

УДК: 53.096

Оноркулов Каримберди Егамбердиевич¹,
доктор физико-математических наук, профессор
Абдуллаева Миргүл Пазылбековна²,
ученый секретарь Института природных ресурсов
им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР
Юлдашев Аброр Абдувоситович¹,
старший преподаватель
Жураева Гулноза Фазлитдиновна³,
старший преподаватель
Чынгызбек кызы Зыяда⁴, *преподаватель*

ДЕГРАДАЦИЯ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ТОНКИХ ПЛЁНОК ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА

Каримберди Егамбердиевич Оноркулов¹,
физика-математика илимдеринин доктору, профессор
Абдуллаева Миргүл Пазылбековна²,
КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат.
Жаратылыш байлыктары институтунун окумуштуу катчысы
Юлдашев Аброр Абдувоситович¹, *ага окутуучу*
Жураева Гулноза Фазлитдиновна³, *ага окутуучу*
Чынгызбек кызы Зыяда⁴, *окутуучу*

КОРГОШУНУН ТЕЛЛУРИДДИН ШТАМГА СЕЗГИЧ ЖУКА ПЛЕНКАЛАРЫНЫН ИШ ПАРАМЕТРЛЕРИНИН ДЕГРАДАЦИЯСЫ

Karimberdi Egamberdievich Onorkulov¹,
Doctor of physical and mathematical sciences, professor
Abdullaeva Mirgul Pazylbekovna²,
Scientific secretary of the Institute of Natural resources named
after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR
Yuldashev Abror Abduvositovich¹, *Senior Lecturer*
Jurayeva Gulnoza Fazlitdinovna³, *Senior lecturer*
Chyngyzbek kyzy Zyiada⁴, *Lecturer*

DEGRADATION OF OPERATING PARAMETERS OF LEAD TELLURIDE STRAIN-SENSITIVE THIN FILMS

¹Ферганский государственный университет, Фергана, Узбекистан
²Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР ПКР
 Ош, Кыргызстан
³Ферганский государственный технический университет, Фергана, Узбекистан
⁴Ошский технологический университет им. М.М. Адышева, Ош, Кыргызстан

¹ Фергана мамлекеттик университети, Фергана, Узбекистан
²КРП КР УИА ТБ А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту
 Ош, Кыргызстан
³Фергана мамлекеттик техникалык университети, Фергана, Узбекистан
⁴М.М. Адышева ат. Ош технологиялык университети, Ош, Кыргызстан

¹Fergana State University, Fergana, Uzbekistan
² Institute of Natural resources named after A.S. Dzhamanbayev SB NAS KR PKR,

Osh, Kyrgyzstan

³*Fergana State Technical University, Fergana, Uzbekistan*

⁴*Osh technological university named after M.M. Adysheva, Osh, Kyrgyzstan*

Аннотация. В данной работе рассмотрено влияние кислородной среды на деградацию рабочих параметров тензочувствительных тонких плёнок теллурида свинца (PbTe). Показано, что взаимодействие кислорода с поверхностью и объёмом плёнок существенно изменяет их электронные свойства, особенно при температурах, характерных для эксплуатации термоэлектрических и инфракрасных устройств. Установлено, что процесс адсорбции кислорода начинается на поверхности, после чего кислород диффундирует вдоль границ зёрен и формирует глубокие акцепторные уровни в запрещённой зоне PbTe, что приводит к изменению концентрации и подвижности носителей заряда.

Ключевые слова: теллурид свинца, тонкие плёнки, кислородная адсорбция, деградация, электропроводность, эффект Холла, термоЭДС.

Аннотация. Бул иште кычкылтек чөйрөсүнүн коргошун теллуриди (PbTe) негизиндеги тензочувствителдүү жука пленкалардын иштөө параметрлеринин деградациясына тийгизген таасири каралган. Көрсөтүлгөндөй, кычкылтектин пленканын бетинде жана көлөмүндө болгон өз ара аракеттенүүсү алардын электрондук касиеттерин кыйла өзгөртөт, айрыкча термоэлектрдик жана инфракызыл түзүлүштөрдүн иштөө температураларында. Аныкталгандай, кычкылтектин адсорбция процесси алгач бетинде башталып, андан кийин кычкылтек даналардын чек аралары боюнча диффузияланып, PbTe тыюу салынган зонасында терең акцептордук деңгээлдерди түзөт, бул болсо өткөрүүчүлөрдүн концентрациясы менен кыймылдуулугунун өзгөрүшүнө алып келет.

