

ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTC GCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA C CTAAC T CTCAGACC

G-TeC 報告書

「柔らかいエレクトロニクス」 国際技術力比較調査(韓国, 米国)

0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
00110 11111100 00010101 011

Executive Summary

JST 研究開発戦略センター (CRDS) 生駒グループでは、従来の Si 集積回路を中心に発展してきたいわゆる Solid State Electronics によって築かれてきた「小型化・集積化」、「処理速度の向上」や「情報容量の増大」といった既成の価値体系に加えて、機械的に「柔らかい」という新しい価値基準をエレクトロニクス分野に導入するべく、そのコンセプト、基盤となる技術、社会的インパクトなどについて検討を行ってきた。ワークショップ等をこれまで開催した結果、韓国と米国で、フレキシブルディスプレイや柔らかい電子ペーパー等を中心とした取り組みが盛んであるとの指摘を受け、今回実地調査 (G-TeC: Global Technology Comparison) を行った。

韓国調査は、産官学の合計 6 カ所を 2005 年 11 月 7 日～10 日にかけて訪問・実施した。米国調査は、2006 年 1 月 22 日～29 日にかけて産学合計 5 カ所を対象に実施した。

韓国では、「柔らかい」エレクトロニクスをめざす分野としては、フラットパネルディスプレイ (液晶および有機 EL) の将来的研究開発に特化しており、電子ペーパーやセンサなどの研究開発はほとんどなされていなかった。液晶パネルのみならず、そのラインの一部も活用して有機 EL パネル (携帯用小型サイズ) のシェアを大幅に伸ばしている韓国において、フレキシブルディスプレイは 2010 年をめざした大きなチャレンジとして喧伝されてはいるものの、実態は未だ緒に着いたばかりの状況であった。すなわち、あまりにも急速に薄型 TV の普及と価格競争が始まり、将来への備えよりも、今日・明日の生産を支えることにリソースを振り向けざるを得なくなっている、というのが実情と考えられる。その一方で、サムソン各社は、3M, Dupont Steel, ポスコ, UCD 等米国の大企業およびベンチャーとの技術提携関係を結び、技術導入の積極性を感じた。また、積み上げ型研究開発から生産現場に至るまで、材料、製造装置などの日本への依存度は非常に大きく、日本の現行プログラムのみならず、将来プログラムに対する関心はきわめて高い。

米国では、韓国と対照的に極めて多様な研究課題 (センサ、太陽電池、有機 TFT, ディスプレイ, 集積回路, 電子スイッチ, レーザー等) への取り組みが大学の研究室を中心に見られ研究者の個性が発揮されている印象を受けた。一方で、従来の延長技術に基づいて、フレキシブルな「読むディスプレイ」を兵士用に開発し、戦場での犠牲者を減らすためのセンターが政府 (軍)・州の肝いりで出来上がり、広大なクリーンルームを稼働させ始めていることは特徴的だった。また、アモルファス Si イメージセンサ発祥の地である元ゼロックス社研究所では有機トランジスタの信頼性評価を地道に進めており、基礎的な知見を得る努力が継続していることを再認識させられた。3M 社では次世代のイメージ表示をいかに実現すべきかを戦略的にマーケティングしている中で「柔らかい」媒体が有望であると考えていることが印象的であった。

「柔らかい」エレクトロニクスの応用分野は、今のところ、ディスプレイが主なターゲットとなっているが、韓国、米国とも、実用化への展望はまだ開けていない。技術的課題が多すぎるものと軍用以外の早急なニーズが見出せていないからであろう。ただし、韓国と違って米国では、電子ペーパーの研究が盛んであり、E-Ink 社（MIT 発の特許に基づくベンチャー）の電気泳動方式ライセンスが米で普及していることがその背景にある。他の方式も含めた電子ペーパーが携帯に便利な「柔らかさ」を発揮するには液晶や有機 EL 同様にアクティブマトリクスなどのバックプレーンをいかに安く、安定かつ高い歩留まりで作製できるかにかかっている。この点ではまだ、解は得られていないと見るべきであろう。

韓米の「柔らかい」エレクトロニクス分野の研究開発状況の比較を以下の表に示す。

今回の G-TeC では対象から外したが、アジア地域での台湾の躍進はここ 1～2 年で目を見張るものがある。また、欧州では地道ではあるが丹念に基礎物性や新規材料ならびにユニークな応用展開が進行しており、機会があれば、これらの現地情報を調査比較することが望まれる。

「柔らかい」エレクトロニクスに関する韓米技術比較

国名	訪問機関	応 用 分 野			要 素 技 術			
		見るディスプレイ	読むディスプレイ	その他応用	ディスプレイ駆動回路	プロセス技術	基板材料	半導体材料
韓国	三星電子	有機 EL (大型は 10 年後)	(電子ペーパー)		a-Si → 有機 TFT (見る) 低温ポリシリコン (読む)	低温プロセス	ステンレス, プラスチック	
	三星研究所				a-Si 将来は有機 TFT	R2R を志向 (日本の 動向に注目)	プラスチック	a-Si, 低温ポリシリコン, 有機材料
	三星 SDI	小型有機 EL (携帯電話用) <現状は「固い」>			a-Si 将来は有機 TFT	印刷: UDC から導入 LITI: 3M から導入	ステンレス, プラスチック	
	LG 電子	7 インチ VGA 有機 EL (国プロ), 液晶	電子ペーパー		有機 TFT	インクジェットの 導入検討		有機材料
	電子通信研究所	4 インチ QVGA プロトタイプは 5 年後	フルカラー電子ペーパー (マイクロカプセル)		アクティブ	PC-CVD 印刷装置導入予定		低温ポリシリコン, ペンタセン
	慶熙大学	液晶, 有機 EL				インクジェット装置 (LITECS 社製: 未稼働)	フィルムは 日本から購入	
米国	Flexible Display Center	有機 EL, 外部連携	Active Signage		パッシブ	LITI 三星 SDI に供与	ガスバリアコート	
	UCLA		電気泳動, 液晶		有機 TFT	インクジェット マスクレスプロセス	ステンレス, プラスチック	高分子 (ポリチオ フェン系), a-Si
	Palo Alto Research Center		電気泳動, 液晶	兵士用ディスプレイ	GENII2008 年 プロトタイプ完成	仮粘着/剥離 R2R (将来)	プラスチック (ガラス基板上)	a-Si, 有機材料 (将来)
	Pen. State University	有機 EL の適用には 慎重な見方		センサ・アクチュエータ, 飛行機用大面積センサ	センサ+TFT			ペンタセン, 新材料 (ケンタッキー大)
	3M	有機 EL		太陽電池 (変換効率 4.4%), メモリデバイス	アクティブ			高分子 (材料合成専門家と 連携)

見るディスプレイ: 動画を見る用途 (現在のテレビジョンなど)

読むディスプレイ: 静止したドキュメントを見る用途 (現在の紙代替)

赤字: オリジナル技術

目 次

Executive Summary	i
1 はじめに	1
2 韓国調査概要（2005 年 11 月 7 日～10 日）	3
2.1 調査結果概要	3
2.2 訪問機関別概要	5
2.3 韓国の国家プロジェクト	8
3 米国調査概要（2006 年 1 月 22 日～29 日）	9
3.1 調査結果概要	9
3.2 訪問機関別概要	10
4 あとがき	12
 Appendix A：韓国 G-TeC 一覧及びサイトレポート	15
A0 調査団及び訪問先	15
A1 三星電子（Samsung Electronics Co.）	18
A2 三星研究所（Samsung Advanced Institute of Technology：SAIT）	19
A3 三星 SDI（Samsung SDI）	21
A4 LG 電子（LG Electronics）	23
A5 ETRI （Electronics and Telecommunications Research Institute）	25
A6 慶熙大学（Kyung Hee University）	28
 Appendix B：米国 G-TeC 一覧及びサイトレポート	33
B0 調査団及び訪問先	33
B1 3M Display & Graphics Business Laboratory	35
B2 PARC（Palo Alto Research Center）	38
B3 Flexible Display Center at Arizona State University	41
B4 Pennsylvania State University	45
B5 UCLA（University of California, Los Angeles）	48

1 はじめに

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センターは「柔らかい」エレクトロニクスに注目して2003年より検討を行ってきた。「柔らかい」エレクトロニクスとは、「Bendable」(曲げられる)、「Rollable」(巻ける)、「Foldable」(折りたためる)といった機械的に柔らかい性質を、従来のシリコン中心に発展を遂げてきた「固い」エレクトロニクスの機能に付加した、「柔らかい」電気・電子デバイス及びシステムを実現するための新しい技術体系をいう。2005年10月に「柔らかい」エレクトロニクスワークショップを開催し、参加して頂いた専門家の間で「柔らかい」エレクトロニクスの重要性に関する理解が共有できた(詳細は「柔らかい」エレクトロニクスワークショップ報告書 CRDS-FY2005-WR-10 参照)。

研究開発戦略センターにおける有効な研究開発戦略立案には海外動向を充分把握する必要が有るため、G-TeC (Global Technology Comparison) を実施している。今回の「柔らかい」エレクトロニクスについても韓国、米国、欧州の調査を計画した。これらの国を選定した理由は、「柔らかい」エレクトロニクスワークショップに於いて多くの専門家から、これら諸国の活発なアクティビティが指摘されたためである。具体的には、韓国では Samsung 社や LG 社を中心にした、フレキシブルディスプレイ^{注1}に繋がる LCD (液晶ディスプレイ) や大画面有機 EL ディスプレイの先進性が、米国では国の後押しで創立された FDC (Flexible Display Center at Arizona State University) でのアクティビティの高さや、電子ペーパーに関する開発の進展などが注目すべき点であるとのことであった。欧州では DWTC (Direct Write Technology Center at County Durham, UK) が創立予定である事や、基礎分野のアクティビティが高い等の指摘があった。

注1：ディスプレイに関しては「柔らかい」ディスプレイより「フレキシブルディスプレイ」の方が一般的に用いられているため、本報告書では「フレキシブルディスプレイ」を採用した。

今回の G-TeC は、まず韓国の調査を 2005 年 11 月 7 日～10 日にかけて、大学 1、国
研 1、企業 4 の計 6 カ所を、続いて米国調査を 2006 年 1 月 22 日～29 日にかけて、大
学 3、企業 2、計 5 カ所について実施した。尚、欧州についてはスケジュールの関係
で今回は実施できなかった。訪問先の選定については、極力産官学全体が俯瞰できる
よう注意をはらった。調査の内容は

- ・「柔らかい」エレクトロニクスに関連した研究開発の取り組み状況
- ・「柔らかい」エレクトロニクスに関連した研究開発において重要だと考えているポ
イント
- ・研究者コミュニティ・拠点の形成状況
- ・キーパーソン
- ・国家プロジェクト、コンソーシアムの推進状況
- ・海外の動きをどのように考えているか
- ・国際会議・シンポジウム・フォーラム等の開催状況

などを可能な限り調査する事とした。

2 韓国調査概要

2.1 調査結果概要（2005年11月7日～10日）

全体的にみると、ディスプレイに特化した研究を行っており、どちらかというと、基礎研究より実用化研究が主と思われる。ただ折り曲げられるだけの機能ではニッチな所しかねらず、大きな市場を得る為にはもっと高機能化しなければいけないと考えている。電子ペーパーは殆ど手つかず状態であった。また、ディスプレイ以外は、まだ具体的姿がみえないため、工業生産を目指した大投資を前提とした研究開発がなされる状況までは至っていない。

2.1.1 「柔らかい」エレクトロニクスの研究動向

- i) 三星 SDI は有機 EL ディスプレイ (OLED) を着実に育て上げており、OLED に関しては、研究開発、製造ともに世界最大規模を有する。
- ii) デバイス分野では、有機ディスプレイ、有機 TFT、有機 FET が主に研究されており、電子ペーパーは今回の訪問先では Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) と LG 電子でのみ話が出たような状態であり、アクティビティはまだまだ低い。又電気泳動ディスプレイについては殆ど手つかずの状況。
- iii) プロセス分野ではプリンタブルプロセスはすでに Samsung SDI 社で実用化しているが、詳細は明らかにされなかった。(LG 社は準備中) また Roll to Roll プロセスはまだ手つかずの状況で、日本との共同研究を希望している。
- iv) 素材部材ならびに製造設備では日本製品が用いられており、韓国製はとても使えないというコメントが得られた。
- v) 三星 SDI 社が SID2005 (Society for Information Display 2005) において、40 インチ有機 EL を展示するとともに 2010 年にはディスプレイの 10% がフレキシブルになると ITC2005 (IEEE International Test Conference) で発表している。しかし、今回の調査からは、実現性と根拠は非常に疑問。
- vi) ディスプレイ関連でアクティビティの高い大学トップ3
1 位：慶熙大（ソウル）、2 位：東亜大（釜山）、3 位：ソウル大
特に慶熙大では教育にも独自のプログラムを導入している。
- vii) 「柔らかい」エレクトロニクス関連のキーパーソン（今回訪問者一覧は付録参照）
 - ・ Prof. Jin Jang（慶熙大学）
 - ・ Dr. Kyuha Chung（三星電子）
 - ・ Dr. LyongSun Pu（三星研究所）
 - ・ Dr. Takashi Noguchi（野口隆：元ソニー→三星研究所→漢陽大学→現：琉球大学）

viii) 日本との共同研究について

- ・ LG 社, 三星 SDI 社

製造プロセス（プリンタブルプロセスや Roll to Roll プロセス）を，日本の国プロ入り，あるいは日本企業との共同研究で推進を希望（自力では困難）。

- ・ ETRI

基礎分野全体での交流を希望。

ix) 韓国から見た海外の「柔らかい」エレクトロニクス関連重要研究機関

- ・ 米国：Flexible Display Center (FDC) at Arizona State University

- ・ 英国：Cambridge University

2.2 訪問機関別概要

2.2.1 三星電子 (SEC : Samsung Electronics Co.)

