

# 長寿命・大電流イオン打込装置

## Long Life and High Current Ion Implanter

半導体素子製造過程でのイオン打込みは主要プロセス技術となり、特にVLSIの微細化に伴いイオン打込工程数は増加し、かつ量産化に応じた大電流化、浅い接合形成など要求も多様化してきている。

先の80kVマイクロ波イオン源を搭載した大電流イオン打込装置の開発に続き、120kV、10mA級のIP-825形イオン打込装置を製品化し、上記要望にこたえた。

本装置は10~120kVの広いエネルギー範囲での安定打込み、ウェーハローダ、固体ベーパーライザ、エレクトロンシャワ、FA対応制御システムなど機能を充実させるとともに、長寿命マイクロ波イオン源による高稼働率を指向した装置である。

田島英司\* Eiji Tajima  
山崎 隆\* Takashi Yamazaki  
安部勝信\* Katsunobu Abe  
作道訓之\*\* Noriyuki Sakudō  
石津敏而\*\*\* Binji Ishizu

### 1 緒 言

イオン打込法はその優れた制御性と再現性をもっていることから、現在では半導体製造プロセスでの重要な技術の一つとなった。特にVLSIの微細化、量産化の進展とともに、イオン打込工程数の増大、大電流での浅い接合形成、異物、チャージアップ対策など要求も厳しく、多様化してきた。

日立製作所では、磁場中のマイクロ波放電を使って高密度のプラズマを発生させ、このプラズマから大電流イオンビームを引き出すフィラメントレスの長寿命マイクロ波イオン源の開発を進めてきた<sup>1),2)</sup>。そして、このイオン源を搭載した80kV、10mA級のIP-815形イオン打込装置を発表した<sup>3)</sup>。

今回、最高120kVの内磁路形マイクロ波イオン源を開発し、長寿命・大電流機としてIP-825形イオン打込装置を製品化した。

本装置は、微細化・量産化に対応した大電流機として、各種機能を充実するとともに、高信頼性を指向した装置として改良を進めてきた。

以下、本装置のシステム構成、特長などについて述べる。



図1 IP-825形大電流イオン打込装置 本装置は、加速電圧120kVのマイクロ波イオン源と、打込室を2基装備した本体機構部、コンピュータ制御部及びウェーハローダで構成する。

### 2 装置の構成と仕様

#### 2.1 構 成

図1に、IP-825形イオン打込装置の外観を、図2にその概略構成(側面図)を示す。図2を基に、装置の動作原理を簡単に述べる。

まず、打ち込む目的のイオンを生成するガスをイオン源に導入する。導入されたガスは、マイクロ波電界と磁界により、高密度なプラズマが生成される。このプラズマから高電界によりイオンビームを引き出し、ウェーハの所定の深さに打ち込まれるよう加速し、エネルギーをそろえる。

分離磁場で打込イオンビームに選別し、偏向磁場により左あるいは右の打込室に導く。打込室には周辺にウェーハを多数枚装着した冷却円板が高速回転すると同時に、左右に走査され、冷却されたウェーハ面に均一にイオンが打ち込まれる。また、ビームラインはイオン源側が油拡散ポンプ、打込室はクライオポンプにより高真空に保たれている。

ウェーハローダは左右の打込室にそれぞれ設置される。

制御システムは、イオン源、電磁石、排気系、打込室、ウェーハローダなどを制御し、コンピュータによる打込集中管理を行なっている。現在、設置面積を小さくし(24m<sup>2</sup>→16m<sup>2</sup>)、オペレーションコンソールを改良した機種を開発中である。

#### 2.2 仕 様

主な仕様を表1に示す。

イオン源のメンテナンス周期を示すイオン源寿命(1,000 mA・h)は、マイクロ波イオン源の利点を示すものである。

### 3 装置の特長

#### 3.1 内磁路形120kVマイクロ波イオン源

イオン打込装置の基本性能を決める主要部分の一つがイオン源である。生産装置としてのスループットは、打込イオン電流とウェーハ準備(ウェーハハンドリング、打込室真空排気など)時間のいずれかで律速される。打込量の少ないときはウェーハ準備時間で決まるが、 $5 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{16}$ 個/cm<sup>2</sup>程度の高ドーズ量の打込みではイオン電流値が重要となる。

一般に、打込装置用のイオン源には熱フィラメントを用いたフリーマン形が使われることが多かったが、イオン電流を増すためにフィラメント温度を上げると寿命が短くなるという問題があった。フィラメントを用いない磁場中のマイクロ

