

特 集 論 文

イオン注入機の歴史と当社の取り組み

History of Ion Implanter and Nissin progress and outlook

丹上正安*
M. Tanjyo
野上貴史*
T. Nogami
佐々木淳次*
J. Sasaki
酒井滋樹*
S. Sakai

森本 勇*
I. Morimoto
濱本成顕*
N. Hamamoto
山下貴敏*
T. Yamashita
松本貴雄*
T. Matsumoto

宮本直樹*
N. Miyamoto
岩澤康司*
K. Iwasawa
永山 勉*
T. Nagayama
内藤勝男*
M. Naito

概 要

日新イオン機器株式会社は設立以来、半導体デバイス製造用の中電流イオン注入装置の製造販売を主たるビジネスとしている。EXCEEDシリーズは、その装置基本コンセプトの優秀性によって、また日々進化する顧客ニーズに対応した新機種を提供しつづけることによって主要デバイスメーカーに広く受け入れられて来ている。本稿ではEXCEEDシリーズにおけるシステム性能の向上及びそれを支える要素技術の進化を概説し、今後を展望する。

Synopsis

Nissin Ion Equipment Co.,Ltd. has mainly been engaged in the manufacturing and sales business of the medium current ion implanter for manufacturing semiconductor devices since its establishment. The EXCEED series have been widely acknowledged by the device manufacturers, for its quality in the basic machine concepts, and for its continued supplies of the leading-edge models that meet customers' requirements which evolve day by day. This paper includes the outline of system performance enhancement and key technology upgrading in the EXCEED series, and looks toward the coming decade.

1. はじめに

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100%出資子会社として独立した。前回、日新電機技報に「イオン注入技術の進歩と将来」としてイオン注入装置の報告を掲載したのは、1994年Vol.39.No.3である。その年に開発したEXCEED2000が、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業界に受け入れられ、その後プロセ

スニーズの高度化に対応して継続開発した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。

本稿では、1994～1998年のイオン機器事業部から1999～2009年の日新イオン機器株式会社の時代までの装置開発と製造・販売について総括すると共に、今後の展望を述べる。

*日新イオン機器株式会社

2. 半導体製造プロセスと当社イオン注入装置

イオンビーム加速器技術を利用したイオン注入技術を高集積トランジスタの製造に適用することにより製造歩留まりが飛躍的に改善された経緯は前回の技報、第2章に簡潔にまとめられている。本章では、1994年以降の最新の半導体製造プロセスに使われているイオン注入技術について紹介する。

半導体ICの基本構造であるMOSFET(Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor)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(Lgate)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

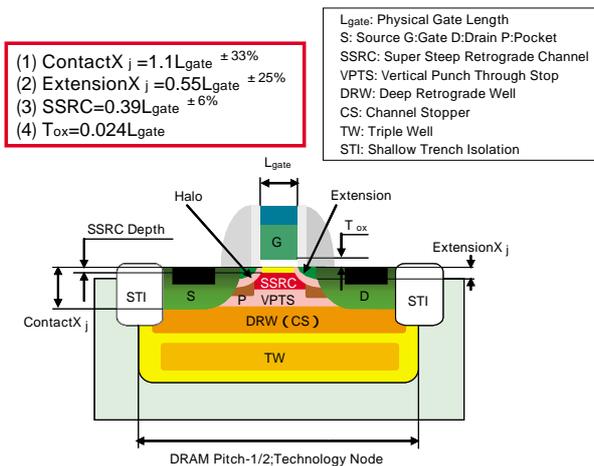


図1 半導体構造と注入プロセスのスケール則

よって大略図2に示すように、DRAM、Flash Memory、LSTP (Low Stand-by Power)、LOP (Low Operational Power)、MPU/ASIC(Micro-Processor/ Application Specific Integrated Circuit)に別けられるが、それぞれのLgate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「ムーアのスケール則」で、全てのICはスケール則に従って微細化、高集積化を進め、3年で素子密度を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(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。半導体ビジネスの起動力である本スケール則が、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一端を担ってきたし、今後も担っていきたいと考える。

トランジスタには、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、ちょうど入れ替わって接合を形成している。P型MOSFETとN型MOSFETを組み合わせ合わせたCMOSFET(Complimentary MOSFET)が、IC論

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	5.6
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

