



日本電信電話株式会社
NTT LSI 研究所主幹研究員
工学博士 原 田 宙 幸
Harada Hiroyuki

The expansion of semiconductor industry knows no limits. The technology of LSI will make human being very happy.

The key to the development is a creative study by everybody, which yeilds something better from nothing. This creative study which I call "Higaku" is the essence of the promised future.

1. 半導体産業

半導体産業は現在の社会で色々と話題を提供しています。貿易摩擦、今後の成長産業等々です。ここではまず、半導体産業が今後どれだけ伸びてゆくか、さらに半導体が21世紀の世の中をどう変えるのかについてお話しします。

半導体は1970年に 1 K bit のメモリーがアメリカで開発され、1985年に 1 M bit となり15年間で丁度1000倍になりました。21世紀まであと15年、もう15年たったらまた1000倍の 1 Gbit になるだろうと考えています。

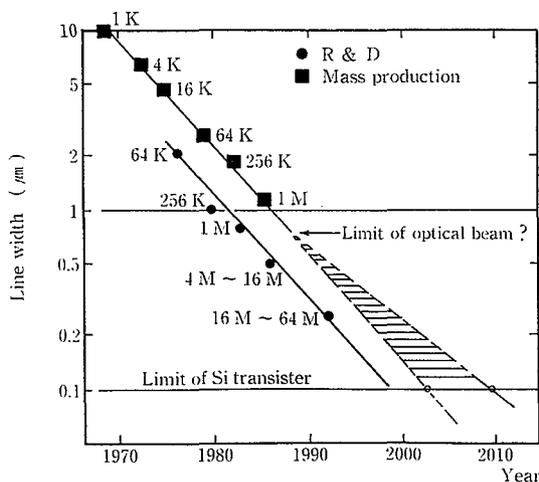
第1図にLSIの進展の様子を示します。この図は何年か前に作ったもので、当時は図中に?マークをつけているあたりが光の加工限界であると考えられていました。さらにその昔、64 Kを開発している頃には光の加工限界が2 μm 位と考えられていましたが、さらに進んで、それが1 μm となり、0.8 μm となり最近では0.2 μm 位まで加工できるようになってきました。

このように半導体はもうこれが限界だと言われながら次々と進んできているわけで、半導体の未来予測は誰がやっても当たらないと思います。さらに、半導体のデバイス技術が上手になってきて、集積度を上げるのに、パターンはそんなに小さくしなくても集積度を上げることも期待できるようになり、相乗的に未来はずっと発展することを予想できるようになってきました。今年(1988年)は 4 M bit が生産開始

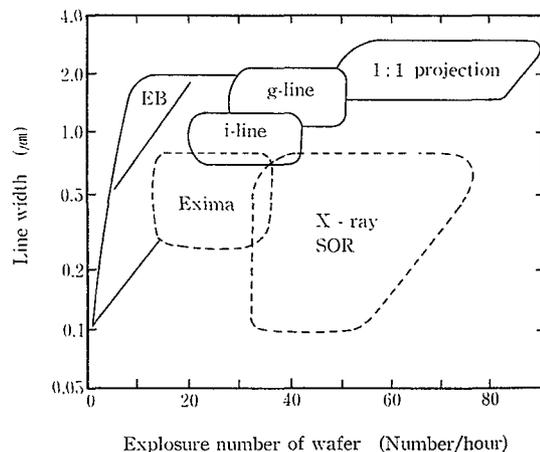
となり、16 M bit の開発もほぼ終って開発の中心は 64 M bit へと移っています。

今の所LSI発展に限界はありません。限界がなく非常に伸びてゆくということで半導体産業にどんどん集まってきています。現に鉄鋼会社はみな半導体のウエハー生産に参入してきております。こんなビックな会社がなぜ国内で年1000~2000億円位の小さなマーケットに入り込もうとするのか。それは将来の発展の可能性を期待しているからとしか考えられません。

