

# 反応性スパッタエッチング装置

## Reactive Sputter Etching System

従来、半導体製造プロセスでの加工方法としてウェットエッチング法が採用されていた。この方法ではエッチングが等方的となりホトレジストマスク寸法に忠実なエッチングができず、エッチング可能な最小寸法は $3\mu\text{m}$ 程度であった。

そこで、より微細なエッチングを実現するため、プラズマを用いてウェットエッチング法では形成不可能であった幅 $1\mu\text{m}$ 程度の微細パターンを加工形成できる反応性スパッタエッチング方法が開発された。

本稿ではこの方法を量産ベースに具現化させた反応性スパッタエッチング装置の概要と、本装置で得られたアルミニウム膜とシリコン酸化膜のドライエッチング特性について述べる。

柴田史雄\* Fumio Shibata  
西海正治\* Masaharu Nishiumi  
工藤勝義\* Katsuyoshi Kudô  
水谷 巽\*\* Tatsumi Mizutani  
福島善正\*\*\* Yoshimasa Fukushima

### 1 緒 言

半導体集積回路での集積回路上の素子の最小寸法はミクロン領域からサブミクロンの領域に入ろうとしている。この高集積化を実現させているのが半導体製造プロセスでの微細加工技術である。中でも、より微細なエッチングを実現する方法としてドライエッチング技術が注目されている<sup>1)</sup>。ドライエッチング技術には、プラズマ法、スパッタ法、反応性スパッタ法がある。このうち反応性スパッタ法は、プラズマ法とスパッタ法の長所を兼ね備えており、中性ラジカルの化学反応とイオンの直進性を利用して微細加工を実現するものである。この方法によれば、半導体集積回路を構成するアルミニウムやシリコン酸化膜などの材料をレジストマスク寸法に忠実にエッチングできる。

本稿ではこの方法を利用した反応性スパッタエッチング装置について述べる。

### 2 反応性スパッタエッチングの原理

真空室の中に平行平板電極を設置し、エッチングガスを導入して高周波放電を行なわせると、プラズマ(低電離プラズマ)が発生する。このプラズマ中には、電気的に中性ではあるが化学的活性の高い中性ラジカルや正の電荷をもつ反応性イオンが、中性ガス分子や電子などとともに存在している。

反応性スパッタエッチングでは中性ラジカルが試料と化学的に反応し、反応生成物が気化することによってエッチングが進行する。反応性イオンはこの化学反応を促進させる働きがある。反応性イオンは、電極電位とプラズマ電位との関係によって高周波電極の方向へ加速され、電極上の試料に垂直に入射する。このとき、反応性イオンが衝突した試料の表面近くの原子は、物理的にスパッタされたり、化学反応による生成物が気化する過程を経て気相に離脱する。したがって、試料表面に垂直な方向にエッチング反応が進行するので、ホトレジストマスクパターンの幅に一致したエッチングが実現できる。概念図を図1に示す。

半導体製造プロセスからドライエッチングに要求される特性としては、

- (1) ホトレジストマスク寸法に対する忠実性
- (2) ホトレジストや下地材料に対する被エッチング材料の選

択性

- (3) エッチングプロファイルの制御性
  - (4) エッチング速度
  - (5) 素子に対する汚染や損傷の少ないこと。
  - (6) 終点判定の精度と信頼性
  - (7) 量産性と保守性
- などに優れていることである。

### 3 装置構成

装置は図2に示すように、エッチング室とカセット室の二つの真空室から成るロードロック構造となっている。エッチング室には直径500mmの高周波電極と対向電極とが設けられ、被エッチング試料を高周波電極上に配置するカソード結合を基本構造としている。高周波電極には13.56MHzの高周波電

