

課題番号：1909081S

B L 番号：BL09

(様式第 5 号)

実施課題名

LIGA 微細加工による X 線画像診断システムの

角度分散式 Air-Grid マイクロメッシュ製作の技術開発 (II)

Technical development of the angular-dispersive Air-Grid micro-mesh

for the X-ray examining system by the LIGA micro-machining(II)

日高昌則^{1, 2}、野上大史¹、常葉信生²、大石 明広²、小林 和矢²、横尾侑典²

田中 延和³、杜下 淳次³、

M.Hidaka, H.Nogami, N.Tokiwa, A. Oishi, K.Kobayasi, U.Yokoo,

N.Tanaka, J.Morishita,

1;九州大学大学院工学研究院 機械工学部門、2;田口電機工業 技術課、

3;九州大学大学院医学研究院・保健学部門

1; Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, Kyushu University, 2; Technical Section, Taguchi Plating Industry, Co. Ltd, 3; Department of Health Sciences, Faculty of Medical Sciences, Kyushu University.

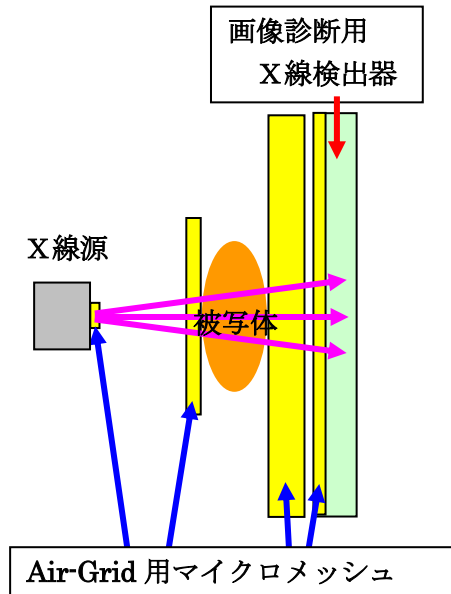
1. 概要

本研究は、シンクロtron光・高輝度 X 線および高出力紫外線を利用する微細加工技法(SL-LIGA、UV-LIGA)を使用して、X 線画像診断装置に装備する医療用グリッド・Air-Grid マイクロメッシュ (M-AGM) 製作に関する技術開発である。M-AGM は被写体への照射 X 線の空気散乱および被写体からの 2 次散乱 X 線による診断画像の低画質化を抑制するので、X 線画像診断における被写体の被ばく線量は M-AGM でかなり減少される。M-AGM に描画されるマイクロパターンは、高いアスペクト比をもつ Au 製部で作製される。本実験では、4 種類の M-AGM を作製するために、直入射式と角度分散式による露光実験を行った。特に、SL-LIGA における高輝度 X 線のビームサイズと露光・現像条件との相関を調べた。

In the present investigations, the technical development of medical grid, Air-Grid micro-meshes (M-AGM), which are used at the X-ray imaging system, were carried out with the LIGA micro-machining by using the high-bright X-rays emitted from synchrotron radiations (SL-LIGA) and the high-power ultraviolet rays (UV-LIGA). Since the M-AGM controls the air-scattering of the incident X-rays and the secondary X-rays scattered by the object, the exposure dose of the object is considerably reduced with the M-AGM for the X-ray imaging system. The M-AGM micro-patters are made by the periodic Au-network having a highly aspect-ratio. At the present experiments, two kinds of irradiation methods to be direct and angular-dispersive were used for the high-bright X-ray beams. Especially, the correlation between the beam-size of the incident X-ray beams and the conditions of the exposure- and develop-time was studied at the SL-LIGA processing.

2. 背景と目的

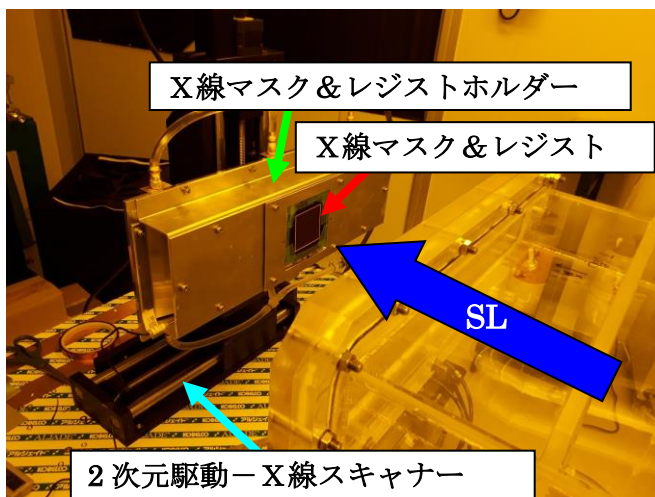
田口電機工業と九州大学大学院・理学研究院物理部門は、平成21～23年度に国の支援を受けて、LIGA 微細加工（UV-LIGA、SL-LIGA）に使用する各種の関連装置系を整備し、本格的な微細加工の技術開発研究を実施した。これまで国内外のシンクロtron光研究施設を利用して、シンクロtron光からの高輝度X線を使用した深刻X線リソグラフィによる SL-LIGA の技術開発を実施してきた。



これらの各種のマイクロパーツの試作研究で、Air-Grid用マイクロメッシュ製作の技術開発も行なってきた。平成28年度から平成30年度には、産業技術総合研究所・つくばセンターと田口電機工業は、食品異物混入のX線検査装置に利用する位相コントラストX線検査システムの共同技術開発を実施した。この研究では、マイクロパターン配列のX線回折格子を試作した。なお、SL-LIGAに関する露光実験は、ポハン加速器研究所（PAL・韓国）のシンクロtron光研究施設（PLS）と佐賀LSで実施した。本研究の医療用 Air-Grid用マイクロメッシュ（M-AGM）試作は、これらの技術開発に基づいている。M-AGM は4種類があり、直入射式と角度分散式に分けられる。M-AGM は被写体への照射X線の空気散乱および被写体からの2次散乱X線の影響を低下させる。従って、X線画像診断における高画質化が向上して、照射被写体の被ばく線量を抑制することが可能である。

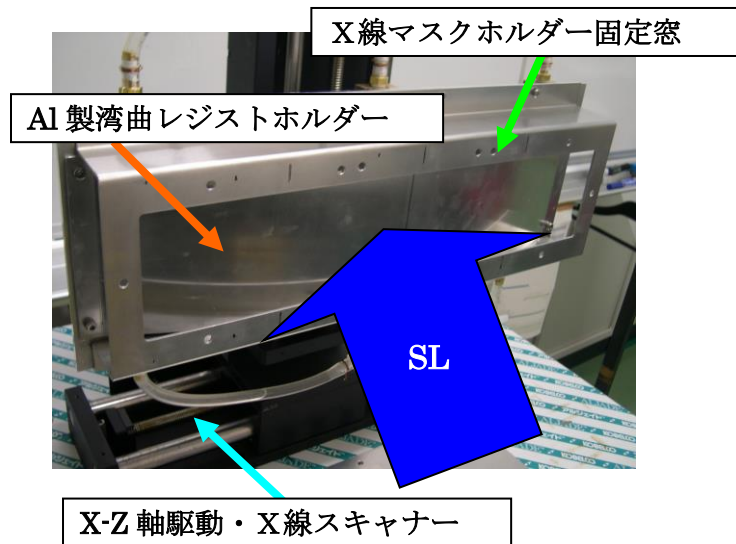
3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

