

高速ガススイッチングボッシュプロセスとミニマル多重露光 プロセスを用いたエッチングパターンの解像度向上技術

Techniques to improve the etching pattern resolution with high-speed gas-switching Bosch process and minimal multiple exposure process

○田中宏幸^{1,2}, 小木曾久人^{1,2}, 中野禪^{1,2}, 速水利泰^{2,3}, 宮崎俊也^{2,3}, 入田亮一^{2,4}, クンブアン ソマワン^{1,2}, 原 史朗^{1,2}
(1.産総研, 2.ミニマルファブ技術研究組合, 3.SPP テクノロジーズ, 4.PMT)

○H. Tanaka^{1,2}, H. Ogiso^{1,2}, S. Nakano^{1,2}, T. Hayami^{2,3}, T. Miyazaki^{2,3}, R. Irita^{2,4}, S. Khumpuang^{1,2}, and S. Hara^{1,2}
(1.AIST, 2.MINIMAL, 3.SPPT, and 4.PMT) E-mail: tanaka.hiroyuki@aist.go.jp

【背景・目的】

産総研では、 $\phi 12.5$ mm のハーフインチウェハを用い、最小の投資で、半導体の変種変量生産に対応した生産システムであるミニマルファブ¹の開発を進めている。特に DMD (Digital Micromirror Device) を用いたマスクレス DLP(Digital Lighting Process)露光機 (図1) を開発済みで、マスクレスのため少量生産に有利になっている。ミニマル DLP 露光機のデジタル解像度は $0.5\mu\text{m}$ であるが、滑らかな曲線や円形のパターンを描こうとした場合、デジタル描画ゆえの $0.5\mu\text{m}$ ステップが生じて、曲面加工を要する場合に問題となっていた。曲面を滑らかにすることは、光導波路などへの応用には必須要件である。今回、この問題を解決すべく、露光強度を弱めて描画位置を僅かにシフトさせながら何度も露光を繰り返す、DLP 多重露光

(図2) 方式を採用することで、滑らかな曲線のマスクが描けるようになった。さて、光導波路では、エッチングの垂直性も重要である。垂直エッチング技術としてよく知られている方法に、MEMS の基幹技術になっているボッシュプロセスがある。しかし、ボッシュプロセスでは、側壁デポと底面エッチングを繰り返すために、結果的なエッチング側壁がデポとエッチングのサイクルで貝殻状の段差痕 (スキヤロップ) を残す欠点がある。ところが、我々はすでに、ミニマル深掘りエッチング装置を開発して、このスキヤロップをほぼ消失させることに成功している。今回は、多重露光とスキヤロップフリーボッシュプロセスを組み合わせることで、大変良好なエッチング形状が得られたので報告する。

【開発装置、実験と結果】

DLP 露光機 (図1) は、多数のミラーを平面に配列したデジタルマイクロミラーデバイスに、h 線(波長 405nm)を照射させて対象物に投影させ露光を行った。ミラー1つの大きさは、 $10.8\mu\text{m}^2$ で、それぞれ角度制御が可能である。これを $1/21.6$ に縮小投影させると $0.5\mu\text{m}$ のパターンが描画可能となる。多重露光 (図2) は、ステージ位置を僅かにシフトさせて繰り返し露光を行うことでデジタル jaggy を緩和させるものである。

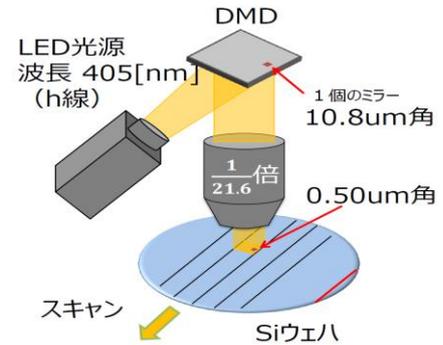
次に、Si 深掘りエッチャー装置の概略図を (図3) に示す。ICP プラズマは、筒状のセラミック管にコイルを巻き、超短波 (100MHz , 30W) を印加して発生させた。 13.56MHz を用いるのが一般的であるが、ミニマルファブではチェンバーが小さいため、より高い周波数を用いてプラズマ密度を向上させている。また、シースを発生させて異方性エッチングを行うために、ウェハ回りにもプラズマを別途発生させる。この下部電極は、短波 (2MHz , 2W) を時間制御で ON/OFF 印加できる。チェンバー容量が $1/4$ liter 程度と小さいため、ガス排気性能が原理的に高く、高速ガススイッチングが可能なボッシュプロセス²が行えることが特徴である。

多重露光と高速ガススイッチングを組み合わせた結果を図4に示す。DLP 方式の露光装置を用いたマスクのデジタル解像度は $0.5\mu\text{m}$ であるが、 $1/25$ の露光強度で、前後左右に $0.1\mu\text{m}$ ずつ 25 回シフト露光させると、通常の 1 回露光のエッチング側面に見られた凹凸(図4(a))がほぼ解消され、滑らかで垂直性の高い曲面側面が形成できたことが確認された(図4(b))。

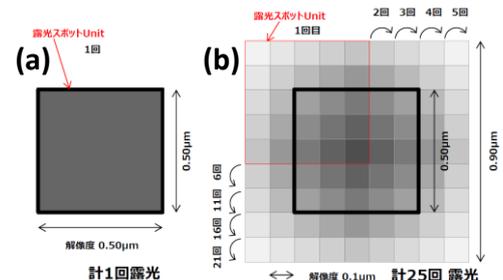
<参考文献>

[1] 原 史朗, クンブアン ソマワン, 「ミニマルファブの開発とそのデバイスプロセス」, 応用物理, 83(5), 380 (2014).

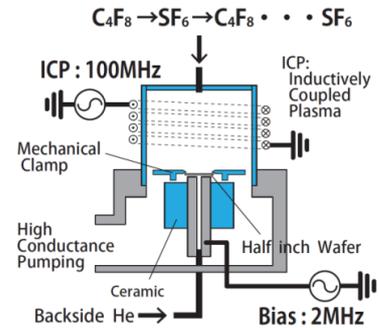
[2] F. Laermer, A. Schilp, K. Funk, M. Offenberger: "Bosch deep silicon etching: Improving uniformity and etch rate for advanced MEMS applications", Proc. 12th International Conf. on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS'99), pp. 211-216 (1999)



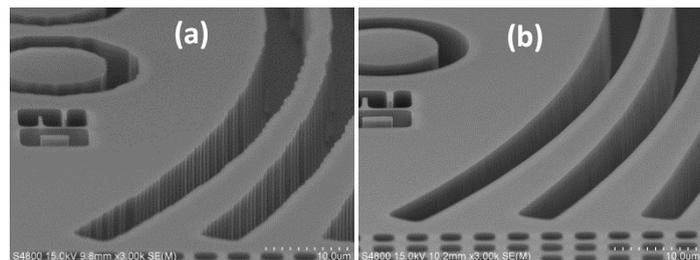
【図1】DLP 露光装置の原理



【図2】DLP 多重露光解像度イメージ (a) $0.5\mu\text{m}$ 解像度 1 回露光、(b) $0.1\mu\text{m}$ 解像度 25 回露光



【図3】ミニマル Si 深掘りエッチャー チェンバー



【図4】ミニマル ICP ボッシュ DLP 露光方式違いによるエッチングの滑らかさ比較 (a) DLP 1 回 露光マスク、(b) DLP 25 回多重露光マスク