

特集 自動車用センサの高精度・高速シリコンウエットエッチング技術の開発*

Precise and High Speed Silicon Wet Etching for Automotive Semiconductor Sensors

阿部吉次

Yoshitsugu ABE

伊藤基樹

Motoki ITO

小島史夫

Fumio KOJIMA

井上和之

Kazuyuki INOUE

竹中 修

Osamu TAKENAKA

坂井田敦資

Atsushi SAKAIDA

Recently car electronics systems have become widespread for vehicle performance, safety improvements and environmental protection. Semiconductor pressure sensor is one of the key devices which has made these electronics systems possible. This sensing element, silicon diaphragm is fabricated by anisotropic wet etching. The sensitivity of pressure sensor is dependent of diaphragm thickness and area. Therefore it has been necessary to develop a precise and high speed wet etching technology for compact and high sensitive sensors. Then we have developed a new wet etching technology which is characterized as follows.

1. Smooth and high speed etching by high temperature and high concentration of KOH solution over the boil point of the water
2. Precise and stable etching by control of ppb level impurities
3. Wafer size compact etching system for high temperature and ppb level impurities

This technology has been applied to semiconductor sensor fabrication process since 1995.

Key words : Pressure sensor, Silicon, Etching, Anisotropy, Impurity

1. 緒言

近年の自動車技術は、「地球環境対応・安全性・快適性・走行性能」の向上と、多くの機能を統合的に制御するために、エレクトロニクス化が不可欠な要素となっている。このような、いわゆるカーエレクトロニクスは、マイコンを中心とするECU (Electronic Control Unit) と車の状況を瞬時に計測して信号に変換するセンサ、およびそれらの信号を基に車両制御を行うアクチュエータで構成される。特に人間の五感に相当するセンサは、車が置かれている状況を正確に判断しなければならないインプット機能を担う。代表的なセンサとして、エンジン吸気圧を検出する圧力センサや衝突衝撃を検出する加速度センサ等がある。近年

のセンサの小型・高感度化の要請に対応すべく、これらには信頼性が高く、回路素子との集積化や微細化プロセスの適用が可能な半導体センサが多く用いられるようになっている。例えば、半導体ピエゾ抵抗式圧力センサは、エンジンの吸気圧検出用に、1980年代から自動車への応用が始まった。1990年代に入り、集積化が進展すると共に、圧力レンジのバリエーションが拡大（例えば燃料蒸気圧などの微小な圧力検出）し、また加速度センサへの応用ニーズも拡大したことにより、センサの小型・低コスト化と量産化が求められるようになった。これらセンサは、圧力の変化をセンシング部であるシリコンダイヤフラムのたわみでとらえ、ピエゾ抵抗の変化として検出する (Fig. 1, Fig. 2

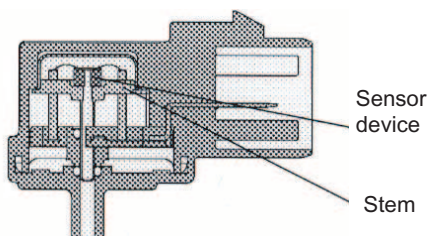


Fig. 1 Pressure sensor

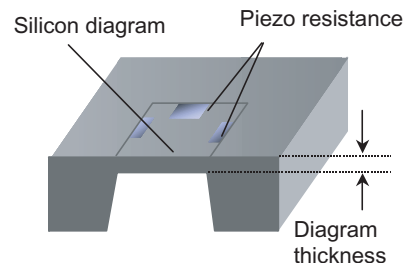


Fig. 2 Silicon diaphragm

* (社)表面技術協会の了解を得て、「第107回講演大会講演要旨集」より転載

参照)。その感度はダイヤフラムの厚さと面積に依存するため、センサの低圧側へのバリエーション拡大および小型・低コスト化のためには、ダイヤフラムを小型・薄肉化する必要がある。このため、センサデバイスおよびアセンブリのトータル構造設計と共に、センシング部であるシリコンダイヤフラムの高精度な量産加工が不可欠となってきた¹⁾

