

一般論文

大電流イオン注入装置 LUXiON におけるイオン源運転モード

Ion Source Operation Mode in High Current Ion
Implanter LUXiON

阪本 崇*	川村 昌充*
T. Sakamoto	M. Kawamura
楯田 雄介*	酒井 滋樹*
Y. Kuwata	S. Sakai
濱本 成顕*	
N. Hamamoto	

概要

大電流イオン注入装置「LUXiON^(注)」には新開発のイオン源が搭載されており、ホウ素、リン、ヒ素などのシリコン処理で一般的に使用されるイオン種について高さ約300mmの「シートビーム」を生成する。このイオン源は、シングルイオンの割合を大きくするモードおよび分子イオンの割合を大きくするモードをイオン源パラメータを調整することにより使用することが可能である。フッ化ボロンプラズマ中では、分子イオンと単原子イオンの比率 (BF_2^+/B^+) は運転条件によって変化し、分子イオンモードにおける比は、低アーク電流条件ではシングルイオンモードの2倍であり、高アーク電流条件では3倍を超える。

Synopsis

A high current Ion implanter “LUXiON” has a novel ion source which generates a “sheet beam” about 300mm high and produces ion species commonly used in silicon processing, such as boron, phosphorus, and arsenic. The source is designed to allow tuning of its source parameter to change the proportion of single and molecular ions in plasma. By optimization of the ion source parameter, we could change the proportion of single and molecular ion. The ratio of molecular ion to single ion (BF_2^+/B^+) was changed by operation conditions. The ratio in higher molecular ion mode is two times as higher single ion mode at low arc current condition, and over three times at high arc current condition.

1. まえがき

イオン注入は、長年にわたり半導体製造のための重要なプロセスの一つとして使用されている。イオン注入装置にはいくつかの種類があり、その中の一つである大電流イオン注入装置は、通常、高ドーズプロセス、例えば、ソース・ドレイン注入、ソース・ドレインエクステンション、プレアモルファス化注入などに使用される。これらの用途では、一価のイオンが一般的に使用されている。しかしながら、ある種のアプリケーションでは P_2^+ 、 P_4^+ 、 As_2^+ または As_4^+ のような二量

体または四量体の注入が好まれる。これらの分子イオンは典型的なアーク放電イオン源では生成するのが難しい。従って、従来の大電流注入装置ではこれらの用途に対してそれらの能力を十分に示すことができない。当社製品である大電流イオン注入装置「LUXiON」⁽¹⁾のイオン源には、分子イオンを生成する効率を高める「イオンポンプ」機能が組み込まれている⁽²⁾。本稿では、イオン源パラメータによって単原子イオンと分子イオンの比率を簡単に変更できることを示す⁽³⁾。

*日新イオン機器株式会社

2. 装置概要

2. 1 LUXiONの機器構成とビーム輸送軌道

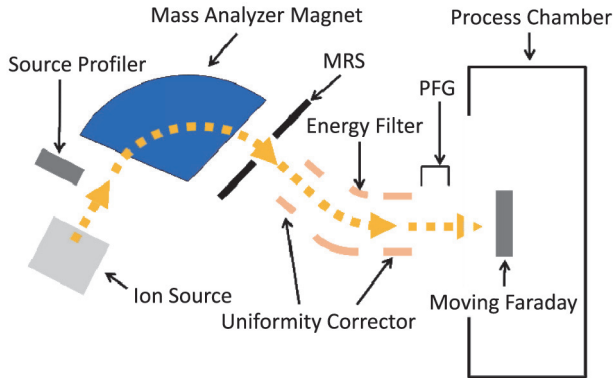


図1 LUXiONの機器構成とビーム輸送軌道

図1にLUXiONの概略図を示す。長さ300mmを超える垂直シートビームは、ロングスリット形状の引出系を介してイオン源から引出される。引出されたビームは長ギャップ質量分析磁石に導入され、静電エネルギーフィルタおよびビーム制御電極を介してビームの形状と密度分布を維持し、高い輸送効率でプロセスチャンバに輸送される。垂直方向に長いシートビームは、水平方向に走査されたウェーハに照射される。引出された直後のビームプロファイルはソースプロファイラ、質量分析磁石の後のマススペクトルは分析スリット（MRS）直後のフラッグファラデー、および注入される直前のビームプロファイルはムービングファラデーによって測定される。

