研究論文

ウェットブラストを利用したリフトオフプロセスの開発

佐藤　健[*]　丸山　英樹[**]　平石　誠[***]　斎藤　博[***]　坂井　朋之[****]

Development of Rift-off Process using Wet-brust Technology

SATO Takeshi[*]，MARUYAMA Hideki[**]，HIRAISHI Makoto[***]，
SAITO Hiroshi[***]and SAKAI Tomoyuki[****]

抄　　録

パルス細線放電法により試作したアルミナのナノ粒子でスラリーを作製した。このスラリーを使用したウェットブラストをリフトオフプロセスに適用して，金属配線のパターニングを試みた。従来のリフトオフプロセスと比較して，パターン形成が容易になるとともに，サブミクロンオーダーの微細パターンの形成も可能となった。さらに基板表面を保護する工程を付与することにより，ブラストにより生じるパターン表面の損傷を防止することができた。

1. 緒　　言

ナノ粒子の作製方法の一つにパルス細線放電法 [1] がある。この方法では，金属細線にパルス電流を通電して蒸発させ，これが冷却する過程でナノ粒子を作製する。蒸発雰囲気を制御することで，粒子に有機物を被覆したり，金属だけでなく酸化物などの化合物も可能で，さらにエネルギー変換効率が高いため，低コストでナノ粒子を作製できる。

本研究では，この方法で作製したアルミナ粒子を微細加工に応用することを検討した。アルミナ粒子を水に分散させたスラリーをウェットブラスト [2] の媒体として使用し，リフトオフへの適用を試みた。

リフトオフとは，薄膜のパターニング方法の一つである。図 1 に示すようにシリコンなどの基板にフォトレジストでパターニングしておき，その上からスパッタリングなどで金属などを成膜した後，レジストを溶解することで所望のパターンを形成する方法である。

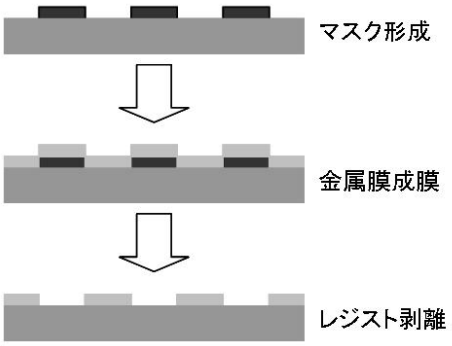


図 1　リフトオフプロセス

エッチングでは，被エッチング材に合わせてエッチング試薬やガスを選択する必要があるが，リフトオフは，材質を問わないので簡便であり，ガスや試薬の使用量も削減できる利点がある。ただし，レジストの溶解を容易にするために，レジスト厚を成膜材よりも極端に厚くする必要があり，数 μm 以下の微細なパターン形成は困難なことが多い。

このプロセスにウェットブラストを適用することでレジストの溶解を容易にし，サブミクロン以下の微細パターン形成を試みた。

*　　中越技術支援センター
**　　下越技術支援センター
***　研究開発センター
****　企画管理室

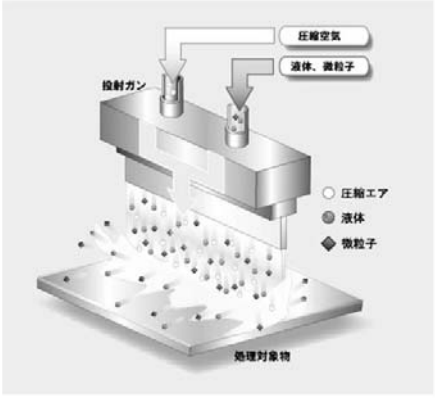


図 2　ウェットブラストの概要 [2)]

