

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК PbSe В ИК ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Сулаймонов Хусанбой Маннопович

Ферганский политехнический институт

Фергана, Узбекистан

sulaymonovxusanboy@gmail.com, ORCID:0000-0003-0790-1584

АННОТАЦИЯ

Экспериментальные исследования показывают, что коэффициент прозрачности стремится к нулю, сдвигаясь в длинноволновую область спектра при различном времени отжига. Это приводит к росту коэффициента поглощения пленок. Особый характер спектра поглощения пленок поглощения монотонно растет в области $\hbar\omega \geq kT$.

Ключевое слово. *эффективную массу носителей, показатель преломления, плазменными колебания, коэффициента тензочувствительности, удельной электропроводности, подвижности носителей заряда*

ABSTRACT

Experimental studies show that the transparency coefficient tends to zero, shifting to the long-wavelength region of the spectrum at different annealing times. This leads to an increase in the absorption coefficient of the films. The special character of the absorption spectrum of absorption films monotonically increases in the region.

Keywords: *effective carrier mass, refractive index, plasma oscillations, tensorsensitivity coefficient, electrical conductivity, charge carrier mobility*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из надежных и эффективных методов исследования полупроводниковых пленочных материалов является исследование их оптические свойства, что порой достигается путем изучения спектров поглощения и отражения пленок. В неоднородных полупроводниках закономерности этих спектров могут дать необходимые полезные информации о фазовом составе, кристаллической структуре и влиянии степени неоднородности на электрофизические свойства тонких поликристаллических пленок[1-9]. Представляет интерес изменение коэффициента поглощения и отражения, диэлектрической проницаемости узкозонных полупроводниковых пленок в инфракрасной (ИК) области спектра при комнатной температуре. В

этой главе излагаются результаты исследования поликристаллических пленочных образцов n- и p- типа проводимости: положения края основного оптического поглощения сильнолегированных пленок $PbTe:Pb:Te$, $PbSe$ в зависимости от состава исходной напыляемой шихты и определение ширины запрещенной зоны, а также сведения о характере механизма рассеяния в широкой области состава этих пленок. С другой стороны широко известно, что исследование механизмов электропроводности также позволяет определить типа и степени неоднородности полупроводниковой пленочной структуры, а также природы рассеивающих центров [11-23]. Это особенно является эффективным, если использовать переменный электрический ток, когда электропроводность в основном определяется емкостным сопротивлением.

Естественно, что произвольные изменения технологических параметров получения пленок приводят к изменениям её оптических характеристик, например, формы и положения полосы поглощения, дисперсии показателя преломления, спектра отражения.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Спектры отражения при комнатной температуре, полученные на основании измерения прозрачности пленочных образцов $PbSe$. Из графиков видно, что в спектрах отражения пленок имеется по несколько полос, хотя они имеют общий характер, вместе с этим они отличаются по положению полос поглощения, которые испытывают сдвиги по шкале энергии и некоторые изменения по интенсивностям. Экспериментально установлено [1-12], что с ростом времени отжига спектральная зависимость коэффициента поглощения изменяется сложным образом. Экспериментальные исследования показывают, что коэффициент прозрачности стремится к нулю, сдвигаясь в длинноволновую область спектра при различном времени отжига. Это приводит к росту коэффициента поглощения пленок. Особый характер спектра поглощения пленок поглощения монотонно растет в области $\hbar\omega \geq kT$.

На рис. 1 показаны спектры отражения при комнатной температуре, полученные на основании измерения прозрачности пленочных образцов $PbSe$.

Из графиков видно, что в спектрах отражения пленок имеется по несколько полос, хотя они имеют общий характер, вместе с этим они отличаются по положению полос поглощения, которые испытывают сдвиги по шкале энергии и некоторые изменения по интенсивностям. Экспериментально установлено [1], что с ростом времени отжига спектральная зависимость коэффициента поглощения изменяется сложным образом.

