

金属-絶縁体相転移をまたぐ VO₂ 薄膜の熱伝導率の温度依存性

Temperature dependence of thermal conductivity of VO₂ thin films across Metal-Insulator Transition

青学大理工¹, 産総研²

○鬼塚 日奈子¹, 八木 貴志², 山下雄一郎², 賈軍軍¹, 中村新一¹, 竹歳尚之², 重里有三¹
Aoyama Gakuin University¹, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology²

○H. Kizuka¹, T. Yagi², Y. Yamashita², J. Jia¹, S. Nakamura¹, N. Taketoshi², Y. Shigesato¹

E-mail: yuzo@chem.aoyama.ac.jp

【はじめに】

二酸化バナジウム(VO₂)は、温度変化に伴い金属-絶縁体相転移を示すことが知られており、低温の絶縁体相から、約 340 K において金属相に相変態する[1]。一般的に、絶縁体の熱伝導キャリアはフォノンであるのに対し、金属では自由電子が支配的であることから、VO₂ の熱伝導率は相転移に依存して変化すると予想される。しかし、VO₂ 薄膜の熱伝導率の相転移温度を含む温度依存性を詳細に測定した例はほとんどない。

そこで、本研究では反応性 rf マグネトロンスパッタ法により VO₂ 薄膜を作製し、金属-絶縁体相転移を含む温度範囲における電気伝導率および熱伝導率の測定を行った。この結果から、相転移に伴う熱伝導率変化の機構を明らかにすることを目的とした。

【実験】

645 K に加熱した石英ガラス基板の上に、Mo(100 nm)/VO₂(300 nm)/Mo(100 nm) の 3 層膜をマグネトロンスパッタ法で作製し、パルス光加熱サーモリフレクタンス法により熱伝導率を測定した。VO₂ 層の作製には V₂O₃ ターゲットを用い、スパッタガスは Ar、反応性ガスは O₂ を用いた[2,3]。一方、電気伝導率測定用のために、3 層膜時と同一の成膜条件を用いて VO₂ 単層膜を作製した。これらの薄膜の結晶構造の解析は、X 線回折法および透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた。また、電気伝導率を 4 端子法(ホール効果測定装置, HL5500PC, ACCENT)により測定した。

【結果】

図 1 は TEM による 3 層膜(Mo/VO₂/Mo)の断面像である。下地の Mo 層上の VO₂ の微結晶からドメインが成長し、全体として柱状構造を形成する。

図 2 は図 1 の薄膜断面で得られた電子線回折像である。回折スポットはすべて VO₂ および Mo に起因し、VO₂ 層は他の酸化物を含まない単相であることを確認した。

図 3 に VO₂ 薄膜の熱伝導率の温度依存性を示す。温度の上昇に伴い 340 K 付近で絶縁体相から金属相へ相転移し、同時に熱伝導率(λ)は $1.4 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 増加した。図中の実線は VO₂ 単層膜の電気伝導率を基に、ヴィーデマンフランツ則により計算した自由電子をキャリアとする熱伝導率(λ_{el})である。相転移前後において λ_{el} は $1.5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 増加し、この値は実測した VO₂ 薄膜の熱伝導率変化と良く一致することが分かった。

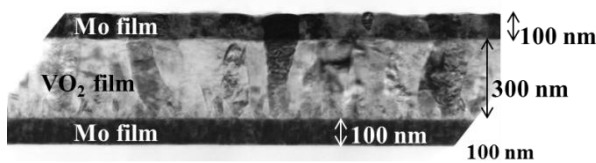


図 1 Mo/VO₂/Mo 3 層膜の断面像

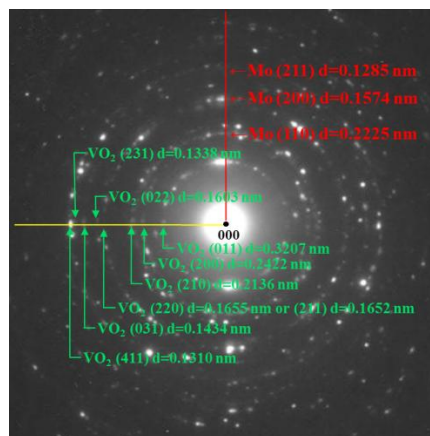


図 2 Mo/VO₂/Mo 3 層膜の電子線回折像

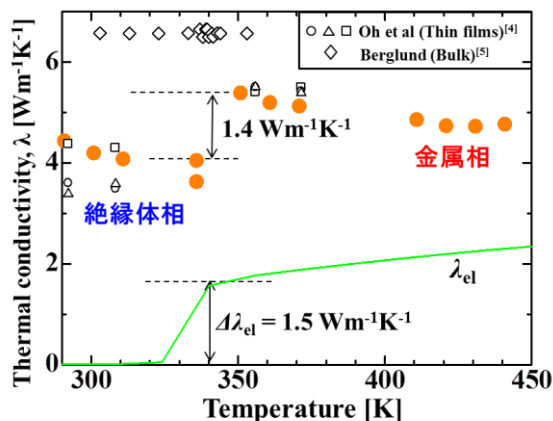


図 3 VO₂ 薄膜の熱伝導率の温度依存性

[1] F. Morin, Phys. Rev. Lett. 3, 34 (1959)

[2] Y. Shigesato, et al., Jpn. J. Appl. Phys., 39, 10 (2000) 6016.

[3] K. Kato, Y. Shigesato, et al., Jpn. J. Appl. Phys., 42, 10 (2003) 6523

[4] Oh et al., Appl. Phys. 96 (2010) 151906

[5] C. N. Berglund and H. J. Guggenheim, Phys. Rev. 185 (1969) 1022