

14 K では、透過光強度が 120 T 付近から減少をはじめ、およそ 500 T で金属相の透過強度に到達する。このことから、500 T において絶縁体から金属への転移が起こったと考えられる。131 K は転移温度に近いためゼロ磁場での透過光強度が低い。興味深いことに、14 K の場合と同様に 100 T までは磁場依存性はほぼ無く、金属化への変化は 100 T 付近からはじまる。挿入図には透過光の変化量をプロットした。金属化がある閾磁場 B^* ではじまり、 B^* はあまり温度に依存しない。

図 2 には、図 1 の結果を $\frac{\Delta\alpha}{\alpha_M - \alpha_I}$ として $x = 0.036$ ($T_{MI} \sim 200$ K)、 $x = 0$ ($T_{MI} \sim 300$ K) の実験結果と合わせてプロットした[4]。

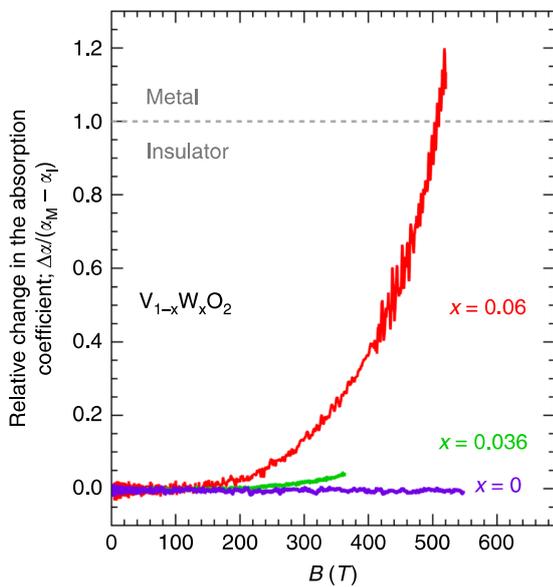


図 2 $V_{1-x}W_xO_2$ ($x = 0, 0.036, 0.06$) 薄膜における、吸収係数 α の相対変化量の磁場依存性。 α_M, α_I はそれぞれ、ゼロ磁場における高温金属状態と低温絶縁体状態の吸収係数。 $x = 0.036$ では、実験時の磁場発生装置の放電スイッチ同期不良により、最高磁場が 360 テスラまでに制限された。

ここで、 $\Delta\alpha$ は磁場による光吸収係数の変化、 α_M, α_I は高温金属相、低温絶縁体相それぞれでの光吸収係数である。 $x = 0.036$ では金属化は $B^* \sim 200$ T 以上で起こり、 $x = 0$ では 540 T でも金属化の兆候は観測できなかった。 T_{MI} が高いと金属化にはより強磁場が必要であることがわかる。

パルス磁場中では渦電流や磁気熱量効果によって試料温度が変化する可能性が高いが、本研究で用いた薄膜の厚みは 13~19 nm であるため、基板への熱緩和時間は 1 K あたり 0.1 ns 以下と見積もることができる。基板は厚み 0.5 mm であり 10^4 倍の熱容量があるため十分な熱浴とみなせ、マイクロ秒の磁場掃引時間において試料温度はほとんど一定であると期待できる。実験的にも、一巻きコイル法での予備実験で光透過強度変化によって発熱効果を評価したところ、温度上昇は観測されなかった。本研究で観測された磁場誘起金属化は等温条件下での現象であるといえる。

今回観測された磁場誘起金属化は、スピンの向きを揃えることで 2 量体の分子軌道が磁場で壊れ、 d 電子が遍歴的になったと考えることで説明できる。図 3 は磁場による 2 量体の崩壊を説明した模式図である。

このことから、 VO_2 の低温での絶縁体化のメカニズムにおいて、電子相関効果よりもバナジウムの 2 量体形成による格子変形の効果がより本質的であることが示唆される。ただし、スピンギャップに相当する分子軌道の結合-反結合軌道間のエネルギーギャップは 2.5 eV 程度あるため、単純な局所的ゼーマン効果では 500 T の磁場でも分子軌道のスピン-重項を壊すことは不可能である。電子相関効果が磁場効果の詳細を理解するためには重要になると考えている。

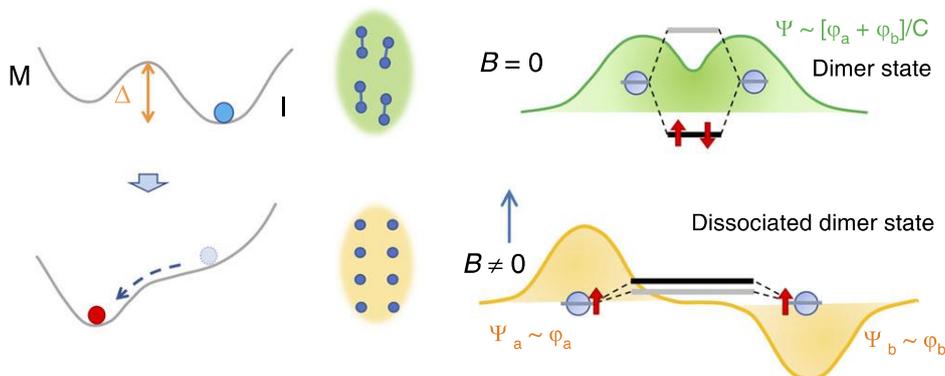


図 3 観測された磁場による金属化を説明する分子軌道崩壊の模式図。左図はポテンシャルエネルギーの変化の様子、中央の図はダイマーの分解を表す。右図は、ダイマーを形成する分子軌道が壊れる様子を示す。

