

		フェーズ			フェーズ			フェーズ
		H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20.1~
TFT	ZnO-TFT	カシオ計算機	ZnO-TFT開発		トップゲートn-ch TFT (6万画素デバイス実証)	ボトムゲートn-ch TFT	量産技術開発	p-ch TFT開発 量産性向上
	SiGe-TFT		SiGe薄膜大粒子化成長技術開発(名古屋大学)		SiGe-TFT試作	技術動向から判断し、探査研究に変更		
透明導電膜			低抵抗化技術開発		(株)ZnOラボ 設立	抵抗率: 1.8×10^{-4} cm 実現	ZnO薄膜評価技術開発 ヤング率測定装置開発	工業化開発(経産省PJ) 実用化・製品化へ発展
保護膜			保護膜低温形成技術開発		中間評価の指導により ZnO-TFTに包括		低温形成再開	低温化技術開発 広くデバイス応用
白色光源	紫外LED		p型ZnO作成方法の探究(京都大学)		p型ZnO実現のための計算による探求		p型ZnO膜作成	p型ZnO実験開始 (pn接合によるデバイス開発)
	FEL (冷陰極)		CNW薄膜による冷陰極光源開発		ND / CNW 量産化・均一化技術の開発			製品化・工業化技術の開発 他分野への事業化展開
備考		クリーンルーム立ち上げ	技術員配備・汎用機器整備	中間評価	再編成・再構築			

図 -3-4 . 研究テーマの推移

の時点(平成18年4月)においては、SiGe-TFTの世界技術動向から判断して実用性が乏しいと判断した。そこでコア研究室ではSiGe-TFTに関しては論文調査・動向調査等の探査研究に留め、同テーマリーダーの山本直樹教授が得意の分野であり、しかも最重要項目の1つである透明導電膜の評価技術の開発を併せて行なうことにした。

の時点(平成18年7月)において、コニカミノルタテクノロジーセンター(株)を共同研究機関に加え、事業当初の計画にもあった保護膜低温成長技術を電子ペーパー開発と併せて再開した。本テーマの高度化に対しては、平成18年度後半JSTからの追加配賦を受けることができ研究が加速した。これは平成19年10月における電子ペーパーデバイス試作実現の源となった。

の時点(平成19年4月)で、紫外センサーとしてZnO-TFTを用いた製品開発に着手した。地場企業である(株)土佐電子との共同研究は本事業にとって意義が大きいものである。最終年度を考慮して、フェーズにおける本事業の目的である“産業の誕生と育成”を目指して県内産業界との連携を強めることができた。今後はさらに新しい企業および研究機関との新しいデバイス開発に向けた共同研究を企画している。

(3) 研究成果

本事業における5年間の研究成果は、次のような特長、特色を持っている。

研究内容は独創的であり、科学技術の研究開発部門において、世界初や世界最高値など世界をリードするものであった。

科学技術部門において先行し、産業化に対する有意性と優越性を獲得するには、先行的知的財産権の確保が重要である。本事業では、 によってアイデア特許にはない、具体的で実質的特

許が確保できた。

製品化技術においても、各デバイスで県内外の企業との連携によって優位性を維持している。

上記のような科学技術および製品化技術の先行によって、上述の特許に加えて国内外の学会および研究会などにおける多くの招待講演や基調講演、論文賞および発表論文；学会誌や専門誌への投稿論文；および多くの新聞記事やテレビ放送、を得ることができた。

これらの研究開発成果の企業化、さらに産業化を図ることが、フェーズ に課せられた最重点課題である。それらについては、フェーズ の本事業遂行中に多くの企業から提案がなされてきた。産業化への展望は、次節「(4) 今後の展開」において述べる。

以下に各テーマにおける5年間の重要点をまとめる。

ZnO-TFT においては、ZnO-TFT 駆動による液晶ディスプレイ (LCD) 表示の実現を目標として研究開発を行なった。クリーンルーム設立と装置の立ち上げに2年間近くを費やしたが、3年目に入って6万画素 LCD の稼動に目途をつけた。トップゲート構造の LCD を実証し、多くの欠陥を含む6万画素 LCD であったが、世界で最も権威のあるディスプレイの国際会議である「SID2006」において“Distinguished Paper Award”(約540件中9件)に選ばれた。その後、生産性の面からボトムゲート構造に切り換え、最終的にはほとんど欠陥のない6万画素 LCD 駆動に成功し、動画も示威することができた。ZnO系を用いたTFTによるディスプレイの駆動デバイスは、まだ世界における発表がほとんどない状況であり、6万画素の大規模集積デバイスの成功は我々の独走的状態を示すものである。

この技術水準の達成は、ZnO-TFT を用いた種々のデバイスへの発展をもたらしつつある。コニカミノルタテクノロジーセンター(株)との電子ペーパー、(株)土佐電子との紫外線センサー、その他有機ELデバイスと撮像デバイスへの応用を進めている。

