

シリコンウェハー加工プロセスの化学品特性と問題点

Chemical Characteristics and Problems of Silicon Wafer Manufacturing Process

有限会社 トライボ

富岡 弘

HIROSHI TOMIOKA

TRIBO Private Limited Co.,

はじめに

広く日本の半導体産業は、今なお世界に冠たる地位を築いている。材料分野では、シリコンウェハー、化合物ウェハー、水晶ウェハー、封止剤、リードフレーム、配線機、液晶ガラス、研削・研磨材などはその製品例となるが、今なお高い市場シェアを有している。

半導体製造装置分野では、膜付装置、デファクトスタンダード化されている測定検査装置などでは欧米勢にその地歩を譲らねばならないが、その他装置では相当に支配的な地位を築いている。しかし、シリコン半導体デバイス製造分野では伸長が見られるものもあるが、DRAMのように、景気の低迷による需要の減少と高コストによる価格対応力の不足で事業体質が弱められ、結果として設備投資の遅れが規模の縮小を招き、市場の支配力を失いつつあるものもある。現在、色々な事業の再構築が行われながら今日に至っている。経営合理化の最適化を行い産業としての地歩を冠たるものに回復せしめて欲しいものである。

ウェハー加工は、酸化物系(水晶、サファイヤ)、セラミック系(窒化アルミ、アルテック、アルミナ、チタン酸バリウム)、化合物系(ガリウム砒素、ガリウムリン)、金属系(シリコン、アルミ、銅)など多岐にわたる分野で実施され、いずれも規模を拡大しつつある。シリコンウェハー加工は数量的にも圧倒的に大量で口径も飛び抜けて大きく、また平坦度や表面清浄に対する品質要求も一段と厳しいものがあり、ウェハー加工を代表するものになっている。このような理由から、シリコンウェハー加工プロセスを本稿に取り上げた次第である。

一般にシリコンウェハー加工は、次のプロセスからなっている。

- (1) シリコン単結晶インゴットを切断してラップドウェハー(Lapped Wafer : LW) 経由でポリッシュドウェハー(Polished Wafer : PW)を造るPW製造プロセス
 - (2) LWを基板にリン、ボロンを拡散せしめて拡散ウェハー(Diffused Wafer : DW)を造るDW製造プロセス
 - (3) PWを基板にシリコン等を積層せしめてエピタキシャルウェハー(Epitaxial wafer : EPW)を造るEPW製造プロセス
 - (4) PWを基板に酸素、もしくは水素を打込み熱処理をして絶縁層を形成、或は2枚を熱処理により貼り合わせ絶縁膜を形成するSOI(Silicon on Insulator : SOI)ウェハーを造るSOI製造プロセス
- (2) (3) (4)はPW製造プロセスを中心に据えると支流、下流に配されるプロセスとなる。

本稿は、他のウェハー加工に共通するところも多いので、PW製造プロセスを取上げて解説をさせて戴くことにする。

PW製造プロセスは設備・装置の種類や大きさの相違、配置・配列の組合せ、使用消耗材、治工具の種類などによって様々なプロセス構成が可能であり、会社や事業所が異なると要所は同じでも皆異なるプロセスと言っても過言ではない程に複雑多岐となっている。

ppbオーダーの不純物コントロール、サブミクロンもしくはナノメートルオーダーの平坦度や表面粗さのコントロールが製品に要求されるため、ウェハー加工事業所は、それぞれに知恵と工夫を加えておりその結果として独自独特の加工プロセスが出来上がったものと考えている。

本稿では、図-1に示したプロセスブロック図を典型例

にプロセスの流れに従って解説を行う。また、ここで取上げる化学品は、ウエハーに直接接触をする部材、薬剤等に限らせていただいた。品質に与える影響が相対的に大きいためであるご了解を戴きたい。この最後に、シリコンウエハーは色々なシリコン半導体デバイス製造の母材となっており、それがどの様に造られるかを知っていただくと共にデバイス製品の動向も併せて知っていただくのが良いのではないかと考え、これら製品の市場動向等をプロローグとしてご紹介することにした。データベースは経済産業省の鉱工業指数により、数値を加工してご理解を増すようにした。

1. シリコン単結晶の種類

シリコン単結晶は、FZ (Floating Zone) 法とCZ (Czochralski) 法によって製造され、CZ法品が全生産量の95%を、残りがFZ法品というところである。

FZ法は、棒状の多結晶シリコンをアルゴン雰囲気中で高周波コイルによる加熱溶解し、種結晶に接触せしめて棒状のまま引き下げて製造する。高抵抗率ウエハー基板に向けた結晶で、中性子照射によって抵抗率を軸方向、面内方向に一様にする事ができる特徴がある。製法はコンパクトであるが、大口径の棒状多結晶を入手しにくいこと、中性子照射ができる場所が限られるなどの制約もある。

一方CZ法は、塊状の多結晶を石英ルツボに入れアルゴン雰囲気中で抵抗加熱によって溶解し、種結晶に接触せしめて徐々に引き上げて製造する。抵抗率は、ドーパント濃度でコントロールするが、軸方向、面内方向の抵抗率を一様にする事がFZ法に比べて難しくまた、ルツボや炉材からの不純物の混入もあるので、このコントロールは難しいという問題点がある。

塊状の多結晶があれば引上げ機の大きさ次第で大口径(直径400mm)の単結晶も造ることができ、機械的強度のある単結晶ができるというメリットがあり、大口径ウエハーはすべてCZ法によっている。

