

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ОБЫКНОВЕННЫХ И НЕОБЫКНОВЕННЫХ СВЕТОВЫХ ВОЛН В КРИСТАЛЛАХ AgAsS₂.

Лукреция Немеренко, Алиса Машник, Владимир Парван, Юрий Иваненко,
Владимир Миrowsкий
Технический Университет Молдовы
lnemerenco@yahoo.com

Abstract. *The anisotropy of the interference transmission spectra of crystals AgAsS₂ are study. Refractive indices n^{\parallel} and n^{\perp} for the polarizations E \parallel c and E \perp c and the spectral dependence of the difference refractive index $\Delta n = n^{\parallel} - n^{\perp}$ of the crystals AgAsS₂, are determined. In the transmission spectra placed between crossed polarizers are observed transmission band with 4 peaks. From the reflection spectra by the relations Kramers – Kronig is calculated optical parameters n , k , e_1 and e_2 for the polarization E \perp c and E \parallel c.*

Ключевые слова: анизотропия, спектры интерференции, пропускания, отражения.

I. Введение

Двулучепреломляющие кристаллы используются в различных устройствах - поляризаторах, интерферометрах, компенсаторах дисперсии, дефлекторах и др. Кристаллы AgAsS₂ относятся к слоистым двулучепреломляющим материалам с различной степенью анизотропии сил межатомного взаимодействия.

II. Методика эксперимента

Спектры отражения и модулированные по длине волны отражения (WDR) измерены на спектрометре MDP-2, СДЛ-1 и JASCO-670. Оптические системы полностью автоматизированы и предоставляют данные в виде дата файлов.

III. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Кристаллы AgAsS₂ (смитита) принадлежат к моноклинной симметрии с пространственной группой C_{2h}⁶, обладают сильной анизотропией оптических свойств. Параметры решетки равны: $a = 17.23$, $b = 7.78$, $c = 15.19 \text{ \AA}$, $\beta = 101^\circ 12'$. В элементарной ячейке содержатся 24 формульные единицы ($Z=24$), в примитивной ячейке Браве $Z = 12$ [1-4].

Спектры пропускания тонких сколотых кристаллов AgAsS₂ в области 0,6- 2,4 эВ представлены на рис.1. В спектрах пропускания наблюдаются ярко выраженные спектры интерференции в виде полос a, b, c, d,... и более частых полос 1, 2, 3,... Полосы 1, 2, 3,... обусловлены интерференцией Фабри-Перо световых лучей отраженных от плоскопараллельных поверхностей тонкой кристаллической пластины. Редкие интерференционные полосы a, b, c,... появляются вследствие наличия двулучепреломления в кристаллах смитита [5]. В длинноволновой области края поглощения в некоторых кристаллах обнаруживаются полосы поглощения при энергиях 2,197, 2,237 и 2,315 эВ, которые обусловлены мелкими примесными состояниями.

