

2022/3/11

ナノプロセッシング施設オンラインセミナー

『マスクレス描画技術』

レーザー直接描画装置を利用した グレイスケール露光と補正技術について

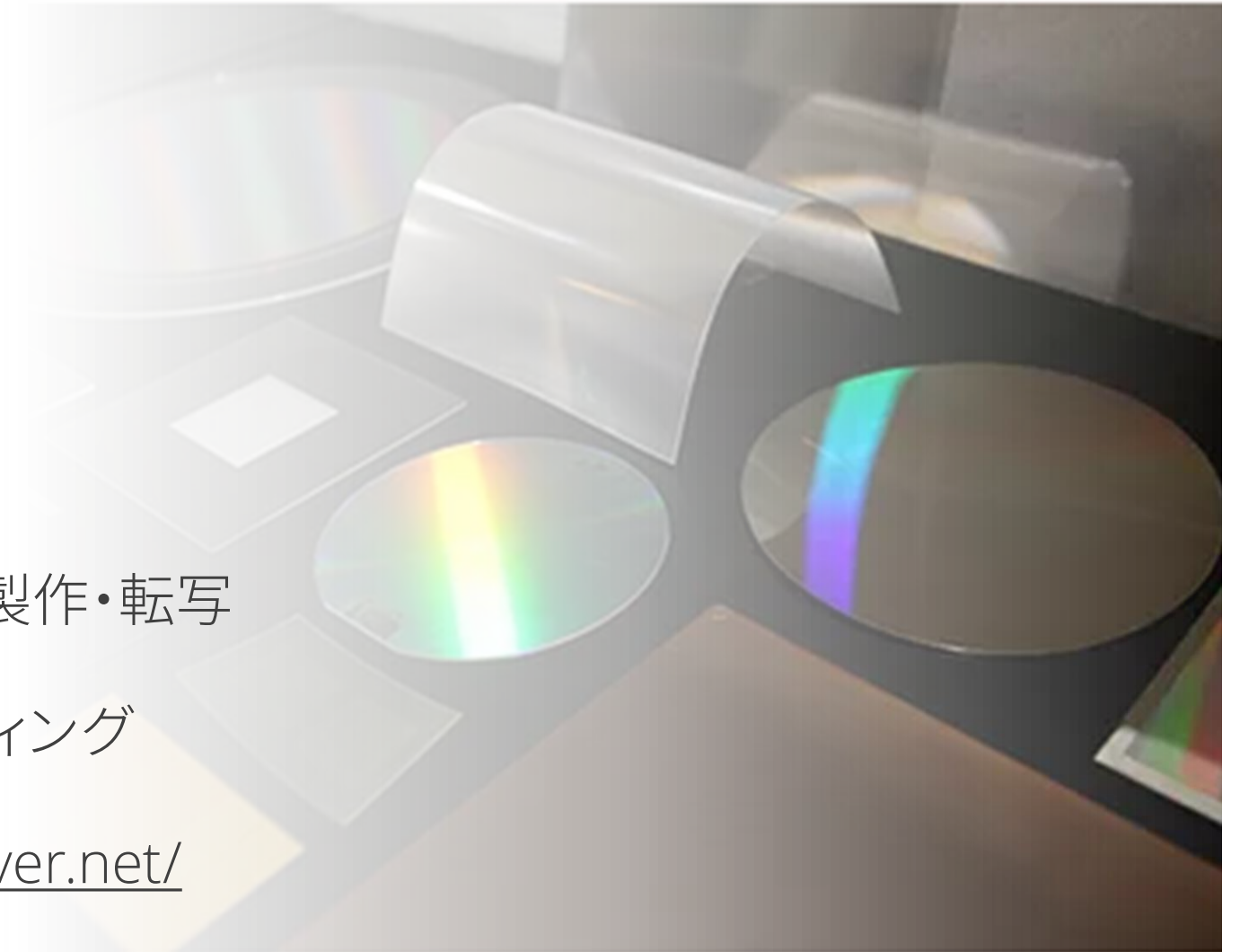
Bush Clover Inc.

新関 嵩

Bush
Clover

会社概要

- 社名: Bush Clover株式会社
- 設立: 2018年10月1日
- 所在地: 東京都町田市
- 従業員: 7名
- 事業内容: 微細構造金型の製作・転写
微細加工全般のコンサルティング
- Web: <https://www.bushclover.net/>



事業内容

超微細受託加工

- ・ 電子線描画
- ・ レーザー描画
- ・ コンタクト露光
- ・ ナノスケール切削加工
- ・ Ni電鍍、Cuめっき
- ・ ダイシング
- ・ 研磨

技術コンサルティング

- ・ ナノインプリント
- ・ ナノスケール金型製作
- ・ 車載向け精密射出成形
- ・ 量産向けロール金型
- ・ 光学レンズ設計

今回の発表内容

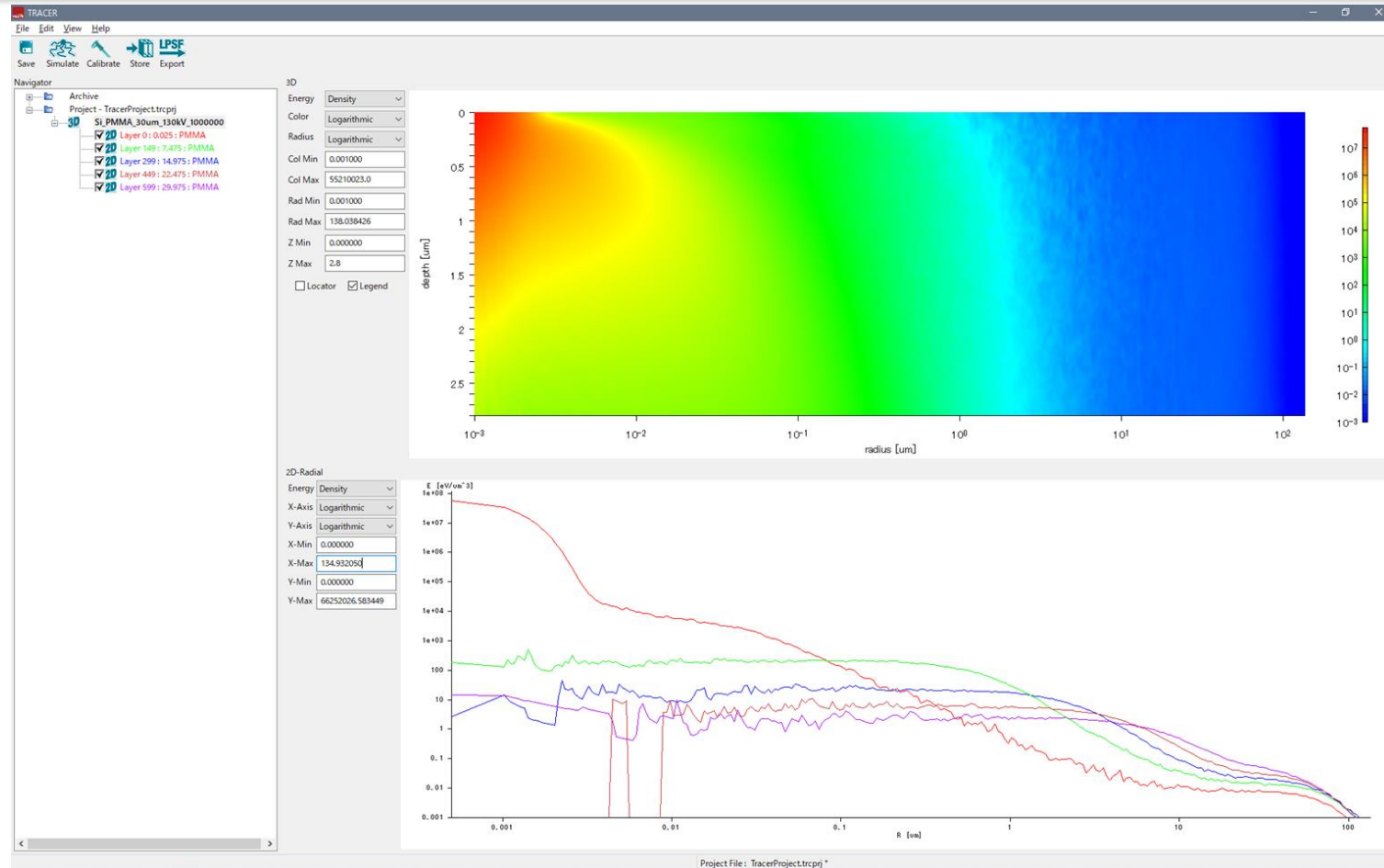
- レーザー描画装置でのグレイスケール露光について
- BEAMERを使用したグレイスケール露光パターンの作成について
- 実際にレーザーグレイスケール露光描画をする際の注意点

レーザー描画装置での グレイスケール露光について

3次元形状加工を行う際の各技術の比較

	レーザー露光	EB露光	機械加工
加工サイズ	XY: 数 μm Z: $\sim 50\mu\text{m}$	XY: サブ μm Z: $2\sim 3\mu\text{m}$	XY: 数 $10\mu\text{m}$ Z: $100\mu\text{m}$
加工面積	○ □ 8inch以上	× □ 10mm	△ □ 100mm
価格 (単位面積 当たり)	○	×	△
後工程	電鍍 エッチング	電鍍 エッチング	必要なし
加工劣化 要因	被写界深度外での ビームぼけ	前方散乱によるビーム ぼけ	バイト痕による表面荒 れ

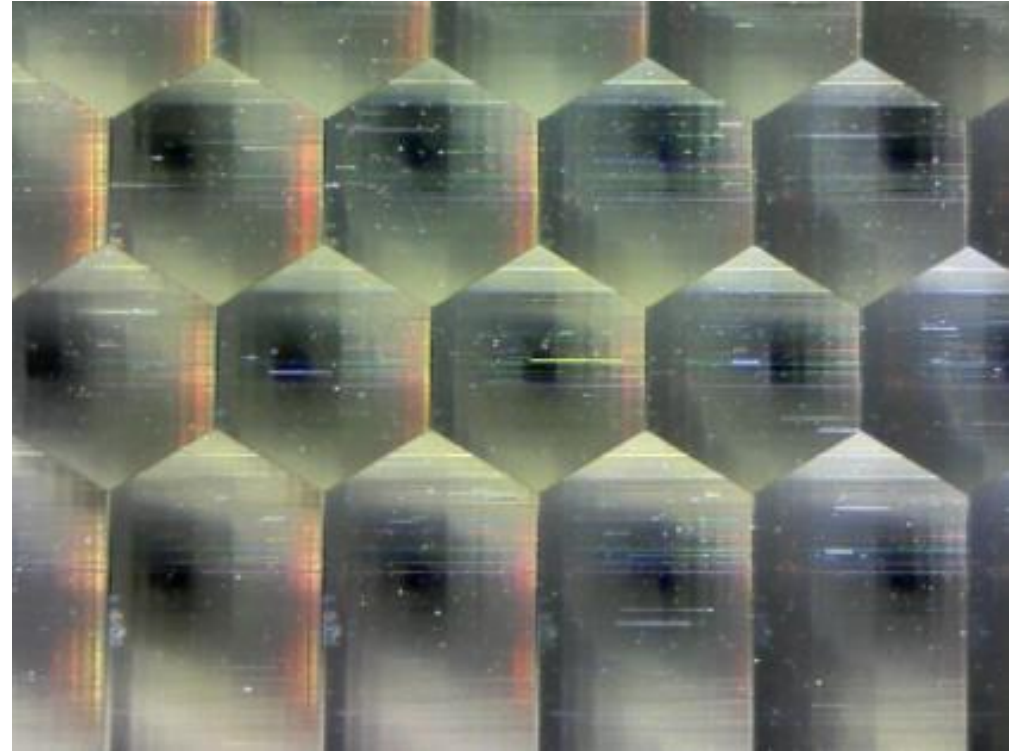
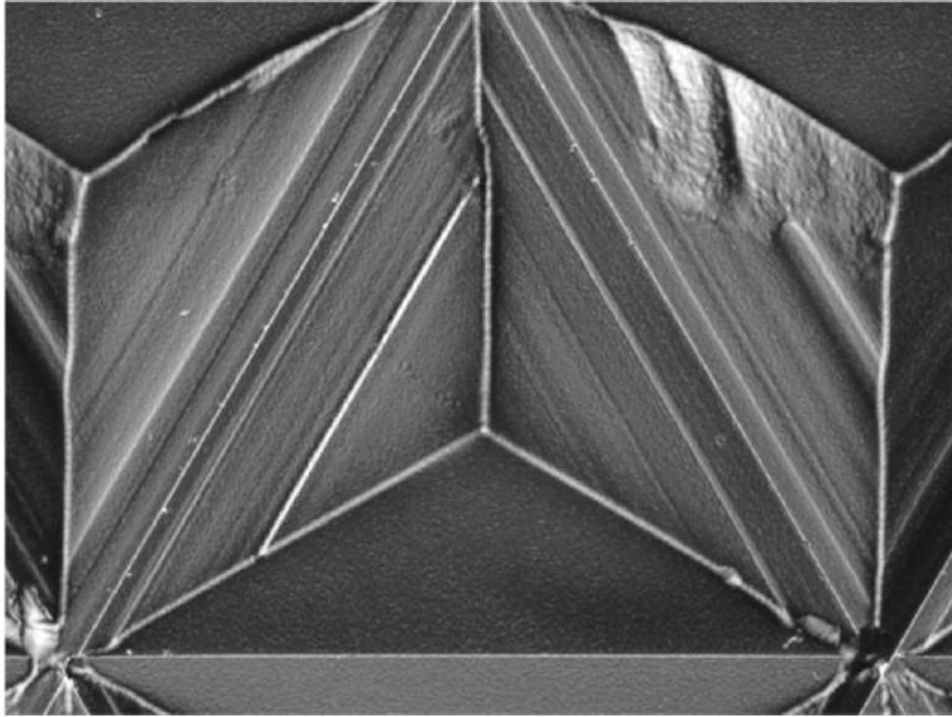
130kVのモンテカルロ・シミュレーション結果(EBの場合)