\* 日立製作所那珂工場 \*\* 日立製作所中央研究所 工学博士 \*\*\* 日立製作所武蔵工場甲府分工場

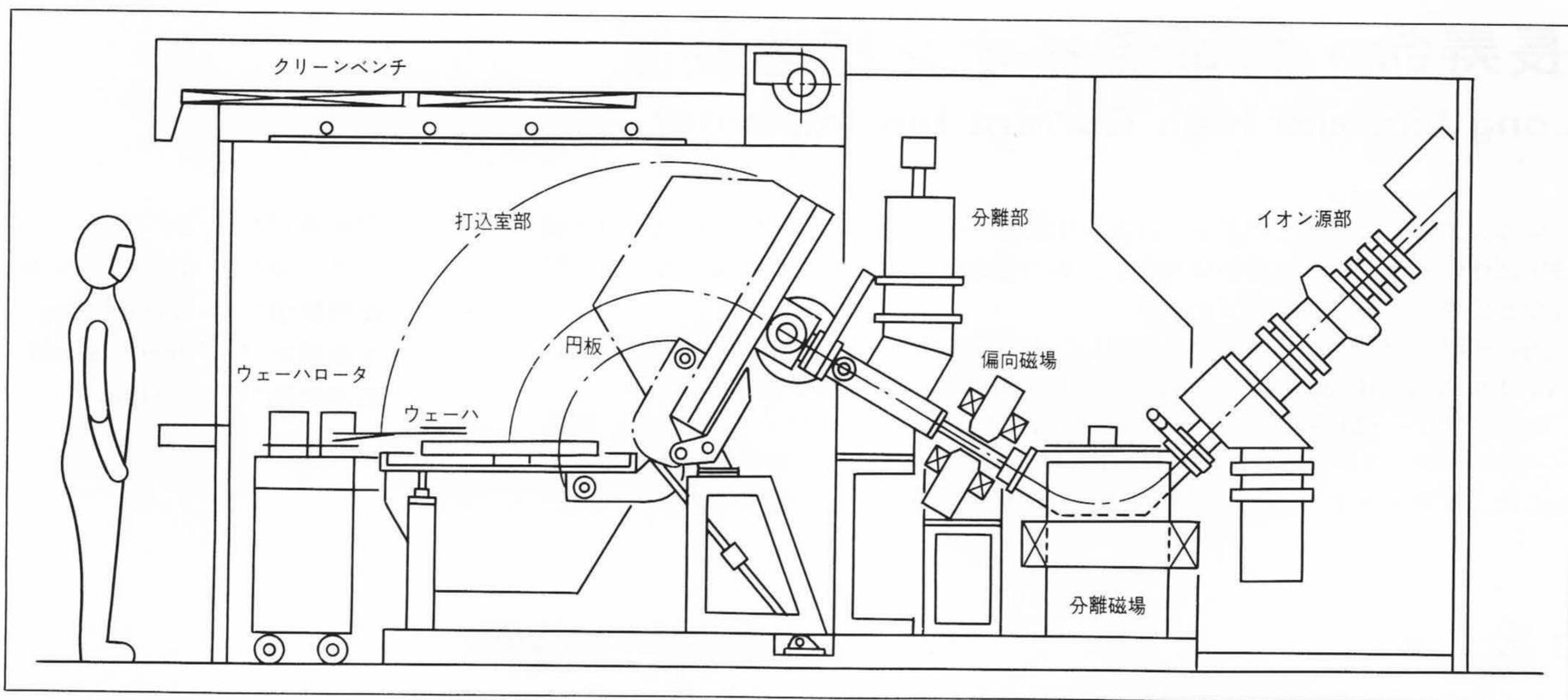


図2 装置の概略構成(側面) イオン源部、分離部及び打込室部から成る本体機構部とウェーハローダを示す。

表1 主な仕様 イオン源寿命の1,000mA・hは、マイクロ波イオン源の利点を示す。

No.	項目	仕様
1	打込エネルギー	10~120kV
2	最大イオン電流	P <sup>+</sup> , As <sup>+</sup> 12mA B <sup>+</sup> 4mA
3	イオン源寿命	1,000mA・h(P <sup>+</sup> , As <sup>+</sup> )
4	打込均一性	$\sigma < 1.0\%$
5	ウェーハ装着枚数	$\phi 100$ 17枚 $\phi 125$ 13枚 $\phi 150$ 10枚

波放電を利用した大電流イオン源を実用化し<sup>2)</sup>、更に80kV用イオン源をIP-815形イオン打込装置に装着し、長寿命性を実証してきた<sup>3)</sup>。

今回、120kVに高電圧化するため、新しい構造のイオン源を開発した。従来の構造のままでは、高電圧化する場合には次の問題点が予想された。

- (1) 大気圧中に置かれたアース電位の励磁コイルと、真空中に置かれた高電圧のイオン化箱の相対位置は変えられないため、大気中での絶縁距離をとりにくい。
- (2) 真空中のイオン加速空間に磁場がかかっているため、電極間にスパークを起こしやすい。
- (3) 引出しレンズ系を多段化しにくい。

これらの問題点を解決した新しいイオン源の構造を図3に示す。励磁コイルをイオン化箱と同じ高電圧に保ち、それを取り囲む金属及び高圧電極を鉄材にし、磁路を形成することによって磁場をイオン化箱だけに集中させる。これにより、イオン加速空間には磁場が全くなくなった。大電流イオン打込装置用イオン源としては初めてである。また、大気中でも絶縁距離を以前より自由にとれるため、引出しレンズを2段にした。中間電極に加速電圧の約半分の電圧を印加することにより、120kVを安定に印加できる。また、低い加速電圧(浅い接合形成など)の場合には、減速モード(中間電極を負の高電圧にする。)を使うことによって、イオン引出し効率を低下させることなく、ビーム引出しができる。イオンの発生は従来のマイクロ波イオン源と同じく、マグネトロンからのマイクロ波を特殊導波管を通し、真空中の高電圧のイオン化箱に導入し、磁場中のマイクロ波放電により導入されたガスを高密度のプラズマにすることにより行なわれる。

このマイクロ波イオン源によるイオンビーム引出し特性の例を図4に示す。広い加速電圧範囲での大電流特性を示している。

### 3.2 ビームライン

図2に示したように、イオン源で生成されたイオンは所定の電圧で加速され、斜め下方の分離磁場に入り、打込みイオンだけが選択され、斜め上方の偏向磁場に入る。この偏向磁場によってイオンビームを左右に偏向させ、図1にみるよう

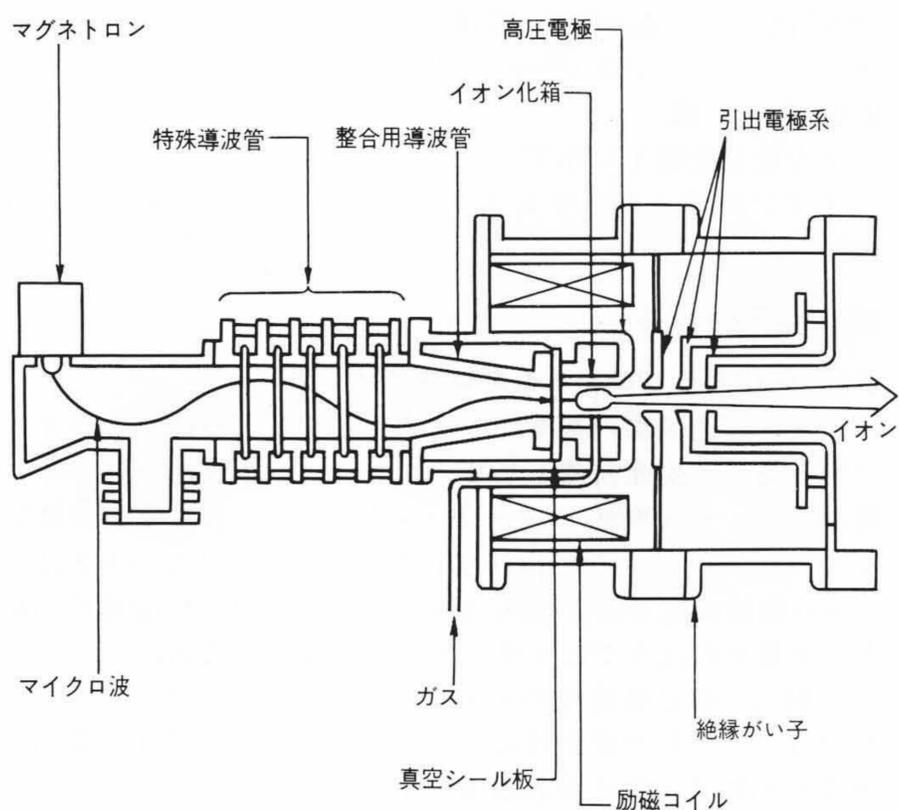


図3 マイクロ波イオン源の構造 マグネトロンからのマイクロ波(2.45 GHz)が高電圧、高真空のイオン化箱に集中し、励磁コイルの磁場との重畳でプラズマが発生し、120kVの引出しエネルギーで大電流のイオンビームが引き出される。

