

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

No. 274

コスト意識の強さ・信頼性・研究開発の多様性
—スパッタリング装置のケース—

明治学院大学経済学部
貴志奈央子

2009年9月



東京大学ものづくり経営研究センター

Manufacturing Management Research Center (MMRC)

ディスカッション・ペーパー・シリーズは未定稿を議論を目的として公開しているものである。引用・複写の際には著者の了解を得られたい。

<http://merc.e.u-tokyo.ac.jp/mmrc/dp/index.html>

Thorough Cost Reduction, Reliability of Product, Diversity in R&D: A Case Study of Sputtering Equipment

Naoko KISHI

Meiji Gakuin University, School of Economics

ABSTRACT

In the LCD industry after 2000, acceleration of transition to larger generation of glass substrate and shift of manufacturing from Taiwan to China let equipment suppliers face three issues: enlargement of equipment, shortening of development lead time, and strong pressure of cost reduction. This study demonstrates that through cost reduction, reliability of product, and diversity in R&D function as the resolutions to these issues with focus on sputtering equipment supplied by ULVAC, Inc.

Key words:

LCD, Sputtering, Cost Reduction, Reliability of Product, Diversity, R&D

コスト意識の強さ・信頼性・研究開発の多様性

—スパッタリング装置のケース—¹

明治学院大学経済学部

貴志奈央子

要約

液晶業界では 2000 年前後からガラス基板の拡大スピードが速まったこと、および近年、生産拠点が台湾から中国へと移行していることにより、製造装置メーカーは装置の大型化・開発スピードの加速・コスト削減という三つの課題に直面している。本稿では、株式会社アルバックの供給するスパッタリング装置に焦点をあて、徹底したコスト削減、顧客との長期的な関係において構築された強固な信頼関係、研究開発における多様性の確保が三つの課題の克服に機能していることを明らかにする。

キーワード

LCD スパッタリング コスト削減 製品の信頼性 研究開発 多様性

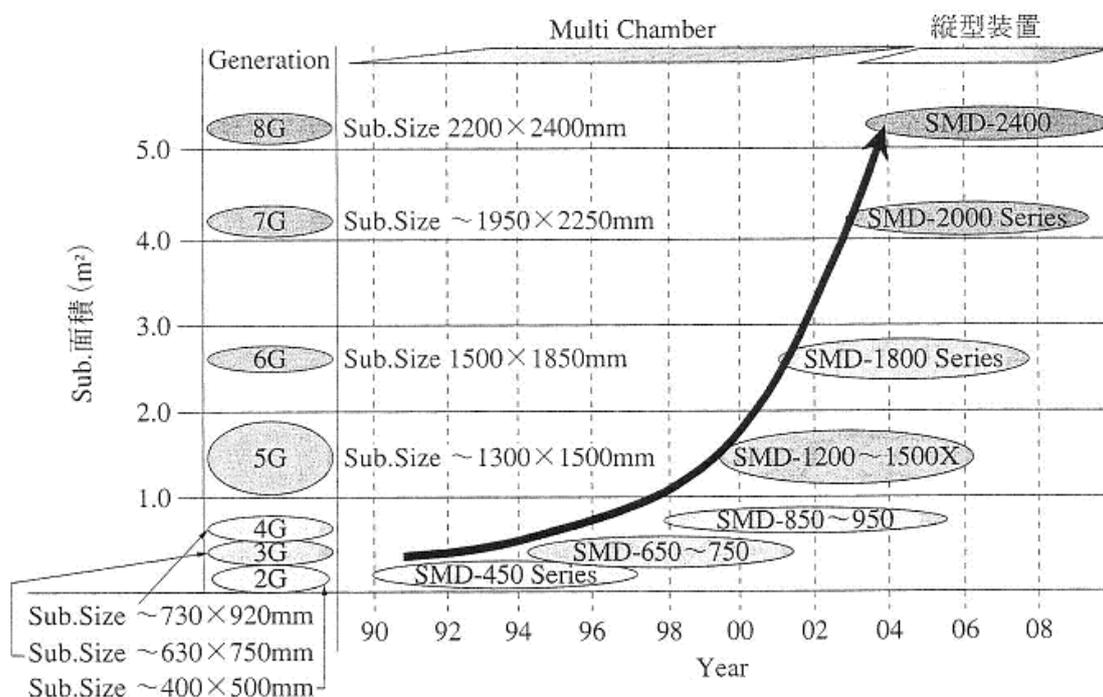
¹ 本研究は、株式会社アルバック・専務取締役・技術企画室室長・山川洋幸様、および同社生産技術開発センター・生産技術課・主管・坪井秀夫様へのインタビュー・公開資料・業界関係者との公式・非公式な議論に基づいて構成されている。

