

300 mm径SIMOXウェーハ用大電流イオン注入装置

—UI-6000—

High-Current Ion Implanter for 300 mm-Diameter SIMOX Wafer Production

米良和夫 Kazuo Mera

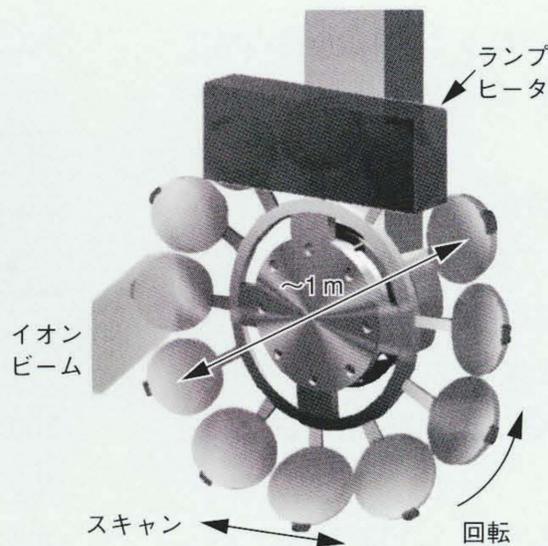
登木口克己 Katsumi Tokiguchi

富田博之 Hiroyuki Tomita

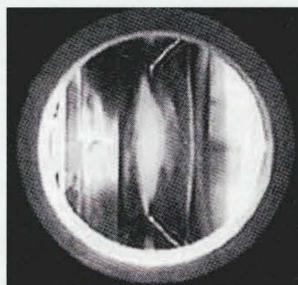
尾高憲二 Kenji Odaka



(a) 300 mm径SIMOXウェーハ用イオン注入装置“UI-6000”の外観



(c) “UI-6000”の酸素イオン注入室



(b) 100 mA酸素イオン注入時のビーム形状

注：略語説明
SIMOX (Separation by Implanted Oxygen)

300 mm径SIMOXウェーハの量産を行う大電流酸素イオン注入装置“UI-6000”の外観(a)、イオン注入時のビーム形状(b)、およびイオン注入室の概要(c)

SIMOX用大電流酸素イオン注入装置“UI-5000”で培った高品質SIMOXウェーハ作製技術の経験と、日立グループが持つ大電流イオンビームの発生・制御技術の融合により、極薄で高品質な300 mm径SIMOXウェーハを作製するための大電流イオン注入を可能とした。

次世代の超高速・低消費電力デバイスであるCMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor)を、SOI(Silicon on Insulator)基板を使って作製する試みが実用化段階に入り、世界の主要デバイスメーカーで製品への適用が活発化している。

SOIには、BOX(Buried Oxide：埋込酸化膜)の上に形成したシリコン層(SOI層)にデバイスを作製する技術を用いる。近年の高集積化に伴い、20~100 nmの極薄SOI層が求められている。それを実現するために用いられるのがSIMOX(Separation by Implanted Oxygen)技術である。これは、シリコン基板に酸素イオンを注入してBOX膜とSOI層を形成するもので、イオンビームの制御により、SOI層やBOX層の深さ、厚み、均一性が自由に制御できるという優れた特徴がある。また、イオン注入とその後の熱処理だけでSOI基板が作製できるので、プロセスがシンプルであり、低コスト化も図れる。

日立グループは、200 mm径SIMOXウェーハ作製の酸素イオン注入装置“UI-5000”をベースとして、今回新たに300 mm径対応のイオン注入装置“UI-6000”を製品化した。これにより、高スループット達成に向けた大電流化(80~100 mA)やメカニカルスキャン方式による均一注入が可能となった。また、徹底したクリーン化により、注入を高品質化することにも成功した。生産ライン投入に即応する全自動化運転などの技術を組み合わせることによって安定した運転ができるようになり、次世代SOI基板に要求される高均一のSOI膜を作製することができる。今後は、この装置が300 mm径SIMOXウェーハの本格的量産の駆動力となると考える。

1 はじめに

IT(Information Technology)化の進展に伴い、ネットワーク情報処理装置や高機能携帯端末に対して、高速化と低消費電力化が強く望まれている。これらの機器の主要素子であるCMOS(Complementary Metal-Oxide