2010 年にディスプレイの 10% はフレキシブルにしたいと言う発表をしている。しかし、まだ工業生産をふまえた大規模投資はしていない。材料の耐久性が低いなど、実現性にまだ課題を残している。大型ディスプレイをフレキシブルにするためには、今後 10 年はかかると考えている (2010 年の実現は不可能か?)。又最近有機 EL の増産体制を急ピッチで進めているとの報道があったが、これは携帯電話用の小型用途であり、「柔らかい」、「大面積」等をねらった有機 EL ディスプレイ用のライン増設ではない。

大型ディスプレイの生産技術については、特にプリンタブルプロセスに高い興味を示している。また、フレキシブルディスプレイの基板としては、既存技術との整合性を考えて、ステンレスとプラスチックが候補となっているが、ステンレスが有利と考えている。(Appendix B1 参照) また、アクティブマトリクス of 製造工程が最重要課題で、低温プロセス等が使えることが必要。

将来の予測として、有機 LED (Organic Light Emitting Diode : OLED) の駆動は a-Si などから有機 TFT (Organic Thin Film Transistor : OTFT) に変わり、Low Temperature Poly-Silicon (LTPS) を用いた電子ペーパーも可能性があると考えている。

2.2.2 三星研究所 (SAIT : Samsung Advanced Institute of Technology)

三星電子や三星 SDI 社へ製造を移管する前の基礎研究を行う組織である。三星各社の急成長は、必要な技術を力づくで寄せ集めて実現されてきた。基礎的な部分を増強する必要があるとの認識がある。また、近年環境問題への取り組みについての要請も高い。

研究費には恵まれているが、最近は長期的研究ができなくなってきた (例：ペンタセン TFT も研究していたが、15 インチパネルを駆動するところまでで終息)。SAIT 全体では、博士号取得者は 100 人以上で修士卒は 2 年間の研修後に半数がふるい落とされるとのこと。

2.2.3 三星 SDI (Samsung SDI)

韓国の国家プロジェクト「フロンティアプロジェクト 2001」に参画している。テーマは「柔らかい」エレクトロニクスではない。研究は SAIT で行い、Samsung SDI 社は製造を行っている。

Samsung SDI 社での主な開発テーマは、フレキシブル基板上の OTFT, OLED 用

ドライバ、Organic Field Effect Transistor (OFET) (長期的開発テーマ)、上記製品プロトタイプのコスト低減、生産性向上、といったもの。製造技術として米国 3M より LITI (Laser Induced Thermal Imaging for OLED and OTFT) プロセスを導入済み (Appendix B1 参照)。

「柔らかい」エレクトロニクスの将来像はメインストリームにならないニッチ市場を考えている。プリンタブルプロセスは既に導入済みで、インクは UDC (米国ベンチャー) が供給している。FPD International 2005 (横浜) に三星が出展した 102 インチ LCD ディスプレイの技術を 80 インチ以下に適用させていく予定。日本とは、フレキシブルディスプレイに繋がっていく重要生産技術である Roll to Roll (以下 R2R) 技術の国際共同研究をやりたいとレポートに是非明示してほしいとのコメントがあった (一部の国プロなどを除き、最近は排除されていることに対応していると思われる)。しかしながら、どうやって R2R を可能とするかについてのアイデアは全く持っていないとの印象を受けた。

2.2.4 LG 電子

国家プロジェクト「フロンティアプロジェクト 2001」(期間 10 年) の一プログラムに参加し、フレキシブルディスプレイをテーマにしている。

また、期間 3 年の国家プロジェクトにも参加し、7 インチ VGA (Visual Graphic Array), OTFT の研究も行っている。

社内で推進中の「柔らかい」エレクトロニクス関連テーマでは、液晶ディスプレイ、電子ペーパー、OTFT を研究している。現在の課題は信頼性とコストである。「柔らかい」エレクトロニクス関連市場は大きいと考えているが、折り曲げられるだけでは用途が限られてしまうので、他の付加価値が必要である。プロトタイプでも良いから、新しいディスプレイを 2010 年に出したいが、それには更なる高機能化と、低コスト化が必要とのことである。

同社の壁には「2010 年には売り上げを現在の倍にする」とポスターが張ってある。また製造ではインクジェットのラインを準備中で、セイコーエプソン社が保有するインクジェットによる回路印刷技術に大変強い関心を示していた。

2.2.5 電子通信研究所 (Electronics and Telecommunications Research Institute: ETRI)

フレキシブルディスプレイの基盤技術の確立を目指した 5 企業と組んだ国プロ (フロンティアプロジェクト 2001 とは別) などに総勢 36 名で対応しており 2008 年の終了時には、4 インチ QVGA のフレキシブルディスプレイプロトタイプ試作をめざしている。アクティブマトリックスについては、有機トランジスタ、ポリシリコンを、基板については、ガラス、プラスチック、金属箔、シリコンの 4 種類を検討している。電

子ペーパーについては、独自のマイクロカプセル方式で、フルカラー化を目指し、有機トランジスタの製造プロセスでは、圧力コントロール化学堆積法(PC-CVD)などの独自技術の開発を進めている。また、来年には印刷装置を導入して、塗布型デバイスの開発に着手する予定。全体的には、フレキシブルディスプレイの基盤技術のみを研究のターゲットにしており、なぜフレキシブルか、フレキシブルディスプレイの必要性、コスト試算、市場性については、十分な検討が進んでいないような印象であった。基盤技術について、日本との交流を希望している。彼らの教科書は NEDO=光協会の有機 EL プロジェクト（H18 終了）であった。装置は慶熙大同様に新品ぞろいで歴史の浅さが伺われた。

2.2.6 慶熙大学 (Kyung Hee University)

慶熙大学は韓国の大学ではじめて 1997 年にディスプレイ学科を創設し、その後修士課程も備えた。ディスプレイ技術関連の研究で韓国のトップを走っており、Jin Jang 教授がそのリーダー的存在である。彼は毎年、日本を訪れており、中国本土とも交流に熱心である。液晶のような組み立て産業はいずれ中国に移ることを想定し、そのあとの産業を用意すべきことを念頭において拠点を運営している。しかしながら、拠点の形が整って 2~3 年であり、歴史の浅さや材料などの入手にハンディキャップを認めている。

国家プロジェクトである「フロンティアプロジェクト 2001」に参画しており、有機エレクトロニクス分野の韓国の一大研究拠点である。慶熙大学での主研究テーマは、OTFT 開発で、新しいクリーンルームと通常の半導体製造装置以外に、有機物合成装置やインクジェット式印刷装置等も持ち、有機エレクトロニクス素子の設計からデバイス化まで、一貫した研究が可能になっている。この拠点の運営は教授が経営する会社が請け負っており、装置メンテや試作の一部を外部導入したプロジェクト資金から回している。またセンター内には大学院生のオフィスだけでなく、学部学生に市販のディスプレイを分解させて内部を分析させる実学的な教育を行える実験室も持っていることが印象的であった。

2.3 韓国の国家プロジェクト

現在「柔らかい」エレクトロニクスに関連するプロジェクトは3プロジェクトが推進中である。それぞれのプロジェクトの期間は、10年、5年、3年である。

i) 10年プロジェクト

「フロンティアプロジェクト 2001」と呼ばれ、5プロジェクト（次世代ディスプレイ、次世代材料加工、知能型マイクロシステム、スマート無人機、知能型ロボット）から構成され、全体の目的として「2010年代世界トップレベルの技術力を確保するための戦略技術を事業団中心に一括・統合支援」をあげており、2006年の予算は総額で約45億円が計上されている。分散研究所方式で、大学は、慶熙大学をふくめて10大学、企業はSamsung社、LG社、及び3~4社のベンチャー企業が参加し、主テーマはOTFTで、研究費は10 million \$ /年である。

ii) 5年プロジェクト

ETRIと企業5社の連携で実施されているもので、実施期間は2003年~2008年で主目的はフレキシブルディスプレイの基盤技術の確立である。それぞれの機関が、駆動用のシリコンIC、メタルインク、表示用のマイクロカプセルインクを分担し、研究費は1 million \$ /年である。

iii) 3年プロジェクト

LG社が参加しているもので、3年間でプロトタイプを作製するところまで行う（日本のNEDOタイプに近い）ものを推進中。主なテーマは7インチVGA (Video Graphic Array)、有機TFTの開発である。

3 米国調査概要（2006年1月22日～29日）

3.1 調査結果概要

有機 EL や有機 TFT などの半導体的な機能性有機材料を用いた電子デバイス、さらにはプラスチック基板を用いた湾曲できるデバイスも含めた「柔らかい」エレクトロニクスの調査を行った。有機 EL 研究はすでに市民権を得た研究であり、有機 TFT と有機太陽電池は現在のホットな研究テーマである。これら研究に対する取り組みは研究機関ごとに異なっている。特に、フレキシブル性を機能として捉えたエレクトロニクスの研究でみると、無機半導体であるアモルファスシリコンも重要な材料候補となる。全体的な概要を以下に列挙する。

- i) 米国は「柔らかい」エレクトロニクスへの関心が高く、大学側がアイデア勝負であるのに対し、企業側は地道に取り組んでいる。フレキシブルディスプレイあるいは有機太陽電池といったテーマに対する米政府の Funding は大きい。
- ii) 有機 TFT や有機 EL に拘らず、フレキシブルディスプレイを既存の成熟技術であるアモルファスシリコンベースで実現する戦略も現実性の高いアプローチである。
- iii) 紙のように薄く、軽く、割れないといった特徴は機能と見ることができるが、実際的にこれを実感できる試作デバイスの例が非常に少ない。
- iv) 紙のような特徴に加えて、大面積で超低コストなデバイスが製造できるとの観点から「Large Area Electronics」として注目している。
- v) 具体的な応用を目的とする研究でなく、従来の半導体プロセスに替わる将来の製造プロセス開発を重点にした取り組みがある。
- vi) 具体的な応用を挙げるとすると、ディスプレイに留まらず、センサ、太陽電池、集積回路、電子スイッチ、レーザーなどその範囲は広い。
- vii) しかし、一方では根底の基礎物性の解明が重要であるにも関わらずその研究が遅れており、これは米国政府の Funding の期間が短いことと大学側がベンチャー創立に走る傾向があるためと推測される。

3.2 訪問機関別概要

3.2.1 Flexible Display Center (FDC) at Arizona State University

産学官連携で Arizona State University 内に設立された研究開発センターであり、フレキシブルディスプレイのプロセス開発とプロトタイプ試作を目指す。最終的には民生への応用を目指すものであるが、米軍の巨額な資金援助を受けており、兵士用情報ディスプレイ（腕に巻くディスプレイ）の実現も大きな目的の一つとなっている。主たる連携先は、EV Group, Honeywell, Universal Display Corporation など、その他に数社から資金と資材の提供を受けている。フレキシブルディスプレイ駆動用のトランジスタとしては既存技術である a-SiTFT を採用しており、有機 TFT は将来技術として基礎フェーズの研究として進めている。プラスチックフィルム上に a-SiTFT アレイを形成するパイロットラインの導入と立ち上げが EV Group と Honeywell の協力で進められており、今年中に 4 インチ QVGA, 3 年後に 15 インチサイズの試作を目指す。表示媒体としては反射型の電気泳動と液晶技術を採用、将来的には有機 EL への展開も予定している。かなり開発主体であり研究的要素は少ない。

