

ORIGINALS (2)

電解析出法によるエレクトロクロミックな V_2O_5 薄膜の生成

吉野 隆子・馬場 宣良・古宇田康雄*

東京都立大学工学部工業化学科 〒158 世田谷区深沢 2-1-1

* 日立化成(株)下館研究所

(1985 年 6 月 26 日 受理)

Electrodeposition of Electrochromic V_2O_5 thin Films

Takako YOSHINO, Nobuyoshi BABA and Yasuo KOUDA*

Tokyo Metropolitan University Fukasawa, Setagaya-ku
2-1-1, 158 Tokyo

* Hitachi Chemical Co. Ltd. Simodate Research Center

(Received June 26, 1985)

A uniform and adherent deposit of V_2O_5 thin film onto electroconductive glasses (ITO) has been obtained by electrolyzing colloidal V_2O_5 solution.

A V_2O_5 sol was prepared from dilute solution of ammonium metavanadate by passing the solution through an ion-exchange column (filled with Dowex 50 WX 2 resin). The sol was then allowed to stand in a 40°C thermostat for 80 hrs. The viscosity of this sol increased with time. The measurement of the zeta potential of this sol indicated that the sol was negatively charged. Cathodic deposition of V_2O_5 is not a simple electrophoretic nature, since actually the V_2O_5 deposition occurred at the negative pole. We propose a following mechanism; the reduction of polyvanadic acid sol yielded a kind of vanadium bronze which coagulated onto the cathode (ITO) to form a solid film.

On cathodic reduction the color of V_2O_5 film changes to green and on anodic oxidation it changes to light orange. The intermediate color tone has been also obtainable, therefore this system can be used as a multicolor device. The reversibility and durability for the electrochromic uses was almost comparable to a vacuum evaporated film.

V_2O_5 コロイド溶液を電解することによって電導性硝子 (ITO) 上に均一で密着性の良い V_2O_5 薄膜を得ることができた。

V_2O_5 ゾルはメタバナジン酸アンモニウムの希薄水溶液をイオン交換カラム (Dowex 50 WEX を満たしてある) に通して作成した。次にゾルは 40°C の恒温槽中で 80 時間保持された。このゾルの粘度は時間と共に増加した。

ゾルのゼータ電位の測定によれば、ゾルは負にチャージしていることが示された。それ故に V_2O_5 のカソード析出は単純な電気泳動的な析出ではない。実際には V_2O_5 の析出が負極で起こるので、われわれは次のような機構を提唱する；

ポリバナジン酸のゾルのカソード還元によりバナジン酸ブロンズの 1 種を形成し、これはカソードの ITO 上で凝集を起こして固体膜となる。

カソード還元により V_2O_5 の色は緑色に変わり、アノード酸化によって明るい黄色に変わる。またこの中間色も得ることができるので、この系は多色の素子にも用いることができる。

この薄膜のエレクトロクロミズムに用いられた時の可逆性と耐久性は真空蒸着法で作られたものと殆ど変わりなかった。

1. はじめに

遷移金属酸化物薄膜は最近エレクトロクロミック材料(略して EC 材料)として注目されてきているが、その薄膜作成法の多くは真空蒸着またはスパッタリング法により行なわれている^{1,2)}。これに対しわれわれは低価格、大面積の EC 薄膜を目標として、先にタングステンオキサレート錯体水溶液の酸化分解反応による EC 薄膜の作成法を開発した³⁻⁵⁾。その後可溶性遷移金属塩水溶液の電解酸化⁶⁾または還元法⁷⁾による薄膜生成法やゾル-ゲル法による EC 薄膜の生成法⁸⁾についても発表した。

今回は V_2O_5 のゾルを電解することにより均一で密着性の良い EC 薄膜を得ることができたので報告する。

2. 実験方法

2.1 V_2O_5 コロイド溶液の作成法

既報の通り 0.025 mol/l の NH_4VO_3 (再結晶したもの) 水溶液を陽イオン交換樹脂 Dowex 50 WX2 で満たされたカラムの中を通して遊離のパナジン酸(正確にはデカパナジン酸と称するべきであるが、ここではパナジン酸と略す)の希薄水溶液を得る⁹⁻¹¹⁾。次にこの希薄溶液をロータリーエバポレーターで 0.05 mol/l になるまで濃縮後、 40°C の恒温水槽中で適度な粘度(重合度)になるまで熟成を行なった(最大で 300 時間)。

