特集 微細プロセス装置

U.D.C. 621.3.049.774'14.002.5:621.793.184

大電流イオン打込装置

High-Current Ion Implanter

デバイスの微細化に伴い、イオン打込工程でのプロセスニーズは厳しさを増 しつつある。特に、ソース・ドレーンの浅い接合形成やα線対策用の深い埋込 層形成など、プロセスと装置に依存した課題が山積している。今回こうしたニ ーズを装置に反映させた、次世代プロセス対応のIP-2500形大電流イオン打込装 置を製品化した。2~250 kVの広範囲加速電圧によって幅広いプロセス対応力 を持ち、自動化ラインにも適合するよう、上位コンピュータやAGV(自動走行車) などとのリンケージを可能とした。また、エネルギーコンタミネーションを除 去する目的で、ビーム ピュリファイア システムを開発するとともに、完全ド ライ排気システムの採用やビームラインのSiCカバーリングなど、クリーン化に 対しても力を入れた。

宇佐見康継*	Yasutsugu Usami	
小池英巳*	Hidemi Koike	
伊藤勝彦**	Katsuhiko Itô	
仲 田 義 広***	Yoshihiro Nakata	

1 はじめに

半導体プロセス技術の牽(けん)引役を担っているメモリ素 子は,現在4 MDRAM (Dynamic RAM)の量産が主流とな り、さらに16 MDRAM、64 MDRAMのハーフミクロン以降 のデバイス開発へと拍車がかけられている。このようなデバ イスの高集積化が進むにつれて、大電流イオン打込装置への 依存度はますます高まり, 厳しいプロセスニーズへの対応が 必要となってきている。特にデバイスの微細化に伴い、浅い 接合技術がイオン打込プロセスのキーポイントの一つとなり, BF₂+やB+による低エネルギー打込や,Si⁺,Ge⁺によるプリア モルファス技術などの開発が盛んである。また一方では、MOS 工程でのα線対策,バイポーラ工程での埋込コレクタ形成など, 高エネルギーでの打込要求も数多く出ている。さらに、デバ イス量産時での高歩留り実現のため、装置へのクリーン化要 求もますます強く,従来のウェーハ異物を管理する時代から, ビームの純度、真空の質を管理する時代、すなわち「量」の 管理から「質」の管理へと移行しつつある。特に、真空ポン プからのハイドロカーボンによる汚染や、ビームスパッタに よる重金属汚染がクローズアップされてきており,装置の性 能とともに重要な課題となっている。

本稿では、上記のプロセスニーズを明確にし、ハーフミク 出し可能なこと。 ロン時代に対応したイオン打込装置の技術課題について述べ (c) 分子イオン加速時のエネルギーコンタミネーション^{5),6)} るとともに、最近開発した次世代プロセス対応のIP-2500形大 の除去が可能なこと。 電流イオン打込装置(以下, IP-2500と略す。)の開発コンセプ (d) BF₂+打込後のF(フッ素)の影響を考慮すること。 * 日立製作所 計測器事業部 ** 日立製作所 半導体設計開発センタ *** 日立製作所 電子デバイス製造システム推進本部 29

ト,および特長などについて述べる。

2 開発の背景

デバイスの集積度および装置に反映すべきプロセス技術か らの要求を、年代順に表1に示す。ハーフミクロン時代突入 と同時に、今までにない新しい技術が要求されている。 主な 課題として次のようなものがあげられる。

2.1 浅い接合技術

デバイスの微細化に伴いソース、ドレーンの浅い接合技術 やバイポーラの薄いベース形成など1)~3)が打込プロセスのキー テクノロジーとなりつつある。ここで、イオン打込に限定し た接合技術としては、以下の3段階が予想される。

(1) BF₂+による低エネルギー打込

より分子量の大きいBF₂+打込の要求が増加するが、その一 方でBF₂+打込による以下の問題をクリアにすることが重要と なってくる。

(a) BF₂⁺と同じM/Z(質量数/電荷数, =49)を持つMo⁺⁺の 混入4)を除去すること。

(b) BF₂+の分子イオンビームを,大電流で安定に長期間引

854 日立評論 VOL. 73 No. 9 (1991-9)

