研究論文

超微細構造部品プロセス技術確立と製造技術開発

小林　泰則[*]　菅野　明宏[*]　山田　敏浩[*]　宮口　孝司[*]　内山　雅彦[**]　阿部　淑人[**]
安井　忠[***]　髙橋　卓[***]　本田　大樹[***]　三村　清治[***]　杵渕　哲也[***]　小林　一則[***]

Establishment of Process Technology and Development of Manufacturing Technology for Ultrafine Components

KOBAYASHI Yasunori[*], KANNO Akihiro[*], YAMADA Toshihiro[*], MIYAGUCHI Takashi[*], UCHIYAMA Masahiko[**], ABE Yoshito[**], YASUI Tadashi[***], TAKAHASHI Suguru[***], HONDA Taiki[***], MIMURA Seiji[***], KINEFUCHI Tetsuya[***] and KOBAYASHI Kazunori[***]

抄　録

SiO_2で構成される幅約 0.3μm，高さ約 3μm の柱状構造を作製する技術の開発について検討した。本報告では試験用 Si 基板を用い，リフトオフ法によるマスク作製およびドライエッチングによる柱状構造の試作を行った。試作を通じて得られた結果によって，良好な微細構造形状が得られることや安定的にエッチングが行えることなど，複数の必要条件を総合的に満たすと思われるエッチング条件を推定し，推定された条件による微細構造の試作を行った結果を確認した。

1. 緒　　言

SiO_2で構成される幅 0.3μm，高さ 3μm の柱状構造を作製する技術の開発について検討した。上記課題についてはこれまでに実基板を対象として，ウェットエッチングによる Cr マスクの作製およびエッチングガスとして C_4F_8 を用いたドライエッチングによって幅 1μm，高さ 3μm，テーパー角 14°程度の柱状構造を作製する技術を確立しているが，将来的な柱状構造寸法の微細化，形状の良化などの要求に対する対応が求められている。

また，現状用いているドライエッチング装置においては，反応チャンバー内のガスディフューザ部の温度がある上限値に達するとエッチングプロセスが強制停止する仕様になっている。現状用いているエッチング条件ではプロセス中にガスディフューザ部の温度が上昇するため，長時間のエッチングの際には途中でエッチングを停止せざるを得ないことが問題となっている。上記の問題に対しては，ガスディフューザ部の温度が装置上限値に達する直前にエッチングプロセスを手動で一時停止し，ガスディフューザ部の温度が十分低下するまで待ってから，エッチングプロセスを再開するという対応が取れることを確認しているが，途中でプロセスを一時停止することの影響や，温度上昇によってエッチングの状態などが変動していることなども推定されるため，チャンバー内温度が変動しないようにする対策が求められている。

このような現状を踏まえ，昨年度の研究では試験用 Si 基板を用い，マスク作製プロセスとしてリフトオフプロセスの導入の検討およびドライエッチングガスとして CF_4 および CHF_3 の適用可能性について検討した[1)]。

今年度は引き続き試験用 Si 基板を用い，エッチングガスとして CF_4 および C_4F_8 を用いた場合について，エッチング条件パラメータが微細構造形状やガスディフューザ部の温度上昇などに与え

*　研究開発センター
　　レーザー・ナノテク研究室
**　研究開発センター
*** シンコー株式会社

る影響について検討した。その結果について報告する。

2. 実　　験

従来の製造工程と本研究にて検討した製造工程を比較したものを図 1 に示す。現状の製造工程ではドライエッチング用マスク材に Cr を用いてウェットエッチングによってマスクを作製しているが，昨年度は試験用 Si 基板（Si ウェハー上に SiO_2 を厚さ 4μm 程度になるようにスパッタしたもの）を用いてマスクをリフトオフ法によって作製することについて検討した [1]。本報告でも昨年度と同様の試験用 Si 基板に対して，エッチング用マスクをリフトオフ法によって作製した。レジストには Allresist 社製 CSAR62 を用い，レジスト厚は 200～250nm とした。マスク材には Ni を用いスパッタ厚は 140nm とした。電子線照射部の幅については 0.4，0.5，0.6，　0.7，0.8μm のものを同一基板上に形成して以後のプロセスを実施した。ドライエッチングのエッチングガスとしては CF_4 および C_4F_8 を用い，エッチングパラメータとしてはエッチングガス流量，Ar ガス流量，コイル／プラテン出力，チャンバー内圧力の影響について検討した。