2.2 電解装置および電気化学的測定

Fig. 1 に示されるような装置を用いて上記のコロイ

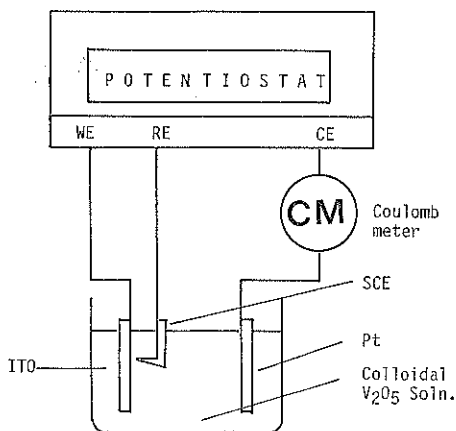


Fig. 1 Schematic figure of preparation of V_2O_5 thin film on ITO glass by electrodeposition.

ド溶液を電解し、導電性を付与したガラス板(以後これを ITO と略す)の表面に V_2O_5 薄膜を析出させた。電解条件については、定電位の時はポテンシostatを用い、飽和カロメル電極基準(以後 SCE と略す)で電位を規制した。定電流条件の場合には直流安定化電源を用いて電解を行なった。

サイクリックボルタモグラムの測定には上記のポテンシostatにポテンシャルスイーパーを付属させて XY 記録計に書かせた。なお測定は特に断わらない限り 25°C の恒温槽中で行なったものである。

V_2O_5 ゾルの電位は U 字管を用いる界面移動法で測定を行なった。

2.3 析出膜の厚さの測定

ナトリウムの D 線を用いる干渉顕微鏡により、薄膜の付いている部分と薄膜を除去した部分との間に生じる干渉縞のずれから膜厚を計算した。

2.4 その他の測定

析出物の X 線回折においては電解析出した薄膜を下地の ITO にのせたまま、理学電機社製の 2001 型 X 線ディフラクトメーターに Cu の $K\alpha$ 線 Ni フィルターを用いて測定を行なった。また薄膜の UV、可視および IR 吸収スペクトルの測定には通常透過型のスペクトロメーターで測定を行なった。

3. 結果

3.1 電解析出 V_2O_5 薄膜のイオン交換特性

Fig. 2 は厚さ 360 nm の V_2O_5 薄膜の表面を先ずナトリウムイオンでイオン交換し、次いでこの上にアンモニアガスを吸着させた時の IR スペクトルの変化である。図中 $1,400 \text{ cm}^{-1}$ 付近の吸収ピークが NH_4 の変角振動、 990 cm^{-1} は $V=O$ の伸縮振動によるものである。先ず V_2O_5 薄膜をアンモニアガス雰囲気中にさらすと、アンモニアガスは直ちに V_2O_5 表面の OH 基に付加して NH_4 となる。次に V_2O_5 薄膜を $NaClO_4$ のプロピレンカーボネート溶液中に浸漬すると表面の OH 基は次第にナトリウムによってイオン交換され、 ONa になる。こうして表面が ONa になるとアンモニアは付加しなくなるので、IR 吸収の NH_4 変角振動の吸収が弱くなっていく。図からわかるように、28 時間の浸漬でも NH_4 の変角振動は微弱ながら存在している。このイオン交換反応は相当に遅いが、薄膜をカソード分極しなくても、単なる浸漬だけで Na イオンは薄膜中に相当量取り込まれることがわかった。

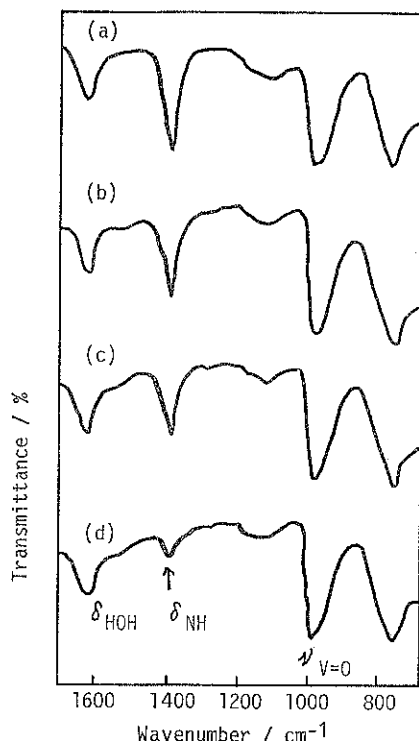


Fig. 2 Influence of ion exchange by Na-ions on infrared spectra of V_2O_5 thin films. (a) As-deposited, (b) After being exposed to 1 M $NaClO_4/PC$ solution for 10 min. (c) 60 min. (d) 28 h

