

わが社の歴史

日新イオン機器株式会社

—イオンビームによるイノベーションを起こし続ける—

本年2018年は創立19年目、翌2019年4月に漸く20周年の“成人式”を迎える。「成人」にも至っていない当社は、言うなれば、会社としては歴史を語る程に至らない若輩者でしかない。一方、現在当社が手掛けている事業自体は、現在親会社であり昨年2017年にミレニアム・イヤーを迎えた日新電機株式会社から始まり、実に半世紀ほどの時間を費やしてきている。今回は、当社事業のこれまでの流れについて書いてみたいと思う。（日新電機75周年社史、100周年社史、日新電機技報創立100周年記念論文からの引用をベースに一部編集作成）

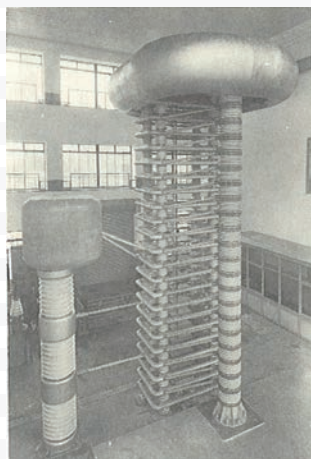
EPISODE 1 <事業の夜明け>

日新電機株式会社は1917年4月に受変電機器・設備事業を中心としたメーカーとして京都に創立された。第二次世界大戦後、高度経済成長期を迎え、急激な電力需要の伸びと共に電機業界も大きく発展し、日新電機も生産体制と研究開発体制の強化を進めた。その一つが後にビーム・真空応用事業へと発展する加速器の開発である。

戦後、原子力の平和利用に伴う核物理の研究が各国で盛んになり、荷電粒子をなるべく高エネルギーで加速することを目的にして、サイクロトロン、シンクロトロン、ベータトロンなど各種の加速装置が開発された。昭和30年代に入って、放射線の工業利用が注目され出した。例えば、ポリエチレンに放射線を当てて耐熱性を良くするとか、医療品や食料品の殺菌を、従来の加熱や薬品処理に代えて行う

など、さまざまに利用され始めた。日新電機は、コッククロフト形直流高電圧発生装置では実績が多く、国内の1ミリアンペア級装置はほぼ全部を製造してきた。その技術を基に、当時の通産省応用研究補助金を受けて、京都大学・住友電気工業の協力を得てNS形静電加速装置を開発した。

この装置は、直流高電圧発生装置に加速管を組み合わせたもので、従来のコッククロ



NS 形静電加速装置

フト形に比べて保守が容易で、また出力ワット数も当時世界最大級であった。

これが、日新電機におけるビーム関連事業の第一声となる。

EPISODE 2 <イオン注入装置事業の萌芽>

その後、日新電機は直流高電圧電源を使用した高エネルギーの電子線照射装置（EPS）を開発し事業化の推進に力を入れてきた。EPSの工業生産面での用途は飛躍的に増大し、更なる大電流の装置開発が急務となったため、当時、世界のトップメーカーであった米国マサチューセッツ州にあるハイボルテージ・エンジニアリング社（HVEC社）から、大電流電子線照射装置の技術導入を計画し、1970年5月に正式契約、6月には日新電機・HVEC社50%ずつの出資による合弁会社・日新ハイボルテージ株式会社（NHV）を設立した。

その頃、半導体メーカーでは従来、半導体基板に金属イオンを打ち込む場合、熱拡散方式を採用していたが、素子の集積度が高まるにつれて、この方式では濃度、均一性にばらつきが出るなど、全体の歩留まりに問題が出始めた。当時、半導体素子は高速応答性、小型大容量性の要求からますます微細化される傾向にあったため、その微細な部分を非常に高い精度で処理する方法として、イオンビームを処理する方法としてイオンビームを直接半導体ウェーハに打ち込むイオン注入法が注目された。日本でも1965年ごろから研究が始まり、各企業、研究機関で各種の基礎研究が行われるようになった。