Semiconductor)LSIでは、微細加工によって飛躍的に集積度が上げられてきた。しかし、その処理速度は微細化に伴う発熱密度の増大で限界に近づきつつあるため、SOI(Silicon on Insulator)基板の採用や銅配線、Low-K材などに見られる新材料の開発により、高速化へのブレークスルーが図られている。

最近、世界の主要チップメーカーは、SOI基板の一つであるSIMOX (Separation by Implanted Oxygen) ウェーハを使い、従来に比べて消費電力が1けた以上少ないテラヘルツ級高速デバイスの開発を推進している。これらのデバイスが数年後に量産化されると300 mm径のSOIウェーハが使われるようになり、高速化のためには20~100 nm以下の厚みが求められる。

日立グループは、1995年に200 mm径SIMOXウェーハ作製用イオン注入装置“UI-5000”を発売し¹⁾、今回、UI-5000で培った技術を基に、顧客からの要望にこたえて300 mm径ウェーハ対応の酸素イオン注入装置“UI-6000”を開発した。これは、世界初の300 mm径SIMOXウェーハの作製に結実した。

ここでは、UI-6000の特徴と構成、作製したSIMOXウェーハの品質、および今後の展開について述べる。

2 SOIウェーハのニーズ

SOI基板の作製法は、多様な研究・開発を経て、今日ではSIMOX技術と基板はり合わせ技術に集約されている。

半導体デバイス技術のけん引役であるCMOS LSIを、従来のシリコン基板に代わってSOI基板上に作製すれば、1から1.5世代先のデバイス性能が期待できる。このため、世界の主要デバイスメーカーは、SOIデバイスの開発を推進している。

2001年版のITRS (International Roadmap for Semiconductors)によると、SOI基板は今後、200 mm径から300 mm径になり、SOI層の厚みも、0.09 μm ノードでは部分空乏デバイスで50~100 nm以下に、完全空乏デバイスで20 nm以下になると予測している。また、デバイス特性をそろえる観点から、SOI層の面内均一性は数ナノメートル($\pm 5\%$)以下が要求される。SOI技術の発展の可否は、このような極薄で均一なSOI基板をいかに安定的に大量供給できるかにかかっている。

SIMOXでは、イオンビームエネルギーの制御により、均一で極薄のSOI層やBOX (Buried Oxide: 埋込酸化膜) を容易に作製することができる。このため、300 mm径ウェーハ対応の量産用大電流酸素注入装置の開発が望まれていた。

3 UI-6000の装置構成

3.1 設計コンセプト

UI-6000の開発にあたっては、装置の基本構成では200 mm径ウェーハ用のUI-5000と同一とし、これに

表1 UI-6000の主な仕様

ユーザーニーズとUI-5000の性能実績を基に仕様を定めた。

項目	仕様
注入エネルギー	40~240 keV
最大注入電流	100 mA (180~210 keV) 80 mA (240 keV)
ウェーハ温度	500~650 °C
注入角度	10~14 °
注入量不均一性	< $\pm 1.3\%$ (面内の最大, 最小)
重金属汚染量	10^{10} 個/cm ² 台 (Fe, Cu, Niなど)
パーティクル汚染量	< 0.5 個/cm ² (粒径: > 0.2 μm)
ウェーハ注入処理枚数	12 (300 mm径), 18 (200 mm径)

300 mm径SIMOXウェーハ量産のための高スループット化、均一注入化、および注入クリーン化の技術改良を加えた。また、運転操作の全自動化も取り入れている。具体的な開発技術は以下のとおりである。

- (1) 酸素用マイクロ波イオン源の大電流化
- (2) イオンビームラインの輸送効率向上による酸素電流の増加
- (3) メカニカルスキャン均一注入方式の高度化
- (4) 重金属汚染やパーティクル汚染の低減
- (5) パソコン画面による運転操作の全自動化

UI-6000の主な仕様を表1に示す。

3.2 UI-6000の構成

UI-6000の構成を図1に示す²⁾。装置は、以下の6点で構成している。

- (1) 大電流酸素ビームを発生するマイクロ波イオン源
- (2) イオン源から引き出されたビームから酸素原子イオン(O⁺)を選別する質量分離器
- (3) イオンを追加加速して所望のエネルギーまで高める後段加速管
- (4) ビームの断面形状を制御するための磁気四重極レンズ
- (5) ビーム内に含まれる中性酸素ビームを除去する30度偏向磁石
- (6) 300 mm径ウェーハへの酸素イオン注入を行う注入処理室