日立製作所のイオン打込装置の製品展開と半導体プロセスからの要求 IP-815は加速電圧範囲が20~80 kVで最大打込電流が10 mAの装 表丨 置である。同様に, IP-825/825Aは20~120 kV, 10 mAの, IP-2500は 2~250 kV, 25 mAの各装置である。



求 技 術	クリーン化	異物低減(0.5 μm)	異物低減(0.3 μm)	重金属汚染除去
	信頼性	安定稼動	高稼動	自動化 無人運転

注:略語説明 DRAM (Dynamic RAM), n MOS (n-Type MOS), Bi CMOS (Bipolar CMOS), RTA (Rapid Thermal Anneal)

(c)については、浅い接合をより完全に形成する上でも重要 な問題である。一方、(d)については、プロセス依存度が高く 一概には言えないが、FによるBの拡散スピード抑制効果など⁷⁾ のメリットもあり、 今後のプロセス上からの理論検討が必要 とされる。

(2) B+による低エネルギー打込

B+による打込エネルギー範囲は,現状プロセスで20~40 keV が主流であるが、低エネルギー側へシフトする方向にある。 シフト範囲はデバイスの種類に依存するが、次世代装置とし ては、2keVまでのエネルギー範囲で大電流を実現することが スループットを考えた上でも必要となる。

(3) Si⁺, Ge⁺などによるプリアモルファス技術

上記B+低エネルギー打込実用化のために、打込時のチャネ リング防止とダメージ回復を容易にするプリアモルファス技

30

加速電圧は、20~120 kVの範囲で使用されるのがほとんどで ある¹⁰。しかし、今後の次世代デバイスを考えた場合、Bi-が必要になってきている。 CMOS (Bipolar-CMOS) 化やプロセス工程の簡略化を含め新 (2) チャージアップ しい技術導入が予想される。特に近年量産対応を踏まえた高

エネルギー打込装置の製品化や、学会などの発表件数の増加 からもこうしたニーズの増加が予想される11,12)。このため, 従来の大電流イオン打込装置と高エネルギーイオン打込装置 がカバーしていない領域, すなわち200~500 keVまでのエネ ルギー範囲を対称とした、従来にない新しいコンセプトの装 置が今後重要な地位を占めてくる。

2.3 歩留り向上

量産立上げ時の問題として、歩留り向上があげられる。従 来は、打込時のチャージアップ防止やウェーハ異物の問題が あげられてきた。デバイスの微細化に伴いこれらの問題がよ り顕在化するだけでなく、さらに次のような問題がクローズ アップされてきている。

(1) 異物の質管理

1 MDRAM以降,イオン打込装置でもウェーハ異物が歩留 術の開発が近年特に盛んである^{8),9)}。今後こうした新イオン種 りに影響するようになってきた。今後ウェーハ異物について は、サイズ、個数のほかに成分分析13)を行うことで、異物の発 の利用が増加するものと思われる。 2.2 高エネルギー打込技術 生個所の追求やデバイスの素子特性に影響を与えるものであ 現在までのDRAM製作工程では、大電流イオン打込装置の るか否かの判断が重要となってくる。また、ウェーハ異物は 表面だけに限定されず, 裏面についても同様に管理すること 素子の微細化とともにゲート酸化膜などの絶縁膜は、いっ

そう薄膜化し静電耐圧が低下している。また、スループット 向上のため打込イオン電流は増加する傾向にある。これらが 相まって、チャージアップによるゲート酸化膜の劣化や絶縁 膜の静電破壊がますます発生しやすくなっている。

(3) 重金属汚染

ウェーハ異物と同様に,次世代装置で重要となってくる問 題に重金属汚染がある。ビームによるスパッタ物の混入や, 搬送系を含めたウェーハ接触材からの汚染についてもビーム ライン同様、材質の検討が重要となってきた。