ICはパターンさえ小さくできれば、いくらでも先に進めます。このパターンを転写する方法はたくさんあり、第2図に示します。現在主流になっているのは水銀灯のgラインを用いマスクパターンを $1/2 \sim 1/3$ に縮小して転写する方法です。さらに波長の短いiラインやエキシマレーザー光、X線等により微細なパターン形成方法も研究されています。実はこの図を書いた頃はgラインは1 μm が限界と考えられていましたが、今は4 M bit の0.8 μm もgラインでやっています。たぶん0.5 μm の16 M bit もgラインということになると見られています。1つの転写の方法が使い古されたら次の方法に移って、そしてそれが使い古されて次というように転写の方法に関しても、先の方の技術がいっぱいあまって控えているという状態です。超LSI、超々LSIと現在超が次々について、超がいっぱ



第1図 LSIの進展
Fig. 1 Progress of LSI



第2図 LSI微細加工の状況
Fig. 2 The situation of precision processing for LSI

いついてるともう限界だと思われてしまうのですが、実際はまだLSIの技術は始まったばかりということができません。

写真1はLSIのパターン表面の写真です。0.2 μm の線幅で既に2~3年前のもので、さらに技術が進歩してきている現在、面がまっすぐな細かいパターンが正確に転写できるようになってきています。

古い話になりますが、こんなことがありました。酸化膜に穴をあけて電極の取り出し穴を作る工程で、表面に鐘乳洞のような変なパターンが全面にできてしまったことがありました、水の汚染物によるのではないか、薬品が悪いのでは、空気ではと当時は大さわぎになりました。原因はいつでもなく、表面に十分洗い流されずに残っていたレジストの小さな点が、このようにエッチングされて残ったものとわかりました。当時はドライエッチングの初期でエッチングの切り口がシャープな垂直になることの初めての経験でした。従来の薬液エッチングの場合エッチング面は反応が等方向に進むために斜めに入り小さなレジストの点は削りとられて、あとが残らなかったものが垂直方向の方向性を有するドライエッチングでは全部出てきてしまったわけです。このさわぎのおかげで水も、薬品も、空気も非常にきれいなものになったという、思わぬ収穫のあった事件でした。

半導体産業でもう一つの大切なことは、公害を出さない産業だということです。半導体産業は鉄鋼や化学のように大きな土地を使って、煙をたくさん出し、材料を大量に使うという型の産業ではなく、材料をそんなに多く使わなくても製品が沢山できるという理由によります。しかし昨今新聞をにぎわしているトリクレンの問題がありますが、日本の半導体産業で使っているトリクレンの量は全体の5%位です。それなのになぜ半導体産業が目のかたきにされるのかと不思議に思っていました。環境庁に聞いたところ、それは今後この産業が大きくなることが予想されるから、今から注意を喚起しているとのことでした。それともう一つの要因は、クリーニング屋さんや、町の機械屋さん、わずかしか使わず、全国に散らばっているから問題ないが、半導体はそれらに比べると1カ所で大量に使用し集中度が高いからということらしいです。

半導体産業の大きくなる規模は今世紀末に100兆円を超えるのではないかと思います。コスト低下などを考えてどんなに少なく見積っても、30兆円程度と現在の鉄鋼業と同程度のものになることが予想されます。トリクレンを系外に出さない技術や廃水の回収技術もすでに確立しており、現在の5~6兆円の産業からこのように大規模な産業となっても大丈夫と考えています。

2. LSIとは

LSIの特徴を簡単なことばでまとめると次のようになると考えています。

- (1) 限界が不明
- (2) 五感の働きが全て可能
- (3) Happyな産業

まず、LSIがどこまで発展するかということですが、

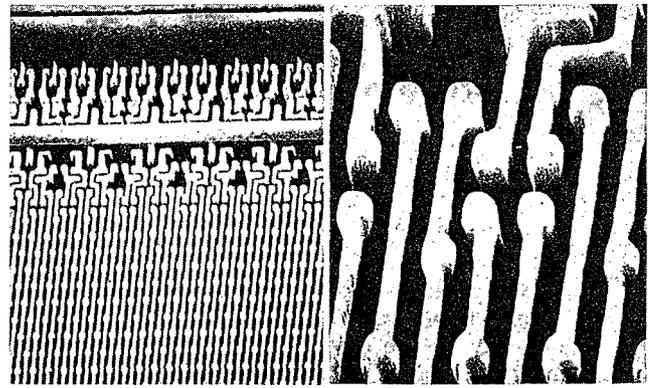


写真1
Photo 1 0.2 μm LSI patterns (Trilevel resist)

