

10. O'G'Li, B. U. B. (2020). UMUMIY O'RTA TA'LIM MAKTABLARIDA "OY TUTILISHI VA UNING SHARTLARI" MAVZUSINI O'QITISHDA INTERFAOL METODLARDAN FOYDALANISH. *Science and Education*, 1(7), 160-164.
11. Юлдашев, А. А., Хошимов, Х. А. Ў., & Омонов, Б. У. Ў. (2022). ОПТРОНЛАР ЯРАТИШНИНГ ХОСЛИКЛАРИ. *Scientific progress*, 3(2), 827-832.
12. KHUSANOV, Z., & Omonov, B. (2018). Using interactive methods of teaching the theme on astronomy" The Moon is the natural satellite of the Earth" in general schools. *Scientific journal of the Fergana State University*, 1(1), 20-22.
13. Рахмонкулов, М. Х., Ахмедова, Д., & Омонов, Б. (2022). ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАССИВНЫХ И ПЛЕНОЧНЫХ ХАЛЬКОГЕНИДАХ СВИНЦА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С КИСЛОРОДОМ. *PEDAGOG*, 5(7), 22-25.
14. Онаркулов, К. Э., & Омонов, Б. У. (2023). КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 3(4), 394-402.
15. Onarqulov, K. E., Rahmanqulov, M. K., Zaynolbidinova, S. M., & Omonov, B. U. ON THE KINETICS OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF POLYCRYSTALLINE FILM STRUCTURES. *Annotation*, 293, 2.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ТОЛСТЫХ И ТОНКИХ СЛОЯХ PbTe ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С КИСЛОРОДОМ

Рахмонкулов М., Алимов Н.Э., Омонов Б. У

Ферганский государственный университет,

email: allnod@mail.ru

Аннотация. Исследование взаимодействия пленок халькогенидов свинца с кислородом проведено с целью понимания влияния этого процесса на физические и химические свойства материала. Работа обзорекает ключевые аспекты данного взаимодействия, такие как эффекты термообработки в кислородосодержащей среде и необходимость нейтрализации отрицательного влияния кислорода на термоэлементы. Процесс начинается с адсорбции кислорода на поверхности пленок, что ведет к формированию акцепторного уровня в запрещенной зоне и изменению свойств материала. Текст также рассматривает различные аспекты этого взаимодействия, включая образование физических и химических комплексов на поверхности пленок в зависимости от температуры взаимодействия и влияние водяных паров на химические реакции.

Экспериментальные данные показывают, что энергия адсорбции и десорбции кислорода зависит от степени покрытия поверхности пленок. Исследователи также предполагают различные механизмы адсорбции кислорода на поверхности пленок. Особое внимание уделено методам исследования взаимодействия кислорода с пленками и их применимости для понимания изменений физических свойств материала.

Ключевые слова: Пленки халькогенидов свинца, Кислород, Термообработка, Фотоприемники, Адсорбция, Химические комплексы, Диффузия, Инверсионный изгиб зон, Термоэлектрические характеристики, Ионное легирование.

Исследование взаимодействия пленок халькогенидов свинца с кислородом представляет значительный интерес, особенно в контексте двух ключевых аспектов. Во-первых, активирующая термообработка пленок в кислородосодержащей среде необходима при создании фотоприемников для инфракрасного диапазона [1], что способствует увеличению их фоточувствительности. Работа Бодэ и коллег стала одной из первых, демонстрирующих улучшение сопротивления и фоточувствительности пленок PbTe после обработки в кислороде. Второй аспект связан с необходимостью нейтрализации отрицательного влияния кислорода на термоэлементы, которые часто используются в условиях повышенных температур и подвергаются воздействию атмосферного кислорода.

Процесс взаимодействия начинается с адсорбции кислорода на поверхности пленок, что приводит к созданию акцепторного уровня в запрещенной зоне и значительному изменению свойств материала [3]. В зависимости от температуры взаимодействия, кислород может формировать на поверхности физические или химические комплексы, имеющие оксидную, пероксидную или радикальную структуру. При температурах ниже 600 К преобладает физическая адсорбция, тогда как выше этой температуры формируются химические соединения. Присутствие водяных паров в

атмосфере может ускорять химические реакции между кислородом и халькогенидами свинца.

