

DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.1.198013

УДК 538.958, 535.016, 620.19

К.В. Шпортко*, Є.Ф. Венгер

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

*corresponding author: k.shportko@ukr.net

ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФАЗОЗМІННИХ ХАЛЬКОГЕНІДІВ У ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ

Проблематика. У роботі досліджуються оптичні властивості халькогенідних сполук $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$, що є перспективними для використання як функціональні матеріали в енергонезалежних запам'ятовувальних пристроях і дисплеях. Зберігання інформації спирається на контраст фізичних властивостей між кристалічним і аморфним станами цих сполук, які в метастабільному кристалічному стані утворюють спотворену кубічну ґратку з високою концентрацією вакансій.

Мета дослідження. Метою роботи є дослідження впливу структурного та термоіндукованого неупорядкування на внесок вільних носіїв заряду в діелектричну проникність фазозмінних халькогенідних сполук $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ та на оптичні властивості цих матеріалів в околі основного краю оптичного поглинання.

Методика реалізації. Результати були отримані аналізом спектрів ІЧ-відбивання зразків фазозмінних халькогенідів $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$.

Результати дослідження. Встановлено, що ширина локалізованих електронних станів, параметр Тауца та внесок плазмонів у діелектричну проникність досліджуваних зразків фазозмінних халькогенідів $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ залежать від концентрації вакансій та їх упорядкування. Отримані дані підтверджують, що зміна структурного неупорядкування в $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ призводить до зміни типу електропровідності в досліджуваних зразках.

Висновки. Ширина енергетичного розподілу локалізованих електронних станів та параметр Тауца залежать від концентрації вакансій та їх упорядкування. Зменшення концентрації вакансій призводить до зростання внеску вільних носіїв заряду в діелектричну функцію $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$, їхнє упорядкування спричиняє більші зміни у значеннях частоти плазмонів та їхнього коефіцієнту затухання. Отримані результати надають інформацію щодо шляхів зміни властивостей $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$.

Ключові слова: халькогеніди; оптична спектроскопія; діелектрична проникність; неупорядкування; кристалічна ґратка.

Вступ

Інтерес до вивчення властивостей фазозмінних халькогенідних сполук зумовлений перспективністю їх використання в запам'ятовувальних пристроях та дисплеях нового покоління [1–3]. При цьому зберігання інформації, чи у вигляді бінарного кодування, чи у графічному вигляді, спирається на контраст фізичних властивостей (оптичних, електричних) між кристалічним і аморфним станами цих сполук, який пояснюється наявністю резонансного ковалентного зв'язку в кристалічному стані. Цей тип зв'язку характеризується збільшенням значення діелектричної сталої, зменшенням ширини забороненої зони, а також зростанням внеску вільних носіїв заряду в дисперсію діелектричної проникності [4]. Фазозмінні халькогенідні сполуки в метастабільному кристалічному стані утворюють спотворену кубічну ґратку з високою концентрацією вакансій [5]. У кристалічному стані концентрація вакансій змінюється від 16,7 % у

$\text{Ge}_3\text{Sb}_2\text{Te}_6$ до 20,0 % у $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ та до 25 % у $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$. У праці [6] було показано, що структурне неупорядкування впливає на коливальні властивості $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$, спричиняючи додатковий ангармонізм фононних мод. Варіювання структурного неупорядкування зміною концентрації вакансій та їх упорядкування дає можливість регулювати коливальні властивості фазозмінних халькогенідних сполук у кристалічному стані. Дослідження впливу неупорядкування на явища переносу заряду в фазозмінних халькогенідах також привертає значну увагу дослідників. У низці робіт було проведено дослідження залежності опору зразків Ge-Sb-Te від температури відпалу і було показано, що величина опору обернено пропорційна до температури відпалу зразків [4]. Фазозмінні халькогенідні сполуки в метастабільному стані (кубічна ґратка) та в стабільному стані (гексагональна ґратка) характеризуються електропровідністю p -типу, яка обумовлена наявністю несте-

