

# 次世代マスクプロセスに対応する ドライエッチング装置 ARES™

"ARES™" Dry Etching Equipment for Next-Generation Mask Processing

飯野 由規      吉森 大晃      石見 宗憲  
 ■ IINO Yoshinori      ■ YOSHIMORI Tomoaki      ■ IWAMI Munenori

ARES™ (アレス) は、芝浦メカトロニクス(株) が東芝と技術面で連携して、2006年から開発に着手したドライエッチング装置で、2009年に量産機を出荷した。

この装置は、最大4基のドライエッチングユニットを搭載することが可能で、複数の異なる薄膜のドライエッチングに対応できるよう設計されている。また、EES (Equipment Engineering System) を装備し、ドライエッチング性能の信頼性の管理を充実させた。更に、ドライエッチングプロセス技術の開発においても、2010年にハーフピッチ (hp) 44 nmのEUV (Extreme Ultraviolet : 極端紫外光) マスクパターンの垂直形状加工を実現し、国際学会でも高い評価を得た。

Shibaura Mechatronics Corporation, in cooperation with Toshiba, started the development of "ARES™" (Advanced Reticule Etch System) dry etching equipment for mask processing in 2006, and began commercial production in 2009.

ARES™, in which up to four dry etching units can be installed, is designed to deal with a number of thin dry film etchings, and is equipped with an equipment engineering system (EES) that enhances the reliability management of dry etching performance. We also developed an extreme ultraviolet (EUV) mask dry etching process in 2010, and have performed vertical pattern processing of 44 nm half-pitch resolution.

## 1 まえがき

ARES™ (アレス) は、芝浦メカトロニクス(株) が東芝と技術面で連携して開発した、半導体マスク専用のドライエッチング装置である。マスクは、透明な石英基板の上に金属薄膜のパターンが作られたものであり、マスクを介してレジストに光を当てることでマスクと同じパターンが転写される。マスク上の金属薄膜を設計どおりのパターンに加工する装置がドライエッチング装置である。当社は2006年から開発を始め、2009年に1号機を納入した。

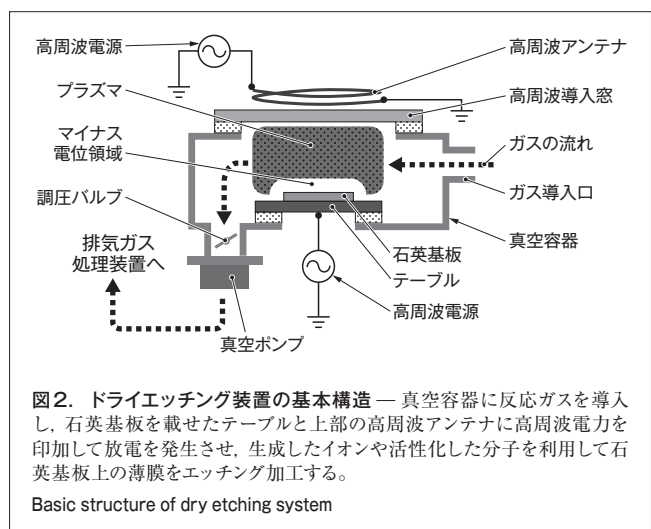
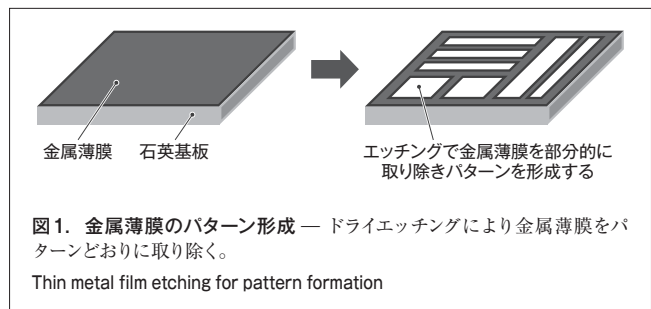
また、EUVマスクのドライエッチングプロセス技術の開発も進め、2010年にはマスクの国際学会であるPhotomask Japanで開発成果を発表し、高い評価を得た。

