チタン酸化物薄膜への電気化学的手法による微細領域キャリアドーピング

Microscopically-Patterned Electrochemical Doping to TiO_2 Thin Films

東大マテ　○矢嶋 赳彬，西村 知紀，鳥海 明
Univ. of Tokyo, ○Takeaki Yajima, Tomonori Nishimura, and Akira Toriumi
E-mail: yajima@adam.t.u-tokyo.ac.jp

半導体への不純物ドーピングには広くイオン注入の手法が用いられてきた。マスクパターンを介したイオン注入に依って、デバイス構造中の不純物分布をナノスケールで制御することができる。しかし、イオン注入は、ディスプレイやセンサなど比較的安価な応用が期待される酸化物半導体に適しているとは言えない。というのも、イオン注入の手法は高価であり、また注入されたイオンを活性化するためにはしばしば多大なプロセス開発が必要となるからである。酸化物半導体ではむしろ、電気化学的手法に依ってナノスケールでドーピングを制御できる可能性がある。酸化物ではこれまでにも、陽極酸化、抵抗スイッチング、エレクトロクロミズムなど電気化学に関連した手法が用いられている。そこで本研究では、酸化物半導体へのドーピング手法として電気化学ドーピングがイオン注入の代わりになりうるかどうか調べるため、典型的な酸化物半導体においてその効果を実証することを目的とした。

実験では、SiO_2（500 nm）/p^+:Si 基板上に作製した多結晶アナターゼ TiO_2 薄膜（30 nm）を作用電極、Ag|AgCl 電極を参照電極、白金電極を補助電極とし、様々な電位において TiO_2 薄膜の電気抵抗率の変化を調べた。その結果 Fig. 1(a)に示すように、−0.7 V（*vs.* SHE）以下の還元電位で TiO_2 薄膜のシート抵抗率（R_{sheet}）が徐々に減少し、−0.85 V（*vs.* SHE）以下の還元電位で約 20 kΩ/□の値に飽和することが分かった（青矢印）。その後さらに電位を変化させることで、可逆的に約 1 桁の範囲で抵抗率を変調できることが分かった（緑・赤矢印）。この抵抗率変化の起源は主に電子濃度（N_{2D}）の変化であり、ホール移動度（μ_{Hall}）の大きな変化は見られなかった [Fig. 1(b)]。さらに 5 μm の縞状のレジストパターンを介して電気化学的ドーピングを行ったところ、レジストに覆われていない部分だけに電子がドープされることも確認した [Fig. 1(c)、コンダクティブ原子間力顕微鏡像]。この電流パターンのエッジは 100nm 未満（測定分解能）の急峻さを持ち、ナノスケールの電気化学ドーピングが可能であることを示唆している。以上のように、本研究では多結晶アナターゼ TiO_2 薄膜において、電気化学的手法が、イオン注入と同様に微細領域へのキャリアドーピング手段として有用であることを示した。本研究は STARC との共同研究であり、その一部はイオン科学振興財団の助成を受けて行われた。

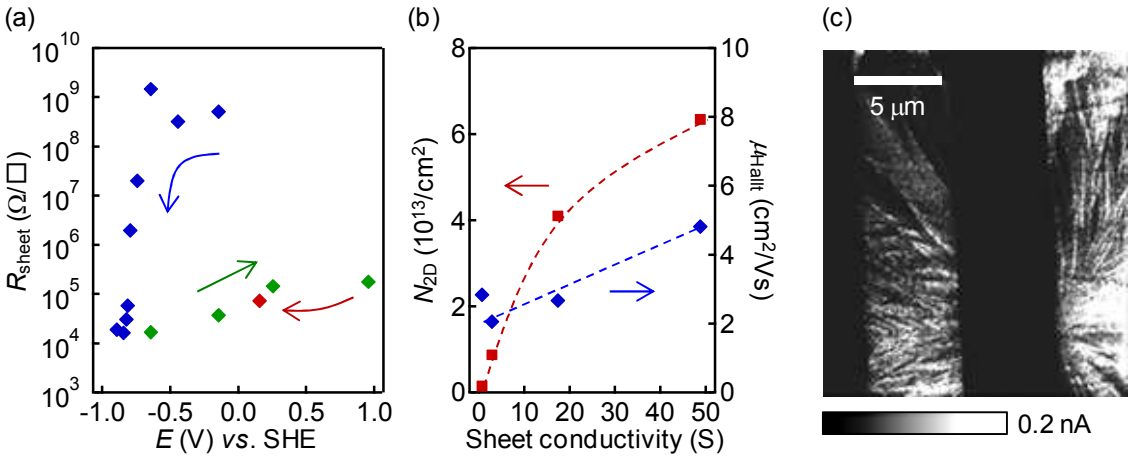

Fig. 1. (a) Sheet resistivity (R_{sheet}) of TiO_2 thin films after electrochemical doping at various voltages. (b) Sheet carrier density (N_{2D}) and Hall mobility (μ_{Hall}) for the doped TiO_2 thin films with various sheet conductivities. (c) Current map of the TiO_2 thin film electrochemically doped through a patterned resist mask. −5 V was applied on the probe tip.

© 2015年 応用物理学会