日新電機では、HVEC社と電子線照射装置の技術提携を行った当時から、同社のイオン注入装置にも関心を持っていたが、同社のイオン注入装置の生みの親であるピーター・ローズ博士が退社して別会社（NOVA Associates）を設立したため、提携対象から外していた。しかし、日新電機技術陣は、その技術動向には関心が高く、いずれかの会社との技術提携について検討を続けていた。

この問題が具体化したのは1973年であった。1971年、オランダにあるHVEC社の系列会社ハイボルテージ・エンジニアリング・ヨーロッパ社（HVEE社）が、デンマークのベンチャービジネスのダンフィジック社の株式を50%譲り

受け、ダンフィジック社が開発したイオン注入装置の製造・販売権を取得した。このダンフィジック社のイオン注入装置について、HVEE 社から NHV に技術導入の話があったのが1973年1月頃のことである。日新電機技術陣がその技術内容を検討中、HVEC 社社長から日新電機社長に対して「この分野の将来を期待して NHV で取り組んでほしい」という要請があったことから、ダンフィジック社の技術をベースにイオン注入装置の開発に取り組むこととなり、1974年 HVEE 社と NHV との間に正式契約が締結され、組織的な開発に乗り出した。



HVEE 社

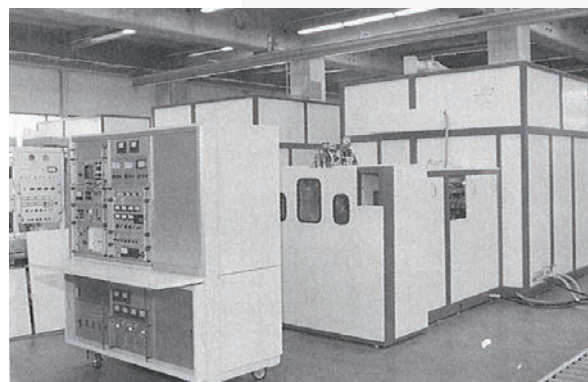


当時のイオン注入装置

EPISODE 3 <事業本格化へ>

NHV では導入技術を基に独自技術を付加して開発を進め、1976年5月、400kV・10 μ A の研究用イオン注入装置を日本原子力研究所核融合研究部に納入した。ついで同年末には茨城県東海村にある東京大学工学部原子力工学研究施設に400kV 装置を、1979年12月には大阪大学原子力工学科へ300kV 装置を納入した。また、1977年には中電流イオン源の開発に成功し、ビーム発生量で従来のイオン源の能力を1桁アップさせることができたことから、いよいよ生産用イオン注入装置の開発に目途がついた。

イオン注入装置は、半導体用としては金属元素を30～200kV の加速エネルギーを与えて半導体表面に打ち込み、P 型・N 型の拡散層を作って PN 接合（トランジスタの基本）を形成するものである。従来の IC 製造工程では、拡散は高温（1,000～1,200℃）の炉の中で熱によって不純物を表面から浸み込ませるものであったが、この方法では処理時間や制御性に問題があることから、集積度が大きくなるに従ってイオン注入法が注目されるようになってきた。日新電機では、半導体産業やイオン応用分野の将来性に注目して、この部門から新しい事業展開を図ることにしたのである。日新電機にとって、半導体装置分野は初めての領域であり、当時国産の半導体装置メーカーの育成の必要性を感じていた国内大手半導体メーカーとのコラボレーションがその推進力になった。数々の苦勞を乗り越え、半導体デバイス生産用として使用可能な高出力で品質の安定した Vth（閾値電圧）制御用の中電流イオン注入装置を開発して、1978年に初めて大手半導体メーカーに納入することに成功、本格的な事業化がスタートした。



