

МЕХАНІЗМИ РОЗСІЯННЯ НОСІЇВ ЗАРЯДУ В КРИСТАЛАХ $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{Al}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgSe})_{0,5}(\text{In}_2\text{Se}_3)_{0,5}$, ЛЕГОВАНИХ МАРГАНЦЕМ АБО ЗАЛІЗОМ

На основі кінетичних електрофізичних і оптичних досліджень визначено домінуючі механізми розсіяння електронів у кристалах $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{Al}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgSe})_{0,5}(\text{In}_2\text{Se}_3)_{0,5}$, леггованих марганцем або залізом.

Ключові слова: дефектні напівпровідники, механізми розсіяння, температура Дебая.

На основании кинетических электрофизических и оптических исследований определено доминирующие механизмы рассеяния электронов в кристаллах $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{Al}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgSe})_{0,5}(\text{In}_2\text{Se}_3)_{0,5}$, легированных марганцем или железом.

Ключевые слова: дефектные полупроводники, механизмы рассеяния, температура Дебая.

On the basis of kinetic electrophysical and optical studies identified the dominant mechanisms of electron scattering in crystals $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{Al}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgSe})_{0,5}(\text{In}_2\text{Se}_3)_{0,5}$, doped with manganese or iron.

Keywords: defective semiconductors, scattering mechanisms, Debye temperature.

Досліджувани кристали $(3\text{HgS})_{1-x}(\text{Al}_2\text{S}_3)_x$, $(3\text{HgS})_{1-x}(\text{In}_2\text{S}_3)_x$, $(3\text{HgSe})_{1-x}(\text{In}_2\text{Se}_3)_x$ ($x=0,5$), леговані $3d$ -елементами, вміщені нами методом Бріджмена. Ці кристали відносяться до дефектних напівпровідників, які повинні володіти радіаційною стійкістю [1]. Зміна їх складу може приводити до плавної перебудови енергетичної зонної структури [2]. При виборі температури синтезу і вирощування кристалів користувались діаграмами стану хімічних сполук, які входять до складу даних кристалів [3].

Метою даної роботи є визначення домінуючих механізмів розсіяння носіїв заряду в $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{Al}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgSe})_{0,5}(\text{In}_2\text{Se}_3)_{0,5}$, леггованих $3d$ -елементами.

Дослідження механізмів розсіяння електронів в $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{Al}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgSe})_{0,5}(\text{In}_2\text{Se}_3)_{0,5}$, леггованих $3d$ -елементами, при температурах $T=77\div 300\text{ K}$ можна проводити за допомогою співвідношень, отриманих для звичайних напівпровідників, адже в такому температурному інтервалі вплив обмінної взаємодії електронів провідності з d -електронами Mn і Fe на кінетичні

явища незначний.

Дослідження механізмів розсіяння електронів у кристалах проведено в інтервалі температур 77–300 K на основі вимірювань коефіцієнтів поглинання α , рухливості $U_{exp} = R_H \cdot \sigma$ і термо-ЕРС $\alpha(0)$ [4].

Користуючись формулою [5]

$$\alpha(0) = -\frac{k_B^2 \cdot \pi^2 \cdot T}{3 \cdot e \cdot \xi^*} \cdot (1 + r - \gamma),$$

можна розрахувати залежність термо-ЕРС α від концентрації електронів n для кожного із можливих механізмів розсіяння, враховуючи при цьому, що

$r=0$ при розсіянні на акустичних фонах,

$r=1$ при розсіянні на п'єзоакустичних і полярних оптичних фонах (останні при $T \gg \theta_D$),

$r=2$ при розсіянні на іонізованих домішках.

Порівняння експериментальних і розрахованих залежностей $\alpha(0)=f(n)$ при $T=80\text{ K}$ і 300 K вказує на те, що в області азотних температур у $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{Al}_2\text{S}_3)_{0,5}:\langle\text{Mn}\rangle$, найбільш ймовірно, домінуючим механізмом є розсіяння електронів на п'єзоакустичних фонах (при $T \ll \theta_D$), а в області кімнатних темпе-

ратур (при $T \gg \theta_D$) домінує розсіяння на полярних оптичних фонах, а при вищих концентраціях електронів – на іонізованих домішках.

