

表面改質における既存技術と 精密表面改質技術

(株)イー・スクエア

代表取締役 高島 賢二

1. はじめに

近年、高精細型インクジェットを用いたナノインプリント方式によるパターンニングプロセスの簡素化における処理表面への精密な処理方法が求められている。また、ガラス表面、フィルム基材への表面への濡れ性向上、密着性向上等の処理方法に常圧（大気）プラズマを利用した方式が注目されている。従来のコロナ処理やUVランプ（エキシマ）を用いた上記の処理が行われているが、処理中における基材表面へのダメージや輻射熱による問題や、ランプ寿命等でのランニングコスト増大等の問題が存在している。用途や表面材質においては処理ができない場合もあるのが現状である。しかし、本プラズマ処理はこれらの問題をなぜ解決できるのかを具体的に紹介し、従来方式との違いを観点に記述する。

表1は、用途別に現状使用されている表面処理の代表的な処理方法の比較である。単なる表面改質としても非常に幅広い分野、多方面へのアプリケーションで使用されている。今回は、表1に基づき高付加価値基材への精密な表面処理方法

が望まれる機能性フィルム、光学フィルム、フレキシブル基材への表面改質等のアプリケーションを主体に置き紹介する。

2. コロナ処理

数十kHz、かつ高電圧にした電力を両極の金属電極に印加し、電極間でコロナ放電させた空間にワークを位置し、処理をする形態である。この場合、放電空間は空気または窒素ガス雰囲気で行われ、コロナ放電、つまり絶縁破壊現象に近い状態での処理である。

この放電空間は非常に小さなアーク（ストリーマ）の存在と、高電圧下であるためイオン加速衝撃により、基材への損傷（表面粗化）により表面の接触角低下、すなわち濡れ性が向上することにある。また、表面粗化により表面面積を増大させ、密着性の向上に効果を発揮させる物理的処理方式である。しかし、この方法は精密処理には向かないが、一般的な包装資材等の高速処理には最適といえる。

しかし、機能性フィルムや導電性フィルムの場合、表面の導電物と高電圧空間

でのアークが顕著であり、金属表面の破壊が避けられない。また、導電物の施しがない場合であっても、アーク原因によるフィルム表面へのピンホールが問題になる。処理スピードが速い場合、フィルム表面より持ち込まれる空気が空間放電条件を変えてしまう場合があるため、処理に不均一が生じてしまうなどの欠点がある。また、処理中、処理後の帯電も問題である。

3. ランプ（UV・エキシマ）処理

ランプ処理は、ガラス基板等を使用するFPD（フラットパネルディスプレイ）業界では多く使用されている方式である。ランプからの紫外線を利用しワークとの間の酸素を励起し、酸素ラジカル、OHラジカル、オゾンを生じさせ表面改質を行うものである。

改質性能はランプ出力（光量）と、より短波長領域（172nm）ほど高い。処理目的により、ランプ本数を並列に並べ、処理性能のアップが図れる。また、浮遊している遊離されたラジカル反応であるため、外乱の影響を受けやすく、ランプ

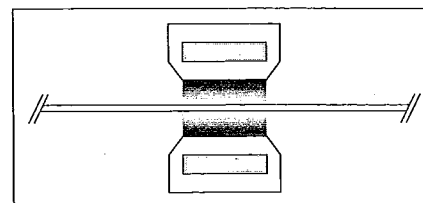


図1 プラズマ処理（平行平板型）

ハウジングも大きくなる。それにより反応空間を強制排気できないため、反応空間にて析出物が発生してしまい、かなりの頻度でクリーニングを行う必要になる。また、エキシマランプの場合には、紫外光を減衰させないためにワーク間に石英板が存在し、これのクリーニングと研磨処理が必要である。また、性能を決定付ける光量チェックも必要でランプ寿命に合わせて交換等のメンテナンスが要求される。

基本的にラジカル処理であるために、ワーク表面への損傷、導電物に対してもダメージはないが、フィルム処理の場合、ランプからの輻射熱が問題になる。ランニングコストはランプ交換費用が非常に大きなウエイトを占めている。UVランプよりエキシマランプの方が寿命が長く高価である。大まかに年に2~3回の交換が必要である。

