

# LTPS-TFT を用いた低消費電力で動作可能な高電圧発生回路

林田 和哉<sup>\*1</sup>, 吉田 正廣<sup>\*2</sup>

## Low Power Consumption High Voltage Generator Using LTPS-TFT

by

Kazuya HAYASHIDA<sup>\*1</sup> and Masahiro YOSHIDA<sup>\*2</sup>

( received on March 27, 2012 & accepted on July 24, 2012 )

### Abstract

Recently, the market for the portable devices such as cellular phones, PDAs has been growing rapidly. Many mobile electronic devices have TFT-LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) or OLED (Organic Electro Luminescence Display). These displays are demanded more compact size, lightweight and so on. LTPS-TFT (Low-Temperature Poly-Silicon TFT) has the ability to integrate peripheral circuits such as gate drivers and high voltage generators on a glass substrate due to its high current driving capability. Therefore, the display using LTPS-TFT is possible to become more compact size and lightweight. However, a conventional high voltage generator has the problem of low power efficiency.

In this paper, a low power consumption high voltage generator using LTPS-TFT for TFT-LCD is proposed. To verify the performance of the proposed circuit, the operating characteristics were analyzed by using H-SPICE. As a result, the output voltage of the proposed circuit is about 13.9[V] under the conditions of the power supply voltage is 5[V], the output current is 0.2[mA] and the operating frequency is 250[kHz]. Also, the power efficiency of the proposed circuit is about 70[%]. The power efficiency of the proposed circuit is improved about 15[%] in comparison with that of the conventional circuit.

**Keywords:** LTPS-TFT, High Voltage Generator, LCD, SoG

**キーワード:** 低温ポリシリコン薄膜トランジスタ, 高電圧発生回路, 液晶ディスプレイ, システムオンガラス

## 1. まえがき

近年, 携帯電話やPDA(Personal Digital Assistant)などのポータブルデバイスが急速に普及し, 発展している. これらの表示装置には薄膜トランジスタ液晶ディスプレイ (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display: TFT-LCD) や有機ELディスプレイ (Organic Electro Luminescence Display: OLED) が使用され, その中でも特にTFT-LCDは多くのポータブルデバイスに搭載されている. また, より高性能のポータブルデバイスを実現するために, TFT-LCDにはさらなる高精度, 低消費電力, 小型・軽量化などが要求されている<sup>1)</sup>. この要求を実現するために, 低温ポリシリコン薄膜トランジスタ (Low-Temperature Poly-Silicon TFT: LTPS-TFT) が注目を集めている. この素子はこれまで広く用いられてきた非結晶シリコン薄膜トランジスタ (amorphous Silicon TFT: a-Si TFT) と比較して結晶構造の違いからスイッチング速度に影響する移動度が約100倍大きい. また, a-Si TFTはnチャンネルTFTだけの単チャンネル構造であるのに対して, LTPS-TFTはnチャンネルTFTとpチャンネルTFTの両方を生成できる. そのため, この素子は画素スイッチとしてだけでなく外部ICによって構成されるCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 回路をベースとした液晶

駆動回路 (ゲートドライバ, ソースドライバ, 高電圧発生回路など) をパネル画素部と同じガラス基板上一体形成することができる<sup>2), 3)</sup>. また, LTPS-TFTを用いるとその高い性能から液晶駆動回路ばかりでな

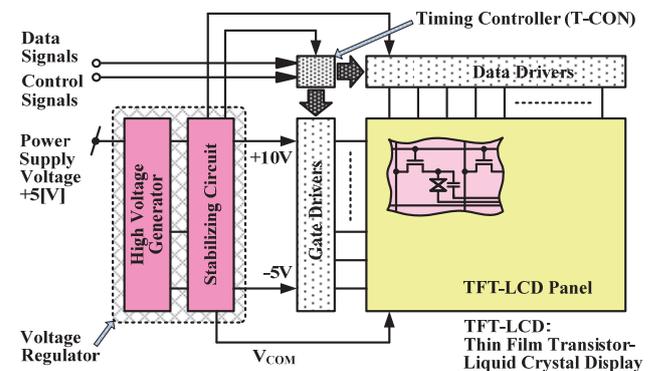


Fig.1 Block Diagram of TFT-LCD

く, CPU (Central Processing Unit) やDRAM (Dynamic Random Access Memory) などのシステムをガラス基板上で実現することも可能になる<sup>4)</sup>. こうした技術をシステムオンガラス (System on Glass: SoG) またはシステムオンパネル (System on Panel: SoP) と呼び, より小型な機器を低コストで実現可能な技術として期待されている.