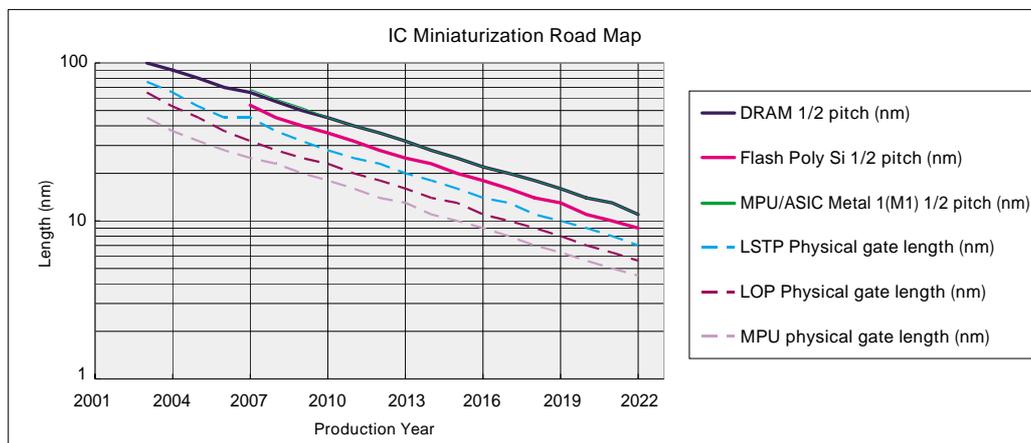


図2 半導体種類別微細化スケール則

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		最近のCMOSFET (1999 ~)	
(ウェル形成)				
1	高抵抗n型Siウェーハ		10 -cm	
(フィールド酸化膜形成)				
2	field SiO ₂ 膜	熱酸化	LOCOS用下敷きSiO ₂	
3	Si ₃ N ₄ 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 (Si ₃ N ₄)			
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 (Si ₃ N ₄)			
11	フィールド酸化	水蒸気酸化		
(ゲート形成)				
12	Si ₃ N ₄ ・下敷きSiO ₂ 膜除去		LOCOS形成用膜除去	
13	乾式or HCl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プパー	HE
17	B or Inイオン注入	40 ~ 100keV, 1E12	nチャンネルバンプスルーストップパー	M
18	Bイオン注入	20 ~ 50keV, 1E12	nチャンネルV _{th} 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プパー	HE
22	P or Sbイオン注入	80 ~ 150keV, 1E12	nチャンネルバンプスルーストップパー	M
23	Pイオン注入	40 ~ 100keV, 1E12	nチャンネルV _{th} 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	SiH ₄ 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)	CF ₃ 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ExtensionとPゲートドーピング	LE
30	SiO ₂ 成膜	CVD		
31	Side Wall形成	RIE		
32	Post Treat.			
33	B or BF ₂ イオン注入	10 ~ 60keV, 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)	CF ₃ ガス使用		
38	Pイオン注入	5 ~ 30keV, 2E14	nチャンネルExtensionとnゲートドーピング	LE
39	SiO ₂ 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 #1 step			
47	TiN除去	硫酸塩洗浄		
48	Salicide RTA #2 step			
(電極形成)				
49	PSG-CVD成膜	リンを含んだSiO ₂ 膜	層間絶縁膜形成 : P10mol%を含むと軟化点が1,000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/cm ²	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を吸上げてアロイビット発生	
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)	BCl ₃ ガス使用		
59	H ₂ アニール	400 ~ 600	Si-SiO ₂ 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)	

理回路の基準単位である。1水準のV_t(Threshold Voltage : しきい値電圧)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V_t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る。

High Current(HC) : 高電流機

Medium Current(MC) : 中電流機
 High Energy(HE) : 高エネルギー機
 Low Energy(LE) : 低エネルギー機
 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。現在、イオン注入装置メーカーは以下の6社が存在する。
 米国 : Varian Semiconductor Equipment Associates,Inc., Axcelis Technologies,Inc., Advanced Ion Beam Technology,Inc.