Экспериментально доказано, что при толщине пленки больше 10 мкм интерференционная картина не дает существенного вклада в коэффициент пропускания. Если поглощения в пленке мало ($k^2 \ll n^2$), то максимум интерференций появляется при условии:

$$2nd = m\lambda, \tag{1}$$

где n – показатель преломления, d – толщина пленки, m – целое положительное число, характеризующее порядок интерференционного максимума. Формула (1) позволяет вычислить толщину поликристаллических пленок.

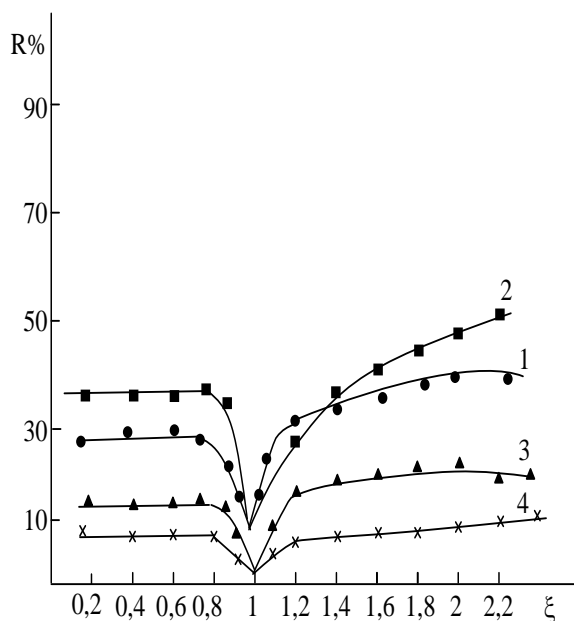


Рис. 1. Зависимость коэффициентов отражения пленок

от $\xi = \omega / \omega_{\min}$ при малой энергии квантов $\hbar\omega < kT$. При этом наблюдается минимум в спектре отражения ИК - излучения. Сравнивая теоретическое и экспериментальное значения минимума коэффициента отражения, можно определить электрофизические параметры неоднородных пленок *PbSe*. По экспериментально наблюдаемой кривой спектры коэффициента отражения определяют $R_{\min} = R \rightarrow 0$ и длину волны $\lambda_{\min} = \lambda_p$, а также ряд других кинетических параметров пленок.

Для определения оптических констант пленки необходимо снять спектральную зависимость коэффициента пропускания чистой подложки и системы пленка-подложка. В случае тонкой пленки, находящейся на прозрачной подложке, были использованы формулы, которые связывают

Толщина измерялась методом взвешивания и методом интерференции в установке МИИ – 4. Полученные результаты практически совпадают. В этих образцах (толщиной 17 мкм) коэффициент пропускания стремится к нулю при длине волн 4 мкм. ИК – измерения спектра поглощения пленок с разными концентрациями носителей зарядов проводились при комнатной температуре.

Поглощение света свободными носителями в поликристаллических пленках наблюдается при условии

пропускание системы пленка-подложка с толщиной пленки и оптическими параметрами пленки и подложки.

Для узко зонных вырожденных образцов на спектральных кривых оптического отражения в ИК области наблюдается минимум, обусловленный плазменными колебаниями носителей заряда. Значение частоты в минимуме отражения ω_{min} связано с плазменной частотой ω_p . Значение ω_{min} позволяет определить эффективную массу носителей, если известна их концентрация N . Кроме эффективной массы, измерение отражения в области плазменного резонанса позволяет находить проводимость, подвижность носителей, время их релаксаций и другие оптические характеристики.

