

随 想

鉄鋼業とシリコン素材

加 瀬 正 司*

我が国のみならず世界共通の現象として、社会の情報化、高度化や多様化に伴って、経済のソフト化、サービス化が急速に進展している。また、産業社会もエレクトロニクス、新素材、バイオテクノロジー等、先端分野における急速な技術革新を引き金に次々に新マーケットを創出し、新産業革命とも言うべきダイナミックな展開を遂げつつある。

我が国の鉄鋼業界についても鋼材需要の鈍化、急激なる円高、技術の成熟化、輸入鋼材の増加等、厳しい状況に直面し、長期的な視点にたつた新しい時代に適合した事業構造への革新が求められ、既に実行されつつある。このような鉄鋼の 21 世紀へ向けた変身は世界的なものであり、日本の鉄鋼各社は現在抜本的な競争力強化のためのリストラクチャリング（構造の再構築）を策定し、実施段階に入っている。このリストラクチャリングの各社共通点は、製鉄業の生産体制の徹底したスリム化とマーケットのニーズにマッチした効率的な生産体制の確立である。

次に成長性の高い新規あるいは異分野事業への進出である。新日本製鉄(株)は、21 世紀においても世界最強の総合素材メーカーを目指して、鉄部門の徹底したスリム化と、鉄以外の成長分野への迅速かつ積極的な事業展開によって業容の拡大を果たしてゆくため、エンジニアリング、化学、新素材等これまで進めてきた事業多角化の戦列に新たな事業分野を加え、図 1 のとおりの事業構成により 70 年度事業規模目標を 4 兆円とする複合経営戦略を立案した。

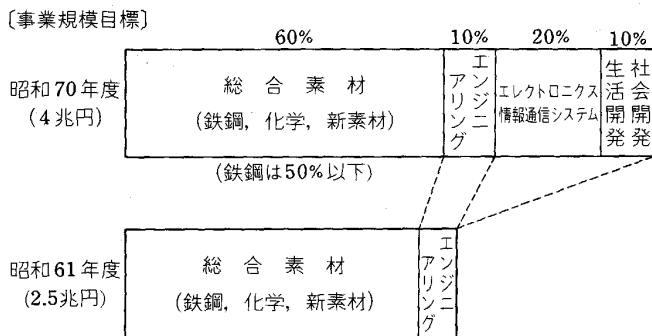


図 1 新日鉄複合経営ビジョン

* ニッテツ電子(株)

特に、最近における半導体、エレクトロニクス事業の発展は著しく、その生産高は約 17 兆円/年で、まさに鉄鋼業の出荷額に匹敵している。また今後の高成長を期待される巨大産業である。技術面でも極めて裾野が広く、それを支える周辺技術は鉄鋼業が占有している総合技術とラップする部分が多い。すなわち、鉄鋼業のいわゆるメタラジー技術と包括的に呼ばれている溶解・精錬・凝固・圧延・加工などの技術と設備技術・評価利用・加工技術はエレクトロニクス、新素材分野へ直ちに有効に活用、応用できる潜在的な力を保有している。

このようなエレクトロニクス事業を支える電気材料、新素材は今後とも総合素材メーカーを目指す我々にとって避けて通れない分野であると考えられる。

今世紀最大の発明といわれる 1947 年アメリカ・ベル研のショックレー等による固体増幅素子トランジスタの誕生は、微弱な電気信号を大きく増幅、整流する真空管と同様な作用を何とかして固体物質だけで実現する方法はないかという執拗な研究努力の成果であり、これがマイクロエレクトロニクスの幕明である。

トランジスタの材料として半導体～周期律表Ⅲ, IV, V 族を中心とする元素の徹底的な基礎研究、改良が行われた。

例えば、整流作用が半導体内部の現象ではなく表面現象であるとの認識が確立したのもかなり後になつてである。シリコン基板上に多数のトランジスタ、ダイオードと同時に抵抗、コンデンサーも形成し、ついで相互配線するいわゆる集積回路 (IC) のアイデアが生まれ (1961 年頃)、プレーナー技術によつて工業化が可能となつたのは日本では 1966 年で、IC 元年といわれている。この半導体 IC の発展により、エレクトロニクス産業としてコンピューターロボット等で社会生活や産業界にもたらした影響は極めて大きい。そして、鉄鋼業の古い歴史と伝統に比して、何と若い産業であるかとまことに感慨深いものがある。

さて今日の半導体 IC の隆盛をもたらした真の原因は何であつたのだろうか。外因は、マイクロチップの効用にあるが、内因はシリコンという材料にある。現在生産されている IC のほとんどは、その基板にシリコンを使用している。残りの 10% 前後は、化合物半導体 (GaAs, InP 等) であつて、この割合は将来も変わらないと推定される。

シリコンの素晴らしい特性を簡単に述べると、

(1) 単元素結晶であり、高温での熔融液から引き上げ炉で単結晶インゴット製造する過程で組成の変化はありえない。単結晶を切断し、研磨し、ウエハーとする時も、デバイスでの LSI 製造時の高温処理、イオン注入等でも組成変化しない。組成のずれは、電気的欠陥と直結するので重要な問題である。これに対し、化合物半導体 GaAs, InP 等では常に As, P が蒸発し、組成がずれる

