

〔8〕 イオン注入装置

2014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、引き続きスマートフォンに代表される携帯情報端末の拡大がデバイスメーカーの生産および設備投資を牽引している。ディスプレイ関連では、これまで中小型パネルは米国および韓国の大手2大メーカーの高機能スマートフォンが需要を牽引してきたが、中国メーカーの台頭により各社のシェアが変化、またスマートフォンの低価格化が進行した。このため今後中国国内でのパネル生産に伴う設備投資が活発で有り、現在商談が進行中である。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拡大しており、高速化および大容量化を達成するためのデバイス微細化開発に各社しのぎを削っている状況である。またCPUの分野では、3次元トランジスタで構成されるデバイスが各半導体メーカーにおいて本格的な量産が開始されようとしており、イオン注入装置に要求される技術レベルはさらに高度になってきている。

このような環境の中、半導体及びディスプレイ向けのイオン注入装置いずれにおいても最先端デバイスの製造に寄与する装置開発を継続して行っている。半導体製造用イオン注入装置EXCEEDでは、さらなる微細化への対応および歩留まり改善のため、金属汚染やパーティクルの徹底的な低減を実施し顧客より高い評価を得た。またクラスターイオン注入では、注入後の欠陥抑制効果によるメモリやイメージセンサの特性改善を顧客にプロセス提案、試験を継続実施中である。パワーデバイス向けイオン注入装置IMPHEATはウェーハホルダを使用したマルチサイズ基板の自動搬送システムおよび高抵抗SiCへの注入対応を開発し、量産機としての汎用性を高めた。ディスプレイ向けのイオン注入装置は6世代ガラス基板向け装置“iG6”のマーケットシェア100%を引き続き堅持し、その地位に甘んじることなく継続的な生産性改善案の提案および装置グレードアップの開発を実施している。また次世代大型基板向けの注入装置の開発にも着手した。また新たなカテゴリーである化合物半導体剥離用のイオン注入装置“iG4HY”の開発を行い顧客にリリースを行った。今後高周波デバイスや太陽電池製造への適用拡大が期待される。

(日新イオン機器株式会社)

8. 1 半導体製造用イオン注入装置

8. 1. 1 EXCEEDシリーズ

半導体デバイス向けイオン注入装置であるEXCEEDシリーズは各デバイスメーカーのさらなる微細化対応および生産性向上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。

イメージセンサの高感度化に伴い、製造プロセスにおける金属汚染低減の要求が強まっている。金属汚染の主な要因としては、チャンバ内壁等の金属面へのイオンビーム照射により金属原子がスパッタリングされ飛散することと、イオン源内壁の金属がイオン化されビームとしてウェーハまで輸送されることが挙げられる。前者については、継続的な開発としてイオンビームが照射される金属面を非金属物質で保護することで金属汚染の低減を達成してきた。今年度は後者の金属汚染対策として、汚染金属イオンを取り除くための静電フィルタの開発を進めている。またイオン注入による各受光素子面での均一性の向上要求も高まってい

る。微細領域における均一性は、特にイオンビーム形状が大きく関わっていることが分かっており、静電レンズによるビーム形状制御システムも開発中である。

また半導体デバイスの製造プロセスでは、微細化に伴うパーティクル低減や高精細な注入が継続的に要求されている。パーティクル低減に関しては、ウェーハ搬送時の接触箇所や振動を抑える改善および新たな注入機構ユニットの開発により、顧客サイトにて大幅な低減を達成した。また、注入システムの改善により、高精細なパターン注入を実現した。

生産性向上の項目としては、ウェーハ搬送システムの最適化を実施し、一時間あたりの処理枚数を480枚から500枚に改善した。また高エネルギーイオン注入の生産性向上として、多価イオンビーム電流量改善に取り組み、イオン源部の改良を進めている。

8. 1. 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、これから本格的な量産が実施されようとしている。

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ウェーハ向けの高温イオン注入装置を開発し、2014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。

これまでの継続的な開発として、ウェーハ面内の温度均一性向上および搬送シーケンスの最適化を行ってきた。今年度はまずウェーハホルダを用いた自動搬送システムを開発した。これにより6インチの装置を用いて異なるサイズのウェーハへの注入が可能になった。また、これに加えて新型のSiC基板であるHPSI-SiC（超高抵抗SiC）ウェーハへの注入を可能にするための開発を行った。HPSI-SiCはこれまでのSiCウェーハに比べ基板の抵抗値が非常に高いことから、イオン注入処理時にウェーハを保持する静電チャックに吸着されにくく静電容量計を用いた吸着判定が出来ない、またウェーハ表面のチャージアップにより注入プロファイ

