

ВПЛИВ ВМІСТУ V_2O_3 У СКЛАДІ СКЛОЗВ'ЯЗУЮЧОГО НА ТЕНЗОЧУТЛИВІСТЬ ПЛІВОК НА ОСНОВІ $Sn_{0,9}Sb_{0,1}O_2$

А.Г. Гончар¹, Б.М. Рудь¹, Є.В. Шелудько¹, Є.Я. Тельников¹,
Д.Т. Муратов², Й.Й. Головач²

¹ Інститут проблем матеріалознавства ім. Францевича НАН України
вул. Кржижановського 3, м. Київ, 03680

² Науково-дослідний інститут засобів аналітичної техніки
Ужгородського національного університету
88000, Ужгород, вул. Мукачівська, 25
e-mail: jgolovach@univ.uzhgorod.ua

В статті приведені дослідження впливу вмісту склозв'язуючого V_2O_3 плівок на основі $Sn_{0,9}Sb_{0,1}O_2$. Було виявлено велике значення коефіцієнту тензочутливості товстих плівок на основі $Sn_{0,9}Sb_{0,1}O_2$. Запропоновано модель електропровідності в досліджених плівках. Висока тензочутливість робить їх перспективним матеріалом для чутливих елементів тензодатчиків.

Резистивна товста плівка (РТП) - складна гетерогенна неупорядкована система, структура якої являє собою діелектричну матрицю з розподіленими в ній частинками струмопровідної фази. В наш час РТП широко застосовуються в сенсорній електроніці в якості чутливих елементів різного роду датчиків. Для чутливих елементів тензодатчиків, дія яких заснована на тензорезистивному ефекті (зміні електричного опору матеріалу під впливом пружної деформації), використовуються плівки на основі сполук рутенію [1, 2]. Коефіцієнт тензочутливості γ ($\gamma = \Delta R/R\epsilon$, де R – електричний опір резистора, ϵ - відносна деформація) більшості плівок на основі сполук рутенію перебуває в межах від 3 до 20 [1]. Не зважаючи на те, що за величиною тензочутливості РТП на основі сполук рутенію поступаються напівпровідникам і острівковим тонким плівкам, вони перевершують їх за цілим рядом параметрів, що й сприяє їх успішному застосуванню.

Залежно від складу, об'ємної частки компонентів, режиму термообробки в структурі плівки переважають або безперервні ланцюги провідних частинок із щільними контактами, або ланцюги із частинок, розділених діелектричними прошарками. У другому випадку

електричні властивості плівок визначаються домінуючим механізмом переносу заряду крізь потенціальні бар'єри, утворені прошарками. Висока тензочутливість РТП на основі сполук рутенію пов'язується з експонентною залежністю опору від ширини утвореного прошарком бар'єра при тунельному механізмі переносу заряду.

Об'єктом нашого дослідження є РТП на основі порошків твердого розчину SnO_2 - Sb і свинцевоборосилікатного скла. В досліджуваних РТП при вмісті скла 40-60 мас. % домінуючим механізмом переносу заряду також є активаційне тунелювання. У той же час результати дослідження свідчать, що тензочутливість плівок на основі SnO_2 - Sb у разі перевищує чутливість плівок на основі сполук рутенію.

Метою роботи було дослідження механізму впливу вмісту V_2O_3 у складі склозв'язуючого на тензочутливість плівок на основі $Sn_{0,9}Sb_{0,1}O_2$.

В якості діелектричної фази використовувалися свинцевоборосилікатні стекла, що містили у своєму складі 6,6; 9,46; 12,2; 15,62 мол. % V_2O_3 . За методикою, запропонованою в [3], порошок скла С 279-2 механічно перемішували з порошком борної кислоти, нагрівали до температури 1475 К,

витримували 1 годину, а потім охолоджували. Для дослідження фізичних властивостей стекол вирізалися об'ємні зразки.

Виготовлення РТП здійснювалося за загальноприйнятою технологією - перемішування порошоків діелектричної й провідної фаз із органічним зв'язуючим, нанесення отриманої пасти на підкладку через сітчастий трафарет з наступною термообробкою при температурі 1273 К. Вміст склозв'язуючого в пастах становив 50 мас. %. Для виготовлення контактів застосовувалося промислова провідникова срібно-паладієва паста.