3.2.2 University of California Los Angeles (UCLA)

UCLA の Yang 教授の研究グループは米国でも有数の有機エレクトロニクスに関する研究機関である。これまで、一貫してポリマー EL (PLED) に関する研究を展開し、界面制御による低電圧駆動デバイスの実現、電解質を含有した Electrochemiluminescence's (ECL), そして最近では、有機 EL から有機太陽電池、有機メモリーデバイスまで研究領域を拡大している。メモリーデバイスにおいては、無機-有機材料を組み合わせたさまざまな新規なデバイス構造の提案を行っており、今後の有機集積回路において重要な位置を占めると予想される。UCLA では、今後、ソフトエレクトロニクスセンターの設立も視野に入れ、合成グループとの連携も強め、総合的に有機エレクトロニクスの研究拠点形成が進むものと予想される。

3.2.3 Palo Alto Research Center (PARC)

Xerox を支援する研究所として設立されたが、現在は Xerox 以外の企業とも連携している。インクジェット技術を用いた Printing Technology に力を入れており、既存の半導体プロセスであるフォトリソプロセス技術に替わる低コストで大面積化が可能な「Large Area Electronics」の構築を目指す。トランジスタとしては有機 TFT と a-SiTFT の両方の研究を進めている。応用としてはプラスチック基板をベースにしたフレキシブルディスプレイやセンサ、特に、ゼロックスが E-paper に関心を持っているため、高分子半導体を用いた有機 TFT アレイ化技術および電気泳動の組み合わせ

たフレキシブルディスプレイ試作技術に力を入れており、その技術レベルは高い。有機 TFT 研究では初期性能だけでなく寿命試験など現実的研究も着実に進めている。

3.2.4 Pennsylvania State University (PSU)

PSU の Jackson 教授は、90 年台中頃から有機トランジスタの研究に着手し、現在の有機トランジスタの中心材料である縮合多環芳香族のペンタセンを用いて、 $\sim 10^{-3}$ cm²/Vs の移動度を報告した。現在の有機トランジスタ研究の先駆者の一人である。現在、a-Si から有機半導体そして有機―無機ハイブリッドデバイスまで幅広く研究活動を行っている。フレキシブルディスプレイなど高精細を必要とする分野への有機エレクトロニクスの展開には非常に慎重なスタンスを取っている。20 ミクロン以下の高度な微細加工が必要とされるデバイスにおいて、プラスチック基板のような位置精度の出ない材料への適用の難しさや、高コスト、大面積化には、懐疑的な意見を持っていた。むしろ、センサやアクチュエーターなどの “Low-cost device and circuits on arbitrary substrate” への展開を積極的に考えている。

3.2.5 Display and Graphics Business (3M)

3M の Display and Graphics Business の部門はポスターや広告への応用を狙った単純なフレキシブル情報表示ディスプレイ “Active Signage” の研究開発に力を入れている。情報表示能力は劣るが低コスト、大面積で製造できかつ低消費電力が必須であり、液晶や電気泳動の反射型表示方式を用いる。これとは独立に、低分子材料の真空蒸着法で作製するフレキシブル有機 EL ディスプレイの研究にも力を入れている。ただし、TFT を使わない単純なパッシブ駆動のディスプレイであり、低コストで製造できる商品イメージを持っている。フレキシブルディスプレイの信頼性に直結するプラスチック基板のガスバリア性に関しても独自に開発を進めている。目指すものは、高級な表示能力はないが低コストで大面積に製造できるフレキシブルディスプレイのようである。また、有機 EL ディスプレイの大面積と微細化に対応する製造技術として独自の LITI 技術を外部と連携して強く推し進めている。有機 TFT に関しては、将来の技術として基礎研究フェーズで地道に進めている。

4 あとがき

韓国及び米国の調査のまとめを以下に記す。

韓国ではフレキシブルディスプレイに繋がって行くであろう LCD (液晶) では、生産技術のみならず先端的研究面でも世界のトップを走っているように思われた。しかしフレキシブルディスプレイの本命と言われている有機 EL ディスプレイに関しては、Samsung 社が 40 インチ有機ディスプレイを国際会議での併設展示会で発表している割には問題山積で、「柔らかい」大画面ディスプレイの実用化にはまだかなりの時間を要すると思われた。一方小型有機 EL ディスプレイについては、携帯電話用途にフレキシブルディスプレイではないがすでに実用化されていることが分かった。しかし米国で盛んな電子ペーパーの研究はほとんどされていなかった。また、製造プロセス分野では R2R やインクジェットプリンティング技術に対して高い関心をもっており、材料分野では日本への期待が大きいことも分かった。

米国では主に軍の後押しで創立された FDC の本格活動が始まったところで、軍の要請である兵士用の小型の読むためのフレキシブルディスプレイを、新技術を開発するよりも既製技術を用いて早く開発し軍の要請に応えようとしていた。PARC (Xerox), FDC, 3M では電子ペーパーの研究が活発であり、他にも多くの「柔らかい」デバイスの研究が行われており、なかでも大面積デバイスや有機太陽電池への関心の高さが印象的であった。米国での大面積デバイスは韓国が「柔らかい」ディスプレイに特化しているのに対して、米国は「柔らかい」ディスプレイだけでなく「柔らかい」大面積デバイスをはじめ広い分野で開発を進めている。また 3M 社と三星 SDI の基礎技術における連携や、米国大学と台湾との連携も要注意であると思われた。ただ全体に軍用途以外の「柔らかい」エレクトロニクスの具体的応用分野が見えていないため、具体的出口を見つけようとしている段階であった。また今回実施できなかった欧州、台湾についても何らかの形で情報を収集しておく必要が有ると思われる。

今回の調査にあたり、適切な訪問機関のアレンジと訪問先との窓口を務めていただいた、東京大学 染谷隆夫助教授、セイコーエプソン研究所 下田達也所長、九州大学 安達千波矢教授、NHK 技術研究所 主任研究員 時任静士氏の各氏に深く感謝する次第である。

Appendix

Appendix A 韓国 G-TeC 一覧及びサイトレポート

A0 調査団及び訪問先

・調査団メンバー

氏 名	所 属 / 役 職
染谷 隆夫	東京大学 工学系研究科 量子相エレクトロニクス研究センター 助教授
下田 達也	セイコーエプソン株式会社 研究開発本部 副本部長 テクノロジープラットフォーム研究所 所長
中島 啓幾	独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 生駒グループ シニアフェロー
伊東 義曜	独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 生駒グループ 主任調査員

・訪問先及び訪問日時（訪問順）

No.	機 関 名	訪問日時（訪問順）	訪問先受け入れ窓口
A1	LG 電子技術研究所	平成 17 年 11 月 8 日 10:00~12:00	Ph.D. Sang-Soo Yoon
A2	慶熙大学	平成 17 年 11 月 8 日 14:00~17:00	Prof. Jin Jang
A3	三星電子（SEC）	平成 17 年 11 月 9 日 11:00~13:00	Dr. Noguchi Takashi
A4	三星研究所（SAIT）	平成 17 年 11 月 9 日 13:00~17:00	Dr. Noguchi Takashi
A5	三星 SDI	平成 17 年 11 月 10 日 10:00~12:00	Dr. Ho Kyoon Chung
A6	ETRI	平成 17 年 11 月 10 日 9:30~12:00	Dr. Jin Ho Lee

ETRI: Electronics and Telecommunications Research Institute



・韓国 G-TeC 面会者リスト（訪問順）

機 関	氏 名	所 属 / 役 職
LG Electronics Institute of Technology	Sang-Soo Yoon	Devices & Materials Lab. New Display Group Chief Research Engineer
	YongWoo Choi	Devices & Materials Lab. ND Group Chief Research Engineer
	Young Hwan Choi	Devices & Materials Lab. ND Group Chief Research Engineer/Group Leader
	Sung-Tae Kim	Devices & Materials Lab. Vice President/Doctor
	Kwyyro Lee	Executive Vice President
Kyung Hee Univ.	Jin Jang	Physics/Information Display Professor/Director of ADRC/Ph.D.
SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.	NAMDEOG KIM (Andy Kim)	LCD Business LCD R&D Center Display Device Team Principal Engineer/Ph.D.
	MunPyo Hong	LCD Business LCD R&D Center Dis- play Device Team Principal Engineer/Group Manager/ Ph.D.
	Kyuha Chung	LCD Business LCD R&D Center Display Device R&D Team Vice President/Ph.D.
SAMSUNG ADVANCED INSTITUTE OF TECHNOLOGY	NOGUCHI TAKASHI	Vice President/SungKyunKwan Uni- versity/Ph.D.
	Seong-Jin Kim	Imaging Solution Program Printing Physics Manager/Ph.D.
	LyongSun Pu	Display Lab. Senior Vice President & Program Director/Ph.D.
Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)	Seok Youl Kang	Basic Research Laboratory Vice President/Ph.D.
	Lee-Mi Do	Basic Research Laboratory OLED Team Principal Member/Ph.D.
	Jin Ho Lee	Basic Research Laboratory Flexible Device Team Principal Member/Team Leader/Professional Engineer/Ph.D.
	Kang-Yong Kang	Basic Research Laboratory Terminal Components Research Department Director/Principal Member of Researcher/Ph.D.

機 関	氏 名	所 属 / 役 職
Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)	Cheol Sig PYO	Telematics & USN Research Division RFID/USN Research Group Group Leader
	Sang-Hee Ko Park	Basic Research Laboratory OLED Team Senior Member/Ph.D.
	Chi-Sun Hwang	Basic Research Laboratory OLED Team Senior Engineer/Ph.D.
	Gi Heon Kim	Basic Research Laboratory
	Seong Deok Ahn	Basic Research Laboratory Organic Electronic Team Senior Member/Ph.D.
	In-Kyu You	Basic Semiconductor Research Laboratory Senior Research Engineer/Ph.D.
SAMSUNG SDI CO.,LTD.	HO KYOON CHUNG	Corporate R&D Center TD 1 Team Senior Vice President/Ph.D.
	SUH, MIN CHUL	Corporate R&D Center Tech. Development 1-Team Senior Engineer/Ph.D.
	Yong-Seog Kim	Corporate R&D Center Technology Development Team 1 Senior Manager
	KOH, HYANG-JIN	Technology Planning Team Senior Manager/Ph.D.
	Steve Y.G.Mo	Corporate R&D Center Flexible Display Group/The 1st Technology Develop. Team Project Leader/Ph.D.
	Yoon Chang Kim	Technology Planning Team/Corporate R&D Center Senior Manager/6 MBB/Ph.D.
	Yojiro Matsueda	Corporate R&D Center Technology Development 1 Team Principal Engineer

A1 三星電子 (SEC)

訪問先：Samsung Electronics Co.,

訪問日時：2005 年 11 月 9 日 (水) 11:00~13:00

訪問者：染谷，下田，中島，伊東

訪問先面会者

NAMDEOG KIM (Andy Kim) Principal Engineer/Ph.D.

MunPyo Hong Principal Engineer/Group Manager/Ph.D.

Kyuha Chung Vice President/Ph.D.

SEC：1938 年に設立され，現在は Samsung Group の中核会社であり，2000 年～現在を「Pioneering the digital age (2000～Present)」と位置付け，半導体デバイス（メモリー，System LSI），情報通信システム，CCTV，Note PC，LCD Display，光ファイバー，そしていわゆる白物と言われる家電製品までをカバーし，従業員約 123000 人を擁する総合電器メーカーである。半導体分野での売上は Intel に続いて世界第 2 位で 2002 年からその位置を堅持している。又 2004 年には収益が 1 兆円を超えたと言うニュースはまだ耳新しい。21 世紀のビジョンとして「World Class Digital Enterprise」を掲げている。

訪問時入手情報

SEC 社における「柔らかい」エレクトロニクスの現状

- ・基板はステンレスとプラスチック検討しており，既存設備の利用を考えると，サス基板が有利か。(Appendix B2 参照)
- ・「柔らかい」エレクトロニクスは皆良いと言われるが，実現性に疑問が有り，まだあえて生産をふまえた大投資をする気になれない。
- ・大型ディスプレイはフレキシブルディスプレイにしたいが，ロバスト性に問題があり，10 年はかかると考えている。
- ・アクティブマトリクス（最重要課題）は作り易いことが重要で，低温プロセス等が使えるとしている。
- ・有機 LED の駆動回路は a-Si から有機 TFT にとって変わられるだろう。但し LTPS (Low Temperature Poly-Silicon) を用いた電子ペーパーも可能性があるとの事。

その他

他の三星グループや LG 社と同様，入出時のセキュリティチェックが厳しく，SEC 及び，Samsung SAIT は同じ敷地内のため，入口，出口は共通でまるで国際線の出国出口であったが，ここが一番厳しいように感じた。ゲートには小銃を持ったガードマンが警備し，まさに Samsung 要塞の様な観を呈している。

A2 三星研究所

訪問先：Samsung 研究所 (SAIT)

訪問日時：2005 年 11 月 9 日(水) 13:00~17:00

訪問者：染谷，下田，中島，伊東

訪問先面会者

NOGUCHI TAKASHI Vice President/SungKyunKwan University/Ph.D.