В реальном кристалле необходимо учесть релаксационные явления. Такой учет приводит к появлению в выражении для комплексной диэлектрической проницаемости члена, зависящего от времени релаксации. В этом случае для действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости будем иметь [2]

$$\text{Re } \varepsilon = \text{Re } \varepsilon_{\infty} - \frac{4\pi e^2 N}{m^*} \left\langle \frac{\tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} \right\rangle, \quad (2)$$

$$\text{Im } \varepsilon = \text{Im } \varepsilon_{\infty} - \frac{4\pi e^2 N}{m^* \omega} \left\langle \frac{\tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \right\rangle, \quad (3)$$

где τ - время релаксации носителей тока; $\text{Re } \varepsilon_{\infty}$ и $\text{Im } \varepsilon_{\infty}$ - вещественная и мнимая части диэлектрической проницаемости пленок при $\lambda \rightarrow 0$ ($\omega \rightarrow \infty$).

Экспериментальная зависимость $\text{Re } \varepsilon_{\infty}$ от λ^2 для различного времени отжига, приводящего к существенному увеличению стабильности параметров пленки, представлена на рис. 4.11. Видно, что она линейна в длинно-волновой области спектра. Экстраполяция линейного участка этих зависимостей позволяет определить высокочастотную диэлектрическую проницаемость пленок ε_{∞} . Из наклона прямолинейного участка спектра можно определить отношение N/m^* . Исходя из вышеизложенных были определены эффективная масса m^* , время релаксации τ и концентрация носителей N заряда в поликристаллических пленках $PbSe$ известными методами, изложенными, например, в работах [9-12].

Основные физические свойства поликристаллической пленки связаны с её неоднородностью. Поэтому изучение механизмов электропроводности позволяет определить типа и степени неоднородности полупроводниковой пленочной структуры, а также природы рассеивающих центров [29,30,31,94,95]. Это особенно является эффективным, если использовать переменный

электрический ток, когда электропроводность в основном определяется емкостным сопротивлением межкристаллического интерфейса. Если при этом пленочная структура содержит электрически активные неоднородности, определенные, например, областями объемного заряда или металлическими вкраплениями, то общее сопротивление пленки на переменном токе должно быть меньше по сравнению с омическим на

постоянном токе. Так как в этом случае электропроводность в основном определяется емкостью между кристаллическими зернами.

В свете выше изложенного была изучена частотная зависимость сопротивления пленок *PbTe* с различным избытком теллура [10-19] и при этом измерение проводилось в интервале частоты переменного тока $0 \leq \nu \leq 10^6 \text{ Гц}$. Результаты экспериментального исследования приведены. Как видно из графиков, избыток теллура приводит к резкому увеличению сопротивления пленки. С ростом частоты приложенного синусоидального напряжения электрическое сопротивление пленки сначала до частоты $1-1,5 \cdot 10^5 \text{ Гц}$ медленно падает, затем наблюдается резкий спад. Характер изменения сопротивления от частоты $R(\nu)$ для всех образцов почти одинаковый. При значении $\omega > 3 \cdot 10^5 \text{ Гц}$ зависимость сопротивления с различным избытком *ΔTe* замедляется и стремится к предельному значению.

ВЫВОД

Результаты вычислений представлены в таблице 1. Здесь также приведены экспериментально определенные значения высокочастотной диэлектрической проницаемости ϵ_∞ , показателя преломления n , толщины d , коэффициента тензочувствительности K , удельной электропроводности σ_0 пленок и подвижности μ носителей заряда.

Результаты вычислений представлены в таблице 1. Здесь также приведены экспериментально определенные значения высокочастотной диэлектрической проницаемости ϵ_∞ , показателя преломления n , толщины d , коэффициента тензочувствительности K , удельной электропроводности σ_0 пленок и подвижности μ носителей заряда.

Основные параметры пленки *PbSe*, в зависимости от времени отжига.

