

研究論文

酸性クエン酸水溶液からの CdTe 薄膜電析

邑瀬邦明*, 小田 暢*, 平藤哲司*, 粟倉泰弘*

*京都大学大学院 工学研究科 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

Electrodeposition of CdTe from Acidic Aqueous Solutions Containing Citric Acid

Kuniaki MURASE*, Toru ODA*, Tetsuji HIRATO* and Yasuhiro AWAKURA*

*Department of Materials Science and Engineering, Kyoto University (Yoshida-hommachi, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 606-8501)

Potentiostatic cathodic electrodeposition of CdTe compound on a gold-plated substrate was studied at 70°C using new acidic aqueous electrolytic baths (pH 3.0) containing citric acid. The composition of the deposits was controlled by changing the deposition potential, which depended on the concentrations of Te(IV) and citrate. The stoichiometric CdTe layers obtained were polycrystalline, having a uniform surface morphology without pinholes. In the presence of citrate ions, the solubility of tetravalent tellurium species in the citrate bath at pH 3.0 was more than 10 mM, which was about one or two orders higher than that in conventional acidic sulfate baths. The increase in the solubility will be accounted for by a complexation between Te(IV) and citrate ions, which has not been reported so far. A set of linear sweep cathodic voltammograms for Te(IV)-citrate baths suggested the presence of the complex.

Key Words : Cadmium Telluride, Compound Semiconductor, Solar Cells, Citrate Complex

1. 緒 言

次世代太陽電池材料として化合物半導体が脚光を浴び、なかでも室温で 1.45 eV のバンドギャップをもつ CdTe 化合物半導体は太陽光から電気エネルギーへの理論変換効率が高いことから、CuInSe₂ 系や Cu(In, Ga)Se₂ 系などとならんでその研究が活発である。CdTe の成膜法として、大面積の薄膜を安価に製造するのに適した水溶液からの電析技術は広く研究され、BP Solar 社によってプラント化されている。

Kröger らによる先駆的研究¹⁾以来、CdTe 薄膜電析には酸性の電解浴が用いられる。これは、pH 1~2 程度の硫酸酸性水溶液に硫酸カドミウム(II)と酸化テルル(IV)を溶解させた単純な浴であり、Cd(II)種と Te(IV)種はそれぞれ Cd²⁺ アコイオンおよびテルリルイオン HTeO₂⁺ として溶存しているとされている。しかしながら、pH 1~2 の酸性水溶液に対する Te(IV)種の溶解度は数 100 μM (M = mol dm⁻³) と小さい。したがって、CdTe の電析速度は Te(IV)種の拡散限界で決まるため、この電解浴は高速成膜には向かず、また、Te(IV)濃度の変動が大きく浴管理にも問題がある。

これに対し、筆者らは Te(IV)種の溶解度が高い塩基性水溶液を電解浴とする研究を行ってきた^{2)~12)}。塩基性浴からの CdTe 電析では、Cd(II)化学種を溶存させるための錯形成剤(配位子)が必要で、筆者らはこれまでアンモニア NH₃^{2)~7), 10)~12)}、エチレンジアミン en⁸⁾、ジエチレントリアミン dien⁹⁾ といった配位子を使用してきた。このうち NH₃ は安価なため大規模プロセスに適しているが、揮発性があるため浴温 80°C 以上での電析には不向きであった。一方、en

および dien は揮発性は低い若干高価である。また、前報⁹⁾にて議論したように、「弱い」配位子の NH₃ に代えて「強い」キレート配位子の en および dien を使用した場合、化学量論組成の CdTe が電析する浴組成範囲が狭くなる現象が見られた。そこで筆者らは、クエン酸を配位子とする新しいプロセスの研究に着手した。クエン酸は、めっき技術で汎用される不揮発性で安価な配位子である上、その錯形成能は中程度である。ところが、クエン酸配位子を含む塩基性水溶液では、Cd(II)種と Te(IV)種が共存すると白色沈殿が生じ、建浴できないことが明らかとなった。たとえば Cd(II)濃度 40 mM、Te(IV)濃度 10 mM で pH 11 程度の塩基性浴は、配位子が NH₃ (濃度 5.0 M)^{6), 7)}、en (濃度 0.5~2.5 M)⁸⁾、および dien (濃度 0.17~2.00 M)⁹⁾ の場合には問題なく建浴できるが、クエン酸の場合にはその濃度を 0.5 M と Cd(II)に対して過剰にしても沈殿が生じた。