Seong-Jin Kim Manager/Ph.D.

LyongSun Pu Senior Vice President & Program Director/Ph.D.

SAIT：本研究所は SEC の中央研究所として 1987 年に創立され，現在は 7 つの研究部門で活動を行っており，外部への論文発表も行っている。その 1 部門に OPTO/DISPLAY 部門があり，図 2.1 に示すように，Flexible, Printing Roll to Roll は視野に入れている事が分かる。研究所外観を図 2.2 に示すが，ここにたどり着くまでのセキュリティの高さは日本の比でない。

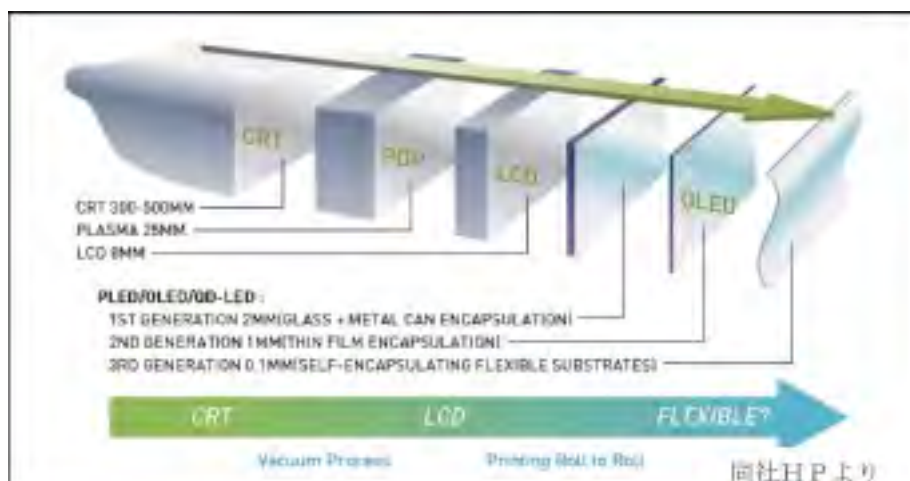


図2.1 SAIT OPTO/DISPLAY 部門の FLAT PANEL DISPLAY の概念



図2.2 SAIT 外観 (同社 HP より)

Dr. 野口氏プレゼン

- ・基板比較での優位性を、シリコン、石英、プラスチック基板と比較し、プラスチック基板に少し優位性のあるとの事。(Appendix B1 参照)
- ・有機トランジスタでの低温プロセスでもバッファ一次第で良い性能がでる。例えば AlN を 100 ミクロン積む。
- ・プラスチック基板への要求事項
 - 表面クリーニング，耐酸性，耐溶媒性
 - 耐熱的ダメージ
- ・マイクロポリセルを用いた OLED が注目されているがまだサイエンスレベル。→界面処理，信頼性が重要→長期研究になるので企業では無理。
- ・発熱はピクセルレベルでは有機材料で OK であるが，さすがに CPU レベルで使えない。
- ・SDI もプリンタブルを導入して生産レベルで使っている。
- ・マスクレスにしたいのでレジストをプリントしてマスクの代用としたいが，実用化にはまだまだ時間がかかる。
- ・製品を市場に出すタイミングが重要(下田氏：最初の価格設定も重要とコメント)
- ・Samsung は研究費に恵まれていて，Dr. 取得者は 100 人以上もいる。

Samsung 社情報 (Dr. フー氏が主)

- ・Samsung は急成長したので(当時は環境問題を全く無視する事が許される時代であったが今は違う) 力づくで必要な技術を寄せ集めた。なのに，なぜ儲かるのか不思議な位。
- ・韓国の対外黒字を国別に見ると日本から年間約 3 兆円近い額を輸入しており，日本に対してのみ赤字で他国はすべて黒字。
- ・韓国の弱みは材料，部品に弱く，これが強いのが日本。日本は地道な研究も得意と思う。
- ・息の長い研究はできない。→ペンタセン TFT で 15 インチのパネルを動かす所までやったがそれでおわり。
- ・Samsung 社発のベンチャーはあるにはある。
- ・Samsung 研究所の人たちは独立心が強く，会社で認められない時はベンチャーを起こしている。
- ・中国が新興勢力として，韓国を追い上げて来ることを非常に心配している。
- ・トップの判断が速く，今日決定したことが次の日から実行され，これが Samsung 成功の鍵の一つと思われる。

その他

三星電子 (SEC) と同じ敷地内での連続した打ち合わせのため，打ち合わせ終了後，SEC と同じ入口から出門した。出る時もセキュリティは SEC への入門時と同様の厳しさであった。

A3 三星 SDI

訪問先：Samsung SDI（在 Suwon）

訪問日時：2005 年 11 月 10 日（木） 10：00～12：00

訪問者：下田達也，伊東義曜

訪問先面会者

HO KYOON CHUNG Senior Vice President/Ph. D.

SUH, MIN CHUL Senior Engineer/Ph. D.

Yong-Seog Kim Senior Manager

KOH, HYANG-JIN Senior Manager/Ph. D.

Steve Y. G. Mo Project Leader/Ph. D.

Yoon Chang Kim Senior Manager MBB/Ph. D.

Yojiro Matsueda Principal Engineer

Samsung SDI：同社は 1970 年に白黒ブラウン管の専門メーカーとして創業され、現在は、図 3.1 に示すようなうたい文句のもとに経営されており、同社 HP でも PDP は大型，LCD，OLED は携帯用に特化している事を謳っている。またこの分野での学会発表を Samsung グループ中では 1 番多く行っている。



図3.1 Samsung SDI の Vision（同社 HP より）

訪問時入手情報

韓国の国プロ関連

- ・「フロンティアプロジェクト 2001」に参画しているが、テーマは「柔らかい」エレクトロニクスではない。

韓国のディスプレイ関連のトップ3大学

- ・ 1 位：慶熙大（ソウル），2 位：東亜大（釜山），3 位：ソウル大
他にも多くの大学がやっているが、ファンディングがあるため。

慶熙大も国プロが始まる前は粗末な設備しかなかった。（企業人には写真を撮らせないとのこと←我々は自由に取りらせて頂いた。但しクリーンルームの外から。）

Samsung SDI の情報

- ・ SDI はプロダクション専門で，研究は SAIT

・主な開発テーマ：

i) フレキシブル基板上の OTFT, OLED 用 Driver

—携帯電話用デバイス（落としても壊れないロバスト性，ベンドブル）←
社会ニーズの取り込み

ii) 長期的には OFET

iii) プロトタイプのコスト低減，生産性向上

・「柔らかい」エレクトロニクスの将来像

→メインストリームにならないのでニッチ市場を考えている。

技術上のトピックス

- ・ステンレス基板とプラスチック基板では，既存の生産設備をつかうのであれば，ステンレス基板に歩がある。両基板共に洗浄方法は同じ。
- ・ステンレス基板はポスコ社，DuPont Steel と共研中（ $t = 150\mu\text{m}$ ）課題は平坦性
- ・インクは UDC が供給
- ・主要生産技術：蒸着，印刷，LITI
- ・湿式プロセスも実施中

共同研究関連

- ・日本と生産技術である R2R 技術の国際共同研究をやりたいとレポートに是非明示してほしいとのコメントあり。
- ・JST の紹介後，もし今回の調査で何か PJ が走った時，Samsung 社も参加できるかの質問有り→「難しいと思う」と答えた。
- ・Samsung 社は Selete の会員になっている。

その他

- ・会社への入出時のセキュリティは他の Samsung と同様であったが，ここでは，金属探知器のゲートは無し。

A4 LG 電子

訪問先：LG Electronics

訪問日時：2005 年 11 月 8 日(火) 10：00～12：00

訪問者：染谷，下田，中島，伊東

訪問先面会者

Kwyro Lee	Executive Vice President
Dr. Sung-Tae Kim	Vice President/Doctor
Dr. Young Hwan Choi	Chief Research Engineer
YongWoo Choi	Chief Research Engineer/Group Leader
Sang-Soo Yoon	Chief Research Engineer

LG Electronics：韓国におけるコンシューマエレクトロニクス企業の先駆者として 1958 年に設立された LG Electronics は，エレクトロニクスならびに情報通信機器の世界的大手企業で，海外事業所ならびに子会社を含めて 55,000 名の従業員を擁し，コア・コンピタンスは 3 つの事業カンパニー，

- ・ Digital Appliance
- ・ Digital Display and Media
- ・ Telecommunication Equipment & Handset

に集約されている。LG Electronics の目標は，デジタル製品をインテリジェントなネットワークで結ぶことにより，消費者の生活をこれまでになく便利にする事と謳っている。

訪問時入手情報

国プロ関連

- ・ フロンティアプロジェクト 2001 に参画中
- ・ NEDO プロジェクトに近い 3 年でプロトタイプまでいくプロジェクトにも参画中→7 インチ VGA (Video Graphics Array)，有機 TFT (Thin Film Transistor)

LG Electronics 社における「柔らかい」エレクトロニクスの現状

- ・ Ink Jet プロセスを準備中→下田氏にコラボをやらないかとコメントあり。
- ・ 有機 FET は検討中（基板表面に特性が敏感とコメントあり）
- ・ 3 研究所があり今回は技術研究所を訪問した。
- ・ 新材料の開発には長い時間必要で，共同研究も必要と考えている。
- ・ プラスティックディスプレイのテーマで LCD，電子ペーパー，有機 TFT にとりくんでいる。
- ・ 新しいディスプレイには，高機能と低コストが重要→2010 年には何かをプロトタイプまでもっていきたい（社内ポスターに「2010 年には売り上げを現在の倍にする」

と明示)

- ・ベンダブルでは不十分で、このレベルでは用途が限られてしまう。
- ・「柔らかい」エレクトロニクスの市場は大きいと考えている。
- ・1にコスト, 2にコスト……コスト, コストをいかに下げるかが問題
- ・Dr. Lee氏は有機エレクトロニクスに否定的であったが、材料開発には時間がかかる事を認識して、研究をやらせている。会社には余裕と国プロ資金があるためと推測される。

技術上のトピックス

- ・LG ケミカルが有機材料開発を行っているがとても使えず, LG 社は日本の東洋インクと共研中である。
- ・OLED は少しやっている。
- ・現在は蒸着プロセスを行っている。Solution プロセスは準備中
- ・現在の技術上の問題は信頼性（これには多くの分野が絡む）とどことも同じな回答。
- ・有機材料は高い。それに較べてアモルファスシリコンは安い。

海外情報

- ・エイクワン社（米国カリフォルニア）では無機材料の微細化シリコンチップを用いてディスプレイを開発している。

その他

LG 社内部に入るときの SECURITY チェックは Samsung 社と同様でカメラ, リムーバルスティックは全て, 入り口であずかり, 入る時 PC は中身をチェックされ, 帰りにも再度中身に変化がないかチェックされた。

A5 ETRI

訪問先：Basic Research Laboratory,

Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) (在 Daejeon)

訪問日時：2005 年 11 月 10 日(木) 9：30～12：00

訪問者：染谷隆夫, 中島啓幾

訪問先面会者

Seok Youl Kang Vice President/Ph.D.

Kang-Yong Kang Director/Principal Member of Researcher/Ph.D.

Jin Ho Lee Principal Member/Team Leader/Professional Engineer/Ph.D.