TFT-LCDパネルを駆動するにはFig.1に示すように+10V や-5Vなどの高電圧が必要である. これらの高電圧は高電圧発生回路によって電源電圧を昇圧することで生成され, TFT-LCDパネルに供給される. LTPS-TFTはa-Si TFTと比較して高移動度であるが, MOSFETと比

\*1 工学研究科情報通信制御システム工学専攻修士課程  
School of Engineering, Course of Computer and  
Communications, Master's Program

\*2 情報通信学部組込みソフトウェア工学科教授  
School of Information and Telecommunication  
Engineering, Department of Embedded Technology,  
Professor

較すると、移動度は低く、しきい値電圧も1V以上であり高速動作を実現することができない。また、LTPS-TFTは微細化が進んでいないために消費電力も大きい。そのため、LTPS-TFTで構成した高電圧発生回路は電力効率が低いという問題がある。

本研究では、LTPS-TFTを用いた従来の高電圧発生回路の問題点について検討する。そして、その問題点を改善した新しい低消費電力で動作するレベルシフタを開発し、それを用いた高電圧発生回路を提案する<sup>5)</sup>。提案した回路の詳細な動作特性を回路シミュレーションソフトH-SPICEによって明らかにする。

## 2. 従来の高電圧発生回路

Fig. 2 に従来の高電圧発生回路を示す<sup>6)</sup>。この回路はレベルシフタ、チャージポンプ回路から構成される。ここで  $V_{DD}$  は電源電圧、 $\phi$  は入力クロック、 $V_{OUT}$  はチャージポンプ回路の出力電圧、 $I_{OUT}$  はチャージポンプ回路の出力電流、 $C_{LK1} \sim C_{LK4}$  はレベルシフタのキックキャパシタ、 $C_{K1}$ 、 $C_{K2}$  はチャージポンプ回路のキックキャパシタ、 $C_L$  はチャージポンプ回路の出力容量である。

Fig. 2 の1段目レベルシフタは入力クロック  $\phi$  とキックキャパシタ  $C_{LK}$  によって電源電圧  $V_{DD}$  を昇圧し、 $0[V] \sim 約 2V_{DD}$  の間で変化する矩形波信号  $\phi_X$  を発生する。その  $\phi_X$  は2段目レベルシフタに入力される。そのため、2段目レベルシフタは入力された  $\phi_X$  と  $C_{LK}$  によって昇圧動作を行い、 $0[V] \sim 約 3V_{DD}$  の間で変化する矩形波信号  $\phi_{OUT}$  を発生する。この  $\phi_{OUT}$  によってチャージポンプ回路の各トランジスタは動作が制御される。チャージポンプ回路は入力クロック  $\phi$ 、キックキャパシタ  $C_K$  によって昇圧動作を行う。このチャージポンプ回路の出力電圧は次式で与えられる。

$$V_{OUT} = (n+1)V_{DD} - n \frac{I_{OUT}}{fC_K} - \sum_{i=1}^{3n+1} V_{DSi} \quad (1)$$

ここで、 $n$  はチャージポンプ回路の段数、 $f$  は入力クロックの動作周波数、 $V_{DSi}$  はトランジスタのドレイン・ソース間電圧である。このチャージポンプ回路は2段で構成されているため、昇圧動作によって電源電圧  $V_{DD}$  から約  $3V_{DD}$  の出力電圧  $V_{OUT}$  を発生する。チャージポンプ回路の各トランジスタは約  $3V_{DD}$  の振幅を有する矩形波信号によって動作が制御されるため、それらは非飽和領域で動作する。これによって、式(1)の右辺第三項の電圧損失を低減している。

