



USE OF AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS FOR MANUFACTURING STRENGTH SENSITIVE FILMS BASED ON A SEMICONDUCTOR JOINT $(\text{BiSb})_{2-x}\text{Te}_{3-x}$

Yusupova Dilfuza Aminovna

*Associate Professor of the Department of Physics, Ph.D.
Fergana State University*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Юсупова Дилфуза Аминовна,

доцент кафедры «Физика», к.ф.-м.н.

Ферганский Государственный Университет

Аннотация: В работе исследуется влияние циклической деформации на сопротивление пленочных образцов, а также описан способ автоматизации технологического процесса получения тензочувствительных пленок на основе теллуридов висмута-сурьмы, содержащих наногранулы.

Ключевые слова: полупроводниковые пленочные элементы, коэффициент тензочувствительности, датчики накопленной усталостной повреждаемости, метод термовакuumного напыления, вакуумная установка,

Известно, что в современной технике исследования многокомпонентных соединений в конденсированном состоянии позволяют расширить возможности их практического применения по сравнению с элементарными и бинарными конденсатами. Аморфные плёнки сложных халькогенидных соединений при вариации физико-химических свойств обладают большими возможностями. Однако, исследования тонкоплёночных конденсатов таких соединений не получили широкого распространения из-за того, что относительно небольшое число сложных халькогенидных соединений испаряются без изменения состава. Отклонение от исходного соотношения составляющих

компонентов, обычно, приводит к изменению необходимых характеристик образцов. Кроме того для сложных многокомпонентных систем характерны физико-химические процессы старения, к которым относятся всевозможные фазовые превращения приводящие к окислению, кристаллизации аморфных фаз, изменение стехиометрического соотношения компонентов со временем и др.

Исследование свойств плёночных тензочувствительных образцов, полученных из твёрдого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Sb}_2\text{Te}_3$, используемого в термоэлектрических преобразователях, показало, что при некоторой оптимальной технологии, коэффициент тензочувствительности



может достигать $6,2 \cdot 10^4$ единиц. Поэтому объектом нашего исследования было выбрано многокомпонентное соединение на основе теллуридов висмута и сурьмы.

Исследования влияния деформации на полупроводниковые пленочные элементы, полученные термическим испарением в вакууме, было отмечено значительное изменение сопротивления. Для оценки степени влияния деформации (ϵ) на сопротивление (R) пленочных элементов используется коэффициент тензочувствительности – K : $K = \Delta R / [\epsilon \cdot R]$, где $\Delta R = R(\epsilon) - R(0)$; а $R(\epsilon)$ – сопротивление пленочного элемента, при наложенной относительной деформации ϵ . Было замечено, что этот коэффициент зависит от техно-логии получения и последующей термической обработки пленочных образцов, может существенно отличаться от эласторезистивных констант монолитного материала или монокристалла.

Например, по данным работ [1,2], эласторезистивные константы монокристаллов PbS в зависимости от концентрации носителей и типа проводимости могут иметь значение $30 \div 180$ для PbS n-типа проводимости и $65 \div 250$ для PbS p-типа проводимости. В поликристаллических пленочных образцах K может достигать $3000 \div 9000$. Исследование свойств пленочных тензочувствительных образцов, полученных из твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_3 - \text{Sb}_2\text{Te}_3$, используемого в термоэлектрических преобразователях, показало, что при некоторой оптимальной технологии, коэффициент тензочувствительности может достигать $6,2 \cdot 10^4$ единиц.

Сравнение коэффициента тензочувствительности монолитных и пленочных элементов из этого материала показывает, что пленочные элементы могут иметь коэффициент тензочувствительности на четыре, пять порядков больше, чем монолитные, допускают на один, два порядка большую относительную деформацию, выдерживают более 10^6 циклов деформации $\epsilon = 10^{-3}$ относительных единиц и не изменяют своих свойств при длительном хранении [3].

