

特 集 論 文

# イオンドーピング装置の 歴史と当社の取り組み

History and challenges of Ion Doping system

立 道 潤 一*	織 平 浩 一*
J. Tatemichi	K. Orihira
中 尾 和 浩*	奥 手 康 弘*
K. Nakao	Y. Okute
谷 井 正 博*	小 野 田 正 敏*
M. Tanii	M. Onoda
糠 山 正 明*	井 内 裕*
M. Nukayama	Y. Inouchi
小 西 正 志*	内 藤 勝 男*
M. Konishi	M. Naito

## 概 要

LTPS-TFT(低温ポリシリコン薄膜トランジスタ)用のイオンドーピング装置を1990年に始めて客先に納入してから、我々は様々な装置と技術を開発してきた。発売当初は容易に大電流が得やすく、低コストのイオンシャワーシステムがメインの装置であった。しかしながらLTPS技術とそのビジネスが急速に成長し、今日では、システムオンガラスデバイスやOLED(有機EL)のような最新のアプリケーションのため、精密かつ安定したドーピングプロセスが要求されてきている。よって、今日では、“iG4”のような質量分析を行なうイオンドーピング装置が、以前のイオンシャワー装置に置き換えられてきている。

本稿では、イオンドーピング装置の歴史と“iG4”の構造および今後の取り組みについて、簡単に解説する。

## Synopsis

Since Ion Doping system for LTPS-TFT (Low Temperature Poly Silicon Thin Film Transistor) was delivered to our first customer in 1990, we have been developing various machines and technologies. Ion shower system (non-mass analysis) which can attain high current density easily and at low cost was our main product during initial phases of our business.

However, LTPS technology and business have grown rapidly. More precise and stable doping processes have been required for advanced applications such as system-on-glass devices and OLED and so on. Nowadays Ion Doping with mass analysis such as “iG4” has been replacing the previous Ion shower system.

In this paper, we briefly explain the history of Ion Doping and the structure of “iG4” and our future efforts.

## 1. まえがき

世界で初めてLTPS (Low Temperature Poly Silicon) を用いたTFT (Thin Film Transistor) の製作を目的とする研究用イオンドーピング装置1号機をパネルメーカーに納入した1990年には、想像できなかった大型液晶テレビや、タッチパネル付携帯電話等が実用化され、今日では生活の一部となっている。この様にFPD産業におけるテ

クノロジーや市場が急速に発展し、我々、FPD製造装置メーカーもこの激変に対応すべく、時代に応じた様々な装置改良や開発を行なってきた。特にマザーガラスと呼ばれる基板サイズの大型化は目覚しく、当初300mm角程度であったものが、LTPS-TFT液晶では730×920mmに、アモルファスシリコンTFTでは、面積比で約100倍の3,000mm角近い基板の生産が行われている。

\*日新イオン機器(株)

