

Г.І. Копач¹, Н.П. Ключко¹, Н.Д. Волкова², М.В. Добротворська³, В.Р. Копач¹, Т.А. Лі¹

Механізм процесу електрохімічного осадження і склад плівок телуриду кадмію

¹Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"
вул. Фрунзе, 21, 61002, Харків, Україна

²Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"
вул. Чкалова, 17, 61070, Харків, Україна

³Інститут монокристалів Національної академії наук, просп. Леніна, 60, 61001, Харків, Україна
E-mail: li_tatiana@mail.ru

Методами хроновольтамперометрії та циклічної вольтамперометрії досліджено механізми електрохімічних процесів в електроліті для одержання напівпровідникових плівок телуриду кадмію, в відповідних йому парціальних розчинах, які вміщують йони кадмію і телуру. Виявлено відмінності в катодних процесах на хімічно інертних підкладках з нітриду титану і на каталітично активній поверхні молібдену. На підставі проведених досліджень з'ясовано природу домішок, які виявлені методом рентгенівської фотоелектронної спектроскопії на поверхні і в об'ємі плівок телуриду кадмію, електроосаджених на підкладки з нітриду титану і молібдену. Це дозволило здійснити вибір параметрів процесу електроосадження і матеріалу підкладок, які забезпечують виготовлення плівок стехіометричного складу.

Ключові слова: телурид кадмію, метод рентгенівської фотоелектронної спектроскопії, методи хроновольтамперометрії та циклічної вольтамперометрії.

Стаття поступила до редакції 03.03.2007; прийнята до друку 14.09.2007.

Вступ

В електрохімічному методі контроль за властивостями осаджених напівпровідникових плівок здійснюється через такі технологічні параметри як катодний потенціал, температура, рН і склад електроліта [1]. Проте, науковому обґрунтуванню вибору режимів електрохімічного осадження плівок телуриду кадмію, які забезпечують отримання стехіометричних шарів, дотепер не приділялося достатньої уваги. Наслідком цього став запропонований авторами [2-7] емпіричний підбір потенціалів електроосадження CdTe для різних підкладок. На нашу думку, наукове вирішення даного питання полягає в першочерговому з'ясуванні механізмів процесів, які відбуваються на катодах з різних матеріалів і в прикатодному просторі в процесі електроосадження телуриду кадмію, тобто в вивченні залежності кінетики процесу електроосадження CdTe від матеріалу підкладки.

І. Експериментальна частина

У даній роботі дослідження кінетики електроосадження телуриду кадмію на поверхню

молібдену (Mo) і нітриду титану (TiN) здійснювали за допомогою потенціостата методами вольтамперометрії з лінійною розгорткою потенціалу (хроновольтамперометрії (ХВА)) і циклічної вольтамперометрії (ЦВА) [8,9]. У процесі досліджень роль катодів в трьохелектродній електрохімічній комірі виконували скляні пластини площею 2 см² з нанесеними на них методом реактивного розпилення шарів нітриду титану завтовшки 500 нм або з отриманими методом магнетронного розпилення у вакуумі шарів молібдену завтовшки 1 мкм, які мали шаровий опір менший за 1 Ом. Хлорсрібний електрод використовувався в якості електроду порівняння, а роль допоміжного електроду виконувала платинова спіраль, що мала площу поверхні 30 см². Температуру розчинів за допомогою термостата підтримували на рівні 50°C. Протягом досліджень уникали перемішування розчинів (окрім випадків, зазначених особливо). З метою усунення явища міграції в процесі дослідження методами ХВА і ЦВА в розчині вводився 0,1 М Na₂SO₄ (де М – це молярна маса). Досліджували електрохімічні процеси в таких розчинах: 1) у розчині, що відповідав електроліту для осадження шарів телуриду кадмію, який містив: 0,5 М CdSO₄; 0,0002 М TeO₂; 0,1 М Na₂SO₄; 0,01 М H₂SO₄; 2) в парціальному розчині кадмію: 0,5 М

CdSO₄, 0,1 М Na₂SO₄; 0,01 М H₂SO₄; 3) в парціальному розчині телуру: 0,0002 М TeO₂, 0,1 М Na₂SO₄, 0,01 М H₂SO₄; 4) в фоновому розчині: 0,1 М Na₂SO₄, 0,01 М H₂SO₄. Швидкість розгортки напруги поляризації (V) складала від 2 мВ/с до 500 мВ/с, а діапазон потенціалів розгортки E_c становив від 0,2 В до -1,4 В (тут і далі всі потенціали приводяться відносно насиченого хлорсрібного електрода порівняння).