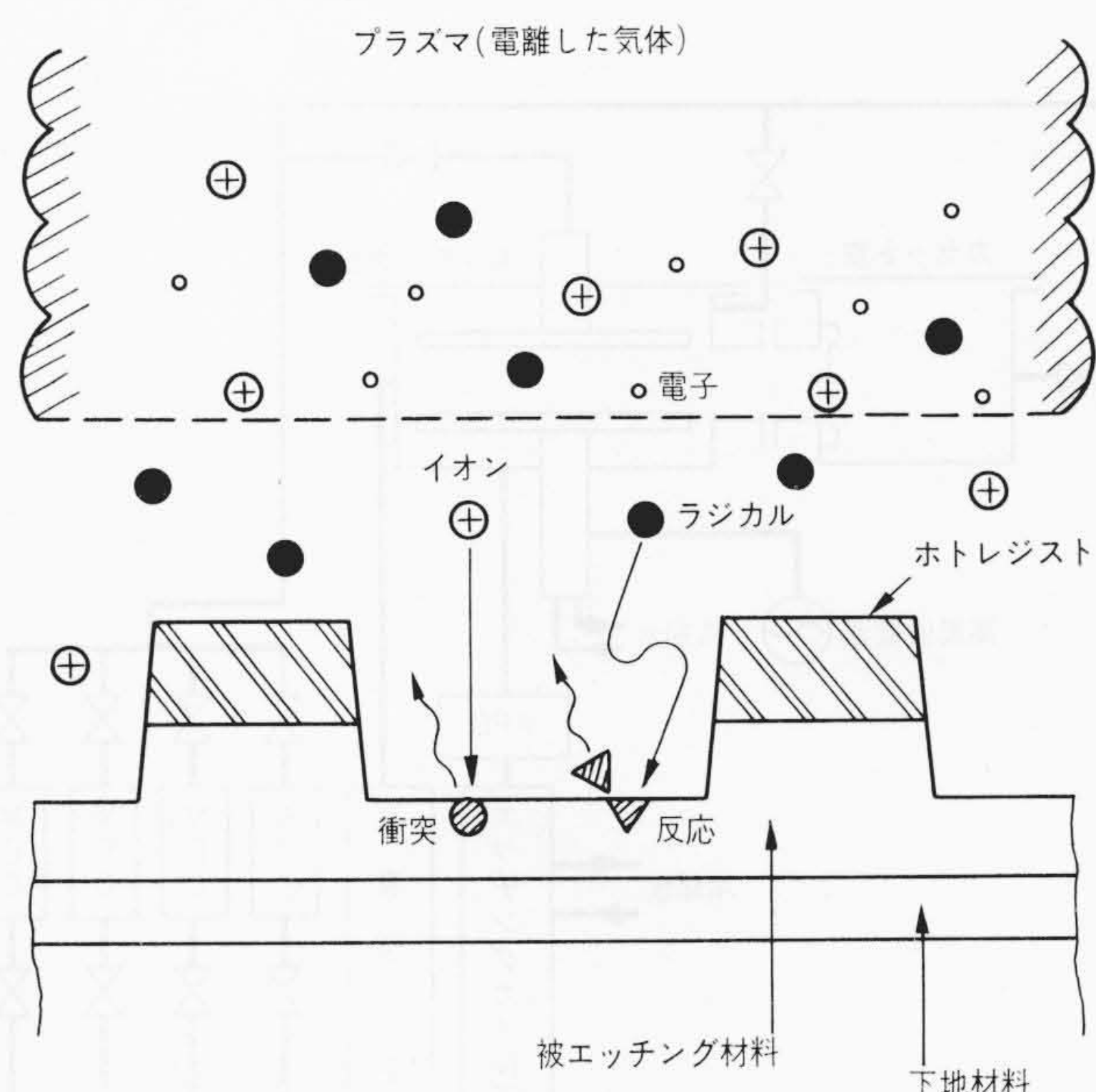


図1 反応性スパッタエッチングの原理 ラジカルによる化学反応とイオンの衝突による物理反応によって、エッチングが進行してゆく過程を示す。

\* 日立製作所笠戸工場 \*\* 日立製作所中央研究所 \*\*\* 日立製作所機械研究所



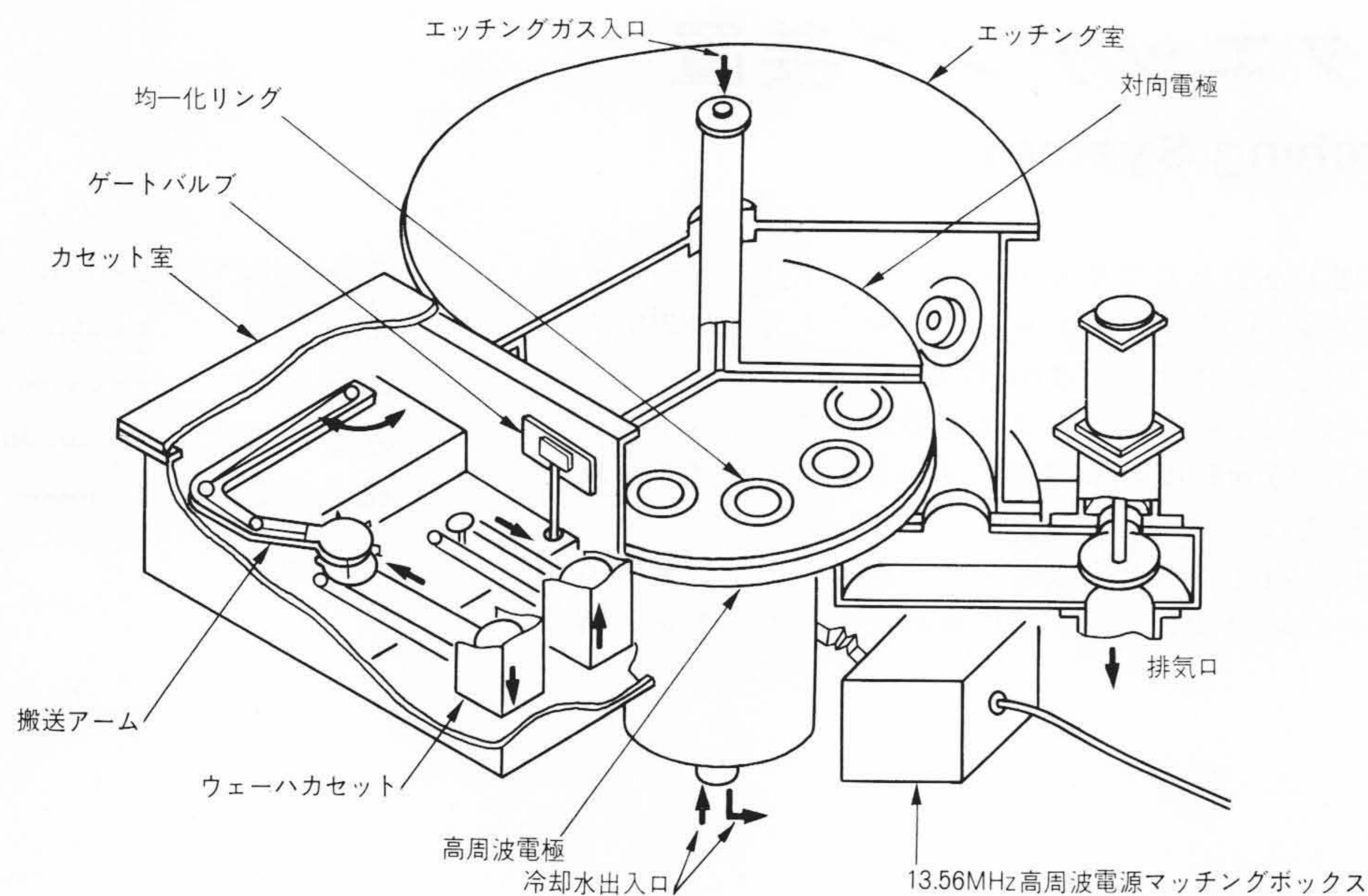


図2 反応性スパッタエッチング装置概略図  
立体断面図であり、エッチング室とカセット室の構成を示す。

力を印加する。

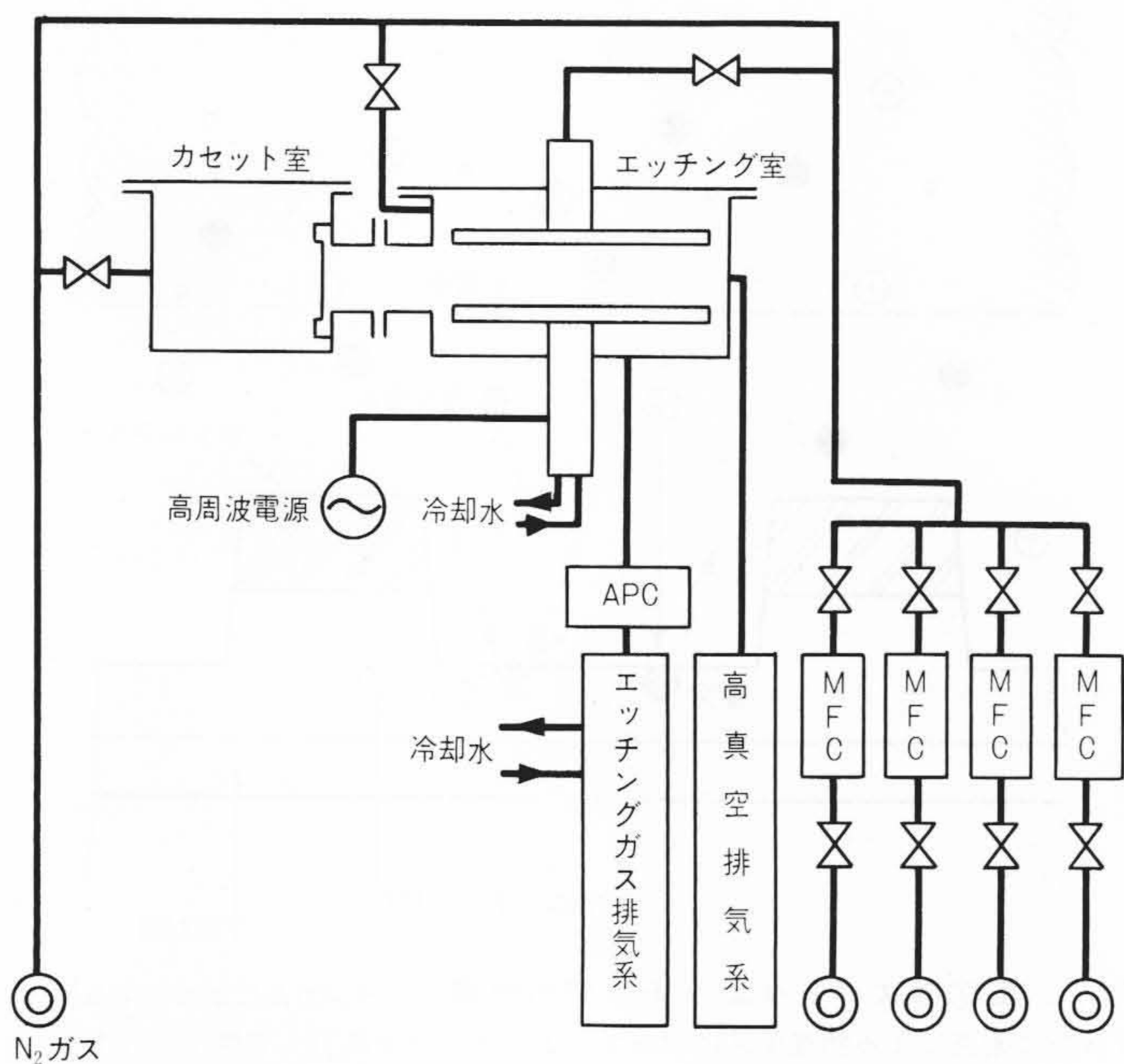
高周波電極は、エッチング中に試料が加熱されることによるホトレジストの変質や劣化を防止するために、水冷されている。

ウェーハは、高周波電極上のサセプタ上に載せられ、各々のウェーハの周囲にエッチング速度を均一化するためのリングが配置されている。高周波電極上のウェーハ装填数は、100mmウェーハの場合9枚、125mmウェーハの場合は8枚である。また、エッチング中は高周波電極を毎分3回転程度で回転させており、電極構造の影響を排除してウェーハ間のエッチング速度の均一性と終点判定の精度を向上させている。

エッチングガスは対向電極に設けられた供給孔からエッチング室内に導入され、エッチング室下部に設けられたパッフルとバッファ室によって高周波電極上を均一に流れて、その



図4 反応性スパッタエッチング装置の外観 デモンストレーション展示室に設置された装置であり、手前がSiO<sub>2</sub>用、奥がAl用のエッチング装置である。



注：略語説明 APC(Automatic Pressure Control), MFC(Mass Flow Controller)

図3 反応性スパッタエッチング装置システムフロー エッチング室とカセット室へのガス供給ライン及びガス排気ラインのフローを示す。

外周部から排気される。エッチング中のガス圧力は自動圧力調整機構によって設定値に一定に制御される。以上のシステムフローを図3に示す。

ウェーハのカセット室からエッチング室への供給や交換は、発塵の少ない搬送アームとレーザを用いたウェーハ検知モニタによる信頼性の高い搬送システムによって、自動的に行なわれる。