Таблица 1

| $t_{отж}$ | ϵ_∞ | n | d , мкм | K , отн.ед. | $\langle \tau \rangle$, 10^{-12} с | σ_0 , $\text{Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ | μ , $\frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$ | $N \cdot 10^{-16}$, см^{-3} | $\frac{m^*}{m} \cdot 10^2$ |
|-----------|-------------------|-----|--------------|------------------|--|--|--|--|----------------------------|
| | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---------|-----|-------|-------|-----|------|-------|------|------|------|
| Неотож. | 860 | 7,37 | 0,14 | 410 | 2,27 | 0,057 | 5,2 | 6,85 | 0,78 |
| 30 мин | 730 | 12,81 | 0,13 | 220 | 1,22 | 0,026 | 2,37 | 6,86 | 0,92 |
| 80 мин | 612 | 11,2 | 0,116 | 220 | 1,22 | 0,022 | 1,97 | 6,97 | 1,1 |
| 120 мин | 618 | 7,38 | 0,39 | 120 | 0,66 | 0,012 | 1,1 | 6,86 | 1,09 |
| 180 мин | 370 | 9,79 | 0,2 | 90 | 0,5 | 0,005 | 0,45 | 6,87 | 1,82 |

На основании этих данных можно изучить очень важные физические свойства поликристаллической пленки PbSe.

Из таблицы видно, что полученные экспериментальные результаты из оптических спектров качественно согласуются с данными, полученными другими методами, например, холловских измерений.

REFERENCES

1. Sulaymonov N. M., Yuldashev N. K. Effect of internal stresses on the static strain characteristics of p-(Bi 0.3 Sb 0.7) 2 Te 3 composite films //Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2016. – Т. 10. – №. 4. – С. 878-882.
2. Юлдашев Носиржон Хайдарович, Ахмаджонов Меҳриддин Фахриддинович, Мирзаев Валижон Тулкинович, Нурматов Озодбек Равшанжон Угли Фотоэлектретные пленки CdTe:Ag и Sb₂Se₃ при собственном и примесном поглощении света shape * MERGEFORMAT // Евразийский Союз Ученых. 2019. №3-4 (60). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fotoelektretnye-plenki-cdte-ag-i-sb2se3-pri-sobstvennom-i-primenom-pogloschenii-sveta-shape-mergeformat> (дата обращения: 15.12.2021).
3. Сулаймонов Х.М. Влияние циклической деформации на электропроводность пленок p-(Bi_{0.3}Sb_{0.7})₂Te₃ на переменном токе. // Журнал технической физики. – Российская Федерация, 2017. –Т. 87, № 3, С. 471-472. (Springer, IF: 1.02, 01.00.00, №20). <http://dx.doi.org/10.21883/JTF.2017.03.44258.1904>
4. Shavkat Sh. Abdullaev, Nosirjon Kh. Yuldashev, Khusanboy M. Sulaymonov. Tensoresistive Properties of Thin Polycrystalline (Bi_{0.3}Sb_{0.7})₂Te₃ Films at Static and Cyclic Deformations. International Journal of Modern Physics and Application. Vol. 3, No. 4, 2016, pp. 52-56.
5. Yuldashev N. K. et al. THE EFFECT OF MECHANICAL DEFORMATION ON THE PHOTOVOLTAIC PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR

POLYCRYSTALLINE FILM STRUCTURES CdTe: Sn //Scientific-technical journal. – 2019. – Т. 23. – №. 3. – С. 9-14.

6. Rakhmonov T. I., Siddikov R. U., Mirzaaxmedov A. Influence of mechanical deformation on the photo-voltaic properties of thin polycrystalline CdTe, CdSe, CdS films manufactured by portional evaporation in vacuum //Scientific-technical journal. – 2021. – Т. 4. – №. 3. – С. 11-21.

7. Sulaymonov X. M., Yuldashev N. K. ELEKTRIC CONDUCTIVITY AND STRAIN SENSITIVITY OF SEMICONDUCTOR POLYCRYSTALLINE THIN FILMS //Scientific-technical journal. – 2020. – Т. 24. – №. 1. – С. 9-20.