イオンドーピング装置の歴史と当社の取り組み

また、配線幅も当初3~5 $\mu$ mあったものが、今や1 $\mu$ m以下となり、半導体プロセスへ確実に近づいている。

本稿では、イオンドーピング装置の開発の歴史を振り返ると共に、現在の主力製品である“iG4”の概要及び性能の一部を紹介し、今後の開発課題や計画を解説する。

2. 装置の歴史と技術の推移

現在までに発売してきた装置及び性能の推移を年代毎にまとめたものを表1に示す。

1990年以来、当社が、これまでに存在しなかったFPD用イオン注入装置という市場を開拓し、この分野における最先端の技術とトップシェアを守り続けてきた。

初期装置のイオン源とその注入方式を図2に示す。



図1 イオンドーピング装置

表1 イオンドーピング装置の歴史

項目	年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
装置型式	ID-100 (研究用)																					
	IDPシリーズ																					
	ID6700																					
	G4																					
イオン源	RFタイプ																					
	フィラメントタイプ																					
注入方式	大口径円ビーム																					
	ラインビーム(ダブルプラテン)																					
ビーム電流	B,P : 10 $\mu$ A/cm <sup>2</sup> (Hx+含む)																					
	B,P : 20 $\mu$ A/cm <sup>2</sup> (Hx+含む)																					
	B,P : 200 $\mu$ A/cm <sup>2</sup> (Hx+含む)																					
	B,P : 500 $\mu$ A/cm <sup>2</sup> (Hx+含む)																					
	P : 150 $\mu$ A/cm B : 100 $\mu$ A/cm																					
質量分離	無(シャワータイプ)																					
	有(分解能: 10)																					
処理能力	< 5枚/H																					
	> 20枚/H																					
	> 30枚/H																					
	> 50枚/H																					
基板サイズ	> 80枚/H																					
	300 x 300mm																					
	300 x 400mm																					
	400 x 500mm																					
	500 x 600mm																					
600 x 700mm																						
730 x 920mm																						

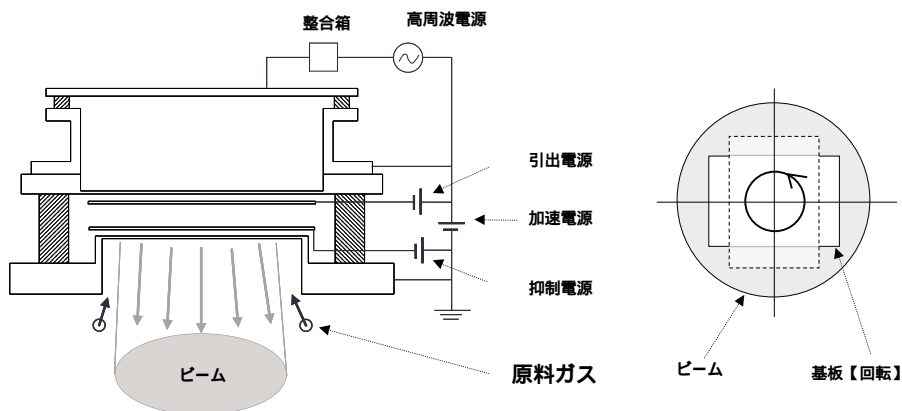


図2 高周波イオン源と注入方式

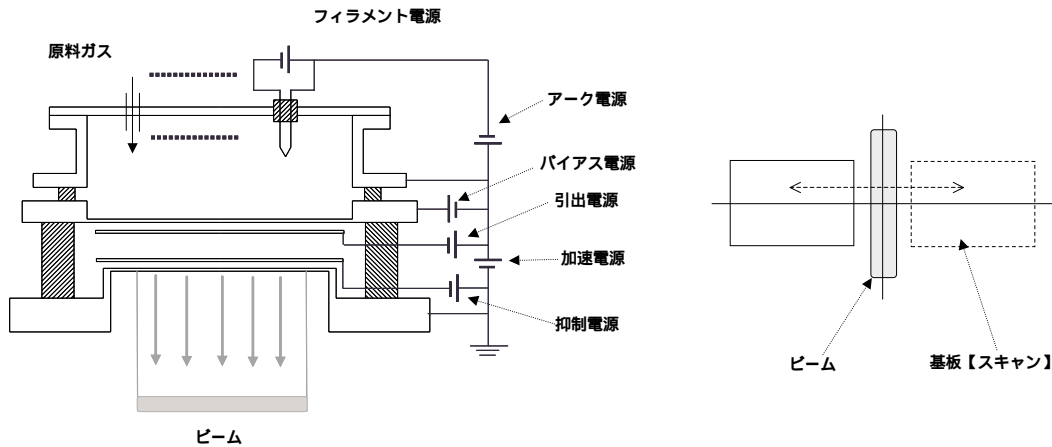


図3 現在のイオン源と注入方式

発売当初は、取り扱う基板サイズが比較的小さかった事もあり、13.56MHzの高周波でプラズマを生成するバケツ型イオン源を用い、大口径の円形ビームで基板全面を一度に注入していた。いわゆるシャワータイプと呼ばれる装置で質量分離を行わずプラズマソースで発生した全てのイオンを注入していた。IDPシリーズまでがこのタイプで、それまでのイオン注入装置に比べ低コストで比較的大電流が得やすく、処理中の圧力が高いため基板チャージUPに強い装置として広く用いられた。

