

〔8〕 イオン注入装置

2017年は、世界の主要地域における景況感改善を背景として、電子機器市場が好況であったため、ディスプレイデバイス、電子部品、半導体の市場も大きく伸長したが、半導体製造装置市場は、全体的にはそれほど伸長しなかった。このような状況の中で、製造装置も、製品の微細化・高速化・大容量化・低消費電力化・高生産性化に寄与するものでなければ受け入れられなくなっている。

スマートフォンに代表される中小型ディスプレイ市場は引き続き活況であり、ディスプレイだけでなく種々のデバイスの開発を促進させている。17年のキーワードは、“有機EL”であり、多くのディスプレイメーカーが液晶から有機ELへの移行を図っており、18年から19年にかけて有機ELがスマートフォンのメインディスプレイになる見通しである。

現在の有機ELディスプレイ製造プロセスにおいては、当社のディスプレイ製造用イオン注入装置が使用されており、第6世代ガラス基板向け装置である“iG6”は、引き続き100%のシェアを維持している。有機EL製造のためのプロセス技術は、めまぐるしく変化しているが、当社は顧客要求の変化に応え得る装置の開発を継続的にこなすことによって、リーディングカンパニーとしての責任を果たしている。半導体市場においても、スマートフォンに搭載されるデバイスがテクノロジードライバであり、3次元化が進むアプリケーションプロセッサ、NANDフラッシュメモリ、イメージセンサなどがそれに相当する。

半導体製造用イオン注入装置においても、これらの精密・複雑な製造プロセスに対応すべく不断の改良努力を続けている。中電流イオン注入装置BeyEXの開発に当たっては、パーティクルレス化を進めるとともに、生産性向上のために種々の手法に取り組んでいる。SiCパワーデバイス向け高温イオン注入機IMPHEATは、基板を保持する静電チャックにメカクランプを併用することによって、ウェーハの薄板化に対応すると同時に、スループットの飛躍的な改善を図った。さらに17年のトピックとして、新しいコンセプトによる大電流イオン注入機LUXiONを市場投入した。ディスプレイ製造用イオン注入装置で実績のある縦型細長ビーム+横方向1次元スキャン方式を採用し、大電流ビームによる高スループットを達成するとともに、半導体市場の厳しい仕様に應えるべく、これまで中電流機で培ってきた各種要素技術を集大成した装置になっており、必ず顧客の要求に応えられると考えている。

(日新イオン機器株式会社)

8. 1 ディスプレイ製造用イオン注入装置 iG6

当社は中小型ディスプレイパネル製造用のイオン注入装置を20年間にわたり開発、製造してきた。最近のスマートフォン用ディスプレイの技術トレンドは、有機ELとフレキシブル化であるが、この20年間を通じて各ディスプレイメーカーが開発のターゲットとしてきたのは、高精細化と高移動度化である。これらは、有機ELを含めて、きれいな動画を表示するという一般的な要求を満たす上で当然の技術開発テーマであり、現時点では、低温ポリシリコン薄膜トランジスタを用いるこ

とが、現実的な解になっている。イオン注入プロセスは、この製造に不可欠であり、当社は、イオン注入装置市場のリーディングカンパニーである。

17年は、各ディスプレイメーカーにおいて、液晶パネルから有機ELパネルへの移行が続くなかで、種々のプロセスレシピに柔軟に対応することが可能なイオン注入装置の実現を目指した開発をおこなってきた。ディスプレイ製造用イオン注入装置で用いるイオン種は、ボロンとリンであるが、高速処理という基本的な要求に

対して、対応困難なのがボロンの大電流化であったため、従来の装置は、ボロンビームの引出量を最大化するための構造を採用していたが、そのトレードオフとして、リンビームの発生効率低下や均一性悪化などが生じていた。そこで、リンビームの発生に最適な装置セッティングの洗い直しを行い、ボロンビームの最適解との融合を図った。

具体的にはイオン源のフィラメント位置をイオン種によって変更する駆動機構を開発した。図1にリンビームに対するフィラメント位置の最適化効果を示す。同じビーム電流密度を得るのに必要なアーク電流の大きさが、ボロンビームに最適化された場合と比較して約半分に抑えられていることがわかる。

