

バナジウム酸化物デバイス界面に出現する新たな電子相に関する研究

大学院理学研究科化学専攻 博士課程後期3年 ^{しがだいすけ} 志賀大亮

強相関酸化物である二酸化バナジウム(VO_2)は、室温付近でVイオンの二量化による構造相転移(図1参照)とともに抵抗率の巨大かつ急激な変化を伴った金属-絶縁体転移(MIT)を示すことから、モットトランジスタのチャンネル材料候補として盛んに研究されている。このMITは、パイエルズ転移(V-V二量化)とモット転移(強相関効果)とが協調的に作用した結果であると考えられている。しかしながら、両者がデバイス動作時におけるチャンネル層(界面数ナノメートル領域)の挙動にどのように関わっているのかについては未だよく分かっていない。本研究では、 VO_2 のMITにキャリア、次元性といった摂動を与えることによって相転移不安定性の均衡を崩し、その時の電子・結晶構造変化をその場放射光電子分光によって調べることで、MITにおける各相転移不安定性の役割を解明することを目的とした。

表面電子注入された VO_2 薄膜における新たな電子相の出現

キャリア制御による VO_2 チャンネル層の電子相変化に関する知見を得るために、 VO_2 エピタキシャル薄膜表面へのアルカリ金属原子蒸着による電子注入を行った。これにより、 VO_2 チャンネル層における電子相図を決定した[図1(a)]。また、光電子分光測定により、 VO_2 チャンネル層においては、表面電子蓄積によるキャリア誘起MITが実現していると結論づけた。さらに、このキャリア誘起MITの起源を結晶構造の観点から検証するために、偏光依存X線吸収分光測定を行った。その結果、 VO_2 のキャリア誘起金属相が、単斜晶系 VO_2 に特有のV-V二量化を維持した状態であることが明らかになった。以上の電子・結晶構造のその場観測から、 VO_2 チャンネル層においては、電子蓄積時に新たな電子相である「単斜晶系金属相」が出現すると結論づけた[1]。

VO_2 極薄膜における電子・結晶構造の膜厚依存性

次に、次元性制御による VO_2 チャンネル層の電子相変化に関する知見を得るために、原子レベルで膜厚を制御した VO_2 極薄膜における電子・結晶構造の膜厚依存性を評価した。光電子分光測定により、 VO_2 は1.0–1.5 nmの臨界膜厚で膜厚(次元性)に依存したMITを示すことが明らかになった。さらに、偏光依存X線吸収分光測定により、絶縁体的な挙動を示す VO_2 の2次元極限では、もはやV-V二量体は形成されないことが明らかになった。これらの放射光電子分光解析の結果を輸送特性評価に基づいて作成した電子相図[図1(b)]と比較することで、2次元極限時の VO_2 におけるV-V二量化を伴わない絶縁体相は、低次元化によりモット不安定性がパイエルズ不安定性に打ち勝つことで生じる「ルチル型モット絶縁体相」といった新たな電子相であると結論づけた[2]。

以上の結果から、 VO_2 が示す急激なMITを動作原理とするモットトランジスタの挙動は、独立する2つの相転移不安定性のバランスに非常に敏感であることを電子分光学的に明らかにした。今後、この知見に基づいて最適なデバイス構造を設計することで、次世代のモットトランジスタの実現が期待される。

- [1] D. Shiga *et al.*, Phys. Rev. B **99**, 125120 (2019).
 [2] D. Shiga *et al.*, Phys. Rev. B **102**, 115114 (2020).

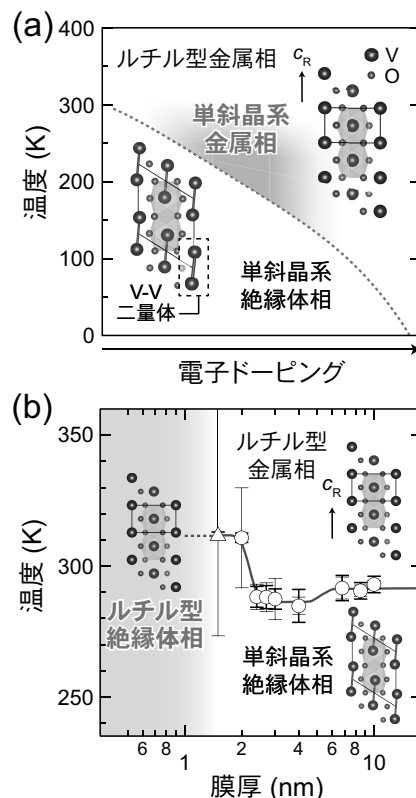


Fig. 1. 本研究で決定した(a)電子注入時及び(b)サイズ制御時における VO_2 チャンネル層の電子相図。