



イオン注入機の歴史と今後の展望

丹上正安・内藤勝男

History of Ion Implanter and Its Future Perspective — by Masayasu Tanjyo and Masao Naito — Nissin Ion Equipment Co.,Ltd. has been mainly engaged in the manufacturing and sales business of medium current ion implanters for manufacturing semiconductor devices since its establishment. The EXCEED® series has been widely acknowledged by device manufacturers for its quality in the basic machine concepts and for its continued supplies of the leading-edge models that meet ever-changing customer requirements. This paper reviews improvements in the system performance and key technology of the EXCEED series, such as magnetic energy filter, radio frequency (rf) plasma flood gun, precise implant angle control and high throughput endstation. The paper also looks toward the technology for future ion implanters.

Keywords: medium current implanter, energy filter, implant angle control, endstation

1. 緒言

日新イオン機器株式会社は、日新電機株式会社イオン機器事業部を母体として、1999年に日新電機の100%出資子会社として独立した。それは1994年に開発したイオン注入機EXCEED®2000が、世界で始めてエネルギーコンタミフリーの新技术を搭載した装置としてその真価がようやく認知されはじめ、引き続いて生産性を大幅に向上させたEXCEED®2000Aの市場投入を始めた頃であった。折しも1999年以降のアジア地区におけるIT景気の追い風を受け、日本国内のみならず、地の利を得て東アジア地区への進出に成功した。その後も、プロセスニーズの高度化に対応して継続的に性能向上させたEXCEED®シリーズ機は業界をリードするイオン注入装置として認められるようになっている。本稿は、イオン注入機の技術史をEXCEED®シリーズにおける技術進化に基づいて論述し、その今後を展望する。

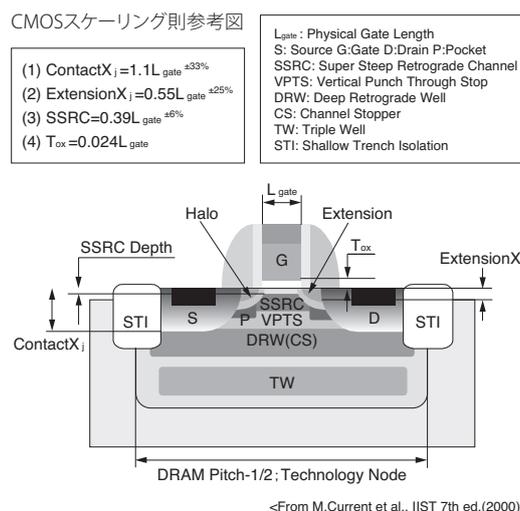


図1 半導体構造と注入プロセスのスケーリング則

2. 半導体製造プロセスと当社イオン注入装置

半導体ICの基本構造であるMOSFET (Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor)*1の模式図を図1に示す。トランジスタ内の各要素の寸法はゲート長 (L_{gate}) を基準に比例則で決められている。トランジスタの種類は用途によって大略図2に示すように、DRAM、Flash Memory、LSTP (Low Stand-by Power)*2、LOP (Low Operational Power)*3、MPU/ASIC (Micro-Processor/Application Specific Integrated Circuit)*4に別けられるが、それぞれのL_{gate}とLine-Pitch長さは、DRAMの1/2 Line-Pitch長さを基準に比例関係にある。DRAMの1/2 Line-Pitch長さは、nodeと呼ばれるトランジスタ世代を代表する基

準長さで、3年で0.7倍に縮小している。これが良く知られている「ムーアのスケーリング則」で、全てのICはスケーリング則に従って微細化高集積化を進め、3年で素子密度が2倍に増大するという驚異的な微細化スピードを保ち続けてきた。微細化によって、ICの性能が向上し、且つ単位情報 (bit) 当たりのコストが低減することにより市場を獲得することができてきたのである。半導体ビジネスの原動力である本スケーリング則が、今後も継続して保たれるかを危惧する声も聞かれるが、同様な危機は新しい技術開発によって過去に幾度も乗り越えられてきている。当社はイオン注入装置の開発を通して、そのような技術開発の

ITRS 2007 Prospect for 1/2 Pitch & Gate Length

Year of production	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
DRAM 1/2 pitch (nm)	100	90	80	70	65	57	50	45	40	36	32	28	25	22	20	18	16	14	13	11
Flash Poly Si 1/2 pitch (nm)					54	45	40	36	32	28	25	23	20	18	16	14	13	11	10	9
MPU/ASIC Metal 1(M1) 1/2 pitch (nm)					68	59	52	45	40	36	32	28	25	22	20	18	16	14	13	11
LSTP Physical gate length (nm)	76	65	53	45	45	37	32	28	25	23	20	18	16	14	13	11	10	9	8	7
LOP Physical gate length (nm)	65	53	45	37	32	28	25	23	20	18	16	14	13	11	10	9	8	7	6.3	5.8
MPU physical gate length (nm)	45	37	32	28	25	23	20	18	16	14	13	11	10	9	8	7	6.3	5.6	5.0	4.5