今はその限界がいえないという状況と言えます。さきほど微細加工の限界が不確かという話をしましたが、トランジスタが微細になってゆくと物理的に動かなくなるという限界に関しても、昔は0.2 μm といわれていましたが、現在では0.02 μm 位と理論予測そのものが動いています。こういったことで限界を言うことができません。とにかく、かなり先まで微細化、高集積化が続き、LSIは発展し続けることは確かです。だから色々と、例えば超純水などの分野でも何でもいいですから、とにかくこの半導体産業に関係していれば損はないし、また、そうしていただけると幸いです。

LSIに関してもう一つよく考えねばならないことは、LSIに何ができるかということです。LSIは人間の五感の働きのすべての代わりが務まります。このことは、いわゆる空想科学小説でいっている人造人間が実現可能であるということ、つまり、奴隷の提供が可能ということを意味します。従って、21世紀には、人類は皆王様になります。このことは社会に大変革をもたらします。

LSIはまた非常にHappyな産業です。それはパイがどんどん大きくなるからです。鉄鋼や化学はそうではありません。以前、食品化学工業会が化学をとってしまって食品工業会となりました。また精密機械工業会が、機械がついていると斜陽産業ということで精密工業会としてしまいました。発展のない産業は給料を沢山はらうことはできないと思います。NTTの給料が良いことはありませんが。

さらにHappyなことは半導体産業は人を大切にすることです。半導体の作り方というのは結局は経験に基づくところが多くあります。従って職場の作業員が大切にされます。このことは企業が発展するための主要な素地と言えます。反対に作業員すなわち人間を大事にしない企業は絶対に伸びません。その例がアメリカと言えます。アメリカ人とプロセス自動化の話をしてしていると、どうしても合わない所があります。それは彼らが、作業員がいるから歩留りが低下するといいますが、それで計算機を使って自動化して作業員を現場から追い出したいといいますが。こうしたことではいつまでたっても歩留りは上がりません。日本の半導体工場でそのようなことを考えている人はどこにもなく、作業員がいるから歩留りが上ると皆考えています。

その理由は作業者が歩留りを上げるために、いろいろなことを工夫して、うまい方法をあみ出してきているからです。これを長年つづけてきたので日本とアメリカの差ができました。半導体工業ではきれいな水、きれいな空気が絶対に必要といわれています。しかしこれはうそです。神鋼ファウドラさんの技術をもってすれば、そのへんのどぶ川からでも世界一の超純水を作ることができるでしょう。空気にしても、川崎に多くの半導体工場があります。ここは昔からあまり空気がきれいとは言えません。空気に関しては、フィルトレーション技術があります。空気がきれい、水がきれいというのは関係なく人が大事ということになります。すなわち、きれいな水きれいな空気がある所というのはいい人がいます。逆にいい人というのはきれいな空気ときれいな水がない所では育たないということです。以前九州のある半導体工場が新設された時行ったことがありますが、空気も水もきれいで、また作業員の人やすばらしいにはおどろかされました。村の自治組織がそのままスポーッと会社に入ったような感じで、職制は作らなくても勝手にできる。皆が子供の時代から知っている仲間で、信頼しあって非常にうまくいくといった具合です。ところが東京でそういった職制を作ろうとしてもなかなかうまくいきません。