(4) エネルギーコンタミネーション

同一原子や分子のイオンであっても、異なるエネルギーの ものが混入するというエネルギーコンタミネーションが、デ バイスの微細化とともに,打込深さの制御性の点で非常に大 きな問題となってきた。一般にビームラインの真空度の向上 とか、前段加速電圧だけでの打込で対応することが言われて いるが14)、まだ根本的な解決には至っていない。

(5) 真空排気系

真空度の向上とともに,真空の質,すなわち真空ポンプか らのハイドロカーボン汚染といった問題が予想される。

(2) 徹底したクリーン化技術の採用

ビームの純度を含めたビーム ピュリファイア システムに よるエネルギーコンタミネーションの除去や、ビームライン のSiCカバーリングによるメタルコンタミネーションの除去, オイルフリー排気系の採用

(3) チャージアップ防止対策

従来よりもさらに低エネルギー化した電子による中和方法

としてデュアル エレクトロン シャワー システムの採用

(4) 高信頼性と高稼動率の実現

IP-825Aで実績のある高信頼性設計

(5) イージーオペレーションと自動化対応

AGVからのカセット直接投入やレシピーのダウンロードな どの対応

IP-2500の装置構成を図1に、外観を図2に、その基本仕様 を表2にそれぞれ示す。

イオン源は、多価イオンの発生効率が高くIP-825Aで実績の ある、フィラメントレスのマイクロ波イオン源を搭載し、ク リーンなビームを長期間生成することを可能とした。

イオン光学系は後段加速方式を採用し,加速電圧範囲を2~

そのほかに,残留ガスとの衝突による中性粒子の混入とい った問題も考慮する必要がある。

2.4 大口径,自動化

16 MDRAM以降のハーフミクロン時代では、各デバイスメ ーカーとも8インチウェーハでの量産が実現される方向にあ る。8インチウェーハを量産で使用する場合、ウェーハカセ ットの搬送時の取り扱いからみてAGV(自動走行車)などの利 用は有効と言える。同様に、異物の低減や操作ミスをなくす 目的で自動化の要求は重要な課題と言える。このため、次世 代装置では、工程間、工程内の自動化に対応したラインでも 十分効果を発揮するよう, AGVからのカセット直接投入や, 上位ホストコンピュータからのレシピーのダウンロード、お よびそれに伴う装置内の自動化が必要となってくる。また, 自動化に伴い打込データのロギングやそのアップロード、自 己診断機能,予防保全,サービスのスペースや方法について も十分に検討する必要がある。

次世代プロセス対応装置のシステム構成 3

日立製作所では、これまで加速電圧範囲が20~120 kVのIP-また、操作性の向上を図るため、オペレーションコンソー 825A形大電流イオン打込装置(以下, IP-825Aと略す。)¹⁵⁾をサ ル(Hi-OPECON)部での操作は、日本語対応のタッチスクリ ブミクロンクラスのデバイス生産を対象として提供してきた。 そして,今回前記プロセスニーズを十分に反映した次世代装 置として、IP-2500を開発した。開発のコンセプトは以下の5 項目である。 式を採用している。 (1) 幅広いプロセス対応力 2~250 kVの広範囲加速電圧と新イオン種対応のマイクロ し,装置内の自動立上げソフト"Auto・Impla"が,ビーム 波イオン源を搭載 の引出しから打込制御、ウェーハ交換までを行う。また、AGV

250 kVまで拡大した。 2 価はイオン使用時には, 500 keVまで の打込に対応できる。また、中性粒子の除去やビーム純度確 保のため、ウェーハ直前で10度のビーム偏向を行う2段磁場 偏向方式を中心として、ビーム ピュリファイア システムを 新たに開発した。

打込室はロードロック方式を採用し, 打込時の高真空維持 や異物の侵入を最小限に抑えた。

打込角度は0~8度の範囲で設定でき、ウェーハ交換時に はウェーハディスクを水平にし, 真空中のクリーンロボット によってウェーハ交換を行う。

クリーン化技術として,真空排気系は標準で完全ドライ排 気系を採用している。レッドボックスの高電圧部でも安全性 の理由からドライ化が重要である。その他、ビームラインの SiCカバーリングやガスライン接続部のVCR (Vacuum Coupled Ring)化、ウェーハ搬送アームの材質最適化などにより、異物、 重金属汚染の低減を図っている。

