

特 集 論 文

大電流イオン注入装置 LUXiON

High Current Ion Implanter LUXiON

田 中 浩 平*	海勢頭 聖*
K. Tanaka	S. Umisedo
井 合 哲 也*	山 元 徹 朗*
T. Igo	T. Yamamoto
鍬 田 雄 介*	宇 根 英 康*
Y. Kuwata	H. Une
浅 井 博 文*	濱 本 成 顕*
H. Asai	N. Hamamoto

概 要

日新イオン機器株式会社 (NIC) は、この度、新しい大電流イオン注入装置『LUXiON』を開発した。LUXiONは長尺のイオン源からビームを引き出すことにより、従来と比較してより多くのビームを安定して出力することができるため、次世代デバイスの生産に必要な、高いビーム品質と生産性を両立させることが可能な装置である。本論文では、このLUXiONの特長や性能について紹介する。

Synopsis

Nissin Ion Equipment Co., Ltd. (NIC) has developed a new high current ion implanter "LUXiON." LUXiON is able to transport much stable and higher ion current beam than the conventional one by extracting ions from a long slit ion source. With this new equipment, you can expect both excellent beam quality and high productivity required for the next generation device fabrication. We will introduce its features and performance data in this paper.

■ 1. まえがき

イオン注入装置は、半導体量産設備として長期間に亘って使用されてきたが、この度、我々は、その生産性を大幅に向上することができる装置を開発した⁽¹⁾⁽²⁾。イオン注入工程は、一般的に、注入量 (ドーズ量)、注入エネルギー、注入イオン種によって分類されるが、今回開発したLUXiONは、主として、より多くのドーズ量が求められる工程、例えば、Source/Drain、Source/Drain Extension、プレアモルファス化などに適用される大電流イオン注入装置である。この装置を使用することで、高い生産性と良好な注入品質の両立が可能である。以下に、その概要と性能を紹介する。

■ 2. 装置概要

LUXiONは、300mmを超える鉛直方向に長いシート状ビームを、水平方向にスキャンさせる機構に保持したウェーハに照射することでイオン注入を行う。図1に、その機器構成を示す。

*日新イオン機器株式会社

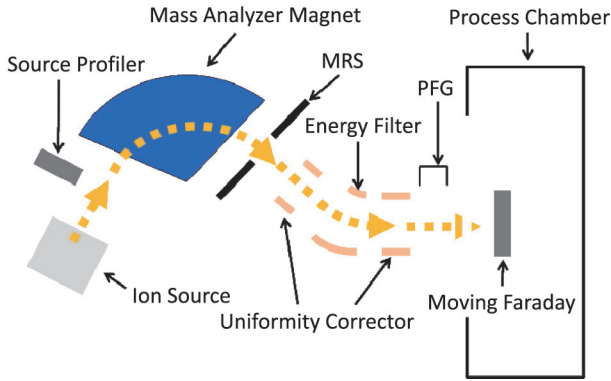


図1 LUXiONの機器構成とビーム輸送軌道

LUXiONでは、まず、鉛直方向に長いアークチャンバを有するイオン源において均一なプラズマを発生させ、続いて、長尺のスリットを通してイオンを引き出すことで均一性の良好な大電流イオンビームを発生させる。それを輸送するビームラインは、長ギャップの質量分析電磁石、電場タイプのエネルギーフィルタ、およびビーム調整用の補正電極から構成されており、イオン源から引き出されたビームを、形状と均一性を保持したまま、高い輸送効率でプロセスチャンバまで導くことを可能にしている。ここで、質量分析電磁石とエネルギーフィルタは、所定の質量とエネルギーを有したイオン以外を除去するための機器である。プロセスチャンバまで誘導された特性の揃ったビームは、水平方向にスキャンされているウェーハに照射され、注入処理が行われる。

2. 1 イオン源およびビーム引出系

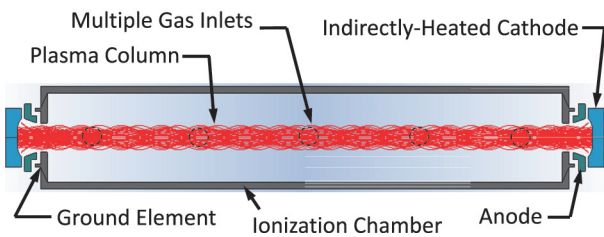


図2 イオン源模式図

図2にLUXiONに使用されているイオン源の模式図を示す⁽³⁾。イオン源は上下に配置された2つの傍熱型カソードを有し、そこから発生した熱電子を加速して、アークチャンバ内に導入されたプロセスガスと衝突させることでプラズマを発生させる。このプラズマの均一性は、アークチャンバにかかる磁場の強度と導入するガスの分布とを調整することで制御している。このイオン源を用いて、 $^{11}\text{B}^+$ 、 $^{31}\text{P}^+$ 、 $^{75}\text{As}^+$ 、 $^{72}\text{Ge}^+$ 、 $^{12}\text{C}^+$ のような標準的なイオン種をビームとして

