

<https://doi.org/>-

УДК 539.2 :621.315.548.0 : 612.029.62, 621.315.592

**Левицький С.М.**

Левицький С.М., к.т.н., с.н.с., Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, ORCID:0000-0002-3909-0993, levyskiyi@ua.fm

## ДЕТЕКТОРИ НА ОСНОВІ НАПІВПРОВІДНИКІВ Cd(Zn)Te ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ РЕНТГЕНІВСЬКОГО І ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ

У даній роботі наведено результати з розробки методики лазерного легування і створення діодних структур на базі напівпровідників Cd(Zn)Te, що зумовлено його привабливими фізичними характеристиками. Елементи цієї сполуки мають порівняно великі атомні числа, значний поперечний переріз для фотоелектричного поглинання, достатню ширину забороненої зони і, відповідно, можуть мати досить високий електричний опір. Все це є тими перевагами, які роблять Cd(Zn)Te основним і перспективним матеріалом для ядерних детекторів, що можуть функціонувати за кімнатної температури (без охолодження) і, як свідчать численні дослідження в усьому світі, проводиться інтенсивна робота з конструювання на базі Cd(Zn)Te інструментів для детектування та вимірювання рентгенівського і гамма-випромінювання та формування зображень. Необхідність такого приладу зумовлена багатьма важливими чинниками. Одними з глобальних проблем сучасності є попередження техногенних катастроф, ліквідація їх наслідків і запобігання терористичним актам. В Україні вирішення цих проблем набуває особливого значення, оскільки наша держава є однією з країн із дуже деградованим навколишнім середовищем, зокрема через радіоактивне забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, неефективної утилізації боєприпасів, технічних проблем у промисловості і т.п. З іншого боку, вирішення зазначених проблем спричиняє інтенсивні дослідження в усьому світі для того, щоб розробити портативні інтелектуальні системи, за допомогою яких можна ефективно виявляти та розрізняти небезпечні предмети і радіонукліди, а також робити об'єктивний експрес-аналіз навколишнього середовища і матеріалів на предмет радіоактивності. Окрім необхідних функціональних параметрів, зокрема, високої енергетичної роздільної здатності, ці системи повинні мати малі розміри, бути не енергоємними, щоб забезпечувати вимірювання тривалий час і не потребувати складного та особливого обслуговування.

**Ключові слова:** CdTe, CdZnTe, лазерне опромінення, легування, бар'єрна структура, p-n перехід, діод, детектор.

**Вступ.** Одними із найважливіших глобальних проблем у сучасному світі є попередження техногенних катастроф, ліквідація їх наслідків і запобігання терористичним актам. В Україні вирішення цих проблем набуває особливого значення, оскільки вона відома як країна Чорнобилю та є однією з країн з найбільш деградованим навколишнім середовищем. Найважливішою екологічною проблемою України є радіоактивне забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, включаючи забруднення землі, води і повітря. Оскільки в Україні є багато діючих технічно складних ядерних об'єктів, то їх перевірка і контроль набувають особливого значення. Тому пошуку шляхів і засобів для моніторингу навколишнього середовища і ядерних об'єктів приділяється надзвичайна увага.

Необхідність вирішення зазначеної проблеми викликає інтенсивні дослідження в усьому світі для того, щоб розробити портативні інтелектуальні системи, за допомогою яких можна ефективно виявляти та розрізняти небезпечні предмети і радіонукліди, а також робити об'єктивний експрес-аналіз навколишнього середовища і матеріалів на предмет радіоак-

тивності. Окрім необхідних функціональних параметрів, зокрема, високої енергетичної роздільної здатності, ці системи повинні мати малі розміри як детекторів, так і самого приладу, бути не енергоємними, щоб забезпечувати вимірювання тривалий час, і не потребувати складного та особливого обслуговування.

