深掘りエッチング時のサイドエッチメカニズムの解析

Analysis of side etch mechanism during deep trench etching

○田中 宏幸 [1,2], 小木曽 久人 [1,2], 中野 禅 [1,2], 野沢 善幸 [2,3], 速水 利泰 [2,3], クンプアン ソマワン [1,2], 原 史朗 [1,2]
([1]産総研, [2]ミニマルファブ推進機構 [3]SPP テクノロジーズ)

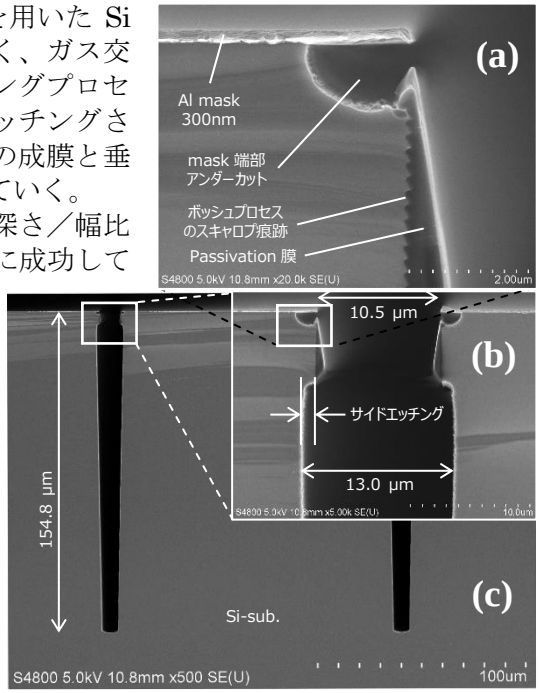
°H. Tanaka[1,2], H. Ogiso[1,2], S. Nakano[1,2], Y. Nozawa[2,3], T. Hayami[2,3], S. Khumpuang[1,2], and S. Hara[1,2]
([1]AIST, [2]MINIMAL, and [3]SPPT) E-mail: tanaka.hiroyuki@aist.go.jp

【 背景・目的 】

ミニマルファブ[1]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り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 応用における最重要課題の一つである。

我々は MEMS の基幹技術であるボッシュプロセス[2]を用いた Si 基板深掘りエッチング手法をミニマルファブに応用すべく、ガス交互供給型のエッチング装置の開発と、その深掘りエッチングプロセス技術の開発を行ってきた。ボッシュプロセスでは、エッチングされたサイドウォールの保護のためにパッシベーション膜の成膜と垂直エッチングを、それぞれ向けのガスの交互供給で進めていく。

ミニマルファブにおいて、我々は既にアスペクト比（深さ／幅比率）15 を超える 250μm 厚 Si 基板貫通深掘りエッチングに成功している。ただし、図 1 (a)の様なマスク端部直下に発生するアンダーカットや、図 1 (b)の様なサイドエッチングが予期せず発生することがある。これらの 2 つの現象は、エッチング加工が高アスペクト比化するにつれて次第に無視できない問題となっている。特に深掘りエッチングの場合、長時間のエッチング過程でこれらの２つの問題が発生するそれぞれの箇所は、両方ともエッチング開始時から常にプラズマエッチングに曝される場所である。そこで、これらの問題がどうして発生するのか、その発生メカニズムと抑止方法を検討したので報告する。

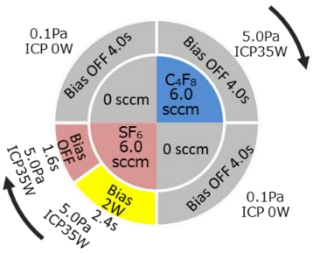


【図 1】下記エッチング条件で 10μm幅のトレンチ加工を約 150μm エッチングした時のマスク下エッチング形状断面 SEM 写真
(a) : x500 倍, (b) : x5k 倍, (c) : x20k 倍

【 開発装置・実験と結果 】

我々が最近開発した装置は、シースを発生させて異方性エッチングを行うため、ウェハ基板側からパルスバイアス（2MHz, V_{PP} 0~400V, Duty 比 0~100%）を任意に印加することができるようしている。ウェハ基板はメカニカルクランプで固定し、ウェハ裏面からは He を介して室温でウェハ温度上昇を抑える様にした。

Si 基板上に 300nm の Al-Si(1w%)膜をマスク材として 10μm 幅の溝パターニング後、（図 2）に示すボッシュサイクルのタイムチャートを基準として 4h の Si 基板深掘りエッチングを行った SEM 写真を（図 1）に示す。その結果、Al マスク端部直下に等方的なアンダーカットとマスク下 5 μm 程下方からのサイドエッチングが、それぞれ 1.5μm 幅程度で見られる結果となった。これらはいずれも、横方向のエッチングを防止するためのパッシベーション膜がエッチング時に削り取られて耐エッチング機能を維持できなかったということである。しかしながら、マスク下 5 μm 深さまでは、ボッシュプロセス特有のスキャロプ痕跡が見られているため、エッチングの開始時は、垂直方向のエッチングが上手く機能していた可能性が高い。したがって、横方向へのエッチングは、エッチング工程中盤以降でパッシベーション膜が消失してしまったものと考えられる。



【図 2】 <Etching Recipe>
Time=4.0hr /1cycle=16s/5Pa/ICP35W/
SF_6:C_4F_8=6sccm/Back He 1.0kPa/
Depo:Etch=4.0s:4.0s, Interval: 4s×2
Bias Duty 比=100%, Bias Power=2W

今回の実験から、深掘りエッチング過程でパッシベーション膜消失を抑える方向へのパラメータ（ガス比、１サイクルあたりの時間配分、RF Power など）変更が効果的であると解った。

＜参考文献＞
[1] 原 史朗, クンプアン 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).
[2] F. Laermer, A. Schilp, K. Funk, M. Offenberg: “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).

© 2019年 応用物理学会