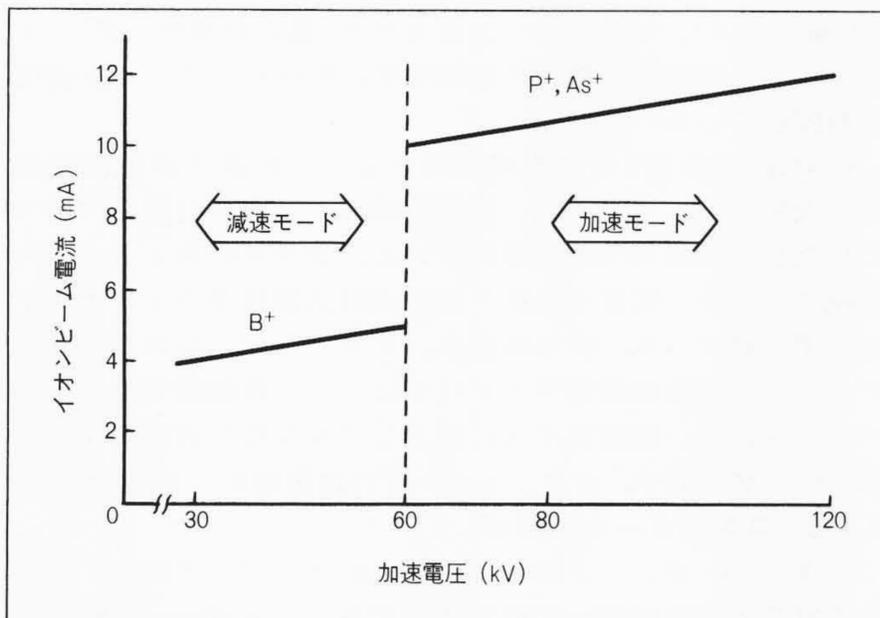


図4 イオンビーム電流特性 浅い接合形成に用いるB<sup>+</sup>(ボロンイオン)の減速モード及びP<sup>+</sup>, As<sup>+</sup>(リンイオン, ヒ素イオン)の加速モードでのイオンビーム電流特性を示す。

に、2基設けられた打込室に交互に導入される。これにより、一方の打込室でウェーハにイオン打込みを行なっている間に、他方の打込室のウェーハ交換及び真空ポンプによる打込室の排気を行ないスループットの向上を図るとともに、分離磁場と偏向磁場による2段偏向により直進する中性粒子を除去できる。

### 3.3 打込室とウェーハローダ

最近のデバイスプロセスは微細パターン化と合わせ、ホトレジスト付きウェーハへのイオン打込みの実施が増加している。

ホトレジストの耐熱性は、一般に120~160℃であるため、実際のイオン打込条件で、ウェーハの温度を100℃以下に保つ必要がある。このため、ウェーハ冷却効果を高めるためウェーハ装着面の近傍に冷却水の通路をもつ回転円板を採用した。この回転円板上に多数のウェーハを並べ、高速回転させながら全体を機械的に左右に円板の半径Rに反比例した速度で走査させることにより、ウェーハ面上にイオンビーム電力を平均化して打ち込むことができる。

図5に、回転円板をもつ打込室の概略図を示す。この回転円板の駆動機構は、イオンビームを固定し、常に一定の条件でウェーハ全面にイオンを打ち込むことができるので、良好な打込均一性を得ることができる。

デバイス線幅の微細化に伴い、パーティクル(微小異物)の付着がデバイス欠陥の発生要因となることが明らかとなった。そこで、イオン打込室内でのパーティクルの付着を少なくするため、しゅう(摺)動する部分の少ない構造を採用するとともに、しゅう動部ではパーティクル発生の少ない合成樹脂の使用及び可動部で金属と金属が直接接触しないように考慮されている。更に、大気圧からの真空排気と真空状態から大気圧への窒素ガス導入の初期は、自動的にゆっくり行なった後で通常の真空排気及びガス導入を行なうことによりパーティクルの舞い上がりを防いでいる。

回転円板へのウェーハのロード、アンロードは左右打込室各々に設置されるウェーハローダにより実施される。図6に、回転円板へのウェーハロード、アンロードを行なっているウェーハローダの動作写真を示す。

