

ХАРАКТЕР ШУМІВ У ШАРУВАТИХ МОНОКРИСТАЛАХ І ПЛІВКАХ InSe

З. Д. Ковалюк, В. Б. Орлецький, І. М. Будзуляк, В. В. Нетяга

Чернівецьке відділення ІІМ НАН України,

бул. Ірини Вільде, 5, Чернівці, 58001, Україна

(Отримано 11 травня 2000 р.; в остаточному вигляді — 18 жовтня 2000 р.)

Досліджено рівень і характер шумів у фоточутливих монокристалах і плівках InSe та їх вплив на величину відношення напруги сигнал-шум ($U_c/U_{\text{ш}}$). Установлено, що визначальним шумом для однорідних зразків і плівок InSe є шум типу $f^{-\gamma}$, де $\gamma = 0.87 \div 1.0$ для струмів $(3 \div 6) \times 10^{-6}$ А. Показано, що експериментальні залежності спектральної густини шуму від величини зміщення описуються співвідношенням $S(f) = \text{const} \cdot U^n$, де U — величина зміщення, $n = 0.8 \div 1.5$, тоді як для більшості напівпровідникових матеріалів $n = 2$ (співвідношення Гута). Визначено нормовану спектральну густину потужності шуму при $\Delta f = 150$ Гц, яка складає $10^{-14} \div 10^{-15}$ с.

Ключові слова: шум, фотоприймальні пристрої, відношення сигнал-шум.

PACS number(s): 72.40+w, 72.70+m

Шуми, що в тій чи іншій формі завжди присутні в фотоприймальних пристроях і є фактором, який накладає певні обмеження на їхні характеристики, врешті визначають граничні параметри цих приймачів. Тому дослідження рівня й характеру шумів у напівпровідниковых структурах є не тільки джерелом інформації про природу процесів, які відбуваються в цих структурах, але й дозволяють визначити їхні гранично можливі фотоелектричні параметри.

У цій праці досліджено рівень і характер шумів у шаруватих монокристалах InSe та плівках InSe, одержаних методом імпульсного лазерного напилення. Монокристали InSe *n*- і *p*-типу провідності були вирощені методом Бріджмена: *n*-тип провідності реалізований складом $In_{1.03}Se_{0.97}$, а *p*-тип провідності був отриманий легуванням моноселеніду індію кадмієм. За методикою, використаною в [1], плівки InSe наносили на підкладки із сапфіру і шаруватих високоомних монокристалів GaSe з парового факела, який утворювався при опроміненні мішенні із InSe імпульсами лазера, що працював у режимі вільної генерації. Плівки InSe, нанесені на інші підкладки, зокрема на кварц, слюду, сітал, не виявляють ознак фоточутливості. Одержані плівки мали *n*-тип провідності незалежно від типу провідності вихідного матеріалу мішенні. Структурні дослідження отриманих плівок, проведені на електронному мікроскопі HV-200F, показали, що в аморфній матриці плівок присутні полікристалічні включення.

При дослідженні власних шумів зразків і плівок InSe необхідно створити контакти, рівнем шумів яких можна було б знецітувати порівняно з рівнем шумів досліджуваних об'єктів. Оскільки використання відомих методів одержання омічних контактів до InSe [2–3] приводять до погіршення параметрів фотоприймальних пристройів, ми експериментально підібрали склади контактного матеріалу, який наносили на досліджувані зразки у вигляді плівок термічним випаровуванням у вакуумі. Для монокристалічних зраз-

ків *n*-типу провідності та плівок InSe найбільш задовільним матеріалом для контактів є сплав Pb-Sn-Sb з добавкою срібла, для монокристалічних зразків InSe *p*-типу провідності таким матеріалом є сплав складу Sn-In-Sb. Перевірку наявності або відсутності контактних шумів проводили за методикою, запропонованою в [4], яка підтвердила, що для вказаних контактних матеріалів їхнім шумом можна знецітувати порівняно із шумом досліджуваних об'єктів. Було встановлено, що вивчення якості контактів за допомогою шумових характеристик є інформативнішим порівняно з методом вольт-амперних характеристик (ВАХ), що виявляється, зокрема, в наявності явища “різношуму” (залежності величини шуму від полярності прикладеної напруги) навіть для суперлінійності ВАХ.

