材料とプロセス

ゲートリーク電流が極薄の硝酸酸化膜で遮断

ゲート酸化膜厚10ナノまで低減

硝酸酸化法ではSiを特殊な硝酸（共沸硝酸）に浸漬するだけで、超高性能の極薄SiO_2の膜が形成できる。**図2**に示すように、1・4ナノの硝酸酸化膜の上にCVD法を用いて8・6ナノの酸化膜を堆積して、10ナノのゲート酸化膜が形成されている。

硝酸酸化膜はCVD酸化膜よりも少し黒く写っている。この結果は硝酸酸化膜の密度が高いことを示している。この緻密な硝酸酸化膜によって、ゲートリーク電流が遮断される。

1・4ナノの共沸硝酸酸化膜の上に8・6ナノの酸化膜（CVD酸化膜）を堆積させた10ナノのゲート酸化膜のスタックゲート構造を持つTFTで重要な特性となるドレイン電流とドレイン電圧（Id−Vd）の関係を**図3**に示す。

市販されているTFTの動作電圧12−15ボルトから、動作電圧を3ボルト、2ボルト、1ボルトと低下させていっても、十分に大きな飽和電流を持ち、1ボルトでの駆動が可能であることがわかる。TFTの消費電力は動作電圧の2乗に比例するため、12ボルトで駆動する従来TFTに比較して、144分の1の消費電力でTFTが駆動できるということを示す結果である。

ゲート酸化膜厚を10ナノまで低減できた理由はゲートリーク電流が極薄の硝酸酸化膜で遮断されたことによるものだ。しきい値電圧はpチャネルTFTで−0・3ボルトから0・5ボルト。nチャネルTFTでは0・2ボルトから0・4ボルトと、どちらも低くなっており、これが1ボルト駆動を可能にしている。

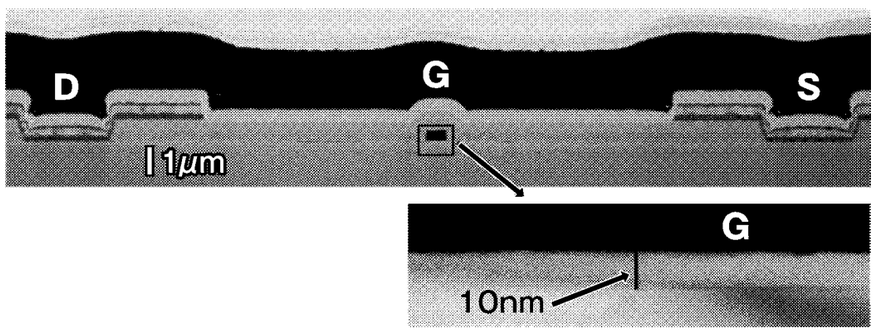
チャネル長は0・9マイクロメートルとサブミクロンTFTとなっている。従来、TFTの微細化はゲート絶縁膜の膜厚が大きいために困難であった。硝酸酸化法を用いてゲート酸化膜の膜厚を10ナノまで低減できたこと、すなわち、縦方向の微細化ができたために、横方向の微細化も容易に可能となり、このようなサブミクロンTFTが作製できている。

TFTの特性として、ドレイン電流とゲート電圧の関係も重要であり、ドレイン電流が動作状態で大きく、待機状態で小さくなっているとTFTのスイッチングが容易となる。

図4からわかるように、硝酸酸化法を用いたTFTでは動作状態でドレイン電流が約100マイクロアンペアと大きく、待機状態では10のマイナス7乗マイクロアンペア以下と小さい。したがって、on−off比は10の9乗と、通常のTFTより約二ケタ大きい。硝酸酸化膜がゲートリーク電流を効果的に遮断し、off電流が小さくなったために、このように大きなon−off比が得られた。

on状態とoff状態の中間であるゲート電圧領域（サブスレッシュホールド領域）ではドレイン電流が大きく変化している。この電圧領域で、ドレイン電流を10倍増加するのに必要なゲート電圧の増加量であるS値は70−80ミリボルト／dec（ミリボルト／decは1ディケード当たりのミリボルト数）と、理論限界の60ミリボルト／decに近くなっている。これはSiと硝酸酸化膜との界面に存在する欠陥である、界面準位の密度が極低であるということを示している。

このように、硝酸酸化法を用いて酸化膜を形成すれば、ここでゲート電流が遮断されるため、ゲート酸化膜の膜厚を10ナノまで薄くすることができる。その結果、サブミクロンTFTの形成が可能となり、駆動電圧を1ボルトまで小さくできることになる。



硝酸酸化膜＋CVD酸化膜

図2　硝酸酸化法を用いて作製したTFT

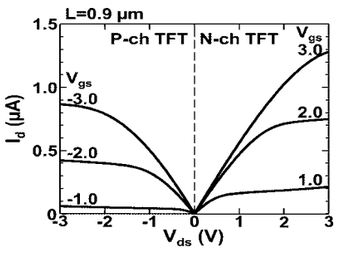


図3　10nmのゲート酸化膜を持つTFTのドレイン電流とドレイン電圧の関係

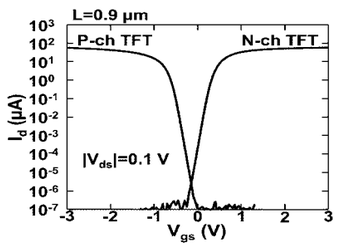


図4　10nmのゲート酸化膜を持つTFTのドレイン電流とゲート電圧の関係

TFT以外でも利用できる硝酸酸化法

Si太陽電池の変換効率向上に

1ボルトで動く液晶は現在存在しない。しかし我々は硝酸酸化法を用いて3ボルト駆動の液晶ディスプレーの作製に成功している。また、SOI（silicon on insulator）効果を利用した超低消費電力回路やフレキシブル基板への応用も期待できる。

さらに研究室では液晶を用いない自発光画素に関する基礎研究も行っている。将来自発光画素を用いるディスプレーができれば、その消費電力は現在の20分の1以下に低減できると考えている。これが実現すれば、32インチのテレビの電力を10ワット以下にすることができるようになる。

また、硝酸酸化法はTFT以外の用途もある。例えばSi太陽電池に応用した場合、極薄の超高性能の酸化膜が形成できる結果、シリコン表面のパッシベーション（不活性化）が行われ、エネルギー変換効率が向上することが立証されている。