

論文内容の要旨

博士論文題目 Low Temperature Annealing Techniques for Solution Processed
Amorphous Oxide Semiconductor Thin-film Transistors
(低温アニーリング技術による溶液処理アモルファス酸化物半導体薄膜トラン
ジスタ)

氏名 Jallorina Michael Paul Aquisay

(論文内容の要旨)

Amorphous Oxide Semiconductor (AOS) materials are used in thin-film transistors (TFTs) which control the on/off state of each pixel. Unfortunately, even though amorphous materials such as InGaZnO (a-IGZO) can be fabricated at room temperature, the film itself has many defects due to the nature of sputtering. For this reason, the TFT devices are typically annealed from 250°C upwards to improve their electrical properties. Devices on flexible substrates require new methods to localize the heating or lower the annealing temperature. Thus, identifying a low temperature annealing process is necessary for next generation, transparent, and flexible displays.

Previous research has shown that low cost and low temperature methods improve the electrical characteristics of the TFT. With the aid of surface and bulk characterization techniques in comparison to the device characteristics, this work aims to elucidate further on the improvement mechanisms of wet and dry annealing ambients that affect the electrical characteristics of the device for vacuum processed films. Secondary Ion Mass Spectrometry results show that despite outward diffusion of $-H$ and $-OH$ species, humid annealing ambients counteract outward diffusion of these species, leading to defect sites which can be passivated by the wet ambient. X-ray Photoelectron Spectroscopy results show that for devices annealed for only 30min in a wet annealing environment, the concentration of metal-oxide bonds increased by as much as 21.8% and defects such as oxygen vacancies were reduced by as much as 18.2% compared to an unannealed device.

Research is also aggressively transitioning to solution processed devices due to the ease of processability and reduced cost versus vacuum processed films. With the results of the low temperature annealing methods gathered for vacuum processed films, the wet annealing ambients are then extended and applied to solution processed films. The AFM, GI-XRD, and XPS results show that wet annealing ambients can improve the surface roughness of the film, promote grain agglomeration which may result in small semi crystalline pockets located in the bulk of the films, and a better oxide network all due to the diffusivity of water vapor during the channel annealing step. The Wet O_2 annealed devices exhibited decent stability under NBS tests with a small V_{on} shift of -5.1 V versus a shift of -12.1 V for the 250ATM devices. Finally, the 250WO₂ annealed devices showed a maximum field effect mobility of 2.99 cm^2/Vs , an $I_{on/off}$ ratio of 10^7 , and a decent subthreshold swing S of 330 mV/dec. The mobility of the 250WO₂ devices exhibited a 4-fold increase when compared to the 250ATM devices.

All in all, this work was able to show that a low temperature, low cost annealing method can produce devices with good electrical characteristics and can pave the way for next generation fabrication of oxide TFTs on flexible substrates.

氏名	Jallorina Michael Paul Aquisay
----	-----------------------------------

(論文審査結果の要旨)

近年、各画素の光を制御する薄膜トランジスタ (TFT) に、アモルファス酸化物半導体 (AOS) 材料が使用されている。しかし、InGaZnO (a-IGZO) のようなアモルファス材料を室温で製膜することはできるが、膜自体はスパッタリング法の性質により多くの欠陥を有する。このため、薄膜トランジスタを形成する場合は、電気特性を向上させるために 250°C 以上で熱処理する必要がある。また、フレキシブル基板上に作製するためには、加熱を局所的に行なうかまたは処理温度を下げるための新しい方法が必要である。従って、低温熱処理プロセスを確立することは、次世代の透明でフレキシブルなディスプレイに重要な技術である。

これまでの研究は、低コスト化および低温化のためには TFT の電気的特性を改善することを提案しているが十分ではない。そこで、この研究は、薄膜トランジスタ素子の電気特性に影響を与える湿式および乾式熱処理条件の改善メカニズムを解明することを目的としている。二次イオン質量分析の結果は、湿潤熱処理がこれらの水素および水酸基の外方拡散を妨げ、湿潤雰囲気によって欠陥が不動態化させる可能性があることを示している。また、X線光電子分光法の結果は、湿式熱処理環境下でわずか 30 分間アニーリングした素子でも、金属酸化物結合の割合が 21.8% も増加し、酸素空孔などの欠陥が 18.2% も減少したことを示している。

また、加工が容易で真空処理プロセスに比べてコストが低いと考え、溶液処理プロセスによる薄膜トランジスタの形成を検討した。AFM、GI-XRD、および XPS 法を用いて分析した結果、湿式熱処理によって、酸化物薄膜の表面粗さが改善され、強固な酸化物ネットワークがもたらされることが示された。このことによって、移動度や閾値など酸化物薄膜トランジスタにおける電気特性の高性能化、バイアスストレステストによる高信頼性化を実証できた。

以上のように本論文は、酸化物半導体を用いた薄膜トランジスタの低温形成や高信頼性化に向けて、新しい手法を考案し、それが有効であることを実証しており、学術的に意義深い。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。