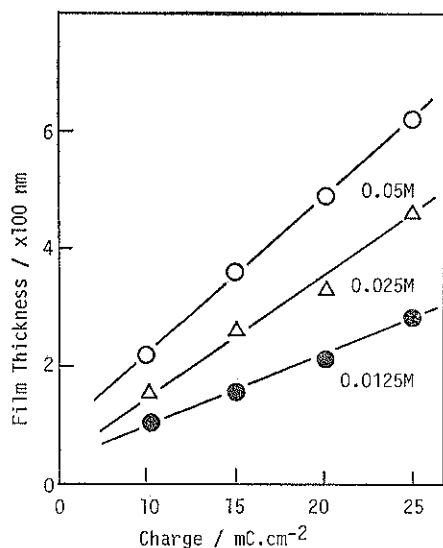


Fig. 3 Effect of concentration of vanadic acid on V_2O_5 film deposition. Current density; $50 \mu A \cdot cm^{-2}$ Temperature; $20^\circ C$

3.2 電解析出におよぼす溶液濃度および電解電位の影響について

Fig. 3 は定電流電解 ($50 \mu A \cdot cm^{-2}$) における V_2O_5 コロイド溶液濃度と電解時間との関係をプロットしたものである。0.0125, 0.025, 0.05 mol/l の何れの濃度においても電解電気量 (= 時間) と膜厚は良い直線関係になっている。Faraday の法則をこれに適用してみると析出する V_2O_5 薄膜の量は理論的に計算される量よりも多くなっている。この事実と析出物の色が黄緑色であることから V_2O_5 薄膜の析出が単純な電気化学反応 (酸化還元反応) ではなくて、複雑な電解重合機構を伴っていることを示唆している。電解電位をより卑にすると析出物の色は緑色となり、低級酸化物ができていていることを示している。この低級酸化物薄膜が多く生じると乾燥後皮膜が剝離しやすいことが観察された。

Fig. 4 は定電流電解時における電流密度と膜厚との関係である。 $50 \mu A/cm^2$ の電流密度の場合には黄緑色の皮膜が得られ、膜厚と通過電気量との間には良好な直線関係がみられたが、電流密度 $200 \mu A \cdot cm^{-2}$ になると析出する皮膜の色も緑色がかってきて、しかも膜厚と通過電気量との関係は次第に直線からずれてくるのがわかる。このずれは析出した V_2O_5 薄膜を還元することに電流の一部が消費されるためである。従って同一電気量の場合を比べると、低電流密度の場合の方が厚い膜が得られていることから、析出の効率は低電流密度の方が優れている。

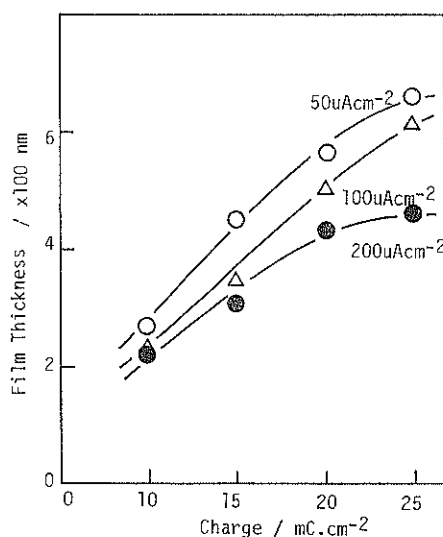


Fig. 4 Effect of current density on V_2O_5 film deposition. Concentration; $0.05 \text{ mol} \cdot l^{-1}$ as VO_2 Temperature; $10^\circ C$

以上の電解条件の検討から良好な V_2O_5 薄膜の生成には高濃度の V_2O_5 コロイド溶液を用い、低電流密度で電解するか、または電位を +100 mV より卑にしないようにすることである。

3.3 V_2O_5 コロイドの ζ 電位の測定

単純な電気泳動機構で V_2O_5 コロイドがカソードに析出するのであれば、その ζ 電位は少なくとも正でなければならぬはずである。そこで簡単な U 字管を使ってその中に V_2O_5 コロイド溶液を入れ、それを更に両側から純水の層ではさんでこれに直流電圧を加え、コロイド溶液と純水との界面がどちらの極の方へ移動していくかをしらべた。測定の結果は予想に反してコロイド溶液層は正の極の方へ移動した。