4. 湿式

湿式は、液晶用フィルム（TAC）の表面改質（研化処理）に使用されている。フィルム表面の洗浄、リンス、薬液処理、リンス、乾燥工程（約3段）が必要であり、装置フットプリントも大きい。ライン構成上、数m~十数m必要になる。薬液処理のため、薬液濃度コントロール、リンス時の廃液処理等でのランニングコストが膨大である。

使用メリットとしては、処理後の表面条件（接触角）の変化が非常に少なく、次工程への影響が少ないことである。環境問題の観点から湿式は望ましくはない

が、処理後の経時変化が少ないことが最大のメリットである。

5. プラズマ処理1（平行平板型）

プラズマ処理1は、大気中でのプラズマ発生を利用して、コロナ処理に用いられるような高周波を電極間に印加し、この放電空間にワークを通し表面処理する方式である（図1）。この場合、より完全なバルクプラズマを発生させるために、放電空間にHeやAr、N₂ガスを充満させる必要がある。この方式も上記のコロナ放電方式と酷似しており、処理基材表面への同様な問題が存在している。

コロナ処理との違いは誘電体バリア放電であり、放電空間に希ガスや不活性ガスを使用しプラズマを利用していることにある。しかし、完全なるバルクプラズマを作るには処理基材表面から持ち込む空気が弊害となり、ストリーマが発生しやすくなる。その場合には基材表面にピンホールが発生する場合もある。また、コロナ同様高電圧下であるためにイオン加速も存在する。PCB（Printed Circuit Board）などのプリント基板への処理に関してもCuやITOのエッジ部に放電が集中する場合があります。損傷の原因となる。従って、高精細なPCBへの処理も同様に向かない。

処理形態としてはラジカルによるドライケミカル処理と物理処理が混在した形

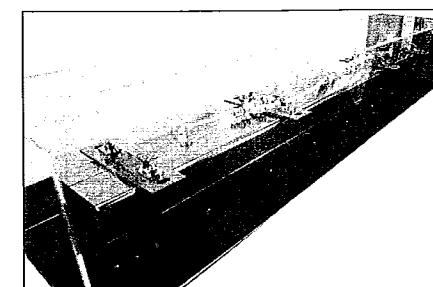


写真1 ダウンストリーム型処理装置（プラズマ発生部）「Exsurf」シリーズ

となるが、表面改質性能は非常に高い。これらのことから処理スピードはコロナ処理より劣る。ランニングコストとしては、希ガスや不活性ガスを大量に使用しなければならないことである。

また、処理中に静電気を発生させてしまうため、5mm程度の放電空間で集塵してしまう場合やアークの集中により、ワーク表面に損傷を与える場合がある。

6. プラズマ処理2（当社：Exsurf）

上記、プラズマ発生部をプラズマ処理1の方式に類似した構造を用いているが、プラズマ発生部とワーク処理面が隔離されているため、完全なラジカル種のみでの処理方法であるため、上記処理方法の諸問題をほぼ解決している方式である。この方式により、現在はFPD分野へのTFT array、Cell工程、カラーフィルター（CF）製造工程において複数のプロセスに使用されている。この場合には、高電圧および高周波印加からの誘導電力を回避とプラズマ発生部（リアクター）からのパーティクルを完全に排除することが必要である。

当社のダウンストリーム型処理装置「Exsurf」シリーズ（写真1、図2）は、電極部に使用する誘電体からのイオン加速での表面アタック等の問題を解決しており、誘電体部の交換やその部分からの原因パーティクル発生（図3）に関して解決しており、5年間の保証を実現している。また、図4に示すように、処理中の基板表面に対する表面電位の発生に関しても、ほぼ0Vと電極部からの誘導を