**Мета і завдання досліджень.** Як впливає із зазначених вище обставин, метою даних досліджень є фундаментальний аналіз фізичних процесів, розробка методів і технологічних процедур для створення неохолоджуваних детекторів на основі напівпровідників Cd(Zn)Te для реєстрації рентгенівських і гамма-квантів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основною таких детектуючих систем є напівпровідникові сенсори, чутливі до рентгенівського і гамма-випромінювання. Саме від їх фізичних характеристик залежать основні функціональні параметри приладу, його ефективність, надійність, довговічність. У цьому аспекті особлива увага приділяється напів-

провіднику CdTe, а також сполучі на його основі [1-4], що зумовлено його привабливими фізичними характеристиками - елементи цієї сполуки мають порівняно великі атомні числа, значний поперечний переріз для фотоелектричного поглинання, достатню ширину забороненої зони і, відповідно, можуть мати досить високий електричний опір. Ці параметри роблять CdTe основним і перспективним матеріалом для ядерних детекторів, що можуть функціонувати за кімнатної температури (без охолодження), що є досить суттєвим для портативних систем. Як свідчать численні дослідження в усьому світі, проводиться інтенсивна робота з конструювання на базі CdTe інструментів для детектування та вимірювання рентгенівського і гамма-випромінювання.

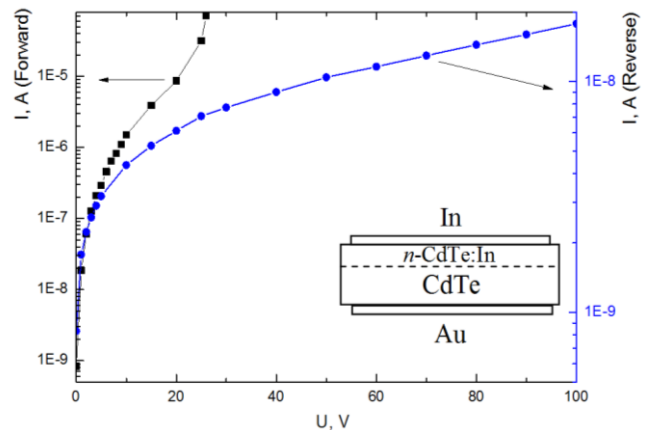
Однією з важливих характеристик детектора є струм протікання (струм при прикладенні напруги зворотнього зміщення без оптичного збудження). Чим менший цей параметр, тим вища енергетична роздільна здатність детектора і стабільніші його електричні та спектральні характеристики. Проте опір промислових кристалів CdTe не є настільки високим, щоб забезпечити достатньо низький струм протікання, і тому детектори на основі CdTe розробляють останнім часом як діодні структури. Для цього на поверхні створюють контакт Шотткі або формують електричний перехід (*p-n* або *p-i*) у поверхневій області кристалу різними методами, зокрема, і лазерно-індукованими [2-12]. Використання діодних структур дає змогу підвищити електричне поле поданого зміщення без збільшення струму протікання і відповідного дробового шуму. Окрім того, підвищене електричне поле збільшить ефективність збирання заряду.

Як було зазначено вище, застосування лазерного опромінення для модифікації характеристик кристалів CdTe, а саме вивчення і розвиток методу легування напівпровідника, відкриває нові можливості для розробки і створення діодів з низьким струмом протікання, які були б чутливими до рентгенівського і гамма-випромінювання. На основі отриманих результатів визначення порогових значень наносекундних лазерних імпульсів та встановлення основних факторів і особливостей дії таких імпульсів на структуру і властивості напівпровідника CdTe проводилися подальші дослідження для пошуку ефективних режимів та умов лазерної обробки кристалів з метою легування і створення мілких електричних переходів у поверхневому шарі.

**Об'єкт і методи досліджень.** Для експериментів використовувалися монокристалічні компенсовані хлором пластини CdTe орієнтації (111) *p*-подібного типу провідності з питомим опором  $\rho_e = (2-5) \cdot 10^9$

Ом·см за кімнатної температури. Лінійні розміри зразків були  $5 \times 5 \times 0,5$  мм<sup>3</sup>.

Електричні контакти (In та Au) наносили методом термічного напилення у вакуумі на попередньо підготовлені поверхні (хімічна очистка та поліруюче травлення (або лазерно-стимульоване травлення) зразків). Індієвий електрод опромінювали наносекундними імпульсами неодимового Nd:YAG лазера ( $\lambda = 532$  нм,  $\tau = 7$  нс), що призводило до легування тонкого поверхневого шару напівпровідника [7, 9]. Виготовлені таким чином структури In/CdTe/Au мали різкі випрямляючі властивості (рис. 1).



