

## 〔8〕 イオン注入装置

エレクトロニクスにおけるテクノロジードライバーは、スマートフォンに搭載されるデバイスであり、半導体では3次元化が進むアプリケーションプロセッサやNANDフラッシュメモリそしてイメージセンサ、ディスプレイでは低温ポリシリコンTFTを使う高精細液晶や有機ELデバイスであるとされる。これら何れのデバイスについても、その製造にはイオン注入プロセスが必要であるが、テクノロジードライバーゆえに、その製造プロセスとしてのイオン注入技術も進化・革新していくことが必須である。高精細液晶や有機ELデバイスは、スマートフォンだけではなく、車載用の表示デバイスとしても市場が拡大している。また、車載用の半導体デバイスとしては、高効率なSiCデバイスの採用が、今後、進むと考えられており、これらのデバイスの製造において性能優位に立つイオン注入装置を適時、市場に供給することにより新規需要の拡大が期待できる。

これらのディスプレイデバイスは、これまで主に日本および韓国のメーカーが供給してきたが、中国政府が国策としてディスプレイ産業の育成を推進しており、大規模な増産が計画され積極的な投資が行われている。半導体デバイスの製造においては、複雑かつ高難度のプロセス技術と微細化に伴う巨額な開発費が必要となるため、デバイスメーカーと半導体製造装置メーカーのいずれにおいてもアライアンスやM&Aを含めた業界の再編成が進みつつある。また、IoT (Internet of Things) の進展とともにデバイス需要の拡大が期待されることから、アライアンスによる中国での大規模工場建設が計画されている。更には、米国でも製造回帰的な動きがみられるように市場環境が大きく変動しつつある。このような市場の動きに対応して、半導体の微細化やディスプレイの高精細化が進むにつれて、イオン注入装置に要求される性能は増々厳しくなっているのが現状であり、当社においては、最先端デバイスへの対応や生産性向上などの顧客要求に応え得る装置の開発を不断に継続している。

2016年成果の概要は次のとおりである。ディスプレイ製造用の第6世代ガラス基板向けイオン注入装置“iG6”は、引き続きマーケットシェア100%を維持しつつ、今後の高精細化に対応すべく、パーティクル低減やチャージアップ防止などのプロセス性能の改善に加えて生産性の向上を図るための開発を推進しており、次期装置のリリースを準備中である。また半導体製造用中電流イオン注入装置においては、従来のEXCEEDシリーズでの各種開発要素を集大成した新型装置“BeyEX”を昨年リリースし納入を開始したことに加えて、レガシービジネス強化という観点から標準12インチ機EXCEED3000AHをベースにした8インチ専用機EXCEED3000AH-8Cを短期間で開発して顧客に納入した。パワーデバイス向けイオン注入装置“IMPHEAT”については、顧客の本格的な量産に備えて、ウェーハクランプ方式の改良を行うことで、大幅なスループットの向上と搬送安定性の改善を実現した。クラスターイオン注入装置“CLARIS”は、イメージセンサデバイスの製造工程中のゲッターリング層形成に適用されて、特性のバラツキを低減することが認められているが、アスペクト比がきわめて大きい深いトレンチ底面への注入にも有効と考えられるため、このプロセスへの適用も検討されている。

(日新イオン機器株式会社)

### 8. 1 フラットパネルディスプレイ (FPD) 製造用イオン注入装置 iG6

中小型FPDパネルはスマートフォン需要がけん引する市場である。2016年は、ある有力スマートフォンメーカーが次期機種において液晶パネルではなく有機ELを採用するとの情報が流れたことから、パネルメーカーの中には開発・設備投資計画の大幅な見直しを迫られると

ころも出てくる状況であったが、当社の供給するイオンドーピング装置 (iGシリーズ) は、液晶・有機ELに関係なく必要とされるため、中国市場を中心として着実に受注を重ねることができた。

