

## ポリシロキサン電子線レジスト (PDMS)

キーワード：電子線リソグラフィ、電子線レジスト、ポリシロキサン、感度曲線

はじめに

近年、電子線露光技術に用いられる電子線レジストの開発が進み、半導体プロセス用のマスク製造と直接描画によるパターン形成に利用されています。一般には電子線を照射するだけで、膜表面から基板面まで化学的变化が完全に起こるデジタル型レジストが利用されています。しかし、複雑なパターン形成には、電子線照射量を変えることにより、レジストの化学変化をコントロールし、レジストの残膜率を変化させることが可能なアナログ型レジストが必要です。

特に、微小かつ複雑形状のマイクロレンズやホログラフィー素子等の光学素子は、直接描画によるパターン形成を利用することにより容易に作製が可能となります。図1は電子線描画による光学素子の作製手順の一例を示しています。(d)のような形状を作製する場合を考えると、位置によってレジストの厚さを変化させる必要があり、このためアナログ

型レジストが使用しやすいこととなります。直接描画により光学素子を作製する場合、これまでは実用的なアナログ型レジストがないため、ポリメチルメタアクリレート(PMMA)誘導体からなる市販デジタル型レジストが利用されてきました。そのため、複雑形状の素子の作製は難しく、また、電子線に対する感度が不足している等の理由により、多くの時間を費やして作製が行われてきました。また、市販レジストは炭素を主成分としており、塩素プラズマによるエッチング耐性はあまり良くないという短所もあります。

そこで、ここでは、アナログ型レジストの代表例として、熱安定性、耐エッチング性が高いと期待されるケイ素・酸素(シロキサン)結合を有するポリジメチルシロキサン(PDMS、Mw=800000、図2)に焦点をあて、その電子線に対する挙動・特性の検討を行った結果について述べます。

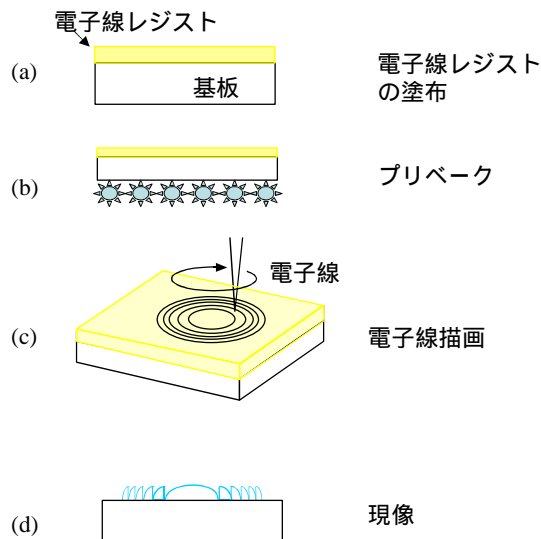


図1 電子線描画による光学素子の作製

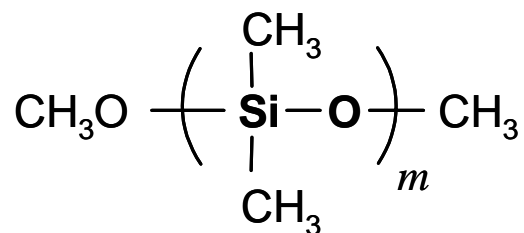


図2 PDMSの化学構造

PDMSの特徴

電子線レジストの基本的物性は、感度と $\gamma$ (ガンマ)値(コントラストの大きさ)で表され、両者は感度曲線を測定することによって導き出されます。

PDMSの感度曲線を図3に示します。横軸

が電子線照射量、縦軸が規格化された残膜率です。この図から、電子線照射量を増加させると残膜率が大きくなるのが分かり、ネガ型の電子線レジストとなります。図3から感度(50%残膜するドーズ量)と $\gamma$ 値(感度曲線の傾きを表す値)を求めますと、感度 $1.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、 $\gamma$ 値1.2が得られます。得られた感度は、代表的な電子線レジストであるPMMAと比較すると2桁ほど高い値です。

一般に、 $\gamma$ 値は高すぎる(感度曲線の傾きが大き)いと、電子線照射量を変調させて残膜率を制御するのが困難となります。反対に $\gamma$ 値が低すぎる(感度曲線の傾きが小さい)と、残膜率を制御するのに必要な電子線照射量の変調量が大きくなり、電子線描画が困難になります。従って、このPDMSの $\gamma$ 値は光学素子を作製するのに適した値であることが分かります。

また、電子線リソグラフィプロセスに対する安定性が無ければ、再現性を得るのが困難となり、たとえ性能が高くても使用しにくいレジストとなります。そこで、光学素子を作製する際のプロセスに対する安定性をプリベーク温度、現像時間の点から検討したところ、ほとんど感度曲線には影響がない知見を得ています。

これらの結果から、PDMSを用いて電子線描画により光学素子を作製する場合、プロセ

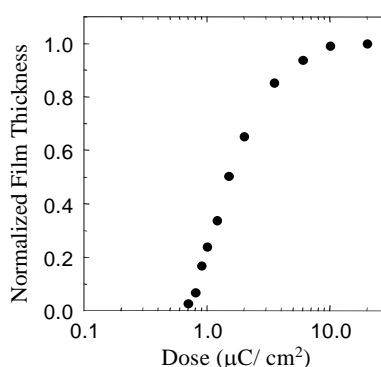


図3 PDMSの感度曲線



図4 CGH再生像

ス管理(プリベーク温度や現像時間)にマージンが大きく、使い勝手のいいレジストであることが分かります。

これらの結果を踏まえて、簡単な光学素子の一例として、電子線描画法によりPDMSの表面に窪みを生成し、表面凹凸を用いてホログラムを記録するレリーフ型ホログラムを得ることによって4位相(フェーズ)レベルの計算機ホログラム(CG H: Computer Generated Hologram)の作製を行いました。作製したCGHにHe-Neレーザー光を照射すると、図4のように良好な再生像を得ることができました。ホログラムは複製が難しく、再生するまで含まれている情報が分からないといった高いセキュリティ性を持ち、さらに一部分から再生が可能であるため、ゴミや傷に強いという特徴を持っています。従って、複雑なCGHを簡便に作製し、製品の管理や偽造防止に応用することは非常に有効であるといえます。

#### まとめ

ポリシロキサン化合物は電子線に対する感度が高く、実際のプロセスでの安定性にも優れています。その結果、短時間でのパターン形成も可能となり、光学素子作製に適したレジストとなります。また、パターン形成のみならず、半導体プロセス用のマスク製造にも利用可能な材料です。