**Рис. 1.** Вольт-амперні характеристики сформованої структури In/CdTe/Au.

**Fig. 1.** The I-V characteristics of the formed structure In/CdTe/Au.

У даній роботі наведено результати досліджень впливу лазерного опромінення на властивості CdTe і характеристики контактів. Перед процедурами лазерно-індукованого легування і нанесення електродів поверхня кристалів CdTe попередньо очищувалися у ацетоні, метанолі, хімічно полірувалися у 3% розчині бром у метанолі. Потім зразки промивалися в метанолі і їх поверхня висушувалася потоком аргону або на повітрі. Для легування на грань  $5 \times 5$  мм<sup>2</sup> кристалу у вакуумі напилялася тонка плівка In, а потім зразки опромінювалися з боку індію одним імпульсом лазера, і тим самим відбувалося легування тонкого поверхневого шару CdTe. Процес напилення плівки легуючого елементу (In), а також електродів проводився за кімнатної температури.

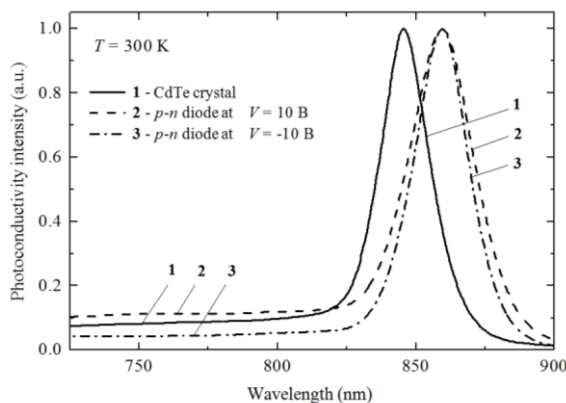
Лазерне опромінення CdTe у певному діапазоні густини енергії може призводити до модифікації дефектної структури приповерхневого шару без суттєвої зміни об'єму напівпровідника [13-15]. Такі ефекти було виявлено при обробці поверхні кристалів CdTe імпульсами ексімерного KrF лазера з густиною енергії вище порогу плавлення, і проводилися дослідження з метою формування оптимальних

контактів та формування бар'єрних структур, зокрема,  $p-n$  переходів [8-10].

Було виявлено суттєву різницю при дії імпульсів рубінового чи ексімерного KrF лазера на електричні властивості напівпровідників CdTe. При опроміненні CdTe імпульсами рубінового лазера із зростаючою густиною енергії спостерігалось зростання провідності. Контакти наносилися на поверхню зразків, і вся область між ними піддавалася лазерній обробці. Збільшення провідності на кілька порядків було зумовлено формуванням тонкої плівки Te [15, 16].

Інша ситуація виникала при опроміненні кристалів CdTe імпульсами ексімерного KrF лазера. Така обробка не викликала суттєвих змін у провідності зразків. Відмінність у результатах впливу випромінювання рубінового ( $\lambda = 694$  нм) і ексімерного KrF ( $\lambda = 248$  нм) лазерів пов'язана із значною різницею (більше ніж на порядок) коефіцієнтів поглинання [17]. У випадку ексімерного KrF лазера поглинання відбувається у дуже тонкому ( $< 10$  нм) шарі напівпровідника, тоді як при опроміненні рубіновим лазером збуджується шар товщиною  $> 170$  нм.

Додатковим свідченням формування сильно легованого поверхневого шару у кристалах CdTe, опромінених з боку плівки In, є результати досліджень спектрів фотопровідності (ФП) (рис. 2). Для виготовлення  $p-n$  діодної структури на леговану грань кристалу CdTe наносився індієвий електрод, а на протилежну – золотий, і для прямого зміщення індієвий електрод під'єднувався до негативного потенціалу. Виявлено, що зонна смуга спектру діодної структури In/CdTe/Au (криві 2 і 3) розташована у більш довгохвильовій області, ніж аналогічна смуга у спектрі оригінальних нелегованих кристалів CdTe (крива 1).