イオン注入装置 1 号機

更に1980年2月、米国のウエスタン・エレクトリック社（後の AT&T 社）と技術提携し、トランジスタのソース・ドレイン電極に高ドーズ注入を行う30kV プレデポジション用大電流イオン注入装置「PR-30」の開発に着手した。続いて各種の技術実績を重ね、1983年1月には、ビームエネルギーが200kV、電流値が6mA まで得られる大電流イオン注入装置「PR-200」の開発に成功した。

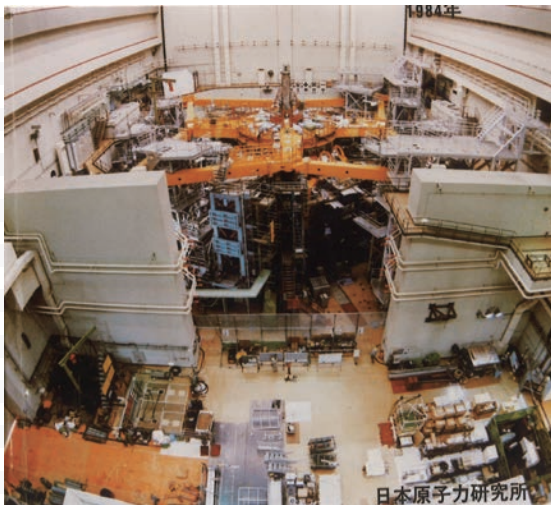
当時は、集積回路（IC）がそれまでの中規模集積回路 MSI（チップ 1 個当たりの素子数が100～1,000個）の時代から、大規模集積回路 LSI（1,000～100,000個）の時代へと移行する時期であったから、イオン注入装置の需要は急増していた。そこで日新電機は1983年 1 月、NHV が担当していたイオン注入装置の開発・設計・製造業務を自社に移管し、これに自社内プロジェクトチームで取り扱っていたその他のイオン応用分野開発業務を統合して、新たにイオン機器事業部を設置、この事業における市場開拓や機器開発に一

段と力を入れることにした。

また、このころを前後して、日本国内では大規模プロジェクト JT-60 の建設が始まった。

海水中に含まれる無尽蔵の燃料資源、重水素とその同位元素の三重水素を、超高温のプラズマ状態にして長時間磁場の容器に閉じ込めて、原子核同士を結合させた時に放出されるエネルギーを取り出す。核廃棄物の無い究極のクリーンなエネルギー源として核融合技術が注目され、日本原子力研究所が1975年から10年をかけて、核融合反応により得られるエネルギーが発電に必要なレベルに到達することを目指して、要素技術の開発と実験設備の建設を行ったビッグプロジェクトである。日新電機は、プラズマ加熱のための中性粒子入射装置用のイオン源と電源装置やプラズマ中のイオンを加熱するための RF 加熱用電源装置を製作・納入し、その後の世界レベルの実験成果に貢献した。

このイオン源技術は、のちの FPD 用イオン注入装置のイオン源開発に非常に役立つことになる。



JT-60

EPISODE 4 <久世工場建設>

先に述べた中電流イオン注入装置は、原料ガスをプラズマ化しイオンを発生するイオン源、発生したイオンから必要なイオンのみを選別し、これに電圧を印加して加速させたイオンビームを輸送し走査(スキャン)するビームライン、ウェーハにイオンを注入処理するためのエンドステーションなどで構成され、以降のイオン注入装置の基本構成をなしている。生産用の初号機は直径2~5インチのウェーハ処理が出来るオートハンドリング機構を備え、マイクロコンピュータによる自動制御が出来る量産用であった。特に、ウェーハ搬送には当社独自のベルト搬送を採用、当時先行していた外国メーカーの重力落下方式より優れていたため、その後の中電流機市場でのシェア拡大に一役買うもので