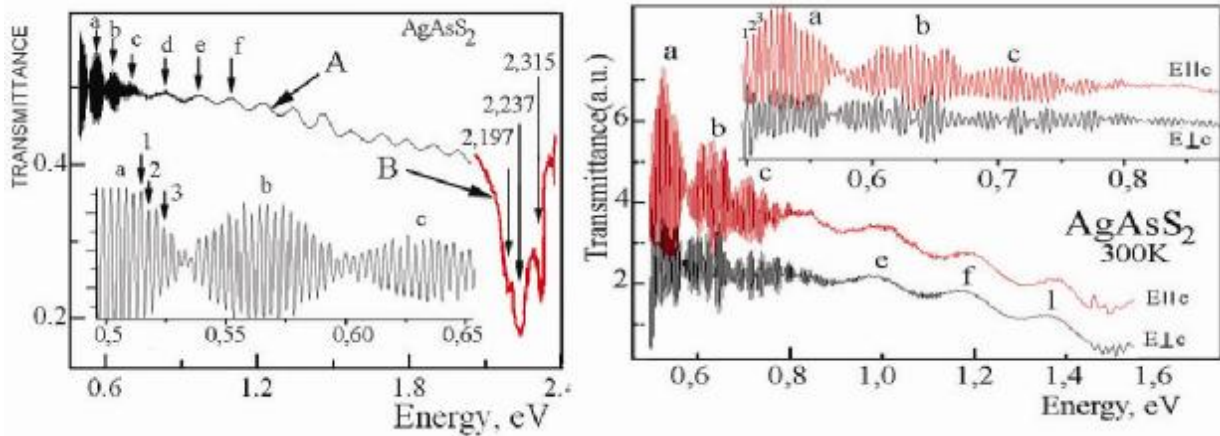


Рис.1 Спектральная зависимость пропускания кристаллов AgAsS_2 при 300К в неполяризованном свете (левая часть рисунка) и в поляризации E_{1c} и E_{1e} .

В кристаллах AgAsS_2 в области прозрачности наблюдается интерференция спектров пропускания. Для кристаллов различной толщины интерференция Фабри-Перо в измеренных спектрах пропускания наблюдается в различных областях спектра (рис.1). Особенностью интерференции спектров пропускания кристаллов AgAsS_2 является то, что частые линии интерференции (1, 2, 3, ...) модулированы более редкими полосами, которые обозначены а, b, с, d, и т.д. Подобная модуляция в спектрах интерференции наблюдается в кристаллах в которых имеет место двулучепреломление. В рассматриваемых кристаллах AgAsS_2 спектры интерференции в каждой поляризации испытывают перемодуляцию в связи с тем, что эти монокристаллы имеют моноклинную симметрию и анизотропию оптических параметров (двулучепреломление).

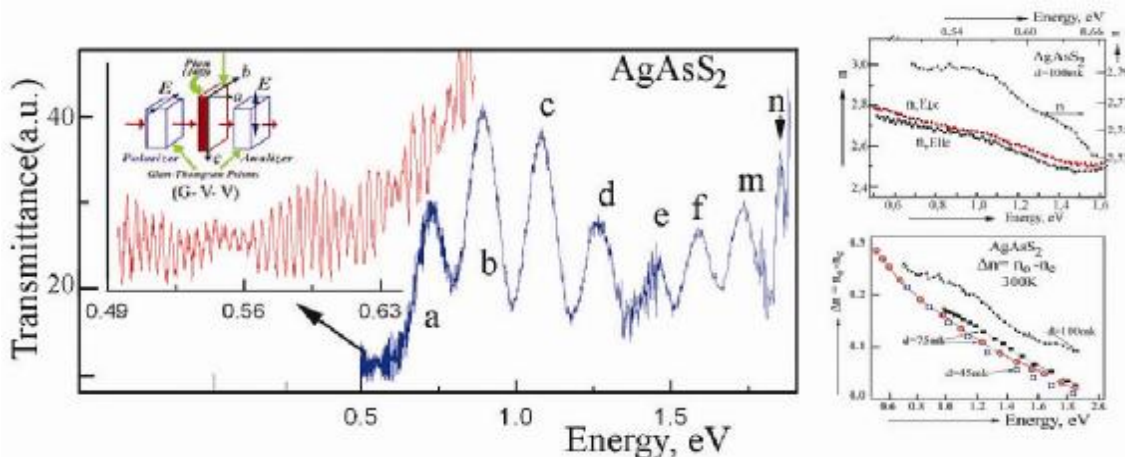


Рис.2. Спектры интерференции пропускания кристаллов AgAsS_2 помещенных между скрещенными поляризаторами (G - AgAsS_2 - V, G - вектор E ориентирован горизонтально, V - вектор E ориентирован вертикально, ось C кристалла ориентирована вертикально, толщина кристалла $d = 45$ мкм). Спектральная зависимость показателя преломления n_o , n_e и $\Delta n = n_o - n_e$ для образцов толщиной $d = 75$ мкм и $d = 100$ мкм (кривая смещена вверх на 0,05) кристаллов AgAsS_2 (правая часть рисунка)

На рис.2 представлены спектры интерференции пропускания кристаллов AgAsS_2 помещенных между скрещенными поляризаторами. Ось C кристалла AgAsS_2 ориентирована вертикально. Поляризатор пропускает излучение, поляризованное в горизонтальной

плоскости (на рис.2 отмечено стрелкой и обозначено – G). Анализатор ориентирован таким образом, что пропускает только излучение, поляризованное в вертикальной плоскости (на рис.2 отмечено стрелкой и индексом V).