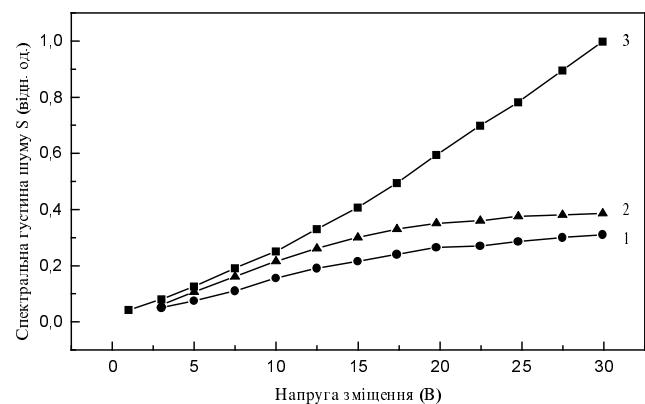


Рис. 1. Залежність спектральної густини шуму від величини напруги зміщення 1 — плівка InSe одержана методом лазерного напилення, 2 — монокристалічний зразок InSe *p*-типу провідності, 3 — монокристалічний зразок *n*-типу провідності.

Оскільки моноселенід індію використовують у фотоприймальних пристроях для більшої частини ГЧ-спектра [5], а більшість таких пристроїв працюють на низьких (до 1000 Гц) частотах, дослідження особливостей шумових характеристик InSe проводили на частотах до 1200 Гц. Відомо [6], що на низьких частотах основним типом шуму в однорідних напівпровідникових зразках є шум зі спектром $1/f$. У цьому випадку залежність спектральної густини шуму $S(f)$ від величини зміщення U описується емпіричним співвідношенням Гуга [7]

$$S(f) = \text{const} \cdot \frac{U^n}{f^\gamma}, \quad (1)$$

де $n \approx 2$, $\gamma = 0.8 \div 1.5$.

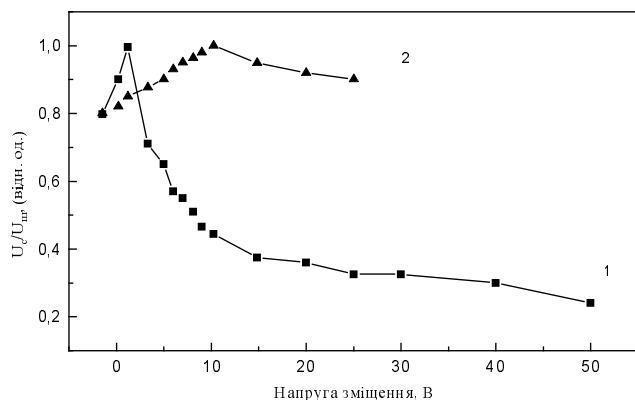


Рис. 2. Залежність відношення сигнал-шум від величини напруги зміщення: 1 — для зразків n -InSe, 2 — для плівок InSe, одержаних методом лазерного напилення.

На рис. 1 показано залежності спектральної густини шуму від напруги зміщення, яку подавали на ланцюжок $R_{\text{зраз.}} + R_{\text{навант.}}$. Як $R_{\text{зраз.}}$ використовували монокристалічні зразки селеніду індію n - і p -типу провідності і плівки InSe на підкладках з моноселенідом галію та сапфіру. Розміри робочої поверхні зразків становили $3 \times 4 \text{ mm}^2$ та $4 \times 5 \text{ mm}^2$. Отримані експериментальні залежності спектральної густини шуму від величини зміщення в діапазоні $0 \div 30 \text{ В}$ також, як показує аналіз цих залежностей, описуються співвідношенням Гуга (1). Проте, як видно із графіків залежностей $S(f)$ від U (рис. 1), для всіх досліджуваних об'єктів показник n помітно менший від 2, тоді як для традиційних напівпровідників $n = 2$. Так, на проміжку $0 \div 12 \text{ В}$ $n = 0.8 \div 1.25$ для монокристалічних зразків і $n = 0.8 \div 1.1$ для плівок InSe;

