

液滴エッチングによる電子デバイス材料の加工研究

[研究代表者] 田中 浩 (工学部機械学科)

研究成果の概要

持続社会に必須なセンサ基本加工技術の一つがウエットエッチングである。現在、シリコン異方性ウエットエッチングで使用される KOH や TMAH は高濃度の水溶液が使用されている。これらのアルカリ水溶液を高濃度で使用すると、廃液処理に労力を費やし、環境や人体に悪影響を及ぼす可能性もある。著者らは、低濃度の液滴を使用した環境にやさしく持続可能と考えるエッチング方式を研究中である。低濃度の液滴は、加工部に落下する直前に加熱・蒸発し高濃度になる。加工時は少量の高濃度液によって高速・平滑となる加工が行えると考えている。

これまで代表的な電子デバイス材料であるシリコンウェハ（{100}面）に与える加工特性の解明を進めてきた。今回、5wt%の KOH 水溶液を液滴化し、KOH 水溶液液滴を赤外線局所加熱ヒータで高濃度化し、シリコンウェハ表面のエッチング状況を詳細に確認した。今回の方法では反応中の温度が 90~95°C付近で、流量が 36~38[$\mu\text{L}/\text{min}$]の時、エッチング速度が最も大きくなり、マイクロピラミッド（{111}面から成る）がなくなり、平滑な面が得られることが確認できた。

研究分野：生産加工、表面処理

キーワード：シリコン、液滴、低濃度、マイクロピラミッド

1. 研究開始当初の背景

SDGs の目標にも掲げられているように、モノをつくる責任も今後は考えていかななくてはならない。我々が取り組んでいるエッチング加工の分野においては、環境にやさしいプロセス技術の開発が必要とされている。

2. 研究の目的

本研究室では、低濃度の液滴を使用したエッチング方式を提案、実用化することを目標に研究を進めている。これにより毒劇物に相当せず、少量液利用で、環境と人にやさしいプロセスを構築できると考える。

今回、5wt%の KOH 水溶液を液滴化し、KOH 水溶液液滴を赤外線局所加熱ヒータで高濃度化し、シリコンウェハ表面のエッチング状況を詳細に確認したので報告する。

3. 研究の方法

液滴エッチング装置の概要を図 1 に示す。ポリプロピレン容器に入れられた低濃度アルカリ水溶液は、微量送液ポンプを使用し、内径 1.5mm のシリコンチューブにより送

液される。シリコンチューブ先端から微量に送出された液は、チューブ先端で液滴となる。形成した液滴は、ある大きさになると自重により試料上部へ落下する。また、チューブ先端で液滴化している液は、局所加熱されるように赤外線局所ヒータが設置されており、液滴から水分が蒸発し、高濃度化する。試料は SiO₂ 膜をエッチングマスクとして四角パターンを形成した 1mm 角の Si(100)面チップを用いた。

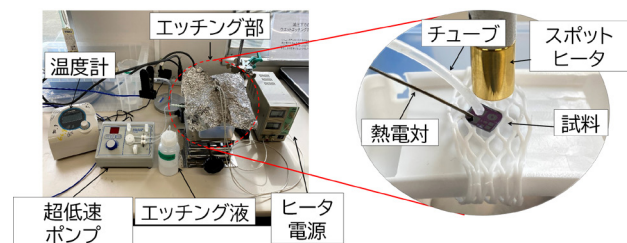


図 1 液滴エッチング装置概要

4. 研究成果

液滴の温度とエッチング速度との関係を、各種液滴量についてまとめた結果を図 2 に示す。また、エッチング温度

を各温度帯にわけて区別し、その時の KOH 水溶液濃度とエッチング速度との関係をまとめた結果を図3に示す。

エッチング速度は温度と共に、特に 80°C以上で大きく増加することがわかった。流量を減らし局所加熱を行うと、濃度が高まりマスク膜までエッチングしてしまいエッチング速度が低下してしまうことがわかった。加えて、エッチング温度の上昇とともに KOH 濃度とエッチング速度は高まるが、濃度 40%を超えるとエッチング速度が低下することがわかった。このエッチング速度の濃度依存性は従来のエッチング液に浸漬して行った依存性と同様であり、液滴エッチングにおいても、基本的なエッチング特性は変わらずに加工されていると考えられた。

