

電気を流す二酸化チタン —新しい透明導電体の開発—

長谷川哲也 (化学専攻 教授), 一杉 太郎 (化学専攻 助手)

可視光に対して透明でかつ電気を良く流す物質を透明導電体と呼ぶ。透明導電体は、液晶やプラズマディスプレイなど、電気信号により光の透過 / 遮断や発光を制御するデバイスには電極として欠かせないものである。近年、液晶ディスプレイの急速な普及に伴い、透明導電体の需要も爆発的に増大している。現在、透明導電体としては、スズを添加した酸化インジウム (Indium Tin Oxide ; ITO) が広く用いられているが、主成分であるインジウムは資源として乏しいため、ITOに替わる材料の開発が求められている。我々は最近、二酸化チタン (TiO_2) を用いた新しい透明導電体の開発に成功した。

二酸化チタンは透明ではあるが、そのままでは半導体としての性質を示し、電気を流しにくい。しかし我々は、パルスレーザー蒸着法^{注)}を用いて、二酸化チタン中の一部のチタン原子をニオブ (Nb) という金属元素で置き換えた化合物 ($\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$) を合成して測定を行い、

この化合物が高い導電性を示すことを発見した。図1は、ニオブの置換により電気抵抗がどのように変化するかを示したものである。純粋な二酸化チタンは、室温での電気抵抗率が $0.1 \Omega \text{ cm}$ 程度であり、低温になるほど抵抗が上昇するという、半導体に特有の性質を示す。これに対し、数%のチタンをニオブに置換すると、室温抵抗率が $10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 台まで低下し、かつ温度の低下に従い抵抗も減少するという、金属としての振る舞いをみせるようになる。また、図2に示すように、薄膜は透明である (膜厚 50 nm で透過率 95% 以上)。これらの特性は、ITO にほぼ匹敵する。

なぜニオブ置換により導電性が生じたかであるが、これは元素の価数を考えると理解しやすい。二酸化チタンに含まれるチタンの価数は $+4$ である。これに対し、置換したニオブは $+5$ 価となっていると考えられる。従って、ニオブを置換することにより、1 個の自由電子が生じ、

これが導電性を与える。自由電子は電磁波 (光) を吸収するので、物質を不透明にしてしまうが、今回、電子の密度を適当な値 (10^{21} 個 cm^{-3} 程度) に調整できたため、良く電気を流し、かつ透明度も高い材料が得られた。

二酸化チタンは光触媒として有名であり、実用化も進んでいるが、今後は同物質が、広い意味でのエレクトロニクス用材料としても脚光を浴びることを期待したい。

注) パルスレーザー蒸着 (pulsed laser deposition ; PLD) 法とは、固体の原料にレーザーを照射し、そこから生じた原子や分子などを基板上に堆積させる方法である。非熱平衡プロセスであるため、 $\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$ のような準安定な化合物を得やすい。

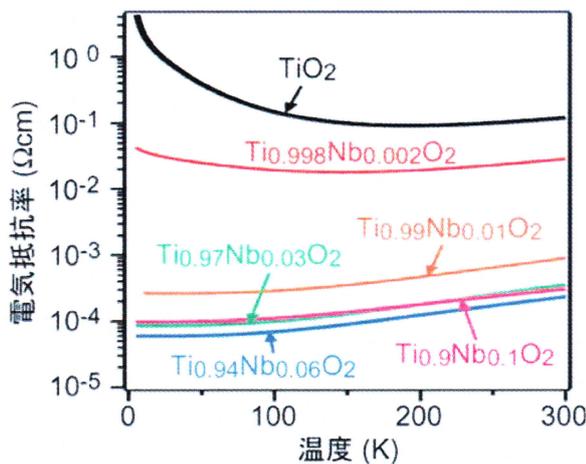


図1: ニオブ置換二酸化チタン薄膜の電気抵抗率

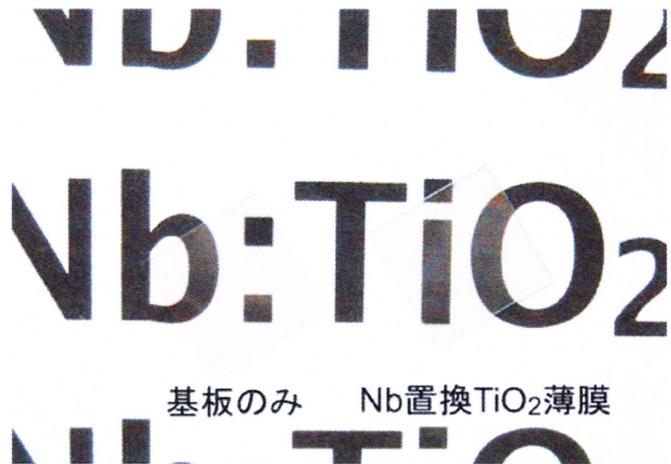


図2: チタン酸ストロンチウム基板 (左) と同基板上に堆積したニオブ置換二酸化チタン薄膜 (右) の写真