



РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ДИФфуЗИИ КИСЛОРОДА В СЛОЯХ ХАЛЬКОГЕНИДОВ СВИНЦА.

Рахмонкулов М.Х., Алимов Н.Э.

Ферганский государственный университет

Аннотация В статье рассматривается влияние γ -излучения на полупроводниковые пленки халькогенидов свинца (PbS , $PbSe$, $PbTe$), включая изменения их физико-электрических свойств, таких как электропроводность, термо-ЭДС, подвижность носителей и холловская концентрация. Особое внимание уделено радиационно-стимулированной диффузии примесей и роли кислорода как акцепторной примеси. Экспериментальные данные показывают, что γ -излучение вызывает деградацию пленок, особенно в кислородсодержащей среде, что связано с диффузией кислорода и изменением высоты потенциальных барьеров. Даны рекомендации для повышения стабильности и эффективности пленок.

Ключевые слова: радиационные дефекты, PbS , $PbSe$, $PbTe$, радиационно-стимулированная диффузия, деградация свойств, границы кристаллитов, стабильность плёнок

Abstract This paper investigates the impact of γ -radiation on lead chalcogenide semiconductor films (PbS , $PbSe$, $PbTe$), including changes in their physical and electrical properties such as electrical conductivity, thermoelectric power, carrier mobility, and Hall concentration. Special attention is given to radiation-induced diffusion of impurities and the role of oxygen as an acceptor impurity. Experimental data show that γ -radiation causes degradation of the films, particularly in oxygen-containing environments, which is associated with oxygen diffusion and changes in the height of potential barriers. Recommendations for improving the stability and efficiency of the films are provided.

Keywords: radiation defects, PbS , $PbSe$, $PbTe$, radiation-induced diffusion,

property degradation, grain boundaries, film stability.

ВВЕДЕНИЕ

Воздействие излучений на полупроводники, включая пленки, вызывает образование радиационных дефектов, изменяющих их свойства [1][4]. Для регистрации слабого инфракрасного излучения применяются в пленках PbS, PbSe, PbTe [5], использующие фоторезистивный эффект и термо-ЭДС. Важна не только настройка свойств в процессе синтеза, но и стабильность пленок под внешним воздействием [5].

Радиоактивные эффекты в поликристаллических пленках обусловлены наличием поверхностных состояний на границах кристаллитов [1]. Ионизирующее излучение стимулирует диффузию примесей внутри кристаллитов и вдоль их границ [2][3]. Исследовано влияние γ -излучения на электрофизические свойства пленок PbTe и PbSe [1]. γ -излучение выбрано из-за лабораторной доступности и аналогичности с реакторным облучением [4]. Релаксация возбуждённого состояния электронно-дырочного газа происходит через акты рассеяния и рекомбинационные центры [4]

При γ -облучении наблюдается диффузия кислорода вдоль границ кристаллитов, что приводит к росту потенциальных барьеров и снижению холловской подвижности [2]. Деграция свойств пленок зависит от температуры и скорости конденсации [3]. Наибольшие изменения происходят при облучении на воздухе и термическом воздействии, в то время как в вакууме изменения минимальны, что подчеркивает роль кислорода в деграции. В фоточувствительных слоях PbS при γ - и нейтронном облучении электропроводность экспоненциально снижается из-за изменений кислородных состояний. Кинетика изменений параметров описывается моделью радиационно-стимулированной диффузии. Деграция в условиях радиационного и термического воздействия имеет общий характер: снижение электропроводности и изменение активационных энергий.

ИССЛЕДОВАНИЕ

На рис.1 даны зависимости изменения электропроводности, коэффициента термоэдс, холловской концентрации электронов, холловской и дрейфовой подвижностей в пленках n-PbTe, синтезированных при $T_c = 590$ °К и $T_c = 620$ °К. Дрейфовая подвижность μ_d (точнее порядок ее величины), характеризующая рассеяние электронов в объеме кристаллитов, определялась по измерению магнитосопротивления. Согласно соотношению:

$$\mu_d \approx \frac{1}{\pi r B} \left(\frac{E_F}{kT} \right) \sqrt{3 \frac{\Delta \rho B}{\rho}} \quad (4),$$

где r - параметр, характеризующий основной механизм рассеяния в материале пленки; $\Delta \rho / \rho$ - относительное изменение удельного сопротивления пленки в магнитном поле B .

Анализ данных рис.1 показывает значительную обусловленность интенсивности изменения физических свойств пленок при γ -облучении температурой конденсации. Наиболее стабильны свойства пленок n-PbTe, конденсированных при $620 \div 630$ °К.

Исследования показали, что степень изменения термоэлектрических свойств пленок n-PbTe при γ - облучении зависит не только от температуры конденсации, но и от ее скорости, которая определяется температурой испарения шихты [3].