В спектрах пропускания кристаллов AgAsS_2 в скрещенных поляризаторах обнаруживаются узкие линии интерференции 1, 2, 3, и.д., обусловленные интерференцией Фабри - Перо и более широкие линии a, b, c, d,... которые обусловлены интерференцией обыкновенных и необыкновенных волн в кристаллах AgAsS_2 . На широкие линии накладываются узкие линии интерференции. Более наглядно это видно в длинноволновой области. Спектральные зависимости показателя преломления, приведенные на рис.2, определены по положению густых линий интерференции (1, 2, 3,...) полученных на кристаллах различной толщины и поляризации световой волны (ЕПс, Е⊥с). Энергетическое положение линии a, b, c, d,... позволили определить разность показателе преломления обыкновенных и необыкновенных волн $\Delta n = n_o - n_e$ для образцов толщиной $d = 45$ мкм, 75 мкм и 100 мкм (правая часть рис.2, на рис.2 кривая для $d = 100$ мкм смещена вверх на 0,05). Из рис.2 видно, что разность показателей преломления уменьшается по мере роста энергии световых волн приближаясь практически к нулевым значениям. Спектральные зависимости показателей преломления, для кристаллов толщиной 100 мкм в поляризациях ЕПс и Е⊥с отличаются на малую величину. В обеих поляризациях спектральные зависимости показателя преломления уменьшаются с одинаковым градиентом по мере увеличения энергии световых волн.

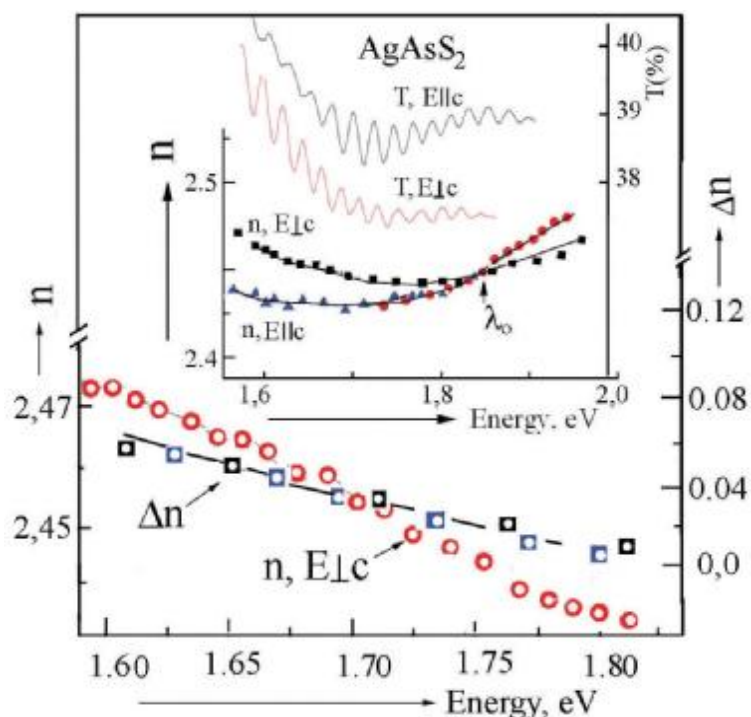


Рис.3. Спектры интерференции пропускания (T) и показатель преломления (n) в поляризациях ЕПс и Е⊥с кристаллов AgAsS_2 . Сопоставление спектральной зависимости показателя преломления $n_0(E\perp c)$ и разности показателей преломления $\Delta n = n_0(E\perp c) - n_e(EПс)$

