

УДК 621.382

А.І. Сатюков, канд. физ.-мат. наук

В.Г. Ушаков, канд. техн. наук

А.Л. Приступа, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВПЛИВ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ДЕЯКІ ВЛАСТИВОСТІ ГЕРМАНІЮ, ЛЕГОВАНОГО МІДЦЮ

А.И. Сатюков, канд. физ.-мат. наук

В.Г. Ушаков, канд. техн. наук

А.Л. Приступа, канд. техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ГЕРМАНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО МЕДЬЮ

A.I. Satukov, PhD in Physical and Mathematical Sciences

V.G. Ushakov, PhD in Technical Sciences

A.L. Prystupa, PhD in Technical Sciences

Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine

INFLUENCE OF X-RAYS ON SOME PROPERTIES OF DOPED GERMANIUM COPPER

Наведені результати експериментальних досліджень зміни електрофізичних параметрів зразків германію, легованого міддю залежно від часу опромінення його рентгенівськими променями. Показано, що рентгенівське випромінювання суттєво впливає на електрофізичні параметри германію з домішками міді, причому цей вплив суттєво збільшується при охолодженні зразка до температури рідкого азоту.

Ключові слова: напівпровідникові детектори; рентгенівське випромінювання, германій.

Приведены результаты экспериментальных исследований изменения электрофизических параметров образца германия, легированного медью в зависимости от времени облучения его рентгеновскими лучами. Показано, что рентгеновское излучение существенно влияет на электрофизические параметры германия с примесями меди, причём это влияние существенно увеличивается при охлаждении образца до температуры жидкого азота.

Ключевые слова: полупроводниковые детекторы; рентгеновское излучение, германий.

The results of experimental studies of changes in the electrical parameters of the sample doped germanium copper, depending on the time of exposure X-rays at different temperatures. It is shown the X-ray radiation affects the electrical parameters of doped germanium copper, and this effect increases significantly when the sample is cooled to liquid nitrogen temperature.

Key words: semiconductor detectors, X-ray, germanium.

Одним з напрямів розвитку електронної техніки є створення апаратури, яка працює в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні. Така апаратура використовується у наукових дослідженнях, зокрема в астрономії, у військовій справі, медицині, у системах автоматики та дистанційного керування, в охоронних системах, а також для вирішення задач візуалізації різноманітних об'єктів.

Для забезпечення роботи апаратури в ІЧ-діапазоні необхідно створювати оптичні фільтри, елементи геометричної оптики, фотоприймачі і т. д. Для реєстрації ІЧ-випромінювання застосовують теплові та фотоелектричні приймачі, а також спеціальні фотоматеріали. При цьому загальною рисою всіх таких пристроїв є використання взаємодії речовини з квантами відповідних енергій. Перелік речовин, які служать основою для створення детекторів ІЧ-випромінювання, з одного боку, досить різноманітний, а з іншого – потребує подальшого розширення. Підвищення рівня потужності при генерації випромінювання, або зменшення мінімального порога при детектуванні, зміна частотних характеристик детекторів стають можливими саме завдяки використанню нових фотоматеріалів. У багатьох випадках такими є напівпровідники з відповідними електрофізичними параметрами.

Іншим важливим аспектом є умови, в яких експлуатується електронна апаратура. В цьому випадку йдеться про вплив зовнішнього корпускулярного або електромагнітного випромінювання високих енергій, під дією якого відбуваються незворотні зміни у структурі твердого тіла, що впливає на властивості напівпровідникових матеріалів і призводить до порушень у роботі компонентів електронних пристроїв.

Одним з напівпровідників, які використовуються для виготовлення фотоприймачів випромінювання ІЧ-діапазону, є германій з домішками міді. Такий матеріал свого часу був добре вивчений, наприклад [1]. Відомо, що мідь має максимальну розчинність у матриці $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. При цьому вона утворює в забороненій зоні германію три акцепторні рівні: $E_v+0,04 \text{ eV}$, $E_v+0,33 \text{ eV}$ та $E_c-0,26 \text{ eV}$.

Завдяки наявності таких домішкових рівнів можна створювати ефективні приймачі (фоторезистори), які працюють у діапазоні 2-30 мкм та мають виявлювану здатність у максимумі спектральної характеристики $10^{-10} \text{ Вт} \cdot \text{см} \cdot \text{Гц}^{1/2}$ [2].

Проблеми радіаційної стійкості германію з домішками міді також вивчалися. Але в переважній більшості таких досліджень для опромінювання ІЧ-детекторів використовувались або потоки частинок – електронів, протонів та нейтронів, або гамма-випромінювання, як, наприклад, у [3], і значно менше уваги приділено впливу рентгенівського випромінювання.

Звичайно, прилади на основі германію взагалі широко розповсюджені і їх застосування не обмежується тільки фотоприймачами. Тому дослідження зміни властивостей напівпровідників в умовах зовнішнього опромінювання завжди є актуальними.