ドーパントの種類は、砒素、りん、アンチモン、ボロン、ゲルマニウムなどからなる。ボロンはP型の基板に、他はN型品に使用されている。単結晶の年間生産量は、年間4500トン前後である。単結晶のドーパント別の生産比率はおよそ75%がボロン品、りん品が12%、アンチモン品が8%、砒素品が5%といったところである。

2. シリコンウエハーの種類と応用デバイスの関係

シリコンウエハーは応用デバイスの付加価値(販売価格)に合せた品質グレードで、更にはデバイス加工のし易さに合わせて使用され通常以下のようにになっている。

シリコンウエハーの種類

- (1) スライスドウエハー (SW)
- (2) ラップドウエハー (LW)
- (3) エッチドウエハー (EW)
- (4) 拡散ウエハー (DW)

*応用デバイスの種類

- ・ FZ結晶品が主流でCZ品は少なくダイオード、トランジスター、サイリスターなどのディスクリート素子
 - ・ 高耐圧品はDWを基板にする
- (5) ポリシドウエハー (PW)
 - ・ DRAM、SRAMなどのメモリー素子、バイポーラ素子、MPU、CPU素子などのロジック素子
 - (6) エピタキシャルウエハー (EPW)
 - ・ メモリー素子、CCD、高周波高耐圧のディスクリート品
 - (7) SOIウエハー (SOI)
 - ・ 高速のMPUなどのロジック素子、高耐圧のディスクリート素子

PWには、アルゴン、水素、窒素、酸窒素などの雰囲気ガス中で熱処理を施して表層の結晶欠陥をなくしたウエハーやCVD膜を施してゲッターリング効果を上げたウエハーがある。生産性、歩留りの向上に寄与するところが大きいのでこうした附加価値を持つウエハーが好まれる傾向にあるが、コストの回収が難しく悩ましいものがあると聞いている。

3. シリコン半導体デバイスの市場動向

我が国の半導体生産は、世界シェアの50%に至るまでの規模となり隆盛をきわめたのは10年前の1992年頃までのことである。

この頃にはじまったバブルの崩壊による景気の低迷により、わが国の半導体生産も落込みを余儀なくされ、再び米国勢にシェアを奪われることになった。これは、情報伝達の共有化、迅速化などを通じて、生産性の向上やコスト削減を果すために、いわゆる経営の合理化策として米国企業ではパソコンが盛んに用いられるようにな

り、この結果を生んだものと考えている。

その後パソコンの普及は世界的な広がりを見せ、1995年には我国のDRAMを中核とする半導体生産も対前年度比42%増の空前の成長を見せたが、長続きはせずに線香花火の最後の状態にも似た輝きの結果となった。パソコン需要の一巡によりDRAMは需給のバランスを失い価格破壊を生じ、1996年には日本の半導体産業も1985年以来のマイナス成長となった。

日本のDRAM中心の半導体生産に対し、米国ではCPU、MPUといったロジックデバイスが中心で価格破

壊が起きにくい事業体質にし、過当競争に加わらないようにしたことが、日米の差を生んだように思う。

1998年頃には、DRAMの製造技術にも米国発のシュリンク技術、銅配線技術などが実際に応用されるなどデバイスの性能と価格に於いても日本勢は大きな遅れをとらされるようになった。1999年には携帯電話などの爆発的な需要増もあって生産は一時的に活況を呈したが、長続きせずであった。デバイス需要もDRAMとは異なるフラッシュメモリー、DSP (Digital Signal Processor) といったものの需要が旺盛になり、日本もロジック系デバイス

