

# 特 集 論 文

## 中電流イオン注入装置 BeyEX

Medium Current Ion Implanter BeyEX

宇 治 伸 広*	舟 木 瑛*
N. Uji	A. Funaki
上 野 宏 優*	王 建*
K. Ueno	J. Wang
中 村 光 則*	
M. Nakamura	

### 概要

ロジック、メモリ、CMOSイメージセンサ市場での最先端デバイス製造装置として、中電流イオン注入装置BeyEXを開発した。ロジック向けでは、10nm世代に対応するパーティクル低減やビーム形状制御が必要であり、メモリ向けでは、3D積層構造に対応するビーム角度制御能力、ビーム電流、効率改善による高生産性が要求される。本論文では上記課題に対応した装置であるBeyEXについて紹介する。

### Synopsis

We have developed a new medium current ion implanter BeyEX for manufacturing the most advanced devices in the logic, memory and CMOS image-sensor markets. For making the logic devices based on the 10nm process rules, it is necessary to restrain the particle generation and control the beam shape. For the memory device market, higher productivity by improving the beam angle controllability corresponding to the 3D laminated structure, the beam current quantity, and the overall efficiency are required. In this paper, we will introduce BeyEX which can respond to the requirements mentioned above.

### 1. はじめに

スマートフォン市場が急成長し、アプリケーションプロセッサ、イメージセンサのメーカーやファウンダーからの微細化要求に応えられる装置性能の向上が強く求められている。特に、パーティクルレス化と生産性向上への対応が必要であり、ビーム電流増大と効率改善が喫緊の課題となってきた。そこで、2015年、EXCEED3000AHをベースに、上記したような顧客からの要求に応えられる装置として、これまで蓄積してきた技術を盛り込んだBeyEX (Beyond EXCEED) をリリースした。

### 2. 装置概要

BeyEXは、ビーム発生用イオン源として傍熱型 (IHC:

Indirectly Heated Cathode) を採用し、引き出されたイオンビームは質量分析電磁石で分析された後、アイソツェルレンズを応用した収束電極付き加速管で所望エネルギーに加減速される。続いて、FEM (Final Energy Magnet) にて、加速管内で発生したエネルギーコンタミネーション成分が完全に除去される。その後、鉄心を樹脂でコーティングした磁界スキャンマグネット (BSM) とコリメータマグネット (COL) の組み合わせで、水平方向にシート状の平行ビームが作られ、機械的駆動 (メカニカルスキャン) により垂直運動を行なうエンドステーション内のウェーハに均一に注入される。

この装置の最大加速エネルギーは960 keV (3価イオン使用時) である。

\*日新イオン機器株式会社



図1 中電流イオン注入装置

### 3. 機能の概要

低エネルギー領域でのビーム電流増大のために、上記BSM部とCOL部を接続するMuffチャンバ内に永久磁石による収束レンズを組み込んだMuffマグネットを搭載している。

パーティクル管理レベルとして、300mmウェーハに対して、粒径32nm以上が5pc以下という特に厳しい要求のある顧客に対しては、メカニカルスキャン装置の軸受け構造を改良したりニアスライドを特別オプションとして提供している。

また、搬送時の振動や滑りを抑制することでウェーハのエッジパーティクルの発生を防止するとともに、ソフトな接触によりウェーハ裏面での傷発生防止効果があるシリコンラバーを、真空側ロボットハンドのウェーハ接触箇所に設置している。

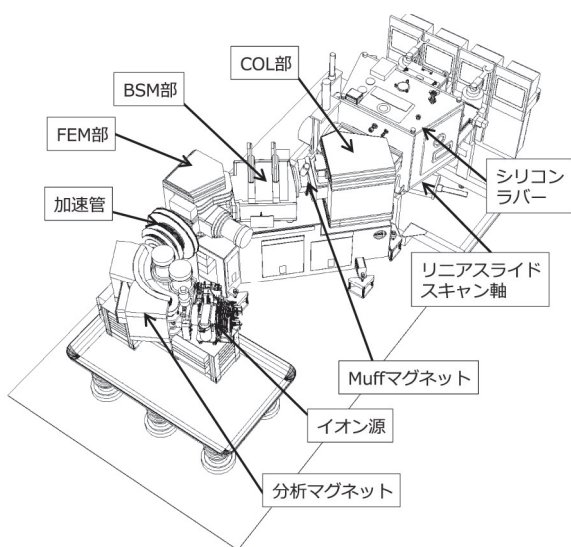


図2 中電流イオン注入装置概略図

## 4. Muffマグネット

### 4.1 Muffマグネットの構成

Muffマグネットはイオンビームを水平方向にスイープするBSMと平行度の補正を行うCOLを連結するMuffチャンバ内に、低エネルギービーム電流の増大を目的として組み込んだ永久磁石による収束レンズである。

