に入れて、イオン注入 / エッチング・プロセスを確認し最適化することが可能です。

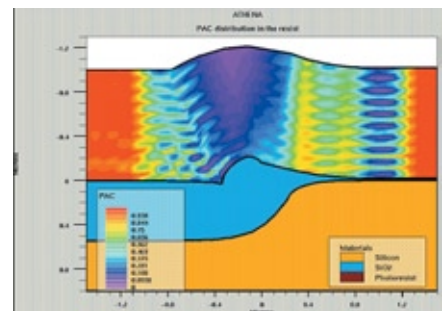
Optolith の機能とモデル

- ・ 投影結像。
- ・ 広帯域照射による近接プリンティング。
- ・ さまざまな露光源に対応: 形状 (円、正方形、ガウス分布、非ガウス分布、SHRINC/QUEST、リング状、ON/OFF 軸)、および波長 (g 線、h 線、i 線、DUV、および広帯域)。
- ・ ピンぼけ、光の収差 (最大 9 次まで)、空間フィルタリング、部分干渉性、および大きな開口数 (NA) などの光学モデル。
- ・ DeckBuild で生成したレイアウト・ステートメント、または MaskViews で生成した特別なレイアウト・ファイルを使用したレイアウト・マスク。
- ・ 矩形、三角形、円などの特徴をレイアウト・ステートメントで規定可能。
- ・ GDSII および CIF フォーマット、さらに MaskViews を使用して生成したカスタム・レイアウトにも対応。
- ・ 全マスク・レイヤまたは各々独立したマスクの特徴に対して、マスク透過率、および位相シフトを MaskViews で規定が可能。
- ・ 複数のマスク・レイヤの連続照射により生成された複合イメージのシミュレーション。
- ・ ノンプレーナ構造における反射および回折効果を明確に分析するビーム伝播法 (Beam Propagation Method: BPM) をベースとした露光プロセス・モデル。
- ・ 露光プロセス中に生じる吸収された不純物を含む材料の光学特性の局所的変化を考慮する機能。
- ・ ポスト露光ベーク中における光活性物質 (Photo-Active Compound: PAC) の拡散を 2 次元シミュレーション。
- ・ 6 つの高度な現像モデル (Mack、Kim、Dill、Trefonas、Eib、および Hirai)。
- ・ ポスト現像ベーク中にフォトレジストのリフローをシミュレートするための粘性材料の流動モデル。
- ・ TonyPlot を使用して、空間像を 2 次元および 3 次元で視覚化。
- ・ 光強度分布、PAC 分布、ならびに最終フォトレジスト・プロファイルの 2 次元視覚化。
- ・ DeckBuild の抽出機能を使用した、イメージのむら、イメージの近接輪郭、クリティカル・ディメンジョン (CD)、フォトレジストの厚さおよび勾配などの見積もりを含むパワフルなポスト・プロセス解析。
- ・ DeckBuild の DBInternal 機能を使用した複数のループ・シミュレーションを組み合わせた抽出機能により、複数の変数でプロセスを分割して解析する (Smile プロットおよび ED ツリーを含む) 使いやすいツールを提供。
- ・ Virtual Wafer Fab 環境下で、自動的に大規模実験法を利用可能。

