

ネガ型レジストの UVC 照射による電子ビーム露光感度特性の改善

田村 茂雄

東京科学大学 未来産業技術研究所 ナノ構造造形支援部門

1. はじめに

電子ビーム露光による微細加工は、数ナノメートルまで収束可能な電子ビームにより微細加工性に優れ、任意のパターン形状の露光が可能である。この方法はナノテクノロジーを利用した少量多品種のパターンが必要なデバイス研究にとり、非常に有効なパターン作製法である。電子ビームの更なる微細化の要求から、色収差、回折収差を低減するため加速電圧の高加速化が行われている。加速電圧 50kV では、ビーム径 3.5nm に対し 100kV では 1.8nm となる。また高アスペクト比が必要な LIGA プロセス等の微細構造作製のためにも高加速電圧化は有効である。しかし、加速電圧が高いと、後方散乱電子、近接効果の影響が極めて小さくなり電子ビームはレジスト内部を露光せず通過する割合が多くなる結果、レジストの露光効率が低下する。レジスト感度は加速電圧に反比例し、加速電圧を E とすると $\propto \ln E/E$ の関係がある。パターン形成には加速電圧 100kV では 50kV の約 2 倍の露光量が必要となる。

加速電圧 100kV の感度低下を補うためネガ型レジストに電子ビーム露光後に UVC 光(波長 255nm)を照射することにより電子ビーム露光感度が向上し、感度特性の改善が得られたので報告する。

2. 実験

2.1 電子ビーム露光

実験に使用した試料は、ネガ型レジスト ma-N2405(micro resist technology GmbH 製)を Si ウェハに HMDS 表面処理後にスピニングし、ホットプレートで 90°C90sec プリベークし作製した。

電子ビーム露光装置は、JBX-8100FS (日本電子製)を使用した。主な仕様を表 1 に示す。

高速露光モードと超微細加工モードにそれぞれ対物レンズをもつ 2 段対物レンズ方式を使用している。

それぞれのモードはパターンのサイズで選択して使用している。今回の報告は、高速露光モードを使用した。

電子ビーム露光は加速電圧 100kV、ビーム電流 1nA、ビーム径約 10nm、1000 μm^2 フィールドで行った。現像は専用現像液 D-525 で 60sec リンスは純水で 60sec 行った。

2.2 UVC 照射

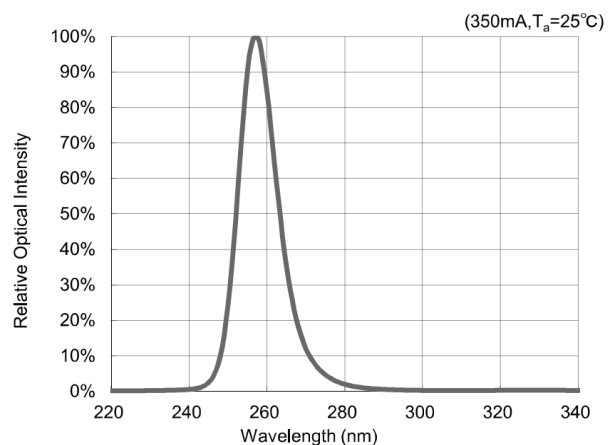
UVC 照射は波長 255nm にピーク波長をもつ UVC-LED, MODEL DF5MU-0F001

表 1 JBX-8100FS の主な仕様

電子銃	ZrO/W ショットキー型
加速電圧	50kV,100kV
走査クロック	125MHz
ビーム径	1.8nm/5.1nm *
走査フィールド	100 μm^2 /1000 μm^2 *
重ね合わせ精度	$\pm 9\text{nm}/\pm 20\text{nm}$ 以内*
フィールド接合精度	$\pm 9\text{nm}/\pm 20\text{nm}$ 以内*

*超微細加工モード/高速露光モード

Spectrum



ピーク波長 : 255nm	FWHM : 10nm
放射パワー : 5mW	順方向電圧 : 6.8V

図 1 UVC-LED DF5MU-0F001 のスペクトラム及び特性

(DOWA エレクトロニクス株式会社製)を使用した。図1にスペクトラム及び特性を示す[1]。照射量の測定は波長感度：248～260nm、範囲最大19.99mW/cm²まで測定可能な紫外線強度計 UVC-254 を用いた。

3. 実験結果

3.1 UVC 照射によるレジストの感度特性の測定

感度特性の測定は ma-N2405 を Si ウェハに膜厚 700nm スピンコートし作成した後 5μm×50μm のパターンについて露光量を 5～300μC/cm²(step 5μC/cm²)で電子ビーム露光し試料を作製した。露光後①UVC 照射しないもの、②UVC 1.68mJ/cm² 照射、③UVC 2.64mJ/cm² 照射した試料を現像後、段差計 (KLA Tencor 社 P-7) で膜厚を測定した。図2に UVC 照射による感度特性の変化を示す。この結果から露光感度と γ 値の変化を表2に示す。パターン形成に必要な電子ビーム露光量は、低下していることが確認できるが γ 値も低下している。

