

# マイクロ波プラズマエッチング装置

## Microwave Plasma Etching System

半導体集積回路製造プロセスの根幹技術の一つとなっているドライエッチング技術は、回路パターンの微細化が急速に進むなかでイオンダメージの増大や新しいデバイス材料・構造の出現などにより、従来技術では対応が困難になりつつある。

これらの諸問題を解決する一つの手段として、マイクロ波プラズマを利用したエッチング装置を製品化した。本装置はマイクロ波プラズマ自体のもつ優れた特徴に加え、イオンエネルギーの制御を、プラズマ形成パラメータと独立に行なう独自の機構を備えている。ここでは本装置のエッチング特性として、ゲート材加工及びSi深溝形成の例を紹介し、また量産用装置としての特徴も合わせて述べる。

濱崎良二\* Ryôji Hamasaki  
 山本則明\* Noriaki Yamamoto  
 柴田史雄\*\* Fumio Shibata

### 1 緒言

半導体集積回路は、今やサブミクロン技術を駆使する4MビットDRAM(Dynamic Random Access Memory)が試作開発段階に入っている。この高集積化を支えてきた微細加工技術の一つであるエッチング技術も著しい進歩を遂げ、ウェットエッチングやガスプラズマを利用したドライエッチングなど等方性のエッチングから、異方性のエッチングが可能な平行平板形反応性イオンエッチング(以下、RIEと略す。)へと移行してきた。

サブミクロンデバイスでは、単にパターンの微細化だけでなく新たなデバイス技術が採り入れられつつあり、従来では見られなかった様々な問題が顕在化しつつある。エッチング技術では特にプラズマ中の荷電粒子による素子へのダメージや重金属による汚染<sup>1)</sup>など、デバイス特性への影響を解決することが必要である。

このような問題の解決策として、

- (1) 平行平板形装置の改良
    - (a) 高圧力狭電極間隔でのアノード結合方式
    - (b) 非対称電極方式
    - (c) マグネトロン方式<sup>2)</sup>
  - (2) 光励起形エッチング装置<sup>3)</sup>
  - (3) マイクロ波によるECR(Electron Cyclotron Resonance: 電子サイクロトロン共鳴)放電方式
- などが検討されている。

本稿では、日立製作所がサブミクロン対応機種として製品化したマイクロ波プラズマエッチング装置“M-206A”について、その設計コンセプト・特徴を述べ、エッチング特性の一例を紹介する。

### 2 従来装置の問題点

現在、微細加工用ドライエッチング技術の主流を占めている平行平板形RIE装置の処理室構成を図1に示す。この装置ではウェーハの装着された電極に高周波を印加し、対向して置かれた電極との間で起こるグロー放電によって反応性ガスをプラズマ化する。この場合、エッチングに寄与するイオン・ラジカルの発生量と、異方性を実現するためのイオンのウェーハへの引き込み、及びそのエネルギー制御は共に印加される高周波パワーに大きく依存する。そのため、結果として現

