

*А.С. БАЙЦАР*, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., Львовский национальный университет имени Ивана Франко

*А.Г. МИКОЛАЙЧУК*, канд. физ.-мат. наук, проф., Львовский национальный университет имени Ивана Франко

*Б.П. ЯЦИШИН*, докт. техн. наук, доц., Львовская коммерческая академия

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ МАШИН ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Для забезпечення якості експлуатаційних характеристик теплових машин запропоновано використання мініатюрних плівкових термоперетворювачів на основі германідів 3d (Co, Fe, Ni) і 5d (Hf) перехідних металів, що дає можливість відстежувати зміни температури в важкодоступних вузлах таких об'єктів. Висока відтворюваність електрофізичних характеристик і чутливість до зміни температури, їх тимчасова стабільність досягаються шляхом зміни структури конденсатів. Термобатарей, зібрані на основі цих елементів, відрізнялися хорошою стабільністю експлуатаційних характеристик.

Для обеспечения качества эксплуатационных характеристик тепловых машин предложено использование миниатюрных пленочных термопреобразователей на основе германидов 3d (Co, Fe, Ni) и 5d (Hf) переходных металлов, что дает возможность отслеживать изменения температуры в труднодоступных узлах таких объектов. Высокая воспроизводимость электрофизических характеристик и чувствительность к изменению температуры, их временная стабильность достигаются путем изменения структуры конденсатов. Ветви используемой термопары формируются на основе одного материала с противоположными коэффициентами термоэлектродвижущей силы. Термобатареи, собранные на основе этих элементов, отличались хорошей стабильностью эксплуатационных характеристик.

### **1. Введение**

Обеспечение контроля параметров тепловых процессов - одно из главных направлений повышения качества эксплуатации тепловых машин. Для этих целей используются разнообразные плёночные термопреобразователи - термоэлектрические (в том числе как элементы радиационных пирометров), сопротивления, пьезоэлектрические и др.

Создание таких преобразователей требует как подбора материалов, что обеспечивают простоту изготовления, замену, продолжительность и воспроизводимость эксплуатационных характеристик, так и высокую чувствительность к изменению температуры.

Тонкоплёночные материалы на основе 3d- и 5d-переходных металлов с германием могут находиться в аморфном и кристаллическом состоянии, в зависимости от условий получения. Кристаллические конденсаты формируются двумя путями – кристаллизацией аморфного вещества и непосредственно при осаждении на подложку с температурой, выше кристаллизационной.

Целью работы было изучение термоэлектрических характеристик аморфных и кристаллических конденсатов, полученных кристаллизацией с аморфной фазы, трёхкомпонентных сплавов германий-переходной металл, с добавлением незначительного количества гафния (до 5 вес. %), осаждённых на ситалловые подложки в разных термодинамических условиях.

## 2. Материалы и методика эксперимента

Как исходные материалы для получения сплавов использовали материалы, чистота которых превосходила 0,999 мас. частей основного компонента. Отдельные компоненты, которые пребывали в соответствующих соотношениях, сплавляли методом дуговой плавки при давлении  $10^{-1}$  Па с двойной продувкой аргоном. Фазовый состав полученных сплавов контролировали рентгенометрическим методом на ДРОН-2,0 (метод порошка) на медном испарении.

Плѐнки осаждали методом «взрыва» в вакууме  $2 \cdot 10^{-3}$  Па, скорости конденсации 4 ... 30 нм/с (плотность потока пара  $10^{14}$ -  $10^{20}$  см $^{-2}$ с $^{-1}$ ). Толщина полученных плѐнок контролировалась во время конденсации за номиналом сопротивления с помощью прибора В7-20. Контрольные измерения толщины проводили на микроскопе МИИ-4 после того, как подложки были изъяты с вакуумной камеры. Измерения температуры подложки осуществляли с помощью термопары хромель-алюмель, подключенной к прибору ВК 2-20. Электросопротивление (R) и термоэлектродвижущая сила ( $\alpha$ ) измерялись в вакууме  $10^{-1}$  Па на нескольких плѐнках одного состава, осажденных в одном цикле. Термоэлектродвижущую силу измеряли относительно медных контактов медь-константановых термопар, разница температур которых составляла 10К, с последующим переводом в абсолютные величины.

## 3. Результаты исследований

Исследованиями температурной зависимости электросопротивления установлено, что в интервале температур 290 –650 К, плѐнки Co (Ni, Fe)-Ge-Hf, полученные при температурах ниже кристаллизационных или неотожженные, проявляют полупроводниковый характер, свойственный образцам аморфной фазы. Величина начального удельного сопротивления, составляющего  $\sim 10^{-4}$  Ом-м, уменьшалась с ростом температуры. При температурах 350 – 550 К происходит зарождение кристаллической фазы и улучшается субструктура кристаллитов (рис.1). Плѐнки, полученные при температурах, выше кристаллизационных характеризовались стабильными электрофизическими свойствами.