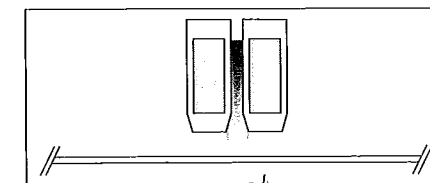


図2 プラズマ処理（当社：Exsurf）

表1 表面処理の代表的な処理方法の比較

処理形態	処理性能	処理速度	ダメージ	静電気	パーティクル	ランニングコスト	メンテナンス性
コロナ処理	○	◎	×	×	×	○	○
ランプ方式	△	△	◎	○	△	×	×
湿式（Wet）	○	○	○	○	△	×	×
プラズマ処理1	○	○	×	×	×	○	○
プラズマ処理2 （当社：Exsurf）	○	△	◎	◎	◎	◎	◎

消滅させる構造である。

このことから、図5に示すように基材表面への静電気発生もなく、基材中のト

ランジスタの諸特性 [ΔVFB (フラットバンド電圧の変化値)、CV (変動係数)等] の変化が見られない。相当の帯

電した表面であっても除電効果によりゴミの発生がないことから、レジスト塗布前、ITOスパッタ前、基材乾燥への処理に使用されている。

特に乾燥工程では残渣物のない乾燥(図6)が常温近傍で可能なため、特にフィルムの洗浄後の乾燥に適している。また、処理表面の材質変化に伴う処理条件の変化にも簡単に対応でき、処理条件、処理性能をフレキシブルに変化させることが可能である。

これらは、処理ガス流量、高周波パワー、酸素比率を可変させることで目的とする濡れ性(接触角)のコントロールが可能である。また、基材表面の濡れ性

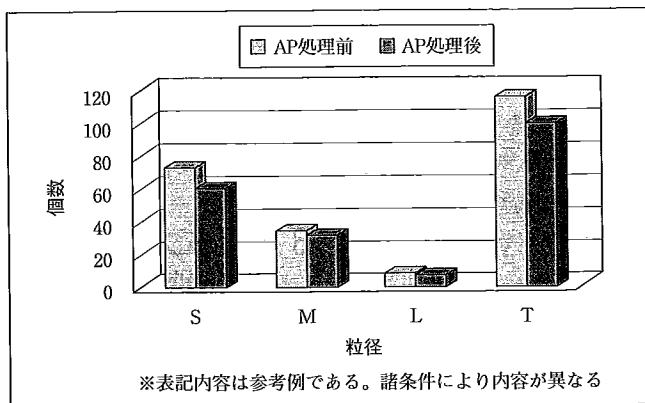
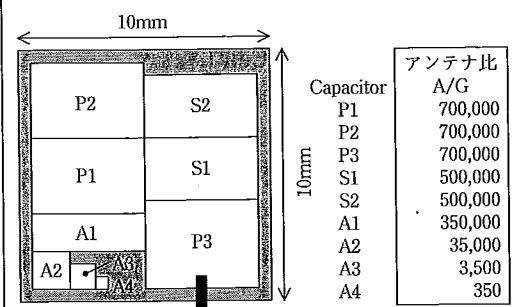


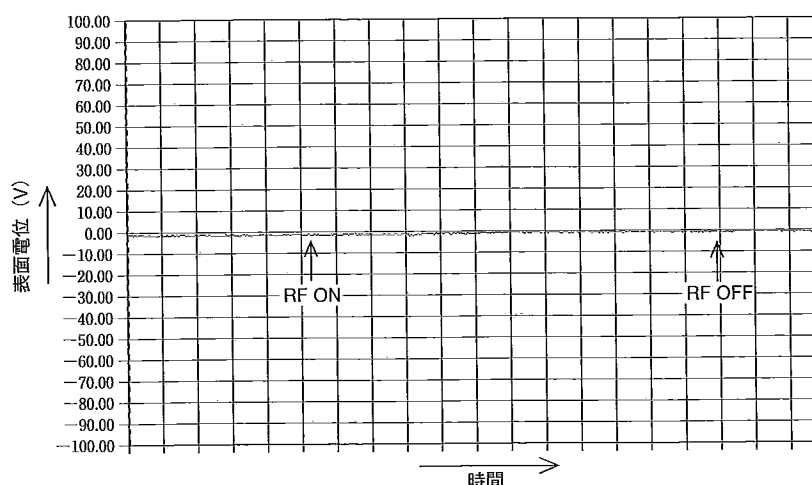
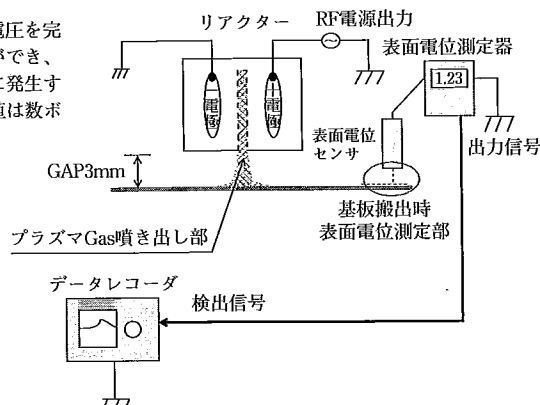
図3 AP処理前後のパーティクル量比較