Електроосадження плівок телуриду кадмію на підкладки TiN (зразки № 1, 2, 3) і на молібденові підкладки (зразки № 4, 5, 6) здійснювали в потенціо-статичному режимі в тій самій триелектродній електрохімічній комірці, але при перемішуванні електроліту (0,5 М CdSO₄; 0,0002 М TeO₂, 0,01 М H₂SO₄) за допомогою магнітної мішалки. Температура електроліту була 50°C, час осадження складав 1 год. Катодні потенціали в процесі нарощування плівок підтримувалися на таких рівнях: E_c = -0,40 В (зразок № 1), E_c = -0,45 В (зразки № 3 і № 4), E_c = -0,55 В (зразок № 5), E_c = -0,65 В (зразки № 2 і № 6). А густина струму j_c закономірно зменшувалася через збільшення електроопору шарів CdTe.

Дослідження складу поверхні зразків проводилися методом рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (XPS) на спектрометрі XPS-800 Kratos. Вакуум в камері приладу 6,57·10⁻⁶ Па. Фотоелектрони збуджувалися MgK_α- випромінюванням (hν = 1253,6 еВ). Потужність рентгенівської трубки складала 15 кВ × 20 мА. Кінетична енергія електронів аналізувалася півсферичним електростатичним аналізатором. Дозвіл спектрометра був 1 еВ, точність визначення енергій зв'язку – 0,3 еВ. Спектри оброблялися на комп'ютері: проводилося згладжування, віднімання постійного фону і фону непружних втрат (за методом Ширлі), видалення розширюючої дії рентгенівської лінії (ітераційна розгортка) і розкладання складної лінії на її складові. Склад поверхні зразків визначався по відношенню площ ліній C1s, O1s, Cd3d, Te3d, Ti2p, Mo3d, Si2p – основних оболонок з урахуванням коефіцієнтів чутливості. Товщина аналізованого шару була 5 нм. Аналіз сполук, присутніх на поверхні зразків, проводився шляхом розкладання лінії Te3d на складові. Пошарове травлення поверхні зразків здійснювалося за допомогою іонного бомбардування: Ag⁺, E = 2 кеВ, швидкість травлення 1 нм/хв.

II. Результати та обговорення

Як показали результати наших досліджень, у фоновому розчині на катодних гілках циклічних вольтамперограм, отриманих при використанні робочого електрода з нітриду титану, виявляються (рис. 1) два підйоми струму. Невеликий пік струму при збільшенні швидкості розгортки потенціалу від 2 мВ/с до 500 мВ/с зсувається у бік негативних значень, так що потенціали катодного напівпіку E_{cp/2} зміщуються від -0,4 В до -0,6 В. Різниця між

катодними потенціалами піків і катодними потенціалами напівпіків достатньо великі. Ці різниці змінюються залежно від V, але приблизно дорівнюють 0,1 В, що більш ніж в три рази перевищує значення для оборотного електрохімічного процесу. На анодних гілках циклічних вольтамперограм у фоновому розчині даний пік відсутній.

Все вищеперелічене свідчить про протікання необоротного електрохімічного процесу у фоновому розчині в ділянці потенціалів поблизу піку катодного струму. Виходячи з того, що для оборотного електрохімічного процесу потенціал напівпіку E_{cp/2} і стандартний потенціал електрохімічної катодної реакції E_c⁰ зв'язані співвідношенням [8,9]:

$$E_{cp/2} = E_c^0 + 1,09 \left(\frac{RT}{nF} \right), \quad (1)$$

де R- абсолютна газова стала;

T – абсолютна температура розчину;

n – число електронів, які беруть участь в електрохімічній реакції;

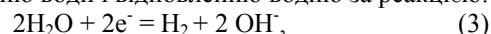
F – число Фарадея,

можна розрахувати, що за температури 50°C потенціал напівпіку оборотного катодного процесу був би менш негативний, ніж стандартний потенціал на 31/n мВ. Тоді, враховуючи, що потенціал напівпіку необоротного катодного процесу завжди зсунутий в ділянку негативних значень в порівнянні з оборотним процесом [8,9] і відповідно до таблиць стандартних потенціалів, приведених в [10,11], можна зробити висновок, що перший пік у фоновому розчині відповідає реакції:



Для цієї реакції рівноваговий катодний потенціал, розрахований для даного розчину за рівнянням Нернста [10], складає -0,33 В. Зсув цього піку у бік негативних потенціалів викликаний тим, що для необоротних електродних процесів перенапруження дорівнює або перевищує 0,1 В [9], інтенсивність піку невелика, тому що розчин слабокислий (рН 2).

