

# 反応性イオンエッチングを用いた Si と SiO<sub>2</sub> のエッチング

西岡 國生

東京工業大学技術部 半導体・MEMS 支援センター

## 1. 緒言

反応性イオンエッチング(Reactive Ion Etching : RIE)装置は、LSI などの微細化、高密度化への要求から異方性、選択性のあるドライエッチング法の一つとして使用されている。最近では、マイクロ構造体を製作する際にも使用され、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術においても欠かせない装置である。

現在使用している装置の原理は、平行平板電極を用いたもので、2枚の対向する平板電極間にエッチングガスを導入し、高周波電圧 (13.56 MHz) を印加することで、電極間にプラズマを発生させる。プラズマ中には、反応性の高いラジカルや正イオン・電子などが存在しており、ラジカルは、基板表面に吸着すると、基板原子と化学反応を起こし、揮発性の高い物質となる。試料を設置した下部電極 (陰極) には、コンデンサを通して高周波電圧が印加されている。プラズマ中で発生する電子とイオンは速度差が大きいため、コンデンサには電子だけが流入し、下部電極は負電位となる。その後、負電荷の電子は反発され、下部電極周辺には電子が存在せずイオンだけが存在するイオンシースが形成される。正イオンはイオンシースで発生した電界によって加速され、試料に垂直に入射する。したがって、正イオンの入射によって方向性をもった試料のエッチングが可能である<sup>1,2)</sup>。

精度の良いエッチングを行うには基本的なエッチング特性を把握する必要がある。本報告では、エッチングガス流量・プロセス圧力・RF パワーを変化させた際の Si および SiO<sub>2</sub> のエッチング特性を調べた。また、Si のエッチング後、電界放射型走査電子顕微鏡 (Field Emission Scanning Electron Microscope : FE-SEM) を用いて、エッチング形状を観察したのであわせて報告する。

## 2. Si のエッチングレートと SF<sub>6</sub> 流量, プロセス圧力, RF パワーの関係

使用した装置はRIE-101L (株式会社サムコーインターナショナル研究所) であり、エッチングガスにはSF<sub>6</sub>を用いた。各実験においては15 mm角の試料を直径3インチのSiウェハ上に設置し、基板温度は -15°Cでエッチングを行った。Siのエッチングレートの測定には、エッチング後のレジストマスクをピンセットで部分的に剥離し、レーザー顕微鏡を用いて測定した。

Fig. 1にSF<sub>6</sub> 流量を変化させた際のSiのエッチングレートの関係を示す。プロセス圧力10 mTorr、RFパワー100 Wで固定した場合、エッチングガス流量を増加することによってエッチングレートが速くなっていることがわかる。これは他の条件を固定した場合、プラズマ中で発生した基板表面と反応するラジカルやイオンの割合が増えることにより、エッチングがより速く進むと考えられる。しかしながら、流量を増加することによって、マスクパターンの下側をエッチングするアンダーカットが生じ、エッチング面の粗さが大きくなった。したがって、ラジカルの増加による化学的なエッチングが進んだと考えられる。そのため、所望の加工形状やパターンサイズに応じてエッチングガスの流量を最適化する必要がある。

Fig. 2にプロセス圧力を変化させた際のSiのエッチングレートの関係を示す。SF<sub>6</sub> 流量10 sccm, RFパワー100 Wで固定した場合、プロセス圧力を上げることによりエッチングレートが速くなることを確認できた。5 mTorrから40 mTorrに変化させることで約3倍のエッチングレートが得られたが、80 mTorrではエッチング後にレジストがなくなっており、正確なエッチングレートは不明であった。深いエッチングを行うにはエッチング耐性に優

れた材料をマスクとすることが必要である。

Fig. 3にRFパワーを変化させた際のSiのエッチングレートの関係を示す。プロセス圧力10 mTorr、SF<sub>6</sub>流量10 sccmで固定した場合、RFパワーの増加とともにエッチングレートが速くなることが確認できた。これは、RFパワーを高くすることで、イオンシースで発生する電位差が大きくなり、正イオンのエネルギーが増加するためと考えられる。