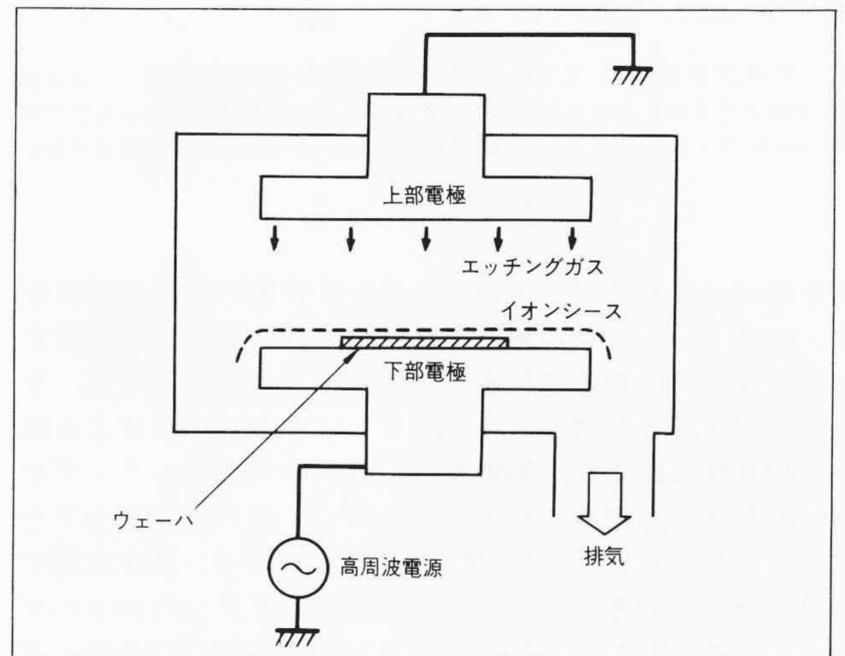


図1 従来形RIE装置(平行平板形)の処理室構成 上下電極間のグロー放電によりガスをプラズマ化し、エッチングを行なう。

われるエッチング特性、すなわちエッチング速度及びその均一性、マスク材料及び下地材料との選択性、エッチング形状の異方性など原理的には相反する特性を同時に満足する条件を見いだすことは容易なことではない。更に、量産性を確保するために大きな高周波パワーを印加する必要がある、素子に与えるダメージも一般的に大きくなる。以上のように、従来形のRIE装置は原理的な限界に直面しつつある。

### 3 マイクロ波プラズマエッチングの原理と特徴

日立製作所でのマイクロ波プラズマ応用技術の開発は、大電流イオン打込み装置のイオン源としての利用<sup>5)</sup>に端を発し、その後ドライエッチングへの応用<sup>6)</sup>へと進み、ここに現在までの成果・考案を織り込んで量産装置としての“M-206A”を製品化した。

また、本装置では、ウェーハ装着電極への高周波バイアス印加による入射イオンエネルギー制御という日立製作所独自の方式の採用により、異方性・選択性の制御を行なっている。