Підйом струму у фоновому розчині при більш негативних потенціалах, ніж -0,85 В, дуже інтенсивний. За розрахунками, він відповідає розкладанню води і відновленню водню за реакцією:



для якої стандартний потенціал складає, згідно [10], -1,05 В.

У разі використання у фоновому розчині молібдену в якості робочого електрода, підйом струму спостерігається при набагато більш позитивних потенціалах (E_c = -0,5 В), так що на вольтамперограмах неможливо розмежувати процеси (2) і (3). Згідно [8,9], таке протікання процесу електрохімічного відновлення при більш позитивних потенціалах катода пов'язано з каталітичною дією на цей процес поверхні електрода. В даному випадку має місце каталітичний вплив молібдену на електрохімічний процес розкладання води (3).

У парціальному розчині кадмію хроновольтамперограми на підкладках з нітриду титану (рис. 2) також мають відповідний реакції (2)

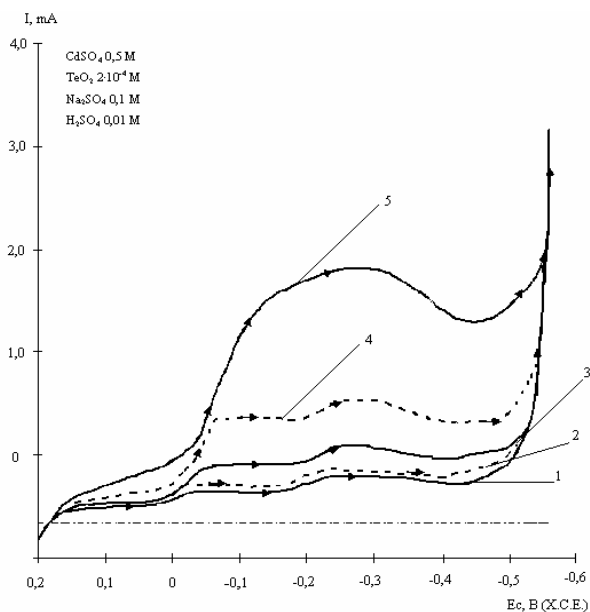


Рис. 1. Циклічні вольтамперограми на підкладках TiN у фоновому розчині при швидкостях розгортки потенціалу мВ/с: 1 – 10; 2 – 50; 3 – 100.

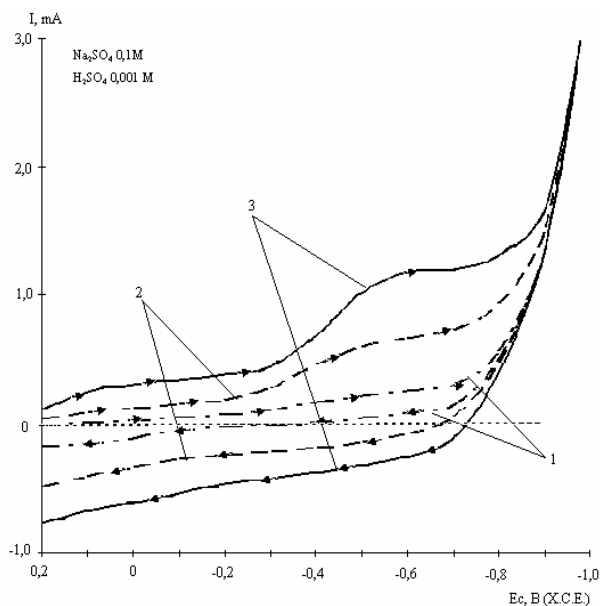


Рис. 2. Хроновольтамперограми на підкладках TiN в парціальному розчині кадмію при швидкостях розгортки напруги поляризації мВ/с: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 50; 5 – 100; 6 – 200.