本研究では、高輝度X線による露光実験に使用するX線フォトマスクを製作して、医療用 Air-Grid用マイクロメッシュ（M-AGM）の試作を行なった。これらのX線フォトマスクは、正形状、ハニカム状およびライン状のマイクロパターン配列をもつ。X線フォトマスクに描画されたマイクロパターンは、UV-LIGAにより作製された。上図の黄色部で示された4種類の M-AGM を作製するために、直入射式と角度分散式による露光実験を行った。佐賀LS・BL09 ビームラインの実験エリアでは、自作の簡易型実験ステージを仮設して、各種の露光実験を行った。左図は直入射式の実験装置を示す。

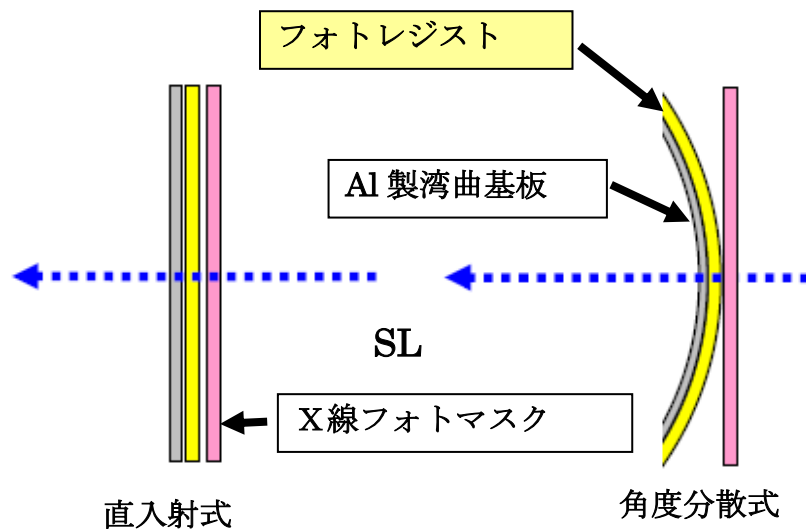


直入射式では、BL09 ビームラインでの水平方向でのビームサイズは、約 200mm である。高輝度X線によるX線マスク、フォトリソの温度上昇を抑えるために、これらを固定している Al 製基板ホルダーは、水冷式自動温度制御器の基板に設置されて、露光実験中には約 20°C で制御されている。また、垂直方向のビームサイズは実験エリアで約 2mm であるので、2次元駆動するX線スキャナーに搭載された Al 製基板ホルダーは、露光中には上下方向に反復運動を行う。

下図には、角度分散式の簡易型実験装置が示されている。角度分散式では、上図で示されたX線マスク&レジストホルダーの前窓にセットしている Al 製薄板が取り除かれて、背後にある Al 製湾曲基板上にフォトリソが固定される。X線フォトマスクは、窓をもつ別の Al 製平板上に固定されて、X線マスク&レジストホルダーの前面の固定窓にセットされる。BL09 ビームラインでは、水平方向ビームサイズは、約 100~400mm 領域が選択できる。従って、本研究のX線画像診断装置に装備される各種の Air-Grid マイクロメッシュ試作に極めて有効である。



下図は、直入射式と角度分散式の露光実験におけるフォトレジスト基板ホルダーとX線フォトマスク、高輝度X線の入射方向の概念図を表す。上図の様に、角度分散式では、フォトレジストはAl製薄板の湾曲基板ホルダー表面に、X線フォトマスクはX線マスクホルダーの固定窓にセットされる。ただし、上図の様に、角度分散式の実験では、この基板ホルダーの湾曲面は水平面内にあり、X線マスク&レジストホルダーはZ軸方向に反復駆動を行う。X線画像診断装置に設置されている小さなX線窓から放出される照射X線は、指向性のある角度分散をもって被写体およびX線検出器に入射する。通常、このX線窓と被写体との距離は約50~100cmである。本研究では、曲率半径60cmの角度分散特性に対応する湾曲フォトレジストを搭載するAl製湾曲レジストホルダーを作製した。



なお、X線フォトマスクの作製、転写フォトレジスト・シートのLIGA処理工程(現像、めっき etc.)、マイクロソープ、レーザー顕微鏡、走査電子顕微鏡 (SEM) による画像解析は、田口電機工業で行なった。

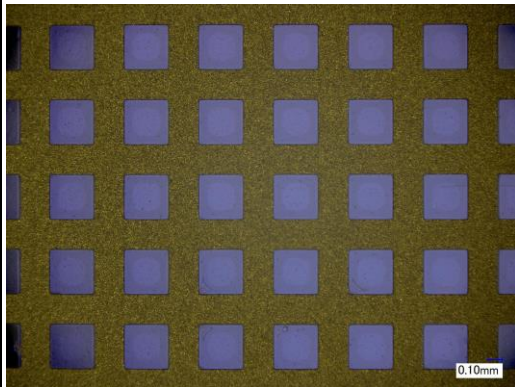
4. 実験結果と考察

国内外のシンクロトロン光研究施設において実施されているLIGA微細加工 (SL-LIGA) の技術開発研究では、X線フォトマスクおよびこのマスクパターンを転写するフォトレジスト作製 (厚さ; 約50~300 μm) が大きな課題になっている。LIGA技法は、半導体部品製造に利用されてきているMEMS微細加工と異なる。これまでに九州大学と田口電機工業と実施してきた共同の技術開発研究において、各種のフォトレジスト素材を調べてきた。数年間に渡る予備実験を経て、最終的に、MEMSに利用されているフォトレジスト溶媒から作製されたフォトレジスト・シートとドライフィルム状のフォトレジスト (DFレジスト) を使用することを決めた。上述した4種類のM-AGMを試作する

ために、直入射式と角度分散式による露光実験を行った。本実験に使用したビームサイズ（垂直方向、水平方向）は、直入射式では（2mm、200mm）、角度分散式では（2mm、400mm）である。