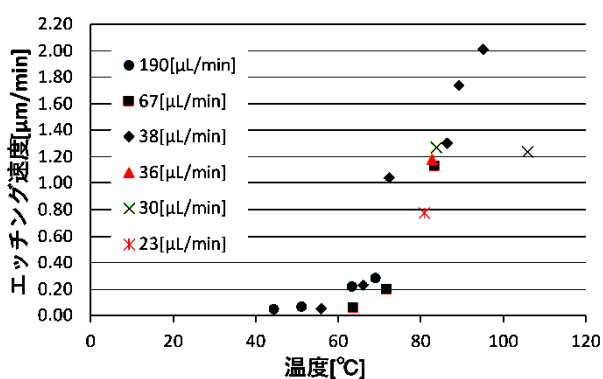


図2 液滴エッチング方法における各種液滴量でのエッチング液温度とエッチング速度の関係

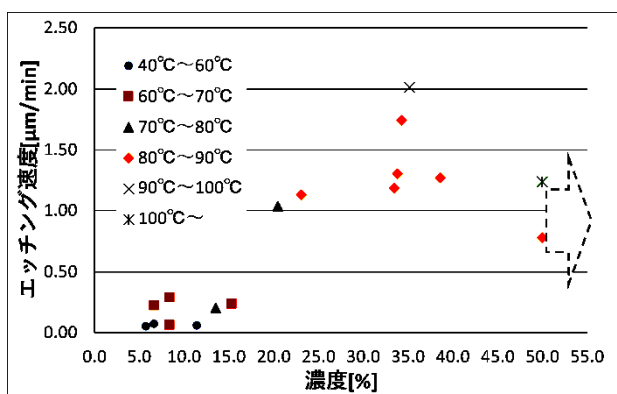


図3 液滴エッチング方法における KOH 水溶液濃度とエッチング速度の関係（点線矢印は 50%に示しているデータが、>50%であることを表している）

図4には、液滴エッチング方法でエッチングした後のエッチング表面の外観を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した結果を示す。

従来のエッチング液に浸漬して行うエッチングでは、

5wt%の KOH 濃度においてはエッチング表面にマイクロピラミッドと呼ばれる微小な凹凸が発生する。これは低濃度ではエッチング速度の異方性が凹凸を発生させる条件を満足してしまうためである。図4(3)の条件（低温、低濃度）では、マイクロピラミッドが発生しているが、液滴がより高温、高濃度になっている状況（図4(1)、(2)）では、平滑かつ速度も高い状況でエッチングできていることを確認できた。

以上、今回、液滴量と加熱温度の適正な条件で、一般的に 5wt%KOH 水溶液では得ることができない、平滑なシリコンエッチング表面が得られることがわかった。また、液滴を用いたエッチングは局所的に加工が行えるメリットも兼ね備えており、単結晶シリコンのエッチングのみならず、他のマイクロデバイスのエッチング加工にも展開できると考えている。

	温度	濃度	エッチング速度	250 倍	20000 倍
(1)	95.2°C	35.2%	2.01 [μm/min]		
(2)	86.4°C	33.9%	1.30 [μm/min]		
(3)	72.4°C	20.5%	1.04 [μm/min]		

図4 液滴エッチング方法でエッチングした後のエッチング表面 (SEM) 観察結果

5. 本研究に関する発表

- (1)河原宏紀, 田中浩, “低濃度液滴を用いたシリコンアルカリ異方性ウエットエッチング方法—エッチング加工特性に与える要因—”, 表面技術協会第 147 回講演大会, 千葉工業大学, p-22, (2023.3)
- (2) 田中浩, 長澤拓海, 川原祐斗, “低濃度アルカリ液滴を用いたシリコン異方性エッチング方法とその加工特性”, スマートプロセス学会誌, 11(2022), p.209-214.