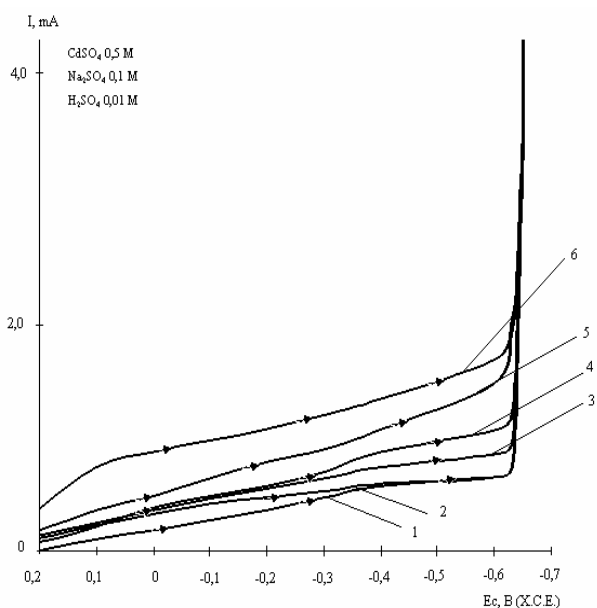


Рис. 3. Циклічні вольтамперограми на підкладках TiN в парціальному розчині телуру при швидкостях розгортки потенціалу мВ/с: 1 – 50; 2 – 100; 3 – 200.

слабкий пік відновлення водню. За ним, незалежно від швидкості розгортки напруги поляризації, при більш негативних потенціалах, ніж $-0,65$ В, відбувається різкий підйом струму. Згідно [10,11], рівноважний потенціал реакції:



в даному розчині відповідно до рівняння Нернста складає $-0,63$ В. Отже, у відповідності до [8, 10], можна зробити висновок, що описаний вище різкий підйом струму демонструє протікання оборотного катодного електрохімічного процесу відновлення кадмію.

На підкладках з молибдену хроновольтамперограми в парціальному розчині

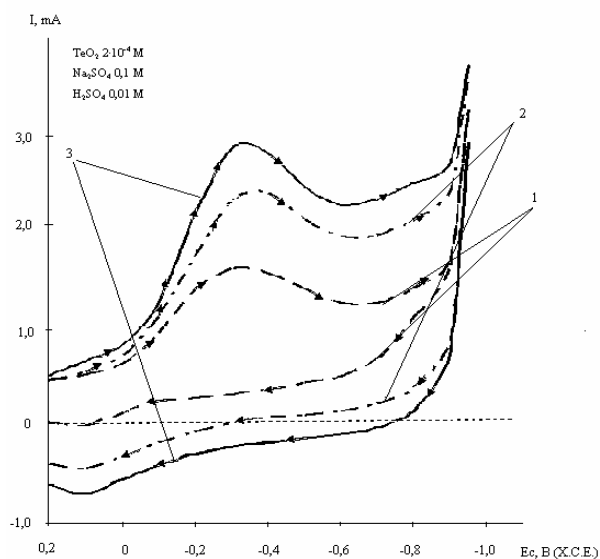
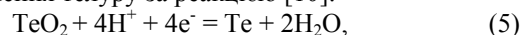


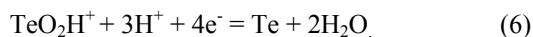
Рис. 4. Хроновольтамперограми на підкладках Мо в парціальному розчині телуру при швидкостях розгортки потенціалу мВ/с: 1 – 1; 2 – 10; 3 – 100.

кадмію відрізняються від аналогічних ХВА на підкладках з TiN тільки тим, що підйом струму спостерігається, як і у фоновому розчині, вже при потенціалі катода $-0,5$ В, що також пов'язане з каталітичною дією поверхні молибденового катода на процес (3).

Суттєво відрізняються на підкладках з TiN і з Мо механізми процесів електрохімічного відновлення телуру. Циклічні вольтамперограми в парціальному розчині телуру, виконані на підкладках з нітриду титану, демонструють (рис. 3) електрохімічне відновлення телуру за реакцією [10]:



або за аналогічною їй реакцією [11]:



Для реакції (5) стандартний потенціал відносно хлорсрібного електроду порівняння за температури 50°C дорівнює $E_c^0 = 0,33 \text{ В}$ [10], а для реакції (6) $E_c^0 = 0,36 \text{ В}$ [11]. Рівноважні потенціали у даному розчині дорівнюють 0,27 В і 0,30 В, відповідно. Проте, як показав експеримент, процес відновлення телуру протікає при більш негативних потенціалах, ніж ті, які відповідають оборотному процесу. Причиною цього є необоротність електрохімічного процесу відновлення телуру на підкладці з нітриду титану, яка підтверджується наступним. По-перше, із зростанням V потенціал катодного піку (E_{cp}) стає більш негативним, а анодного – більш позитивним. По-друге, різниця ($E_{cp/2} - E_{cp}$) перевищує 0,1 В. По-третє, потенціали напівпіку катодних гілок ЦВА, які спостерігалися в експерименті, мали місце при потенціалах, що змінювалися від -0,12 В (при $V = 2 \text{ мВ/с}$) до -0,24 В (при $V = 500 \text{ мВ/с}$). Підйом катодного струму в парціальному розчині телуру на підкладці з TiN спостерігається при тих же потенціалах (більш негативних, ніж -0,85 В), що і у фоновому розчині. Отже, він відповідає процесу розкладання води з виділенням водню за реакцією (3).