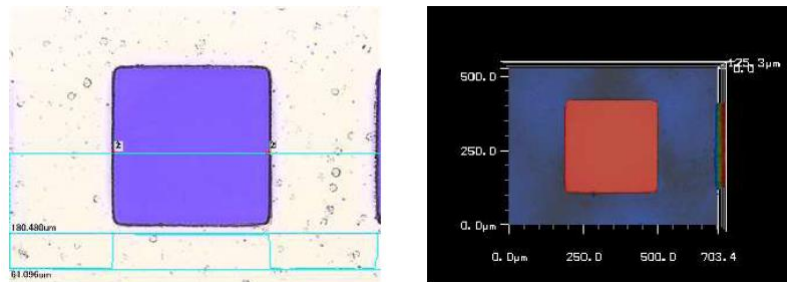
4-1. 直入射式による露光実験

本研究では、正方形およびハニカム状のマイクロパターン配列をもつX線フォトマスクを使用して露光実験を行った。これらのX線フォトマスクのマイクロパターン配列は、UVフォトマスクに描画されたマイクロパターン配列がUV-LIGAによりDFレジストに転写された。

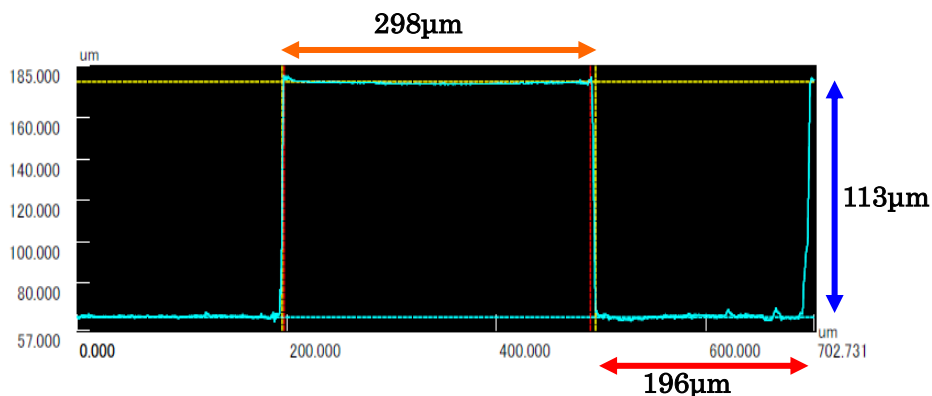


左図は正方形のマイクロ細孔配列を持つX線フォトマスクの通常のマイクロスコープ撮像を示し、PMMA製細孔のサイズは300 x 300 μm で、Au製部は壁幅；約200 μm 、高さ；約30 μm である。このX線マスクを使用して、上図左側の直入射式での露光実験を行った。高輝度X線の総露光量は60 mAh、現像時間は5minであった。アスペクト比の大きなマイクロ細孔内での現像効率を高めるために、本実験では市販の加圧シャワー方式（0.3MPa）の現像装置を使用した。本実験に使用したビームサイズは、垂直方向では約2mm、水平方向では約200mmである。

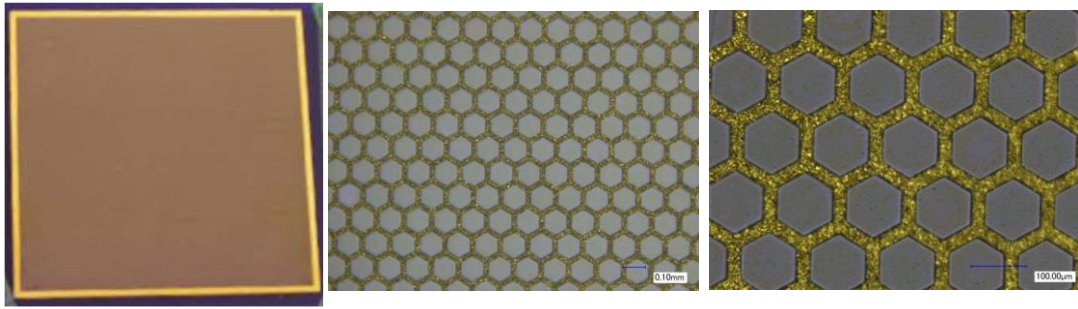
下図は、露光・現像後の正方形 Air-Grid マイクロメッシュのレーザー顕微鏡によるマイクロスコープ撮像（レーザー・マイクロスコープ撮像）を示す。露光用フォトレジストはDFレジスト（厚さ；112 μm ）である。左側が2次元、右側が3次元の拡大撮像である。



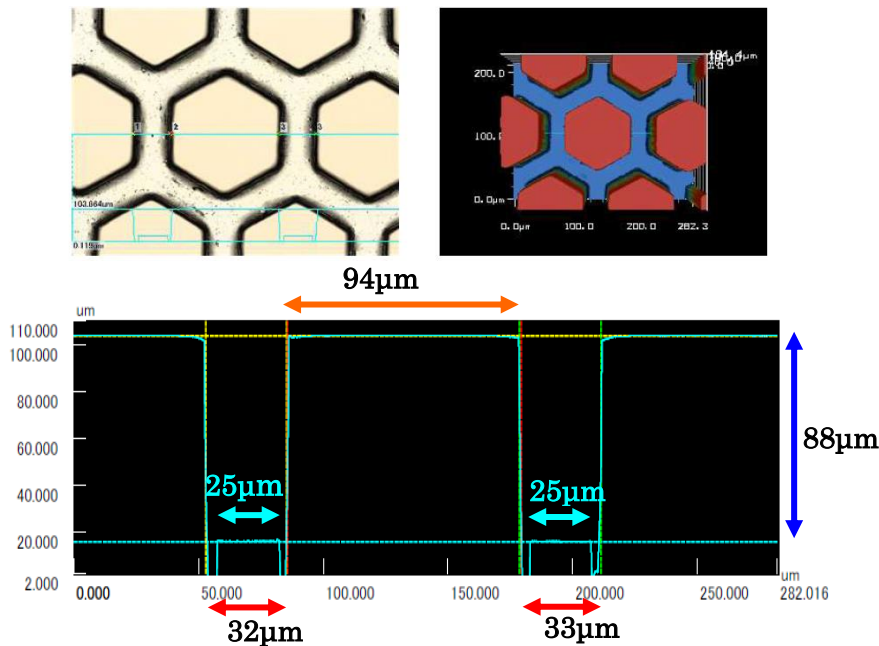
この2次元撮像において、青色部はPMMA製の正方形柱で、この中央部を横断する青線はレーザー光のスキャン方向を表示している。下図には、このレーザー顕微鏡によるレーザー解析（レーザー解析）が示されている。従って、PMMA製柱のサイズは幅；約300 μm 、細孔；約200 μm 、高さ；113 μm である。従って、本X線画像診断装置に使用するAir-Gridマイクロメッシュの試作研究で使用するAu製部の高さは約60~80 μm であるので、Auめっきは可能である。