**Рис. 2.** Спектри фотопровідності нелегованого кристалу CdTe (крива 1) і  $p-n$  діоду In/CdTe/Au при прямому (крива 2) та зворотньому (крива 3) зміщеннях при  $T = 300$  К.

**Fig. 2.** The photoconductivity spectra of unalloyed CdTe crystal (curve 1) and  $p-n$  diode In/CdTe/Au at forward (curve 2) and reverse (curve 3) offsets at  $T = 300$  K.

Такий довгохвильовий зсув максимуму і «червоної» границі спектру ФП кристалів після лазерно-індукованого легування може пояснюватися формуванням шару сильно легованого домішкою (у нашому випадку In), яка створює мілкий донорний рівень у забороненій зоні напівпровідника, що призводить до звуження останньої [1, 18]. Короткохвильове крило у спектрах ФП діодів при прикладанні прямого (рис. 1, крива 1) або зворотнього (рис. 1, крива 3) зміщення лежить, відповідно, вище або нижче крила ФП оригінального кристалу, що свідчить про наявність сильного вбудованого електричного поля у поверхневій області кристалу внаслідок формування різкого  $p-n$  переходу і вплив цього поля на поверхневу рекомбінацію носіїв заряду [7, 12].

Відомо, що контакт метал-напівпровідник, зазвичай, має бар'єрні властивості (бар'єр Шоттки), тому особливу увагу було приділено встановленню факту, що основну роль у створених структурах відіграє саме сформований лазерно-індукованим легуванням  $p-n$  перехід.

Для виявлення легованого (інверсного) шару було знято (хімічними методами) електричні контакти In та Au, а на зразок з обох сторін нанесено нові контакти з In. Досліджувалися вольт-амперні характеристики (ВАХ) (рис. 3 а) і спектри фотопровідності (ФП) (рис. 4.) структур In/CdTe/In із легуванням шаром.

Для контролю «омічності» індієвих контактів вимірювалися ВАХ при прикладанні напруги до контактів, що розміщувалися на одній стороні зразка. При зміні полярності прикладеного зміщення ВАХ дещо відрізняються (у 1,5-2 рази), проте, загалом, мають відносно симетричний вигляд. Позитивні значення струму зображено при поданні на контакти 2, 3 додатної напруги.

Інша ситуація спостерігалася у ВАХ при прикладанні зміщення до контактів на протилежних сторонах зразка (рис. 3 б). ВАХ були різко несиметричні, що свідчило про випрямляючі властивості структури In/CdTe/In. Такі ВАХ характерні для діодних структур. У нашому випадку це свідчить, що у поверхневій області CdTe, яка була під електродом In опроміненним лазером, сформувався  $p-n$  перехід внаслідок легування поверхневого шару напівпровідника індієм.

Таким чином, можна зробити висновок, що випрямляючі властивості діодних структур In/CdTe/Au, виготовлених за допомогою опромінення індієвого електроду наносекундними імпульсами лазера, визначаються різким  $p-n$  переходом, який формується на межі тонкого легованого індієм низькоомного поверхневого шару  $n$ -типу та об'ємної високоомної області кристалу  $p$ -CdTe [19].