Абсолютно інший характер мають вольтамперограми, отримані в парціальному розчині телуру на молибденовій підкладці (рис.4). ХВА характеризуються двома піками, причому перший пік розташований при потенціалі $E_{cp} \approx -0,05 \text{ В}$, а другий є аналогічним піку відновлення телуру на циклічних вольтамперограмах, виконаних на підкладках з нітриду титану. Слідом за другим піком на

молибденовому катоді, при більш негативних потенціалах, ніж -0,5 В, спостерігається інтенсивний підйом струму, пов'язаний з розкладанням води та утворенням вільних гідроксильних груп і виділенням водню за реакцією (3). Як показали дослідження залежності характеру ХВА в парціальному розчині телуру від швидкості розгортки напруги поляризації молибденового катода, поява додаткового піку при більш позитивних потенціалах пов'язана з сильною адсорбцією на поверхні молибдену продукту реакції (5), тобто з адсорбцією телуру. Підтвердженням сказаному, наприклад, може служити більш інтенсивне протягом зростання V збільшення висоти першого (адсорбційного) піку в порівнянні з другим, який відповідає необоротному електрохімічному процесу (5).

Хроновольтамперограми катодних процесів в розчині, який відповідає електроліту для електроосадження плівок телуриду кадмію, одержані на підкладках з нітриду титану (рис. 5), підкоряються відомим [8, 9] закономірностям для електродних процесів з подальшими хімічними реакціями диспропорціювання, а саме: струм піку i_p пропорційний $V^{1/2}$, а потенціал катодного піку E_{cp} пропорційний $\lg V^{-1}$. Звідси витікає висновок, що в електроліті для виготовлення плівок телуриду кадмію катодний процес електрохімічного відновлення телуру за реакцією (5) супроводжується повільною хімічною реакцією диспропорціювання елементарного телуру. Причому, оскільки за відсутності іонів кадмію ХВА не підкоряються закономірностям $i_{cp} \sim V^{1/2}$ і $E_{cp} \sim \lg V^{-1}$, слід зробити висновок, що реакція диспропорціювання включає