基本光学系はUI-5000と同一としているが、各コンポーネントについては、大電流化や量産運転を想定し、個別の改良を加えている。

例えば、イオン源では引き出し電極形状の最適化によって電流増加を図るとともに、ビーム引き出し領域の真空度の改善により、1,000時間以上のメンテナンスフリー運転を実現している。また、UI-5000では2段加速であった後段加速管を多段加速方式とし、安定した電圧印加を

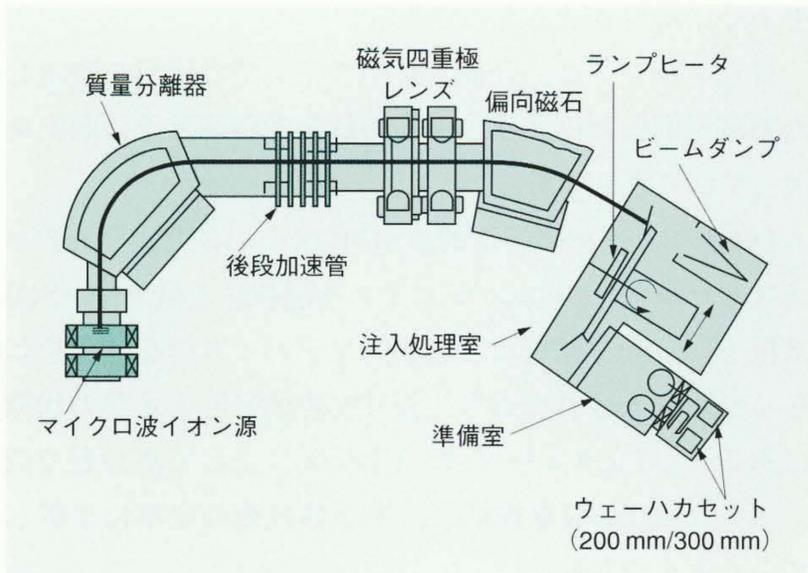


図1 UI-6000の基本構成

ウェーハ上のビームは、幅約40 mm、高さ約100 mmである。

可能とした。さらに、ビーム形状を制御する磁気四重極レンズについては、UI-5000では3段であったものを2段にすることにより、小型化を図っている。

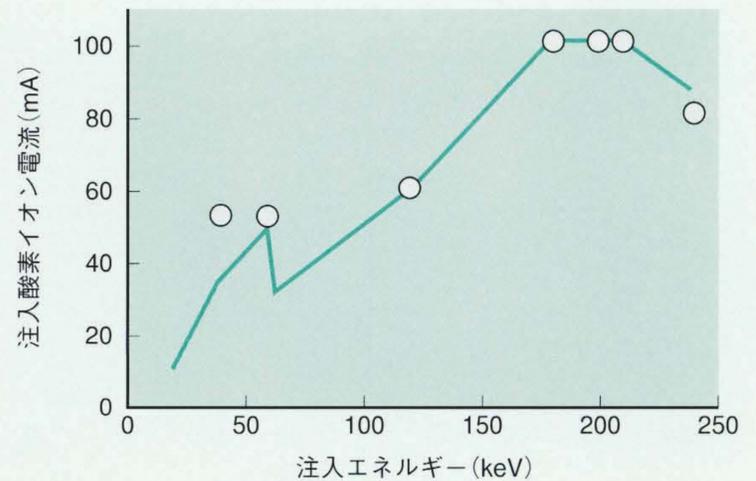
注入処理室には、多数枚のウェーハを同時に注入処理するバッチ方式を採用している。ビームを静止させ、ウェーハを搭載した回転円板を円板半径方向に振り子スキャンさせて均一注入を行う。また、ランプヒータとビームの照射パワーの合計で、注入時のウェーハを500～650℃まで加熱することが可能である。ビームパワーの変動に応じてヒータパワーを変え、ウェーハの温度が一定になるように温度制御を行う。SIMOX製品の品質に影響を及ぼさない±10℃以下に温度変動を抑えている。