ルが想定よりも浅い方向にシフトするといった問題点があった。吸着についてはパラメータを最適化、吸着判定についてはセンサを新たに設けることによって安定な搬送を可能にした。また、チャージアップについては、EXCEEDに搭載されている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）に熱対策を施したものをIMPHEATに搭載することでプロファイルシフトの問題を解決した。図1にRF-PFG ON/OFFによる注入プロファイルの変化を示す。これらの成果によりHPSI-SiCウェーハへの高温注入が可能となり、さらなる量産対応を実現した。

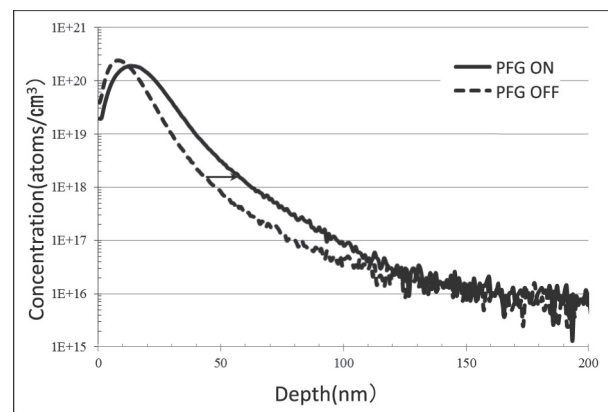


図1 深さ方向に対する注入プロファイルの変化

8. 1. 3 クラスタイオン注入装置 CLARIS

半導体デバイスは時代とともに微細化、構造の変化が進み、イオン注入に求められるスペックもそれに伴い変化している。先端ロジックデバイスでは、接合の極浅化、低抵抗化、高密度の立体構造に対する注入制御性等が求められ、イメージセンサデバイスやメモリデバイスではダメージの少ない注入、低金属汚染レベル、重金属をトラップするゲッタリング性能の付与等が求められている。当社では顧客のニーズの変化に合わせ、デバイスノード、デバイス構造に合ったクラスタイオン注入によるソリューションを継続して提案している。

多原子分子であるクラスタイオンは単原子イオンに比べ、シリコン基板に注入した際のアモルファス化の効果が大きく、注入された原子がアニール後にシリコン置換位置を占める割合が高い。C₁₄H₁₄とCを同じ等価エネルギー、ドーズで注入した場合、C₁₄H₁₄でCに比

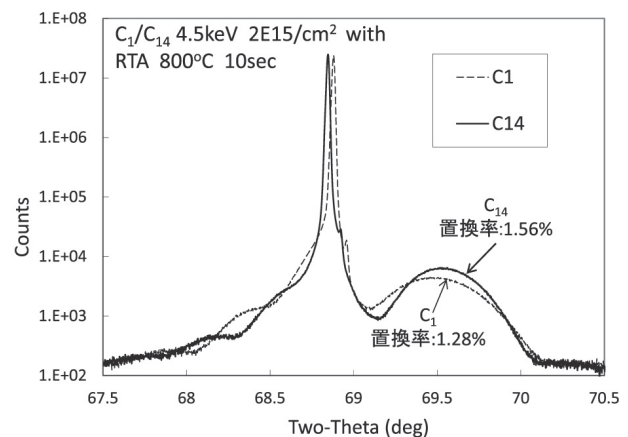


図2 単原子カーボン (C₁) とクラスタカーボン (C₁₄) を注入したサンプルのアニール前後のHR-XRD測定結果

べて高い置換率が得られた(図2)。これにより注入部分に歪みを形成することができ、歪みにより引っ張られた部分の電子移動度を向上させ、デバイス特性を上げることができる。また、同様の技術をゲッターリング層に用いると、シリコン格子に置換したカーボンによる歪み、もしくはカーボン起因の欠陥により形成された歪みポテンシャル等により、高いゲッターリング能力を得ることができる。また同様に、クラスターボロン注入では、シリコンに

対するボロンの置換率が高く、すなわち高い活性化率を得ることができる。B₁₈H_x等のクラスターイオン注入は質量数の大きな分子を注入するため、特に浅い接合形成に有利であり、高濃度の極浅p+層を形成することができる。この技術はトランジスタ・配線間のコンタクト抵抗改善やイメージセンサのフォトダイオード表層の反転層の高濃度化・極浅化に用いることにより、単原子イオン注入では得られない大きな特性向上を生み出すことができる。