Методи та результати. У роботі наведені результати впливу рентгенівського випромінювання на деякі електрофізичні параметри германію з домішками міді. Як джерело випромінювання була використана рентгенівська трубка з анодною напругою до 150 кВ, що відповідає довжинам хвиль спектра гальмового випромінювання $\lambda \geq 8,2 \text{ нм}$.

Досліджувались зразки германію розмірами $3 \times 3 \times 2 \text{ мм}$ з малим вмістом домішок міді ($n = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$). Тривалість опромінювання змінювалась від 10 до 60 хвилин. Електрофізичні параметри германію до і після опромінювання вимірювались при кімнатній температурі та при охолодженні до температури рідкого азоту. Також вимірювалась різниця потенціалів, що виникає при ефекті Холла.

На рис. 1 наведена отримана експериментально залежність від тривалості опромінювання відношення холлівської різниці потенціалів на опромінену зразку U_{HR} до відповідної величини U_{H0} для неопроміненого зразка при кімнатній температурі. Зменшення напруги Холла зі зростанням дози опромінювання може бути обумовлене двома причинами: зменшенням рухливості основних носіїв заряду та акцепторним характером радіаційних дефектів. На акцепторний характер дефектів, утворених при опроміненні германію γ -квантами, вказується в [4]. Такі дефекти відповідають акцепторним станам $E_v+0,01 \text{ eV}$ і здатні призвести до часткової компенсації основних носіїв заряду.

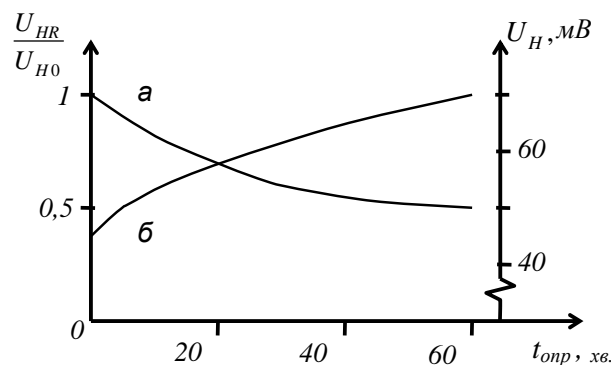


Рис. 1. Залежності напруги Холла від тривалості опромінювання: а – відношення U_{HR}/U_{H0} при кімнатній температурі; б – холлівська різниця потенціалів U_H при температурі рідкого азоту

Проте при охолодженні попередньо опромінених зразків германію до температури рідкого азоту характер залежності змінюється на протилежний: спостерігається збільшення холлівської напруги U_{HR} зі зростанням тривалості опромінювання (рис. 1).

На рис. 2 показані залежності різниці потенціалів U у діапазоні температури від 78 до 300 К для неопромінених та опромінених зразків германію.

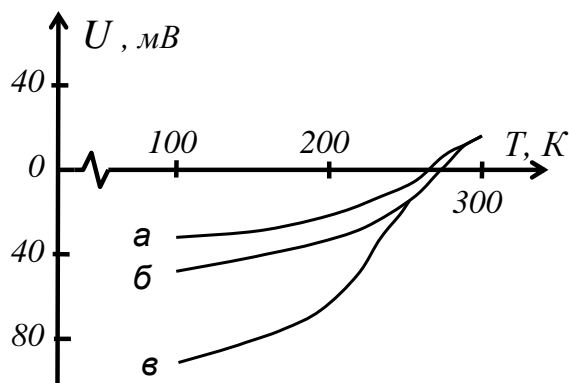


Рис. 2. Температурні залежності спаду напруги на холлівських контактах:

а – неопромінений германій; *б* та *в* – германій після опромінення тривалістю 10 та 60 хв відповідно

При охолодженні відбувається значне зростання напруги Холла у неопроміненого зразка. Проте при рентгенівському опромінюванні разом з накопиченням дози опромінення спостерігається поступове зменшення U_H до нуля і навіть зміна полярності при температурах 250...270 К. Характерним є те, що саме при таких температурах відбувається найбільш помітне збільшення опору зразків. Особливо помітно це проявляється після тривалого опромінення. Опори усіх зразків зростали, сягаючи максимуму при температурах 205...220 К (рис. 3).

