

新任教員紹介

電気電子工学科・特任講師・モハメッド シュルズ ミヤ

略歴

1984.1 バングラデシュ・フェニ地区生まれ
2003.9 Iqbal Memorial College, バングラデシュ・フェニ 卒業
2007.9 東海大学 別科日本語研修課程 修了
2011.9 東海大学 情報理工学部 情報通信電子工学科 卒業
2013.9 東海大学 工学研究科 電気電子システム工学専攻 修士課程 修了
2016.9 東海大学 総合理工学研究科 総合理工学専攻 博士課程 修了
2016.11-2019.9 東海大学 工学部 動力機械工学科 特定研究員
2017.4-2023.3 東海大学 国際教育センター 非常勤講師
2019.9-2024.9 成蹊大学 理工学部 理工学科 助教
2024.9-2025.3 成蹊大学 理工学部 理工学科 非常勤講師
2025.4 現職



担当科目

電気電子材料, 電気・電子情報工学実験 A, 入門ゼミナール, 次世代電気電子システム, 卒業研究 I

研究活動内容

1. はじめに

学部4年次に機能性酸化物薄膜の研究を主に行う研究室に配属になった後, 修士課程, 博士課程では, 機能性酸化物薄膜の研究に従事した。博士課程修了後, 2年半特定研究員として, 廃熱を回収し, エネルギーに変換するものとして最近注目を浴びている熱音響機関に関する研究に従事した。その後, 再び機能性酸化物薄膜の研究に戻り, 数年間様々な機能性酸化物薄膜の研究に従事し, 現在に至る。

本稿では, これまでの研究内容を紹介するとともに, 今後の大学における研究内容について述べる。

2. これまでの研究内容

(A) 二酸化バナジウムの低電圧スイッチングと自励発振現象に関する研究

機能性酸化物薄膜は半導体や光学材料として幅広く利用されている。酸化物材料の中で, 温度上昇時に可逆的に急峻な抵抗値変化, 即ち絶縁体-金属転移(Insulator-Metal Transition: IMT)を示す材料が様々な分野で応用が期待されている。私は修士・博士課程において導電層上への二酸化バナジウム(VO_2)薄膜の低温成長とその応用に関する研究に取り組んで来た。 VO_2 は比較的低温の $\sim 68^\circ\text{C}$ (341K)付近で低温単斜晶系から高温正方晶系に構造相転移を示す物質である。これに伴い抵抗率が4~5桁に亘って急激に変

化する, 絶縁体-金属相転移(Insulator-metal transition: IMT)を示す。特に電圧印加時にあるしきい値を越えると急激に電流ジャンプが生じ, 高抵抗状態から低抵抗状態への抵抗スイッチングを示し, 高速且つ制御性に優れる特徴を有する。私は VO_2 を動作層とする積層型構造に注目し, Si上に堆積したチタン(Ti)膜上に誘導結合型プラズマ支援スパッタ法(ICP支援スパッタ法)を用いて VO_2 薄膜の堆積を行い, これまで報告例がない 250°C という低温での結晶成長に成功した。そして, 本デバイスでは, 従来の平面型デバイスのスイッチング電圧($\sim 6\text{V}$)を 0.55V まで下げることに成功し, VO_2 を実用的なスイッチング素子として使用できることを示した。しかし, VO_2 薄膜が良好な結晶成長を示す高温の 400°C 成膜においては導電層上では下部電極であるTiの拡散および酸化が生じ, 面直方向へのIMTの実現ができなかった。この課題を解決するため, 拡散バリアとして窒化チタン(TiN)を導入した。これによって, 低温に加えて高温でも VO_2 薄膜の成長に成功し, 導電層上へ幅広い温度領域において VO_2 薄膜の成長を可能にした¹⁾。

VO_2 薄膜に電圧を印加するとあるしきい値電圧において抵抗値が急減して電流ジャンプが生じる。このとき, スwitchング後は VO_2 薄膜に流れる電流が増加する一方で電圧は低下する負性抵抗域を示す。一般に負性抵抗を有するしきい値スイッチングを示す素子に直流電圧を印加すると素子の端子電圧が増加と減少を自発的に繰り返す自励発振現象が発現することが知られている。 VO_2 においても, VO_2

薄膜を直列抵抗とソース電源からなる回路に組み込み、電源電圧を上昇させると自励発振が起きる。この自励発振現象はニューロコンピューティング、グラフの彩色問題等の様々な分野への応用が期待されている。私は、開発した積層型構造にいて、本材料で世界初となる MHz (9.0 MHz) オーダーの高周波自励発振実現に成功した²⁾。