Известно, что наиболее высоким КТЧ обладают пленочные тензорезисторы на основе тройных полупроводниковых соединений (Bi, Sb)Te. Тензочувствительные пленки теллуридов висмута-сурьмы способны накапливать информацию в виде изменения сопротивления, по способам приложения и величине нагрузок, которые они воспринимают. Это позволяет использовать такие пленки для создания датчиков-преобразователей механических величин в электрические сигналы,

в частности использовать их для получения чувствительного элемента датчика накопленной усталостной повреждаемости (ДНУП).

В данной работе описан способ автоматизации технологического процесса изготовления ДНУП на основе полупроводникового соединения $(\text{BiSb})_{2-x}\text{Te}_{3-x}$. Контроль параметров процесса напыления и управления отдельными узлами установки осуществляется с помощью программы, заложенной в компьютер типа IBM/PC по технологической карте, составленной заранее.

Для получения нанокристаллических образцов из полупроводникового соединения теллуридов висмута и сурьмы методом термовакuumного напыления, необходимо специальное технологическое оборудование - модернизированная однопостовая типовая вакуумная установка УВН-73П. Она является базовым вакуумным оборудованием, позволяющим при напылении нанокристаллических пленок контролировать сопротивление образцов по свидетелю.

С помощью вакуумной установки со штатным оборудованием, снабженной дополнительной системой для автоматического регулирования температуры по заданной программе мы получали тензочувствительные пленки теллуридов висмута-сурьмы, содержащих наногранулы с воспроизводимыми характеристиками [4-6].

В качестве исходных материалов при получении соединения Bi_2Te_3 , Sb_2Te_3 использовался гетерогенный материал со следующим процентным содержанием: 40 % Bi_2Te_3 + 50 % Sb_2Te_3 + 10 % Bi. В испаритель закладывают навеску весом ~ 6 грамм. Ранее полученные подложки, с напыленными контактными площадками закладывают вместе с масками в подложкодержатели, которые помещают в вакуумную установку, после чего устанавливают основной и вспомогательный свидетели. При получении нанокристаллических тензопленок $\text{Bi}_x\text{Sb}_{2-x}\text{Te}_3$ расстояние между испарителем и подложкой варьировалась в пределах $80 \div 150$ мм.

После завершения подготовительного периода камера герметически закрывается и в подколпачном объеме устанавливается высокий вакуум с давлением $1,33 \cdot 10^{-2} \div 1,33 \cdot 10^{-3}$ Па, так как наилучшие деформационные свойства независимо от других параметров технологии обеспечивают при остаточном давлении в вакуумной камере в пределах $6,7 \cdot 10^{-2} \div 6,7 \cdot 10^{-4}$ Па.



Следующий этапом является ионная очистка, разогрев и поддержание температуры подложек $343,15 \div 348,15$ К. Испарение части навески исходного материала проводится при закрытой заслонке при температуре испарителя $623 \div 643$ К, при этом сопротивление вспомогательного свидетеля должно достигнуть величины ~ 7000 Ом за время 27 мин.

Испарение исходного материала при открытой заслонке проводится при температуре испарителя $643 \div 1073$ К. При завершении испарения сопротивление свидетеля должно быть ~ 150 Ом. Время испарения 7-8 мин. После остывания подложек производится напуск воздуха.

Контроль параметров процесса напыления и управление отдельными узлами установки осуществляется программно компьютером типа IBM/PC по технологической карте составленной заранее. На рис.1 приведен снимок работы программы. Прежде чем начать технологический процесс, необходимо ввести данные для Протокола работы. К ним относятся значения, величина температуры подложек в данный момент времени сопротивление свидетелей. Во время работы Система начнет обрабатывать, заданные величины и отображать соответствующие им измеренные значения. Можно редактировать данные, заданные в Протоколе и во время технологического процесса. Во время процесса программа запоминает все измеренные величины