あった。「NH-20C」「NH-20S」と続く NH シリーズの誕生である。1984年には、当時の最先端である4M ビットメモリ用 IC の製作にも利用でき、注入確度が連続で可変する回転機構を持つエンドステーションを持つ新機種「NH-20SD」が開発された。同機は、2~6インチウェーハまで対応が可能となり、また、シリコンデバイスだけでなく、ガリウムヒ素デバイスの量産ラインにも適用でき、エンドステーションが2つあるデュアル・エンドステーションとフルオートを開発・装備することによって量産化が可能となる等の特長を備え、当時世界最高のスループットを誇るものであった。その後、中電流機は順調にシェアを伸ばしていった。



中電流イオン注入装置「NH-20SD」

一方、1982年ごろから半導体デバイスの生産性向上を主たる目的として、大電流イオン注入による高濃度イオン注入方式が急速に普及するようになった。そこで、標準的な装置として使用される台数の多い80kV 級の生産用イオン注入装置の開発・商品化に着手し、1985年に「PR-80」として完成するに至った。

日新電機はイオン注入装置などの将来の需要増に備えて、新工場の建設計画を立てたのは1984年のことで、1986年には円高不況に見舞われたが、トップの決断で計画通り建設



久世工場外観（当時）

を進め、京都市南区の同社久世工場をリニューアルして専用工場棟を完成、イオン機器事業部が右京区梅津の本社工場から移転し、7月1日に操業を開始した（同工場は現在の当社本社工場）。総工費は17億円で、敷地面積12,000㎡、工場建屋は地下1階・地上3階、延床面積7780㎡、クリーンルームや耐重量構造の諸設備を備えた当時としてはトップクラスの新工場であった。翌年1987年には同工場内に注入評価装置の設置などを進めている。

EPISODE 5 <1990年代の勃興期>

1986年にはロボットアーム搬送方式を持ち回転注入機構を持つ「NH-20SR」シリーズを開発した。通常のイオン注入では、ビームの静電走査（スキャン）機構によりイオンのウェーハに対する入射角度は、ウェーハ中心と周辺部で2～3度異なる。このため、ウェーハ表面にパターンによる段差がある部分では、段差の周辺部に陰が出来てイオン注入されない領域が生じる。これをシャドウ効果といい、DRAM メモリでは面内のデバイス特性ばらつきの問題となった。これらの課題に対応するため、注入中にビームに対してウェーハ自身が回転する機能を持ち、広範囲の注入角度可変機能をもつエンドステーションの開発を行った。本機構を搭載した「NH-20SR」シリーズは6インチウェーハ対応中電流イオン注入装置でベストセラーとなり、本回転注入機構エンドステーションは、半導体デバイス性能を画期的に改善したとして、1993年に市村産業賞を受賞する栄誉を受けた。

平成となった1989年になると、代表的なデバイスであるDRAM は1M の量産が進み、次世代の4M の生産も開始された。更に半導体デバイスメーカーは研究開発の中心を16M へ移行させ、8インチウェーハの本格採用も目前となってきた。ウェーハの大口径化により、中電流機も従来のラスタースキャン（ウェーハ中心と端部でイオンビームの入射角度が異なる）からの転換を余儀なくされることになる。



「NH-20SP」

こうした状況への対応として、当社は久世工場内のクリーンルームのウェーハ評価設備の拡充を図ると共に、1989年12月には、8インチ16M 対応の新機種「NH-20SP」を完成させた。同機は、ビーム走査を平行化したパラレルスキャン・回転注入方式を採用したものである。

大電流機も同様に進化を見せた。1988年には真空内カセットローディングとロボットアーム搬送方式を採用することによってパーティクルの低減を図るとともに、半導体製造システムの無人化、FA 化に対応したフルオート機「PR-80A」を完成するに至った。1990年には大電流イオン注入で深刻になるチャージアップによる素子破壊を抑制する対策として、それまでのエレクトロンシャワーによるイオンの電荷中和方式に加えて、ビームサイズを自動制御するシステムを当社独自に開発し、PR-80A に搭載した。本システムによりチャージアップ低減性能が大幅に向上した。