2. 技術課題

シリコンダイヤフラムの加工には、低コストでエッチング速度が大きい、水酸化カリウム (KOH) に代表されるアルカリ性水溶液によるシリコンの結晶異方性エッチングが広く用いられている²⁾。しかしながら、このシリコンウエットエッチングはセンサ特有の工程であるため、市販の量産装置がなく、従来から実験室レベルの経験的な手法にて対応していた。しかし、薄肉・小型ダイヤフラムの量産に対応する場合、従来の数10 μ m厚さのダイヤフラムにおいては、問題とならなかったエッチング面粗度およびエッチング速度の微妙な変化がセンサの性能に影響する。このため、これらを精密に制御して、再現性よくダイヤフラムを形成する必要がある。また、各種センサを量産するには、高い生産性が求められる。これらを達成するには、マイクロな化学反応解析により、エッチングの制御パラメーターを明確化すると共に、これを反映したエッチングシステムの開発が不可欠である。これらを考慮し、下記について取組んだ。

- ・高速エッチング化検討 (エッチング温度、濃度の適正化)
- ・高精度エッチング技術開発 (エッチング面粗度、エッチング速度の精密制御)
- ・高精度、高速エッチングを実現するシステム開発
今回エッチング面粗度およびエッチングレートの変動が大きい、シリコン結晶方位 (110) のエッチング特性を中心にこれら取組みをまとめた。

3. 技術内容

3.1 高速エッチング化検討

ウエットエッチングにおいては、液の濃度および温度がエッチングの基本パラメータである。従来、KOHによるシリコンのウエットエッチングは、強アルカリということもあり、液温80 $^{\circ}$ C程度が実用的なエッチング温度の上限と考えられていた。しかし、高速

化するには可能な限り高温でエッチングを行いたい。もし100 $^{\circ}$ C以上の高温下で平滑なエッチングができれば、従来にない高速エッチングが可能になる。我々はKOH水溶液は高濃度になるほど沸点が上昇することに着目し、100 $^{\circ}$ C以上の沸点近傍の高温条件および溶液として存在し得る限界レベルの高濃度条件をも視野にいれ、エッチング特性を検討した。その結果、従来 (濃度25~30wt%, 温度80 $^{\circ}$ C以下) に対し2倍以上の「平滑化と高速化」を達成し得る領域 (濃度30~35wt%, 温度100 $^{\circ}$ C以上) があることを見出した (Fig. 3参照)。

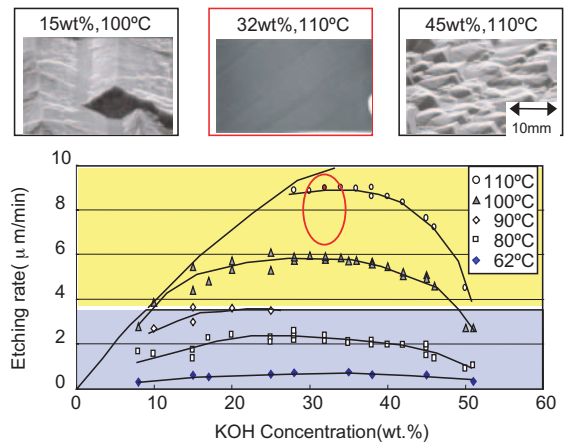


Fig. 3 Dependence of Si etching rate on temperature and content of KOH

3.2 高精度エッチング技術開発

しかし、この条件でエッチングテストを実施したときに、一部サンプルにおいてエッチング面上にマイクロピラミッドが発生して、安定的に平滑なエッチング面を得ることができないという新たな問題が発生した。これは、液温、濃度の適正化によって平滑なエッチング面が得られるようになったがゆえに、マイクロピラミッドによる面荒れがよりクローズアップされたものである。この原因を究明するため、各種分析を実施した。まず、エッチング液中の金属不純物を原子吸光分析 (検出感度: ppmオーダー) にて調査したが、差異は認められなかった。次に、荒れたエッチング表面をオージェ電子分光法で分析したところ、マイクロピラミッド上にCuが存在することを見出した。そこで、より高感度な分析手法である誘導結合プラズマ質量分析 (検出感度: ppbオーダー) により、エッチング液 (KOH) 中のCu濃度を分析した結果、ppbオーダーのCuの含有量に差異があることを確認した (Fig. 4参照)。