その反面、ビーム均一性保証値が10%程度と制御が非常に難しく、小電流ではプラズマが不安定となり、基板の温度上昇も大きいという課題を残した。

1997年頃には、基板サイズも大きくなり、高い生産性と精密なビーム制御技術が求められる様になり、ID6700の販売を開始した。これを機会に、これまでの課題を解決すべく、プラズマ生成を高周波放電方式から複数のフィラメントによるアーク放電方式へ、また、円形ビームから長方形のラインビーム+基板のメカニカルスキャン方式にコンセプトを変更した。この頃にはメカニカルスリーブは50枚/hまで達し、2枚の基板を交互に注入する当社特有の方式も採用している。また、磁気フィルタと呼ばれる加速電極上部に設けられた永久磁石で、水素イオンの引出しを抑制するシステムも導入した。

図3に、ID6700のイオン源と注入方式を示す。

2000年頃から、少しずつ質量分離タイプ装置の要求が高まっていたため、当時としては、画期的な発想であったギャップ長800mmにも達する分析マグネットの開発を進めた。そして、2004年には、現在の主力製品である“iG4”が730×920mmの第4世代基板生産ラインへ納入され稼動が始まった。

本装置については次章で解説するが、これまでの非質量分離の装置とは異なり、 $1E12$  ions/cm<sup>2</sup>以下の低ドーズ制御やメタルコンタミネーションの低減及び高い生産

性の実現し、非常にすぐれた装置として、現在も他メーカー装置の追従を許していない。

### 3.“iG4”装置の構成と性能

#### 3.1 装置構成と仕様

“iG4”は、ビーム軌道が非常にシンプルな構造となっている事が特徴であり、複雑なビーム制御を必要としない。そのシステム構成図を図4に示す。

本システムは、イオン源に設置された6本のタングステン製フィラメントから熱電子を放出させ、チャンバとの間でアーク放電を起こしプラズマを生成する。原料ガスは、PH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>またはBF<sub>3</sub>を使用している。次に4枚のモリブデン製電極に加工された複数の穴から、それぞれイオンビームが引き出される。この時のエネルギーは、一般的にはアークチャンバに印加する電圧で決定する。イオンビームは、約800mmの非常に長い磁極間隔を有する分析マグネットで磁極と垂直方向に曲げられ、幅が2段に変更可能なスリットで質量分析された後、処理室に到達する。

また、基板がスキャンする位置から、やや後方に複数のファラディカップが上下方向に均等に配置されたプロファイルモニターがあり、基板がスキャン動作に入る直前に、イオン源のフィラメント電流を、あるロジックに従ってフィードバック制御し、イオンビームの電流値と均一性を設定範囲内に保つことができる。真空ポンプは5台のターボ分子ポンプを使用しており、注入中の処理室真空度は約 $1E-3$ Paである(ベース真空度は、 $1E-4$ Pa以下)。

