

# 低コストで環境負荷の低い微細加工工程に関する研究とその応用に向けた検討

製品・機能評価課 升方康智、奈須野雅明、室 慧悟\*1

## 1. 緒言

近年、Society 5.0 を見据え、半導体デバイスについて、微細化/高機能化が求められ、微細化の要求が高まっているが、微細加工工程では、複雑で高価な設備を用いることや、大量のエネルギーや温室効果ガスを必要することが課題となっている。今回、これらの課題の解決に向け、低コストで工程が単純なウエットエッチングでありながら Si の異方性エッチングが可能であること、温室効果ガスを用いないなどの利点を持つ<sup>(1)</sup>メタルアシストエッチング法 (MacEtch 法) による微細加工法について検討を行う。

## 2. 微細加工手順

### 2.1 メタルアシストエッチング法

MacEtch 法は、Si 基板上に貴金属をパターンニングし、フッ酸と酸化剤 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) を含む溶液に浸すことで、金属表面で H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> が還元され生成するホールにより触媒近傍で SiO<sub>2</sub> を形成し、HF により溶解することで除去され、金属は再度 Si に接触。これを繰り返して触媒直下の Si が選択的に除去される。これにより Si のエッチングを行う。

### 2.2 ナノインプリント法とポーラス膜によるプロセス

MacEtch 法は、前述のメリットがあるが、パターンニングにフォトリソグラフィーが用いられ、高額設備を必要とする、アルカリ廃液の発生といった課題がある。これらの課題の解決に向け、ナノインプリント法とナノポーラス金属膜を用いて金属触媒のパターンニングを行い、MacEtch 法により Si の加工を行う手法を検討した。そのプロセスを Fig.1 に示す。①Si 基板上にレジストを塗布、②、③ナノインプリント法でパターンを形成、④スパッタで金属触媒パターンを形成、⑤MacEtch 法により Si の加工を行い、⑥レジスト、金属触媒を除去しパターンを形成する。

スパッタは極短時間とし、スパッタ初期成長の島状成長を利用したナノポーラス構造を形成する。ナノポーラス構造においては、フッ酸 (HF) の液交換が行われ、MacEtch 法による加工を行うことができる。

この手法の利点として、リソグラフィー法と比較して安価な設備で実施でき、アルカリなどを排出しないため、環境負荷を低減することができる。また、本工程では、ナノポーラス構造において均一に液交換が行われるため、

通常の MacEtch 法では難しい大面積の加工も可能になる。

## 3. プロセス手順

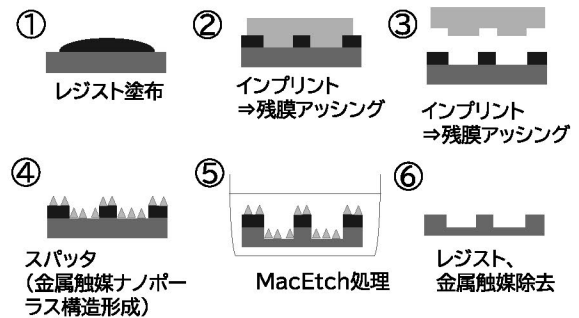


Fig. 1 Illustration of MacEtch Mechanism

レジストは、ZPP1700PG:日本ゼオンを PGMEA で 1:5 の割合で希釈して用いた。これを Si 基板上に滴下し、PDMS モールド (500nm, 2μm hole, 500nm L/S) を押し付け、乾燥させた後、離型し、レジストパターンを形成した。レジストの残膜を除去するため、O<sub>2</sub> アッシング (50W, 90s) を行った。金属膜の形成は、スパッタ装置 (SH-250-T4) により行った。Si ウエハの加工は、過酸化水素を含むフッ酸溶液に 10min 浸漬し、MacEtch 処理を施した。

## 4. 実験結果および考察

Si ウエハ上にスパッタした、各膜厚における Au 膜の SEM 像を Fig.2 に示す。1.2nm, 2.0nm とした場合にナノポーラス構造となることが確認できる。4.0nm の場合、ポーラスは消失することが確認できる。

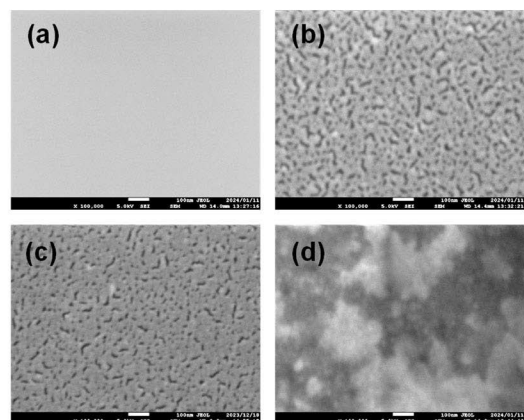


Fig. 2 (a) SEM image of the Si wafer SEM image of Au film on the Si wafer (b)1.2nm (c)2.0nm (d)4.0nm

