

## 論文の内容の要旨

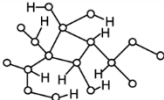
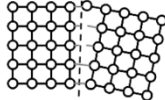
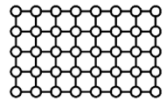
論文題目 低温ポリシリコンを用いた液晶表示装置への機能集積化の研究

氏 名 中村 卓

### 研究の背景・目的

低温ポリシリコン (Low temperature polycrystalline silicon: 以下、LTPS と略記) とは、600°C 以下のプロセスによりガラス基板上に形成できる多結晶シリコンで、薄膜トランジスタ (Thin-Film-Transistor: 以下 TFT と略記) のチャンネル層として用いられる [1]。LTPS TFT は、表 1 に示すように、単結晶シリコンに対し、より大面積のガラス基板に形成でき、アモルファスシリコン (a-Si TFT) よりも電界効果移動度が 2 桁程度高く、イオンドーピングにより、NMOS TFT と PMOS TFT を形成可能という特徴を持ち、より高度な機能の集積化が可能とされる。このため、特に携帯電話やスマートフォンなどの携帯端末向け液晶表示装置 (Liquid crystal display: 以下、LCD と略記) の分野での発展が期待された。各時代の期待に対し LTPS による課題解決が求められた。本研究では、LTPS の特徴を活かし、4 つの機能集積化のための重要課題を解決し、LTPS の有用性を示した。

表 1 LTPS TFT の位置づけ

	a-Si TFT アモルファスシリコン	LTPS TFT 低温ポリシリコン	Si MOSFET 単結晶シリコン
結晶状態	アモルファス 	多結晶 	単結晶 
電界効果移動度	0.5~1.0 cm <sup>2</sup> /V·s NMOS	30~300 cm <sup>2</sup> /V·s CMOS	1000 cm <sup>2</sup> /V·s CMOS
基板	ガラス基板	ガラス基板	シリコン基板

### 液晶表示装置への機能集積化

#### ① デジタル/アナログ変換機能の集積化

2001 年頃からの 3G 携帯電話向け LCD の小型化の期待から、ドライバ IC を削減することが求められた。そのためには、デジタル画像データを受け、LCD の画素のためのアナログ電圧に変換して出力を行うデジタル/アナログ変換機能を集積化する必要があった。先行報告では集積化回路を駆動するための駆動電圧が 10V 以上と高く [2]、この影響で消費電力が増大し実用化を阻害していた。この解決のため、集積化するデジタル/アナログ変換回路の駆動電圧を、従来の 10V 以上のレベルから 5V 程

度に半減することを狙い、デジタル回路を 5V で駆動することができるプロセス [3]を用いた。これは、TFT の電流を増大させるために、チャンネル長を従来の  $5\mu\text{m}$  程度から  $3\mu\text{m}$  と短くし、ゲート絶縁膜の厚さを従来の 130nm から 80nm と薄化するものである。

重要課題となったのは、アナログバッファについて、低駆動電圧かつ、誤差電圧を LCD の駆動のための許容上限値以下にすることだった。そこで、駆動電圧が高電圧になってしまうオペアンプ (図 1(a)) に代えて、インバータ型のアナログバッファ (図 1(b)) を初めて導入し、LCD のコモン反転駆動と組み合わせることで、低電圧化 (5V) し低消費電力化した。表示不良につながる誤差電圧は、インバータ部分を 3 段直列とすることにより、特に重要な中間電圧付近で 20mV 以下にできた (図 1(c))。アナログバッファの消費電力は 4mW と目標値 (10mW) に対し低くできた。低電圧駆動できるアナログバッファを実現できたことで、消費電力の課題が解決され、デジタル/アナログ変換機能を集積化できた。

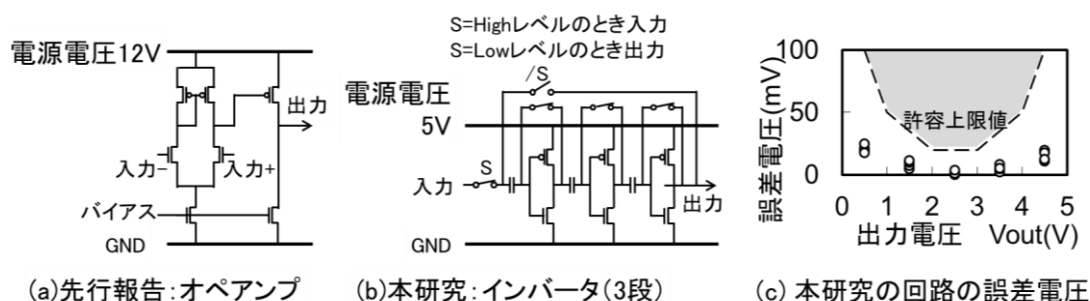


図 1 アナログバッファ(a)先行報告、(b)本研究、(c)本研究のデジタル/アナログ変換回路の誤差電圧

## ②光センサ機能の集積化

2001 年頃からの 3G 携帯電話の小型化の期待から、周囲の明るさを検知して LCD の表示輝度を調節するのに用いられる周囲光センサを LCD に集積化することが求められた。