各部の冷却はユーティリティーとして装置内に設置した純 水装置により、全系統クローズドループで行っている。

31

ーンによって会話形式で行われる。また、タッチスクリーン のカラーCRT操作画面のほかに、装置の状態をリアルタイム で確認するためのモニタ画面を備えたマルチディスプレイ方 自動化に対しては、上位からのレシピーダウンロードに対



装置を上から見たときの構成図を示す。後段加速方式を採用しているため、イオン源と分離磁石 図 | IP-2500形大電流イオン打込装置の構成 は後段加速電圧が印加されるレッドボックスの中に入っている。また、ロードロック方式を採用しているため、ウェーハ交換は真空中で行われる。



図 2 IP-2500形大電流イオン打込装置の外観 装置正面左側にはタッチパ ネル方式カラーCRTとモニタディスプレイを上下に並べたオペレーションコンソ ール(Hi-OPECON)を配置し、右側にはカセット投入口とウェーハ交換動作を見る ことのできる窓を配置している。

などからのカセット投入にも対応し、カセット上のバーコー ド自動確認を行う。

4 微細化に適合した評価例

IP-2500を微細化プロセスに適用することを考慮して評価し

た例を,データを用いて紹介する。

4.1 幅広いプロセス対応力

(1) 浅い接合技術

2章でも述べたが、デバイスの微細化とともに浅い接合技 術が必要となってくる。分子イオンであるBF2+をIP-2500の最

32



注:記号説明 B(ボロン)

図 3 BF₂⁺ 2 kV打込時のSIMS(二次イオン質量分析法)分析結果 浅い接合形成を目的とした低エネルギー打込の例である。 $R_p($ 飛程) = 1.5 nmの非常に浅いところにピークが観察できる。

低加速電圧である2kVで打込を行い,SIMS(二次イオン質量 分析法)で分析したものを図3に示す。R_p(飛程)=1.5 nm (15Å)という非常に浅いところにピークが観察できる。 (2) 深い接合技術

IP-2500では、マイクロ波イオン源を搭載しているので、多 価イオンを容易に得ることができる。P(リン)の3価イオンを 180 kV (540 keV) で打ち込み, SIMSで分析したものを図4に 示す。 R_p=650 nm(6,500 Å)の非常に深い打込ができウエル形 成や埋込層形成として今後大いに利用が期待される。

このように1台の装置で広い範囲にわたって打込を制御で きることは、新プロセスの開発や装置導入のコストを考える うえでも、非常に有効であると言える。

4.2 徹底したクリーン化技術の採用

(1) ビーム ピュリファイア システムによるエネルギーコン タミネーションの除去

デバイスの微細化とともに近年特に問題視されてきた項目 2 3 5 6 X1,000 にエネルギーコンタミネーションという問題がある。エネル 深 さ (nm) 注:略語説明ほか ATOMS (原子の数), P(リン) ギーコンタミネーションは, 分子イオンや多価イオン打込時 図 4 P⁺⁺⁺180 kV打込時のSIMS分析結果 深い接合形成を目的と で残留ガスとの衝突などにより、同一イオン種または同一ド した高エネルギー打込の例である。多価イオンを使用することで250 keV ーパントであるが、異なったエネルギーを持つものがウェー 以上(このデータの場合, P⁺540 keVに相当する。)の打込が可能である。 ハに打ち込まれるという現象である。このため、浅い接合形 成時や深い接合形成時に所望のプロファイルを得ることがで きないという重要な問題があった。 偏向磁石とソフトウェアから成る。質量分離後のエネルギー IP-2500では、エネルギーコンタミネーション対策として、 値の違うイオンや、後段加速部で中性化されたり電荷交換し ビーム ピュリファイア システムを開発し搭載している。そ たイオンを、偏向磁石によって偏向分離する。このとき分離 のシステム構成を図5に示す。ビーム ピュリファイア シス 成分を除去するため、ビーム幅を制御するスリット(ビームリ テムは、同図のビームリミッタ、ビームエミリネータおよび ミッタ)と, 偏向磁石で分離されたエネルギーコンタミネーシ