На рис.3 показаны спектры интерференции пропускания (T) и показатель преломления (n) в поляризациях ЕПс и Е⊥с кристаллов AgAsS_2 в области энергий 1,6 – 2 эВ. Из рисунка видно, что показатели преломления для поляризаций ЕПс и Е⊥с пересекаются при длине волны λ_0 (1,86 эВ). Точка пересечения показателей преломления является изотропной

длиной волны. При этой длине волны кристалл не различает поляризации световых волн. В длинноволновой т.е. при энергиях $E < 1,86$ эВ пересечение показателей преломления в рассматриваемых кристаллах не обнаружено.

Спектральные зависимости показателя преломления $n_0(E \perp c)$ и разности показателей преломления $\Delta n = n_0(E \perp c) - n_e(E \parallel c)$ в области энергий 1,6 - 1,8 эВ сопоставлены на нижней части рис.3. Из полученных спектров видно, что с ростом энергии показатель преломления n_0 и разность Δn уменьшается. В рассматриваемых кристаллах в спектрах пропускания в области энергий меньших 1,8 эВ полосы, обусловленные примесными или другими состояниями, практически не обнаруживаются. А вблизи края поглощения имеются полосы поглощения при энергиях 2,19 эВ, 2,237 эВ и 2,315 эВ (рис.1), которые вероятнее всего обусловлены примесными состояниями.

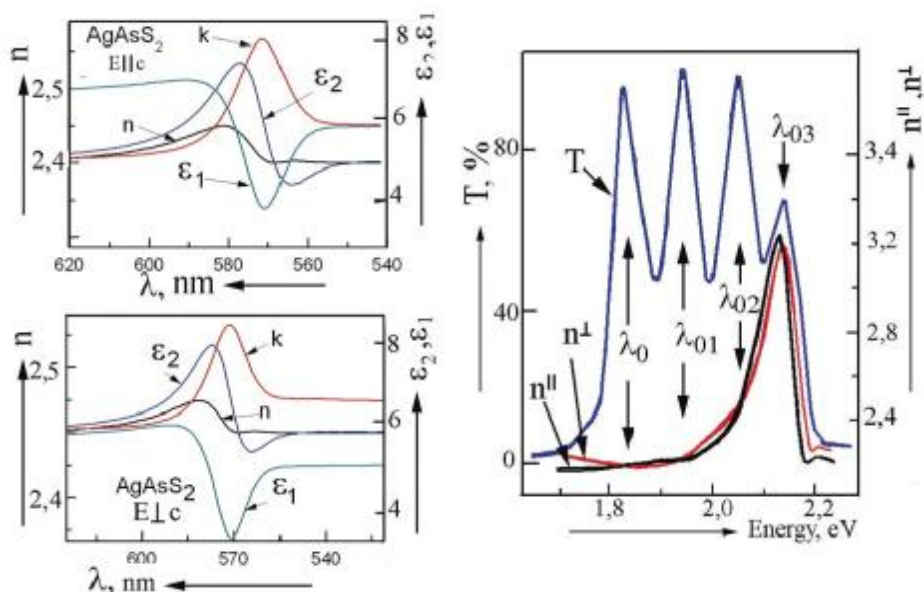


Рис.4. Оптические параметры n , k , ϵ_1 и ϵ_2 рассчитанные из спектров отражения по соотношениям Крамерса –Кронига для кристаллов AgAsS_2 в поляризации $E \perp c$ и $E \parallel c$.

Спектры пропускания кристаллов AgAsS_2 толщиной $d = 75$ мкм помещенных между скрещенными поляризаторами и спектральные зависимости коэффициента преломления $n^{\parallel}(E \parallel c)$ и $n^{\perp}(E \perp c)$, правый рисунок.

В области начала краевого поглощения из измеренных спектров отражения используя соотношения Крамерса –Кронига рассчитаны оптические параметры n , k , ϵ_1 и ϵ_2 (рис.4). При расчете спектров пропускания и отражения содержащие интерференцию стандартная программа Крамерс-Крониг трансформирует спектры интерференции как в показателе преломления так и в коэффициенте экстинкции. Поэтому нами были использованы спектры отражения кристаллов толщиной $d > 70$ мкм в спектрах, которых интерференция не наблюдалась.