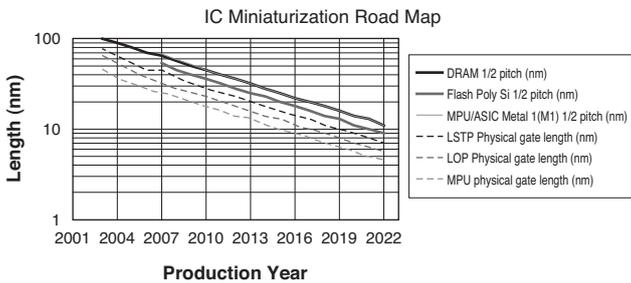


図2 半導体種類別微細化スケーリング

一端を担ってきたし、今後も担っていきたくて考えている。

ICに用いられるトランジスタには、主としてP型 (P-N-P) MOSFETとN型 (N-P-N) MOSFETの2種類があり、シリコンにボロンなどのP型ドーパントを注入したP層とリン・砒素などのN型ドーパントを注入したN層とが入れ替わって接合を形成している。P型MOSFETとN型MOSFETを組み合わせたCMOSFET (Complimentary MOSFET)⁵が、IC論理回路の基準単位である。1水準のVt (Threshold Voltage: しきい値電圧)⁶を持ったCMOSFETの製造にどのようなイオン注入プロセスがどれだけあるかをまとめた例を表1に示す。この例ではイオン注入プロセスは11stepあるが、最新のCMOSでは3水準、4水準といった複数のVt値を持ったトランジスタを製造する関係で、step数が大巾に増えて30step以上のイオン注入も行われている。半導体生産工場において、これらのイオン注入プロセスを実際に処理するには、その注入プロセスに必要な注入エネルギー、注入量に対応して、以下の4種類のイオン注入装置が用いられている。

High Current Implanter (HC): 高電流機

Medium Current Implanter (MC): 中電流機

High Energy Implanter (HE): 高エネルギー機

Ultra High Dose Doping Implanter (LE): 極低エネルギー高ドーズ機

それぞれのイオン注入機のカバーするエネルギーと注入量の範囲を図3に示す。当社は、経営資源を中電流機EXCEED®シリーズに集中することで、中電流機市場におけるシェアを広げてきており、2004年以降World-wideで約30%のシェアを維持している。2007年にはEXCEED®シリーズのビームライン・エンドステーション技術と新コンセプトのイオン源技術を融合させ、極低エネルギー注入機としてCLARIS®をリリースしている。

表1 イオン注入プロセスステップ

No.ダブルウェル構造CMOSプロセス 最新のCMOSFET (1999~)

(ウェル形成)			
1	高抵抗n型Siウェルハ		10Ω-cm
(フィールド酸化膜形成)			
2	field SiO2膜	熱酸化	LOCOS用下敷きSiO2
3	Si3N4膜	CVD	
4	レジスト塗膜		
5	フォトリソ	マスク1	pフィールド酸化膜下に注入できるようにする
6	ドライエッチング (Si3N4)		
7	レジスト剥離		pチャンネルレジスト剥離
8	レジスト塗膜		
9	フォトリソ	マスク2	nフィールド酸化膜下に注入できるようにする
10	ドライエッチング (Si3N4)		
11	フィールド酸化	水蒸気酸化	
(ゲート形成)			
12	Si3N4・下敷きSiO2膜除去		LOCOS形成用膜除去
13	乾式orHCl酸化		ゲート膜形成
14	レジスト塗膜		
15	フォトリソ	マスク3	nチャンネルに注入できるようにする
16	Bイオン注入	300~1000keV,1E13	nチャンネルウェル形成とチャンネルストッパー HE
17	B or In イオン注入	40~100keV,1E12	nチャンネルバッチスルーストッパー M
18	Bイオン注入	20~50keV,1E12	nチャンネルVth制御 M
19	レジスト剥離		
20	レジスト塗膜		
21	フォトリソ	マスク4	pチャンネルに注入できるようにする
19	Pイオン注入	600~3000keV,1E13	pチャンネルウェル形成とチャンネルストッパー HE
22	P or Sb イオン注入	80~150keV,1E12	nチャンネルバッチスルーストッパー M
23	Pイオン注入	40~100keV,1E12	nチャンネルVth制御 M
24	レジスト剥離		
(pチャンネルソースドレイン形成)			
25	Poli-Si成膜	SiH4熱CVD	ゲート電極形成用
26	レジスト塗布		
27	フォトリソ	マスク5	pチャンネルゲート電極形成用
28	ドライエッチ (Poli-Si)	CF3ガス使用	pゲート形成
29	Bイオン注入	1~10keV,2E14	pチャンネルExtentionとpゲートドーピング LE
30	SiO2成膜	CVD	
31	Side Wall形成	RIE	
32	Post Treat.		
33	B or BF2イオン注入	10~50keV,2E15	pチャンネルソースドレイン注入 H
34	レジスト除去		
(nチャンネルソースドレイン形成)			
35	レジスト塗布		
36	フォトリソ	マスク6	nチャンネルゲート電極形成用
37	ドライエッチ (Poli-Si)	CF3ガス使用	
38	Pイオン注入	5~30keV,2E14	nチャンネルExtentionとnゲートドーピング LE
39	SiO2成膜	CVD	
40	Side Wall形成	RIE	
41	Post Treat.		
42	Asイオン注入	20~50keV,5E15	nチャンネルソースドレイン注入+ゲート注入 H
43	RTA	1000℃	S/Dの活性化アニール
44	HFでのSide Wall処理	HF	
45	Co + TiN成膜		
46	Salicide RTA #1step		
47	TiN除去	硫酸塩洗浄	
48	Salicide RTA #2step		
(電極形成)			
49	PSG-CVD成膜	リンを含んだSiO2膜	層間絶縁膜形成: P10mol%を含むと軟化点が1000度に低下
50	リフロー	1000℃	表面平坦化 (配線に必要)
51	レジスト塗布		
52	フォトリソ	マスク7	ソースドレインコンタクト形成用
53	ドライエッチ (PSG)		
54	Asコンタクト注入	30~50keV,5E15/cm²	コンタクト抵抗低減 H
55	Si入りAlスパッター蒸着	Si, 1~3%	純AlだとSiを吸上げてアロイピット発生
56	レジスト塗布		
57	フォトリソ	マスク8	ソースドレイン配線用
58	ドライエッチ (Al)	BCl3ガス使用	
59	H2アニール	400~600℃	Si-SiO2界面改善, Alとソースドレインのコンタクト安定化

