

# ミニマル深掘リエッチング・マイクロローディング特性解析

## Analysis of micro loading effect in minimal ICP deep trench etching

○田中 宏幸<sup>1,2</sup>, 小木曾 久人<sup>1,2</sup>, 中野 禪<sup>1,2</sup>, 野沢 善幸<sup>2,3</sup>, 速水 利泰<sup>2,3</sup>, クンブアン ソマワン<sup>1,2</sup>, 原 史朗<sup>1,2</sup>  
(<sup>1</sup>産総研, <sup>2</sup>ミニマルファブ推進機構<sup>3</sup>SPPテクノロジーズ)

○H. Tanaka<sup>1,2</sup>, H. Ogiso<sup>1,2</sup>, S. Nakano<sup>1,2</sup>, Y. Nozawa<sup>2,3</sup>, T. Hayami<sup>2,3</sup>, S. Khumpuang<sup>1,2</sup>, and S. Hara<sup>1,2</sup>  
(<sup>1</sup>AIST, <sup>2</sup>MINIMAL, and <sup>3</sup>SPP) E-mail: tanaka.hiroyuki@aist.go.jp

### 【背景・目的】

我々が開発してきたミニマルファブ<sup>1)</sup>は多品種少量生産システムであり、品種数が非常に多い MEMS デバイスの研究開発と生産には大変適したシステムである。このため、ミニマルファブで MEMS の基幹技術である深掘リエッチング技術を利用可能にすることは、ミニマルファブの MEMS 応用上最重要課題の一つである。

ミニマルファブにおいて、我々は既に 2sec サイクル高速ガス置換 ICP(Inductively Coupled Plasma) ボッシュ深掘リエッチング<sup>2)</sup>装置を開発し、250 $\mu\text{m}$  幅の Si 基板スキャロップフリー貫通エッチングに成功している。ただし、このときのアスペクト比 (加工パターン寸法に対するエッチング深さ寸法比) は 1 程度だった。したがって、今後の課題は、高アスペクト比(深さが幅よりも遙かに深い深さ/幅比率)においても精度良く垂直にかつ効率的にエッチングすることである。ここで、異なるアスペクト比が混在するパターンをエッチングすると、高アスペクト比側でマイクロローディング効果<sup>3)</sup> (加工パターン寸法とともにエッチングレートや選択比が変化する現象) によりエッチング速度低下が顕著になることが知られている。所望の加工深さを得るためにエッチング時間を長くするとマスクが後退し、下地が露出したところでは過剰なオーバーエッチに曝される等の問題があった。これらは、エッチャントが開放空間に比べ狭小空間で供給不足になるか、不要生成物の排出能力が足りないためと考えられるが、実際に何が重要かを科学的に検討する必要がある。そこで、実際にどのような物理量がマイクロローディング効果に作用するのかを検討したので報告する。

### 【エッチング現象全体を把握する実験】

図 1 は、品質工学 L-18 直交表を用いたパラメータ設計<sup>4)</sup>を行った 2sec ボッシュサイクルでのマイクロローディング効果の実験結果を示している。赤い線が各種物理量のマイクロローディング効果への依存性である。直線的な比例関係となるものが強い依存性を示すと判断される。その点で、チェンバー真空度、ICP パワー、バック He、デポ/エッチの時間配分パラメータが強い依存性を示した。この結果から、圧力を下げ (5Pa)、パワーを下げ (25W)、バック He を上げ (1.5kPa)、デポをエッチングよりも長くすれば良いと判った。圧力を下げれば、平均自由行程が長くなるのでガスの狭小空間での出入りが促進される。パワーを下げ、バック He で冷却効果を高めればエッチング反応速度が落ちるので、相対的にガスの出入りがし易くなる。デポ比率を上げて同様である。以上は、当初の予想通りガス置換のし易さがマイクロローディング効果を軽減することを意味している。

### 【マイクロローディング効果検証実験】

厚さ 250nm の Si 基板上に 10、20、40、100 $\mu\text{m}$  溝幅で 300nm 厚の Al マスクパターンニング後、以上で得られた圧力、パワー、デポ/エッチング比 (詳細は図 1 記載条件) を用いて、2sec サイクル深掘リエッチングを 1 時間行った (図 2)。その結果、溝加工のアスペクト比が 2 程度以上からマイクロローディング効果の影響が現れ始め、アスペクト比 5 程度では、約 7% のエッチレート低下を観測した (図 3)。これはマイクロローディング効果が比較的小さい条件であると考えられる。

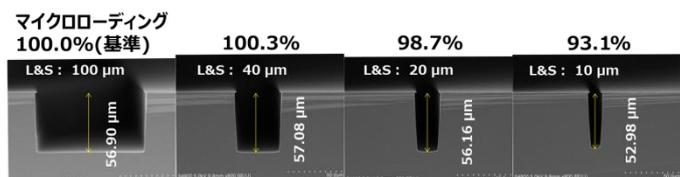
<参考文献>

- 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).
- 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).
- C. Hedlund, H.O.Blom, and S. Berg: "Microloading effect in reactive ion etching", J. Vac. Sci. Technol. A 12(4), Jul/Aug 1994
- 田口玄一, 「研究開発の戦略一華麗なるタグチメソッドの真髄」, 日本規格協会, 2005.6. 223p, ISBN 9784542511262

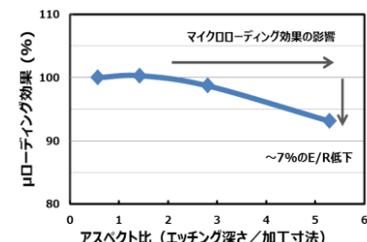


<Etching Recipe> Time=300sec  
Bias 2W/Bias on 70%(0.6sec)/5Pa/ICP25W/SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>=7.2sccm:4.8sccm/  
Average 6sccm/BackHe 1.5kPa/Depo:Etch=1.1s:0.9s (2 sec cycle)

【図 1】 2sec ボッシュサイクルにおけるマイクロローディング要因効果図と実験条件



【図 2】 アルミマスク使用時における 2sec サイクルボッシュプロセスエッチング形状溝加工幅 100 $\mu\text{m}$  を基準としたマイクロローディング値



【図 3】 2sec サイクルボッシュプロセスにおけるアスペクト比とマイクロローディング相関