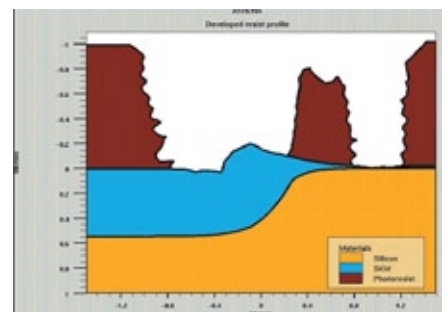
一連のフォト・リソグラフィ・プロセス



光強度分布



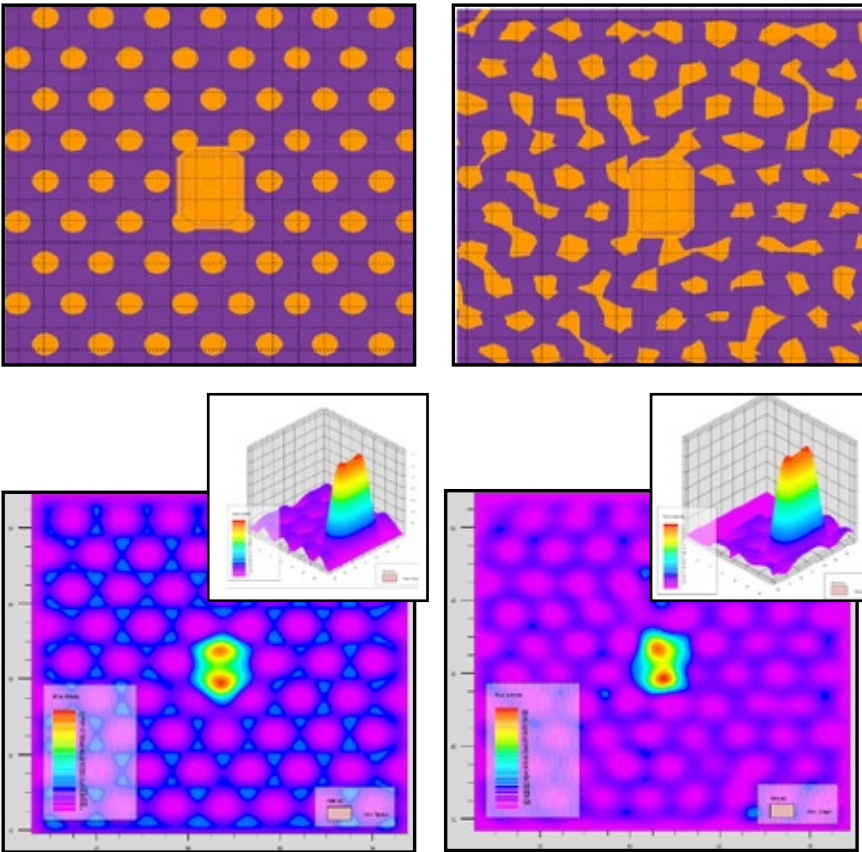
PAC 分布



現像プロファイル

SILVACO

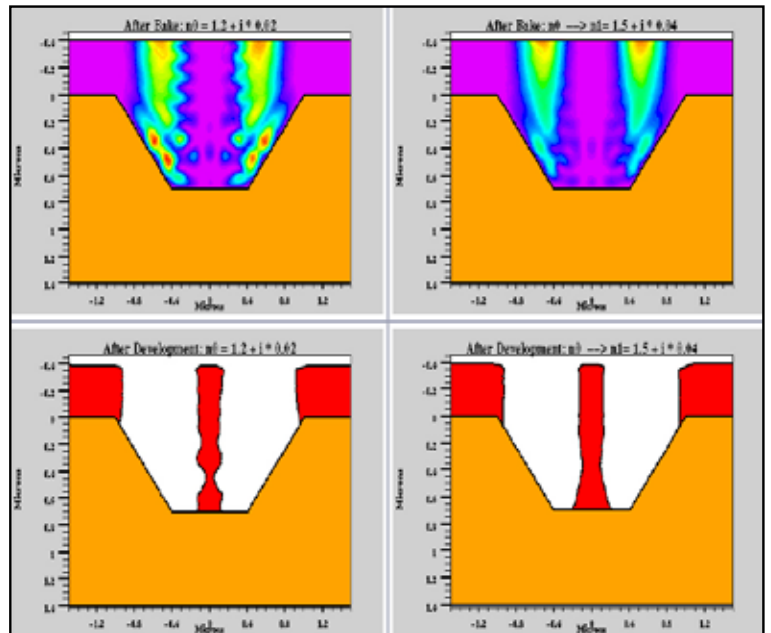
さまざまな透過性と位相シフトを持つ複雑なマスクへの結像



上段の2つのプロットは、GDSII レイアウトを MaskViews で視覚化したもので、規則性形状 (六角形) および不規則性形状を表しています。これらは、LCD アプリケーション用のテスト・レイアウトです。Optolith は MaskViews との連携により、さまざまな透過性や位相シフトの仕様を考慮することができます。この場合、中央の六角形は透過率 100% ですが、小さい規則性および不規則性スポットは 19% の透過性、45 度の位相シフトです。下段の2つのプロットは、Optolith の投影結像モジュールによって計算された対応する 2 次元の空間像を示しています (挿入図表は、中央の六角形スポットの 3 次元表示です)。

