

МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА

УДК: 546.815/819:535.37:66-97

DOI 10.33514/1694-7851-2023-1-41-45

Акбеков Т.М.

физ.-мат. илим. канд., доц.

И. Арабаев атындагы Кыргыз мамлекеттик университети

Токонбекова К.Ч.

техн. илим. канд., доц.

И. Арабаев атындагы Кыргыз мамлекеттик университети

**АР КАНДАЙ ТЕМПЕРАТУРАДА КРАМЕРС-КРОНИГ КАТЫШЫН КОЛДОНУУ
МЕНЕН P_{VO_T} ОПТИКАЛЫК КОНСТАНТАЛАРЫН АНЫКТОО**

Аннотация: Бул илимий иште Крамерс-Кронинг байланышын колдонуу менен P_{VO_T} кристаллынын чагылуу спектрлеринен оптикалык турактууларды аныктоого арналган. Экситондук абалдар 3,22 эВ жана 3,98 эВ энергиялар аймагында байкалган.

Негизги сөздөр: спектрдик диапазон, тетрагоналдык коргошун, үлгү, Крамерс-Кронинг катышы, оптикалык турактуулар, жарым өткөргүчтөр, чагылуулар, өткөрүүлөр, үлгү, абсорбция, поляризация.

Акбеков Т.М.

канд. физ.-мат. наук, доц.

Кыргызский государственный университет имени И. Арабаева

Токонбекова К.Ч.

канд. техн. наук, доц.

Кыргызский государственный университет имени И. Арабаева

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ P_{VO_T} С ПОМОЩЬЮ
СООТНОШЕНИЯ КРАМЕРСА-КРОНИГА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Аннотация: Данная работа посвящена определению оптических констант в спектрах отражения P_{VO_T} с помощью соотношения Крамерса-Кронинга. В энергиях 3,22 эВ и 3,98 эВ наблюдается экситонные состояния.

Ключевые слова: спектральный диапазон, тетрагональный свинец, образец, соотношение Крамерса-Кронинга, оптические постоянные, полупроводники, отражения, пропускания, образец, поглощения, поляризация.

Akbekov T.M.

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Acting Professor

Kyrgyz State University named after I. Arabaev

Tokonbekova K.Ch.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kyrgyz State University named after I. Arabaev

**DETERMINATION OF THE OPTICAL CONSTANTS OF PVOT USING
THE KRAMERS-KRONIG RATIO AT VARIOUS TEMPERATURES**

Annotation: Transmission and reflection spectra of tetragonal lead oxide crystals through the 3.22 – 3.98 eV region were investigated. Optical constants-refraction index n and absorption index a were also calculated. Peculiarity in spectrum dependence of those indexes is interpreted by a direct transition into excitonic states situated at 3,22 eV and 3,98 eV.

Keywords: spectral range, tetragonal lead, sample, Cramers-Crown ratio, optical constants, semiconductors, reflections, transmissions, sample, absorption, polarization.

Бул эмгекте биз 3,0–5,5 эВ спектрдик диапазондогу тетрагоналдык коргошун монокычкыл кристаллдарынын оптикалык турактууларынын чагылуу спектрдик көз карандылыктарынын сунуштайбыз. Өлчөөлөр щелочтуу эритмелерден гидротермикалык синтез жолу менен өстүрүлгөн, багытталган монокристаллдарда поляризацияланган жарыкта жүргүзүлдү. Үлгү өлчөмдөрү $100 \times 100 \times 0.5 \text{ мм} - 5 \times 5 \times 2 \text{ мм}$. Энергия диапазонундагы оптикалык константалар 3,0–5,5 эВ чагылуу спектрлеринен аныкталды. Математикалык иштетүү Крамерс-Крониг анализинин стандарттык ыкмасын колдонуу менен жүргүзүлгөн [1].

Жарым өткөргүчтөрдүн оптикалык функцияларын энергияны чагылуу коэффициентинин R спектринен эсептөө төмөнкү катнаштын негизинде жүргүзүлдү.