フォトリソ工程8回 HE:2step M:4step H:5step (内LE:2step)

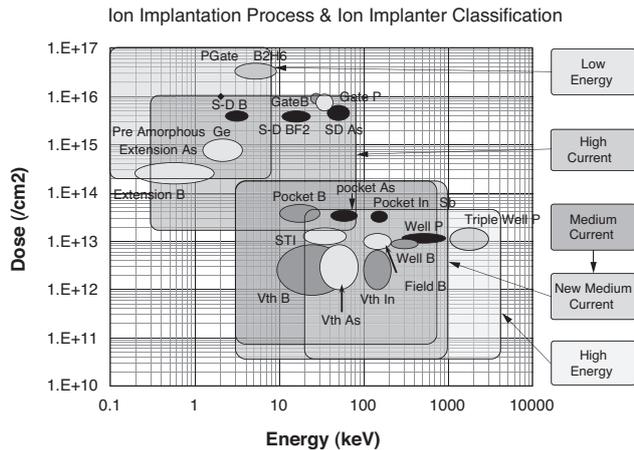


図3 イオン注入プロセスとイオン注入機の種類

3. 当社イオン注入装置と Key Technology の進化

3-1 進化の概説 これまでの EXCEED® シリーズイオン注入装置の進化、性能向上を図4にまとめる。1994年に世界に先がけて開発したエネルギーフィルタ付き中電流イオン注入装置 EXCEED®2000 に続き、1998年にはエンドステーションの信頼性を飛躍的に向上させた EXCEED®2000A を発売した。2000年には300mm ウェーハ用 EXCEED®2300H を、2001年にはインジウム注入対応可能な EXCEED®2300V を、2003年にはメカニカルスループット（最大処理能力）を大幅に向上させた EXCEED®2300AH を、2005年にはビーム量をアップし更にメカニカルスループットもアップさせた本格的300mm ウェーハ用 EXCEED®3000AH を、そして2007年にはエネルギーレンジを拡大した EXCEED®9600A を市場展開した。そして2010年には EXCEED® の次世代プロセスマシンとして EXCEED®-Evo シリーズを発売開始した。

210nm 世代にリリースされた EXCEED®2000 から、150nm、130nm、90nm、65nm 世代を経て45nm 世代

の EXCEED®-Evo2 まで6世代に亘る微細化の進展に合わせて、約2年毎に諸機能を進化させた新しい version を開発、市場に投入して来ていることになる。現在、再来年の32nm 世代に向けて EXCEED®-Evo2 の一層の性能向上を図っている。ウェーハサイズは200mm から300mm を経て、ここ数年の内に450mm ウェーハに変わるといわれている。ウェーハサイズによる生産性向上は4倍となる。微細化やウェーハサイズの拡大による生産性向上は、装置の更なる性能向上無しには達成できない。図4に示したように、生産性向上にはメカニカルスループットとビーム電流の増大、イオン源の立上げ時間短縮や寿命延長が必要である。微細化の進展には、イオン注入のより精密な制御が必要とされるため、注入均一性とビーム注入角度の高精度再現性の確保、各種コンタミネーションの除去と種々のイオン種の発生・注入、チャージアップ対策とPI注入 (Patterning Implantation)※7のようなトランジスタサイズ変動の補正機能等、さまざまな要素技術開発とそれらの統合システム化が必須である。以下に、それらがどのように達成されてきたかを詳述する。

3-2 EXCEED®2000A 図5はシングルプラテン型エンドステーションを搭載した EXCEED®2000A の概要図である。イオン源=分析マグネット=加速管=エネルギーフィルタマグネット（以下FEMと呼称）=ビームスイープマグネット（同BSM）=平行化マグネット（同COL）=シングルプラテン型エンドステーションから構成されており、以後の EXCEED® シリーズは全てこの構成から成る。EXCEED® シリーズの最初の Version である EXCEED®2000 は2枚のウェーハを連続して注入できるデュアルプラテンを搭載し、機械的走査をしても注入位置が空間的に変化しないという斬新なものではあったがその動作信頼性に難があった。EXCEED®2000A では注入動作信頼性とメンテナンス性を大きく向上させたシングルプラテン方式とすることによって、実効的スループット・生産性の飛躍的向上を実現した。