2. 2 イオン源およびビーム引出系

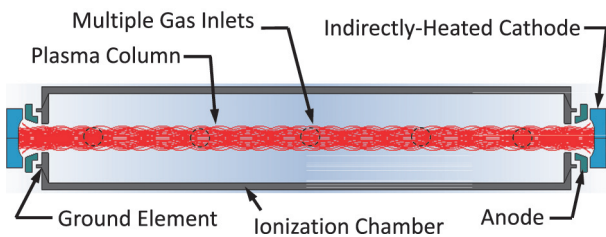


図2 イオン源概略図

LUXiONで使用されているイオン源を図2に示す。このイオン源は、上下に二個の傍熱型カソードを備えている。従来の傍熱型カソードに対して、このイオン源にはアノード電極が、各傍熱型カソードとイオン源電位を有するイオン源チャンバの間に配置されている。イオン源チャンバは高さ300mm以上あり、イオンビーム引出のための垂直方向に長いス

リットを有する。カソードから放出された電子は、2つのカソードを結ぶ線に沿った一様な磁場に沿って移動し、その結果プラズマは電子軌道に沿ってイオン源チャンバ全体に分布する。イオン源チャンバ内には垂直方向に配置された5つのガス導入口があり、各流量を変えることによってイオン源チャンバ内のプラズマ分布を調整できる。

傍熱型カソードはイオン源電位に対して負電位に保たれて電子を加速する。アノード電位は、イオン源電位に対して正電位であり、0Vから200Vで制御される。この電位の調整により、単原子および分子イオンの割合を変えることが可能となった。

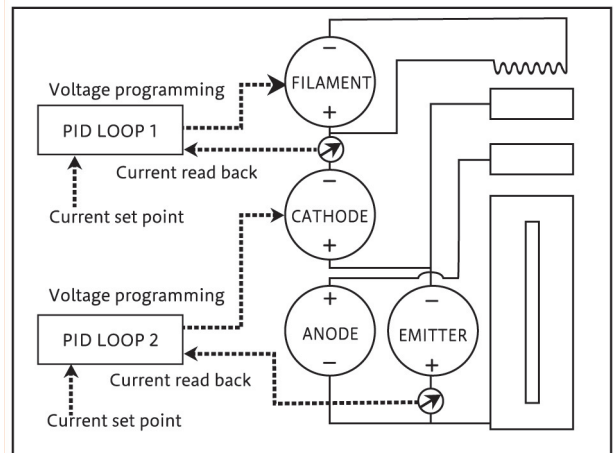


図3 電子銃のバイアス方式と制御方法

図3にイオン源部のバイアス方式と制御方法を示す。フィラメントによって生成された熱電子は、カソード電圧により加速され、カソードを加熱する。加熱されたカソードは電子を放出し、それは5つのガス導入口から供給されたプロセスガスをイオン化する。カソードを加熱する熱電子ビーム電流は、PIDループ1でフィラメント両端の電圧を調整することで制御できる。一般に、アーク電流と呼ばれるカソードから放出される電子電流は、図3のエミッタ電流として測定できる。PIDループ2の回路はエミッタ電流設定値を受信し、カソードに対してフィラメントをバイアスするカソード電源の出力を調整することによって、イオン源電位に向かう電流を制御する。

3. イオン源動作モードの違いと比較実験結果

3.1 「イオンポンプ」モード

分子イオンは逐次衝突により容易に分解してしまう性質を持つ。したがって、典型的なアーク放電イオン源では、高アーク電流によって生成された高密度プラズマ中において、分子イオンをそのままのかたちで維持するのが困難である。そこでLUXIONで使用されているイオン源は、分子イオンをより多く維持するためにイオン源パラメータを調整できるように設計されている。このとき、イオン源は「イオンポンプ」モードで運転され、正電位に設定されたアノード電極により、カソードから放出された電子はアノード電極付近で局所的にプラズマ電位が高いプラズマが生成される。この局所的に生成されたプラズマでは、逐次衝突は抑制され、分子イオンは保存される傾向がある。この放電のプラズマ密度は、アノード電流に比例し、アノードの電位に対して増加関数である。この放電により生成されたイオンは、正電位のアノードとイオン源チャンバとの間に発生する電界によってイオン源チャンバ内に押し出される。イオンポンプモードの導入により、アーク電流が比較的大きい場合でも分子イオンを維持することが可能となった。