その他の機能として、基板のチャージUPを抑制するPFGやイオン源のメンテナンス時間の短縮を目的とした角型のゲートバルブを設置している。

一方、ガラス基板はローダーより、2つのロードロック室に搬入され、搬送チャンバの真空ロボットで、2枚同時に処理室へと運ばれプラテンに固定される。

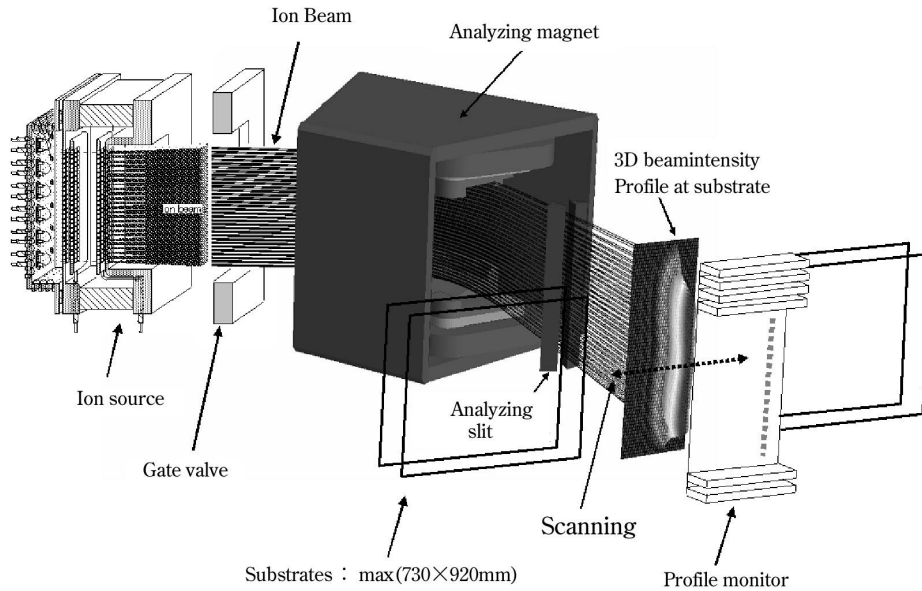


図4 iG4システム構成

それぞれ2つのプラテンは垂直にチルトし、最大350mm/秒のスピードで交互にスキャンする。

図5に“iG4”の装置構成図と表2に各Versionでの主な仕様を示す。表のとおり、装置改良を継続して行っており、ビームの大電流化等を実施することにより、常に生産性の向上に努めている。装置サイズはローダー部分を除いて、幅5000×奥行き8195×高さ2900mmで、総重量は約36,000kgとなる。

“iG4”は、現在、LTPS-TFTの中小型パネル生産ラインにのみ導入されており、その代表的なプロセスは

次の4工程で、その目的と代表的なドーズ量を次に示す。

- |             |   |
|-------------|---|
| (1) PSD     | P型ソース/ドレインの形成<br>Dose=1E15 ions/cm <sup>2</sup> |
| (2) NSD     | N型ソース/ドレインの形成<br>Dose=1E15 ions/cm <sup>2</sup> |
| (3) LDD     | 電界集中の緩和<br>Dose=1E13 ions/cm <sup>2</sup>       |
| (4) チャネルドーブ | 閾値電圧コントロール<br>Dose=1E12 ions/cm <sup>2</sup>    |