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= n^2 - \kappa^2 \\ \varepsilon_2 &= 2n\kappa \end{aligned} \right\} (1)$$

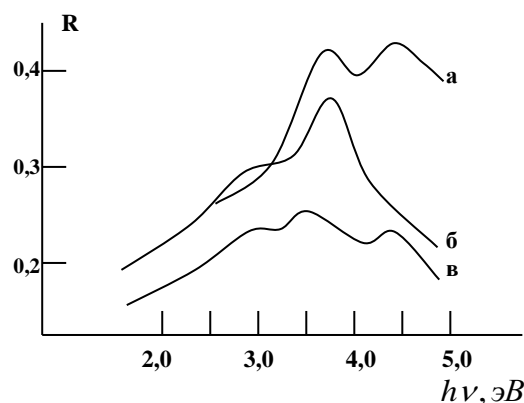
$$\left. \begin{aligned} n &= 2^{-1/2} [(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2} + \varepsilon_1]^{1/2} \\ \kappa &= 2^{-1/2} [(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)^{1/2} - \varepsilon_1]^{1/2} \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{1 - R}{(1 - \sqrt{R})^2 + 4\sqrt{R} \sin^2 \frac{\theta}{2}} \\ \kappa &= \frac{2\sqrt{R} \sin \theta}{(1 - \sqrt{R})^2 + 4\sqrt{R} \sin^2 \frac{\theta}{2}} \end{aligned} \right\} (3)$$

Крамерс-Крониг интегралдарын колдонуу менен R коэффициентин чагылдырууда жарык толкунунун фазасынын өзгөрүшүнө байланыштырган:

$$\left. \begin{aligned} \theta(\omega) &= \frac{\omega}{\pi} + \frac{\log[R(\omega')]}{\omega'^2 - \omega^2} d\omega' \\ \log R(\omega) &= \log R(\infty) + \frac{4}{\pi} + \frac{\theta(\omega')}{\omega'^2 - \omega^2} d\omega' \end{aligned} \right\} (4)$$

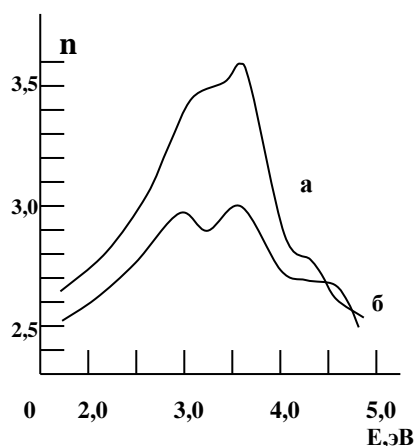
(4) сандык ыкмалар менен чечүү үчүн интегралдагы $\omega = \omega'$ сингулярдуулукту жок кылуу керек. Муну бир нече жол менен жасоого болот [1, 2]. Эсептөөнүн тактыгын жогорулатуу үчүн сынуу көрсөткүчтөрүн колдондук жана өткөрүү спектрлеринен аныктадык [3]. Чагылуунун спектрлери (1-сүрөт) ар кандай геометрияларда жазылган;