界面の移動距離より計算された移動速度 (u) は 1.94×10^{-4} cm/s であった。この値より Helmholtz-Smoluchowski の式を用いて ζ 電位を計算すると $\zeta = -0.025$ V が得られた。この値は妥当な値である。

$$\zeta = \frac{4\pi u l \eta}{E x \epsilon}$$

u : 泳動速度

l : 極間有効距離

η : 溶液の粘度

E : 電極間の電圧

ϵ : 水の比誘電率 = 78

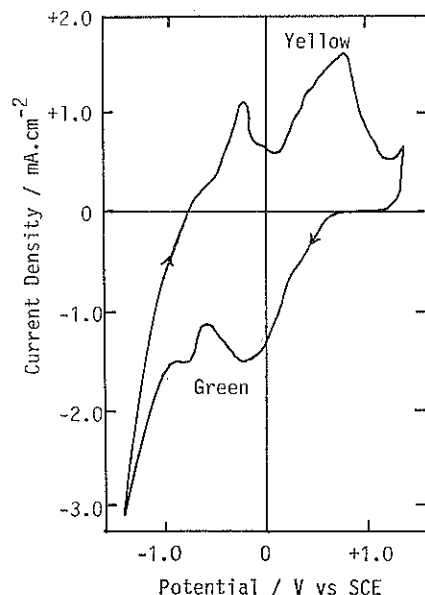
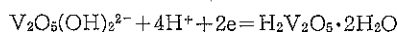


Fig. 5 Cyclic voltammogram of polyvanadic acid solution recorded for Pt electrode at 25°C, VO_3^- concentration 0.05 mol.l^{-1} as VO_3^- , Sweep rate 20 mV.s^{-1}

しかし、このコロイドは陰性ゾルであることがわかったので、単なる電気泳動のみでは負の極へ析出することを説明することは困難である。次のサイクリックボルタモグラムの測定結果と併せて考えると、はじめてカソードへ V_2O_5 キセロゲルが析出してくる機構が説明できる。

3.4 サイクリックボルタモグラムの測定結果

Fig. 5 に V_2O_5 コロイド溶液中に白金電極を浸漬してそのサイクリックボルタモグラムを取ったものの一例を示す。先ずこの溶液中での白金の自然電極電位は +570 mV vs SCE であった。これより電位を負の方向に走査すると、直ちに還元電流が流れ、黄緑色の V_2O_5 ゲル膜が析出しはじめた。より卑の電位まで走査すると析出するゲル膜の色は緑色に変わり、同時に水素の発生がはじまった。ここで電位を貴の方向に走査すると析出した緑色のゲル膜は溶液中に溶出することなく、酸化されて黄色に変化した。これらの事より V_2O_5 ゲルは +570 mV vs SCE より卑の電位で白金板上にバナジウムの 4 価と 5 価の混合原子価状態で凝集相となって析出し、これは逆の方向に電位を走査しても再び溶出することなく、黄色の 5 価の状態に酸化されることがわかった。従って前節の ζ 電位の測定結果と考え合わせると、溶液中で負に帯電している V_2O_5 コロイド粒子は電極において一部が還元され、次の反応式に従って水素バナジウムブロンズ $H_xV_2O_5$ の形になってその電荷を失って凝集し、固体の薄膜となるものと思われる。



この反応式を確かめるために V_2O_5 コロイド溶液の

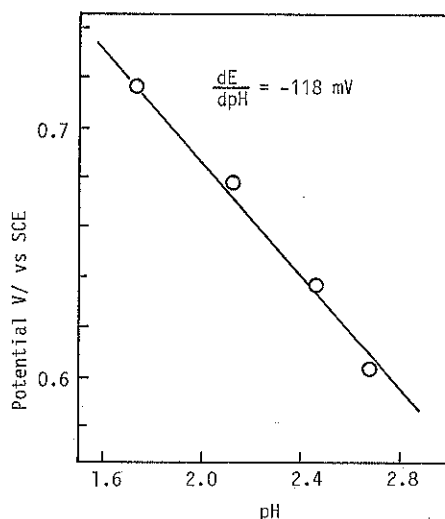


Fig. 6 Correlation between pH and redox potential of polyvanadate solution.