1. はじめに

液晶業界では、2000 年前後からガラス基板の拡大スピードが速まったことで生産設備の受注から納期までの期間が短縮し、装置の大型化と開発スピードの加速という二つの問題に直面することとなった（図 1 参照）。また、液晶の生産拠点が台湾から中国へと移行していく中で、低価格で市場の要求を満たせる装置が求められる傾向はさらに強まっていくと推測される。このため、追従のきわめて困難な技術が使用されている場合をのぞけば、製品のパフォーマンスによる差別化は容易ではない。それでは装置の大型化・開発スピードの加速・コスト削減という三つの課題の下で、高い市場シェアを達成している LCD(Liquid Crystal Display)向けの装置メーカーは、どのように競争優位性を構築してきたのだろうか。

本研究では、液晶業界にスパッタリング装置を供給し続けてきた株式会社アルバックに焦点をあて、上記の三つの課題に対する方策を取り上げる。まず、当該企業の取組みとしては徹底したコスト削減、および顧客との長期的な関係において構築された強固な信頼関係が競争優位性の源泉として挙げられる。そして、研究開発の多様性が業界における高い不確実性を吸収するとの論理に基づき、「選択と集中をしない」という見解がトップ・マネジメントにより繰り返しアナウンスされていることにも着目する。この論理の下、長期的に見て商品化の目途が立たない技術であっても切り捨てない、研究開発における技術の棚卸を行わない、真空技術をコアとしつつも多くの基礎研究の方向性はボトムアップにより決定されるといった一見非効率に見える方法を通じて、多様性の維持がはかれてきた。こうした技術の多様化が組織の生存可能性を高める要因であると組織メンバーに広く認識されている理由として、顧客からのさまざまな要求に応えつづけてきた経緯がある。本研究では、当社によって供給される製品の中で、スパッタリングと呼ばれる方法を用いた LCD 向けの成膜装置を取り上げる。当該企業は、LCD 向けのスパッタリング装置について世界規模でみて 8 割を超える市場シェアを達成し続けており、三つの課題への対応策から当該組織における競争優位性にアプローチできると考えられる。

図 1. ガラス基板の拡大とスパッタリング装置の開発経緯²



出所：電子ジャーナル別冊（2007）『LCD 工場・装置・設備』電子ジャーナル社 237
ページより抜粋。

2. 研究開発体制

株式会社アルバックは研究開発拠点を裾野に新しく建設された半導体技術研究所・千葉超材料研究所・筑波超材料研究所・技術開発部という国内の4カ所に集約しており、LCD向け装置の基礎研究は千葉超材料研究所で行っている。

2-1. 基礎研究

基礎研究のテーマは、基本的にボトムアップで決定されている。また、5年単位での開発計画は立てるが、状況に応じて変更されるという事態は頻繁に発生している。トップ・マネジメントが頻繁にアナウンスを行う「選択と集中をしない」という姿勢は、基礎研究のすべてのテーマについて「継続」を促すという施策に反映されている。一度開

² SMD(Sputter Multi Display)とは、アルバック社が提供しているスパッタリング装置シリーズの名称である。上部に記載されているマルチチャンバと縦型装置とは、製造装置の形態を意味している。

始された研究は予算の制約が厳しい場合でも、断続的にでも長期的な継続を促している。評価制度を徹底させて成果のあがらないテーマを切り捨てることは一時点での生産性を高めるかもしれないが、過去に蓄積された知識がまったくの無に帰するという意味では損失を生むため、継続してきた研究開発テーマから安易に撤退することを可能な限り回避している。製造装置に求められる技術能力は多岐の分野に渡っているため、多様性をいかに確保し続けるかが競争優位性の源泉として機能すると捉えられているためである。