K.S. Suh Organic Device Team Leader

H.Y. Chu OLDE Team Leader

ETRI：1976 年に創立された国研の一つで、14 の研究部門から構成され、全景を図 5.1 に、ETRI の位置する Daejeok Science Town の構成を図 5.2 に示す。



図5.1 ETRI 全景

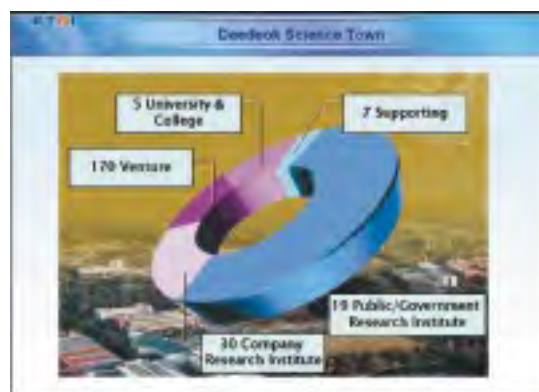


図5.2 Daejeok Science Town の構成

訪問時入手情報

国プロ関連

- ・プロジェクトの期間と主なファンディングソース

2003 年 2 月から 2008 年 1 月までの 5 年間、年間約 \$ 1M, 90% 程度 Korean Minisitry of Information and Communication (KMIC) の出資による。

- ・プロジェクトの構成員

24 名の Reserach Member と 12 名の Research Assistant の総勢 36 名の研究チームを構成する。他 5 社の民間企業が参画し、駆動用のシリコン IC, メタルインク, 表示用のマイクロカプセルインクの開発などを分担する。ETRI の Display 研究所の設備を図 5.3 に示す。



図5.3 ETRI の Display 研究所の設備

・プロジェクトの目的

フレキシブルディスプレイの基盤技術の確立を目指しており(図 5.4 参照), ディスプレイ用途以外の取り組みは特にはない。有機 EL ディスプレイと電子ペーパーの実現に必要なフレキシブル・アクティブマトリックス技術と表示部の開発を目指す。5 年間のプロジェクト終了時には, 4 インチ QVGA (Quarter Video Graphics Array) のフレキシブルディスプレイのプロトタイプ試作を目標とする。



図5.4 ETRI のフレキシブルディスプレイの考え方

・プロジェクト進行状況

アクティブマトリックスについては, 有機トランジスタ, ポリシリコンについての取り組みがあり, 基材としては, ガラス, プラスティック, 金属箔, シリ

コンの4種類を用いている。電子ペーパーについては、独自のマイクロカプセル方式で、フルカラーの電子インクの開発を目指している。有機トランジスタの製造プロセスとして、図5.5に示す、圧力コントロール化学堆積法(PC-CVD: Pressure Control Chemical Vapour Deposition)などの独自技術の開発を進めている。また、これまで有機トランジスタのチャンネル層については、ペンタセンを中心に取り組んできたが、来年には印刷装置を導入して、塗布型デバイスの開発に着手する予定。250度のプロセス温度にて作製した低温ポリシリコンをアクティブマトリックスに用いて、有機ELディスプレイの実現を目指している。

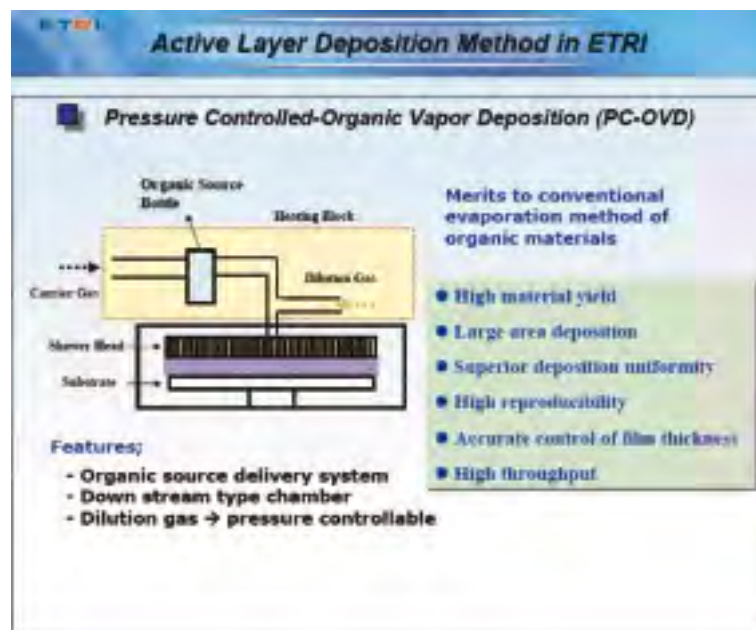


図5.5 圧力コントロール化学堆積法 (PC-CVD)

・ 追記事項

フレキシブルディスプレイの基盤技術のみを研究のターゲットにしている。なぜフレキシブルか、フレキシブルディスプレイの必要性、コスト試算、市場性については、十分な検討が進んでいないような印象を持った。基盤技術について、日本との交流を希望している。

・ 謝辞 スライドはすべて ETRI のご好意による。

A6 慶熙大学 (Kyung Hee University)

訪問先：Kyung Hee University (Seoul)

訪問日時：2005 年 11 月 8 日(火) 14：00～17：00

訪問者：染谷，下田，中島，伊東

訪問先面会者：Prof. Jin Jang

慶熙大学

本大学は 1949 年に創立され，Seoul（15 単科大学，1 教養学部）及び Suwon（9 単科大学及び 1 教養学部）の 2 キャンパスに 24 の単科大学と 2 つの教養学部を擁し，学生数約 24000 人，教員数約 2300 人の一大総合大学。我々の今回の調査対象の 1 つであるディスプレイの専門学科を韓国ではじめて，1997 年に Seoul の理科大学中に設立した大学として高名で，今回はここを訪問した。



図6.1 慶熙大学 Seoul キャンパス全景

訪問時入手情報

韓国の国家プロジェクト情報

- ・現在進行中のものは以下の 10 年期間のものが 1 件（実際には他機関調査より 3 件と判明）
- ・本プロジェクトは 10 年（3 年（評価）+3 年+4 年）
→研究費：10million\$/年
- ・3.5 年前にスタートしすべての有機デバイスを対象
- ・参加企業，大学：Samsung，LG，3～4 社のベンチャーそれに 10 大学（もちろん慶熙大学も参画）
- ・10 グループからなり
→Samsung，LG，慶熙大学は有機 TFT に特化し，これがこのプロジェクトの主テーマ
→Samsung，LG はパワー関連デバイスもやっている。
- ・参画各社のゴール：Samsung は 17 インチ OTFT，LG はフレキシブルディスプレイ

プレイ

- ・このプロジェクトは分散研方式

技術上のトピックス

- ・有機エレクトロニクスでは材料が重要で、日本には良い材料メーカーが何社かある。
- ・ベンチャーを作り、学内にハブを作った。設備の維持管理に優秀なテクニシャンが必要で、現在 10 人雇用。
- ・酸化物のアプローチもあって良い。実用化は企業がやれば良い。CDS や CDT で長い歴史があるが Solution プロセスではだれもやっていない。
- ・OLED の世界ランク；1 位 Samsung SDI, 2 位 Light, 3 位パイオニア

韓国内の情報

- ・Samsung がプリンティングでカラーフィルターを作っている。
- ・インクジェットは小企業が考えている。(米国 Litecs 社)
- ・LG は材料の 50% を輸入している。
- ・有機デバイスにおける材料コストは約 50% を占めている。
- ・韓国には日本企業の進出が活発 (JSR, 住友等)
- ・ポラライザーも日本から輸入
- ・Samsung のキーパーソンは Dr. Chung
→OLED, フレキシブルデバイス, 40 インチ MOLED, 17 インチフレキシブルディスプレイに関与し、米国生活が長い。
- ・最近, Samsung がインクジェットに注目している。
- ・Display の市場は大きく、韓国内に関連の会社は約 300 社
- ・韓国内でハイレベルの研究者は Samsung, LG に行く。
- ・学生がソウル近郊の企業に就職したがっており、わざわざソウル近郊に移転した会社もある。
- ・釜山は韓国で 2 番目の都市で、多くの企業の社長を輩出しているので、企業や政府が肩入れをしていくつか大学を作ったがソウルの人気に負けて学生が来ない。
- ・韓国の国家研究費は日本の 1/6 程度

韓国から見た日本企業

- ・日本の化学企業は規模こそ小さいが確かな技術を持っている。
- ・日本のフィルムはすばらしい。

海外情報

- ・米国ではアリゾナ州立大, UK はプリンティングが強い。(ケンブリッジ大が主導)

学会情報

- ・TFT コンファレンスを初めて韓国で開催した。(2005 年)

次回は 2006 年 1 月 19 日～20 日で九州
→20 件の論文が韓国のノルマになっている

慶熙大 ディスプレイ学科

- ・韓国内で初めての Display 学科。
- 1997 年 学科創設
- 2004 年 学部創設
- 現在, 学部生 40 人, 院生 20 人

クリーンルーム

①すばらしいクリーンルーム(クラス100及びクラス1000)と最新設備からなる, まさに小工場で, 上でのべたように, 本プロジェクトは分散研方式とのことであるが, このラボを見ると, 正に集中研そのものと思われた。(写真 6.2～6.4 参照)



図6.2 クリーンルーム (クラス 100)



図6.3 クリーンルーム (クラス 1000)

装置ではフレキシブルディスプレイ用の試作装置が装備されており, 例えば, 図 6.4 に示す低温成膜装置, 図 6.5 に示す合成装置, そして図 6.6 に示すインクジェットプリンターが既にセットされていた事である。



図6.4 低温成膜装置



図6.5 合成装置



図6.6 インクジェットプリンター

実験室

授業の一環として図6.7，図6.8に示すように，市販のディスプレイを分解して，内部を解析する事を学生にやらせており，実学として非常に良い方法と感心した。図6.7はプロジェクションタイプ，図6.8はPDP及びLCDの分解例であるが，分解して，回路や素子，構成，機能等を実地で検証する事は非常に有用な方法と感じた。



図6.7 市販プロジェクションタイプの分解例
(上段：表示部，中段：投射ユニット部，下段：電源部)



図6.8 市販 PDP（左）LCD（右）の分解例
（上段：ディスプレイ表示部外観，中段：表示パネル部，下段：電源部）



謝辞：写真はすべて Jin Jang 教授のご好意による。

Appendix B 米国 G-TeC 一覧及びサイトレポート

B0 調査団及び訪問先

・調査団メンバー

氏 名	所 属 / 役 職
安達千波矢	九州大学 未来化学創造センター 教授 (大学院・工学府・物質創造工学専攻)
時任 静士	日本放送協会 放送技術研究所 材料基盤技術 主任研究員
中島 啓幾	独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 生駒グループ シニアフェロー
高橋 良明	独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 生駒グループ アソシエイトフェロー

・訪問先及び訪問日時

No.	機 関 名	訪問日時	面会者名 (代表者、敬称略)
B3	Flexible Display Center at Arizona State University	平成 18 年 1 月 23 日 10:00~16:00	Gregory Raupp
B5	UCLA (University of California, Los Angeles)	平成 18 年 1 月 24 日 11:00~14:00	Yang Yang
B2	PARC (Palo Alto Research Center)	平成 18 年 1 月 25 日 9:00~13:00	Robert Street
B4	Pennsylvania State University	平成 18 年 1 月 26 日 10:30~14:30	Thomas N. Jackson
B1	3M Display & Graphics Business Laboratory	平成 18 年 1 月 27 日 10:00~16:00	Tommie W. Kelley



・米国 G-TeC 面会者リスト（訪問順）

機 関 名	氏 名	所 属 / 役 職
Flexible Display Center at Arizona State University	Gregory B. Raupp	Center Director
	Nick Colaneri	Associate Director
	Ghassan E. Jabbour	Professor and Director, Optoelectronic Materials and Devices
UCLA	Yang Yang	Professor Department of Materials Science and Engineering
Palo Alto Research Center	Raj B. Apte	PhD ; Member of Research Staff
	Robert Street	Senior Research Fellow
	Ana Claudia Arias	PhD ; Member of Research Staff ; Electronic Materials and Devices Laboratory
Pennsylvania State University	Thomas N. Jackson	Robert E.Kirby Chair ; Professor of Electrical Engineering
3M Display & Graphics Business Laboratory	Tommie Wilson Kelley	PhD ; Research Specialist
	Rick L. Neby	Sr.Laboratory Manager
	Martin B. Wolk	PhD ; Senior Research Specialist
	Fred B. McCormick	Dr ; Senior Research Specialist
	William A. Tolbert	Dr ; Technical Manager
	Mark Roehrig	Ph.D. ; Research Specialist ; Process Laboratory
	Sergey Lamansky	Ph.D. ; Research Specialist
	John E. Potts	Ph.D. ; Staff Scientist

B1 3M

訪問先：3M Center : Display and Graphics Business

St. Paul, MN 55144-1000

訪問日時：2月27日(金) 10:00~15:00

訪問者：安達（九州大），時任（NHK），中島（JST），高橋（JST）

対応者：Tommie W. Kelley, Fred B. McCormick, William A. Tolbert, Sergey Lamansky, Martin B. Wolk, Rick L. Neby, Mark Roehring, John E. Potts

訪問目的

3Mは7年ほど前から有機ELディスプレイ試作技術として Laser Induced Thermal Imaging 技術を進めており、また、2年ほど前から有機トランジスタの基礎、プラスチック基板への応用研究にも力を入れている。有機EL、有機TFTおよび「柔らかい」に関する幅広い研究を展開しているため、その研究戦略と現状技術を調査することを目的とした。