\* 日立製作所笠戸工場 \*\* 日立製作所機電事業本部

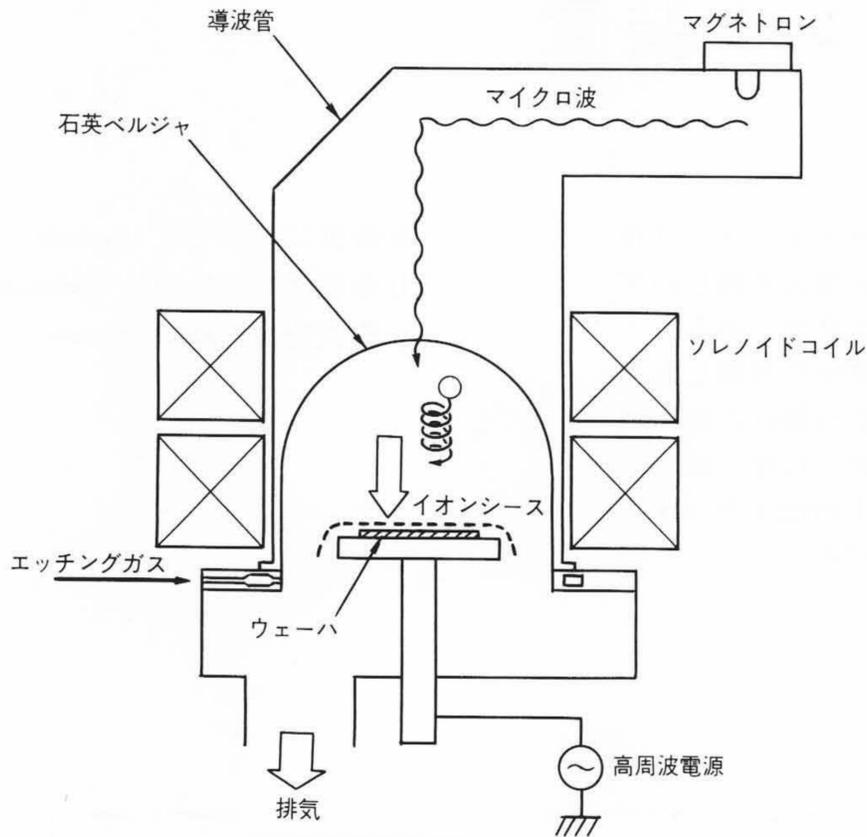


図2 マイクロ波プラズマエッチング装置の処理室構成 マイクロ波とソレノイドコイルによる磁場の相乗作用により、高密度で均一なプラズマが得られる。ウェーハ装着電極への高周波の印加は“M-206A”独自の方式である。

図2にマイクロ波プラズマエッチング装置の処理室構成を示す。マグネトロンから発振されたマイクロ波は、導波管を通じて処理室内に導入される。このマイクロ波の電場と、それに対して垂直方向に形成されたソレノイドコイルによる磁場との相乗作用により、処理室内に導入されたエッチングガスが励起され、高密度で均一なプラズマを広いガス圧力で安定して得ることができ<sup>4)</sup>、高速で均一なエッチングを実現できる。また、このときウェーハに入射するイオンのエネルギーは、プラズマ中での浮遊電位による約20eV程度であり、イオンによるダメージの小さいエッチングが可能である。

高周波バイアス印加方式の特徴としては、

- (1) イオンエネルギー制御をプラズマ形成パラメータと完全に独立して行なうことができる。
- (2) イオンエネルギー制御範囲が大きい。
- (3) 高周波バイアスを印加してのエッチングの制御には、これまで平行平板形RIEで蓄積された膨大な技術やノウハウを生かすことができる。

#### 4 装置の構成と量産機としての特徴

##### 4.1 装置構成と仕様

“M-206A”は、量産用として本体占有面積1.6m<sup>2</sup>という小さな設置面積でマイクロ波プラズマの特徴を最大限に生かせるように設計された、100mm、125mm及び150mmウェーハ対応の枚葉式エッチング装置である。図3にその外観写真を示す。ここではクリーンルーム内に設置される装置本体とコンソール制御盤を示しており、これらは保守時には分離できる構造となっている。図4に装置の全体構成と主な仕様を示す。

また、量産ラインで使用される装置の生産性という面からは、単に時間当たりの処理枚数をいうのではなく、定期的メンテナンスを含めた期間での全スループットが重視される。“M-206A”では、ウェーハ上部には半球状の石英ベルジャがあるだけでエッチング室構成材料からの汚染はほとんど無視できる。また、エッチング室内のクリーニング作業を行なう



