

平成 12 年度

春季修了

修士学位論文

中小型 LCD 分野における

HAST の技術戦略と高効率生産技術

Proposal of a New Structure “HAST” for Medium and Small Size LCD’s with High
Yield Production Technology

平成 13 年 1 月 10 日

高知工科大学 大学院 工学研究科 基盤工学専攻 起業家コース

学籍番号:1035019

刈谷 宣政

Nobumasa Kariya

本論文は、筆者が高知カシオ株式会社にて行なった中小型用高性能アモルファスシリコン薄膜トランジスタ液晶ディスプレイ（HAST-LCD）実用化に関する基礎的な研究成果と、高知工科大学大学院起業家コースにて行なったHAST-LCD 実用化に関する応用的な研究成果及び、同コースにて行なったHAST-LCD 事業拡大に関する研究成果とをまとめたものである。論文構成としては第1章から第5章までの5章構成である。

第1章において、本研究の背景であるフラットパネルディスプレイの近年の技術的な状況と市場の状況について述べる。フラットパネルディスプレイ全体の趨勢を捉えて本研究の目的と意義について言及する。

第2章において、薄膜トランジスタ液晶ディスプレイ（TFT-LCD）の市場に注目し、特に中小型 TFT-LCD 市場を詳細に分析調査した結果について述べる。そして中小型 TFT-LCD 市場で競争力を確保していくための技術戦略を明確にする。

第3章において、技術戦略を実現するための高性能アモルファスシリコン TFT-LCD (HAST-LCD) の考案とその実用化研究成果について述べる。そして、HAST-LCD 実用化のポイントとなった要素技術と低温ポリシリコン TFT-LCD に対する優位性について述べる。

第4章において、HAST-LCD の高効率生産に関する研究成果を述べる。高効率生産を実現する上では、工程管理測定技術の確立と要素プロセス技術の最適化が必要であったが、その詳細について本章で言及する。

第5章では、HAST-LCD 事業を拡大し中小型 TFT-LCD 業界で No.1 となるための事業展開シナリオの研究成果について述べる。事業を拡大するためには設備投資後の戦略的経営施策が重要であることが本章において明確となる。

中小型 LCD 分野における

HAST の技術戦略と高効率生産技術に関する研究

目次

第1章 序論	1
1 - 1 緒言	1
1 - 2 フラットパネルディスプレイ産業の最近の展望	5
1 - 3 LCD 市場の拡大と取組み	6
1 - 4 PDP 市場の拡大と取組み	7
1 - 5 有機 EL ディスプレイの現状	7
1 - 6 FED の現状	8
1 - 7 本研究の目的と意義	9
第2章 中小型 TFT-LCD 市場における技術課題の抽出とその解決に関する調査研究	11
2 - 1 緒言	11
2 - 2 中小型 TFT-LCD 市場の拡大	11
2 - 3 中小型 TFT-LCD に要求される性能	13
2 - 3 - 1 デジタルカメラ(ゲーム)	14
2 - 3 - 2 携帯情報端末 (PDA :Personal Digital Assistance)	15
2 - 3 - 3 携帯電話	16
2 - 4 中小型 TFT-LCD での競争力確保のための技術戦略	19
第3章 中小型用高性能アモルファスシリコン TFT(HAST)の考案とその実用化に関する研究	23
3 - 1 緒言	23
3 - 2 HAST-LCD の提案と商品化展開における要素技術	23
3 - 2 - 1 高精細化	23
3 - 2 - 1 - 1 低抵抗配線材料	23
3 - 2 - 1 - 2 狭ピッチ COG 接続技術	24
3 - 2 - 2 高開口率化	24
3 - 2 - 2 - 1 高プレチルト配向膜	25

3 - 2 - 2 - 2	TFT 設計ルールの最適化	26
3 - 2 - 3	まとめ	27
3 - 3	HAST-LCD の低温多結晶シリコン TFT-LCD に対する優位性	28
第 4 章	中小型用 HAST-LCD の高効率生産に関する研究	31
4 - 1	緒言	31
4 - 2	パネルパラメーター測定技術の確立	31
4 - 2 - 1	パネルセルギャップ	31
4 - 2 - 2	液晶プレチルト角	35
4 - 3	狭額縁化技術の確立	37
4 - 3 - 1	シール印刷技術	37
4 - 3 - 2	配向膜印刷精度向上	38
4 - 4	配向安定化技術の確立	39
4 - 5	まとめ	42
第 5 章	HAST による中小型 TFT-LCD 業界シェア No.1 へのシナリオの研究	43
5 - 1	緒言	43
5 - 2	ビジネス構造解析	43
5 - 3	中小型 TFT-LCD 市場での業界 No.1 へのシナリオ研究	45
5 - 3 - 1	初期設定モデルの想定	45
5 - 3 - 2	初期設定モデルにおける事業展開の考察	47
5 - 3 - 3	事業改善計画の提案	47
5 - 3 - 4	ファウンダリー事業の強さの源泉	51
5 - 4	まとめ	52
第 6 章	結論	54
参 考 文 献		54
謝 辞		55
研 究 業 績 一 覧		55
出 願 特 許 一 覧		55

第1章：序 論

1 - 1 緒 言

ディスプレイはマン・マシンインターフェイスとしての機能を有する重要なキーデバイスである。そして昨今の情報化社会の進展がディスプレイの重要性をますます高めつつある。さらに付け加えるならば、現在はまさにディスプレイ変革期の真っ只中にあると位置付けることができる。それは現在が、これまでほとんど競争相手の存在しなかったディスプレイの主流 CRT(Cathode Ray Tube)からフラットパネルディスプレイへの変革期にあることによる。低コストで優れた画質を有する CRT ではあるが、かさばる、大重量、高消費電力という欠点を有していた。この欠点は、薄く軽く低消費電力であることを指向する情報化社会でのディスプレイとしては致命的で、フラットパネルディスプレイが開発され実用化される下地となった。現在は、液晶ディスプレイ(LCD :Liquid Crystal Display)を中心にプラズマディスプレイ(PDP :Plasma Display Panel)、有機 EL(Electro Luminescence)といった様々なフラットパネルディスプレイが実用化されている。そしてこれらのフラットパネルディスプレイはモニター、デジタル民生機器、携帯情報端末(PDA :Personal Digital Assistant)、携帯電話といった様々な用途に応用され市場を拡大しつつある。フラットパネルディスプレイが実用化されて本格的な市場が形成され始めてからまだほんの 15 年程度である。フラットパネルディスプレイは今後も変革を続けながらあらゆる用途に応用され市場を拡大していくものと予想される。本章ではまず、これらフラットパネルディスプレイ全体の背景を分析しながら将来を見とおしていく。次ぎに各フラットパネルディスプレイの市場状況と技術状況を分析する。そしてこれらの状況を踏まえた上で本研究の目的と意義について言及する。

1 - 2 フラットパネルディスプレイ産業の最近の展望

フラットパネルディスプレイについて語る前に CRT ディスプレイについて述べておく必要がある。真空中でカソードから電子が飛び出す(Cathode Ray)ことが見出されて CRT の原理が発見されたのは 1860 年代である。CRT バルブの内側に蛍光体を塗り cathode ray(電子ビーム)で光らす技術は 1890 年代に発見されて開発が行なわれた。シャドーマスク管の概念が実用化されてカラーテレビ受像機のプロトタイプが発表されたのが 1950 年代である。それから 50 年間、シャドーマスク管カラー CRT は家庭用テレビ受像機としては競争相手がない状態であった。しかしながら今日、情報化社会、ネット社会、デジタル社会の到来とともにディスプレイに要求される機能も多様化し CRT にはない機能を有するフラットパネルディスプレイが実用化され CRT に取って替わろうとしている。フラットパネルディスプレイの発展の模式図を図 1 - 1¹⁾ に示す。現在実用化されているフラットパネルディスプレイは 3 種類あり、現在開発中のものが 1 種類ある。実用化されている 3 種類のフラットパネルディスプレイとは LCD、PDP、EL(有機 EL)の 3 種類である。LCD は 1960 年代の後半にセグメント表示の DSM(Dynamic Scattering Mode)液晶が始めて実用化された²⁾。

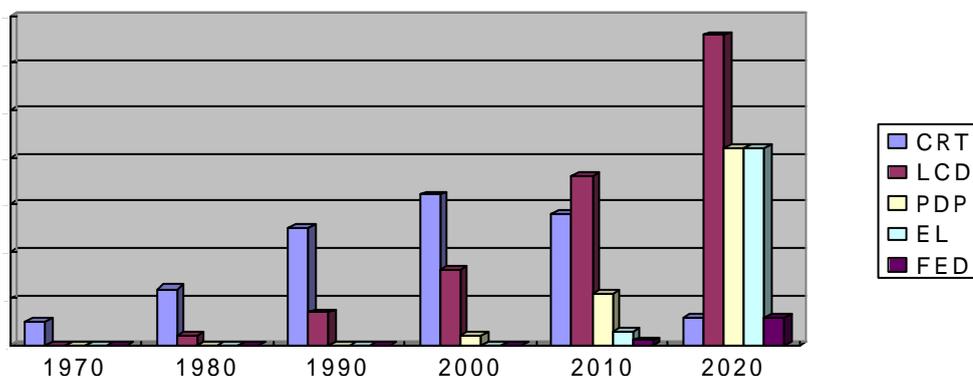
図 1-1 フラットパネルディスプレイをとりまく50年

	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代																			
LCD	<table border="1"> <tr> <th>DSM液晶</th> <th colspan="2">TN液晶</th> <th colspan="2">STN液晶</th> <th colspan="4">TFT液晶</th> </tr> <tr> <td>セグメント表示</td> <td>セグメント表示</td> <td>単純マトリクス表示</td> <td>モノクロSTN</td> <td>白黒STN DSTN</td> <td>カラーSTN 9.4型VGA</td> <td>10.4型VG</td> <td>11.3型SVG</td> <td>13.3型XGA</td> <td>14.1型SXGA</td> </tr> </table>				DSM液晶	TN液晶		STN液晶		TFT液晶				セグメント表示	セグメント表示	単純マトリクス表示	モノクロSTN	白黒STN DSTN	カラーSTN 9.4型VGA	10.4型VG	11.3型SVG	13.3型XGA	14.1型SXGA
DSM液晶	TN液晶		STN液晶		TFT液晶																		
セグメント表示	セグメント表示	単純マトリクス表示	モノクロSTN	白黒STN DSTN	カラーSTN 9.4型VGA	10.4型VG	11.3型SVG	13.3型XGA	14.1型SXGA														
PDP	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">基礎開発</th> </tr> <tr> <td>イリノイ大学 AC-PDP</td> <td>Burrough DC-PDP</td> </tr> </table>		基礎開発		イリノイ大学 AC-PDP	Burrough DC-PDP	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">モノクロPDP</th> </tr> <tr> <td>PC</td> <td>ラップトップ PC</td> </tr> </table>	モノクロPDP		PC	ラップトップ PC	<table border="1"> <tr> <th colspan="3">大画面フルカラーPDP</th> </tr> <tr> <td>フルカラー PDP開発</td> <td>20型 VGA</td> <td>40型 W-VGA</td> <td>50型 HD</td> </tr> </table>		大画面フルカラーPDP			フルカラー PDP開発	20型 VGA	40型 W-VGA	50型 HD			
基礎開発																							
イリノイ大学 AC-PDP	Burrough DC-PDP																						
モノクロPDP																							
PC	ラップトップ PC																						
大画面フルカラーPDP																							
フルカラー PDP開発	20型 VGA	40型 W-VGA	50型 HD																				
EL	<table border="1"> <tr> <th>薄型EL開発</th> </tr> <tr> <td>ランプへ応用 ZnS:Mn系</td> </tr> </table>	薄型EL開発	ランプへ応用 ZnS:Mn系	<table border="1"> <tr> <th>EL量産</th> </tr> <tr> <td>黄橙色 モノクロ</td> </tr> </table>	EL量産	黄橙色 モノクロ	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">有機EL構造 Alg3/Diamin</th> </tr> <tr> <td>マルチカラー</td> <td>フルカラー</td> </tr> </table>		有機EL構造 Alg3/Diamin		マルチカラー	フルカラー											
薄型EL開発																							
ランプへ応用 ZnS:Mn系																							
EL量産																							
黄橙色 モノクロ																							
有機EL構造 Alg3/Diamin																							
マルチカラー	フルカラー																						
FED	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">基礎開発研究 (Spindt型カソードなど)</th> </tr> <tr> <td>モノクロ</td> <td>実用化研究開発 (小型カラー中心)</td> <td>小型カラー</td> <td>大型化</td> </tr> </table>				基礎開発研究 (Spindt型カソードなど)				モノクロ	実用化研究開発 (小型カラー中心)	小型カラー	大型化											
基礎開発研究 (Spindt型カソードなど)																							
モノクロ	実用化研究開発 (小型カラー中心)	小型カラー	大型化																				

DSM液晶は電流駆動で液晶による光の乱反射を利用するものであったためコントラストが悪く消費電力が高いため長続きせずその後のTN(Twisted Nematic)液晶にとって変わられた。TN液晶は液晶の旋光性を利用して表示を行うもので、電圧駆動である³⁾。1970年代の初めに実用化され消費電力が少ないことから電卓やデジタル時計の表示用に使用された。TN液晶では大容量表示ができなかったが表示モードを工夫することで大容量表示を可能にしたのがSTN(Super Twisted Nematic)液晶である。1980年代に実用化されワープロ用ディスプレイとして使用された。そしてこの頃からカラーフィルターと組み合わせることによるカラー表示が可能となった⁴⁾。このころのTN液晶、STN液晶は単純マトリクス駆動であったため動画表示が困難であったが画素のスイッチング素子としてTFT(Thin Film Transistor)を使用したものがTFT液晶である。TFT液晶は1990年代に実用化されて現在のLCDの主要ディスプレイとなっている。次にPDPについて説明する。PDPは蛍光灯と同じ原理を利用して、密閉されたガスに電圧をかけてプラズマ放電を起こして発光させ、この光(紫外光)を赤青緑の3原色からなる発光体にあててカラー画像を得るものである。表示原理は1960年代にイリノイ大学で発明された。その後20年間ほど実用化のための研究開発期間があり、1980年代にモノクロPDPとして実用化され、PCターミナルやラップ

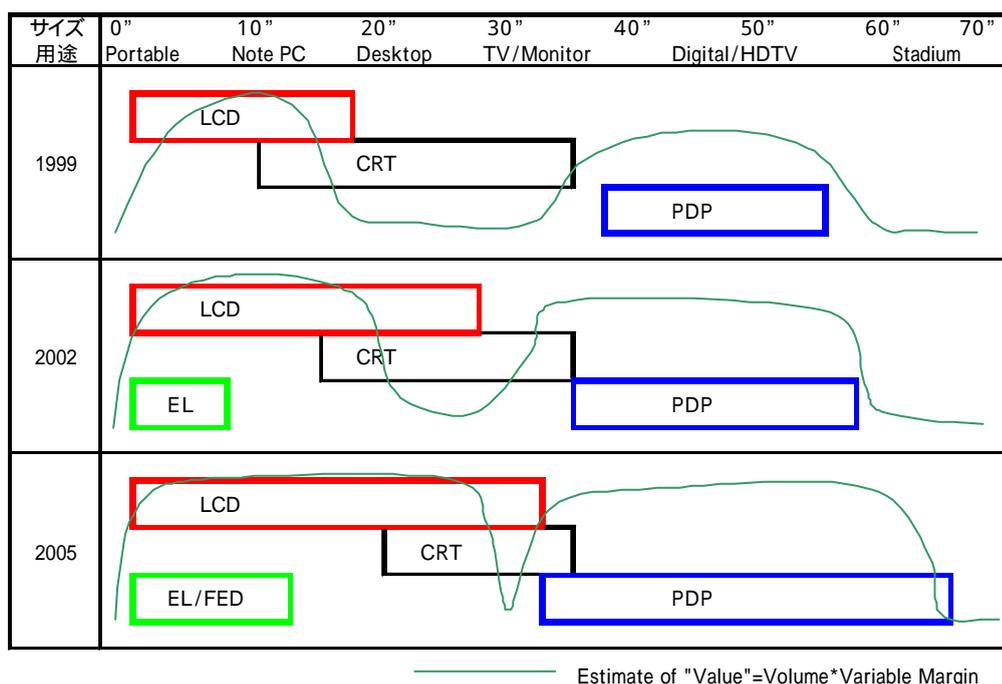
トップ PC 等に利用された。一時期 LCD に押されて低迷していたが、1990 年代にフルカラー化に成功して現在は大画面ディスプレイ用途に実用化されはじめている⁵⁾。EL ディスプレイは電子と正孔の再結合による発光現象を利用するディスプレイであり、当初は ZnS:Mn 系の無機材料を使用したものであったが、1980 年代になって Alg3/Diamine 系の有機材料を使用した有機 EL 構造が開発された。その後カラー化技術、低消費電力化が精力的に行なわれ 1990 年代の後半になってマルチカラー有機 EL が実用化され、さらに最近になり小型のフルカラー有機 EL が実用化された⁶⁾。有機 EL ディスプレイは薄型、軽量、低消費電力を最大の特徴としている。しかも LCD とは異なり自発光であるので LCD のような視野角特性や応答速度といったものはまったく問題にならない。そして LCD のように TFT 駆動をすることで任意の大きさや精細度にも対応可能である。このようなことから有機 EL ディスプレイは非常に大きな可能性を有しており、将来が期待されている。FED(Field Emission Display)は μ オーダーの小さな突起先端から電界効果によって電子を放出させ、この電子を加速して蛍光体にぶつけることで表示を行なう。表示原理が発明されたのは 1970 年代である。その後様々なカソード形状やカソード材料が提案開発され現在も実用化研究開発が続けられている。これらフラットパネルディスプレイはそれぞれの特徴を活かして市場でのすみわけが行なわれている。LCD は軽量で低消費電力であることと比較的任意の大きさと画素密度に対応可能であることから 2 型程度の小型ディスプレイから 30 型程度のモニター用途まで非常に幅広く使用されている。PDP は 40 型以上の大型モニターを得意としている。消費電力は大きいのが色の鮮やかさは CRT を凌駕しており今後の HDTV とデジタル放送の普及によるその用途はますます拡大していくものと思われる。有機 EL ディスプレイは TFT と組み合わせることで携帯電話用途等への使用が始まっているが、その潜在的な実力は LCD を超えているものと思われる。今後の技術開発次第で使用用途、市場とも爆発的に拡大していくであろう。FED はまだまだ実用化レベルとは言えない段階である。CRT に替わるフラットパネルディスプレイとして米国を中心に研究開発が行なわれているが実用化されるのは少なくとも後 10 年程度は必要であると考えられる。図 2 - 1 はこれら各種フラットパネルディスプレイの市場規模の変遷を予測したものである。

図 1 - 2 ディスプレイ市場規模の変遷



CRT は 2000 年代以降、フラットパネルディスプレイの台頭とともに急速に市場が縮小していき、縮小していく市場を代替していくのが LCD と PDP である。そして 2010 年頃には LCD 市場が CRT 市場を上回り、このころをターニングポイントにして本格的なフラットパネルディスプレイ時代が到来することになる。EL ディスプレイも実用化され市場が拡大してくると思われるが拡大のスピードは今後の技術開発の成果にかかっており開発が順調に行った場合には PDP のそれを上回るかもしれない。2020 年には CRT はほとんど市場から駆逐されているものと思われる。LCD が主流であることは変わらないが PDP、EL ディスプレイの市場拡大も著しく、応用製品別に用途のすみわけが為されているはずである。FED はこの頃に実用化されているものと予想するが市場規模に関しては未知数である。次にそれぞれのディスプレイ価値の時間的な価値の変遷について考察する。ディスプレイ価値とは生産者側からは利益率という意味に近く、使用者側からは使用満足性といった意味に近い概念である。時代とともにディスプレイ価値は変化していく。その変化の様子をディスプレイサイズごとに層別分析したのが図 1 - 3 である 7)。