Improvement of EXCEED Series Ion Implanter Characteristics

Year of Production	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Tech. Node DRAM 1/2 Pitch (nm)	240	210	190	185	150	140	135	130	115	100	90	80	70	65	57	50	45	40	38	32	28	25	22	
EXCEED2000/2000A/2000AH																								
EXCEED2300H/2300AH																								
EXCEED2300V/2300V<G1><G2>																								
EXCEED3000AH<G1><G2>Evolution																								
EXCEED9600A<Evolution																								
Water Size	200mmφ						300mmφ						450mmφ											
Mechanical Throughput	200w/H						220w/H						300w/H											
Beam Current: B+	250 uA @ 10keV						250 uA @ 10keV						1200 uA @ 10keV											
Beam Current: As+	400 uA @ 20keV						500 uA @ 20keV						500 uA @ 20keV											
Beam Current: B++	40 puA @ 500keV						30 puA						250 puA											
Beam Current: P+++	15 puA @ 600keV						15 puA						85 puA											
Min. Energy	10 keV						5 keV						3 keV											
Max. Energy	400 keV						750 keV						960 keV											
Ion Source Type	Bernas						Advanced Bernas (BEAR)						IHC type (IHC-FI2)											
Set Up Time	6 min						4.5 min						3.5 min											
Maintenance Time (US Life Time)	200H						400H						700H											
Indium							Indium-																	
Energy Contamination	Final Energy Magnet -												Conductive-Peak Water Holder -											
Particle Contamination													Metal Free Cover -											
Metal Contamination																								
Uniformity	1D-2L		2D-2L		2D-3L		Faraday System -																	
Parallelism / Beam Divergence													X-Y monitor											
Tilt/Twist Angle Accuracy													Water Angle Feedback Control System											
Charge Compensation							Filament PFG						RF-PFG											
Patterning Implantation (PI System)													PI System											

図4 EXCEED®シリーズイオン注入装置の性能進化

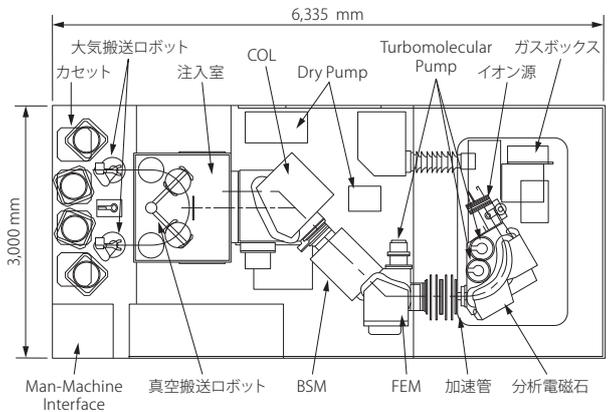


図5 EXCEED®2000A 概要図

FEMは本シリーズを特長づける機能要素のひとつで、これによって加減速後にビームに含まれるエネルギーコンタミ成分を完全に除去することができ、トランジスタのVtのばらつきを抑制できる製造プロセス実現のために不可欠なコンポーネントである。図6に、FEM近傍のビームライン構成図を示す。加速管による加速または減速後のビームに含まれるエネルギーコンタミ成分をBSMの入り口に設けたスリット (Aperture) で完全に除去する。エネルギーコンタミ成分の発生は、加速管近傍でイオンビームが残留ガス中性粒子と衝突することによる解離・電離反応に起因する。エネルギーコンタミを含むビームが注入されると、注入深さや注入量が所要の値からはずれず、エネルギーコンタミの発生原因となる上記反応は、特に注入イオンに分子イオンや多価イオンを用いる場合に問題となる。また、ウェーハにレジストを塗布していないベアウェーハでは注入中のガス発生がほとんど無いのでエネルギーコンタミ成分は発生し難いが、実プロセスに使用されるレジストが塗布されたウェーハではガス発生のため真空度が顕著に悪化し、エネルギーコンタミ成分が発生しやすく、また真空排気系の状態によって変動するという不安定要素となる。本機能の搭載によるエネルギーコンタミ成分の完全除去の達成は、量産プロセスへの分子イオンや多価イオンの積極的利用を実現した。現在では、中電流イオン注入機には何らかのエネルギーフィルタを設けるのは標準的と成ったが、FEMのようなマグネットによる運動量分離方式が装置構成上もっともエネルギーコンタミ除去能力を大きくできる。

EXCEED®シリーズでは、直流+交流電流波形によりBSMを励磁して、バイアス走査磁場によってイオンビームを水平に走査後、COLにより平行な走査ビームを形成する。磁場による走査は、当社が独占実施している技術であるが、電界走査で生じるビームの空間電荷効果によるビームのブローアップが抑えられるためビームのロスを少なくできる。バイアス走査磁場を使う理由は、ビームがBSM中で磁界ゼロの領域を通過することを無くすことによって、空