欠点がある。

(2)大型の結晶が作りやすい。現在では、直径6 inchから8 inchで、長さ1 m程度の単結晶インゴットが生産されている。

(3)シリコン結晶は安定で、加工しやすい。適度な強度があり、切断・研磨の歪みが内部に浸透せず、100 μm 程度のエッチング・ポリッシングで良質な表面形状の基板が得られる。

(4)シリコンの結晶特性により、外部からの刺激、例えば熱・光・磁界・不純物の添加等に非常に敏感に反応し、その結果規則的に電気抵抗を変化させ得る。特に、不純物原子(ドーパント)の添加がほぼ完全に電子または正孔を出すことに結び付く。すなわち、電気特性を精密に制御できる。

(5)最大の特長は、酸化で表面に生ずる酸化膜がある。この膜は、極めて優れた安定性と絶縁性をもち、下地のシリコン表面を保護する。高集積化は素子の微細化と同意義だが、トランジスタにおいては、ゲート絶縁層の薄膜化を意味し、この薄膜化の限界がトランジスタの微細化の限界を決定しているといえる。

(6)値段が安い。地殻に存在する元素の中で酸素に次いで2番目に多い元素である。ちなみに、半導体を使用するシリコン単結晶の純度は、11-N (Eleven-Nine)である。

以上のことにより、シリコンは「神が人に与えた最高の元素」、最近では「産業の米」と言われている。

私も約30年間鉄鋼業でお世話になり、鉄鋼精錬関係でずいぶんシリコンで苦労した思い出は多いわけであるが、半導体素材としてのシリコンを勉強してみると、本当に奥行きが深い元素だなということを実感する。

新日鉄複合経営の中核として、全社の熱い思いの下にシリコンウエハーの製造・販売を業とする、ニッテツ電子(株)が60年6月に設立され、直ちに光製鉄所構内に年産能力200万枚/年(5 inch, 6 inchシリコンウエハー)の工場建設に着手、61年5月未完、直ちに操業に入り、順調な立ち上がりを経てサンプル出荷、そして62年4月より営業開始となつたしだいである。本社からそれぞれの専門分野の若いスタッフを選抜し、実操業に当たらせると共に、新日鉄の総力をあげて、特に技術開発についてはその中央研究本部、設備技術本部スタッフが、工場に入り込んで万全の支援体制を整え、実績をあげつつあるのが現状である。(図2参照)

基礎研究、製造技術、評価技術を一貫して研究する研究所も新しく光工場内に設置し、需要家からも好評をいただいている状況である。しかし、何分新規参入であり、知見の少ない分野であり、実操業では多くの課題、技術的な障壁をかかえており、謙虚に社外の先達の声を拝聴し、懸命に努力してこの新規事業を推進する上で最短、最良の道を歩みたいと考えている。

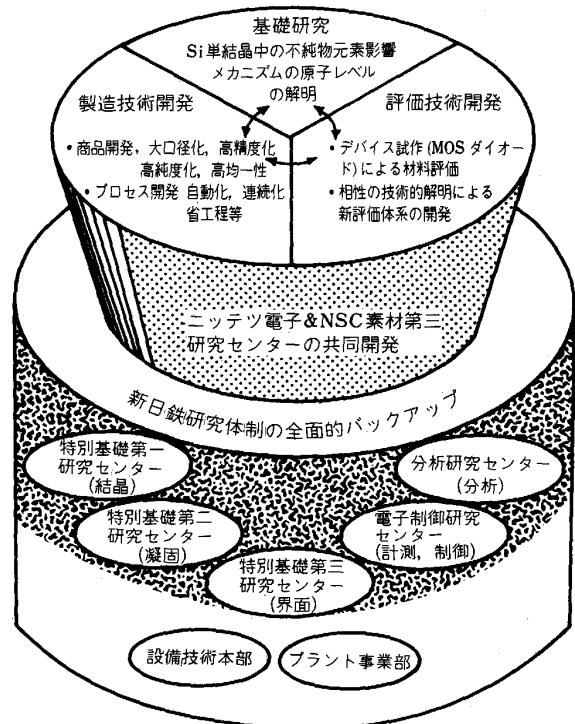


図2 技術開発体制

シリコンウエハーにとって最も重要な品質項目は、高純度・高精度・高潔度であるが、例えば純度では無欠陥結晶制御、酸素やドーパントの電子数レベルでの制御、ウエハー面内での比抵抗等の均一性等であり、精度はウエハー面内の板厚ばらつきが2~3 μm 以下、潔度では0.2~0.3 μm 直径以上の付着粒子が数個以下といった具合である。現在、ICの最先端商品である1M(メガ)D-Ramの場合、縦横十数mmのシリコン基板上に約250万個の回路素子が装着されており、こういったことから上記の厳しい品質が要求されるのは当然といえる。