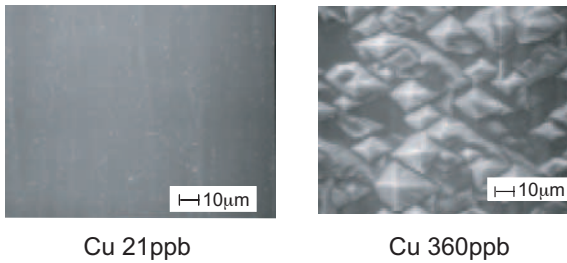


Fig. 4 Comparison of surface appearances by Cu concentration in KOH solution

この解析過程で、強アルカリ水溶液中のppbオーダーの金属不純物を迅速かつ高感度に測定可能なボルタメトリ分析法を開発し、これを適用してppbレベルの各種金属不純物 (AL, Zn, Cr, Fe, Ni, Pb, Cu, Ag) のエッチング加工特性 (面粗度, エッチング速度) への影響を詳細に検討した³⁾。その結果, ppbオーダーのCuがエッチング面粗度およびエッチング速度に影響を及ぼすこと, また, ppbオーダーのPbがエッチング速度に影響を及ぼすことを見出した (Fig. 5, Fig. 6参照)。

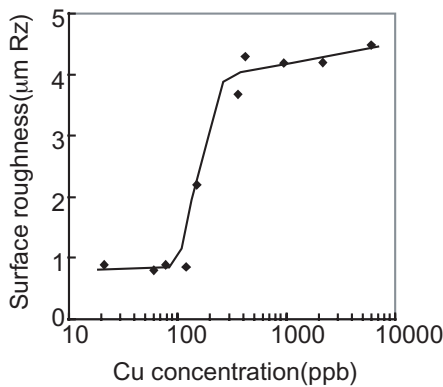


Fig. 5 Dependence of surface roughness on Cu concentration in KOH solution

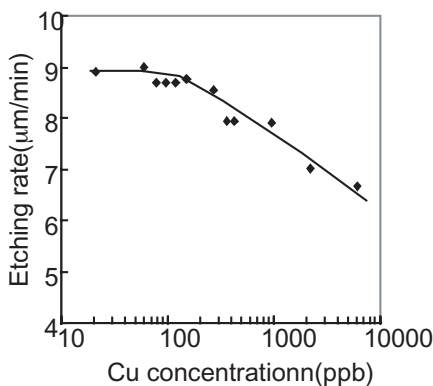


Fig. 6 Dependence of etching rate on Cu concentration in KOH solution

ここで, シリコンのKOHによるエッチング反応は (1) 式で表され, 反応によって水素が発生する。



CuとPbがエッチング特性に影響する理由は, これらの酸化還元電位がHに近いいため, 反応で発生したHとの相互作用によるものと考えられる (Table 1参照)。すなわち, Hイオンよりも酸化還元電位が大きいCuイオンは, シリコン表面に選択的に吸着析出する。析出したCu粒子はエッチングのマスクとなり局部的にエッチングが妨げられて表面が荒れると共にエッチング速度も低下する。また, 酸化還元電位がHイオンとほぼ等しいPbイオンは, 析出することはないため表面粗さは増加しない。しかし, 表面付近に滞在してエッチング反応を阻害し, エッチング速度が低下する⁴⁾。

Table 1 Ox-Red potential value of metal impurities(V vs. SHE)