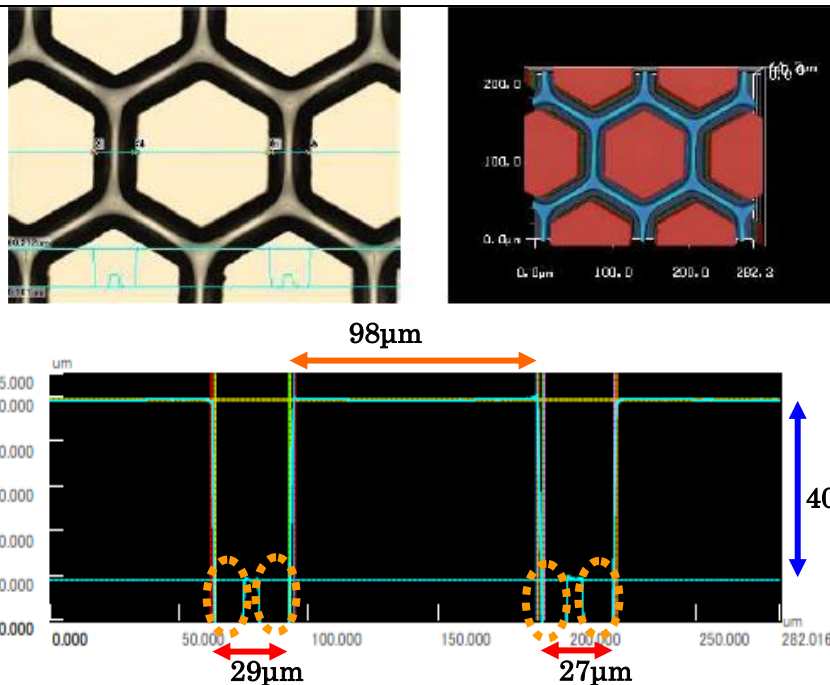
下図は、11月の露光実験用に作製されたハニカム状マイクロ細孔配列を持つX線フォトマスクのマイクロスコープ撮像を示す。X線フォトマスクのハニカム状マイクロパターン配列の構造仕様は、PMMA製六角柱の対側面間は約100 μm で、Au製部の壁幅は約24 μm である。Au製部の高さは約27 μm である。これらのマイクロパターンは、左側の矩形の外形サイズ；50x50mm領域に細密配列で描画されている（ハニカム状X線フォトマスク）。このX線フォトマスクは、後述する角度分散式の露光実験でも使用された。



下図上段は、上図のX線フォトマスクのハニカム状マイクロパターンが転写・現像されたフォトレジスト・シートへのレーザー・マイクロSCOPE撮像を示す。高輝度X線の総露光量は 100 mAh、現像時間は 10min であった。アスペクト比の大きなマイクロ細孔内での現像効率を高めるために、本実験では市販の加圧シャワー方式 (0.3MPa) の現像装置を使用した。上段左側が2次元、右側が3次元の拡大撮像である。これらの六角柱配列は PMMA 製であり、左側の隣接する六角柱の中央部を横断する青線はレーザー光のスキャン方向を示す。下段には、このレーザー解析結果が示されている。PMMA 製六角柱の対側面間は約 94 μm で、細孔幅は約 32 μm である。ただし、細孔底部 (レジスト基板面) の幅は約 25 μm である。上図・左側のマイクロSCOPE撮像 (黒・灰色部) が示唆するように、この細孔の対側面間と底部との幅の違いは、側面が僅かに傾斜していることによる。下図の細孔底部において、側壁近傍では、反射レーザー光は顕微鏡の対物レンズに再入射していないことで確認される。なお、使用したフォトレジスト・シート膜厚は、露光前では約 104 μm 、露光・現像後では約 88 μm であった。従って、本X線画像診断装置に使用する Air-Grid マイクロメッシュの試作研究使用する高さ ; 約 60~80 μm であるので、Au 製部のめっきは可能である。



しかし、上記と同じハニカム状X線フォトマスクを使用して11月に露光実験を行ったが、本実験とは異なる転写結果であった。下図は、上図の露光・現像済フォトレジストの転写マイクロパターンのレーザー・マイクロSCOPE (上段) とレーザー解析 (下段) を示す。露光・総電流量は 93 mAh、現像時間は 40min である。現像装置は、手製カム方式の攪拌駆動部をもつ。上段の2、3次元図では、六角柱間の細孔底部の中央付近では、一様な深さに現像されている。レーザー解析では、六角柱の側壁間距離は約 100 μm 、隣接六角柱間の細孔幅は約 28 μm である。従って、UV フォトマスクのマイクロパターン配列は、かなり精度よく転写されている。しかし、使用したフォトレジスト・シートの厚さ ; 95 μm を考慮すると、細孔内には約 55 μm のフォトレジストが残留している。また、細孔底部付近の両側壁 (点線楕円部) では、側壁表面からの反射レーザー光が観測されていない。この事象は、細孔側壁が大きく傾斜していることを示唆する。従って、細孔底部の中央付近からのみ、反射レーザー光はレーザー顕微鏡の対物レンズに入射している。



本実験と11月実験とのフォトレジストの転写マイクロパターンに関する相違は、BL09 ビームラインの光学系から生じていると推測する。高輝度X線ビームサイズ（垂直方向、水平方向）は、11月に行なった直入射式の露光実験では（10mm、400mm）、本実験の直入射式では（2mm、200mm）であった。佐賀LSのBL09のエミッタンスは、垂直方向では0.17mrad、水平方向では横8.3mradである。水平方向での大きなエミッタンスは、ビームライン上流に設置されている光取り出し窓から放出されるシンクロトン光の輝度に影響する。従って、11月実験で使用したX線フォトマスクでは、照射X線の一部がAu製部を透過していることが考えられる。しかし、後述する様に、医療用Air-Grid用マイクロメッシュ（M-AGM）の試作研究には、400mmの水平方向ビームサイズは極めて有効である。

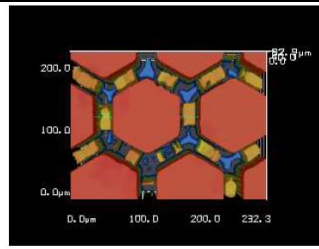
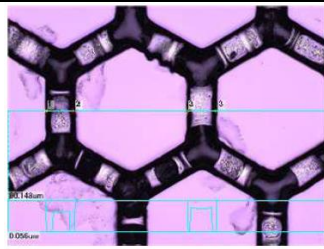
4-2. 角度分散式による露光実験

角度分散式の露光実験では、直入射式の露光実験で使用したハニカム状のマイクロ細孔配列を持つX線フォトマスクを使用する（1）湾曲ハニカム型 Air-Grid マイクロメッシュと、ライン状のマイクロ細孔配列を持つX線フォトマスクを使用する（2）湾曲ライン型 Air-Grid マイクロメッシュとの試作研究を行った。本実験で使用したビームサイズは、垂直方向では約2mm、水平方向では約400mmである。

