



**СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК PbS ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ**

<https://doi.org/10.5281/zenodo.129431>

С.М.Отажонов¹, М.Х.Рахмонкулов, М.М.Халилов², К.А.Ботиров¹

¹Ферганский государственный университет, 150100 г. Фергана, Узбекистан

²Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, 150100 г. Фергана, Узбекистан

**otajonov_s@mail.ru, +998936431433*

АННОТАЦИЯ

В работе экспериментально изучались электрофизические свойства тензочувствительных пленок на основа PbS под действием лазерного облучения. Обнаружены апериодические временные изменения свойств пленок PbS после лазерного облучения. Исследовались тензо и шумовые характеристики. Поведение шумового напряжения коррелирует с изменением сопротивления. Предложена качественная интерпретация апериодических изменений свойств пленок, учитывающая неравномерность во времени диффузия кислорода по границам кристаллитов. рассеяний носителя зарядов. Лазерный отжиг приводит к объединению некоторых соседних кристаллитов в один, что приводит к уменьшению число границ кристаллитов и в таких пленках тензочувствительность принимает более стабильное значение.

Ключевые слова

термическая испарения, тензочувствительность, шумового напряжения, барьер, импульс, лазерного облучения, поликристаллические пленки, подложки.

Введение

Сегодня ионная имплантация или лазерный отжиг активно используется для модификаций свойств наноструктур, что подтверждается большим числом фундаментальных и прикладных работ[1-6]. По результатам исследование показано, что с уменьшением дозы ионного внедрения увеличивается энергия, для электрической активации внедренной примеси и снижения сопротивления слоев. Рост проводимости слоев поли кристаллического Si [2] связан, не только с увеличением размеров кристаллических зерен при



импульсном отжиге, но и уменьшению плотности ловушек. Обнаружено, что наряду с увеличением кристаллитов воздействие мощных световых и электронных пучков способствует уменьшению плотности ловушек определяли в работе [2,3], в которой захват носителей заряда в поликристалле происходит только на границах кристаллитов.

При лазерного облучения полупроводниковых пленок, получаемые инородные подложки, накладывається ограничение на энергию в импульсе из – за влияние мощности светового импульса на адгезионны свойства. Для пленок PbS критическая мощность имеет, 3 Мвт [5]. В экспериментальных по лазерного облучения пленок PbS мощность светового импульса была меньше этого значения. Поэтому ожидать существенных изменений и их электрически стимулированных структурных изменение и их электрических свойствах в случае малых энергий излучение за счет термически стимулированных структурных превращений не приходится. Согласно структурным исследованиям, после нескольких световых импульсов оплаивается тонкий приповерхностный слой пленок. Следовательно уменьшение в отожженных на воздухе пленках PbS при лазерного облучения связана с изменением состояния границ кристаллитов. На это указывает и данные эксперимента по многократному попеременному термоотжигу и лазерного облучения одного и того же образца. Поэтому представляет большой интерес изучение электрофизических свойств полукристаллических пленок на основе PbS под действием лазерного облучения.

Ниже приводятся полученные нами новые эффекты после лазерного облучения поликристаллической пленки на основе PbS.

Методика эксперимента

Пленочные чувствительные элементы из PbS получились методом «открытого» термического испарения в вакууме. В данном случае пленки образуются в результате кристаллизации из атомных или молекулярных пучков, что отличается от процесса образования пленок из пара в замкнутом объеме, температура стенок которого равно температуре испарения, а температура подложки несколько ниже.

Исходным материалом служил порошкообразный PbS особой чистоты (класса В 3) с n- или p – типом электропроводности. Шихта с массой порядка $0,5 \div 1$ г погружалась в алундовую лодочку, над которой на расстоянии $70 \div 100$ мм устанавливалась подложка. Температура испарения полупроводника управлялась с помощью печки, конструкция которой позволяла непрерывно изменять температуру до $\sim 400^\circ\text{C}$. Температуру подложки и испарителя контролировали хромель - алюмелевыми термопарами.



В качества подложек наряду с полиимидом использовали пружинную сталь и пластинки дюралюминия марки Д16А, толщиной $0,25 \div 0,45$ мм с изоляционным слоем на поверхности из окиси кремния или алюминия. Изоляционный слой SiO_2 на поверхности подложек получался методом вакуумного испарения. Давление при испарении равнялось $10^{-7} \div 10^{-5}$ Па. В качестве лодочек применяли тугоплавкие материалы – тантал, вольфрам или молибден, покрытые окисью алюминия.