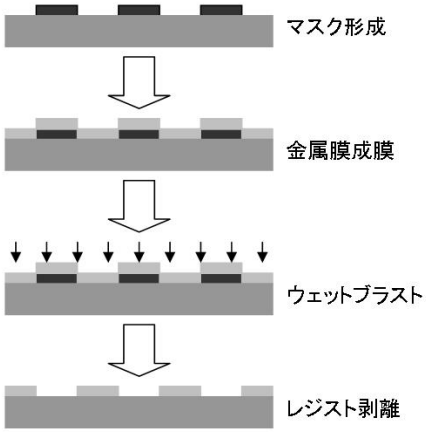


図 3　ウェットブラスト適用プロセス

2.　ウェットブラストの適用効果と粒径の影響

2.1　実験

リフトオフプロセスに対して，ウェットブラストを適用した場合の効果の有無，ウェットブラスト用スラリーに使用するアルミナ粒子の粒径の影響について評価した。

ウェットブラストの概要を図 2 に，これを適用した場合のリフトオフプロセスを図 3 に示す。

シリコン基板上にフォトレジスト（東京応化工業製 OFPR800-50cP）をスピン塗布し，ホットプレートで乾燥させた。露光・現像して，ラインアンドスペース（以下，L&S と記す）5μm のレジストマスクを厚さ 2μm で形成した。

その上から Cr，Au の順でそれぞれ 0.02μm，0.1μm の厚さでスパッタリングして，Au/Cr 薄膜を成膜した。

試料の成膜面にウェットブラスト処理を行った。この処理は，固定したノズルからスラリーを噴射させ，その下を試料基板を一定速度で通過させる方法で行い，その通過回数で処理量を調整した。条件の詳細を表 1 に示す。

スラリーは，市販のアルミナ粒子（フジミインコーポレーテッド製 WA#10000，メディアン径 0.5～0.7μm）を水に濃度 6wt%で分散させたものと，パルス細線放電法で作製したアルミナ粒子（メディアン径 40nm）を高圧湿式ジェットミル（スギノマシン製スターバーストシステム）で水に分散させた 2 種類を使用した。以下，便宜上それぞれをミクロンスラリー，ナノスラリーと呼ぶ。

ブラスト処理の後，アセトン中で 2 分間の超音波洗浄を行い，マスクを溶解させ，さらにイソプロピルアルコールで洗浄した。

ウェットブラスト処理をしない試料も同様に作製し，上の試料とパターンの形成状態を比較した。

表 1　ウェットブラスト条件

エアー圧（MPa）	0.2
スラリー圧（MPa）	0.18
処理速度（mm/sec）	10
ノズル～試料距離（mm）	15

2.2　結果と考察

図 4(a)～(c)は，通常のリフトオフプロセスとウェットブラスト処理をしたプロセスで作製した試料を光学顕微鏡で観察したものである。

図 4(a)に示すように，通常のリフトオフプロセスでは，マスク上の Au/Cr 薄膜の大部分が剥離できず，L&S パターンは形成できなかった。

図 4(b)，(c)は，それぞれミクロンスラリー，ナノスラリーを使用したウェットブラスト処理をしたプロセスで作製した試料である。

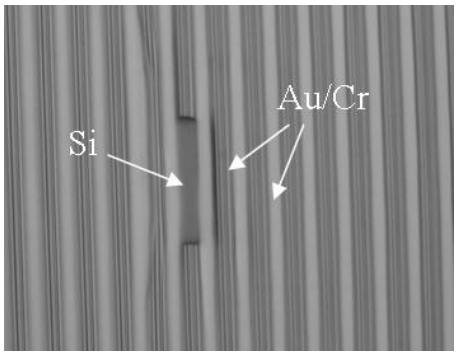
ブラスト処理回数をパラメータとして評価した結果，ミクロンスラリーでは 2 回，ナノスラリーでは 8 回の処理を行うことで，溶剤中での超音波洗浄でレジストマスクは溶解し，マスク上の Au/Cr 薄膜は容易に剥離した。