ここでは、ARES™及びEUVマスクドライエッチングプロセス技術の概要について述べる。

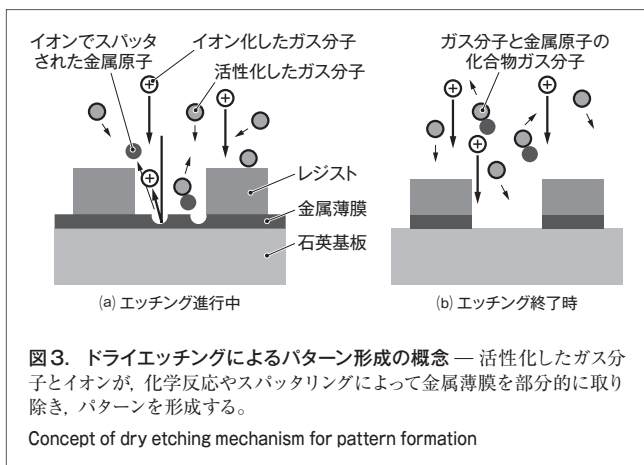
## 2 ドライエッチング技術の概要

図1に示すように、石英基板の上に形成した金属薄膜から不要部分を取り除いてパターンを形成するのがエッチング技術であり、溶液を使うウエットエッチングに対して真空容器とガスを使ってエッチングするのがドライエッチングである。

ドライエッチング装置の基本構造を図2に示す。ドライエッチングは、真空容器の内部に設けられたテーブルの上に石英基板を置き、次の工程で行う。



まず、真空ポンプで真空容器中のガスをいったん排出し、その後、排気しながらドライエッチングに使うガスを真空容器に



流す。このとき、調圧弁で真空容器内を所定の圧力に保つ。  
次に、真空容器の上部に設けられた高周波アンテナと石英基板を載せたテーブルの間に高周波電力を投入する。それにより、ガスが放電し、明るく光るプラズマが発生する。プラズマの領域には、ガスのイオンと電子、及び活性化したガス分子ができる。この活性化したガス分子が金属薄膜と化学反応し金属ガス分子を作ることで、石英基板から金属薄膜を取り除いていく。金属薄膜を石英基板上に残してパターンを作る部分はレジストで覆い、金属薄膜が反応しないようにする(図3)。

垂直方向にエッチングを進行させたい場合には、電離したガスのイオンを利用する。テーブルに投入された高周波電力に応じて、テーブルと石英基板はマイナスの電位を持つ。イオンはこの電位により石英基板に向かって加速され、金属薄膜に衝突し金属原子を飛び出させること(スパッタリング)によって薄膜を削る。