図3 “M-206A”の装置外観 左が処理室、カセット室などで構成される装置本体で、右がコンソール制御盤である。

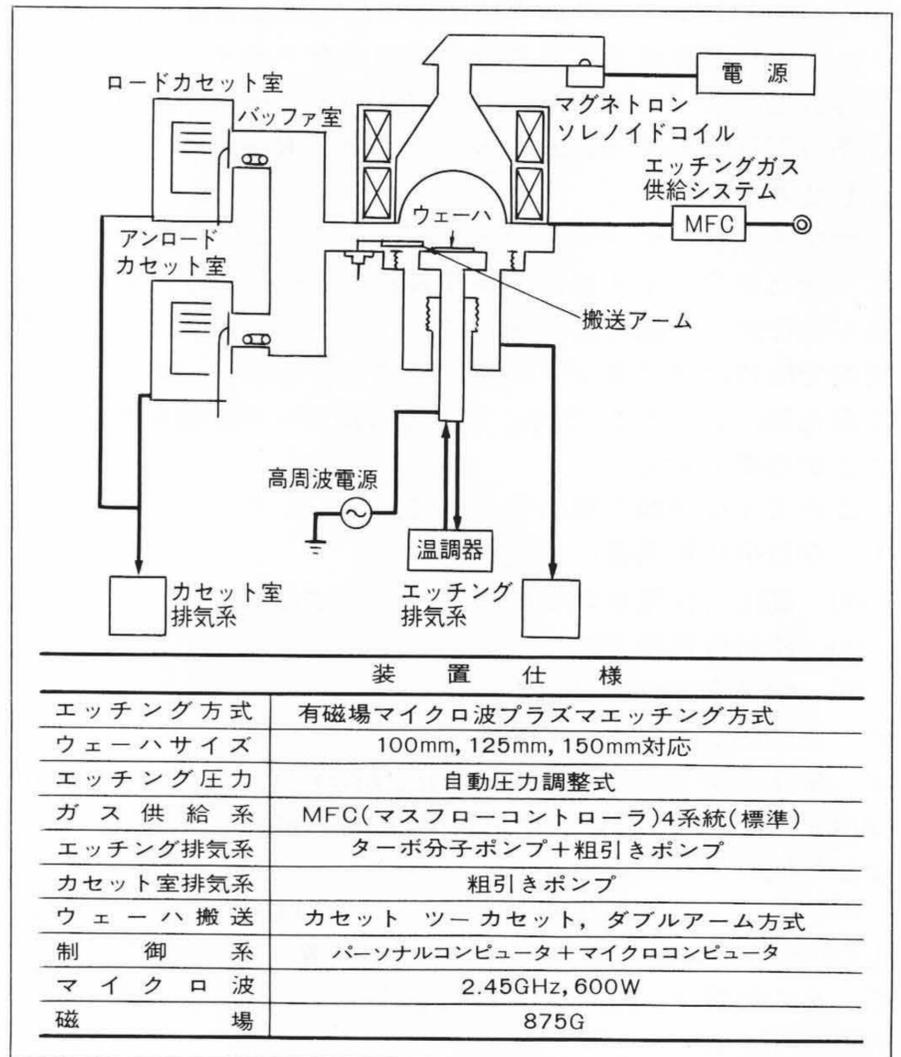


図4 “M-206A”の全体構成と主な仕様 “M-206A”(100mm, 125mm, 150mmウェーハ対応の枚葉処理形装置であり、カセット室のスイッチだけで連続処理が行なえる。

場合には、図5に示すように、押しボタン操作だけで石英ベルジャ上部の導波管及びコイル部を上昇できる構造となっており、石英ベルジャを取り外し簡単に洗浄できるので、クリーニング作業は極めて短時間で処理できるなど生産性の向上を図っている。

##### 4.2 制御システムの特徴

本装置の制御システムは、オペレータとのインタフェース・データ管理などを行なうパーソナルコンピュータ、装置本体

及び各ユニットを制御するモジュール制御マイクロコンピュータ、エッチング終点判定マイクロコンピュータから構成され、以下のような特徴がある。

- (1) エッチング終点判定に専用マイクロコンピュータを使用して演算を高速化し、終点判定の高精度化・高信頼性を図っている。
- (2) デバイス製造工程での自動化の進展への対応として、SECS<sup>®</sup>-I及びIIに対応するホストコンピュータとの通信システム、エッチングプロセスやロット管理データのファイリングシステム、装置の自己診断システムなどのサポートシステムを充実させている。
- (3) 漢字仮名交じりのカラーCRT(Cathode Ray Tube)表示による対話形式を採用し、見やすく分かりやすい操作となっている。

