



STUDY OF THE PHYSICAL BASIS OF STRAIN CONVERTERS BASED ON BISMUTH-ANTIMONY TELLURIDES

Yusupova Dilfuza Aminovna
PhD in Physics and Mathematics,
Associate Professor,
Fergana State University,

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕНЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДОВ ВИСМУТА–СУРЬМЫ

Юсупова Дилфуза Аминовна
кандидат физико-математических наук, доцент, Ферганский государственный университет,

Аннотация

Статья посвящена исследованию физических основ преобразователей деформаций – тензопреобразователей. В статье рассматриваются основные физические явления, протекающие в чувствительных элементах на основе теллуридов висмута–сурьмы под действием деформации, анализируются причины изменения удельного сопротивления однородных твёрдых тел, приводятся экспериментальные данные

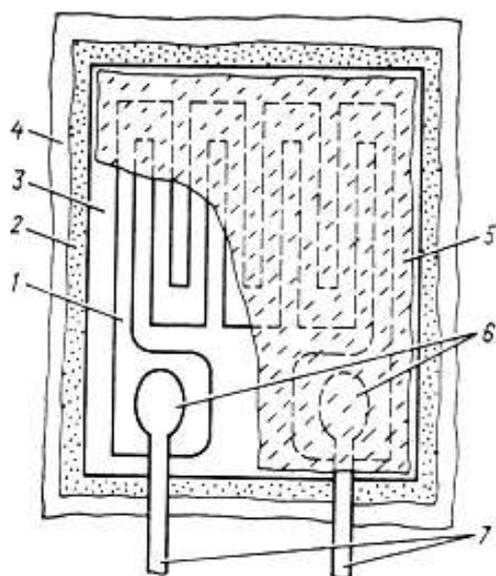
Ключевые слова: *напряжённое состояние, тензопреобразователи, деформация, чувствительный элемент тензочувствительные плёнки, коэффициент тензочувствительности, удельное сопротивление, коэффициент Пуассона, параметр решетки, гетерогенная среда.*

При экспериментальных исследованиях напряженного состояния конструкций, а также для преобразователей деформаций в различных измерительных устройствах широко применяются тензопреобразователи. Они малоинерционны, позволяют дистанционно и во многих точках проводить измерения; способ установки их на исследуемую деталь не требует сложных приспособлений и не искажает поле деформаций исследуемой детали. Малые размеры и масса тензопреобразователей позволяют размещать их в малодоступных местах и устанавливать на детали в период сборки конструкции.

Принцип измерения деформаций с помощью тензопреобразователя состоит в том, что при деформации изменяется его активное сопротивление. Тензопреобразователь конструктивно представляет собой чувствительный элемент (ЧЭ) из тензочувствительного материала, закреплённый с помощью связующего (клея) на исследуемой детали (рис.1) [1].

Рис.1. Схема тензопреобразователя:

- 1- чувствительный элемент;
- 2- связующее;
- 3- подложка;
- 4- исследуемая деталь;
- 5- защитный элемент;
- 6- узел пайки (сварки);
- 7- выводные проводники деформации от детали к чувствительному элементу [1].



Для присоединения ЧЭ в электрическую цепь в тензопреобразователе имеются выводные проводники. Некоторые конструкции тензопреобразователей для удобства установки, имеют подложку, расположенную между ЧЭ и исследуемой деталью, а также защитный элемент, расположенный поверх чувствительного элемента.

Деформация ε исследуемой конструкции, переданная с помощью связующего чувствительному элементу, изменяет его сопротивление, функционально зависящего от деформации вдоль главной оси тензопреобразователя, направление которой совпадает с направлением его максимальной чувствительности к деформации, сопротивления R до деформации, коэффициента передачи деформации $K_{пер}$ и её преобразования $K_{пр}$, т.е. $\Delta R_{\varepsilon} = f(R, \varepsilon, K_{пер}, K_{пр})$.

Преобразование измеряемой деформации в изменение электрического сопротивления происходит в ЧЭ тензопреобразователя вследствие наличия тензорезистивного эффекта в проводниковых и полупроводниковых материалах, т.е. вследствие их свойства изменять свое электрическое сопротивление при

деформировании.

