

フォトリソグラフィによる微細加工における ハイブリッドレーザー顕微鏡の計測事例

黒内 正仁、安井 学、金子 智（電子技術部 電子材料グループ）

1. はじめに

レーザー顕微鏡はコンフォーカル光学系を利用して高精細な光学顕微鏡像を取得できる光学顕微鏡であり、電子部品をはじめとした微小な構造をもつ試料の表面の三次元形状を非接触で測定することが可能である。こうした特徴から材料や加工品のミクロンレベルでの幅や高さ、3D表面粗さなどの計測に利用されている。非接触測定が可能な特徴から、触針式の表面形状測定機では扱いきれない樹脂などの柔らかい試料の表面粗さ計測や表面形状測定に用いられている。また、カラーの顕微鏡像を観察しながらその場で3次元形状測定が行えるので、変色箇所の異物の調査に有用である。微細加工分野においては MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 素子やセンサー類など半導体微細加工技術を使用した微細加工品の形状評価や試作品のプロセス評価にレーザー顕微鏡が使われている。

本研究所では図 1 に示すレーザーテック社製のハイブリッドレーザー顕微鏡が 2018 年に導入され、幅や高さの正確さや測定速度において高水準の測定が可能である。そこで本報告では、レーザー顕微鏡の計測事例として、フォトリソグラフィに関連する微細加工品の計測事例を紹介する。

2. 実験

フォトリソグラフィに関連する試料作製および計測を行った。電子線描画装置で作製したフォトマスクの線幅評価と、フォトリソグラフィで作製した Al の細線パターンの線幅評価を行う。

マスクアライナーで用いる解像度評価用マスクは電子



図 1. ハイブリッドレーザー顕微鏡の装置外観

線描画装置(エリオニクス社製, ELS-S50)を用いて作製した。マスクブランクスに電子線レジスト(日本ゼオン社製, ZEP-520A)を塗布して、加速電圧 50kV の描画条件を用いて電子線レジストのパターニングを行った。描画パターンは線幅 0.7 μm 以上のラインアンドスペースパターンであ