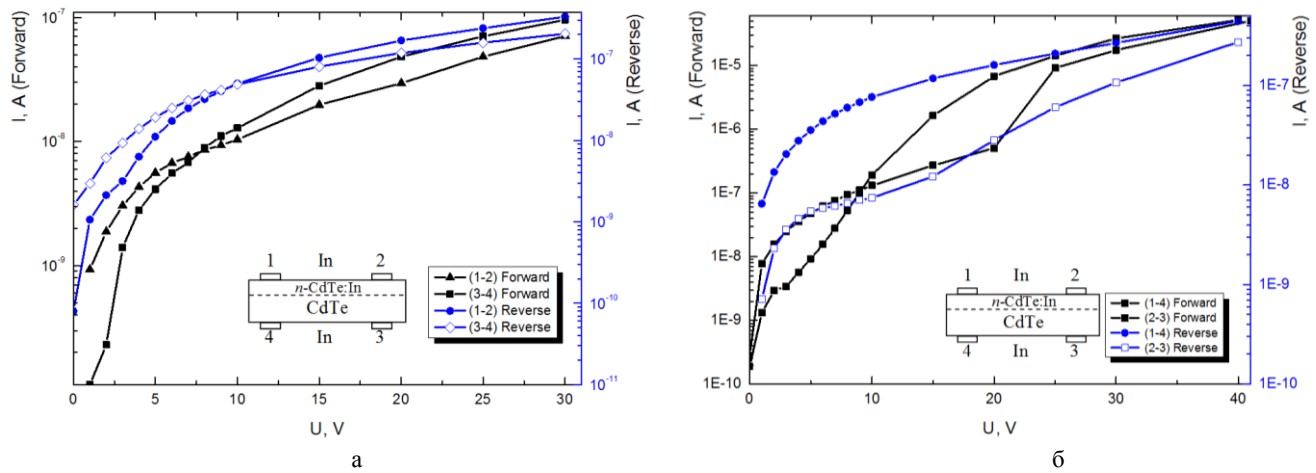


Рис. 3. Вольт-амперні характеристики структури In/CdTe/In.  
 Fig. 3. The I-V characteristics of the In/CdTe/In structure.

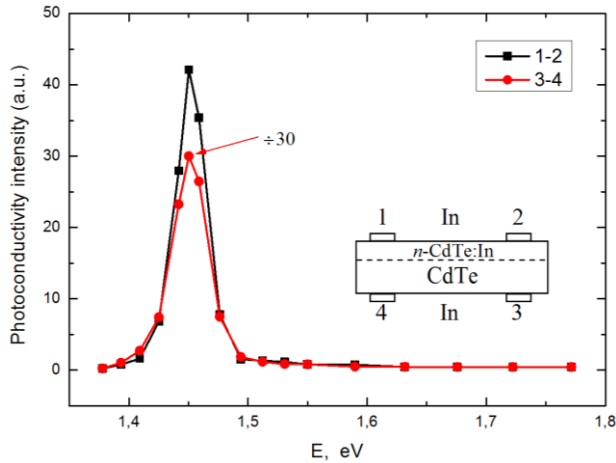


Рис. 4. Фотопровідність структури In/CdTe/In.

Fig. 4. The photoconductivity spectra of the In/CdTe/In structure.

Підтвердженням такого висновку є той факт, що інтенсивність ФП (рис. 4), вимірної на стороні кристалу (контакти 1-2), легованій індієм, більш ніж на порядок величини вища, порівняно зі стороною, яка не була опромінена (контакти 3-4). Подібний ефект у спектрах ФП спостерігався у випадку формування низькоомної плівки Te на поверхні CdTe після опромінення наносекундними імпульсами рубінового лазера [20].

Усі виготовлені діоди In/CdTe/Au виявляли високі випрямляючі властивості при  $T = 300$  K з низьким струмом протікання (кілька наноампер або менше).

Збільшення густини енергії лазерних імпульсів призводить до збагачення поверхневого шару точковими дефектами, переважно акцепторного типу, і

формуванню бар'єрної структури. Опромінення зразків із попередньо нанесеною плівкою легуючого елементу In призводить до виникнення  $p-n$  переходу в поверхневому шарі CdTe. Встановлено механізм лазерного легування, який пов'язується з дією лазерно-індукованої ударної хвилі на точково-дефектну структуру кристалу. Визначено умови нанесення електродів на кристали CdTe для отримання  $p-n$  переходу і формування бар'єрних структур, придатних для подальшого конструювання детекторів рентгєнівського і гамма-випромінювання.

Для дослідження електричних і спектральних характеристик досліджувані зразки розрізалися на пікселі, розміщувалися на платі, під'єднувалися за допомогою тоненьких провідників до відповідних електричних схем і далі підключалися до вимірювальних приладів для знімання спектральних характеристик. Встановлено, що для детектування рентгєнівського випромінювання були придатні зразки зі значенням густини зворотнього струму за кімнатної температури не більше  $I = 50$  нм/см<sup>2</sup> при прикладенні напруги зворотнього зміщення  $V = 100$  В, але для об'єктивного аналізу спектрів випромінювання радіоіотопів добивалися якомога меншого темного струму протікання у детекторах.