3.2 「シングルイオン」モード

0Vのアノード電位では、イオン化はイオン源チャンバとカソード間で生じる。このとき、分子イオンは逐次衝突によって容易に分解されるため、この運転条件では分子イオンを維持するのが困難である。この際、プラズマは、アーク電流、エミッタ電圧の増加と共に B^+ の割合も増加し、単原子イオンは、十分に閉じ込められたプラズマ中での電子の逐次衝突によって容易に生成される。このイオン源動作を「シングルイオン」モードと呼ぶ。

3.3 二つのモードの比較実験と結果

BF_3 プラズマを用いてシングルイオンモードとイオンポンプモードの間の単原子および分子イオンの割合を比較した。その割合はガスの流量にも依存するが、本試験ではそれぞれのモードで最適化している。図4は、シングルイオンモードにおけるアーク電流に対する B^+ 、 F^+ および BF_2^+ のビーム電流および BF_2^+/B^+ の比を示す。ビームエネルギーは30keVである。 B^+ および F^+ のような単原子イオンのビーム電流はアーク電流に比例して増加する。しかし BF_2^+ の電流はアーク電流に関係なくほぼ一定であった。また、 BF_2^+/B^+ の比は2から0.5に減少した。これは大電流分子イオンビームを得ることが困難であることを

示している。

図5は、イオンポンプモードにおけるアーク電流に対する B^+ 、 F^+ および BF_2^+ のビーム電流および BF_2^+/B^+ の比を示し、イオン源パラメータは分子イオン取得に最適化されている。アーク電流が大きい場合でも、 BF_2^+ のビーム電流はアーク電流にほぼ比例して増加する。ここから、イオンポンプモードでは、アーク電流を増加させることによって、シングルイオンモードよりも高い BF_2^+ ビーム電流を得ることができることがわかる。イオンポンプモードの BF_2^+/B^+ 比はシングルイオンモードのその数倍であった。これは、プラズマ中の単原子イオンと分子イオンの割合が、イオン源パラメータによって変化することを意味する。図6は、シングルイオンモードおよびイオンポンプモードにおける BF_3 マススペクトルを示す。イオンポンプモードでは、 BF_2^+ 電流はシングルイオンモードと比べて2倍以上増加する一方で、 B^+ と F^+ はシングルイオンモードに比べて約半分減少することがわかった。