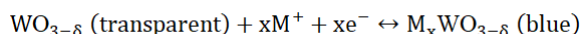
(B) 二酸化バナジウムの自動調光窓ガラスに関する研究

近年、日本において住宅・非住宅ではエネルギー消費量が増加し続けている。それは、建物において熱損失の大半(冬:約5割,夏:約7割)を占めている窓ガラスが原因である。そこで、近年、VO₂を動作層とする自動調光熱遮蔽窓ガラスが注目されている。VO₂を動作層とする自動調光熱遮蔽窓ガラスでは夏場において温度が高くなるとVO₂が転移して赤外光を反射し、室内温度の上昇を抑制する。また、冬には赤外光を透過し、室内の温度降下を抑制する。しかし、VO₂薄膜の室温における透過率が低い光学的な応用への大きな課題となっている。そこで、本酸化物の光学的な応用には透過率の向上が欠かせない。透過率の向上には膜厚の減少が有効。我々は、基板バイアス印加法を用いて低温でVO₂薄膜を体積させた。VO₂薄膜の膜厚を60~120 nmに変化させ、さらに反射防止膜としてSiO₂膜を導入し、光透過率(T_{lum})と太陽光変調能率(ΔT_{sol})の改善を図った。SiO₂ (174 nm)/VO₂ (120 nm)/ZnO (250 nm)/ガラス構造において、 ΔT_{sol} は最大17.7%、 T_{lum} は27.8%の値が得られた。また、SiO₂ (85 nm)/VO₂ (90 nm)/ZnO (250 nm)/ガラス構造において、 T_{lum} と ΔT_{sol} のバランス値として44.2%と11.6%が実現された³⁾。この結果は、SiO₂が優れた反射防止層として機能し、VO₂ベースの構造の性能を向上させることを示した。得られた T_{lum} と ΔT_{sol} は、VO₂薄膜においてこれまで報告された中で最高値であり、これらの成果はVO₂の自動調光窓ガラスへの実用化に大きく貢献することが期待できる。

(C) エレクトロミック酸化タングステンに関する研究

酸化物の中で、タングステン酸化物(WO₃)、モリブデン三酸化物(MoO₃)、ニッケル酸化物(NiOx)は、よく知られているエレクトロクロミック(EC)材料である。中でも、WO₃は無色から濃い青色に変化する特性から特に注目されている。この現象は可逆的で、低電圧で発生する。さらに、デバイスを回路から外しても色は維持されるため、消費電力は非常に低い。これにより、建物や車両のスマートウィンドウへの応用に適している。

WO₃の電気化学的特性は、Wの価数の変化と関連しており、化学反応式は次のように表される。



ここで、MはH⁺, Li⁺, Na⁺, またはK⁺などの陽イオンを表す。

私は、高遮光窓ガラス実現に向けて、導電性ITO/ガラス

基板上に反応性直流マグネトロンスパッタ法を用いて、厚さ500 nmと1000 nmの2種類の非晶質WO₃薄膜を成膜した。異なる薄膜厚さの影響に加え、排気速度やスパッタリングモード(酸素流量)などの成膜条件がWO₃の着色と消色特性に与える影響を調査した。成膜直後の試料は、すべての堆積条件および膜厚において透過率が80%を超える値を示した。着色状態では、1000 nmの試料は500 nmの試料よりも透過率が低く、実用的な応用において有利であることを示した⁴⁾。

2. 今後の大学における研究

本学では、引き続きVO₂とWO₃の研究を継続するとともに新たな半導体材料に関する研究を行う予定である。VO₂について、VO₂の発振現象のメカニズムの解明とニューロコンピューティング、グラフの彩色問題等への応用を目指す。さらに、VO₂を動作層とする自動調光窓ガラスに関しては、SiO₂に加えて別の反射防止膜を導入し、室温における透過率の改善と太陽光変調能率を向上させることに挑戦する。また、VO₂の堆積法には工業的に有利とされている大電力パルススパッタ法などの導入も行う。WO₃に関しては、着色時に実現できた低透過率サンプルの消色過程の透過率が戻らない原因の解明を行うとともに実用化に向けた研究を行う。更に、新たな半導体材料に関する研究を行う予定である。

参考文献

- 1) Md. Suruz Mian and Kunio Okimura, Effect of conductive TiN buffer layer on the growth of stoichiometric VO₂ films and the out-of-plane insulator-metal transition properties, Journal of Vacuum Science and Technology A, Vol. **32**, pp. 041502-1 - 041502-6 (2014).
- 2) Md. Suruz Mian, Kunio Okimura, and Joe Sakai, Self-oscillation up to 9 MHz Based on Voltage Triggered Switching in VO₂/TiN Point Contact Junctions, Journal of Applied Physics, Vol. **117**, pp. 215305-1 -215305-5 (2015).
- 3) Kunio Okimura, Md. Suruz Mian, Iwao Yamaguchi, Tetsuo Tsuchiya, High luminous transmittance and solar modulation of VO₂-based smart windows with SiO₂ anti-reflection coatings, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. **251**, Page 112162 (2023).
- 4) Md. Suruz Mian, Riko Yagi, Kei Oya, and Takeo Nakano, Coloring and Bleaching Properties of 500–1000-nm-Thick Electrochromic Tungsten Oxide Films Deposited by Reactive Direct Current Magnetron Sputtering, Physica Status Solidi A, Vol. **219**, Issue 5, Page 2100646 (2021).