В спектральных характеристиках оптических постоянных наглядно выделяются особенности в области длин волн 570 нм, при этом, как и следовало ожидать, максимумы ϵ_2 коррелируют с пиками коэффициента экстинкции k , а особенности ϵ_1 коррелируют с особенностями показателя преломления.

Спектральные зависимости показателя преломления в поляризациях $E \parallel c$ и $E \perp c$ кристаллов AgAsS_2 полученных из расчетов спектров отражения с помощью соотношений Крамерса–Кронига сопоставлены на рис.4. Из спектров видно, что в области края

поглощения имеются длины волны λ_0 , λ_{01} , λ_{02} и λ_{03} при которых показатели преломления n_0 и n_e пересекаются (рис.4).

В спектрах пропускания кристаллов AgAsS_2 помещенных между двумя скрещенными поляризаторами наблюдаются четыре ярко выраженных максимума при энергиях 1,841 эВ ($\lambda_0 - 674$ нм), 1,948 эВ ($\lambda_{01} - 636$ нм), 2,055 эВ ($\lambda_{02} - 603$ нм) и 2,151 эВ ($\lambda_{03} - 576$ нм). Длина волны этих максимумов соответствуют длинам волн, при которых пересекаются показатели преломления (рис.4). Таким образом, при этих длинах волн кристалл является изотропным. В большинстве изученных кристаллов ИТ расположена в длинноволновой области края поглощения, где возможно изменение природы и характера электронных переходов ответственных за краевое поглощение. Следует отметить, что крутизна (градиент) изменения величины Δn вблизи ИТ определяет контрастность такого рода фильтров, а количество ИТ определяет, является ли этот фильтр с одним максимумом или с несколькими как это наблюдается в кристалла AgAsS_2 . При $d = \pi/2\rho_0$ избирательность определяется спектральным диапазоном на границе которого по обе стороны от ИТ выполняется соотношение:

$$(\pi/\lambda)[\delta n^2 + \Delta n^2]^{1/2}d = \pi \quad (1)$$

т.е. условие, когда разность фаз между взаимодействующими модами достигает значения π . Селективность фильтра зависит от скорости изменения величины $[\delta n^2 + \Delta n^2]$ при прохождении через ИТ т.е. крутизны кривых частотной дисперсии $\Delta n(\lambda)$ и $\delta n(\lambda)$ в окрестности λ_0 .

В известных кристаллах [1-6] $\alpha = (10-10^2)\beta$, где $\alpha = (d\Delta n/d\lambda)_{\lambda=\lambda_0}$ и $\beta = (d\delta n/d\lambda)_{\lambda=\lambda_0}$ основной вклад в частотную зависимость аргумента дает дисперсия Δn .

Решая уравнение (1) относительно $(\lambda_{1/2}-\lambda_0)$, где $\lambda_{1/2}$ длина волны соответствующая пропусканию 0,5Т определяется полуширина $\Delta\lambda_{1/2}$ выделяемого спектрального контура:

$$\Delta\lambda_{1/2} = (3^{1/2}\lambda_0\rho_0)/\pi\alpha \quad (2)$$

Отсюда видно, что избирательность фильтра зависит от отношения ρ_0/α . Для улучшения избирательных свойств фильтра желательно использовать кристаллы с минимальным отношением ρ_0/α .