日本 : 日新イオン機器株式会社、株式会社SEN、株式会社アルバック

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、2008年は40%を超えるシェアを得た。昨年生産機としてリリースしたCLARISシリーズは、今後必要性が拡大する低エネルギー注入プロセス用の低エネルギー機に分類される。

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EXCEED2000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EXCEED2000Aを発売した。2000年には300mmウェーハ用EXCEED2300Hを、2001年にはインジウム注入対応可能なEXCEED2300Vを、2003年にはメカニカルスループットを大幅に向上させたEXCEED2300AH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EXCEED3000AHを、そして2007年にはエネルギーレンジを拡大したEX9600Aを発売した。

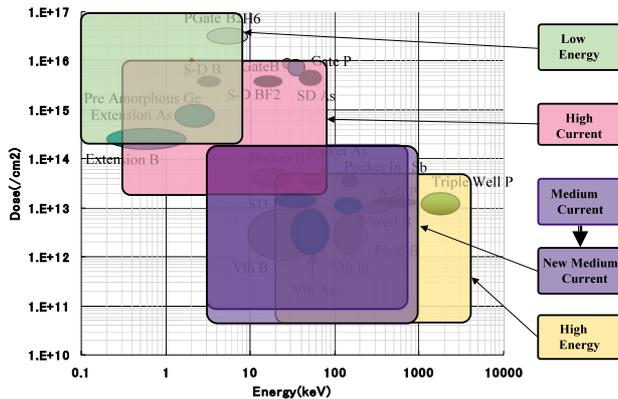


図3 イオン注入プロセスとイオン注入機の種類

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				
Tech. Node DRAM 1/2 Pitch (nm)	240	210	190	165	150	140	135	130	115	100	90	80	70	65	57	50				
EXCEED 2000/2000A/2000AH			2000					EXCEED2000A/2000AH												
EXCEED 2300H/2300AH								2300H	2300AH											
EXCEED 2300V/2300V<G1>/<G2>								2300V	2300AV					2300AV<G2>						
EXCEED 3000AH<G1>/<G2>/Evolution													G1	3000AV<G2>						
EXCEED 9600A/Evolution																	EXCEED9600A			
EXCEED Productivity	Wafer Size	200mm φ					300mm φ													
	Mechanical Throughput	200wf/H					220wf/H		300wf/H		360		450wf/H							
	Beam Current: B+	250 uA @ 10keV					250 uA @ 10keV		500 uA @ 20keV		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	10keV					5keV		3keV											
	Max. Energy	400keV					750keV		960keV											
	Ion Source Type	Bemas					Advanced Bemas (BEAR)													
	Set Up Time	6 min					4.5min		3.5min		3.0min									
Maintenance Time (I/S Life Time)	200H					400H		700H												
EXCEED Precision	Indium						Indium-													
	Energy Contamination	Final Energy Magnet-																		
	Particle Contamination	Conductive-Peek Wafer Holder-																		
	Metal Contamination	Metal Free Cover-																		
	Uniformity	1D-2L			2D-2L			2D-3L Faraday System-												
	Parallelism/ Beam Divergence															X-Y monitor				
	Tilt/Twist Angle Accuracy																			
	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

210nm世代にリリースされたEXCEED2000から、150nm、130nm、90nm、65nm世代のEXCEED9600Aまで5世代に亘って、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、来年の45nm世代に向けてEXCEED Evolutionのリリースを準備中である。ウェーハサイズは200mmから300mmを経て、次の32nm世代には450mmウェーハに変わるといわれている。その時のICの高密度化は64倍、ウェーハサイズによる生産性向上は4倍となる。高密度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ブ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。高密度化には、イオン注入の高精細化のため注入均一性とビーム入射角度の精度・再現性確保、各種コンタミネーションの除去と新規イオン種の発生・注入、チャージアップ対策とPI注入(Patterning Implantation)のような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総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概説する。

3.2 EXCEED2000A

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EXCEED2000A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なる。EXCEEDシリーズの最初のVersionであるEXCEED2000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。EXCEED2000Aでは注入動作信頼性とメ