図 1-3 ディスプレイ価値の変遷



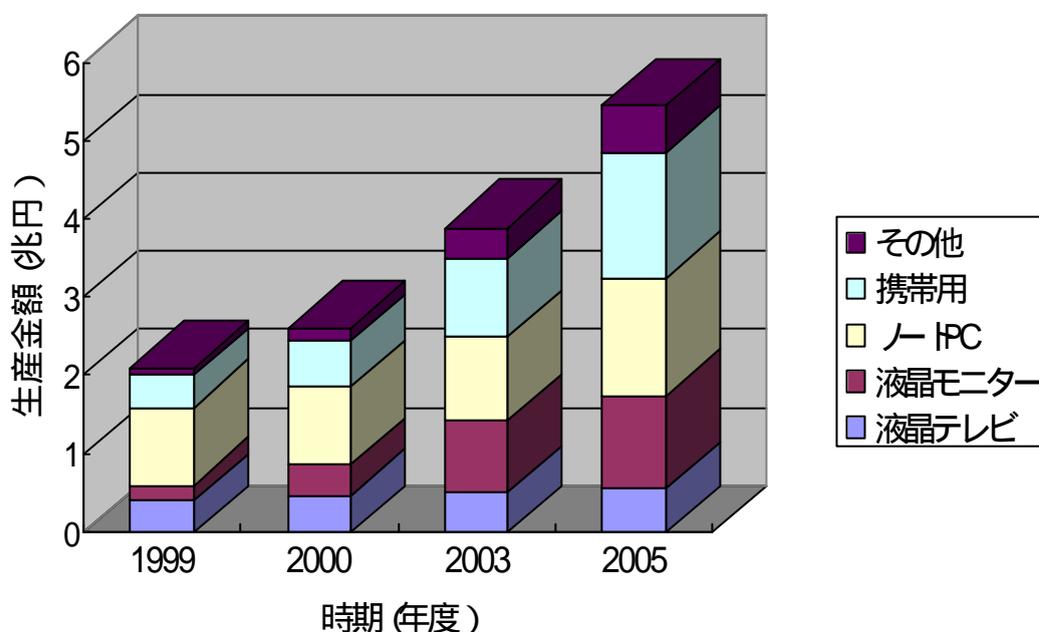
CRT のディスプレイ価値が減少し新たなディスプレイが市場を形成していくことでディスプレイ価値が変遷していくことがわかる。小型分野での価値が高いのは中小型ディスプレイ応用製品の拡大で市場のニーズが非常に高いためである。大型分野でも価値が高くなっているがこれはデジタル放送サービスの開始と HDTV の実用化でディスプレイ技術のシーズが成熟してきているためである。現在 20 型 ~ 30 型程度の TV モニター用途ディスプレ

イの価値が低くなっているが、やがて LCD と PDP の参入で将来的には価値の上昇が発生してくる。このように CRT の衰退とフラットパネルディスプレイの興隆というドラマティックな革命期の中で、今後 10 年間ですべてのディスプレイサイズで価値の上昇と安定持続が期待できる。次節以降で各ディスプレイの市場と技術の推移についての考察を行なう。

1 - 3 LCD 市場の拡大と取組み

1990 年台にノート PC 向けパネルとしてスタートした TFT-LCD 市場は現在も急成長している（図 1 - 4）⁸⁾。成長の牽引役は液晶モニターと携帯/携帯電話用ディスプレイである。液晶モニターは 20 型以上の大型のディスプレイで CRT に替わるモニターである。

図 1 - 4 液晶パネル市場の予測



携帯用は 4 型以下の中小型ディスプレイでネット情報化に伴う携帯電話の普及で爆発的な市場の拡大が生じている。そしてこのような市場の拡大に合わせて様々な高画質化と低コスト化の取組みが行なわれている。大型パネルと中小型パネルでは取り組む内容も異なってくるがここではそれらを総括して考察する（図 1 - 5）。高画質化を行なう上で大切な要素はいくつかある。その中でも明るさ、コントラスト、色再現性、応答速度を向上させ視野角を拡大し精細度を高めることが重要である。これらの目的に向かっては様々なアプローチがありパネルの仕様に見合った形で新技術の導入が行なわれているところである。

図 1- 5 LCDの高画質化への取り組み

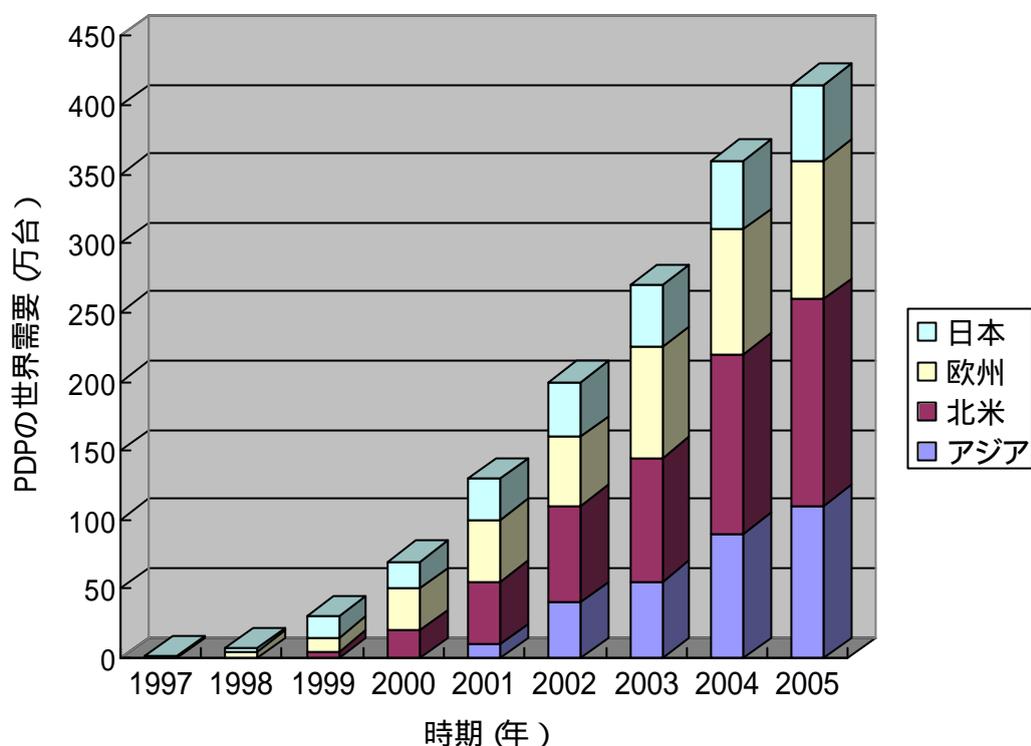
	設計	部材	表示モード
明るさ	高開口率	高輝度バックライト	
コントラスト		柱スペーサー	
視野角			IPSEモード VAモード 補償フィルム
色再現性		高純度CF	
応答速度		低粘度液晶	OCBモード
高精細		低抵抗配線材料 低温ポリシリコンTFT	

低コスト化への取り組みも重要な要素である。CRT を代替していくためには CRT 以上の低コスト生産を実現しなければいけないからだ。低コスト化への取り組みには生産性の向上と材料費の低減で対応している。生産性の向上は新たな TFT 縦構造の採用によるマスク枚数の削減と高歩留生産を実現する高信頼性プロセスの採用で実現できる。材料費の低減は部材の集積化、共通化、標準化などで対応しておりコスト構造は CRT の倍程度まで実現できておりあと 1 歩のところまで来ている。

1 - 4 PDP 市場の拡大と取り組み

PDP は LCD に比較して消費電力は大きいが発光であるので視野角特性は全くなく、応答速度も LCD に比較すると 3 桁も早い。色再現性も現在のカラー CRT を上回っておりポスト CRT の本命ディスプレイである。TFT-LCD に遅れること 10 年の 2000 年が PDP 市場の立上り年である (図 1 - 6)⁹⁾。PDP が使用されるディスプレイは 40 型以上の大型で高精細なディスプレイで、将来のデジタル放送の HDTV 用途を視野に入れている。日本では CS デジタル放送や BS デジタル放送はすでに開局されており、地上波デジタル放送も 2000 年以降の本放送に向けて着々と準備が進んでいるが普及はこれからである。米国では衛星デジタル放送はすでに実用化されており、200 チャンネルを超えるテレビ放送が全米に流れている。1998 年の秋には地上波デジタル放送が開始されている。欧州でも衛星デジタル放送が開始されており 1998 年には英国で地上波デジタル放送が開始されている。PDP はまさにこのデジタル放送用途のモニターに使用されるはずである。2000 年以降に急速に市場が拡大していく。当初は北米市場、欧州市場が中心であり、日本市場がこれに続く。アジア市場は 2002 年以降に立ちあがると思われる。現在 PDP は大型ディスプレイに要求される機能の実現に向けてたゆまぬ努力が行なわれている。表示品質面では表示情報量を増やすことが行なわれており、解像度、表示輝度、コントラストの向上が行なわれている。

図1 - 6 PDPの世界需要



1 - 5 有機ELディスプレイの現状

有機ELディスプレイは有機膜で形成したホール注入層と電子輸送層で発光層を挟みこんだ構造をしている。運ばれてきたホールと電子が発光層で再結合することでEL発光する。モノクロパネルの量産化が1997年から始まったのに続き、1999年からエリアカラーパネルの量産が始まっている。そして2000年にエリアカラーパネルが携帯電話に採用されて大きな話題になった。有機ELディスプレイの今後の課題はフルカラー化である。事業化は2002年～2003年頃になる予定であるが、低温多結晶シリコンTFT駆動のアクティブ型が前提になっている。アクティブ型では中小型フルカラー、そして将来的には大型フルカラーを視野に入れている(図1-7、図1-8)¹⁰⁾。

図1-7 有機ELディスプレイのトレンド

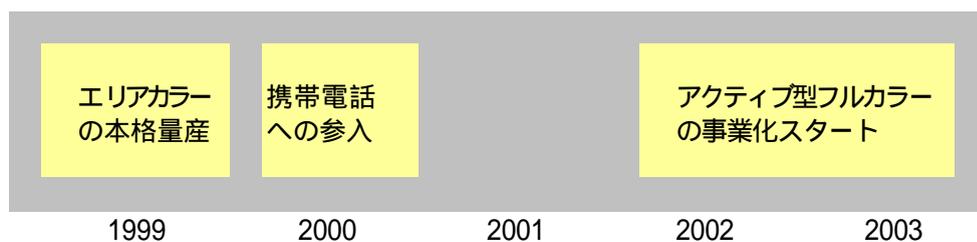


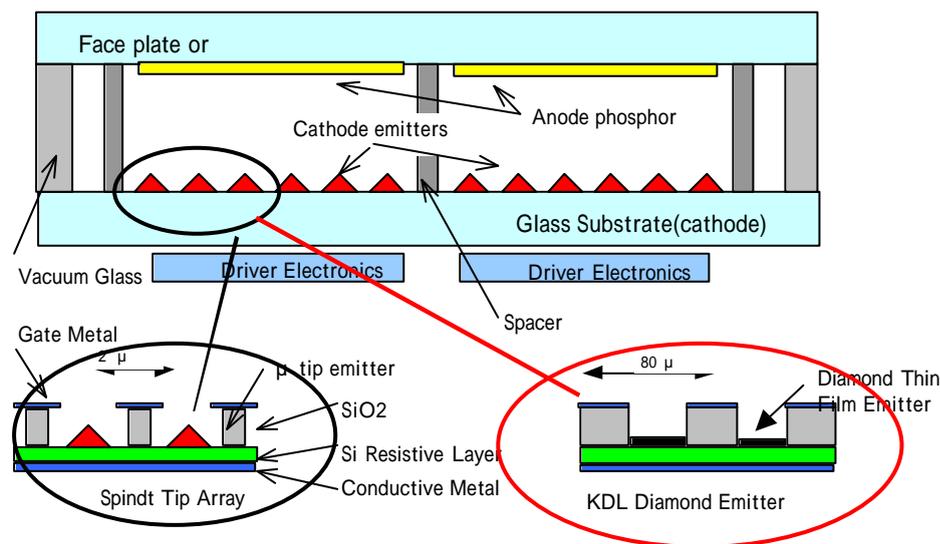
図 1- 8 有機 E Lディスプレイの今後の展望

小型エリアカラー (パッシブ型)	中小型フルカラー (アクティブ型)	大型フルカラー (アクティブ型)
カーステレオ	ポータブルDVD	PC
携帯電話	カーナビ	フラットテレビ
	PDA (携帯情報端末)	

1 - 6 FED の現状

FED の発明は、電界放射現象によって電子を放出する冷陰極型の電子銃の発明から始まる。1970 年代に円錐状のティップから電子を放出させるカソードが発明されたのを契機に現在に至るまで様々なタイプの電子エミッタ - が開発されている (図 1 - 9)。スピンド型と呼ばれる円錐状のエミッタ - が主流ではあるがダイヤモンド薄膜の NEA 特性を利用したエミッタ - ¹⁰⁾ やカーボンナノチューブを利用したエミッタ - が開発され ¹¹⁾ 学会レベルで発表され活発に議論されている。

図 1- 9 FEDの構造



FED は基本的に CRT を μ オーダーに集積化したものであるなので実用化できれば CRT 以上の性能を發揮できるはずである。米国のベンチャー企業を中心に FED の量産化が試みられ

ているが現在までのところいまだ成功していない。エミッタ - 技術のみでなく蛍光材料技術、真空封止技術、駆動技術等の多くの技術課題が残っている。これらの技術課題をクリアするブレークスルーの開発と量産プロセス技術の開発が FED 実用化のポイントである。

1 - 7 本研究の目的と意義

これまで考察してきたように、CRT 全盛の時代からフラットパネルディスプレイの時代へと、現在はまさにディスプレイ変革期の真っ只中にある。LCD、PDP、有機 EL、FED と多くのフラットパネルディスプレイが開発され実用化されている。そのような中でも特に LCD はフラットパネルディスプレイの主流として用途と市場が大きく拡大してきている。筆者は LCD 生産現場にて中小型 TFT-LCD の高機能化と低コスト化に関する研究と開発に従事してきた。LCD のようなデバイス業界は多くの競合メーカーを有し非常に競争の激しい分野である。しかも近年、韓国メーカー、台湾メーカーの参入により LCD 産業界は世界的な競争の只中に置かれている。生き残りを図る日本メーカーにとって LCD の高機能化と低コスト化は重要な企業戦略である。高精細化と高開口率化は重要な高機能化戦略であるが、これに向けて多くの LCD メーカーは低温多結晶シリコン TFT を研究し実用化を急いでいる。低温多結晶シリコン TFT-LCD は駆動ドライバーを内蔵できるなどの利点をもつ反面、製造技術が未熟でコスト的な優位性を確立できていない。筆者らは従来のアモルファスシリコンを使用して低温多結晶シリコンと同等以上の性能を達成することを研究した。これが可能であるならば、成熟した生産技術を使用することで低コストな LCD を安定的に供給でき非常に大きな競争力を持つことができると考えたからである。筆者の研究の目的はこれらの課題を整理して解答を得ることにあつた (図 1 - 10)。

図 1- 10 本研究の目的

分野	項目		詳細
中小型 TFT - LCD	市場分析		
	技術戦略研究 商品戦略研究	(a-Si TFT LT P-Si TFT) (a-Si TFT LT P-Si TFT)	測定技術研究 生産技術研究
	事業戦略研究		財務分析

本研究の目的の第 1 は、LCD 市場、特に中小型 TFT-LCD 市場に注目し分析することで、将来に向けての技術戦略を立てることである。第 2 の目的は策定した技術戦略を実現するための技術の詳細を研究することと、低コストで生産するための生産技術を研究することである。本研究によりこれらの目的はほぼ達成できたものと考えている。最後の目的はこ

これらの技術戦略、生産技術でもってどのようなビジネス展開を図るのがベストかを研究することである。本研究によりビジネス構造解析を行ない事業展開シミュレーションを行うことで最適な事業展開モデルを構築できた。

第2章：中小型 TFT-LCD 市場における技術課題の抽出とその解決に関する調査研究

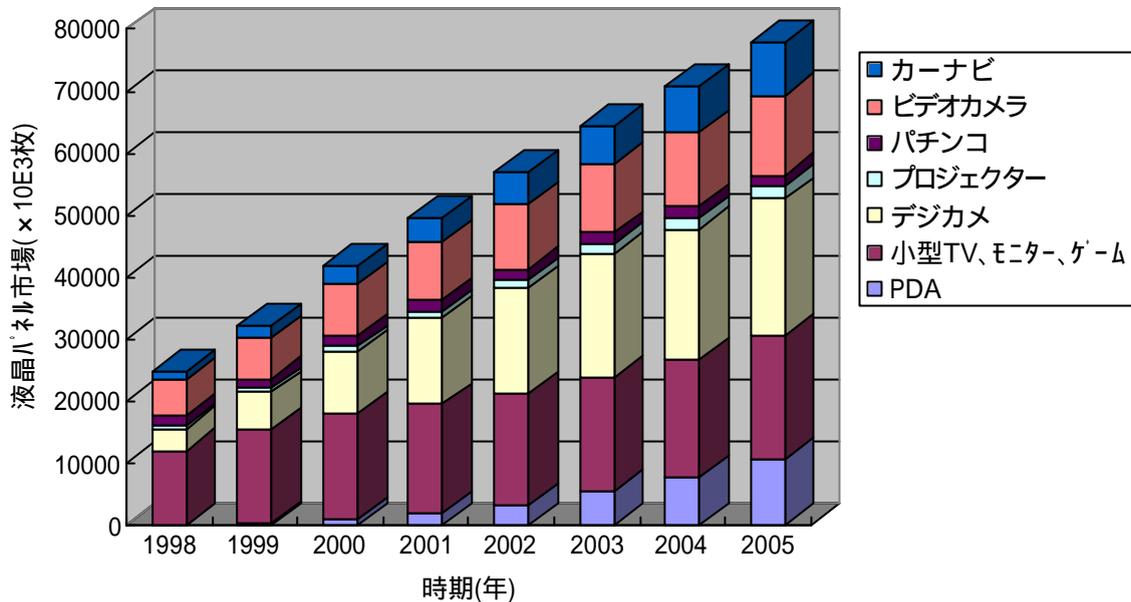
2 - 1 緒言

対角寸法 1.5 型～5 型程度の大きさのものを中小型 LCD と総称している。STN-LCD と TFT-LCD の 2 種類があるが、本論文で対象にしているのは TFT-LCD である。これまでこの中小型分野は LCD 市場の中でもいわゆるニッチ市場と考えられてきた。それは大型 LCD 市場に比べて市場規模が小さく利益の出にくい市場であると思われてきたことが原因である。しかし最近になり、この中小型 LCD 市場、特に TFT-LCD 市場がにわかに注目を集める分野になりつつある。それは、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、カーナビ、電子手帳等といった携帯情報端末(PDA :Personal Digital Assistant) に使用される TFT-LCD 市場が拡大していることと、最近の携帯電話の爆発的な普及に原因している。また、これまでの携帯電話用 LCD は STN-LCD が主流であったのが、2001 年からの新規通信サービスによる動画伝送を見越して TFT-LCD に対する需要が大きくなってきていることも原因の一つである。更に中小型 TFT-LCD は用途が多岐に渡っておりクリスタルサイクルと呼ばれる需給の変動がほとんどないことも重要な要因である。このようなことからこれまで大型 TFT-LCD を生産してきた日本メーカーや新規台湾メーカーがこの中小型 TFT-LCD 市場に大挙して参入してきている。筆者らは当初からこの中小型分野に特化して TFT-LCD を開発・生産してきた。これまでは競合相手の少ないニッチ市場でぬくぬくと成長してきた感じであるが、今後は韓国、台湾企業を含めたグローバルな競争の第一線にさらされることになる。このような状況においては事業戦略を策定し経営資源を集中させて事業展開を謀ることが極めて重要になると思われる。本章において中小型 TFT-LCD 市場の推移について分析し、TFT-LCD が搭載される製品の機能、性質を考察したあとで TFT-LCD に要求される機能を明確にする。さらにこれらの結果から中小型 TFT-LCD 市場に対する技術戦略を提言する。

2 - 2 中小型 TFT-LCD 市場の拡大

中小型 TFT-LCD を使用する電子機器はエンターテインメント用コンシューマー製品や携帯情報機器といったものである。カーナビゲーションシステム、ビデオカメラ、パチンコ用ディスプレイ、プロジェクター用エンジン、デジタルカメラ、小型 TV、モニター、ゲーム、その他の PDA といったものである。この中でプロジェクター用エンジンは高温多結晶シリコン TFT を使用しており大きさも対角 1 型以下でありながら画素数は 150ppi 以上と特殊なポジションを占めている。その他はアモルファスシリコン TFT を採用しており、一部は低温多結晶シリコン TFT を採用している。大きさはデジタルカメラ用途で対角 1.8 型程度、ビデオカメラや小型 TV、ゲーム、PDA 用途で対角 3 型から対角 4 型程度である。その他のカーナビやパチンコ用ディスプレイの大きさは対角 5 型程度である。これら中小型 TFT-LCD の需要予測を図 2 - 1⁸⁾ に示す。