Fig. 2 のレベルシフタは1段につき、2箇所大きな貫通電流が発生する。そのため、2段構成のFig. 2 のレベルシフタは4箇所大きな貫通電流が発生する。この結果、高電圧発生回路の消費電力が増加し、電力効率が低下する。この問題を解決するために、新しいレベルシフタを用いた低消費電力で動作する高電圧発生回路を提案する。

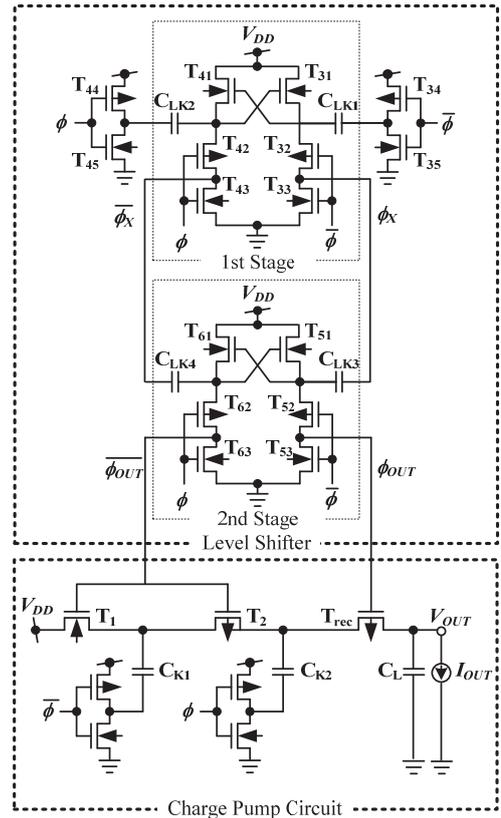


Fig. 2 Conventional Circuit

## 3. 提案する高電圧発生回路

Fig. 3 に提案する高電圧発生回路を示す。この回路はレベルシフタ、チャージポンプ回路から構成される。ここで  $V_{DD}$  は電源電圧、 $\phi$  は入力クロック、 $V_{OUT}$  はチャージポンプ回路の出力電圧、 $I_{OUT}$  はチャージポンプ回路の出力電流、 $C_{LK1} \sim C_{LK4}$  はレベルシフタのキックキャパシタ、 $C_{K1}$ 、 $C_{K2}$  はチャージポンプ回路のキックキャパシタ、 $C_L$  はチャージポンプ回路の出力容量である。Fig. 3 のレベルシフタは入力クロック  $\phi$  の変化とキックキャパシタ  $C_{LK}$  によって2回の昇圧動作を行い、電源電圧  $V_{DD}$  から  $0[V] \sim 約 3V_{DD}$  の振幅を有する矩形波信号  $\phi_{OUT}$  を発生する。この  $\phi_{OUT}$  でチャージポンプ回路の各トランジスタの動作を制御し、これらを非飽和領域で動作させている。そのため、チャージポンプ回路は約  $3V_{DD}$  の出力電圧  $V_{OUT}$  を発生する。

次に Fig. 3 のレベルシフタの動作原理について説明する。Fig. 3 のレベルシフタの  $\phi_{OUT}$  側と  $\overline{\phi_{OUT}}$  側は逆相で相補的な動作をするため、 $\phi_{OUT}$  側だけの回路動作について説明する。ただし、初期条件として、ノード  $X_{12}$  の電圧は約  $2V_{DD}$  であると仮定する。Fig. 4 は回路起動後、一定時間経過した後のレベルシフタの理想的動作波形である。同図において  $t_1$  時に入力クロック  $\phi$  が  $0[V]$  から  $V_{DD}$  へ変化すると、 $\overline{\phi}$  で駆動しているクロックドライバとキックキャパシタ  $C_{LK3}$  によつ

