〔9〕イオン注入装置・イオンドーピング装置

2013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およびタブレット市場の需要が旺盛で各デバイスメーカの生産を牽引した。このような携帯情報端末には高精細のパネルが必須であり、イオン注入工程を必要とする有機EL型ディスプレイ等の需要および設備投資増大により当社のイオンドーピング装置はマーケットシェアをさらに拡大した。半導体デバイス市場は2012年度に比べ設備投資額は低下したが、同様に携帯情報端末向けのデバイス、すなわち低消費電力CPU、フラッシュメモリーおよびCMOSセンサーの需要が拡大しており、2014年度は設備投資が上向くと予想されている。また微細化に対するデバイス製造プロセス開発は着実に進み、トランジスタの構造変化も含めた技術変革が訪れようとしている。このような環境変化の中で、顧客のニーズにマッチした技術をタイムリーに提供することが重要であり、当社イオン注入およびドーピング装置も先進的プロセス性能を具備させるべく継続して技術開発を行っている。

半導体デバイスのトレンドとしては、さらなる微細化を推進するためこれまでの平坦型からFIN-FETと呼ばれる3次元トランジスタへの構造変革が進みつつあり、イオン注入工程ではこれまで以上に高精細かつクリーンな注入が要求されている。またデバイスの縮小に伴い、注入するイオンのエネルギーが低下傾向にある。EXCEEDシリーズではこのような要求に対応すべく、汚染および低エネルギービームの改善に精力的に取り組んだ。また低消費電力でトランジスタを動作させるためにはイオン注入後の欠陥抑制も重要な技術であり、多原子分子であるクラスターイオン注入によるプロセス提案を継続実施中である。パワーデバイス向けの注入では4インチおよび6インチ基板の自動搬送システムを搭載したIMPHEATのリリースおよび量産工場への納入を実施、同時にウェーハ温度分布の改善を行った。ディスプレイ向けのイオンドーピング装置は、6世代ガラス基板向け装置“iG6”の納入がさらに加速し、トップサプライヤーとしての地位をさらに強固にした。引き続き生産性向上等顧客の要求に応えるべく、イオン源安定稼働等の改良を遂行中である。

9．1　半導体製造用イオン注入装置
9．1．1　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である顧客の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。

半導体デバイスの製造プロセスの微細化に伴い、パーティクル低減の要求が特に強まっている。ウェーハ搬送時の接触箇所や振動を抑える改善と共に、新たな注入機構ユニットの開発を実施し、パーティクル低減を図った。現在この技術は、顧客サイトにて評価中である。

また同時に、生産性向上にも取り組み、低エネルギー領域のビーム量改善として、磁場による収束レンズの搭載を行った。特に10keV以下のエネルギー領域でホウ素イオンは50%近くのビーム電流量改善を達成した。また、多価イオンビームの電流量改善にも取り組み、高エネルギーイオン注入の生産性向上を図った。イオン源のアークチャンバ部分に対して、磁場を導入するための電磁石の強化や磁場分布を改善するように磁極形状の改良を実施した。

また、イメージセンサ製造プロセスにおいてはイオン注入による各受光素子面での均一性の向上要求が高まっている。このような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事が分っており、ビーム形状を測定すると共にその形状から微細領域の均一性を予測するシステム開発を行っている。将来的にはフィードバック制御を導入し、最適なビーム形状をセットアップできるシステムとして開発を進めていく。

9．1．2　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ている。具体的には電気自動車、電力の制御・輸送、太陽電池等の自然エネルギーの活用、家電の省エネ化等の適用が期待され、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、2013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。

本年度はSiCウェーハ面上の温度均一性向上に力を入れた。SiCウェーハを加熱するため、ヒータ付きの静電チャックを用いているが、ウェーハ面内の温度差ΔTは約50℃前後であった。一方特に4インチSiCウェーハにおける顧客の要求はΔTが20℃以内であったので、新たな加熱方式を開発した。結果は**図1**に示すように、ウェーハ温度500℃を目標温度として、ウェーハ面上水平方向と垂直方向のΔTがそれぞれ18.9℃と13.8℃となり、20度以下の温度差を達成した。