引き出すことが可能である。図3は、イオン源の下流側に設置したProfilerで測定された、引出直後のビームの鉛直方向分布を示しており、均一性の高いビームが得られていることが分かる。

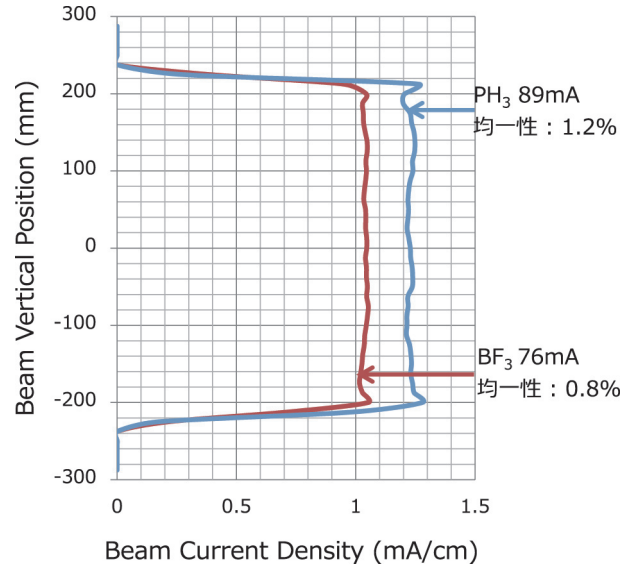


図3 イオン源から引き出された直後の鉛直方向のビーム電流密度分布

2. 2 ビームライン

引き出されたイオンビームは長ギャップの質量分析電磁石を通過し、鉛直方向に長い形状を保ったまま、注入対象であるウェーハまで輸送される。分析電磁石の出口にはスリット(MRS)が設けられており、所定の質量のイオンのみを通過させることができる。必要に応じて、その幅を調整することで、分析能力を変更することが可能である。また、この電磁石は大地電位から電氣的に浮いているため、低エネルギーのイオンビームを輸送する際には、必要に応じて大地電位よりも低いマイナス電位に設定することが可能である(当該状態をDecelモードと呼んでいる)。

イオンビームが減速される際、荷電変換によりエネルギーコンタミネーションが発生することは一般的に良く知られており、このコンタミネーションを除去するために、電場タイプのエネルギーフィルタを減速電極の下流側に配置している。エネルギーフィルタ内に配置された電極に適当な電圧を印加することで、特定のエネルギーを持つイオンビームのみを通過させることができる。さらに電場によってビームが曲がることを利用し、印加する電圧を調整することによって、ウェーハに対するイオンの注入角度を制御することも可能である。ビームの水平方向での

注入角度制御のシミュレーション結果を図4に示す。印加電圧を適切に制御することで、図の左側に示すように、ビームをウェーハ面に対して垂直に照射したり、右側のように入射角度を意図的に変えたりすることが可能である。

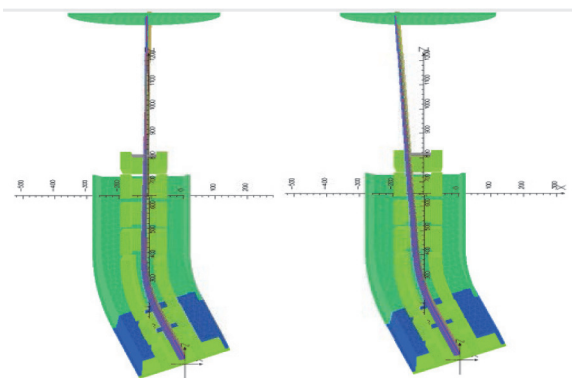


図4 ビーム水平方向における注入角度制御のシミュレーション結果

該機能を利用して、密度の濃淡が最小になるように各電極に印加する電圧を調整することで、ビーム全体の均一性を高めるとともに、注入角度をコントロールすることが可能になる。

実際の装置では、ビーム密度の濃淡が最小になるように、各電極に印加すべき電圧が自動的に決定される。図6に $^{11}\text{B}^+$ 7keVという注入条件で、ビームの均一性を調整した結果を示す。均一性が13.9%から1.6%に改善していることがわかる。