Негизги сөздөр: коргошун теллуриди, жука пленкалар, кычкылтектин адсорбциясы, деградация, электр өткөрүмдүүлүк, Холл эффекти, термоЭДС.

Annotation. This paper examines the influence of an oxygen environment on the degradation of the operational parameters of strain-sensitive thin films of lead telluride (PbTe). It is shown that the interaction of oxygen with the surface and volume of the films significantly alters their electronic properties, especially at temperatures typical for the operation of thermoelectric and infrared devices. It has been established that the oxygen adsorption process begins on the surface, after which oxygen diffuses along grain boundaries and forms deep acceptor levels in the forbidden band of PbTe, leading to changes in the concentration and mobility of charge carriers.

Keywords: lead telluride, thin films, oxygen adsorption, degradation, electrical conductivity, Hall effect, thermoelectromotive force (thermo-EMF).

Воздействие кислородной среды на материалы микроэлектроники на основе твёрдых тел значительно, так как практически со всеми материалами происходит взаимодействие, в результате чего во многих случаях это приводит к деградации их свойств. Если вещество представляет собой плёнку или тонкий слой, процесс деградации проявляется значительно сильнее.

Актуальность изучения воздействия кислорода на тонкие плёнки на основе теллурида свинца можно объяснить следующими причинами: во-первых, это связано с получением инфракрасных фотопреобразователей на основе

тонких плёнок PbTe, для которых необходимо проведение активации в кислородной среде. Это, аналогично положительным результатам, полученным для плёнок PbS, приводит к повышению фоточувствительности.

Во-вторых, важным является поиск способов устранения отрицательного воздействия кислорода, так как тонкоплёночные термоэлементы, как правило, эксплуатируются при температуре около 400 К, где наблюдается активное влияние кислорода, присутствующего в атмосфере. Электронные свойства тонких плёнок свинцовых халькогенидов чрезвычайно чувствительны к изменению внешних условий и

сильно зависят от процессов, происходящих на их поверхности. Поэтому исследование кинетики изменения свойств новых конденсированных тонких плёнок при их взаимодействии с атмосферой представляет как научный, так и практический интерес. Известно, что при взаимодействии свинцовых халькогенидов с атмосферой состояние их поверхности в основном изменяется за счёт физической и химической адсорбции молекул кислорода, содержащегося в воздухе.

Процесс воздействия кислорода на тонкие плёнки PbTe начинается с адсорбции кислорода на поверхности, граничащей с окружающей средой. В дальнейшем кислород постепенно диффундирует вдоль границ зёрен в объёме тонкой плёнки и также адсорбируется на них. В настоящее время установлено, что в PbTe кислород создаёт глубокие акцепторные уровни в нижней части запрещённой зоны, вследствие чего он значительно изменяет свойства n-PbTe [1–3].

Адсорбированный на поверхности тонкой плёнки кислород становится источником объёмной диффузии. Свойства различных примесей в объёме PbTe достаточно подробно описаны, однако сведений об изменении свойств под действием кислорода практически нет. Это связано с тем, что даже при низких температурах кислород способен вступать в химическую реакцию как с самим PbTe, так и с его компонентами. Кроме того, в тонких плёнках PbTe диффузия кислорода по дефектам, особенно вдоль границ зёрен, выражена значительно сильнее. Адсорбционное воздействие кислорода в приповерхностной области оказывается более существенным, чем влияние объёмного легирования.

