

ВУЗЬКОСМУГОВИЙ ОПТИЧНИЙ ФІЛЬТР НА КРИСТАЛІ ТІОГАЛАТУ СРІБЛА

Р.О. Надь

Кафедра прикладної фізики

Пропонується до розгляду вузькосмуговий оптичний фільтр на кристалі тіогалата срібла. Наведено будову і принцип дії фільтра на основі кристалу AgGaS_2 . Проведені вимірювання основних спектральних характеристик фільтра. Розглянуто кутову апертуру фільтра.

Вивчення ефектів просторової дисперсії в кристалах тіогалату срібла (AgGaS_2), які володіють спектральним перетином дисперсійних кривих звичайного n_o і незвичайного n_e показників заломлення на довжині хвилі $\lambda_0=4974\text{\AA}$ (ізотропна точка - IT) при кімнатній температурі, вказує на те, що даний кристал може бути використаний в якості робочого елемента оптичного фільтра. Даний фільтр буде працювати на виділення або поглинання вузької спектральної області з центром, який локалізований при $\lambda=\lambda_0$ [1]. Необхідно відзначити, що про можливість створення вузькосмугових оптичних фільтрів на основі кристалів, які володіють інверсією двопронезаломлення і оптичною активністю, вказувалося в роботах [2, 3], а в роботі [4] говориться про перспективність використання для цієї цілі кристалів тіогалату срібла. Проведені вимірювання показують, що спектральне положення IT і обертання кристалла AgGaS_2 залежать від технології отримання кристалів, стехіометрії отриманої сполуки, температури, тиску і інших зовнішніх факторів.

1. СТРУКТУРА КРИСТАЛУ AgGaS_2 ТА БУДОВА ФІЛЬТРУ НА ОСНОВІ AgGaS_2

В даній роботі детально досліджуються спектральні характеристики вузькосмугового оптичного фільтру на основі кристалу AgGaS_2 , проводиться їх аналіз, розглядається будова та принцип дії фільтра. Основою даного фільтру є кристал AgGaS_2 який відноситься до відомих потрійних сполук типу $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}_2^{\text{VI}}$, структура яких вивчена, мають тетраедричне розташування атомів, у кожного з яких є чотири найближчі сусіди, які утворюють більш-менш правильний тетраедр. Структура сполук $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}_2^{\text{VI}}$ відноситься до так званого типу халькопірита. В роботі [5] розглянуто особливості структури кристалу тіогалата срібла:

Тіогалат срібла AgGaS_2 кристалізується у структурі халькопірита і описується просторовою групою симетрії $D_{2d}^{12} - J42d$. Елементарна комірка містить чотири формульні одиниць. Атоми займають позиції $(0,0,0; \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})+$

4Ag у позиції (a): $(0,0,0; \frac{1}{2}, \frac{1}{4})$

4Ga у позиції (b): $(0,0, \frac{1}{2}; 0, \frac{1}{2}, \frac{3}{4})$

8S у позиції (d): $(x, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}; x, \frac{3}{4}, \frac{1}{8}; \frac{3}{4}, x, \frac{1}{8}; \frac{1}{4}, x, \frac{1}{8})$.

Параметри x атомів сірки складає 0,29, постійна ґратки $a=5,757$, $c=10,304\text{Å}$, тетрагональне стиснення $\tau \approx 0,21$.

На рис.1 зображено схематичну будову фільтру на гіротропному кристалі. Даний фільтр складається з 2 – ох поляризаторів між якими розташований кристал AgGaS_2 у вигляді плоскопаралельної, орієнтовної пластинки. Товщина кристалу у напрямку поширення випромінювання вибирається такою, щоб забезпечити поворот площини поляризації падаючого світла з довжиною хвилі $\lambda_0=4974\text{Å}$ на 90° . Оптична вісь лежить у площині пластинки. Пластинка розміщується між скрещеними поляризаторами, таким чином, щоб оптична вісь кристала була строго паралельна

або перпендикулярна напрямку поляризації одного з поляризаторів.