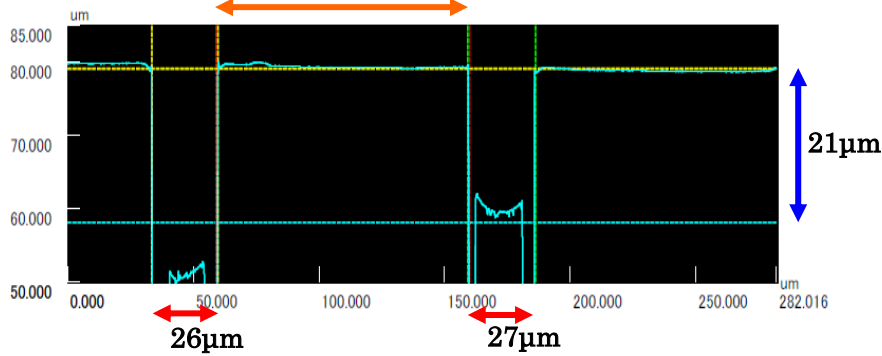
4-2-1. 湾曲ハニカム型 Air-Grid マイクロメッシュ

本露光実験では、上述した直入射実験で使用されたハニカム状X線フォトマスク（矩形外形サイズ；50x50mm）のX線フォトマスクが使用された。このX線フォトマスクのPMMA製六角柱の対側面間は約100µmで、Au製部は壁幅；約24µm、高さ；約27µmである。角度分散式の露光実験では以下の方法を使用した。湾曲DFレジストの高角領域までX線フォトマスクのマイクロパターンを転写するために、同一DFレジストの中央領域と高角領域とに2分割して多重露光実験を行なった。ただし、両領域でのデータ解析の連続性を保つために、両領域の一部（前者は高角側、後者は低角側）を重ねて転写した。それぞれの露光実験で、高輝度X線の総露光量は60mAh、現像時間は10minであった。本実験では市販の加圧シャワー方式（0.3MPa）の現像装置を使用した。

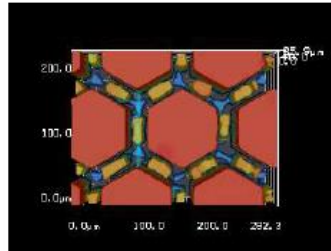
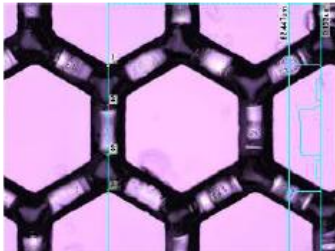
下図は、DFレジスト中央領域での高輝度X線の中心部で得られたAir-Gridマイクロメッシュのレーザー解析結果を示す。実験には、DFレジスト（厚さ；112µm）が使用された。上段はレーザー・マイクロスコープ撮像で、左側が2次元、右側が3次元のマイクロパターン配列を示す。これらの六角柱配列はPMMA製であり、隣接する六角柱の中央部を横断する青線はレーザー光のスキャン方向を表示している。下段には、このレーザー解析結果が示されている。従って、PMMA製六角柱の対側面間は約100µmで、細孔幅は約27µmである。しかし、これらの細孔深さは場所により大きく異なる（約20~30µm）。直入射式の実験で述べている様に、使用したDFレジストは高輝度の露光X線により膜厚変化を示さない（ Δ =約±1µm）。従って、細孔内には、高さの異なるDFレジストが残留していることが確認される。



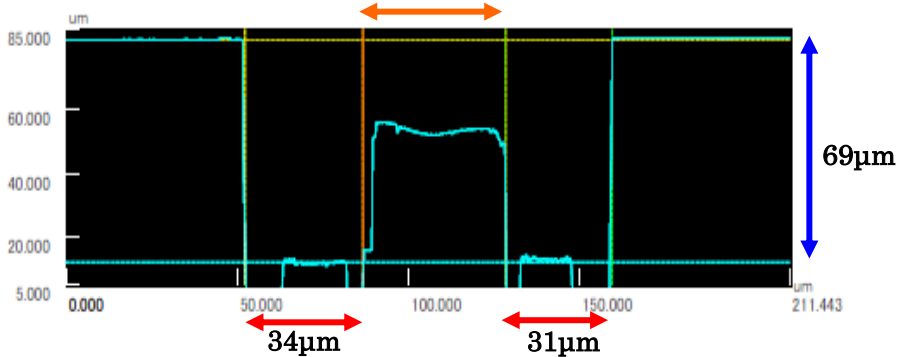
101μm



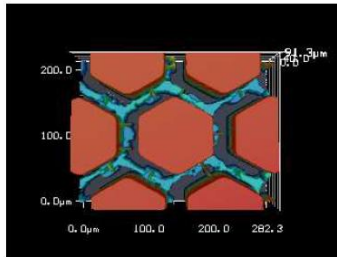
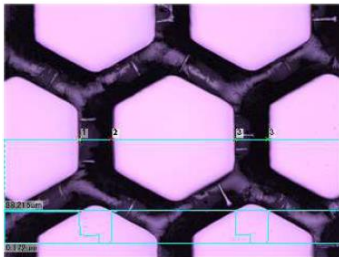
この様な残留レジストの状況を調べる為に、顕微鏡撮影で表示された細孔に添ってレーザー光をスキャンした。下図はこのレーザー解析結果を示す。下段のレーザー解析では、これらの細孔深さは、中央部で約 $30\mu\text{m}$ 、隣接する六角柱間で形成される細孔交叉部（上段・右側の青色部）では約 $70\mu\text{m}$ である。従って、細孔内部にはかなりの高さの残留フォトレジストが観測される。



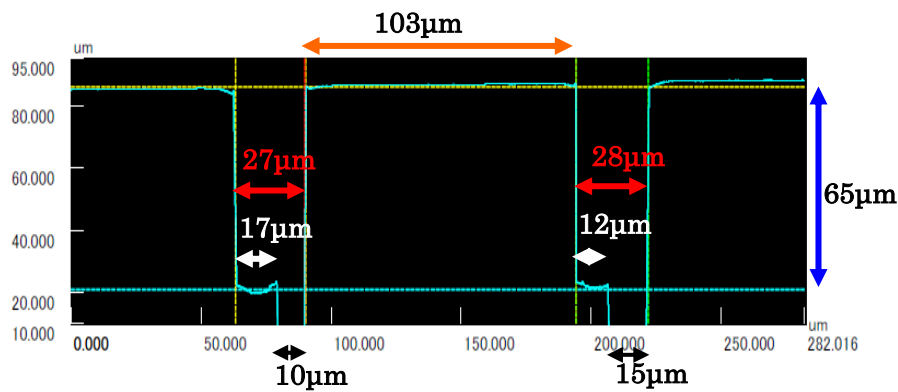
42μm



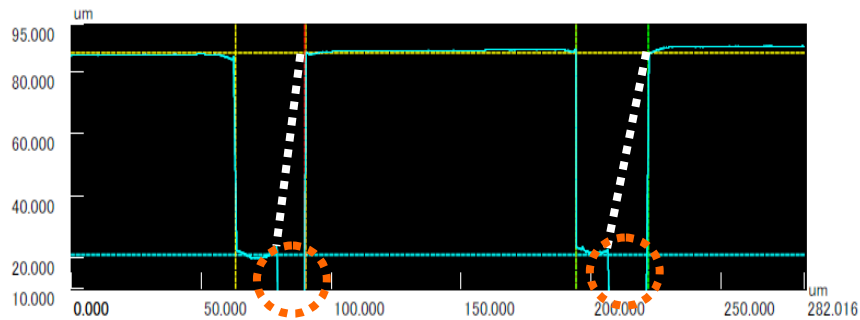
下図は、DF レジスト高角領域での高角側で得られた露光・現像後のハニカム型 Air-Grid マイクロメッシュのレーザー・顕微鏡撮影である。右側の3次元撮像において、青色の細孔底部では、残留レジスト表面までの深さがかなり同レベルであることを示す。しかし、2次元撮像は、六角柱の左側壁では側壁表面からの反射レーザー光が観測されていないことを示唆する。