8. Sulaymonov K. M. et al. EDGE ABSORPTION SPECTRA OF HEAVILY DOPED POLYCRYSTALLINE PBTE: PB AND PBTE: TE FILMS //Scientific-technical journal. – 2021. – Т. 3. – №. 2. – С. 22-26.

9. Сулаймонов Х. М. и др. Фотоэлектрические свойства полупроводниковых поликристаллических пленочных структур CdTe: Sn при статических механических деформациях //Известия Ошского технологического университета. – 2019. – №. 3. – С. 180-186.

10. Фото- и тензоэлектрические свойства тонких поликристаллических пленок CdTe, CdSe, ZnTe на прозрачных диэлектрических подложках, полученных методом дискретного испарения в вакууме / Т. И. Рахмонов, Х. Э. Мухаммадякубов, Х. М. Сулаймонов, Н. Х. Юлдашев // General question of world science : Collection of scientific papers on materials VII International Scientific Conference, Brussel, 30 марта 2019 года. – Brussel: "Наука России", 2019. – С. 42-47. – DOI 10.18411/gq-30-03-2019-36.

11. Маматов, О., Нурматов, О. Р., Рахмонов, Т. И., & Юлдашев, Н. Х. (2019). Фото-и тензоэлектрические свойства тонких пленок халькогенидов кадмия, полученных методом порционных испарений в вакууме.

12. Axmadjonov M. F. et al. THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CdTe: Ag PHOTOELECTRICAL FILMS IN THE AREAS OWN AND IMPURITE ABSORPTION //Scientific-technical journal. – 2019. – Т. 2. – №. 2. – С. 9-17.

13. Raxmonov T. I., Mamasoliev M. S., Yuldashev N. K. Time kinetics of polariton luminescence of semiconductor crystals under resonant excitation of excitons //Scientific-technical journal. – 2021. – Т. 4. – №. 3. – С. 64-68.

14. Sultanov N. A. et al. Photoluminescence spectra of silicon doped with cadmium //Scientific-technical journal. – 2021. – Т. 4. – №. 3. – С. 22-26.

15. Разработка автоматизированной системы измерений энергетических характеристик солнечных энергетических установок / С. Ф. Эргашев, Д. Т.

- Мамадиева, Х. М. Сулаймонов [и др.] // Точная наука. – 2019. – № 43. – С. 22-27.
16. Sulaymonov, Kh.M., & Yuldashev, N.Kh. (2017). Tensometric properties of polycrystalline films n-PbS dependent on doping level. Uzbekiston Fizika Zhurnali, 19(2), 84-87.
17. Мирзаев В. Т. и др. МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ (РЗ)-ИОНОВ В ПАРАМАГНИТНЫХ ГРАНАТАХ //Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. – 2019. – С. 34-36.
18. Полвонов Б. З. и др. Исследование низкотемпературной фотолюминесценции кристаллов в области экситонного резонанса //НАУКА РОССИИ: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ. – 2019. – С. 8-11.
19. Султанов, Номанжан Акрамович, Эрмат Тожиматович Рахимов, and Зокиржон Мирзажонов. "ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И ЕМКОСТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭЛЕМЕНТАМИ S, Se, Te." Известия Ошского технологического университета 3 (2019): 40-45.
20. Полвонов Б. З. и др. Диагностика полупроводниковых материалов методом поляритонной люминесценции //General question of world science. – 2019. – С. 39-42.
21. Султанов Н. А. и др. ВЛИЯНИЕ ФОТОТЕРМИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ НА ФОТОПРОВОДИМОСТЬ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОМ СЕЛЕНОМ //ADVANCED SCIENCE. – 2018. – С. 18-22.
22. Султанов, Номанжан Акрамович, Эрмат Тожиматович Рахимов, and Зокиржон Мирзажонов. "СПЕКТРЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ (ФЛ) ЗАКАЛЕННОГО И ЛЕГИРОВАННОГО КРЕМНИЯ." Точная наука 44 (2019): 22-25.
23. Султанов, Н. А., et al. "ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ГЛУБОКИЕ УРОВНИ ПРИМЕСЕЙ И РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ." ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ) (2019): 46.
24. Юлдашев Н. Х. и др. Фотоэлектрические пленки CdTe: Ag и Sb₂Se₃ при собственном и примесном поглощении света shape* MERGEFORMAT //Евразийский Союз Ученых. – 2019. – №. 3-4 (60).
25. Axmadjonov M. F. et al. THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CdTe: Ag PHOTOELECTRICAL FILMS IN THE AREAS OWN AND IMPURITE ABSORPTION //Scientific-technical journal. – 2019. – Т. 2. – №. 2. – С. 9-17.