ノンプレーナ構造における露光 / 現像シミュレーション

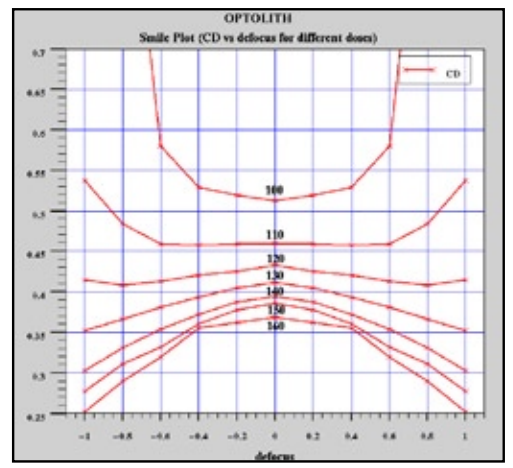
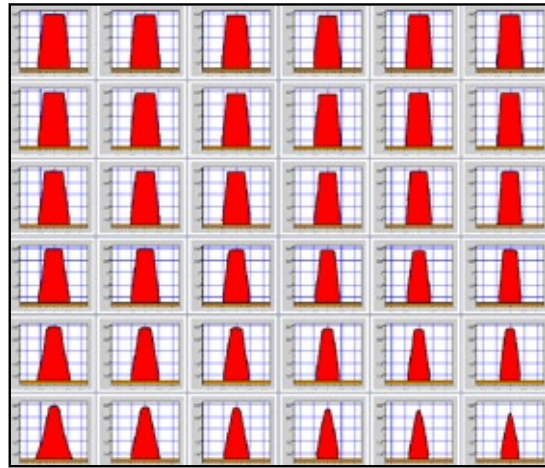
他の市販リソグラフィ・シミュレータに比べて、Optolith の優れている点は、ノンプレーナ構造を正確に処理できることです。まず 1 番目に、SSuprem4 シミュレータおよび Elite シミュレータとシームレスに統合するため、代表的なノンプレーナ基板形状で使用できます。2 番目に、リフロー・プロセスを使用したレジストの平坦化シミュレーションにより、レジスト層の現実的な形状を得ることができます。3 番目として、ビーム伝播法 (BPM) で、任意の形状を持つすべてのノンプレーナ・レジスト層における回折効果および複数の反射効果を正確に分析可能です。さらに、BPM は、吸収された光エネルギーを含んだレジストの屈折特徴による局部変化も考慮しています。ノンプレーナ構造に対する性能、特にレジストの光学特性における露光ドーズ量の効果の例を挙げます。上段の2つのプロットはノンプレーナ構造における光強度分布を、下段の2つのプロットは対応する現像されたレジストのプロファイルを示します。左側の2つの図は、一定のフォトレジスト屈折率の場合のレジストの様子です。そして、右側の2つの図は、現像プロセス中に、累積ドーズ量に応じて線形変動する屈折率を使用したフォトレジストの様子を示しています。最終的な構造を比較すると、ドーズ量の効果は非常に顕著で、考慮するべき要素であることがわかります。現像中にレジストの下部がえぐられてしまい、その傾斜した壁からの強い反射も、レジストが完全に除去される一因となっています。