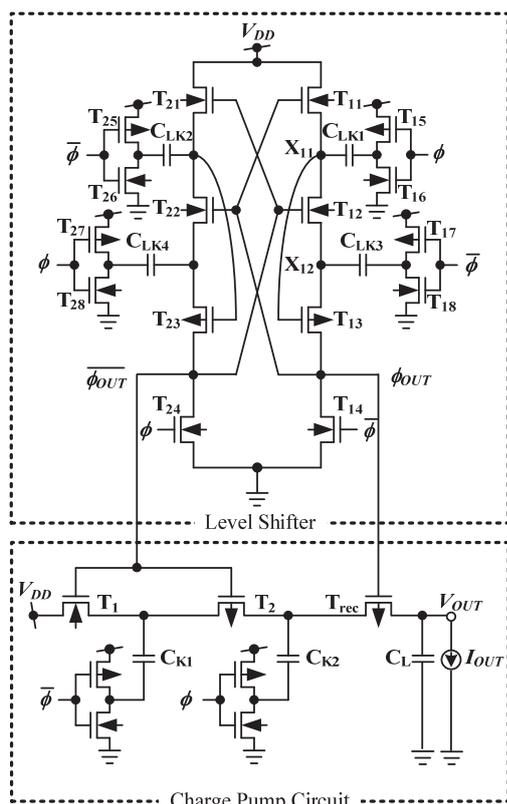


Fig. 3 Proposed Circuit

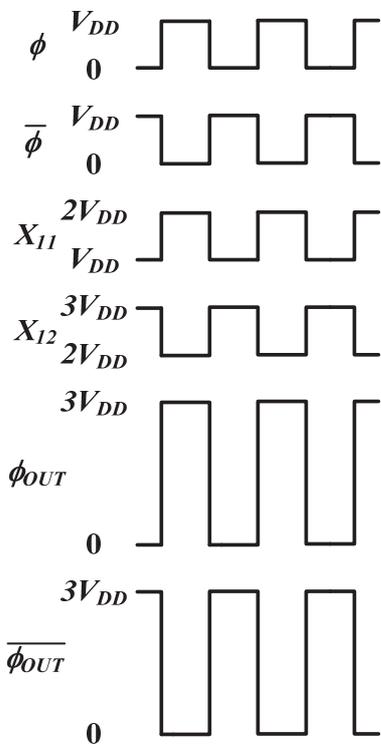


Fig. 4 Ideal Operating Waveforms of Level Shifter

てノード  $X_{12}$  は約  $3V_{DD}$  に昇圧される。その結果、 $\phi_{OUT}$  の値が約  $3V_{DD}$  になり、 $T_{11}$  が ON するため、ノード  $X_{11}$

は約  $V_{DD}$  となる。t2 時に入力クロック  $\phi$  が  $V_{DD}$  から 0[V] に変化すると  $T_{14}$  がオンし、 $\phi_{OUT}$  は放電され 0[V] になる。また、ノード  $X_{11}$  は入力クロック  $\phi$  の変化とキックキャパシタ  $C_{LK1}$  によって約  $2V_{DD}$  まで昇圧される。一方  $\phi_{OUT}$  が 0[V] から約  $3V_{DD}$  に変化しているため、 $T_{12}$  が ON している。その結果、ノード  $X_{12}$  も約  $2V_{DD}$  となり、初期条件、すなわち、 $X_{12}$  の電圧が約  $2V_{DD}$  に戻る。この動作を繰り返すことで Fig. 3 のレベルシフタは 0[V] ~ 約  $3V_{DD}$  の間で変化する矩形波信号  $\phi_{OUT}$  を出力する。

Fig. 3 のレベルシフタは 1 段で構成されているため、貫通電流発生箇所が 2 箇所となり、従来のレベルシフタよりも低消費電力で動作する。この結果、高電圧発生回路全体の消費電力が減少し、従来回路よりも高効率な回路動作が実現できる。

