

一 般 論 文

第5.5世代液晶向け イオンドーピング装置の開発

Development of Ion Doping Machines for Generation 5.5 Liquid
Crystal Displays

松 本 武*	土 肥 正二郎*
T. Matsumoto	S. Dohi
井 内 裕*	立 道 潤 一*
Y. Inouchi	J. Tatemichi
小 西 正 志*	内 藤 勝 男*
M. Konishi	M. Naito

概 要

第5.5世代ガラス基板対応のイオンドーピング装置を開発した。装置の基本コンセプトは第4世代装置としてベストセラーであったiG4をベースにしており、高い信頼性をもった出来上がりとなっている。大電流密度ビームでの注入が可能というiG4最大の特長も、もちろんそのまま受け継いでいる。iG5では、ここからさらにiG4にて培った技術と経験をもとにして種々の改良が施されるとともに、新開発の機能が付加されている。

Synopsis

We have developed ion doping machines iG5 for generation 5.5 glass substrates. Since the primary design concept of the machine is originated from iG4, which is best seller for the generation 4, iG5 has been completed to be a highly reliable ion implanter. The new machine also inherits from iG4 a benefit of capability to carry out implantation with high current density beam. In addition, iG5 has several brand-new functions as well as various improved designs based on technology and experience through the development of iG4.

1. はじめに

イオンドーピング装置とは、薄型ディスプレイ（Flat Panel Display: FPD）製造工程のひとつである、不純物注入工程に使われる装置である。携帯電話や携帯型ゲーム機などに用いられているアクティブマトリックス型と呼ばれるFPDは、画素に印加される表示信号を制御するために、画素ひとつひとつに薄膜トランジスタ（Thin Film Transistor: TFT）が取り付けられており、その薄膜材料の違いによって、さらにアモルファスシリコン（Amorphous Si: a-Si）型と低温結晶化シリコン（Low Temperature Polycrystalline Silicon: LTPS）型の2種類に分けることができる。このうちLTPS型は、a-Si型と比較して製造コストが高いものの、トランジスタ面積を小さく

くできることから、近年のFPDの高精細化・高コントラスト化の進展に伴い、需要が高まってきている⁽¹⁾。また、最近よく見かけるようになった有機発光ダイオードディスプレイ（OLED）を搭載した携帯電話や情報端末の実現には、LTPS TFTが必要不可欠である。これには2つの理由があり、有機発光ダイオードが液晶とは異なり、画素に印加される電圧ではなく電流によって輝度変化するために、TFTに高い移動度が求められることと、a-Si TFTではしきい値電圧（ V_{th} ）の経時変化が大きすぎる⁽²⁾ことが挙げられる。イオンドーピング装置は、このLTPS TFTを製造する際に、キャリア濃度を所望の値に変化させるために用いられる。

当社では、1988年にイオンドーピング装置の開発に着

*日新イオン機器(株)

手して以降、市場でのガラス基板大型化に対応した製品を提供し続けており、2004年には第4世代ガラス基板(730mm×920mm)対応イオンドーピング装置iG4⁽³⁾を完成させている。しかし大型化の進展はとどまることを知らず、近年のスマートフォン需要の高まりに応じて、第5.5世代ガラス基板対応装置の要望を顧客から受けるようになった。本稿で紹介するiG5は、この要望に応えるべく開発された装置であり、1メートルを超えるビームを出すイオン源をもつ商用イオンドーピング装置としては世界初のものである。

