

Title	Resistance modulation by strongly correlated oxide transistor with high-k Ta ₂ O ₅ /organic parylene-C hybrid gate insulator
Author(s)	Wei, Tingting
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/59625
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (TINGTING WEI)	
論文題名	Resistance modulation by strongly correlated oxide transistor with high- k Ta ₂ O ₅ /organic parylene-C hybrid gate insulator (High- k 酸化タンタル/有機パリレンハイブリッドゲート絶縁膜を用いた強相関酸化物電界効果トランジスタによる抵抗変調)
論文内容の要旨	
<p>As one of the most promising candidates for next generation electronics, strongly correlated oxide, vanadium dioxide VO₂, has drawn widespread concerns due to their intriguing features, which exhibits drastic metal-insulator transition (MIT) in the vicinity of room temperature with four orders of magnitude in resistance variation. Field-triggered transport modulation utilizing a three-terminal field-effect transistor device facilitates the research on control of MIT functionality, and provides the potential for exploiting novel devices based on strongly correlated oxides.</p> <p>In this thesis, I have investigated the electric transport modulation properties in VO₂ films and nanowires by applying an electric field utilizing a hybrid solid gate insulator consisting of inorganic high-k oxide Ta₂O₅ and organic polymer material parylene-C, which provides less effects of lattice defects at gate/channel interface and sufficient carrier doping.</p> <p>My achievements are listed as follows:</p> <p>(1) I successfully fabricated a hybrid gate insulator to verify the series connection mode of capacitors in this structure. Through being applied to the band semiconductor KTaO₃, the hybrid gate dielectric was demonstrated to possess outstanding characteristics: excellent gate/channel interface due to the suppression of formation of oxygen vacancies and charge trapping levels, providing higher breakdown fields; and giant induced carrier density to sufficient electrostatic modulation resulting from the high effective dielectric constant compared with only parylene-C gate insulator.</p> <p>(2) I achieved electrostatic effect tailoring reversible and prompt resistance switch in VO₂ thin films <i>via</i> hybrid gate insulator. Moreover, I observed the maximum resistance modulation occurred near the transition temperature. Simultaneously, I clarified that five-fold higher resistance change ($\sim 0.6\%$) induced by hybrid gate insulator rather than parylene-monolayer gate originated from the promoted carrier density. Additionally, I obtained a pronounced shift of transition temperature by applying positive/negative gate bias.</p> <p>(3) I further enhanced sensitivity in resistance modulation through decreasing the channel scale close to nanometer scale size (100 nm) in the nanowire-based field-effect transistors (FETs) constructed by nanoimprint lithography. I accessed the enhanced maximum resistance modulation ($\sim 8.6\%$) near transition temperature. This value was ten-fold higher than that in VO₂ film-based devices. Such enhancement in resistance modulation was well explained by the giant mobility modulation in the edge part of nanowire-based FETs. Even though the stronger field strength (1.5 folds stronger) distributed in the edge part yielded little enhancement of carrier density, it could make the mobility enhance logarithmically on the basis of Brinkman-Rice picture for correlated system. The achieved transport modulation ratio in nanowire-based FETs is the highest one in all-solid-gated devices so far.</p> <p>This research provides a new avenue for pure electrostatic modulation in strongly correlated oxides, and simultaneously supplies potential possibilities for exploiting nano-devices based on strongly correlated oxides for next generation electronics.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (TINGTING WEI)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授 田中 秀和
	副 査	教 授 冨田 博一
	副 査	教 授 吉田 博
	副 査	教 授 戸部 義人

論文審査の結果の要旨

本研究では、室温近傍で巨大な金属-絶縁体転移(MIT)を発現する二酸化バナジウム (VO_2) 薄膜およびナノ構造において、有機ポリマー絶縁体であるパリレン-Cと酸化物高誘電体である酸化タンタルを積層したハイブリット型ゲート絶縁体を用いて電界効果トランジスタ構造を作製し、有機ポリマー薄膜コーティングによる表面ダメージの少ないチャンネル層の実現と酸化物の高い誘電率を両立させることにより、強相関酸化物の電界効果による電気輸送特性制御を実現した。特に全固体強相関酸化物電界効果デバイスにおいて従来に無い大きな変調効率を達成し、その制御の学理を明らかにした。

まず、パリレンCと酸化タンタルの積層厚さを数十ナノnmレベルで制御したハイブリッド積層構造を作製し、キャパシタンス測定により直列接続モデルが成立することを明らかにした。その上で、参照物質である酸化物半導体 KTaO_3 単結晶基板上に、合成容量を最適化したハイブリッドゲート層形成による電界効果トランジスタ構造を形成し、良好なトランジスタ動作を示した。単独の酸化タンタルゲート層、パリレンゲート層を有する場合に比して、ハイブリッドゲート層は、高い絶縁破壊電圧、酸化物半導体チャンネル表面の劣化の抑制、高い合成誘電率を実現し、酸化物半導体チャンネル層に大きなキャリア濃度変調を実現できることを示した。次にこの知見をもとに強相関電子系酸化物である VO_2 エピタキシャル薄膜にハイブリッド積層ゲート構造を適用した電界効果トランジスタ構造を形成し、電界効果による抵抗の変調とMIT温度の変調を実現した。転移温度近傍における抵抗変調効率は最大0.6%であり、過去に報告された固体ゲートを有する VO_2 電界効果トランジスタにおける抵抗変調率に比して最大値ではないが、そのゲート電圧に対するチャンネル抵抗の変化率の線形性、相転移温度の変化率の線形性および電界印加に対する応答性の速さに基づき、静電キャリア変調機構により電気輸送特性制御が実現できることを明らかにした。その上で、ナノインプリント法により作成したエピタキシャル VO_2 ナノワイヤ(線幅100nm)にハイブリッド積層ゲート構造を適用した強相関酸化物ナノワイヤハイブリッドゲート電界効果トランジスタを作製し、相転移温度近傍でゲート電界による電気抵抗変調効率8.6%を実現した。ナノ構造における電界分布シミュレーションと実験による電界効果移動度の解析により、その変調に関する新たな機構を提案し、固体ゲートを用いた VO_2 電界効果トランジスタ構造における変調効率の最高値を達成した。これらの結果を通じ、多数の電子を含み電界制御が困難と目される強相関酸化物において、機構が明確な全固体ゲート層を用いた電界効果による電気輸送特性変調を実現する方法を提案し実証した。

以上、本論文は多電子系機能性酸化物の物性制御に新たな知見を与えるものであり、博士(理学)の学位論文として価値のあるものと認める。