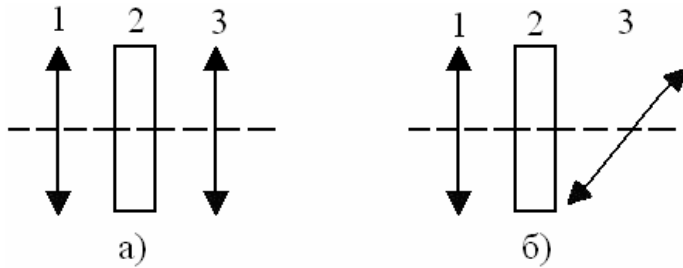


Рис. 1. Схематична будова вузькосмугового оптичного фільтра на кристалі AgGaS₂ при паралельних (а) і скрещених (б) поляризаторах: 1-поляризатор; 2-кристал; 3-аналізатор.

При паралельних поляризаторах (рис. 1,а) фільтр працює на поглинання спектральної області, з центром при λ_0 , при скрещених (рис. 1,б) - на пропускання. У подальшому основна увага приділятиметься фільтрам другого типу. Оптимальна товщина кристалу d_0 у фільтрі знаходиться по формулі:

$$d_0 = \frac{\pi}{2\rho_0} \quad (1)$$

де ρ_0 – питома обертання площини поляризації на довжині хвилі λ_0 .

Теоретичні обчислення і експериментальні дослідження показують, що в основі роботи такого фільтру лежить явище природної оптичної активності кристалу AgGaS₂.

Інтенсивність світла, що проходить через систему поляризатор – кристал-аналізатор (ПКА) з скрещеними поляризаторами, описується виразом:

$$I = I_0 \sin^2(\rho_0 d) \quad (2)$$

де I – інтенсивність світла, що падає на систему ПКА; I_0 – інтенсивність світла з довжиною хвилі λ_0 , що пройшло через систему ПКА.

2. ПРИНЦИП ДІ ФІЛЬТРУ

Випромінювання, що падає на поляризатор 1 (рис.1,б), після його проходження становиться поляризованим паралельно напрямку його поляризації. Оскільки товщина кристалу d_0 задовільняє умову (1), площина поляризації випромінювання з довжиною хвилі λ_0 після проходження пластинки виявиться повернутою на кут 90^0 ($\pi/2$). Таким чином після проходження кристалу випромінювання стає поляризованим паралельно головному напрямку поляризатора 3, отже буде ним пропущене. Промені з довжинами хвиль, відмінними від λ_0 , будуть приборкуватися поляризатором 3, оскільки при відході від ізотропної точки виникає лінійне двопроменезаломлення. Тому, спектр пропускання фільтра, характеризується вузькою смугою, максимум якої відповідає довжині хвилі λ_0 . Враховуючи оптимальну товщину кристала d_0 і зв'язок $\rho(\lambda) = (\pi/\lambda)\delta n(\lambda)$, де $\delta n(\lambda)$ – циркулярне двопроменезаломлення, спектральну характеристику фільтра зручно представити у виді:

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

де $\delta n(\lambda_0)$ і $\delta n(\lambda)$ – величини циркулярного двопроменезаломлення на довжинах хвиль λ_0 і λ ; $\Delta n(\lambda)$ – величина лінійного двопроменезаломлення на довжині хвилі λ ;

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРУ

Вони були проведені на фільтрі побудованому на кристалі AgGaS_2 , який був одержаний методом Бріджмена. Орієнтація кристалу здійснювалася рентгенівським методом, на

якому була виділена площина $[100]$ і напрямок оптичної вісі в даній площині. Отримані кристали володіють ІТ на довжині хвилі $\lambda_0=4974\text{\AA}$. Виходячи із визначеного раніше значення питомого обертання площини поляризації на λ_0 , яке дорівнює 520 град/мм було виготовлено пластинку AgGaS_2 оптимальної товщини $d_0=0,170\text{мм}$. Провівши відповідні експериментальні дослідження ми отримали спектральну характеристику фільтру на основі кристалу тіогалата срібла яка зображена на рис.2. З даної спектральної характеристики видно що фільтр характеризується вузькою смугою пропускання, максимум якої локалізований на довжині хвилі $\lambda_0=4974\text{\AA}$.

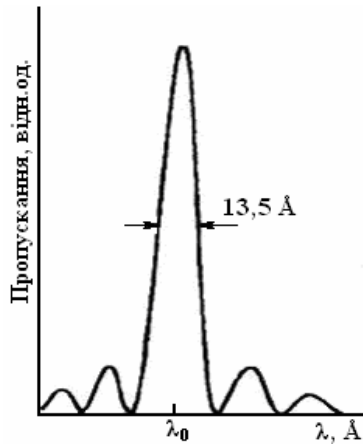


Рис.2. Експериментальна крива спектральної характеристики фільтра на основі AgGaS_2 .