プロセス管理 - Smile プロット

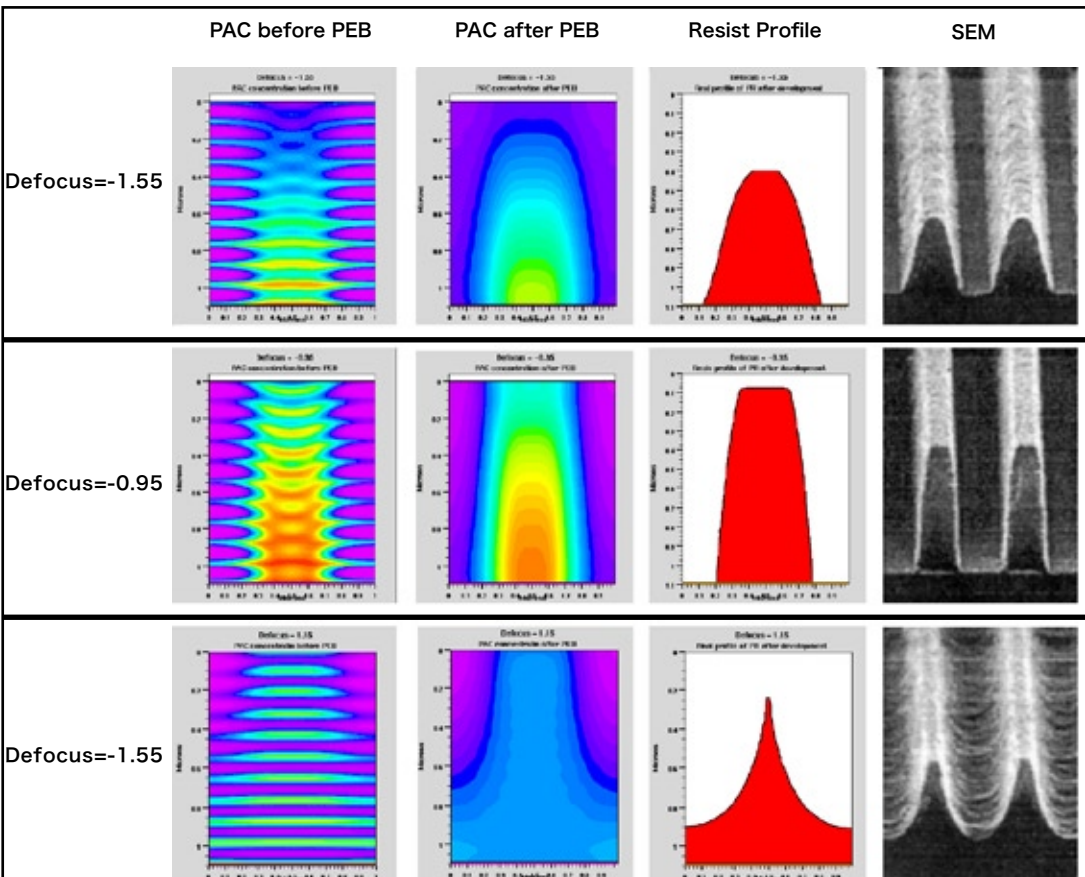
```
DeckBuild V3.2.1.0 - smile.dat - /home/tonyplot/tonyplot/CD/200
#
#
#
go internal
load folder=smile_tmpl.in
loop parameters dose type=linear range="100, 160, 7"
parameter defocus type=linear range="-1, 1, 1"
save type=smile_optolith.dat
save type=smile_bossung.dat
quit

##### Control of smile_tmpl.in file #####
# go internal
# set defocus=0
# set dose=100
# projection max=52
# illumination line
# illum.filter clear all circle sigma=0.5
# projection max=52
# pupil.filter clear all circle
# pupil.lay clear s_low=-0.2 s_high=0.2 r_high=0.5
#
# linc x_low=-0.5 space=0.01
# linc x_high=0 space=0.01
# linc x_low=0 space=0.01
# linc x_high=0.5 space=0.01
# linc y_low=0 space=0.01
# linc y_high=0.5 space=0.01
#
# hole silicon
# deposit photoresist name=ORF32 thick=57 dv=40 min.space=0.01
# start develop name=resist = ORF32 Line c:01-0.027
#
# stage wa x_low=-4 wa_x_high=4 wa_z_low=0 dv=0.5
# exposure dose=5 dose_area=10
# bake at temp=100
# develop mask time=75 steps=1 substrate=20
#
# extract name="cd_in_A" thickness material="ORF32" min.critical=1
#
# extract name="CD" 1.0e-4% of "in_A"
```