このようにLSIというのは人の面からみても非常にHappyな産業です。人が非常に大事にされているという意味からです。

3. LSIと21世紀

次にLSIが21世紀の世の中をどう変えるか、ということと述べます。小学生の子供さんに頼まれて1台、2台と持っておられると思いますが、今の計算機は非常にめんどろで使いにくいですね。これは人間に近くできていないからで、赤ん坊に近い状態といえます。それで逆に人間の方があくせくやらないと動きません。赤ん坊に勝てる人は居ません。これがLSIの微細化・高度化が進み、どんどん機能を増してゆくと人間の知能にだんだん近づいてきます。そうすると「ア」とか「ウ」とか言うだけでお茶ができてきたり、コーヒーが出てきたりするようになります。計算機がめんどろだと思っておられる方はもう少し買うのを待ったら良いと思います。

21世紀には確実にそういう技術がわれわれの身の廻りにでき上がってきます。第3図に21世紀の姿を示します。計算機は人工知能化し脳の働きに近くなり、自分で学習もできるようになります。また、五感の働きのすべてが代用できるわけですから、ロボットは人造人間になります。これを人間と同格にすると、神様が作った人間が怒り出すのでこの人造人間を奴隷と名付けます。奴隷を持った人間は何かというそれは王様です。従って皆様のご子息はみな王様になるわけですから大事に育てなければならぬわけです。これは確実です。王様になるのは21世紀なのですが、22世紀になると人間は神様のようになるのではと思います。人間の寿命は今80年とされています。人間がどれくらいまで生きてゆけるかと問うと明確な回答がもどってきません。120才が人間細胞の情報伝達の限界という人がいますが、実際はわからないと思います。判らないから研究

Computer	→	Intelligence
Robot	→	Slave
Man	→	King
The terra	→	The solar system

第3図 21世紀
Fig. 3 21th. century

するのだと思います。判らないのに判ったようなことをいうのは迷信です。22世紀になると少なくとも迷信というものは解き放たれもっと自由に、もっと創造性のある仕事をできるようになると思っています。最近では老化の研究が始まり、いろいろわからなかったことがわかってきて、多分200才まで、さらに300才そのうち1000年から万年まで生きられるようになると思っています。わからないから研究するのであって、寿命について研究する前からも定まったような言い方をするのは間違いです。

人間の活動も地球から太陽系に移ってゆきます。これも確実です。東京や大阪が住みずらくなって、宇宙にゆくと無限大にひろがっています。少しアルミ箔をひろげると、太陽から我々が今地球上で手にするエネルギーから比べると、無尽蔵に近いエネルギーが簡単に手に入ります。エネルギーコストが安くなると食べるのに困らない時代となります。人工栽培のおぼけトマトのように人間の作った環境の中で人工飼育をすると、食べたい時に食べたいものがいつでもでき、畑を耕したりすることなくほとんど人手なしに農業ができるようになります。特に地価の高い日本ですると畑で作る野菜の値段より10倍高く、エネルギーコストが1/10になると今の畑を耕して自然の太陽の光を使ってすると同じコストにすることができます。地球からとび出して太陽系の中で、パラボラ集光器を用いエネルギーを安く手に入れることができるようになると食べるのに困らない世の中がすぐにきます。人間がそういう所に行って一人で生活するという事は、アフリカの奥地へ行って生活するより大変なのですがこんどは奴隷がいます。めんどろなことは奴隷にさせて人間は寝ころがってればよいわけです。

こういう話を始めると私は職場を計算機に追われるんじゃないかとだんだん落込む人がいるけれど、とんでもないことです。要するに神様の作ったのが人間で、人間の作ったのが機械であり、どういう住み分けになるかという、ルーチンワークは機械が受け持ちクリエイティブなワークは人間が行います。そうすると益々落込んでしまっていて、私はもう21世紀には生きられないと心配する人がいるのですが、皆様は実際にクリエイティブな仕事を不断からやっているのです。それをクリエイティブな仕事だという認識に欠けているだけです。だからもっと人間の能力を引き出せて、もっと人間が快適な生活に早く近づいていいのですが、クリエイティブなものルーチンワークとが混在して混沌として効率悪くやっているわけです。この辺がLSIの発展と共に整理されて考えられてゆくようになるので、今後非常に世の中明るくなると思っています。

