

## Summary of Doctoral Thesis

**Title of Doctoral Thesis:** Elucidation of photoinduced structural modification in oxide semiconductors for fully solution-processed thin-film transistors

(完全溶液プロセス型薄膜トランジスタに向けた酸化物半導体における光誘起構造変化の解明)

**Name:** Dianne Corsino Cabrejas

**Summary of Doctoral Thesis:**

The realization of next-generation flexible electronics requires large-scale device production using cost-effective and low-energy techniques performed at a low process temperature. Recently, solution processing has been widely explored due to its simplicity, affordability, and scalability. Several approaches have been demonstrated to enhance the performance of oxide TFTs incorporated with a lone solution-processed layer of either channel, gate insulator, or electrodes. However, further simplifying TFT fabrication would require the successful integration of all-solution-based components which will help realize high throughput device production such as roll-to-roll processing. In this dissertation, a fully solution approach to oxide TFT fabrication is proposed by altering the structural properties of IZO through various photo-assisted methods.

Chapter 2 presents the fabrication of oxide TFTs using solution-processed IZO channel and electrodes, and fluorinated polysilsesquioxane (F-PSQ) gate insulator. After performing electrode functionalization process using UV irradiation and KrF excimer laser annealing (ELA), high-performance fully solution-processed  $\alpha$ -IZO TFTs with an  $\mu_{ave}$  of  $38.0 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  were achieved. Elemental analysis by SIMS revealed fluorine diffusion from the F-PSQ gate insulator to the  $\alpha$ -IZO channel which mainly affected the high  $\mu$  obtained.

Chapter 3 discusses in detail the effects of UV irradiation and ELA on the structural properties of IZO. XPS analysis revealed oxygen vacancy ( $V_o$ ) generation after performing the photo-assisted treatments which raised the carrier concentration and eventually improved the IZO conductivity. ELA-induced crystallization of IZO electrodes was also observed which further enhanced the charge transfer in the film.

Results suggested that both  $V_o$  generation and crystallization are vital factors to achieve the outstanding performance of the fully solution-processed *a*-IZO TFTs.

In Chapter 4, continuous wave (CW) Nd:YVO<sub>4</sub> green laser ( $\lambda=532$  nm, laser power = 5 W) was used for IZO electrode functionalization. Results showed promising device performance when using a single treatment of CW laser ( $\mu=14.6$  cm<sup>2</sup> V<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) than a combination treatment with UV irradiation ( $\mu=0.1$  cm<sup>2</sup> V<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>).  $V_o$  generation was similarly observed after CW laser irradiation. However, the combination treatment resulted in  $V_o$  reduction compared to a single treatment of either UV or CW laser irradiation, suggesting better electrode functionality from the latter.

This dissertation demonstrates a fully solution approach to high-performance oxide TFT fabrication using various photo-assisted methods such as UV irradiation, ELA, and CW laser irradiation. These approaches for tailoring the functionality of solution-processed oxide films will be valuable for the realization of future electronic systems.

(論文審査結果の要旨)

多くの電子機器の重要な要素である薄膜トランジスタ (TFT) は、シンプルな製造方法で製造する必要がある。溶液プロセスは、従来の真空プロセスと比較して、スケラビリティ、コスト、簡便性の面で優れていると考えられている。溶液処理された酸化物 TFT の性能が向上したことは数多くの報告がなされているが、高スループットのデバイス製造を実現するためには、溶液ベースのすべてのコンポーネントをうまく統合する必要がある。

この論文の目的は次のとおりである。(1) 高性能酸化物 TFT 製造への低温真空フリーアプローチを開発する。(2) 光アシスト法を使用して、透明電極用途向けの溶液処理酸化物半導体の調整可能な特性を実現する。(3) 酸化物半導体の光誘起反応から導体への変換メカニズムを理解する。

本研究では、InZnO (IZO) チャネルと電極、およびフッ素化ポリシルセスキオキサンゲート絶縁体 (F-PSQ GI) を用いて、完全溶液プロセスの酸化物 TFT を作製した。IZO 電極の機能化は、UV 照射、KrF エキシマレーザーアニール (ELA), 連続波 (CW) レーザー照射というさまざまな光アシスト処理を用いて実現した。これらの光アシスト処理により、電極が機能化し、優れた TFT スイッチング特性が得られた。元素分析の結果、F-PSQ ゲート絶縁体から a-IZO チャネルへのフッ素の拡散が確認され、これが高性能化に大きく寄与していることがわかった。

また、導電性の向上と電極の機能化を可能にする IZO の構造的特性に対する光アシスト処理の効果を深く議論した。XPS 分析では、光アシスト処理後に酸素空孔 ( $V_o$ ) が発生し、キャリア濃度が上昇して IZO の導電性が向上することを明らかにしている。一方、ELA 後の IZO 電極では、レーザー誘起結晶化が確認されたが、これについては 2 次元の温度シミュレーションを用いて説明している。これらの結果から、完全溶液プロセスによる a-IZO TFT の優れた性能を実現するためには、 $V_o$  の生成と結晶化が重要な要素であることが示唆された。

このように、本研究では、UV 照射、ELA、CW レーザー照射などの光アシスト法を用いて、完全溶液法による高性能酸化物 TFT の作製を実証した。溶液処理された酸化膜の機能を調整するこれらのアプローチは、将来の電子システムの実現に向けて価値が高いとして、審査員一同は、本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。