間電荷の局所の特異変動を無くすためである。図7は、ウェーハの面内注入量分布を制御する注入制御システム構成で、高精度・高信頼の注入を実現するEXCEED®シリーズの根幹技術である。ウェーハの前方に取り付けられたフロントファラデーと後方に取り付けられたバックファラデーによりそれぞれの位置でのビーム走査によるビーム電流量積算分布を測定し、ウェーハ位置での水平方向注入量分布を算定する。その注入量の分散が基準範囲内に入るようにBSMの励磁電流波形を整形制御する。本方式は、上記注入量分布の監視制御に加え、ビームの平行度/ビームの方向角分布測定も同時に行うことが可能である。このようにウェーハ前方後方の2箇所多点測定可能なファラデーを採用することにより、世界に先駆けてビーム平行度/方向角分布をin-situ測定する機能をbuilt-inしたのはEXCEED®シリーズの前の主力製品NH20-SPであるが、EXCEED®シリーズではそれをより高精度・高信頼化した。これに関する更なる機能向上については次節で述べる。

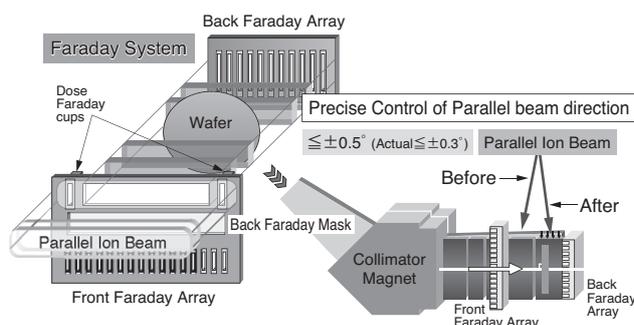


図7 注入制御システム構成図

3-3 EXCEED®2300H/AH/V, EXCEED®3000AH 1996年にEXCEED®2000Aとほぼ同時に開発を始めた300mmウェーハ対応装置EXCEED®2300Hは、1998年から日本の半導体メーカ10社によるコンソーシアムSELETE（半導体先端テクノロジーズ）による評価で300mm生産装置としてqualifyされ、市場投入した。これは、EXCEED®2000Aの大地電位部ビームラインとエンドステーションを300mm対応としてスケールアップした装置であるが、ビーム調整制御、注入制御、ウェーハ搬送制御などの制御ソフト/ハードは基本的に共通構造とすることで、開発の効率化を図った。

300mm対応装置の市場競争力は装置技術的にはそのメカニカルスループットが大きなウェートを占める。EXCEED®2300AHでは、真空内のウェーハ受渡しを1位置から2位置に増やし、大気側に搬送のバッファステーションを設けることで、メカニカルスループットを

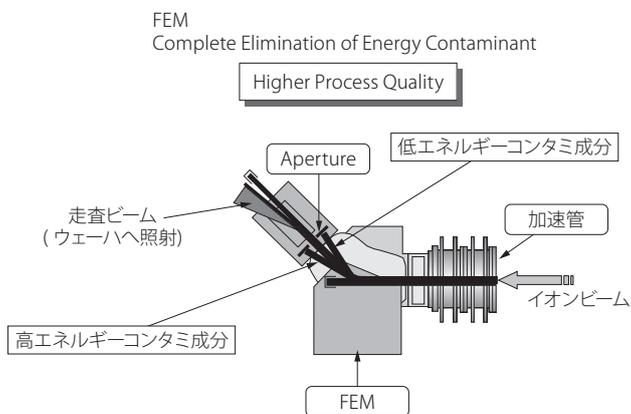


図6 エネルギーフィルターマグネット (FEM)

EXCEED®2300Hに比して約40%向上させた。トランジスタ構造の微細化のためにインジウムやアンチモン等の重いイオンをボロンに代わって用いることにより、注入深さ/接合深さを浅くするという手法が2000年はじめ頃より有望視されるようになったことに対応して、これら重イオンをこれまでとほぼ同じ軌道で分析・収束・走査するため磁場強度を上げたビームラインを開発し、同時にこれらイオンを短時間で発生するための高温オープンを開発して、EXCEED®2300Vとして市場投入した。

図8は、2005年にリリースした本格的300mmウェーハ対応のEXCEED®3000AHの概要図である。この装置は、EXCEED®2300Vのビームラインをベースにビーム光学的改善によってビームの通過経路を広げてビーム量を増大している。そのエンドステーションについては、従来採用していた2アーム一体駆動方式による真空内ウェーハ搬送ロボットを2アーム独立駆動方式とし、さらには大気側のロボットもシングルアームからダブルアーム3関節式にして、従来行っていたウェーハライナー部でのウェーハ回転による芯出し工程を廃止することによって、機械的走査速度を60%アップすることなどをトータルシステムとして完成さ

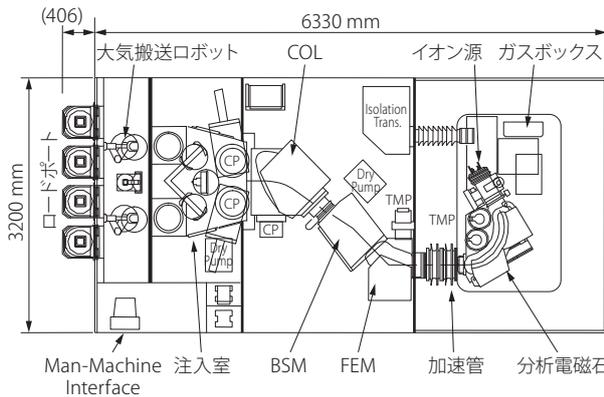


図8 EXCEED®3000AH 概要図

せた。ボロン 10 keVにおけるビーム電流値は2.5倍、メカニカルスループットは約50%の増加である。図9に、EXCEED®2300AHに採用した従来型エンドステーションとEXCEED®3000AH・<G2>のスループット改良型エンドステーションの違いを図示する。