なお，コイル出力とプラテン出力についてはそれらの比を 25:2 に固定することとした。エッチング時間は以前のエッチング結果によって，おおよそのエッチングレートを予測し，そこから，柱高さがおおよそ 3μm になると予測される時間を推定して設定した。

エッチングパラメータがエッチング結果に与える影響を検討する際には，あるエッチング条件を基準として 1 つのエッチングパラメータを変化させて，その影響を確認する実験を検討対象のすべてのエッチングパラメータに対して行った。

また，結果の議論の際にはエッチングパラメータ間に交互作用 [2]がなく，結果として得られるテーパー角などの値が各エッチングパラメータ値の増減に対して単調増加あるいは単調減少すると仮定して検討を行った。

本研究で用いた機器のうちの主要なものを表 1 に示す。後述する柱形状のテーパー角などの寸法測定結果は柱状構造部の断面像が得られるように試験片を破折したものを破折面方向から撮影した電子顕微鏡像に対し，像中に表示されているスケールを基準に定規によって測定して求めたものである。

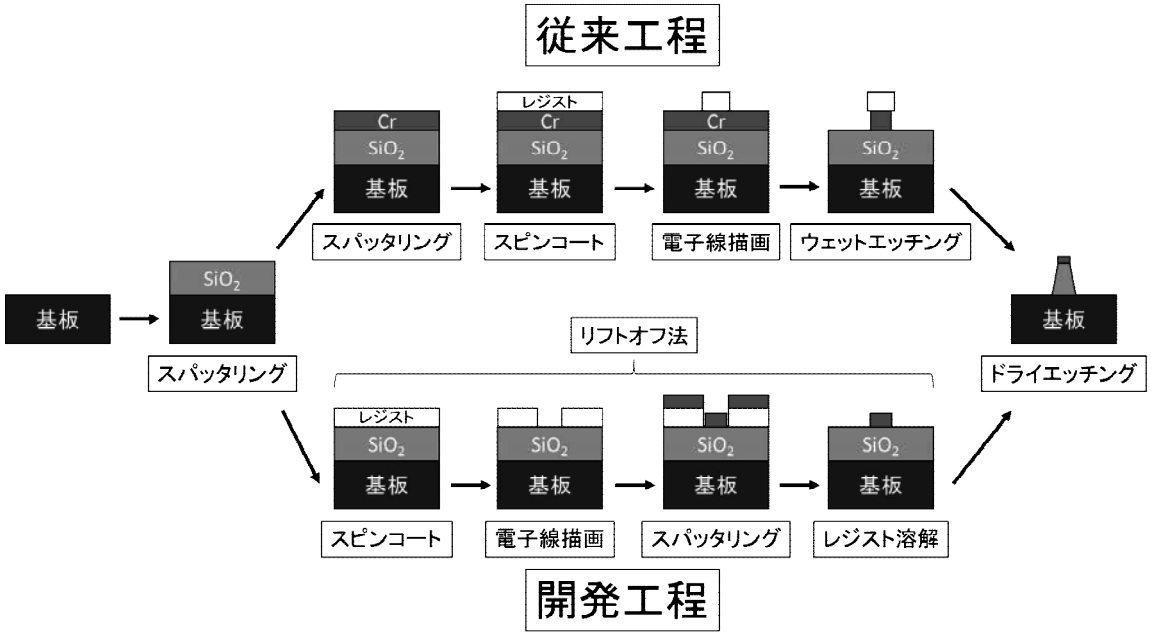

図 1　従来工程と開発工程

表 1　研究に用いた主要装置

装置名	メーカー	機種
スパッタリング装置	芝浦メカトロニクス（株）	CFS-4EP-LL（i-Miller）
電子線描画装置	（株）日立ハイテクノロジーズ（電子線描画部：（株）東京テクノロジー）	S4300SE（電子線描画部：Beam Draw）
ドライエッチング装置	A社	ICP-A

3. 実験結果

3.1　CF_4によるドライエッチング条件の検討

昨年度のドライエッチング条件に関する検討結果[1)]に基づき，エッチングガスとしてCF_4を用いた場合に最もテーパー角が小さくなると推定される条件でのテーパー角を確認することから行った。昨年度の結果に基づき推定された最適条件によって作製された柱状構造の破折面の電子顕微鏡像を図 2 に示す。