2. iG5の装置構成

2.1 基本コンセプト

iG5は市場で定評のあるiG4をベースに、基本コンセプトは全く変えずに設計されているため、iG4同様に高い信頼性をもつのはもちろん、当社のiG4ユーザにとって扱い易い装置になっている。ガラス基板の短辺よりも長い大面積イオンビームをイオン源より引き出し、それをそのまま質量分離マグネット内部へ導入し、所望のイオン種のみを選別した後に、ガラス基板に注入することを最大の長特としている。小型イオン源から引き出したビームを拡大する方法と比較すると、大電流密度のビームで注入できるという点で圧倒的に有利な方法である。不純物注入工程の中で最大のドーズ量(単位面積あたりの注入イオン数)が必要とされるソース/ドレイン注入であっても、60枚/時程度のスルーputを出すことが可能である。またiG5には、当社がiG4で培った技術や経験をもとに、さまざまな改良が施されている。例えば詳細は後述するが、iG5にはiG4よりもビーム生成効率の高いプラズマチャンバーが搭載されている。また、装置総重量の軽減のために、軽量化質量分離マグネットが採用されている。このおかげで、マグネット質量だけで見れば、iG4の12tに対し、iG5は18tと、基板面積が大型化したにも関わらず、マグネットの重量増加を小幅に留めることに成功した。さらに、イオン源のメンテナンス周期を延ばすために、これまでのクリーニングとは別の、新たなクリーニング機能を追加している。

2.2 イオンビームの流れと注入動作

図1に装置全体の構成を示す。装置は大まかに分けて、ロードロック室、搬送室、処理室、イオン源、質量分離マグネットの5つで構成されている。イオン源のプラズマチャンバーは熱陰極型であり、外周に永久磁石を並べ、表面磁場によるプラズマの閉じ込めを利用している。フィラメントに電流を流して高温に加熱し、そのうえでプラズマチャンバーよりも負のバイアス電圧を印加する。この状態から、ポロンビームを得

たいときには三フッ化ホウ素(BF₃)を、リンビームを得たいときにはフォスフィン(PH₃)を原料ガスとしてイオン源に導入すると、フィラメントから発生した熱電子がプラズマチャンバーへ向かうという流れの中で、一部の熱電子が原料ガス分子と衝突し、電子を剥ぎ取ってイオンを作り出す。剥ぎ取られた電子は熱電子と同様、プラズマチャンバーへ向かって加速され、その一部は別の原料ガス分子との衝突・電離を引き起こす。こうしてプラズマチャンバー内にイオンと電子が充満し、全体的にみるとほぼ中性となっているプラズマの状態が作られる。ここから引出電極系に電圧を印加することにより、プラズマチャンバーからイオンビームを引き出すことができる。ビームのエネルギーはプラズマチャンバーの電位によって定まり、iG5の場合には最大80keVにすることができる。iG5イオン源の最大の長特は、引き出されるビームが大面積であることである。第5.5世代基板(1500mm×1300mm)の短辺よりも長い全高1500mmもの大面積ビームを引き出すことができるため、ビームを拡大する必要がなく、大電流密度のビームをそのまま注入に用いることが可能である。

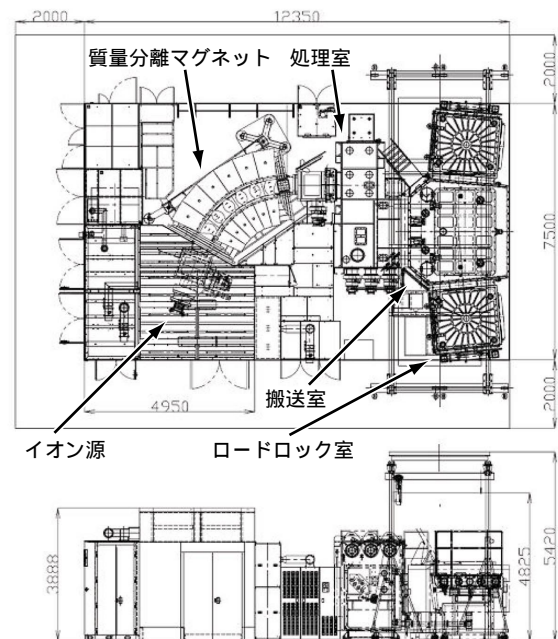


図1 iG5装置全体の概略図

イオン源から引き出された大面積ビームは、大面積のままの状態質量分離マグネット内部に導入される(図2)。マグネット内部では鉛直上向きの一様な磁場が作り出されており、ビームはローレンツ力を受けて曲げられる。その際の曲率半径 r は運動方程式を解くことにより求められ、次式のようにイオンの質量と速度に依存する。