Користуючись виразом (3), можна провести аналіз основних спектральних і кутових характеристик фільтру.

Пропускання фільтра визначається наступними факторами: а) величиною пропускання першого поляризатора; б) втрати пов'язані з поглинанням в кристалі; в) Френелівські втрати інтенсивності. Врахування всіх джерел

джерел втрат приводить до того, що максимальне пропускання фільтрів, побудованих на відомих в наш час кристалах, що мають ІТ, не перевищує 10-20% [2]. Оцінки, однак, показують, що використання просвітлюючих покриттів і удосконалення технології отримання високоякісних кристалів дозволяють підняти пропускання до 30-40%. Для нашого фільтра пропускання становить $T(\lambda_0)=20\%$.

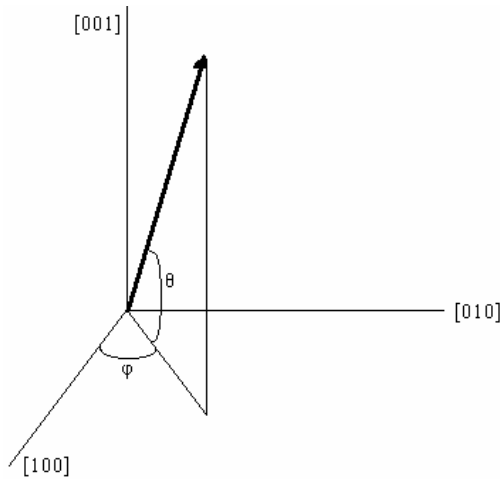


Рис.3. Кристалографічна система координат і кути θ і ϕ , що визначають напрямок поширення випромінювання у кристалі.

Іншою характеристикою фільтра є його вибірковість. У оптичних фільтрів на гіротропних кристалах з ІТ вона визначається спектральним інтервалом з центром при $\lambda = \lambda_0$, у межах якого величина лінійного двопронезаломлення $|\Delta n(\lambda)|$ не перевищує величини циркулярного двопронезаломлення $\delta n(\lambda)$.

Кількісною характеристикою вибірковості є напівширина $\Delta\lambda_{1/2}$ виділяемого спектрального контура (ширина на половині висоти) [6]. В нашому випадку вона становить $\Delta\lambda_{1/2}=13,5\text{Å}$ і зображена на рис.2. Слід відмі-

тити, що вимоги, що ставляться до кристалів у відношенні підвищення пропускання і вибіркості фільтра протирічають один одному. Дійсно, чим далі від края поглинання у області прозорості знаходиться ІТ, тим вище пропускання, але тим менше α (крутизна дисперсійної кривої, $\alpha=(d\Delta n/d\lambda)_{\lambda=\lambda_0}$) і нижча вибіркості і навпаки [7].

У спектральній області поза околу ІТ пропускання розглядуваного фільтра характеризується інтерференційним розподілом інтенсивності випромінювання, що проходить через систему ПКА. Воно обумовлене дисперсією лінійного двопроменезаломлення при відході від ІТ і є паразитним фоном. Амплітуда бокових екстремумів різко зменшується по мірі віддалення від ІТ. Тому контрастність Y визначається як відношення пропускання у перших бокових максимумах до пропускання на довжині хвилі λ_0 , $Y=0,11$ відн.од.

Крім розглянутих характеристик, одним з найважливіших параметрів оптичного фільтруючого пристрою є кутова апертура. Кутова апертура фільтру визначається залежністю основних характеристик фільтру від кута падіння світла. Із зміною кута падіння змінюються як оптична довжина шляху, так і δn та Δn , і, отже, характеристики фільтру. На практиці приходится мати справу з протяжними об'єктами які світяться. В зв'язку з цим необхідно знати максимально допустимі кути падіння променів на фільтр, в межах якого він ще ефективно виконує свої функції.

Робоча частота фільтрів які розглядаються, знаходиться за допомогою спектрального положення ІТ і не залежить від кутів падіння променів, що є їх великою перевагою в порівнянні, наприклад, з інтерференційними фільтрами.