大電流イオン注入装置「PR-80A」

一方このころ、日新電機ではイオン注入装置以外の半導体製造装置の研究開発が盛んであった。その中で注目され出したのが、CRT に代わる次世代のディスプレイとして現れた液晶ディスプレイ（LCD）を代表とするフラットパネルディスプレイ（FPD）の製造装置である。LCD は、ガラス基板に微細加工を施して画素を形成し、画素の制御は各画素や画素領域の周辺部に大量に形成された μm サイズの薄膜トランジスタ（TFT）による電気信号で制御されるが、これら TFT の電気特性改善のためにシリコン基板などの半導体製造で広く使用されているイオン注入技術が FPD 製造でも適用できると考えていた。しかし、まだ90年代初頭では半導体製造用のイオン注入装置が処理できる基板サイズが6インチ程度であったため、FPD 製造用に使用される大型ガラス基板への技術利用はコストや処理能力の点で未だ困難だった。

これを解決するため基板の全域を覆う円形で均一なビームで注入する方式が考案され、松下電器産業（現・パナソニック）株式会社中央研究所と日新電機（研究開発本部）との共同装置開発を開始、1990年に研究用装置 ID-100の1号機

を納入した。本装置が世界で初めて納入された FPD 用イオン注入装置である。同機は基板サイズ300mm × 300mm、最大加速電圧は100kV で、従来の半導体用イオン注入装置と異なり、多孔電極を用いてプラズマ生成室で発生したすべてのイオンをシャワー状に注入することから、「イオンドーピング装置」と命名され、1993年に商標登録している。

EPISODE 6

<転換期と日新イオン機器(株)の発足>

デバイスの進化と共に、ウェーハに対する入射角を常に一定に保つパラレルビーム注入機構は必須の機能となってきた。そこで、90年代初頭から新しいコンセプトによる新製品開発を、海外人材の英知も取り入れながら進め、課題となっていたエネルギーコンタミネーションの除去と磁場スキャン(特許化)によるパラレルビームを形成する仕組みを取り入れた「EXCEED」シリーズ(EXCEED2000)が1995年に完成した。EXCEED はそれまでの電場走査から磁場走査に代えたことによってビーム輸送効率を向上させ、ビーム並行度と均一性が格段に向上。またエネルギーコンタミの除去は注入結果のばらつきを無くし、イオン注入装置の量産プロセスでのバリエーション増に繋がるものとなった。「EXCEED」のコンセプトは現在に至るまで、長く当社の原型となっている。



1993年 EXCEED 開発現場にて

(人物は当時の開発担当技術者であった長井・現社長)

ご承知の通り、半導体産業分野は、猛烈なスピードで加速・停止を繰り返し、需給バランスの上下がある、いわゆるシリコンサイクル産業で、日新電機の在来事業とは大きく乖離した事業モデルを呈する領域であった。

半導体業界は1990年代半ばから長期にわたる DRAM 不況に見舞われたところに、1997,1998年にはアジア通貨危機が追い打ちをかけ空前の大不況に陥った。こうした中、イオン機器事業部はビジネスリソースを中電流機に集中したが、設備投資減少、受注価格の低下の中で、頼みの EXCEED も業績に直ちに貢献できず、同事業部は厳しい状

況に陥りつつあった。

更に、日新電機の主力事業である電力機器事業は、90年代に入りバブル崩壊後、世紀末の重電不況に陥り、長期低落は避けられない状況となり、総合電機メーカーでは重電事業を切り出すなど再編成が進捗していく中、日新電機はこれまで事業分野の拡大をめざしてきたが、新規事業分野向け投資継続、赤字負担の余裕は無くなり、日新電機本体事業自身のリストラクチャリングの必要が生まれてきた。

このような状況を背景に、当該事業の将来についていろいろな選択肢を模索したのであるが、最終的には退路を断ったかたちで事業部の分社化を決定し、1999年4月、資本金4.9億円で日新イオン機器株式会社の発足に至るのである。



日新イオン機器株式会社 久世本社工場(当時)