【プラズマダメージ評価用TEG (8"Si-Wf) のデバイス構造】

【処理基板に発生する表面電位】



当社プラズマ装置は、高電圧を完全に内部に封じ込めることができ、結果として処理基板表面上に発生する表面電位(誘導電圧)の値は数ボルト以下である



※表記内容は参考例である。諸条件により内容が異なる

図4 ダメージ評価データ

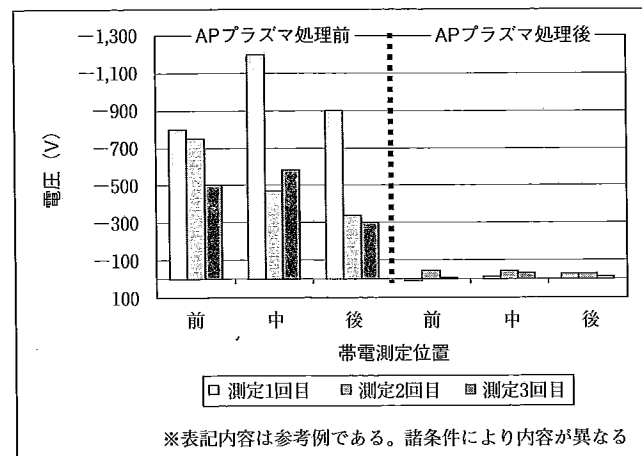


図5 除電効果データ (APプラズマ処理前後の帯電量比較)

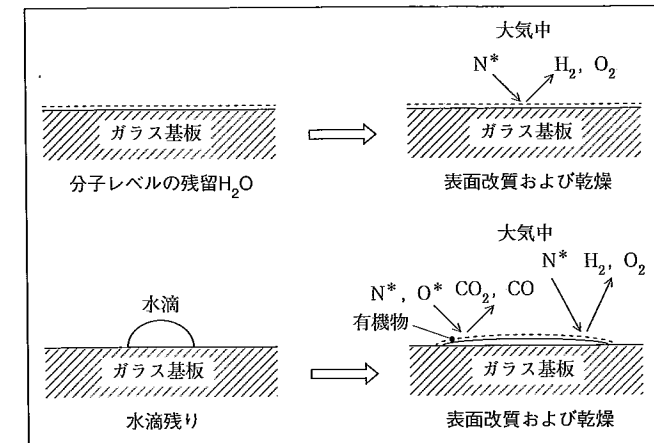


図6 基板乾燥原理

の選択性を利用することもできる。性能面ではランプ処理比は約13倍 (UV)、約4倍 (エキシマ) と非常に高い。

また、Exsurf (ダウンストリーム型) 装置では使用ガスを替えることで、処理後の表面の終端をコントロールすることができ、表面改質後の表面経時変化を極めて小さくすることが可能になった。メ

ンテナンスは2年ごとに消耗品の交換で済み、その間の調整、点検の必要がなく、電極部に使用されている誘電体の交換も5年間の連続使用を実現している。

7. おわりに

今後、フィルムをベース基材にした高付加価値製品製造に関し、ロール to

ロール方式での洗浄工程から製品完成までを考えた場合、さらなる成長分野とされる機能性フィルムおよび、地球環境負荷への配慮を考えた場合、プラズマでの表面処理(界面制御)の処理として方法の重要性がますます高まるに違いないと確信する。