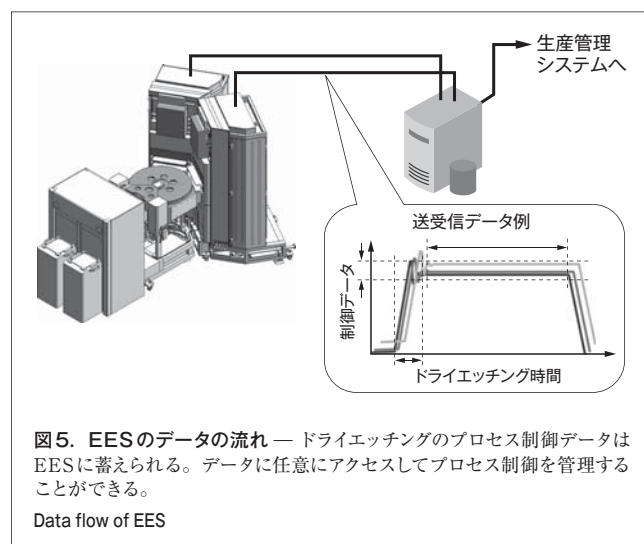
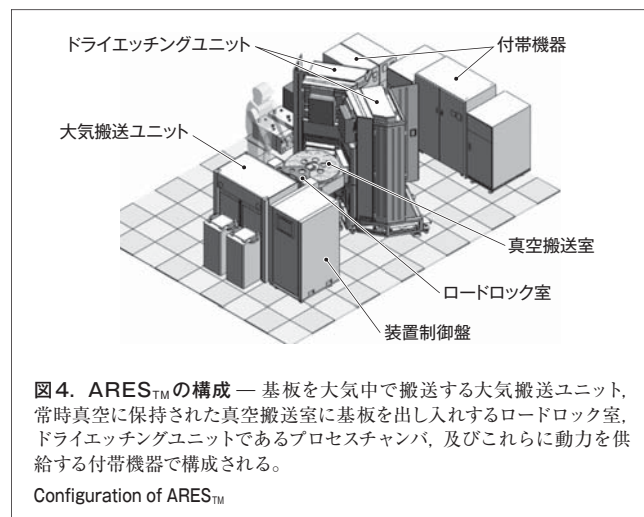
### 3 ARES™の概要

#### 3.1 構造

ARES™は、石英基板を大気中で搬送する大気搬送ユニット、石英基板を収納し大気と真空を切り替えるロードロック室、石英基板を真空状態でドライエッチング室に搬送する真空搬送室、金属薄膜のドライエッチングを行う真空容器を収納したドライエッチングユニットであるプロセスチャンバ、及び付帯機器から成る(図4)。

最大で4基のドライエッチングユニットを搭載可能で、複数の異なった薄膜のドライエッチングができる。付帯機器は、装置を運転するための動力に加え、EESを装備する。

EESは、石英基板1枚1枚のドライエッチングの制御パラメータをモニタし、その時間変化データをPC(パソコン)に記録するシステムである。EESのデータの流れを図5に示す。このデータを用いてドライエッチング性能の信頼性を管理することができる。



#### 3.2 性能

マスク加工には、パターンの寸法精度を評価するCD (Critical Dimension) 性能 (CDU (CD Uniformity), リニアリティ), 生産性を評価するエッチング性能 (エッチング速度, 選択比など), 及びパターンの欠陥を評価する欠陥性能 (微粒子の個数) の仕様値を満足することが要求される。これらの性能を実現するため、ARES™は以下の特長を持つ。

##### 3.2.1 プロセスチャンバでの均一なプラズマ生成

ARES™のプロセスチャンバの構造を図6に示す。CD性能を向上させる方法の一つとして、反応ガスの滞在時間 $\tau$ を短くすることが有効である<sup>(1)</sup>。 $\tau$ は式(1)で表される。

$$\tau = PV/Q \tag{1}$$

$P$ : 真空容器内の圧力 (Pa)

$V$ : 真空容器体積 ( $m^3$ )

$Q$ : ガス流量 ( $Pa \cdot m^3/s$ )

$\tau$ を短くするために、体積を小さくした。同程度の大きさの

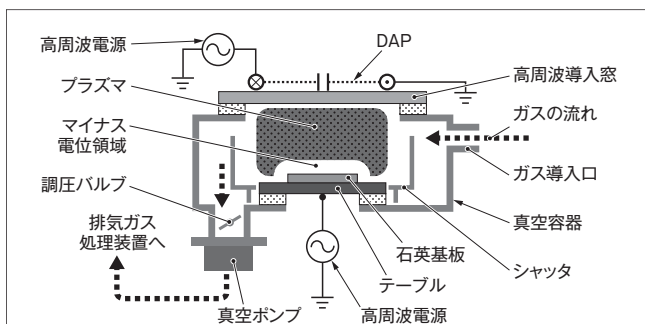


図6. ARES™のプロセスチャンバの構造 — 電界強度を制御できる高周波アンテナと、軸対称なプラズマを生成するシャッタを体積の小さい真空容器の中に搭載することで、加工の高精度化を実現している。