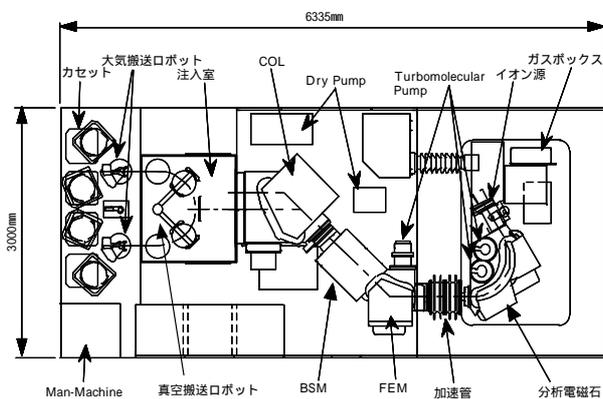


図5 EXCEED2000A概要図

Complete Elimination of Energy Contaminant

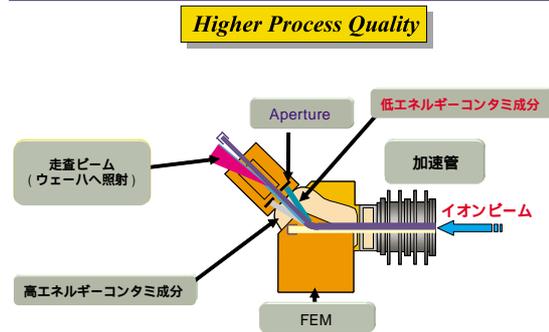


図6 エネルギーフィルタマグネット (FEM)

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し、機械的スルーブットもEXCEED2000と同等以上を達成した。

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、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。加速管で加減速後のビームに含まれるエネルギーコンタミ成分のビームをBSMの入り口に設けたスリットで完全に除去する。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を輸送中に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る。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真空度がほとんど無いので発生し難いが、レジストを塗布した実ウェーハでは真空度の顕著な悪化のため発生しやすく、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完全な除去の達成は、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と成ったが、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、バイアス磁場によってイオンビームを水平に高速走査後、COLにより平行な走査ビームを形成する。磁場による高速走査は、当社が独占使用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プロローアップが抑えられるた

めビーム輸送中のロスを少なくできる。バイアス磁場を使う理由は、ビームがBSM中で磁界がゼロの領域を通過することを無くし、空間電荷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。ウェーハの前側に取り付けられたフロントファラデーと後ろ側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。ウェーハ前方後方の2箇所マルチ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後述する。

3.3 EXCEED2300H/AH/V, EXCEED3000AH

1996年にEXCEED2000Aとほぼ同時に開発を始めた300mmウェーハ対応装置EXCEED2300Hは、1998年から日本の半導体メカ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、EXCEED2000A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イトを占める。EXCEED2300AH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

ンを設けることで、メカニカルスループットをEXCEED2300Hに比して約40%向上させたものである。

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ポ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、EXCEED2300V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EXCEED3000AHの概要図である。この装置は、EXCEED2300Vのビームラインをベースにイオンビームの通過できる面積をビーム光学的に広げてビーム量を増大し、また、そのエンドステーションについて、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回転による芯出し工程を廃止し、さらに機械的走査速度も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せた。ポロン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、