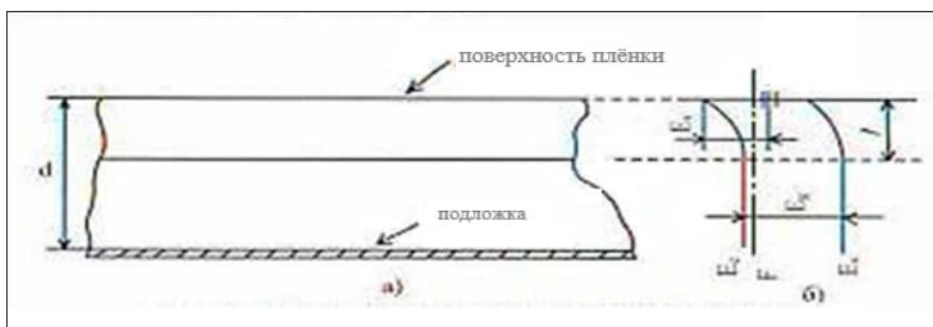
В наших экспериментах после завершения процесса конденсации тонких плёнок при сохранении вакуума в технологической

камере измерялись их электропроводность σ , постоянная Холла R_H и термо ЭДС α в диапазоне температур 80–500 К. Затем в камеру вводилось определённое количество воздуха, и измерения повторялись. Такой эксперимент проводился до тех пор, пока давление в вакуумной камере не сравнилось с атмосферным [4].

При повышении давления в технологической камере до 0,1 Торр наблюдалось уменьшение электропроводности плёнок и увеличение постоянной Холла, при этом произведение $R_H\sigma$ оставалось практически неизменным.

Перед анализом полученных экспериментальных данных рассмотрим простую модель электронных процессов, происходящих при адсорбции кислорода на «свободной» поверхности тонких плёнок. Под «свободной» поверхностью будем понимать границу полупроводниковой плёнки со средой.

Пусть на поверхности плёнки с n-типом проводимости при адсорбции кислорода возникают электронные поверхностные состояния (ПС) [1]. Кислород обладает акцепторной природой и способен захватывать два электрона с противоположными спинами на каждом ПС. Поверхностная концентрация ПС равна N_s . Осаждённая плёнка равномерно легирована донорными примесями с концентрацией N_d по толщине (d). Энергетический уровень E_s ПС расположен внутри запрещённой зоны. В этом случае свободные электроны из зоны проводимости захватываются на ПС, поверхность заряжается отрицательно, энергия заполненных ПС увеличивается, и энергетические зоны изгибаются вблизи поверхности. Захват электронов на ПС одновременно приводит к уменьшению числа электронов в объёме плёнки. Рассматриваемая ситуация схематически изображена на рисунке 1.



В результате уменьшения концентрации электронов в приповерхностной области плёнок будем считать, что их подвижность остаётся неизменной. Действительно, в интервале температур 77–500 К основным механизмом рассеяния носителей заряда в свинцовых халькогенидах является рассеяние на акустических фононах. Поэтому принятое предположение является обоснованным.

Концентрацию свободных электронов в объёме плёнки при адсорбции молекул кислорода на поверхности можно выразить следующим образом:

$$n = N\alpha - \frac{n_s}{d} = N_d - \frac{gN_s f}{d} \quad (1)$$

$N_s = gN_s f$ - Концентрация электронов, захваченных на поверхности; $g = 2$ — спиновый множитель электронов; f — функция распределения Ферми — Дирака по поверхностным состояниям (ПС).

Согласно теории Ленгмюра, поверхностная плотность адсорбированных частиц изменяется со временем следующим образом:

$$N_s^{(t)} = \frac{N^*}{1 + \frac{P}{b}} (1 - e^{-\alpha t}) \quad (2)$$

$$\alpha = c(mT)^{-1/2} \sigma P + \gamma e^{-q/kT} \quad (3)$$

$$b = \frac{\gamma e^{-q/kT}}{c(mT)^{-1/2} r} \quad (4)$$

подчиняется зависимости; m — масса адсорбированной частицы, T — температура, P — давление, r — коэффициент прилипания, q — дифференциальная теплота адсорбции, N^* — плотность адсорбционных центров на поверхности плёнки, γ — параметр, связанный с частотой колебаний адсорбированной молекулы в направлении, перпендикулярном поверхности.