図 5 は，レジストマスクを電子顕微鏡で観察した写真であるが，段差部分が順テーパ形状になっていることから，Au/Cr 薄膜のステップカ

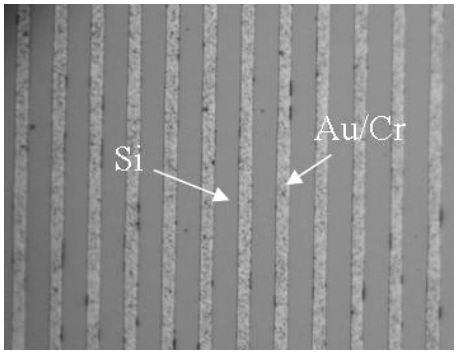
バレッジが良好と推測される。このような状態は，溶剤のレジストへの浸透や，金属膜の不要部分の剥離を阻害すると考えられる。

このため，通常のリフトオフではパターンが形成されなかったと考えられる。

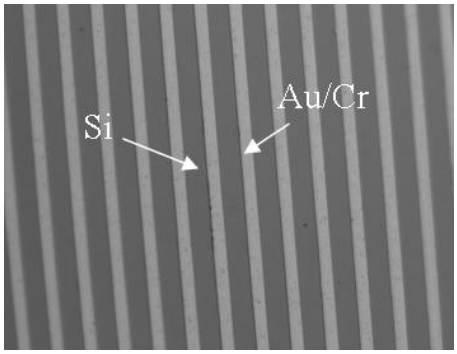
ブラスト処理をした試料は，このような順テーパ形状のマスクであっても，ミクロンスラリー，ナノスラリーともにパターン形成が良好に



(a)　通常のリフトオフ



(b)　ミクロンスラリー



(c)　ナノスラリー

図 4　ウェットブラスト適用プロセス

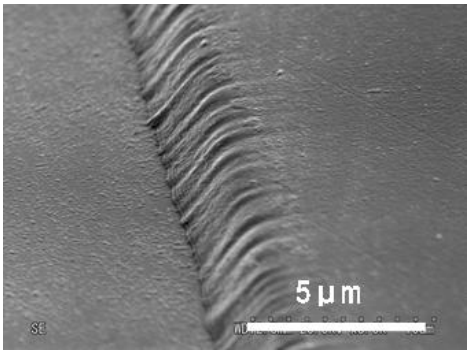


図 5　レジストマスクの段差形状

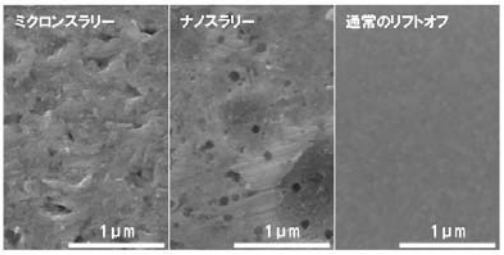


図 6　Au/Cr 薄膜の表面状態

表 2　表面粗さ

条件	Ra(μm)	Rz(μm)
ミクロンスラリー	0.027	0.178
ナノスラリー	0.009	0.096
通常のリフトオフ	0.003	0.025

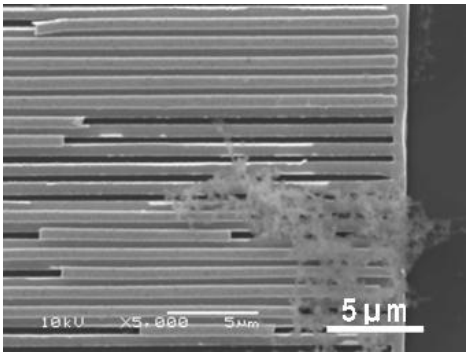
できていたことから，ウェットブラストをリフトオフに適用する効果は大きいと考えられる。

図 6 にそれぞれの試料の Au/Cr 薄膜の表面状態を SEM で観察した結果を，表 2 に表面粗さを非接触三次元測定機（三鷹光器製 NH-3SP）を用いて，レーザースポット径 1μm で測定した結果を示す。