Structure of process chamber in ARES™

基板を処理する当社の従来のドライエッチング装置に比べ、約1/2の体積である。更に大排気量ターボ分子ポンプを採用し2倍のガス流量を流すことで、 $\tau$ を当社従来比で1/4まで短縮した。

石英基板面内のパターン寸法の均一性を示すCDUを高めるため、プラズマを均一に発生させるシャッタを導入している。シャッタの有無によるプラズマ密度分布をシミュレーションした結果を図7に示す。基板を搬送する場合にはシャッタを降下させ、真空搬送ロボットが真空容器内に進入できるようにし、プラズマを発生させてドライエッチングを行う場合には上昇させて、軸対称の構造にする。

**3.2.2 DAPによる欠陥原因抑制** ARES™に搭載しているプラズマ源は、東芝が開発したコイルとキャパシタを組み合わせた高周波アンテナで<sup>(2)</sup>、当社がDAP (Divided Antenna Plasma) として商品化した。

DAPは、キャパシタの効果でアンテナに発生する高周波電

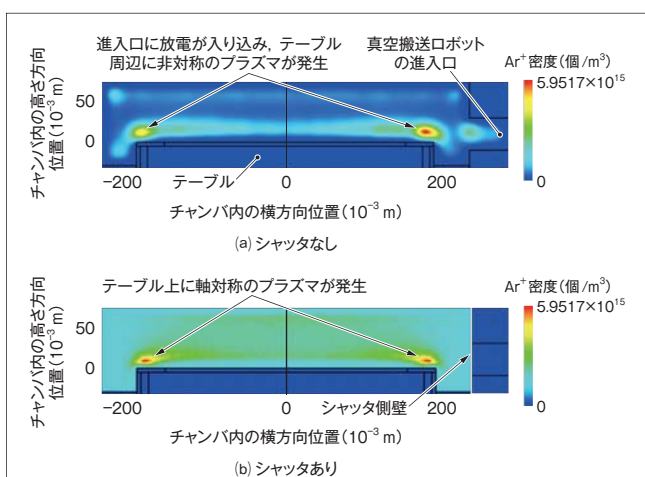


図7. シャッタの有無によるプラズマ密度分布の比較(シミュレーション結果) — プロセスチャンバ内にシャッタを入れることで軸対象の構造にし、均一なプラズマを生成する。

Results of simulation of argon (Ar) plasma density with and without shutter

界を小さくすることができ、高周波導入窓の消耗を抑制し、欠陥の原因となるエッチング生成物の剥離を抑制する。

**3.2.3 微粒子低減による低欠陥化** ARES™は、前記のDAPとチャンバのポリマーマネジメントの採用により、微粒子の発生を抑制している。すなわち、プラズマから石英基板の周辺、排気までのプロセスチャンバ内に、積極的にポリマーをエッチングする範囲と、積極的に堆積する範囲を設けることで、微粒子を除去したり、脱離の抑制をしている。

また、プロセスチャンバ、真空搬送室、及びロードロック室といった搬送系は、真空度差圧を最小にし、ゲートバルブ動作の最適化によって、搬送時の微粒子発生を0化を図っている。

## 4 ARES™のドライエッチングプロセス技術の開発

ARES™の性能について、EUVマスクのドライエッチングプロセス技術の開発成果を、マスクの国際学会であるPhoto-mask Japanで2010年に発表し、ベストポスター賞受賞という高い評価を得た。hp11 nm世代の半導体製造に用いられる、hp44 nmパターンのEUVマスクのドライエッチングプロセス技術を他社に先駆けて開発したものである<sup>(3)</sup>。

EUVマスクとは、EUVをマスク表面で反射させて露光を行う反射型のマスクである。EUVマスクの吸収体エッチングの概念を図8に示す。光を反射させる部分を多層膜ミラーと呼ぶ積層膜で構成し、EUVを吸収して反射させない部分を吸収体と呼び、酸化タンタル薄膜と窒化タンタル薄膜の積層膜が用いられる<sup>(4), (5)</sup>。