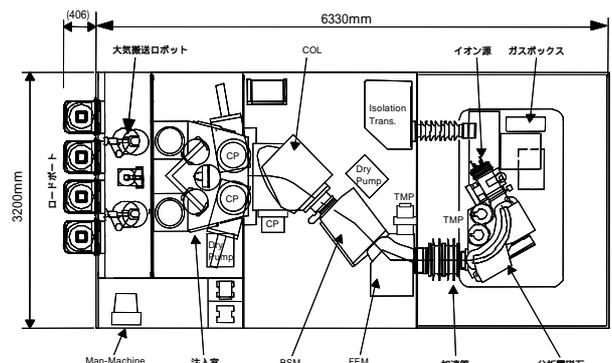


図8 EXCEED3000AH概要図

メカニカルスループットの向上

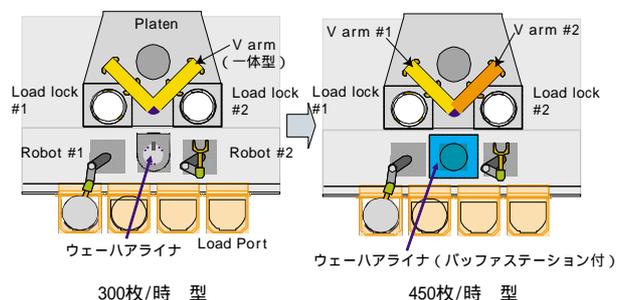


図9 エンドステーション構成図

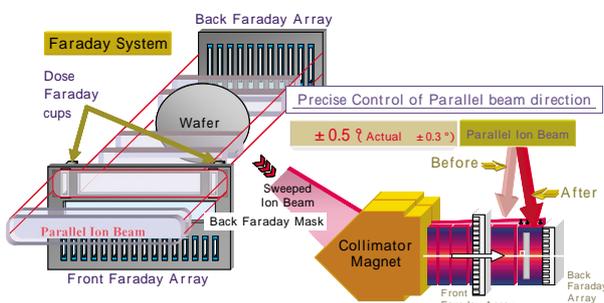


図7 注入制御システム構成図

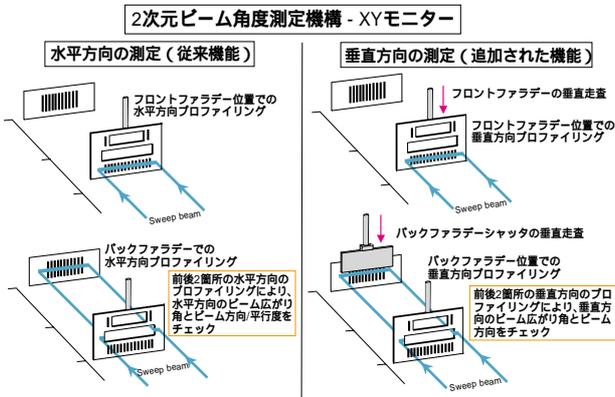


図10 ビーム角度制御システム構成図

EXCEED2300AHに採用した従来型エンドステーションとEXCEED3000AH・<G2>のスルーカ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、EXCEED3000AH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モニタと呼称)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変可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か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、その量産加工(エッチング)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。この現象を補償するために、意図的にウェーハ面内の注入量分布を中央から端に適切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

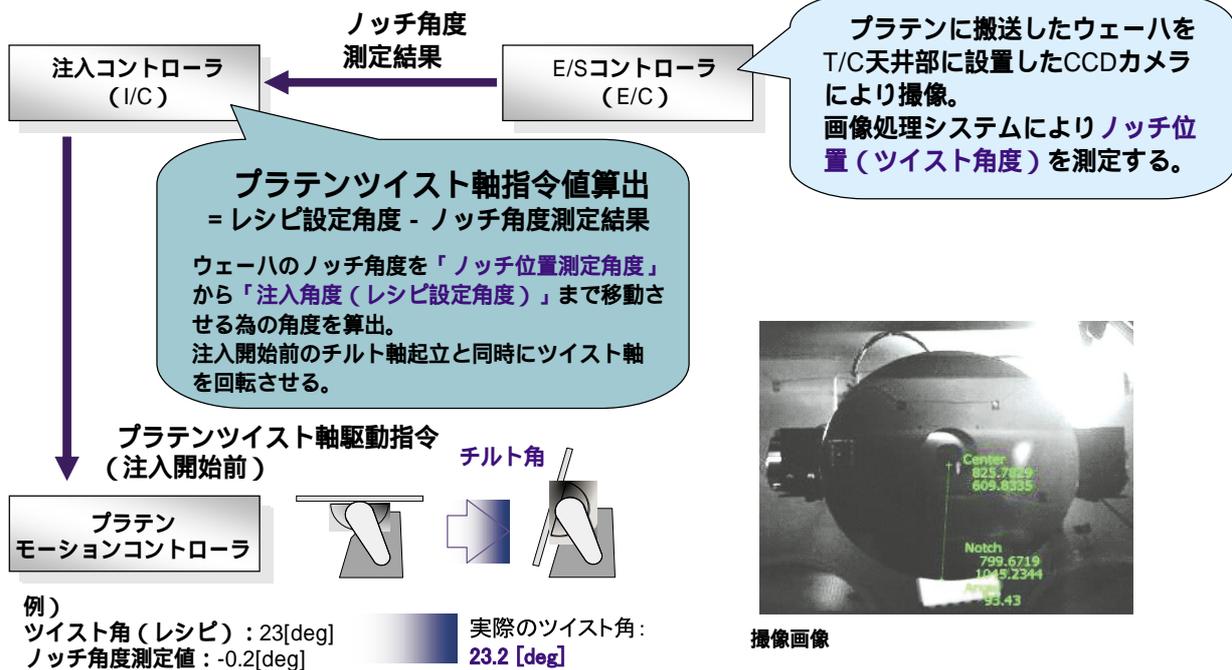


図11 ウェーハチルト角度・ツイスト角度制御監視システム

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 EXCEED9600A

図12は最大注入エネルギーを従来の250keVから320keVに上げて、B2価イオンで640keV、P3価イオンで960keVまで注入できるEXCEED9600A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おり、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ができ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EXCEED3000AH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境への配慮からEXCEED3000AH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、従来使われていたバーナス型イオン源およびその改良型のBEARイオン源を基