一方、上記の探索過程において、クエン酸を配位子として加えれば、酸性領域の pH 3 付近でも Te(IV)を 1~10 mM 含む浴を建浴できることが明らかとなった。この Te(IV)濃度は前述の従来型硫酸酸性浴と比較して 1~2 桁高濃度である。HTeO₂⁺ や TeO₃²⁻ のような Te(IV)イオン種とクエン酸が錯形成する報告はないが、この現象は Te(IV)-クエン酸錯体の形成によって、溶解度が低い Te(IV)種が浴中に安定化されたためと思われる。このように、クエン酸を加えた酸性浴で Te(IV)濃度を高くできることは、CdTe のみならず含テルル化合物の高速電析開発に新たな道を拓くものと期待できる。本報文ではクエン酸を含む硫酸酸性水溶液からの CdTe 電析挙動について調べた結果を報告する。

2. 実験方法

電解浴は市販の硫酸カドミウム(II)水和物、酸化テルル(IV)、クエン酸三ナトリウム水和物(以下、「クエン酸」と略す)を比抵抗 $5 \times 10^6 \Omega \text{ cm}$ 以上の脱イオン水に溶解して調製した。本研究では、Cd(II)イオンとクエン酸、Te(IV)イオンとクエン酸を含む水溶液をそれぞれまず調製し、それらを混合して電解浴とした。後者の調製では酸化テルル(IV)とクエン酸を適宜秤量し、脱イオン水に加え、まず水酸化ナトリウムにより pH 10~13 程度にして完全に溶解させた後、硫酸によって pH を酸性域に調整した。pH の測定は、市販の緩衝溶液を用いてその都度校正したガラス電極を使用し、室温で行った。本研究では特に断らない限り、表 1 に示す電解浴(i)~(iii)の3種類の水溶液を用いて CdTe 電析条件の探索を行った。

Table 1 Electrolytes employed for the investigation of CdTe electrodeposition from aqueous acidic solution containing citrec acid.

Bath	Cd(II) (mM)	Te(IV) (mM)	Citrate(mM)	pH
(i)	40	10	500	3.0
(ii)	40	1	500	3.0
(iii)	40	1	100	3.0

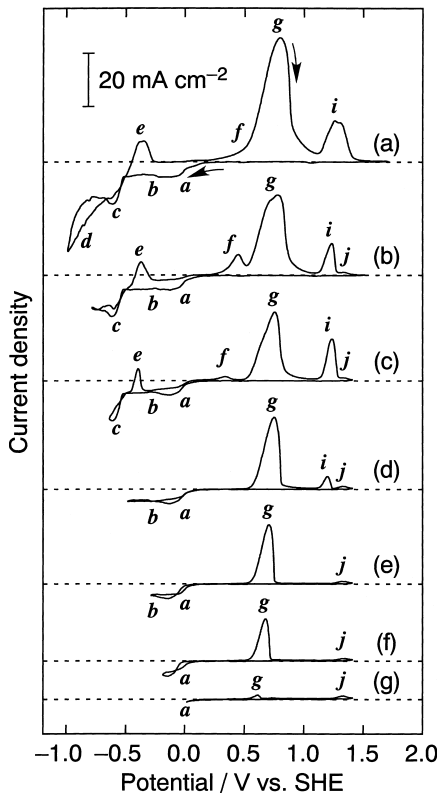


Fig. 1 Cyclic voltammograms for aqueous solution (pH 3.0) containing 40 mM Cd(II), 10 mM Te(IV), and 500 mM citrate (bath (i)) at 70°C. Scan rate : 50 mV s⁻¹. Cathodic potential limits : (a) -0.99 V, (b) -0.79 V, (c) -0.64 V, (d) -0.49 V, (e) -0.29 V, (f) -0.19 V, (g) 0.01 V.

電解に用いた装置は既報^{4)~8)}のものと同一であり、電解時の光の影響¹⁰⁾を除くために電解セルは暗箱中に設置した。これまでと同様、電解浴の脱気は行っていない。カソード(試験電極)には 3 μm 程度の厚さの金めっきを施した銅板を用い、電極の露出面積を一定とするために Tefron 粘着テープおよびエポキシ系接着樹脂で表面の一部を残して被覆した。参照電極には 3.33 M 塩化カリウム水溶液に浸漬した塩化銀-銀電極を用いたが、電極電位はすべて標準水素電極(SHE)への換算値で議論する。参照電極と電解セルは飽和塩化カリウム水溶液を使った寒天塩橋で接続した。電解浴温はすべて 70°C とし、マグネティックスタラーにより 500 rpm でかく拌した。

定電位電解によって得られた電析物は X 線回折(XRD)による化合物の同定および結晶性の評価を行うとともに、走査型電子顕微鏡(SEM)による表面観察、電子プローブ微量分析(EPMA)による組成分析を行った。なお、本研究では定電位電析の際の通電電量を 1.5 C cm⁻² に統一した。