### 4.2 Muffマグネットの作動原理

一組の逆極性の永久磁石をイオンビームに対してある角度 $\theta$ だけ傾けて配置することで、内向きに発生する磁場（ローレンツ力）によって、イオンビームを鉛直方向に収束させることができる。ローレンツ力 $F$ を一定に保持するためには、磁場 $B$ とビーム進行方向 $v$ のなす角度 $\alpha$ が一定である必要がある（ $v$ と $B$ の大きさは一定とする）。図3に永久磁石による縦収束の原理を示す。

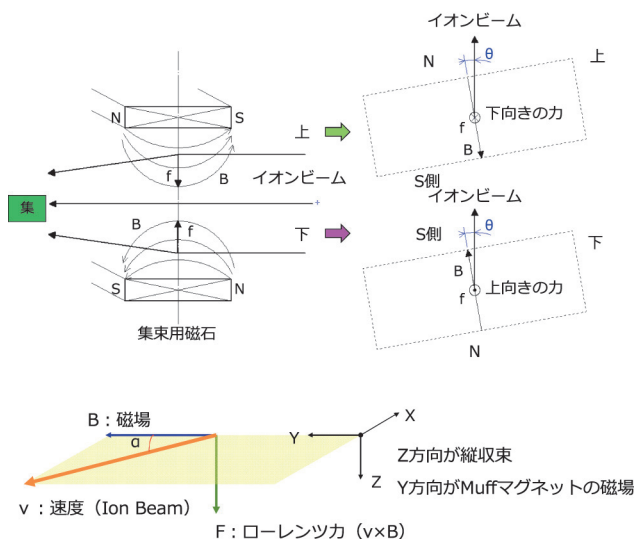


図3 永久磁石による縦収束の原理

なお、MuffマグネットはBSMの下流に設置されているので、イオンビームは水平方向にスイープされた状態でMuffマグネットに入射される。そのため、スイープされる領域内で収束力が一定になるように磁極を扇形に配列して取り付けている。図4に磁極の配列形状を示す。

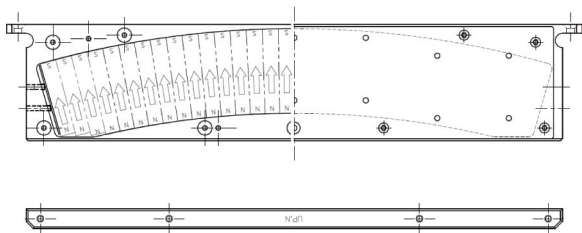


図4 磁極の配列形状

### 4. 3 Muffマグネットによるビーム電流増大効果

Muffマグネットを搭載することにより $B^+10\text{keV}$ の条件にてビーム電流を $2000\mu\text{A}$ まで引き上げることを可能にしている。永久磁石による磁場によってイオンビームを取束させているため、質量の小さいイオンに対して、低エネルギー領域で使用の際に、特に効果的である。

## 5. リニアスライド

### 5. 1 リニアスライドの構造

リニアスライドは、軸の保持と真空気密の維持を目的として、エアベアリング、スキャン軸、差動排気装置、エア供給ユニット、ボールねじ、モータで構成される機器である。エアベアリングとは、すべり軸受の一種で直線運動する軸をエアで保持する機構である。軸保持に必要なエアは、エア供給ユニット内から導入される。

また、差動排気部にて、常時エアを排気し続けることでターゲットチャンバ内の真空気密を維持している。図5にリニアスライドの構造を示す。

スキャン軸をエアで保持しながら上下運動させるためには、軸とハウジングの隙間を常に約 $10\mu\text{m}$ に保つ必要があり、その実現のために、ボールねじとスキャン軸との間の軸ズレの吸収や、エア供給ユニット内の圧力・流量・クリーン度の管理を厳しく行っている。