### 5 エッチング特性

“M-206A”のエッチング特性を、ゲート材加工及びSi深溝形成の二つの例について報告する。

#### (1) ゲート材加工

MOS(Metal Oxide Semiconductor)デバイスのゲート加工は、下地絶縁膜が極端に薄く、またイオンダメージの影響を



図5 “M-206A”のエッチング室 クリーニング作業のため、コイル部を上昇させた状態を示す。

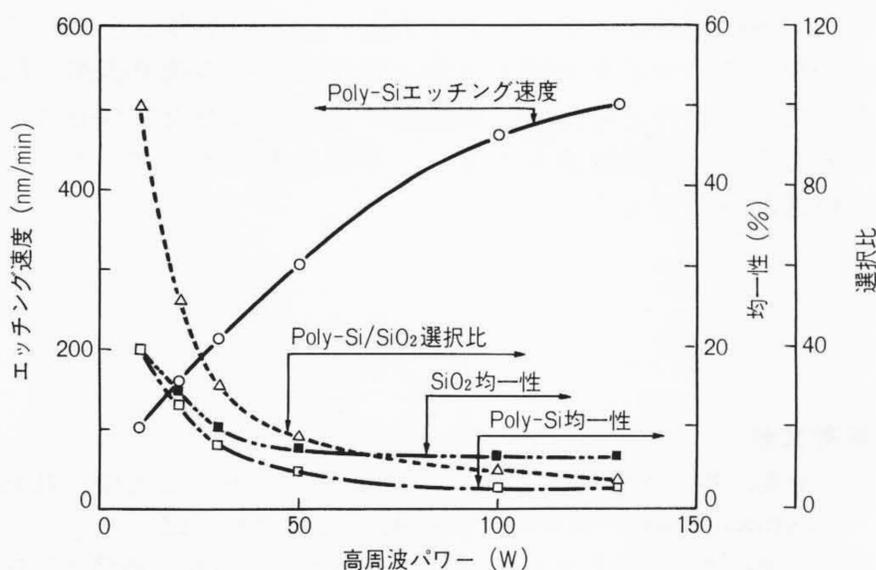


図6 Poly-Siのエッチング特性 Poly-Si及びSiO<sub>2</sub>のエッチング速度・均一性・選択比の高周波パワーに対する依存性を示す。

※) SECS: SEMI Equipment Communication Standardの略称で、半導体集積回路製造工程での生産管理を目的とした装置管理のための通信に関するSEMI規格である。

受けやすいなどエッチング工程のなかでも最も困難なものの一つであり、マスクに対して寸法変換の小さい垂直なエッチング形状を、下地絶縁膜の減少とイオンダメージを極力抑えて得ることのできるエッチング特性が要求される。特にサブミクロンデバイスでは、デバイス構造上起伏が大きくなってきており、段差部でのエッチング残りの問題など、ますます困難さが増しつつある。

図6に、“M-206A”のエッチング特性の一例を示す。ここでは高周波パワーを変化させた場合の、Poly-Si及びSiO<sub>2</sub>のエッチング速度・均一性・選択比を示している。

図6と同じ条件で、高周波パワーを130W・50W・20Wと変化させた場合の、メタルポリサイドの断面SEM(走査形電子顕微鏡)写真を図7に示す。この条件では、高周波パワーが130Wではマスクに忠実に異方性よくエッチングされているが、50Wでややサイドエッチが生じ、更に20Wではテーパ形状となり、横方向のエッチングも徐々に進行している。この図から分かるように、高周波印加によるイオンエネルギー制御によって、