各ウェーハローダには、2個ずつのロード用ウェーハカセットとアンロード用カセットが設置でき、ウェーハ100枚の連

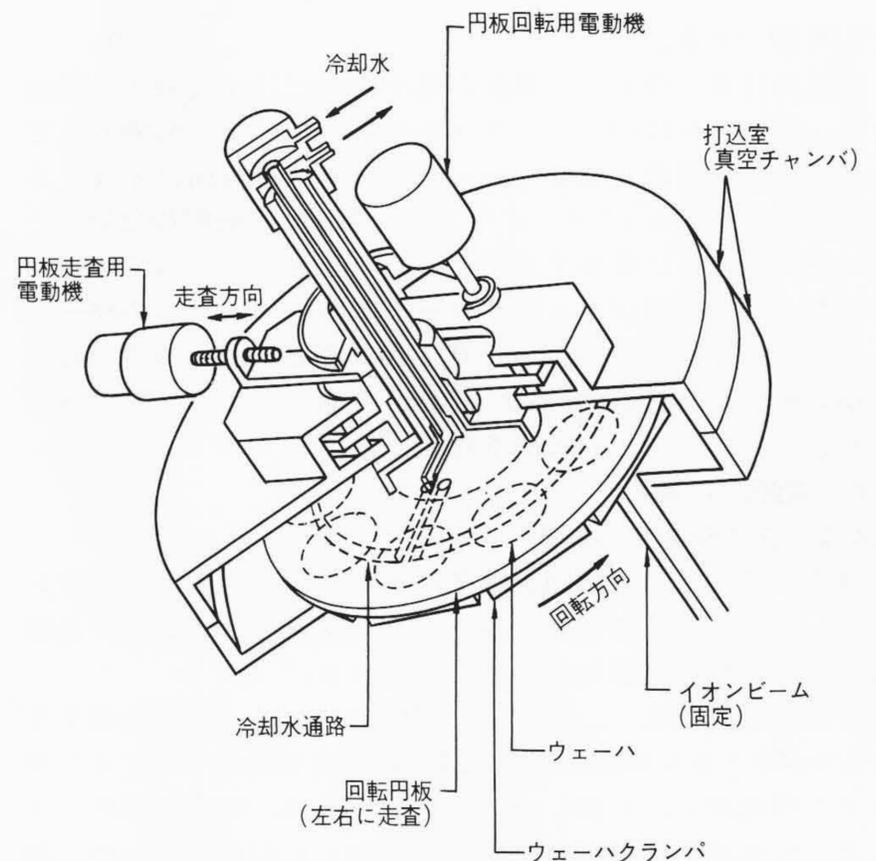


図5 打込室の構造と冷却水通路 冷却水は回転円板の軸中心から入り、回転円板のウェーハを装着された真下の通路を通り排水される。

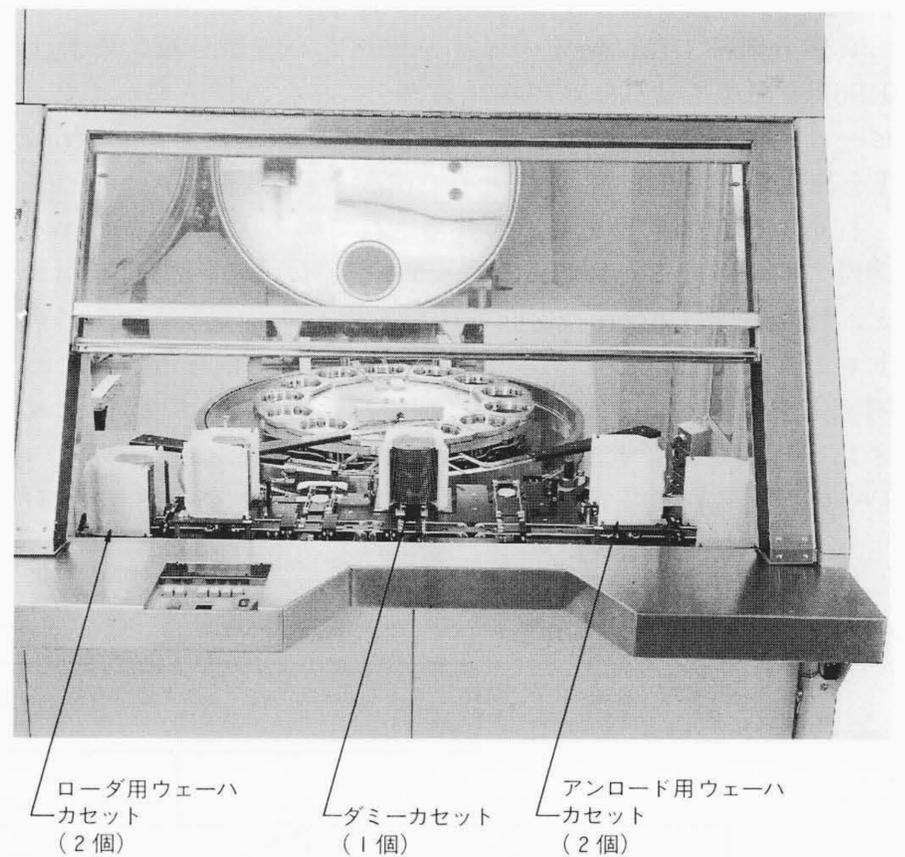


図6 ウェーハローダの実装写真(右側) 2個ずつのロード用ウェーハカセットとアンロード用ウェーハカセットが設置され、100枚のウェーハを連続処理できる。不足分はダミーカセット(中央)からダミーウェーハが供給される。

続処理が可能である。回転円板は、バッチ処理のためロード用ウェーハに不足が生じた場合、ロード用カセットの交換をすることなく、ウェーハローダに設置されているダミーカセットから不足した枚数のウェーハを回転円板に装着し、イオン打込完了後にダミーウェーハをダミーカセットに自動的に戻す機能をもっている。2個のロードカセット内のウェーハは、イオン打込完了後2個のアンロードカセット内へ、別々のロードカセット内のウェーハが混じることなく収納される機能を持ち、ウェーハカセット単位の管理を行なうこ

とが可能である。

搬送系は常にウェーハ裏面の最小面積だけが接触する構造とし、ウェーハにパーティクルを付着しないよう考慮されている。更に、回転円板にウェーハが装着する直前にオリフラの位置決めを行なうため、オリフラの位置は回転円板に対し、常に一定の位置に装着することのできる機能をもっている。

また、打込室及びウェーハローダでのウェーハへのパーティクルの付着を防止するため、0.1 $\mu$ mのHEPAフィルタ(High Efficiency Particulate Air Filter)を通したダウンフローによるクリーンベンチが内蔵されている。

### 3.4 電源、制御系

#### 3.4.1 全体システム制御

電源、制御系の系統図を図7に示す。主な構成は、イオン源部、質量分離部の各種電源と、打込室の円板制御、打込制御部及び真空排気制御部から成っている。

イオン源部では、1.6kW、2.45GHzのマイクロ波を発生させるマグネトロン用電源、0.08Tの磁場を発生させるイオン源コイル用電源と、上記したマイクロ波電力、磁場と試料ガスによって生成されたプラズマからイオンを引き出すための加速電源で構成される。加速電源の出力モードとしては、60kV以下の低エネルギーで大電流を取り出す減速モードと、120kVの高エネルギーで大電流を取り出す加速モードがあり、その切換え及び出力設定は、コンピュータ制御部から遠隔操作される。

質量分離部では、特定のイオンビームを質量分離する最大0.96Tを発生させる分離磁場用電源と、左右の打込室へイオンビームを偏向する(このときに中性粒子が除かれる。)最大0.7Tを発生させる偏向磁場用電源で構成される。

打込室部では、ウェーハの装着されている円板を360rpmの速度で回転させるためのACサーボモータによる円板回転制御と、最高速度は8mm/sで回転円板をウェーハの直系以上のストロークで繰り返し走査させるためのDCサーボモータによる円板走査制御がある。ウェーハへの打込量(ドーズ量)は、イオンビーム電流と走査回数の積で計算される。また、ウェーハへの打込みを均一に行なうために、円板の走査位置信号(I/