26. Rakhmonov, T I. and Yuldashev, N Kh (2021) "PHOTO-TENSOELECTRIC PROPERTIES OF THIN POLYCRYSTALLINE CdTe, CdSe, CdS FILMS OBTAINED BY PORTIONAL THERMAL EVAPORATION IN A VACUUM," *Scientific-technical journal*: Vol. 4 : Iss. 4 , Article 4.
27. Yuldashev N. K. et al. THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CDTe: Ag PHOTOELECTRICAL FILMS IN THE AREAS OWN AND IMPURITE ABSORPTION //Scientific-technical journal. – 2019. – T. 23. – №. 2. – C. 9-17.
28. Ahmadaliev, B J.; Akhmadjonov, M F.; Nurmatov, O R.; Yuldashev, N Kh; Mamatov, O M.; Muxammadyakubov, H E.; and Urmonov, S R. (2019) "THE DISPERSION AND PHOTOLUMINESCENCE SPECTRUM OF MIXED EXCITONS AT CRITICAL DAMPING VALUES," *Scientific-technical journal*: Vol. 2 : Iss. 1 , Article 2.
29. Ahmadaliev B. J. et al. THE DISPERSION AND PHOTOLUMINESCENCE SPECTRUM OF MIXED EXCITONS AT CRITICAL DAMPING VALUES //Scientific-technical journal. – 2019. – T. 2. – №. 1. – C. 9-14.
30. Nurmatov, O.; Rahmonov, T.; Sulaymonov, Kh.; and Yuldashev, N. (2020) "PHOTOTENSOELECTRIC PROPERTIES OF POLYCRYSTALLINE FILMS OF CHALCOGENIDES OF CADMIUM AND ZINC, PRODUCED BY PORTIONAL EVAPORATION IN VACUUM," *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*: Vol. 2 : Iss. 5 , Article 10.
31. Sultanov N. A. et al. Photoluminescence spectra of silicon doped with cadmium //Scientific-technical journal. – 2021. – T. 4. – №. 3. – C. 22-26.
32. Rasulov V. R. et al. PHOTON DRAG EFFECT IN p-Te //European Science Review. – 2018. – №. 9-10-1. – C. 249-252.
33. Tolaboyev, D.X. KRISTALL PANJARADA ATOMLAR BIR O'LCHAMLI ZANJIRINING TEBRANISHLARINI TEKSHIRISH // ORIENSS. 2021. №11.
34. Nasirov, M.X., Axmadjonov, M. F., Nurmatov, O.R., Abdullayev, Sh.Sh. O'LCHAMLI KVANTLASHGAN STRUKTURALARDA KVAZIZARRALAR // ORIENSS. 2021. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-lchamli-kvantlashgan-strukturalarda-kvazizarralar> (дата обращения: 15.12.2021).
35. Ahmadaliyev B. J., Yuldashev N. K., Yulchiyev I. I. SPECIFIC FEATURES OF THE DISPERSION OF MIXED EXCITON-POLARITON MODES IN UNIAXIAL CRYSTALS OF THE CDS TYPE //Scientific-technical journal. – 2020. – T. 24. – №. 5. – C. 61-65.
36. Marketing And Information Support In Public Sector. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 2021; 8(1): 940-947.