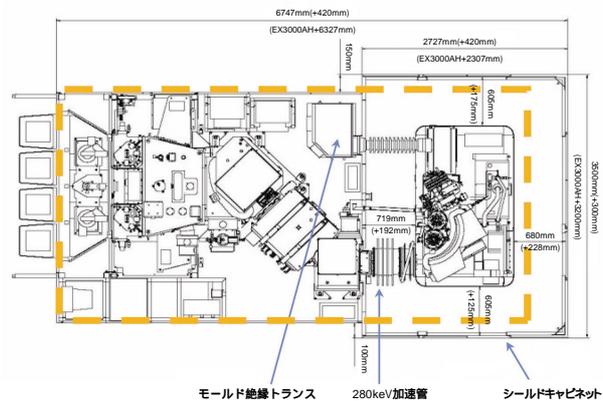
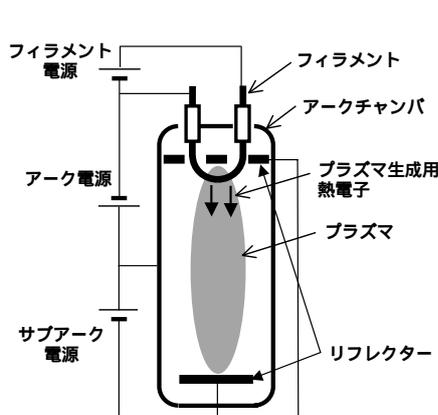
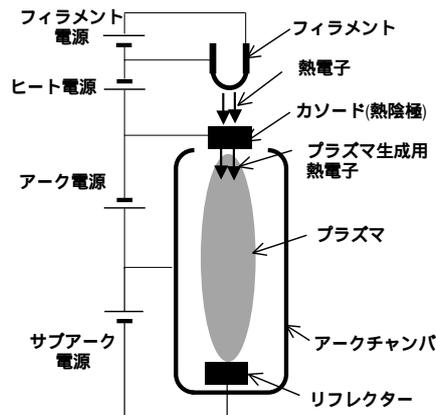


図12 EXCEED9600AH概要図

に更に改良を加えたIHC-Rイオン源を開発した。図13にBEARイオン源とIHC-Rイオン源の概略図を示す。BEAR(Bernas-type Electron Active Reflection)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変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し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の向上し、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 (Indirectly Heated Cathode with