2-2. 応用研究

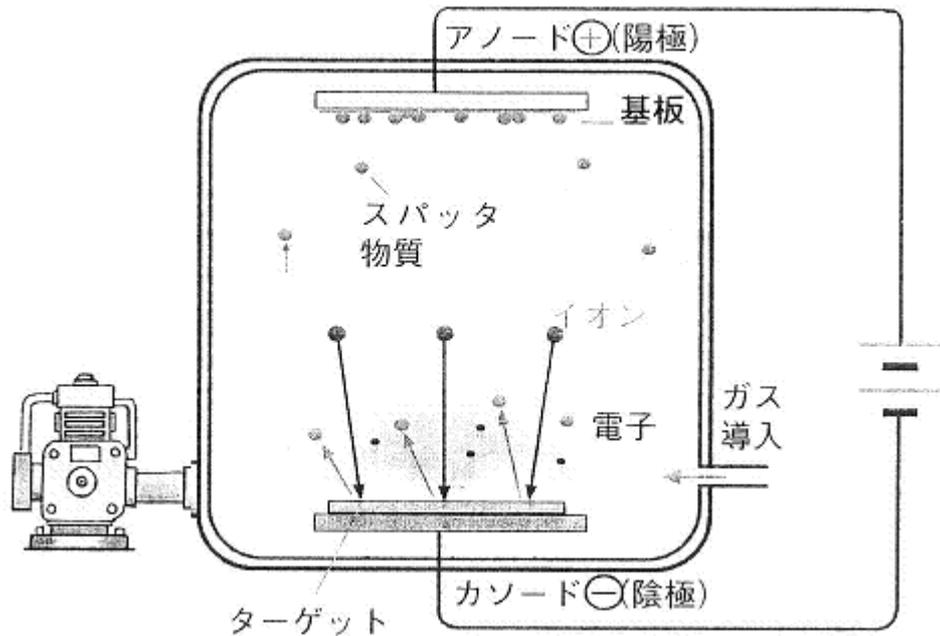
応用研究のテーマは、顧客からの要求に従ってトップダウンで決定されている。テーマとしては、生産ラインが停止した場合にどのように仕掛品を無駄にせず復旧するか、スパッタリングにおいて使用するターゲットと呼ばれる金属の使用時間をいかに長期化するか、パーティクルを排除するにはどうすべきか、生産性向上のために装置のアクション・スピードを加速しつつ、精度を高めていくにはどうすべきかといった課題が選択される。こうした顧客の要望を達成するために、最先端技術を導入しなければならないケースも頻繁に発生する。このため、顧客の要望そのものが将来的な市場の方向性を提示してくれることとなり、研究開発の方向性を見きわめることはそれほど困難ではない。

3. スパッタリング装置とは

3-1. スパッタリングの仕組み

スパッタ(sputter)とは、アルゴンガスの中でプラズマ放電し、発生させたプラスイオンをターゲットと呼ばれる金属からできた材料に衝突させ、表面の原子をたたき出すことである(図2参照)。本来、スパッタリングとは「飛び散ること」を意味するため、金属の原子を飛び散らせるプロセスの名称となっている。スパッタリングによって金属の原子を飛散させる目的は、薄膜の形成にある。プラスイオンがターゲットにぶつかることでたたき出された金属は反対側に設置されたガラス基板上に堆積され、薄膜を形成する。こうした一連のプロセスを実行しているのが、スパッタリング装置である。主にアルゴンガスが使用されるのは、ターゲットとなる金属と反応しないという性質を持つためである。スパッタリングを用いることによって、複雑な形状をした微細な場所に正確な膜を形成することが可能となる。LCDの場合、スパッタリングはガラス基板上に薄膜トランジスタや透明電導膜を形成するために使用される。こうしたスパッタリングのプロセスは、大気中の余分な分子が減少し、薄膜の精度が上げる真空状態で行われるため、真空技術の能力を持つ株式会社アルバックが当該市場を対象とすることになった。