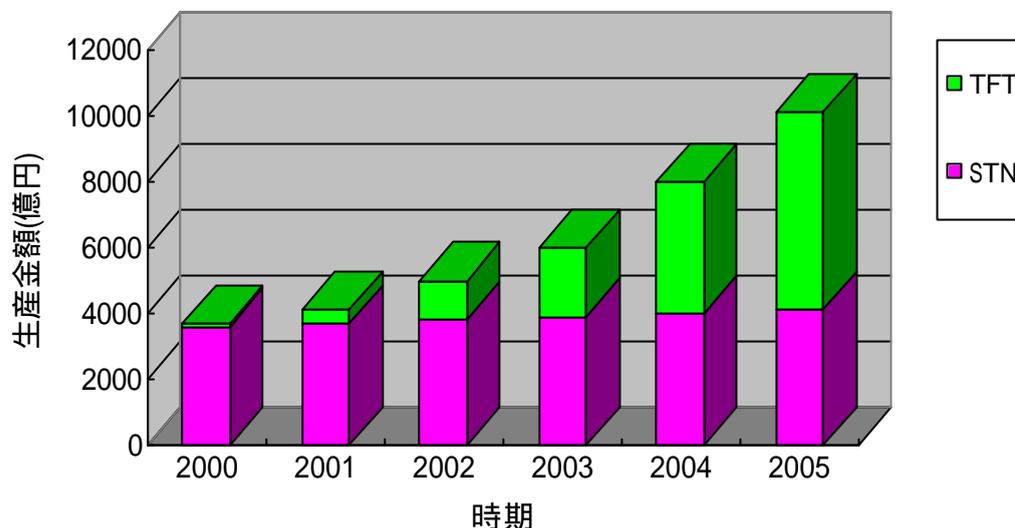
図 2- 1 中小型TFT 応用製品別の需要予測(数量)



この需要予測は数量ベースで示している。数量規模が大きいのは小型TV、モニター、ゲーム用途とデジタルカメラ用途である。需要の伸びが大きいのはカーナビとPDAである。特にPDAは単にその機能を提供するだけのものから、映像まで取り込んだ様々なアプリケーションを提供するプラットフォームへ変化していくことが予想され、今後大きく伸びていくものと思われる。図2-1の需要予測には携帯電話の項目が記載されていない。そこで携帯電話向けLCDの市場予測を図2-2に示す。携帯電話向けLCDの世界市場の規模は1999年時点で約2400億円である。今後は携帯電話の普及で2005年には約1兆円に市場が拡大すると見られている。携帯電話もPDAと同様に様々なアプリケーションを提供するプラットフォームに進化していくことはまちがいない。今までスタンドアロンで使用していたものが、何らかの形でどこかのタイミングでどこかと接続されているという状況になり、音声のみの伝送から映像を含んだ様々な情報がやりとりされることとなる。そのようなことからSTN-LCDが主流であった携帯電話市場は次第にTFT-LCDが主流へと移っていくものと予想できる。とはいってもSTN-LCDの市場が減少していく訳ではなく、色味のファッション性や低コスト、低消費電力といった特徴を活かしてしぶとく生き残っていくと思われる。将来的には携帯電話のグレードに応じてSTN-LCDとTFT-LCDのすみわけが起これると予想する。現在の携帯電話用LCDの大きさは対角1.2型～2.0型と比較的小型であるが、TFT-LCDの採用による表示情報量の増加で大型化し、最終的には2.5型～3.5型程度が採用されるものと思われる。さらに低消費電力化を目指して半透過型LCD、反射型LCDが開発され採用されていくはずである。このように携帯情報端末市場、携帯電話市場の今後の成長性はすさまじいものがあり中小型TFT-LCDにとっては非常に魅力あ

る市場となりつつある。

図2 - 2 携帯電話向けLCD市場予測



2 - 3 中小型 TFT-LCD に要求される性能

前節の需要予測により中小型 TFT-LCD 市場での重点分野を絞り込むことができる。これまでのメイン分野からはデジタルカメラ用途とゲーム用途、そして今後大きく需要が拡大する PDA 用途と携帯電話用途である。デジタルカメラは PC の普及とともに市場が拡大し撮像素子の高精細化とともにディスプレイの高機能化が進んでいる。ゲーム用途の LCD はこれまで低コストの STN-LCD が使用されてきたが表示情報量の増大とともに TFT-LCD の採用が進んでいる。デジタルカメラ、ゲームともこれまではスタンドアロンで使用されてきたが今後は他機器との情報のやりとり等が可能となり、PDA との融合化が進んでいくものと思われる。このように中小型 TFT-LCD は個人がそれぞれ所有する携帯情報機器用ディスプレイとしての性格を強く持つようになる。このような携帯情報機器には、

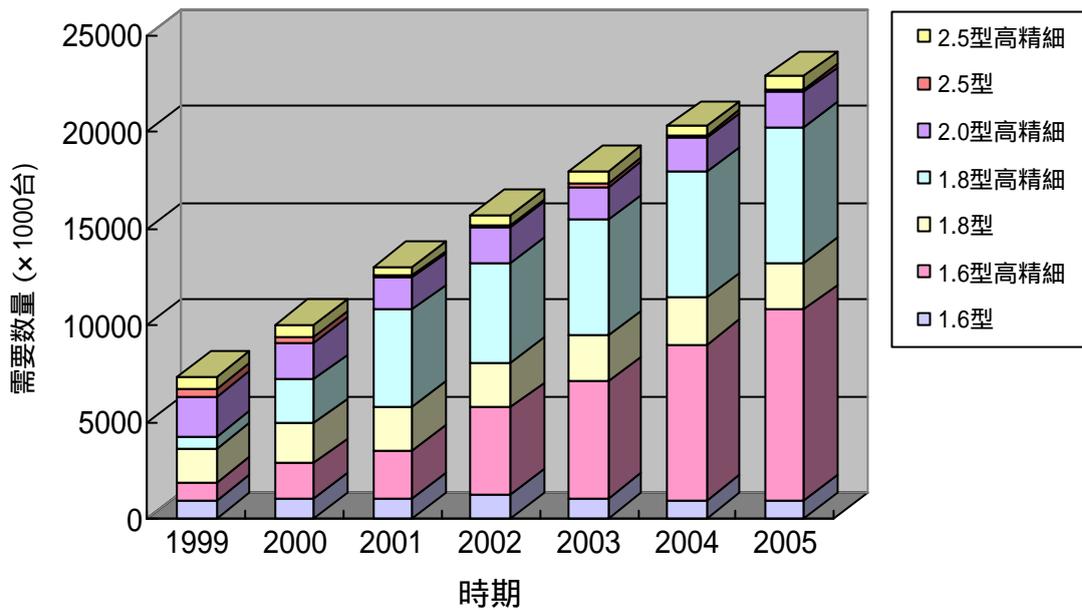
- 1) どこでも、どのようなプラットフォームにも接続できる。
- 2) 小さく・軽く持ち運びができる。
- 3) フレキシブルで簡単に操作できる。
- 4) バッテリーでも十分な作業ができる。

ことが求められる。それでは以下において、このような要望を技術課題として具体化するために各製品分野別に市場と特性を詳細分析し、具体的な要求性能を明確にする。

2 - 3 - 1 デジタルカメラ（ゲーム）

まず TFT-LCD 搭載デジタルカメラの数量推移と参入企業の間係を图 2 - 3 に示す。デジタルカメラに搭載される LCD の大きさは対角 1.6 型 ~ 2.5 型であるので対角寸法と画素の精細度別に需要数量予測をしている。参入企業は大きく 5 社程度でありアモルファスシリコン TFT-LCD が主流である。

图 2 - 3 TFT搭載デジタルカメラ 需要予測



近年、高精細撮像素子を搭載したデジタルカメラが市場に投入されシェアを延ばしていることから表示デバイスである LCD にも高精細化が要求されるようになっている。图 2 - 3 において 1.6 型高精細 LCD と 1.8 型高精細 LCD の需要が急激に増加しているのはこの撮像素子の高精細化が原因である。また、デジタルカメラの場合、高機能化以上に顧客に受け入れられる操作性の容易さも重要な要求性能となっている。撮影や画像処理そしてパソコンとの接続性の容易さは購入時の重要な判断要素になるからだ。さらに将来的に市場が拡大していくためには値段が安くなることが必須の要素であり、今後はこれまでに以上に低コスト化が重要な要求性能になるものと思われる。ゲームに搭載される TFT-LCD の大きさはデジタルカメラよりも少し大きく 3.0 型 ~ 4.0 型である。需要数量、参入企業ともデジタルカメラとほぼ同程度である。要求性能もデジタルカメラとほぼ同じであるが、デジタルカメラ以上に低コスト化への要求が強い。以上のことをまとめると、デジタルカメラ、ゲームに搭載される TFT-LCD の要求性能は以下の 3 つにまとめることができる。

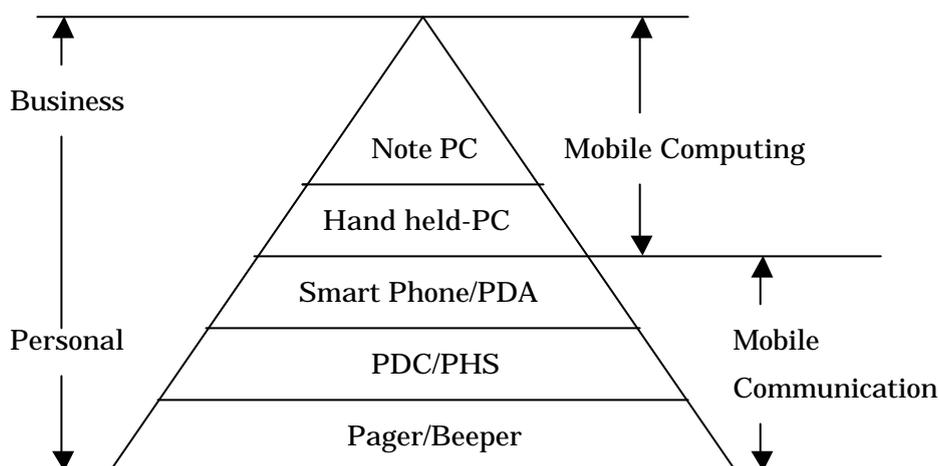
- 高画質化・高精細化
- 操作性の容易化
- 低コスト化

この要求性能を実現するのにどのような技術開発を行っていくかが重要となるが、これらの詳細は次節で議論する。

2 - 3 - 2 携帯情報端末 (PDA :Personal Digital Assistance)

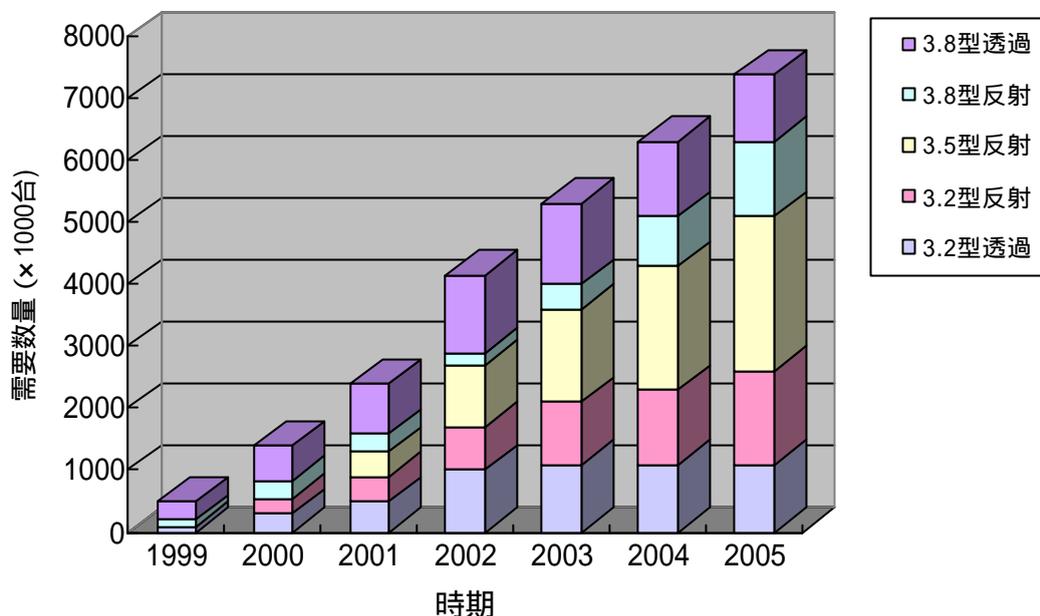
次節で述べる携帯電話を含んだ携帯情報機器のヒエラルキーを図 2 - 4¹²⁾ に示す。1995 年以降、伸長著しいのは携帯電話を主体としたモバイルコミュニケーション分野である。最近では有機 EL を使った携帯電話が発表されるなど、変化の激しい分野でもある。ディスプレイはこれら機器の顔、情報収集・発信の窓となるキーデバイスであり、現在はモノクロ STN の反射型 LCD が主流である。しかしながらネット社会の進展とともにその仕様も変化してきている。

図 2 - 4 携帯情報機器のヒエラルキー



そのような中で TFT-LCD を採用した PDA 市場は今後大きく成長が見込まれる分野である。仕様、サービスが多様化していく中で表示情報の多様化に対応できる TFT-LCD は携帯情報端末の主流となっていく。図 2 - 5 に TFT 搭載携帯情報端末の需要予測を示す。

図 2 - 5 TFT搭載携帯情報端末 需要予測



PDA に使用される TFT-LCD の大きさは 3.0 型 ~ 3.8 型である。透過型から需要が立ちあがるが実使用時間の延長に対する強い要望から低消費電力が望まれ半透過型・反射型の採用が拡大する。PDA ではさらに、小さく・軽く持ち運びが容易であることが強く望まれる。またデジタルカメラ同様、操作性が簡単であることや低コストであることも大切な要素となる。これらのことをまとめると PDA の要求性能は以下ようになる。

- 低消費電力
- 軽量・コンパクト
- 操作性の容易化
- 低コスト化

これらの要求性能をどのように実現するのかという技術戦略は次節以降で詳細報告する。

2 - 3 - 3 携 帯 電 話

近年急速な発展を遂げたのが携帯(移動)電話である。国内では 1998 年、アナログ方式の新規募集を中止し既存ユーザーに対してデジタルへの変更を促進するなどして次世代に備えたインフラが整ったことなどが寄与している。端末そのものの機能も短時間で変化してきた。携帯電話機の軽量・小型化とともに、電池能力と周辺部材の低消費電力化の改善が進み、2000 年の段階で待ち受け時間 400 時間、重量は軽い物で 60 g を切るというレベルにある。図 2 - 6 に携帯電話の重量の推移、図 2 - 7 に待ち受け・通話時間の推移を示す¹³⁾。過去 8 年間を見ても小型化による重量は 240 g から 60 g へと 1 / 4 となり、逆に

待受け時間は 50 倍の 500 時間となり、連続通話時間も約 3 倍に向上している。

図 2- 6 携帯電話の重量推移

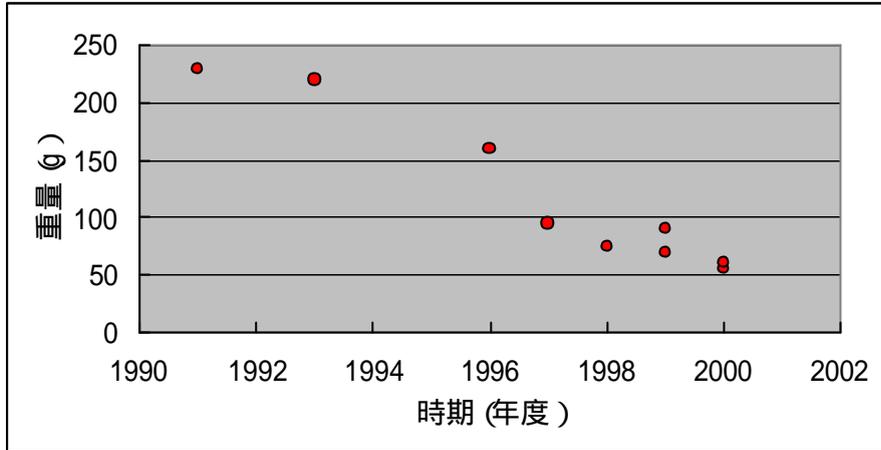
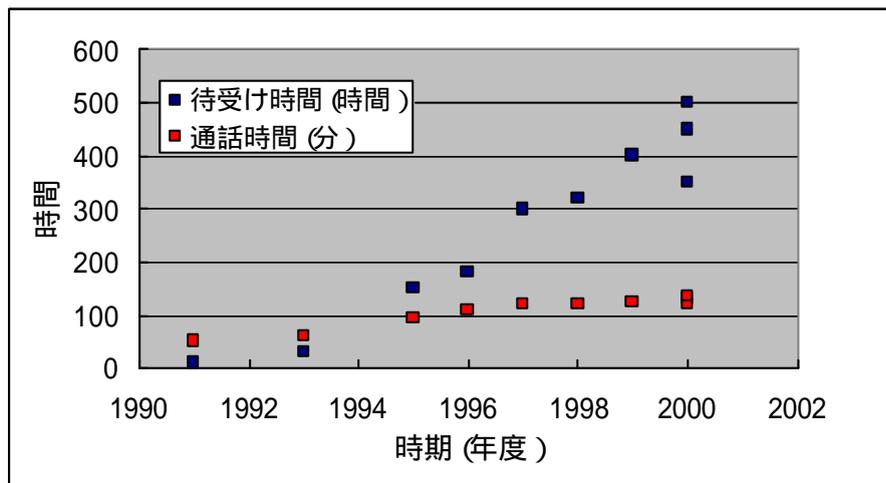


図 2- 7 携帯電話待受け 通話時間の推移



待受け時間、連続通話時間の向上は電池性能の向上と周辺部品の低消費電力化の効果である LCD の低消費電力化の貢献も非常に大きい。

携帯電話の初期の製品では電話番号と電話帳を表示するためのキャラクター表示機能のみであったがやがてグラフィックタイプの LCD が採用されるようになった。今後はコンテンツサービスの拡充に伴いカラー液晶を搭載した携帯電話が主流になると思われる。既に 1999 年末からカラー液晶を搭載した携帯電話が登場しており、2000 年になってカラー化が加速している。その後、2001 年に入り W-CDMA の登場とともに動画配信のコンテンツも加わり、動画対応のカラー LCD のニーズが高まると予想されている。これまで主流の STN-LCD では動画対応は困難で TFT-LCD が採用されることになる。携帯電話市場での技

術ロードマップを下図の図 2 - 8 に示す。

図 2 - 8 携帯市場の技術ロードマップ

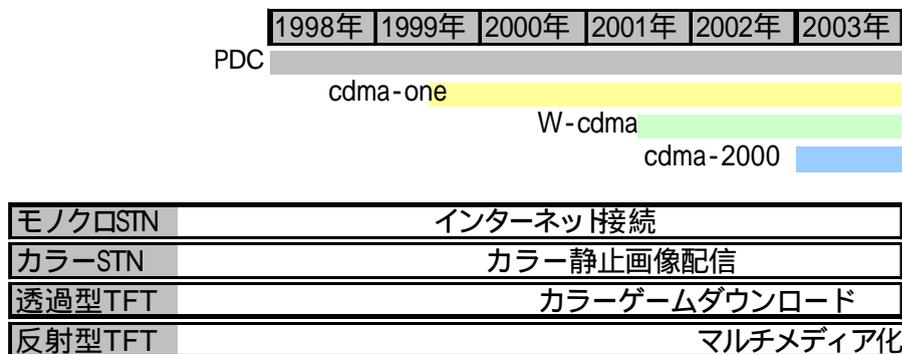
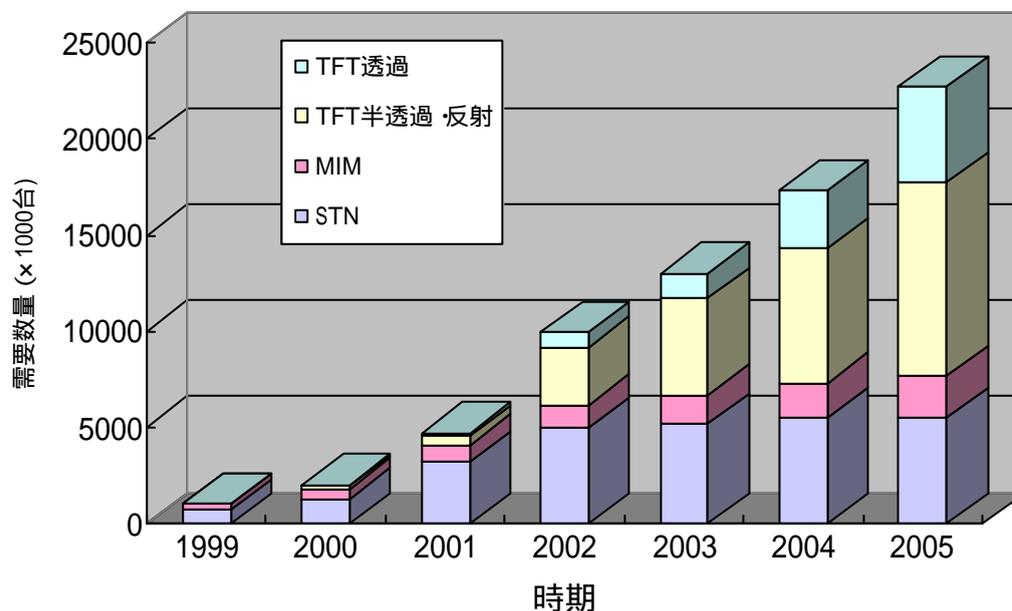