Удельное электросопротивление закристаллизованных плѐнок невелико, по сравнению с сопротивлением аморфной плѐнки и уменьшается при повышении температуры (рис.2).

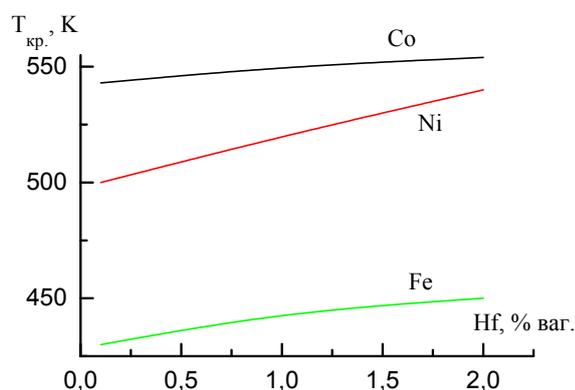


Рис.1. Изменение температур кристаллизации плѐнок Me-Ge-Hf в зависимости от содержания Hf для плѐнок: 1 –  $Fe_5Ge_3(Hf)$ , 2 -  $NiGe(Hf)$ , 3 –  $CoGe_2(Hf)$ .

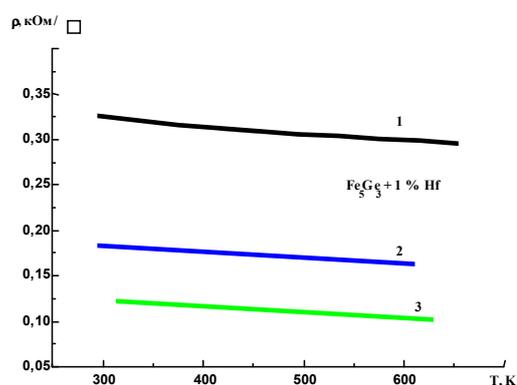


Рис.2. Температурная зависимость электросопротивления закристаллизованных плѐнок  $Fe_5Ge_3 + 1$  вес% Hf ( $T_{п} = 290K$ ;  $T_{отжига} = 600K$ ): 1 –  $h = 80$  нм; 2 –  $h = 130$  нм; 3 –  $h = 150$  нм.

Кристаллические конденсаты имеют более ярко выраженную и стабильную температурную зависимость электросопротивления, поэтому более пригодны для элементов термодатчиков. Плёнкам на основании германидов никеля и кобальта, полученным при температурах 570 - 590 К, свойственны стабильные временные и температурные зависимости электросопротивления с температурным коэффициентом близким  $2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . При этом, не зависимо от природы 3d-переходного металла, сохраняется тенденция к уменьшению этого параметра при увеличении толщины конденсата (рис. 3).

Влияние концентрации 5d-металла на наклон температурной зависимости сильнее проявляется в плёнках германидов никеля и железа, при этом наименьшим значениям температурного коэффициента сопротивления соответствуют концентрации Hf в 1 вес. %.

В основном, кристаллические образцы характеризовались отрицательными значениями термоэлектродвижущей силы (рис.4). Некоторые конденсаты, полученные при малых скоростях роста ( $v_p < 5 \text{ нм/с}$ ) характеризовались аномально большими положительными значениями  $\alpha$ .

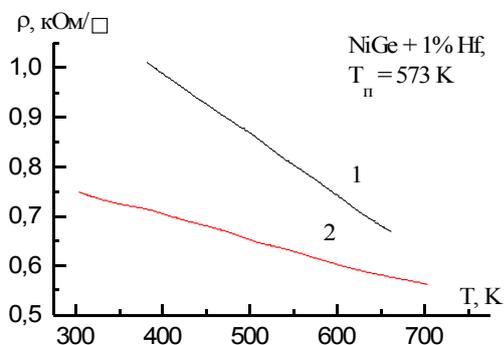


Рис.3. Изменение электросопротивления кристаллических плёнок NiGe + 1 вес.% Hf ( $T_n = 573 \text{ K}$ ): 1 –  $h = 50 \text{ нм}$ ; 2 –  $h = 150 \text{ нм}$ .

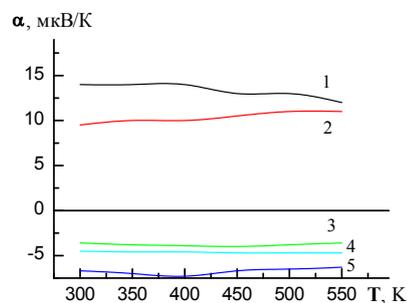


Рис. 4. Температурная зависимость термоэлектродвижущей силы ( $\alpha$ ) кристаллических плёнок Me-Ge (Hf) ( $h = 50 = 80 \text{ нм}$ ): 1 –  $\text{Fe}_5\text{Ge}_3 + \text{FeGe}_2 + 1 \text{ вес \% Hf}$ ; 2 -  $\text{CoGe}_2 + 0,1 \text{ вес \% Hf}$ ; 3 -  $\text{FeGe}_2 + 1 \text{ вес \% Hf}$ ; 4 -  $\text{NiGe} + 1 \text{ вес \% Hf}$ ; 5 -  $\text{NiGe} + 0,1 \text{ вес \% Hf}$ .