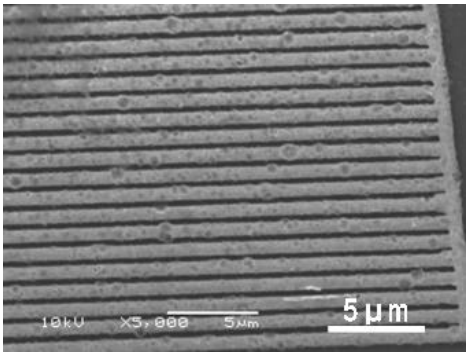
ブラスト処理をしたものは，スラリーに含まれるアルミナ粒子が試料表面全体に衝突するため，処理しないものに比べ表面が粗くなる。

ミクロンスラリーによるブラスト処理は，損傷の程度が大きく，観察される欠陥サイズからサブミクロンオーダーの微細なパターン形成には適さないと考えられる。

ナノスラリーによるブラスト処理は，パターン形成に要する処理回数が多くなるため，効率の面でミクロンスラリーには劣るが，表面の損



(a) 通常のリフトオフ



(b) ウェットブラスト適用

図 7 L&S0.5μm パターンの形成状態

傷は大きく軽減されるため，微細なパターン形成には適すると考えられる。

3. サブミクロンパターンの形成

3.1 実験

ナノスラリーを用いたウェットブラストをリフトオフに適用し，サブミクロンオーダーのパターン形成を試みた。

シリコン基板上に電子線描画レジスト（日本ゼオン製 ZEP7000-22）をスピン塗布し，ホットプレートで乾燥させた。電子線による描画と現像を行い，L&S で 0.5μm のレジストマスクを厚さ 0.46μm で形成した。その上から Cr, Au の順でそれぞれ 0.02μm，0.1μm の厚さでスパッタリングして，Au/Cr 薄膜を成膜した。

この試料に処理回数をパラメータとしてウェットブラストを実施した。

次に，ZEP7000-22 の専用溶剤（日本ゼオン製 ZD-MAC）中で 2 分間の超音波洗浄を行った後，イソプロピルアルコールで洗浄した。

また，ブラスト処理をしない試料も同様に作製し，上と比較した。

3.2 結果と考察

パターン形成に要したブラスト処理回数は，16 回となり，前項の L&S5μm のパターンに比べ増加した。

図 7(a)，(b)にブラスト処理の有無による試料の状態を示したが，前項と同様に処理の有無でパターニング性に差が生じており，ここでもブラスト処理が有効であることが確認された。

処理回数については，L&S5μm のパターンに比べ倍増したが，微細なパターンを形成するためにレジストマスクを薄くしたため，Au/Cr 薄膜のカバレッジが向上したことが原因と考えられる。

また，ナノスラリーを用いたウェットブラストでは，試料表面の損傷は比較的少なかったが，パターンサイズが微細になったことで，相対的に目立つようになり，対策が必要である。