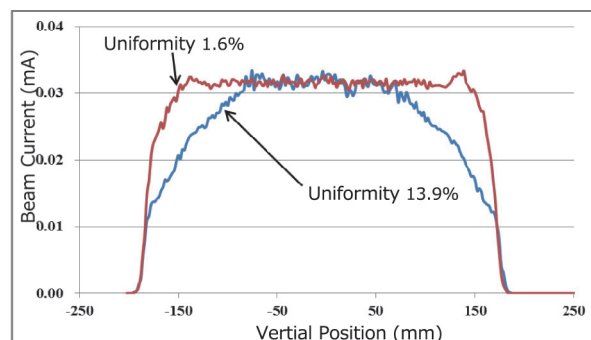


図6 $^{11}\text{B}^+$ 7keVという注入条件における鉛直方向のビーム電流密度分布

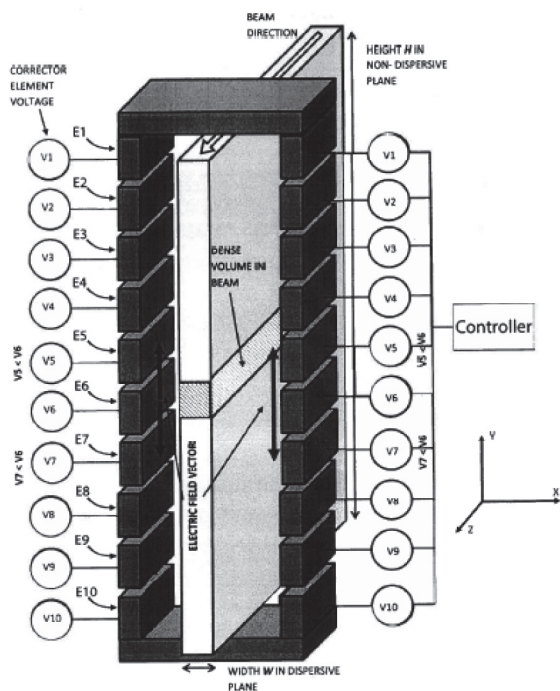


図5 鉛直方向の均一性および注入角度の補正電極

鉛直方向のビームの均一性および注入角度は補正電極によって制御している。この電極の構成を図5に示す。多数の独立して電圧を印加することが可能な小型電極が、シート状ビームの両側に縦に並べられている。それぞれの電極に適当な電圧を印加すると局部的にビームの進行方向を変えることができるので、ビーム密度の分布を変更することが可能である。当

ウェーハに注入されるイオンビームの水平方向の幅も、エネルギーフィルタ内の電極に印加する電圧を制御することで調整可能である。図7は、 $^{49}\text{BF}_2^+$ 30keVという注入条件で、電極電圧を調整することにより水平方向の幅を制御した結果である。当該機能によってビーム幅（ビーム電流密度）を調整することにより、注入によりウェーハが受けるダメージを制御することが可能になると期待される。

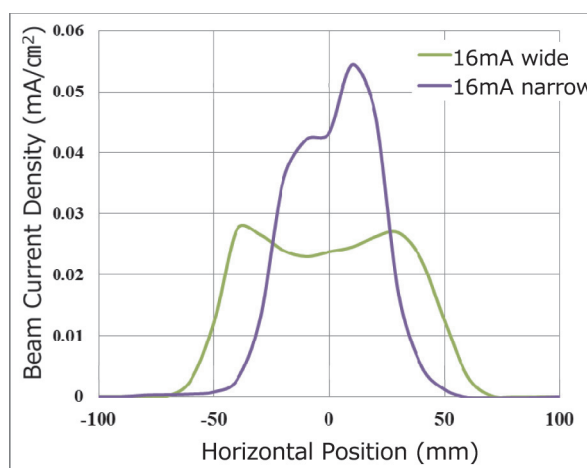


図7 $^{49}\text{BF}_2^+$ 30keVという注入条件における水平方向のビーム電流密度分布

さらに、RF (Radio Frequency) 型プラズマフラッドガン (PFG) がウェーハ位置近傍に配置されている。PFGはビームラインに電子を供給する装置であり、この電子がイオンビームと一緒に照射されることによって、ウェーハのチャージアップ (プラスに帯電すること) を抑制すると共に、空間電荷効果によりビームが発散することを抑止している。