8. 2 FPD製造用イオン注入装置 iGシリーズ

近年の高精細スマートフォンの需要増加に牽引され、高精細パネルの製造に必須である当社のiGシリーズは追加、新規にかかわらず商談が続いている。その中で国内および韓国の設備投資は一段落し、中国・台湾の顧客の投資が急進していることが顕著である。当社はディスプレイ製造向けの大型イオン注入装置のトップサプライヤとして、国内、韓国、中国および台湾の顧客を通しての経験が豊富であり、各顧客に適した装置提案が可能である。

これまで各顧客の装置運用上の課題の解決のためにイオン源のクリーニング方法を多種開発し、また放電時のエラー回避方法もほぼ完成した。これらの生産性改善のための開発だけでなく、製品の歩留まり改善のための対応も実施し、顧客から厚い信頼を得ている。

現在は、上記のような生産現場の課題解決と並行して、中期的な視野の下、装置グレードアップのための開発を進めている。例えば、イオン源メンテナンスサイクル、フィラメント交換サイクルを大幅に長くする電極構造や新型電子エミッション源の開発を始め、ビーム均一性のさらなる改善のための開発も並行して実施している。さらに多数の注入装置を運用する顧客向けにガス種あるいはレシピ毎の専用機化も踏まえた開発もおこなっている。基板搬送系については、最近

顧客より要望の出た極薄基板への対応を進めている。

さらに長期的な視野の観点から、次世代の大型ガラス基板向けのイオン注入装置の開発にも着手している。イオン源のさらなる大型化に対して、重要な部材の一つであるイオン源部絶縁フランジに関しては製作可能であることを確認した。また、ビーム電流量アップに対応するための大容量加速電源も開発し、将来の顧客投資に向けて準備中である。



図3 6世代基板用イオン注入装置 “iG6”

8. 3 化合物半導体ウェーハ剥離用イオン注入装置 iG4HY

化合物半導体はシリコンと比較して移動度が高いなどの優れた特長をもっている。それから作られる高周波デバイスや発光デバイスなどにはさらなる進歩が期待されている一方、単結晶ウェーハのコストの高さが問題となっている。この解決のため、当社はSOITECと共同してSmart Cut^(注)プロセス用のイオン注入装置を開発した。このプロセスでは水素を注入した単結晶ウェーハを支持体と貼り合わせたのち、注入層で両者を剥離することによって単結晶層を支持体の上に転写することができる。表層を剥離された単結晶ウェーハは再生利用可能なので、1枚の単結晶ウェーハから多数の単結晶層付きウェーハが得られることになり、ウェーハコスト低減を実現できる。

化合物半導体の剥離には一般に半導体への不純物注入の場合よりも多くの注入量が必要とされるため、ウェーハ搬送系についてはスループットを考慮して大面積大電流ビームを複数枚のウェーハに同時に照射する新たな機構を開発した。その一方、イオン源とビームラインには低温ポリシリコンTFT用イオンドーピングの世界で実績と信頼のある注入装置iG4と同一の構成を採用している。ウェーハ保持には静電チャックが用いられ、注入中の温度上昇を抑制するためにウェーハ裏面のガス冷却が可能となっている。ビームの高さは73cmで、4インチウェーハ12枚を一度に注入処理する。

最大ビームエネルギーは110keVで、80mAの水素ビームを照射することが可能である。

現在、本装置を用いて高効率なⅢ-V族多接合型太陽電池を安価につくるプロジェクトが進行中である。このように化合物半導体ウェーハの剥離プロセスはさまざまな材料にも応用が可能であり、今後本装置の適用対象分野がさらに広がることが期待できる。

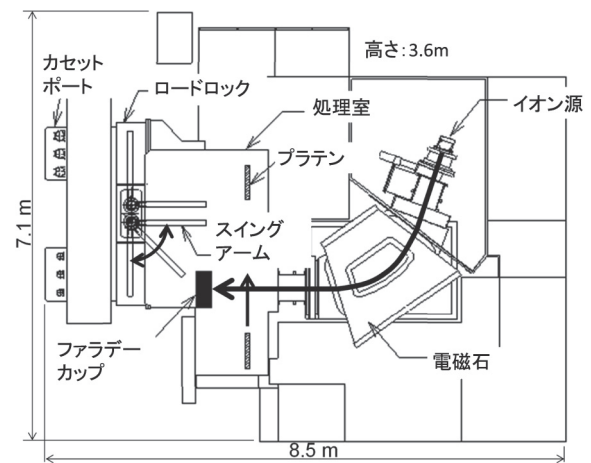


図4 化合物半導体ウェーハ剥離用イオン注入装置iG4HYの外形図
(注) 「Smart Cut」は、SOITECの登録商標です。