継続的な開発項目として、更に温度均一性を向上するための静電チャックの開発、および安定稼働にむけたセンサーの開発を実施している。

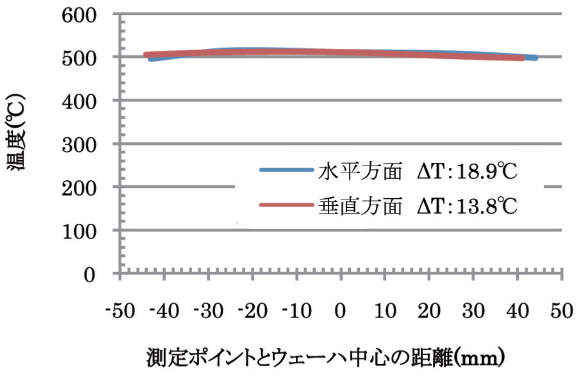

図1 4インチSiCウェーハにおける温度分布

9．1．3 クラスターイオン注入装置 CLARIS

近年の半導体デバイスの微細化、高性能化に伴い、イオン注入後の結晶欠陥に起因するリーク電流や特性のバラつきが一つの大きな課題となってきている。当社では、CLARISによる分子イオン注入を用いたダメージエンジニアリングのソリューションを、シミュレーション結果、実験結果を元に顧客に提案している。イオン注入によりシリコン結晶がアモルファス化されると、アニール後にアモルファスと結晶の遷移領域（a/c界面）あたりに結晶欠陥（End of Range Defects）が形成されることがある。これは遷移領域のダメージ分布の勾配に関係し、急峻な勾配であるほど遷移領域が狭くなり、スムーズなa/c界面が形成され、アニール後に形成される結晶欠陥が少なくなる。今回、Crystal-TRIMによるモンテカルロシミュレーションを用いてアモルファスと結晶の遷移領域におけるダメージ分布の評価を行った。その結果、モノマーイオン注入に比べてクラスターイオン注入で急峻なダメージ分布が得られることが示され、このことからクラスターイオン注入を用いることでアニール後に良質な結晶が得られることが期待される。また、実際にモノマーカーボン（C1）注入とクラスターカーボン（C14）注入で比較実験を行い、共にC 4.5keV 2E15atoms/cm²相当で注入したところ、モノマーカーボン注入に比べてクラスターカーボン注入でスムーズなa/c界面が得られ、800℃ 10分のアニール処理後に結晶欠陥が抑制されていることが確認された。（**図2**）

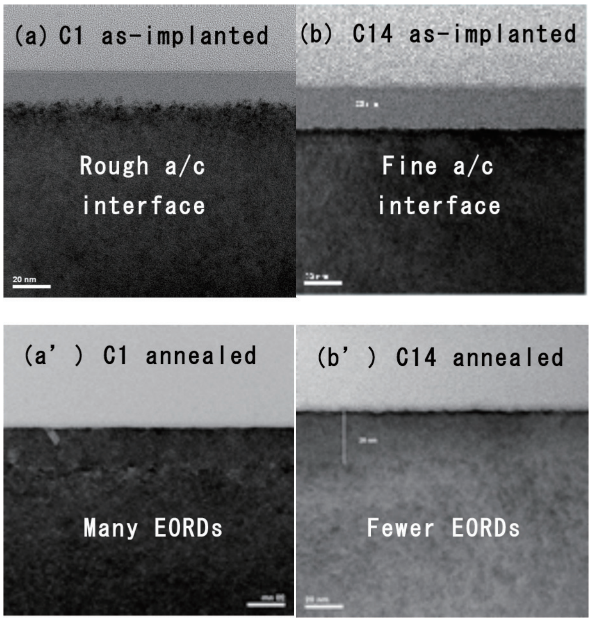

図2 モノマーカーボン（C1）とクラスターカーボン（C14）を注入したサンプルのアニール前後の断面TEM写真

9．2　FPD製造用イオン注入装置

近年、スマートフォンやタブレット等の中小型ディスプレイを用いた携帯情報端末の普及により、高精細な液晶パネルの需要が大幅に増加した。これらの液晶パネルのTFT形成にはイオンドーピングプロセスが用いられることが多く、当社の5.5世代基板用イオンドーピング装置“iG5”、6世代基板用イオンドーピング装置”iG6”は国内外の様々な液晶パネルサプライヤーに収められている。2013年現在においても携帯情報端末は次々に新製品が発売され、高性能液晶パネルの需要は増え続けている。特に、現在注目されているのが有機EL（AMOLED）パネルやフレキシブルパネルだが、その製造プロセスにおいても当社のイオンドーピング装置が使用されている。

当社はFPD製造用イオン注入装置のトップサプライヤーとして顧客からの信頼も厚く、納入実績のある顧客の追加投資や新規の顧客からの問い合わせが続いている。

現在イオンドーピングプロセスでは、より高性能な液晶パネルを大量に生産することが求められている。そのためにはビームの大電流化や高エネルギー化が必要であり、当社のイオンドーピング装置もスペック向上のために様々な開発を継続している。たとえば、ビームの大電流化、高エネルギー化に伴い問題となってくるのがイオンビームの発生源であるイオン源内部の放電だが、当社では様々な放電対策を行っている。例をあげると、放電によるエラー頻度を減少させるために、放電を感知すると電源を操作し自動的にビームを再立ち上げする機能を追加した。また、イオンビーム生成時に発生する堆積物による放電を抑制するために、イオン源内部に遮蔽物を追加する等の改造を行い、放電自体を抑制した。

一方、基板搬送中にイオン源クリーニングを実施する方式や、メンテナンス時間を短縮する様々な工夫を装置に導入することにより、装置稼働率は、開発当初に比べ5%以上アップしている。

以上の現状装置の改良のみならず、今後生産性向上のため顧客より求められるであろう、さらなるガラス基板の大型化に対応するための開発や、イオンドーピングプロセスを様々な用途へ使用していくための研究を進めている。

図３　5.5世代基板用イオンドーピング装置“iG5”