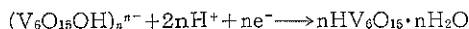
pH を硫酸で種々の値に調整して、その中の白金電極の酸化還元電位の pH 依存性を求めてみた。

Fig. 6 はその測定結果である。この図より dE/dpH は約 -120 mV となったので、前記の式の Nernst 式の表現

$$E = E^0 - 4 \times 2.303 RT / 2F \cdot pH$$

の pH 依存性に良く一致している。

更に電解析出の効率 ($0.34 F$ で 1 モル相当の V_2O_5 ゲルが析出した) を考慮に入ると反応式は次のように書き換えられる。



こうして陰性コロイドがカソードで水素イオンとともにエレクトロンを取り込んで中性のパナジウムブロンズを形成し固体膜として析出することが説明される。

3.5 析出膜の EC 特性

上記のようにして得られた V_2O_5 薄膜は $LiClO_4$ のプロピレンカーボネート溶液中でアノードイックまたはカソードイックに分極され、その EC 特性が評価された。測定の対極には白金板が用いられた。

3.5.1 吸収スペクトルの変化

Fig. 7 にコロイド溶液より電解析出法で作られた EC 薄膜の可視から近赤外スペクトルの変化を還元電気量をパラメーター (5 段階) として示した。なお比較のために既報⁹⁾のゾル-ゲル法で作られたもの、および真空蒸着法で作られたものの吸収スペクトルも併せて記載した¹²⁾。作成されたばかりの薄膜はやや還元された状態である黄緑色をしている (点線)。還元されるに従って

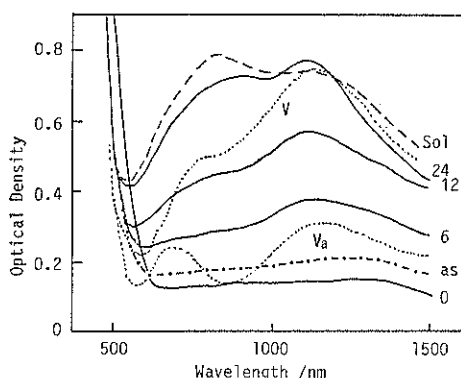


Fig. 7 Spectral changes in the electrodeposited V_2O_5 thin films by passing the stepwise charge of 6 mC . as; as deposited by electrodeposition method 0; reduced state, 6; anodic current passage of 6 mC , 12; 12 mC , 24; 24 mC , Sol; prepared by sol-gel method in previous report, Va; as vacuum evaporated film, V; anodic coloration of vacuum evaporated film.

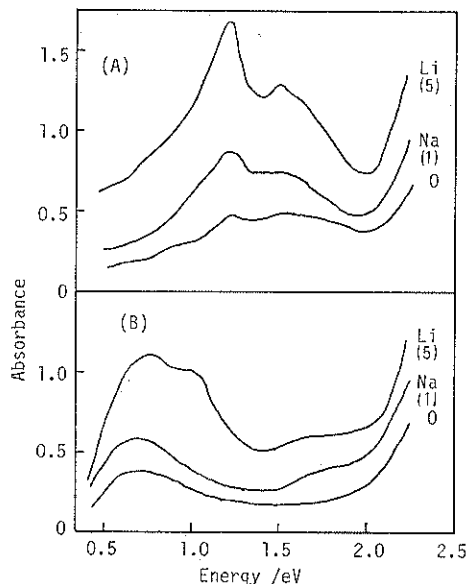


Fig. 8 Absorption spectra of alkali metal doped V_2O_5 at 300 K . The data indicate the doping in mol% (after N. Uhle and J. Windschelf) 0; non-doped, Na; Na-doped, Li; Li-doped

$1,150 \text{ nm}$ と 800 nm 付近にブロードな吸収ピークが現われ、その強度は電気量とともに増加する。ゾル-ゲル法による薄膜と比べてみるとゾル-ゲル法のものでは 800 nm の吸収の方が $1,150 \text{ nm}$ の吸収より大きいこと以外には基本的には同じ吸収の形をしている。ところが蒸着法で作られた薄膜では吸収の形がやや異なり、蒸着直後のものでは 800 nm 付近には吸収ピークが残っており、このピークは蒸着時に幾分還元されて $800, 1,200 \text{ nm}$ に吸収が生じたものと思われる。このように作成法が違えば吸収スペクトルにも微妙な変化がみられ、その EC 特性にも違いがある。

Fig. 8 は Uhle and Windschelf¹³⁾ らによる測定値である。 V_2O_5 の単結晶 (斜方晶系) に種々のアルカリ金属イオンをドーピングしたものにその結晶軸に対して種々の方向から光の電場ベクトルを与えた時の吸収スペクトルの違いを示したものである。(A) は光のベクトルと結晶軸 (a) とが平行な場合の吸収で、 $1,060 \text{ nm}$ と 827 nm とに鋭いピークがあり、 $1,060 \text{ nm}$ のピークの方が大きい。ところが光のベクトルが結晶軸 (c) に平行な場合 (B) では $1,550 \text{ nm}$ 付近にブロードな吸収ピークと、 $1,240 \text{ nm}$ 付近に弱いショルダーしかみられない。これを参照すると電解析出した V_2O_5 EC 薄膜の吸収は前者の (A) の場合とほぼ一致している。本研究での電解析出薄膜は結晶