スキャン軸とハウジングの隙間を確保せずに、軸を駆動すると、軸もしくはハウジングが傷つき、保持が出来なくなる、気密が保てなくなる等の問題が発生する恐れがある。この不具合の防止策として、スキャン軸とハウジングの隙間を常時監視する非接触式変位センサを搭載し、トラブル発生時には、両者が接触する前にスキャン動作を停止させるシステムを構築した。

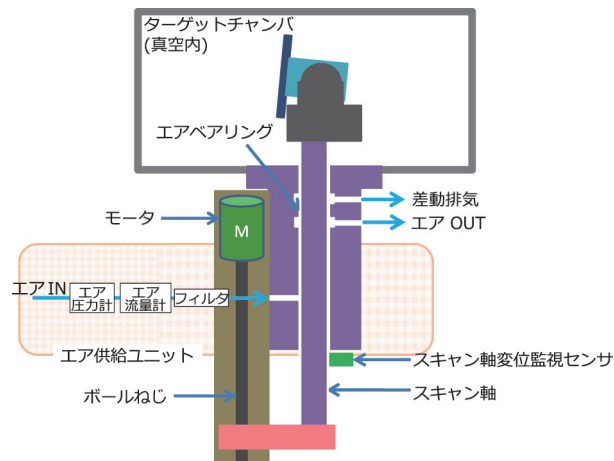


図5 リニアスライドの構造

### 5. 2 リニアスライドのパーティクル低減効果

従来、スキャン軸の駆動には、接触式のベアリングを採用していたため、シール部にグリースを塗布する必要があった。また、軸の上下運動の繰り返しの伴って、このグリースがターゲットチャンバ内に漏出して、パーティクル発生の原因になるとされていた。

一方、リニアスライドでは、非接触式のエアベアリングを採用しているため、シール部のグリースは不要であり、ターゲットチャンバ内への漏出问题が生じないので、パーティクルの低減を図ることができる。

### 5. 3 リニアスライドのメンテナンス性

従来のスキャン軸では、定期的に軸シール部へのグリース給油が必要であった。この作業を行うためには、ターゲットチャンバを大気開放する必要があったため、非常に時間がかかっていたが、リニアスライドでは、このグリース給油作業自体が不要となる。

## 6. シリコンラバーによるパーティクル低減

### 6. 1 パーティクル発生の原因

図6に示すように、ウェーハは $A \rightarrow B \rightarrow C$ の半円軌道に沿って搬送される。搬送速度の増大により、ウェーハにかかる遠心力が大きくなると、ウェーハがチャック上で滑って、その側面部に接触することがあり、突発的なパーティクル増加の原因となっている。図7に、このパーティクル発生メカニズムを示す。

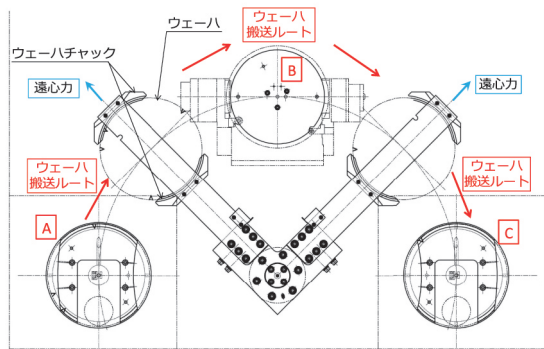


図6 ウェーハ搬送略図

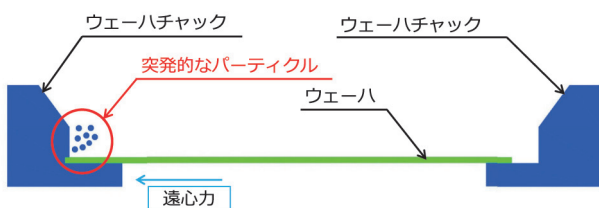


図7 パーティクル発生メカニズム

### 6.2 パーティクル発生防止方法

前述したパーティクル問題の解決策として、ウェーハチャック上にシリコンラバーを設置し、そのグリップ力でウェーハの滑りを防止する方法を採用している。図8にパーティクル発生防止方法の概念図を示す。