図 2 - 9 に LCD 搭載携帯電話の需要予測を示す。

図 2 - 9 LCD 搭載携帯電話 需要予測



TFT-LCD の本格的な需要は 2001 年度から立ちあがる。動画像の再現性や色再現性の要望から透過型 LCD が先行する。その後、待ち受け時間、連続通話時間の延長に対する低消費電力化の要請から反射型 LCD・半透過型 LCD が透過型 LCD を代替するようになると予想

する。そして将来的には技術の進展とともに反射型が主流になる。これらのことより携帯電話向け TFT-LCD に要求される性能は以下ようになる。

低消費電力

軽量・コンパクト

操作性の容易化

低コスト化

携帯電話用途 TFT-LCD の要求性能は PDA 用途 TFT-LCD のそれと同等であるが、低消費電力化がさらに強く要求されている。

2 - 4 中小型 TFT-LCD での競争力確保のための技術戦略

本説では前節で考察した要求性能をどのように実現するのか、その技術戦略を考察する。デジタルカメラ、ゲーム用途と PDA、携帯電話用途では要求性能が異なっているので、この2つの場合に分けて考察する。

デジタルカメラ（ゲーム）

デジタルカメラ（ゲーム）の要求性能は 高画質・高精細化、 操作性の容易化、 低コスト化 の3つであった。これらの要求性能を実現するための技術課題について考察する。要求性能を要求項目に細分し、それぞれの要求項目に対する技術課題を設定する。そして最後に各技術課題を実現するための詳細技術内容を設定する。この詳細な技術内容が技術戦略そのものである。これらをまとめたものを表2-1に示す。高画質化・高精細化に対する要求項目は高精細、高輝度、高視野角の3項目である。高精細化では線幅縮小、トランジスター小型化といった設計ルールの縮小が必要で低抵抗配線材料の使用が必須となる。また高精細化ではドライバーLSIをパネルに接続するCOG(Chip on Glass)接続技術が重要となるが200ppi(pixel per inch)以上の精細度を目指すなら30 μ ピッチ以上の接続技術が必要となる。高輝度化では高透過率化と高開口率化が有効である。バックライトの輝度向上は消費電力の増加につながるので考慮しない。高透過率化にはパネルセルギャップの最適化とカラーフィルター、偏光板の部材設計の最適化で対応する。高開口率化にはまず開口面積を拡大し次ぎにTFT基板への平坦化膜の採用と画素ITO(Indium Tin Oxide)電極を最上層に配置するITO-TOP構造が有利である。高視野角では液晶の位相差を補正するWV(Wide View Film)付き偏光板の使用が最も簡単であるが液晶表示そのものを変更する方式を採用するのが効果的である。操作性の容易化という意味ではカスタマーであるセットメーカーの使い易さを追求する。駆動電源を3V単一電源にすることで電源数を削減でき駆動回路を単純化でき使い易さが向上する。3V単一電源にするために低電圧液晶を採用する。低コスト化ではパネル額縁を小さくすることによる基板取数の増加で対応する。狭額縁化はLCDの軽量・コンパクト化にも有効であり後で考察する低温ポリシリコンTFT-LCDに対抗する意味でも重要である。ドライバーコストの削減ではデジタル駆動

LSI の採用で対応する。デジタル駆動の採用でビデオ IC と電源回路を削減できドライバー LSI によるコストを 20% 程度削減できる。

表2- 1 要求性能と技術戦略 (デジタルカメラ ゲーム)

要求性能	項目	技術課題	詳細内容
高画質 ・ 高精細	高精細	設計ルール縮小	低抵抗配線材料の使用 Tr小型化
		狭ピッチCOG接続	30μピッチCOG接続
	高輝度	高透過率	セルギャップ最適化 部材(CF、偏光板)最適化
		高開口率	Tr小型化 平坦化膜、画素部のITO-Tp構造 開口面積の拡大
高視野角	リタレーション補正 新規表示モード	WVフィルム付偏光板 PS表示モード、VA表示モード	
操作性の容易化	駆動電源消費削減	3単一電源モニター	低電圧液晶 電源回路削減
低コスト化	基板面付アップ	狭径露光化	1.5mm露光線 1.0mm露光線
	ドライバーコスト	デジタル駆動	ビデオIC削減 電源回路削減

PDA、携帯電話

PDA、携帯電話用途の要求性能は 低消費電力、 軽量・コンパクト、 操作性の容易化、 低コスト化 の4つである。これらの要求性能に対する技術戦略を表2 - 2 にまとめる。低消費電力化を実現するには表示モードの変更、パネル駆動系の改良、パネル設計の変更といったアプローチがある。パネル表示モードを変更する技術課題としては半透過型 LCD、反射型 LCD の採用がある。カラーフィルター、反射板の最適化設計と平坦化膜の採用による画素部のメタル反射膜構造を採用する。駆動系からは駆動ドライバーの改良と光学設計の最適化を行なう。RAM (Random Access Memory) 付きドライバーの採用と光学系の最適化による光の有効利用で駆動系の消費電力を 10% 削減できる。パネル設計面では設計ルールの縮小による高開口率化とトランジスターの小型化でバックライトの消費電力を 20% 削減することができる。軽量・コンパクト化ではまずガラス基板、バックライトユニットといった LCD 構成部材そのものを軽くすることで対応する。ガラス基板の厚さは 0.7mm が主流であるが今後は 0.5mm 厚のガラス基板を採用する。将来的にはプラスチ

ック基板の使用を推進していく。バックライトユニットの軽量化では導光板効率改善と白色 LED (Light Emitting Diode) の導入を行なう。またコンパクトにするには前項のデジタルカメラと同様に狭額縁化する必要がある。操作性の容易化、低コスト化に関してもデジタルカメラと同様の技術戦略であるのでここでは割愛する。

表2- 2 要求性能と技術戦略 (PDA、携帯電話)

要求性能	項目	技術課題	詳細内容
低消費電力	表示モード	半透過型LCD 反射型LCD	CF最適化設計 反射板最適化設計 平坦化膜 画素部のメタル反射膜構造
	駆動系	駆動ドライバー 光学設計	RAM付きドライバー 光学系最適化設計
	パネル設計	高開口率	設計ルール縮小 Tr小型化 開口面積の拡大
軽量 ・ コンパクト	部材	ガラス基板の軽量化 Bユニット薄型化	0.5mmガラス基板 プラスチック基板 導光板効率改善、白色LED
	パネル設計	狭額縁化	1.5mm額縁 1.0mm額縁
操作性の容易化	駆動電源数削減	3/単一電源モニター	低電圧液晶 電源回路削減
低コスト化	基板面付アップ	狭額縁化	1.5mm額縁 1.0mm額縁
	ドライバーコスト	デジタル駆動	ビデオIC削減 電源回路削減

技術戦略を定めた後はそれを実現化していくプロセスが重要となる。知的資産、保有技術、人的資源、開発資金といった現在の経営資源を考慮して実現化プロセスを時間軸に対して設定していく。それを図示したものを次項の図2 - 10に示す。

本章において中小型 TFT-LCD の市場分析を行ない技術戦略を考察してきた。この技術戦略にもとづいた競争力のある製品をどのように実現化するかが問題となるが、筆者らは独自の製品戦略と生産技術を研究しこれらを実現してきた。図2 - 10において2000年時点ですでに終了済みの技術が多くあるのはそのためである。筆者らはこの独自のLCDをHAST-LCDと名付けた。次章において、このHAST-LCD研究の詳細について報告する。

図2-10 中小型TFT-LCD技術戦略ロードマップ

項目	詳細内容	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
高精細	設計ルール縮小	低抵抗配線材料				Tr小型化		
	狭ピッチCOG接続	30μピッチCOG接続						
高輝度	高透過率	セルギャップ最適化						
	高開口率	開口面積の拡大			平坦化膜	Tr小型化	画素部のITO-Top構造	
高視野角	リタデーション補正	WVフィルム付偏光板						
	新規表示モード						IPS表示モード	VA表示モード
駆動電源数削減	3V単一電源モーター			低電圧液晶	電源回路削減			
基板面付アップ	狭額縁化		1.5mm額縁			1.0mm額縁		
ドライバーコスト	デジタル駆動			ビデオIC削減	電源回路削減			
表示モード	半透過型LCD					CF最適化設計		
	反射型LCD					平坦化膜	画素部のITO-Top構造	反射板最適化設計
駆動系	駆動ドライバー 光学設計			RAM付ドライバー	光学系最適化設計			
パネル設計	高開口率	設計ルール縮小1				設計ルール縮小2		
						Tr小型化		
軽量 コンパクト化 (部材)	ガラス基板軽量化	0.7mm基板				0.5mm基板		
							プラスチック基板	

- | | | | |
|--|--------------|--|---------------|
| | 高画質・高精細化技術戦略 | | 低消費電力化技術戦略 |
| | 操作性の容易化技術戦略 | | 軽量・コンパクト化技術戦略 |
| | 低コスト化技術戦略 | | |

第3章：中小型用高性能アモルファスシリコン TFT(HAST)の考案とその実用化に関する研究

3 - 1 緒言

前章で中小型 TFT-LCD における市場分析と技術戦略を考察した。デジタルカメラ、ゲーム、PDA、携帯電話に使用される TFT-LCD に要求される性能は 高画質・高精細、操作性の容易化、低コスト、低消費電力、軽量・コンパクトでありこれらの要求性能を実現するための技術戦略を提案した。次ぎに重要となるのは技術戦略を実現化していくプロセスである。筆者らは技術戦略の中でも 高画質・高精細、低コスト、軽量・コンパクトであることを実現化することに特に着目し、従来のアモルファスシリコン TFT-LCD を進化させた LCD を研究・開発し、これを HAST-LCD と名付けた。HAST-LCD とは Hyper Amorphous Silicon TFT-LCD のことで「傑出して優れたアモルファスシリコン TFT-LCD」という意味が込められている。HAST-LCD の実現化には、従来の要素技術（材料技術、プロセス技術、生産技術、設計技術）を進化させかつ各要素技術の最適化を行なうことで可能となった。HAST-LCD の競合技術として低温多結晶シリコン TFT-LCD がある。低温多結晶シリコン TFT-LCD は TFT の半導体活性層に多結晶シリコンを使用する。多結晶シリコン TFT の電子移動度はアモルファスシリコン TFT の電子移動度に比較して 2 桁以上高速である。そのためにトランジスターそのものを小型化でき高開口率化に有利であったり、ドライバーLSI を内蔵することでパネル周辺額縁部を小さくすることができるなど非常に優れた機能を有している。しかしながら、次世代の技術と目されている低温多結晶シリコン TFT ではあるが、いまだ製造技術が成熟しておらずコストメリットを出せきれないでいる。筆者らの開発した HAST-LCD は従来の製造技術をそのまま襲踏しているので安定した高歩留生産が可能で生産性が非常に高い。この生産性の高さと機能的な優位性が HAST-LCD の最大の強みである。本章では今回開発した HAST-LCD の特徴を述べ、その競争力優位性を低温多結晶シリコン TFT-LCD と比較する。

3 - 2 HAST-LCD の提案と商品化展開における要素技術

技術戦略を実現化するために HAST-LCD を提案し商品化に成功した。高生産性を維持して低コストで製品を提供するために、従来の製造装置、製造プロセスを襲踏するのが大前提であった。機能的には高精細で軽量・コンパクトであることが最大の特徴である。本節では、HAST-LCD 研究結果の要素技術を述べる。

3 - 2 - 1 高精細化

高精細であることは HAST-LCD の最大の特徴である。高精細化を実現するために低抵抗配線材料と狭ピッチ COG 接続技術を研究し、導入に成功した。

3 - 2 - 1 - 1 低抵抗配線材料

パネルが高精細になり配線幅が小さくなると配線メタル材料の抵抗値が問題となってくる。比抵抗値が上昇してゲート信号の遅延が無視できなくなり表示に影響を及ぼしてくるからだ。筆者らはこれまで Al に Ti を 2~3at% 添加した Al/Ti を配線材料として使用してきた。Al/Ti はヒロックフリーで加工性に優れた材料であるが電気比抵抗値は $10 \mu \cdot \text{cm}$ 以上の値を示す。150ppi(= pixel per inch) 以上の高精細化に向けては $10 \mu \cdot \text{cm}$ を下回る低抵抗化が必要である。一般に Al に Nd を 1~2at% 加えると $10 \mu \cdot \text{cm}$ 以下の比抵抗値が得られることが知られている。しかしながら Al/Nd 系材料は熱処理の後で加工性が劣化しさらには膜中にピンホールが形成されることが問題となることが知られていた。そこで筆者らは Al に微量の Ti と Nd を混入させることで耐熱性、加工性に優れた低抵抗配線材料を研究し実用化に成功した¹⁴⁾。表 3 - 1 に各配線材料の性能評価結果を示すが耐熱性、加工性に問題はなく、電気比抵抗値も従来の 1 / 2 と非常に優れた性能を示すことわかる。このメタル配線材料の使用により 200ppi 程度の精細度でもまったく問題のない表示が可能であることを確認している。

表 3- 1 配線メタル材料の性能比較

項目		Al/Ti	Al/Nd/Ti
比抵抗値		約 $20 \mu \cdot \text{cm}$	約 $10 \mu \cdot \text{cm}$
耐熱性	熱分析ピーク開始温度	248.5	255.8
	ヒロック	発生なし	発生なし
	ピンホール	発生なし	発生なし
加工性	エッチング性	問題なし	問題なし
	現像液への溶解	問題なし	問題なし
	剥離液への溶解	溶解なし	溶解なし

3 - 2 - 1 - 2 狭ピッチ COG 接続技術

COG (Chip on Glass) 技術はドライバーLSI をガラス基板に直接接続する技術で LCD パネルの軽量・コンパクト化には欠かせない要素技術である。従来は $60 \mu \text{m}$ ピッチでの COG 接続であったがパネルの高精細化に伴い COG 接続ピッチを縮小する必要があった。COG 接続技術を完成するには材料である異方性導電膜 (ACF :Anisotropic Conductive Film) とプロセスの最適化をする必要がある。材料面では ACF のバインダー種類と粒子種類そして粒子分散密度を、接続メタルの種類に応じて選定する必要がある。HAST-LCD の研究・開発においてこれら材料とプロセス条件の最適化で従来の半分の $30 \mu \text{m}$ ピッチ接続

を可能にした。

3 - 2 - 2 高開口率化

高開口率化にはカラーフィルターの開口部を大きくする必要がある。そのために高プレチルト配向膜を導入した。また HAST-LCD では従来のプロセスをそのまま使用することを前提にしており TFT 縦構造の変更等は一切行なわない。それゆえ開口部の拡大以外の高開口率化には TFT 設計ルールの最適化を行なった。TFT 設計ルールの最適化は高歩留生産の安定維持にも非常に有効である。本節ではこれら高プレチルト配向膜の導入と設計ルール最適化の研究結果について報告する。

3 - 2 - 2 - 1 高プレチルト配向膜

開口率を大きくするにはカラーフィルター (CF) のブラックマスク (BM) 開口部分を大きくするのが効果的である。しかしながらこの BM 開口部を大きくしすぎるとリバースチルトディスクリネーションライン (図 3 - 1) を隠すことができなくなり光漏れを発生しパネル品質を極端に劣化させる要因となる。ディスクリラインは、液晶層にかかる横電界により液晶プレチルト角が周囲と逆方向になることにより発生する¹⁵⁾。液晶の旋光性を利用する TN (Twisted Nematic) 表示モードで TFT をスイッチング素子に利用する TN TFT-LCD では必然的に発生するものなので、通常はこの欠陥が画素部から見えないような工夫を行なっている。その一つが CF の BM でディスクリラインを隠すということである。BM 開口部を大きくすると隠していたディスクリラインが見えてきてしまうのである。またディスクリラインは TFT 基板の蓄積容量 (Cs :Strage Capacitor) 電極と画素 (ITO) 電極との横電界で発生することがわかっている。そのために Cs 電極と ITO 電極の重なり部を十分大きく取りディスクリラインが画素開口部からなるべく遠くに発生するような工夫も行なっている。しかしながら Cs 電極と ITO 電極の重なり部を大きく取ることは高開口率化にとって極めて不利に働く。

図 3 - 1 ディスクリライン

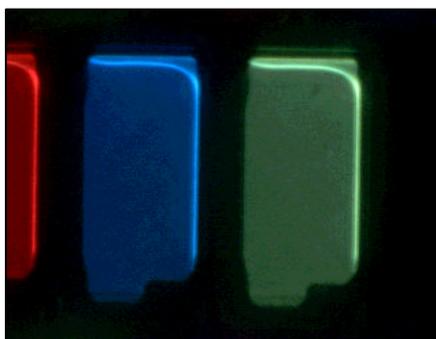
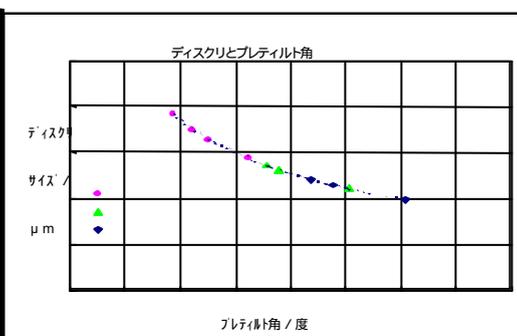


図 3 - 2 ディスクリサイズとプレチルト角



Cs 電極と ITO 電極の重なり部を小さくしてさらに CF の BM 開口部を大きくすることが必要である。ここでディスクライン発現サイズと液晶プレチルト角の相関関係を調べた結果、液晶プレチルト角を大きくすることでディスクラインの発現サイズを小さくすることができることがわかった（図 3 - 2）。この結果をうけて、従来はプレチルト角が 1 度程度の配向膜を使用していたが 3 度以上の高プレチルト配向膜に変更した。このことにより Cs 電極と ITO 電極の重なり部を 30% 縮小でき BM 開口部を大きくすることが可能になった。結果としてパネルの開口率を 15% 大きくすることができた。

3 - 2 - 2 TFT 設計ルール最適化

高開口率化と高精細化には TFT 設計ルール最適化が大変重要である。最適化とは TFT 製造の各プロセスの工程能力を把握した上で設計寸法をルール化していくことである。HAST-LCD においては高機能化を目指すだけでなく高歩留で安定生産できることが大前提であり、歩留低下の原因となる設計要素を極力排除し逆に歩留向上に有利となる冗長設計を、プロセスやコストに影響のない範囲で盛り込んでいくことが重要であった。筆者らは製造ラインの工程能力を徹底的に調べ上げ結果を設計データに反映させていった。工程能力把握の主要プロセスと項目を表 3 - 2 に示す。TFT 工程においては各レイヤーの工程能力を把握する必要がある。膜厚の管理を確実に行った上で加工精度を把握する。加工精度は製造装置のプロセス条件の微妙な変化によっても大きく変化することがある。プロセスの変化による加工精度の変化を確実に捉え工程に素早くフィードバックをかける体制を確立することで常に安定なラインを維持することが可能になった。次ぎに工程能力を反映した設計データをルール化していく。マスクデータは工程能力データを前提に作られ、工程は常に安定に保たれているのでマスク寸法を理論上のギリギリの値まで追い込むことが可能となる。これにより配線幅や配線間ピッチを小さくでき、トランジスタ寸法を小型にすることができた。結果として TFT 基板の高精細化、画素の高開口率化が可能となった。また LCD 工程では各印刷工程での工程能力を把握し維持することが大切である。印刷寸法、印刷精度等を把握してこれを維持管理することで冗長設計寸法を無くすことができ高開口率パネルの高歩留生産が可能になる。このような設計ルール最適化を行ない、製品設計に導入することで、パネルの開口率を 10% 程度向上することができた。

