研究論文

超微細構造部品製造技術の開発

小林　泰則*　丸山　英樹*　山田　敏浩*　宮口　孝司*　佐藤　健**　阿部　淑人**
安井　忠***　橘　純***　山崎　貴弘***　平井　政夫***　小林　一則***

Development of Manufacturing Technology for Ultrafine Components

KOBAYASHI Yasunori*, MARUYAMA Hideki*, YAMADA Toshihiro*, MIYAGUCHI Takashi*,
SATOU Takeshi**, ABE Yoshito**, YASUI Tadashi***, TACHIBANA Jun***,
YAMAZAKI Takahiro***, HIRAI Masao***and KOBAYASHI Kazunori***

抄　録

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。今回はリフトオフ法によるマスク作製, CF_4およびCHF_3ガスを用いたドライエッチングによる構造作製を行った。その結果，上記目標を達成する条件を見出した。また，従来の作製法と比べてテーパー角が改善することも確認した。

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，本研究では柱幅およびテーパー角の減少，製造時の柱形状ばらつきの軽減を目指し，リフトオフ法の導入，マスク材料の変更，ドライエッチング条件の検討およびドライエッチング装置の変更による形状改善の可能性を検討した結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 従来工程と検討工程の比較

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。

従来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り作製しているが，今回検討した工程ではマスクをリフトオフ法により作製し，マスク材についても複数検討することにした。ウェットエッチング法ではエッチングの終点の判断が難しいためマスクの形状がばらつき，これがドライエッチングにより形成される柱形状がばらつく原因の主要因と考えた。また，ウェットエッチング液の周りこみが柱のテーパー角の増大に繋がっているものとも思われた。そのため，リフトオフ法の導入により，それらマスク形状に起因する問題の改善が図れるものと考えた。

また，これまではドライエッチングガスとしてC_4F_8を用いていたが, これをCF_4もしくはCHF_3に変更することによりドライエッチング時の保護層形成が軽減できるため，柱形状の改善が図れるものと考え，同時にガス種以外のエッチン

*　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

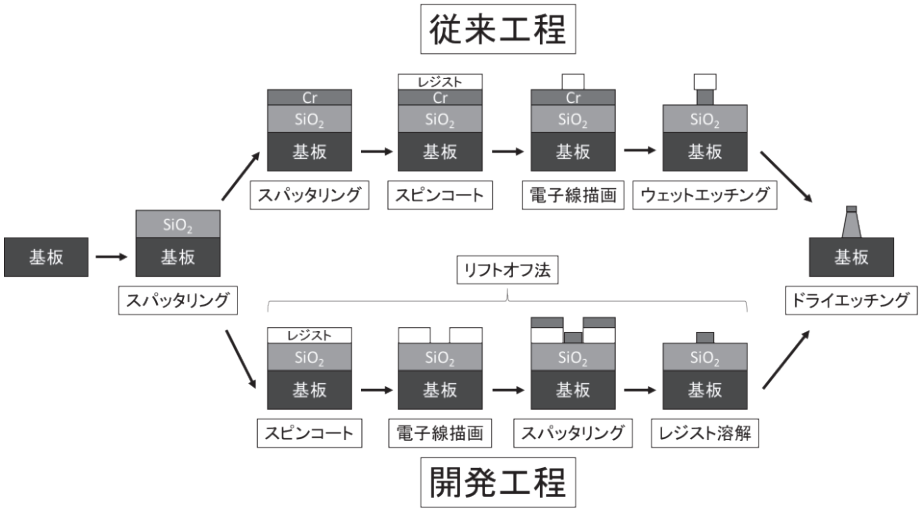

図 1　従来工程と開発工程

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

表 2　最良形状が得られた試験条件

レジスト種	Allresist社製SCAR62
レジスト膜厚	280nm
マスク材	Ni
スパッタ膜厚	500nm
ドライエッチング条件	CF_4: 80sccm coilHF:1600W、platenHF:200W 圧力0.53Pa、プロセス時間12min

グ因子が柱形状に与える影響についても検討した。

なお，各検討における実験条件の詳細は実験結果の項目で述べることとした。本研究で用いた機器のうちの主要なものを表1に示しておく。また，後述する柱形状の寸法測定結果は断面方向から撮影した電子顕微鏡像に対し，表示されているスケール表示を基準に定規により測定して求めたものである。