図 2. スパッタリングの仕組み



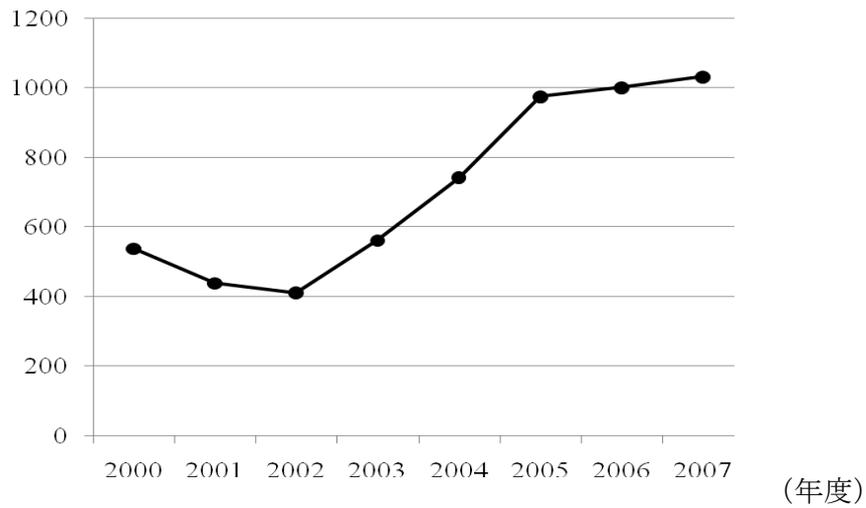
出所：株式会社アルバック（2007）『よくわかる真空技術』日本実業出版社 115 ページより抜粋。

液晶向けのスパッタリング装置市場は、液晶テレビを始めとする最終製品の伸びに牽引されて着実に市場を拡大させてきた（図 3 参照）。株式会社アルバックは当該市場において 8 割超の市場シェアを達成しており、市場拡大によって最も高い利益を得る。当該市場では、AKT (Applied Komatsu Technology) 社およびキャノンアネルバ社を始めする数社が製品を供給している。しかし、これらの企業の市場シェアは 2007 年度時点でいずれも 10%に満たない。さらに、図 3 に示されている企業別シェアから、2003 年時点と比較して株式会社アルバックは当該市場におけるシェアをさらに拡大させていることがわかる。

図 3. スパッタリング装置市場について

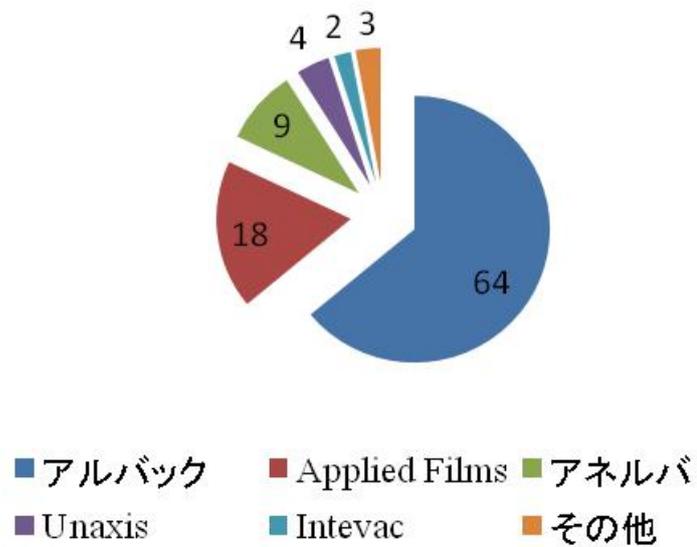
(1) 市場規模の推移

市場規模（世界全体・億円）

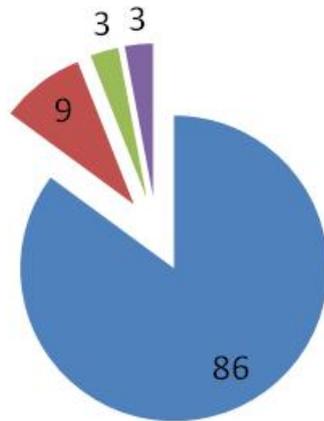


(2) 企業別市場シェア（2003年度・2007年度）

2003年度 (%)



2007年度 (%)



