VO_2/AZO/polyimide フレキシブル膜作製と電圧印加による赤外光スイッチングの性能評価

Preparation of VO_2/AZO/polyimide Flexible Films and the Performance of Voltage-Induced infrared Light switching

1東海大院工　2東海大工　○平鍋 頼 [1],于 鵬 [1], 蘭 田 [2], 沖村 邦雄 [1,2]

1 Graduate School of Engineering, Tokai Univ.　2 School of Engineering, Tokai Univ.

○Rai Hiranabe[1], Peng Yu[1], Tian Lan[2] and Kunio Okimura[1,2]

E-mail:4CEIM046@tokai.ac.jp

研究背景と研究目的

二酸化バナジウム(VO_2)は室温で単斜晶系の構造を有し，68℃程度の温度で正方晶系の結晶構造へと転移することで絶縁体-金属相転移(Insulator-Metal Transition : IMT) を引き起こす[1]. このIMTを伴う大きな抵抗値変化や光学特性変化を有するVO_2は，スマートウィンドウなどへの応用が期待される. このVO_2を柔軟な基板上に結晶成長させることが出来れば，リジットな基板と比べ加工が容易な点や軽量化，薄型化といった応用上多くの利点が生まれる. 右下のグラフはVO_2/AZO/polyimide の積層構造における，分光測定結果である. 電圧印加による赤外光調光窓として応用する際には，可視光の透過率を向上させるとともに，赤外光領域における低温時と高温時の光スイッチング性能を向上させることが重要である. また，電圧印加による赤外光の光スイッチングは通信やセンシング分野で注目されているテラヘルツ波領域においても有望であり，VO_2を挿入したメタサーフェスを活用した光制御等への応用が期待されている[2]. **本研究ではフレキシブル基板として耐熱性及び応力耐性の高い樹脂であるポリイミドを採用し，VO_2結晶成長を促進するバッファ層として透明導電性を有するAlドープZnO(AZO)を導入することで，Quartz基板から剥離したVO_2/AZO/polyimideスタンドアローン膜の作製と電圧印加による光スイッチング特性を評価した.**

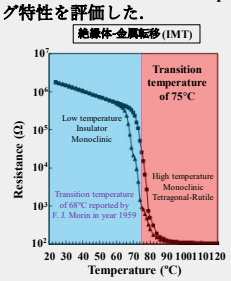
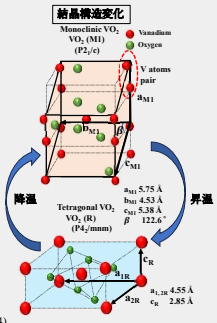
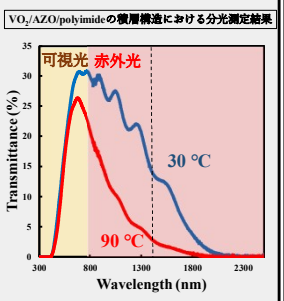


Fig. *R-T* characteristics for VO_2 on Al_2O_3 (001) substrate deposited by RF magnetron sputtering

〔1〕F. J. Morin, Phys. Rev. Lett **3**, 34 (1959).
〔2〕A. Inokuma *et al*, Appl. Phys. Lett. **125**, 081703 (2024).





実験方法

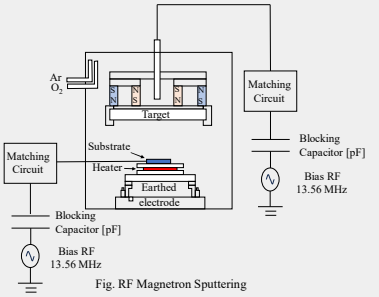


Fig. RF Magnetron Sputtering

Table Deposition condition of VO_2 and AZO

VO_2 deposition

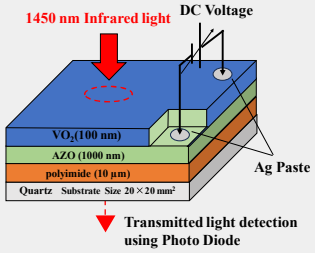
Target	Vanadium
Ar Flow	50 sccm
O_2 Flow	1 sccm
Total Pressure	0.5 Pa
Depo. Time	20 min
Substrate Temp.	250℃
RF Power	200 W
Bias Power	15 W
Bias Voltage	-150 V