Изучение процесса адсорбции на поверхность пленок PbTe при их взаимодействии с кислородом проведено в работе [2]. В частности, в [2] путем исследования кинетики изменения удельного сопротивления тонких ($d=0,2$ мкм) поликристаллических пленок при повышении давления в технологической камере до 0,1 Торр после завершения процесса конденсации была определена энергия адсорбции кислорода на чистую поверхность PbTe, которая оказалась $Q_d \approx 0,39$ эВ. Высказано утверждение, что величина Q_d зависит от степени покрытия свободной поверхности адсорбированным кислородом ν .

В эксперименте, обнаружено что при уменьшении давления и создании вакуума после стимулирования адсорбции кислорода на поверхности пленок PbTe, энергия десорбции кислорода увеличивается до 0,57 эВ при степени покрытия $\nu \approx 0,3-0,4$. Это указывает на то, что с увеличением степени покрытия поверхности пленки кислородом, энергия адсорбции также возрастает.

Согласно предположениям, изложенным в источнике [4], исследователи в работе [5] предполагают, что адсорбция кислорода на поверхностных пленках PbTe происходит в молекулярном состоянии с формированием заряженных структур типа O_2 . Однако существуют основания полагать, что может происходить и другой процесс: при приближении кислорода к поверхности PbTe, молекула кислорода сильно поляризуется, и связь с поверхностными атомами происходит за счет разрыва молекулярной связи, то есть адсорбция осуществляется в атомарном состоянии.

Интересный механизм взаимодействия кислорода с поверхностными пленками PbTe был предложен в [3]. При отжиге пленок в кислородсодержащей среде происходит взаимодействие между атомами кислорода и избыточными атомами свинца, находящимися в объеме кристаллитов. Это приводит к диффузии объемного атома свинца к поверхности, где он образует связь с атомом кислорода. Более подробное

обсуждение этого механизма будет представлено при анализе диффузионных процессов.

Через несколько десятков секунд после извлечения образцов из технологического объема на поверхности пленок n-PbTe образуется инверсионный изгиб зон, так как взаимодействие кислорода с пленками n-PbTe остается высоким даже при комнатной температуре и ниже, как указано в [5].

Исследователи в [6] обнаружили, что пленки PbTe толщиной до 2000 Å, полученные испарением шихты n-PbTe, после извлечения на воздух имели р-тип проводимости, в то время как устойчивый n-тип проводимости наблюдался при толщине образцов более 6000 Å. Наличие инверсионного слоя, возникшего из-за адсорбции кислорода на поверхности пленок n-PbTe, ухудшает их термоэлектрические характеристики. Для эффективного уменьшения паразитного влияния поверхности, рекомендуется использовать достаточно толстые ($d \leq 2$ мкм) сильнолегированные ($N_d \geq 10^{19} \text{ см}^{-3}$) пленки. Также может быть полезно создание токовыводящих контактов не на поверхности, а под пленкой, чтобы избежать влияния сопротивления р-n-перехода на характеристики термоэлементов.

Адсорбированный на поверхности кислород становится источником его диффузии в объеме пленок. В объеме, как и на поверхности, кислород образует акцепторные состояния. Процессы, связанные с диффузией в объеме кристаллитов в пленках, аналогичны диффузионным процессам в объемных материалах. Поведение различных примесей в объеме халькогенидов свинца подробно описано в [5], однако информация, касающаяся поведения кислорода в PbTe, остается ограниченной.

Метод, предложенный в [7], позволяет различить вклады объемных и межкристалльных диффузионных процессов в изменение физических свойств поликристаллических пленок n-PbTe. Анализ экспериментальных данных выделяет четыре основных процесса взаимодействия кислорода с пленками:

- Адсорбция кислорода на поверхности пленок;

- Диффузия кислорода в объеме кристаллитов;
- Диффузия кислорода вдоль границ кристаллитов, что приводит к его адсорбции на их разделительной поверхности;
- Побочные диффузионные процессы в объеме кристаллитов, такие как самодиффузия свинца или теллура, а также диффузия легирующих добавок.