#### 4. シミュレーション結果

提案する高電圧発生回路の動作特性を回路シミュレーションソフト H-SPICE によって解析した。ここでは、2.2 インチの TFT-LCD を駆動することを想定し、 $V_{OUT} = 10[V]$ 、 $I_{OUT} = 0.2[mA]$  として各 TFT の寸法を決定し、回路シミュレーションを実行した。なお、シミュレーションの際のバルクの初期電位は 0[V] とした。シミュレーションに用いたデバイスパラメータを Table 1、回路の動作条件を Table 2、各回路の TFT の寸法を Table 3、Table 4 に示す。また、レベルシフタとチャージポンプ回路のキックキャパシタと出力容量の値は、 $C_{LK1} = C_{LK2} = 450[pF]$ 、 $C_{LK3} = C_{LK4} = 50[pF]$ 、 $C_{K1} = C_{K2} = C_L = 8000[pF]$  である。

Table 1 Device Parameters

Symbols	Name	p-TFT	n-TFT	Unit
$L$	Channel Length	7.5	8.5	$\mu m$
$V_{TO}$	Threshold Voltage	-1.36	+1.25	V
$\mu$	Mobility	109	167	$cm^2/Vs$
$t_{OXG}$	Gate Oxide Thickness	720	720	$\text{Å}$
$t_{OxF}$	Field Oxide Thickness	3500	3500	$\text{Å}$

Table 2 Simulation Conditions

Power Supply Voltage $V_{DD}$	5[V]
Load Current $I_{OUT}$	0.1 ~ 1[mA]
Clock Frequency $f$	250[kHz]
Number of Stages $n$	2
Temperature	+25[°C]

Table 3 Channel Width of Conventional Circuit

TFT	Channel Width $W$ ( $\mu\text{m}$ )
$T_1$	590
$T_2, T_{\text{rec}}$	820
$T_{31}, T_{41}$ $T_{51}, T_{61}$	50
$T_{32}, T_{42}$ $T_{52}, T_{62}$	690
$T_{33}, T_{43}$ $T_{53}, T_{63}$	490
$T_{34}, T_{44}$	750
$T_{35}, T_{45}$	530

Table 4 Channel Width of Proposed Circuit

TFT	Channel Width $W$ ( $\mu\text{m}$ )
$T_1$	590
$T_2, T_{\text{rec}}$	820
$T_{11}, T_{12}$ $T_{21}, T_{22}$	10
$T_{13}, T_{23}$	270
$T_{14}, T_{24}$	100
$T_{15}, T_{25}$	120
$T_{16}, T_{26}$	90
$T_{17}, T_{27}$	700
$T_{18}, T_{28}$	500

まず、高電圧発生回路からチャージポンプ回路を切り離し、レベルシフタだけのシミュレーションを行った。Fig. 5にレベルシフタの負荷容量  $C_{LM}$  が 5[pF]のときの時間経過  $t$  に対する入力クロック  $\phi$  とレベルシフタの出力信号の波形を示す。この負荷容量  $C_{LM}$  はレベルシフタの出力先であるチャージポンプ回路のゲート容量を想定している。Fig. 5より提案するレベルシフタ、従来のレベルシフタはともに入力

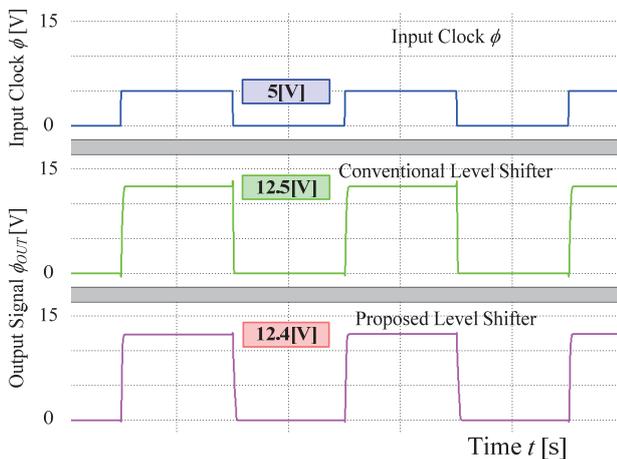


Fig. 5 Simulated Waveforms

クロック  $\phi$  の変化とキックキャパシタによって昇圧動作を行うことで、電源電圧  $V_{DD}$  から 0[V] ~ 約  $3V_{DD}$  の間で変化する矩形波信号を発生していることがわかる。

