

技術紹介

BOSCH プロセス用 C₄F₈ 代替ガスの開発 Development of C₄F₈ Alternative Gas for BOSCH Process.

山脇 正也*

YAMAWAKI Masaya

高 洋志*

TAKA Hiroshi

多田 益夫*

TADA Masuo

山本 孝**

YAMAMOTO Takashi

1. はじめに

近年、市場の急拡大が期待される微小電気機械システム(Micro Electro Mechanical Systems; MEMS)の主要製造プロセスの一つにシリコン深掘り技術があり、BOSCH プロセスと呼ばれる技術が広く用いられている。BOSCHプロセスでは八フッ化シクロブタン(c-C₄F₈)と、六フッ化硫黄(SF₆)を使用してエッチングを行う。ここで使用する c-C₄F₈ と SF₆ は、極めて高い地球温暖化係数を持つ温室効果ガスであり(SF₆:GWP₁₀₀=22800, c-C₄F₈:GWP₁₀₀= 10300), その排出量の削減が強く求められている。当社はこれまで SF₆ 代替として IF₅, c-C₄F₈ 代替として C₃F₆ を提案し、温室効果ガス排出量削減の可能性を示してきた¹⁾。

今回、シリコン深掘り装置メーカーである SPP テクノロジーズ株式会社と共同で c-C₄F₈ 代替新規ガスのプロセス評価及び温室効果ガス排出量の測定を実施したのでその結果を報告する。

2. BOSCH プロセス

BOSCH プロセスはドイツのロバートボッシュ社が1992年に開発したシリコン深掘り技術であり、以下の2つのステップが秒単位で交互に繰り返される(図1)。

① 保護膜形成ステップ

c-C₄F₈ をプラズマ化して CF 系保護膜を基板に堆積する。

② エッチングステップ

イオンアシスト効果により底面の保護膜を除去するとともに、露出したシリコンと SF₆ をプラズマ化して生成した F 原子とを反応させ、四フッ化ケイ素(SiF₄)として除去する。

本プロセスは保護膜により横方向のエッチングが抑制され、高アスペクト比の垂直穴や垂直溝を形成できる特徴を持つ。

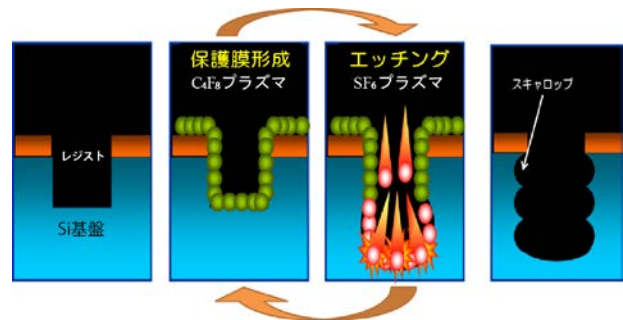


図1 BOSCH プロセスによるシリコン Deep RIE

3. 実験方法

シリコン深掘りエッチングは SPP テクノロジーズ社製 ASE®-S.Pegasus を用いて行った。SF₆/c-C₄F₈ を用いる従来プロセスと、SF₆/新規ガス(c-C₄F₈ 代替ガス)を用いる新規ガスプロセスのそれぞれにおいて、条件を最適化し、最適条件同士のプロセス特性を比較した。なお、新規ガスは地球温暖化係数が低く(GWP₁₀₀<5), c-C₄F₈ と比べて蒸気圧が高く、かつ比較的安定した物性を有するガスである。

温室効果ガス排出量の算出は、装置より排出される排出ガス成分をフーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR)で定量分析することで行った。FT-IR は堀場製作所製 FT-IR(FG110A)を用いた。合わせて、排出が予測されるフッ素(F₂)の濃度を、紫外分光法を原理とする F₂ 計(自社製)で測定した。実験装置の構成概略図を図2に示す。