下図には、このレーザー解析結果が示されている。従って、PMMA 製六角柱の対側面間は約 $100\mu\text{m}$ で、細孔幅は約 $27\mu\text{m}$ である。六角柱の左側壁近くでの細孔深さは約 $65\mu\text{m}$ である。従って、上述した DF レジスト中央領域での高輝度 X 線の中心部と同様に、この左側壁近くの細孔底部では、約 $45\mu\text{m}$ 高さの残留フォトレジストが観測される。

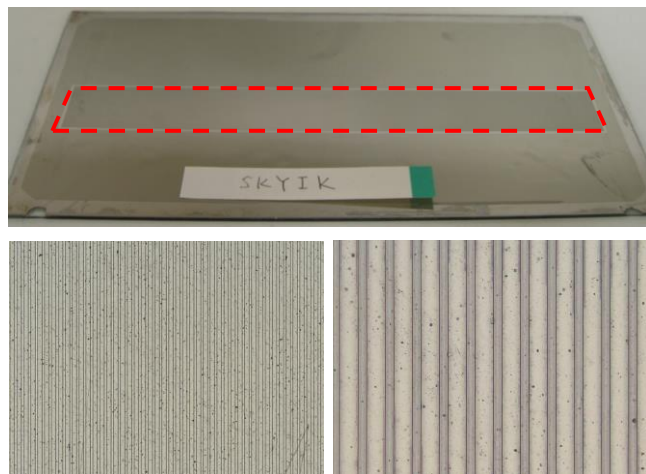


本実験の主目的は、X線画像診断装置の光焦点位置（X線源）を仰ぐマイクロ細孔配列をもつ Air-Grid マイクロメッシュの試作研究である。BL09 ビームラインで行なった実験では、残留レジストが Air-Grid マイクロメッシュのマイクロ細孔内で確認された。従って、細孔内部での Au めっきは不可能である。しかし、このハニカム型 Air-Grid マイクロメッシュは、X線画像診断での被写体からの2次X線およびX線源から放出される1次X線の角度分散特性の研究には利用できる。下図には、上図のレーザー解析結果が引用されている。ただし、直入射実験で述べた様に、マイクロ細孔内の橙色点線部では、反射レーザー光は顕微鏡の対物レンズに再入射していない。この事象は、細孔の右側壁が僅かに傾斜していることを示唆する（白色点線）。後述するが、この様なレーザー解析結果は、角度分散式 Air-Grid マイクロメッシュに形成されるマイクロ細孔配列の構造特性を明らかにする。



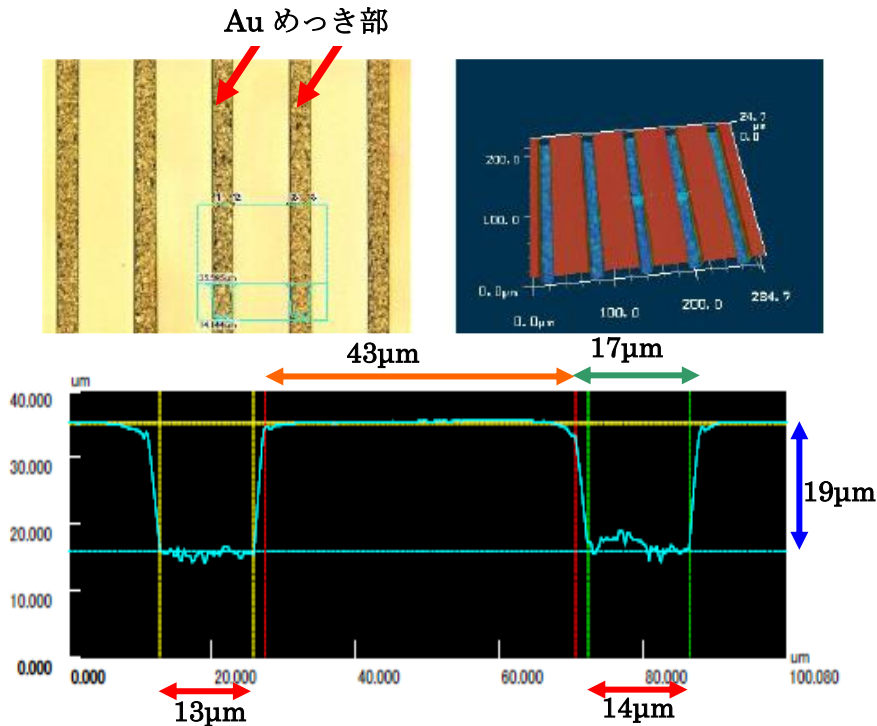
4-2-2. 湾曲ライン型 Air-Grid マイクロメッシュ

本露光実験では、ライン状マイクロ細孔配列を持つX線フォトマスク（湾曲 G2-20 型X線フォトマスク）が使用された。下図・上段は、ライン状X線フォトマスク全体のマイクロスコープ撮像である。このX線フォトマスクを作製するために、転写用 UV フォトマスクのライン状マイクロパターン配列は、スリット幅； $40\mu\text{m}$ 、Cr 製線幅；約 $20\mu\text{m}$ の周期・ピッチで、矩形形の外形サイズ； $22 \times 180\text{mm}$ 領域に描画されている（赤点線部）。下段には、このライン状マイクロパターン配列の拡大図が示されている。