Вимірювання тензочутливості зразків проводилися методом одновісового розтягування. Використовувалися довгі вузькі (90 x 7 мм) сталеві підкладки, покриті діелектричною емаллю. Розміри нанесених на них резистивних плівок становили 40 x 4 мм. Розтяжне зусилля, що прикладається до торців підкладки, реєструвалося методом динамометрії.

На рис. 1 представлено експериментальні дані вимірюваних величин поздовжніх коефіцієнтів тензочутливості РТП залежно від вмісту оксиду бору в складі склозв'язуючого. Із представлених даних видно, що коефіцієнт тензочутливості резистивних товстих плівок на основі $\text{SnO}_2\text{-Sb}$ є великим й порівняним зі значеннями γ для тонких острівкових плівок. При збільшенні вмісту оксиду бору в складі склозв'язуючого поздовжній коефіцієнт тензочутливості різко знижується. Проведені нами раніше дослідження [4] показали, що зі збільшенням вмісту оксиду бору в складі склозв'язуючого зменшується електричний опір плівок і його температурний коефіцієнт. Таке поведіння ми пов'язували зі зміною параметрів тунельних бар'єрів між частинками струмопровідної фази, що обумовлено впливом вмісту B_2O_3 на термопружні властивості скла.

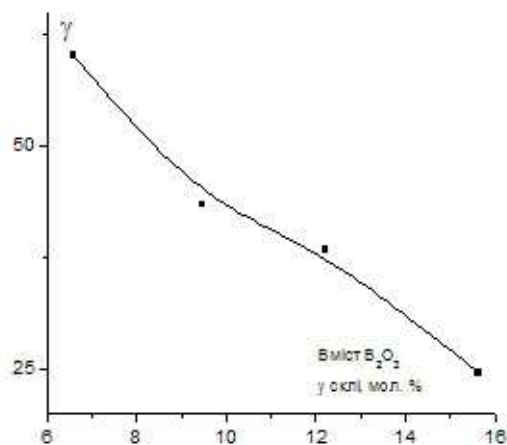


Рис. 1. Залежність поздовжнього коефіцієнта тензочутливості від вмісту B_2O_3 у складі скла.

В наш час при побудові моделей, що описують властивості резистивних плівок, широко використовується теорія перколяції. РТП являє собою структурно-неоднорідний матеріал, електричний опір компонентів якого відрізняється на порядки. Питомий опір легованого сурмою двоокису олова $\rho_{\text{ф}} = 2,11 \cdot 10^{-3}$ Ом-см менше опору використовуваних у цій роботі стекол $\rho_{\text{с}} \geq 10^{16}$ Ом-см на 20 порядків. Характерною рисою подібних матеріалів є існування геометричного фазового переходу ізолятор-провідник: зі

збільшенням концентрації провідної фази у композиті виникає нескінченний кластер, що складається з контактуючих частинок провідника, у результаті чого провідність матеріалу різко збільшується. У зв'язку із цим представляє інтерес дослідження залежностей електричного опору РТП від концентрації провідної фази.

Експериментальні результати дослідження концентраційних залежностей електричного опору РТП наведені на рис. 2.

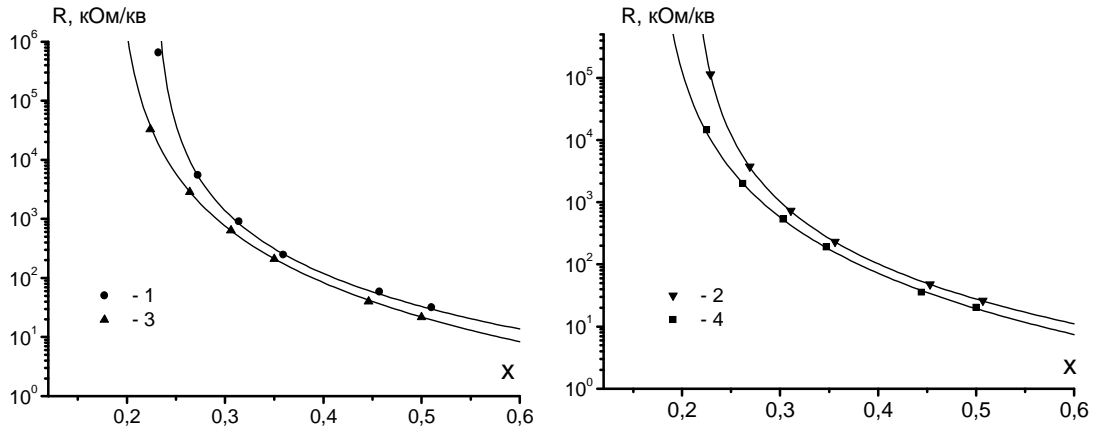


Рис. 2. Залежності опору плівок від об'ємного вмісту провідної фази. Вміст В₂О₃ у складі скла, мол. %: 6,60 (1), 9,46 (2), 12,20 (3), 15,62 (4).