3. 結果および考察

3. 1 電解浴(i)を用いたポルタンメトリーおよび電析

電解浴(i)を用いて測定したサイクリックボルタモグラムを図 1 および図 2 に示す。図 2 は、微小な電流ピークが見やすいように、図 1 の電流軸を拡大したものである。ここではカソード波とアノード波の対応づけを目的として、カソード方向の折り返し電位を -0.99 V (図 1 (a)) から 0.01 V vs. SHE (図 1 (g)) の範囲で変化させた複数のボルタモグラムを測定した。掃引速度はすべて 50 mV s⁻¹ とした。

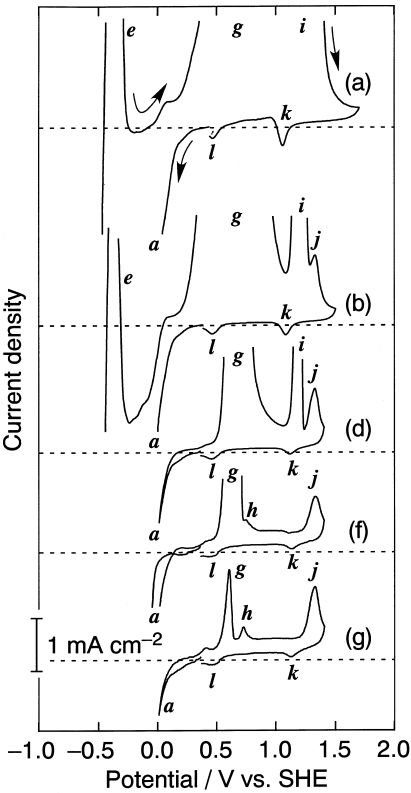


Fig. 2 Cyclic voltammograms of Figure 1 with an enlarged current density scale.

電位 0.1 V 付近から立ち上がるカソード電流 a は、後述べる Te(IV) 単味浴のカソード分極曲線から判断されるように、Te(IV) 種の還元による単体 Te の析出電流である。これに先立つ基板の Au 上への Te の微弱な還元 UPD (underpotential deposition) 電流は電位 0.5 V 付近に見られる (図 2, 電流 l)。また、アノード電流 g および h がこれら単体 Te および UPD-Te の溶解に相当することが図 2 g からわかる。一方、塩基性水溶液を用いたこれまでの研究^{5),8)} から、カソード電流 a に続く電流 b , および電位 -0.5 V 以下で立ち上がる電流 c はそれぞれ CdTe 化合物および単体 Cd の電析であると考えられ、これらに対応するアノード溶解電流はそれぞれ f および e と類推される。さらに、最もカソード側の電流 d 部分では水素発生が同時に進行していると思われる。また、次節に述べるように、本研究のクエン酸性浴では、単体 Cd の電析電位より貴な電位で金属間化合物 Cd_3Au の生成¹³⁾ が認められた。折り返し電位が最も低く、カソード方向へ分極している時間が最も長い場合 (図 1 (a)) に、アノード電流 e が高電位側に若干広がっているのは、合金化した Cd_3Au からのカドミウムのアノード溶解が、単体 Cd のアノード溶解に比べ、いくぶん貴な電位で進行するためと考えられる。カソード折り返し電位を -0.5 V (図 1 (d)) 以下に設定した際に電位 1.20~1.25 V 付近に見られるアノード電流 i も Cd_3Au の溶解に関連して生じるものである^{5),13)}。なお、電位 1.3 V の微小なアノード波 j と電位 1.1 V 付近のカソード波 k (図 2) は金表面の酸化皮膜の生成と還元起因する。

CdTe 電析は一般に、単体 Cd が電析する電位より貴な電位で行う^{11,14)}。そこで上記の結果をもとに、電解浴 (i) を用い、単体 Cd が電析すると思われる前後の電位 -0.500 V および -0.525 V で定電位電解を行ったところ、それぞれ銀灰色および黒灰色の電析物を得た。前者の電析物組成は 24.9 at.% Cd-75.1 at.% Te と化学量論組成に比べて大きく