終点判定を観測するための発光モニタは、エッチング室側壁の窓に取り付けられている。

装置外観を図4に示す。

#### 4 装置の特長

ここに報告する反応性スパッタエッチング装置は次のような特長を備えている。

- (1) 高精度、高選択性のエッチング特性を得ることができる。  
マスクや下地材料に対する被エッチング材料のエッチングの選択性を高めるためには、対象材料を選択的にエッチングできるようにエッチングガスを選択する必要がある。本装置では、印加する高周波電力の制御や、主反応ガスに添加ガスを



混合するなどの方法によって、高精度、高選択比の微細加工を実現している。

(2) エッチングガス流れの均一化、高周波電界の集中を補償する構造などによってエッチング速度の均一性を向上させている。

エッチングガスの供給方法や排気方法によってエッチング速度の均一性が左右されるので、エッチングガスの分散供給や排気を均一にする緩衝バッフルの設置など、電極構造をも含めた工夫を施している。また、ウェーハが高周波電界にさらされるとウェーハの周囲に電界集中を生じる。この電界集中を制御するため、均一化リングを設けウェーハ端部でのエッチング速度を制御している。

(3) プラズマにさらされる面を汚染防止材料で被覆し、装置構成材料からの金属汚染を防止している。

半導体素子特性に影響を与える薄膜をドライエッチングする場合は、装置構成材料からのFe, Ni, Crなどの金属汚染を防止する必要があるので、プラズマにさらされる電極面やエッチング室の壁面をプラズマに対して安定性のある材料で被覆し、装置を構成している金属材料にプラズマが直接接触しないようにしている。

(4) 装置内部の発塵を極力防止したクリーンな装置である。

上記のようにプラズマにさらされる面を被覆すると、金属汚染の防止と同時に発塵を防止できる効果もある。また、ウェーハの搬送方式も、独自のアーム回転搬送によって搬送中の発塵を防止し、ウェーハのチャッキングも爪でウェーハ裏面と端部に軽く接触するようにして、ウェーハの損傷を防止している。

(5) 光スペクトルを用いたエッチング終点検出方法によって、エッチングの終点を確実に判定できる。

エッチング終点検出モニタとして、プラズマの光スペクトルを観測する方式を採用しており、被エッチング材料に固有の発光スペクトルを捕えて、エッチング開始時点から終点時点までの監視を行なうことができる。また、発光スペクトルの強度変化をマイクロコンピュータによって処理し、高精度に自動判定ができる。

(6) マイクロコンピュータ制御による全自動操作ができる。

エッチングガス、添加ガス、クリーニングガスの流量やエッチング室内のガス圧力が、マイクロコンピュータによって高精度に自動制御されている。したがって、装置の運転はウェーハカセットの出し入れとマイクロコンピュータに指令を与えるためのキーボードのボタン操作だけで実行できるカセット ツウ カセットの全自動装置となっている。また、保守性についても、液体窒素トラップを設ける場合はトラップ再生中にも運転が可能のように切換式の2連トラップが取り付けられるなど、種々の工夫が施されている。このほか、エッチング処理後のプロセス、例えばアルミニウムに対する腐食防止プロセスなども準備し、総合的な生産性を高めている。

## 5 装置の特性と適用例

### 5.1 アルミニウムのエッチング特性

半導体集積回路の配線材料として、アルミニウム及びアルミニウム合金が用いられる。アルミニウムのエッチングガスとしては $\text{BCl}_3$ (三塩化ホウ素)が適していること、特に $\text{CF}_4$ (フレオン14)と $\text{O}_2$ とを少量 $\text{BCl}_3$ に添加すると $\text{BCl}_3$ の解離が促進されアルミニウムが選択的にエッチングできることを見いだした<sup>2)</sup>。

Alは、 $\text{BCl}_3$ プラズマ中のClラジカルとの反応によって揮発性化合物 $\text{AlCl}_3$ (100℃で蒸気圧133Pa)となり、エッチングが

進行する。

このプロセスを用いた場合の100mmウェーハに対するエッチング特性は、

(1) Alのエッチング速度：40～60nm/min(9枚同時処理のとき)

(2) Al/ $\text{SiO}_2$ 選択比：8～12

(3) Al/ホトレジスト選択比：2.5～3.5

(4) ウェーハ内均一性：±10%以下

(5) ウェーハ間均一性：±5%以下

を得ている。ここで、均一性の定義は評価範囲内のエッチング速度の最大値と最小値を用いて、

$$\text{均一性} = \frac{\{(\text{最大値}) - (\text{最小値})\}}{\{(\text{最大値}) + (\text{最小値})\}} \times 100\%$$