※2021/10/26
東北大学EBグレースケール・ワークショップ

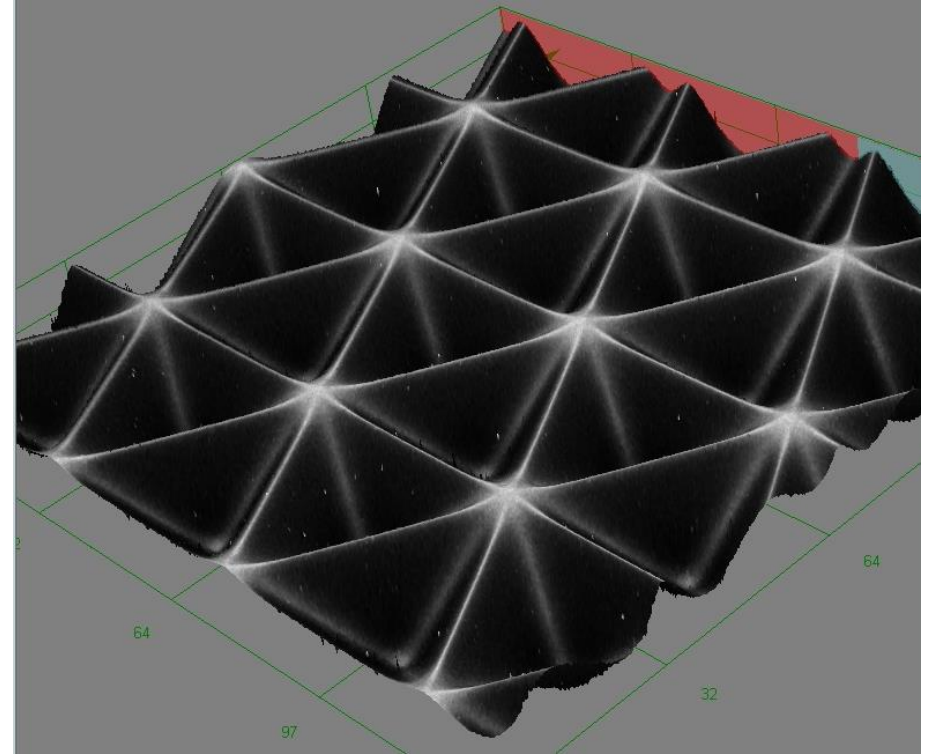
仮に厚塗りできるレジストがあったとしても、
7μmの深さでは散乱ビーム半径は1μmにもなる。

機械加工による切削痕



形状が微細化してくると、切削痕が目立つようになる

レーザー描画装置で3次元構造を作成するターゲット

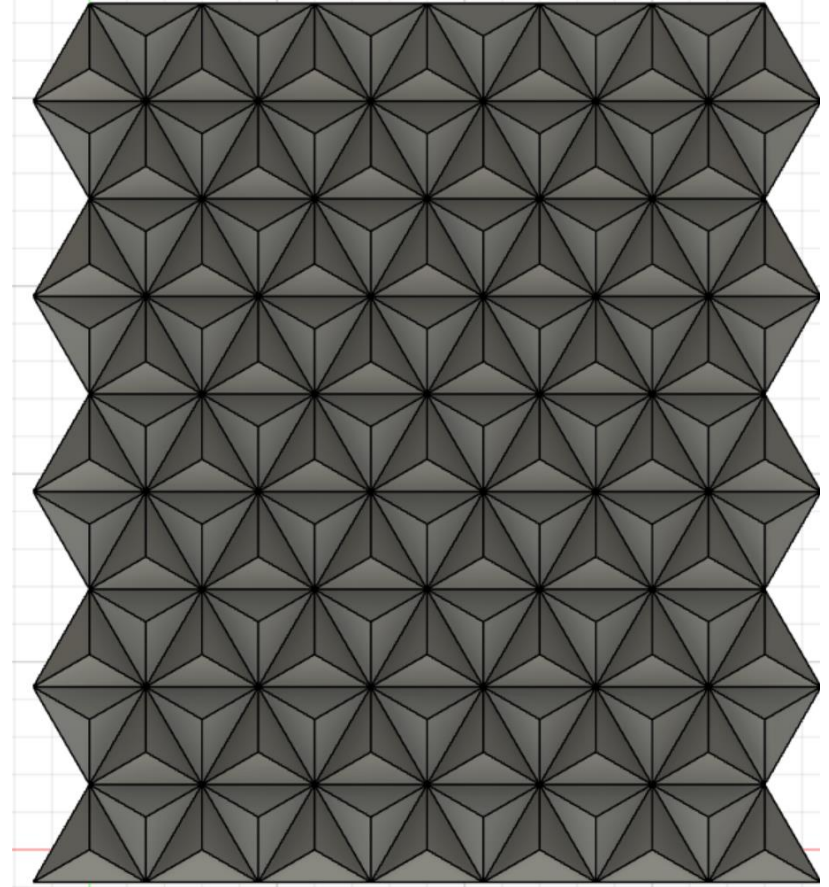
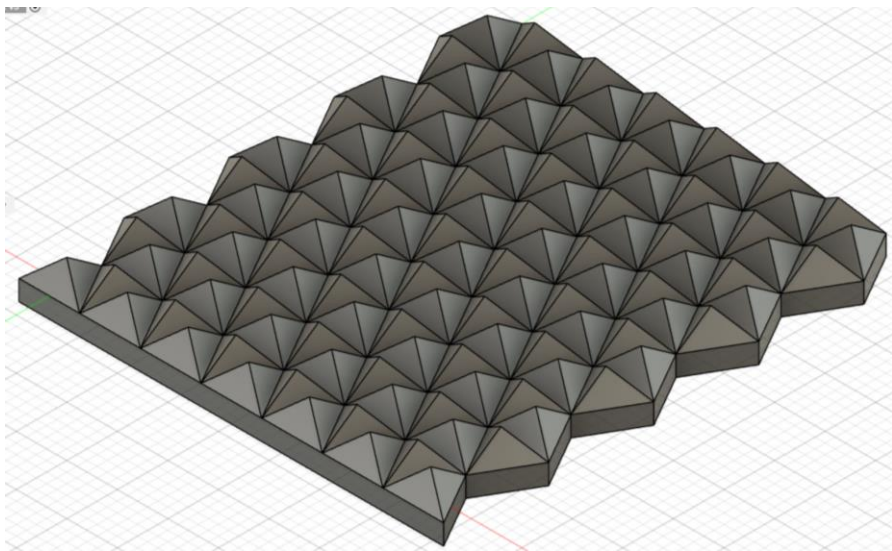


サイズ10 μ m~50 μ m程度のパターンが適している

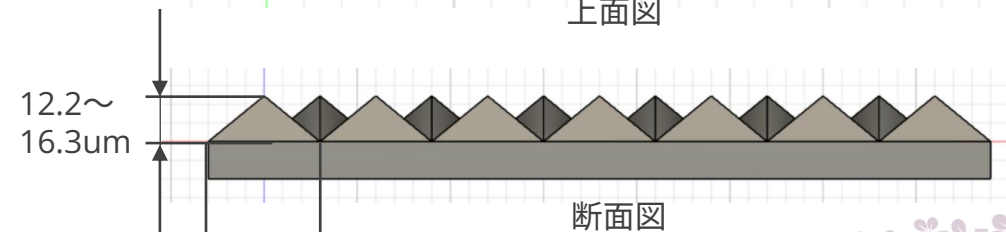
BEAMERを使用したグレイスケール露光パターンの作成について

今回作成するパターン

- 図のように、三角錐が並んだ構造
- 三角錐を構成する3面が90°の角度を持って交わる
- 金型は凸形状
- 三角形のピッチは30 or 40 μm のいずれか
(三角錐高さは12.2~16.3 μm)



上面図



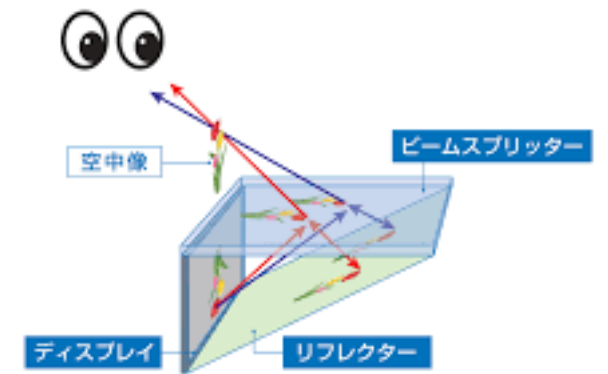
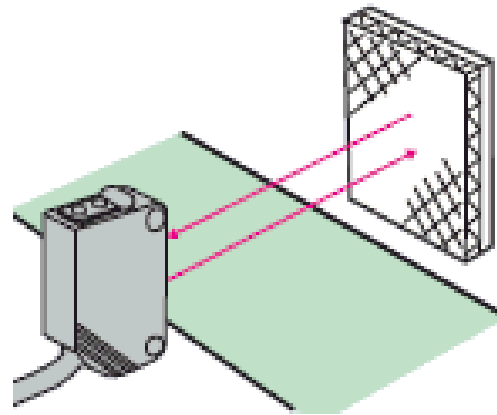
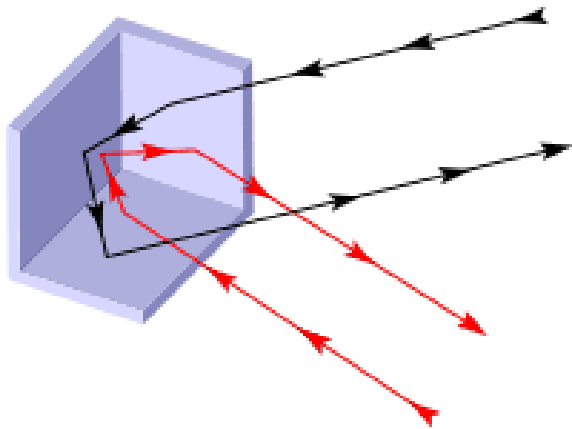
断面図

30~40 μm

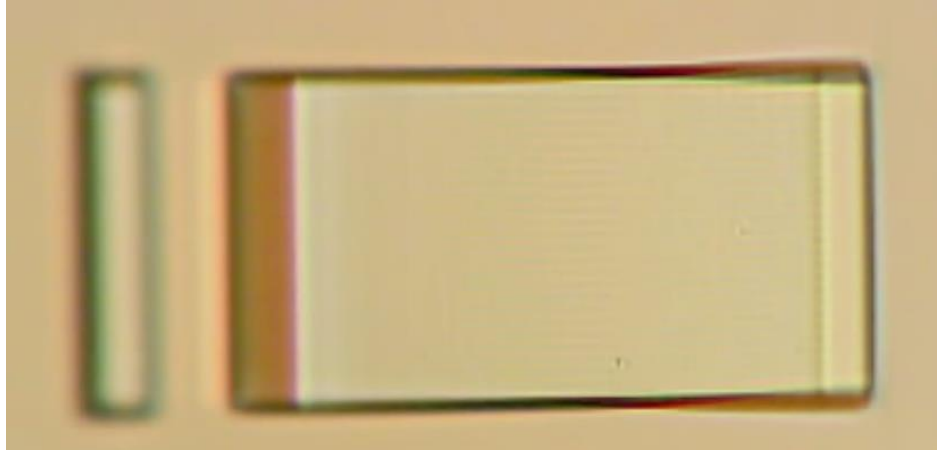
今回作成するパターン

再帰反射形状(リトロリフレクター:retroreflector)とは、入射した光を、入射方向と平行で、かつ反対の方向へと反射する形状です。鏡面とは異なりどの方向からの光でも反射することができます。代表的なものにコーナーリフレクターがあります。