R制御データ)、イオンビーム電流分布(重心計算データ)、イオンビーム電流の変動を打込制御部に取り込んで、走査速度を制御している。

排気系を10<sup>-4</sup>Pa台に常時保持するための真空排気制御部は、大別してイオン源部、質量分離部、左右の打込室の四つの独立した排気系で構成されている。ドライバキューム化の実現のために、質量分離部と左右の打込室はクライオポンプが採用されている。排気制御は、ピラニ、ペニング、イオンゲージの真空検出器信号をトリガにして、自動排気及び自動ベントされる。設定真空度に到達してから打込可能とするインタロック機能や、クライオポンプの自動再生も可能である。

#### 3.4.2 コンピュータ制御部

現在のコンピュータ制御を更に機能アップして開発した小形機対応の内容について以下説明する。コンピュータ制御部の内部構成図を図8に示す。コンピュータ制御部では、上記した電源と制御部をトータル制御し、状態の監視とエラー処理を実行している。ターミナルコントロール、ウェーハローダの各マイクロコンピュータシステムは、シーケンスマイクロコンピュータシステムの制御のもとに置かれ、専用のバッファを介して各マイクロコンピュータ間のデータ転送を行なっている。また、各マイクロコンピュータシステムはインテリジェント化され、MOS(Microcomputer Operating System)と呼ばれるオペレーティングシステムにより、各タスクが実時間で実行される。MOSはマルチタスク構成であり、機能別にタスクを作成するので、機能の追加、変更が容易であり、拡張性に富んでいる。半導体製造工場で急速に進められているFA化に対しても、図8に示すようにシーケンスマイクロコンピュータと上位コンピュータ(パーソナルコンピュータなど)との間を国際的に決められた通信方式SECSII(同図図下、略語説明参照)によってリンケージをとることができる。また、イオン打込装置の自動化のための各種のプログラム(自動プラズマ発生、自動イオン種選択、自動ビーム偏向など)を組み込むことにより、既に実用化されている自動打込制御及びウェーハローダとのリンクによって無人化が可能である。

図9に打込制御フローを示す。打込みモードとしては、以

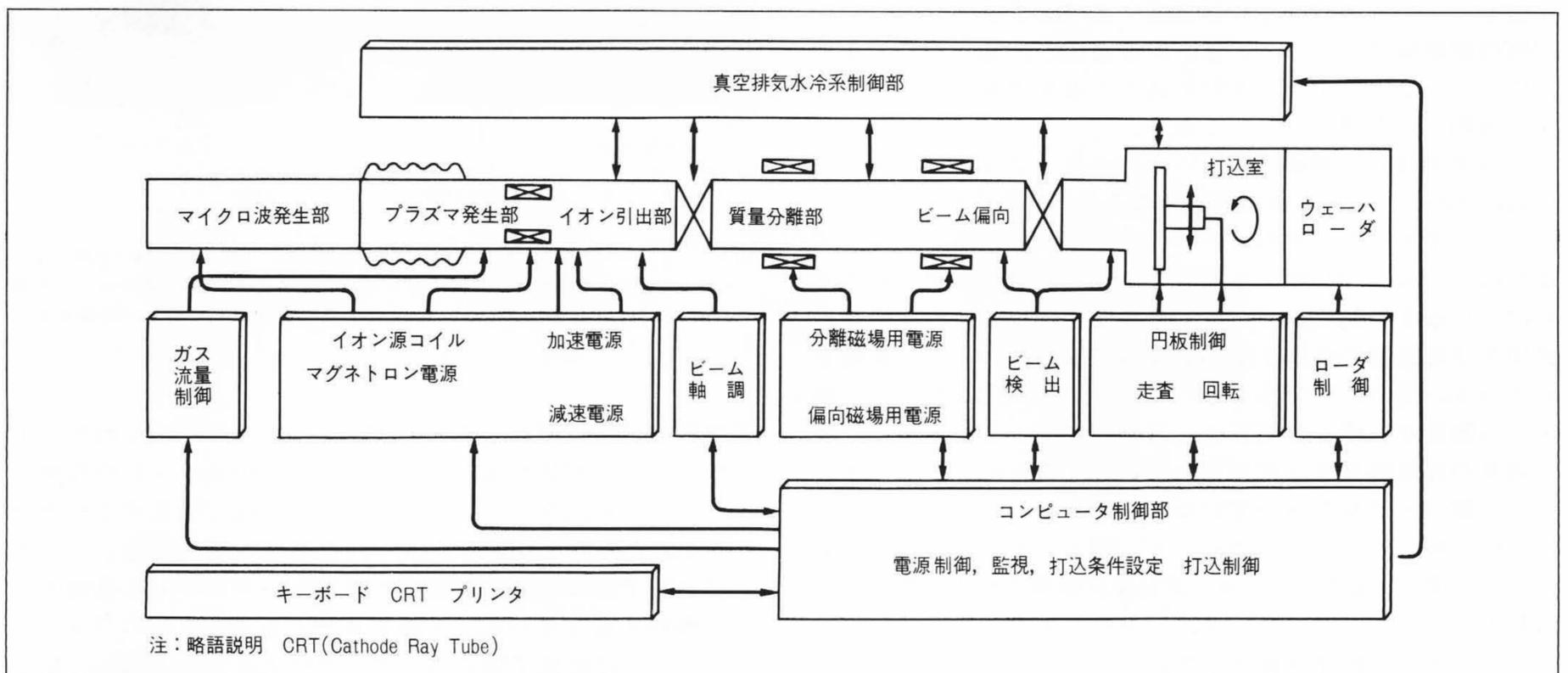


図7 電源制御の系統図 イオン源部、質量分離部の各種電源並びに、打込室の円板制御打込制御部及び真空排気制御部から成り、コンピュータ制御部によりトータル制御されている。