При напылении PbS в целях исключения влияний различных примесей, особенно кислорода, загруженную в лодочку шихту отжигали при температурах $400 \div 500^\circ\text{C}$ в течение $10 \div 15$ мин. До установления стационарного режима испарения подложку накрывали заслонкой. Сульфид свинца напыляли через специальные трафареты таким образом, чтобы часть контактного слоя покрылась слоем PbS, а часть (с размером порядка 3×3 мм) оставалась свободной для дальнейшей пайки выводов. Варьированием температуры испарения и температуры подложки стремились получить высокочувствительные тензо пленки со стабильными и воспроизводимыми свойствами. Толщину напыления слоев контролировали временем конденсации или же при помощи специального автоматического устройства с кварцевым датчиком. Пленочные тензорезисторы из PbS с коэффициентом тензочувствительности $K \approx 4000$ отн. ед. получались при температурах подложки $T_{\text{и}} \approx 750 \div 800^\circ\text{C}$, скорости конденсации $W \approx 200 \div 300 \text{ \AA}/\text{C}$, толщине пленки $d \approx 10 \div 15$ мкм.

Облучения пленок были проведены при помощи лазерной установки ОГМ-20, работающей в режиме модулированной добротности ($\lambda = 1.06 \text{ мкм}$; $\tau_{\text{и}} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; $E_{\text{и}} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ Дж/см}^2$), лазерный луч падал на поверхность пленки перпендикулярно к её поверхности. Продолжительность облучения и изменялись от 1 до 5 минут. Во время отжига непосредственных измерений температуры образца не проводилось.

После проведения отжига снимались тензохарактеристики, вольтамперные и шумовые характеристики. Все характеристики пленки после лазерного облучения были сняты в течение 10 суток с определенными интервалами времени (каждые 30 минут). Наблюдаемые изменения сопротивления пленки и шумовое напряжение с течением времени показаны на рисунках 1,2,3,4 для разных образцов.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

После лазерного облучения в достаточно широком интервале времени наблюдается апериодический рост сопротивления и шумового напряжения пленки. Предлагается следующая интерпретация физической сущности наблюдаемого явления.



Под действием лазерного облучения происходит интенсивная адсорбция атомов кислорода на поверхности пленки. Диффузия кислорода в объем кристаллитов осуществляется непосредственно через поверхность. Коэффициент диффузии для таких атомов равен $D_{об}$. Атомы кислорода в объем кристаллитов могут диффундировать через границу кристаллитов. Коэффициент диффузии кислорода по границам кристаллитов равен $D_{ГК}$. Известно, что $D_{ГК} > D_{об}$ [5,6]. В результате интенсивной диффузии адсорбированных атомов по границам кристаллитов под действием лазерного облучения границ кристаллитов вблизи поверхности пленки постепенно насыщается кислородом так, что это приводит к росту потенциальных барьеров для носителей тока через границ кристаллитов. После прекращения действия лазерного излучения по поверхности кристаллитов происходят следующие процессы. После лазерного облучения происходит диффузия по границам кристаллитов накопившегося вблизи поверхности пленки кислорода. В той части толщины пленки, где образовался определенный монослой кислорода, может произойти реконструкции поверхности кристаллитов с резким увеличением диффузии кислорода в объем кристаллитов (аналогичное явления реконструкции поверхности Si, в результате адсорбции O_2 и H наблюдались в работах [12]).

В этой части эффективные барьеры для носителей тока уменьшается, что, возможно и обуславливает наблюдение уменьшение сопротивление пленки R. Когда кислород уходит в объем, то реконструкция поверхности кристаллитов снимается и в этой части снова за счет диффузия по границам кристаллитов происходит накопление кислорода.

В дальнейшем опять на некоторой части поверхности кристаллитов образуется реконструкция, но на этот раз уже большая часть поверхности кристаллитов будет подвержена реконструкции, поэтому, наряду с осцилляцией, должно происходить увеличение сопротивления пленки, то есть будет наблюдаться аperiодические осцилляции на фоне увеличения сопротивления пленки R (рис.1).