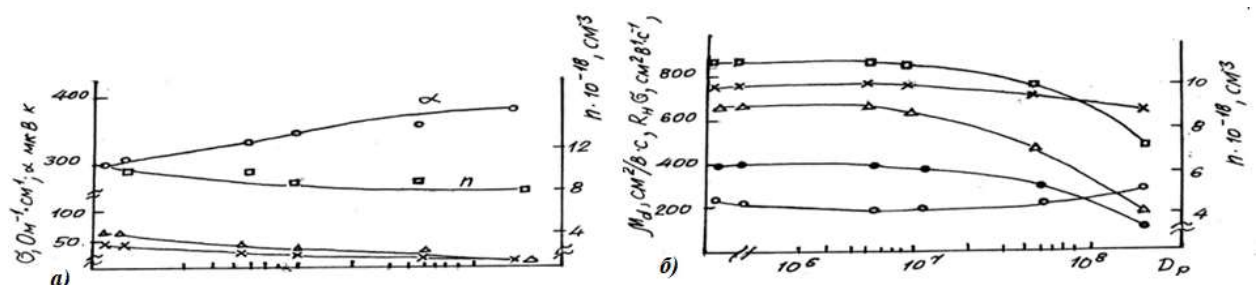


Рис.1. Влияние γ - облучения на параметры пленок n - PbTe сконденсированных при 590 К (а) и 620 К. (б).

Холловская подвижность в поликристаллических пленках полупроводников зависит от рассеяния в объеме кристаллов и прохождения

носителей заряда через потенциальные барьеры у границ кристаллитов [1][4]. Значительное падение $R_{H\sigma}$ в пленках n -PbTe при γ -облучении указывает на рост высоты потенциальных барьеров у ГК, что связано с радиационно-стимулированной и термической диффузией кислорода вдоль ГК. Эксперименты показали, что уменьшение холловской подвижности связано с проникновением кислорода в ГК при облучении. Для проверки гипотезы пленки были облучены в разных условиях: на воздухе, в вакууме и подвергнуты ТО на воздухе при 350°C .

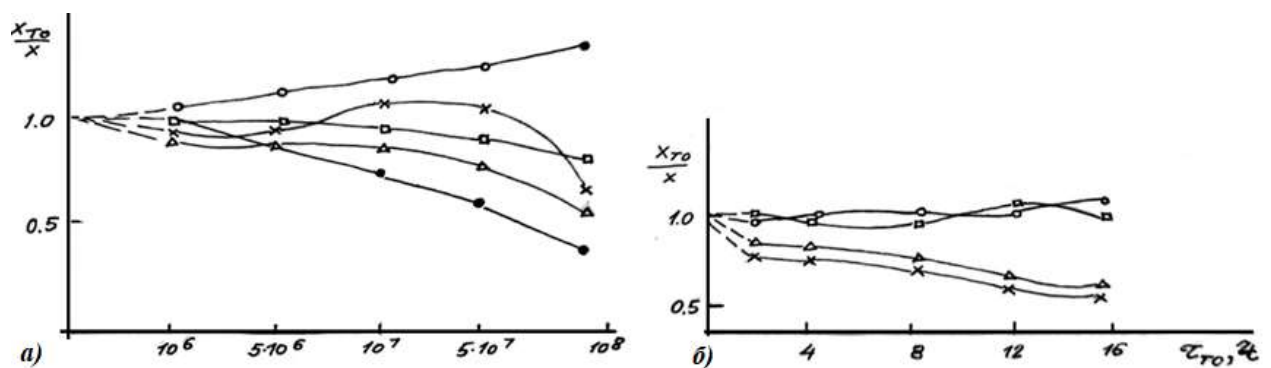


Рис. 2. Относительное изменение параметров пленок n – PbTe сконденсированных при 620 К при γ – облучении (а) и ТО (б) на воздухе.

Пленки, синтезированные на полиимиде при $T = 620 \text{ }^\circ\text{K}$ и имевшие близкие параметры, были поделены на три части. Одна часть образцов облучалась на воздухе, другая - в вакууме (для обеспечения вакуума эта группа образцов запаивалась в откачанные до 10^{-2} Торр кварцевые ампулы), третья подвергалась ТО на воздухе при $350 \text{ }^\circ\text{K}$ (именно до этой температуры нагреваются пленки в процессе облучения за счет воздействия γ - квантов).