3.　実験結果

3.1　試験条件の基礎的検討

レジストの種類，レジスト膜厚，スパッタ膜厚などの実験因子を変えてより良い形状が得られる条件を探索した。その結果見つかった最良条件を表 2 に，この条件により得られた形状の

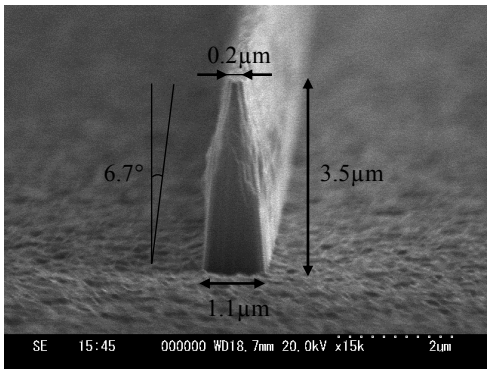

図 2 開発工程の最良条件で作成した形状

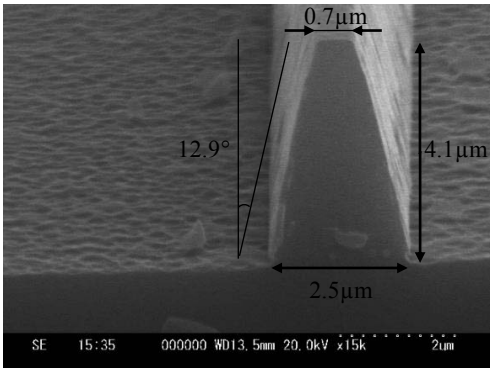

図 3 従来工程により作製した形状

表 3 検討した実験因子の一覧

条件番号	反応ガス種	反応ガス流量（sccm）	SF_6 流量（sccm）	O_2 流量（sccm）	Ar 流量（sccm）	coil出力/platen出力（W）	圧力（Pa）	下部電極チラー温度（℃）	プロセス時間（min）	ライン幅（μm）
1	CF_4	40	20	20	20	1000/80	1.2	10	6	0.6
2	CF_4	40	20	20	0	2500/200	0.5	40	6	0.8
3	CF_4	0	0	0	20	1000/80	1.2	40	6	0.8
4	CF_4	40	0	0	20	2500/200	0.5	10	10	0.6
5	CF_4	0	20	0	0	1000/80	0.5	10	10	0.8
6	CF_4	0	0	20	0	2500/200	1.2	40	10	0.6
7	CHF_3	0	0	20	20	2500/200	0.5	10	6	0.8
8	CHF_3	0	20	0	0	2500/200	1.2	10	6	0.6
9	CHF_3	40	0	0	0	1000/80	0.5	40	6	0.6
10	CHF_3	0	20	20	20	1000/80	0.5	40	10	0.6
11	CHF_3	40	0	20	0	1000/80	1.2	10	10	0.8
12	CHF_3	40	20	0	20	2500/200	1.2	40	10	0.8

電子顕微鏡像を図 2 に示す。また，従来工程により製造された形状の電子顕微鏡像を図 3 に示す。これらの結果から，リフトオフ法および新規エッチングガスの導入により柱幅の減少および柱テーパー角の改善が実現できることが確認できた。

3.2 ドライエッチング条件の検討

ドライエッチング条件が作製される構造の形状に与える影響を網羅的に調査するために実験計画法[1)]を活用した検討を行った。 具体的には L12 混合型直交表を用いて，9 種類のエッチング因子と 1 種のマスク作製因子について 10 因子 2 水準の実験計画を立てて検討した。実験の繰り返し数（n 数）は 1 とした。マスクはリフトオフ法により Allresist 社製 CSAR62 レジスト（レジスト膜厚 200nm）を用いて Ni を厚さ 150nm スパッタして作製した。

検討した実験因子および得られた柱形状の寸法測定結果の一覧をそれぞれ表 3 および表 4 に，得られた柱形状のうち高さが 3μm を超えたものの電子顕微鏡像を図 4 および図 5 に示す。なお，表 3 中のライン幅は，電子線描画の際に描くパターンの幅を示している。また，柱のテーパー角を特性値として分散分析を行った結果を表 5 に示す。