※次世代塗布現像装置「SOKUDO DUO」、毎時300枚処理を実証

大日本スクリーン製造(株)と米・アプライドマテリアルズ社による合併企業である(株)SOKUDO (須原忠浩社長、京都市下京区)は、新機種「次世代塗布現像装置「SOKUDO DUO」において、リソグラフィ工程で使用される塗布現像装置として世界初の毎時300枚という高スループット処理を実現した。

同装置は、これまで最大毎時200枚超が限界であったスループットを、革新的な新コンセプトであるデュアルトラックシステムにより大幅に向上。昨年末より、(株)東芝に設置し、高生産装置としての評価を進めていたが、今回、リソグラフィ工程の一部プロセスにおいて、加速する半導体回路パターンの微細化対応を行いつつ、生産性の向上を図っていくことが、製造コスト低減の観点で重要な課題となっており、高スループット処理の実証は、そうした生産効率を改善させる上で、新たな可能性を現実化させたもの。超微細化プロセスに対応した高生産性装置としての検証も順次進める意向で、引き続き、幅広い用途を対象に同装置の可能性を追求していく方針。

ちなみに、SOKUDOは、半導体製造用の高度なコーター・デベロッパの開発・製造・販売・保守を目的として2006年に設立された会社だ。

※軽微な傷を自然修復するPCプレート「リペアガード」

タキロン(株)は、ポリカーボネート(PC)プレート表面自己修復グレード「リペアガード」を5月15日から発売している。厚さ2~4mm、幅1,000mmの受注生産となる。

PCプレートは、耐衝撃性と透明性に優れたエンブラ材料として、カーポットの屋根材等の建築資材、自動二輪車等の車両の風防、FPDやモバイル機器関連の周辺部材として幅広く使用されている。しかし、これらの用途に使用されるアクリル材に比べ表面硬度が低く傷つきやすく、また、屋外用途に必須の耐候性も劣る。リペアガードはこの短所を「自己修復性」機能で補う。従来のPCプレートより表面硬度が高く傷が付きにくい上、プレート表面に付いた軽微な傷を、自然に自己修復。更に良好な耐候性、プレス成型等の熱加工性もあり、屋外用途の風防や面体の素材に最適。従来のPC透明板と同様の耐衝撃性、透明性も有する。

同社では、同製品を表面自己修復性、耐候性の特性を併せ持つことを業界初の新基軸とし、車両の風防、ヘルメット等の面体や安全カバー用途など、産業用PC事業の機能付与製品として積極的に展開していく考え。売上目標は、初年度1億円、3年後に3億円。生産は、揖保川事業所(兵庫県たつの市)で行っている。

(株) 斎藤 徳子

《イー・スクエアのFPD/FPC向け表面改質装置》 プラズマによる表面改質の革命 高周波の影響を徹底追求し完成



(株)イー・スクエア 代表取締役 高島賢二

常圧プラズマの発生実験中にトライしてみたプラズマによるレジストの剥離実験が、LCD製造工程に多用される表面改質装置へとつながった。さらに、フレキシブル基板(FPC)業界への進出を決定する契機にもなった。イー・スクエアのプラズマ表面改質装置「ADMMASTER」は、独自の改良を加え、処理後のダメージをほとんど与えない量産対応機として完成している。

●PFCガス分解からの常圧プラズマ技術

イー・スクエアは、99年に協力会社数社から出資を得て起業したベンチャーである。代表取締役の筆者は、27年前より半導体製造においてプラズマ技術と装置をテーマに活動してきた。スタートアップ当初は、ドライエッチング工程のエッチャントガスの温暖化効果を軽減させるPFC除害装置の開発・製造を主要事業としてきた。

当時は、100m²程度の倉庫を改装し、FT-IRや各種測定器、真空設備、ガス供給設備などを装備して、わずか4名で船出した。以後、このコンセプトで作成したPFC除害装置約40台を出荷している。現在も、製造ラインで稼働中である。