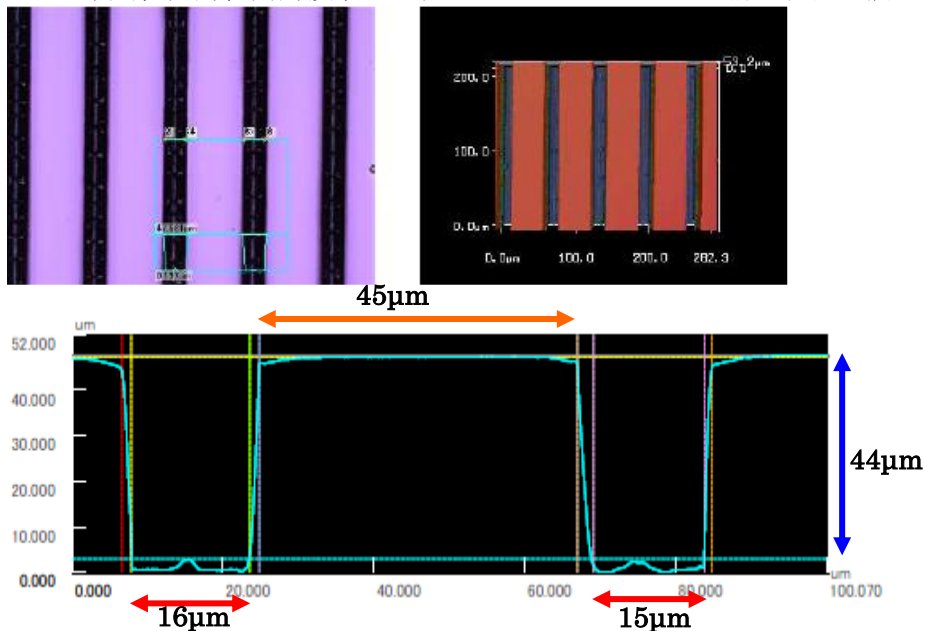


下図の上段には、湾曲 G2-20 型X線フォトマスクのレーザー・マイクロスコープ撮像（左側；2次元、右側；3次元）が示されている。下段には、このレーザー解析結果が示されている。PMMA 製ライン表面の線幅は約 $43\mu\text{m}$ で、細孔深さは約 $19\mu\text{m}$ 、細孔内に形成された Au 製部の表面の幅は約 $14\mu\text{m}$ である。この露光用フォトレジストはフォトレジスト・シート（厚さ； $46\mu\text{m}$ ）であるので、

Au 製部の高さは約 27 μm である。ただし、転写用 UV フォトマスクのライン状マイクロパターンの構造仕様は、スリット幅；40 μm 、Cr 製線幅；約 20 μm の周期・ピッチであった。この相違は、主に露光・現像時間のオーバーを示唆する。この事象は、下段の PMMA 製のライン側壁の表面付近における溶解で確認される。



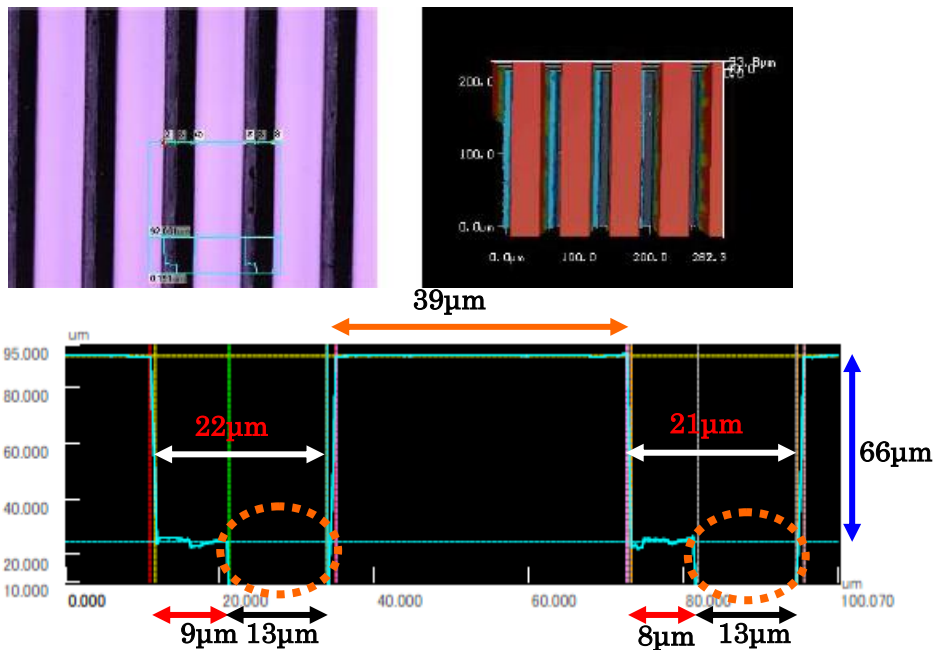
以下の図は、高輝度入射 X 線による露光・現像後の G2-20 型 Air-Grid マイクロメッシュのレーザー一頭微鏡による計測結果を示す。実験には、DF レジスト（厚さ；112 μm ）が使用された。高輝度 X 線の総露光量は 40 mAh、現像時間は 6min であった。本実験では市販の加圧シャワー方式 (0.3MPa) の現像装置を使用した。露光実験では、ライン型マイクロ細孔配列を持つ X 線フォトマスク（矩形外形サイズ；22 x 180mm）は、入射 X 線ビームの中央位置から off-set してセットされた。これは、同一 DF レジストに中央、低角、高角領域での転写マイクロパターンの構造特性を調べるためである。



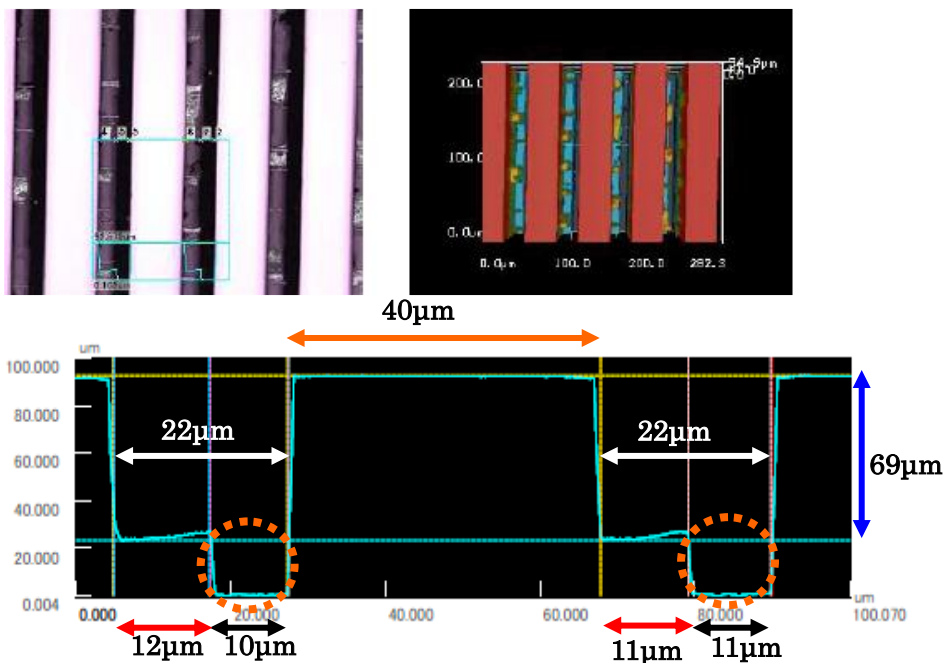
上図・上段は、DF レジスト中央領域でのレーザー・マイクロSCOPE撮像である（左側；2次元、右側；3次元のマイクロパターン配列）。下段はレーザー解析を示し、PMMA 製ライン表面の線幅は約 45 μm で、細孔幅は約 16 μm で、細孔深さは約 44 μm である。ただし、底部の中央部には幅約 3 μm の丘がある。この事象は、上段・右側の 2 次元マイクロSCOPE撮像では細孔底部の中央部に沿った点線状の残留 DF レジストで確認される。ただし、露光に使用した DF レジストの厚さは約 112 μm であるので、細孔中心部を除いて、DF レジストは固定されている基板から約 65 μm の高さまで残留している。