用途としては、光電センサの反射板や、空中ディスプレイのリフレクターとして使用されています。

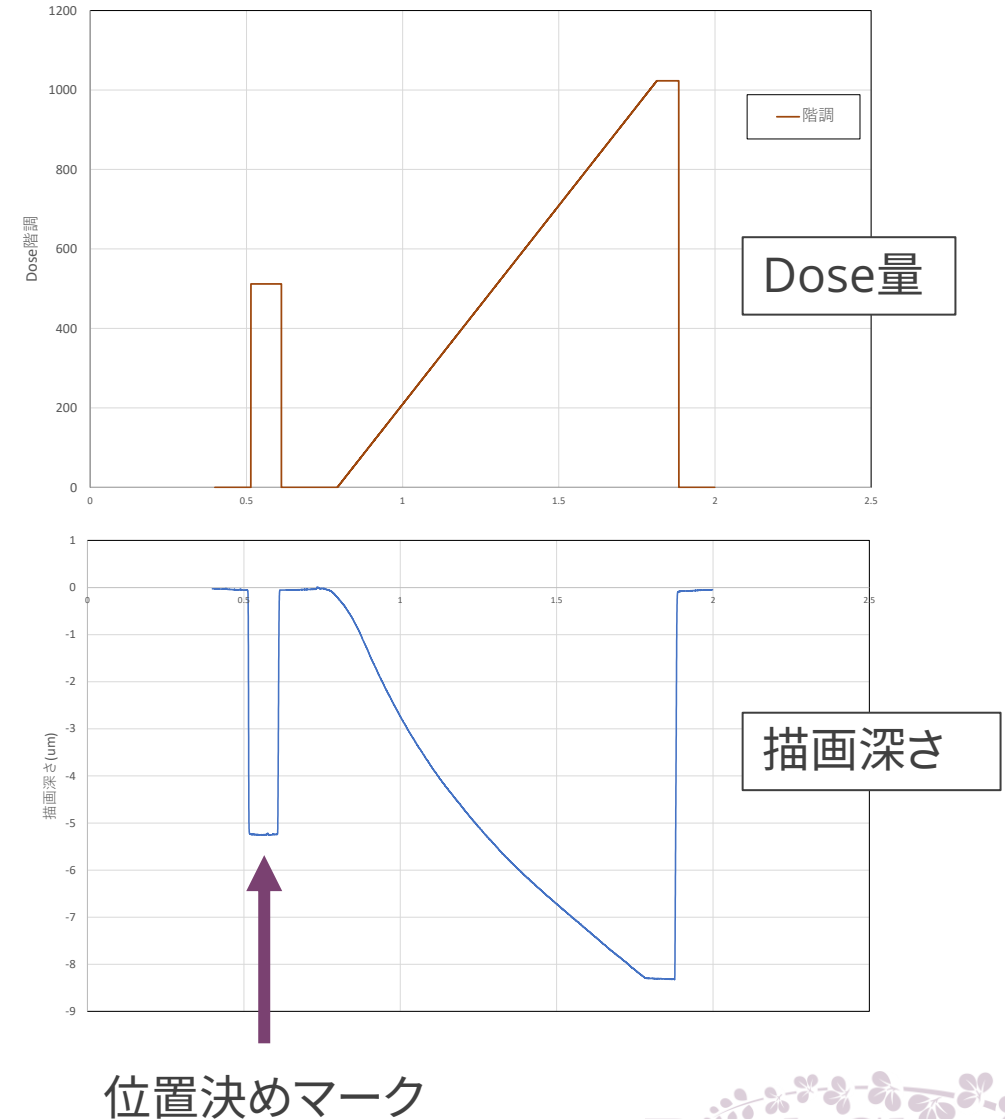


コントラストカーブの測定

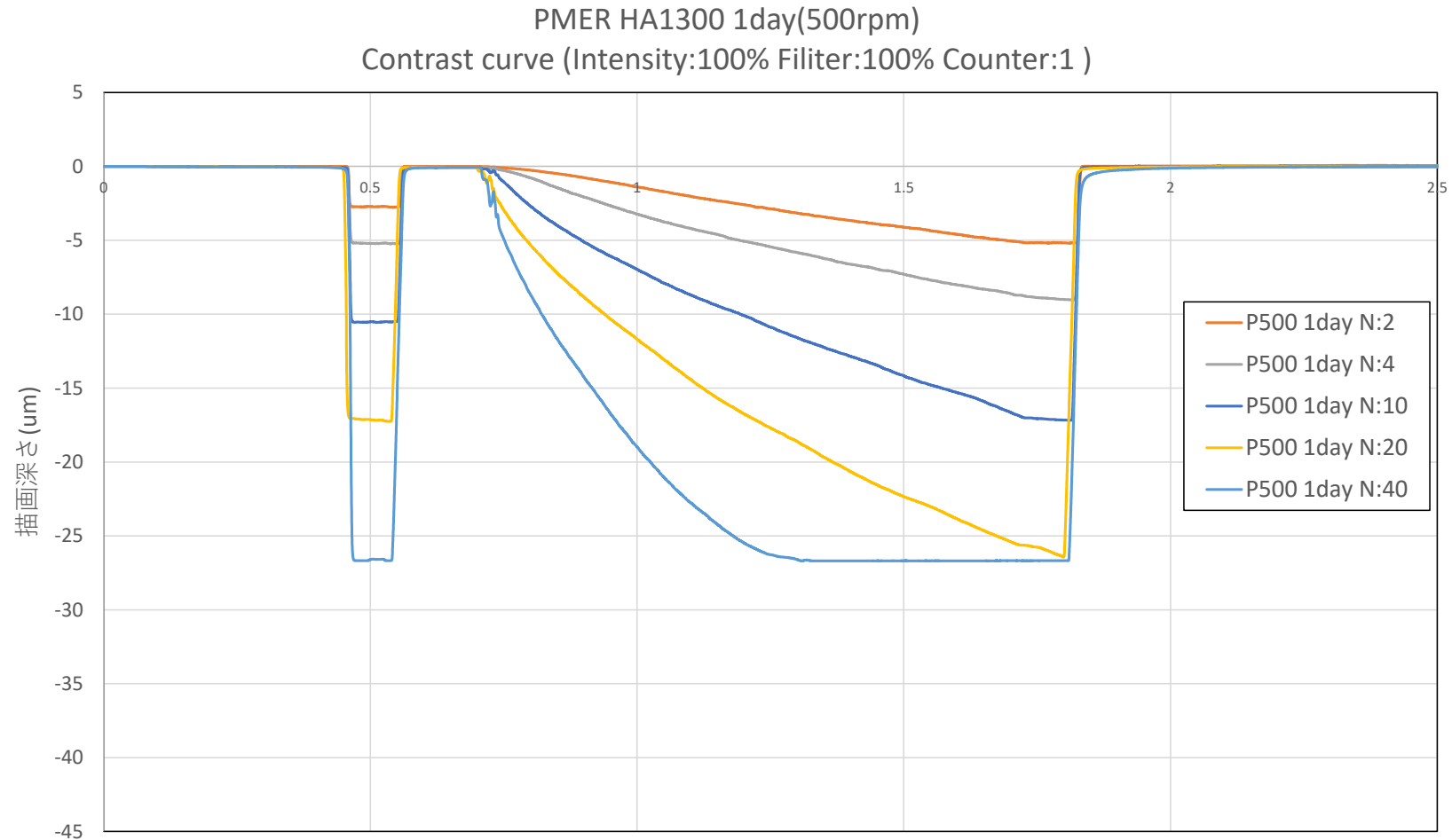


コントラストカーブ測定パターン

0~1023階調まで連続的に変化させながら描画。
その後、接触式の段差系にて測定し、
測定データをBEAMER用のデータに整形する
スクリプトにて変換する。

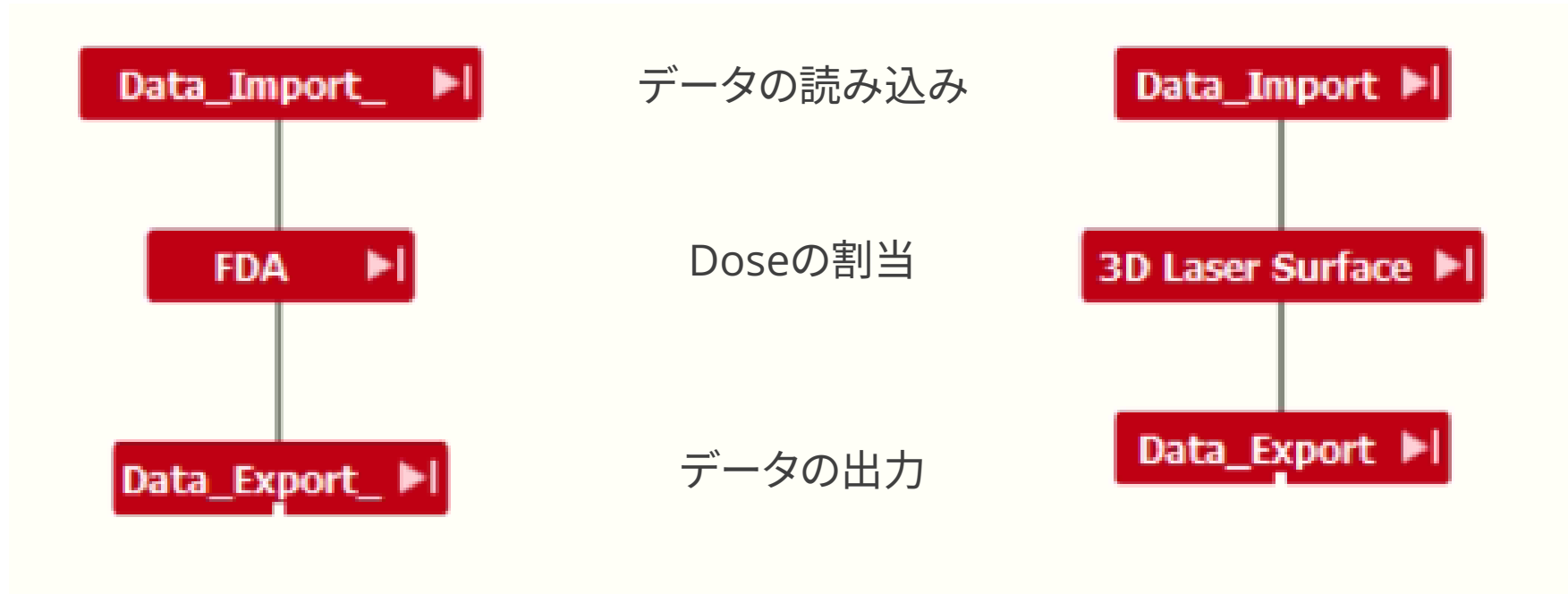


測定結果の例



作成したいパターンに合わせて、必要なN-over数を見繕う

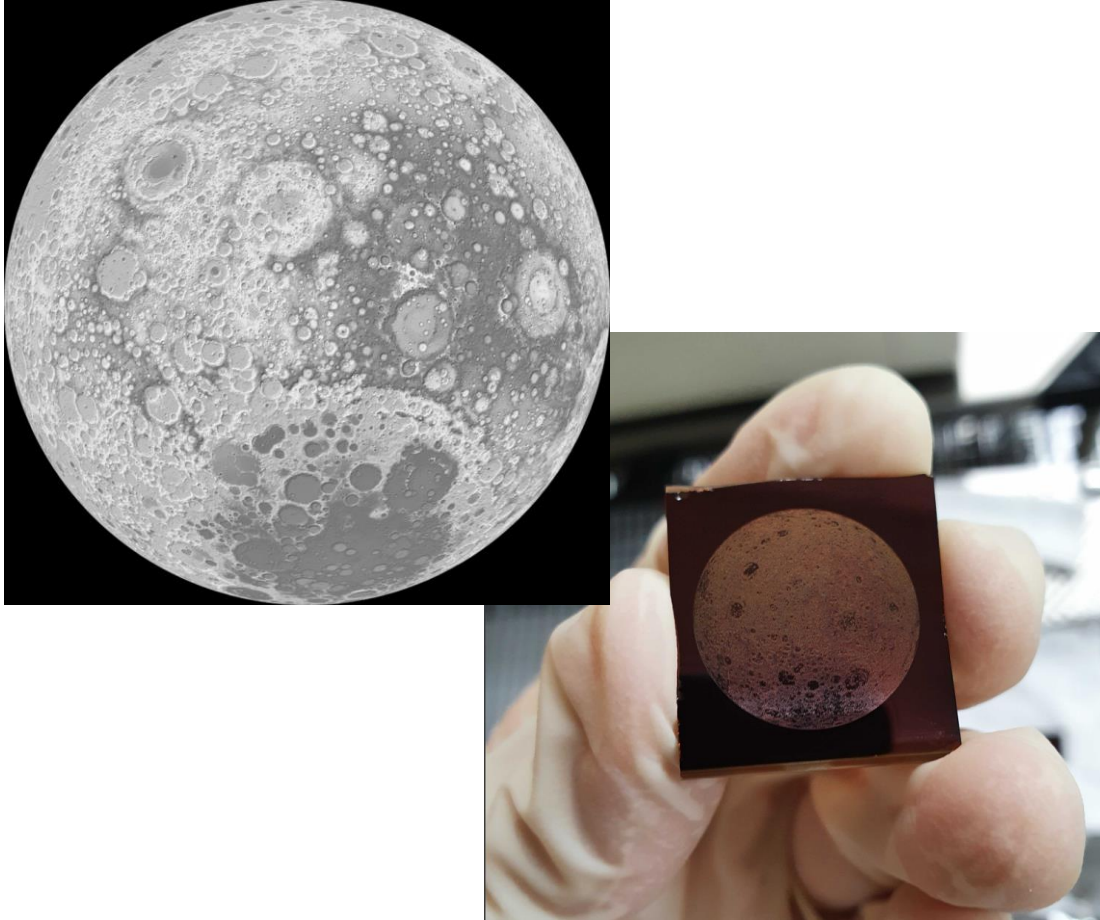
データ作成について



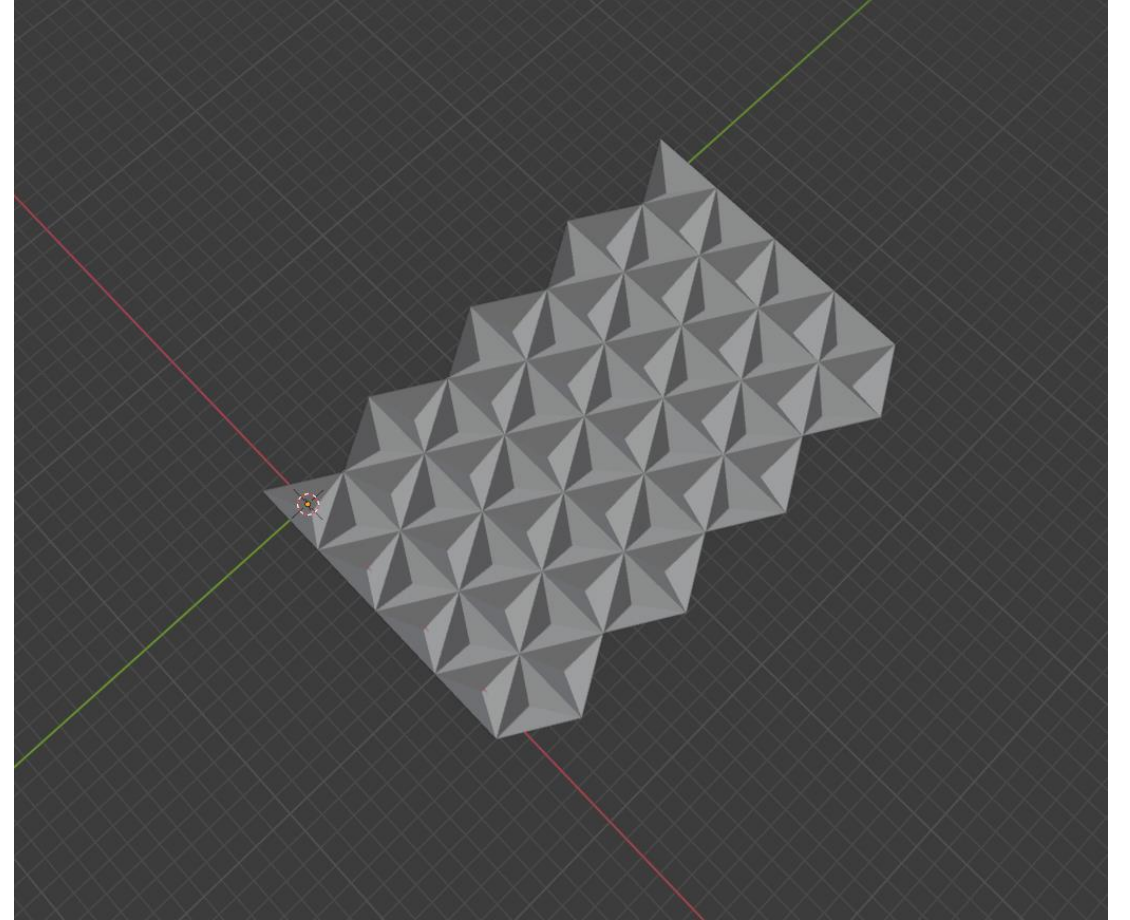
BEAMERにて描画用のデータを作成する。
工程は3ステップ。

3Dデータの準備

PNG



STL



8bit or 16bitのPNGファイルおよび、STLファイルで用意
今回はSTLを例に説明

データのインポート

Units

Unit of STL coordinates [um]:

1.000000

Resolution of imported coordinates [um]:

0.0010

STLには単位が無いので指定する必要がある
分解能も適当に指定

Layers

Create Layers Corresponding to Slices along the Z-Axis

Number of Z-Layers:

67

Lower Bound of Z-Coordinates [um]:

-16.5