表3 - 2 設計ルール設定での要素パラメーター

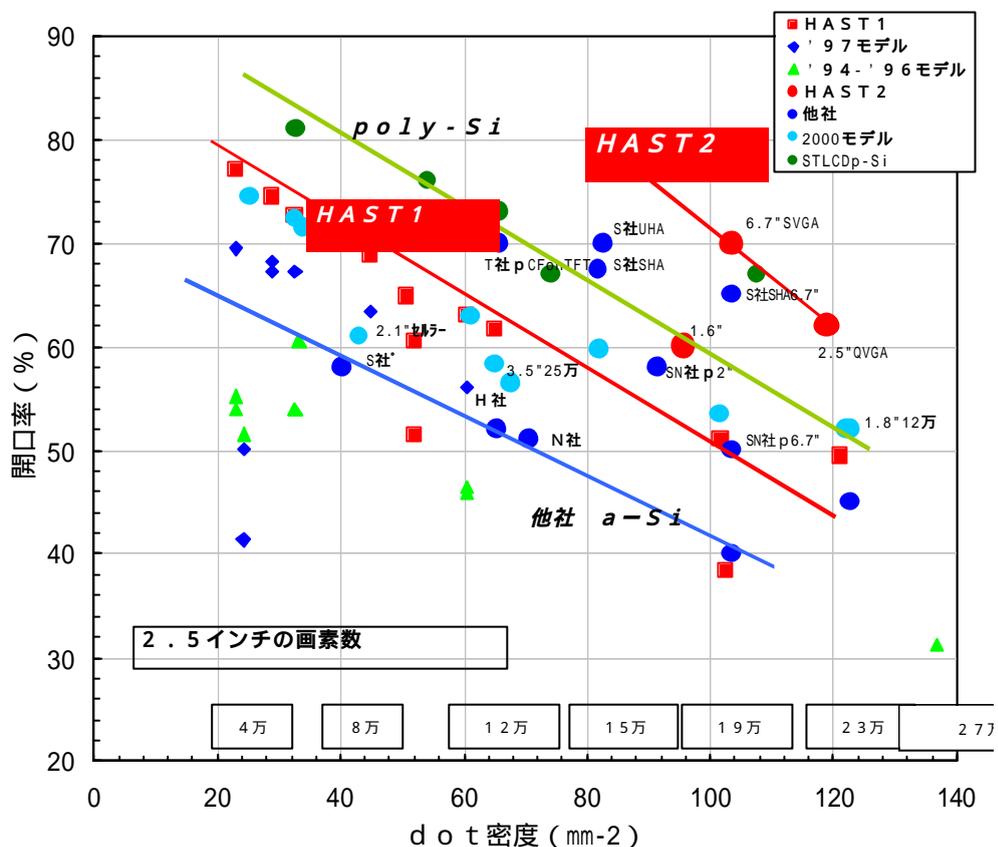
プロセス		項目	設計パラメーター
TFT工程	ゲート配線	膜厚	メタル配線線幅
	ゲート絶縁膜	エッチングレート	メタル配線形状
	半導体層	加工精度	マスク-レジスト寸法差
	画素電極	シート抵抗	レジスト-メタル寸法差
	ドレイン電極	接触抵抗	段差部形状
		欠陥密度	段差部寸法
生産タクト		配線間スペース パターン間スペース パターン形状 チャンネル長 チャンネル幅 ・	
LCD工程	配向膜印刷	膜厚	印刷パターン
	シール印刷	印刷精度	印刷線幅 ・

3 - 2 - 3 まとめ

中小型 TFT-LCD の今後の機種展開においてはパネルの高精細化、高開口率化が重要な技術戦略になる。低温多結晶シリコン TFT という新たな技術が実用化されていく中で筆者らは従来のアモルファスシリコン TFT を進化させた HAST-LCD を開発し実用化した。HAST-LCD は TFT の縦構造の変更は行なわないので新規な設備投資は必要ない。また、これまでのアモルファスシリコン TFT の成熟したプロセスを使用するので安定した高歩留生産が可能である。HAST-LCD 実用化においては、低抵抗配線材料と狭ピッチ COG 接続技術を開発・導入して高精細化を可能にした。そして高プレチルト配向膜を導入することで高開口率にも成功した。これら材料技術、要素技術の開発に成功したからこそ HAST-LCD が実用化されたのはゆるぎない事実ではあるが、最大のポイントは高精細、高開口率パネルを安定して高歩留生産できる設計ルールを確立できたことである。製造ラインの工程能力を徹底的に把握し設計データに反映させ、工程能力を安定維持することが、すなわち設計ルールの確立である。そこには設備技術、プロセス技術、材料技術、設計技術のたゆまない努力と創意工夫があり、そして各技術間の連携が存在している。HAST-LCD はある特定の技術に対する呼称ではなく、これら全ての技術が連携したものの総称である。したがって HAST-LCD は常に進歩している。図 3 - 3 に精細度と開口率のプロット図を示している。HAST 第 1 世代 (HAST1) は最近の低温多結晶シリコン TFT に性能面で追い越されているが、第 2 世代 (HAST2) は低温多結晶シリコンを上回る精細度、開口率を実現できている。しかも生産歩留、生産タクトは従来のアモルファスシリコン TFT と同等かそれ以上

上である。現在は HAST2 以上の精細度、開口率を目標に研究開発を行っている。

図 3-3 画素密度 vs. 開口率



3-3 HAST-LCDの低温多結晶シリコン TFT-LCD に対する優位性

HAST-LCD と低温多結晶シリコン TFT-LCD の性能比較表を表 3-3 に示す。反射 (半透過) 型の性能データは HAST-LCD ではなく通常のアモルファスシリコン TFT-LCD のデータである。コントラスト、消費電力、視野角依存性ではほとんど性能的な差はない。反射型での表示色数、色再現性で若干低温多結晶シリコン TFT-LCD が劣っているが、これはトランジスターの OFF 特性の差によるものである。性能的な差はほとんどないがパネルの生産性、供給量においては現在の所 HAST-LCD が勝っている。正確には低温多結晶シリコン TFT-LCD の生産性、供給量が劣っているといったほうがよいかもしれない。これは低温多結晶シリコン TFT-LCD の製造技術が未熟なことに原因している。アモルファスシリコン TFT では構造・プロセスがほぼ標準化しているのに対し、低温多結晶シリコン TFT では標準的なデバイスプロセスが各研究機関、製造機関でさまざまに分かれている。

表 3- 3 HAST-LCDと低温多結晶シリコンTFT-LCD

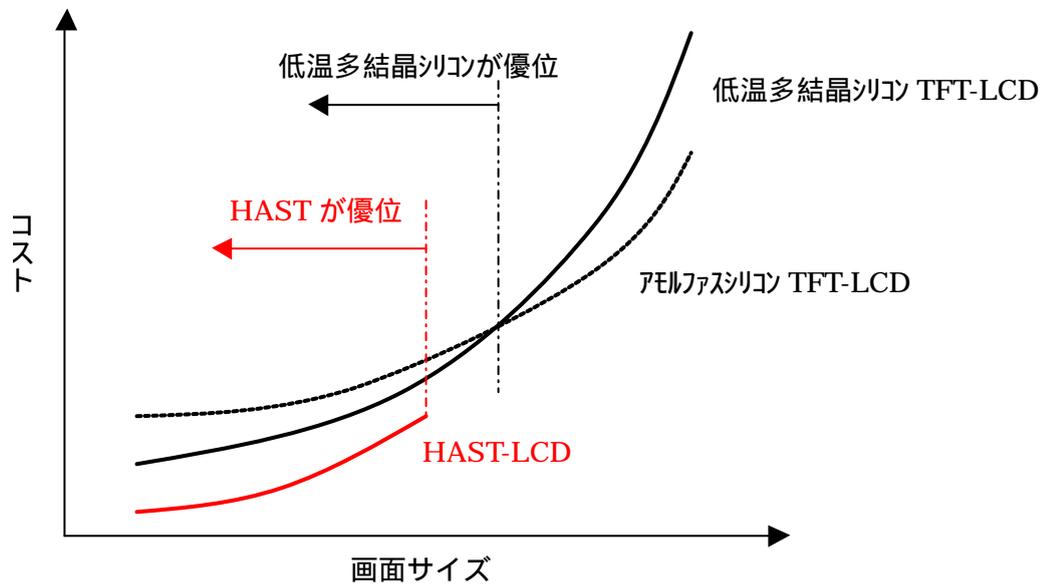
		HAST-LCD		低温多結晶シリコンTFT-LCD	
		透過	反射(半透過)	透過	反射(半透過)
コントラスト		150以上	20	150以上	20
表示色数		フルカラー	26万色	フルカラー	4096色
色再現性		7	3	6.5	3
消費電力	ライトON	300mW	100mW	300mW	100mW
	ライトOFF	-	33mW	-	33mW
視野角					
生産性					
供給量					
コスト		1	1.1	1	1.1

またガラス基板上にいわゆる LSI をモノリシックに集積するという高度性ゆえに、

- ・ドライバーLSI が不用とはいふものの、製造プロセスが複雑でかつ工程数が多い。
- ・製造装置が未熟なため、COO (Cost Of Ownership) が高い。
- ・単結晶シリコン MOSFET 並の素子性能が得られていないので、ドライバーLSI が持っているすべての機能を集積化できているわけではない。

などのデメリットも持っている。そしてこれらのことが生産性と供給量を落とす直接の原因となっている。そしてこの生産性と供給量においてこそ HAST-LCD の優位性が存在する。これまで述べてきたように HAST-LCD では従来のアモルファスシリコン TFT-LCD プロセスをそのまま襲踏している。製造技術は成熟しており使用部材も標準化されている。そのため生産性と供給はまったく問題ない。しかも高歩留で安定生産できる独自の工夫を導入することで低コスト化を実現できている。低温多結晶シリコン TFT-LCD とアモルファスシリコン TFT-LCD のコスト比較では、大型においてはアモルファスシリコンが優位だが中小型においては低温多結晶シリコンのほうが優位であるとするのが一般的である (図 3 - 4)。これはパネルサイズが小さくなればなるほど全体に占める回路部分の面積比が相対的に大きくなり、ドライバーLSI を内蔵するという低温多結晶シリコンのメリットが最大限に活かせるという理由からである。しかしながら内蔵するドライバーLSI の総合的な性能や、ドライバーLSI を内蔵することに原因する歩留低下、プロセス増加による歩留低下や生産タクトの上昇を考慮するとこれらの議論は必ずしも成立しない。さらに HAST-LCD においては、プロセス技術、材料技術、設計技術の最適化を行なうことで非常に高い生産性を実現できている。筆者はこれらの理由により、HAST-LCD はコスト面においても低温多結晶シリコン TFT-LCD を上回っているものとする。

図3 - 4 コスト比較



今後、HAST-LCD は更なる進化の形をとり、低温多結晶シリコン TFT-LCD は製造技術の確立と付加価値の向上へと邁進するものと予想される。中小型 TFT-LCD 分野において、最終的にどちらが標準となるかはまだ不透明であるが、市場の要望を素早く実現していったものが勝者となるのは間違いのないことである。

第4章：中小型用 HAST-LCD の高効率生産技術に関する研究

4 - 1 緒言

HAST-LCD の競争力の源泉は低コストで製品を提供する生産技術のレベルの高さにある。筆者らは HAST-LCD の高効率生産技術を研究する過程で多くの提案を行いこれを実現してきた。高効率生産を実現するには、まず最初にパネル品質に影響を与える重要なパラメータをしっかりと管理する必要があった。筆者らはパネル品質に影響を与えるセルギャップ値と液晶プレチルト角の簡易測定方法を新たに確立しインライン測定に応用した。次ぎに取り組んだのはパネル額縁部の狭額縁化である。額縁部を小さくすることでガラス基板からのパネル取り数を多くすることができ結果的にパネルを低コスト化することが可能となる。また狭額縁化はパネルの軽量・コンパクト化にもつながり、第3章において考察した HAST の技術戦略とも整合していた。筆者らは設計技術と材料技術、そしてプロセス技術の最適化を行ないパネルの狭額縁化に成功した。最後に、HAST は高精細であるがゆえに液晶配向欠陥が発生しやすいという欠点を有している。欠陥の抑制は高歩留生産を実現する上では必須の課題であった。筆者らは配向欠陥の原因を研究し欠陥抑制技術を取り込むことで高歩留安定生産を達成した。

4 - 2 パネルパラメーター測定技術の確立

パネル品質に大きな影響を与えるセルギャップと液晶プレチルト角の簡易測定方法を確立しインライン測定に応用した。インラインで使用できる簡易測定法が存在しなかったため本研究の成果は工業的に大きな意義のあることであった。

4 - 2 - 1 パネルセルギャップ

セルギャップの変動はコントラスト、視野角、特性、色度等の様々なパネル特性に影響を及ぼす。パネルを高歩留で生産するにはセルギャップをインラインで監視して設計値からはずれた場合には素早く工程にフィードバックをかける必要がある。しかしながらこれまで、インラインでの使用に耐える簡便で信頼性のある測定手段が存在しなかった。そこで筆者らはインライン測定を前提にした簡易測定法の研究に着手しその実用化に成功した。平行ニコル下で液晶注入パネルを観察すると、セルギャップの変化に応じて透過光の色合いが微妙に変化することは良く知られた事実である。この性質をうまく利用するのが今回の測定原理である¹⁶⁾。

平行ニコル下で TN 表示モード液晶層を観察すると液晶層の色度変化が観察される(図 4 - 1)。この性質を利用することでセルギャップの測定を行なうことができる。ジョーンズマトリクス表示により TN 表示モード液晶層を透過する光は以下の式であらわされる。

$$\begin{bmatrix} E'_x \\ E'_y \end{bmatrix} = R(-q_2) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} R(-q_2) R(-q_1) R(-f) \begin{bmatrix} a & b \\ -b^* & a^* \end{bmatrix} R(q_1) \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

ここでそれぞれの表記記号は以下のことを示している。

$$\text{入射光} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{液晶} = R(-\mathbf{q}_1)R(-f) \begin{bmatrix} a & b \\ -b^* & a^* \end{bmatrix} R(\mathbf{q}_1)$$

$$\text{検光子} = R(-\mathbf{q}_2) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} R(\mathbf{q}_2)$$

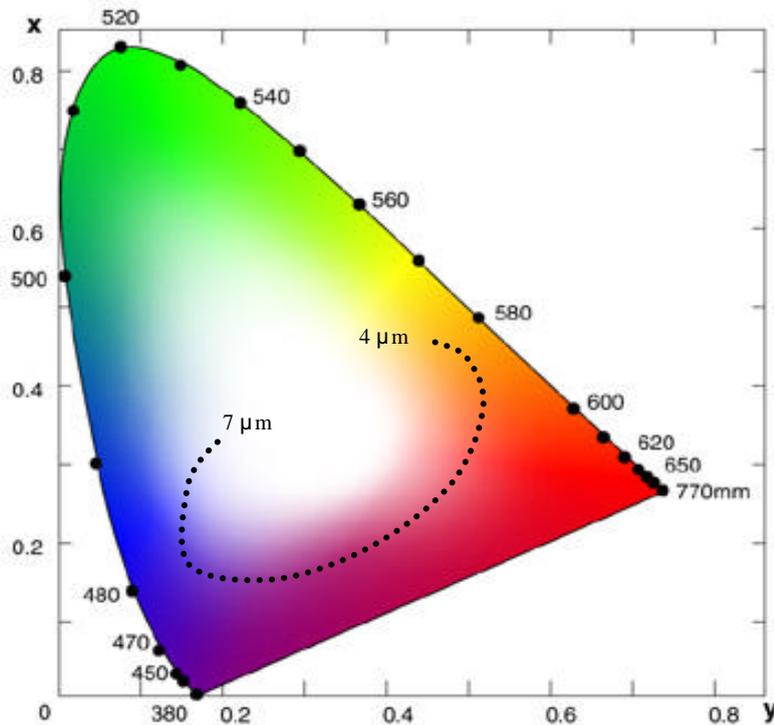
$$R(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} \cos \mathbf{q} & \sin \mathbf{q} \\ -\sin \mathbf{q} & \cos \mathbf{q} \end{bmatrix}$$

$$a = \cos(f\sqrt{1+u^2}) - i \frac{u}{\sqrt{1+u^2}} \sin(f\sqrt{1+u^2})$$

$$b = \frac{1}{\sqrt{1+u^2}} \sin(f\sqrt{1+u^2}) \quad u = \frac{\mathbf{p}}{f} \frac{\Delta n d}{\mathbf{l}}$$

上式中で \mathbf{q}_1 は偏光子側液晶角度、 f は液晶ツイスト角、 \mathbf{q}_2 は検光子角度、 n は液晶複屈折率、 λ は光の波長、そして d はセルギャップである。このマトリクスを解くことで液晶層を透過してくる光の分光強度が計算できる。

図 4 - 1 セルギャップと色度変化



光の分光強度は以下の関係式で色度に変換される。ここで関係式中で使用されている記号は以下の意味を持っている。

$S(\lambda)$: 標準の光の分光分布

$x(\lambda)$ 、 $y(\lambda)$ 、 $z(\lambda)$: XYZ表示系における等色関数

$t(\lambda)$: 分光透過率

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) x(\lambda) t(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) y(\lambda) t(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) z(\lambda) t(\lambda) d\lambda$$

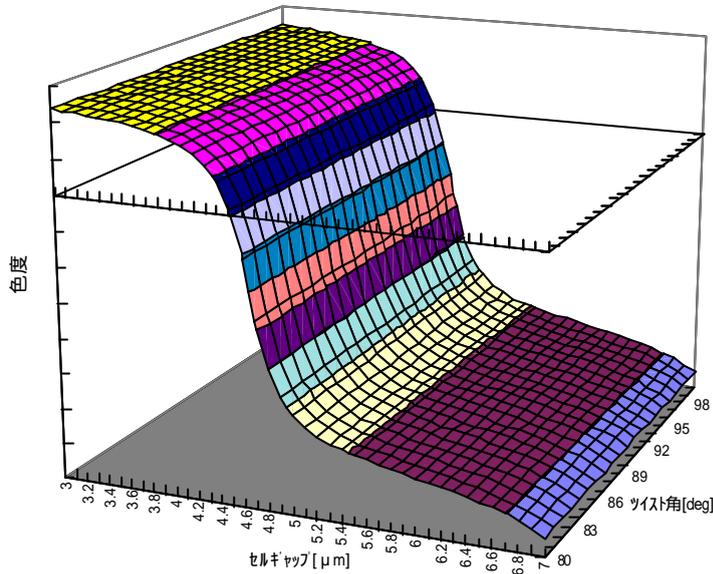
$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) y(\lambda) d\lambda}$$

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

測定データとして得られる色度 x 、 y とジョーンズマトリクス中のセルギャップ d は上式で関係付けられ、色度 x 、 y を測定することでセルギャップ d を計算することができる。平行ニコル下で TN 表示モードを観察したときの計算結果を図 4 - 2 に示すが、実際をよく再現していることを確認した。

図4 - 2 色度-セルギャップ 計算結果



表示ムラとなったパネルのセルギャップ測定を行なうと不具合箇所は周囲部に比較してセルギャップが極端に小さくなっていることがわかった(図4 - 3)。原因を調べ対策を打つことで正常なパネルに戻ることができる(図4 - 4)。

図4 - 3 セルギャップ測定例1

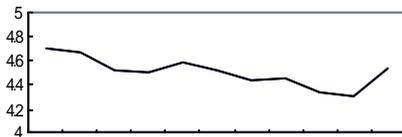
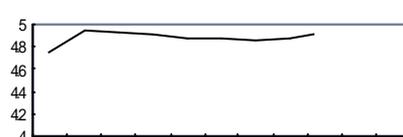


図4 - 4 セルギャップ測定例2

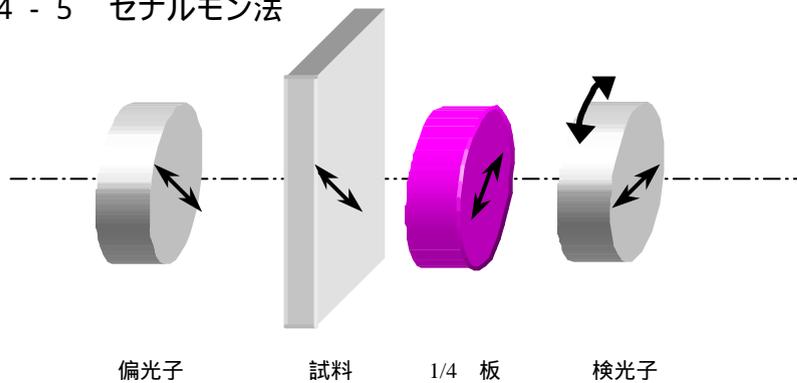


簡易で信頼性の高いセルギャップ測定方法を確立し製造工程での品質管理に応用した。セルギャップはパネル品位を決定する重要なパラメーターであり工程歩留を向上し維持するには必須の技術である。