としている。また、ウェーハ内均一性は直径90mm内で直交する2方向での値であり、ウェーハ間均一性はウェーハの中央部の測定値で求めている。

終点判定は、396.1nmのAl原子の発光強度を測定すること

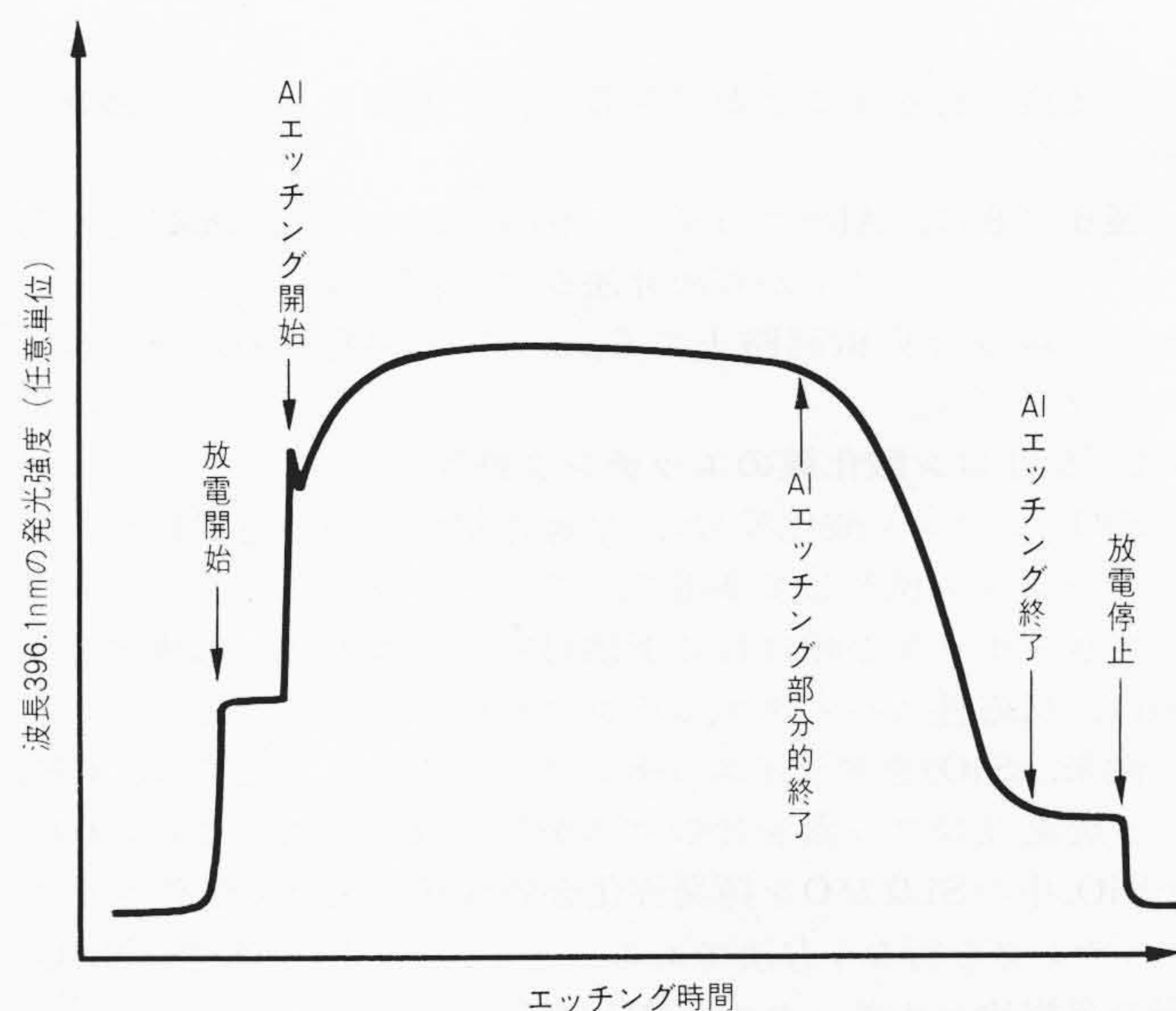


図5 Alエッチング中の発光強度モニタ例 放電開始からAlエッチング開始までは、Alの自然酸化膜をエッチングする時間である。また、Alエッチング終了後はオーバエッチングを実施している例を示す。