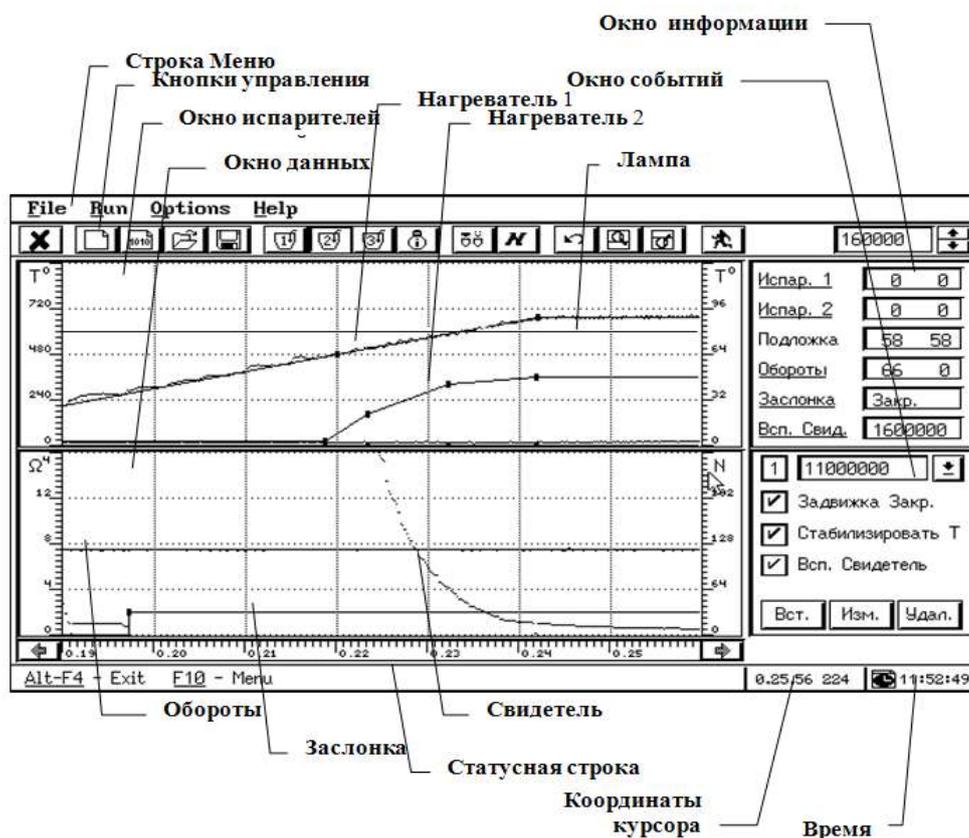


Рис.1. Расположение элементов управления в окне управляющей программы

Набранный Протокол процесса можно сохранить в файле на диске. При этом автоматически сохраняются все данные в процессе работы. Автоматизация процесса получения тензочувствительных плёнок теллуридов висмута-сурьмы позволило резко сократить разброс сопротивлений получаемых полупроводниковых тензопреобразователей,

который определялся по их средним значениям и среднеквадратичным отклонениям.

На рис.2.1.a и рис.2.1.б приведены зависимости среднего значения сопротивления плёнок и их среднеквадратичного отклонения от числа циклов наложенной деформации по партиям (DNUP7) и (DNUP 6LD).

