

酸素雰囲気熱処理による TiO_2 チャンネル TFT の閾値電圧の大幅減少Threshold Voltage Decrease by Oxygen Thermal Treatment in TiO_2 -Channel Thin Film Transistor

東大院工, °小池 豪, 矢嶋 起彬, 西村 知紀, 長汐 晃輔, 鳥海 明

Univ. of Tokyo, °Go Oike, Takeaki Yajima, Tomonori Nishimura, Kosuke Nagashio, and Akira Toriumi

E-mail: oike@adam.t.u-tokyo.ac.jp

【本研究の背景と目的】 TiO_2 をチャンネルとした薄膜トランジスタ (TFT) は、光触媒や抵抗変化型メモリーのような TiO_2 独自の性質を電場で制御できる可能性がある。十分な移動度及び正常な閾値電圧 (V_{th}) を実現するためには、 TiO_2 薄膜の結晶性、酸素空孔濃度、良好な絶縁膜界面が必要とされることは容易に想像される。過去の報告から、これらの特性改善のために製膜後熱処理 (PDA) が有効であることが分かっている[1,2]。しかし PDA 中の雰囲気については、大気中で行ったもの[1]から真空中で行ったもの[2]まで複数の報告が存在し、熱の効果と雰囲気の影響を明確に分離できるとは言えない。そこで今回、上記の必要条件を考えた時に PDA 中の雰囲気はどうあるべきかということに関して検討を行い、 TiO_2 TFT 性能の律速条件を明らかにすることを目的とした。

【実験方法】 SiO_2 (120 nm) / n^+ -Si 基板上に 20 nm 厚の TiO_2 膜をパルスレーザー堆積 (PLD) 法によって室温で成膜した。製膜中の酸素圧は 1 Pa、レーザーエネルギーは 70 mJ で固定した。製膜後ランプ加熱炉で 500°C、30 min の PDA を行った。PDA 雰囲気は $\text{He}+\text{H}_2$ (1 %)、 N_2 、 N_2+O_2 (0.1 %)、100% O_2 の 4 種類である。ソース、ドレイン電極として Al、ゲート電極として n^+ -Si 基板を用いた。チャンネル幅・長はともに 100 μm である (Fig. 1)。

【結果と考察】 ラマン測定から、全ての PDA 雰囲気においてアナターゼ型 TiO_2 が得られることが分かり、結晶性の差は見られなかった。さらに Fig. 2 の TFT 伝達特性が示すように、オフ時のリーク電流とオン時の移動度は PDA 雰囲気に大きく影響されなかった。一方で V_{th} は、PDA 時の酸素濃度が減少するにつれて著しく増加した。つまり 100% O_2 の場合にはバンドアライメントから予想される $V_{th} \sim 0$ V という値が得られるが、PDA 雰囲気が還元性になるにつれて V_{th} は理想的な値から上昇していく。

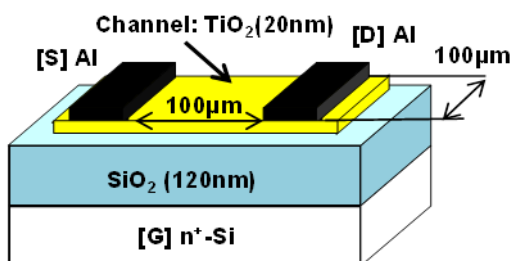
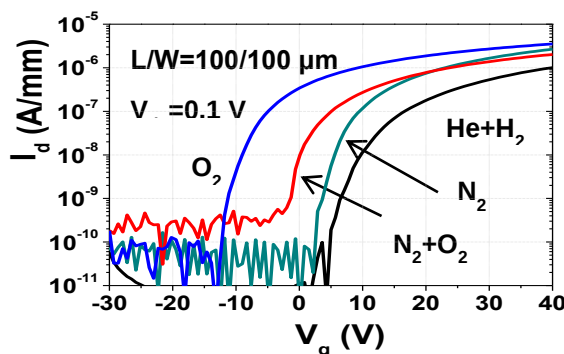
還元性 PDA はしばしば Nb ドープ TiO_2 薄膜の作製に用いられてきた[3]。そこでは水素アニールのような強力な還元性 PDA を行ったとしても、大量の酸素空孔や格子間チタンがドナーとして TiO_2 薄膜の伝導性に寄与するとは限らない。しかし少なくとも酸化性 PDA と還元性 PDA とを比較した場合、後者の方がドナー欠陥を増加させる方向にあり、 V_{th} は減少するはずである。従って還元性 PDA によって V_{th} が増加するという実験結果は、 TiO_2 薄膜中のドナー欠陥を考えるだけでは説明できない。

つまり TiO_2 薄膜中のドナー欠陥とは別に、何らかの変化が還元性 PDA によって起きたと考えられる。現時点でその正確な内容は分からないが、可能性として下記の二つを考えている。一つは、還元性 PDA により、 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/n^+$ -Si スタックのどこかに負に帯電した欠陥が形成された可能性である。別の可能性としては、還元性 PDA が TiO_2 薄膜または $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 界面の構造を乱し、チャンネルの TiO_2 伝導帯のコヒーレンスを悪化させてアクセプター型のギャップ内準位を形成した可能性である。

【結論】 TiO_2 TFT 性能の律速条件を明らかにするために PDA 中の雰囲気がどうあるべきかに関して検討を行った。100% O_2 中の PDA によって正常な閾値電圧 ($V_{th} \sim 0$ V) が得られる一方、PDA 雰囲気が還元性になるにつれて V_{th} は著しく増加した。これは酸化物 TFT を取り扱う際に、熱平衡状態で酸化物中に形成されうる欠陥だけではなく、デバイス全体で起こりうるあらゆる構造変化を考慮していかななくてはならないことを示している。

【謝辞】 本研究の一部は半導体理工学研究センター (STARC) の助成により実施された。

【参考文献】 [1] J.-W. Park *et al.*, IEEE Electron Device Letters **29**, 7 (2008). [2] N. Zhong *et al.*, AIP Advances **1**, 032167 (2010). [3] T. Hitosugi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **46**, L86 (2007).

Fig.1. A schematic device structure of the TiO_2 -TFT.Fig.2. Transfer characteristics of TiO_2 TFTs for various PDA gases.