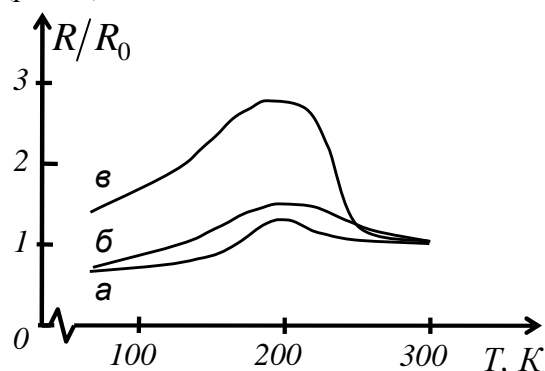


Рис. 3. Температурні залежності відношення опору R опромінених зразків германію до опору неопроміненого зразка R_0 при температурі 300 К:

а – неопромінений германій; *б* та *в* – германій після опромінювання тривалістю 10 та 60 хв відповідно

Тривалість опромінювання також веде до зміни опору. Проте при кімнатних та азотних температурах характер залежностей різний (рис. 4).

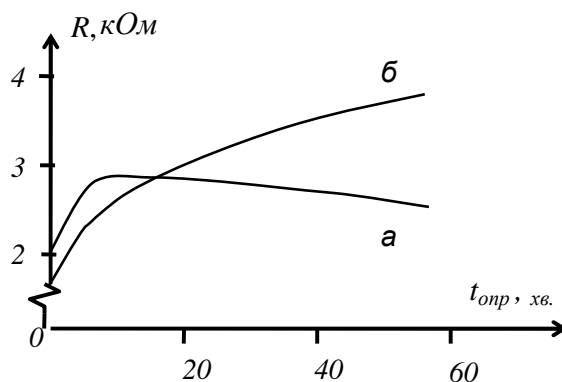


Рис. 4. Залежності опору зразка германію від тривалості опромінення:
а – при кімнатній температурі; *б* – при температурі рідкого азоту

Далі наведені результати досліджень впливу рентгенівського випромінювання на вольтамперні характеристики та статичний опір детекторів ІЧ-випромінювання на основі германію з домішками міді при температурах 300 та 78 К.

Індикатори ІЧ-випромінювання, розмірами $3 \times 3 \times 2$ мм були виготовлені з германію з великою концентрацією домішок міді ($n = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$). До кристалів були припаяні омичні контакти. Тривалість опромінювання, як і у попередніх досліджах, змінювалась від 10 до 60 хвилин.

Вольтамперні характеристики опромінених індикаторів майже лінійні як при кімнатній температурі, так і при температурі рідкого азоту. Проте кут нахилу характеристик поступово змінюється залежно від часу опромінювання.

За результатами вимірювань вольтамперних характеристик при температурі 300 та 78 К побудовані залежності опору попередньо опроміненого детектора від тривалості опромінювання (рис. 5).

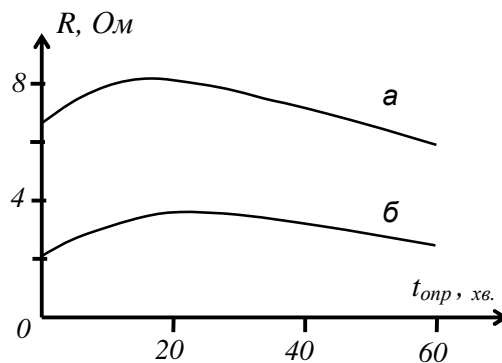


Рис. 5. Залежності опору індикатора від тривалості опромінювання: а – при кімнатній температурі; б – при температурі рідкого азоту

Спостерігається зростання опору при тривалості опромінювання до 20 хвилин, а надалі зі зростанням часу опромінювання відбувається поступове зменшення опору до попереднього значення. Подібний хід залежності мають в усьому дослідженому інтервалі температури.

Температурна залежність опору детекторів ІЧ-випромінювання суттєво відрізняється від аналогічних залежностей для нелегованого германію, наведених на рис. 3. Спостерігається зменшення опору з пониженням температури. Однак при температурах $\sim 140 \dots 150$ К таке зменшення припиняється й опір починає зростати.

Висновки. Проведені експериментальні дослідження показують, що рентгенівське випромінювання досить суттєво впливає на електрофізичні параметри германію з домішками міді. Причому існує доза опромінювання, що викликає найбільш помітні зміни деяких параметрів.

Вплив суттєво збільшується при охолодженні до температури рідкого азоту.

Цей факт необхідно враховувати при створенні напівпровідникових приладів, що експлуатуються у відповідних умовах протягом тривалого періоду часу, оскільки рентгенівське випромінювання може досить суттєво змінювати характеристики електронних компонентів.

Список використаних джерел

1. Милнс А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках / А. Милнс. – М. : Мир, 1977. – 126 с.
2. *Infrared components* // Drjchure Edition 47. – Santa Barbara Research Center USA, 1983.
3. Банзак О. В. Воздействие ионизирующих излучений на параметры полупроводниковых оптических элементов / О. В. Банзак // Вісник Черкаського технологічного університету. – 2008. – № 2. – С. 110-112.
4. Васильев Н. Д. Образование радиационных дефектов в полупроводниках / Н. Д. Васильев // ФТП. – 1981. – Т. 15. – Вып. 7. – С. 125-129.