Аналіз кутової апертури проведемо для фільтру, виготовленого з пластинки X – зрізу кристала $AgGaS_2$. Позначимо через φ - кут між напрямком проєкції променя на площину [100], а через θ – кут між напрямком променя у

площині падіння і площиною [001] рис.3. Додатні значення кутів φ і θ будемо відраховувати проти руху годинникової стрілки від відповідних осей правої системи координат.

Кути φ і θ задають напрямок поширення випромінювання всередині кристала. Вони пов'язані з відповідними зовнішніми кутами падіння φ' і θ' співвідношеннями: $\sin\varphi' = n(\lambda_0)\sin\varphi$ і $\sin\theta' = n(\lambda_0)\sin\theta$, де $n(\lambda_0)$ – показник заломлення кристала на довжині хвилі $\lambda_0=4974\text{\AA}$. В ІТ AgGaS_2 показник заломлення $n_0 = n_e = 2,7$ і при максимально можливих кутах падіння $\varphi'=\theta'=\pi/2$, це відповідає направленню в кристалі, яке визначається кутами $\varphi = \theta \approx 22^\circ$.

Отримані експериментальні дані зображені на рис. 4.

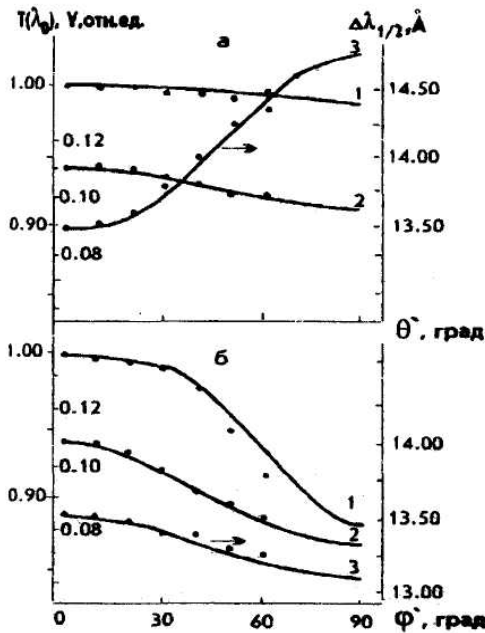


Рис.4. Залежність пропускання $T(\lambda_0)$ (1), контрастність Y (2) і вибірковість $\Delta\lambda_{1/2}$ (3) оптичного фільтра на основі AgGaS_2 від зовнішніх кутів θ' (а) і φ' (б) падіння світла. Точки експериментальні дані.

Результати експериментальних досліджень добре узгоджуються з даними теоретичних розрахунків. Якщо обмежитися кутами, у межах яких пропускання $T(\lambda_0)$ зменшується, то вони складають $\pm 90^0$ і $\pm 75^0$ для φ' і θ' відповідно. Контрастність Y при цьому поліпшується, а збільшення вибіркості $\Delta\lambda_{1/2}$ складає -6% . Тим не менше, кутова апертура оптичних фільтрів на основі гіротропних кристалів з ІТ складає $\pm 45^0$ і значно перевищує апертуру відомих вузькосмугових інтерференційно – поляризаційних і інтерференційних світлофорів, яка не перевищує декілька градусів ($3^0 \dots 5^0$) [8].

Отже, можна відзначити, що оптичний фільтр на тіогалаті срібла по своїм параметрам значно перевищує параметри відомих вузькосмугових оптичних фільтрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Л.М. Сусликов, З.П. Гадьмаши, В.Ю. Сливка. Оптика и спектр, 51, 307, 1987р.
2. Л.Е. Соловьев, В.С. Рудаков Вестн.ЛГУ, №16, 170, 1967г.
3. Л.Е. Соловьев, В.С. Рудаков Вестн.ЛГУ, №4, 23, 1968г.
4. А.Х. Зильберштейн, Л.Е. Соловьев Оптика и спектр., 471, 1973г.
5. Боднарь И.В., Ворошилова Ю.В. Исследование системы $AgGaS_2-AgGaSe_2$.- мзв. АН СССР, неорганич. матер., 1979, т.15, №5, 765с.
6. Лебедева В.В. Техніка оптической спектроскопии.- М.: МГУ, 1974г.
7. Кизель В.А., Бурков В.И. Гиروتропия кристаллов.- М.: Наука, 1980, 304с.
8. Зайдель А.Н., Островская Г.В. Техника и практика спектроскопии.- М.: Наука, 1976г., 392с.