

## 論文内容の要旨

博士論文題目 Defect and Elemental Analysis of Oxide TFT toward an All-solution processed Device  
(全溶液処理プロセスを目指した酸化物薄膜トランジスタの欠陥と元素分析)

氏 名 Kulchaisit Chaiyanan

(論文内容の要旨)

Amorphous indium-based oxide semiconductor such as amorphous indium gallium zinc oxide (*a*-IGZO) or amorphous indium zinc oxide (*a*-IZO) semiconductor have been used as an active channel layer in thin-film transistors (TFT), due to their high mobility ( $\mu$ ), good uniformity, reasonable reliability, and low power consumption. For the next generation display, solution processed methods have been developed to replace the traditional vacuum-based processed methods to reduce complicated process, higher scalability and lower production cost. However, it is extremely challenging to improve the performance of solution processed TFT due to their poor material performance.

Inorganic-organic hybrid material called “Siloxane” is introduced to protect the channel layer as a passivation layer due to its special properties such as high thermal resistance, high transparency, and simple solution process. However, the concentration of hydroxyl-bond or the OH-bond from the siloxane’s chemical structure affect the stability of oxide TFTs.

In chapter 2, reliability of *a*-IGZO TFTs using siloxane as a passivation layer was compared by both positive and negative bias stress for siloxane with different OH contents inside the siloxane chemical structure which are 85% (high OH-bond) and 10% (less OH-bond). *a*-IGZO TFT with less OH-bond siloxane showed extremely high reliability compared with high OH-bond condition which has a hump on the sub-swing threshold area. The high amount of OH-bonds make extra charges to accumulate resulting in the hump phenomenon as expected. SIMS analysis proved that hydrogen from siloxane layer diffused into the *a*-IGZO layer and siloxane protected the surface of *a*-IGZO from ambient effects which improved the characteristics.

Siloxane with less OH-bond not only shows a great barrier ability by protecting the semiconductor surface from external ambient effects but its capacitance and gate dielectric properties are also suitable for making it as a solution processed GI on oxide TFTs as shown in

chapter 3. Two structures, a bottom gate structure using  $\text{SiO}_2$  and top gate structure using siloxane as a gate insulator (GI), were compared in the same TFT. Top gate *a*-IGZO TFT using siloxane as a GI showed excellent electrical characteristics and stability compared with bottom gate *a*-IGZO TFT using  $\text{SiO}_2$  as a GI. The O-H bonds from the siloxane layer reacted with hydrogen at the interface of GI and channel layer and generated free electrons which increased the  $\mu_{\text{FE}}$ . XPS analysis shows the reduction of oxygen vacancy ( $V_{\text{O}}$ ) and the increase of H near the interface between siloxane and *a*-IGZO, which reduce interface trap density ( $D_{\text{it}}$ ) resulting in a lower hysteresis.

In chapter 4, all-solution processed oxide TFT was fabricated using siloxane as a GI and using *a*-IZO as both channel layer and electrodes by UV-induced transformation technique. IZO TFTs were treated by UV treatment under wavelengths of 180 and 254 nm to increase the amount of  $V_{\text{O}}$  inside the IZO bulk resulting in a higher electrical conductivity in the UV-effected area. The electrical characteristics of *a*-IZO TFT was examined as the first switching characteristics without any metal electrode, which showed impressive electrical characteristics. The structure and element composition of UV-induced transformation semiconductor-to-electrode IZO TFT was confirmed by STEM and EDX analysis.

This research establishes the benefits of solution processed siloxane as a good passivation layer and gate insulator in improving oxide TFT electrical characteristics. Hydrogen, oxygen, and hydroxide from siloxane support the oxide channel to improve the TFT performance. According to these results, the novel structure of all-solution processed TFT will play a major role for the next generation devices.

氏 名	Kulchaisit Chaiyanan
-----	----------------------

#### (論文審査結果の要旨)

高性能なディスプレイを実現するためには、性能と信頼性の高い薄膜トランジスタの研究が大切である。非晶質 InGaZnO (a-IGZO) や非晶質 InZnO (a-IZO) 半導体は、薄膜トランジスタ (TFT) のアクティブチャネル層として利用することで、高い移動度、良好な均一性、高い信頼性を有するものとして、注目されている。しかし、現状では、複雑なプロセス、微細化、および製造コストの面から多くの課題が指摘されている。そこで、従来の真空ベースの処理方法に代わる液体処理による形成方法を検討した。

チャネル層を外部から保護するために、高耐熱性、高透明性、簡易な溶液プロセスなどの特徴を持つ“Siloxane”と呼ばれる無機 - 有機ハイブリッド材料を検討した。しかしながら、シロキサン化学構造に由来するヒドロキシル結合または OH 結合は、酸化物 TFT の安定性に影響を及ぼすことがわかっている。

そこで、シロキサンを保護層として用いた a-IGZO TFT の信頼性を、シロキサン化学構造内の OH 含量の異なる試料に、正と負両方のバイアスストレスを印加することで調査した。OH 結合性シロキサンを含まない a-IGZO TFT は、閾値付近にハンプを有する高い OH 結合条件に比べて極めて高い信頼性を示した。SIMS 分析によって、a-IGZO 層およびシロキサン中に拡散した水素が a-IGZO の表面を外気の影響から保護して特性を改善できることがわかった。OH 結合の少ないシロキサンは、半導体表面を外部の影響から保護することによって大きなバリア能力を示すばかりでなく、ゲート絶縁膜としても適していることがわかった。

ゲート絶縁膜 (GI) として熱酸化膜 SiO<sub>2</sub> を用いたボトムゲート構造とシロキサンを用いたトップゲート構造を同時に形成した TFT を用いてその品質を比較した。GI としてシロキサンを用いたトップゲート a-IGZO TFT は、GI として SiO<sub>2</sub> を用いたボトムゲート型の a-IGZO TFT に比べ、優れた電気的特性と安定性を示した。シロキサン層からの O-H 結合は、GI とチャネル層の界面で水素と反応し、移動度を増加させる自由電子を生成した。XPS 分析によって、酸素空孔 (V<sub>O</sub>) の減少およびシロキサンと a-IGZO との間の界面付近の H が増加し、界面トラップ密度 (D<sub>it</sub>) を低下させ、結果としてヒステリシスがより低くなることがわかった。

また、GI としてシロキサンを用い、UV 照射によりチャネル層を低抵抗化した a-IZO を用いて全溶液処理の酸化物 TFT を作製した。IZO TFT は、180 nm および 254 nm の波長の UV 照射により、IZO バルク内部の V<sub>O</sub> の量が増加し、その結果、高い導電率を示した。スイッチング特性を評価するため a-IZO TFT の電気的特性を調べたところ、良好な電気的特性が得られた。UV 照射をした IZO TFT の構造と元素組成は、STEM および EDX 分析によって確認した。

本研究は将来のフレキシブルデバイスを目指した高性能な酸化物 TFT の作製が可能であることを示唆している。この研究で得られた結果は、科学的、学術的、および産業的な観点から重要である。よっ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。