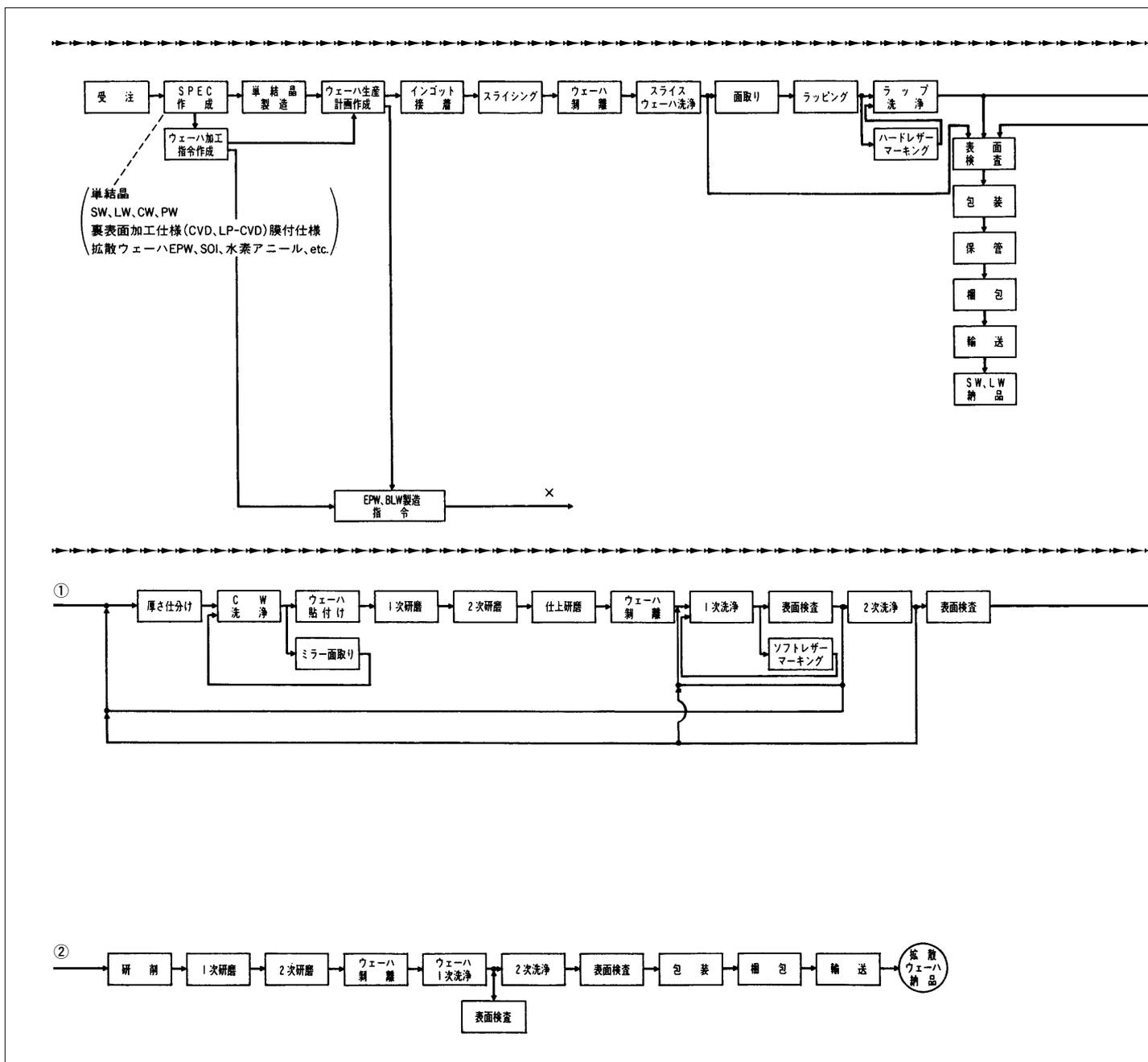


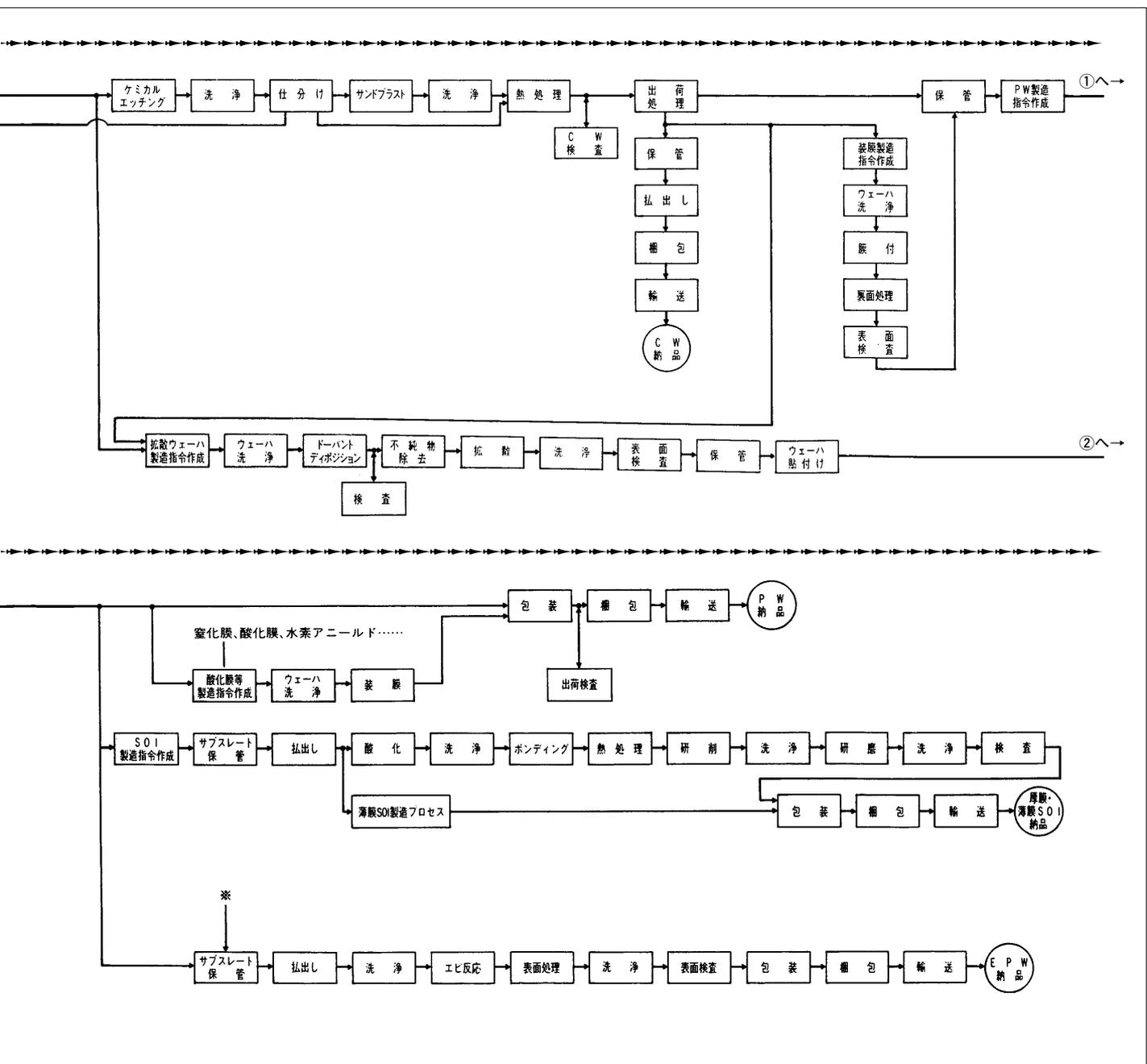
図-1 シリコンウェーハ製造プロセスシート

へ重心を移すきっかけになった。

2000年に入ってから、DRAMにコスト競争力のある韓国、台湾、シンガポールの成長が著しく日本のメーカーの凋落が決定的となり、事業の合従連衡、縮小、撤退、外注生産委託(OEM)などがマスコミを賑わせるようになり今日に至っている。今後も生き残りが激しくなっているのは事実のようである。

WSTS(World Semiconductor Trade Statistics)のデータによると、シリコン半導体の市場規模は米国が30~32%、アジア太平洋地域が24~26%、欧州が20%

前後、日本が21~23%位となっている。50%のシェアを持っていた往時に比べれば凋落の状態にはなっているが、まだまだ十分に巻き直しができる地位にはある。シリコンウェハーのような素材産業にあつては、その最終製品の市場動向を知ることが、そして自己の寄与率がいかほどのものであるのかを知ることは大事なことである。シリコンウェハー産業の半導体デバイス産業に対する寄与率(依存率)は5%程度のものと言われ、ほぼこのレベルを保って来たが、最近では価格破壊の影響もあつてこの維持が相互に難しくなっている。経常収支が両産業と



もマイナス方向に陥っているのはこの現れであろう。

半導体産業分野の統計方法が1999年に改められそれ以前のデータ紹介は出来ないが、1999年以降の国内半導体デバイス製品、半導体部品としてのシリコンウエハー製品、そして最終出荷製品であるコンピューター、携帯電話の生産、出荷、在庫の推移状況を紹介します。感触を知っていただければ幸いです。統計データは、経済産業省の鉱工業指数に基づいてまとめられています。金額データも存在するが変動が激しいので本稿では数量のみの扱いとさせていただきます。

また、統計の確報値を得るには2~3ヶ月の時間遅れが生じると云うことをご理解願いたい。

(1) 表-1 生産出荷在庫の指数(確報値)

デバイスの分類、数量規模に注目して欲しい。

表-1 生産・出荷・在庫指数確報(=機械統計) 平成14年8月分

(出所:平成14年10月16日(確報値) 経済産業省 経済産業政策局 調査統計部)						
分類	Commodity	Item	March.2002 平成14年 7月	March.2002 平成14年 8月	R.P. 前月比 増減率(%)	R.S. 前年同月比 増減率(%)
半導体素子	シリコンダイオード	生産(P)	2,030	1,686	-16.9	44.5
		出荷(S)	1,952	1,598	-18.1	32.5
		在庫(I)	857	876	2.2	-41.2
	(百万個)	生産(P)	778,974	736,212	-5.5	40.3