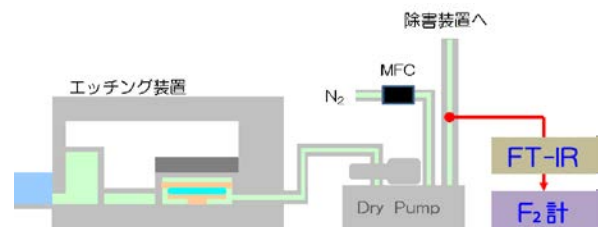


図2 実験装置の構成概略図

* 電子機材事業本部グローバル事業部事業企画部マーケティング課

** SPP テクノロジーズ株式会社

4. 評価結果

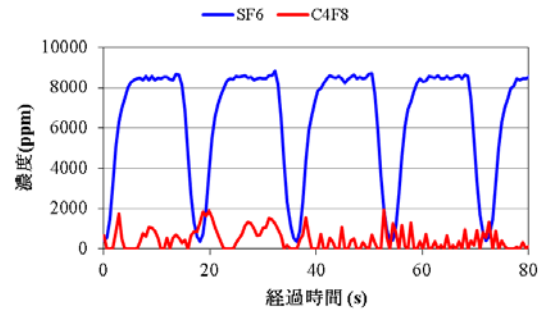
実験は、高速エッチング及び加工形状のそれぞれを主な目的とした2条件(以下、高速エッチ条件、低側壁粗さ条件)で行った。表1にプロセス条件とエッチングレート(E/R)を示す。加工形状の観点からプロセス条件を最適化した結果、高速エッチ条件、低側壁粗さ条件のどちらにおいても、新規ガスプロセスで従来プロセス(c-C₄F₈ 使用)と同等の加工形状を得ることができた。さらにエッチングレートが従来プロセス比10~20%向上することも確認された。また、保護膜形成ステップにおけるガス使用量の削減効果、特に高速エッチ条件では保護膜形成ステップ時間の短縮効果も得られている。

表1 プロセス条件と性能結果

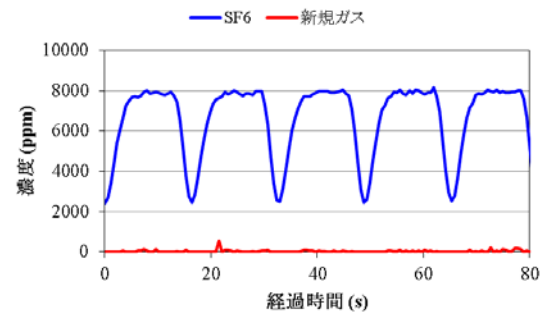
	高速エッチ条件		低側壁粗さ条件	
マスク	φ 400 μm ホール		50 μm 幅トレンチ	
Power	4500 W		1200 W	
Etch	SF ₆ :500 sccm (14.0 sec)		SF ₆ :400 sccm (2.0 sec)	
Dep.	c-C ₄ F ₈ 450 sccm (4.0 sec)	新規ガス 150 sccm (2.3 sec)	c-C ₄ F ₈ 400 sccm (1.4 sec)	新規ガス 70 sccm (1.4 sec)
全体形状				
○部拡大				
E/R	36.6 μm/min	40.0 μm/min	5.3 μm/min	6.4 μm/min

図3はFT-IRで測定した高速エッチ条件におけるプロセス排出ガス中のSF₆, C₄F₈, 新規ガス濃度の経時変化を示す。図3および未放電時濃度より、各プロセスガスの分解率は、従来プロセスのSF₆/C₄F₈が18%/90%、新規ガスプロセスのSF₆/新規ガスが25%/100%と算出された。このことは、温室効果ガスであるSF₆およびC₄F₈の排出が削減されたことを意味する。

次に、両プロセス排ガスの温室効果を、MMTCE (Million Metric Tons Carbon Equivalent :100万炭素換算トン)に基づいて比較する。MMTCEは、温室効果を有する排出ガスの排出重量をそれぞれの地球温暖化係数でCO₂換算重量に換算し、更に炭素重量に換算することで求めた。高速エッチ条件におけるSiエッチング膜厚1 μmあたりのMMTCEは、従来プロセスで3.55×10⁻¹⁰、新規ガスプロセスで3.05×10⁻¹⁰となった。本結



a) 従来プロセス (SF₆/c-C₄F₈)



b) 新規ガスプロセス (SF₆/新規ガス)

図3 排出ガス分析結果

果は、新規ガスの使用により温室効果ガス排出量を従来プロセス比約14%削減できたことを意味する。なお、MMTCEの大部分がSF₆に起因するものであり、導入したSF₆の75%が排出されていることから、更なる温室効果ガス排出量の低減にはエッチングステップの改善が必要と考える。

F₂排出濃度はSF₆/c-C₄F₈条件で最大1.94%、SF₆/新規ガス条件で最大1.52%であった。本結果は、新規ガスの使用によりF₂排出濃度を従来プロセス比22%低減できることを意味する。

5. まとめ

BOSCHプロセスは地球温暖化係数が非常に高いSF₆, c-C₄F₈を使用するプロセスであり、その排出量削減が強く求められている。今回の評価では、提案したc-C₄F₈代替新規ガスを使用することで、温室効果ガス排出量削減の他、エッチングレート向上、危険性ガスであるF₂排出濃度低減の効果が得られることを確認できた。BOSCHプロセスの用途は広がりを見せており、低環境負荷と性能向上を両立できるc-C₄F₈代替新規ガスは、今後より一層の拡大が期待できると考える。

参考文献

- 1) NAGANO Shuji, TAKANO Takayuki. Tech Dig IEEE Micro Electro Mech Syst vol.20th Vol.2.582-585(2007)