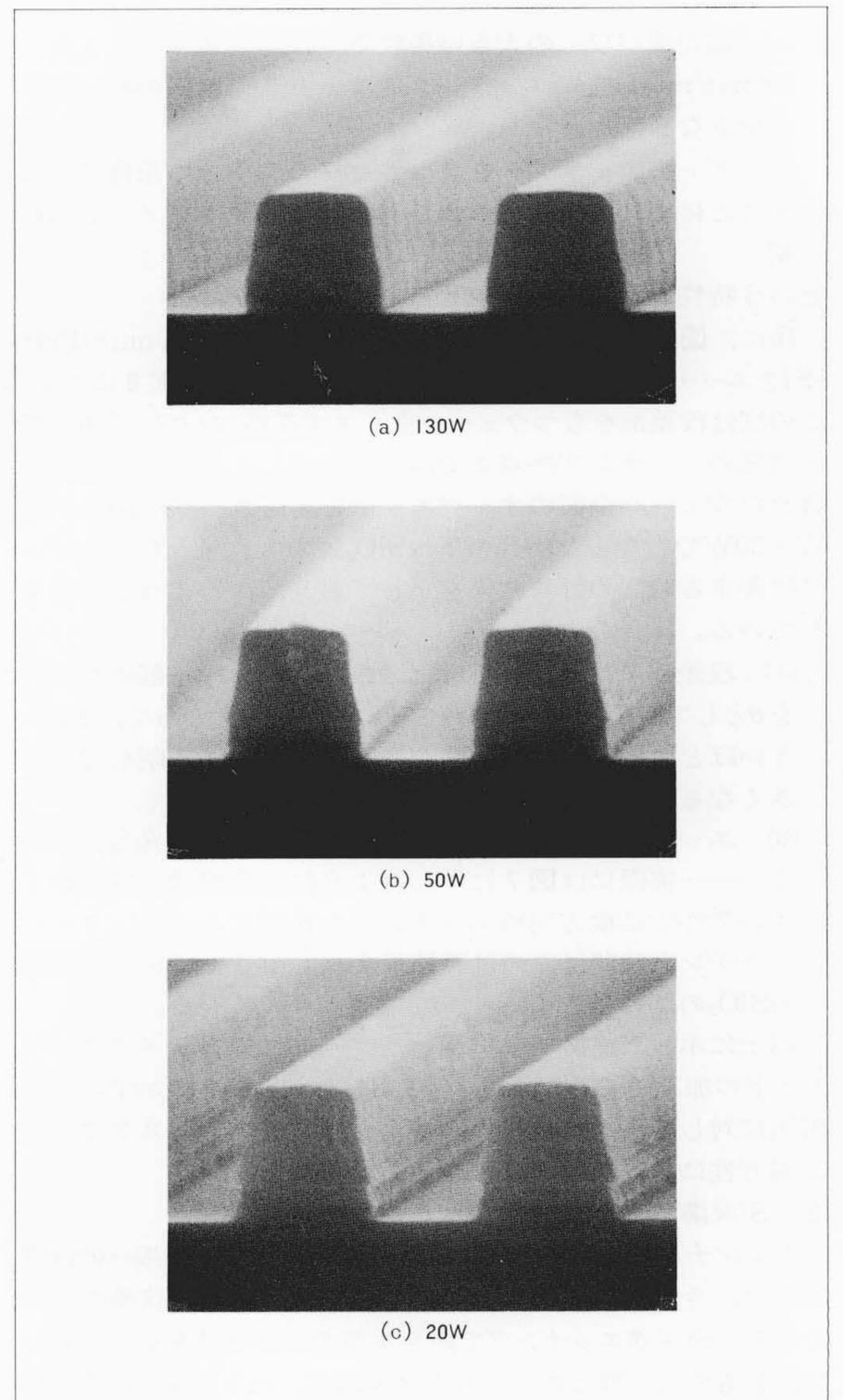


図7 メタルポリサイド加工形状の高周波パワー依存性 図6に示したものと同一条件で、高周波パワーを変化させた場合のメタルポリサイドの断面SEM写真を示す。

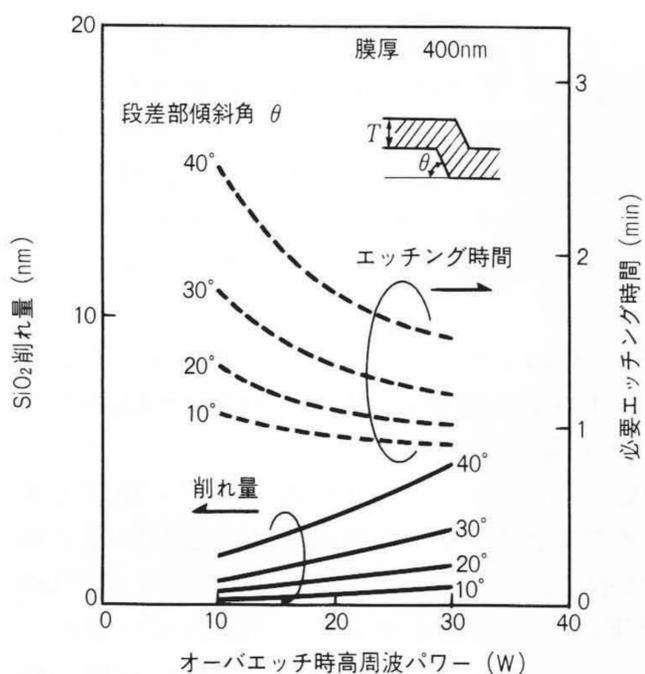


図8 “M-206A”エッチング特性に基づく検討例  
図6の特性でオーバエッチ時の高周波パワーを変化させた場合のエッチングに要する時間と下地SiO<sub>2</sub>膜の削れ量を、既存パターンの段差部傾斜角をパラメータとして計算した結果を示している。