3M Center の概要

3M Center は 3M の研究開発部門で、約 10000 名の研究員および技術員が所属する。Display and Graphics 部門はディスプレイと広告媒体のテクノロジープラットフォームの構築を目指す。「柔らかい」エレクトロニクス関係では以下の4のテーマが主軸となっている。

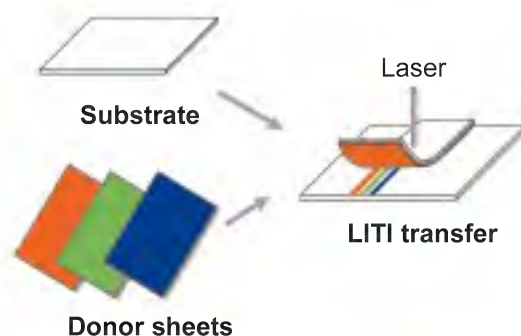
- ・ Laser Induced Thermal Imaging (LITI)
- ・ Active Signage
- ・ Flexible OLED Technology
- ・ Gas-Barrier Technology

これらの研究開発に 20~30 名の要員を充てている。研究予算は自主予算であり、政府や他企業からの Funding はない。材料としては低分子有機材料が中心で、従来の真空蒸着法を活用している。

研究開発の概要

(1) Laser Induced Thermal Imaging

フォトリソプロセスが適用できない有機半導体の微細加工法として提案されている。有機半導体薄膜を形成されたドナーフィルムを基板上に配置し上部からレーザー照射による局所加熱によってドナーフィルムの有機半導体薄膜をそのまま基板へ転写する。ドナーフィルムを変えることで種々の有機材料を基板上に微細にパターンニング



出典：NHK 技研 時任氏作成

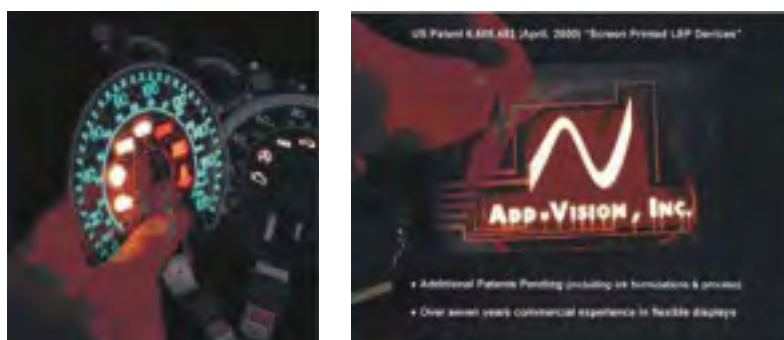
できる。現状の装置では、1800x2000 mm サイズの基板に対応でき、精度は $\pm 2.5 \mu\text{m}$ とのことである。将来的にさらなる大型化は可能とのことである。韓国 Samsung SDI との共同研究で、2000 年には 17 インチ (1600x1200) のフルカラー有機 EL ディスプレイ、2005 年には 302 ppi の世界最高精細の有機 EL ディスプレイを実現している。この技術はディスプレイに限らず、広く適用可能である。

(2) Active Signage

映像情報などの高度なものではなく簡単で単純な情報を表示するディスプレイ技術を Low information active content signage technology と称して、その技術構築を進めている。ともかく、低コストで大型のものを量産できることが求められる。用途としては、駅前や電車内の広告、ポスター、掲示板などを想定している。表示方式としては反射型の電気泳動や液晶技術、自発光型の有機 EL であり、消費電力が低いことが必要条件としてある。

(3) Flexible OLED Technology

有機 EL ディスプレイとしては TFT 駆動を用いるアクティブ駆動と単純なパッシブ駆動があるが、3M は低コストな応用に絞っているため、パッシブタイプが中心である。シャドーマスクを用いた真空蒸着法でプラスチックフィルム上にマトリックス状の有機 EL ディスプレイを作製し、その表示性能や寿命等を試験している。これに関しては外部の Add. Vision や Philips, Samsung とも連携している。下図は Add. Vision の試作した有機 EL ディスプレイである。



出典：Add Vision ホームページより <http://www.add-vision.com/>

3M は「柔らかい」エレクトロニクス研究の歴史があり、これまでフレキシブル液晶ディスプレイやフレキシブル電子回路など研究実績がある。

(4) Gas-Barrier Technology

フレキシブルディスプレイのベースとなるプラスチックフィルムのガスバリア性を向上させるために、フィルム表面へのコーティング技術を独自に進めている。真空蒸着法で無機薄膜を形成するので、現在、 $10^{-5} \text{ g/cm}^2/\text{day}$ のバリア性能が達成できている。この性能は有機 EL ディスプレイに要求されるレベルに匹敵する。

自由討論

「柔らかい」エレクトロニクスは多種多様な用途が報告されており、その将来的な由要性が主張されているが、その基本となる学問体系は確立されていないのではとの質問を参加者へ投げかけた。出席者の多くから同様な意見を聞くことができた。政府からの Funding サイクルが短いことと大学関係者はベンチャー企業を起こすことに関心を持っているため基礎研究が疎かになっている。学会でも発表者が自己の発表を行うだけで、十分な議論をする雰囲気がない。むしろ、欧州の方が Funding サイクルが長いので、基礎研究に強い。残念ながら 3M のような企業では基礎研究を主軸を置くことは無理とのことであった。また、有機 EL や有機太陽電池などの性能の表現が研究機関によってばらばらであり、そのような評価基準の統一も必要との意見も出た。

その他、フレキシブルなデバイスの将来製造技術として Roll-to-Roll が挙げられるが、現実的には基板のフィルム内での位置合わせが困難であり実現は難しい。デバイス製造プロセスのすべてを Printing でやるのは問題が多過ぎる。E-paper はモノクロ表示で表示速度が遅いため、そのビジネス展開には問題がある。有機 TFT での RFID タグ応用は難しいなどの意見が出た。

まとめ

研究開発の戦略が明確であり、他社との差別化を図っている。LITI の位置付けは有機 EL ディスプレイの大型化と高精細化に対応する独自の製造技術である。Active Signage と Flexible OLED の両分野でフレキシブルディスプレイ研究を進めている。ただ、いずれも映像表示でなく単純な表示媒体であり低コストなものを狙っている。

基礎研究の重要性に対する意識も高く、技術に対して冷静に向かい合っている。



B2 PARC (Palo Alto Research Center)

訪問先：PARC (Palo Alto Research Center)

3333 Coyote Hill Road, Palo Alto, CA 94304

訪問者：安達（九州大），時任（NHK），中島（JST），高橋（JST）

対応者：Robert Street, Ana C. Arias, Raj B Apte

訪問日時：2月25日（水）9：00～13：00

訪問目的

Palo Alto Research Center はインクジェット法による有機 TFT のおよび E-paper の研究を精力的に進めており，論文や学術会議等での報告からそのアクティビティが注目される。今回，訪問してその研究方針および独自技術の調査を行った。

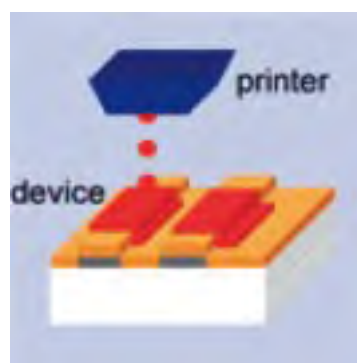
PARC の概要

Senior Research Fellow の Dr. R. Street から研究所の概要の説明を受けた後，実験室を見学しながら研究の説明を受けた。Dr. A. Arias と Dr. R. Apte と個別技術の討論を行った。

1970 年に Xerox の技術支援研究所として設立され，レーザープリンターやイーサーネットなど有名な技術を輩出した歴史ある研究所である。2002 年に別会社として独立し，現在は Xerox 以外からも資金調達して運営されている。研究分野は

- ・ Computing Science Laboratory
- ・ Electronic Materials and Devices Laboratory
- ・ Hardware System Laboratory
- ・ Intelligent Systems Laboratory

で，今回は Electronic Materials and Devices Laboratory の部門を訪問した。溶液プロセスであるインクジェット法を活用し，低コストで製造できる「Large Area Electronics」の実現に力を入れている。プラスチックフィルムやステンレススチールのような薄くて割れない基板を用いるフレキシブルなデバイスにも注力している。研究所の要員数は約 160 名で，総研究費は約 40 億ドルである。その約半分は Xerox からの資金が占め，今でも Xerox への依存度は高い。



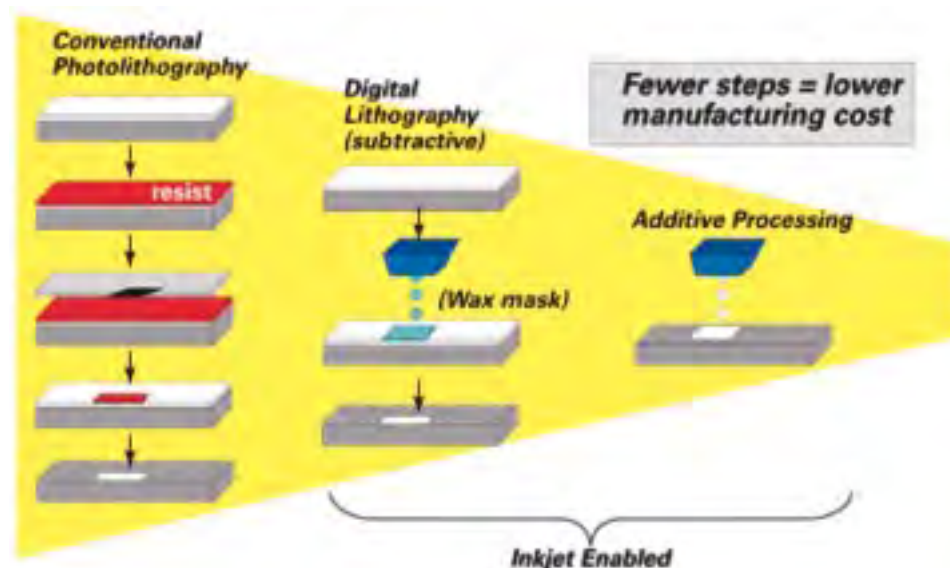
出典：PARC ホームページより
<http://www.parc.com/research/projects/lae/>

研究開発の概要

従来の半導体デバイス製造の製造プロセスは露光マスクとレジスタ剤を用いた切った貼ったの世界である。この方法では，将来的な低コスト化と大面積化に対応が難し

くなっており、さらには環境の面でも問題視されている。PARC は材料の溶液（インク）を所定の位置だけに滴下して配線や半導体部分を形成するインクジェット法を新しい低コストプロセスとして位置づけ、その技術確立を進めている。

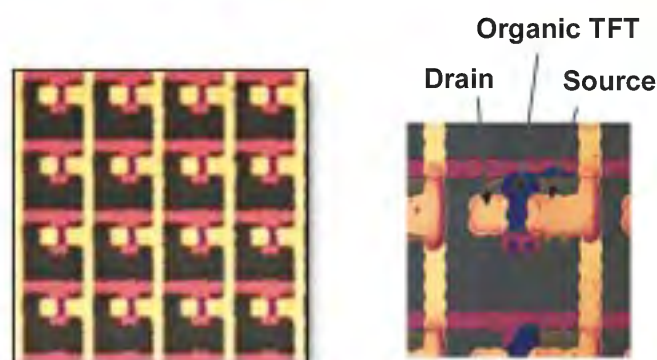
特に、高分子材料とインクジェット技術の組み合わせは理想的であり、インクジェットヘッドから突出可能な材料インクを調整しやすい。代表的な研究例として Wax mask process がある。これは露光用マスクなしでパターンニングできるマスクレスプロセスである。図に示すように残す部分にだけこの Wax（樹脂）をインクジェットで塗布してウェットあるいはドライエッチングで他の部分を除去する。この方法は既存の半導体プロセスにも導入可能で、プロセス回数を少なくできる。プロセス回数を少なくできればそれだけ製造コストは低減でき、将来的には全てのプロセスをインクジェット法で形成することを目標とする。



出典：PARC ホームページより

<http://www.parc.com/research/projects/dropletdispensing/printheads.html>

高分子系の有機半導体を用いた Ink jet-printed plastic transistors や Ink jet-printed plastic display は「柔らかい」エレクトロニクスの代表的な研究である。ポリチオフェン系の高分子半導体をインクジェット法で吐出して形成して作製できる有機 TFT の移動度は $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度と a-SiTFT に比べると低いが、低温で作製でき柔軟性にも優れるためプラスチック