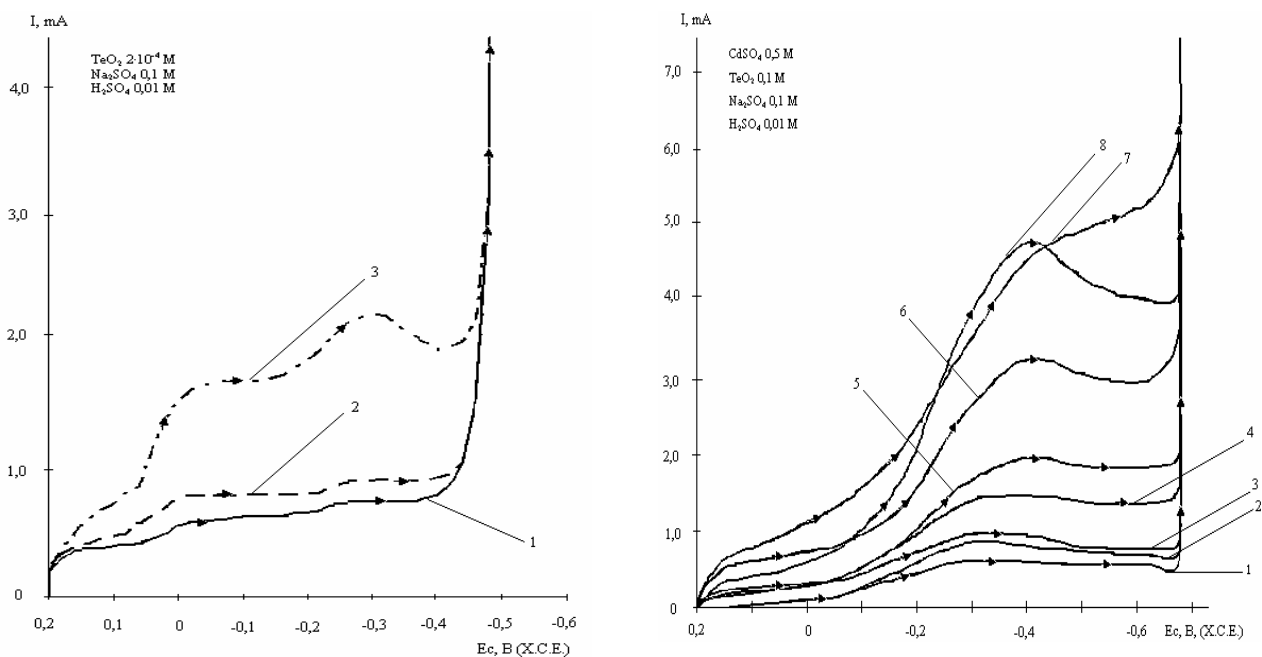


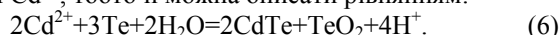
Рис. 5. Хроновольтамперограми на підкладках TiN в розчині, відповідному електроліту для осадження CdTe при швидкостях розгортки катодного потенціалу мВ/с: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 50; 5 – 100; 6 – 200; 7 – 500; 8 – 200 за умов перемішування електроліту.

Таблиця 1

Режими електрохімічного осадження і атомарні концентрації елементів на поверхні зразків телуриду кадмію за даними XPS

№ зразка	Режими електроосадження			Атомарні концентрації, %						
	Підкладка	Потенціал катоду E _c , В (Х.С.Е.)	Густина струму, j _c , мА/см ²	C	O	Cd	Te	Ti	Mo	Si
1	TiN	-0,40	0,5 – 0,3	53,4	24,2	8,4	14,0	0	-	-
2	TiN	-0,45	0,5 – 0,3	58,8	20,1	9,7	11,4	0	-	-
3	TiN	-0,65	1,4 – 1,0	76,4	11,9	5,8	5,8	0,1	-	-
4	Mo	-0,45	0,4 – 0,3	65,5	17,9	7,4	7,2	-	0	0
5	Mo	-0,55	0,9 – 0,7	79,1	13,7	5,2	1,6	-	0	0
6	Mo	-0,65	1,5 – 1,2	72,7	17,7	7,4	2,0	-	0,2	0

іони Cd²⁺, тобто її можна описати рівнянням:



В результаті реакцій (5) і (6) плівка, отримана електрохімічним методом на підкладці з TiN в інтервалі катодних потенціалів E_c = -0,40 – -0,65 В, може містити разом з телуридом кадмію також значну кількість діоксиду телуру. Наявність елементарного телуру в цих плівках може бути пов'язане із сповільненим протіканням хімічної реакції (7). Зазначимо, що примусове перемішування електроліту за допомогою магнітної мішалки приводить до закономірного збільшення струму завдяки доставці до поверхні катоду більшої кількості реагентів, але не змінює кількість хвиль відновлення і потенціалів, при яких відбуваються процеси відновлення (рис. 5, крива 8).

Як показали дослідження методом XPS, незалежно від матеріалу підкладки, на поверхні електроосаджених плівок телуриду кадмію карбон знаходиться у складі вуглеводневих сполук, адсорбованих поверхнею. Оксиген представлений у вигляді TeO₂, CdO (і/або Cd(OH)₂), а також у вигляді адсорбованого з атмосфери кисню і/або води. Елементи підкладки (Ti, Mo, Si) дають дуже слабкий сигнал або вінзовсім не спостерігаються, що є свідченням того, що плівка покриває підкладку цілком і не містить пір. Спостерігаються сигнали від CdTe, TeO₂ (рис. 6 а,б), які добре розрізняються на лінії Te3d (E_{св} = 572,6 еВ для CdTe і E_{св} = 576,2 еВ для TeO₂, що відповідає табличним даним для цих сполук) [12, 13] і Cd(OH)₂ (або CdO), сигнал від якого не розрізняється на лінії Cd3d, але може бути розрахований із співвідношення концентрацій Cd/Te.

Від зразка до зразка вміст CdTe змінюється слабо, суттєво змінюється лише відносний вміст оксидів і гідроксидів.

