

# 高品位成膜用量産向けスパッタリング装置

## Sputtering Systems for High Quality Metallization

半導体素子の微細化・高密度化に伴い、安定した品質の薄膜を得ることが必要とされており、薄膜形成の主要技術であるスパッタリング装置でも電氣的・化学的・物理的に高品質な薄膜を形成できることが必要となっている。この要求にこたえるため、多種の薄膜を高品質に成膜する量産用スパッタリング装置“PS-306A”を開発した。

本装置は、多彩なプロセス要求・操作性・保全性・装置の信頼性を満足するために開発したもので、本稿では、その概要と本装置で得られた薄膜特性例について述べる。

金井三郎\* Saburō Kanai  
 秋葉政邦\*\* Masakuni Akiba  
 小山田武\*\*\* Takeshi Oyamada  
 米田龍次\*\*\*\* Ryūji Yoneda  
 相内 進\*\*\*\*\* Susumu Aiuchi

### 1 緒言

1Mビット ダイナミックRAM(Random Access Memory)に代表されるように、半導体集積回路はますます微細化・高集積化されつつあり、素子内部は多層配線化、低抵抗配線化が進んでいる。この高集積化を実現させている半導体製造プロセスで、薄膜形成技術には、より高品質で、より高信頼性の薄膜作製が要求されている。薄膜形成の主要技術であるスパッタリング法にも広範な技術要求があり、新しい薄膜材料、薄膜形成技術などの研究がなされている<sup>1)~5)</sup>。

現在、スパッタリング法による成膜は、配線用Al合金膜、Mo及びWのシリサイド膜などのゲート材料が実用に供されており、Ti、TiNなどのバリアメタル膜を介したAl多層配線構造、Wなどの新ゲート電極材料も検討されている。各材料は単一のプロセスでなく、複数の処理の組合せを使い分けたプロセスとなるため、それに対応できるスパッタリング装置が必要となる。

### 2 スパッタリング装置の動向

スパッタ成膜では、膜厚分布、組成分布、ステップカバレッジなどが良好・均一であること、成膜前の温度管理、成膜前処理などによる膜質改善に寄与することのほか、デバイス高密度化に伴い図1に示すようなさまざまな事項が要求されてきており、個々の要素技術開発とともに、連続複数処理や状態監視、データ処理など装置自身はいつそうのシステム化傾向にある。

上記ニーズにこたえ、量産に適したスパッタリング装置を下記方針のもとに開発した。

- (1) ウェーハ処理手順はデバイスなどにより異なるため、デバイスメーカーが選択可能なシステムとする。
- (2) 機能追加(例えば反応性スパッタ)が部品交換・機器追加だけで容易に行なえる。
- (3) 異種・同一材料の複数のターゲットを、それぞれ独立した条件でスパッタリングできる(例えば多層膜形成)。