4 - 2 - 2 液晶プレチルト角

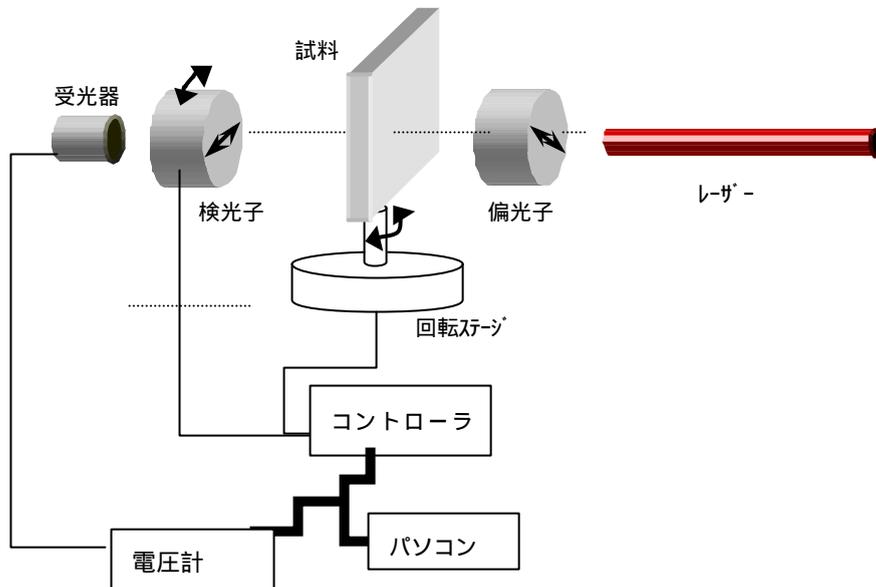
高精細化、高開口率化のためには高プレチルト配向膜の使用が必須であり工程でのプレチルト角の管理が必要となる。これまでプレチルト角はクリスタルローテーション法を使用して測定していた。しかしながらクリスタルローテーション法を使用してチルト角の測定が可能なのはホモジニアス配向した液晶表示モードのみであった。実際のパネルの表示モードであるTN表示モードでチルト角を測定する必要があり、我々はセナルモン法を応用することでTN表示モードの実パネルでのチルト角測定を可能にした。セナルモン法は検光子を回転させてTN表示モード液晶層を透過する光の消光角度を求め、この消光位置から資料のリタデーション値を求める手法である（図4 - 5）。

図4 - 5 セナルモン法



クリスタルローテーション法の測定の簡単さと信頼性、セナルモン法の汎用性といったそれぞれの測定法の利点をうまく取り入れることが今回の測定法研究のポイントであった。リタデーションの変化を見るために1/4波長板を削除して測定システムを組み立てた（図4 - 6）。システムとしてはとても簡単で短時間で正確な測定値が得られることを確認した。

図4 - 6 測定システム



セル角度を変化させてそれぞれのセル角度に対して検光子を回転させて消光位置を測定する（図4-7）。消光位置での検光子回転角度からリタデーション値が計算できる。このリタデーション変化をセル回転角度に対してプロットしその極値のセル回転角を求め、チルト角を求めることができる（図4-8）。

図4-7 消光位置測定

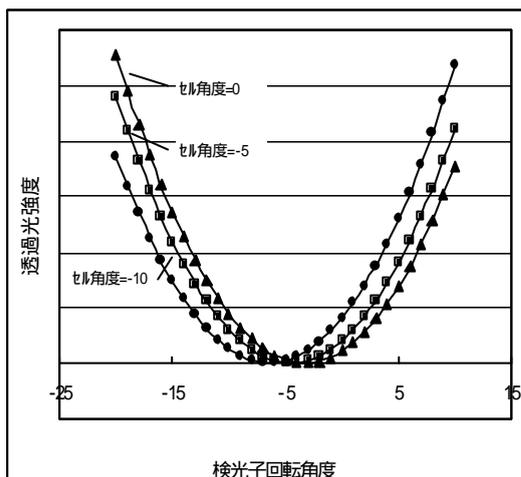
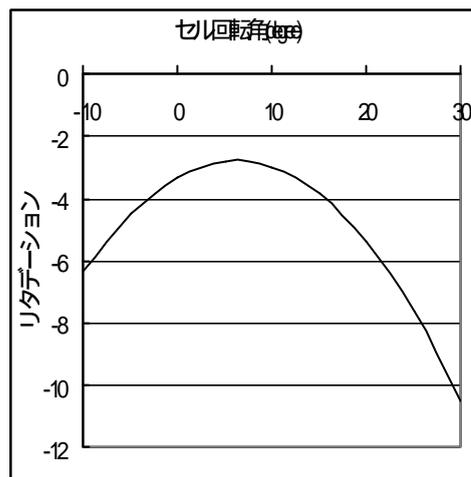
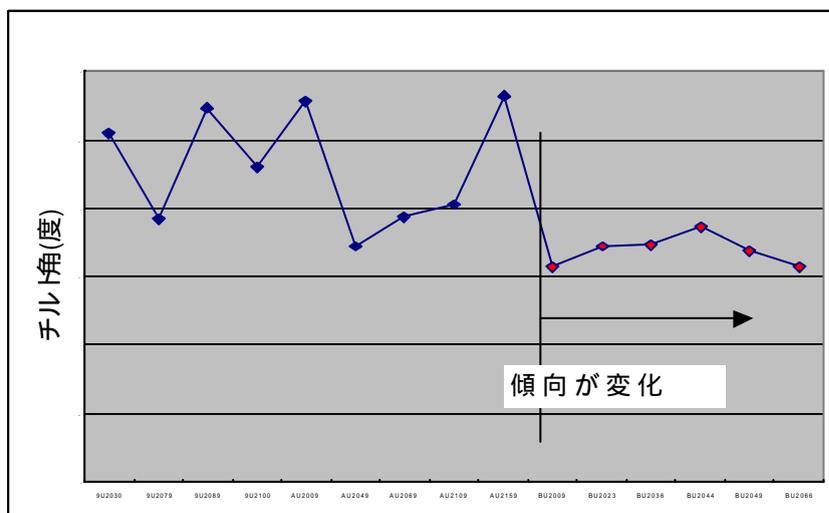


図4-8 リタデーション変化



本研究で開発したシステムは市販の汎用測定システムと同等以上のデータ信頼性を持ちかつ簡易であるためにあらゆる状況での測定が可能である。図4-9は今回開発した測定システムを使用した実際のチルト角インライン測定事例である。この測定事例ではある時点からチルト角の傾向が変化しているのを捉えている。

図4-9 チルト角のインライン測定事例



第3章で述べたようにチルト角が小さくなるとディスクリネーション不良の発生率が高くなることが判っている。そこで原因を調査し対策を実施して正常状態に戻す是正処置を行なった。後の機能検査にてディスクリネーション不良が発生したがすでに是正処置を行なっているので損害を最小限に抑えることができた。このようにインラインでのチルト測定を可能にしたことにより工程の振れによるパネル品質の劣化を未然に防ぎ安定した生産の維持を実現できた。

第3章で述べたようにチルト角が小さくなるとディスクリネーション不良の発生率が高くなることが判っている。そこで原因を調査し対策を実施して正常状態に戻す是正処置を行なった。後の機能検査にてディスクリネーション不良が発生したがすでに是正処置を行なっているので損害を最小限に抑えることができた。このようにインラインでのチルト測定を可能にしたことにより工程の振れによるパネル品質の劣化を未然に防ぎ安定した生産の維持を実現できた。

4 - 3 狭額縁化技術の確立

ビューエリアサイズはそのまま額縁部を縮小することで基板取り数を多くできパネルの低コスト化が可能となる。筆者らはこの狭額縁化技術を研究し高歩留で安定生産できる設計技術と材料技術、そしてプロセス技術を確立した。この研究成果により額縁幅を従来の2.5mmから40%程度短縮し基板取り数を20%向上することができた。また狭額縁化は低コスト化のみでなくパネルの軽量・コンパクト化にも有効でPDA用途や携帯電話用途には非常に有効な技術であり、今回の技術でパネル外形を12%縮小できた(図4-9、図4-10)。

図4 - 9

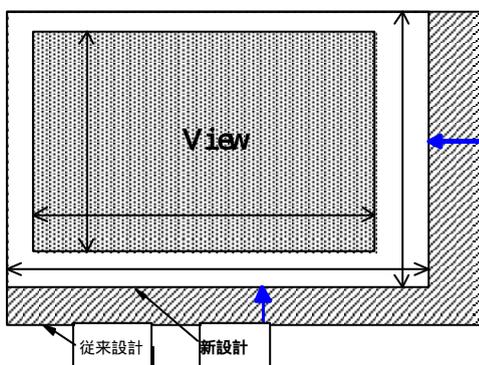
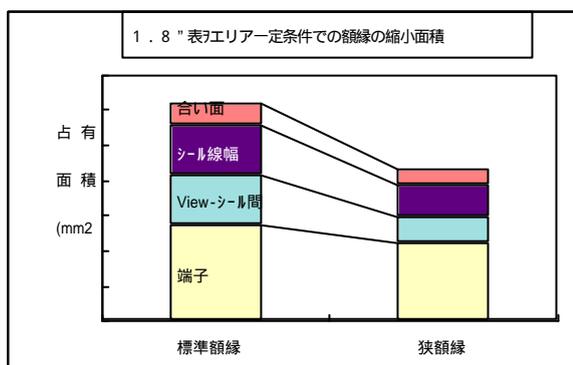


図4 - 10



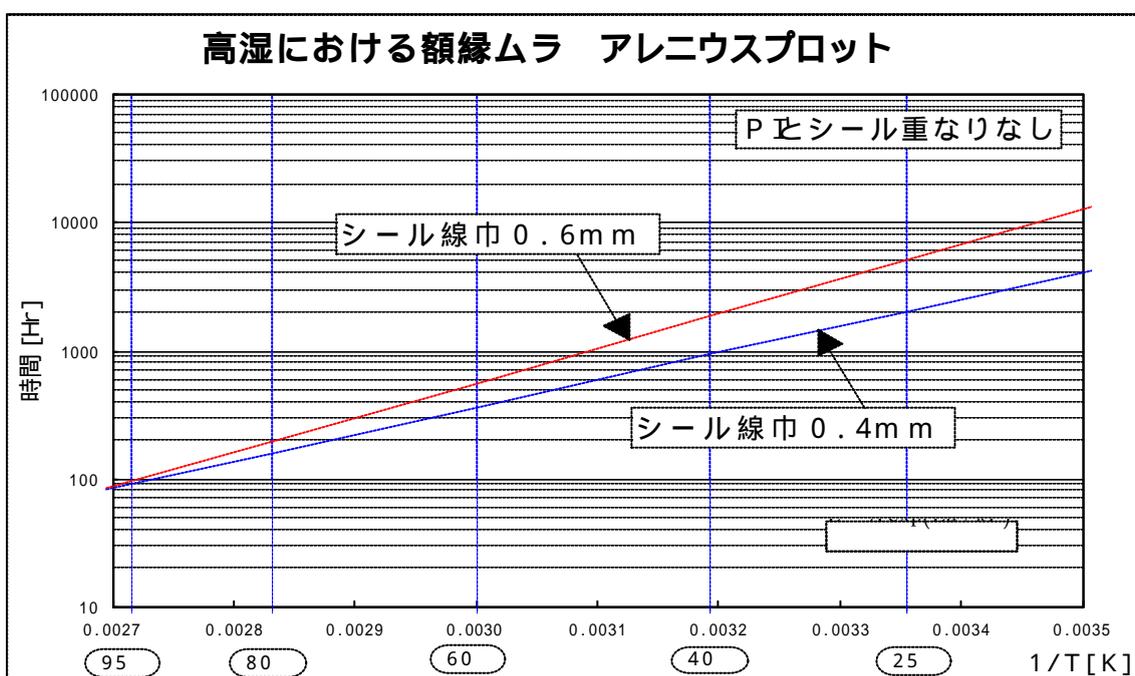
狭額縁化の実現において最も重要であったのは要素プロセス技術の確立であった。要素プロセス技術とは特にシール印刷技術、配向膜印刷技術である。これらの要素技術が確立されてはじめて狭額縁パネルの高歩留安定生産が可能となった。

4 - 3 - 1 シール印刷技術

シール材はTFT基板とCF基板を貼り合わせその隙間に充填された液晶材料を外部から遮断する機能を有する。狭額縁化するにはシール線幅を極力小さくする必要があるが小さくしすぎると密着力不足や表示ムラが発生してしまう。そこでまずシール線幅をどこまで小さくできるかの検討を行なった。密着力に関してはピール強度試験を行なった結果、線

幅が 0.3mm 以上であれば十分な強度が得られることを確認した。表示ムラは高温高湿状況下でシール部から水分が侵入することでパネル周囲部の V-T カーブがシフトすることで発生する。シール線幅を小さくしていったときの V-T カーブのシフト時間が問題であり、仕様を満たす寿命を維持できる線幅を求める必要がある。シール線幅を変化させたパネルを作製し、高温高湿環境試験下で V-T シフトを測定することで寿命試験を行なった。図 4 - 1 1 にその結果を示す。標準パネルの寿命は 50 1000hr であることから線幅が 0.6mm 以上あれば信頼性を維持できると判断した。

図 4 - 1 1



これらの結果よりシール線幅を従来設計に比較して 30%縮小できることが明らかになった。次にシール印刷精度である。印刷精度は配向膜(PI)パターンやシール線幅の設計に関わってくるだけにできるだけ高精度にすることが好ましい。現状の印刷精度を調査し印刷精度に影響を及ぼすプロセスパラメーターを調査した。スキージ印圧、版テンション、版-基板クリアランスが重要なパラメーターであることをつきとめ、それらを最適化することで印刷精度を従来の倍以上に向上することに成功した。

4 - 3 - 2 配向膜印刷精度向上

配向膜エッジ部はパネルビューエリアとシール印刷エリアの間にあるのが好ましい。狭額縁設計ではこの中間エリアの幅が極端に狭くなるため配向膜印刷精度を向上させる必要がある。印刷精度の向上には印刷版の伸び率の適正化と印刷ダレ量の低減で対応した。

伸び率とはPI印刷版を円形の回転ドラムに固定することによる印刷版の伸びにより生じるもので、図4 - 1 2 に示すように実際に印刷された印刷パターンとの間に差があり、これを補正するものである。各種の印刷版を元にパターン寸法と印刷寸法の関係を詳細に調査し最適な伸び率を設定した。このことにより印刷ピッチ精度を従来に比べて 50%程度高くすることができた。次にダレ量であるが、ダレ量とはPI印刷版の凸版エッジが印圧で歪むことで生じるものである。ダレの部分では液晶は均一に配向しないためこの部分を極力無くすことが必要であった。我々は凸版の高さに注目した。凸版の高さを変えてダレ量の大きさを評価した。その結果、凸版が小さい法がダレ量は小さくなることが解った。凸版高さを印刷均一性に影響ない範囲で小さくすることで従来 0.3%程度あったダレ量を 0.1%まで縮小できた。これらにより配向膜印刷精度を大幅に向上することに成功した。

図4 - 1 2

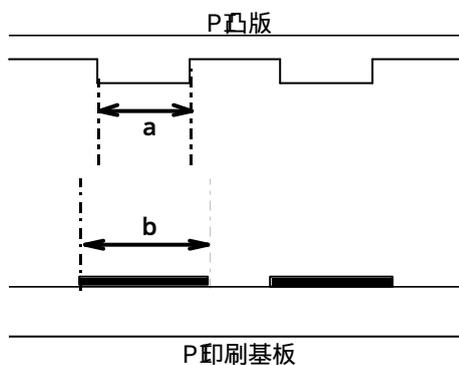
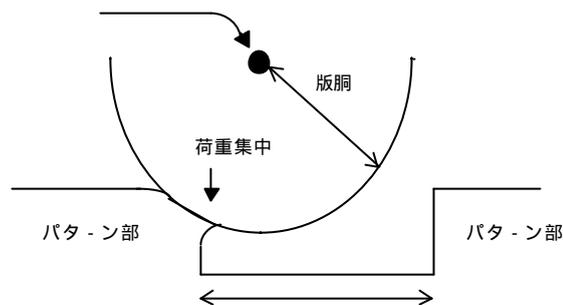


図4 - 1 3



これらの要素技術を確立することで従来 2.5mm であった額縁部を 40%程度縮小でき HAST1 の標準設計となっている。そして狭額縁化することで基板取り数のアップ、パネルの軽量コンパクト化が実現できている。現在は更に進んでの狭額縁化に取り組んでおり額縁部を更に 30%程度縮小する予定で HAST2 の標準設計に採用する予定である。

4 - 4 配向安定化技術の確立

HAST - LCD を生産する上で高精細であるがゆえの欠陥が発生するようになった。それが液晶配向欠陥である（図4 - 1 4）。筆者らはこの配向欠陥の欠陥モードと発生原因を調査し発生抑制技術を研究することで、配向欠陥の発生を抑え高歩留安定生産を実現した¹⁷⁾。まずこの欠陥の特徴から述べる。この配向欠陥は画素全体に発生しパネル内の任意の画素にランダムに発生する。またパネルを押すとか画素に電界を印加するとかの刺激を与えると消失することがある。そこでこの配向欠陥を様々な角度から調査した結果、この欠陥は液晶のツイスト方向が正常方向とは逆方向にツイストしたりバースツイストドメインであることがわかった。更に調査を進めリバースツイストの原因がカラーフィルターに有り、カラーフィルターの表面粗さに大きく相関があることを見出した。

図 4 - 1 4 配向欠陥

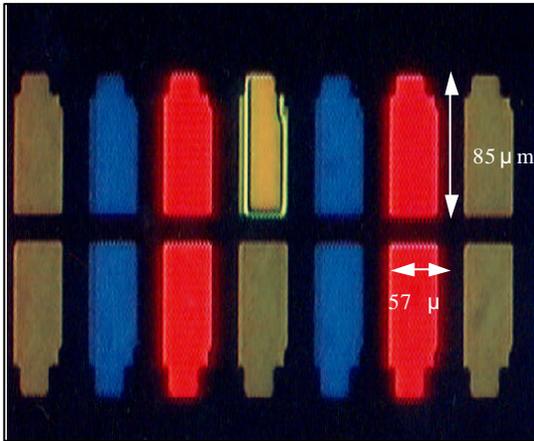


図 4 - 1 5 CF表面AFM像

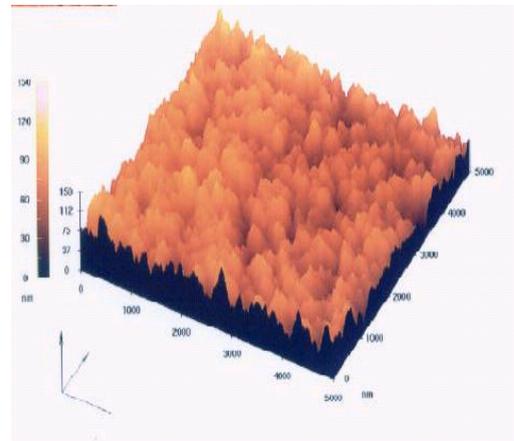


図 4 - 1 5 は配向欠陥の発生したパネルのカラーフィルター表面の AFM 像である。断面曲面の十点平均値で表す表面粗さは 55.1nm と非常に大きいことがわかった。各種カラーフィルターを観察するとカラーフィルターの種類の違いで大きく表面粗さが異なっており（図 4 - 1 6）、表面粗さが小さいほど配向欠陥発生率が小さくなることを見出した（図 4 - 1 7）。