4. 無学・有学・非学

仕事のやり方、進め方を考える時、以下の学の三形態という区別をして考えることを私は提唱しています。

<学の三形態>

- (1) 無学
- (2) 有学
- (3) 非学

無学というのは母親から出てきたままの状態、すなわち学の無い状態です。人間は親からおしえてもらったり、少しだけお金を払うだけで大学まで行かせてもらったり、先生から教えてもらってそれで有学の状態になります。

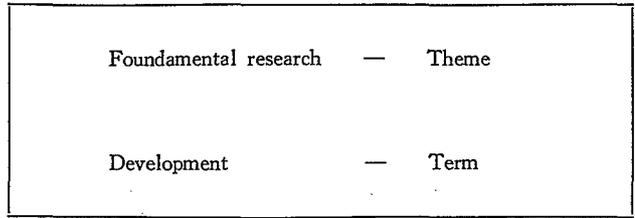
この有学というのはいくらやっても世の中は良くならないのです。なぜかというところは人からおそわっている、要するにすでに学問の形態を成しているものを自分が知らないからおそわっているだけだからです。だから有学をいくらやっても世の為、人の為にはなりませんし、金もうけにもつながりません。

非学とは学にあらざるもの、学になっていないものを学にすることであり、これがクリエイティブワークです。だから世の中にあるものを作り出すクリエイティブな仕事—非学—を認識をもって始めて、世の中にあるものをどんどんクリエイティブしたら、一年もたたないうちに世の中非常によくなっていく、10年たてばものすごくよくなっていく、ということになります。

昔、よく大学の先生が基礎にもどって基礎から研究をといわれました。しかし基礎に戻ってという戻る所があるというのは非学ではないのです。非学とは要するに世の中にまだなにもない状態なわけですから、戻るところがないわけです。昔は大学もそれでよかったし会社自身もそれでよかったのです。それはなぜかという、アメリカ、ヨーロッパが上にいて技術的に進んでおり、日本はそのあとを追いかけていたわけですから。だからアメリカを勉強する、ヨーロッパを勉強する、でよかったわけで、このような非学を始める必要はなかったのです。それで10年20年前は日本は有学を一生懸命やっていたわけですから。それで、研究所は金喰い虫といわれました。有学には授業料が必要でした。

この有学をやっているのか、非学をやっているのかというこの区別、認識が非常に大切です。非学はこの無から有を作り出すことをしようということです。世の中にあるものをもっと良くする、皆が使いやすくする、これもやはり無から有を作る中に入れることができます。この間まで1ドルが240円、それが1年もしないうちに120円、130円となってしまう、それに対しアメリカの商務長官が1ドル240円が120円—130円になったのに日本製品はアメリカで一向に高く売られていない、これはおかしいという発言がありました。

しかし我々にいわせれば、アメリカの商務長官の考え方がおかしいということになります。円とドルのレートが2倍も変わったら製品の作り方を工夫してコストダウンをはかり値段を上げないようにしないと売れなくなって倒産するということは日本の経営者は皆知っているのに彼は知らないのです。240円の時には240円の作り方が、120円にな



第4図 研究とは無から有を造り出すこと

Fig. 4 Fundamental research is to create something from nothing

ったら120円の作り方があり、その240円の時に120円の作り方をだれもしないからそれはまだありません。要するに職場の作業員の方が全員一丸となって非学をし、120円の作り方を創り出したのです。だから240円が120円になっても商売はやっていけるということです。こういって経営者の皆様はあまり賛同はされません。いろいろな含みがあって円高になって大変であるといった方がやり易いからではないかと思えます。日本の場合研究者とは名刺に書いている人だけが研究をしているのではなく、このように日本人全員、職場で働いている人が全員が無から有を作り出す非学をやっているからこのように240円が120円になっても対応が可能なのです。