昨今のイオン注入プロセスではビームの注入角度均一性と再現性が強く求められている。中電流プロセスではHalo注入の角度精度がVtバラツキ量の決定要因となっているため、最も高精度の注入角度制御が要求されている。図10は、EXCEED®3000AHで採用している機能向上したビームの平行度/方向角測定方法(XYモニター)である。左側に図示した従来の水平方向のビームの平行度/方向角分布/広がり角分布の測定に加えて、ファラデーおよびスリットの垂直方向サーボ駆動を行えるようにしたことによって、垂直方向のビーム方向角分布/広がり角分布が測定できるようにしたものである。これら諸量は、イオン源のビーム引出電極系やビームラインの可変光学要素によって所定の値に調整される。この機能の搭載は、換言すれば、走査ビームの形状が水平方向の各位置で測定できるようになったということであり、注入角度のみならず、精密な注入量分布やチャージングフリーの注入が維持されているなどのプロセス監視ツールとしても極めて有用であることを意味する。他方、ウェーハへの注入角度精度を保証する点でプラテン上のウェーハのチルト角・ツイスト角の精度・再現性も重要な要素である。図11にチルト角度・ツイスト角度制御監視システムの概要を示す。これにより、プラテン上部に取り付けられたCCDカメラでウェーハ位置を検知し、±0.1度以内のフィードバック制御が可能である。微細化の進展によって、図1に示したゲート長が短くなると、その加工工程中のエッチング工程において、ウェーハの中央と端部でエッチング量が僅か変化しても、Vtはウェーハの中央と端とで大きく変化するようになる。この現象をイオン注入によって補償するために、意図的に

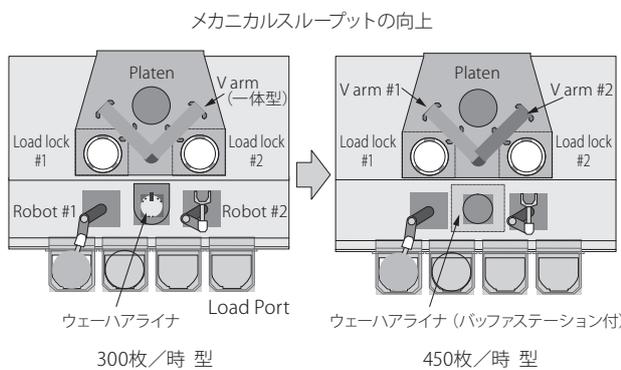


図9 エンドステーション構成図

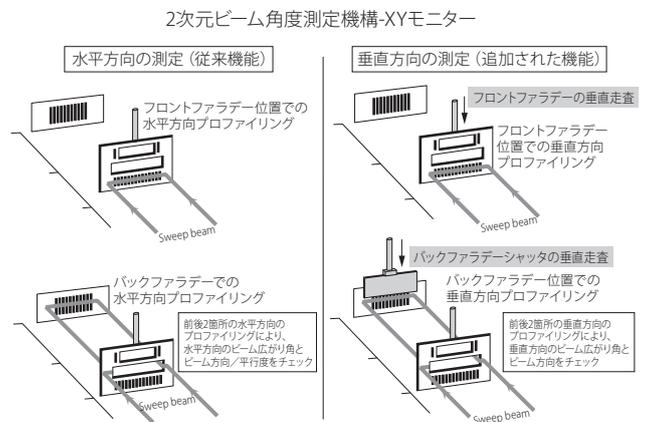


図10 ビーム角度計測制御システム構成図

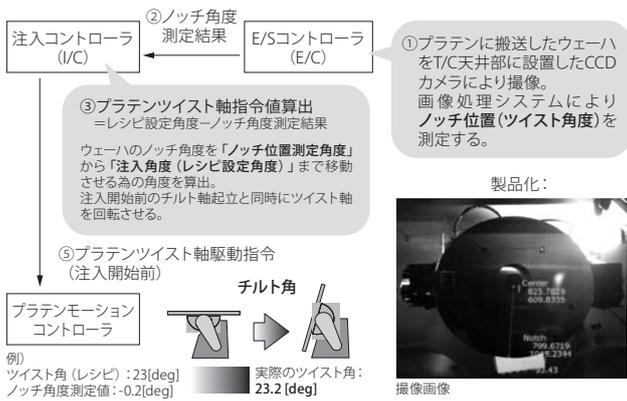


図11 ウェーハチルト角度・ツイスト角度制御監視システム

ウェーハ面内の注入量分布を中央から端に適当な傾斜をつけて注入するという手法がある。即ち、注入量のウェーハ面内分布が通常の均一注入ではなく、きちんと制御された不均一注入(同心円分布)である。EXCEED®3000AHの注入制御方式は、走査速度のプログラム制御とウェーハのステップ回転を利用して、このニーズに対応している。