EPISODE 7 <事業の復活>

日新イオン機器は、まさに厳しい船出であった。当時事業再生の可能性に楽観的な人はまずいなかったと思われる。ネームバリューも無く、日新電機に営業権を置いた下請会社としてスタートした当社は、固定費を最小限に絞り、全社一丸で危機意識を共有し、「公明正大」「一人三役」「一致団結」の会社モットーの下に懸命に取り組んだ。

ちょうど会社発足のタイミングで、事業環境は DRAM 大不況・アジア通貨危機から一転し、携帯電話やインターネットの本格普及を背景に半導体業界は99-00年にかけて空前のIT通信大投資へと転換した。また、当初オーバースペックであった新モデル EXCEED2000A が、この間に複数顧客に試験的に採用され、当時の0.5μm プロセスには最優秀の装置であることがフィールドで実証された頃に、大規模投資ブームに至りリピートオーダーに繋がっていった。これら状況が複合的に重なって、当社は当初の予想を大きく覆し、設立初年度から黒字転換を果たし復活の道筋を着けることができた。

IT ブームは2001年に終焉するが、ここも赤字転落するこ



中電流イオン注入装置
「EXCEED2000A」

となく乗り切った当社は、2003年には日新電機社員（これまでは全社員が日新電機からの出向社員）から当社プロパー社員への転籍を行い、同年資本金も15億円へ増資、2005年には日新電機から営業権と特許権を譲り受け、会社運営の自由度・独立度を大きく高めることとなった。

2000年代に入り、半導体製造の中心は日本・韓国・台湾・中国などの東アジア圏に移ることが決定的となっていた。どん底からの復活を果たした当社も製品供給先がアジアシフトすることに呼応し、既に90年代の勃興期に拠点づくりをしていた台湾を皮切りに、中国上海、韓国・シンガポールにそれぞれ営業支援とサービス供給行の拠点（シンガポールは支店、それ以外は全て現地法人会社）を2001～2002年の間に設立し、今に至る礎を築いた。

こうしてサバイバルから再び成長への模索が始まることとなる。

EPISODE 8 <発展に向けて新しい時代へ>

(1) 新たなイオン注入装置の開発

2004年には12インチ（300mm）口径ウェーハ対応の新モデル「EXCEED3000AH」を開発・リリースした。このころ半導体工場は8インチ用投資が収束しはじめており、2005



中電流イオン注入装置
「EXCEED3000AH」

年以降になると12インチ用の投資が主流となった。デバイスの微細化による製造コストは大きく上昇し、各ユーザーは製造コスト削減を装置メーカーにこれまで以上に強く要求するようになった。メカニカル・スループット向上と低エネルギー帯のビーム量改善といったニーズを凌駕するス

ペックを搭載する同機は、更に長寿命化したイオン源開発を果たしたことで、多くの台数を納入することになる。

また、当社は2008年に京都大学の協力を得、科学技術振興財団からの委託開発によって育まれたクラスターイオンビームの発生基礎技術を基に、米国ベンチャーと量産装置を共同開発し、クラスターイオン注入装置「Claris」をリリースした。

21世紀に入ると、省エネルギー化、高効率化、CO₂排出抑制などの世界的な環境ニーズを背景に、再生可能エネル



SiC 用高温イオン注入装置
「IMPHEAT」

ギーをはじめ、ハイブリッド自動車や電気自動車などの電動化車両の普及が進み、これらを支えるキーデバイスとして、パワー半導体（パワーデバイス）が注目されるようになった。当社はこれにいち早く着目し、次世代のパワー半導体用素材として有望なSiC用のイオン注入装置