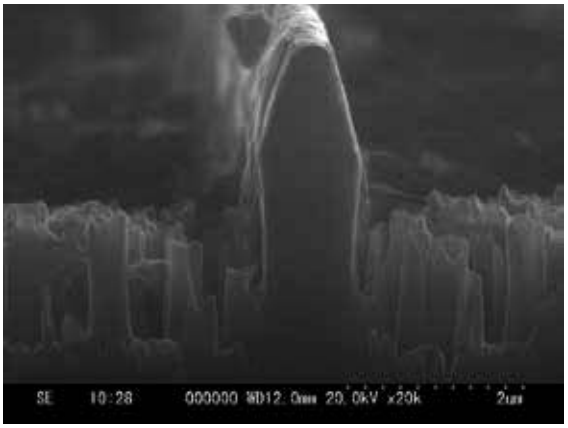

図 2　推定された最適条件によって作製された柱状構造の電子顕微鏡像

図 2 からわかるように，エッチング面に一様に細長い草のような柱状の構造（以後これをグラスと呼ぶ）が形成されていることが分かった。発生したグラスについては，エッチング面になんらかのタイミングで反応の副生成物が堆積し，その堆積物がマスクの働きをすることによって形成されたものと推定した。グラスの存在は最終的な製品性能の低下要因となる可能性があるため，これが発生しない条件の探索が望まれる。

引き続きCF_4によるドライエッチングについて，昨年度の結果に基づき推定された最適条件を基準として，Ar ガス流量，コイル／プラテン出力，チャンバー内圧力がテーパー角，グラス発生，ガスディフューザ部温度の上昇に与える影響について調べた結果をまとめたものを表 2 に示す。

まずテーパー角に与える影響については，エッチングガス流量および Ar 流量は小さい方が，チャンバー内圧力は高い方がテーパー角が大きくなることがわかった。一方，コイル／プラテン出力がテーパー角に与える影響は小さかった。

ガスディフューザ部の温度の上昇に与える影響についてはコイル／プラテン出力の影響が比較的

表 2　エッチング条件パラメータとテーパー角等のエッチング結果との相関関係（CF_4の場合）

	テーパー角	ガスディフューザ部温度の上がり易さ	グラス発生量
エッチングガス流量	負の相関	-	-
Ar 流量	負の相関	弱い負の相関	弱い負の相関
コイル/プラテン出力	-	正の相関	強い負の相関
チャンバー内圧力	正の相関	-	-

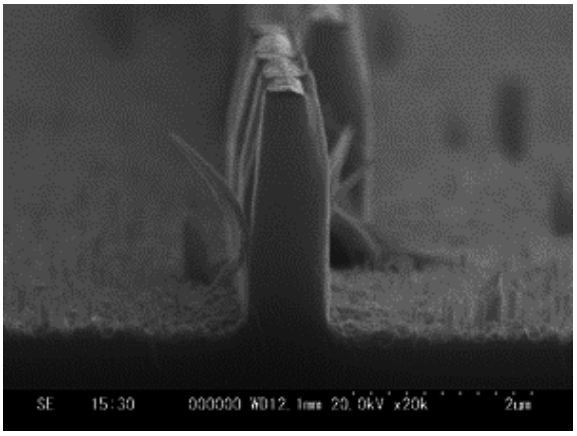

図 3 CF_4 を用いた場合の最適エッチング条件により得られた柱状構造の電子顕微鏡像

大きく，コイル／プラテン出力を大きくすることでガスディフューザ部の温度が上昇し易くなることがわかった。

グラス発生に与える影響については，今回検討したパラメータの中ではコイル／プラテン出力の影響が突出して大きく，コイル／プラテン出力を小さくするとグラスが発生しやすくなることがわかった。

これらの結果によって，グラスが発生せずかつテーパー角ができるだけ小さくなるような条件を総合的に検討し，最適と思われるエッチング条件を導き出した。その条件で微細構造形成を行った結果得られた微細構造の電子顕微鏡画像を図 3 に示す。なお，この条件ではガスディフューザ部の温度はエッチング中に上限温度には達せず，一時停止することなくエッチングを実行することができた。

3.2 C_4F_8 によるドライエッチング条件の検討

C_4F_8 を用いたドライエッチング条件についてはこれまで標準的に用いてきたドライエッチング条件が存在するが，これが当該装置における最適エッチング条件（テーパー角が最も小さくなる条件）かどうかは定かではなかった。そのため，CF_4 について行った検討と同様に，上記の標準エッチング条件を基準として，各条件パラメータがテーパー角や連続エッチング可能時間に与える影響について検討した。検討した条件パラメータは CF_4 と同じ 4 種類のパラメータである。その結果について定性的にまとめたものを表 3 に示す。