хіометричних надлишкових вакансій у катіонній підгратці [4]. Температурний коефіцієнт питомого опору є важливою характеристикою електро-провідності матеріалів, що у випадку $d\rho/dT < 0$ є типовим для діелектриків, а $d\rho/dT > 0$ характерне для металів. Показано, що зміна температури відпалу зразків Ge-Sb-Te може змінювати знак $d\rho/dT$, тобто зменшивши неупорядкування, можна змінити тип провідності від характерної для діелектриків до такої, що відповідає металу, тобто можливий так званий перехід “діелектрик–метал” [4]. Модель Андерсона [7] вказує на роль структурного неупорядкування в локалізації електронів.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження впливу статичного (структурного) та динамічного (термоіндукованого) неупорядкування на внесок вільних носіїв заряду в діелектричну проникність фазозмінних халькогенідних сполук $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ у метастабільному кристалічному стані та на оптичні властивості цих матеріалів у околі основного краю оптичного поглинання.

Результати й обговорення

Для систематичного дослідження впливу неупорядкування у фазозмінних халькогенідних сполуках у кристалічному стані на їх оптичні властивості в ІЧ-діапазоні спочатку необхідно дослідити флуктуації поглинання в околі основного краю оптичного поглинання через аналіз змін ширини енергетичного розподілу локалізованих електронних станів, а також параметра Тауца B .

Дисперсію коефіцієнта поглинання фазозмінних сполук $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ у кристалічному стані в околі основного краю оптичного поглинання, яку було отримано з аналізу спектрів ІЧ-відбивання, зображено на рис. 1. Примітним є саме той факт, що навіть у метастабільному стані фазозмінних халькогенідів, який характеризується кубічною ґраткою, значення E_U є відмінними від нульових, як показано на вставці на рис. 1. Ці дані свідчать про те, що системи, які мають дальній порядок, унаслідок розупорядкування, спричиненого високою концентрацією вакансій, демонструють розмиті краї забороненої зони. До того ж необхідно зазначити, що у випадку $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ шири-

на енергетичного розподілу локалізованих електронних станів у кристалічному стані є більшою, ніж в аморфному. Цей феномен пояснюється тим, що висока концентрація вакансій у кристалічному стані спричиняє зміщення атомів з їх положення в кристалічній ґратці (зміщення типу Пайєрлса), які своєю чергою призводять до більш широкого розподілу довжин і кутів зв'язків. Окрім того, результати [4] засвідчують різницю в довжинах зв'язків Ge-Te між аморфним і кристалічним станами. Все це призводить до спотворення кубічної ґратки фазозмінних сполук у кристалічному стані. Отримані дані показують, що зі зміною стехіометрії змінюється і величина E_U та параметра Тауца B .

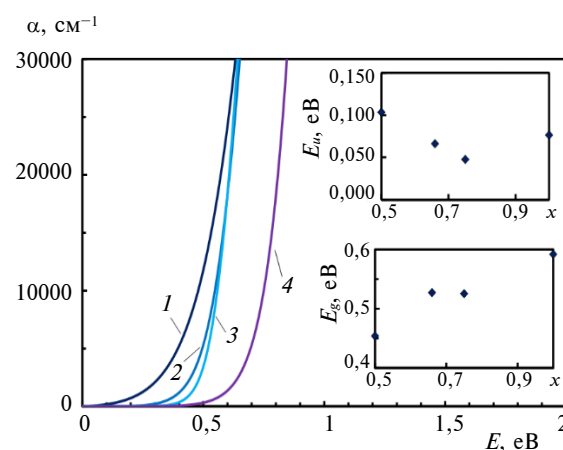


Рис. 1. Дисперсія коефіцієнта поглинання фазозмінних сполук $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ у кристалічному стані в околі основного краю оптичного поглинання при 300 K: 1 – $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$, 2 – $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, 3 – $\text{Ge}_3\text{Sb}_2\text{Te}_6$, 4 – GeTe. Вставки. Стехіометричні залежності ширини локалізованих електронних станів та оптичної ширини забороненої зони в $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$.