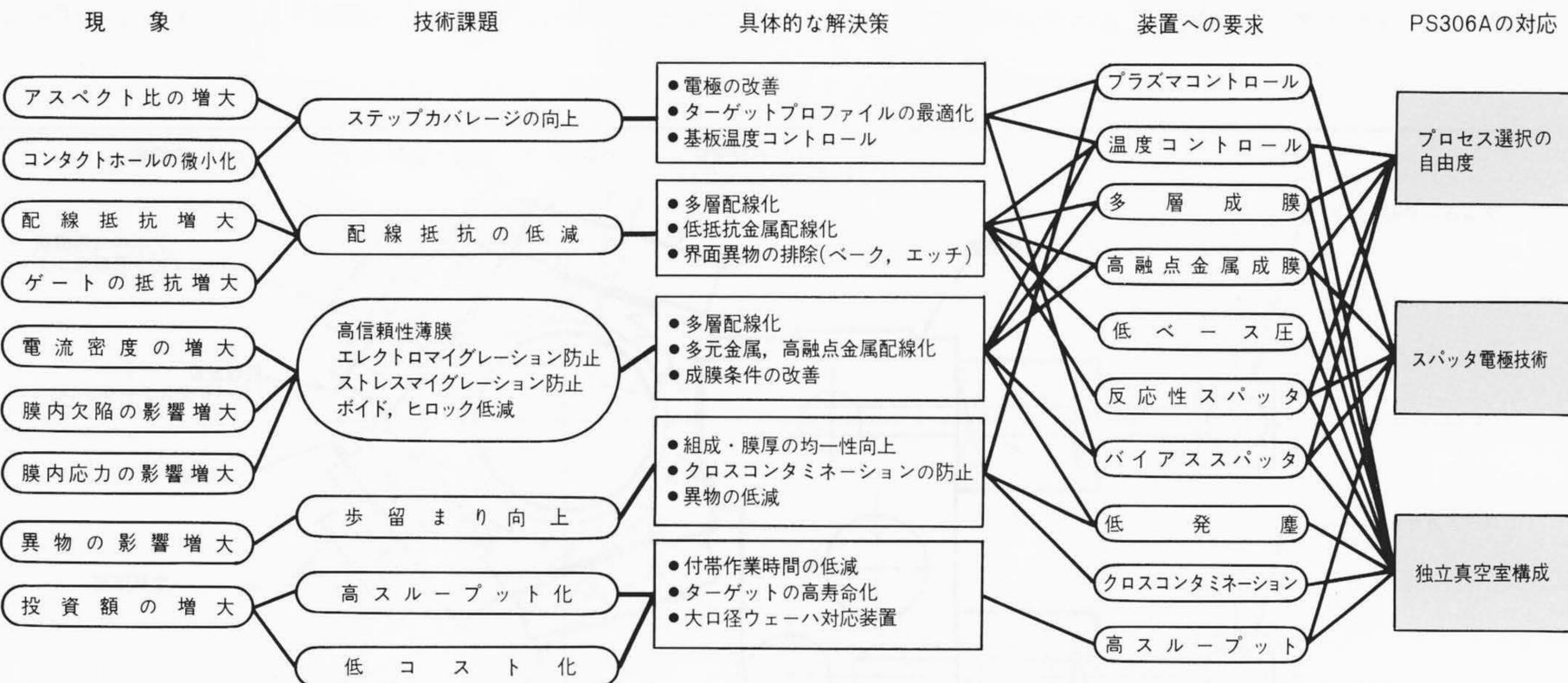


図1 デバイス要求の技術課題とPS-306A形の対応 デバイスの高密度化、パターンの微細化によるスパッタリング装置への要求内容が、広範かつ高度化してきている。

\* 日立製作所笠戸工場 \*\* 日立製作所武蔵工場 \*\*\* 日立製作所高崎工場 \*\*\*\* 日立製作所茂原工場  
 \*\*\*\*\* 日立製作所生産技術研究所 工学博士

表1 高信頼性設計概念 優先順位は、レベルI→II→III→IVとする。

レベル	設計概念	具体的設計方針
I	故障が発生しにくい設計	(1) 使用部品の選択 (2) 1動作・1駆動による機構の単純化 (3) 摩滅部品の排除
II	故障しても他へ波及させない設計	(1) 1動作・1駆動による機構の分離 (2) ハード・ソフトインタロック (3) 状態監視
III	故障しても極力止めない設計	(1) バイパスルートによるウェーハ処理の続行 (2) 状態監視によるバックアップシーケンス
IV	故障部位を早期に回復できる設計	(1) ブロック組立によるアウトワーク化 (2) 作業性の確保 (3) 自己診断機能

- (4) スパッタ処理中でも、初期ベース圧力を保持する。
- (5) オペレータ操作は、運転開始時とカセット交換の確認だけとし、操作手順は和文表記のCRT(Cathode Ray Tube)で誘導する。
- (6) ロード、アンロードともダブルカセットによるカセットーカセット方式とし、オペレータ作業を低減する。
- (7) ターゲット交換やクライオポンプ再生などの定期保守作業は、簡便かつ短時間に行なえる。
- (8) ウェーハサイズ4～6inへ対応可能とする。
- (9) 機械的なスループットに加えて、特にターゲット交換後の高真空引き時間を短縮し、装置の実効的な生産性を上げる。
- (10) 装置の高稼働率確保のため、表1の設計概念を設ける。

**3 装置構成**

図2に装置の外観を、図3に構成を示す。本装置は五角柱形状の外筒と円柱形状の内筒とで構成された真空室を中心として、外筒の各側面に個別の真空室を配置した構造である。主真空室内には回転ドラムが内蔵され、これにウェーハホルダが取り付けられている。主真空室の五つの側面には、4基のウェーハ処理室と、1基の前処理室が設けられている。前記ウェーハホルダは、回転ドラムのラジアル方向に動く