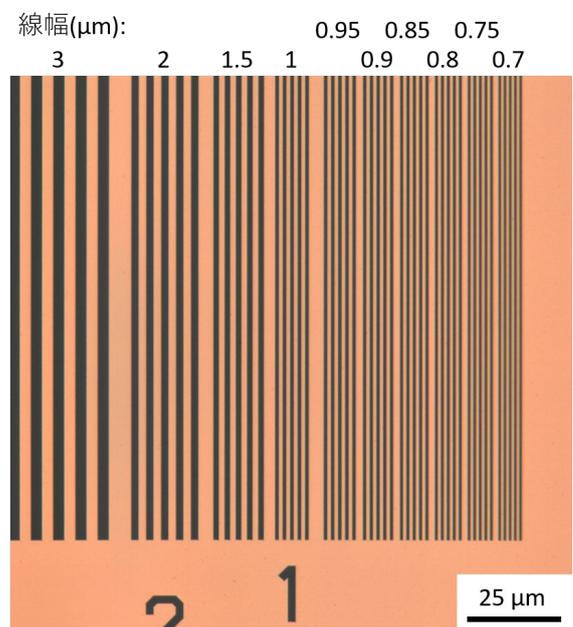


図 2. 電子線描画で作製した解像度評価用フォトマスクの白色コンフォーカル像

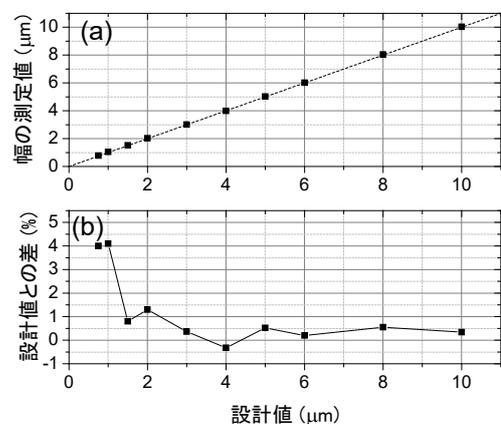


図 3. 作製したフォトマスクの (a) 線幅の設計値と幅の測定との関係と (b) 設計値との設計値との差の関係

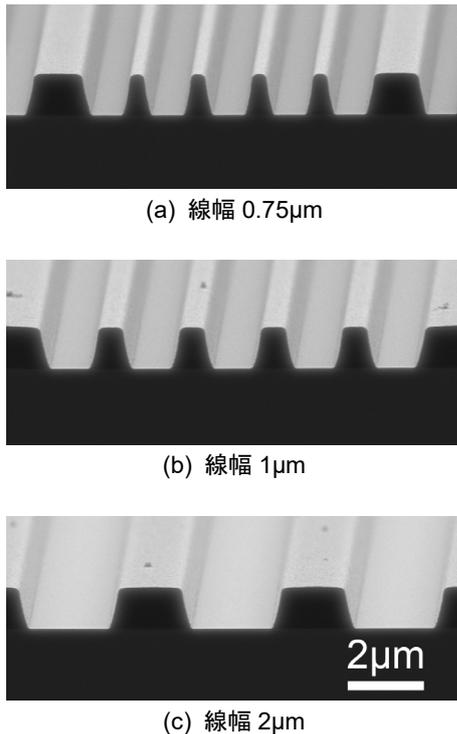


図 4. 走査型電子顕微鏡で観察したフォトリソレジスト細線パターンの断面

り、ドーズ量は $160\mu\text{C}/\text{cm}^2$ であった。描画後は現像液（日本ゼオン社製、ZED-N50）を用いて現像を行い、電子線レジストパターンを形成した。その後、マスクブランクス上の不要な Cr 層をウェットエッチングで除去した。最後に、電子線レジストパターンは剥離液（日本ゼオン社製、ZDMAC）を用いて除去した。ここで、出来上がりのフォトマスクの線幅は電子線描画の近接効果の影響やウェットエッチングのサイドエッチの影響を受けるため、電子線描画パターンサイズの補正を行った。予備実験の Si 基板上のパターン形成の結果では $0.4\mu\text{m}$ 以上の線幅のパターンでは近接効果の影響は幅 40nm 程度であった。ウェットエッチングのサイドエッチの影響は 40nm 程度受けると想定して、サイズ補正の幅は 80nm を選択した。作製したフォトマスクはハイブリッドレーザー顕微鏡を用いて白色コンフォーカル像を取得して、寸法計測を行った。

解像度評価用マスクを用いて Si 基板上にフォトリソレジストパターンを形成して、パターン形成を確認した。Si 基板上に膜厚 $1\mu\text{m}$ のポジ型フォトリソレジスト（東京応化製、OFPR-800LB）を塗布して、マスクアライナー（ズースマイクロテック製、MA6 BSA）を用いて露光を行った。その後現像液（東京応化製、NMD-W）に浸して、レジストパターン形成を行った。作製した試料はへき開処理をして断面を形成して、走査型電子顕微鏡（SEM: Scanning Electron Microscope）を用いて観察をした。また、作製した試料をハイブリッドレーザー顕微鏡で白色コンフォーカル像を取得して、観察した。

次に、フォトリソグラフィによって Al の細線パターン形成を行った。真空蒸着により Si 基板上に Al 薄膜を蒸着

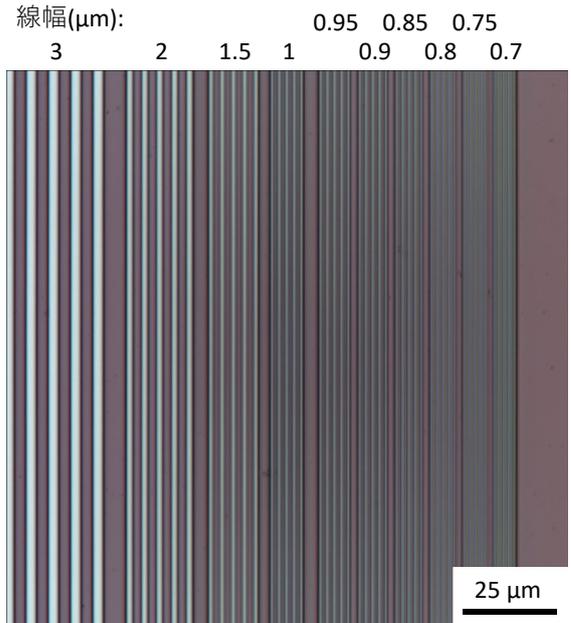


図 5. フォトリソグラフィで作製したフォトリソレジストの細線パターンの白色コンフォーカル像

した試料にポジ型フォトリソレジストを塗布した後、ラインアンドスペースパターンのフォトマスクを使用して、マスクアライナーを用いて露光を行った。現像を行ってレジストパターンを形成後、ウェットエッチングによって不要な Al 膜を除去した。最後にレジストパターンをアセトンで除去した。作製した Al 細線パターンはハイブリッドレーザー顕微鏡を用いて白色コンフォーカル像を取得して、寸法計測を行った。また、得られた表面形状から断面プロファイルを作製して、Al 膜の膜厚を計測した。得られた膜厚は信頼性の高い触針式段差計の結果と比較した。