Для більш детального аналізу впливу неупорядкування на оптичні властивості в околі основного краю оптичного поглинання розглянемо комбінований вплив статичного та динамічного неупорядкувань на властивості кристалічних зразків. На рис. 2 зображено температурну залежність ширини енергетичного розподілу локалізованих електронних станів $E_U(T)$, яка була отримана з дисперсії коефіцієнта поглинання зразків фазозмінних халькогенідів нижче основного краю оптичного поглинання ($\alpha < 10^4 \text{ cm}^{-1}$). Дані $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ та GeTe двох матеріалів, з найбільшою та найменшою концентраціями вакансій, дають змогу якісно оцінити стехіометричні

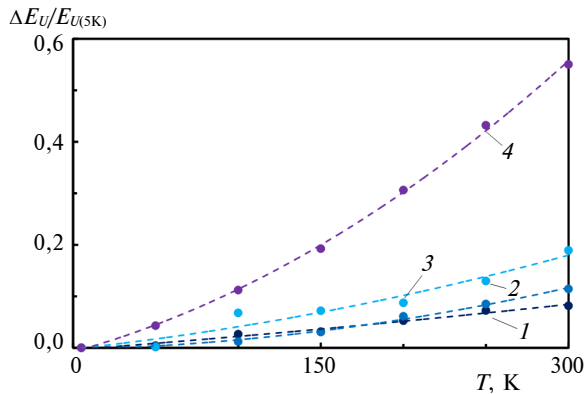


Рис. 2. Залежність ширини розподілу локалізованих електронних станів від температури $E_U(T)$: 1 – $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$, 2 – $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, 3 – $\text{Ge}_3\text{Sb}_2\text{Te}_6$, 4 – GeTe

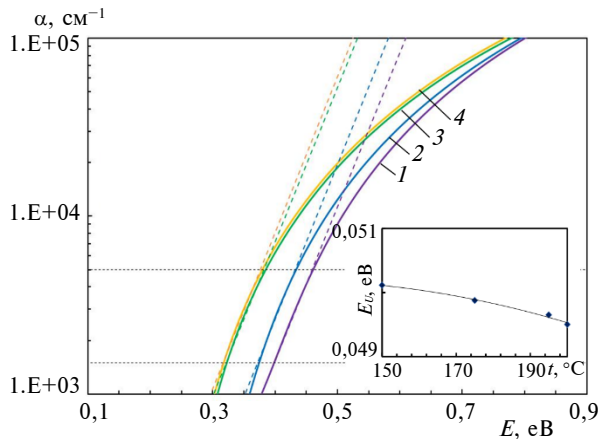


Рис. 3. Вплив температури відпалу на дисперсію коефіцієнта поглинання $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ у кристалічному стані в околі основного краю оптичного поглинання при 300 К: 1 – 150 °С, 2 – 175 °С, 3 – 195 °С, 4 – 200 °С. Вставка. Залежність ширини розподілу локалізованих електронних станів від температури відпалу зразків $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$

залежності у дисперсії коефіцієнта поглинання. Отримані дані вказують на зменшення ширини розподілу локалізованих електронних станів у досліджуваних зразках за рахунок зменшення внеску динамічного неупорядкування за низьких температур. Проте залежність $E_U(T)$ не є однаковою для всіх досліджуваних матеріалів. Вставка на рис. 2 вказує на чітку стехіометричну залежність: $E_U(T)$ є більш виразною в матеріалах із нижчою концентрацією вакансій. Другим важливим непрямим результатом, що впливає з рис. 2, є зміщення основного краю оптичного поглинання в область вищих енергій при зниженні температури зразка.

Наступним етапом роботи є аналіз модифікування структурного неупорядкування в межах одного фазозмінного матеріалу, без розгляду впливу стехіометрії. На рис. 3 показано, яким чином варіювання температури відпалу впливає на дисперсію коефіцієнта поглинання кристалічного $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ нижче основного краю оптичного поглинання. В розглянутих межах температур відпалу від 150 до 200 °С досліджуваний зразок має метастабільну кубічну ґратку, оскільки перехід до тригональної сингонії відбувається вище 230 °С. Отримані дані засвідчують систематичне зменшення ширини розподілу локалізованих електронних станів E_U при зростанні температури відпалу.