Te-rich, 後者は 53.4 at.% Cd-46.6 at.% Te と Cd-rich であった (以下, Cd 組成のみを示す)。図 3 には、それぞれの電位で得られた電析物の XRD をまとめる。電位 -0.500 V での析出物には回折角 2θ が $8\sim 15^\circ$ の範囲にブロードな回折が観測された。このブロードな回折は CdTe 111 反射 ($2\theta = 10.876^\circ$ ¹⁵⁾) と Te 101 反射 ($2\theta = 12.593^\circ$ ¹⁵⁾) の位置にまたがっており、電析物は CdTe と単体 Te が共析した低結晶性のものと考えられる。このような回折を与える低結晶性の Te-rich 電析物は、塩基性浴からも一定の条件下で得られている^{6),8),9)}。一方、より卑な電位 -0.525 V での電析物には明瞭な CdTe 111 反射が見られ、結晶性の CdTe 化合物が電析したことがわかる。しかし同時に、単体 Cd の 002 反射¹⁵⁾ に帰属できる回折が $2\theta = 14.5^\circ$ に観測されており、電析物は単体 Cd と CdTe 化合物が共析したものであることがわかった。なお、いずれの場合にもこれらの回折線に加え、基板の Au による回折¹⁵⁾ が 17.3° および 20.0° に観測されている。

以上より、電解浴 (i) を用いた場合には、狭い電位領域 $-0.500\sim -0.525$ V の間に、得られる電析物が (1) Te-rich な低結晶性電析物から (2) Cd 単体と CdTe 化合物の共析物へと変化するとわかった。一般に、化学量論組成の単相 CdTe が得られる電位領域は、これら電析物 (1) および (2) が得られる両電位域の間に位置する。いいかえれば、電解浴 (i) から単相 CdTe が得られる電位領域は非常に狭く、事実上それは困難であると思われた。そこで、次節では浴組成を変化させて、化学量論組成の CdTe が電析する条件探索を行った。ここでは、電解浴 (i) から電位 -0.500 V で Te-rich な電析物が得られたことを踏まえ、Te(IV) イオン濃度を 1 mM に下げてテルルの析出を抑制する (電解浴 (ii)), あるいはさらにクエン酸濃度を下げてカドミウムの析出を促進する (電解浴 (iii)) ことを試みた。

3. 2 電解浴 (ii) および (iii) 用いた電析条件最適化

電解浴 (ii) を電位 $-0.500\sim -0.400$ V の範囲の 5 つの電位で定電位電解して得られた析出物の XRD ($2\theta = 5\sim 15^\circ$ の範囲) をそれらの組成とあわせて図 4 に示す。電解浴 (i) を用いた場合と異なり、いずれの電位においても、CdTe 111 の回折線が観測されたことから、結晶性 CdTe 化合物の電析が確認された。しかしながら、電位 -0.500 V での電析物は単体 Cd との混合物であり、組成も Cd-rich であった。また、電位 $-0.500\sim -0.475$ V での電析物には、 $2\theta = 10.0^\circ$ に基板の Au と Cd の合金化で生じた Cd_3Au 金属間化合物¹⁵⁾ の鋭い 110 回折が見られた。より高い電位 -0.450 および -0.400 V での電析物の XRD では、鋭い回折は CdTe 111 のみであるが、その高角側の $2\theta = 12\sim 13^\circ$ 付近にかけて幅広い裾がみられ、低結晶性の単体 Te の共存が示唆された。これは電析物組成が約 64 at.% Te と Te-rich であることとも一致している。電解浴 (ii) からの電析物組成は、このように電析電位の上昇とともに Cd-rich から Te-rich へと変化するが、特に電位 -0.475 V で得られた薄膜はほぼ化学量論組成となっているが、これはおそらく主成分の CdTe に少量の Cd_3Au と単体 Te が加わった混合物であると思われる。

電解浴 (ii) からは上述のように、単体 Cd が還元析出するよりも貴な電位 $-0.485\sim -0.475$ V で金属間化合物 Cd_3Au

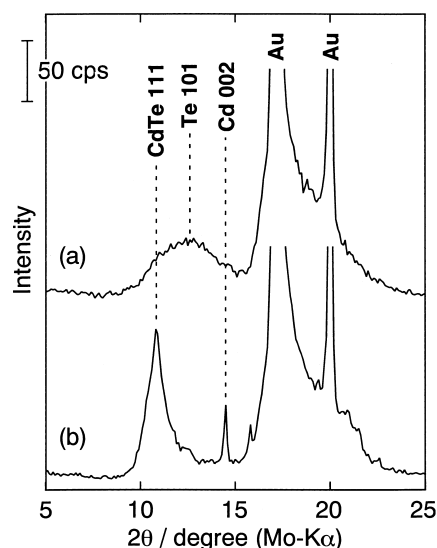


Fig. 3 XRD of the deposits obtained on gold-plated copper from aqueous solution (pH 3.0) containing 40 mM Cd (II), 10 mM Te(IV), and 500 mM citrate (bath (i)) at 70°C. Deposition potentials: (a) -0.500 V, (b) -0.525 V.