3. 結果

電子線描画で作製した解像度評価用フォトマスクの白色コンフォーカル像を図 2 に示す。作製した $0.7\mu\text{m}$ までの線幅のパターンは明瞭に解像できていることが確認できる。レーザー顕微鏡の 2 次元的な解像力は約 150nm （波長 405nm のレーザーを用いたラインアンドスペース観察時）であることを考慮すると、 $0.7\mu\text{m}$ 以上の線幅のパターンの観察は十分に行えると考えられる。図 3(a) は設計値と測定した線幅の関係であり、1 対 1 対応を示す点線に近い線幅が得られた。図 3(b) に示す設計値との差はいずれの線幅においても 5% 以内であり、作製したパターン幅が精度よく形成されていることが確認されたことで、今回適用した 80nm のサイズ補正は妥当な値であったことが分かった。フォトマスクは主にガラスから構成され、一般的な SEM ではチャージアップ用のコートが必要とするが、そうした前処理なしに光学的に高精細な観察が行え、線幅の測定ができるレーザー顕微鏡は強力な評価手段である。

解像度評価用マスクを用いて作製したレジストパターンの断面 SEM 像を図 4 に示す。作製したレジストパターンは線幅 $0.75\mu\text{m}$ 以上のパターンでパターン倒れやレジス

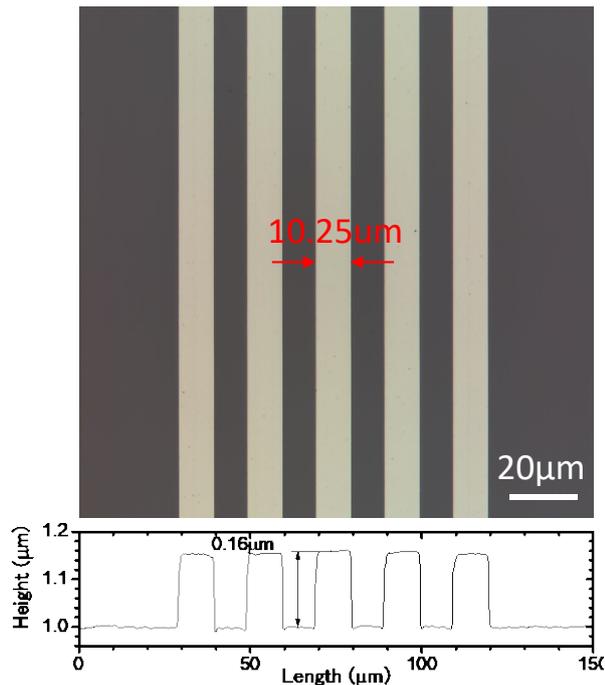


図 6. Al 細線パターンの (a) 白色コンフォーカル像および (b) 断面プロファイル

ト残渣の発生がなく良好な状態で形成されていることが分かった。密着露光の限界は 2~3 μm 程度²⁾といわれていたことを考えると、今回の試料は密着露光によるパターン形成としては高精細なパターン形成が行えていることが確認できた。

フォトレジストの細線パターンの白色コンフォーカル像を図 5 に示す。フォトレジストの細線は 1.5 μm 以上の線幅では明瞭に見えているが、1 μm 以下の線幅ではコントラストが低下して細線が見えづらくなっている様子が見られる。これはフォトマスクでは 0.7 μm 以上の線幅で明瞭に細線が解像していることを考えると、レジスト線パターンは膜厚 1 μm の透明膜であることの影響を受けて線幅 1 μm 以下の細線のコントラストが低下したと考えられる。

フォトリソグラフィで作製した Al の細線パターンの白色コンフォーカル像を図 6(a) に示す。設計値が 10 μm の Al 細線パターンの線幅は 10.25 μm であり、設計値との差が 3% 以内でパターン形成できていることが確認できる。同時に取得した表面形状の断面プロファイルを図 6(b) に示す。幅が 10 μm と狭く、触針式膜厚計(標準プローブ先端半径 $R=2\mu\text{m}$)では測るには難しい段差が計測できていて、膜厚は 0.16 μm であることが確認できる。触針式段差計で測定した膜厚は 0.15 μm であり、レーザー顕微鏡で得られた膜厚は信頼性が高い触針式段差計で得られた膜厚とほぼ一致する結果が得られた。

4. まとめ

ハイブリッドレーザー顕微鏡を用いた微細加工品の評価事例として、フォトマスクの線幅評価やフォトレジスト

の観察、フォトリソグラフィで作製した Al 細線パターンの線幅評価や膜厚測定を紹介した。

【参考文献】

1. 日本学術振興会将来加工技術第 136 委員会編, ハイテク五十年史に学ぶ将来加工技術, 335-346 (2019).
2. 権田 俊一, 21 世紀版 薄膜作製応用ハンドブック, 567 (2003).