Upper Bound of Z-Coordinates [um]:

0.000000

Spatial Arrangement of Layers:

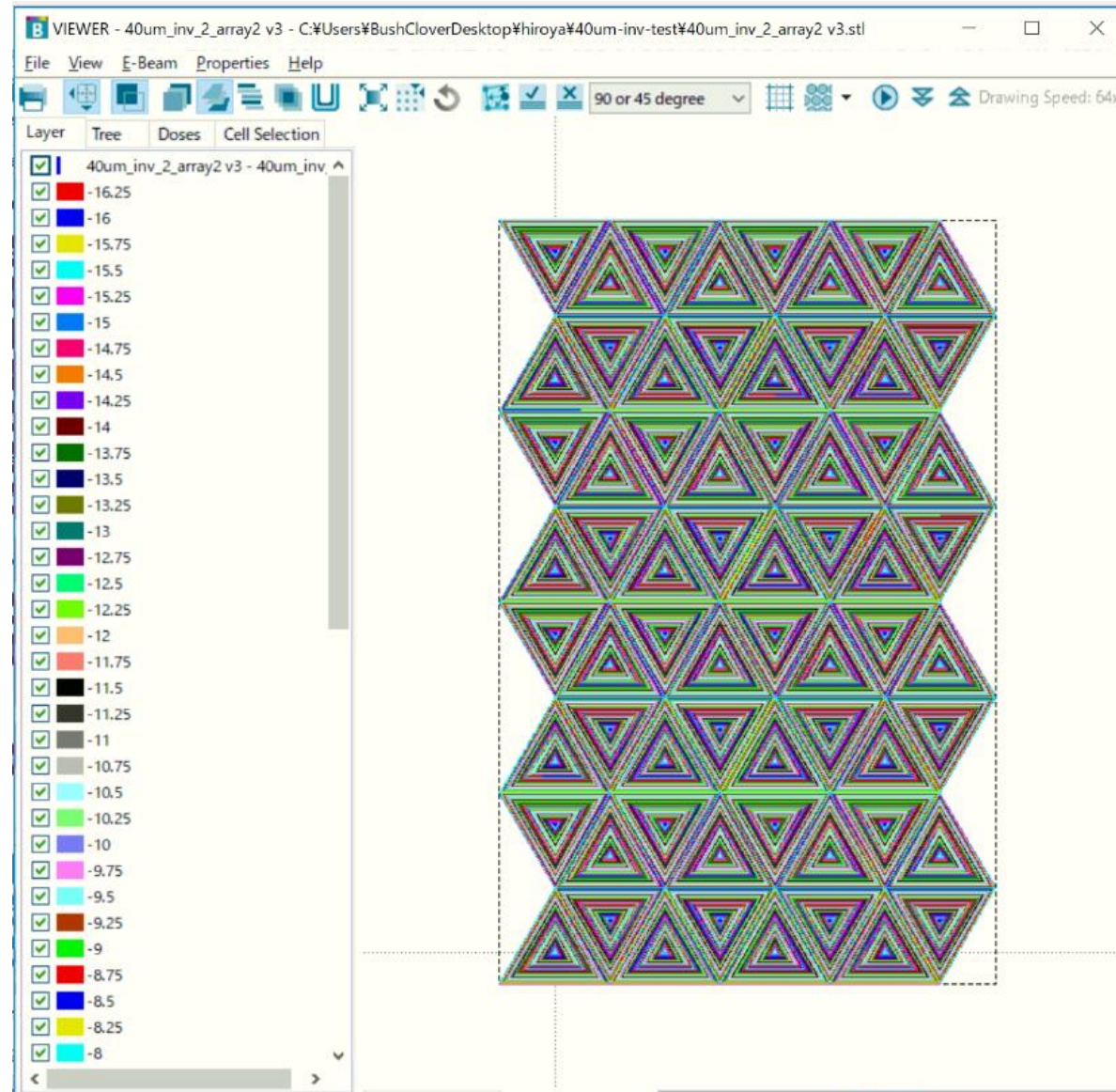
Linear

Convert data to 3d Surface

Z方向に等間隔にスライスして、
Layerに振り分ける処理をする

Z-Layer数とLower Bound / Upper Boundに注意

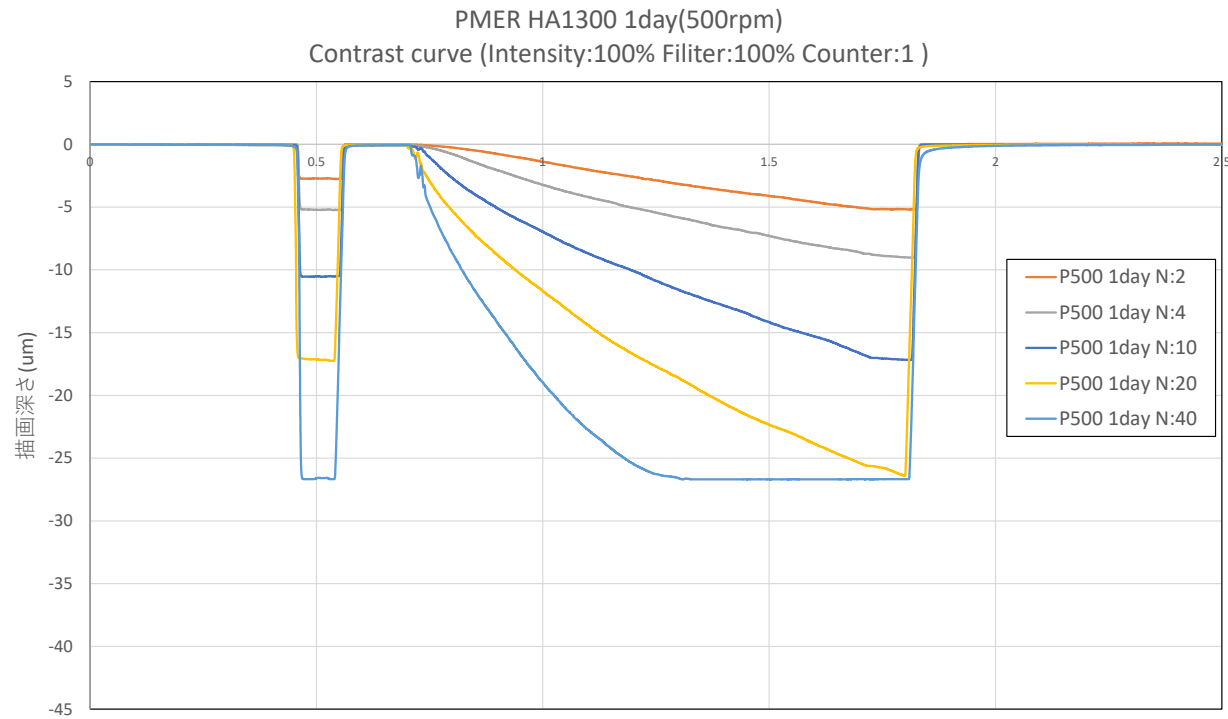
データのインポート



Doseの補正方法の違い

	FDA	3D LASER SURFACE
機能	LayerにDoseの階調を割り振る	レジストの吸収係数や屈折率等を考慮して、必要なDose量をシミュレートする
必要なパラメータ	コントラストカーブ	コントラストカーブ 露光前露光後の 吸収係数および屈折率
補正	Doseのテーブルによる補正	3D形状Feedback機能
メリット	手軽 補正も複数の条件が振れる	複雑な形状も対応可能 レジスト内部の光の強度分布を考慮
デメリット	複雑な形状に対応できない	レジストの情報が必要 補正が1回きり

Doseの割当 - FDAを使用する場合



Feature Dose Assignment

Assignment Label/Comment

Mode By Layer Assignment Type Assign

Layer	rel. Dose
0	11
-0.25	14
-0.5	17
-0.75	21
-1	24
-1.25	28
-1.5	32
-1.75	36
-2	41
-2.25	45
-2.5	50
-2.75	55
-3	60
-3.25	65
-3.5	71
-3.75	76
-4	82
-4.25	88
-4.5	94