■ アルバック ■ AKT ■ キヤノンアネルバ ■ その他

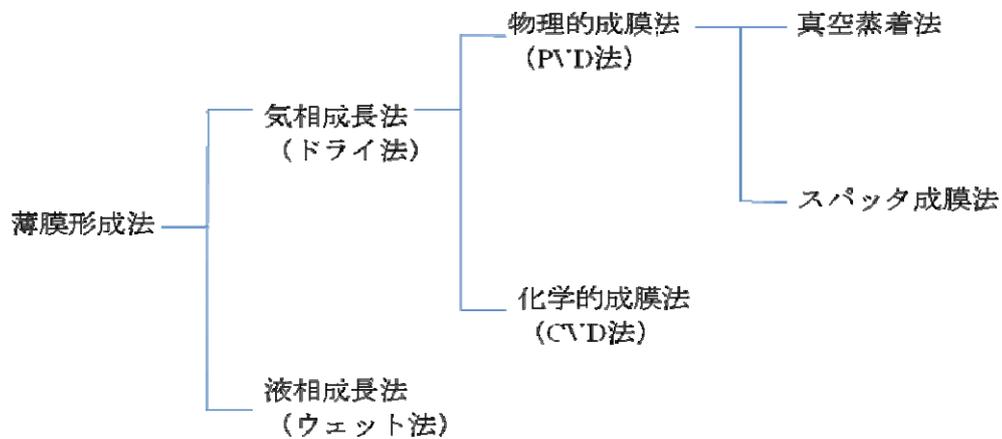
出所：電子ジャーナル(2005)『2005 LCD 製造装置データブック』・(2008)『2009 LCD 製造装置データブック』の資料に基づき筆者作成。

3-2. スパッタリング法の位置づけ

薄膜の形成には、図4に示されているとおり複数の方法がある。まず、大きな分類として薄膜の形成時に溶液を使用するウェット法と、真空やガス雰囲気の中で成膜を行うドライ法がある。ドライ法はさらに、膜の材料となる金属や酸化物を加熱したり、ガスイオンを用いてスパッタしたりといった物理的な方法で成膜を行う物理的成膜法(PVD: Physical Vapor Deposition)と、原料となるガスを化学反応させて成膜を行う化学的成膜法(CVD: Chemical Vapor Deposition)に分類される。

LCDの生産工程においてスパッタリング法が用いられる理由は、コストとパフォーマンスの両方に起因している。スパッタリング法は、細部まで緻密な薄膜を形成することができるという長所を持つ反面、壁にもイオンが叩きつけられることで付着した水分や不純物が膜に混入しやすいという短所も持つ。しかし、CVDと比較して、PVDで使用する原料のコストはより安価となる。また、真空蒸着法と比較して基板と薄膜の密着性が良く、結晶性においてよりすぐれた膜質を達成することができるため、断線の確率が低下するといったベネフィットももたらされる。

図 4. 薄膜の形成方法



出所：株式会社アルバック（2007）『よくわかる真空技術』日本実業出版社 113 ページに基づいて筆者作成。

4. 製品開発

4-1. 開発プロセス

LCD 向けスパッタリング装置の新製品開発は、ガラス基板のサイズの拡大に伴って行われてきた。ガラス基板のサイズは、世代と呼ばれる段階を経て直線ではなく階段状に拡大を続けてきた。つまり、スパッタリング装置は、ガラス基板の世代が変わるごとに新製品世開発の必要に迫られてきたことになる。現時点で最大のガラス基板は、第 10 世代と呼ばれる縦横ともに 3 メートル前後のサイズとなっている。

当該装置の開発プロセスは、図 5 に示されている通りマーケティング→製品コンセプトの決定→設計・試作・テスト→量産化という四つの段階を経て行われる。第一段階にあたるマーケティングでは、顧客の要求を把握することが目的となる。顧客の提示する要求は、装置に組み込む処理方法の指定といった具体的な内容ではなく、形成される膜の質や生産性について装置に求めるパフォーマンスの水準である。顧客が重視する順番としては、拡大した基板サイズへの対応、形成される膜の種類と質、そして生産性となる。形成される膜の質としては均一性、生産性としては一分間に何枚のガラスを処理したいのか、メンテナンスの頻度をどの程度におさえないのかといったパフォーマンスに対し顧客の求める水準が明らかにされる。