重要課題は、LTPS 工程で形成できる光センサ素子の構造だった。従来、LTPS を用いて回路を形成した上で、光センサとして a-Si を用いて厚さ 700nm の縦型 p-i-n ダイオードを形成する報告があった [4]が、LTPS の poly-Si 層はレーザーアニールにより形成するため、その厚さが 50nm と薄く、縦型構造を形成することは難しい (図 2(a))。また、NMOS TFT のドレイン端の LDD 領域 (低濃度の n 型領域) を含んだ横型 p-i-n ダイオードでは、十分な光電流が得られなかった。TFT の性能を確保するために LDD 領域は光に反応しにくいように最適化され、感光領域となる i 型領域は M1 電極により遮光されてしまうためである (図 2(b))。そこで、新たに TFT の TFT 工程を改良し、n-ハンドープ構造と呼ぶ横型 p-i-n ダイオード (図 2(c)) を形成した。構造としては、M1 電極に遮光されない i 型領域を備え、さらに、その領域の長さ ( $L_s$  長) を  $20\mu\text{m}$  と長くすることにより、光電流を増大させた。その結果、図 2(d) に示すように照度 1000 ルクスときの電流と暗電流との比 (明暗比) が 30 程度と、周囲光の明るさを検出するのに必要な性能を確保することができた。さらに必要な他の回路を LCD の額縁の領域に集積化し周囲光センサ機能を集積化することができた。

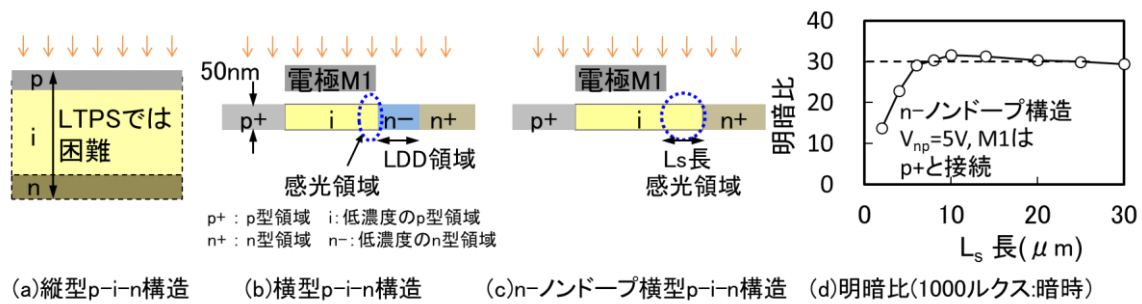


図 2 光センサ

### ③静電容量センサ機能

2007年頃からスマートフォンのLCDの上に静電容量センサが搭載され、2本の指を表面に滑らせコンテンツの操作を行う入力法が急速に普及した。これを背景に小型化及び低コスト化の期待から、静電容量センサをLTPS TFTを用いてLCDに集積化し、センサ搭載LCDの厚さの低減が求められた。そこで、静電容量を検知するための回路を複数の画素に横断させることで希薄化し、さらに、センサと表示とで一部の信号線を時分割にて兼用化し、透過率(開口率)への影響を抑えた。静電容量センサ機能をPMOS TFTのみを用いてLCDに集積化し、期待に応えた。

### ④低周波数駆動機能

2012年頃からスマートフォンの低消費電力化の期待から、画素への電圧書き込みのための駆動の低周波数化が求められた。従来のLCDでは、表示に対応した電圧を各画素の蓄積容量への書き込みを60Hzの周波数(16.7msec周期)で行う。この周波数はフレーム周波数と呼ばれ、これを30Hzに低減することが求められた。フレーム周波数を低減すると、各画素が電圧を保持していなければならない期間が長くなる。その結果、各画素の電圧が変動が増え、フリッカ(ちらつき)として視認されてしまう。そこで、画素電圧変動を抑制するために、TFT及び液晶材料によるリーク電流の低減と、蓄積容量確保が必要となる。液晶材料によるリーク電流低減は、液晶材料の改良による対策が他論文で言及されている。また、蓄積容量の確保については、従来技術の範囲内で、容量絶縁膜の厚さを薄くすることで対策する。残る重要課題はTFTのリーク電流低減ということになる。