負荷容量  $C_{LM}$  対消費電力  $P_C$  の特性を Fig. 6 に示す。提案するレベルシフタの消費電力は負荷容量 5[pF] のとき 0.54[mW] となり、従来のそれは 0.90[mW] となった。したがって、提案するレベルシフタの消費電力は従来のそれに比べて約 40% 低減した。

次にチャージポンプ回路も含めた高電圧発生回路でのシミュレーションを行った。Fig. 7 に出力電流  $I_{OUT}$  に対する出力電圧  $V_{OUT}$  の特性を示す。図からわかるように、出力電流 0.2[mA] の条件下で提案回路の出力電圧は約 13.9[V]、従来回路のそれは約 13.8[V] である。提案回路、従来回路ともに目標とする出力電圧 10V 以上を発生していることがわかる。

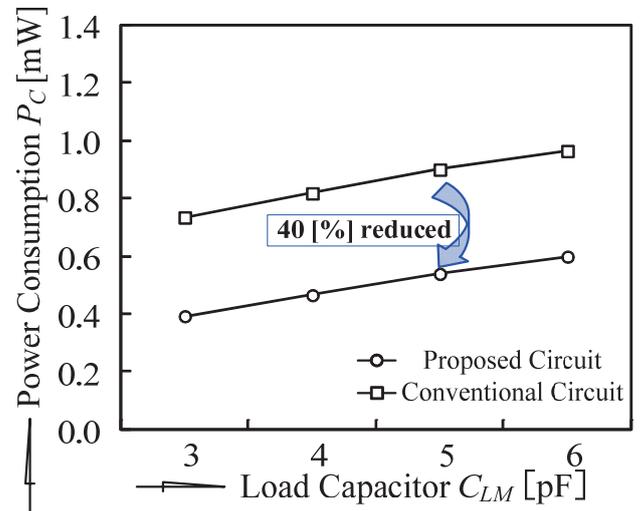


Fig. 6 Load Capacitor vs. Power Consumption

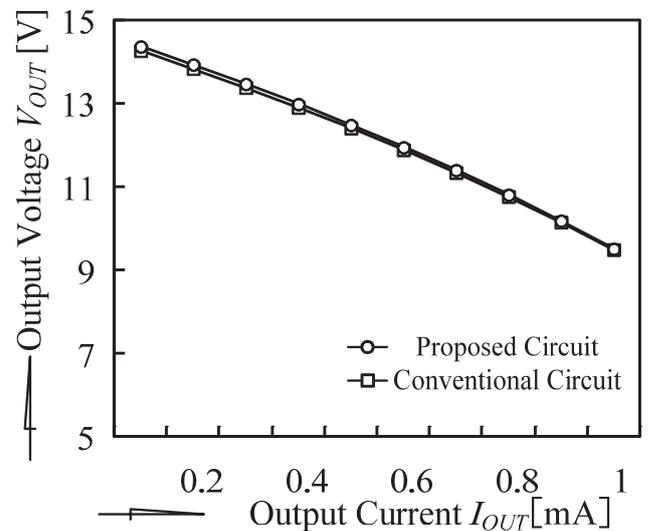


Fig. 7 Output Current vs. Output Voltage

Fig. 8 に出力電流に対する電力効率  $\eta$  の特性を示す。電力効率は次式で与えられる。

$$\eta = \frac{\text{出力電力}}{\text{入力電力}} \times 100[\%]$$

$$= \frac{I_{OUT} V_{OUT}}{I_{IN} V_{DD}} \times 100[\%] \quad (2)$$

ここで  $I_{IN}$  は回路全体の入力電流である。Fig. 8 に示すように、出力電流 0.2[mA] の条件下で従来回路の電力効率は約 61[%] であるのに対し、提案回路の電力効率は約 70[%] となった。従来回路に比べ電力効率が約 15[%] 改善した。これは提案回路のレベルシフタの消費電力が削減されたことにより、高電圧発生回路全体の消費電力が減少したためである。また、レベルシフタでの消費電力の改善率が約 40% であるのに対し、回路全体での電力効率の改善率が約 15% であるのはチャージポンプ回路の電力損失が大きいためである。

