



ORIST

Technical Sheet

No. 18-18

シリコン深掘り(DRIE)装置を使った MEMS 微細加工

キーワード : MEMS、DRIE、Bosch プロセス、シリコン、フォトリソグラフィ、センサ、環境発電、BMI

概要

近年、フォトリソグラフィを主とした半導体微細加工技術を応用することにより、センサ、アクチュエータ、電子回路等の機能を小さな基板上に形成・集積させた電子デバイスの開発が活発になっています。一般的には、そのような微細加工は Micro Electro Mechanical systems (MEMS) 加工、電子デバイスは MEMS デバイスと呼ばれています。

MEMS デバイスは、1970 年頃に豊田中央研究所の半導体圧力センサ、あるいは Stanford 大学のシリコン基板上のガスクロマトグラフの開発に端を発しています。その後、自動車、血圧計向け圧力センサやプリンタ向けノズルなど身近な工業製品に応用範囲が広がっていきましたが、2010 年代からスマートフォン製品群を中心に急速にすそ野が広がっています。今後の IoT 社会、トリリオンセンサ社会実現に欠かせないものとなっています。

このような MEMS デバイスの普及には、MEMS 加工技術の発展が大きく寄与しています。MEMS 加工の代表的な作製プロセスの一つであるシリコン深掘りエッチング (DRIE) 装置を、公益財団法人 JKA 平成 27 年度「公設工業試験研究所等における機械設備拡充補助事業」により導入しましたので紹介します。

DRIE 装置の特徴と仕様

導入した DRIE 装置は、Bosch プロセス DRIE 装置 (MUC-21 ASE-SRE、SPP テクノロジーズ社製) です。図 1 に外観写真を示します。同装置によりシリコン基板を垂直かつ高速にエッチングすることが可能となります。Bosch プロセスでは、図 2 に示すように、①保護工程と②エッチング工程の 2 つの処理を繰り返します。保護工程では、フロン系ガス (C_4F_8) を用

いて側壁保護膜を形成します。側壁を保護することで横方向のエッチングを抑制します。エッチング工程では、シリコン基板にバイアスを掛け六フッ化硫黄 (SF_6) ガスを用いることにより底面の保護膜を除去して、露出したシリコンのエッチングを進めます。これら 2 つの工程を繰り返すことで、図 3 に示すように、アスペクト比の高いエッチングが可能となります。



図 1 DRIE 装置の外観写真

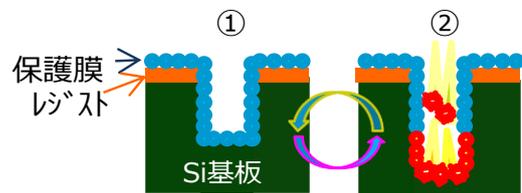


図 2 DRIE の①保護工程と②エッチング工程

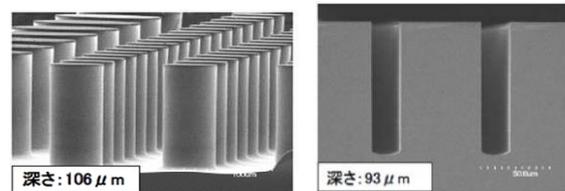


図 3 DRIE 装置によるシリコン深掘り加工例

今回、導入しました DRIE 装置の主な仕様は次の通りです。

- エッチング側壁角度 $90^\circ \pm 1^\circ$ 以内
- 最大サイズ 8 インチ (200 mm) 径シリコン基板へのエッチングが可能
- 高速加工が可能 (最速レート : $5 \mu\text{m}/\text{分}$)

- ・ アスペクト（幅：深さ）比 30 以内
- ・ 低スカロップ加工が可能
- ・ エッチング選択比は次の通り

Si : フォトレジストの選択比 100 以上

Si : SiO₂ の選択比 200 以上

ここで、スカロップとは、Bosch プロセス DRIE 装置で深掘りエッチングを行う場合、エッチング工程と保護工程を繰り返す際に側壁に生じる節形状のことを言います。低スカロップ加工により、このスカロップを低減化させることが可能です。また、側壁の基板面に対する角度をほぼ垂直にすることができるので、フォトリソグラフィのパターン形状を損なうことなく、ダイアフラム、片持ち梁、微細な溝・柱構造など立体構造を寸法精度よく形成することができます。