5. 研究と開発

一般に研究 (Fundamental research) とか、開発 (Development) とかいはれませんが、ここで大切なことは研究は何をするかというテーマが大事で、開発はいつまでにするという期限が大事だということです (第4図)。なおここで話するのは私の研究所のことで、他の研究所のことは一切含まれていません。私共の研究所は10年前までは実用化研究所と礼々しく名前をつけてありましたが、これは欧米が技術レベルが上で日本の技術レベルが下の時に必要であったのです。実用化研究、これを今の言葉でいえば後追研究ということになります。今でも実用化研究のことを研究と思っている人が多くまっています。このような実用化研究ではカモフラージュするために新規性が大切で、よそでは誰もやっていませんとよく言います。真似しているといわれるのが一番困るわけですから。たとえば、世の中にあるコップは全部丸いから、四角や三角を研究したらどうか、こういうふうにしてしまうと何でももうテーマになってしまうのです。理由があって、丸いコップで飲むと口が大きくなる、四角や三角のコップで飲むと口が小さくなって皆が望んでいる。従って四角や三角のコップをとるのならよいのですが、丸しかないから四角や三角をとるのではつき合っておれません。

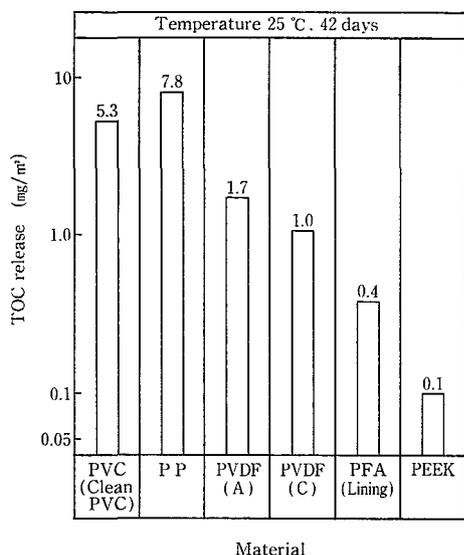
数年前にNTTの真藤社長に世界で始めて何々に成功しましたと新聞発表したらしかられたのです。お前たちIBMの研究所が発表する時に世界で始めてうんぬんというから、そこから発表するのは世界で始めてに決まっているだろうと。実用化研究をしている頭でいくと、どうしてもそれをいわないとわざびのきいていない寿司のようになってしまうわけである。

またこんなこともあります。研究 (開発) というのがあります。研究は要するに何を研究するかというテーマが大切で、ノーベル賞をもらえるようなテーマにうまくゆき当

第 1 表 クリーンルームの歴史

Table 1 History of clean room

Level of devices	Type of clean room	Requested cleanliness level
16 KRAM	Conventional type	Class 1,000 (Man is the largest dust generator)
64 KRAM	Vertical laminar flow type	Class 100
1 MRAM 4 MRAM	Partially vertical laminar flow type	Class 10 or less (Nothing but wafer be kept from dust)



第 5 図 各種材料の防水 TOC 測定

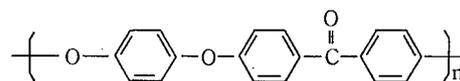
Fig. 5 TOC release while imprisoning test

ったら私ももらっていて、もっといい格好をしていたかも知れませんが、テーマを研究でなく開発のテーマにしてしまうと、さきほどの丸しかないコップを四角にする、三角にするとかいっておれば充分で、寝ていてもテーマができてしまうのです。一方研究といっていると期限はない訳です。期限については開発でなく研究ということですから。いいとこどり研究という事になります。

これを先ほどの学の三形態で考えてみますと、有学であって非学ではありません。このことは研究者だけにあてはまるのではなく、一般の生産においてもあてはまります。自動車産業は、自動化が非常に進んでいます。しかし結局 100% 自動化ということはしないのです。例えば溶接工程などはロボットにすると 100% 自動化できるのですが、必ず作業者と組合せています。それはなぜかという、結局ロボットに 100% 任せると技術が伸びないという考えからです。現場での作業を外から見ているとルーチンワークをしているように見えるのですが、人間はルーチンワークをやっているわけではありません。同じことを同じようにやっているようだけれども、その間色々と考えていて、ある時ある考え方がパッとひらめくのです。そのひらめきをもとに改善案が作られ、それが採用されて生きがいのある職場になります。日本の産業はこうして延びてきました。研