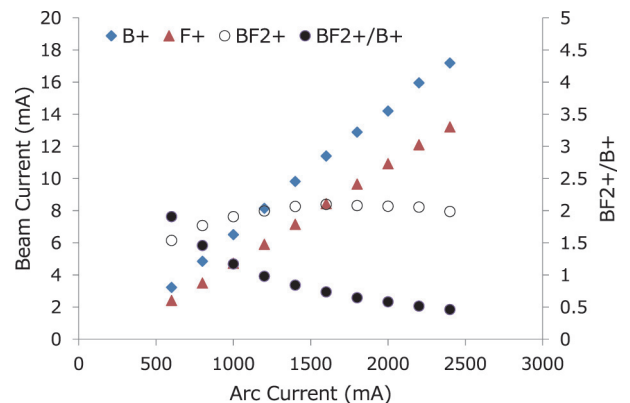


図4 シングルイオンモードにおけるアーク電流に対する B^+ 、 F^+ および BF_2^+ のビーム電流および BF_2^+/B^+ の比

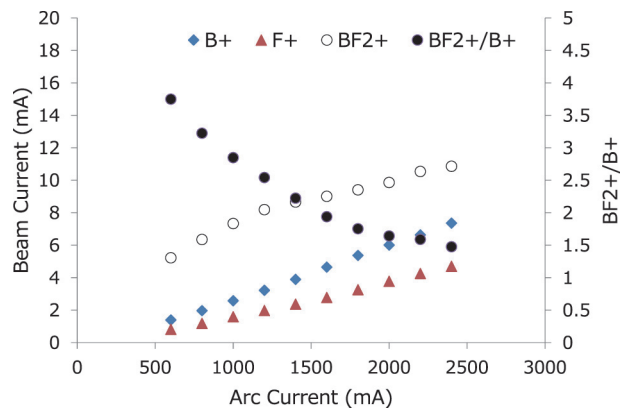


図5 イオンポンプモードにおけるアーク電流に対する B^+ 、 F^+ および BF_2^+ のビーム電流および BF_2^+/B^+ の比

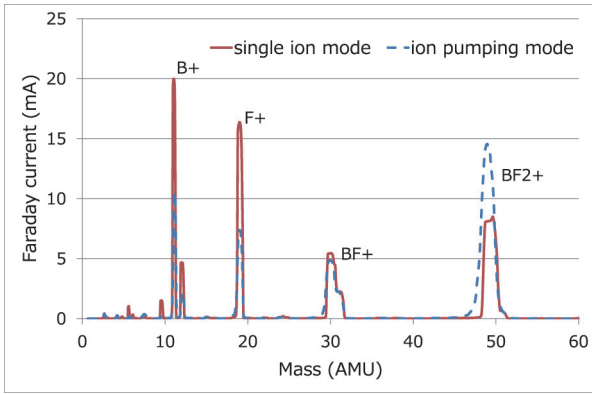


図6 各イオン源モードで取得したBF₃のマッスペクトル

AsH₃ガスについては、BF₃プラズマ中のシングルイオンと分子イオンの議論と同様な二量体イオンと四量体イオンだけでなく、二価イオンとシングルイオンの割合についても議論する。AsH₃プラズマ中の各イオン種の発生は、イオン源パラメータに依存する。二価イオンは、通常のシングルイオンモードよりも高いエミッタ電圧および低いガス流量の条件によって発生する。この状態を「ダブルチャージ」モードと呼ぶ。一方、二量体イオンおよび四量体イオンは、低エミッタ電圧および高ガス流量の条件で調整するだけではあまり生成されない。高いアノード電圧は分子イオン生成にとって重要な条件である。図7にシングルイオンモードでのAsH₃のマッスペクトルを示す。ビームエネルギーは15keVである。マッスペクトルによると、主成分はシングルイオンである。その次は二価イオンと二量体イオンである。四量体イオンのビーム電流はシングルイオンの1%未満である。図8は、シングルイオンモード、ダブルチャージモードおよびイオンポンプモードにおけるシングルイオンに対する二価、二量体および四量体イオンの比を示す。ダブルチャージモードでは、二価イオンの比率は0.25以上であり、他の二つのモードと比べて最も大きかった。対照的に、二量体イオンと四量体イオンの比はイオンポンプモードで最大となった。特に、四量体イオンの比率は、シングルイオンモードの場合と比較して約3倍増加した。以上から、ダブルチャージモード、シングルイオンモード、およびイオンポンプモードなどのイオン源パラメータの最適化によって、二価、単原子、二量体または四量体を選択的に得ることができることがわかった。