表 5 の結果から coil/platen 出力，SF_6 流量，反応ガス流量，反応ガス種は他の因子と比較して

F_0の値が非常に大きいため，テーパー角に与える影響が他の因子よりも非常に大きいと考えられた。また，表 6 に今回検討した各水準値におけるテーパー角の推定値を示す。表 6 から反応ガスとしてはCHF_3よりはCF_4の方が, coil/platen 出力は 2500W/200W よりも 1000W/80W の方が，反応ガス流量は 0sccm より 40 sccm の方が，SF_6流量は 0 sccm より 20 sccm の方がテーパー角が小さくなることが分かった。

表 4　柱形状の寸法測定結果

条件番号	下端幅（μm）	上端幅（μm）	高さ（μm）	テーパー角（°）
1	0.55	0.51	0.64	1.6
2	0.89	0.63	2.09	3.7
3	0.85	0.84	0.05	5.7
4	1.04	0.21	3.66	6.5
5	0.85	0.71	1.31	3.0
6	0.52	0.48	0.18	6.5
7	0.85	0.82	0.12	8.1
8	0.87	0.42	1.87	6.8
9	0.71	0.58	0.81	4.6
10	0.65	0.49	0.97	4.8
11	0.88	0.71	1.01	4.8
12	1.29	0.52	3.51	6.3

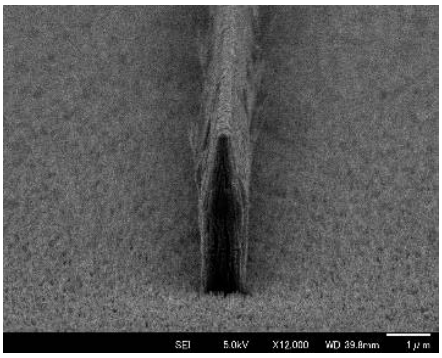

図 4　条件番号 4 の条件で作製された構造

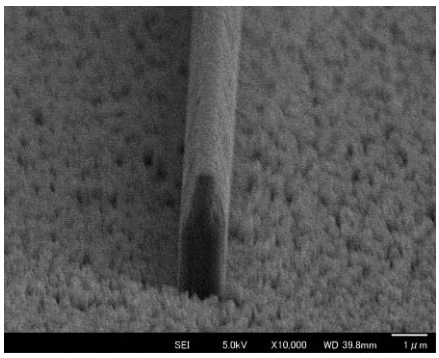

図 5　条件番号 12 の条件で作製された構造

表 5　分散分析結果

変動因	平方和	自由度	平均平方	F_0
反応ガス種	5.748	1	5.748	15.8
反応ガス流量	4.692	1	4.692	12.9
SF_6ガス流量	8.367	1	8.367	23.1
O_2流量	0.941	1	0.941	2.6
Arガス流量	1.137	1	1.137	3.1
coil/platen出力	14.857	1	14.857	40.9
圧力	0.088	1	0.088	0.2
下部電極チラー温度	0.037	1	0.037	0.1
プロセス時間	0.127	1	0.127	0.3
ライン幅	0.055	1	0.055	0.2
誤差	0.363	1	0.363	
総	36.412	11		

3.3　ドライエッチング装置による違い

他のドライエッチング装置を用いた形状製作についても検討した。上で述べた装置の他に放電形式に誘導結合方式（Inductively Coupled Plasma）を採用したドライエッチング装置（以後この装置を ICP-B と呼称する）および磁気中性線プラズマ（Neutral Loop Discharge）を採用したドライエッチング装置（以後この装置を NLD と呼称する）を用いた場合について報告する。

なお，これらの装置は前述の ICP-A と比較して SiO_2 のエッチングに適した装置仕様のものである。その結果得られた柱形状の電子顕微鏡写真の一覧を図 6 に示す。なお，これらの試料は前述の従来工程によって，エッチング条件とスパッタ膜厚を除いて同一の条件で作られたものである。エッチング条件は各装置の推奨標準条件とし，スパッタ膜厚は想定されるエッチング選択比を考慮して ICP-A と ICP-B については 120nm,