Відповідно до теорії перколяції залежність електричного опору композиції від концентрації провідної фази в граничній області, тобто в області складів, для якої має місце перехід ізолятор-провідник (у теорії перколяції концентрація, при якій виникає нескінченний кластер - поріг протікання) описується виразом [5]:

$$R = R_0 (x - x_c)^{-t}, \quad (1)$$

де R_0 – постійна величина; x – об'ємна концентрація струмопровідної фази; x_c -

гранична концентрація; t – критичний індекс. Значення величин R_0 , x_c , t , отримані в результаті обробки експериментальних даних методом найменших квадратів, наведені в таблиці. Залежності, побудовані відповідно виразу (1) при підстановці табличних даних (на рис. 1 зображені суцільною лінією), добре збігаються з експериментальними результатами.

Таблиця

Параметри й критичні індекси, що фігурують у рівнянні (1)

N	Вміст В ₂ О ₃ у склі, мол. %	R_0	x_c	t
1	6,60	0,850	0,228	2,809
2	9,46	0,602	0,209	3,102
3	12,20	0,385	0,187	3,478
4	15,62	0,351	0,171	3,610

Як впливає з наведених у таблиці даних, для резистивних шарів на основі легованого сурмою двоокису олова величина t (2,809÷3,610) перевищує значення універсального критичного індексу для тривимірного випадку $t = 1,6 \div 2,0$ [5], і входить в інтервал значень

(1,6÷7,0), отриманих різними авторами для резистивних плівок [6]. Необхідно підкреслити, що в класичній теорії перколяції універсальність критичного індексу означає, що його величина не залежить від структури, моделі перколяції й визначається лише розмірністю

простору. У рамках тунельно-перколяційної моделі Балберга [7] «неуніверсальність» критичного індексу пояснюється тим, що, на відміну від класичних задач перколяції, у резистивних плівках перколяція здійснюється тунелюванням між провідними частинками, розподіленими в діелектричній фазі. Перколяційний кластер у цьому випадку утворений сукупністю доступних для тунелювання прошарків між частинками, а залежність електричного опору від об'ємної концентрації провідної фази виду (1) спостерігається у більш широкому інтервалі концентрацій. У всьому досліджену діапазоні концентрацій струмопровідної фази резистивні шари на основі легованого сурмою двоокису олова залишаються системою частинок $\text{SnO}_2\text{-Sb}$ у діелектричній матриці. Класичний поріг перколяції, при якому провідність плівки стає «металевою» внаслідок утворення нескінченного кластера, який складається із провідних частинок, що перебувають у безпосередньому електричному контакті, не досягається.

З наведених у таблиці результатів видно, що зі збільшенням вмісту V_2O_3 у складі склозв'язуючого спостерігається збільшення значень критичного індексу t , зменшення константи R_0 і зміщення величини критичної концентрації x_c в область менших значень. Така поведінка якісно узгоджується з тим, що збільшення вмісту V_2O_3 у діелектричній фазі приводить до зменшення висоти тунельних бар'єрів між струмопровідними частинками.

У той же час, перколяційний характер провідності досліджених плівок означає,

що зміна електричних властивостей під дією зовнішнього впливу (температура, електричне поле, деформація) визначається не тільки фізичними механізмами, пов'язаними зі зміною параметрів потенціального бар'єра між струмопровідними частинками, але й істотним внеском процесів утворення, руйнування й зміни шляхів протікання заряду. Ефект високої тензочутливості в структурно-неоднорідних матеріалах пояснюється оборотними змінами конфігурації перколяційного кластера. Істотна роль таких процесів пояснює як різку залежність тензочутливості досліджуваних плівок від вмісту V_2O_3 у складі склозв'язуючого, так і те, що їх тензочутливість істотно перевищує тензочутливість плівок, для яких надійно встановлене домінування тунельного механізму переносу заряду.