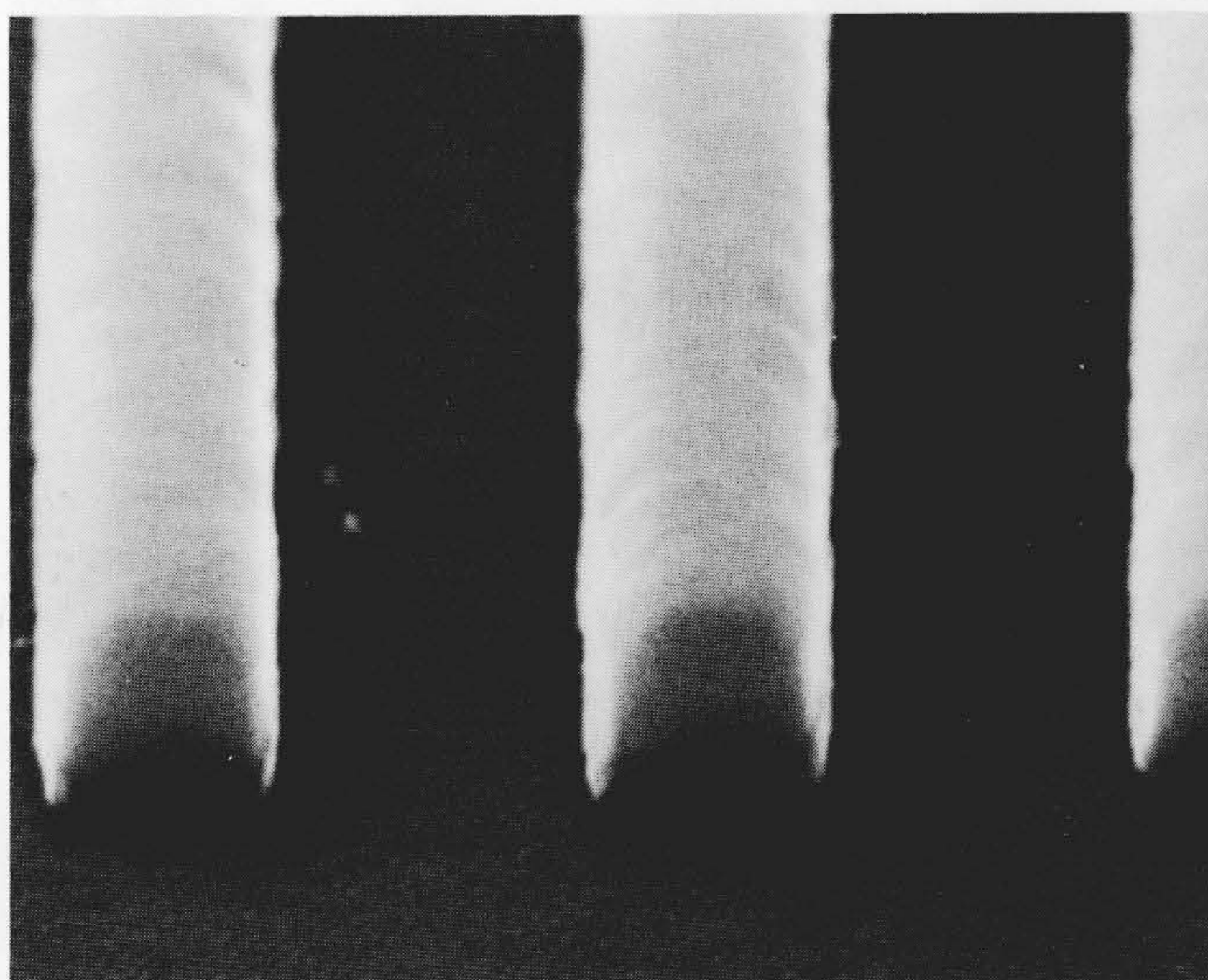


図6 線幅2μのAlエッチングのSEM(走査電子顕微鏡)写真 ホトレジストマスクに忠実に垂直なエッチングが実現されている。



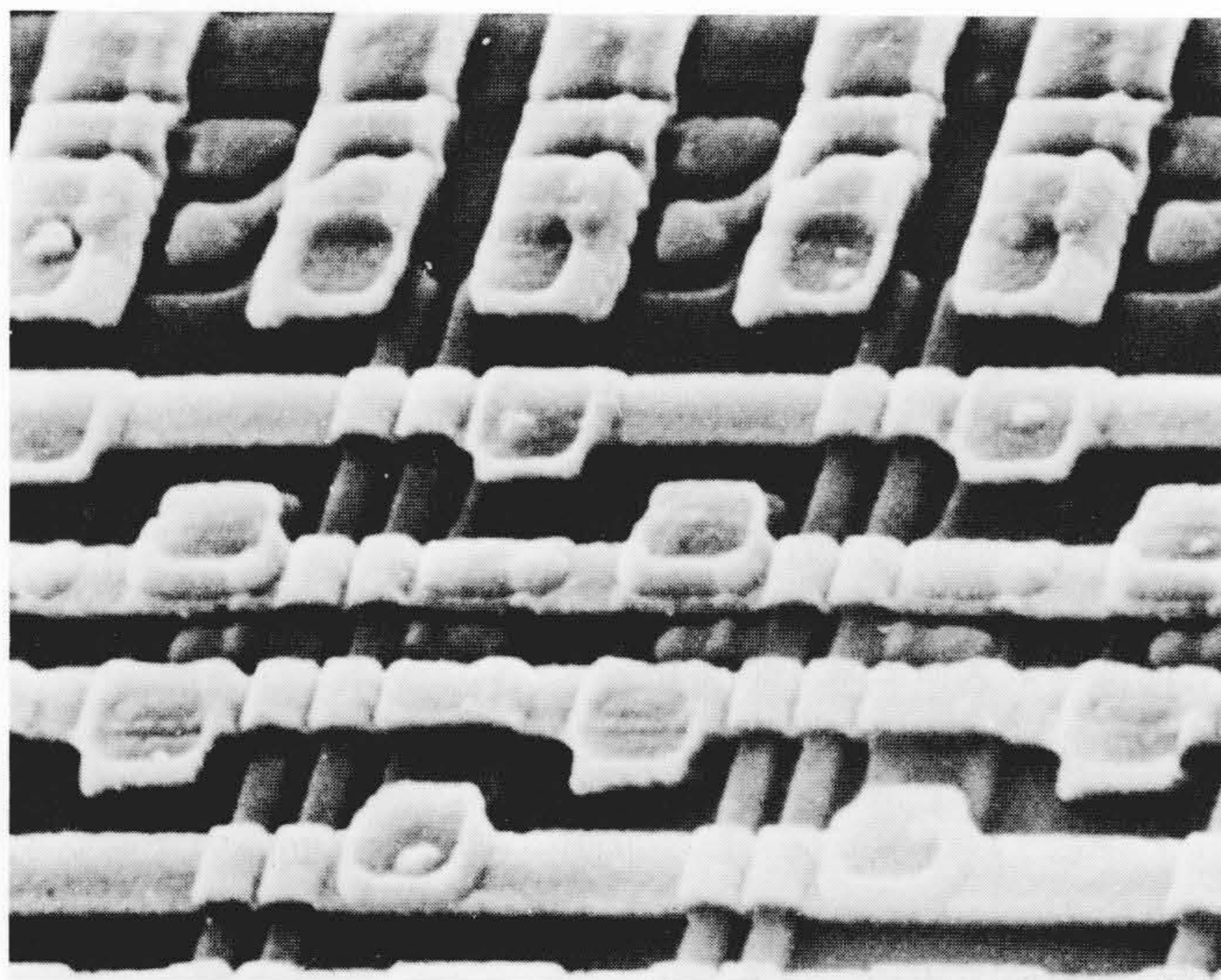


図7 バイポーラLSIのAl 2層配線のSEM写真 製品適用例を示す。

で精度良く行なうことができる。発光強度モニタ例を図5に示す。

図6～8に、Alのエッチング例を示す。幅 $2\mu\text{m}$ 程度のAlパターンがレジストからの寸法シフトな形成でできている。また、複雑な集積回路上で $5\mu\text{m}$ ピッチ程度のAl配線を容易に形成できる。