図 4 - 1 6 各種 CF 表面の AFM 像

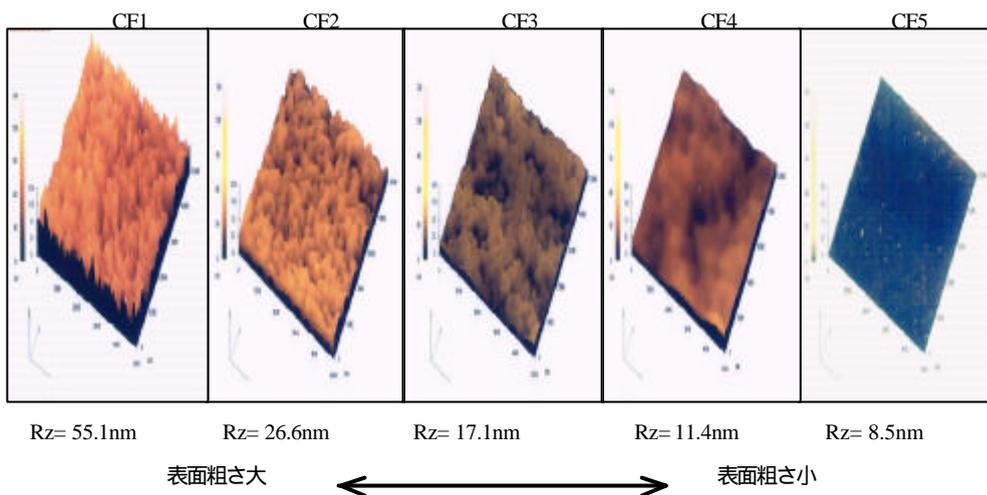
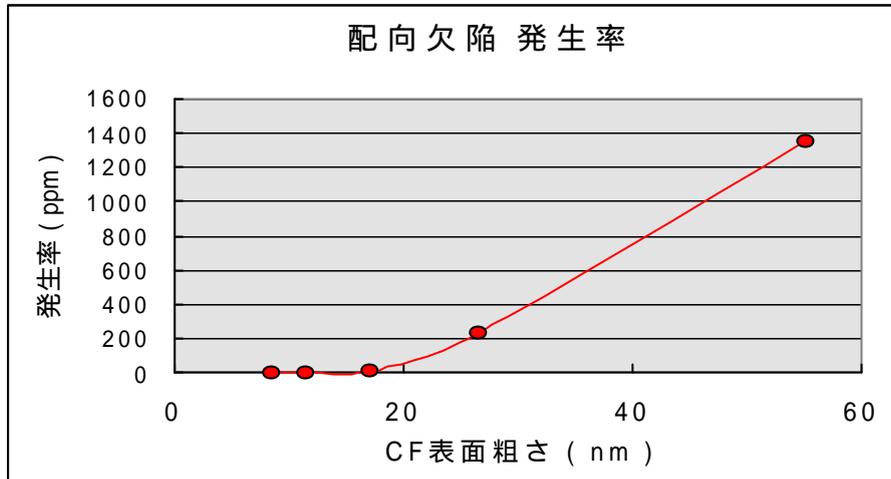
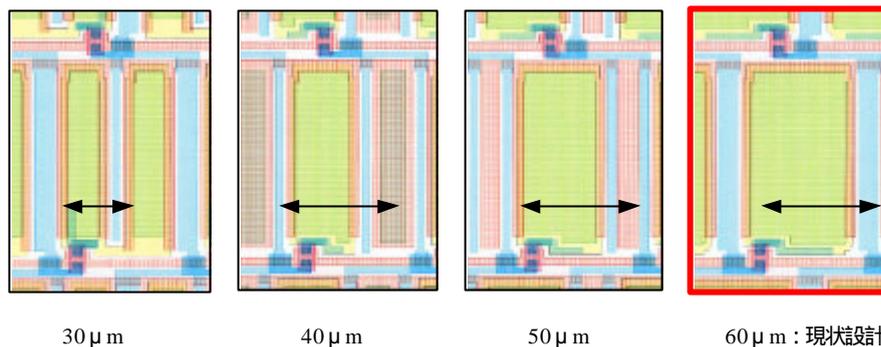


図4 - 17



CF表面粗さを小さく抑えることで配向欠陥の発生を抑えることができる。更にプロセス面ではアイソトロピック処理とラビング条件の最適化で配向欠陥の発生をほぼゼロにすることができた。これら材料面、プロセス面からの対策を同時に行なうことで配向欠陥の発生しない安定な生産ラインを維持することができる。現状のHASTの画素設計はソースバスラインピッチが $60\mu\text{m}$ 程度である。今後更に高精細化する予定でありバスラインピッチは現状の半分程度の設計も視野に入っている(図4 - 18)。

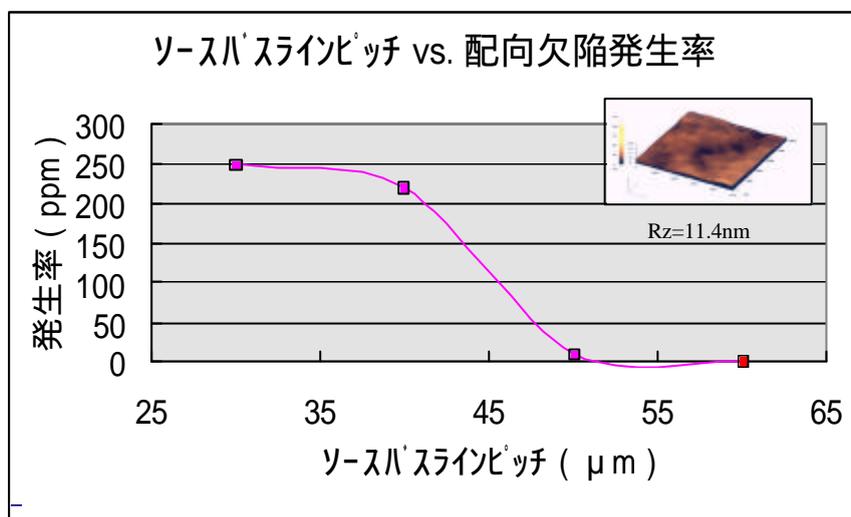
図4 - 18



このように画素ピッチが小さくなるとカラーフィルター表面を平坦化しても配向欠陥が発生してしまい(図4 - 19)プロセス面からの対策を実施しても発生をゼロに抑えることはできない。液晶プレチルト角を高くするとある程度発生を抑えられるが配向ムラが発生しやすくなり歩留低下の原因となる。このような場合はTFT画素設計レベルでの対策が必要になる。配向欠陥の境界であるディスクリネーションラインはTFT基板側の配線パター

ン部で固定されている。配線パターンの形状を工夫することで欠陥の発生を抑制する。

図 4 - 1 9



高精細に伴う配向欠陥はリバースツイストドメインであった。この配向欠陥はカラーフィルター表面を平坦化することやプロセス条件の最適化で発生を抑えることができる。また更なる高精細には設計面からの対策で対応している。このような配向安定化技術の確立を確立し高歩留生産を実現した。

4 - 5 まとめ

HAST-LCD の高効率生産技術に関する研究において、パネル品質に影響を与えるセルギャップと液晶チルト角の新たな測定方法を提案しこれを可能にした。この測定法は従来に比べて簡易でありインライン測定が可能である。工程で品質を常に監視することで工程の振れを無くしてパネル品質を安定維持することができる。次にパネル額縁部を狭額縁化する研究を行った。狭額縁化を実現する上では設計技術、材料技術、プロセス技術といった各要素技術を最適化する必要があったが、その中でも LCD 工程のプロセス技術が重要であった。LCD プロセス技術の最適化を行なうことで狭額縁化に成功した。狭額縁化することでパネルの低コスト化だけでなく軽量・コンパクト化することができ HAST-LCD の製品競争力をより一層高めることができた。更に、高精細である HAST-LCD に特有に発生する液晶配向欠陥の発生メカニズムを研究し対策を打つことで工程歩留向上に成功した。このような、HAST-LCD の高効率生産技術に関する多くの研究を行ない新たな提案を実用化することで高歩留安定生産を実現できた。現在、1.8 型 HAST-LCD でのモジュール工程までの歩留が 95%以上と非常に高い生産性を維持できている。

第5章：HASTによる中小型 TFT-LCD 業界シェア No.1 へのシナリオの研究

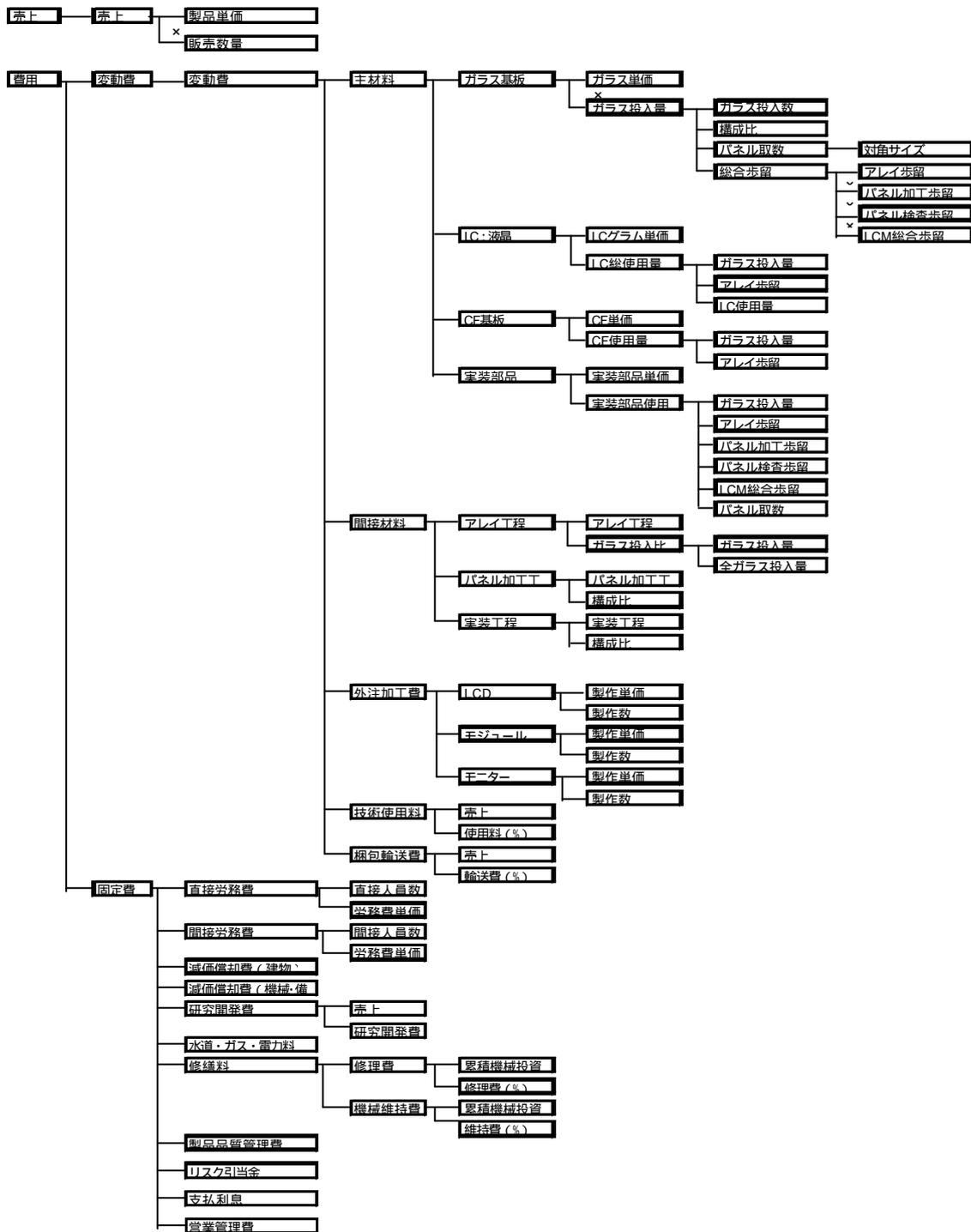
5 - 1 緒言

LCDのような設備産業では、設備操業率を極大にすることによるコストメリットを活かすためにも、ある一定割合以上の市場シェアを握ることが重要である。本章では本研究の研究成果である、中小型用高性能アモルファスシリコン TFT-LCD (HAST-LCD) と、高効率生産技術を使用して、どのようにシェアアップを図り収益を獲得していくのかについて研究した。HAST-LCD は性能面、品質面で他のアモルファスシリコン TFT-LCD を凌駕しており、コスト面では低温多結晶シリコン TFT-LCD に勝っている。市場での競争力は十分あり、作れば売れるという事実から、市場シェアアップ研究とは即ち投資収益性研究であると考えた。将来の市場拡大を睨んでどの程度の設備投資を実行し、どの程度の収益を見込むのか。そしてそのためにはどのような施策をこうじなければならないかを分析・考察した。分析のツールとして日本インテグレート株式会社製の財務解析ソフト「*Dr. Plan for DDP* マスター」を使用した。このソフトはビジネスモデルと事業化に至るマイルストーンを設定することで、その後のキャッシュフローをシミュレーションすることができる。本章の研究において、まず TFT-LCD メーカーのビジネス構造解析を行ない、続いて市場シェアアップのためのビジネスモデルと事業化マイルストーンを提案した。その後キャッシュフロー結果を検討して収益拡大のための施策を考察し、実現可能な経営施策を導き出した。本研究結果より、設備投資におけるライン世代選択の重要性、設備投資後の収益向上施策の重要性が明確になるとともに、台湾等で近年急速に成長しているファウンダリー事業の強さの源泉が明確になった。

5 - 2 ビジネス構造解析

利益に影響を与える項目を明確にして、各項目の関連を判りやすくするために TFT-LCD 製造・販売ビジネスの構造解析を行なった（図 5 - 1）。問題となるのは費用構成の解析であるが費用は大きく変動費と固定費に分かれる。変動費には TFT-LCD を作製するための直接材料費と間接材料費、外注加工費、技術使用料、梱包・輸送費が含まれる。直接材料費とは LCD を構成するガラス基板材料費、CF 基板材料費、液晶材料費などであり、間接材料費とはメタル配線を成膜するための成膜ガス材料費などである。外注加工費は LCD 加工を協力企業に依頼するための加工費用である。技術使用料は特許を使用するためのライセンス使用料で売上の数%は見込まなければならない時がある。梱包・輸送費は製品を輸送するのに要する費用である。これら変動費用は生産数量、つまり売上が上昇するとそれに比例して増加する費用である。生産数量に依存しない費用として固定費がある。固定費としては直接・間接労務費、建物・設備の減価償却費、研究開発費、光熱水費、修繕費・維持費、製品品質管理費、リスク引当金、借入金の支払利息、営業管理費などが含まれる。TFT-LCD では単一製品だけではなく多くの製品を生産するのが普通である。一つの製品に対して一つの売上と変動費が対応することになる。TFT-LCD パネルの原価構成としては

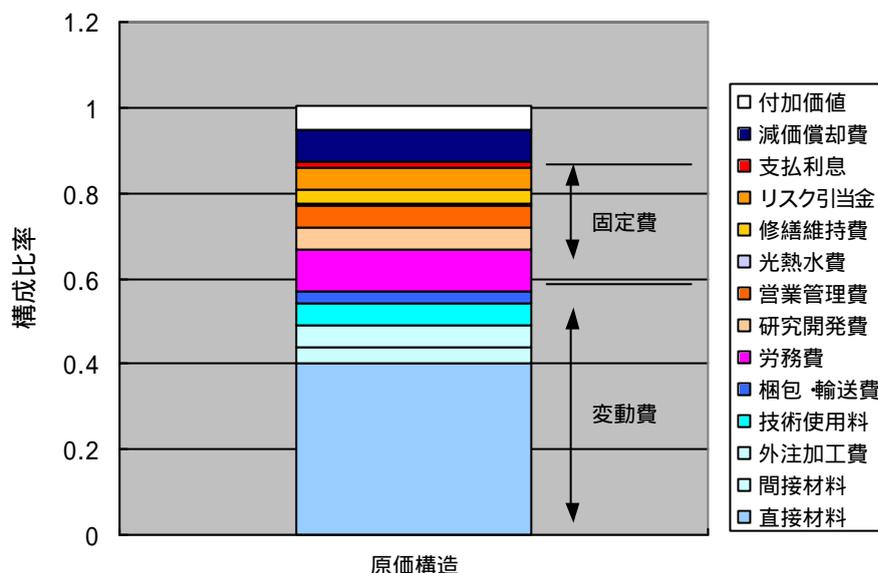
図 5 - 1 TFT-LCD ビジネス構造解析



この変動費が大きな割合を占めていることが特徴である（図5 - 2）。そして変動費は生産数以外に製品歩留に大きく依存して変動する。製品歩留とは製品良品率のことで TFT-LCD の場合、製品歩留は 60%程度から 95%程度まで大きく変動することがある。製品歩留が高

ければそれだけ部材コストが減少して変動費は小さくなる。また LCD 産業は設備産業であるために、一般的な初期設備投資額が 100 億円以上と非常に大きく、その後の減価償却費が大きいことも特徴と言える。

図 5- 2 TFT-LCD 原価構造



5 - 3 中小型 TFT-LCD 市場での業界 No.1 へのシナリオ研究

5 - 3 - 1 初期設定モデルの想定

中小型 TFT-LCD の市場規模は 2002 時点で 4000 億円程度になるものと予想される。市場シェアを 25%程度握れば業界で首位に立ち製品仕様、製品価格の決定等で有利な展開が可能となる。そこで TFT-LCD ビジネスを拡大するための経営目標を以下のように設定した。

- ・ 業界市場シェア：25% (生産金額：1000 億円 / 年)
- ・ 売上高利益率：10% (税引前利益：100 億円 / 年)
- ・ 設備投資額：1000 億円
- ・ 投資回収期間：5 年

市場シェアを握るには相当分の LCD を生産しなければならずその為には設備投資が必要である。年間 1000 億円生産するラインへの投資額は建物・設備合計で 1000 億円であると想定した。500 億円は社内調達するとして残りの 500 億円は銀行からの借入とする。借入金利は 3%程度を見込んでいる。1000 億円の内訳は建物に 300 億円の投資で 20 年の定率償却、設備に 700 億円の投資で 6 年の定率償却とした。生産工場を稼働させるための直接人員数は 1000 人で労務費は 600 万円 / 年・人、間接人員数は 500 人で労務費は 700 万円 / 年・人とした。また生産工場設立までのマイルストーンや経営データを以下のように設定した (表 5 - 1、表 5 - 2)。

表 5- 1 TFT-LCD新工場稼働マイルストーン計画

No.	マイルストーン	開始年月	期間(月)	実施コスト	設備投資額
1	事業採算性分析	2000/01	6	¥6,000,000	-
2	用地選定(国内・国外)	2000/03	3	¥3,000,000	-
3	建設計画策定	2000/04	6	¥6,000,000	-
4	製造ライン等検討	2000/05	7	¥20,000,000	-
5	工場建設	2000/09	9	¥10,000,000	¥100,000,000,000
6	新工場での試作	2001/05	6	¥100,000,000	-
7	新工場の本格稼働	2002/01	-	-	-

2000年からスタートして、立上げの6ヶ月を含めて準備期間は2年間である。立上げ期間の生産量はフル生産時の30%と設定する。本格稼働は2002年1月である。生産パネルは第2章で考察した戦略パネルである1.8型デジタルカメラ用、2.0型携帯電話用、3.5型PDA/ゲーム用である。本格稼働直後から設定歩留を達成できるものと想定する。

表 5- 2 生産パネル 及び 設定歩留

生産パネル

対角寸法	生産形態	用途	製品価格	生産割合
1.8型	モニター	デジタルカメラ	2000円	30%
2.0型	モニター	携帯電話	5000円	40%
3.5型	モジュール	PDA・ゲーム	7000円	30%

設定歩留

	1.8型	2.0型	3.5型
最終歩留	83%	77%	68%

直接材料費、間接材料費等の材料費に関しては市場での実勢価格を設定した。技術使用料、研究開発費、営業管理費、リスク引当金は売上の5%相当額、品質管理費は売上の3%相当額を設定した。ライン能力は世代によって異なるので表5-3のように設定した。

表 5- 3 1000億円設備投資時のライン能力

ライン世代	基板サイズ	ライン当り投入能力	ライン本数	ライン能力
第1期ライン	320mm×400mm	500 sheet/day	4	2000 sheet/day
第2期ライン	370mm×470mm	500 sheet/day	3	1500 sheet/day
第3期ライン	550mm×650mm	500 sheet/day	2	1000 sheet/day

稼働日数：350日/年

表5-2の値をもとにすると、年間1000億円の生産は第1世代ライン、第2世代ラインは100%のフル稼働で達成でき、第3世代ラインは80%の稼働で達成できる。

5 - 3 - 2 初期設定モデルにおける事業展開の考察

前節の設定モデルによる計算結果を以下に示す（表5 - 4）。

表5 - 4 本格稼働後1年目の財務解析結果

	1期ライン	2期ライン	3期ライン
売上合計	¥100,000,005,000	¥100,000,005,000	¥125,000,008,000
費用合計（減価償却含む）	¥98,080,671,399	¥98,345,110,841	¥112,742,118,989
資産合計	¥16,461,000,000	¥16,461,000,000	¥16,461,000,000
税引前利益	¥1,919,333,601	¥1,654,894,159	¥12,257,889,011
投資回収期間（PBP）	75.7年	87.5年	14.4年