「IMPHEAT」を2009年にリリースしている。

(2) FPD 用装置の飛躍とグローバル化

このころ、特筆すべきはFPD用イオン注入装置（イオンドーピング装置）の台頭である。

既に日新電機イオン機器事業部時代に研究開発本部から事業移管されていたが、FPDの大量生産における画素部のTFT製造プロセスは非晶質シリコン（a-Si）が主流となっており、成膜とエッチングの組み合わせで製造されるために、イオンドーピング装置は使用されなかった。同機は、電子移動度の高い多結晶シリコン（ポリシリコン；p-Si、低温で形成されるため低温ポリシリコン＝LTPS）のTFT製造プロセスに使用される。a-S TFTのFPD製造では後付けされる画素駆動回路の組み込みやTFTを、LTPSでは小型化できることから、ディスプレイの小型化・高精細化・低消費電力化できる特徴があったが、高い製造コストが課題として残っていた。

2000年に入って携帯電話やノートPCが急速な普及をみせ、中小型ディスプレイへのLTPS適用も着実に増えてきた。ガラス基板サイズも大型化し、730mm×920mmの4.5世代の生産計画が始まり、装置のコンベも開始された。これを機に当社は質量分離機能を搭載した装置開発に着手する。

2000年代初頭頃には4-5社が年間10-20億円程度の市場にひしめき合い、市場拡大を期待し続ける状態であった。当時のイオンドーピング装置は半導体用イオン注入装置と異なり質量分析マグネットを持たない非質量分離型のイオン注入装置であった。デザインルールがラフなTFTは非質量分離イオン注入でも充分動作すること、Siウェーハに比べて大面積の基板ガラス全面に照射するための大面積イオンビーム対応の巨大なマグネットが必要なため、質量分離は非現実的と考えるからでもあった。しかし、一方で、TFT形成プロセスがLSI製造プロセスと基本的に同じことから、いずれ質量分析系が必要になるとの考えがあった。

そうして完成したのが「iG4」である。iG4は社内評価機を使って徐々にデータ、ノウハウ、信頼を積み重ね、2003



FPD 用イオン注入装置「iG4」 滋賀事業所初出荷

年に1号機を出荷・納入した。

LTPS は大型化に技術的な課題があったことなどから10年近く4.5世代基板が続くことになる。この間、継続的な改善を進め製品供給を続けた当社は、FPD 用イオン注入装置のトップシェアを取り戻すこととなる。

この時期、新たな FPD 製品として OLED（有機発光ダイオード=有機 EL）を使ったディスプレイが登場し、生産が開始された。OLED は LCD よりも高画質化が期待され、発光を制御する TFT の信頼性向上のためにイオン注入が不可欠とされた。

そして、2007年、潮目が大きく変わる。スマートフォンの登場である。

パネルメーカー各社は画面化するうえに急激な需要増大に対応するべく、4.5世代から5.5世代（1,300mm × 1,500mm）、6世代（1,500mm × 1,850mm）への基板サイズ拡大投資を計画することになり、当社もこれに応えるべく5.5世代対応の「iG5」、6世代対応の「iG6」を次々に開発し市場投入を果たした。この分野でトップシェアを維持し続けている当社は、高精細化の流れが決定的となったことで、会社として大きく発展する機会を得た。



FPD 用イオン注入装置「iG6」

これら半導体・FPD 用装置の事業拡大に伴い、当社は2005年に滋賀県甲賀市に現在のメイン工場である、敷地面積53,000㎡の滋賀事業所を新たに設立した。また、2010年に米国（テキサス州）にサービス供給会社として設立した子会社に、ベンチャー出身の米国人技術者による研究開発部門を2011年にマサチューセッツ州に新設、同年に中国江蘇省揚州市に当社初の生産子会社を設立するなど、海外事業の再構築も精力的に進めている。



滋賀事業所外観（2005年当時）

日新イオン機器は、1973年の技術導入以降、半導体産業の進展と共に様々な課題にぶつかりながらも、顧客の要望に応えるべく取り組んできた。これからも、イオンビーム技術、プラズマ技術の練磨と共にその展開の可能性を模索・追及し続け、常にイノベティブな製品・技術・サービスのトータルサプライヤーとして邁進し、世の中に貢献していく所存である。（了）