BEAR (Bernas-type Electron Active Reflection) イオン源



IHC-R2 (Indirectly Heated Cathode with electron active Reflection) イオン源

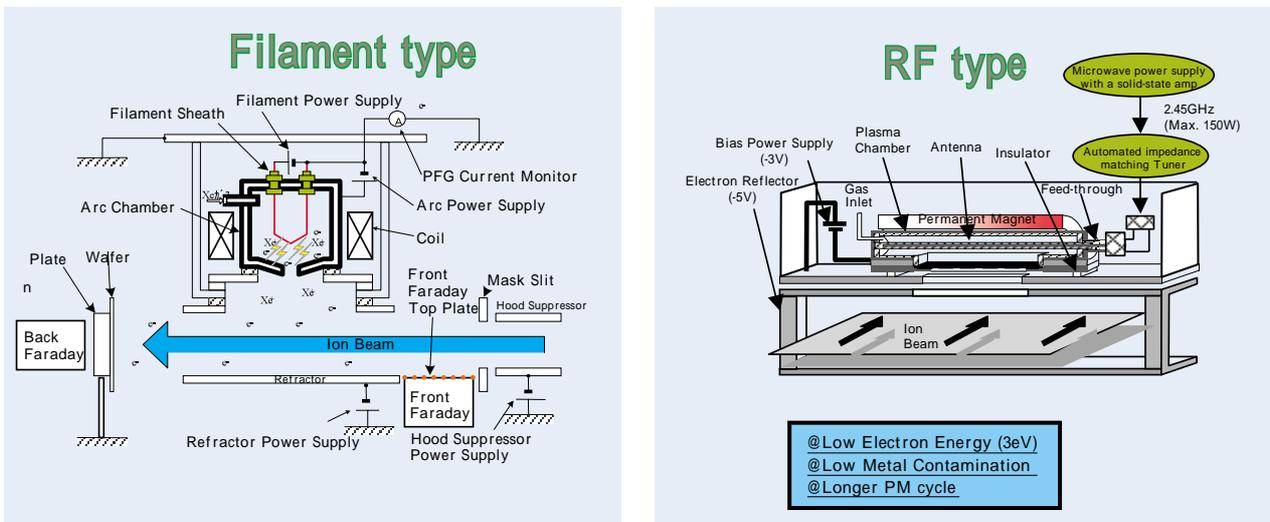
<Source life time>

	BEAR	IHC-R2
Heavy user for P ⁺⁺⁺	~ 100 hr	400 ~ 500 hr
Normal user for Medium Recipe	200 ~ 500 hr	500 hr ~

<Beam current>

Energy	ボロンイオン		燐イオン		砒素イオン	
	BEAR	IHC-R2	BEAR	IHC-R2	BEAR	IHC-R2
300 keV (++)	80	350	600	1500	600	1500
600 keV (+++)	-	-	45	260	-	600

図13 イオン源概要図



	Filament Type PFG	RF Type PFG
Electron Energy	6 eV	3 eV
Electron Current Density	10 $\mu\text{A} / \text{cm}^2$	20 $\mu\text{A} / \text{cm}^2$
Life Time of PFG	> 500 hr	> 1000 hr

図14 チャージ緩和システム構成図：フィラメント型・高周波型

electron active Reflection)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イオン源と同様にしている。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有し、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された。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。

3.5 微細化対応のためのその他主要技術

上記に述べてきたような微細化の進展とビーム電流の増大は、他方、チャージアップによる素子破壊の問題を発生させる恐れがある。図14にその対策として開発したチャージアップ緩和システムを示す。EXCEED2000AHまでの200mmウェーハ用にはフィラメント型PFG (Plasma Flood Gun) を搭載していたが、EXCEED2300H以降の300mmウェーハ用には、微細化デバイス向けに新たに開発した高周波型PFGを搭載した。いずれもウェーハ直前でイオンビームにプラズマを供給してウェーハ上のプラス電荷をプラズマ電子で緩和するシステムである。プラズマ電子はデバイスを負にもチャージアップさせるので、ゲート酸化膜が

1nm以下に薄くなったデバイスでは電子エネルギーを酸化膜の耐電圧に対応する3eV以下にする必要がある。当社の高周波PFGは電子エネルギーを磁気フィルターで3eVまでに低減する機能を備えている。熱陰極フィラメントを使っていないため陰極の損耗が無く、運転寿命を長く取れることや、タングステンコンタミの発生の恐れが原理的に無いので、高周波型PFGは、最新の微細化デバイス製造には不可欠のシステムになっている。

微細化の進展とともに、ウェーハへのメタルコンタミ付着やパーティクル付着を十分に低いレベルに維持管理することは、実際の生産ラインでは極めて重要である。EXCEED3000AH, EXCEED9600Aでは、これらの発生の源への処置として、ビームを見通せる位置にある部材表面を高純度でダスト発生が少ない特質のカーボンで覆うことや、ウェーハ方向への輸送を遮るための同様な材質の遮蔽板の設置をビームライン上流のSAMまで遡って、限なく実行してきている。

4. イオン注入技術の将来と当社の対応

図15は、International SEMATECHが公開した半導体のロードマップ：ITRS2007(International Roadmap for Semiconductor 2007年度版)から引用した次世代トランジスタ構造のロードマップである。従来のポリシリコンゲートとSiO₂ゲート酸化膜のトランジスタは、メタルゲ