		出荷(S)	739,920	673,353	-9.0	13.0
		在庫(I)	286,923	309,272	7.8	-0.3
	トランジスタ	生産(P)	2,270	2,020	-11.0	24.8
		出荷(S)	2,034	1,857	-8.7	19.7
		在庫(I)	1,544	1,553	0.6	-30.2
	(百万個)	生産(P)	1,059,946	946,339	-10.7	45.4
		出荷(S)	1,197,845	1,084,971	-9.4	55.9
		在庫(I)	347,753	359,165	3.3	-25.8
集積回路	半導体集積回路合計	生産(P)	279,402	265,794	-4.9	23.9
		出荷(S)	255,480	243,935	-4.5	21.0
		在庫(I)	-	-	-	-
	(百万円)	生産(P)	48,726	44,690	-8.3	24.5
		出荷(S)	53,329	49,897	-6.4	24.6
		在庫(I)	-	-	-	-
	バイポーラ型半導体集積回路	生産(P)	4,673	4,052	-13.3	17.7
		出荷(S)	4,460	3,947	-11.5	21.7
		在庫(I)	-	-	-	-
	(百万円)	生産(P)	167,330	155,982	-6.8	19.4
		出荷(S)	143,313	136,496	-4.8	18.3
		在庫(I)	-	-	-	-
	モス型半導体集積回路 (論理素子)	生産(P)	46,106	48,573	5.4	29.7
		出荷(S)	42,226	41,891	-0.8	22.4
		在庫(I)	-	-	-	-
	(百万円)	生産(P)	12,567	12,497	-0.6	-
		出荷(S)	12,152	11,704	-3.7	-
		在庫(I)	-	-	-	-
	その他のモス型 (CCD・その他のモス型)	生産(P)	22,410	20,410	-8.9	-8.5
		出荷(S)	18,554	17,584	-5.2	-8.3
		在庫(I)	-	-	-	-
	(百万円)	生産(P)	146,851	138,166	-5.9	64.5
		出荷(S)	156,311	145,458	-8.9	48.5
		在庫(I)	81,176	94,576	16.5	10.9
半導体部品	シリコンウエーハ	生産(P)	674,991	657,690	-2.6	-12.7
	出荷(S)	662,953	624,046	-9.9	-16.0	
	在庫(I)	106,250	126,082	18.7	-30.8	
(台)	電子計算機	生産(P)	674,991	657,690	-2.6	-12.7
	出荷(S)	662,953	624,046	-9.9	-16.0	
	在庫(I)	106,250	126,082	18.7	-30.8	