3-4 EXCEED®9600A 図12は、最大注入エネルギーを従来の250keVから320keVに上げて、ボロンの2価イオンで640keV、隣の3価イオンで960keVまで注入できるEXCEED®9600Aの概要図である。図3に中電流機のエネルギー範囲の増大を示したが、デバイスの微細化に伴って従来の高エネルギープロセスの大半がSub-MeV領域に下がってきていることから、MeVエネルギープロセスのみ高価な高エネルギー機で処理して、Sub-MeVエネルギープロセスは中電流機で処理すると、注入プロセス全体として生産効率が向上する。本装置はそのような注入を可能とすることを目的にビームラインの加速管と加速電源を改良して印加電圧をEXCEED®3000AHの210kVから280kVにアップした。装置が設置されるクリーンルーム環

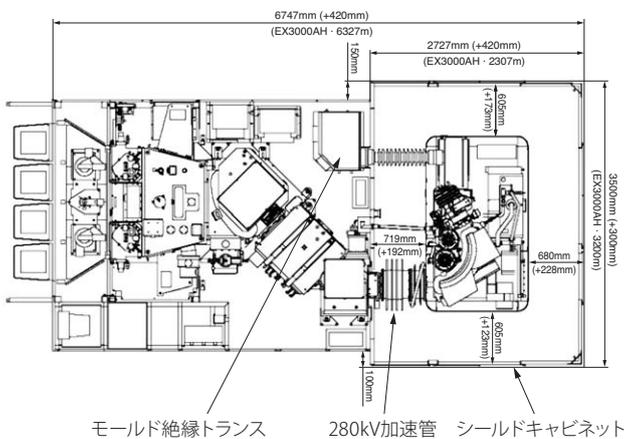


図12 EXCEED®9600AH概要図

境への配慮からEXCEED®3000AHでoption適用していたモールド型の移動トランスを本装置では標準搭載とし、シールドキャビネットと高電圧部との適正な空間絶縁距離を保つことで、装置サイズの拡大を最小にした。

本装置では多価イオンビームを高電流量、長時間発生する必要があることから、従来使用していたバーナス型イオン源およびその改良型のBEAR (Bernas-type Electron Active Reflection)*8 イオン源を基に、主として熱陰極部分に大幅な変更改良を加えたIHC-R (Indirectly Heated Cathode- Active Reflection)*9 イオン源を採用した。図13にBEARイオン源とIHC-Rイオン源の概略図を示す。BEARイオン源は、その名が示すとおり、バーナスイオン源のプラズマ生成部のリフレクタに可変の電圧を印加することによって電子を積極的に反射し、イオン引出スリット近傍のプラズマ密度を増大させることによってイオンビーム生成効率を高め、フィラメント負荷を低減することによるフィラメント寿命延長を実現している。それに対しIHC-Rイオン源は、フィラメントがプラズマに直接曝されないようにプラズマとの間にカソード(熱陰極)を追加し、カソードはフィラメントからの熱電子で加熱されてプラズマ生成用の熱電子を発生する。リフレクタ電圧可変構造はBEARイオン源と同様である。また、カソード部絶縁部の材質を変更して耐熱温度を上げ、熱と汚れに対する絶縁耐性を上げた。これらによって1価イオンのみならず多価イオン生成においても高いイオン生成効率を実現し、高多価イオンビーム量での運転についても長寿命化が達成した。図13にそれぞれのイオン源の陰極寿命と最大ビーム電流を示す。

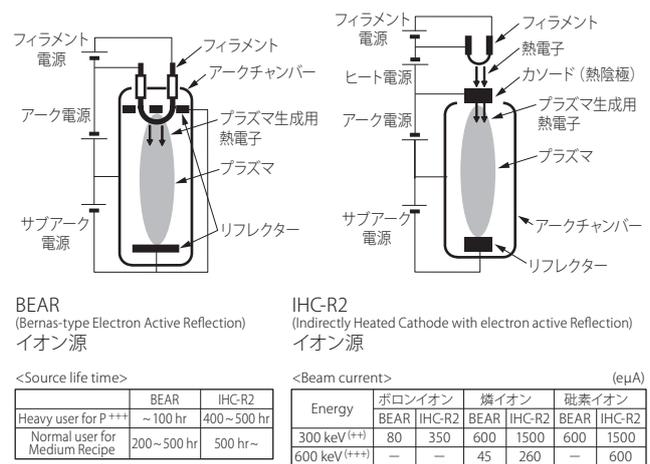


図13 イオン源概要図

3-5 EXCEED®3000AH-Evo/9600A-Evo EXCEED®3000AHや9600Aについて、そのウェーハ搬送系、イオンビーム電流、エラーによる装置停止時間などについての

ルギー機といっても高電流プロセスのエネルギー範囲をほぼカバーすることから、EXCEED®とCLARIS®で、MeV注入以外のイオン注入プロセスをすべてカバーできると考えている。

図15には、ウェーハサイズの拡大の予測も記載してあるが半導体業界最大手のIntel Corporation、Samsung Electronics Co., Ltd.、Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Ltd.のGroupでは、2015年をターゲットとして450mmウェーハでの生産が検討されている。この市場ニーズに対応して、遅滞無く450mm対応機を開発する所存である。