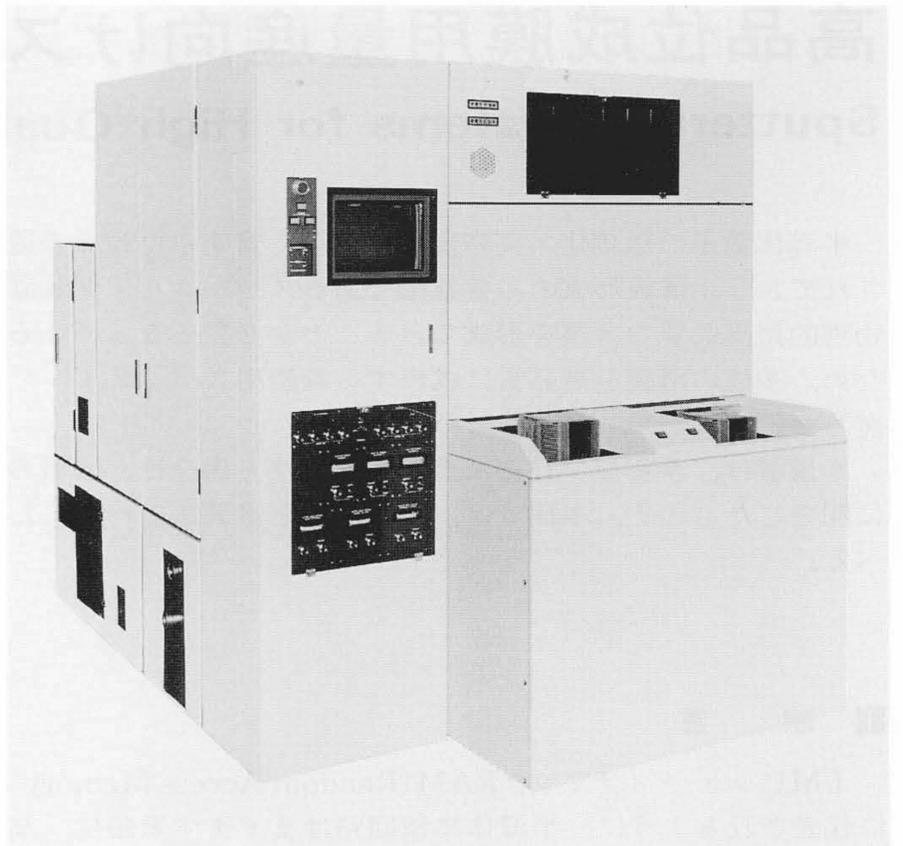


図2 PS-306A形の外観 操作・制御部は本体機構部と一体化され、スルーザウォールタイプとなっている。

ことができる構造であり、回転ドラムに等角度に5個設けられている。

このウェーハホルダは、ホルダ前後進駆動装置によってウェーハ処理時には処理室側へ、回転時には回転ドラムに密着する。ウェーハはロード側大気カセットから1枚ずつロードロック室を経て前処理室へ搬送される。前処理室内にはウェーハ加熱ステーションとスパッタエッチングステーションが取り付け可能であり、プロセスの要求に応じて、ベーキングによる吸着ガスの追出しやスパッタエッチクリーニングの前処理を受ける。次いでウェーハは、搬送アームによって水平から垂直に姿勢変換された後、ウェーハホルダに装着され回転ドラムが1/5回転し、処理室Iへ搬送される。順次各処理室に