## 5.2 シリコン酸化膜のエッチング特性

$\text{SiO}_2$ (シリコン酸化膜)は、半導体集積回路の絶縁膜やパッシベーション膜として多用されている。コンタクトホール又はスルーホールと呼ばれる下地材料への導通孔を形成するために、反応性スパッタエッチングが用いられている。

従来、 $\text{SiO}_2$ をドライエッチングできるガスとしては、 $\text{CF}_4$ など炭素及びフッ素を含むガスが知られていた。これは $\text{CF}_4$ が $\text{SiO}_2$ 中のSi及びOを揮発性化合物 $\text{SiF}_4$ や $\text{CO}$ に変化させてエッチングを行なう方法である。しかし、 $\text{CF}_4$ 単体では $\text{SiO}_2/\text{Si}$ の選択比が小さいため、 $\text{CF}_4$ に $\text{H}_2$ を添加してSiのエッチン

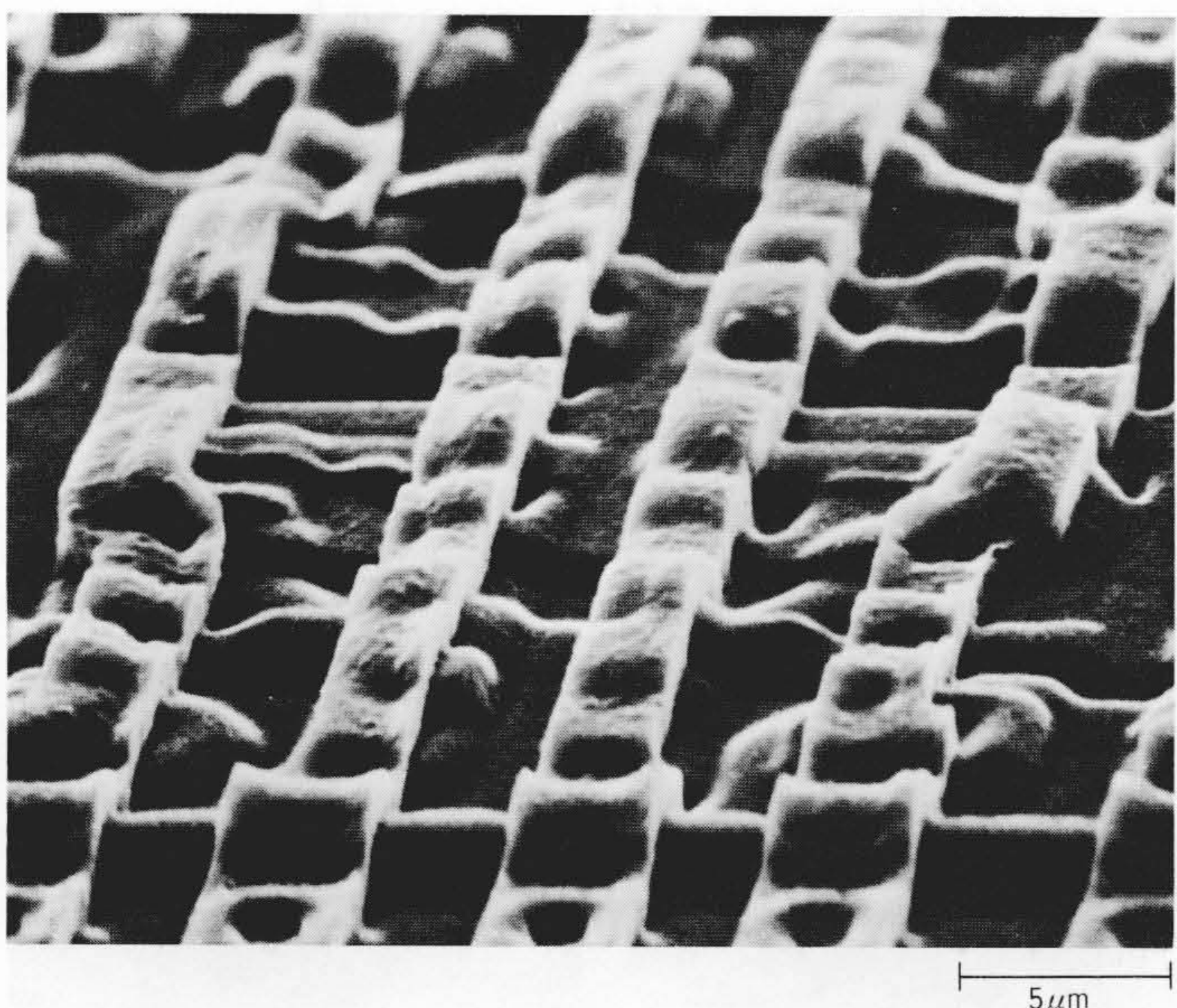


図8 MOS(Metal Oxide Semiconductor)LSIのAl-Si配線のSEM写真 製品適用例を示す。

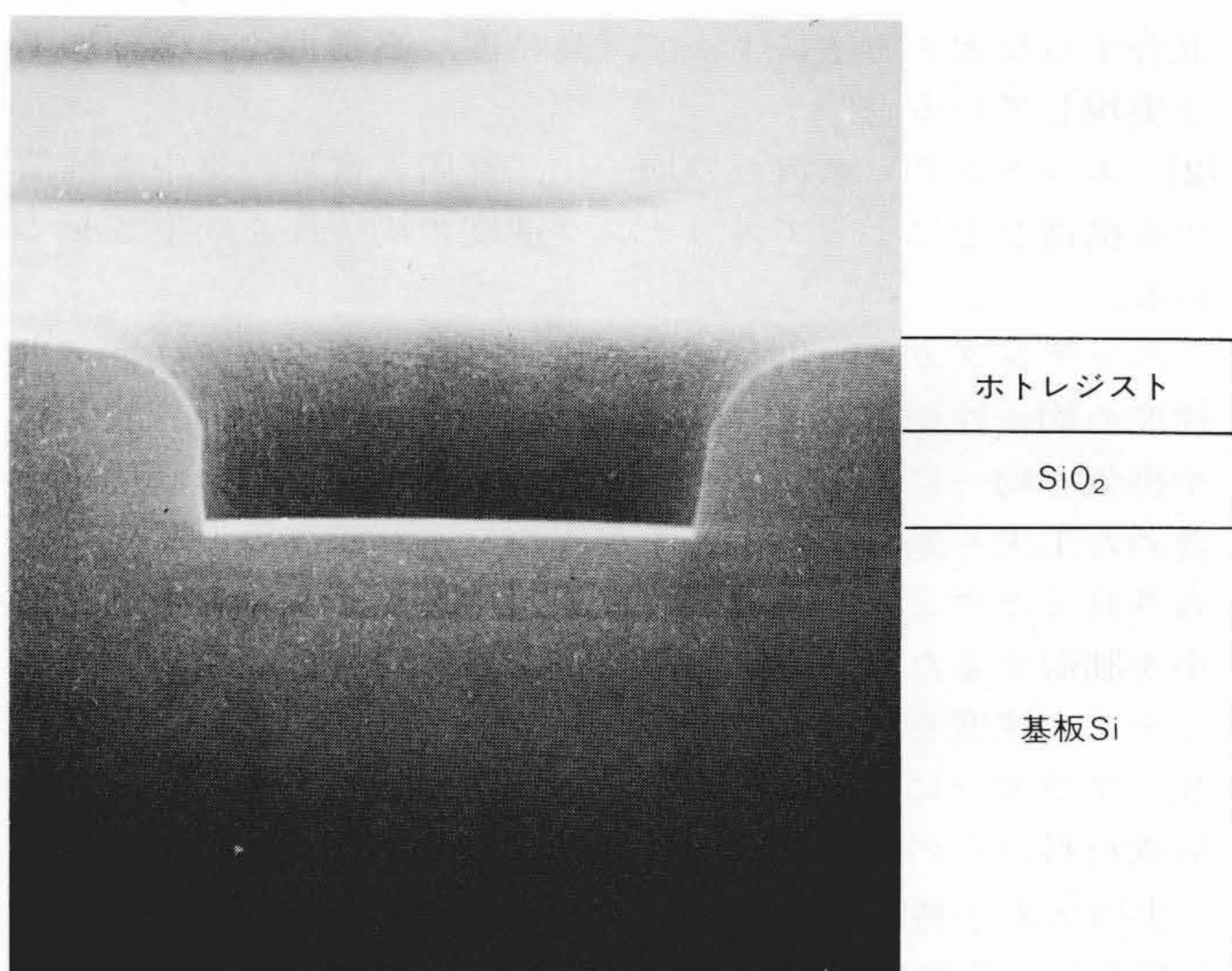


図9  $\text{SiO}_2$   $2\mu\text{m}$ コンタクトホールの断面SEM写真 ホトレジストパターンに忠実に垂直に近いエッチングが実現されている。

グ種であるFラジカルをHFという形で消費してSiのエッチングを抑制している。

本装置では、分子に水素を含んだ $\text{CHF}_3$ (フレオン23)を採用している。このプロセスを用いた場合、 $100\text{mm}$ ウェーハに対するエッチング特性は、

- (1)  $\text{SiO}_2$ のエッチング速度： $40\sim 50\text{nm}/\text{min}$
