29a-F2-2

アナターゼ結晶相の微細構造制御による TiO₂ チャネル TFT の高移動度化

High-Mobility TiO₂-Channel TFTs with Optimized Anatase Microstructures

東大院工 ⁰矢嶋 赳彬,小池 豪,西村 知紀,長汐 晃輔, 鳥海 明

Univ. of Tokyo, ^OTakeaki Yajima, Go Oike, Tomonori Nishimura, Kosuke Nagashio, and Akira

Toriumi

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

酸化物半導体 TiO₂は、光触媒や抵抗スイッチングなど従来の半導体にはない光化学的・電気化学的 な機能を持つ。これらの機能をゲート電場によって制御しエレクトロニクスに組み込むことは、電子 デバイスの多様化を促し、世の中のニーズを満たすことにつながる。そのためのデバイスプラットフォームとして、我々は TiO₂ チャネル薄膜トランジスタ(TFT)の作製を行っている。TiO₂の伝導帯は 空間的広がりの小さな d 軌道からなるためバンド幅が比較的狭く、実際これまでに作製されてきた TiO₂ チャネル TFT の移動度の多くは室温で 1cm²/Vs 以下であり ON 電流も小さい[1]。しかし Nb ドープ TiO₂ の単結晶薄膜では、準安定相であるアナターゼ相を用いることで移動度 30cm²/Vs が報告されており、またフォノン散乱で決まる内因性の移動度限界は最大 60cm²/Vs と高い[2]。つまり TiO₂ アナターゼ相 からなる TFT チャネルは、微細な構造制御によって移動度及び ON 電流を大幅に改善できる余地がある。そこで今回我々は、TiO₂ アナターゼ相をチャネルとする TFT において移動度を制限している構造 的要因を明らかにし、10cm²/Vs 以上の移動度と実用的な ON 電流を持つデバイスを作製することを目 的とした。

TiO₂薄膜 40nm を SiO₂(115nm)/Si(n⁺)基板上に、パルスレーザー堆積法によって作製した。製膜温度 が低い方がアニール後の TiO₂多結晶薄膜で高い移動度が得られると報告されており[3]、本研究でも製 膜は室温で行った。アニールによって結晶化させる前の TiO₂薄膜の質量密度を X 線反射率法から見積 もったところ、製膜時酸素圧 0.1Pa~1Pa に対してルチル相の質量密度~4.3g/cm³からアナターゼ相の 質量密度~3.9g/cm³まで単調に変化した。窒素アニール(500℃、1 時間)で結晶化させてもこれらの 質量密度は大きく変化せず、0.1Pa で作製した薄膜はルチル単相に、1Pa で作製した薄膜はアナターゼ 単相に結晶化した。このようにアニール後の TiO₂薄膜の結晶相(ルチル/アナターゼ)は、製膜時の飛 来粒子のエネルギーや酸素組成によって、結晶化前に既に決まっているものと考えられる。

次に 1Pa で製膜した TiO₂薄膜に対して窒素アニールの温度を変化させたところ、TFT の線形移動度 (µ_{in})は 600℃で最大となった(図 1a)。この時の伝達特性は大きなヒステリシスを示すものの(図 1b)、µ_{in}は行きが 8.0cm²/Vs、帰りが 10.6cm²/Vs と過去に報告された値の多くより 1 ケタ近く高い値と なった。過去に界面の Ti-O-Si ボンドがアニールで切断されると移動度が上るという説明がなされたが [4]、我々は 600℃のアニール温度を境にして TiO₂ 多結晶薄膜の粒界形状が劇的に変化することを原子 間力顕微鏡から見出しており、粒界形状及び各粒中の結晶性も移動度に強く関与しているのではない かと考えている。

以上のように、TiO₂ 薄膜の結晶相は室温製膜時に、粒界形状や結晶性はアニール時に決定されることが示唆された。前者でアナターゼ単相を作製した後、さらに後者を最適化することで、10cm²/Vs を 超える移動度を持つTiO₂チャネルTFTの作製に成功した。発表では後者の、アニール温度が移動度に

及ぼす効果を、TiO2の微細構造 に着目して詳細に議論する。 本研究の一部は半導体理工

学センター(STARC)の助成に より実施された。

 M. Katayama *et al.*, Mater. Sci. Eng. B **148**, 19 (2007). [2] Y.
Furubayashi *et al.*, J. Appl. Phys. **101**, 093705 (2007). [3] N.
Yamada *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **46**, 5275 (2007). [4] N. Zhong *et al.*, IEEE Elec. Dev. Lett. **33**, 1009 (2012).



Fig. 1 (a) The μ_{lin} of TiO₂-channel TFTs as a function of the annealing temperature. (b) The transfer characteristics of the TiO₂-channel TFT annealed at 600 °C. The channel length and width are 100 μ m and 100 μ m.