

## 〔8〕 イオン注入装置

2015年度の半導体デバイス及びディスプレイ市場における動向は、ここ数年と同様にスマートフォン等の携帯情報端末の需要がデバイスメーカーの生産を推し進めている。イオン注入プロセスが必要な低温ポリシリコン型及び有機EL型の高精細な中小型パネルの需要はスマートフォンに加え車載用にも拡大すると考えられ、2018年には現行のアモルファスシリコン型の出荷量を上回ると予測されている。これらのディスプレイ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、今後は中国での大規模な増産が計画されている。これは中国政府が国策として中小型ディスプレイ産業の立ち上げを推進しているため、ここ数年は積極的な投資が行われている。半導体デバイス市場においても携帯情報端末向けのデバイス、すなわち低消費電力CPU、フラッシュメモリおよびイメージセンサの需要がデバイスの生産を牽引している。微細化に伴い、CPUの分野に加え、フラッシュメモリも3次元トランジスタ化が進み量産が開始されている。一方3次元デバイスを製造するためにはこれまで以上に複雑かつ難易度の高いプロセス技術、また微細化に伴う巨額な開発費が必要となり、デバイスメーカー及び半導体製造装置メーカーいずれにおいてもアライアンスやM&Aを含めた再編成が進みつつある。

半導体の微細化及びディスプレイの高精細化に伴いイオン注入装置に要求される性能は日増しに厳しくなっており、このような顧客の要求に応えるべく最先端デバイスにも対応可能な装置開発を継続、リリースを行っている。ディスプレイ向けのイオン注入装置6世代ガラス基板向け装置“iG6”は他社の追従を許さず引き続きマーケットシェア100%を維持しているが、今後の高精細化に対応すべくパーティクル削減やチャージアップ防止などのプロセス性能向上開発に加え生産性向上の開発を推進し、次期装置リリースを準備中である。また半導体向け中電流イオン注入装置では、これまでEXCEEDシリーズで実施してきた各開発要素を集大成した新型中電流装置“BeyEX”をリリース、顧客に納入した。パワーデバイス向けイオン注入装置“IMPHEAT”は顧客の本格的な量産に備え、稼働率及びスループットの改善を実施した。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でゲッターリング等のプロセスにおいて良好な結果が出ており、各顧客でプロセス適用のための評価が進行中である。

(日新イオン機器株式会社)

### 8. 1 FPD製造用イオン注入装置 iG6

近年のFPD産業において最もその動向が注目されているのは中国である。これまでの高精細パネル市場は日本、韓国が優勢だったが、ここ数年、中国で続々と新興パネルメーカーが立ち上がり、生産能力を拡大させている。その増産投資は著しく、近い将来には中国拠点のパネル生産能力は日本、韓国を追い越すとまで言われている。そのため、高精細パネルの製造において必須である当社のFPD用イオン注入装置(iGシリーズ)のニーズは依然として高く、最近の追加・新規投資の顧客は韓国に加えて中国のパネルメーカーが増えてきており、これらの顧客への装置出荷に向け当社の生産拠点である滋賀工場はフル稼働状態を保ちつつある。

現iGシリーズに関してこれまで、生産性改善のためイオン源のクリーニング方法の開発や、放電時のエラー回避方法、放電対策などを行ってきた。その他にも顧客のニーズに迅速に対応することで、当社の注入装置は顧客から厚い信頼を得ている。

既存装置の課題解決を引き続き進める一方で、最近

では次期装置を念頭においた開発を進めている。生産性、稼働率改善の観点では、ビーム効率を大幅に改善し、装置負荷を減らしてメンテナンスを延ばすことを目的に電極支持枠や防着板の開発を行い、現装置より約10%低いアーク電流でボロン、リンの大電流ビームを効率良く引き出せることを確認した(図2)。また、稼働率に最も影響するフィラメントの長寿命化に関しては、現フィラメントに代わる新型電子源を開発中であり、プロセスガスでビームを引き出せるところまで確認した。さらに、静電破壊によるデバイス不良を無くす事を目的としてイオンビーム中により効率良く電子を供給できる新型PFGの開発を進めている。基板搬送系については、パーティクル対策に向けた開発や顧客から要望の出ている基板薄板化への対応を引き続き進めている。また、ソフト面では、ビーム制御時間や均一性を改善するための新規ツールもまもなく完成予定であり、これらの成果を搭載した次期量産機のリリース準備を着実に進めている。