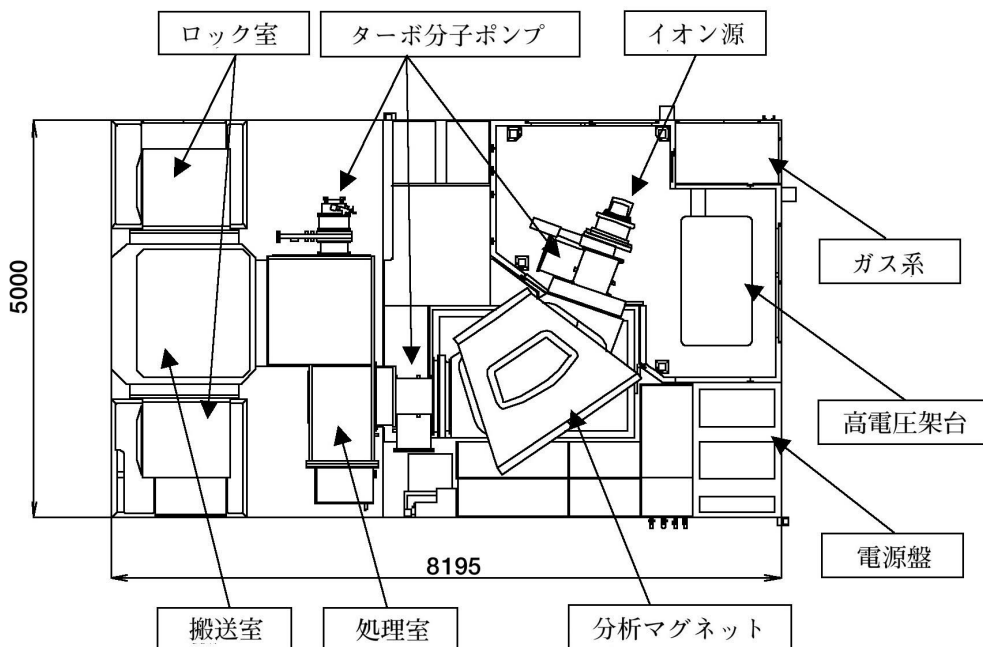


図5 iG4装置構成図

表2 装置仕様

形式 (Ver.)	iG4				
	V1	V2	V3	V4	
装置サイズ	W5000 × D8195 × H2900mm				
基板サイズ	730 × 920 - t0.5mm				
イオン種	P, B				
エネルギー	5 ~ 100keV				
ビーム電流	P	0.5 ~ 150 $\mu$ A/cm	0.5 ~ 290 $\mu$ A/cm	0.5 ~ 390 $\mu$ A/cm	0.5 ~ 400 $\mu$ A/cm
	B	0.5 ~ 100 $\mu$ A/cm	0.5 ~ 180 $\mu$ A/cm	0.5 ~ 250 $\mu$ A/cm	0.5 ~ 250 $\mu$ A/cm
ドーズ量	2E11 ~ 5E15 ions / cm <sup>2</sup>				
スループット	80枚/h		85枚/h		
分解能	4 ~ 10 ( M / M )				
生産量	3588枚/月	5225枚/月	6225枚/月	6895枚/月	

TFTのデバイス構造は、トップゲート型やボトムゲート型といった違いがあり、様々な工夫がなされているため、それぞれに応じたエネルギーとドーズ量で注入される。

### 3.2 ビーム特性

図6に、現在リリースされている装置の代表的な条件におけるイオンビームプロファイルを示す。本データは、装置に常設しているプロファイルモニターによって得られたデータで、PHxイオンの場合、加速エネルギー65keV、ビーム電流390  $\mu$ A/cmで均一性2.3% (1  $\sigma$ /Ave.)、Bイオンの場合、加速エネルギー30keV、ビーム電流250  $\mu$ A/cmで均一性1.6% (1  $\sigma$ /Ave.)が得られている。同様に、12  $\mu$ A/cmや2.4  $\mu$ A/cm等の低電流ビームにおいても、均一性に優れている事がわかる。

ビーム均一性のコントロールはプラズマ生成部の6本のフィラメント電流値とプラズマ生成部から2枚目の引出電極への電圧によって行なっている。

このビーム電流値は、以前の非質量分離装置の値を超えており、同時に精度の高い低ドーズ注入も可能となったことを示している。

また、Bイオンを大電流化する過程において、BF<sub>3</sub>ガスによるプラズマ中では、B<sup>+</sup>、F<sup>+</sup>、BF<sup>+</sup>、BF<sub>2</sub><sup>+</sup>等、多くのイオン種が含まれているため、この中から、必要なB<sup>+</sup>のみを効率よく生成することが重要となる。

そこで、加速電極にアークチャンバより高い電圧を印加すると、プラズマポテンシャルが加速電極付近に固定され、プラズマチャンバ間との電位差が大きくなり、カスプ磁場のフィルタリング効果を利用し重いイオンのみを壁に逃がす事ができる。

図7に各電圧に対するビームマススペクトルを示す。電圧を上げていくに従って、B<sup>+</sup>の電流値をほとんど変化させることなく、F<sup>+</sup>、BF<sup>+</sup>、BF<sub>2</sub><sup>+</sup>が減少していくことが分かる。この効果によって、加速電源容量

の増加や、不必要なイオンがチャンバ等の壁に衝突する時のアウトガスやコンタミネーションの増加を防いでいる。

図8に分析スリット幅を変更した時の、質量分解能およびビーム均一性の結果を示す。分析マグネットの下流側に設けられた分析スリット幅を変化させることにより、質量分解能も変更することができる事から、“iG4”では、注入プロセスにあった分解能を、2段階で選択できるようなシステムになっている。