開発の目標は、hp44 nmパターンを垂直な断面形状にドライエッチングすることであった。また、目標とするパターン寸法からの差分 (CDエラー) のばらつきは、hp44 ~ 1,000 nmのパ

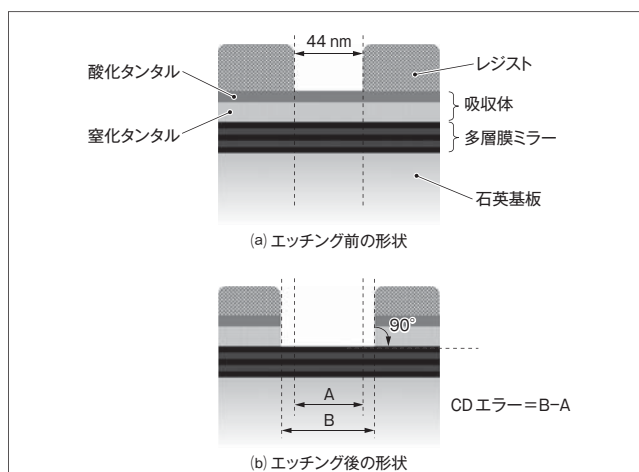


図8. EUVマスクの吸収体エッチングの概念 — 酸化タンタルと窒化タンタルを垂直に、かつCDエラーのばらつきが5 nm以下になるようにエッチングする。

Concept of absorber for dry etching of EUV mask

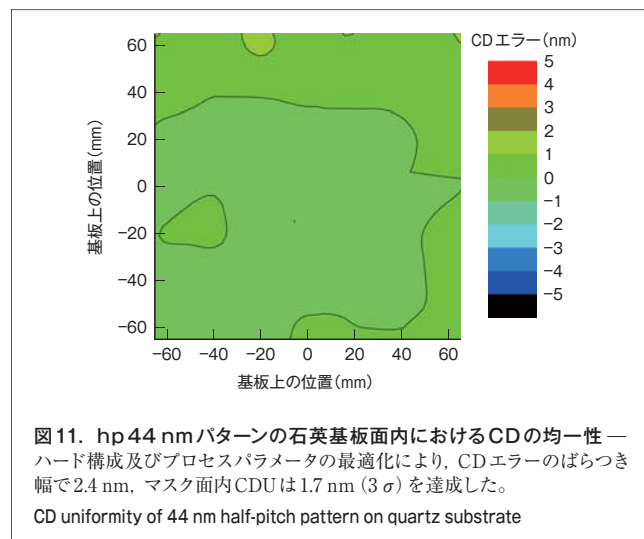
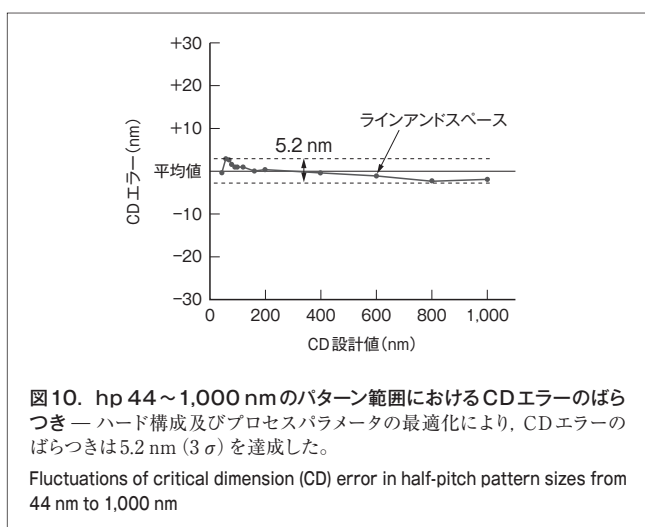
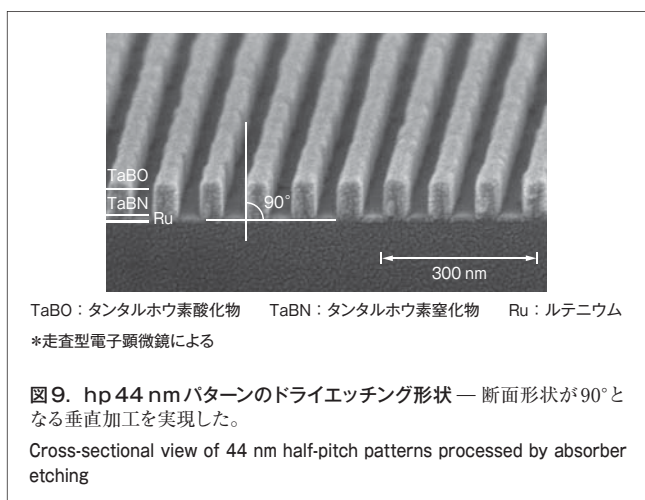