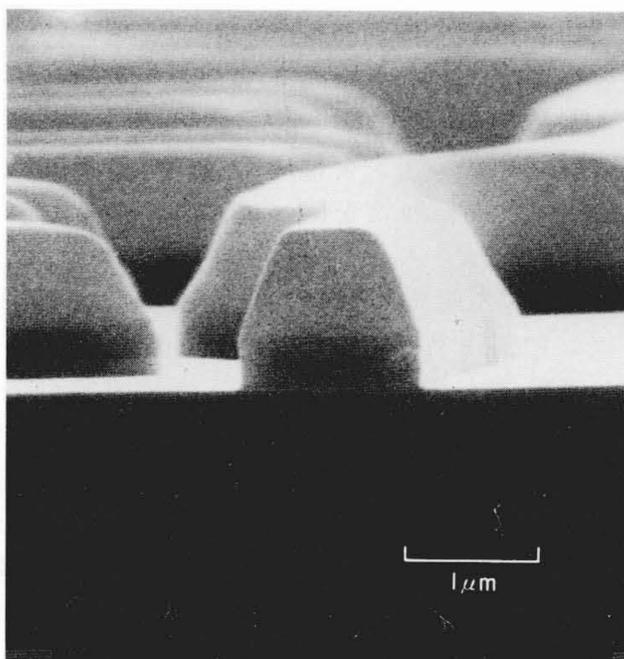


図9 メタルポリサイドの加工例 マスクに忠実に垂直な断面形状が実現されている。

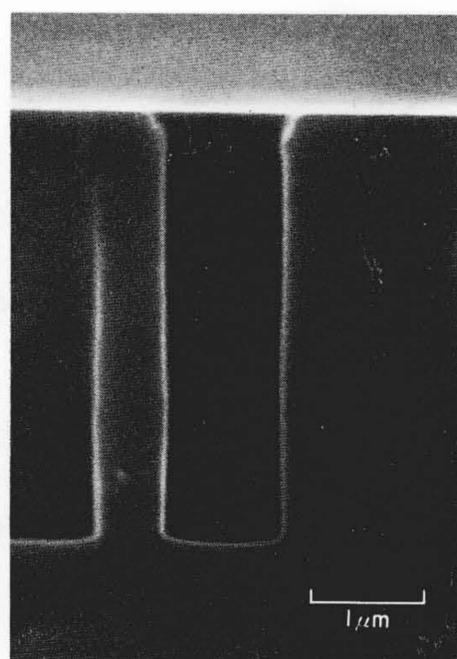


図10 Si深溝の加工例 -20Vという小さなV<sub>dc</sub>で垂直な形状を実現している。

(a) 高周波パワーの大きい条件下でのエッチングにより、500nm/min以上のエッチング速度・±3%以内の均一性及び垂直な断面形状

(b) オーバエッチングを高周波パワーの小さい条件で行なうことにより、SiO<sub>2</sub>との高い選択比とイオンダメージの抑制

という特性を得ることができる。

次に、図6に示したエッチング特性で、膜厚400nmのPoly-Siをエッチングした場合について検討した結果を図8に示す。この図は段差部をもつウェーハを、まず高周波パワー130Wで平端部のエッチング終点までエッチングし、続いて段差部も含めたウェーハ全面のオーバエッチを高周波パワー10W・20W・30Wで行なった場合の下地SiO<sub>2</sub>膜の削れ量及びエッチングに要する時間の計算結果を示しており、次のような仮定をしている。

(a) 段差部の膜厚は、平端部の膜厚を $T$ 、段差部の傾斜角を $\theta$ として、 $T/\cos\theta$ で表わされる。——したがって、 $\theta$ が大きいほどオーバエッチ時間が長く、またSiO<sub>2</sub>の削れ量も大きくなる。

(b) エッチングは高周波パワーによらず完全に異方性である。——実際には図7に示したように、高周波パワーが小さい条件では横方向のエッチングも進行するため、オーバエッチング時間はこの計算結果よりも小さくて済み、実際のSiO<sub>2</sub>の削れ量も小さく、安全側となっている。

以上に示した検討結果に従い、ゲート材であるメタルポリサイドの加工で“M-206A”を適用した例を図9に示す。下地SiO<sub>2</sub>に対して高選択性を保ちながら、レジストマスクに忠実に異方性にエッチングされている。