の電析が顕著であった。これは基板の Au との化合物形成にともなって起こる一種のカドミウム原子の UPD であり、理論的には Cd_3Au の生成自由エネルギー $-\Delta G_{\text{Cd}_3\text{Au}}$ に相当する電位分 $-\Delta G_{\text{Cd}_3\text{Au}}/nF$ (n : 反応電子数, F : ファラデー定数) だけ高い電位からこれが起こる¹⁶⁾。しかし、これまでに筆者らが調べたアンモニア性の塩基性浴では、 Cd_3Au 形成は見られていない。実際に Cd_3Au が生成するかどうかは、競合する CdTe 化合物の生成速度、Au 中への Cd 原子の拡散速度などが重要になると考えられる。筆者の印象では、酸性浴を使用したほうが、塩基性浴を用いた場合と比較して Cd_3Au が生じやすい¹⁷⁾ が、その原因は不明であり今後の研究課題である。図 5 には、電解浴(ii)を用い、カソード方向の折り返し電位を -0.79 V 、 -0.59 V 、および -0.39 V として測定したボルタモグラムを示す。観測された電流 $a\sim l$ は図 1 および図 2 で考察したものと概ね同じであるが、折り返し電位が最も低い -0.79 V の場合には、アノード溶解電流 e が e_1 と e_2 として示した 2 つのピークに分離している。これらはそれぞれ単体 Cd および Cd_3Au 化合物中のカドミウムの酸化溶解にともなうと思われ、この浴からの Cd_3Au 化合物生成が顕著であることと符合している。なお、 Cd_3Au が生じる還元 UPD 電流が明瞭でないのは、アンモニア性水溶液と同様⁹⁾、これが単体 Cd の電析電流 c に近接し、かつ CdTe 析出電流 b と重なっているためと推察される。

Cd_3Au 化合物の生成が顕著な電解浴(ii)ではあるが、電位 -0.450 V 以上の十分貴な電位で電解すればこれは起こらない。しかし、その場合の電析物はまだ Te-rich であった。そこで、Cd(II)濃度を 40 mM に保ちクエン酸濃度を 100 mM に下げた浴(電解浴(iii))を用い、カドミウムの電析のさらなる促進を試みた。本研究の浴中で Cd(II)イオンはクエン酸錯体を形成している。錯形成により、平衡しているアコイ

オン Cd^{2+} の活量が下るため、クエン酸を含まない場合に比べて、Cd(II)の還元電位は卑に移行している。したがって Cd(II)濃度を一定に保ったままクエン酸濃度を下げれば、還元電位は上昇し、同じ電位で比較した場合、カドミウムの電析は促進されることになる。図 6 は電解浴(iii)を使用して

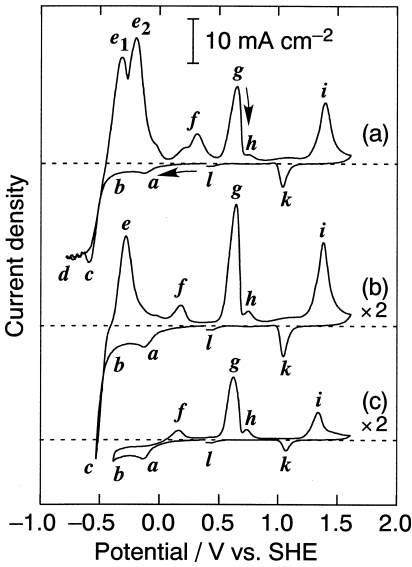


Fig. 5 Cyclic voltammograms for aqueous solution (pH 3.0) containing 40 mM Cd(II), 1 mM Te(IV), and 500 mM citrate (bath (ii)) at 70°C.
Scan rate : 50 mV s⁻¹.
Cathodic potential limits : (a) -0.79 V , (b) -0.59 V , (c) -0.39 V .