Як видно з табл. 1, за даними XPS, на поверхні електроосаджених на підкладках з нітриду титану при потенціалах E_c = -0,40 В (зразок № 1) плівок є надмірна кількість телуру, у плівок, отриманих при E_c = -0,45 В (зразок № 3) вміст телуру ненабагато перевищує вміст кадмію, а при E_c = -0,65 В (зразок № 2) утворюються шари з рівним вмістом цих атомів (табл. 1). Аналіз рентгенівських фотоелектронних спектрів поверхонь зразків № 1 № 2 і № 3 виявив домірні концентрації сполук CdTe, TeO₂ і CdO або Cd(OH)₂ (табл. 1). Зазначимо, що наявність значних кількостей кисню на поверхні електроосаджених плівок телуриду кадмію спостерігалася раніше авторами [5,7], причому вони вказували на присутність на поверхні плівок телуриду кадмію сполук TeO₂, а автори [7], крім цього, відзначили позитивну роль наявності кисню в електроосаджених плівках CdTe для зміни типу провідності цих плівок з n- на p- у разі їх використання в якості базових шарів фотоелектричних перетворювачів. Виявлена нами за даними рентгенівської фотоелектронної спектроскопії домішка гідроксиду і/або оксиду кадмію утворюється на поверхні в результаті атмосферного окиснення телуриду кадмію. Крім того, наявність великих кількостей гідроксиду кадмію може бути пояснена взаємодією іонів кадмію з гідроксильними групами, що утворюються за реакцією (3).

Іонне травлення поверхні зменшує відносний

Таблиця 2

Режими електрохімічного осадження і хімічні сполук на поверхні зразків телуриду кадмію за даними XPS

№ зразка	Режими електроосадження			Хімічні сполуки		
	Підкладка	Потенціал катоду E _c , В (Х.С.Е.)	Густина струму, j _c , мА/см ²	CdTe	TeO ₂	Cd(OH) ₂ і/або CdO
1	TiN	-0,40	0,5 – 0,3	18	55	27
2	TiN	-0,45	0,5 – 0,3	22	42	36
3	TiN	-0,65	1,4 – 1,0	24	38	38
4	Mo	-0,45	0,4 – 0,3	18	41	41
5	Mo	-0,55	0,9 – 0,7	18	10	72
6	Mo	-0,65	1,5 – 1,2	19	7	74

вміст оксидів, залишаючи співвідношення Cd/Te практично незмінним. У спектрі Te3d після іонного травлення можна виділити лінію, відповідну по енергії зв'язку ($E_{cv} = 573,6$ eV) стану Te^0 (див. рис. 6, с). Табл. 2 демонструє, як у результаті іонного травлення зразка №1 зникає гідроксид і/або оксид кадмію, зменшується вміст TeO_2 і збільшується кількість телуриду кадмію та елементарного телуру в шарах. Таким чином, виявлений шляхом вольтамперометричних досліджень механізм електроосадження телуриду кадмію з електрохімічною стадією утворення елементарного телуру і подальшою хімічною реакцією, в результаті якої утворюються CdTe і TeO_2 , щодобре підтверджується даними XPS-аналізу.

На підкладках з молібдену хроновольтамперограми в розчині, відповідному електроліту для осадження телуриду кадмію (рис. 7), мають два піки відновлення телуру (перший – адсорбційний, а другий – пік необоротного електрохімічного відновлення телуру з подальшою повільною хімічною реакцією диспропорціювання за рівняннями (5) і (6), відповідно. Підйом струму, відповідний електрохімічному відновленню води з утворенням водню і гідроксильних груп за реакцією (3), спостерігається (як і у фоновому та парціальних розчинах) на цих підкладках, при потенціалі $E_c = -0,5$ В. Такий механізм електрохімічного процесу пояснює, чому на молібденовій підкладці приблизно однакові кількості атомів кадмію і телуру в плівках знайдені тільки у разі потенціалу катода $E_c = -0,45$ В (табл. 1). Дуже незначний зсув у бік негативних потенціалів ($E_c = -0,55$ В) призводить до істотного збільшення вмісту в плівках на молібденових підкладках атомів кадмію і до великих кількостей гідроксиду кадмію в плівках внаслідок взаємодії іонів кадмію з гідроксильними групами, що утворюються за реакцією (3).

Висновки

Таким чином, на підставі дослідження кінетики процесу окремого і сумісного електрохімічного осадження кадмію і телуру на підкладки з молібдену

і нітриду титану і завдяки аналізу складу електроосаджених плівок методом XPS можна зробити наступні висновки:

1. На хімічно нейтральних підкладках TiN необоротний електрохімічний процес відновлення TeO_2 до елементарного телуру супроводжується хімічною реакцією взаємодії Te з іонами кадмію, в результаті якої утворюються телурид кадмію і побічний продукт TeO_2 . Домішки TeO_2 і елементарного телуру виявляються в глибинних шарах цих плівок. Через окисацію на повітрі поверхня плівок телуриду кадмію містить великі кількості домішок оксиду телуру і оксиду і/або гідроксиду кадмію. Осадження плівок з рівним вмістом атомів кадмію і телуру відбувається на підкладках з TiN в інтервалі потенціалів від $-0,45$ В до $-0,65$ В.