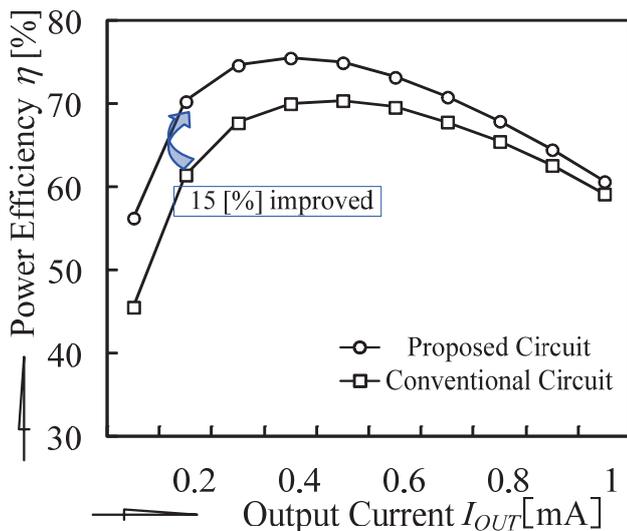


Fig. 8 Output Current vs. Power Efficiency

## 5. 結論

本論文では、LTPS-TFT を用いた低消費電力で動作する新しい高電圧発生回路を提案した。提案した高電圧発生回路は低消費電力で動作するレベルシフタを用いているので、高効率な回路動作が実現できる。動作特性を検証するために回路シミュレーションソフト H-SPICE を用いて提案した高電圧発生回路と従来の高電圧発生回路の比較を行った。その結果、電源電圧 5[V]、動作周波数 250[kHz]、出力電流 0.2[mA] の条件下で提案した高電圧発生回路は約 13.9[V] を出力した。また、電力効率は約 70[%] であり、従来の高電圧発生回路と比較して約 15[%] 改善し、提案回路

の有用性が明らかになった。ただし、電力効率が 70[%] という値は十分に高いとは言えない。この主な原因は前述したようにチャージポンプ回路での電力損失が大きいためである。したがって、今後はチャージポンプ回路の電力損失を少なくする方策を考える必要がある。また、レイアウト設計による面積比較やガラス基板上に実回路を製作して動作特性の比較・検討を行うことも残された課題である。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの議論とご指導を頂きました鈴木八十二氏に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Yasoji Suzuki, "New High-Speed Logic Circuitry and Power Supply Systems using LTPS-TFT technology for SOG/SOP", The Thin Film Materials and Devices Meeting, No. 3, Nara Japan, 2006-11-10, pp.18-21, 2006.
- 2) Joong-Sun Yoon, Jin-Seong Kang, and Oh-Kyong Kwon, "Highly Efficient P-Type Only Cross-Coupled DC-DC Converter using Low Temperature Poly-Si (LTPS) TFTs for Mobile Display Applications", Society for Information Display 2008 DIGEST, 38.2, pp.545-548, 2008.
- 3) Yoshihiro Nonaka, Hiroshi Tsuchi, Hiroshi Haga, Hideki Asada, Hiroshi Hayama, Naruaki Takada, Kenji Sera, "A DC-DC Converter Circuit Integrated into a Poly-Si TFT LCD Containing a 6-bit DAC", SID 03 DIGEST, 51.1, 2003.
- 4) 浦岡行治, "システムオンパネルを目指した低温ポリシリコン薄膜トランジスタ -LTPS-TFT の現状と課題-", 三井造船技報, No.189, pp.1-5, October 2006.
- 5) 林田和哉, 水野孝彦, 吉田正廣, "低消費電力で動作可能な TFT-LCD 用レベルシフタ", 電気関係学会 九州支部連合大会, 10-1P-02, 2010 年 9 月.
- 6) 塙篤史, 吉田正廣, 水野孝彦, 鈴木八十二, "LTPS-TFT を用いた低消費電力で動作可能なレベル変換回路", 電気学会 電子・情報・システム部門大会, GS2-5, 2009 年 9 月.