Термоотжиг пленок РbТе на воздухе при различных температурах является одним из наиболее доступных методов для изучения их взаимодействия с кислородом. Кислород, будучи более реакционноспособным по отношению к РbТе, чем азот и другие компоненты атмосферы, оказывает основное влияние на свойства пленок. Это взаимодействие стимулирует все четыре упомянутых процесса. Отмечается, что диффузия вдоль границ кристаллитов отличается от объемной диффузии, поэтому для выявления вклада объемной диффузии кислорода в изменение свойств пленок необходим метод, исключающий значительное заполнение кислородом участков с высоким коэффициентом диффузии. Метод ионного легирования, упомянутый в [8] и применяемый для халькогенидов свинца в работах [9], является одним из таких методов. Он позволяет точно контролировать введение примесей и их распределение в пленках, что важно для понимания и оптимизации их свойств.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Бодэ Д.Е. Детекторы на основе солей свинца. В физика тонких плёнок: Т. 3 : Мир,1968. с. 299-327.
- 2.Фреик В.М. Солоничный Я.В,Масляк Н.Т.Войткив В.В. Влияние температурной обработки на свойства плёнок теллурида свинца. Физическая электроника. Научно – тех сб. 1977. В14 с 61-64.
- 3.Азимов.С.А., Атакулов. Ш.Б., Кинетические явления в поликристаллических плёнках халькогенидов свинца и висмута. Ташкент. Фан. 1985. 104с.
- 4.Zemal J.N., Jensen I.D., Schoolar R.B. Electrical and Optical Properties of Epitaxial Films of Pb and SbTe. // Phys.Rev. 1965.V.140.N 1A. В 330-342.
- 5.Бойков Ю.А., Кутасов В.А. Влияние приграничных слоев на электрочиские свойства плёнок теллурида свинца. // ФТТ.1983т.25.Вып .10.с.2984-2987.

6. Bourgeois P.C., Moch Ph. Mesures de Resistivite et Deffect Hall sur des Couches Minces de PbTe Realisees Par Evaporation Surs Vide Surdes des Substates Amorphes on Orientes. // C.r. Acad. Sci. 1967. V.265. N 1. P.74-75.

7. Риссел Х., Руге И. Ионная имплантация. М: Мир, 1977. 340с.

8. Palmetschofer L. Ion Implantation in IV-VI Semiconductors. // Appl. Phys. 1984. A34. B.139-153.

9. Аброян И.А., Алиев Б.З., Имамкулов С.Д. и др. Имплантация ионов галлия в плёнки PbSe. // ФТТ. 1983. Т.17. Вып.4. С.611-613.

YARIMO‘TKAZGICHLARDA XOLL EFFEKTINING KLASSIK NAZARIYASI

Muminov Islomjon Arabboyevich

Farg‘ona davlat universiteti, fizika-matematika fanlari bo‘yicha

falsafa doktori (PhD); ima220790@mail.com

Mirzayeva Xadichaxon Mo‘sajon qizi,

Karimova Gulhayo Abdug‘affor qizi

Farg‘ona davlat universiteti, fizika yo‘nalishi 4-bosqich talabasi

Annotatsiya: Yarimo‘tkazgichlarda tashqi elektr va magnit maydonlar ta‘sirida sodir bo‘ladigan Xoll effekti va uning fizikaviy mazmuni hamda Xoll effektining amaliy ahamiyati haqida qisqacha tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar: kristall panjara, Xoll doimiysi, ***n***- va ***p*** –tip yarimo‘tkazgichlar, zaryadlar harakatchanligi.

KIRISH

Xoll effekti, 1879-yilda kashf etilgan bo‘lib, ushbu hodisa tokli o‘tkazgichga ko‘ndalang magnit maydoni ta‘sir etganda kuzatiladi. Bunda o‘tkazgichdagi bo‘ylama elektr maydon kuchlanganligi bilan birga, ko‘ndalang elektr maydon kuchlanganligi ham paydo bo‘ladi, natijada tok yo‘nallishi (o‘tkazgich bo‘ylab oqishda davom etadi) va elektr maydon kuchlanganligi yo‘nalishi bir-biriga parallel bo‘lmaydi. Natijada namunada ko‘ndalang potentsiallar farqi paydo bo‘ladi. Xoll effektining paydo bo‘lish sababi elektronlar magnit maydon ta‘sirida yo‘nalishini o‘zgartiradi.