	Al	Zn	Cr	Fe	Ni	Pb	H	Cu	Ag
Potential	-2.55	-1.45	-1.42	-1.05	-1.00	-0.91	-0.85	-0.40	+0.25

このように, エッチング液中の微量不純物がエッチング特性に影響することを見出した。微量不純物には液原料に含まれるものと, エッチング時の再汚染によるものがあり, これらを精密に制御することで, 平滑でかつ安定したエッチング速度が得られ, 高温領域で高精度・高速ダイヤフラム加工が可能となることを確認した。

3.3 高精度・高速エッチングを実現するエッチングシステム開発

以上に述べた技術を実用化すべく, ウエハ表面の素子, 配線のエッチング液からの保護, 液温, 濃度の安定制御, 微量不純物の制御, システム操作の安全性を考慮して, 高温領域での高精度エッチングシステムを検討した。まず, ウエハ表面の素子, 配線をエッチング液から保護するため, ウエハ最外周部をシールするエッチング治具を考案した⁵⁾。次に100°C以上の高温下における液の濃度変動およびエッチングによる液の再汚染を極力抑え, かつ安全性を確保するための施策を検討した。これらを実現する方法として, ウエハ1枚ごとに必要最小限のエッチング液で処理することが望ま

しいと考え、治具を大きな処理槽に入れるのではなく、治具自体をエッチング処理槽とする独自の小型・密閉式エッチングシステムを考案した。これは、あらかじめ微量不純物を除いたエッチング液を処理毎に所定量昇温し、処理槽に供給してエッチングするものである⁶⁾。処理槽の構成材は耐食性を考慮して設計した (Fig. 7 参照)。

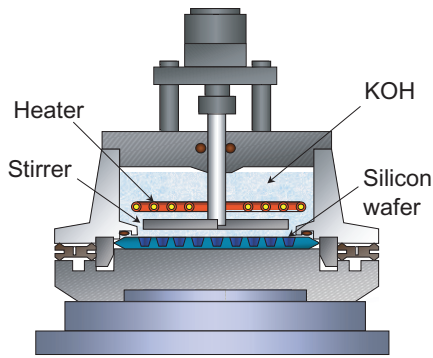


Fig. 7 Structure of etching chamber

4. 結言

以上の高精度・高速エッチング技術により、安定的な品質を有する半導体センサ用小型・薄肉ダイヤフラムの加工が可能となった。本技術は半導体圧力センサ、加速度センサの量産ラインへ展開され、自動車の環境対応、安全性、快適性、走行性能の向上に寄与している。今後民生用各種センサおよびマイクロシステム加工への応用、展開が期待できる。

<参考文献>

- 1) 鈴木, 今井, 水野, 横森: デンソーテクニカルレビュー, 6, 99 (2001)
- 2) 佐藤: 表面技術, 51, 755 (2000)
- 3) K. Inoue, S. Kosaka, Y. Kawai, H. Tanaka, Y. Abe and T. Yoneyama : Electrochem. Soc. Proc. Vol. "Clean. Technol. in Semicond. Device Manuf. VI", 491 (2000)
- 4) 田中, 井上: 表面技術, 51, 780 (2000)
- 5) 坂井田: 特開平5-152278 (1993)
- 6) 坂井田, 星野: 特開平5-283394 (1993)

<著者>



阿部 吉次
(あべ よしつぐ)
生産技術部
電子製品の生産システム開発に
従事



小島 史夫
(こじま ふみお)
生産技術部
工学博士
生産システム開発に従事



竹中 修
(たけなか おさむ)
(財) 科学技術交流財団
知的クラスター創成事業 事業総括
元 当社生産技術開発部



坂井田 敦資
(さかいだ あつし)
工機部
半導体に関する設備技術開発に
従事



伊藤 基樹
(いとう もとぎ)
デバイス製造2部
半導体ウエハ生産技術開発に従事



井上 和之
(いのうえ かずゆき)
(株) 豊田中央研究所
総合企画室
工学博士
研究企画に従事