そこで、TFTのチャネル幅に相当するpoly-Siの幅を従来の $2.5\mu\text{m}$ から $1.5\mu\text{m}$ と狭くし、オフ抵抗を高める方策をとった。なお、LTPS TFTは移動度が高いため、LCDの画素に必要なオン電流は確保できる。チャネル幅を $1.5\mu\text{m}$ にするために加工工程を変更した。具体的には、フォトレジストと呼ばれる保護膜を形成する工程と、保護膜のない部分のpoly-Siを除去するエッチング工程を変更した。これに伴い、poly-Siの断面形状のテーパ角が増大し、後に続く厚さ80nmのゲート絶縁膜を形成する際に絶縁不良が生じやすくなった。この対策として、エッチング工程のガス流量比(CF<sub>4</sub>:O<sub>2</sub>)を改善した。この結果、加工形状が改善しゲート絶縁膜の絶縁不良も解消した。TFTのリーク電流は30%低減した。また、画素の蓄積容量を確保するため絶縁膜の薄化と組み合わせ、高精細(550ppi)LCDのフレーム周波数を従来の60Hzから30Hzに低減できた。その結果、駆動電力を30%低減できた。

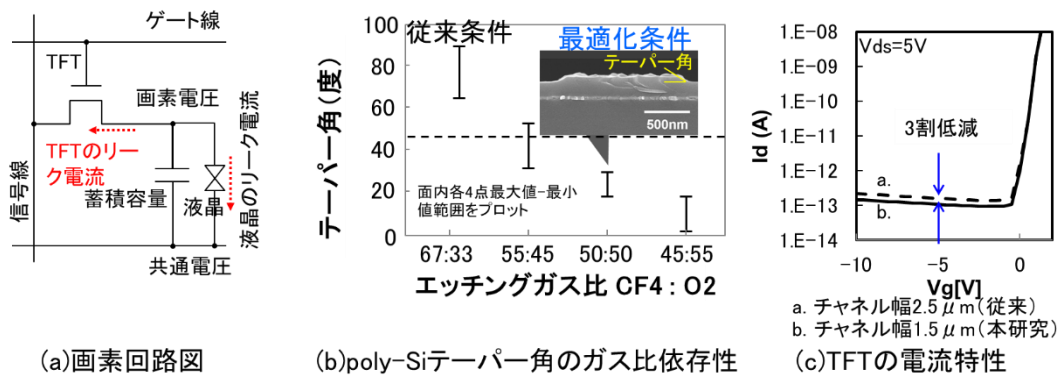


図 3 poly-Si のテーパ角のエッチングガス比依存性

## 結論

デジタル/アナログ変換機能、光センサ機能、静電容量センサ機能、及び低周波数駆動機能を LTPS を用いて LCD に集積化することに成功した。独自のアナログバッファ、横型 p-i-n 構造センサ、静電容量センサ用画素回路、及び画素 TFT の狭チャンネル幅化を新たに適用した。

いずれも、ガラス基板上に高移動度の TFT を用い回路を形成可能等の LTPS の特徴を活かし、期待の高かった諸機能の集積化に関する重要課題を解決した。これらによって、携帯端末向け LCD への機能集積化に関し、LTPS が期待通り非常に有用であることを示すことができ、LTPS TFT-LCD が携帯端末用にスタンダード化していくことに貢献できたと考えられる。

## 参考文献

- [1] N. Ibaraki, "Low Temperature Poly-Si TFT Technology," SID, 1999.
- [2] M. Brownlow, "A 6-Bit Multi-Resolution Digital to Analogue Converter for Low Temperature Poly-Silicon Digital Drivers," Proc. of SPIE Vol.4295, 2001.
- [3] Y. Goto, H. Yoshihashi, N. Tada, T. Ishiu, M. Tada, T. Nakazono, T. Motai, A. Ishida, A. Takami, J. Tsutsumi, "The high performance low-temperature poly-Si TFT for integrated DAC and AMP circuit," AM-LCD'01, 2001.
- [4] S. Morozumi, H. Kurihara, T. Takeshita, H. Oka, K. Hasegawa, "Completely Integrated Contact-Type Linear Image Sensor," IEEE Trans. on elect. dev. Vol. ED-32, No.8, pp.1546-1550, 1985.