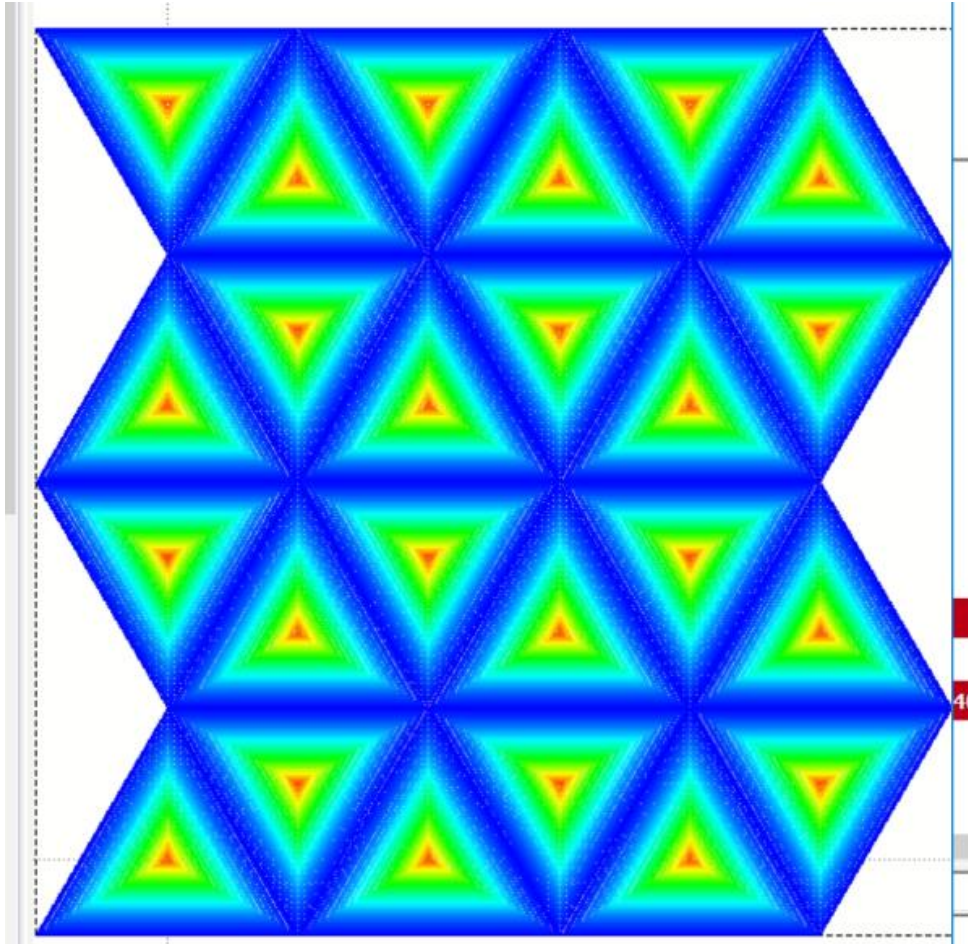
Buttons: Import... Export... Insert Row Delete Row

Buttons: OK Cancel Help

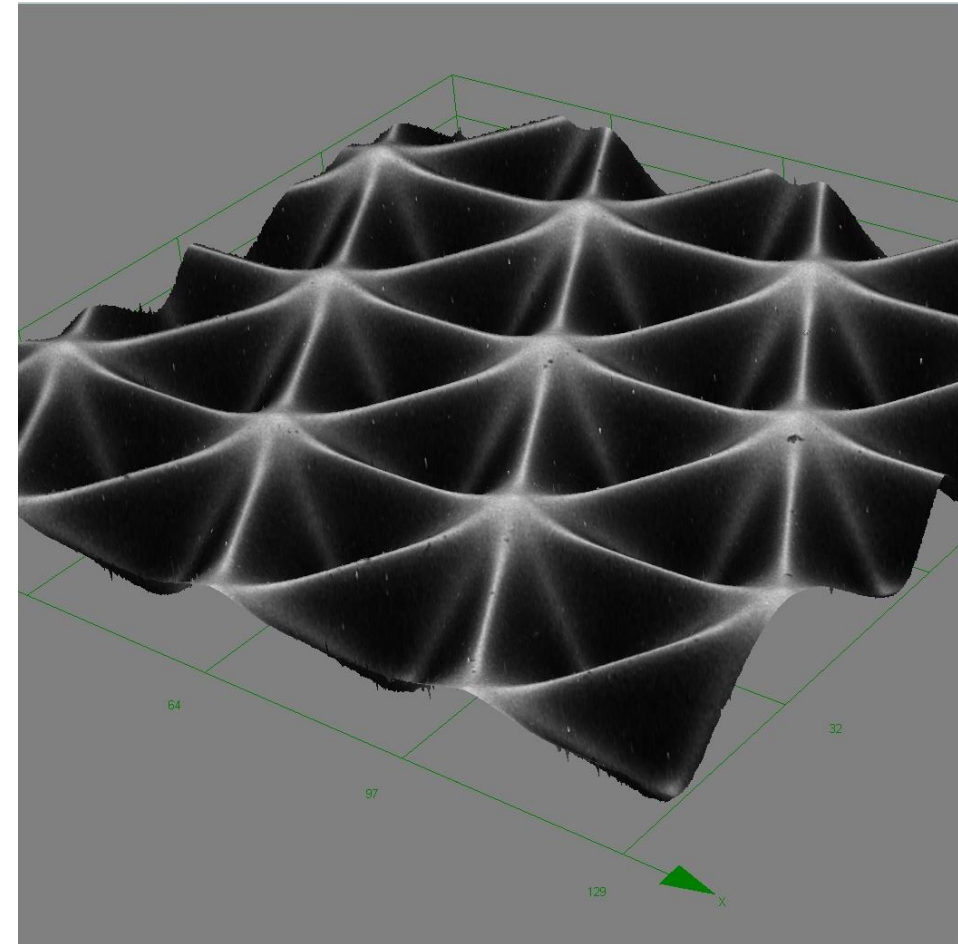
測定したコントラストカーブのデータから、
レイヤーに割り当てるDoseの階調を入力する

Doseの割当 - FDAを使用する場合

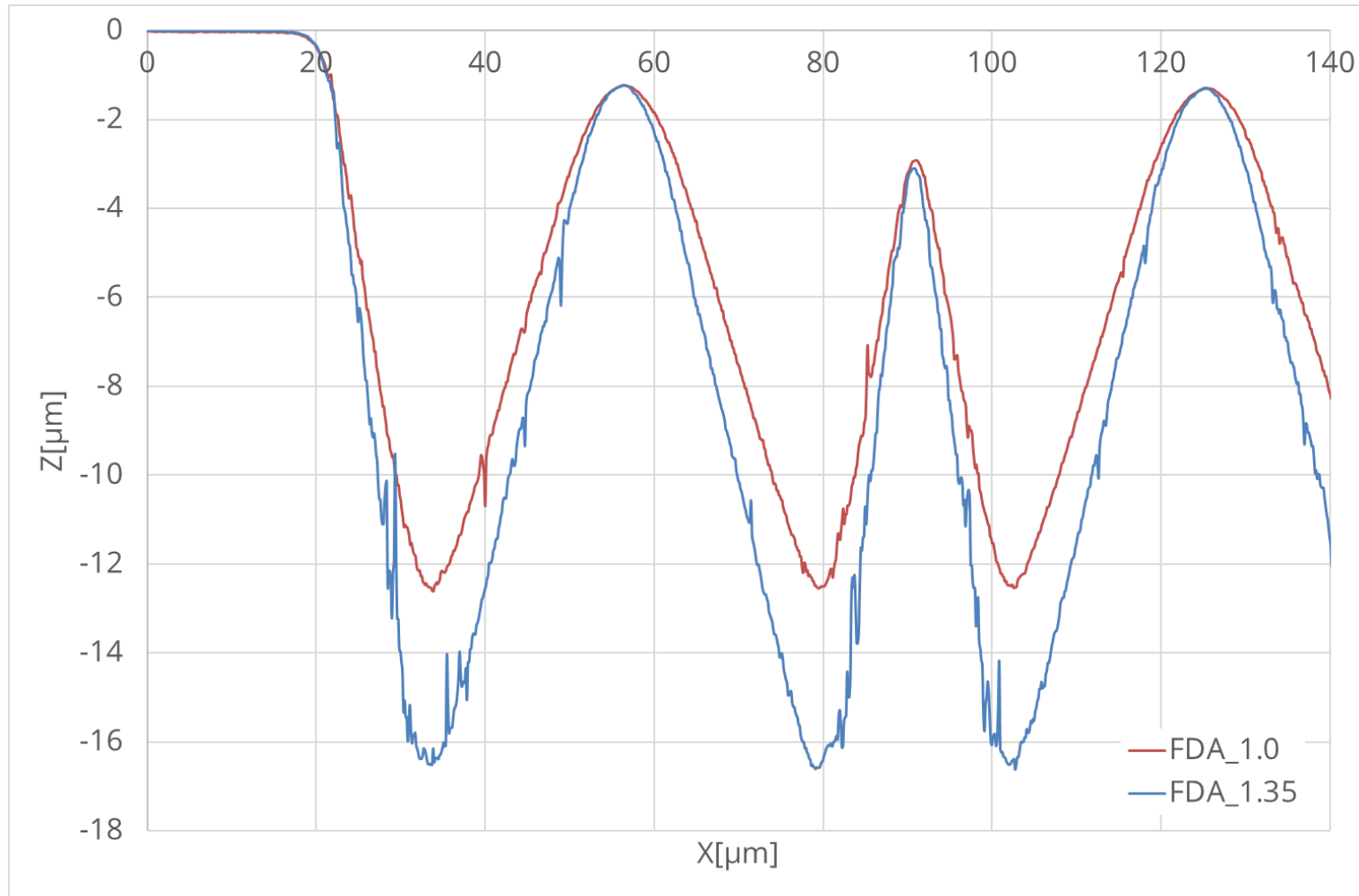
FDA処理後



露光結果(共焦点顕微鏡像)