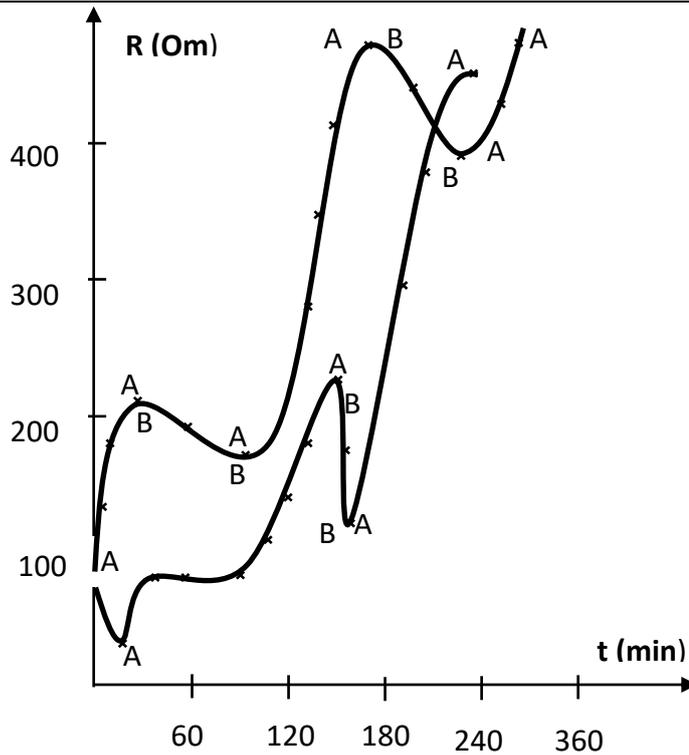


Рис. 1. Изменение сопротивления пленки (апериодический рост R) для образцов №1 и №2 после лазерного отжига. Облучение продолжалось: для образца №1 $t_{об} = 5$ мин., для образца №2 $t_{об} = 3$ мин. Апериодический рост сопротивления продолжается около 100 часов.

Из-за накопления, происходящего за счет реконструкции поверхности кристаллитов в некотором слое вблизи границ кристаллитов, количество циклов реконструкции будет ограничено. С течением времени эти процессы, заменяя друг друга, повторяются.

Атомы кислорода, диффундирующие в глубину кристаллов в результате реконструкции поверхности кристаллитов в объем кристаллита, ведут себя как примесные атомы, способные к образованию дополнительных носителей тока.

Шумовое напряжение, генерируемое пленкой в диапазоне частот $1,5 \div 150000$ Гц, также меняется с течением времени (рис.2).

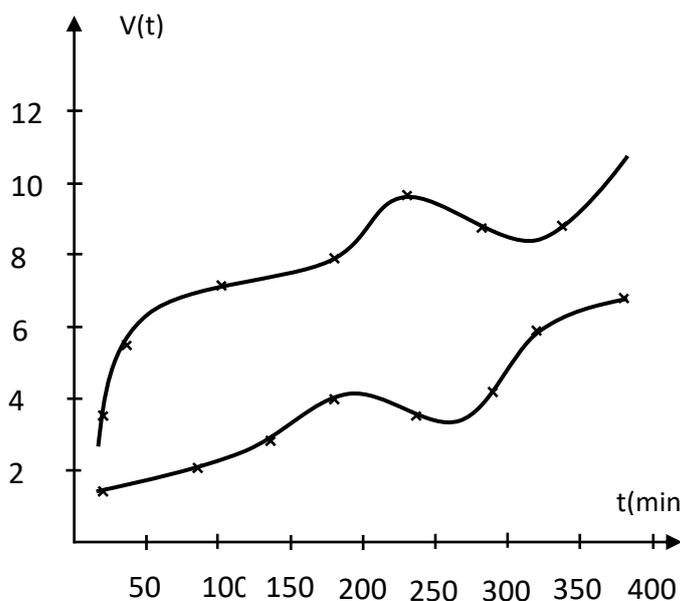


Рис 2. Изменения шумового напряжения для образцов №1 и №2 соответственно.

Изменение шумового напряжения со временем коррелируется с изменениями сопротивления пленки с течением времени. В качестве механизма, приводящего к появлению электрического шума, учитывали эффект Яна-Теллера, которому подвергаются собственные дефекты и атомы легирующей примеси в полупроводниках. Используя эффекта Яна-Теллера в эксперименте обнаружена зависимость от условий на поверхности образца и получили зависимость электрического шума от частоты, в который показано на рис.3