Проведено тестування отриманих структур на предмет їх чутливості до випромінювання радіоіотопів. На рис. 5. наведено спектр радіоіотопу <sup>241</sup>Am, зареєстрований діодною структурою In/CdTe/Au із  $p-n$  переходом. Показано, що ефективним методом формування детекторних структур із низьким струмом протікання, високою спектральною роздільною здатністю є лазерно-індуковане легування поверхневого шару CdTe.



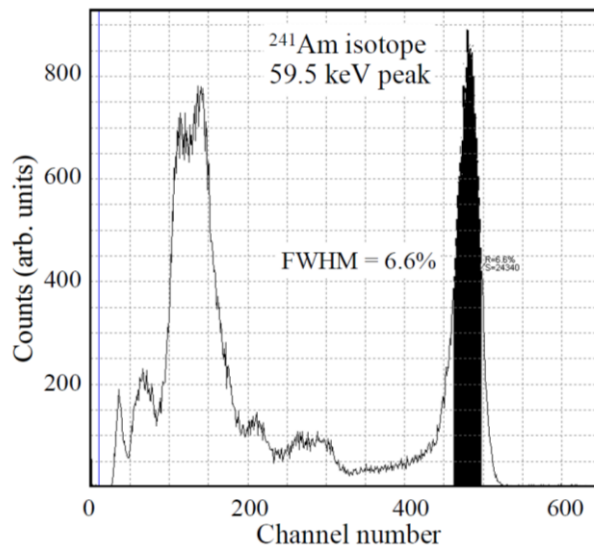


Рис. 5. Спектр радіоізоотопу  $^{241}\text{Am}$ , зареєстрований діодною структурою In/CdTe/Au [21].

Fig. 5. The spectrum of the  $^{137}\text{Cs}$  radioisotope is registered by the diode structure In/CdTe/Au with a p-n junction at the inverse offset  $V = 700$  V [21].

### Висновки та рекомендації

Показано, що при лазерному опроміненні високоомних кристалів CdTe  $p$ -подібного типу з попередньо нанесеною плівкою легуючого елементу In може формуватися інверсний поверхневий шар  $n$ -типу. Виявлено довгохвильовий зсув максимуму і «червоної» границі спектру ФП кристалів після лазерного легування, що підтверджує про формування шару сильно легуваного домішкою, яка створює мілкий донорний рівень у забороненій зоні напівпровідника. Досліджено електричні та фотоелектричні властивості отриманих діодів із  $p$ - $n$  переходом і проаналізовано механізм лазерного легування, який пов'язується з лазерно-стимульованою модифікацією точково-дефектної структури CdTe.

Отримано діодні структури In/CdTe/Au, чутливі до рентгенівського і гамма-випромінювання, досліджено їх електричні характеристики та проведено тестові вимірювання спектру енергії радіоізоотопу Am-241. Характеристики виготовлених лабораторних зразків детекторів свідчать про ефективність і перспективність лазерного методу легування.

### Література

- Zanio K. Cadmium telluride, Semiconductors and Semimetals. Vol. 13. New York: Academic Press, 1978. 235 p.
- Sellin P.J. Recent advances in compound semiconductor radiation detectors. *Nucl. Instrum. Methods A*. 2003. Vol. 513. P. 332-339.
- Owens A., Peacock A. Compound semiconductor radiation detectors. *Nucl. Instrum. Methods A*. 2004. Vol. 531. P. 18-37.