$$mv^2 / r = evB \dots$$

$$r = mv / eB \dots$$

ここで、 m 、 v 、 e 、 B はそれぞれイオンの質量、イオンの磁場に垂直な方向の速度、電荷素量、磁場の強さであり、式の右辺はイオンが磁場中で受けるローレンツ力を表す。さらに、イオンのもつ運動エネルギーはビームのエネルギーに等しいので、 V をプラズマチャンパー電位として、

$$mv^2 / 2 = eV \dots$$

で表される。これと式から、

$$r = (2mV / eB^2) \dots$$

が得られる。

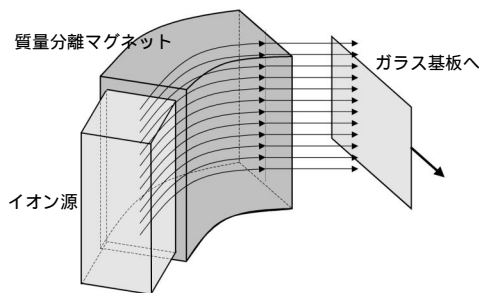


図2 iG5の質量分離マグネットを通過するイオンビーム。
全高1500mmの大面積ビームを質量分離することが可能。

質量分離マグネット出口にスリットを設置しておけば、そこを通過できるイオンをある特定の曲率半径をもって運動してきたものに限定することが可能であり、これは式の左辺が固定値であることに相当する。このようにすると、磁場の強さを調節することによって、ある特定の m/e の値をもったイオンのみを取り出すことができることになる。質量分離マグネットにはビームを拡大する機能はなく、質量分離をする機能のみを持つ。イオン源から出た大面積ビームが処理室に到達する段階では、ビームの形状は変化せず、質量分離されてボロン、あるいはリンといったLTPSのドーパントのみからなる大面積ビームになっている。

イオン注入を行うガラス基板はロードロック室、搬送室、処理室の順に搬送され、処理室でクランプ機構によりプラテンに固定されたうえで垂直に立てられる。つづいて、大面積イオンビームを横切るように水平方向に走査し、ガラス平面に対して垂直にイオンを注入する。ドーズ量は走査回数、走査速度、ビーム電流密度を変化させることによって制御することができる。iG5では、注入によるガラス基板の温度上昇を抑制するため、二つあるプラテンのそれぞれにガラスを載せ、交互に注入する方法を採用している。ひとつのガラスを連続で注入する場合と比較して、注入後の冷却時間を長くとれることを利用して、フォトレジストの過熱によって引き起こされる問題を回避している。

イオンビームのモニタリング装置としては、ビームプロファイルモニターと呼ばれるものが装備されている。水平方向に細長いファラデーカップが鉛直方向に複数個並んだ構造をしており、それぞれのファラデーカップでビーム量を計測することにより、ビームの量と鉛直方向の分布を同時に計測することが可能である(図3)。イオン注入にはドーズ量の厳密な制御が求められるとともに、ガラス基板全体での均一性も必要とされていることから、量と分布の計測は装置の根幹をなす重要な要素のひとつである。したがって、基板一枚ごとに、注入する直前に計測することが望ましい。iG5のビームプロファイルモニターは、上述したように量と分布を同時に計測することが可能であるから計測時間が非常に短く、基板一枚ごとの直前測定が可能である。他の計測方法を用いた場合と比較して、より高いドーズ量、均一性制御が可能な方法である。