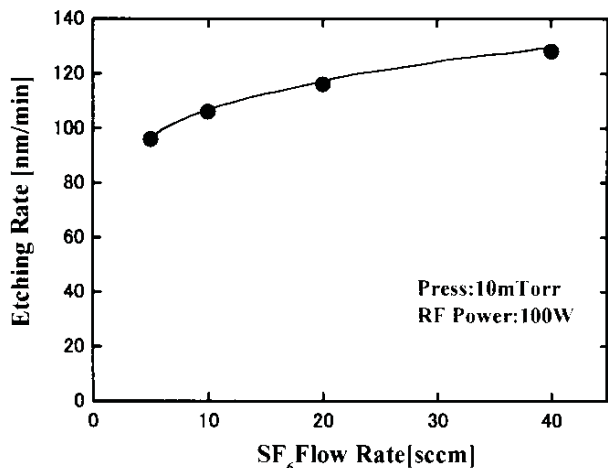


Fig. 1 SF<sub>6</sub>流量と Si のエッチングレートの関係

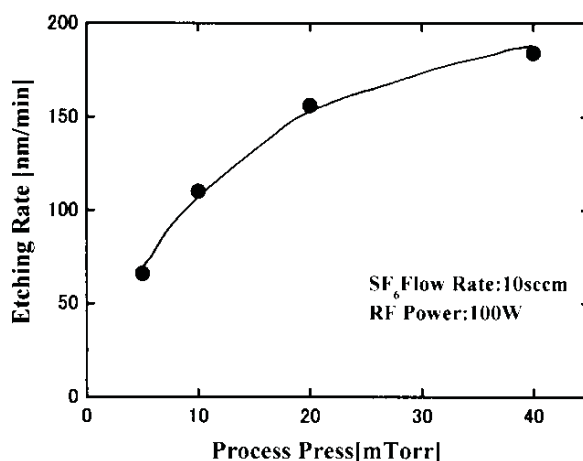


Fig. 2 プロセス圧力と Si のエッチングレートの関係

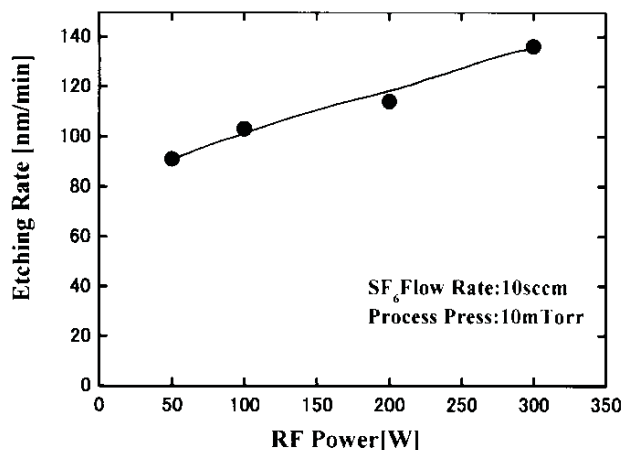


Fig. 3 RF パワーと Si のエッチングレートの関係

### 3. SiO<sub>2</sub> のエッチングレートと CHF<sub>3</sub> 流量, プロセス圧力, RFパワーの関係

本実験では、CHF<sub>3</sub> 流量, プロセス圧力, RFパワーを変化させた際のSiO<sub>2</sub>のエッチング特性を調べた。使用した装置はRIE-101Lであり、エッチングガスにはCHF<sub>3</sub>を用いた。15mm角の試料を直径3インチのガラスウェハ上に設置し、温度の制御は行わずエッチングを行った。SiO<sub>2</sub>のエッチングレートの測定にはエリプソメータを用い、エッチング前後の膜厚の差からエッチングレートを求めた。

Fig. 4にCHF<sub>3</sub> 流量を変化させた際のSiO<sub>2</sub>のエッチングレートの関係を示す。プロセス圧力10 mTorr、RFパワー100 Wで固定した場合、CHF<sub>3</sub> 流量が0.1 sccmからエッチングは急激に進むが、5 sccm以上ではエッチングレートの変化は少なくなる傾向がわかった。