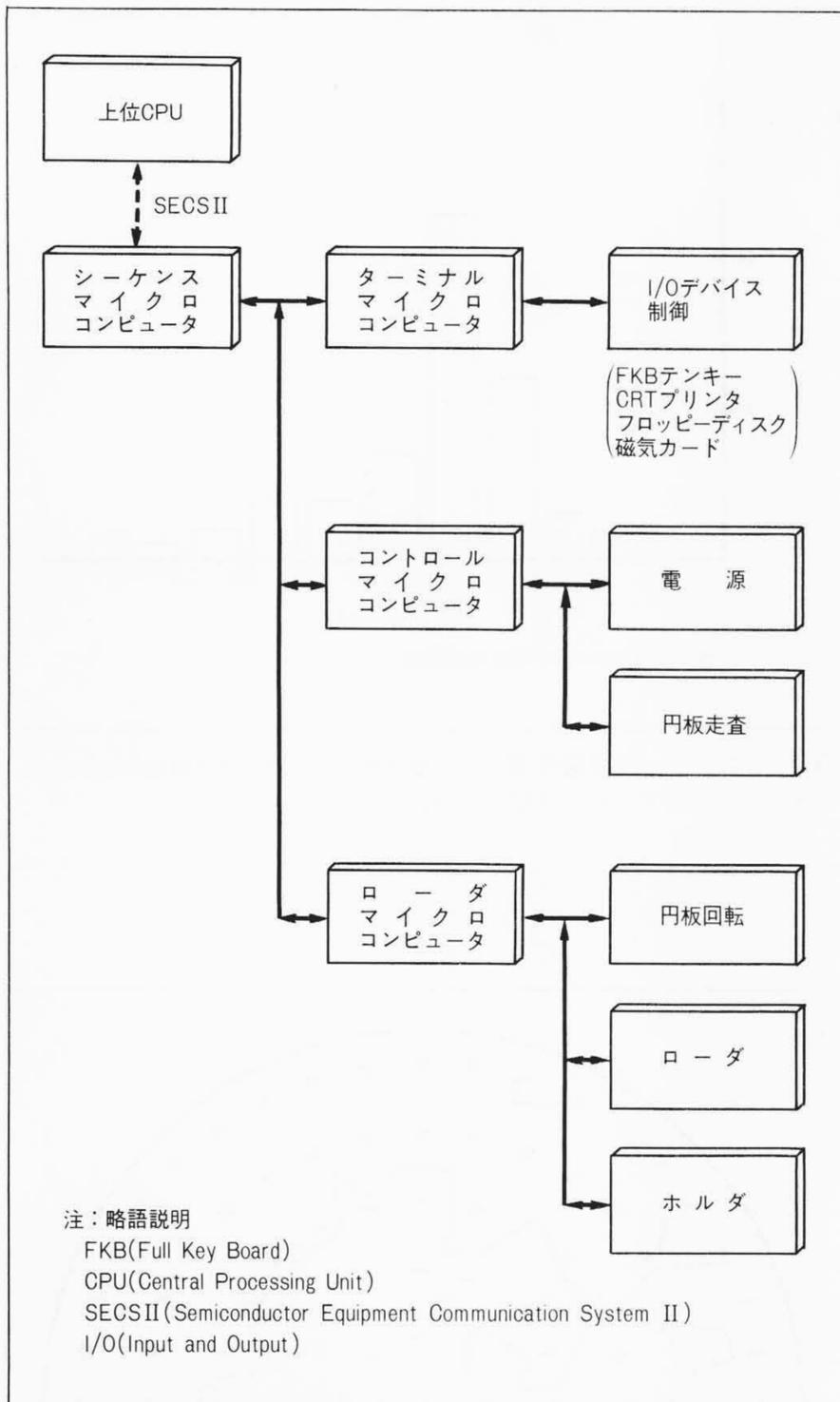


図8 コンピュータ制御部構成図 電源と制御部をトータル制御し、状態の監視とエラー処理を実行する。上位CPUとはSECSIIで結ばれ、FAへの対応も可能である。

下の三つの動作モードをもつ。まず、三つの打込動作モードから一つを選択する。①の打込条件入力、打込条件がバッチごとに異なる場合などに使用され、FKB(Full Key Board)から一つずつ条件を入力する。②のファイル入力は、ジョブファイルに登録されてフロッピーディスクに記憶されている打込条件を指定して打込みを行なう場合に使用される。

最も簡単でかつ将来のFA化にも対応しているものは、③の磁気カード入力による方法であり、上記したファイルの内容を磁気カードに記憶しておいて使用するものである。これは打込条件がいつも一定である場合には、最も操作性の優れた方法であり、将来は図8で示した上位CPUからの打込条件設定に拡張されていくものである。

打込条件のジョブファイルには、図9で示したように打込みイオン種、加速エネルギー、ドーズ量、ウェーハ処理枚数などがあり、あらかじめ記憶されている内容を指定することにより打込みが開始される。打込終了後は、ウェーハローダによってウェーハの自動交換を行ない、指定したウェーハの処理枚数(最大9,999枚指定可能)を実行して、すべてのイオン