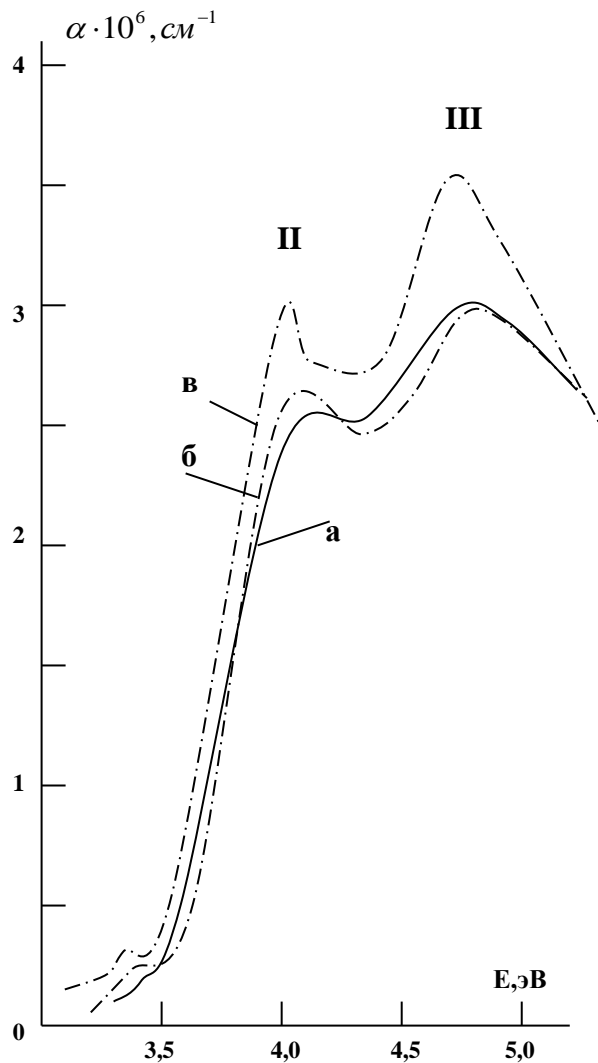
Сүр. 1. Чагылуу спектри ар кандай геометрияда 77К жазылган
 $E \perp C, \kappa \parallel C$ (а), $E \perp C, \kappa \perp C$ (б), $E \parallel C, \kappa \perp C$ (в).

Бардык спектрлерде начар түзүлүштөр байкалды (1-сүрөт), анын дааналыгы температуранын төмөндөшү менен бир аз жогорулаган.

Спектрлердин кызыктуу өзгөчөлүгү $h\nu > 3.7 \text{ эВ}$ энергиялар боюнча $E \perp C$ оптикалык огуна перпендикуляр жана ($\kappa \parallel C$) бойлой байкоо жүргүзүүдө ($\kappa \perp C$) поляризациянын чагылуусунан жогору айырмасы болгон. Бул чагылдыруучу беттердин сапатынын айырмачылыгынан уламбы же катмарлуу коргошун кычкылы кристаллдарынын анизотропиясынын спецификалык көрүнүшүбү, аны биз так аныктай алган жокпуз. Чагылуунун спектрлеринен эсептелген оптикалык константалардын спектрдик көз карандылыктары (2-4-сүрөт) көрсөтүлгөн. $E \perp C, \kappa \parallel C$ поляризацияда 300К жутулуу спектри (3-сүрөт) 3,2-3,5 эВ энергия диапазонун этап-этабы менен көбөйтүүдөн турат. , жутулуунун кескин өсүшү, 3,96 эВ-Иде максимумга жана 4,6 эВ-IIIде кеңири максимумга жетет.



Сүр. 2. Сынуу көрсөткүчүнүн спектрдик көз карандылыгы,
а) $E \perp C - n \perp$ жана б) $E \parallel C - n_{\parallel}$ поляризацияларында 77 К өлчөнгөн



Сүр. 3. $\alpha \perp (h\nu)$ турактуулугунун чагылуу спектринен ар кандай геометрияда жана температурада эсептелип алынган көз карандылыгы $E \perp C, K \parallel C$ при 300 (а), 77 (б) и 4,2 К (в).

Үлгү муздатылганда, бардык өзгөчөлүктөрдүн жарым кеңдиги азаят, ал эми II максимумдун эң жогорку интенсивдүүлүгү жогорулайт. 4,2 К спектрдин төмөнкү жыштык канатында сызык пайда болот, ал өткөргүч спектрлерде байкалган 3,22 эВ жутулуу сызыгы менен дал келет [3]. Максималдуу II түз жутулуу четиндеги температуранын жылышына окшош төмөнкү энергияларга өтөт