2. Через каталітичну дію молібдену на електрохімічну реакцію відновлення води, що супроводжується накопиченням гідроксильних груп в приелектродному просторі, а також через адсорбцію на молібденовій поверхні елементарного телуру, при потенціалах електроосадження більш негативних, ніж $-0,45$ В, на підкладках з молібдену спостерігається різке зростання вмісту в плівках гідроксиду кадмію. Тому, з погляду технологічного використання подібних електролітів для електрохімічного осадження телуриду кадмію, молібден в якості підкладки вибирати не варто.

Копач Г.І. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри загальної та експериментальної фізики;

Клочко Н.П. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник;

Копач В.Р. – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізичного матеріалознавства для електроніки та геліоенергетики;

Волкова Н.Д. – кандидат хімічних наук, професор, зав. кафедри екології та хімії;

Доброворська М.В. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник;

Лі Т.А. – стажист-викладач.

- [1] F.Kardigan, D.Mao, A.Balcioglu et al., // *26th PVS*, (Anaheim, CA, 1997), p.443.
- [2] C.D.Lokhande, S.H.Pawar // *Phys. Stat. Sol. (a)*, **111** (1), p. 17 (1989).
- [3] S.Siebritt, Do. Ernst, C.-H.Fischer et al. // *14th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, (Barcelona, 1997) 1823.
- [4] M.Neumann-Spallart, G.Tamizhmani // *Thin Solid Films*, **169** (2), p. 315, 1989.
- [5] F.J.Alvares, N.D.Lalla, A.Lamande // *26th PVSC* (Anaheim, CA, 1997) p.459.
- [6] E.Shkedi, R.L.Rod // *IEEE*, p. 472 (1980).
- [7] G.P. Hernandez, X. Mathew, J.P. Enriquez et al. // *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **70**, p. 269 (2001).
- [8] A.M. Bond. *Modern Polarographic Methods in Analytical Chemistry*, Marcel Dekker, inc., New York and Basel, p. 328, (1980).
- [9] Z. Galus. *Theoretical fundamentals electrochemical analysis*, Mir, Moscow p. 552 (in Russian), (1974). (Z. Galus. *Teoretyczne podstawy elektroanalizy chemicznej.*, Warszawa: Państwowe wydawnictwo naukowe, (in Polish), (1971)).
- [10] V.A. Rabinovitch, Z.J. Havin *Short chemical hand-book*, Himija, Leningrad p. 432 (in Russian), (1991).

- [11] J.J. Lurje. *Hand-book on analytical chemistry*, Himija, Moscow, p. 448 (in Russian), (1989).
[12] *Practical Surface Analysis Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy*/ ed. D. Briggs, M.P. Seach, "J.Wiley & Sons", (1983).
[13] T.E.Gallon. *In Electron and Ion Spectroscopy Solids* / ed. L.Fiermans, J.Vennik, and W.Dekeyser, Plenum Press, New York and London, pp. 236-280, (1978).

G.I. Kopach¹, N.P.Klochko¹, N.D.Volkova², M.V. Dobrotvorskaya³,
V.R. Kopach¹, T.A.Li¹

Mechanism of the Electrochemical Deposition Process and Composition of Cadmium Telluride Films

¹National Technical University (Kh PI), 21, Frunze Str., 61002, Kharkiv, Ukraine

²National Aerospace University (KhAI), 17, Chkalov Str., 61070, Kharkiv, Ukraine

³Monocrystal Institute, National Academy of Sciences, 60, Lenin Av., 61001, Kharkiv, Ukraine

E-mail: li_tatiana@mail.ru

The mechanisms of electrochemical processes in the electrolyte for obtaining of cadmium telluride semi-conducting films and in corresponding partial solutions contained ions of cadmium and tellurium were investigated by voltammetric analysis with lineal potential scanning and by cyclic voltammetric analysis methods. The differences between cathodic processes on chemically inert titanium nitride substrates and on catalytically active molybdenum surface were revealed. On the base of these investigations the nature of impurities was discovered in this work by X-ray photoelectron spectroscopy on molybdenum and titanium nitride surfaces and in the volume of cadmium telluride films was explained. The last allowed choosing the parameters of the electrodeposition process and the substrate material, which provide stoichiometric composition of the films.

Key words: cadmium telluride, X-ray photoelectron spectroscopy, voltammetric analysis, cyclic voltammetric analysis methods.