\*1 現 商工労働部

ナノポーラス構造を持つ、2.0nm の Au 膜を触媒に用い、MacEtch 処理を行った結果を Fig.3 に示す。500nm dot, 2 $\mu$ m dot, 500nm L/S パターンが形成されていることが分かる。なお、断面観察(Fig.3(d))より、加工深さは約 550nm 程度であった。Au 膜厚が 4.0nm 以上の場合、加工は行われなかった。ナノポーラス構造によりフッ酸(HF)の液交換が行われ、MacEtch 法によるエッチングが行われたと考えられる。

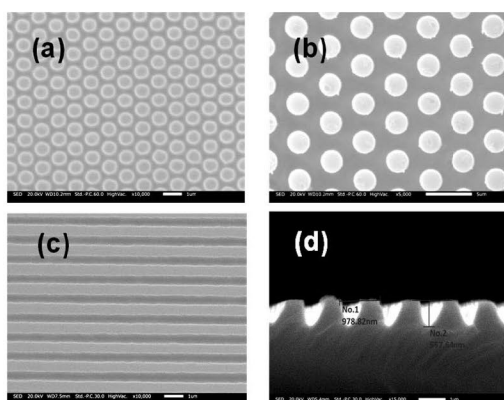


Fig. 3 Si wafer etched by macetch process (a)500nm dot (b)2 $\mu$ m dot (c)500nm L/S (d)cross section of 500nm L/S

また、膜厚が 1.2nm の場合、スパッタ膜の粒成長が進んでおらず、独立した状態であるため、粒同士の結びつきが弱く、エッチング時に一部剥離し、良好な加工は行われなかった(fig 4(a))。Au 膜厚は 2.0nm 程度とし、ナノポーラス構造でありながらも粒同士一定程度結びつき、エッチング時にも固定される状態とすることが必要であることが分かった。

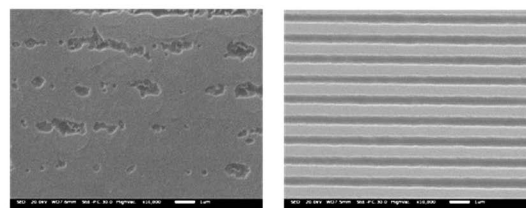


Fig. 4 Si wafer etched by macetch process (a) with 1.2nm Au film (b) with 2.0nm Au film

## 5. 結言

ウェットエッチングでありながら Si の異方性エッチングが可能である MacEtch 法について、金属触媒のパターニングにナノインプリント法を用い、金属触媒をナノポーラス膜とすることで、高価な装置を必要とするエッチング工程だけでなく、高額な設備が必要で、環境負荷の高いアルカリ廃液を排出するフォトリソグラフィ工程も用いることなく Si の微細加工を行った。この手法ではサブ  $\mu$ m の Si 微細加工が可能であり、光学素子などの作製に適用できる可能性がある。

また、通常の MacEtch 法では、金属触媒の端部からのみエッチングが行われるため、微細な形状の加工にのみ適応できるものとされ、大面積の加工には適さないとされてきたが、本工程では、ナノポーラス構造において均一に液交換が行われるため、通常の MacEtch 法では難しい大面積の加工も可能になる。これにより、超音波センサや圧力センサなどの MEMS 素子のダイアフラム構造作製にも適用できる可能性がある。

## 参考文献

1) X. Li and, et al., Appl. Phys. Lett. 77, 2572 (2000)

キーワード：微細加工、環境負荷、MEMS

## Research on Microfabrication Processes with Low-cost, Low Environmental Impact and Their Application

Product and Function Evaluating Section; Yasutomo MASUGATA, Masaaki NASUNO and Keigo MURO\*<sup>1</sup>

In recent years, the development of semiconductor devices, requires the formation of fine patterns. However, the microfabrication process of semiconductor devices, optical elements, etc., generally requires complex processes and expensive equipment, and the process requires large amounts of energy and greenhouse gases such as CF<sub>4</sub>, SF<sub>6</sub>. Which impose environmental burdens. The process also requires large amounts of energy and greenhouse gases such as CF<sub>4</sub> and SF<sub>6</sub>. In order to solve these problems, we investigated a microfabrication method using the assisted etching method (MacEtch method), which has the advantages of low cost, simple process, anisotropic etching of Si, and no use of greenhouse gases.