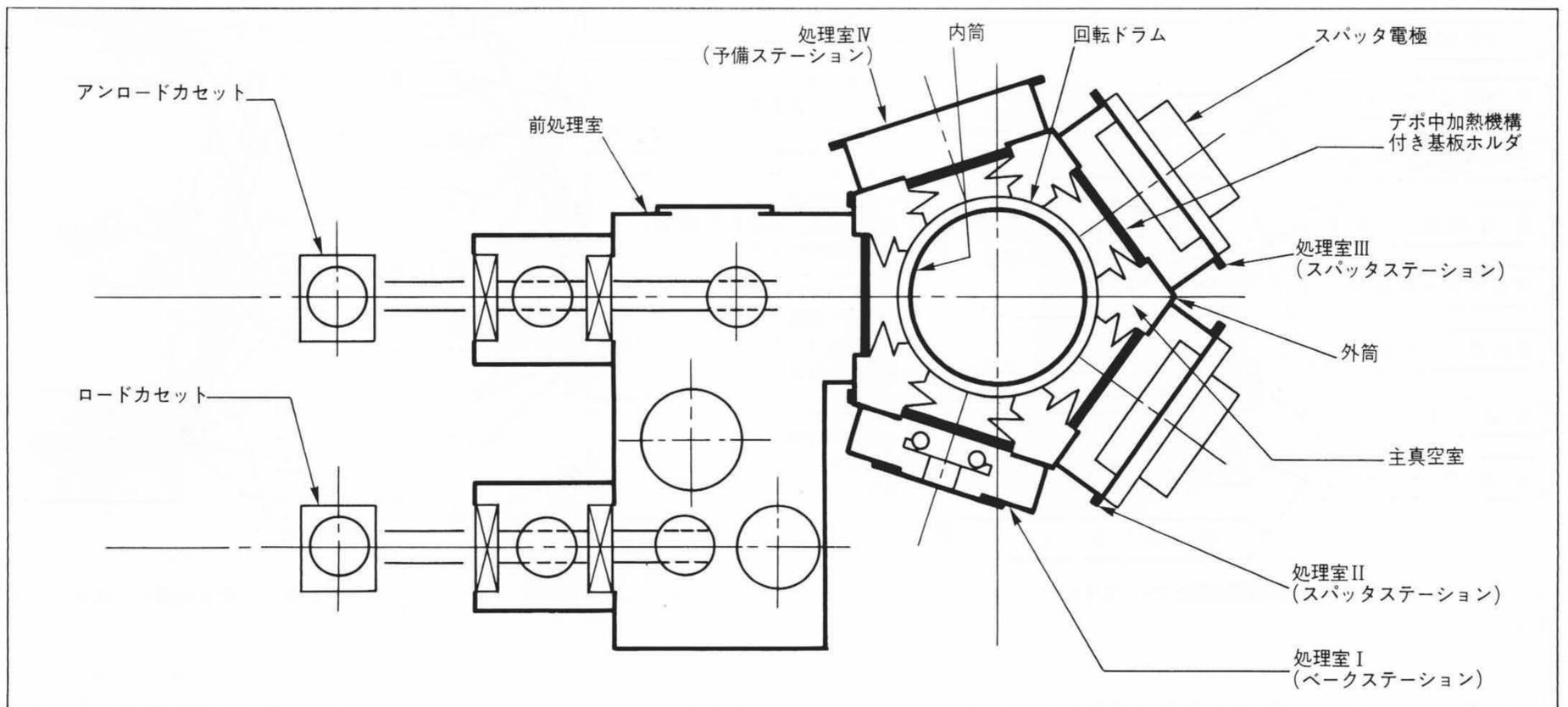


図3 PS-306A形の本体構成図 各処理室は独立真空室を構成する。

静止対向して所定の処理が施され、再び前処理室・ロードロック室を経由して大気中のアンロードカセットに収納される。

**4 装置の特長**

PS-306A形装置の特徴を以下に記す。

**4.1 均一性, ステップカバレッジ**

スパッタ装置に望まれるのは、成膜した膜の膜厚・組成分布が均一で、ステップカバレッジが良好であり、かつターゲット寿命中それらのばらつきがないことである。

本装置では日立製作所独自の「二重磁極プラズマ移動形スパッタ電極<sup>※)</sup>」を採用し、これを実現している。この電極は図4に示すように、ターゲット表面に大小二重のプラズマリングを交互に、かつ独立した条件で発生させることができるものである。小リングによるウェーハ内の膜のたい(堆)積分布は中央凸であり、大リングでは外高分布となるが、この各々の分布状態から、各プラズマのターゲット上の滞在時間を最適化して重ね合わせし、大小の移動を繰り返すことにより、ウェーハ全面にわたって分布の均一な膜が形成される。図5の高融点金属での成膜例に示すように、優れた均一性が得られている。

また、プラズマを移動させる本方式は、1箇所にプラズマを固定するよりもターゲット摩耗領域が広く取れるため、ターゲットの長寿命化にも効果を挙げている。

ステップカバレッジの改善には、上記プラズマ移動による利点のほかに、図4に示すようにターゲットプロファイルを最適化することが有効であり、図6、7に示すように、Al合