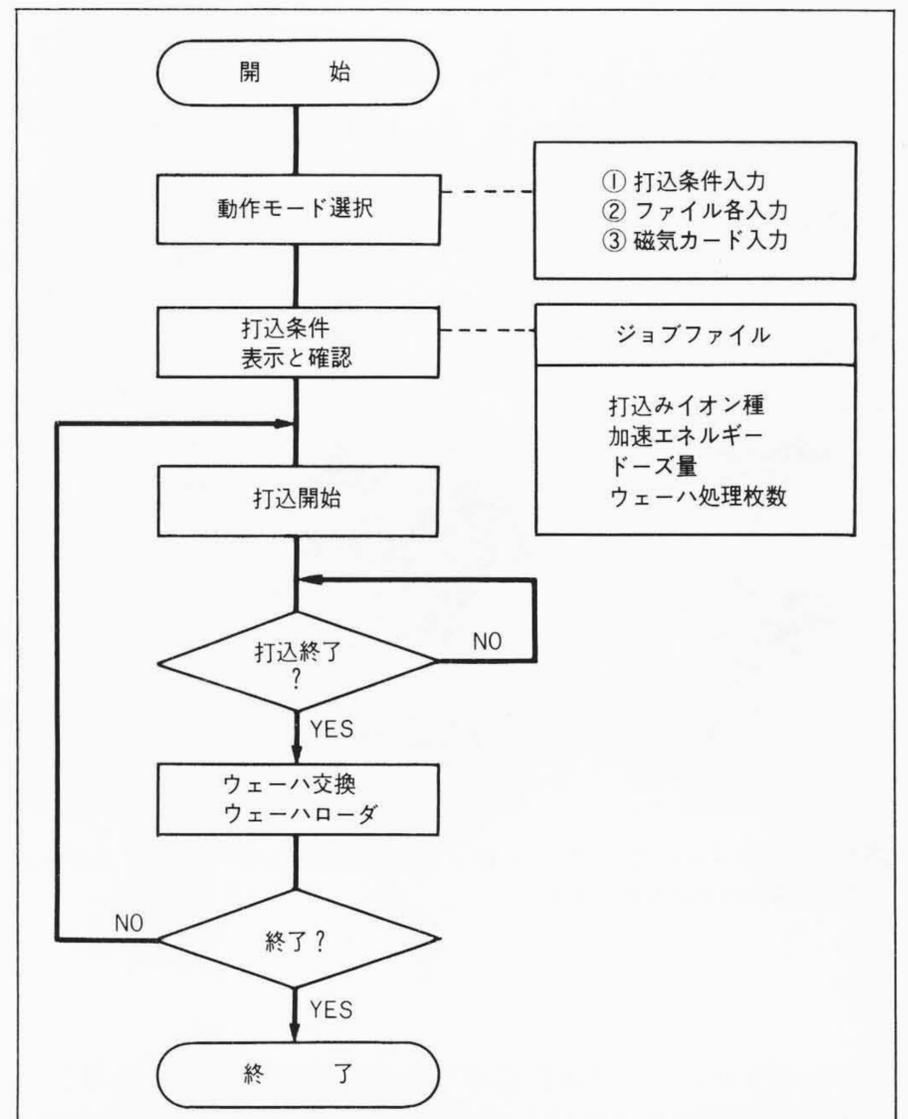


図9 打込制御フロー 三つの打込動作モードがある。打込条件がいつも一定の場合には、磁気カード入力が最も操作性が優れている。

打込処理を完了する。ファイルには、上記したジョブファイルのほかに、装置固有の定数をファイルしたマシンファイル、プラズマ発生条件をファイルしたイグニッションファイル、ビームラインの設定条件をファイルしたコンデションファイルなどがあるが、これらは自動・手動の切替えが容易であって、装置の稼動状態に迅速に対応できるプログラムが実装されている。

### 3.5 固体ベーパーライザ

イオン打込みによく用いられるドーピングガスのAsH<sub>3</sub>(アルシン)、PH<sub>3</sub>(ホスフィン)などは有毒であり、厳しい安全管理が必要である。そこで、安全性の面から固体ソースを用いる要望が高まっているが、ガスに比べ長時間の安定なビーム出しに難があり、量産性からガスに取って代わるまでに至っていなかった。

既に、アルミニウム、ガリウムなどに用いる固体ベーパーライザを開発してきたが<sup>3)</sup>、今回図10に示すような長寿命のシースヒータを組み込み、温度制御の応答性を改良し、固体試料30gを充てんできる固体ベーパーライザを開発した。

ヒ素打込みでアルシンガス使用と同程度のイオンビーム電流(10mA)と長寿命(50mA・h/g)を得ている。

フィラメントレスのマイクロ波イオン源であるので、ハロゲン化合物などを用い比較的低温で多くのイオン種に長時間対応できる特長をもっている。

### 3.6 エレクトロンシャワ

イオンビームが大電流化する一方、LSIは高集積化に伴い絶縁膜などの薄膜化が進み、絶縁膜上の帯電による静電破壊が歩留まり低下の一因となってきている。

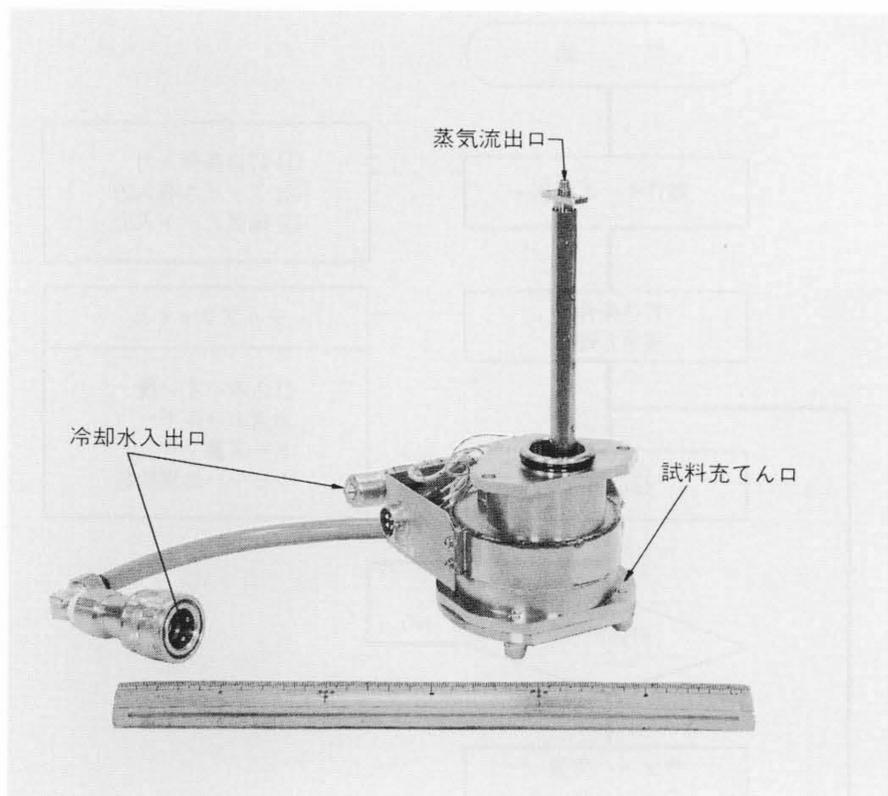


図10 固体ベーパーライザヘッド 30gの固体試料を一度に充てんできるので、長時間の打込みができる。

エレクトロンシャワは打込みウェーハ直前に電子を供給し、イオンを電荷的に中性化してウェーハの帯電を抑える装置で、電子銃から供給される電子は円板とファラデカップ、電子銃電源などの閉回路内を循環するだけでイオン電流計測には影響を与えない。電子銃は特殊な2本のリボン状フィラメントをもち、最大100mAの電子を放出する。また、エミッションレギュレート方式を採用し、常に安定した電子量を供給し、ウェーハの帯電防止に効果を示している。

4 適用例

IP-825形イオン打込装置は既に多くのユーザーに用いられ、各種デバイスが生産されているが、ここでは基本的なSiウェーハでの打込均一性のデータの一例を示す。

図11は、IC製造工程で使用している本装置で、Siウェーハに不純物イオンを打ち込んだ場合の、1箇月間の打込均一性の度数分布を示す。均一性 $\sigma$ は1%以下、 $\bar{\sigma}=0.48\%$ で、LSI生産上満足する値が得られている。また、図12は、図11中の標準的なウェーハの比抵抗分布状態を示す。これらは、本装置の打込走査方式及び制御システムの長期間の安定性を示すものである。