また、イオンビームの制御方法を改良することで、ビーム均一性とフィラメント寿命の改善を図っており、その成果を取り入れた社内機を製作した。本機を、iG6の次期装置と位置づけ、ディスプレイのさらなる高精細化やフレキシブル化、あるいはヴァーチャルリアリティ等の新規アプリケーションにも対応できる装置の開発を進めていく所存である。

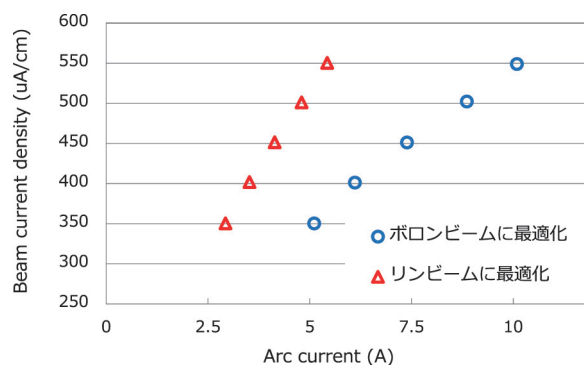


図1 リンビームのフィラメント位置の最適化によるアーク電流の抑制

8. 2 中電流イオン注入装置 BeyEX

近年、半導体の製造において、配線ピッチが10nm以下のプロセスも使用されるようになり、イオン注入装置に対する要求も増々厳しいものとなっている。特にパーティクルレス化と生産性向上が喫緊の課題となっており、当社ではこれらの要求に対応する新しい中電流イオン注入装置として、BeyEXを開発し、改良を継続している。

パーティクルレス化に関しては、主な発生場所を特定することに成功して対策をおこなった。ウェーハは、チャック構造物に置かれ搬送されるが、搬送ロボットの高速化に伴って遠心力が大きくなり、ウェーハが横滑りして、チャック構造物に接触してパーティクルが発生していることがわかった。そこで、対策と

して、チャックとウェーハの接触部にシリコンラバーを設置して横方向の摩擦係数を大きくすることで横滑りを抑制している。また、ウェーハを機械的にスキャンするための軸受として、従来はベアリングを使用していたためシール部のグリースからパーティクルが発生していたが、リニアスライド方式を採用することで、グリースが不要となり、パーティクルの低減につながっている。

生産性向上に関しては、ビームスイープ領域やウェーハスキャン領域の最適化（最小化）をはじめ、ビームセットアップ時間やビームデータ取り込み時間の短縮等、種々の改良を施していく予定であり、30%以上の生産性改善を期待している。

8. 3 SiCパワーデバイス向けイオン注入装置 IMPHEAT

電力の制御や供給をおこなうパワー半導体の材料として、炭化シリコン（SiC）は、シリコンと比較して電力損失の大幅低減や高温動作が可能という優れた特性を有しているため、機器の小型化、高性能化が期待されている。そのため、送電システムのような電力設備から、電車・電気自動車、さらには家電製品やパソコンに至るまで種々の分野での利用が見込まれている。

SiCへのイオン注入においては、注入時に発生して成長した欠陥を注入後に修復させることは困難なため、高温での注入が必要である。

当社は、2009年に研究用の高温イオン注入装置IMPHEATを開発し、2013年に量産装置をリリースしているが、基板温度を500℃まで昇温できる仕様となっている。

上記電力損失の低減効果は、SiCウェーハの厚さに依存することから、薄くする努力が続けられており、現在350 μ mの6インチウェーハまで商品化されている。一方、このように薄いウェーハは、昇温時の変形による反りが大きくなり、従来の静電チャック（ESC）を用いた方法だけでは、搬送および注入処理が困難になる。そこで、当社ではESCに加えて、機械的なクランプ（メカクランプ）も同時に採用することにより、反りが発