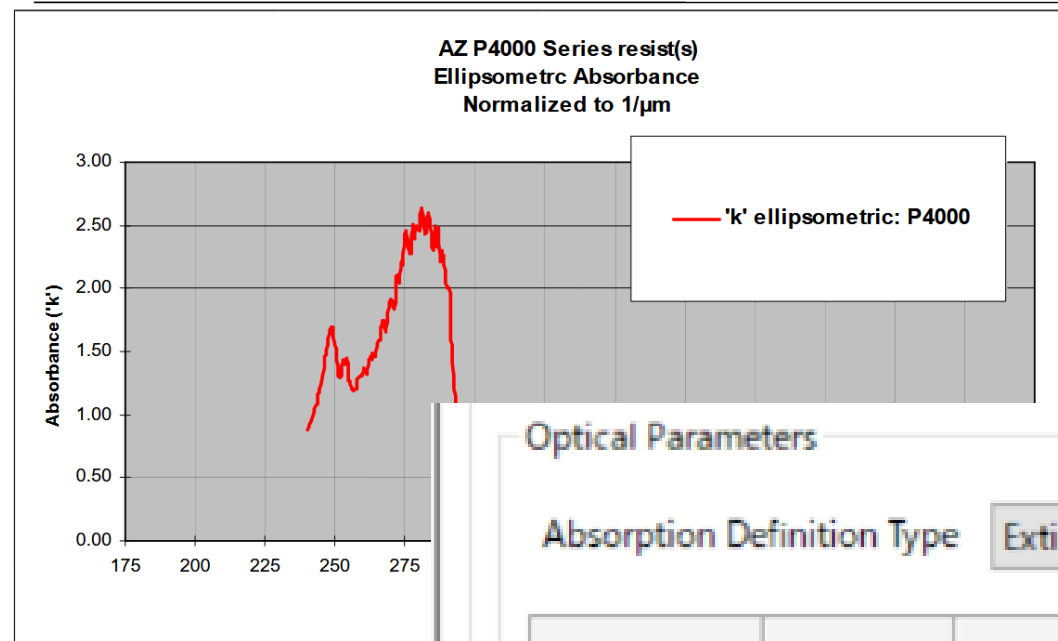
Doseの割当 - FDAを使用する場合



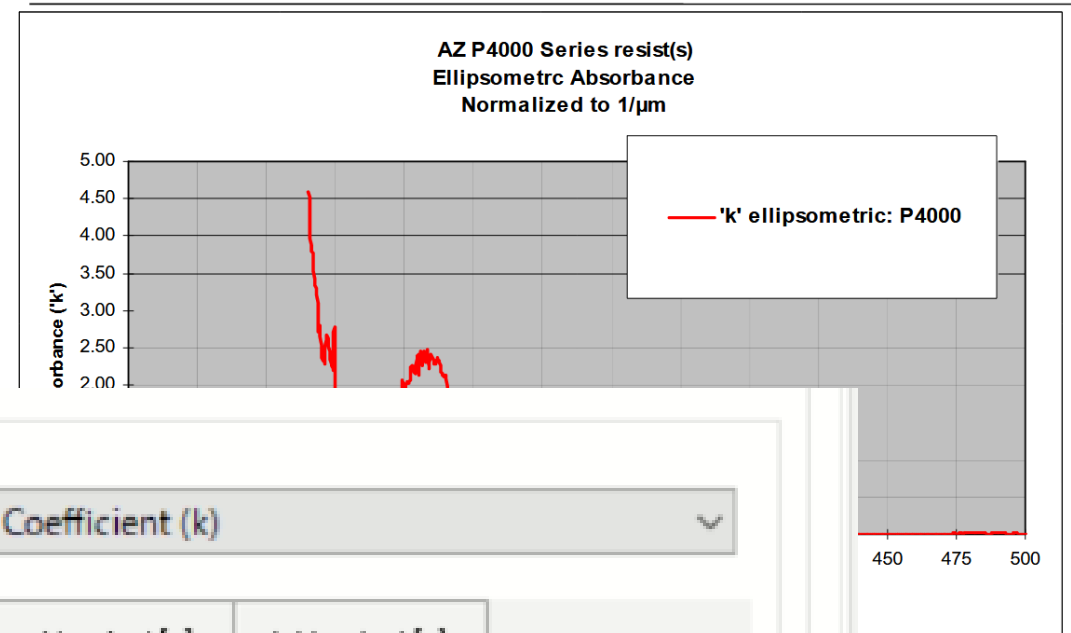
割り当てるDoseテーブルを補正することで、形状が補正できる

Doseの割当 - 3D Laser Surfaceを使用する場合

AZ[®] P4000 Unbleached Absorbance Curve



AZ[®] P4000 Bleached Absorbance Curve



Optical Parameters

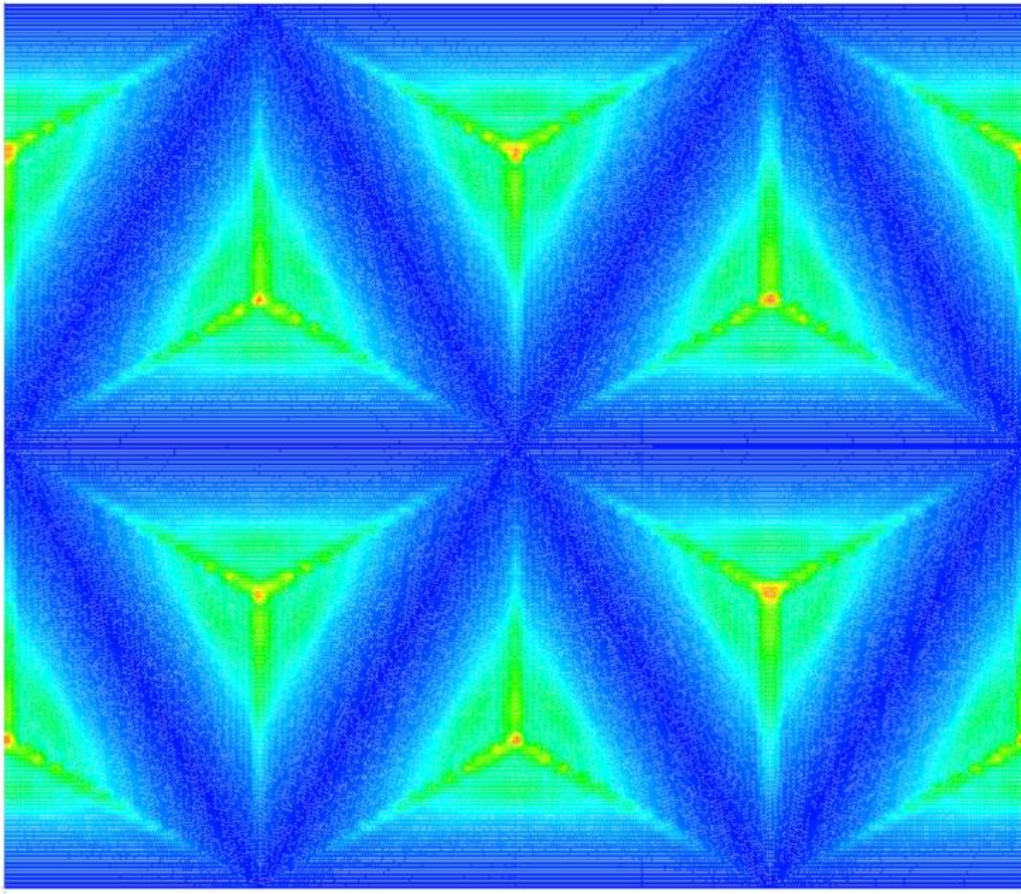
Absorption Definition Type Extinction Coefficient (k)

Wavelength [nm]	n unbleached	n bleached	k unbleached [-]	k bleached [-]
405	1.7	1.7	0.25	0.000000

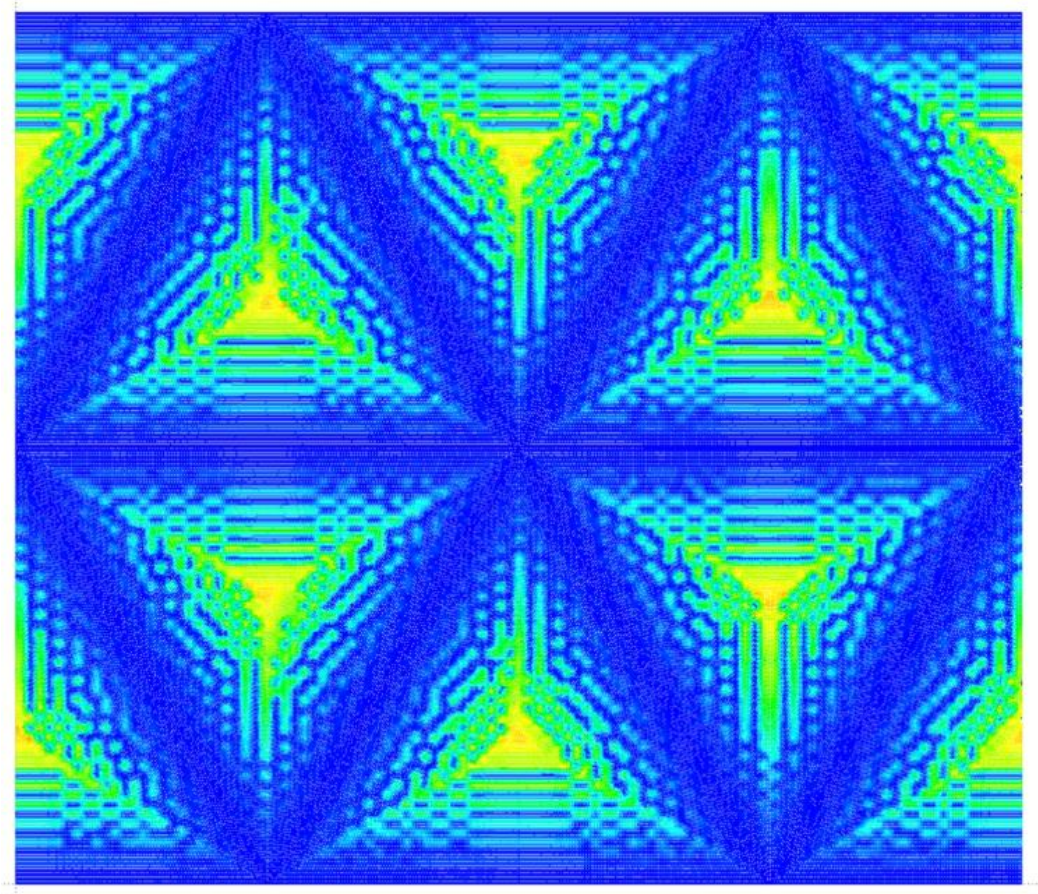
未露

レーザー描画装置の波長、屈折率、吸収係数を入力する

Doseの割当 - 3D Laser Surfaceを使用する場合



レジストの補正パラメータ無し



レジストの補正パラメータ有り

3D-Laser feedbackについて

Measurement Import Dialog

Cell A1 Position: Bottom Left

X Start [um]: 0 Y Start [um]: 0 Rotation angle [deg]: 0

X Grid [um]: 0.125 Y Grid [um]: 0.125 Z Offset [um]: 11.5 Import...

Measured Resist Height[um](after exposure with corrected pattern)

	A	B	C	D	E	F	
1	6.577689	6.482470	6.490574	6.599238	6.621892	6.630917	6.
2	6.505308	6.456501	6.416535	6.465894	6.493705	6.495915	6.
3	6.519490	6.474919	6.399038	6.436242	6.430164	6.396459	6.
4	6.401248	6.359256	6.349494	6.376200	6.332366	6.269378	6.
5	6.167712	6.138796	6.273982	6.312107	6.252065	6.194602	6.
6	6.047260	6.132350	6.199390	6.173790	6.121484	6.147637	6.
7	6.070282	6.108223	6.086858	6.058495	6.082806	6.145058	6.
8	5.949278	5.983904	5.930492	5.984088	6.085385	6.242672	6.
9	5.805620	5.809488	5.809488	5.855348	5.891078	5.919073	5.
10	5.465446	5.613708	5.713532	5.705612	5.674302	5.685353	5.
11	5.023974	5.435793	5.633415	5.578162	5.540037	5.522357	5.
12	5.500255	5.580004	5.593449	5.502650	5.473734	5.389933	5.
13	5.666567	5.610761	5.483495	5.464341	5.449423	5.336706	5.

Insert Row
Delete Row
Insert Column
Delete Column

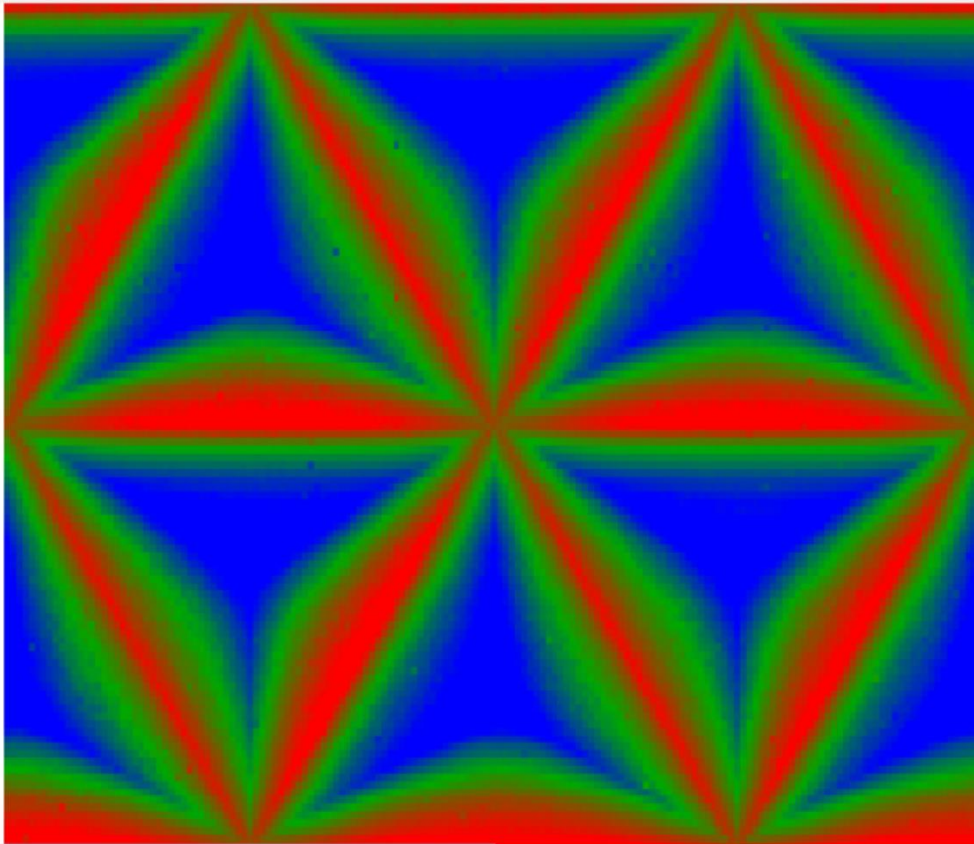
Root-Mean-Squared difference [um]: 2.28508