В околі вище основного краю оптичного поглинання $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ також відбуваються зміни, які продемонстровано на рис. 4. Зростання температури відпалу призводить до систематичного збільшення параметра Тауца B у межах метастабільної кубічної структури $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$, яке вказує на поліпшення ближнього порядку, зумовленого дифузією вакансій. Водночас у кристалічному GeTe , що не утворює метастабільну кубічну ґратку і має тригональну структуру при відпалі зразка за температури 225 °С, варіювання температури відпалу не спричиняє відчутних змін у дисперсії коефіцієнта поглинання, а отже, і в значеннях E_U у діапазоні $\alpha < 10^4$. Також не

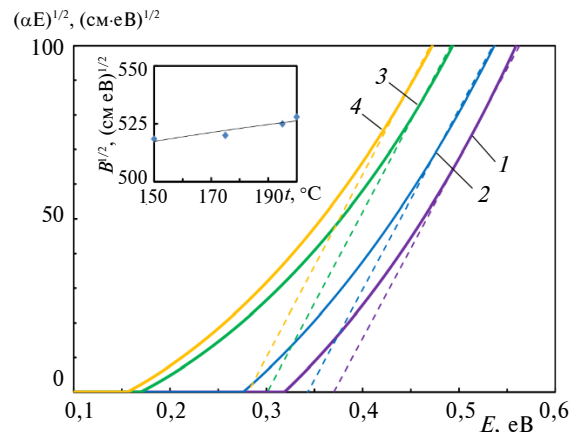


Рис. 4. Вплив температури відпалу на залежності $(\alpha E)^{1/n}$ від енергії $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ у кристалічному стані в околі основного краю оптичного поглинання за 300 К: 1 – 150 °С, 2 – 175 °С, 3 – 195 °С, 4 – 200 °С. Вставка. Залежність параметра Тауца від температури відпалу зразків $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ засвідчує зменшення структурного неупорядкування в зразках, відпалених за вищих температур

було виявлено впливу температури відпалу на параметр Тауца в досліджених зразках GeTe.

У зв'язку із цим виникає запитання, яким чином неупорядкування впливає на внесок вільних носіїв заряду в діелектричну функцію фазозмінних халькогенідних сполук у кристалічному стані в інших спектральних діапазонах, зокрема в області прояву вільних носіїв заряду. Для початку розглянемо дисперсію уявної частини діелектричної проникності таких фазозмінних матеріалів, як $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$, $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, $\text{Ge}_3\text{Sb}_2\text{Te}_6$, GeTe за кімнатної температури (рис. 5). Вона була отримана зі спектрів відбивання в середньому ІЧ-діапазоні, нижня межа якого (тут і надалі) показана у вигляді штрихової лінії. З рис. 5 видно, що внесок вільних носіїв заряду в діелектричну функцію систематично зростає зі зміною стехіометрії матеріалів, а саме: він є більш вираженим у сполуках, близьких до GeTe на розглянутій частині псевдобінарної композиційної лінії Sb_2Te_3 -GeTe. Для кількісного аналізу цих змін необхідно розглянути еволюцію таких параметрів, як частота плазмонів ν_p та їх коефіцієнт затухання γ_p . Вставка на рис. 5 показує залежність співвідношення ν_p/γ_p від x у $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$. Для всіх потрійних сполук $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ величина ν_p/γ_p залишається меншою за 1, тобто кількісно коефіцієнт затухання набуває більшого значення за відповідну частоту плазмонів. Іншими словами, попри наявність певної кількості вільних носіїв заряду, про що свідчить ненульове значення частоти плазмонів, їх рухливість обмежена, на що вказують великі значення коефіцієнтів затухання у всіх потрійних сполуках $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$.

Певне зростання ν_p/γ_p зі збільшенням коефіцієнта x , який відповідає за частину в GeTe у потрійних сполуках $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$, у межах потрійних сполук означає поступове зменшення коефіцієнта затухання разом зі зростанням частоти плазмонів, яке відбувається паралельно зі зменшенням концентрації вакансій у цих сполуках. Необхідно зауважити, що $\nu_p/\gamma_p \leq 1$ є характерним для діелектриків і деяких напівпровідників. На довершення до цієї тенденції, в GeTe, кристалічна структура якого є гексагональною, ν_p/γ_p набуває значення, близького до 6, що характерне для легованих напівпровідників і металів. Дифузія в катіонній підгратці кубічного $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$, викликана зміною температури відпалу, призводить до зростання ν_p/γ_p . У той же

час аналіз отриманих даних показав, що зміна температури відпалу не впливає на ν_p/γ_p у GeTe.