Organic TFT Array

出典：PARC ホームページより

<http://www.parc.com/research/projects/lae/plastic.html>

ク基板への適応性が良く「柔らかい」エレクトロニクスへの応用展開が容易である。前頁の図のように配線と電極に金属微粒子のインク、半導体には高分子半導体のインクを用いてインクジェット法で作製した TFT アレイである。ソースとドレイン電極間（チャンネル長）が $60\text{ }\mu\text{m}$ 程度は実現できている。

現実的応用を考えるとその信頼性が重要となるが、インクジェット法で作製した有機 TFT の信頼性の研究も進められている。半導体材料としては、高分子系半導体だけでなく a-Si も平行して研究している。a-Si に関してはコピー機の感光体ドラムに実用化した実績と技術蓄積がある。

具体的応用面では、ディスプレイもあるがイメージセンサなどの用途も考えている。特に、Xerox が E-paper に強い関心を示しているため E-paper には力を入れている。表示方式は電気泳動や液晶などを利用しているが、電流消費の少ないこの反射表示方式であれば、移動度が低い高分子半導体でも駆動できている。将来的には有機 EL ディスプレイを駆動できる TFT 性能を目指す。

まとめ

従来のフォトリソプロセスから脱却する新プロセスとしてインクジェット法に注目している。低コストであって大面積化が容易なエレクトロニクス「Large Area Electronics」の実現が最終目標であり、その中にはプラスチックやステンレスなどのフレキシブル基板を使ったディスプレイ、センサへの応用が含まれる。



B3 FDC

訪問先：Flexible Display Center at Arizona State University

7700 S. River Parkway, Tempe, AZ 85284

訪問者：時任（NHK），中島（JST），高橋（JST）

対応者：Gregory Raupp, Nick Colaneri, Ghassan Jabbour

訪問日時：2月23日（月）10：00～15：00

訪問目的

Arizona State University にフレキシブルディスプレイの開発研究を目的として研究センター（Flexible Display Center : FDC）が設立された話題は日本へも伝わっており，この研究センターがどのような組織で，具体的なターゲットおよびその基本技術を調査することを目的とした。



Flexible Display Center 外観

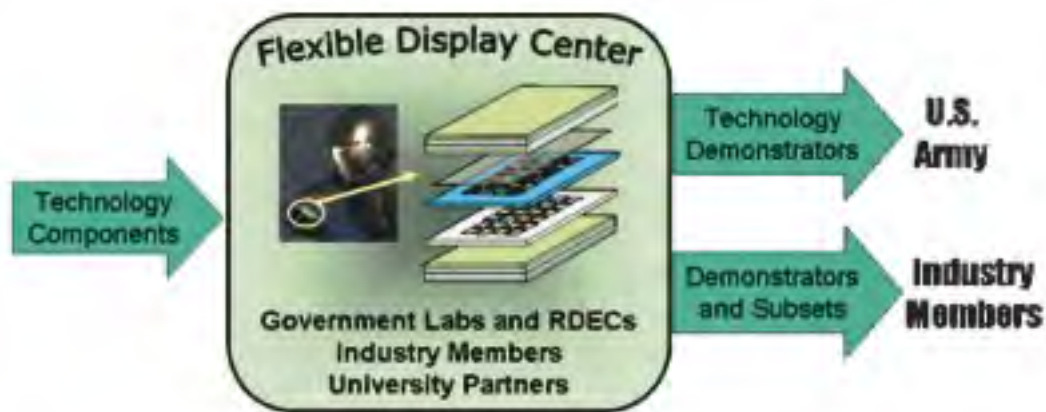


出典：FDC ASU ホームページより
<http://www.asu.edu/ia/photogallery/fdc/11.htm>

FDC の概要

当方より訪問の趣旨，JST の紹介を行った後，FDC の Director である Dr. Raupp から，FDC 設立の経緯と目的，外部連携，ロードマップ等について説明を受けた。午後は，Associate Director の Nick Colaneri とさらに1時間半ほど自由討論を行った。

FDC は 2002 年 2 月に産官学連携で Arizona State University 内に設立された研究所で，フルカラーフレキシブルディスプレイのプロトタイプ試作とともにプロセス製造技術を構築し民生や軍事用への実用化を目的としている。他のディスプレイにないフレキシブルディスプレイのメリットとして，Flexible, Rugged, Light weight, Compact, Anyshape に注目しており，スポーツやエンタテインメント用ウェアラブル，自動車のヘッドアップディスプレイ，ナイトビジョン，省スペースのスクリーンディスプレイなどが具体的な応用例である。軍事用としては，兵士の腕に巻くディスプレイなどを挙げている。



出典：FDC ASU ホームページより
<http://flexdisplay.asu.edu/goals.htm>

研究所の建物は以前モトローラ社が FED (Filed Emission Display) 開発を行っていた施設を改装している。組織は以下の通りである。

- | | |
|--|-----------------------|
| ・ Center Director | : Greg Raupp |
| ・ Materials and Thin Film Characterization | : Terry Alford |
| ・ Backplane Electronics R&D Director | : David Allee |
| ・ Associate Director | : Nick Colaneri |
| ・ Project Manager | : Kris Gillis |
| ・ Electro-Optic Systems R&D Director | : Ghassan Jabbour |
| ・ Technology Integration Manager | : Doug Loy |
| ・ Director of Operations | : Shawn O'Rourke |
| ・ International Development Director | : Frederic Zenhausern |
| ・ Website Administrator | : Chrissy Brown |

外部連携先として、Principal partner は Honeywell International, EV Group, Universal Display Corporation と United State Display Consortium が中心となり、これに Associate partner として E-Ink, KENT Display など 7 社程度が関係している。日東電工など日本企業も参画している。Principal の各社は FDC へ研究員および技術者を派遣しており、特に EV Group と Honeywell からはそれぞれ 20 名ほどが派遣されている。Principal には同業者は含めず、異種業種の企業から構成される。これは企業間の利害対立を防ぐためのようである。

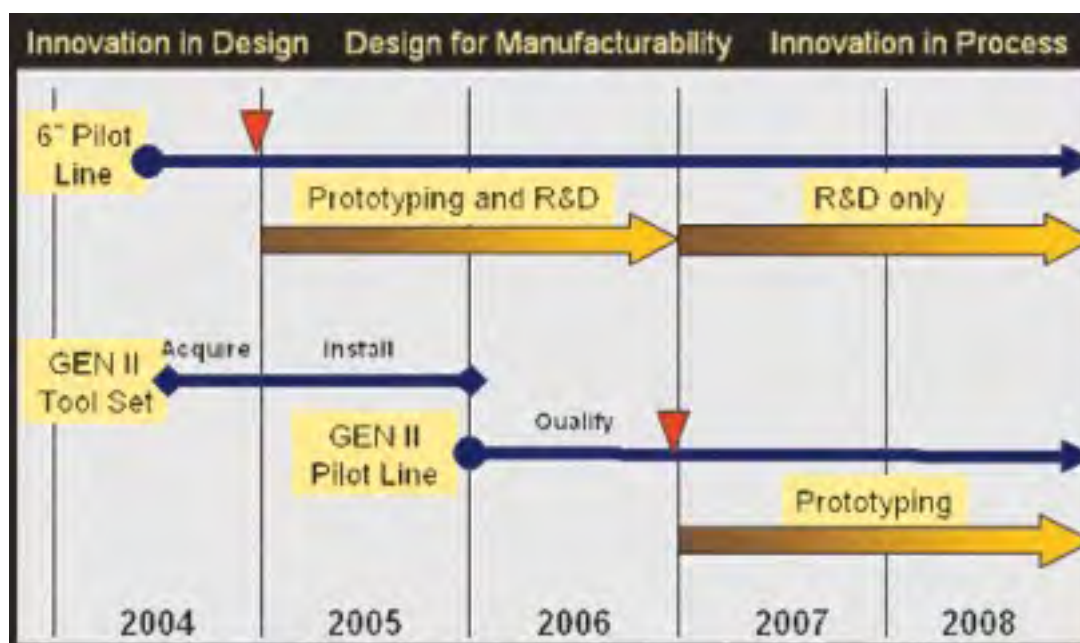
研究開発の概要

フレキシブルディスプレイの重要な基本技術としてアクティブ駆動するための薄膜トランジスタ (TFT) 基板が必要であるが、FDC ではプロトタイプを試作とプロセス開発を確実に達成するために、既存技術であるアモルファスシリコン TFT (a-SiTFT) に特化している。a-SiTFT をプラスチックフィルム基板上に低温で作製することになるが、現状の実力は基板温度 175℃ で移動度が 0.2 cm²/Vs を達成できてい

る。最近、フレキシブルディスプレイ用の TFT として注目されている有機 TFT に関しては、すぐに使うというよりは、将来技術として位置づけている。また有機 EL についても基礎研究フェーズでインクジェット法と絡めて研究を進めている。この将来技術は Electro-Optic Systems R&D Director の Prof. G. Jabbour が担当しており、数台のグローブボックスやインクジェット装置が導入されている。

開発のスケジュールとしては、2006 年度中に 4 インチ、2009 年には 15 インチの試作プロセスとプロトタイプを実現する。表示方式として当面は反射型表示の E-Ink の電気泳動や Kent Display の液晶を用い、将来的には自発光型の有機 EL での試作も計画されている。総面積が 43500 平方フィートのクリーンルーム内に a-SiTFT の半導体プロセス装置が並んでいて、a-SiTFT の基本技術は Honeywell から導入している。現状は 6 インチサイズ対応であるが、今年から第 2 世代 (GENII) の基板 (370 mmx470 mm) 対応の装置導入が始まっている。この基板からは 4 インチが 4 枚、10 インチと 15 インチが 1 枚面取りできる。プラスチックフィルムはハンドリングが難しいため、同サイズのガラス基板に仮粘着してプロセスを通し、最後にガラス基板から剥がすことで完成させる。如何にしてプラスチックフィルム上へ高性能な a-TFT バックプレーンを試作するかが課題である。

フレキシブルディスプレイにとって基板となるプラスチックフィルムの耐熱性、耐溶剤性、熱膨張係数の改善は重要な課題であるが、これに関しては日本などのフィルム専門企業に頼っているようである。



出典：FDC ASU ホームページより
http://flexdisplay.asu.edu/pilot_line.htm

まとめ

米政府の後押しで設立され、比較的に短期間に現実的なフレキシブルディスプレイのプロトタイプと製造技術の確立が目的であるため、リスクの少ない既存技術の導入によってその目的を達成しようとしている。研究要素の多い有機 TFT や有機 EL といった有機エレクトロニクスの活用にはこだわっていない。ただ、将来的な技術としては注目し、基礎研究の位置づけで着実に進めている。



B4 Pennsylvania State University (PSU)

訪問先：Center for Thin Film Devices, Electronic Materials and Processing Research Laboratory, Department of Electrical Engineering, Pennsylvania State University

訪問日時：1月26日(木) 10:00~14:00

訪問者：安達（九州大）、時任（NHK）、中島（JST）、高橋（JST）

PSU 対応者：Prof. Thomas N. Jackson

訪問目的

PSU の Jackson 教授は、近年活発に研究が行われている有機トランジスタの火付け役である。今回の訪問によって、Jackson 教授の現在の研究状況、教授が考える有機エレクトロニクスの方性や米国の大学での研究活動の実態を把握することを目的とした。

Jackson 教授の略歴と研究室の概要

Jackson 教授は、IBM で GaAs の研究を行い、PSU に移動してからは、有機材料にも研究範囲を広げ、今から 10 年前の 1996 年に縮合多環芳香族のペンタセンを用いて、 $\sim 10^{-3} \text{ m}^2/\text{Vs}$ の移動度を報告した。現在の有機トランジスタ研究の火付け役でもある。もともと無機半導体屋であった彼がなぜ有機材料に興味を持ったのかは、不明であるが、ミシガン大学の Forrest



出典：Jackson 教授 ホームページより
<http://www.ee.psu.edu/faculty/jackson/jackson1.html>

教授も同じような経歴を持っている。有機エレクトロニクスの研究で成功を収めている研究者は無機半導体のバックグラウンドをしっかりと持った研究者が多い。有機化合物に関する知識がなくても、薄膜さえできてしまえば、彼らに取っては、無機でも有機でも関係なく、得られたデータが数式で解析できればいいのかも知れない。欧米では、人のやらない研究領域にこそ生き甲斐を感じる研究者が多いと感じる。そういう文化が、Jackson や Forrest 教授を生み出すのだろう。現在、Jackson 教授は PSU の学内やケンタッキー大学の合成グループとの連携を取り、新材料の開発にも積極的に取り組んでいる。共同研究も多数の企業、研究機関と進めており、UDC, Boeing, Kodak, ARL, Sarnoff などが代表的な企業である。