Тепер оцінимо домінуючі механізми розсіяння носіїв заряду (електронів) при азотних і кімнатних температурах для кристалів $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{Al}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgSe})_{0,5}(\text{In}_2\text{Se}_3)_{0,5}$, легованих $3d$ -елементами, на основі аналізу температурних залежностей рухливості електронів. У кристалах з іонним і іонно-ковалентним хімічними зв'язками ($A^{\text{III}}B^{\text{V}}$ і $A^{\text{II}}B^{\text{VI}}$) при оптичних коливаннях ґратки (різномісний іони зміщуються у протилежні сторони) виникає (крім деформаційного потенціалу) електрична поляризація, яка викликає додаткову взаємодію цих коливань з носіями заряду. Такий механізм розсіяння на полярних оптичних фонах в багатьох кристалах є більш суттєвим, ніж розсіяння на оптичному і акустичному деформаційному потенціалі.

На основі досліджень кінетичних коефіцієнтів: електропровідності σ і коефіцієнта Холла R_H одержали експериментальні залежності рухливості електронів від температури $U_{\text{exp}}=f(T)$ в інтервалі $T=77\text{--}300$ К.

При побудові теоретичних залежностей

$U=f(T)$ важливо точно порахувати ті коефіцієнти, які не залежать, або слабо залежать від температури, врахувати те, як вони змінюються зі зміною температури, складу x і інших факторів. Тому ми вибрали як точки "прив'язки" температури $T=77$ К і 300 К на експериментальній залежності $U_{\text{exp}}=A_n \cdot T^n$ і визначали коефіцієнти

$$A_n = \frac{U_{\text{exp}}}{T^n} = \frac{U_{\text{exp}}}{(300)^n} = \frac{R_H \cdot \sigma}{(300)^n}.$$

Далі, використовуючи коефіцієнти A_n , будували теоретичні залежності $U_n=A_n \cdot T^n$ для різних механізмів розсіяння електронів.

Із аналізу експериментальних і теоретичних кривих встановлено, що при $T=77$ К для $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{Al}_2\text{S}_3)_{0,5}:\langle\text{Mn}\rangle$ переважаючими є механізми розсіяння електронів на п'єзоакустичних фонах, а при $T=300$ К – на полярних оптичних фонах і іонізованих домішках (при більшій концентрації електронів домінує розсіяння на іонізованих домішках). Для кристалів $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}:\langle\text{Mn}\rangle$ (рис.1) і $(3\text{HgSe})_{0,5}(\text{In}_2\text{Se}_3)_{0,5}$, легованих $3d$ -елементами, при $T=77$ К домінує розсіяння електронів на п'єзоакустичних фонах, а при $T=300$ К – на точкових дефектах і полярних оптичних фонах.

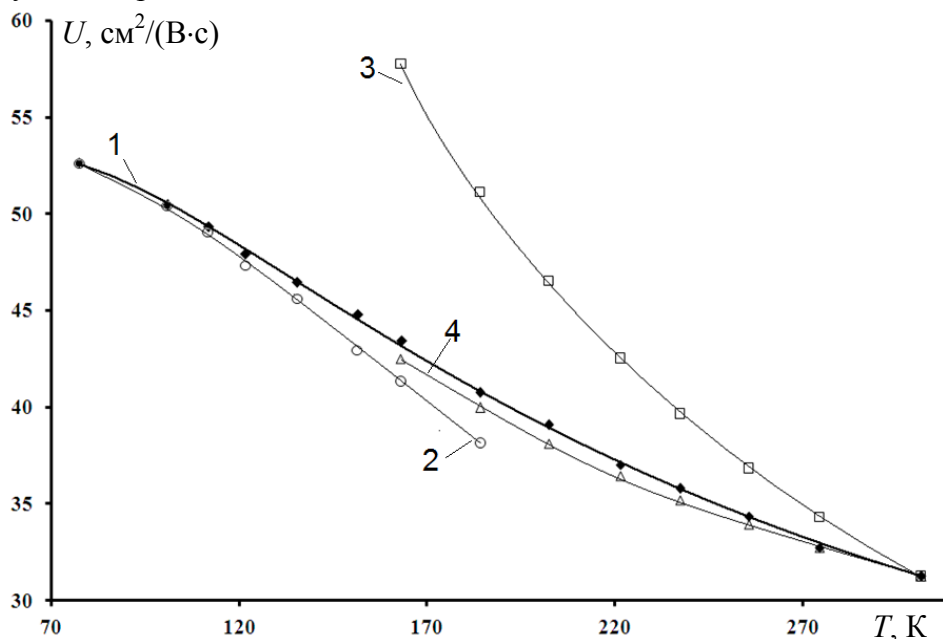


Рис. 1. Залежність рухливості електронів для кристалів $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}$ ($n=5,7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$): експериментальна крива (1); теоретично розраховані при розсіянні на п'єзоакустичних фонах (2), при розсіянні на полярних оптичних фонах (3), на точкових дефектах (4).