## (2) Si深溝エッチング

トレンチキャパシタや素子分離に用いられるSi基板への深溝形成は、今後サブミクロンデバイスで使用される技術の一つである。Si深溝エッチングで最も重要なのは形状制御であり、RIE装置では一般に数百ボルトに及ぶV<sub>dc</sub>の下でイオン性の強い条件でエッチングを行なっている。“M-206A”では、その特徴の一つである低ダメージ性を生かす目的で、高周波バイアスを極力抑えた条件でのエッチングを試みた。断面SEM写

真を図10に示す。高周波パワーを50Wとしたこのときのエッチング特性は、

- (a) エッチング速度：700nm/min
- (b) ウェーハ内均一性：±3%以内
- (c) 対酸化膜選択比：10
- (d) V<sub>dc</sub>：-20V

であり、低ダメージという本装置の特徴を十分生かしたエッチングとなっている。

## 6 結 言

以上、“M-206A”の量産用エッチング装置としての特徴、及び従来装置では得られない優れたエッチング特性について述べた。

サブミクロン時代を迎え、新しいデバイス技術が次々と登場し、従来のRIEでは、プロセスマージンが小さい、発じん(塵)性が大きい、イオンダメージが大きいなどの困難さを増しているなかで、マイクロ波エッチング技術はその適用範囲を拡大していくものと考えられる。本装置でも、更に適用プロセスの拡大を含めた装置改良を推進し、多様化するニーズにこたえていきたいと考える。

## 参考文献

- 1) 金森, 外: ドライエッチングによるダメージと汚染, 月刊Semiconductor World, 12月号, p.141(1985-12)
- 2) 堀池, 外: 各種ドライエッチング装置と加工特性—高速反応性イオンエッチング, 精密機械, Vol.51, No.7, p.26(1985)
- 3) 広瀬: 光励起エッチング, 月刊Semiconductor World, 12月号, p.129(1985-12)
- 4) K.Suzuki, et al.: Microwave Plasma Etching, Vacuum, Vol.34, p.953(1984)
- 5) 田島, 外: 長寿命・大電流マイクロ波イオン源搭載IP-815形イオン打込装置, 日立評論, 65, 7, 461~464(昭58-7)
- 6) K.Suzuki, et al.: Microwave Plasma Etching, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.16, No.11, p.1979(1977)