当社は数年来イオンドーピング装置市場でのリー

ディングカンパニーであるが、この良好な状態を今後さらに強固にすべく精力的な開発を継続している。昨年はボロン・リンの両ドーパントにおいて大電流ビームを効率よく引き出すことを可能にする機構や、デバイスの静電破壊防止とパーティクルの低減を実現する新型PFG (Plasma Flood Gun) の開発など複数の領域で大きな進展があった。これらの成果は、近く販売を開始する次期装置に適用する予定としており、今後も引き続きお客様に最高の価値を提供していく所存である。またこれと並行して、将来大きな市場成長が見込まれているフレキシブルディスプレイに対応した装置も開発中である。

さらに、当社が得意とする大面積ビームの技術を不純物ドーパント注入以外の産業分野に応用するための検討にも着手している。過去において、他分野への展開に成功したものの一例としては、単結晶ウェーハ表面の剥離プロセスに使用するマルチウェーハハンドリング方式の大面積水素ビーム注入装置iG4HYがある。現

在、この成功例に続くべく多数のテーマでの基礎研究を進めており、ガラスの強化や物質表面へのナノ突起形成などの研究成果を産業応用につなげようと努力している。

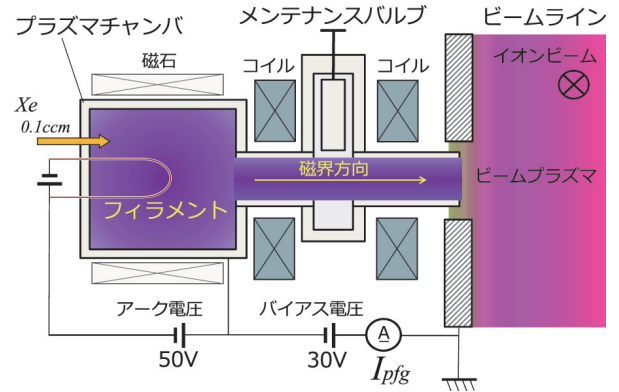


図1 PFG概略図

## 8. 2 半導体製造用イオン注入装置

### 8. 2. 1 中電流イオン注入装置 BeyEX

当社の半導体デバイス向け主力イオン注入装置であるEXCEEDシリーズは、その安定した生産性と稼働率について、各デバイスメカである顧客より高い評価を受けているが、さらなる微細化対応への要求に応えるため、引き続き技術開発を実施している。

昨年は、EXCEEDシリーズの後継機種であるBeyEX (Beyond EXCEED) をリリースし、複数顧客へ納入した。従来のEXCEEDシリーズと比較して、生産性やプロセス品質が大きく改善しただけではなく、ユーザーインターフェースの操作性、省エネ性、メンテナンス性に関しても大幅な向上を実現している。

また、搬送機構の改良によるメカニカルスループットの向上、システムの改良による注入効率の向上、全エネルギー・全イオン種に対するビーム電流量の増加という3項目を主軸に、さらなる生産性の向上を目指した開発を進めた。特に、ビーム電流量の増加に関しては、従来の静電チャックによる冷却性能の限界から高電流ビームでの注入が制限されていたが、冷却性能を向上することで、より高ビーム電流での注入を実現した。

生産性の向上だけでなく、半導体デバイスの微細化に伴うパーティクルの低減やイメージセンサの高感度化に伴う金属汚染の低減要求など、プロセス品質の

改善にも引き続き取り組んでいる。金属汚染に関しては、以前から取り組んでいるビームラインの金属露出部分の保護強化による改善に加えて、汚染ゼロを実現できるような新たな機構の開発も進めている。

また、12インチウェーハ専用機であったEXCEED3000AHの派生機として、性能と機能は同様のまま、搬送用プラットフォームだけを変えた8インチウェーハ専用機、EXCEED3000AH-8Cを開発し、納入した。