次に極めて短い期間ではあるが、この事業での生産・営業を経験した私見を鉄鋼技術と比較しながら卒直に述べてみよう。

(1)生産技術が未成熟である。例えば原料のシリコン多結晶に対する一級品のシリコンウエハーの総合一貫歩留りは20%~25%位で極めて低い。おそらくこの業界の歴史の浅いこと、また新商品の開発に追われ工程改善に集中できなかつた事情があつたように思われる。鉄屋の得意なプロセス開発、ハード改善、生産管理、また現場の自主管理活動をもつてすれば、大幅な歩留向上が期待できる。逆に言えば、“やるべきことが多い”ということは、投資も必要であり、ニューカマーの進出余地があるということだろう。

(2)半導体農業論ないしは相性論というのが存在していること。これは、材料特性とIC製造のデバイス側のプロセスとの因果関係が十分解明されていないためである。同じICを製造するのに、A社では高く評価された

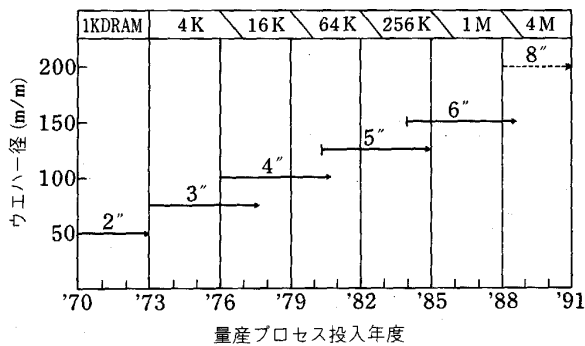


図3 シリコンウエハー径とLSI集積度

ウエハーがB社では全く不合格と判定されることは頻繁にある。恐らく、デバイス側の製造工程が各社違うこと、従って結晶中の酸素濃度、及びその析出、結晶欠陥、転位等に対する考え方が異なることによると考えられる。

(3)シリコンサイクルという言葉で代表されるように、急速な技術開発、短い商品寿命が特長である。

半導体のLSIの代表品種で、D-Ramの開発推移とシリコンウエハーとの関係を図3の示す。約3年で、

D-Ramの集積度が4倍になり、それに対応してウエハー径も大きく高品質になつてきている。

現在でも、デバイス側の人々はシリコンを“石”と呼ぶが、以前は材料の性質をコントロールする観念はなく、最初にものがあり、それを使つてどうやつてデバイスを作るかという発想が強かつたように思う。歴史的にも、シリコンウエハーは機能を重視する立場から、電気メーカーの中の応用化学畑の人たち、それと鉱物系の結晶畑の人たちが主として手がけていた。

しかしながら前述したように、半導体の研究は原子の配列と、電気的光学的性質がどう結びつくかがポイントである。一方鉄鋼技術の本質は鋼という素材の化学成分を精密に調整し、更にマイクロな結晶構造の分布を厳密に制御する技術であり、両者の共通点も多く電子材料、新素材の製造に応用できない筈はない。こういったことから、鉄鋼をはじめとしていわゆる材料屋がこうした新しい部門に進出することは大いに意義があると思うしである。鉄鋼業の従来の基礎技術もますます高め、発展させ、あいたづさえて新事業の先端分野の技術修得、そして向上に努力すべきと考えている。

コラム

八つ当たり

私はまじめに“鉄と鋼”を読んでいるわけではないので極く皮相的な見方かも知れません。ぱらぱらと“鉄と鋼”を見て、「あっこれは面白いな」という論文はどのようなわけか皆「技術報告」なる名称が付いているのです。私の考えによるとオリジナリティがあればあるほど未完成であると思うのです。また、高炉を使つて現場的実験をしたなどということは誰も真似できないことであつて、出てきたデータがありきたりであつても十分オリジナリティとして評価できるような気がするのですが、どうも最近の“鉄と鋼”は解析的なこと、アカデミックなことを重視しすぎのような気がします。申し訳ないのですが、私は国内の学会誌になるべく投稿しないようにしています。それは国際誌ですと、レフリーのコメントで自分の論文のオリジナリティの有無、長所短所がはつきりと指摘され、論文を投稿した意義があるのです。日本の場合、自分の論文が良かったのか、悪かったのかさっぱり分からないし、つまらないミスプリントを指摘されるだけで、一体お

れは何のために論文を書いたのかといつも失望するだけであつてつくりします。これは同僚の話で、さる学会の編集委員をしているのですが、そこで30何か所かを訂正してアクセプトした論文があるという話を聞いて仰天しました。これはよつほど偉大な論文に違いない。これほど多数の問題を提供できるとは！私の経験によると、国際誌の場合、レフリーのコメントは“*What is new?*”か、この論文の長所はしかじかでgood peaperだということが多く、2~3行でだいたいが済んでしまうのです。仮に、ミスプリントや不可解な記述が多いとすると著者の責任であつて、編集者の責任ではないと思うのですが。

支離滅裂になりましたが、要するに“鉄と鋼”編集委員会はオリジナリティの評価に徹するべきであるというのが私の主張です。オリジナリティとは人の真似でない、あるいは人が真似できないことをしたということです。それが仮に生データだけで、アカデミックな完成度がなくても良いではないですか。

(長岡技術科学大学 機械系 田中紘一)