AZO deposition

Target	AZO
Ar Flow	50 sccm
Total Pressure	0.5 Pa
Depo. Time	20 min
Substrate Temp.	200℃
RF Power	200 W

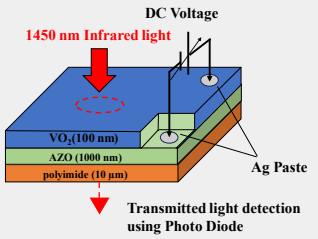
Experiment 1

◆ Voltage addition to VO_2



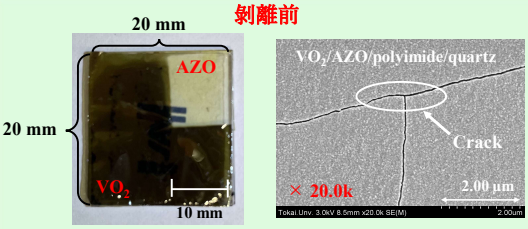
Experiment 2

◆ Voltage Application to VO_2 film after peeling off



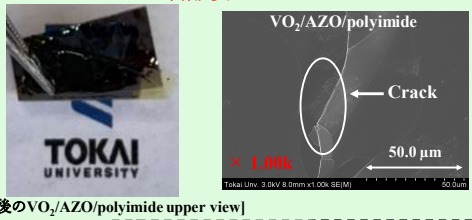
実験結果と検討

剥離前



[VO_2/AZO/polyimide/quartz upper view]

剥離後



[剥離後のVO_2/AZO/polyimide upper view]

Sample の温度変化に関する考察

★ Sampleの熱的等価回路を以下の様に電気回路のRC並列回路の電流の式に対応させて考察した.

$\frac{T-T_0}{R}+C\frac{d(T-T_0)}{dt}=0$ (1)　$\frac{dT_0}{dt}=0$ より (1)式は

$C\frac{dT}{dt}+\frac{T}{R}=\frac{T_0}{R}$ (2) となる. 温度Tについて解けば

$T=Ae^{-\frac{t}{CR}}+T_0$ (Aは積分定数) (3) を得る.

初期条件$t=0$の時$T=T_1$　$T_1=A+T_0$ より

$A=T_1-T_0$ (4) となり，解は

$T=(T_1-T_0)e^{-\frac{t}{CR}}+T_0$ (5) が得られる.

ここで，熱抵抗 $R=\frac{1}{\alpha S}\left(\frac{K}{W}\right)$ を用いて

$T=(T_1-T_0)e^{-\frac{\alpha S t}{C}}+T_0$ (6) が求まる.

◆Sampleの熱拡散係数が大きいほど温度低下が速い

C:サンプルの熱容量
R: 表面熱抵抗(K/W)
T: サンプル温度(℃) ⇒ 電位に対応
T_0:周囲温度(℃)
P: 発生熱 ⇒ 電流に対応
$\alpha S\left(\frac{W}{K}\right)$: 熱拡散係数