注入時のウェーハ表面に異物が付着すると、これが注入の影となり、埋込酸化膜が形成されない部分が発生する。この「ピンホール欠陥」と呼ばれる現象はデバイス特性を劣化させるので、ピンホール欠陥の低減がSIMOXウェーハの最も重要な課題となる。パーティクル汚染量は、ウェーハ保持方法やビームラインからの輸送で大きく左右される。UI-6000の注入室では、低発塵(じん)化はもとより、重金属汚染の防止にも十分なくふうを施し、材料選択や注入方法の最適化を図っている。

4 注入性能

4.1 注入電流

UI-6000では、後段加速管の電圧を調整することにより、広いエネルギー範囲で大電流の酸素イオン注入を行うことができる(図2参照)。ウェーハ上のイオンビーム形状は、磁気四重極レンズを調整することで、いずれのエネルギーについても幅約40 mm、高さ約100 mmに調



注：—(仕様電流値)，○(実績電流値)

図2 UI-6000の実用注入電流

240 keVで100 mAは確認済みである。長時間注入を実施したデータをグラフに示す。

整することができる。

100 mAの注入は、180～210 keVのエネルギー領域で安定している。35ページの図に示した100 mA時のビーム形状は、イオン源から注入処理室に至るビーム軌道のシミュレーション結果と一致しており、100 mA級のイオンビームでも、シミュレーション結果を使ってその形状を十分に制御できることがわかった。

UI-6000では、100 mAでSIMOXウェーハの標準注入量 4×10^{17} 個/cm²のイオン注入を行う場合、約3時間で済む。注入電流の変動も10%以下であり、イオン源や後段加速管の放電による注入の中断も1回未満なので、きわめて安定した注入が行える。

注入操作は、ウェーハカセットを装着後、スタートボタンを押すだけで、ウェーハの搬送、ビーム出し、注入操作、注入ウェーハの取り出しまで、すべて全自動で行うことができる。

イオン源寿命としては、1,000時間以上を確認している。

4.2 パーティクル汚染の低減

SIMOX-SOIウェーハの品質で最も大きな課題は、BOX層に発生するピンホール欠陥の低減である。そのため、注入時のパーティクル汚染低減が重要である。

UI-6000では、低発塵化のためにウェーハ保持方法や保持材質の最適化を図るとともに、ビームを使ってビームライン自体を洗浄するクリーン化技術を開発し、ビームラインから輸送されてウェーハに付着するパーティクル汚染を低減している。 4×10^{17} 個/cm²の酸素を注入した1バッチのウェーハ当たりの付着パーティクル量(粒径で>0.2 μm)は、平均で0.5個/cm²以下という値を得てい

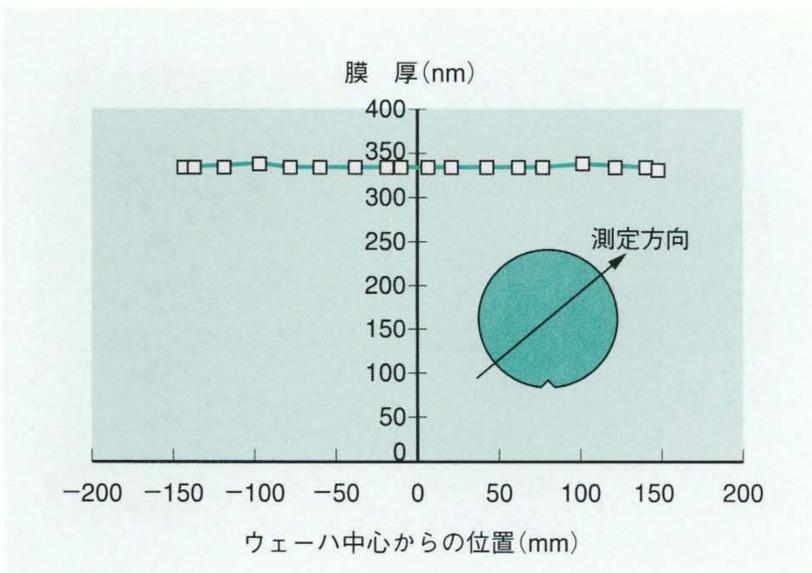


図3 UI-6000で作製した300 mm径SIMOXウェーハのSOI均一性の評価例

注入は標準仕様の180 keV/80 mA, 3.7×10^{17} 個/cm²で行った。その後、高温熱処理を施している。

る。この値は、熱処理後のピンホール欠陥密度で0.1~0.2個/cm²以下に相当し、デバイスプロセスのユーザーから要求されるSIMOXウェーハへの要求基準をほぼクリアするものである。