- (2)  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ 選択比： $8\sim 12$
- (3)  $\text{SiO}_2/\text{ホトレジスト}$ 選択比： $3\sim 4$
- (4) ウェーハ内均一性： $\pm 5\%$ 以下
- (5) ウェーハ間均一性： $\pm 2\%$ 以下

を得ている。なお、均一性の定義は前節と同一である。

ウェーハ表面の汚染を、IMA(イオンマイクロアナライザ)によって分析したが、重金属汚染はほとんど検出できず、実用上問題のないレベルにあることが確認できている。

終点判定は、波長 $519.8\text{nm}$ の $\text{CO}$ の分子の発光強度を測定することによって精度良く行なうことができ、現状では被エッチング面積がウェーハの全面積に対して数パーセントのウェーハ1枚でも判定が可能となってきた。

図9に $\text{SiO}_2$ のエッチング例を示す。Alエッチングの例と同様に寸法約 $2\mu\text{m}$ のコンタクトホールがレジストマスク寸法に忠実に形成できている。

## 6 結 言

アルミニウムとシリコン酸化膜をドライエッチングできる反応性スパッタエッチング装置とプロセスを開発し、本ドライエッチング技術により、 $1\sim 2\mu\text{m}$ の微細なAl配線やシリコン酸化膜のスルーホールを加工して、集積回路の微細加工を実現できることを確認した。

また、エッチングの終点検出はプラズマの光スペクトルを観測する方法を用いて精度良く自動判定を行なうことができるため、カセット ツウ カセットの全自動装置として高い生産性と信頼性を確保している。

## 参考文献

- 1) 向, 外: ドライプロセス, Semiconductor World, 6 (1982)
- 2) T. Mizutani, et al.: IEDM81, Technical Digest, 582 (1981)