Experiment 1 VO_2/AZO/polyimide/quartz における電圧印加スイッチング及び時間応答

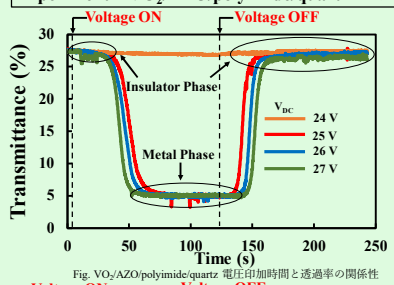


Fig. VO_2/AZO/polyimide/quartz 電圧印加時間と透過率の関係性

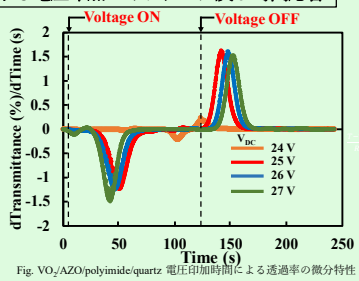


Fig. VO_2/AZO/polyimide/quartz 電圧印加時間による透過率の微分特性

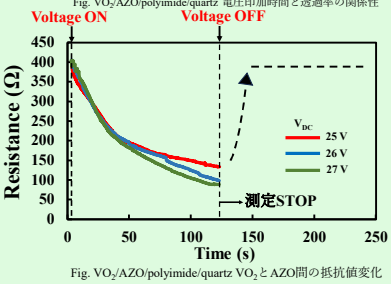


Fig. VO_2/AZO/polyimide/quartz VO_2とAZO間の抵抗値変化

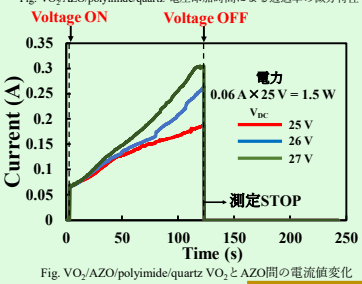


Fig. VO_2/AZO/polyimide/quartz VO_2とAZO間の電流値変化

Experiment 2 剥離後のVO_2/AZO/polyimideにおける電圧印加スイッチング及び時間応答

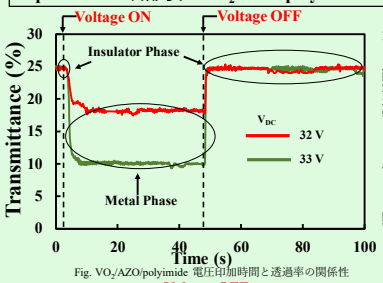


Fig. VO_2/AZO/polyimide 電圧印加時間と透過率の関係性

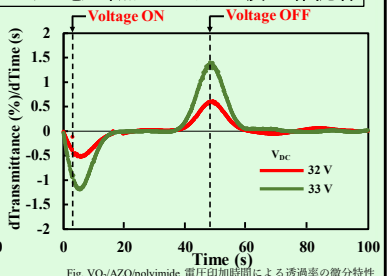


Fig. VO_2/AZO/polyimide 電圧印加時間による透過率の微分特性

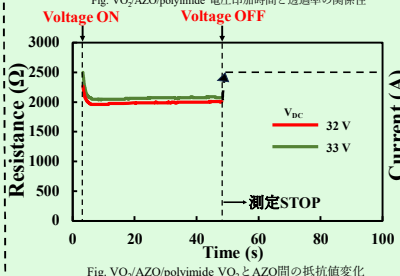


Fig. VO_2/AZO/polyimide VO_2とAZO間の抵抗値変化

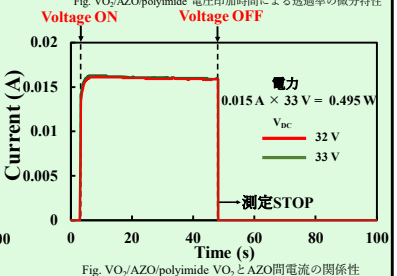


Fig. VO_2/AZO/polyimide VO_2とAZO間電流の関係性

まとめ

◆透明導電性を有するAZOバッファ層を導入することにより，非晶質であり柔軟なpolyimide上に基板バイアス印加スパッタ法によりVO_2を結晶成長させることに成功した. 電圧印加による赤外光(波長 1450 nm)光透過率は電圧印加に伴い28 %から5 %へと変化する光スイッチング性能を示した.

◆ 石英基板上からpolyimideを剥離した後も，初期透過率 25 %から10 %までの15 %の光スイッチング性能を示すスタンドアローン薄膜を作製することができた. 剥離前は電圧を印加してから約 30 秒後にVO_2がIMTを引き起こしたのに対し，剥離後は約 1.8 秒で金属相へ転移し赤外光の高速な光スイッチングを実現した.

◆剥離前後の電流値変化の結果より，剥離前は消費電力 1.5 W で光スイッチングを引き起こしたのに対し，剥離後は消費電力 0.50 W で電圧印加による光スイッチングを実現した. 剥離により必要な消費電力が低減し，低電力での動作が可能となったことが確認された.