Исходные параметры пленок, подвергнутых внешнему воздействию:

$$\sigma=600-1000 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}, \alpha=170-220 \text{ мкВ/К}, \alpha^2\sigma=30-50 \text{ мкВ/К}^2 \text{ см}$$

$$n_H 10^{-19}=1-1,2 \text{ см}^{-3}, R_{H\sigma}=350-600 \text{ см}^2/\text{Вс}, \mu_d=1200-1400 \text{ см}^2/\text{Вс}$$

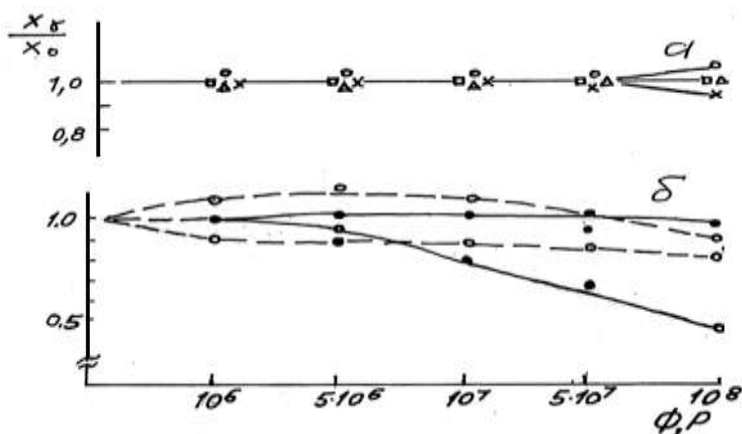


Рис. 3. Относительное изменение коэффициента термоэдс, электропроводности, холловской концентрации электронов. Коэффициента термоэлектрической мощности при γ - облучении в вакууме (а) и относительное изменение Холловской и дрейфовой подвижности

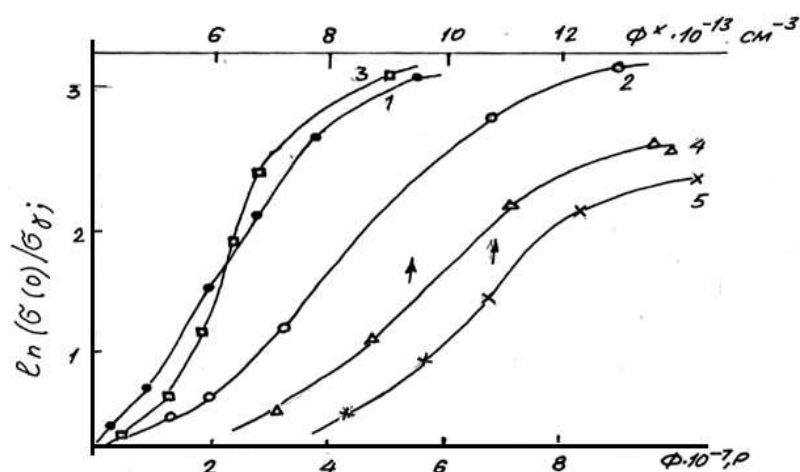


Рис.4. Влияние γ – (1-3) и нейтронного облучения (4,5) на электропроводность фоточувствительных слоев PbS. Кривые 1,2,4,5 – облучение при комнатной температуре; 3 – облучение при температуре жидкого азота.

Экспериментальные данные, представленные на рис. 2 и 3, показали, что наибольшая деградация параметров пленок наблюдается при γ -облучении и термическом воздействии в атмосфере. Пленки, облученные в вакууме, не демонстрируют значительных изменений до дозы γ -излучения $\sim 5 \cdot 10^7$ Р. Эти результаты подчеркивают ключевую роль атмосферы в процессе деградации. На рис. 4 показано, что электропроводность фотослоев PbS экспоненциально уменьшается при γ - и нейтронном облучении, что связано с изменением

концентрации акцепторных состояний на границах кристаллитов. Кинетика изменения электропроводности в этих условиях описывается радиационно-стимулированной диффузией примесей: (б) при облучении в вакууме (1) и на воздухе (11).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предполагается, что уменьшение концентрации кислородных состояний связано с радиационно-стимулированной диффузией межкристаллитной примеси с ГК к свободной поверхности пленки. Кинетика изменения электропроводности при облучении описывается соотношением типа (1), где D_{rk} заменяется на D_{rky} — коэффициент радиационно-стимулированной диффузии. Сравнение деградации свойств пленок в полях излучений и при термическом воздействии показывает общность этих процессов, включая уменьшение электропроводности и изменение энергий активации электрических, фотоэлектрических и гальваноманнитных параметров. Это позволяет объяснить физические свойства слоев халькогенидов свинца и закономерности деградации.

Литература

- [1] González-Estévez J. et al., Journal of Applied Physics, 2017.
<https://doi.org/10.1007/s11810-021-2050-x>
- [2] Ivashko O. et al., Materials Science in Semiconductor Processing, 2019.
<https://doi.org/10.1007/s11810-019-1856-9>
- [3] Kost A.I., Schmidt V.F., Springer, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11810-017-1346-4>
- [4] Perel V.I., Guly Y.M., Semiconductor Science and Technology, 2012.
<https://doi.org/10.1007/s11810-018-1632-x>
- [5] Gubin Y.G., Infrared Physics & Technology, 2015.
<https://doi.org/10.1007/s11810-016-1106-7>