#### 4. Обсуждение

Ранее [1], электронно-микроскопическими исследованиями было установлено, что даже незначительные добавки гафния способствуют образованию мелкокристаллической структуры. Размеры кристаллитов не превышали  $4 \div 5 \text{ мкм}$ . Термоциклирование таких плёнок и повышение температуры подложки выше  $T_n \sim T_{кр} + 100 \text{ K}$  не давало возможности получать больших за размерами кристаллитов, как это наблюдалось в двойных соединениях [2], т.е. добавки гафния имеют дополнительное действие – стабилизируют структуру. По-видимому, концентрация примесей на междузеренных границах в сформированной структуре Me-Ge приводит к дополнительному барьерному p-n переходу, что отражается на характеристиках переноса носителей - повышению электросопротивления (по сравнению с двойными сплавами), отрицательном температурном коэффициенте сопротивления.

Особенности строения структуры не могли сказываться на термоэлектрических свойствах кристаллических конденсатов германидов 3d и 5d переходных металлов. Термоэлектродвижущая сила таких сплавов не велика и стабильна во времени. Известно [3,4], что этот параметр весьма чувствителен к фазовому составу и структурному состоянию, в котором находятся конденсаты. Материалы с большой степенью дефектности, трещинами, порами, с большой внутренней напряжённостью,

характеризуются аномальной термоэлектродвижущей силой. Кристаллический конденсат эвтектики  $Fe_5Ge_3 + FeGe_2$  без примесей, полученный при малых скоростях роста, характеризуется большой дефектностью структуры и положительными значениями термоэлектродвижущей силы [5]. Аналогичный эффект можно достичь добавлением гафния в состав сплава.

### **Выводы**

Варьируя условиями напыления и составом сплава переходной металл – германий – гафний имеем возможность изменять структуру конденсатов и создавать тонкопленочные термопары состоящие из ветвей, изготовленных с одного материала с противоположными значениями термоэлектродвижущей силы. Применение пленочных чувствительных элементов преобразователей позволяет уменьшить диффузию материала ветвей термопары в районе спаев, и тем самым повысить надежность их работы [6], что в свою очередь сказывается на точности метрологических характеристик прибора в целом.

**Список литературы:** 1. Mykolajchuk O.G., Bajtsar A.S, Yatsyshyn B.P. Heating effect on the structure and conductivity thin films Me-Ge-REM.//Physics and chemistry of solid state. 2000. V. 1. No 2. 2. Миколайчук А.Г., Байцар А.С., Яцишин Б.П., Герман Н.В. Кинетика кристаллизации тонких пленок германидов никеля и железа.// Металлофизика. 1983. Т. 5. № 6. 3. Блатт Ф.Д., Шредер П.Л., Фай. Термоэлектродвижущая сила металлов. М.: Металлургия. 1980. 4. Фукс М.Я. О механизме образования внутренних макронапряжений в вакуумных конденсатах.// Изв. АН СССР, сер физическая. 1967.Т.31. № 3. 5. Миколайчук А.Г., Байцар А.С., Яцишин Б.П. Получение и исследование термоэлектрических свойств пленок германидо никеля, железа и кобальта.// Украинский физический журнал. 1984. Т. 29. № 1. 6. Миколайчук А.Г., Байцар А.С., Яцишин Б.П. Способ изготовления пленочной термопары. Патент на изобретение Украины № 27202 G 7/20 заявл. 27.04.1984. Зарегистр. 15.08.2000 г. Бюл. № 3

*Поступила в редколлегию 01.10.2010*

**УДК 378.1.001.86.74**

*А. Н. БАКУЛИНА*, канд.техн.наук, зав. каф., СНУ ядерной энергии и промышленности

*М. Н. СТРИГУНОВА*, канд.техн.наук, доц., СНУ ядерной энергии и промышленности

## **КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАК ОСНОВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ**

У статті розглянуті основні проблеми, пов'язані з підготовкою та оцінкою відповідності науково-педагогічних працівників ВНЗ. Проведений аналіз основних видів діяльності НПП, розглянуті основні учасники освітнього процесу та пропонуються показники конкурентоспроможності НПП, методи нормування таких показників та методика оцінки конкурентноздатності НПП ВНЗ.

В статье рассмотрены основные проблемы, связанные с подготовкой и оценкой соответствия научно-педагогических работников ВУЗов. Проведен анализ основных видов деятельности НПП, рассмотрены основные участники образовательного процесса и предлагаются показатели конкурентоспособности НПП, методы нормирования таких показателей и методика оценки конкурентоспособности НПП ВУЗ.

### **Введение**

В настоящее время на рынке образовательных услуг наблюдается жесткая конкурентная борьба. Так, с одной стороны, на рынок выходит все больше и больше