図1 6世代基板用イオン注入装置 “iG6”

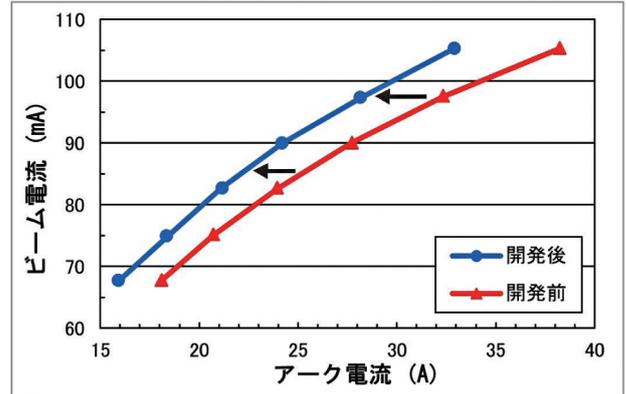


図2 アーク電流に対するビーム電流

## 8. 2 半導体製造用イオン注入装置

### 8. 2. 1 半導体向け中電流イオン注入装置 BeyEX

当社の主力半導体デバイス向け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及び稼働率から各デバイスメーカー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。

本年度は、EXCEEDシリーズの後継機種であるBeyEX (Beyond EXCEED) をリリース、顧客納入を実施した。従来のEXCEEDシリーズと比較して生産性及びプロセス品質が大幅に上回っており、省エネ性及びメンテナンス性に関しても向上することができた。現在既存顧客を含め商談が進行中である。

生産性向上の項目として、ウェーハ搬送システムの改善により従来の10%アップである500wfs/hというスループットを達成した。また、ビームラインに新たな電場及び磁場ビーム収束機構を搭載することで、低エネルギーを中心にビーム電流が最大150%改善された(図3)。その他、イオン源改良における寿命の大幅改善、ソフト改善によるビームセットアップ時間の短縮などにより、旧機種のEX3000AHと比較して全体としては平均60%程度の生産性向上を達成した。

プロセス品質の項目として、新たなビーム波形監視システムによる注入信頼性及び再現性の向上及び、水平方向、垂直方向の注入角度制御による注入均一性の向上も達成した。また、半導体デバイスの微細化に伴

うパーティクル低減の要求を受けて、注入機構部の構造最適化を実施した。さらにイメージセンサの高感度化に伴う金属汚染低減の要求を受けて、ビームラインからの金属汚染物質発生を防ぐための保護を強化している。またさらなる金属汚染低減を目指し、汚染金属物質を取り除くフィルタや新たなイオン源の開発も引き続き進めている。

その他の項目として、装置内部のレイアウト変更によりメンテナンス性の向上、インターフェースの操作性改善を実現した

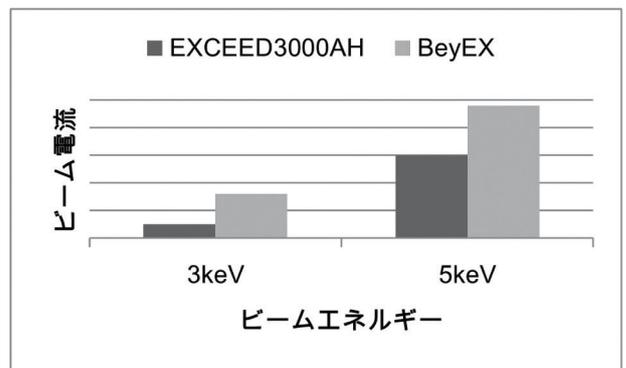


図3 低エネルギービーム量改善比較

### 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、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その活用が期待され、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デバイスの製作においても、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特有の問題があり、SiCウェーハを500℃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ウェーハ向けの高エネルギーイオン注入装置を開