- Yadav J.S., Savitri S., Malkar J.P. Near room temperature X-ray and  $\gamma$ -ray spectroscopic detectors for future space experiments. *Nucl. Instrum. Methods A*. 2005. Vol. 552. P. 399-408.
- Takahashi T., et al. High-resolution Schottky CdTe diode for hard X-ray and gamma-ray astronomy. *Nucl. Instrum. Methods A*. 1999. Vol. 436, issues 1-2. P. 111-119.
- Kosyachenko L.A., et al. Electrical characteristics of Schottky diodes based on semi-insulating CdTe single crystals. *J. App. Phys.* 2007. Vol. 101, No 1. P. 013704-1-013704-6.
- Kosyachenko L.A., et al. Surface-barrier  $p$ -CdTe-based photodiodes. *Semicond. Sci. Technol.* 1999. Vol. 14. P. 373-377.
- Hatanaka Y., Niraula M., Nakamura A., Aoki T. Excimer laser doping for II-VI semiconductors. *Appl. Surf. Sci.* 2001. Vol. 175-176. P. 462-467.
- Gnatyuk V.A., Aoki T., Hatanaka Y., Vlasenko O.I. Metal-semiconductor interfaces in CdTe crystals and modification of their properties by laser pulses. *Appl. Surf. Sci.* 2005. Vol. 244, No 1-4. P. 528-532.
- Aoki T., et al. Study of a CdTe high-energy radiation imaging device fabrication by excimer laser processing. *Phys. Stat. Sol. (c)*. 2004. Vol. 1, No 4. P. 1050-1053.
- Gnatyuk V.A., et al. Defect formation in CdTe in the act of laser-induced doping and application to the manufacturing nuclear radiation detectors. *Phys. Stat. Sol. (c)*. 2006. Vol. 3, No 4. P. 1221-1224.
- Gnatyuk V.A., Vlasenko O.I., Levitskyi S.N., Aoki T. Electrical and photoelectric properties of M-p-n CdTe diodes. *Proceed. of The 6th International Conference on Global Research and Education: Inter-Academia 2007 and The 2nd Inter-Academia for Young Researchers Workshop*. 2007. Vol. I. P. 446-455.
- Gnatyuk V.A., Aoki T., Gorodnychenko O.S., Hatanaka Y. Solid-liquid phase transitions in CdTe crystals under pulsed laser irradiation. *Appl. Phys. Lett.* 2003. Vol. 83, No 18. P. 3704-3706.
- Gnatyuk V.A., Aoki T., Nakanishi Y., Hatanaka Y. Surface state of CdTe crystals irradiated by KrF excimer laser pulses near the melting threshold. *Surf. Sci.* 2003. Vol. 542. P. 142-149.
- Байдуллаєва А., Буллах М.Б., Власенко А.И., Ломовцев А.В., Мозоль П.Е. Динамика развития поверхностных структур в кристаллах  $p$ -CdTe при облучении импульсным лазерным излучением. *ФТП*. 2004. Т. 38, вып. 1. С. 26-29.
- Байдуллаєва А., Власенко А.И., Ломовцев А.В., Мозоль П.Е. Создание переключающих элементов с памятью лазерной обработкой кристаллов CdTe. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. 2001. № 3. С. 36-37.
- Golovan L.A., et al. Evaporation effect on laser induced solid-liquid phase transitions in CdTe and HgCdTe. *Solid State Commun.* 1998. Vol. 108, No 10. P. 707-712.
- Wei Su-Huai, Zhang, S.B. First-principles study of doping limits of CdTe. *Phys. Stat. Sol. (b)*. 2002. Vol. 229. P. 305-310.
- Gnatyuk V.A., et al. Modification of the surface state and doping of CdTe and CdZnTe crystals by pulsed laser irradiation. *Appl. Surf. Sci.* 2009. Vol. 255. P. 9813-9816.

20. Байдуллаева А., Даулетмуратов Б.К., Власенко А.И., Гнатюк В.А., Мозоль П.Е. Фотоэлектрические свойства пленок теллурида кадмия, подвергнутых лазерному облучению. *ФТП*. 1993. Т. 27. С. 56-59.

21. C.P. Lambropoulos, et al.. The COCAE detector: an instrument for localization - identification of radioactive sources. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 58, Issue 5, Part 2 (2011) 2363-2370.

#### References

1. Zanio K. (1978) *Cadmium telluride, Semiconductors and Semimetals*. New York: Academic Press, 13, 235 p.
2. Sellin P.J. (2003), *Nucl. Instrum. Methods A*. Vol. 513. P. 332-339.
3. Owens A., Peacock A. (2004), *Nucl. In-strum. Methods A*. Vol. 531. P. 18-37.
4. Yadav J.S., Savitri S., Malkar J.P. (2005), *Nucl. Instrum. Methods A*. Vol. 552. P. 399-408.
5. Takahashi T., Biswajit Paul, Hirose K., Matsumoto Ch., Ohno R., Ozaki T., Mori K., Tomita Y. (1999), *Nucl. Instrum. Methods A*. Vol. 436, issues 1-2. P. 111-119.
6. Kosyachenko L.A., et al. (2007), *J. App. Phys.* Vol. 101, No 1. P. 013704-1-013704-6.
7. Kosyachenko L.A., et al. (1999), *Semicond. Sci. Technol.* Vol. 14. P. 373-377.
8. Hatanaka Y., et al. (2001), *Appl. Surf. Sci.* Vol. 175-176. P. 462-467.