Design height [um]: 5.93 — 22.43

Design/Measurement deviation [um]: -3.3 — 3.3

OK Cancel Help

90 or 45 degree



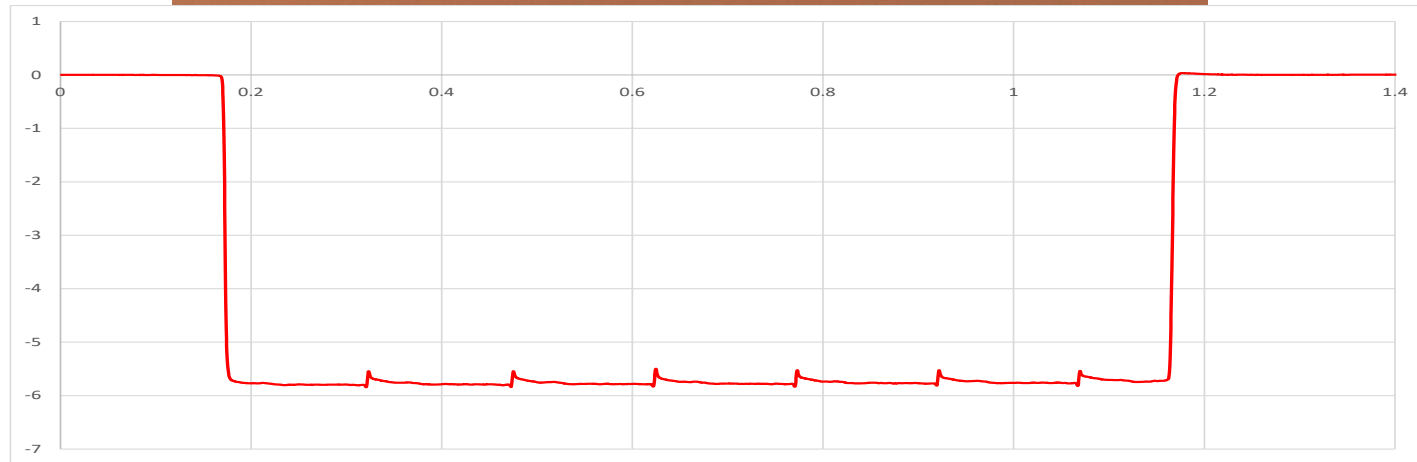
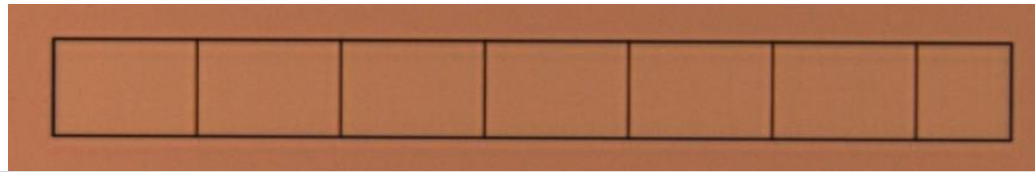
Mouse position (Layout Origin) [um]: 38.1108,9.6583 View Area [um]: -6.188, 0.000; 86.145, 69.411

データ準備以外の注意点

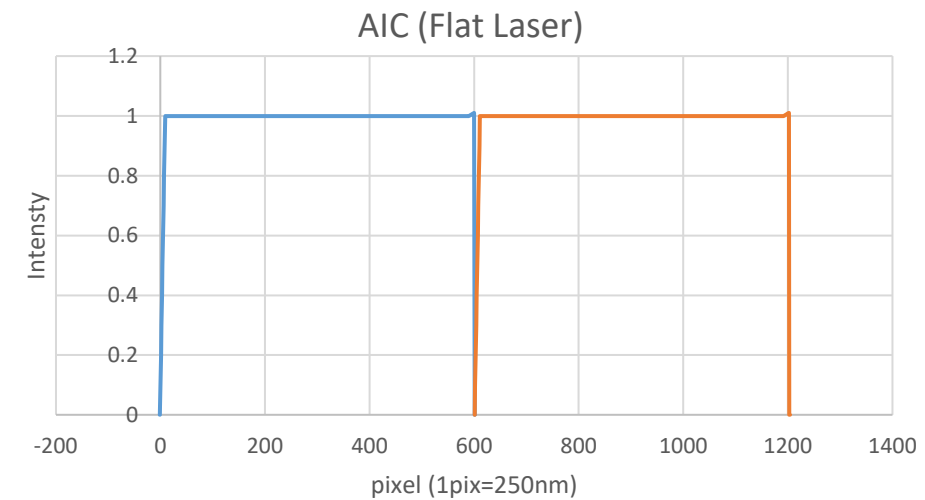
スキャン継ぎ目の問題

DWLシリーズでは、150um幅(5mmレンズの場合)でレーザー光をスキャン
→ステージを150um移動→再度スキャンを繰り返している。
そのため、露光したレジストに150um間隔でレーザーの継目によるムラが生じる。

幅1mmの長方形の溝を描画したレジストの光学顕微鏡写真
150um毎に継目の跡が見える



段差測定結果
150um(600pix)毎に、
0.3um程度の段差が生じている



2スキャン分のレーザー強度分布イメージ
理想的な強度分布は現実的に難しいため
重ね合わせ部で強度のずれが生じる。

N-Overについて

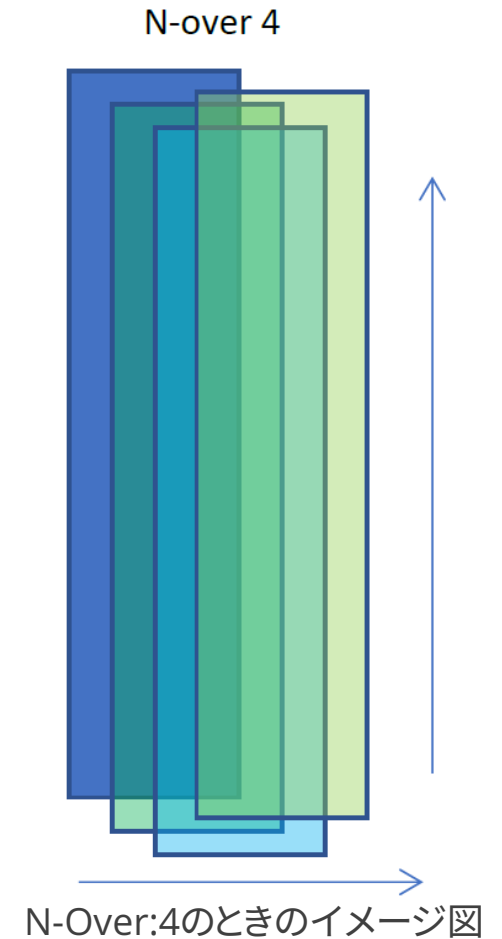
DWLの機能として、レーザーの継目の影響を緩和するためにN-Over機能がある。

右図にN-Over:4の場合の照射部のイメージ図を示す。

x幅150umの描画をした後、描画幅の1/4である37.5umステージを移動させ、2回目の描画を行っている。

描画領域が重なっているため、レーザーの継目の影響がでづらい。

1つの箇所に対して4回描画しているため、描画時間が4倍になるデメリットがある。
(同じ強度で描画する場合、4倍の露光量になる点も注意)

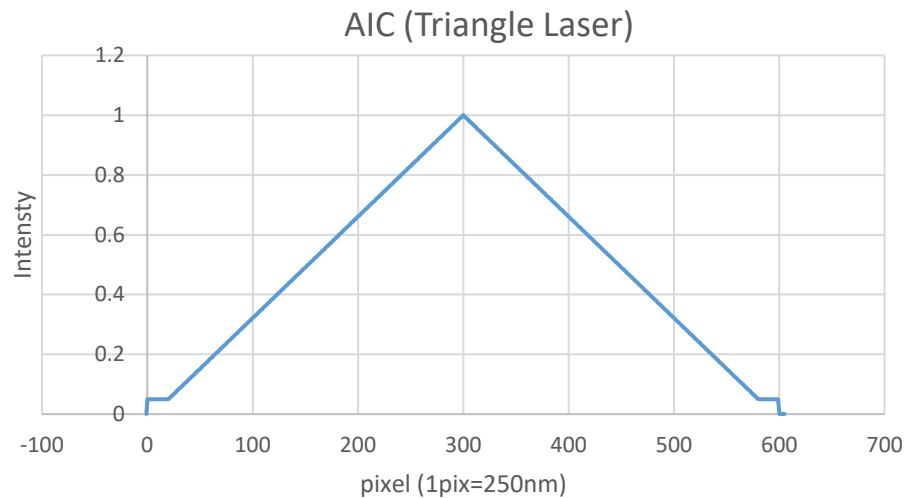


CI-Overについて

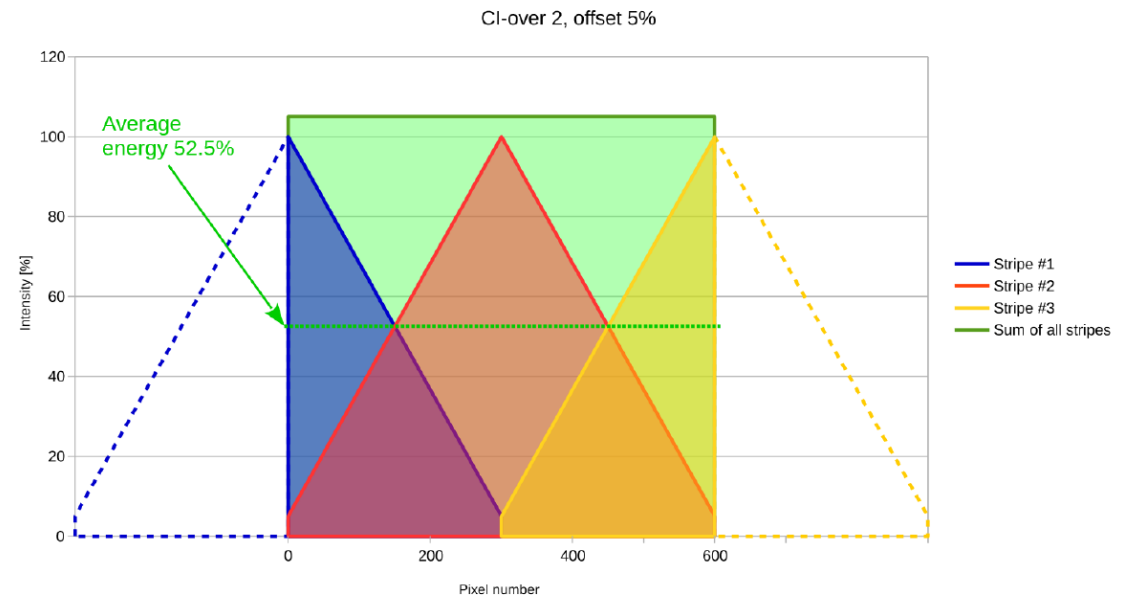
レーザーの継目の影響を緩和する機能として、N-Overより効果の高いCI-Over機能がある。(Controlled Intensity Overlap)

レーザーの強度分布を三角形状にすることで、N-Overより継目の影響が少なくなる。

デメリットとしては、強度分布をフィールド外側に行くほど落としているため描画深さが浅くなる。
(N-Over同等の深さまで掘るために、描画回数を2倍にする必要がある)



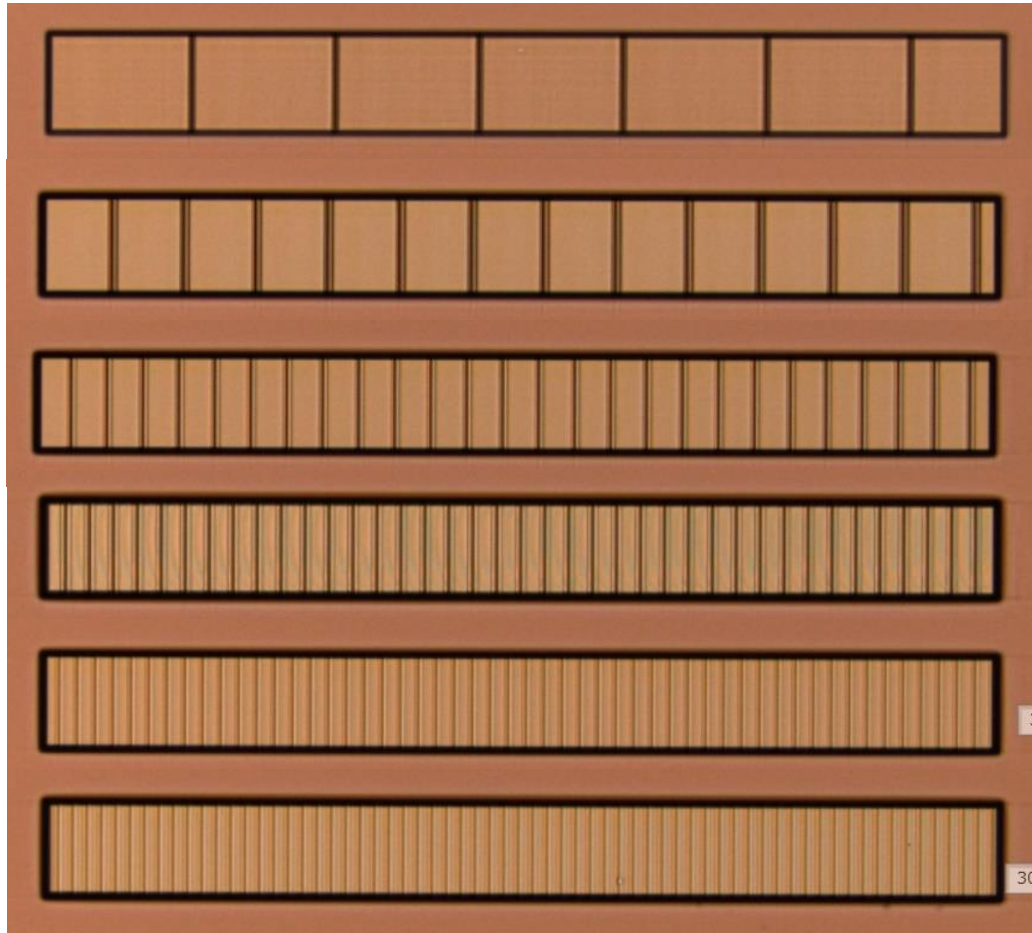
CI-Over機能使用時のレーザー強度分布



CI-Over:2のときのイメージ図

N-Over,CI-Over継目写真

N-Over,CI-Overを使用して長方形状を描画したレジストの写真は下記となる。
重ね回数が多いほど継目ムラのピッチが小さくなり、段差も小さくなる。
N-OverよりCI-Overのほうが継目ムらは小さい。