我々はさらに、常圧下でのプラズマ処理を実現すべく開発を進めていたが、常圧プラズマ発生実験中に酸素プラズマでレジストの剥離実験を行ったところ、容易に剥離が確認できた。これを契機に、FPD、FPC業界への進出を決定することとなった。

実験モジュールが完成するまでには、様々な素材や構造に対する開発を要した。例えば、使用電力効率に関して、誘電体材料とプラズマ密度およびその耐久性のマッチングには苦心した。現在では、交換が不要となり、半永久的に使用できるようになっている。

その後のユーザーの評価段階では、想像以上に時間を要した。というのも、エンドユーザーの

基板処理を通して、どのアプリケーションに適用できるのか、また、基板上のトランジスタのダメージはどうか、処理後の表面状態に変化はないか、パーティクル発生に関してはどうか、さらに処理後の基板信頼性はどうかなど、いずれも検証に時間がかかる問題だった。

例えば、プロセス評価では、工程間での有機汚染を完全に排除するのは不可能に近いが、次プロセス投入直前での対処は可能である。つまり、より基板表面状態の均一化を図れば、ウェットプロセス(現像、エッチング、剥離、洗浄など)の均一処理が可能であり、プロセスマージンも浅くできる。また、次工程での密着性も均一化できる。

プラズマの場合、ラジカル処理がメインであるため、既存のランププロセスに比べ、非常に改質性能

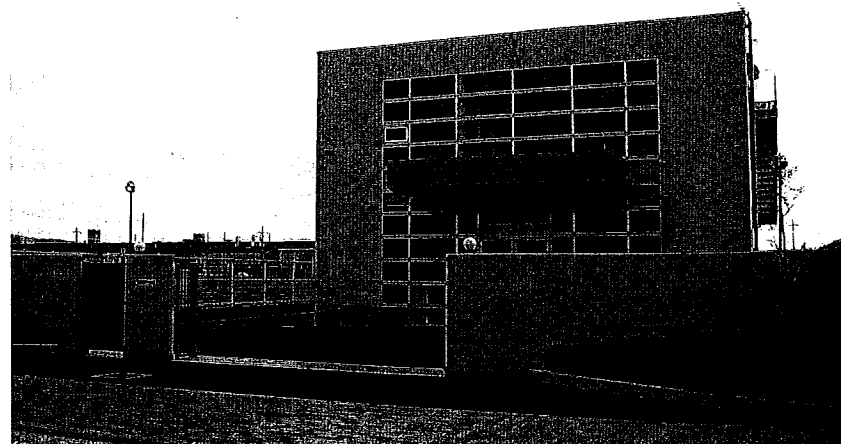


図1 11月に完成した本社新社屋

が高い分(ランププロセスの約4~5倍)、高速処理が可能で、搬送インデックスの向上も見込める。メンテナンスも1年に1回(Oリング、フィルタ交換のみ)で済み、ランプの場合での照度管理、クリーニング、ランプ交換など、年間を通じてのメンテナンスも必要なく、稼働率も向上する。

現在では、国内FPCメーカー、FPDパネルメーカーや台湾などの量産ラインで使用されており、表面改質プロセスのキーテクノロジーとして活用されている。また、これらの技術において、数件の特許申請をすることができた。さらに、京都府から創造法の認定も受けることができた。来春には、基板乾燥装置、有機物剥離装置をリリースする予定である。

直近では、某大学の研究グループと共同で、フレキシブルデバイスの実現に向けた常圧プラズマ技術として、種々のアプリケーション開発を行うことが決定している。また、競合他社との比較においても、処理性能面はもとより、N₂使用量、電力効率、リアクタ体積、重量などにおいて、1/2~1/3とコンパクトで、ランニングコストも低いことがわかってきた。

●チャージダメージを抑えた量産機完成

昨年春より建設してきた本社新社屋(図1)は、今年の11月に完成し、今後の大型基板への対応と、生産体制の確立、開発設備などの拡充に向けて取り組むインフラが整った。しかし、ここへ来て肝心のFPD関連市場が、急速な減速領域に突入してきた。当社にとっては、この減速時期に、ユーザーの評価に十分な時間をかけられる好機と捉えており、UV、エキシマランプと比較した場合の、より明確な差別化がなされるフェーズと位置づけている。