Fig. 5にプロセス圧力を変化させた際のSiO<sub>2</sub>のエッチングレートの関係を示す。CHF<sub>3</sub> 流量20 sccm、RFパワー100 Wで固定した場合、SiO<sub>2</sub>のエッチングレートのプロセス圧力依存性については、SF<sub>6</sub>を用いたSiのエッチングと同様の傾向に

あり、プロセス圧力を高くすることで、エッチングレートが大きくなることがわかる。これは、圧力を高くすることにより基板表面で化学反応するラジカルの増加したことなどが考えられる。

Fig. 6にRFパワーを変化させた際のSiO<sub>2</sub>のエッチングレートの関係を示す。プロセス圧力10 mTorr、CHF<sub>3</sub> 流量20 sccmで固定した場合、RFパワーを高くすることで、SiO<sub>2</sub>のエッチングレートが大きくなることがわかる。

エッチングガスにSF<sub>6</sub> 用いたSiのエッチングレートの基本特性と比較すると、エッチングガスにCHF<sub>3</sub> を用いたSiO<sub>2</sub>のエッチングレートはRFパワー依存性が大きいことがわかった。

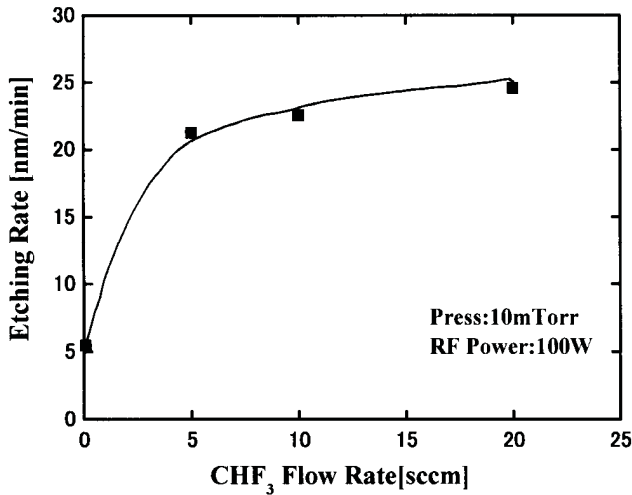


Fig. 4 CHF<sub>3</sub> 流量と SiO<sub>2</sub> のエッチングレートの関係

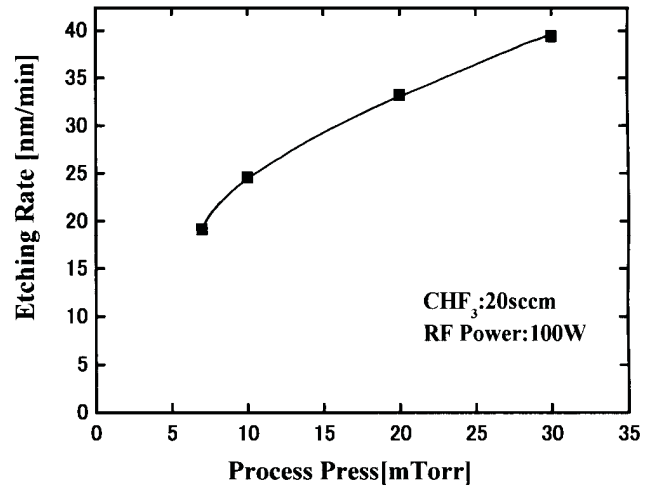


Fig. 5 プロセス圧力と SiO<sub>2</sub> のエッチングレートの関係

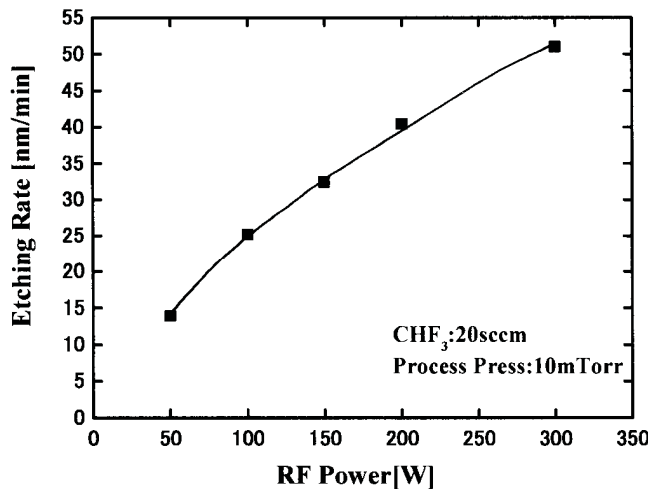


Fig. 6 RF パワーと SiO<sub>2</sub> のエッチングレートの関係