また、ガラス基板のサイズについては世代という大きなくくりの中でも、顧客によって微妙な違いが生じている。パソコン・携帯・テレビ・デジカメといったどの最終製品を供給しているのかによって、どのサイズのガラス基板から何インチのガラスを何面切

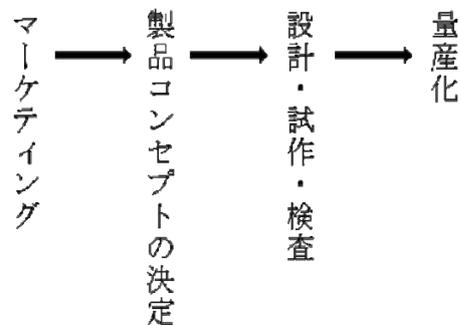
りだした場合に最も生産性が高まるのかは各社で異なる。その結果、それぞれの顧客が求める基板サイズに微妙な相違が生じることになる。すべての顧客にカスタマイズを行うことはコストに見合わないため、複数の顧客間で共有可能なサイズに落とし込んでいくことになる。

そして、顧客が示してくれた要求を具体的に実現していく方法を選択していくのが、製品コンセプトの決定である。要求どおりの膜の均一性を達成するには、多数存在するスパッタリング法の中からどれを選択すべきか。要求に合った生産性を達成するためには、どのような方法でガラス基板一枚あたりの処理時間を短縮することが可能か。拡大したガラス基板をどのように搬送するのか。どのように製造コストを引き下げるのか。こうした課題に対する対処法の選択を含め、顧客の要求を達成するために全体としてどのような機種に仕上げていくのかを決めていくことが製品コンセプトの決定である。

たとえば、ターゲットは現時点で約一週間ごとに交換される。交換時に真空容器を開閉するため、その後再度容器内を真空状態に戻さなければならない。この場合、真空に戻るまでにかかる立ち上がり時間を短縮するためには、製造装置をどのような構造につくりこんでいくべきかといった詳細を決めていくことになる。ただし、新たな機種の開発であっても、前世代向けの装置に使用されていた技術を継続して活用できる場合もある。前世代と共有可能な部分は機種によって異なるが、あらゆる構成要素について詳細な議論が展開されるというわけではなく、共有可能な割合が高まると世代交代は比較的容易となる。

設計については、スパッタ室・加熱室・仕込み/取り出し室といったガラス基板に処理を施すエリアごとに分担して行われる。ガラス基板はスパッタ室や加熱室などを通過していくことで、成膜に向けた処理が順番に施されていくことになる。基本的にガラス基板のサイズは、マーケティングの段階で顧客によって要求が提示される。しかし、最終製品を購入する消費者の嗜好は早いスピードで変化していく。その結果、顧客も将来的な売れ筋商品を把握しきれない状態での発注を余儀なくされるため、設計の後に再び基板サイズの変更が提示されるケースもある。たとえば、テレビであれば新しい世代のガラス基板が量産ラインに流れる頃、40インチが売れ筋となるのか、二台目需要の20インチが売れ筋となるのかを一年前に予測することは困難である。ガラス基板のサイズ変更を予期して装置のサイズに柔軟性をもたせておくことも、コストがかさむため容易ではない。そのため、マーケティングの段階で決定される装置のサイズを設計以降の段階で変更するケースが発生することになる。設計後は試作とテストを経て、標準と規定されたモデル機種に基づいて量産が開始されることとなる。

図 5. 製品開発プロセス



4-2. ガラス基板の拡大と装置開発の関係

ガラス基板のサイズが拡大した場合、装置をつくるにあたって最も困難となるのは膜質の均一性を達成することである。均一性には、一枚のガラス基板において膜質が均一であるという面内の均一性を意味する場合と、一枚目と千枚目のガラス基板に施された成膜の質が均一であるという基板間の均一性を意味する場合がある。一定のタクトにおいて数万枚のガラス基板間の均一性を維持するにあたって、最も大きな懸念となるのがスパッタ室内のパーティクルである。スパッタ室の中ではガラス基板以外の部分にもスパッタリングが施されてしまい、パーティクルを発生させる。また、パーティクルがガラス基板以外の場所に付着することで、時間の経過に伴い室内の環境が変化してしまい、成膜のパフォーマンスに支障をきたすことにもなる。このため、不要な場所に付着したパーティクルの除去を目的として、あらかじめガラス基板以外の部分に防着板と呼ばれる板をはり、定期的に防着板を取り換えることで内部環境の維持をはかっている。