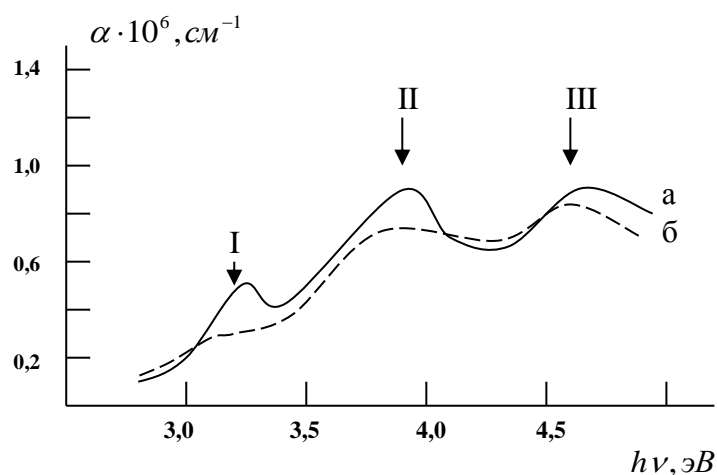
2-сүрөттө эсептөөлөрдүн натыйжалары $n_{\perp}(h\nu)$ жана $n_{\parallel}(h\nu)$. Бүткүл энергетикалык интервалда (2-сүрөт), $n_{\perp} > n_{\parallel}$ бирок энергиянын өсүшү менен n_{\parallel} өсүү ылдамдыгы n_{\perp} -дан чоң. Эсептелген маалыматтарды талдоо менен, $n_{\perp}(h\nu)$ дисперсиянын пайда болушу үчүн жооптуу оптикалык резонанс күчтүүрөөк осциллятордук күчкө ээ жана $n_{\parallel}(h\nu)$ дисперсияга алып келген резонанска караганда жогорураак энергияларда жайгашкан деген тыянак

чыгарууга болот. $E \parallel C, \kappa \perp C$ деги чагылуу спектрлеринен өлчөнгөн жутулуу спектрлери (4-сүрөт) көрсөтүлгөн.

Өткөрүүчү спектрлерден [3] аныкталган жутулуу сызыгынын энергиясы менен дал келген максимум байкалат жана II жана III тилкелерге окшош эки тилке. Бул поляризацияда жутуу коэффициенти азыраак.

Оптикалык константалардын эволюциясын талдап, өткөрүү [3] жана чагылдыруу спектрлеринен эсептелгендиктен, тике жол берилген тилке тилкелеринин өтүүсү поляризациядагы жана поляризациядагы энергиялардан башталат деген тыянак чыгарууга болот. Бул абсорбциянын ар кандай көбөйүшү жана анын чоң мааниси, тартибинин максимумуна жеткени менен далилденет. Абсорбциянын чокулары I жана II боюнча тиешелүүлүгүнө жараша А жана В экситондорунун экситондук абалынын көрүнүшү катары чечмеленсе болот.

Крамерс-Кронигдин чагылуу спектрлерин талдоодо принципалдуу мааниге ээ болгон жоболорду белгилей кетүү керек. Бир жагынан реалдуу экспериментте чагылуу спектри чектүү спектрдик интервалда ченелгендиктен, ал эми экинчи жагынан Крамерс-Крониг мамилелеринде (4) чексиз чектерден интегралдашуу болжолдонгондуктан, сандык эсептөөдө ал эксперименталдык спектрди өлчөнбөгөн аймакка экстраполяциялоо үчүн зарыл [2,4].



Сүр. 4. Чагылуу спектрлеринен эсептелинген $\alpha \parallel (h\nu)$ көз карандылыгы 300 (а) жана 77 К (б).

Колдонулган адабияттар:

1. Соболев В.В, Алексеев С.А, Донецкая В.И. Расчеты оптических функций полупроводников по соотношениям Крамерса-Кронига. – Кишинев, 1976. – С. 25.
2. Давыдов А.С. Теория твердого тела. – М.: Наука, 1975. – 625 с.
3. Акбеков Т.М, Гайсин В.А., Недзвецкий Д.С. Оптические константы тетрагональной окиси свинца в области 800–250 нм // Вестник ЛГУ. сер. 4, вып. 3. – 1991.
4. Мосс Т. Оптические свойства полупроводников. – М.: Издательство ин. лит., 1961.

Рецензент: физ.-мат. илим. канд., доц. Артыкова С.И.