Наступним етапом є розгляд впливу динамічного неупорядкування на поведінку ε_2 досліджуваних сполук у кристалічному стані. Дисперсія уявної частини діелектричної проникності за різних температур у межах 5–300 К демонструє різну поведінку в $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ (150 °C) і GeTe.

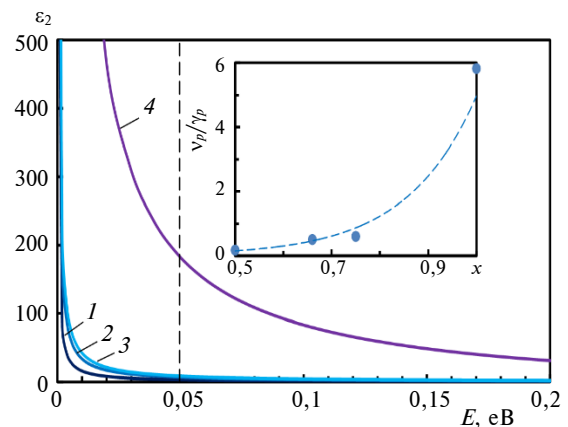


Рис. 5. Дисперсія уявної частини діелектричної проникності фазозмінних халькогенідів змінної фази, що демонструє стехіометричну залежність внеску вільних носіїв заряду: 1 – $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$, 2 – $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, 3 – $\text{Ge}_3\text{Sb}_2\text{Te}_6$, 4 – GeTe; вертикальна пунктирна лінія показує нижню межу експериментальних даних. Вставка. Залежність відношення плазмової частоти до відповідного коефіцієнта затухання ν_p/γ_p від x у $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ демонструє поступове зростання внеску вільних носіїв заряду в досліджуваних сполуках

Як видно з рис. 6, дисперсія уявної частини діелектричної проникності $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ не зазнає суттєвих змін в усьому діапазоні температур зразка. Внесок вільних носіїв заряду залишається незмінним, про що свідчить залежність відношення плазмової частоти до відповідного коефіцієнта затухання ν_p/γ_p від температури зразка. Подібна картина спостерігається також і в $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ та $\text{Ge}_3\text{Sb}_2\text{Te}_6$. Така поведінка параметрів моделі Друде відповідає $d\rho/dT < 0$. На противагу їм, у GeTe внесок вільних носіїв заряду зростає зі зниженням температури зразка. Збільшення ν_p/γ_p відбувається переважно за рахунок зростання плазмової частоти; такий тип залежності характерний для металевого типу електропровідності, тобто $d\rho/dT > 0$. Впорядкування вакансій у $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ через підвищення температури відпалу зумовлює не лише

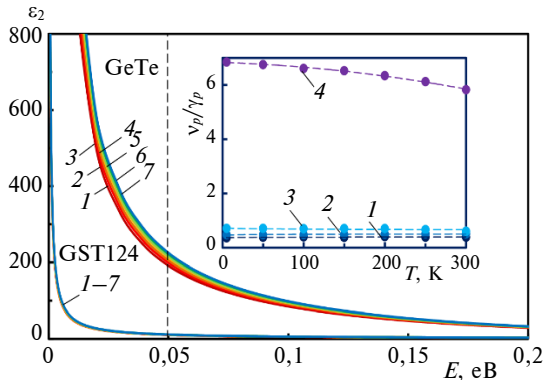


Рис. 6. Дисперсія уявної частини діелектричної проникності фазозмінних халькогенідів змінної фази, що демонструє температурну залежність внеску вільних носіїв заряду в $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ (GST124) і GeTe : 1 – 300 K, 2 – 250 K, 3 – 200 K, 4 – 150 K, 5 – 100 K, 6 – 50 K, 7 – 5 K; вертикальна пунктирна лінія показує нижню межу експериментальних даних. Вставка. Залежність відношення плазмової частоти до відповідного коефіцієнта затухання ν_p/γ_p від температури зразка: 1 – $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$, 2 – $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_3$, 3 – $\text{Ge}_3\text{Sb}_2\text{Te}_6$, 4 – GeTe