当社のプラズマ表面改質装置「ADMMASTER」シリーズ(図2、図3)の最大の特徴は、リアクタ構造に独自の改良を加え、基板表面への高周波の影響を完全に排除したことにある。処理ダメージ(表面状態、トランジスタ)に関するユーザー評価結果から、ランププロセスと同等との評価を得ている。また、

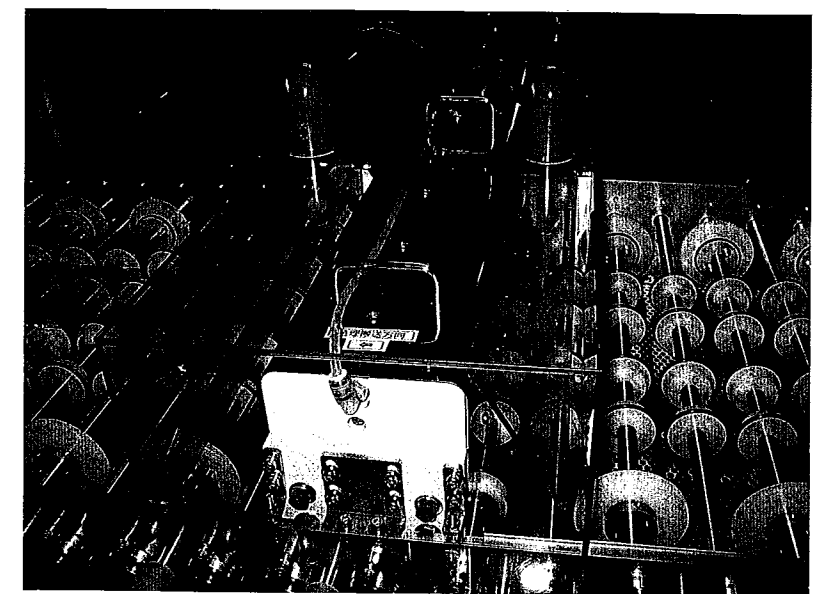


図2 「ADMMASTER II-400d」の外観

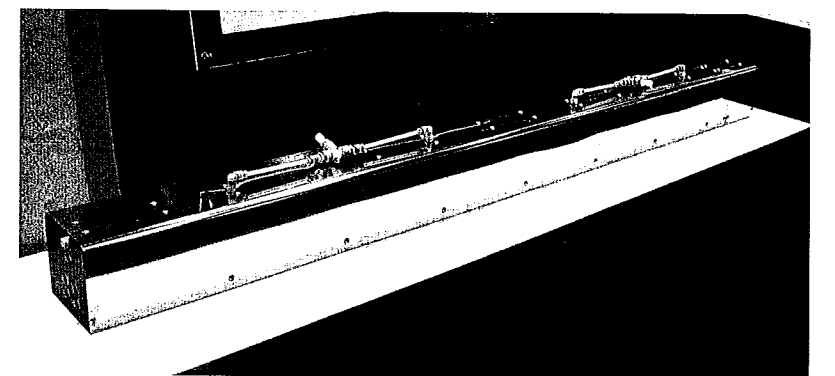


図3 第6世代用「ADMMASTER II-1500d」の装置モジュール

処理後のチャージダメージの値がほぼゼロに近い値との結果も得た。これは、高周波電力の影響がほとんどないという1つの判断基準となる数値である。

デジタル家電や携帯機器の台頭により、FPDパネル製造コストの低減と歩留りの向上が今後ますます要求されよう。数年を要した開発期間と、エンドユーザーの協力により、開発と実験を繰り返してきた結果、当社のADMMASTERがFPDをはじめとしたエレクトロニクス関連市場で、大幅な製造コストダウンに寄与すると確信している。

本製品に関する問い合わせ先

(株)イー・スクエア
〒613-0034 京都府久世郡久御山町栄2-1-210
TEL: 0774-48-3366 FAX: 0774-48-3370
E-mail: e2-takashima@nyc.odn.ne.jp