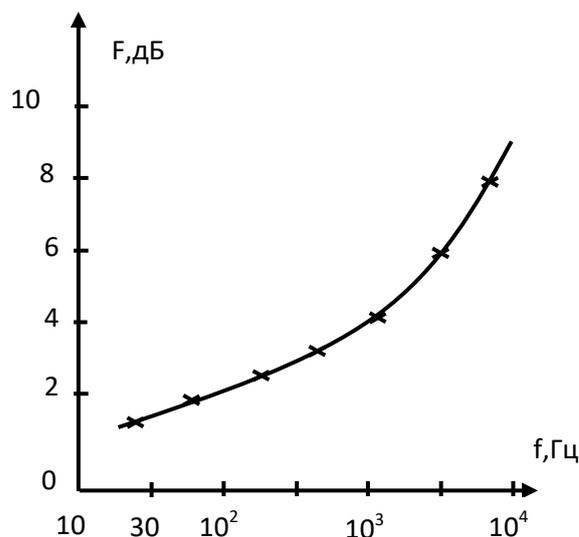
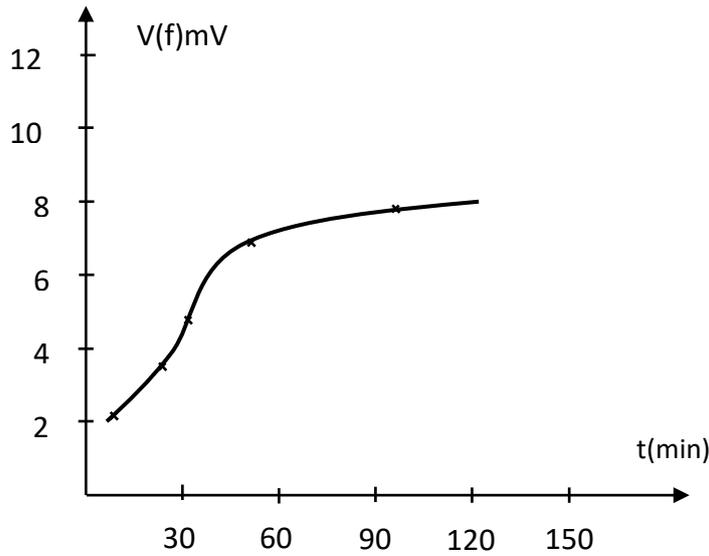


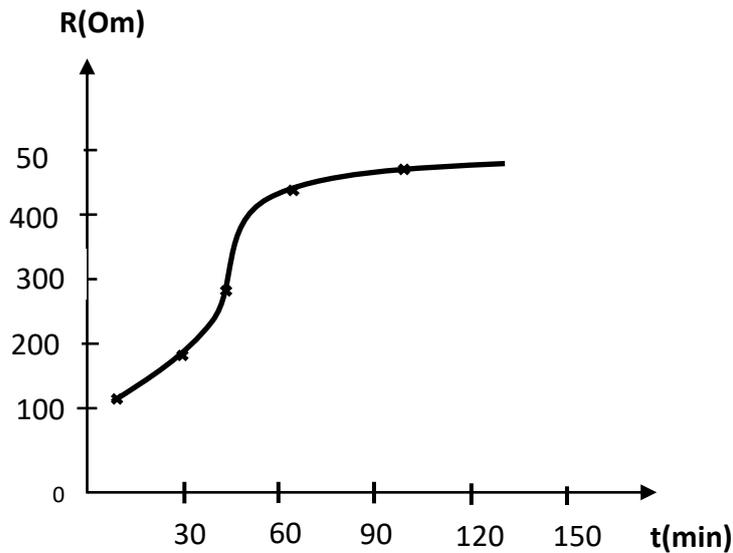
Рис.3. Зависимости уровня электрического шума от частоты.

Рис 4. Шумового напряжения (монотонный рост V) пленки после



лазерного облучения.

Рис 5. Изменение сопротивления (монотонный рост R) пленки после лазерного облучения.



У отдельных образцов после лазерного облучения наблюдался монотонный рост сопротивления пленки и шумового напряжения (рис.4,5). Это может быть связано с тем, что лазерного облучения приводит к частичному плавлению пленок. В результате происходит объединение некоторых соседних кристаллитов в один, что приводит к уменьшению числа границ кристаллитов. Это приводит к равномерной диффузии атомов кислорода в глубину образца по всем областям поверхности пленки. В результате наблюдается монотонный рост сопротивления пленки. Тензочувствительность в этих пленках падает и она принимает более стабильное значение.

Заключение



Итак, в работе экспериментально изучались электрофизические свойства тензочувствительных пленок на основе PbS под действием лазерного облучения. Впервые экспериментально обнаружены апериодические временные изменение свойств пленок PbS после лазерного облучения. Шумовое напряжение, генерируемое пленкой в диапазоне частот 1,5 ÷ 150000 Гц, также меняется с течением времени после лазерного облучения, и имеет характер шума типа $I[f]$. Поведение шумового напряжения коррелирует с изменением сопротивления после лазерного облучения. Предложено качественная интерпретация апериодических изменений свойств пленок, учитывающая неравномерность во времени диффузии кислорода по границам кристаллитов.