на проміжку $12 \div 30 \text{ В}$ для монокристалічних зразків n -типу провідності величина n зростає до значення $1.3 \div 1.4$; для зразків InSe p -типу провідності та плівок InSe n зменшується до $0.7 \div 0.9$. Ця обставина істотно впливає на хід залежності відношення сигнал-шум ($U_c/U_{\text{ш}}$) від напруги зміщення (рис. 2). Фоточутливість монокристалічних зразків p -InSe значно менша, ніж для зразків n -InSe та плівок InSe, тому для зразків p -InSe залежність відношення сигнал-шум від величини зміщення на рис. 2 не показана. Як видно із рис. 2, дані залежності свідчать про те, що швидкість зростання корисного сигналу більша за швидкість росту величини шуму для значного діапазону величини зміщення. При цьому для плівок відношення $U_c/U_{\text{ш}}$ набуває максимального значення за більших значень напруг зміщення (10–12) В, ніж для монокристалічних зразків. Установлена закономірність дає змогу значно розширити діапазон зміщень, для яких відношення $U_c/U_{\text{ш}}$ зростає, і отже, оптимізувати цілу низку параметрів фотоприймальних пристрій, зокрема питому виявну здатність. $1/f$ -шум є універсальним типом флюктуацій. Він проявляється при вимірюваннях практично у всіх матеріялах й елементах електроніки. Проте фізична природа виникнення $1/f$ шуму, за винятком декількох простих випадків, не зрозуміла й досі. Для однорідних матеріалів Гуг сформував емпіричний закон, згідно з яким спектральна густина такого шуму обернено пропорційна загальному числу носіїв заряду в зразку, хоча цей закон не зв'язаний з будь-яким фізичним механізмом виникнення $1/f$ -шуму. Незалежним є лише те, що шум типу $1/f$ в однорідних зразках зумовлений флюктуаціями опору. Для зразка InSe із шаруватою монокристалічною структурою флюктуації опору, які зумовлюють $1/f$ спектр шуму, мають двомірний характер, оскільки шари у високодосконаліх кристалах InSe зв'язані між собою лише силами Ван-дер-Ваальса. Імовірно, зростання величини зовнішнього електричного поля, прикладеного до зразка в напрямку паралельному шарам, значно менше впливає на ріст спектральної густини шуму, оскільки флюктуації опору, які винikли в окремих шарах, не можуть розвиватися в тривимірному просторі і відповідно їх внесок у спектральну густину шуму менший, ніж для традиційних напівпровідників.

Визначено нормовану спектральну густину шуму при $\Delta f = 150 \text{ Гц}$, яка складає величину $10^{-14} \div 10^{-15} \text{ с}$ для монокристалічних зразків при струмах $10^{-5} \div 10^{-6} \text{ А}$ і задовільно збігається з розрахунковими значеннями для шумів типу $1/f$. Проведені подібні вимірювання шумових характеристик плівок показали, що за абсолютною величиною вони перевищують аналогічні значення для монокристалів в 1.2–1.3 разу, в основному, через наявність у них структурних недосконалостей. Виміри фотоелектричних характеристик проводили на установці K54.410.

ХАРАКТЕР ШУМІВ У ШАРУВАТИХ МОНОКРИСТАЛАХ І ПЛІВКАХ InSe

- [1] И. М. Будзулак, С. В. Золотарев, Д. В. Корбутяк и др., Физ. тверд. тела **29**, 2825 (1987).
- [2] А. Н. Дмитриев, В. И. Лазоренко, Г. В. Лашкарев, Приборы техн. эксп. 1, 209, (1989).
- [3] Л. А. Демчина, З. Д. Ковалюк, И. В. Минянский, Приборы техн. эксп. **2**, 219, (1980).
- [4] Н. Б. Лук'янчикова, И. В. Маркевич, Т. А. Федорус, М. К. Шейнкман, Укр. физ. журн. **10**, 27 (1965).
- [5] В. Л. Бакуменко, З. Д. Ковалюк, Л. Н. Курбатов, В. Ф. Чишко, Физ. техн. полупр. **12**, 2197, (1978).
- [6] И. М. Коган, Усп. физ. наук **123**, 131, (1977).
- [7] М. Букингем *Шумы в электронных приборах и системах* (Мир, Москва, 1986).

THE NATURE OF NOISES IN LAYERED MONOCRYSTALS AND FILMS OF InSe

Z. D. Kovalyuk, V. B. Orletskii, I. M. Budzulyak, V. V. Netyaga
Chernivtsi Branch of the IPM NAS of the Ukraine
5 I. Vilde str., Chernivtsi, UA-58001, Ukraine

The nature of noise and its value were investigated for photosensitive InSe monocrystals of *p*- and *n*-type conductivity as well as for the InSe films received by the method of laser evaporation. It has been established that for the homogeneous monocrystals and films of InSe the noise of the type $f^{-\gamma}$ is prevailing. At the current through a sample equal to $(3 \div 6) \cdot 10^{-6}$ A, the exponent is 0.87–1.0 for single crystal samples. For films of InSe we have $\gamma = 0.85$ (at the current of the order of 10^{-6} A). It has been shown that experimental dependences of noise spectral density on a bias value have the form $S(f) = \text{const} \cdot U^n$, where U is the value of the bias. In our case $n = 0.8 \div 1.5$, whereas for the majority of semiconductors $n = 2$ (the Hooge relation). We have determined a spectral density of power at the frequency 1200 Hz and $\Delta f = 150$ Hz which is equal to $10^{-14} \div 10^{-15}$ s.