*2002.6月から、METIの機械統計月報「電子管、半導体素子及び集積回路」に、生産品目を統一する。

半導体集積回路合計のなかに、「その他のモス型(CCD、その他モス型)」含む。

(2) 図-2 半導体集積回路の生産、在庫動向

・数量変動が大きいので3ヶ月移動平均で表示。

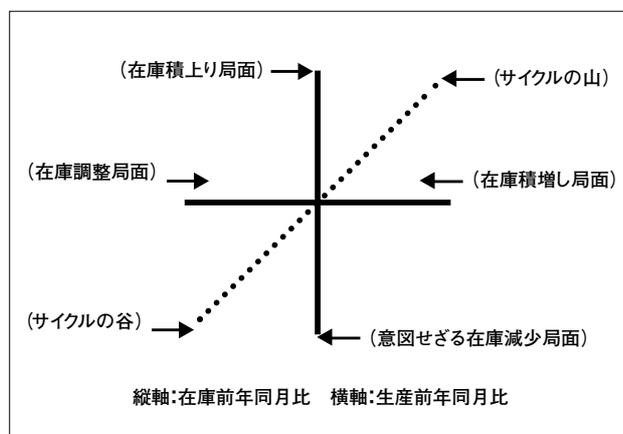


図-2の読み方

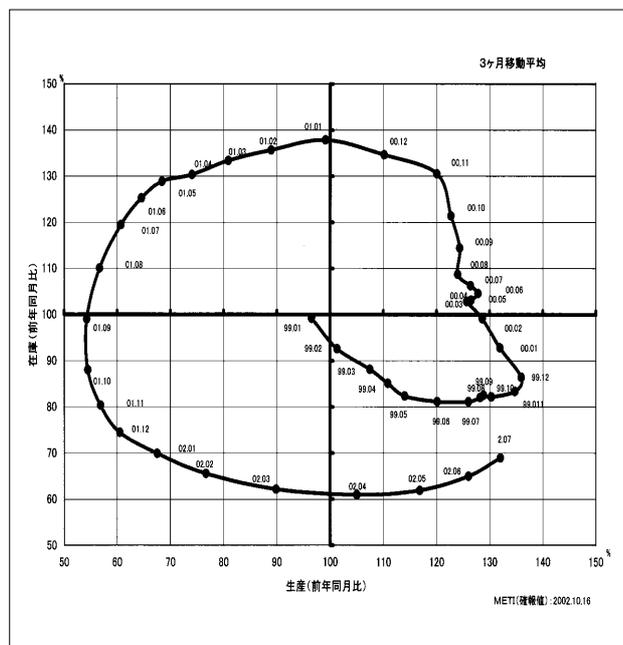


図-2 半導体集積回路生産・在庫数量(個数)動向

1999年初頭より約1年間は活況、その後生産調整を行うも在庫増の局面が続き、01年初頭より生産増に移行し02年3月頃より繁忙の生産が行われるものの8月頃より在庫増の懸念あり生産調整が必要の模様。