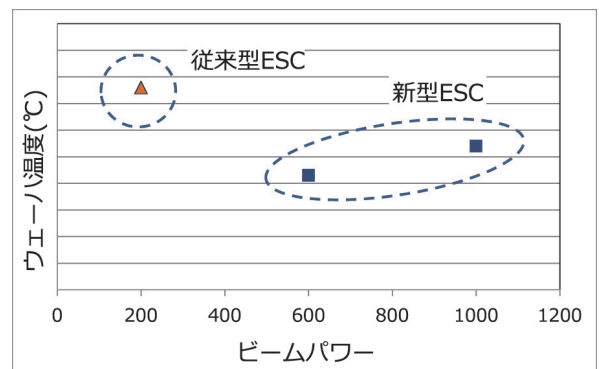


図2 静電チャック冷却性能比較

## 8. 2. 2 SiCパワーデバイス向けイオン注入装置 IMPHEAT

SiCパワーデバイスは、高耐圧、小型、低損失、高速・高温動作が可能であるため、Siパワーデバイスの性能を大きく上回る次世代パワーデバイスとして期待されており、各デバイスメーカーで本格的な量産が開始されつつある。

SiCデバイスの製造においても、イオン注入工程が必要であるが、Siデバイスと比べてイオン注入後の結晶欠陥が回復し難いという問題があり、SiCウェーハを500°C前後に加熱しながら注入する事が必要である。当社は2009年よりSiCウェーハ向けの高温イオン注入装置の開発を開始し、2015年時点で4インチ、6インチSiCウェーハ向けの量産機を市場に投入している。

2011年の初号機納入以降、ウェーハの自動搬送システムの開発、搬送シーケンスの最適化、ウェーハ面内の温度均一性向上、チャージアップ防止用高周波型プラズマフラッドガン（RF-PFG）の搭載など、顧客よ

り要求される量産装置としての性能実現に向けた開発を継続してきた。今年度はこれまで取り組んできた搬送のスループットと安定性を大幅に向上させる為の機構開発を行った。具体的には、ウェーハを機械的に抑える構造（メカニカルクランプ）を採用することで、従来比3倍の搬送スループットの実現に成功している。また、Siウェーハと比較してSiCウェーハは反りや歪みなどが大きいため、静電吸着が出来ないという問題があったが、メカニカルクランプにすることによって、反りや歪みが大きいウェーハについても吸着、高温注入処理が可能になっている。その他、更なる生産性の向上を目指して、高エネルギーでの処理能力を向上させるための多価イオンビーム電流量の増大や、搬送スループット改善のための更なる開発を引き続き行っている。

## 8. 2. 3 クラスタイオン注入装置 CLARIS

クラスタイオン注入は、従来のモノマーイオン注入と比べて多原子イオン（10個～数10個の原子からなるイオン）を注入できるため、半導体デバイスの微細化、三次元化に対して優位性を持ち、高性能化の実現に有効な技術である。当社製品であるCLARISは、クラスタイオン注入が可能な唯一の量産イオン注入装置である。

トランジスタの微細化やデバイス構造の三次元化に際しての課題の一つに素子間バラツキの増加があり、イオン注入工程において、正確な注入量と注入角度の制御が要求される。角度制御の向上には、注入角度の正確な測定と補正に加えて、ビームの発散制御が必要である。クラスタイオンはモノマーイオンと比較して極めて発散角が小さいという特徴を持っている。イオンビームは電界の方向に加速されるが、ビーム内イオンによる空間電荷により発散する。その発散角は、ビーム電流（電荷量）は小さい方が、イオンの質量や速度は大きい方が小さくなる。

クラスタイオンとして $B_{18}H_x^+$ （オクタデカボラン）を用いて、モノマーイオンである $B^+$ を用いる場合と同一の条件（注入ドーズ量、注入時間、注入深さを同一にするという条件）でBの注入を行うことを考えると、ビーム電流は1/18、イオン質量は約20倍になるため、空間電荷による発散は非常に小さくなり、極めて直進性の高いイオンビームを得ることができる。この高い直進性は、ゲート電極とソースドレイン拡散層との重

なりの正確な制御を可能とし、素子特性のバラツキ低減に寄与することができる。また開口幅が狭いディープトレンチの底面へのドーピングに対しても有効である。

さらに、素子形成領域の近傍に重金属などの不純物を捕捉するための領域を形成する近接ゲッターリング技術においても、カーボンクラスタイオンの注入で高いゲッターリング能力を付与することができ、金属汚染の影響による素子特性のバラツキが低減できる。

現在、多数の顧客において、クラスタイオン注入技術の適用が検討されており、性能評価が進行中である。



図3 クラスタイオン注入装置 CLARIS