N-Over比較

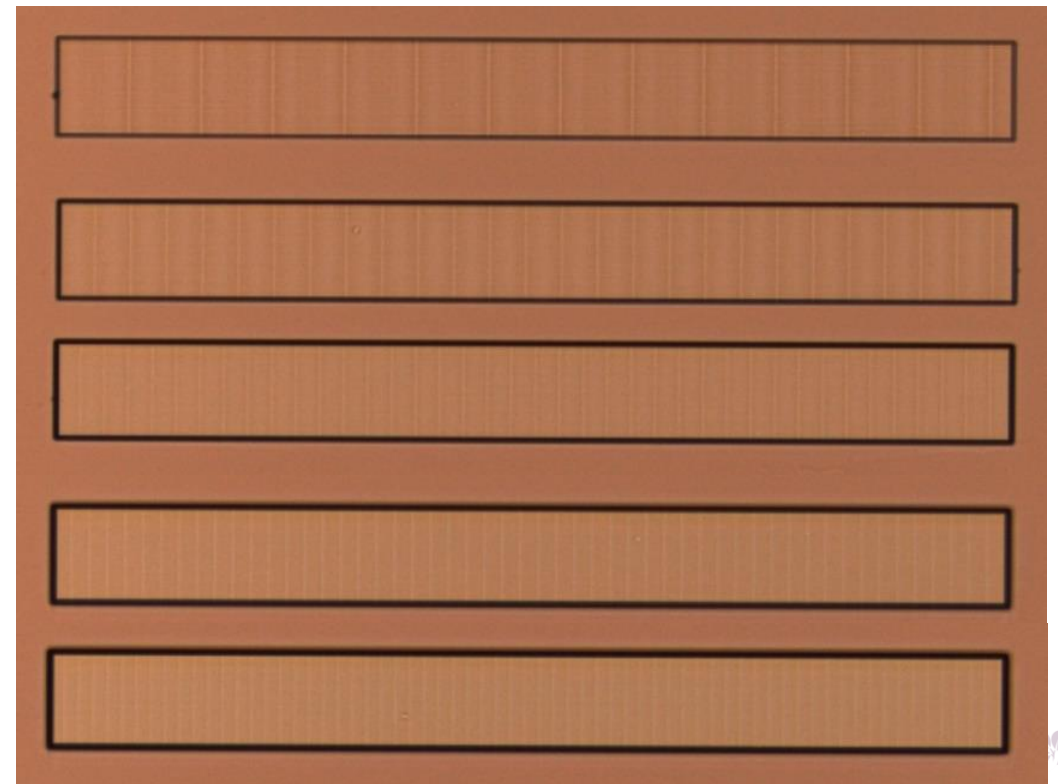
2

4

6

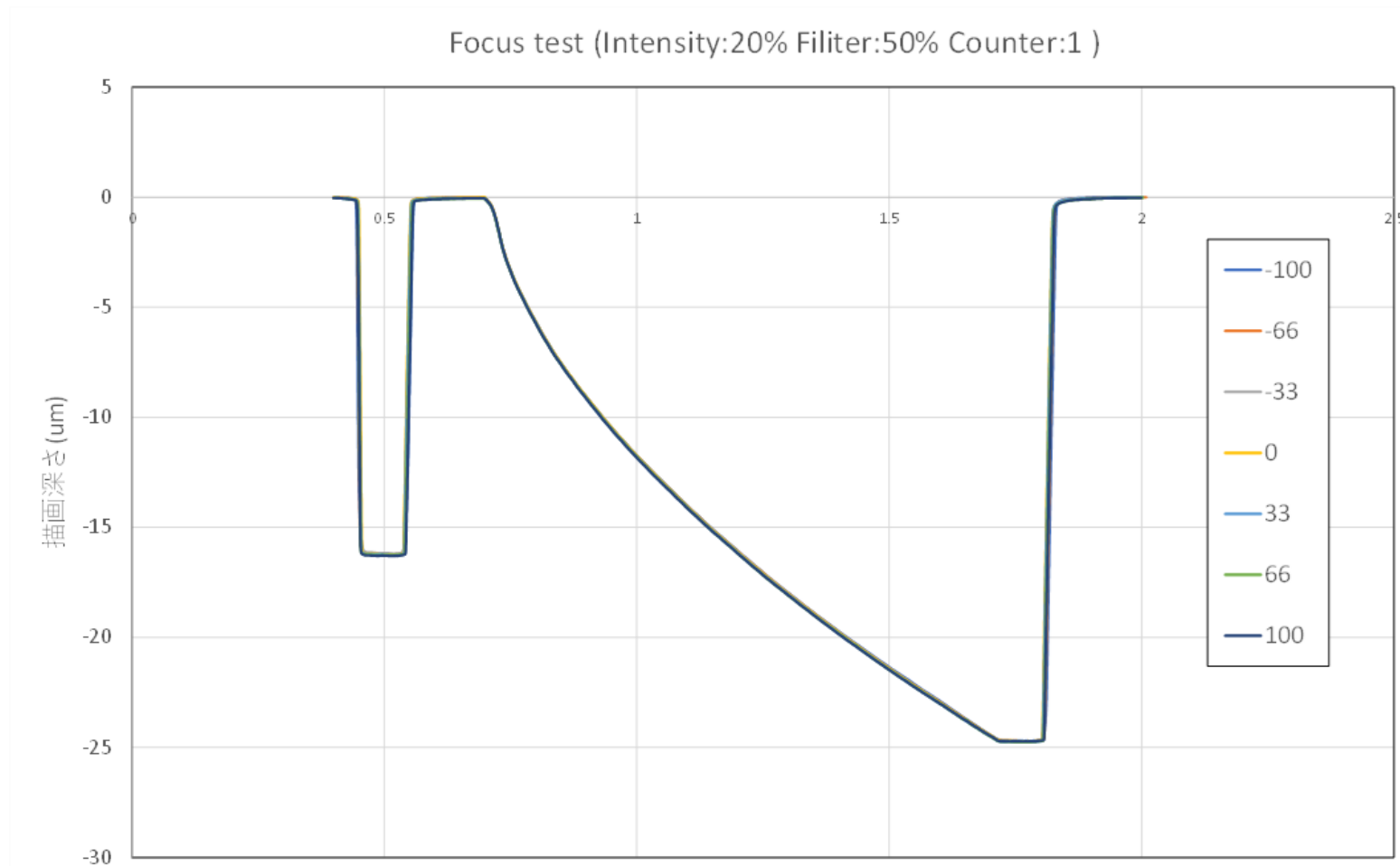
8

10



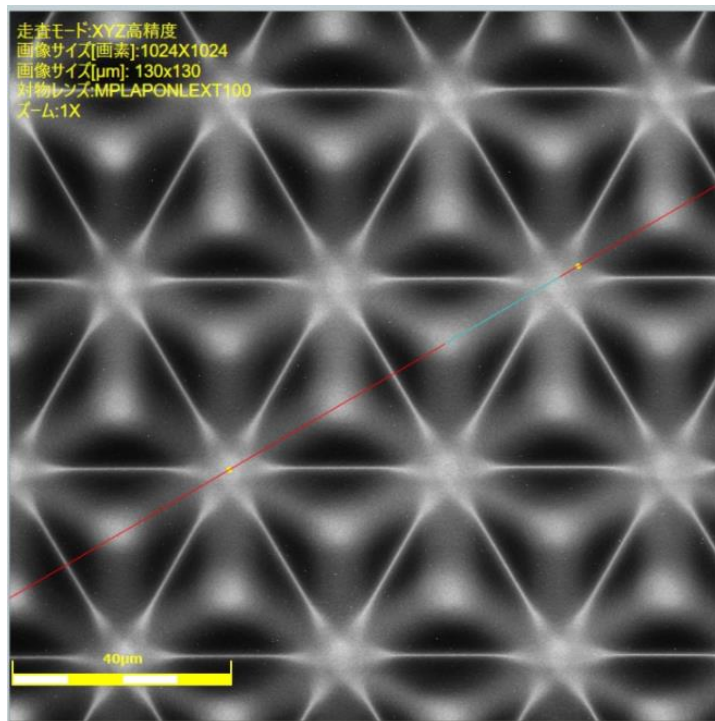
CI-Over比較

フォーカス値による描画結果の違い

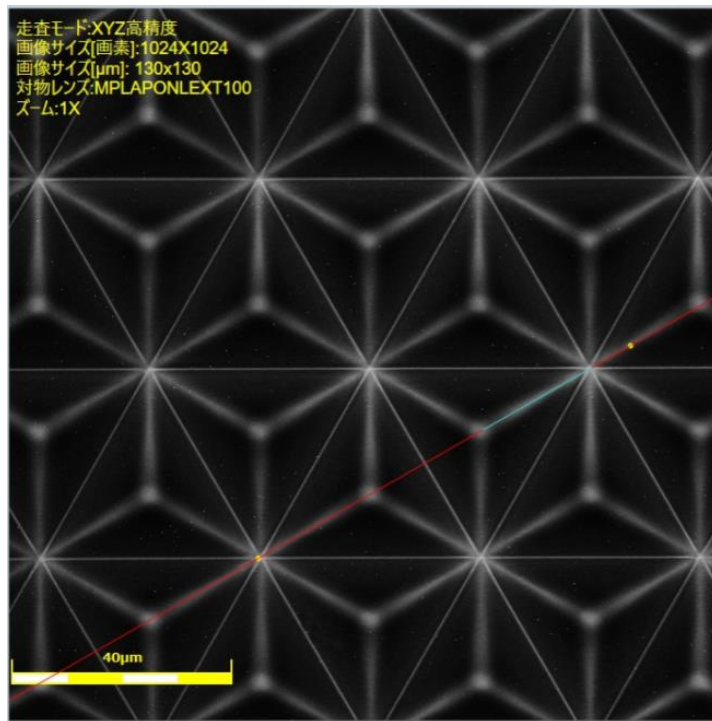


コントラストカーブの描画結果は、フォーカス値では変化しない

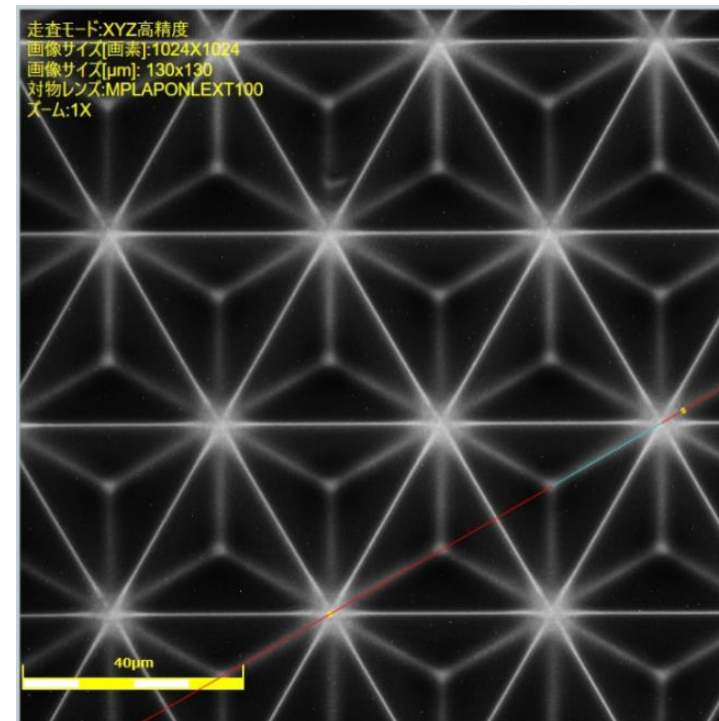
フォーカス値による描画結果の違い



Focus: 0



Focus: -50



Focus: -100

しかし、実際の描画結果はフォーカスの値によって大きく変化する