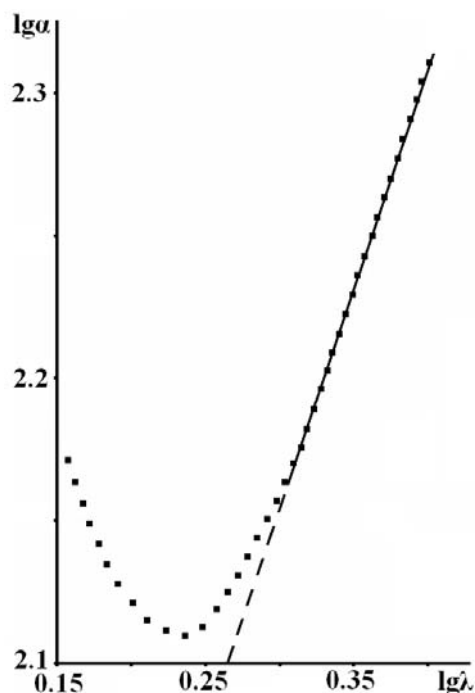


Рис. 2. Спектральна залежність $\lg\alpha=f(\lg\lambda)$, де α [см^{-1}], λ [$\mu\text{м}$], для $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}<\text{Mn}>$ ($N_{\text{Mn}}\sim 10^{20}\text{ см}^{-3}$; $n\sim 10^{19}\text{ см}^{-3}$, $T=300\text{ К}$).

На основі спектральних залежностей коефіцієнта поглинання $\alpha=f(\lambda)$ для кристалів $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{Al}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}$, $(3\text{HgSe})_{0,5}(\text{In}_2\text{Se}_3)_{0,5}$, легованих $3d$ -елементами, одержано залежності $\lg\alpha=f(\lg\lambda)$.

Типова для всіх кристалів залежність $\lg\alpha=f(\lg\lambda)$ наведена на рис.2.

По тангенсу кута нахилу довгохвильової ділянки залежності $\lg\alpha=f(\lg\lambda)$, обумовленої поглинанням електромагнітних хвиль вільними носіями заряду, оскільки $r\sim\lg\alpha/\lg\lambda$, визначено показник степені r , який характеризує домінуючі механізми розсіяння $r=1,5$ – для розсіяння на акустичних фононах, $r=2,5$ – на оптичних фононах, $r=3-3,5$ – на іонах домішок. Значення $r\sim\lg\alpha/\lg\lambda$ для досліджуваних кристалів з різною концентрацією електронів (при $T=300\text{ К}$), наприклад, складають: для $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{Al}_2\text{S}_3)_{0,5}<\text{Mn}>$ $r\sim 2-3$ (домінує розсіяння електронів на полярних оптичних фононах при $n<10^{18}\text{ см}^{-3}$ і іонізованих домішках при $n>10^{18}\text{ см}^{-3}$).

Для кристалів $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}<\text{Mn}>$ $r\approx 1,5$ домінує механізм розсіяння електронів на акустичних фононах, а для нелегованих $(3\text{HgS})_{0,5}(\text{In}_2\text{S}_3)_{0,5}$ і $(3\text{HgSe})_{0,5}(\text{In}_2\text{Se}_3)_{0,5}$, легованих Mn або Fe, $r\approx 2,5$ домінує розсіяння електронів на полярних оптичних фононах.

Висновок

Із оптичних і кінетичних досліджень, встановлено, що для досліджуваних зразків переважаючими механізмами розсіяння є розсіяння на п'єзоакустичних фононах при $T=80\text{ К}$ та полярних оптичних фононах при $T=300\text{ К}$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гальчинский Л.П., Кошкин В.М., Кулаков В.М. и др. Эффект радиационной устойчивости полупроводников со стехиометрическими вакансиями // ФТТ. – 1972. – 14(2). – С.646-648.
2. Марьянчук П.Д., Гавалешко Н.П. Переход бесщелевой полупроводник - обычный полупроводник в $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$ // УФЖ. – 1982. – 27(8). – С.1259-1261.
3. Томашик В.Н., Грыцив В.И. Диаграммы состояний систем на основе полупроводниковых соединений $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$. – Киев: Наук. думка, 1982.
4. Гавалешко Н.П., Марьянчук П.Д. Механизмы рассеяния электронов в $\text{Mn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$ // Изв. вузов. Физика. – 1993. – 36(8). – С.118-120.
5. Аскеров Б.М. Электронные явления переноса в полупроводниках. – М.: Наука, 1985.