2. 3 注入システム

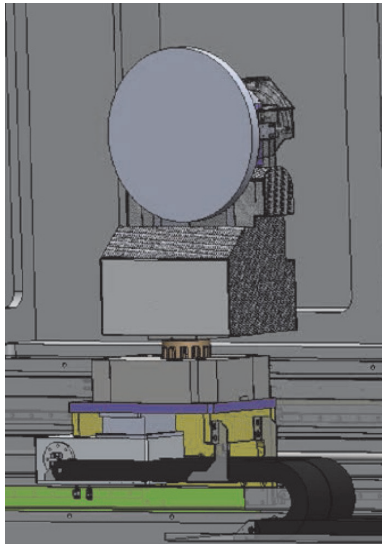


図8 LUXION用注入機構

図8にLUXIONにおいてウェーハにイオンビームを照射する際に用いられる機構を示す。LUXIONでは、鉛直方向に長いイオンビームを水平方向にスキャンされているウェーハに照射することで注入処理を行っている。スキャン機構は、プロセスチャンバの外に配置されたモーターによりチャンバ内部に配置したボールネジを回転させることで実現している。ウェーハは静電チャックで保持されており、ビームに対して傾斜させて注入処理を行う場合には、図8に示すプラテンと呼ばれる機構部を回転 (傾斜) させる。注入角度は、0度から60度の間で調整可能である。

ビームの特性をより正確に知るために、ウェーハと同一平面上に可動式のFaraday Cupを設けており、鉛直方向の均一性と注入角度を測定することが可能である。注入処理開始直前に、鉛直方向に測定を行い、その結果をビームの均一性や注入角度の調整、さらには、注入に必要な各種パラメータの決定に利用している。

静電チャックには温度測定センサーが組み込まれており、注入処理中のウェーハ裏面温度を測定することが可能である。図9に1,500Wのパワーで注入処理を行った際のウェーハの裏面温度の経時変化を示す。

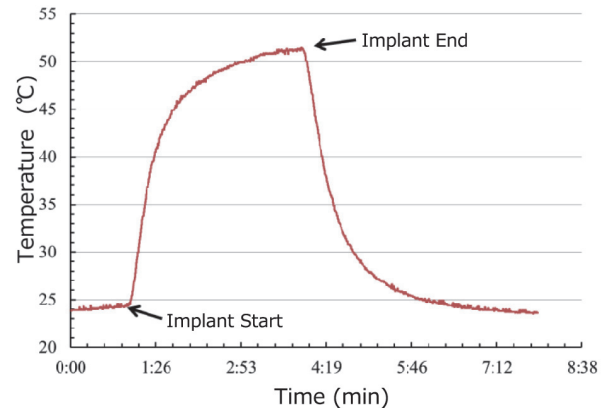
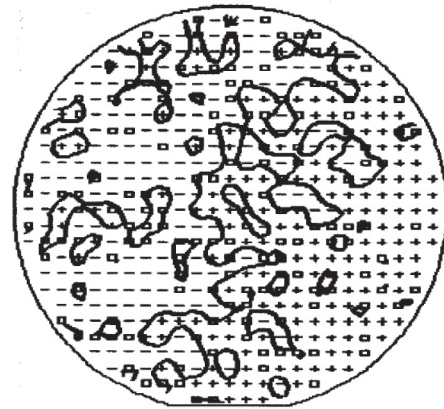


図9 1,500Wの投入パワーで注入処理された際のウェーハ裏面温度の経時変化

3. 注入結果

続いて、LUXIONによるいくつかの注入実験の結果を示す。図10は $^{11}\text{B}^+$ 3keV $1\text{E}14$ atoms/cm 2 という条件で注入処理を行ったウェーハのTherma-Wave (TW) 測定の結果である。0.25%という数値を示しており、LUXIONが目標とする0.5%以下の注入量均一性を実現可能であることがわかった。



Mean: 687.8704 StdDev: 1.6972 (0.25 %)

図10 $^{11}\text{B}^+$ 3keV $1\text{E}14$ atoms/cm 2 の条件で注入処理された際のTW測定結果

図11に $^{11}\text{B}^+$ 2keV $2\text{E}15$ atoms/cm 2 という条件でのウェーハ深さ方向の注入量分布を、減速しない条件でシミュレーションした結果と、25keVから減速させて (Decelモードにより) 実際に注入してSIMSで測定した結果との比較を示す。シミュレーション結果と実測値はよく一致しており、減速させた条件でも、エネルギーコンタミネーションによって生じる、より深い位置でのピークは確認されていない。