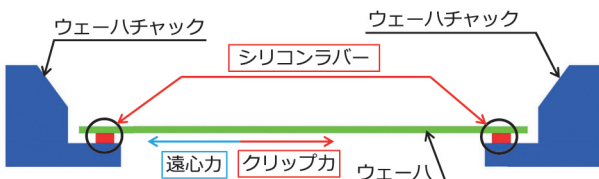


図8 パーティクル発生防止方法

### 6.3 シリコンラバーによるパーティクル低減効果

図9に、ウェーハチャックにシリコンラバーを設置していない場合と設置した場合のパーティクル発生量を比較した実験の結果を示す。ここで、縦軸はパーティクルの個数、横軸は発生量測定タイミングを示しており、楕円形で囲んだケースにおいて、突発的なパーティクル発生が起きている。

ラバーを設置することで、ウェーハ搬送が安定し、突発的なパーティクルの発生がほとんど起こらなくなっていることが分かる。

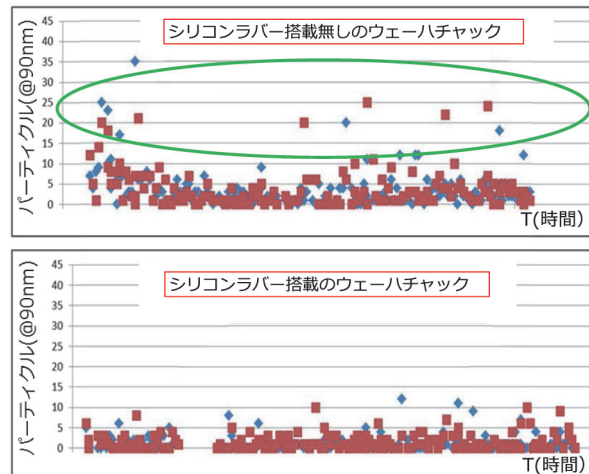


図9 シリコンラバー設置効果検証データ

### 6.4 シリコンラバーの特徴

シリコンラバーには、下記のような特徴があり、今回の用途に最適な材料であると考えている。

- ①フラットな面を持った対象物のグリップに最適であり、Siウェーハのような鏡面仕上げされている物体でも、固定グリップすることができる。
- ②グリップ原理が物理的または化学的なものであるため、外部からのエネルギー供給が必要ない。
- ③真空中での使用が可能である。
- ④接触面の材質がゴム（弾性体）であるため、ウェーハ裏面を傷付けることがない。

### 7. 今後の取り組み

パワーデバイスの製造に際して、中電流イオン注入機による高エネルギー注入処理の工程が増加している。この顧客要求に対応するためには、多価イオンの注入が必要となる。多価イオンのビーム電流を増加させるため、アーク電圧を上げるための開発を実施している。

メタルコンタミネーションの徹底削減要求もさらに厳しくなっているので、その解決策として、メタルフリーの（金属材料を用いない）イオン源の開発を進めている。

質量分析電磁石（SAM）通過後、ビームに一定の電圧を印加することによって、イオン源（アークチャンバ・引出電極間）で生成されたエネルギーコンタミネーション成分を除去すると同時に、ビームサイズを制御することが可能なエネルギーフィルタの開発も進めている。



## 8. まとめ

イオン注入装置に要求される技術、性能は、日々厳しくなっている。このような顧客の要求に応えるべく、最先端デバイスの生産にも対応可能な装置の開発を今後も継続し、半導体産業の発展に貢献していく所存である。

## 参考文献

- (1) 内藤 他, 「イオン注入装置事業と技術のあゆみ」  
日新電機技報 Vol.62, No.1, pp.146-147, (2017.3)

---

## 執筆者紹介

---



宇治 伸広 Nobuhiro Uji  
日新イオン機器株式会社  
イオンビーム機器事業部  
主任



舟木 瑛 Akira Funaki  
日新イオン機器株式会社  
イオンビーム機器事業部



上野 宏優 Koyu Ueno  
日新イオン機器株式会社  
イオンビーム機器事業部



王 建 Jian Wang  
日新イオン機器株式会社  
イオンビーム機器事業部



中村 光則 Mitsunori Nakamura  
日新イオン機器株式会社  
イオンビーム機器事業部  
エキスパート