3期ラインではライン能力に余裕があるため売上合計を多くでき稼働後の税引前利益122.6億円と、1期ライン、2期ラインを大きく引き離している。投資回収期間も14.4年で、目標の5年は達成できないものの1期ライン、2期ラインに比較すると圧倒的に早い。これらの結果より、同じ投資をするなら大型基板サイズの3期ラインに投資したほうが有利であることがわかる。2期ラインは中途半端なサイズであるためか、逆に部材コストが上昇し税引前利益は1期ラインに比較して減少している。製品価格は年々減少していくのが一般的であるが、ここで製品価格の年2%の減少を仮定してみる。結果を表5 - 5に示す。

表5 - 5 年2%の製品価格減少時の財務解析結果

	1期ライン	2期ライン	3期ライン
売上合計	¥96,000,004,800	¥96,000,004,800	¥120,000,007,680
費用合計（減価償却含む）	¥98,080,671,399	¥98,345,110,841	¥112,742,118,989
資産合計	¥16,461,000,000	¥16,461,000,000	¥16,461,000,000
税引前利益	¥-2,080,666,599	¥-2,345,106,041	¥7,257,888,691
投資回収期間（PBP）	回収不能	回収不能	回収不能

注）財務データは本格稼働後3年目のもの

製品価格の減少を仮定すると1期ライン、2期ラインでは稼働後2年目より赤字となり、3期ラインでも稼働後5年目で赤字となる。投資回収は不可能となり事業が行詰る結果となる。これはかなり具合の悪い結果であるが、利益に影響を及ぼす原価要素を解析してみると、製品歩留（特にLCM総合歩留）と変動費が大きく利益に影響を与えることが判った。さらに生産数量が増加すると利益が増加していくのは明白なので、これらの改善計画を立案して財務解析に盛り込むことを試みた。

5 - 3 - 3 事業改善計画の提案

まずパネル歩留であるが、第4章で言及したように、歩留は各要素プロセスのたゆまない改善の結果、時間とともに必ず上昇していくものである。そこで歩留改善計画を以下のように設定した（表5 - 6）。稼働後4年後に、1.8型の総合歩留を9ポイント上昇させて94%に、2.0型の総合歩留を14ポイント上昇させて91%に、3.5型の総合歩留を22ポイント上昇させて90%に設定した。この数値は歩留上昇の経験曲線に則った数値であり、十分実現可能な数値であるが、実現するには第4章で述べたような要素技術の最適化と維持管

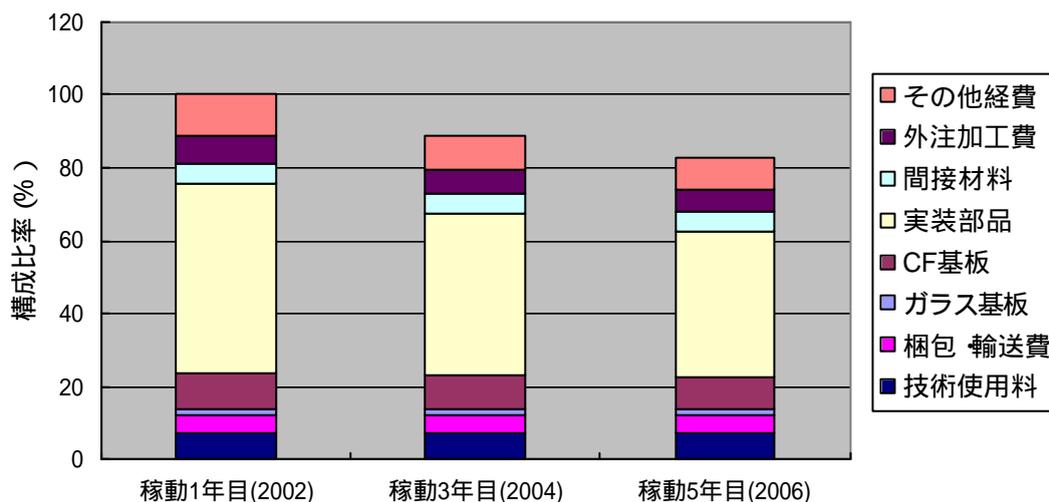
理が必要である。

表 5- 6 歩留向上計画

対角寸法	歩留	稼動1年後(2002)	稼動3年後(2004)	稼動5年後(2006)
1.8型	総合歩留	83%	90%	94%
2.0型	総合歩留	77%	86%	91%
3.5型	総合歩留	68%	80%	90%

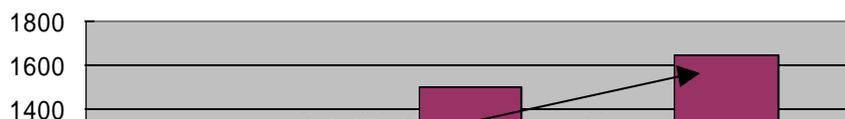
次ぎに経費のコストダウンであるが、コストの大半を占める変動費にコストダウンを設定する(図5-3)。ガラス基板、間接材料といったコストダウンの困難な材料費には年1%のコストダウンを設定する。現在高価であるCF基板には年2%、実装部品、外注加工費、その他経費といったコストダウンの余地の大きな経費には年5%のコストダウンを設定する。梱包・輸送費、技術使用料は一定とする。

図 5- 3 変動費コストダウン計画



このような変動費コストダウンを実行することで5年後には変動費全体の20%程度を削減することができる。次ぎに増産計画であるが稼動後3年間で、ラインの生産タクト時間の短縮と設備稼働率の向上を行ない20%の増産を行なう。稼動後3年後に200億円の追加設備投資を行ない更に20%の増産を行なう。設備投資による増産後も更なる生産タクト時間の短縮と設備稼働率の向上を行なうことでその後の3年間で更に10%の増産を行なう(図5-4)。これによって2002年の稼動1年目に比較して6年後の2008年には65%の増産が達成できる。

図 5- 4 TFT-LCD 増産計画



以上の歩留向上計画、変動費コストダウン計画、増産計画を考慮して、第3期ラインにてキャッシュフローを検討してみると各計画を盛り込むごとにキャッシュフローは改善され、最終的には投資回収期間が5.1年とほぼ目標値をクリアできることがわかった(表5-7)。

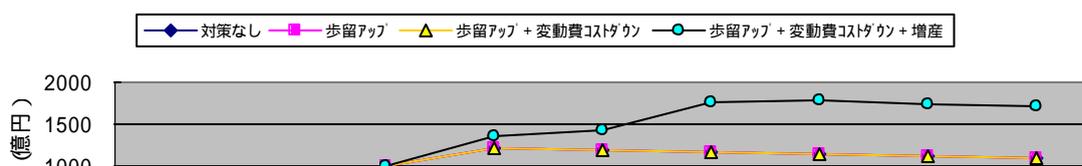
表5-7 各対策実施後の財務解析結果(第3期ライン)

事業改善施策	対策なし	歩留向上	歩留向上 変動費コストダウン	歩留向上 変動費コストダウン 増産
売上合計	¥120,000,007,680	¥120,000,007,680	¥120,000,007,680	¥144,000,010,560
費用合計(減価償却含)	¥112,742,118,989	¥103,542,956,939	¥97,763,096,427	¥109,828,982,861
資産合計	¥16,461,000,000	¥16,461,000,000	¥16,461,000,000	¥16,461,000,000
税引前利益	¥7,257,888,691	¥16,457,050,741	¥22,236,911,253	¥34,171,027,699
投資回収期間(PBP)	回収不能	回収不能	8.8年	5.1年

注) 財務データは本格稼働後3年目のもの

各対策を想定した場合の、売上高推移(図5-5)、減価償却を含む経費推移(図5-6)、税引前利益推移(図5-7)、累積キャッシュフロー推移(図5-8)を次項に示す。売上高は増産による効果で上昇し、経費は歩留まりの向上で減少し更に変動費のコストダウンによって減少する。この増産による売上高の上昇と変動費のコストダウンによる経費減少の両方の効果で、税引き前利益は大きく増加する結果となる。税引前利益が増加することでネットキャッシュフローが向上し、投資の回収を意味する累計キャッシュフローの黒字化が早期に達成される。このように、TFT-LCD産業で安定な事業を継続していくには、設備投資時の早期立上げはもちろんであるが、それ以上に歩留改善や変動費コストダウンによる経費削減と増産による売上高の増加が重要である。

図5-5 売上高推移(第3期ライン)



5 - 3 - 4 ファウンダリー事業の強さの源泉

中小型 TFT-LCD での業界 No.1 への最後のシナリオとして、受託生産事業への展開について考察する。受託生産事業（ファウンダリー事業）は、汎用メモリー等の半導体産業においては台湾企業を中心に大きく発展しつつある。半導体産業と液晶産業はともに設備産業であり、液晶産業でのファウンダリー事業の可能性を検討するのは意味のあることである。ファウンダリー事業は、生産委託企業に製品を出荷するために製品単価はある程度減少するが、営業部門や研究開発部門を持たないために多くの固定費を削減できるメリットがある。そこで通常事業とファウンダリー事業の製品単価と経費構成を以下のように設定した（表 5 - 8）。

表 5- 8 通常事業とファウンダリー事業の経営条件の違い

分野	項目	通常事業	ファウンダリー事業
製品単価	1.8型	2000円	1800円
	2.0型	5000円	4500円
	3.5型	7000円	6300円
固定費	営業管理費	売上の5%	売上の0%
	研究開発費	売上の5%	売上の1%
	品質管理費	売上の3%	売上の1%
	間接人員	500人	200人
	技術使用料	売上の5%	売上の2%
	リスク引当金	売上の5%	売上の2%

事業を運営していくその他の条件（生産高、歩留向上、変動費コストダウン、増産等）は全て同じとして両者の経営指標を比較してみると明らかな違いが確認された（表 5 - 9）。

表 5- 9 ファウンダリー事業の財務解析結果（第3期ライン）

	通常事業	ファウンダリー事業
売上合計	¥144,000,010,560	¥129,600,009,504
費用合計（減価償却含）	¥109,828,982,861	¥96,861,757,561
資産合計	¥16,461,000,000	¥16,461,000,000
税引前利益	¥34,171,027,699	¥32,738,251,943
投資回収期間（PBP）	5.1年	3.7年
売上高利益率	23.7%	25.3%

注）財務データは本格稼働後3年目のもの

ファウンダリー事業は通常事業に比べて製品単価が低いために売上高そのものは減少している。しかしながら固定費の減少で費用合計は低く抑えられ、結果として売上高利益率は通常事業を上回っている。さらに注目すべきは投資回収期間の短さで通常事業の 5.1 年に対して 1.4 年も短い 3.7 年である。このように、低い固定費による身軽な経営がファウンダリー事業の強さの源泉である。営業や研究開発に関わらない分製造に専念し、高い生産性を維持しながら投資を早期に回収し、得た利益を次ぎの投資に注ぎ込むことができる。この

ようにファウンダリー事業は、中小型 TFT-LCD 業界 No.1 を目指すシナリオとして優れたビジネスモデルであるが、生産を受託してくれる良きパートナーを得ることが成功の必須条件である。

5 - 4 ま と め

中小型用高性能アモルファスシリコン TFT-LCD である HAST-LCD と高効率生産技術を使用して、中小型 TFT-LCD 業界で No.1 の市場シェアと収益を得るシナリオを研究した。2002 年の市場規模は 4000 億円程度であることを考え市場シェアの 25%である 1000 億円の生産を行なう。その為に 1000 億円の設備投資を 2000 年 1 月に行ない、2 年間の準備期間の後 2002 年 1 月より本格稼働を行なう必要がある。売上高利益率 10%、投資回収期間は 5 年を目標とする。まず対象とするライン世代であるが、第 3 期ライン(基板サイズ 550mm × 650mm)を選択する。第 1 期ライン(基板サイズ 320mm × 400mm)や第 2 期ライン(基板サイズ 370mm × 470mm)は生産効率が劣り、十分なコストメリットが出せないのがその理由である。3 期ラインでの本格稼働後、歩留向上対策、変動費コストダウン対策、そして増産を行なう必要がある。歩留向上は本格稼働後 4 年の 2006 年に 1.8 型総合歩留を 94%、2.0 型総合歩留を 91%、3.5 型総合歩留を 90%まで持っていく。変動費コストダウンは直接材料費を中心にコストダウンを進め 2006 年に約 20%のコストダウンを行なう。増産計画では生産タクト時間の短縮と設備稼働率の向上で 2002 からの 3 年間で 20%の増産を行ない、3 年後の 2005 年に 200 億円の追加投資を行い、さらに 20%の増産を行う。その後も増産を進めて 2008 年には 1600 億円の生産を達成する。このようなシナリオで中小型 TFT-LCD 市場シェアの 25%を確保し、売上高利益率も 10%以上を達成できる。初期投資額 1000 億円の回収期間は 5.1 年で 2006 年には回収が終了する。さらにファウンダリー事業を展開することで固定費を低く抑えて売上高利益率を向上させ投資回収期間を短縮することができる。

第6章 結論

情報化社会、ネット社会の到来とともにフラットパネルディスプレイ市場は、その用途を広げながら更なる拡大基調にある。その中でも中小型 TFT-LCD 市場は安定的な成長が見こまれる有望な市場である。本論文はこの中小型 TFT-LCD 市場で事業を展開していくうえで必要な技術戦略と、その技術戦略を実現していくための具体的な技術の研究成果と、事業展開に関する研究成果をまとめたものである。本研究の結果、得られた結果はそれぞれ各章のまとめの項で説明してあるが、以下に本研究で得られた主な成果を要約して述べる。

- (1) 中小型 TFT-LCD 市場で今後成長性が著しいのはデジタルカメラ用途、ゲーム用途、PDA 用途と携帯電話用途である。これらの用途での要求性能は、高画質・高精細、操作性の容易化、低コスト、低消費電力、軽量・コンパクトの5つである。これらの要求性能を具体的な技術戦略に展開し、中小型 TFT-LCD 技術戦略ロードマップを設定した。(第2章)
- (2) 技術戦略の中でも高画質・高精細、低コスト、軽量・コンパクトであることに注目した。筆者らは、この技術課題を実現させるために、中小型用高性能アモルファスシリコン TFT-LCD を研究し商品化に成功した。そしてこれを HAST-LCD と名付けた。HAST-LCD は従来のアモルファスシリコン TFT-LCD を進化・発展させたもので、設計技術と材料技術、それにプロセス技術の最適化による高精細、高開口率を最大の特徴とする。HAST-LCD の商品化に成功し、アモルファスシリコン TFT を使用しても低温多結晶シリコン TFT-LCD と同等以上の性能を実現できることを実証したことは、工業的に非常に意義のあることであった。(第3章)
- (3) HAST-LCD の高効率生産技術の研究を行なった。パネル品質に影響を与えるセルギャップと液晶プレチルト角の新たな測定法を開発しインライン測定に応用することで工程の振れを最小限に抑えることに成功した。またパネルの額縁部を縮小することで低コスト化に成功し、さらに配向安定化技術を開発することで高歩留生産を可能にした。これらのことにより HAST-LCD の高効率生産の実現とその安定維持に成功した。現在 1.8 型 HAST-LCD でのモジュール工程までの歩留が 95%以上と非常に高い生産性を維持できている。(第4章)
- (4) HAST-LCD による中小型 TFT-LCD 業界シェア No.1 へのシナリオの研究を行った。設備投資の歩留向上施策、経費コストダウン施策、追加投資を含む増産施策が利益の確保と投資の回収に決定的な影響を及ぼすことを見出し、その具体的な方法を提示した。またファウンダリー事業が非常に有効なビジネスモデルであることを立証できた。(第5章)

以上、本研究成果の要約を述べた。TFT-LCD を含むフラットパネル業界は、技術的にもビジネスとしても非常にホットな時点に位置している。数年で情勢が一変してしまう状況の中であって、筆者らは更なる高い目標に向かってたゆまない努力を継続している。

参考文献

- 1) 栢川正也, 「デジタル情報ネットワーク時代のディスプレイは「液晶」が主役に」, 『フラットパネルディスプレイ 2001』, 日経マイクロデバイス編, 日経 BP 社, pp84-91, 2001.
- 2) Williams R., U.S.Patent3322485, 特許出願, 1962.
- 3) Schadt M., Helfrich W., “Voltage-Dependent Optical Activity of a Twisted Nematic Liquid Crystal”, *Applied Physics Letters*, vol.18, no.4, pp.124-128, 1971.
- 4) 川上英明, 「ルーツから紐解く液晶ディスプレイの表示原理と駆動法」, 『日経マイクロデバイス 1997年2月号』, pp.142-149, 1997.
- 5) 篠田博, 「CRTを凌駕して家庭市場に食い込む」, 『フラットパネルディスプレイ 1999』, 日経マイクロデバイス編, 日経 BP 社, pp146-159, 1998.
- 6) 「エリア・カラー有機 EL が本格化アクティブ型カラーの準備に着手」, 『フラットパネルディスプレイ 2001』, 日経マイクロデバイス編, 日経 BP 社, pp132-134, 2001.
- 7) 加納剛太, 『高知工科大学アイルランドプログラム資料』, 高知工科大学, 2000.
- 8) 高多清作, 『高多・液晶レポート 2000』, 日経マイクロデバイス編, 日経 BP 社, 2000
- 9) 「21世紀の映像メディアとディスプレイを予測, 「デジタルテレビは PDP が優位」は変わらない」, 『フラットパネルディスプレイ 2001』, 日経マイクロデバイス編, 日経 BP 社, pp142-151, 2001.
- 10) Z.Yaniv., Z.L.Tolt., “Diamond/Carbon Film for Field Emission Display Applications”, *IDW98*, pp647-650, 1998
- 11) R.L.Fink., “Carbon Cold Cathode Picture Element Tubes for Large Area Displays”, *IDW99*, pp911-914, 1999.
- 12) <http://club.pep.ne.jp/mcpchp/>, Mobile Computing Promotion Consortium(2000)
- 13) モバイル総覧, 231, シームメディア(1998.5)
- 14) K.Kamiya., “Al-Nd-Ti-Alloy Films and Its Application to 6.7-in. SVGA High-Aperture a-Si TFT-LCDs”, *SID98 DIGEST*, pp455-458, 1998.
- 15) 塚根みどり, 「ガラス基板ディスプレイネーションの発生に及ぼす諸要因」, 第 18 回液晶討論会講演予稿集, pp272-273, 1992.
- 16) 藤井浩之, 特許出願, 平 10-112012, 「液晶層厚測定方法」
- 17) 刈谷宣政, 「TN TFT-LCD におけるガラス基板配向欠陥の解析」, 2000 年日本液晶学会討論会講演予稿集, pp471-472, 2000.

本研究をまとめるに当たっては、高知工科大学大学院起業家コース 加納剛太博士のご指導、ご鞭撻を賜っており、ここに深く感謝致します。また、大阪大学大学院 濱口智尋博士と高知工科大学知能機械システム工学科 長尾高明博士には、本論文内容について有益なご助言とご指導を賜っており、ここに深く感謝致します。

そして、本研究の生産技術分野の研究遂行に当たって、カシオ計算機株式会社八王子研究所の藤井浩之氏と中島靖氏に多くのご指導とご協力を頂いた。研究活動に伴う測定系の評価においては高知カシオ株式会社の高橋操氏に多大なご協力を頂いた。さらに、事業展開分野の研究遂行に当たっては、高知工科大学起業家コース 田路則子講師に示唆に富むご助言を頂き、高知県商工労働部 麻岡誠司氏には有益なご討論・ご助言を頂いた。また高知カシオ株式会社 上村幸正氏には適切な数値表現に当たってご助言を頂いた。ここに上記の方々に深く謝意を表します。

本研究は以上のように多くの方々のご指導・ご協力によって完成できたものであり、ここに深く感謝いたします。

最後に、筆者の研究活動と論文執筆を陰ながら支えてくれた妻・直美と4人の子供達に心からの謝意を表します。

研究業績一覧

- 1) “LCD 配向評価技術の開発とその応用”, 刈谷・藤井・高橋, CASIO Techno Power 1998.
- 2) “TFT-LCD の狭額縁化技術”, 刈谷・藤井・中島, CASIO Techno Power 2000.
- 3) “TN TFT-LCD におけるバックツイスト配向欠陥の解析”, 刈谷・阿部・中島, 第 61 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, pp1098, 2000.
- 4) “TN TFT-LCD におけるリバースツイスト配向欠陥の解析”, 刈谷・中島, 2000 年日本液晶学会討論会講演予稿集, pp471-472, 2000.

出願特許一覧

- 1) “液晶層厚測定方法”, 特願平 10 - 112012
- 2) “液晶配向安定化”, 特願平 2000 - 375459.