(3) 図-3 論理素子の生産・在庫動向

(4) 図-4 記憶素子の生産・在庫動向

(5) 図-5 DRAMの生産・販売・在庫推移

(6) 図-6 フラッシュメモリーの生産・販売・在庫推移

(7) 図-7 DRAMの生産・在庫動向

(8) 図-8 シリコンウエーハ合計の生産・販売・在庫推移

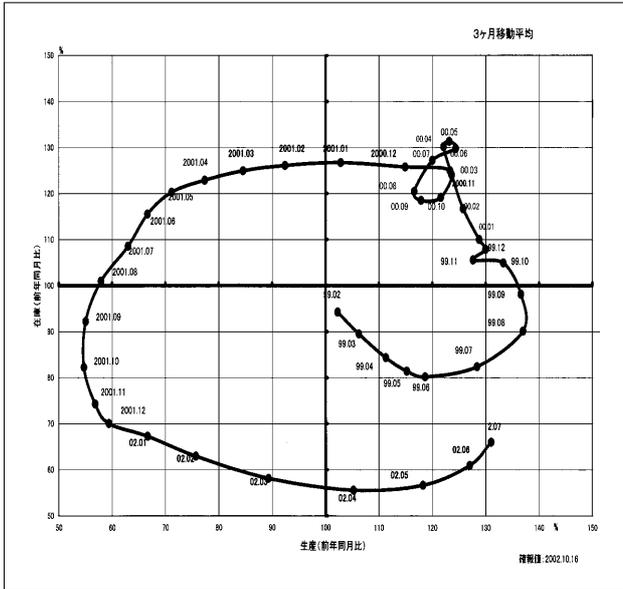


図-3 論理素子(マイコン・ロジック)生産・在庫数量(個数)動向

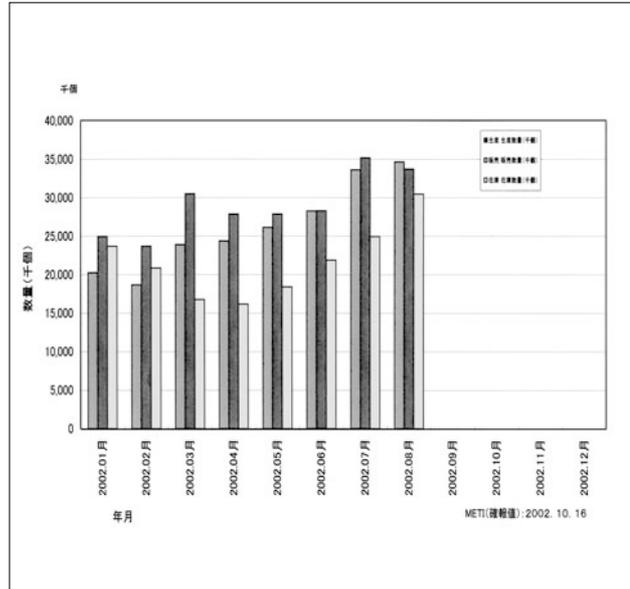


図-6 フラッシュメモリー生産・販売・在庫推移

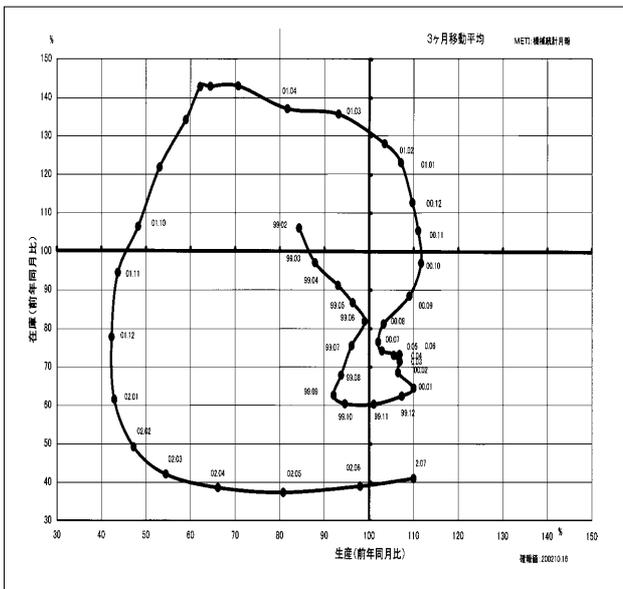


図-4 記憶素子(メモリ)生産・在庫数量(個数)動向

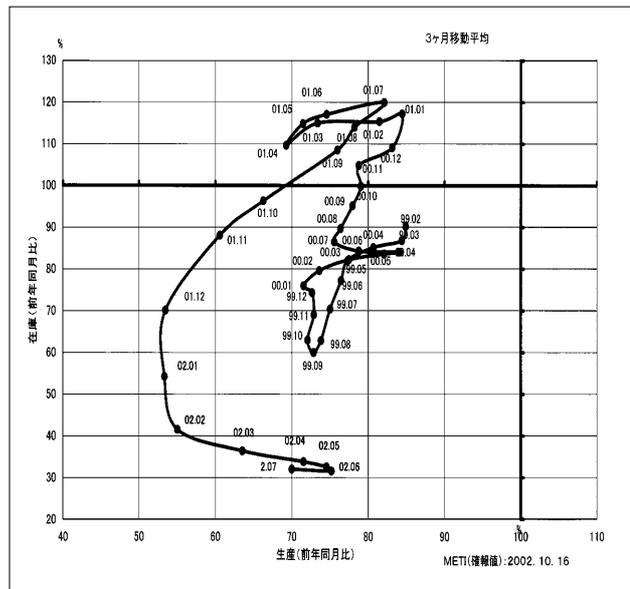


図-7 DRAM生産・在庫数量(個数)動向

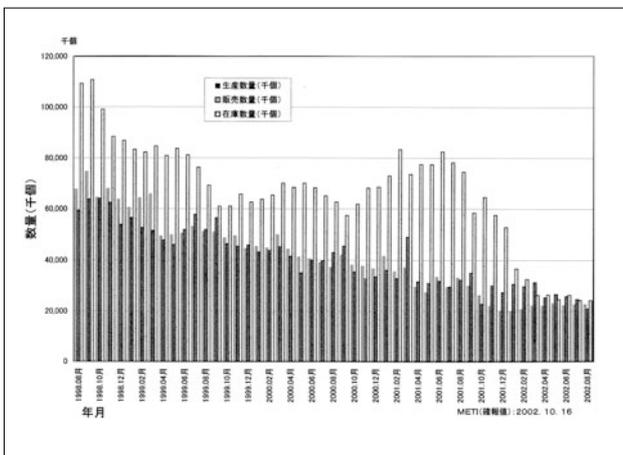


図-5 DRAM 生産・販売・在庫推移

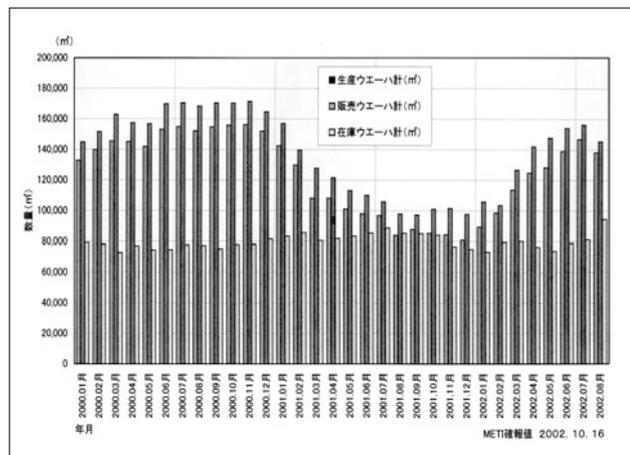


図-8 シリコンウェーハ合計 生産・販売・在庫推移

- 数量表示が平方メートル [m²] 単位となっている。

6インチウエハー面積=1.766×10⁻² [m²]