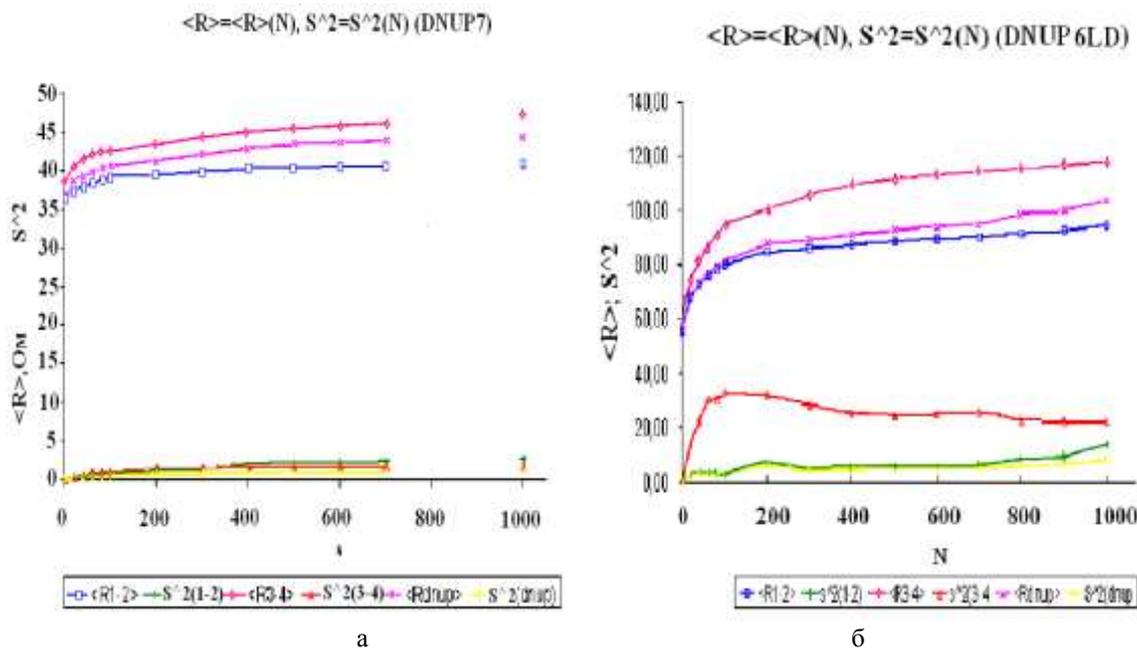


Рис.2. Зависимость среднего значения сопротивления плёнок, и их среднеквадратичного отклонения от числа циклов наложенной деформации по партиям: а – партия (DNUP7) и б – партия (DNUP 6LD)

Из сравнения приведенных на этих рисунках данных можно отметить, что партия (DNUP7) имеет наименьший разброс сопротивлений, о чём свидетельствуют и значения среднеквадратичного отклонения сопротивлений. Полученные данные могут быть использованы как один из критериев выбраковки плёнок из полученной технологической партии.

Выходные данные, установленных чувствительных элементов, носят статистический характер и должны быть определены для всей серии, при этом, диапазон разброса должен быть как можно уже. Поэтому необходимо использовать высокий уровень автоматизации как для технологического процесса изготовления ЧЭ, так и для процесса калибровки полученных тензоплёнок.

Таким образом, с помощью использования эффектов самоорганизации наноструктур и автоматизации технологического процесса получения нанокристаллических полупроводниковых плёнок, а также автоматизации процесса их отбраковки можно обеспечить ~10 процентную воспроизводимость свойств чувствительных элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Catalytic activity of Au nanoparticles. // *Nanotoday*. - August 2007-. V. 2, № 4. PP. 14-18.

2. Охотин А.С., Пушкарский А.С., Горбачов С. *Теплофизические свойства полупроводников.* - Атомиздат, 1972
3. Атакулов Б., Афузов А.Я., Билялов Э.И., Олимов Х. *Полупроводниковый плёночный тензодатчик.* – Авторское свидетельство № 307288 с приор. от 3.11.1969.
4. Мухамедиев Э., Шамирзаев С., Онаркулов К., Юсупова Д., Смирнов В. *Технологические установки для получения чувствительных элементов ДНУП на основе $(\text{BiSb})_{2-x}\text{Te}_{3+x}$.* // *Международная конференция, посвященная 90-летию академика С.А.Азимова «Фундаментальные и прикладные вопросы физики»* :-Тошкент, 18-19 ноября 2004. № 3. 429 с.
5. Юсупова Д.А. *Автоматизация технологического процесса калибровки плёночных чувствительных элементов// науки: новые достижения (Issues of modern science: new achievements) Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции научное электронное издание Научно-издательский центр «Мир науки» Издательска Къща «СОРОС» . с.26-30 София . Болгария.18 февраля 2018 г.*
6. Онаркулов К.Э., Юсупова Д.А. *Система для автоматического управления технологического процесса получения плёночных датчиков.// Материалы международной конференции «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и наноструктурах».* 25-26 мая 2018 года Фергана, с. 339-342



SJIF Impact Factor 2021: 8.013| ISI I.F.Value:1.241| Journal DOI: 10.36713/epra2016

ISSN: 2455-7838(Online)

EPRA International Journal of Research and Development (IJRD)

Volume: 6 | Issue: 4 | April 2021

- Peer Reviewed Journal