Спектральная характеристика фильтра в области вне ИТ отличается затухающей интерференционной картиной. При этом боковые экстремумы квазидистантны в величинах ($n_0 - n_e$), но не являются таковыми в длинах волн, поскольку $d\Delta n/d\lambda$ изменяется при удалении от λ_0 . Контрастность фильтра определяется как отношение пропускания в боковых максимумах к пропусканию основного максимума. Чем меньше это отношение, тем выше контрастность. Пропускание в боковых максимумах задается величиной $[1 + (\Delta n/\delta n)^2]^{-1}$. Поэтому для достижения лучшей контрастности необходимо, чтобы отношение $\Delta n/\delta n$ резко возрастало при удалении от λ_0 . Для получения наилучшей контрастности необходимо использовать кристаллы, в которых $\Delta n \ll \delta n$ и крутизна кривой дисперсии Δn больше крутизны кривой дисперсии δn . Для кристаллов AgGaS_2 $\Delta n/\delta n$ достигает значения ~ 10 на расстоянии $\sim 70\text{\AA}$ от ИТ. Это приводит к уменьшению величины $1/(1+(\Delta n/\delta n)^2)$ на множитель 10^2 и ослабляет пропускание примерно на 40 дБ [1-4]. В рассматриваемых нами кристаллах AgAsS_2 поскольку имеется четыре изотропные длины волн 1,841 эВ ($\lambda_0 - 674$ нм), 1,948 эВ ($\lambda_{01} - 636$ нм), 2,055 эВ ($\lambda_{02} - 603$ нм) и 2,151 эВ ($\lambda_{03} - 576$ нм), контрастность рассматривалась нами при длинах волн $\lambda_x < \lambda_0$ (1,8 эВ) и при длинах $\lambda_y > \lambda_{03}$ (2,2 эВ). Величина контрастности $\Delta T(\%)/\Delta E(\text{эВ})$ при энергии 1,8 эВ изменялась на 90% при изменении энергии на 0,1эВ. Такой фильтр является практически непрозрачным в области $E < 1,8$ эВ и прозрачным при длинах волн $\lambda_0 - 674$ нм (1,841 эВ), $\lambda_{01} - 636$ нм (1,948 эВ), $\lambda_{02} - 603$ нм (2,055 эВ) и $\lambda_{03} - 576$ нм (2,151 эВ). При изменении толщины кристалла изменяется пропускания структуры между изотропными длинами волн. По мере уменьшения спектральной ширины щели при измерении спектральных зависимостей пропускания кристаллов в скрещенных поляризаторах прозрачность между длинами волн λ_0 , λ_{01} , λ_{02} и λ_{03} может быть уменьшена до нулевых значений.

IV. Заключение

Спектральные зависимости показателей преломления в поляризации ЕПс и ЕЛс в кристаллах AgAsS_2 пересекаются при нескольких длинах волн. Это явление может быть использовано для создания оптических фильтров поляризованного света и сепараторов мод в различных оптических системах. Бирефрактивные кристаллы AgAsS_2 помещенные между скрещенными поляризаторами являются гребенчатыми фильтрами в ближней ИК и видимой области спектра.

V. Список литературы

1. Сливка В.Ю., Высочанский Ю.М., Степанович В.А., Чепур Д.В., Двойной резонанс Давыдова в колебательных спектрах кристаллов, Оптика и спектроскопия, т.51, №1, 1981, с.5-7
2. Головач И.И., Сливка В.Ю., Матияшовский В.В., Фотоэмиссионные и следования и спектры отражения кристаллического и аморфного AgAsS_2 , ФТТ, т.18, №11, 1976, с.3313-3317
3. Головач И.И., Довгошей Н.И., Берча Д.М. Оптическое отражение AgAsS_2 , Физическая электроника, №9, 1974, с.33-35
4. Головач И.И., Герасименко В.С., Сливка В.Ю. и др., Стеклообразование, оптические и фотоэлектрические свойства AgAsS_2 , AgSbS_2 , AgBiS_2 , Известия вузов, Физика, №3, 1976, с.39-45
5. Nemerenco L., Ivanenco I., Exciton spectra of AgAsS_2 crystals, International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, Chişinău, Republic of Moldova, 7-8-th of July, 2011, pp.111-113.
6. Syrbu N.N., Dorogan A.V., Masnik A., Ursaki V.V., Birewfringence of $\text{CuGa}_x\text{Al}_{1-x}\text{Se}_2$ crystals, J.Opt. 13, 035703, 2011, pp. 9