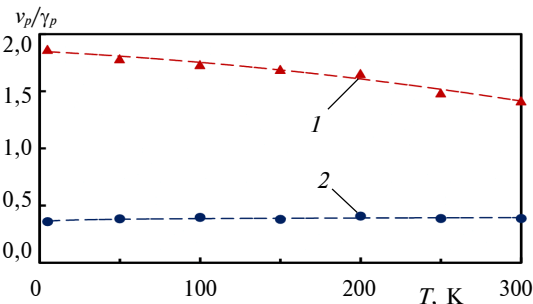


Рис. 7. Залежність відношення плазмової частоти до відповідного коефіцієнта затухання ν_p/γ_p від температури зразків $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$, відпалених за різних температур: 1 – 160 °C, 2 – 180 °C

зростання внеску вільних носіїв заряду за кімнатної температури, як показано вище. У випадку $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$, відпаленого за 180 °C, для якого $\nu_p/\gamma_p = 1,45$, поведінка уявної частини діелектричної проникності в області прояву вільних носіїв заряду виявлена подібною до тої, що спостерігалася в GeTe за низьких температур ($d\rho/dT > 0$). Таким чином, дані рис. 7 підтверджують можливість зміни типу електропрові-

дності в $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ зміною ступеня структурного неупорядкування.

Дані рис. 5–7 демонструють чутливість внеску вільних носіїв заряду в діелектричну функцію $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ до впливу структурного неупорядкування, спричиненого вакансіями та різним ступенем їх упорядкування. Ці результати підтверджують дані щодо електропровідності цих матеріалів, які представлені в [4, 5].

Висновки

Результати, отримані в цій роботі, показали, що ширина енергетичного розподілу локалізованих електронних станів і параметр Тауца залежать як від концентрації вакансій, так і від їх упорядкування: було отримано вищі значення параметра B у сполуках з нижчою концентрацією вакансій, а також у зразках із релаксованою кристалічною структурою, відпалених за вищих температур.

Зменшення концентрації вакансій призводить до зростання внеску вільних носіїв заряду в діелектричну функцію $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$, а їх упорядкування спричиняє ще більш виразні зміни у значеннях частоти плазмонів та їх коефіцієнта затухання. Зміною динамічного неупорядкування, спричиненого тепловими коливаннями вузлів решітки, показано, що впорядкування вакансій може спричинити зміну типу провідності в досліджуваних матеріалах. Необхідно також зазначити, що в GeTe , де концентрація вакансій катіонної підґратки співмірна з концентрацією в аніонній підґратці, подібні явища відсутні.

Здатність впливати на величину внеску вільних носіїв заряду в діелектричну проникність фазозмінних халькогенідів відкриває можливість створення багаторівневих запам'ятовувальних пристроїв із великою щільністю запису інформації. З точки зору теоретичного аспекту, дослідження інших матеріалів сімейства $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$, а саме тих, у яких концентрація вакансій є високою, відкриває перспективи створення метаматеріалів на базі сполук $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$.

References

- [1] S.R. Ovshinsky, "Reversible electrical switching phenomena in disordered structures", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 21, p. 1450, 1968. doi: 10.1103/PhysRevLett.21.1450
- [2] P. Hosseini *et al.*, "An optoelectronic framework enabled by low-dimensional phase-change films", *Nature*, vol. 511, p. 206, 2014. doi: 10.1038/nature13487