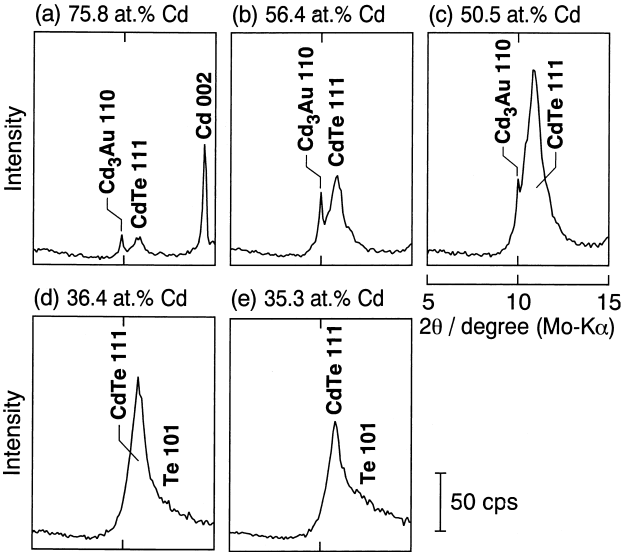


Fig. 4 XRD of the deposits obtained on gold-plated copper from aqueous solution (pH 3.0) containing 40 mM Cd(II), 1 mM Te(IV), and 500 mM citrate (bath (ii)) at 70°C.
Deposition potentials : (a) -0.500 V , (b) -0.485 V , (c) -0.475 V , (d) -0.450 V , (e) -0.400 V .

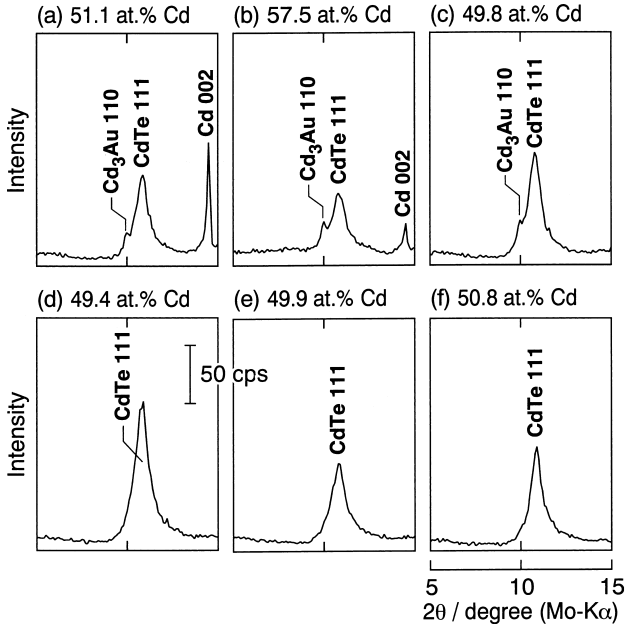


Fig. 6 XRD and composition of the deposits obtained on (a-e) gold-plated copper or (f) copper substrate from aqueous solution (pH 3.0) containing 40 mM Cd(II), 1 mM Te(IV), and 100 mM citrate (bath (iii)) at 70°C.
Deposition potentials : (a) -0.500 V , (b) -0.490 V , (c) -0.485 V , (d) -0.475 V , (e) -0.450 V , (f) -0.450 V .

電位 $-0.500\sim-0.450$ Vで得られた電析物のXRDおよび組成である。電位 $-0.500\sim-0.485$ Vの電析物は Cd_3Au 形成が見られたのに対し、電位 $-0.475\sim-0.450$ Vでの電析物はほぼ CdTe 単相で、組成も化学量論組成であった。図6(f)は同じ電解浴(iii)を用い、カドミウムとの合金化が起こらない銅板をカソードとして電位 -0.450 Vで電析した結果であり、金めっき基板上と同様の化学量論組成をもつ CdTe が得られている。すなわち、金めっき基板上への電位 -0.450 Vでの電析物が化学量論組成であるのは、主成分の CdTe に少量の Cd_3Au と単体 Te が等モル加わったことによる偶発的なものではないと結論できる。

図7は電解浴(iii)を用いた電析時の電流の経時変化である。単体 Cd や Cd_3Au が共析する場合の電流は、化学量論組成の CdTe が電析する際に比べて大きく、また、電流値は漸増傾向にあった。これは単体 Cd がデンドライト析出しやすいため、見かけの表面積が電析の進行とともに増加するためである。一方、化学量論組成の CdTe が電析する電位 -0.475 Vおよび -0.450 Vでは、電流は漸減する傾向が見られた。このとき電気量 1.5 C cm^{-2} の電解にそれ

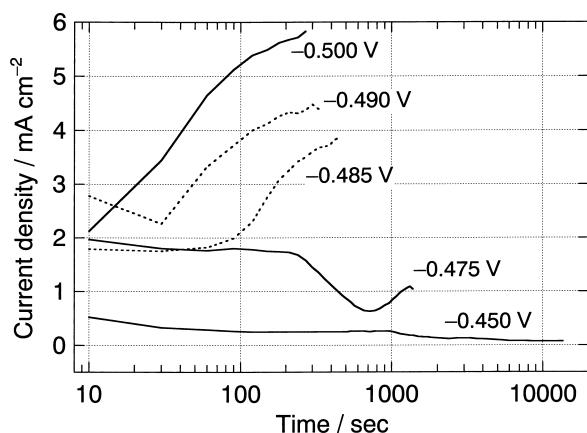


Fig. 7 Change in current density during potentiostatic electrodeposition at 70°C using aqueous solution (pH 3.0) containing 40 mM Cd(II) , 1 mM Te(IV) , and 100 mM citrate (bath (iii)).