金ターゲットに適用し良好な結果が得られている。

**4.2 独立真空室構成**

図3に示すように、各処理室、前処理室が独立した真空室を形成するため、それぞれ単独に処理・リーク・排気が行なえ、次に述べるような利点がある。

- (1) ウェーハ処理時は、それぞれの処理室でプロセス条件を独立に制御でき、多層膜の成膜がクロスコンタミネーションなく行なえる。
- (2) 前処理室はウェーハ処理中、主真空室と完全に仕切られ

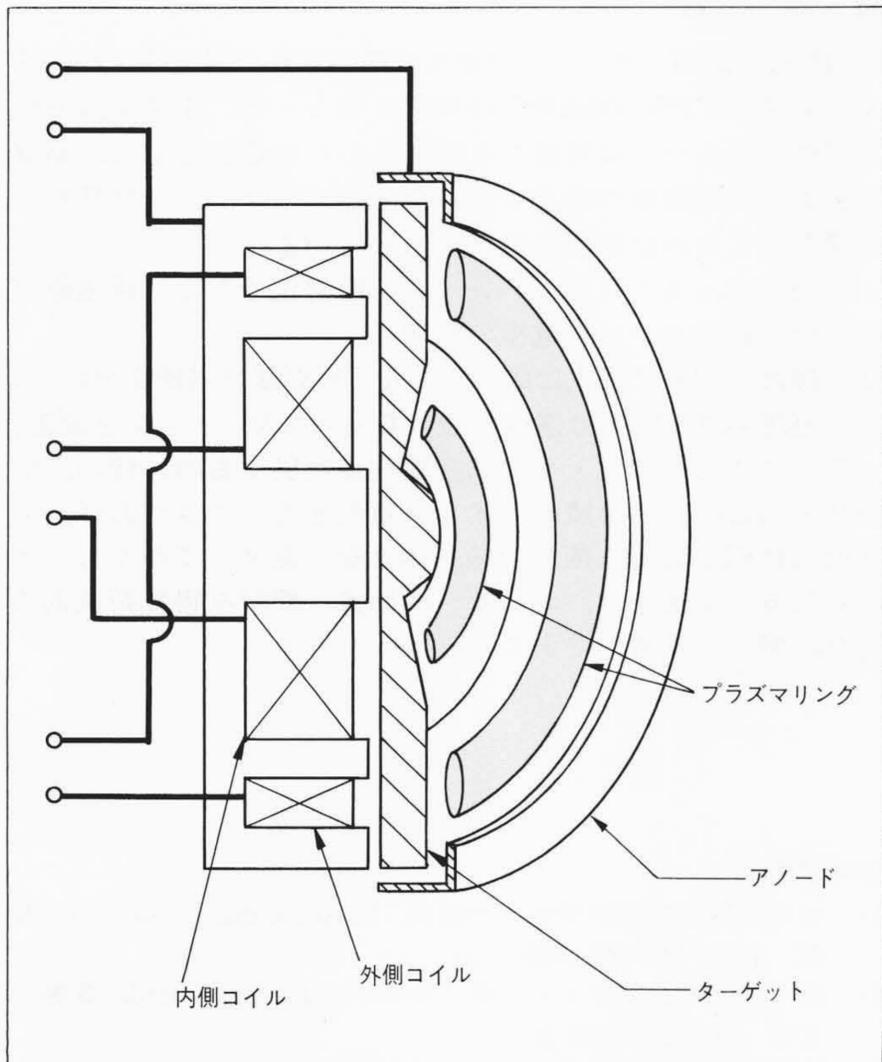


図4 二重磁極プラズマ移動形スパッタ電極 大小二重のプラズマリングを、交互に発生させる。

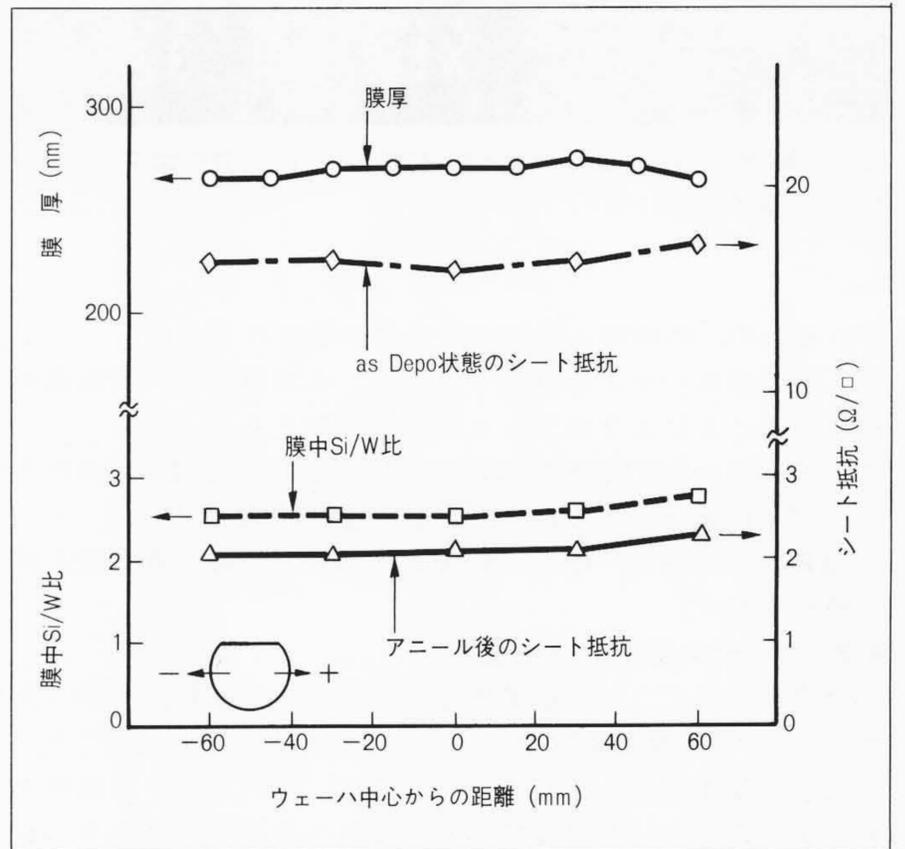


図5 W-Sixターゲットによる成膜特性 膜厚均一性±3%, 膜中Si/W比±5%, as Depo状態でのシート抵抗分布±5%, アニール後のシート抵抗2.1~2.3Ω/□が得られている。