- [3] P. Guo *et al.*, “A review of germanium-antimony-telluride phase change materials for non-volatile memories and optical modulators”, *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 3, p. 530, 2019. doi: 10.3390/app9030530
- [4] A.V. Kolobov and J. Tominaga, *Chalcogenides*, vol. 164. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer, 2012.
- [5] K.D. Bogoslovsky and N.A. Tsandin, “Physics of switching and memory effects in chalcogenide glassy semiconductors”, *Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov*, vol. 46, no. 5, pp. 577–608, 2012.
- [6] K. Shportko *et al.*, “Anharmonicity of the vibrational modes of phase-change materials: A far-infrared, terahertz, and Raman study”, *Vib. Spectrosc.*, vol. 95, pp. 51–56, 2018. doi: 10.1016/j.vibspec.2018.01.005
- [7] P.W. Anderson, “Absence of diffusion in certain random lattices”, *Phys. Rev.*, vol. 109, no. 5, pp. 1492–1505, 1958. doi: 10.1103/PhysRev.109.1492

К.В. Шпортко, Е.Ф. Венгер

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФАЗОИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ХАЛЬКОГЕНИДОВ В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ

Проблематика. Работа посвящена исследованию оптических свойств халькогенидных соединений $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$, являющихся перспективными для использования в качестве функциональных материалов в энергонезависимых запоминающих устройствах и дисплеях. Хранение информации опирается на контраст физических свойств между кристаллическим и аморфным состояниями этих соединений, которые в метастабильном кристаллическом состоянии образуют искаженную кубическую решетку с высокой концентрацией вакансий.

Цель исследования. Целью работы является исследование влияния структурного и термоиндуцированного беспорядка на вклад свободных носителей заряда в диэлектрическую проницаемость халькогенидов $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ и на оптические свойства этих материалов в окрестности основного края оптического поглощения.

Методика реализации. Результаты были получены анализом спектров ИК-отражения образцов фазоизменяющихся халькогенидов $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$.

Результаты исследования. Установлено, что ширина локализованных электронных состояний, параметр Тауца и вклад плазмонов в диэлектрическую проницаемость $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ зависят от концентрации вакансий и их упорядочивания. Полученные данные подтверждают, что изменение концентрации вакансий и их упорядочивания в $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ приводит к изменению типа электропроводимости в них.

Выводы. Ширина энергетического распределения локализованных электронных состояний и параметр Тауца зависят от концентрации вакансий и их упорядочивания. Уменьшение концентрации вакансий приводит к росту вклада свободных носителей заряда в диэлектрическую функцию $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$, их упорядочивание влечет за собой большие изменения в значениях частоты плазмонов и их коэффициента затухания. Полученные результаты предоставляют информацию о путях изменения свойств $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$.

Ключевые слова: халькогениды; оптическая спектроскопия; диэлектрическая проницаемость; беспорядок; кристаллическая решетка.

K.V. Shportko, E.F. Venger

OPTICAL PROPERTIES OF PHASE-CHANGE CHALCOGENIDES IN THE IR RANGE

Background. The work is devoted to the study of the optical properties of chalcogenide compounds $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$, which are promising for use as functional materials in non-volatile memory devices and displays. Information storage is based on the contrast of physical properties between the crystalline and amorphous states of these compounds, which in a metastable crystalline state form a distorted cubic lattice with a high concentration of vacancies.

Objective. The aim of the paper is to study the influence of structural and thermally induced disorder on the contribution of free charge carriers to the dielectric function of $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ chalcogenides and on the optical properties of these materials in the vicinity of the main edge of optical absorption.

Methods. The results were obtained by analysis of IR reflectance spectra of the $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ samples.

Results. It was determined that the width of localized electronic states, the Tauc parameter, and the contribution of plasmons to the dielectric function of phase change chalcogenides $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ depend on the concentration of vacancies and their ordering. The data obtained confirm that a change in the concentration of vacancies and their ordering in samples of $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ chalcogenides leads to change of the type of their electroconductivity.

Conclusions. The width of the localized electronic states and Tauc parameter depend on the concentration of vacancies and their ordering. A decrease in the concentration of vacancies leads to an increase in the contribution of free charge carriers to the dielectric function of $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$; their ordering entails large changes in the values of the plasmon frequency and their damping coefficient. The results provide information on ways of $(\text{GeTe})_x(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{1-x}$ properties' modification.

Keywords: chalcogenides; optical spectroscopy; dielectric function; disorder; crystal lattice.

Рекомендована Радою
інженерно-фізичного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
23 грудня 2019 року

Прийнята до публікації
04 лютого 2020 року