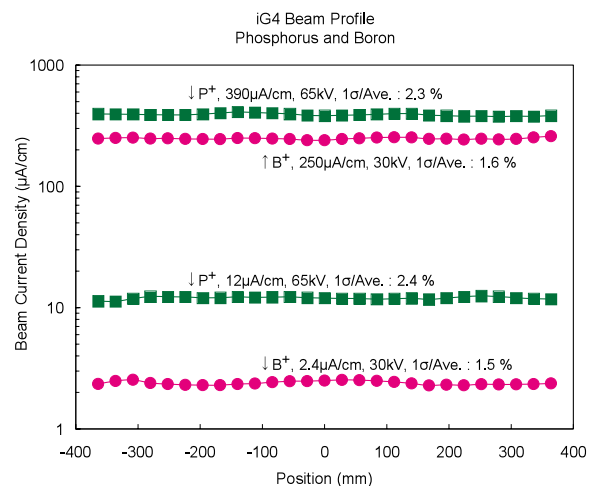


図6 代表的なビームプロファイル

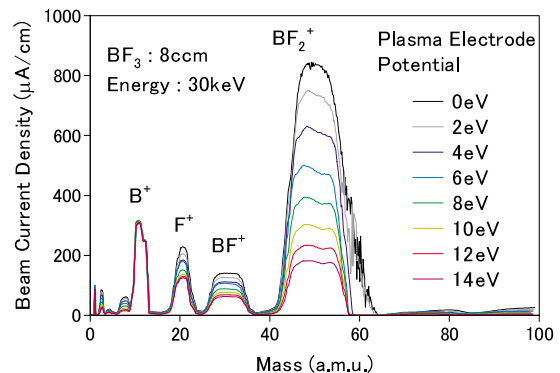


図7 マススペクトル (BF<sub>3</sub>ガス)

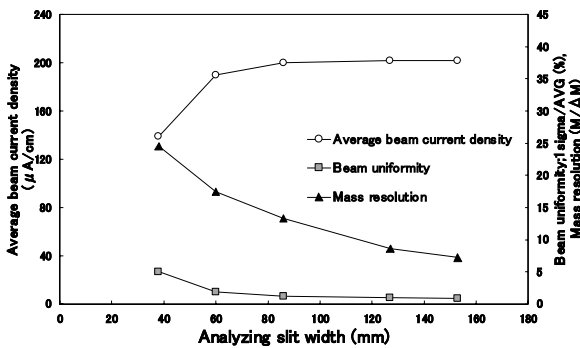


図8 質量分解能

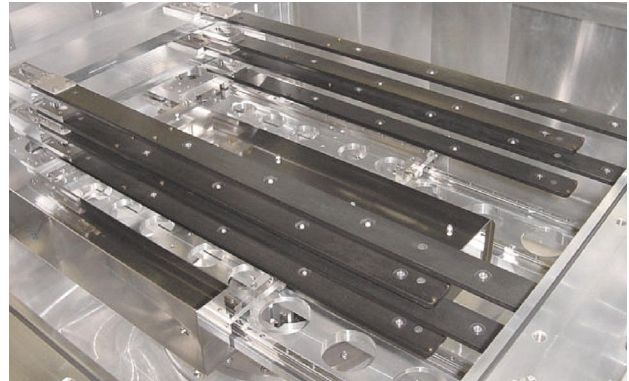


図9 4軸真空ロボット

### 3.3 ハンドリングシステム

当社ではID6700シリーズ以来、基板温度上昇抑制および処理能力向上の2つの観点から、ダブルプラテン方式を採用している。このシステムは、2つの基板を交互にメカニカルスキャンし注入することによって、他方の基板注入中に一端温度上昇した注入後の基板を自然冷却させることができるため、シングルプラテンで注入した時に比べ30 以上、温度上昇を抑えることができる。

また、“iG4”では1スキャン時のメカニカルスリーブットは85枚/hであるが、この処理能力に大きな影響を与える基板交換時間を短縮するため、上記2枚の基板を一度に搬出入する必要がある。これを実現させるため、自社製の4軸真空ロボット(図9)を採用している。本ロボットは、独立伸縮制御可能な2軸のアームを搭載し、それぞれのアームには、2組のハンドが取り付けられており、最大4枚の基板を保持することができる。

本システムによってプラテン上の2枚の注入済み基板とロボットハンド上にある2枚の未注入基板の交換を約30秒で可能とした。

真空度は1E-4Pa以下でも動作可能で、基板位置精度は±1mm以下。

### 4. 今後の取り組みについて

主力装置である“iG4”の性能向上に関して、特に下記の3項目を重点とし開発を進めている。

- (1) 大電流化 ————— 500 μA/cm以上
- (2) 搬送スリーブットの向上 ——— 100枚/h以上
- (3) 高性能モードの搭載 ————— レジスト対応、  
静電モニター、自己診断 etc.