発し、2015年時点で4インチ、6インチSiCウェーハ向けの連続自動処理可能な量産機を市場に投入している。

2011年度の初号機リリース以降、これまで継続的な開発として、ウェーハの自動搬送システム開発及び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、及び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改善を実現してきた。今年度は今後の本格的なデバイス量産に対応するため、イオン源の長寿命化、イオンビーム安定性の向上、及び搬送スループットのさらなる向上を実現する開発を行った。イオンビームの安定性向上については、長時間ビームを発生するとイオン源と引き出し電極間で放電が発生し、ビームが不安定になる問題点があった。今回最適化された引き出し電極を開発、搭載することで、これまでに比べ放電によるエラー発生頻度を4分の1以下に抑えることに成功した（図4）。また、搬送スループット

については搬送シーケンスの最適化と搬送系の改良を行い20%増大させた。これらの成果により大幅な装置稼働率および生産性の向上が実現した。今後他社との差別化の観点からさらなる搬送スループットの向上を目指し、搬送系の開発を引き続き行っている。

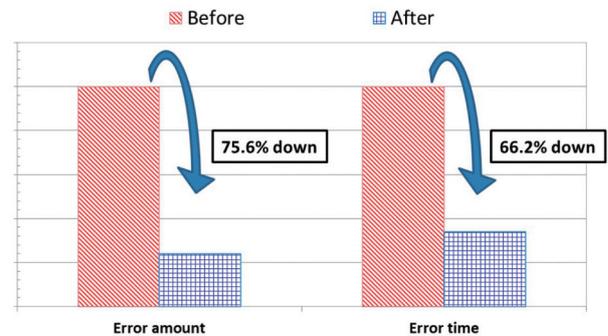


図4 引き出し電極最適化によるエラー低減

### 8. 2. 3 クラスタイオン注入装置 CLARIS

イメージセンサデバイスは、今後のIoT社会において非常に重要な役割を担うデバイスと見られており、イオン注入技術による更なる高性能化、高品質化が期待されている。

クラスタイオン注入は従来のモノマーイオン注入に比べ、接合の極浅化、高活性、高制御性、といった点で優位性があり、イメージセンサのピニング層形成、トレンチの反転層形成に対するアドバンテージがある。また、ゲッタリング層の形成においては、クラスタカーボン注入により、高いゲッタリング能力を得ることができる。

ピニング層はフォトダイオード表層の反転層であり、ピニング層の極浅化によりフォトダイオード層の体積を拡大でき、明時特性を向上させることができる。例えば、 $B_{18}H_x^+$ で4keVのエネルギーで注入すると、ボロン1原子あたりに与えられるエネルギーはその約1/20であり、モノマーボロンのエネルギーに換算すると約0.2keVに相当し、通常のイオン注入では均一性、ビーム電流のとれない極低エネルギー領域の注入が可能である。このことから、クラスタイオン注入を用いることで10nm以下の浅い接合を形成することができ、明暗特性の向上を実現できる。

トレンチへの反転層形成では、開口が狭く、深い溝の側壁、底面に注入する必要があるが、発散の大きなビームでは側壁上部に比べ、側壁下部、底面に注入される量が圧倒的に少なくなってしまう。クラスタイオン注入では発散の少ないビームで直進性の高いイオ

ン注入が可能であり、トレンチ側壁、底面への反転層形成において優位性がある。例えばモノマーボロンイオン $B^+$ は通常ボロン原子1個に対して1個の電荷であるのに対し、クラスタボロンイオン $B_{18}H_x^+$ は、ボロン原子18個に対して1個の電荷であり、空間中の電子による中和効果を見做すると、単純には1/18の空間電荷量となり、イオン同士の反発が少なく、発散を抑えた直進性の高い注入が可能となる。トレンチ側壁の反転層形成はリーク特性に大きな影響を与える重要なプロセスであり、クラスタイオン注入の適応によりリーク特性の改善が期待される。

現在多数顧客において、イメージセンサデバイスの特性向上のためクラスタイオン注入技術の適応が検討され、評価が進行中である。



図5 クラスタイオン注入装置 CLARIS