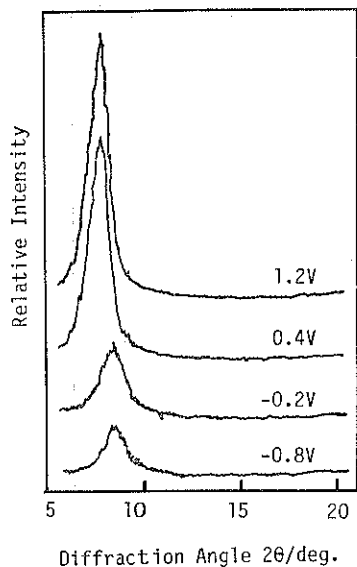


Fig. 9 Effect of cathodic switching potential on X-ray diffraction patterns of V_2O_5 film.

性であるが、その結晶系はまだ確認されていないので直ちに比較はできないが、 V_2O_5 キセロゲル結晶の a 軸は ITO ガラス基板と平行な面内であらゆる方向をとっており、 c 軸は基板に垂直な方向に立っていると考えると吸収スペクトルの類似性を説明できる。また、 V_2O_5 薄膜の電子顕微鏡写真をみると ITO 面に平行に V_2O_5 の繊維状結晶が成長していることから V_2O_5 結晶の a 軸方向が膜面に平行になっていることは十分に考えられる。従って V_2O_5 キセロゲル繊維は a 軸方向に成長しているものと考えられる。

Fig. 9 は V_2O_5 薄膜をアノードックまたはカソードックに分極した時の薄膜の X 線回折図の変化を示したものである。薄膜を $+1.2V$ までアノードックに分極したものは $2\theta=7.7^\circ$ に強いピークが現われる。これより面間隔 d として $11.5 \text{ \AA}$ が得られるが、還元が進むにつれて $2\theta=7.7^\circ$ のピークは弱くなり、しかも回折角が大きい方にずれてくる。 $-0.80V$ まで分極すると 2θ は 8.4° となり、 $d=10.5 \text{ \AA}$ までシフトする。一般にエレクトロクロミーのようなトポケミカルな反応においては結晶格子間に Li^+ のようなカチオンが入り込むと格子間隔を押し広げるものと言われている。ところがこの場合格子間隔は僅かであるが縮まり、また結晶性が低下している。これは最初にこの電気泳動電着法で作られた V_2O_5 薄膜の結晶構造が熱力学的に安定な V_2O_5 構造ではなく、やや不安定な形になっていて、 Li^+ のようなカチオンを適量ドーピングすることによって安定化する

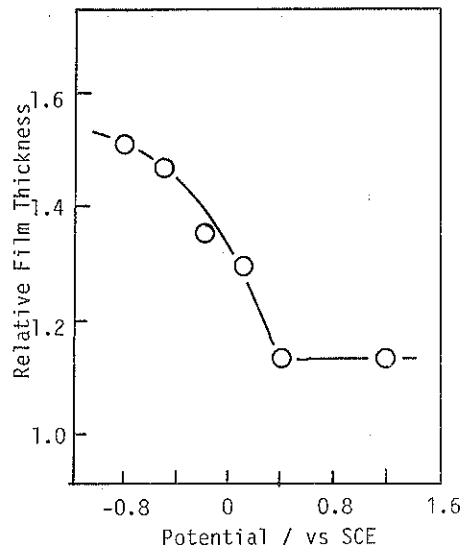


Fig. 10 Relation between film thickness of V_2O_5 layer and polarization potential

るものと思われる。 WO_3 の場合にも純粋の WO_3 は少しひずんだ斜方晶系であるが、適度な水素イオンがドーピングされると対称性の良い立方晶となって安定化することが知られているのと似ている。なおこの結晶性の変化は可逆的であり、電位を正の方に走査すればまた結晶性の良いものに戻る。Fig. 10 は還元電位と膜厚との関係を示したものである。膜厚は電解析出させた直後の値を 1 として相対比率で示した。アノードックに分極後膜厚は約 1.2 倍に増加するが、この値は電位 $+0.4V$ までは変わらない。