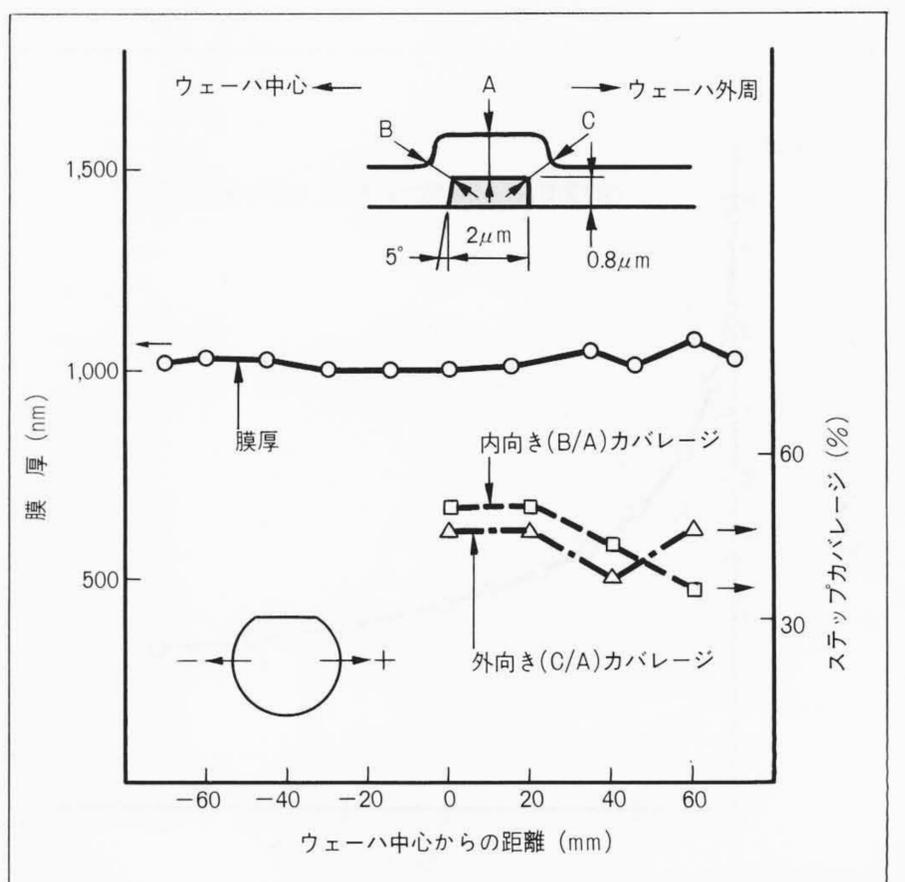


図6 Al-Siターゲットによる成膜特性 成膜前ウェーハ温度300℃で膜厚均一性は±3.0%, ステップカバレッジは35%以上である。

※) 日本特許第1249013号, 米国特許第4401539号取得

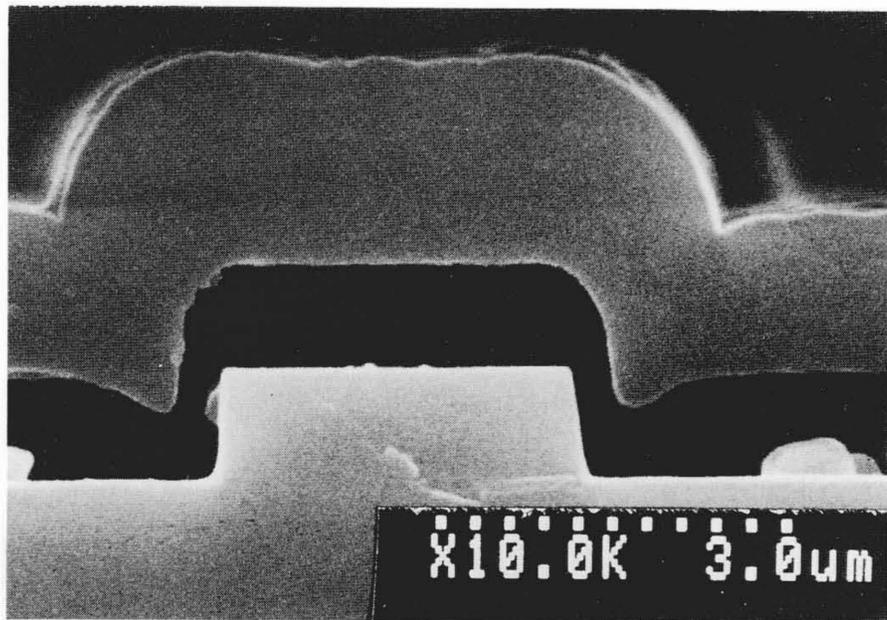


図7 Al-Siスパッタ成膜による段差部のSEM(走査形電子顕微鏡)写真 製品適用例を示す。

ているため、前処理と成膜が完全に分離される。

(3) 反応性スパッタを行なう場合は、その処理室へ排気系を増設することにより独立した処理が行なえる。

(4) ターゲット交換時には、小容積(約18l)の処理室だけの大気開放で作業ができるため、真空立上げ時間が短い。

図8に処理室II, IIIを2時間大気開放した後の真空立上げの実例を示す。

#### 4.3 プロセス選択の自由度

表2に示すように、前処理室でのウェーハ加熱、スパッタエッチングを含め処理ステーションは最大6基まで設置でき、プロセス要求に応じて処理条件を任意に選択でき、反応性スパッタとの組合せも可能である。また、2基の加熱ステーションとウェーハホルダ内のデポ中加熱機構の利用により、基板温度制御が行なえるようになっている。