33



図5 ビーム ピュリファイア システムの構成 エネルギーコンタミネーション成分を分離除 去するためのシステムである。本システムは, BL, DM, BEと, これらを制御するソフトウェアで構 成している。

 10^{20} 表面酸化膜SiO2:25nm付き 1019 $Rp(As^+50 \text{ keV})$ $Rp(As^+200 \text{ keV})$ (ATOMS/cm³) $|0^{18}$ 10¹⁷ 度 mm 震 10^{16} -103AsSi 10^{15} ահավավավավությունությունություն 10 X100 さ (nm) 深 注:略語説明など $R_p(飛程)$, AsSi(ヒ素とシリコンの化合物)

図 6 従来装置でのAs⁺⁺100 kV打込時のSIMS分析結果 R_p (As⁺50 keV)のピークが30 nm付近に存在している。これはAs₂⁺が分解したAs⁺(メ タステーブルイオン)によるものであり,所望のプロファイルが得られて いないことがわかる。

ョン成分をカットするスリット(ビームエリミネータ)を設置 している。これらのスリットは、イオン種や加速電圧などの

34



図 7 IP-2500でのAs⁺⁺100 kV打込時のSIMS分析結果 IP-2500の 場合, ビーム ピュリファイア システムの使用により, メタステーブル イオンを分離除去でき, As⁺⁺100 kV(As⁺200 keVに相当する。)による単純 なプロファイルを実現できる。

ルイオンの混入による低エネルギー値(この場合50 keV相当) のエネルギーコンタミネーション成分が確認できる。これに 対しIP-2500で,同一条件による打込を行った場合を図7で示

打込条件をもとに、ソフトウェアを介し自動的に制御される。
 ビーム ピュリファイア システムを搭載していない従来装
 置を用いた例を図6に示す。As(ヒ素)の2価イオンを100 kV
 で打ち込んだウェーハのSIMS分析結果である。メタステーブ
 す。SIMS評価結果から所望のプロファイルを得ていることが
 わかる。
 同様に分子イオンであるBF₂+打込時のエネルギーコンタミ
 ネーション除去も、浅い接合形成を行う上で重要である。BF₂+

大電流イオン打込装置 859





 図 9 後段加速部真空度とBF₂⁺, B⁺, BF⁺イオンの構成比の関係 真空度向上とともにBF₂⁺と残留ガスとの衝突頻度は減少するので, 解 離成分であるBF⁺, B⁺は減少する。しかし, 真空度を向上しても数パーセ ントの残留は存在する。

偏向磁場強度

図 8 $BF_2^+50 kV$ 加速時に偏向磁場を走査したときのイオン電流パ ターン ビーム ピュリファイア システムの動作により、 BF_2^+ ビーム に含まれる B^+ 、 BF^+ のエネルギー コンタミネーション イオンを完全に分 離できることを示している。

打込時のエネルギーコンタミネーション成分量をビーム ピュ リファイア システムを用いて直接計測した結果を図8に示す。 BF₂+打込と同時に違ったエネルギー値を持つ,B+,BF+のイ オンがDM (偏向磁石)の磁場を変えることで検出されることが 理解できる。後段加速部での真空度とエネルギーコンタミネ ーション成分であるB+,BF+の混入比率の関係を図9に示す。 真空度の向上とともにエネルギーコンタミネーション成分で あるB+,BF+は減少するが,真空度を一桁(けた)向上させて も数パーセントの成分は残留することが理解できる。したが って,真空度向上だけではエネルギーコンタミネーションの 完全な解決とはならず,ビーム ピュリファイア システムに よるエネルギーコンタミネーションの除去は非常に有効と言 える。

(2) クリーン排気

IP-2500では,真空の向上とともに真空の「質」についても 検討を行い,オイルレス排気システムを採用している。



図10 IP-2500打込室の残留ガス分析結果 残留ガス中にハイドロ カーボンが含まれている場合, $C_4H_4(M/Z=52)$, $C_5H_6(M/Z=66)$, C_6H_6 (M/Z=78)関連のピークが出てくる。IP-2500ではハイドロカーボン系の 検出は確認されない。