Deposition potentials are indicated in the figure.

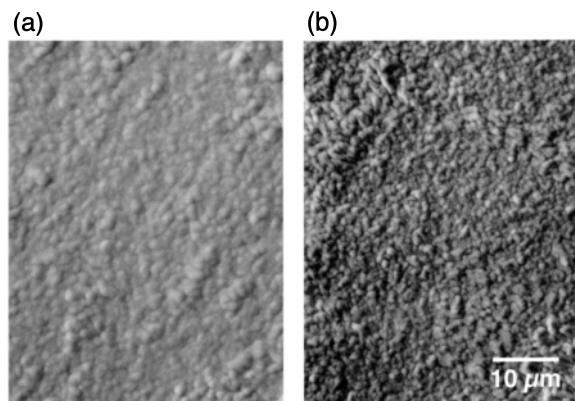


Fig. 8 SEM micrographs of CdTe electrodeposited at 70°C from aqueous solution (pH 3.0) containing 40 mM Cd(II) , 1 mM Te(IV) , and 100 mM citrate (bath (iii)).

Deposition potentials: (a) -0.475 V, (b) -0.450 V.

ぞれ23分および226分要した。これらの電析物の表面SEM写真を図8に示す。表面は析出物にち密に覆われており、ピンホールなどはない。これは塩基性水溶液からの電析物^{4),6),10)}と同様である。表面に見られる凹凸は、 CdTe 化合物本来のものではなく、基板の金めっきの凹凸を引き継いだもの^{18),19)}と考えられる。XRDによって単体 Cd の共析が認められた電析物では、平滑な析出物上に単体 Cd と思われるカリフラワー様の島状析出物が見られた。なお、図6に示した組成は、平滑に析出している部分の組成をEPMAで定量したものである。

3. 3 Te(IV) －クエン酸の錯形成

緒言で述べたように、本研究で用いた電解浴は、クエン酸を加えることでpH 3においても $1\sim10$ mMの高い Te(IV) 濃度となっている。これは Te(IV) イオンとクエン酸の錯形成によると思われる。モリブデン酸イオンなどのオキソ酸アニオンとクエン酸が錯形成することは既に知られており²⁰⁾、 HTeO_2^+ や TeO_3^{2-} のようなテルル(IV)種のオキソ酸イオンとのクエン酸錯体も生成が十分に期待できる。図9は10 mMの Te(IV) と200 mMのクエン酸を含み、pHを3～10に調節した水溶液を用いて測定したカソード分極曲線である。pH 3の浴では電位約 -0.04 Vから Te(IV) の還元による電流が見られ、pHの上昇とともにその立ち上がりは卑に移行した。特にpH 3からpH 5にかけての移行が大きく、これは三塩基酸であるクエン酸の酸解離定数(イオン強度1.0)の2.80, 4.80, および5.33²¹⁾に相当するpHとほぼ同じ領域である。すなわち、pH 3からpH 5にかけてクエン酸のカルボキシル基から水素イオンの解離が起こり、 Te(IV) への配位能が強くなり、その結果 Te(IV) の還元電位が卑に移行したと定性的に解釈できる。

なお、図9の測定時には水素発生も同時に起こり、また中性付近の浴では白色の懸濁物が溶液中に見られた。したがって、より定量的な議論は今後の研究を待たねばならない。

4. まとめ

本研究では、クエン酸を含む酸性水溶液を使用することで、

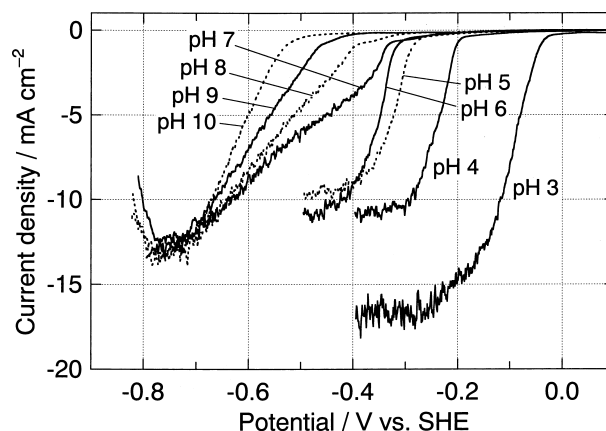


Fig. 9 Linear sweep cathodic voltammograms for aqueous solution containing 10 mM Te(IV) and 200 mM citrate. Sweep rate: 10 mV s^{-1} .

pH of the solution is indicated in the figure.

