

研究 成 果 報 告 書

(国立情報学研究所の民間助成研究成果概要データベース・登録原稿)

研究テーマ (和文) AB		二酸化バナジウムにおける巨大な金属・絶縁体ドメインの電界制御とデバイス応用			
研究テーマ (欧文) AZ		Electric-field control of gigantic metal-insulator domains in VO_2 and its device application			
研究氏 代 表 名 者	カナ文字 CC	姓)ナカノ	名)マサキ	研究期間 B	2013 ~ 2015 年
	漢字 CB	中野	匡規	報告年度 YR	2015 年
	ローマ字 CZ	Nakano	Masaki	研究機関名	東京大学
研究代表者 CD 所属機関・職名		東京大学・大学院工学系研究科・特任講師			
<p>概要 EA (600 字～800 字程度にまとめて下さい。)</p> <p>キャパシタの蓄電効果を利用した電界効果トランジスタ(FET)は、電圧による電流のスイッチング機能を提供する基本素子であり、現代の情報化社会には欠かせない要素技術の一つである。一方でこれは物質探索・制御手法としても有用であり、これまでに、バンド絶縁体を対象として、電界効果による超伝導のスイッチングや磁性の制御などが実現されてきた。一方、モット絶縁体に代表される強相関物質は、微小な外部刺激に対して巨大かつ多彩な応答を示すため、FET と組み合わせることで革新的な相転移デバイスの実現が期待できる。</p> <p>VO_2 は電子系と格子系が強く結合した強相関物質の一種であり、室温近傍で結晶構造変化を伴った一次の金属-絶縁体相転移を示すことが古くから知られている。研究代表者らのこれまでの研究から、この VO_2 をチャネル、電解質の一種であるイオン液体をゲート絶縁層とする FET では、わずか 1 V の電圧で金属・絶縁体転移を可逆的に制御可能であることがわかっている。この新型トランジスタは、従来のシリコントランジスタにはない特徴をいくつか備えている。その一つが、電圧で金属化したのに電圧を遮断しても金属状態が保持される「不揮発性」であり、これを利用することで、従来の電流ではなく、原理的にジュール損失がない静電場で情報を書き換え可能な新しい不揮発性メモリとしての応用が期待される。</p> <p>本研究では、その起源に関する理解を深めるべく種々の実験を行い、電気抵抗測定に加えて、in-situ X 線回折測定、in-situ X 線吸収分光測定、金属・絶縁体ドメインの実空間観察などを通して、(1) VO_2-FET では電場誘起相転移に伴って巨大な結晶構造変化が可逆的に起こること、(2) 電場誘起相転移の可逆性・不揮発性には薄膜の品質が大きく影響すること、(3) VO_2 薄膜の膜厚に応じて試料全体が協同的に相転移を起こす場合と金属・絶縁体ドメインに相分離を起こして段階的に相転移を起こす場合があること、などを明らかにした。さらに、当初は想定していなかった成果として、(4) FET による電界効果のみならず、永久双極子モーメントを持つ有機分子を VO_2 表面に物理吸着させることによって相転移温度を大きく制御可能であること、などを見出した。</p>					
キーワード FA	電界効果	強相関電子系	金属・絶縁体転移		

(以下は記入しないで下さい。)

助成財団コード TA					研究課題番号 AA								
研究機関番号 AC					シート番号								

発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入して下さい。）										
雑誌	論文標題 ^{GB}	Gate-tunable gigantic lattice deformation in VO ₂								
	著者名 ^{GA}	D. Okuyama, M. Nakano, et al.	雑誌名 ^{GC}	Applied Physics Letters						
	ページ ^{GF}	023507-1~023507-5	発行年 ^{GE}	2	0	1	4	巻号 ^{GD}	104	
雑誌	論文標題 ^{GB}	Distinct Substrate Effect on the Reversibility of the Metal-Insulator Transitions in Electrolyte-Gated VO ₂ Thin Films								
	著者名 ^{GA}	M. Nakano, et al.	雑誌名 ^{GC}	Advanced Electronic Materials						
	ページ ^{GF}	1500093-1~1500093-7	発行年 ^{GE}	2	0	1	5	巻号 ^{GD}	2015	
雑誌	論文標題 ^{GB}	強相関酸化物における電界効果								
	著者名 ^{GA}	中野匡規 他 3 名	雑誌名 ^{GC}	固体物理						
	ページ ^{GF}	381~394	発行年 ^{GE}	2	0	1	4	巻号 ^{GD}	49	
図書	著者名 ^{HA}									
	書名 ^{HC}									
	出版者 ^{HB}		発行年 ^{HD}					総ページ ^{HE}		
図書	著者名 ^{HA}									
	書名 ^{HC}									
	出版者 ^{HB}		発行年 ^{HD}					総ページ ^{HE}		

欧文概要^{EZ}

The field-effect transistor (FET) utilizing charging effect of a capacitor provides electrical switching function of electric current by external voltage, being one of essential components of the modern information technology. FET is also very useful for exploring and controlling electronic properties of condensed matters, as widely demonstrated in electric-field induced superconductivity and ferromagnetism, which have been mainly realized in band insulators. Strongly-correlated materials represented by Mott insulators, on the other hand, are also interesting to be investigated, because of their great potentials for gigantic and diverse responses to tiny external stimuli due to a strong interplay between charge, spin, orbital, and lattice.

VO₂ is an archetypal strongly-correlated oxide, showing the first-order metal-insulator transition accompanied by the structural phase transition near room temperature. We have examined electric-field effects on VO₂ using organic ionic liquid as a gate dielectric layer, and found that we can reversibly control the metal-insulator transition in VO₂ by application of a very small voltage of about 1 V. This new type of transistor provides various novel functions that cannot be achieved in conventional Si-based transistors. One example is 'non-volatility', which may lead to future ultra-low power consumption device applications.

In this study, we performed electrical transport measurements, as well as *in-situ* x-ray diffraction measurements, *in-situ* x-ray absorption spectroscopy measurements, and real-space observation of metal-insulator domains, and revealed that (1) electric-field induced reversible and gigantic structural transformation in VO₂, (2) reversibility and non-volatility of the device operation strongly depends on VO₂ film quality, and (3) there is a critical thickness which determines whether phase transition occurs in a phase-uniform or a phase-separated way. Moreover, we also unexpectedly found that (4) not only by electric-field effect in FET structure, modification of VO₂ film surface by polar organic molecules also enables large and reversible control of the transition temperature in VO₂.