第 2 表 ポリエーテルエーテルケトン

Table 2 Poly Ether Ether Ketone



Mechanical property	PEEK	PVC	PVDF	PFA (Teflon)
Specific gravity g/c.c.	1.30	1.43	1.78	2.17
Tensile strength kg/cm ²	930	500	500	280
Elasticity kg/cm ²	4×10 ⁴		14 000	6 700
Temperature limit °C	~240	50	120	260

究者やごく一部の限られた人だけでなく、全員が非学をしているか、していないかによって今後延びていくかいかの差になると思います。

次にこのようにして得られた成果がどう評価されるかということですが、私はやはりその成果にお客様がつくつかないかということを決まるという気がします。ノーベル賞をもらう難しい学問的なテーマとしても、最終的にそれが世の中のためになるからノーベル賞をもらえるわけです。お客様は神様ですと言います。英語ではこれを Customer is always right. と言います。お客様はいつも正しいということ、お客様が評価するということだと思えます。

6. クリーン化技術

ここで半導体製造設備でのクリーン化技術の例を 2, 3 ご紹介いたします。まずクリーンルームの例で第 1 表に示します。16 K bit 程度の L S I を使っていたころはコンベンショナル方式のクラス 1000 位のクリーンルームでした。フィルターが天上の一部に取りつけられていたので天上から吹いてくる方式でしたが、空気はクリーンルーム内で渦まいていました。このころは人間が最大の発塵源と日本でも同じように唱えられていました。しかしそれに対し現場をよくみなさいということで改善が行われ、要するに人間が発塵源であるのは当たり前なのです。そのことが良く認識されると、これに対しどう対処するかということ、それをうまくやっけていけばもっと良い状況に到達できる、それが研究であるといえます。最近では人は発塵源だという言い方はあまりなくなりました。ウエハにさえゴミをつけなければ良いといういい方に変ってきています。

コンベンショナルクリーンルームではクリーンエアが渦をまいていきますので、人間から出たゴミが、どの方向に行くかわからないわけです。このため人からの発塵が問題になりました。しかし、垂直層流方式のクリーンルームではゴミは上から下へに行くことになり、ウエハのハンドリングをうまく工夫すると、ウエハにゴミが着かなくなったわけです。こうして、K bit クラスから M bit クラスにどんどん対応できる方法が編み出されて、今では局所垂直層流方式という方式へと発展しクリーン度に余裕すらもできました。

ウエハハンドリングでの問題としてはウエハの大口径化

による重さの問題があります。今まで用いられているウエハの直径がだんだん大きくなって、現在6インチまで来ています。その次は8インチさらにその次は10とか12インチとなりましょうか。現在は6インチで足ぶみしていますが、すぐに大きくなると考えられます。例えば10インチ位になったとすると、ウエハを運搬する上で非常に重たくなることです。カセットとウエハ25枚あわせると5.5 kg にもなり持つのに結好骨が折れるようになります。こうしたことから注目されているのにポリエーテルエーテルケトン (PEEK) 第2表です。比重がテフロンの半分近く、機械強度が非常に強くこれでカセットを作ると非常に軽くなります。さらに加工精度が上ってロボットで扱うのが非常にやりやすくなります。この材料を超純水に使って評価されるとクリーンな材料と認めていただけたらと考え、純水装

置メーカーさんに純水配管への使用をたきつけました。第5図に超純水を封入し 25 °C で 42 日間おいた場合のTOC溶出のデータを示します。このデータからもTOCの溶出が非常に少なく良い材料であることがわかります。こういったことでこの材料で作ったカセットが世の中で広く使われるようになることを願っています。このカセットが普及しますと、プロセス自動化がもっと進み、その分作業者の人は非学をする時間が増し、うまい作り方をどんどんあみ出すことができるようになります。

む す び

こうして何が問題であるかという問題を見つけ、物事にこだわらない目でみて、世の中が皆非学を行うようになるとどんどん良くなってくる、これからは非学によって発展すると考えています。