大電流ビーム化開発成果の1例を図10に示す。

大電流ビームを発生させるにあたり、ビームを引き出す電極の穴の配列等を工夫し開口率を上げると共に、電子供給源である各フィラメントを、プラズマを閉じ込めるためのカスプ磁場に直接影響を受けない場所に配置することにより、既に、小電流から大電流まで2.5%以下と非常に均一性の優れたビームが得られている。最大イオンビームは、ボロンで500 μA/cm、リンで700 μA/cmが達成されている。

また、更なる大型ガラス基板(第5世代以上)へ対応するため、第4世代装置の性能を維持し、かつ、小型・軽量化、省エネルギー化、大型部品製作技術確立を念頭に置いた装置開発を急がなければならない。この点においても他社の採用している方式に比べ、その実現に大変有利な構造であるため、スケールアップ方式で対応することができる。

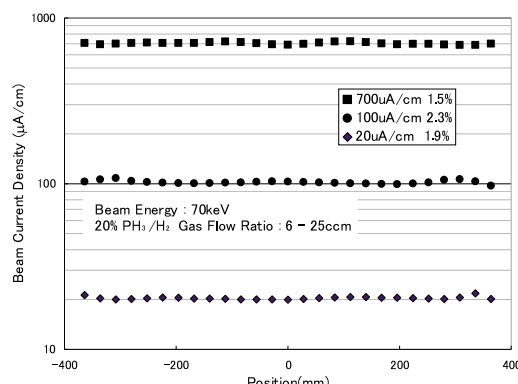
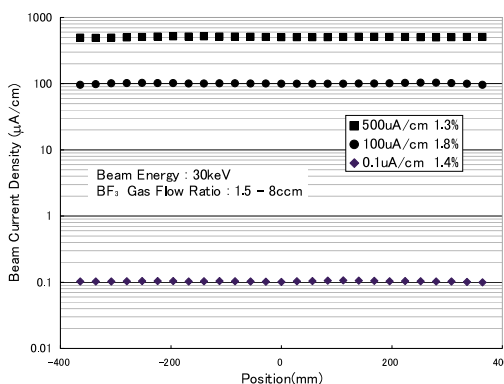


図10 大電流ビーム均一性

## 5. あとがき

今後も中小型パネル産業は、一定の成長が見込まれ、有機ELテレビやモバイルPC等の興味深い製品も発売されており、当社の様な装置メーカーに新たなニーズがパネルメーカーから、次々と生まれてくることが予想される。

これに答えるべくFPD用イオン注入装置のNo.1メーカーであるという現在の地位に満足することなく、情報収集および装置開発を常に先行して進めていかなければならないと考えている。

## 参考文献

- (1) 立道潤一、織平浩一、奥手康弘他：日新電機技報 Vol.39, No.3 (1994), pp52-58
- (2) S. Dohi et al., "16th International Conference on Ion Implantation Technology", 2006, pp. 417-420.
- (3) Y. Inouchi et al., Proceedings of " IIT2008 ", pp316-319
- (4) Y. Inouchi et al., Proceedings of " IDW'08 ", pp1711-1714.
- (5) 小西正志：学振154委員会研究会原稿

## 執筆紹介



**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



**織平浩一** Koichi Orihira  
日新イオン機器(株)  
FPD装置事業センター  
設計グループ 主任



**中尾和浩** Kazuhiro Nakao  
日新イオン機器(株)  
FPD装置事業センター  
設計グループ 主任



**奥手康弘** Yasuhiro Okute  
日新イオン機器(株)  
FPD装置事業センター  
営業技術グループ 主任



**谷井正博** Masahiro Tani  
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



**小野田正敏** Masatoshi Onoda  
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



**糠山正明** Masaaki Nukayama  
日新イオン機器(株)  
FPD装置事業センター  
設計グループ長



**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



**小西正志** Masashi Konishi  
日新イオン機器(株)  
FPD装置事業センター長



**内藤勝男** Masao Naito  
日新イオン機器(株)  
取締役