下図は、DF レジスト中角領域でのレーザー・マイクロSCOPE撮像を示す。上段にはマイクロ

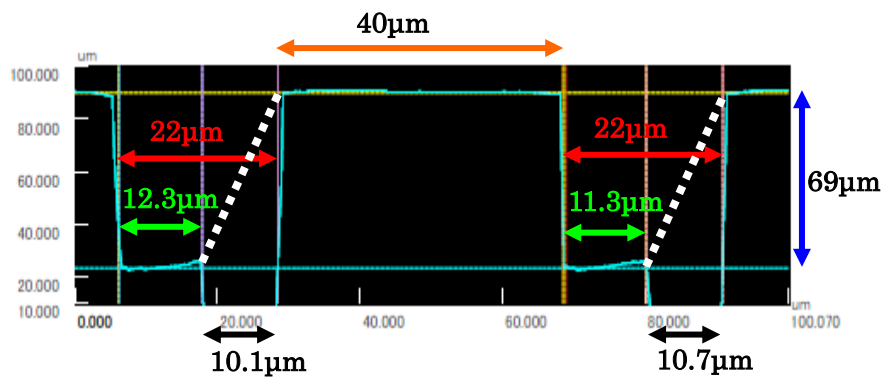
コープ撮像が示されて、左側が2次元、右側が3次元のマイクロパターン配列である。下段はレーザー解析を示し、PMMA 製ライン表面の線幅は約 $40\mu\text{m}$ で、細孔幅は約 $22\mu\text{m}$ で、細孔深さは約 $66\mu\text{m}$ である。従って、固定されている基板から高さ；約 $46\mu\text{m}$ の DF レジストが残留している。また、(4-2-1) 項の様に、隣接細孔の右側底部（橙色点線部）では、反射レーザー光は顕微鏡の対物レンズに再入射していない。この事象は、細孔の右側壁が僅かに傾斜していることを示唆する。



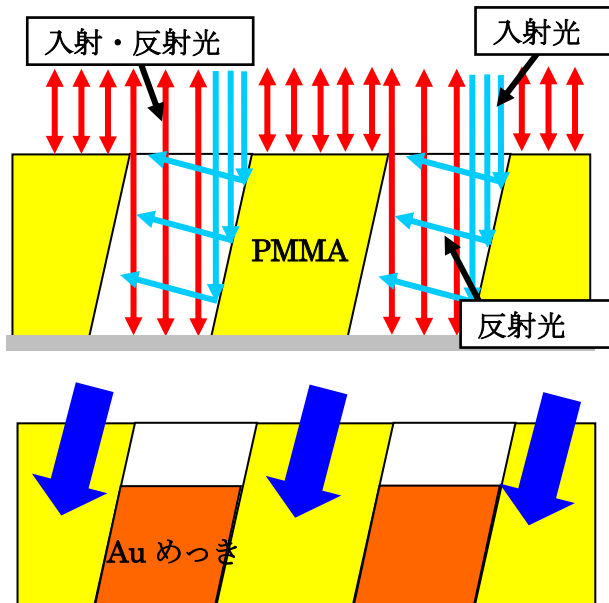
下図は、DF レジスト高角領域でのレーザー・マイクロスコップ撮像を示す。上段の左側には2次元、右側には3次元マイクロスコップ撮像が示されている。下段はレーザー解析を示し、PMMA 製ライン表面の線幅は約 $40\mu\text{m}$ で、細孔幅は約 $22\mu\text{m}$ で、細孔深さは約 $69\mu\text{m}$ である。従って、固定されている基板から高さ；約 $40\mu\text{m}$ の DF レジストが残留している。隣接細孔の右側底部（橙色点線部）では反射レーザー光は顕微鏡の対物レンズに再入射していないので、細孔の右側壁は傾斜している。



上述した湾曲 Air-Grid マイクロメッシュの実験結果から、マイクロパターン配列の中角、高角領域では、形成された細孔内の右側壁が傾斜していることが明らかになった。下図は、上図の高角領域のレーザー解析結果を示している。白色点線は、この右側壁の傾斜を示している（約 $11\mu\text{m}$ の領域）。このレーザー解析結果は、角度分散式 Air-Grid マイクロメッシュに形成されるマイクロ細孔配列の構造特性を明らかにする。



角度分散式の湾曲ハニカム型および湾曲 G2-20 型 Air-Grid マイクロメッシュでは、露光用フォトレジストは Al 製湾曲基板に固定される。従って、この湾曲基板の曲率半径に応じて、X線フォトマスクに描画されたマイクロパターンは、フォトレジストの中角・高角領域では傾斜して転写される。



左図・上側は、湾曲フォトレジストで計測された中角・高角領域でのレーザー解析とマイクロ細孔壁の傾斜との関係を示す。赤矢印レーザー光はレーザー顕微鏡・対物レンズへ反射して再入射する。しかし、青矢印レーザー光はPMMA 製壁で反射されて、対物レンズへ再入射しない。従って、角度分散式で作製された Air-Grid マイクロメッシュは、傾斜したマイクロ細孔配列をもつ。この細孔配列内に形成された Au 製マイクロライン配列は、X線画像診断用グリッドの照射 X 線の透過路を制限する。下段には、傾斜している PMMA 製部のみを透過する照射 X 線が表示されている。

この様な湾曲基板に固定された湾曲フォトレジストは、露光・現像後に平板化すると、湾曲基板の曲率半径に対応する焦点を仰ぐ PMMA 製マイクロ細孔配列を形成する。この様な角度分散式の Air-Grid マイクロメッシュを使用することにより、X線画像診断における 1 次 X 線・空気散乱、2 次 X 線・被写体散乱を減衰することが可能である。

5. 今後の課題

本研究の主目的は、X線画像診断装置に装備する医療用 Air-Grid マイクロメッシュ (M-AGM) 製作に関する技術開発である。BL09 ビームラインでの実験結果から、直入射式では約 200mm、角度分散式では約 400mm の水平方向ビームサイズは有効であることが確認できた。広面積の医療用グリッド・Air-Grid マイクロメッシュ製作には、佐賀LSの水平方向；400mm ビームサイズが必要である。従って、今後の研究課題として、湾曲フォトレジストの露光実験を行う角度分散式では、X線フォトマスクのマイクロパターンを描画している Au 製部の有効高さを検討する。

6. 参考文献 特になし

7. 論文発表・特許

8. キーワード・・・LIGA, X線回折格子

9. 研究成果公開について

② 研究成果公報の原稿提出 (提出時期：2020年10月)