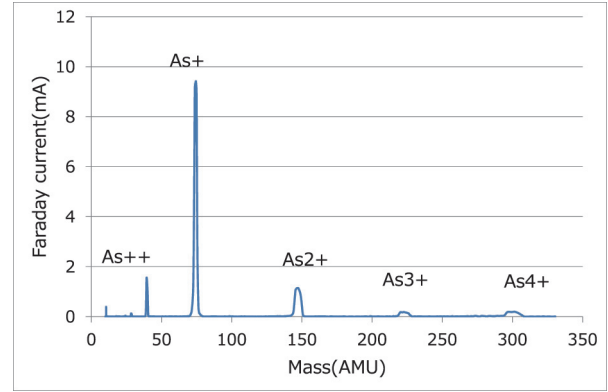


図7 シングルイオンモードでのAsH₃のマッスペクトル

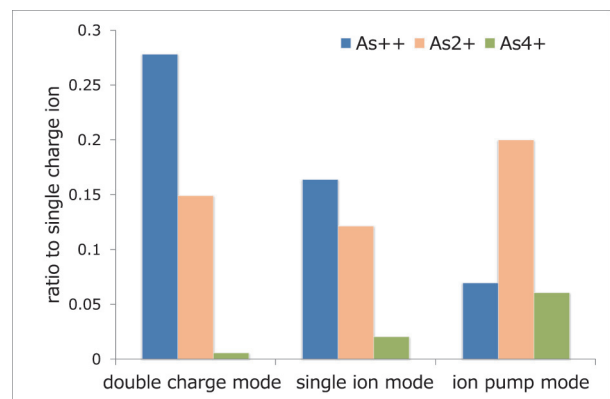


図8 一価、モノマーイオンに対する二価、二量体および四量体イオンの比

3. 4 イオン源パラメータの変更とビームの形状

イオン源パラメータを変えることでプラズマ内のイオンの割合を変更することはできるが、複数のガス注入口の流量比が同じであれば、引出されるビームの形状は変わらない。イオン源パラメータをシングルイオンモードからイオンポンプモードまたはダブルチャージモードに変更しても、ビーム形状はほぼ同じである。図9で、図1に示したソースプロファイラで測定されたシングルイオンモードとイオンポンプモードのBF₃ビームの形状を示す。各モードのビーム均一性は約1%で、ビームの形状はほぼ同じである。イオン源のモードがビーム形状や均一性に影響を与えないことを確認した。

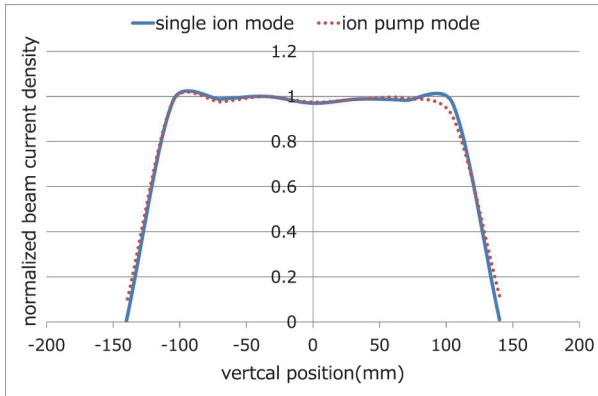


図9 シングルイオンモードとイオンポンプモードにおけるBF₃ビームの形状

4. 結論

イオン源パラメータを最適化することで、シングルイオンと分子イオンの比率を変えることができた。イオンポンプモードでは、単原子イオンに対する分子イオンの比 (BF₂⁺/B⁺) は、低アーク電流でのシングルイオンモードの場合と比較して2倍増加し、高アーク電流では、3倍を超えた。

AsH₃については、二価、二量体および四量体イオンの単原子イオンに対する比を、イオン源のモードによって変えることができた。ダブルチャージモードではAs⁺⁺/As⁺は0.25以上であったのに対し、イオンポンプモードでは0.1以下であった。対照的に、As⁴⁺/As⁺は、二価モードでは0.006であり、イオンポンプモード

では0.06になった。イオン源モードを最適化することで、この比率は約10倍になった。

また、イオン源パラメータを大幅に変更しても、ビームの形状と均一性はほぼ同じに保たれることも確認した。

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, T. Igo, K. Tanaka, T. Yamamoto, H. Une, H. Asai, M. Hino, S. Umisedo, Y. Nakashima, N. Hamamoto, T. N. Horsky, S. K. Hahto, K. Sekar, High Current Ion Implanter: "LUXiON", IIT2016. p213.
- (2) T. N. Horsky, S. K. Hahto, T. Yamamoto, Novel Ion Source For the Production of Extended Sheet Beams, IIT2016. p112.
- (3) M.kawamura, T. Yamamoto, Y. Kuwata, S. Sakai, N. Hamamoto, Optimization of the Ion Source Parameters to Change the Proportion of Single and Molecular Ions in Plasma, IIT2018, p320.

(注) 「LUXiON」は日新イオン機器(株)の登録商標です。

執筆者紹介



阪本 崇 Takashi Sakamoto
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部
主任



川村 昌充 Masamitsu Kawamura
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部



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



酒井 滋樹 Shigeki Sakai
日新イオン機器株式会社
イオンビーム機器事業部
技術主幹



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長