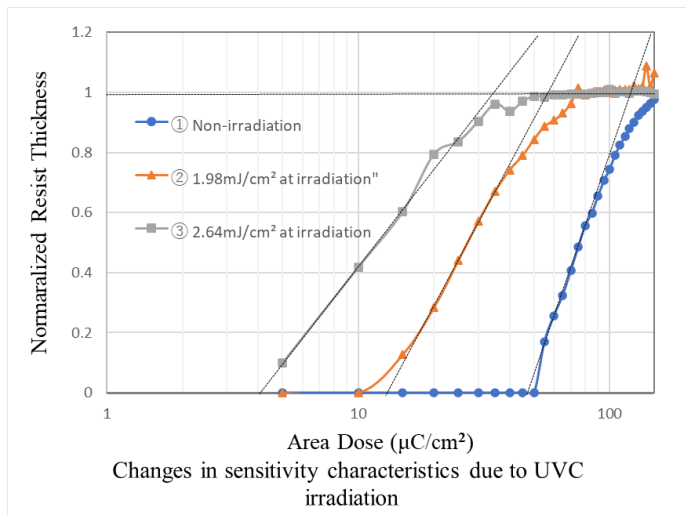


図2 UVC 照射による感度特性の変化

表2 UVC 照射による感度, γ 値の変化

UVC 照射量(mJ/cm ²)	感度(μC/cm ²)	γ 値
0	102	3.23
1.98	60	1.54
2.64	25	1.43

2.2 UVC 照射による高感度化

レジスト膜厚 200nm, パターン幅 200 nm の電子ビーム露光を行い D-525 により 60sec 現像, 純水で 60sec リンス後のパターンを SEM (走査型電子顕微鏡 S-5200 日立ハイテク製) により観察した。UVC を照射しないで現像した写真を図3に, UVC 2mJ/cm² 照射後の写真を図4に示す。

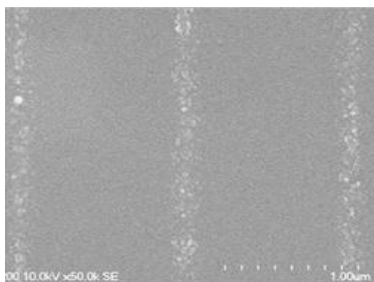


図 3-1 130μC/cm²

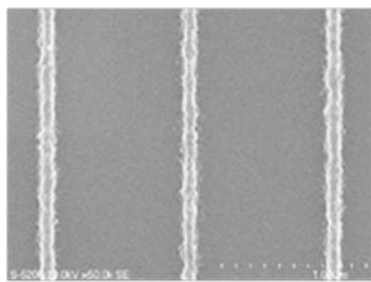


図 3-2 150μC/cm²

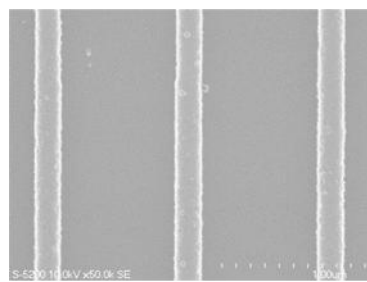


図 3-3 210μC/cm²

図3 現像後のSEM写真

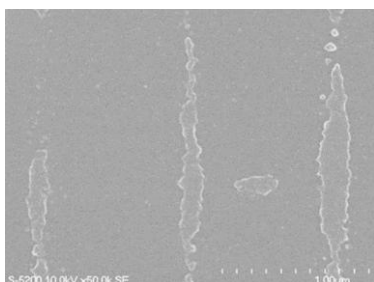


図 4-1 30μC/cm²

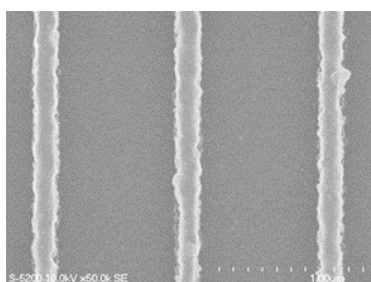


図 4-1 50μC/cm²

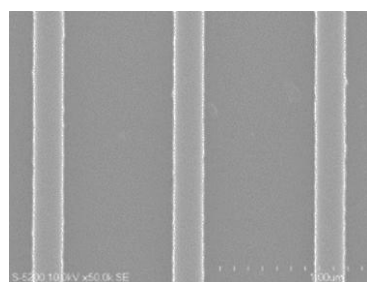


図 4-3 100μC/cm²

図4 UVC を 2mJ/cm² 照射し現像後のSEM写真

UVC 照射の影響でパターンの広がりが見られるがパターン形成可能な電子ビーム露光量が UVC 照射の影響で低下した。UVC 未照射の $130\mu\text{C}/\text{cm}^2$ (図 3-1) に対し照射後はわずか $30\mu\text{C}/\text{cm}^2$ (図 4-1) でウェハ上においてパターンの形成が始まっているのが確認できる。幅 200nm のパターンの形成については必要な露光量が UVC 照射の結果 $220\mu\text{C}/\text{cm}^2$ (図 3-3) から $100\mu\text{C}/\text{cm}^2$ (図 4-3) に低下し感度の向上が確認できた。照射量を増加し $2.5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 照射すると未露光部分のレジストが硬化し現像時間を増加させても現像できずパターン形成ができなかった。

4. まとめ

ネガ型レジスト ma-N2504 の加速電圧 100kV 電子ビーム露光において露光特性改善のため UVC を電子ビーム露光後に $2\text{mJ}/\text{cm}^2$ 照射した。その結果、レジストの膜厚 200nm で、ライン幅 200nm のパターン形成に必要な露光量が $220\mu\text{C}/\text{cm}^2$ から $100\mu\text{C}/\text{cm}^2$ に低下し感度特性が改善した。また、UVC 照射量の増加とともに γ 値が低下した。

参考文献

- [1] DOWA エレクトロニクス株式会社 MODEL DF5MU-0F001 資料

謝辞

本研究について東京科学大学工学院電気電子系、宮本恭幸教授のご指導ご助言を頂きました。

本研究は、本研究は JSPS 科研費 (課題番号 JP24H02555) の助成を受けました。

本研究の一部は、文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ事業 (課題番号: JPMXP 1224IT0062) の支援を受けて、(東京科学大学ナノ構造造形支援) において実施されました。