打込室部の残留ガスを四重極質量分析計で測定した結果を 図10に示す。ハイドロカーボン関連のピークが検出されてい ないことが理解できる。 (3) 重金属の混入 BF₂+打込時,特に問題となっていたMo⁺⁺の混入といったマ スコンタミネーションの問題があった。IP-2500では、クリー ン イオン ソースである日立製作所独自のマイクロ波イオン 源を搭載している。BF₂+打込時のSIMS分析結果を図11に示 す。同図からわかるようにMoの値は検出限界以下であり、マ スコンタミネーションによるMoの混入がないことを示してい

35



図II BF₂⁺打込時のSIMS分析結果 IP-2500ではマイクロ波イオン 源を採用しており、そのプラズマ室部材としてMoを使用していないため、 BF₂⁺(M/Z=49)ビーム中にMo⁺⁺(M/Z=49)の混入は発生しない。 ら質的なものへと変化していくと思われる。

最後に, IP-2500形大電流イオン打込装置の開発にあたり, ご指導をいただいたデバイスメーカーの関係各位に感謝する 次第である。

参考文献

- 1) 徳山:超LSI微細加工とイオン注入,真空,第33巻,第10号, p.797(1990)
- 2) 榊原,外:第13回イオン工学シンポジウム特別セミナー,イオン注入による浅い接合形成法の現状と今後の課題,ISIAT '90,II(1990)
- 3) 鎌田,外:第13回イオン工学シンポジウム特別セミナー,
 "Ge+BF₂"打込みによる極浅p⁺/n接合の形成, ISIAT '90,
 II(1990)
- M. I. Current : Ultra-Pure Processing, Proc. 12th Symp. on ISIAT '89, p.437(1989)
- 5) 宇佐見,外:イオン打込プロセスのエネルギーコンタミ除去, 春季応用物理学会予稿集 30p-X-1, p.697(1991)
- 6) 長尾,外:BF₂+及びB+注入におけるエネルギーコンタミネー

る。このように, IP-2500ではMoの混入による接合リークといったプロセス上の問題を回避できるので,特にBF₂+注入による浅い接合形成時に有効である。

5 おわりに

イオン打込プロセスでの今後の技術課題と装置動向につい て概説するとともに、次世代プロセスニーズに対応したIP-2500 形大電流イオン打込装置とその性能について述べた。

今後さらに微細化に対応し、イオン打込装置に対する考え 方も変化していくと予想される。その一つに、性能またはプ ロセスの複合化があり、これに対し装置が専用化するのか、 または総合化していくのかといった問題がある。またもう一 つには機能の多様化があり、アプリケーションを含めたソフ トカの充実が必要とされる。評価に関しても、量的なものか

- ション, 春季応用物理学会予稿集 30p-X-2, p.698(1991)
- 7) 大湯,外:第20回イオン注入とサブミクロン,フッ素によるホウ素の減速拡散,理化学研究所,p.149(1989)
- 加勢,外:浅いSID接合形成におけるプリアモルファス化と不 純物横方向拡散,春季応用物理学会予稿集 30p-M-9, p.654 (1988)
- 9) 栗山,外:第7回法政大学イオンビーム工学シンポジウム,Ge イオン注入によるプリアモルファス化 SiへのBイオン注入(1988)
- 10) 橋本,外:1989年度版半導体製造,試験装置ガイドブック,1988年電子材料別冊, p.56(1988)
- 11) M. I. Current, et al. Semiconductor International, p.106(1985)
- 12) K. Tokiguchi, et al. Nucl. Instrum. & Meth., B30/ 38, 87(1989)
- 13) 妻木,外:高性能塵埃分析装置の開発,日立評論,71,5, 437~442(平1-5)
- 14) 豆野,外:1991年度版半導体製造,試験装置ガイドブック,1990年電子材料別冊,p.41(1990)
- 15) イオン注入装置, 日立製作所IP-825A, 月刊 Semiconductor World 増刊号(1990)