ところが、カソードックに分極を行なうと $+0.4V$ 以下で膜厚が急速に増加しはじめ、電位 $-0.8V$ に達すると膜厚は最初の厚さの 1.6 倍にも達する。この変化も可逆的である。このような分極電位の値によって膜厚が大きく変化するので、この変化が大き過ぎると皮膜は剥離しやすくなる。従って電位の変化の範囲は $+0.4V$ - $+1.2V$ のところで行なうと長寿命の素子が得られることがわかった。膜厚がこうに変化する原因として分極に伴って溶媒の PC が膜中に可逆的に出入りすると考えればこの現象を説明できる。Fig. 11 は V_2O_5 薄膜を弱く還元した場合(A)と強く還元した場合(B)との皮膜表面の SEM 写真である。弱く還元した場合には薄膜に繊維状の構造が見られるが、強く還元した場合には繊維構造はほとんどわからなくなっており、 V_2O_5 繊維が溶媒の PC を吸収して膨潤し、お互いの境界線がわからなくなってしまう。このことは強い還元によって結晶性が悪くなっていることをも説明できる。

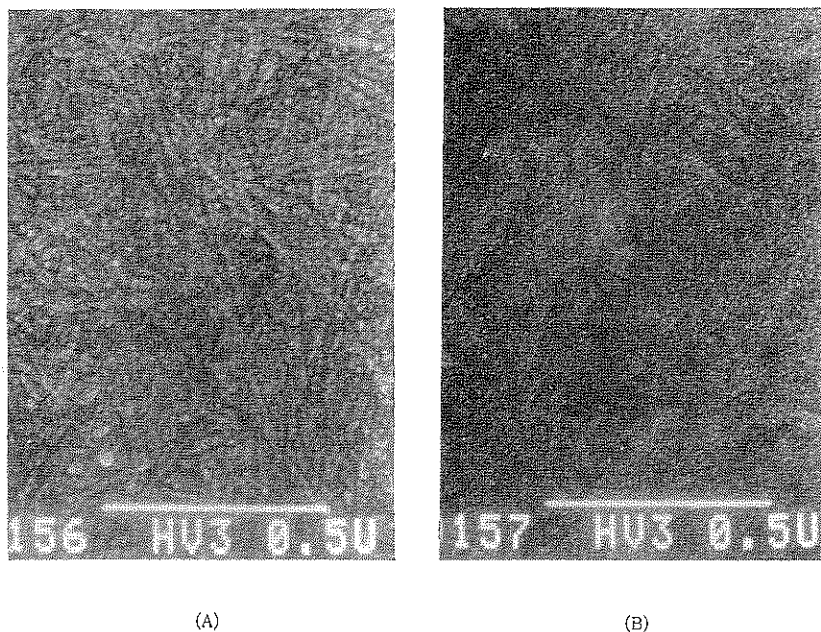


Fig. 11 Scanning electron micrographs of the V_2O_5 surface cathodically polarized at (A) $10 \text{ mC} \cdot \text{cm}^{-2}$ (B) $15 \text{ mC} \cdot \text{cm}^{-2}$

4. 結 論

イオン交換法で作ったバナジウム酸のコロイド溶液を電解することによって良好なエレクトロクロミズムを示す V_2O_5 の EC 薄膜を ITO 硝子の上に作ることができた。

この薄膜を電着させる条件としては、コロイド溶液の濃度は大きい方が良く、電解電流密度は小さい方が良かった。

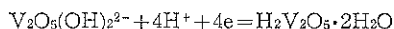
V_2O_5 電解析出膜の赤外吸収スペクトルの観察より膜は NaClO_4 の PC 溶液中に浸漬するだけでその表面の OH サイトにナトリウムイオンを取り込むことがわかった。

析出膜のモルフォロジーは繊維状であり、酸化還元反応によってそのモルフォロジーは変化する。酸化状態では薄膜の結晶性は良く、膜中には溶媒の PC の侵入度は少ない。そのため薄膜の膨潤度は少ないので膜厚の増加はせいぜい初期の 1.2 倍位である。ところが強く還元されると膜中に溶媒の PC の侵入が著しく多くなり、膜は強く膨潤して膜厚はもとの厚さの 1.6 倍にもなり、結晶性も低下する。

EC 膜としての特性は $+1.2 \text{ V}$ の分極で酸化型の黄色薄膜となり、 $+0.4 \text{ V}$ の分極で還元型の緑色となる。更に強く還元すると膜は剥がれやすくなる。