#### 4. FE-SEM によるエッチング形状の観察

本実験では、SiO<sub>2</sub> 膜上にフォトレジスト (OFPR800LB) のマスクパターンを製作し、エッチングガスにCHF<sub>3</sub> を用いて SiO<sub>2</sub> をエッチング後、SF<sub>6</sub> 流量10 sccm, RFパワー100 W, 基板温度 -15°CでSiのエッチングを行った。エッチング後に SiO<sub>2</sub> マスクを除去せずSi 基板をへき開し、FE-SEM (日本電子(株)製, JSM-6301F) を用いて断面形状を観察した。プロセス圧力が10 mTorrで10分エッチングを行った形状をFig. 7に、プロセス圧力が30 mTorrで5分エッチングを行った形状をFig. 8に示す。Fig. 7、Fig. 8より、プロセス圧力を低くするとエッチング形状が垂直となることがわかった。高いプロセス圧力では、チャンバ内の基板表面で化学反応するラジカルが増加するため、等方的なエッチングが進んだと考えられる。

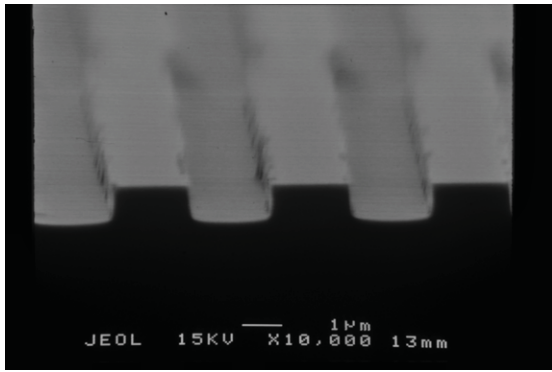


Fig. 7 10 mTorr でエッチングした Si の形状

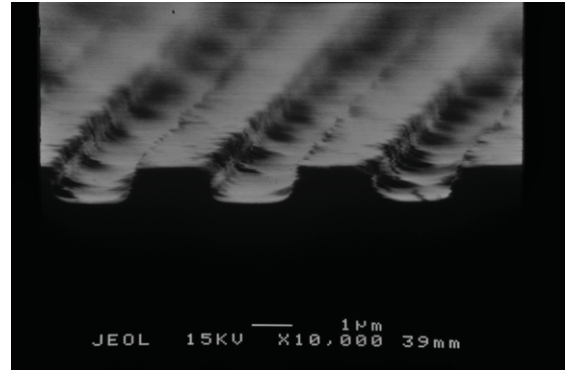


Fig. 8 30 mTorr でエッチングした Si の形状

## 5. まとめ

今回は、3つのパラメータを変化させた際の Si および SiO<sub>2</sub> のエッチングレートの関係性を調べた。Si のエッチング特性についてはプロセス圧力依存性が大きく、SiO<sub>2</sub> のエッチング特性については RF パワー依存性が大きいことがわかった。SEM を用いたエッチング断面形状の観察により、Si のエッチングではプロセス圧力を低くすると垂直なエッチング形状になることが実験的に明らかになった。

## 6. 参考文献

- 1) 菅井 秀郎：プラズマエレクトロニクス，オーム社，P7-8(2000)
- 2) B.N.Chapman 著，岡本幸雄訳：プラズマプロセスの基礎，電気書院，P265-267(1993)