При адсорбции в начальный момент времени ($t = 0$) $N_s(0) = 0$. При адсорбции вследствие изменения концентрации свободных электронов происходит уменьшение электропроводности.

$$\sigma(t) = en(t)\mu = e\mu \left[N_d - \frac{(t)n_s}{d} \right] \quad (5)$$

происходит в соответствии с закономерностью. Здесь $n_s(t)$ определяется из соотношений (2)–(4).

Согласно выражению (5), исследование электропроводности и эффекта Холла открывает возможность изучения кинетики адсорбции. На рисунках 2–3 приведены зависимости электропроводности и коэффициента Холла от температуры для тонких плёнок PbTe после обработки в кислородной среде при температуре 100 °С в течение разного времени (в часах): (1 – 0; 2 – 0,5; 3 – 1; 4 – 2; 5 – 3). На основании данных, представленных на рисунках 2–3, можно количественно определить параметры, характеризующие адсорбцию кислорода на поверхности PbTe.

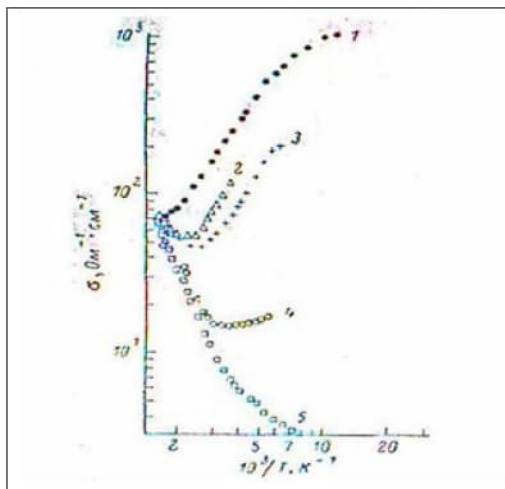


Рис. 2. Зависимость электропроводности плёнок от температуры при изменении количества адсорбированного кислорода.

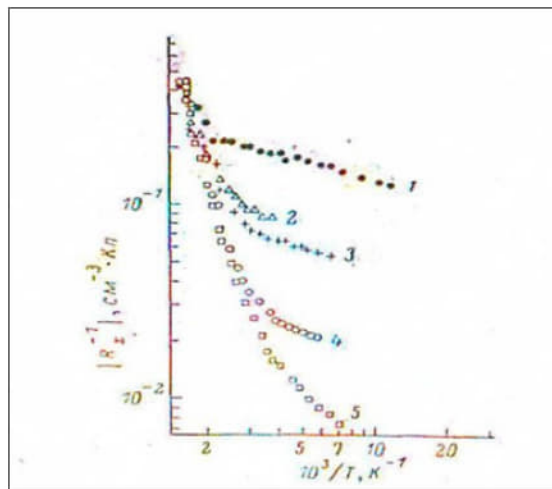


Рис. 3. Зависимость коэффициента Холла в плёнках от температуры при изменении количества адсорбированного кислорода.

Список литературы:

1. С.А. Азимов, Ш.Б.Атакулов. Кинетические явления в поликристаллических пленках халькогенидов свинца и висмута. Т.:Фан, 1985.105 С.
2. К.Э.Онаркулов,Б.Омонов, С.М. Отажонов, М.Х.Рахмонкулов. Радиационно-стимулированные процессы диффузии кислорода в слоях халькогенидов свинца. Science and world. 2022. № 3 (103) (18-22)
3. Е.И.Рогачева, А.В.Будник, А.Г.Федоров, С.И.Кривоногов, П.В.Матейченко. Материаловедение. №2, 5 (2015).
4. К.Э Онаркулов, А.А. Юлдашев, Т.М. Азимов. Висмут-сурма теллурид юпқа пардаларнинг электрофизик хоссаларига технологик жараённинг таъсири. Научн.Вест.ФерГУ. 2017. №2. 9-12 Б.
5. К.Е.Оноркулов, N.Jurayev, G.Jurayeva, A.Ibrohimova. Effect of radiation exposure on pbs photosensitive films. Miasto Przyszłości. Vol. 59 (2025). Impact Factor: 9.9 ISSN-L: 2544-980X. p.251-253.