テーパー角に与える影響については，エッチングガス流量と Ar 流量の影響が突出して高く，どちらも流量を増やすとテーパー角が急激に大きくなることがわかった。これは CF_4 の場合とは逆の傾向である。チャンバー内圧力については大きい方が，コイル出力は小さい方がテーパー角が大きくなることがわかった。ガスディフューザ部の温度上昇に与える影響については，エッチングガス流量および Ar 流量は小さい方が，コイル／プラテン出力は大きい方が，チャンバー内圧力は低い方がガスディフューザ温度が上がり易くなることがわかった。

グラス発生に与える影響については，ほぼすべての条件で明確なグラスの発生が確認されなかったため詳細は不明であるが，チャンバー内圧力を上げた場合について，若干のグラス発生の兆候が確認された。CF_4 の場合と比べると，全体的にグラスが発生しにくい傾向にあったと言える。

表 3 エッチング条件パラメータとテーパー角等のエッチング結果との相関関係（C_4F_8 の場合）

	テーパー角	ガスディフューザ部温度の上がり易さ	グラス発生量
エッチングガス流量	強い正の相関	負の相関	-
Ar 流量	強い正の相関	負の相関	-
コイル/プラテン出力	負の相関	正の相関	-
チャンバー内圧力	正の相関	負の相関	正の相関

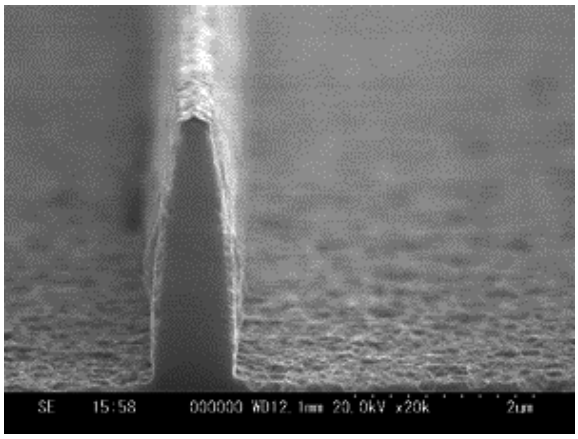

図 4　C_4F_8 を用いた場合の最適エッチング条件により得られた柱状構造の電子顕微鏡像

これらの結果によって, 総合的に優れていると思われるエッチング条件を推定して微細構造を形成した。その結果得られた微細構造の破折面の電子顕微鏡像を図 4 に示す。

また, 推定された最適エッチング条件はこれまで用いていた標準エッチング条件に非常に近い条件であることがわかった。

なお, 求められた最適ドライエッチング条件では柱高さが 3μm に達する以前にガスディフューザ部の温度が上限に達してしまうため, 途中一時停止が必要となっている。表 3 に示したようにように C_4F_8 ガスを用いた場合については，今回検討した条件パラメータについてはテーパー角の大きさとガスディフューザ部温度の上がり易さの相関関係がすべて逆になっているので, テーパー角の減少とガスディフューザ温度の上がりにくさを両立する条件の実現は難しいことが推定される。

4. 結　　言

(1) Si ウェハー上に SiO_2 を堆積させた基板に対し，リフトオフ法により作製した Ni マスクを用いたドライエッチングプロセスを適用して微細柱状構造の試作を行った。

(2) エッチングガスとして CF_4 および C_4F_8 を用いた場合について，エッチングガス流量，Ar ガス流量，コイル／プラテン出力，チャンバー内圧力が微細構造形状などのドライエッチング結果に与える影響について考察した。

(3) (2)の考察結果に基づき，柱状構造のテーパー角，グラスの発生状況，ガスディフューザ部の温度上昇などへの影響を総合的に考慮した最適エッチング条件を推定し，その条件による微細柱状構造の作製を行い，実際に作製された形状の確認を行った。

参考文献

1) 小林泰則ほか，“超微細構造部品製造技術の開発”，工業技術研究報告書，新潟県工業技術総合研究所，No.48，2019，pp. 8-13.

2) 鷲尾泰俊，実験計画法入門，1997，p. 8.