イオン源には複数のフィラメントが鉛直方向に配列されており、各フィラメントに流す電流を調整することによって、鉛直方向のビーム分布を制御することができるようにしている。ある位置のフィラメントの電流を増減すると、その位置に対応するビームの電流が増減する状態になっており、対応関係が明確であるから、均一性制御は非常に簡単で短時間で終わらせることができる。自動で注入プロセスを走らせている場合には、平均ビーム電流密度、均一性を規定しておけば、自動的にその電流密度かつ均一性になるようにビーム量と分布を調節したのちに注入が行われる。

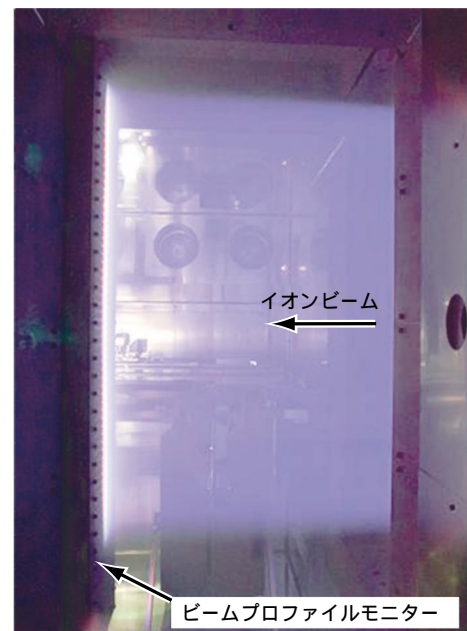


図3 アルゴンビーム(図中の右から左に延びる帯状の部分)を計測するビームプロファイルモニター。多数のファラデーカップから構成されており、ビームの量と鉛直方向の分布を同時に短時間で計測することが可能。

3. 特長的な構成・機能

前述したように、iG5はiG4を基本として設計された装置である。その一方、新たに開発され、改良・付加された構成、機能も存在している。ここではそれらを紹介する。

3.1 Y型チャンバー

Y型チャンバーとは、今回新たに開発したプラズマチャンバーの名称であり、iG4よりも高いビーム生成効率をもつことを特長としている。iG4にてビーム電流密度を増加させるために開発された、加速電極バイアス電圧制御技術⁽⁴⁾をさらに発展させ、プラズマチャンバーの磁場分布とフィラメント導入位置を最適化することによって、さらなるビーム電流密度増加に成功した結果である。Y型チャンバーの導入で、より低アーク電流でのイオン源運転が可能となったことから、フィラメントの長寿命化とイオン源メンテナンスの長周期化を期待できる。

3.2 軽量化質量分離マグネット

軽量化のため、iG5の質量分離マグネットはiG4の単なるスケールアップとはなっていない。iG4では全高800mmのビームが通過する領域の上下端に一对のポールを配置し、そのポールのそれぞれにコイルを巻きつけて鉛直上向きの磁場を作り出している。さらにその外側はヨークで覆われており、生み出された磁力線を有効に利用するとともに、外部への漏れを防止する構造となっている。仮に同様の構造を踏襲しながらiG5の全高1500mmの大面积ビームに対応しようとした場合、ポール間のギャップが約2倍大きくなるためにポールとヨークの厚みを大きくせざるを得ず、質量分離マグネット全体の質量はおよそ38トンにもなって、装置の搬入や据え付けの際に問題となる場合があると想定される。これに対し、iG5では巨大なポールを使わない構造に変更し、質量をおよそ18トンと大幅に軽量化することに成功している。

質量分離マグネットはイオンドーピング装置を構成する最も重要な要素のひとつであり、構造を変更する際には入念な事前検討が不可欠である。iG5の質量分離マグネットを設計するに当たっては、構造変更によってビームがどうなるかを、磁場解析シミュレーションにより求めた。シミュレーションを行うに当たって注意しなければならない点は、計算結果が実測と対応することを何らかの形で確かめておく必要があることであるが、当社ではiG4の質量分離マグネット開発を通してそれを確認できているとともに、多数の経験を蓄積している。そのため、構造が変更されたにも関わらず、全高1500mmもの大面积ビームを質量分離できるマグネットを短期間に開発完了することができた。