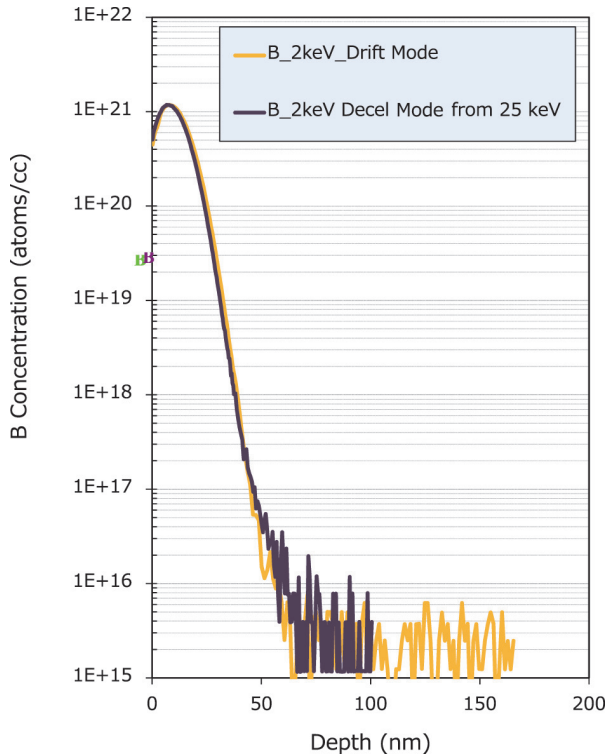


図11 $^{11}\text{B}^+$ 2keV 2E15 atoms/cm²の条件で注入された際のSIMS結果とシミュレーション結果の比較

この結果から、LUXiONのフィルタがエネルギーコンタミネーションを十分に除去できていることが実証された。

表1 メタルコンタミネーション測定結果

元素	Al	Ti	Cr	Fe	Co
測定結果	0.49	0.074	-	-	-
検出下限	0.13	0.074	0.068	0.064	0.060
元素	Ni	Cu	Zn	Mo	W
測定結果	-	0.11	0.15	-	0.11
検出下限	0.060	0.056	0.054	0.037	0.019

表1は $^{75}\text{As}^+$ 50keV 2E15 atoms/cm²という条件で注入処理を行った場合のメタルコンタミネーションの測定結果を示す。この結果から、LUXiONはイオン注入処理に十分な清浄環境を提供できていることがわかる。

図12は $^{75}\text{As}^+$ 45keV 20mA 1E16 atoms/cm²という条件でTEGウェーハに注入して、デバイスのチャージアップの有無を調べた結果である。ここで使用したTEGの酸化膜厚さは3.5nm、アンテナ比は350,000である。各セ

ルは、実際のデバイスに該当するテストチップを示しているが、チャージアップによる破壊は全く起こっておらず、大電流の注入に対しても、十分にチャージアップが抑制されていることがわかる。

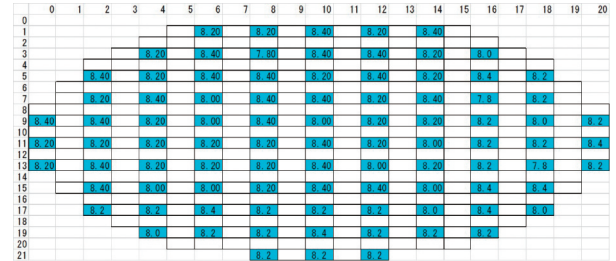


図12 $^{75}\text{As}^+$ 50keV 2E15 atoms/cm²の条件で注入処理されたTEGウェーハのチャージアップ結果

4. 結論

開発した新しい大電流イオン注入装置LUXiONは、ビーム密度分布の均一性、注入角度の制御性、エネルギーコンタミネーションやメタルコンタミネーションの除去特性など、最新のイオン注入装置に要求されるビームの品質と制御性を兼ね備えた装置であり、お客様のご要望に応えられるものと考えている。

参考文献

- (1) Y. Kuwata et. al., *High Current Ion Implanter: "LUXiON"*, IIT2016, p. 213
- (2) T. Ikejiri et. al., *Development of High Productivity Medium Current Ion Implanter "EXCEED 3000AH Evo2"*, IIT2010, p. 353
- (3) T. N. Horsky, S. K. Hahto, T. Yamamoto, *Novel Ion Source For the Production of Extended Sheet Beams*, IIT2016, p. 112

執筆者紹介



田中 浩平 Kohei Tanaka
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部
プロダクトマネージャ



海勢頭 聖 Sei Umisedo
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部
主任



井合 哲也 Tetsuya Igo
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部



山元 徹朗 Tetsuro Yamamoto
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部
主任



鎌田 雄介 Yusuke Kuwata
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部



宇根 英康 Hideyasu Une
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部
主任



浅井 博文 Hirofumi Asai
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部
主任



濱本 成顕 Nariaki Hamamoto
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部
部長