また、ガラス基板のサイズと製造装置の構造についてみると、第四世代までは一つの部屋で一工程ずつ処理が行われていく方法を採用していた。これに対し、第五世代以降は、一つの部屋で複数の工程が達成されるようになった。さらに、第七世代に向けて大型化された装置は生産現場において占有するスペースが拡大したことに加え、道路交通法において一般道路を搬送できる限界に至ったため、第八世代以降はマルチチャンバと呼ばれる横型の装置から、設置スペースの狭小化を目的とした縦型の装置が開発されることとなった（図 6 参照）。

基板サイズが拡大したことによる装置の大型化は、すべて困難であったというわけではない。しかし、均一な膜の形成において従来の技術では対応が不可能となった第四世代から第五世代、および第六世代から第七世代への転換は、新たな手法の導入が必要とされたため困難な開発となった。まず、第五世代に入るとガラス基板が一メートルを超えたため、電力をかけてもプラズマが局所的に偏ってしまい基板全体に広がらないとい

う事態が発生し、磁場の改良という技術の変換が必要となった。さらに、第六世代から第七世代へとガラス基板が拡大すると、磁場の改良によって膜厚を均一に保つことにも限界が生じ、基板に流す電極を分割し、放電形態を直流(DC)から交流(AC)に変えるという方法で基板サイズの影響を受けず膜質の均一性が達成されることとなった。

図 6. 縦型の枚様式スパッタリング装置



出所：株式会社アルバック・コーポレート・プロフィールより。

5. 競争優位性

LCD 向けスパッタリング装置市場において 8 割超のシェアを達成する株式会社アルバックの競争優位性の源泉として、徹底したコスト削減、供給製品の高い信頼性、顧客のさまざまな要求に応えてきた結果として育まれた研究開発における多様性の維持を挙げることができる。

LCD 向けスパッタリング装置の場合、現時点での中国市場への製品供給は中古品を中心として行われている。しかし、将来的に中国の LCD メーカー向けに新製品開発を手がけることも想定される。また、約三メートル四方にまで拡大したガラス基板の輸送制限や、薄型テレビの大型化に対する市場の飽和感から、今後はガラス基板の拡大が速度をゆるめると予測される。その結果、LCD 市場における競争の焦点はコストへと収斂していく可能性が高い。株式会社アルバックにおける「良いものを安く提供する」という徹底したコスト意識は組織の末端まで浸透しており、競争優位性の源泉としてはイノベーションの創出よりも強く機能する場合があると組織メンバーに強く認識されている。

また、製造装置の供給先を選択する場合、顧客から見た信頼性という変数が重要な位置を占めることになる。LCD 向けの製造装置は、数万枚のガラス基板をミスなく処理し続けることで初めて信頼性を得られる製品であり、確実な技術を長期間にわたって積み重ねていくことでしか達成しえないパフォーマンスが求められる。製造装置の購買担当者は高額な製品の入手を決定し、購買した装置によって期待通りの製品が要求にあった生産性で製造されることを所属する組織において実証しなければならない。したがって、一度信頼できる製品を購入してしまうと、供給先の変更には心理的なスイッチング・コストが発生し、低価格だけを理由として購買担当者に供給業者のスイッチを促すことは難しい。つまり、先発優位性が強く機能しており、LCD 市場の草創期から業界における主要顧客と信頼関係を構築してきた株式会社アルバックの優位性が発揮されることになる。