СПИСОК ЛЕТЕРАТУРЫ:

1. Вейко В.П., Дкшловенко С.С., Скворцов А.М. Лазерное микроструктурированные кремния // научно - технической сборник "Диагностика и функциональный контроль качества оптических материалов" Ч.2. - сб. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2004. С.138-158.
2. [Zavestovskaya I. N.](#), [Eliseev P.G.](#), [Krokhin O.N.](#) Nonlinear absorption mechanisms in ablation of transparent materials by high-intensity and ultrashort laser pulses// Applied Surface Science. -2005 -V.248.-P.313-315.
3. Паута Дж., ТУ.К.,Мейера Дж. Тонкие пленки взаимная диффузия и реакции. Москва. "Мир". 1992. С. 165-246.
4. Банешев А.Ф., Валодин Б.Л., Емельянов В.И., Мерляков К.С. Образование периодических структур дислокаций при лазерном воздействии на поверхность полупроводников // ФТП. - 1990. - Т.32. - Вып.9. - С,25-29.
5. Рамонов Н.М., Малова М.М., Лахдеранта Э., Мусихин С.Ф. Действие гамма-излучения на люминесценцию и фотопроводимость нанокompозита МЕН-PPV- сульфид свинца // Физика конденсированного состояния. Научно - технические ведомости СПбГПУ. Физика математические науки. 2018.№11. С.35-45.
6. Атакулов Ш.Б., Зайнолобидинова С.М., Отажонов С.М., Тухтаматов О.А. Особенности рассеяния носителей тока межкристаллитными потенциальными барьерами, образованными электронными поверхностными состояниями в поликристаллических полупроводниках // Физическая инженерия поверхности. Харьков. 2010. - Том.8.-№4.-С.365-370.



7. Мирзаев Ф.Х., Панченко В.Я., Шелепин Л.А., Лазерное управление процессами в твердом теле. // Успехи физических наук. 1996. - Т.166. - №1. С.3 - 32.
8. Бурый И.П., Великодный Д.В., Однодворец Л.В., Проценко И.Е., Ткач Е.П., Особенности тензорезистивного эффекта в тонких металлических пленках в области упругой и пластической деформации. // Журнал технической физики, 2011, том 81, вып. 2
9. [Отажонов С.М.](#), [Худойбердиев А.М.](#), [Ботиров К.А.](#), [Халилов М.М.](#), [Юнусов Н.](#), [Мамажонов У.](#) Тензочувствительности полупроводниковых пленок с мелких и глубоких примесей при температуре жидким гелием. // Журнал Universum: технические науки. Москва. 2019.№12. С. 28-33. DOI - 10.32743/UniTech.2019.69.12-2
10. [Садовников С. И.](#), [Гусев А. И.](#) , [Ремпель А. А.](#) Новая кристаллическая фаза в тонких пленках сульфида свинца Письма в ЖЭТФ, 2009, [том 89](#), [вып. 5](#), С. 279-284
11. Аверин И.А., Антипенко В.В., Карманов А.А., Пронин И.А., Якушова Н.Д. Контролируемые изменения свойств халькогенидов свинца. // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2018, том 2. С.36-40.
12. Федяева О.А., Кировская И.А. Динамика поверхностных слоёв кремния // Современные проблемы науки и образование. -2006. - № 2 - С. 58-60

STABILISATION OF TENSIBILITY OF POLYCRYSTALLIC PbS FILMS UNDER LASER IRradiation

S.M.Otazhonov¹, M.H.Rakhmonkulov, M.M.Khalilov² , K.A.Botirov¹

¹ Fergana State University, 150100 Fergana, Uzbekistan. Fergana, Uzbekistan

² Fergana Branch of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khorazmiy, 150100 Fergana, Uzbekistan. Fergana, Uzbekistan

*otajonov_s@mail.ru, +998936431433

Abstract

In this work the electrophysical properties of strain-sensitive films based on PbS under the action of laser irradiation were experimentally radiated. Aperiodic temporal changes in the properties of PbS films after laser irradiation were found. The tenso and noise characteristics were investigated. The noise voltage behaviour correlates with the change in resistance. A qualitative interpretation of aperiodic changes in the properties of the films is proposed, taking into account the non-uniformity in time of oxygen diffusion along the crystallite boundaries. charge carrier scatterings. Laser annealing leads to the merging of some neighbouring



crystallites into one, which leads to a decrease in the number of crystallite boundaries and in such films the strain sensitivity takes a more stable value.

Key words: thermal evaporation, strain sensitivity, noise voltage, barrier, pulse, laser irradiation, polycrystalline films, substrates.