従来の硫酸酸性 CdTe 電析浴に比べて高濃度に Te(IV) イオンを含む浴が建浴可能であることを見だし、金めっき基板上に化学量論組成のち密な結晶性 CdTe 薄膜を得る条件を探索した。今回見いだした最適条件は 40 mM CdSO₄, 1 mM TeO₂, 100 mM クエン酸水溶液 (pH 3) を用いる電位 -0.475 ~ -0.450 V での定電位電析である。Te(IV) イオンが高濃度に溶解する原因は、クエン酸との錯形成によると考えられ、一連のカソード分極曲線もそれを示唆する結果となった。

謝 辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金 No. 14350399 および No. 15760548 の助成により行なわれた。

(Received October 27, 2003; Accepted February 9, 2004)

文 献

- 1) M. P. R. Panicker, M. Knaster and F. A. Kröger; *J. Electrochem. Soc.*, **125**, 566 (1978)
- 2) 平藤哲司, 中谷純也, 栗倉泰弘; 表面技術, **48**, 190 (1997)
- 3) 平藤哲司, 稲嶺正一, 二井一志, 栗倉泰弘; 表面技術, **48**, 728 (1997)
- 4) K. Murase, H. Uchida, T. Hirato and Y. Awakura; *J. Electrochem. Soc.*, **146**, 531 (1999)
- 5) K. Murase, H. Watanabe, T. Hirato and Y. Awakura; *J. Electrochem. Soc.*, **146**, 1798 (1999)
- 6) K. Murase, H. Watanabe, S. Mori, T. Hirato and Y. Awakura; *J. Electrochem. Soc.*, **146**, 4477 (1999)
- 7) 邑瀬邦明, 中谷 巖, 平藤哲司, 栗倉泰弘; 表面技術, **50**, 367 (1999)
- 8) K. Murase, T. Honda, M. Yamamoto, T. Hirato and Y. Awakura; *J. Electrochem. Soc.*, **148**, C 203 (1999)
- 9) 邑瀬邦明, 本田 崇, 平藤哲司, 栗倉泰弘; 表面技術, **53**, 535 (2002)
- 10) K. Murase, M. Matsui, M. Miyake, T. Hirato and Y. Awakura; *J. Electrochem. Soc.*, **150**, C 44 (2003)
- 11) M. Miyake, K. Murase, T. Hirato and Y. Awakura; *Surf. Coat. Technol.*, **169-170**, 108 (2003)
- 12) M. Miyake, K. Murase, T. Hirato and Y. Awakura; *J. Electrochem. Soc.*, **150**, C 413 (2003)
- 13) Von J. W. Schultze, F. D. Koppitz and M. M. Lohrengel; *Ber. Bunsen-Ges. Phys. Chem.*, **78**, 693 (1974)
- 14) A. Kampmann, P. Cowache, J. Vedel and D. Lincot; *J. Electroanal. Chem.*, **387**, 53 (1995)
- 15) Powder Diffraction Files, Inorganic Phases, Nos. 15-0770 (CdTe), 36-1452 (Te), 5-0674 (Cd), 31-0226 (Cd₃Au), 4-0784 (Au)
- 16) F. A. Kröger; *J. Electrochem. Soc.*, **125**, 2028 (1978)
- 17) K. Murase, M. Uematsu, M. Matsui, M. Miyake, T. Hirato and Y. Awakura; Abstract of the 201st Meeting of The Electrochemical Society, No. 551 (2002)
- 18) 古市佑樹, 邑瀬邦明, 平藤哲司, 栗倉泰弘; 表面技術協会第 104 回講演大会要旨集, p. 142 (2001)
- 19) K. Murase, T. Hirato and Y. Awakura; "Morphological Evolution in Electrodeposition and Electrochemical Processing in ULSI Fabrication IV", ed. by P. C. Allongue, P. C. Andricacos, F. Argoul, D. P. Barkey, J. C. Bradley, K. Kondo, P. C. Searson, C. Reidsma-Simpson, J. L. Stickney, G. M. Oleszek, Electrochemical Society PV 2001-8, Electrochemical Society, Inc., Pennington, NJ, USA, 2001, in press
- 20) J. J. Cruywagen, E. A. Rohwer and G. F. S. Wessels; *Polyhedron*, **14**, 3481 (1995)
- 21) R. M. Smith and A. E. Martell; Critical Stability Constants, Vol. 3 (Other organic ligands), p. 161 (Plenum Press, 1977)