Электрическое сопротивление тела изменяется при деформации, как за счёт изменения его геометрических размеров, так и за счёт изменения удельного сопротивления материала. В случае одноосного напряжения (например, растяжения) относительное изменение сопротивления dR/R или коэффициент тензочувствительности (КТЧ) т.е. K элемента длиной l с удельным сопротивлением ρ и коэффициентом Пуассона μ будет

$$K = \frac{dR}{R} = (1 + 2 \cdot \mu) \frac{dl}{l} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (1)$$

В уравнении (1) первый член определяет изменение геометрии тела, а второй изменение удельного сопротивления; $\mu < 0,5$ и приращение сопротивления за счёт геометрии не превышает $2dl/l$. Приращение сопротивления за счёт изменения удельного сопротивления зависит от структуры и свойств материала и в некоторых случаях может быть в несколько десятков и сотен раз больше, чем изменение за счёт геометрии.

При деформации удельное сопротивление однородного твёрдого тела изменяется вследствие определенных причин:

- изменения взаимодействия между электронами и упругими волнами в кристаллической решётке в связи с тем, что деформация искажает порядок кристаллической решетки, изменяет амплитуду колебания атомов около их нормальных положений и вследствие этого изменяется длина свободного пробега электронов и их подвижность;
- изменения энергии Ферми, приводящее к изменению числа электронов носителей тока, так как из теории переноса известно, что только электроны с энергией, близкой к энергии Ферми, определяют процессы проводимости; изменения энергии Ферми в полупроводниках вносит заметный вклад в тензоэффект. При деформации происходит изменение этих энергетических уровней, и удельное сопротивление изменяется по экспоненциальному закону. Изменения энергетических уровней приводят к высокому тензоэффекту и при этом наблюдаются резкие приращения сопротивления от температуры.
- изменение зонной структуры, обусловленного изменением в перекрытии или сближением различных зон;
- возникновения новых кристаллических модификаций [2].

Нами рассматривалась полупроводниковая смесь теллуридов висмута–сурьмы, которая относится к гетерогенным полупроводниковым средам.

Для получения тензочувствительных плёнок на основе теллуридов висмута–сурьмы нами была использована как автоматизация технологического процесса получения плёнок, так и калибровочного стенда с малым значением деформации (до 10^{-4}) [3]. Образцы ЧЭ из $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$ получали методом термовакuumного напыления, при этом использовали однопостовую типовую вакуумную установку УВН-73П, которая является базовым вакуумным оборудованием, позволяющим при напылении поликристаллических плёнок контролировать сопротивление образцов по свидетелю. [4]

В процессе напыления был обеспечен и поддерживался вакуум с давлением $2,7 \cdot 10^{-3} \div 6,7 \cdot 10^{-3}$ Па для получения тензочувствительных пленок, воспроизводимых по свойствам, кроме того было обеспечено термическое испарение с различными скоростями напыления и возможность осаждения парового потока сложного состава на подложке при различных температурах и положениях подложки. При этом расстояние между испарителем и подложкой для данных пленок должно быть не ближе 40÷45 мм.

Эксперименты показали, что увеличение скорости конденсации при постоянной $T_{\text{п}}=90^{\circ}\text{C}$ сопровождается ростом концентрации свободной сурьмы в пленке по отношению к теллуру, а уменьшение температуры до 50°C , при постоянной $v \approx 20$ нм/с, приводит к росту концентрации свободного поликристаллического теллура [4,5]. Наилучшими тензoeлектрическими свойствами обладают пленки, полученные предварительным выпариванием легколетучего компонента теллурида висмута-сурьмы – теллура, а также пленки, полученные при оптимальных условиях их конденсации: $T_{\text{п}}=90^{\circ}\text{C}$, $v \approx 20$ нм/с.

Для получения упорядоченной гетерогенной среды из теллурида висмута и сурьмы с наилучшими тензoeлектрическими свойствами, мы проводили послойное напыление одной фазы на другую. При этом проявляется эффект самоорганизации [6], для которого необходимым условием является напыление на фазу теллурида сурьмы с меньшим параметром решетки ($a=0,4275$ нм, $c=3,0490$ нм) фазы теллурида висмута с большим параметром решетки ($a=0,43835$ нм, $c=3,0487$ нм). В результате можно предполагать, что при конденсации происходят эффекты, подобные вышеописанным эффектам, происходящим при напылении фаз арсенидом галлия и индий-мышьяка. В результате которых, получают упорядоченные гетерогенные среды с наногранулами, в нашем случае теллурида висмута и сурьмы.