結像からレジストの現像まで一連のリソグラフィ・シミュレーションは、プロセス管理の実用的な方法です。プロセスの再現性で重要な要素は、焦点深度 (Depth of Focus: DOF) 管理です。レジスト平坦化の後であっても、平坦化プロセスでの形状のばらつきのため、レイアウトのさまざまなエリアで DOF が異なる場合があります。DOF または他のプロセス・パラメータの小さい変化により、受容不可能なクリティカル・ディメンション (CD) 違反が生じる場合もあります。この CD 対 DOF 効果の主要な管理パラメータは露光ドーズ量です。したがって、プロセスの反応をキャラクタライズする唯一の方法は、ピンぼけ度と露光ドーズ量を同時に変動させ、対応する CD を抽出することです。Optolith とシルバコのインタラクティブ・ツールを一緒に使用することで、リソグラフィ・プロセス管理のために理想的な環境を構築できます。上左の図は、DeckBuild の DBInternal モジュールで非常にシンプルな設定を行った例です。これは、後に続く Optolith テンプレートのインプット・デッキの dose と defocus パラメータによるネスト化したループで構成されています。DeckBuild は自動的に Optolith のシミュレーションを 77 回実行します。その際、defocus パラメータを -1 から 1 の間で変動させ、露光 dose パラメータは 100 から 160 の間で変動させます。そしてすべての最終レジスト・プロファイルは保存されます。dose-exposure マトリクスで抽出した CD 値も同様に ASCII ファイル (smile.dat) 形式で保存されます。上の中央の図は、77 回のうちの 36 回分のレジスト・プロファイルをマトリクス・プロットで示しています。2 段目のプロットは、dose=120 mJ/cm² および defocus が 0 から 1μm であり、CD ばらつきが一番小さいことがわかります。smile.dat ファイルに保存したデータを TonyPlot で視覚化することも可能です。右図が、対応する Smile プロット (または Bossung プロット) です。

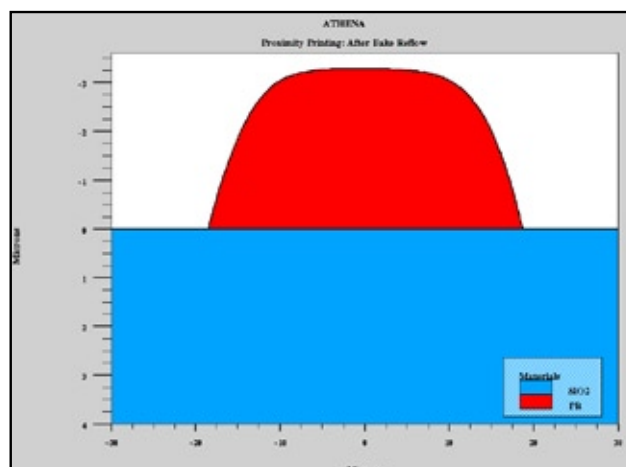
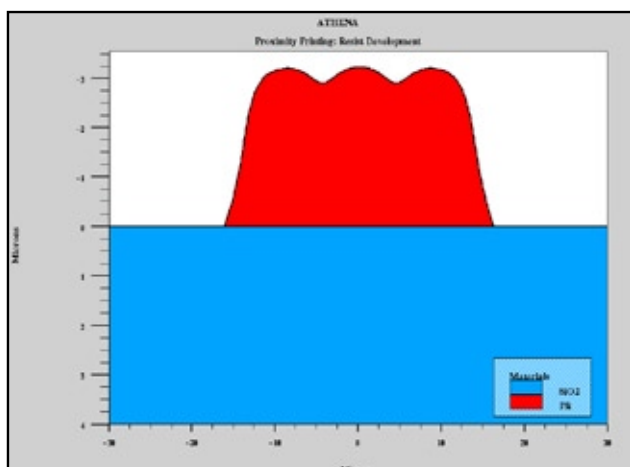
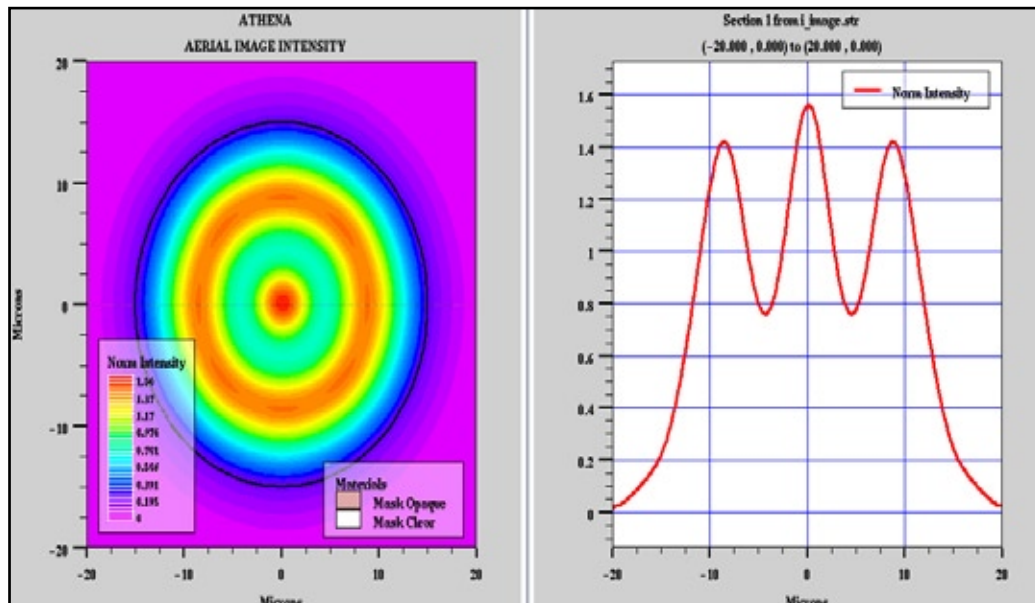
リソグラフィ・プロセスの完全なシミュレーション