V_2O_5 コロイドの ζ 電位の測定より、コロイド粒子は

負に帯電しており、電気泳動現象だけではコロイド粒子はアノードに引かれて行くことになる。しかし実際にはカソードに析出するので、カソードにおける析出反応を説明するには次の反応式によるバナジウム水素ブロンズの生成と、それに伴うコロイド粒子の凝集による薄膜生成を考慮する必要がある。この反応式はバナジウムブロンズ生成の酸化還元電位の pH 依存性からも裏付けられた。



5. 謝 辞

ITO 硝子の提供と V_2O_5 薄膜の SEM 写真の撮影でお世話になった日本板硝子(株)研究所の河原秀夫氏に感謝いたします。

文 献

- 1) 佐藤 進, 清野洋介; 真空, **24**, No. 10, 36, (1981).
- 2) 同上; 電子通信学会論文誌, **165**, No. 8, 6 29, (1982).
- 3) 合田拓司, 吉野隆子, 馬場宣良; 電気化学 **51**, 213, (1983).
- 4) 馬場宣良, 吉野隆子, 合田拓司, 渡辺誠一; 旭硝子工業技術奨励会研究報告 **42**, 187, (1983).
- 5) 馬場宣良; 表面科学 Vol. 5, No. 3, 367 (1984).
- 6) 川上光一, 西山直樹, 森崎重喜, 馬場宣良; 84'

- 電気化学合同秋期大会講演予稿集 p. 163 (1984).
 7) N. Baba, S. Morisaki, N. Nishiyama; Jpn. J. Appl. Phys. Lett. **23**, No. 8, 638, (1984).
 8) 古宇田康雄, 吉野隆子, 馬場宣良; 日本化学会誌 **1985**, 101, (1985).
 9) 高須芳雄, 椎木政夫, 松田好晴; 電気化学, **51**, 427, (1983).
 10) P. Aldebert, N. Baffier, N. Ghrbi, J. Livage; Mat. Res. Bull., **16**, 669, (1981).
 11) J. Lemerle, L. Nejtem, J. Livage; J. Inorg. Nucl. Chem., **42**, 17, (1980).
 12) 小林敏志, 坂本弘和, 金子双男, 斎藤 昇; 電子通信学会論文誌, **J 67-C** No. 4. 397 (1984).
 13) N. Uhle, J. Windschelf; Phys. Stat. Sol. (b), **74**, K 15 (1976).

第 6 卷 第 4 号 予告

別刷特集号「界面の評価と制御」

■界面を出す

- | | |
|---------------------|-------------|
| (1) 超ミクロトーム | 酒井俊男 (国際精工) |
| (2) 研磨法や破断法により界面をだす | 吉原一絃 (金材技研) |

■界面を探る

- | | |
|---|----------------|
| a 光で見る | |
| (1) 実験室における EXSAFS の測定 | 岡本篤彦 (豊田中研) |
| (2) PL およびラマン分光による AlGaAs-GaAs ヘテロ界面の評価 | 河合弘治 (ソニー中研) |
| b 電子で見る | |
| (1) 電子顕微鏡による界面のキャラクタリゼーション | 板東義雄 (無機材研) |
| (2) AES, SAM, EPMA, XPS, UPS の界面研究への応用 | 福田安生 (日本鋼管) |
| c 中性子で見る | |
| (1) FAB-SIMS and LAMMA | 長井一敏 (武蔵野通研) |
| (2) MDS による界面の評価 | 西垣 敏 (豊橋技科大) |
| d イオンで見る | |
| (1) SIMS, GDS | 大坪孝至 (新日鉄第一技研) |
| (2) RBS | 坂入英雄 (理研) |
| e 音で見る 超音波顕微鏡 | |
| | 石川 潔 (日立中研) |

■どこまで界面を制御できるか

- | | |
|----------------------|-------------------|
| (1) 人工超格子 (半導体) | 坂本統徳 (電総研) |
| (2) 界面の評価と制御, セラミックス | 桑原 誠 (九工大) |
| (3) IV-(3) 半導体 | 田口常正 (阪大工) |
| (4) 生医学材料 | 松田武久 (日本循環器病センター) |
| (5) 材料の複合化 (a) ポリマー | 西 敏夫 (東大工) |
| (b) RM における界面問題とその制御 | 塩田一路 (金材技研) |
| (6) 金属における界面制御 | 木村 宏 (東北大金研) |

■LABORATORY NEWS

京都大学化学研究所における表面, 界面研究

藤吉好則 (京大化研)

■用語解説

■NOTICE BOARD

■BOOK STAND

リン酸塩の化学 (金沢孝文編著)

田嶋和夫 (神奈川大工)

■編集後記

井村, 大木