9. Gnatyuk V.A., Aoki T., Hatanaka Y., Vlasenko O.I. (2005), *Appl. Surf. Sci.* Vol. 244, No 1-4. P. 528-532.

10. Aoki T., et al. (2004), *Phys. Stat. Sol. (c)*. Vol. 1, No 4. P. 1050-1053.

11. Gnatyuk V.A., et al. (2006), *Phys. Stat. Sol. (c)*. Vol. 3, No 4. P. 1221-1224.

12. Gnatyuk V.A., et al. (2006), *Proceed. of The 6th International Conference on Global Research and Education: Inter-Academia 2007 and The 2nd Inter-Academia for Young Researchers Workshop*. Vol. I. P. 446-455.

13. Gnatyuk V.A., et al. (2003), *Appl. Phys. Lett.* 2003. Vol. 83, No 18. P. 3704-3706.

14. Gnatyuk V.A., et al. (2003), *Surf. Sci.* Vol. 542. P. 142-149.

15. Baidullaeva A., et al. (2004), *FTP*. Vol. 38, N1, RUS, p. 26-29.

16. Baidullaeva A., et al. (2001), *Technology and design in electronic equipment*. N.3. RUS, P.36-37.

17. Golovan L.A., et al.. (1998), *Solid State Commun.* Vol. 108, No 10. P. 707-712.

18. Wei Su-Huai, Zhang, S.B. (2002), *Phys. Stat. Sol. (b)*. 2002. Vol. 229. P. 305-310.

19. Gnatyuk V.A., et al. (2009), *Appl. Surf. Sci.* Vol. 255. P. 9813-9816.

20. Baidullaeva A., et al. (1993), *FTP*. V. 27.S. 56-59.

21. C.P. Lambropoulos, et al. (2011), *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 58, Issue 5, Part 2. 2363-2370.

#### DETECTORS BASED ON Cd(Zn)Te SEMICONDUCTORS FOR X-RAY AND GAMMA RADIATION REGISTRATION

Levytskyi S.M., Ph.D. (Technical Sciences), Senior Scientist, V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, ORCID:0000-0002-3909-0993, levytskyi@ua.fm

*This work presents the guidance on the results of the development of a laser doping technique and the creation of diode structures based on Cd(Zn)Te semiconductors, due to its attractive physical characteristics. The elements of this compound have relatively large atomic numbers, a significant cross section for photoelectric absorption, a sufficient band gap and, accordingly, can have a sufficiently high electrical resistance. All these are the advantages that make Cd(Zn)Te the main and promising material for nuclear detectors, which can operate at room temperature (without cooling) and, as numerous studies around the world show, intensive work is carried out on the design based on Cd(Zn)Te instruments for detecting and measuring x-ray and gamma radiation and imaging. The need for such a device is based on many important factors. One of the global problems of our time is the prevention of technological disasters, the elimination of their consequences and the prevention of terrorist acts. In Ukraine, solving these problems is of particular importance, since our state is one of the countries with a very degraded environment, in particular, due to radioactive contamination as a result of the Chernobyl disaster, ammunition disposal, technical problems in industry, etc. On the other hand, the solution of these problems causes intensive research all over the world in order to develop portable intelligent systems with the help of which it is possible to efficiently identify and distinguish dangerous objects and radionuclides, as well as to make an objective express analysis of the environment and materials for radioactivity. In addition to the necessary functional parameters, in particular, high energy resolution, these systems should be small in size, not energy-intensive in order to provide measurements for a long time and not require complex and special maintenance.*

**Keywords:** CdTe, CdZnTe, laser irradiation, doping, barrier structure, p-n junction, diode, detector.