5 結 言

半導体素子の微細化、高集積化は更に進展している。イオン打込法はサブミクロン技術に対し、直接ハード的に今までの装置が全く適用できなくなるというものではないが、パーティクル、チャージアップなど厳しい要求が出てくるであろう。

本稿でIP-825形イオン打込装置について、これらの対応の一端を述べたが、現在のイオン打込装置のプロセス上の問題は、一方で信頼性、保守性が重要な課題として残っている。この現実を踏まえ、更に高稼働率化を目指し改良を続けていく考えである。

終わりに、いろいろ貴重な御意見をいただいた社外のユーザー各位に対し、深謝の意を表わす次第である。

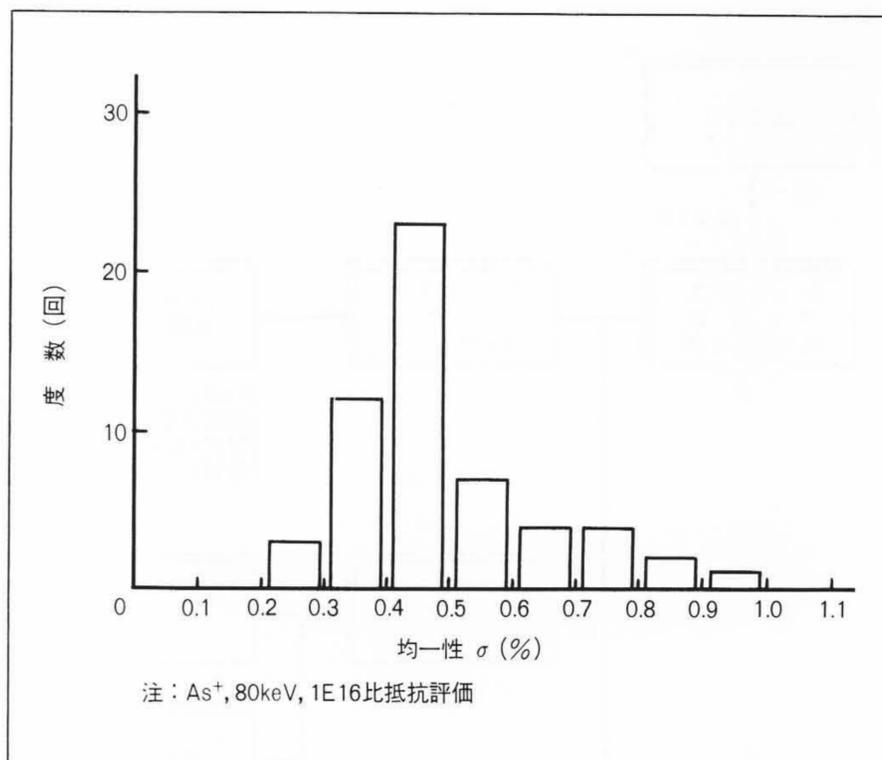


図11 打込均一性度数分布 1箇月間の打込均一性の度数分布を示す。均一性 $\sigma$ は1%以下、 $\bar{\sigma}=0.48\%$ である。

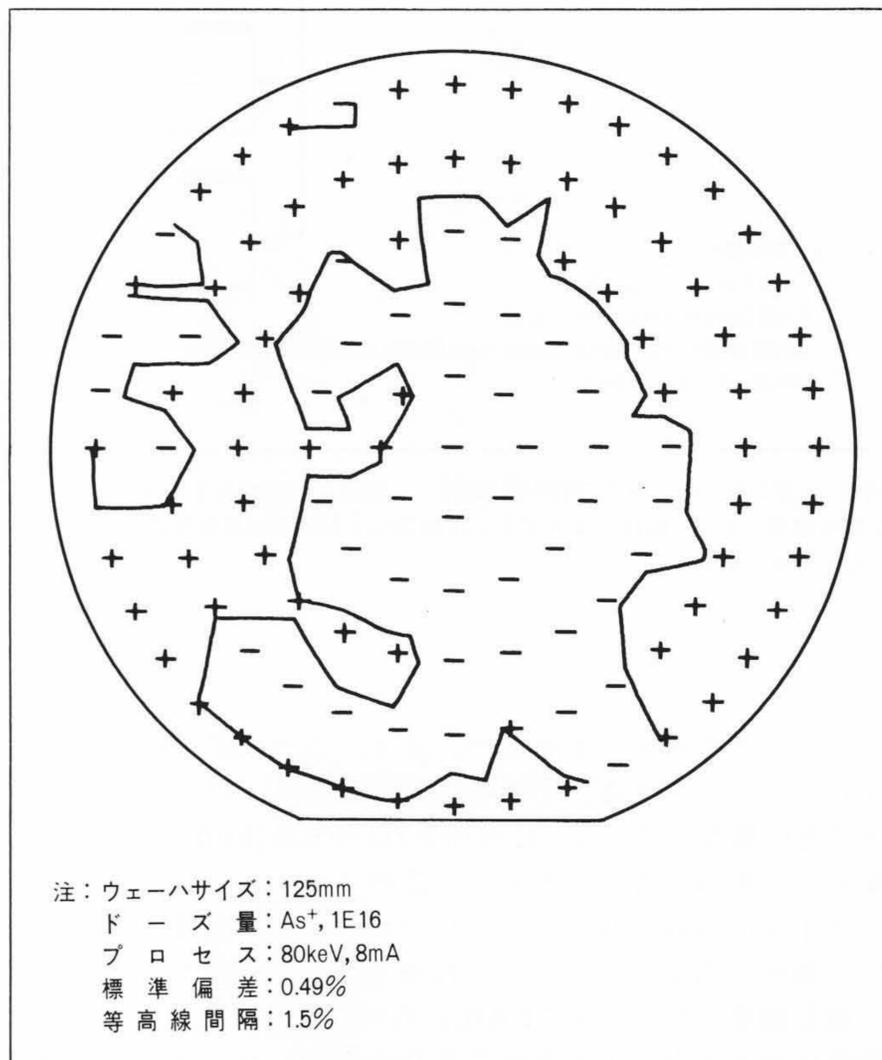


図12 比抵抗分布 標準的なウェーハの比抵抗分布状態を示す。

参考文献

- 1) N. Sakudo, et al. : Microwave Ion Source, Rev. Sci. Instrum. 48, 7, 762~766(1977)
- 2) 作道, 外: 大電流イオン打込み装置, 日立評論, 64, 11, 823~828(昭57-11)
- 3) 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)