最後に、シリコン基板IC製造装置市場以外についてのイオン注入技術の適用市場について概説する。SiCデバイスは省エネデバイスや電気自動車等の次世代デバイスとして最近特に注目を集めている。SiC基板は高温耐性があることからインバタの大幅な効率改善が期待でき、車載用をはじめとしたパワーデバイストランジスタに有望と言われてきたが、4インチ以上の大型SiC基板を作成するのが困難で高コストのため、市場拡大が抑制されていた。しかるに、最近高品質の6インチ大口径SiC基板を作成する技術が開発され、イオン注入を利用できれば歩留まりを向上できる可能性がでてきた。当社は、大電流のAlイオンビームを高温基板に注入できるSiC用イオン注入装置：ImpHeatをリリースした。これにより生産性と歩留まり改善によるデバイス価格の低減、生産量の増大、市場の増大といった相乗効果が期待される。

MEMSや、Solar cell分野への適用は、製造コストの障壁が高いが、それぞれのデバイスの要求を満足するsimpleな注入装置を提供できれば、大規模な市場が拓かれる可能性を有している。

高精細ディスプレイに用いられるLTPS-TFT (Low Temperature Poly Silicon Thin Film Transistor) 製造用イオン注入装置については、20年前に本装置市場の開拓をはじめた当社は、市場占有率1位を確保しており、4.5世代ガラス基板対応装置技術をもとに、次世代の5.5世代基板対応装置開発を進め、高精細スマートフォンの需給逼迫によるニーズ拡大に合わせて納入を開始した。

5. 結 言

イオン注入機は、半導体デバイスの微細化の進展に伴う高精度注入のニーズと、生産性向上のニーズを満たすべく、その性能を不断に向上させていく必要がある。当社は、磁場によるエネルギーフィルタ、高精度注入角度モニター機構、高スループットエンドステーションなど独自技術とその改良によって、ほぼ2年ごとに新機種の中電流イオン注入機を開発、市場への投入を継続してきている。今後も、さらに高度化する技術ニーズに適合した装置を市場に提供し続ける。

用語集

※1 MOSFET

Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor：電界効果型トランジスタの1種でLSIの中では最も一般的に使用されている。

※2 LSTP

Low Stand-by Power：低待機時電力MOSFETの略称。主に携帯電話等に使われているトランジスタ。

※3 LOP

Low Operational Power：低動作電力MOSFETの略称。主にパソコン等に使われているトランジスタ。

※4 MPU/ASIC

Micro-Processor/Application Specific Integrated Circuit：コンピュータ内で基本的な演算処理を行う半導体チップ／ある特定の用途のために設計・製造されるLSIのこと。いずれも高速動作高動作電力。

※5 CMOSFET

Complimentary MOSFET：P型MOSFETとN型MOSFETの両方を同じ回路上に持ったトランジスタシステム。低消費電力高速動作。

※6 V_t

Threshold Voltage (しきい値電圧)：デジタルICのON/OFF入力閾値電圧。

※7 PI注入

Patterning Implantation注入：ウェーハに注入するときウェーハ面内注入分布を制御した注入方法。

※8 BEAR

Bernas-type Electron Active Reflection：バーナスイオン源のプラズマ生成部のリフレクタに可変の電圧を印加することにより電子を積極的に反射させてイオン生成効率を高め、フィラメント負荷を低減したイオン源。

※9 IHC-R

Indirectly Heated Cathode-Active Reflection：フィラメントがプラズマに直接曝されないようにプラズマとの間にカソード(熱陰極)を追加し、カソードはフィラメントからの熱電子で加熱されてプラズマ生成用の熱電子を発生するイオン源。多価イオンビーム量が増大し長寿命。

※10 ITRS2009

International Roadmap for Semiconductor 2009年度版：International SEMATECHが公開した半導体のロードマップ2009年版。

※11 FD-SOI

Fully Depleted-Silicon On Insulator : 超低消費電力完全空乏型SOIトランジスタ。

※12 LTPS-TFT

Low Temperature Poly Silicon Thin Film Transistor : 低温ポリシリコン薄膜トランジスタ。高精細ディスプレイの周辺スイッチングに用いられる。

参 考 文 献 -----

- (1) International SEMATECH; ITRS2007 (2008)
 - (2) T. Nogami et al., AIP Conference 1066, Proceedings of IIT2008, p.187
 - (3) T. Nagayama et al., AIP Conference 1066, Proceedings of IIT2008, p.215
 - (4) S.Umisedo et al., AIP Conference 1066, Proceedings of IIT2008, p.296
 - (5) Gartner "Market Share: Semiconductor Implant and Thermal Equipment, Worldwide, 2008" 5 May 2009
 - (6) Gartner "Forecast: Semiconductor Wafer Fab Equipment, Worldwide, 2Q09 Update" 10 June 2009 "Forecast: Semiconductor Wafer Fab Equipment, Worldwide, 3Q05 Update" 7 July 2005
-

執 筆 者 -----

丹上 正安 : 日新イオン機器(株) I/I事業センター
エキスパート 理学博士
イオン注入装置の開発、設計に従事



内藤 勝男 : 日新イオン機器(株) 取締役技師長
イオン注入装置開発を担務