左の図は、CD ばらつきにおけるピンぼけ効果と、計測して得たレジスト・プロファイルと比較したレジスト形状を示します (SEM の図は、LG Semiconductor 社より提供されたものです)。ベーク拡散係数や Dill の現像係数を含む数種のプロセス・パラメータは、キャリアプレートされています。レジスト形状のキャラクタライズを考慮に入れた複雑な CD 抽出は、一連のリソグラフィ・プロセスを正確にキャリアプレートおよび最適化するために必要であることがわかります。

近接プリンティング

近接プリンティングまたは縮小レンズを使用しない結像は、アクティブ・マトリクス型液晶ディスプレイ (Active-Matrix Liquid Crystal Display : AMLCD) テクノロジーに対して非常にコスト効率のよいソリューションであるため、最近、再び採用が増えてきています。しかしながら、標準的な投影テクノロジーに対する簡素化した方法では、近接プリンティングの正確なシミュレーションを行うことはできません。そのため、Optolith は近接プリンティングのための独立したモジュールを備えています。これは、他のリソグラフィ・シミュレーション・モジュールだけでなく、MaskViews とともにシームレスに統合します。



上段の左図は、半径 15 μ m の円状のプリンティングのイメージです。これが、AMLCD に対する典型的なサイズです。このイメージはマスクとレジスト膜の距離 (隙間) 150 μ m を計算したものです。i 線だけが使用されています。Optolith の複数イメージおよび複数回露光機能により、ホワイト・スペクトルの主要線に対してイメージ / 露光シミュレーションを複数回実行した結果から、広帯域照射の近似値を見積もることができます。近接プリンティングでは、光強度のばらつきがよく起こります。広帯域照射の場合では、これらのばらつきは若干減少します。下段の 2 つのプロットは、次の処理の結果を示しています。つまり、露光およびベーク後、ネガタイプのレジストが現像されます。左のプロットのように、現像されたレジストには特有の「波状」のパターンが現れます。これを、左のプロットのように、現像後のベーク / リフロー処理で取り除きます。

SILVACO

株式会社 シルバコ・ジャパン
www.silvaco.co.jp

お問い合わせ : info@silvaco.co.jp

本社

〒244-0801
神奈川県横浜市戸塚区品濃町549-2
三宅ビル4F
TEL : 045-820-3000 FAX : 045-820-3005

京都サポートセンター

〒604-8152
京都府京都市中京区烏丸通 蛸薬師下ル 手洗水町651-1
第14長谷ビル 9F
TEL : 075-229-8207 FAX : 075-229-8208