4.3 SOI層の均一性

SOIデバイスの分野では、CMOSが作製されるSOI層の極薄化とともに、その良好な均一性が求められている。SOIやBOX層の均一性は、注入装置の注入均一性によって大きく左右される。このため、注入後に熱処理した300 mm径SIMOXウェーハのSOI層均一性をエリプソメータで測定し、UI-6000の注入性能を評価した(図3参照)。SOI層のばらつきで±0.6%という良好な値を得ている。さらに、高濃度の酸素雰囲気中で高温熱処理を行う内部酸化プロセスを加えると、100 nm以下のSOI層とBOX層で±1%(±1.5 nm)以下のばらつきになるという、良好な注入特性を持つことを確認した。

注入したウェーハの重金属汚染分析によれば、CuやFeなどの重金属汚染量も 10^{10} 個/cm²台の値に抑えられており、UI-6000での高度なクリーン注入が確認できた。

5 おわりに

ここでは、300 mm径SIMOXウェーハ用大電流酸素イオン注入装置“UI-6000”について述べた。

この装置により、300 mm径SIMOXウェーハ作製時の注入を、イオン注入装置分野では初めてとなる100 mAの大電流酸素イオンビームで行うことができた。作製したSIMOXウェーハの基本性能(膜厚均一性、パーティクル汚染量、重金属汚染量など)は、次期SOIの要求仕様

を十分に満足させるものである。

日立グループは、今後も量産ラインでの使用を想定した連続稼働などにより、運転の信頼性確認とその向上を図っていく考えである。

1枚のウェーハに局所的にSIMOXを形成し、SOIデバイスとバルクシリコンデバイスを混載する試みや、SOI基板上にSiGeを積むことによってデバイスの高速化をねらった開発もされており、SOI技術は実用化寸前の状態にある³⁾。日立グループは、UI-6000によって高品質で低コストなSOI基板を提供し、半導体技術の変革に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 吉川, 外: SIMOX用大電流酸素イオン注入装置, 日立評論, 81, 10, 657~660(1999.10)
- 2) K.Tokiguchi, et al.: The Hitachi Advanced Implanter UI-6000 for SIMOX Wafer Production, Proc. of the 12th Int'l Conf. on Ion Implantation Technology "IIT2000," Alpbach, Austria (2000), 1, 372-375 (2000)
- 3) H.L.Ho, et al.: A 0.13 μ m High-Performance SOI Logic Technology with Embedded DRAM for SOC Application, Proc. of IEDM 2001, 1, 245-248 (2001)

執筆者紹介



米良和夫

1981年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ 設計・製造統括本部 笠戸事業所 ビーム装置設計部 所属
現在, SIMOX用イオン注入装置の開発・設計に従事
電気学会会員
E-mail: mera-kazuo@ sme. hitachi-hitec. com



富田博之

1995年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ 設計・製造統括本部 笠戸事業所 ビーム装置設計部 所属
現在, SIMOX用イオン注入装置の開発・設計に従事
応用物理学会会員
E-mail: tomita-hiroyuki@ sme. hitachi-hitec. com



登木口克己

1971年日立製作所入社, 電力・電機グループ 電力・電機 開発研究所 イオンビームプロジェクト 所属
現在, マイクロ波イオン源とその利用技術に関する研究・開発に従事
工学博士
応用物理学会会員, 電気学会会員, 日本MRS学会会員
E-mail: katsumi_tokiguchi@ pis. hitachi. co. jp



尾高憲二

1971年日立製作所入社, 機械研究所 第六部 所属
現在, 半導体製造装置の異物対策, 極・超高真空技術に関する研究・開発に従事
日本真空協会会員, 応用物理学会会員
E-mail: odaka@ gm. merl. hitachi. co. jp