生したウェーハでも処理可能とした。メカクランプの採用により、ウェーハ内温度の均一性低下やパーティクル増加等の不具合が無いことは確認済である。さらに、ESCだけでは昇降温に長時間を要するために低かったスループットは、メカクランプの同時運用により、飛躍的に改善された。図2に、SiCウェーハが高温になり、赤熱している状態の写真を示す。



図2 メカクランプ付き高温ESCモジュール

SiCベースのパワーデバイスはまだ技術的な課題も多いが、その市場は大きな成長が見込まれるので、当社としては、今後も継続してIMPHEATの改良をおこなっていく所存である。

8. 4 新大電流イオン注入装置 LUXiON

2017年、当社は、新しいタイプの大電流イオン注入装置LUXiONを市場投入した。中電流イオン注入装置で培った精密なビーム制御技術と、中小型ディスプレイ製造用装置で採用している縦型の細長ビームと横方向1次元スキンの組み合わせという特長を融合させ、従来の大電流注入機とは一線を画した装置となっている。

大電流イオン注入装置においては、ビーム注入均一性やパーティクル、コンタミネーション（以下、コンタミ）抑制に対する要求仕様が、ディスプレイ製造用イオン注入装置以上に厳しい。そこで、狭幅で高電流密度のビームを発生させるイオン源と、得られたイオンを低損失で輸送するビームラインを新規に開発した。その結果、上記仕様を満たしつつ、従来機の1.5倍の生産性を実現できる装置に仕上がったと自負している。

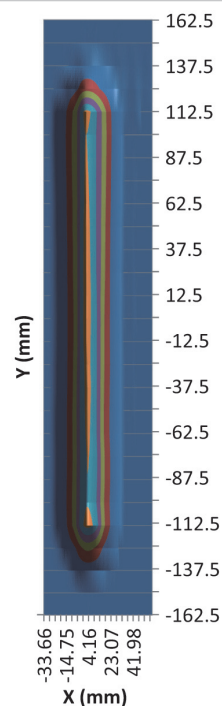


図3 質量分離後のビーム形状例

図3は、質量分離後のビーム形状を示しているが、長手方向の十分な均一性に加えて、短手方向が非常に細いことがわかる（半値全幅：11mm）。このように薄いシート状のビームを輸送しているので、静電エネルギーフィルタによるエネルギーコンタミが抑制できている。図4は、ボロンイオンを注入したウェーハのSIMS分析による深さ分布測定結果である。注入エネルギーは2keVだが、実測値と計算値は良く一致しており、エネルギーコンタミが充分抑制されていることが理解できる。

本報告では、その一部しか紹介できていないが、LUXiONは、新しいコンセプトに基づく大電流イオン注入装置であり、今日の市場で要求されているビームの品質と制御性を兼ね備えた装置として、顧客の要求に充分応えられるものと考えている。

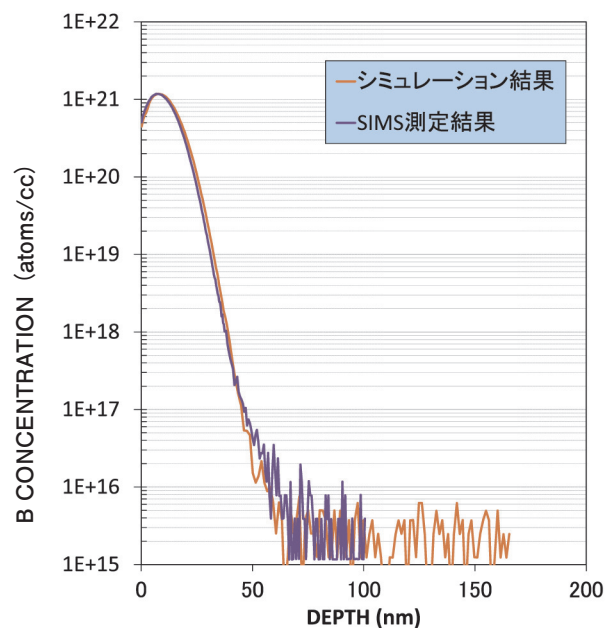


図4 注入深さ分布（シミュレーションとの比較）