さらに、製造装置メーカーは顧客との関係において、成膜という処理工程以外にも、ガラス基板の搬送方法などを含めたさまざまな要求に対応できるよう努めてきた歴史的経緯を持つ。その結果、顧客のあらゆる要求に対応できる組織づくりを目的として、技術シーズを可能な限り確保しておこうという意識が生まれ、研究開発において多様な技術シーズを抱えておくことが重視されてきた。たとえば、一度スタートさせた研究開発のテーマは利益貢献がない場合でも、当初と研究目的が乖離してしまっても、開発の真髄を維持しながら継続させるという姿勢をとってきた。研究内容が基礎的なテーマになるほど、継続を実現するには定期的な評価が障害となる。組織のパフォーマンスに貢献しない研究テーマにエンジニアを配分することで人的資源が不足してしまうことから、一時的に休止するプロジェクトもあるが、可能なタイミングで再開することを促し、蓄積されてきた技術能力の維持がはかられてきた。

6. 考察

コスト削減への徹底した姿勢、供給製品の高い信頼性、研究開発における多様性という三つの競争優位性が確立された組織的要因として、継続と多様性が尊重される組織風土の機能を指摘できる。製造装置に必要な技術は、製品に施す処理に加えて搬送や容易なメンテナンスを実現する設計などを始め実に多岐にわたる。また、技術能力だけでなく、生産プロセスにおいて想定しうる不具合をすべて確率論に落とし込んで対策を講じていく必要があり、緻密に問題発生の変因を抽出し続けていくことが重要となる。

Christensen (1999)は、マイクロエレクトロニクス産業に関する議論において幅広い技術を抱えること(technological largeness)が、これまでシーズを提供するという機能を果たしてきたと指摘している。また、Lazer and Friedman (2003)は、探索を行う場合、多様性を内包した非効率的なネットワークが効率的なネットワークを凌ぐと指摘している。組織に関する多様性の意義は、組織進化論や社会ネットワーク論においても議論

されてきた。組織進化論では、多様な組織形態を抱えた社会が不確実な将来への柔軟な対応を提供しているとする(Hannan and Freeman, 1989)。さらに、社会ネットワーク論においても、ネットワークにおける多様性の確保がイノベーションの発生を促していると指摘されてきた(Burt, 1992)。一方、製品の複雑性が高い場合、製品を構成要素に分解することによって複雑性を低減させるという方法もある(Baldwin and Clark, 2001)。製品アーキテクチャ論のこうした指摘も、モジュール化された構成要素における多様性の確保が目的という意味において、多様性の保持を支持する研究と矛盾した指摘ではない。LCD 向け製造装置に見られる株式会社アルバックの取り組みは、コストやスピードの厳しい競争にさらされている中であって、基礎研究の多様性を確保することに注力する組織行動が、競争優位の源泉として機能しているケースを提示している。また、多様性の確保は徹底したコスト削減や顧客からの強い信頼性によって実現した売上高に支えられた組織行動であり、新たなイノベーションの創出は継続的なルーティンを最適化することで達成されうるものと考えられる。

<参考文献>

- 株式会社アルバック (2007) 『よくわかる真空技術』 日本実業出版社。
- Baldwin, Carliss Y. and Kim B. Clark (2000), *Design Rules: Volume 1. The Power of Modularity*, The MIT Press; Cambridge, MA. (安藤晴彦訳 [2004] 『デザイン・ルール：モジュール化パワー』 東洋経済新報社。)
- Burt, Ronald (1992), *Structural Holes: the Social Structure of Competition*, Harvard University Press, Cambridge: MA. (安田雪訳 [2006] 『競争の社会的構造：構造的空隙の理論』 新耀社。)
- Christensen, Clayton M. (1999), *Innovation and the General Manager*, Irwin McGraw-Hill, Boston, MA.
- 電子ジャーナル (2005) 『2005 LCD 製造装置データブック』 電子ジャーナル社。
- 電子ジャーナル (2008) 『2009 LCD 製造装置データブック』 電子ジャーナル社。
- 電子ジャーナル別冊 (2007) 『LCD 向上・装置・設備』 電子ジャーナル社。
- Hannan, Michael T. and John Freeman (1977), “The Population Ecology of Organizations,” *Administrative Science Quarterly*, Vol.82, No.5, pp.929-964.
- Lazer, David and Allan Friedman (2007), “The Network Structure of Exploration and Exploitation,” *Administrative Science Quarterly*, Vol.52, No.4, pp.667-694.