表 6　各水準値におけるテーパー角の推定値

変動因	水準値	左記水準値におけるテーパー角の推定値 (°)	水準値	左記水準値におけるテーパー角の推定値 (°)
反応ガス種	CF_4	4.5	CHF_3	5.9
反応ガス流量（sccm）	0	5.8	40	4.6
SF_6流量（sccm）	0	6.0	20	4.4
O_2流量（sccm）	0	5.5	20	4.9
Ar流量（sccm）	0	4.9	20	5.5
coil/platen出力（W）	1000/80	4.1	2500/200	6.3
圧力（Pa）	0.5	5.1	1.2	5.3
下部電極チラー温度（℃）	10	5.1	40	5.2
プロセス時間（min）	6	5.1	10	5.3
ライン幅（μm）	0.6	5.1	0.8	5.3

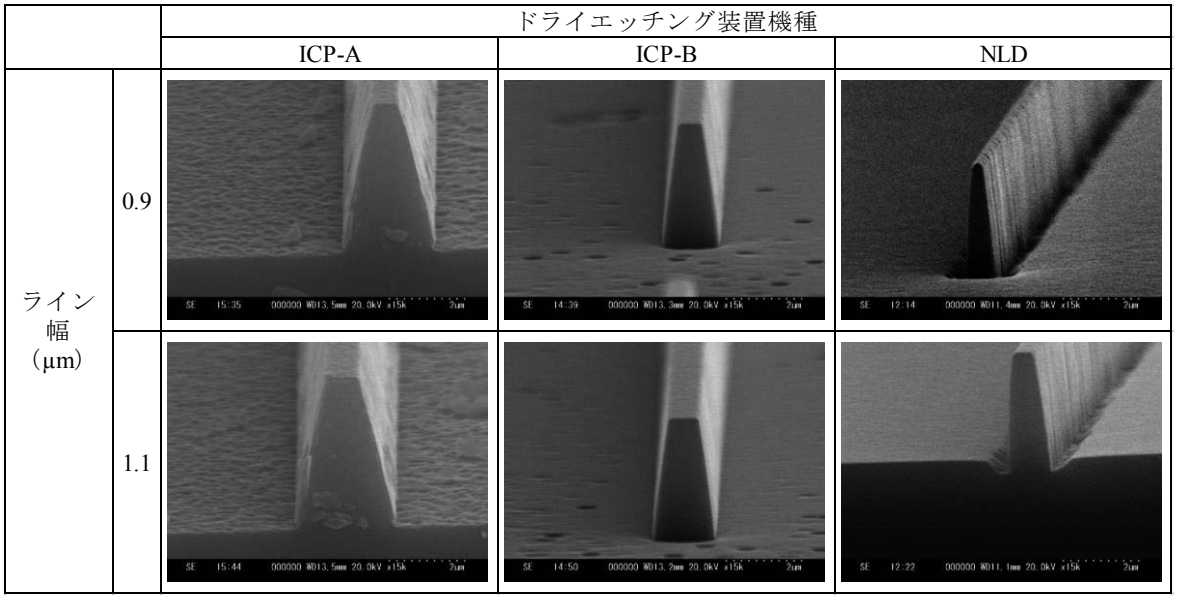

図 6　各エッチング装置により作製された柱形状の電子顕微鏡像の一覧

NLD については 200nm とした。また，図中の ICP-A のライン幅 0.9μm の写真は図 3 と同一のものである。

ICP-A と ICP-B の結果は柱側壁や平面部の平坦さに差異が見られるものの，基本的な柱形状の傾向は似ているが，NLD のものは柱の底面部に溝のようなものが形成されるなど形状が大きく異なっている。これは，ICP-A と ICP-B はどちらも放電形式が ICP 方式であることから，放電形式の違いによるものである可能性が考えられる。

4. 結　　言

（1） リフトオフ法および新規エッチングガスの導入により柱幅の減少およびテーパー角の減少が実現できた。

（2） 実験計画法に基づく検討により，柱テーパー角に影響を与える可能性が高いドライエッチング条件の制御因子として coil/platen 出力，SF_6 流量，反応ガス流量，反応ガス種が挙げられることが示された。

（3） ドライエッチング装置の違いにより，形成される柱形状の傾向が異なることが示され，特に放電形式の違いにより得られる柱形状が大きく異なる可能性が示された。

参考文献

1）鷲尾泰俊，「実験計画法入門」，日本規格協会，1997.