4. 表面損傷改善のための新規プロセス

4.1 実験

前項のサブミクロンパターンを形成する際に

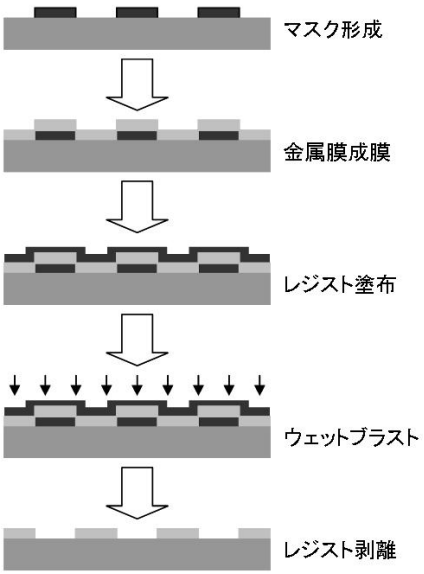
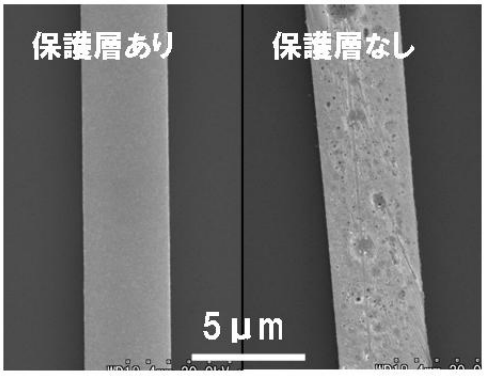
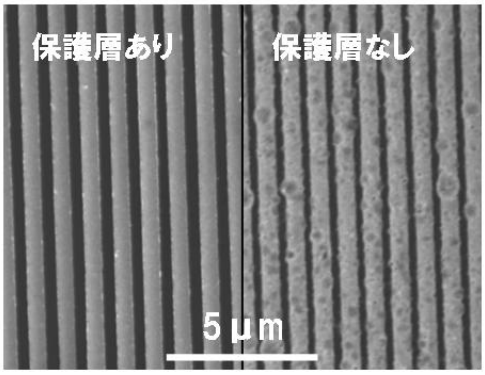


図 8 新規のリフトオフプロセス



(a)　5μmL&S パターン



(b)　0.5μmL&S パターン

図 9　保護層の有無による表面状態

発生した表面損傷を改善するため，新規のプロセスを試みた。

図 8 に示すように，ウェットブラストを適用するリフトオフプロセスにおいて，金属薄膜を成膜した後，さらにレジストを塗布・乾燥して表面保護層を形成しブラスト処理を行う。

2，3 項と同様にシリコン基板に L&S 5μm と 0.5μm のレジストマスクを作製し，その上から Cr，Au の順でそれぞれ 0.02μm，0.1μm の厚さでスパッタリングして，Au/Cr 薄膜を成膜した。

その上にマスク形成と同じレジストを同条件でスピン塗布した後，ホットプレート上で乾燥させ，保護層を形成し，ブラスト処理をした。

ブラスト処理回数は，2，3 項と同じく，L&S5μm の試料 には 8 回，L&S0.5μm の試料には 16 回とした。

処理後，溶剤中で 2 分間の超音波洗浄をし，さらにイソプロピルアルコールで洗浄した。

4.2　結果と考察

図 9 (a)，(b)は，それぞれ L&S 5μm，0.5μm の試料について，SEM により表面状態を観察したものである。

保護層を形成した試料は，5μm，0.5μm の L&S パターンともに表面損傷が全くない状態で形成できた。

また，パターン形成に必要なブラスト処理の回数は，保護層の有無で差がなかったことから，このプロセスでは，ブラスト処理の効果を減じることなく，表面損傷を防止できることがわかった。

本実験では，剥離時に一括に除去できることから，保護層をレジストマスクと同じ材料で形成したが，溶剤で除去できるものであれば，他の安価な材料も選択できる。

5.　結　　言

(1) アルミナスラリーを使用したウェットブラストをリフトオフプロセスに適用することで，パターン形成が容易になった。

(2)ナノスラリーを使用したウェットブラストにより，サブミクロンオーダーの微細なパターン形成が可能になった。

(3)ブラスト処理に先立ち，基板表面に保護層を形成することで，パターン表面の損傷を防止できることがわかった。

なお，本研究は，(独)科学技術振興機構の平成 17～20 年度育成研究課題「有機物被覆複合ナノ粒子量産用パルス細線放電装置開発」の一環で実施したものである。

参考文献

1) 長岡技術科学大学極限エネルギー密度工学研究センターホームページ，パルス細線放電法，（2009 年 3 月 23 日閲覧）
http://etigo.nagaokaut.ac.jp/reaearch/PWD.htm

2) マコー株式会社ホームページ，技術情報，（2009 年 3 月 31 日閲覧）
http://www.macoho.co.jp/r_technology/