さらに、現在注目され、大きな市場も期待される新型デバイスへの応用が想定される。ZnO-TFT の特長は、低温成長が可能であり、しかも高い移動度を持つことおよび透明性が高く透明 TFT としての特長を有すること、である。

この特長を利用した多様なデバイスへの道がある。このため、今後の明るい見通しと裏腹に厳しい差別化競争の両面が共存している。

透明導電膜の開発は、本事業の開始直後から技術的に先行していた研究の1つであった。ZnO透明導電膜は、希少金属の1つであるインジウムの価格高騰に伴い、ITO(スズ添加酸化インジウム)の代替材料として産業界の関心が高まってきた。本事業における透明導電膜の開発は、成膜方法と条件、Ga添加効果および膜厚依存性を実験条件として、結晶的構造と電気的特性(抵抗値、移動度、キャリア濃度)を検討してきた。低抵抗化を目標として最も低い抵抗値を得ることができ、国際会議の招待講演を数回依頼された。

フェーズ の研究開発の目標は、ITO代替としての工業化である。日本および世界の複数の企業において、工業化の技術的検討はなされていると思われるが、今までに工業化達成を聞かないのは、信頼性(例えば空气中水分による経時変化など)、均一性、生産性および微細加工性などにおいて問題があり、まだ解決されていないためと考えている。

本テーマは、平成19年度の経済産業省「希少金属代替材料開発プロジェクト」において「透明電極向けITO代替材料開発」テーマで採択されている。こういった状況の下で、フェーズにおいて上述の技術開発によって、ZnO透明導電膜の実用化を目指す。

ND(Nano Diamond)/CNW(Carbon Nano Wall)膜によるFELの開発は、本事業の開始当初から開発が進められ、ランプとしての試作が行われてきた。平成16年4月には、ダイヤ

ライトジャパン（株）を設立した。その後、成果の橋渡しとして獲得した経済産業省の地域新生コンソーシアム研究開発事業での「世界初の省エネ・水銀レス・低温・面光源の開発」とも連携を取り、平成 18 年 8 月には（株）ND マテリアルの設立が、地場産業である株式会社山崎技研らの出資で実現した。本事業における一貫した開発目的は、広面積に均一な FE（Field Emission）特性を持つ ND 膜を再現性よく成膜することであった。この方法は、広い領域に広がる rf グロー放電ではなく、ある程度放電領域が限られる直流アーク放電方式に近いが、均一性に問題がある。プラズマの“その場”観察やマルチ電極の採用によって、100mm×100mm の面積に均一に FE 特性を持つ ND 膜が作成できるようになった。この場合の FE 電圧は、約 1V と低い値である。しかしながら FEL は他の方法とのコスト競争にも勝つことが要求され、市場における厳しさがある。水銀を使用せず、かつ熱発生が少ない環境用ランプとして、種々の分野（自動車用ランプ、農作物用ランプ）への応用が期待される。この観点から、フェーズにおける製品化開発がさらに継続される。

ZnO 膜の使用における潜在因子の 1 つに基板との密着性がある。これを非破壊でのヤング率測定によって決定する方法を開発した。この方法は、独創的発想によるものであり、まだ市場にない方式である。したがって、地場企業を中心に、開発した本方式を組み込んだ独自の新しい装置の製品化を検討している。ヤング率の本測定結果は、ZnO 膜の成膜条件およびその後の熱処理条件等との関連を調べることによって、結晶学的構造や電気的特性と関連付けられる。これは簡易で非破壊な方法であり、薄膜の特性の改善を探求することができる長所がある。

上記テーマへの研究者の集中によって研究依頼した京都大学藤田研究室の「紫外 LED 技術の開発」および名古屋大学菅井（豊田）研究室による「SiGe-TFT 技術の開発」の 2 つのテーマの研究成果も特記すべき優れた内容である。藤田研究室は今まで安定に作成できなかった p 型混晶膜を、ZnO を基盤として実現しようとしている。これが成功すれば、今後の短波長 LED やレーザー実現に対して測り知れない影響を与える。また、菅井（豊田）研究室の SiGe 大粒径化薄膜作成方法は、独自のプラズマ発生装置によってプラズマの電気的エネルギーを用いて大粒子化したものである。現在の LED 駆動 TFT に用いる多結晶シリコンは、レーザーアニールによって再結晶化作成されるもので、製造コストと歩留りに改良の余地がある。これに対して、本方法は、成長時から大粒径 SiGe 膜が得られるものであり、将来、高移動度 SiGe 膜を用いた TFT の使用が注目される段階が到来すれば、極めて有効となる技術である。さらに、この方法は、他の薄膜作成にも広く適用できることが考えられる。