8インチウエハー面積=3.140×10⁻² [m²]

12インチウエハー面積=7.065×10⁻² [m²]

従って、1m²のシリコンウエハーの枚数は以下の通りとなる。

6インチウエハーは56.6枚分

8インチウエハーは31.8枚分

12インチウエハーは14.2枚分となる。

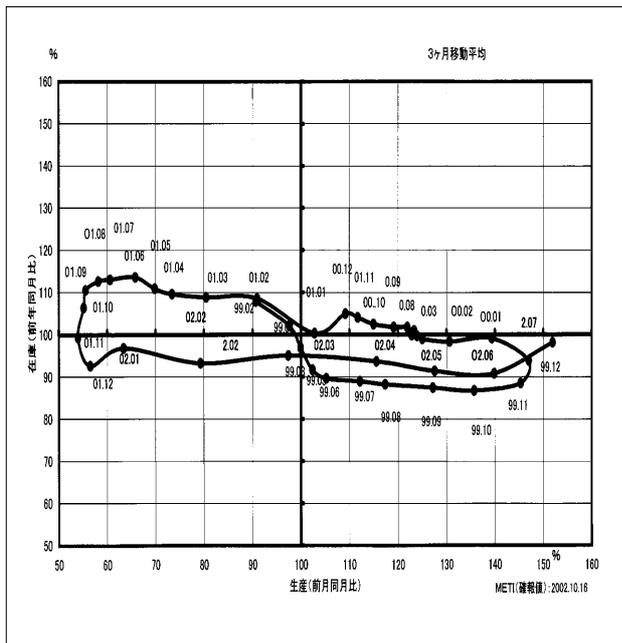


図-9 シリコンウエーハ合計 生産・在庫数量動向

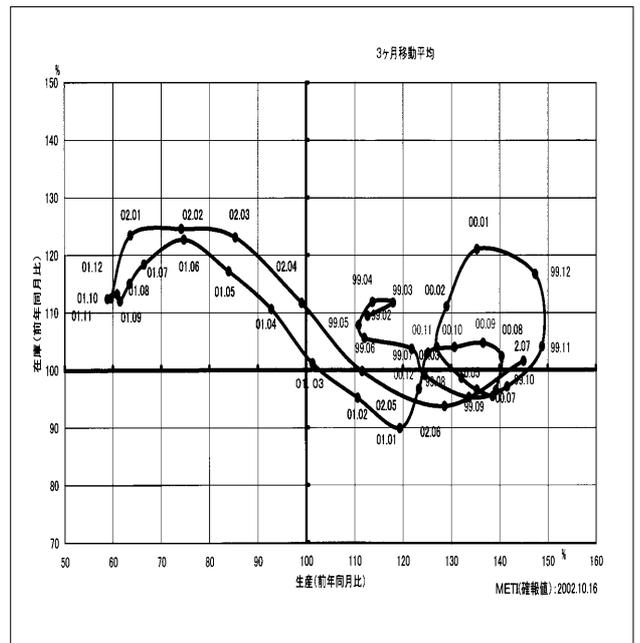


図-11 8インチウエーハ生産・在庫数量動向

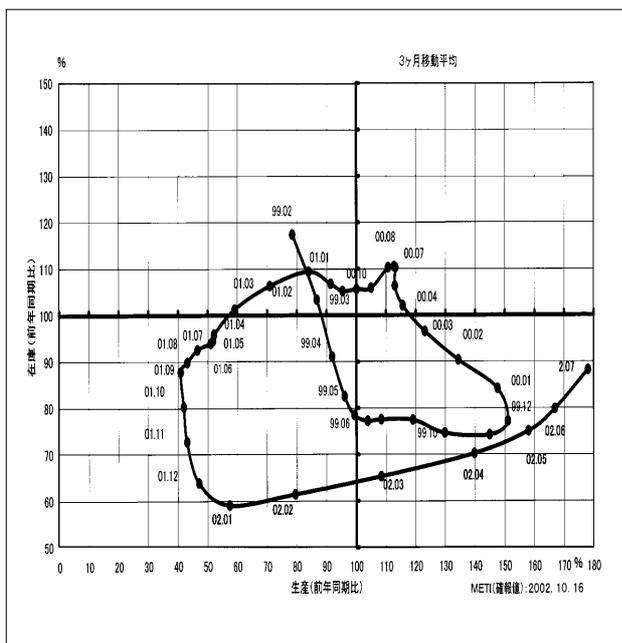


図-10 6インチウエーハ生産・在庫数量動向

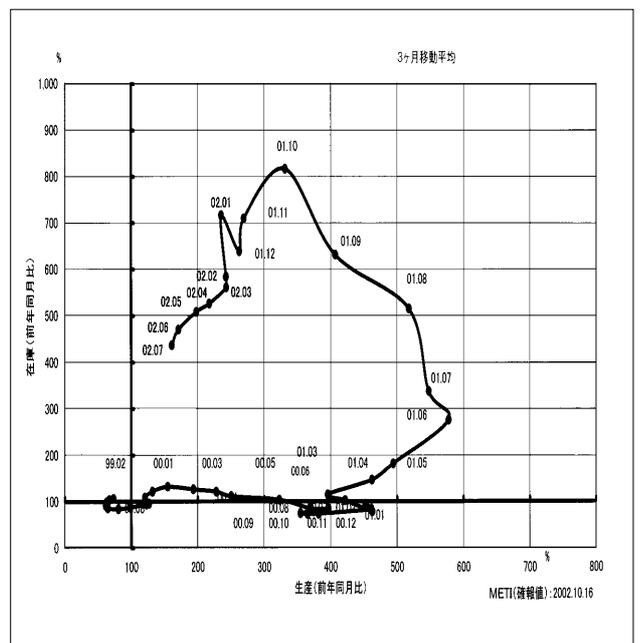


図-12 12インチウエーハ生産・在庫数量動向

(9) 図-9 シリコンウェハー合計の生産・在庫動向

(10) 図-10 6インチ (150mm) ウエハーの生産・在庫動向

(11) 図-11 8インチ (200mm) ウエハーの生産・在庫動向

(12) 図-12 12インチ (300mm) ウエハーの生産・在庫動向。

- 300ミリウエハーは、200ミリウエハーに比べ少なくとも30%のコストダウンが図れるとされ、DRAMや量産形のロジック素子への応用が期待されているが、設備投資額が膨大であるため、顧客は日本のトレセンティーテクノロジー、韓国のサムスン、台湾のTSMCなどに限られ需要が少ない割にウエハーメーカーのキャパシティが大きく在庫増を招き易い傾向がある。需要が本格化するのは2004年以降ではないかと思われる。

(13) 図-13 パソコンの生産・販売・在庫推移

(14) 図-14 携帯電話の生産・販売・在庫推移

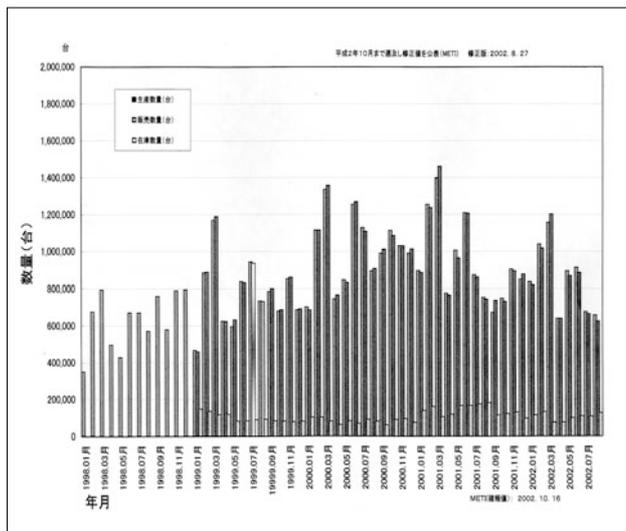