ВИСНОВКИ

1. Виявлено високий коефіцієнт тензочутливості в товстих плівках на основі $\text{Sn}_{0,9}\text{Sb}_{0,1}\text{O}_2$.

2. Запропоновано модель електропровідності в досліджених плівках.

Висока тензочутливість резистивних плівок на основі $\text{Sn}_{0,9}\text{Sb}_{0,1}\text{O}_2$ робить їх перспективним матеріалом для чутливих елементів тензодатчиків. У той же час, широкий діапазон значень коефіцієнтів тензочутливості (залежно від вмісту V_2O_3 у складі скла) резистивних шарів створює передумови для ефективного керування електрофізичними властивостями багатосшарової товстоплівкової композиції.

Література

1. Hrovat M., Smetana W., Belavic D. et al. // Proc. of 25 th Intern. Conf. and Exhib., IMAPS, Poland. – 2001. – P. 199–202.
2. Prudenziati M. Thick film sensors. – New York: Elsevier, 1994.
3. Рудь Б.М., Панарина И.Ю., Иванченко Л.А., Иващенко Р.К., Луговская И.Н. Физические свойства свинцовоборосиликатных стекол с различным содержанием оксида бора: Препр. / АН Украины. ИПМ; 94. - К., 1994. – 8 с.
4. Гончар А.Г., Винницький І.М., Рудь Б.М. Механізм впливу залишкових термічних напружень на електрофізичні властивості композиційних плівок на основі $\text{SnO}_2\text{-Sb}$ / УФЖ. – 2002. – Т. 48, № 1. – С. 61-64.

5. Соколов И.М. Размерности и другие геометрические показатели в теории протекания // УФН. - 1986. - Т.150, №2 - С. 221 – 255.
6. Forlani F., Prudenziati M. Electrical conduction by percolation in thick film resistors // Electrocomp., Sci. and Technol. - 1976. - Vol. 3, N 2. - P. 77-83.
7. Balberg I. Tunneling and nonuniversal conductivity in composite materials // Phys. Rev. Lett. - 1987. - V.59, N 12. - P. 1305-1308.

INFLUENCE OF B_2O_3 CONTENT IN GLASSY-COUPPLING COMPOSITION ON FILM TENSOSENSITIVITY ON $Sn_{0,9}Sb_{0,1}O_2$ BASIS

**A.G. Gonchar¹, B.M. Rud'¹, Y.V Shelud'ko¹, Y.Y. Tel'nikov¹
D.T Muratov², J.J. Golovach²**

¹Francevich Research Institute problems of materials, Ukraine National Academy of Science
Kiev, Kryzhanovsky str., 3, 03680

²Uzhhorod National University, Research Institute of Analytical Technique
Uzhhorod, Ukraine
e-mail: jgolovach@univ.uzhgorod.ua

Research of mechanism of B_2O_3 content influence in composition glassblinding on tenzosensibility $Sn_{0,9}Sb_{0,1}O_2$ tapes is conducted in the paper. The high tenzosensibility coefficient in thick tapes on basis of $Sn_{0,9}Sb_{0,1}O_2$ is found out. The model of conductivity in investigational tapes is proposed. It is set, that tapes' high tenzosensibility makes them perspective material for the sensible elements of tenzosensors.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ B_2O_3 В СОСТАВЕ СТЕКЛО СВЯЗУЮЩЕГО НА ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ $Sn_{0,9}Sb_{0,1}O_2$.

**А.Г. Гончар¹, Б.М. Рудь¹, Е.В. Шелудько¹, Е.Я. Тельников¹,
Д.Т. Муратов², И.И. Головач²**

¹ Институт проблем материаловедения им. Францевича НАН Украины
Киев, Украина

² Ужгородский национальный университет
Ужгород, Украина
e-mail: jgolovach@univ.uzhgorod.ua

В статье представлены исследования влияния содержания стеклосвязующего B_2O_3 на пленки на основе $Sn_{0,9}Sb_{0,1}O_2$. Было обнаружено большое значение коэффициента тензочувствительности толстых пленок на основе $Sn_{0,9}Sb_{0,1}O_2$. Предложена модель электропроводности в исследованных пленках. Большая тензочувствительность делает их перспективным материалом для чувствительных элементов тензодатчиков.