ターン範囲で5 nmが目標で、CDUは2 nm (3σ)が目標であった。hp 44 nmパターンの吸収体の加工形状を図9に示す。

垂直な断面形状は、全体の80%以上の厚さを占める窒化タンタル膜のドライエッチング形状により決まる。窒化タンタル膜のエッチング生成物がパターン側壁に堆積することで、断面形状の角度が変化する。基板が設置されたテーブルに投入する高周波電力の大きさで堆積量が変わり、断面形状の角度が制御できることを見いだした。

パターン寸法は酸化タンタル膜のドライエッチングで決まり、ガスの分解生成物を酸化タンタル膜の側壁に堆積させることで、CDエラーのばらつきを最小限にすることができた。hp 44 ~ 1,000 nmのパターンにおけるCDエラーのばらつきを図10に示す。このパターン寸法範囲で、CDエラーのばらつきは5.2 nm (3σ)を達成した。

また、図11に示すようにマスク全面にわたって均一な寸法に加工するには上部の高周波アンテナに投入する電力が重要であることを見だし、hp 44 nmパターンのマスク面内CDUは1.7 nm (3σ)を達成した。



## 5 あとがき

東芝と技術面で連携し、次世代のマスクプロセスに対応するドライエッチング装置 ARES™とドライエッチングプロセス技術を開発し、その性能は国際的にも高く評価された。

今後も、製造装置及びプロセスの研究開発と改良を重ね、半導体デバイスの微細化や性能向上に貢献していく。

## 文 献

- 徳山 巍 編. 超微細加工技術. 第1版, 東京電機大学出版局, 1997, 323p.
- 東芝. 山華雅司 他. プラズマ生成装置及びプラズマ処理方法. 特許第3586198号. 2004-11-10.
- Yoshimori, T. et al. Dry Etching technologies for EUV Mask. Proc. SPIE. 7823, 2010, p.782305.1 - 782305.8.
- HOYA. 暮石光浩 他. 反射型マスクの製造方法. 特許第4535270号. 2010-09-01.
- Shoki, T. et al. Process development of 6-inch mask with TaBN absorber. Proc. SPIE. 4754, 2002, p.857 - 864.



飯野 由規 IINO Yoshinori

芝浦メカトロニクス(株) ファインメカトロニクス事業部 技術第二グループ主務。ドライエッチング装置の開発に従事。  
Shibaura Mechatronics Corp.



吉森 大晃 YOSHIMORI Tomoaki

芝浦メカトロニクス(株) ファインメカトロニクス事業部 技術第二グループ主査。ドライエッチング装置の開発に従事。  
Shibaura Mechatronics Corp.



石見 宗憲 IWAMI Munenori

芝浦メカトロニクス(株) ファインメカトロニクス事業部技監。半導体製造装置の開発に従事。日本真空学会会員。  
Shibaura Mechatronics Corp.