この技術と経験の蓄積は、今回のような質量分離マグネットだけでなく、ビームの運動を制御するあらゆるタイプのマグネットを設計しようとする際に応用可能であり、非常に有用なものと考えられる。

3.3 グロー放電

一般的に、イオン源を長時間運転すると、内部に堆積物が溜まり、これが電極間の異常放電等の不具合を引き起こす原因となる。そのため、定期的にイオン源内部を清掃するメンテナンスが必要となる。メンテナンス周期を延ばすために、iG4ではプラズマやビームを利用してアークチャンバーと電極をクリーニングする機能を搭載し、一定の成果をあげていた。iG5では、イオン源が大型化していることから、メンテナンスにより長い時間がかかることが予想され、メンテナンス周期を長くしなければ稼働率の低下を引き起こしてしまう。このため、新たなクリーニング方法として、グロー放電を用いた電極間クリーニングを開発した。この方法では、従来のクリーニングでは不可能であった電極表裏全面のクリーニングが可能であり、異常放電の抑制に大きな効果をもつことが実証されている。

4. おわりに

FPDのガラス基板サイズは年々大きくなってきている。サイズが大きくなって必要とされるドーズ量は変わらないので、ガラス1枚あたりに必要な総ビーム量は面積化した分だけ多くなる。したがって、装置のスループットを落とさずに面積化を実現するためには、イオン源を大型化するか、ビームを高密度化する必要がある。当社のドーピング装置の場合、イオン源の長さをガラスの短辺長さよりも長くするというコンセプトを一貫して保ち続けるとともに、イオン源の改良によるビームの高密度化に成功しており、面積化の進展にも関わらず高いスループットを維持し続けることを可能にしている。

近年、酸化物TFTが盛んに研究されている⁽⁵⁾。安定性に課題を抱えているものの、移動度が比較的高く、面積の成膜が容易という利点を持つことからLTPS TFTに代わる材料として注目を集めている。将来実現するであろうOLEDの画面薄型テレビにはTFTは必要不可欠であり、FPDメーカー各社はLTPS TFTと同様、酸化物TFTの開発でもしのぎを削っている。当社はイオンドーピング装置メーカーとして、LTPSが高機能FPD向けTFT材料のスタンダードとしての地位を今後も確立し続けられるよう、面積化に対応し、高い信頼性とスループットをもつドーピング装置をこれからも提供し続けてゆく所存である。

参考文献

- (1) 第16回ディスプレイサーチフォーラム講演資料集、2-3章(2009)。
- (2) T.Tsujimura, Jpn. J. Appl. Phys. 43 (2004), 5122-5128.
- (3) Proc. of 12th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2005 IDW/AD '05, (2005), 297-300.
- (4) Proc. of 18th International Conference on Ion Implantation Technology IIT2010, (2010) 500-503.
- (5) J. W. Park, W. G. Lee, K. S. Yoon, D. H. Lee, S. H. Cho, Proc. of the 17th International Display Workshops IDW'10 (2010), 1839-1840.

執筆者紹介



松本 武 Takeshi Matsumoto
日新イオン機器(株)
FPD装置事業センター
開発グループ 主任



土肥正二郎 Shojiro Dohi
日新イオン機器(株)
FPD装置事業センター
開発グループ



井内 裕 Yutaka Inouchi
日新イオン機器(株)
FPD装置事業センター
エキスパート



立道潤一 Junichi Tatemichi
日新イオン機器(株)
FPD装置事業センター
開発グループ長



小西正志 Masashi Konishi
日新イオン機器(株)
執行役員



内藤勝男 Masao Naito
日新イオン機器(株)
常務執行役員