図-13 パソコン生産・販売・在庫推移 ('98.1~'02.8)

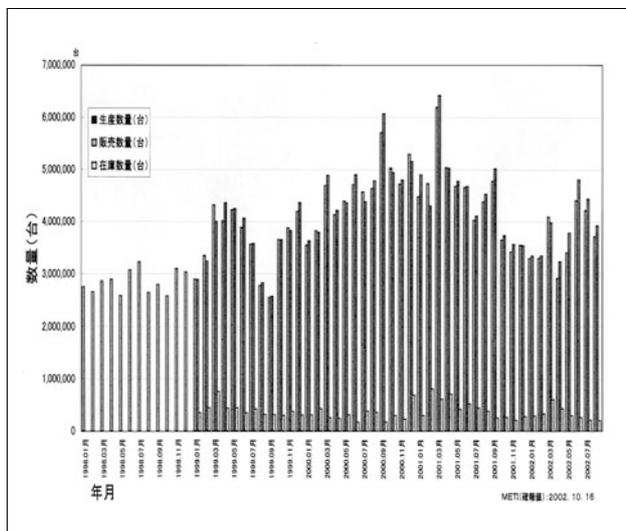


図-14 携帯電話生産・販売・在庫推移 ('98.1~'02.8)

4. シリコンウェハーの要求品質

シリコンウェハーに求められる要求品質は、デバイスニーズによって様々である。このために重金属不純やパーティクルの要求仕様に応じて、或は口径による物理的、機械的な制約で専用プロセスラインが構築されているが、形状が似ているのでプロセスは「大は小を兼ねる」の併用方式を採用することもできるのである。万能のプロセスラインが構築できれば、3インチの小口径品から300ミリの大口径品まで一つのラインで造り込みをする混流併産方式を採用することができるのである。ウエハーの搬送系が混流方式では機械的に調整が難しかったり、エッチング槽や洗浄槽の薬液量を調節することが難しかったり、無駄が多いなどで実際にはこの様なラインは何処にも設備されていないが造ることは可能なのである。

その時代の最先端仕様、平たく言えば最も厳しい仕様品が造れるプロセスが出来あがれば、その様な厳しい仕様品でなくてもすべてのウエハーがそのレベルの製品に自然にもしくは自動的にになってしまうということでもある。従って、ウエハーに求められる品質は、品種毎に一つであるともいえる訳である。PWに対する現時点での要求品質は次の品質仕様のものとなる。

(1) ウエハー表面に対する仕様

- ・平坦度はサイトサイズ (25m/m×25m/m以上) で 0.1 μ m以下
- ・微少欠陥はOSF、COPなどのなきこと
- ・パーティクルは0.1 μ m以上のものなきこと。
- ・重金属の汚染レベルは10⁹ atoms/cm²以下のこと。

(2) 端面及び裏面に対する仕様

- ・端面及び裏面は鏡面でパーティクルは表面と同じレベルであること。
- ・重金属汚染レベルも表面と同じであること。