С помощью расчетных методов исследования частотной зависимости сопротивления $R(\omega)$ и ёмкости $C(\omega)$, используя экспериментальные данные, нами были определены зависимости коэффициента тензочувствительности плёнок от частоты и деформации - $K(\omega, \epsilon_i)$. На рисунке 2 представлены зависимости КТЧ плёнок теллуридов висмута-сурьмы от наложенной деформации для разных частот. Из рисунка видно, что при наложении деформации увеличивается сопротивление плёнок, но уменьшается их КТЧ. Наибольшие значения КТЧ достигаются при $\epsilon_i=10^{-4}$ отн. ед. Дальнейшее увеличение значения деформации приводит к уменьшению коэффициента тензочувствительности плёнок.[7]

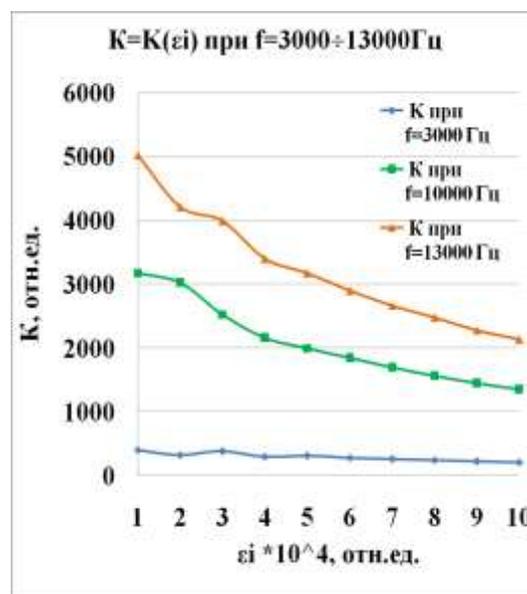


Рис.2. Зависимости КТЧ плёнок теллуридов висмута-сурьмы $(\text{Bi}_x\text{Sb}_{1-x})_2\text{Te}_3$ от наложенной деформации измеренные и вычисленные для области частот $f = 3000 \div 13000$ Гц

Таким образом, изменение величин удельного сопротивления и коэффициента тензочувствительности, полученных термическим напылением соединения $(\text{Bi}_x\text{Sb}_{1-x})_2\text{Te}_3$ в зависимости от технологических параметров можно объяснить диссоциацией соединения при испарении, степень которой зависит от температуры испарения, и изменением химического и фазового состава получаемого ЧЭ по толщине за счет различного давления паров компонентов, входящих в состав испаряемого соединения. Полученные структуры могли бы быть использованы в качестве тензопреобразователей - чувствительных элементов) малоцикловых датчиков накопленной усталостной повреждаемости.



Список литературы

1. Клокова Н.П. Тензорезисторы. - М.: Машиностроение, 1990.-224 с.
2. Мухамедиев Э., Шамирзаев С.Х., Онаркулов К.Э., Юсупова Д.А., 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.
3. Абдуллаев Э.А., Юлдашев Н.Х. Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута - Часть I. Под ред. академика Р.А.Муминова. – Т.: ФАН, 1989.-174 с.
4. Абдуллаев Э.А., Султонов Ш.Д., Юлдашев Н.Х. Эффект пьезосопротивления в халькогенидах свинца и висмута - Часть II. Под ред. академика Р.А.Муминова. – Фергана, 2006.-118 с.
5. Юсупова Д.А., Насретдинова Ф.Н., Тажибова Х.Б., Фозилова М.Д. Автоматизация процесса получения тензочувствительных плёнок теллуридов висмута-сурьмы, содержащих наногранулы с воспроизводимыми характеристиками. Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века» Нур-Султан. Казахстан. 2019 С.88-92
6. Юсупова Д.А. Исследование влияния деформации на изменения концентрации поверхностных состояний, уровня Ферми и заряда поверхности раздела нанокристаллических плёнок теллуридов висмута и сурьмы. Проблемы современной науки и образования 2019. № 12 (145). Часть 2. Научно-методический журнал Москва 2019. .С. 8-12
7. Юсупова Д.А. Исследование физических процессов, протекающих в нанокристаллических пленках теллуридов висмута и сурьмы. Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века» Нур-Султан.Казахстан . 10-12 декабр, 2019 С.84-88