PSU はワシントン DC から飛行機で 1 時間弱のところであり、State Collage という空港から車で 10 分弱のところである。驚いたのは、街には大学しかなく、完全に外部と孤立しているのである。アメフトの試合があるときは 10 万人収容のスタジアムが人で溢れかえるそうであるが、普段は、まさに大学のみの孤立した静寂の世界である。今年は雪も少なく冬としては比較的温暖な気候らしいが、体感温度は -10°C 程度の非常

に寒いところであった。一番驚いたのが実験室である。とにかく有機・無機蒸着装置、スパッタ製膜装置からリソグラフィ関連装置、計測装置まで、実験室の外まで歩く隙間もないほど実験装置で溢れかえっていた点である。決して最新の装置ではないが、これだけいろいろな装置があれば、何でもいろいろなことが直ぐにできるだろうなと直感的に感じる事ができた研究室である。学生や研究者に取っては、十分に研究ができる環境が整備されていると感じた。食事の後に、時任、安達で講演を行った。時任は、フレキシブル有機 EL とアクティブ駆動について、安達は発光性トランジスターと有機レーザーに関するセミナーを行った。講演には、20 名弱の学生と教授が集まった。ここでも UCLA と同じように、多くの中国系大学院生が在籍し、熱心に講演に耳を傾けていた。有機エレクトロニクスへの関心の高さを感じた。



講演風景

Jackson 教授の研究の方向性

Jackson 教授は右図に示すように、a-Si から有機半導体そして有機—無機ハイブリッドデバイスまで幅広く研究活動を行っている。有機 EL ディスプレイのアクティブ駆動も実現しているが、彼自身は、フレキシブルデバイスのディスプレイへの適用には非常に慎重なスタンスを取っていることが印象的であった。20 ミクロン以下の高度な微細加工が必要とされるデバイスにおいて、プラスチック基板のような位置精度の出ない材料への適用の難しさや、高コスト、大面積化には、懐疑的な意見を持っていた。むしろ、センサやアクチュエーターなどの“Low-cost device and circuits on arbitrary substrate”に注力すべきとの考えを持っていた。東大染谷先生が行われているフレキシブルセンサの

Research focus

Organic thin film transistors and integrated circuits

[Pentacene TFTs on glass](#)
[Pentacene TFTs on flexible plastic substrates](#)
[Pentacene TFT circuits](#)
[Solution-cast polymer TFTs](#)
[Improved contacts for organic devices using charge transfer agents](#)
[Stacked-pentacene organic TFTs](#)
[Reduced process complexity for organic TFTs](#)

Molecular Electronics

Molecular motor and microtubules

Organic light emitting devices and displays

Hydrogenated amorphous silicon devices and circuits

Hydrogenated amorphous silicon TFTs with ultra-thin active layer

[A fully-self-aligned tri-layer a-Si:H TFT process](#)

[Polymeric substrates a-Si:H TFT circuits](#)

[Thin film photovoltaic cells on flexible polyimide substrates](#)

Integrated micro-well detectors for x-ray and gamma-ray astronomy

Hybrid inorganic / organic complementary thin film transistor circuits

[Simple hydrogenated amorphous silicon / pentacene TFT circuits](#)

[LSI hydrogenated amorphous silicon / pentacene circuits](#)

Moletronics - Inorganic self-assembly routes to three-dimensional nanostructures

Far-ultra-violet spectroscopic reflectometry and spectroscopic ellipsometry

Silicon carbide device technology

[SiC MOSFET device processing](#)

[A SiC vertical power MOSFET process](#)

Silicon / silicon-germanium two-dimensional electron gas heterostructures

[Thermal stability of strained Si channel SiGe heterostructures](#)

[A strained-silicon, high-electron-mobility MOS field effect transistor](#)

III-V semiconductor device technology

GaAs based radiation-hard photovoltaics

GaAs based room-temperature gamma-ray detectors

GaN based optoelectronic devices

Active-matrix liquid-crystal display technology

[An integrated black matrix for AMLCDs](#)

出典：Jackson 教授 ホームページより

<http://www.asu.edu/ia/photogallery/fdc/11.htm>

研究を高く評価しており、ディスプレイのような高度な生産技術も要する技術分野と微細加工の不要な有機エレクトロニクスの展開も考えて行かなければならないと感じた。

有機トランジスタの研究分野ではトップを走っている Jackson 教授は、デバイス物理の分野でも深い研究を進めている。昼食時に、有機―無機界面の電荷注入の問題、有機材料の伝導機構の話では目を輝かせて話してくれた。この分野の発展のためには、有機デバイスの基礎物性の解明が最も重要と教授も考えていると感じた。

Low-cost device and circuits on arbitrary substrate

Display…マーケット難しい。コストが重要。

パラダイムシフト

旧パラダイム: Single Crystal Semiconductor

新パラダイム: Solution Deposition

応用例

Smart Dressing (3M, Tegaderm™)

Active Therapy、Local Drug Control、Stimulated Cell growth
(ガスセンサ、温度センサ、Fluid Sensor) + RFID+Batt+Control

Low-cost & Low-tempered are drivers

Sensor Array (ポーイング、JPL)

Flexible、Semiconduction、Strain sensor センサ+TFT

100デモ、100アプリ NextGen Aeronautics

Display

Light Wight、Rugged、Flexible Display

Display on curved and arbitrary Surface

ペンコンピュータ (GPS)、UDC

Soft Material

センサ&アクチュエータ

ソフトバイオ、インプラントブルエレクトロニクス

飛行機

出典：九州大学 安達先生作成



B5 UCLA [University of California, Los Angeles]

訪問先：Department of Materials Science, UCLA

訪問日時：1月24日(火) 11:00~14:00

訪問者：安達（九州大），時任（NHK），中島（JST），高橋（JST）

対応者：Prof. Yang Yang

訪問目的

UCLA の Yang 教授は、近年、有機エレクトロニクスの研究開発に積極的に取り組んでいる米国内でも有数の研究者である。今回の訪問によって、Yang 教授が考える有機エレクトロニクスの方向性や米国の大学での研究活動の実態を把握することを目的とした。



UCLA 風景

Yang 教授の略歴と研究室の概要

Yang 教授は台湾の大学を卒業後、1991 年に U. Mass で PhD を取得した。その後、ポリマー LED で有名な UNIAX Co. で研究員として過ごした後、1997 年に Assistant Professor, 1998 年に Associate Professor, 2002 年に tenure を取得し full Professor に昇進している。これまで、一貫してポリマー EL に関する研究を展開し、界面制御による低電圧駆動デバイスの



出典：Yang 教授 ホームページより
<http://mctp.chem.ucla.edu/yang/yangyang.html>

実現、電解質を含有した Electro-chemi-luminescence (ECL), そして最近では、有機 EL から有機太陽電池、有機メモリーデバイスに研究領域を拡大している。メモリーデバイスにおいては、無機-有機材料を組み合わせたさまざまな新規なデバイス構造の提案を行っている。メモリーデバイスは、今後の有機集積回路において重要な位置を占めると予想される。

研究室のメンバーは、ポスドク 3 名、大学院生 20 名から構成されており、米国の大学としては、大所帯である。院生は、ほとんどが台湾、中国系の学生から構成されており、本当に米国の大学なのかわかると思わせる研究室である。UCLA の大学院生の約半数は中国系の学生で占められているようで、世界で最も活力がある人々がいろいろな差別があるにしろ、基本的には、自由に活躍



出典：Yang 教授 ホームページより
<http://mctp.chem.ucla.edu/yang/photoalbum.html>

できる米国の社会システムは素晴らしいと感じる。研究室の予算規模は年間 \$1M であるが、UCLA の overhead は 50% に達し、さらに、大学院生を一人維持するのに約 \$30-40K のコストが掛かるため、実質に研究に使える予算は、かなり限られているそうである。ただ、大型の設備に対しては overhead は掛からない。UCLA の標準的な教授の予算は、\$0.5M である。ファンディングは NSF, NIH, Air Force, Navi, DARPA 等複数の機関から助成を受けている。

研究室は、比較的古い建物であり、現在、新しい研究棟の建築が進んでいる。2 年後に完成の予定であるが、新しい建物ではスペースが狭くなるので、学外へのスペースの確保を考えているそうである。実験室は最新の装置と古い装置が混在しており、最新の UPS, グローブボックスが 4 個連結した有機デバイス用の製膜装置から中古の蒸着装置が複数設置されていた。ただ、性能の高いメモリーデバイスは、DP で排気している古びた蒸着装置でのみ得られたということが印象的であった。酸化膜の形成が関与しているだろう。その他、材料精製、調整、分析に関する機器が所狭しと置かれていた。Yang 教授は、デバイス物性に注力しており、材料合成は行っていないが、合成の研究者と密なコラボレーションを行っている。米国の有機エレクトロニクスの研究で成功しているグループは、必ず、物性屋と有機合成屋がスクラムを組んでいる。日本の大学でも、物性屋と合成屋が密接した関係をもって有機エレクトロニクスの研究に取り組まなければならないと感じる。ULCA では数年後に有機エレクトロニクス (Soft Electronics) に関する研究センターを設立する方向で動いている。教授陣も、有機エレクトロニクスに興味のある合成関連の人材を集めているそうである。

現在、Yang 教授が興味をもって進めている研究は、有機太陽電池と有機メモリーデバイスである。太陽電池に関しては、ポリマー系で世界最高水準の 4.4% のエネルギー変換効率を実現している。翌日に面談したアリゾナ州立大の Jabbour 教授も、有機太陽電池の重要性を指摘しており、米国内では、有機 EL に関するファンディングが取りにくい状況もあり、有機太陽電池でのプロジェクトに予算がつきやすいようである。日本でも、早々に JST, JSPS レベルでの基礎研究レベルでの予算付けが必要と感じた。メモリーデバイスに関しては、無機酸化物層と有機層との界面現象を利用した新

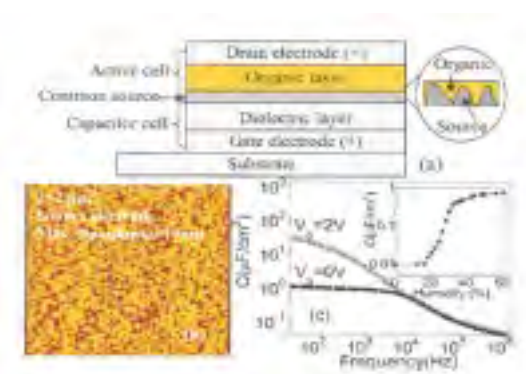
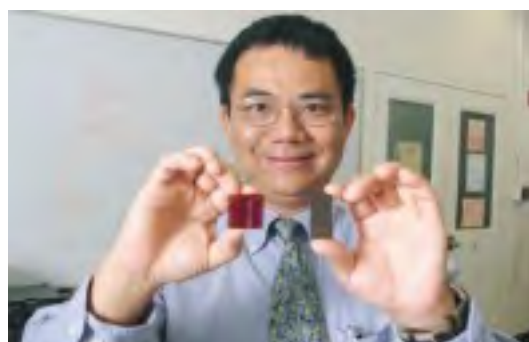


出典：Yang 教授 ホームページより
<http://mctp.chem.ucla.edu/yang/facility.html>

しいデバイスの提案を行い、有機 EL デバイスのアクティブ駆動にも成功している。Yang 教授の研究手法は、既存の材料でも、知恵を絞って使いこなせば、デバイスの性能を極限まで向上できることを示している。また、最近では、バイオセンサについても研究を進めていると伺った。米国では、有機 EL の研究では、予算が取れない今、新しい研究展開を進めて予算を確保していく必要があることを示している。

Yang 教授の研究の方向性

Yang 教授も時代がプラスチック基板をベースにした「柔らかい」エレクトロニクスに進んでいくことは間違いないと考えている。但し、水や酸素ブロッキング性に優れた基板の開発を当面 UCLA でやるつもりはないそうである。日本の企業とも多くの共同研究を進めており、基板に関しては、日本のメーカーへの期待が大きいと感じた。有機エレクトロニクスは低温プロセスでデバイスを作製できるなどのメリットがあるが、既存の無機半導体デバイスに比べて基本性能が優れているとは言い難い面も多い。有機 EL、有機トランジスター、有機太陽電池、有機メモリーデバイスなど、各個別デバイスの高性能化を実現することがまずは重要であると捉えている。



出典：Yang 教授 ホームページより
<http://mctp.chem.ucla.edu/yang/publications/Y-TFT-2-VOFET-APL-04.pdf>



G-TeC 報告書
「柔らかいエレクトロニクス」
国際技術力比較調査（韓国，米国）
CRDS-FY2005-GR-08

平成18年 3 月

発行者 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
生駒グループ

印刷所 株式会社 プライムステーション

©独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 2006
無断での転載・複写を禁じます。

ATTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC TCTAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA CCT
GA C CTAAC TCTAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