#### 4.4 操作性

(1) 装置知識の少ないオペレータでも、すぐに操作できるよ

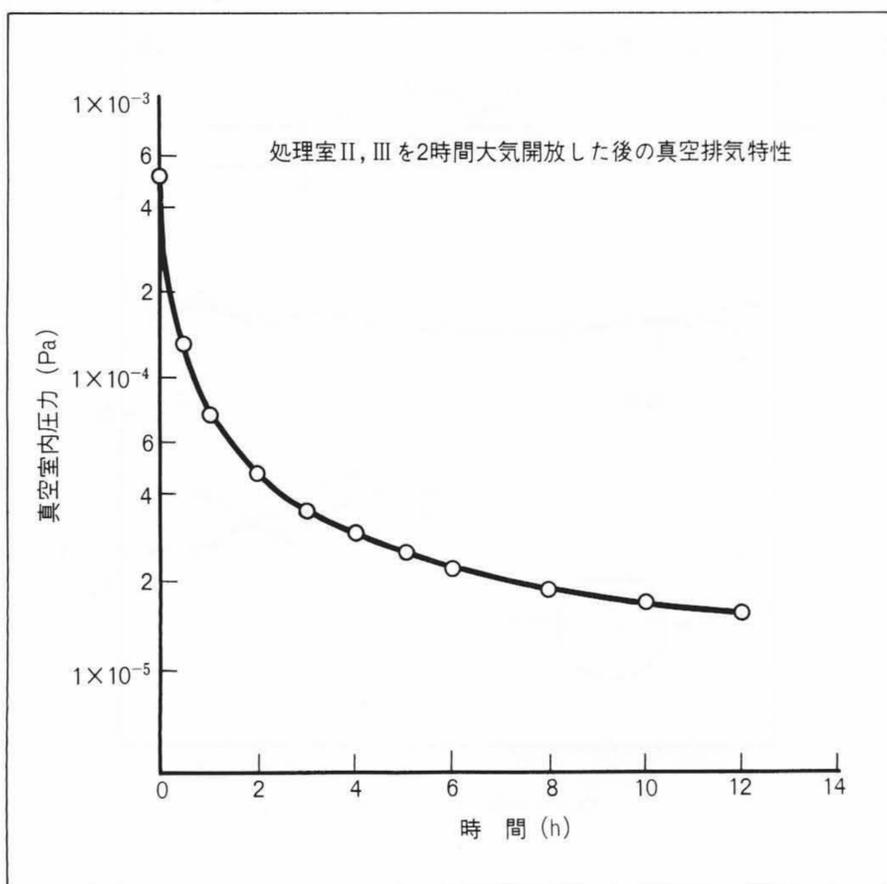


図8 真空立上げの実例 処理室容積が少ないため、立上げ時間が短い。

表2 プロセスフローのフレキシビリティー 成膜材料, デバイスに合わせて任意にプロセスが選択できる。

前処理室		処 理 室			
		I	II	III	IV
ベーキング	エッチング	ベーキング	スパッタリング	スパッタリング	(スパッタリング)
—	エッチング	ベーキング	スパッタリング	スパッタリング	(スパッタリング)
ベーキング	—	ベーキング	スパッタリング	スパッタリング	(スパッタリング)
—	—	ベーキング	スパッタリング	スパッタリング	(スパッタリング)

うに、装置側からオペレータに対し明確な指示を出すエキスパートシステムのソフトとしている。更に、キーボードレスとしてタッチパネルによるワンタッチ入力を可能とし、親しみやすさをもたせている。

(2) トラブルに対するオペレータへの指示も、読み慣れた日本文で表示し、オペレータオリエンテッドなシステムにするとともに、トラブル前の動作や信号をモニタして記録する機能をもたせて、システムダウンからの早期回復を第一としている。

(3) 装置の立上げ時、プロセスの条件出し時、製品の生産時の各々に使いやすいように、三つの操作モードに分けており、装置の使用状態に合わせた操作の効率化を図っている。

#### 5 結 言

超LSIの微細パターンプロセスに適用される量産用スパッタリング装置“PS-306A形”の開発を行なった。本装置は多様なプロセスニーズに対応した機能をもたせるとともに、高真空装置での稼働率の向上を図ったものであり、特に高品質な薄膜を得るために下記の特長をもっている。

- (1) 均一性、ステップカバレッジを最適化できる二重磁極プラズマ移動形スパッタ電極の採用。
- (2) 複数処理室で独立に成膜可能な、独立真空室構成の採用。
- (3) 処理条件を任意に選べる最大6基のステーションを設置。

デバイスの微細化・多層高密度化が進展するのに伴い、信頼性・品質の高い薄膜がますます重要となってきており、プロセス技術と装置技術が混然一体となり発展してゆくものと思われる。今後とも、ユーザーの助言・要望を得て新技術の開発に努力する考えである。

#### 参考文献

- 1) 坂井, 外: 薄膜形成装置の動向, Semiconductor World, 5巻, 11号, 87~95(昭60-11)
- 2) 原: 最近のシリサイド技術, Semiconductor World, 5巻, 10号, 56~60(昭60-10)
- 3) 吉見: CVDによるWSi<sub>2</sub>膜形成技術, Semiconductor World, 5巻, 9号, 83~88(昭60-9)
- 4) 福田: 1μmを境に厳しさが一気に増すAl配線技術, 日経マイクロデバイス, 1985年9月号, 71~86(昭60-9)
- 5) 長友: 半導体デバイスの製造技術, 機械学会誌, Vol.89, No.809, 304~354(昭61-4)