従来は、シリコン異方性エッチングと言え、水酸化カリウム (KOH) 水溶液やテトラメチル水酸化アンモニウム水溶液 (TMAH) など強アルカリ性水溶液を使った手法が主流でした。同手法では、単結晶シリコンの結晶方位よりエッチングに制約を受けました。しかし、DRIE 装置を用いれば、そのような制約はなく、設計の自由度が大幅に増すこととなりました。

活用事例

大阪産業技術研究所では DRIE 装置を活用して、センサ、環境発電素子、光学素子、Brain Machine Interface (BMI) など多種多様な MEMS デバイスの開発を行っています。ここでは、音響センサの電気信号を齧歯類動物の脳の聴覚中枢系へ直接伝える BMI について紹介します。

現在、BMI として試作している刺入型多電極プローブの MEMS プロセスを図 4 に示します。Silicon on Insulator (SOI) ウェハを使用しています。図 4 の赤い矢印で示している箇所では、SOI ウェハのシリコンデバイス層とバルク層をそれぞれ表面と裏面から DRIE 装置で垂直にシリコン深掘りエッチングを行っています。DRIE 装置を使うことにより、図 5 に示すように、設計通りの形状を持つ刺入針を形成することが

できました。この針上には 50 μm × 50 μm の白金電極を複数形成しています。マウスの聴覚野の応答部位に同刺入針を刺入して白金電極を通じて電気刺激を行ったところ、フラビントリパク質自家蛍光イメージングによって、誘発神経の応答を確認することができました。

なお、ここで紹介しました BMI の開発は北海道大学 舘野高教授との共同研究により競輪の補助(27-103)および科研費(15H02772、15K12091)の助成を受けて実施しました。

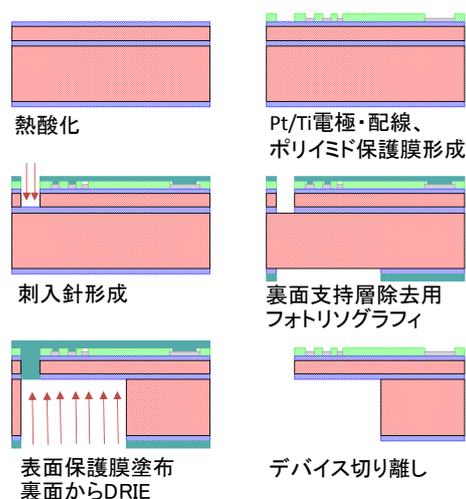


図 4 BMI 試作の MEMS プロセス

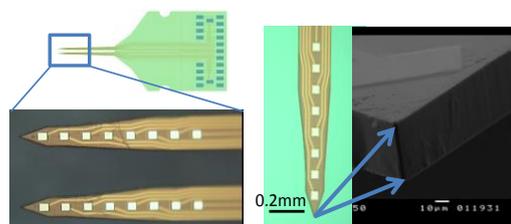


図 5 BMI の外観写真と刺入針先端の SEM 像

まとめ

DRIE 装置を用いることにより、MEMS デバイスを設計通りに寸法精度よく作製することができます。大阪産業技術研究所では、DRIE 装置単体の装置利用のみならず、フォトマスク設計・作製から、高性能性薄膜の作製、フォトリソグラフィによるパターンニング、デバイスの特性評価まで一貫した MEMS デバイスの開発が可能です。皆様のご利用をお待ちしております。

公益財団法人 JKA 平成27年度 KEIRIN 00
機械設備拡充補助事業

発行日 2019年2月13日

作成者 電子・機械システム研究部 電子デバイス研究室 村上修一、田中恒久、佐藤和郎、宇野真由美

Phone: 0725-51-2663