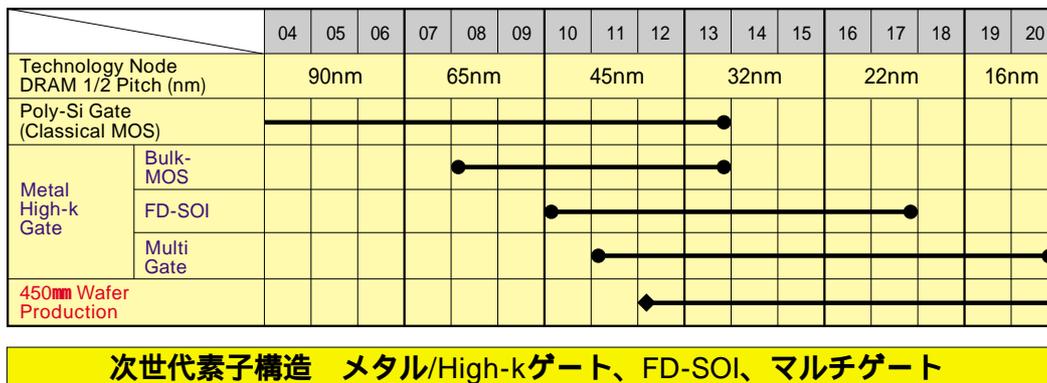


図15 ITRSロードマップ

ートとHigh-kゲート絶縁膜のトランジスタに置き換えられ、FD-SOI (Fully Depleted-Silicon On Insulator) や Multi-Gateといった次世代トランジスタには、2008年から2013年の5年間で移行すると予想されている。しかしながら、CCD・CMOSセンサーやDRAM・Flash Memoryといった信頼性の要求されるデバイスについては、このような次世代トランジスタ構造で問題なく量産できるか否かについては確定していない。いずれにしても、これら信頼性の要求されるトランジスタで微細化の進んだデバイス製造には、より高精度の注入が必要になる。当社は 現EXCEEDシリーズを更に高機能化したEXCEED3000 EvolutionとEXCEED9600 Evolutionで対応する。いずれも、ビーム角度とウェーハ位置の制御性・再現性を向上させ、ビーム量をアップし、メカニカルスルーブットを増加する。

他方、次世代トランジスタの注入にはCLARISシリーズで対応する。2008年に、低エネルギー機として始めてリリースしたCLARIS<G1>は、ボロン注入専用機であるが、ボロン+カーボン機CLARIS<G2>を2009年リリースし、更には2010年にリン・砒素も注入できる本格的クラスタ注入機CLARIS<G3>をリリースする計画である。本機は低エネ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られる。

図15には、ウェーハサイズの増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、2012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以外のイオン注入技術の適用市

場について概説する。SiC基板ICは高温耐性があることから車載用パワーデバイストランジスタが有望と言われてきたが、最近高品質のSiC基板を作成する技術が開発されつつあり、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ある。そこで、主な注入イオンであるAl⁺イオンを高スルーブットで生産できる装置ニーズが高まっており、当社は、これに対応する装置をリリースする計画である。MEMSや、Solar cell分野への適用は、製造コストの障壁が高いが、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。ディスプレイに用いられるLTFS-TFT (Low Temperature Poly Silicon Thin Film Transistor) 製造用イオン注入装置については、20年前にこの装置市場を開拓した当社は、現在市場占有率1位を確保しており、現在の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ている。

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

執筆者紹介



丹上正安 Masayasu Tanjyo
日新イオン機器(株)
I/I事業センター エキスパート



森本 勇 Isamu Morimoto
日新イオン機器(株)
管理・企画部
経営企画グループ 主任



宮本直樹 Naoki Miyamoto
日新イオン機器(株)
I/I事業センター
開発グループ



野上貴史 Takashi Nogami
日新イオン機器(株)
I/I事業センター
開発グループ 主任



濱本成顕 Nariaki Hamamoto
日新イオン機器(株)
I/I事業センター
クラスター技術開発グループ長



岩澤康司 Koji Iwasawa
日新イオン機器(株)
I/I事業センター
S/W技術グループ長



佐々木淳次 Junji Sasaki
日新イオン機器(株)
I/I事業センター
セールスエンジニアリンググループ長



山下貴敏 Takatoshi Yamashita
日新イオン機器(株)
I/I事業センター
開発グループ長



永山 勉 Tsutomu Nagayama
日新イオン機器(株)
I/I事業センター
カスタマーサポートグループ エキスパート



酒井滋樹 Shigeki Sakai
日新イオン機器(株)
I/I事業センター エキスパート



松本貴雄 Takao Matsumoto
日新イオン機器(株)
I/I事業センター
カスタマーサポートグループ エキスパート



内藤勝男 Masao Naito
日新イオン機器(株)
取締役